

清华质量科学丛书②

Mc
Graw
Hill Education

六西格玛(6 σ)手册

(美) Thomas Pyzdek 著
孙 静 译

绿带、黑带
和各级经理
指南

Mc
Graw
Hill

清华大学出版社

清华质量科学丛书 ②

六西格玛(6 σ)手册:

(美) Thomas Pyzdek 著

孙 静 译

绿带、黑带
和各级经理
指南

清华大学出版社
北 京

Thomas Pyzdek

The Six Sigma Handbook: A Complete Guide for Greenbelts, Blackbelts and Managers at All Levels

EISBN: 0-07-137233-4

Copyright © 2001 by the McGraw-Hill Companies, Inc.

Original language published by the McGraw-Hill Companies. All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or distributed in any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

Simplified Chinese translation edition published by Tsinghua University Press.

本书中文简体字翻译版由美国麦格劳-希尔教育(亚洲)出版公司授权清华大学出版社独家出版。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书封面贴有 McGraw-Hill 公司激光防伪标签,无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记号: 01-2001-3463

图书在版编目(CIP)数据

六西格玛(6 σ)手册: 绿带、黑带和各级经理指南/(美)派兹德克著;孙静译. —北京: 清华大学出版社, 2002

(清华质量科学丛书)

书名原文: The Six Sigma Handbook: A Complete Guide for Greenbelts, Blackbelts and Managers at All Levels

ISBN 7-302-06196-3

I. 六… II. ①派… ②孙… III. 质量管理—手册 IV. F273.2-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 093793 号

出版者: 清华大学出版社(北京清华大学学研大厦, 邮编 100084)

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

责任编辑: 江 娅

印刷者: 清华大学印刷厂

发行者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 787×960 1/16 印张: 28 字数: 578 千字

版 次: 2003 年 3 月第 1 版 2003 年 3 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-06196-3/F·466

印 数: 0001~5000

定 价: 48.00 元

译者序

● 六西格玛(6 σ)手册

20 世纪末,世界舞台风云际会。在这众多强者中,有一家企业、有一个人越来越受到世人瞩目,这就是通用电气公司(GE)和它的前任首席执行官杰克·韦尔奇。杰克·韦尔奇以他传奇般的经历引领着百年老店 GE 继续创造着辉煌。尤其在 IT 泡沫破裂,网络冬天来临,欧美经济受到冲击,人们信心摇摆不定之际,GE 的成功愈显出其不可替代的重要意义。

伴随着韦尔奇和通用电气逐渐为中国人、中国读者所了解,一个新名词、新概念开始在中国的经理层流传,这就是六西格玛。六西格玛犹如带着神秘微笑的蒙娜丽莎,引人无限遐想,却又着实令中国人困惑。

韦尔奇称六西格玛是在做质量。可是中国人从 20 世纪 70 年代末就在大力提倡质量,虽然今天产品和服务的质量水平与 20 年前已不可同日而语,但是,黑心棉、假酒、染色大米仍严重威胁着人们的日常生活,顾客不得不把自己磨练得火眼金睛,拿出怀疑一切甚至打倒一切的态度来面对众多的日常品,以保护自己 and 家人的健康。生活竟成为一件艰难的事情,更何况质量?今天,竟然有人敢宣称通过质量为企业带来勃勃生机,怪事?!

搞质量的人员都知道,一提起质量,最常见的评价指标就是不合格品率、缺陷率。可是,韦尔奇竟然宣称六西格玛给 GE 带来了巨大的经济效益。《商业周刊》认为,通用电气的六西格玛实施是一个令人诧异的成功,它的实施取得了比韦尔奇的最初预想要大得多的成就。1997 年,六西格玛为通用电气带来的效益达到 3.2 亿美元,是韦尔奇预想中目标 1.5 亿美元的两倍多!

六西格玛真有这么神奇吗?在一个市场资本金达 3 000 多亿美元的公司,实施六西格玛,天方夜谈!,可是,毕竟 GE 成功了,韦尔奇也成功了。六西格玛到底是什么?它为什么能够帮助企业获得经济效益?六西格玛在企业中实施的途径是什么?诸多的问题摆在中国读者面

前,《六西格玛手册——绿带、黑带和各级经理指南》一书为我们从理念到具体的工具方法都提供了全面系统的介绍。为此,我很高兴地把它推荐给大家。

本书可作为高等院校质量管理专业研究生、本科生的教材和自学参考书,这亦是一本很系统的绿带、黑带的培训教材,可供各种管理人员作为日常使用手册。

在此,我要感谢周殊、于岚、张克长等同志在本书翻译过程中所做的大量工作以及清华大学出版社编辑们的艰苦努力,感谢国家自然科学基金委员会对质量研究的大力支持。谨以此书作为本人专著《接近零不合格过程的质量控制——实现六西格玛质量的途径》的姐妹篇奉献给读者。

2002年12月30日

于清华园

序 言

● 六西格玛(6 σ)手册

1988年,当鲍勃·高尔文(Bob Galvin)接受颁发给 Motorola 公司的第一届马尔克姆·波多里奇美国国家质量奖(Malcolm Baldrige National Quality Award)时,曾简单地介绍了六西格玛。当时在座的包括波多里奇奖的评委们,我们中的许多人都确信我们已经了解高尔文先生所讲的内容。作为听众中的一员,我认为他在讲统计过程控制、过程能力、满足要求等等,这些都是质量工程师多年来一直在倡导的内容。质量工程师和统计学家一致认为“过程能力”简单地说就是“正、负三西格玛”。控制在这个水平上的过程,由于偶然原因会产生比例不大的次品,但是,一般认为是可接受的。20世纪80年代,美国的汽车公司使得过程能力的定义更为严格,成为正、负四西格玛,这样缺陷率降至千分之几的水平。高尔文先生所提出的六西格玛,在我看来,似乎是对一种经过检验的可靠的统计方法的小改进。

我错了。

只就我而言,将 Motorola 的项目与传统的过程控制方法相联系,严重地混淆了一个事实:鲍勃·高尔文所叙述的是全新的事物。Motorola 公司所提出并加以应用的六西格玛,它完全有资格作为一个新的主题,并有力地扩展了制造过程统计控制的旧理念。两者之间的统计差异是惊人的。六西格玛过程只出现百万分之几(PPM)或十亿分之几(PPB)水平的失败,而旧的三西格玛过程的失败水平为千分之几,两者相差三至六个数量级,这具有深远意义。在科学领域,这样大幅度的差异有资格使一个主题成为一门新的学科,正如从对神经元的研究到对人类心理学的研究。

简言之,六西格玛不仅仅是对三西格玛质量水平的旧理念的调整,它是全新的事物。Motorola 的高层经理们把质量作为战略武器,使得他们的公司成功地实现如此高水平的质量,而不是简单地把质量看作成本控制的工具。然而,要实现这个目标,他们一定要将质量的观念扩

展,超越制造的范畴。六西格玛成为全组织中做事情的一种方式。而这项任务更艰巨,远比简单地改进对制造或装配过程的控制困难得多。它要求转变组织看待环境的方式和组织在环境中的作用。一个接受了六西格玛的组织,从根本上讲,已经不同于一个传统的组织。它对于相同的刺激会有不同的反应,它所关注的事物可能是其他组织忽视的,它所忽视的事物可能是其他组织关注的。

从本质上讲,六西格玛是一种管理企业的新方式。虽然六西格玛具有很强的技术成分,但是,六西格玛绝不仅是一个技术项目。它是一个管理项目。任何一个没有谨记这最重要的一点的组织,在成为世界一流组织的努力中注定要失败。

前 言

● 六西格玛(6 σ)手册

本书的目的是：为您实现六西格玛的承诺，提供必需的指导及方法，同时避免一些常见的陷阱和可能遇到的困难。本书将全面地介绍六西格玛的管理和组织、六西格玛所基于的理念以及六西格玛常用的解决问题的技术和统计工具。

本书在第1章讨论了领导问题。遗憾的是，本书无法提供 Bob Galvin 和 Jack Welch 那样的领导能力，也无法替代达到黑带或主黑带的技术熟练程度所要求的多年的学习和工作经验。然而，有高层管理人员的承诺和员工的努力，本书提供的信息可以帮助你的组织实现世界级运营的目标。

领导六西格玛，关键是要认识到：六西格玛主要是一种新的管理方法，而不是技术项目。六西格玛的目的是具有挑战性的——每两三年改进质量 100 倍——因此，要建立一种完全不同的商业运作方法。的确，六西格玛涉及到相当多的技术内容。但是，世界上所有的专业技术知识都不能产生这样的效果，除非工作环境能够接受六西格玛所倡导的理念和变革。

六西格玛也可以被看作为一种创造性的项目。六西格玛团队的任务是发现新的、更好的工作方法。常常，组织面对的最大障碍是处理创造性带来的破坏。只因为发现了更好的方法，而要放弃舒适的常规工作程序和现有工艺技术上的投资，这是很困难的。然而，这恰恰是六西格玛所要求的。六西格玛领导的主要责任就是使“创造性破坏”能够活跃地开展。

第1章叙述了领导者所面对的“六西格玛组织的悖论”，即要在组织中鼓励变化、松懈和冗余，而同时努力消除过程中的变化、松懈和冗余。本章还包括六西格玛要求的各种水平的技术熟练程度，以及选择六西格玛培训人员的标准，并讨论了六西格玛与信息系统之间的相互关系。

第2章介绍了为六西格玛培训人员设计的一种综合方法所需要的素材。

第3章叙述了以顾客为中心的组织的基本原理。六西格玛要求严格以顾客为中心、以数据为基础,仅仅陈词滥调是不够的。术语“六西格玛”的统计含义只是相对于旧的三西格玛质量水平而言,六西格玛关注顾客的满意。进而,讨论了确定顾客的要求,以及将顾客的要求转变为内部的规范。第3章的结尾综观商业过程的顺序性以及实际上对完美的过程性能的需要,以确保顾客感受到六西格玛的质量水平。

第4章考察了度量的原理和度量如何应用于六西格玛的问题,特别强调了财务上的度量。

第5章讨论了六西格玛项目的管理。项目是六西格玛活动中的基本单元。它是把领导层的远景变为现实的工具,要深入考虑项目管理的每一个方面。

第6章概述了良好测量的基本原理,包括“硬”和“软”的测量,这反映了对六西格玛性能水平的认识,需要量化诸如顾客的满意程度、美感以及产品和过程的物理性质等因素。

第7章讨论了六西格玛中常用的解决问题的工具,包括:调查表、帕累托分析、因果图、散点图、流程图以及许多其他的工具。第7章的重点是分析的描述性方法。描述性方法可以对个体或小组进行定位。在分析和解决问题的阶段,对机会的性质和范围有一个全面的认识是至关重要的。随后,进行了初步数据分析(EDA)的讨论。描述性方法应用于原始数据,EDA则可通过数据变化重新表达这些数据,并在信息丢失最少的情况下,以简单的图表方法总结这些数据。从总结中常常要比从原始数据中更易获得信息。

第8章包括了中级水平的统计工具的使用。本章从对枚举统计方法和分析统计方法的讨论开始,叙述了如假设检验、置信区间和均值、方差、标准差的检验等枚举统计方法,最后介绍了控制图这一分析统计工具,包括:计数控制图和计量控制图,指数加权滑动平均(EWMA)控制图以及短期、小批量生产过程的控制。

第9章覆盖了六西格玛中较高级的议题,包括:实验设计(DOE)、反应表面方法(RSM)、卡方列联表以及交叉表分析。本书在写作时努力确定对这些高级议题的讨论如何划定界限。这些议题既广泛又深刻,足以装满整个书架。对于常见程序中用到数学方法,本书采取的方法是尽量少涉及数学方面的细节问题,而是采用读者容易理解的计算机程序(例如:Microsoft Excel)和其他专用的软件来提供示例。当今,作为一名认真的高级六西格玛技术的使用者,是不可能不使用统计软件的。本章还简单叙述了神经网络在系统建模中的应用,并讨论了与实验设计相关联的使用。

第9章还概略地介绍了与六西格玛有关的可靠性工程,包括:使用指数分布的串联系统的可靠性计算,可靠性分配,系统的计算机模拟。本章介绍了风险评估工具,包括:FMEA和故障树分析。还讨论了产品安全问题,介绍了安全性的计算。最后,讨论统计容差问题。

注意:并不是所有的人都要求掌握本书全部的内容。领导层应当熟悉第1、2、3、4章

的内容和第6章的测量部分。除此之外,六西格玛盟主还应当了解第5章的内容。六西格玛小组的成员应当熟悉第5章和第6章解决问题的工具。“绿带”员工应当了解第5章和第6章的所有内容。“黑带”应当熟悉全部的内容,以及如何使用计算机应用统计方法解决常见的问题。“主黑带”应当了解统计方法的数学原理,能够帮助黑带员工在遇到特殊情况时,使用正确的解决方法。只要可能,统计培训应当由主黑带进行指导。否则,将会发生常见的“误差传递”现象,即“黑带”员工把误差传递给“绿带”员工,“绿带”员工把更大的误差传递给小组成员。如果需要对“黑带”员工和“绿带”员工进行培训,那么,他们只能在“主黑带”员工的指导下进行。例如,“黑带”员工可能要求“主黑带”在课堂讨论和项目中给予帮助。鉴于“主黑带”人员的职责所在,所以,在选择候选人时,应在评定技术能力的同时,评定其沟通和培训的能力。具有高级统计和计算能力但缺乏沟通能力的人员,虽仍可起到重要作用,但是他们不应当成为“主黑带”,除非他们的沟通、培训技能和其他技能一起都获得通过。

目 录

● 六西格玛(6 σ)手册

译者序	I
序言	III
前言	V
第 1 章 六西格玛的领导	1
1.1 相关案例研究	1
1.1.1 六西格玛在摩托罗拉	1
1.1.2 六西格玛在通用电气	2
1.2 创造力和六西格玛	4
1.2.1 学习模型	5
1.3 六西格玛的技术组成	13
1.3.1 资格	14
1.4 信息系统的要求	14
1.4.1 整合六西格玛与信息系统技术	15
1.4.2 在线分析处理、数据挖掘与六西格玛	18
1.5 六西格玛的就绪程度评估	19
1.5.1 组织质量文化评估	19
1.5.2 调查和重点小组	19
1.6 变革执行人及其对组织的影响	30
1.6.1 变革的管理	30
1.6.2 角色	31
1.6.3 变革执行人的工作	32
1.7 六西格玛团队	36
1.7.1 过程改进团队	36
1.7.2 工作组	37
1.7.3 自我管理团队	38

1.7.4	协助技术	39
1.7.5	成员的作用和职责	45
1.7.6	业绩评估	47
1.7.7	对团队的认可和奖赏	48
第2章	六西格玛培训和教育	51
2.1	自上而下地支持和制定质量培训战略计划的重要性	53
2.2	培训的各项子内容和主题	54
2.2.1	管理培训——通用质量原则	54
2.2.2	雇员培训——质量计划的执行	58
2.2.3	协助者培训	59
2.3	培训需求分析	60
2.4	培训后的评估和强化	61
2.5	工具	64
2.5.1	讲座、业务手册、案例教学和在职培训	64
2.5.2	培训技术的使用	80
第3章	六西格玛的原理	82
3.1	顾客驱动型组织的组成元素	82
3.1.1	向顾客驱动型和市场驱动型的企业转变	83
3.1.2	转型组织的组成元素	85
3.2	六西格玛与三西格玛	86
3.3	卡诺的顾客期望模型	88
3.3.1	顾客期望、优先权、需求和“顾客的声音”	88
3.3.2	六西格玛只解决了卡诺顾客满意模型的部分问题	89
3.3.3	质量机能展开把顾客需求和内部规范联系起来	90
3.3.4	数据收集以及对顾客期望、需求和规范的审核	93
第4章	六西格玛的组织业绩目标和度量	94
4.1	度量尺度应具有的特征	94
4.2	财务分析	96
4.2.1	货币的时间价值	96
4.2.2	质量成本	101
4.2.3	计算保住顾客的价值	113

第5章 六西格玛项目的管理	116
5.1 计划	118
5.1.1 综合质量的开端.....	119
5.1.2 短期和长期的质量计划和目标.....	120
5.1.3 反馈环.....	122
5.1.4 业绩测量.....	123
5.1.5 相关受益人.....	135
5.1.6 水平对比.....	136
5.1.7 预算.....	140
5.1.8 收益成本分析.....	141
5.2 项目管理实施	144
5.2.1 管理支持和组织障碍.....	144
5.2.2 短期(战术)计划.....	147
5.2.3 跨部门合作.....	148
5.2.4 质量过程的持续审核与改进.....	149
5.2.5 文档和规程.....	150
第6章 测量和数据的原理	152
6.1 测量	152
6.1.1 测量刻度.....	152
6.1.2 数据可靠性和有效性.....	154
6.1.3 可重复性和可再现性研究.....	156
第7章 六西格玛初级方法	167
7.1 解决问题的工具	167
7.1.1 绘制过程图.....	167
7.1.2 流程图.....	168
7.1.3 调查表.....	170
7.1.4 帕累托分析.....	172
7.1.5 因果图.....	173
7.1.6 散点图.....	176
7.2 7M工具	180
7.2.1 亲和图.....	181

7.2.2	树图	181
7.2.3	过程决策项目图	181
7.2.4	矩阵图	182
7.2.5	相互关系图	183
7.2.6	优先级矩阵	184
7.2.7	行动网络图	187
7.2.8	其他持续改进工具	187
7.3	知识发现工具	189
7.3.1	链图	190
7.3.2	描述性统计	195
7.3.3	直方图	197
7.3.4	初步数据分析	201
第8章	中级六西格玛方法	206
8.1	枚举统计方法与分析统计方法	206
8.2	枚举统计方法	209
8.2.1	基本概率概念	209
8.2.2	理论期望值	213
8.2.3	检验的假设和稳健性	215
8.2.4	分布	216
8.2.5	统计推论	228
8.2.6	容差和置信区间、显著性水平	230
8.2.7	假设检验/第Ⅰ类错误和第Ⅱ类错误	230
8.3	分析统计方法	233
8.3.1	基本控制图	233
8.3.2	预控制	265
8.3.3	EWMA图	268
8.3.4	过程能力分析	276
8.3.5	短期、小批量的过程控制	283
第9章	六西格玛高级方法	305
9.1	DOE(实验设计)	305
9.1.1	术语	305
9.1.2	强度和样本容量	307

9.1.3	设计特征	308
9.1.4	设计类型	308
9.2	借助软件应用 DOE 方法的常见示例	312
9.2.1	无重复双因素 ANOVA	312
9.2.2	重复双因素 ANOVA	314
9.3	经验模型建模和序贯学习	320
9.3.1	阶段 0: 确定你的方向	321
9.3.2	阶段 1: 筛选实验	322
9.3.3	阶段 2: 急速上升(下降)	326
9.3.4	阶段 3: 析因实验	327
9.3.5	阶段 4: 综合设计	330
9.3.6	阶段 5: 稳健产品和流程设计	333
9.4	数据挖掘、人工神经网络和虚拟过程映射	336
9.5	回归和相关性分析	340
9.5.1	线性模型	340
9.5.2	最小平方拟合	344
9.5.3	相关性分析	348
9.6	卡方(χ^2)列联表	350
9.7	可靠性分析	351
9.7.1	可靠性的基本术语和原理	351
9.7.2	评估设计的可靠性	354
9.7.3	蒙特卡罗模拟	355
9.8	风险评估工具	365
9.9	安全性分析	368
9.10	过程模拟	370
9.10.1	模拟工具	370
9.10.2	模型开发	372
9.10.3	管理约束	375
9.10.4	积压物品	375
9.10.5	模拟	376
9.11	统计容差	382
附录		386
表 1	基本统计术语表	386

表 2	标准正态曲线下的面积	390
表 3	t 分布的临界值	393
表 4	卡方分布	394
表 5	F 分布($\alpha=1\%$)	396
表 6	F 分布($\alpha=5\%$)	398
表 7	泊松概率累积	400
表 8	容差间隔因素	403
表 9	Durbin-Watson 检验边界值	406
表 10	计算 AOQL 的 y 因素	408
表 11	控制图常数	409
表 12	控制图公式	411
表 13	d_2^* 值的表	412
表 14	ANOVA 的强度函数	413
表 15	短期的单值图、 \bar{X} 图和 R 图的参数	421
表 16	来自多分支过程的一个分支,连续最大或最小值的有意义的数目	422
表 17	顾客调查的实例	423
表 18	过程 σ 水平与等价的 PPM 质量水平	425
参考文献		426

第 1 章

六西格玛的领导

1.1 相关案例研究

1.1.1 六西格玛在摩托罗拉^①

摩托罗拉的质量改进之路充满艰辛：持续受到来自竞争市场的打击。一家日本公司从摩托罗拉手中购走摩托罗拉在美国的一家电视机制造厂后，迅速采取行动，给工厂的运作模式带来了极大的变化。在这家日本公司的管理下，工厂生产的电视机的缺陷率只有原来摩托罗拉管理下的 1/20。20 世纪 70 年代末和 80 年代初，公司参与反不正当竞争运动，想通过政策保护来面对竞争压力。最后，甚至连摩托罗拉自己的首席执行官都不得不承认“我们的质量在衰退”（Main, 1994），于是摩托罗拉决定认真地采取质量战略。摩托罗拉当时的首席执行官 Bob Galvin 开始着手公司的质量改进之路，最终他在摩托罗拉质量改进中取得的巨大成就，成为了企业的象征。

今天的摩托罗拉是世界性的质量领袖。为了实现它的质量目标和完全顾客满意的目标，摩托罗拉全力以赴着手若干运作上的改进创意。这些内容中的第一条就是“六西格玛质量”，即对期望结果变差的统计度量。具体地说，六西格玛的目标就是产品和顾客服务的缺陷率应低于 100 万分之 3.4。在制造业中，为了提供统一、一致的最终成品，要求采用“稳健性设计”，使组成成品的各个零件的变差足够小。摩托罗拉雇员纪录每道工序中出现的缺陷，统计技术是每个雇员所不可或缺的工作手段。

缩短“总循环周期”——从顾客向摩托罗拉发出订单到产品交到顾客手中的时间——是质量改进的另一个重点。事实上，在新产品的生产过程中，摩托罗拉计划将循环周期缩短得更多；在产品刚刚有构思的时候就开始对其循环周期计时。这些都要求对整个系统进行检验，包括设计、制造、营销和管理。

^① 资料来源于 1988 年马尔克姆·波多里奇国家质量奖的获奖者摩托罗拉公司的材料，国家标准与技术研究所，1988 年。



摩托罗拉管理层证明它在许多方面都是坚持以质量为首,包括召开最高层会议来检查整个公司中质量项目实施结果。事实上,质量改进涉及到整个公司的各个层次。普通雇员通过摩托罗拉参与性管理项目(PMP)直接为质量改进作出贡献,这一由相同领域的雇员或为实现特定目的而召集来的雇员组成的摩托罗拉参与性管理项目团队,经常聚会以评估为满足质量目标所取得的进展,确定新的改进方向,解决出现的问题。对团队建议所带来的成本节约进行分配,以作为高质量工作的奖励。

为了保证雇员掌握实现公司目标所必须具备的相关技能,在1983年到1987年间摩托罗拉在职工教育上的花费超过1.7亿美元。在公司提供的雇员培训中,40%都用于质量培训,从质量改进的一般性原理到生产制造的设计。

摩托罗拉清楚其产品质量必须达到怎样的水平才能超过它的竞争者。公司的每个主要分支机构和部门都要实施水平对比,对竞争对手产品的各个方面加以分析,以全面评估对手的生产能力、产品可靠性、生产成本和业绩。摩托罗拉将自己的产品标准与近125个竞争对手的产品进行比较,证实摩托罗拉的许多产品都是同类产品中的佼佼者。

摩托罗拉承认自己犯了一些错误,其中最严重的错误之一是从公司的最基层开始进行质量改进的培训。由于没有进行补习性的知识教育,很多员工都无法理解质量改进中所需要的统计过程控制和其他的技术,也无法向没有参加培训的上级老板求助。即使是那些对概念完全理解的员工,在不接受新理论的工作场所也不能够将学到的理论加以应用。摩托罗拉的培训教育主管估计,这种从基层开始的培训方式使得摩托罗拉浪费了约700万美元。认识到存在的错误,公司成立了“摩托罗拉大学”,对数以千计的摩托罗拉高层管理人员进行了培训。Bob Galvin自己也参加培训。截至1992年,公司每年用于培训的费用高达1.1亿美元。

这些措施带来了实质性的效果,摩托罗拉已经既能够生产单个的、也能够生产批量为100 000台的呼机和手机了。通过大量定制服务,工厂现在能够在接到定制要求的几分钟内精确地填写订单。公司在呼机、手机、移动通信等重要的高技术产业起主导作用,并成为许多其他产业中的重要力量,这些成果在很大程度上都应归功于六西格玛项目的实施。

1.1.2 六西格玛在通用电气

通用电气公司拥有上市企业中最大的资本金——3 210亿美元。其首席执行官 Jack Welch 把公司的成功部分归功于公司的六西格玛项目。通用电气预期通过对六西格玛项目的投资能节省50亿~100亿美元的成本。财务分析家们指出质量是通用电气的最高追求。对质量的重视是通用电气成功的原因之一,标准普尔(Standard & Poor)指出:

质量项目使得全公司上下都致力于改善质量和降低成本。公司认为这有助于提

高公司的利润。^①

通用电气的年度报告明确指出：“……我们的六西格玛质量项目正在改变我们做事情的方式。”成功的事例比比皆是。制造领域的例子有：

- 通用电气公司新加坡塑胶制造厂的颜色实验室里，六西格玛项目实施后，将通用电气的树脂颜色调配成顾客要求的颜色所需要的时间减少了85%。在全球塑胶市场快速进步的环境中，这一改进为工厂带来了明显的竞争优势。
- 使用六西格玛方法和技术后，通用电气药物系统和通用电气研发中心开发出关键性能符合顾客需求的新型 Performix 630 显像管。这种用新技术制造出的新一代显像管与原来的产品相比，具有更长的使用寿命、更高的灵敏度和更好的成像质量。
- 由一名黑带员工领导的六西格玛团队改进了准时交货系统，提高了生产率，通过改变冰箱的测试和修理过程为通用电气装置部门节省了400万美元。改进前的冰箱测试和修理过程是生产线上一个连续测试环，其过程是将冰箱从生产线上拿下来，检测和修理完毕后再放回生产线上。改进后用八个测试单元取代了原有的测试环，在这些测试单元中有专门人员负责检测冰箱在机械方面可能存在的问题并进行必要的修理，然后再进行电气测试。

在非制造领域中，六西格玛方法的应用也成效显著。例如：

- 在通用电气的资本抵押保险公司中，有一个持续贷款团队，这一团队中包含一名黑带员工和一名主黑带员工。他们应用六西格玛来处理借款人的拖欠问题，并采取相应的补救措施。这使得缺陷率减少了96%，通用电气资本抵押保险公司因此得以在减少800万美元申诉费用的同时，提供更快捷的借款方式。
- 通用电气公司加拿大飞机引擎公司的行政助理，在一个项目进行六西格玛绿带培训，以保证通用电气加拿大公司进口的航海用引擎和工业引擎的质量，以及供应给加拿大顾客的零件和工具的质量。项目的实施不仅大大减少了关税成本，还使得边境延误减少了至少50%。

Welch 要求通用电气的每位员工都要对质量高度敏感，他称之为“质量精神病”。公司投资了上亿美元用于培训员工，以便把他们培训成为主黑带员工、黑带员工和绿带员工。这些培训出的技术骨干将和他们的团队一起为公司的质量和过程改进做出贡献。

据《商业周刊》报导，通用电气在实施六西格玛项目三年后，就将产品质量的西格玛水平从三西格玛提高到了四西格玛。而这种四西格玛水平和六西格玛水平之间的差距，正使得公司每年为其低效率和低生产率付出80亿~120亿美元的费用。

^① 标准普尔的股票报告，通用电气，1999年2月6日。

质量改进的决策不是小事,因为它涉及到给上万名员工提供统计等方面规范方法的培训,这需要大量的投资。为了使通用电气的员工接受六西格玛的理念,需要培训主黑带员工、黑带员工和绿带员工,以便在组织中强调六西格玛的质量技术。

Welch 在 1995 年底开始发起六西格玛项目,包括 200 个项目和强化培训课程;到 1996 年,规模发展到 3 000 个项目和更多的培训;1997 年时,已经发展到 6 000 个项目和越来越多的培训。《商业周刊》认为,通用电气的六西格玛实施是一个令人诧异的成功,它的实施取得了比 Welch 最初预想的要多得多的成就。1997 年,六西格玛带来的生产效益达到 3.2 亿美元,是 Welch 预想中的目标 1.5 亿美元的一倍多! Welch 自豪地宣称:“六西格玛像野火一样在公司中蔓延扩张,它正改变所有的事物。”(Byrne,1998)

1.2 创造力和六西格玛

古生物学家和进化生物学家 Stephen Jay Gould 应邀去日本讲学,他和另一个日本生物学家作同样题目的演讲:创造力。Gould 用他新奇或者说富有创造性的演讲,使一向以挑剔著称的日本人感到惊讶。Gould 关于创造力的口号是:无条理,不匹配,离奇的设计和冗余(Gould,1993)。

Gould 用自然进化的例子来解释他的理论。Gould 说,以细菌为例,从某种意义上说,细菌是自然界最成功的案例了。有证据表明,细菌在地球上存在的时间几乎和岩石一样久远,也就是说,它们已经存活了相当长的时间了。细菌是极其有效率的,它是有着精确遗传程序的单细胞动物,它具备重要基因的备份。但 35 亿年来,细菌仍然只是细菌,而且可能直到太阳爆炸的那天它们仍旧只能是细菌。Gould 观察到:

如果每个基因都完成一个且仅一个一流的、必不可少的功能,那么新的或增加的功能怎么才能产生?这里,要有创造性就需要无条理和冗余。

自然界中,动物可以用鼻子呼吸,也可以用嘴呼吸就是一种冗余,这意味着鼻子发生一些问题后动物也不会窒息,例如食蚁动物的尖状鼻和大象的长鼻。冗余给每一代都带来一些变异,在这些轻微变异中成功的会被发现并一代代地传递积累下去。

无条理?冗余?不匹配?离奇的设计?如果从传统的角度看待这些提议,人们会认为提出这些理论的人思维出了问题,这些正是管理者和工程师们全力去追踪和克服的东西。建议将这些特性故意地加入组织的设计中去,看上去似乎是完全不可思议的。美国质量学会统计部门的钢笔上面写着:所有的工作都是过程,过程变异,减少变异。每次轻敲这支钢笔的时候,这些口号就会显现。这是质量的一个固定模式。但如果一个企业过分地偏执于减少过程中的变异,也可能这就是灾难的根源。创造力需要变异的存在。

Gould 关于自然界中创造力的原理,同样也是人类社会组织中创造力所需要的。试

看 3M 公司的“15%原则”。这一非正式的原则允许 3M 公司的某些雇员将他们 15%的时间用于他们自己选择的项目。3M 对这一规则的理解和运用体现了他们一如既往的创造能力。由此规则而产生了诸多发明,如“即时贴”,这一发明恰恰就是将冗余融入了组织。在高效率的组织中,这一措施是不可能实行的。如果没有冗余,每周每名雇员有 6 个小时的工作时间不用于规定工作,将会带来令人无法忍受的混乱。

过度效率是创造性的敌人。

成功的六西格玛组织通常更加具有创造力,因为他们融入了常规管理者们所尽力避免的因素,例如:

- 多个雇员进行同样的工作——冗余。但是,如果人们需要把时间用于过程改进项目和其他的六西格玛活动,这样的冗余却是必要的。
- 同一工作由不同雇员用不同的方式完成——差异。这一组织内的差异是实现过程改进的天然源泉。为什么雇员 A 的成效比雇员 B 高呢?为什么过程 X 比看上去一模一样的过程 Y 要好得多呢?通过统计工具分析这些数据、发现差异产生的原因,就可以用发现的原因和规律来设计将来的改进过程。
- 为了发现改进方式而经常进行的实验通常伴随着大量的失败和浪费——效率低。六西格玛的实验,即使是由黑带员工主持进行的实验,也经常得到无用的结果,这就是人们学习的过程。组织在不惜任何代价消除浪费的同时,虽然获得了短期的效率,却丧失了今后改进的机会。

在 Nucor 钢铁公司,人们有这样一句格言:“如果它值得做,那么它就算做得不好也值得。”换言之,不要只求沉迷于思考某个想法。着手去做,看看它是否真正有用(Iverson,1998)。Nucor 公司估计,雇员们的新思想和创新中大约有一半以失败告终,但另外一半成功了!普通的雇员,而不是专家,为组织带来大量的离奇设计,这些设计有时甚至比专家所能想像的还要出色。并且,与自然界的复杂适应系统一样,实施六西格玛的企业获得了成功,带来了适应性,也给每个人带来了好处。

1.2.1 学习模型

PDCA(计划—做—检查—实施)

PDCA 循环,也就是戴明所说的 PDSA 循环(Deming,1993,p.134),是学习和过程改进的流程图,其基本思想源于休哈特对知识本质的探索。休哈特认为知识始于实验数据,终于实验数据,但它所终于的数据并不是开始时的数据。他认为知识有三个重要的组成部分(Shewhart,1939,1986):(1)学习过程开始时的实验数据;(2)对将来进行某些实验时,希望能得到的数据的预测;(3)以原始数据和一些结论为依据得到预测的可信度。休哈特用图描述了上述三个组成部分的关系,如图 1.1 所示。

由于知识始于原始数据而终于新的数据,这些未来的数据就是对原始数据运作的检验和验证。然而,因为基于实验数据的推理和预测都不可能是完全确定的,所以基于原始数据的知识只是部分可信的。换言之,根据休哈特的理论,知识只能是某种有望发生的可能性。同样,数据本身也不一定就是“事实”,而只不过是让我们得出若干推论的度量。也就是说,如果没有理论的支持,我们不可能获得事实。

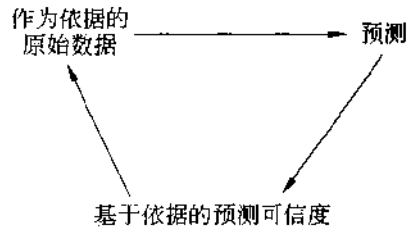


图 1.1 知识的三个组成部分

休哈特将这些原理应用于很多实际方面。例如,他认为制造业的质量控制存在三个步骤:制订规范、生产和对质量的判断(检查)。他解释道:在实际工作中,制订规范需要首先获得一些检查中的信息作为确定过程能力的基础,然而,这些检查的信息只有在生产开始进行以后才能得到。简言之,休哈特调整了制订规范—生产—检查的序列,如图 1.2 所示。他同时指出,制订规范—生产—检查这一序列中的每一步骤分别相当于制定假设、进行实验、检验假设。这三个步骤组成了获取知识的科学的动态过程。

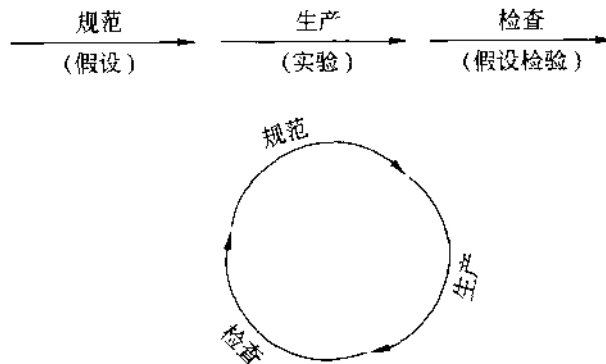


图 1.2 获取知识的科学过程

可以注意到,休哈特的知识模型形成了一个循环。休哈特受哲学家 C. I. Lewis (1929)的影响,Lewis 认为任何好的逻辑都是循环的。这种观点的本质是将知识看成动态的过程,当新证据出现时,这个动态过程将发生相应的变化。休哈特认为(Shewhart, 1939,1986,p. 104):

在某种意义上,学习是一个持续的过程或者方法,这是与通过预测就可获得肯定知识的学习观点的本质区别。

休哈特和戴明对上述模型进行了修改,并将它应用于产品和过程的改进。改进后的

新模型最初被称为 PDCA 环,后来戴明又对它进行了一些修改形成了计划(plan)—做(do)—学习(study)—实施(action),称为 PDSA 环(Deming,1993,p.134)。图 1.3 所示为休哈特—戴明的 PDSA 环。

计划——一项以改进为目标的变革或试验,是整个 PDCA-PDSA 环的基础。名词“计划”并不只限于在整个组织范围内实施的大规模计划,它也同样可以指某些人感兴趣的简单过程的变革。

做——进行变革或试验(最好是小规模)。应该强调的是,“做”这一步骤要认真按计划进行,否则学习知识将是不可能的。

学习——结果。学到了什么?什么地方出现错误?

实施——采用变革,或者放弃变革,或者沿着 PDSA 环重新运行一次。

PDCA 方法是对原来休哈特环改进后得到的、面向管理的版本,它着眼于工程和生产,已经出现了很多改进的形式,图 1.4 所示为戴明所做的两个改动。

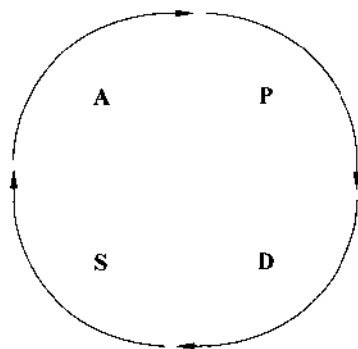
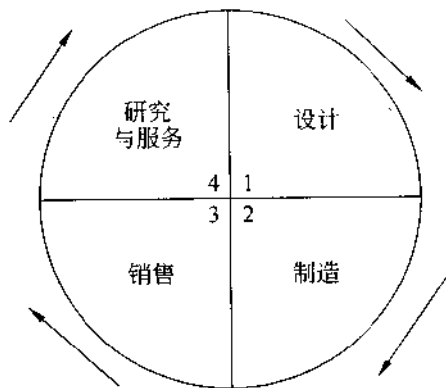


图 1.3 休哈特—戴明的学习与改进 PDSA 环

1950年戴明为日本经理人员所作演讲



1950年戴明为日本工程师所作演讲

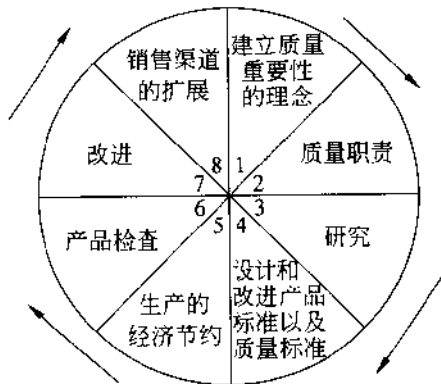


图 1.4 PDCA-PDSA 环的一些变动

朱兰(Juran)将质量描述成“螺旋形”的过程,如图 1.5 所示。

由于历史原因和逻辑要求,质量领域的环状图普遍存在。在质量管理领域,环形代表了通过知识的不断获取,实现质量持续改进。

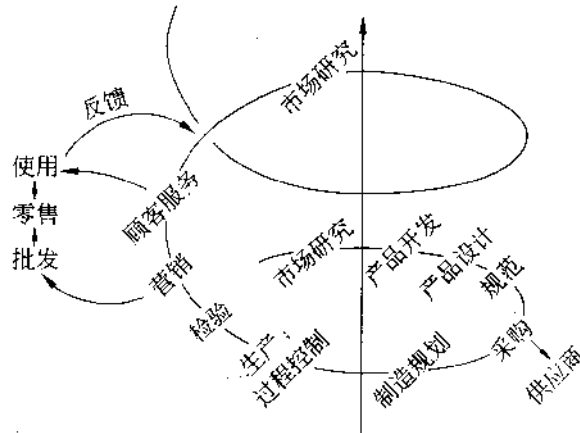


图 1.5 朱兰的螺旋形质量进步过程

学习和适应的动态模型

PDSA 环描述了一个在稳定均衡或近似稳定均衡的环境中的计划和学习过程。PDSA 环指出,通过研究计划实施的结果并不断对计划进行调整,使得计划持续改进。然而,PDSA 模型不能解释其他的具有复杂适应系统特征的行为体的行为,比如市场经济。为了适应这种情况,本书提出了一个新模式:选择(select)—实验(experiment)—适应(adapt)(简称 SEA)模式,如图 1.6 所示。

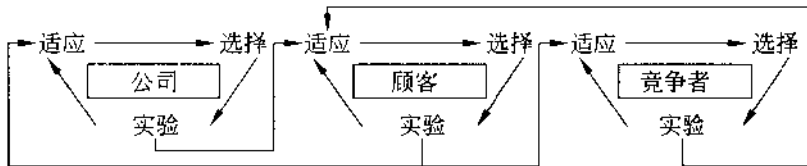


图 1.6 非线性系统的选择—实验—适应(SEA)模型

现实生活中,我们经常进行实验,而进行实验包括要执行由环境获得的信息所启动的行为规则。我们观察事物,根据对过去观察的思考加以推理,确定什么样的行动最有效。响应环境信息所采取的行动被称为行为规则。通过从行动中我们实际得到的结果,调整行为规则的力度,这就是适应。对 SEA 环多次重复就好像计算机科学家 John Holland 的桶链算法(1996),该算法强化了以报酬为终点的行动链规则。这是一个关于设定发展阶段和子目标的假设不断改进、确认的过程。

SEA 与 PDSA

在 PDSA 环中,计划记录了正被检验的理论。戴明认为,传递知识的报告必须对未来的结果做出预测,给出出现错误的风险,而且它应和过去的观察一致。戴明认为,理性的预测需要理论的支持,并在比较预测与观察结果的基础上,通过对理论进行系统修改和扩展,而形成知识。没有理论,就没有什么可修改的,经验也失去了意义(Deming, 1993)。

SEA 模型与 PDSA 环不同,它包含了正反馈环,形成了动态的非线性系统。这些系统的表现与休哈特-戴明模型中的一般原因和特殊原因有相似之处。事实上,微小的不可探测波动(一般原因)被正反馈放大后,将形成较大的不可预测影响(特殊原因)。由于正反馈的存在,像图 1.6 所示的那样简单系统的行为都变得不可预测,甚至从原理上说都不可预测。当然,这种表示是对现实的过分简化。现实世界中,存在着众多争夺顾客的竞争者,大量的顾客,规则,众多改变着企业行为的雇员,等等。但是,不管怎么样,结论都是一样的:长期预测是不可能的,所以长期计划也是不可行的。从而,PDSA 环中的“P”(计划)在休哈特-戴明所定义的“控制”含义下,只能被用于短期计划和短期系统。

PDSA 中的“S”(学习)要素也值得商榷。确切地,我们在学习什么?是在“A”(实施)步骤中,我们所采取行动的效果吗?这些问题都无法得到确切的回答,因为观察到的效果也受采取行动的其他行为体的影响,有时这种影响甚至是决定性的。因此,我们可能错误地认为我们的行动有影响,而实际上却并没有,结果导致一种迷信性的学习。例如,开展了一个特别促销活动,同时销售量也确实增长了,于是我们得出结论,这个促销活动是成功而且有成效的。但事实上,只不过是促销活动开展的时间恰好与顾客推广活动一致,而后者使这种商品的需求暂时增加而已。

或者我们可能得出这些行动效果不大的结论,而实际上是这些活动的效果被其他行为体的行为掩盖了。例如,一个新的营销项目本来是会成功的,只可惜由于竞争者的短期促销活动,而顾客由于暂时的现金流问题不得不压低开支,因而没有获得成功,效果不理想。

学习和 SEA 模型

SEA 模型本身并没有“学习”,而只有战略性适应。可以使用计算机编程,根据反馈信息对行为规则进行修改,但计算机并不具备学习的能力。它仅仅只能通过反复试错得到的成功经验来“发现”新的行为规则,也就是说,通过对 SEA 环的多次重复来发现新的行为规则。在人们的概念中,学习涉及到发现原理,即能够解释应用行为规则的成效增加或减少的原因的原理。与简单地发现某一特定的行为规则会带来较高的成效相比,这是一个完全不同的概念。学习可以跨越一代或几代适应过程。

图 1.7 给出了将学习过程融入动态环境中的一个模型:选择(select)-实验

(experiment)—学习(learn)(SEL)模型。

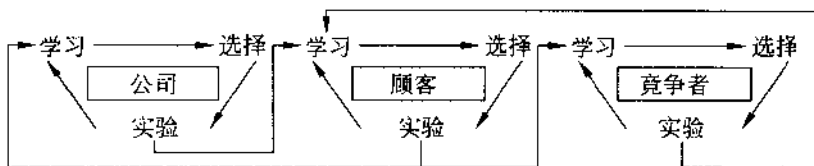


图 1.7 动态系统的选择—实验—学习(SEL)模型

SEL 与 PDSA 也是有区别的。休哈特认识到发现科学原理的价值,同时他也认识到即使没有这样的知识,也可能会有进步。然而,休哈特认为通过运用自然法则可以获得“控制界限内的控制”,也就是说,可以获得统计的确定性。本书将休哈特称之为统计控制的状态,称为统计均衡。当一个系统的未来表现是可预测的,并且用线性负反馈模型确定的预测结果落在控制界限内,那么,这个系统就处于统计平衡。混沌理论和复杂理论表明,在动态环境中,也就是受正反馈影响的环境中,这种控制水平是不可能实现的。

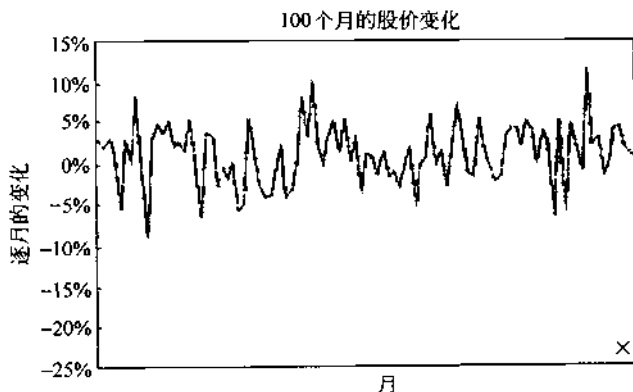
SEL 模型是为动态环境设计的。它并不打算用超人的知识和远见来制定长期战略计划,而是寻求一些对作预测、识别正反馈有用的原理,通常其他行为体的行为使得识别这些原理的效果变得困难。此外,其他行为体可以同样获得这方面的知识并且相应改动它们的行为,从而,在一定程度上影响了原理。比如,合作和互利本是对所有人类文明都适用的普遍原理。但是,把这一原理应用于行为体后,很多未来行为都变得不可预测,甚至使用统计确定性预测都不行。如果其他行为体发现你使用了这一原理,他们会利用你所得到的结果。当然,在发现新的突破原理之前,使用 SEA 模型仍会带来持续的、逐步的改进。SEA 带来的累计改进也是十分惊人的(例如,自然界的演化)。

从本质上来说,当环境动态变化时,SEA 模型和 SEL 模型用动态适应(SEA)和以行为体为基础的学习(SEL)取代了均衡稳定环境的 PDSA 学习模型。自控式或者至少是行为体中的局部控制,取代了集中控制方案(计划)。六西格玛活动应当运用所有这三个战略来进行改进。这里是决定何时应用给定方法的一般性原则。

- SEA 只适用于正式的、受到控制的实验。采取最小—最大战略:集中式计划最小化,而实施最大程度的控制。授予每个员工最大的自由度去实验、去改变他们的工作环境和过程,以期获得更好的工作方式。
- 当过程受到其他行为体的正反馈影响时,应使用 SEA 和 SEL 模型。取消长期战略计划,努力营造最大能力地适应变革的环境。
- 当过程处于或者接近均衡并且过程不受正反馈环的影响时,采用 PDSA 模型。因为 PDSA 是基于制定计划的模型,它需要正式的团队来严格实施。严格使用过程控制、实验设计等工具。

PDSA, SEA 和 SEL 的示例

下面给出了 100 个月来 S & P500 股票指数的百分比变化。数据反映了数百万投资人的买卖行为。数据表明这段时间处于统计控制状态,也就是行为均衡;在这段时间,投资人可以使用 PDSA。使用控制图,可以预测下个月的回报在 -11.2% 到 12.6% 之间。



但是,可以证明过程显然是非线性的。在第 101 个月,投资人(行为人)通过卖出导致价格下降,而这引得价格进一步下降,又导致了更多的卖出。换言之,动态系统遭遇到了正反馈。SEA 行为的结果:接近 22% 的下降(图中由“x”表示),比通过线性统计模型得到的预测幅度大得多的下降。

一些投资人没有受正反馈的影响。使用 SEL 的逻辑,他们研究了宏观和微观的因素,发现没有理由跟进。因而,他们不是卖出,而是持有他们的股票,甚至买进更多的股票。这一战略暂时产生了不良后果:下个月市场又降了 9%。但是,最后市场复苏了,重新夺回了所有的失地,又回到增长的区域。

六西格玛的管理悖论

六西格玛的管理悖论可以简单加以描述:

实现六西格玛,需要尽量减少过程变异、松懈和冗余,而采取的方法则是要在组织中建立变异、松懈和冗余。

六西格玛需要通过艰苦的努力将过程的变异减至最小,以保证过程能满足甚至超越顾客的期望和要求。然而,只有通过思想的突破才能获得改进的进展速率和质量水平。只有在组织给予团队和个人尝试新事物的自由时,才能获得这些创造性的突破。根据定义,引入新事物的同时也增加了变化的可能性。只要尝试新事物,就要冒失败的风险,这可能在短期内给组织造成一定的损失和浪费。组织中需要有松懈——也就是多余的资

源——保证组织能正常而有效地运转,尽管存在着浪费。最后,创造性活动会吸引组织中最优秀的人才,就像光线吸引飞蛾一样。组织必须拥有足够的运作冗余,以确保这些关键的核心人物不在时,组织的重要职能仍能正常运作。

领导者必须始终保持清醒以确保组织上下能够理解这一悖论。六西格玛的基本原理就是减少可变性。当人们学习新原理时,特别是刚开始学的时候,总是急于去应用这一原理,这是一个普遍的趋势,而这种趋势就导致了人们要将新原理应用于每件事物上。新原理的提倡者们认真地检查每一个过程,希望能控制所有过程,也就是使过程是有效的、有能力的和可预测的。在实施的早期阶段,这些活动的结果是很明显的,因为组织中存在着严重的资源浪费和没有成效甚至阻碍生产率的活动(也就是冗余和松懈)。然而,随着实施过程的推进,不断的改进使得组织中无计划的松懈越来越少。如果不注意这一悖论,六西格玛实施的最终结果将可能是使组织成为无法成长和完全不能适应环境变化的实体。

现代组织的常见形式是称之为“硬线”的形式。在这种组织中,组织目标是这架大机器的蓝图,组织的政策和程序指南是运作规则。这种组织就像一块电路板,当提供某种输入(资金、人员、观念)时,就产生某种输出(产品、服务、利润)。这样的组织能够具有非常高的效率,资源得到非常仔细的管理,以避免浪费。然而,这样的组织也是非常顽固的,很难产生变化。它们往往是很依赖组织中正规的运作机制,例如得到特许的团队,给组织带来变化。高层管理人员要求各个职能部门都为团队提供必要的资源(人员、设备等等),就像从主源电路中取出部分能量用于变化和改进。在这样的组织中,要想维持变化的动力就需要高层管理者永远保持清醒,因为资源的“真正”拥有者——各个职能部门的经理——总是试图阻碍资源从他们的职能部门中流出。这样的组织需要不断与“阻碍变革”的力量做斗争。在 20 世纪 80 年代的企业中,像 IBM 和通用汽车都是这种组织的典型代表。六西格玛项目在这样的硬线组织中很难实施。因为在这样的组织中,很难获得用于实验和过程改进所需要的资源和必需的承诺。而且,将六西格玛项目的成功经验从一个部门传递到组织中的其余部门也相当困难。

另一种组织形式是“软线”组织。在软线组织中,存在着一些浮动的资源,这些资源并不完全由某个职能部门控制。就像计算机的随机存取存储器(RAM)一样,这样的资源很容易重新装配,用于各种各样的不同活动。计算机可以在某一分钟是行使会计职能的机器,而下一分钟成为了用于工程的机器,然后,又可作为游戏机,等等。3M 的传统是允许某些技术人员有 15% 的自由时间用于他们自己感兴趣的项目,这就是“软线”的一个例子。巴西 Semco 公司设有自由工程师,他们不向任何人汇报,他们可以从他们成功的思想和创新中获得属于他们的部分。还有许多软线的例子,他们取得了惊人的成就。软线

组织形式非常适合于快速的但有指导的改变,这正是六西格玛所需要的。^①

1.3 六西格玛的技术组成

从根本上讲,六西格玛是一种新型管理方式,它具有很强的技术组成。六西格玛的技术领导包括能够使用计算机进行高等统计分析的人员以及团队中所需要的各领域专家。从使用基本方法的能力到对数学理论的深入理解,专门技术有多个层次。借用武术(柔道)中的名称,这些具备不同层次专门技术的人员被冠以不同的称呼,例如,那些具备高级知识背景的人员被称为“黑带”,那些参与中级知识培训的人员被称为“绿带”,等等。用“技术领导”描述参与了六西格玛各方面高级培训的人员,这些培训涉及六西格玛哲学、统计分析、信息系统、应用软件和项目管理。每层次技术领导需要掌握的内容已经在本书的序言中进行了论述。

技术领导是能够有效地培训、领导员工和团队的分析家。虽然他们需要听从董事会的管理指导,并且需要得到高层领导的支持,但他们能够在这些指导下使项目有效地运作。技术领导与管理层一起工作并对项目计划的陈述和实施提供咨询,他们还与项目团队一起负责项目的执行。

技术领导的一个重要职责是通过提出思考和行事的新方式,鼓励和刺激管理层的思考。在某种意义上,他们充当着管理层的语言(财务、组织、管理控制)与项目团队的语言(技术度量、问题解决、统计)之间的“翻译者”的职责。他们也是信息的沟通渠道,他们通过将政策决定对运作效果的具体影响展示给高层领导,从而引起高层领导对政策问题的重视。

根据美国质量学会和六西格玛学会的规定,技术领导(黑带员工)肩负着下列职责:

- 指导——在工厂中培育出一系列的专家。
- 讲授——对当地职员进行新战略和新工具的正规培训。
- 教练——对当地职员提供一对一的指导和支持。
- 传递——以培训、现场指导、案例教学、现场评点等方式,传递新战略和新工具。

^① 第三类组织是自然产生的组织,作者称之为自发企业,在其著作《管理终结》中有详细的介绍。科学家们把这类组织称为“复杂的适应性系统”。从热带雨林到大脑、自由市场,我们的身边到处都是复杂适应性系统。这些系统比任何商业公司都要复杂许多,而且同样非常有序。一直以来,我们只能惊诧于这些系统在没有领导和计划的情况下能够存在而且运作良好。直到最近,科学家们开始探索支配这类系统的规则。获得的新知识带来了对此类系统如何运作的深入思考。运用新的解释,人们注意到如何把人类的组织设计得更有效,例如:依赖自发组织形成秩序的组织比依赖昂贵的、无效的系统规则和阶层形成的组织要好。到目前为止,仅有一些这种类型的组织,如:信用卡中的巨兽 Visa 卡。然而,随着向这些先驱者们的学习,我们将看到更多的自发企业式的组织。由于六西格玛是一项管理项目,需要进行根本性的调整以在自发企业中工作。倘若六西格玛技术领导拥有帮助他们保持竞争优势的信息,那么,他们在领导自发企业中扮演重要的支持性角色是可能的。不过,这是未来而不是当前六西格玛活动需要处理的问题。

- 发现——为内部和外部的突破性战略和工具寻找应用机会。
- 辨认——通过与其他组织合作,发掘商业机会。
- 影响——说服组织在突破性战略和工具使用上的创新。

1.3.1 资格

作为最高层的技术领导,除了要掌握主旨,还要具备额外的背景。可能要求最苛刻的是对黑带教员的要求,这些人员负责对六西格玛的黑带提供指导。美国质量学会列出对黑带教员的要求如下:

一名六西格玛黑带教员应被证明是运作和质量方面杰出的管理者或者顾问,并且满足下列条件:

- 美国质量学会的高级成员。
- 有10年或10年以上的作为运作/质量的管理者或者顾问的经验。
- 有讲授高级统计学和实验设计的经验。
- 具备与高层管理者工作的经验。
- 最好具有研究生文凭。
- 最好是六西格玛黑带。

当然,这些还只是美国质量学会的要求,一个具体的组织对黑带教员的要求可能会有所不同。然而,在选择黑带教员时,美国质量学会规定中所提到的三个主要领域的知识是相当重要的:丰富的经验,证实了的教学能力和技术深度。

可能成为技术领导(黑带)的候选人是那些技术导向性的、受到同事尊重的人员。他们应积极地参与过程改进和机构发展。这些候选人可能来自于不同的部门,具有不同的知识背景,他们不再需要接受统计或者工程方面的正式培训。然而,因为他们需要在相当短的时间内掌握大量的技术工具,所以这些技术领导的候选人最好能具备大学水平的数学知识,若能具备统计方法的背景知识则更好。成功的候选人还应熟悉计算机的相关操作,至少应该了解一种或几种操作系统、电子数据表、数据库管理、演示软件和文字处理软件。作为培训的一部分,他们还被要求精通一种或几种高级统计分析软件包。这些软件包使得本书介绍的各种高级统计分析方法的应用更加容易。

1.4 信息系统的要求

六西格玛的技术领导负责从组织信息仓库中提取相关的知识。为了确保项目能够获得所需要的信息,六西格玛活动应与组织的信息系统(IS)紧密融合。因此,对六西格玛技术领导进行培训的同时,组织还要辅以对计算机硬件和软件的投入。很明显,若为了节省

在计算机软硬件上的投资,而使得这些培训出的专家们无法施展他们的技能,这是得不偿失的。六西格玛项目需要用相当复杂的算法对数量巨大的数据进行统计分析,就算是利用当今的高级处理设备,完成这些分析的所需要时间也是相当可观的。因此,如果没有先进的工具,想要完成这些统计分析是不可能的。

1.4.1 整合六西格玛与信息系统技术

信息系统有3个主题与六西格玛活动密切相关:

- 数据仓库。
- 在线分析处理(OLAP)。
- 数据挖掘。

数据仓库与组织中保存的数据相关,因此,也与六西格玛活动中使用的数据相关。数据仓库同时也影响着数据的存储,而数据的存储决定了六西格玛分析的难易程度。在线分析处理使得不具备六西格玛技术领导的知识背景的人员也能对大型数据库进行分析。数据挖掘是用高级工具和技术对数据进行回顾性分析。我们将依次讨论这些主题。

数据仓库

数据仓库的发展非常快。事实上,1990年这一概念还不存在,而现在几乎每家大公司都拥有至少一个数据仓库,有的甚至有好几个。数以百计的销售商提供数据仓库的解决方案,从软件到硬件到完整的系统。由于几乎没有什么标准,因而有多少数据仓库就有多少种数据仓库的实施方案。然而,现在多层次数据仓库模型似乎深受大家的欢迎,当今的技术进步和价格下降使得这样的选择对企业用户更具有吸引力。

多层次数据仓库的体系结构注重数据在组织中的使用方法。数据的获取和存储要求将数据汇总后再放入各部门的数据仓库中,如果数据仓库保存了足够详细的历史分析数据,那么对六西格玛分析是很有帮助的。这种数据仓库体系结构的主要组成有(Berry 和 Linoff,1997):

- 源系统:数据的获取处。
- 数据转移和清理:在各个不同的数据存储地之间进行转移。
- 中心知识库:数据仓库的主要存储地。
- 元数据:描述什么数据可以获得,从何处获得。
- 数据集市:为最终用户和使用者提供快速、专业化的数据访问。
- 运作反馈:将决策支持融入运作系统中。
- 最终用户:最初开发数据仓库的源动力。

图 1.8 描述了多层次数据仓库方案。

每个数据仓库都至少包括这些构件中的一个。数据从源系统产生,通过各种各样的



构件流到最终用户。这些组成部分可被划分为硬件、软件和网络,其目的是传递信息,由信息产生新的知识,然后这些新知识可用于改进企业的商业运作。换言之,数据仓库最终是决策支持系统的一个组成部分。

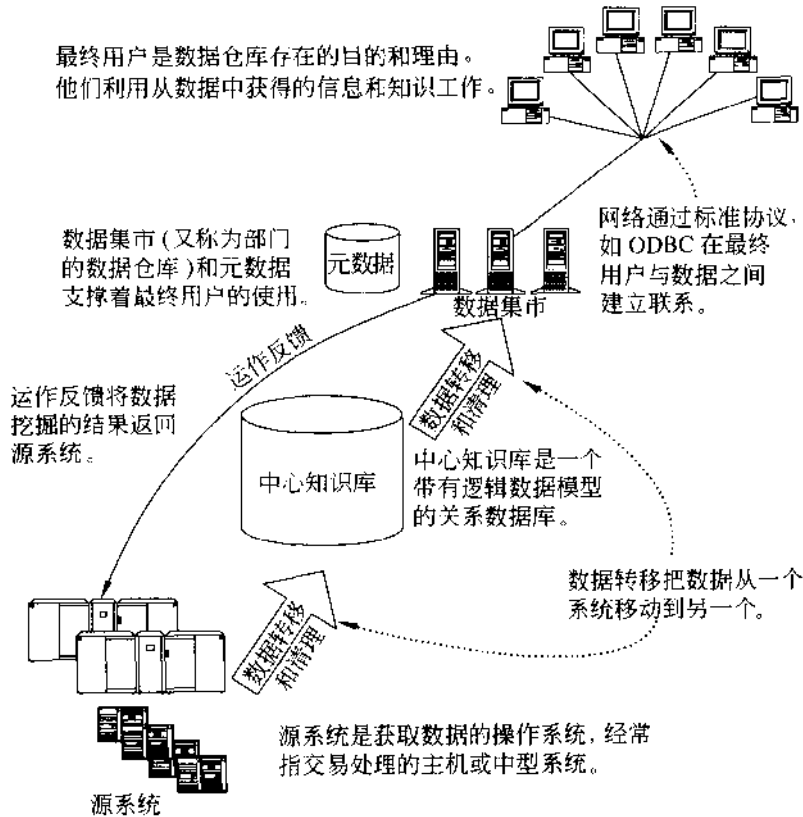


图 1.8 多层次数据仓库方案

资料来源: *Data Mining Techniques for Marketing, Sales and Customer Support*, by Michael J. A. Berry and Gordon Linoff, New York, John Wiley and Sons, 1997.

在线分析处理

在线分析处理(OLAP)是一系列的工具,这些工具帮助普通使用者从大数据库抽取有用的信息。这些数据库可能存在、也可能不存在于数据仓库中。如果已经在数据仓库中,那么用户因数据已被清理而受益,访问可能会更有效。在线分析处理所包含的客户服务器工具备有高级图形界面,能够对排列在“多维视图”里的数据进行访问。理想的、便于查询的多维视图允许使用者按照他们的需求对数据进行切片和钻取。比较在线分析处

理的工具与SQL对标准关系数据库的查询,在线分析处理的工具具有响应速度快的优点。

在线分析处理的基本组成单元是多维视图。一个在线分析处理多维视图由一些子多维视图组成,这些子多维视图汇集了一个或多个数据库的数据。每一个多维视图由多个维度组成,这些维度代表了数据库的不同域。例如,一个在线分析处理多维视图包含授权要求,由月份、产品和地域三个维度构成,如图1.9所示。



图 1.9 OLAP 多维视图

数据挖掘

数据挖掘是使用自动或半自动的方法对海量数据进行探测和分析,以期发现有用的模型。然后,通过研究这些模型寻找新的行为规则,即新的、更好的行事方式。数据挖掘,正如在六西格玛中的应用,致力于提高顾客满意、降低成本、缩短生命周期和改善质量。

数据挖掘利用了从各个学科借用来的工具。和六西格玛一样,数据挖掘需要反复实施通过知识发现形成问题和通过设计的实验来检验假设这两个步骤。六西格玛和数据挖掘都在寻求评价数据的工具,那就是分类、估计、预测、分组、聚类和描述。然而,数据挖掘使用了一组与传统六西格玛不同的工具,因此,数据挖掘提供了寻求改进的另一条途径。同时,六西格玛着眼于企业的内部运作过程,而数据挖掘主要涉及到市场营销和顾客支持。由于六西格玛的最终目标是提高顾客满意,数据挖掘对外部运作的重视恰好为六西格玛项目提供了正馈数据和反馈数据。

数据挖掘是对商业数据进行回顾性分析处理的过程。人们逐渐认同了数据挖掘过程涉及到的步骤,并对每一步骤的详细任务形成了比较统一的认识。

- **目标定义**——涉及到对数据挖掘项目目标的定义。这一目标应该是与商业事件有关的商业目标,例如偿还抵押的欠款,顾客摩擦,过程中的能量消耗,等等。这一阶段还涉及到如何从发现的模型设计出有助于企业改进的行为。
- **数据选择**——这一过程要识别数据挖掘项目所需的数据和这些数据的来源。
- **数据准备**——包括清理数据,合并数据源,通过聚类对现有数据域的计算和文本处理推导出新的列(域)。最终的结果通常是生成一个扁平表格为数据挖掘自身

的应用(例如:发现算法以便形成模型)作准备。这样的表格通常被分为两个数据类:一类是用于模式识别的数据类,另一类是用于模式验证的数据类。

- **数据探测**——这个步骤是在开始模式识别前对准备好的数据进行探测,并验证数据准备的有效性。通常说来,这一过程涉及到对描述性统计量(最大值、最小值、平均值等)的检验和对单个数据域频率分布的检验。同时还要通过对比域和域散点图来了解域间的相互依赖性。
- **模式识别**——这一阶段应用模式识别算法来产生新的模式。把模式识别用于数据探测过程并辅以识别算法时,模式识别的过程是最有效的。这使得商业使用者有与识别过程交互的机会,并且能够将他们的商业知识输入到识别过程中。例如,如果生成了一个分类树,使用者可以在树状结构的任何位置对数据进行检验和探测,找出正确路径,检验将用于下一数据域分支的几种备选算法,然后用自己的商业判断来决定对哪个数据域进行分支挖掘。模式识别过程还涉及到分析对数据中某事件发生的预测能力,而不仅仅是像过去那样建造模型。
- **模式部署**——这一阶段包括应用已识别的模式,去解决数据挖掘项目的商业目标问题。这一过程有多种形式。
- **模式显示**——模式显示或文档包括模式的描述(或者以树的形式来表示),还包括相关的数据统计。
- **商业情报**——被识别的模式被用于对数据库的查询,通过这一过程获得商业情报的报告。
- **数据评分和数据标签**——将已识别的模式用于给数据库中的每个数据纪录评分和定义标签,指出所属模式的趋势和标签。
- **决策支持系统**——模式识别的结果被用于构建决策支持系统的部件。
- **报警监控**——将模式识别的结果用作一个商业过程的规范。对这些模式进行的监控,能够保证将偏离正常状况的偏差尽可能早地发现和探测出来。它的实现需要把数据挖掘工具嵌入系统作为控制部件,或者使用经典的方法,例如控制图。
- **模式有效性监控**——商业过程都是随时间而改变的,因此从历史数据中发掘出来的模式的有效性会逐渐减弱。所以要尽可能早地发现这些变化,并相应地用新数据对模式进行监控。如果发生相当大的改变,机构就可能需要为新数据发掘新模式。

1.4.2 在线分析处理、数据挖掘与六西格玛

OLAP并不是用来取代数据挖掘的。OLAP工具是对数据进行报告的有效方法,而数据挖掘着重于发现数据中隐藏的模式。OLAP通过对数据的快速显示帮助使用者对特定的假设进行验证,很明显,OLAP是六西格玛团队可以使用的一种很有价值的知识发现

工具。从本质上说,它是一种半自动的分析方法。OLAP 和数据挖掘是相互补充的,并且都是对六西格玛项目中所要用到的标准工具库的补充。这两者都被用于回顾性研究,也就是说,它们都被用来从检验历史数据中提出假设。设计性实验帮助使用者对回顾性研究进行设计,也就是用它们来检验 OLAP 和数据挖掘中做出的假设。将六西格玛、数据挖掘和 OLAP 结合起来,就构成了一套相当强大的商业改进工具。

1.5 六西格玛的就绪程度评估

1.5.1 组织质量文化评估

朱兰和 Gryna(1993)把公司的质量文化定义为与质量有关的观点、信仰、传统和做法。虽然组织的文化很难量化,但它对组织提供的产品和服务质量确实有着深远的影响。没有对组织质量文化的深刻了解,实现质量水平的深刻而持续的改进是不可能的。

评估组织文化的两种最常用方法是重点小组和调查问卷。我们将在下面详细讨论这两种技术。评估领域涉及组织中对质量有影响的态度、感觉和活动。由于文化评估的敏感性,采取匿名的形式是很必要的。本书认为,每个组织都应该根据自身的实际情况制定自己的调查问题,而制定调查问题的过程本身也是一个教育过程。过去曾取得很好应用效果的一种方法是关键事件技术,这种方法是从将被调查的组中选择有代表性的小样本($n \approx 20$),对这一样本进行自由问答,例如:

“我们组织中的哪些信仰、传统和做法对质量有正面影响?”

“我们组织中的哪些信仰、传统和做法对质量有负面影响?”

这些问题应由公正的会见者提出,并且会见者应向被调查人保证这些答案只会以匿名的方式出现。虽然调查通常是通过面对面或者电话的方式进行的,有时候也会采取书面调查的形式。提出问题的顺序(正面/负面)应随机排列,以避免回答中可能存在的偏见。会见者应经过相关的培训,他们不能对被调查者做任何诱导。被调查者的回答应该逐字记录下来,并且使用被调查者的原话。要鼓励被调查者做出尽可能多的回答;一个 20 名被调查者的小组在正常情况下应有 80~100 种回答。

这些回答本身就很有趣,并能向组织提供很多信息。进而,将这些回答分类,通过对这些分类进行认真地分析可以获得对组织质量文化的深层次信息。这些回答和分类可以作为制定调查项目的依据,为重点小组提问作准备。后续行动解释了为什么这一阶段只需要如此少的被调查者。在调查阶段得到统计的有效性。

1.5.2 调查和重点小组

有许多原因可以解释为什么公司要和它的顾客交流。一个基本原因是评估顾客对

公司产品和服务质量的感觉,以及公司的产品和服务质量对顾客满意度的影响。交流的目的在于使公司对自己的质量和满意度的总体状况有所了解,将公司目标与公司当前的水平进行比较。公司可以通过雇员调查和重点小组来评估组织的质量结构。

与顾客和雇员沟通的策略

通常使用 4 种基本策略从顾客和雇员中获得信息,有些就是关于顾客和雇员的信息:

- 样本调查。
- 案例研究。
- 现场实验。
- 现有数据。

通过样本调查,从总体的样本中收集数据以估计总体的特性,例如:区间、离差、事件发生的频率、主要总体参数的期望值,等等。注意,这些术语与第 8 章中的计数统计(列举统计)研究中的定义是一致的,是进行这类调查的传统方法。然而,如果调查结果是定期采集的,可以使用第 8 章介绍的质量控制工具对结果进行分析,获得过程的基本信息。质量经理们应该积极地建议把调查预算用于小规模、常规、周期性的调查,而不是偶尔一次的“大型研究”。如果没有从时间序列数据得到的信息,组织不可能对引起顾客满意和质量感觉变化的过程进行研究。

案例研究是对一个或多个研究对象的属性、过程、状况或者变量关系的分析性描述。样本调查和案例研究通常用于回答描述性的问题(“事情看上去怎么样?”)和标准化问题(“事情和我们的要求相比怎么样?”)。而现场实验是寻求因果问题的答案(“改革是否带来预期的结果?”)。以可获得数据的应用作为策略,还要参考对过去收集数据的分析和其他来源所得到数据的分析。可获得数据策略视情况可用于回答这三种形式的问题:描述性问题、标准化问题和因果问题。样本调查中,我们经常使用原始数据收集策略,例如邮件问卷调查;案例研究和现场实验中同样也可以使用这种原始数据收集策略。

调查

调查的拟定应包括下列主要任务(GAO,1986,15):

1. 调查问卷的初步规划。
2. 制订度量办法。
3. 确定样本。
4. 拟订和检验调查问卷。
5. 制定调查问卷。
6. 准备邮寄材料,并将材料寄出。
7. 收集数据。

8. 整理数据形成可被分析的表格。

9. 分析数据。

图 1.10 为完成这些任务的一个典型时间表。

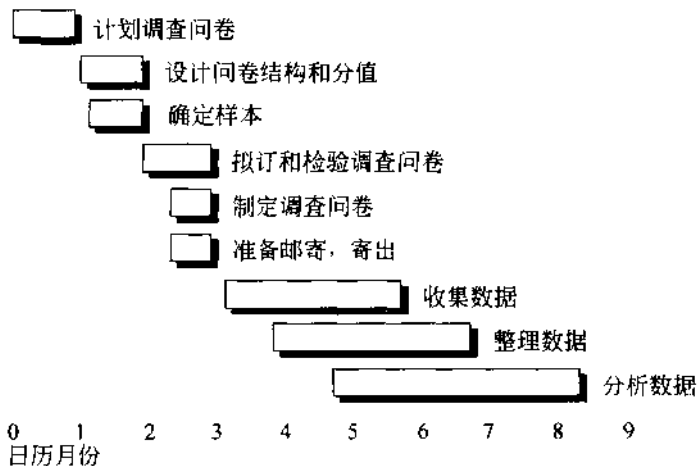


图 1.10 主要问卷调查任务的典型完成时间

资料来源: *Developing and Using Questionnaires*, Transfer Paper 7, p. 15, Washington, DC: GAO Program Evaluation and Methodology Division.

设计问题的方法

下面将谈到的问题设计方法的基本前提是提问者必须对问题回答者非常熟悉,他们必须能从问题回答者的角度去看待被调查事物。当问题回答者是顾客时,让质量专业人员从顾客的视角看待质量经常出现问题,下面就讨论处理这一情况的方法。编制好的问题有如下 8 个基本方法:

1. 以与问题目的和所要获得的信息相适应的方式提出问题。
 2. 确保问题是贴切的、合适的和符合需求的。
 3. 以问题回答者的语言习惯,清晰、简洁地提出问题。
 4. 给问题回答者提供相关的、相互对立的备选答案,供他们从备选答案中挑选。
 5. 提问应该公正而不偏激,使用适当的格式和选项构建方式,以合适的顺序提出所有重要的因素。
 6. 通过亲自参与,并对各个问题回答者的倾向进行说明,以获得公正的答案。
 7. 尽可能将答案量化。
 8. 有逻辑、有条理、公正地进行调查,集中问题阅读者的注意力,简化回答过程。
- 上述的这些方法适用于问题的构造。设计问题内容可使用关键事件技术,这将在下

而详细论述。

回答类型

常用的回答类型有以下几种：

开放式问题 这种问题不对回答做任何限制，允许问题回答者按自己的意愿组织答案。这种类型的问题其主要优点就是易于使用自然语言进行组织和提问，即使提问者没有什么相关知识时也易于提出问题。但是不幸的是，在对这类问题的答案进行分析时却存在许多问题。这种类型的问题在决定调查的范围和内容时相当有效，但是几乎不能为分析和过程改进提供有用的结果。

填充式问题 这种类型的问题为回答者提供了具体的回答方向。说明性语言应该明确清晰，并且指定回答的方向。这类问题一般用于相当具体的提问。

例如：“请问，您现在的年龄？_____（岁）。”

是非题 不幸的是，是非题相当普遍。虽然是非题有一些优点，但是，它同时存在着很多问题，而且用处有限。是非题对于只有两个分支的情况是很理想的，例如有缺陷或没有缺陷。然而，当问题的回答有一个取值域或有多种可能情况时，不能简单地用是/非来回答，例如，对“您对您新车的质量是否满意？（是/否）”这一问题，是/否的回答几乎不包含什么有用的信息。

排序题 排序题是根据某些准则给选项排序，例如，按照重要性排序。排序题很难编写，也很难回答。这类问题包含的真实信息很少，并且很容易出错，而导致所有回答无效。应该尽可能地避免使用这种形式，如果可能的话，采取其他更有效的方式或者更不容易出错的方式，例如评估题。当采用排序题时，用来排序的种类不应超过5种。

评估题 这一方式是对选项进行评级，评级是在给定的评估范围内进行的。评估题容易编写也容易回答，并且提供了能够满足多数要求的量化水平。这类问题通常提供了合理而有效的衡量尺度。下面是评估题的一个例子：

从下列各种情况中，选择恰当的答案：

买方提供的工艺标准

- 清楚
- 基本适当
- 不清楚

格特曼(Guttman)量表形式 在格特曼量表形式的问题中，可选项是递增的，也就是说，高层选项包含了低层选项。例如：

从质量改进培训中获得的效益：



- 没有可察觉的效益
- 有可察觉的效益
- 有可度量的效益
- 有以美元为单位的、可评估的效益
- 可进行成本/效益分析

李克特(Likert)和其他强度等级形式 这类问题通常用于度量态度或观念的强度。例如：

选择恰当的答案：

“质量审计师知识丰富。”

- 强烈反对
- 反对
- 中立
- 同意
- 完全同意

强度等级题很容易构造。当问题回答者同意或者不同意某一个论断时，可以使用这类问题。强度等级题存在的一个问题是，必须保证给出的论断只包含了评论的某一个方面。我们可以知道问题回答者赞同什么，但是我们还必须从问题回答者的答案中推导出他所想的到底是什么。考虑到人们一般都是倾向于同意某个论断，所以经常可以把论断颠倒过来，例如将论断改成，“质量审计师知识不丰富”。

使用强度等级时，等级的个数应为奇数，最好使用5个等级。如果存在不公正的可能，可以将选项的顺序设计成对你想否认的观点有利而对你想验证的观点不利的顺序。如果这样仍能证实你的假设，则更有力地验证了假设。如果不存在偏见的可能，可以将最不希望出现的选项放在所有选项的首位。

语义微分形式 这种形式的问题并没有对某一取值区间内的可能选项进行完全的区分，仅仅明确了选项的边界。例如：

在过去的一个月中，你主动和顾客沟通的次数：

少 多

(2次或者更少)

(20次或者更多)

问题回答者一般会等分答案范围，经验表明将答案分为7类通常比分成5类更有效。

当我们没有足够多的信息来确定两个边界之间的间隔时，语义微分是非常有效的。然而，这类问题很难编写；而且如果题目编写得不好，得出的结果可能是模棱两可、含糊不清的。

开展调查的案例研究^①

此案例是为某一社区医院设计的邮寄调查问卷。笔者曾用同样的方法为各行各业的顾客设计了顾客调查问卷。

这项针对服务质量和病人满意度的调查是在美国西南部一个拥有 213 张病床的社区医院里开展的。该医院是一家非营利性的、公众集资的机构,为社区的成年人提供服务,但不提供小儿科的服务。本项调查研究的目的是:

1. 识别病人评价质量的决定性因素。
2. 识别影响病人评价质量的内部服务过程。
3. 确定病人对质量的评价与病人未来对医院进行资助以及把医院推荐给其他人之间的联系。

为了开展这次调查,笔者与医院雇员中的一个核心团队和几个特别团队紧密协作共同工作。该核心团队包括:看护负责人、质量管理部的负责人和营养服务的负责人。^②

核心团队决定独立设计他们的标准。最佳的获取信息方法就是从目标群中,即从病人中,直接获取信息,对此已经达成共识。医院医疗服务的本质决定了重点小组的方法对这个案例是不合适的。通常情况下,病人出院后还需要相当长的一段康复时间,这就决定了不可能让刚出院的病人参与重点小组调查。而当病人住院时,他们通常抱病在身而不能参与调查。有的病人患传染病,不能参加重点小组的调查。

因为对事件的记忆很容易消退(Flanagan,1954,p.331),团队决定在病人出院后 72 小时内对他们进行调查。调查的目标病人群是那些住院后获准出院回家的成年人。下列人群不参与调查:死于医院的病人家属,转入特别护理病房的病人,被诊断为精神病的病人。^③

团队使用关键事件技术(CIT)以获得病人的评论。CIT 最早曾在第二次世界大战中候选飞行员的筛选和分类过程(Flanagan,1954)。1980 年编纂的一个文献目录列出了有关 CIT 及其使用的 700 多项研究(Fivars,1980)。CIT 技术受到了人们普遍的欢迎,它被用于评估服务质量也就不足为怪了。

CIT 包括一系列明确加以定义的程序,这些程序可用于收集人们的行为方式并用于处理实际问题。它的优势在于仔细构筑了数据收集和分类的过程,从而提供了其他研究方法所不能提供的详细信息。这种技术,不管是通过直接观察还是通过会见获得的信息,都可以使研究者获得从病人的角度观察到的第一手数据,为被研究的行为提供了丰富详尽而且可靠的资料。研究表明 CIT 提供的信息可靠而且有效。

本次研究尽力遵从 Flanagan 所提出的 CIT 5 个重要步骤来进行:(1)建立被研究行为的总目标;(2)制订观察计划、会见计划;(3)数据收集;(4)数据分析(分类);(5)数据解释。

^① 附件 17 给出了此案例研究的调查资料。

^② 营养服务负责人颇为关注对于她的具体服务她是否获得了丰富的细节信息。因而,她使用的关键事件会见方法中包含了与食物服务有关的特殊问题。

^③ 团队中没有会讲西班牙语的会见者,这意味着一些病人无法参与这次调查。

建立被研究行为的总目标

总目标是行为的目标。在本案例中,行为涉及医院提供给病人的全部服务,包括:从病人入院到病人出院之间的每项服务行为。从提供服务者的角度来看,总目标是创造和管理服务过程,使得病人将来也愿意接受本医院的服务。为了达到这一目标,服务的提供者必须知道病人对哪些服务项目印象最深刻。

我们的目标是为服务者提供病人住院期间对医院满意和不满意的两方面的信息。这些信息将被用于编制病人的调查问卷,并周期性地送到新出院的病人手中,请他们填写。各个服务过程的负责人将从病人处获得的信息,作为从病人的角度对他们服务业绩的反馈。

会见计划

会见者将得到过去三天内出院的病人名单,该名单包括所有的病人。出院后回到家中的所有非精神病病人都是会见的候选人。这里的回家意味着病人没有死亡或者不需要特别护理。会见者需要阅读一系列预先制定的文件。被调查的病人是从出院的病人名单中随机选出的,如果某个病人暂时联系不上,会见者将在该天的晚些时候再次联络。为每位病人都准备了一张调查表。为了避免出现不公正的情况,50%的调查表请病人先回忆他们感到不满意的事件,另外50%的调查表请病人先回忆他们感到满意的事件。会见者应使用病人的原话来记录他们的论述。

数据收集

有四个会见者参与了数据收集工作,他们全是医院的管理层职员,三女一男。会见是在时间允许的情况下,在会见者的正常工作日内进行的。这些会见都在1993年9月份完成, Hayes(1992, p. 14~15)推荐的关键事件产生办法给会见者以指导。

总计拨打电话36次,找到23位病人。在这些被调查的病人中,三人只说西班牙语。在这三个西班牙语的家庭中我们只调查了一个。因此,最终的调查对象是21个,比 Hayes(1992, p. 14)推荐的10到20个调查对象稍微多了一点点。21次会见中总共产生了93个关键事件。

数据分类

CIT的事件分类系统是一个严格的、经过仔细设计的过程,它的最终目标是用数据来解决手边的问题,并尽可能少丢失数据细节(Flanagan, 1954, p. 344)。实现这一目标,有3个要点:(1)找出能解释所有事件的一个总参考框架;(2)推导出有助于事件分类的主领域和子领域分类;(3)为数据的报告选择最合适的特性水平。

关键事件的分类方法如下:

1. 每个关键事件都用病人的原话写在一张大小为3英寸×5英寸的卡片上;
2. 将所有卡片的顺序打乱;
3. 随机选出10%的卡片(10张卡片),从卡片堆中拿出来放在一边;
4. 请四名会见者中的两名离开房间,另外两位把剩下的83张卡片分类,并给这些分类命名;
5. 将先前选出的10张卡片放入第四步分出的类中;
6. 最后,把这些分类的名称告诉最初没有参加分类的两名会见者,再把所有的卡片打乱,让这两个会见者按照他们自己的思路将这些卡片归入已经命名好的类中。

采用上述过程,本案例对关键事件的分类如下:



- 床位(5 个关键事件)
- 医生的医疗质量(14 个关键事件)
- 医院员工的护理(20 个关键事件)
- 食物(26 个关键事件)
- 出院手续(1 个关键事件)
- 医院员工的态度(16 个关键事件)
- 其他(11 个关键事件)

数据解释

交错判断确定,被两组会见者归入同样类中的关键事件占 93.5%。这远远超过了专家推荐的 80%最低值。随机抽出一些样本,然后再将它们归入已经命名好的分类中,是为了检验会见者对分类是否完全理解。如果某一个随机抽出的卡片不能归入任何一类中,这可能就说明分类并不能完全覆盖病人的满意空间。然而,团队很成功地把抽出的卡片(关键事件)归入了已有的分类中。

在理想情况下,一个关键事件有两个特征:(1)它是详细而准确的;(2)它用动作性的术语对服务的提供者进行描述,用明确的形容词对服务这种产品加以描述(Hayes,1992,p.13)。回顾“其他”这一分类中的关键事件,团队成员们感到这些关键事件有的不具备其中的一条特征,有的这两个特征都不具备,因此,他们决定删除其他分类中的 11 个关键事件。团队成员们决定把“医院员工的护理”和“医院员工的态度”这两个分类合并成一个——“员工护理的质量”。决定病人满意与否的最终因素是 5 个分类:食物,医生的医疗质量,员工护理的质量,床位和出院手续。

上述分类存在着相当明显的疏漏,那就是收费,这是因为病人在出院后 72 小时内还没有收到他们的账单。然而,在病人出院前,医院已经向病人做过关于账单的解释,因此,将账单这一项归入出院手续这一分类中。会见者团队专门就收费问题进行讨论。在账单发出以后,的确会产生一些对收费的抱怨,因此有人建议把收费作为满意判断的一个分类。然而,最终决定不把它单列为一个分类,这是因为:(1)病人收到账单时,已经是病人出院后相当长一段时间了,他们很可能已经忘记了一些住院的细节;(2)团队成员们担心,病人的情绪可能会被账单所左右,而不能真实反映病人的判断;(3)医院已经有一个专门识别病人的收费问题从而调整收费过程的系统。

设计调查项目

前面已经提到,我们的目标是为服务者提供病人住院期间对医院满意和不满意的两方面的信息。这些信息将被用于编制病人的调查问卷,并周期性地送到新出院的病人手中,请他们填写。各个服务过程的负责人将从病人处获得的信息,作为从病人的角度对他们服务业绩的反馈。

核心团队认为,为了实现这些目标,关键服务过程的负责人必须积极参与调查问卷的设计工作。因此,我们组建了特别团队。由特别团队为通过关键事件研究确定的分类,设计调查项目。由了解优秀的调查项目特征的专家给这些特别团队进行指导。在核心团队看来,设计出的问卷项目应满足以下 5 条规则:(1)与被度量的分类相关;(2)简练;(3)明确;(4)每个项目只反应一个观点;(5)不包含双重否定。

特别团队要看到作为分类基础的病人详细评论,并把这些评论作为设计调查项目的基础。

编写调查问卷的项目并不是一件容易的事情。调查项目的设计过程需要对每个分类平均进行

三次讨论,每次讨论大约需要两个小时。特别团队由4~7个成员组成。设计过程是非常单调乏味的,需要仔细讨论每个问题的措辞。

核心团队负责决定每个特别团队的组成规模。核心团队所推荐的提问形式是李克特五级模式。一致同意的回答类型是连续五级的同意-不同意。从医院的角度来讲,也就是说,如果同意问题的论断,就表示对医院的服务表示满意。

作为李克特回答类型的补充,还应该为病人设计一些开放型的问题。即调查问卷还应包含一些一般性的问题,请病人用自己的话对医院做出评论。这种开放型问题的好处是不言而喻的。另外,这些问题可以作为关键事件的补充,对扩展调查的范围有帮助。

最后的调查问卷包括50个问题和3个开放式的问题,参见附录。

调查管理和先期研究

调查在小样本的基础上进行,故决定采用全面设计方法(TDM)来对调查进行管理(Dillman, 1983)。虽然全面设计方法严格且繁琐,戴乐曼(Dillman)指出这种方法能确保问卷高返回率。调查管理由医院看护部门负责。

全面设计方法的管理过程极其麻烦。每张调查表都附有一封说明信,该信必须用蓝墨水签名。在第一封信寄出后的第1,3,7周都要相继寄出后续的信件。第3周和第7周的信件中还应包括另一份调查问卷和另一封说明信。不允许“批处理”,例如,用计算机打印信件或者邮件标志。戴乐曼的研究强调把全面设计管理看成完全整合方法的重要性(Dillman, 1983, p. 361)。

因为所研究的医院规模较小,作者致力于获得较高的问卷返回率。除了依照全面设计管理的方针以外,作者建议每份调查问卷中都附上1美元作为奖励。但是,医院的管理者认为每份问卷附加1美元不一定有意义。最后,管理者同意在50%的问卷中附上1美元,通过对比两种问卷的返回率来检验这一美元奖励的效果。

医院先对100名病人进行先期研究。选出的病人是从1994年4月1日开始最先出院的160名病人。返回的信息如表1.1所示:

表 1.1 先期病人调查反馈信息

A. 数目

邮寄的调查问卷: 100

投递的调查问卷: 92

未能投递返回的调查问卷: 8

总的返回问卷数: 45

投递问卷的返回率: 49%

有1美元奖励的问卷投递数: 47

有1美元奖励的问卷返回数: 26

有1美元奖励的问卷返回率: 55%

没有1美元奖励的问卷投递数: 45

没有1美元奖励的问卷返回数: 19

没有1美元奖励的问卷返回率: 42%

续表

B. 通过邮件的调查回答情况

下列时段的问卷返回数：

- 第一封邮件：12
- 1 周后跟踪：16
- 3 周后跟踪：8
- 7 周后跟踪：9

虽然最终的返回率为 49%，这对于一般的邮件调查问卷来说已经是相当不错的成绩了，但是高戴乐曼提出的 77% 平均返回率和 60% 最小返回率还差得很远。笔者推测，造成这一较低返回率的原因可能是，医院拥有相当数量的西班牙语顾客。上面已经提到，医院正计划在将来设计一套西班牙语的调查问卷。

对返回调查问卷的病人进行分析，并与未返回调查问卷的病人进行比较，以确保样本组具有代表性。我们采用复杂的统计分析方法对问卷的回答进行分析，以评估调查问卷中每个项目的可靠性和有效性。那些可信性系数低或者有效性值得怀疑的项目要么重新设计，要么被删除。

重点小组

重点小组是从目的、规模、组成和过程上都很特殊的一种小组。一个重点小组通常由 7 个到 10 个互不熟悉的参与者组成。这些参与者被挑选出来参与重点小组，是因为他们具有与重点小组主题相关的某些共同特征。

研究者在重点小组中营造了一种宽容的环境，容许各种不同的观点和理解共存，不强迫参与者投票、制定计划或达成一致。通过几次讨论可以了解参与者观念上的倾向和模式。对讨论所进行的仔细且系统的分析，将为如何认识产品、服务以及机会提供新的线索和深入的洞察。

因此，重点小组可以被定义为：事先认真计划过的讨论。其目的在于：在一种宽松的、没有压力的环境下，得到对某一感兴趣领域的看法。讨论是放松的，通常参与者会因为和他人分享了他们的观点和看法而非非常高兴。小组成员通过对讨论中的观点和看法提出自己的认识而相互影响。

质量管理中，重点小组在很多情况下都是有用的：

- 在开始制定战略计划程序之前。
- 为调查问卷提供信息。
- 需求评估，例如培训需求的评估。
- 检验新思想。
- 制定顾客决策准则。

- 吸引新顾客。

重点小组的优点

重点小组是一种面向社会的研究过程,它的优点是组中的成员相互促进,从而获得比单独会见多得多的信息。如果必要的话,研究者可以进一步探究更多的信息,进行分类研究。重点小组获得的信息都是面对面的,非常有效,即获得的论述都是用参与者原话记录下来的,而不是用统计术语。信息以一种相对低成本的方式快速获得。

重点小组的缺点

与单独会见相比,小组的形式比较缺乏控制。当组员们相互交流时,通常很难分析将会产生什么样的对话结果。重点小组式调研的质量在相当大的程度上依赖于会见者的资历。受过训练、熟练的会见者通常很难找到。组间的差异可能相当大,使得分析复杂化。最后,重点小组通常难于安排进度。

其他的顾客信息系统

- 投诉和建议系统为所有的顾客提供了一种易于使用的方法,使他们能够向管理层提供正面或负面的反馈信息。因为选择公正性的要求,这类方法并不是都能提供统计中有效的信息。尽管如此,因为这样的系统是一种普查式的调查而不是抽样,所以,它为每位顾客都提供了发表意见的机会。通过这样的系统获得的都是能够用来提高顾客忠诚的真实信息。同时,它也提供了很多轶事,这些轶事具有很强的面对面有效性,是理念改进的源泉。
- 顾客座谈小组由顾客代表组成,他们同意定期通过电话或者邮件问卷交流他们的意见。这样的座谈小组比顾客投诉和建议系统更能代表顾客的意见和态度。为了确保调查的有效性,必须向雇员隐瞒这些顾客座谈小组成员的身份。
- 神秘购买者是那些装成真实顾客的公司雇员,他们的身份也必须保密,不能透露给其他雇员知道。

一旦获得了顾客的反馈信息,公司必须将这些信息用于过程质量和产品质量的改进。

图 1.11 描述了应用顾客反馈信息的系统。

1. 采取行动: 结合公司总的方针和程序,同时利用局部调整程序,本地的管理者和雇员每天都要提供满足顾客要求的服务。
2. 了解顾客的意见: 根据标准化问卷,结合本地区敏感性问题的形成调查问卷,定期了解顾客需求和态度。
3. 分析和解释信息: 比较财务数据、预期值以及以往有关顾客态度的信息,确定公司的优势和劣势,分析可能的原因。
4. 制定调整改进计划: 确定在哪里应用改进不足和保持优势的措施,如何有效地应

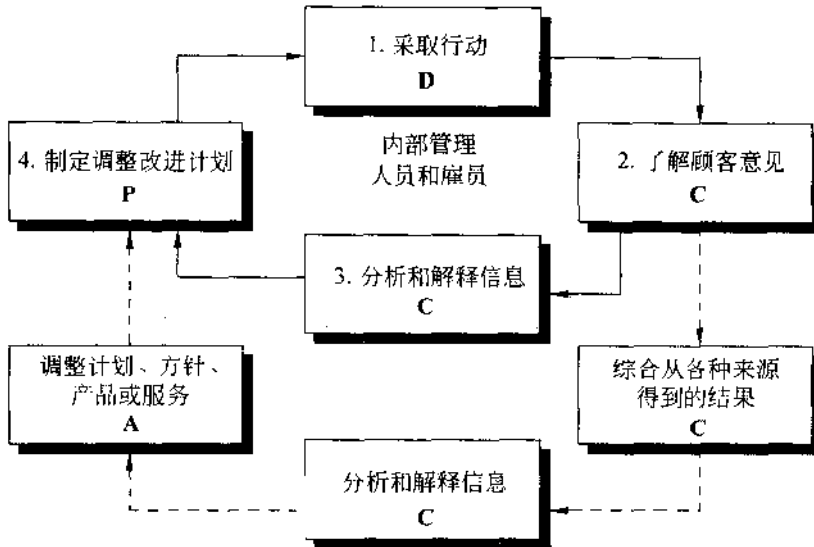


图 1.11 顾客反馈系统

资料来源：Daltas, A. J. (1997). "Protecting service markets with consumer feedback," *Cornell Hotel and Restaurant Administration Quarterly*, May, p. 73~77.

用。重复这一过程，回到第一步——采取行动——以维持稳定状态或根据顾客需求的变化持续改善。

如果将从顾客处获得的信息与组织当前政策变动的信息整合起来，相似的过程可以在更高的水平上实施。虽然这一系统是由市场营销的专家们开发出来的，它却表现为经典休哈特质量改进 PDCA 环的一种变型。

1.6 变革执行人及其对组织的影响

1.6.1 变革的管理

专家们一致认为：变革是艰难的、破坏性的、昂贵的，是错误产生的根源。因此，我们通常会问：变革有这么麻烦，为什么还需要变革？下面是组织之所以选择面对变革所带来的困难的原因：

- **领导地位**——一些组织将保持它们的产品和服务在市场上的领导地位作为公司发展的一项方针政策，对它们来说，变革是一项常规工作。
- **竞争**——当竞争者改进它们的产品和服务以提高其价值时，公司也不得不采取变革。拒绝变革将会导致顾客流失和公司收入下降，甚至可能导致公司的破产。

- **技术进步**——快速有效地把新技术融入组织,可以给质量和效率带来很大的改进,为企业提供竞争优势。当然,这样做同时也会带来管理体系的变化。
- **培训的需求**——许多开展培训项目的公司,并没有意识到这样的项目亦隐含着组织的变革。例如,为雇员提供统计过程控制(SPC)培训的公司就应当准备实施一个相应的过程控制系统。若未做好相应的准备,将会导致员工士气受挫和培训资金的浪费。
- **条例和规则**——变革也可以通过政策的变化和运作过程的改变,以内部规则变化的形式作用于组织。政府和其他外部条例规则的制定者(例如,制造业的 ISO 国际标准,医院的 JCAHO)也可以强迫发生变革。
- **顾客需求**——不管什么样的顾客都习惯于拒绝受到政策的束缚。挑剔的顾客会要求政策和过程的改变。而那些真的对组织已经反感的顾客则什么都不会说,他们直接去寻找能满足他们需求的其他企业。

Johnson(1993a, p. 223)对变革的管理提出了下列总结:

1. 变革将受到多方面的阻挠。
2. 变革是稳定的环境和实施全面质量管理的需要两者之间的平衡。变革在带来很多改进的同时,也是痛苦的。
3. 领导最容易进行变革的时机有四个:新官上任、接受新的培训、新技术引入、外部要求变革的压力。
4. 领导必须学会实施自身认为必要的变革、上级建议进行的变革和上级要求进行的变革。
5. 面对变革有各种各样的反应。有的人抗拒,有的人接受,而有的人是可能兼具这两种态度。
6. 实施变革有标准的过程。变革的关键因素是领导、投入和踏踏实实的交流。
7. 每位领导都应成为变革的领导者,这一点很重要。这不仅需要自我分析的能力,还要具有变革那些需要变革的事物的意愿。

1.6.2 角色

变革要求有关的每个人都要有新的行为。然而,在多数成功的变革过程中,四个明确的角色常常会出现(Hutton, 1994, p. 2~4):

- **正式的变革执行人**。一个正式任命的人,他具有帮助制定管理计划和对变革过程进行管理的主要职责。
- **主办者**。主办者是高级领导,他具有认可变革合法化的正式权力。主办者为组织的变革制定目标,并且确保兑现分配的资源。没有主办者的承诺和他们的地位保证,就不会有重大的变革。

- 倡导者。对于变革来说,倡导者是认识到变革的需求并且通过赢得主办者的支持来促使改革过程启动的人。这是一种类似推销的角色。倡导者经常为主办者提供指导和建议。倡导者可能在组织中具有重要的位置,也可能没有。
- 非正式的变革执行人。这些人不同于正式的变革执行人,他们自愿地帮助制定和管理变革的过程。尽管这些人的贡献极其重要,但通常不足以导致真实的、重大的、整个组织的变革。

图 1.12 说明了一个典型的组织层次结构中这些角色的位置。

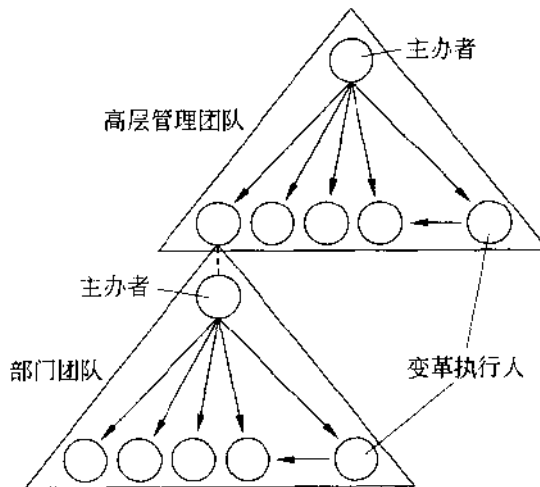


图 1.12 层叠式主办者

资料来源: Hutton, D. W. (1994). *The Change Agent's Handbook: A Survival Guide for Quality Improvement Champions*. Copyright © 1994 by David W. Hutton.

1.6.3 变革执行人的工作

目标

变革有 3 个目标:

1. 改变组织中人们的思考方式。帮助这些人改变思考方式是变革执行人的基本工作。所有的变革都是从人开始的,除非人们愿意改变他们的行为,否则真正的变革是不可能的。行为的改变需要思想的改变。在一个希望人们思考的组织中,人们的行为受他们的思想和判断的支配。变革执行人的工作就从这里开始。

2. 改变规范。规范是由标准、模型或是集团中指导行为的模式。所有的组织都有对成员的规范和期望。只有组织的规范改变了,变革才能真正发生。

3. 改变组织的系统或过程。这是变革的“内容”。最终，所有的工作都是过程，而质量改进需要过程和体系水平的变革。然而，除非个人改变了自己的行为而且组织改变了它的规范，否则，变革是不可能持续发生的。

变革执行人所用的机制

变革执行人通过各种各样的方法来实现上述目标。教育和培训是改变个人的看法和行为的重要手段。教育和培训是有区别的：培训是教人们如何完成某项任务的指导和实践，培训着重于具体要做的事务；而教育是指导人们如何去思考，它着重于把抽象的概念融入到人们世界观中去。人们在受过教育后会用一种与以往不同的眼光来看待世界。这是变革过程的本质。

变革执行人将帮助组织分析和评估它的优势和劣势。实施变革要么是为了减少劣势，要么是为了发挥优势。评估是教育过程的一部分。充分了解组织的优势和劣势有助于规划变革的过程。

变革执行人在质量改进中发挥着重要的作用（请记住，“改进”意味着变革）。如图 1.12 所示，变革执行人在整个组织中都处于战略地位。这样的地位有助于他们在质量改进计划的设计和实施的加以协调。任何有显著影响的质量改进项目几乎都会涉及到组织中的多个部门和多个层级。

分析到最后我们会发现，人类不得不花费的是自己的时间。变革执行人要保证高层管理者对改革过程投入足够的时间，而来自组织内外的许许多多的人都需要高层管理者的时间，而时间是有限的。也许有人认为，每周安排一次长达 1 小时的会议来讨论“全面质量管理”这样的计划相当容易实现，那么请设身处地想一想。实际上，改革一个组织，不管规模大小，都需要高层管理者大量的时间投入。有时候高层管理者并不理解他们参加这种团队会议有什么意义。变革执行人必须坚持不懈地使领导者认识到，花在改革过程上的时间是极有价值的。

管理者的时间投入价值最大化的一个方法是通过某些有代表性的事件，让管理者了解他们所发挥的巨大作用。有些案例充分体现了管理者对改革过程的重大作用。人们反复讲述的这些故事，远比苍白无力的陈述要有效得多。例如，美国某大型汽车公司的雇员传递着这样一个故事：

20 世纪 80 年代初期，该公司开始致力改进他们的质量。在高层管理者和一位著名的质量顾问参加的一次会议上，有人偶然地提起质量水平有季节性变化——质量在夏季比较差。顾问问为什么会这样？是否使用了不同的设计？机器是否不同？供应商的原材料如何？这些问题的回答都是“不”。调查发现问题在于休假。当一个工人去休假时，其他人顶替他工作，但不熟练。而顶替他的那个人的工作又需要别人来干，如此延续下去。结果是一人休假，导致六个人所做的工作都不是常规的工作。

解决方案是在两周的休假期间关闭工厂。结果大大减少了顶班的人数,夏季的质量水平又恢复到一年中其他时间的质量水平。

这一办法有效地延续了几年,因为那时汽车工业不景气,生产力过剩。然而,某年的夏季,财务部门要求高级经理重新考虑这项政策。市场需求已经上升,公司能卖掉他们所生产的每辆轿车。会计账目显示,这项政策造成每天销售损失为1亿美元。

卡车分部的副总裁问道,是否采取了什么办法来解决夏季质量下滑的问题。回答是没有。总裁问员工:“如果我们回到从前的老办法,质量水平还会像原来那样下滑吗?”是的,人们告诉他。“那我们就维持现有的政策,休假期间关闭工厂。”总裁宣布。

财务副总裁不同意总裁的决定。“我知道我们对质量作出了承诺,但是,你是否了解,为了证明我们的承诺,我们得损失14亿美元的销售收入?”总裁回答道:“弗兰克,我这样做并不是为了证明什么。几年前由于我们的质量水平赶不上国外竞争者,我们的公司几乎关门。只看重这14亿美元的损失,是一种短视,会把我们拉回到过去的困境。我做此决定是为了省钱。”

听到这个�事的管理者都留下了深刻的印象,像野火一样在组织中迅速传播开来。它同时证明了很多事情:高层领导对质量的承诺,运作和财务之间的分歧,看似无害的政策破坏性影响,过去的短期行为带来的损失,特定情况下长期思考的成效,等等。一个故事的效果可与100次主题演讲和陈述的效果相媲美。

领导支持行为

变革执行人为领导团队提供技术性方针:为管理者提供可供选择的改革策略,开展实施策略所需方法的教育,为改革后的关键岗位选择关键的人员等。

变革执行人帮助监督与改革有关的质量团队和质量项目的状态(项目管理的完整论述参见第5章)。除了可以带来质量改进以外,项目还可以作为实际实施改革的一种机制。如果把项目作为实施改革的机制,很重要的一点是:项目是特许的,以便把项目的活动和改革的目标结合起来。所有的团队,不论特许与否,都必须避免那些与改革目标相冲突的项目和方法。必须对项目团队的成员关系进行认真安排,以确保满足任务和团体角色的要求。项目特许权必须清晰地定义项目的范围,以免小组之间权限的重叠造成混乱。

变革执行人同时还扮演着高层领导者教练的角色。文化包括着大量细微的特征和行为,它们潜移默化地被人们所接纳。有时候,单个的领导要想清楚地看到他人是如何看待他的行为,基本是不可能的。变革执行人必须非常冷静地在这些方面向领导者提出建议。

日常商务活动的压力和变革固有的困难,经常会导致时间流失却不见显著改进。保持日常运作的正常进行是一项全日制的工作,迫切地满足未来的目标所带来的问题也不是一时就能解决的。变革执行人要经常提醒领导组织的目标还未达到,以免领导者忘记

改革的存在。变革执行人的职责是成为领导的“良心”，在改进的短期目标遇到障碍时，不断地鼓励领导面对挑战。

变革的网络

变革执行人应致力于发展内部支持网络。网络能通过发布教育和指导信息为变革提供资源。网络的任务最终将被包含在正常的企业运作过程中，但是在变革的早些时候，网络的存在是很重要的，因为对资源的控制决定于现存的基础结构，很难转换为变革过程。通常情况下，网络的成员都是组织的各个领域中正式或非正式的变革执行人。

一旦网络建立起来，变革执行人就要确保网络上的活动与组织的目标一致，并支持组织的目标。例如，一个医院勾画出的蓝图是，医生能够获得病床上的实时诊断信息和决策支持信息，但是一个以财务为基础的中心信息系统却与这个蓝图不相容。变革执行人，特别是正式的变革执行人，应该为网络成员提供领导和道义上的支持，避免使网络成员感到孤立和易受攻击。变革执行人还要保证网络成员能得到他们所需要的教育和指导。最后，变革执行人还是维持网络正常交流的疏通者和激励者。这可以通过建立 e-mail 列表、网络成员共进午餐等方法来实现。

改变员工的职能

在传统管理体系下员工的职能和更有效的运作方法下他们的职能是不同的，这两者之间的对比见表 1.2 所示。

表 1.2 员工职能在改变

项 目	传统方式	更有效的方式
角色	顾客——从他人处得到信息、依据和报表	供应者——信息、专长和其他服务的供应者
策略	控制——通过强迫接受政策和程序、通过审核和检测加以控制	支持——通过努力满足他人的要求 客户的自我控制
目标	部门性目标的局部成功	组织目标的集体成功
与他人工作的方式	竞争性的、对抗性的	一体化的、合作的
关注焦点	结果的某些方面：如产品质量，财务数据 过程的某些方面：如对政策和程序的坚持	全部过程与全部期望的业绩的关系
形象	管理员、检查员、警察	教育者、助人者、领路人

资料来源：Hutton, D. W. (1994). *The Change Agent's Handbook: A Survival Guide for Quality Improvement Champions*. Copyright © 1994 by David W. Hutton.

变革执行人可以从以下几个方面来协助员工完成职能的转变：

- 与员工合作。
- 鼓励员工积极地进行职能改变。
- 用网络来支持这些合作伙伴的职能转变。
- 鼓励员工成为角色模范。
- 帮助员工设计转变计划，并将这些计划有机地融入到整个改革计划中。
- 鼓励员工交流他们所关心的问题。

1.7 六西格玛团队

管理层能够为团队做的最重要的事情可能就是，给他们足够的时间让这些团队成为有效率的团队。这要求管理层尽力维持团队成员的一致性。没有足够充分的理由，管理层不应该允许团队成员离开团队，也不要经常有新的人员加入团队。如果按照下面将要介绍的四个阶段来不断地建设和改进团队，那么，到了关键的实施阶段，团队和管理层双方还需要严格的纪律保障。管理层要协助团队在公司内营造一种有助于团队有效工作的氛围。完成上述功能和作用的方法将在本书中详细论述。

现代的组织结构建立在劳动力分工的基础上。今天大部分组织都由很多的部门组成，每个部门都负责自己的专业领域。这种结构的主要问题是，独立的职能部门优化本部门的运作，经常会损害整个组织的总体利益。

传统的组织在各部门之间会产生障碍。部门管理者常常为了争取有限的预算而竞争；换言之，他们在玩一种“零和博弈”，某个部门的所得就是其他部门的损失。对行为的研究表明，这种零和博弈的游戏，若从输赢来考虑，会带来自我伤害的致命行为。解决这个问题需要组织加强部门间的交流和合作。

跨部门的团队由掌握传递价值所需技能的人员组成。团队设计过程以高效地创造价值。管理层必须保证组织拥有所需要的技术。管理层还必须负责扫平合作障碍。

质量改进有两种方法：提高现有系统的业绩和改进系统本身。提高现有系统的业绩多数情况可由雇员单独完成。例如，一名操作工可以对机器进行调整。研究表明，5%~15%的改进都源于这种改进行动。其余85%~95%的改进则有赖于系统自身的改进，而系统改进需要团队的努力。因此，绝大部分的质量改进活动由团队来实施。同其他事物一样，只有更好地了解团队运作方式才能使团队运作过程更有效率。

1.7.1 过程改进团队

跨职能的项目管理将在第5章中讨论。本节着重于过程改进活动的团队管理。

过程改进团队着重改进某过程的一个或多个重要特征，例如质量、成本、生命周期等。

重心在于整个过程,而不是过程中的某个部分。过程是由能带来价值增值的一系列活动整合起来的一条链。过程有开始状态和结束状态,例如制造过程始于采购,终于产品的发送。本书将详细讲述分析过程的方法和表现过程特征的方法。通常增值过程都会涉及组织的多个部门。

过程改进团队既要负责渐进性改进(KAIZEN),也要引导剧烈的变革(重组)。团队由平日就与过程紧密联系的成员组成。团队成员通常需要向不同的上级汇报工作,而且他们可以处于组织结构中的不同层次。

过程改进项目必须得到过程负责人的同意,过程负责人通常是组织的高层领导。过程改进团队必须先获得对过程进行改进的授权。有关项目管理的内容将在第5章中详细论述。

1.7.2 工作组

工作组着重于某一特定工作区域的改进。这些工作区域通常属于一个部门或一个单位,过程负责人通常是部门经理。团队成员通常处于组织结构的同一层级,通常向一个上级汇报。

工作组的成员都要接受质量控制技术的培训,获得管理层的支持。这里的思路是,所有员工都要为质量改进做贡献,工作组是为员工提供贡献机会的一种机制。

质量圈

质量圈是工作组的一个例子。质量圈起源于日本,日本的公司大规模地使用质量圈。美国公司也曾尝试大规模使用质量圈,但是只取得了有限的成功。不可否认,质量圈是现代质量改进工作组具有历史意义的先驱。研究揭示了质量圈的大量成功因素,其他类型工作组的有效应用离不开这些成功因素。

质量圈是一些致力于持续改进他们所管辖的工作过程的职员小组。为保证质量圈的成功,必须先完成下面一些步骤:

- 从高层领导到监督层领导必须对组织的目标有一个明确的认识。组织中的每一个人都必须致力于帮助组织实现这一目标。
- 高层领导必须要拥有能有效地处理公司范围内的各种问题,比如质量、成本、生命周期等(例如前面讨论过的跨职能形式)的组织体系。
- 应注重过程,而不仅仅是内部政策和关系报告。
- 必须对参加的人员进行合作技能的培训(例如,团队工作,团队动力学,沟通和表达的技巧)。这些不仅适用于质量圈成员,对工作区域的监督者和管理人员也同样适用。

必须对参加的人员进行解决问题技能的培训(例如,传统的质量控制工具,7M工具,

头脑风暴法,等等)。

- 部门管理层必须对质量圈给予支持和鼓励。

然而,质量圈有着相当重要的地位和作用,而且只要有适当的公司环境支持,无论应用于何处都能成功。但是,对大多数公司来说,它们并不具有合适的公司环境,20世纪70年代的西部商业机构中就不具备适合质量圈应用的环境。简单地把质量圈嫁接到传统的命令—控制式的层级结构中,质量圈是不会发挥出任何作用的。质量圈在美国的失败有着各种各样的原因,这些原因也是今天工作组应用失败的原因:

1. 美国公司的质量圈是孤立的,而不是公司质量控制措施的一个有机组成部分。因此,这样的质量圈通常不能有效地解决涉及公司其他领域的问题,因为其他领域没有可供使用的资源。

2. 主要负责人变换频繁,导致对质量圈的领导和管理支持不能保持一致。

3. 致力于质量圈的雇员变动频繁。如果不能保证质量圈成员的稳定性,质量圈就不可能成为有效的团队。建立有效的团队要花费大量的时间。

1.7.3 自我管理团队

除了过程改进团队和工作组以外,还有许多与六西格玛有关的其他形式的团队和小组。自我管理团队是一种工作重新整合和组织结构扁平化的方式。如果实施和管理得当,可以取得质量改进和生产率提高的结果。如果实施和管理不当,那么,反而会衍生出很多问题。

自我管理团队通常肩负着一些在传统企业中由管理层承担的责任,包括制定计划、安排工作、雇用工人和业绩评估,等等。从本质上说,这违反了延续90年之久的科学管理理论。虽然想成功地实施自我管理团队有一定的困难,但是成功实施的结果却是诱人的,它将带来更有效的组织机构、高涨的员工士气和更好的质量。确保成功的几个必要前提是:

1. **交流和聆听**——鼓励双向、诚恳、开放、频繁的交流。员工了解得越多,就越信赖这一项目,越有干劲。

2. **培训员工**——不断对员工进行各种方式的教育,是让员工有主人翁责任感的基础。如果某个员工不知道该做什么,该怎么做,为什么要用这种方式来做以及不同方式间的差别是什么,那么,就不要期望员工会把自己当作企业的主人,行使主人翁的责任为企业负责。

3. **让员工参加团队**——当组织决定营造一种积极向上的工作环境时,很多员工都不了解团结合作所需要的技术方法。团队使员工能够参与到直接影响他们的决策和实施中来。

4. **信任员工**——即使团队的决定不是你所希望的,也要支持团队的决定。信任团队,允许失败。

5. **提供反馈**——及时发现员工做得好的地方。经常向员工表示感谢,作为对他们努力工作和工作成果的赞扬。以各种可能的方式与员工一起分享团队的荣誉。经常给员工提供详细的业绩反馈表(既包含成绩,也要指出不足)。

1.7.4 协助技术

何时需要邀请外来的协助人员

外部团体的协助并不总是必需的。虽然外部的协助可以带来相当的益处,但它们也会导致成本的增加,因此,组织应该认真分析外部协助的利弊。判断外部协助是否必需,可以利用下面这些指导原则(Schuman,1996):

1. **不信任或者偏见**——当存在着明显的不信任或偏见时,应考虑引入公正的外来者来协助(也可能是召集)团队。
2. **协助**——外部协助人员的参与可以鼓励那些对项目感到胆怯而畏首畏尾的员工。
3. **敌对**——个人和组织间的敌对会因外部人员的加入而缓解。
4. **问题定义**——若问题很难定义,或者不同团队给出的定义不同,这时就需要一个公正的聆听人和分析人,协助组织形成对问题统一的想法。
5. **人力的限制**——引入外部人员来引导团队运作过程,可以使内部成员集中精力解决手边问题,而取得更好的效果。
6. **复杂性或新颖性**——在复杂的或者新的环境中,外部专家的协助可以更好地帮助团队发挥成员的才智,使问题得到更好的解决。
7. **及时性**——在一个需要及时做出决策的紧急环境中,外部专家的引入可以加速团队工作。
8. **成本**——外部协助人员可以帮助组织减少会议的成本,这是团队协作的重要障碍。

协助人员的选择

协助人员应具备以下4个基本能力(Schuman,1996):

1. 参与问题解决的全过程和决策制定过程的能力。
2. 使用能支持团队的社会过程和认知过程的程序。
3. 对论点和价值问题保持中立。
4. 尊重团队的需要,从问题解决的过程中学习。

当协助人员按下列原则行事时,协助工作可以高效率地开展:

- 用战略的、全面的眼光看待问题解决过程和决策制定过程,从大量的备选方案中选择能够满足团队需要和完成手边任务的方法。



- 支持团队的社会过程和认知过程,帮助团队成员从大量的问题中解脱出来,以集中精力于实质性的问题。
- 受到所有团队成员的信任,所有人都认同他是无偏颇的、无既得利益的中立方。
- 帮助团队理解使用的技术,帮助他们改进问题的解决过程。

团队领导和协助的原则

人是社会性的动物。人们喜欢和其他人一起集体活动。这是人类的一个长处,因为这样使得我们能够控制和对付比我们大得多和强壮得多的动物。正是这样的长处使得人们能够放牧和控制大批的牲畜,能够捕捉到行动敏捷的羚羊,能够保护自己不被食肉动物捕食。当然,人类这种归属于群体的本质就决定了,为了使群体协作比个体单独行动更有效率,我们必须遵照某些特定的行为。

群体被定义为具有一个或多个共同特性的个体的集合。所共有的特性可能是简单的地理特性,例如个体在相同的时间聚集在同一个地方。可能群体的成员拥有同一个祖先,例如一个家族。现代社会由各种各样不同的群体组成。我们所加入的第一个群体,毫无疑问就是家庭。我们还属于朋友的群体、运动群体、教会、PTAs等,这些群体在很多方面各不相同。它们有不同的目标和不同的时间构架,涉及到不同的成员。然而,所有的有效群体都有某些共同的特征。Johnson 和 Johnson 在他们的著作《走到一起来 (Join Together)》(1999)中提出了有效运作群体的特征:

- 群体的目标必须清晰,为大家理解,必须与群体成员的需求相关,能够激励群体成员为实现这个目标而努力奋斗。
- 群体成员必须能准确清楚地交流他们的思想。有效的双向交流是群体成员之间进行活动和相互作用的基础。
- 必须赋予成员参与权和领导权。所有的成员都要参与,并认真倾听成员的意见。随着领导需求的上升,成员们会感到满足领导需求的责任。参与和领导之间的平衡,使得所有的成员都积极融入群体的工作中来,积极地实施群体的决策,并对他们的成员身份感到满意。同时这也保证了每个成员的能力都得以充分发挥,增加群体的凝聚力。
- 为了让决策制定过程和环境的需求相匹配,决策制定过程必须灵活多变。在可用的时间和资源(例如成员的技术)与制定决策使用的方法之间存在一个平衡,最有效的决策制定方法是多数人的意见(后面将详述)。多数人意见有助于将参与权分给成员,有助于权力的平衡,有助于促进争论,有助于提高凝聚力、参与率和责任感。
- 在群体中,权力和影响需要基本均衡。它们取决于专业知识、能力和对信息的掌握,而不是权威。建立在相互影响和相互依赖基础上的成员间的联合有助于实现



个人的目标。

- 因意见分歧而导致的矛盾冲突应该受到鼓励。争论可以激励大家参与群体工作,提高质量,增强决策制定的创造性和对决策实施的责任感。有时,少数人的观点也应该被接受和使用。由需求或目标不相容导致的矛盾,由资源(资金、权力)稀缺导致的矛盾,由竞争带来的矛盾,必须协商解决,使双方都满意,这样才不会影响到成员间的合作和相互依存。
- 群体的凝聚力一定要高。凝聚力的基础是成员间彼此欣赏,愿意成为团队的一份子,对他们的合作关系很满意,并且能够相互接纳、相互支持和相互信任。团队的规范应鼓励心理安全、独立、创造性、不同思想并存和成长性,并且鼓励变革。
- 恰如其分地解决问题。问题的解决应是以最小的代价彻底地解决问题。必须有一系列相关的程序,用于探测问题的存在、发现问题的解决方案、进行实施并评价解决方案的有效性。如果问题解决得很充分,那么,就可以提高团队解决问题的能力,鼓励创新思维,促进团队有效性。
- 团队成员之间的效率应该很高。成员间的效率反映了行为的结果和实施行为的期望之间相互匹配的程度。

不论团队所从事的事情有何不同,采用有效团队的态度不变。不管团队是在研究空中防御系统,还是策划一个正式舞会,都没有关系。它们共同之处是一群人为了实现他们的目标聚集在一起。

推动团队任务过程

团队的活动可以分为两种:与任务有关的,与维护有关的。与任务有关的活动涉及团队成立的原因、团队的章程和公开的目标。

协助人员应在团队成立以前选定,然后由他协助挑选团队成员和团队领导,并协助制定团队章程。关于团队形成和团队章程的内容将在第5章中详细讨论。

协助人员的一项重要作用是在团队章程的基础上帮助团队设计具体的目标。团队目标的设定是一项艺术,经常会发现团队的目标和组建团队时管理者所设想的目标几乎没有关系。常见的问题有:目标太激进,目标太保守,目标中所假设的因果关系并没有得到证实,等等。后者的一个例子是,团队决定缩减废料损失,假设部门X的废料损失是最大的(这一结论可能是基于某周的数据得出的),然后,把团队的目标设定为该部门减少废料损失。协助人员提供了团队与管理层之间进行交流的渠道。

协助人员帮助团队领导设计合理的实现团队目标的时间安排。关于确定项目实施进度的问题将在第5章中论述。

协助人员应保证该团队项目保持了完整的原始记录。这些记录应提供当前项目实施现状的信息,并且记录的格式应当便于为管理需要而编制定期现状报告。协助人员应协

助这些任务的实施,例如设计纪录表格、安排会议、安排会议室、确保会议室的视听设备和其他辅助设备运作正常,等等。

还有一些行为也需要协助人员的支持:

会议管理——提前安排会议时间。确保关键性人物都被邀请到,并且保证他们都准备参加会议。制定会议议程并严格遵守。按时开会;在会议最开始明确阐述会议的目的;进行会议讨论;适时做一些总结;积极引导那些不怎么发言的与会者发言;适当限制那些过分健谈的发言者;控制冲突;清楚具体地分配任务和责任;按时结束会议。

沟通——“质量部门”能够“保证”质量和“控制”质量的观点,现在已经被认为是不可可能的。为了保证质量,协助人员必须获得团队以外的众多人员的支持和协助。协助人员可以通过团队和组织中其他人员间的书面和口头交流来获得支持。哪怕是在这个瞬间沟通的电子时代,口头交流也是有价值的。5分钟的电话就能解决一个问题,而使用电子邮件或者传真,就可能需要一个星期。当然,团队会议只是交流的一种形式;协助人员还可以在会议期间安排团队成员进行一对一的会面,而协助人员的角色是中间人。

协助团队的维护过程

研究团队的过程。协助人员处于一个很独特的位置,他们在一旁观察团队的工作。是否有某些成员在支配着整个团队?脸部表情和形体语言是否暗示着不赞成团队的做法?讨论中是否存在某些未发言的成员被排斥的现象?

