统计过程控制

Statistical Process Control

SPC
第二版



统计过程控制 SPC

第二版前言

本参考手册是在美国质量协会（American Society for Quality，ASQ）及汽车工业行动集团（Automotive Industry Action Group，AIAG）支持下，由戴姆勒克莱斯勒、福特和通用汽车公司供应商质量要求特别工作组认可的统计过程控制（SPC）工作组所开发的。负责第二版的工作小组准备是戴姆勒克莱斯勒公司、Delphi 公司、福特汽车公司、通用汽车公司、Omnex 公司和 Robert Bosch 公司的质量和供应商评定人员与汽车工业行动集团（AIAG）合作组成的。

特别工作组的任务是将在戴姆勒克莱斯勒、福特和通用汽车公司各自的供应商评定系统中使用的参考手册，报告格式和技术术语进行标准化处理。据此，任何供应商可以利用本手册来建立与戴姆勒克莱斯勒、福特和通用汽车公司中任一供应商评定系统要求相应的信息。第二版编制了自 1991 年原有的手册出版后汽车工业行业 SPC 技术发展的需求和变动。

本手册是对统计过程控制的一种介绍。***它并不意图去限制适用某特定过程或商品的 SPC 方法的发展***。当这些指导文件意在涵盖 SPC 系统通常发生的情况时，其中可能还会引起一些问题；应将这些问题直接反馈给您的顾客的供应商品质保证部门（SQA）。如果不知道如何与有关的 SQA 部门联系，可寻求您的顾客的采购部门的采购人员的帮助。

特别工作组衷心感谢戴姆勒克莱斯勒汽车公司副总裁 Peter Rosenfeld、福特汽车公司副总裁 Thomas K. Brown、通用汽车公司副总裁 Bo Andersson 的领导和承诺；感谢 AIAG 在开发、出版和发行本手册中提供的帮助；感谢特别工作组负责人 Hank Gryn（戴姆勒克莱斯勒公司）、Russ Hopkins（福特公司）和 Joe Bransky（通用汽车公司）的指导。因此开发本手册以满足汽车工业的特殊要求。

本手册 2005 年版本的所有权和版权为戴姆勒克莱斯勒、福特汽车公司和通用汽车公司所有。需要更多的手册可向 AIAG 订购；对本手册部分内容的复制以在供应商组织内使用的许可可通过 AIAG 联系电话（248）358-3570 或网站 **htttp://www.aiag.org** 获得。

统计过程控制SPC

第一版前言

本参考手册是在美国质量控制协会（ASQC）汽车部供方质量要求编写组和汽车工业行动集团（AIAG）的共同支持下，由克莱斯勒、福特和通用汽车公司的质量和供应商评定人员编制。

ASQC / AIAG 编写组的任务是将在克莱斯勒、福特和通用汽车公司各方的供应商评定系统：供方质量保证、全面质量创优、目标创优中使用的参考手册，报告格式及技术术语进行标准化处理。因此，任何供应商可以利用本手册来建立与克莱斯勒、福特和通用汽车公司的供应商评定系统相应的信息。

迄今为止，在汽车行业上还没有正式统一的有关统计过程控制（SPC）的方法。有些生产厂为其供应商提供了方法，而其他的没有明确的要求。为了简化并减少对供应商质量要求的差异，克莱斯勒、福特和通用汽车公司同意编写并通过 AIAG 发行这本手册。负责本手册内容编写的工作组由通用汽车公司的 Leonard 领导。

本手册可看成是对统计过程控制的介绍。它并不限制适用于特定过程或商品的统计方法的发展，也不诣在综合所有的 SPC 技术。有关使用替代方法问题，可求助于您顾客的质量部门。

编写组衷心感谢。克莱斯勒汽车公司副总裁 Thomas T. Stallkamp、福特汽车公司副总裁 Clinton D. Lauer、通用汽车公司副总裁 Donald A. Pais 的领导和参与，以及三大公司质量和供应商评定组胜任而努力的工作；感谢汽车工业行动集团（在 AIAG 执行总监 Joseph R .Phelan 的领导下）在本手册的编写、出版和发行中做出的重要贡献。

我们还要感谢由 Tripp Martin（Peterson Spring）领导的 ASQC 审阅小组，对本手册进行的审阅，并在审阅过程中对本手册的目的和内容的完善提出了宝贵的意见。

Bruce W. Pince
Task Force Coordinator
Sandy Corporation Troy,
Michigan December, 1991

本手册1991年版本的所有权和版权为戴姆勒克莱斯勒、福特汽车公司和通用汽车公司所有。需要更多的手册可向AIAG订购；对本手册部分内容的复制以用在供应商组织内使用的许可，可通过AIAG联系电话（248）358-3570获得。

第一版的**致谢**

代表通用、福特和克莱斯勒汽车公司的编写小组委员会的成员，对本手册的生效进行了签名认可，感谢福特汽车公司的 Pete Jessup 所做出的贡献，他负责本手册第一、二、三章及附录中主要内容的编写。

克莱斯勒公司的 Harvey Goltzer 负责第一章引言中有关过程能力和能力研究的概念定义编写；Jack Herman（Du Pont）负责第一、四章中有关能力、性能指数及测量变差的重要性等概念的阐述。

通用汽车公司动力传动系部负责在有关分组和过程过度调整的示例及讨论性内容的编写。第五章中有关过程能力和相关问题的解释是由通用汽车公司的统计评审委员会编写，该委员会还编写了第四章过程测量系统分析以及部分附录的内容。

最后，感谢 ASQC 的代表 Gregory Gruska, Doug Berg 和 Tripp Martin 为本手册所有章节提供了宝贵的资料。

Leonard A. Brown, G.M	Victor W. Lowe, Jr Ford	David R. Benham, Chrysler

目 录

第一章 1
持续改进和统计过程控制 **1**
介绍 3
六点说明 *4*
第一章 — 第A节 7
预防与探测 7
第一章 — 第B节 9
过程控制系统 9
第一章 — 第C节 13
变差的普通原因 13
和特殊原因 13
第一章 — 第D节 17
局部措施和对系统采取的措施 17
第一章 — 第E节 19
过程控制和过程能力 19
控制与能力 *19*
过程指数 *21*
第一章 — 第F节 25
过程改进循环及过程控制 25
第一章 — 第G节 29
控制图：过程控制和改进的工具 29
它们如何工作？ *30*
方法： *32*
第一章 — 第H节 37
控制图的有效使用和益处 37
第二章 41
控制图 41
介绍： *43*
计量型控制图 *45*
计数型控制图 *47*
控制图的要素 *48*
第二章 — 第A节 53
控制图过程 53
准备步骤 *53*
控制图结构 *55*
建立控制限 59
统计受控的解释 60
总结 63
为持续控制延长控制限 65
第二章 — 第B节 69
定义“不受控”信号 69
点超出控制限 *69*
控制限内的模式或趋势 *70*
特殊原因识别准则 *75*
平均运行长度 (ARL) *76*
第二章 — 第C节 79
控制图公式 79

计量型控制图 *79*
均值和极差图 ($\overline{X}, R$) 79
均值和标准差图 ($\overline{X}, s$) 83
中位数和极差图 ($\tilde{X}, R$) 85
单值和移动极差图 (X, MR) 87
计数型控制图 *89*
不合格项目的控制图 89
不合格品率图 (p Chart) 89
不合格品数图 (np Chart) 93
单位产品不合格数图 Chart (u Chart) 95
不合格数图 (c Chart) 97
第三章 99
其他类型的控制图 99
介绍: *101*
基于概率的控制图 *101*
短期控制图 *107*
探测小变化的控制图 *109*
非正态控制图 *113*
多变量的控制图 *116*
其他控制图 *117*
回归控制图 117
残差控制图 118
自回归控制图 118
区域控制图 121
第四章 125
认识计量型数据的过程能力 125
和过程性能 125
介绍 *127*
第四章 — 第A节 131
过程术语的定义 131
可预测过程的过程测量 132
指数 — 双边公差 *132*
指数 — 单边公差 *137*
第四章 — 第B节 139
条件描述 139
非正态分布和多变量分布的处理 140
指数和不合格品率的关系 *140*
使用转换的非正态分布 *140*
使用非正态形式的非正态分布 *142*
多变量分布 *144*
第四章 — 第C节 147
建议使用的过程测量 147
损失函数的概念 148
将过程与顾客的要求联系起来 153
附录A 157
关于抽样的一些解释 157
分组的影响 *157*

自相关数据 *157*
多生产流过程的例子 *162*
样本容量对指数的影响 *168*
附录B **171**
关于特殊原因的一些评述 171
过度调整 *171*
依赖于时间的过程 *173*
重复的图形 *175*
附录C **177**
本手册所描述控制图的选用程序 177
附录D **179**
C_{pm}和其他指数的关系 179
附录E **181**
控制图的常数和公式表 181
附录F **185**
能力指数计算举例 185
数据集: 186
分析 187
直径统计量: *188*
结论: *190*
附录G **191**
词汇及符号表 191
本手册所使用的词汇 *191*
本手册所使用的符号 *204*
附录H **211**
参考文献和建议的读物 211
附录I **215**
标准正态表 215
索引 **217**
S.P.C. 手册使用者反馈意见过程 **221**

插图目录

图 I.1: 过程控制系统.....8
图 I.2: 变差：普通原因和特殊原因.....12
图 I.3: 过程控制及过程能力.....18
图 I.4: 过程改进循环的各个阶段.....24
图 I.5: 控制图.....28
图 II.1: 计量型数据.....44
图 II.2: 计数型数据.....46
图 II.3: 制图的要素.....49
图 II.4a: 控制图示例（正面）.....51
图 II.4b: 控制图示例（背面） —— 事件日志.....52
图 II.5: 延长控制限.....56
图 II.6: 重新计算控制限.....61
图 II.7: 为持续控制延长控制限.....64
图 II.8: 相对于规范限的过程变差.....67
图 II.9: 点超出控制限.....70
图 II.10: 均值控制图上的链.....71
图 II.11: 极差控制图上的链.....72
图 II.12: 控制图中的非随机模型.....74
图 II.13: 均值和极差图.....78
图 II.14: 均值和标准差图.....82
图 II.15: 中位数和极差图.....84
图 II.16: 单值和移动极差图.....86
图 II.17: 不合格品率图.....88
图 II.18: 不合格品数图.....92
图 II.19: 单位产品不合格数图.....94
图 II.20: 不合格数图.....96
图 III.1: 控制图.....100
图 III.2: 红绿灯信号控制图.....102
图 III.3: 预控制图.....105
图 III.4: DNOM 控制图.....108
图 III.5: 使用 V-模板的累积和控制图.....109
图 III.6: X 和 MR 控制图.....110
图 III.7: 粘性的 EWMA 控制图.....112
图 III.8: 粘性的 X 和 MR 控制图.....112
图 IV.1: 子组内和子组间变差图.....130
图 IV.2: C_{pk} 和 P_{pk} 比较.....133
图 IV.3: 一个可预测过程和不成熟过程之间的比较.....135
图 IV.4: 由可预测过程和不成熟过程产生的 C_{pk} 和 P_{pk} 值.....136
图 IV.5: “门柱”与损失函数.....148
图 IV.6: 损失函数和技术规范比较.....150
图 IV.7: 损失函数的比较.....151
图 IV.8: 过程控制系统.....152
图 IV.9: 调整过程与要求一致.....154

介绍

在今天的经济气候下，为了事业昌盛，我们 —— 汽车制造商、供应商及销售商必须致力于持续改进，我们必须寻找更有效的方法来提供产品及服务，这些产品和服务必须不断地在价值上得以改进，我们必须重视内部以及外部的顾客，并将顾客满意作为企业的主要目标。

为了达到这一目标，我们组织中的每一个人都必须确保不断改进及使用有效的方法。本手册描述了几种基本统计方法，可以用来使改进更有效。为了完成不同的任务需要不同程度的理解，本手册的对象是刚开始从事统计方法应用的从业者和管理人员，对于现在正在应用更先进技术的人员，本手册也可作为他们学习这些基本方法的进修资料。本手册并没有包括所有的基本方法，**附录H**所列的参考文献或手册中阐述了其他的基本方法（例如：检查清单、流程图、排列图、因果分析图等），及一些高级方法（如其他控制图、试验设计、质量功能展开等）。

本手册所述的基本统计方法，包括了与统计过程控制及过程能力分析有关的方法。

第一章阐述了过程控制的背景知识，解释了一些重要的概念，如变差的特殊原因和普通原因，并介绍了控制图，这是一个非常有效的分析及监控过程的工具。

第二章描述了计量型[1]数据和计数型数据的控制图的建立和使用。

第三章描述了适用于特定情况下的其它类型控制图 —— 基于概率的控制图、短期运行图，及用于探测微小变化、非正态、多变量的控制图和其它控制图。

第四章阐述了过程能力分析。

附录讲述了抽样、过度调整、选择控制图的过程、常数及公式表、正态分布表、解释术语和符号的词汇表，以及参考文献。

[1] 术语“计量型”，虽然听起来有点怪，但可被用作于区分变化的事物的差异和从连续变量获取数据产生的控制图。

六点说明

在开始讨论之前，有以下六点需说明：

1) 收集数据并用统计方法来解释它们并不是最终目标，最终目标应该是在阅读的过程中不断加深理解，当一个不能实现任何改进的技术专家是很容易的，我们应该将增长知识作为行动的基础。



2) 测量系统对适当的数据分析来说是很关键的，在收集过程数据之前就应很好地对它加以了解。如果这些测量系统缺少统计控制，或它们的变差在过程总变差中占很大比例，就可能作出不恰当的决定。因此在本手册中，假设了测量系统处于受控状态，并且对过程总变差没有很大的影响。为了更详细的了解这些内容，读者可参考 AIAG 出版的*《测量系统分析》*（MSA）**手册**。

3) 研究变差和应用统计知识来改进性能的基本概念适用于任何领域，可以是在车间中或办公室里，例如：机械加工（性能特性）、记帐（差错率）、总销售额、浪费分析（废品率）、电脑系统（性能特性）及物料管理（运送时间）。本手册重点放在车间应用中，对希望在行政管理及服务中应用的读者，建议参考**附录 H** 中的参考文献。

4) SPC 代表**统计过程控制**，但以前统计方法常用于零件而不是过程。应用统计技术来控制输出（例如，零件）应仅仅是第一步，只有当产生输出的过程成为我们努力的重点，这些方法才能在改进质量、提高生产率、降低成本上充分发挥作用。

5) 尽管手册中的每一点是透过已完成的例子来说明的，但要真正理解这些知识需要进一步与过程控制实际相联系。研究读者自己的工作场所或相似活动中的实际例子，是对本书的重要补充，实际工作经验是无法取代的。

6) 本手册可看成应用统计方法的第一步，它提供了被普遍接受的方法，并在许多场合得以应用。然而，还是存在一些例外的情况，在这些情况中，盲目地使用这些方法是不恰当的。本手册不能代替从业者对提高统计方法的知识和理论的需要，我们建议读者寻求正规的统计学教育，当读者的过程和

统计方法的应用已经比本手册所述的内容更先进时，我们建议读者向具有一定的统计理论知识与实践经验的人员请教关于其它技术的适用性。任何情况下，所用的程序都必须满足顾客的要求。

过程控制的需要

探测 — 容忍浪费

预防 — 避免浪费

第一章 — 第 A 节

预防与探测

过去，**制造业**经常通过**生产**来制造产品，通过**质量控制**来检验最终产品并剔除不符合规范的产品。对于行政管理的情形,则经常靠检查和再检查来努力找出错误，在这两种情况下都是使用探测的方法，这种方法是浪费的，因为它允许将时间和材料投入到生产不一定有用的产品或服务中去。

通过从开始时就不产生无用的输出，从而避免浪费的更有效的策略是 —— **预防**。

对许多人来说预防的策略听起来很动听，甚至是理所当然的，我们经常能听到这样的口号“第一次就把工作做对。”但仅有口号是不够的，我们需要认识统计过程控制系统的要素。下述七节将介绍这些要素，并可以被视为对下列问题的回答：

- 什么是过程控制系统？
- 变差是如何影响过程输出的？
- 统计技术是如何区分一个问题实质是局部的，还是涉及到整个系统的？
- 什么是统计受控过程？什么是具有能力的过程？
- 什么是持续改进循环？过程控制对哪一部分起作用？
- 什么是控制图？如何使用？
- 使用控制图有什么好处？

学习以上资料时，读者可以查阅**附录 G** 的**词汇索引**中对关键术语和符号的定义。

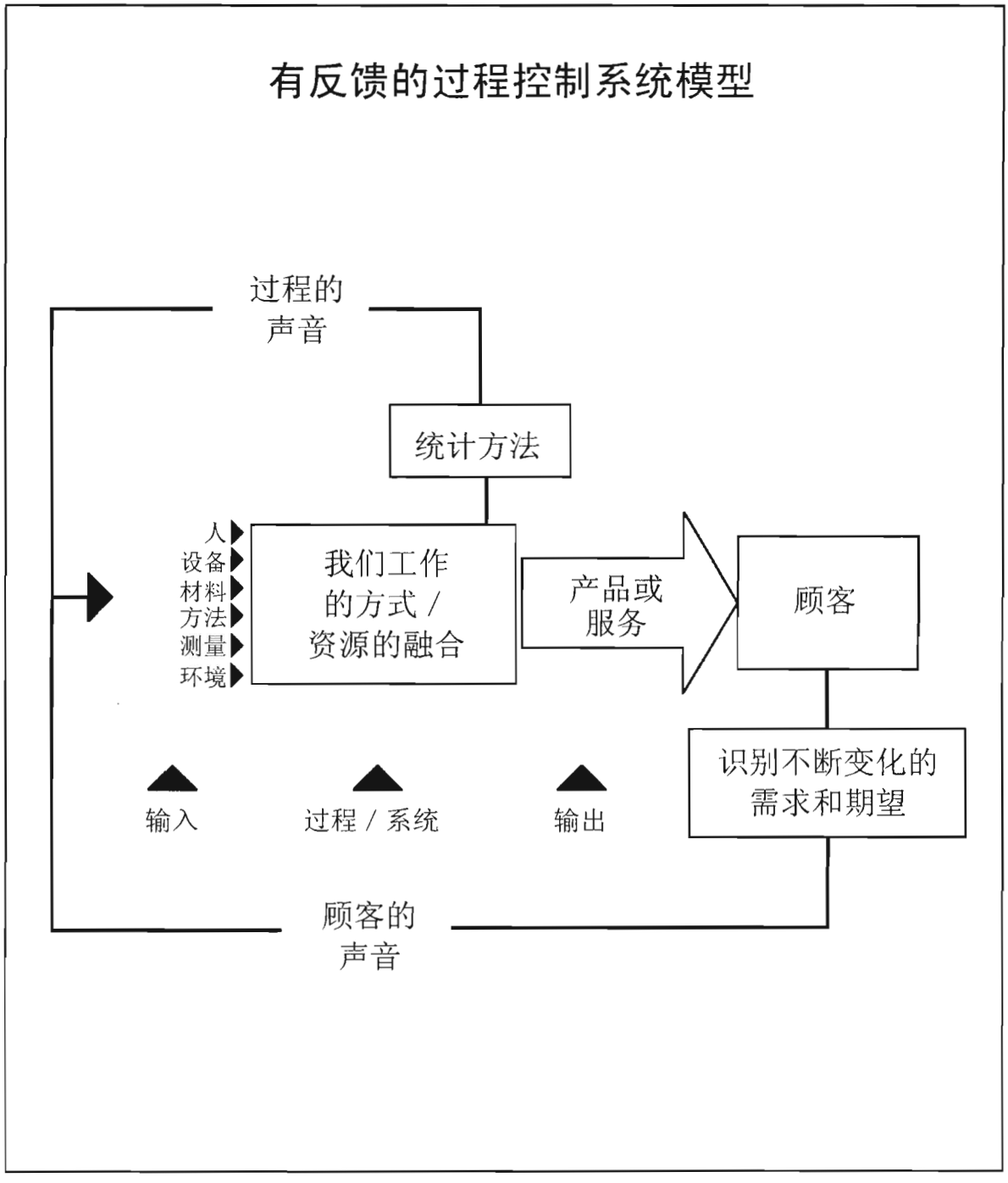

有反馈的过程控制系统模型
过程的
声音
统计方法
人
设备
材料
方法
测量
环境
我们工作
的方式 /
资源的融合
产品或
服务
顾客
识别不断变化的
需求和期望
输入
过程 / 系统
输出
顾客的
声音

图 I.1：过程控制系统

第一章 — 第 B 节

过程控制系统

过程控制系统可以称为一个反馈系统。SPC 是一类反馈系统，但也存在不使用统计技术的反馈系统。下面讨论这个系统重要的四个基本要素。

1. **过程** —— 所谓过程指的是共同作用，以产生输出的供应商、生产者、人、设备、输入材料、方法和环境，以及使用输出的顾客的集合（见**图 I.1**）。过程的性能取决于供应商和顾客之间的沟通、过程设计及实施的方式，以及运作和管理的方式等。过程控制系统的其它部分只有在维持整个系统的良好水准，或提高整个过程的性能时才有用。

2. **关于过程性能的信息** —— 通过研究过程输出可以获得许多与过程实际性能有关的信息。但是关于性能的最有用的信息还是通过对过程本身以及其内在的变化的认识得到的。过程特性（如温度、循环时间、供给速率、缺勤、产量、延迟以及中断的次数等）应该成为我们努力的最终的焦点，我们要确定这些特性的目标值，从而使过程操作的生产率最高，然后我们要监测我们与目标值的距离是远还是近，如果得到信息并且正确地解释，就可以确定过程是在正常或非正常的方式下运行，若有需要，可采取适当的措施来纠正过程或刚产生的输出。若需要采取措施，就必须及时和适当，否则收集信息的努力就白费了。

3. **对过程采取措施** —— 为避免一些重要的特性（过程或输出）偏离目标值太远，对过程采取措施往往是很经济的。这样能确保过程输出的稳定性和变差保持在可接受的范围之内。这些措施可能包括：

   - 改变操作
     - √ 培训操作人员
     - √ 变换输入材料

   - 改变过程本身更基本的要素
     - √ 设备
     - √ 人员的沟通方式和相互关系
     - √ 把过程作为一个整体的设计 —— 这可能会受到车间温度或湿度变化的影响

应监测这些措施的效果，如有必要还应进一步分析并采取措施。

4. **对输出采取措施** —— 对输出采取措施往往是最不经济的，它仅限于对输出进行探测并纠正不符合规范的产品，而没有处理过程中的根本问题。不幸的是，如果目前的输出不能持续满足顾客的要求，可能就有必要对所有产品进行挑选，并报废或返工不合格品。这种情况将持续直到对过程采取了必要的纠正措施并通过验证为止。

很显然，仅对输出进行检验并随之采取措施不是一种有效的过程管理方法。仅对输出采取措施只可作为不稳定或没有能力的过程的临时措施（见**第一章，第 E 节**）。因此，下面的讨论重点将放在过程信息的收集和分析上，以便对过程本身采取纠正措施。请记住，重点应该是预防而不是探测。

此页留白

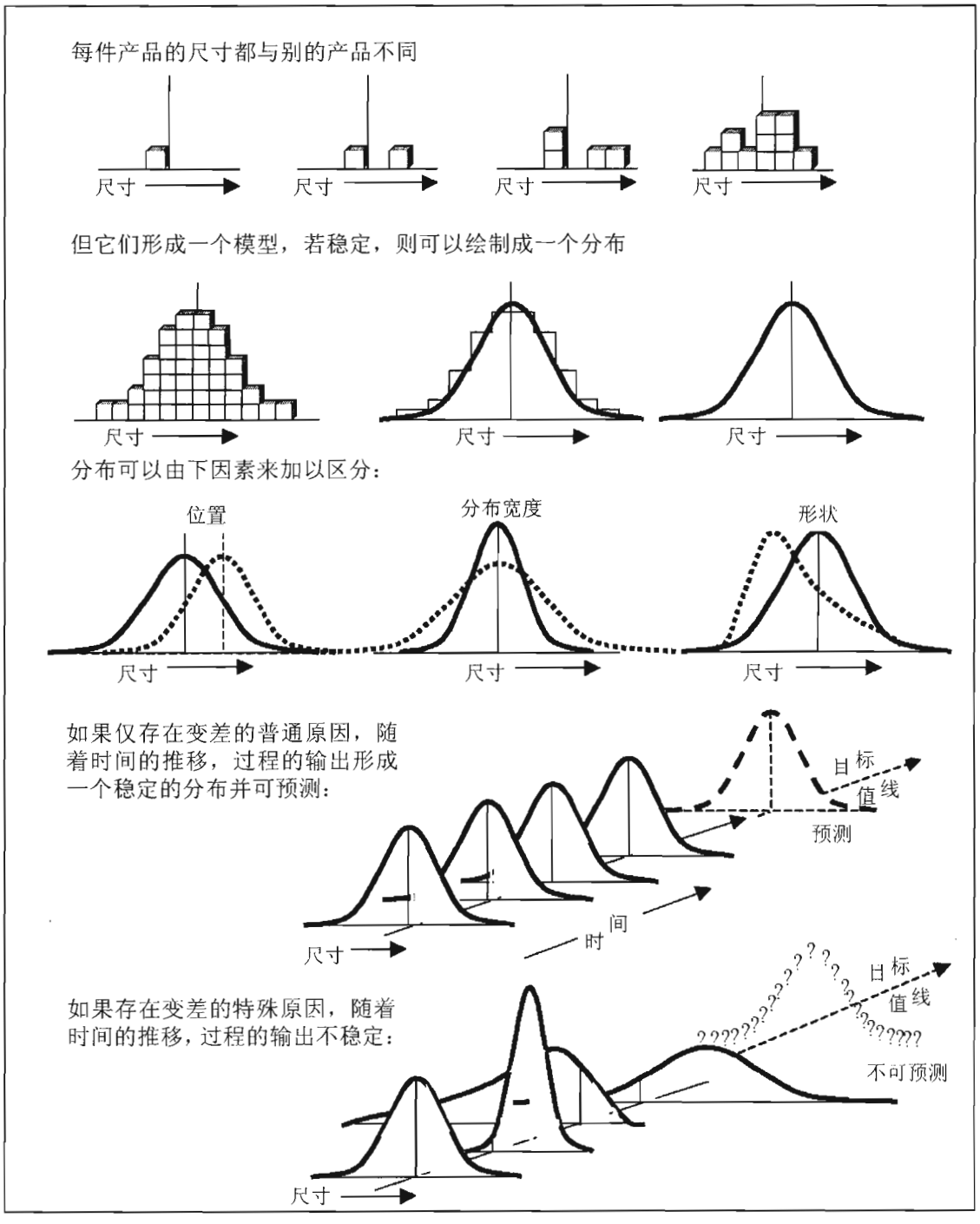


图 I.2：变差：普通原因和特殊原因

第一章 — 第 C 节

变差的普通原因和特殊原因

为了有效地使用过程控制的测量数据，了解变差的概念是很重要的，见**图 I.2** 所示。

没有两件产品或特性是完全相同的，因为任何过程都包含很多引起变差的原因。产品间的差异可能很大，也可能小得无法测量，但这些差异总是存在的。例如一个经车床加工的轴的直径，容易受到由于机器（间隙、轴承磨损）、刀具（强度、磨损率）、材料（直径、硬度）、操作人员（供给速率、对中准确度）、维修（润滑、易损零件的更换）及环境（温度、动力供应的稳定性）和测量系统等原因造成的潜在变差的影响。再举一个例子，处理一张发票所需的时间，随着实施各个步骤的人、他们所用设备的可靠性、票据本身的准确性及易读性、所遵守的程序及办公室中其它工作的工作量的不同而不同。

过程中变差的有些原因引起短期的、零件间的差异，例如，机器和其固定装置间的游隙和间隙，或记帐人员的准确性等等。另外一些变差原因，只有经过较长一段时期后才对输出造成变化，这些变化可能如在工具或机器的磨损下逐渐地发生，或因程序的改变而产生的阶段性变化，或是当诸如动力不稳定造成环境改变的情况下产生的不规则变化等。因此，测量的周期和测量时的条件很关键，因为这会影响所观测到的总变差的数量。

虽然单个的测量值可能完全都不同，但是收集成一组数据之后，它们会趋于形成可以描述成一个分布的模式（见**图 I.2**），这个分布可依下列特性加以区别：

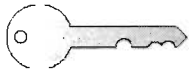
- 位置（代表值或“中心”值）
- 分布宽度（从最小值至最大值之间的距离或“宽度”）
- 形状（变差的模式 —— 是否对称、偏斜等）

从最低要求的角度来看，变差问题总是被简单化：位于规范的公差范围内的零件是可接受的，超出规定公差范围之外的零件是不可接受的；按时完成报告是可接受的，延迟的报告是不能接受的。*然而，我们的目标应该是以最小的变差保持目标值位置*。为了管理过程并减少变差，我们应该追踪造成变差的来源，首先，把变差的来源区分成普通原因和特殊原因。

普通原因 指的是那些始终作用于过程的多种的变差来源。随着时间的推移，一个过程中的普通原因会产生一个稳定的且可重复的分布，我们称之为“处于统计上受控制的状态”、“统计

受控”，或有时简称“受控”。普通原因产生的是一个处于偶然原因下的*稳定*系统，如果一个过程只存在变差的普通原因且不改变时，该过程的输出是可以预测的。

特殊原因（通常也称可查明的原因）指的是这样的因素，它们引起的变差仅影响某些过程输出。这些因素通常是间歇发生的、不可预测的。特殊原因的信号是：一个或多个点超出控制限，或在控制限内的点出现非随机的模式。除非变差的所有特殊原因都被识别出来并且采取了措施，否则它们将继续以不可预测的方式来影响过程的输出。如果存在变差的特殊原因，随着时间的推移，过程的输出将不稳定。



