

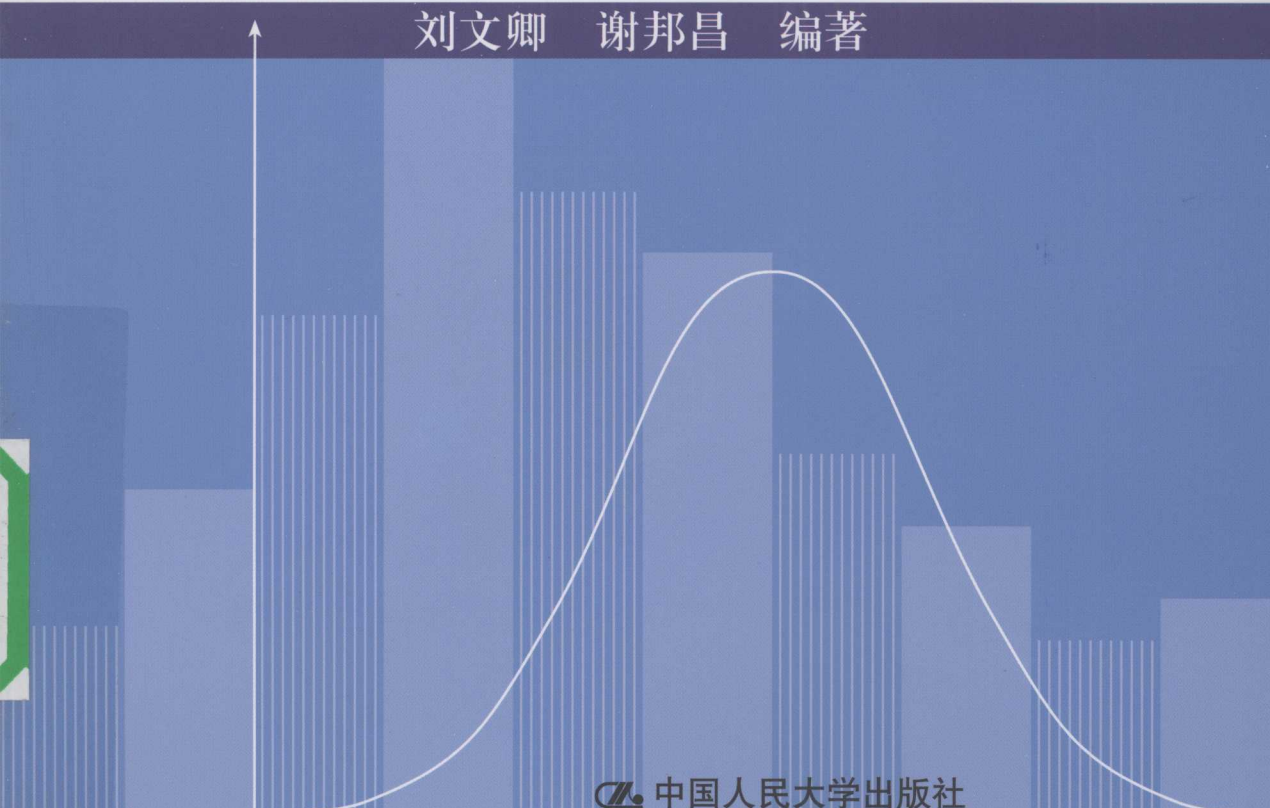
中国人民大学统计咨询研究中心
中国人民大学数据挖掘中心
中国人民大学概率论与数理统计研究所
教育部重点科研基地应用统计科学研究中心

联合推出

数据分析系列教材

质量控制与实验设计： 方法与应用

刘文卿 谢邦昌 编著



 中国人民大学出版社

中国人民大学统计咨询研究中心
中国人民大学数据挖掘中心
中国人民大学概率论与数理统计研究所
教育部重点科研基地应用统计科学研究中心

联合推出

数据分析系列教材

质量控制与实验设计： 方法与应用

刘文卿 谢邦昌 编著

中国人民大学出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

质量控制与实验设计: 方法与应用/刘文卿, 谢邦昌编著.