观察到这些信息以后,协助人员应向团队提供反馈信息和相应的指导措施。主动询问那些未发言成员的意见;询问成员们是否对团队做法有异议,努力引起沉默者的关注。

团队动态管理,包括矛盾处理

冲突管理是协助人员和团队领导的共同职责。协助人员要帮助领导者来确保创造性的冲突不仅不会被压制,还会受到鼓励。探究冲突的潜在原因。如果“争论”导致了会议无法继续进行,则需要安排争论双方单独会面,而协助人员参与会议,帮助调节。

建立一个有效团队的第一步,是为团队提出一个大家普遍认同的决策规则,也就是说:

只有得到团队内的每一个成员赞同,至少也是默许,一项决议才能被团队接受。

以下这些行为可以有助于团队活动的开展:

- 避免为了你的立场观点进行争论——尽可能清晰和有逻辑地阐述你的观点,然后认真地考虑和观察团队其他人在后续讨论中对该观点的反应。
- 在讨论中避免一定要分出输赢的僵局——改变讨论中一定有人赢和一定有人输的观点;如果出现僵局,冲突双方都要寻找大家都可接受的替代方案。



- 不要仅仅为了避免冲突和达到统一而改变你的想法——顶住压力，不要向那些不客观和没有逻辑基础的观点低头。斗争要有灵活性，但是避免投降。
- 避免如下的冲突解决技术：少数服从多数，平均主义，讨价还价，抛硬币，交换等——把观念的分歧看作信息不对称的结果，例如关于目标的信息、情绪化的数据和直觉。
- 认为观点的分歧是自然的，而且是有益的，而不是把分歧看成决策的阻碍——总的来说，观点和看法越多，冲突产生的可能就越大，但同时资源也就越丰富。
- 对最初的同意持怀疑态度——探究同意的原因。在决策接受这些观点以前，要弄清楚人们到底是为什么得出相同的结论，是因为具有相同的根本原因，还是因为补充性的原因。
- 避免任何形式的影响和决策修改——例如，当一个最初持反对意见的人最终同意了某个观点时，不要因为他的让步而对他做出奖赏和补偿。
- 认为你的团队能够获得成功，并且能比希望的做得更好——避免悲观论调，避免对团队潜力的悲观预言。

上面这些步骤有时候被统称为“默契技术”。实验证明，按上面这些方法管理团队，有75%的团队的表现胜过了个体的最佳水平。

团队发展的阶段

不同类型团队的发展变化过程基本相似。对团队发展阶段的研究有助于分析有效团队的建造过程是否进展顺利。Bruce W. Tuckman(1965)把团队的发展划分为4个阶段：组建、磨合、规范和完成任务。

在组建阶段，团队倾向于重视程序上的问题。这个阶段的团队交流是试探性和礼貌的。领导全权负责决策的制定过程，在带领团队前进的过程中发挥很重要的作用。

随后是磨合阶段。成员间的矛盾，成员和领导间的矛盾，是这个阶段的特征。当涉及到团队目标、组成结构、规程问题时，成员们开始对权威发出质疑。团队领导试图促使成员独立的尝试受到成员们的抵制，这样的问题是很常见的。成员们都试图确立自己在团队中的地位。

这时候领导处理冲突的方法是相当重要的，有几种建设性的冲突处理方法可供参考：

- 不要控制过严，不要强迫成员遵守在组建阶段制定的程序和规则。如果出现对程序的争论，在团队一致同意的情况下，引导团队制定新的程序。
- 探究冲突背后的真实原因，协商形成一个更易被接受的解决方案。
- 扮演成员间调节者的角色。
- 直接面对使团队无法实现预期目标的行为。
- 继续引导团队向独立转变。

在规范阶段,团队开始为它的目标、程序和行为承担责任或所有权。重点是有效的团结协作。团队的规范要靠团队自己来主动遵守执行。

最后的阶段是完成任务阶段。成员已经开始为自己所属的团队、为团队的成就、为自己在团队中的地位和作用感到骄傲与自豪。成员们都对自己在团队中所表现的能力非常自信,愿意向人求助,也乐意帮助别人。

常见的问题

表 1.3 列出了团队中一些常见的问题,以及推荐的解决措施(Scholtes,1988)。

表 1.3 团队的常见问题及其解决措施

问 题	措 施
踌躇	<ul style="list-style-type: none"> • 回顾计划 • 制定行动计划
专家	<ul style="list-style-type: none"> • 私下与质疑方交谈 • 让数据说话 • 坚持一致同意式的决策
支配性的参与者	<ul style="list-style-type: none"> • 结构分享 • 均衡分享 • 扮演看门人的角色
勉强的参与者	<ul style="list-style-type: none"> • 结构分享 • 均衡分享 • 扮演看门人的角色
使用观念来替代事实	<ul style="list-style-type: none"> • 强调数据 • 利用科学方法
突发事件	<ul style="list-style-type: none"> • 提供建设性反馈 • 强调数据 • 利用科学方法
归因(例如:把动机归因于我们不喜欢的人)	<ul style="list-style-type: none"> • 不要猜测动机 • 利用科学方法 • 提供建设性反馈
忽视某些评论	<ul style="list-style-type: none"> • 主动倾听 • 培训团队的倾听技术 • 与质疑方私下交流
跑题	<ul style="list-style-type: none"> • 依据已制定的议程 • 重申讨论的主题
长期不合	<ul style="list-style-type: none"> • 与质疑方私下交流 • 制定、重申基本原则

1.7.5 成员的作用和职责

有利于团队的角色

团队成员应承担两种基本角色：团队任务角色和团队维护角色。团队任务角色具有协助和协调团队进行选择、定义和解决特定问题的功能。通常所指的团队任务角色如表 1.4 所示。

表 1.4 团队任务角色

角 色	描 述
发起人	提出新的观念、任务、目标；为了解决问题、组织团队，提出过程和观念的建议。
信息搜集人	寻找与所讨论的问题有关的事实。
观点搜集人	澄清所述的问题或建议的价值。
信息发布者	提供对讨论的主题有用的信息。
观点发布者	提供建议的观点。强调的是价值而不是事实。
详细说明者	提供案例。
协调者	解释建议间的关系；指出问题和可供选择的解决方案。
方向制定者	讲述团队的方向，以实现一致同意的团队目标。
评价者	在观念、有用的观念和建设的背后，探求其逻辑关系。
精神领袖	推动团队不断前进。
过程技术员	保证团队免于被诸如分配原材料、检查就座之类的事情打断。
记录员	承担团队的记忆职能。

团队维护角色是小型团体中的另一种类型的角色。团队维护角色致力于建造团队的凝聚力和向心力，如表 1.5 所示。

表 1.5 团队维护角色

角 色	描 述
鼓励者	称赞其他的成员；承认他人的贡献。
协调人	通过幽默的语言加强相互的协调，来减小压力；以实现整个团队共同收益的方式，来探究分歧。
妥协者	假设当团队成员的观点受到挑战时，承认错误，改变他的立场。
看门人	鼓励成员；为了保持开放的沟通渠道，对程序提建议。

续表

角 色	描 述
标准制定人	制定团队成功的标准,以该标准评价团队的进步。
观察者/评论人	记录团队过程的各个方面;帮助团队评价其作用。
追随者	被动地接受他人的观点;在团队讨论中做听众。

任务角色和维护角色的设计与制定是团队构建过程中至关重要的内容。团队构建是一个过程,在这个过程中团队学习如何作为一个整体来运作,而不仅仅是人的简单集合。

不利于团队的角色

除了设定有利于团队的行为以外,同样重要的是,识别那些可能阻碍有效的、有凝聚力的团队建设的角色,并找到对付它们的办法。如表 1.6 所示。

表 1.6 不利于团队的角色

角 色	描 述
侵略者	通过抨击他人的价值、观念、感觉等,来表示不赞成的态度;嫉妒。
阻碍者	对已经解决的问题还要坚持,阻碍发展;拒绝做任何可能达成一致的尝试;毫无理由地反对。
寻求关注者	通过夸耀个人的成功以吸引对自己的注意。
自白者	把团队作为论坛的场所,宣扬个人的观点,而对团队的价值、目标没有帮助。
玩世者	玩世不恭,肆意玩闹,对团队的工作缺少承诺。
支配者	通过打断别人、阿谀奉承、要求较高的地位,攫取权力。
寻求帮助者	通过“可怜可怜我吧”的态度,换取其他成员的同情和帮助。
以对某事有特别兴趣为借口的人	声称对特别小组有兴趣,因为该小组的兴趣与其个人的兴趣一致。

领导者的角色包括作为过程观察者的角色。在召开团体会议时,领导者控制着会议的气氛和个人的行为。其目的就是辨识出那些不利于团队的角色。当然,如果一旦发现了这样的角色,领导必须机智而圆滑地向团队的成员提供反馈信息。统计过程控制的成功,在很大程度上取决于团队的表现。

管理层的角色

管理层能够为团队做的最重要的事情可能就是,给他们足够的时间让这些团队成为

有效率的团队。这要求管理层尽力维持团队成员的一致性。没有足够充分的理由,管理层不应该允许团队成员离开团队,也不要经常有新的人员加入团队。如果按照本章前面所介绍的四个阶段来不断地建设和改进团队,那么,到了关键的实施阶段,团队和管理层双方还需要严格的纪律保障。

管理层要协助团队在公司内营造一种有助于团队有效工作的氛围。

1.7.6 业绩评估

评估团队业绩的原理和其他业绩的评估原理是一样的。必须先定义一个基准线和目标值,然后才能对团队的业绩进行评估。使用水平对比法和其他方法来制定目标的具体做法将在本书第5章介绍。团队实现其目标的详细过程应该被记录下来。

对业绩的度量着眼于团队的目标和任务,而不是团队内部的问题。通常情况下,团队项目从财务业绩上看,回报率在2:1和8:1之间。切实的可度量业绩有:

- 生产率。
- 质量。
- 生命周期。
- 抱怨事项。
- 医疗使用情况(例如,病假时间)。
- 旷工。
- 服务。
- 周转率。
- 解雇。
- 顾问服务的使用。

还有一些难以明了的内容同样也可以度量,其中团队会影响到的有:

- 员工态度。
- 顾客态度。
- 顾客赞扬。
- 顾客抱怨。

团队过程的业绩也需要度量。应当仔细控制项目的失败率。 p 控制图可用来评估成功团队项目的比率中出现变异的原因。失败更需要进行严格的分析。这里可以使用第1章所介绍的持续改进战略和第7章至第9章中将要详细讲解的持续改进工具。

Aubrey和Felkins(1988)列出下列有效性度量指标:

- 受过培训的领导。
- 潜在志愿者的数目。
- 实际志愿者的数目。
- 志愿者的百分比。
- 项目开始。
- 项目中断。
- 项目结束/通过认可。
- 项目结束/没通过认可。
- 生产率提高。
- 工作环境改善。
- 团队的数目。
- 不积极的团队。
- 工作质量改进。
- 服务改进。
- 净年度节约额。

1.7.7 对团队的认可和奖赏

认可是对员工进行激励的一种方法,通常是由公司对那些为公司成功做出了贡献的员工表示感谢。一家理想的公司中,处处洋溢着员工对自己工作的满足感和自豪感,激励亦在于此。当管理层要让员工完成他们的工作并提供高质量的产品与服务时,需要激励。

组织应重视认可系统的原因并不在于这样的系统通过激励改善了工作,而是因为它们明确指出了什么对公司重要。认可系统通过分析公司的某一位员工,提供了对公司价值的深刻理解。正是这些价值形成了对员工行为的真正激励。例如,如果某公司宣称要重视顾客满意度,但是却只承认销售业绩,那就可能意味着公司在行动上并没有把顾客满意度作为它的价值之一。

公开的认可是一种更好的方法,这是因为:

1. 有的人(但不是所有的人)喜欢在同事面前得到承认。
2. 公开的认可向所有的员工传递了有关组织的崇尚和功能的一些信息。

表示认可的方式多种多样,可以是轻拍员工的背部、一个小小的礼物,或是相当可观的金钱奖赏。但是,如果大量的金钱奖赏成为一种模式的话,就可能暗示着两个潜在问题:

1. 这暗示着当几个具有高优先级的因素都在吸引雇员的注意力时,需要动用大量的金钱奖赏才能控制员工的选择。
2. 通常情况下,接受者会把现金奖赏看成是报酬的一部分,而不是像公司所希望的那样,看作关键组织价值的认可支持机制。

Carder 和 Clark(1992)提出了认可应遵循的方针和一些观察结果:

认可并不是管理层用来控制员工的一种方法

如果工人们没有完成分配给他们的任务,那么建立一个认可系统来提高这些任务的优先级是不合适的。认可并不能促使员工去做那些他们现在并没有做的事情,因为管理层的信息存在冲突才造成了任务没有完成。更有效的管理方法是先认真地检查当前系统的优先级。只有在当前系统运行的前提下,管理层才能解决存在的冲突。

认可不是报酬。在这种情况下,奖赏代表的是雇员做出重大贡献后得到的正常报酬的一部分。认可和报酬在许多方面都是不同的:

- 报酬水平应当基于对员工的服务期、教育水平、技能、责任感等因素的综合考虑,而认可是基于个人或团体的某一个具体成就。
- 认可是灵活的。而报酬一旦确立后就很难缩减了,改动报酬水平通常是困难而且代价昂贵的。
- 认可更为快捷,可以及时地做出,与员工或团队做出的成就相连。

- 认可是个人行为,是员工和管理者之间直接的、个人的交流。

认可应该是个人行为。认可不能带给员工一种高层次的员工(管理者)把东西给低层次员工(工人)的感觉。

正面赞扬并不总是认可的最好方式。仅仅因为管理者总是用某种特定的方式表示认可,并不意味着接受者能够察觉到管理者的这些行为代表认可。

不能给雇员造成认可是靠运气的错觉。这种态度的早期表现是冷嘲热讽,因为雇员们认为管理者言行不一。

认可满足了基本的人类需求。认可,特别是公开的认可,满足了人类的归属感和自尊。因此认可的作用相当重要。按照马斯洛的需求层次理论,只有在满足了人们的归属感和自尊以后,才能满足诸如对工作的自豪感、成就感、个人成长和学习新技能等实现自我的需求。

认可系统不应产生输赢。认可不能总是针对某一些团队或成员,而不对另一些团队或成员给予认可。因为这就相当于一个静态的打分排序系统,它所带来的问题在前面已经讨论过。

获得认可是因为员工的努力,而不仅仅是因为完成了目标。按照 Imai(1986)的理论,管理者如果能理解对组织来说很多行为都是至关重要的,那么他们就会对组织的行为标准、时间管理、技能提高、员工参与、士气、沟通还有直接生产收入非常关注。为了有效地使用认可来实现组织的目标,管理者必须具备度量和识别过程成就的能力。

雇员参与是认可系统的计划和执行的实质。在构建新的认可系统或者改造一个旧的系统之前,进行广泛深入的计划极为重要。员工的理解和期望应通过调查获得。

有效奖励系统的原则

Kohn(1993)认为几乎所有现存的奖励系统都具有下列特点:

- 它们处罚接受者。
- 它们将关系割裂。
- 它们忽略了行为的原因。
- 它们不鼓励承担风险。

现存的大部分奖励系统(包括很多报酬系统)都企图通过管理来控制 and 操纵员工的行为。Kohn 通过对奖励的效果进行深入的学术研究,用确凿的证据证明了,接受奖赏的雇员以及那些授出奖赏的管理者其士气和动力都有所下挫——这与实施奖励的目的恰恰相反!

Kohn 不仅给出了这个问题的解决方法,还提出了一些简单原则,用于指导奖励系统的设计过程。

1. 取消激励性的报酬(这也是戴明所提倡的)——Hertzberg 的卫生学理论告诉我

们,金钱并不是一个刺激物,相反它可能会挫伤人们的士气。慷慨公平地给员工合适的报酬,然后对雇员实施的任何奖励都不要涉及到金钱。

2. 反复评估——对业绩评估和替代方法重新进行评议(Benneyan,1994)。

3. 为实现可信的激励创造条件——金钱并不能取代有意义的工作。为了使工作更有意义,组织机构可以遵循以下方法:

a. 设计有趣的工作。分配给团队一些本身很具有激励性的项目,例如有意义的、挑战性的或有成就感的项目。

b. 同心协力。帮助成员们互相协助,然后为他们提供完成任务所需要的必要支持。

c. 自由。相信人们能够做出正确的选择。在他们犯错误时鼓励他们。

第2章

六西格玛培训和教育

培训和教育这两个词意思很相近,但它们之间还是存在着区别。字典对它们的定义为:

教育:

1. 开发内在的能力,特别是通过学校和教育组织来达到这一目的;
2. 促进或开发智力或道德观的培养。

培训:

1. 通过训练使之适应于特定模式的行为;
2. 得以对某种特殊的技能熟练精通。

教育的含义更加宽泛,并且更加侧重于脑力过程。换句话说,教育教人们怎么思考。它增强了大脑处理现实问题的能力。教育本质上更偏重于理论性和概念性。教学生旧知识的目的是为了告诉他们怎样去评价新事件和新环境,教育的目的是教会学生如何获得新知识。通常来说,人们都是带着一定的教育背景来到工作岗位的,雇主一般会资助雇员的继续教育,但通常雇主并不会向雇员提供教育。教育更像是雇员个人的责任,这可能是因为教育比培训更具有通用性和可移植性,从而使雇员受的教育更加容易转移给新的雇主。

培训更侧重于“做”。它比教育更侧重于工作本身,它的目的是维持和提高完成现有工作的技能,或是获得从事新工作的技能。与教育不同,培训通常是由雇主出资并且通常也是由雇主提供的。培训内容一般因雇主的不同而不同,雇员在培训中获得的技能并不会很容易地转移给新的雇主。

质量改进需要变革,而变革是从人开始的。当人们理解了为什么他们必须变革和怎样改变能够实现他们的个人目标时,就会变革。人们加入某些组织是因为这样做可以帮助他们达到他们的某些目的,而组织雇用人员则是希望他们能帮助组织实现组织的目标。当组织设定了新目标时,相当于要求雇员用一种与过去不同的方式去思考,用新的行为去完成新任务。组织必须帮助雇员获得完成新目标所需要的知识、技能和能力(简记为

KSAs)。培训和教育都是让雇员获得新知识、技能和能力的方法。

与所有的工作一样,培训和教育也是一个过程,步骤如下(Johnson,1993,pp.239~240):

1. 确定培训目标。
2. 制定培训计划:
 - ① 培训计划必须与公司的其他计划一致,如战略质量计划、商业计划和营销计划;同时还必须有预算的支持;
 - ② 必须与组织培训的目标一致;
 - ③ 必须是建立在可获得资源上的计划;
 - ④ 必须与组织目标保持一致;
 - ⑤ 应制定出单个课程的计划。
3. 选择培训团队,教员必须:
 - ① 对培训感兴趣;
 - ② 对培训的质量负责;
 - ③ 乐于和人沟通;
 - ④ 有耐心;
 - ⑤ 热爱培训工作;
 - ⑥ 有热情;
 - ⑦ 知道受训者的水平并愿意培训他们;
 - ⑧ 受同事尊重;
 - ⑨ 可以安排培训的时间并进行培训的准备。
4. 准备教员:
 - ① 给教员提供培训:
 - a. 室内
 - b. 室外——研讨会,野餐会
 - ② 提供培训方法:
 - a. 讲座和演讲
 - b. 在职培训
 - c. 示范
 - d. 自学
 - e. 角色担当
 - f. 案例教学
 - g. 讨论
 - ③ 实际的培训练习;

- ④ 对教员和培训资料的批评意见。
5. 为受训者所作的准备工作：
 - ① 向雇员强调培训的益处；
 - ② 使受训者清楚培训将如何改进组织和组织质量；
 - ③ 使受训者清楚对培训结果的要求。
6. 培训。
7. 评估培训：
 - ① 是否达到了培训目标；
 - ② 在受训者中作关于培训的调查；
 - ③ 从工作过程和质量是否有改进来考查培训的效果；
 - ④ 考核受训者；
 - ⑤ 评估结果列表,以改进日后的培训工作。

2.1 自上而下地支持和制定质量培训 战略计划的重要性

在传统的组织中,培训部门是独立的,它有自己的预算和需要保护的利益。因此在这样的组织中,培训计划通常不是与战略计划相结合以满足整个组织的需求,而是更倾向于满足培训部门中的教员和其他相关人员的需要。这对组织业绩的影响,与组织中的各个部门只谋求自身利益而置组织的整体利益于不顾所带来的结果是一样的:投资的负回报,士气的挫伤,等等。

实施六西格玛的组织采用了一种完全不同的方式:培训计划直接与外部顾客现在或将来的需求挂钩,而顾客的需求正是组织战略计划的驱动力。制定战略计划的人员也负责制定战略培训计划。战略培训计划为组织的雇员提供提高知识、技能和能力的方法,这些都是组织进一步发展所需要的。当然,也同样提供维持日常运作所需要的技术培训。现代组织中培训经理直接对高层领导负责,这反映了现代企业中对人力资源开发的重视程度越来越高。

计划过程的总下达是通过制定年度培训计划。年度培训计划是长期战略培训计划实施过程的一个步骤。计划的重点既不是内在的也不是外在的,而是要跨越整个过程。培训计划为供应商、雇员以及顾客的培训作出规定,包括新产品的培训。

年度培训计划包括培训的预算,其中列出了培训所需要的资源。培训预算通常包括简要的成本/收益分析,而培训的成本/收益分析由于包含对许多不确定因素的预计,因而富于挑战性。对成本的估计通常是比较简单的,例如培训成本包括:

- 教员工资。

- 咨询费。
- 教学地点和资料。
- 因参加培训未上班所造成的损失。
- 职员工资。
- 培训职员的办公地点。

对收益的估计想要达到同样的精确程度是有困难的,要达到高精度常常是难以实现的。因此,许多组织用受训者对组织的价值来粗略估计收益。培训收益包括:

- 效率的提高。
- 质量的提高。
- 顾客满意度的提高。
- 员工士气的提高。
- 员工跳槽率的降低。
- 供应商忠诚度的提高。

从培训预算可以看出管理层对培训计划目标的支持程度。另外,从管理层对制定战略培训计划的参与程度也可以看出其支持程度。多数情况下,高层管理者委派培训部门的职员编制年度培训计划和预算。

2.2 培训的各项子内容和主题

2.2.1 管理培训——通用质量原则

在一个真正对质量负责的组织中,从某种意义上说,每一个管理者都是一个“质量管理者”。质量管理包括以下要素,如图 2.1 所示。

领导者培训

领导应该接受“洞察力”的培训。洞察力是为组织勾画未来蓝图的能力。未来的组织应当更接近理想中的组织,其中:“理想”组织被定义为完全实现组织价值的组织。这样的组织是什么样的呢?它的雇员需要做什么?谁将是它的顾客?它要为它的顾客、雇员和供应商做什么?形成关于这种组织的一个明晰构想,可以协助领导弄清楚怎样从转换现有组织的基本职能开始向理想的组织迈进。如果没有形成清晰的构想,经理们就很可能把组织带入一个布满陷阱的迷宫。相反,若是有清晰的构想作为指导,组织的转换过程就会按预想一步步进行。这并不是说转换过程很“容易”,但是如果有蓝图领路,组织就像是在敌方的领地上跟着经验丰富的侦察兵前行。前进的道路是清晰的,但过程充满艰辛。

- I. 质量标准
 - A. 全面质量管理(TQM)
 - B. 持续过程改善
 - C. 生命周期缩减
 - D. 供应商管理
 - E. 顾客服务
 - F. 质量奖/质量标准(例如,美国波多里奇奖,ISO 9000)
- II. 组织及其职能
 - A. 组织评估
 - B. 组织结构(如:矩阵结构和层次结构)
 - C. 组织内部质量功能
 - D. 组织内部沟通
 - E. 变革执行人和他们对组织的影响
 - F. 管理风格(如:依据事实和数据,通过教练/其他领导方式)
 - G. 商业功能
- III. 质量需求和整体战略计划
 - A. 质量功能需求和整体战略计划间的联系
 - B. 战略计划和质量计划间的联系
 - C. 变差理论(一般原因和特殊原因)
 - D. 质量功能目标
 - E. 组织内质量功能的优先级
 - F. 促进组织行为优化的度量 and 目标
 - G. 质量条例和政策
 - H. 管理质量功能所需的资源
- IV. 顾客满意和以顾客为中心
 - A. 顾客的类型(例如,内部顾客、外部顾客和最终顾客)
 - B. 顾客驱动型组织的要素
 - C. 顾客期望,优先级,需求和“顾客的声音”
 - D. 顾客关系管理和承诺(例如,顾客抱怨、反馈、担保、纠正行为)
 - E. 顾客识别和划分
 - F. 顾客和供应商间的合作和联盟
 - G. 沟通技术(例如,调查、重点小组、顾客满意/投诉卡)
 - H. 多顾客管理和冲突解决
 - I. 保持顾客/顾客忠诚度

图 2.1 质量管理要素

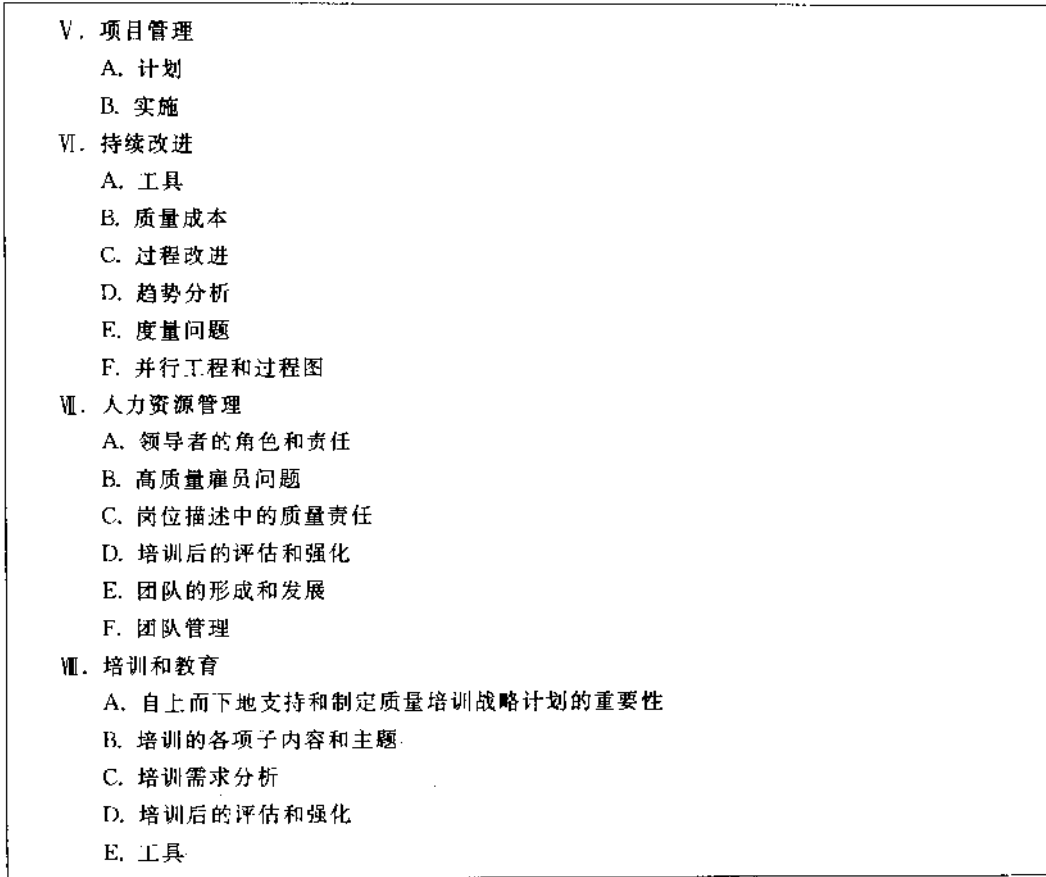


图 2.1(续)

领导还需要有很强的沟通能力。幸运的是,大多数领导都具有出色的沟通能力,只有少数不具备。尽管对一些领导而言,沟通方面的培训只不过是对已有技能的复习和提升,但是进行有效沟通的培训仍是明智的。在大型组织中,沟通培训应该包括大众传播媒体的培训,如电视、广播、纸介传媒等。与顾客、投资者、供应商的沟通方式不同于与雇员、同事的沟通方式,因此,通常需要特别的培训。沟通原则在第1章中已经加以讨论。

当一个人明确了他想去哪里以后,他就可以立刻付诸实施。然而,对一个组织而言,仅有一个明确的构想是不够的。领导必须就这一构想与组织的其他成员沟通,而构想的沟通比指令的沟通或具体概念的沟通要困难得多。包含着抽象价值的组织构想本身也是很抽象的,为了与他人有效地沟通这一构想,领导必须把抽象的构想具体化。一种使之具体化的方式是使构想留在人们的记忆里:领导通过自己的每个行动、每次决策、参加的或

缺席的会议以及在会上的行为——不管是全神贯注地听还是心不在焉地在记事本上乱写——来证明构想的价值。试图去理解领导构想的雇员会密切注意领导的行为。

另一种方法是通过讲故事来沟通抽象的构想。组织里存在着恒定的事件流：顾客通过雇员和体系与组织打交道；供应商与工程师见面；每天有数以千计的事件发生。经常会有一些事件，它们的发生恰好反映了领导构想的本质。雇员向顾客提供非常规的服务，工程师冒险并犯了错误，供应商以巨大的努力来维持生产线的运行……这些都是领导对未来组织构想的具体事例。应该不厌其烦地把这些故事告诉其他人，告诉那些被认为是造成了这些事例的人员。有时领导需要自己创造事件，哪怕这需要刻意筹备一个事件。创造一个有很强象征意义的环境，然后利用它来沟通抽象的构想，这种做法并不是欺诈。比如，诺德斯顿公司(Nordstrom)就有一个关于销售员接受了顾客退回的有缺陷轮胎的事例。这个事例非常有象征意义，因为诺德斯顿根本就不销售轮胎！这个事例就形象地说明了诺德斯顿的政策：允许雇员在任何情况下都用他们自己的判断来开展工作，哪怕雇员犯“错误”或者用超常的行为而使顾客满意。毫无疑问这件事确实发生过，但这并不重要。当雇员们在他们的首次培训上听到这个故事时，他们都会清楚地理解这个事例所传达的信息，这个故事使得原本难懂的抽象概念变得清晰而明确。

领导还需要参加有关矛盾解决的培训。在传统企业中作为过程主管，领导者负责一个以报告为基础的层次，并尽力使价值在分割为几个职能领域的过程中传递。这样就不可避免地导致了对有限资源的竞争，从而产生了矛盾。当然，理想的解决方案是设计一个不存在这种破坏性竞争的组织。迄今为止，领导们都面临着许多急需解决的矛盾。

最后，领导者必须严格遵守伦理道德的法则。领导者需要获得他人的信任，而那些违背了使人们共同生活和工作的伦理法规的人是不被信任的。领导者还需具备诚实、正直等品质。

管理者培训

领导者担负着把企业带入未来的职责，在未来组织中成员的行为与现在会有所不同。管理涉及到运行现有的系统把组织的价值传递给顾客，以及改善现有系统提供更高的价值。这类管理所涉及的技能与领导一个组织所需要的技能是不一样的，因此，时常会有这样的现象：一个有效率的管理者并不是好的领导，反之亦然。

管理者设计过程。过程是把物料资源和人力资源以特殊的方式整合起来以达到增值的目的。有效地完成该任务需要管理者具有组织理论和发展、激励理论、岗位设计、业绩评估等各方面的背景知识。但具备这些背景知识并不足以使雇员成为管理者，他们还需要接受这些方面的持续培训以保持和加强他们的管理能力。

除了这些传统能力之外，现代以质量为中心的组织需要它的管理者具有出色的人际交往能力，这一能力发挥着很多作用，例如：

教练——一个教练并不只是告诉队员们应该做什么，还要帮助他们做。投垒教练要研究投掷理论和每个投球手的特点，然后教每个投球手应该如何持球、挥臂、投球等。教练要不断地想办法以提高投球手的投球质量。

指导——管理者对组织非常了解，他很清楚地知道组织运行的规律，因此他比一般雇员更能看清楚组织中存在的各种关系。指导者帮助雇员规避或者克服障碍。

协商——为了获得完成部门目标所需要的各种资源，管理者不可避免地要与组织中的其他人、供应商以及顾客协商。能获得资源并使双方都满意，需要谈判技巧。

冲突处理——和领导者一样，管理者要对手下雇员的工作负责。当这些雇员之间发生解决不了的矛盾时，管理者要帮助他们解决矛盾。

管理者还须接受财务会计与财务管理的基础培训。这方面的信息对于成本效益分析、编制预算和质量成本等活动非常重要。

最后，管理者应具备一定的技能，这是实行质量改进项目所必需的能力。这些技能包括在第7章中将要介绍的质量控制和质量管理工具。管理者必须对社会科学领域中的度量问题有足够的了解，才能有效地监督雇员的工作效率和顾客的主动性（见第4章）。戴明把对变差理论的了解作为深刻理解他的系统所需的基础之一，这需要统计学基础知识。没有相关知识的管理者可能会对问题做出错误的诊断，对趋势做出错误的预测，或者对随机变化采取过度的行为。也就是说，他可能会做出错误的决策。

2.2.2 雇员培训——质量计划的执行

培训由组织需求驱动，而组织高层领导者是最了解这些需求的。因此，从培训的角度上说，最好的培训方式是由高层领导者亲自主持培训。这样做的目的是要让组织中的雇员都能认识到培训与组织愿景之间的关系。一个优秀的领导者应该清晰地构思出组织发展的蓝图、实现这一蓝图的计划，以及对该计划的责任，而这些构想都应通过由领导者主持的培训传达给受训雇员。

由于有天赋的教员数目有限，所有经常会采用“培训教员”的方法，以便在短期内提高教员的数量，从而增加受训人数。但是，正如戴明指出的那样，在主训人员培训教员，再由教员培训受训人员的知识传递过程中，有一些知识或精华可能会遗失。戴明的漏斗实验证明，在这一过程中，结果越来越偏离原来的正确信息。因此，必须由主训人员亲自进行培训工作。录像带、光盘和有선系统等技术都可以达到增加受训者人数的目的，电子途径可以实现交互式的培训。

许多公司，如福特汽车公司，都认为技术很容易从一个公司转移到另一个公司，但雇员的知识和经验却很难转移。这就成为了公司的优势，是竞争者短期内不易赶超的优势。

执行质量改善计划时，所做工作的性质在不断改变着。因此，与新方法有关的或者受新方法影响的雇员需要接受两种不同类型的培训：概念上的培训和基于任务的培训。



概念上的培训负责向雇员解释全面质量管理原则,使组织从封闭的、基于产品的理念转换到面向顾客、基于过程的新理念。雇员必须学会把所有的工作看成是一个过程,并与其他过程相互关联成为系统,而不是孤立地看待他们的工作。培训的目的不是为了实现“控制”,即以相同的方式来做事情,而是让雇员学习持续改进才是基本途径,即过程不断向更好的目标迈进。第1章介绍的PDCA循环对此亦是有帮助的。这些思想本质上是不同的,很难彼此融合,因此,耐心的重复和活泼生动的培训方式是很关键的。

概念上的培训还涉及向雇员传授基本的问题解决方法。数据驱动的过程改善需要关于数据收集与分析方面的基础知识,而实施新方法的雇员必须了解第8章介绍的质量控制工具和第7章讨论的质量管理工具。

当工作重新整合以后,雇员的职责将发生根本的变化。基于任务的培训旨在帮助雇员获得和使用新技能。雇员被赋予过程质量自我控制的新职责,为了有效地完成这一新职责,雇员必须学会用他们以前从未用过的方法使用信息。通常要求雇员参与设计新的信息系统,输入数据,用计算机终端获得信息,读取计算机的输出,作相应的管理报告,等等。这些技术需要通过培训和传递经验来获得。有相当数量的质量计划都不包括足够的雇员培训,这是导致质量计划高失败率的主要原因。

2.2.3 协助者培训

在第1章中我们已经描述了协助者的职责,这些职责要求协助者具有某些独特的技能。我们不能期望某个还不是协助者的人已经具备了所需要的各种技能,因此,协助者的培训也是必要的。

协助者的一项工作是与团队中的成员沟通,这项工作涉及到下列能力:

沟通能力——很简单,不能进行有效沟通的协助者对现代组织的用处很有限。

会议管理能力——提前安排好会议时间;确保关键人物都被邀请并且确认他们都会出席;制定会议议程并严格执行;准时开会;会议一开始就清楚地明确会议的目的;开会;时常做一些归纳;鼓励不怎么健谈的与会者发言;适当抑制过于健谈者的发言;解决出现的矛盾冲突;清晰明确而具体地分配任务和责任;按时结束会议。

演讲能力——令听众明确做报告的原因(通知/教育还是说服/劝说);做演讲;努力实现期望的听众反应。

准备演讲——把涉及到的所有主题列表;精选出一些最重要的要点;给这些要点编号;分析每个重要的要点;总结。

视觉辅助工具的使用——演讲中的视觉辅助工具指的是演讲者用来传达观念所使用的图示。若使用得当,辅助工具能使演讲增色不少,它们使观念和思想比只用语言表达时更加清晰易懂。口头演讲的内容在3天以后只有10%能被记住,而辅以视觉工具的口头演讲被记住的比率高达65%。当然,如果使用不得当,视觉辅助工具也会分散听众的注

意力,甚至产生负效应。美国质量学会的报告指出,糟糕的视觉辅助工具引发的听众的负面评论比其他的因素都多。

协助者必须对非语言的沟通足够敏感。除了语言外还有许多沟通方式,协助者必须仔细观察对方的姿势、身体移动、面部表情、声调、是否坐立不安等。如果协助者注意到这些非语言的信号,他就可以决定是否需要干预。例如,当某位参与者在听到某个信息时摇了摇头,协助者就应及时地询问他为什么不同意;若某位参与者的语调包含讽刺,则应及时请他对他的态度进行解释;若某个未发言者在听报告时不停地摇晃身体,则应请他告诉大家他的想法。

协助者应该是积极的听众。作为积极的听众应做到以下几点:

- 看着发言人。
- 全神贯注地听,而不是集中精力在想应该怎样发表意见。
- 等发言人结束发言后,再发表自己的意见。
- 注重主要观点,而不是琐碎的细节。
- 控制自己的感情。

因为协助者的所有工作都和团队有关,因此协助者应对团队动力学和团队过程(见第1章)有深入的了解。然而,因为团队通常都在为质量改善项目而努力工作,故协助者应对项目管理原则和技术相当精通(见第5章)。

2.3 培训需求分析

制订战略性的培训计划的第一步是进行培训需求分析。培训需求评估为设计培训项目和准备培训计划提供必要的背景知识。评估是通过审计来判断组织在干什么,并与组织应该做的进行比较。评估过程集中在三个主要领域:

过程审计——我们多次提到,所有的工作都是一个过程。过程要使输入增值,并把价值传递给顾客作为输出。过程是否按照设计在运作?它们的运作是否一致?是不是在关键控制点对它们进行了度量?如果是,度量结果是否显示了统计上对它的控制?这些问题的答案和对过程运作的详细观察都是制订培训计划的输入。

知识、技能和能力的评估——在过程审计中,很可能会发现缺陷(也即存在改进的机会)。这些缺陷中有些是由雇员的知识、技能和能力引起的。自我控制的第一个原则就是雇员必须知道他们在做什么。管理者的工作并不只是简单地给雇员分配一个特定过程或任务,还应该为雇员提供获得必要的知识、技能和能力的机会,以帮助他们成功地完成他们的职责。这意味着,如果要求雇员作为质量改善团队的成员承担新的职责,他们应获得团队技能方面的培训;如果要求他们绘制控制图,则需要进行控制图的维护和解释等方面的培训。因为雇员也要参与到组织战略计划的实施中来,所以,应告知雇员:计划是什么

以及他们的工作对整个计划实施的意义和贡献。

雇员态度的评估——态度是对发生事件的情绪反应。一个人的态度本质上是对发生的事件是否明智的评判。雇员态度的不满也会影响雇员知识、技能和能力发挥的效率。若雇员对组织选择的发展方向表示不满,那可能意味着他们怀疑提议的明智性或者怀疑领导者的诚实。不管是出于什么原因,在培训计划中必须考虑到这些问题。

上面提到的这些评估,可以使用第3章中将要介绍的审计方法或调查技术来实现。评估工作可以由内部或者外部人员执行。总的来说,当向雇员们保证给予保密以后,特别是当调查由外部组织执行时,雇员可能会坦诚地说出他们的意见。当然如果确实能维护雇员隐私的话,内部人员执行的调查也会得到有价值的信息。

为了弄清楚培训是否真地消除了“是”和“应该是”之间的差距,组织需要进行跟踪评估工作。跟踪评估是进行补充培训的基础。首先,重新评估以确保雇员中的目标团队真正掌握了所需要的知识、技能和能力;然后,对过程进行重新评估,以确认新的知识、技能和能力是否按照预期那样改善了过程。很多情况下会发现,我们常假设过程“是”和“应该是”之间出现差距的根本原因是知识、技能和能力上的缺陷,而这一假设本身就是错误的。如果重新评估表明知识、技能和能力上的差距已经弥补,而过程上的差距仍然存在,那就应该采用另一种方法来消除过程差距。

2.4 培训后的评估和强化

培训如果达到了它的目的,就可以被认为是“有效的”。因为培训目标源自战略计划,所以最终的测试也应衡量组织是否达到了它的战略目标。然而,培训只是决定组织能否到达战略目标的众多因素中的一个,而且通常是在时间上离最终目标的实现最遥远的一个因素。为了更加直接地评估培训的有效性,组织需要在培训即将结束时进行度量。

与学术环境不同,培训的最终目的并不是传授知识和智慧,而是希望知识和智慧能带来更准确的判断、更低的成本、更好的质量、更高的顾客满意度等。也就是说,培训的结果是可见的。这些结果是本章前面描述的培训计划制订和培训需求分析的重点。培训评估要求把这些培训结果转化成培训的度量或培训目标。

不管形式如何,培训的基本单位都是课程,每一课都是离散的信息“块”,应传递给学习者。培训目标形成了各个课程内容的基础,课程为制定度量提供了标准。

课程计划(见下文)为度量提供了基础。课程计划的目标是明确具体的,课程的设计就是为了实现这些具体的目标。先假设实现了课程的目标,那么学术讨论会或其他的培训活动的目标也会实现;再假设所有培训活动的目标都得到满足,那么培训计划的目标也就相应地实现了;最后假设培训计划的目标得到满足,战略计划(或战略质量计划)的目标也会实现,至少战略目标不会由于培训不充分而妥协。所有这些假设都是为评估服务的。

评估

评估过程涉及四个因素(Kirkpatrick,1996):

1. **反应**——与会者对这个项目的喜欢程度如何?这实际是对顾客满意度的度量。通常使用评估表格、调查、重点小组调查以及其他的顾客沟通方式来度量顾客的反应。补充信息参看第3章。

2. **学习**——学习了怎样的原理、事实和技术?态度发生了怎样的改变?即使学习过程没有发生,与会者对培训反应良好也是完全有可能的。可以用培训前后的考试来定量地测量与会者从培训中学到了多少知识。结果应该采用适当的统计方法进行分析。在一些特殊的情况下,例如为一个大型培训合同而评估一个咨询公司时,也可以为评估专门设计一个试验。

3. **行为**——培训后在职人员的行为有什么改变?如果与会者结束统计过程控制学术讨论会后,立即开始有效地使用控制图,而以前并没有人使用过该技术,那么这次培训就对行为产生了预期的影响。然而,如果与会者测试表明虽然从培训中学到了相应的能力,但他们的行为并没有发生什么改变,那么对这次培训的投资就可以说是浪费。需要注意的是,行为的改变受许多因素的影响,培训只是这些因素中的一个。例如,管理者创造了一个鼓励应用新学到的行为的体系,那么这也是一个影响因素。

4. **结果**——从成本降低、质量改善、数量增加等方面来看,这一项目带来了什么切实的结果?这些都是培训投资的回报。用于度量这些结果的度量标准通常都已体现在行动计划、项目计划和预算中。同理,与行为的改变一样,除了培训还有很多别的因素可能导致预期的结果。

Philips在上述要素的基础上增加了第5条(1996,p. 316):

5. **投资回报**——结果的货币价值是否超过了项目的成本?

Philips认为这5条是评估的5个不同等级,每个评估等级有一个不同的价值,如图2.2所示。

由于所涉及的难度和费用,对每个项目都从5个层次上进行评估是不可行也是不经济的。可以用抽样的方法在较高的层次上进行评估,比如,一个大型的电子公司制定了下列取样目标:

表 2.1 待评估项目的达标百分比

层 次	百分比	层 次	百分比
参与者的满意程度	100%	结果	10%
学习	70%	投资回报	5%
工作中的应用(行为)	50%		

资料来源: Philips, J. J. (1996). "Measuring the Results of Training," in Craig, R. L., editor in chief. *The ASTD Training & Development Handbook: A Guide to Human Resources Development*. New York: McGraw-Hill, p. 317.

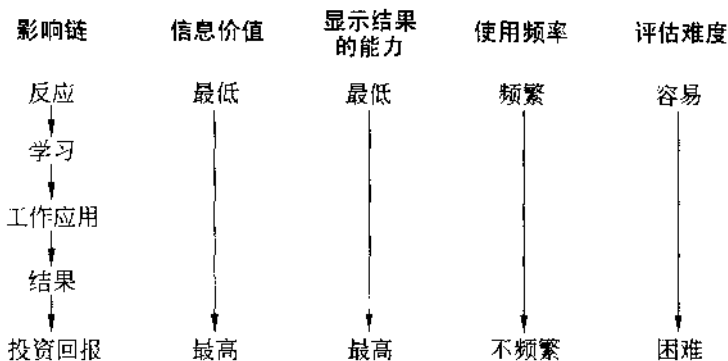


图 2.2 评估等级的特征

资料来源: Philips, J. J. (1996). "Measuring the Results of Training," in Craig, R. L., editor in chief. *The ASTD Training & Development Handbook: A Guide to Human Resources Development*. New York: McGraw-Hill, p. 317.

取样时应该采用随机抽样的方法来进行,比如利用随机数表。我们将在第4章中介绍投资回报计算,它的方法并不难。但是,若要得出可信的结果,还需要财务和会计人员帮助计算相应的财务比率。

强化

提到强化,我们最先想到的就是采用金钱报酬的方式。按技能计酬越来越得到人们的认可和赞同,原因如下:

- 作为雇员学习和获取新技术的激励。
- 作为参加培训和教育的人员的奖励。
- 作为对按业绩计酬所带来的消极影响的回应。

当然,虽然按技能计酬有上述好处,但金钱奖励和诸如此类奖励的作用仍值得怀疑,应谨慎地采用。研究和经验表明,雇员参加培训是因为他们发现参加培训可以帮助他们更好地达到他们个人的、工作的或者事业的目标,而不是因为他们可以因此立即获得金钱上的报酬。因此,实现强化应通过给受训者提供使用所学到知识的机会来完成。管理者应致力于提供一个宽松的环境,使得新技术能够在没有压力、不必分心的环境中进行磨合和获得应用。这里“适时”(JIT)理论也适用,那就是不要给雇员们提供在近期内用不上的技能培训。

人们在学到新知识后,比如一项工作技能或者以质量为中心这样的新理念,在试图把这些新知识应用于日常的行为和思考方式时总是会发现很多问题。成立使用者团队有助于问题的解决,使用者团队由接受过相似培训的一群人组成。团队成员经常开会讨论和沟通他们自己对问题的理解,他们讨论的内容可以是“你是怎样使用这一知识的”“我对这

一点不理解”或者是“我就是这么做的”。通常还会邀请有经验的人员来澄清某些特别的问题。成功的使用经验将以报告会的形式介绍给大家。管理者可以通过提供设备、帮助团队解决一些管理上的细节或者偶尔参加他们的会议,对使用者团队的活动加以鼓励。

电子会议的形式越来越受到欢迎。教员可以使用电子邮件解答问题。参加讨论会的人可以把自己的问题和评论发送到“列表服务器”上,然后服务器自动把这些问题和评论发给列表上的每个人,这样每个人都可以看到所有人的信息和对问题的相应解答。这样,由对某一特定问题的信息交换产生了信息“流”。比如,A对如何将控制图用于财务数据有疑问,B对此做出相应的回答,C再对B的回答给予评论,这样依次进行下去,使得参加讨论的人感觉就像是在面对面沟通一样。每个人都在一种比传统的教室教学更自然(也更有兴趣)的氛围中学到了许多知识。

复习

学到的知识如果不使用,很快就会忘记,即使在“即学即用”(JITT)的培训中,也不能保证学到的每项技能都能立即投入使用。因此,应该设计周期性的复习课程帮助雇员加深对以前培训学到的知识的印象。与学习新知识的培训相比,复习课程通常比较短、快且集中。教员不用像讲授新知识那样安排课程,甚至可以不要教员,使用影音录像带、光盘、幻灯片等就足够了。这些自学媒介的使用具有成本低、时间安排灵活的好处。

如果有教员,他们就可以回答前期受训者提出的问题。如果教员不是全职培训人员,解答问题就要受到限制。有许多方法可以在缩减教员需要投入的时间的同时,仍然保证回答尽可能多的问题。如果需求并不紧迫,则可以使用邮件或者网上会议进行答疑,而室内的时事通信录和公告牌可用于多次问到的问题。现在很多公司都使用企业内部网,大量的信息可以在网上获得。受训者也可以从因特网上找到所关心主题的新闻组。成千上万的新闻组研究的主题无所不包,许多都与质量和培训有关。

2.5 工 具

这一节将介绍与有效的培训和教育相关的技术内容。然而,我们必须提醒读者,培训和教育其本质是相同的。

2.5.1 讲座、业务手册、案例教学和在职培训

培训方式

有3种基本的培训方式:

1. 以受训者为中心——以受训者为中心的培训始于受训者的需求,课程内容也要作

相应的改变以满足相应的需求。当受训者具有各种不同的能力、背景和课程需求时,这种培训方式对教员和管理者都是很大的挑战。除非有强大的反对理由,这种方法仍是大多数培训项目的首选方式。

2. **以教员为中心**——教员决定培训的方向和步调。这种形式的培训是用一种形式满足每个人的需求,而受训者间的差异导致了这种形式的培训对相当一部分受训者不适合。

3. **以资料为中心** 循序渐进式课程自学、交互式光盘、录像带等等适合于自我控制进度的教学方法都属于这一类型。这种形式的培训中,没有和受训者沟通的教员。

课程计划

课程计划是在某一期培训中提出的,用作培训材料的路标。约翰逊(1993b)提出了有关制订课程计划的如下方针:

1. 课程计划是培训成功的关键。
2. 应充分研究每一个主题。
3. 所准备的材料应是所需材料的两倍。
4. 确保受训者在课程开始时就知道“这对我有什么用”,这样才能激发他们学习的积极性。
5. 在讲课之前反复练习。
6. 在适当的时候引用相关的例子。
7. 引发受训者提问。
8. 使用培训辅助工具。
9. 使培训适合于受训群体的水平。
10. 不要找借口(例如,“我以前从未教过这个材料。”)。
11. 保持积极的态度。
12. 按照课程计划进行培训。

课程计划主要有以下4种类型:

1. **主题提纲**——课程计划使用标准的提纲格式,例如,用罗马数字标出内容层次,用大写字母标示主题等。当教员对主题非常熟悉或者以前作过类似培训时,这种方法尤其有用。这种课程计划的制订很简单,可以用作培训的议程,以确保培训课程有条不紊地进行。

2. **手稿**——它详细叙述了课程的内容。当第一次讲述较复杂的内容时,这种方法最有帮助。虽然手稿提供了大量的信息,但同时也意味着当需要从大量的内容中找到特定信息时不是那么容易。因此仔细地组织材料(例如使用标号索引)就是必不可少的了。拟定手稿需要比较长的时间。

3. **句子**——这种类型是对手稿的简化,适用于复杂程度稍低的课程。虽然提供的信

息量比手稿要少,但它的拟定比手稿容易,寻找信息也不那么困难。

4. **关键词**——这是一种“记忆标志”,有经验的教员使用关键词来控制演讲的进度和保证培训能涉及到所有的主题。这类课程计划通常不提供讲课顺序和每个主题所用时间的信息,而且由于关键词式课程计划提供的内容很少,所以只有当教员对材料相当熟悉时才能采用这种方式。这种方式的优点是能营造出一种轻松的演讲氛围。

课程计划的一个实例

图 2.3 给出了一个综合医疗保健提供者的室内培训课程计划实例。课程计划中的内容是从给另一组雇员安排的培训班中抽取出来的一部分,课程编号仍旧与原来的培训班一样,以便参加本次培训的雇员可以把他们所学的内容与原来的完整培训课程相互参照。(下图所示为课程计划中的一部分。)

图 2.3 所示的课程计划包括了上文讨论的常见课程计划类型。

讲座和演讲

在讲座中,教员把信息传递给听众。讲座是各种演讲方法中最常用的,它很适合于传达类似于程序的信息。演讲者必须记住听众的注意力只能集中 15~30 分钟,具体的专注时间由演讲者的演说技巧、主题、听众的年龄和文化程度决定。以下方法的使用有助于强化记忆和延长专注时间:

- 每次讲座只涉及一个内容,所有与所说主题不直接相关的内容都不要提及。
- 变换语调。
- 让多个演讲者来讲述。
- 保证房间环境的舒适。
- 避免在听众刚刚进餐后开始讲座。
- 避免在傍晚讲座。
- 不要在另一重大事件之前举行讲座(比如,在圣诞夜这一天的下午 5 点举行讲座)。

讲座是演讲中的一种,但演讲还可以使用口头、视觉和多媒体等各种形式。

教练

在现代以质量为中心的组织中,主管把 60% 的时间都用于作指导性的工作,如同教练一样。在一对一的层面,指导性工作是指帮助单个雇员提高某些方面业绩的过程;在团队的层面,指导性工作是指创建有效团队和工作组的过程。成功的教练需要下列技能:

- 沟通能力。
- 聆听能力。
- 分析能力。
- 谈判能力。
- 冲突解决能力。

改善医疗质量培训班

这份文件是 Thomas Pyzdek 提供给亚利桑那州用于改善医疗的培训班的课程计划。Thomas Pyzdek 是质量领域中国际知名的作者、演讲家和顾问。这次培训将于 1995 年 5 月 5 号(星期五)和 5 月 15 号(星期一)举行,培训班的目的是给受训者提供能系统地改善他们所负责领域的质量和生产率的知识技能。受训者将学习变差理论和理解这些理论在决策中的重要性。

第 1 天

第 4 课 数据收集

预计开始时间:第 1 天,上午 8 点

预计持续时间:60 分钟

目标:

- 了解数据收集的重要性。
- 学会对现有数据的定位。
- 知道怎样验证数据。
- 知道怎样构造数据收集表。
- 了解不同类型的数据和它们的用处。
- 知道质量改进过程中如何进行数据收集工作。

关键内容:

- 为什么收集数据。
- 数据来源。
- 获得新数据。
- 变量、属性和顺序数据。
- 数据收集工具。
- 数据图的设计。
- 定位图。
- 核对表。

讨论:

过程中产生的数据有助于过程的持续改进。了解需要收集什么数据和如何收集这些数据,能使质量小组获得极有价值的信息,同时也可以最大程度地利用现有的数据。

课程计划:

30 分钟 Tom Pyzdek 讲课

30 分钟 信息系统部门的报告

第 7 课 统计控制的基础概念

预计开始时间:第 1 天,上午 9 点

预计持续时间:90 分钟

图 2.3 课程计划示例

目标:

- 了解特殊原因引起的变差和一般原因引起的变差之间的区别。
- 了解受控制过程的作用。
- 了解分布的概念。
- 知道如何描绘过程的变差。
- 了解预防问题和管理问题之间的差别。
- 了解为什么满足需求并不足以保持产品的竞争力。
- 了解“需求”的含义。
- 了解管理过程的价值胜于直接管理结果的价值。

关键内容:

- 统计过程控制(SPC)的历史。
- 特殊原因和一般原因。
- 分布,正态分布。
- 中心极限定理。
- 集中趋势的度量,离中趋势的度量。
- 预防和探测策略。
- 过程控制和持续改善/满足需求。
- 田口(Taguchi)损失函数概念是持续改善的基本原理。

讨论:

本课讲述了变差的基本理论,并把这些原理与持续改善的理念联系起来。课堂上用彩色图片展示了几种总体分布的集中趋势、形状和散布。讲完资料上的内容以后,听课者要完成课堂练习和一个小测验。

课程计划:

30分钟 Tom Pyzdek 讲课

10分钟 小测验

50分钟 分组讨论,讨论题:结合从“提高急诊病人教育质量改进控制”表格上得出的结论,讨论变差的基本原理。

[4.2.3(续)]

教练需要拥有足够多的与主题相关的知识来帮助雇员达到目的。拥有与任务有关的专业知识使得教练可以描述和演示他们所期望的行为,观察雇员执行任务中的表现,并给雇员提供反馈意见。正如一个NBA教练必须是篮球专家,商务教练也必须是他们所指导领域内的专家。

教练必须掌握成年人学习和应用的发展。Brookfield(1986)找出了影响成年人学习

的6个因素:

1. 当学习作为自愿自发的活动时,可以学到更多的知识。
2. 在相互尊重的气氛中,可以学到更多的知识。
3. 在充满协作精神的环境,学到的知识最多。
4. 学习过程需要不断实践和自我反省,并保持平衡。
5. 当学习是自我指导时,人们学得最好(自我指导式的学习参见下文)。

教员应对激励理论的实质有所了解,比如马斯洛的需求层次理论,麦格雷戈(McGregor)的管理X理论和Y理论,以及赫兹伯格(Hertzberg)的卫生学理论。

关于指导过程有很多不同的说法,但都有相似的步骤(Finnerty,1996):

- 确定业绩目标。
- 识别成功所需要的资源。
- 观察和分析当前的业绩。
- 制订业绩改进的预期值。
- 制订指导计划。
- 与个人或团队会面,对目标达成一致,证明预期业绩的可实现性,确定界限。
- 对实践和业绩提供反馈。
- 不断跟踪保持对目标的一致性。

需要指导以改进业绩的几种情况

对指导的探讨可能是由管理上的情况引发的,也可能是管理层对于与某一任务和项目有关事件的认识所引发的。管理和组织效率中心在《教练技巧》这本书中提出了需要进行指导的几种情况:

管理上的情况:

- 设定目标。
- 考察业绩。
- 讨论薪水。
- 讨论职业发展计划。
- 讨论工作分配。

项目或任务上的情况:

- 一个特定的项目或委派问题,例如延迟、质量问题、数量问题和未实现承诺。
- 旷工和(或)反应迟缓。
- 不努力、缺乏动力。
- 引起问题的行为,如好斗的行为。
- 培训:机会或委派。

- 有新成员加入小组或团队。
- 雇员间或团队内的矛盾。
- 沟通问题或沟通失败。
- 当上司使你意识到你的某个雇员有问题。

指导的形式

指导有很多种形式。常用的方法就是我们上面描述的,由上级向下级或由主办者向团队提供指导。但还有一些偶尔会用到的形式,它们的使用还有待进一步推广。下面将介绍一些比较常见的可供选择的指导形式(Finnerty,1996):

良师益友——良师益友涉及高层经理和经验较少的雇员之间的关系。良师益友除了提供反馈信息以外,还是一个值得信赖的朋友。他负责给雇员提供除了这种方式之外雇员无法得到的信息和反馈。在前面我们已经提到,教练自己必须是他们所指导领域的专家。良师益友是组织自身的专家,他们用他们对组织成文或不成文规定的深层理解,帮助雇员走出困惑的迷途,而获得成功。关于组织中非正式领导、规范、价值和文化的知识通常只能从良师益友或者从经验中获得。“经验是一所严格而苛刻的学校,学习别无选择。”

同级教练——一般的,垂直结构的组织是良师益友的典型。良师益友或教练在组织层次结构中的位置比雇员要高,拥有指挥雇员的权限。而同级教练则是在属于组织中同一级别的各方之间进行,至少没有哪一方对另一方拥有命令权。无论关于正式培训、政策和规章的手册是如何表达的,实际上多数培训都是由与雇员同级的人来讲述“这里这种方法是这样应用的……”同级教练这种方式有巨大的价值,因为这样雇员就不必担心提问时暴露出自己的无知,也不用担心自己的小问题会打扰上级,不再犹豫向同级寻求帮助。

可以以相互学习为目的把人们聚集到一起开展同级指导。同级教练也存在一些指导技巧,这些技巧可以通过培训进行学习。

经理教练——实质上,一般的组织层次都不鼓励把“坏消息”传到上层。结果是在这个层次结构中地位越高,获得的反馈信息就越少。在征求批评意见时这种情况更加明显,雇员们都明白批评老板是没有什么好处的。虽然匿名的全方位业绩评估可以获得一部分真实的意见,为经理们安排一个教练也是有帮助的。经理的教练通常是从公司外部雇用一位专家来担任。这个专家的任务是训练经理团队而不是训练某一位经理。

自我指导的学习

自我指导学习简记为SDL。它是一种培训设计,受训者自己控制学习的步调来掌握预定的资料,而不需要教员的指导。SDL是可以用来达到培训目标的方法之一。在评价了各种可选方案后,就可以酌情选择培训方案。学习效果可以通过测验、面试、演示或其他方法度量。

SDL 理论强调自我指导团队和学习组织这样的概念,SDL 的基础就是“自我指导”,也就是给受训者自己制订和执行学习计划的自由。大型学习中心的出现使自我指导的重要性日益突出。这些学习中心提供许多种可以满足企业和个人需求的培训项目。引入计算机学习技术以后,这些学习中心使得受训者可以通过计算机进行学习。计算机全屏录像和网络音像讲座等技术上的创新,进一步扩展了 SDL 资料的可获得性。成千上万种主题的内容可以以教学软件和录像带的形式来获得,每天还不断有新的内容补充进去。这些发展都使得 SDL 的重要性和有效性不断提高。

在很多情况下,都可以考虑使用 SDL 方法(Piskurich,1996):

- 培训群体大且要求各不相同。
- 个性化学习的需求。
- 在多个培训地点,同时进行同样的培训。
- 培训一致性的要求很高。
- 人员流动性大,需要持续培训。

并不是所有人都适合采用 SDL 方法,并不是所有人都可以很好地进行自我指导。当前的工作环境、自尊心和其他因素决定了每个人的自控能力不同。很多人只适合于由他人控制的学习方法,他们更适合于在某种教育系统下进行多年的学习。学什么、怎么学、如何提供教学资料以及受训者对材料应该掌握的程度都由教育系统来控制。也就是说,有的人需要使用 SDL 的方法学习,但有的人却不能用这种方法。好在现有的工具可以帮助雇员衡量自我指导式学习的效率,这样的一种工具就是 Gugliamino 自我指导学习适应等级(SDLRS),它考虑了个人内在的自控性、对成就的追求、制订目标的能力和聆听能力,同时还考虑了 SDL 的其他特征,比如,与 SDL 有间接联系的自信心和观察能力等。

增强自我指导学习效率的过程分为三部分:

1. **为要进行 SDL 学习的人员做准备**——准备工作包括提供一个接受 SDL 的组织文化。主管、管理层、培训专业人员都必须了解 SDL 并承认它的作用。对 SDL 的了解可以通过培训或者分发小册子等简单的方法来实现。
2. **开发支持系统**——有相关的顾问人员帮助学员完成从他人指导学习到自我指导学习的转变。
3. **用成功孕育成功**——要尽力保证最初的 SDL 能获得成功,然后才能进入良性循环。从简单的 SDL 任务开始,并对学员提供大力的支持。

SDL 评估

在决定使用 SDL 之前应仔细权衡 SDL 的优缺点。SDL 的优缺点如图 2.4 所示:

项 目	优 点	缺 点
受训者	<ul style="list-style-type: none"> • 准备好了就可以开始 • 自主选择学习材料 • 快速反馈 • 自己控制进度 • 不会发生意想不到的事情 • 提供复习和参考 	<ul style="list-style-type: none"> • 可能不适应 SDL • 没有教员的指导 • 没有团队可以相互沟通 • 设定目标比较困难
培训开发人员	<ul style="list-style-type: none"> • 不用重复讲课 • 更多的时间可用于开发课件 • 花在路途上的时间缩减 	<ul style="list-style-type: none"> • 开发课件困难 • 必须频繁地加以修改 • 需要为受训者提供更多的准备内容 • 有限的可选用媒介 • 必须向他人推销这种理念
公司	<ul style="list-style-type: none"> • 多地点培训 • 培训人员较少 • 路费开支减少 • 会议室开支减少 • 免去受训者的路费开支 • 减少培训引起的停工期 • 易于安排 • 使交叉培训成为可能 • 实时培训 • 培训的一致性提高 • 培训总时间减少 	<ul style="list-style-type: none"> • 启动成本高 • 再现成本高 • 分配成本高 • 修改成本高 • 可能会出现后勤问题

图 2.4 自我指导式学习(SDL)的优缺点

讨论方式

这种学习方式以提问和回答为基础。教员设计一系列与材料有关的问题,然后设法让受训者在课堂上提出这些问题。这种方法使受训者讨论他们日常的工作,然后教员将讨论引导到预先准备好的材料上。

比如教员想给机器操作工讲述有关变差理论的内容,那么讨论可以这样进行:

教员:谈谈你的工作吧,琼。

琼:我负责操作一台铣床,通过它来打平铸件的表面。

教员:所有要打磨的铸件都是一样的吗?

琼:哦,不,根本就没有一样的。

教员：它们有什么不同呢？

琼：唉，这就多了，硬度、厚度都不一样，有时候铸件甚至是弯曲的。

教员：谢谢你，琼。还有谁也发现了原材料间的差异？

当然，所有的人都会回答“是”，于是教员就可以顺理成章地开始讲述变差理论。采用讨论的方式，需要讲述的内容相对较少，然后引导另一段讨论作为下一个讲述内容的铺垫。

讨论方式使课堂比简单的讲座或演讲有趣得多，它把课堂和工作场地联系起来。这种方法必须是非常有经验、知识渊博的教员才能使用，而且要事先准备好能够引起讨论的支持性材料（如例子），还可以应用相应的辅助技术来保证大家的积极参与和讨论不跑题。必须注意：要确保让讨论围绕培训材料而进行，而不是陷入技术上的细节问题。教员应当在讨论结束时，加以总结。

案例教学

许多不同类型的学习素材都可以称为案例（Alden 和 Kirkhorn, 1996）：

1. 详细地描述出某组织面临的困境，要求学生给出相应的解决方案使该组织摆脱困境。
2. 讲述某人或某组织在困境中的应对方案，让学生分析和批评这些方案的合理性，并指出应该怎样做或哪里需要改进。
3. 把学生置于一个受决策影响而不断变化的环境中，让他们为达到预期的满意结果而做出一系列决策。

案例教学的内容各不相同，但结构大体相似。

初始情景——在介绍的部分，概要地描述问题和主要方案。

问题——这一部分明确提出要求学生回答的问题。通常问题有 3 种类型：

1. 概述和理解所学的知识。
2. 分析所处的环境，评价案例中人物采取的措施。
3. 从决策的角度，分析案例中人物应该怎样做。

参考材料——注意案例的背景性材料，比如：相关的政策、程序、投诉、规章、报告等。

案例信息——这一部分详细地介绍案例。

材料展示——这一部分包含了与案例有关的重要信息的真实材料：促销资料、备忘录、信件等。

并不是所有的案例都包含这 5 个部分。

何时使用案例教学

虽然对案例教学有效性的研究很少,而且研究结果也不能清楚地说明问题,但有两点是大家普遍认同的:(1)案例教学是提高解决问题能力的有效方法;(2)当试图增加实际知识时,这种方法不增加价值。一项调查表明,培训管理者使用案例教学主要是因为以下的5个原因:

1. 锻炼处理问题的能力。
2. 模拟现实世界。
3. 锻炼决策能力。
4. 引发讨论。
5. 提高判断能力。

教员的作用

在案例教学中,教员就像是给管弦乐编曲,起着穿针引线的作用。教员设计过程,确保学生获得正确的信息并且明白他们要做什么。教员要通过解释设置这个案例的目的,阐明分析案例要遵循的步骤以及如何评估他们对案例的分析,来引导学生的思路。首先,告诉学生获得案例信息的途径(例如,自学、团队学习、教员讲座等);然后,告诉学生要回答什么问题;最后,教员将主持案例的课堂讨论——提问,控制大局,阐明问题,扩展问题,监控,保护,综合意见,总结——使得课堂讨论对尽可能多的学生来说都是有成效的。

在结束对某案例的讨论之前,形成一些终结性的观点是很重要的。案例教学并不是只允许有一个“正确”的答案(Alden和Kirkhorn,1996,p.508)。然而,教员需要对讨论加以评论,向学生说明案例的要点怎样与课程内容关联,讨论中的哪些内容与课程有关,哪些部分无关紧要。

案例的可获得性

案例可以自行编写,也可以从很多种途径购买得到。许多提供案例的组织还给教员一些相关的指导,比如告诉教员如何选择合适的案例,向教员提供教学笔记等。下面是一些提供案例资源的组织:

哈佛商学院——目录中有3000多个商业案例。1-800-545-7685。

肯尼迪学校——拥有1000个案例。1-617-495-9523。

外交研究学院——拥有200个案例。1-202-687-8971。

Hartwick人文管理学院——领导案例。1-800-94-CASES。

对案例教学的批评

案例教学方法的批判者们认为案例教学建立在错误的假设基础上,从而会导致一系列问题(Kirkpatrick,1992—1993):

- 案例教学方法建立在有具体边界的、反概念经验主义的心理认识论基础上,与现代管理者需要的完全相悖。
- 案例教学导致人们思维受限制,目光短浅,抓不住问题的本质。
- 案例教学方法中的“思考”既不是对事实的识别与综合,也不是对概念的掌握和对原理的应用。案例教学从一开始就没有讲解在解决商业问题时管理者所需要学习的知识,也就是说,没有讲解概念思维的基本工具——一系列绝对的、抽象的原理。
- 商业案例是人为设计的问题,而不是案例的历史。
- 案例几乎总是最近发生的事例,而忽略了几百年商业历史的经验教训。
- 不管案例教学的支持者说得如何天花乱坠,案例并不是对现实世界的模拟。现实世界中的商业决策是由对企业的各项具体细节有着多年经验的管理者做出,他们对企业的熟悉程度帮助他们从纷繁复杂的信息中找到最本质的问题。而分析案例的学生却必须在很短的时间内掌握这些数量巨大的细节信息,信息严重过剩,并且要在案例课结束之前给出分析结果和建议,所以这种号称是模拟了现实的方法,实际上是让学生做出仓促的决策,是不可取的。

工科和管理科学(例如会计、广告)之间是没有本质区别的,都是应用学科。但是工科大学不使用案例教学。让我们想象一下,一个关于架设高速公路的案例,公路架设到了河岸边,案例中工程师的任务就是铺设一座横跨河岸的桥梁,需要制订出相应的方案来完成这一任务。不给学生提供课本,也不给学生讲课,也就是说学生没有受到权威而有效的教育,只能空口无凭地进行看似平等而民主的关于桥梁设计和材料使用的讨论。这种讨论无法得出正确答案,因为很多种方案都可以解决同样的问题,而教授则自夸学生们的方案不比他的方案差。假设通过这种广泛交流的讨论获得了关于架设桥梁的思路,新一代的土木工程师也由此而产生了。你愿意第一个驱车通过这样建造出的桥梁吗?

业务手册

业务手册给学生提供了一系列的讨论问题和作业,可用来作为课堂讲座或自学的辅助材料。它有两个目的:(1)学习工具;(2)验证对知识的掌握情况。

业务手册一般是充当专为教科书准备的补充材料。质量管理的许多领域都有教科书,它们因专家编写而具有优势,并为复习服务。编写教科书的时间投入是巨大的,许多教科书需要大量的编写时间。另外,还需支付上万美元的排版、印刷和库存费用,因而很

多组织都没有足够的资源来编写自己的教科书。然而,为了补偿成本取得利润,出版社需要确保图书有大量的读者,所以,教科书通常都具有通用性。这就使得教科书很难满足有特殊培训需要的受训者的要求。业务手册正好弥补了这个空缺。

业务手册经常都是围绕着通用教科书而设计的,包含了受训者把教科书中的内容应用于实际工作时可能遇到的具体问题。理想情况下,业务手册不仅是针对单个组织而设计的,也是针对单个受训者设计的。业务手册帮助学习者把课堂中学到的知识应用于实际。教员可以通过与受训者复习业务手册来发现错误,并帮助受训者加深对所学知识的理解。

在职培训

培训中的绝大多数都采用在职培训这种方式,即让受训者和有经验的雇员在实际工作场所一起工作。有经验的雇员可以是主管、同级的雇员或者班长,受训者从他们那里学习实际工作的经验和知识。受训者通常是刚被雇用、从别处调来或者新提升到该位置,他们缺乏现有工作岗位所需要的经验和技能。有经验的雇员通常通过当场演示和讨论的方法传授知识和技能,并给学习者提供练习和提问的机会。在职培训有3种常用方法,如下所述(Nolan,1996):

1. **结构化的在职培训**——结构化在职培训让受训者通过工作岗位上一系列预先设计好的结构化活动获得所需要的知识和技能。所有的活动都在在职培训教员的严密观察和控制下完成。

结构化过程建立在对工作和受训者透彻分析的基础上,在职培训教员向受训者系统地介绍他们所需要的知识,使其在学习后的工作表现符合标准。

2. **非结构化在职培训**——非结构化在职培训通常意味着“下沉”或“游泳”,非结构化在职培训的许多活动以一种随机的方式发生,而不是预先设计好的。通常的方法是让受训者花几天的时间与一位有经验的雇员呆在一起,观察他在工作中做了什么,是怎么做的。这种“站着看”的方法使受训者通过反复尝试而获得的知识和技能,与由一位有经验的雇员指导获得的知识和技能一样多。受训者通常要阅读大量有关政策、规程的文件以及其他的各种分类文件,如果未能合理地安排文件阅读,那么只会引起混乱而不是对受训者有所帮助。

由于培训占用了有经验雇员的正常工作时间,影响了雇员的工作和业绩,所以,受训者会无意之中打搅着有经验雇员,妨碍了雇员的工作。非结构化方式的主要缺点是不能够提前确定目标、期望和收益,因而,培训结果无法预测。

3. **工作指导培训**——这种方法最开始是第二次世界大战期间为培训产业工人诞生的,有着机械化的步骤,教员按预先制定好的程序有条理地向受训者讲述学习资料。这种方法在培训与汽车有关的技能时经常使用。由于也是一种系统过程,所以,在现代的结构

化在职培训方法中常常能见到其痕迹。

设计结构化在职培训项目

结构化在职培训已被证明是一种培训雇员工作所需技能的效果好且效率高的方法。设计结构化在职培训项目的过程有以下步骤：

1. 需求分析——上文已经做过描述。

2. 岗位分析——岗位分析是岗位设计和选取雇员过程的一部分。在选择雇员的过程中，雇员的知识、技能和能力应满足岗位需求。设计结构化在职培训项目时，为了制定准确合理的结构化在职培训目标和选用合适的培训资料，必须仔细地考虑受训者本身的特点，比如适合于新雇员的方法对调来的雇员可能并不适用。因此，要通过让受训者填写雇员情况调查表为项目设计者提供足够的信息，帮助他们设计出适合雇员需求的项目。

3. 课程设计——这一步将制订课程培训计划，用作指导培训辅助资料使用的蓝图。课程培训计划有如下内容：

- 目的陈述。
- 应用和反馈方法。
- 业绩目标。
- 课程计划。
- 准则测试。
- 培训日程。
- 授课。

4. 资料准备。

5. 确认——结构化在职培训项目的培训材料准备好以后，必须对培训材料进行检查，以确保它们能达到要求，帮助受训雇员完成他们的工作。这就涉及在所选人群中进行试验，不断改进培训资料。最终的确认只能通过与实际受训者一起对项目有效性进行控制来完成。

6. 授课——有效的培训过程包括由授课、应用和反馈(PAF)组成的系统学习过程(Nolan, 1996, p. 746)。在正式开始讲授之前，结构化在职培训教员需要回顾一下结构化的过程和方法，整理必需的材料和工具，并制定出培训的日程安排。

授课——在职培训的教员

- 陈述目标。
- 布置任务(讲述和展示)。
- 激励受训者。
- 测试理解程度。
- 概述关键步骤。

应用——受训者将新知识和技术应用于实际

- 在指导下实习。
- 没有指导但有监督的实习。

反馈——结构化在职培训教员观察受训者，并与之沟通

- 哪些地方做得好。
- 哪些地方有待改进。

- 怎样改进。

7. 结构化在职培训项目的最后一步是**评估**。评估办法和前文所述的常见评估培训的过程是一样的,有5个层次:反应、学习、行为、结果和投资回报。

教学中的游戏、模拟和角色扮演

这些技术基于两个假设前提:(1)主动实践式学习比被动聆听式学习的效果好;(2)通过相互沟通、相互交流来学习比独自学习的效果好。

教学游戏 它是为了达到特定的学习效果而专门设计的游戏。这些游戏有以下5个特点(Thiagarajan,1996):

1. **冲突**——游戏设定了一个实现起来有困难的目标,参加者之间可能需要竞争或者合作才能达到目标。

2. **控制**——有具体的游戏规则。

3. **结局**——游戏有结束条件,例如时间上的限制,一系列任务的完成,战胜对手等。大多数有效的带有指导性的游戏都设置有多种结束条件,并允许多个参与者或团队在不同方面取得成功。

4. **构造**——游戏包含了一些不可预测因素,如机会和运气,以保证游戏有趣味而不过分严肃。

5. **能力基础**——设计游戏的目的是帮助参与者提高在特定领域的能力。学习目的包括从对所学知识的复习到复杂问题的解决,还涉及到动机、信息、概念、人际关系和情感等领域的问题的处理。

模拟游戏 模拟游戏除了包含教学游戏的5个特点外,游戏的某些部分是对现实的模拟。质量领域中用过的模拟游戏有:

- Senge在《第五项修炼》(the Fifth Discipline)中提出的啤酒游戏(1990, pp. 26~53),它倡导系统思维方式。
- 戴明的漏斗试验。Boardman(1990)详细阐明了进行漏斗试验的方法,这一试验描述了统计思维和决策方式。
- 掷纸牌商店。掷纸牌商店是由顾客、总裁、经理、检查员、返工者、几个流水线操作工和一名会计组成的一个小企业。企业中只有一个过程:把纸牌扔到地面的目标上。若所有纸牌都掷在了目标上,顾客的满意度最大;假如纸牌偏离目标的总偏差“不太坏”,顾客仍将接受商品。顾客要求:每张纸牌必须是从中心握住,各自独立地掷出。和漏斗试验一样,掷纸牌商店描述的也是稳态过程扰动的影响。使用简单的工具和材料就可以做到(Alloway,1994)。
- 几何维度和容差模拟(Wearing和Karl,1995)。
- Simon和Bruce(1992)对质量模拟的补充应用。

除了模拟游戏以外,其他的模拟工具如五点梅花和取样豆盒等都是质量培训中常用的工具。简单的模拟在抽象概念与具体事物之间建立了联系,使得对抽象概念的理解更加容易。

角色扮演 在角色扮演中,参与者自发地扮演某一特定情节中的角色。角色扮演按不同的分类方法有很多种形式,例如从以下几个方面来分类:

- **媒体**——角色扮演的特定情节取自印刷品、录音带或者录像带等。
- **角色**——角色是通过岗位职能、不同的个性、态度来区分的。有些角色扮演需要人们在不同的环境下扮演自己的角色(例如沙漠生存训练)。
- **反应**——大多数角色扮演涉及角色之间面对面的沟通,但也需要书面或电话沟通。
- **使用方式**——把组分得更小一点,或者两人一组,或者把一组看作其他组的参与者。角色的扮演者可以随着情节的发展而替换,教练可以协助角色扮演者。
- **扮演者人数**——大多数角色扮演包括两个角色,但对参加扮演的人数没有固定的限制。
- **重复**——有的角色扮演可以通过重复来增加有效性。在讲述了一些新内容或对游戏做了一些修改以后,都可以重复进行游戏。

角色扮演的一个成功案例是戴明的“红豆试验”(Deming, 1986, p. 346),这个实验的目的是讲述统计思维和简单统计工具的应用。

函授方式

通过函授进行教学的方式存在已久,这也是一种自我指导的学习方法。通常是学生把完成的作业邮寄给老师,老师改完后把有评语和建议的作业还给学生。

计算机网络的应用大大促进了这种方式的应用,现在可以通过计算机完成大学学位的大部分课程,获得从大专到博士等各种级别的学位。学生和老师通过计算机网络进行沟通,作业发布到网上,学生把作业下载下来,完成后再把自己的答案放在网上。通过计算机进行沟通,保留了邮件通信的优点,例如学生和老师都可以自由地安排时间,同时具有比邮件通信速度快得多的好处。

在线函授方式不仅局限于正式的结构化课程,还有许多种学习方式都可以在网上进行,例如在线会议、因特网新闻组、聊天室等。《质量文摘》等杂志为质量工作者们刊登出了在线资源列表。万维网上大部分质量站点都有与其他和质量有关站点的链接,使得网上的质量资源以更简单的方式联系在一起。

2.5.2 培训技术的使用

大多数培训使用的都还是传统的技术:教员站在一群学生的前面,用讲座和演讲的方式把知识传授给学生,学生则使用笔、纸和课本。最先进的技术通常是使用投影仪。

一切都在快速改变。计算机技术的快速发展和低成本台式计算机的迅速普及带来了一场学习的革命,并且很有可能改变人们未来的学习方式。交互式多媒体培训项目将声像(AV)媒介和基于计算机的培训(CBT)有机结合起来,通过对文本、图像、动画、声音和录像的整合使每一部分内容都用最适合的媒介表达出来。由于这些项目都是基于计算机的,使用者可以从自己的需求出发,按最适合自己的顺序和方式进行学习和沟通。而且因为传输系统主要是为个人计算机设计的,学习者可以很方便地参与这些交互式的多媒体培训项目。这些项目的主要功能有(Howell 和 Silvey,1996):

1. 满足学习者的个性化需求,包容不同学术背景的用户。
2. 让学习者以最适合自己的进度进行学习。
3. 为不同的主题提供最好的讲座。
4. 与传统教学中师生的比率相反,使得多个老师或专家面对一名学生。
5. 提倡创造性的学习方式,不断提供激发学习的内容,而不是为了考试而学习。
6. 鼓励学生深入探讨问题而不是简单地追求一个正确答案。
7. 允许处于不同层次水平的学习者把自己的经验和创造能力融入学习过程。
8. 通过微机和工作站创造一个“虚拟课堂”的环境。
9. 允许两三人组成小组,以团队的力量解决问题。
10. 有课内电子学业辅助系统,提供完成复杂案例分析所需要的信息、指导和工具。

有些交互式多媒体培训项目与雇员使用的计算机系统连在一起,可以随时提供工作中需要的小型培训。事实上,这些系统的培训功能如此完美地被整合在一起,有时候甚至很难把项目运作功能和培训功能区分开来。

多媒体培训项目的设计

多媒体培训项目比传统的项目更容易失败。为设计出有效的多媒体培训系统,应该遵循以下五个基本方针(Howell 和 Silvey,1996):

1. **确定培训目标**——交互式多媒体培训项目的培训目标一般为:
 - **传授知识**——受训者学习知识并了解如何运用学到的知识,例如怎样绘制一张 \bar{x} 控制图,并加以解释。
 - **掌握技能**——通过循序渐进的学习和实践掌握技能。模拟是实现这个目标的一个工具。
 - **支持业绩**——学习者不用离开工作岗位,就可以学到解决特定问题所需要的技能

或知识。

- **目标汇总**——要求学生利用某些素材完成一些复杂的活动,比如,要求学生以部门经理的身份使用质量工具来减少过程中的变差。教员为学生提供完成这些任务所需的相关知识,比如一堂关于链图的课。

2. **了解你的顾客**——除了培训需求评估,还要考虑顾客是否愿意接受新的学习方法。

3. **决定受训者的最佳背景**——什么样背景的受训者最适合此项目?每堂课都使用各种媒体是不必要的。

4. **调节内容设计的稳定性**——培训项目的设计周期要与内容的稳定性相匹配。若设计所需的时间太长,设计内容可能在项目设计完成之前就过时了。

5. **使用团队方式**——团队由对培训内容、培训设计、图表设计和编程都很精通的专家以及受训者组成,培训设计应包含培训计划和培训日程安排。

其他的培训技术

除了多媒体培训外,还有很多可供选择的培训技术:

- 卫星广播。
- 录像带。
- 电缆广播。
- 幻灯片放映辅助的演讲。
- 电视会议和虚拟教室。
- 录音带。

第3章

六西格玛的原理

3.1 顾客驱动型组织的组成元素

顾客在组织层级结构中的最佳位置如图 3.1 所示。

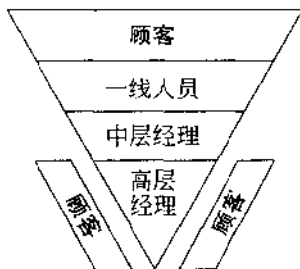


图 3.1 公司“理想”的组织结构图

资料来源：Marketing Management: Analysis, Planning, Implementation, and Control, Figure 1-7, p. 21, by Philip Kotler, Copyright © 1991 by Prentice-Hall, Inc.

需要注意的是，这里的结构与传统观念上的组织结构恰恰相反。组织结构上的这种剧烈变化可能带来的困难是不容低估的，甚至在质量团体内部都存在分歧。例如，在美国马尔克姆·波多里奇国家质量奖以前的评奖标准中，顾客满意占了总分值的 30%，这个比例在所有的评奖标准中是最高的。但是，近几年来这个比例被下调至 25%，与企业运营结果的比例相同。似乎顾客至上、顾客地位高于组织的观点正受到威胁。

组织中质量行为的重要性随着顾客重要性的演化而逐步演化。图 3.2 描述了从 20 世纪 70 年代中期开始的质量功能的演化过程。

传统意义上的市场营销是与赢得新顾客和保住老顾客直接相关的各种行为，所以质量功能与营销功能有重叠之处，两者互相补充。最近研究提供的论据表明，质量是努力获得新顾客和维持老顾客的主要驱动力。所以，图 3.2 所示的演化过程不仅适用于质量功

能,也适用于营销功能。事实上,许多被称之为“全面质量管理”的概念,只不过代表了质量工作者发现的一些原则,而市场营销人员很久以前就知道这些原则了。全面质量管理的新颖之处在于把质量原则和市场营销原则融合在一起。它代表了组织把因(质量的过程管理)和果(产品质量,顾客满意)相结合的观点。

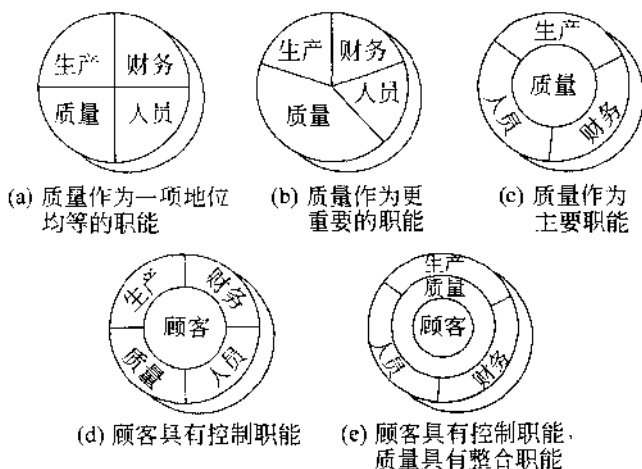


图 3.2 公司中质量作用的演化

资料来源: *Marketing Management: Analysis, Planning, Implementation, and Control*,
Figure 1-8, p. 24, by Philip Kotler, Copyright © 1991 by Prentice-Hall, Inc.

3.1.1 向顾客驱动型和市场驱动型的企业转变

Edosomwan(1993)定义了顾客驱动型和市场驱动型的企业:能提供高质量和有竞争力的产品和服务,以满足明确的市场顾客群的需求。它与传统企业的对照如表 3.1 所示。

表 3.1 传统组织和顾客驱动型组织的对比

项 目	传统组织	顾客驱动型组织
产品和服务计划	关注短期目标 反应型管理 目标计划过程型管理	关注长期目标 预防型管理 顾客驱动型战略
对业绩的度量	底线财务结果 快速投资回报	顾客满意 市场份额 长期赢利 质量定位 总生产率



续表

项 目	传统组织	顾客驱动型组织
对顾客的态度	顾客是无理性的,很麻烦 顾客是赢利的瓶颈 对顾客既不友好也不关心 对顾客采取“要么就买,要么就走开”的态度	顾客的声音很重要 要认真对待并关注顾客 礼貌谦逊地回答顾客 关心和尊重顾客
产品和服务的质量	按组织的需求提供质量	按顾客的要求与需要提供
营销重点	卖方市场 不关心因顾客满意度低而导致的顾客流失	市场份额不断增加和取得财务增长
过程管理方法	着重于错误与缺陷的发现	着重于错误与缺陷的预防
提供产品和服务的态度	顾客等待产品和服务是正常的	提供快速响应市场的产品与服务
人员的定位	人员是问题的根源,是组织的负担	人员是组织最宝贵的资源
制定决策的基础	产品驱动 由观念来管理	顾客驱动 由数据来管理
改进战略	危机管理 由恐惧和胁迫所促使的管理	持续过程改进 全过程管理
运作模式	事业驱动,独立工作 顾客、供应商和过程主管之间没有共同点	管理支持的改进 供应商、过程主管和顾客组成团队

资料来源: *Customer and Market Driven Quality Management*, Table 1.1 by Johnson A. Edosomwan, Copyright © 1993 by ASQ.

很多组织都经历了从传统型向顾客驱动型的转变过程,因此我们可以从这些实例中找出标志成功之路的一系列具体里程碑式的重要事件。一般来说,这一历程始于对组织中存在的危机或者面临的危机的认识,危机迫使组织的领导正视现实、改变现状。

当过去常用的方法变得不再可行的时候,组织的领导者会变得很困惑。这时,他们应该考虑一些非常基本的问题:

- 组织的目标是什么?
- 我们的价值观是什么?
- 拥有这些价值观的组织应该是什么样的?

价值观是人们用行动来获得和保持的,它预示着一个实体在面对选择的时候,有能力采取行动来达到目标。价值观并不只是好听的陈词滥调,它们象征着目标。对组织价值

观的追求意味着建立一个体现着这些价值观的组织。领导者的愿景就是创建一个能够体现其价值观的组织。

清晰地勾画出组织的愿景之后,下一步就是制定构造新组织的战略(见第1章),实施战略计划的过程是组织的转型期。

3.1.2 转型组织的组成元素

顾客驱动型组织有以下这些共同特征:

- **扁平化的层级结构**——组织结构层次的减少,使组织中的每个人都更加接近顾客。它体现了图3.1所示的与传统组织结构“颠倒”的组织结构理念,第一位的是顾客,而不是老板,每个人都要为顾客服务。
- **对风险的承担**——顾客的需求变得越来越不可预测,而响应顾客需求就要求组织快速变化,这涉及到不确定性和风险。顾客驱动型组织从多个方面来鼓励对风险的承担。一个很典型的例子就是,这种组织表扬那些在从事风险性行动中受挫的员工。在这样的组织,那些冗长的官僚化程序被大大缩减甚至取消,鼓励雇员按自己的判断来工作,而不是依靠正式的核准机制。
- **交流**——在组织的转变过程中,领导集团的主要任务就是把他们对组织的构想清晰地传达给组织中的其他人。一种方式是通过“内部营销”,即利用市场营销的原理把消息传递给“目标市场”:雇员。在这一过程中,至关重要的是领导者的言行一致。同时外部顾问的协助有助于发现组织中隐藏的矛盾。

领导者应当意识到他们的行为有着巨大的象征意义,一个与所宣传的构想不一致的行为就足以摧毁雇员中已经建立起来的对转型的所有信任,这是导致员工信任危机的根源。另一方面,一个清晰地显示领导遵照对构想的承诺的行为,有助于在雇员中传播这样的信息:“这一次领导是认真的。”领导应捕捉那些能反应新组织的本质、有代表意义的事例,并经常性地反复向雇员宣传这些事例。例如,诺德斯顿(Nordstrom)的雇员都知道一名销售职员接受了顾客退回的有毛病轮胎的故事(而诺德斯顿根本就不销售轮胎!)。这个故事就形象地说明了诺德斯顿“规则手册”的本质:

规则1——利用你自己的判断;

规则2——除此之外,再没有任何别的规则。

在转型过程中,领导者至少应该把50%的时间用于沟通。

- **董事会**——新战略获得董事会的热情支持是至关重要的。在没有得到董事会的支持以前,管理层不可能集中精力着手组织的转型工作。因此,管理者要先做董事会的工作,以征得他们的正式批准。但是需要注意的是,董事会负责统辖而不是具体的管理,因此,不要拿具体的战术问题来困扰董事会,这样做反而会抑制了组织的创造力,减缓组织的发展。

- **工会**——在转型过程中,组织中每个人的职责都发生了改变。如果组织的雇员们组成了工会,那么,要使工会成为管理层的合作伙伴协助雇员完成职责的转变。在扁平化组织的工会中,雇员拥有更大的自主权。工会代表应参与转型的全过程,包括编制计划和战略设计。工会的介入确保了在集体协商期间,工会不会采取有损于公司竞争力或破坏战略计划的行为。工会同时也负责监督公司的行为是否符合契约和劳动法。
- **度量结果**——对一些必要的要素进行度量是很重要的。这里“必要的要素”指的是那些能够判断组织是否实现了对顾客、投资商、雇员和其他利益方承诺的度量。度量什么是需要精心挑选的,因为度量结果不仅仅用于判断,还要从中获取如何改进的信息。最后需要注意的是,度量必须以正确的方式进行。度量要不仅能反映结果,还能反映过程。度量数据必须能快速地呈递到需要它们的人员手中,并且应容易理解。
- **对雇员的奖赏**——对用奖励来取代惩罚的情况,应提高警惕。仅仅因为雇员较好地完成了他们的本职工作就采用物质奖励的方法是不可取的,因为这意味着如果没有奖励雇员们就不会干活了,这是一种天性。最终的结果将会毁掉真正想要鼓励的行为(Kohn,1993)。这里的教训是,不能把奖励当成控制机制。雇员都是成年人,应该用对待成年人的方式对待他们,应该为他们的工作提供足够并且公平的报酬。值得额外奖励的业绩和努力应该以鼓励合作和团队精神的方式进行认可,譬如给予公开表扬。领导者必须保证公平性,譬如,不能一边给管理层发奖金,一边削减工人的工资。

3.2 六西格玛与三西格玛

传统的过程能力质量模型与六西格玛在以下两个方面有着本质的不同:

1. 传统模型只用于制造过程,而六西格玛适用于所有重要的商业过程;
2. 传统模型对过程的要求是,过程标准差只是整个容许偏差的 $1/6$,而六西格玛要求过程标准差是整个容许偏差的 $1/12$ 。

这些区别的内涵远比一般人能想到的要深入得多。六西格玛在商业过程中的应用,不仅使人们采用了一种新的观念——把制造作为大系统中的一个组成部分来看待,还摒弃了传统方法中狭隘、不开放的缺点。顾客关心的不仅仅是一个产品制造得如何。价格、服务、付款期限、风格、实用性、更新和改进的速度、技术支持等一系列因素都是非常重要的。六西格玛不仅使顾客受益,随着运作过程的单位成本效益的提高和产品设计周期的缩短,公司的所有者和投资人都能受益。随着雇员生产率的提高,他们的工资也会提高。六西格玛涉及范围极广,组织的所有利益方都能从中受益。

上述区别中的第二点也有着深刻的含义。六西格玛从本质上说,是一个过程质量目标,其中西格玛(σ)是过程变异在统计上的度量(见第7章)。同样它也属于有关过程能力的技术范畴。传统的质量模型认为:如果过程的分布中心加减三个西格玛后仍在工程容差范围内,那么,过程是有能力的。在正态分布的假设前提下,这种三西格玛质量水平意味着过程合格率为99.73%。后来进一步严格对过程中心和波动的要求,缩小最小可接受的条件为:过程均值距离最近的工程要求至少四西格玛。六西格玛要求过程均值距离最近的工程要求至少六西格玛。

六西格玛同样适用于离散数据的处理,例如计算出错的个数,这要把六西格玛的要求转化为对应的合格水平,如图3.3所示。

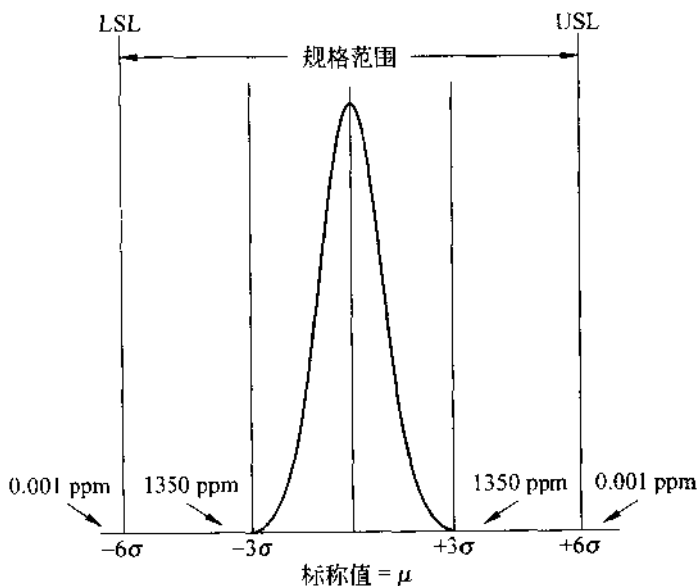


图 3.3 西格玛水平和对应的合格率

摩托罗拉对质量探讨的最显著贡献之一是把质量水平的度量从“百分之几”精确到“100 万分之几”甚至“10 亿分之几”。摩托罗拉明确指出,现代技术的复杂程度使得过去的关于“可接受质量水平”的观念已经不再适用。现代商业要求近乎完美的质量水平。

关于六西格玛的“官方”文献中有一个让人疑惑不解的地方,那就是它声称六西格玛质量水平的运作过程产生 100 万分之 3.4 的不合格率,记为 3.4ppm。可是,如果查阅正态分布表就会发现,所期望的不合格率应为 0.002ppm(2ppb,即 10 亿分之 2)。这两者间的差距是因为摩托罗拉假定过程均值可以有正负 1.5 西格玛的偏移。正态分布落在离均值 4.5 西格玛外的概率正好是 3.4ppm。由于控制图可以很容易从单个样本中检测到这

个幅度的过程偏移,所以 3.4ppm 代表了不合格率保守估计的上限。参见附录中的表 18。

与六西格玛质量相比,传统三西格玛质量标准的 99.73%,即使没有任何偏移的情况下,也意味着 2700ppm 的不合格率。如果生产过程由一系列步骤组成,那么这个过程总合格率是每一步骤的合格率的乘积。例如,一个简单的由 2 个步骤组成的过程,步骤一的合格率为 80%,步骤二的合格率为 90%,那么总的合格率就是 $0.8 \times 0.9 = 0.72 = 72\%$ 。需要注意的是,由一系列步骤组成的过程的总合格率会小于步骤合格率中的最小值。在一个由 10 个步骤组成的过程中,如果每个步骤都达到了三西格玛质量水平,即 99.73% 的合格率,过程结束的质量水平却是惊人的:100 万个产品中将有 26 674 个不合格品!现代生产过程的复杂性决定了生产过程远远不止 10 个步骤,因此采用六西格玛已经是刻不容缓的,组织要生存,就需要六西格玛。

并不只是多步骤的制造过程才需要这种极高的质量要求。对下面这些过程而言,三西格玛质量带来的后果也是令人咋舌的:

- 事实上,现代的计算机中没有一台能正常运行。
- 每年将有 10 800 000 起有关医疗健康的索赔被错误处理。
- 每月有 18 900 美元的储蓄债券丢失。
- 一家大银行每天夜里会丢失 54 000 张支票。
- 中等规模的通信公司每月将送错 4 050 张发票。
- 地区性通信公司每天将记错 540 000 个通话记录。
- 每年全美会有 270 000 000 起(2 700 万美元)信用卡交易出错。

从这些数字可以看出,现代社会迫切地需要极高质量水平、极少错误的产品和服务。六西格玛就是这样应运而生。

3.3 卡诺的顾客期望模型

3.3.1 顾客期望、优先权、需求和“顾客的声音”

虽然顾客很少能给创新带来灵感(例如,他们很少关心最先进的技术水平),他们的信息却是不可忽视的。如何从顾客那儿获得有效的信息本身就是一门科学。市场研究机构用各种科学方法来辨识“顾客的声音”,比如临界事件分析、重点小组、内容分析和调查。卡诺(Kano)提出了顾客满意与质量的关系模型,如图 3.4 所示。

卡诺模型指出,顾客对商品有一个基本的质量要求,比如所有的汽车都要有窗户和轮胎。如果询问顾客对商品的要求,他们甚至都不会提到这些基本质量要求,因为他们认为商品具备基本质量是理所当然的。如果这些基本的要求都没有满足,顾客将会很不满意;需要注意的是,整个“基本质量”曲线都位于图的下半部分,代表顾客不满意。所以仅仅提

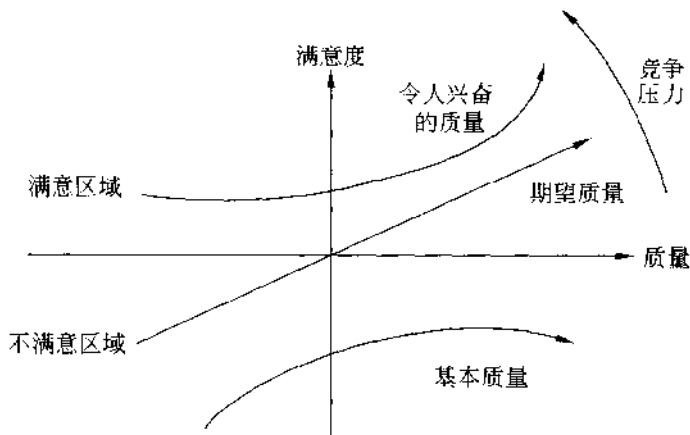


图 3.4 卡诺模型

供基本质量并不能使顾客满意。

“期望质量”曲线代表着顾客明确考虑的那些期望，比如在收款台的排队等待时间。卡诺模型显示，如果顾客的质量期望没有被满足，那么，顾客是不满意的；顾客满意度随着期望被满足的程度而相应变化，期望被满足的越多，顾客的满意度越高。

“令人兴奋的质量”曲线完全位于顾客的满意区域，这体现了创新的影响。令人兴奋的质量代表着超越期望的质量水平，顾客接受到比期望质量更高的产品和服务。例如，凯迪拉克轿车率先采用了一种系统，使得汽车前灯亮的时间增长，足以使车主安全地走到门前。

竞争的压力将不断地提高顾客的期望。今天令人兴奋的质量就是明天的基本质量。企业如果想领导市场就必须不断地创新。相反，那些以提供标准质量为目标的企业，则要不断地研究顾客的期望，用以确定当前顾客可接受的质量水平。跟随竞争者的脚步是不够的，因为顾客期望也受外部因素的影响。比如，制造业的质量改革就提高了顾客对服务质量的期望。

包括本书作者在内一些人士都认为采用六西格玛还不够。事实上，即使“零缺陷”都不够。仅从没有不合格产品的角度来定义质量，本身就反映了对质量认识的局限。摩托罗拉从来没有仅仅从很少出现缺陷的角度来看待质量，然而，确实有些人从较狭隘的角度看待六西格玛项目，这种理解显然不对。

3.3.2 六西格玛只解决了卡诺顾客满意模型的部分问题

六西格玛存在的一个问题是，它只解决了卡诺模型的一部分。六西格玛着重于顾客的期望以及防止不合格品与缺陷的产生，因此它只解决卡诺模型中“期望质量”曲线及其

下部区域这一部分。虽然改进企业业绩的这些方面没有错误,但它们并不足以使组织长期生存和发展。长期成功需要组织创新,创新是创造性活动的结果,而不是分析的结果。创造性不是通过数量的变化就能产生的。实际上,如果处理不当,像六西格玛这种对过程严格控制的方式很可能对创造性活动产生负面影响。正如前面所说的,有创造性的组织应是能够展示可变性、冗余和创意设计的组织。而组织深刻认识六西格玛管理的优缺点是至关重要的。

3.3.3 质量机能展开把顾客需求和内部规范联系起来

获得顾客期望的信息以后,就可以运用质量机能展开(QFD)等技术把顾客需求和组织内部过程联系起来。

战术质量策划要制定实施战略质量计划的途径,最有希望的就是同时有配套的政策。Sheridan(1993)认为政策配套是全方位地为组织制定持续质量改进计划的方法,是一个以度量为基础的系统。政策配套最早由日本人提出,由于它清晰地定义了企业发展的长期方向而不仅仅局限于短期,因而美国公司纷纷采用。

QFD是规划产品和服务的顾客驱动过程,它始于顾客的声音,而顾客的声音是确定顾客要求的基础。QFD矩阵,有时也被称为“质量屋”,是规划过程结果的图形显示。QFD矩阵有很多种形式,它可以显示出竞争目标、过程优先级等很多信息。QFD矩阵由跨部门的团队来构建,这样就克服了按职能构成的系统中存在的一些障碍。

QFD是一个基于顾客需求的产品和服务的设计系统,它把顾客的需求一步步循序渐进地转变为产品和服务的规范。QFD使全公司上下都参与设计和控制活动。QFD还为决策过程提供必要的文档。QFD有以下4个清晰的阶段(King,1987):

组织阶段——管理者选出有待改进的产品和服务,组建合适的跨部门团队,确定QFD研究的重点。

描述阶段——团队从各个不同的角度来定义产品和服务,比如顾客需求、功能、组成、可靠性、成本等。

突破阶段——团队选出有待改进的领域,通过新技术、新概念、高可靠性、低成本等各个角度来寻找改进途径,并加强对瓶颈环节的监督和控制。

实施阶段——团队给出新产品的定义以及新产品的制造方法。

QFD的施行是通过设计一系列矩阵来实现的。在它最简单的形式中,QFD涉及到一个矩阵,其矩阵的行代表顾客需求,列代表产品或服务的特征,行列交叉处的单元显示了顾客的某一要求和对产品或服务的要求二者之间的关联度。这个矩阵通常被称为“需求矩阵”。如果在需求矩阵上增添列与列之间的关联度,其结果被称为“质量屋”。图3.5给出了一个常见“质量屋”的布局。

质量屋用很简单的图形形式,描述出顾客需求、产品特征和竞争力分析之间的关系。

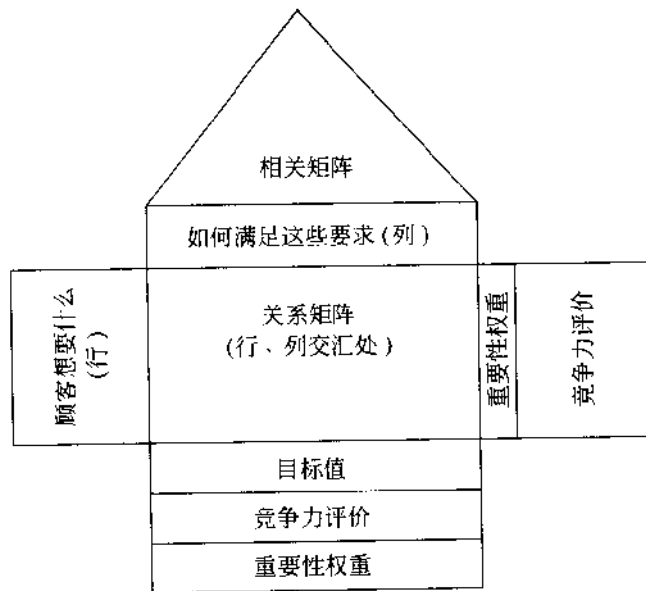


图 3.5 质量屋

仔细绘制矩阵是非常重要的,因为它是整个 QFD 过程的基础。通过应用 QFD 方法,顾

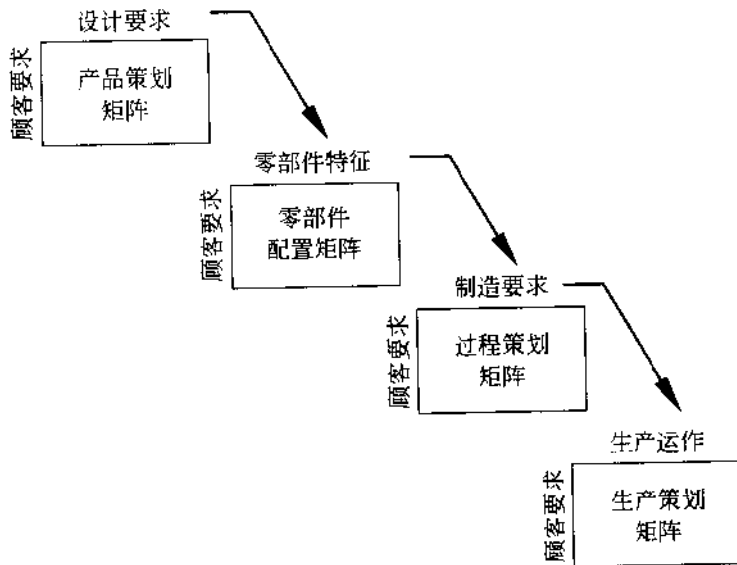


图 3.6 QFD: Macabe 方法

客的需求转变为最终过程和产品的要求。

QFD的另一种形式是通过设计4个相互关联的矩阵来完成(King, 1987),这4个矩阵分别是:产品策划矩阵,零部件配置矩阵,过程策划矩阵和生产策划矩阵。每一矩阵都与前一矩阵相互关联,如图3.6所示,这种方法称为Macabe方法。

图3.7是QFD矩阵的一个实例。

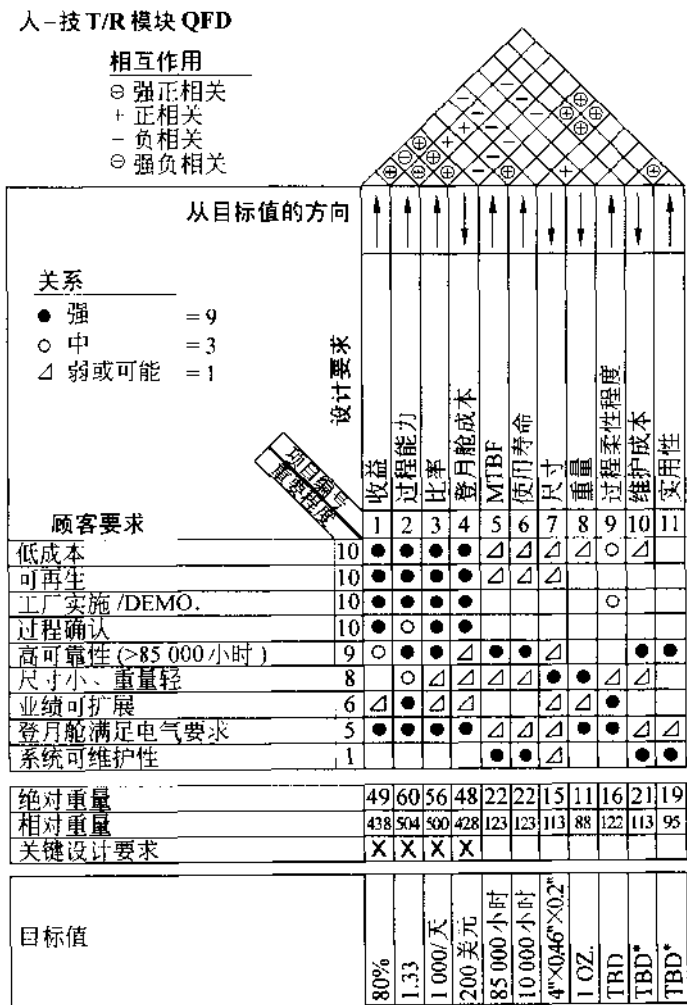


图 3.7 航空公司的 QFD 矩阵

资料来源: Wahl, P. R. and Bersbach, P. L. (1991), "TQM Applied-Cradle to Grave," ASQ 45th Quality Congress Transactions.

3.3.4 数据收集以及对顾客期望、需求和规范的审核

Yoji Akao 提出了 QFD 的另一种形式。Akao(1990, pp. 7~8)把利用 QFD 制定质量计划、进行质量设计的过程分为以下 11 个步骤:

1. 首先,在目标市场中调查顾客的质量需求,包括明显的和隐含的需求。然后,决定生产什么样的产品。
2. 研究目标市场的其他重要特征,制定出反映市场需求和特征的所需质量机能展开图。
3. 分析市场上的竞争产品,即进行竞争力分析。制定质量计划,决定商品的销售特征(即卖点)。
4. 确定各项质量需求的重要程度。
5. 列出质量要素,绘制质量要素展开图。
6. 结合所需质量展开图和质量要素展开图,绘制质量图。
7. 分析竞争产品,研究竞争者对每个质量要素的重视程度和表现。
8. 分析顾客抱怨。
9. 从顾客质量需求和抱怨中,确定最重要的质量要素。
10. 通过研究质量特征,并把它们转化成质量要素,来确定具体的设计质量。
11. 确定质量保证方法和测试方法。

第4章

六西格玛的组织业绩目标和度量

4.1 度量尺度应具有的特征

选择度量的对象对组织的成功至关重要。度量选择不当会导致不太理想的行为,并导致组织成员偏离组织的目标。Joiner(1994)提出了3种全系统业绩度量的尺度:全面的顾客满意度,总生命周期和首批通过的质量。量化首批通过质量的一个有效尺度是质量糟糕带来的总成本(本章后面将详述这一点)。度量尺度一经选定,就应告知组织的成员。雇员必须能够通过他们的业绩来影响度量尺度,而且要清晰准确地知道雇员的业绩如何影响这些度量尺度。

Rose(1995)认为好的度量尺度应具有如下特性:

- 或者以顾客为中心,为顾客提供有价值的信息,比如产品质量、服务可靠性、交货及时性;或者与组织内部工作过程有关,从事系统成本缩减、减少浪费、协调和团队合作、创新和顾客满意度等工作。
- 能度量一段时间的业绩,反映了发展趋势,而不仅是瞬间的情况。
- 能提供直接的信息,而不需要进一步地分析处理。
- 与组织的目标、战略和行为相联,为监控组织的发展方向服务。
- 由提供数据、收集数据、处理数据和使用数据的人共同制定。

Rose还提出了一个业绩度量模型,这一模型由以下8个步骤组成:

步骤1: 业绩分类——是对能回答“我们在做什么”这一问题的组织业绩所做的基本划分。影响业绩分类的因素有:组织的战略远景、核心竞争力或使命。一个组织可能有若干种分类方法,这些分类从度量的层面上给组织下了定义。

步骤2: 业绩目标——目标表述是对期望的业绩分类状况作出操作性定义,它提供了业绩分类目标,所以,它应当用清楚的、以行为为导向的术语表述出来。初期的目标表述只是目标表述的一个雏形,因为它可能太复杂而需要进一步对业绩进行划分,也可能太细致而需要对业绩分类进行合并。也就是说,可能需要在步骤1和步骤2之间反复修改,以

形成都满意的结果。

步骤3: 业绩指标——这是模型中最重要的一步,因为这一步中要寻找实现业绩目标的改进方案,并摒弃不对组织目标作出反映的枝节性度量尺度。同时,要建立关键性的度量尺度,即与组织通向成功有关的重要度量。每一个目标都有一个或者多个指标,每个指标必须有可操作的定义,定义中规定指标的意图,明确了指标在实现业绩目标过程中的作用。从组织的不同层面上看指标的范围是不同的。

步骤4: 度量要素——这些要素是确定组织是否满足业绩指标的基本组成部分,是度量数据来源(即度量什么),它们受组织的控制。尝试对不受组织控制的要素进行度量,是浪费资源,因为组织没有能力对收集到的信息作出回应。这一问题将在下一步骤中讨论。

步骤5: 参数——有一些外部因素也对度量要素有一定的影响,比如背景、限制和边界。它们不受组织的控制,却在很大程度上决定了度量要素的使用方法。如果度量数据分析显示这些外部因素是组织前进的严重障碍,可能就要相应地改变政策。

步骤6: 度量方法——这一步在前几步的基础上才有意义。要写出如何行动的陈述,说明如何应用度量要素及相关的参数,来确定业绩指标达到的水平。陈述可以很简短,明确意图比长篇大论更重要。

步骤7: 概念化的度量尺度——这一步将概念化地描述从前几个步骤得到的可能被采用的度量尺度。这一步要组织中的每个人认同:如何把前几步汇总得到的信息应用于

业绩度量模型的应用

组织业绩度量尺度

业绩分类: 物料获得

业绩目标: 在尽可能短的时间内,提供高技术设备,
同时保证所有的采购具有最佳的价值。

业绩指标	度量要素	参量	度量的方法	概念化的度量尺度	具体的度量尺度
工业基础管理(评定和确保足够的工业设备能满足军事需要)(其他业绩指标)	物料和服务的供应来源 供应商的质量	物料和服务要求 采购政策	确定所要求的物料与服务的基础支持水平 保证现存和潜在供应商的质量	现存和潜在供应商的数量和能力与物料需求 保证合格供应商的百分比	(包括具有可操作性定义的文件夹;数据收集、使用及其含义的功能性描述;原形展示)

(其他业绩分类与目标)

(可选择: 次要组织业绩度量尺度)

图 4.1 组织业绩度量尺度

资料来源: Kenneth H. Rose, "A performance measurement model," *Quality Progress*, February 1995, p. 65.