由于特殊原因造成的过程分布的改变有些有害，有些有利，有害时应识别出来并消除它，有利时可识别出来并使其成为过程中恒定的一部分。对于一些成熟的过程[2]，顾客可能会给予特许，让存在一个稳定发生的特殊原因的过程进行下去。这样的特许通常要求：过程的控制计划能够确保符合顾客的要求，并且保证过程不受别的特殊原因的影响（见**第一章，第 E 节**）。

[2] 已经经历过几个持续改进循环的过程。

此页留白

局部措施和对系统采取的措施

局部措施

- 通常用来消除变差的特殊原因
- 通常由与过程直接相关的人员来实施
- 通常可纠正大约 15%的过程问题

对系统采取的措施

- 通常用来消除变差的普通原因
- 几乎都需要采取管理上的纠正措施
- 通常可纠正大约 85%的过程问题

第一章 — 第 D 节

局部措施和对系统采取的措施

前面讨论的两种变差，和消除[3]变差必须采取的措施之间，有着很重要的关系。

简单的统计过程控制技术能探测出变差的特殊原因，发现变差的特殊原因并采取适当措施，通常是直接操作该过程的相关人员的责任。尽管有时纠正时要求管理者介入，但解决变差的特殊原因通常要求采取局部措施，即由直接相关人员来实施。这一点尤其体现在早期的过程改进中，当某人对特殊原因成功地采取适当的措施后，其余的问题通常要求管理者采取行动而不是靠局部措施来解决的了。

相同的简单的统计过程控制技术也能显示变差的普通原因的范围，但分离这些原因需要更详细的分析。纠正变差的普通原因通常是管理者的责任，有时，直接操作过程的相关人员能更好地识别这些普通原因，并将它们报告给管理人员来采取措施。总的来说，解决变差的普通原因通常需要从系统上采取措施。

过度的过程变差中，只有相当小的一部分 —— 工业经验建议约为 15% —— 是可以靠与操作直接相关的人员从局部上纠正的。大部分 —— 其余的 85% —— 是只能通过管理者从系统上采取的措施来纠正的。采取的措施的类型如不正确将给机构带来巨大损失，不但劳而无功，而且会延误问题的解决甚至使问题恶化。例如：当需要管理者对系统采取措施（如选择提供稳定输入材料的供应商）时，却采取了局部措施（如调整机器）[4]，这是不对的。因此，为了更好地减少过程变差的普通原因，必须需要管理者和与操作直接相关的人员的密切合作。

---

[3] W. E. 戴明博士在许多文章中讨论了这个问题，例如，参见 戴明 （1967）。
[4] 这些发现首先由 J. M. 朱兰博士提出，并已在戴明博士的经验中得到证实。

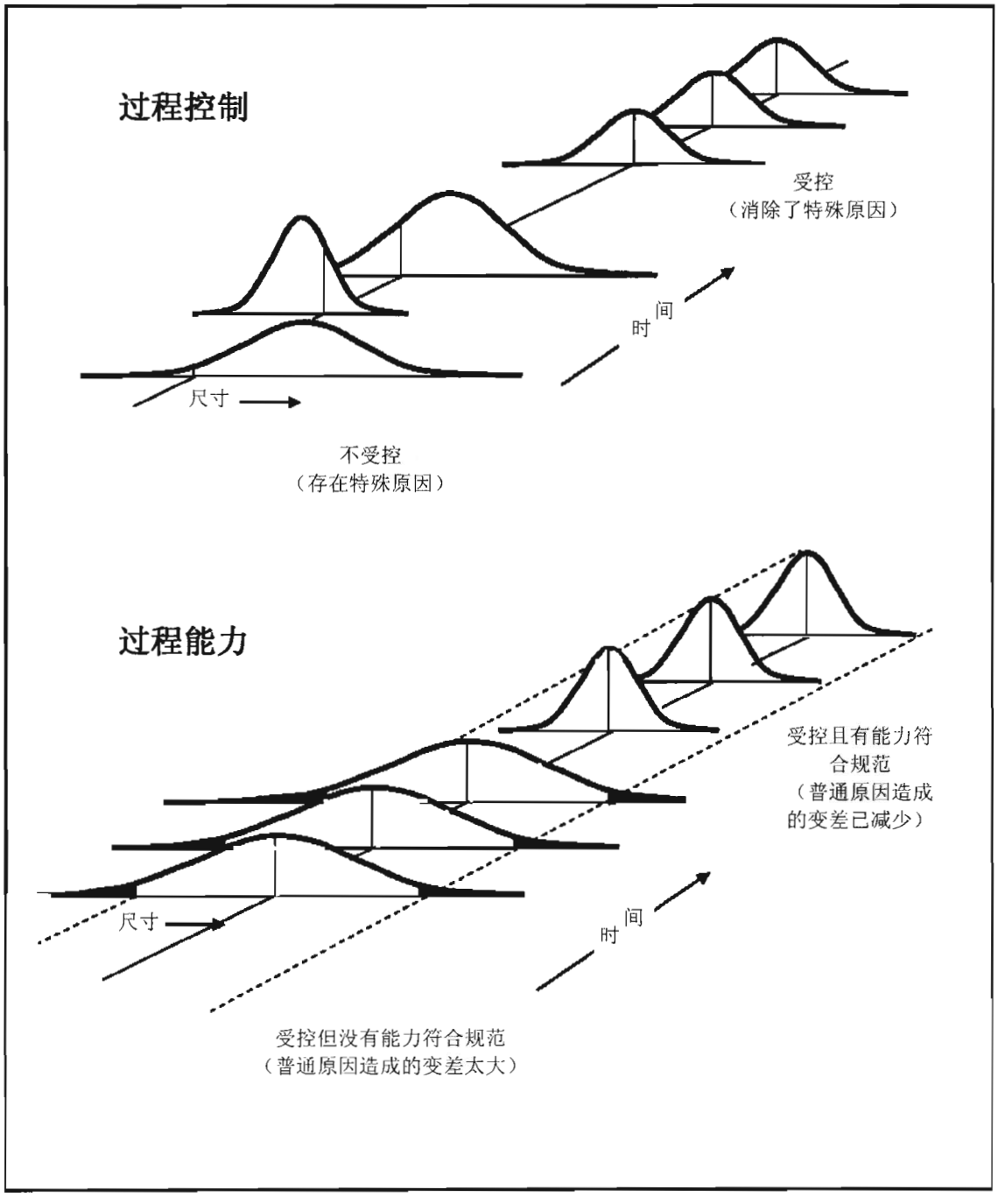


图 I. 3：过程控制及过程能力

第一章 — 第 E 节

过程控制和过程能力

过程控制系统是整个业务管理系统[5]的有机组成部分，这样，过程控制系统的目的就是对过程当前和将来的状态作出预测，以便对影响过程的措施作出经济合理的决定。这些决定需要平衡不需控制时却采取了措施（过度控制或干预）和需要控制时未采取措施（控制不足）[6]的风险，我们应该根据前面提到的变差的两种原因 —— 特殊原因和普通原因的内容处理好这些风险。（见**图 I.3**）

过程在统计控制下运行指的是仅存在造成变差的普通原因。这样，过程控制系统的一个作用是：当出现变差的特殊原因时提供统计信号，和当不存在特殊原因时避免提供错误信息。从而对这些特殊原因采取适当的措施（或是消除它们，或是如果有用，则永久地保留它们）。



过程控制系统可以作为一个一次性的评估工具，但是过程控制系统的真正的好处只有在把它作为一个持续学习的工具而不是符合性判定的工具（好 / 坏、稳定 / 不稳定、有能力 / 没有能力等）使用才能实现。

控制与能力

讨论过程能力时，需考虑两个在一定程度上相对的概念：

- 过程能力
- 过程性能

过程能力由造成变差的普通原因来确定，通常代表过程本身的最佳性能，当过程是在统计受控状态下运行时，过程能力可以得到证实，它与规范无关。

然而，内外部的顾客更关心**过程性能**，也就是过程总的输出以及与他们要求（定义为规范）的关系，而不管过程的变差。

[5] 参见 TS 16949。
[6] 参见《W. E. 戴明》，（1994）和 W. Shewhart，(1931)。

一般来说，由于统计受控的过程服从可预测的分布，从该分布中便可以估计出符合规范产品的比例。只要过程保持统计受控状态并且其分布的位置、分布宽度及形状不变化，就可以继续生产相同分布的符合规范的产品。

一旦过程处于统计受控，对过程采取的第一个措施就是将过程位置定在其目标值上。如果过程的分布宽度是不可接受的，该策略则允许生产最小量不符合规范的产品。通常要求对系统采取措施从而减少普通原因引起的变差来改进过程的能力（以及其输出），从而始终符合规范。为了进一步具体了解过程能力、过程性能以及与之相关的假设，更详细的讨论请参见**第四章**。

首先应通过探测并消除变差的特殊原因，使过程处于统计受控状态，这样其性能就可预测了，并可评定其满足顾客期望的能力。这是持续改进的基础。

每个过程可以根据其能力和是否受控进行分类，过程可分成 4 类，如下表所示：

统计受控

		受控	**不受控**
能力	**可接受**	*1 类*	*3 类*
	不可接受	*2 类*	*4 类*

一个可接受的过程必须是处于统计受控状态的，且其能力（普通原因变差）必须小于公差。理想的情况是 1 类的过程，该过程统计受控且有能力满足公差的要求，是可接受的。2 类过程是受控过程但因普通原因造成的变差过大，必须减少。3 类过程符合要求可接受，但不是受控过程，需要识别变差的特殊原因并消除它。4 类过程即不是受控过程又不可接受，必须减少变差的特殊原因和普通原因。

在有些情况下，顾客也许允许制造商运行 3 类过程，这些情况包括：

- 顾客对规范要求之内的变差不敏感（见**第四章**讨论的损失函数）。

- 对特殊原因采取措施所发生的成本比任何所有顾客得到的利益大，因经济上的考虑，可允许存在的特殊原因包括刀具磨损、刀具重磨、周期的（季节的）变化等。
- 特殊原因已被识别，其记录表明具有一致性和可预见性。

在这些情况下，顾客可能会有以下要求：

- 过程是成熟的。
- 允许存在的特殊原因在已知一段时间内表现一致。
- 过程控制计划有效运行，可确保所有的过程输出符合规范并能防止出现别的特殊原因或允许存在的特殊原因表现不一致。

同时参见**附录 A** 中的随时间变化的过程的讨论。

过程指数



在汽车工业中可接受的做法是在一个过程被证明处于统计受控状态后才计算其过程能力（普通原因变差），这些结果被用作预测过程如何进行的基础，根据从不稳定或不可重复的过程中得到的数据进行预测是没有什么价值的。特殊原因是造成分布的形状、分布宽度或位置改变的原因，因此会很快使关于过程的预测失效。**就是说，为了将各种过程指数和比率用作*预测工具*，要求用于计算它们的数据是从处于统计受控状态的过程收集的。**

过程指数可以分成两类：一些是使用子组内变差估计进行计算，另一些是当估计给定的指数时使用总变差估计，（参见**第四章**）。

建立各种不同的指数是因为：

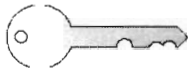
1) 没有一种指数可以广泛地应用到所有过程中，和

2) 没有一个过程可以由一种指数完全描述。

例如：推荐同时使用 C_p 和 C_{pk}（见**第四章**），并与图表技术一起使用，可以更好地理解估计的分布和规范界限的关系。在某种意义上说就是比较（并且努力使两者一致）“过程的声音”和“顾客的声音”（参见 Sherkenbach (1991)）。



所有的指数都有不足之处且可能产生误导。任何从计算的指数中得到的推断，都应该由对计算这些指数所用的数据的适当解释来驱动。



汽车公司已经设定了对过程能力的要求。读者有责任与他们的顾客联系从而确定使用哪些指数。在有些情况下，可能最好是什么指数都不用。记住有很多能力指数的公式中包括产品规范，这一点很重要。如果规范不合适，或不是基于顾客的要求，努力使过程来符合这些规范，将浪费大量时间和精力。第四章的内容涉及了所选择的能力和性能指数，并包括了使用这些指数时的注意事项。

此页留白

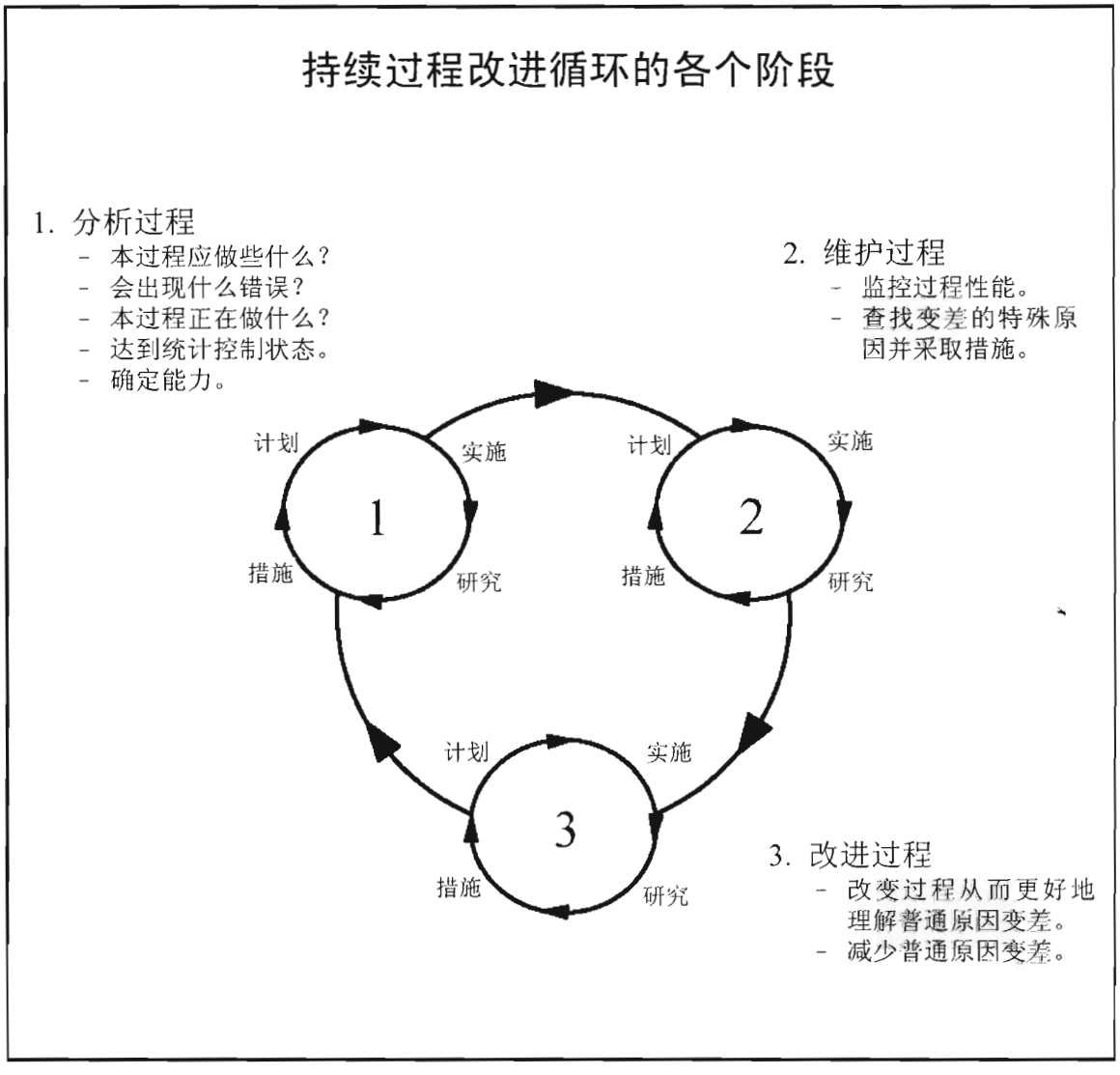


图 1.4：过程改进循环的各个阶段

第一章 — 第 F 节

过程改进循环及过程控制

在对过程应用持续改进这一概念时，可以使用三阶段的循环（见**图 I.4**），每一个过程都会处于改进循环这三个阶段中的某个阶段。

1. 分析过程

当考虑进行过程改进时，必须对该过程有基本的了解，为了对过程有好的理解，必须回答以下问题：

- 本过程应该做什么？
  - √ 在过程的每个步骤，期望得到什么？
  - √ 交付结果的可操作的定义是什么？
- 会出现什么问题？
  - √ 在过程中有什么会发生变化？
  - √ 关于过程变差我们了解什么？
  - √ 哪些参数对变差是最敏感的？
- 本过程正在做些什么？
  - √ 本过程是否在生产废品或需要返工的产品？
  - √ 本过程产生的输出是否处于统计受控状态下？
  - √ 本过程是否有能力？
  - √ 本过程是否可靠？

很多在*《APQP》手册*[7]中讨论的技术，可以用于较好地理解过程，这些活动包括：

- 小组会议
- 与开发或运作该过程的人员（“主题事务专家”）商讨
- 评审过程的历史
- 进行失效模式及后果分析（FMEA）

本手册所述的控制图也是应该在**过程改进循环**中使用的有力工具。这些简单的统计方法用来帮助大家区别变差的普通原因和特殊原因。变差的特殊原因必须被提出。当达到了统计控制状态后，便可以评定过程长期能力的当前水平（见**第四章**）。

[7] 戴姆勒克莱斯勒、福特和通用汽车（1995）。

2. 维护（控制）过程

一旦对过程有了较好的理解，就必须使过程维持在一定的能力水准上。过程是动态的并且会变化。必须监控过程的性能，因此要采取有效的措施来防止过程发生不希望的变化。同时必须了解所希望的变化并使之保持稳定。本手册介绍的简单的统计方法在这方面可以有帮助。制作及使用控制图或其他的工具，可以对过程进行有效地监控。当所使用的工具表明过程已改变，就应立即采取有效的措施隔离变差原因，并对它们采取措施。

很容易就会停止在本**过程改进循环中**的第二阶段。重要的是要意识到任何一个公司的资源都是有限的。一些、或是许多过程应处于这一阶段。然而，如果不能进展到本循环的下一阶段将导致一个明显的竞争上的劣势。要达到“世界级”水准，就要求用稳定的有计划的努力来进入循环的下一阶段。

3. 改进过程

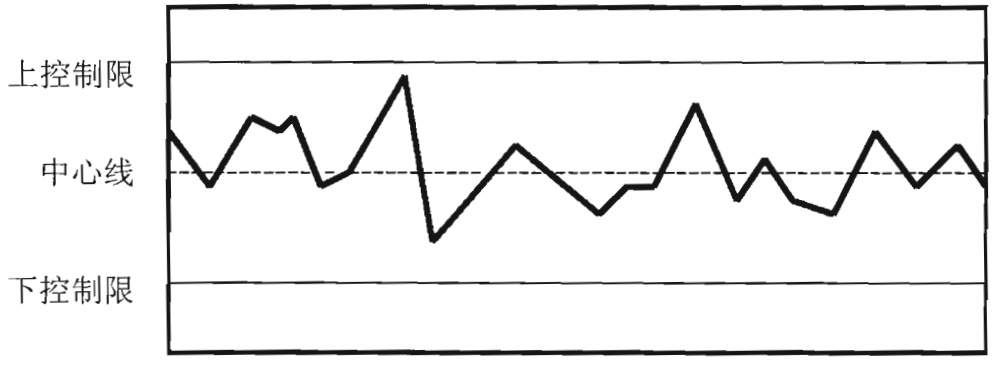
到达这一点，已经设法使过程稳定并已维持。但是，对于有些过程，顾客甚至会对工程规范内的变差表示敏感（见**第四章**）。在这些情况下，持续改进的价值只有在变差减小后才能实现。为此要使用额外的过程分析工具，包括更先进的统计方法，例如：实验设计及先进的控制图等。**附录 H** 列出了一些有用的参考文献用于进一步的研究。

通过减小变差来改进过程主要包括有目的地向过程中引入变化并测量其效果。目的是更好地理解过程，使变差的普通原因可以进一步减小，其意图是改进质量使之处于更低的成本。

当新的过程参数确定后，这种循环便回转到分析过程。由于进行了某些改变，应重新确定过程稳定性。过程便不断围绕**过程改进循环**运转。

此页留白

控制图



1. 收集

- 收集数据并描点在图上

2. 控制

- 从过程数据计算试运行控制限
- 识别变差的特殊原因并采取措施

3. 分析和改进

- 量化普通原因变差，采取措施将它减少

重复此三阶段以持续地改进过程

图 I.5：控制图

第 I 章 — 第 G 节

控制图：过程控制和改进的工具

W. E. 戴明博士在他的书里[8]指明了在过程控制方面经常犯的错误：

> “错误 1，将事实上属于系统（普通原因）的变差，描述成特殊原因的变差或错误。
>
> 错误 2：将事实上属于特殊原因的变差或错误，描述成系统（普通原因）造成的。
>
> 第一种错误的典型例子是过度调整（*干预*），第二种错误的典型例子是从来不试着找出特殊原因。”

为了在生产中有效地管理变差，必须有一个探测特殊原因的有效方法。有一种常见的误解就是直方图可以做此用途。直方图用图形表示了过程变差的分布，研究分布形式以确认过程变差是对称的、单峰的，并符合正态分布。



不幸的是，正态并不保证过程没有特殊原因在起作用，也就是说，某些特殊原因可能在不改变其对称性和单峰性的情况下改变过程。同样一个非正态分布也可能没有特殊原因，但它的分布是非对称的。

基于时间的统计和概率方法的确提供了必要且足够的方法判定是否有特殊原因存在。尽管在这个任务中有几类有用的方法，但最为通用和稳健的方法却是由沃尔特·休哈特博士建立和实施的控制图类型。贝尔实验室[9]的沃尔特·休哈特博士在二十世纪的二十年代研究过程时，首先区分了可控制的和不可控制的变差，就是由于我们所说的普通及特殊原因产生的。他发明了一个简单有力的工具来区分它们 —— 控制图。从那时起，成功地把控制图应用于各种过程控制和改进的场合。经验表明当出现变差的特殊原因时，控制图能有效地引起人们注意，并能反映必须通过系统或过程改进才能减少的普通原因变差的程度。

将上述错误降低到零是不可能的，休哈特博士意识到这一点，并建立了一个图示的方法通过长久运行，将两类错误的经济损失最小化。

[8] 戴明（1989）和戴明（1994）。
[9] Shewhart (1931)。

如果过程控制活动[10]确保没有来源于特殊原因的变差，过程可以被称为处于统计控制或“受控”，这种过程可以称为稳定的、可预测的和一致的，因为可以预测[11]过程的表现。

存在特殊原因会使过程失去统计控制或“失控”，这种不稳定的过程的表现是不可以预测的。

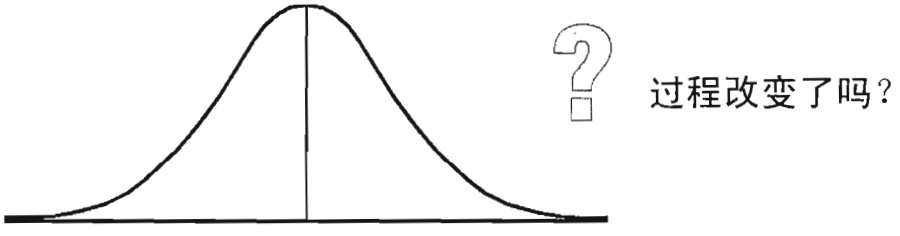
它们如何工作？

控制限

休哈特博士建立控制图时，已经关注到控制图的经济性，即，只有出现特殊原因时，才采取措施。为此，可将样本的统计量与控制限做比较。但是，这些控制限是如何确定的？

考虑一个可用正态形式描述的过程分布，目的是确定特殊原因何时会影响它，换一种说法是“从上次观察开始，或在抽样的期间，过程是否改变？”

> 休哈特的数据展示的两个规则：
> *数据应该总是以这种方法保存：使证据保存在这些数据中，而所有的预测都可能由这些数据作出。任何时候使用均值、极差或直方图汇总数据时，如果该数据基于时间做展示的话，汇总应该不能误导用户采取任何使用者不愿采取的措施。*



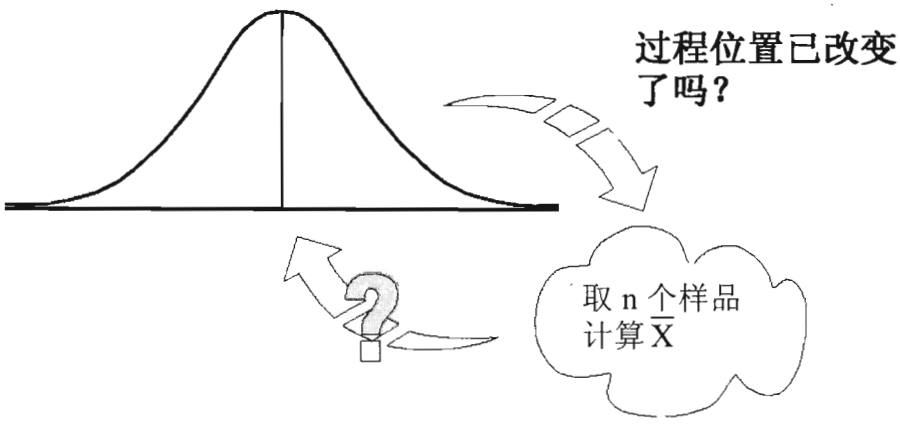
由于正态分布由其过程位置（均值）和过程宽度（极差或标准差）描述，这个问题就变成：过程位置或过程宽度改变了吗？

只考虑位置，可以用什么方法判定过程的位置是否改变？一种可能是看

[10] 通过使用过程信息来识别和减少特殊原因的存在或侦查它们并去除它们出现时的影响。

[11] 即使采用了所有可能的方法，有些风险仍然存在，实际上对将来措施的预测信心并不可以仅由统计方法决定，也需要对于主题事务的专业知识。

过程生产的每一个零件，但是那通常是不经济的，替代的方法是使用过程样本，并计算样本的均值。



如果过程***没有*** 改变，样本的均值等于分布的均值吗？

回答是：很少发生。但这怎么可能？毕竟，过程没有改变。难道这不意味着过程均值保持相同吗？原因是样本的均值只是过程均值的估计。

说得更明白一点，取一个样本容量为 1 的样本，那么样本的均值就是该样本的单个值，从整个分布中随机取这样的样本，读数将最终覆盖整个过程范围，可使用公式：

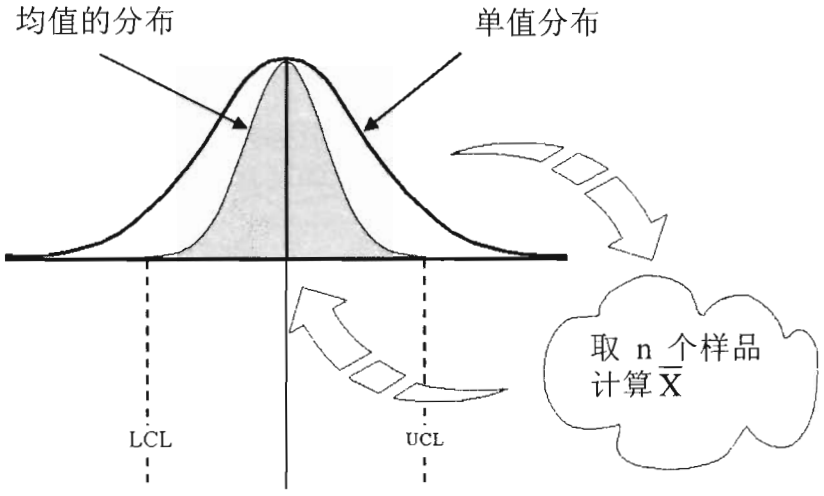
$$\text{均值分布的范围} = \left(1/\sqrt{n}\right) \text{过程范围}$$

对于样本容量为 4 的样本，样本的均值的范围将是过程范围的 $1/\sqrt{4} = 1/2$，对于样本容量为 100 的样本，它的范围将是过程范围[12]的 $1/\sqrt{100} = 1/10$。

休哈特用这种样本分布建立了一个“统计受控”的可操作的定义，首先，从过程是统计受控的假设出发，即，除非被证明有罪，否则就是清白的，然后，将样本与使用±3 标准差限[13]的样本分布比较，这些称为控制限。如果样本超出这些控制限，那么有理由相信存在特殊原因。更进一步说，就是期望所有（随机）样本在这些控制限之间显示随机的顺序。如果一组样本显示了一个模式，那么有理由相信有特殊原因存在（见**第一章，第 C 节**，和**第二章，第 A 节**）。

[12] 见**中心极限定律**。

[13] 休哈特选择±3 的标准差限作为经济性地控制过程的界限。



*由于**抽样的变差***

总的来说，为了建立控制图，我们计算：

中心线 ＝ 分析的统计量的均值

UCL ＝ 上控制限 ＝ 中心线 ＋3 × 均值的标准差

LCL ＝ 下控制限 ＝ 中心线 −3 × 均值的标准差

方法：

由于控制图提供了对“统计受控”的可操作的定义，它们在改进循环的每个步骤都有用（见**第一章，第 F 节**），在每个步骤中，都应该使用 PDSA[14] 循环。

对现存数据的分析

对于循环的分析和改进步骤：

- 评估数据
  - √ 衡量指标合适吗？即，是否反映了过程的属性，并关系到关键业务的因素？
  - √ 数据一致吗？即，所有收集数据的方面都使用相同的可操作的定义吗？
  - √ 数据可靠吗？即，是否使用经策划的数据收集方案？
  - √ 测量系统合适和可接受吗？