北京: 中国人民大学出版社, 2008

(数据分析系列教材)

ISBN 978-7-300-09801-2

I. 质…

II. ①刘…②谢…

III. 质量控制-高等学校-教材

IV. O213.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 154845 号

数据分析系列教材

质量控制与实验设计: 方法与应用

刘文卿 谢邦昌 编著

出版发行 中国人民大学出版社

社 址 北京中关村大街 31 号

电 话 010-62511242 (总编室)

010-82501766 (邮购部)

010-62515195 (发行公司)

网 址 <http://www.crup.com.cn>

<http://www.ttrnet.com>(人大教研网)

经 销 新华书店

印 刷 河北涿州星河印刷有限公司

规 格 170 mm×228 mm 16 开本

印 张 11.75 插页 1

字 数 211 000

邮政编码 100080

010-62511398 (质管部)

010-62514148 (门市部)

010-62515275 (盗版举报)

版 次 2008 年 11 月第 1 版

印 次 2008 年 11 月第 1 次印刷

定 价 20.00 元

版权所有 侵权必究

印装差错 负责调换

中国人民大学出版社
地址：北京市海淀区中关村大街15号
电话：(010) 62511246
网址：http://www.rucpress.com.cn

总 序

随着社会经济的不断发展、科学技术的不断进步，统计方法越来越成为人们必不可少的工具和手段。在多年教学的过程中，老师们也越来越感到运用统计方法解决实际问题的需要，不少人在探索如何运用统计软件介绍和学习统计方法。台湾辅仁大学谢邦昌教授、黄登源教授在多年的教学中，积累了丰富的经验，他们热情倡议，将他们的讲稿提供出来并编写成教材，供更多的人学习和使用。这正与我们的初衷不谋而合。自 2005 年开始着手这一套系列教材的编写，经过不断的讨论、反复的论证，形成了现在的模式。由于有许多研究生的帮忙，又有几位年轻老师的辛劳，终于让这套书问世。

在我们看来，掌握统计方法不仅要在理论上弄明白，更重要的在于能够正确地运用这些方法，分析说明实际问题。这套书正是试图利用实际数据，通过统计软件的实际操作，对所能使用的统计方法加以说明，使读者不仅能够了解相应的统计方法，而且能够通过计算机操作学会运用这些方法来处理分析实际数据。希望本套书的出版能够为读者提供这样的学习工具。

由于水平有限，本套书难免有不足之处。恳请读者朋友们提出宝贵意见。我们也会循着这样的思路，在教学以及和读者的交流中不断积累、不断提高、不断完善，奉献给读者更多更好的成果。

感谢为这套书的编写付出汗水的研究生，感谢几位认真用心的年轻老师，感谢中国人民大学出版社的大力支持，特别是陈永凤编辑的努力，才让这套书在很短的时间里出版。为方便读者，书中的所有例题数据，都将放在中国人民大学出

版社工商管理分社的网站 (www.rdjg.com.cn) 上, 供读者下载并练习。感谢读者, 希望能够加强沟通和联系, 为提高实际运用统计方法的能力和水平共同努力。

易丹辉

前言

本书分为 8 章,第 1 章结合六西格玛管理的 DMAIC 模型简要介绍了质量控制与实验设计的基本内容,以及 STATISTICA 软件在六西格玛管理模块中提供的统计方法。第 2 章~第 4 章是质量控制,包括描述统计等基本的统计方法、质量控制常用图表、测量系统分析、过程能力与西格玛水平计算、过程控制图等。第 5 章~第 8 章详细介绍了在质量管理中使用的各种实验设计技术。DMAIC 模

型的核心是改进阶段 I (Improve)，实验设计是质量改进的主要工具，这些工具可以为六西格玛管理以最低的成本取得最高的绩效。

言 简

刘文卿 于中国人民大学
谢邦昌 于辅仁大学

目 录

第 1 章 质量控制与实验设计概述	1
1.1 质量管理发展历程	1
1.1.1 质量管理走向六西格玛的过程	1
1.1.2 ISO 9000 质量管理体系	4
1.1.3 六西格玛管理理念	5
1.2 六西格玛的 DMAIC 模型	7
1.2.1 定义阶段 (D)	7
1.2.2 测量阶段 (M)	9
1.2.3 分析阶段 (A)	9
1.2.4 改进阶段 (I)	10
1.2.5 控制阶段 (C)	10
1.3 DMAIC 流程的统计方法	11
第 2 章 数据分析基本方法	16
2.1 描述统计	16
2.1.1 常用统计量	16
2.1.2 直方图	19
2.1.3 箱线图	20
2.2 假设检验	22
2.2.1 单样本 t 检验	22