度量组织的业绩。它是确保过程有效和设计具体度量尺度的基础。

步骤 8: 具体的度量尺度——最后这一步,要给出应用这些度量尺度的操作定义和功能描述。它们将说明什么是数据,如何收集、使用数据,而最重要的是这些数据的意义和这些数据怎样影响组织的业绩。对实际的或想象的数据进行原型展示和对场景进行描述,使组织明确针对度量的结果所应采取的措施。最后一步是对这些度量尺度的真实测试,必须明确要做什么,要能为后续改进工作提供足够详细的信息。

Rose 还给出了他的模型在美军物资司令部应用的实例,如图 4.1 所示。

4.2 财务分析

4.2.1 货币的时间价值

成本和收益的财务分析

要进行成本收益分析,先了解一些财务分析的基础原理是很有帮助的,特别是收支平衡分析和货币的时间价值(TVM)。

假设有两种类型的成本:

1. 可变成本:与公司的销售水平成正比变化的成本。产品的销售数量越多,总的可变成本也越大。例如:销售佣金、运输费用、小时工资和原材料成本等都属于可变成本。
2. 固定成本:在正常的生产能力范围内,不随产品数量变化的成本。随着产品数量的增加,单位产品所分摊的固定成本在减少。例如:租金、薪金和设备折旧等都属于固定成本。

这些概念如图 4.2 所示:

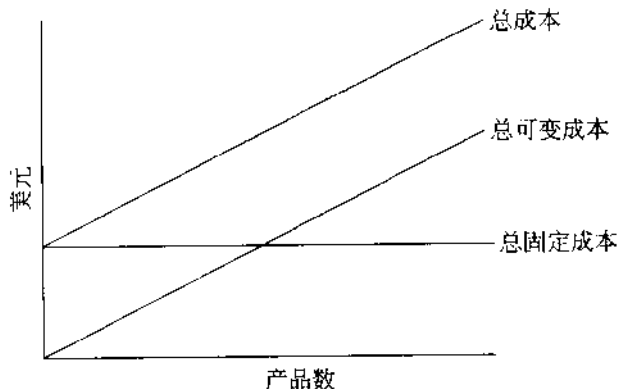


图 4.2 可变成本和固定成本

收支平衡点

收支平衡点是使税前收益(EBIT)为零的产品销售数量。在这个数量上,利润等于可变成本和固定成本之和。

设 Q 是销售的数量, P 是产品的单位价格, V 是单位产品的可变成本, F 是总的固定成本。那么, $P-V$ 的值代表了单位产品的可变利润,于是有:

$$Q(P-V) - F = \text{EBIT} \quad (4.1)$$

令式(4.1)中的 EBIT 为零,得到收支平衡点的 Q^* 值:

$$Q^* = \frac{F}{P-V} \quad (4.2)$$

收支平衡分析的例子

某出版公司的售书价为每本 30 美元,每本书的可变成本是 10 美元,固定成本是 100 000 美元。则收支平衡点是:

$$Q^* = \frac{F}{P-V} = \frac{100\,000}{30-10} = 5\,000(\text{本})$$

管理者的目标当然是要赢利而不仅是收支平衡,此时如果用 EBIT 作为企业的希望赢利而不是取零,那么,达到目标赢利值需要印刷的数量是:

$$Q_{\text{目标}} = \frac{F + \text{EBIT}_{\text{目标}}}{P-V} \quad (4.3)$$

例如,如果出版商的期望赢利是 5 000 美元,那么目标产量就是:

$$Q_{\text{目标}} = \frac{F + \text{EBIT}_{\text{目标}}}{P-V} = \frac{100\,000 + 5\,000}{30-10} = 5\,250(\text{本})$$

在进行项目的成本收益分析时,通过把收支平衡点的数量和对市场销售的预测做比较,可以确定期望回报实现的可能性。

货币的时间价值

由于现金可以进行投资而获得升值,所以,我们说货币有时间价值。货币时间价值这一概念是很多财务决策理论的基础,这里我们将讨论货币的两种时间价值:未来的价值和当前的价值(即现值)。

未来的价值。假设现在有 1 000 美元,把这些钱用于投资,每年的回报率是 10%。那么,一年以后 1 000 美元将增加 100 美元,也就成了 1 100 美元。这 1 100 美元就是 1 000 美元的未来价值,而 1 000 美元是现值。用 FV 表示未来的价值, PV 表示现值, i 为利率。 FV 和 PV 间的关系可表述如下:

$$FV = PV + PV \cdot i = PV(1 + i)$$



如果以 10% 的年利率投资 2 年,那么,投资的增长如下所示:

年数	现值(美元)	利息(美元)	未来价值(美元)
1	1 000	100	1 100
2	1 100	110	1 210

注意到,第二年里不仅原有的 1 000 美元获得利息,第一年的利息 100 美元也会产生利息,所以第二年获得的利息比第一年的利息更多。这就是复利的概念。投资的时间间隔称为计息期。因此,若投资两年,其未来价值是 1 210 美元,数学计算过程如下:

$$FV = [1\,000 \times (1.10)] \times (1.10) = 1\,000 \times (1.10)^2$$

上式中,中括号中的值代表第一年末的价值。这种计算方法适用于计息期为任何年数的情况。若计息期为 N 年,未来价值的计算公式是:

$$FV = PV(1+i)^N \quad (4.4)$$

当然,从式(4.4)中也可以相应地推导出当前价值的计算公式。给定未来价值和固定利率后,现值的计算公式为:

$$PV = \frac{FV}{(1+i)^N} \quad (4.5)$$

不以年计的计息期

注意:计息期 N 可以是任何时间间隔,而不一定以年记。例如,对于以季度为单位计算复利的情况, N 是季度数,当然这时的利率也应该是相应的季度利率。假设 1 000 美元以 10% 的年利率投资两年,按季度计算复利的方法如下:

$$\begin{aligned} FV &= PV(1+i)^N = 1\,000 \times \left(1 + \frac{0.1}{4}\right)^{2 \times 4} = 1\,000 \times (1 + 0.025)^8 \\ &= 1\,218.40(\text{美元}) \end{aligned}$$

连续复利

在固定的时间段内,计算复利的次数越多, FV 值就越大。当计算复利的次数无限时,称为连续复利。连续复利的未来价值与现值的计算公式为:

$$FV = PV \times e^{it} \quad (4.6)$$

$$PV = \frac{FV}{e^{it}} \quad (4.7)$$

式中 t 是时间的跨度(年数), e 是常数 2.71828,其他符号的意义与前面所述一致。上例中,当计算复利的时间跨度为两年时,未来价值为:

$$FV = PV \times e^{it} = 1\,000 \times 2.7182818^{0.1 \times 2} = 1\,221.40(\text{美元})$$

净现值

评价项目的成本和收益时,成本和收益通常是以现金流的方式产生的,而不是一下子全部出现。另外,现金流也是不均匀的,每次现金流的金额可能都不相等。上面描述的方法可用于处理不均匀的现金流。只要分别计算出每笔现金流的现值(或未来值),再把不同的结果相加就可以了。应用这种方法得到的结果称为净现值,简记为 NPV。这种方法虽然概念上的理解很简单,但实际的计算过程却冗长繁琐。幸运的是,大多数的电子制表软件都有完成这类分析的能力,从而简化了净现值的计算。

假设某项目的预期成本和预期收益如下表所示:

年份	成本(美元)	收益(美元)
1	10 000	0
2	2 000	500
3	0	5 000
4	0	10 000
5	0	15 000

假设管理者期望的投资回报率为 12%。下面计算这个项目的净现值。

对这个问题有两种方法都可以计算出 NPV,并且两种方法的结果是一样的。一种方法是计算出项目每年成本与收益的差值,然后,计算出把这个差值的净现值;另一种方法是分别计算出成本的净现值和收益的净现值,然后将两者相减。

NPV 计算工作表				
	A	B	C	D
1	利益	12%		
2				
3	年度	成本	收益	净收益
4	1	\$10,000	\$0	(\$10,000)
5	2	\$2,000	\$500	(\$1,500)
6	3	\$0	\$5,000	\$5,000
7	4	\$0	\$10,000	\$10,000
8	5	\$0	\$15,000	\$15,000
9	NPV	\$10,523	\$18,824	\$8,301
10				

图 4.3 用 Excel 计算项目的净现值

成本的净现值是 10 523 美元,收益的净现值是 18 824 美元,项目的净现值就是用收益的净现值减去成本的净现值;或者计算每年的收益减去每年的成本后差值的净现值。不管用何种方法,NPV 分析表明该项目的净现值都是:8 301 美元(见图 4.3)。

内部回报率

在对项目进行财务分析时,通常需要在价格和现金流给定的情况下确定项目的投资效果。例如,对项目进行优先级排序时,回报率这一指标是很重要的。当现金流不均匀时,解决这类问题通常都由计算机来实现,比如使用微软公司 Excel 软件提供的内部回报率(IRR)函数。内部回报率是指使未来现金流的现值与投资成本相等的回报率。计算机使用迭代法来计算内部回报率,换言之,计算机从给定的一个 IRR 的初始估计值开始,然后,比较用该 IRR 计算出的现值与投资成本的接近程度,根据比较结果上调或下调 IRR 的估计值。不断重复这一过程,直到达到期望的精度。

举例 某医院的质量改进团队通过调查发现医院外科器械丢失情况严重。他们发现在两次外科手术的间隔期间,由于匆忙地清理手术室,很多外科器械被当成垃圾扔掉。实验表明,价值 1 500 美元的金属探测器可以减少医院的损失,为医院节省开支如下:

年份	节省金额(美元)	年份	节省金额(美元)
1	750	4	1 500
2	1 000	5	1 750
3	1 250		

使用 5 年后,金属探测器的残值为 250 美元。使用 Excel 电子表格来计算使用金属探测器的内部回报率,如图 4.4 所示:

B8		=IRR(B2:B7,0.1)	
	A	B	C
1	年	现金流	
2	0	(\$1,500)	
3	1	\$750	
4	2	\$1,000	
5	3	\$1,250	
6	4	\$1,500	
7	5	\$2,000	
8	IRR	63%	

图 4.4 用 Excel 计算项目的内部回报率

计算内部回报率使用的函数 $IRR(B2:B7, 0.1)$, 如图 4.4 的窗口上部所示, 使用了“插入”功能中的 IRR 函数, B2 到 B7 单元格内的现金流和内部回报率迭代的初始估值 0.1。注意: 第 5 年探测器的残值为 250 美元加上期望的 1 750 美元为外科器械的节省值。第 0 年的成本用负的现金流来表示。Excel 计算出的内部回报率 IRR 为 63%。内部回报率是项目优先级排序的一个重要指标, 可代替 PPI 或作为 PPI 的补充。

4.2.2 质量成本

质量成本的概念最早是出现在第一版的《朱兰质量控制手册》(1951 年)中。现在, 质量成本会计体系已经成为每个现代组织的质量改进战略中不可或缺的一部分。事实上, 质量成本会计和报表是许多质量标准的一部分。质量成本体系通过识别最大的投资回报的机会, 来协助管理者制定质量改进计划。但是, 质量管理者必须记住一点, 那就是质量成本只表述了质量因素的一半内容。质量因素指出, 质量包含做正确的事和不做错误的事。“做正确的事”指的是产品和服务的特性满足顾客需求; “不做错误的事”则是指避免缺陷和防止那些使顾客不满意的行为发生。质量成本只考虑了质量因素中“不做错误的事”这一个方面, 所以, 有的企业尽管成功地把质量成本降低到零, 仍逃脱不了破产的厄运, 这是可以理解的。

“质量成本”这一术语本身存在问题。使用这一术语, 让人自然地产生“质量是一种成本”的印象。我们现在已经明确了质量并不是成本。质量代表一种驱动力, 它通过降低成本来产生高收益, 它标示着产品在市场上高价格销售的能力。本书赞同质量专家 H. J. Harrington 和 Frank M. Gryna 的观点, 认为“不良质量的成本”这种说法更加合适。但是, 我们还是决定尊重传统, 在本书中仍将使用“质量成本”这一大家熟知的说法。

质量成本的定义是, 当产品质量完美无缺时不会产生的成本就是质量成本。这包括报废和返工这样的显性成本, 也包括很多并不很明显的成本, 比如因原材料有缺陷而重新订货的成本。服务型企业也有质量成本, 例如旅馆的客房服务部没有向顾客提供香皂和毛巾, 则会产生质量成本。质量成本度量的是那些与产品和服务质量相关的成本, 包括公司制定的、公司与顾客签订合同中规定的以及社会形成的产品和服务要求。这些要求包括营销规范、最终产品和过程的规范、采购合同、工程草图、公司程序、操作规程、行业标准、政府法规, 以及任何能影响产品和服务定义的文档和顾客需求。更具体地说, 质量成本是下列活动产生成本的总和: (a) 预防不合格品产生的投资; (b) 产品和服务是否合格的鉴定; (c) 不满足要求的产品和服务 (如图 4.5 所示)。

对大部分组织而言, 质量成本是隐性成本。很少有会计系统包含了辨识质量成本的条款, 组织只能采取具体的质量成本识别行动来达到目的。也正是因为识别质量成本比较困难, 未测量到的质量成本呈上升趋势。不良质量从两个方面对公司造成影响: 高成本和低顾客满意度。低顾客满意度会带来价格压力和销售量下降, 从而导致收入减少。而

预防成本

预防产品和服务出现不良质量的所有活动所带来的成本。包括下列事项的成本：新产品审查、质量计划、供应商能力调查、过程能力评估、质量改进团队会议、质量改进项目、质量教育与培训。

鉴定成本

与测量、评价、审核产品和服务以确保符合质量标准 and 业绩要求有关的成本。包括下列事项的成本：采购原材料的进货检查、在制品的检查、最终产品的检查、产品/过程/服务的审核、测量与检测设备的校准，以及有关供应商和原材料的成本。

损失成本

不符合要求或未满足顾客/用户需要的产品和服务所引起的成本。损失成本可分为内部损失成本和外部损失成本两大类。

内部损失成本

在产品运输之前或在为顾客提供的服务之前，引起的成本。例如报废、返工、重新检验、重新试验、原材料评审、产品降级处理的成本。

外部损失成本

在产品运输之后，以及在为顾客提供的服务过程中或之后，引起的成本。例如顾客抱怨、顾客投诉、担保索赔、收回产品的成本。

总质量成本

上述成本之和。它是产品和服务实际发生的成本与如果没有不合格规格的服务、不良产品、制造缺陷所付出的成本之间的差值。

图 4.5 质量成本——总体描述

资料来源: *Principles of Quality Costs*, 3rd Edition, p. 5, Jack Campanella, editor. Copyright ©

1999 by ASQ Quality Press.

高成本和低收入最终会使公司陷入困境，对公司生存造成致命的威胁。对质量成本进行严格的度量是防止这类危机产生的方法。图 4.6 是对隐性成本概念的解释。

质量成本系统的目标

任何质量成本系统的目标都是把质量成本降到最低的实际水平，这一水平由总损失成本、鉴定成本和预防成本决定。朱兰和 Gryna(1988)给出图 4.7 所示的成本图。从图中可以看出，损失成本随着质量的合格水平趋于完美而不断下降，而鉴定加预防的成本则不断增加。从图中可以看出，存在一个最优质量水平，在这一水平，损失成本、鉴定成本和预防成本之和为最小值。可见，超越最优质量水平的质量改进会导致总质量成本的增加。

朱兰意识到在很多情况下，最优质量成本的经典模型都存在缺陷。经常可以发现质量水平可以很经济地加以改进到近乎完美。比如，一个仔细设计并制造的冲模可以冲制出上百万个几乎没有任何缺陷的冲压件。而经典模型让人们错误地认为完美质量是不可

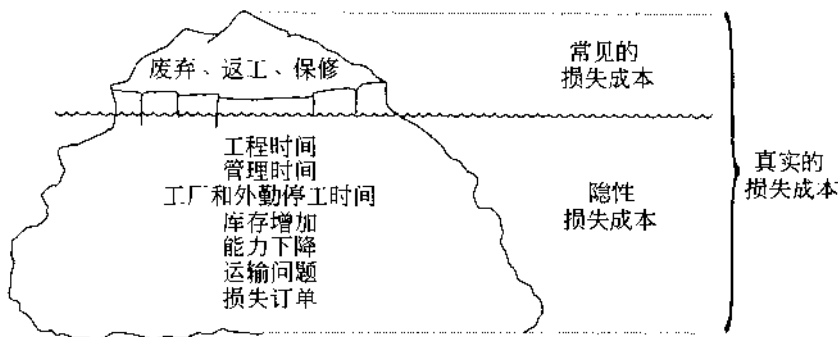


图 4.6 隐性质量成本和它的雪球效应

资料来源: *Principles of Quality Costs*, 2nd edition, p. 11, Jack Campanella, Editor.

Copyright © 1990 by ASQ Quality Press.

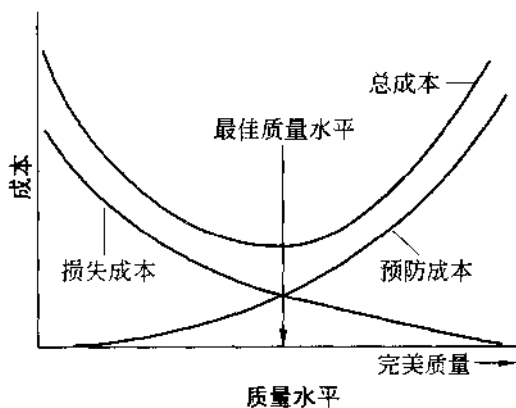


图 4.7 最优质量成本的经典模型

资料来源: *Juran's Quality Control Handbook*, 4th Edition, J. M. Juran, editor.

Copyright © 1988, McGraw-Hill.

能实现的。认识上的障碍是最难克服的,因此最优质量成本的新模型中就考虑到了零缺陷率的可能性,如图 4.8 所示。

发现质量问题产生的原因并采取行动来消除这些原因后,质量成本就可以相应地降低。第 7 章中将要讲述的工具和技术在这一过程中发挥了很大的作用。常用的持续改进方法有 KAIZEN、再造和其他方法。

降低质量成本的战略

作为一般规律,质量监控点在生产和销售链上越靠近顾客,质量成本越高;若从一开

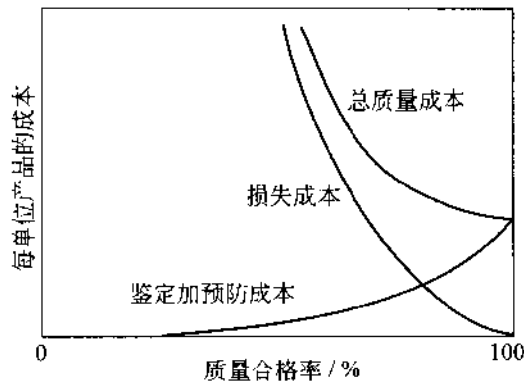


图 4.8 最优质量成本的新模型

资料来源: *Juran's Quality Control Handbook*, 4th Edition. J. M. Juran, editor. Copyright © 1988, McGraw-Hill.

始就预防不合格品的产生,这样带来的质量成本是最低的。如果出现了不合格品,发现得越早,成本越低,发现得越晚损失越大。若不合格一发生就检测到了,此时花费最低。除此以外,额外的工作也会带来损失。最昂贵的质量成本来源于顾客检测到的不合格品。除了更换产品或修理产品的费用,顾客对公司产品的信任会降低,当顾客把他的经历告诉他人时,公司的信誉将会受到严重的损害。在极端的情况下,顾客可能会对公司提出诉讼,导致更多的成本和信誉的损失。

及时发现问题还可以为发现问题产生的根源提供有意义的反馈信息。生产与产品检测出不合格之间的时间延误增加了追溯生产过程中问题根源的困难。虽然追溯检测出的不合格对预期生产有指导性意义,但对于评估问题几乎没有什么价值。

会计系统的支持

这一点前面已经提到了,但这里还要重复一遍,那就是不论何时涉及到财会问题,会计部门的支持都是至关重要的。会计部门的一个重要职责就是处理财会问题,包括质量成本系统。而质量部门在设计和维护质量成本系统中的职责是为会计部门提供支持和帮助。

质量成本系统必须被纳入整个成本会计系统,也就是说,它只是整个成本会计系统的一个子系统。质量成本子系统在会计术语、记账格式等方面都应与整个成本会计系统保持一致,这有助于加快学习过程,避免出现混乱。理想的情况是,质量成本完全融入成本会计系统,成为成本报告和减低成本的一个常规组成部分,而不是作为一个独立的会计系统。理想的质量成本会计系统所要做的工作仅仅是汇总质量成本,以醒目的形式提供给管理者,有助于管理层采取措施减少质量成本。在大多数公司,这项工作由高层具有监控

权限的办公室来负责。

质量成本的度量不需要精确到分厘,因为计算质量成本的目的是为管理层制定决策、采取措施提供指导。质量成本的本质也决定了精确计算是不可能的。有时候只能获得诸如关于顾客满意损失成本和公司信誉损失成本的周期性粗略估计。这些估计数据可以由市场营销、会计和质量管理的有关人员合作,使用特别的审计、统计取样和其他的市场研究方法获得。因为这些成本数值巨大,对它们进行估计是必需的。然而,不一定每个月都需要收集相关数据,每年进行一次质量成本的趋势分析就足够了。

质量成本的管理

在讨论质量成本子系统时,我们强调了不要再为它构造一个单独会计系统的重要性。当讨论质量成本的管理时,情况也是一样。质量成本管理应该是高级的交叉职能成本管理的一个组成部分,是企业控制成本工作中的一个组成部分。然而,企业会发现,质量成本的减少很可能比其他成本的减少更能促进组织的发展,这是因为与其他的成本不同,质量成本是一种浪费成本(Pyzdek,1976)。因此,质量成本对顾客购买的产品和服务的价值没有任何影响。事实上,质量成本是负顾客价值的标志。购买了轿车的顾客觉得使用起来不方便,尽管在保修期内却并未获得补偿,多数质量成本系统对这部分成本都没有考虑(在上面的讨论中,我们多次建议应对这部分成本进行估计)。公司发生的所有其他成本都至少实现了某种价值。

有效的质量成本项目由以下几个步骤组成(Campanella,1990,p.34):

- 建立质量成本度量系统。
- 制定恰当的长期趋势分析方法。
- 为整个质量成本设立年度改进目标。
- 把年度改进目标划分为若干单个目标,这些单个目标合并起来就是年度改进目标,为这些单个目标制定短期趋势分析。
- 监控整个改进过程,使它向目标推进;未能达到改进目标时,采取措施。

第5章将要讲述的工具和技术可用于缩减质量成本项目的管理。

质量成本管理帮助企业建立纠正措施的优先顺序。没有它的指导和帮助,企业资源可能会分配不当,从而未能获得最优的投资回报。如果这样的情况频繁出现,企业会对质量成本项目产生怀疑甚至可能放弃缩减质量成本的努力。设定优先级时最常用的工具是帕累托(Pareto)分析(见第7章)。在缩减质量成本工作的最开始,帕累托分析被用来评估损失成本,并找出最需要引起注意的关键领域。已证实的损失成本,尤其是外部损失成本,几乎肯定要低估真实成本,而它们是顾客很容易看到的成本。帕累托分析可以与其他的质量工具,如控制图、因果图等一起使用,来分析质量问题的原因。当然,分析人员必须牢记很多成本都是隐性的这一事实。只有把这些隐性成本识别出来,帕累托分析才能提

供有效的分析结果。只分析那些最容易获得的数据是毫无价值的,是 GIGO 分析方法的一个实例(GIGO 指的是:输入是垃圾,输出也是垃圾)。

找出最关键的损失成本并对它们实施控制以后,就该对鉴定成本进行分析了。从降低损失成本水平的角度看,我们是否在鉴定上花费太大?这里,质量成本分析应辅之以风险分析,以确保损失成本和鉴定成本之间的平衡。鉴定成本分析也可用来判断预防成本的花费是否合理。

对所有影响产品和服务质量的运作过程的投资,包括对缺陷预防条例的发现、合并和维护,都成为质量的预防成本(Campanella,1990)。因此,预防的实施方法要有针对性,而不应该是全面铺开式实施。把预防工作从低效领域转到能产生回报的领域,才能促进组织取得更大的进步,这又一次表明帕累托原理是适用的。

质量成本举例

I. 预防成本——预防未来不合格出现的成本,如:

- A. 市场营销/顾客/使用者
 - 1. 市场研究
 - 2. 顾客/使用者情况调查/分析
 - 3. 评审合同/文档
- B. 产品/服务/设计开发
 - 1. 评审设计质量的进展
 - 2. 设计支持行为
 - 3. 产品设计认可试验
 - 4. 服务设计认可
 - 5. 实地试验
- C. 采购
 - 1. 供应商评价
 - 2. 供应商评级
 - 3. 采购订单的技术数据评审
 - 4. 供应商质量计划
- D. 运作(制造或服务过程)
 - 1. 运作过程确认
 - 2. 运作质量规划
 - a. 质量测量和控制设备的设计和开发
 - 3. 运作支持质量计划
 - 4. 操作员质量教育

5. 操作员统计过程控制/过程控制

E. 质量管理

1. 管理员工资
2. 管理费用
3. 质量项目计划
4. 质量业绩报告
5. 质量教育
6. 质量改进
7. 质量审核
8. 其他预防成本

II. 鉴定成本——测量和控制现有产品以确保符合质量要求而产生的成本,如:

A. 采购鉴定成本

1. 进货检验和测试
2. 测量设备
3. 供应商提供产品的认可
4. 来源检验和控制项目

B. 运作(制造或服务)鉴定成本

1. 按计划运作的检验、试验和审核
 - a. 核对操作人员
 - b. 产品和服务质量的审核
 - c. 原材料的检验和试验
2. 启动检验和试验
3. 特殊试验测试(制造过程)
4. 过程控制的测量
5. 实验室支持
6. 测量设备
 - a. 折旧备抵
 - b. 测量费用
 - c. 维修和校准的人工费
7. 外部认可和认证

C. 外部鉴定成本

1. 现场业绩评估
2. 特殊产品评估
3. 库存和备用件评估

- D. 检验和试验数据的评审
 - E. 各种各样的质量评估
- Ⅲ. 内部损失成本——未符合要求的产品运输前产生的成本,如:
- A. 产品/服务设计的损失成本(内部)
 - 1. 设计纠正措施
 - 2. 设计变动引起的返工
 - 3. 设计变动带来的报废
 - B. 采购损失成本
 - 1. 不能使用的已购材料处置费
 - 2. 已购材料的重置费
 - 3. 供应商的纠正措施
 - 4. 更换供应商的返工费
 - 5. 无法控制的材料损失费
 - C. 运作(制造或服务)损失成本
 - 1. 原材料评审和纠正措施的成本
 - a. 处置成本
 - b. 发现并修理故障、损失分析成本(操作过程)
 - c. 调查支持成本
 - d. 运作纠正措施
 - 2. 运作返工和修理费
 - a. 返工
 - b. 修理
 - 3. 重新检验/重新试验的成本
 - 4. 额外操作
 - 5. 报废成本(操作过程)
 - 6. 最终产品或服务降级
 - 7. 内部损失带来的劳动力成本
 - D. 其他内部损失成本
- Ⅳ. 外部损失成本——未符合要求的产品运送出去后产生的成本,如:
- A. 抱怨调查/对顾客或使用者服务
 - B. 退回的产品
 - C. 改型翻新成本
 - D. 收回产品的成本
 - E. 担保索赔

- F. 赔偿责任成本
- G. 罚款
- H. 顾客/使用者的信誉
- I. 销售量的减少
- J. 其他的外部损失成本

质量成本的基数

分析质量成本时要选择一个基数,基数的选择有下列原则:

- 该基数必须和质量成本之间存在有意义的关联。
- 质量成本报告所上报的管理者要对该基数很熟悉。
- 该基数必须是实施质量成本测量的领域中,对某个商业数据的测量。
- 为了获得对质量成本相对完整的描述,有时候需要使用多个基数。

常用的基数有(Campanella, 1990, p. 26):

- 劳动力基数(比如,总劳动力,直接劳动力,或实际参与的劳动力)。
- 成本基数(比如,车间成本,运作成本。或原材料和劳动力的总成本)。
- 销售基数(比如,净销售额或最终产品的销售价值)。
- 数量基数(比如,生产的总量或产出量)。

在决定质量改进项目用于何处才会使利润增加最多、在哪里采取纠正措施时,虽然实际花费的金额是最好的基数,但是在生产率不是相对稳定的情况下,它并不能清晰地指示出质量成本的改进趋势。因为质量成本项目的目标是随时间的推移逐步改进,所以,要使用和时间相关的数据作为基数,例如生产率、通胀率等。总质量成本与基数相比可得到一个指数,使用控制图、链图和本章介绍的其他工具,就可以把这个指数绘制成图表加以分析。

在长期的分析和规划工作中,净销售额是高层管理者最经常使用的基数(Campanella, 1990, p. 24)。如果销售额随时间的推移保持相对稳定,质量成本分析就可以在相对较短的时间跨度内进行。一些其他产业需要通过较长的时间跨度进行计算以平滑掉销售基数的大波动。比如造船业和卫星制造业,有时会没有订单,有时会有大额订单。质量成本必须要与同期的销售联系起来,把销售量看为质量成本发生的“机会”。

质量成本基数的一些例子为(Campanella, 1990):

- 内部损失成本占总生产成本的百分比。
- 外部损失成本占净销售额的平均百分比。
- 采购鉴定成本占已购原材料总成本的百分比。
- 运作鉴定成本占总运作成本的百分比。
- 总质量成本占总生产成本的百分比。

图 4.9 所示是使用这些基数的质量成本报告的示例:

质量成本总结报告						
截止月份: _____						
(以千美元为单位)						
描 述	当前月			本年度迄今为止		
	质量 成本	百分比		质量 成本	百分比	
		销售额	其他		销售额	其他
1.0 预防成本						
1.1 市场营销/顾客/使用者						
1.2 产品/服务/设计开发						
1.3 采购预防成本						
1.4 运作预防成本						
1.5 质量管理						
1.6 其他预防成本						
总预防成本						
预防目标						
2.0 鉴定成本						
2.1 采购鉴定成本						
2.2 运作鉴定成本						
2.3 外部鉴定成本						
2.4 检验和试验数据的评审						
2.5 各种各样的质量评估						
总鉴定成本						
鉴定目标						
3.0 内部损失成本						
3.1 产品/服务设计的损失成本						
3.2 采购损失成本						
3.3 运作损失成本						
3.4 其他的内部损失成本						
4.0 外部损失成本						
总损失成本						
损失目标						
总质量成本						
总质量目标						

基数	当前月		本年度迄今为止		全 年	
	预算	实际	预算	实际	预算	实际
净销售额						
其他基数						

图 4.9 质量成本总结报告

资料来源: *Principles of Quality Costs*, 2nd Edition, p. 48, Jack Campanella, editor, Copyright ©

1990 by ASQ Quality Press.

质量成本趋势分析

正如上面所述,收集质量成本数据的目的是为采取消除质量成本起因并进而为消除质量成本的措施提供坚实基础。如果采取的行动是有效的,数据将会显示出积极演变的趋势。通常把数据绘制成链图并加以分析(见第7章)来完成趋势分析。一般把所有的质量成本数据都绘制在一张图上,如图4.10所示。

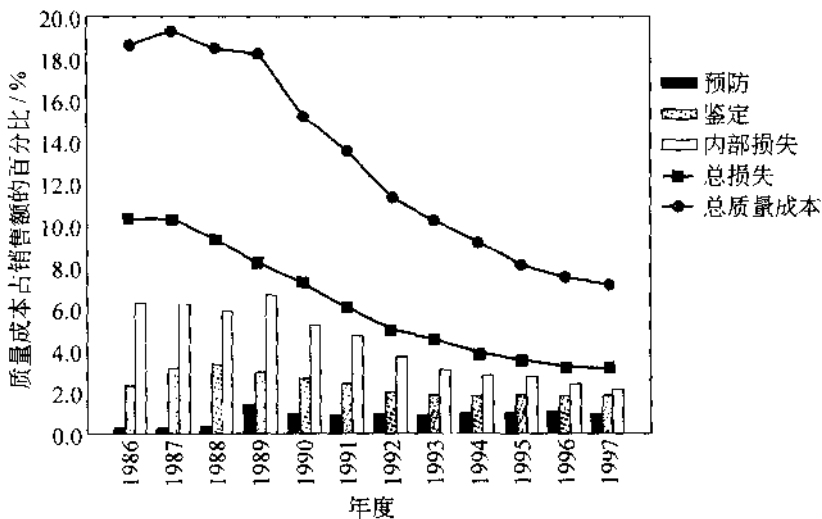


图 4.10 质量成本的演变

如果能通过以后要介绍的链检验,就说明总损失成本和总质量成本趋势是统计显著的。然而,对于上图中的数据而言,使用正规的统计方法进行分析是多余的,因为改进的趋势十分明显。

虽然综合分析方法对高层经理很有帮助,但是对于具体从事质量成本项目的人员,这些分析用处不大。在这些示例中,用于趋势分析的数据必须尽可能翔实。同样,要测量与改进小组所作的工作直接相关的一些数据,而不仅仅是金额,时间间隔可以取得更短。例如,如果发现内部损失成本中主要的一条是有缺陷的焊点,那么,质量改进团队就应做出焊接缺陷率的控制图,对过程进行实时分析。很明显,减少焊接缺陷率就会相应地减少与焊接缺陷有关的成本。

质量成本项目的实施

引入质量成本是一个大项目,需要利用第5章所要讲述的工具和技术。在实施之前,要先进行需求分析,以确定质量成本项目能否使企业获益。需求分析应包括收益/成本分



析和项目的实施计划。项目的实施计划中应有下列内容：

- 管理层阐述,指出整个企业的机会,介绍该项目如何使企业受益的例子。
- 对前期程序的描述。
- 为涵盖所有职能的教育设计材料。
- 内部质量成本会计程序的概要。
- 收集数据,完成高水平的质量成本综合分析。
- 描述质量成本报告系统,以及如何运用数据来改善质量。

和其他的质量项目一样,质量成本项目的实施也需要有主负责人,并获得管理层的支持。质量成本项目的主负责人应该是总会计师或其下属。

质量成本的使用

质量成本数据的主要用途是支持质量业绩的改善并证明其有效性。这些数据帮助组织找出有问题的领域,并为这些领域配置资源。通常把质量成本系统融合到其他的质量信息系统中,以确保能发现问题的根源。统计分析方法协助组织把质量成本趋势与其他的质量数据关联起来,以便直接注意质量问题的根源。

质量管理功能的一个目的是对高层管理人员进行教育,使他们明白组织的总体质量业绩对组织利润和质量声誉的长期影响。管理层必须认识到,制定质量战略计划与制定组织任何其他战略计划一样的重要。当战略计划涉及到成本问题时,对质量成本这一问题的考虑就应被提到议程上来。质量成本是第一位的,应该最先被考虑,因为质量成本是“浪费的成本”,质量成本的降低总是来自于组织的精简。在这一过程中,质量管理者的任务是(Campanella,1990,p.56):

- 从整体和单个项目的角度,分析顾客满意度、缺陷率、质量成本的趋势,这些趋势将被用于设定目标。
- 协调和协助其他各项功能,保证为设定目标所作的分析中考虑到了与质量有关的成本。
- 制定整体的质量战略规划,这一计划中应整合所有质量功能的目标和战略行动计划,包括与质量功能相关的计划和预算。

质量成本降低的益处

质量成本的降低对企业的成长率和利润有显著影响。芝加哥商学院的研究表明,平均使用全面质量管理达6.5年的公司,其收益以每年8.3%的比例增长,而全美国制造业的年均增长率只有4.2%。Suminski(1994)指出,制造业中不合格品的平均代价占了整个运作成本的25%,服务业中这个比率是35%,这些成本严重降低了企业的利润。新英格兰的一家重型设备制造厂在实行质量成本削减项目之前,不合格品的代价是总销售额



的31%。实施项目后一年他们就成功地将这一成本降低到9%。除此之外他们还获得了如下成就:

- 报废和返工成本降低了30%。
- 制造成本变动降低20%。
- 后期费用降低46%。
- 应收款项的平均周转从62天降低到35天。

4.2.3 计算保住顾客的价值

顾客是有价值的。这是一个简单而明显的事实,因为顾客购买了商品,而这项交易给企业带来了收入和利润。但是,如果顾客向公司提出了要求,如退还已购买的商品或者要求企业提供技术支持时,公司往往会倾向于把这看成企业的损失。顾客的价值不应简单地看成短期的几桩交易,而应从与顾客建立一生的关系的角度来看待顾客的价值,理解顾客的价值是非常重要的。一种计算忠诚顾客的终身价值的方法是出Bain公司的Frederick Reichheld和密歇根大学的Claes Fornell提出的,方法如下(Stewart,1995):

1. 决定计算价值的时间区间。时间区间由计划周期和行业特点决定,如人寿保险公司的计算时间可能是几十年,而一次性尿布的制造商只要几年。

2. 计算顾客每年给企业带来的利润(净现金流)。取不同的样本——新顾客、老顾客——了解每年他们的购买力如何,计算每年为他们服务的成本是多少。可能的话,按照顾客年龄、收入、销售渠道等因素对他们进行分类。对于新顾客,要从他们带来的收益中减去赢得这些顾客的成本,比如说广告费、佣金和后勤成本。要获得详细的数据——每个顾客第1年、第2年带来的利润——而不是所有顾客或者几年的利润进行平均。而老顾客购买的比新顾客更多,并且他们支付的价格也更高(因为新顾客通常是被降价和打折吸引来的),他们产生坏账的可能性也更小。

3. 绘制顾客的“预期寿命”,抽取样本来估计顾客基数每年是如何变动的。数据应越详细越好,而不是像“每年10%”这样的概括性描述;新顾客比老顾客更容易离开。在零售银行业,据统计第1年有26%的坏账,而到了第9年坏账比率降低到了9%。

4. 一旦了解到每位顾客每年带来的利润和保住顾客的数据,就可以计算净现值了。选取一个折现率,如果你希望每年获得的资产回报率为15%,就采用它作为折现率。第1年的NPV = 利润/1.15,第2年的NPV = (第2年的利润 × 顾客保有率) / 1.15²。第n年,也就是你想要计算的最后一年的NPV = 第n年调整的利润 / 1.15ⁿ。把从第1年到第n年的数据加总就得到了顾客的价值——企业从这个顾客身上所获得的所有利润的净现值。

这种计算为企业提供了非常有价值的信息。顾客的价值可用于决定吸引新顾客的投资额和吸引哪类顾客,当然,企业还可以利用这些信息,发挥杠杆作用实现顾客满意。如



果顾客保有率增加5%，可以算一算这更多的顾客其价值如何。图4.11给出了3个行业顾客保有率增加5%，顾客净现值的增加情况。

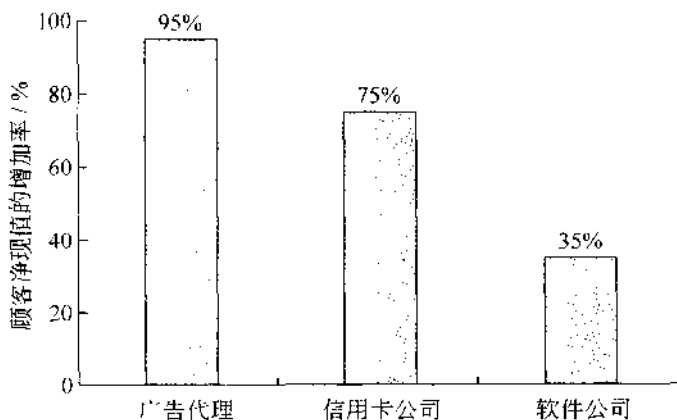


图 4.11 顾客保有度增加5%，顾客净现值的增加情况

一旦人们了解顾客的终身价值，就为以忠诚度为基础的顾客关系管理奠定了基础。Reichheld(1996)提出，以忠诚度为基础的管理要求组织严格挑选顾客、雇员和投资人，并努力保持这种关系。投资人、雇员和顾客忠诚之间具有紧密的因果联系。这是企业中关于人的财富。

投诉处理

当有顾客投诉时，这可能意味着提高顾客忠诚度的机会，也可能是失去顾客的风险。处理顾客投诉的方法很关键，投诉处理方法的重要性如图4.12所示。这些数据显示出，有投诉的顾客是否会做出再次购买的决定，在很大程度上取决于顾客对他们投诉的处理方法的满意程度。而一个不满意的顾客通常会把自己的经历讲述给14个人，顾客关系投诉处理的重要性也就不言而喻了。

尽管图4.12所示的结果表明若投诉处理得当会产生显著效果，但即使这些数据也大大低估了问题的严重程度。投诉表明人们不只是不满意，而且把这种不满告诉了企业。但调查显示将近96%的不满意顾客不会向组织提出投诉，这对企业来说是相当不幸的，因为对投诉的适当处理是可以提高顾客忠诚度的。考虑到丢失顾客对企业的巨大损失，企业应想方设法鼓励顾客把不满向企业提出，积极主动地寻找“顾客的投诉”，然而这似乎违背人类天性。因此，建议企业建立一个系统，并运用它来促使雇员积极寻找投诉。除此之外，这个系统还应为不满意的顾客提供各种可能的方式，便于他们与企业取得联系，比如免费热线、电子邮件、顾客评价卡等。

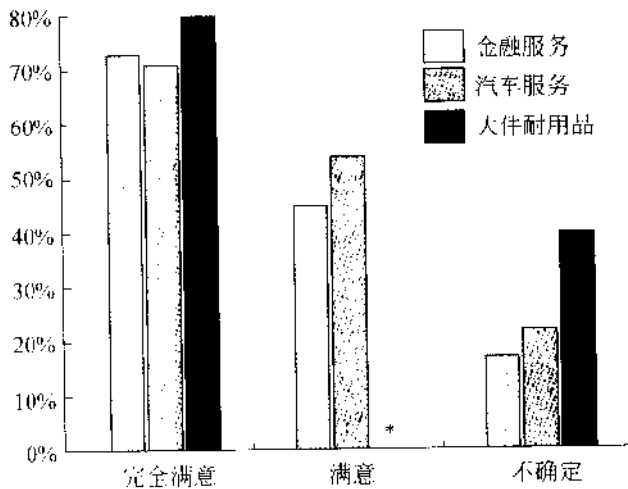


图 4.12 计划再次购买的比例和投诉处理的关系
(*: 大件耐用商品的调查中没有“满意”这一项。)

第5章

六西格玛项目的管理

字典上对“项目”的定义是：

1. 计划或提议；方案。见同义词“计划”。
2. 需要一致协调努力的任务。

项目的同义词“计划”的定义是：

1. 在完成某一目标之前订立的计划、方针或方法；进攻计划。
2. 方案行动之前提议性或计划性的方案或进程。
3. 各个重要部分的系统性安排。

虽然质量上的突破性进展需要管理理念和组织文化的变革，但事实上企业迟早都要通过实施项目的方式来使这些变革发生。项目是使事物发生系统性变化的方法，是计划和行动之间的桥梁。

Frank Gryna 对项目的看法如下(Juran 和 Gryna,1998。pp. 22.18~22.19)：

- 获得组织上下一致同意的项目就是合法的项目，这种合法性保证了项目在组织中的优先级地位，保证项目能获得所需的预算、设施和人员。同样它还确保了项目会议的出席率，这样才能在会议上获得所需的数据，并在会上获得开展某些工作的许可等等。
- 项目给组织的变革过程——从防御性的互相指责的氛围转向建设性行为——提供了转换空间。
- 在项目的参与者都同意的情况下才能实施项目。
- 突破都是通过实施一个个项目取得的，而任何其他方法都无法实现。

最后一条对组织来说，既是好消息也是坏消息。说它是坏消息是因为几乎没有什么项目是真正成功的；说它是好消息是因为组织不用花太大的精力就可以掌握项目的实施方法。这里最需要的是对项目进行有效的管理。

有效的项目管理工具和技术

项目管理是对项目进行规划、实行变革的系统。对项目的管理使得项目实施的结果

更有效。有许多对项目管理有帮助的工具和技术,下面将简略地介绍一些主要的项目管理方法。具体细节将在本章的其他地方讲述。这些工具和技术不仅能用于项目管理,还能协助质量改进和质量控制工作。关于这些技术的其他使用方法在本书中都有论述。

项目计划——项目计划描述了为什么要实施项目和怎样实施的问题。一个好的项目计划应包括如下内容:项目目标陈述,成本/收益分析,项目可行性分析,实施项目的主要步骤,实施的时间表,以及对完成项目所需资源(包括人力资源)的描述。计划中还应明确指出成功的目标,该目标是可度量的并且可用于评估变革的有效性,有时把这样的度量结果称为项目的“判决”。

甘特图——甘特图显示了随着时间的变化各个项目任务之间的关系。下面还会详细介绍甘特图。

重要事件图——对甘特图稍作修改后的重要事件图,还能显示出项目的状态信息。下面还会详细介绍重要事件图。

帕累托分析——帕累托分析帮助组织对多个项目进行优先级排序,以决定实施这些项目的先后顺序,并可以用它来决定下一步该实施什么。朱兰认为帕累托分析帮助组织从纷繁复杂的信息中分辨出少数重要信息,它告诉组织为什么要实施这些项目,以及项目计划的好处。第七章中还有关于帕累托分析的相关论述。

预算——预算是对项目所需费用的估计并给出融资的提议。项目预算是在项目实施过程中对项目的各种开销,包括金钱和时间,进行系统管理的计划。项目所需的资源包括人工时间、金钱、设备等等。预算是在项目计划中关于成本的部分。下面将做详细论述。

过程决策项目图(PDPC)——PDPC技术用于制定辅助计划。它是在一些可靠性工程方法的基础上产生的,比如:故障模式、故障影响和危害性分析(简记为FMECA),故障树分析(简记为FTA)。PDPC技术的重点是分析问题对项目计划的影响。PDPC与具体的措施相配合,进而减轻了问题的影响。PDPC技术保证了在制定项目计划的过程中,尽可能少遇到严重的问题。详细论述见第7章。

质量机能展开(QFD)——QFD是按照顾客需求设计产品和服务的系统;它将顾客需求转化成产品和服务的需求。QFD为决策过程提供文档,并且可用于描述项目的内容和实施方法。总的来说,QFD是一个有效的项目计划工具。详细论述见第3章。

矩阵图——矩阵图是对QFD的简化(或者说,QFD是矩阵图复杂详尽的应用)。矩阵图用于系统地分析两组观念之间的相关关系。在项目管理中,这两组观念可能是:(1)做什么?(2)谁来做?同样见第7章。

箭头图——箭头图是用网状图来表示项目流。它们显示了项目中哪些任务需要完成以及任务完成的先后顺序。详细论述见第7章。箭头图是对PERT系统的简化(参见后面的内容)。

5.1 计 划

开始一个项目之前,要仔细地作计划,原因如下(Ruskin 和 Estes,1995,p.44):

1. 计划是对项目工作的模拟,这样可以提前发现问题并解决问题。
2. 计划使得每个人在项目实施中的作用和职责清晰化,并帮助指导和控制项目工作。
3. 计划显示出项目各部分间的关系,协调各个相关行为的实施。
4. 计划是出现任何变化时的参考,有助于项目管理者处理与顾客的关系。
5. 计划告诉组织中的每个人什么时候能达到目标,也就是什么时候完成项目。

项目计划解释了为什么要实施该项目以及怎样实施的问题。一个好的项目计划应包括以下内容:

1. 项目目标陈述。
2. 成本/收益分析。
3. 项目可行性分析。
4. 实施项目的主要步骤描述。
5. 完成项目的时间表。
6. 完成项目所需资源(包括人力资源)的描述。

计划中还应明确指出成功的目标,该目标是可度量的并且可用于评估变革的有效性,有时把这样的度量结果称为对项目的“判决”。

项目分解

一些对质量有重大影响的项目规模非常大,不可能一次就全部完成。所以,大的项目应分解成小项目,进而分解成具体的工作要素和工作任务。从项目目标到细化了的项目任务的过程称为分解。项目分解始于初步计划的准备阶段。初步计划要从较高的层次识别项目的目标,并指出项目在时间和资源上的限制。同时还要描述出将要开展的工作和优先的关系,并进一步做出初步预算和日程安排。最后要为分解出的每个子项目制定出子计划,内容包括:

- 控制计划:
 - 质量控制计划
 - 成本控制计划
 - 工作日程控制计划
- 职员计划。
- 材料计划。

- 报告计划。
- 其他必要的计划。

各种各样子项目的子计划应一同设计。

5.1.1 综合质量的开端

项目的选择应与组织的整体战略和目标相一致。出于全球化的系统观点,大多数项目都需要几个不同的职能领域共同努力来完成。不仅单个质量项目要跨越组织的职能边界,而且不同的项目之间也经常是彼此相关。由于关系的复杂性,为了对项目进行有效的管理,把项目计划和组织范围内的项目实施融合起来是相当必要的。

(关于团队的详细论述请参见第1章。)

团队由高层领导进行管理,通常情况下高层领导是唯一有权限分配跨部门的任务,他们同时掌握着部门间资源的调配。团队的协助人员帮助高层领导提交书面的问题陈述。问题陈述应该相当详细,这样才能帮助团队认清项目的范围和主要受益人。重大问题应分解成小项目来解决。

项目的设立过程分为以下6个步骤:

1. 提交问题陈述。
2. 识别主要受益人。
3. 绘制过程的总体流程图。
4. 选择团队的组成成员。
5. 对团队成员进行培训。
6. 选出团队负责人。

项目章程还包括项目团队的目标陈述。

如果团队没有拿到项目的目标陈述,他们就需要自己来制定团队目标陈述。目标陈述应以章程的形式与组织的目标联系起来。Scholtes(1988)指出了需要团队自己制定目标陈述的一系列情况:

- 管理者制定的目标陈述太宽泛(例如:“减少顾客抱怨”)。
- 管理者制定的目标陈述不清晰(例如:“使运输部门协同工作”)。
- 在开始实施项目之前,团队需要分析问题的本质和严重性(例如:“划痕是一个严重问题吗?”)。
- 团队的惟一任务就是识别和描述问题,这样才能设计出更有针对性的项目;可能会涉及到多个团队。
- 可以自己选择项目的团队。

当存在多个项目团队时,他们的目标陈述应清晰地表明各项目之间的界限。如果存在模糊和混淆,这些团队应聚集在一起将各自的责任划分清楚。

目标陈述可能会有以下问题：

- 项目对组织的成功影响很小或者没有影响；即使成功地实施了该项目，也没有人真正给予关注。
- 团队的目标和其余团队的目标有重叠的部分。例如，团队 A 的目标是减少焊接不合格，团队 B 的目标是减少波峰焊的不合格，团队 C 的目标是减少电路板装配问题。
- 项目改进的过程是计划要重新设计的过程或不再继续使用的过程，例如，为即将被另一个工厂取代的生产过程进行工作流的改进。
- 研究一个规模巨大的系统（例如“接纳病人”）而不是一个可管理的过程（“门诊病人的预诊”）。
- 研究问题的表现（例如“有缺陷焊点的接触问题”）而不是根本原因（例如“波峰焊的缺陷”）。
- 项目目标没有定义。例如，“研究全面质量管理”而不是“减少急诊室的排队等待时间”。

5.1.2 短期和长期的质量计划和目标

这里主要讨论质量计划在项目管理中的作用。

总的来说，长期计划要着眼于战略性问题和战略目标。若涉及到战略计划的具体实施，那么，这类项目属于短期的、战术性的项目，即使是需要很长的时间才能完成的项目也是如此。

工作分解结构

Ruskin 和 Estes(1995)认为，工作分解结构(WBS)是一个定义项目的最终产品和中间产品并描述这些产品之间关系的过程。定义项目任务的工作是很复杂的，通常需要先进行一系列的分解，然后再进行一系列的汇总。例如，一个开发统计过程控制(SPC)应用软件的软件项目，需要把顾客需求分解为非常具体的工程需求（比如，顾客要求应用软件具有绘制 \bar{x} 控制图的功能，这一需求被分解为工程需求，如：计算子组的平均值和极差，绘制数据点，画控制线等等）。汇总工作则是把这些不同模块的结果联系起来，在屏幕上绘制出一张 \bar{x} 图。

WBS 可以表示为树图，如下图 5.1 所示。

WBS 初期需求——是顾客对项目总体需求的表述（例如，目标或“产品”），及管理者的辅助性需求（例如，所需的账目和报告）。

WBS 详细计划——将产品分解为子产品。列出每一个子产品的详细需求（例如，生产工具和人力）。然后再将子产品继续分解成更细的产品，这样不断分解下去，直到分解

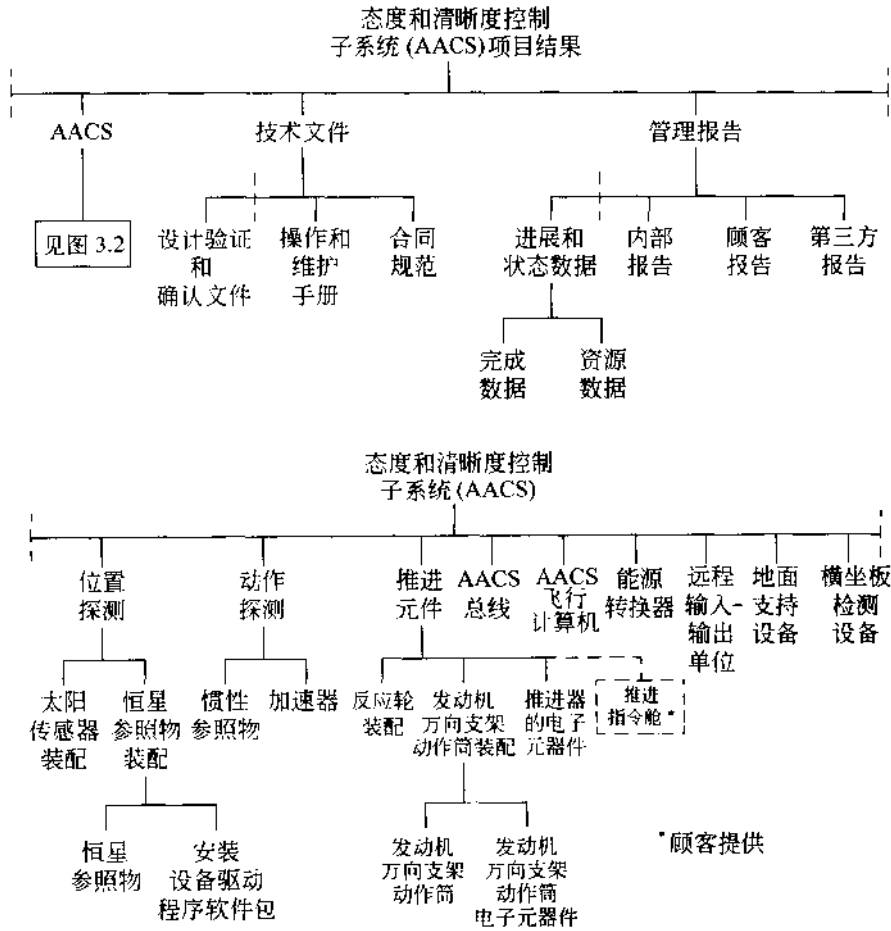


图 5.1 太空船系统的工作分解结构图

资料来源: Ruskin, A. M. and Estes, W. E. *What Every Engineer Should Know About Project Management*, 2nd Edition. Copyright © 1995 by Marcel Dekker, Inc.

后的结果达到可接受的水平。所有的工作都从分解到的最基层开始。每一个子系统的详细计划包括质量控制计划、成本和日程安排、人员计划、材料计划、报告计划、附属计划和工作授权计划。除此之外,总体的详细计划还应包括目标、限制、先后关系、时间表、预算、评审和报告规程等。

WBS 典型子系统——WBS 的典型子系统随之产生了,也就是说,应用刚才描述的过程,构建子系统。

WBS 集成——WBS 集成描述了如何将各个子系统集成为最终产品。与分解的过程

相反,先集成为较大的子系统,再将这些子系统集成为更大的子系统,直到最后集成出最终产品。

WBS 确认——解释了各种系统集成如何进行度量、测试,以确保满足最终的要求。

5.1.3 反馈环

项目计划本身就是一种很重要的反馈工具。它提供了完成各项任务的细节,什么时间做什么样的事情,需要花费多少资源。项目计划还包括有关反馈的具体内容。常见的反馈类型有如下几种:

- **状态报告**——正式的以标准形式完成的周期性书面报告,描述项目的基础以及该基础与项目计划之间的关系。如果项目的实施与计划不一致,状态报告中应说明差距产生的原因,并给出解决方案,使项目实施和计划逐步一致。这些补救性措施有时需要对计划进行相应的修改。如果是因为项目团队不能克服的障碍而导致项目实施和计划不一致,状态报告中则应要求高层管理者的介入。
- **管理评审**——通过提前安排好的会议,使项目负责人有机会与管理层的重要领导会面。这些会议主要是为管理者服务的,使管理者了解项目的状态,评审项目章程和项目团队的目标,讨论可能对团队改进过程产生影响的管理行为等等。这是团队汇报遇到的系统性障碍的好机会;虽然团队不得不在现有的系统下工作,管理者却具有改变现有系统的权利。系统中的小变化有时能戏剧化地增强团队持续改进的能力。
- **预算评审**——虽然每个状态报告中都有预算报告,预算评审却是实际资源利用对照预算使用的正式评估。预算评审同样可能会修改预算,基于原始预算条件下的项目发展情况,调高或调低预算。不幸的是,有些没有统计常识的人,对预算波动有抵触情绪,似乎这种波动是由特殊原因引起的异常。质量管理人员应对财务和管理人员进行方差原理的相关培训,以防止预算过程中的不正当干预。
- **顾客审核**——这里的“顾客”指的是项目的主要受益人,这个人项目待改进过程的“主人”。项目计划的设计应满足顾客的需求,而顾客则应积极地关注项目是否按预定轨道行进。
- **更新计划和时间表**——反馈的目的是为改善未来行为提供信息、打下基础。由于这些行为在项目计划和日程安排中都有记录在案,所以在必要时这些文档要作适当的修改以确保采取适当的行为。请记住,在 PDCA 环中,最先改变的是计划。
- **资源调整**——对计划和时间表的修改可能会增加或减少分配给项目的资源,或者加快或降低资源的使用速度。资源调整对其他项目的影响可以由管理者从组织全局目标的角度进行评价。

5.1.4 业绩测量

及时性

有很多工具和技术都可以协助项目管理者制定项目时间表,按时间表分配资源,在项目计划的实施过程中跟踪项目的进展。下面将介绍最常用的两种:甘特图和 PERT 系统。

甘特图

甘特图——甘特图显示了随着时间的推移,项目任务之间的关系。甘特图的横轴是时间单元(天,周,月,等等)。纵轴是需要完成的活动。条形显示了各个活动的估计开始时间和持续时间。图 5.2 是一张简单的甘特图。

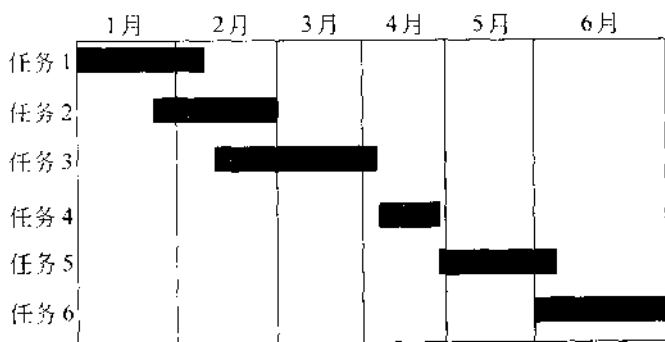


图 5.2 甘特图

重要事件图——经常需要对甘特图进行相应的修改,以提供一些补充信息。一种最常用的形式如图 5.3 所示。“重要事件”的标志表示的是一个事件而不是一个活动;它不耗费时间和资源。进行这样修改的甘特图被称为“重要事件图”。

对甘特图和重要事件图做一些修改后还可以显示一些其他信息,例如谁应对项目负责,为什么某任务延期完成,补救措施的制定或者实施,等等。

PERT-CPM 类的项目管理系统

甘特图和它的衍生产品虽然很有用,但是却不能提供足够的项目进度分析能力。对大规模项目的成功管理还需要更严格的工具,协助项目的计划、日程安排和进行大量相关活动的协调工作。20 世纪 50 年代后期开发出的以网络和网络技术为基础的程序,就具备了上述这些功能。这些程序中最有价值的就是计划评估与审核技术(PERT)和关键路径法(CPM)。这两种方法通常被统称为 PERT 类的项目管理系统。PERT 和 CPM 最重要的区别是对时间的估计,CPM 认为活动是确定性的,而 PERT 把活动看为随机的。今天,PERT 和 CPM 已经融合为一种技术,它们之间的区别已不复存在。

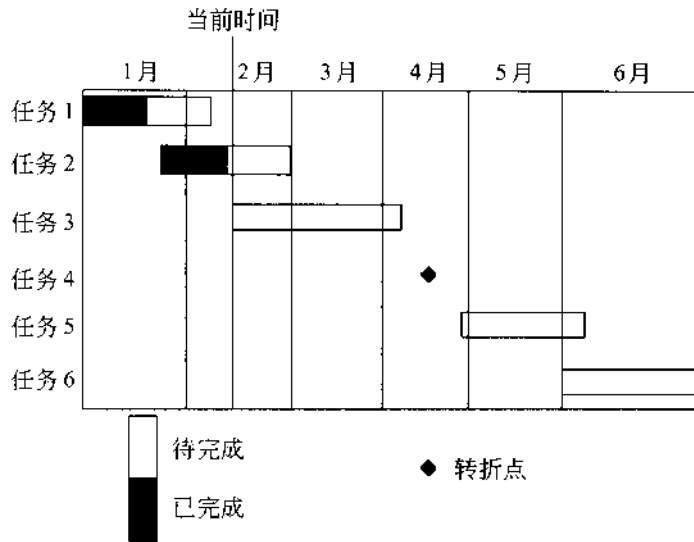


图 5.3 强化的甘特图(重要事件图)

使用 PERT-CPM 进行项目安排包括 4 个基本的阶段：计划，日程安排，改进和控制。计划过程中需要把项目分解成具体的活动。然后，估计这些活动的开始时间和完成这些活动所需的时间。把每个活动都用一个箭头来表示，就可以构造出项目的网状图(或者称为箭头图)。

PERT 类系统可用于：

- 辅助项目的计划和控制。
- 确定在预定日期前完工的可行性。
- 识别项目实施中最可能出现瓶颈的环节。
- 估计项目需求或日程安排的变化对项目的影响。
- 估计偏离日程安排对项目的影响。
- 估计调走部分资源或增加资源对项目的影响。

项目安排的最终目的是构造出标有每个活动的起止时间以及与其他活动之间关系的时间图。同时必须识别出关键活动，也就是那些必须按时完成的活动，否则将会延误整个项目的进度。

很重要的一点是，不应该仅仅只是接受项目的日程安排。用于制定日程安排的信息同样可以用于改进项目的日程安排。分析得到的关键活动亦是改进的着手点。可以使用帕累托分析来识别关键元素，关键活动的改进将显著地缩短整个项目的完成时间。成本数据可用于时间数据的补充，并用帕累托分析对时间和成本数据进行分析。

PERT-CPM 项目管理的最后一个阶段是项目控制。这一阶段要使用网状图和时间图来进行周期性的改进评估。

构造 PERT-CPM 网状图

所有的 PERT 类网状图都是使用项目网状图来描述项目元素间的相互关系。项目计划的网状图显示了所有活动的先后关系,也就是任务被完成的先后顺序。在这种网状图中,箭头代表活动,方框或者圆圈代表事件。学习使用和理解这种技术时,必须把这两个概念区分清楚。如果第一个事件是第二个事件的紧前事件,那么,在第一个事件与第二个事件之间画一个箭头。如果一个事件发生之前需要完成不只一项活动,那么就会有多个箭头指向这一事件。有时虽然两个事件之间没有活动存在,但其中的一个事件还是必须等待另一个事件的完成才可以开始,这种情况下,这两个事件之间要用虚线箭头连接,虚箭头代表一个虚活动。完成虚活动不需要时间,它们仅仅用来表示事件发生的先后关系。

作图的规范如图 5.4 所示:

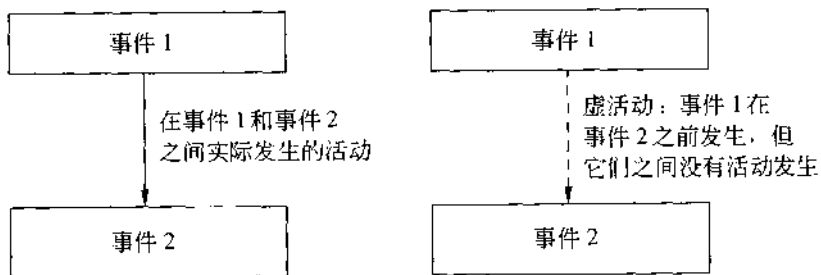


图 5.4 网状图相关术语和作图规范

所有活动都指向的那个节点标志着项目的最后完成,称为网状图的交汇点。

Taha(1976)提出了构造箭头图的下列原则:

规则 1——网状图中每个活动都由一个箭头来表示,且只由一个箭头表示。一个活动在网状图中不能出现两次,但是,一个活动可以分解成多个部分。

规则 2——不能有两个活动从同一个事件指向同样的另一个事件。当两个活动可以同时发生时,就可能产生这种情况。正确的做法是引入虚事件和虚活动,见图 5.5。

规则 2 的存在使得用计算机程序实现网状图的分析成为可能。

规则 3——为了保证网状图中事件和活动的先后关系正确,每添加一个活动时都应先回答下列问题:

- a. 该活动开始前必须完成哪些活动?
- b. 哪些活动是该活动的直接后继?
- c. 哪些活动必须和该活动同时发生?

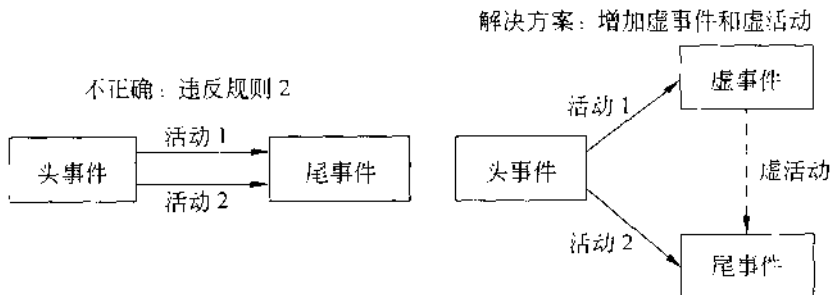


图 5.5 平行活动在网状图中的表示方法

PERT 实例

下面是 Hillier 和 Lieberman(1980)给出的一个实例,我们将用 PERT 方法来分析这个造房工程。表 5.1 是各个活动和它们的估计完成时间。

表 5.1 造房工程中的活动

活 动	完成所需的时间(天数)	活 动	完成所需的时间(天数)
开挖	2	地板	4
打地基	4	内部粉刷	5
造墙	10	内部装修	6
电线铺设	7	屋顶	6
外部管道	4	外墙	7
内部管道	5	外部粉刷	5
墙板	8	外部装修	2

现在要弄清楚这些活动间的先后次序。例如,只有先建造好墙壁才能造屋顶,这被称为先驱关系,即墙必须在做屋顶前造好。网状图可用于显示造房工程中的先后关系,下图 5.6 就是用 PERT 网状图来描述造房工程中活动的先后关系。

寻找关键路径

每个事件都有最早结束时间和最晚结束时间。某事件的最早结束时间是指在该事件的所有先驱活动都及早完成的情况下,出现该事件的最早时间;最晚结束时间是在不会影响整个项目完工时间的情况下,出现该事件的最晚时间。最早时间的计算是从第一个事件开始,从前往后,依次计算每个事件发生的最早时间,要求紧前事件在最早时间发生,活动用估计的时间完成。表 5.2 给出了造房工程实例中对最早结束时间的计算过程(事件编号与图 5.6 的网络图对应)。建议读者使用图 5.6 自己动手完成这些计算过程。

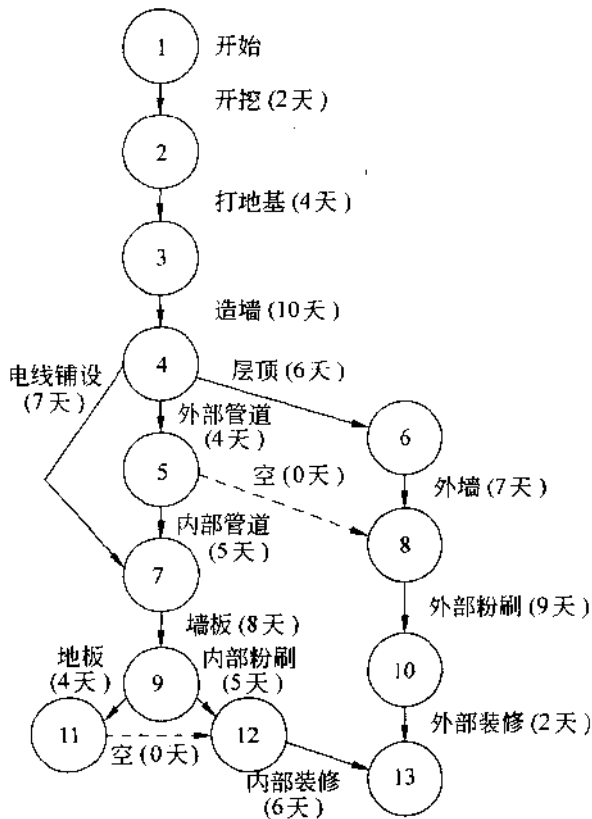


图 5.6 造房工程的网状图

资料来源: *Introduction to Operations Research*, 3rd Edition, Hillier and Lieberman. Copyright © 1980 by Holden-Day, Inc. San Francisco, California.

表 5.2 造房工程实例中最早结束时间的计算

单位: 天

事件	紧前事件	最早时间+活动时间	最大值=最早结束时间 ^①
1	—	—	0
2	1	0+2	2
3	2	2+4	6
4	3	6+10	16
5	4	16+4	20
6	4	16+6	22

① 事件7(记为#7)中的*值是23,但它不是#7发生的最早时间,#4和#5都完成时#7才会发生。#8, #12, #13中的*值也不是最早时间,因为#8, #12, #13的发生需要它们的紧前事件都完成。

续表

事件	紧前事件	最早时间+活动时间	最大值-最早结束时间
7	4	16+7	*
	5	20+5	25
8	5	20+0	*
	6	22+7	29
9	7	25+8	33
10	8	29+9	38
11	9	33+4	37
12	9	33+5	38
	11	37+0	*
13	10	38+2	*
	12	38+6	44

例如,事件8完成的最早时间是29天。而最晚时间的计算则是从最后一个事件开始,从后往前,依次计算每一个事件的最晚时间,要求紧后事件在最晚结束时间发生(见表5.3)。

表 5.3 造房工程实例中最晚结束时间的计算

单位:天

事件	紧后事件	最早时间-活动时间	最大值=最晚结束时间 ^①
13		—	44
12	13	44-6	38
11	12	38-0	38
10	13	44-2	42
9	12	38-5	33
	11	38-4	*
8	10	42-9	33
7	9	33-8	25
6	8	33-7	26
5	8	33-0	*
	7	25-5	20
4	7	25-7	*
	6	26-6	*
	5	20-4	16

^① 单元格中的*不是最晚完成时间,在不影响整个项目完工时间的情况下,因为它们不是完成每个事件的最少事件。(注意:如果用34天完成#9,那么完成项目需要45天,也就是说,拖延了1天。)

续表

事件	紧后事件	最早时间—活动时间	最大值—最晚结束时间
3	4	16-10	6
2	3	6-4	2
1	2	2-2	0

事件的延迟时间是事件的最晚时间和最早时间之间的差值。某事件的延迟时间是指:在所有其他的活动和事件都按日程安排正常进行的情况下,在不影响整个项目完工时间的情况下,该事件可容忍的拖延时间。表 5.4 是造房工程实例中每个事件的延迟时间。

表 5.4 造房工程实例中延迟时间的计算

单位:天

事件	延迟时间	事件	延迟时间
1	$0-0=0$	7	$25-25=0$
2	$2-2=0$	8	$33-29-4$
3	$6-6=0$	9	$33-33=0$
4	$16-16=0$	10	$42-38=0$
5	$20-20=0$	11	$38-37=1$
6	$26-22=4$	12	$38-38=0$
继续……	继续……	13	$44-44=0$

活动 x, y 间的延迟时间是以下两个量之间的差值:

1. 事件 y 的最晚时间
2. 事件 x 的最早时间+估计的活动时间

活动的延迟时间是活动的最晚时间和最早时间之间的差值。某活动的延迟时间是指:在所有其他的活动和事件都按日程安排正常进行的情况下,在不影响整个项目完工时间的情况下,该活动可容忍的拖延时间。表 5.5 是造房工程实例中每个活动的延迟时间。

表 5.5 造房工程实例中活动延迟时间的计算

单位:天

活动	延迟时间	活动	延迟时间
开挖(1,2)	$2-(0+2)=0$	外墙(6,8)	$33-(22+7)=4$
打地基(2,3)	$6-(2+4)=0$	墙板(7,9)	$33-(25+8)=0$
造墙(3,4)	$16-(6+10)=0$	外部粉刷(8,10)	$42-(29+9)=4$
外部管道(4,5)	$20-(16+4)=0$	地板(9,11)	$38-(33+4)=1$

续表

活 动	延迟时间	活 动	延迟时间
屋顶(4,6)	$26 - (16 + 6) = 4$	内部粉刷(9,12)	$38 - (33 + 5) = 0$
电线铺设(4,7)	$25 - (16 + 7) = 2$	外部装修(10,13)	$44 - (38 + 2) = 4$
内部管道(5,7)	$25 - (20 + 5) = 0$	内部装修(12,13)	$44 - (38 + 6) = 0$

延迟时间为零的事件和活动都位于项目的关键路径上。项目的关键路径是指网状图上延迟时间为零的活动组成的路径。所有延迟时间为零的事件和活动都位于关键路径上,而关键路径上的所有事件和活动的延迟时间也一定为零。图 5.7 中用粗箭头表示了造房工程中关键路径上的活动。

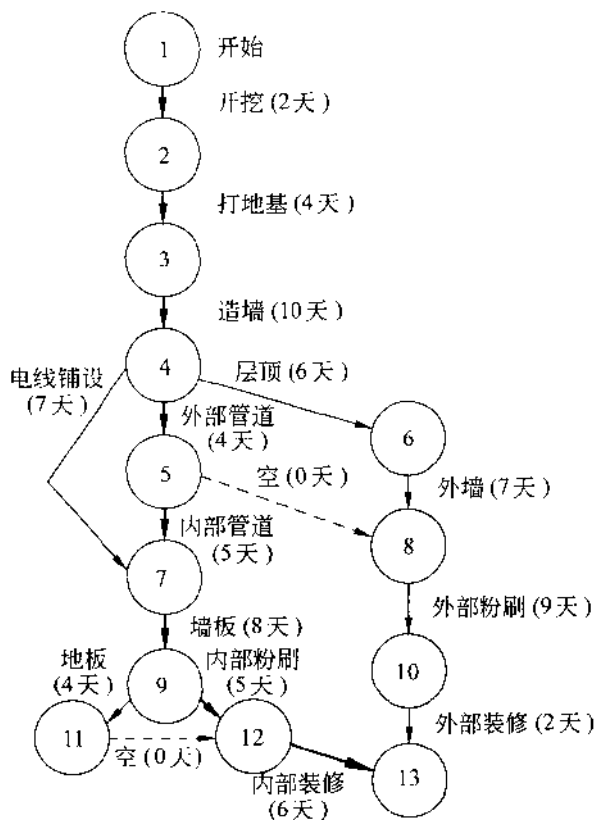


图 5.7 造房工程的关键路径



日程安排偏差的控制和预防

项目经理利用网络图和从网络图分析得出的信息对项目进行管理。一种方法是密切注意关键路径上的每个活动,因为关键路径上每个活动的拖延都会造成整个工程的延期。同时,管理者也应组织一个团队专门负责按网络分析的结果,调整项目计划以努力缩减项目所需的时间。管理者还应注意,网络图上的时间都是估计值,实际的完成时间可能有些变动。如果真的发生了变动,关键路径可能会相应地变化。因此网络图是一个动态的实体,应随着条件的变化不断对其进行修改。

产生偏差的原因包括项目计划的不充分和项目管理上的失误。当然,还有一些项目管理者无法控制的外部原因,但管理者不能以外部原因为借口为自己的失误开脱责任。聪明的项目管理者都会主动承担责任并准备突发事件的解决计划。这里可以用 PDPC 技术来协助工作的开展。进度控制计划中也应考虑到发生进度偏差的可能性。前面已经讲到进度控制计划是对项目计划过程的基本目标。应按规定定期评审控制计划,以保证能及时检测出一些预料外的问题,防止这些问题发展成项目实施进程上的偏差。

资源

资源是指公司实施项目所用的资源,包括雇员工时数。项目管理者负责定义、协调和保证项目所需要的资源——人力、设备、设施和服务——的分配。资源的保障和分配工作应尽可能地详细。通常项目预算中要详细地描述资源的使用情况(下面将详述)。

需要定义和协调下面这些项目:

- 供应什么?
- 由谁负责?
- 什么时候?
- 如何分发?
- 资源成本为多少
 - 谁出资?
 - 何时支付?

资源矛盾

当然还存在其他一些利用资源的机会。在大型项目的实施过程中,资源分配中的矛盾常常是不可避免的。如果资源的冲突能够在管理者之间直接解决,就太好了;但在很多情况下,资源冲突问题需要高层管理者出面。高层经理把资源冲突问题视为需要修改或重新设计管理系统资源分配的标志。于是,这些冲突通常会导致管理者对项目失去兴趣,不愿支持项目的实施,甚至公开反对项目的进行。这类冲突往往会带来对质量改进努力的不满。

方法

项目规划中的成本问题

大部分的项目进度都可以压缩得更短,但相应的成本会增加。这里分析的成本只包括直接成本。间接成本(行政费、管理费)将会在最终的分析中考虑。假设按正常进度完成活动的成本和紧急工期所需的成本之间是线性关系。当然,假设在不考虑成本的前提下,存在一个更短的工期。图 5.8 描述了这些概念。

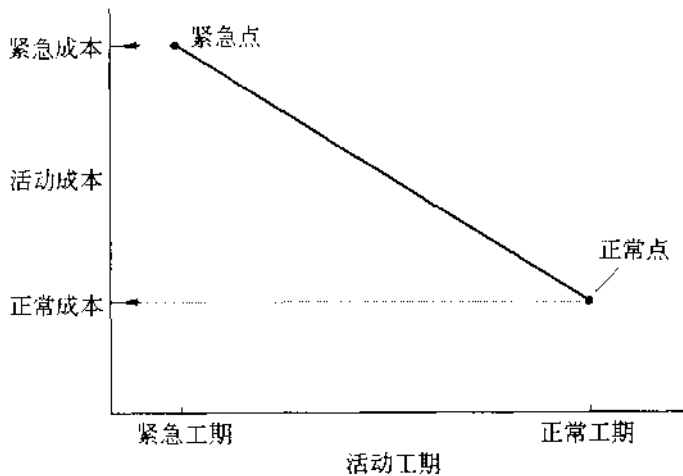


图 5.8 活动的成本与时间的关系

对某一给定的活动,单位时间的成本为:

$$\frac{\text{紧急在本} - \text{正常成本}}{\text{正常工期} - \text{紧急工期}} \quad (5.1)$$

当选择关键路径上有待改进的活动时,应该从单位时间成本最小的活动开始。项目经理必须明白,一旦活动工期缩短了,关键路径可能会改变。如果出现了一条新的关键路径,接下来的改进工作则应在新的关键路径上进行,也就是应该分析新关键路径上的活动。

下表显示了造房工程的成本数据和每个活动的紧急进度时间。

用黑体显示的活动构成了关键路径。改进工作中,我们只考虑关键路径上的行为,因为只有它们的工期缩短才能带来整个项目工期的缩短。在上例中,第一个考虑改进的活动是打地基,因为它的单位时间成本最小,为 800 美元(表 5.6 中是用星号表示)。如果给这一活动分配更多的资源,这一活动可以在最短工期中完工,进而减少了项目完成的总时间。地基时间缩短以后,项目的关键路径没有改变,下一个要考虑的是开挖,然后是内部粉刷,等等。

表 5.6 造房工程中活动的成本

活 动	正常进度		紧急进度		单位时间成本(美元/天)
	时间(天)	成本(美元)	时间(天)	成本(美元)	
开挖	2	1 000	1	2 000	1 000
打地基	4	1 600	3	2 400	800
造墙	10	7 500	6	14 000	1 625
电线铺设	7	7 000	4	14 000	2 333
外部管道	4	4 400	3	6 000	1 600
内部管道	5	3 750	3	7 500	1 875
墙板	8	3 500	3	7 000	1 750
地板	4	3 200	2	5 600	1 200
内部粉刷	5	3 000	3	5 500	1 250
内部装修	6	4 800	2	11 000	1 550
屋顶	6	4 900	2	12 000	1 775
外墙	7	5 600	3	12 000	1 600
外部粉刷	9	4 500	5	9 000	1 125
外部装修	2	1 800	1	3 200	1 400

随着改进过程的一步步进行,整个项目所需的工期逐渐缩短,但完成项目所需的直接成本却逐渐增加。成本与工期关系如图 5.9 所示:

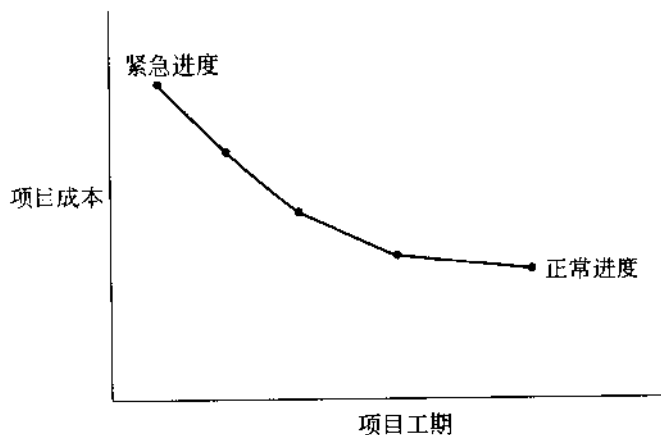


图 5.9 直接成本随项目工期的变化曲线



相反,管理费等间接费用却随着工期缩短而减少。把直接成本和间接成本相加得到总成本,总成本随工期缩短的变化趋势如图 5.10 所示。

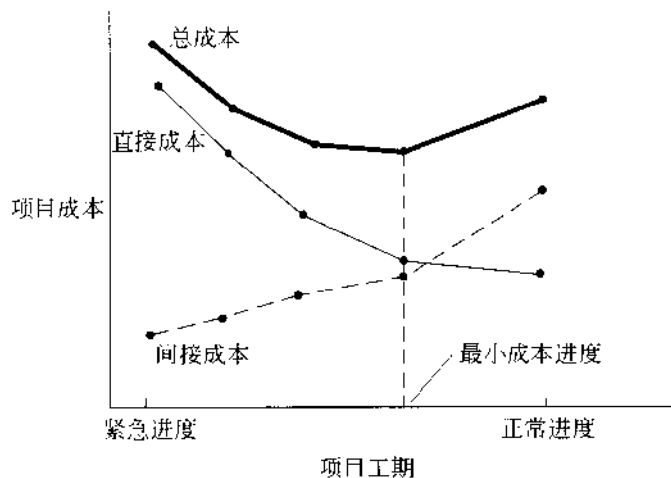


图 5.10 总成本随项目工期的变化曲线

为了使资源利用最优化,项目经理制定的项目计划应该使项目总成本最小。当然,组织可能有多个项目同时实施,使得资源分配会存在一些其他的限制条件。

其他行为度量方法

项目信息的收集应随着项目进行的过程不断动态地进行。信息应该及时地提供给需要它们的各相关方和决策者。获得信息的人能够据此协助项目管理者对日程安排进行维护和修改。这里有两种交流方式:反馈和前馈。反馈的是历史数据,包括日程的执行、成本的方差(和项目预算有关)和质量方差(和质量计划有关)。信息获得者可以根据这些反馈数据,并参照原来制定的项目计划,制定这三个领域的控制计划。前馈是针对未来的,其目的主要是预防这三个领域中方差的生产。信息的报告模式通常有以下几种:

- 正式的书面报告。
- 非正式的报告和书信。
- 演讲。
- 会议。
- 在可行的情况下,对项目进行巡回检查工作。
- 对话。

有效交流的原理应始终牢牢地记在脑中。在选择交流方式时,应考虑到听众的特征和他们的需求,以及可用的时间和资源。对听众的分类可以从以下 5 个方面来进行 (Ruskin 和 Estes, 1995, p. 193):



1. 听众的差异。
2. 听众的组成。
3. 听众对交流主题的了解程度。
4. 听众的规模和地理分布。
5. 听众想知道什么。

报告和演讲应提前规划好,尽可能避免浪费听众的时间,也不能浪费做报告者的时间。计划中应说明此次交流的目标,以及为了达到这些目标要采取哪些必要的步骤。如果认为交流是“课程”,计划可以视为“课程计划”。计划中还应有的条款,保证目标的完成。

项目交流是一个过程,和其他任何过程一样,它也可以不断地改进和提高。CQI 工具就是用来改进项目交流过程的。使用第 7 章和第 8 章中将要介绍的质量控制工具,组织可以分析度量尺度并用它来改进项目的管理过程。在项目管理中,PDCA 环也同样适用。

5.1.5 相关受益人

大型的质量改进项目通常会影响到组织中的许多人员。那些受到影响的人都被称为项目的“受益人”。受益人的利益应尽可能地与项目的目标结合起来。否则,受益人为了他们自己的利益,很可能有意或者无意地做出对项目实施不利的行为。

识别项目受益人的过程始于项目的组织,项目的组织过程一结束,负责项目的团队就应该有了一份项目潜在受益人以及他们职责的列表。如果项目对小时工也有很大的影响,那么他们就应该被算成项目的受益人。如果所涉及到的工人参加了工会,那么项目的相关情况就应告知工会。要让受益人了解到项目可能带来的所有益处,因为人们只有在看到项目的价值和了解到采取行动的紧迫性之后才会支持组织的变革。所以,要先识别出受益人并分析他们的需求,这样才能制定出满足他们需求的计划并获得受益人的支持。同时项目团队还要经常地与受益人交流,避免产生不必要的问题。

受益人重点小组支持小组成员评价项目计划对受益人的影响以及受益人对项目的影响。重点小组方法是一种高度结构化的方法,项目团队首先识别受益人并做出关于受益人的相关假设,然后请受益人说出他们对项目的意见(关于重点小组技术的讨论参见第 1 章)。进而项目团队评估这些假设对受益人的重要性和对项目计划的重要性,同时还要制定出受益人满意度计划来保证关键受益人和收益人重点小组对项目的支持。

项目经理应立即安排一个非正式会议,与识别出的所有受益人,包括质量领域的管理人员(而不是其他领域的人员),进行简短的会晤。项目经理和过程主管要向参加会议的项目受益人说明,在高层领导的允许和指示下,将在与会者所辖领域开展某项目。同时,这个会议也是向中层管理者发出的邀请,邀请他们参与项目的实施。应当给管理者一周左右的时间对高层领导制定的项目决策进行改动。如果发现有人试图破坏项目的具体事

实,项目经理和过程主管应立即向批准这一项目的高层经理汇报,由高层经理负责解决。

5.1.6 水平对比

水平对比是质量经理普遍感兴趣的一个话题。因此,这里的讨论将不仅局限于项目管理中水平对比的应用。

水平对比是制定需求和设定目标时很常用的一种方法。通俗地讲,水平对比就是衡量本公司的业绩,与行业中最好的公司比较,研究那些公司是怎样实现高业绩水平的,并利用分析和研究的结果指导本公司制定目标和战略、实施项目。水平对比要研究行业、企业和过程中的最高水平,其内涵远不只是“行业标准”。它将企业活动分解成工序,然后为每个工序寻找最高水平的运作方式。比如,为了改进零件分发过程,施乐公司仔细研究了零售商 L. L. Bean。

水平对比不仅仅是设定目标,它更注重能带来高业绩的实践过程。水平对比还要建立合作关系,以促进合作者之间的相互学习。与竞争者之间也可以通过水平对比建立合作关系,只要能避免知识产权问题。

水平对比项目和其他任何项目是相同的。水平对比还需要有结构化的方法,以保证充分而准确的调查能够成功地完成。但同时,它也应具有一定的适应性,吸收新方法以获得用平常方法难以得到的信息。这是一个不断创新和学习经验的过程,它给企业一个开放的视角,促使企业超越自身。

水平对比的过程

Camp(1989)认为水平对比过程由如下步骤组成:

1. 计划
 - a. 识别水平对比的对象
 - b. 识别竞争对手
 - c. 决定数据收集方法,收集数据
2. 分析
 - a. 分析当前的业绩差距
 - b. 实施项目后的未来业绩水平
3. 融入过程
 - a. 就水平对比的结果进行沟通,获得认同
 - b. 建立功能化目标
4. 采取行动
 - a. 制定行动计划
 - b. 实施具体行动,管理过程

c. 再次考虑水平对比的基准

5. 成熟度

a. 获得行业领导地位

b. 在过程中全面实施改进

水平对比的第一步是决定水平对比的对象。为了使水平对比过程从关键因素开始, 先要识别出对过程的顾客而言最重要的输出(例如, 关键的质量特征)。组织中的每个职能都有自己的输出和顾客, 因此这一步对组织的每个职能都适用。适用的分析工具有 QFD 和顾客需求评估。

水平对比的启动

水平对比的本质是获取信息。水平对比始于对需要进行水平对比过程的识别, 这些选定的过程应该是对企业成功有重大影响的过程。

一旦确定了将要进行水平对比的过程, 就需要去图书馆查阅文献, 获取相关领域的信息并对之进行研究。图书馆里有大量的外部资源, 例如杂志、刊物和报道等, 需要从中搜集有用的资料。同时, 还可以利用因特网和其他的电子网络资源进行研究, 但是从网上搜集到的信息通常数量极其庞大惊人(例如, 在因特网上搜索与“水平对比”有关的信息, 可以得到 20 000 来条相关的信息)。企业的内部资源也是可以利用的。例如用“企业内部网”进行内部信息的搜索。与关键部门, 如研发部门的人员, 进行会谈。跟企业中经常与顾客、竞争者、供应商和其他外部组织联系的专家进行交流。通常情况下, 企业董事有着较广的外部信息来源。

对信息的搜索当然不能是漫无目的, 需要寻找本行业中最高水平的公司, 而不是那些表现平平的公司。有许多种辨识“精英”的办法, 一种方法是列出企业曾获奖项的纲要, 并简要记录企业在过程改进中的收益。可使用的资源有: 《行业周刊》评定的最佳公司, 美国国家马尔克姆·波多里奇质量奖, 《今日美国》和罗切斯特理工学院的质量奖项, 欧洲质量管理奖, 行业安全和健康管理局(OSHA), 联邦质量机构, 日本戴明奖, 竞争力论坛, 《财富》杂志, 美国海军最佳质量实践, 等等, 这里列出的只是很小一部分。这些资料都可以从专门收集水平对比信息的中间机构以一定的价格订阅。一旦订阅, 还可以获得其他订阅人的名字——这是一个巨大的资源。

不要小看你的供应商, 他们也是信息的来源。若企业需要寻找最好的供应商, 那么与这些现有的供应商联系, 看看他们是否愿意与你分享他们的“商业秘密”。通常供应商是愿意与他们的顾客合作, 为顾客提供相关信息。同样, 与顾客联系, 顾客对企业改进很感兴趣, 因为公司的产品质量、成本和运送质量的改进也能使顾客受益。顾客通常愿意分享他们对你的公司与你的竞争对手公司的看法, 以及他们的比较结果。需要注意的是, 对直接竞争对手“好”或“坏”的评价有时并不重要, 而应该更着重于过程层面上的信息, 如: 顾

客认为哪一个公司的广告最吸引人？订单是否履行？客户服务如何？这样不会涉及到保密的问题。从顾客提供的信息中识别潜在的水平对比目标，其好处是简化了寻找水平对比目标的过程。

另一个获得企业详细信息的途径是学术研究。公司经常出于研究的目的允许一些大学获得公司的详细信息。虽然论文发表时通常不会指出数据来源，但通常会把最好的公司和其他的公司做比较，并详细分析它们之间的不同。专家提供的这些信息，通常能大大地节省公司自己搜寻信息所需的时间。

获得本行业中潜在参与者的名单以后，下一步就是从中选出 3~5 个最好的水平对比目标。基于下列原则删掉一些参与者 (Vaziri, 1992)：

- 不是最好的公司。
- 不愿分享信息和实践经验的公司 (例如，不认为水平对比过程是一个互相受益的学习机会)。
- 难以获取参与者的信息或者获得的信息不可靠。

随着水平对比过程的推进，需要对最有期望参与者的特征进行不断提炼。当然在此之前，需要首先非常清晰地了解自己公司的关键质量特征和关键成功因素以及市场上其他公司的改进信息。从而，公司能在水平对比的过程中受益。

水平对比失败的原因

水平对比项目失败的原因和其他项目失败的原因是一样的 (DeToro, 1995)：

缺乏支持——项目团队应向管理者提交一份长达 1~4 页的水平对比项目提议书，描述水平对比项目、项目目的和可能的成本。如果不能获得管理者的赞同或者没有必要的资助，那就没有必要继续这个项目，因为即使项目完成了也不会采用改进措施。

项目团队人员选择不当——谁是水平对比团队的适当人选？水平对比项目的人员应该原先就在被水平对比的过程中工作甚至就是过程的主管。因为，如果团队对商业领域存在的问题不熟悉或者对存在的问题没有控制和影响力，那么，项目很难成功。

项目团队人员完全不理解他们的工作——如果项目团队人员不绘制流程图，不制定工作过程，也不以明晰工作流程的公司为水平对比目标，那么，水平对比项目不可能有效进行。水平对比项目意在使团队了解过程的运作方式，并与其他公司的对应过程进行仔细对比。优化运作过程的步骤对实现改进业绩非常重要。

项目团队任务过于艰巨——项目团队的任务太过宽泛以至于变得无法控制。因此，需要将这些宽泛的领域划分为较小的、更易于管理的小项目。建议使用的方法是，绘制出整个领域的功能流程图，例如运作流程或者市场营销的功能流程图，然后识别过程。最后，从中挑选出对实现公司目标影响最大的过程作为水平对比项目实施的对象。

缺乏长期管理支持——因为管理者对工作中具体细节问题的了解程度不如雇员，他

们通常会低估成功地完成水平对比项目所需的时间、成本和努力。所以,应该让管理者了解,虽然不可能确切地了解完成一个典型的水平对比项目所需要的时间,但通常的规律是,若完成一个项目需要5个月时间,那么,由四、五个成员组成的团队,其每个成员需要在这5个月中为项目的完成花费1/3的工作时间。

注重结果的度量而不是过程——有些企业在实施水平对比项目时注重的是项目目标(结果的度量)而不是过程。得知竞争对手的资产回报率更高,并不意味着应该将竞争对手的业绩作为新的目标(除非能够了解到竞争者在资源使用上有何不同,进行认真地过程分析和评价之后,确定过程可否被模仿并进而超越)。

没有从更高的战略角度定位水平对比——水平对比只是全面质量管理的工具之一,正如问题解决、过程改进、过程重组一样,用于缩短生命周期、减少成本、减小变差。它可以和其他的工具结合使用,并且只有与其他工具结合使用时才能取得最大价值。

误解了组织的使命和目标——所有的水平对比项目必须由管理者批准实施,是实现组织使命和任务的整体战略的组成部分,首先达到短期目标,进而实现长期的组织目标。

假定每个项目都需要实地考察——通常从某些公共机构就可以获得足够的信息,实地考察是没有必要的。这样节省了项目实施时间,很大程度上降低了项目成本。

监控过程的失败——一旦某一具体领域的水平对比过程完成、建立过程的里程碑、实施了过程变革,管理者必须对变革的实施效果进行审核。

上面我们讨论的问题在本章的其他部分和本书的其他章节中也有相关论述。处理项目中可能出现的问题的最好方法是,从项目一开始就仔细地进行计划和管理,防止问题的出现。上面说的这些问题可以作为评估项目计划的清单;如果项目计划不能清晰地预防这些问题的发生,那么,这个项目计划就是不完整的。

水平对比的益处

水平对比的益处有:

- 在企业中,创建一种持续改进、追求卓越的企业文化。
- 通过不断分析组织中的综合性问题,实现创新。
- 增强对外部环境变化的敏感性。
- 改变组织自满的状态,建立组织迫切需要持续改进的观念。
- 将人力资源分配给重点改进目标。
- 对需要改进的过程进行优先级排序。
- 水平对比伙伴之间经验共享。

水平对比的若干缺点

水平对比建立在相互学习的基础上,而不是开发新的改进方法。被研究的过程是公

开的,因此,水平对比并不能给企业带来永远的竞争优势。所以,虽然水平对比对企业是有帮助的,但不能把它当作企业改进的基本战略。

竞争性分析是许多企业使用的设定目标方法,本质上就是局限于本行业的水平对比方法。虽然竞争分析法很常用,但是,竞争性分析只能使企业跟随竞争者,因而只能保证达到二流水平的质量。如果整个行业都使用这种方法,很可能会导致整个行业的停滞不前,以至于最终因外部创新者的介入而被取代。

5.1.7 预算

项目经理必须清楚自己在项目费用控制中的职责。一旦得到项目资金,项目经理必须仔细控制项目的运作,使整个项目的花费不超过项目资金的总额。对未来将要使用资源的分配过程称为预算。预算可以看作对未来事件的预测,当然这里所指的未來事件是费用。对这些花费列表并进行详细分类,称为预算。

项目预算的类型

Ruskin 和 Estes(1995)列出以下与项目有关的预算类型:

直接劳动力预算 是为项目计划中的每个工作元素准备的,这些工作元素整合在一起就是整个项目。在工作要素层面进行控制,可以确保花费不超过总预算。预算可以用美元来度量,也可以使用其他的价值度量方法,例如项目所用的直接劳动工时数。

辅助性服务预算 若没有这项预算,就需要按实际金额进行辅助性服务付费,而无法控制误差与返工等情况,从而使得辅助性服务的花费不可控。通过制定预算、控制预算的过程,可以实现效率的改进和质量的提高。

采购物品预算 是关于原材料、设备和服务采购的预算。这项预算由谈判协商和市场价格决定。同辅助性服务的预算一样,采购物品预算也能促进效率的改进和质量的提高。

预算报告的类型

预算对未来将要使用的资源进行分配。没有人能够准确地预测未来,因此,预算过程中的一个重要因素是:在作好预算以后,追踪实际的费用。对比预算费用,控制实际费用的常用方法有:

费用报告 实际费用与预算费用相比,形成费用报告,并定期提交预算管理部门,如:财务部门,资助者。

费用审计 进行费用审计,以确保项目花费是合法的、已经支付了费用的工作确实完成了。大型企业多数情况会有多个项目同时实施,可能会发现费用已经记账而工作却是由另外的项目完成的,或者工作还没有做。虽然可能是不小心弄错的,但还是应该找出这

些错误。

差额报告 差额报告直接将实际费用与预算费用做比较,这里的“差额”是会计的概念,而不是统计学中的概念。会计中的“差额”是指计划值和实际值之间的差值。会计中的差额并不一定能给出产生变差的原因,需要使用统计技术来加以确定。差额报告的周期依控制需要而定,但这个周期一定要提前确定下来,并写入项目计划中。

差额表 差额报告的形式多样,最常用的形式是用简单的表格显示预算每一项的实际值、预算值和差额,以及现阶段的汇总值和项目的累计值。由于差额为零一般是不可能的,通常设定一个额度,例如允许上下5%的偏差。对于一个时间跨度比较大的项目,历史数据可以在控制图上打点,以确定允许的额度。

差额图 表格形式很难展示出费用的变化趋势,因此,经常用图形来弥补这一不足。通常图形可以显示出预算差额随时间的变化规律。在图上画出控制线,以提供直观的控制规则。

预算报告的分析

项目经理应该仔细研究差额数据的变化模式,其中包含了许多有用的信息。理想情况是差额幅度只出现很小的正向、负向的波动,如果项目的时间进度也得到很好地控制,那么,可以说项目预算相当成功,近乎对花费的准确预测。对每项预算(直接劳动力预算、采购物品预算等)的差额分别评估。整个项目的差额报告是信息的基本来源,它给出了项目资源利用的现状。定期对报告进行分析。对多数的质量改进项目,可以按月或按周提交报告。预算差额分析应该包括下列内容:

趋势 偶尔偏离预算是可以接受的。管理者更关心能够反映出预算根本问题的趋势。趋势很容易从图表中得到。

超支 预算考虑的资源通常都是紧缺资源,所以,超支是对项目实施的严重威胁,甚至是对组织自身的严重威胁。当项目预算超支时,它就要占用分配给其他活动和项目的资源。因此,项目团队、团队领导和资助人要建立一个监控系统,在超支问题威胁到项目或者组织之前,找出问题原因并及时纠正。项目实施中的很多问题都可能导致项目超支,比如,进度延误了,为了赶上进度而不得不花费了额外的成本,或者返工带来的额外费用等等。

节支 花费比预算少是和超支一样严重的问题。如果项目预算比较恰当,那么,项目花费应能反映出项目进度和质量水平。节支表明可能简化了某些过程,或者是允许供应商推迟发货期。任何对预算的显著偏离都应给予解释。

5.1.8 收益成本分析

收益成本分析与项目费用需求一样可繁可简。质量经理应该注意到,这类分析如果

由财务和会计部门的专家来做(或者由专家审核、得到专家的认同),高层经理更容易相信。财会部门对成本和收益的估计,比质量部门或者其他部门估计的可信度要高得多。所以,最好能在项目有关的其他部门协助下,由财会部门进行收益成本分析。下面将概要地介绍收益成本分析中常用的原理和技术。

成本收益分析中的一个基本问题就是,通常进行准确地成本估计要比收益估计容易得多。通常在预算中能够相当具体地列出各项成本。成本计算建立在企业现有资源的基础上,而收益计算恰恰相反。收益是对未来事件的预测,这些事件可能发生,也可能根本就不发生。而且收益通常是以数量为单位,而不是以美元为单位,这样就使成本与收益的比较有了困难。特别是质量改进项目,这个问题更加突出。例如,某个项目涉及到增加若干名负责接听顾客“热线电话”的雇员。这个项目的成本很容易估计: X 个雇员,每位雇员的工资是 Y 美元,另外还有设备、工作场地、管理的费用等等。但收益的确定就困难得多。可能有数据显示,平均接通时间有所改进,但改进的具体数量和改进的可能性都只是预测。即使接通时间的改进可以量化,这一改进对顾客满意度的影响还需要估计。而顾客满意度和收入之间的联系也需要估计。当然,虽然存在着许多困难,但是,聪明的管理者意识到这些因素之间还是存在着必然的因果关系,而这是收益成本分析的基础。这也是我们所期待的最佳结果。同时,为了补偿收益估计的不确定性,通常需要较高的收益成本比才能使管理者下决心实施这个项目。例如,高层领导要求质量改进项目第一年的投资回报率高达 100% 也就不奇怪了。质量管理者对这样“不公平”的数据不必感到沮丧,这只是量化收益中存在诸多困难的反映。

项目选择

为了改进过程而设计的项目应该局限于那些对企业有重要作用的过程。重要过程指的是那些对产品成本、交货周期、产品特性等顾客所关注的方面有影响的过程。顾客不能帮助组织找到这些过程,因为顾客并不了解企业的内部运作过程。但顾客可以帮助来识别什么对顾客自己是重要的,进而,将这些对顾客重要的方面和企业运作过程联系起来,就可以找出重要的过程。另外,项目只有在存在成功的可能性时,才能被选定。考虑项目的特征、成本和过程主管可能给予的支持,从而确定成功的可能性。

帕累托原理 帕雷托原理指出,一小部分过程导致了大部分问题的产生。帕雷托原理有助于管理者从一大堆选择中挑选出最具潜力的少数几个项目。帕雷托分析过程参见第 7 章。

隐性危机信号 拖延进度和顾客抱怨等等都会引起“危机信号”,通常这些问题的处理方法只治标而不治本。比如,质量问题导致生产拖延引起顾客抱怨,于是组织通过加大库存和挑选出合格产品来解决这个问题。这样一来生产进度满足了,顾客抱怨停止了,但是却带来了成本的剧增。出现这种现象的可能性往往比挖掘引起当前问题的原因要高得多,引起问题的原因隐藏在过程中,很难被发现。解决隐性问题的一种方法是过程再

造——再造的对象是过程,而不是仅对问题的表现而言。表 5.7 给出了识别存在问题的过程并做出相应改进的方法(Hammer 和 Champy,1993):

表 5.7 存在问题的过程的症状和病因

症 状	病 因	治 疗 方 法
广泛信息交换,数据冗余	过程划分武断	研究人们为什么需要如此频繁地进行交流
库存,缓冲和其他资产的储备	系统缺乏对不确定性的处理	消除不确定性
对于增值过程来说,存在过多的检查和控制(例如内部控制,审计等等)	过程割裂	整合过程,消除过程的割裂现象
返工,同样的工作重复	工作流程较长时缺乏反馈	过程控制
复杂性,例外和特殊原因	在原本简单的基础上,搞得越来越复杂	找寻基础“单纯”的过程,为特殊情况设计新过程;减少过分的过程标准化

“症状”这一列可用于识别问题并设定优先级;“病因”这一列是问题产生的根本原因;“治疗方法”有助于质量改进项目团队的组建和项目目标的设定。

项目优先级排序 找到改进机会以后,组织领导可能会发现由于资源的限制,组织不能同时实施这么多项目。帕累托优先级指数(PPI)是进行优先级排序的简单方法。PPI的计算方法如下(Juran 和 Gryna,1993,p.49):

$$PPI = \frac{\text{收入} \times \text{成功的概率}}{\text{成本} \times \text{完成的时间(年)}} \quad (5.2)$$

输入的数据都是估计值,结果的准确性完全取决于输入的精确性。计算出的结果是给定项目的指数,用PPI值可以对不同的项目进行比较;这一指标本身并没有内在含义,但它可用于对项目的优先级进行排序。如果某些PPI值很显著,那么,项目的挑选就变得简单了。表 5.8 是几个项目的PPI值计算。

表 5.8 帕累托优先级指数(PPI)

项 目	收入(千美元)	概 率	成本(千美元)	时间(年)	PPI
波峰焊缺陷减少 50%	70	0.7	25	0.75	2.61
NC 机器能力提高	50	0.9	20	1.00	2.25
ISO9001 认证	150	0.9	75	2.00	0.90
减少顾客对产品交付的抱怨	250	0.5	75	1.50	1.11
装配缺陷减少 50%	90	0.7	30	1.50	1.40

PPI 值显示资源应该首先用于减少波峰焊缺陷,然后是提高 NC 机器能力,依次类推。但是,PPI 值并不是总能给出如此清晰的优先级序列。当两个或者多个项目的 PPI 值相同时,就需要借助其他的方法和标准来作出判断。

5.2 项目管理实施

5.2.1 管理支持和组织障碍

内部障碍

很多企业仍是层次结构清晰、命令与控制式的宝塔式组织结构,有时也被称为“竖井”结构。每个部门或者说每个“竖井”都以自己部门的利益最大化为目标,这样一来很可能使组织的整体利益受损害。另外,层次结构使管理者在自己的功能领域享有特权,因此管理者不但从心理上抗拒变化,还可以从实际行动中抗拒变化——因为他们有实际的权力,这样就给质量改进项目带来了不可逾越的障碍。

认识到组织规则其本质是阻碍变革这一点很重要。正式的组织规则以标准运作程序(SOP)的文本形式存在,其目的是组织行为标准化。作者认为正式的质量专业文档被过分强调,推广 ISO9000 和 ISO14000 使这种趋势更甚。正式规则通常是过去出现问题的处理方法,在这些问题被完全解决以后有些规则已经没有存在的必要,但不幸的是,通常它们会被长久地保留下来。在严格遵守这些规则的组织中,甚至高层领导也不得不受到这些繁文缛节的束缚。在这样的组织中真正有权力的是那些控制规则的官僚。如果组织陷入为许多事情编写规则的境地,那么,在快速变化的外部环境中组织是很难存活的。这是解决问题的办法。

限定性规则不需要以管理限制的形式出现,规定到每小时工作的过于详尽的程序同样有可能成为组织的障碍,比如工会工作规则。几乎所有的项目都需要对工作进行变革,但组织中的限定性程序却限制了变革的发生。标准运作程序较多的组织通常也有大量的工作规则,两者结合起来,通常给质量改进措施带来致命的打击。

除了正式的、文件化的诸如程序、规则的限制以外,组织结构还以其他的形式保持着这种状态。另一种阻碍变革的有效方法是项目实施必须征得各个部门、委员会、顾问会、董事会、专家等的同意。虽然组织中可能没有正式的要求,但不成文的规矩其效果是一样的。例如,“你必须采用过去的记账方式”,或者“这个项目必须通知 Reimer 女士和 Evans 先生”。如果(如项目预算、计划提案)需要高层领导群体同意才能进行某项变革,而这些领导又不经常开会,那项目的计划者就有苦头吃了。他们必须匆忙地赶在下次会议召开之前制定出项目计划,否则项目就将被拖延到几个月后才能实施。如果计划需要做些修改,那就只能等到几个月后的下一次会议才能讨论。项目很可能无法在规定时间内完成,

或者被无限期地延长。

外部障碍

现代组织并不是孤岛,强有力的外部环境对组织有很大影响。政府部门制定了一系列复杂的法规和程序,组织不得不在这些规则的限制下小心行事,例如组织必须通过协商来使用人力资源以避免处罚或制裁。外部政策制定者为现代企业制定这些限制的影响力是很大的。当涉及到人、伦理和法律问题时,有时需要得到外部的认可。还有其他很多方面,比如安全、成本等,都需要得到外部的认可。

许多行业都受到一些特定机构的管理和控制。比如,制药行业就涉及食品和药物管理局(FDA)。在实施项目前必须要征得这些机构的同意,例如,包括新流程的孕妇新型治疗方法就可能带来用药的新方式(比如,由内科管理改为外科管理)。

做每个决策时很多专业人员都面临责任风险,这使得很多组织为稳妥起见不敢做任何变革,特别是涉及到全新的技术和实践时,这种担心愈加明显。

变革的个人阻力

可能最显著的变化也是最难改变的变化就是改变自己。人性似乎就抗拒变化。大体上,人们努力工作来获得自己的位置,对威胁到自身现有状况的事物,第一反应通常都是抗拒。Forsha(1992)提出个人变化的过程,如图 5.11 所示。

调整路线是对现状的维持,行动路线则带来变化。一旦个人决定采取行动来改变现状,可以使用 PDCA 环来协助完成这一变化。这类变化的目标是持续自我改进。

在组织中,团队中的个人对变革的态度受团队的影响很大。团队中的每个人都认为团队中所有人是一个整体,可以称为“我们”。如果“我们”指的是整个公司,公司就是一个利益共同体,每个人都认为自己 and 公司的成功与失败紧密相连。若“我们”是指某个职业或商业团队,如“我们博士”、“我们工程师”、“我们工会成员”等等,在这种情况下,组织结构中的“领导者”对组织中个人的影响就小了很多,因为这些个人对项目成败的态度很大程度上受它们所属团队的影响。若项目涉及到有竞争性的外部团体时,取得一致同意就存在着不小的困难。

无效的管理支持战略

战略 1: 要求人员按你的意愿行事——高层领导要求组织中的人员完全遵照他们的意愿行事,也就是说,如果谁不遵守领导的意愿,谁就会受到公司条例的处罚。对于组织中未处于高层的人员来说,权力价值被夸大。实际上,即使高层领导其权力也受到法令的限制。人类的本性决定了人们更倾向于按自己的判断行事。如果要求他们以另一种方式行事,效果通常不好。因此,借助于权力的结果,是使得决策者在做决策时不得不常常考

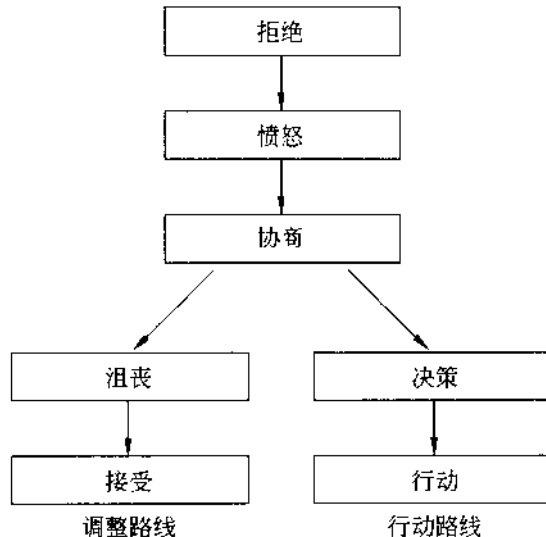


图 5.11 个人变化的过程

资料来源: *The Pursuit of Quality Through Personal Change*, by H. I. Forsha, Copyright

© 1992 by ASQ Quality Press, Milwaukee, WI.

虑领导者要求我们作什么,而不是实际情况需要我们做什么。每个人都按领导的旨意行事,最终导致整个组织的停滞不前与混乱。领导“命令”形式带来的另一个问题就是交流问题。即使在最好的环境下,误解领导意图的事情也时有发生。

战略 2: 用法令来改变规则——当通过法令来改变规则时,也会引起混乱。今天的规则是什么? 明天的规则将是什么? 因为人们无法对未来做出规划,同样会导致组织发展停滞不前。虽然规则会阻碍变化,但它同时为组织健康有效的变革提供了稳定的结构。因此,规则的变化应基于一些合理的指导原则,而让外力(掌权者)来武断地改变组织规则实在是弊大于利。

战略 3: 允许不遵守规则——虽然要求遵守规则,但是领导关注的项目可以例外。这样做的后果是使人们不尊重规则,逐渐忽视规则的存在;并且,有些人有违背规则的特权,而这些规则本应该对任何人构成约束,这种做法必将在组织中产生不满。一种较好的改进措施是制定正式的规避规则的途径,例如:背离要求的程序。这样处理虽然可以减少武断,但又增添了一层规则,愈加复杂,而原先阻碍变革的规则并没有改变。

战略 4: 重新分配项目资源——领导可以使用权力重新分配项目资源。一种较好的方法是制定一套公平且通俗易懂的系统,从政策上保证具有战略重要性的项目能获得足够的资金支持。前面讨论项目进度时,曾讨论过以更短时间完成项目的“紧急日程”,假设前提是:资源分配以成本或者其他组织利益的目标度量为基础。这里所讨论的资源分配

却是以政策为基础。

有效的管理支持战略

战略 1: 组织的转变和组织文化的转变——到目前为止,最好的解决组织中所存在障碍的方法就是把组织转变为不再存在这些障碍的组织。正如前面所讨论的,该过程不能通过法令来实施。在领导帮助项目团队取得成功的过程中,领导逐步了解转变的需要。运用领导的权力,他可以努力营造出新的组织文化,一种欢迎变革而不是抵制变革的组织文化。

战略 2: 顾问——古希腊神话中,门特是一个深得奥德修斯信任的参谋,也是奥德修斯的儿子忒勒马科斯的监护人和老师。今天“门特(mentor)”这个词还用于描述睿智而值得信任的顾问和老师。如果这样的人在组织层次结构中处于重要的地位,他就可能成为消除组织障碍的重要力量。现代组织结构的复杂性使得人们在有问题需要解决或需要某种资源时,常常不知道应找哪个部门。顾问的作用就是帮助项目管理者走出这个迷宫。同时顾问在组织中身居高位,使得他可以洞察这些繁文缛节的危害性,并致力于消除一些不必要的规则和程序。

战略 3: 辨别出组织中的非正式领导并争取他们的支持——顾问根据他们丰富的经验,知道项目还需要组织中谁的支持。这些人并不一定是组织层次结构中的高层,但他们的意见和支持对项目的成功至关重要。顾问应指导项目负责人去征求这些人对项目实施的意見。例如,某项目可能需要副总工程师的同意,而这个副总工程师可能因为手下的高级冶金专家不同意这个项目,而不同意该项目。

战略 4: 找到规避人员、程序、资源限制和其他障碍的合理又合法的途径——通过一些项目经理不知道的办法也可以使项目获得支持,使得项目所需的资源得到批准。有时候对项目计划做点小改动,就可以完全避免复杂的审批过程。比如,在项目实施团队中增加一名工程师,就相当于在团队中自动设置了过程实验的权力,而不必再向工程部门寻求支持。

5.2.2 短期(战术)计划

项目计划是组织中较大计划的组成部分,是较大计划的子集;所有这些计划都是为了实现组织的愿景目标而制定的。但项目计划还应继续分解,以使各个项目很“小”。可以通过简单回答下列两个问题,来判断小项目实现与否:

1. 项目完成了吗?
2. 项目的实施方法正确吗?

例如,某软件开发团队认为某个小模块具有以下特征:(1)它只实现一个功能;(2)它可以用 6 行或少于 6 行的简单且易于解释的伪码来表示(类似英语的程序描述方

法)；(3)程序长度不超过一张纸。检查该模块所完成的程序，团队认为它能回答上述两个问题。

在质量改进项目中，通过设计工作分解结构可以制定战术计划。工作分解结构的制定过程前面已经讨论过了。战术计划位于工作分解结构的最底层。若项目组认为最底层不够细化，那么，继续进行工作分解。

工作分解结构(WBS)需要用到第7章将要介绍的树图技术。树图将问题逐层分解，一步步细化，其目的就是将大理念或大问题分解成易于理解的内容或易于解决的小问题。这样使得问题的解决方法较容易找到。所需要进行的工作就发生在树图的最小元素上。

即使对于“小”项目，但战术计划还是项目计划，它们包括了精心设计的项目计划所应具备的所有要素。

还应制定一些相关的辅助计划，以应对一些预料不到的潜在危机事件的发生。过程决策项目图(PDPC)可用于识别项目实施过程中可能遇到的事件。PDPC着重于“失误”(问题)对项目进度的影响；同时，PDPC寻求预防问题发生的具体行动方案，并且在问题产生后减轻问题可能带来的影响。传统PDPC的改进形式是给可能发生的问题标注概率，当然是主观估计值，然后进行优先级排序。细节也应当放入辅助计划中，并通过判断来利用这些细节。项目经理既要考虑问题带来的严重后果也要考虑发生的可能性。关于PDPC的详细论述参见第7章。

5.2.3 跨部门合作

这一部分将讲述组织结构对质量改进项目管理工作的影响。

质量改进项目是面向过程的，多数对质量有显著影响的过程都涉及多个不同的部门。然而，许多现代企业都是层次结构，也就是上下级关系。这样的组织强调专业化职能(如：会计部门、工程部门)，但是为顾客提供增值的产品和服务需要许多不同的职能部门通力合作。这一问题的理想解决方案是把组织转变成面向产品设计的非层次的组织结构形式，即组织结构扁平化。然而，在转变彻底完成之前，质量改进项目的经理仍要在层次结构的组织环境下处理跨职能项目所带来的内部冲突和矛盾。

为了项目的实施，项目经理需与项目有关的部门“借”人，形成矩阵式的组织结构。矩阵式组织结构的特点是某些人有两个或多个上司，或者是两个或多个顾客。这些人要对他们的每个上司负责，比如项目经理和他们所属部门的上司。Rushin和Estes把具有多个上司的人员称为“多上司个人”，这些人的上司和顾客称为“多上司”。组织中有一个普通上司，他们负责解决多上司之间自己不能解决的矛盾。当然，多上司之间的合作可以避免矛盾的产生。

多上司个人经常参与多个项目，这使得情况更加复杂，需要制定多上司之间的合作计划，决定多上司个人的时间以及其他资源的分配。图5.12描述了一种最简单的多上司结

构:多上司个人有两个多上司,而在组织的层次结构中普通上司处于多上司的领导位置。对更复杂矩阵结构的讨论,可以参见 Ruskin 和 Estes,1995,pp. 169~182。

矩阵结构就项目计划和协调提出了很多问题。计划什么样的内容?谁来组织计划活动?谁来参与计划?这些问题在本章开始已经讨论过了,特别是在“相关受益人”一节中做了详细论述。

充分的交流有助于避免问题的产生,而最重要的交流就是项目经理经常与有关的

团体和部门进行非正式的会晤,就项目进展进行沟通。项目计划中还要详细规定对正式状态报告的要求,并要求把这些正式报告交给相关人员。项目经理应明确什么人需要获得什么样的信息。鉴于会出现多上司的状态,这是很难决定的。有的经理不希望其他领域的同事过多地分享本部门的商业信息。有的经理如果收到的信息比别人少,则会很不满意。为了处理好这些关系,在这些相关部门和经理们之间寻求平衡,项目经理必须具备很好的外交技巧。

状态报告通常都要指出项目计划存在的不足,所以调整项目计划的过程是不可少的。应当详细指出由谁来进行计划调整、何时进行调整、在调整过程中上司和项目经理具有多大的权限等等。

经过协商得到的协议应用文档记录下来,但同时应尽可能少形成官样文章。完整文档为项目管理提供方便,为解决项目实施中的纠纷提供了相关信息,例如谁同意作了什么事情,这样大大节省了项目经理解决纠纷所需要的时间。

5.2.4 质量过程的持续审核与改进

与其他可以被改进的系统一样,项目管理系统也可被改进和提高。质量管理专业的很多工具和原理都可用于项目管理的改进。与其他的重要管理系统一样,项目管理系统也要关心如生命周期、供应商管理、顾客服务等问题。第7章中将详细描述持续改进的原则、工具和技术。

项目也有顾客,通常是组织的内部员工,即内部顾客。这里可以使用第1章中介绍的方法来评价项目的顾客满意度,并通过项目来明确顾客需求。

项目记录为过程改进提供了原始数据。这些记录,包括顾客满意度的分析,告诉管理者项目计划和实施过程中的哪些地方需要改进、哪些地方可以被改进。项目经理应在最终的项目报告中提出过程改进的建议。组织管理者,尤其是普通上司,应当把几个项目的建议总结起来识别组织中存在的系统性问题。同时,还要将项目进度安排和预算与实际

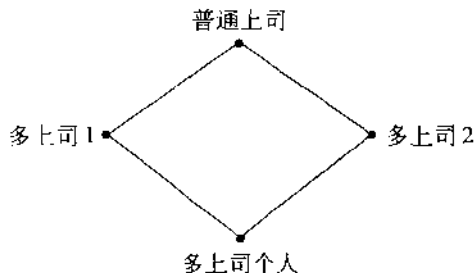


图 5.12 多上司合作计划

发生的结果进行比较,以评价预算的准确性。比较结果可以用第8章中将要介绍的技术来分析。如果结果显示存在带来变异的特殊原因,那么,应该立即找到引起变异的原因并迅速加以消除。变异的一般原因表明存在系统性问题。

5.2.5 文档和规程

无论是在项目进行还是在项目完成后,项目记录都为项目提供了大量极其有用的信息。项目记录有以下3个基本作用:

- 成本计算的要求。
- 法律的要求。
- 学习。

应当对项目记录进行管理与维护,就像它们是数据库的一部分,即使所有的项目记录不能存放在一个地点。这些信息应有一份“官方”备份,并且在项目实施过程中,由专人负责对这些信息进行管理和维护。项目完成后,这些记录应送交给组织的档案管理处,进行存档保管。大型质量改进项目需要耗费大量的资金和时间,其实施过程通常相当复杂。然而通过研究“项目过程”可以了解很多相关知识,这就需要数据的支持。很多项目的档案记录都可以用来识别项目实施中会遇到的普遍性问题,并分析多个项目实施模式的不同。例如,项目的进度安排可能都过于乐观或者过于悲观。

应保留的项目记录有:

- 工作陈述。
- 项目和子项目的计划和进度。
- 通信(书面邮件和电子邮件)。
- 书面的协议。
- 会议记录。
- 行为细则和职责。
- 预算和财务报告。
- 成本—收益分析。
- 状态报告。
- 演讲材料。
- 计划和预算变动的文档。
- 应遵守的程序或制定的程序。
- 重要课程的学习笔记。

项目团队成员在项目结束后应召开最后一次会议,对项目进行回顾和总结,这是一个好的经验。该会议应在项目一结束立即召开,因为这时对项目的印象还很清晰。会议内容是总结项目实施中的经验和教训,并对过程改进提出建议。这些会议记录是项目经理

学习项目实施的绝好教材。

作者认为,以往使用的记录保存方式已经过时了。以往书面记录的保存涉及到存储费、保险、纸张老化、保护记录不受损害等各方面的问題;更无法忍受的是,使用这些记录时,需要从无穷无尽的盒子中找到所需的文档所在的盒子,然后从盒子里随意堆放的材料中找到所需的文档。今天,利用电子表格减少纸张的使用已经成为可能。若使用电子表格,一切都变得简单起来。低成本软件可以自动对信息进行分类,并提供搜索服务,使整个数据库中信息的搜索工作变得简单快捷。因而,没有理由不使用电子文档来存储整个项目的信息。

正式报告与非正式报告

当人们提到“报告”时,他们通常都是指正式的书面报告或者正式的口头演讲。这种交流方式有它的好处。首先它们包含了较完整的信息,因此对那些与项目关系不大的人员很有帮助。这类报告形式可以给人们留下深刻的印象。报告中还会有一些相关的背景介绍。另外,正式书面报告是面向所有团体的,要引起它们的注意。然而,正式报告也有缺点和不足。这类报告的准备通常要耗费大量的时间和精力,这使得正式报告的成本很高。同时,因为它是面向所有团体的,试图引起所有人的注意,所以,报告中可能有很多对大部分听众来说没有任何价值或者听众并不关心的信息。当然,这后一点不足可以通过认真而仔细地组织材料、创建内容和索引表来弥补。

非正式报告和通信使每个人都能及时地获得关于项目的最新消息。与正式报告不同,这种形式的交流通常是针对信息发布者和信息接收者所关心的特定问题来进行的。因为交流双方已经具备了大量的背景知识,非正式报告的内容通常具有较强的针对性和专业性。非正式报告通常较短,可以很快地准备好,成本不高。

第6章

测量和数据的原理

6.1 测 量

我们主张质量始于测量。只有质量量化以后,对于质量改进的讨论才真正有了意义。测量的概念相当简单:测量是按照某些规则,用数据来描述观察到的现象。测量是任何学科的必要组成元素,管理科学也是如此。

6.1.1 测量刻度

测量是事物的数量描述,通常是对非量化学事物的量化。测量可以就元素之间的关系传递某种信息。测量涉及以经验关系系统为代表的所关注实体的理论领域和以数字关系系统为代表的领域。从经验系统到数字系统之间存在着映射关系,因此对数字系统的控制和对结果的研究可以帮助管理者更好地了解经验系统。

实际上,测量也存在问题:管理者并不知道被测量元素的“真实值”。带有刻度的数据提供了信息,它们代表着对某些无法观测变量的测量。某些测量比其他测量能提供更多的信息,数据包含了多少信息取决于测量所使用的刻度。测量的刻度决定了研究这些数据时应使用什么类型的统计分析方法。只有确定了测量的刻度,才能了解所使用的统计分析方法是否有效。

有四类测量刻度:定类,定序,定矩和定比。Harrington(1992)总结了每类刻度的特征,见表6.1。

定类刻度的数据并不是测量得到的,它们只是数字形式的分类标签。它可以指示所属的类别(1 = 男,2 = 女),或者作为名称的简单代号(约翰是队中第43号)。定类刻度是测量形式中最简单、最弱的一种,把定类变量看作一种分类形式比看作一种测量刻度更合适。定类刻度中类别划分是有要求的,那就是集合中的所有项都应属于一类且仅属于一类。以定类刻度收集的数据被称为属性数据。对于定类刻度,惟一允许进行的数学运算是“=”(表示物体具有某属性)或者“≠”。

表 6.1 测量刻度的类型和可使用的统计方法

刻度	定 义	例 子	统计方法
定类	具备/不具备某属性;只能计算属于某类别的个数	走/不走; 成功/失败; 接受/拒绝	百分比; 比例; χ^2 检验
定序	可以说某项所包含的属性比另一项多/少;可以给一些项目排序	味道; 吸引力	排序; 相关性
定矩	任意两个相邻点之间等距;即使等矩假设不正确,常常被当作定比刻度;可以加、减、排序	日历时间; 温度	相关性; t 检验; F 检验; 多元回归
定比	零点表示不具有属性;可以加、减、乘、除	流逝的时间; 距离; 重量	t 检验; F 检验; 相关性; 多元回归

资料来源: *Quality Engineering Handbook*, p. 516. Copyright © 1992.