- 数据描点：
  - √ 按时间顺序描点。
  - √ 与控制限比较，判定是否有点超出控制限。

[14] “计划-实施-研究-行动”循环，即我们所熟知的 PDCA。

√ 与中心线比较，判定是否有任何清晰可辨的非随机模式。

- 分析数据
- 采取适当的措施

然后，将数据与控制限相比来确定变差是否稳定，而且是否仅是由普通原因引起的。如果有证据存在变差的特殊原因，应对过程进行研究从而进一步确定影响它的是什么。在采取措施（见**第一章，第 D 节**）后，再进一步收集数据，如有必要可重新计算控制限，若还出现任何另外的特殊原因，则继续采取措施。

当所有的特殊原因被消除之后，过程在统计受控状态下运行，可继续使用控制图作为监控工具，也可计算过程能力。如果由于普通原因造成的变差过大，则过程不能生产出一致的符合顾客要求的产品。必须调查过程本身，而且一般来说必须采取管理措施来改进系统。

控制

- 在开始前评估数据收集方案：
  - √ 衡量指标合适吗？即，是否反映了过程的属性，并关系到与关键业务因素？
  - √ 数据一致吗？即，所有收集数据的方面都使用相同的可操作的定义吗？
  - √ 数据可靠吗？即，是否使用经策划的数据收集方案？
  - √ 测量系统合适和可接受吗？
- 方案确定后描点：
  - √ 与控制限比较，判定是否有点超出控制限。
  - √ 与中心线比较，判定是否有任何清晰可辨的非随机模式。
- 分析数据
- 采取适当的措施：
  - √ 继续运行，不采取措施，或
  - √ 识别特殊原因的来源并去除（如果结果不可接受），或加强（如果结果可接受），或
  - √ 继续运行不采取措施，并减少样本容量或频率，或
  - √ 启动一个持续改进的措施

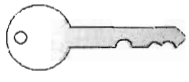
通常发现，尽管在过程初始设置期间已经对准了目标值，但实际的过程位置(μ)[15] 可能与该值不一致。对于那些实际

[15] 希腊字母 μ 用于表示实际的过程均值，由样本的均值（$\overline{X}$）估计。

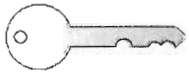
位置偏离目标值并且能很经济地使过程复位的过程应考虑重新调整以便使其与目标值一致（见**第四章，第 C 节**）。以上调整是假设该调整不会影响过程的变差。但情况可能不总是这样，我们应了解在重新调整过程位置后引起过程变差增加的原因，并依据顾客满意和经济性两方面评估它。

我们应不断地对过程的长期性能进行分析，这可以通过对现行的控制图进行周期的、系统的评审来完成。这可能会显示出特殊原因的新证据，经了解可能发现，一些特殊原因是有利的并对过程改进是有用的，其他的一些则是有害的，需要被纠正或消除。

改进循环的目的是理解过程及其变差，以提高它的性能。随着这种理解越来越成熟，对***产品变量*** 的持续监控的需求会变得越来越少 —— 特别是对文件化的分析显示变差的主要来源已经被有效地由其它方法控制住的过程。例如，一个过程的维护活动是变差的主要来源，那过程最好由预防性和预知性维护控制；如过程的设置是绝大部分变差的来源，过程最好由设置控制图控制。



对于“受控”的过程，改进工作的重点将经常放在减少过程中的普通原因变差上。减小了这种变差就会“缩小”控制图上的控制限（即经重新计算的控制限将相互靠近）。许多不熟悉控制图的人觉得这样做对过程的改进是一种“惩罚”。他们没有意识到如果一个过程稳定且控制限计算正确，过程错误地产生不受控的点的机会是相同的，与控制限间的距离无关（见**第一章，第 E 节**）。



应该提到的一点是控制限的重新计算问题。一旦经过合适的计算，并且如果过程中普通原因变差没有发生改变，则控制限就是合理的。出现变差的特殊原因的信号不需要重新计算控制限。用于长期分析的控制图，最好是尽可能少重新计算控制限，只有当过程发生改变时才会重新计算。

对于过程的持续改进，重复**改进循环**的三个阶段：**分析过程**，**保持（控制）过程**，**改进过程**，见**图 I.4**。

此页留白

控制图的益处

合理使用，控制图能够：

- 供操作者使用以对过程进行持续的控制。
- 有助于过程表现一致并可预测。
- 使过程达到：
  - 更高的质量
  - 更低的单位成本
  - 更高的有效能力
- 为讨论过程的性能提供共同的语言。
- 区分变差的特殊原因和普通原因，作为采取局部措施或对系统采取措施的指南。

第一章 — 第 H 节
控制图的有效使用和益处

有效地使用控制图可以获得重要的益处。控制图的收益和益处直接与下列事项有关：

管理哲学：公司是如何管理的会直接影响 SPC 的有效性。

下列是需要呈现事项的范例：

- 使组织关注减少变差。
- 建立一个开放的环境将内部竞争最小化，并支持跨功能团队。
- 支持和资助管理者和雇员在合理使用和应用 SPC 方面的培训。
- 展示对 SPC 应用和从合理应用 SPC 方面获得的益处的支持和兴趣。对那些区域定期参观并提出问题。
- 应用 SPC 以促进对工程过程中变差的理解。
- 对管理数据应用 SPC，并在日常的决策中使用这些信息。

以上事项支持 ISO 9000：2000 和 ISO/TS 16949:2002 中的要求。

工程哲学：工程如何使用数据开展设计，将会对最终产品的变差等级和类型有影响。

以下是工程可以有效使用 SPC 的一些方法：

- 使工程部门在整个设计过程中关注变差减少，如：设计更改的数量，可制造性和可装配性设计，人员的移动等。
- 建立一个开放的工程环境将内部竞争最小化，并支持跨功能团队。
- 支持和资助工程管理者和雇员在合理使用和应用 SPC 方面的培训。
- 应用 SPC 促进对工程过程中变差的理解。
- 对在设计开发中使用的有关测量和数据，要求理解其变差和稳定性。

- 支持由 SPC 信息分析提出目的旨在减少变差的工程更改。

制造：制造部门如何开发、操作设备和转换系统可以影响最终产品的变差等级和类型：

- 使制造部门关注减少变差，如，不同过程的数量，多夹具和多工具过程的影响，工具和设备的维护等。
- 建立一个开放的工程环境将内部竞争最小化，并支持跨功能团队。
- 支持和资助制造管理者和雇员在合理使用和应用 SPC 方面的培训。
- 应用 SPC 促进对制造过程变差的理解。
- 对在过程设计开发中使用的有关测量和数据，要求理解其变差和稳定性。
- 使用 SPC 信息分析支持旨在减少变差的过程更改。
- 在过程稳定前，勿将控制图发放到操作人员。应该在过程稳定后才将过程的职责转移给生产。
- 确保对 SPC 数据的适宜安排使雇员能最优化的使用。

质量控制：质量职能是对 SPC 过程的有效实施提供支持的一个关键组成部分：

- 支持对组织内管理者、工程和雇员的 SPC 培训。
- 指导组织内关键人员合理应用 SPC。
- 协助识别和减少变差来源。
- 确保 SPC 数据和信息的最优化使用。

生产：生产人员是直接与过程相关的，可以影响过程变差，他们应该：

- 在 SPC 应用和问题解决方面被适当培训。
- 理解在过程控制和改进中使用的测量和数据的变差和稳定性。
- 条件变化时，要小心并沟通。
- 更新、维护和展示所负责的区域内的控制图。

- 从收集的信息上了解过程并对过程实施影响。
- 实时使用 SPC 数据运行过程。

应用以上列出的概念将导致一个理解和减少变差的适当环境。然后将**计划 - 实施 - 研究 - 行动**的过程用于进一步的改进过程。

使用 SPC 监控过程至少可使过程保持在它当前性能水平上。但是，当 SPC 用作指导过程分析的方法时，就可以达到真正的改进。

适当使用 SPC 可以使一个组织关注产品和过程的质量改进。

此页留白

第二章

控制图

此页留白

介绍：

控制图能够被用来监测和评价一个过程。有两种类型的控制图，一种为计量型数据控制图，另一种为计数型数据控制图。过程本身将决定使用哪种类型的控制图。如果取自于过程的数据是离散型的（例如：通过 / 不通过，可接受 / 不可接受）则使用计数型数据控制图。如果取自于过程的数据是连续型的（例如：直径，长度）则使用计量型数据控制图。每种类型的控制图都结合了一些图表以用于更进一步的评价过程。

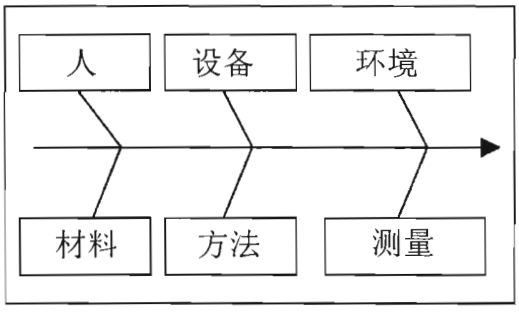
一些常用的图表类型有：均值（$\overline{X}$）图、极差（R）图、单值（I）移动极差（MR）图等，这些都是属于计量型图表家族。基于个数或百分比数值（例如：p、np、c、u）的图表是则属于计数型图表家族。

当在一个组织内引进控制图时，最重要的是列出优先考虑的问题，并在最需要使用的地方使用控制图。问题的信号可以来自于成本控制系统、使用者的抱怨、内部瓶颈等。在关键的整体质量测量上使用计数型控制图往往把我们指引到某一特定的过程区域，而此过程区域可能需要更详细的检查包括可能使用计量型控制图。

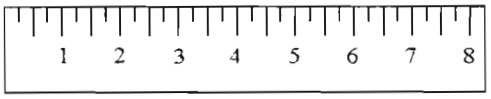
如果可行的话，总是首选计量型数据，因为在同样的工作量下，计量型数据比计数型数据提供了更多有用的信息。例如，计数型数据需要抽取比计量型数据大的样本容量才可以在结果上有同样的置信度。如果使用计量型测量系统是不可行的，则不应该忽视对计数型数据分析的应用。

分析过程的控制图

过程



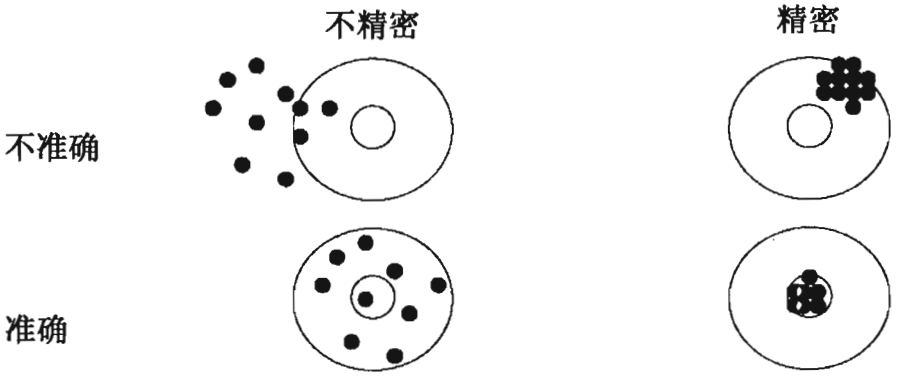
过程评价需要测量



结果是基于测量的判定

结果举例	控制图举例
• 轴的外径 • 从基准面到孔的距离（mm） • 电阻（Ω） • 轨道车通过时间（h） • 工程更改处理时间（h）	用于测量值的均值的 $\bar{x}$ 图 用于测量值的极差的 R 图

测量方法要始终产生准确和精密的结果



注：当前有的计量学文献将准确度定义为没有偏倚。

图 II.1：计量型数据

计量型控制图

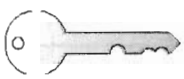
当过程及其输出能够使用计量型测量时（见**图 II.1**）计量型控制图代表了统计过程控制的典型应用。

计量型控制图能被广泛应用有如下原因：

- 量化的值（例如：“直径为 16.45 mm”）比简单的是–否陈述（*例如：“直径符合规范”*）*包含的信息更多*；
- 虽然收集计量型数据通常比收集计数型数据（例如，通过 / 不通过）花费要多，但是一个较小的样本就能快速的得出结论，由于效率的提高，这能够导致总的测量成本更低；
- 因为在作出可靠的决定之前，只需**检查少量**的产品，“不受控”信号和采取纠正措施之间的时间间隔通常是较短的；
- 用计量型数据，可以分析一个过程的性能，可以量化所作的改进，即使每个单值都在规范界限之内。这一点对寻求持续改进来说是很重要的。

一个计量型控制图可以通过其过程变差，零件间的变差和过程的均值来解释过程数据。由于这个原因，计量型控制图常常被成对制作和分析，一张图用于过程均值，另一张图用于过程变差。

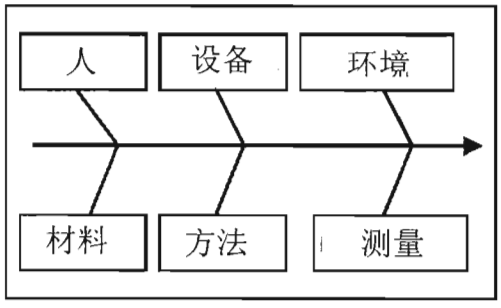
最常用的一对是 $\overline{X}$ 和 R 图。$\overline{X}$ 是一个小的子组的算术均值—— 对过程均值的一个测量；R 是每个子组的极差（最大值减去最小值）—— 对过程变差的一个测量。然而，其他的一些控制图在某特定的环境下可能更有用。



$\overline{X}$ 和 R 图或许是最常用的控制图，***但它们并不是适合于所有的情形。***

将过程分类的控制图

过程



根据结果的分类进行判定



结果举例	控制图举例
车不漏 灯不亮 孔径过小或过大（用通 / 止规评价） 发运给经销商的货准确或不准确	*P* 图用于监测不合格品的比例 *np* 图用于监测不合格品数量
挡风玻璃上的气泡 门上的油漆缺陷 发票上的错误	*c* 图用于监测不合格数 *u* 图用于监测每个单位上的不合格数

符合性准则必须被清楚地定义，判定是否满足准则的程序必须始终给出一致的结果

接收准则示例	评价
表面不能有瑕疵	什么是瑕疵
表面应在颜色、纹理、光亮上符合样件标准并没有缺陷	符合到什么程度？ 检验员同意吗？ 如何测量？
任何用作镜子衬底的材料不应该使衬底的着色可见	• 对谁可见？ 在什么条件下

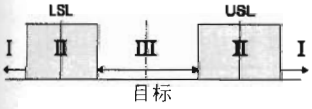
图 II.2：计数型数据

计数型控制图

尽管控制图大多数情况都与计量型数据联系在一起，但还是为计数型数据开发了控制图；见**图 II.2** 计数型数据是离散的数值，并且可被计数从而用来记录和分析。由于属性的分析，数据可被分成清楚的类别（合格 / 不合格、通过 / 失败、通 / 止、出席 / 缺席、低 / 中 / 高）。例如所要求标志的出现、一个电路的导通性、喷漆表的外观分析、或文件打印的错误。

其他的例子如：特性是可测量的，但是其结果只是简单地记录成是 / 否的形式，例如用通 / 止规来测量轴的直径是否合格，用目视或量具来检查门边缘是否可接受，或交货是否及时。计数型数据控制图是很重要的，原因如下：

- 计数型数据的情况存在于任何技术或行政管理过程中，所以可以在很多场合下应用计数型数据分析技术，最大的困难是对什么是合格下一个精确的可操作的定义。
- 在很多情况下已有计数型数据 —— 现有的检验记录、修理日志、拒收材料的筛选等。在这些情况下，不需要额外的努力去收集数据，所要做的仅仅是将这些数据转化成控制图的形式。



- 在必须收集新数据的地方，获得计数型数据通常是很快的且不需很多费用就可获得。由于使用简单的量具（例如，通 / 止规或目视标准），所以常常不要求专门的测量技能。很多场合要求有专门的测量技能，特别是零件处于“灰色区域”[16]时。
- 许多用于管理总结报告的数据是计数型的并且可以从控制图分析中获得益处。例如：废品率、质量审核和材料拒收。由于能够区分特殊原因和普通原因变差，控制图分析在解释这些管理报告时很有价值。

本手册将使用合格 / 不合格来进行计数型讨论，仅仅因为：

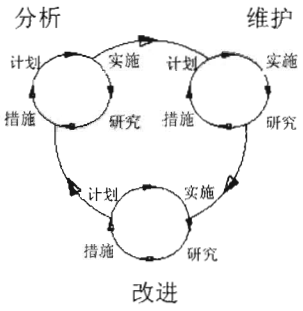
- 这些分类是“传统”上使用的；
- 刚开始走上持续改进之路的组织通常从这些分类开始；
- 文献上的许多例子采用这些分类。



不应该认为这些是唯一“可接受的”分类，或者计数型控制图不能用于 **1 类**过程；见**第一章，第 E 节**[17]。

[16] 参见《MSA》参考手册的计数型测量系统研究章节。
[17] 也可参见： Montgomery (1997)、Wheeler (1991, 1995)、Wise and Fair (1998)。

控制图的要素

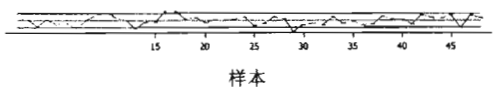


控制图的表示并没有一种唯一“被认可”的方式。但是控制图使用（见**第一章，第 E 节**）的理由必须被考虑到。只要是包含了如下这些要素的表格都是可接受的（见**图 II.3**）：

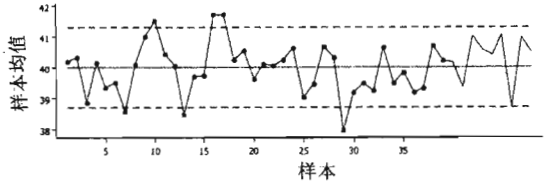
- (**A**) 适当的刻度

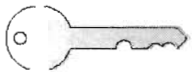
  刻度应该能够使过程自然的变差能够很容易被观察到。如果刻度产生了一个“窄”的控制图，则不能够分析和控制一个过程。

不适当



适当





- (**B**) UCL，LCL

  为了有能力确定超出界限这一表示特殊原因的信号，控制图要求有基于样本分布的控制限。为了过程的分析和控制，规范限***不*** 应该被用来代替控制限。

- (**B**) 中心线

  为了能够确定有特殊原因存在而显示的非随机模式，控制图要求有基于样本分布的中心线。

- (**C**) 子组顺序 / 时间线

  保持数据被收集时的顺序，可显示“何时”发生了特殊原因以及此特殊原因是否是时间导向的。

- (**D**) 不受控的点的识别

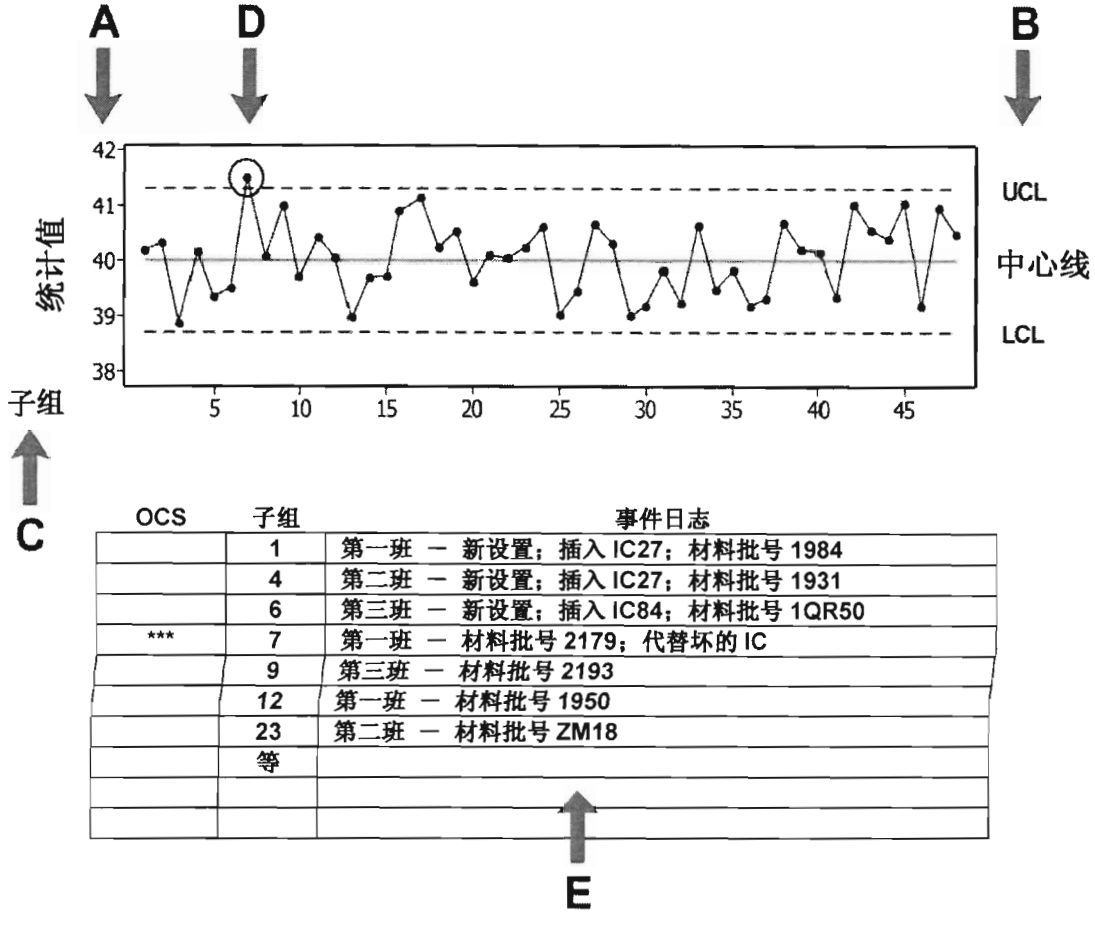
- 不受控的点应该在控制图上被识别出来。为了过程控制，当每一样本被描点后，应分析和识别特殊原因，同时周期性对控制图做整体的评审，以检查是否存在非随机模式。

- (**E**) 事件日志

  除了数据的收集、作图和分析外，应该收集额外的支持信息。这信息应该包括变差的任何潜在来源以及对

不受控信号（OCS）所采取的任何解决措施。这些信息应该记录在控制图上或一个单独的**事件日志**上。

> 如果各子组间过程没有任何的改变，则不用在过程事件日志上作记录。



OCS	子组	事件日志
	1	第一班 — 新设置；插入 IC27；材料批号 1984
	4	第二班 — 新设置；插入 IC27；材料批号 1931
	6	第三班 — 新设置；插入 IC84；材料批号 1QR50
***	7	第一班 — 材料批号 2179；代替坏的 IC
	9	第三班 — 材料批号 2193
	12	第一班 — 材料批号 1950
	23	第二班 — 材料批号 ZM18
	等	

图 II.3：控制图的要素

在过程最初的分析期间，关于哪些可能成为特定过程的潜在特殊原因的知识可能是不完善的。因此，最初的信息收集活动可能包括了那些被证明并不是特殊原因的事件。这样的事件不需要在后来的信息收集活动中被识别。如果最初的信息收集活动不是十分的全面，那么时间就会被浪费在识别引起非受控信号的那些特定事件上。

成为报告的一部分的控制图和需人工维护的控制图，应该包括下列“标题”信息：

- 什么：零件 / 产品 / 服务的名称和编号 / 标识
- 哪里：操作 / 过程步骤信息，名称 / 标识
- 谁：操作者和评价者
- 如何：使用的测量系统，名称 / 号码，单位（刻度）
- 多少：子组容量，均衡的 / 根据样本决定的
- 何时：抽样方案（频率和时间）

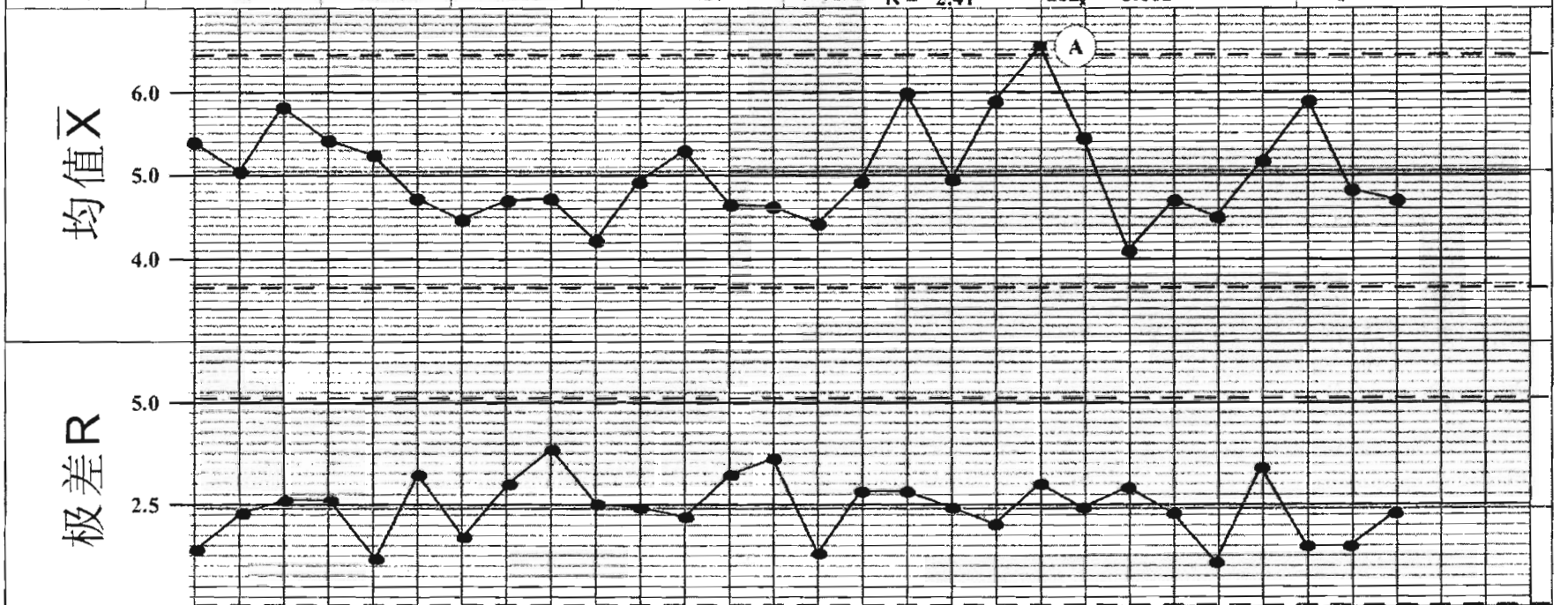
图 II.4 显示了一张包括了以上所有要素的完全人工绘制的控制图。

均值和极差图

表单编号：43

零件名称：	特性编号：	特性：	规范：	子组/样本容量	频率：	开始日期：	结束日期：
Qubic Release	LD013	DIOUEW长度	5.0±5.0	5	4组/每项	XX/XX/XX	XX/XX/XX

工序：	机器/夹具编号：	量具编号：	备用量具编号：	测量系统分析结果：	过程均值： $\bar{\bar{X}}$ = 5.050	$UCL_{\bar{X}}$ = 6.438	UCL_R = 5.09
VG10	FJG18	PSM05	PSM03	GRR:13% 过程	平均极差： $\bar{R}$ = 2.41	$LCL_{\bar{X}}$ = 3.662	LCL_R = 0.00



子组编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
时间	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX
日期	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX
x1	5.4	4.8	7.2	4.7	4.5	5.7	4.9	6.0	5.9	3.5	3.9	5.6	3.8	5.3	3.9	6.5	7.5	6.4	5.6	6.3	4.6	3.5	5.2	4.2	5.2	6.4	4.5	5.4
x2	6.2	6.3	4.6	4.3	5.7	4.2	3.7	3.0	3.9	5.7	4.2	4.5	3.2	6.3	4.7	4.7	6.4	4.2	6.7	8.1	5.8	5.0	6.1	4.4	5.1	6.4	5.2	5.6
x3	5.5	4.0	5.6	6.9	5.3	2.7	4.3	5.3	6.5	3.2	6.2	5.4	4.9	2.7	5.2	3.7	4.7	4.6	4.9	5.1	4.7	5.9	3.8	5.0	3.5	5.9	4.9	3.3
x4	5.1	6.0	5.1	6.8	5.4	5.1	4.1	3.9	2.7	3.6	6.3	4.4	5.0	4.4	4.3	4.2	6.7	5.5	5.4	5.5	5.1	3.0	4.3	5.0	6.9	4.9	4.0	5.4
x5	4.8	4.1	6.6	4.4	5.3	5.9	5.4	5.3	4.6	5.2	4.0	6.6	6.4	4.5	4.1	5.5	4.7	4.0	6.9	7.7	7.0	3.2	4.1	3.9	5.2	5.9	5.5	3.8
单值的和	27.0	25.2	29.1	27.1	26.2	23.6	22.4	23.5	23.6	21.2	24.6	26.5	23.3	23.2	22.2	24.6	30.0	24.7	29.5	32.7	27.2	20.6	23.5	22.5	25.9	29.5	24.1	23.5
平均值 $\bar{X}$	5.40	5.04	5.82	5.42	5.24	4.72	4.48	4.70	4.72	4.24	4.92	5.30	4.66	4.64	4.44	4.92	6.00	4.94	5.90	6.54	5.44	4.12	4.70	4.50	5.18	5.90	4.82	4.70
极差R	1.4	2.3	2.6	2.6	1.2	3.2	1.7	3.0	3.8	2.5	2.4	2.2	3.2	3.6	1.3	2.8	2.8	2.4	2.0	3.0	2.4	2.9	2.3	1.1	3.4	1.5	1.5	2.3