2.2.2	两独立样本 t 检验	25
2.2.3	配对样本 t 检验	27
2.2.4	抽样方案	29
2.3	质量管理图表	34
2.3.1	因果图	34
2.3.2	空白图	37
2.3.3	帕累托图	39
第 3 章	测量系统与过程能力分析	43
3.1	测量系统分析	43
3.1.1	分辨力	44
3.1.2	偏倚	44
3.1.3	稳定性	46
3.1.4	重复性	46
3.1.5	再现性	47
3.1.6	线性	47
3.2	R&R 分析	48
3.3	过程能力与西格玛水平	51
3.3.1	过程能力指数	51
3.3.2	西格玛计算器	54
第 4 章	SPC 与控制图	56
4.1	过程控制与 SPC 概述	56
4.1.1	制定控制计划	57
4.1.2	FMEA 技术	60
4.1.3	SPC 概述	63
4.2	绘制控制图	67
4.2.1	计量值控制图	67
4.2.2	计数值控制图	74
第 5 章	实验设计初步	77
5.1	实验设计的基本概念	77
5.1.1	实验设计的基本概念	78
5.1.2	实验设计的作用	78
5.1.3	实验设计的三要素	80
5.1.4	实验设计的原则	81

5.2	随机化设计	83
5.2.1	完全随机化设计	83
5.2.2	随机化区组设计	85
5.3	单因素优化实验设计	88
5.3.1	单因素优化实验设计的适用情况	88
5.3.2	分数法	89
5.3.3	黄金分割法	92
5.4	多因素实验设计的问题	93
5.4.1	选择实验指标和实验因素的原则	93
5.4.2	因素轮换法	95
5.5	拉丁方	96
5.5.1	什么是拉丁方	96
5.5.2	拉丁方设计	97
5.5.3	拉丁方设计的软件实现	100
5.5.4	拉丁方设计的软件分析	102
第6章	析因设计	105
6.1	全面实验	105
6.2	部分因子设计	109
6.3	部分因子设计的实施与分析	111
6.3.1	设计的实施	112
6.3.2	分析实验结果	116
6.3.3	筛选实验	121
6.3.4	三水平析因设计	123
6.4	套设计	123
第7章	回归设计	129
7.1	回归设计概述	129
7.2	中心组合设计	130
7.2.1	中心组合设计方法	130
7.2.2	软件计算	132
7.2.3	资料分析	135
7.3	均匀设计	140
7.3.1	均匀设计概要	140
7.3.2	均匀设计的实验结果分析	142

7.4 配方设计	151
7.4.1 无约束的配方设计	151
7.4.2 有约束的配方设计	154
第8章 田口方法	161
8.1 田口质量工程学	161
8.2 参数设计方法	164
8.2.1 用软件实现参数设计	165
8.2.2 可计算项目的参数设计	170
参考文献	175

第1章

质量控制与实验设计概述

1994年美国质量管理专家朱兰(J. M. Juran)指出:20世纪以“生产力的世纪”载入史册,未来的21世纪是“质量的世纪”。质量控制与实验设计是质量管理中使用的最主要的统计技术,作为质量管理最新模式的六西格玛管理,强调过程活动的量化,要求用数据说话,这使得以数据分析为基础的统计技术有了广阔的应用空间。同时,接近零缺陷的六西格玛过程也对质量管理技术提出了新的要求,促使质量管理技术本身得到新的发展。

1.1 质量管理发展历程

在20世纪,质量管理走过了质量检查、统计质量管理和全面质量管理三个阶段,最终迈入六西格玛管理阶段。

1.1.1 质量管理走向六西格玛的过程

20世纪初期,质量管理属于质量检查(quality control, QC)阶段。其特点是在产品生产过程中或生产结束后单纯依靠检查来剔除废品以保证质量,它的不足之处是没有贯彻预防原则。起初检查工作都是由工长负责的,被称为“工长的质量管理”。后来,设立了专职的检查人员,称为“检查员的质量管理”。