定序变量可以对可能的取值进行排序,但是不对数值之间的间距进行定义。例如:以好、更好和最好来划分对产品的偏好。定序变量可以使用数学运算“=”(相等),“ \neq ”(不等),“ $>$ ”(多于)和“ $<$ ”(少于)来进行分析。可用于定序数据的统计方法有很多,例如皮尔森相关性分析。其他的定序模型包括能进行可能性测量的对数线性模型和 logit 模型,它们都可以用于分析列联表中定序数据的交叉分类问题。在质量管理中,通常把定序数据转变成定类数据,然后用二项模型或泊松模型进行分析。例如,如果用差—好—很好的次序把零件分类,质量工程师将绘制出属于“差”这一类零件的不合格品率 p 图。

用定矩刻度表示的测量其差值的比例是不变的。例如, $90^{\circ}\text{C} = 194^{\circ}\text{F}$, $180^{\circ}\text{C} = 356^{\circ}\text{F}$, $270^{\circ}\text{C} = 518^{\circ}\text{F}$, $360^{\circ}\text{C} = 680^{\circ}\text{F}$ 。虽然 $194^{\circ}\text{F} / 90^{\circ}\text{C} \neq 356^{\circ}\text{F} / 180^{\circ}\text{C}$,但它们之间存在着如下的恒定关系:

$$\frac{356^{\circ}\text{F} - 194^{\circ}\text{F}}{680^{\circ}\text{F} - 518^{\circ}\text{F}} = \frac{180^{\circ}\text{C} - 90^{\circ}\text{C}}{360^{\circ}\text{C} - 270^{\circ}\text{C}}$$

两种定矩刻度之间的变换可以用线性函数 $y = ax + b$, $a > 0$ 来表示。例如,上例中, $\text{F} = 32 + 9/5(\text{C})$, 其中: $a = 9/5$, $b = 32$ 。如果允许对定比刻度进行变换,得到的统计结果不因使用了定矩刻度而受到影响。同样, 0° (两种刻度)是任意的。本例中, 0 并不表示没有热量。

之所以称为定比刻度,是因为对同一个事物的两种不同测量之间存在着恒定的比率关系。例如,若某物体的质量可以以磅(x)和公斤(y)为单位进行测量,那么对所有物体来说, x/y 的值都是 2.2。也就是说,两种定比测量刻度之间的关系可以用关系式 $y = ax$, $a > 0$ 来表示。例如:磅 = $2.2 \times$ 公斤。只要使用适当的转换方法,不管采用何种定比刻

度,基于数据的统计分析结果都是一样的。这里 0 有内在的含义:本例中 0 表示没有质量。

6.1.2 数据可靠性和有效性

任何测量项都要满足以下两种检验:

1. 测量计划要测量的(有效的);
2. 重新测量应获得相同的结果(可靠的)。

本节将要介绍一些技术和程序,这些技术和程序能确保测量系统获得具有上述两个特性的数据。好的测量系统应具备以下特征。首先,测量系统得到的数据应当与被测量的实际属性接近,也就是说,测量应当是准确的。其次,如果对一个对象重复测量,测量结果应非常接近,也就是说,测量应当是可重复的。第三,在整个受关注的范围内,测量系统都能保证获得准确一致的测量结果,也就是说,测量应当是线性的。第四,由任何经过适当培训的人员来进行测量,都会得到相同的结果,也就是说,测量结果是可再现的。最后,测量结果不随时间而改变,对同一个对象未来测量的结果与当前测量的结果应该是一致的,也就是说,测量应当是稳定的。下面我们将会详细讨论如何确保测量系统具有上述特征。总的来说,这里提到的方法和定义与汽车工业行动协会(AIAG)的规定是一致的(Daugherty, R. et al, 1995)。

定义

偏离——偏离是测量平均值和参考值之间的差值。规定值是一致认可的标准,例如,可追溯到国家标准体系的标准。在检测某个属性的时候,偏离指的是属性检测系统与检测标准相符合的能力。通过校准来控制偏离,即把测量与标准相比较。偏离的概念如图 6.1 所示。

可重复性——AIAG 定义可重复性:同一个进行测量的人使用相同的测量仪器测量某个零件的某个属性特征时,多次测量的测量结果的变差。在相同的条件下,重复应用测量系统获得的变差通常是由测量系统内部的固有问题引起的。

美国质量学会定义精确性为:“随机选择的测量结果或检验结果之间的一致性。注意:有时将测量错误的标准差称为‘不精确性’。”这和我们通常所说的可重复性概念很相近。可重复性如图 6.2 所示。

可再现性——不同的测量者使用相同的测量仪器,测量某个零件的某个属性特征时,测量结果的平均值之间的变差称为可再现性。可再现性如图 6.3 所示。

稳定性——测量系统在某个时间段上,测量某个零件的某个属性特征时,测量结果的平均值之间的变差称为稳定性。若不同时间点的测量结果都是一样的,这样的系统就被称为稳定系统。稳定性如图 6.4 所示。

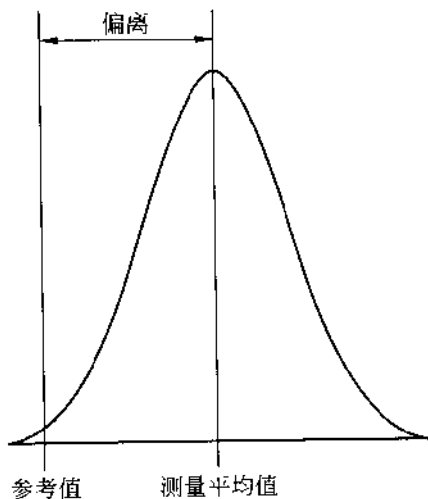


图 6.1 偏离

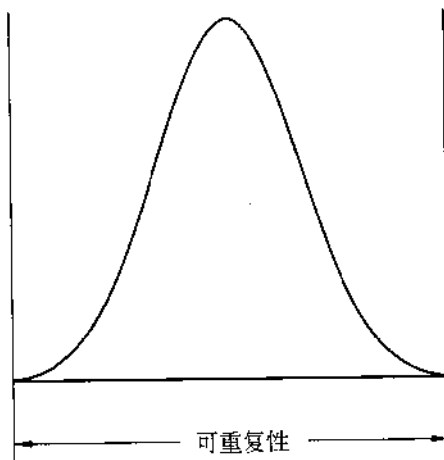


图 6.2 可重复性

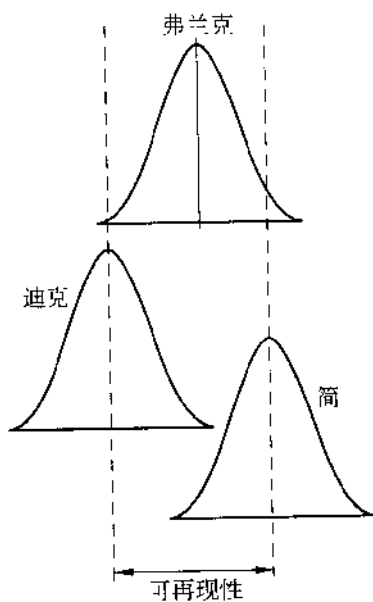


图 6.3 可再现性

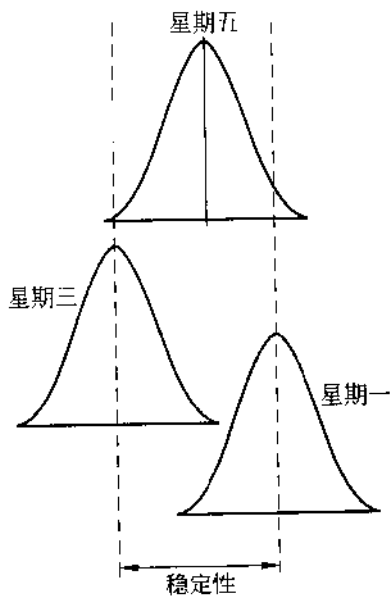


图 6.4 稳定性

线性——线性是相对于标准测量期望运作范围的偏离值的差值，线性如图 6.5 所示。

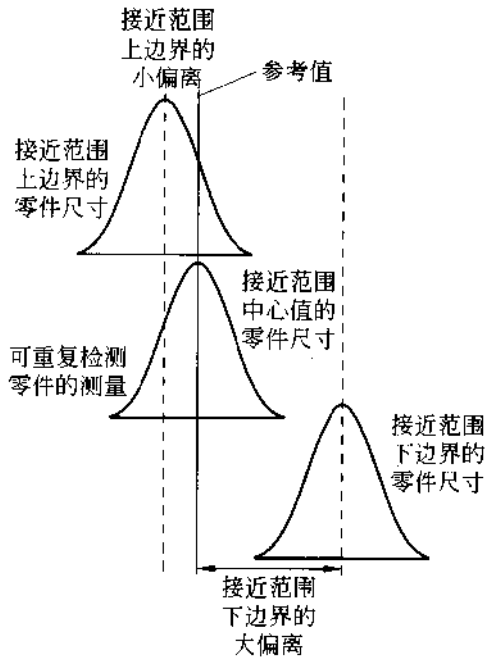


图 6.5 线性

6.1.3 可重复性和可再现性研究

现代测量系统分析已经超出了校准的范围。标准测量在检验标准时可能非常精确，但是在测量某产品或控制某过程时却可能完全无法接受。下文将介绍测量系统实现量化的分辨率、稳定性、偏离、可重复性、可再现性和线性的技术。同时还将介绍与产品容差、过程变差有关的测量误差的表示方法。文中使用的最主要方法是控制图，控制图是对测量过程的图形化描述，控制图可以帮助工程师找到过程中存在的特殊原因，而这些原因仅利用数学方法是无法发现的。

测量系统的分辨率

分辨率，有时也称为辨析率，指测量系统把测量划分为“数据类”的能力。同一数据类中的所有测量结果都是一样的。例如，若某测量系统可精确到 0.001 英寸，那么 1.0002，1.0003，0.9997 都同属于 1.000 的数据类中；也就是说，在这个测量系统中，它们的测量结果都会是同一个数 1.000 英寸。测量系统的分辨率应当能将相关区域划分为许多数据类。在质量工程中，感兴趣的区域是较小的工程容差（上规格界减下规格界）或 6 个标准差。测量系统至少应当能够把感兴趣的区域划分为 5 个数据类。例如，若一个过程是有

能力的(6σ 小于工程容差), $\sigma=0.0005$, 那么, 分辨率为 0.0005 的标准测量是可接受的(6 个数据类), 但是, 分辨率为 0.001 的标准测量就不行(3 个数据类)。若使用了分辨率无法接受的标准测量, 极差控制图就会显示出离散的“跳动”或“阶跃”, 如图 6.6 所示。

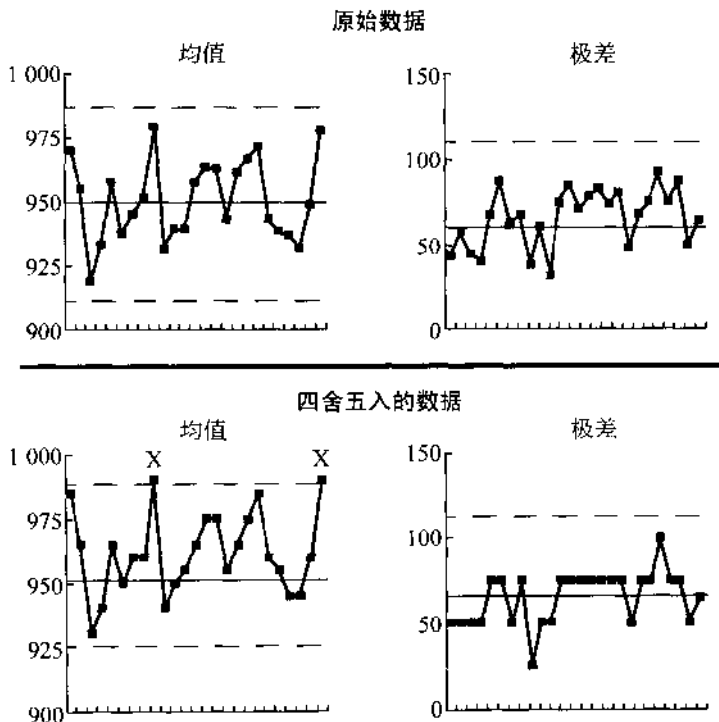


图 6.6 测量分辨率不够时在控制图上的体现

注意图 6.6 给出的控制图, 在控制图上打点的数据是相同的, 区别在于: 下面的两张控制图中的数据以 25 为进制四舍五入了。这样做的效果从极差控制图上很容易看出: 图形表现出很强的分层趋势。有时(但并不是总是)这样的结果会使 \bar{x} 图失去控制, 即使过程是受控的, 由未进行四舍五入的原始数据绘制的控制图表示过程是受控的。补救措施是采用更高精度的测量系统, 例如增加数据的位数。如果无法采用高精度的测量系统, 还可以通过使用一种更复杂的控制限计算方法来处理四舍五入的误差, 调整控制限, 详情参见 Pyzdek(1992, 37~42)。

稳定性

测量系统稳定性是测量系统在不同时间测量给定的零件或某个标准件时, 测量结果偏离的变化。统计的稳定性是一个更宽泛的概念, 它指的是测量在整个时间段上的一致

性,包括各种原因引起的变差,如偏离、可重复性、可再现性等等。通过使用控制图,可以确定系统的统计稳定性。通常是绘制出某零件或某个标准件测量结果的均值图和极差图。在某一较短的时间段内反复对标准件进行测量,例如一个小时;然后定期重复这一测量过程,如每星期重复一次。由专家确定子组大小、采样间隔和测量程序,然后绘制控制图并加以分析评价。一个(统计)稳态的系统在由测量读数的平均值绘制的 \bar{X} 控制图上没有失控信号存在。不能为了得到统计稳态来计算“稳定数据”。系统只有两种可能,要么是统计稳态的系统,要么不是。

一旦达到统计稳态,就可以确定测量系统的稳定性。利用极差控制图或标准差控制图来测量过程标准差。

R 图方法:

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

s 图方法:

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{s}}{c_4}$$

d_2 和 c_4 都是常数,它们的数值可以从附录中的表 11 查到。

偏离

偏离是测量结果的平均值和参考值之间的差值。估计偏离首先要有一个代表参考值的标准件,然后对标准件进行多次测量。标准件的值已经由比现有测量系统误差小得多的系统测量出来了,或者可追溯到国家标准体系的标准。零件和过程在范围内变动,因此偏离也在范围内。如果标准测量是非线性的,偏离对于范围中的每个点是不同的(参见上文的线性定义)。

选定一名进行测量的人和一个标准件就可以确定出测量系统的偏离。进行测量的人取得一系列对标准件重复测量的数据,然后根据这些重复测量的平均值与标准件的参考值之间的差值估计出系统的偏离。

计算偏离举例 某标准件,已知值为 25.4mm,某机械检查工用精度为 0.025mm 的游标卡尺测量了 10 次。测量结果如下:

25.425 25.425 25.400 25.400 25.375

25.400 25.425 25.400 25.425 25.375

把 10 个测量值相加,除以 10,得到平均值:

$$\bar{X} = \frac{254.051}{10} = 25.4051\text{mm}$$

偏离等于平均值减去参考值:

$$\text{偏离值} = \text{平均值} - \text{参考值}$$

$$= 25.4051\text{mm} - 25.400\text{mm} = 0.0051\text{mm}$$

测量系统的偏离可以用容差的百分比或者过程变差的百分比来表示。例如,如果上例中的测量系统将被用于一个容差为 $\pm 0.25\text{mm}$ 的过程,那么用百分比表示的偏离是:

$$\begin{aligned} \text{偏离百分比} &= 100 \times |\text{偏离}| \div \text{容差} \\ &= 100 \times 0.0051 \div 0.5 = 1\% \end{aligned}$$

可以解释如下:这个测量系统其测量结果的平均值将比实际值大 0.0051mm 。这一差值代表了可接受产品变差的 1% 。如图6.7所示:

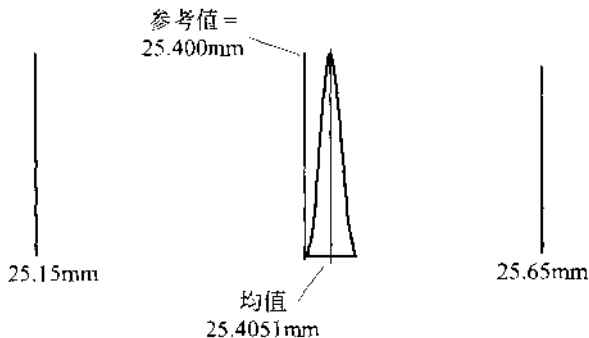


图 6.7 偏离举例

可重复性

如果测量系统的变异是稳定一致,那么,测量系统具有可重复性。过程变差和过程容差不论谁大,零件的重复测量都可以涵盖其中较大的比例,利用零件的重复测量,绘制极差图或标准差图,判断变异稳定性。如果极差图和标准差图失控,那么,特殊原因使得测量系统不稳定。如果极差图和标准差图受控,那么,由平均极差或平均标准差得到标准差,就能估计可重复性。估计 σ 值的公式将在第8章中介绍。

估计可重复性举例 表6.2中的数据是两个检验员的测量结果。每个检验员都对五个零件的表面进行了测量,每个零件每个检验员检查了两次。标准测量以微英寸为单位记录了零件表面粗糙度。标准测量的精确度为 0.1 微英寸。

计算过程如下:

极差图:

$$\begin{aligned} \bar{R} &= 0.51 \\ UCL &= D_4 \bar{R} = 3.267 \times 0.51 = 1.67 \end{aligned}$$

均值图:

$$\bar{\bar{X}} = 118.85$$

$$LCL = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} = 118.85 - 1.88 \times 0.51 = 117.89$$

$$UCL = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} = 118.85 + 1.88 \times 0.51 = 119.81$$

表 6.2 测量系统可重复性的研究数据

零件	测量结果 #1	测量结果 #2	平均值	极差
检验员 #1				
1	111.9	112.3	112.10	0.4
2	108.1	108.1	108.10	0.0
3	124.9	124.6	124.75	0.3
4	118.6	118.7	118.65	0.1
5	130.0	130.7	130.35	0.7
检验员 #2				
1	111.4	112.9	121.15	1.5
2	107.7	108.4	108.05	0.7
3	124.6	124.2	124.40	0.4
4	120.0	119.3	119.65	0.7
5	130.4	130.1	130.25	0.3

这些数据和控制限如图 6.8 所示。R 图显示所有的 R 值都小于上控制限。测量系统的变异是稳定的,也就是说,系统中没有导致变差的特殊原因。

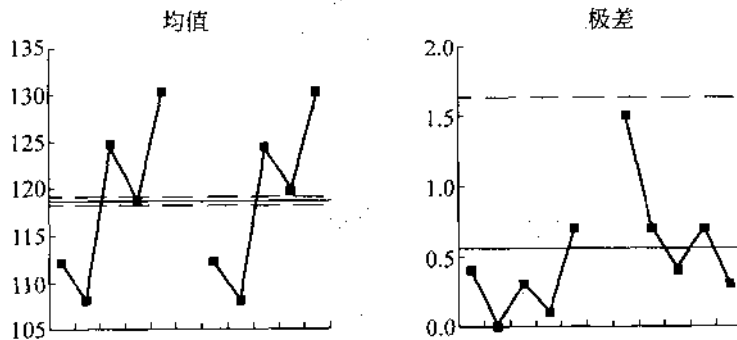


图 6.8 可重复性控制图

注意: 很多均值都落在控制界限之外。这是正常的,因为 \bar{X} 图的控制界限是建立在平均极差的基础上,而平均极差以可重复性误差为基础。如果平均值落在控制界限内,这

就意味着零件之间的变差小于标准测量可重复性误差所带来的变差,这是不希望发生的情况。因为 R 图受控,故可估计出可重复性的标准差或标准测量的变差:

$$\sigma_r = \frac{\bar{R}}{d_2^*} \quad (6.1)$$

其中 d_2^* 可以从附录表 13 中查到。注意,我们使用的是 d_2^* 而不是 d_2 。 d_2^* 的值是为标准测量可重复性与可再现性研究中涉及到的较少子组经过调整得到的。附录表 13 有两个值: m 是重复测量的次数(本例中 $m=2$), g 是零件数乘以检验员的个数(本例中, $g=5 \times 2=10$)。因此对于本例有:

$$\sigma_r = \frac{\bar{R}}{d_2^*} = \frac{0.51}{1.16} = 0.44$$

本例中的可重复性为: $5.15\sigma_r = 5.15 \times 0.44 = 2.26$ 。其中 5.15 是包含了标准正态分布 99% 的纵坐标 Z 值(参见第 8 章)。

可再现性

若不同检验员得到相同结果,那么这个测量系统就具有可再现性。不同检验员之间的变差是由检验员带来的偏离。检验员间的偏离,也称为可再现性,可以将每个检验员的均值与其他检验员的均值进行比较来得到。可再现性标准差(σ_0)的估值等于评估者之间的极差(R_0)除以 d_2^* 。最终可以计算出,可再现性等于 $5.15\sigma_0$ 。

可再现性举例(AIAG 方法) 使用前例中的数据,每个检验员的平均值计算如下:

检验员 #1 的平均值 = 118.79 微英寸

检验员 #2 的平均值 = 118.90 微英寸

极差 = $R_0 = 0.11$ 微英寸

查附录表 13,对于两个检验员一个子组的情况, $d_2^* = 1.41$ ($m=2, g=1$),因为仅有一个需要计算的极差 $g=1$ 。然后可得出: $R_0/d_2^* = 0.11/1.41 = 0.078$ 。

该估计值需要先对每个检验员的所有测量结果进行平均。然而,由于每个检验员重复测量每个零件,因此可再现性的估计中还包含了重复性误差所带来的变差。可再现性估计可利用下式进行调整:

$$\begin{aligned} \sqrt{\left(5.15 \frac{R_0}{d_2^*}\right)^2 - \frac{(5.15\sigma_r)^2}{nr}} &= \sqrt{\left(5.15 \times \frac{0.11}{1.41}\right)^2 - \frac{(5.15 \times 0.44)^2}{5 \times 2}} \\ &= \sqrt{0.16 - 0.51} = 0 \end{aligned}$$

有时,可再现性变差的估计值超过了可重复性+可再现性的变差估计值。这时,可再现性的估计值就取 0。因为从理论上说,变差为负是不可能的。所以,本例中的可再现性估计值为 0。

测量系统的标准差为:



$$\sigma_m = \sqrt{\sigma_r^2 + \sigma_0^2} = \sqrt{(0.44)^2 + 0} = 0.44 \quad (6.2)$$

测量系统的变差,或者说可重复性与可再现性(R&R)的变差是 $5.15\sigma_m$ 。本例中, $R\&R = 5.15 \times 0.44 = 2.27$ 。

可再现性举例(另一种计算方法) 前一种计算可再现性误差的方法存在一个问题:它不能绘制控制图来协助工程师进行评估。现在我们将要介绍的方法则可以进行评估。首先将表 6.2 中的数据重新排列,使每个零件的测量数据排成一排,如表 6.3 所示:

表 6.3 用于可再现性评估的测量数据

零件	检验员 #1		检验员 #2		X	R
	测量结果 #1	测量结果 #2	测量结果 #1	测量结果 #2		
1	111.9	112.3	111.4	112.9	112.125	1.5
2	108.1	108.1	107.7	108.4	108.075	0.7
3	124.9	124.6	124.6	124.2	124.575	0.7
4	118.6	118.7	120	119.3	119.15	1.4
5	130	130.7	130.4	130.1	130.3	0.7
平均值					118.845	1

当数据以这种形式排列时, R 值由两部分组成,是重复测量与检验员二者混合带来的极差。例如,零件 #3 的最小测量值是检验员 #2 测量得到的(124.2),最大值是检验员 #1 得到的(124.9)。因此,这里的 R 值包括了两种来源的测量误差:可重复性和可再现性。

控制限的计算方法如下:

极差图:

$$\bar{R} = 1.00$$

$$UCL = D_4\bar{R} = 2.282 \times 1.00 = 2.282$$

注意:子组大小为 4。

均值图:

$$\bar{\bar{X}} = 118.85$$

$$LCL = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R} = 118.85 - 0.729 \times 1 = 118.12$$

$$UCL = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R} = 118.85 + 0.729 \times 1 = 119.58$$

这些数据和控制界限如图 6.9 所示。分析 R 图可见所有的 R 值都低于上控制限,也就是说,由可重复性和可再现性引起的测量系统的变异是稳定的,系统中没有导致变差的特殊原因。

用这种方法,我们可以估计出可重复性+可再现性的标准差: $\sigma_0 = R_0/d_2^* = 1/2.08 = 0.48$ 。方差是相加的,有:

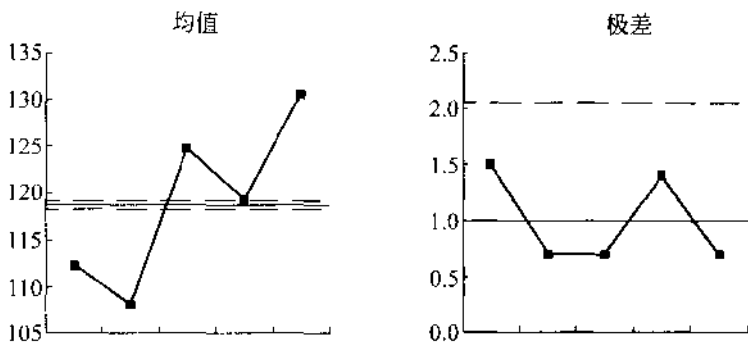


图 6.9 可再现性控制图

$$\sigma_{\text{可重复性+可再现性}}^2 = \sigma_{\text{可重复性}}^2 + \sigma_{\text{可再现性}}^2 \quad (6.3)$$

也就是说:

$$\sigma_{\text{可再现性}} = \sqrt{\sigma_{\text{可重复性+可再现性}}^2 - \sigma_{\text{可重复性}}^2}$$

前面我们已经计算出 $\sigma_{\text{可重复性}} = 0.44$, 因此可以计算出:

$$\sigma_{\text{可再现性}} = \sqrt{\sigma_{\text{可重复性+可再现性}}^2 - \sigma_{\text{可重复性}}^2} = \sqrt{(0.48)^2 - (0.44)^2} = 0.19$$

最后我们估计出可再现性为 $5.15 \times 0.19 = 1.00$ 。

零件间的变差

\bar{X} 图显示了零件间的变差。和上面所讨论的情况一样, 如果测量系统是符合要求的, 大部分的零件都应落在 \bar{X} 图的控制界限之外。如果只有少于一半的零件落在控制界限之外, 这个测量系统就无法测量出过程中零件间的正常变差。

如果测量过程具有足够的分辨率, 并且具有稳定性、准确性、线性(下面将介绍)和一致性(即可重复性和可再现性), 那么就可以估计出零件间的变差。从测量系统的数据中估计零件间标准变差的过程如下:

1. 将每个零件的平均值(多个检验员)绘制在均值控制图上, 做法与可再现性的第二种计算方法一样。
2. 确认至少有 50% 的平均值落在控制界限外。若没有 50% 的平均值落在控制界限外, 则要为这一过程寻找更好的测量系统。
3. 计算零件平均值的极差 R_p 。
4. 计算零件间的标准差: $\sigma_p = \frac{R_p}{d_2^*}$, d_2^* 的值可以从附录表 13 中查得, $m = \text{零件数}$, $g = 1$, 因为只有一个极差的计算。
5. 零件间变差(PV)的 99% 的散布为: $5.15\sigma_p$ 。



有了上述计算结果,就可以对整个测量系统进行评估:

1. 总的过程标准差: $\sigma_t = \sqrt{\sigma_m^2 + \sigma_p^2}$, 其中 σ_m 是测量误差的标准差。
2. 总变差(TV)为 $5.15\sigma_t$ 。
3. 可重复性和可再现性的百分比(R&R)为 $\frac{\sigma_m}{\sigma_t} \times 100\%$ 。
4. 这一测量系统能将数据分为 $1.41 \times (PV / R\&R)$ 类。

测量系统总体分析举例

1. 将每个零件的平均值(多个检验员)绘制在均值控制图上,做法与可再现性的第二种计算方法一样。见图 6.8。

2. 确认至少有 50% 的平均值落在控制界限外。若没有 50% 的平均值落在控制界限外,则要为这一过程寻找更好的测量系统。

4/5 的平均值,即 80% 都落于控制界限之外。因此,这个测量系统的误差是可接受的。

3. 计算零件平均值的极差 R_p 。

$$R_p = 130.3 - 108.075 = 22.23。$$

4. 计算零件间的标准差: $\sigma_p = \frac{R_p}{d_2^*}$, d_2^* 的值可以从附录表 13 中查得, $m =$ 零件数, $g = 1$, 因为只有一个极差的计算。

$$m = 5, g = 1, d_2^* = 2.48, \sigma_p = 22.23 / 2.48 = 8.96$$

5. 零件间变差(PV)的 99% 的散布为: $5.15\sigma_p$ 。

$$5.15 \times 8.96 = PV = 46.15$$

有了上述的计算结果,就可以对整个测量系统作出估计:

1. 总的过程标准差: $\sigma_t = \sqrt{\sigma_m^2 + \sigma_p^2}$

$$\sigma_t = \sqrt{\sigma_m^2 + \sigma_p^2} = \sqrt{(0.44)^2 + (8.96)^2} = \sqrt{80.5} = 8.97$$

2. 总变差(TV)为 $5.15\sigma_t$ 。

$$5.15 \times 8.97 = 46.20$$

3. R&R 的百分比为 $\frac{\sigma_m}{\sigma_t} \times 100\%$

$$\frac{\sigma_m}{\sigma_t} \times 100\% = 0.44 \div 8.97 \times 100\% = 4.91\%$$

4. 这一测量系统能将数据分为 $1.41 \times (PV / R\&R)$ 类。

$$1.41 \times \frac{46.15}{5.15 \times 0.44} = 28.72 = 28$$

因为最小的分类数为5,所以这个测量系统是合格的,可以用它来进行过程分析和过程控制。

线性

对线性的计算需要找出一些零件和标准件,它们要能够覆盖测量仪器使用范围的全部或大部分。然后,计算出使用范围中每一点的偏离,进行线性回归分析。测量系统的线性定义为回归直线的斜率和过程方差的乘积与斜率和容差的乘积两者中的较大值。同时可以做出这些数据的散点图。

线性举例 下面的例子来源于汽车工业行动协会(AIAG)出版的《测量系统分析》。

某工厂主管想知道某测量系统的线性。从基于过程变差的测量系统使用范围中,选出五个零件。先通过特别设计的检验来测量每个零件,确定参考值。然后,由一个检验员对每个零件进行12次重复测量。零件都是随机选取的。计算出零件的平均值和平均值的偏离,如表6.4所示。每个零件的偏离值等于零件的平均值减去零件的参考值。

表 6.4 标准测量数据汇总

零件	1	2	3	4	5
平均值	2.49	4.13	6.03	7.71	9.38
参考值	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00
偏离	+0.49	+0.13	+0.03	-0.29	-0.62

然后用线性回归分析法(将在第9章中介绍)对这些数据进行分析。回归过程中, x 代表参考值, y 代表偏离。结果如表6.5所示:

p 值显示,结果是统计显著的,也就是说,标准测量确实存在偏离。直线的斜率是 -0.132 ,截距为 0.74 。 $R^2=0.98$,即在偏离的数据中大约98%的变差可以由回归直线进行解释。结果汇总如下:

偏离: $b+ax=0.74-0.132 \times \text{参考值}$

线性: $|\text{斜率}| \times \text{过程变差} = 0.132 \times 6 = 0.79, 6$ 是容差

线性百分比: $100\% \times |\text{斜率}| = 13.2\%$

注意到,零偏离点发生在: $x = -\frac{\text{截距}}{\text{斜率}} = -\left(\frac{0.74}{-0.132}\right) = 5.61$ 。

在本例中,这一点是偏离最小的点;离这一点越远,偏离值也越大。

上述信息可用图6.10汇总。

表 6.5 线性汇总数据的回归分析

结果汇总					
回归统计					
复相关系数	0.98877098				
R^2	0.97766805				
调整 R^2	0.97022407				
标准误差	0.07284687				
观测值数	5				
ANOVA					
	自由度(df)	平方和(ss)	均方(ms)	F 值	拒绝度
回归	1	0.69696	0.69696	131.336683	0.00142598
残差	3	0.01592	0.00530667		
总和	4	0.71288			
	系数	标准误差	t 统计量	P 值	
截距	0.74	0.07640244	9.68555413	0.0023371	
参考值	-0.132	0.0115181	-11.460222	0.00142598	

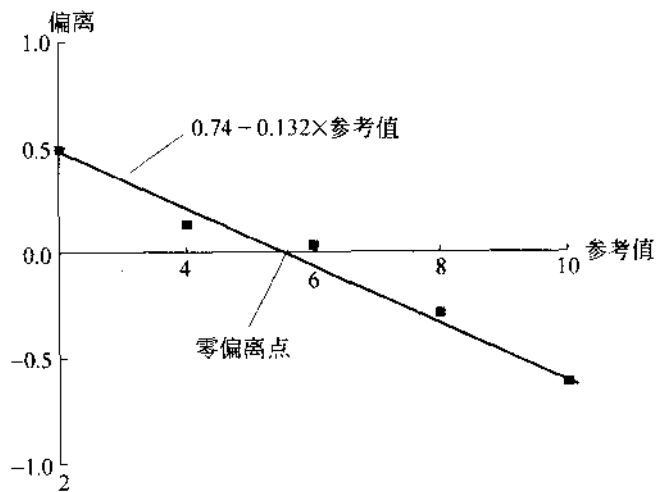


图 6.10 线性的分析

第7章

六西格玛初级方法

7.1 解决问题的工具

7.1.1 绘制过程图

正如公司有组织结构图一样,它们还用过程图来描绘工作是如何在公司中完成的。一张过程图就形成了一个词汇集,帮助人们来讨论流程的改善。过程图是过程的图形表示,使用标准流程图符号的变换形式,描述任务的顺序。工作过程图就是一张描述人们如何工作的图。工作过程图和地图类似,因为它们都有很多可替代的路径可到达目标。在给定的条件下,某一条路径可能优于其他的路径。通过创建一张过程图,显示了多种可供选择的路径,有利于制定有效的计划。下面是所涉及的步骤(Galloway,1994):

1. 选择要绘制的过程。
2. 定义过程。
3. 绘制主要过程。
4. 绘制可替代路径。
5. 绘制检查点。
6. 用该图来改进过程。

过程要与日常商业活动相匹配。然而,在现代组织中,这些日常的过程被分割到许多不同的部门中。一张过程图用图形的方式整和了这些日常的过程,因为组织的等级制度,过程变得难以管理,人们对部门和预算负责,但是没有人对过程负责。

因为组织是按照部门而不是按过程安排的,人们经常难以看到构成商业活动的过程。为了更好地处理组成商业活动的过程,Hammer 和 Champy(1993,p118)建议赋予过程表示它们开始和结束状态的名称。这些名称应该包含了从过程开始到过程结束所做的全部工作。制造,听起来像一个部门的名字,更适合被称作采购—装运过程。对其他的一些循环过程和它们的状态变化给出下列建议:

- 产品开发:概念到原型。



- 销售：前景展望到订单。
- 完成订单：订单到支付。
- 服务：调查到解决。

通过交叉职能过程图来缩短循环时间

Hurley 和 Loew (1996)描述了摩托罗拉如何使用过程图来帮助自己缩短生产周期的时间。交叉职能过程图包括创建团队,其中的团队成员来自新产品开发循环所涉及的各个部门——从市场营销到制造,从调研到开发。下一个阶段是绘制这个产品开发过程从开始到结束的每一步。团队成员被分成四种类型:

项目的监督执行者——提供资源和排除障碍。

团队领导——组织和主持会议,保证信息的沟通。

行动负责人——完成分配的任务。

小组成员——完成分配的任务。

小组要规划出两张图:一张“as-is”图和一张“should-be”图。“as-is”图详细描述当前新产品开发过程的运作方式,并且标示出用当前的方法完成新产品开发所存在的问题。用这张交叉职能图绘制出过程的每一步,以及每一步所花费的时间。结果分为两部分:一张显示当前过程的图,以及团队成员间的评价。As-is 图能够用来改善当前的过程(KAIZEN)。如果可能的话,从顾客的角度来看,任何没有增加价值或是冗余的步骤都应该被剔除。第5章中描述的技术能够用来识别关键路径上的过程步骤,并且首先要注意让这些行为变得简化而更有效率。

“Should-be”图构成了再造产品开发过程的基础。Should-be 图详细描述了新的、更有效的过程的每一步。在这个绘制的过程中形成了一系列行动项。行动项定义了并且详细描述了需要改变什么才能完成从 as-is 状态到 should-be 状态的转变。第5章中介绍的项目管理工具和技术能够用来规划和实施这些必要的步骤。图7.1是一张 should-be 过程图。

7.1.2 流程图

流程图是一种用图形来描述给定系统的输入、行动和输出的工具。下面定义了这些术语:

输入——生产要素:土地,原材料,劳动力,设备和管理。

行动——利用输入进行增值的方法。行动包括流程、处理、储存、装运和加工。

输出——对输入进行处理得到的产品和服务。输出被发送给顾客或其他的使用者。输出还包括那些非计划或是非意愿的结果,如报废、返工、污染等。当然,流程图也应当包括这些输出。

流程图非常有用,以至于各种 ANSI 标准都给出了流程图的符号标准。而且,特定的

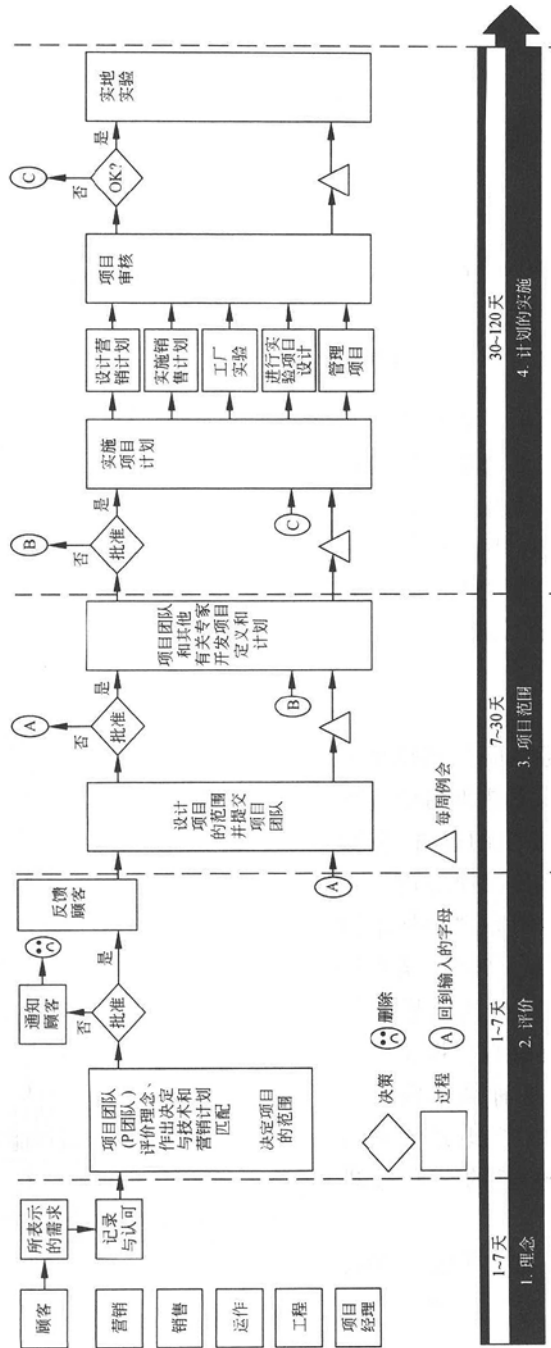


图 7.1 新产品/服务开发“should-be”过程图

资料来源: Hurley, H. and Loew, C. (1996). "A quality change for new product development," *The Quality Observer*, January, pp. 10~13.

流程还有特定的符号,如电力系统和信息系统。然而,在大多数情况,会使用图 7.2 的符号。

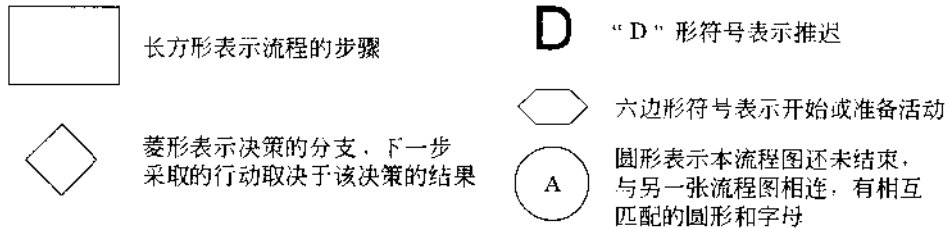


图 7.2 流程图符号

图 7.3 的流程图高水平地展示了流程能力分析。流程图可以绘制得更复杂或更简单。作为首要的原则,套用爱因斯坦的话,“流程图应该尽可能的简单,但不能过于简单。”流程图的目的是帮助人们理解这个过程。如果流程图过于简单或是过于复杂,就达不到使用流程图的目的。

7.1.3 调查表

调查表是一种包括着一系列的项目和每个项目发生频率的工具。最简单的形式是使用检查列表这种工具,通过预先描述可能发生的事件,使数据的搜集过程更加容易。一个精心设计的调查表可以回答调查人员提出的问题。例如:“每件事情都完成了吗?”“所有的检查都实施了吗?”“某个特定问题的发生频率是多少?”“X 部分的问题是否比 Y 部分的问题多?”它们可以提醒数据搜集人员去,关注有意义且重要的项目。这种简单的调查表被称为确认调查表。通过增加一些改进措施可以改进调查表,下面将描述调查表的一些改进形式。

尽管调查表比较简单,但是,在改善流程和解决问题方面,它们是极为有用的工具。使用调查表时,若能结合使用其他简单的工具,如直方图和帕累托分析,那么调查表的威力将大大加强。

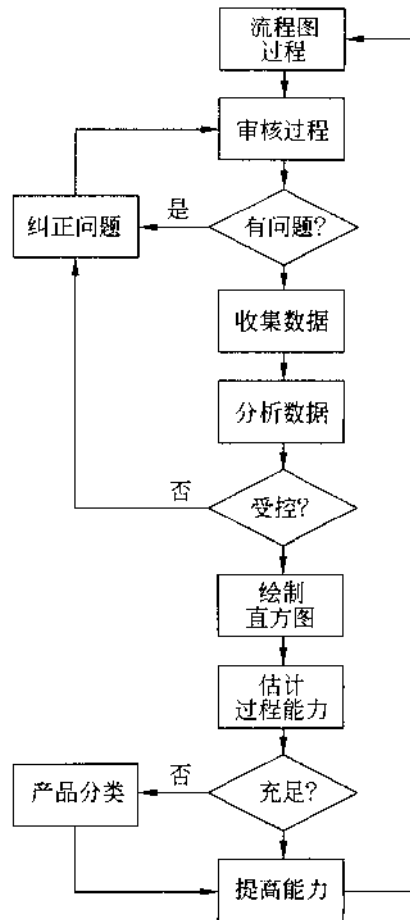


图 7.3 过程能力分析流程图

Ishikawa 估计,只使用这些简单的质量改善工具,就可以解决所有工作场所遇到的80%~90%的问题。

过程调查表 过程调查表用于建立频率分布计数表,从而构建直方图。通过列出几个测量值的范围,并对每个实际观测值都做个记号,来创建过程调查表,例如图7.4。注意:如果采用适当的纪录符号,那么,会发现调查表给出了一张类似于直方图的图表。

测量范围	频 次
0.990~0.995 英寸	////
0.996~1.000 英寸	////
1.001~1.005 英寸	//// ////
1.006~1.010 英寸	//// //// //
1.011~1.015 英寸	////
1.016~1.020 英寸	//

图 7.4 过程调查图

缺陷调查表 这里列举了不同类型的缺陷和所观测到的频次。缺陷调查表的一个例子如图7.5所示。如果适当地记录勾画,缺陷调查表类似于一张条形图。

缺 陷	频 次
冷焊	////
孔里漏焊	//// //// ////
粒状焊	//// ////
孔没有完全电镀	//// //// //
模板没有安装好	//// ////
衬垫被抬高	/

图 7.5 缺陷调查表

分层缺陷调查表 这类调查表把某个特定的缺陷按照合理的标准进行分层。当缺陷调查表难于就引起问题的根本原因提供足够详细的信息时,分层缺陷调查表是很有帮助的。例如图7.6。

缺陷位置调查表 这类“调查表”实际上是图片、照片、设计图等,用以显示某个特定的问题出现在哪里。空间定位对确认问题的原因、制定纠正措施是有帮助的。在图7.7中,在顾客抱怨跑鞋上有褶皱问题的地方都标记了“×”。这张图使得对问题域的确认为

得容易,否则要困难得多。在这个实例中,一图抵千言。

1000个焊接点的样本	零件编号 X-1011	零件编号 X-2011	零件编号 X-3011	零件编号 X-4011	零件编号 X-5011
冷焊	////			///	
孔里漏焊	///	/	//	//	
粒状焊	///	/		///	
孔没有完全电镀	///			///	
模板没有安装好	///		////	///	
衬垫被抬高	/				

图 7.6 分层缺陷调查表



图 7.7 褶皱问题的缺陷位置调查表

因果图调查表 因果图也能够被用作调查表。一旦准备好这张图,把它应用到工作地点,每当某个特定的原因或者情况发生时,就标记一个箭头。当可以得到历史数据时,小组也可以把这种方法应用于这些数据。

7.1.4 帕累托分析

定义——帕累托分析是对机会排序的过程,用来决定在众多潜在机会中应优先考虑哪一个。即“从许多琐碎的因素中分离出最关键的少数几个”。

用途——帕累托分析用于在质量改进方案的各个不同阶段确定下一步该做什么。它同时也用于回答如“哪个部门应当建立统计过程控制小组?”或“我们应该集中精力改进哪类不合格品?”这样的问题。

如何实施帕累托分析

1. 确定帕累托效果图的各个类别(帕累托项)。如果所需的信息不完备,设计调查表和进度表来获取信息。
2. 选取分析的时间范围。所选定的时间段应足够长,以保证数据具有一定代表性。
3. 计算各帕累托项的事件发生数(如成本、缺陷数等)与所有项目的总事件数。如果有几个项目的事件发生数和只占总数很小一部分,将它们合在一起,记为“其他”项。
4. 计算每一项所占的百分比值(将该项的事件发生数除以总事件数再乘以100)。
5. 根据事件发生数由大到小排列各帕累托项。



6. 计算累计百分比值。将各项的百分比值同该项前面所有项的百分比值相加。
7. 设计帕累托图。左侧纵轴刻度范围从 0 至少要到总事件发生数,并给它选取一个合适的标题;右侧纵轴刻度范围为 0 到 100%,右侧 100%处的高度与左侧总事件发生数的高度一致。
8. 在横轴上标出各项目的名称。最左边的为发生数最大的项,依次类推。
9. 用柱状图来表示各项事件发生数。柱的高度由左侧纵轴决定。
10. 画一条折线来表示帕累托分析表的累计百分比栏。该折线根据右侧纵轴刻度绘出。

帕累托分析实例

表 7.1 给出了 Super Duper 超级市场 8 月份所采购桃子的数据。

表 7.1 帕累托分析的原始数据

单位:个

问题	损失的桃子	问题	损失的桃子
碰损	100	不熟	9
过小	87	品种错误	7
腐烂	235	虫蛀	3

表 7.2 为表 7.1 的帕累托分析表。

表 7.2 帕累托分析数据表

单位:个

排序	类别	数目	百分比	累计百分比
1	腐烂	235	53.29	53.29
2	碰损	100	22.68	75.97
3	过小	87	19.73	95.70
4	其他	19	4.31	100.01

注意,通常最后的累计百分比值会略不同于 100%,这是由于四舍五入导致的误差,不必担心。图 7.8 为帕累托图。

7.1.5 因果图

改进过程包括对引起变异的原因采取措施。对于大多数实际应用,导致某个给定问题的原因可能有很多。Kaoru Ishikawa 博士提出了一种用以揭示质量问题原因的简单图形方法。这种方法有多种名称: Ishikawa 图、鱼骨图以及因果图。

因果图是一种把与某个问题有关的所有知识组织起来并用图形加以描述的工具。通

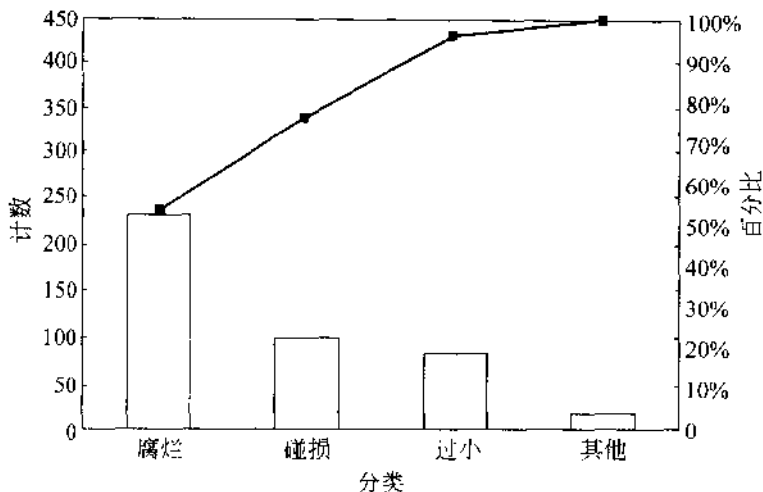


图 7.8 帕累托图

常,它的步骤是这样的:

1. 绘制一张有待改善领域的流程图。
2. 定义需要解决的问题。
3. 用头脑风暴法找出该问题所有可能的原因。
4. 把头脑风暴得到的结果合理分类。
5. 构造真实显示每类中所有数据之间关系的因果图。

一旦完成上述步骤,构造因果图的步骤非常简单:

1. 在一张大纸的最右边画一个方块,然后画一个水平的箭头指向这个方块。在方块里面写上对试图解决的问题的描述。
2. 在水平线的上方或下方写上各个类别的名称,可看作一棵树主干上的分枝。
3. 详细描绘每个类别上的各个原因,可看作各个分枝上的小枝条。

一个好的因果图会有很多的“小枝条”,如图 7.9 所示。如果因果图没有很多的分枝和小枝条,这意味着对问题的理解还很肤浅。需要小组以外的人员,也许是某些对这个问题更熟悉的人员,来帮助理解这个问题。

因果图有几种基本的类型。通过不断地询问“为什么会发生这种离差”来进行离差分析。例如,我们可能很想知道为什么新鲜桃子的颜色是不一样的。

生产过程类因果图把生产过程作为主要分类,即图中的分枝。过程通过水平线连接起来。图 7.10 是这类因果图的一个例子。

枚举原因的因果图列举出了给定问题的所有可能原因,并进行了合理分类。这种类型的因果图适用于头脑风暴法。

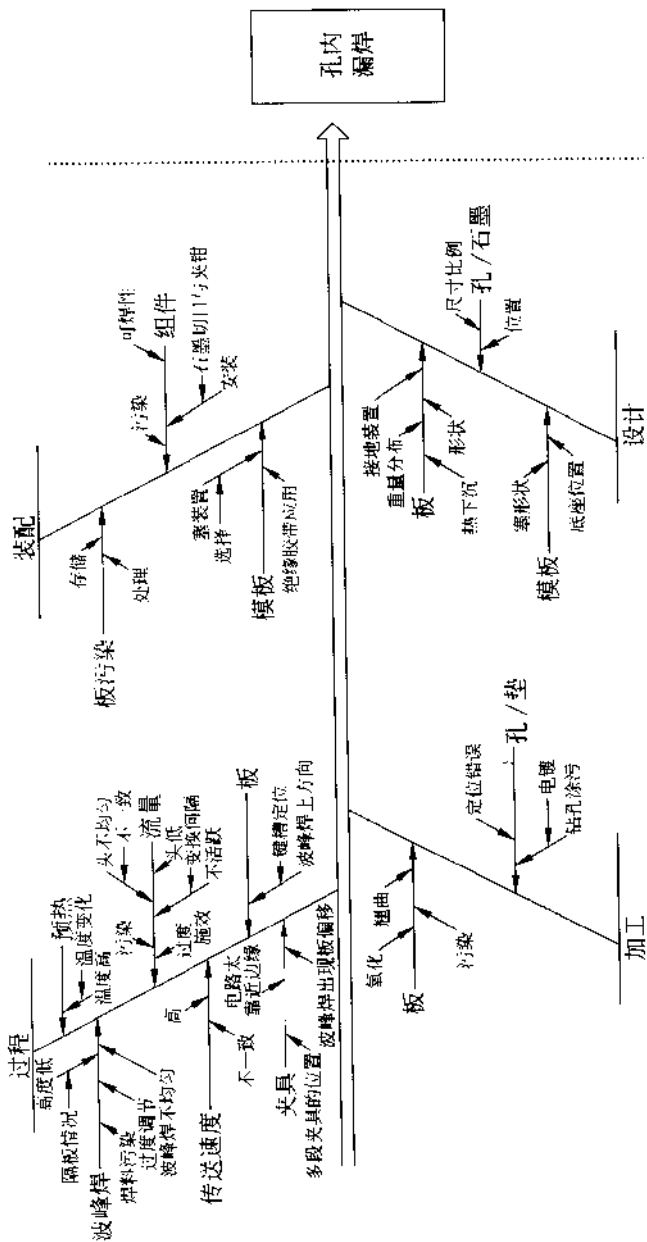


图 7.9 因果图

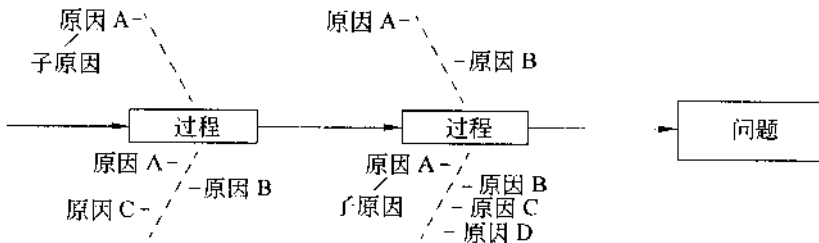


图 7.10 生产过程类因果图

因果图有很多的用途。创建因果图本身就是一种教育。汇聚小组所具备的知识可以指导讨论,并激发出更多的想法。一旦创建了因果图,就可以把它作为研究的记录。随着你的进展,简单地记录下实验和结果。如果发现真正原因并未包含在原始的因果图中,把它写进去。最终,这张因果图展示了你们当前的理解水平。它也显示出小组所理解的现存技术水平。把因果图张贴在明显的位置,以便让所有的人都能看到,这是一个不错的想法。

日本的 Ryuji Fukuda 博士对基本因果图进行了改进,提出了一种带有卡片的因果图,又称为 CEDAC。主要差别是小组成员把在小组会议上和在会议室之外搜集到的各种想法记在小卡片上。这些卡片还可用作搜集非小组成员想法的工具;它们可以被分发给与过程有关的所有人员。通常这些卡片比标准因果图上的简单条目提供了更多的信息。把这些卡片放在分支上就构成了一张因果图。

7.1.6 散点图

定义——散点图是一个变量对另一个变量的图表。一个变量被称为自变量,经常用横轴表示。另一个变量被称为因变量,用纵轴表示。

用途——散点图可用来估计因果关系。假设自变量引起因变量的变化。散点图可用于回答“供应商 A 提供的原材料要优于供应商 B 吗?”“训练的长度是否与操作工生产的废品数量有关?”等问题。

怎样构造一张散点图

1. 搜集成对的观测值,最好是 20 对或者更多些。在成对数据中,一个是自变量的观测值,一个是因变量的观测值,合作一起构成了一对数据。

2. 找出自变量中的最大值和最小值,找出因变量中的最大值和最小值。

3. 绘制纵轴和横轴,数轴的长度要能够标出最大值和最小值。图 7.11 给出了散点图的基本结构。

4. 绘制数据,在与每个 $x-y$ 对相应的位置作记号,如图 7.12 所示。如果使用了不同分类,那么,要使用不同的符号来表示每个组。

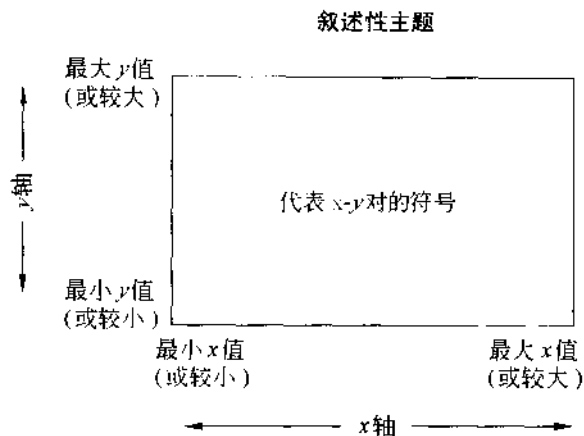


图 7.11 散点图的布局

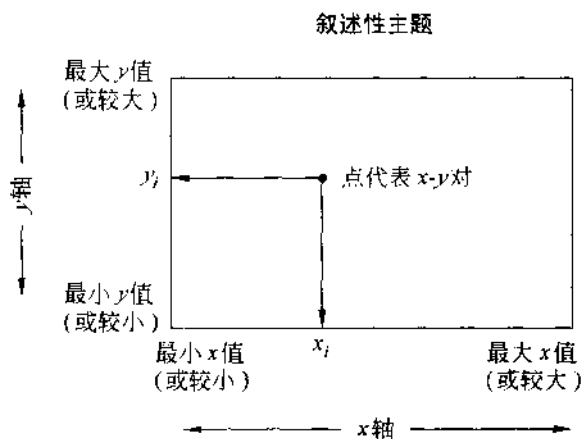


图 7.12 在散点图上打点

资料来源: Pyzdek's Guide to SPC-Volume One: Fundamentals, p. 66. Copyright © 1990 by Thomas Pyzdek.

散点图示例

果园经理坚持每天记录桃子的重量。数据如表 7.3 所示。

表 7.3 散点图的原始数据

序号	在树上的天数	重量(盎司)
1	75	4.5
2	76	4.5



续表

序号	在树上的天数	重量(盎司)
3	77	4.4
4	78	4.6
5	79	5.0
6	80	4.8
7	80	4.9
8	81	5.1
9	82	5.2
10	82	5.2
11	83	5.5
12	84	5.4
13	85	5.5
14	85	5.5
15	86	5.6
16	87	5.7
17	88	5.8
18	89	5.8
19	90	6.0
20	90	6.1

资料来源: *Pyzdek's Guide to SPC-Volume One: Fundamentals*, p. 67. Copyright © 1990 by Thomas Pyzdek.

1. 把数据组成 x - y 对, 如表 7.3 所示。自变量 x 是桃子在树上成长的天数。因变量 y 是桃子的重量。

2. 找出每种数据的最大值和最小值。表 7.3 中最大值和最小的数值如表 7.4 所示。

表 7.4 最大值和最小值

变 量	最小值	最大值
在树上的天数(x)	75	90
桃子的重量(y)	4.4	6.1

资料来源: *Pyzdek's Guide to SPC-Volume One: Fundamentals*, p. 68. Copyright © 1990 by Thomas Pyzdek.

3. 绘制坐标轴。本例中, 横轴要能够覆盖 75 天到 90 天的范围。纵轴要能够覆盖从最小重量(4.4 盎司)到最大重量(6.1 盎司)的范围。除了要满足基本要求之外, 还需要数

轴能够包括基本要求之外的数值,因为我们可能需要估计一个桃子达到 6.5 盎司需要多长的时间。

4. 绘制数据。图 7.13 就是绘制完成的散点图。

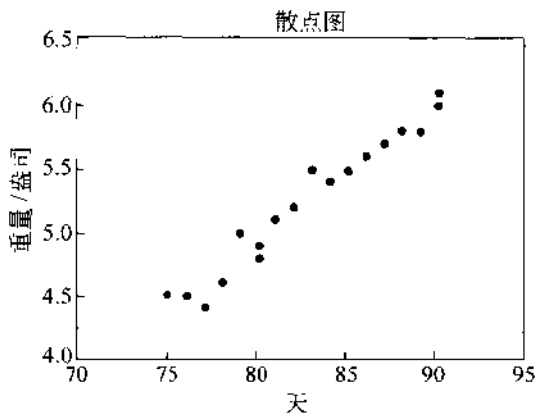


图 7.13 散点图

资料来源: Pyzdek's *Guide to SPC-Volume One: Fundamentals*, p. 68. Copyright © 1990 by Thomas Pyzdek.

使用散点图的要点

- 散点图展示了应该加以解释的不同模式。图 7.14 提供了散点图的解释指南。
- 确认自变量 x 在一个足够大的范围内变动。当 x 只在一个小范围内变动时,可能无法看到与 y 的相关性,即使这种相关性确实存在。
- 如果根据落在检验范围之外的 x 值对 y 做预测,那么,注意:这样的预测很值得推敲,应该做充分的测试。利用检验范围之外的 x 值对 y 进行预测称为外推法。
- 注意那些没有被考虑的变量的影响。通常,一个未受控制的变量会削弱 x 变量的影响。也有可能正是这个未受控制变量产生了影响,但却误把所控制的 x 看作真正的原因。若是随机地选择 x 的水平,那么,这种问题就不太可能发生。桃子的例子就是这样。在进行研究的时间段内,变量的数值可能稳定地发生变化。这些变量,而不是自变量,可能对重量产生影响(例如,在进行研究的时间段内,周期性的施肥)。
- 注意“偶然事件”数据。偶然事件数据是过去搜集的数据,其目的不在于创建一张散点图。若对重要的变量很少或没有实施控制,那么,可能会得到任何结果。偶然事件数据仅被用于为进一步的调查提供想法,而不是用来得到最终结论。偶然事件数据中存在的一个常见问题是,真正重要的变量可能并没有被记录下来。例如,记录可能会显示出缺陷率和偏移之间的关系。然而,可能导致缺陷的原因是

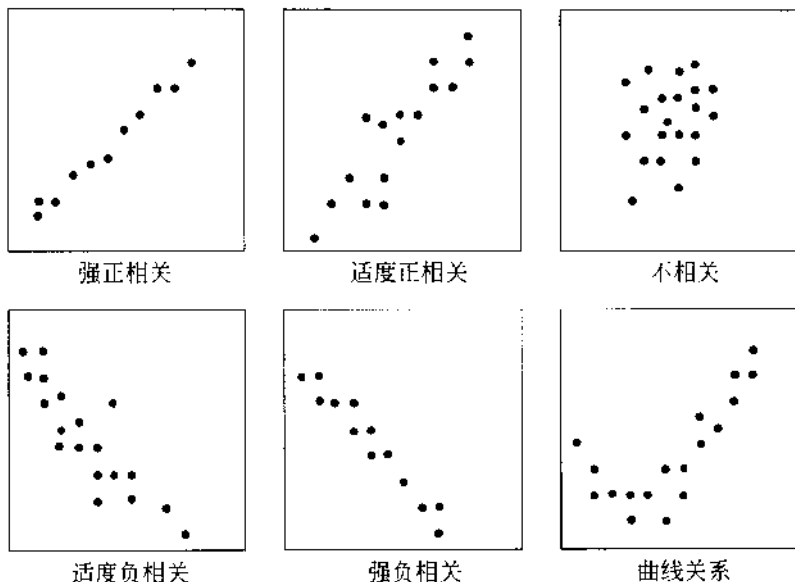


图 7.14 散点图解释指南

资料来源: Pyzdek's Guide to SPC-Volume One: Fundamentals, p. 69. Copyright © 1990 by Thomas Pyzdek.

周围的温度,它与偏移一起发生了改变。

- 如果自变量存在不止一个来源,则试着给每个来源使用不同的符号。例如,若果园经理知道一些桃子取自于靠近繁忙高速公路的桃树,他就要使用不同的符号来表示这些桃子。他可能会发现一种相互作用:靠近高速公路的树上摘下来的桃子与那些在果园内生长的桃子相比,可能有着不同的生长率。

虽然不使用散点图也可以作分析,但这通常不是一种好途径。可能会因此错过数据的图形分析所提供的大量学习机会。

7.2 7M 工具

自从 1931 年 Shewhart 博士开始现代质量控制的实践以来,近年来改革步伐不断加快。7M 工具就是质量技术快速变化的一个实例。传统的质量控制工具(帕累托分析、控制图等)用于定量数据的分析,7M 工具用于定性数据的分析。“M”代表管理,7M 工具着重于管理和规划质量改善活动。鉴于对规划重要性的认识,这些工具经常被称为“7MP”工具。本节将给出 7M 工具的定义。读者若要详细了解每种技术,可以参考 Mizuno (1988)。

7.2.1 亲和图

“亲和”这个词表示“自然的吸引”或是相似性。亲和图是这样一种方法,它通过识别各种观点潜在的相似性来把它们归入有意义的类别。这是一种数据精简的方法,因为它把大量的定性输入,组织成少量的关键因素、结构或是类别。其基本思想是,虽然有很多变量,但这些变量是在衡量少量的重要因素。例如,在调查病人的看病经历时,他们可能会说,“这个医生非常友好,”“这个医生知道她在做什么,”“这个医生一直和我联系。”这里的每条陈述都与医生这个事物有关。很多时候亲和图是由现存的数据,如备忘录、图表、调查结果、信件等创建的。有时候小组通过头脑风暴来得到观点。这项技术的程序如下:

1. 把观点写在小纸片上(即时贴或者 3×5 的卡片都非常有效)。

2. 小组安静地进行工作,把观点归入各个独立的类别。安静被认为是很有用的,因为这项任务涉及到模式识别。一些研究表明,对某些人,尤其是女性,语言处理过程会影响到大脑左半球。这项研究还显示左脑的思考更趋向理性思维,通常被认为会抑制创造力和模式识别能力。因此,安静地工作,右脑可以更加投入。把一个观点归入某类中,人们只需要挑出这张即时贴并且移动它。

3. 小组审查并讨论最终的分类。通常,观点的分类会帮助小组形成一个连贯的计划。

亲和图有利于分析质量问题、缺陷数据、顾客抱怨、调查结果等。它们可以与其他技术,如因果图或相互关系图(见下文)联合使用。图 7.15 是亲和图的一个实例。

7.2.2 树图

树图用于把观点分解或者分层,以不断地增加细节内容。目标是把笼统的观点或者问题分解成较小的组成部分,使观点变得更易于理解,问题更容易解决。其背后的基本思想是,在某种程度上使寻找问题的解决方法变得相对容易。图 7.16 是树图的一个实例。质量改进应当从树图的最右边部分向最左边部分推进。树图的另一个常见用途是:左边表示目标,右边表示实现目标的方法。

7.2.3 过程决策项目图

过程决策项目图(PDPC)是用来帮助准备辅助计划的技术。它建立在故障模式、故障影响和危害性分析(简记为 FMECA)和故障树分析(参见第 9 章)这些可靠性工程方法的基础上。PDPC 的重点是分析“故障”(问题)对项目进程的影响。同时,PDPC 寻求预防问题发生的具体行动方案,并且在问题产生后减轻问题可能带来的影响。传统 PDPC 的改进形式是给可能发生的问题标注概率,当然是主观估计的结果,然后进行优先级排序。图 7.17 是一张 PDPC 图。

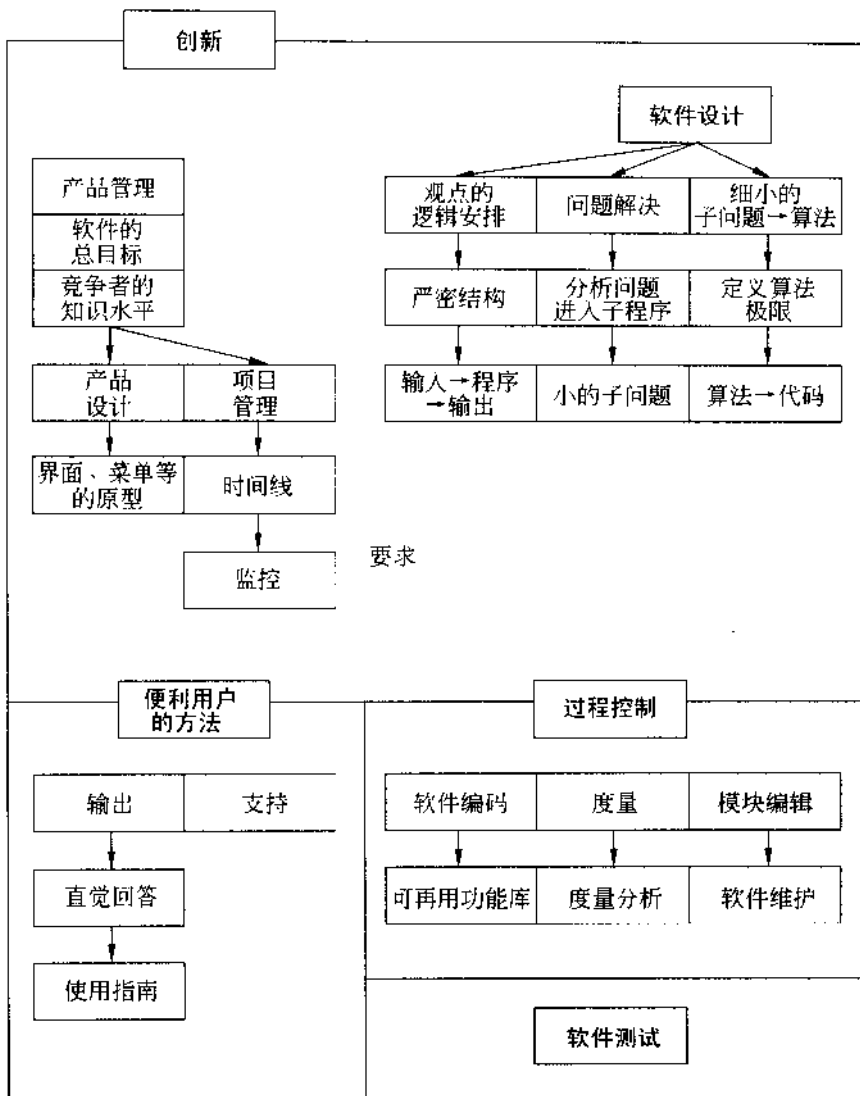


图 7.15 软件开发过程的亲和图

资料来源：“Modern approaches to software quality improvement,” figure 3. Australian Organization for Quality, Qualcon 90. Copyright © 1990 by Thomas Pyzdek.

7.2.4 矩阵图

矩阵图是用来分析两组观点之间关系的技术。实际上,质量机能展开(QFD)就是一

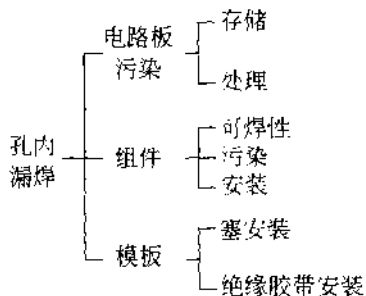


图 7.16 树图的一个例子

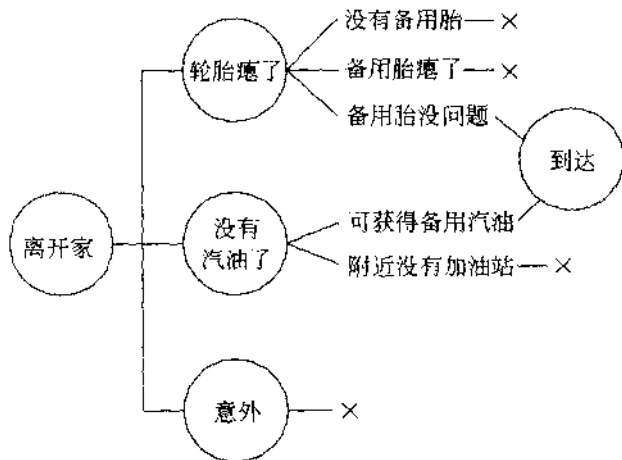


图 7.17 过程决策项目图

张高级的矩阵图(参见第3章对质量机能展开的讨论)。创建矩阵图的主要优点是它能够迫使人们系统地分析相互关系。矩阵图可以与决策树联合使用,只要把两棵决策树最详尽的那层信息作为矩阵图行和列的内容就可以了。图7.18给出了矩阵图的一个实例。

如何 →

什么 ↓

关系矩阵

顾客重要程度

	预约病人	指派服务员	服务员到达	得到设备	运送病人	提供治疗	返回通知	指派服务员	服务员到达	病人返回
在预定时间到达	5	5	5	5	1	5	0	0	0	0
带着合适的设备到达	4	2	0	0	5	0	0	0	0	0
衣着合适	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
通过正确的方式传递	2	3	0	0	1	0	0	0	0	0
快速送回家	4	0	0	0	0	0	0	5	5	5
重要度得分	39	25	25	27	25	0	20	20	20	20
等级	1	3	3	2	3	7	6	6	6	6

5 = 高重要度, 3 = 平均重要度, 1 = 低重要度

图 7.18 矩阵图的一个例子

7.2.5 相互关系图

与亲和图相似,相互关系图也是用来组织不同观点的方法,这些观点通常(但不总是)

来自于头脑风暴。然而,亲和图是设法把相关的观点归入一组,相互关系图是试图定义观点之间互相影响的途径。最好是同时使用亲和图和相互关系图。

相互关系图开始时把观点写在小纸片上,例如即时贴。把这些纸片放在一张大纸上,比如一张设计蓝图纸上。相关的观点之间画上箭头。只有箭头离开而没有进入的观点叫做“根观点”。对观点之间的相互关系进行评估,可以更好地描述事情发生的方式。根观点通常是改善系统的关键。图 7.19 列举了一张简单的相互关系图。

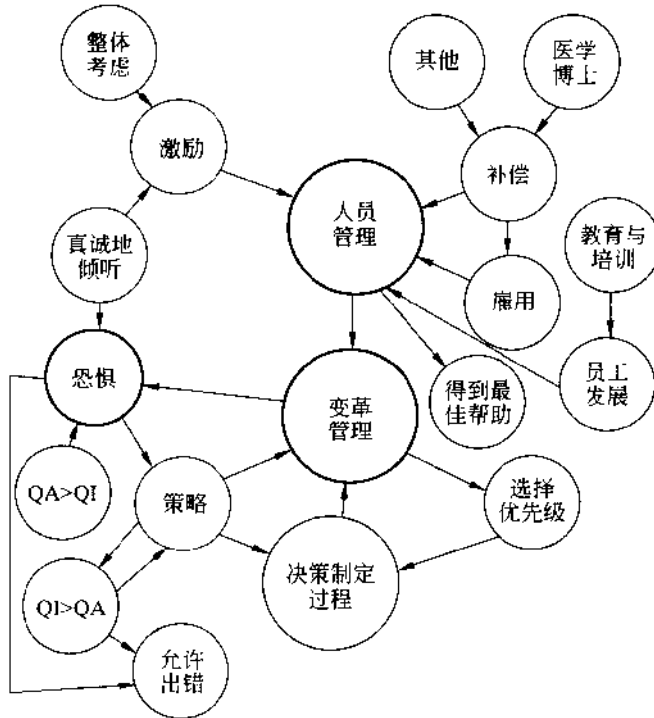


图 7.19 “人员管理”如何影响变革

7.2.6 优先级矩阵^①

区分优先次序是按照重要性的不同进行安排或者处理。优先级矩阵是树图和矩阵图的结合,它可以用于帮助决策者确定所考虑的活动或者目标的重要程度。设计优先级矩阵的目的是促使小组重点关注对组织最重要的关键事务和观点。Brassard(1989,102~

^① 优先级矩阵图代替了矩阵数据分析图,从前的 7M 工具之一。矩阵数据分析图以因素分析和主要成分分析为基础,对于统计方法的依赖使得这种方法成为常规情况下非统计人员无法使用的工具。

103)描述了建立优先级矩阵的3种方法:完全分析准则法,相互关系图(ID)/矩阵混合法,一致标准法。下面将分别讨论这三种方法。

完全分析准则法

完全分析准则法是基于 Saaty(1988)所做的工作。Saaty 方法被称作层次分析法(AHP)。尽管层次分析法可以进行严格的分析,但是,数据搜集过程和分析非常繁琐。作者建议把层次分析法用于对组织有重要战略意义的决策。为确保在适当的时候运用层次分析法,可能需要得到咨询帮助。另外,可以使用软件来帮助分析^①。Brassard(1989)和 saaty(1988)提供了应用完全分析准则法的详尽实例。

相互关系图(ID)/矩阵混合法

相互关系图是揭示因果关系模式的一种方法。构造优先级矩阵从树图开始,把树图最右边的项(最详细的那一层)放置在矩阵里(即矩阵的行和列都是处在树图最右边的项),并且评价它们之间的相互影响。相互关系图(ID)/矩阵开始时只有一项,然后逐一加入各项。每加入一项,小组回答这样的问题:“这项是不是由另一项 x 引起的?”重复这个过程直到确定每一项与其他所有项之间的关系。如果回答是“是”,则在“原因”项和“结果”项之间画一个箭头。关系的强度是通过讨论一致同意决定的。最终的结果是每一项对其他项的相对影响强度的估计。

◎(9)=强影响 ○(3)=有影响 △(1)=弱影响 行导致列 → 列导致行 ←	增加现有产品特征	使现有产品更快捷	使现有产品更易于使用	降低价格	对新产品投入资源	增加技术支持预算	出的箭头	人的箭头	总箭头	强度
增加现有产品特征		↑◎	↑◎	↑◎	↑◎	↑◎	5	0	5	45
使现有产品更快捷	⊖		↑◎	↑◎			2	1	3	27
使现有产品更易于使用	⊖	⊖		↑○			1	2	3	21
降低价格	⊖	⊖	○				0	3	3	21
对新产品投入资源	⊖					↑◎	1	1	2	18
增加技术支持预算	⊖				⊖		0	2	2	18

图 7.20 最佳营销组合相互关系图(ID)/矩阵混合法

^① 这里提到的软件可以从 Quality America 公司(图森,美国亚利桑那州)和 Expert Choice 公司(匹兹堡,美国宾夕法尼亚州)得到。

在图 7.20 中，“内”箭头指向左侧，表示列项导致行项。在相互关系图中，用从列项指向行项的箭头来表示。“外”箭头指向上方，含义与“内”箭头相反。为了确保对称，如果在一个行/列单元出现内箭头，则在对应的列/行单元中有一个外箭头，反之亦然。

一旦创建了最后的矩阵，通过评估强度列、箭头总数列以及内箭头和外箭头数目间的关系来设定优先级。一个有高强度和大量外箭头的项是一个强有力的选项，因为它很重要（高强度），并且会影响到大量其他的选项（许多箭头，主要是外箭头）。一个有高强度并且有很多内箭头的项，则是用来衡量结果是否满意的选项。

一致标准法

一致标准法是根据一些标准从多个选项中进行选择的一种简化方法。它始于这样的矩阵：需要考虑的不同选项构成了矩阵的行，需要用到的标准构成了矩阵的列。小组根据一致决策原则赋予这些标准各自的权重。例如，如果标准 #1 被赋予权重 3，小组同意标准 #2 的重要性是标准 #1 的两倍，那么标准 #2 的权重为 6。另一种处理权重的方法是给小组总值为 1 美元的镍币，并让他们把这 1 美元“花”在不同的标准上。分配到每个标准上的最终值是它的权重。然后小组根据每个标准给选项分级。最符合标准的选项给予最高的等级。例如，如果对某个给定的标准有 5 个要考虑的选项，那么，最符合标准的选项其等级为 5。

累加某个选项对每个标准的等级与该标准权重的乘积，然后依据这个累加值对选项进行优先级排序。

一致标准法示例 一个小组必须做出选择在 4 个项目中首先进行哪一个。为了帮助他们做出决策，确定了 4 个选择标准和相应的权重，如下所示：对利润有影响（权重 = 0.25），易于实现（权重 = 0.15），实施成本低（权重 = 0.20），对顾客满意有重要影响（权重 = 0.40）。根据每项标准，对 4 个项目分级，结果如下表所示：

权重→	标准和权重				总计
	0.25	0.15	0.2	0.4	
	利润	易行性	低成本	顾客满意	
项目 1	1	2	2	1	1.35
项目 2	2	4	4	3	3.35
项目 3	3	1	3	4	2.85
项目 4	4	3	1	2	2.45

在上面的例子中，因为项目 #2 得到最高分，所以小组应该首先实施项目 #2。如果小组在权重或等级上难以取得一致，他们可以使用下文将要介绍的名义小组技术。

7.2.7 行动网络图

行动网络图,有时也称为箭头图,来源于运筹学中的方法。箭头图非常类似于第5章中讨论的关键路径方法(CPM)以及方案评估与审核技术(PERT)。这两种项目管理的工具已经应用了许多年,用来决定什么是必须采取的行动,在什么时候、按照什么样的顺序实施。CPM和PERT方法需要培训项目经理或系统工程师。与CPM和PERT方法不同,箭头图被大大简化了,它只需要极少量的培训就能使用。图7.21是一张箭头(PERT)图的例子。

活动列表

1. 开挖
2. 打地基
3. 造墙
4. 屋顶
5. 外部管道
6. 外墙
7. 内部管道
8. 外部粉刷
9. 墙板
10. 外部装修
11. 地板
12. 内部粉刷
13. 内部装修

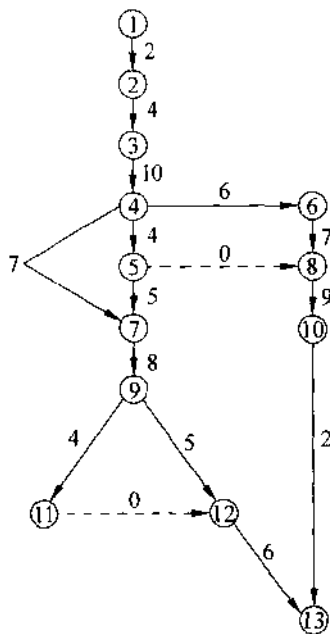


图 7.21 建造房屋的 PERT 网络图

7.2.8 其他持续改进工具

这些年来出现了大量质量改进工具。有人估计“TQM 工具箱”中大约有 400 种工具。利用这些已经描述过的工具,结合本书其他部分描述的统计方法,能够取得巨大的改进。然而,除了已经描述过的这些工具,还应该注意两种更为简单的方法:名义小组技术(nominal group technique, NGT)和力场分析(force field analysis, FFA)。通常这些工具从所有相关的合作伙伴获得输入,确认小组所面临的障碍,帮助小组取得进展。

名义小组技术

名义小组技术(NGT)是产生将要实施项目的“最终候选名单”的方法。NGT用一种高度结构化的方法来减少小组成员之间经常出现的妥协。NGT的用处体现在下列情况:(1)小组是新成立的或者有几个新成员;(2)讨论的主题有争议;(3)小组无法处理不同意见。Scholtes(1988)描述了NGT的步骤。总结如下:

第一部分——实施头脑风暴

1. 以提问的形式定义任务。
2. 描述讨论目的以及NGT的规则和步骤。
3. 介绍并明确问题。
4. 产生观点。让小组成员安静地把他们的观点写下来。
5. 列出所得到的观点。
6. 明确这些观点并进行讨论。

第二部分——进行选择

1. 选择最好的50个观点。注意:如果小组成员愿意,他们可以去掉他们自己所考虑的观点,但是没有人能够删除别人的观点。
2. 把索引卡片分给每个成员,用下面的表格作为参考:

观 点	索引卡片	观 点	索引卡片
少于20	4张卡片	36~50	8张卡片
20~35	6张卡片		

3. 每个成员从列表中进行选择并写在卡片上,每张卡片一个选择。
4. 每个成员对他的选择分级,并把级别写在卡片上。
5. 记录小组的选则和级别。
6. 小组审核并讨论这些结果。考虑:每项被选中的频率是多少?每项总的等级是多少?

如果小组同意这个(或这些)取得最高分(等级之和)项目的重要性,就可以开始准备所选定项目的实施方案了。

力场分析

力场分析(FFA)是借鉴机械工程学科中称为自由体图的方法。自由体图是用来帮助工程师确认物体周围作用于物体的所有力,其目的是弄清楚使物体处于平衡状态的力。

在FFA中,“平衡”是一种状态。FFA帮助小组弄清楚那些使事情保持着它们存在方式的力量。其中一些力量是向所期望的目标推动系统的“驱动力”。另外一些力量则是“止动力”,阻止所期望的行动发生,导致行动偏离目标。一旦了解了这些驱动力和止动

力,小组就能够设计行动计划,其目的:(1)削弱妨碍改进的力量;(2)增强向所期望的方向引导行动的力量。

FFA 在计划的初级阶段是很有用的。一旦明确认识到这些止动力,就可以制订战略计划来发展驱动力、克服止动力。FFA 在改进停滞时也很有用。通过实施 FFA,人们被重新聚在一起并试图达成一致,这样的行为本身就会克服许多障碍。Pyzdek(1994)列出了执行 FFA 的步骤如下:

1. 确定目标。
2. 创建一个小组,组员要具有权威、专业知识以及实现目标所必须的兴趣。
3. 小组通过头脑风暴或者 NGT 来确认止动力和驱动力。
4. 列举这些止动力和驱动力,创建力场图。
5. 制定准备计划来削弱止动力和增强驱动力。

图 7.22 给出了力场图的实例:

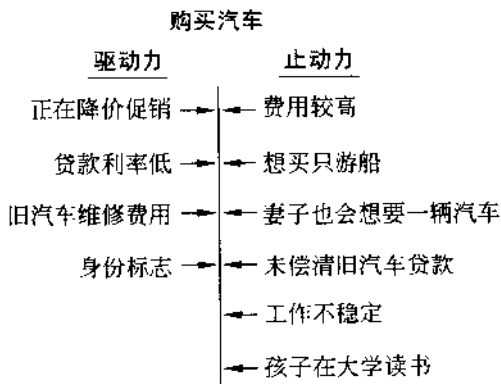


图 7.22 力场图的一个实例

资料来源: *Pocket Guide to Quality Tools*, p. 10. Copyright © 1995 by Thomas Pyzdek.

给止动力和驱动力赋予“强度权重”(例如弱、中、强),会有所帮助。

7.3 知识发现工具

得到正确的答案始于提出合适的问题。本节讨论的工具和技术将有助于六西格玛小组学习如何提问。这些简单的工具经常被归入“数据表达工具”。许多工具是基于图形的,利用数据的数值和分类构造易于理解的图表。另外一些工具是对这些数据进行归纳,减少大量的表格中那些不易理解的数据,用简单明了的数字来表达基本的键信息。

除了商业上的传统工具,读者应该确认他们是否能够实现在线分析处理(OLAP)。



在第1章已经简单讨论过 OLAP(请参阅:整合六西格玛与信息系统技术)。与所在组织的信息部门接触,以获得有关 OLAP 更多的信息。

本节在一个相对简单的层次上提出了时间序列分析这个主题,对这种用于分析平稳过程数据的统计方法做了简单介绍。它包括时间序列上数据链的模式分析。第8章将讨论时间序列数据的自相关问题,并使用 EWMA 控制图法来处理这一问题。

7.3.1 链图

链图是时间序列上的数据点所构成的图表。分析链图的目的是为了确认所出现的模式是由于变差的正常原因引起的,还是因为存在变差的特殊原因引起的。链图可用于任何按时间序列组织的、连续刻度测量的数据的预备分析。链图的对象可以是这样的数据,如燃料消耗、生产产量、重量、尺寸等。链图回答这些问题,“对于所观察的时间段,过程是否处于统计控制状态?”如果回答是“没有”,那么过程受到变差的一个或多个特殊原因的影响。如果回答是“是的”,那么,可以运用过程能力分析方法来估计过程的长期表现。链图检验是无参数的,也就是说,对于基本分布没有任何假设。

怎样准备和分析链图

1. 以时间序列画数据的折线图。

2. 找到数据的中位数。利用上一步构造的折线图可以很容易找到中位数。把直尺放在图的上端,与横坐标平行。把直尺往下移,直到一半的数据点高于直尺或者在直尺上。画一条水平线穿过该图,这条线记上“中位数”或者“ \tilde{x} ”的标记。图7.23给出了这个步骤。

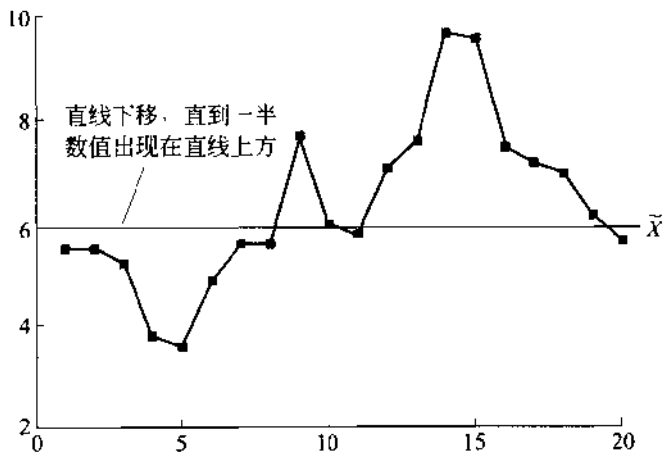


图 7.23 用直尺找到中位数

正如期望的那样,通过观察图上的“链”来评估链图。一条“链”是指一组按时间顺序排列的点。对这些链,可以进行几种不同的统计检验。

链长度

对于中位数的链是一组在中位数同一侧的连续点序列。除非过程受到特殊原因的影响,否则过程不太可能出现一长串连续点落在中位数的同一侧。因此,检查链的长度就成为检验变差特殊原因的一种方法。链的长度就是落在中位数一侧的连续点的数目。然而,有些数值正好和中位数相等。如果只有一个点正好落在中位数线上,忽略这个点。奇数个数据点的情况,通常至少有一个数据值等于中位数。如果有多于一个的点落在中位数线上,按照每侧各占50%把这些点分配到两侧。在链图上,把高于中位数的点标为 a ,把低于中位数的点标为 b 。图7.24中表示了链图的概念。

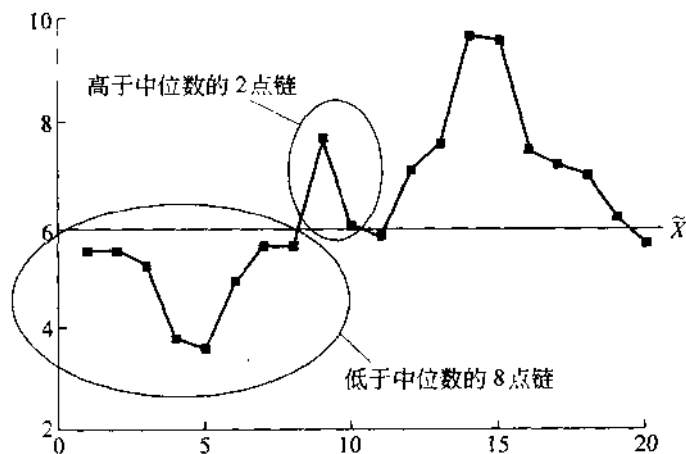


图 7.24 确认链长

在找到最长链之后,把最长链的长度与表7.5中的值做比较。如果最长链比允许的最大值还要长,这个过程很有可能受到变差特殊原因的影响($\alpha=0.05$)。在这个例子中,有20个数据点,其中最长链是8。表7.5表示对20点来说出现长达7点的链是很不正常,但是现在出现了长度为8的链。由于最长链为8,故得出结论存在变差的特殊原因,

表 7.5 最大链长

数据点的个数	最大链长	数据点的个数	最大链长
10	5	30	8
15	6	40	9
20	7	50	10

需要进行调查以找出这个特殊原因。

链的数目

一个受控过程中期望得到的链的数目同样可以用数学方法来确定。一个没有受特殊原因影响的过程,链不会太多也不会太少。只要数一下就能得到链的数目。根据图7.25,可以看到有5条链。

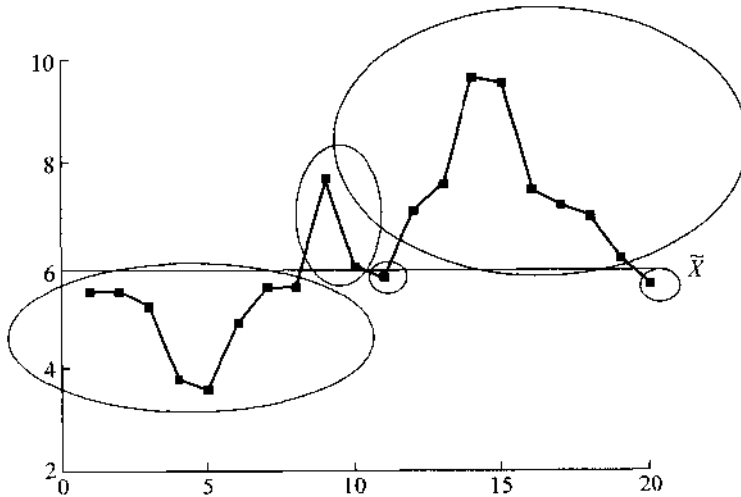


图 7.25 确定链的数目

表 7.6 用来评价链的数目。如果链的数目小于允许的最小值或者大于允许的最大值,就可以以高概率($\alpha=0.05$)认为存在特殊原因。在本例中,共有 20 个数值点,有 5 条链。表 7.6 表明对 20 个点来说,期望的链的数目是 6 至 15 个;因此得到的结论是存在特殊原因。

表 7.6 链的数目的限制

数据点的个数	最少链数	最多链数
10	3	8
12	3	10
14	4	11
16	5	12
18	6	13
20	6	15

续表

数据点的个数	最少链数	最多链数
22	7	16
24	8	17
26	9	18
28	10	19
30	11	20
32	11	22
34	12	23
36	13	24
38	14	25
40	15	26
42	16	27
44	17	28
46	17	30
48	18	31
50	19	32

倾向

链图中不应该存在任何异常长的连续增高和连续降低的序列。如果出现这种情况,则暗示存在一种倾向,并且这很有可能($\alpha=0.05$)是特殊原因引起的。把连续增高或连续降低的点数与表 7.7 中所允许的最大值相比,如果数目超过了表中的值,那么,有可能存在变差的特殊原因引起过程的偏移。

表 7.7 连续增高/降低的最大值

数据点的个数	连续增高/降低的 最大值	数据点的个数	连续增高/降低的 最大值
5~8	4	21~100	6
9~20	5	101 或更多	7

图 7.26 给出了对倾向的分析。注意:在中位数的两侧都可能出现倾向,也就是说,在这种链的检验中忽略了中位数。

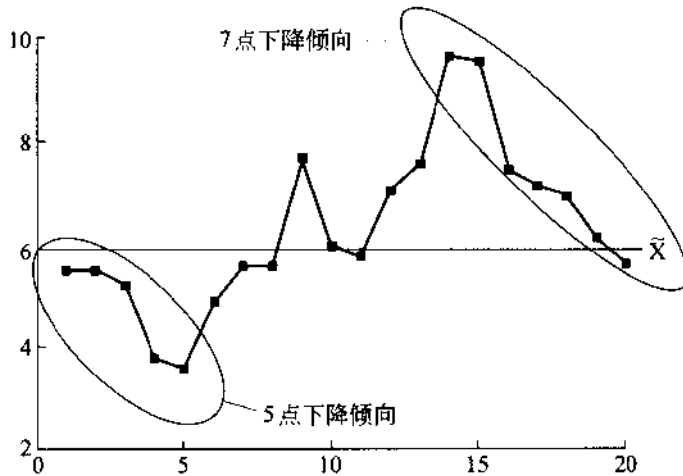


图 7.26 确认倾向的长度

当统计增加或减少的点数时,忽略那些“不变”的值。例如,在序列 2,3,3,5,6 中,倾向的长度为 4。

运用链图的指导

若相同的数据值太多,不要使用链图。首要原则是,若超过 30% 的数值是相同的,就不要使用链图。例如,在 1,2,3,3,6,7,7,11,17,19 这个数据集中,3 这个数值出现了两次,7 出现了两次。这样,10 个数据中的 4 个,或 40% 的数值是相同的。

链图是初步分析的工具,按时间顺序连续收集的数据,在进行更复杂的分析之前,通常要快速地看一看数据的链图。通常链图的模式会指出正确的方向,而不需要做更多的工作。

链图是最缺少敏感性的统计过程控制技术之一。它们不能发现“反常的数据”,也就是说,不同于其他数据的单个数据。因此,链图有可能会在寻找特殊原因时失败,即使这个特殊原因真的存在。用统计的语言来表达,链图存在较大的第 II 类错误,即在特殊原因存在的情况下,存在较高的概率接受“无特殊原因”的假设。链图有助于解决纷争。不同的链图检验可识别出不同类型的特殊原因。一个位于中位数一侧的长链表明存在引起过程偏移的特殊原因。一个持续增长或降低的长数据序列表明存在产生倾向的特殊原因。出现太多的链通常表示样本中混杂多个引起变差的原因。太少的链通常伴随着过程偏移或出现倾向。如果链太少而又不是过程偏移或倾向引起的,那么太少的链可能表明这里混杂着一个明确的模式(如,操作工的周期性变化)。

7.3.2 描述性统计

通常,描述性统计用来描述经验分布的特性,也就是,从样本中得到的数据分布。有三个关注点:分布的位置或者中心趋势,散布程度以及它的形状。在统计估计的过程中分析人员还想知道可能出现误差的幅度。表 7.8 给出了一些常见的描述性统计方法。

表 7.8 常见的描述性统计

样本统计量	讨 论	公式/记号
位置度量		
总体均值	分布的重心或质心。	$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$, 其中: x 是观测值, N 是总体大小
样本均值	取自分布的样本的重心或质心。	$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$, 其中: x 是观测值, n 是样本大小
中位数	50%对 50%的分割点。数据集的一半数据高于中位数,一半低于中位数。	\tilde{x}
众数	出现最频繁的数值。如果将数据分组,众数是频数最大的组。	无
散布程度的度量		
极差(全矩)	样本极值之间的距离	$R = \text{最大值} - \text{最小值}$
总体方差	对围绕均值的变差的度量,单位是原始数据单位的平方。	$\sigma^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(x_i - \mu)^2}{N}$
总体标准差	对围绕均值的变差的度量,与原始数据的单位相同。	$\sigma = \sqrt{\sigma^2}$
样本方差	对围绕均值的变差的度量,单位是原始数据单位的平方。	$s^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{X})^2}{n}$
样本标准差	对围绕均值的变差的度量,与原始数据的单位相同。	$s = \sqrt{s^2}$

续表

样本统计量	讨论	公式/记号
形状的度量		
偏斜度	不对称性的度量。0 表示完全对称，正态分布的偏斜度为 0。正偏斜度表示分布高于均值的“尾”部延伸严重。负偏斜度表示分布低于均值的“尾”部延伸严重。	$k = \frac{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^3}{n} - 3\bar{X} \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n} + 2\bar{X}^3}{s^3}$
峰度	峰度是分布平坦程度的度量。巨大的尾部分布其峰度较大。正态分布的峰度为 3。	$\beta_2 = \frac{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^4}{n} - 4\bar{X} \frac{\sum_{i=1}^n x_i^3}{n} + 6\bar{X}^2 \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n} - 3\bar{X}^4}{s^4}$

下面各图列举了具备不同描述性统计的分布

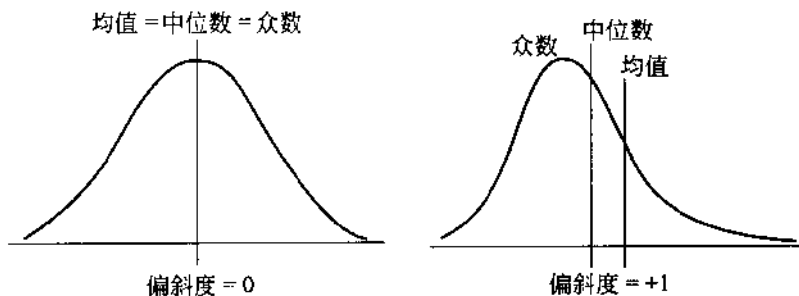


图 7.27 均值、中位数、众数的示例

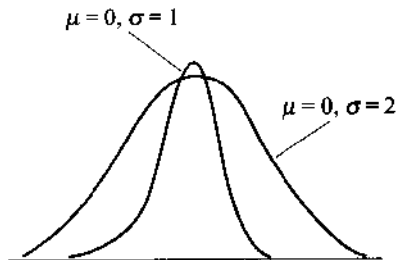


图 7.28 西格玛的示例

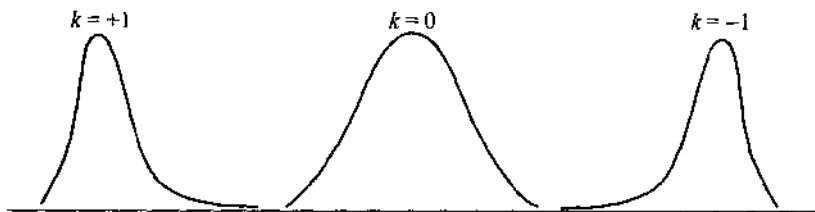


图 7.29 偏斜度的示例

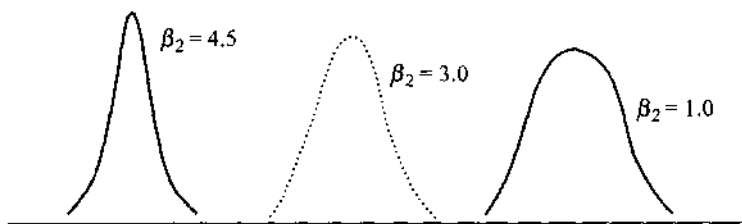


图 7.30 峰度的示例

7.3.3 直方图

直方图是一组数据的图形表示。它是通过把测量值分到各“单元”来构建的。直方图用来确定数据集的形状。直方图这种展示数据的方法使我们较容易地看到数据的分散程度和中心趋势，从而与要求的分布进行比较。直方图对解决争议有帮助。在不同机器、操作工、供应商等的直方图之间进行比较，经常能够发现重要的区别。

怎样构造一张直方图

1. 找出数据中的最大值和最小值。
2. 最大值减最小值，计算极差。

3. 选择直方图分组的单元数。表 7.9 提供了有价值的方法。最后的直方图可能与这里选择的单元数不完全一致，下文将进行解释。单元数的另一种取法为样本数的平方根。例如，如果 $n=100$ ，那么直方图有 10 个单元。四舍五入取最接近的整数。

表 7.9 直方图单元确认方法

样本数	单元数	样本数	单元数
100 以内	7 到 10	200 以上	13 到 20
100~200	11 到 15		

4. 确认每个单元的宽度。用字符 W 表示单元的宽度。利用式 7.1 来计算 W 。

$$W = \text{极差} / \text{单元数}$$

数值 W 仅是一个开始, 还要把 W 近似为一个方便的数值。调整 W 会影响到直方图中的单元数。

5. 计算“单元的边界”。单元是一个取值范围, 单元的边界定义了每个单元的起点和终点。单元边界应该比数据集中的原始数据多用一个小数位; 例如, 如果数据都是整数, 单元边界应该有一个小数位。第一个单元的下边界必须要小于数据集的最小值。其他单元的边界通过在前一个边界上加上 W 得到, 直到上边界大于数据集的最大值。

6. 浏览原始数据并确认每个值应该归入哪个单元。在单元里作标记。

7. 算出每个单元中记号的数目, 称为频数, 并记录在记号的右边。

8. 根据表格创建一张图。图的纵坐标是每个单元的频数。横坐标显示单元的边界。图 7.31 显示了直方图的布局。

9. 画出代表单元频数的长方形。长方形的宽度都是一样的, 高度应该和单元的频数相等。

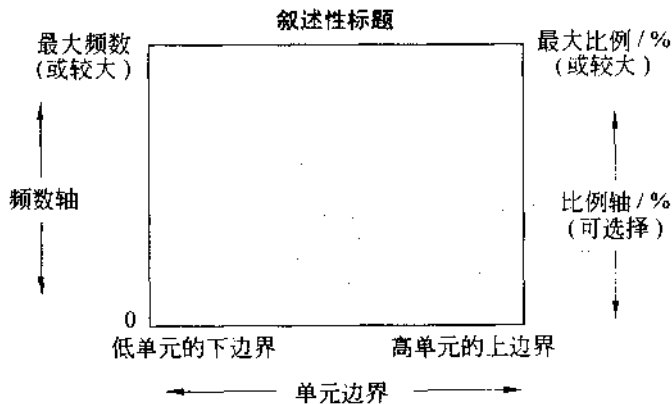


图 7.31 直方图的布局

直方图示例

表 7.10 中的数据表示金属棒的尺寸。金属棒的取样方法为: 连续 20 个小时, 每小时取一次样本, 每次连续检查 5 根金属棒 (20 组, 每组 5 个值)。

1. 找出数据集的最大值和最小值。最小值是 0.982, 最大值是 1.021。在表中这两个值都用 (*) 做了标记。

2. 计算极差 R , 即用最大值减去最小值, $R = 1.021 - 0.982 = 0.039$ 。

3. 选择直方图的单元数。这里有 100 个数据, 建议用 7 到 10 个单元。取单元数为 10 进行下面的计算。

表 7.10 直方图的数据

行	样本 1	样本 2	样本 3	样本 4	样本 5
1	1.002	0.995	1.000	1.002	1.005
2	1.000	0.997	1.007	0.992	0.995
3	0.997	1.013	1.001	0.985	1.002
4	0.990	1.008	1.005	0.994	1.012
5	0.992	1.012	1.005	0.985	1.006
6	1.000	1.002	1.006	1.007	0.993
7	0.984	0.994	0.998	1.006	1.002
8	0.987	0.994	1.002	0.997	1.008
9	0.992	0.988	1.015	0.987	1.006
10	0.994	0.990	0.991	1.002	0.988
11	1.007	1.008	0.990	1.001	0.999
12	0.995	0.989	0.982*	0.995	1.002
13	0.987	1.004	0.992	1.002	0.992
14	0.991	1.001	0.996	0.997	0.984
15	1.004	0.993	1.003	0.992	1.010
16	1.004	1.010	0.984	0.997	1.008
17	0.990	1.021*	0.995	0.987	0.989
18	1.003	0.992	0.992	0.990	1.014
19	1.000	0.985	1.019	1.002	0.986
20	0.996	0.984	1.005	1.016	1.012

资料来源: Pyzdek's: *Guide to SPC-Volume One: Fundamentals*, p. 62. Copyright © 1990 by Thomas Pyzdek.

4. 计算每个单元的宽度 W 。利用式 7.1, 得出 $W = 0.039/10 = 0.0039$ 。为方便起见, 把这个值近似为 0.004。即 $W = 0.004$ 。

5. 计算单元的边界。第一个单元的下边界必须要小于最小值 0.982, 并且单元边界要比原始数据多一个小数位。这样第一个单元的下边界是 0.9815。其他单元的边界只需要在前一个边界上加上 $W = 0.004$, 直到上边界大于最大值 1.021。表 7.11 给出了这些单元的边界。

表 7.11 直方图的单元边界

单元序号	单元的下边界	单元的上边界
1	0.9815	0.9855
2	0.9855	0.9895
3	0.9895	0.9935

续表

单元序号	单元的下边界	单元的上边界
4	0.9935	0.9975
5	0.9975	1.0015
6	1.0015	1.0055
7	1.0055	1.0095
8	1.0095	1.0135
9	1.0135	1.0175
10	1.0175	1.0215

资料来源: *Pyzdek's Guide to SPC-Volume One: Fundamentals*, p. 63. Copyright © 1990 by Thomas Pyzdek.

6. 浏览原始数据, 在每个数据所属的单元内作标记。

7. 算出每个单元内记数的数日, 并把这个频数记录在每个单元的右边。表 7.12 给出了计算的结果。表 7.12 通常被称为“频数表”或者“频数记录表”。

表 7.12 频数记录表

单元号	单元起点	单元终点	记数	频数
1	0.9815	0.9855		8
2	0.9855	0.9895		9
3	0.9895	0.9935		17
4	0.9935	0.9975		16
5	0.9975	1.0015		9
6	1.0015	1.0055		19
7	1.0055	1.0095		11
8	1.0095	1.0135		6
9	1.0135	1.0175		3
10	1.0175	1.0215		2

资料来源: *Pyzdek's Guide to SPC-Volume One: Fundamentals*, p. 64. Copyright © 1990 by Thomas Pyzdek.

利用第 7 步的表格构造一张图。频数这一列画在纵坐标上, 单元的边界显示在横坐标上。图 7.32 是最终的直方图。

使用直方图的要点

- 如果直方图上画有规格线, 那么, 直方图可用来比较过程与要求。如果要达到这

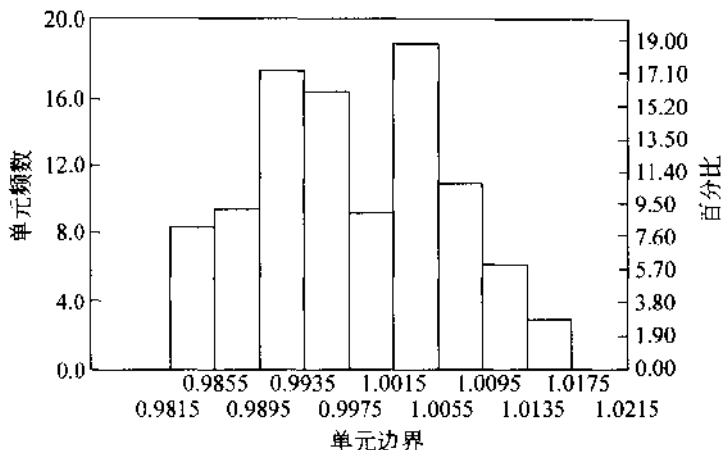


图 7.32 完成的直方图

资料来源: Pyzdek's Guide to SPC-Volume One: Fundamentals, p. 64. Copyright © 1990 by Thomas Pyzdek.

个目标,应确认直方图具有合适的比例。

- 直方图不应该单独使用。通常在构造直方图之前,先构造一张链图或控制图,这是因为直方图中的数据不是按时间顺序给出的,经常掩盖了失控的事实。
- 评价直方图的模式以确定是否能够检测到任何形式的变化。这些变化通常表现为直方图的多众数或者多“峰值”。大多数现实世界中的过程都只有一个峰值。然而,来自于小样本的直方图经常有多个峰值,这些峰值表示了样本的变差。有时,多个峰值是由于单元数选择不当引起的。受行为模式严重影响的过程经常出现多众数。例如,交通模式有明显的“高峰时段”,电视的黄金时段之所以成为黄金时段是因为有更多的人愿意在那个时间看电视。
- 比较不同时间段内的直方图。观察直方图从一个时间段到下一个时间段的模式变化,对寻找过程改进的方法非常有用。
- 根据数据来源的不同,分别绘制直方图,对数据分层。例如,对描述金属棒直径的直方图来说,可以单独绘制由不同供应商提供的原材料制造的金属棒直径直方图,或者由不同操作工或者机器生产的金属棒直径的直方图。有时,这可能会揭示控制图都不能检测到的事情。

7.3.4 初步数据分析

数据分析被分为两个阶段:初步阶段和确认阶段。数据分析可以被看作为一种侦探工作,在有“线索”之前要搜集证据并做彻底的研究。人们必须具备进行因果分析的能力。

数据中有空白吗？是否存在暗示某种机制的模式？或者，是否存在令人不可思议的模式（例如，所有的数都是奇数或是偶数）？是否有离群值？数据的变差中是否存在模式？分布的形状是什么？这些行动就是初步数据分析(EDA)。Tukey 在 1997 年以此为主题的著作，使初步数据分析方法得到“严谨”的统计学家们的认可。

在 EDA 中重复出现四个主题：拒绝，残差，重复表达和可视化表示。拒绝是指一种方法对数据细微变动的不敏感度。如果少量数据受到污染，这种方法不会产生完全不同的结果。残差是剔除掉模型或归纳的影响以后所剩下的数值。例如，每个数值减去均值，或者观察相对一条回归线的偏差。重复表达是用不同的尺度检查所显示的数据。Tukey 把注意力集中在简单的幂转换上，如 $y = \sqrt{x}$, $y = x^2$, $y = 1/x$ 。可视化帮助分析人员从图形上观察数据以抓住数据的规则和特性。

EDA 基于一个简单的基本假设：在试着去衡量你做得有多好以前，了解你能做什么是非常重要的(Tukey, 1977)。目的是研究数据的表现而不是去确认一些前提假设。尽管有大量的 EDA 方法和技术，这里介绍质量工程经常碰到的两种方法：茎叶图和箱线图。大多数的统计软件包中常常包含这些技术(本书使用 SPSS 绘制这些图)。然而，EDA 的图表非常简单，可以手工完成。

茎叶图

茎叶图是直方图的变种，并且非常适用于较小的数据集($n < 200$)。和直方图相比，茎叶图一个主要的优点是保存了原始数据，有时是全部有时是部分。在直方图中存在信息的损失，因为直方图通过把不同的数据归入到一个单元中减少了数据。

图 7.33 是一张心脏血压的茎叶图。在直方图中，每行的长度对应着落到某个特定区域内的格数。然而，在茎叶图中每格的数据值与实际观测值相对应。这一点是通过把观测值分成两个部分来完成的：头上的一个或多个数字称为茎，尾数称为叶。例如，数值 75 的茎为 7、叶为 5。

在这个例子中，每个茎分成两行。每一对的第一行是那些叶子在 0 和 4 之间的格，而第二行是叶子在 5 和 9 之间的格。看一看茎的值为 11 的这两行。在第一行中，心脏血压为 110 有 4 格，为 113 有 1 格。在第二行中，为 115 有 2 格，为 117, 118 和 119 各 1 格。

茎叶图的最后一行是那些极端值(与其余的值相差甚远)。在该行中，实际值放在括号内。在频数这列中，有 3 个极端值，数值分别为 125, 133, 160。只列出了不同的数值。

当只有少量的茎时，有时需要对茎做进一步的分割。图 7.34 是一张表示胆固醇水平的茎叶图。在这张图里，茎 2 和 3 被分成 5 个部分，每个部分表示 2 个叶的值。第一行用星号标记，表示值为 0 和 1 的叶；下一行用 t 标记，表示值为 2 和 3 的叶；第三行用 f 标记，表示值为 4 和 5 的叶；第四行用 s 标记，表示值为 6 和 7 的叶；第五行用句点标记，表示值为 8 和 9 的叶。图中没有格的行都没有列出。例如，图 7.34 中，茎为 1 的前两行(对应于 0-1 和 2-3)被忽略了。

频数	茎	叶
0.00	6 *	
7.00	6 .	5558889
13.00	7 *	0000111223344
32.00	7 .	5555555667777777777788888889999
44.00	8 *	0000000000000000000011111222223333334444
45.00	8 .	55555555566666667777777777777778888899999999
31.00	9 *	0000000001111111122222222333334
27.00	9 .	55666667777778888888899999
13.00	10 *	0000122233333
11.00	10 .	5555577899
5.00	11 *	00003
5.00	11 .	55789
2.00	12 *	01
4.00	极端值	(125),(133),(160)
茎的宽度: 10		
每个叶子: 1 种情况		

图 7.33 心脏血压的茎叶图

资料来源: SPSS for Windows Base System User's Guide. p. 183. Copyright © 1993 by SPSS, Inc., Chicago, IL.