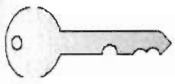
图 II.4a：控制图示例（正面）

OCS	子组	事件日志
	1	S1 – 新的设置；插入 MH18；材料批号 121950
	2	S1 – n/c
	3	S1 – 材料批号 081984
	4	S1 – n/c
	5	S2 – 材料批号 081950
	6	S2 – 新的设置；插入 DA14；继续材料批号 081950
	7	S2 – 材料批号 111951
	8	S2 – n/c
	9	S3 – 新的设置；插入 DM19；材料批号 111952
	10	S3 – 插入 DM23 取代坏掉的；延续材料批号
	11	S3 – 材料批号 11953
	12	S3 – n/c
	13	S1 – 新的设置；插入 JK10；材料批号 111954
	14	S1 – n/c
	15	S1 – 材料批号 111955
	16	S1 – n/c
	17	S2 – 材料批号 111956
	18	S2 – 使用了候补操作员 – D.A.
	19	S2 – 材料批号 111957
A	20	S2 – 差的材料– 停止生产；对替换下来的整批材料进行红色标示并隔离。
		挑选产品 – 发现 21 个不合格零件
	21	S3 – 新的设置；插入 JK28；材料批号 111958
	22	S3 – n/c
	23	S3 – 材料批号 081943
	24	S3 – n/c
	25	S1 – 新的设置；插入 GG16；材料批号 031942
	26	S1 – n/c
	27	S1 – 材料批号 111940
	28	S1 – n/c

注：Sx 表示班次；n/c 表示过程无变化

图 II.4b：控制图示例（背面） —— 事件日志

第二章 — 第 A 节
控制图过程
准备步骤



在使用控制图以前，需要有几个准备步骤：

- √ 建立适合行动的环境。
- √ 定义过程。
- √ 根据如下因素以确定用来作控制图的特征或特性：
  - ■ 顾客的需求。
  - ■ 当前的和潜在的问题区域。
  - ■ 特性之间的相关性。

注意

变量之间的相关性不是指因果关系。在缺乏对过程的了解时，可能要设计一个试验来验证这些关系及其显著性。

- √ 定义特性

  必须可操作地定义其特性，这样结果就能够传给所有有关人员进行沟通，它今天的意义与昨天的是一样的。这包括规定收集哪些信息，在何处、如何以及在什么条件下收集。

  一个可操作的定义描述被评价的特性时，应确定该特性是定性的（离散型的）还是定量的（连续型的）。计数型控制图用于监测和评价离散型变量，而计量型控制图用于监测和评价连续型变量。

- √ 定义测量系统

  总过程变差由零件间的变差和测量系统变差组成。评价测量系统的变差对整个过程变差的影响以及变差是否可接受是非常重要的。

  周期性校准对于确认测量系统预期使用能力是不够的。除校准之外，必须评价测量系统对于预期的使用的适宜性。

关于这一点的详细内容参见*《测量系统分析》*（MSA）参考手册。测量系统的定义将决定哪一类控制图是适合的，计量型的还是计数型的。

√ 使不必要的变差最小化。

在开始研究之前应该减少变差的不必要的外部原因。这一点可能简单地意味着观察过程是否按预期的方式运行。目的是避免那些能够并且应当不用控制图就能纠正的明显的问题。这包括过程调整或过度控制等。在任何情况下，应保持过程事件日志以记录所有相关的事件，例如：工具更换、新的材料批次、测量系统改变等，这将有利于下一步的过程分析。

√ 确保抽样方案对于探测期望的特殊原因是适合的。

注意：尽管便利抽样和 / 或任意抽样常常被认为是随机抽样，这是不对的。如果假设它是，而实际不是，它就会导致不必要风险从而可能作出错误的或有偏差的结论。

详细解释参见**第一章，第 H 节**。

控制图结构

使用控制图的步骤是：

1. **收集数据**
2. **建立控制限**
3. **统计上受不受控的解释**
4. **为了持续控制延长控制限**（见**图 II.5**）

收集数据

控制图是从对某个特性或过程特征的测量发展而来的。这些测量值构成了描述过程分布特性的（控制）统计量（例如：均值、中位数、极差、标准差、单值）。测量数据取自于过程流的单个样品。按子组的形式收集样本，它可以是由一个零件或多个零件组成。通常，一个较大的子组使得更容易发现微小的过程变化。

建立一个抽样计划

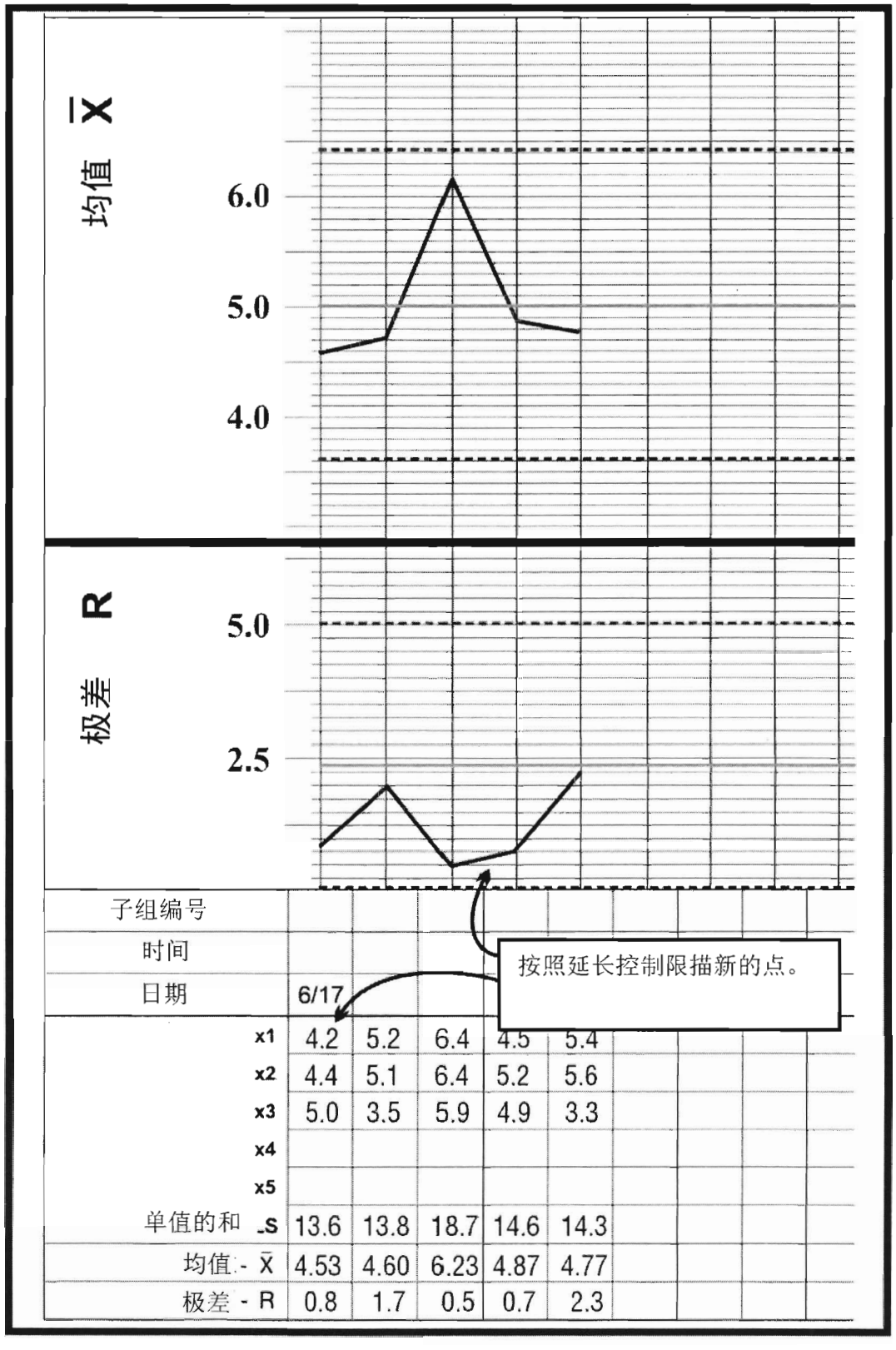


为了控制图的有效性，抽样计划应该定义“合理子组”。合理子组是选择样本以使得在一个*子组内* 出现特殊原因变差的机会最小，而在*子组间* 出现特殊原因变差的机会最大。要记住的关键一条是当开发一个抽样计划时，要将子组间的变差和子组内的变差进行比较。连续取样而形成的子组，使过程改变的机会最小并且*子组内* 的变差也应该最小。抽样的频率将取决于子组间过程改变的时机。

子组内的变差代表很短时间[18]内的零件间的变差，子组间出现的任何大的变差则表明过程发生变化，应该进行调查并采取适当的措施。

子组容量 —— 所研究的过程的类型决定了如何定义子组容量。按照前面的阐述，较大的子组使得容易探测出较小的过程变化。负责的团队必须确定适当的子组容量。如果预期的过程变化相对小，则应该有较大的子组容量。这是与预测变化大的过程相比较而言的。

[18] 参见**附录 A**



子组编号					
时间					
日期	6/17				
x1	4.2	5.2	6.4	4.5	5.4
x2	4.4	5.1	6.4	5.2	5.6
x3	5.0	3.5	5.9	4.9	3.3
x4					
x5					
单值的和 ΣS	13.6	13.8	18.7	14.6	14.3
均值 - X̄	4.53	4.60	6.23	4.87	4.77
极差 - R	0.8	1.7	0.5	0.7	2.3

图 **II.5**：延长控制限

子组容量应该保持恒定，但是也有可能在一个控制图上发生子组容量改变的情形。控制限的计算依赖于子组容量，而且如果一个子组容量改变，那么为此子组所建立的控制限也将发生改变。目前已经有了其他一些技术来处理计量型子组容量的变化，例如：参见 Montgomery（1997）以及 Grant 与 Leavenworth（1996）。

子组频率 —— 通常按时间顺序来取子组，例如，每 15 分钟一次或每班两次。目的是探测过程随时间发生的变化。应该在适当的时间足够频繁地收集子组，这样子组才能反映潜在的变化。这些变化的潜在原因可能是由于换班、操作人员更换、温升趋势、材料批次等原因造成的。

子组数量 —— 为了建立控制限，所需的子组数量应该满足如下的原则：应该收集足够的子组以确保影响过程变差的主要原因有机会出现。通常，在 25 或更多个子组内包含 100 或更多的单值读数可以很好地用来检验稳定性，如果过程已稳定，则可以得到过程位置和分布宽度的有效的估计值。此子组数量能确保在极差或标准差当中的任何极端值的影响将是最小的。

*在有些情况下，可以利用现有的数据来加速这个第一阶段的研究。*然而，只有这些数据是最近的，并且对建立子组的基础很清楚的情况下才能使用。在继续研究以前，必须开发一个合理的抽样计划并使之文件化。

抽样方案 —— 如果影响过程的特殊原因会不可预测地发生，那么适当的抽样方案就是一种随机的（或概率）样本。一个随机样本是指总体中的每一个样本点（合理子组）都有相同的机会（概率）被选到。一个随机样本是系统的和有计划的，因此在任何的数据被收集前所有的样本点已被确定。对于已经知道在特定时间或事件下发生的特殊原因，抽样方案应该利用这知识。没有基于某一特定的特殊原因的预期发生情况的任意抽样或便利抽样应该被避免，因为这种抽样方式提供了的假的可信度；它能够导致结果的偏差，从而可能得出一个错误的结论。

无论使用哪一个抽样方案，在任何数据收集前，所有的样本点应该被确定。（见 戴明（1950）和 Gruska （2004））。

注：关于合理子组的讨论和抽取子组对控制图的解释的影响参见**附录 A**。

控制图的设置

一个控制图将有如下这几部分：

- √ 包括过程和抽样方法描述的表头信息。
- √ 记录 / 显示所收集数据的实际值的部分。
  这应该包含日期和时间或其它的子组编号。
- √ 用于中间的数据计算的部分（这部分对自动生成的图表是可选的）。
  这应该包括一个空间以便进行基于读数和控制统计量的计算。
- √ 对用于分析的每一个控制统计量描点的部分。
  通常纵座标表示控制统计量的值，横座标表示时间的顺序。数据值和控制统计量的描点应该在垂直方向上匹配。应该保持刻度足够的宽，以确保包含控制统计量的所有变差。一个有用的指导是：最初所建立的刻度范围应该至少设置成最大值与最小值之差的两倍。
- √ 将观察记入日志的部分。
  这部分应该包括诸如过程调整、更换工装、材料变更，或其它任何可能影响过程变化的详细资料。

记录原始数据

- √ 记录每一个单值并每一个子组的编号。
- √ 记录任何有关的观察事项。

计算每一个子组的样本的控制统计量

从子组的测量数据中计算用于描点的控制统计量。这些统计量可能是样本均值、中位数、极差、标准差等。按照控制图的类型选择适当的公式计算统计量。

将控制统计量画到控制图上

将控制统计量画在图上，确保所描的控制统计量的点是一一对应的。将相邻点用直线连接起来从而帮助显示模式和趋势。

当数据一旦被收集起来就应该对它们进行评估以识别出潜在的问题。如果有的点比别的点高很多或低很多，需要确认计算及描图是否正确并查询任何相关的观察记录。

建立控制限

控制限是由控制统计量的本来的变差决定的。它们定义了当只存在变差的普通原因时，控制统计量能够随机落入的一个数值范围。如果计算来自于同一过程的两个不同子组的均值，我们有理由希望它们具有大致相同的值。但是由于它们是由不同的零件计算出来的，因此也不期望这两个均值是相同的。即使这两个均值是不同的，由于随机性，也会对它们被期望的差别有一个限值。这就定义了控制限的位置。

这是所有控制图技术的基础。如果过程是稳定的（即只存在*普通原因* 的变差），则对于任何子组样本，被计算的控制统计量落在控制限内的概率很高。如果控制统计量超过了控制限，这就显示可能出现了*特殊原因* 变差。

在统计过程控制研究中有两个阶段：

1. 第一阶段是识别和消除过程变差的特殊原因，目的是为了让过程稳定。一个稳定的、可预测的过程被称为*统计受控*。
2. 第二个阶段是考虑预测将来的测量值，因而可以验证过程持续运行的稳定性。在此阶段当中，可以实时地对特殊原因进行分析和采取行动。一旦稳定，过程能够被分析以确定它是否有能力满足顾客的要求。

确定控制图的中心线和控制限

为了有助于对所描点的控制统计量进行图形分析，可以在图上画线以显示估计的位置（中心线）和控制统计量的控制限。

通常，建立控制图的计算包括：

√ **中心线，**
√ **上控制限（UCL），**
√ **下控制限（LCL）。**

公式参见**第二章，第C节**。

统计受控的解释



如果过程没有特殊原因影响变差，控制统计量将随机地落在控制限之间（例如：没有明显的非随机模式）。

特殊原因能够影响过程的位置（例如：均值、中位数）或变差（例如：极差、标准差）或对两者都产生影响。分析控制图的目的在于识别过程变差或过程均值没有处于恒定的水平的证据 —— 即其中之一或两者均不是统计受控 —— 进而采取适当的措施。



在后面的讨论中，均值将被用于位置的控制统计量，极差用于变差的控制统计量。适用这些控制统计量的结论也同样适用于其他可能的控制统计量。

因为位置的统计量的控制限依赖于变差的统计量的变化，变差的控制统计量应该首先被分析以检查稳定性。变差和位置的统计量会被单独地分析，但是这两个图形模式的比较，有时候可能会给出影响过程的特殊原因的额外信息。

除非两个图都没有不受控的情形（显示特殊原因），否则一个过程是不能够被称为稳定的（统计受控）。

分析极差图上的点

由于解释子组极差或子组均值的能力都依靠零件间的变差的估计，因此首先分析极差（R）图，将数据点与控制限相比以确定不受控的点，或不正常的模式或趋势。（见**第二章，第 D 节**）

识别并标注特殊原因（极差图）

对于极差图数据中出现的每个特殊原因的迹象，作一个过程操作分析，从而确定该原因并提高对过程的认识。纠正此状况并且防止它再发生。控制图本身就是问题分析时的有用指导，能显示该状况何时开始以及持续了多长时间。但是应该意识到并不是所有的特殊原因都是有害的，有些特殊原因可以通过减少极差图上的变差，而对过程改进起到积极作用。应该对这些特殊原因进行评审，以便适当时在过程内使之制度化。

为了将产生不一致输出的生产减少到最小以及获得诊断用的新证据，分析问题的及时性是很重要的。例如：出现一个超过控制限的点就是立即开始分析过程的理由。

在识别变差的特殊原因方面，过程事件日志可能也是一个有用的信息源。

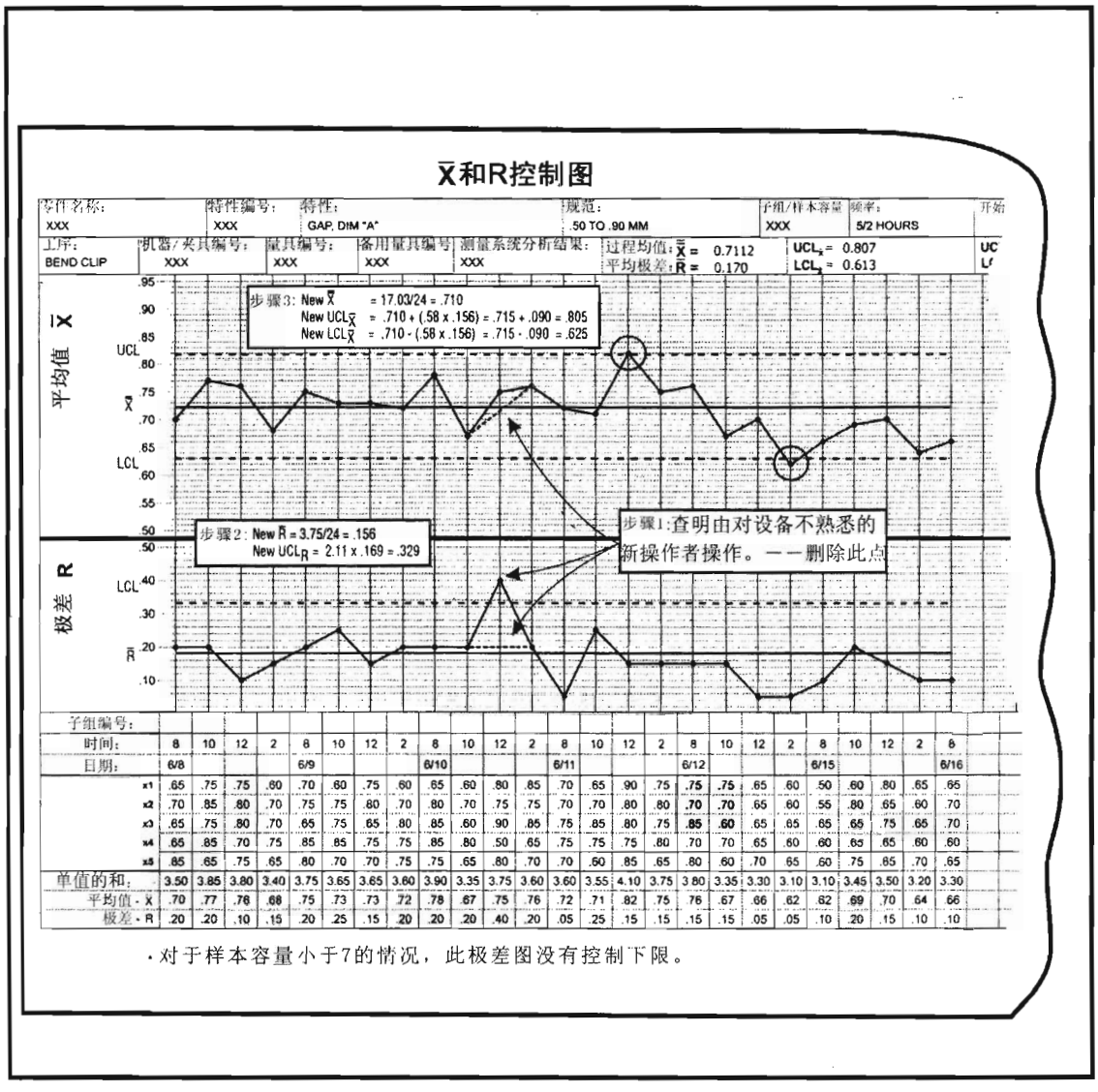


图 II.6：重新计算控制限

应该强调的是问题的解决常常是最困难的而且也是很耗时的。来自于控制图的统计输入可以是一个适当的开始点，但是其他的方法诸如排列图、因果图或其他的图形分析也是有帮助的（参见 Ishikawa (1976)）。然而，对过程表现的解释最终来自过程以及与之有关的人。在对过程采取可显著改进的措施时，需要有彻底性、耐性、洞察力和理解力。

重新计算控制限（极差图）

在进行初次过程研究或重新评定过程能力时，不受控的原因已被识别和消除或制度化，然后应重新计算控制限，以排除不受控时期的影响。排除所有受已被识别并消除或制度化的特殊原因影响的子组，然后重新计算新的平均极差（$\overline{R}$）和控制限，并在图上绘出。确保当所有的极差点与新的控制限比较时，显示为受控，如果不是，则重复识别 / 纠正 / 重新计算的过程。

由于识别为特殊原因而从 R 图中去掉的子组，也应该从 $\overline{X}$ 图中去掉。修改后的 $\overline{R}$ 和 $\overline{\overline{X}}$ 可用于重新计算均值的试用控制限，$\overline{\overline{X}} \pm A_2 \overline{R}$（见**图 II.6**）。



注：排除代表不稳定状况的子组并不仅是“丢弃坏数据”。而是通过排除受已知特殊原因影响的点，我们对由普通原因引起的变差的基本水平可有一个更好的估计。反过来，这为用于探测将来出现变差特殊原因的控制限提供了最适当的基础。但是要记住：一定要改变过程，以使特殊原因不会作为过程的一部分重现（如果不希望它出现的话）。

识别和处理特殊原因（均值图）

一旦影响变差（极差图）的特殊原因被识别并且被剔除掉，就可以对均值图的特殊原因进行评估。在**图 II.6** 中新的控制限显示有两个点超出了控制限。

对于均值图数据中每一个显示处于失控状态的情况，需要对过程的运行进行分析，以确定特殊原因产生的理由，纠正该情况，并且防止它再发生。利用控制图数据来确定这些状态何时开始并会持续多久。为了诊断并将不合格的输出减到最小，及时分析是很重要的。再次说明并不是所有的特殊原因都是不利的（见**第一章，第 E 节**和**第二章，第 B 节**）。

诸如排列图分析和因果图分析的解决问题的技术对问题的解决有帮助，（Ishikawa (1976)）。

重新计算控制限(均值图)

当进行初始过程研究或过程能力的重新评估时，要除去不受控的点，这些点的特殊原因已查明并已被消除，重新计算和画过程的均值和控制限。当与新的控制限比较时，确认所有的

点显示受控，如果不是这样，则重复识别原因、纠正、重新计算的顺序。

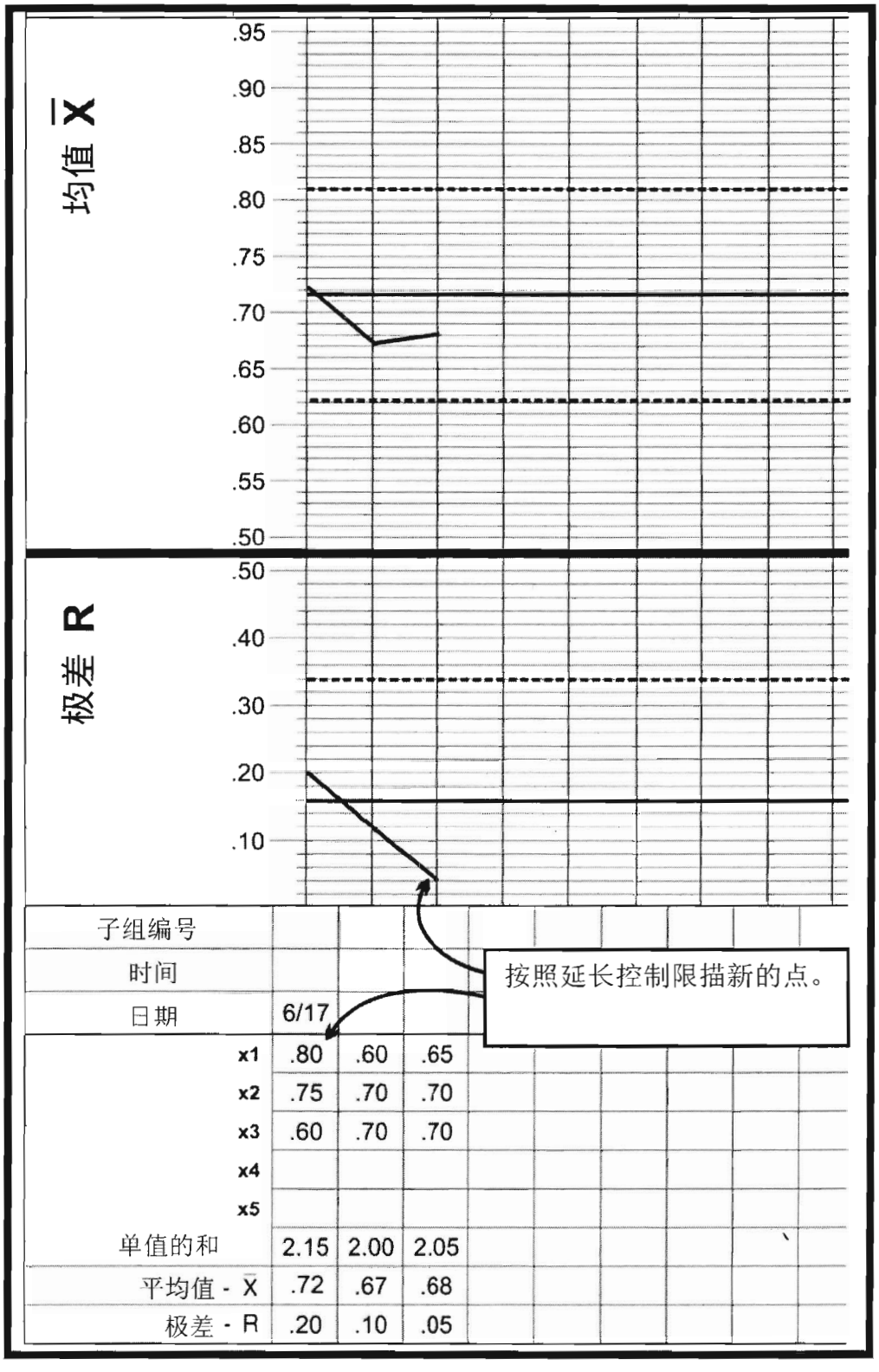
总结

后面的讨论将对控制图分析给出功能的介绍。即使这些讨论使用的是均值和极差图，但这些概念适用于所有控制图。

而且，还有可能对分析者有用的其他考虑。最重要的一个提醒是：即使过程处于统计受控状态，当评审较多的数据时，得到关于任何单个子组特殊原因的错误信号的概率会增加。

当调查所有可能成为特殊原因证据的信号时，应慎重，应意识到它们可能是由系统引起的，可能没有潜在的局部过程问题。如果没有发现特殊原因的明显的证据，那么，任何“纠正”行动将可能导致过程输出的总变差增加，而不是降低。

对于解释、数据随机性测试和问题解决的进一步讨论，可参见 AT&T (1984)， Duncan (1986)，Grant and Leavenworth (1996)，Juran 与 Godfrey (1999)，Charbonneau 与 Gordon (1978)，Ishikawa (1976)，Wheeler，(1991，1995)与 Ott (2000)。



子组编号			
时间			
日期	6/17		
x1	.80	.60	.65
x2	.75	.70	.70
x3	.60	.70	.70
x4			
x5			
单值的和	2.15	2.00	2.05
平均值 - X̄	.72	.67	.68
极差 - R	.20	.10	.05

图 II. 7：为持续控制延长控制限

为持续控制延长控制限

当初始的（或历史的）数据都一致地落在试用的控制限内，就可以延长此控制限以适用未来的控制需要。如果此过程中心线偏离目标值，可能需要针对目标值调整此过程。这些控制限将用于过程的持续监控，操作者和所属的管理者根据在 $\overline{X}$ 或 R 图上所出现的关于位置和变差不受控的信号而采取迅速的措施（见**图 II.7**）。

子组样本容量的变化，将对用于极差图和均值图的预期的极差的均值和控制限产生影响。例如，如果在不增加每天抽取的零件总数的情况下，决定增加抽样频次，同时每次抽取较小的样本，以便更快地探测大的过程变化时，就会产生这种情况。为了对新的子组样本容量调整中心线和控制限，就应该采纳下面的步骤：