1924年,美国贝尔电话实验室的统计学家休哈特(W. A. Shewhart)首先

创立了产品检验的统计质量控制理论，提出了后人所称的休哈特控制图，其作用是防患于未然，但在控制图提出后的十余年中并没有得到广泛应用。1929年，同在贝尔电话实验室工作的道奇（H. F. Dodge）和罗米格（H. G. Roming）提出了抽样检验方法。到第二次世界大战期间，美国的军火生产开始广泛使用控制图和抽样检验技术，从此质量管理进入了统计质量管理（statistical quality control, SQC）阶段，控制图和抽样检验技术开始在世界发达工业国家推广。

20世纪20年代，英国学者费歇尔（R. A. Fisher）在农业实验中运用均衡排列的拉丁方，解决了长期未解决的实验条件不均衡问题，提出了方差分析方法，创立了实验设计。随后，实验设计方法大量应用于农业和生物科学，从20世纪30年代起，英国的纺织业中也开始使用实验设计。第二次世界大战中，美国的军工企业开始使用实验设计方法。第二次世界大战以后，美国和西欧的化工、电子、机械制造等众多行业纷纷使用实验设计，目前，实验设计已成为理工农医各个领域各类实验的通用技术。

20世纪40年代后期，日本统计学家田口玄一博士（Dr. Genichi Taguchi）使用设计好的正交表安排实验，这种方法简便易行，从此正交设计在世界范围内普遍推广使用。20世纪70年代末期开始，田口博士又创立了以三次设计为内容的质量工程学，其主要内容是稳健性设计。近年来稳健性设计方法不断发展和完善，在质量管理中得到广泛应用。

回归设计是由英国统计学家 G. Box 在 20 世纪 50 年代初针对化工生产提出的方法，以后又用于钢铁、制药、农业等部门，如今这一方法已经得到广泛的应用。

20 世纪 70 年代，我国统计学家方开泰和数学家王元提出了均匀设计（uniform design, UD）。文章最初于 1978 年发表在中国科学院数学研究所的内部通讯上，后来中英文稿分别发表于《应用数学学报》和《科学通报》。30 年来，均匀设计在理论上有了新的发展，在应用中取得了众多成果。

1961 年，美国通用电气公司质量管理部部长费根鲍姆（A. V. Feigenbaum）发表了著作《全面质量管理》（Total Quality Control），质量管理又迈向了全面质量管理（TQC）阶段。之后经过戴明（W. E. Deming）、朱兰和克劳斯比（P. B. Crosby）等国际管理大师的推动工作，到 20 世纪 80 年代，全面质量管理在全世界范围内得到广泛应用，其英文名称也改为 TQM（total quality management）。

全面质量管理在我国也得到一定的发展。我国专家总结实践中的经验，提出了“三全一多样”的观点，即全过程的质量管理、全员的质量管理、全企业的质

量管理、多样化的质量管理方法。

戴明 1900 年 10 月 4 日生于美国艾奥瓦州。由于家境贫寒,少时的戴明养成了节俭的好习惯。1921 年他从怀俄明大学毕业后继续前往科罗拉多大学进修,并于 1925 年取得数学与物理学硕士学位,最后于 1928 年取得耶鲁大学的物理学博士学位。戴明博士在学习期间就知道了当时在贝尔研究所工作的休哈特博士,并于 1927 年与之成为亦师亦友的莫逆之交。戴明博士在美国政府服务期间,为了国力人口调查而开发了新的抽样法。第二次世界大战期间,他建议军事相关单位的技术及检验人员都必须接受统计质量管理方法培训。另外,他在通用电气公司开班讲授统计质量管理,与其他专家联合在美国各地开课,累计培训了包括政府机构工作人员在内的 31 000 多人,对美国 SQC 的推广有莫大的贡献。当时戴明博士已将统计的质量管理应用到工业以外的住宅、营养、农业、水产以及员工的雇用方面,涉及面极为广泛。

戴明博士从 1950 年开始到日本指导质量管理工作,他第一次讲演的听众是 21 位日本大公司的总裁,讲授内容是“统计质量控制的基本原理”。这样的演讲在此后 30 多年内不断持续着。戴明博士在日本虽然也教授统计方法,但他很快就发觉,光教统计质量管理可能会犯以前美国企业界所犯的错误,因此他修改计划,转而向企业的经营者灌输品质经营的理念及其重要性,从而使日本早期的经营者几乎都见过戴明博士并受教于他,并实践着戴明博士的品质经营理念,奠定了日本 TQC 的基础。戴明博士早期在辅导日本企业的质量管理工作时曾经预言,日本在五年内其产品必将雄霸世界市场。不出其所料,其预言被证明是正确的,且提早到来了。