图 7.34 这张茎叶图在另一方面也不同于前面图 7.33 那张茎叶图。因为胆固醇水平有一个较宽的取值范围——这个例子中是从 105 到 515——用头上的两位数作茎会形成不必要的过于繁复的图。因此,只需要用百位数作为茎,而不是头上的两位数。把茎设置为 100 写在茎的宽度这一列中。叶就是十位数,忽略最后一位。这样,在这张特殊的茎叶图中,不可能得到确切的胆固醇水平。若要得到确切的结果,用头两位数作茎,进行分类。

箱线图

箱线图进一步归纳数据分布的信息。箱线图并不绘制实际的数值,而是显示出分布的统计概要。它在图上标出了第 25,50 和 75 个百分点以及远离剩余数值的值。

图 7.35 给出一张箱线图的注解简图。方块的下边界是第 25 个百分点。Turkey 把第 25 和第 75 个百分点看作“转折点”。注意第 50 个百分点是整个数据集的中位数,第 25 个百分点是那些低于中位数的所有数值的中位数,第 75 个百分点是那些高于中位数的所有数值的中位数。方块中的水平线代表中位数。方块中包含了 50% 的格。方块的长度对应着四分位的间距,它是第 25 个百分点和第 75 个百分点之间的差值。

然。这种简洁的解释不是仅仅使用统计方法就能够提供的。

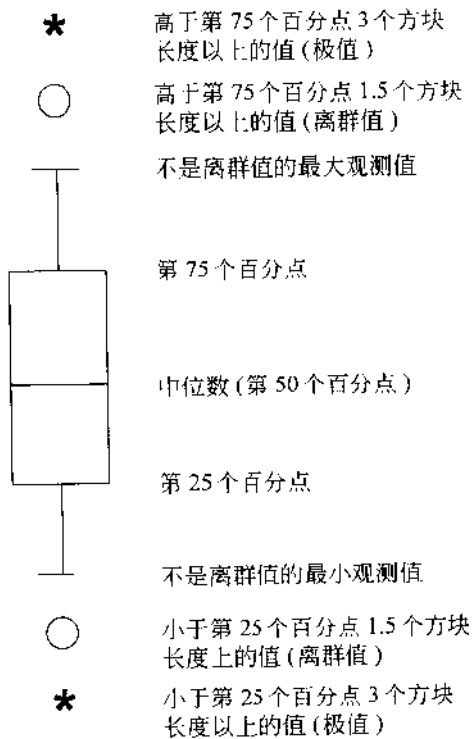


图 7.35 箱线图的注释

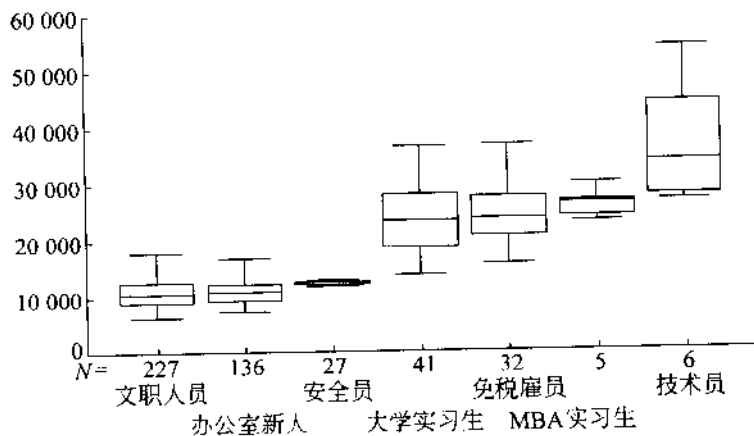


图 7.36 不同工种工资的箱线图

第 8 章

中级六西格玛方法

8.1 枚举统计方法与分析统计方法

你会怎样回答下列问题？

从一个瓶子灌装工序获得 100 只瓶子组成的样本，其平均值是 11.95 盎司，标准差是 0.1 盎司。规格是 11.9~12.1 盎司。在这样的条件下，你将：

- a. 什么也不做。
- b. 把平均值调整到 12 盎司。
- c. 计算均值的置信区间，如果装填水平没有落在置信区间范围内，调整这个过程。
- d. 上述一个也不对。

正确答案是 d，上述一个也不对。其他的选项都犯了将枚举统计概念应用于分析统计问题的错误。简而言之，问题本身是错误的！例如，基于现有的数据，没有方法来决定什么也不做是否就恰当。“做某件事”意味着存在着一种已知的因果机制，可用于达到某种已知的目的。但是，上述问题中不存在任何可以证明这种情况存在的依据。因此，我们不能简单地将这个过程的平均值调整到标称值 12 盎司，即使过程出现了比这个标称值低 5 个标准误差的情况。当前 50 瓶比标称值低 10 个标准误差，而后 50 瓶恰好等于标称值时，这种情况就可能发生。因为同样的原因，置信区间的计算失败了。图 8.1 展示了具有上述统计性质的一些过程。

下列的分析统计问题可能是恰当的：

- 随着时间的过去，过程的集中趋势是否稳定？
- 随着时间的过去，过程的散布情况是否稳定？
- 随着时间的过去，过程分布是否变化？

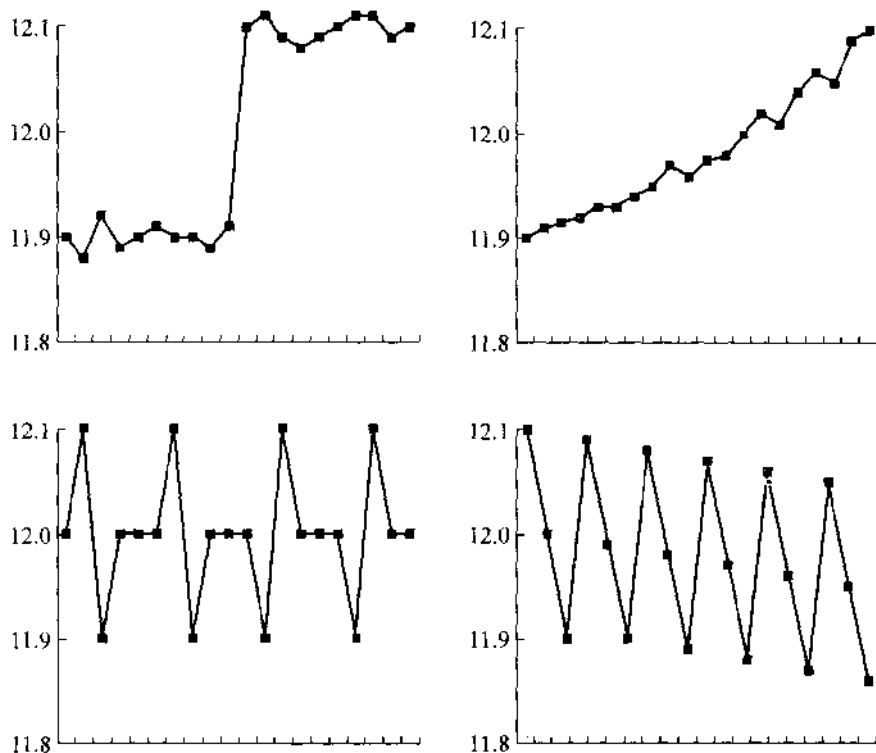


图 8.1 具有相同均值和标准差的过程

如果上述问题中有的问题回答“不”，那么，什么是过程不稳定的原因？为了有助于回答这个问题，在按时间序列打点、以不同的方式分层时，还应该问这样的问题“图形所揭示的变差本质是什么？”

如果上述问题没有一个回答“不”，那么，我们只能回答下列问题：

- 过程满足要求吗？
- 过程能够满足要求吗？
- 通过调整过程的均值，能够改进过程吗？
- 如何减小过程变差？

什么是枚举研究和分析研究

戴明(1975)定义枚举研究和分析研究如下：

枚举研究——对总体所采取行动的研究。

分析研究——为未来提高过程业绩，对过程所采取行动的研究。

术语“总体”通常被定义为：感兴趣的全体，例如具有某种性质的人、原材料和产品。枚举研究的示例：抽取孤立的一批产品，确定该批的质量。

分析研究中，研究的重点是过程和如何改进过程，关注未来。因此，枚举研究对如今正被研究的总体做出推论，而分析研究对将要产生的总体感兴趣。表 8.1 对比了分析研究与枚举研究(Provost, 1988)。

表 8.1 分析研究的重要方面

项 目	枚举研究	分 析 研 究
目的	参数估计	预测
关注点	总体	过程
研究方法	记数,统计	过程模型(例如:流程图、因果图、数学模型)
不确定性的主要来源	抽样变差	外推法
不确定性能否计量	能	否
研究环境	静态	动态

戴明(1986)指出方差分析、 t 检验、置信区间以及教科书上讲的其他统计技术，无论多么有趣，都是不恰当的，因为它们提供的是没有基础的预测，而且掩盖了蕴含于生产过程中的信息。这些传统的统计方法有它们的应用价值，但是，在现实世界中，它们经常被滥用。出现这种情况时，统计所掩盖的要比所揭示出来的多得多。

分析研究方法为归纳思维提供信息，而枚举统计主要提供演绎的途径。分析方法基本上是图形工具，例如：链图、控制图、直方图、关联图，等等。分析统计提供了使用准则，而不是概率的精确计算。因此，“点子落在单侧三西格玛控制界限外时，第 I 类错误的概率是 0.13%”之类的论断是错误的。（作者承认在过去也犯过这样的错误。）使用给定的置信水平，并不能对未来进行预测。而应该在从分析研究各种来源所获取知识的基础上，断定由某过程措施产生某结果的可信度（如：高、低）。

分析研究与枚举研究的另一个区别是：枚举研究是在预先设定的假设下进行研究，而分析研究试图帮助分析人员形成新的假设。过去，一些统计学家把这些极有价值的工作批评为“钓鱼”或“合理化”。然而，作者认为运用数据进行回顾性的解释，是一种创建待验证的新理论的有效方法。为了避免通过数据来探究各种可能性，可以将质量改进与质量控制所用到统计知识限制在某个范围内。

8.2 枚举统计方法

本节讨论统计推断的基本概念。读者还可以参考附录中的术语表以获得额外的信息。推断统计属于统计方法中枚举统计的范畴。

推断被定义为：(1)从已知的或者假定为真的前提，推导出逻辑结论的行为和过程；(2)对反映事实的数据和依据进行推理的行为。推断统计提供了用于推论过程的信息。从定义可以看出，推断包括两个领域：前提和依据或者反映事实的数据。另外，推断中有两个寻找前提问题的概念性框架：基于设计的方法和基于模型的方法。

Koch 和 Gillings(1983)所讨论的统计分析，其惟一的假定是：在基于设计的推断中，个体被随机地选取或者被随机地分配，在这样的实验条件下获得实验结果；换言之，等价于基于随机选择的推论。其目的是形成这样的抽样，从总体中抽取的样本与目标总体具有相同的性质。如果达到要求的话，那么，从样本获得的推论可以认为具有内部有效性。基于设计的推断对于实验研究存在着限制，即正式的结果受所要研究的有限总体的限制，缺乏外部有效性。然而，如果从符合条件的大集合中随机地选择个体，那么，蕴涵了随机因素影响的模型提供了一种同时考虑内部有效性和外部有效性的方法。对于外部有效性来说，一个非常重要的、必须考虑的事项就是：取样范围必须覆盖总体中所有相关的子集；另一个是，总体中对各个子集的处理是一致的、均匀的。基于设计的推断常用于调研。

假设要对目标总体作出推断，那么，基于假设的概率分布形式（如：二项分布、正态分布等等）的统计分析或者随机过程形成了基于模型的推断。基于设计的研究和基于模型的研究的主要差别，是归纳结论而不是应用统计方法。当应用基于模型的方法时，外部有效性要求对模型假设具有实质性的理由和对假设的统计评价。

统计推论用于提供科学推论的概率论断。它试图为一些基本问题提供答案，例如：这台机器是否能满足我们的要求？该批产品的质量是否符合合同要求？新的处理方法是否比旧的处理方法结果更好？通过实验产生数据来回答这些问题。如果数据发生变化，就有必要利用统计推论得到这些问题的答案，并给出解释。建立统计模型来描述定量观测值的概率模型（参数），换言之，明确给出统计假设。对数据应用规则，得到统计假设要么拒绝、要么接受的结论。在常见的假设检验中，通常给出两种不相容的且可穷举的假设：零假设和备择假设。本章随后将介绍假设检验。

8.2.1 基本概率概念

在质量工程中，多数决策都涉及到不确定性。过程能否满足要求？用于过程控制的标准度量是否具有准确性和可重复性？接收到一批产品的质量是否满足合同的质量要求？统计方法可用于回答这些问题。概率理论构成了统计决策的基础。下面将讨论这些

概率概念,它们是质量工程中常用统计方法的基础。

随机变量

每当出现了一个观测值并记录下来,就进行了一次随机实验。实验可能并不涉及所有可能的变化,但是它仍旧是一个实验。当然,观测值是实验结果,是不能被预先确定的。然而,概率理论可以定义所有可能结果的集合,并为集合中每个可能的结果分配惟一的数值。例如,掷骰子,其结果必然是1,2,3,4,5,6。我们不能预先确定哪个数字将会出现,但是我们知道,必定是这六个结果中的一个。这些数字的集合被称作样本空间,被指派来描述结果的变量被称作随机变量。如果我们把掷骰子的结果设为变量 X ,那么 X 是一个随机变量, X 的样本空间是{1,2,3,4,5,6}。

集合

概率论中用到集合论中的很多内容。集合论中的符号为概率论的讨论提供了有效的速记方法。

全集是所考虑对象的全部集合,记为 S 。在概率论中, S 称作样本空间。 S 中的每个对象是 S 的一个元素。当 x 是集合 A 的一个元素时,记为 $x \in A$ 。如果一个集合包括 S 中部分、而不是全部的元素,那么,就称为 S 的一个子集。如果 A 是 S 的一个子集,记作 $A \subset S$ 。 S 不属于集合 A 的那一部分称作 A 的补集,记为 A' 。不包含 S 的任何一个元素的集合称为空集,记为 \emptyset 。

设有集合 A 和集合 B 两个集合,属于集合 A 或属于集合 B 中的一个或者既属于集合 A 又属于集合 B 的元素组成的集合,称作集合 A 和集合 B 的并集,记为 $A \cup B$ 。既属于集合 A 又属于集合 B 的元素组成的集合称作集合 A 和集合 B 的交集,记为 $A \cap B$ 。如果集合 A 和集合 B 没有共同的元素,那么,称集合 A 和集合 B 不相容,记为 $A \cap B = \emptyset$ 。如果集合 A 和集合 B 覆盖了全部的样本空间,那么,被称为穷举,记为 $A \cup B = S$ 。

用于表示集合关系的简单图表法就是维恩图。图8.2是一个抛硬币的维恩图。

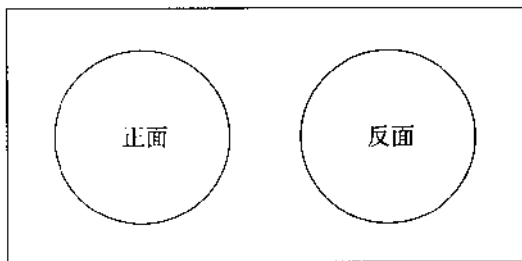


图 8.2 两个不相容事件的维恩图

如果事件 A 不依赖于事件 B , 事件 B 也不依赖于事件 A , 那么称事件 A 和事件 B 是独立的。在这种情况下, 两个事件同时发生的概率就是它们各自发生的概率的简单乘积。实际上, 当且仅当 $P(A \cap B) = P(A)P(B)$ 时, 事件 A 和事件 B 是独立的。例如, 一个硬币被抛掷两次, 得到一个反面之后紧接着得到一个正面的概率是 $P(H \cap T) = P(H) \cdot P(T) = 0.5 \times 0.5 = 0.25$ 。

图 8.2 给出了两个互不交叠的圆, 表示它们是互不相容的。如果存在两个事件同时发生的可能, 我们就得到了不同的情形。让我们来看一个例子, 我们现在有 1 000 个零件 (样本空间)。设事件 A 是有缺陷的零件, 事件 B 是来自于供应商甲的零件。由于可能会存在来自供应商甲的有缺陷的零件, 即两个事件可以同时发生。图 8.3 的维恩图说明了这点。

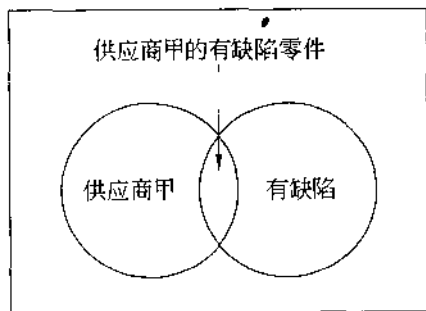


图 8.3 两个事件可以同时发生的维恩图

如果出现了图 8.3 所示的情况, 不再通过把单个事件发生的概率相加而得到该事件发生的概率。取而代之, 我们使用下列公式

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B) \quad (8.1)$$

例如, 设 A 代表零件有缺陷这一事件 ($P=0.05$), B 代表零件来自于供应商甲这一事件 ($P=0.50$)。假定事件是独立的, 那么, 零件有缺陷或者零件来自于供应商甲的概率是 $0.05 + 0.50 - (0.05 \times 0.50) = 0.525$ 。该规则同样适用于多个事件的情况。例如, 如果 A, B 和 C 是三个事件, 那么,

$$P(A \cup B \cup C) = P(A) + P(B) + P(C) - P(A \cap B) - P(A \cap C) - P(B \cap C) + P(A \cap B \cap C) \quad (8.2)$$

概率函数

现在可以正式地给出概率的定义。概率是一个集合函数 P , 样本空间 S 中的每个事件 A 都被分配了一个数字 $P(A)$, 称为事件 A 的概率, 有

1. $P(A) \geq 0$,

2. $P(S)=1$,

3. 如果 A, B, C, \dots 是互不相容的事件, 那么 $P(A \cup B \cup C \cup \dots) = P(A) + P(B) + P(C) + \dots$

离散数据和连续数据

当数据只能取有限数值点, 用非负整数来表示时, 数据被称作是离散的。例如: 样本中的缺陷数就是离散数据。当数据在一个区间或者几个区间上取值时, 数据被称作是连续的。例如: pH 值的测量值就是连续数据。质量方法建立在离散数据和连续数据的概率函数的基础上。

列举法

列举是对大量可能结果的计数技术。当样本容量小时, 可以实现列举。在质量工程中, 这些方法常被用于多种统计程序。

这里描述的所有列举方法的基础是乘法原理。乘法原理规定一系列实验的可能结果值等于每次实验结果值的乘积。例如, 考虑抛硬币两次。第一次有两种可能的结果(正/反), 第二次仍有两种可能的结果。这样, 连续抛两次可以得到 $2 \times 2 = 4$ 个结果。图 8.4 说明了这个例子。

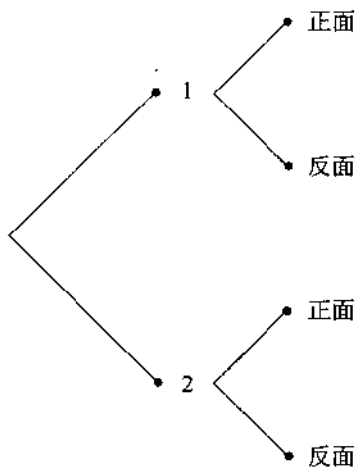


图 8.4 乘法原理在抛硬币中的应用

元素有次序地排放被称作排列。设想有四个物体和四个空盒子, 每个盒子放一个物体。现在考虑把物体放入盒子里有多少种不同的方式。第一个物体可以被放入四个盒子中的任何一个。一旦第一个物体放好了, 就只剩下三个盒子可供第二个物体选择, 第三个

物体只有两个盒子可供选择,最后的一个物体放入最后一个盒子里。应用乘法原理,四个物体放入四个盒子的所有安放方法的个数是 $4 \times 3 \times 2 \times 1 = 24$ 。通常,如果将 n 个物体放入 n 个位置,就有

$$n(n-1)\cdots(2)(1) = n! \quad (8.3)$$

种可能的安排。符号 $n!$ 读作 n 的阶乘。定义: $0! = 1$ 。

将概率论应用于质量控制中的离散变量,经常需要有效的计数方法。一个特别有用的计数方法是组合。公式 8.4 给出了组合的公式:

$$C_n^r = \frac{n!}{r!(n-r)!} \quad (8.4)$$

组合说明了从 n 个物体中一次取出 r 个物体成为一组,可以有多少种取法, r 是一个小于或等于 n 的正整数。例如,从 X, Y 和 Z 三个字母中一次取出两个字母组成的一组,确定组合数,即 $n = 3$ 个字母,一次取 $r = 2$ 个字母,运用上面的公式可以得到下面的结果:

$$C_3^2 = \frac{3!}{2!(3-2)!} = \frac{3 \times 2 \times 1}{(2 \times 1) \times 1} = \frac{6}{2} = 3$$

这 3 种组合是 XY, XZ 和 YZ。注意:这种方法没有将字母顺序颠倒作为不同的组合而分别计算,例如,XY 和 YX 被认为是相同的。

8.2.2 理论期望值

随机变量的理论期望值,或称为数学期望,或简称为期望,是一个与算术平均类似的理论定义的量,是随着样本大小的增加得到的算术平均的极限。

数学期望的概念用于总结概率分布的重要特性。在质量工程学中有两个特别重要的期望值:均值和方差,后面将进行讨论。下面给出一个应用期望值概念的例子。

期望的示例

一个租赁人必须至少提前三天从租赁公司预定一台昂贵的建筑设备。租赁费是 500 美元。如果下雨,这个租赁人仍要支付 500 美元,但是他却无法使用这个设备。如果不下雨,这个租赁人完成工作可赚入 1 000 美元。如果降雨概率是 20%,租设备的期望值是多少?

求解使用下面的方程式:

$$E = (1/5) \times (-500) + (4/5) \times 1\,000 = 700(\text{美元})$$

换言之,这个租赁人可以期望收入 700 美元。注意,实际上,700 美元是不可能实际发生的,这个租赁人要么失去 500 美元,要么得到 1 000 美元。期望给出了平均水平。概率被作为“权重”应用于不同的结果。因此,数学期望可以被看作各种结果的加权平均。

离散随机变量的期望

期望有两个不同的方面:结果和结果的概率。在例子中,结果是损失 500 美元,或得到 1 000 美元。概率是 $1/5$ 和 $4/5$ 。可以认为,期望是结果与结果出现的概率乘积之和。如果令结果为 $u(x)$, 概率函数为 $f(x)$, 那么,期望可以表示为:

$$E[u(X)] = \sum_R u(x)f(x) \quad (8.5)$$

下标 R 表示 x 值的全部取值范围。上例,

$$f(x) = \begin{cases} 1/5, & \text{下雨} \\ 4/5, & \text{晴天} \end{cases}$$

$$u(x) = \begin{cases} -500 \text{ 美元}, & x = \text{下雨} \\ +1\,000 \text{ 美元}, & x = \text{晴天} \end{cases}$$

期望的基本性质

期望具有下列性质:

1. 如果 c 是常数,那么, $E[c] = c$ 。
2. 如果 c 是常数, u 是一个函数, $E[c \cdot u(x)] = cE[u(x)]$ 。
3. 如果 c_1 和 c_2 是常数, u_1 和 u_2 是函数,那么, $E[c_1 u_1(x) + c_2 u_2(x)] = c_1 E[u_1(x)] + c_2 E[u_2(x)]$ 。

均值、方差和标准差

上面提到,期望可以看作加权平均。实际上,均值本身就是期望。通常,如果 X 是范围 R 上定义的离散概率密度函数为 $f(x)$ 的随机变量,那么

$$\mu = E(X) = \sum_R x f(x) \quad (8.6)$$

其中: μ 是分布的均值。 μ 经常被称作总体均值。样本均值将在本章后面进行讨论。

如果 X 是范围 R 上定义的连续概率密度函数为 $f(x)$ 的随机变量,那么,积分代替总和,

$$\mu = E(X) = \int_R x f(x) dx \quad (8.7)$$

这是前面的公式在连续情况下的近似。

示例:均匀骰子的均值

对一只均匀的骰子,得到 $x=1, 2, 3, 4, 5, 6$ 的概率都是 $1/6$ 。即 $f(x)=1/6$ 。将 x 和 $f(x)$ 值带入式 8.6, 得到

$$\begin{aligned}\mu &= \sum_{x=1}^6 xf(x) = 1 \times \frac{1}{6} + 2 \times \frac{1}{6} + 3 \times \frac{1}{6} + 4 \times \frac{1}{6} + 5 \times \frac{1}{6} + 6 \times \frac{1}{6} \\ &= \frac{1+2+3+4+5+6}{6} = 3.5\end{aligned}$$

均值提供了对分布中心的度量。在力学中,均值就是质心。

分布的方差也是一个期望值。均值提供了分布位置的信息,方差提供了分布的离散或散布程度的信息。对于离散分布,

$$\sigma^2 = E[(X - \mu)^2] = \sum_R (x - \mu)^2 f(x) \quad (8.8)$$

当 X 是一个连续变量时,方差公式用积分来建立,

$$\sigma^2 = E[(X - \mu)^2] = \int_R (x - \mu)^2 f(x) dx \quad (8.9)$$

与均值一样,这只是与前面公式等价的连续随机变量情况下的方差公式。

示例:均匀骰子的方差

已知均匀骰子的均值是 3.5,用下面的公式来寻找方差:

$$\begin{aligned}\sigma^2 &= E[(X - 3.5)^2] = \sum_{x=1}^6 (x - 3.5)^2 \times \frac{1}{6} \\ &= [(1 - 3.5)^2 + (2 - 3.5)^2 + \cdots + (6 - 3.5)^2] \times \frac{1}{6} = \frac{35}{12}\end{aligned}$$

标准差是方差的正平方根,表示为

$$\sigma = \sqrt{\text{Var}(X)} = \sqrt{\sigma^2} \quad (8.10)$$

σ 经常被称作总体标准差。本章的后面将讨论样本标准差。例如,可以近似计算得到:

$$\sigma = \sqrt{35/12} = 1.708$$

8.2.3 检验的假设和稳健性

使用术语“稳健性”时,先评论一下我们还没有讨论过的内容是非常重要的。首先,我们没有讨论过统计量对离群值的敏感性问题。这个概念称为“抗变性”可能更合适,在本章的初步数据分析中进行讨论。同样,我们也没有讨论产品设计问题,它在各种各样的运作条件下达到要求。稳健性的基于设计的定义将在第9章田口稳健性概念中进行讨论。

所有的统计程序都取决于某些假设。例如,ANOVA 假设数据服从等方差的正态分布。使用稳健性这一术语意味着:当假设被违背时,统计程序能够产生正确的最终结果。当基本假设存在小幅度的偏离时,仍然可以应用的统计程序被称为是健壮的。

对于假设,存在多大程度的偏离是可以接受的?或者说,“小”幅度的误差应该多小?对于给定的假设偏离,结果误差多大时可以接受?很遗憾,健壮没有严格的数学定义。

实际工作中,稳健性经常用两种方法来表述。一种方法是在使用给定的统计程序之前,先对基本假设进行测试。使用 ANOVA 时,在接受 ANOVA 的结果之前,先对数据集检验其正态分布的假设和方差为常数的假设。

另一种方法是运用健壮统计程序。处理问题的方法如下:

- 使用基本假设限制尽可能少的程序(例如,非参数程序)。
- 进行分析之前,从数据集中剔除所有的离群值(使用可接受的统计方法来识别离群值)。
- 用更具有抗变性的统计量(例如,用中位数代替算术平均值)。

8.2.4 分布

分布就是一群数据的集合,这些数据取自已经定义好的总体,而度量尺度可能就是所研究的性质特征或关系。分布展示了概率与所研究的数据之间的关系。假设处于统计控制状态,通过考虑适当的分布,可以回答下列问题:

- x 发生的概率是多少?
- 小于 x 的值发生的概率是多少?
- 大于 x 的值发生的概率是多少?
- x 和 y 之间的值发生的概率是多少?

通过分析分布的形状,可以判断在给定取值范围内概率变化的快慢程度。简言之,分布提供了大量的信息。

频率和累积分布

频率分布是观察值集合的经验描述。如果频率分布不是成组的,它只给出了观察值以及每个数字出现的频率。如果频率分布是成组的,那么,这些数据被聚集到单元里,每个单元代表整个数据范围的一个子集。每个单元的频率构成了成组频率分布。频率分布经常用直方图或茎叶图来描述(参见第 7 章)。

当直方图和茎叶图展示出特定值或者一组值的频率时,分析人员常常还要检测这些数据的累积频率。累积频率是累积到特定值并包含特定值的总频率。在数据分组的情况下,累积频率计算累积到并包括单元边界的所有观察值的数目。累积频率分布通常以累积频率的分布曲线,即累积曲线来描述,如图 8.5 所示。

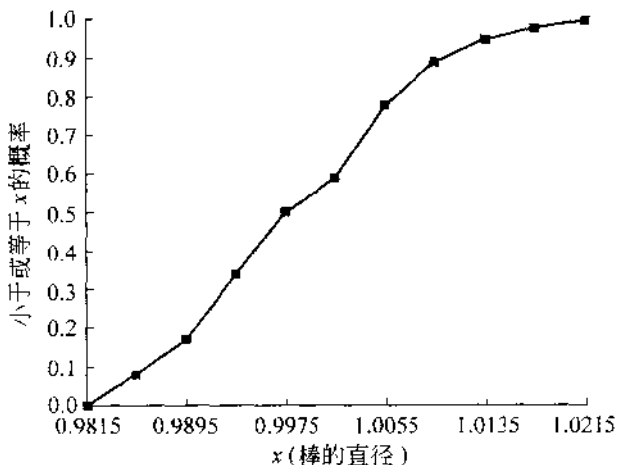


图 8.5 直径数据的累积曲线

抽样分布

大多数涉及枚举统计的工程问题,都是处理样本而不是总体。上文介绍了样本数据可用于构造累积曲线,本书前面介绍了样本数据可用于构造直方图、茎叶图、箱线图,计算各种统计问题。现在来考虑数据分布的某种特性或参数的估计。

经验分布表明样本中每个 X_i 的概率是 $1/n$, 分布的均值是:

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n X_i \frac{1}{n} \quad (8.11)$$

由于经验分布由样本来决定,所以 \bar{X} 简称为样本均值。

前面给出了总体方差:

$$\sigma^2 = E[(X - \mu)^2] = \sum_R (x - \mu)^2 f(x)$$

相应的经验分布的方差为:

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \quad (8.12)$$

然而, $E[S^2] \neq \sigma^2$ 。换言之,这个统计量是总体参数 σ^2 的有偏估计。事实上,

$$E[S^2] = \frac{n-1}{n} \sigma^2$$

因此,对这个有偏估计进行修正,式 8.12 乘上系数 $(n-1)/n$ 得到:

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \quad (8.13)$$

S^2 的这个公式通常称为样本方差。无偏的样本标准差为：

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (8.14)$$

质量工程中另一个特别重要的样本统计量是样本均值的标准差，又称为均值的标准误差，简称标准误差，该统计量表示为：

$$S_x = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (8.15)$$

可以看出，均值的标准误差与样本大小的平方根成反比，换言之，样本容量越大，样本均值的标准差越小，如图 8.6 所示。可以看到，样本大小为 $n=4$ 的均值的分布的标准差是抽取样本的总体随机变量分布标准差的一半。

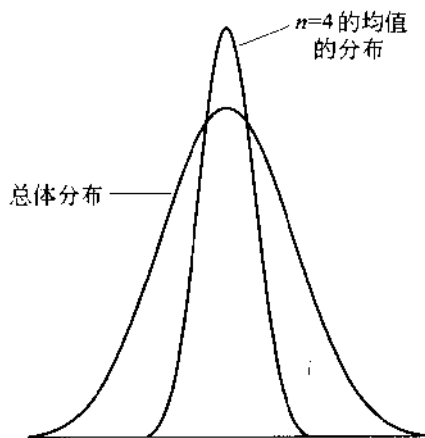


图 8.6 样本大小对标准误差的影响

概率密度函数

虽然概率密度函数(pdf)前面已经介绍并使用，但是还没有正式地进行讨论。下面将简单地讨论概率密度函数。

离散概率密度函数和累积分布函数 令 $f(x)$ 是定义在空间 R 上离散随机变量 X 的概率密度函数。该概率密度函数是一个实值函数，并满足下列性质：

1. $f(x) \geq 0, x \in R$;
2. $\sum_{x \in R} f(x) = 1$;
3. $P(X \in A) = \sum_{x \in A} f(x)$, 其中 $A \subset R$ 。

对于离散数据， $f(x)$ 是观测值恰好等于 x 的概率，也就是， $P(X=x)$ 。累积分布函数(cdf)记为 $F(x)$ ，是观测值小于或等于 x 的概率，即 $F(x) = P(X \leq x)$ 。

离散概率函数的示例 令离散随机变量 X 的概率密度函数为 $f(x) = x/10, x=1, 2, 3, 4$ 。那么,

$$\sum_{x \in R} f(x) = \frac{1+2+3+4}{10} = 1$$

$$F(X=1) = 1/10$$

$$\text{且 } F(X \leq 3) = \frac{1+2+3}{10} = \frac{3}{5}。$$

本例的累积分布函数和概率密度函数如图 8.7 所示。

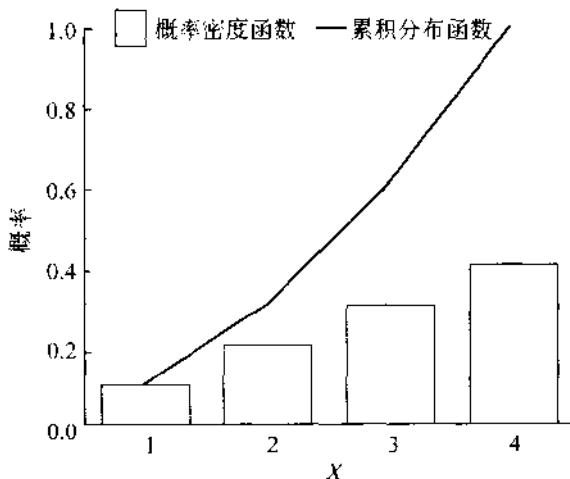


图 8.7 $f(x) = x/10$ 和 $F(X)$ 的图示

连续性的概率密度函数和累积分布函数 连续随机变量的概率密度函数和累积分布函数的概念与离散型变量相同。主要区别在于：连续随机变量的累积分布函数需要应用微积分。然而，质量工程中常用的大多数连续分布的公式都在本节后面提到，或在附录中以表格的形式给出。本节给出连续数据的概率密度函数和累积分布函数的简要介绍。虽然完全理解这两个函数需要利用积分，但是没有积分背景的人员也可以抓住其本质。

连续概率密度函数 令 $f(x)$ 是定义在空间 R 上连续随机变量 X 的概率密度函数。该概率密度函数是一个实值函数，并满足下列性质：

1. $f(x) > 0, x \in R$;
2. $\int_{x \in R} f(x) = 1$;
3. $P(X \in A) = \int_A f(x) dx$.



连续概率密度函数性质的讨论 性质 1: 概率密度函数在应用区域内不为零, 不为负。例如, 正态分布覆盖了从负无穷到正无穷的区域, 至少在理论上, 任意正态分布随机变量可以取任意一个数值。当然, 极端值的概率极端的小, 难以察觉, 在实际中, 它们从未发生过。

性质 2: 概率密度函数与实数轴所围成的面积为 1。连续随机变量的概率取决于概率密度函数所围成的面积。由于概率密度函数是概率的函数, 而且 $P(S)=1$ 是概率函数的一个性质, 故概率密度函数所围成的面积等于 1。

性质 3: 数值落在子集 A 内的概率, 可以由概率密度函数在子集上求积分来得到。例: 如果胶囊中的药量服从均值为 40 毫克、标准差为 0.1 毫克的正态分布, 那么, 胶囊的药量在 40.1 毫克到 40.2 毫克之间的概率, 为正态分布概率密度函数在 40.1 毫克与 40.2 毫克之间取积分得到。即相当于这两个数值之间的概率密度函数曲线所围成的面积。实际中, 通常查表得出概率值。

连续累积分布函数 累积分布函数记为 $F(x)$, 它给出了观测值小于或等于 x 的概率, 即 $F(x) = P(X \leq x)$ 。对于连续数据:

$$F(X \leq x) = \int_{-\infty}^x f(t) dt$$

换言之, 任何数值的累积分布函数都可以在负无穷到该值的区间上通过对概率密度函数求积分来得到, 即相当于直到该值的概率密度函数曲线所围成的面积。实际中, 通常查表得出相应概率值。

x 落在数值 a, b 之间的概率可由下式得到:

$$F(a \leq X \leq b) = \int_a^b f(x) dx$$

x 落在数值 a, b 之间的概率就是两数值之间概率密度函数所围成的面积。由于累积分布函数得到的是小于某个特定值的面积, 因此, 落在 a, b 之间的观测值的概率也可以通过下式计算

$$F(a \leq X \leq b) = F(b) - F(a)$$

本章随后将介绍质量工程中经常遇到的连续分布。

质量工程的概率分布

下面讨论质量工程常用的概率分布:

- 超几何分布。
- 二项分布。
- 泊松分布。

- 正态分布。
- 指数分布。
- χ^2 分布。
- t 分布。
- F 分布。

二项分布 假定过程生产不合格品的比率为 p 。如果用样本信息来估计 p , 那么, p 用样本中的不合格品数除以所抽取的产品数来得到。式 8.16 给出了 n 个产品的样本中有 x 个产品有缺陷的概率:

$$P(x) = C_n^x p^x (1-p)^{n-x} \quad (8.16)$$

上式为二项概率分布。二项分布除了作为连续生产过程中不合格品的精确分布以外, 当样本容量小于批量的 10% 时, 二项分布还可以作为烦琐的超几何概率分布的近似分布。

二项概率分布的示例 现有连续生产玻璃瓶的过程。过去的历史数据表明: 1% 的瓶子有一个或者多个瑕疵。如果从生产过程中取 10 个瓶子作为样本, 那么, 没有不合格品的概率是多少?

运用上面的信息, $n=10, p=0.01, x=0$ 。将这些数值带入式 8.16, 有

$$P(0) = C_{10}^0 \times 0.01^0 \times (1-0.01)^{10-0} = 1 \times 1 \times 0.99^{10} = 0.904 = 90.4\%$$

上面案例的另一种解释是: “检查 10 个产品, 如果没有发现不合格品, 接受这个生产过程。”这个抽样计划对于平均不合格品率为 1% 的过程来说, 有 90.4% 的概率接受该过程。

泊松分布 质量控制中经常遇到另一种情况: 不仅与不满足要求的产品有关, 而且与产品自身所包含的不合格数有关。例如, 考虑计算机的质量控制。最终产品计算机的全面审核总会查出一些不合格项, 即使有些不合格是不重要(例如, 仪表上的贴纸可能不太整齐)。用超几何或者是二项概率分布来评估此种情形下的抽样计划, 会发现根本无法适用, 因为整个批量或者整个过程 100% 的不合格。显然, 所关注的不是产品本身, 而是产品中的不合格。有些情况, 甚至无法统计样本中的个体数。例如, 意外事件的数目就只能统计所发生的事件数。

对不合格数进行评价, 其概率分布为泊松分布。泊松分布的概率密度函数如式 8.17 所示:

$$P(x) = \frac{\mu^x e^{-\mu}}{x!} \quad (8.17)$$

式 8.17 中, μ 是每个个体中的平均不合格数, x 是样本中的不合格数, e 是常数, 近似等于 2.7182818。 $P(x)$ 给出了在样本中恰好有 x 个不合格的概率。

泊松分布的应用示例 有一条生产导弹的流水线。当每颗导弹完成时, 要通过一个



空气动力模型进行检查,对照要求把每个不合格处记录下来。任何严重的不合格都是拒收的理由,契约方还要求对次要的不合格进行控制。像模糊的文字、小毛刺等轻微的问题在审核时都要记录下来。过去的历史数据显示每个导弹平均有 3 个次要的不合格。下一个导弹没有不合格的概率是多少?

在这个例子中, $\mu=3, x=0$ 。将这些值代入式 8.17, 有

$$P(0) = \frac{3^0 e^{-3}}{0!} = \frac{1 \times 0.05}{1} = 0.05 = 5\%$$

换言之, 95% 的导弹至少会有一项不合格。

泊松分布除了是不合格数的精确分布以外, 在某种情况下还是二项分布的极好近似。使用泊松近似, 令式 8.17 中的 $\mu=np$ 。朱兰介绍了应用泊松近似的条件: 样本容量最小为 16, 总体容量至少是样本数量的 10 倍, 每次实验发生的概率 p 小于 0.1 (Dudewicz, 1988)。这种方法的主要优点是可以运用泊松分布的数据表, 如附录中的表 7。另外, 这种方法对设计抽样计划也有帮助。

超几何分布 假定批发商提供了一批 12 件的货物。我们非常需要这些货物, 如果不合格品少于 3 件, 就接受这批货物。由于没有充足的时间来检测每件产品, 所以, 我们决定检查其中的 4 件。检查样本, 发现了一件不符合要求。是否拒绝这批货物?

这种情况涉及的是无放回抽样。从这批中选出一件进行检查, 然后从这批中选出另一件。进一步, 这批货物数量太小, 样本占整批货物的 25%。用来计算这个过程的概率分布被称作超几何概率分布, 即:

$$P(x) = \frac{C_{N-x}^n C_m^x}{C_N^n} \quad (8.18)$$

在上面的公式里, N 是批量, m 是批产品中的不合格数, n 是样本容量, x 是样本中不合格数, $P(x)$ 是在样本中恰好有 x 个不合格的概率。注意: 分子中的项 C_{N-x}^n 表示合格的组合数, C_m^x 表示不合格的组合数。分子给出了从批量为 N 、不合格品为 m 的一批货物中, 取出包含 x 个不合格品的容量为 n 的样本的总排列数。分母 C_N^n 表示不论不合格数为多少, 从批量为 N 的货物中取出样本容量为 n 的样本的所有组合数。在这样的假设条件下, 概率是可能得到结果的比率。

本例中, 我们对 $x=0$ 和 $x=1$ 求解上述公式。结果如下:

$$P(0) = \frac{C_{12-3}^4 C_3^0}{C_{12}^4} = \frac{126 \times 1}{495} = 0.255$$

$$P(1) = \frac{C_{12-3}^4 C_3^1}{C_{12}^4} = \frac{84 \times 3}{495} = 0.509$$

$$P(1 \text{ 或 } 0) = P(0) + P(1)$$

两个概率值相加给出了抽样方案在批量为 12 的货物中有 3 个不合格品时, 接受该批

货物的概率。检查4件产品,如果有0个或者1个不合格,仍然接受该批货物,则接受质量糟糕的批量产品的概率是 $0.266+0.509=0.775$,即77.5%。这就是该抽样方案的“消费者风险”。如此之高的抽样风险是大多数顾客不能接受的。

正态分布 质量控制中最常遇到的连续分布是正态分布。有时过程自身近似正态分布;有时可以通过对数据进行数学转换或者使用平均值来得到正态分布。式8.19给出了正态分布的概率密度函数:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (8.19)$$

如果对 $f(x)$ 作图,就得到众所周知的“钟型曲线”。正态分布也被称为高斯分布,如图8.8所示。

式8.19中, μ 是总体均值, σ 是总体标准差。这些参量本章的前面已经加以讨论。

μ, σ^2 和 σ 的计算示例 用下列数据计算 μ, σ^2 和 σ :

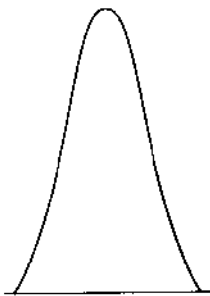


图 8.8 正态/高斯曲线

i	x_i
1	17
2	23
3	5

表7.8给出了总体均值的计算公式:

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

数据的均值为

$$\mu = \frac{1}{3} \times (17 + 23 + 5) = 15$$

方差和标准差都是对散布程度的度量。表7.8给出了总体方差 σ^2 和标准差 σ 的计算公式:

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(x_i - \mu)^2}{N}$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2}$$

上面数据的均值 μ 等于15, σ^2 和 σ 的计算如下:

i	x_i	$x_i - \mu$	$(x_i - \mu)^2$
1	17	2	4
2	23	8	64
3	5	-10	100
			168

$$\sigma^2 = 168/3 = 56$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{56} = 7.483$$

通常情况下,只能得到样本而无法获得总体。总体是所有观测值的全集,而样本是它的一个子集。样本均值、方差和标准差的计算本章前面已经进行了讨论。

正态曲线所围成的面积可以使用数学方法对式 8.19 积分来得到,但是,更常使用的是正态分布表。附录的表 2 给出了正态曲线所围成的面积。该表通过 Z 变换给出的。对于总体, Z 变换为:

$$Z = \frac{x_i - \mu}{\sigma} \quad (8.20)$$

对于样本数据

$$Z = \frac{x_i - \bar{x}}{s} \quad (8.21)$$

通过 Z 变换,任何正态分布都可以转化为均值为 0、标准差为 1 的正态分布,从而使使用单一的正态分布表来查找概率。

示例 正态分布在长期过程收益的预测时很有用。假定在检查微电路生产中的关键线路粘合过程的阻断力时,过程的平均力量是 9#,标准差是 4#。过程服从正态分布。如果工程规范下限为 3#,那么,过程低于规范下限的比例为多少?

既然这些数据就是一个样本,用式 8.21 计算 Z :

$$Z = \frac{3-9}{4} = \frac{-6}{4} = -1.5$$

如图 8.9 所示。

查附录的表 2, $Z = -1.5$ 时,低于这个 Z 值的面积所占比例为 6.68%。因此,本例中,有 6.68%的阻断力低于规范下限 3#。质量控制应用中,通常要求平均值距离规范至少 3 倍标准差。为了实现这个目标,必须改进过程,要么提高阻断力的均值,要么减小过程的标准差,或者同时改进这两个方面。

指数分布 质量控制工作中常见的另一种分布是指数分布。指数分布在分析可靠性时尤其有用(参见第 9 章)。指数分布的概率密度函数为:

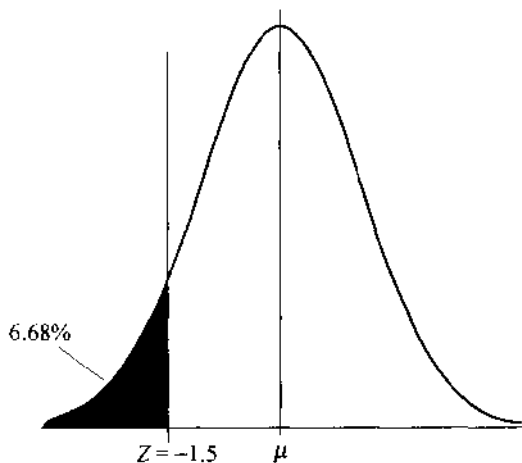


图 8.9 Z 变换后, 正态分布区域的图示

$$f(x) = \frac{1}{\mu} e^{-x/\mu}, \quad x \geq 0 \quad (8.22)$$

不同于正态分布, 指数分布的形状是严重倾斜的, 而且小于均值部分的面积比大于均值部分的面积要略大一些。事实上, 超过 63% 的指数分布低于均值。图 8.10 给出了指数分布的概率密度函数。

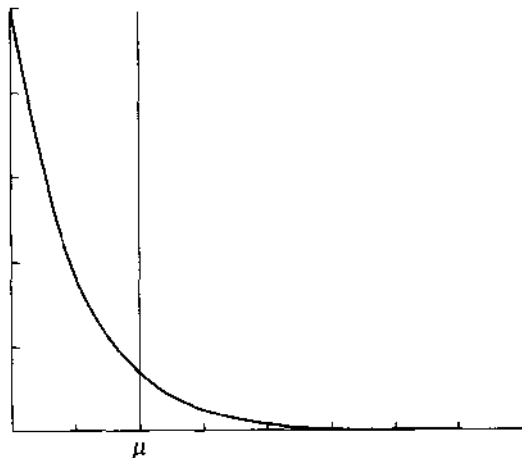


图 8.10 指数分布的概率密度函数曲线

不同于正态分布, 指数分布有确定形式的累积密度函数, 也就是说, 指数分布给出了直接计算累积概率的公式。由于概率可以直接由公式决定, 因此, 没有使用表格的必要。

$$P(X \leq x) = 1 - e^{-x/\mu} \quad (8.23)$$

指数累计密度函数的应用示例 一家城市水资源管理公司,平均每年发生 500 次泄漏。那么周末(从周五晚上 6 点至周一早上 6 点)工作人员没有接到维修电话的概率是多少?

这里每年泄漏次数 $\mu=500$,需要转化为每小时的泄漏次数。每年 365 天,每天 24 小时,即 8760 小时。两次泄露之间的平均间隔时间(MTBF)是 $8760/500=17.52$ 小时。周五晚 6 点至周一早 6 点之间有 60 个小时, $x_i=60$ 。由式 8.23 得到:

$$P(X \leq 60) = 1 - e^{-60/17.52} = 0.967 = 96.7\%$$

因此,工作人员周末空闲的概率仅为 3.3%。

χ^2 分布, t 分布和 F 分布

这三种分布在质量工程中用于检验假设、构造置信区间和计算控制界限。

χ^2 分布 质量工程中遇到的很多特性都服从正态分布或近似正态分布。这样的情况下,样本方差服从卡方分布,记为 χ^2 。构造表格给出累积 χ^2 分布纵坐标所对应的横坐标值。参见附录中的表 4。

χ^2 分布随着数量 ν 的变化而变化, ν 等于样本容量减 1。每一个 ν 值都有不同的 χ^2 分布与之对应。式 8.24 给出 χ^2 分布的概率密度函数:

$$f(\chi^2) = \frac{e^{-\chi^2/2} (\chi^2)^{(\nu-2)/2}}{2^{\nu/2} \left(\frac{\nu-2}{2}\right)!} \quad (8.24)$$

$\nu=4$ 的概率密度函数如图 8.11 所示。

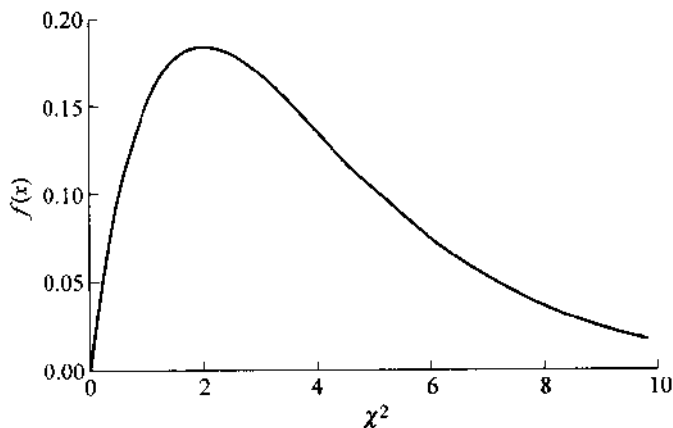


图 8.11 $\nu=4$ 的 χ^2 分布概率密度函数

示例 本例将表示 χ^2 分布的使用,从正态总体中取出 n 个个体组成样本,寻找样本方差大于等于给定值 s^2 的概率;计算 $\chi^2 = (n-1)s^2/\sigma^2$ 。假设从 $\sigma^2=25$ 的过程中取 10 个个体组成样本,确定样本方差超过 50 的概率。那么:

$$\frac{(n-1)s^2}{\sigma^2} = \frac{9 \times 50}{25} = 18$$

根据附录中的表 4,寻找第 9 行($v=10-1=9$),注意 18 落在纵列百分比为 0.025 与 0.05 之间。得到样本方差大于 50 的概率大约为 3%。

同样,可以确定样本方差超过给定百分比的次数。例如,在 100 次中只会出现一次样本方差大于某个值时,应引起足够的重视。建立 χ^2 公式,从附录的表 4 查得临界值,求解样本方差。与上述数值相同,计算 s^2 ,100 次中仅有一次样本方差超过该值:

$$\frac{9s^2}{\sigma^2} = \frac{9s^2}{25} = 21.7 \Rightarrow s^2 = \frac{21.7 \times 25}{9} = 60.278$$

换言之,来自过程的样本容量为 10 的样本方差有 99% 可能小于 60.278。

t 分布 t 统计量常用于检验均值、回归系数和质量工程中使用的其他统计量的假设。 t 分布通常也被称作是学生 T 分布。“学生”是 W. S. Gosset 的笔名,他需要量化小刻度的实验结果,这项工作促使他设计了比率的概率积分并用表格进行表示,这就是我们今天众所周知的 t 统计量,式 8.25 给出了 t 统计量:

$$t = \frac{\mu - \bar{X}}{s/\sqrt{n}} \quad (8.25)$$

在式 8.25 中,分母是样本均值的标准差。 t 分布函数中,百分比所对应的数值可以从附录的表 3 查到。样本容量 $n>1$ 的情况下,不同的 n 有不同的 t 分布。随着样本容量的增加, t 分布的形状逐渐接近正态分布,如图 8.12 所示:

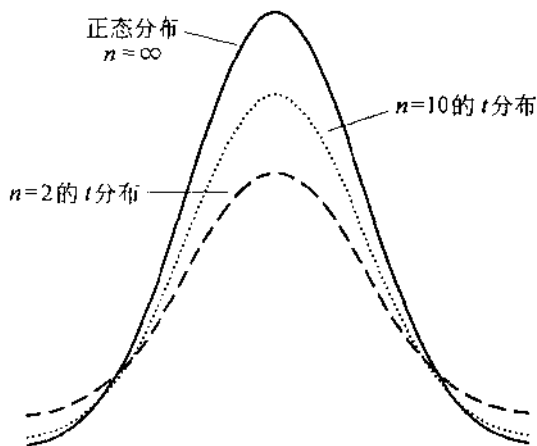


图 8.12 t 分布

t 检验的最简单、最常见的应用是处理来自均值为 μ 、方差为 σ^2 的正态总体的样本。

F 分布 假设来自正态总体的两个随机样本, 第一个样本的方差是 s_1^2 , 第二个样本的方差是 s_2^2 。不要求这两个样本的样本容量相同。统计量 F 为:

$$F = \frac{s_1^2}{s_2^2} \quad (8.26)$$

统计量 F 的抽样分布称为 F 分布。 F 分布涉及到两个样本方差和两个自由度, 分子的自由度为 $n_1 - 1$, 分母的自由度为 $n_2 - 1$ 。附录给出了 1% 和 5% 的 F 分布的表格。其中百分率指的是表中给出数值的右侧面积。图 8.13 给出了两个 F 分布。

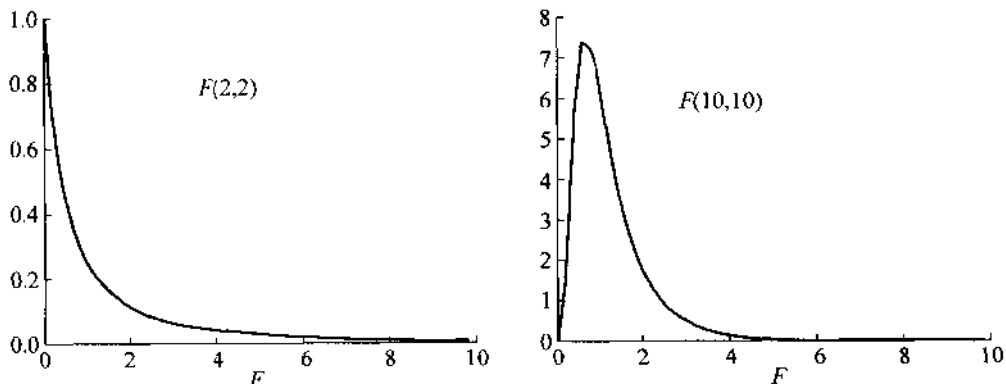


图 8.13 F 分布

8.2.5 统计推论

本小节的所有论述仅对稳定过程有效, 即处于统计控制状态的过程。本小节所描述的统计方法是枚举法。尽管质量工程中大多数应用都是分析性的, 但是枚举统计有时也是有用的。在阅读这些内容时, 读者应明白, 分析方法同样可以应用于识别、控制和改进动态过程。统计推论这个题目很大, 许多统计学入门书籍中都有所介绍。本书将关注质量工程特别感兴趣的部分内容。

点估计和区间估计

迄今为止, 已经介绍了一些重要的统计量, 包括样本均值、样本标准差和样本方差。这些样本统计量称为点估计量, 因为这些统计量都是用单个值来表示总体参数。同样, 可以构造一个统计量的区间, 以预先确定的概率包含真实的总体参数, 这个区间称作置信区间。区间估计是对点估计的补充, 给出了对抽样误差幅度的处理。置信区间既可以是单侧的也可以是双侧的。在置信水平给定的情况下, 单侧置信区间给出参数值的上限或下



限,双侧置信区间给出上限和下限。

几乎在枚举统计的所有实际应用中,包括在质量控制中的应用,都要基于样本数据得到对总体的推断。本章已经讨论了样本均值和样本标准差,甚至用这些数据对未来业绩进行分析,例如长期收益或者潜在损失。这里存在着实际工作中非常重要的问题:任何基于样本的估计都存在一定的抽样误差。这是客观存在的,即使这个样本估计是某种意义上的“最佳估计”,换言之,是总体参数的无偏估计。

均值的估计 对于有放回的随机样本, \bar{X} 的抽样分布均值为 μ 和标准差为 σ/\sqrt{n} 。对于大样本, \bar{X} 的抽样分布近似服从正态分布,可以使用正态表来确定样本均值落在 μ 的给定区间内的概率。例如,可以发现95%的样本其样本均值落在 μ 的 $\pm 1.96\sigma/\sqrt{n}$ 区间内。换言之,95%的样本,从 $\bar{X} - 1.96\sigma/\sqrt{n}$ 到 $\bar{X} + 1.96\sigma/\sqrt{n}$ 的区间包括 μ 。这个区间称为“ μ 的95%置信区间”。以下列不等式来表示:

$$\bar{X} - 1.96\sigma/\sqrt{n} < \mu < \bar{X} + 1.96\sigma/\sqrt{n}$$

系数1.96是从附录的表2查得的 Z 值。正态分布总体落在 Z 值以外的概率为2.5%。由于正态分布是对称的,超过 Z 和不足 $-Z$ 的概率都为2.5%。置信区间和假设检验中, Z 值常用符号 $Z_{\alpha/2}$ 来表示,当前期望的置信水平为100(1- α)。例如:如果置信水平为95%, $\alpha=0.05$, $100(1-\alpha)=95\%$, $Z_{0.025}=1.96$ 。假设检验中, α 称为显著性水平。

示例: σ 已知时, μ 的估计 假设 σ 已知,等于2.8。抽取样本,样本容量为 $n=16$,计算得 $\bar{X}=15.7$,运用上述公式可以得到 μ 的95%置信区间:

$$\begin{aligned}\bar{X} - 1.96\sigma/\sqrt{n} &< \mu < \bar{X} + 1.96\sigma/\sqrt{n} \\ 15.7 - 1.96 \times (2.8/\sqrt{16}) &< \mu < 15.7 + 1.96 \times (2.8/\sqrt{16}) \\ 14.33 &< \mu < 17.07\end{aligned}$$

这是置信水平为95%的置信区间。数字14.33和17.07有时被称为置信限。

这是一个双侧置信区间,有2.5%的概率 μ 大于17.07,有2.5%的概率 μ 小于14.33。如果仅对 μ 小于14.33的概率感兴趣,那么,单侧置信区间为 $\mu > 14.33$,单侧置信水平为97.5%。

示例: σ 未知时, μ 的估计 当 σ 未知,在计算 μ 的置信区间时,要用 s 代替 σ ,用 $t_{\alpha/2}$ 代替 $Z_{\alpha/2}$,用 t 分布的百分位数表代替正态分布表。如果再看上面的例子,假设 σ 未知,用样本来估计 σ 。样本容量 $n=16$,可计算出 $s=2.8$ 和 $\bar{X}=15.7$ 。那么,95%置信区间为:

$$\begin{aligned}\bar{X} - 2.131s/\sqrt{n} &< \mu < \bar{X} + 2.131s/\sqrt{n} \\ 15.7 - 2.131 \times (2.8/\sqrt{16}) &< \mu < 15.7 + 2.131 \times (2.8/\sqrt{16}) \\ 14.21 &< \mu < 17.19\end{aligned}$$

可以看出,上述置信区间比 σ 已知情况下的置信区间要宽。自由度为15的 $t_{\alpha/2}$ 值为



2.131(参见附录的表3),比上面得到的 $Z_{\alpha/2}=1.96$ 要大。

8.2.6 容差和置信区间、显著性水平

容差区间

我们发现确定置信界限,可以使置信界限构成的区间以某个置信水平覆盖总体参数,即以一定的比例包含总体参数。而有时,我们非常期望获得这样的区间,该区间在设定的置信水平下可以覆盖一部分总体分布。这样的区间称为容差区间,区间的边界称为容差界限。例如:制造商想了解产品尺寸能够满足工程要求的产品比例。在质量工程中,典型的容差区间形式为 $\bar{X} \pm Ks$,其中, K 为确定的参数,以保证在置信水平为 γ 的条件下区间覆盖总体的比例为 P 。 μ 的置信界限形式同样为 $\bar{X} \pm Ks$ 。然而,确定 K 是为了置信区间以某一给定的比例包括总体均值 μ 。显然,能够覆盖一部分分布的区间要比包括单个值 μ 的区间宽。附录的表8给出了 $P=0.90,0.95,0.99,0.999, \gamma=0.90,0.95,0.99$,以及样本容量 n 不同时, K 的取值。

容差区间的计算示例 假定从一个稳定过程获得 $n=20$ 的样本,并得到下列结果: $\bar{X}=20, s=1.5$ 。可以估计区间为: $\bar{X} \pm Ks=20 \pm 3.615 \times (1.5)=20 \pm 5.4225$,或者从14.5775到25.4225的区间,这个区间可以以95%的置信水平覆盖99%的总体。表中的 K 值是在正态分布总体的假定下得到的。

8.2.7 假设检验/第 I 类错误和第 II 类错误

假设检验

统计推论通常包括四步:

1. 根据实际情况,提出假设;
2. 从总体采集样本,获得样本观测值;
3. 计算基于样本的统计量;
4. 根据预先确定的接受准则,接受或者拒绝假设。

与统计推论相关的错误有两类:

第 I 类错误(α)——实际上正确的假设被拒绝的概率。 α 值被称为假设检验的显著性水平。

第 II 类错误(β)——实际上错误的假设被接受的概率。

第 II 类错误经常使用抽检特性曲线来进行分析,抽检特性曲线简称 OC 曲线。OC 曲线在本书的后续章节中被广泛用于评价各种统计质量控制技术的性质。

置信区间经常作为统计假设检验的部分组成。进行假设检验有助于我们在期望的显著性水平条件下就总体参数做出推断。下面利用几个示例来解释假设检验在质量控制中

的应用。

示例：样本均值的假设检验 实验：装有化学药品的瓶子，其规范是 30 立方厘米 (cm^3)。实验方案是从稳态生产过程中采集 $n=25$ 的样本，应用样本均值和样本标准差，构造双侧置信区间（即置信区间以样本均值为中心，对样本均值的双侧进行了设定），该区间包括总体均值的概率是 95%。如果区间包括 30，得到结论批量产品的均值是 30，否则得到结论批量产品的均值不是 30。

结果：测量 25 瓶组成的样本，计算下列的统计量：

$$\bar{X} = 28\text{cm}^3$$

$$s = 6\text{cm}^3$$

检验统计量是 t ：

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{s/\sqrt{n}} = \frac{28 - 30}{6/\sqrt{25}} = -1.67$$

附录中的表 3 给出了自由度变化时 t 统计量的值。 t 统计量的自由度是 $n-1$ 。本例中，我们查找 $t_{0.975}$ 列与自由度为 24 的行，其行列的交叉处给出 t 值为 2.064。由于 t 的绝对值大于检验统计量的绝对值，所以，不能拒绝批量均值是 30cm^3 的假设。应用统计的专业符号表示如下：

$$H_0: \mu = 30\text{cm}^3 \text{ (零假设)}$$

$$H_1: \mu \neq 30\text{cm}^3 \text{ (备择假设)}$$

$$\alpha = 0.05 \text{ (第 I 类错误, 即显著性水平)}$$

$$\text{临界区域: } -2.064 \text{“}t_0\text{”} + 2.064$$

$$\text{检验统计量: } t = -1.67$$

由于 t 落在临界区域之内，所以，接受 H_0 假设。

示例：两个样本方差的假设检验 从稳定的过程取出 $n=25$ 的样本，设备 X 的方差是 100。设备 Y 的方差是 50，其样本容量为 10。设备 X 的供应商认为上述结果只是一个“统计意外”。假设，“统计意外”意味着：100 次机会中发生的可能性小于 1 次。对上述两个方差实际上相等的假设进行检验。

用于检验两个样本方差相等的检验统计量是 F 统计量，本例中， F 由公式得到：

$$F = \frac{s_1^2}{s_2^2} = \frac{100}{50} = 2, \text{ 分子自由度} = 24, \text{ 分母自由度} = 9$$

应用附录中的表 5 查找 $F_{0.99}$ 的值，分子自由度为 24、分母自由度为 9 时， $F=4.73$ 。基于这样的数据，可以得出结论：设备 X 的制造商是正确的，结果可能是一个统计意外。本例揭示了样本方差和样本标准差的抽样误差的不稳定性本质。

示例：标准差与标准值相比的假设检验 假定一台机器生产的零件在 0.500 ± 0.006 英寸的范围。统计人员计算出所能容忍的最糟糕的标准差是 0.002 英寸。检查能力图，



发现工位上最好的设备,对样本容量为 25 的样本,得到的标准差是 0.0022。统计人员与管理人员经过讨论同意,如果对于标准差 σ 的 95% 的单侧置信区间包括 0.002,那么,设备可以使用。

样本标准差与标准值进行对比,所使用的统计量是 χ^2 统计量。本例中, $s=0.0022$, $n=25$, $\sigma_0=0.002$ 。 χ^2 统计量的自由度为 $n-1=24$ 。于是:

$$\chi^2 = \frac{(n-1)s^2}{\sigma^2} = \frac{24 \times (0.0022)^2}{(0.002)^2} = 29.04$$

附录的表 4,在 0.05 这一列(因为我们正在构造单侧置信区间)与自由度=24 这一行的交接处,得到临界值 $\chi^2=36.42$ 。由于 χ^2 的计算结果小于 36.42,所以,可以使用该设备。读者可能注意到所有示例都包括大量的假设,例如,“知道”最好设备的标准差是 0.0022。实际工作中,这些信息需要利用稳态控制图进行确定。

重复抽样

有人对于使用估计和假设检验的方法提出批评:

- 这些方法不直觉。
- 这些方法都基于很强的假设(例如,正态性假设),而这些假设在实际工作中不能经常遇到。
- 这些方法难于学习和应用。
- 这些方法有错误的倾向。

近些年,提出了进行这类分析的新方法,被称为重复抽样。这种新方法概念上非常简单:应用样本中的数据,重复计算感兴趣的统计量,检查统计量的分布。例如,如果你从一批产品中取得 $n=25$ 的样本,而且希望确定统计量 C_{pk} (有偏移的过程能力指数)的置信区间,应用重复抽样,令计算机从样本结果中选出 $n=25$ 的样本,计算 C_{pk} ,多次重复这个过程,例如 10 000 次。然后,通过查看这些结果,来确定希望得到的任何百分比值。这些样本的选取应该是“有放回的”,也就是说,原始样本中的值可能在重复抽样中多次出现(也可能从未出现)。

重复抽样有许多优点,尤其是在当今这个计算机资源容易获得且成本低廉的时代。可以使用电子表格来进行重复抽样,计算出感兴趣的统计量。与传统的统计方法相比,重复抽样对大多数人员来说更容易理解。它不需要很强的假设而且简单。重复抽样不像传统方法那样,从工程问题到统计结论有大量的推导。而且,重复抽样可用于解决更复杂的问题,例如建模、实验设计等等。

重复抽样的理论探讨,可参见 Efron(1982)。关于应用重复抽样计算机程序的众多示例,可参见 Simon(1992)。

8.3 分析统计方法

8.3.1 基本控制图

术语和概念

分布 统计过程控制的核心概念是：任何可度量的现象都服从统计分布。换言之，观测数据集组成了反映常见原因（亦称为一般原因）影响的样本。在经过努力消除变异的特殊原因以后，还存在显示控制状态的变异。图 8.14 给出了常见原因、特殊原因与分布之间的关系。



图 8.14 分布

资料来源：Continuing Process Control and Process Capability Improvement, p. 4a.
Copyright 1983 by Ford Motor Company.

分布有三个基本性质：中心、散布和形状。中心指分布的典型值，例如：均值。分布的散布指较小值与较大值之间的差值，标准差和方差都可以度量分布的散布情况。分布的形状指式样，如峰度、对称性等等。某个给定的现象可能是很多分布形状中的一种，例如，分布可能是钟型、矩形等等。

中心极限定理 中心极限定理如下：

不论总体分布形状如何，随着样本容量的无限增加，从总体抽得的样本其均值的分布趋于正态分布。

这个定理还可以表述为：样本均值的平均值等于总体均值，样本均值的标准差等于总体标准差除以样本容量的平方根。休哈特（Shewhart）通过大量的实验证实：非正态总体可以利用小样本得到近似正态分布。休哈特（1980）利用样本得到图 8.15。

中心极限定理在实际应用中的意义是巨大的。如果没有中心极限定理，对实际中遇到的每一个非正态分布都要设计单独的统计模型。而现在如果系统要展示变异的变化，只需要使用一种方法。由于中心极限定理，可使用小样本的均值用正态分布来评价任何过程。中心极限定理是重要的统计过程控制（SPC）工具——休哈特控制图的基础。

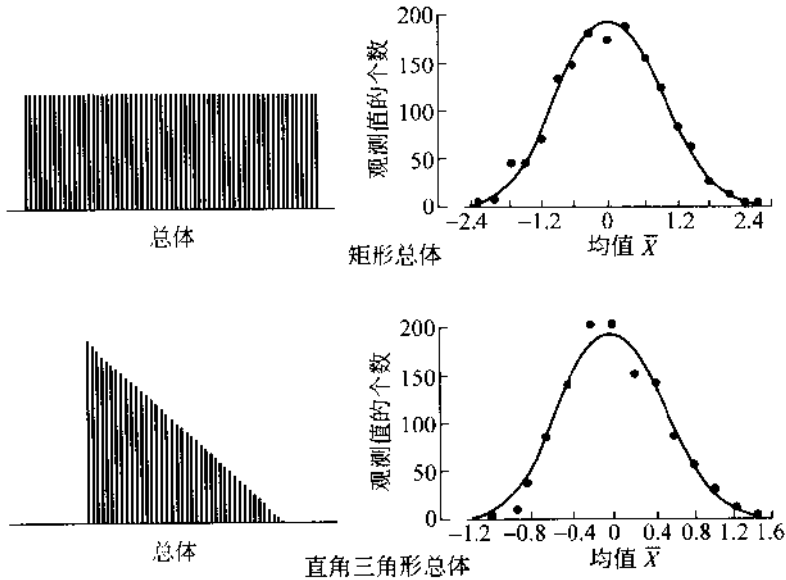


图 8.15 中心极限定理的图例说明

资料来源: *Economic Control of Quality of Manufactured Product*, figure 59.

Copyright © 1980 by ASQ Quality Press.

目标和收益

如果没有 SPC, 质量改进的决策基础是直觉, 是事后的产品检验, 是片面的“数据分析”。SPC 为过程改进的决策提供了科学基础。

预防与检验 过程控制系统本质上是联系过程输入与过程输出的反馈系统。系统有四个主要元素, 包括: 过程本身、关于过程的信息、对过程采取的措施、对过程输出所采取的措施。图 8.16 给出了这些元素相互配合的方法。

通过这个过程, 人员、机器设备、输入的原材料、方法和环境联合在一起, 它们共同作用产生了过程的输出。根据对过程结果的评价, 一定程度上可以提供过程的性能信息。过程的输出不仅包括产品, 还包括过程运作状况的信息, 例如: 温度、循环时间等等。对过程采取的措施是面向未来的, 在某种意义上, 它会影响到未来的输出。对输出的措施是面向过去的, 因为它要从已经生产出来的产品中检测出不符合规范的产品。

过去有一种倾向: 把注意力集中在以探测为导向的产品检验策略上。运用这种方法, 一旦产品生产出来, 马上就进行检验, 要么接受这个产品, 要么拒绝。SPC 采取了完全不同的思路: 改进未来。关键概念是围绕目标的变差越小则越好。在这样的思想指导下, 仅仅满足要求是不够的, 应当继续改进, 即使要求已经得到满足。这种永无止境、持续改进

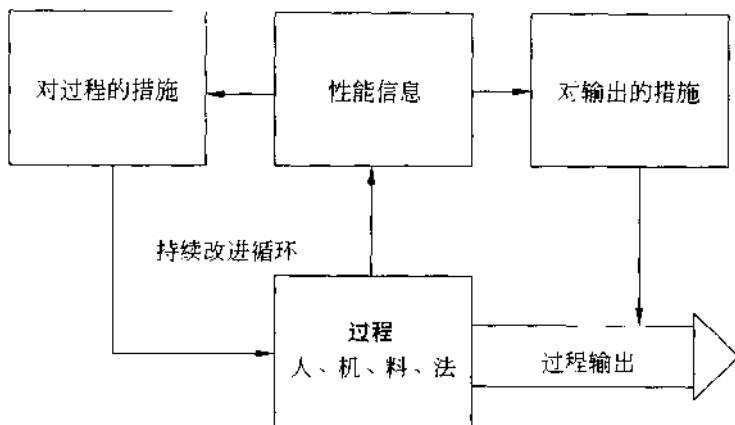


图 8.16 过程控制系统

的理念是 SPC 的灵魂。

变差的常见原因和特殊原因

休哈特(1931,1980)对“控制”的定义如下:

通过运用过去的经验,可以预测一个现象在未来将会怎样变化,至少在界限以内,这时就可以说,这个现象是受控制的。这里,在界限以内的预测意味着可以断定、至少可以近似断定观察到的现象落在给定的界限以内的概率。

上述定义的关键是:控制并没有定义为完全没有变差。控制只是一种状态,一种所有的变差都是可预见变差的状态。受控制的过程不一定标志着优秀的管理水平,失控过程也不一定生产的全是不合格品。

所有形式的预测都存在着随机因素。出于我们的研究目的,把变差的任何未知的随机原因都称为随机原因或常见原因,这对术语是同义词,可以同样进行使用。如果任何随机原因的影响是微小的,而变差的随机原因的总和是显著的并且相对稳定,那么,就存在界限以内变差是可预测的情况。根据上述定义,这样的系统定义为受控制的系统。休哈特博士使用术语“随机原因”、戴明博士使用术语“常见原因”来描述同样的现象,这两种术语在实际工作中都经常遇到。

不用说,不是所有的现象都起因于常见原因的稳态系统。有时,变差是由稳态系统没有包含的变差来源引起的。休哈特称这些变差为可查明原因,戴明称为变差的特殊原因。经验表明,寻找变差的特殊原因不太困难,进而减少过程的可变性。

需要利用统计工具以助于有效地识别变差特殊原因的影响。这引出另一个定义:

统计过程控制——运用有效的分析统计方法来确定过程变差特殊原因的存在。

统计过程控制的基本原则是：

来自常见原因系统的变差可以被归结为一种偶然，但是，变差的特殊原因应当被识别并加以消除。

这是休哈特最初的原则。然而，这个原则不应当被曲解为：常见原因引起的变差应当被忽视。相反，单独研究常见原因引起的变差，长期过程改进所寻求的就是处理常见原因引起的变差。

图 8.17 说明了用统计方法确定变差种类的需要。

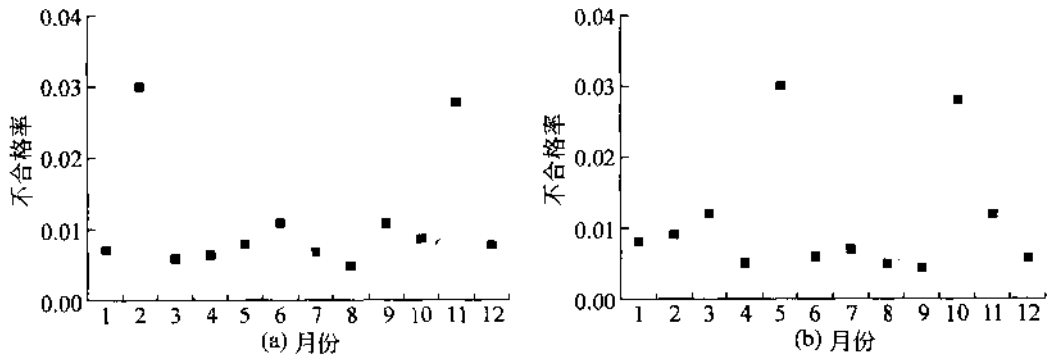


图 8.17 这些变差能否看作为偶然

资料来源: *Economic Control of Quality of Manufactured Product*, p. 13. Copyright © 1931, 1980 by ASQ Quality Press.

对问题“这些变差应当看作为偶然吗?”的回答,可以通过使用统计方法来得到。图 8.18 给出了基本概念。

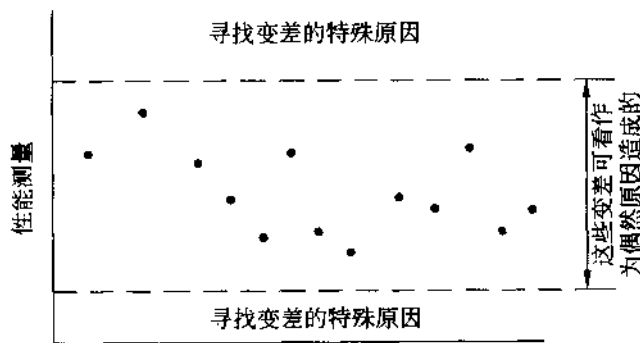


图 8.18 变差类型

简而言之,介于两条虚线所定义的“控制界限”之间的变差被看作为常见原因系统引起的变差。任何超出这两个固定界限的变异都被认为是变差的特殊原因引起的。任何只包含常见原因变差的系统称为“统计受控”。必须注意的是,控制界限不是简单地凭空画出的,它们是应用有效的统计方法根据实际过程数据计算出来的。图 8.19 在图 8.17 的基础上,增加了控制界限。注意,过程(a)显示有特殊原因引起的变差,而过程(b)没有。这意味着,需要根据两种情况的不同性质,采取不同的措施以减少每种情况的变异。如果没有统计理论的指引,就无法判断是特殊原因还是常见原因应该为变异负责。

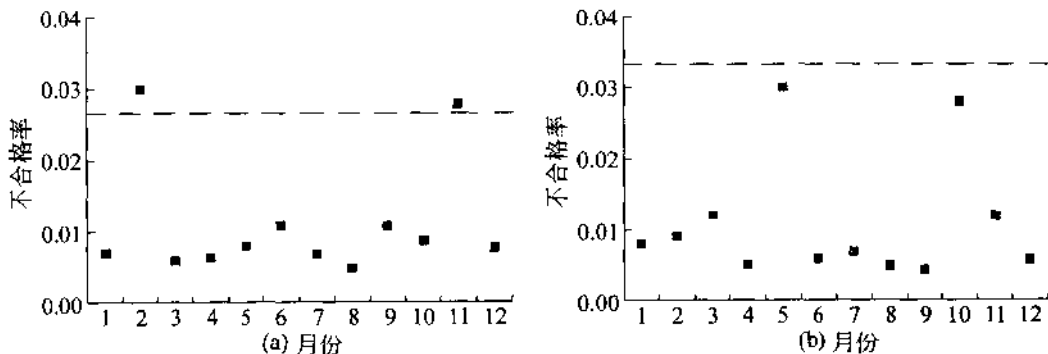


图 8.19 有控制界限的图 8.17

资料来源: *Economic Control of Quality of Manufactured Product*, p. 13. Copyright © 1931, 1980 by ASQ Quality Press.

控制图的类型

控制图可以分为两大类:用于连续数据的(例如,测量数据)控制图和用于属性数据的(例如,计数数据)控制图。本节将描述用于这些不同数据的各式控制图。

计量控制图

在 SPC 中,均值、极差和标准差都是统计量,都是经常用于分析测量数据的统计量。控制图用于监控这些统计量。这些统计量的任何一个失控点都表示,出现了变差的特殊原因,应当立刻进行调查以确定这个特殊原因。

均值图和极差控制图 均值图是用于评价过程随时间变化的中心趋势的统计工具。极差图是用于评价过程随时间变化的散布趋势的统计工具。

均值图回答了这一问题:“是否变差的特殊原因在所观测的时间段上引起了过程中心趋势的变化?”

极差图回答了这一问题:“是否变差的特殊原因引起过程分布一致性的增强或减弱?”

均值图和极差图可以应用于任何诸如质量、尺寸等连续的变量。

控制图的基础是合理子组。子组由相同条件下生产出来的个体组成的。单独计算每个子组的平均值和极差,然后绘制在控制图上。每个子组的统计量与控制界限进行比较,分析子组之间变差的模式。

均值图和极差图的子组公式为:

$$\bar{X} = \frac{\text{子组测量值之和}}{\text{子组容量}} \quad (8.27)$$

$$R = \text{子组最大值} - \text{子组最小值} \quad (8.28)$$

均值图和极差图的控制界限公式 计算均值图和极差图的控制界限,从而使来自稳定过程的子组均值和子组极差落在控制界限外的可能性很小。所有的控制界限都设定为控制图的中心线加减三倍标准差。因此,子组均值的控制界限是总均值加减均值的三倍标准差。子组极差的控制界限是极差均值加减极差的三倍标准差。这些控制界限对于非正态的过程分布具有稳健性。

为了便于计算,在控制界限公式中使用了一些常数。附录的表 11 给出了子组容量小于或等于 25 时控制图的常数。不同控制图常数的推导可参见 Burr(1976, pp. 97~105)。

极差图的控制界限公式为:

$$\bar{R} = \frac{\text{子组极差之和}}{\text{子组数}} \quad (8.29)$$

$$LCL = D_3 \bar{R} \quad (8.30)$$

$$UCL = D_4 \bar{R} \quad (8.31)$$

应用 \bar{R} 的均值图控制界限公式为:

$$\bar{X} = \frac{\text{子组均值之和}}{\text{子组数}} \quad (8.32)$$

$$LCL = \bar{X} - A_2 \bar{R} \quad (8.33)$$

$$UCL = \bar{X} + A_2 \bar{R} \quad (8.34)$$

均值图和极差图的示例 表 8.2 包含 25 个子组,每个子组有 5 个观察值。根据这些数据计算控制界限。

极差控制图的计算如下:

$$\bar{R} = \frac{\text{子组极差之和}}{\text{子组数}} = \frac{369}{25} = 14.76$$

$$LCL_R = D_3 \bar{R} = 0 \times 14.76 = 0$$

$$UCL_R = D_4 \bar{R} = 2.115 \times 14.76 = 31.22$$

由于子组极差不可能小于 0,故在极差控制图上没有标出 LCL。

表 8.2 均值和极差控制图的数据

观测值 1	观测值 2	观测值 3	观测值 4	观测值 5	平均值	极差
110	93	99	98	109	101.8	17
103	95	109	95	98	100.0	14
97	110	90	97	100	98.8	20
96	102	105	90	96	97.8	15
105	110	109	93	98	103.0	17
110	91	104	91	101	99.4	19
100	96	104	93	96	97.8	11
93	90	110	109	105	101.4	20
90	105	109	90	108	100.4	19
103	93	93	99	96	96.8	10
97	97	104	103	92	98.6	12
103	100	91	103	105	100.4	14
90	101	96	104	108	99.8	18
97	106	97	105	96	100.2	10
99	94	96	98	90	95.4	9
106	93	104	93	99	99.0	13
90	95	98	109	110	100.4	20
96	96	108	97	103	100.0	12
109	96	91	98	109	100.6	18
90	95	94	107	99	97.0	17
91	101	96	96	109	98.6	18
108	97	101	103	94	100.6	14
96	97	106	96	98	105.0	10
101	107	104	109	104	98.6	8
96	91	96	91	105	95.8	14

均值控制图的计算如下：

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\text{子组均值之和}}{\text{子组数}} = \frac{2487.5}{25} = 99.5$$

$$LCL_x = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} = 99.5 - 0.577 \times 14.76 = 90.97$$

$$UCL_x = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} = 99.5 + 0.577 \times 14.76 = 108.00$$

完成的均值和极差控制图如图 8.20 所示。

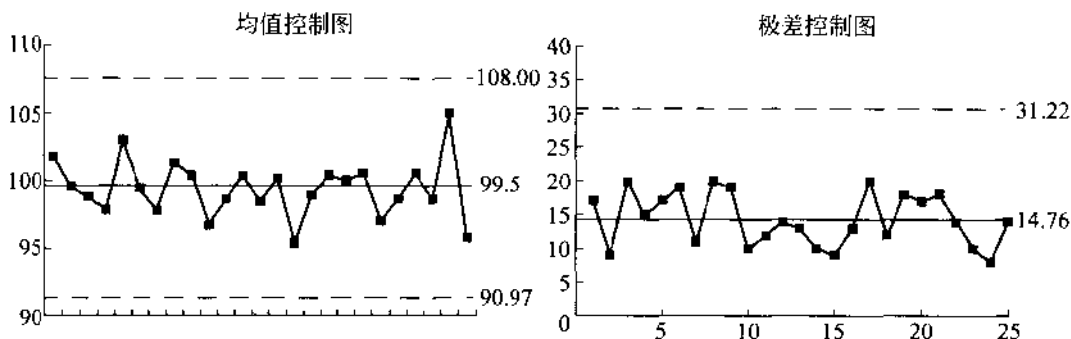


图 8.20 均值控制图和极差控制图

上述控制图说明了过程处于统计控制状态。这意味着反映变异的控制界限可以用于这个过程的预测。为了确定过程满足要求的能力,本章随后给出了过程能力研究的有关方法。

均值和标准差(西格玛)控制图 均值和标准差控制图理论上与均值和极差控制图是一致的。区别在于,使用子组标准差而不是子组极差来度量散布程度。当子组容量大于 2 时,子组标准差比子组极差在统计上更有效。随着子组容量的增加,子组标准差的优势会更加明显。然而,极差容易计算,而且容易被大多数人员理解。一般而言,除非子组容量大于或等于 10,推荐使用子组极差。但是,如果由统计知识丰富的人员对分析加以解释,而且计算亦不成问题,那么,不论子组容量大小,标准差控制图更合适。

均值和西格玛图的子组公式为:

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\text{子组测量值之和}}{\text{子组容量}} \quad (8.35)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (8.36)$$

每个子组单独计算标准差 s , 利用子组均值而不是总均值,这一点很重要。如果过程处于失控状态,应用总均值会引入特殊原因,从而降低了甚至显著减低了对过程性能的估计。

均值和西格玛图的控制界限公式 计算均值和西格玛图的控制界限,使得来自稳定

过程的子组均值和子组西格玛落在控制界限外的可能性很小。所有的控制界限都设定为控制图的中心线加减三倍标准差。因此,子组均值的控制界限是总均值加减均值的三倍标准差。子组西格玛的控制界限是西格玛均值加减西格玛的三倍标准差。这些控制界限对于非正态的过程分布具有稳健性。

为了便于计算,在控制界限公式中使用了一些常数。附录的表 11 给出了子组容量小于或等于 25 时控制图中的常数。

基于 \bar{s} 的西格玛图控制界限公式为:

$$\bar{s} = \frac{\text{子组西格玛之和}}{\text{子组数}} \quad (8.37)$$

$$LCL = B_3 \bar{s} \quad (8.38)$$

$$UCL = B_4 \bar{s} \quad (8.39)$$

基于 s 的均值控制图控制界限公式为:

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\text{子组均值之和}}{\text{子组数}} \quad (8.40)$$

$$LCL = \bar{\bar{X}} - A_3 \bar{s} \quad (8.41)$$

$$UCL = \bar{\bar{X}} + A_3 \bar{s} \quad (8.42)$$

均值和标准差控制图的示例 为了显示计算过程,比较极差与标准差的结果,利用子组标准差代替子组极差对上例的数据重新进行分析。

表 8.3 均值和西格玛控制图的数据

观测值 1	观测值 2	观测值 3	观测值 4	观测值 5	平均值	西格玛
110	93	99	98	109	101.8	7.396
103	95	109	95	98	100.0	6.000
97	110	90	97	100	98.8	7.259
96	102	105	90	96	97.8	5.848
105	110	109	93	98	103.0	7.314
110	91	104	91	101	99.4	8.325
100	96	104	93	96	97.8	4.266
93	90	110	109	105	101.4	9.290
90	105	109	90	108	100.4	9.607
103	93	93	99	96	96.8	4.266
97	97	104	103	92	98.6	4.930

续表

观测值 1	观测值 2	观测值 3	观测值 4	观测值 5	平均值	西格玛
103	100	91	103	105	100.4	5.550
90	101	96	104	108	99.8	7.014
97	106	97	105	95	100.2	4.868
99	94	96	98	90	95.4	3.578
106	93	104	93	99	99.0	6.042
90	95	98	109	110	100.4	8.792
96	96	108	97	103	100.0	5.339
109	96	91	98	109	100.6	8.081
90	95	94	107	99	97.0	6.442
91	101	96	96	109	98.6	6.804
108	97	101	103	94	100.6	5.413
96	97	106	96	98	98.6	4.219
101	107	104	109	104	105.0	3.082
96	91	96	91	105	95.8	5.718

根据这些数据计算控制界限。

西格玛控制图的计算如下：

$$s = \frac{\text{子组西格玛之和}}{\text{子组数}} = \frac{155.45}{25} = 6.218$$

$$LCL_s = B_3 \bar{s} = 0 \times 6.218 = 0$$

$$UCL_s = B_4 \bar{s} = 2.089 \times 6.218 = 12.989$$

由于子组西格玛不可能小于 0, 故在西格玛控制图上没有标出 LCL。

均值控制图的计算如下：

$$\bar{X} = \frac{\text{子组均值之和}}{\text{子组数}} = \frac{2487.5}{25} = 99.5$$

$$LCL_{\bar{X}} = \bar{X} - A_3 \bar{s} = 99.5 - 1.427 \times 6.218 = 90.63$$

$$UCL_{\bar{X}} = \bar{X} + A_3 \bar{s} = 99.5 + 1.427 \times 6.218 = 108.37$$

完成的均值和标准差控制图如图 8.21 所示。注意：均值控制图的控制界限与使用极差得到的控制界限略有不同。

注意，与使用极差时所得到的结论是一样的。

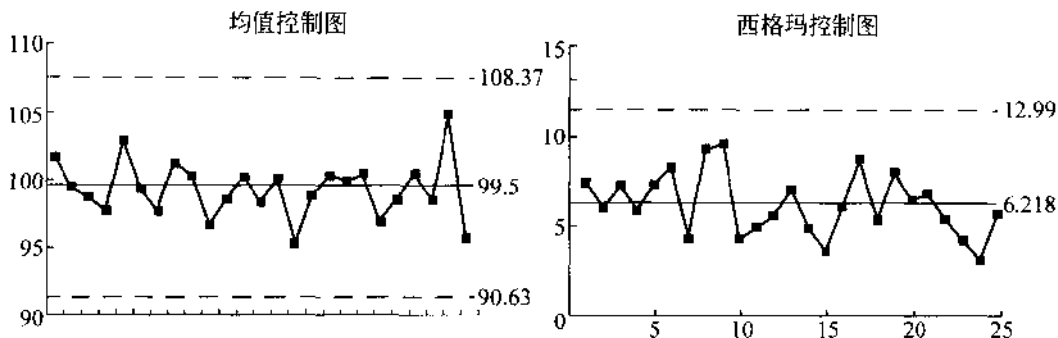


图 8.21 均值控制图和西格玛控制图

单值控制图(X图) 单值控制图是用于评价过程随时间变化的中心趋势的统计工具,它也被称为X图或移动极差控制图。当利用平均值进行过程控制不切实际时,可以使用单值控制图。有多种原因可能会导致均值控制图不令人满意,例如:获得观测值的费用很高(例如,破坏性实验),短时间间隔内的输出结果是相似的(例如,溶液pH值),生产节奏较慢,连续观测值之间的时间间隔较长,等等。单值控制图经常用于监控批处理过程(例如化学过程),相对批间变差来说,这样的过程批内变差要小得多,以至于标准 \bar{X} 控制图的控制界限过于接近,几乎靠在一起。极差图与单值图联合使用,用于监控散布情况^①。

移动极差图的计算 与均值和极差图一样,极差的计算如下所示:

$$R = \text{子组最大值} - \text{子组最小值}$$

其中,子组指过程测量中连续出现的一对数值。极差控制界限的计算与均值和极差图一样,使用常数 D_4 ,即子组容量为2时的常数,其值为3.267。于是:

$$LCL = 0 (\text{对于 } n = 2)$$

$$UCL = 3.267 \times \bar{R}$$

单值图的控制界限公式为:

$$\bar{X} = \frac{\text{测量值之和}}{\text{测量值的个数}} \quad (8.43)$$

$$LCL = \bar{X} - E_2 \bar{R} = \bar{X} - 2.66 \times \bar{R} \quad (8.44)$$

$$UCL = \bar{X} + E_2 \bar{R} = \bar{X} + 2.66 \times \bar{R} \quad (8.45)$$

其中, $E_2 = 2.66$ 是一个常数,当单个测量值绘制在单值图上时,使用这个常数; \bar{R} 基于 $n=2$ 的子组来得到。

^① 对于移动极差图的争论值得考虑。学术研究人员试图研究它们的统计性质,但是失败了。然而,很多实际工作者(包括作者在内)相信移动极差图提供了有价值的补充信息,可用于解决问题。

单值和移动极差控制图的示例 表 8.4 包含 25 个测量值。为了便于与前面均值/极差控制图和均值/标准差控制图的示例进行比较,把测量值写在每个子组第一个观测值的位置。

表 8.4 单值和移动极差控制图的数据

观测值 1	极 差	观测值 1	极 差
110	Non e	97	7
103	7	99	2
97	6	106	7
96	1	90	16
105	9	96	6
110	5	109	13
100	10	90	19
93	7	91	1
90	3	108	17
103	13	96	12
97	6	101	5
103	6	96	5
90	13		

根据这些数据计算控制界限。

移动极差控制图控制界限计算如下：

$$\bar{R} = \frac{\text{极差之和}}{\text{极差个数}} = \frac{196}{24} = 8.17$$

$$LCL_R = D_3 \bar{R} = 0 \times 8.17 = 0$$

$$UCL_R = D_4 \bar{R} = 3.267 \times 8.17 = 26.69$$

由于子组极差不可能小于 0,故在极差控制图上没有标出 LCL。

单值控制图计算如下：

$$\bar{X} = \frac{\text{测量值之和}}{\text{测量值的个数}} = \frac{2475}{25} = 99.0$$

$$LCL_X = \bar{X} - E_2 \bar{R} = 99.0 - 2.66 \times 8.17 = 77.27$$

$$UCL_X = \bar{X} + E_2 \bar{R} = 99.0 + 2.66 \times 8.17 = 120.73$$

完成的单值和移动极差控制图如图 8.22 所示。

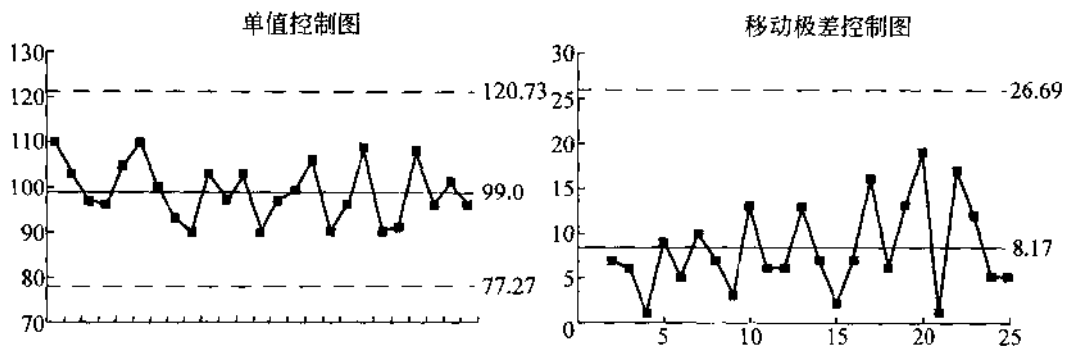


图 8.22 单值控制图和移动极差控制图

结论与均值图是一样的。然而,均值图的控制比 \bar{X} 图更严格。某些情况下,均值图所提供的高灵敏度可能在经济条件和工程条件下都无法得到进一步的证明。当出现这种情况时,均值图只会导致对无关紧要的特殊原因的调查,从而浪费金钱。

计数控制图

不合格品率控制图(p 图) p 图是用于评价过程不合格品率的统计工具。

p 图可用于度量表征业绩的个体数所得到的变量。 p 图回答了下述问题：“在受到观测的时间段上,是否存在变差的特殊原因引起过程产生了反常的过多或过少不合格品的趋势?”

p 图控制界限公式 与所有的控制图一样, p 图包括三条线:中心线、下控制界限和上控制界限。中心线是不合格品率的平均值,两条控制界限设定为中心线加减三倍标准差。如果过程处于统计控制状态,那么,所有的比例都应该落在两条控制界限之间,而且应当在中心线附近随机的上下波动。

$$p = \frac{\text{子组不合格品数}}{\text{子组容量}} \quad (8.46)$$

$$\bar{p} = \frac{\text{子组不合格品数之和}}{\text{子组容量之和}} \quad (8.47)$$

$$LCL = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \quad (8.48)$$

$$UCL = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \quad (8.49)$$

上式中, n 是子组容量。如果子组容量变化,那么控制界限也将发生变化,并且,随着 n 的增加,控制界限逐渐接近。

p 图分析 对于所有的控制图,如果存在超出上、下控制界限的点,那么,可能出现了



特殊原因。如果样本容量变化,那么,对于 p 图介于两条控制界限之间的情况分析是相当复杂的,因为随着样本容量的变化, p 的分布也会发生变化。

p 图的计算示例 从每批出货中随机地抽取柳条箱打开进行检查,记录擦伤的桃子数,数据如表 8.5 所示。每只柳条箱有 250 只桃子,正常的情况,每次出货抽取 1 只柳条箱。当有临时工帮忙时,抽取 2 只柳条箱。

表 8.5 p 图的原始数据

出货批次	柳条箱数	桃子数	擦伤桃子数	p
1	1	250	47	0.188
2	1	250	42	0.168
3	1	250	55	0.220
4	1	250	51	0.204
5	1	250	46	0.184
6	1	250	61	0.244
7	1	250	39	0.156
8	1	250	44	0.176
9	1	250	41	0.164
10	1	250	51	0.204
11	2	500	88	0.176
12	2	500	101	0.202
13	2	500	101	0.202
14	1	250	40	0.160
15	1	250	48	0.192
16	1	250	47	0.188
17	1	250	50	0.200
18	1	250	48	0.192
19	1	250	57	0.228
20	1	250	45	0.180
21	1	250	43	0.172
22	2	500	105	0.210
23	2	500	98	0.196
24	2	500	100	0.200
25	2	500	96	0.192
总计		8 000	1 544	

应用上述数据,计算中心线和控制界限,

$$p = \frac{\text{子组不合格品数}}{\text{子组容量}}$$

这些数值列在表 8.5 的最后一列。

$$\bar{p} = \frac{\text{子组不合格品数之和}}{\text{子组容量之和}} = \frac{1544}{8000} = 0.193$$

对于所有子组, \bar{p} 是一个常数。

$n=250$ (抽取 1 只柳条箱时):

$$LCL = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} = 0.193 - 3 \times \sqrt{\frac{0.193 \times (1-0.193)}{250}} = 0.118$$

$$UCL = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} = 0.193 + 3 \times \sqrt{\frac{0.193 \times (1-0.193)}{250}} = 0.268$$

$n=500$ (抽取 2 只柳条箱时):

$$LCL = 0.193 - 3 \times \sqrt{\frac{0.193 \times (1-0.193)}{500}} = 0.140$$

$$UCL = 0.193 + 3 \times \sqrt{\frac{0.193 \times (1-0.193)}{500}} = 0.246$$

控制界限和子组比例如图 8.23 所示。

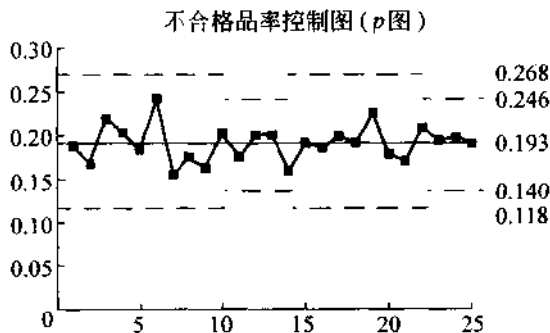


图 8.23 p 控制图

应用 p 图的要点 确定“变动的控制界限”是否真的很必要。也许可以使用平均样本容量(检查的总数除以子组数)来计算控制界限。比如,前面的例子,样本容量从 250 只桃子加倍到 500 只桃子,但是,控制界限几乎没有变化。表 8.6 给出了基于 250 只桃子、500 只桃子和平均样本容量 $8000 \div 25 = 320$ 只桃子这三种情况下的控制界限。

表 8.6 应用平均样本容量的影响

样本容量	下控制界限	上控制界限
250	0.1181	0.2679
500	0.1400	0.2460
320	0.1268	0.2592

注意,使用平均样本容量与使用精确的样本容量,对过程性能进行分析的结论是一致的。样本容量的变化不太大时,经常会出现这种情形。有很多由经验得出的法则,但是大多数都相当保守。评价基于平均样本容量的控制界限的最佳方法就是像上例那样进行检查。SPC 是为了改进决策,通常使用最简单的方法得到正确的决策。

不合格品数控制图(np 图) np 图是用于评价过程生成的不合格品数的统计工具。 np 图可用于度量表征业绩的个体数所得到的变量,并且子组容量保持常数。注意:凡是 np 图可以应用的情况, p 图也可以应用。

np 图控制界限公式 与所有的控制图一样, np 图包括三条线:中心线、下控制界限和上控制界限。中心线是每个子组的不合格品数,两条控制界限设定为中心线加减三倍标准差。如果过程处于统计控制状态,那么,所有子组的不合格品数都应该落在两条控制界限之间,而且应当在中心线附近随机地上下波动。

$$np = \text{子组不合格品数} \quad (8.50)$$

$$n\bar{p} = \frac{\text{子组不合格品数之和}}{\text{子组数}} \quad (8.51)$$

$$LCL = n\bar{p} - 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})} \quad (8.52)$$

$$UCL = n\bar{p} + 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})} \quad (8.53)$$

注意:

$$\bar{p} = \frac{n\bar{p}}{n} \quad (8.54)$$

np 图的计算示例 从每批出货中随机地抽取柳条箱打开进行检查,记录擦伤的桃子数,数据如表 8.7 所示。每只柳条箱有 250 只桃子(np 图要求 n 为常数)。

应用表 8.7 中数据,计算中心线和控制界限:

$$np = \frac{\text{子组不合格品数之和}}{\text{子组数}} = \frac{838}{30} = 27.93$$

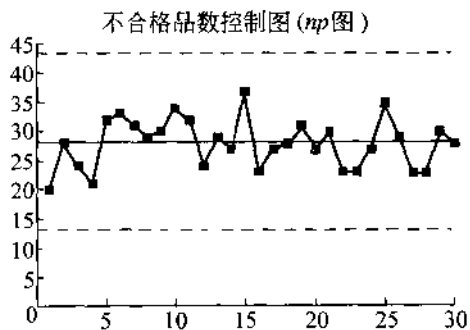
$$LCL = n\bar{p} - 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})} = 27.93 - 3 \times \sqrt{27.93 \times \left(1 - \frac{27.93}{250}\right)} = 12.99$$

$$UCL = n\bar{p} + 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})} = 27.93 + 3 \times \sqrt{27.93 \times \left(1 - \frac{27.93}{250}\right)} = 42.88$$

表 8.7 np 图的原始数据

出货批次	擦伤桃子数	出货批次	擦伤桃子数
1	20	17	27
2	28	18	28
3	24	19	31
4	21	20	27
5	32	21	30
6	33	22	23
7	31	23	23
8	29	24	27
9	30	25	35
10	34	26	29
11	32	27	23
12	24	28	23
13	29	29	30
14	27	30	28
15	37		
16	23	总计	838

控制界限和子组不合格品数如图 8.24 所示。

图 8.24 np 控制图

单位平均事件数控制图(u 图) u 图是用于评价过程产生的单位平均事件数的统计工具。 u 图可用于度量表征业绩的某个特定事件发生的次数所得到的变量。 u 图回答了这一问题：“在受到观测的时间段上，是否存在变差的特殊原因引起过程产生了反常的过多或过少事件数的趋势？”注意，与 p 和 np 图不同， u 图所涉及的不是物品的计数，而是事件的计数。例如，用 p 图来记录擦伤的桃子数，而用 u 图时，记录的是擦伤数。

u 图控制界限公式 与所有的控制图一样， u 图包括三条线：中心线、下控制界限和上控制界限。中心线是平均单位事件发生数，两条控制界限设定为中心线加减三倍标准差。如果过程处于统计控制状态，那么，所有的子组单位事件数都应该落在两条控制界限之间，而且应当在中心线附近随机地上下波动。

$$u = \frac{\text{子组事件数}}{\text{子组容量(单位数)}} \quad (8.55)$$

$$\bar{u} = \frac{\text{子组事件数之和}}{\text{子组容量之和(总单位数)}} \quad (8.56)$$

$$LCL = \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} \quad (8.57)$$

$$UCL = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} \quad (8.58)$$

上式中， n 是子组容量，即子组所包含的单位数。如果子组容量变化，那么控制界限也将发生变化。

判断某个数据集是适用于 u 图还是适用于 p 图的一种方法，是检验用于计算控制图中心线的公式。如果分子与分母的测量单位是一致的，那么，使用 p 图，否则使用 u 图。例如：若

$$\text{中心线} = \frac{\text{每个柳条箱中的擦伤数}}{\text{柳条箱数}}$$

其中分子是擦伤，分母是柳条箱，故使用 u 图。

单位的容量是随意的，但是一旦确定，就不能改变，否则要重新计算所有子组的单位事件数和控制界限。例如，如果事件指的是意外，每个单位是 100 000 工作小时，那么，一个月工作 250 000 小时应该是 2.5 个单位，一个月工作 50 000 小时应该是 0.5 个单位。如果单位的容量是 200 000 小时，那么，这两个月应分别为 1.25 单位和 0.25 单位。中心线和控制界限的公式应当“自动地”说明单位的容量，不论使用哪一种单位容量，控制图得出的结论是相同的。

u 图分析 对于所有的控制图，如果存在超出上、下控制界限的点，那么，可能出现了特殊原因。如果样本容量变化，那么，对于 u 图介于两条控制界限之间的情况，分析是相当复杂的，而且通常不做分析。

u 图的示例 从每批出货中随机地抽取柳条箱打开进行检查,记录擦伤的桃子数,数据如表 8.8 所示。每个柳条箱中有 250 只桃子。选择整个柳条箱为单位的容量,也就是说,记录柳条箱的个数而不是柳条箱中的桃子数。正常的情况,每次出货抽取 1 只柳条箱。当有临时工帮忙时,抽取 2 只柳条箱。

表 8.8 u 图的原始数据

出货批次	单位数(柳条箱数)	不合格数	单位不合格数
1	1	47	47
2	1	42	42
3	1	55	55
4	1	51	51
5	1	46	46
6	1	61	61
7	1	39	39
8	1	44	44
9	1	41	41
10	1	51	51
11	2	88	44
12	2	101	50.5
13	2	101	50.5
14	1	40	40
15	1	48	48
16	1	47	47
17	1	50	50
18	1	48	48
19	1	57	57
20	1	45	45
21	1	43	43
22	2	105	52.5
23	2	98	49
24	2	100	50
25	2	96	48
总计	32	1 544	

应用表 8.8 中数据, 计算中心线和控制界限:

$$u = \frac{\text{子组事件数}}{\text{子组容量(单位数)}}$$

这些数值列在表 8.8 的最后一列。

$$\bar{u} = \frac{\text{子组事件数之和}}{\text{子组容量之和(总单位数)}} = \frac{1\,544}{32} = 48.25$$

对于所有子组, \bar{u} 是一个常数。

$n=1$:

$$LCL = \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} = 48.25 - 3 \times \sqrt{\frac{48.25}{1}} = 27.411$$

$$UCL = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} = 48.25 + 3 \times \sqrt{\frac{48.25}{1}} = 69.089$$

$n=2$:

$$LCL = 48.25 - 3 \times \sqrt{\frac{48.25}{2}} = 33.514$$

$$UCL = 48.25 + 3 \times \sqrt{\frac{48.25}{2}} = 62.986$$

控制界限和子组单位事件数如图 8.25 所示。

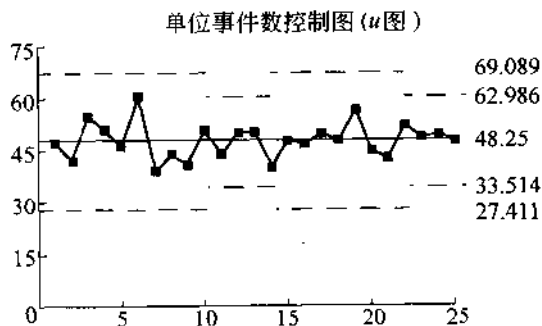


图 8.25 u 控制图

读者可能注意到, 用于构造 u 图的数据与用于构造 p 图的数据是一样的, 除了用事件数(不合格数)代替了物品数(擦伤桃子数)。当应该使用 p 图而实际应用了 u 图, 并不是严重的问题, 反之亦然。不论使用 u 图还是使用 p 图, 质量工程中常遇到的大多数情况, 基于控制图的决策都是非常相似的。

单位事件数控制图 (c 图) c 图是用于评价过程产生的单位事件数的统计工具。 c 图可用于度量表征业绩的某个特定事件发生的次数所得到的变量, 并且样本容量为常数。 c

图回答了这一问题：“在受到观测的时间段上，是否存在变差的特殊原因引起过程产生了反常的过多或过少事件数的趋势？”注意，与 p 和 np 图不同， c 图所涉及的不是物品的计数，而是事件的计数。例如，用 np 图来记录擦伤的桃子数，而用 c 图时，记录的是擦伤数。

c 图控制界限公式 与所有的控制图一样， c 图包括三条线：中心线、下控制界限和上控制界限。中心线是平均单位事件发生数，两条控制界限设定为中心线加减三倍标准差。如果过程处于统计控制状态，那么，所有的子组单位事件数都应该落在两条控制界限之间，而且应当在中心线附近随机地上下波动。

$$\bar{c} = \frac{\text{子组事件数之和}}{\text{子组数}} \quad (8.59)$$

$$LCL = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}} \quad (8.60)$$

$$UCL = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}} \quad (8.61)$$

判断某个数据集合是适用于 c 图还是适用于 np 图的一种方法，是检验用于计算控制图中心线的公式。如果分子与分母的测量单位是一致的，那么，使用 np 图，否则使用 c 图。例如：若

$$\text{中心线} = \frac{\text{擦伤数}}{\text{柳条箱数}}$$

其中分子是擦伤，分母是柳条箱，故使用 c 图。

单位的容量是随意的，但是一旦确定，就不能改变，否则要重新计算所有子组的单位事件数和控制界限。

c 图分析 对于所有的控制图，如果存在超出上、下控制界限的点，那么，可能出现了特殊原因。对于 c 图介于两条控制界限之间的情况本章随后进行分析。

c 图的示例 从每批出货中随机地抽取柳条箱打开进行检查，记录擦伤的桃子数，数据如表 8.9 所示。每只柳条箱中有 250 只桃子。选择整只柳条箱为单位的容量，也就是说，记录柳条箱的个数而不是柳条箱中的桃子数。每个子组包括一只柳条箱。如果子组容量变化，应采用 u 图。

应用表 8.9 中的数据，计算中心线和控制界限：

$$\bar{c} = \frac{\text{子组事件数之和}}{\text{子组数}} = \frac{1006}{30} = 33.53$$

$$LCL = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}} = 33.53 - 3 \times \sqrt{33.53} = 16.158$$

$$UCL = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}} = 33.53 + 3 \times \sqrt{33.53} = 50.902$$

表 8.9 c 图的原始数据

出货批次	不合格数	出货批次	不合格数
1	27	17	33
2	32	18	33
3	24	19	38
4	31	20	32
5	42	21	37
6	38	22	30
7	33	23	31
8	35	24	32
9	35	25	42
10	39	26	40
11	41	27	21
12	29	28	23
13	34	29	39
14	34	30	29
15	43		
16	29	总计	1 006

控制界限和子组单位事件数如图 8.26 所示。

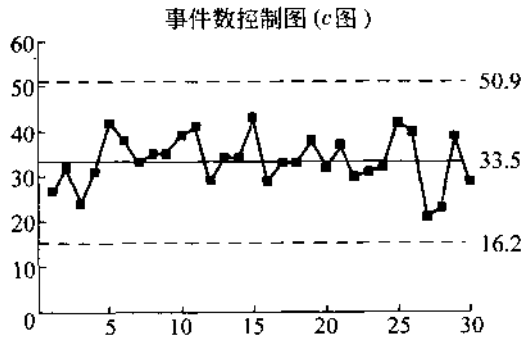


图 8.26 c 控制图

实施

假定组织的领导已经创造了开放诚恳的沟通环境,那么,SPC 的实施就成为:(1)选择应用 SPC 方法的过程;(2)在每个过程选择变量。本节描述了完成这些行动的方法。

变量选择

准备过程控制方案 应当为每个关键过程准备一个过程控制方案。该方案应该由了解过程的小组成员来进行准备。小组成员应用在构造质量屋(参见第 3 章中 QFD 的讨论)时所确定的过程要素,从建立流程图开始。流程图展示了过程要素彼此之间的关系,有助于控制点的选择。同样,流程图也给出了交付顾客的关键点,该点通常都作为重要控制点。注意:顾客可能是内部顾客。

对于任何给定的过程,都会有许多不同类型的过程要素。一些过程要素是过程内在的,其他的要素是外在的。一只钻孔机的旋转速度是过程的内在要素,而建筑物的湿度是外在要素。一些很重要的过程要素很容易保持在一个给定的常数值而不再改变,除非特意采取行动。这些被称为是固定要素。另外的过程要素,它们的记录不断变化,必须加以监视,这样的要素称为变化要素。钻孔机的旋转速度可以被预先设定,但是钻孔机的线电压是可变的,尽管钻孔机速度有初始的设定,但是线电压的改变会引起钻孔机速度的变化(这是很好的例子,可用来揭示相关矩阵是如何起作用的)。图 8.27 提供了基于内在/外在和固定/变化分类标准的计划指导。当然,对于特定的项目,其他的分类标准可能更适用,应鼓励工程师们提出新方法以更好地满足自己的需要。为了方便起见,每种分类方案都标以罗马数字:Ⅰ=固定—内在,Ⅱ=固定—外在,Ⅲ=变化—内在,Ⅳ=变化—外在。

	内部	外部
固定	Ⅰ	Ⅱ
	<ul style="list-style-type: none"> • 设置标准 • 周期性审核 • 预防性维护 	<ul style="list-style-type: none"> • 审核 • 认证
可变	Ⅲ	Ⅳ
	<ul style="list-style-type: none"> • 控制图 • 防呆产品 • 防呆过程 • 结果分类 	<ul style="list-style-type: none"> • 供应商 SPC • 接受检验 • 供应商分类 • 防呆产品

图 8.27 选择和控制过程变量的原则

在选择每个过程要素的恰当控制方法时,有必要特别关注那些在质量屋分析中重要度高的过程要素。在某些情况下,对重要的过程要素进行控制是非常昂贵的。这时,QFD 相关矩阵或统计相关矩阵可以提供帮助。这些过程要素可能与其他控制费用较低的过程要素相关。同样,相关矩阵有助于减少控制图的数量。通常情况下,没必要对彼此相关的几个变量都应用控制图,可以选择费用最低(或者最敏感)的过程要素作为控制变量来加以监控。

如图 8.27 所示,控制图并非总是控制给定过程要素的最佳方法。事实上,控制图很少作为选定的方法。当过程要素很重要时,理想情况是这些元素根本不发生变化!仅当这种理想情况出于经济考虑不可能实现时,工程师才求助于控制图的应用以监控这些元素的变化。控制图被认为是最后采取的控制机制。在过程完全受控的情况下,仅当所监控的要素是可度量的且“看上去”随机变化时,控制图才是有用的。如果一切良好时,检查结果总是出现“10”,那么,对于控制图来说,这个过程要素不是一个好要素。若检查结果为“10”或“12”,而没有其他的检测结果,那么,也不是一个好要素。理想情况是,用变量控制图所控制的观测量能够取得任意的数值,也就是说,数据是连续的。如果数据不是过于离散,那么,可以应用离散观测数据;实际上,现实世界的的数据都具有一定的离散性。作为一条基本原则,数据集中应该至少出现 10 个不同的数值,而且没有一个值包含 20% 以上的数据集。应当使用数据列表或简单地按时间序列绘制各点的方法,来控制对 SPC 过于离散的观测数据。

当然,上面的讨论适用于观测数据。计数控制图可用于控制离散计数的过程要素。

任何过程控制方案都必须包括过程出现问题时采取措施的指南。当控制图用于过程控制时,这一点尤其重要。与审核、设置标准这样的过程控制程序不同,控制图显示过程存在问题,而过程出现了什么问题并不是很明显。对变差特殊原因的调查通常涉及许多预先确定的措施(例如:检查设备或者是检查切割工具),如果这些项目检查不能揭露问题的本质,那么,还要通知有关人员。应该证实计算的精确性,证实控制图上的各点绘制在正确的位置。

读者可能已经注意到图 8.27 包括过程控制方案的内容“结果分类”。对结果进行分类意味着过程不能满足顾客的要求,由过程能力研究和戴明的“全部还是没有”规则来确定。然而,即使进行分类,SPC 仍旧是可取的。SPC 有助于确保过程没有变得更糟糕。同样,SPC 有助于揭示很容易被忽略掉的过程改进。对过程进行改进的结果可能使得过程不再需要分类。

控制图选择

如果处理得当,为某个数据集选择合适的控制图将是一件简单的事情。图 8.28 给出了选择控制图的方法。

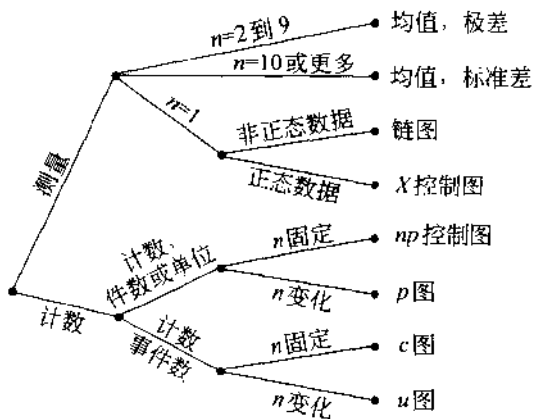


图 8.28 控制图选择的决策树

为了应用这棵决策树,从最左边的节点开始,确定数据是测量的数据还是计数的数据。如果是测量的数据,那么选择基于子组容量的控制图。如果数据是计数的,那么确定这些计数值是事件数还是件数。做此决定时,检查过程均值的公式会有所帮助。如果分子和分母有相同的单位,那么使用 p 图或 np 图。如果有不同的度量单位,那么使用 c 图或 u 图。例如:如果均值是每月的事件数,那么需要用 c 图或 u 图,因为分子以事件为单位,而分母的单位是时间。

合理的子组抽样

所有控制图的基础是合理子组。合理子组由在本质相同的条件下产生的个体组成。单独计算每个子组统计量,例如,平均值和极差,然后绘制在控制图上。可能的情况下,使用连续生成的个体形成合理子组。每个子组的统计量都要与控制界限进行比较,分析子组之间的变差模式。注意,这种方法与用于枚举统计方法的随机抽样方法之间的差异。

当用 \bar{x} 图即单值控制图处理问题时,合理子组的思想就变得含糊了。当“子组”是一个单独的观测值时,读者可能会对子组的含义感到疑惑。各种类型控制图的基本思想是识别过程能力。而完成这一基本思想的机制是认真建立上面定义的合理子组。可能的情况下,使用连续生成的个体形成合理子组。过程变异的度量,不论是子组标准差还是子组极差,都是均值控制界限的基础。从概念上来看,这类似于基于短期变差的控制界限。随着时间的推移,这些控制界限用于控制变差。

至于可能性,对于单个观测值的情况,通过应用成对的连续观测值形成的类似子组,形成构造单个观测值控制界限的基础。这些“容量为 2 的子组”用于计算极差。而极差用于计算单个观测值的控制界限。

控制图的解释

控制图对术语“特殊原因”提供了具有可操作性的定义。特殊原因导致观测值超出控制界限。然而,单纯使用控制图并不能对引起特殊原因的情况进行处理。控制图是过程运作业绩的纪录,同样,它们包含了大量有关可能采取的改进措施的信息。这里提到了一些指导方针,控制图的解释是一门艺术,通过观察大量的控制图,探查控制图的各种模式以识别工作中的潜在系统原因,以不断提高解释控制图的技巧。

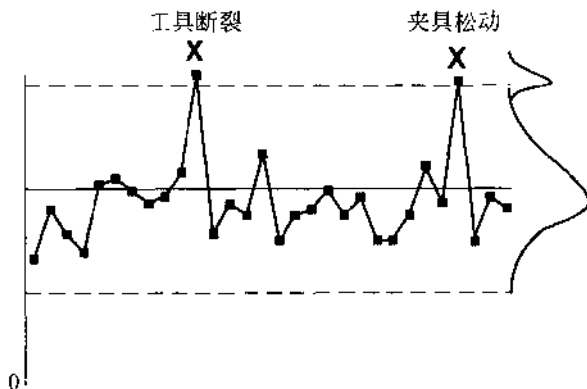


图 8.29 控制图模式:异常

异常模式是经典的特殊原因情况。异常是由不经常出现但是有较大影响的原因引起的。当调查异常值时,察看因果图以寻找满足这些标准的项目。识别异常原因的关键是收集和记录数据的适时性。如果遇到困难,应该提高抽样频率。

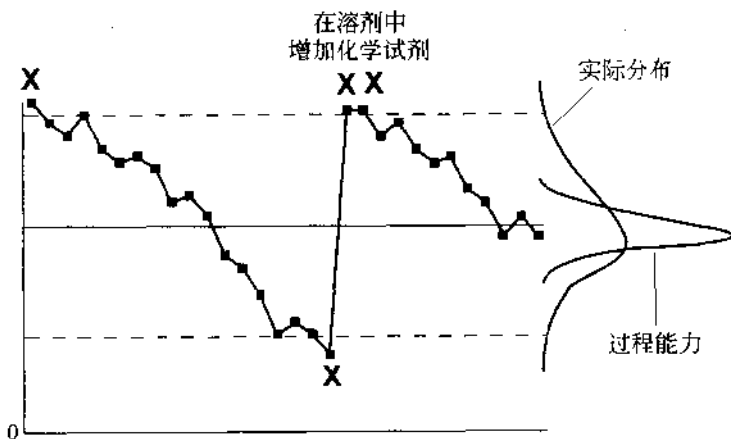


图 8.30 控制图模式:漂移

漂移一般出现在这样的过程中:当前的过程值部分取决于前期的过程状态。例如,如果过程是一个电镀槽,容器的容量不能够迅速变化,而是逐渐地、缓慢地变化。另一个常见的例子是用工具加工陶瓷,工具的尺寸与前一个陶瓷的尺寸有关。一旦找到漂移的原因,就可以采取适当的措施。只要经济上是可行的,漂移就应该消除。例如,为电镀槽安装一个自动的化学试剂调配器,或是对用工具加工的陶瓷进行自动补偿性调整。注意:当有漂移存在时,过程的总变异性增加,成本也将增加。当消除漂移在经济上不可行时,调整控制图的方式如下:

1. 使中心线和控制界限倾斜,并与过程的自然漂移相匹配。控制图将检测对自然漂移的偏离。

2. 绘制出自然漂移与期望漂移的偏差。

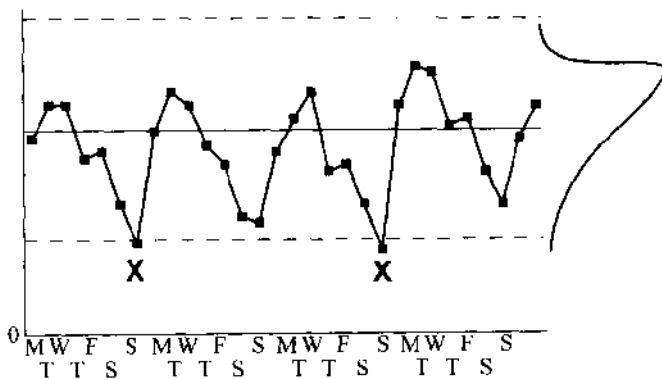


图 8.31 控制图模式:循环

循环的发生通常起因于过程的本质。常见的循环包括每天中的小时,每个星期的天,每年的月,每年的四季,会计循环的周,等等。循环是由于依据固定的时间表来调整过程的输入或者方法所引起的。这个时间表的存在和它对过程的影响可能预先知道,也可能不知道。一旦发现存在循环,就可以采取措施。采取的措施可能是调整控制图,基于一个可变的基数来绘制观测值。例如,对于超载带来的运输误差,如果存在每周中的各天的循环,那么,可以用每 100 批货物计算运输误差来代替每天的运输误差在控制图上打点。另一种方法,可以改变系统消除循环。在系统的输入相对稳定且方法的变动尽可能小的情况下,大多数过程的运作都将更有效。

一个受到控制的过程仅仅显示出“看上去”随机的变化。每次第 n 个项都有所不同的模式说明显然存在着不随机。这种模式有时很细微,很难识别。有时检查平均不合格率是否接近于已知的大量过程流的某个倍数,可能会有所帮助。例如,如果一台机器是有 40 个工位的漏斗,寻找发生在 $1/40, 2/40, 3/40$ 等等时刻的问题。

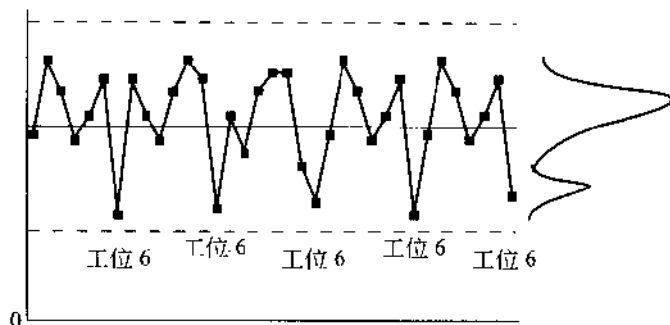


图 8.32 控制图模式:重复的形式

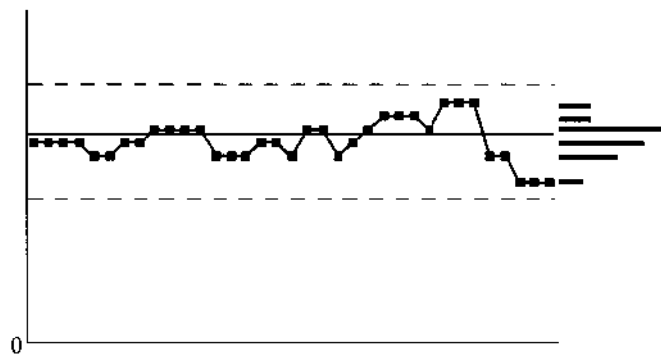


图 8.33 控制图模式:离散数据

当观测数据打点时,假设数据是连续的,也就是说,数据集中有许多不同的数值。而现实世界中,数据不会完全连续。即使这样,通常也没有多大关系,只要有 10 个(仅作举例)或者更多个不同的数据。然而,当仅有几个数据且反复出现时,可能就存在着值得分析的问题。一个常见的问题是 R 图将会低估均值极差,使得均值图和极差图的控制界限过于接近。导致大量的“失控警告”,丧失信心。

这种情况的通常原因是不恰当的计量方法。理想的解决方案是使用高精度的计量工具。有时是因为操作员、检验员或是计算人员四舍五入带来的问题。解决方案是记录额外的小数位。

SPC 的目的是快速了解过程,并最终改进过程。控制图作为了解过程的历史记录,可以供其他人员使用以改进过程。实施改进时,在旧的控制图上会显示出变化,其结果表明过程变异减小。这样的控制图有助于与领导、供应商、顾客和其他关注质量改进的人员交流质量改进的效果。

控制图出现的随机模式说明存在着未知的变差原因,它们与原有的变差不一样。应

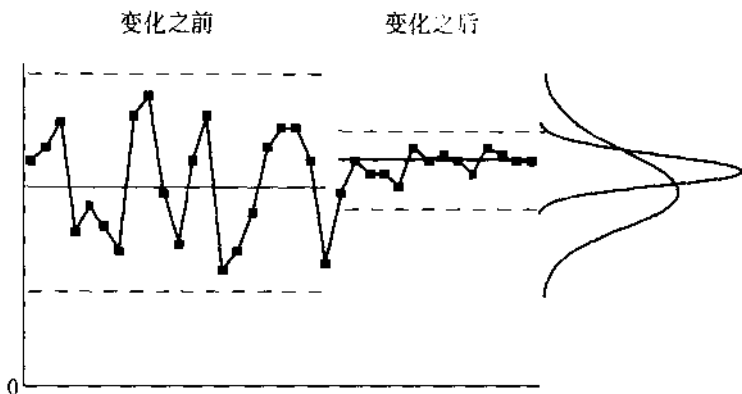


图 8.34 控制图模式:计划变化

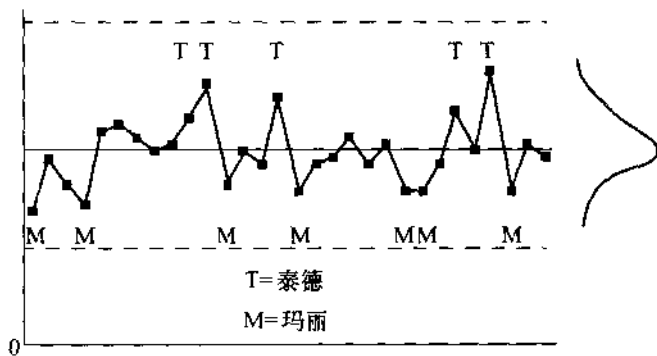


图 8.35 控制图模式:值得怀疑的差异

当不断地进行努力以减少这些常见原因带来的变差,而首先需要识别变差的未知原因。一种方法是对控制图进行回顾性的评价。这可能会涉及到头脑风暴法和因果图,寻找与控制图模式有关的原因。例如,“操作者”是一个值得怀疑的变差原因,从每个操作者得到的数据在控制图上打点,并用记号标出不同的操作者。如果记号显示出存在某种模式,即有证据说明存在着问题。那么,应该调查原因,在可控的条件下进行实验(预期研究)以检验所提出的观点。如果实验表明真的存在因果关系,那么,应当进行适当的过程改进。观察到的关系必须得到相关领域的专家的支持和实验数据的验证;统计关系与因果关系不是一回事。

当来自两个不同的原因系统的数据在一个控制图上打点时,就会出现混合模式。这说明构造合理子组失败。应当识别潜在的差异,并采取改正措施。改正措施的实质是确定如何调整控制图。

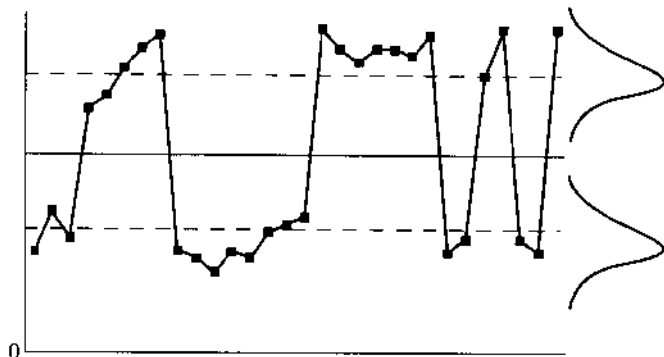


图 8.36 控制图模式:混合

混合模式:例 1 混合代表两个不同的操作员,他们可以更协调地进行工作。使用一张控制图来监控这种新型的、一致的过程。

混合模式:例 2 周六晚上急诊室接到的病历数,与平常一周接到的病历数,带来了混合。在两个不同时间段,分别使用不同的控制图来控制接待病人的负荷。

确定统计控制的规则

链检验 如果过程是稳定的,那么,子组均值的分布近似正态分布;可以对控制图的模式进行分析,以判断是否存在变差的特殊原因。为了进行判断,把正态分布分成区域,每个区域的宽度为一个标准差。图 8.37 给出了稳定过程的每个区域近似的期望百分比。

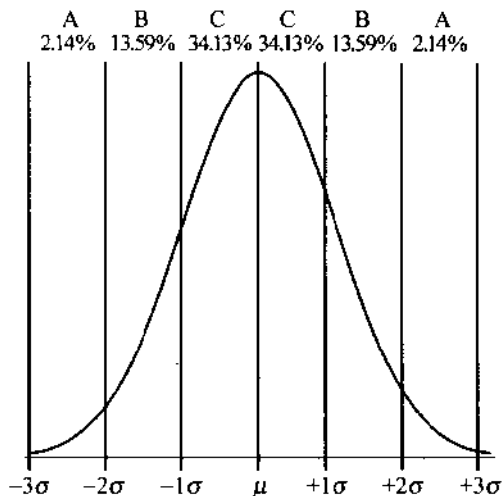


图 8.37 正态分布的百分点

区域 C 是从均值到均值加减一个西格玛的区域;区域 B 是从加减一个西格玛到加减两个西格玛的区域,区域 A 是从加减两个西格玛到加减三个西格玛的区域。当然,任何超过三个西格玛的点(也就是说,落在控制界限外)都是一个失控过程的标志。

由于控制界限是加减三倍标准差,因此,控制图上一个、二个西格玛的线就可以通过简单地将总均值和两条控制界限之间的距离平分成三份来得到,一个、二个西格玛的线可以当作标尺来用。这样就将控制图的每半部分划分成三个区域。这三个区域标为 A, B, C, 如图 8.38 所示。

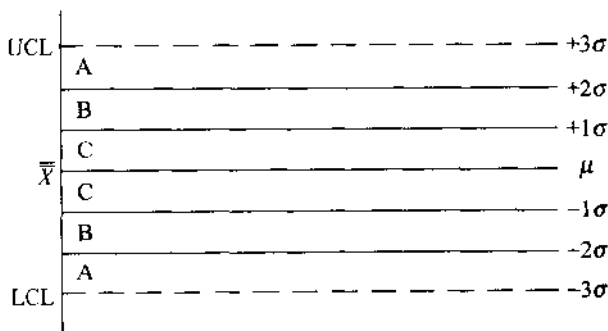


图 8.38 控制图的区域

基于每个区域的期望百分比,可以设计出敏感性链分析,以分析各个区域的变差模式。请注意:非随机模式的存在意味着变差的特殊原因可能出现了。均值图、 np 图和 c 图的链检验如图 8.39 所示。

注意,当点对失控检验作出反映时,给这个点标记“×”,以易于控制图的解释。依据惯例,控制图的模式可用作发现并处理问题的辅助工具。

有害干预的影响和诊断

当对一个处于统计控制状态的过程进行调整时,有害的干预就发生了。对受到控制的过程进行调整,常常会增加过程的变异性,这是非常不希望见到的结果。诊断是否是有害干预的最佳方法是进行过程能力研究,并使用控制图为过程调整提供指引。

戴明对有害干预的影响进行了分析(1986)。通过烟斗击中目标的类比分析,戴明描述了有害干预的四种常见的类型。戴明对“烟斗规则”的描述如下(1986, p. 328):

1. “将烟斗固定好,瞄准目标,不要调整。”
2. “第 k 次落下,落在距离目标为 z_k 的地点(换言之, z_k 是第 k 次落下的误差),移动烟斗的位置,从上一次烟斗的位置移动 $-z_k$ 的距离,记忆 1。”
3. “把烟斗放置在使每次落点都距离日标恰好为 z_k 的位置。不记忆。”

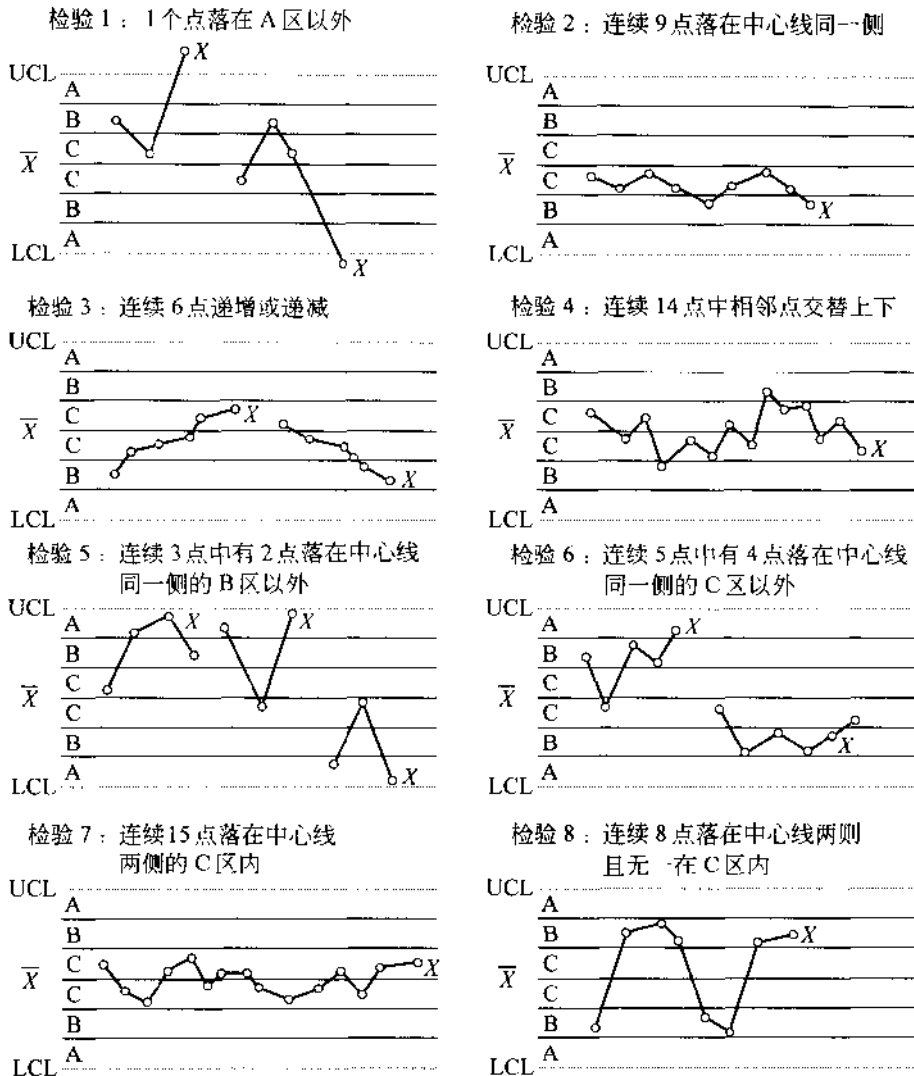


图 8.39 控制图失控模式的检验

资料来源：“The Shewhart Control Chart—Tests for Special Causes”, *Journal of Quality Technology*, 16(4), p238. Copyright © 1986 by Nelson.