- 估计过程标准差（估计值的符号为 $\hat{\sigma}$ —— “sigma hat”[19]）。利用现有子组容量计算：

  $\hat{\sigma}_C = \overline{R}/d_2$ 而 $\overline{R}$ 是子组极差（受控的极差）的均值，d_2 是随样本容量 n 而变化的一个常数，即子组中样本的数量，如下所显示是来自**附录 E** 表格中的部分：

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d_2	1.13	1.69	2.06	2.33	2.53	2.70	2.85	2.97	3.08

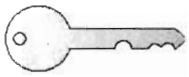
- 利用表格中新子组容量的常数计算新的极差和控制限：

$$\overline{R}_{新} = \hat{\sigma}_C \cdot d_2$$

将新控制限画在图上作为持续过程控制的基础，只要过程在均值和极差上保持受控，持续的控制限就可以延长用以控制未来的一段时间。但是，如果有证据显示过程均值或极差（其中任一个）已经变化，应确定原因，如果变化是有理由的，可以根据现有的性能重新计算控制限。

[19] 本手册区别了由子组内变差估计的标准差和分别用下标为“C”和“P”标注的总变差。

有关“控制”的最终概念 —— 用于进一步的考虑

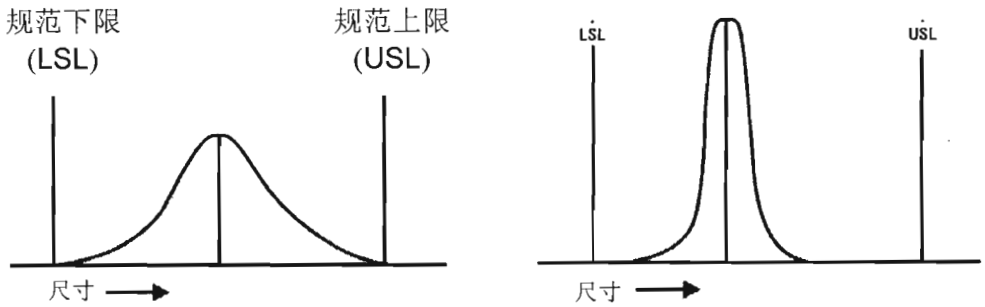


“在生产过程中，控制的完美状态是从来达不到的，过程控制图的目标不是完美状态，而是使控制达到的合理和经济的状态，因此，为了使用的目的，受控的过程并不是在图上永远不失控的。如果一个控制图从来没有显示失控，那么我们应该认真的思考一下这个过程是否应该使用控制图。在车间里，一个受控的过程应该是只有小比例的点失控，并针对失控的点采取适当的措施[20]。”见**图 II.8**。

显然，现在存在不同级别和程度的统计受控，所使用的控制的定义的范围从仅仅出线（超出控制限），到出现链、趋势和分层，再到整个区域的分析。当所使用的控制的定义进展到整个区域的分析时，发现缺乏控制的可能性增加了（例如：一个没有点超过界限的过程可能通过在控制限内出现明显的链状而证明过程失控）。因此，所使用的控制的定义应该与在控制时所拥有的探测的能力相一致，并对同一过程在一段时间内保持一致。一些供应商由于操作者的培训不完善或操作者缺乏先进的技能，使得在车间实际使用时不能应用较全面的控制定义。控制图的一个优点是在实际控制时具备探测失控的能力。在维持经济的过程控制的真实状态时，对数据的过度解释可能是危险的。

[20] AT&T (1984)。

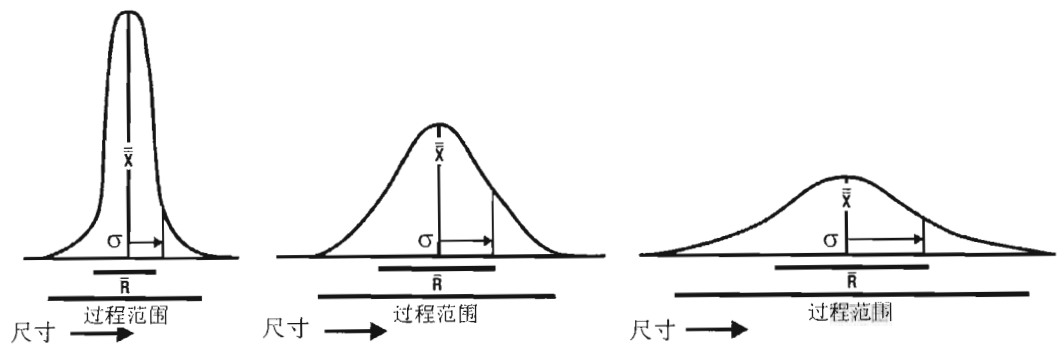
过程能够满足规范（所有的输出都在规范内），变差处于不同水平：



过程不能满足规范（输出结果超出一边或两边规范限）



标准差和极差（对于给定的样本，极差平值越大－$\overline{R}$，标准差也越大－σ）：



取自例子（用极差均值估计过程标准差）：

$\overline{R}$ = 0.169
n = 5
d_2 = 2.33
$\sigma = \overline{R}/d_2 = .169/2.33 = 0.0725$

$\overline{\overline{X}}$ = 0.738
LSL = 0.500
USL = 0.900

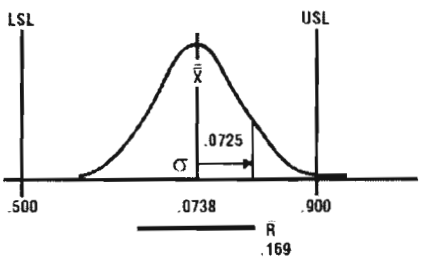


图 II.8：相对于规范限的过程变差

此页留白

第二章 — 第 B 节
定义“不受控”信号

点超出控制限

出现一个或更多点超出任一控制限是那一点的特殊原因导致变差的主要证据。在那一点之前可能已经发生了特殊原因。

如果只存在普通原因导致的变差，那么超出控制限的点将是非常少的，因此可以推测特殊原因已经引起了很大的数值。所以任何超出控制限的点都是需要分析操作以查找特殊原因的信号。标注任何超出控制限的数据点进行调查，根据特殊原因实际开始时的情况采取纠正行动。

一个点超出控制限通常表明存在下列情况中的一种或多种：

- 控制限或描点发生计算错误或描点错误。
- 在那一点发生时或作为一种趋势的一部分，零件间差异或分布的宽度已经增加（例如：恶化），这种增大可以发生在某个时间点上，也可能是整个趋势的一部份。
- 测量系统已经变化（例如：不同的测量者或量具）。
- 测量系统缺乏适当的分辨率。

对于监控宽度的图，一个点低于下控制限通常表明存在下列情况中的一种或多种：

- 控制限或描点出错。
- 分布的宽度已经减小（例如，变得更好）。
- 测量系统已经发生变化（包括数据的选择和编辑）。

一个点超出任一控制限通常是过程在那一点或作为一种趋势的一部分已发生变化（见**图 II.9**）。

当极差处于统计受控时，则认为过程宽度 —— 子组内的变差 —— 是稳定的。然后应对均值进行分析看看过程的位置是否随时间而改变。因为 $\overline{X}$ 的控制限是取决于极差图中的变差的大小，因此，如果均值是统计受控的，那么其变差是与极差图中

的变差量 —— 系统的普通原因引起的变差有关系。如果均值不是受控的，则存在某些变差的特殊原因使过程的位置不稳定。

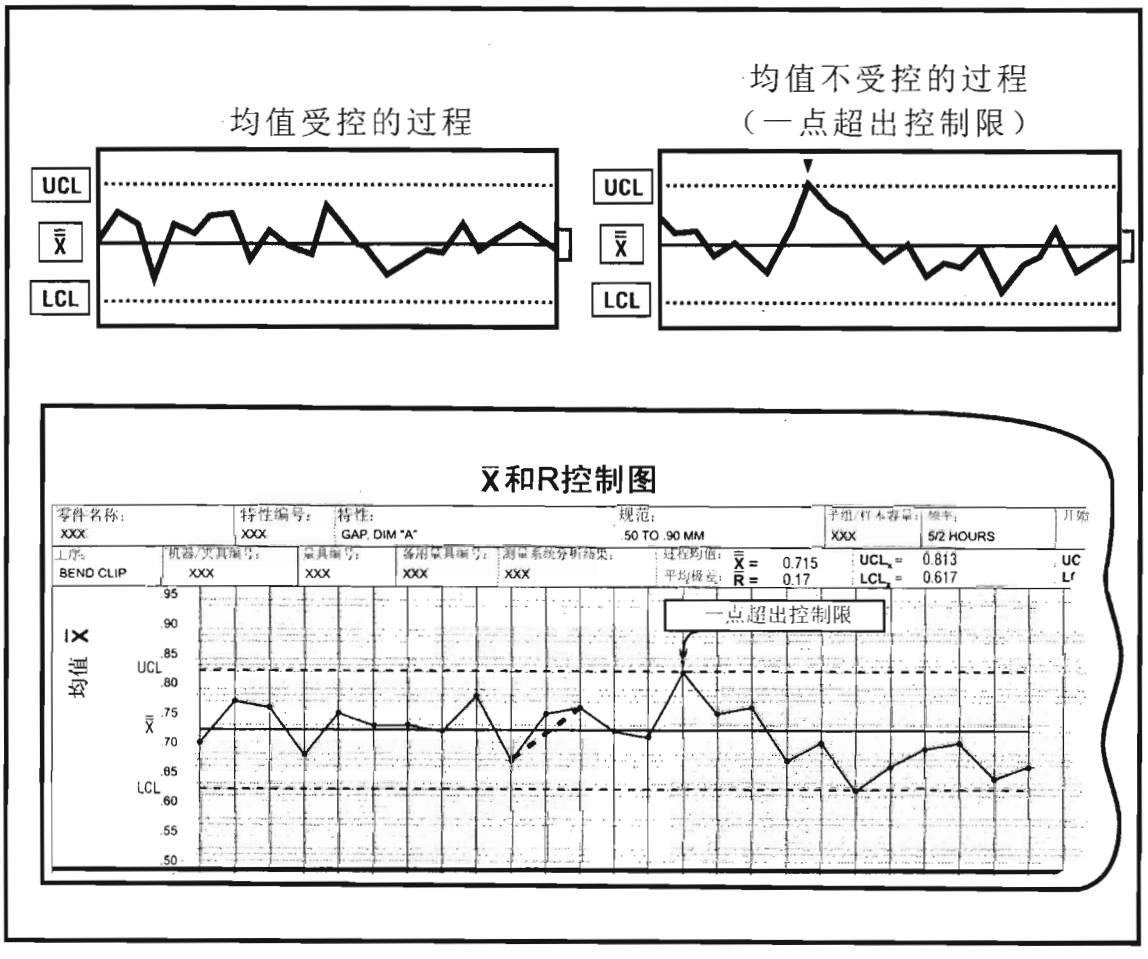


图 II.9：点超出控制限

控制限内的模式或趋势

当出现不正常的模式或趋势，即使所有的极差都在控制限范围内，也表明在模式或趋势发生的时期内有特殊原因产生影响。这首先给出了不利情况的警告，应该纠正这些不利情况。相反，某些模型或趋势是有利的，应该研究以便使过程得到可能永久性的改进。比较极差图和均值图之间模式可以得到更深刻的理解。

存在这样的情况，一个“不受控的模式”对一个过程来说可能是一件坏事而对另一过程来说却是好事，例如，在 $\bar{X}$ 和 R 图上中心线的一边出现连续 7 点或更多点可能表明存在一种不受控的情况。如果这发生在一个 p 图上，并且这些连续的点低于均值线（正在产生较少的不合格品），这表明过程可能实际上正在改善。所以，在这种情况下，如果我们识别并保持这个原因，这类连续的点是一件好事。

链

链 —— 下列每一种情况都表明过程变化或趋势已经发生：

- 7点排列在 $\overline{\overline{X}}$ 或 $\overline{R}$ 的一侧。
- 连续7点上升（后一点等于或大于前一点），或连续下降。

标记促使作出决定的点，并从此点向后作一条参考线延伸到链开始的地方将有助于分析。分析应该考虑到趋势或变化开始的大致时间。

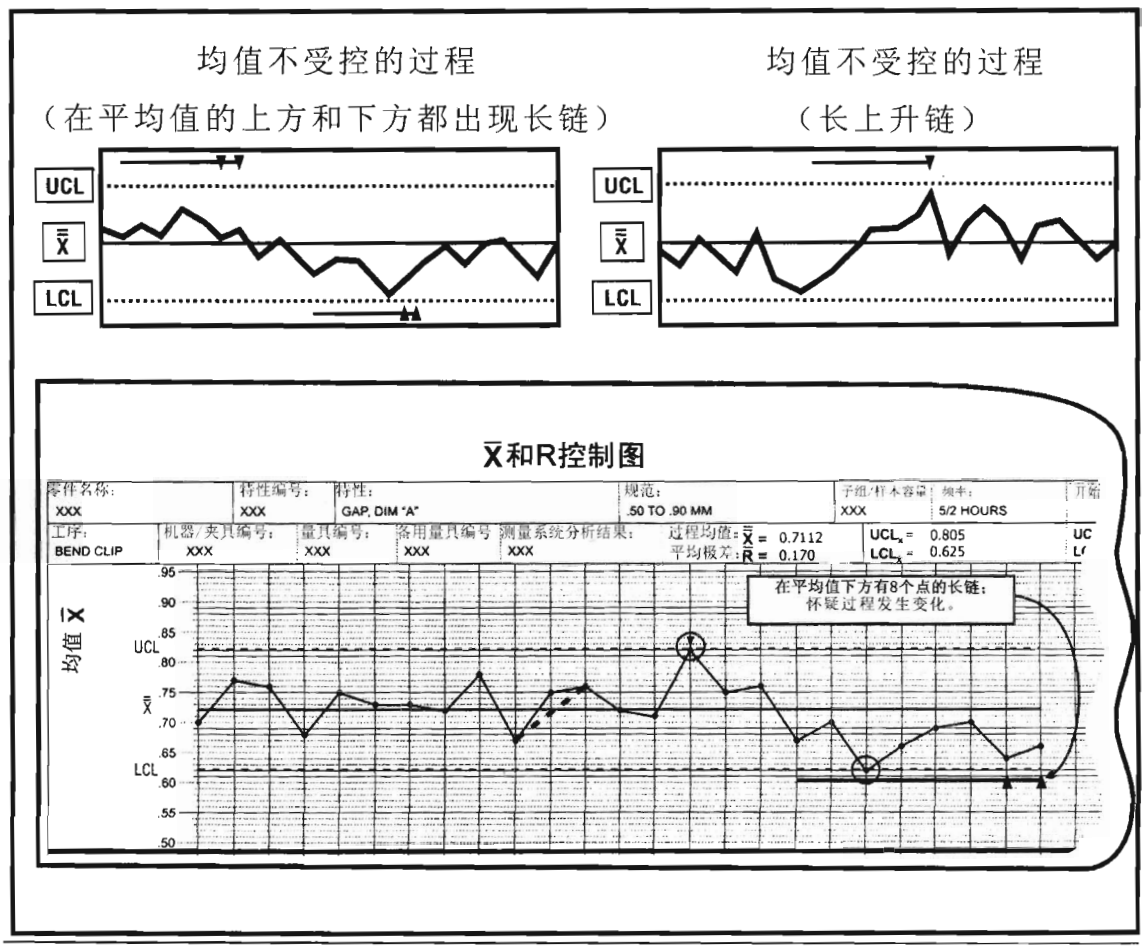
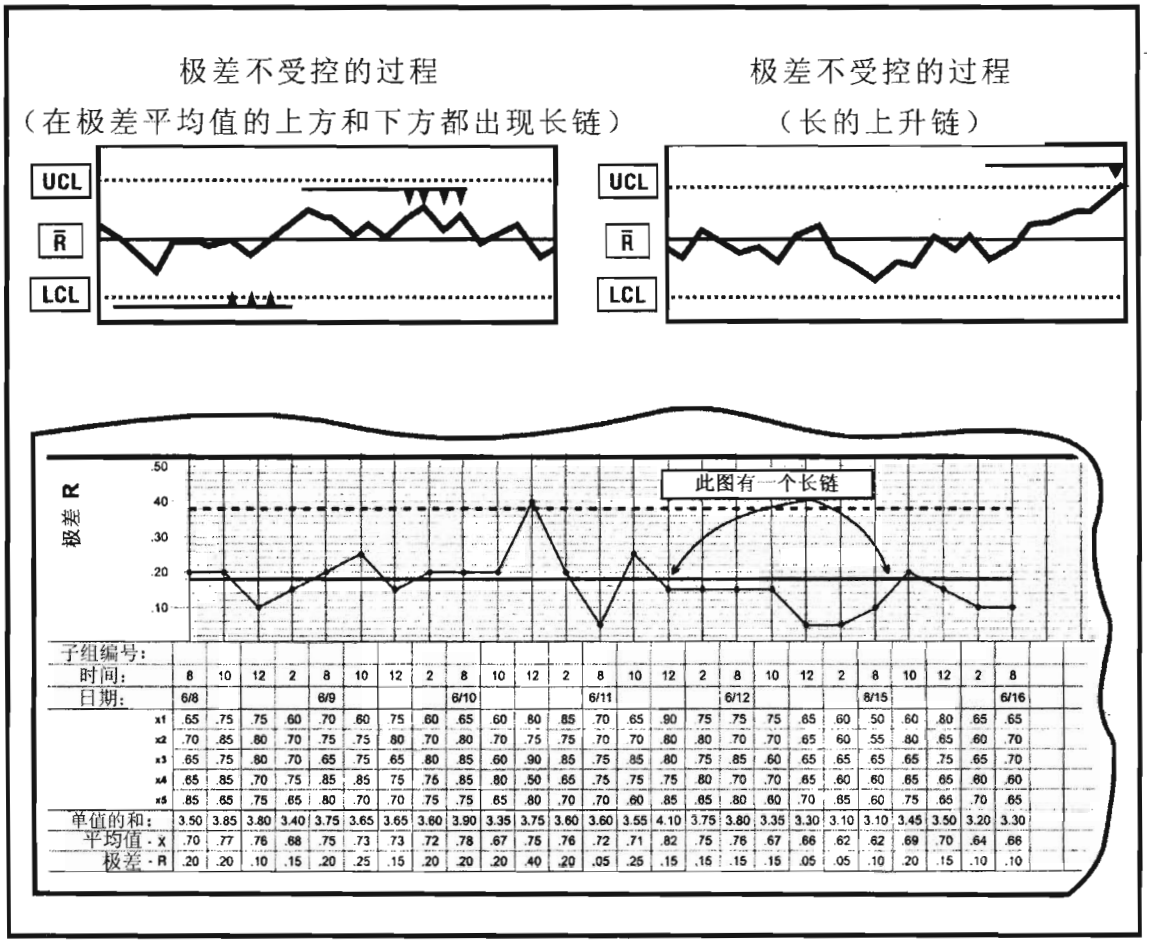


图 II.10：均值控制图上的链

在极差均值上方的链，或上升的链表明存在下列一种或两种情况：

√ 输出值的分布宽度增加，可能是无规律的原因（例如：设备故障或工装松动），或某个过程要素的变化（例如：一批新的、不一致的原料）引起的。

√ 测量系统的变化（例如：新的检验员或量具）。



子组编号：																								
时间：	8	10	12	2	8	10	12	2	8	10	12	2	8	10	12	2	8	10	12	2	8	10	12	2	8
日期：	6/8				6/9				6/10				6/11				6/12				8/15				6/16
x1	.65	.75	.75	.60	.70	.60	.75	.60	.65	.60	.80	.85	.70	.65	.90	.75	.75	.75	.65	.60	.50	.60	.80	.65	.65
x2	.70	.85	.80	.70	.75	.75	.80	.70	.80	.70	.75	.75	.70	.70	.80	.80	.70	.70	.65	.60	.55	.80	.65	.60	.70
x3	.65	.75	.80	.70	.65	.75	.65	.80	.85	.60	.90	.85	.75	.85	.80	.75	.85	.60	.65	.65	.65	.65	.75	.65	.70
x4	.65	.85	.70	.75	.85	.85	.75	.75	.85	.80	.50	.65	.75	.75	.75	.80	.70	.70	.65	.60	.60	.65	.65	.60	.60
x5	.85	.65	.75	.65	.80	.70	.70	.75	.75	.65	.80	.70	.70	.60	.85	.65	.80	.60	.70	.65	.60	.75	.65	.70	.65
单值的和：	3.50	3.85	3.80	3.40	3.75	3.65	3.65	3.60	3.90	3.35	3.75	3.60	3.60	3.55	4.10	3.75	3.80	3.35	3.30	3.10	3.10	3.45	3.50	3.20	3.30
平均值 - x̄	.70	.77	.76	.68	.75	.73	.73	.72	.78	.67	.75	.76	.72	.71	.82	.75	.76	.67	.66	.62	.62	.69	.70	.64	.66
极差 - R	.20	.20	.10	.15	.20	.25	.15	.20	.20	.20	.40	.20	.05	.25	.15	.15	.15	.15	.05	.05	.10	.20	.15	.10	.10

图 II.11：极差控制图上的链

在平均极差下方的链，或下降的链，表明存在下列一种或两种情况：

- √ 输出值分布宽度减小，这通常是一种好的状况，应研究以便推广应用和过程改进。
- √ 测量系统改变，这样可能遮掩过程真实性能的变化。

注：当子组容量（n）变小（5 或更小），低于 $\overline{R}$ 的链出现的可能性增加，所以可能需要 8 点或更多点组成的链表明过程变差的减小。

与过程均值图相关的链通常表明存在下列一种或两种情况：

- √ 过程均值已变化 —— 并可能仍然在变化。
- √ 测量系统已变化（漂移、偏倚、灵敏度等）。

明显非随机模式

除了出现超过控制限或长链的情况外，数据中可能出现由特殊原因引起的其他明显模式。小心不要过度解释数据，因为即使是随机（即普通原因引起）的数据，有时可能给出非随机（即特殊原因引起）的假象。非随机模式的例子可能是：明显的趋势（即使它们不满足链的情况）、循环、控制限内的数据点的整体分布宽度，或甚至子组内数值间的关系（例如，第一个读数可能总是最高的）。对子组数据点的整体分布宽度的一个检验描述如下：

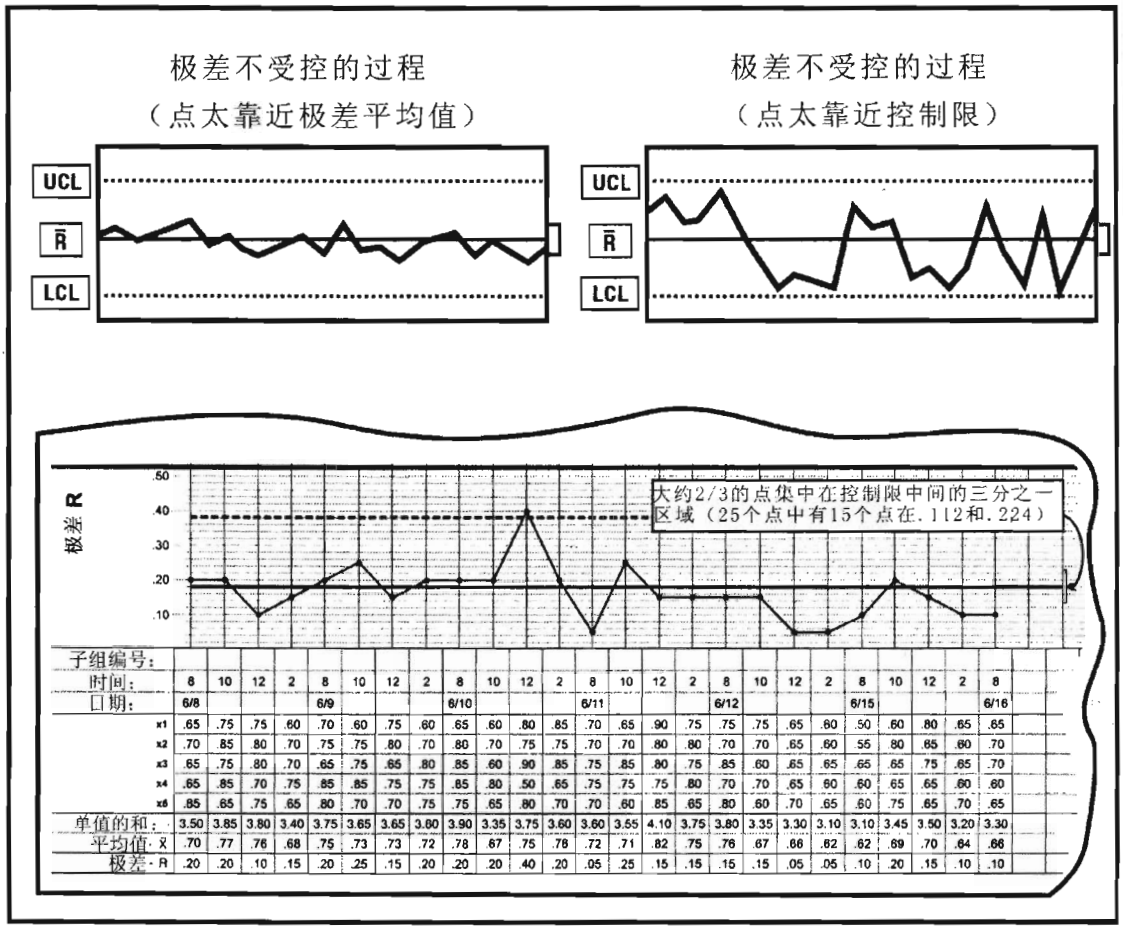
*各点距 $\overline{R}$ 或 $\overline{\overline{X}}$ 的距离：*通常，大约 2/3 的描点应落在控制限内中间的 1/3 区域，大约 1/3 的点落在外面的 2/3 区域。如果明显大于 2/3 的描点落在靠近 $\overline{R}$ 或 $\overline{\overline{X}}$ 的区域，则对下面的一种或多种情况进行调查：

- 控制限或描点已计算错误或描错。
- 过程或取样方法出现分层；每个子组系统地包含了来自不同过程均值的两个或多个过程流的测量值（如，零件来自几个型芯轴，抽样时，每个型芯轴抽取一件）。
- 数据已经过编排（极差远离均值的子组被更改或剔除）。

如果明显少于 2/3 的描点落在靠近 $\overline{R}$ 的区域（对于 25 个子组，如果 40%或更少的点落在中间的三分之一的区域），则调查是否存在下列一种或两种情况：

- 控制限或描点已计算错误或描错。
- 过程或取样方法导致连续的子组中包含来自变差显著不同的两个或多个过程流的测量值（如，输入材料批次混淆）。

如果有几个过程流存在，应对它们进行识别并分别追踪（见**附录 A**）。**图 II.12** 显示了 R 图上的非随机模型。



子组编号：																								
时间：	8	10	12	2	8	10	12	2	8	10	12	2	8	10	12	2	8	10	12	2	8	10	12	2	8
日期：	6/8				6/9				6/10				6/11				6/12				6/15				6/16
x1	.65	.75	.75	.60	.70	.60	.75	.60	.65	.60	.80	.85	.70	.65	.90	.75	.75	.75	.65	.60	.50	.60	.80	.65	.65
x2	.70	.85	.80	.70	.75	.75	.80	.70	.80	.70	.75	.75	.70	.70	.80	.80	.70	.70	.65	.60	.55	.80	.65	.60	.70
x3	.65	.75	.80	.70	.65	.75	.65	.80	.85	.60	.90	.85	.75	.85	.80	.75	.85	.60	.65	.65	.65	.65	.75	.65	.70
x4	.65	.85	.70	.75	.85	.85	.75	.75	.85	.80	.50	.65	.75	.75	.75	.80	.70	.70	.65	.60	.60	.65	.65	.60	.60
x5	.85	.65	.75	.65	.80	.70	.70	.75	.75	.65	.80	.70	.70	.60	.85	.65	.80	.60	.70	.65	.60	.75	.65	.70	.65
单值的和：	3.50	3.85	3.80	3.40	3.75	3.65	3.65	3.60	3.90	3.35	3.75	3.60	3.60	3.55	4.10	3.75	3.80	3.35	3.30	3.10	3.10	3.45	3.50	3.20	3.30
平均值· X̄	.70	.77	.76	.68	.75	.73	.73	.72	.78	.67	.75	.78	.72	.71	.82	.75	.76	.67	.66	.62	.62	.69	.70	.64	.66
极差 · R	.20	.20	.10	.15	.20	.25	.15	.20	.20	.20	.40	.20	.05	.25	.15	.15	.15	.15	.05	.05	.10	.20	.15	.10	.10

图 II.12：控制图中的非随机模型

特殊原因识别准则

现有几种识别特殊原因的准则（见下表和《AT&T》（1984）），我们已在上面对最普遍使用的准则进行了讨论，确定使用哪一个准则取决于被研究／控制的过程。

	典型特殊原因识别准则的汇总
1	一个点远离中心线超过 3 个标准差 [21]
2	连续 7 点位于中心线一侧
3	连续 6 点上升或下降
4	连续 14 点交替上下变化
5	2/3 的点距中心线的距离超过 2 个标准差（同一侧）
6	4/5 的点距中心线的距离超过 1 个标准差（同一侧）
7	连续 15 个点排列在中心线 1 个标准差范围内（任一侧）
8	连续 8 个点距中心线的距离大于 1 个标准差（任一侧）