战后日本经济的迅速崛起震惊了美国,美国人惊醒地发现,原来日本工商企业经营成功的背后竟然是一位美国人居功至伟,故开始对戴明博士另眼看待。1980 年 7 月 24 日,美国广播公司(NBC)在电视台播放了戴明所作的举世闻名的公开讲演,题为“日本能,为什么我们不能?”(If Japan Can, Why Can't We?),使戴明博士一夜成名。此后美国企业家重新研究戴明的质量管理经营理念,戴明博士也继续在美国及世界各地积极讲授他的质量管理思想,于 1982 年提出了著名的戴明 14 条(Deming's 14 Points),于 1986 年出版了汇集其几十年管理经验的名著《走出危机》(*Out of the Crisis*)。事实上,戴明博士的 14 条质量管理原则就是美国从 1980 年开始盛行的 TQM 的基础,TQM 所包含的所有重点几乎都可以在戴明 14 条里找到类似或相同的诠释。

戴明还为许多美国公司进行质量咨询或担任质量顾问。他的最令人瞩目的一项成就,是在 1981 年开始使福特汽车公司在质量管理上脱胎换骨,令福特汽车

公司由超过 10 亿美元的亏损在短短 3 年内扭亏为盈，利润升到约 60 亿美元。

朱兰博士是世界著名的质量管理专家，他的两部经典著作是《管理突破》(Management Breakthrough) 及《质量计划》(Quality Planning)。他主编的《质量控制手册》(Quality Control Handbook) 被称为当今世界质量控制的科学名著，为奠定 20 世纪全面质量管理的理论基础和基本方法作出了卓越的贡献。朱兰提出的质量管理三部曲“质量策划，质量控制，质量改进”至今仍是质量管理的基本理念。他在质量管理中引入“二八”原则，指出产品中 80% 的缺陷是由 20% 的原因造成的；提出“突破历程”的 7 个原则，质量改进是螺旋式上升的质量环理论，指出 21 世纪是质量的世纪。

1.1.2 ISO 9000 质量管理体系

ISO 9000 质量管理体系是基于全面质量管理的质量管理体系，是由一系列标准化文件构成的。ISO 是国际标准化组织 (International Organization for Standardization) 的缩写。目前使用的是 2000 年版标准。主要包含以下标准文件。

第一部分 核心标准

1. ISO 9000: 2000《质量管理体系——基础和术语》。对应的我国国家标准是 GB/T19000: 2000。其中 GB 是“国标”的拼音缩写，T 表示推荐。此标准表述质量管理体系的基础知识，并规定质量管理体系术语，用于支持下面几个标准。

2. ISO 9001: 2000《质量管理体系——要求》。对应的国家标准是 GB/T19001: 2000。规定质量管理体系要求，用于证实组织具有提供满足顾客要求和运用法规要求的产品的能力，目的在于增进顾客满意度。

3. ISO 9004: 2000《质量管理体系——业绩改进指南》。对应的国家标准为 GB/T19004: 2000。提供关于质量管理体系的有效性和效率两方面的指南。该标准的目的是组织业绩改进和增进顾客及其他相关方的满意。

4. ISO 19011《质量和环境管理体系——审核指南》。该标准提供了质量管理体系和环境管理体系。

第二部分 其他标准

ISO 10012《测量管理体系》

ISO 10019《质量管理体系——咨询师选择和使用指南》

第三部分 技术报告、技术规范或技术协议

ISO/TS 10005 质量计划指南

ISO/TS 10006 项目质量管理指南

ISO/TS 10007 技术状态管理指南

ISO/TR 10013 质量管理体系文件

ISO/TR 10014 质量经济性管理指南

ISO/TR 10017 统计技术指南

ISO/TR 10018 顾客投诉

技术协议 (1) 医疗机构应用 ISO 9000 指南

技术协议 (2) 教育机构应用 ISO 9000 指南

其中, 统计技术指南包含的主要内容如表 1.1 所示。

表 1.1 统计技术指南包含的内容

descriptive statistics	描述统计
design of experiments	实验设计
hypothesis testing	假设检验
measurement analysis	测量分析
process capability analysis	过程能力分析
regression	回归
reliability analysis	可靠性分析
sampling	抽样
statistical process control charts	统计过程控制图
statistical tolerancing	统计公差
time series analysis	时间序列分析