4. “把烟斗放置在使每次落点都距离上次落点为 z_2 的位置。不记忆。”

规则 1 是稳态过程的最佳规则。如果遵循这个规则，过程平均值将保持稳态而且方差最小。规则 2 也会产生稳定的输出，但方差是规则 1 的方差的两倍。规则 3 会带来一

个“爆炸性”的系统,也就是说,这种对称模式将导致方差无限制地增加。规则4形成了一种模式:稳定地远离目标,且不受限制。

乍看起来,可能会对这些显然的理论原则恰当与否表示怀疑。然而,经过仔细地考虑,会发现许多应用这些规则的实际情况。

规则1是一种理想的情况,是对应用控制图来指导决策的近似。如果只在特殊原因出现并被识别的情况下进行过程调整,那么,与规则1的模式相似的情况就会出现。

规则2是很多人直觉上的要求。经常会在诸如计量器的校准(检查一次标准,然后相应地调整计量器)或是一些自动装备(使用自动计量器,对生产特性进行检查,然后做补偿性调整)中遇到。由于系统产生稳定的结果,所以这种情况往往被忽略。然而,正如田口(Taguchi)所指出的,方差的增加会带来低质量、高成本。

导致规则3的基本原理如下:“进行度量发现比期望的目标高10个单位。而导致这一情况的原因是所设置的过程高了10个单位。我们希望平均值与目标值相等。为了达到这个要求,必须使得接下来的部分比目标值低10个单位。”这个规则可能被用于准备化学溶液。表面上似乎是合理的,但这种方法的结果可能是猛烈的振荡系统。

规则4的一个常见实例就是“培训培训者”的方法。一位教师花费较短的时间培训了一批“专家”,然后这些专家再去培训其他人,进而获得培训的人员再去培训其他人,等等。一个例子是在职培训。另一个是应用过去工作中的片段来制定计划。还有就是计量器校准系统,使用标准来制定其他的标准,而这里其他的标准再用于制定其他的标准,等等。最终的结果与理想的差距取决于深化计划所进行的层次。

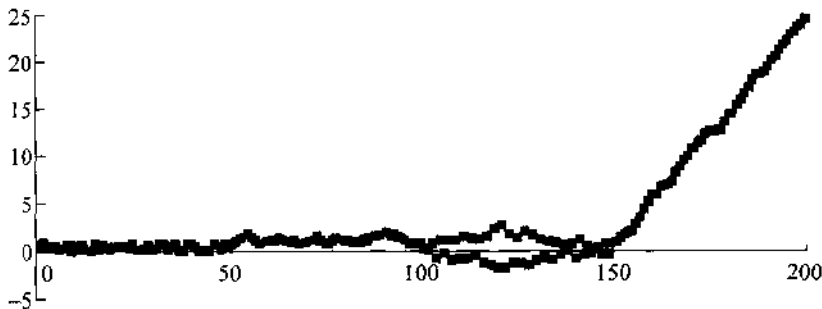


图 8.40 烟斗规则的模拟结果

8.3.2 预控制

预控制最初是由 Dorian Shainin 在 20 世纪 50 年代提出的。按照 Shainin 的提法,预控制是基于容差来控制过程的简单运算法则。假定过程正在生产一种产品,该产品具有可度量的、可调整的、服从某种分布的质量特性。对于分布的峰度和稳定性没有做任何假

设。在容差界限内设定警戒区域。采集单个观测值的连续样本,直到一行中在两个落在警戒区域之前,五个都落在中心区域,那么过程是合格的。为了简化预控制图的应用,通常将预控制图用不同的彩色作为编码。在这样一张图上,中心区域是绿色的,警戒区域是黄色的,容差范围以外的区域是红色的。预控制并不等于 SPC。SPC 是为了识别变差的特殊原因而设计的;预控制对已知有能力满足容差要求、而且肯定能满足的过程进行控制。SPC 和过程能力分析通常在进行预控制之前使用。^①

一旦过程是合格的,就可以采用周期采样的方法进行控制。每次包括两个观测值(将这对值称作 A, B)。如果 A 和 B 都落在警戒区域内,那么就采取行动。每次采取行动之后,必须对过程再次检验合格。

设计预控制

图 8.41 给出了双侧容差的(也就是说,既有下规范限,又有上规范限的容差)的预控制区域。

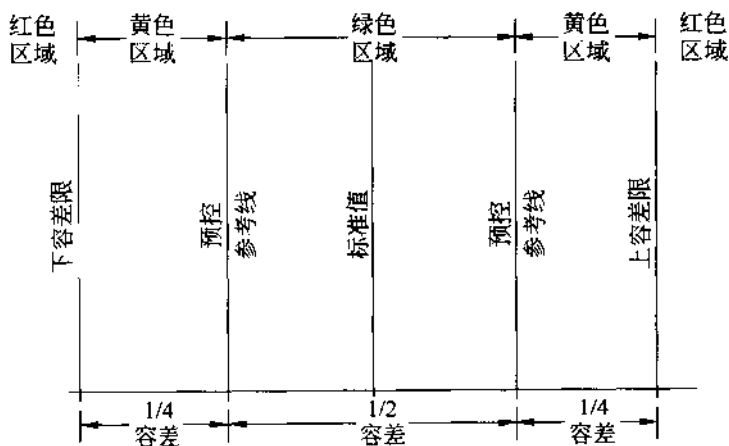


图 8.41 预控制区域(双侧容差)

图 8.42 给出了单侧容差的(也就是说,仅有下规范限,或是仅有上规范限的容差)的预控制区域。这样的情况例如:均匀性、集中性、弯曲度和其他各种指示器读数所具备的类型特点。

图 8.43 给出了具有最小或最大规范界限的特征的预控制区域。这样的情况,例如:张力、污染程度等等。这种情况下,把参考线设置在从容差界限到过程过去生产的最佳样本之间的距离的 $1/4$ 处。

^① 围绕预控制的应用存在许多争论。然而,由于争论涉及到复杂的统计问题,故这里未加以评论。读者需牢记,预控制不应当被看作为 SPC 的替代品。

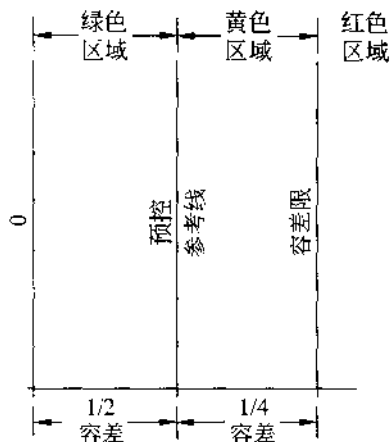


图 8.42 预控制区域(单侧容差)

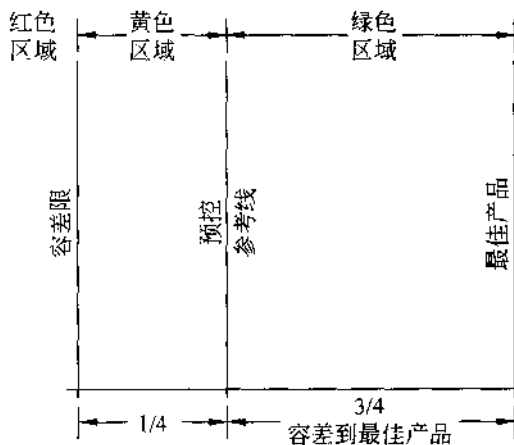


图 8.43 预控制区域(最小/最大规范)

应用预控制

第一步是设定条件。测量每件产品，直到一行中五个落在绿色区域。如果遇到一个落在黄色区域，那么重新开始计数。如果同一行中两个落在黄色区域或者出现落在红色区域的情况，那么，应当对过程进行调整，并且重新开始计数。这一步是有放回的单件检查。

设定条件之后，就进入了下一步运转。周期性地测量两个连续的样本(A,B)。如果这两个都落在同一侧的黄色区域，那么，应该进行调整。如果落在两侧的黄色区域，需要

采取措施减小过程的变异。不论任何一侧落在红色区域,都应当进行调整。若出现两个落在黄色区域的情况,必须立刻进行调整以避免不合格生产。出现落在红色区域的情况,则停止过程,因为不合格生产一直在进行。依照已经制定的程序,分离出所有不合格的产品。

Shainin(1988)建议调整检查的频率,使得在每次过程调整之间平均检查六对 A,B。如式 8.62 所示:

$$\text{两次测量之间的分钟} - \text{两次调整之间的小时} \times 10 \quad (8.62)$$

8.3.3 EWMA 图

自动化制造业的 SPC 技术

很多人错误地认为对于自动生产过程不需要统计学。理由是,既然我们已经测量了生产出来的每件产品,再采用抽样方法就不合适了。只需要在质量特性值没有达到目标时,进行简单的调整。

这种态度说明了对过程与过程的输出之间的关系存在着一种基本认识上的误解,缺乏对过程和测量的内在变异性的评价。事实上,即使拥有每件产品的每个特征的“完整”数据记录,也仅是过程输出的一个样本。从时间的角度来看,过程是面向未来的,而测量得到的记录是面向过去的。除非达到统计控制状态,否则,从过去生产获得的数据不能够用于预测未来过程的变异(参见前面给出的统计控制状态的定义)。而且,没有统计工具,就没有判断统计控制是否存在的坚实基础。

过程控制应该建立在对统计方法理解和正确运用的基础上,其另一个理由是所作出调整的效果离不开这种理解。例如,下列过程调整规则:

测量齿轮轴的直径。如果直径大于正常值,调整过程来减小直径。如果直径小于正常值,调整过程增加直径。

这种方法存在的问题正如前面所描述的戴明“烟斗规则”。这种实施过程控制的方法使得过程变异比统计控制的过程增加了 141%,当然不是过程控制工程师存心如此。问题的根源是没有认识到部分测量结果是来自过程的样本,而且,即使测量提供了关于过程状态的信息,信息也是不完整的。只有通过使用适当的统计方法,信息才能够被提炼、分析和理解。

传统 SPC 技术存在的问题

传统 SPC 技术的一个基本假设是观测值彼此独立。虽然略微违背该假设,SPC 工具并不是非常敏感(Wheeler,1991),但自动制造过程经常会违背上述假定,以至于传统方法不再适用(Alwan 和 Roberts,1989)。通过应用上一章所描述的散点图,可以判断数据

是否满足独立的假设。如果数据不满足独立的假设,那么,代替传统的 SPC 方法,可以考虑使用下面将要描述的方法。

对于这种不标准的 SPC 方法,常见抱怨是该方法通常比传统方法更复杂(Wheeler, 1991)。的确如此。然而,当处理自动制造过程时,分析通常利用计算机来进行。既然分析的复杂性对于操作人员来说完全是不可见的,那么就没什么不同了。当然,如果要求操作人员在所获得结论的基础上采取措施,那么,操作人员就必须了解怎样应用获得的结论。本章要求人们采取行动,本章所介绍的技术使用与传统 SPC 技术相同的方法进行解释。

特殊原因和常见原因控制图

当使用传统 SPC 技术时,规则通常如下:

1. 只要被打点的统计量其变异落在控制界限之间,就不对这个过程进行处理。
2. 如果所打的点超出了控制界限,那么,需要寻找原因。

只要过程保持静态,该方法就能够正常工作。然而,由于存在内在的过程因素,很多自动制造过程的均值经常会发生漂移。换言之,这种漂移是由于常见原因引起的。尽管已经存在一些众所周知的方法可以对过程进行干预实现对漂移的补偿,运用传统方法的人员仍认为:应当采取干预,使控制图显示只存在随机变差。然而,这可能会涉及到额外的成本。盲目地应用过于武断的规则来达到一些抽象的结果,例如稳态控制图,只是一种糟糕的做法。应当考虑所有可供选择的途径。

一条可供选择的途径是:允许过程发生漂移直到干预的成本与脱离目标的成本持平。这条途径可以通过应用“常见原因控制图”来实现。Alwan 和 Roberts(1989)以及 Abraham 和 Whitney(1990)所描述的这种方法涉及到创建过程均值的控制图。然而,与传统 \bar{X} 图不同,这种方法没有控制界限,只有行动界限。行动界限与控制界限在两方面有所不同:

- 行动界限是基于成本计算而不是基于统计理论。
- 由于控制图显示出常见原因带来的变差,对行动界限的背离所导致的不是搜寻特殊原因,而是采取指定的行动,使得过程重新接近目标值。

这样的控制图称为“常见原因控制图”,其原因是:这些过程水平的变化应归因于过程的内在特性。利用指数加权移动平均(EWMA)来跟踪过程均值的变化。虽然 EWMA 控制图比传统的 \bar{X} 图复杂很多,但对于自动化生产,EWMA 控制图有很多优点:

- 当过程存在内在的漂移时,可以应用 EWMA 图。
- EWMA 控制图提供了对下一个过程观测值的预测。允许前馈控制。
- EWMA 模型可用于为动态过程控制设计程序,本节随后将进行描述。

EWMA 常见原因控制图

当处理一个本质上静态的过程时,用总平均值作为每个样本平均值的预测值。另一方面,EWMA 控制图使用实际过程数据来决定可能发生漂移的过程的预测值。如果过程有趋势或循环的成分,那么,EWMA 将反映出这些成分的影响。同样,EWMA 控制图提供了对下一个样本均值的预测;而传统的 \bar{X} 控制图只提供了采样时刻过程的状态。因此,EWMA 控制图可用于提前采取措施,以防止过程偏离目标过远。

如果过程存在内在的非随机成分,那么,应当使用 EWMA 常见原因控制图。这是一个使用经济行动界限代替控制界限的 EWMA 控制图。后面将要给出的 EWMA 控制图可用于监控在行动界限内变化的过程。

计算 EWMA 的公式是:

$$\text{EWMA} = \hat{y}_t + \lambda(y_t - \hat{y}_t) \quad (8.63)$$

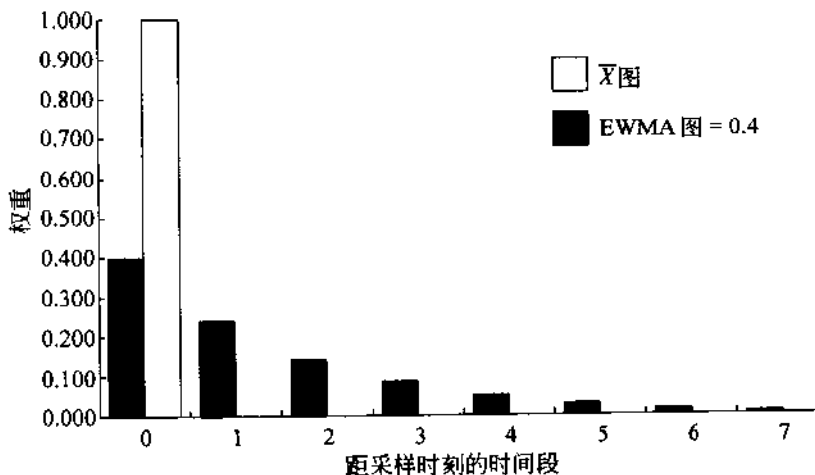
在上式中, \hat{y}_t 是 y 在时刻 t 的预测值, y_t 是时刻 t 的真实值, λ 是介于 0 与 1 之间的常数。如果 λ 接近 1,那么式 8.63 中历史数据的权重会很小;如果 λ 接近 0,那么当前观测值的权重会很小。EWMA 也可以被看作为 $t+1$ 时刻的过程预测值,换句话说, $\text{EWMA} = \hat{y}_{t+1}$ 。

由于大多数人对传统 \bar{X} 图很了解,所以,考虑 \bar{X} 图与 EWMA 图之间的关系对于理解 EWMA 图会很有帮助。有趣的是,我们可以注意到:传统的 \bar{X} 图中当前样本的权重为 100%,而历史数据的权重是 0%,等价于 EWMA 控制图 $\lambda=1$ 的情况。换言之,传统的 \bar{X} 图可以看作为 EWMA 图的一种特例,即认为历史数据都是不重要的(假设链检验不应用于休哈特控制图)。这与数据点彼此独立等价。相反,EWMA 控制图使用所有以前的样本信息。虽然式 8.63 看上去好像只使用了最近数据点的结果,实际上,EWMA 加权方案对每个样本结果的权重随着时间的推移逐步减少。图 8.44 比较了 EWMA 与 \bar{X} 图的权重方案。

随着 λ 向 0 趋近,EWMA 控制图开始表现的像一张 CUSUM 控制图。CUSUM 控制图所有过去的点都有相同的权重。EWMA 对历史数据的权重介于这两个极端之间,即介于传统的休哈特控制图和 CUSUM 控制图之间。对于待控制的过程,通过改变 λ 值,可以调整 EWMA 控制图的表现。

除了权重之外,EWMA 控制图与 \bar{X} 图之间还存在着其他的区别。来自 \bar{X} 图的预测通常是相同的:下一个数据点将等于历史数据的总平均。换句话说, \bar{X} 图认为所有的数据点都来自于中心趋势不变的过程(暗示了所有预测值都是总平均值)。^①

^① 并不是说这种情况真的存在。而仅是说, \bar{X} 图处理过程时就像真是如此一样。研究变差的模式经常有助于发现使过程更一致的线索,即使过程的变差始终都落在控制界限内。

图 8.44 \bar{X} 与 EWMA 的权重

应用 \bar{X} 图时, 采样间隔保持常数并不是本质问题。毕竟, 假设过程行为是静态的。然而, EWMA 图的设计是为了说明过程漂移, 因此, 应用 EWMA 图时, 采样间隔应当保持常数。在自动化生产中, 这通常不成问题。

示例

Krishnamoorthi(1991)描述了一个生产绿色沙地模子的模子线, 生产频率是每分钟一个。这种模子用于浇铸大型发动机的气缸模具。对这个过程应用 SPC 发现过程存在一个可查明原因, 无法从过程中消除。模子沙可以部分循环利用, 模子沙的温度升高或降低取决于被生产的模具的尺寸和生产线上模具的数量。沙子温度是很重要的, 因为它影响到紧凑性能百分比, 这是一个重要的参数。若没有沙子自动冷却器, 沙子的温度是很难控制的, 而沙子自动冷却器被认为是不经济的。然而, 通过改变加到沙中的水的数量, 可以忽略掉沙子温度对紧凑性能百分比的影响, 这个前馈控制是切实可行的。

虽然作者没有指出 EWMA 控制图可用于该过程, 但是这的确是 EWMA 常见原因控制图的一个极好的应用。无论沙子温度的真实水平如何, 只要这个温度是已知的就可以。沙子的温度趋于循环漂移, 因为加热沙子的数量依赖于铸件的尺寸和正在进行生产的铸件数量。传统的控制图会显示沙子的温度失控, 这一点我们已经知道了。而真正需要的是预测下一个检测时刻沙子温度的方法, 于是, 操作人员可以添加适量的水使得沙子紧凑性能百分比的影响达到最小。这样对于紧凑性能百分比, 就得到了处于控制状态的控制图, 这是真正有价值的。

表 8.10 中的数据给出了 EWMA 对沙子温度数据的计算结果。应用 Windows 的

Microsoft Excel 的电子表格, 计算最优 λ 值, 这个值提供了在最小误差平方和意义上的“最佳匹配”值, 该值接近 0.9。图 8.45 给出了原始温度数据和 EWMA 常见原因控制图。EWMA 就是下一个检测时刻沙子温度的预测值。根据这个预测值, 操作人员调整水的比例。

表 8.10 沙子温度的 EWMA 图数据

沙子温度	EWMA	误差
125	125.00 ^①	0.00
123	125.00	-2.00 ^②
118	123.20 ^③	-5.20
116	118.52	-2.52
108	116.25	-8.25
112	108.83	3.17
101	111.68	-10.68
100	102.07	-2.07
98	100.21	-2.21
102	98.22	3.78
111	101.62	9.38
107	110.6	-3.06
112	107.31	4.69
112	111.53	0.47
122	111.95	10.05
140	121.00	19.00
125	138.10	-13.10
130	126.31	3.69
136	129.63	6.37
130	135.36	-5.36
112	130.54	-18.54
115	113.85	1.15
100	114.89	-14.89
113	101.49	11.51
111	111.85	-0.85
128	111.08	16.92
122	126.31	-4.31

续表

沙子温度	EWMA	误差
142	122.43	19.57
134	140.64	-6.04
130	134.60	-4.60
131	130.46	0.54
104	130.95	-26.95
84	106.69	-22.69
86	86.27	-0.27
99	86.03	12.97
90	97.70	-7.70
91	90.77	0.23
90	90.98	-0.98
101	90.10	10.90

① EWMA 的初值要么是目标值, 如果没有目标值, 取第一个观测值。

② 误差 = 实际观测值 - EWMA。例如, $-2 = 123 - 125$ 。

③ 除了第一个样本, 所有的 EWMA 都这样计算, $EWMA = \text{前一个 EWMA} + \lambda \times \text{误差}$ 。例如, $123.2 = 125 + 0.9 \times (-0.2)$ 。

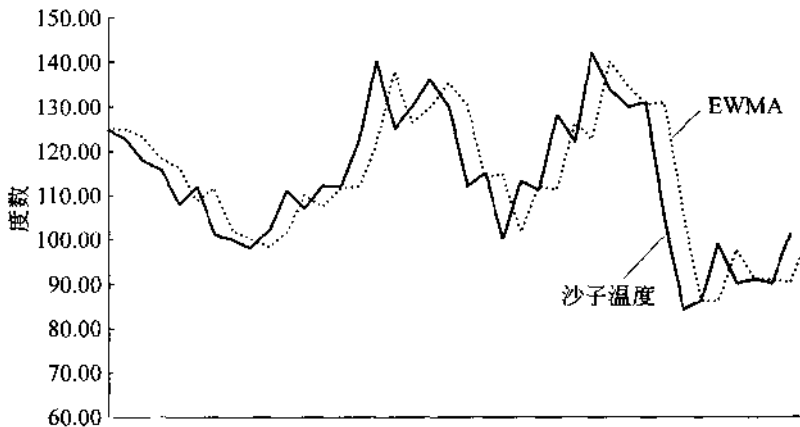


图 8.45 沙子温度的 EWMA 图

EWMA 控制图

虽然如上例所示,在 EWMA 控制图上绘制控制界限并不总是必要的,但是,当情况需要时,也可以在 EWMA 控制图上绘制控制界限。EWMA 控制图的三西格玛控制界限是基于下列公式得到的

$$\sigma_{EWMA}^2 = \sigma^2 \left[\frac{\lambda}{(2-\lambda)} \right] \quad (8.64)$$

对于上述沙子温度的示例, $\lambda=0.9$,可以得到

$$\sigma_{EWMA}^2 = \sigma^2 \left[\frac{0.9}{(2-0.9)} \right] = 0.82\sigma^2$$

σ^2 是利用所有数据估计得到的。对于沙子温度的数据, $\sigma=15.37$,所以 $\sigma_{EWMA} = 15.37 \times \sqrt{0.82} = 13.92$ 。EWMA 图的 3σ 控制界限设置在总均值加减 41.75 处。图 8.46 给出了这些数据的控制图。EWMA 线必须处于控制界限之内。由于 EWMA 说明了过程中心线的“正常漂移”,超出控制界限的偏离意味着是可查明原因而不是正常漂移带来的偏离。另外,既然温度变化的影响可以通过调整加水的比例得到改善,那么,EWMA 控制图不是一定需要的。

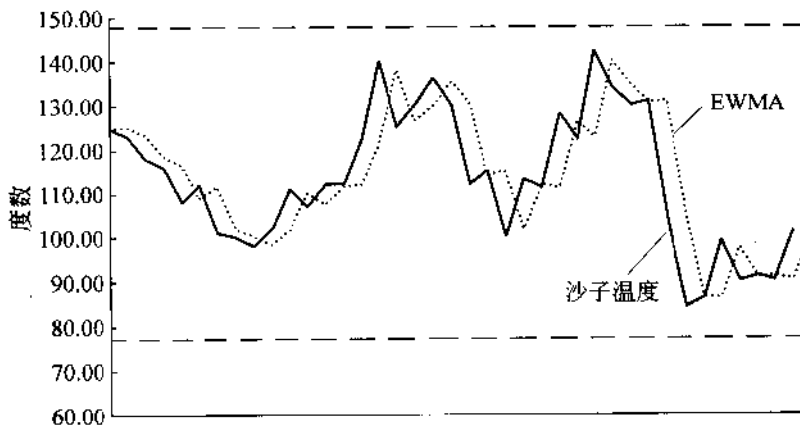


图 8.46 沙子温度的 EWMA 控制图

选择 λ 值

λ 的选择是一项颇具艺术性的工作。接近 0 的 λ 值表现得更为“平滑”,为历史数据赋予了较高的权重,而接近 1 的 λ 值则为当前的数据赋予了更高的权重。多数文章推荐使用介于 0.2 和 0.3 之间的 λ 值。 λ 在这个范围内取值,其理由可能是基于 EWMA 技术在经济领域的应用,在经济领域 EWMA 方法得到了广泛的应用。尽管 EWMA 技术的应

用发展迅速,但是在工业领域的应用还不普遍。

Hunter(1989)提出了一个 $\lambda=0.4$ 的EWMA控制图方案。该 λ 值提供的控制图所具有的统计特性与传统的 \bar{X} 图相似,该 \bar{X} 图考虑了《AT&T统计质量控制手册》(常被称作西部电气规则)中所描述的链检验。同时,它还具有另一个优点,所提供的控制界限恰好等于传统 \bar{X} 控制图控制界限的一半。因此,为了计算 $\lambda=0.4$ 时EWMA控制图的控制界限,需要计算传统的 \bar{X} 图(或 X 图)的控制界限,并将上下控制界限之间的距离除以2。EWMA应处于控制界限内。

如上面所谈到的, λ 的最优值可以使用电子表格软件来得到。改变 λ 值以寻求使误差平方和最小的 λ 值。如果电子表格不能自动找到最小值,那么可能需要手工处理,改变 λ 值,或是设定 λ 值的范围,观察误差平方和这个单元格中数据的变化。对应于不同 λ 值的误差平方和构成的图形,能指示出最优 λ 值的位置。

特殊原因控制图

不论是使用不带控制界限的EWMA常见原因图还是使用EWMA控制图,应用控制图来跟踪预测误差的轨迹都是好想法。特殊原因图是一张传统的 X 图,是利用EWMA预测值与实际观测值之间的差值建立起来的 X 图。图8.47给出了上面分析的沙子温度数据的特殊原因图。

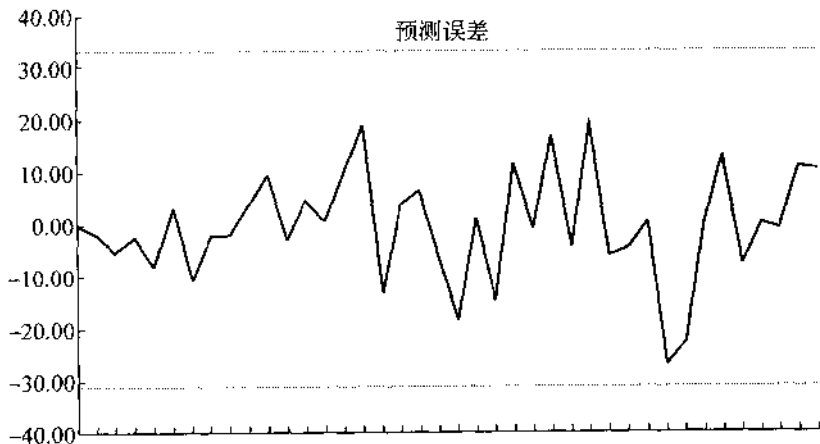


图 8.47 EWMA 误差的特殊原因控制图

SPC 和自动过程控制

随着SPC的广泛普及,SPC已经应用于越来越多的过程。当这种发展趋势涉及到自动生产过程时,SPC受到了过程控制工程师们的阻挠,因为他们正在运用不同的方法,并且相

当成功(Palm,1990)。SPC的倡导者们试图把传统SPC技术用作过程控制的反馈机制。这种对SPC的不当应用受到了来自过程控制工程师们的指责。SPC是为了与自动过程控制(APC)根本不同的目的而设计的。SPC的倡导者们明确指出:APC并不是包治百病的灵丹妙药,许多过程控制者们基于统计上无效的数据分析而作出调整,增加了过程的变差。

不论是SPC还是APC在质量改进中都有自己恰当的位置。APC试图动态控制一个过程,以使得围绕某个目标值的变差最小化。这里需要有效统计分析,涉及到统计学领域。SPC在变差的常见原因与特殊原因之间作出了区分。APC对所有的变化都做出反应,好像如果不这样就会错过通过消除变化的根源来减小变差的机会。一个不经过调整就在目标值附近运作的过程所产生的总变差,比通过APC不断地把过程拉回目标值的过程总变差要小得多。然而,有时APC必须对那些不能够很轻易消除的常见原因的变差作出反映,例如上文描述的模式过程。适当地应用APC可以大大地减少输出的变异性。

J. S. Hunter(1986)给出了一个与常用的PID控制公式等价的统计公式。PID公式如下:

$$u(t) = Ke(t) + \frac{K}{T_1} \int_0^t e(s) ds + KT_D \left(\frac{de}{dt} \right) \quad (8.65)$$

“PID”这个标志来自于三个术语的缩写:第一个是比例(proportional),第二个是积分(integral),第三个是导数(derivative)。Hunter对EWMA的基本公式进行调整,增加了两项,得到经验控制公式:

$$\hat{y}_{t+1} = \hat{y}_t + \lambda e_t + \lambda_2 \sum e_t + \lambda_3 \nabla e_t \quad (8.66)$$

项 ∇e_t 表示误差 e_t 的一阶差分,例如: $\nabla e_t = e_t - e_{t-1}$ 。与PID公式一样,经验控制公式也有比率、积分和微分。它可以通过APC加以运用,或把结果绘制在一张常见原因控制图上,由操作人员对其做出反应,就像上面描述的那样。可以构造一张特殊原因控制图以跟踪经验控制公式的预测误差。这种方法有助于使SPC和APC一起用于过程改进。

8.3.4 过程能力分析

过程能力分析是一个两阶段的过程,它包括:

1. 在相当长的时间内,使过程处于统计控制状态。
2. 把长期的过程性能与管理或工程的要求进行比较。

当且仅当过程处于统计控制状态,而且已经持续了相当一段时间时^①,可以用属性数据或连续数据来进行过程性能分析。

对于未处于统计控制状态的过程,应用过程能力方法会带来对过程能力不可靠的估计,因此是永远不能被接受的。

^① 偶尔由已知原因带来的异常值通常可以被忽略。

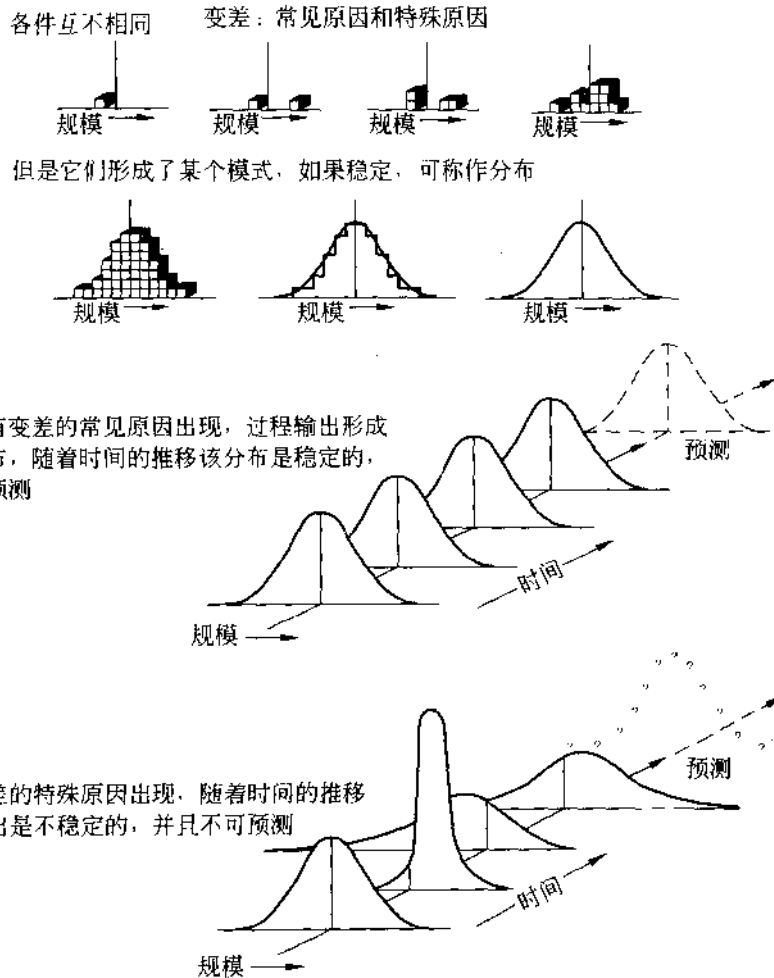


图 8.48 过程控制概念的图示

资料来源：Continuing Process Control and Process Capability Improvement, p. 4a.
Copyright 1983 by Ford Motor Company.

如何进行过程能力研究

本节将提出逐步进行过程能力分析的方法(Pyzdek, 1985)。该方法将多次涉及到本书介绍过的内容。

1. 选择一个研究对象——这一步应该加以制度化。组织的目标是进行过程改进。然而，因为公司的资源有限，不能同时解决遇到的所有问题，必须根据这些问题的影响设



定优先级。设置优先级的工具包括帕累托分析和鱼骨图。

2. 定义过程——落入解决错误问题的陷阱是很容易的。一旦研究对象在第一步被选中, 研究范围就确定下来。过程是设备、工具、方法和带来附加值的人员的混合, 它们可以提供产品和服务。在该阶段应该确定过程的每个要素。这不是一项微不足道的练习。可能需要很多人力的投入。很可能对于过程实际包含的内容会存在一系列相互矛盾的观点。

3. 获得研究所需资源——过程能力研究破坏了正常的操作, 需要物力和人力资源的巨大支出。这是一个非常重要的项目, 应当进行管理, 所有常用的项目管理的技术都可以应用, 包括计划、进度安排和管理状况报告。

4. 评价测量体系——应用第 6 章介绍的技术, 评价测量体系达到要求的能力。并且, 在进入下一步之前, 准备花费必要的时间来取得对测量体系的正确认识。

5. 编制控制计划——控制计划的目标是双重的: (1) 隔离和控制尽可能多的重要变量; (2) 对于不能够完全控制的变量, 提供跟踪变量的机制。能力分析的目的在于: 如果过程按照设计的运作方式进行, 确定过程能做什么。这意味着: 在进行研究时, 潜在变差的明显来源, 如操作者和供应商, 应该受到控制。换言之, 使用受过良好培训的操作者, 使用来自一个供应商的原材料。

通常有许多重要变量, 但是它们不可控, 例如温度、大气压力或湿度等周边的环境。某些过程变量可以退化为正常操作的一部分, 例如, 工具磨损和化学药品耗尽。这些变量应当使用对数表或相似的工具来跟踪。参见第 1 章中的信息系统要求。

6. 选择分析方法——SPC 方法依赖于在该处所制定的决策。如果性能测量的是一个属性, 可以使用某种属性控制图。计量控制图用于连续刻度上所得到的过程性能的测量。同样, 还要考虑所涉及人员的技术水平和敏感性的需要, 以及为了收集、记录和分析数据所需要的其他资源。

7. 收集和分析数据——应当使用本章介绍的某种控制图, 并结合常识。通常建议: 至少有两个人来检查数据分析, 以捕捉数据录入中疏忽造成的错误。

8. 查找特殊原因并加以消除——变差的特殊原因可能很明显, 也可能需要几个月时间进行调查以发现它。特殊原因的影响可能好也可能坏。消除带来坏影响的特殊原因通常就要消除掉这个因素自身。例如, 若没有经过良好培训的操作员导致了变异性, 这个特殊原因就是培训系统(而不是操作员), 可以通过改善培训系统或者改进过程使得该过程需要的培训很有效, 从而彻底消除特殊原因。然而, 对带来有益影响的特殊原因, 消除往往意味着将这个特殊原因合并到正常的操作程序中。例如, 若发现拥有某种化学成分的原材料生产出更好的产品, 那么, 特殊原因就是新发现的原材料, 可以通过改变规范来确保始终使用这种新的化学成分, 特殊原因转化为常见原因。

9. 估计过程能力——有一点怎么强调也不过分: 除非过程处于统计控制状态, 否则,

无法估计过程能力！只有达到过程处于统计控制状态这一阶段，本章后面将要介绍的方法才可以应用。当得到过程能力的数字估计以后，将它与该过程的管理目标进行对比，或是作为经济模型的输入。戴明的完全无效果或无反应规则提供了一个简单的模型，该模型可用于确定是否过程的输出应当100%分层。

10. 建立连续过程改进计划——一旦得到稳定的过程状态，就要保持该状态，并在此基础上进行改进。SPC是达到这一状态的一种方法。而比所采取的途径更重要的是公司环境，即促使公司的每个员工都把连续改进作为日常工作中一个正常的工作内容的环境。

过程能力数据的统计分析

本节给出了分析从过程能力研究中所获得数据的几种方法。

控制图法：属性数据

1. 从25或更多个连续生产的个体组成的子组中，收集样本。遵循上面提出的第1~10条方针。

2. 在适当的控制图上(例如，c图)绘制结果。如果所有的子组都处于统计控制状态，跳到第三步。否则，识别变差的特殊原因，并且采取行动将其消除。注意，特殊原因可能是有益的。有益行为的所谓“消除”是指：把特殊原因转变为在所有的时刻都要进行的活动。特殊原因之所以“特殊”，是因为特殊原因的出现和消失，而不是因为特殊原因的影响是好还是坏。

3. 应用从前面步骤得到的控制界限(称作运作控制界限)，将控制图应用于一段时间上。一旦满意地发现，如控制图所证实的，已经经过了足够长的时间来识别并消除大多数特殊原因，进入第四步。

4. 利用控制图的中心线，来估计过程能力。属性控制图上的中心线是过程的长期期望质量水平，例如平均不合格率。这个水平是由变差的常见原因决定的。

如果过程能力不能满足管理需求，应该立即采取行动把这个过程调整得更好。“解决问题”(例如，研究每个次品)没有什么帮助，而且可能导致干预。无论过程是否符合要求，都应关注可能的过程改进。控制图为过程改进提供了依据。

控制图法：计量数据

1. 从25或更多个连续生产的个体组成的子组中，收集样本。遵循上面提出的第1~10条方针。

2. 在适当的控制图上(例如， \bar{X} 图和R图)绘制结果。如果所有的子组都处于统计控制状态，跳到第三步。否则，识别变差的特殊原因，并且采取行动将其消除。

3. 应用从前面步骤得到的控制界限(称作运作控制界限)，将控制图应用于一段时间上。一旦满意地发现，如控制图所证实的，已经经过了足够长的时间来识别并消除大多数特殊原因，下面描述的方法可用于估计过程能力。

过程能力利用过程平均值和标准差进行估计,标准差是在平均极差或平均标准差的基础上计算出来的。当实现统计控制状态时,过程能力是过程变差的常见原因所形成的水平。估计过程标准差的公式是:

R 图方法:

$$\hat{\sigma} = \bar{R}/d_2 \quad (8.67)$$

s 图方法:

$$\hat{\sigma} = \bar{s}/c_4 \quad (8.68)$$

d_2 和 c_4 是常数,参见附录中的表 11。

过程能力指数

只有到了这个时候,才可以进行过程与工程要求的比较。一种方法是计算“能力指数”,表 8.11 给出了几种常见的能力指数。

表 8.11 过程能力分析

$C_p = \frac{\text{工程容差}}{6\sigma}$	(8.69)
$C_R = 100 \times \frac{6\hat{\sigma}}{\text{工程容差}}$	(8.70)
$C_M = \frac{\text{工程容差}}{8\sigma}$	(8.71)
$Z_U = \frac{\text{上规范限} - \bar{X}}{\sigma}$	(8.72)
$Z_L = \frac{\bar{X} - \text{下规范限}}{\sigma}$	(8.73)
$Z_{\min} = \min\{Z_L, Z_U\}$	(8.74)
$C_{PK} = \frac{Z_{\min}}{3}$	(8.75)
$C_{pm} = \frac{C_p}{\sqrt{1 + \frac{(\mu - T)^2}{\sigma^2}}}$	(8.76)

能力指数的解释

应用过程能力指数的最大缺点可能就是:采取的分析步骤脱离数据。这可能会带来分析人员忽略掉能力分析的根本目的的危险。能力分析的目的是为了改进质量。在一定范围内,能力指数有助于实现这个目标,是值得的。如果它们脱离了分析目标,则是有害的。在解释能力指数时,质量工程师应该不断参考这一原则。

C_p ——这是最初使用的一个能力指数。用 6σ 来计算过程的“固有容差”。该指数就过程的固有容差与工程要求直接进行比较。假设过程分布是正态分布,过程均值恰好是工程要求的中心, C_p 为 1 表示过程是“有能力的过程”。然而,有时允许一定程度的过程漂移,故通常期望的最小 C_p 为 1.33。一般来说, C_p 值越大越好。

C_p 指数有两个主要的缺点:第一,只有在上规范限和下规范限都存在的情况下,才能够使用;第二,它不能说明过程的中心位置。如果过程的平均值不是恰好等于工程要求的中心,那么,这个 C_p 指数会带来误导。近年来, C_p 指数很大程度上已经被 C_{PK} (参见下面的介绍)取代。

C_R —— C_R 指数与 C_p 指数等价。该指数就过程的固有容差与工程要求直接进行比较。假设过程分布是正态分布,过程均值恰好是工程要求的中心, C_R 指数为 100% 表示过程是“有能力的过程”。然而,有时允许一定程度的过程漂移,故通常期望的最大 C_R 为 75%。一般来说, C_R 值越小越好。 C_R 指数具有着与 C_p 指数相同的缺点。

C_M —— C_M 指数通常用于对设备能力研究进行评价,而不是全部过程能力的研究。由于当过程变差的一些其他来源加入时(例如:加工、工作夹具、原材料等等),变差是要增加的,所以, C_M 使用 8σ 散布情况而不是 6σ 的散布来表示过程的固有容差。

Z_U —— Z_U 指数度量了相对于标准差和上规范限的过程位置(集中趋势)。如果过程分布是正态分布,那么,通过使用附录的表 2, Z_U 值可用于确定超出需求上限的百分比。该方法与应用 Z 统计量的式 8.20 和 8.21 所描述的是一样,仅是使用 Z_U 代替了 Z 。

总的来说, Z_U 值越大越好。至少要求 Z_U 值为 +3,以确保生产出的不合格品率小于等于 0.1%。有时允许一定程度的过程漂移,故通常期望 Z_U 值为 +4。

Z_L —— Z_L 指数度量了相对于标准差和下规范限的过程位置(集中趋势)。如果过程分布是正态分布,那么,通过使用附录的表 2, Z_L 值可用于确定超出需求下线的百分比。该方法与应用 Z 变换的式 8.20 和 8.21 所描述的是一样,除了用 $-Z_L$ 代替了 Z 。

总的来说, Z_L 值越大越好。至少要求 Z_L 值为 +3,以确保生产出的不合格品率小于等于 0.1%。有时允许一定程度的过程漂移,故通常期望 Z_L 值为 +4。

Z_{\min} —— Z_{\min} 值是 Z_L 或 Z_U 中的最小值。可用来计算 C_{PK} 。

C_{PK} —— C_{PK} 值等于 Z_{\min} 除以 3。既然最小值代表过程最接近的规范界限,那么, C_{PK} 值说明了过程是否真的具有满足要求的能力。要求 C_{PK} 值至少为 +1,达到 1.33 较好。注意 C_{PK} 值与 C_p 值关系密切, C_{PK} 值与 C_p 值的差值代表了调整过程中心可以带来的潜在收益。

C_{pm} —— C_{pm} 值同时度量了相对于目标值 T 的过程散布和过程的中心趋势。如果过程均值等于目标值,那么, C_{pm} 值等于 C_p 值。 C_{pm} 值与 C_p 值的差值代表了调整过程中心可以带来的潜在收益。 C_{pm} 值不同于 C_{PK} 值,因为 C_{pm} 值关注的是规范区域的中心,而 C_{PK} 值是以规范界限为基础的。

使用正态分布变量数据进行能力分析的示例

假设对容量为 5 的子组应用 \bar{X} 和 R 图进行能力分析。假定过程处于统计控制状态，总平均值为 0.99832，平均极差是 0.205。根据 d_2 值的表(附录的表 11)，得到容量为 5 的子组所对应的 d_2 值为 2.326。应用式 8.67，有：

$$\hat{\sigma} = \frac{0.2205}{2.326} = 0.00948$$

在分析过程能力之前，要先明确过程要求。对于该过程，规范下限是 0.980，规范上限是 1.020(1.000±0.020)。利用这些信息，以及过程已经处于统计控制状态的信息，可以计算该过程的能力指数。

$$C_p = \frac{\text{工程容差}}{6\hat{\sigma}} = \frac{1.020 - 0.980}{6 \times 0.00948} = 0.703$$

$$C_R = 100 \times \frac{6\hat{\sigma}}{\text{工程容差}} = 100 \times \frac{6 \times 0.00948}{0.04} = 142.2\%$$

$$C_M = \frac{\text{工程容差}}{8\hat{\sigma}} = \frac{0.04}{8 \times 0.00948} = 0.527$$

$$Z_U = \frac{\text{上规范限} - \bar{X}}{\hat{\sigma}} = \frac{1.020 - 0.99832}{0.00948} = 2.3$$

$$Z_L = \frac{\bar{X} - \text{下规范限}}{\hat{\sigma}} = \frac{0.99832 - 0.980}{0.00948} = 1.9$$

$$Z_{\min} = \min\{1.9, 2.3\} = 1.9$$

$$C_{PK} = \frac{Z_{\min}}{3} = \frac{1.9}{3} = 0.63$$

假设目标值为 1.000，则：

$$C_{pm} = \frac{C_p}{\sqrt{1 + \frac{(\bar{X} - T)^2}{\hat{\sigma}^2}}} = \frac{0.703}{\sqrt{1 + \frac{(0.99832 - 1.000)^2}{0.00948^2}}} = 0.692$$

讨论

C_p ——(0.703)由于 C_p 指数可接受的最小值是 1，所以，结果 0.703 表明，过程不满足要求。而且，由于 C_p 指数没有考虑过程中心的情况，所以，仅通过调整过程接近要求的中心还无法确保过程是可接受的。因此，需要判断 Z_L 、 Z_U 和 Z_{\min} 值是否也是不能接受的。

C_R ——(142.2%) C_R 指数通常给出与 C_p 指数相同的结论。示例得到的数值意味着：过程的“固有容差”要占工程要求的 142.2%。显然，这是不能接受的。

C_M ——(0.527) C_M 指数应该大于等于 1.33。显然，本示例没有达到。如果这是对机器能力的研究，那么， C_M 指数的数值说明设备不能满足要求。

Z_U ——(+2.3)期望 Z_U 的值至少为 +3, 所以, 本例的数值是不能接受的。 Z_U 值可用于估计超出上规范限的产品的百分比。从附录的表 2 可以看出, 大约 1.1% 超出上规范限。

Z_L ——(+1.9)期望 Z_L 的值至少为 +3, 所以, 本例的数值是不能接受的。 Z_L 值可用于估计低于下规范限的产品的百分比。从附录的表 2 可以看出, 大约 2.9% 超出下规范限。加上超出上规范限的 1.1%, 估计总的拒绝概率为 4.0%, 接受概率为 96.0%。

Z_{min} ——(+1.9) Z_U 和 Z_L 两者的较小值。由于这两个结果都是不能接受的, 所以, Z_{min} 也是不能接受的。

C_{PK} ——(0.63) C_{PK} 值要略小于 C_p 值。这说明调整过程的中心位置并不能取得很大的效果。假设过程中心恰好为 1.000, 重新计算 Z_{min} , 可以得到真实的数值。可以得到预测的总拒绝率为 3.6%, 而不是 4.0%。

C_{pm} ——(0.692) C_{pm} 值略小于 C_p 值。这说明调整过程的中心位置并不能取得很大的效果。得到的数值可以像在对 C_{PK} 的讨论中那样进行计算。

8.3.5 短期、小批量的过程控制

理解短期、小批量的统计过程控制要从术语的定义开始。首先来回答“什么是小批量”的问题。一个生产周期中, 每位操作人员都有大量的工作, 每项工作都会涉及到不同的产品。一个典型的生产周期一般是一周或是一个月。小批量是指这样的情况: 仅生产很少的同类产品。小批量的极端例子是一个品种只生产一件产品, 例如: 哈勃空间望远镜。短期生产不一定是小批量, 罐头生产线可以在一两个小时内生产超过 100 000 只罐头。同样, 小批量生产也不一定是短期生产, 哈勃空间望远镜光进入轨道就需要花费 15 年的时间(而进入轨道正常工作要花费更长的时间)! 然而, 的确可能存在着既是短期又是小批量的生产。诸如 JIT 库存控制这样的项目正逐渐使得这样的情况越来越常见。

短期与小批量的过程控制包含着同样的策略。这两种情况所使用的方法与经典大批量生产环境下使用的方法有显著区别。因此, 本节将同时处理小批量和短期生产的情况。然而, 应当适当地选取适用于某个特定情况的 SPC 工具。

短期和小批量生产的策略

朱兰著名的三部曲把质量活动分成三个明确的阶段(Juran and Gryna, 1988):

- 计划
- 控制
- 改进

图 8.49 给出了朱兰三部曲的图解说明。

对于小批量或短期生产, 重点是计划阶段。在生产产品之前, 应尽可能进行详尽的计

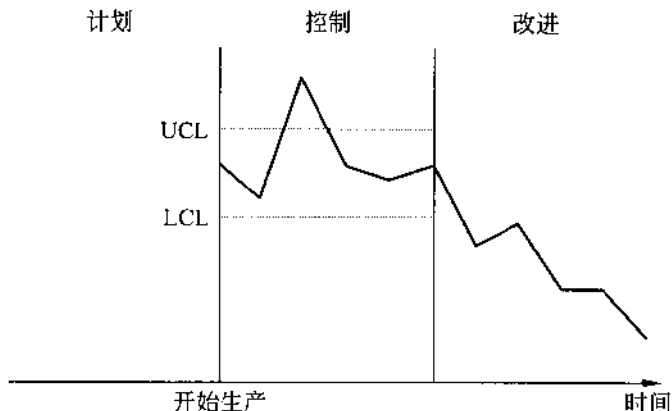


图 8.49 朱兰三部曲

划,因为它可以减少生产过程中“从错误中学习”所浪费的时间与原材料。同时,还应认识到,SPC应用于过程而朱兰三部曲应用于产品。SPC所控制的要素是过程要素,而不是产品特征。既然如此,不管何种表现,都不存在“短期生产”。

SPC应用于短期/小批量生产的一个常见问题是:人们没有意识到该种情况下SPC的局限性。即使是将SPC用于长期生产,大力强调预生产计划也会带来收益。即使是最好的情况,SPC也只能证明:以这种方式所选择和控制的恰当过程,能够稳定地生产出精心设计的产品,并且从各个角度来看,该产品都非常接近期望的目标值。

短期过程控制计划(PCP)的准备

制定短期生产的计划要做大量的前期准备。目的是尽可能多地列出那些潜在的变差原因,并且在投入生产之前,采取行动加以处理。第一步中所要做的一件事情是识别哪个过程可用于生产给定的零件,被称作“核准过程清单”。类似地,同样应当识别给定的过程能够生产的零件,被称作“核准零件清单”。在过程能力研究的基础上,作出了这些决定(Pyzdek,1992)。工作指南中所描述的方法用到过程能力指数,尤其是 C_{PK} (用标准差来度量平均值与最接近的规范限之间的距离,所得到的数值)。性能指数的应用依赖许多假设,例如数据的正态性等等;Pyzdek(质量工程,1992)给出了能力指数的正确应用和一些常见的滥用。

因为短期生产通常比推荐的产品数量要少,所以,接受准则通常要进行调整。当不足50个观测值被用于确定能力时,建议调整能力指数,使用 $\pm 4\sigma$ 为最小可接受过程宽度(代替 $\pm 3\sigma$),而且最小可接受的 C_{PK} 改为1.5(代替1.33)。在至少已经拥有了20个观测值之前,请不要作正式的能力估计。(下面将会看到:对于观察结果的需求往往是从20开

始的。)

当为短期生产作准备时,经常会出现实际生产的零件没有达到过程能力研究所需要的足够的数量。处理这种情况的一种方法是:对过程要素单独研究,并把来自所有已知要素的变差相加,得到对给定生产过程的总变差的估计。

例如,在生产常规导弹的航空公司,每个导弹都包括成千上万个不同的零件。在任意一个月份,都只生产少量的导弹。因此,CNC 设备工作室(以及车间的其余设备)将面临着短期和小批量生产的情况。然而,又不可能对每个零件分别进行预生产能力研究。所使用的方法是设计一种特殊的检验零件,以提供设备达到每个基本特性类型(平面度、挺直度、斜度、定位等等)的能力的估计。每台 CNC 设备在受到控制的条件下,生产一定量的检验零件,将结果绘制在短期生产的 \bar{X} 和 R 图上(本章随后进行介绍)。对每台设备周期性地重复进行研究。

这些研究提供了设备生产不同特性的能力的预生产估计。然而,这些估计通常优于实际生产零件时过程能够达到的水平。实际生产会涉及不同的操作者、加工工具、原材料以及设备能力研究所没有评估的其他常见原因和特殊原因。运用前面给出的更为严格的接受准则(基于 $\pm 4\sigma$ 的过程散布, C_{pk} 至少为 1.5),通过能力分析得到初步核准零件清单和初步核准过程清单。当生产开始时,使用生产的实际结果代替基于特殊生产的估计。一旦获得了足够的数量,把零件从初步清单中划去,列入永久清单中。

在构造核准零件清单和核准过程清单时,应当使用最严格的生产要求以确定过程需求。例如,如果过程用于在 100 个不同的零件上钻孔,孔位置的容差范围是 0.001 英寸到 0.030 英寸,过程要求是 0.001 英寸。过程能力估计是基于保持 0.001 英寸容差的过程能力。

总结这种方法的使用如下:

1. 使过程处于统计控制状态。
2. 不考虑要求的情况下,设定控制界限。
3. 基于所计算的过程能力,确定最严格的生产要求是否能够满足。

过程审核

所有过程的要求都应该使用文档记录下来。应当准备过程审核清单,用于在生产之前确定过程的状态。审核可以由操作人员自己来完成,但是审核结果必须存档。审核应该覆盖已知的或有所怀疑的变差来源。包括诸如生产计划、设备状况、计量器校准、所使用的校准分辨率、原材料或设备存在的明显问题、操作人员的变化,等等。

SPC 可用于监测随时间的推移,过程审核的结果。例如,可以计算审核的分值,并使用单值控制图监控发展的轨迹。

选择过程控制元素

很多短期生产的 SPC 项目陷入困境是因为所使用的控制图的数目混乱地增长。在人们意识到发生了什么事之前,墙上已经贴满了很少人了解、没有人使用的控制图。操作人员和检验员紧张地花费着大量的时间来完成这些文书工作,而不是把他们的时间用在真正能够带来增值的工作上。最终,SPC 项目在它自己造成的压力下崩溃了。

造成如此结果的一个原因,是人们更倾向于把注意力放在产品而不是过程上。只根据功能上的重要性来选择控制元素,以至于控制元素被错误地选择。人们总是非常担心当产品生产出来,发现重要的产品特征是不合格的并且由于疏忽而被忽略了。这是对 SPC 目的的误解,SPC 提供了过程控制的方法,SPC 并不意味着代替检查和测试。选择 SPC 控制项目的指导原则是:

选择 SPC 控制项目以最低成本提供过程状态的最大信息量。

幸运的是大多数过程元素都与其他元素有关。正因为这个原因,一个过程元素不仅能够提供它自身的信息,而且还能够提供其他元素的信息。这意味着少数的过程控制元素通常能够解释相当比例的过程变差。

尽管存在复杂的统计方法,有助于确定怎样的过程元素组合可以揭示方差的大部分,但是,对过程的常识和了解经常可以达到同样的目的,即使不能做得更好。关键是认真分析过程。什么是影响所有零件的“普通过程元素”?过程元素如何组合在一起影响生产?是否存在几个过程元素影响一个产品特征?一个过程元素的变化是否会自动引起一些其他过程元素的变化?对于没有考虑到的变化,什么过程元素或产品特征是最敏感的?

示例 1 前面提到的 CNC 机器极其复杂。这样一台典型的设备要用到几十种不同的工具,生产成百上千种零件,零件具有成千上万个特征。然而,SPC 团队指出:设备本身仅包括少量的“一般性操作”:选取工具,工具定位,改变特性,诸如此类。深入研究发现初始安装之后遇到的所有问题几乎都恰好涉及到机器的工具定位能力问题。构造控制方案,对每个轴的移动使用一个变量来加以控制。所选定的特征都是来自设备“根源”的最深层特征,涉及到最难控制的操作。通常一个特征提供了对不只一个轴的移动的控制,例如:孔的位置提供了工具在 X 轴和 Y 轴方向的位置信息。

使用该系统后,用控制图控制的零件特征没有超过 4 个的,虽然许多零件有成千上万个特征。随后统计专家们就收集到的数据进行复杂的多元评估,其结果说明团队作出的选择可以解释 90% 以上的过程方差。

示例 2 一台波峰焊机为电子测试装备的制造商焊接印刷电路板。应用 SPC 几个月以后,SPC 团队对数据进行评价,决定他们需要产品质量的一个测量指标:每 1000 个焊点的瑕疵数。一张控制图被用于控制几十张不同的电路板。团队成员断定大多数检测出



来的过程变量都可以被剔除掉。将来需要进行控制的过程变量仅为：焊剂密度、焊料化学成分(由供应商提供)、焊接温度、最终污物漂洗。历史数据表明：当过程出现问题时，几乎总会发现这些变量中有一个失控。其他的变量运用电子表格通过周期性的审核进行控制，对它们不使用控制图。

注意：在这两个例子中，所有受控制的变量都与过程有关，即使它们中的有些变量是产品特性。术语“短期生产”和“小批量”只涉及产品变量，而过程是连续运作的，所以，它的生产量和持续时间既不短也不小。

单件过程

最小的批量是一件。即使所涉及不只一件的时候，对单件产品的生产进行研究也可以获得大量的信息。

对单件生产应用 SPC 似乎是不适合的。然而，考虑到“SPC”中的“P”代表过程而不是产品时，单件生产应用 SPC 可能仍是可以的。即使公司一类产品只生产一件，通常生产也是在相同的设备、员工、工具等条件下完成的。换言之，相同的过程被用于生产不同的产品。当然，即使生产的产品不是完全相同的，也往往是相似的。这是可以预期的。事实上，若是发现公司今天生产计算机芯片，明天烤面包，那才奇怪呢：过程差异太大了。至少在一定程度上，公司的资产是面向特定产品的。

上述讨论指出控制单件产品质量的关键是关注过程元素而不是关注产品特性。对于小批量生产与大批量生产可以应用相同的规则。事实上，不论生产的产品数量如何，对于所有 SPC 的应用情况来说，对过程应用 SPC 就是一个好规则。

考虑一家制造通信卫星的公司。这家公司每年生产一或两个卫星。每个卫星的设计和复杂程度都与其他卫星有很大的区别。SPC 如何在这家公司中应用？

对卫星进行仔细的观察，会发现其极端复杂。卫星拥有成千上万个终端、电池、焊点、按钮，诸如此类。成百上千甚至是成千上万的人员投身到设计、制造、测试和装配工作中。换言之，许多过程包含了海量的重复性工作，诸如：工程(每张工程图上的错误)，终端制造(尺寸、次品率)，电池的制造(电量、电子特性)，焊接(每 1000 个焊点的瑕疵、强度)，按钮的安装质量(扭矩)，等等。

单件生产的另一个实例是软件设计。在这种情况下，“产品”是交给顾客的软件工作版本。涉及到的产品仅有一件。SPC 在这里如何使用？

再一次，当把注意力集中于基本过程时，答案就找到了。任何适于销售的软件产品都由成千上万、甚至百万个字节的最最终机器代码组成。这些机器代码是由成千上万条源程序代码编译而成。源代码组成了模块，模块组成了程序，程序完成了功能。计算机科学已经形成了一系列度量计算机代码质量的方法，得到的结果称为计算机度量，可以使用 SPC 的工具进行分析，就像分析其他数据一样。生成代码的过程可以进行测量、控制和

改进。如果过程处于统计控制状态,那么,过程元素一定都得到检查,如:程序员的选择和培训,编码类型,计划,流程,等等。如果过程没有处于统计控制状态,那么,必须识别导致问题的特殊原因。

如上所述,虽然单件生产过程是小批量生产,但不一定是短期生产。通过考核过程而不是考核产品,开始逐步为自己提供改进的可能性。关键是寻找过程和定义过程元素,以便于测量、控制和改进这些元素。

过程控制计划的其他元素

除了过程控制元素的选择以外,过程控制计划还提供了许多其他的信息,诸如:检查方法,度量误差研究的日期和结果,过程能力分析的日期和结果,子组容量和选择子组的方法,取样频率,操作人员的资格证明,预生产的检查清单,关于前面问题的注意事项和建议,等等。简而言之,过程控制计划提供了一个完整、详细的路标,该路标描述了如何度量与维持过程完整性。通过准备过程控制计划控制过程的输入,从而确保过程的输出是稳定的、是可接受的。

短期生产统计过程控制技术

短期生产是许多制造公司采用的生产方式。将来,这种生产方式会更加普遍。这种制造趋势已经发展为适应顾客个性化要求的小批量生产。亨利·福特的“顾客可以喜欢任何颜色,但我们只提供黑色汽车”的时代已经一去不复返了。

经典 SPC 方法,例如 \bar{X} 和 R 图,诞生于大批量生产相同产品的时代。产品生产经常要持续几周、几个月、甚至几年。很多当前正在使用的“SPC 经验规则”都是在大批量生产的情况下产生的。例如,有一条规则:只有当容量为 5 的子组至少得到了 25 组时,才能够计算控制界限。这项规则在 1930 年可能根本不成问题,但是,今天确实出问题。事实上,存在许多的生产线,其整条生产线生产的产品比使用一张标准控制图所要求的还要少。

多数情况下,可以对常规 SPC 方法进行简单的调整以用于短期、小批量的生产。例如:可以使用移动均值和移动极差来构造 \bar{X} 和 R 图(Pyzdek,1989)。然而,有些 SPC 方法非常适用于在短期和小批量生产中的应用。

计量数据

计量数据,有时又称为连续数据,是可以测量的,例如:尺寸,重量,pH 值,温度,等等。理论上,如果没有两个数值是完全相同的,那么,数据就是计量数据。实际工作中,这种情况很少出现。作为一个粗略的使用原则,如果数据集至少出现了 10 个不同的数据,而且重复数据不超过数据集的 20%,那么,数据可以看作是计量数据。如果数据不满足



上述原则,那么数据太分散了,因而不能使用标准控制图。可以考虑使用计数过程的控制图,如本节随后描述的缺点控制图。下面要讨论用于短期或小批量生产的 SPC 方法:

1. **精确方法**——特殊控制图常数表用于构造 X 、 \bar{X} 和 R 图,它们对利用有限的子组数据计算控制界限的不足进行了弥补。当使用代码值图和稳定的 X 、 \bar{X} 和 R 控制图(将随后介绍)时,同样可以使用精确方法来计算控制界限。当只能得到少量的数据时,精确方法可以计算准确的控制界限。随着越来越多的数据被获得,精确方法不断更新控制界限,直到最后不再需要进一步的更新,而可以使用标准控制图的要素(Pyzdek,1992)。

2. **代码值图**——代码值图是实际观测值减去标称值或其他目标值所构成的控制图。这些控制图经常要进行标准化,测量值转变为整数,而且无量纲。例如,以 1/1 000 英寸为单位进行测量,读数为高于标称值 0.011 英寸,那么,把结果简单记为“11”。代码值控制图使得使用者可以将某个过程生产的几种产品的数据绘制在一张控制图上,或者将某个产品的几个特性绘制在同一张控制图上。当利用有限的数据来构造代码值图时,可使用精确方法来调整控制界限。

3. **变量的稳定控制图**——统计专家很多年前就知道正态变换。这种方法可用于构造控制图,所构造的控制图与测量单位无关,而且以这种方法来设定比例可以使得多个不同的特性绘制在同一张控制图上。由于稳定控制图与测量单位无关,故可以看作是真正的过程控制图。对于有限数据的稳定控制图,可利用精确方法来调整控制界限。

对于短期和小批量生产,计算控制界限的精确方法

由 Hillier(1969)、Proschan 和 Savage(1960)改编的程序,可应用于短期生产,也可应用于利用较少的子组数建立控制图的情况。它由三个阶段组成:

1. 找到过程(建立统计控制);
2. 根据对初始生产的记录设定控制界限;
3. 为将来生产设定控制界限。

当涉及到使用少量数据来计算控制界限时,该程序恰当地补偿了所遇到的不确定性。

第一个阶段:找到过程

1. 收集子组的初始样本(g)。附录中的表 15 黑框中给出了为推荐的最小子组数所设定的参数。如果无法获得最小子组数,那么,针对实际拥有的子组数使用适当的控制图常数。

2. 应用表 15 计算极差图控制界限,应用极差上控制限的公式(UCL_R) = $D_{4F} \times \bar{R}$ 。将子组极差与 UCL_R 进行比较,去掉失控的子组。重复这个过程,直到剩下的所有子组极差都小于 UCL_R 。

3. 应用步骤 2 所得到的 \bar{R} 值,计算均值图或单值图的控制界限。由总平均值加、减 $A_{2F} \times \bar{R}$ 来得到控制界限。去掉失控子组的平均值并重新计算。继续这一过程直到所有

剩下的值介于两个控制界限之间。进入第二个阶段。

第二个阶段：根据对初始生产的记录设定控制界限

应用表 15 对初始生产的记录计算控制界限。将 A_{2S} 用于 \bar{X} 图，并且将 D_{4S} 用于 R 图； g = 计算第一阶段控制界限的组数。

第三个阶段：为将来生产设定控制界限

当生产完成以后，整理整个生产过程获得的原始数据，如上述第一阶段描述的那样进行分析。使用分析的结果来设定下一个生产阶段即紧跟着的第二个阶段的控制界限。如果获得了超过 25 组的数据，可以使用标准的控制图常数。

注意

1. 第三阶段假定生产过程中不存在变差的特殊原因。如果存在变差的特殊原因，则在使用第三阶段的控制界限时显示过程失控，应当剔除特殊原因。如果无法剔除，则对每一段生产分别应用上述程序（即每一次都重新开始）。

2. 当积累了足够的的数据时，应用标准控制图表。

3. 第一阶段的控制图常数是 A_{2F} 和 D_{4F} （下标“F”代表第一阶段）；第二阶段应用 A_{2S} 和 D_{4S} 。这些因子相当于通常使用的 A_2 和 D_4 ，不同的是这些因子可以根据实际获得较少的子组数进行调整。

正式批准程序 下面程序可用于确定：是否可应用少量的样本数据完成对精确方法的设置。

1. 初始设置之后，不调整过程而运行 3 到 10 次。

2. 计算样本的平均值和极差。

3. 计算 $T = \left[\frac{\text{平均值} - \text{目标}}{\text{极差}} \right]$ 。

应用绝对值（例如，忽略掉数值的负号）。目标值通常取规范中心或者是标称值。

4. 如果 T 值小于表 8.12 给出的临界值，那么，接受这个设置。否则调整这个设置，使它更接近目标。注意：过程未通过测试的几率是 1/20。

表 8.12 可接受设定的临界值

n	3	4	5	6	7	8	9	10
T 的临界值	0.885	0.529	0.388	0.312	0.263	0.230	0.205	0.186

示例 假设对于某个过程应用 SPC，该过程生产某种批量为 30 的零件，近似每月生产 1 次零件。零件的控制特征为凹槽深度，每件零件都要进行测量。子组容量为 3，收集到 5 个子组之后，计算第一阶段的控制界限。观测值如表 8.13 所示。

表 8.13 精确算法示例的原始数据

子组序号	样本观测值			\bar{X}	R
	1	2	3		
1	0.0989	0.0986	0.1031	0.1002	0.0045
2	0.0986	0.0985	0.1059	0.1010	0.0074
3	0.1012	0.1004	0.1000	0.1005	0.0012
4	0.1023	0.1027	0.1000	0.1017	0.0027
5	0.0992	0.0997	0.0988	0.0992	0.0009

应用表 8.12 中的数据,可计算总均值和总极差:

$$\text{总均值} = 0.10053$$

$$\text{总极差}(\bar{R}) = 0.00334$$

附录表 15 取行为组数 $g=5$ 和子组容量为 3,得到第一阶段极差图的常数 $D_{4F}=2.4$ 。于是:

$$UCL_R = D_{4F} \times \bar{R} = 2.4 \times 0.00334 = 0.0080$$

所有的极差值都小于该控制界限,故可以继续均值控制图的分析。如果有任何一个极差 R 值超过控制界限,那么在继续进行控制图的分析之前,应首先确定其原因。

下面得到均值控制图的相关内容:

$$\begin{aligned} LCL_{\bar{X}} &= \text{总均值} - A_{2F} \times \bar{R} \\ &= 0.10053 - 1.20 \times 0.00334 = 0.09652 \text{ (四舍五入)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} UCL_{\bar{X}} &= \text{总均值} + A_{2F} \times \bar{R} \\ &= 0.10053 + 1.20 \times 0.00334 = 0.10454 \text{ (四舍五入)} \end{aligned}$$

所有的子组平均值都介于上述控制界限之间。现在可以使用 $D_{4S}=3.4$ 和 $A_{2S}=1.47$ 来根据对初始生产的记录设定控制界限。四舍五入后得到:

$$UCL_R = 0.01136$$

$$LCL_{\bar{X}} = 0.09562$$

$$UCL_{\bar{X}} = 0.10544$$

如果需要的话,当可以获得数量更多的子组时,比如 10 组,可以重复该过程。这样可以提供对控制界限的更佳估计,但是需要相当可观的管理费用。当整个生产结束时,会有子组容量为 3 的 10 个子组。这些来自所有子组的数据要用于计算第一阶段和第二阶段的控制界限。第二阶段控制界限的结果可用于控制该零件以后的生产。

把精确方法与代码值图或是将要介绍的稳定控制图联合应用,控制界限可用于后续零件生产的过程中(假定零件之间的差异可以忽略)。注意:如果应用标准控制图的要素,

那么这两个阶段的控制界限是(四舍五入):

$$UCL_R = 0.00860$$

$$LCL_{\bar{x}} = 0.09711$$

$$UCL_{\bar{x}} = 0.10395$$

随着用于计算控制界限的、可获得的子组数量增加,“短期运转”的控制界限接近标准控制界限。然而,当仅获得少量的数据时,如果使用标准控制界限,那么,对于实际上处于统计控制状态的过程,就存在很大的概率错误地拒绝认为过程是处于控制状态(Hillier, 1969)。

代码值图

这种方法可以在一张控制图上实现对多个特性的控制。对数据进行简单的变换:

$$\hat{x} = \frac{X - \text{目标}}{\text{度量单位}} \quad (8.77)$$

使用结果值 \hat{x} 来计算控制界限,并且将 \hat{x} 值绘制在 \bar{X} 和 R 控制图上。为了达到 SPC 的目的,可以对不相关的目标元进行处理,使得对于几个不同的特征或是零件数可以采用一张控制图。

示例 使用一台车床来生产几种不同尺寸的齿轮,如图 8.50 所示。

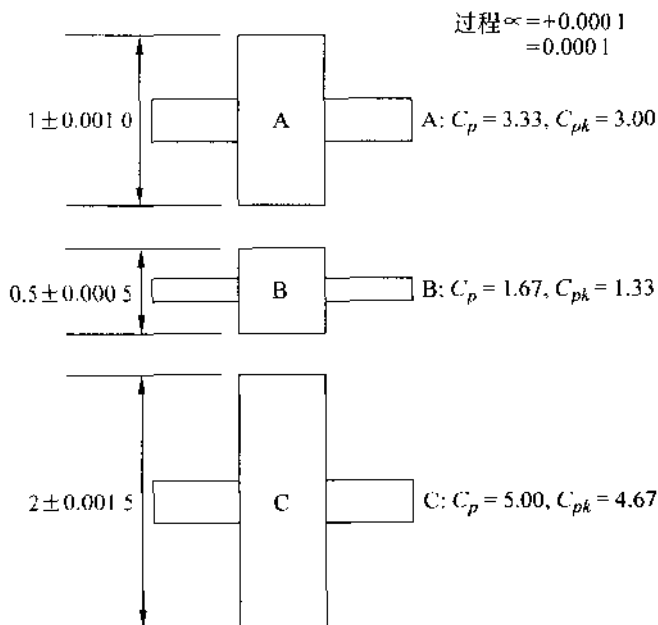


图 8.50 一些生产的齿轮



产品工程要求所有生产的齿轮尽可能接近其尺寸的标称值。过程工程认为大尺寸的齿轮与小尺寸的齿轮要有同样小的偏差。质量工程认为检测系统对于大尺寸的齿轮和小尺寸的齿轮产生近似相同的测量误差。过程能力研究和测量误差研究支持这些结论。(我期望你开始逐步接受这些观点:建立一系列的假设并且在使用代码值图之前,这些假设就是有效的。)

基于上述结论,代码值图得以推广。通过使用代码值图,减少了文书工作的工作量,并且可以获得更多的数据以设定控制界限。同样,由于没有使用几张控制图而避免了信息支离破碎,所以更易于对过程的历史进行跟踪。表 8.14 中的数据给出了早期的数据结果。

表 8.14 相对目标的偏差(以十万分之一为单位)

零件	标称值	序号	样本观测值			X	R
			1	2	3		
A	1.0000	1	4	3	25	10.7	22
		2	3	3	39	15.0	36
		3	16	12	10	12.7	6
B	0.5000	4	21	24	10	18.3	14
		5	6	8	4	6.0	4
		6	19	7	21	15.7	14
C	2.0000	7	1	11	4	5.3	10
		8	1	25	8	11.3	24
		9	6	8	7	7.0	2

注意:该过程所生产的产品必须满足 ± 0.0005 英寸的容差要求。能力分析指出过程具备了满足容差要求的能力,换言之,在该容差的基础上, C_{PK} 至少应该为 1.33。当生产严格进行容差控制的零件时,过程不允许出现漂移或是出现恶化。过程控制与产品要求是彼此独立的。(从生产的角度来看)允许过程退化到最基本的可接受水平,而若同时又要生产满足更严格的容差要求的零件时,实在是工程的噩梦。这也会挫伤操作员以及其他努力保持高水平质量的员工的士气。事实上,可能仅仅公开过程的性能要求,而不公开产品要求会更好。

根据表 8.13 中数据,绘制控制图,如图 8.51 所示。由于仅获得了 9 组数据,所以,可使用精确方法来计算控制界限。注意, \bar{X} 和 R 控制图给出的是偏差,而不是实际测量的数据。例如,零件 A 的数值,第 1 子组中的 1 号样品是“偏离目标值 1.0000”+0.00004

英寸,而可以表示为十万分之四的偏差;换言之,这个零件检查结果是 1.00004 英寸。第一阶段的控制图指出过程处于统计控制状态,但是,不管标称值是多少,正在生产的零件都太大了。如果过程满足目标,那么,总均值应该非常接近 0。如果遵循前文给出的正式批准程序,那么,利用第 2 个子组来检测设定问题。

这种透过不同的零件数目来观察过程执行的能力是代码值图的一个优点。事实上识别控制图上零件数目的变化,是很有帮助的,如图 8.51 所示。

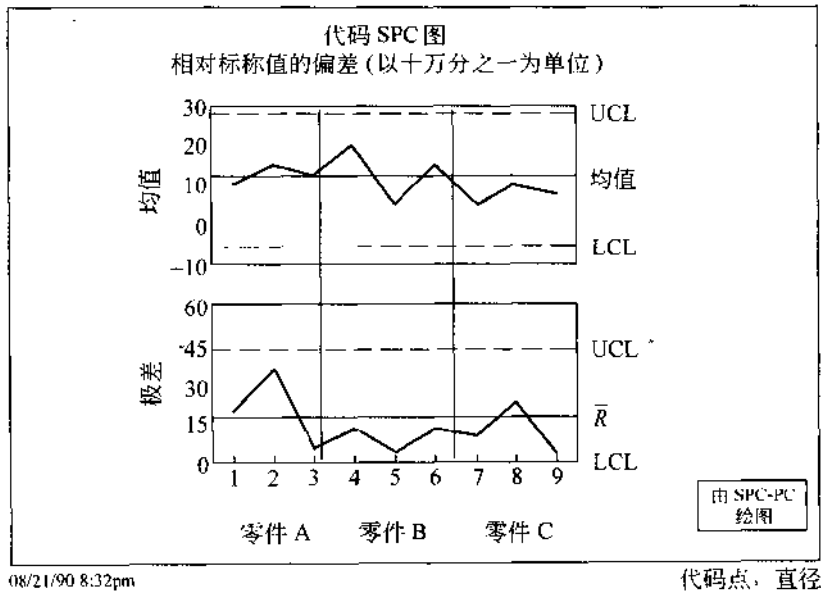


图 8.51 表 8.13 中数据的代码值图

变量的稳定控制图

不论是对于标准规模的生产,还是短期小批量的生产,控制界限都是基于这样的方法来确定的:是否过程统计量落在控制界限之内,而控制界限只包含了偶然变异(一般原因)的影响。多数情况,统计量基于对过程的实际观测,与过程观测值具有相同的测量单位。与代码值图一样,有时以某种方式来变换数据是有效的。对于代码值图,使用一种简单的变换可以消除标称值和目标值的变化所带来的影响。为了有效,这种方法还要求所有的观测值具有相同的测量单位,例如都以英寸、克等单位。比如:对于不同齿轮的控制图上的变量都以十万分之一英寸为单位。若要控制齿轮双侧表面的正交线,那么,还需要再单独绘制一张控制图,因为度量的单位是度而不是英寸。

为了解决测量单位问题,变量的稳定控制图把所有的观测值都转化为标准的、无量纲

的数据。“标准变换”并非新成果,它们被提出来已经有很多年了,常常被用于各种类型的统计分析。这里使用了两种变换,如式 8.78 和式 8.79 所示:

$$\frac{(\bar{X} - \text{总均值})}{\bar{R}} \quad (8.78)$$

$$\frac{R}{\bar{R}} \quad (8.79)$$

式 8.78 中,每个子组均值减去总均值(如果子组容量为 1,那么每个观测值减去总均值),然后除以 \bar{R} 。注意:这里不是通常的以 σ 为分母的统计变换。使用 \bar{R} 而未使用 s 为分母,丧失了某些理想的统计性质,例如正态性和独立性,但却变得更为简单。然而,结果其控制图还是有效的,落在控制界限外虚发警报的风险与标准控制图是一致的。当然,与所有的变换一样,这种方法也有着同样的问题:打点值不具有通常人们日常工作中习惯的工程单位。这就增加了解释结果和发现数据输入错误的难度。

式 8.79 中,用总极差去除每一个子组的极差。鉴于分子与分母具有相同的度量单位,相除的结果去掉了度量单位,得到了对应于总极差的数值。控制界限也具有相同的单位,换言之,计算标准控制界限得以简化, R 乘以查表得到的常数就可以确定控制界限之间的间隔。

Hillier(1969)注意到,同样可以对控制界限使用式 8.78 和式 8.79 的转换。对于单值和均值控制图,可以得到:

$$-A_2 \leq \frac{(\bar{X} - \text{总均值})}{\bar{R}} \leq A_2 \quad (8.80)$$

对于极差控制图,控制界限为:

$$D_3 \leq \frac{R}{\bar{R}} \leq D_4 \quad (8.81)$$

Duncan(1974)为计数控制图描述了相似的转换,特别是 p 图(参见下文),变换后的控制图被称为“稳定 p 图”。同样我们也把变换计量数据的控制图称为稳定控制图。

稳定控制图允许把具有多个测量单位的数据绘制在同一张控制图上。本书介绍的稳定计量控制图要求所有的子组具有相同子组容量,而随后给出的稳定计数控制图允许子组容量发生变化。当使用稳定控制图时,控制界限是固定的。对原始数据进行“变换”以与控制界限所确定的刻度相匹配。当只能获得数量有限的的数据时,可以使用附录表 15 中的常数,以计算稳定计量控制图的控制界限。随着逐步获得更多的数据,附录表 15 中的常数逐渐趋近于标准控制图系数表中的常数值。表 8.15 汇总了稳定均值控制图、稳定极差控制图和稳定单值控制图的控制界限。 A_2 , D_3 和 D_4 的值可以从标准控制图系数表中得到。



表 8.15 稳定图的控制界限

阶段	可获得的子组数		控制图			附录中的表
			X	R	X	
1	小于等于 25 组	LCL	$-A_{2F}$	—	$-A_{2F}$	15
		均值	0	1	0	
		UCL	$+A_{2F}$	D_{4F}	$+A_{2F}$	
2	小于等于 25 组	LCL	$-A_{2S}$	—	$-A_{2S}$	15
		均值	0	1	0	
		UCL	$+A_{2S}$	D_{4S}	$+A_{2S}$	
1 或 2	多于 25 组	LCL	$-A_2$	D_3	-2.66	11
		均值	0	1	0	
		UCL	$-A_2$	D_4	+2.66	

示例 生产电路板要经过电镀工序。对其进行统计过程控制时,有三个参数非常重要:焊料电镀槽的铅浓度,电镀厚度,还有阻抗。使用 25 组以上的数据进行过程能力分析,对于均值控制图,根据表 8.15,得到控制界限:

$$-A_2 \leq \bar{X} \leq A_2$$

极差控制图的控制界限为:

$$D_3 \leq R \leq D_4$$

常数 A_2 , D_3 和 D_4 的取值与子组容量有关,子组容量为 3 时, $A_2 = 1.023$, $D_3 = 0$, $D_4 = 2.574$ 。

表 8.16 给出了过程能力。

表 8.16 实例的过程能力

特征代码	特征	总均值	平均极差
A	铅浓度	10%	1%
B	电镀厚度	0.005 英寸	0.0005 英寸
C	阻抗	0.1 欧姆	0.0005 欧姆

对每个特征采集子组容量为 3 的样本。在电镀槽的 3 个不同位置,采集了 3 个铅浓度。观测结果如表 8.17 所示,表 8.17 还给出了它们的稳定值。

表 8.17 例子的样本数据

序 号	铅浓度%(A)	厚度(B)	阻抗(C)
1	11%	0.0050 英寸	0.1000 欧姆
2	11%	0.0055 英寸	0.1010 欧姆
3	8%	0.0060 英寸	0.1020 欧姆
\bar{X}	10%	0.0055 英寸	0.1010 欧姆
R	3%	0.0010 英寸	0.0020 欧姆
$(x-\bar{x})/\bar{R}$	0	1	2
R/\bar{R}	3	2	4

控制图只将极端值点绘出来。图 8.52 给出了几个子组的稳定控制图。进行观察可以发现,对应于点的特性被标注在控制图上。如果最大或最小的一系列值都来自于同一个特征,表明该特征发生了变化。如果过程对于所有的特征都处于统计控制状态,那么,对应于极端值的特征将随机发生变化。

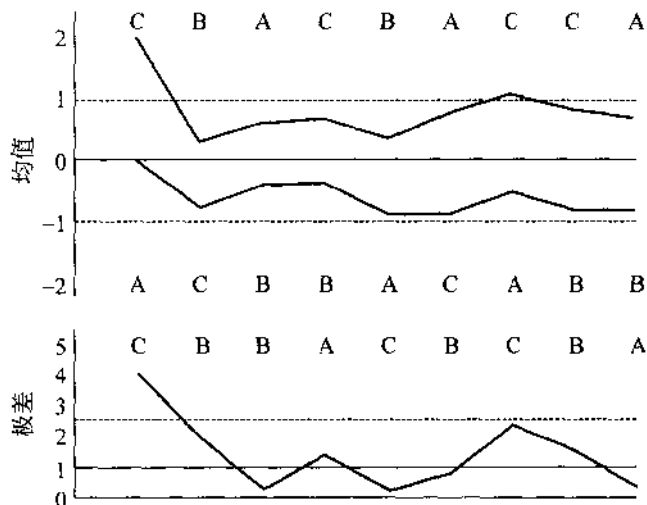


图 8.52 变量的稳定控制图

运用稳定控制图,可以将某个零件或某批零件通过整条生产线的过程用一张控制图进行控制。例如,上面描述的电路板能够使用一张控制图来显示生产过程的结果以及不同生产阶段的特性值。于是,控制图给出了该零件或该批零件“生产史”。其优点是给出该零件生产的连贯日志。表 8.18 给出了运用该方法的过程控制计划。

如果利用生产史,那么预防效果良好。当短期生产和小批量生产比较常见时,会有不同零件的大量控制图,而给定过程的历史会隐没其中。当然,可以通过对不同的过程绘制单独的控制图来避免这种情况的发生。这会带来额外的文书工作,但是有价值。如果这些额外的文书工作负担日益增加,那么,可以考虑计算机处理。

表 8.18 PWB 惊人的过程能力和 SPC 计划

工序	特征	\bar{X}	R	n
清洁	槽的 pH 值	7.5	0.1	3/小时
	漂洗污染	100ppm	5ppm	3/小时
	清洁度质量等级	78	4	3 件/小时
碾压	Riston 厚度	1.5 毫米	0.1 毫米	3 件/小时
	粘着力	7 英寸—磅	0.2 英寸—磅	3 件/小时
电镀	槽的铅浓度 %	10 %	1 %	3/小时
	厚度	0.005 英寸	0.0005 英寸	3 件/小时
	阻抗	0.1 欧姆	0.0005 欧姆	3 件/小时

小批量生产和短期生产的 SPC 特性

当数据难以获得时,通常在涉及到短期生产和小批量生产时会如此,如果可能的话,应该使用 SPC 计量数据。利用连续刻度得到的计量观测值比离散的分类特性值包含着更多的信息。例如:用机器来切割一定长度的金属管。长度规范要求要在 0.990 英寸到 1.010 英寸之间,而期望的长度是 1.000 英寸,用于检查过程的方法有两种。方法 1 是用千分尺来测量管子的长度,并将记录结果精确到 0.001 英寸。方法 2 是把切割好的管子放在“通过/通不过的计量器”中。在方法 2 中,短于 0.990 英寸的管子将落入计量器的“通不过”部分,而长于 1.010 英寸的管子将无法通过计量器的“通过”部分。使用方法 1 可以把管子的尺寸精确在 0.001 英寸内。方法 2 只能把管子的尺寸精确到 0.020 英寸;也就是说,要么在长度的容差范围内,要么太短或太长了。如果过程要保持小于 0.020 英寸的容差,方法 1 提供了保持过程变差的必要信息。方法 2 不能检测过程的漂移,除非超出容差范围的管子被实际生产出来。

考虑两种不同方法的另一种方式,是根据管子长度来把管子归属到不同类中。方法 1 把落在容差范围内的管子放在 20 个类中的一个。当考虑落在容差范围外的管子时,方法 1 可以把管子放在多于 20 个类中。方法 1 指出,如果管子落在最佳的类中,那么长度处于 1.000 ± 0.001 的范围;如果未处于最佳的类中,那么,我们知道管子长度距离最佳类

有多远。对于方法2,给定的管子只属于三类:太短、在容差范围内、太长。一只短很多的管子与一只短一点的管子属于同一类。一只勉强落在容差范围内的管子与一只正好为1.000的管子属于同一类。

短期生产的计数型数据的SPC

且不考虑种种缺点,有时运用计数型数据是很必要的。对于计数型数据,要使用特殊的方法来控制短期生产的过程。下面来描述两种方法:

- 稳定计数控制图。
- 缺点控制图。

稳定计数控制图 当点绘来自短期生产过程的计数数据的统计量时,会遇到两个典型的难题:

1. 变化的子组容量。
2. 每次生产运转都只生产少量的子组。

问题1导致:每个子组不相同的控制界限使得控制图看上去杂乱无章;各自不同的控制图刻度掩饰了控制图的显著变化;难于解释控制图模式,因为它们同时受样本容量的影响和过程变化的影响。问题2导致难于追溯长期的过程趋势,因为对各次生产运转得到的零件使用不同的控制图,打断了长期趋势。由于上述原因,许多人认为SPC不实用,除非用于大批量、长期的生产。其实并非如此。许多时候稳定计数控制图可以解决这些问题。虽然会比经典的控制图稍微复杂一些,稳定计数控制图对于难于控制的过程提供了一种实现SPC优点的方法。

如果从一批零件到另一批,过程形成基本相同的零件特征,就可以使用稳定计数控制图。生产批量和样本容量变化不会显著影响控制图。

示例1 一台车床正用于生产不同尺寸的电路接头。周期性地取样(样本容量不同),并检查毛刺、刻痕、工具痕迹和其他可见的缺点。

示例2 一个印刷电路板的手工装配工序要把电子元器件放置在数量巨大又各不相同的电路板上。虽然电路板彼此之间存在着显著的不同,但是手工装配工序对于所有不同的电路板是相同的。

示例3 一个焊接工序的工作站要生产少量的“单订单”零件。然而,该操作经常涉及到相似原料、相似尺寸的焊接件。过程控制统计量为每100英寸的焊缝中存在的焊接缺陷。

用于创建稳定计数控制图的技术都是基于相应的经典计数控制图方法。涉及到4种基本的控制图:

1. 每个样本中次品率的稳定 p 图。
2. 每个样本中次品数的稳定 np 图。

3. 每单位的缺陷数的稳定 c 图。
4. 每单位的平均缺陷数的稳定 u 图。

所有这些控制图都基于下列转换：

$$Z = \frac{\text{样本统计量} - \text{过程均值}}{\text{过程标准差}} \quad (8.82)$$

换言之，稳定图上点绘的是样本统计量与长期过程均值之间的标准差的数目（正或负）。由于传统的控制图其控制界限设置在 ± 3 标准差处，故稳定控制图的控制下限为 -3 ，控制上限为 $+3$ 。表 8.19 总结了稳定计数控制图的控制界限公式。

表 8.19 稳定计数控制图的统计量

特性	控制图	样本统计量	过程均值	过程标准差	Z
次品率	p 图	p	\bar{p}	$\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})}$	$(p-\bar{p})/\sigma$
次品数	np 图	np	$n\bar{p}$	$\sqrt{np(1-\bar{p})}$	$(np-n\bar{p})/\sigma$
单位缺陷数	c 图	c	\bar{c}	$\sqrt{\bar{c}}$	$(c-\bar{c})/\sigma$
单位平均缺陷数	u 图	u	\bar{u}	$\sqrt{\bar{u}}$	$(u-\bar{u})/\sigma$

当应用于长期生产时，稳定计数控制图可用于消除样本容量变化的影响；假设过程均值为常数。然而，即使过程均值是变化的，也可以创建稳定计数控制图。当处理平均质量变动幅度很大的短期零件生产时，经常要应用该方法。例如：几种导弹制造中要用到波峰焊，该波峰焊工序要处理从不足 100 个焊点到超过 1 500 个焊点的电路板。表 8.20 和表 8.21 指出如何创建一张稳定 u 控制图。任意设定，令每单位的容量是 1 000 根导线。由

表 8.20 来自波峰焊工序的数据

导弹	电路板	导线	单位/电路板	\bar{u}
Phoenix	A	1 650	1.65	16
	B	800	0.80	9
	C	1 200	1.20	9
TOW	D	80	0.08	4
	E	50	0.05	2
	F	100	0.10	1

了实际的导线数目要除以选定的单位容量,所以单位容量设置多少没有关系,都可以经过运算得到正确的结果。

示例 1 由表 8.20 描述的过程中,采集一个包含 10 只 TOW 导弹的 E 型电路板的样本。检测样本发现了 3 处缺陷。利用表 8.19 和表 8.20,计算子组的 Z 值如下:

$$\sigma = \sqrt{u/n}, \text{由表 8.20 得到 } \bar{u} = 2.$$

$$n = \frac{50 \times 10}{1\,000} = 0.5 (\text{单位})$$

$$\sigma = \sqrt{2/0.5} = \sqrt{4} = 2$$

$$u = \frac{\text{缺陷数}}{\text{单位数}} = \frac{3}{0.5} = 6 (\text{缺陷 / 单位})$$

$$Z = \frac{u - \bar{u}}{\sigma} = \frac{6 - 2}{2} = \frac{4}{2} = 2$$

既然 Z 处在 -3 和 +3 之间,那么,过程没有失去控制;换言之,过程没有受到变差的特殊原因的影响。

表 8.21 展示了来自该过程的几个样本的数据。图 8.53 给出控制图的结果。注意:控制图表明当生产子组 2,3 甚至 4 时,过程质量比平均水平要好。负的 Z 值说明缺陷率低于(优于)长期过程均值。子组 7~8 显示过程明显恶化,子组 7 失控。正的 Z 值表明缺陷率高于(劣于)长期过程的平均水平。

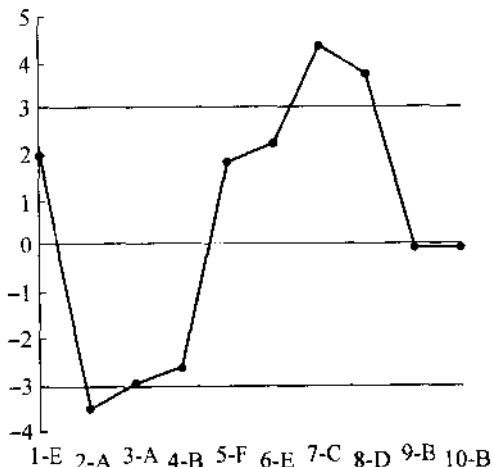


图 8.53 表 8.22 的 Z 值控制图

表 8.21 波峰焊的稳定 \bar{u} 图数据

序号	电路板	\bar{u}	单位	抽样数	n	σ	缺陷	u	Z
1	E	2	0.05	10	0.50	2.00	3	6.00	2.00
2	A	16	1.65	1	1.65	3.11	8	4.85	-3.58
3	A	16	1.65	1	1.65	3.11	11	6.67	-3.00
4	B	9	0.80	1	0.80	3.35	0	0.00	-2.68
5	F	1	0.10	2	0.20	2.24	1	5.00	1.79
6	E	2	0.05	5	0.25	2.83	2	8.00	2.12
7	C	9	1.20	1	1.20	2.74	25	20.83	4.32
8	D	4	0.08	5	0.40	3.16	5	12.50	2.69
9	B	9	0.80	1	0.80	3.35	7	8.75	-0.07
10	B	9	0.80	1	0.80	3.35	7	8.75	-0.07

稳定控制图的一大优点是：不论零件数和样本容量如何变动，都能够容易地观察出过程的趋势和变化。稳定控制图的缺点如下：

1. 将容易理解的数字，如缺陷数或次品数，转化为不直观的、易于混淆的统计量。
2. 要进行单调乏味的计算。

对于缺点 1，可以通过培训和增加应用该技术的经验来加以纠正。对于缺点 2，可以使用计算机来进行处理；这些计算对于电子表格来说是很容易完成的。表 8.20 可用于指导电子表格的设置。可以在过程中利用很便宜的可编程计算器当场进行计算，以便立即获得结论。

缺点控制图

如上所述，用于进行 SPC 有两类常见的数据：计量数据和计数数据。当面对短期生产时，一般都无法忍受由于使用计数数据而导致的信息损失。然而，下列正是从计数数据中提取额外信息的方法：

1. 通过增加分类的类别，使得计数数据“减少离散性”。
2. 给每个种类赋以权重，以强调不同的质量水平。

考虑这样一个过程，该过程为混合微电路制作底板。底板的表面特征极为重要。“理想情况”应该表面光滑，没有任何可见的裂缝和污点。然而，有时生产会带来一些污点、小坑、脱墨、裂缝或是其他表面的瑕疵。尽管这些产品不令人满意，但多数这些比理想情况稍差的零件仍能被顾客接受。

如果将传统的计数 SPC 方法应用到这样的过程，结果可能令人失望。既然很少零件

因为无法接受而被拒绝,那么,即使质量水平低于目标的理想情况,多数时候标准 p 图和稳定 p 图都可能显示出一条“零缺陷”的平滑线。而且不能使用计量 SPC 方法,因为计数数据诸如“污点”,不容易使用计量的刻度进行度量。缺点控制图提供了一种在这样情况下应用 SPC 的有效方法。

为了应用缺点控制图,必须确定零件中的每个不合格项存在多少不合格。并对每个种类赋以权重。给定样本的质量分数就是各个种类的频数乘以权重之和。在底板示例中使用该方法如表 8.22 所示。

表 8.22 底板的缺点数

子组序号 →		1		2		3	
特 征	权重	频数	分数	频数	分数	频数	分数
轻污点	1	3	3				
重污点	5			1	5	1	5
小水泡	1			2	2	1	1
中水泡	5	1	5				
坑:0.01~0.05mm	1					3	3
坑:0.06~0.10mm	5			2	10		
坑:大于 0.10mm	10	1	10				
总缺点数 →		18		17		9	

如果子组容量保持常数,缺点控制图的均值计算如下(Burr,1976):

$$\text{均值} = \bar{D} = \frac{\text{子组缺点之和}}{\text{子组数}} \quad (8.83)$$

控制界限分两步进行计算。首先计算每一类别的加权平均缺陷率。例如,有如下的类别和权重:

类 别	权 重
主要的	10
次要的	5
附带的	1

三类缺陷率的平均值,可以使用下面的记号以便于计算,

$$\bar{c}_1 = \text{平均每个子组的主要缺陷数}$$

$\bar{c}_2 =$ 平均每个子组的次要缺陷数

$\bar{c}_3 =$ 平均每个子组的附带缺陷数

相应的权重是 $W_1=10, W_2=5, W_3=1$ 。应用这些符号,例子中三种类别的缺点标准差可以计算如下:

$$\sigma_D = \sqrt{W_1^2 \bar{c}_1 + W_2^2 \bar{c}_2 + W_3^2 \bar{c}_3} \quad (8.84)$$

对于一般情况,标准差是:

$$\sigma_D = \sqrt{\sum_{i=1}^k W_i^2 \bar{c}_i} \quad (8.85)$$

控制界限是:

$$LCL = \bar{D} - 3\sigma_D \quad (8.86)$$

$$UCL = \bar{D} + 3\sigma_D \quad (8.87)$$

如果下控制限为负,则设为 0。

简化质量分数控制图

上述过程虽然正确,但有时太麻烦了,以至于无法有效实施。当遇到这种情况时,可能要使用简化的方法。将简化方法总结如下:

1. 把子组中各个零件分成下列几类(分数是任意的)。

分类	描 述	分数
A	首选的质量:所有的产品特性都恰好处于或非常接近目标。	10
B	可接受的质量:一些产品特性已经显著偏离目标质量水平,但是距离拒绝的界限还有一定的安全距离。	5
C	边际的质量:一个或多个产品特性逼近超越拒绝限的危险域。	1
D	拒绝质量:一个或多个产品特性不能满足可接受的最低要求。	0

2. 标出每一个子组的总分,保持子组容量为常数。

3. 将这些总分看作计量数据,准备一张单值—移动极差控制图或者是一张 \bar{X} -R 图。这些控制图已经在许多 SPC 文章中进行了说明(Pyzdek, 1989)。

结论

小批量和短期生产在现代商业环境中很常见,处理这样的情况需要利用不同的策略,而预先策划是必要的。这里介绍了特殊的计量方法,使用特殊的表或统计量的数学变换和控制图来处理小样本容量和短期生产的问题。还介绍了计数短期生产 SPC 方法,使得短期生产的过程趋势更明显。另外,给出了缺点控制图和打分系统以便从计数数据中提取更多的信息。

第9章

六西格玛高级方法

9.1 DOE(实验设计)

经过设计的实验(designed experiment)在质量改进中起着非常重要的作用。本节将介绍有关的基本概念,并将统计设计实验(statistically designed experiment)和传统使用的“一次只(变动)一个变量”的方法做比较。我们也将对田口方法所涉及的概念进行简单的讨论,这种统计方法是根据它的创造者田口玄一(Genichi Taguchi)博士的名字命名的。

传统方法与统计设计实验 我们大多数人在高中理工课程中学的是传统方法,它是只变动一个变量而维持其他变量不变。当我们运用这种方法时,我们能够确定变动是某种因果关系引起的。然而,这种方法遇到了一系列的问题:

- 通常不大可能维持其他变量不变。
- 无法反映由于自变量之间的联合变动,比如相互作用,而产生的影响。
- 无法反映实验误差,包括测量偏差。

经过统计设计的实验通常在相同的实验环境下同时改变两个或更多的变量,得到多套测量结果。这种统计方法的优点体现在三个方面:

1. 能够检测到相互作用并加以测量。“一次只(变动)一个变量”这种方法的主要缺陷是不能发现相互作用。
2. 每次评价可以检测多个值。经过恰当设计的实验可以在一次观察中评估多个不同的效果。这意味着运用这种统计方法可以减少开支。
3. 量化实验误差,并可用来决定实验结果的可信程度。

9.1.1 术语

实验设计中许多早期研究都与农业有关。实验设计的语言表达也反映了它们的来源。照字面的意思,实验区域(experimental area)就指一块土地,块(block)则是指一片较小的但特性基本相同的土地。小块土地(plot)则面积更小,通常作为设计的基本单位。



当这片小块土地种植、浇灌并获得丰收以后,就可以划一条直线将它分割开。处理(treatment)就是指实实在在的处理,比如施肥。不幸的是,在质量工程中,这些术语仍然是实验语言的一部分。工程师必须尽力使用这些术语去理解质量改善实验。以下是Natrella(1963)的介绍:

实验区域可以看作计划的实验范围。对我们来说,块可以是从一个特定的操作人员,或是一台特定的机器,或是在某个特定的日子得到的一组结果——这些经过规划的自然组合,可以当作从某个块获得的结果,而且从该块获得的结果比从其他块获得的结果更接近。对我们来说,处理则是在一个单因素实验中所研究的因素(如材料、环境条件等等)。在析因实验(factorial experiment)(同时研究多个变量)中,要涉及到处理组合,即应用于实验单位的各因素的给定水平。对我们来说,收益(yield)是测量结果。

定义

设计实验是指根据预先确定的计划,对认为会影响实验结果的一个或者多个变量进行确认和控制的实验,这些变量被称作自变量。从设计实验中搜集数据,进行统计分析以确定这些自变量的效果,或是多个自变量的组合效果。实验计划还必须包括对其他变量的处理,就是那些没有被明确定义为自变量的变量。

反应变量(response variable)——那些被研究的变量,也称因变量。

主要变量(primary variable)——被认为最有可能产生影响的可控变量。它们可能是定量的,如温度、压强、速度,也有可能是定性的,如供应商、生产方法或操作员。

背景变量(background variable)——由实验设计者确定的、可能会产生影响的变量,对它们要么不能要么不应当刻意加以控制或是保持常数。除非它们得到了正确设置,否则背景变量的影响会混淆主要变量所产生的影响。处理背景变量最常用的方法是组块法(后面将加以描述)。

实验误差(experimental error)——在任何给定的实验条件下,大量的变量可能就是潜在的变异来源。而实际上,变量如此之多,以致于根本不可能设计出能明确处理每一种可能的变异来源的实验。那些没有被明确考虑的变量可看作变异的一般原因。它们代表了过程的“噪音水平”,所带来的影响可看作随机化(randomization),以避免对主要变量所产生效果的混淆。随机化是一个术语,它意味着对以下列方式向实验条件分配实验单元的过程的描述:在给定的一系列实验条件下,任何给定的单元都具有相等的得到处理的概率。

交互作用(interaction)——指这样的情况:一种因素的影响依赖于另一种因素的水平。交互作用如图 9.1 所示。

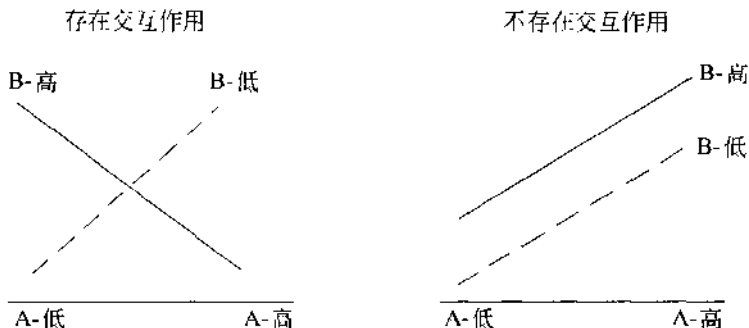


图 9.1 交互作用图示

9.1.2 强度和样本容量

在实验设计中, 检验强度是指: 当备择假设真的成立时, F 检验接受备择假设的概率, 即 $1-\beta$ 。我们用非中心 F 分布来确定强度概率。可以用图表来简化这项工作(见附录的表 14)。表格以 ϕ 的值作为索引。当样本容量相等, 都为 n 时, ϕ 值可由式 9.1 计算。

$$\phi = \frac{1}{\sigma} \sqrt{\frac{n}{r} \sum (\mu_i - \mu)^2} \quad (9.1)$$

其中:

$$\mu = \frac{\sum \mu_i}{r}, r \text{ 是所研究因素的水平数。}$$

附录 14 的表格使用如下:

1. 每页代表不同的 $v_1 = r - 1$, 其中 v_1 是 F 统计量的分子自由度。
2. 给出了两种显著性水平, $\alpha = 0.01$ 和 $\alpha = 0.05$ 。左面曲线系列 $\alpha = 0.05$, 右面曲线系列 $\alpha = 0.01$ 。
3. 对选定的 v_2 值, $v_2 = \sum n - r$, 有单独的曲线, 其中 v_2 是 F 统计量的分母自由度。
4. X 轴以 ϕ 为单位。
5. Y 轴给出了强度 $1-\beta$ 。

示例

考虑附录表 14 中 $\alpha = 0.05$, $v_1 = 3$, $v_2 = 12$ 的曲线。ANOVA 检验这样的假设, 即 4 个 ($v_1 = 4 - 1 = 3$) 总体有着相同的均值, 从每个总体取样本容量为 $n = 4$ 的样本 ($v_2 = 16 - 4 = 12$)。从上面可以读出 $\phi = 2$, 我们看到当 $\phi = 2$ 时, 4 个总体的均值实际并不相等的概率是 0.82。应清楚, 存在很多种 4 个不等均值的组合可以使得 $\phi = 2$ 。

9.1.3 设计特征

好的实验是精心策划的结果,而并非偶然。一个好的实验计划依赖于下列几点:

- 实验目的。
- 测量过程中,遇到的自然限制。
- 时间、资金、材料和人员方面的限制。

工程师必须能明确解释为什么要进行实验,为什么要选择这些实验处理以及整个实验如何实现设定的目标。实验计划应当是书面的,而且要得到所有主要的参与者的认可。计划要包括实验日的说明,所采用的实验处理,实验的规模,时间安排以及对用来分析结果的方法的简单讨论。质量工程师对两个概念特别关注:重复实验(replication)和随机选择(randomization)。

重复实验——在同样的实验条件下,收集多个观察结果。重复实验可以使实验者估计实验误差。当所有实验条件都固定不变时,如果结果仍然存在变动,那么,其原因肯定是实验者所控制的变量之外的其他因素作用的结果。实验误差能够被估计而不必重复整个实验。如果过程在一段时间内处于统计控制状态,那么,能够从控制图中估计实验误差。重复实验也能减少不可控因素引起的偏差。

随机选择——为消除实验中的偏差,没有明确作为因素加以控制的变量看作是随机的。这意味着需要通过应用一些随机方法,比如随机数表,来处理待试验物的分配。随机选择同样保证了实验误差的有效估计。

9.1.4 设计类型

可以设计实验来满足各种各样的实验目的。这里定义了一些较为常见的实验设计类型。

固定效果模型(fixed-effects model)——这种模型中,所有可能的因素水平都进行研究。例如,如果有三种不同的材料,那么这三种材料都将被包含在模型中。

随机效果模型(random-effects model)——这种模型中,实验所评价的因素水平只代表了所有可能水平中的一部分。比如,有三种不同的材料,而实验只用了两种。

混合模型(mixed model)——这种模型同时有固定和随机的效果。

完全随机设计(completely randomized design)——实验计划中,实验执行的顺序完全是随机的,例如:



水 平	测试顺序编号
A	7, 1, 5
B	2, 3, 6
C	8, 4

随机块设计(randomized-block design)——这种实验设计是根据某些标准把实验观测数据分成不同的块。这些块是完全有序的,但是块内部(的观测数据)是完全随机的。例如,用不同的原料进行油漆实验,分别为原料 A 和 B。每种原料各有 4 片可供实验。理想情况是所有片都同时进行清洁,以保证清洁工序对实验结果没有影响,但是如果实验要求使用一次清洁两片的清洁缸,怎么办?于是,缸容量就成了一个“块因素(blocking factor)”。这里有 4 个块,如下所示:

原 料	缸 容 量	测试片编号
A	1	7
B		1
B	2	5
A		2
B	3	3
A		6
B	4	4
A		8

既然每种原料在每次清洁缸的负载中只出现一次,所以设计是均衡的。原料的总数或平均数可以直接进行比较。读者应该意识到:还存在统计设计以处理更复杂的“非均衡设计”。

拉丁方设计(Latin-square design)——每种处理在每行和每列中出现一次且只出现一次的设计。在必需或者需要允许两种特定的异质来源对实验结果产生影响的情况下,这种拉丁方计划是非常有效的。这种设计最初应用在农业实验中,两种异质来源是指土地的两个趋势,“square”本意是一块四方形的土地。它的应用逐渐扩展到其他领域,比如机器、位置、操作员、运行次数、天数等,也存在着可能影响实验结果的两种异质来源。拉丁方方法的使用受到两个条件的限制:



1. 行数、列数和处理的次数都必须相同；
2. 行因素和列因素之间不存在交互作用。

Natrella(1963, p. 13~30)提供了下面关于拉丁方的例子。假设比较材料的疲劳度。进一步,假设有一台测试疲劳的机器,能同时处理4个样本。2种异质来源可能随着一次又一次的运转而出现变化,并且机器上的4个位置也会出现变化。在这种情况下,如果运行4次,每种异质来源都有一个 4×4 的拉丁方。这个拉丁方计划如下所示(4种材料用A,B,C,D标识):

运 行	位 置			
	(1)	(2)	(3)	(4)
1	A	B	C	D
2	B	C	D	A
3	C	D	A	B
4	D	A	B	C

图 9.2 4×4 拉丁方

运用一个给定拉丁方的步骤如下:

1. 随机改变列的次序;
2. 随机改变行的次序;
3. 随机给处理指定字母。

单因素

一个单因素 ANOVA 的示例 下面的例子可用来阐述方差的单因素分析。随着计算机的广为应用,很少有人真的手工处理如此复杂的计算。下面用 Microsoft Excel 来进行分析。在大多数的电子表格中,都包含诸如回归和 ANOVA 等常见的统计方法。

从一个单因素且完全随机的实验中得到表 9.1 中的结果,表中比较了 3 台机器(A, B, C)的生产结果。

表 9.1 实验的原始数据(代码化)

A	B	C
4	2	-3
8	0	1
5	1	-2
7	2	-1
6	4	0

表 9.2 给出了 AVONA 的结果。

表 9.2 分析结果

ANOVA: 单因素						
总结						
组	个数	和	平均	方差		
A	5	30.000	6.000	2.500		
B	5	9.000	1.800	2.200		
C	5	-5.000	-1.000	2.500		
ANOVA						
方差来源	平方和(SS)	自由度(df)	均方(MS)	F 值	P-值	F 临界值
组间	124.133	2	62.067	25.861	0.000	3.885
组内	28.800	12	2.400			
总和	152.933	14				

表 9.2 的第一部分给出了数据的统计描述,工程师应当仔细观察这些简单易懂的结果,以检测明显的错误。这些结果表明均值从机器 C 较低的一1 一直变化到机器 A 较高的 6。

ANOVA 过程 ANOVA 过程如下所示:

1. 提出零假设和备择假设。ANOVA 表检验假设 H_0 : 所有的均值都相等; H_1 : 至少有两个均值不等。
2. 选择显著性水平。该分析中,选定显著性水平为: $\alpha = 0.05$ 。
3. 计算 F 统计量——组间均方和组内均方的比值。
4. 假设从相同方差的正态分布总体中随机取样,得到观测值。并且假设为真时, F 的临界值可由附录表 5 和表 6 中得到。分子的自由度可由组间这一行中的自由度值得到。分母的自由度则可由组内这一行中的自由度值得到。
5. 如果计算所得的 $F > F_{1-\alpha}$, 则拒绝零假设而接受备择假设。否则,接受零假设。

ANOVA 表给出这些数据计算得到的 F 值是 $62.067/2.4 = 25.861$, 并且在 $\alpha = 0.05$, 分子自由度为 2 和分母自由度为 12 时, F 的临界值是 3.885^①。因为 $25.861 > 3.885$, 所以拒绝零假设,得出结论: 机器产生的结果是不相同的。注意: 我们知道至少这

① 临界值实际上是不必要的。P 值为 0.000 就表明了得到的 F 临界值大于计算出的 F 值的概率小于 1%。



两台差异最大的机器(A和C)是有差别的。ANOVA并没有表明是否A和B,B和C有显著的不同。有一些方法能够进一步加以判断,例如对比。读者可以去查阅实验设计 的文章,如 Montgomery(1984),以获得更多的信息。

手工进行 ANOVA 偶然情况下(如进行 CQE 测验),工程师会发现无计算机可用,必须依靠手工来进行分析。如下所示:

项 目	总数	N	平方和	
A 处理	4,8,5,7,6	30	5	190
B 处理	2,0,1,2,4	9	5	25
C 处理	3,1,-2,-1,0	-5	5	15
总 和	34	15		230

$$\text{总平方和} = 230 - 34^2/15 = 152.933$$

$$\text{处理平方和} = 30^2/5 + 9^2/5 + (-5)^2/5 - 34^2/15 = 124.133$$

误差平方和

$$= \text{总平方和} - \text{处理平方和}$$

$$= 152.933 - 124.133 = 28.8$$

这些值显示于 ANOVA 表(表 9.2)的平方和(SS)一列中。ANOVA 表中的其余部分可以通过简单的除法得到。

9.2 借助软件应用 DOE 方法的常见示例

本节包括了一些借助软件来进行实验设计的常见示例。示例尽可能采用常见的软件,比如 Microsoft Excel。对于这些方法的详细数学背景,读者可以查阅有关该主题^①的一些图书。DOE PC 是一个用来设计和分析实验的功能非常全面的商用软件,可以从 <http://www.qualityamerica.com> 上得到。一个基于 Windows 操作系统的统计分析软件包可以从 <http://www.dagonet.com/scalc.htm> 下载。

9.2.1 无重复双因素 ANOVA

当所做的实验涉及两个因素,并且不太可能在一组给定的实验条件下反复读数时,可以使用双因素的方差分析方法。下列示例假设随机地分派实验处理。注意:如果每次测试涉及到的因素只有两种水平,那么,也可以使用下面将描述的全析因分析方法。

^① Montgomery, Douglas C., 1996; Box, Hunter and Hunter, 1978; Hicks, Charles R., 1993.