表 II.1

注 1：除了第一条准则，其他与准则相联系的数字并不代表使用的顺序和优先级，确定使用哪一条附加的准则取决于特定的过程特性，和在过程内起显著作用的特殊原因。

注 2：小心不要应用多重准则，除非在那些有意义的事情上。每个附加准则的应用增加了发现特殊原因的灵敏度，但也增加了犯**第 I 类错误**的机会。

回顾上述的内容，应注意不是所有的解释控制的考虑事项都能应用在生产现场，这对于评价者来说太多且难于记住，在生产现场利用计算机也不总是可行的。所以，这些详细的分析中的很多内容是需要离线完成的，而不是在当时完成，这就需要过程事件日志，并在事件发生后作适当的有意义的分析。

另一考虑的事项是操作者的培训，当适用时，附加控制准则应该应用在生产现场，但需要等到操作者已准备好，受到适当的培训并具备适当的工具。随着时间和经验的增长，操作者将在实际应用中识别这些模式。

[21] 在此表中，"标准差"是指在控制限计算中使用的标准差。

平均运行长度（Average Run Length, ARL）

第一章规定根据控制图作判定应平衡**第 I 类错误**（过度控制、错误警告），和**第 II 类错误**（控制不足）的风险。对这平衡的一种测量是平均运行长度（*ARL*）。

平均运行长度是失控信号之间所期望的样本子组的数量。受控的平均运行长度（ARL_0）是错误警告之间所期望的子组样本数量。

$$ARL_0 = \frac{1}{\Pr\{\text{第I类错误}\}}$$

ARL 取决于如何定义失控信号、真实目标值的估计值的变差和估计值的真实变差。

下面的表是标准休哈特 $\overline{X}$ 控制图的近似的 *ARL*，此图是把超过 $\pm 3\sigma_{\overline{X}}$ 控制限作为唯一的失控信号。

相对目标值变化	
$\sigma_{\overline{X}}$	*ARL*
0	370.4
0.1	352.9
0.2	308.4
0.3	253.1
0.5	155.2
1.0	43.9
1.5	15.0
2.0	6.3
3.0	2.0
4.0	1.2

此表显示平均变化 1.5 个（均值的）标准差，信号将在发生变化后（平均）第 15 个子组时发出。4 个标准差的变化将在 2 个子组内识别出。

此表显示：一个没有变化的过程（即过程保持统计受控）每隔 370 个子组（平均）可能发出一个错误信号。

由于 $\sigma_{\bar{X}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$，变化的实际数量就会通过增加每个子组的零件数而减小，较大的子组降低了 $\sigma_{\bar{X}}$ 的大小并使控制限更靠近 $\overline{\overline{X}}$。

作为一种选择，*ARL* 可以通过增加更多的失控准则而减小，其他信号如链的检查和模式分析连同控制限一起将减小 *ARL* 的值。

下表是对同一控制图增加了连续 7 点排列在 $\overline{\overline{X}}$ 的一侧的链检查得到的近似 *ARL*。

相对于目标值变化	
$\sigma_{\bar{X}}'s$	*ARL*
0	59.8
0.1	53.9
0.2	41.8
0.3	30.8
0.5	17.9
1.0	8.7
1.5	6.9
2.0	6.1
3.0	2.0
4.0	1.2

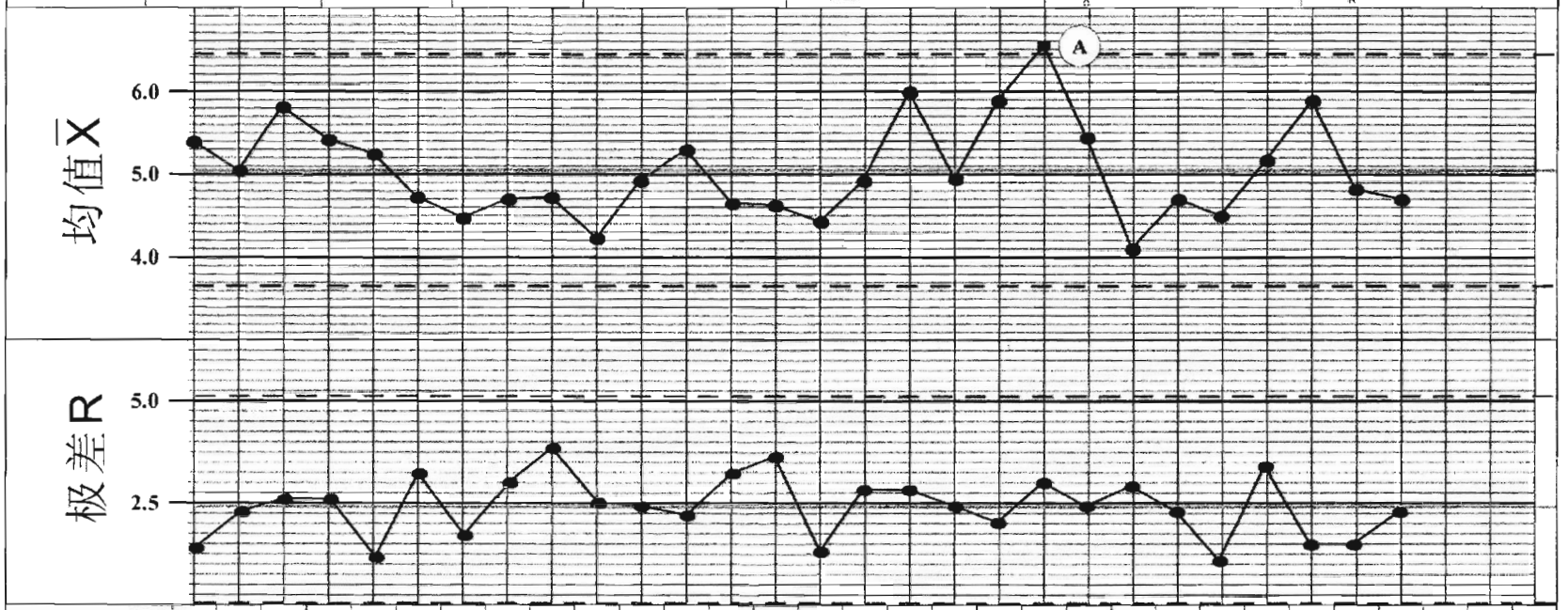
正如我们所看到的，增加一个额外的失控准则显著地降低了 *ARL*，这样可用于均值变化很小的过程，降低了**第 II 类错误**的风险。可以注意到，零变化（受控）过程的 *ARL* 也显著降低了，这增加了**第 I 类错误**或错误警告的风险。

当过程受控时我们希望一个较长的 *ARL*，当过程发生变化时则需要较短的 *ARL*，对两种需要的平衡，导致了其他控制图方法的发展。这些控制图中的一部分将在**第三章**中描述。

均值和极差图

表单编号：43

零件名称：Qubic Release	特性编号：LD013	特性：DIOUEW 长度	规范：5.0±5.0	子组/样本容量：5	频率：4组/每班	开始日期：XX/XX/XX	结束日期：XX/XX/XX
工序：VG10	机器/夹具编号：FJG18	量具编号：PSM05	备用量具编号：PSM03	测量系统分析结果：GRR:13%	过程均值：$\bar{\bar{X}}$=5.050 平均极差：$\bar{R}$=2.41	$UCL_{\bar{X}}$ =6.483 $LCL_{\bar{X}}$ =3.662	UCL_R=5.09 LCL_R=0.00



子组编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
时间	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX
日期	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX
x1	5.4	4.8	7.2	4.7	4.5	5.7	4.9	6.0	5.9	3.5	3.9	5.6	3.8	5.3	3.9	6.5	7.5	6.4	5.6	6.3	4.6	3.5	5.2	4.2	5.2	6.4	4.5	5.4
x2	6.2	6.3	4.6	4.3	5.7	4.2	3.7	3.0	3.9	5.7	4.2	4.5	3.2	6.3	4.7	4.7	6.4	4.2	6.7	8.1	5.8	5.0	6.1	4.4	5.1	6.4	5.2	5.6
x3	5.5	4.0	5.6	6.9	5.3	2.7	4.3	5.3	6.5	3.2	6.2	5.4	4.9	2.7	5.2	3.7	4.7	4.6	4.9	5.1	4.7	5.9	3.8	5.0	3.5	5.9	4.9	3.3
x4	5.1	6.0	5.1	6.8	5.4	5.1	4.1	3.9	2.7	3.6	6.3	4.4	5.0	4.4	4.3	4.2	6.7	5.5	5.4	5.5	5.1	3.0	4.3	5.0	6.9	4.9	4.0	5.4
x5	4.8	4.1	6.6	4.4	5.3	5.9	5.4	5.3	4.6	5.2	4.0	6.6	6.4	4.5	4.1	5.5	4.7	4.0	6.9	7.7	7.0	3.2	4.1	3.9	5.2	5.9	5.5	3.8
单值的和	27.0	25.2	29.1	27.1	26.2	23.6	22.4	23.5	23.6	21.2	24.6	26.5	23.3	23.2	22.2	24.6	30.0	24.7	29.5	32.7	27.2	20.6	23.5	22.5	25.9	29.5	24.1	23.5
平均值X̄	5.40	5.04	5.82	5.42	5.24	4.72	4.48	4.70	4.72	4.24	4.92	5.30	4.66	4.64	4.44	4.92	6.00	4.94	5.90	6.54	5.44	4.12	4.70	4.50	5.18	5.90	4.82	4.70
极差R	1.4	2.3	2.6	2.6	1.2	3.2	1.7	3.0	3.8	2.5	2.4	2.2	3.2	3.6	1.3	2.8	2.8	2.4	2.0	3.0	2.4	2.9	2.3	1.1	3.4	1.5	1.5	2.3

图 II.13：均值和极差图

第二章 — 第 C 节

控制图公式

本章节所讨论的所有控制图的常数见**附录 E**。

计量型控制图

均值和极差图 ($\overline{X}$, R)

子组均值：

$$\overline{X} = \frac{x_1 + x_2 + \ldots + x_n}{n};$$

n＝子组的样本容量

子组极差：

$R = x_{最大} - x_{最小}$ （每一个子组内的测量值）

总均值：

$$\overline{\overline{X}} = \frac{\overline{X}_1 + \overline{X}_2 + \ldots + \overline{X}_k}{k};$$

k＝用于确定总均值和极差均值的子组数量平均

平均极差：

$$\overline{R} = \frac{R_1 + R_2 + \ldots . R_k}{k};$$

X 的标准差估计值：

$$\hat{\sigma}_C = \overline{R} / d_2$$

$\overline{X}$ 的标准差估计值：

$$\hat{\sigma}_{\overline{X}} = \hat{\sigma}_C / \sqrt{n}$$

控制图的特征：

中心线	控制限	
$CL_{\overline{X}} = \overline{\overline{X}}$	$UCL_{\overline{X}} = \overline{\overline{X}} + A_2\overline{R}$	$LCL_{\overline{X}} = \overline{\overline{X}} - A_2\overline{R}$
$CL_R = \overline{R}$	$UCL_R = D_4\overline{R}$	$LCL_R = D_3\overline{R}$

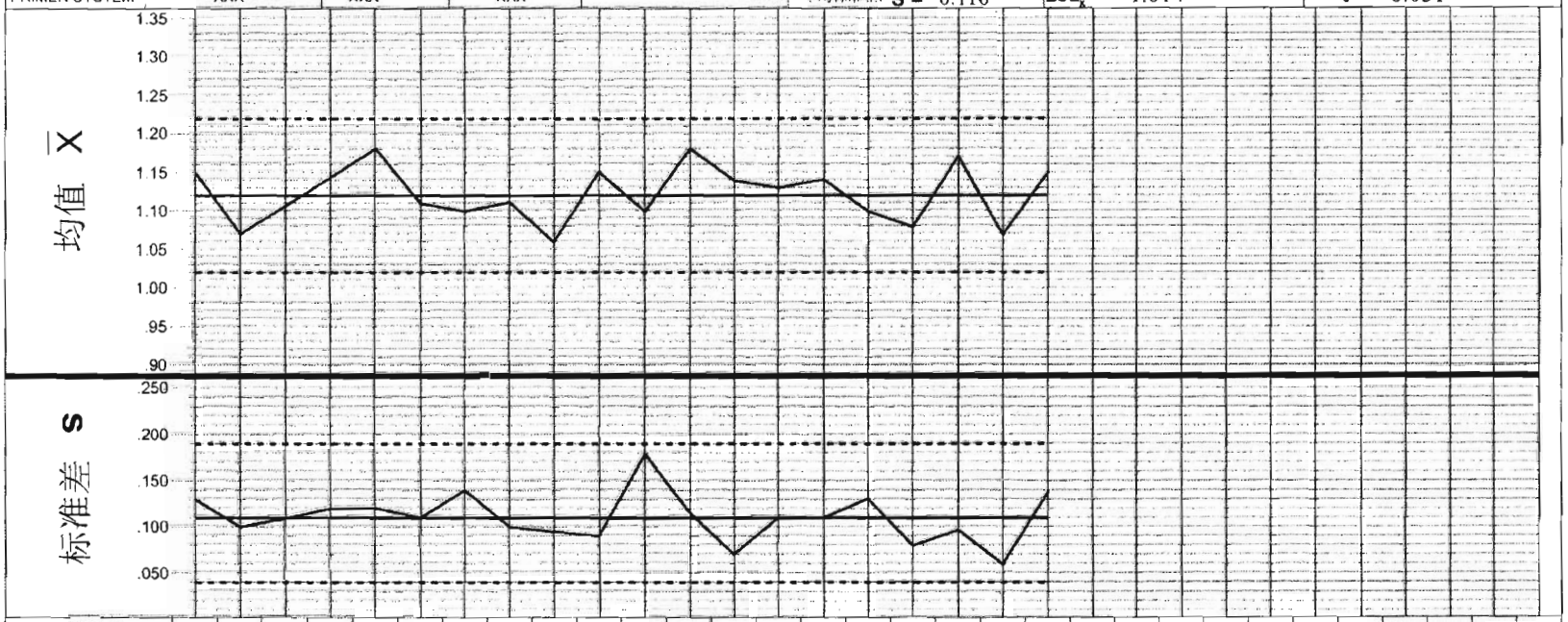
此页留白

均值和标准差图

表单编号：

零件名称：	特性编号：	特性：	规范：	子组/样本容量：	频率：	开始日期：	结束日期：
XXX	XXX	XXX	XXX	10	2 次 / 每天	2—11	2—12

工序：	机器 / 夹具编号：	量具编号：	备用量具编号	测量系统分析结果 GRR：	过程均值： $\bar{\bar{X}}$ = 1.122	$UCL_{\bar{X}}$ = 1.230	UCL_R = 0.189
PRIMER SYSTEM	XXX	XXX	XXX		平均标准差： $\bar{S}$ = 0.110	$LCL_{\bar{X}}$ = 1.014	LCL_R = 0.031



子组编号																				
时间	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
日期	1/11		1/12		1/13		1/14		1/15		1/18		1/19		1/20		1/21		1/22	
x1																				
x2																				
x3																				
x4																				
x5																				
单值的和																				
平均值 X̄	1.15	1.07	1.10	1.14	1.18	1.11	1.10	1.11	1.06	1.15	1.10	1.19	1.14	1.13	1.14	1.12	1.08	1.18	1.06	1.13
标准差 S	.136	.098	.106	.120	.121	.115	.136	.101	.086	.079	.170	.125	.070	.107	.111	.137	.074	.099	.059	.141

图 II.14：均值和标准差图

均值和标准差图（$\overline{X}$，s）

子组均值：

$$\overline{X} = \frac{x_1 + x_2 + \ldots + x_n}{n};$$

n=子组中样本的容量

子组标准差（子组内的变差）：

$$s_k = \sqrt{\frac{\sum\left(X_{i,k} - \overline{X}_k\right)^2}{n-1}}$$

过程总均值：

$$\overline{\overline{X}} = \frac{\overline{X}_1 + \overline{X}_2 + \ldots + \overline{X}_k}{k}$$

k=用于确定过程总均值和平均标准差的子组数量

平均标准差：[22]

$$\bar{s} = \frac{s_1 + s_2 + \ldots s_k}{k}$$

X 的标准差估计值：

$$\hat{\sigma}_C = \bar{s} / c_4$$

$\overline{X}$ 的标准差估计值：

$$\hat{\sigma}_{\overline{X}} = \hat{\sigma}_C / \sqrt{n}$$

控制图特征：

中心线	控制限	
$CL_{\overline{X}} = \overline{\overline{X}}$	$UCL_{\overline{X}} = \overline{\overline{X}} + A_3\bar{s}$	$LCL_{\overline{X}} = \overline{\overline{X}} - A_3\bar{s}$
$CL_s = \bar{s}$	$UCL_s = B_4\bar{s}$	$LCL_s = B_3\bar{s}$

[22] 也被称为集合标准差。

中位数和极差图

表单编号：

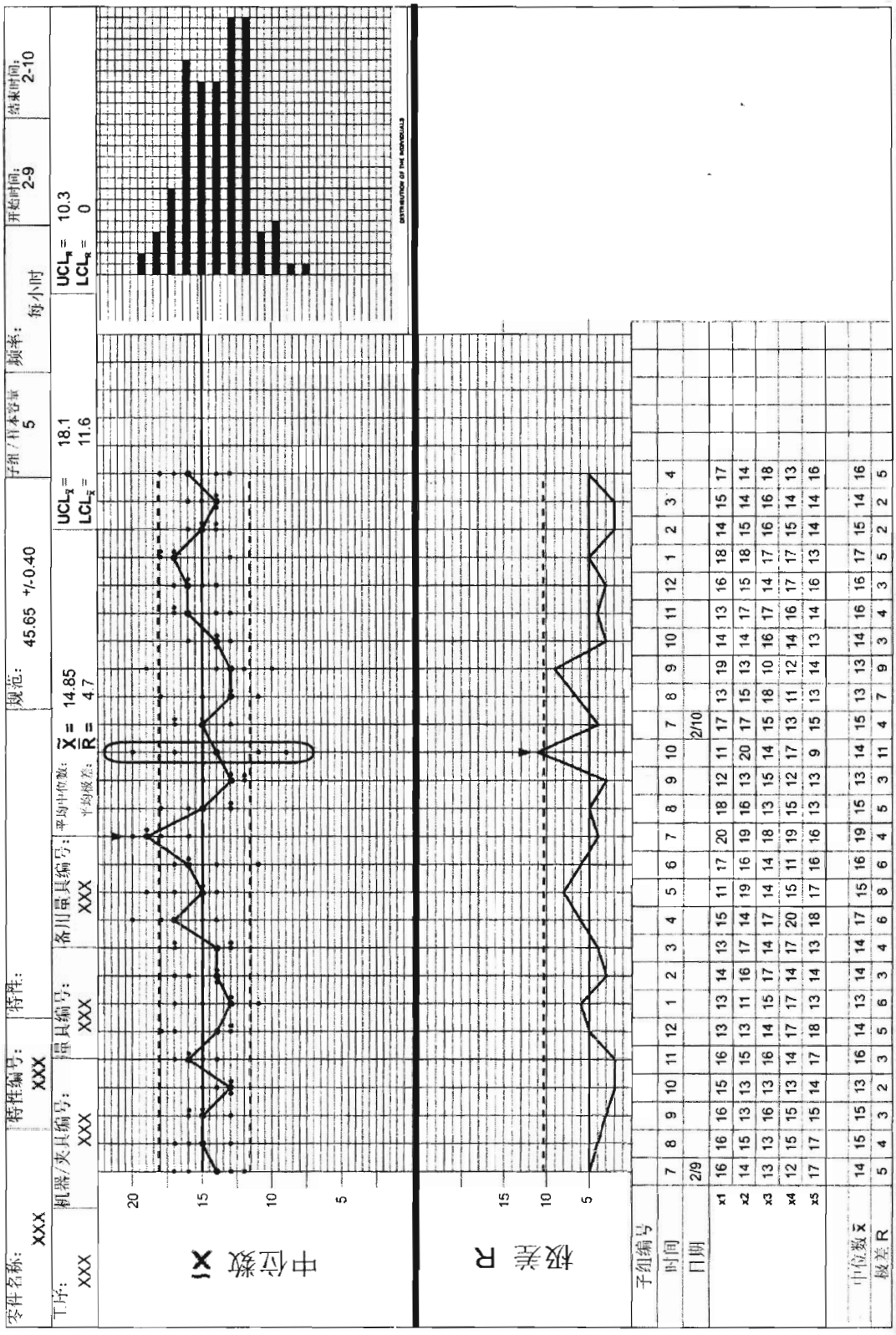


图 II.15： 中位数和极差图

中位数和极差图（$\tilde{X}$，R）

样本值： $x_i, i = 1...n$（样本容量）

子组中位数：

当数据以升序排列时，$X^{(O)}$ 是样本中第 O 个元素的值

$$\tilde{X}_k = \begin{cases} X^{\left(\frac{n+1}{2}\right)} & \text{如果 n 是奇数} \\ \dfrac{X^{\left(\frac{n}{2}\right)} + X^{\left(\frac{n+2}{2}\right)}}{2} & \text{如果 n 是偶数} \end{cases}$$

n＝子组中的元素数量

k＝用于确定平均中位数和平均极差的子组数量

子组极差：

$$R = x_{\text{最大}} - x_{\text{最小}}$$（每个子组内的极差）

平均中位数：

$$\bar{\tilde{X}} = \frac{\tilde{X}_1 + \tilde{X}_2 + ... + \tilde{X}_k}{k};$$

平均极差：

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + ...R_k}{k};$$

***X*的标准差估计值：**

$$\hat{\sigma}_C = \bar{R} / d_2$$

控制图特征：[23]

中心线	控制限	
$CL_{\tilde{X}} = \bar{\tilde{X}}$	$UCL_{\tilde{X}} = \bar{\tilde{X}} + \tilde{A}_2 \bar{R}$	$LCL_{\tilde{X}} = \bar{\tilde{X}} - \tilde{A}_2 \bar{R}$
$CL_{\bar{R}} = \bar{R}$	$UCL_R = D_4 \bar{R}$	$LCL_R = D_3 \bar{R}$

[23] 本中位数图的方法在计算中心线和控制限时使用均值，在此文献中的其他方法不使用均值。

单值和移动极差图

表单编号：

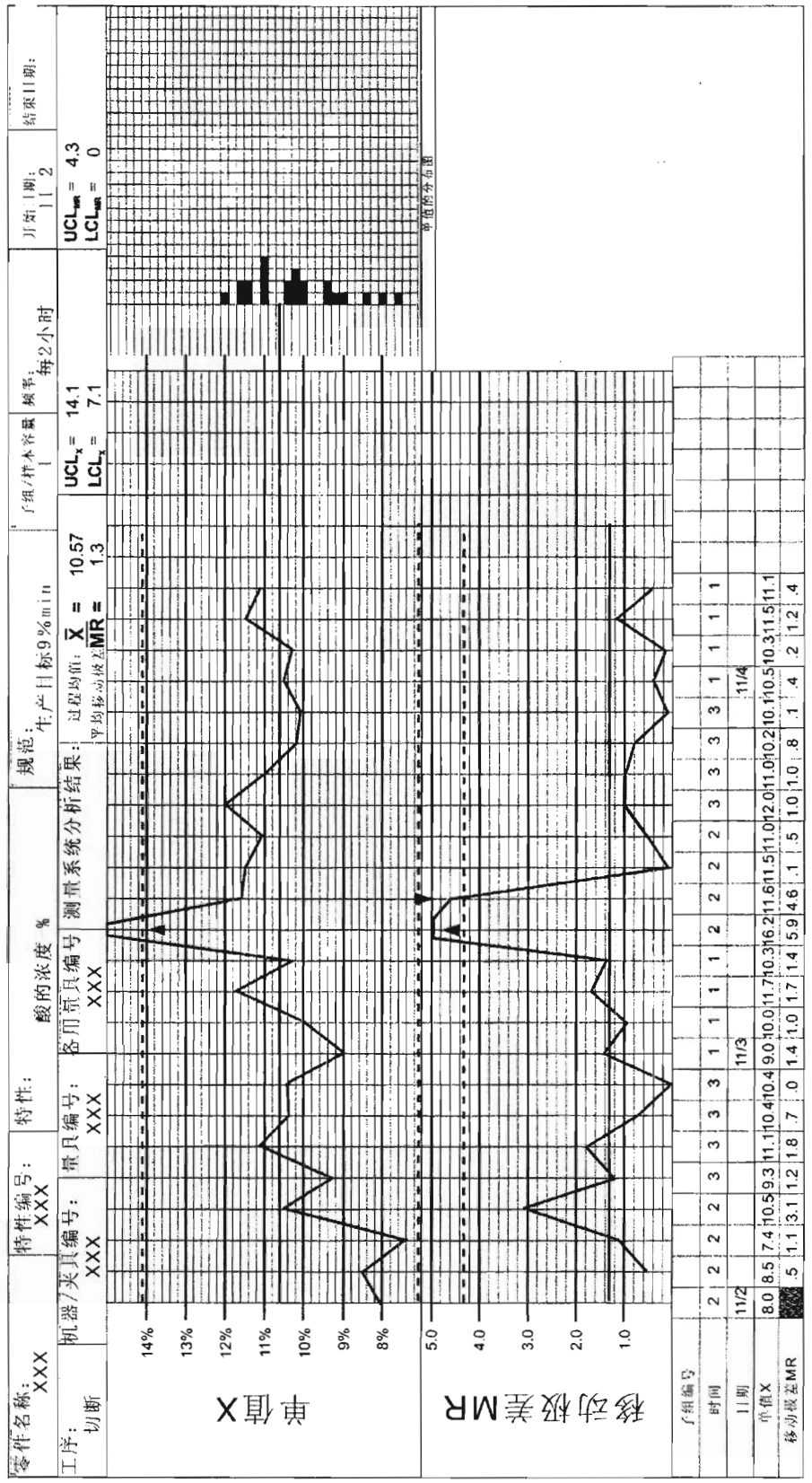


图 II.16：单值和移动极差图

单值和移动极差图（X，MR）

单值： $x_i, i = 1,...,k$ 单值

单值的均值：

$$\overline{X} = \frac{x_1 + x_2 + ...x_k}{k}$$

移动极差：

$$MR_i = |x_i - x_{i-1}|,\ i = 2...k$$

（当前值和前一个值之间的极差）

平均移动极差：

$$\overline{MR} = \frac{MR_2 + MR_3 + ... + MR_k}{k-1}$$

***X*标准差的估计值：**

$$\hat{\sigma}_C = \overline{R} / d_2$$

控制图特征：

中心线	**控制限**	
$CL_X = \overline{X}$	$UCL_X = \overline{X} + E_2\overline{R}$	$LCL_X = \overline{X} - E_2\overline{R}$
$CL_{\overline{R}} = \overline{R}$	$UCL_R = D_4\overline{R}$	$LCL_R = D_3\overline{R}$

因为涉及到移动极差，所以绘制在极差图上的点是相关的，因此，仅有超出控制限的点的出现才表明是有效的信号，用于评估数据的非随机模式的其它规则是不可靠的过程失控指示。（见**第二章，第 B 节**）

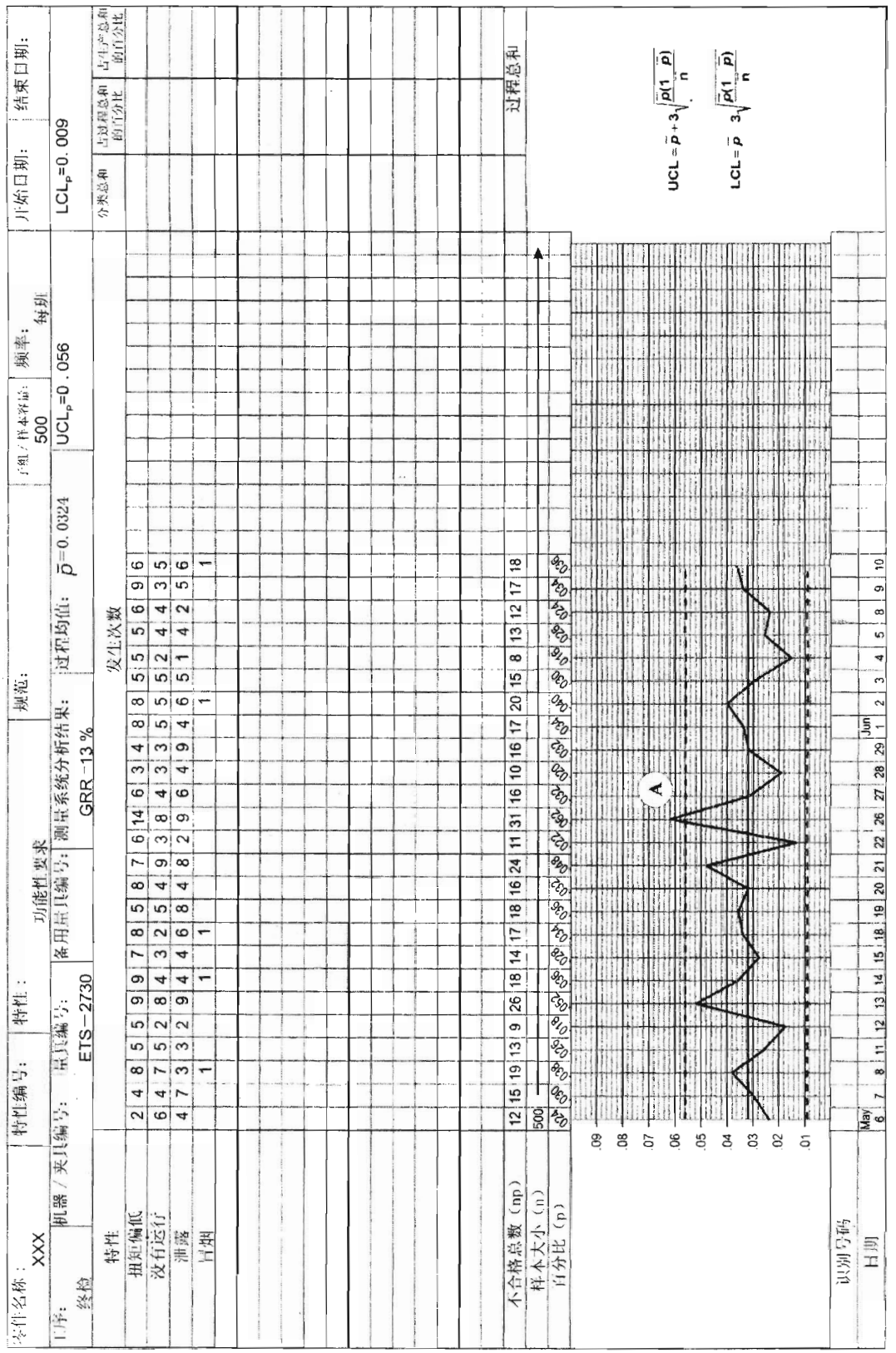
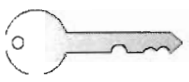