1.1.3 六西格玛管理理念

六西格玛管理的产生要追溯到 1979 年的摩托罗拉公司。摩托罗拉公司曾以为美国航天事业特别是阿波罗号登月作出杰出贡献而自豪。但是, 摩托罗拉发现, 它的产品需经多次返修才能达到合格, 这样一来造成了成本的极大提高。它发现在制造任何产品时, 高质量和低成本之间都存在至关重要的联系。于是摩托罗拉专门成立了一个小组来研究提高流程能力的方法, 以达到既降低成本又提高产品质量的目的。

1987 年, 由乔治·费舍 (George Fisher) 领导的摩托罗拉通信业务率先推出一个名为“六西格玛”的质量管理创新改进理念。随后, 摩托罗拉公司在其董事长鲍勃·高尔文 (Bob Galvin) 的大力倡导下将这一方法推广到全公司。随着摩托罗拉公司残次品的减少和制造时间的节省, 公司也开始从六西格玛的理念中获取巨大的财务回报。公司用低廉的成本换来高质量的产品和更高的客户满意

度。到1993年，摩托罗拉公司的大部分制造领域几乎都达到了六西格玛水平。一时间，六西格玛开始像燎原烈火一样迅速蔓延到其他行业，甚至超出了制造业的范围。这一方法使摩托罗拉的工作效率从5年改进10倍缩短为2年改进10倍。1988年，摩托罗拉公司成为美国鲍德里奇国家质量奖的首位获得者。

六西格玛管理产生于摩托罗拉，而后来居上、真正将六西格玛管理提升到战略层面并取得前所未有的成就的，是杰克·韦尔奇所领导的通用电气。20世纪90年代中后期，通用电气的CEO韦尔奇成为六西格玛品质狂热的追求者。1996年，在弗吉尼亚州的夏洛特城举行的通用电气公司年会上，韦尔奇说：“在通用电气的发展过程中，我们有一项具有重大科技含量的品管任务，这项品管任务会在4年内将我们的生产方式引至一个卓越的层次，使我们无论是在产品制造还是服务方面的缺陷或瑕疵都低于百万分之四。这是我们通用电气前所未有的大挑战，同时也是最具潜力和最有益处的一次出击。”

从1996年通用电气推行六西格玛开始，六西格玛管理就为通用电气带来了巨大的回报，由推行六西格玛为通用电气带来的收益逐年增加。在推行六西格玛管理的第一年，通用电气用于六西格玛管理的投入大于收益，之后每年用于六西格玛管理的投入稳定在5亿美元左右。而由六西格玛管理所产生的收益却逐年增加，1998年的收益是10亿美元，1999年的收益是15亿美元，2000年的收益接近20亿美元。

继摩托罗拉、德州仪器（Texas Instruments）、联合信号（Allied-Signal）、通用电气等先驱之后，几乎所有的《财富》500强制造业企业都陆续实施了六西格玛管理战略。知名度较高的有宝丽来、柯达、西门子、索尼、诺基亚、本田、日立、佳能和三星等大规模制造业公司。

西格玛（希腊字母 σ ）在统计术语中代表标准差，反映一组资料的离散程度。西格玛是衡量流程能力的指标，流程的西格玛值表示该流程的输出相对于期望或均值的变异程度。比如，某茶叶生产企业生产一种规格为150g的袋装茶叶，由于各种随机波动因素，真正为150g的产品几乎是不存在的。如果设定在 $150 \pm 3\text{g}$ 之内的产品都算合格品，该厂家每天能生产1500袋，显然袋装茶叶的重量是一个变量。如果一天中约有100袋重量不足或者超出，从品质控制的角度来说，这些就是不合格品，该产品的合格品率为93.33%，大约为三个西格玛。如果该生产线的合格品率达到六西格玛标准，则意味着每生产100万袋茶叶仅有3.4袋重量超出了控制范围。所以，达到六西格玛标准的流程几乎是完美的。对于制造性流程来说，在均值漂移1.5个 σ 的情况下，六西格玛意味着每100万次加工只有3.4次失误。