无重复双因素 ANOVA 的示例

进行一次实验以评价不同的清洁剂和水温对清洁瓷器底部的效果。根据 PH 值选择了 3 种不同的清洁剂,并且要利用 4 种不同的水温,进行一系列的实验。在每个处理组合条件下,进行清洁实验,用蒸馏水洗涤处理后的部件,通过测量蒸馏水的污染程度来鉴定清洁效果。实验数据如表 9.3 所示。

表 9.3 清洁实验原始数据

水 温	清洁剂 A	清洁剂 B	清洁剂 C
冷	15	18	10
凉	12	14	9
暖	10	18	7
热	6	12	5

表 9.4 由 Microsoft Excel 得到的双因素 ANOVA 清洁实验结果

结果总结						
	个数	和	平均	方差		
冷水	3	43	14.333333	16.333333		
凉水	3	35	11.666667	6.333333		
温水	3	35	11.666667	32.333333		
热水	3	23	7.666667	14.333333		
清洁剂 A	4	43	10.75	14.25		
清洁剂 B	4	62	15.5	9		
清洁剂 C	4	31	7.75	4.916667		
ANOVA						
方差来源	平方和(SS)	自由度(df)	均方(MS)	F 值	P-值	F 临界值
行	68	3	22.666667	8.242424	0.015043179	4.757055
列	122.1666667	2	61.083333	22.21212	0.001684751	5.143249
误差	16.5	6	2.75			
总和	206.6666667	11				

Excel 输出结果的第一部分提供了不同处理条件下的统计描述。第二部分为 ANOVA 表。注意:在前面给出的原始数据表中(表 9.3),行代表不同的温度,列代表不同的清洁剂。因为不存在重复,所以 Excel 不能估测清洁剂和水温的交互作用。如果认为这种交互作用是存在的,那么,需要重复实验来估计其效果。就这个实验而言,任何小于 0.05 的 P 值都意味着效果显著。ANOVA 表表明:不同的清洁剂和不同的水温之间存在着明显的差异。可以通过 t 检验,来检验不同清洁剂和水温下的均值,以确定哪种差异是显著的(Excel 的数据分析工具附加项中有这些检测方法)。注意:多次执行 t 检验会影响到第 I 类错误。如果一次 t 检验其第 I 类错误是 α ,那么, k 次 t 检验第 I 类错误的总数是 $1-(1-\alpha)^k$ 。例如,如果 $\alpha=0.01$,要检查 3 对均值,那么,这三次 t 检验的第 I 类错误为 $1-(1-0.01)^3=1-0.99^3=0.03$ 。存在统计方法可以保证同步比较时第 I 类错误的总体水平(Hicks,1973;pp. 31~38)。

9.2.2 重复双因素 ANOVA

如果研究相互影响的两个因素,而且对于每种实验处理的组合,可以得到不止一个的结果,那么,可以应用重复双因素 ANOVA 进行这类分析。Microsoft Excel 等电子表格就包含了进行这类分析的功能。

重复双因素 ANOVA 的示例

研究人员对改善一个把光阻材料连接到有铜层覆盖的电路板上的流程很感兴趣。需要衡量两个因素:加在光阻材料上的压强和光阻的预热温度。需要测量 3 种不同的压强和 3 种不同的温度;每种因素的水平数不必相同,水平的总体数目也没有限制。每个实验的变量组合重复 5 次。注意:尽管 Excel 要求每种处理组合的重复数相等,大多数统计分析软件包允许使用不同的样本容量。实验记录了每一批线路板光阻材料的缺陷数。经过处理的数据如表 9.5 所示。

表 9.5 光阻材料实验原始数据

温 度	高 压	中 压	低 压
高温	39	32	18
	30	31	20
	35	28	21
	43	28	25
	25	29	26

续表

温 度	高 压	中 压	低 压
中温	38	10	22
	31	15	28
	31	25	29
	30	31	26
	35	36	20
低温	30	21	25
	35	22	24
	36	25	20
	37	24	21
	39	27	21

利用 Excel 的重复双因素 ANOVA 功能来分析这些数据。结果如表 9.6 所示。

表 9.6 由 Microsoft Excel 得到的双因素 ANOVA 光阻材料实验结果(重复双因素)

结果总结				
	高 压	中 压	低 压	总 和
高温				
个数	5	5	5	15
和	172	148	110	430
平均	34.4	29.6	22	28.66667
方差	30.8	3.3	11.5	46.66667
中温				
个数	5	5	5	15
和	165	117	125	407
平均	33	23.4	25	27.13333
方差	11.5	117.3	15	59.98095

续表

结果总结						
	高 压	中 压	低 压	总 和		
低温						
个数	5	5	5	15		
和	177	119	111	407		
平均	35.4	23.8	22.2	27.13333		
方差	11.3	5.7	4.7	43.26667		
总和						
个数	15	15	15			
和	514	384	346			
平均	34.26666667	25.6	23.06666667			
方差	22.06666667	44.68571429	10.92380952			
ANOVA						
方差来源	平方和(SS)	自由度(df)	均方(MS)	F 值	P-值	F 临界值
样本	23.5111111	2	11.7555556	0.45781	0.6363	3.259444
列	1034.84444	2	517.422222	20.1506	1.34E-06	3.259444
交互作用	139.555556	4	34.8888889	1.35872	0.267501	2.633534
内部	924.4	36	25.6777778			
总和	2122.31111	44				

和前面一样,Excel 输出结果中的第一部分给出了不同实验处理水平下的统计描述。第二部分为 ANOVA 表。因为现在是重复实验,Excel 表可以估计压强和温度之间的交互作用。对于这个实验,实验人员认为:小于 0.05 的 P -值表示效果显著。ANOVA 表中,小于 0.001 的 P -值表明不同的列(压强)之间存在显著差异,而 P -值为 0.6363 表明不同的行(温度)之间并不存在显著差异。 P -值为 0.267501 表明:压强和温度之间的相互作用也并不显著。

既然 P -值显示至少有一个差异是显著的,那么,可以确认最大的差异 $34.26666667 - 23.06666667 = 11.2$ 是显著的。实验人员可以通过 t 检验来检查不同压强下的均值,以

确认哪些其他的差异是显著的(Excel的数据分析工具附加项中有这些检测方法)。注意:多次执行 t 检验会影响到第I类错误。如果一次 t 检验其第I类错误是 α ,那么, k 次 t 检验第I类错误的总数是 $1-(1-\alpha)^k$ 。例如,如果 $\alpha=0.01$,要检查3对均值,那么,这三次 t 检验的第I类错误为 $1-(1-0.01)^3=1-0.99^3=0.03$ 。

全析因和部分析因

在全析因实验中,对实验变量的每种可能组合都至少可以得到一个观测数据。例如,如果A有2个水平,B有3种水平,C有5种水平,那么,全析因实验至少有 $2 \times 3 \times 5 = 30$ 个实验结果。

在部分析因实验或部分重复实验中,有些实验变量的组合并没有得到观测数据。这样的实验不能对所有的交互作用进行估计。然而,如果进行仔细的策划,实验人员还是可以得到所有需要的信息,并节省一笔可观的费用。

分析析因实验 有一种简单的方法可以分析一般的 2^n 实验。这种被称作Yates的方法可以通过袖珍计算器或者电子表格来完成。它可以用于任何经过仔细设计的 2^n 实验,而不必考虑所研究的因素个数。

为了运用Yates算法,必须首先把数据排列成标准次序(当然,实际的运行次序是随机的)。举个例子就能很容易地理解标准次序的概念了。假设进行实验要有3个因素:A,B和C。3个因素中的每一个都有2种水平,可以称作高和低。处于低状态下的因素记为“-”,处于高状态下的因素记为“+”。使用这种方案,由3个因素组成的8种可能组合如下表所示。

标识	A	B	C
(1)	-	-	-
a	+	-	-
b	-	+	-
ab	+	+	-
c	-	-	+
ac	+	-	+
bc	-	+	+
abc	+	+	+

注意表格从所有因素都处于低水平开始。接着,第一个因素处于高水平,其他因素为低水平。当一个因素处于高水平时,就在标识列中显示出来,否则,标识列就不显示,例

如,如果标识列出现“a”时,表示因素 A 处于高水平。为完成这张表,随着任何一个因素加入表中,都需要与前面的行“相乘”。因此,当 b 加进来时,它和 a 相乘,得到行 ab。当 c 加进来时,依次与 a, b 和 ab 相乘,得到了表中剩余的行。(作为练习,读者可以在上表中加入第四个因素 D。提示:结果会得到一张多了 8 行的表。)一旦数据处于标准次序,加入一个数据列,并且为每个变量都分配一列。有 3 个变量,故加入 4 列。

标识	A	B	C	数据	1	2	3
(1)	-	-	-				
a	+	-	-				
b	-	+	-				
ab	+	+	-				
c	-	-	+				
ac	-	-	+				
bc	-	+	+				
abc	+	-	+				

把数据记录在数据列中(如果实验有重复,则记录下总和)。现在把前两行的数值相加,即(1)+a,并把结果记录在列号为 1 的第一个单元格中。把下面两行(b 和 ab)相加,并放到第二个单元格中。直到列 1 的上半部分填满。列 1 的下半部分由一行减去另一行的值得到。如列 1 的第五个单元格为 $-5 - (-2) = -3$ 。完成列 1 之后,根据列 1 的值,用同样的步骤完成列 2。列 3 使用列 2 的值来完成。结果如下所示。

标识	A	B	C	数据	1	2	3
(1)	-	-	-	-2	-7	21	-17
a	+	-	-	-5	28	-38	-15
b	-	+	-	15	-29	-5	55
ab	+	+	-	13	-9	-10	1
c	-	-	-	-12	-3	35	-59
ac	+	-	-	-17	-2	20	-5
bc	-	+	-	-2	-5	1	-15
abc	+	-	+	-7	-5	0	-1

Yates 方法的示例 下表给出了从实际实验中得到的样本数据。该实验是一名射手

想提高每 25 次射击击中目标的数目。涉及到 3 个变量: a=枪的口径(12 号和 20 号), b=射击量(6 次和 8 次), c=目标抛射器手柄的长度(长或短)。射手进行了两次实验。记为“1st”的列给出了第一次各种组合下击中的数目。记为“2nd”的列给出了第二次各种组合下击中的数目。Yates 分析首先从列号为“和”的这列数据开始。

标识	1st	2nd	和	1	2	3	结果	自由度(df)	平方和(SS)	均方(MS)	F 比
1	22	19	41	86	167	288	18	平均			
a	21	24	45	81	121	20	2.5	1	25.00	25.00	3.64
b	20	18	38	58	9	0	0	1	0.00	0.00	0.00
ab	21	22	43	63	11	4	0.5	1	1.00	1.00	0.15
c	12	15	27	4	-5	-46	-5.75	1	132.25	132.25	19.24
ac	12	19	31	5	5	2	0.25	1	0.25	0.25	0.04
bc	13	15	28	4	1	10	1.25	1	6.25	6.25	0.91
abc	20	15	35	7	3	2	0.25	1	0.25	0.25	0.04
误差								8	55.00	6.88	
总和								15	220.00		

“结果”列中的第一行是由列“3”的第一行(288)除以数目($r \times 2^n$)得到的,这只是个平均数。“结果”列中随后的行是由列“3”中的数除以($r \times 2^{n-1}$)得到的。“结果”列提供了给定因素对反应的影响;因此,射手在用 12 号口径枪射击时要比用 20—口径枪平均多命中 2.5 个目标。

接下来的问题是,这些差异是否统计显著,换言之,是否仅仅因为偶然?为了回答这个问题,可以利用 F 比,它是每个因素的均方与误差的均方的比值。每个结果的自由度都是 1(因素的水平数减 1),总的自由度是 $N-1$,误差的自由度是总自由度减去所有因素自由度之和。每个因素的平方和是列“3”值平方后除以 $r \times 2^n$;例如, $SS_A = 20^2/16 = 25$ 。总平方和是:所有单个值的平方和,减去列“3”中第一行的值的平方除以 $r \times 2^n$;例如

$$(22^2 + 21^2 + \dots + 15^2) - \frac{288^2}{16} = 220$$

误差的平方和是总平方和减去因素平方和。均方和 F 列可根据前面介绍的单因素 ANOVA 方法计算得到。示例中,因素 c(投掷器)的 F 比对于 $\alpha < 0.01$ 是显著的,因素 a(口径)的 F 比对于 $\alpha < 0.10$ 是显著的,其他的 F 比都不显著。

9.3 经验模型建模和序贯学习

假如你在实验设计和经验模型建模方面是个新手,做个比喻可能对你有帮助。想象一下你醒来时突然发现你在一个陌生的荒野上。你不知道你所在的位置,你想爬到附近山上的最高处看一看附近是否有人烟。你会怎样做?

第一步也许是仔细环顾四周。是否有些在你出发之前需要了解的事物?可能你会特别注意那些可能有危险的事物。如果你在丛林里,这些事物可能是需要回避的危险动物、流沙和其他的一些东西。你也会寻找那些有助于基本生存的东西,如食物、遮蔽物和衣物等。你希望建立一个“营地”,能够确保得到所有基本的必需品;如果事情变得难以控制,有一个可供返回的安全之处。经验建模时,在我们改变模型之前,我们也是按照这种方式开始。我们称知识发现行为为阶段 0。

现在你对当前的处境有些感觉了并找到了自信,知道了你所处位置的一些情况,你也许就开始计划前往最高的山。在出发之前,你很有可能要决定在路上需要什么。你仅仅关心那些真正重要的事物。然而,由于你是第一次穿行丛林,你决定先做一些短途旅行来确认你是否已拥有必需的东西。第一次旅行时,你带上了所有能想到的东西出发了。非常可能,你会发现你并不需要所有的东西。你可以把那些不重要的东西留在营地。在这些短途出行中,你会对营地周围的地形有些了解,虽然不多,但是足可以确定上山的方向。这个步骤相当于一个筛选实验,我们称为阶段 1。

现在你感到已经准备好开始你的旅途了。你只带了你需要的东西,并进入丛林向山上走去。你会不时地停下确认自己的方位,以保证自己仍然在正确的方向上前进。我们称这个爬山过程为急速上升,或者阶段 2。

在某个位置,你注意到你不再向上。而你意识到,这并不是意味着你已处于这片丛林地区的最高点,而只是你不在正确的方向上。你决定停下来并宿营。第二天早上,你开始更仔细地调查周边地区,做一些短途旅行。丛林非常密集,你发现周围地形并不规则,有时陡峭,有时略微平坦。这与你在上升过程中始终处于的平稳状态不一样。我们把你旅行的这个阶段称为析因实验,或者阶段 3。

现在你认为需要采用更为系统的方法来定位周围的山峰。你准备好重型武器——全球定位系统,从出发时就带着的全球定位系统!(一个没有内置地图的便宜设备)在你营地附近,采集一些高度数据,用罗盘经过仔细测量得到距离。每次都在手绘地图上记录高度。你利用这张地图画出等高线,最终得到一张清楚显示出山顶位置的图。这是综合设计阶段,我们称为阶段 4。

最后,你到达山顶。你爬上树顶,看到周围的壮观景色。你是如此地喜爱这片景色,决定把你的家建在山上,并永远居住下来。狂风和坏天气必将光顾丛林中你的这个角落,

因此你把房屋修建得异常坚固,能够承受它们的肆虐。换句话说,你的房屋设计得非常非常牢固,不畏惧环境的变化。我们把这个对运作参数的变化不敏感的建造产品的行为和过程称作稳健产品和过程设计,是这次旅行的阶段 5。

现在小故事讲完了,让我们回到实际中来改善我们的产品、过程和服务。

9.3.1 阶段 0: 确定你的方向

“我们究竟在哪?”

在开始设计一个实验以前,小组必须要了解存在的主要问题、关键测量指标、费用、时间和实验中可获得的其他资源。第 7 章和第 8 章给出了进行阶段 0 的研究时所需的方法和技术。在进行实验以前,作者建议在过程中应用统计过程控制(SPC)。SPC 可以把因素区分为特殊原因和一般原因。确定变量属于哪种类型的过程对实验计划的设计有重要意义。

本节所描述的方法其重要前提是:从本质上来说,学习是一个序贯的过程。实验人员,无论是个人还是小组,其专业知识在开始时都比较单薄,而在进行实验的过程中,不断地获得知识。随着新知识的获得,学习者能够更好地决定下一步最恰当的步骤。换言之,实验者一直在推测;但是随着可供分析的实验数据的获得,推测将变得更有经验。

这与传统方法不同。传统方法是想在一个大实验中尽可能回答所有相关的问题。传统方法起初应用于农业实验。在很多方面,特别是在结果快速获得这一方面,六西格玛应用与农业应用不一样。这里描述的方法利用了这一优势来加快和引导学习的过程。

来看一个电器制造的例子。一开始,一个从事焊接过程的小组(这里称为焊接小组)从另外一个评价整个制造过程所存在问题的小组(这里称为制造小组)那里接受一个任务。制造小组发现顾客返修的一个主要原因是焊接问题。而另一个小组则发现,相对于其他方面,焊接占用了更大的场地资源;场地一个主要用途在于存储有缺陷的电路板和修复这些焊接缺陷。因此,组成了一个焊接过程改进的小组。如果可能的话,要求小组找到消除焊接缺陷的方法,或至少减少至 10 个左右。小组成员包括一名六西格玛技术指导、一名过程工程师、一名检测员、一名操作员和一名产品工程师。

小组数次召集会议研究帕累托图和问题报告。他们还通过进行过程审核发现了一些明显的问题。当这些问题得到纠正以后,小组又实施了一项过程能力研究,从中发现了一些引起变动的特殊原因,并进行研究和改正。经过 4 个月,这些初步工作把焊接的缺陷度降低了 50%,从原来的每一个标准单位 160 个缺陷降低到每单位 70~80 个的范围。这些努力使得焊接效率翻了一倍。尽管令人振奋,但是结果还远没有达到小组一开始被要求的至少改善至 10 个左右的要求。



9.3.2 阶段 1: 筛选实验

“这里什么重要?”

在这点上过程是稳定的,小组准备从过程控制阶段发展到过程改善阶段。这就涉及到完成设计的实验以测量重要的结果。焊接小组决定尽可能多地列出所有可能影响焊接质量的因素。由于很多变量已经在阶段 0 被研究过了,所以清单并不太长。小组着眼于控制所列变量的方法,并能够找出方法来消除表中所列变量的影响。剩余的清单包含下面的因素:

变 量	低水平(-)	高水平(+)
A: 电路板在烤箱中预先烘焙	不	是
B: 预热时间	10 秒	20 秒
C: 预热温度	华氏 150 度	华氏 200 度
D: 预热器和电路板表面的距离	25 厘米	50 厘米
E: 线速度	3fpm	5fpm
F: 焊接温度	华氏 495 度	华氏 505 度
G: 电路密集度	低	高
H: 电路板是否在一个固定装置里	不	是

可以根据这些信息利用统计软件包进行实验设计。市场上有很多软件包,都具有与这里演示的分析相类似的功能。

因为这里仅仅是一个筛选实验,小组并不急于得到因素之间相互作用的估计。而重点在于识别出重要的主要影响。软件允许从多个设计中进行选择。黑带对设计进行决策,以最少的检验单位估计出主要影响。这个实验需要检验 16 个单位。计算机得到的数据矩阵如表 9.7 所示。运行次序由计算机随机安排。如果实验不能按照这个次序进行,计算机软件允许数据分块运行,并相应地调整分析结果。计算机程序还告诉我们,该设计是方案 4,这意味着主要影响之间并没有混淆,因素间也没有相互作用。

表 9.7 筛选实验布局,数据矩阵(随机)

运行	A	B	C	D	E	F	G	H	反应
1	+	-	-	-	-	+	+	+	65
2	+	-	+	+	-	+	-	-	85
3	+	+	-	-	+	+	-	-	58

续表

运行	A	B	C	D	E	F	G	H	反应
4	-	+	-	-	+	-	+	+	57
5	-	-	-	-	-	-	-	-	63
6	+	+	+	+	+	+	+	+	75
7	-	+	-	+	-	+	+	-	77
8	-	+	+	-	-	+	-	+	60
9	-	-	+	-	+	-	-	+	67
10	+	-	-	-	-	-	+	-	56
11	-	-	-	-	+	+	+	-	63
12	-	-	-	-	-	+	-	-	81
13	+	+	-	+	-	-	-	+	73
14	+	-	-	+	-	-	+	-	87
15	-	+	+	+	+	-	-	-	75
16	-	-	+	+	-	-	+	+	84

在表 9.7 中，“-”表示变量处于低水平，而符号“+”表示变量处于高水平。例如，对于第 16 次运行来说，该实验对象处于如下状态：

预先烘焙 = 不

预热时间 = 10 秒

预热温度 = 华氏 200 度

预热器和电路板表面的距离 = 50 厘米

线速度 = 3fpm

焊接温度 = 华氏 495 度

电路密集度 = 高

使用固定装置 = 是

每标准单位缺陷数 = 84^①

实验数据按照软件提供的随机运行次序进行搜集。“反应”这一列的数据记录了每

① 原文为“82”，但根据下一段对“反应”的解释，译者认为该处的值应该与表 9.7 中“16”所对应的行的“反应”一列的值相等，故加以更正。

“标准单位”上有缺陷的焊接点数，“标准单位”则代表了焊点数处于中位数水平的电路板^①。结果如表 9.8 所示。

表 9.8 实验数据分析结果(部分析因拟合)

反应的效果估计和系数						
项	效果	系数	系数的标准差	T	P	
常数		70.375	0.6597	106.67	0.000	
A	-0.075	-0.375	0.6597	-0.57	0.588	
B	8.000	4.000	0.6597	6.06	0.001	
C	-0.500	-0.250	0.6597	-0.38	0.716	
D	-18.500	-9.250	0.6597	-14.02	0.000	
E	0.000	0.000	0.6597	0.00	1.000	
F	-0.250	-0.125	0.6597	-0.19	0.855	
G	-0.250	-0.125	0.6597	-0.19	0.855	
H	0.250	0.125	0.6597	0.19	0.855	
ANOVA						
方差来源	自由度(df)	平方和(SS)	调整平方和(SS)	调整均方(MS)	F-值	P-值
主要效果	8	1629.00	1629.00	203.625	29.24	0.000
误差	7	48.75	48.75	6.924		
总和	15	1677.75				

一个如果能够较好地拟合数据的模型，则它的残差会落在一条直线上。黑带认为模型的拟合程度足够了。

经过分析指出，因素 B(预热温度)和因素 D(预热器和电路板表面的距离)会产生非常显著的影响。图 9.3 显示了实验结果的正态概率图。该图表明表 9.8 的系数列符合正态概率分布。如果因素的效果是由于偶然变动，那么它会绘制成一条接近代表正态变动

^① 从技术上看，这里泊松模型是正确的选择。然而，若假设为正态分布，那么对于这种情况下缺陷数的估计也是相当准确的。小组同样要估计方差，更具体地说，是估计方差的对数值。每个因素的方差变化并不显著，这里就不一一给出了。

的直线。在图 9.4 中, B 和 D 的效果偏离直线而不能认为是随机变动的。

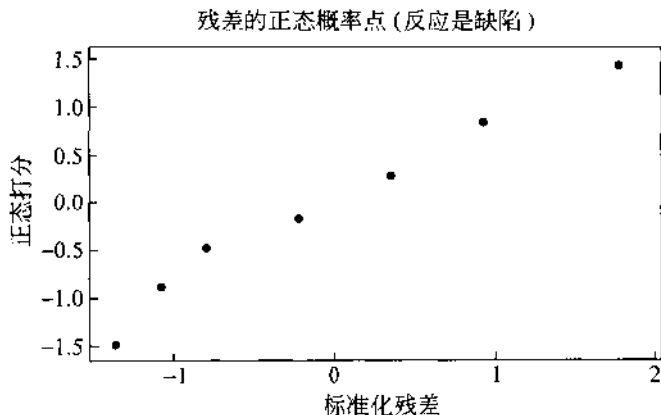


图 9.3 实验模型的残差图

图 9.4 给出了对应于反应单位的显著因素效果。

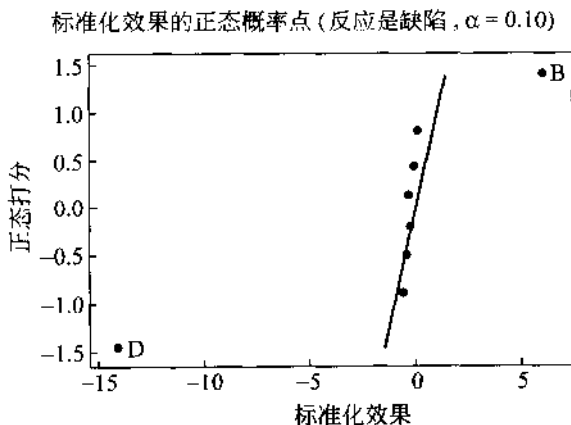


图 9.4 显著因素效果

因为反应是缺陷数, 图形显示因素 D 处于低水平会得到较好的结果, 而因素 B 处于高水平会得到较好的结果。通过检验变量的系数也可以得出同样的结论。当 D 处于低水平时, 每单位的平均缺陷比当 D 处于高水平时少 18.5 个; 当 B 处于高水平时, 每单位的平均缺陷是比当 B 处于低水平时少 8 个。

小组聚在一起讨论这些问题。他们决定把所有统计不显著的因素调到运作费用最低的水平, 而把因素 B 和因素 D 作为他们的研究重点。在这些设置条件下, 对实验过程监控一段时间, 以确认是否与小组基于实验分析得出的结论相似。当完成这项工作之后, 计

划进行另外一系列实验,以进一步探讨那些在筛选实验中没有揭示的显著影响。

9.3.3 阶段 2: 急速上升(下降)

“哪条路是向上的?”

在筛选实验的基础上,利用表 9.8 给出的系数,得到估计缺陷率的线性模型:

$$\text{缺陷率} = 70.375 + 4B - 9.25D \quad (9.2)$$

小组想通过一系列的实验来评价因素 B 和因素 D。阶段 1 的实验表明了方向和速率,通过改变因素 B 和因素 D 可以得到缺陷率最为急速的改进,即急速上升的方向(这里“上升”是指对感兴趣的测量的改进)。为了计算急速上升方向上的一系列点,从设计的中心开始,然后以拟合公式系数的一定比例来改变这些因素。例如,因素 B 每次增加 4 个单位,因素 D 每次减少 9.25 个单位。对于手头的数据,实验中心和单位容量如表 9.9 所示:

表 9.9 实验的单位容量和中心

因素	单位容量	中心值
B	5	15 秒
D	12.5	37.5 厘米

在因素 B 和因素 D 的中心值,产生一个测试单位。小组决定:把预热时间(B)增加 5 秒(一个单位),而把与预热器的距离减少 $(9.25 \div 4) \times 12.5$ 厘米 = 28.75 厘米。这样就得到一个实验: $B = 20$ 秒, $D = 8.75$ 厘米。结果是每个单位有 52 个缺陷。然而,尽管焊接质量有所提高,小组发现在如此短的距离下,电路板开始被烧焦。这使得小组必须放弃这条急速上升的路径。他们实施了一系列实验,在一些与预热器不同的距离(因素 D)下,研究了电路板被烧焦的情况。他们发现为了保证不被烧焦,至少要保持 15 厘米的距离。为了保证一定的安全余量,小组决定把距离(因素 D)设置为 20 厘米。他们继续以 5 秒为间隔增加预热时间,在每段预热时间下生产一块电路板。结果如表 9.10 所示:

表 9.10 急速上升的实验数据

运行	B(秒)	D(厘米)	平均缺陷数
1	15	37.5	70
2	20	8.75	52
3	25	20	51
4	30	20	31

续表

运行	B(秒)	D(厘米)	平均缺陷数
5	35	20	18
6	40	20	12
7	45	20	10
8	50	20	13

这些数据如图 9.5 所示。

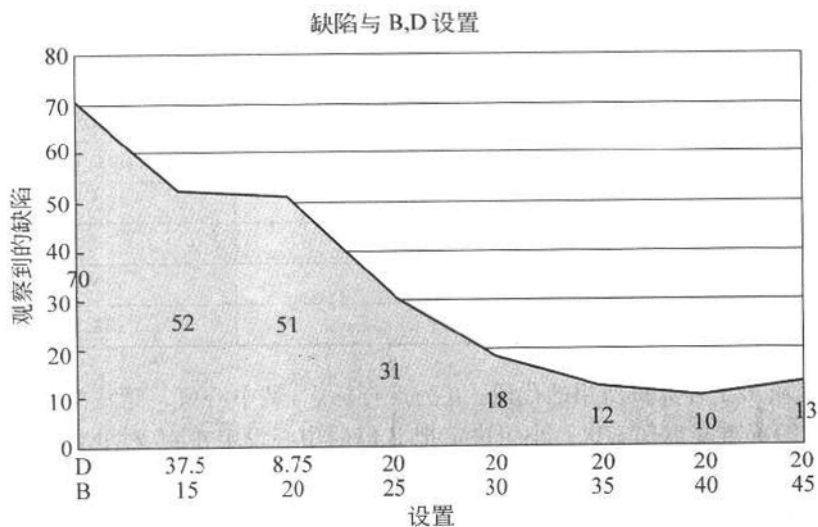


图 9.5 急速下降结果

把电路板表面和预热器的距离固定在 20 厘米, 预热时间为 40 秒得到最佳的结果。其他情况下, 缺陷率要高一些。

9.3.4 阶段 3: 析因实验

小组决定在最佳设置的附近继续做实验以更为彻底地探索这个实验区域。为了做到这点, 他们决定运行析因实验, 使得他们能够估计 B 和 D 这两个因素的相互作用和主要影响。他们还想得到这个区域内的“曲率”。这就要求不止研究两个水平(具有两个水平的设计只能作线性估计)。最后, 小组想在这个区域内估计实验误差; 这需要重复实验。选定的设计如表 9.11 所示:

表 9.11 具有中点值的重复全析因设计

运行	B	D
1	40(-1)	20.0(-1)
2	45(0)	22.5(0)
3	50(1)	25.0(1)
4	40(-1)	25.0(1)
5	40(-1)	20.0(-1)
6	45(0)	22.5(0)
7	40(-1)	25.0(1)
8	40(-1)	25.0(1)
9	50(1)	20.0(-1)
10	50(1)	25.0(1)
11	40(-1)	20.0(-1)
12	40(-1)	20.0(-1)
13	50(1)	25.0(1)
14	50(1)	20.0(-1)
15	45(0)	22.5(0)

括号里给出了计算机所用的代码。0 为运行标志,是中心值。请注意每种组合(如正号、负号或 0)都重复出现三次。小组决定把 B 值的中心设定在 45 秒处,这时上升(下降)速度最快。因素 D 的间隔降低到 2.5 厘米,并且把中心设在 20 厘米的上一个间隔(即 $D=22.5$ 厘米)。

表 9.12 具有中点值和重复的全析因实验结果

运行	B	D	结果
1	40(-1)	20.0(-1)	11
2	45(0)	22.5(0)	9
3	50(1)	25.0(1)	11
4	40(-1)	25.0(1)	15
5	40(-1)	20.0(-1)	12
6	45(0)	22.5(0)	10
7	40(-1)	25.0(1)	17
8	40(-1)	25.0(1)	15
9	50(1)	20.0(-1)	11



续表

运行	B	D	结果
10	50(1)	25.0(1)	11
11	40(-1)	20.0(-1)	13
12	40(-1)	20.0(-1)	13
13	50(1)	25.0(1)	11
14	50(1)	20.0(-1)	11
15	45(0)	22.5(0)	10

部分析因拟合

反应的效果和系数估计					
项	效果	系数	系数的标准差	T	P
常数		12.583	0.2357	53.39	0.000
A	-2.833	-1.417	0.2357	-6.01	0.000
B	1.500	0.750	0.2357	3.18	0.010
A * B	-1.833	-0.917	0.2357	-3.89	0.003
Ct Pt		-2.917	0.5270	-5.53	0.000

看第六列,会发现模型中的所有项都是显著的(只要 P 值小于 0.05 就表明效果显著)。这项分析可由 ANOVA 表来验证(表 9.13)。

表 9.13 具有中点值的析因实验的 ANOVA 表

缺陷的 ANOVA						
方差来源	自由度(df)	平方和	调整平方和	调整均方	F 值	P 值
主要效果	2	30.833	30.833	15.4167	23.13	0.000
双因素的交互作用	1	10.083	10.083	10.0833	15.13	0.003
曲率	1	20.417	20.417	20.4167	30.63	0.000
残差	10	6.667	6.667	0.6667		
纯误差	10	6.667	6.667	0.6667		
总和	14	68.000				

请看 ANOVA 表中 P -值这一列,可以发现主要影响、双因素的相互作用和“曲率”都是显著的($P < 0.05$)。曲率可以通过比较中心点的平均反应与角点的反应来进行测量。曲率是显著的,这意味着我们的实验不再是在线性的反应区域内,意味着我们基于线性模型得到的初始系数不再是恰当的。看到这些结果,黑带认为有必要进入阶段 4,更好地调查反应区域,并努力找到一个稳定的最佳点。

9.3.5 阶段 4: 综合设计

为了在过程所运行的区域内得到更多的信息,黑带决定采用被称为综合设计或中心综合设计的设计方法,如图 9.6 所示。在这种设计中,除了在先前的析因实验中的中心点和角点之外,还附加了另外一些点,这种设计要对中心点、角点以及附加的点进行讨论。这些点拓展了前面每种因素只利用高和低两种水平进行设计的情况。小组决定他们可以吧距离降低到“最小”距离 20 厘米以下,因为他们原来就留了 5 厘米的安全空间。他们同时还注意到,相对于急速上升阶段采取的较大间隔来说,他们现在采取的实验步伐则相对小一些。

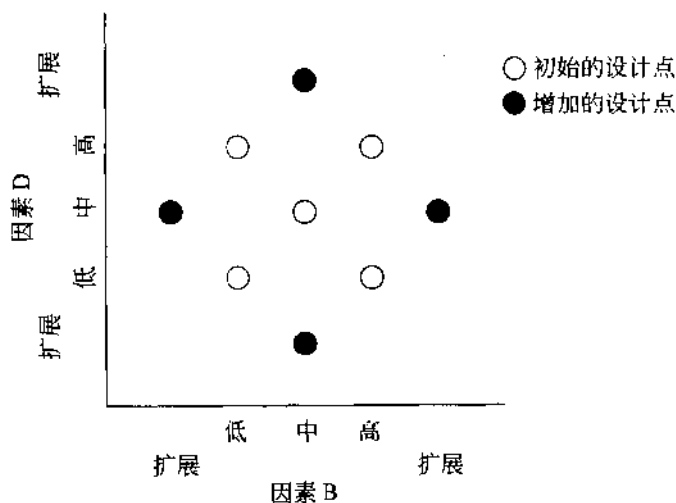


图 9.6 焊接过程的中心综合设计

使用 DOE 软件找到了描述复杂区域对于反应的公式的系数。拟合公式如下所示:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \epsilon \quad (9.3)$$

由这个等式描述的区域可能会包含一个极大值,一个极小值,或一个“鞍点”。在极大值点,任何偏离这个固定点的举措都会降低反应。在极小值点,任何偏离这个固定点的举措都会提高反应。在鞍点,偏离一个变量的固定值会导致反应的降低,而偏离另一个变量

的固定值会引起反应的增加。有一些 DOE 软件会给出这些固定点的 X 和 Y 值,以及这些固定点的性质(极大点、极小点或者鞍点)。有一些 DOE 软件会画出这个实验区域的二维图或三维图。通常对这些反应表面图进行解释并不困难。

小组搜集到的数据如表 9.14 所示。注意:数据以标准次序显示,而运行次序是随机的。

表 9.14 中心综合设计实验和数据

B	D	缺陷
-1.41421	0.00000	16
1.00000	1.00000	11
0.00000	0.00000	9
0.00000	-1.41421	11
1.00000	-1.00000	9
1.41421	0.00000	4
0.00000	0.00000	10
0.00000	0.00000	10
0.00000	1.41421	15
0.00000	0.00000	9
0.00000	0.00000	10
-1.00000	1.00000	15
-1.00000	-1.00000	13

数据的计算机分析结果如表 9.15 所示。

表 9.15 中心综合实验的分析
Y 的回归系数的估值

缺陷的回归系数估计				
项	系数	系数的标准差	T	P
常数	9.600	0.5880	16.326	0.000
B	-3.121	0.4649	-6.714	0.000
D	1.207	0.4649	2.597	0.036
B*B	0.325	0.4985	0.652	0.535
D*D	1.825	0.4985	3.661	0.008
B*D	0.000	0.6574	0.000	1.000
S = 1.135 R ² = 90.3% R ² (调整) = 83.4%				

P 值表明除了 B * B 这一项和相互作用(B * D)这一项以外都是显著的。

缺陷的 ANOVA						
方差来源	自由度	平方和	调整平方和	调整均方	F	P
回归	5	112.821	112.8211	22.5642	13.05	0.002
线性	2	89.598	89.5980	44.7990	25.91	0.001
平方	2	23.223	23.2231	11.6115	6.72	0.024
交互作用	1	0.000	0.0000	0.0000	0.00	1.000
残差	7	12.102	12.1020	1.7289		
拟合缺度	3	10.902	10.9020	3.6340	12.11	0.018
纯误差	4	1.200	1.2000	0.3000		
总和	12	124.923				
缺陷不寻常的观测结果						
观测结果	缺陷	拟合	拟合的标准差	残差	标准残差	
6	4.000	5.836	1.039	-1.836	-2.28R	

R 代表一个较大的标准化残差的观测结果。小组确定观测 # 6 的缺陷数。

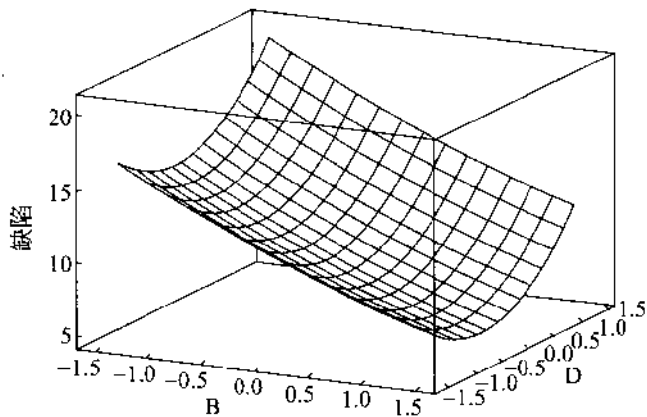
ANOVA 表明拟合缺度不显著。同时表明相互作用这一项也不显著,可以把它从模型中删除,这样估测误差时增加了一个自由度。

反应表面 3D 图和等高线图分别如图 9.7(a)和图 9.7(b)所示。

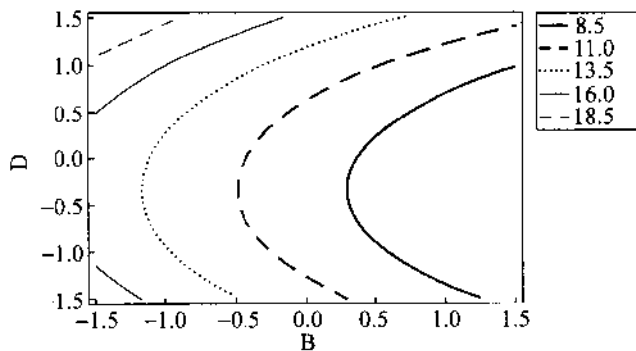
如果黑带选择进行规范的分析,对反应表面图的性质进行更深入的研究,那么,某种程度上分析会变得更加先进。规范分析可以找到一个固定点 S,并通过坐标系的转换来消除跨产品的一阶项。进行这类分析的有关技术可以参考一些高水平的文献(Box, G. E. P. 和 Draper 1987; Meyers 和 Montgomery, 1995)。然而,从等高线图和三维反应表面图中可以明显看到,如果保持 D 不变而逐步增加 B,产品还有一定的改善空间。

此时,小组认为就当前所考虑的过程而言,他们已经处于了收益递减的转折点。数据表明,如果能够正确地加以控制,当前的波峰焊过程在最后一次设计的中心,能够使每个标准单位的缺陷数降低到 10 个或者更少。这要比项目初始阶段的过程结果好 16 倍,比第一次实验的平均结果好 7 倍。

在黑带的指导下,小组决定把过程设置在最后一次实验的中心点($B = 0, D = 0$),并且应用进化操作(EVOP)来进一步优化。EVOP 需要在生产上做一系列设计过的实验,同时需要操作人员做一些小的改动(Box, G. E. P. 和 Draper, 1969)。把 EVOP 限制在小



(a) 缺陷数据的反应表面图



(b) 缺陷数据的等高线图

图 9.7 缺陷数据的反应表面图和等高线图

工序的变动上,减少产品报废的风险。尽管过程设置中的变动比较小,但是累计改进效果可能是巨大的。而在 $+B$ 的方向上缺陷率具有的明显的、渐进的斜率,保证了EVOP中过程不可能“从悬崖上跌落”。

黑带帮助设立过程的EVOP,并且训练需要经常使用它的操作人员和监管人员。如果出现问题,也可以以周期性访问的方式提供现场支持。小组决定在把改善的流程传授给操作人员之后,他们还要注意保持他们成果的方法,同时要通过研究基本的过程和产品设计的变动来获得更大的改进。

9.3.6 阶段5: 稳健产品和流程设计

为了保持收益,即使情况发生变化,也需要产品和流程在接近最佳的条件下进行运

作。稳健设计可以从仔细研究等高线图开始。注意：如果你从 $B=D=0$ 开始，沿着从左到右的线移动，反应相对较慢地发生改变。然而，如果从中心沿着由低到高的线移动，缺陷率增加得非常快。稳健的流程控制计划应当考虑到非线性性。如果有必要改变因素 B 和 D ，那么，应该在避免增加缺陷率的情况下进行改动。这并不是意味着禁止进行任何变化；毕竟，没有变化就不可能得到学习和提高。然而，变化应该得到监控（比如用 EVOP），以便于在顾客与学习过程中所引起的不合格品的生产之间提供过滤的功能。

更正规的做法是，把稳健设计与实验设计进行整合。田口玄一给出了一种把实验设计 DOE 与产品和流程的设计进行整合的著名方法。虽然对田口的统计方法有诸多批评，但有一点显然达成一致，即稳健参数设计的原理对工程科学做出了有效和有价值的贡献。

田口稳健性概念

本节将介绍日本的田口玄一博士提出的一些概念。对于田口实验设计方法的全面讨论超出了本书的范围。然而，田口的许多观点是非常有用的，因为它们为从总体上看待质量提供了一种可供选择的方法。

介绍 质量可定义为：从产品装运的时刻算起，对社会造成的损失（Tauguchi, 1986）。田口把质量控制所进行的努力分成两类：在线质量控制（on line quality control）和离线质量控制（off-line quality control）

在线质量控制——涉及到诊断并调整过程，预测和纠正错误，检查并处理产品，跟踪送达顾客的劣质产品。

离线质量控制——在产品改善环中，质量和费用的控制发生在产品和过程设计阶段。离线质量控制主要有三个方面：

1. **系统设计**——这是一个把科学的和工程的知识应用到进行一个基本的功能原型设计的过程。模型的原型定义了产品或过程设计属性的初始设置。

2. **参数设计**——对确定使得性能变动最小（或至少是降低性能变动）的设置进行研究。产品或过程在设计属性的很多种设置下都能达到预期的功能。然而，属性设置不同，性能特性的变动也会随之变化。这种变动会增加产品制造和生命周期的费用。因为工程上习惯把产品特性看作产品参数，所以采用“参数设计”这个术语。识别最佳的参数设置的实验称为参数设计。

3. **容差设计**——这是一种确定能使产品制造和生命周期的费用总和最小的容差的方法。产品和过程设计的最后一步是确定由参数设计决定的标称设置附近的容差。工业界常见的做法是根据惯例而不是科学来分配容差。容差太窄会增加产品的制造费用，容差太宽会增加性能的波动和产品生命周期的费用。

预期损失——在产品生命期内任意一个时间，任一个使用者因为产品的性能波动而

可能遭受的金钱损失。田口提倡建立损失函数的模型,使得参数设计更为具体。最常用的损失模型是图 9.8 所示的二次损失模型。注意:操作过程中的损失是在金钱损失函数之基础上对过程密度函数求积分得到的。该模型经常具有如下的好处:

1. 使过程均值更接近目标值。
2. 减少过程中的波动。

当然,这两种行为经常要涉及到成本。从这个角度进行考虑,也许能够衡量成本效益比。

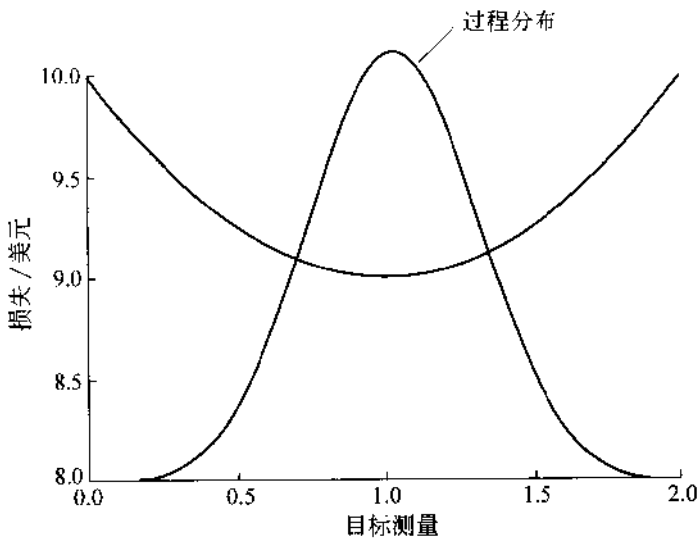


图 9.8 田口的二次损失函数

注意:传统管理观念中的概念损失函数与二次损失函数之间的差异。图 9.9 给出了对于损失的传统管理办法。

在传统办法下,只要产品和服务符合要求就没有损失。这里没有“目标”或者“最佳”:刚刚满足要求与处于零损失区中的任一个位置是一样的。偏离要求太多与刚刚超出范围遭受同样的损失。只要符合要求,过程的分布就是不相关的。

注意:这个损失模型对于满足要求的过程没有继续完善的激励,因为没有收益,即损失为零。因此,对于任何满足要求的过程,成本大于收益。这会极大地损害产品持续改善的观念,导致把可接受的质量水平作为操作标准。

噪音——本术语用于描述除了设计参数以外的所有变量,在产品的生命期内和产品的不同零部件间所引起的性能波动。噪音的来源分为外部来源和内部来源。

噪音的外部来源——处于产品外部并影响产品性能的变量。

噪音的内部来源——在相应的标称设置下所制造的产品的实际特性的偏离。

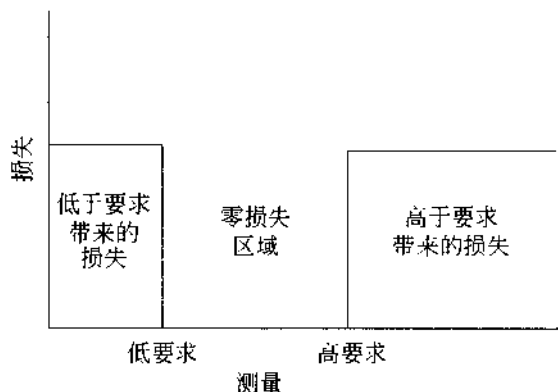


图 9.9 损失的传统管理办法

性能统计——估计噪音因素对性能特性的影响。选择性能统计，通过性能测量的最大化来把期望损失降到最低。田口使用的许多性能统计量都用到“信噪比”，它可以同时考虑参数水平和参数波动。

田口方法总结 Kacker(1985)总结了识别性能统计达到最大化的设计参数设置的田口方法：

- 确认设计参数有效的初始设定，确定重要的噪音因素和它们的范围。
- 构建设计和噪音的矩阵，策划参数设计实验。
- 构建参数设计实验，评价设计矩阵的每次实验运行的性能统计。
- 利用性能统计的数值来预测设计参数的新设置。
- 确认新设置真正改善了性能统计。

9.4 数据挖掘、人工神经网络和虚拟过程映射

尽管实验设计非常有益和高效，但处理它们的过程存在缺点。工作地点无论是一家工厂、一家零售公司还是一片办公室，都是按照惯例来设计的。惯例就是指那些必须要做的“真正的工作”，它们用来产生销售，继而得到维持企业生存的收益。由于实验的特定性质，它意味着要破坏惯例。需要改变许多关键的事情以决定它们对各种各样的重要规格的影响。很多情况下，这些影响并不乐观；这就是它们在最初没有被改变的原因！惯例的建立通常用来引导一个满意的进程，以此来避免变动所引起的混乱和浪费。

问题是：没有变化，事情就不可能取得进展。六西格玛减少变异所取得的改进，与它改变事情所取得的改进是一样的。这就是第 1 章所提到的六西格玛悖论的一部分。

本节提出利用现存的数据和人工神经网络软件进行“虚拟”实验的方法。在很多的

数据挖掘和决策支持的应用中,神经网络有一个已被证明是可供追寻的记录,所以它们很受欢迎。神经网络是应用于预测、分类和聚类的非常强大而通用的一类工具。它们已经应用于非常广泛的领域,从预测金融数据到诊断病情,从判断有价值的顾客群到辨认信用卡交易中的欺诈行为,从识别支票上的数据到预测引擎的失效率(Berry and Linoff, 1997)。本节只研究了为六西格玛设计实验对神经网络的应用,这只是神经网络在提高质量和改进性能方面应用的一小部分。

神经网络利用数字计算机来模拟人类大脑的神经连接。当在一个定义明确的领域里应用时,与我们从经验中进行学习的能力相似,它可以通过数据进行归纳和学习。然而,这里存在着缺点。和一个精心策划和执行的 DOE 不同,神经网络并不提供过程的数据模型。在大多数情况下,神经网络是黑箱操作,并不清楚内部的运作,这非常类似于人类思维的神秘性。

所有的公司都记录着重要的数据,一些存储在精心设计的数据仓库中,一些则在放文件的抽屉里。这些数据为六西格玛小组提供了潜在的价值。它们包含了能够用于估计过程性能的有用信息。例如,如果数据包含了过程设置的信息,它们可用来确认可能存在的因果关系并指出改进的方向。从数据库中过滤出有用信息的行为称为数据挖掘。该过程按下列步骤进行:

1. 为从整个组织得到的数据,创建数据仓库。
2. 决定用于改进过程的变量。
3. 利用这些数据中包含了一些极值的子集,来训练神经网络,从中发现自变量模式和因变量模式之间的关系。
4. 用剩余的数据来验证这个神经网络的预测能力。
5. 运行在“经验模型建模和序贯学习”这一部分中得到的实验设计。可以改变神经网络所建的“虚拟”过程,而不是对实际过程加以变动。
6. 一旦完成了阶段 4,利用神经网络中的设置作为指导实际流程实验的起点。换言之,开始阶段 1 的实验,即筛选实验。

可以这样认为,整个软实验过程就是经验模型建立过程中阶段 0 的一部分。它帮助回答了“我们在哪里”的问题。认识到神经网络实验不同于现实生活中的实验是很重要的。然而,与现实生活中的实验相比,神经网络的操作费用是最小的,而且,确定输入和输出变量、决定在何种水平下测试这些变量等等的过程,对小组进入现实事物的处理会有所裨益。此外,软实验可以进行大量的“如果这样会如何”类型的分析,激发了小组成员的创造性思维。

示例 表 9.16 中的数据来自前面描述过的焊接过程。这些数据不是专门为设计实验而搜集的,它们只是操作过程的记录。这些数据用于训练神经网络并使之有效。

表 9.16 虚拟过程映射所用的焊接过程数据

PH 时间	PH 距离	缺陷	PH 时间	PH 距离	缺陷
38	22.5	15	35	25	20
40	20	13	45	37.5	17
40	25	16	30	20	27
45	17.5	15	30	22.5	33
45	22.5	5	30	25	37
45	26	11	30	27.5	50
50	20	12	30	37.5	57
42	22.5	10	50	20	13
50	25	3	50	22.5	5
42	22	11	50	25	3
46	22	4	50	30	5
55	25	4	50	14	12
55	21	17	50	37.5	14
55	25	15	50	45	16
50	24	3	50	50	40
49	25	3	60	20	35
57	37	10	60	25	18
从右边继续……			60	37.5	12

图 9.10 给出了神经网络的模型。

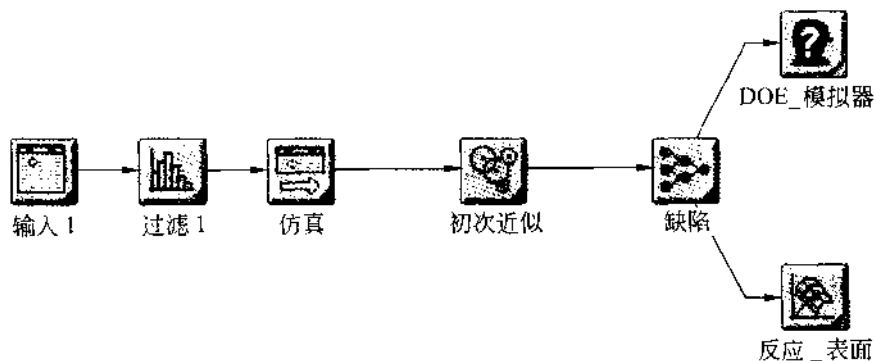


图 9.10 焊接缺陷的神经网络模型

用上面的数据训练模型,得到如图 9.11 所示的过程图。

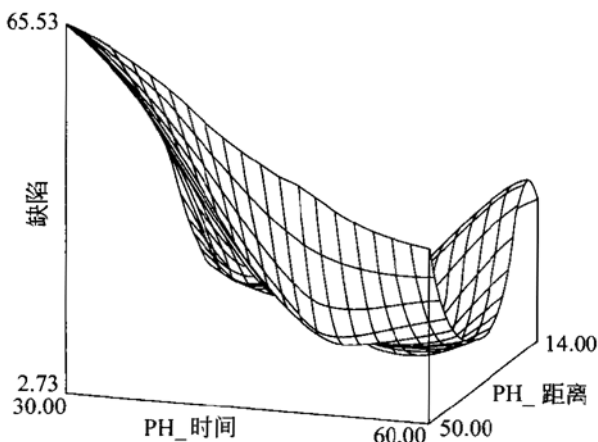


图 9.11 焊接缺陷的神经网络过程图

可以发现,神经网络描述的表面与先前用 DOE 所做的模型类似。两个模型都把 B 和 D 设置到相近的水平,并对缺陷率作了相似的预测。

神经网络软件还允许进行“如果……怎样”的分析。既然这些数据来自于小组实验运行的最后一个阶段所处的区域,那么,它们可以用来指导虚拟 DOE。图 9.12 给出了神经网络的“如果……怎样”等高线图的对话框。

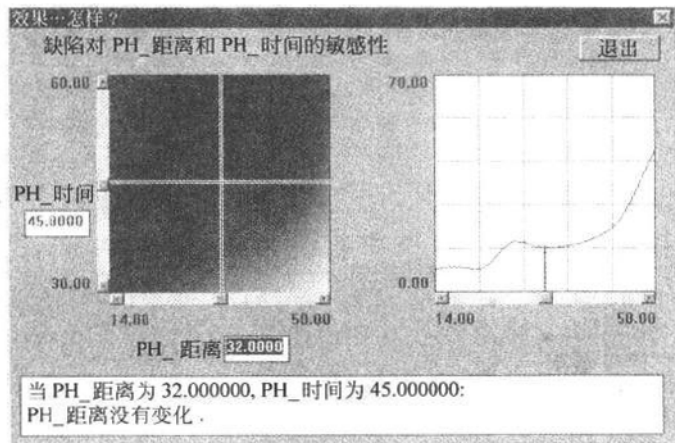


图 9.12 “如果……怎样”等高线图的对话框

虚拟 DOE 值输入到这个“如果……怎样”对话框中,神经网络的预测可用于实验设计,就好像它们是从实际实验的数据中得到的。如果你有整个感兴趣区域内的数据,那

么,在你做第一个实际实验之前,神经网络可能已经提供给你非常接近于最佳的设定。

9.5 回归和相关性分析

相关性分析(对变量之间的线性相关强度的研究)和回归分析(对一个或多个自变量与一个因变量之间的关系建模)在质量工程中相当重要。回归问题考虑了一个变量的频率分布,此时另一个变量处于几个不同水平中的一个。相关性分析考虑两个变量之间的连变性,这两个变量都不受实验者的限制。相关性分析和回归分析都可以用来帮助工程师研究原因和结果。它们可用于解决问题和策划过程的所有阶段。当然,统计本身并不能建立因果关系。要证实原因与结果就需要对情况有一个合理的科学解释。本节给出的统计方法能够辅助工程师完成他们的任务。

9.5.1 线性模型

线性模型是对两个变量 x 和 y 之间的一类关系的简单表述。线性关系意味着: x 发生某一大小给定的变动会引起 y 成比例的变化。线性模型的形式为:

$$y = a + bx \quad (9.4)$$

其中 a 和 b 是常数,这个等式说明了,当 x 变动一个单位时, y 会变动 b 个单位。此关系可用图形表示。

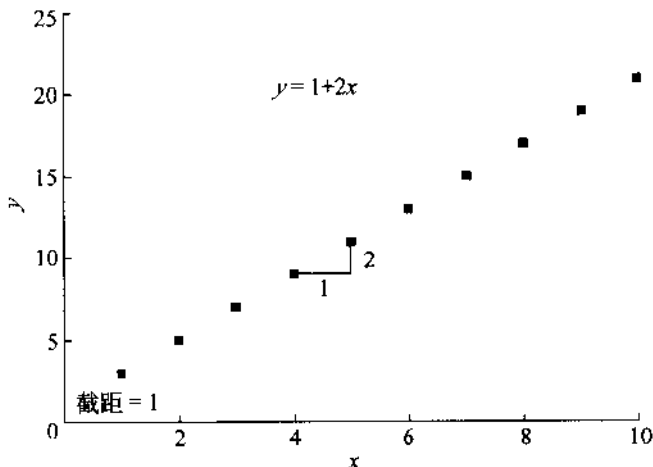


图 9.13 线性关系的散点图

图 9.13 中, $a=1$, $b=2$ 。 a 称为截距, b 称为斜率。当 $x=0$ 时, y 的值等于截距。图 9.13 描述一条拟合效果非常完美的直线,换言之,当 x 已知时,能够精确地得到 y 值。当

然,使用真实数据时,完全拟合事实上是不可知的。实际工作中,处理 x 和 y 时要使用误差。下面将讨论这些问题。

许多关系的类型是非线性的。例如, x 在一个给定的范围内, y 可能增加,而对于其他的 x 值, y 可能减少。图 9.14 描述了这种曲线的关系。

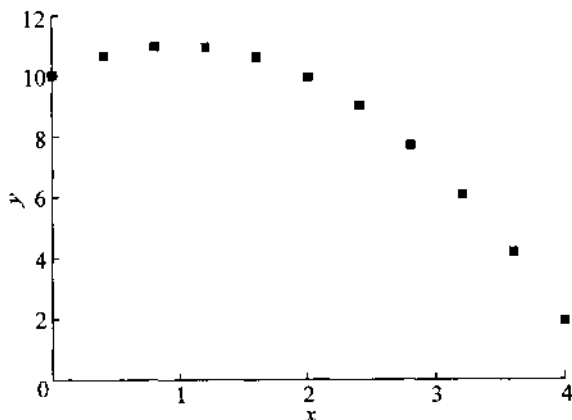


图 9.14 曲线关系的散点图

这里我们看到, x 小于 1 时,当 x 增加, y 值也增加,而当 x 大于 1 时, y 随着 x 的增加而减少。曲线关系在设计稳健系统时非常有用。很多过程会产生这样的关系。

在使用标准的计算机程序或计算器进行分析时,把这些非线性形式转变为线性形式通常是非常有用的。表 9.17 列举了几种这样的转换。

表 9.17 几种线性转换

关系形式	转换后的变量		直线的常数(b_0 和 b_1)转变为原始关系中的常数	
	y_T	x_T	b_0	b_1
$y = a + \frac{b}{x}$	y	$\frac{1}{x}$	a	b
$\frac{1}{y} = a + bx$	$\frac{1}{y}$	x	a	b
$y = \frac{x}{a + bx}$	$\frac{x}{y}$	x	a	b
$y = ab^x$	$\log y$	x	$\log a$	$\log b$
$y = ae^{bx}$	$\log y$	x	$\log a$	$b \log e$
$y = ax^b$	$\log y$	$\log x$	$\log a$	b
$y = a + bx^n$ 其中 n 已知	y	x^n	a	b

资料来源: Experimental Statistics, NBS Handbook 51, p. 5~31.

利用下面介绍的常规线性回归方法,来拟合直线 $Y_T = b_0 + b_1 X_T$ 。在所有的公式里,用 Y_T 代替 Y ,用 X_T 代替 X 。选择转换的一种简单方法是,把变换编入电子表格,对每种变换进行回归。然后,选择给出最大 R^2 统计值的那种转换方法。

另外还有一些分析非线性反应的方法。一种常用的方法是把反应分成几段,每一小段是线性的,然后分别分析每一小段。例如,图 9.14 中,在 $0 < x < 1$ 的范围内, y 近似线性并递增,而在 $x > 1$ 的范围内, y 近似线性并递减。当然,如果工程师有功能强大的统计软件,那么,可以直接分析这些非线性形式。

当进行回归分析和相关性分析时,需要区分两种类型的变量。一类变量称为预测变量或自变量,另一类是反应变量或者因变量。预测变量或自变量通常要么可以设定为一个期望值(如烤箱温度),要么是取值能够被测量但不能被控制(如外部环境的湿度)。预测变量的变化无论是特意为之还是随意发生,都会对反应变量产生影响(如,复合材料的颗粒大小)。我们通常对揭示预测变量的变化如何对反应变量产生影响感兴趣。理想的情况是,我们希望能够通过少量的预测变量来“解释”几乎所有反应变量的变化。

实际上,我们有时很难清楚地区分自变量与因变量。在很多情况下,这要取决于研究者的目的。例如,一位质量工程师在研究油漆质量时,会把周围的温度作为预测变量,而在研究洁净空间中的微粒时会把周围的温度作为反应变量。然而,在策划工程研究时,上述定义是有用的。

另外一个对研究因果关系非常重要的概念是研究的数据空间。所研究的数据空间是指由被研究的自变量取值范围所界定的区域。通常,对所研究的数据空间之外的数值进行预测称为外推法,其推论并不可信,故不建议使用。图 9.15 解释了两个自变量的数据空间的概念。当涉及到大量的自变量时,数据空间的定义可能会非常棘手。

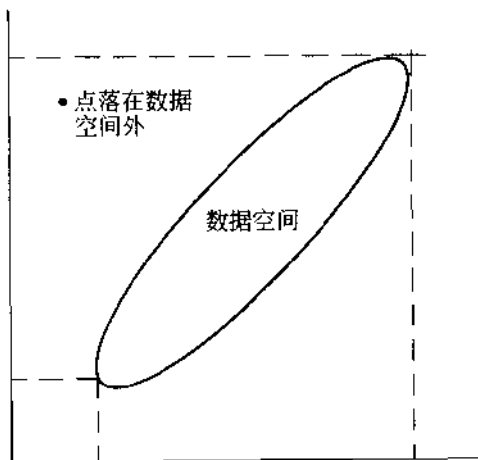


图 9.15 数据空间

当数据的数值分析提供了有用的信息时,通常应当辅以图形分析。散点图是对回归分析和相关性分析的一种非常有用的补充。下面说明了用散点图辅助数值分析的价值。

I		II		III		IV	
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
10	8.04	10	9.14	10	7.46	8	6.58
8	6.95	8	8.14	8	6.77	8	5.76
13	7.58	13	8.74	13	12.74	8	7.71
9	8.81	9	8.77	9	7.11	8	8.84
11	8.33	11	9.26	11	7.81	8	8.47
14	9.96	14	8.10	14	8.84	8	7.04
6	7.24	6	6.13	6	6.08	8	5.25
4	4.26	4	3.10	4	5.39	19	12.50
12	10.84	12	9.13	12	8.15	8	5.56
7	4.82	7	7.26	7	6.42	8	7.91
5	5.68	5	4.74	5	5.73	8	6.89

过程 I ~ IV 的统计量:

$$n = 11$$

$$\bar{X} = 9.0$$

$$\bar{Y} = 7.5$$

$$\text{最适直线: } Y = 3 + 0.5X$$

$$\text{斜率的标准差: } 0.118$$

$$t = 4.24$$

$$\sum (X - \bar{X}) = 110.0$$

$$\text{回归平方和} = 27.50$$

$$\text{残差平方和} = 13.75$$

$$r = 0.82$$

$$r^2 = 0.67$$

换言之,散点图清楚地显示了四种不同的过程,而统计分析没有。在质量工程中,仅有数值分析是不够的。

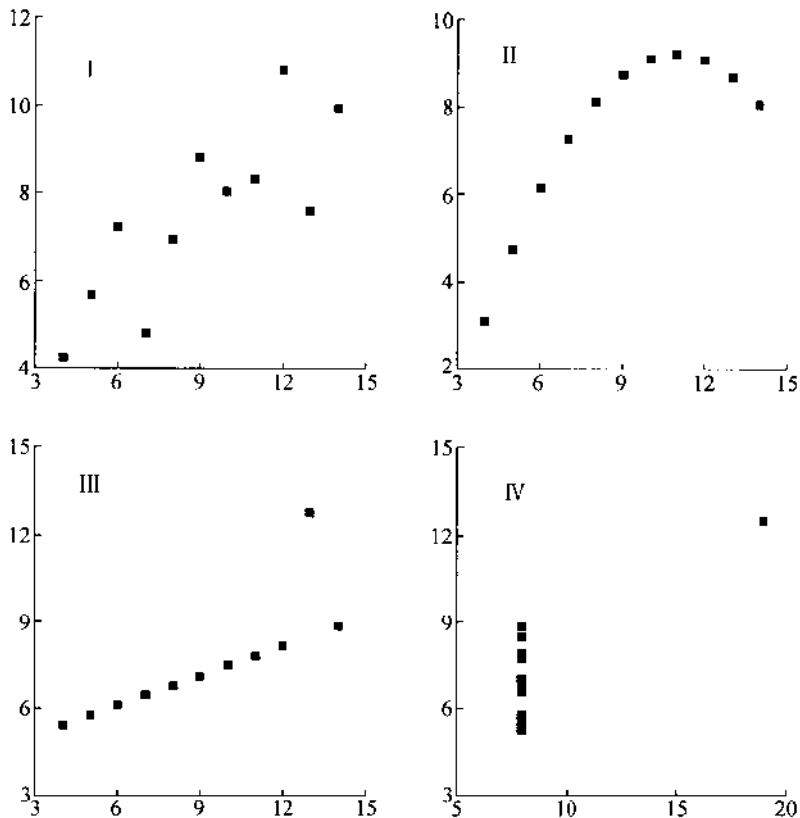


图 9.16 散点图的价值示例

资料来源: *The Visual Display of Quantitative Information*, Edward R. Tufte, pp. 13~14.

9.5.2 最小平方拟合

如果所有的数据都完全落在一条直线上,那么给定任意的两点都能轻易地计算出斜率和截距。然而,当这些“散点”分布在直线周围时,情况就变得更加复杂。这就是说,给定一个 x 的值,可能会出现多于一个的 y 值。当发生这种情况时,模型会出现误差。图 9.17 说明了误差的概念。

带有误差的简单线性回归模型如下所示:

$$y = a + bx + \epsilon \quad (9.5)$$

这里 ϵ 代表误差。通常情况下,假设模型对数据的拟合程度是足够的,误差被看作服从均值为 0、标准差为常数的正态分布。误差的标准差被称为标准误差。下面讨论验证该假设的方法。

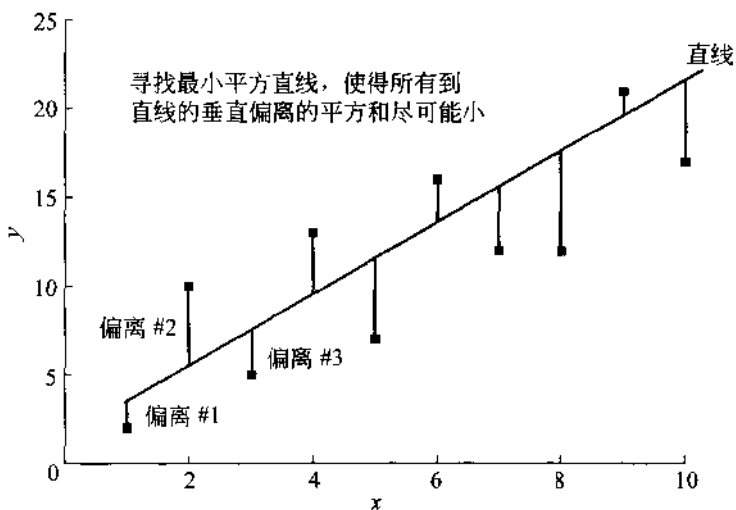


图 9.17 线性模型的误差

几乎在所有的“真实”情况中,当出现误差时,可能会有许多条直线可以作为数据的模型。因而,必须要找到某种方法,以便于在处理这些日常情况时,能够提供某种程度上“最佳拟合”等式。统计学家已经发现了很多这样的方法。在质量工程中,最常用的方法是找到一条使所有数据点的误差平方和最小的直线。这种方法称为“最小平方”最佳拟合直线。换言之,最小平方的最佳拟合直线的公式是 $y'_i = a + bx_i$, 其中的 a 和 b 使得与该直线的偏离平方和达到最小。最佳拟合等式中的 a 和 b 可如下得到:

$$b = \frac{\sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum (X_i - \bar{X})^2} \quad (9.6)$$

$$a = \bar{Y} - b\bar{X} \quad (9.7)$$

其中的“和(Σ)”是针对所有 n 个值而言的。大多数的电子表格和计算器都具有计算 a 和 b 的功能。如上所说,还有许多其他的方法可用以计算斜率和截距(比如,偏差的绝对值之和最小,最大偏差值最小,等等);在某个特定的情况下,可以选用这些方法中的一种。建议读者去查阅关于回归分析的书籍(比如,Draper 和 Smith, 1981)以获得更多的信息。

读者应该注意到: x 对 y 回归得到的拟合与 y 对 x 回得到归的拟合通常不是一条直线。图 9.18 对此进行了说明。

当质量对高度进行回归时,等式表明了给定高度(英寸)的情况下的平均质量(磅)。当高度对质量进行回归时,等式表明了给定质量的情况下的平均高度。这两条直线相交在平均高度和平均质量这一点。

这个例子显示了如何用一个自变量来对一个因变量的反应建模,称为简单线性回归。

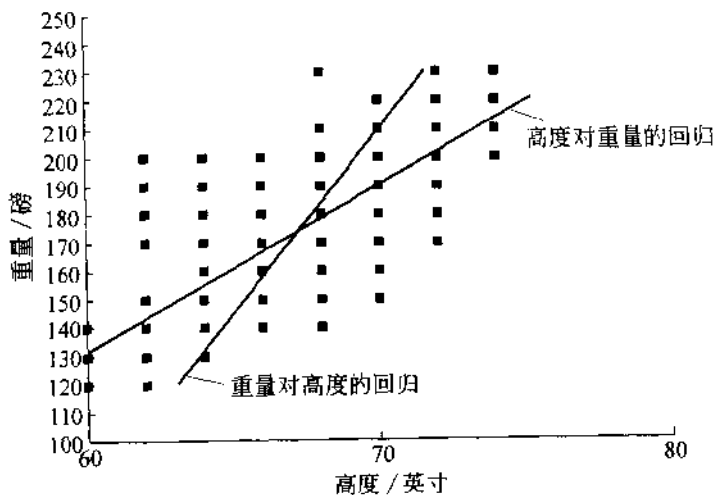


图 9.18 质量对高度和高度对质量的最小平方直线

也有可能要建立因变量对两个或多个自变量的模型,这称为多元线性回归。多元线性回归模型为其他的自变量增加了相应的项。式 9.8 给出了一个有两个自变量时的线性模型:

$$\hat{y} = a + b_1x_1 + b_2x_2 + \varepsilon \quad (9.8)$$

其中: x_1, x_2 是自变量, b_1 是 x_1 的系数, b_2 是 x_2 的系数。

回归分析的示例

一家餐厅对 42 位顾客进行了采访调查,得到了顾客对员工的服务、食物的质量和他们光顾这家餐厅的总体满意程度的评分。图 9.9 给出了用电子表格(Microsoft Excel)的回归功能所得到的回归分析结果。

数据包括:员工和食物质量两个自变量,以及总体满意程度这一因变量。基本的思路是把员工服务质量和食物质量作为原因,而把总体满意程度作为结果。回归结果的解释如下所示:

复相关系数 R ——它表示了 y 和 y' 之间的相关程度。例如:若复相关系数 $R = 0.847$,表明 y 和 y' 高度相关,说明了食物质量和服务质量与总体满意度之间存在着联系。

R^2 ——复相关系数 R 的平方。它给出了在均值 \bar{Y} 的总偏差中,能够由回归进行解释的部分所占的比例。例如: $R^2 = 0.717$,表明:对于平均满意度水平的总偏差,拟合等式解释了总偏差的 71.7%。

调整 R^2 ——是“调整自由度”之后的 R^2 ,其计算公式为:

结果汇总						
回归统计						
复相关系数 R	0.847					
R ²	0.717					
调整 R ²	0.703					
标准误差	0.541					
观测值数	42					
ANOVA						
	自由度(df)	平方和(SS)	均方(MS)	F 值	拒绝度	
回归	2	28.97	14.49	49.43	0.00	
残差	39	11.43	0.29			
总和	41	40.40				
	系数	标准误差	t 统计量	P 值	95%置信下界	95%置信上界
截距	1.188	0.565	-2.102	0.042	-2.331	-0.045
员工	0.902	0.144	6.283	0.000	0.611	1.192
食物	0.379	0.163	2.325	0.025	0.049	0.710

图 9.19 回归分析结果

$$\text{调整 } R^2 = 1 - (1 - R^2) \left(\frac{n-1}{n-p} \right) \quad (9.9)$$

其中 p 是模型中所估计的参数 (x 的系数) 的数目。例如: 如果有两个 x 项, 那么, $p=2$ 。较之于未调整的 R^2 , 有些实验人员更偏好于调整 R^2 , 而有些实验人员则认为它的优势并不明显(比如, Draper 和 Smith, 1981, $p. 22$)。

标准误差——残差的标准差。残差是 y 的观测值与基于回归模型的预测值之间的差异。

观测值数——是指回归分析中所用到的情形数, 或记为 n 。

ANOVA 或方差分析 (ANalysis Of VAriance)——是一个用来检验下述假设的表格: 回归所解释的偏差为零。如果假设成立, 那么, 所观察到的联系可以解释为仅仅是一种巧合。行和列就是标准的单因素 ANOVA 表中的行和列(参见本章前面的内容)。例如, 重要的一项是标有“拒绝度”的这列。如果显示的值为 0.00, 则表明仅仅由于偶然的原因而获得这些结果的概率小于 0.01, 换言之, 这些相关性很可能不是仅仅出于巧合。注意:

ANOVA 应用于整个模型,而不是单个的变量。

输出结果中的下一个表格则分别检验了线性模型中的每一项。正如前面所说的,在这个线性模型中,截距对应的是项 a 。这个模型使用了两个自变量。此时,员工 = b_1 ,食物 = b_2 。这样,从系数这一列得到该线性模型是:

$$\hat{y} = -1.188 + 0.902 \times \text{员工得分} + 0.379 \times \text{食物得分}$$

余下列则对模型中的每个系数为零这一假设进行检验。

标准误差列——给出了每项的标准误差。例如,截距的标准误差为 0.565,等等。

t 统计量列——系数除以标准误差,它给出了所观测到的系数与零之间有多大的标准差。

P -值——给出了 t 分布的尾部超过计算得到的 t 值的区域。对大多数实验工作来说, P -值小于 0.05 是可以接受的,表明系数明显不同于零。该模型中,所有项的 P -值都是显著的。

95%置信下界和 95%置信上界列——系数的 95%的置信区间。如果该置信区间不包括零,我们就未能拒绝系数为零的假设。本示例中,没有一个区间包括零。

9.5.3 相关性分析

如前面所示,相关性问题考虑两个变量之间的联合变动,而且这两个变量都不受实验者的限制。与回归分析不同,回归分析考虑的是自变量对因变量的影响,而相关性分析关注的是一个自变量和另一个自变量之间的联合变动关系。在相关性问题上,对样本中的每一项,工程师有两种测量方法。与工程师控制变量 x 的值的回归分析不同,相关性分析中所研究的变量通常有自发的变动。在许多广为应用的统计技术中都包含了测定两个或多个变量之间的线性关系强度的相关性方法。多于两个变量的情况有更先进的方法来进行研究(例如经典分析、因子分析、主成分分析等等);然而,这里并不讨论多元回归,讨论的重点放在两个变量的线性关系。

大多数情况,工程师使用统计量 r 来测量相关性,有时被称为 Pearson 积矩相关。通常,假设 x 和 y 服从二元正态分布。在这个假设前提下, r 是一个估计总体相关系数 ρ 的样本统计量。 r 的一种解释是基于前面描述的线性回归模型,即 r^2 是 y 数据的总偏差中能够由线性回归模型解释的比例。 r 的计算公式如下:

$$r = \frac{S_{xy}}{S_x S_y} = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2][n \sum y^2 - (\sum y)^2]}} \quad (9.10)$$

当然, r^2 就是 r 的平方。 r 在 -1 到 +1 之间取值。当假设成立时, r 的显著性可以由 ANOVA 进行测试。

对 r 进行解释可能会变得非常棘手,所以,经常要用到散点图(请看第7章)。当 x 和 y 之间的关系为非线性时, r 的“解释能力”很难用确切的术语来说明,讨论时需要特别小心。虽然,在 $r=0.99$ 时,很容易看出其高度相关,而当 r 的值比较小时,即便它们在统计上是显著的(换言之,它们是显著地不等于0),也不太容易从中得出定论。例如, $r=0.5$ 并不意味着数据杂乱无章与数据完全拟合成一条直线各占一半。实际上,如图9.20所示, $r=0$ 并不意味 x 和 y 数据之间不存在着任何联系。当 r 大于0时, x 增加时 y 也相应增加。当 r 小于0时, y 随 x 的增加而减少。

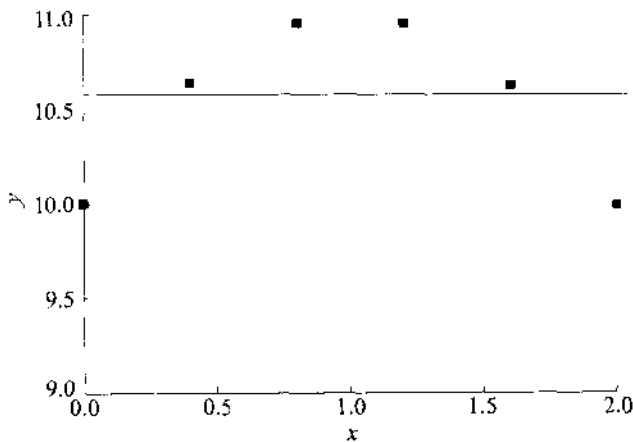


图 9.20 对曲线数据 $r=0$ 的解释

尽管 $r=0$, x 和 y 之间存在着完全确定的联系,只不过是而非线性的。

另一个极端情况中, $r=1$,即“完全相关”,并不意味着 x 和 y 之间存在着因果关系。例如, x 和 y 都由另外一个变量 z 来决定。在这种情况下, z 作为一个隐藏变量“潜伏”在背景里,不为实验者所知。隐藏变量躲避在一些极为愚蠢的联系后面,例如教师工资与酒精饮料的销售额之间的联系(隐藏变量是经济的总体繁荣程度)^①。

建立某种因果关系需要可靠的科学解释。因果关系不能简单地由统计方法来证明。一些统计技术,例如路径分析,有助于确定一些变量之间的联系是否与因果关系的假设一致。然而,这些方法超出了本书的范围。

① 通过消除隐藏变量的影响,来估计 x 和 y 的关系,这可以利用回归分析和计算部分相关系数来完成。在大多数关于回归分析的文献中,都可以找到对这种高级方法的分析。

9.6 卡方(χ^2)列联表

用卡方(χ^2)检验来进行比较

在质量工程中,存在很多情况,工程师需要比较项目分布在多个类别中的比例。这些类别可能包括操作人员、方法、材料或任何其他感兴趣的组。针对每一组,需要选择一个样本进行评价,并归入到其中一个类别中去(例如高质量、勉强够格的质量和不符合要求的质量)。结果可用一张表来表示,其中 m 行代表感兴趣的小组,而 k 列代表这些类别。分析这张表,以回答这样的问题:“根据项目在类别中的比例,这些组之间存在差异吗?”卡方(χ^2)统计可用于这个目的。

卡方(χ^2)检验的示例

下面的例子来自于 Natrella(1963)。在下面给出的表格中,将三个不同星期中的被废弃的金属铸件根据被废弃的原因进行分类。要回答下面的问题:这些星期内废弃物的分布存在差异吗?

时间	废弃的原因							总计
	掺沙	滞流	断层	跨落	裂核	折断	其他	
星期 1	97	8	18	8	23	21	5	180
星期 2	120	15	12	13	21	17	15	213
星期 3	82	4	0	12	38	25	19	180
总计	299	27	30	33	82	63	39	573

要计算卡方(χ^2),首先要得到每个单元格的预期频率,可以利用下面这个等式求出:

$$\text{预期频率} = f_e = \frac{\text{行之和} \times \text{列之和}}{\text{总和}}$$

例如对第 1 个星期来说,掺沙的废弃物的预期频率是 $(180 \times 299) / 573 = 93.93$ 。下面的表格显示了剩余的单元格的预期频率。

时间	掺沙	滞流	断层	跨落	裂核	折断	其他
星期 1	93.93	8.48	9.42	10.37	25.76	19.79	12.25
星期 2	111.15	10.04	11.15	12.27	30.48	23.42	14.50
星期 3	93.93	8.48	9.42	10.37	25.76	19.79	12.25

下一步是计算卡方(χ^2):

$$\begin{aligned}\chi^2 &= \sum_{\text{所有单元格}} \frac{(\text{期望频率} - \text{观测频率})^2}{\text{期望频率}} \\ &= \frac{(93.93 - 97)^2}{93.93} + \dots + \frac{(12.25 - 19)^2}{12.25} = 45.60\end{aligned}$$

接下来,这个实验取 $\alpha=0.10$ 。卡方(χ^2)检验的自由度是 $(k-1)(m-1) = 12$ 。根据这些值,来查阅附录的表 4,卡方的临界值等于 $\chi^2 = 18.55$ 。由于卡方的计算值超过了该临界值,所以,得出结论:关于不同缺陷类型的比率,这些星期之间存在着差异。

9.7 可靠性分析

9.7.1 可靠性的基本术语和原理

安全性和可靠性都有各自的专业研究。质量工程师需要了解这些领域的一些关键概念。显然,对于质量工程的知识主体,这两个领域有相当程度的交叉。有些概念几乎是一致的(例如,可回溯性),而另外的一些则是互补的(例如,可靠性假设设计标准的一致性,而质量工程师会直接用到出这一点)。现代关于安全性的观点是:安全性和可靠性共享着一个基本的理论基础。

尽管可靠性这个术语的一般应用存在着差异,其技术上的含义是非常明确的:可靠性被定义为一个产品或系统在一段特定的时间内能够正常执行一个特定功能的概率。为了让可靠性更有意义,操作条件必须被仔细和完全地加以定义。尽管可靠性分析可用于任何产品或系统,在实际工作中它通常只用于复杂产品。正式的可靠性分析惯常应用于汽车等商业产品以及导弹等军事产品。

可靠性术语

MTBF——出现故障的平均时间间隔,记为 μ 。当应用于可修复性产品时,MTBF 是系统运作到下一次出现故障的平均时间。

故障率——单位压力下的故障数。压力可以指时间(例如,每班的机器故障数),负荷周期(例如每 100 000 次 6 英寸的偏转中出现的机翼断裂次数),碰撞(例如每 1 000 次 5 克的撞击下出现的陶瓷碎裂次数),或是其他形式的压力。故障率 $\Theta = 1/\mu$ 。

MTTF 或 MTFF——出现第一次故障的平均时间。这是对在执行任务的过程中不能被修复的系统的度量。例如,MTBF 可能就不适于宇宙飞船。

MTTR——平均修复时间。一个单位从出现故障到它得到修复后重新投入使用的平均时间间隔。

可用性——系统可以运作的时间比例。只适用于可以被修复的系统。可靠性由下

式得到：

$$\text{可用性} = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}} \quad (9.11)$$

b₁₀寿命^①——10%的总体出现故障时的寿命值。

b₅₀寿命——50%的总体出现故障时的寿命值。这也被称为中间寿命。

故障树分析(FTA)——故障树是用来从表面症状追溯根本原因的图表。故障树分析是用来描述构造一棵故障树的过程的术语(进一步的讨论参见下面内容)。

减载运行——使得产品应用时的压力强度低于该产品额定的压力强度。这类似于提供一个安全因素。

检查测试——寿命测试,一些产品会在测试阶段结束之前被剔除,即使它们还没有出现故障。

可维护性——使已经出现故障的系统恢复正常工作的能力的量度。可维护性的指标包括有效性和平均修理时间。

可靠性系统的类型

一个给定系统的可靠性取决于它的单个组件的可靠性以及这些组件的排列方式。例如,安装圣诞树的灯时,可能一只灯熄灭会使,整组灯都出故障。或者这样进行安装,单只灯的故障不会影响任何其他的灯(问题:只因为有一个灯熄灭,我们就把这组灯定义为出现故障了吗?或者除非全部熄灭,才定义这组灯出了故障?或者是处于两者之间?)。

数学模型 可靠性分析的数学方法是可靠性自身的一个主题。大多数规模实用的系统需要使用高速计算机做可靠性评估。然而,介绍更简单的可靠性模型在理解有关可靠性分析的概念方面非常有用。

可靠性分析中一个非常有用的统计分布是指数分布,如式 9.12 所示:

$$R = \exp\left[-\frac{t}{\mu}\right], t \geq 0 \quad (9.12)$$

式 9.12 中, R 是系统的可靠性,以概率的形式给出。 t 是系统要求无故障运行的时间, μ 是系统出故障的平均时间。指数分布适用于故障率为常数的系统,大多数系统都是在这种情况下运行的。

可靠性分配 可靠性分析一般用于复杂的系统,从逻辑上说,这些系统大多数都是由更小的子系统组成。分配是指把可靠性目标定位到系统的各个因素中去的过程。最终的系统必须要满足总的可靠性目标。分配可以说是项目管理和工程规律的结合。

如果假设指数分布是一个有效的模型,那么,分配过程可以得到简化。这是因为指数

^① b₁₀寿命和 b₅₀寿命常用于滚珠轴承。

分布具有这样的性质：系统的故障率可以通过计算单个子系统的故障率之和的倒数来得到。表 9.18 给出了对一个家庭娱乐中心装置的分配。整个系统是由一个大型录音机、电视、CD 装置和一个电唱机组成。假定总体目标是：在 500 小时的运行中，可靠性达到 95%。

表 9.18 一个家庭娱乐中心装置的可靠性分配

子系统	可靠性	不可靠性	故障率	目标
大型录音机	0.990	0.010	0.00002	49750
电视	0.990	0.010	0.00002	49750
CD	0.985	0.015	0.00003	33083
电唱机	0.985	0.015	0.00003	33083
	0.950	0.050		
大型录音机				
子系统	可靠性	不可靠性	故障率	目标
驱动器	0.993	0.007	0.000014	71178
电子元件	0.997	0.003	0.000006	166417
	0.990	0.010		

分配可以深入继续下去；例如，我们可以把驱动器的可靠性分配到滑轮、磁头、传送带、纹盘等等。当达到一个实际的限制时，这个过程就结束了。标有“目标”的这一列给出了每个子系统的故障之间最小可接受的平均时间（以小时计）。低于此 MTBF 值会使得整个系统的可靠性目标无法达到。注意：与整个系统 500 小时的总目标相比，所要求的 MTBF 要大得多。出现这种情况的部分原因是整个系统的可靠性是子系统可靠性的乘积，所以，要求子系统的可靠性要比整个系统高得多。

可靠性分配在确认设计缺陷方面非常有用。对管理者、供应商、顾客和其他人来说，它能够帮助我们发现整个系统的设计如何会被一个或两个不可靠的组件剧烈影响着。

串联 为了使系统运行，所有的单个组件都必须工作，那么，这个系统是串联的。图 9.21 给出了一个串联系统的块状图。

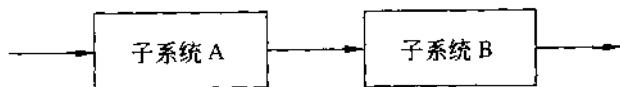


图 9.21 串联系统

在上图中，系统由 A 和 B 两个子系统组成。为了让系统正常运行，A 和 B 都必须正

常工作。这个系统的可靠性等于 A 和 B 的可靠性的乘积,换言之:

$$R_s = R_A \times R_B \quad (9.13)$$

例如,如果 A 的可靠性是 0.99,而 B 的可靠性是 0.92,那么, $R_s = 0.99 \times 0.92 = 0.9108$ 。注意:这种配置下, R_s 总是小于 R_A 或 R_B 中的较小值。这意味着提高系统可靠性的最佳方法是改善系统中可靠性最低的组件。

并联 图 9.22 给出了一个并联系统的块状图。只要 A、B、C 没有同时都出现故障,系统就能运行。这类配置的可靠性可以由式 9.14 计算得到:

$$R_s = 1 - (1 - R_A)(1 - R_B)(1 - R_C) \quad (9.14)$$

例如,如果 $R_A = 0.90, R_B = 0.95, R_C = 0.93$, 则 $R_s = 1 - (0.1 \times 0.05 \times 0.07) = 1 - 0.00035 = 0.99965$ 。

在并联的配置下,这个系统的可靠性总是要高于子系统可靠性中的最大值。这样,如果要提高一个并联系统的可靠性,首先要改善可靠性最高的那个组件。这恰恰与提高串联系统可靠性的方法相反。

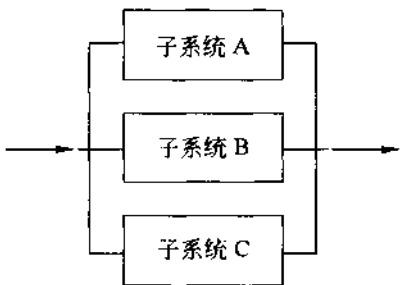


图 9.22 并联系统

9.7.2 评估设计的可靠性

预测设计可靠性的 7 个步骤

1. 定义产品和它的功能性运作。用功能块状图来描述系统。明确定义故障和正常这两种状态。
2. 利用可靠性块状图来描述系统中不同组件之间的联系(如串联、并联等等)。
3. 建立系统的可靠性模型。
4. 搜集局部的和子系统的可靠性数据。一些信息可能能够从现存的数据源中得到,而其他的信息可能需要通过一些特定的测试得到。
5. 调整数据来满足系统特定的运行环境。注意确保“调整”有科学依据,而不是仅仅出于个人的偏好。
6. 用数学模型来预测可靠性。可能还要求进行计算机模拟。
7. 用实地数据来验证你的预测,并据此来调整你的模型和预测。

系统效率

在衡量系统性能方面,系统效率比简单的可靠性范围更广。系统效率涉及到三个方面:

1. 可用性。
2. 可靠性。
3. 设计能力,即假定了设计的功能,它能取得要求的结果吗?

系统的效率可以用式 9.15 计算:

$$P_{SEI} = P_A \times P_R \times P_C \quad (9.15)$$

在这个等式里, P_{SEI} 是系统有效的概率, P_A 是可用性,可以用式 9.11 来计算得到, P_R 是系统的可靠性, P_C 是设计能够达到目标的概率。

9.7.3 蒙特卡罗模拟^①

正如上文所讲的,可靠性模型在数学上很难处理。并且在很多情况下,不可能对期望的情况建立数学模型。蒙特卡罗模拟在这些和其他的许多环境下是一种有用的工具,例如:

- 验证分析结论。
- 研究动态情况。
- 获得事件序列的信息;很多情况下,期望值和矩并不能提供足够的细节。
- 确认一个复杂系统中重要的组件和变量。
- 确认变量之间的相互作用。
- 可以研究变动产生的影响,而不受对真实系统进行实验时所承担的风险、费用和时间方面的限制。
- 教学。

随机数发生器

任何一种模拟的关键是产生随机数。如果使用诸如 BASIC, C 或者 FORTRAN 这些编程语言,则必须创建随机数发生器。如果使用如 Siman, Slam, Simscript 或 GPSS 这些仿真语言,则这些软件自带随机数发生器。

符合特定分布的随机数是通过单位均匀分布的随机数进行转换得到的。事实上,所有的编程语言和电子表格都包含单位均匀分布随机数发生器。^②从技术上来说,这些单位均匀随机数发生器是伪随机数发生器,因为用于生成这些随机数的算法有一小部分的随机性没有包括。然而,这些算法还是十分有效,并且对于所有的应用目标来说,结果

^① 本节的资料取自 Bryan Dodson 和 Dennis Nolan 的 *The Complete Guide to the CRE*。© 1998 Quality Publishing LLC, Tucson, Arizona. 经出版者允许使用。

^② 单位均匀随机变量可以使用 BASIC 语言的“RND”函数 (Visual Basic, Quick Basic, GWBasic, BASICA) 和 Lotus™ 123 的“@RAND”函数来构造。Microsoft Excel 就具有实现随机生成的工具,可以生成不同分布的随机数。

都是一组真正的随机数。

产生特定分布随机数的一个简单方法是令其累积分布函数等于一个单位均匀分布的随机数,做反变换。考虑指数分布:

$$F(x) = 1 - e^{-\lambda x} \quad (9.16)$$

令 r (一个在 0 到 1 区间内均匀分布的随机变量) 等于 $F(x)$, 做反变换, 就得到一个故障率为 λ 、服从指数分布的随机变量 x 。

$$\begin{aligned} r &= 1 - e^{-\lambda x} \\ 1 - r &= e^{-\lambda x} \\ \ln(1 - r) &= -\lambda x \\ x &= -\frac{\ln(1 - r)}{\lambda} \end{aligned} \quad (9.17)$$

这个等式能够进一步简化, $1 - r$ 这一项也是在 0 和 1 区间内的均匀分布。于是, 结果变成:

$$x = -\frac{\ln r}{\lambda} \quad (9.18)$$

表 9.19 包含了一些常用的随机数发生器。

表 9.19 随机数发生器

分布	概率密度函数	随机数生成器
均匀分布	$f(x) = \frac{1}{b-a}, a \leq x \leq b$	$x = a + (b-a)r$
指数分布	$f(x) = \lambda e^{-\lambda x}, 0 < x < \infty$	$x = -\frac{1}{\lambda} \ln r$
正态分布	$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right],$ $-\infty < x < +\infty$	$x_1 = [\sqrt{-2 \ln r_1} \cos(2\pi r_2)]\sigma + \mu$ $x_2 = [\sqrt{-2 \ln r_1} \sin(2\pi r_2)]\sigma + \mu \quad (1)$
对数正态分布	$f(x) = \frac{1}{\sigma x \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln x - \mu}{\sigma}\right)^2\right],$ $x > 0$	$x_1 = \exp[\sqrt{-2 \ln r_1} \cos(2\pi r_2)]\sigma + \mu$ $x_2 = \exp[\sqrt{-2 \ln r_1} \sin(2\pi r_2)]\sigma + \mu \quad (1)$
威布尔分布	$f(x) = \frac{\beta x^{\beta-1}}{\theta^\beta} \exp\left(-\frac{x}{\theta}\right)^\beta, x > 0$	$x = \theta(-\ln r)^{1/\beta}$
泊松分布	$f(x) = \frac{e^{-\lambda} (\lambda t)^x}{x!}, x = 0, 1, 2, \dots, \infty$	$x = \begin{cases} 0, & -\frac{1}{\lambda} \ln r > t \\ x, & \sum_{i=1}^x -\frac{1}{\lambda} \ln r_i < t < \sum_{i=1}^{x+1} -\frac{1}{\lambda} \ln r_i \end{cases} \quad (2)$

续表

分布	概率密度函数	随机数生成器
卡方分布	$f(x) = \frac{1}{2^{v/2} \Gamma(v/2)} x^{(v/2-1)} e^{-x/2},$ $x > 0$	$x = \sum_{i=1}^v z_i^2$ z_i 是标准正态随机数
贝塔分布	$f(x) = \frac{1}{B(p, q)} x^{p-1} (1-x)^{q-1}$ $0 \leq x \leq 1, p > 0, q > 0$	$x = \frac{r^{1/p}}{r^{1/p} + r^{1/q}}$
伽玛分布	$f(x) = \frac{\lambda^\eta}{\Gamma(\eta)} x^{(\eta-1)} e^{-\lambda x}$ $x \geq 0, \eta > 0, \lambda > 0$	<ol style="list-style-type: none"> 1. 是非整斜率的参数; 2. 令 η_1 为 η 的截尾整数根; 3. 令 $q = -\ln \prod_{j=1}^{\eta_1} r_j$ 4. 令 $A = \eta - \eta_1, B = 1 - A$ 5. 产生随机数, 令 $y_1 = r_1^{1/A}$ 6. 产生随机数, 令 $y_2 = r_1^{1/B}$ 7. 如果 $y_1 + y_2 \leq 1$, 转到 9 8. 令 $i = i + 2$, 回到 5 9. 令 $z = y_1 / (y_1 + y_2)$ 10. 产生一个随机数 r_i 11. 令 $W = -\ln r_i$ 12. $x = (q + zW)\lambda$
二项分布	$p(x) = \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x}, x = 0, 1, \dots, n$	$x = \sum_{i=1}^n y_i, y_i = \begin{cases} 0, r_i > p \\ 1, r_i \leq p \end{cases}$
几何分布	$p(x) = p(1-p)^{x-1}, x = 1, 2, 3, \dots$	$\frac{\ln(1-r)}{\ln(1-p)} \leq x \leq \frac{\ln(1-r)}{\ln(1-p)} + 1$ (2)
t 分布	$f(x) = \frac{\Gamma[(v+1)/2]}{\Gamma(v/2) \sqrt{\pi v}} \left(1 + \frac{x^2}{v}\right)^{-(v+1)/2},$ $-\infty < x < \infty$	$x = \frac{z_i}{\left(\sum_{i=2}^{v+1} z_i^2\right)^{1/2}}$ z_i 是标准正态随机数
F 分布	$f(x) = \left(\frac{\Gamma[(v_1+v_2)/2] (\nu_1/\nu_2)^{\nu_1/2}}{\Gamma(\nu_1/2) \Gamma(\nu_2/2)}\right) \cdot$ $\left(\frac{x^{\nu_1/2-1}}{(1+\nu_1 x/\nu_2)^{(\nu_1+\nu_2)/2}}\right), x > 0$	$x = \frac{\nu_2 \sum_{i=1}^{\nu_1} z_i^2}{\nu_1 \sum_{i=\nu_1+1}^{\nu_1+\nu_2} z_i^2}$ z_i 是标准正态随机数

(1) 必须要生成两个均匀随机数, 以得到两个正态分布随机数。

(2) 增加 x 值, 直到不等式成立。

模拟建模

当所需要的随机数发生器构建好以后,下一步就要对所研究的情况建模。完成这个模型之后,很重要的一点是确认和校验模型。一个有效的模型是对所研究情况的合理表述。验证模型时,应确认所创建的数学和计算机模型是否代表了所需要的概念上的模型。

模拟中需要足够的迭代以提供一个稳定的结果,此时从一次迭代到下一次迭代模拟结果的变化可以忽略不记。当计算均值和方差时,通常 1 000 次迭代就足够了。如果计算置信区间,则需要更多次迭代;毕竟,对 99% 的置信区间来说,随机偏离超出了置信界限的数目是迭代次数的 1/100。

模拟能用来确定确认随机变量变换的结果。假定出于设计目的,需要两个服从正态分布的随机变量乘积的均值和方差。下面的 BASIC 源代码可以获得希望的结果。图 9.23 显示了代码的流程图。

两个服从正态分布的随机变量的乘积的 REM 模拟

```

e1 = 100
v1 = 7
e2 = 120
v2 = 16
DEFINE I-1.
FOR i=1 TO 500
a = RND
b = RND
REM x is normal with mean=e1 and standard deviation=v1
x = (((-2 * LOG(a))^.5) * COS(2 * 3.141592654 # * b)) * v1 + e1
REM y is normal with mean=e2 and standard deviation=v2
y = (((-2 * LOG(a))^.5) * SIN(2 * 3.141592654 # * b)) * v2 + e2
z = x * y
ztot # = ztot # + z
zsq # = zsq # + z^2

```

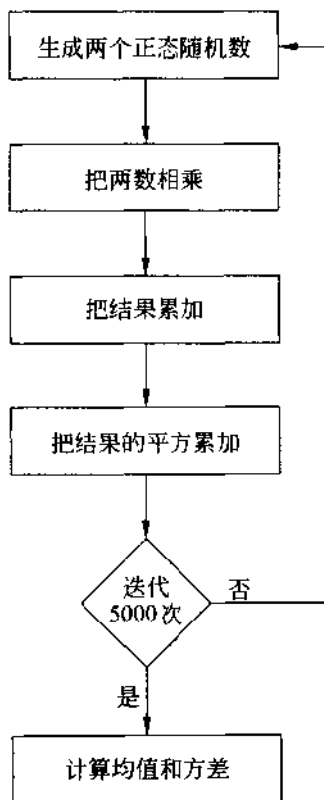


图 9.23 两个正态分布随机变量的模拟流程图

```

PRINT i
NEXT i
PRINT "ztot zsq"; ztot # ; zsq #
PRINT "mean=" ; ztot # / 5 000
zvar # = (5 000 * zsq # - ztot # ^2) / (5 000 * 4 999)
PRINT "variance=" ; zvar #

```

注意：“RND”产生 0 到 1 区间上均匀分布的随机数。BASIC 语言中的“LOG”功能表示自然对数。

上述源代码产生了两个满足期望的参数的正态随机数，并相乘。这个过程重复了 5 000 次；计算这 5 000 次随机数的均值和方差。结果获得了一个均值为 12 009、方差为 3 307 380 的随机变量。

对于上述实验，数学方法会得到相同的结果。用数学方法解决这类问题的缺点是：没有对于结果的分布形状的信息。

使用电子表格进行模拟，则不再需要计算机源代码。上述示例可以使用 Lotus 123 按照下面步骤进行模拟。^①

1. 在单元格 A1 中放入函数@RAND。
2. 在单元格 A2 中放入函数@RAND。
3. 在单元格 A3 中放入公式

$$(((-2 * @ln(A1) ^ .5) * @cos(2 * @pi * A2)) * 7 + 100$$

4. 在单元格 A4 中放入公式

$$(((-2 * @ln(A1) ^ .5) * @cos(2 * @pi * A2)) * 7 + 100$$

5. 在单元格 A5 中放入公式

$$+ A3 * A4$$

6. 复制这行 5 000 次

在上面的例子中，电子表格中的每一行代表一次迭代。电子表格中强大的@函数和图形工具可用于分析。注意：电子表格中的任何变化都会导致随机数产生变化。利用命令“Range value”把结果从公式转换为固定数值，可能会有所帮助。

现在考虑这样一个系统，它由 4 个同样的组件组成，每个组件都服从故障率为 0.8 的指数分布。经过巧妙的切换，组件中的 3 个是多余的，作为备用。需要得到有关最终的分布形状的信息。下面的源代码产生 4 个故障率为 0.8 的服从指数分布的随机变量，把它们相加，结果输入到文件“d:\data”中；这个过程重复 5 000 次。图 9.24 是该问题的流程图。

^① Microsoft Excel 可以直接生成正态随机变量。

4 个指数分布随机变量之加的 REM 模拟

```

DEFINE I-L
OPEN "c:\data" FOR OUTPUT AS #1 LEN=256
FOR i=1 TO 5000
REM x1 is exponential with failure rate = 0.8
x1 = -(1/.8) * LOG(RND)
REM x2 is exponential with failure rate = 0.8
x2 = -(1/.8) * LOG(RND)
REM x3 is exponential with failure rate = 0.8
x3 = -(1/.8) * LOG(RND)
REM x4 is exponential with failure rate = 0.8
x4 = -(1/.8) * LOG(RND)
y = x1+x2+x3+x4
PRINT #1, USING "#####.##
#####";y
PRINT i
NEXT i
CLOSE

```

把结果数据放在电子表格或者统计程序中，可以对这些数据进行广泛的分析。图 9.25 给出了上述源代码得到的数据的直方图。

从图 9.25 中可以看到，故障率为 λ 的 n 个指数分布随机变量之和是一个服从参数为 $\eta=n$ 和 λ 的服从伽玛分布的随机变量。

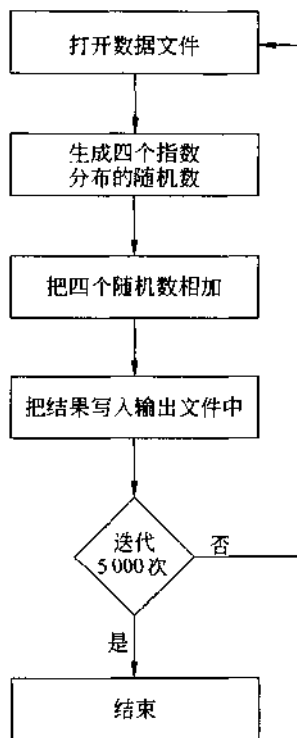


图 9.24 指数分布随机变量之和的模拟

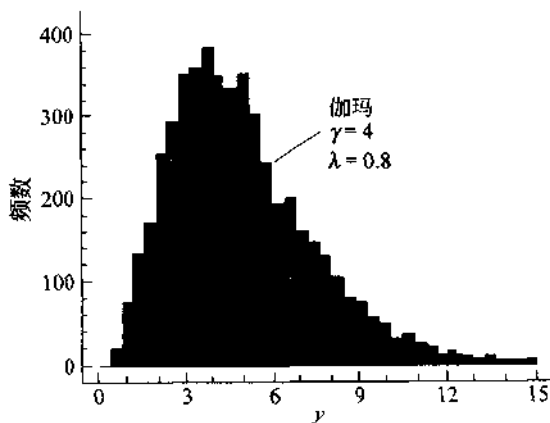


图 9.25 四个指数分布随机变量之和的直方图

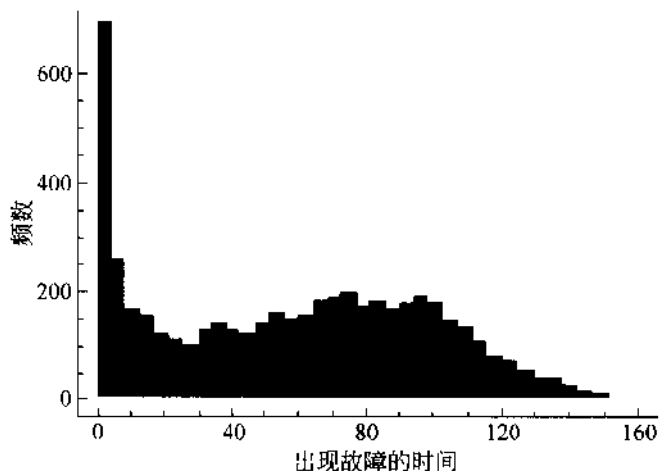


图 9.27 串联系统的直方图

大量的早期故障可归因于具有过高的初期死亡率($\beta=0.5$)的组件。结果是出现的分布不符合任何已知的分布。然而,利用 5 000 个点,可以根据经验来构建一个可靠性函数。结果显示如图 9.28 所示。

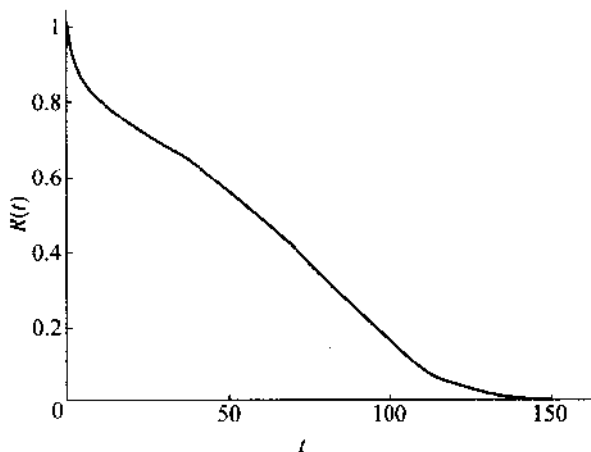


图 9.28 一个串联系统的可靠性函数

使用电子表格模拟上述问题的步骤如下:

1. 在单元格 A1 中放入公式

$$300 * (-@ln(@rand))^(1/2)$$

2. 在单元格 A2 中放入公式

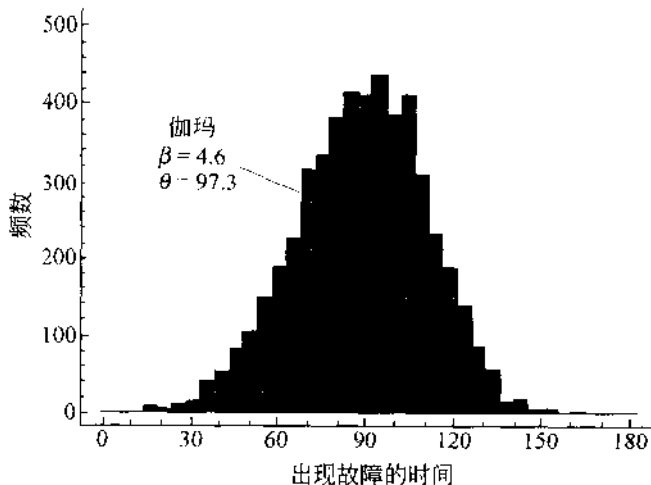


图 9.30 开关系统的直方图

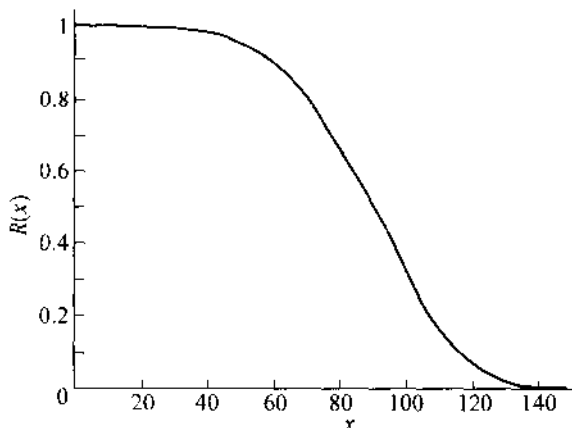


图 9.31 开关系统的可靠性函数

2. 在单元格 A2 中放入公式

$$97 * (-@ln(@rand))^(1/4.5)$$

3. 在单元格 A3 中放入公式

$$@if(@rand < 0.05, +A1, +A1+A2)$$

4. 复制行 A 的内容 5 000 次。

上述的第四步中,开关的可靠性需要使用单位均匀分布随机数发生器进行测试。如果单位均匀随机数小于 0.05,那么,开关出现了故障,这个系统出现故障的时间等于组件

A 出现故障的时间(单元格 A1 中的值)。如果开关工作正常,则系统出现故障的时间等于单元格 A1 和 A2 的值之和。

总之,模拟是一个实质上可以对任何系统建模的强大分析工具。上述示例使用了 5 000 次迭代。所使用的迭代次数要取决于是否达到了稳定的状态。根据具体问题,可能需要更多或更少的迭代。

当掌握了模拟,一种危险的趋势是:因为使用数学模型会比较困难,从而使模拟被过度使用。不要在尝试其他选择之前,就急于使用模拟的方法。在利用模型时,数学模型能使自身达到最优化,而模拟模型需要反复试验来寻求最优。

9.8 风险评估工具

虽然可靠性预测是极有价值的举措,但是,更为重要的是:把设计一个可靠的系统放在首位。创建系统时,设计方案必须要经过评估以检测潜在的故障,这项工作甚至优于建立系统本身。一些故障可能比其他的故障更加严重,应当特别突出对那些最需要给予关注和分配稀缺资源的故障进行评估。只有确认出这些故障并区分出优先级,才能设计出稳健的系统,即系统能够对大部分可能引起问题的情况不敏感。

设计评审

设计评审由专家,通常是在小组中参加工作的专家,来实施的。设计当然是基于当前的基本原则进行评审,这已经成为很多人的例行工作。然而,这里使用的术语是指正规的设计评审过程。正规的设计评审有三重目的:

1. 判断产品的实际运行情况是否与设计的一样并满足顾客的需要。
2. 判断新设计是否可生产的并能够被检验。
3. 判断新设计是否是可维护的和可修复的。

设计评审应当在设计和生产过程的各个节点进行实施。评审在各不同阶段都应进行:在初步设计框架完成时,在原型设计完成以后,在原型被制造出来并经过测试以后,当阶段性设计成果发布时,等等。进行评审的设计应该包括零部件、部件和组件。

故障模式和效果分析(FMEA)

故障模式和效果分析,即 FMEA,试图描绘所有可能的故障以及它们对系统的影响。其目的是根据它们的影响对故障进行分类。FMEA 为特性分类提供了极好的基础。

运用 FMEA 时,应该记住:故障的严重性并不是惟一的重要因素,必须要考虑故障出现的概率。通过帕累托分析,FMEA 的一个目标是把可用的资源用于最有可能的机会。一个极不可能发生的故障,即使它有严重的后果,也不应该在集中力量提高可靠性的努力中处于首要地位。决策分析方法可能对处理这类问题会有所帮助。



故障模式、效果和危险程度分析(FMECA)

FMECA,类似于 FMEA,经常应用于可靠性分配阶段。同样,与 FMEA 相似的是,FMECA 要考虑所有可能的故障模式和它们对产品的影响。然而,FMECA 比 FMEA 更进一步,因为它还考虑了这个影响的危险程度,以及补偿这种影响所必须采取的措施。典型的危险程度的分类,类似于先前讨论过的缺陷的分类:例如,严重的(寿命或产品的损失),主要的(整个产品出现故障),次要的(功能的损失)。更可取的是,FMECA 会使得设计进行调整以消除严重的有害影响。要准备偶发事件计划,来处理那些无法从设计中消除的影响。

故障树分析(FTA)

FMEA 和 FMECA 是自下而上地进行可靠性分析的方法,而 FTA 是一种自上而下的方法。FTA 提供了可能导致故障的事件的图形描述。用来构建故障树的一些符号如表 9.20 所示。

表 9.20 故障树的符号

门的符号	门的名称	非正式的关系
	AND 门	如果所有的输入事件同时发生,那么,输出事件发生
	OR 门	如果输入事件中有任何一件发生了,那么,输出事件发生
	限制门	当条件事件发生了,那么,输入产生输出
	优先级 AND 门	如果所有的输入事件按照从左到右的顺序依次发生,那么,输出事件发生
	排他 OR 门	如果输入事件中的一个而不是两个都发生,那么,输出事件发生
	m -out-of- n 门	如果 n 个输入事件中有 m 个发生,那么,输出事件发生
事件符号	含 义	
矩形	门所代表的事件	
圆	拥有足够数据的基础事件	
菱形	未开发的事件	
	开关或房子	
椭圆	用于限制门的条件事件	
三角形	转换符号	

资料来源: *Handbook of Reliability Engineering and Management*, McGraw-Hill.

通常,FTA 遵循以下步骤:

1. 定义顶部事件,有时称为根源事件。这是研究的故障条件。
2. 建立 FTA 的边界。
3. 检查系统,以了解这些不同的组件是如何与其他组件以及顶部事件相关联的。
4. 建造故障树,从顶部事件开始,往下发展。
5. 分析故障树,以找出消除引起故障的事件的方法。
6. 准备一个校正措施计划来预防故障,准备一个偶发事件计划用以处理发生的故障。

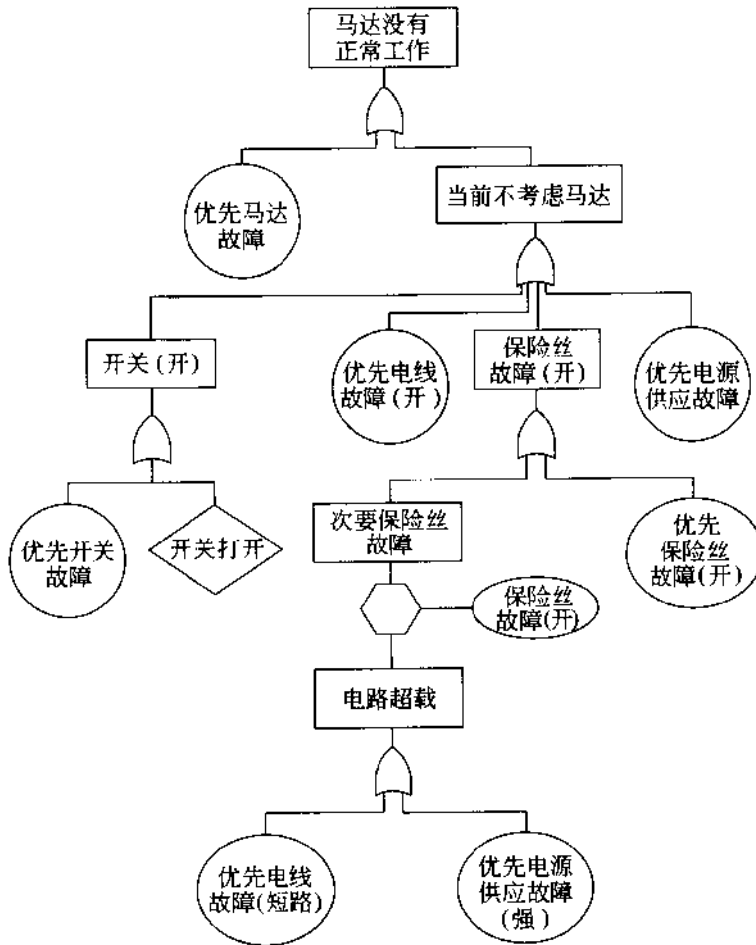


图 9.32 电动马达的故障树

资料来源: *Handbook of Reliability Engineering and Management*, McGraw-Hill.

7. 实施计划。
 8. 回到第一步进行新设计。
- 图 9.32 给出了一个电动马达的 FTA。

9.9 安全性分析

安全性和可靠性高度相关。当一个严重故障发生时就会出现安全性问题,可靠性理论明确指出可以使用 FMECA 和 FTA 这些工具进行处理。现在,安全性/可靠性的评估要考虑故障的概率特性。采用传统的方法,安全因子可以用式 9.19 来进行定义:

$$SF = \frac{\text{平均强度}}{\text{最差的期望应力}} \quad (9.19)$$

用这种方法,问题可以得到简化,既不必考虑应力的变动也不必考虑强度的变动。事实上是强度和应力在一段时间内都会发生变化,并且除非明确地处理了这种变动,否则,我们不知道“安全因子”究竟是多少。现代观点是,安全因子是一个不可能发生的高应力(最大期望应力,或者“可靠性边界”)和一个不可能发生的低强度(最小期望强度)之间的差值。图 9.33 展示了安全因子的现代观点。图中有两个分布,一个是应力的分布,另一个是强度的分布。

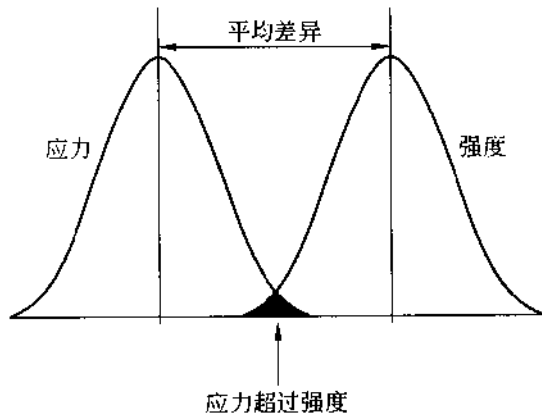


图 9.33 安全因子的现代观点

因为任何的应力或强度理论上都是可能的,传统概念上的安全因子充其量也是含混的,甚至可能会带来误导。为了妥善处理这种情况,我们必须考虑用概率而不是可能性。这需要计算应力/强度组合中发生所应用的应力超过强度的概率。这样做是有可能的,因为,假如我们已有应力和强度的分布,那么,这两个分布之间的差值也是一个分布。特别是,如果应力和强度的分布是正态分布,那么,应力和强度之间差值的分布也是正态分布。

可以利用统计理论,确定这个差值的均值和标准分布,如式 9.20 和 9.21 所示:

$$\sigma_{SF}^2 = \sigma_{强度}^2 + \sigma_{应力}^2 \quad (9.20)$$

$$\mu_{SF} = \mu_{强度} - \mu_{应力} \quad (9.21)$$

在式 9.20 和式 9.21 中,下标 SF 是指安全因子。

计算故障概率的示例

假设应力和强度是正态分布。那么,强度减去应力之后的分布也服从正态分布,其均值和方差可以由式 9.20 和 9.21 求出。进而,发生故障的概率等于强度减去应力的差值小于 0 的概率。一个负的差值表示应力超过了强度,这就导致了一个严重故障。

假设一根铁棒的强度服从正态分布,其中 $\mu=50\,000$, $\sigma=5\,000$ 。这个铁棒用作一个传输系统中的基柱。实际应用中,应力通过张力测量器进行测量,发现服从正态分布, $\mu=30\,000$, $\sigma=3\,000$ 。系统可靠性的期望是多少呢?

解决方案 首先利用式 9.20 和 9.21 来计算差值的平均变动和标准差:

$$\sigma_{差值}^2 = \sigma_{强度}^2 + \sigma_{应力}^2 = 5\,000^2 + 3\,000^2 = 34\,000\,000$$

$$\sigma = \sqrt{34\,000\,000} = 5\,831$$

$$\mu_{差值} = \mu_{强度} - \mu_{应力} = 50\,000 - 30\,000 = 20\,000$$

现在计算 Z,即把正态分布转换成标准正态分布(参见第 8 章):

$$Z = \frac{0 - 20\,000}{5\,831} = -3.43$$

利用正态分布表(附录中表 2),可以得到 Z 值相关的概率是 0.0002。这是发生故障的概率,大概是每 5 000 次发生一次。1 减去这个概率就是系统的可靠性,等于 0.9998。因此,该系统的可靠性(和对于这种特定的故障模式的安全性)是 99.98%。图 9.34 对这个例子进行了总结。

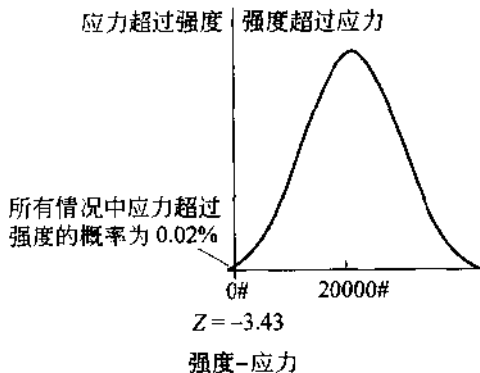


图 9.34 强度减去应力的分布

9.10 过程模拟

模拟就是一种利用实际系统的具体模型来进行实验的方法,从中确定这个系统在它的结构、环境或是基本假设前提发生变化的情况下如何做出反应。一个系统可以定义为一组元素,它们相互作用完成某一特定的目标。一组进行相关的制造生产的机器可以组成一个系统。这些机器作为一组,可以被看作是一个较大的制造系统中的一个元素。而这个制造系统可能是一个更大的包括设计、运输等功能在内的系统的一个元素。

模拟可以帮助系统设计人员解决问题。当达到计算机模型能够与建立模型的实际系统一样运行时,模拟有助于回答很多重要的问题。必须小心:不要把模型作为关注的焦点。如果不使用模型,能够更容易地回答这些重要问题,那么,就不应该使用模型。

模型设计者必须要界定模型的适用范围和模型所应该具备的详尽程度。只有那些对模型实现其指定的目标有重要作用的因素才应该包括进来。模型的详尽程度应该与其目的一致。我们的观点是尽可能经济地创造出这个真实系统的复制品,以回答重要的问题。在一个合理的详尽程度下,这通常是可能的。

设计良好的模拟可以在系统量度的各个方面提供数据,比如生产能力、资源利用、排队时间和产品需求。虽然它们对现行系统的建模和理解很有好处,但是,它们更适合于评价所提议的过程变化。本质上说,模拟是一个快速产生和评价过程改进想法的工具。把这种技术应用于创新过程能够大大加速六西格玛改进。

9.10.1 模拟工具

不久以前,计算机模拟还是训练有素的系统工程师的专用领域。这些早先的模拟使用一些通用的编程语言,如 FORTRAN, Pascal 或者 C。然而,现代的计算机软件大大简化了模拟模型的创建。通过图形的用户界面和简单的基于画图的模型构建功能,现在创建一个模拟就和画一张流程图一样容易(见图 9.35)。

虽然用户界面看起来像一个普通的流程图,但是它要强大得多。进一步观察图 9.35 可以发现图上还记录了一些附加的信息。紧靠在 2 号方块“接电话”的旁边是人:60,它表示这个模拟程序要处理 60 个模拟电话。由于其中的 40 个电话不是销售电话,余下的 20 个销售电话要花费模拟的销售代表 2 小时 2 分钟的响应时间。从该图中还可以得到另外一些数据,例如质量检测成本为 34.83 美元,并提醒有一个订单要在模拟结束前装运。如果模型是基于现存的系统,那么,这些数字可以与实际过程数字进行比较来验证模型。第一次模拟总是对过去的情况进行建模,否则,该模型对将来做出的预测如何可信?

当前的系统模型非常有趣并且经常是有教育意义的。许多时候管理者和流程的操作员看到这个系统的模型都会很诧异。人们总是关注他们的特定任务,却没有真正地了

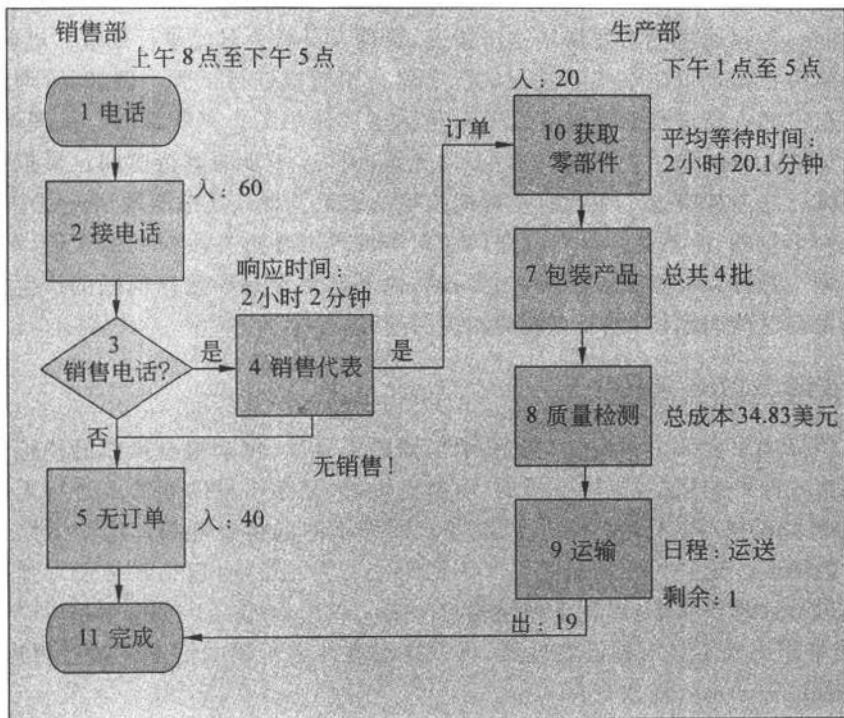


图 9.35 模拟软件的界面

自己在一个较大的系统中的角色。这些信息经常是令人非常震惊的。当然,必须在模拟模型的创建和测试之前搜集到不掺假的数据。得到这些数据的过程经常就会揭示出现行管理信息系统的缺点。一旦混乱的局面得以澄清,并且管理者对流程有了较好的初步认识,那么,他们通常会对他们所看到的东西感到震惊。不止一次,作者的客户要求作者先将项目暂时中断,以解决一些明显的问题。

尽管现行系统的模型非常有趣,但真正有威力且令人兴奋的,往往出现在将模拟模型应用于过程改动的时候。参照图 9.35 给出的简单模型。关于这个过程,会出现许多问题,比如说:

- 预期一个新的促销活动会使得电话打入的订单数加倍,那么,对生产会有怎样的影响?
- 如果质量检测由生产人员完成,那么,对质量检测费用、总费用以及生产产量有什么影响?