图 II.17：不合格品率图

计数型控制图

不合格品的控制图[24]

计数型控制图是在**第三章**所讨论的以概率为基础的控制图中的一部分。这些控制图使用分类的数据和与这些分类相关的概率来识别特殊原因。这些图所作的分类数据的分析通常是利用近似正态形式的二项式分布或泊松分布。



传统的计数型控制图常常通过识别不合格品和在同一产品中的不合格数以用来跟踪不可接受的零件。在被限制仅用作绘制不符合品的计数型控制图中，没有什么是固有的。它们也可被用作跟踪正面事件。然而，我们仍将遵循传统并把它们称为不合格和不合格控制图。

不合格品率图（*p* 图）

指南：

因控制限是基于近似的正态分布，故使用的样本容量应该使 $n\bar{p} \geq 5$。

单值

$$p_i = \frac{np_i}{n_i}$$

n_i= 被检零件的数量

np_i=发现的不合格品的数量

单值的均值

$$\bar{p} = \frac{np_1 + np_2 + ... + np_k}{n_1 + n_2 + ... + n_k}$$

这里的k= 子组的数量

$$\bar{p} = \frac{p_1 + p_2 + ... + p_k}{k}$$

如果所有的 n_i 相等

[24] 这种图的另外一种选择就是单值移动极差图（见 Wheeler（1995））。

控制图特征：

中心线

$$CL_p = \bar{p}$$

控制限

$$UCL_{p_i} = \bar{p} + 3\frac{\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})}}{\sqrt{n_i}}$$

$$LCL_{p_i} = \bar{p} - 3\frac{\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})}}{\sqrt{n_i}}$$

如果样本容量（n）恒定

控制限

$$UCL_p = \bar{p} + 3\frac{\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})}}{\sqrt{n}}$$

$$LCL_p = \bar{p} - 3\frac{\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})}}{\sqrt{n}}$$

当样本容量变化时，（如果 $\frac{\text{最小值 } n_i}{\text{最大值 } n_i} \geq 0.75$）**则控制限不变。**

控制限

$$UCL_p = \bar{p} + 3\frac{\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})}}{\sqrt{\bar{n}}}$$ （$\bar{n}$ 为样本容量的均值）

$$LCL_p = \bar{p} - 3\frac{\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})}}{\sqrt{\bar{n}}}$$ （$\bar{n}$ 为样本容量的均值）

使用举例：

- 用于恒定或变化的子组容量的**接收 / 拒收**判定
  - √ 首次合格（FTQ）结果[25]
  - √ 不合格品率
  - √ 合格品率[26]
  - √ 在临界值以上（或以下）产品的比率
- **判断结果**
  - √ 在特定分类中的产品比率
  - √ 在临界值以上（或以下）产品的比率
  - √ 正常运行时间的比率（设备）

[25] 另外可被称为 FTC（首次合格率）和 RTY（连续产量）。

[26] 此图有时也称为 q 图，这基于参数的计数 $q = 1\text{-}p$。

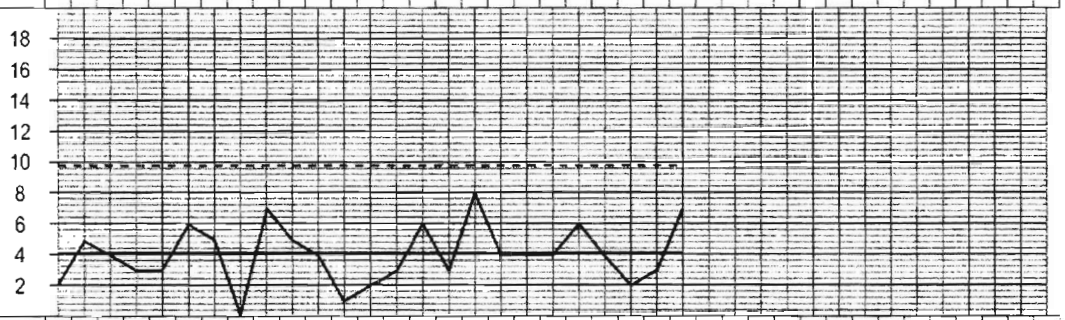
此页留白

np 图

表单编号：

零件名称：XXX	特性编号：	特性：发现焊接缺陷	规范：	子组/样本容量：62熔接点/组	频率：1组/半小时	开始日期：	结束日期：
工序：XXX	机器/夹具编号：	量具编号：VS-5615	备用量具编号	测量系统分析结果：接受	过程均值 $\overline{np}$ =4.04	UCL_{np} = 9.87	LCL_{np} = --

特性																									分类总和	占过程总和的百分比	占生产总和的百分比
尺寸偏低	2	4	3	3	2	6	4	0	6	5	4	1	2	2	6	3	8	4	3	4	5	4	2	3	6			
冷焊							1												1									
漏焊		1			1									1							1							
位置偏移			1						1																1			
不合格总数（np）	2	5	4	3	3	6	5	0	7	5	4	1	2	3	6	3	8	4	4	4	6	4	2	3	7		过程总和	
样本大小（n）	62	→																										



$$UCL = \overline{np} + 3\sqrt{\overline{np}(1-\bar{p})}$$

$$LCL = \overline{np} - 3\sqrt{\overline{np}(1-\bar{p})}$$

识别号码：	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
日期：三月	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2

图 II.18：不合格品数图

不合格品数图（*np* 图）

限制条件：

子组容量（*n*）要求恒定

指南：

因控制限是基于近似的正态分布，故样本容量应该使 $n\bar{p} \geq 5$。

单值：

np_i　　n＝被检零件的数量；

np＝所发现不合格品的数量

单值的均值：

$$\overline{np} = \frac{np_1 + np_2 + \ldots + np_k}{k}$$

控制图特征：

中心线	**控制限**
$CL_{np} = \overline{np}$	$UCL_{np} = \overline{np} + 3\sqrt{\overline{np}(1 - \frac{\overline{np}}{n})} = \overline{np} + 3\sqrt{\overline{np}(1 - \bar{p})}$
	$UCL_{np} = \overline{np} - 3\sqrt{\overline{np}(1 - \frac{\overline{np}}{n})} = \overline{np} - 3\sqrt{\overline{np}(1 - \bar{p})}$

使用举例：

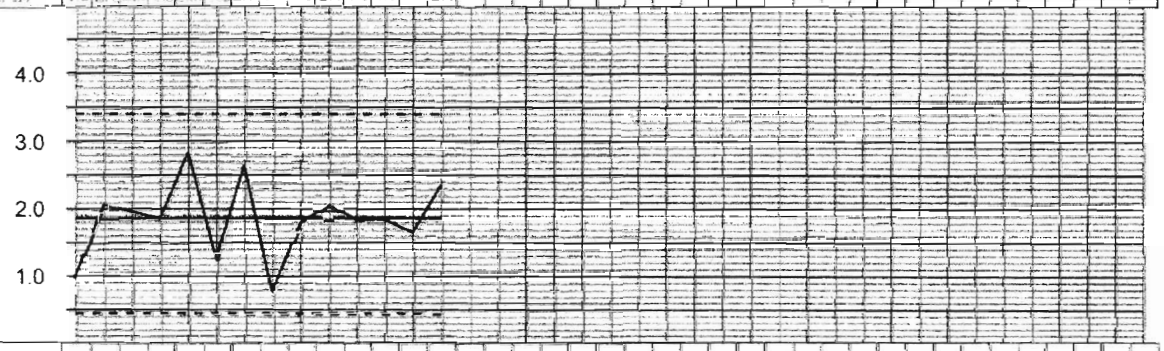
- 用于恒定的子组容量的**接收 / 拒收**判定
  - √ 首次合格（FTQ）结果
  - √ 不合格品的数量
  - √ 合格品的数量
  - √ 在临界值以上（或以下）产品的数量
- **判断结果**
  - √ 在特定种类中的产品数量
  - √ 在临界值以上（或以下）产品的数量
  - √ 某事件发生的次数

u图

表单编号：

零件名称：XXX	特性编号：	特性：所有不符合	规范：	子组/样本容量：8箱	频率：每天	开始日期：	结束日期：
工序：库房产品审核	机器/夹具编号：	量具编号：VS－845	备用量具编号：	测量系统分析结果：接受	过程均值：$\bar{u}$ = 1.89	UCL_u = 3.35	LCL_u = 0.43

特性	发生次数														分类总和	占过程总和的百分比	占生产总和的百分比
nd013	1	1				3		1	3	2		6					
nd018	1	1	1		3		7		1	1	1	1		6			
nd043		3	7		1		2		2	2	1			9			
nd050	2	1			1		1		1	1	1	1		2			
nd084	3	3	2		2		1	3	1	1	1	1		1			
vr721		4	1		1	6	1	1	1		3	1		1			
vr1050		1	3	4		1	1	2	1	1	1	1		1			
vr1901	1	1			2	1	2		3	3	3	4		3			
vr1942			4	4	5		1		1	1		1	5				
vr3017		2		7	8	1			2	4		5	5				
不合格总数（u）	8	17	18	15	23	9	19	6	14	17	13	15	16	22		过程总和	
样本大小（n）	8	8	9	8	8	7	7	8	8	8	7	8	9	9			
单位产品不合格（u/n）	1.0	2.1	2.0	1.9	2.9	1.3	2.7	0.8	1.8	2.1	1.9	1.9	1.8	2.4			



$$UCL = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$$

$$LCL = \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$$

误测号码														
日期：一样	9	10	11	12	15	16	17	18	19	22	23	24	25	26

图 II.19：单位产品不合格数图

单位产品不合格数图（*u* 图）

指南：

因为控制限是基于近似的正态分布，所以样本容量必须足够大。因此，$c=0$ 的子组数量要很小。

单值：

$$u_i = \frac{c_i}{n_i}$$

c_i=在样本 i 中所发现的不合格数量

n_i 是样本容量

单值的均值：

$$\bar{u} = \frac{u_1 + u_2 + ... + u_k}{k}$$

控制特征：

中心线

$$CL_u = \bar{u}$$

控制限

$$UCL_u = \bar{u} + \frac{3\sqrt{\bar{u}}}{\sqrt{n_i}} = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n_i}}$$

$$LCL_u = \bar{u} - \frac{3\sqrt{\bar{u}}}{\sqrt{n_i}} = \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n_i}}$$

当样本容量变化时，（如果 $\frac{\text{最小值}\, n_i}{\text{最大值}\, n_i} \geq 0.75$ **），则控制限不变。**

控制限：

$$UCL_u = \bar{u} + \frac{3\sqrt{\bar{u}}}{\sqrt{\bar{n}}} = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{\bar{n}}}$$ （$\bar{n}$ 为平均样本容量）

$$LCL_u = \bar{u} - \frac{3\sqrt{\bar{u}}}{\sqrt{\bar{n}}} = \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{\bar{n}}}$$ （$\bar{n}$ 为平均样本容量）

使用举例：

- 用于单位产品**可变**数量项目的**接收 / 拒收**判定
  - √ 特别指定单位的质量比率
  - √ 单位产品不合格的平均数量（比率）
  - √ 在一个或更多种类中项目的平均数量（比率）
- **判断结果**
  - √ 在一个或更多种类中产品的平均数量（比率）
  - √ 在单位产品的临界值以上（或以下）的不合格的平均值（比率）

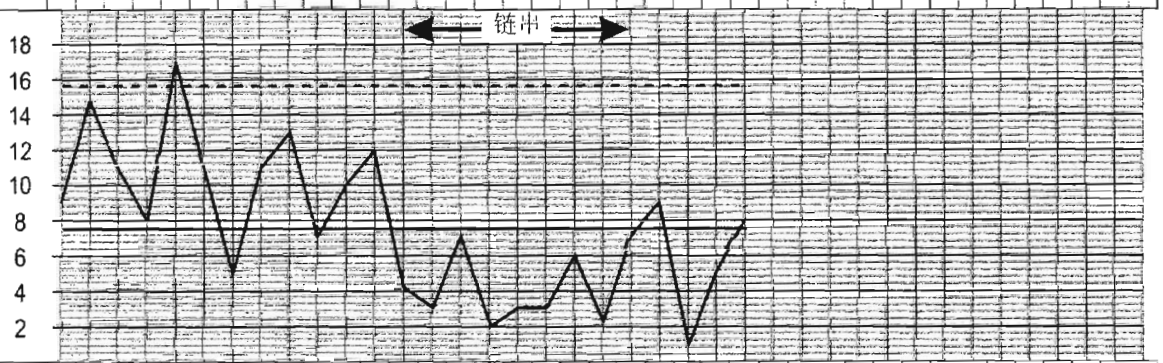
C图

表单编号：

零件名称：	特性编号：	特性：	规范：	子组／样本容量：	频率：	开始日期：	结束日期：
XXX		所有缺陷		所有螺钉	每个螺钉		

工序：	机器／夹具编号：	量具编号：	备用量具编号：	测量系统分析结果：	过程均值：$\bar{c}$ = 7.56	UCL_c = 15.81	LCL_c = --
		VS—1041		接受			

特性	发生次数	分类总和	占过程总和的百分比	占生产总和的百分比
vr721	4 1 6 4 4 4 3 1 1 4 1 1 1 1			
vr1050	1 3 1 1 2 1 1 1 1 1 3 2 1 1 2 1 1 1			
vr1901	2 7 1 2 3 3 3 4 1 1 2 1 2 3 3 4			
vr1942	4 4 8 1 1 1 1 5 2 4 3 1 1 3			
vr3017	2 7 8 1 3 3 2 4 5 5 2 1 2 4 5			
不合格总数（c）	9 15 11 8 17 11 5 11 13 7 10 12 4 3 7 2 3 3 6 2 7 9 1 5 8		过程总和	
样本大小（n）	1 →			



$$UCL = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$$

$$LCL = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$$

识别号码：	1 2 3 4 5 1 2 3 1 2 3 4 5 1 2 3 4 1 2 3 4 5 1 2 3
日期：	11/9 11/10 10 10 10 10 10 11/16 16 16 16 16 16 11/17 17 17 17 11/18 18 18 18 18 11/19 19 19

图 II.20：不合格数图

不合格数图（c 图）

限制条件：

要求样本容量（n）恒定

指南：

因为控制限是基于近似的正态分布，所以样本容量必须足够大，因此 $c=0$ 的子组数量要很少。

单值：

c_i＝样本中所发现的不合格数量；$i=1$，....，k

单值的均值：

$$\bar{c}=\frac{c_1+c_2+...+c_k}{k}$$

k＝样本数量

控制图特征：

中心线	**控制限**
$CL_u=\bar{c}$	$UCL_C=\bar{c}+3\sqrt{\bar{c}}$
	$LCL_C=\bar{c}-3\sqrt{\bar{c}}$

使用举例：

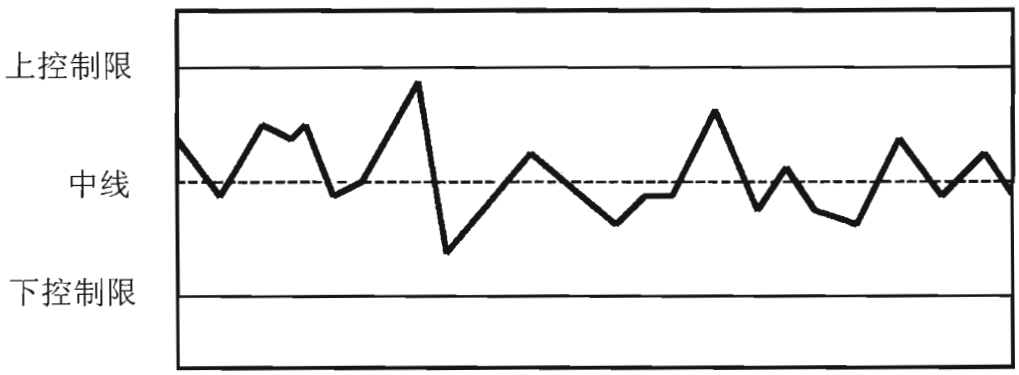
- 用于单位产品**恒定**数量项目的**接收 / 拒收**判定
  - √ 特定单位产品的质量水平
  - √ 单位产品不合格的总数量
  - √ 在一个或更多分类中项目的总数量
- **判断结果**
  - √ 在单位产品的一个或更多分类中项目的总数量
  - √ 在单位产品的临界值以上（或以下）的项目的总数量
  - √ 在单位产品中，事件发生的总次数

此页留白

第三章

其它类型的控制图

控制图



1. 收集

- 收集数据并画在图上

2. 控制

- 根据过程数据计算试用控制限
- 识别变差的特殊原因并采取措施

3. 分析及改进

- 确定普通原因变差的大小，采取措施去减小它

重复这三个阶段从而不断改进过程

图 III.1：控制图

介绍

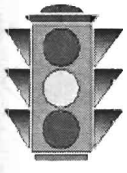
有几种类型的控制图不同于前面章节中所讨论的。这些图大部分是针对影响标准控制图最佳应用的特定的过程状况或条件而开发出来。这些更通用的图的简要描述将在下面列出。这些描述将给出这些图的定义，适当地讨论它们何时被使用并列出与图相关的公式。如果想得到关于这些图或其它图的更多信息，请参考特别介绍这些控制图的参考文献。

基于概率的控制图

基于概率的控制图属控制图的一种，它使用分类的数据和与其类别相关的概率。分类数据的分析通常使用二项式、多项式或泊松分布。

在**第二章**的**第 C 节**中讨论的计数型控制图是这种图的例子。计数型控制图使用“好”和“坏”的分类（如，符合和不符合）。然而，在这些分类（或其他分类）中,没有什么是固有的，这些分类规定一个或更多类是“坏”的。问题是使用者倾向于通过例子而不是依据知识来应用。这点上，专业人士和教师与其学生犯有同样多的过错。有一种倾向是，不使用容易的方法，而使用传统的（和陈旧的）例子。这导致我们未能意识到质量从业者曾经有过（或受限于）公差的观念，如“按照图纸”制造（或“足够接近”）。

红绿灯信号控制图



通过红绿灯信号控制图，过程的位置和变差可以使用一张图来控制。用这个图跟踪样本的数据点落在每一个指定的分类区中的数量。判定的标准是基于这些分类的期望概率。

典型的做法是将过程变差分成三个部分：低警告区、目标区、高警告区。在期望的过程变差（$6\hat{\sigma}$）以外的区域是停止区。这种类型的一个简单但有效的控制程序是停止信号控制，它是一种使用两次取样的半计量型控制图（多于两个分类）技术。在这种方法中，目标区指定为绿色，警告区域是黄色，停止区域是红色。这些颜色的应用导致了“红绿灯信号”的名称。

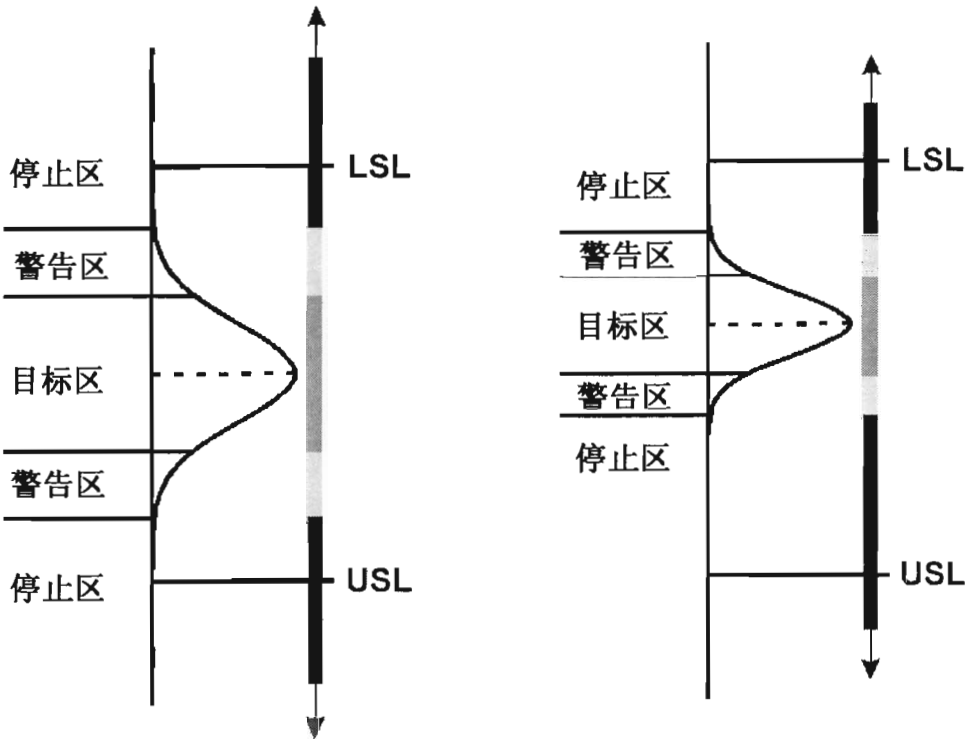


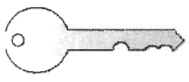
图 III.2：红绿灯信号控制图

根据这种分类，通过在一个样本中确定和制图画出落在指定的“警告”区中的数据点的比例，来控制过程。这个分配（警告区%）确定了要求的样本容量和频次。当然，只有过程的分布为已知时，才允许使用这种过程控制。这种过程的量化和分析要求使用计量型数据。

这个工具的焦点是探测过程中的变化（变差的特殊原因）。这只是用于第二阶段活动[27]的一个适当工具。在执行时，红绿灯信号控制不需要计算和绘图，因此，它变得比控制图更容易。当它将总样本（如，5）分离为两阶段的抽样（如，2、3），这种方法能给出与使用同样总样本容量的控制图相同的或更有效的不受控情况的信号。（参见 Heaphy 与 Gruska (1982)）

虽然，这项技术的开发完全建立在统计理论之上，它可以在操作者层面上被实施和讲授，而不需涉及数学。

[27] 见**第一章，第 F 节**。

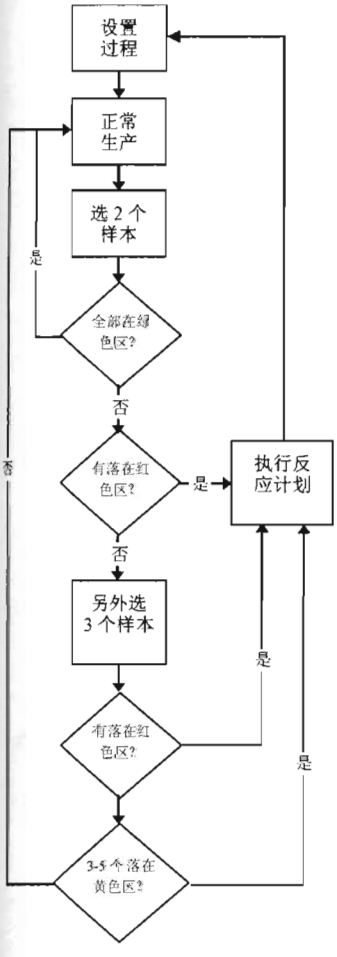


红绿灯信号控制图中的假设是：

- 过程是统计受控的。
- 过程能力（包括测量变差）是可接受的。
- 过程靠近目标值。

一旦通过使用计量型数据技术的过程能力研究，验证符合了这个假设，过程分布能够被这样划分：均值±1.5 标准差被标注为绿色区域，过程分布的其它区域是黄色。过程分布（99.73%的范围）以外的任何区域被标注为红色。

如果过程分布遵循正态形状，分布的大约 86.6%是在绿色区内，13.2%是在黄色区内，0.3%是在红色区内。如果发现分布为非正态形状，类似的条件也可以被建立。



为达到与样本容量为 5 的 $\overline{X}$ 和 R 控制图相当的控制，红绿灯信号控制图的步骤可简述如下：

1. 检查两个零件，如果两件都在绿色区域，继续运行。
2. 如果一个或两个都在红色区域，停止过程，通知指定人员采取纠正措施和材料挑选。在调整或其它改正完成时，重复步骤 1。
3. 如果一个或两个都在黄色区域，检查三个以上零件。如果任何零件落在红色区域，停止过程，通知指定人员采取纠正措施和材料挑选。在调整或其它改正完成时，重复步骤 1。
   - √ 如果没有零件落在红色区域，但有三个或更多零件落在黄色区域（来自 5 个零件），停止过程，通知指定人员采取纠正措施和材料挑选。在调整或其它改正完成时，重复步骤 1。
   - √ 如果三个零件落在绿色区域并且其它的在黄色区域，继续运行。

测量可以用计量型量具也可用计数型量具。某些计量型量具例如刻度盘指示器或气体 – 电量柱量具能较好适用于这种类型的方案，因为其指示器的背景可以标示颜色。虽然没有要求用图表，但还是推荐作图，尤其是当过程中可能有细微的趋势（通过相对较长的时间的变化。）

在任何做决定的情况，都会有做错误决定的风险。关于取样，两种错误类型是：

- 当过程实际是好的时，却把它看作坏的概率（错误报警率）。
- 当过程实际是坏的时，却把它看作好的概率（失误率）。

除这两种测量以外，取样计划的灵敏度可以被量化。由于变差的增加或过程均值的移动，灵敏度涉及到探测超出控制条件的抽样计划的能力。

红绿灯信号控制图的缺点是它与同样总样本容量的 $\overline{X}$ 和 R 控制图相比，具有更高的错误报警率。

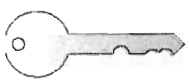
红绿灯信号控制图的优点是它与同样的总样本容量的 $\overline{X}$ 和 R 控制图相比，具有同样的灵敏度。

由于容易收集和分析数据，使用者倾向于接受基于这些类型的数据的控制机理。它关注的是目标值而不是规范的界限 —— 因而，它与目标哲学和持续改进是一致的。

预控制图

红绿灯信号方法的一个应用是预控制图，目的是对***不合格的控制而不是过程控制***。它的控制是基于规范而不是过程变差。它的起源可以追溯到 1954 年[28] 在 Jones & Lamson 机器公司来自 Rath & Strong 的 Frank Satterthwaite 的工作。

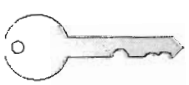
预控制图中的假设是：



- 过程有一个平坦的损失函数（见**第四章**的损失函数章节）。
- 过程性能（包含测量系统变差）小于或等于公差。

第一个假设意味着过程中变差的所有特殊来源是受控的。第二个假设表明了生产的零件不用挑选就有 99.73%落在规范以内。

如果前述的假设能够被满足，公差可以被划分成：**名义值±¼公差**被标注为绿色区域，规范内其余区域是黄色。规范以外区域被标注为红色。对一个 C_p、C_{pk} 等于 1.00 的正态的过程，大约 86.6%的零件落在绿色区域，13.2%的零件落在黄色区域和 0.3%的零件落在红色区域。如果发现过程分布是非正态的或能力很高的，也可以做类似的计算。



预控制图的取样使用的样本容量为 2。但是，在开始取样前，过程生产的 5 个连续的零件必须落在绿色区域。然后把两个数据点中的每一个描在控制图上并且对照一组规则进行评审。