通常,模型有助于判断如果 X 发生变化, Y 会出现什么样的情况。复杂系统的变动经常会带来意料之外的结果,这可以归因于对内部互相关联的过程的影响。例如,改变电

话的容量可能会增加质量检测员的空闲时间,因为它增加了“得到零部件”这个瓶颈过程的延迟时间。一旦通过模拟发现了这个情况,管理人员就会对此进行处理。进而,管理人员提出的解决方案也可以在实际过程试行之之前利用模拟进行试验。例如,管理人员可能提议对质量检测人员进行交叉训练以便对得到零部件的工作有所帮助。从理论上说,在增加质量检测人员的作用的同时,缩短了得到零部件这一步的等待时间。模拟可以在这个提议被试行之之前检验这个假设。有可能检验的结果发现只是把瓶颈从流程中的一个步骤移到另一个步骤,而不是消除它。任何在现实世界工作过一段时间的人们,都熟悉“液压传动模型”;管理人员尝试着解决一个问题,而其结果只是导致新问题的产生。在具体试行之之前发现这些问题,可以节省经费和提高士气。

示例:接受检验的一个模拟^①

本示例描述了在一个大型的军备品承包商的工厂里,复杂检查操作的模拟模型。这个工厂要接收四种类型的部件:电子的、简单机械的、复杂机械的和需要进行无损实验(NDT)的部件或材料。行业协会的规定要求四种不同的检查等级。这个工厂等待检查的订单日趋增多。这些积压物品对生产调度产生了负面影响,包括经常使导弹的装配工作停顿。进行计算机模拟,回答下列问题:

1. 这种积压是不是一种偶然现象,可以在没有外界干预的情况下最终得以解决,还是需要进行过程的永久性改变?
2. 如果雇用更多的人员,这些员工可否得到充分的利用?
3. 需要哪些类型的工作技巧?
4. 是否需要增加自动或半自动的检查设备来改善这个问题?

9.10.2 模型开发

项目的第一个阶段是开发一个接受检验过程的准确模型。一个需要估计的因素是各种部件的到达分布。图 9.36 比较了电子部件的经验分布与一个指数到达时间模型的预测(参见上述的蒙特卡罗模拟)。数据是从最近的工作月中搜集来的。

从其他三种类型部件的到达分布可以得到相似的拟合效果。这个指数模型看来足以提供对每种情况数据的描述(例如,当我们利用模型参数来模拟历史状况时,模拟的结果与实际发生的情况相当接近)。表 9.21 给出了这些模型所用的参数估计(平均到达率)。

模型开发的另一个方面是描述每个订单的检验时间的分布。近期有关接受检验的时间研究提供了这 4 种不同部件的实际检验时间的数据。指数模型则被证明通过了卡方

^① Pyzdek, 1991—1992

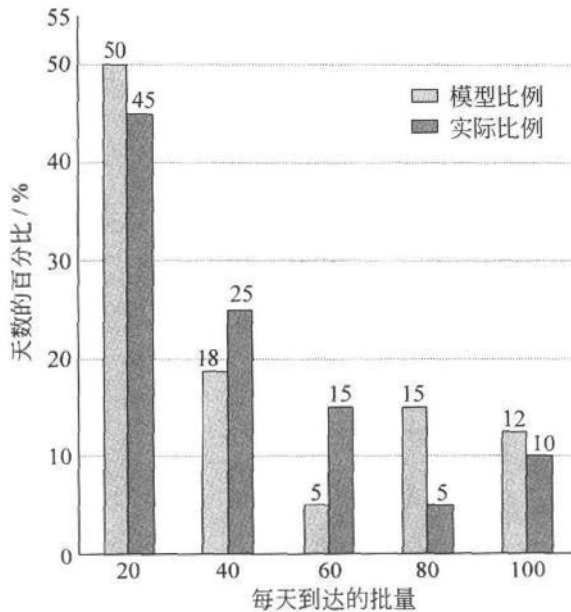


图 9.36 电子订单预测与实际的到达情况

(χ^2) 的拟合度检验和“历史数据模拟”的检查,因而是足够的。表 9.22 给出了检验时间的参数估计。

表 9.21 平均到达率

订单类型	到达率的均值(每小时的订单)
电子的	4.292
简单机械的	6.849
复杂机械的	1.541
无损伤试验	0.630

表 9.22 平均检验时间

订单类型	平均检验时间(每小时的订单)
电子的	1.681
简单机械的	2.500
复杂机械的	0.597
无损伤试验	0.570

图 9.37 是根据 228 份电子订单的检验时间得到的指数曲线。几项研究表明,在检查

一项复杂的机械订单时,使用手工的表面版面布置比利用一台坐标测量仪器(CMM)要多花 4 倍的时间。(这些有趣的发现经常可以从模拟项目中得到。)

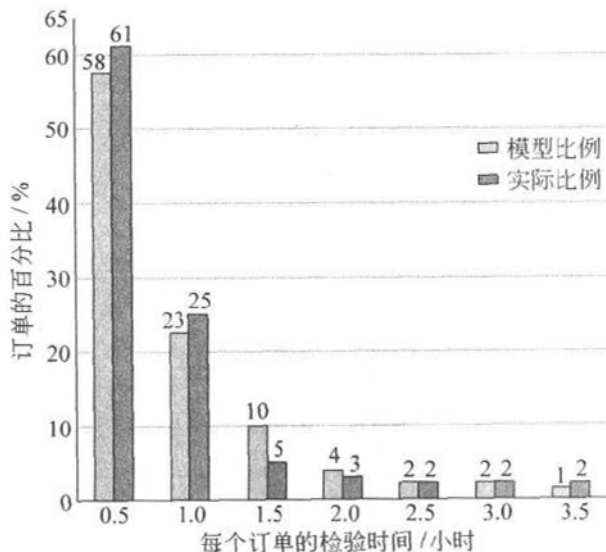


图 9.37 电子订单检验时间

时间研究表明:废弃的部件要做废弃的标记,并且要完成返还给权威部门的文档工作,这都要占用额外的时间。这个过程的时间分布是在区间 $[0.1 \text{ 小时}, 0.5 \text{ 小时}]$ 上的均匀分布。使用传统的统计过程控制技术可以估计出各种订单类型的废弃比例。控制图显示,除了少量的例外,废弃部件的比例处于统计控制状态,模型可以使用二项分布。表 9.23 给出了最终估计的废弃率。这些进行评价的部件是在相对较短的时间段上生产出来的,所以,表 9.23 中的数据应当被认作是试验性的。

表 9.23 平均废弃率

订单类型	废弃部件的比率 (%)	评估部件数
电子的	2.2	762
简单机械的	1.1	936
复杂机械的	25.0	188
无损伤试验	0.5	410

9.10.3 管理约束

在模型开发过程中,一个非常重要的输入是管理人员提出的约束。在这个项目中,约束包括每类检验人员可允许的职能分工,加班的政策,排队纪律以及给检验员和 CMM 分派工作的优先原则等方面的描述。表 9.24 总结了可允许的职能分工。“0”表示这种分工是不允许的,而“1”则表示这种分工是允许的。

表 9.24 检验人员可允许的职能分工

检验类型	订单类型			
	电子的	简单机械的	复杂机械的	无损伤试验
电子	1	0	0	0
11 级	0	1	0	0
19 级	0	1	1	0
NDT	0	0	0	1

模拟应该在不允许加班的假设前提下运行,一个完整的工作周是 40 个小时。当检验一个简单的机械订单时,优先分配给费用较低的 11 级检验员。CMM 要用于接到的复杂机械订单。利用先进先出原则,进行检验。

9.10.4 积压物品

积压物品是各种部件类型的混合。何时某个订单成为积压物品,这类信息是无法获得的。在模拟提交运行时,积压物品中有 662 个订单,它们的构成如表 9.25 所示。

表 9.25 积压物品构成

订单类型	积压物品	百分比(%)
电子的	328	49
简单机械的	203	31
复杂机械的	51	8
无损伤试验	80	12

在这个计算机程序运行了 4 周以后,积压物品已经减少到 200 个订单。假设每种订单类型的比例不变,并且对这 200 个订单的积压物品进行模拟。



9.10.5 模拟

第一次模拟是模拟现行系统,这样决策者能够作出判断:出现的积压物品是否是能够自行消除的偶然事件。模拟的初始条件是当前的员工、设备和积压物品,运行 4 个模拟的工作周,每周是 40 小时。这样运行了 6 次,计算出下面的统计数据:

1. 平均滞后等待检验时间。
2. 最大滞后等待检验时间。
3. 平均积压数量。
4. 最大积压数量。
5. 检验人员的利用率。
6. CMM 的利用率。

统计量 1 到 4 按照部件类型分别计算;统计量 5 对每类检验员分别计算。

调整后的系统

模拟提供了一种评估所提议的管理变动产生的影响的理想方法。这些变动可能包括检验的人员安排、CMM 的数量等等,因此,它们应该作为程序的输入变量。在与管理人员的讨论中,建立了下面的启发性规则:

如果 $U_i < (n_i - 1) / n_i$, $i = 1, 2, 3, 4$, 那么令 $n_i = n_i - 1$

其中 U_i = 第 i 类检验人员的利用率, n_i = 第 i 类检验人员的数目

例如,假设这里有 3 个电子检验员(即 $n_i = 3$),并且电子检验员的利用率为 40% ($U_i = 0.4$)。因为 $0.4 < (3 - 1) / 3 = 0.67$,所以,启发性规则建议去掉一名电子检验员。

只有当某种类型的订单其积压得到控制时,才能做出精简的决定。对此的解释是:有关积压物品的平均变动,一个 2σ 的间隔要么包含了积压物品的零增长,要么完全为负。

模拟结果

基于现存系统的第一次模拟,代号为 5-2-5-2-1,表示

- 5 个电子检验员
- 2 个等级 11 的检验员
- 5 个等级 19 的检验员
- 2 个 NDT 检验员
- 1 个 CMM

表 9.26 给出了该模拟的结果。

表 9.26 当前系统 5-2-5-2-1 模拟的结果

检验类型	检验员	检验员 利用率	积压物品		CMM	
			平均	最大	数目	利用率
运行 1						
电子的	5	0.577	8.5	98	1	0.526
简单机械的	2	0.704	1.6	61		
复杂机械的	5	0.545	0.7	16		
NDT	2	0.622	4.3	25		
运行 2						
电子的	5	0.623	7.5	97	1	0.501
简单机械的	2	0.752	1.9	68		
复杂机械的	5	0.621	0.6	11		
NDT	2	0.685	5.0	24		
运行 3						
电子的	5	0.613	8.3	107	1	0.495
简单机械的	2	0.732	1.5	51		
复杂机械的	5	0.596	2.0	30		
NDT	2	0.541	3.5	23		
运行 4						
电子的	5	0.608	4.9	93	1	0.413
简单机械的	2	0.726	1.5	67		
复杂机械的	5	0.551	0.8	14		
NDT	2	0.665	3.5	28		
运行 5						
电子的	5	0.567	6.8	91	1	0.506
简单机械的	2	0.684	2.9	77		
复杂机械的	5	0.554	0.6	13		
NDT	2	0.592	2.1	21		
运行 6						
电子的	5	0.598	6.6	96	1	0.493
简单机械的	2	0.755	2.4	65		
复杂机械的	5	0.584	1.6	19		
NDT	2	0.735	5.0	22		

经过模拟的 6 周之后：

任务类型	平均利用率	积压物品的平均变动	积压物品变动的标准差
电子的	0.598	-96.333	6.3140
简单机械的	0.726	-64.000	8.4617
复杂机械的	0.575	-14.500	3.5637
NDT	0.640	-22.500	3.7283

启发性规则描述了变动员工的方向,但是没有给出具体变动多少。仅仅根据作者的直觉,选择下一次模拟的配置如下:

- 3 个电子检验员
- 2 个等级 11 的检验员
- 3 个等级 19 的检验员
- 2 个 NDT 检验员
- 1 个 CMM

表 9.27 给出了这个 3-2-3-2-1 系统的模拟结果。所有平均利用率的数值都通过了启发性规则,并且积压物品的平均增长率保持不变,并且是令人满意的负增长。然而,当检验人员减少以后,电子订单积压的减少情况相当反复无常。

表 9.27 3-2-3-2-1 系统的模拟结果

检验类型	检验员	检验员 利用率	积压物品		CMM	
			平均	最大	数目	利用率
运行 1						
电子的	3	0.935	49.4	101	1	0.595
简单机械的	2	0.847	7.5	61		
复杂机械的	3	0.811	2.0	16		
NDT	2	0.637	8.2	28		
运行 2						
电子的	3	0.998	81.7	114	1	0.629
简单机械的	2	0.866	8.2	70		
复杂机械的	3	0.863	2.5	16		
NDT	2	0.631	3.5	22		

续表

检验类型	检验员	检验员 利用率	积压物品		CMM	
			平均	最大	数目	利用率
运行 3						
电子的	3	0.994	74.3	109	1	0.623
简单机械的	2	0.889	12.0	73		
复杂机械的	3	0.891	6.2	32		
NDT	2	0.679	6.4	27		
运行 4						
电子的	3	0.879	31.2	109	1	0.632
简单机械的	2	0.927	7.2	52		
复杂机械的	3	0.924	5.6	26		
NDT	2	0.715	3.8	25		
运行 5						
电子的	3	0.992	45.6	117	1	0.537
简单机械的	2	0.791	3.7	43		
复杂机械的	3	0.761	1.8	18		
NDT	2	0.673	2.3	24		
运行 6						
电子的	3	0.990	39.9	95	1	0.606
简单机械的	2	0.844	6.9	63		
复杂机械的	3	0.800	1.7	18		
NDT	2	0.716	4.2	24		

经过模拟之后:

任务类型	平均利用率	积压物品的平均变动	积压物品变动的标准差
电子的	0.965	-91.833	20.5856
简单机械的	0.861	-54.667	8.7331
复杂机械的	0.842	-15.833	1.3292
NDT	0.676	-23.500	1.3784

尽管这种配置是可接受的,作者相信可以使用低报酬的等级 11 的检验员来代替一个

或多个高报酬的等级 19 的检验员进行更多的尝试。实验新的组合 3-3-1-2-1 系统的结果如表 9.28 所示。

表 9.28 3-3-1-2-1 系统的模拟结果

检验类型	检验员	检验员 利用率	积压物品		CMM	
			平均	最大	数目	利用率
运行 1						
电子的	3	0.937	37.0	110	1	0.718
简单机械的	3	0.885	13.1	61		
复杂机械的	1	0.967	7.4	21		
NDT	2	0.604	3.4	25		
运行 2						
电子的	3	0.932	26.8	100	1	0.722
简单机械的	3	0.888	7.9	58		
复杂机械的	1	0.925	17.8	49		
NDT	2	0.607	4.0	27		
运行 3						
电子的	3	0.997	74.1	119	1	0.807
简单机械的	3	0.915	14.6	58		
复杂机械的	1	0.957	20.6	40		
NDT	2	0.762	7.1	22		
运行 4						
电子的	3	0.995	42.2	96	1	0.865
简单机械的	3	0.976	38.4	79		
复杂机械的	1	0.997	23.8	56		
NDT	2	0.758	4.8	30		
运行 5						
电子的	3	0.996	61.3	121	1	0.909
简单机械的	3	0.913	7.7	50		
复杂机械的	1	0.996	21.7	52		

续表

检验类型	检验员	检验员 利用率	积压物品		CMM	
			平均	最大	数目	利用率
NDT	2	0.820	7.4	30		
运行 6						
电子的	3	0.933	35.3	101		
简单机械的	3	0.867	5.7	59		
复杂机械的	1	0.938	17.8	49	1	0.736
NDT	2	0.674	8.8	33		

经过模拟之后：

任务类型	平均利用率	积压物品的平均变动	积压物品变动的标准差
电子的	0.965	-93.667	6.9762
简单机械的	0.908	-57.500	5.8224
复杂机械的	0.963	-5.500	18.1411
NDT	0.704	-25.500	2.7386

这个 3-3-1-2-1 系统满足有关资源利用率和积压物品控制的所有管理约束。它提醒管理人员注意：应该小心控制复杂机械订单的积压情况。对这种类型的订单，模拟显示积压物品的平均增长率为负值，但是在一些时段出现正值也是可能的。

结论

模拟在没有打乱实际操作的情况下，对接受检查过程进行了“改动”。在计算机程序里，能够被增加、减少或重新分配检验员而不对员工士气和运作产生影响，而这些分析的结果有可能导致现实世界的变动。增加额外的 CMM 是件简单的事情，在现实世界中可能要花费 6 位数。很容易对下面的任何一种情况进行评估：不同的职能分工协议，增加一条新生产线的影响，新工作区的布置，加班或雇用临时工带来的影响，等等。这些变动的影响能够在几天内完成评估，而不必等待几个月却发现问题没有得到解决。

9.11 统计容差

讨论统计容差,要用到朱兰和 Gryna(1993)提出的界限的定义。如表 9.29 所示:

表 9.29 界限的定义

界限的名称	含 义
容差	由工程设计功能设定,用来定义让产品正常工作所允许的最大值和最小值。
统计容差	从过程数据计算得到,用来定义过程中出现的变动量;此界限包含了一定比例的总体。
预测	从过程数据计算得到,用来定义包括所有 k 个将来的观测值的界限。
置信区间	从数据中计算得到,用来定义包含总体参数的区间。
控制	从过程数据计算得到,用来定义在某个中心值附近随机变动的界限。

在制造业中,常见到部件之间的相互作用:一枚钉子要恰好穿过一个小孔,多个部件要组装在一起的流水线,等等。图 9.38 给出了相互作用的部件的一个示例。

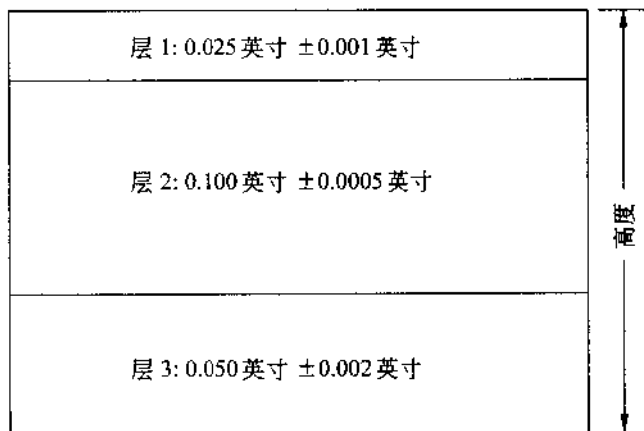


图 9.38 一个多层电路板的组装

假设组装所用到的三层都要按照图 9.38 显示的规格进行生产。逻辑上讲,可以通过把每层的标准尺寸和容差相加得到整叠的总高度的规格,即 $0.175'' \pm 0.0035''$, 给出界限为 $0.1715''$ 和 $0.1785''$ 。规格下界相当于所有三层都处于最小值时的组装;规格上界相当于所有三层都处于最大值时的组装,如表 9.30 所示。

把部件的容差相加得到组件的容差是一种常用的方法,但通常认为这种方法过于保

守,尤其是当制造过程都很可靠并且处于统计控制状态时。例如,假设任何一层低于它的规格下界的概率是 $1/100$ (对一个受控的可靠过程来说,这是一个保守估计)。那么,低于 $0.1715''$ 的下界的概率是 $\frac{1}{100} \times \frac{1}{100} \times \frac{1}{100} = \frac{1}{1\,000\,000}$ 。类似的,出现过厚的概率也是百万分之一。这样,通过简单相加来设定元件和组件的容差,就太保守了,往往费用昂贵。

表 9.30 最大和最小的多层组装

最 小	最 大
0.0240	0.0260
0.0995	0.1005
0.0480	0.0520
0.1715	0.1785

制定容差的统计方法是基于一些独立原因的方差和解释结果(或总体结果)的方差之间的关系。如下所示:

$$\sigma_{\text{结果}} = \sqrt{\sigma_{\text{原因A}}^2 + \sigma_{\text{原因B}}^2 + \sigma_{\text{原因C}}^2 + \dots} \quad (9.22)$$

对本例而言:

$$\sigma_{\text{组合}} = \sqrt{\sigma_{\text{层1}}^2 + \sigma_{\text{层2}}^2 + \sigma_{\text{层3}}^2} \quad (9.23)$$

当然,工程容差通常是在不知道哪个制造过程会用来制造这个部件的情况下设定的,所以,实际的方差未知。然而,最差的情况是过程刚刚能够满足工程的需要。在第8章(过程能力),我们知道这种情况发生在工程容差的宽度为6个标准差(± 3 个标准差)的时候。这样,得到式9.24:

$$\frac{T}{3} = \sqrt{\left(\frac{T_A}{3}\right)^2 + \left(\frac{T_B}{3}\right)^2 + \left(\frac{T_C}{3}\right)^2}$$

或

$$T_{\text{组合}} = \sqrt{T_{\text{层1}}^2 + T_{\text{层2}}^2 + T_{\text{层3}}^2} \quad (9.24)$$

换言之,不进行简单的容差相加,而是利用容差平方和来确定总结果的容差平方。

统计方法的结果是单个部件的可允许容差大大增加。对本例而言,每层容差为 ± 0.002 英寸时,结果同样使组合的容差为 ± 0.0035 英寸。这相当于把层1的容差加倍,层2的容差变为原来的4倍,而没有改变整个组合的容差。还有其他许多的层容差的组合,会得到同样的组合结果,这就在考虑诸如过程能力、费用之类的因素时,有了很大的弹性。

关于这种方法的代价是:组件会发生超出容差的小概率事件。然而,通过把 3σ 规则调大,就可以把概率限定到所要求的任意小的数值。另一种可替代的方法是:使部件优先于组件,并且选择可能会发生超出容差的小概率事件的不同元件组合。

这种方法还可能用于组件的内部尺寸。例如,假设一个组件是要把一个柄与一个轴承组装起来,如图 9.39 所示。

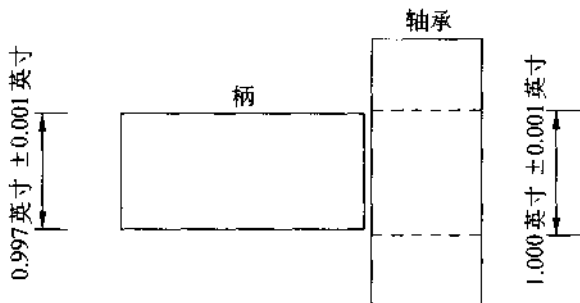


图 9.39 一个轴承和柄的组装

轴承和柄之间的间隙可以这样计算:

间隙 = 轴承的内部直径 - 柄的外部直径

当轴承的内部直径达到所允许的最小值而柄的外部直径达到所允许的最大值时,会出现最小的间隙。这样:

$$\text{最小间隙} = 0.999 - 0.998 = 0.001 (\text{英寸})$$

当轴承的内部直径达到所允许的最大值而柄的外部直径达到所允许的最小值时,会出现最大的间隙:

$$\text{最大间隙} = 1.001 - 0.996 = 0.005 (\text{英寸})$$

这样,组装的容差可以这样求得:

$$T_{\text{组合}} = 0.005 - 0.001 = 0.004 (\text{英寸})$$

这里可以使用与上述情况一样的统计容差方法:

$$\frac{T}{3} = \sqrt{\left(\frac{T_A}{3}\right)^2 + \left(\frac{T_B}{3}\right)^2}$$

或

$$T_{\text{组合}} = \sqrt{T_{\text{轴承}}^2 + T_{\text{柄}}^2} \quad (9.25)$$

对本例而言

$$T_{\text{组合}} = 0.004 = \sqrt{T_{\text{轴承}}^2 + T_{\text{柄}}^2} \quad (9.26)$$

假设轴承和柄的容差相同,则每个部件的容差为:

$$(0.004)^2 = T_{\text{轴承}}^2 + T_{\text{柄}}^2 = 2T^2$$

$$T = \sqrt{\frac{(0.004)^2}{2}} = \pm 0.0028 (\text{英寸}) \quad (9.27)$$

约为每个零件的容差的 3 倍。

公式的假设

公式基于下面几个假设：

- 元件尺寸是独立的，元件组装是随机的。这个假设通常符合实际情况。
- 每个元件的尺寸应当近似服从正态分布。
- 每个元件的实际平均尺寸等于规格中标明的标准尺寸。对于多层电路板组装的例子，层 1, 2 和 3 的平均尺寸必须分别是 0.025, 0.100 和 0.050 英寸。可以通过在制造过程中应用 SPC 来满足这项条件。

与这些假设有合理的偏离是可以接受的。经验表明，只要部件的制造过程处于统计控制状态，就很少会出问题。

附录

表 1 基本统计术语表

可接受质量水平 (acceptable quality level)

出于接收抽样的目的,认为一批产品能够达到过程平均值所需的最大产品比例。

方差分析 (analysis of variance, ANOVA)

把数据集的总变差分为有意义的变差部分和出于检验模型参数假设的目的或估计方差成分的目的的特殊来源的变差。

可查明原因 (assignable cause)

引起变差的原因,且易于检测与识别。

平均检出质量 (average outgoing quality, AOQ)

——对于给定的提交产品质量,检验计划中检出产品的期望质量。

平均检出质量上限 (average outgoing quality limit, AOQL)

——对于给定的检验计划,提交质量所对应的 AOQ 最大值。

偶然原因 (chance cause)

——引起变差的原因,通常是众多的、相对不太重要,且不易检测与识别的原因。

可决系数 (coefficient of determination)

——对方差中一个变量可以用另一个变量通过线性关系加以解释的部分进行测量,记为 ρ^2 或 r^2 。

复相关系数 (coefficient of multiple correlation)

在 0 到 1 之间取值,表示了几个预测变量 X_1, X_2, \dots, X_p 对响应变量 Y 的线性相关关系的程度。这是预测值与响应变量的观测值之间的相关系数。

变异系数 (coefficient of variation)

——由标准差除以均值乘以 100% 得到,反映了相对散布程度。当数据既有正值又有负值或是当数值 $X=0$ 与原点并不一致时,该系数都不能使用。

置信界限 (confidence limit)

——对于指定的置信水平,是包括了总体参数的样本统计量构成的区间的边界点。

使用方风险 (customer's risk (β))

——对于给定的检验计划,接受批的概率,代表了不希望接受的质量水平,用一个指定的数值来表示。通常记为极限质量水平 LQL。



续表

相关系数 (correlation coefficient)

……处于-1和1之间的数值,代表了两个数据集之间的线性关系的程度:

$$r_{xy} = \frac{s_{xy}}{s_x s_y} = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{[n \sum X^2 - (\sum X)^2][n \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}}$$

缺陷 (defect)

质量特性对于约定水平的偏离,或是导致产品/服务不能满足正常的、可预见的使用要求的严重情况。

有缺陷的 (defective)

……产品或服务的单元,包括至少一个缺陷或是有几处瑕疵使得正常的、可预见的使用要求不能满足。当产品或服务从使用的角度进行评价时,可以使用有缺陷的这一词语(与对规范的符合性相比)。

二次抽样 (double sampling)

——抽样检验,第一次抽取样本量为 n_1 ,得到接受该批产品的结论;或不接受,或抽取第二个样本量为 n_2 的批,检验第二次的样本,作出接受或拒绝批的结论。

实验设计 (experiment design)

……指导实验项目的安排,选择实验中包含一个或多个因素或因素组合的水平。

因素 (factor)

……影响响应(检验结果)的可查明原因,实验中可包含的不同水平。

析因实验 (factorial experiment)

——对由两个或多个因素形成的所有可能的处理组合,对两个或多个水平进行研究,使得相互关系(差别影响)和主要影响可以得到估计。

频率分布 (frequency distribution)

……观测得到的所有可能值的集合和在样本或总体中出现的频率。

直方图 (histogram)

……以矩形的形式得到的频率分布的图形,矩形底是单元长度,矩形面积与频率成比例。

备择假设 (hypothesis, alternative)

——如果零假设被拒绝,所接受的假设。选择备择假设时,要考虑是单侧检验还是双侧检验。

零假设 (hypothesis, null)

——在显著性水平下,检验假设:在样本与设定的总体之间(或是总体与样本之间)没有差异(零假设)。无法证明零假设是真的。然而,可以证明对设定的误差风险,零假设是不成立的,即存在差异。如果不能拒绝零假设,那么,通常说明没有足够的证据来怀疑零假设是真的。(没有足够的依据说明存在明显的差异,可能是样本容量太小了。设定要加以检测的最小差异和 β 值, β 值是检测差异失败的风险,进而可以确定实际需要的样本容量。)

受控过程 (in-control process)

——过程的统计特性经过评价,认为处于统计控制状态的过程。

峰度 (kurtosis)

——分布形状的度量。峰度为正值,表示分布具有比正态分布更大的尾部;峰度为负值,表示分布的尾部比正态分布小。正态分布的峰度为0。

均值的标准误差(mean, standard error of)

——样本均值的标准差, 其样本容量为 n ;

$$s_X = \frac{s_X}{\sqrt{n}}$$

均值(mean)

分布位置的度量。质心。

中位数(median)

……按顺序排列的奇数个数据中, 中间值的度量。对于有序数据 $X_1, X_2, \dots, X_{2k-1}$;

$$\text{Med} = X_k$$

按顺序排列的偶数个数据中, 中位数是中间两个数的平均。对于有序数据 X_1, X_2, \dots, X_{2k} ;

$$\text{Med} = \frac{X_k + X_{k+1}}{2}$$

众数(mode)

——最频繁出现的数。

多次抽样(multiple sampling)

——抽取样本后, 作出接受该批或拒绝该批或抽取下一个样本的决策的抽样检验。要确定最多抽样的次数, 抽取这个数目的样本之后, 要作出接受或拒绝的决策。

抽检特性曲线(operating characteristics curve, OC Curve)

1. 对孤立批或来自单独序列的批, 对于设定的抽样方案, 曲线给出了接受批的概率, 它是批质量的函数。(A类)
2. 对连续批, 对于设定的抽样方案, 曲线给出了接受批的概率, 它是过程均值的函数。(B类)
3. 对于连续抽样方案, 曲线给出了在抽样方案的各个阶段提交产品的比例, 它是产品质量的函数。
4. 对于特殊方案, 对于设定的抽样方案, 曲线给出了不需要调整、允许过程连续进行的概率, 它是过程质量的函数。

参数(parameter)

——常数或系数, 描述了总体的某些特性(例如: 标准差, 均值, 回归系数)。

总体(population)

——要加以考虑的全部个体。注意: 个体可以是单元, 也可以是观测值, 总体可以是真实的, 也可以是概念性的。因此, 总体可能是指某一日生产的全部产品, 如果过程持续处于受控状态, 那么, 总体也可指所有可能生产的产品。

强度曲线(power curve)

——强度曲线给出了, 样本属于给定特性的总体这一假设被拒绝的概率 $1-\beta$ 与该特性的真实总体值之间的关系。注意: 如果使用 β 代替 $1-\beta$, 那么曲线称为 OC 曲线(主要用于质量控制的抽样方案)。

过程能力(process capability)

——在某种环境下, 基于最小变异所得到的过程运作的界限。注意: “在某种环境下”是指涉及到某个操作员、原材料的某种来源等等情况下得到的对过程内在变异的定义, 不同于多个操作员或原材料的多个来源。如果是在某种限定的条件下得到内在变异的度量结果, 那么, 还需要增加频繁出现而又不易于消除的变差可查明原因所带来的变异。

续表

生产者风险(producer's risk (α))——对于给定的抽样方案,拒绝批的概率,此指定的质量水平是通常期望接受的质量水平。通常的指定值为可接受质量水平 AQL。

质量(quality)

——具有满足给定要求的能力的产品或服务的总特性。

质量保证(quality assurance)

——为了能够使产品或服务满足给定的要求具有足够保证,所进行的那些计划的或系统的行为。

质量控制(quality control)

——保持产品或服务的质量满足给定的要求所采取的方法或行为,以及这些技术或行为的使用。

随机抽样(random sampling)

——选择样品的过程,样本容量为 n ,选择的方式是: n 件产品的所有组合都具有相同的可能性被选为样本。

极差(range)

——利用给定样本中的最大观测值与最小观测值之差来表示散布情况的度量。有时,极差还可以用来估计总体的标准差,只不过它是有偏估计,需要乘以与样本容量 n 有关的系数($1/d_2$)来得到无偏估计。

复制(replication)

——实验中要比较的所有处理组合的复制。每一次重复称为一次复制。

样本(sample)

——取自一个较大的观测值群体的一组观测值,可提供信息来制定有关该较大群体的决策。

单个抽样(single sampling)

——基于样本容量 n 的单个样本的检验,作出接受或拒绝批决策的抽样检验。

偏度(skewness)

——分布对称性的度量。正值表示了分布对右侧的尾部有较大的倾斜(正倾斜或偏向右侧),负值表示了分布对左侧的尾部有较大的倾斜(负倾斜或偏向左侧)。正态分布的偏度为 0。

标准差(standard deviation)

1. σ ——总体标准差。用总体方差的正平方根表示观测值的偏离(散布)的度量。
2. s ——样本标准差。用样本方差的正平方根表示偏离(散布)的度量。

$$\sqrt{\frac{1}{n} \sum (X_i - \bar{X})^2}$$

统计量(statistic)

——由样本观测值计算得到的数值,经常作为总体参数的观测值。

第 I 类错误(Type I error(acceptance control sense))

——当实际上充分的信息可以揭示过程处于“可接受过程的区域”时,却做出不接受过程的错误决策。

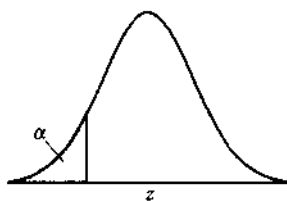
第 II 类错误(Type II error(acceptance control sense))

——当实际上充分的信息可以揭示过程处于“拒绝过程的区域”时,却做出接受过程的错误决策。

方差(variance)

1. σ^2 ——总体方差。用偏离算术均值的偏差的平方的均值,来表示观测值的偏离(散布)的度量。
2. s^2 ——样本方差。用样本偏离算术平均值的偏差的平方除以自由度,来表示观测值的偏离(散布)的度量。

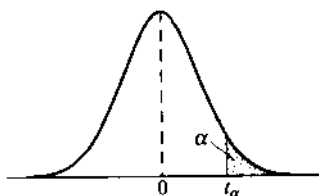
表 2 标准正态曲线下的面积



z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
-3.4	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002
-3.3	0.0005	0.0005	0.0005	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0003
-3.2	0.0007	0.0007	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0005	0.0005	0.0005
-3.1	0.0010	0.0009	0.0009	0.0009	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0007	0.0007
-3.0	0.0013	0.0013	0.0013	0.0012	0.0012	0.0011	0.0011	0.0011	0.0010	0.0010
-2.9	0.0019	0.0018	0.0018	0.0017	0.0016	0.0016	0.0015	0.0015	0.0014	0.0014
-2.8	0.0026	0.0025	0.0024	0.0023	0.0023	0.0022	0.0021	0.0021	0.0020	0.0019
-2.7	0.0035	0.0034	0.0033	0.0032	0.0031	0.0030	0.0029	0.0028	0.0027	0.0026
-2.6	0.0047	0.0045	0.0044	0.0043	0.0041	0.0040	0.0039	0.0038	0.0037	0.0036
-2.5	0.0062	0.0060	0.0059	0.0057	0.0055	0.0054	0.0052	0.0051	0.0049	0.0048
-2.4	0.0082	0.0080	0.0078	0.0075	0.0073	0.0071	0.0069	0.0068	0.0066	0.0064
-2.3	0.0107	0.0104	0.0102	0.0099	0.0096	0.0094	0.0091	0.0089	0.0087	0.0084
-2.2	0.0139	0.0136	0.0132	0.0129	0.0125	0.0122	0.0119	0.0116	0.0113	0.0110
-2.1	0.0179	0.0174	0.0170	0.0166	0.0162	0.0158	0.0154	0.0150	0.0146	0.0143
-2.0	0.0228	0.0222	0.0217	0.0212	0.0207	0.0202	0.0197	0.0192	0.0188	0.0183
-1.9	0.0287	0.0281	0.0274	0.0268	0.0262	0.0256	0.0250	0.0244	0.0239	0.0233
-1.8	0.0359	0.0351	0.0344	0.0336	0.0329	0.0322	0.0314	0.0307	0.0301	0.0294
-1.7	0.0446	0.0436	0.0427	0.0418	0.0409	0.0401	0.0392	0.0384	0.0375	0.0367
-1.6	0.0548	0.0537	0.0526	0.0516	0.0505	0.0495	0.0485	0.0475	0.0465	0.0455
-1.5	0.0668	0.0655	0.0643	0.0630	0.0618	0.0606	0.0594	0.0582	0.0571	0.0559
-1.4	0.0808	0.0793	0.0778	0.0764	0.0749	0.0735	0.0721	0.0708	0.0694	0.0681
-1.3	0.0968	0.0951	0.0934	0.0918	0.0901	0.0885	0.0869	0.0853	0.0838	0.0823
-1.2	0.1151	0.1131	0.1112	0.1093	0.1075	0.1056	0.1038	0.1020	0.1003	0.0985
-1.1	0.1357	0.1335	0.1314	0.1292	0.1271	0.1251	0.1230	0.1210	0.1190	0.1170
-1.0	0.1587	0.1562	0.1539	0.1515	0.1492	0.1469	0.1446	0.1423	0.1401	0.1379

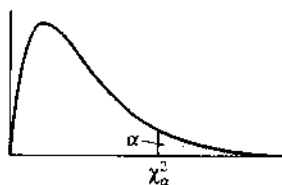
续表

z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
-0.9	0.1841	0.1814	0.1788	0.1762	0.1736	0.1711	0.1685	0.1660	0.1635	0.1611
-0.8	0.2119	0.2090	0.2061	0.2033	0.2005	0.1977	0.1949	0.1922	0.1894	0.1867
-0.7	0.2420	0.2389	0.2358	0.2327	0.2296	0.2266	0.2236	0.2206	0.2177	0.2148
-0.6	0.2743	0.2709	0.2676	0.2643	0.2611	0.2578	0.2546	0.2514	0.2483	0.2451
-0.5	0.3085	0.3050	0.3015	0.2981	0.2946	0.2912	0.2877	0.2843	0.2810	0.2776
-0.4	0.3446	0.3409	0.3372	0.3336	0.3300	0.3264	0.3228	0.3192	0.3156	0.3121
-0.3	0.3821	0.3783	0.3745	0.3707	0.3669	0.3632	0.3594	0.3557	0.3520	0.3483
-0.2	0.4207	0.4168	0.4129	0.4090	0.4052	0.4013	0.3974	0.3936	0.3897	0.3859
-0.1	0.4602	0.4562	0.4522	0.4483	0.4443	0.4404	0.4364	0.4325	0.4286	0.4247
-0.0	0.5000	0.4960	0.4920	0.4880	0.4840	0.4801	0.4761	0.4721	0.4681	0.4641
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767

表3 t 分布的临界值

自由度 (df)	α				
	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657
2	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925
3	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841
4	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604
5	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032
6	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707
7	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499
8	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355
9	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250
10	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169
11	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106
12	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055
13	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012
14	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977
15	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947
16	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921
17	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898
18	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878
19	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861
20	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845
21	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831
22	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819
23	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807
24	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797
25	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787
26	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779
27	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771
28	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763
29	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756
∞	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576

表4 卡方分布



γ	α									
	0.995	0.99	0.98	0.975	0.95	0.90	0.80	0.75	0.70	0.50
1	0.00004	0.000	0.001	0.001	0.004	0.016	0.064	0.102	0.148	0.455
2	0.0100	0.020	0.040	0.051	0.103	0.211	0.446	0.575	0.713	1.386
3	0.0717	0.115	0.185	0.216	0.352	0.584	1.005	1.213	1.424	2.366
4	0.207	0.297	0.429	0.484	0.711	1.064	1.649	1.923	2.195	3.357
5	0.412	0.554	0.752	0.831	1.145	1.610	2.343	2.675	3.000	4.351
6	0.676	0.872	1.134	1.237	1.635	2.204	3.070	3.455	3.828	5.348
7	0.989	1.239	1.564	1.690	2.167	2.833	3.822	4.255	4.671	6.346
8	1.344	1.646	2.032	2.180	2.733	3.490	4.594	5.071	5.527	7.344
9	1.735	2.088	2.532	2.700	3.325	4.168	5.380	5.899	6.393	8.343
10	2.156	2.558	3.059	3.247	3.940	4.865	6.179	6.737	7.267	9.342
11	2.603	3.053	3.609	3.816	4.575	5.578	6.989	7.584	8.148	10.341
12	3.074	3.571	4.178	4.404	5.226	6.304	7.807	8.438	9.034	11.340
13	3.565	4.107	4.765	5.009	5.892	7.042	8.634	9.299	9.926	12.340
14	4.075	4.660	5.368	5.629	6.571	7.790	9.467	10.165	10.821	13.339
15	4.601	5.229	5.985	6.262	7.261	8.547	10.307	11.037	11.721	14.339
16	5.142	5.812	6.614	6.908	7.962	9.312	11.152	11.912	12.624	15.338
17	5.697	6.408	7.255	7.564	8.672	10.085	12.002	12.792	13.531	16.338
18	6.265	7.015	7.906	8.231	9.390	10.865	12.857	13.675	14.440	17.338
19	6.844	7.633	8.567	8.907	10.117	11.651	13.716	14.562	15.352	18.338
20	7.434	8.260	9.237	9.591	10.851	12.443	14.578	15.452	16.266	19.337
21	8.034	8.897	9.915	10.283	11.591	13.240	15.445	16.344	17.182	20.337
22	8.643	9.542	10.600	10.982	12.338	14.041	16.314	17.240	18.101	21.337
23	9.260	10.196	11.293	11.689	13.091	14.848	17.187	18.137	19.021	22.337
24	9.886	10.856	11.992	12.401	13.848	15.659	18.062	19.037	19.943	23.337
25	10.520	11.524	12.697	13.120	14.611	16.473	18.940	19.939	20.867	24.337
26	11.160	12.198	13.409	13.844	15.379	17.292	19.820	20.843	21.792	25.336
27	11.808	12.879	14.125	14.573	16.151	18.114	20.703	21.749	22.719	26.336
28	12.461	13.565	14.847	15.308	16.928	18.939	21.588	22.657	23.647	27.336
29	13.121	14.256	15.574	16.047	17.708	19.768	22.475	23.567	24.577	28.336
30	13.787	14.953	16.306	16.791	18.493	20.599	23.364	24.478	25.508	29.336

续表

γ	α									
	0.30	0.25	0.20	0.10	0.05	0.025	0.02	0.01	0.005	0.001
1	1.074	1.323	1.642	2.706	3.841	5.024	5.412	6.635	7.879	10.828
2	2.408	2.773	3.219	4.605	5.991	7.378	7.824	9.210	10.597	13.816
3	3.665	4.168	4.642	6.251	7.815	9.348	9.837	11.345	12.838	16.266
4	4.878	5.385	5.989	7.779	9.488	11.143	11.668	13.277	14.860	18.467
5	6.064	6.626	7.289	9.236	11.070	12.833	13.388	15.086	16.750	20.515
6	7.231	7.841	8.558	10.645	12.592	14.449	15.033	16.812	18.548	22.458
7	8.383	9.037	9.803	12.017	14.067	16.013	16.622	18.475	20.278	24.322
8	9.524	10.219	11.030	13.362	15.507	17.535	18.168	20.090	21.955	26.124
9	10.656	11.389	12.242	14.684	16.919	19.023	19.679	21.666	23.589	27.877
10	11.781	12.549	13.442	15.987	18.307	20.483	21.161	23.209	25.188	29.588
11	12.899	13.701	14.631	17.275	19.675	21.920	22.618	24.725	26.757	31.264
12	14.011	14.845	15.812	18.549	21.026	23.337	24.054	26.217	28.300	32.909
13	15.119	15.984	16.985	19.812	22.362	24.736	25.472	27.688	29.819	34.528
14	16.222	17.117	18.151	21.064	23.685	26.119	26.873	29.141	31.319	36.123
15	17.322	18.245	19.311	22.307	24.996	27.488	28.259	30.578	32.801	37.697
16	18.418	19.369	20.465	23.542	26.296	28.845	29.633	32.000	34.267	39.252
17	19.511	20.489	21.615	24.769	27.587	30.191	30.995	33.409	35.718	40.790
18	20.601	21.605	22.760	25.989	28.869	31.526	32.346	34.805	37.156	42.312
19	21.689	22.718	23.900	27.204	31.144	32.852	33.687	36.191	38.582	43.820
20	22.775	23.828	25.038	28.412	31.410	34.170	35.020	37.566	39.997	45.315
21	23.858	24.935	26.171	29.615	32.671	35.479	36.343	38.932	41.401	46.797
22	24.939	26.039	27.301	30.813	33.924	36.781	37.659	40.289	42.796	48.268
23	26.018	27.141	28.429	32.007	35.172	38.076	38.968	41.638	44.181	49.728
24	27.096	28.241	29.553	33.196	36.415	39.364	40.270	42.980	45.559	51.179
25	28.172	29.339	30.675	34.382	37.652	40.646	41.566	44.314	46.928	52.620
26	29.246	30.435	31.795	35.563	38.885	41.923	42.856	45.642	48.290	54.052
27	30.319	31.528	32.912	36.741	40.113	43.195	44.140	46.963	49.645	55.476
28	31.391	32.620	34.027	37.916	41.337	44.461	45.419	48.278	50.993	56.892
29	32.461	33.711	35.139	39.087	42.557	45.722	46.693	49.588	52.336	58.301
30	33.530	34.800	36.250	40.256	43.773	46.979	47.962	50.892	53.672	59.703

表5 F 分布($\alpha=1\%$)

$$F_{0.99}(n_1, n_2)$$

 n_1 = 分子的自由度 n_2 = 分母的自由度

$n_1 \backslash n_2$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	4 052	4 999.5	5 403	5 625	5 764	5 859	5 928	5 982	6 022	6 056
2	98.50	99.00	99.17	99.25	99.30	99.33	99.36	99.37	99.39	99.40
3	34.12	30.82	29.46	28.71	28.24	27.91	27.67	27.49	27.35	27.23
4	21.20	18.00	16.69	15.98	15.52	15.21	14.98	14.80	14.66	14.55
5	16.26	13.27	12.06	11.39	10.97	10.67	10.46	10.29	10.16	10.05
6	13.75	10.92	9.78	9.15	8.75	8.47	8.26	8.10	7.98	7.87
7	12.25	9.55	8.45	7.85	7.46	7.19	6.99	6.84	6.72	6.62
8	11.26	8.65	7.59	7.01	6.63	6.37	6.18	6.03	5.91	5.81
9	10.56	8.02	6.99	6.42	6.06	5.80	5.61	5.47	5.35	5.26
10	10.04	7.56	6.55	5.99	5.64	5.39	5.20	5.06	4.94	4.85
11	9.65	7.21	6.22	5.67	5.32	5.07	4.89	4.74	4.63	4.54
12	9.33	6.93	5.95	5.41	5.06	4.82	4.64	4.50	4.39	4.30
13	9.07	6.70	5.74	5.21	4.86	4.62	4.44	4.30	4.19	4.10
14	8.86	6.51	5.56	5.04	4.69	4.46	4.28	4.14	4.03	3.94
15	8.68	6.36	5.42	4.89	4.56	4.32	4.14	4.00	3.89	3.80
16	8.53	6.23	5.29	4.77	4.44	4.20	4.03	3.89	3.78	3.69
17	8.40	6.11	5.18	4.67	4.34	4.10	3.93	3.79	3.68	3.59
18	8.29	6.01	5.09	4.58	4.25	4.01	3.84	3.71	3.60	3.51
19	8.18	5.93	5.01	4.50	4.17	3.94	3.77	3.63	3.52	3.43
20	8.10	5.85	4.94	4.43	4.10	3.87	3.70	3.56	3.46	3.37
21	8.02	5.78	4.87	4.37	4.04	3.81	3.64	3.51	3.40	3.31
22	7.95	5.72	4.82	4.31	3.99	3.76	3.59	3.45	3.35	3.26
23	7.88	5.66	4.76	4.26	3.94	3.71	3.54	3.41	3.30	3.21
24	7.82	5.61	4.72	4.22	3.90	3.67	3.50	3.36	3.26	3.17
25	7.77	5.57	4.68	4.18	3.85	3.63	3.46	3.32	3.22	3.13
26	7.72	5.53	4.64	4.14	3.82	3.59	3.42	3.29	3.18	3.09
27	7.68	5.49	4.60	4.11	3.78	3.56	3.39	3.26	3.15	3.06
28	7.64	5.45	4.57	4.07	3.75	3.53	3.36	3.23	3.12	3.03
29	7.60	5.42	4.54	4.04	3.73	3.50	3.33	3.20	3.09	3.00
30	7.56	5.39	4.51	4.02	3.70	3.47	3.30	3.17	3.07	2.98
40	7.31	5.18	4.31	3.83	3.51	3.29	3.12	2.99	2.89	2.80
60	7.08	4.98	4.13	3.65	3.34	3.12	2.95	2.82	2.72	2.63
120	6.85	4.79	3.95	3.48	3.17	2.96	2.79	2.66	2.56	2.47
∞	6.63	4.61	3.78	3.32	3.02	2.80	2.64	2.51	2.41	2.32

n_1 = 分子的自由度 n_2 = 分母的自由度

续表

$n_1 \backslash n_2$	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	6 106	6 157	6 209	6 235	6 261	6 287	6 313	6 339	6 366
2	99.42	99.43	99.45	99.46	99.47	99.47	99.48	99.49	99.50
3	27.05	26.87	26.69	26.60	26.50	26.41	26.32	26.22	26.13
4	14.37	14.20	14.02	13.93	13.84	13.75	13.65	13.56	13.46
5	9.89	9.72	9.55	9.47	9.38	9.29	9.20	9.11	9.02
6	7.72	7.56	7.40	7.31	7.23	7.14	7.06	6.97	6.88
7	6.47	6.31	6.16	6.07	5.99	5.91	5.82	5.74	5.65
8	5.67	5.52	5.36	5.28	5.20	5.12	5.03	4.95	4.86
9	5.11	4.96	4.81	4.73	4.65	4.57	4.48	4.40	4.31
10	4.71	4.56	4.41	4.33	4.25	4.17	4.08	4.00	3.91
11	4.40	4.25	4.10	4.02	3.94	3.86	3.78	3.69	3.60
12	4.16	4.01	3.86	3.78	3.70	3.62	3.54	3.45	3.36
13	3.96	3.82	3.66	3.59	3.51	3.43	3.34	3.25	3.17
14	3.80	3.66	3.51	3.43	3.35	3.27	3.18	3.09	3.00
15	3.67	3.52	3.37	3.29	3.21	3.13	3.05	2.96	2.87
16	3.55	3.41	3.26	3.18	3.10	3.02	2.93	2.84	2.75
17	3.46	3.31	3.16	3.08	3.00	2.92	2.83	2.75	2.65
18	3.37	3.23	3.08	3.00	2.92	2.84	2.75	2.66	2.57
19	3.30	3.15	3.00	2.92	2.84	2.76	2.67	2.58	2.49
20	3.23	3.09	2.94	2.86	2.78	2.69	2.61	2.52	2.42
21	3.17	3.03	2.88	2.80	2.72	2.64	2.55	2.46	2.36
22	3.12	2.98	2.83	2.75	2.67	2.58	2.50	2.40	2.31
23	3.07	2.93	2.78	2.70	2.62	2.54	2.45	2.35	2.26
24	3.03	2.89	2.74	2.66	2.58	2.49	2.40	2.31	2.21
25	2.99	2.85	2.70	2.62	2.54	2.45	2.36	2.27	2.17
26	2.96	2.81	2.66	2.58	2.50	2.42	2.33	2.23	2.13
27	2.93	2.78	2.63	2.55	2.47	2.38	2.29	2.20	2.10
28	2.90	2.75	2.60	2.52	2.44	2.35	2.26	2.17	2.06
29	2.87	2.73	2.57	2.49	2.41	2.33	2.23	2.14	2.03
30	2.84	2.70	2.55	2.47	2.39	2.30	2.21	2.11	2.01
40	2.66	2.52	2.37	2.29	2.20	2.11	2.02	1.92	1.80
60	2.50	2.35	2.20	2.12	2.03	1.94	1.84	1.73	1.60
120	2.34	2.19	2.03	1.95	1.86	1.76	1.66	1.53	1.38
∞	2.18	2.04	1.88	1.79	1.70	1.59	1.47	1.32	1.00

表 6 F 分布 ($\alpha=5\%$)

$$F_{0.95}(n_1, n_2)$$

 n_1 = 分子的自由度 n_2 = 分母的自由度

$n_1 \backslash n_2$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5	241.9
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06
7	5.59	4.47	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96	1.91
∞	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83

n_1 = 分子的自由度 n_2 = 分母的自由度

续表

$n_2 \backslash n_1$	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	243.9	245.9	248.0	249.1	250.1	251.1	252.2	253.3	254.3
2	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49	19.50
3	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53
4	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63
5	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40	4.36
6	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70	3.67
7	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27	3.23
8	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93
9	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71
10	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54
11	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45	2.40
12	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34	2.30
13	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25	2.21
14	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13
15	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11	2.07
16	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01
17	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01	1.96
18	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92
19	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88
20	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90	1.84
21	2.25	1.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87	1.81
22	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.78
23	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81	1.76
24	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79	1.73
25	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71
26	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75	1.69
27	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.73	1.67
28	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.71	1.65
29	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85	1.81	1.75	1.70	1.64
30	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68	1.62
40	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58	1.51
60	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.47	1.39
120	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.50	1.43	1.35	1.25
∞	1.75	1.67	1.57	1.52	1.46	1.39	1.32	1.22	1.00

表 8 容差间隔因素

表①a 双侧 k 值

n	$\gamma=0.90$				$\gamma=0.95$				$\gamma=0.99$			
	$P=0.90$	$P=0.95$	$P=0.99$	$P=0.999$	$P=0.90$	$P=0.95$	$P=0.99$	$P=0.999$	$P=0.90$	$P=0.95$	$P=0.99$	$P=0.999$
2	15.978	18.800	24.167	30.227	32.019	37.674	48.430	60.573	160.193	188.491	242.300	303.054
3	5.847	6.919	8.974	11.309	8.380	9.916	12.861	16.208	18.930	22.401	29.055	36.616
4	4.166	4.943	6.440	8.149	5.369	6.370	8.299	10.502	9.398	11.150	14.527	18.383
5	3.494	4.152	5.423	6.879	4.275	5.079	6.634	8.415	6.612	7.855	10.260	13.015
6	3.131	3.723	4.870	6.188	3.712	4.414	5.775	7.337	5.337	6.345	8.301	10.548
7	2.902	3.452	4.521	5.750	3.369	4.007	5.248	6.676	4.613	5.488	7.187	9.142
8	2.743	3.264	4.278	5.446	3.316	3.732	4.891	6.226	4.147	4.936	6.468	8.234
9	2.626	3.125	4.098	5.220	2.967	3.532	4.631	5.899	3.822	4.550	5.966	7.600
10	2.535	3.018	3.959	5.046	2.839	3.379	4.433	5.649	3.582	4.265	5.594	7.129
11	2.463	2.933	3.849	4.906	2.737	3.259	4.277	5.452	3.397	4.045	5.308	6.766
12	2.404	2.863	3.758	4.792	2.655	3.162	4.150	5.291	3.250	3.870	5.079	6.477
13	2.355	2.805	3.682	4.697	2.587	3.081	4.044	5.158	3.130	3.727	4.893	6.240
14	2.314	2.756	3.618	4.615	2.529	3.012	3.955	5.045	3.029	3.608	4.737	6.043
15	2.278	2.713	3.562	4.545	2.480	2.954	3.878	4.949	2.945	3.507	4.605	5.876
16	2.246	2.676	3.514	4.484	2.437	2.903	3.812	4.865	2.872	3.421	4.492	5.732
17	2.219	2.643	3.471	4.430	2.400	2.858	3.754	4.791	2.808	3.345	4.393	5.607
18	2.194	2.614	3.433	4.382	2.366	2.819	3.702	4.725	2.753	3.279	4.307	5.497
19	2.172	2.588	3.399	4.339	2.337	2.784	3.656	4.667	2.703	3.221	4.230	5.399
20	2.152	2.564	3.368	4.300	2.310	2.752	3.615	4.614	2.659	3.168	4.161	5.312
21	2.135	2.543	3.340	4.264	2.286	2.723	3.577	4.567	2.620	3.121	4.100	5.234
22	2.118	2.524	3.315	4.232	2.264	2.697	3.543	4.523	2.584	3.078	4.044	5.163
23	2.103	2.506	3.292	4.203	2.244	2.673	3.512	4.484	2.551	3.040	3.993	5.098
24	2.089	2.480	3.270	4.176	2.225	2.651	3.483	4.447	2.522	3.004	3.947	5.039
25	2.077	2.474	3.251	4.151	2.208	2.631	3.457	4.413	2.494	2.972	3.904	4.985
30	2.025	2.413	3.170	4.049	2.140	2.549	3.350	4.278	2.385	2.841	3.733	4.768
35	1.988	2.368	3.112	3.974	2.090	2.490	3.272	4.179	2.306	2.748	3.611	4.611
40	1.959	2.334	3.066	3.917	2.052	2.445	3.213	4.104	2.247	2.677	3.518	4.493
45	1.935	2.306	3.030	3.871	2.021	2.408	3.165	4.042	2.200	2.621	3.444	4.399
50	1.916	2.284	3.001	3.833	1.996	2.379	3.126	3.993	2.162	2.576	3.385	4.323

表①b 单侧 k 值

n	$\gamma=0.90$				$\gamma=0.95$				$\gamma=0.99$			
	$P=0.90$	$P=0.95$	$P=0.99$	$P=0.999$	$P=0.90$	$P=0.95$	$P=0.99$	$P=0.999$	$P=0.90$	$P=0.95$	$P=0.99$	$P=0.999$
3	4.258	5.310	7.340	9.651	6.158	7.655	10.552	13.857	—	—	—	—
4	3.187	3.957	5.437	7.128	4.163	5.145	7.042	9.215	—	—	—	—
5	2.742	3.400	4.666	6.112	3.407	4.202	5.741	7.501	—	—	—	—
6	2.494	3.091	4.242	5.556	3.006	3.707	5.062	6.612	4.408	5.409	7.334	9.540
7	2.333	2.894	3.972	5.201	2.755	3.399	4.641	6.061	3.856	4.730	6.411	8.348
8	2.219	2.755	3.783	4.955	2.582	3.188	4.353	5.686	3.496	4.287	5.811	7.566
9	2.133	2.649	3.641	4.772	2.454	3.031	4.143	5.414	3.242	3.971	5.389	7.014
10	2.065	2.568	3.532	4.629	2.355	2.911	3.981	5.203	3.048	3.739	5.075	6.603
11	2.012	2.503	3.444	4.515	2.275	2.815	3.852	5.036	2.897	3.557	4.828	6.284
12	1.966	2.448	3.371	4.420	2.210	2.736	3.747	4.900	2.773	3.410	4.633	6.032
13	1.928	2.403	3.310	4.341	2.155	2.670	3.659	4.787	2.677	3.290	4.472	5.826
14	1.895	2.363	3.257	4.274	2.108	2.614	3.585	4.690	2.592	3.189	4.336	5.651
15	1.866	2.329	3.212	4.215	2.068	2.566	3.520	4.607	2.521	3.102	4.224	5.507
16	1.842	2.299	3.172	4.146	2.032	2.523	3.463	4.534	2.458	3.028	4.124	5.374
17	1.820	2.272	3.136	4.118	2.001	2.468	3.415	4.471	2.405	2.962	4.038	5.268
18	1.800	2.249	3.106	4.078	1.974	2.453	3.370	4.415	2.357	2.906	3.961	5.167
19	1.781	2.228	3.078	4.041	1.949	2.423	3.331	4.364	2.315	2.855	3.893	5.078
20	1.765	2.208	3.052	4.009	1.926	2.396	3.295	4.319	2.275	2.807	3.832	5.003
21	1.750	2.190	3.028	3.979	1.905	2.371	3.262	4.276	2.241	2.768	3.776	4.932
22	1.736	2.174	3.007	3.952	1.887	2.350	3.233	4.238	2.208	2.729	3.727	4.866
23	1.724	2.159	2.987	3.927	1.869	2.329	3.206	4.204	2.179	2.693	3.680	4.806
24	1.712	2.145	2.969	3.904	1.853	2.309	3.181	4.171	2.154	2.663	3.638	4.755
25	1.702	2.132	2.952	3.882	1.838	2.292	3.158	4.143	2.129	2.632	3.601	4.706
30	1.657	2.080	2.884	3.794	1.778	2.220	3.064	4.022	2.029	2.516	3.446	4.508
35	1.623	2.041	2.833	3.730	1.732	2.166	2.994	3.934	1.957	2.431	3.334	4.364
40	1.598	2.010	2.793	3.679	1.697	2.126	2.941	3.866	1.902	2.365	3.250	4.255
45	1.577	1.986	2.762	3.638	1.669	2.092	2.897	3.811	1.857	2.313	3.181	4.168
50	1.560	1.965	2.735	3.604	1.646	2.065	2.963	3.766	1.821	2.296	3.124	4.096

表② 样本容量为 n , 置信度为 $\gamma\%$ 的总体比例

n	$\gamma=0.90$	$\gamma=0.95$	$\gamma=0.99$	$\gamma=0.995$
2	0.052	0.026	0.006	0.003
4	0.321	0.249	0.141	0.111
6	0.490	0.419	0.295	0.254
10	0.664	0.606	0.496	0.456
20	0.820	0.784	0.712	0.683
40	0.907	0.887	0.846	0.829
60	0.937	0.924	0.895	0.883
80	0.953	0.943	0.920	0.911
100	0.962	0.954	0.936	0.929
150	0.975	0.969	0.957	0.952
200	0.981	0.977	0.968	0.961
500	0.993	0.991	0.987	0.986
1 000	0.997	0.996	0.994	0.993

表③ 置信度为 $\gamma\%$, 覆盖 $(1-\alpha)\%$ 总体的样本容量

α	$\gamma=0.90$	$\gamma=0.95$	$\gamma=0.99$	$\gamma=0.995$
0.005	777	947	1 325	1 483
0.01	388	473	662	740
0.05	77	93	130	146
0.10	38	46	64	72
0.15	25	30	42	47
0.20	18	22	31	34
0.25	15	18	24	27
0.30	12	14	20	22
0.40	6	10	14	16
0.50	7	8	11	12

表9 Durbin-Watson 检验边界值

表① 显著性水平 $\alpha=0.05$

n	$p-1=1$		$p-1=2$		$p-1=3$		$p-1=4$		$p-1=5$	
	d_L	d_U	d_L	d_U	d_L	d_U	d_L	d_U	d_L	d_U
15	1.08	1.36	0.95	1.54	0.82	1.75	0.69	1.97	0.56	2.21
16	1.10	1.37	0.98	1.54	0.86	1.73	0.74	1.93	0.62	2.15
17	1.13	1.38	1.02	1.54	0.90	1.71	0.78	1.90	0.67	2.10
18	1.16	1.39	1.05	1.53	0.93	1.69	0.82	1.87	0.71	2.06
19	1.18	1.40	1.08	1.53	0.97	1.68	0.86	1.85	0.75	2.02
20	1.20	1.41	1.10	1.54	1.00	1.68	0.90	1.83	0.79	1.99
21	1.22	1.42	1.13	1.54	1.03	1.67	0.93	1.81	0.83	1.96
22	1.24	1.43	1.15	1.54	1.05	1.66	0.96	1.80	0.86	1.94
23	1.26	1.44	1.17	1.54	1.08	1.66	0.99	1.79	0.90	1.92
24	1.27	1.45	1.19	1.55	1.10	1.66	1.01	1.78	0.93	1.90
25	1.29	1.45	1.21	1.55	1.12	1.66	1.04	1.77	0.95	1.89
26	1.30	1.46	1.22	1.55	1.14	1.65	1.06	1.76	0.98	1.88
27	1.32	1.47	1.24	1.56	1.16	1.65	1.08	1.76	1.01	1.86
28	1.33	1.48	1.26	1.56	1.18	1.65	1.10	1.75	1.03	1.85
29	1.34	1.48	1.27	1.56	1.20	1.65	1.12	1.74	1.05	1.84
30	1.35	1.49	1.28	1.57	1.21	1.65	1.14	1.74	1.07	1.83
31	1.36	1.50	1.30	1.57	1.23	1.65	1.16	1.74	1.09	1.83
32	1.37	1.50	1.31	1.57	1.24	1.65	1.18	1.73	1.11	1.82
33	1.38	1.51	1.32	1.58	1.26	1.65	1.19	1.73	1.13	1.81
34	1.39	1.51	1.33	1.58	1.27	1.65	1.21	1.73	1.15	1.81
35	1.40	1.52	1.34	1.58	1.28	1.65	1.22	1.73	1.16	1.80
36	1.41	1.52	1.35	1.59	1.29	1.65	1.24	1.73	1.18	1.80
37	1.42	1.53	1.36	1.59	1.31	1.66	1.25	1.72	1.19	1.80
38	1.43	1.54	1.37	1.59	1.32	1.66	1.26	1.72	1.21	1.79
39	1.43	1.54	1.38	1.60	1.33	1.66	1.27	1.72	1.22	1.79
40	1.44	1.54	1.39	1.60	1.34	1.66	1.29	1.72	1.23	1.79
45	1.48	1.57	1.43	1.62	1.38	1.67	1.34	1.72	1.29	1.78
50	1.50	1.59	1.46	1.63	1.42	1.67	1.38	1.72	1.34	1.77
55	1.53	1.60	1.49	1.64	1.45	1.68	1.41	1.72	1.38	1.77
60	1.55	1.62	1.51	1.65	1.48	1.69	1.44	1.73	1.41	1.77
65	1.57	1.63	1.54	1.66	1.50	1.70	1.47	1.73	1.44	1.77
70	1.58	1.64	1.55	1.67	1.52	1.70	1.49	1.74	1.46	1.77
75	1.60	1.65	1.57	1.68	1.54	1.71	1.51	1.74	1.49	1.77
80	1.61	1.66	1.59	1.69	1.56	1.72	1.53	1.74	1.51	1.77
85	1.62	1.67	1.60	1.70	1.57	1.72	1.55	1.75	1.52	1.77
90	1.63	1.68	1.61	1.70	1.59	1.73	1.57	1.75	1.54	1.78
95	1.64	1.69	1.62	1.71	1.60	1.73	1.58	1.75	1.56	1.78
100	1.65	1.69	1.63	1.72	1.61	1.74	1.59	1.76	1.57	1.78

表② 显著性水平 $\alpha=0.01$

n	$p-1=1$		$p-1=2$		$p-1=3$		$p-1=4$		$p-1=5$	
	d_L	d_U	d_L	d_U	d_L	d_U	d_L	d_U	d_L	d_U
15	0.81	1.07	0.70	1.25	0.59	1.46	0.49	1.70	0.39	1.96
16	0.84	1.09	0.74	1.25	0.63	1.44	0.53	1.66	0.44	1.90
17	0.87	1.10	0.77	1.25	0.67	1.43	0.57	1.63	0.48	1.85
18	0.90	1.12	0.80	1.26	0.71	1.42	0.61	1.60	0.52	1.80
19	0.93	1.13	0.83	1.26	0.74	1.41	0.65	1.58	0.56	1.77
20	0.95	1.15	0.86	1.27	0.77	1.41	0.68	1.57	0.60	1.74
21	0.97	1.16	0.89	1.27	0.80	1.41	0.72	1.55	0.63	1.71
22	1.00	1.17	0.91	1.28	0.83	1.40	0.75	1.54	0.66	1.69
23	1.02	1.19	0.94	1.29	0.86	1.40	0.77	1.53	0.70	1.67
24	1.04	1.20	0.96	1.30	0.88	1.41	0.80	1.53	0.72	1.66
25	1.05	1.21	0.98	1.30	0.90	1.41	0.83	1.52	0.75	1.65
26	1.07	1.22	1.00	1.31	0.93	1.41	0.85	1.52	0.78	1.64
27	1.09	1.23	1.02	1.32	0.95	1.41	0.88	1.51	0.81	1.63
28	1.10	1.24	1.04	1.32	0.97	1.41	0.90	1.51	0.83	1.62
29	1.12	1.25	1.05	1.33	0.99	1.42	0.92	1.51	0.85	1.61
30	1.13	1.26	1.07	1.34	1.01	1.42	0.94	1.51	0.88	1.61
31	1.15	1.27	1.08	1.34	1.02	1.42	0.96	1.51	0.90	1.60
32	1.16	1.28	1.10	1.35	1.04	1.43	0.98	1.51	0.92	1.60
33	1.17	1.29	1.11	1.36	1.05	1.43	1.00	1.51	0.94	1.59
34	1.18	1.30	1.13	1.36	1.07	1.43	1.01	1.51	0.95	1.59
35	1.19	1.31	1.14	1.37	1.08	1.44	1.03	1.51	0.97	1.59
36	1.21	1.32	1.15	1.38	1.10	1.44	1.04	1.51	0.99	1.59
37	1.22	1.32	1.16	1.38	1.11	1.45	1.06	1.51	1.00	1.59
38	1.23	1.33	1.18	1.39	1.12	1.45	1.07	1.52	1.02	1.58
39	1.24	1.34	1.19	1.39	1.14	1.45	1.09	1.52	1.03	1.58
40	1.25	1.34	1.20	1.40	1.15	1.46	1.10	1.52	1.05	1.58
45	1.29	1.38	1.24	1.42	1.20	1.48	1.16	1.53	1.11	1.58
50	1.32	1.40	1.28	1.45	1.24	1.49	1.20	1.54	1.16	1.59
55	1.36	1.43	1.32	1.47	1.28	1.51	1.25	1.55	1.21	1.59
60	1.38	1.45	1.35	1.48	1.32	1.52	1.28	1.56	1.25	1.60
65	1.41	1.47	1.38	1.50	1.35	1.53	1.31	1.57	1.28	1.61
70	1.43	1.49	1.40	1.52	1.37	1.55	1.34	1.58	1.31	1.61
75	1.45	1.50	1.42	1.53	1.39	1.56	1.37	1.59	1.34	1.62
80	1.47	1.52	1.44	1.54	1.42	1.57	1.39	1.60	1.36	1.62
85	1.48	1.53	1.46	1.55	1.43	1.58	1.41	1.60	1.39	1.63
90	1.50	1.54	1.47	1.56	1.45	1.59	1.43	1.61	1.41	1.64
95	1.51	1.55	1.49	1.57	1.47	1.60	1.45	1.62	1.42	1.64
100	1.52	1.56	1.50	1.58	1.48	1.60	1.46	1.63	1.44	1.65

表 10 计算 AOQL 的 y 因素

c	0	1	2
y	0.368	0.841	1.372
c	3	4	5
y	1.946	2.544	3.172
c	6	7	8
y	3.810	4.465	5.150
c	9	10	11
y	5.836	6.535	7.234

表 11 控制图常数

样本中 的观测 值, n	均值控制图			标准差控制图					
	控制界限参数			中心线参数		控制界线参数			
	A	A_2	A_3	c_4	$1/c_4$	B_3	B_4	B_5	B_6
2	2.121	1.880	2.659	0.7979	1.2533	0	3.267	0	2.606
3	1.732	1.023	1.954	0.8862	1.1284	0	2.568	0	2.276
4	1.500	0.729	1.628	0.9213	1.0854	0	2.266	0	2.088
5	1.342	0.577	1.427	0.9400	1.0638	0	2.089	0	1.964
6	1.225	0.483	1.287	0.9515	1.0510	0.030	1.970	0.029	1.874
7	1.134	0.419	1.182	0.9594	1.0423	0.118	1.882	0.113	1.806
8	1.061	0.373	1.099	0.9650	1.0363	0.185	1.815	0.179	1.751
9	1.000	0.337	1.032	0.9693	1.0317	0.239	1.761	0.232	1.707
10	0.949	0.308	0.975	0.9727	1.0281	0.284	1.716	0.276	1.669
11	0.905	0.285	0.927	0.9754	1.0252	0.321	1.679	0.313	1.637
12	0.866	0.266	0.886	0.9776	1.0229	0.354	1.646	0.346	1.610
13	0.832	0.249	0.850	0.9794	1.0210	0.382	1.618	0.374	1.585
14	0.802	0.235	0.817	0.9810	1.0194	0.406	1.594	0.399	1.563
15	0.775	0.223	0.789	0.9823	1.0180	0.428	1.572	0.421	1.544
16	0.750	0.212	0.763	0.9835	1.0168	0.448	1.552	0.440	1.526
17	0.728	0.203	0.739	0.9845	1.0157	0.466	1.534	0.458	1.511
18	0.707	0.194	0.718	0.9854	1.0148	0.482	1.518	0.475	1.496
19	0.688	0.187	0.698	0.9862	1.0140	0.497	1.503	0.490	1.483
20	0.671	0.180	0.680	0.9869	1.0133	0.510	1.490	0.504	1.470
21	0.655	0.173	0.663	0.9876	1.0126	0.523	1.477	0.516	1.459
22	0.640	0.167	0.647	0.9882	1.0119	0.534	1.466	0.528	1.448
23	0.626	0.162	0.633	0.9887	1.0114	0.545	1.455	0.539	1.438
24	0.612	0.157	0.619	0.9892	1.0109	0.555	1.445	0.549	1.429
25	0.600	0.153	0.606	0.9896	1.0105	0.565	1.435	0.559	1.420

续表

极差控制图

样本中的观测值, n	中心线参数			控制界线参数			
	d_2	$1/d_2$	d_3	D_1	D_2	D_3	D_4
2	1.128	0.8865	0.853	0	3.686	0	3.267
3	1.693	0.5907	0.888	0	4.358	0	2.574
4	2.059	0.4857	0.880	0	4.698	0	2.282
5	2.326	0.4299	0.864	0	4.918	0	2.114
6	2.534	0.3946	0.848	0	5.078	0	2.004
7	2.704	0.3698	0.833	0.204	5.204	0.076	1.924
8	2.847	0.3512	0.820	0.388	5.306	0.136	1.864
9	2.970	0.3367	0.808	0.547	5.393	0.184	1.816
10	3.078	0.3249	0.797	0.687	5.469	0.223	1.777
11	3.173	0.3152	0.787	0.811	5.535	0.256	1.744
12	3.258	0.3069	0.778	0.922	5.594	0.283	1.717
13	3.336	0.2998	0.770	1.025	5.647	0.307	1.693
14	3.407	0.2935	0.763	1.118	5.696	0.328	1.672
15	3.472	0.2880	0.756	1.203	5.741	0.347	1.653
16	3.532	0.2831	0.750	1.282	5.782	0.363	1.637
17	3.588	0.2787	0.744	1.356	5.820	0.378	1.622
18	3.640	0.2747	0.739	1.424	5.856	0.391	1.608
19	3.689	0.2711	0.734	1.487	5.891	0.403	1.597
20	3.735	0.2677	0.729	1.549	5.921	0.415	1.585
21	3.778	0.2647	0.724	1.605	5.951	0.425	1.575
22	3.819	0.2618	0.720	1.659	5.979	0.434	1.566
23	3.858	0.2592	0.716	1.710	6.006	0.443	1.557
24	3.895	0.2567	0.712	1.759	6.031	0.451	1.548
25	3.931	0.2544	0.708	1.806	6.056	0.459	1.541

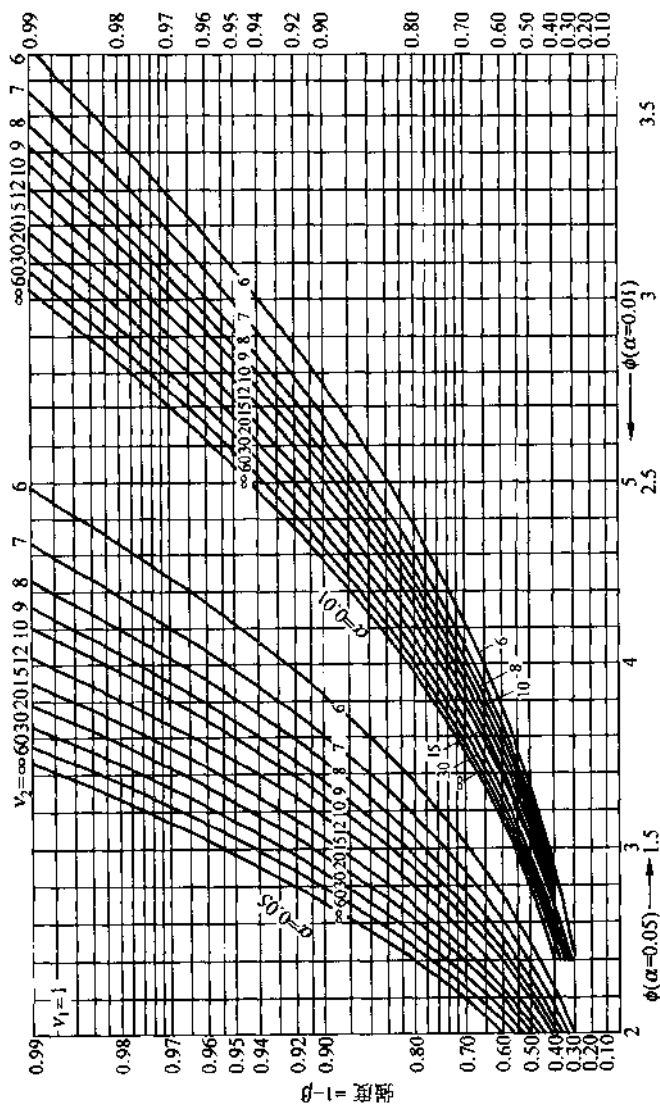
表 12 控制图公式

	np 图	p 图
LCL	$LCL = n\bar{p} - 3\sqrt{n\bar{p}\left(1 - \frac{n\bar{p}}{n}\right)}$ 若算得 LCL 为负值, 则取 0	$LCL = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$ 若算得 LCL 为负值, 则取 0
中心线	$n\bar{p} = \frac{\text{有问题的产品之和}}{\text{子组的数目}}$	$n\bar{p} = \frac{\text{有问题的产品之和}}{\text{所有子组中的产品数}}$
UCL	$UCL = n\bar{p} + 3\sqrt{n\bar{p}\left(1 - \frac{n\bar{p}}{n}\right)}$ 若算得 UCL 大于 n , 则取 n	$UCL = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$ 若算得 UCL 大于 1, 则取 1
	c 图	u 图
LCL	$LCL = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$ 若算得 LCL 为负值, 则设为 0	$LCL = \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$ 若算得 LCL 为负值, 则取 0
中心线	$\bar{c} = \frac{\text{问题数}}{\text{子组的数目}}$	$\bar{u} = \frac{\text{问题数}}{\text{所有子组中的产品数}}$
UCL	$UCL = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$	$UCL = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$
	\bar{X} 图	\bar{X} 图
LCL	$LCL = \bar{X} - 2.66(MR)$	$LCL = \bar{X} - A_2R$
中心线	$\bar{X} = \frac{\text{测量结果之和}}{\text{测量的次数}}$	$\bar{X} = \frac{\text{子组平均值之和}}{\text{平均值的个数}}$
UCL	$UCL = \bar{X} + 2.66(MR)$	$UCL = \bar{X} + A_2R$
	R 图	
LCL	$LCL = D_3R$	
中心线	$\bar{R} = \frac{\text{极差之和}}{\text{极差的个数}}$	
UCL	$UCL = D_4\bar{R}$	

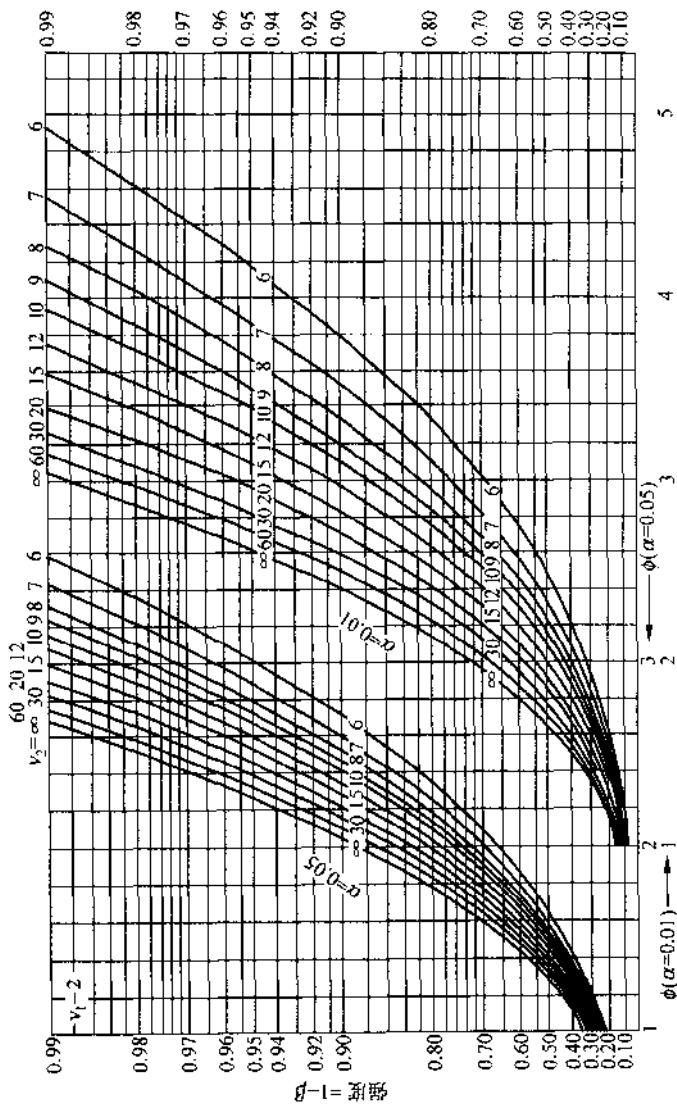
表 13 d_2^* 值的表

		$m = \text{重复读数}$						
		2	3	4	5	6	7	8
$g = \text{#零件} \times \text{#检测员}$	1	1.41	1.91	2.24	2.48	2.67	2.83	2.96
	2	1.28	1.81	2.15	2.40	2.60	2.77	2.91
	3	1.23	1.77	2.12	2.38	2.58	2.75	2.89
	4	1.21	1.75	2.11	2.37	2.57	2.74	2.88
	5	1.19	1.74	2.10	2.36	2.56	2.73	2.87
	6	1.18	1.73	2.09	2.35	2.56	2.73	2.87
	7	1.17	1.73	2.09	2.35	2.55	2.72	2.87
	8	1.17	1.72	2.08	2.35	2.55	2.72	2.87
	9	1.16	1.72	2.08	2.34	2.55	2.72	2.86
	10	1.16	1.72	2.08	2.34	2.55	2.72	2.86
	11	1.16	1.71	2.08	2.34	2.55	2.72	2.86
	12	1.15	1.71	2.07	2.34	2.55	2.72	2.85
	13	1.15	1.71	2.07	2.34	2.55	2.71	2.85
	14	1.15	1.71	2.07	2.34	2.54	2.71	2.85
	15	1.15	1.71	2.07	2.34	2.54	2.71	2.85
>15	1.128	1.693	2.059	2.326	2.534	2.704	2.847	
		$m = \text{重复读数}$						
		9	10	11	12	13	14	15
$g = \text{#零件} \times \text{#检测员}$	1	3.08	3.18	3.27	3.35	3.42	3.49	3.55
	2	3.02	3.13	3.22	3.30	3.38	3.45	3.51
	3	3.01	3.11	3.21	3.29	3.37	3.43	3.50
	4	3.00	3.10	3.20	3.28	3.36	3.43	3.49
	5	2.99	3.10	3.19	3.28	3.35	3.42	3.49
	6	2.99	3.10	3.19	3.27	3.35	3.42	3.49
	7	2.99	3.10	3.19	3.27	3.35	3.42	3.48
	8	2.98	3.09	3.19	3.27	3.35	3.42	3.48
	9	2.98	3.09	3.18	3.27	3.35	3.42	3.48
	10	2.98	3.09	3.18	3.27	3.34	3.42	3.48
	11	2.98	3.09	3.18	3.27	3.34	3.41	3.48
	12	2.98	3.09	3.18	3.27	3.34	3.41	3.48
	13	2.98	3.09	3.18	3.27	3.34	3.41	3.48
	14	2.98	3.08	3.18	3.27	3.34	3.41	3.48
	15	2.98	3.08	3.18	3.26	3.34	3.41	3.48
>15	2.970	3.078	3.173	3.258	3.336	3.407	3.472	

表 14 ANOVA 的强度函数

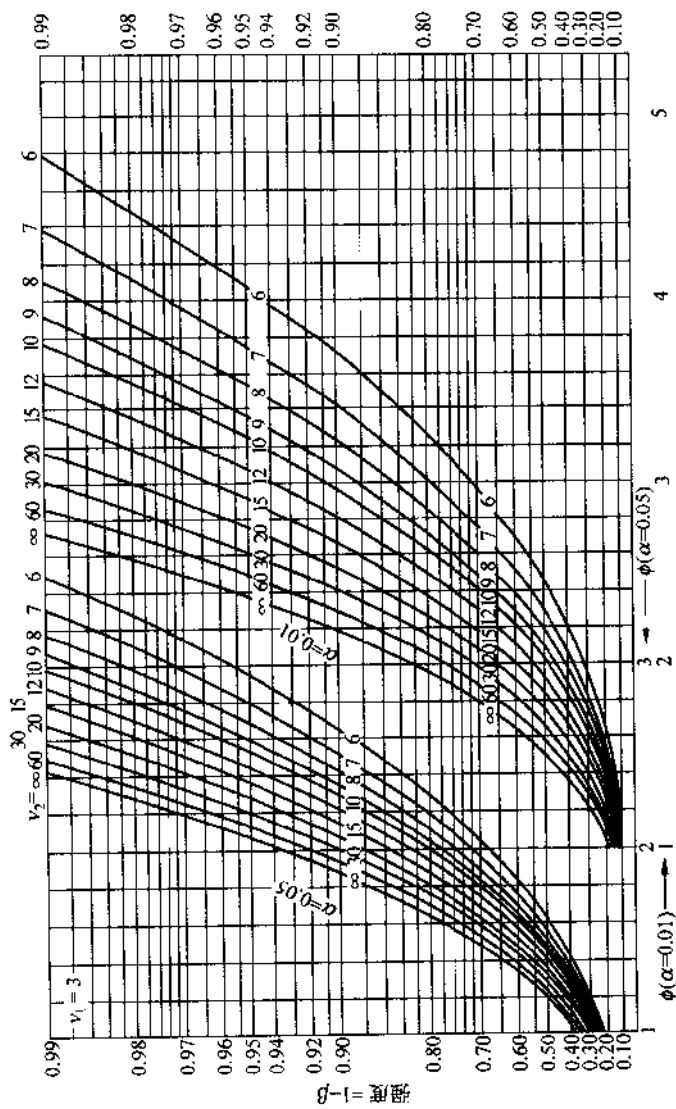
表① $v_1 = 1$ 

表② $v_1 = 2$

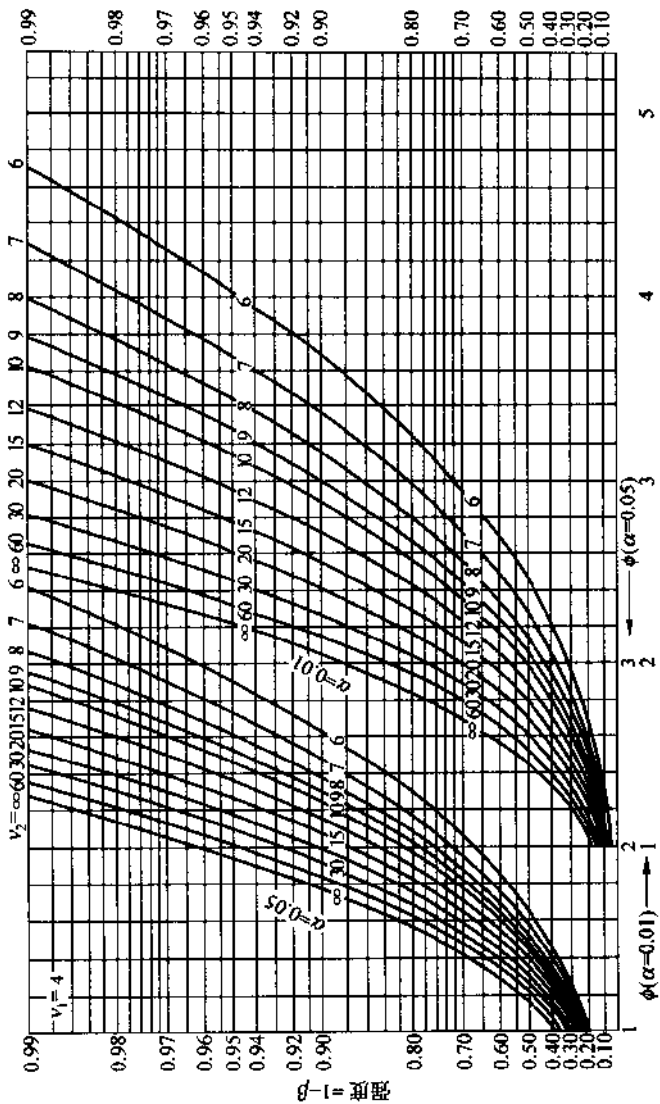


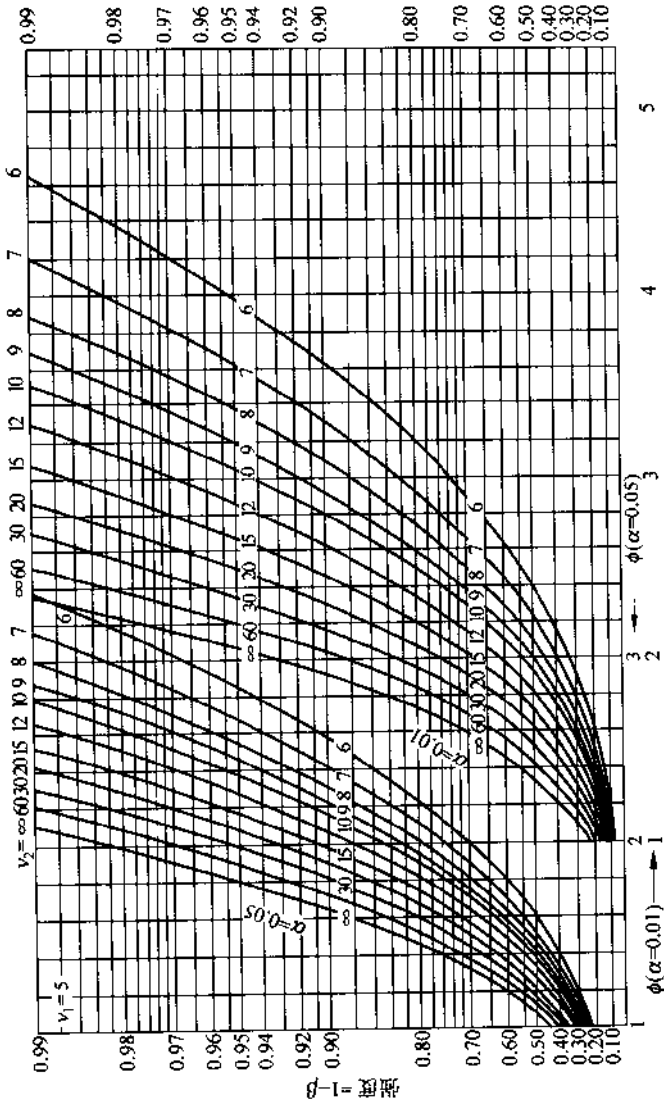


表③ $\nu_1 = 3$

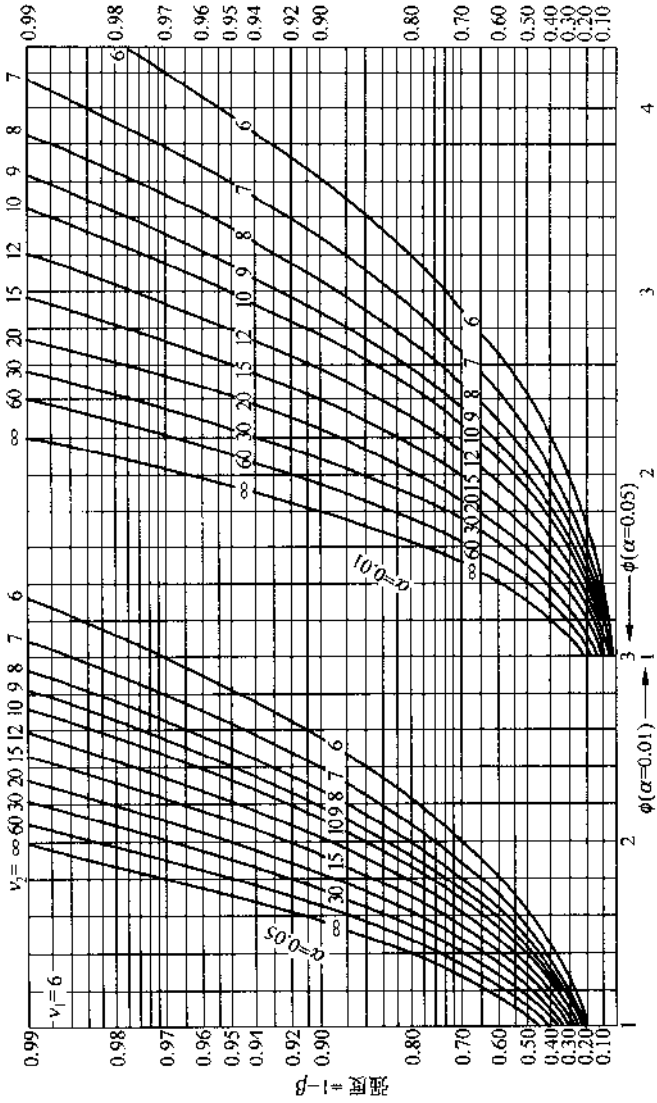


表④ $v_1 = 4$

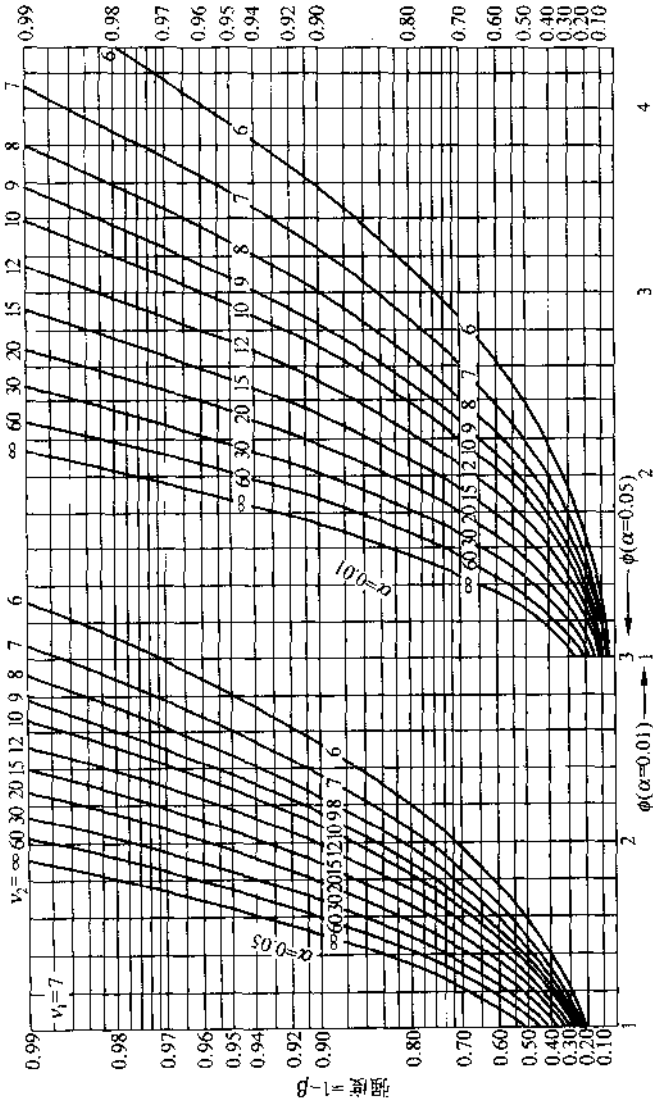


表⑤ $\nu_1 = 5$ 

表⑥ $v_1 = 6$



表① $v_1 = 7$



表⑤ $v_1 = 8$

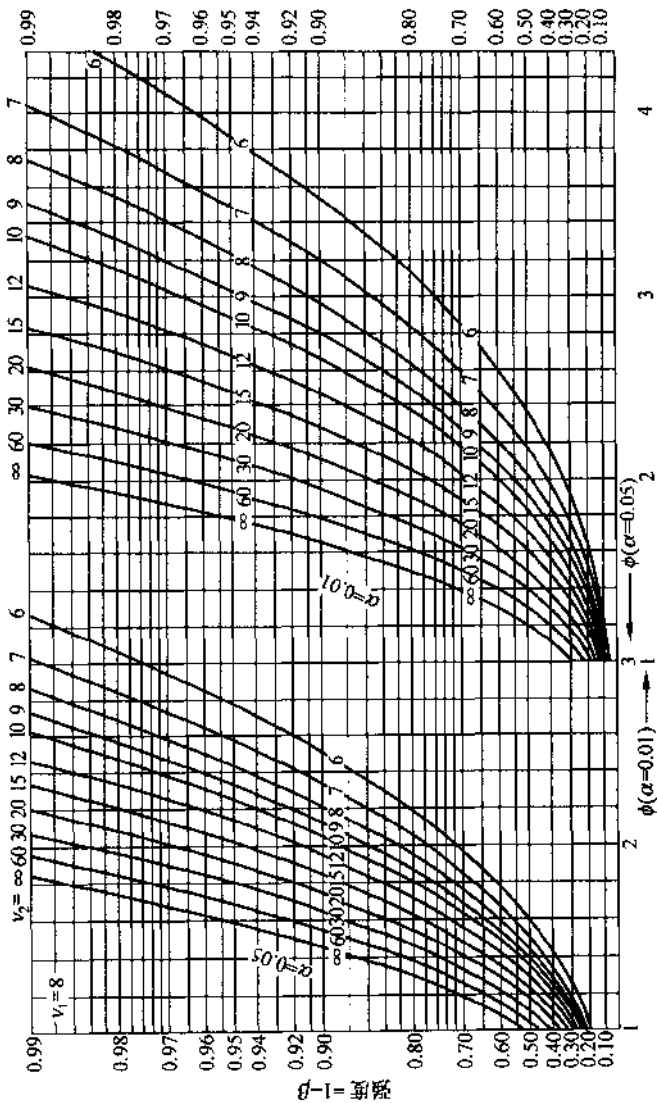


表 15 短期的单值图、 \bar{X} 图和 R 图的参数

k	子组容量											
	1(基于移动极差的 R 值)				2				3			
	A_{2F}	D_{4F}	A_{2S}	D_{4S}	A_{2F}	D_{4F}	A_{2S}	D_{4S}	A_{2F}	D_{4F}	A_{2S}	D_{4S}
1	NA	NA	236.5	128	NA	NA	167	128	NA	NA	8.21	14
2	12.0	2.0	20.8	16.0	8.49	2.0	15.70	15.6	1.57	1.9	2.72	7.1
3	6.8	2.7	9.6	15.0	4.78	2.7	6.76	14.7	1.35	2.3	1.90	4.5
4	5.1	3.3	6.6	8.1	3.62	3.3	4.68	8.1	1.26	2.4	1.62	3.7
5	4.4	3.3	5.4	6.3	3.12	3.3	3.82	6.3	1.20	2.4	1.47	3.4
6	4.0	3.3	4.7	5.4	2.83	3.3	3.34	5.4	1.17	2.5	1.39	3.3
7	3.7	3.3	4.3	5.0	2.65	3.3	3.06	5.0	1.14	2.5	1.32	3.2
8	3.6	3.3	4.1	4.7	2.53	3.3	2.87	4.7	1.13	2.5	1.28	3.1
9	3.5	3.3	3.9	4.5	2.45	3.3	2.74	4.5	1.12	2.5	1.25	3.0
10	3.3	3.3	3.7	4.5	2.37	3.3	2.62	4.5	1.10	2.5	1.22	3.0
15	3.1	3.5	3.3	4.1	2.18	3.5	2.33	4.1	1.08	2.5	1.15	2.9
20	3.0	3.5	3.1	4.0	2.11	3.5	2.21	4.0	1.07	2.6	1.12	2.8
25	2.9	3.5	3.0	3.8	2.05	3.5	2.14	3.8	1.06	2.6	1.10	2.7
k	子组容量											
	4				5							
	A_{2F}	D_{4F}	A_{2S}	D_{4S}	A_{2F}	D_{4F}	A_{2S}	D_{4S}				
1	NA	NA	3.05	13	NA	NA	1.8	5.1				
2	0.83	1.9	1.44	3.5	0.58	1.7	1.0	3.2				
3	0.81	1.9	1.14	3.2	0.59	1.8	0.83	2.8				
4	0.79	2.1	1.01	2.9	0.59	1.9	0.76	2.6				
5	0.78	2.1	0.95	2.8	0.59	2.0	0.72	2.5				
6	0.77	2.2	0.91	2.7	0.59	2.0	0.70	2.4				
7	0.76	2.2	0.88	2.6	0.59	2.0	0.68	2.4				
8	0.76	2.2	0.86	2.6	0.59	2.0	0.66	2.3				
9	0.76	2.2	0.85	2.5	0.59	2.0	0.65	2.3				
10	0.75	2.2	0.83	2.5	0.58	2.0	0.65	2.3				
15	0.75	2.3	0.80	2.4	0.58	2.1	0.62	2.2				
20	0.74	2.3	0.78	2.4	0.58	2.1	0.61	2.2				
25	0.74	2.3	0.77	2.4	0.58	2.1	0.60	2.2				

粗体黑框所对应的数字表示开始使用控制图时建议采用的最小子组数。

**表 16 来自多分支过程的一个分支,连续最大
或最小值的有意义的数目**

平均起来,链长度在 100 次中不超过 1 次。

分支数, k	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
有意义的链, r	7	5	5	4	4	4	4	4	3	3	3

表 17 顾客调查的实例

取自为×××社区医院进行的顾客满意度调查。1994/3/15

对下面的每一种情况,请在适当的方框内做标志。 如果您住在×××社区医院期间,没有机会对某方面的照料做出判断,那么,请在 NA 的位置做记号。	完全同意	同意	可同意,可不同意	不同意	完全不同意	无意见 (NA)
准时得到我的治疗药物 喜欢所提供的食物菜单 我的医生使我了解自己的情况						
房间清洁 出院的过程顺利 可以找到医生						
医院设备精良 可以得到从菜单上选择的食物 医院人员对呼叫应答快速						
食物看上去不错 告知出院后该做什么 床位舒适						
医院人员很好地照料了我 知道医生的姓名 医院人员互相尊重						
医院运转良好 食物味道好 当我准备离开时,药物已准备好						
付账过程向我解释清楚 得到数量正确的食物 护士常来看我						
在作离开医院的计划时,得到了帮助 医生通知我何时回家 食物服务良好						

续表

医院清洁 总的来说,医院人员对我很尊重 房间安静						
医院人员满足了我的特殊要求 医院人员态度友好 护送我离开了医院						
房间舒适 医生规定了我通常所吃的食物 对我的健康状况,医院人员使我有了解						
我对我的医生满意 膳食供应及时 医院人员乐于助人						
出院过程迅速 我的医生知道我是谁 向我解释了我的药物/伤口治疗/设备						
得到了友好的对待 为我回家提供准备 医院人员关注我的要求						
在整个住院治疗期间,我拥有同一位医生 护士的操作受过专业训练 医院人员知道我所需要的治疗						
我会向我的家人提及×××社区医院 我会再次选择×××社区医院						

在您住院期间,您记得某些特别愉快的事件吗?

在您住院期间,您记得某些特别不愉快的事件吗?

欢迎您提出各种宝贵的建议。

感谢您的支持和参与!

表 18 过程 σ 水平与等价的 PPM 质量水平

基于假设：长期过程可以漂移 $\pm 1.5\sigma$ 。

过程 σ 水平	过程 PPM	过程 σ 水平	过程 PPM	过程 σ 水平	过程 PPM
6.27	1	5.25	90	3.91	8 000
6.12	2	5.22	100	3.87	9 000
6.0	3.4	5.04	200	3.83	10 000
5.97	4	4.93	300	3.55	20 000
5.91	5	4.85	400	3.38	30 000
5.88	6	4.79	500	3.25	40 000
5.84	7	4.74	600	3.14	50 000
5.82	8	4.69	700	3.05	60 000
5.78	9	4.66	800	2.98	70 000
5.77	10	4.62	900	2.91	80 000
5.61	20	4.59	1000	2.84	90 000
5.51	30	4.38	2000	2.78	100 000
5.44	40	4.25	3000	2.34	200 000
5.39	50	4.15	4000	2.02	300 000
5.35	60	4.08	5000	1.75	400 000
5.31	70	4.01	6000	1.50	500 000
5.27	80	3.96	7 000		

参考文献

- Abraham, B. and Whitney, J. B. (1990). "Applications of EWMA Charts to Data from Continuous Processes," *Annual Quality Congress Transactions*, Milwaukee, WI; ASQ.
- Akao, Y., Editor (1990). *Quality Function Deployment: Integrating Customer Requirements into Product Design*, Cambridge, MA; Productivity Press.
- Alden, J. and Kirkhorn, J. (1996). "Case Studies," in *The ASTD Training and Development Handbook: A Guide to Human Resources Development*, Craig, R. L., Editor-in-chief, New York; McGraw-Hill, pp. 497~516.
- Alloway, J. A., Jr. (1994). "The Card Drop Shop," *Quality Progress*, July.
- Alwan, L. C. and Roberts, H. V. (1989). "Time Series Modeling for Statistical Process Control," in *Statistical Process Control in Automated Manufacturing*, Keats, J. B. and Hubel, N. F., Editors, New York; Marcel Dekker.
- ASQ Statistics Division. (1983). *Glossary and Tables for Statistical Quality Control*, Milwaukee, WI; ASQ Quality Press.
- Aubrey, C. A. and Felkins, P. K. (1988). *Teamwork: Involving People in Quality and Productivity Improvement*, Milwaukee, WI; ASQ Quality Press.
- Benneyan, J. C. (1994). "The Merits of Merit Review...?; Bibliography of Recommended Study and Summary of Arguments Against Annual Merit Review," Amherst, MA; University of Massachusetts, Industrial Engineering/Operations Research, benneyan@ecs.umass.edu.
- Berry, Michael J. A. and Linoff, Gordon. (1997). *Data Mining Techniques: for Marketing, Sales, and Customer Support*, New York; John Wiley & Sons, pp. 369~370.
- Boardman, T. J. and Boardman, E. C. (1990). "Don't Touch That Funnel!" *Quality Progress*, December.
- Box, G. E. P. and Draper, N. R. (1987). *Empirical Model-Building and Response surfaces*, New York; John Wiley & Sons.
- Box, Hunter and Hunter. (1978). *Statistics for Experimenters*, New York; John Wiley & Sons.
- Brassard, M. (1989). *The Memory Jogger Plus+*, Methuen, MA; GOAL/QPC.
- Brookfield, D. (1986). *Understanding and Facilitating Adult Learning*, San Francisco, CA; Jossey-Bass.
- Burr, I. W. (1976). *Statistical Quality Control Methods, Statistics; Textbooks and Monographs*, Vol. 16, New York; Marcel-Dekker, Inc.
- Byrne, John A. "Jack; A Close-up Look at How America's #1 Manager Runs GE," *Business Week*, June 8, 1998, p. 99.

- Camp, R. C. (1989). *Benchmarking, The Search for Industry Best Practices That Lead to Superior Performance*, Milwaukee, WI; ASQ Quality Press and White Plains, NY; Quality Resources.
- Campanella, J., Editor. (1990), *Principles of Quality Costs*, 2nd Edition, Milwaukee, WI; ASQ Quality Press.
- Campanella J., Editor. (1999), *Principles of Quality Costs*, 3rd Edition, Milwaukee, WI; ASQ Quality Press.
- Carder, B. and Clark, J. D. (1992). "The Theory and Practice of Employee Recognition," *Quality Progress*, December.
- Daltas, A. J. (1977). "Protecting Service Markets with Consumer Feedback," *Cornell Hotel and Restaurant Administration Quarterly*, May, pp. 73~77.
- Daugherty, Ray; Lowe, Victor, Jr.; Down, Michael H.; and Gruska, Gregory. (1995). *Measurement Systems Analysis Reference Manual*, Detroit, MI; Automotive Industry Action Group.
- Deming, W. E. (1975). "On Probability as a Basis for Action," *The American Statistician*, 29(4), pp. 146~152.
- Deming, W. E. (1986). *Out of the Crisis*, Cambridge, MA; MIT Center for Advanced Engineering Study.
- Deming, W. E. (1993). *The New Economics for Industry, Government, Education*, Cambridge, MA; MIT Center for Advanced Engineering Study.
- DeToro, I. (1995). "The 10 Pitfalls of Benchmarking," *Quality Progress*, January, pp. 61~63.
- Dillman, D. A. (1983). "Mail and Other Self-Administered Questionnaires," in *Handbook of Survey Research*, Rossi, P., Wright, J., and Anderson, A., Editors, New York; Academic Press, Inc., pp. 359~377.
- Dodson, Bryan and Nolan, Dennis. (1998). *The Complete Guide to the CRE*, Tucson, Arizona; Quality Publishing, LLC.
- Draper, N. and Smith, H. (1981). *Applied Regression Analysis*, 2nd Edition, New York; John Wiley & Sons.
- Dudewicz, E. J. (1988). "Basic Statistical Methods," in *Juran's Quality Control Handbook*, 3rd Edition, Juran, J. M., New York; McGraw-Hill, 23. 29.
- Duncan, A. J. (1974). *Quality Control and Industrial Statistics*, 4th Edition, Homewood, IL, Irwin.
- Edosomwan, J. A. (1993). *Customer and Market-Driven Quality Management*, Milwaukee, WI; ASQ Quality Press.
- Efron, B. (1982). *The Jackknife, the Bootstrap, and Other Resampling Plans*, Philadelphia, PA; Society for Industrial and Applied Mathematics.
- Finnerty, M. F. (1996). "Coaching for Growth and Development," in *The ASTD Training and Development Handbook: A Guide to Human Resources Development*, Craig, R. L., Editor-in-chief, New York; McGraw-Hill, pp. 415~436.
- Fivars, G. (1980). "The Critical Incident Technique; a Bibliography," Research and Publication

- Service, American Institutes for Research ED 195681.
- Flanagan, J. C. (1954). "The Critical Incident Technique," *Psychological Bulletin*, 51(4), July, pp. 327~358.
- Galloway, D. (1994). *Mapping Work Processes*, Milwaukee, WI: ASQ Quality Press.
- GAO (1986). "Developing and Using Questionnaires—Transfer Paper 7," Washington, D. C. : United States General Accounting Office.
- Gould, Stephen Jay. (1993). "An Earful of Jaw," *Eight Little Piggies*, New York: W. W. Norton and Company.
- Hammer, M. and Champy, J. (1993). *Reengineering the Corporation: A Manifesto for Business Revolution*, New York: HarperCollins Publishers.
- Harrington, H. J. (1992). "Probability and Statistics," in *Quality Engineering Handbook*, Pyzdek, T. and R. W. Berger, Editors, Milwaukee, WI: ASQ Quality Press, pp. 513~577.
- Hayes, Bob E. (1992). *Measuring Customer Satisfaction: Development and Use of Questionnaires*, Milwaukee, WI: ASQ Quality Press.
- Hicks, Charles R. (1973). *Fundamental Concepts in the Design of Experiments*, 2nd Edition, New York: Holt, Rinehart, Winston, pp. 31~38.
- Hicks, Charles R. , (1993). *Fundamental Concepts in the Design of Experiments*, New York: Holt, Rinehart, Winston.
- Hillier, F. S. (1969). "X-bar and R-chart Control Limits Based on a Small Number of Subgroups," *Journal of Quality Technology*, Vol. 1, No. 1, January, pp. 17~26.
- Hillier, F. S. and Lieberman, G. J. (1980). *Introduction to Operations Research*, 3rd Edition, San Francisco, CA: Holden-Day, Inc.
- Holland, John H. (1996). *Hidden Order: How Adaptation Builds Complexity*, Reading, MA: Perseus Books, p. 56.
- Howell, J. J. and Silvey, L. O. (1996). "Interactive Multimedia Training Systems," in *The ASTD Training and Development Handbook: A Guide to Human Resources Development*, Craig, R. L. , Editor-in-chief, New York: McGraw-Hill, pp. 534~553.
- Hunter, J. S. (1986). "The Exponentially Weighted Moving Average," *Journal of Quality Technology*, 18, pp. 203~210.
- Hunter, J. S. (1989). "A One Point Plot Equivalent to the Shewhart Chart with Western Electric Rules," *Quality Engineering*, 2, pp. 13~19.
- Hurley, H. and Loew, C. (1996). "A Quality Change for New Product Development," *Quality Observer*, January, pp. 10~13.
- Hutton, D. W. (1994). *The Change Agent's Handbook: A Survival Guide for Quality Improvement Champions*, Milwaukee, WI: ASQ Quality Press.
- Imai, M. (1986). *Kaizen*, New York: Random House.
- Ishikawa, K. (1985). *What is Total Quality Control the Japanese Way?* Englewood Cliffs, NJ:

Prentice-Hall, Inc.

- Iverson, Ken. (1998). *Plain Talk; Lessons from a Business Maverick*, New York: John Wiley & Sons, p. 149.
- Johnson, D. W. and Johnson, F. P. (1999). *Joining Together; Group Theory and Group Skills*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Johnson, R. S. (1993a). *TQM; Management Processes for Quality Operations*, Milwaukee, WI: ASQ Quality Press.
- Johnson, R. S. (1993b). *TQM; The Mechanics of Quality Processes*, Milwaukee, WI: ASQ Quality Press.
- Joiner, B. L. (1994). *Fourth Generation Management: The New Business Consciousness*, New York: McGraw-Hill, Inc.
- Juran, J. M. and Gryna, F. M. (1988). *Juran's Quality Control Handbook*, 4th Edition, New York: McGraw-Hill.
- Juran, J. M. and Gryna, F. M. (1993). *Quality Planning and Analysis*, 3rd Edition, New York: McGraw-Hill.
- Kano, N. (1993). "A Perspective on Quality Activities in American Firms," *California Management Review*, 35(3), Spring, pp. 12~31.
- King, B. (1987). *Better Designs in Half the Time: Implementing QFD in America*, Methuen, MA: Goal/QPC.
- Kirkpatrick, D. L. (1996). "Evaluation," in *The ASTD, Training and Development Handbook: A Guide to Human Resources Development*, Craig, R. L., Editor-in-chief, New York: McGraw-Hill, pp. 294~312.
- Kirkpatrick, J. (1992—1993). "Pragmatism and the Harvard Case Method of Business Education," *The Intellectual Activist*, 6(6) pp. 9~18, and 7(1) pp. 11~15.
- Koch, G. G. and Gillings, D. B. (1983). "Statistical Inference, Part I," in *Encyclopedia of Statistical Sciences*, vol. 4, 84~88, Kotz, Samuel and Johnson, Normal L., Editors-in-chief, New York: John Wiley & Sons.
- Kohn, A. (1993). *Punished by Rewards; The Trouble with Gold Stars, Incentive Plans, A's, Praise and Other Bribes*, New York: Houghton Mifflin Company.
- Kotler, P. (1991). *Marketing Management; Analysis, Planning, Implementation, and Control*, 7th Edition, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Krishnamoorthi, K. S. (1991). "On Assignable Causes that Cannot be Eliminated—an Example from a Foundry," *Quality Engineering*, 3, pp. 41~47.
- Lewis, C. I. (1929), *Mind and the World Order*, New York: Scribners.
- Main, Jeremy (1994). *Quality Wars; The Triumphs and Defeats of American Business*, The Free Press, p. 173.
- Meyers, Raymond H. and Montgomery, Douglas C. (1995). *Response Surface Methodology, Process*

- and Product Optimization Using Designed Experiments*, New York: John Wiley & Sons.
- Mizuno, S., Editor. (1988). *Management for Quality Improvement: The 7 New QC Tools*, Cambridge, MA: Productivity Press.
- Montgomery, D. C. (1984). *Design and Analysis of Experiments*, 2nd Edition. New York: John Wiley & Sons.
- Montgomery, Douglas C., (1996). *Design and Analysis of Experiments*, New York: John Wiley & Sons.
- Natrella, M. G. (1963). *Experimental Statistics: NBS Handbook 91*, Washington, DC: US Government Printing Office.
- Nolan, M. (1996). "Job Training," in *The ASTD Training and Development Handbook: A Guide to Human Resources Development*, Craig, R. L., Editor-in-chief, New York: McGraw-Hill, pp. 747~775.
- Palm, A. C. (1990). "SPC Versus Automatic Process Control," *Annual Quality Congress Transactions*, Milwaukee, WI: ASQ.
- Phillips, J. J. (1996). "Measuring the Results of Training," in *The ASTD Training and Development Handbook: A Guide to Human Resources Development*, Craig, R. L. Editor-in-chief, New York: McGraw-Hill, pp. 313~341.
- Piskurich, G. M. (1996). "Self-directed Learning," in *The ASTD Training and Development Handbook: A Guide to Human Resources Development*, Craig R. L. Editor-in-chief, New York: McGraw-Hill, pp. 453~472.
- Proschan, F. and Savage, I. R. (1960). "Starting a Control Chart," *Industrial Quality Control*, Vol. 17, No. 3, September, pp. 12~13.
- Provost, L. P. (1988). "Interpretation of Results of Analytic Studies," paper presented at 1989 NYU Deming Seminar for Statisticians, March 13, New York: New York University.
- Pyzdek, T. (1976). "The Impact of Quality Cost Reduction on Profits," *Quality Progress*, May.
- Pyzdek, T. (1985). "A Ten-step Plan for Statistical Process Control Studies," *Quality Progress*, April, 77~81.
- Pyzdek, T. (1989). *What Every Engineer Should Know About Quality Control*, New York: Marcel-Dekker, Inc.
- Pyzdek, T. (1990). *SPC-PC: Statistical Process Control for Personal Computers*, Tucson, Arizona: Quality America.
- Pyzdek, T. (1991). *What Every Manager Should Know About Quality*, New York: Marcel-Dekker, Inc.
- Pyzdek, T. (1991-1992). "A Simulation of Receiving Inspection," *Quality Engineering*, 4(1), 9~19.
- Pyzdek, T. (1992). *Pyzdek's Guide to SPC Volume Two - Applications and Special Topics*, Tucson, AZ: Quality Publishing, Inc.

- Pyzdek, T. (1994). *Pocket Guide to Quality Tools*, Tucson, AZ: Quality Publishing, Inc.
- Pyzdek, T. (1996a). *The Complete Guide to the CQE*, Tucson, AZ: Quality Publishing, Inc.
- Pyzdek, T. (1996b). *The Complete Guide to the CQM*, Tucson, AZ: Quality Publishing, Inc.
- Pyzdek, T. (1997). *The Complete Guide to the CQT*, Tucson, AZ: Quality Publishing, Inc.
- Pyzdek, T. (1999). *The End of Management*, Tucson, AZ: Atlantis Publishing.
- Reichheld, F. F. (1996). *The Loyalty Effect: The Hidden Force Behind Growth, Profits, and Lasting Value*, New York: McGraw-Hill.
- Roberts, L. (1994). *Process Reengineering: The Key to Achieving Breakthrough Success*, Milwaukee, WI: ASQ Quality Press.
- Rose, K. H. (1995). "A Performance Measurement Model," *Quality Progress*, February, pp. 63~66.
- Ruskin, A. M. and Estes, W. E. (1995). *What Every Engineer Should Know About Project Management*, 2nd Edition. New York: Marcel-Dekker, p. 193.
- Saaty, T. L. (1988). *Decision Making for Leaders: The Analytic Hierarch Process for Decisions in a Complex World*, Pittsburgh, PA: RWS Publications.
- Scholtes, P. R. (1988). *The Team Handbook: How to Use Teams to Improve Quality*, Madison, WI: Joiner Associates, Inc.
- Schuman, S. P. (1996). "What to Look for in a Group Facilitator," *Quality Progress*, June, pp. 69~72.
- Senge, P. M. (1990), *The Fifth Discipline—The Art and Practice of The Learning Organization*, New York: Doubleday.
- Shainin, D. and Shainin, P. D. (1988). "Statistical Process Control," in *Juran's Quality Control Handbook*, 3rd Edition. New York: McGraw-Hill, p. 24~34.
- Shainin, Dorian (1984). "Better than Good Old X-Bar and R-charts Asked by Vendees," *ASQ Quality Congress Transactions*, Milwaukee, pp. 302~307.
- Sheridan, B. M. (1993). *Policy Deployment: The TQM Approach to Long-Range Planning*, Milwaukee, WI: ASQ Quality Press.
- Shewhart (1939,1986). *Statistical Method from the Viewpoint of Quality Control*, New York: Dover Publications.
- Shewhart, W. A. (1930,1980). *Economic Control of Quality of Manufactured Product*, Milwaukee, WI: ASQ Quality Press.
- Shewhart, W. A. (1931,1980). *Economic Control of Quality of Manufacturing*, Milwaukee, WI: ASQ Quality Press.
- Simon, J. L. (1992). *Resampling: the New Statistics*, Arlington, VA: Resampling Stats, Inc.
- Simon, J. L. and Bruce, P. (1992). "Using Computer Simulation in Quality Control," *Quality Progress*, Statistics Corner Column.
- Stewart, T. A. (1995). "After All You've Done for Your Customers, Why are They Still NOT HAPPY?" *Fortune*, December, 11, 1995.

- Suminski, L. T., Jr. (1994). "Measuring the Cost of Quality," *Quality Digest*, March, pp. 26~32.
- Taguchi, G. (1986). *Introduction to Quality Engineering; Designing Quality into Products and Processes*, White Plains, NY: Quality Resources.
- Taha, H. (1976). *Operations Research; An Introduction*, 2nd Edition. New York: Macmillian Publishing Co., Inc.
- Thiagarajan, S. (1996). "Instructional Games, Simulations, and Role-plays," in *The ASTD Training and Development Handbook; A Guide to Human Resources Development*, Craig, R. L., Editor-in-chief, New York: McGraw-Hill, pp. 517~533.
- Tuckman, B. W. (1965). "Development Sequence in Small Groups," *Psychological Bulletin*.
- Tukey, J. W. (1977). *Exploratory Data Analysis*, Reading, MA: Addison-Wesley.
- Vaziri, H. K. (1992). "Using Competitive Benchmarking to Set Goals," *Quality Progress*, November.
- Wearing, C. and Karl, D. P. (1995). "The Importance of Following GD&T Specifications," *Quality Progress*, February.
- Wheeler, D. J. (1991). "Shewhart's Charts: Myths, Facts, and Competitors," *Annual Quality Congress Transactions*, Milwaukee, WI: ASQ.