[28] 参见 Bhote（1991）和 ASQ Statistics Newsletter Vol 05 No 2 Feb. 1984。

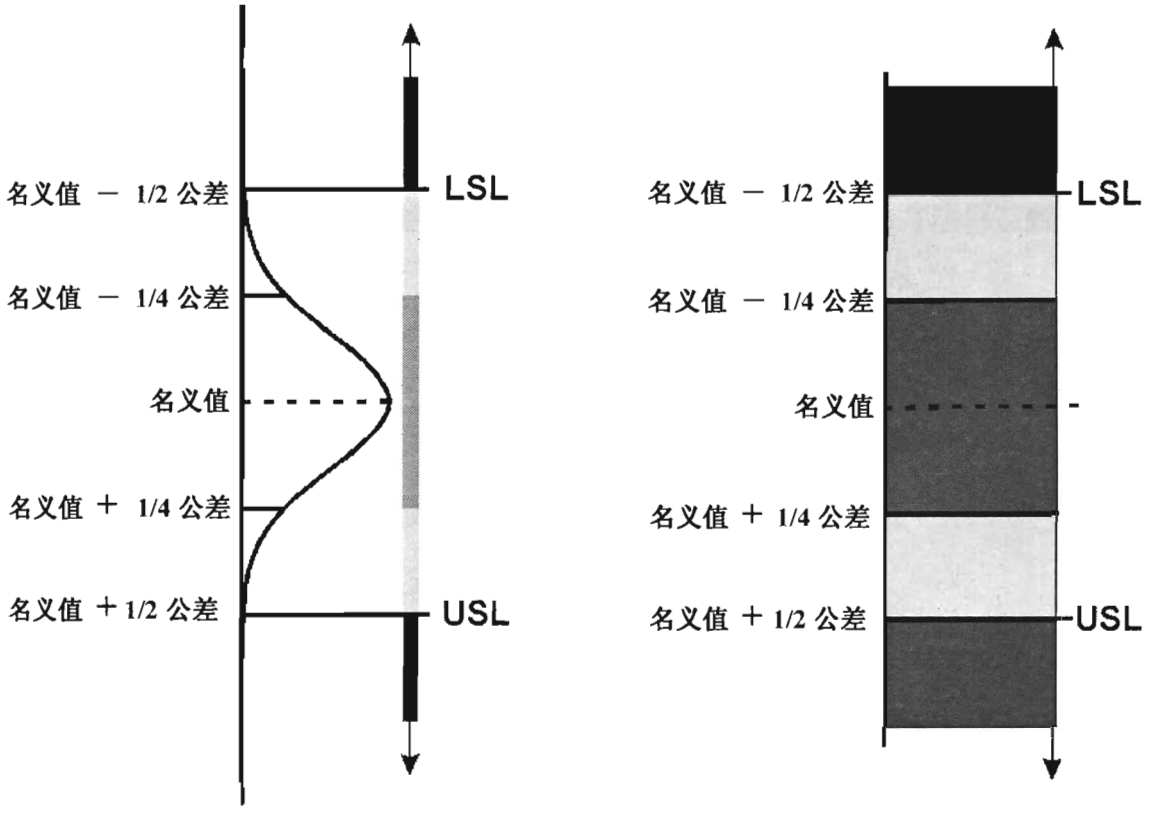
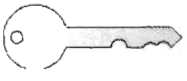


图 III.3：预控制图

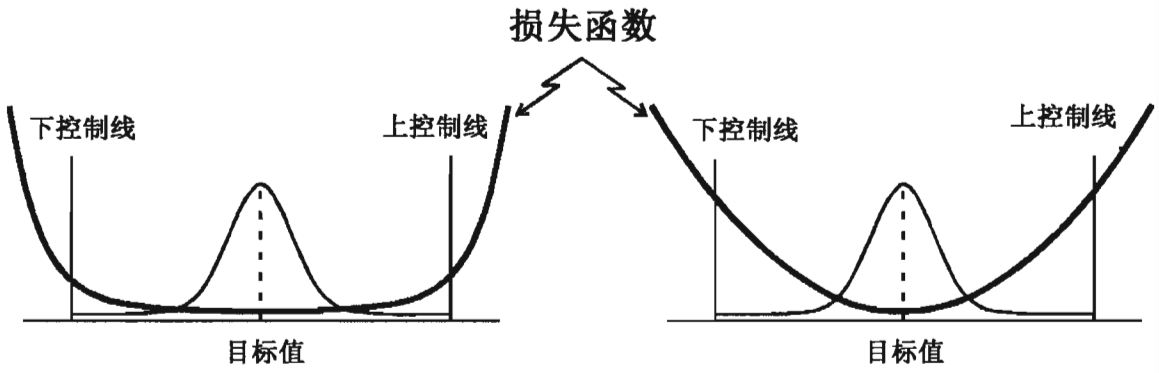
在使用预控制图时，应使用下列规则：

- 两个数据点都落在绿色区域 —— 继续运行过程。
- 一个数据落在绿色区域，一个数据落在黄色区域 —— 继续运行过程。
- 两个点落在黄色区域（同一区） —— 调整过程。
- 两个点落在黄色区域（相反区） —— 停止过程并调查。
- 一个点落在红色区域 —— 停止过程并调查。

每当过程被调整，在开始取样前，过程生产的 5 个连续的零件必须落在绿色区域。



预控制图不是一个过程控制图，而是一个不合格控制图，对于如何使用和解释这个图必须很小心。当你得到的过程 C_p、C_{pk} 大于 1 或者它的损失函数在规范内不平坦的时候（见**第四章**）则不应使用预控制图。



“平坦的”损失函数　　敏感的损失函数



预控制图的好处是它的简单。预控制图的缺点是：适用于正态的过程控制方法的潜在的诊断方法对它是不适用的。而且，预控制图既不能估计也不能监控过程的稳定性。预控制图是一个以判断符合性为基础的工具，不是一个过程控制工具。

短期控制图

标准控制图方法较适合于长时间的生产运行。可是，有些过程在单一运行期间（例如，加工车间）只生产较少数量的产品。此外，随着准时化（JIT）库存和精益生产的方法日益受到关注，推动着使生产运行变为更短。以商业观点出发，一个月进行几次大批量生产并把它作为以后发送的库存的情况能够导致可避免的、多余的成本。生产厂家现在正趋向准时化生产（JIT）—— 以更多的频次生产更少数量的产品以避免储备“在制品”和存货引起的成本。例如，在过去，一个月要求生产 10,000 件零件，如果做到每周完成批量为 2,500 件，则是令人满意的。现在，顾客要求使用柔性生产方法和准时化（JIT）的要求可能导致每天只生产和发运 500 个零件。

实现短期运行过程的效率的本质是，统计过程控制方法能够验证过程真实地处于统计受控（即，可预测的），并且 SPC 在这些“短期运行”期间能够探测出特殊原因变差。

为了应用， Wheeler (1991)描述了操作过程“**理想状态**”的四条要求：

a. “过程本身必须是随时间稳定的。

b. 过程必须以稳定和一致的方式操作。

c. 过程目标必须被设置和维持在适当的水平上。

d. **本身的过程界限**必须落在规范界限以内。”

有效的控制图甚至能够利用少量的数据来创立。短期运行导向的控制图允许用一个单一的图来控制多种产品。这个图上存在多个变差。被较多描述的短期控制图是：[29]

a. 与名义值的差异或偏差（Difference or Deviation from Nominal ，DNOM）的 $\overline{X}$ 和 R 控制图。通过将产品的测量值和它的目标值之间的差异描在一个图上，可以很容易地描述不同产品短期运行的生产过程的特性。这些控制图能够应用于单个测量值和成组的数据。

[29] 当子组由小的样本总体组成或子组使用了跨越较长时间周期的测量时（见**附录 A**），应该小心。Wheeler (1991)讨论了用单值和移动极差（*I & MR*）控制图评估数据能够保证重要过程行为信息不会被子组分组所掩盖。

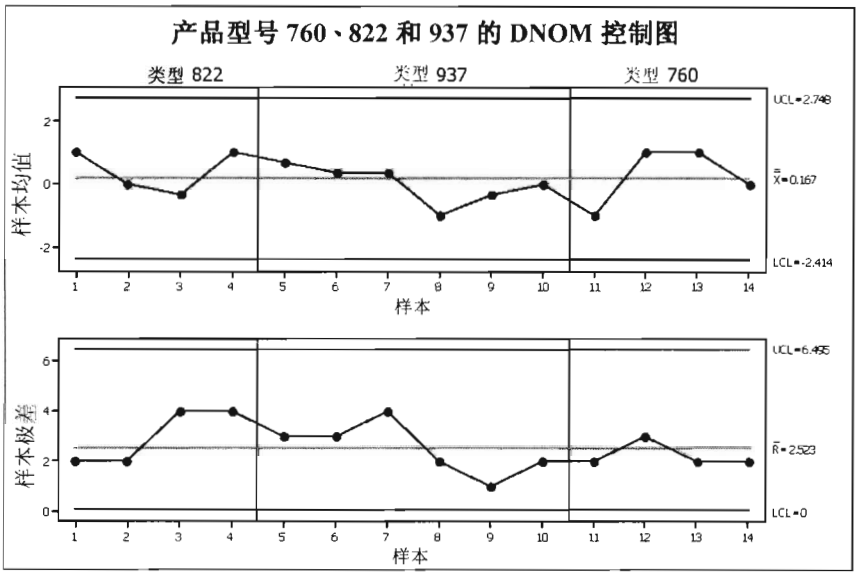


图 III.4：DNOM 控制图

b. 标准化的 $\overline{X}$ 和 *R* 控制图

DNOM 方法假设在单一的控制图上所跟踪的产品，有一个普通的、持续的变差。当这些产品的变差有显著的不同时，使用与过程目标值的偏差就会有问题。在这样的情况下，可以使用一种转换形式使数据标准化以补偿不同的产品均值和变差：

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

这类控制图有时被叫做 *Z* 控制图或 *Z 化* 的控制图。

在某些短期运行过程中，总的生产量可能太小而不能有效地组成子组。对于这些情况，分组测量可能不利于此过程控制的概念，并将控制图降低为一个报告卡的功能。但是，只要分组是可能的，测量值就可以被标准化以适应这种情况。

c. 标准化的计数型控制图

计数型数据样本，包括那些样本容量变化的样本，能够被标准化，以致于将多种产品类型的数据画在一个单一的控制图上。此标准化的统计量的公式为：

$$Z_i = \frac{\text{与平均值的差}}{\text{标准差}}$$

例如，对于缺陷率的 *u* 统计量将被标准化为：

$$Z_i = \frac{u_i - \bar{u}}{\sqrt{\bar{u}/n}}$$

这种方法也可应用在 *np*、*p*、*c* 和 *u* 控制图上。

对于短期控制图应用的详细讨论和例子参见 Farnum（1992）、Juran 与 Godfrey（1999）、Montgomery （1997）、Wheeler（1991）、Wise 与 Fair（1998）。

探测小变化的控制图

有这样一些情况，当过程均值发生小的变化就能够引起问题。休哈特控制图不能足够灵敏而有效地探测这些变化，如小于1.5σ。这里讨论的两个可供选择的控制图是可以用来改进灵敏性，以探测过程均值小的漂移。虽然典型的休哈特控制图只使用由最近数据点所提供的信息，累积和（CUSUM）和指数加权平均移动（EWMA）控制图开发使用累积的、历史的数据中的有用信息。参见 Montgomery （1997）、Wheeler （1995）、Grant 与 Leavenworth （1996）关于这些方法和与补充的探测规则比较的深入讨论，这些补充的探测规则是用于加强休哈特控制图对小的过程移动的灵敏度。

累积和（Cumulative Sum, CUSUM）控制图

累积和控制图在图上标出了连续样本均值与目标规范值的偏差的累积和，所以即使过程均值发生很小的永久性移动（0.5σ或以下），最终都将发出信号表明移动已经发生。对于大的移动，休哈特控制图是正好是有效的，并且花费较少努力。

这些控制图大多数常用于监控连续的过程，例如化学工业，在那里小的移动能产生显著的影响。

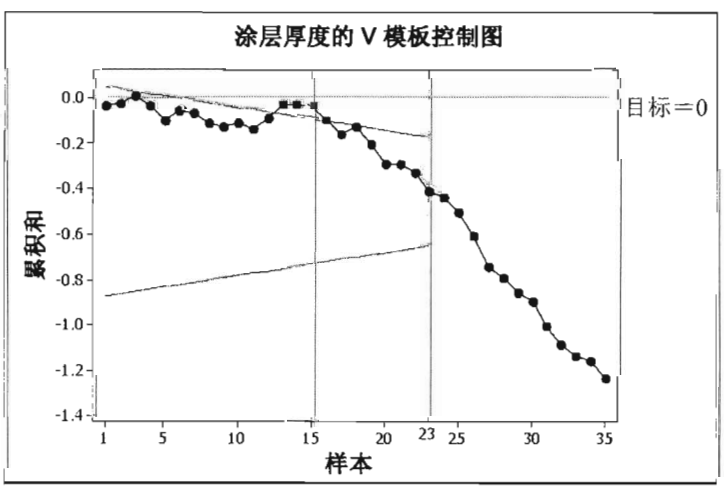
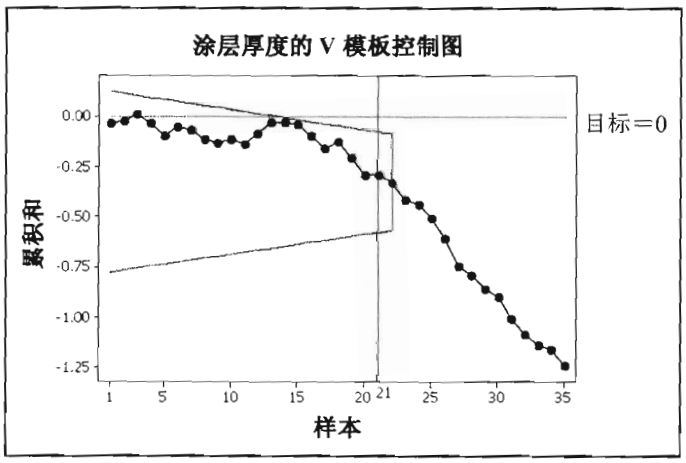


图 III.5：使用 V-模板的累积和控制图

累积和控制图评价绘图线的斜率。将图形工具（V－模板）布在控制图上，并使垂直参考线在控制图上从 V 的原点偏移到最后的绘图点（见**图 III.5**）。两臂的偏移量和角度是过程移动灵敏度的想得到的水平的函数。当先前描点落在 V－模板两臂之外时就显示了失控的情形（如，一个显著的过程移动）。这些臂代替了上、下控制限。



在**图 III.5** 中的控制图指示过程移动大约发生在样本 14 或 15 的时间。由于这个控制图的性质，移动直到 23 点被描出时才被探测到。当这个 V-模板被放置在先前的数据点上，所有的样本落在控制限以内，所以没有超出控制情况的指示。

作为比较，同样的数据在单值和移动极差控制图（*X*、*MR*）上描出（**图 III.6**）直到样本 27 才能探测出来过程的移动。

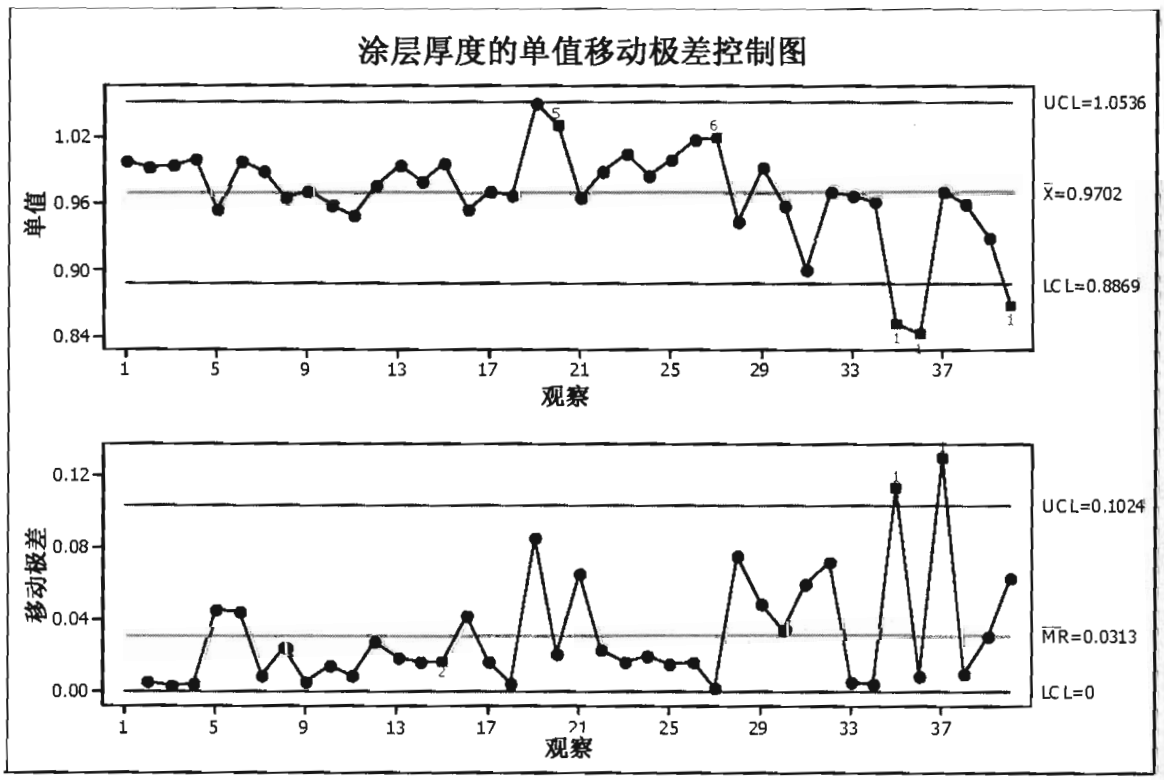


图 III.6：*X* 和 *MR* 控制图

表格式的累积和（CUSUM）是对 V-模板方法的另一可供选择方法。对这个程序的讨论参见 Montgomery （1997）。

指数加权移动均值（Exponentially Weighted Moving Average，EWMA）控制图

EWMA 控制图描绘了过去和当前数据的移动均值，其中用于平均的数值被分配了权重，而数值的权重从当前到过去[30]以指数形式降低。因此，这些平均数值更多受到最近过程性能[31]的影响。指数加权移动平均数用下列方程式定义：

$$z_t = \lambda X_t + (1-\lambda) z_{t-1}$$

这里 λ 是加权常数 $0 < \lambda < 1$，

t 是一个指数编号（t=1....），

x_t 是当前的样本值，而

z_t 是当前的加权移动平均数。

启动此过程，初始值 z_0，必须用第一个样本估计。

通过递归替换，Z_t 后续的值能够由下列公式确定：

$$z_t = \lambda \sum_{i=0}^{t-1} (1-\lambda)^i x_{t-i} + (1-\lambda)^t z_0 \qquad for\ 0 < \lambda < 1$$

λ 的值是从基于平均运行长度（ARL）表现的表格或图表决定的。有些作者也认为在设计指数加权移动均值控制图时，控制限的宽度不同于 3 倍标准差。但是，现在的文献指出这种方法可能不必要。

EWMA 控制图在 λ= 1.0 时变为一个 $\overline{X}$ 控制图。详细的讨论参见 Montgomery（1997）和 Wheeler（1995）。

这个控制图的优点是它具有有效地探测过程均值微小移动的能力，通常小于 1.5 倍标准差，并且它能被用于均值缓慢飘移的自相关的过程[32]。

它的缺点是它不能有效地探测过程均值大的变化。在出现大的过程均值变动时，推荐使用休哈特控制图。

EWMA 的普通应用是在化学工业，那里大量的日常波动是普遍的，但并不表示缺乏过程可预测性。

图 III.7 和**图 III.8** 是用相同的数据作出的 EWMA 控制图和 *X*，*MR* 控制图。EWMA 控制图在样本 29 探测出均值的移动，但在 *X* 和 *MR* 控制图上没有显示出这个移动。

---

[30] 与之对照，累积和控制图（CUSUM chart）对过去的数据给出了相等的加权。

[31] 另一类时间加权的控制图是移动均值控制图（MA chart）。这种方法是基于一个简单的、未加权的移动极差。见 Montgomery (1997)。

[32] 见**附录 A**。

只有出现点超出了控制界限的形式才产生有效的信号[33]。其他用于评估数据的不随机模式的规则（见**第二章，第 B 节**），不是可靠的失控制情况的指示。

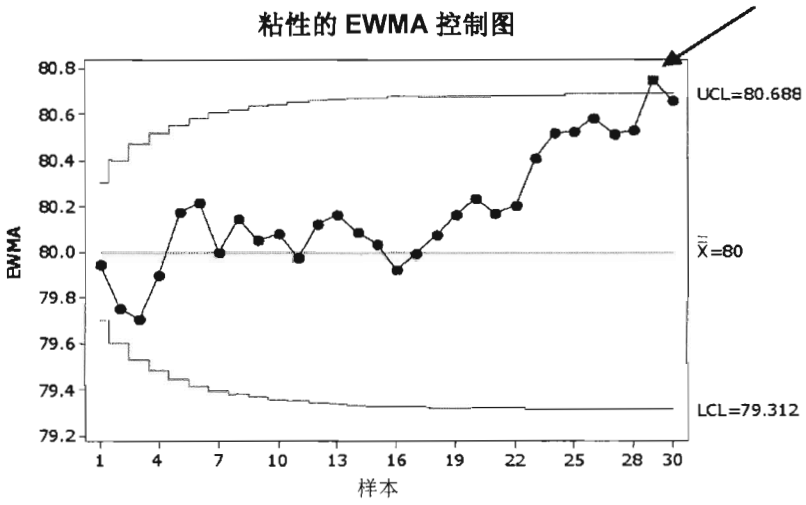


图 III.7：粘性的 EWMA 控制图

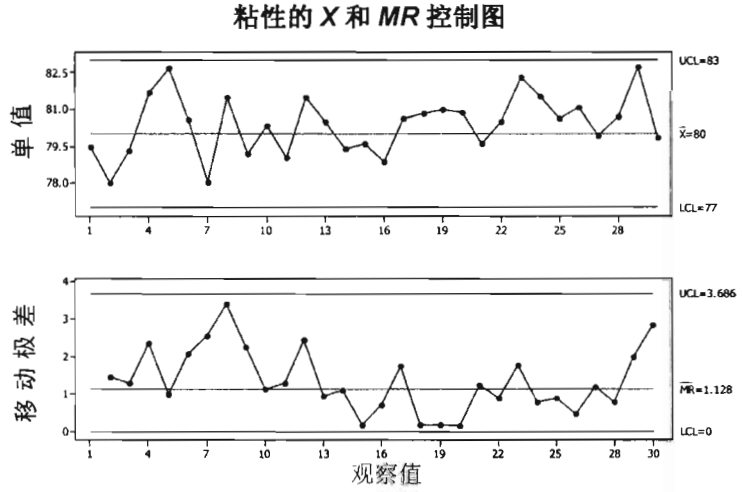


图 III.8：粘性的 *X* 和 *MR* 控制图

在对引起均值小的移动的可查明的原因的探测能力上，指数加权移动均值控制图（EWMA）和累积和控制图（CUSUM）本质上是等价的。可是，EWMA 也可用于预测下一时间周期的“新”过程均值。这些控制图有助于发出过程需要调整（维护）的信号。但它们不适合作为过程改进的工具（见 Wheeler (1995)）。

[33] 因为涉及移动均值，所描的点是相关的（相互依赖的）。因此，用模式分析的方法探测特殊原因是不适用的，因为此方法是假定这些点是相互独立的。

这些控制图的多变量形式，多变量累积和控制图（MCUSUM）和多变量指数加权移动平均控制图（MEWMA）已经被开发，参见 Lowery et al（1992）、Lowry 与 Montgomery （1995）。

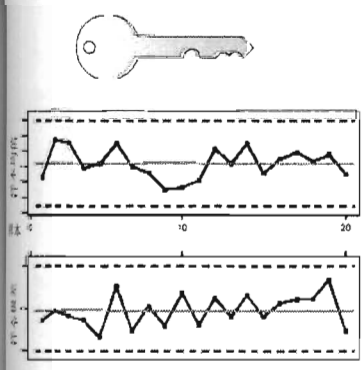
非正态控制图

如果一个过程的基本分布是已知的且是非正态的，有几种方法可以使用：

- 以适当的样本容量，使用标准的休哈特控制图。
- 使用调整系数修改控制限以反映非正态的形式。
- 使用一个转换使数据转换成为一个（接近）正态形式，并使用标准控制图。
- 基于本来的非正态形式使用控制限。

使用的方法依赖于过程分布从正态偏移的数量和与过程有关的特殊条件。

休哈特控制图



虽然在过程分布为正态的假设下，标准控制图相关联的灵敏度和风险已得到分析，但休哈特控制图的开发并不是基于正态的假设。他的目的是开发一个工具以有助于对质量的经济的控制。休哈特控制图可以用于所有过程。然而，当过程分布偏离了正态的时候，对变化的灵敏度会减少，发生相关的**第一类错误**（Type I error）的风险会增加。

对于许多非正态过程分布，**中心极限定律**可以用于减轻非正态性的影响。也就是说，如果使用的子组容量是充分大的，休哈特控制图能以接近正态的灵敏度和风险度使用。[34]

[34] 举例，参见 whheeler （1995）。

中心极限定律

设定 $X_1,...,X_m$ 是来自同一个*任意* 的概率分布的一组 n 个独立随机变量，其均值为 μ_X，方差为 σ_X^2。

考虑到均值 $\overline{X}_n = \dfrac{\sum_{i=1}^{n} X_i}{n}$

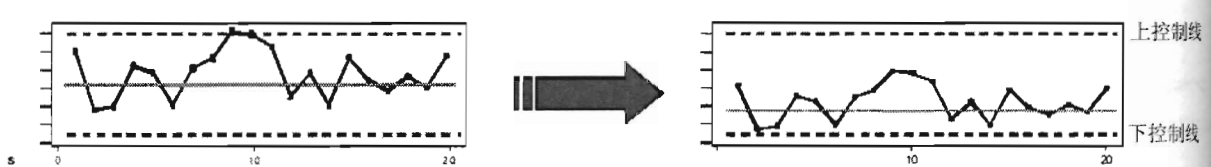
当 $n \to \infty$，$\overline{X}_n$ 的分布接近于正态分布 $N\left(\mu_X, \dfrac{\sigma_X^2}{n}\right)$

“经验法则”：极差图应该使用的子组容量为 15 或以下。标准差图能适用于所有的子组容量。

调整系数

在不可能使用大的子组的时候，休哈特控制图的控制限可以使用调整因素加以修改，以补偿非正态的影响。因为非正态分布要么是不对称，要么与正态分布比有较重的尾部，或者两种情况都存在。使用标准的 ±3 标准差的控制限能够增加错发警报的风险，特别是当使用模式分析查找特殊原因的时候。

在这种方法中，非正态分布的形状特点是偏斜的或峰度的或者两者都有。那么对正态的控制限应用表格的或算法的修正系数。[35]



这个方法要求初始能力研究要用充分大的样本，以有效地获取非正态形状。

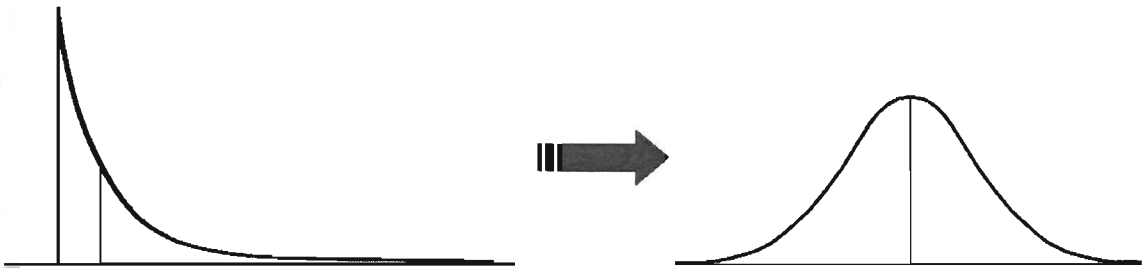
[35] 例如，见：Burr, I. W. (1967), Chan, L.K, 及 Cui, Heng, J (2003),及 Pham, H., (2001)。

对此方法和下列的方法，过程应该被定期地研究以验证分布的形式没有改变。分布的任何显著的改变标示着过程正在受到特殊原因影响。

转换

对调整系数可供选择的方法是转变数据而不是转变控制限。在这种方法中，确定一种转换将一个非正态过程分布转换成为一个（近似）正态分布。在这些情形使用的转换[36]例子有 Johnson 族的转换和 Box-Cox 转换。

接着使用已选定的转换方式转变每一个数据点，然后对已转变的数据使用标准的休哈特控制图方法。

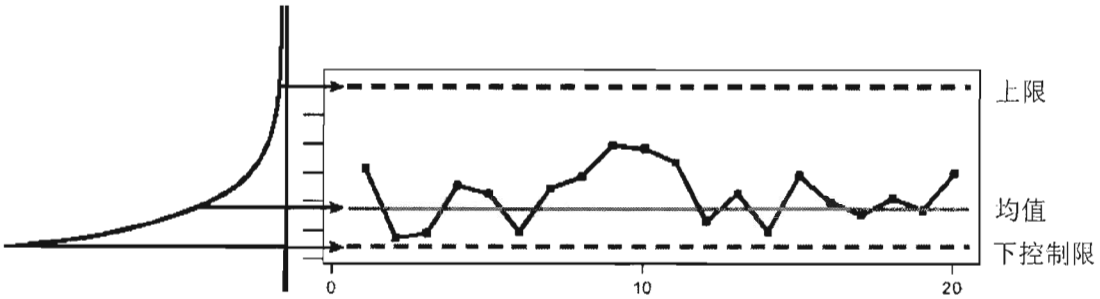


为了使这种方法有效，转换必须是有效的。典型的做法是要求用足够大的样本进行能力研究，以有效地获取非正态形状。另外，因为转换常常在计算上比较复杂，只有在实施时使用计算机程序，这种方法才是有效及有效率的。

非正态形式

有一些情形是上述方法不易处理的。这些情形的例子是过程分布呈明显的非正态和所取的样本容量不可能很大，例如，在跟踪设备的可靠性时。在这些情形中，直接用非正态形式建立控制图，计算控制图的控制限。

[36] 例如，参见 Johnson（1949）和 Box and Cox（1964）。

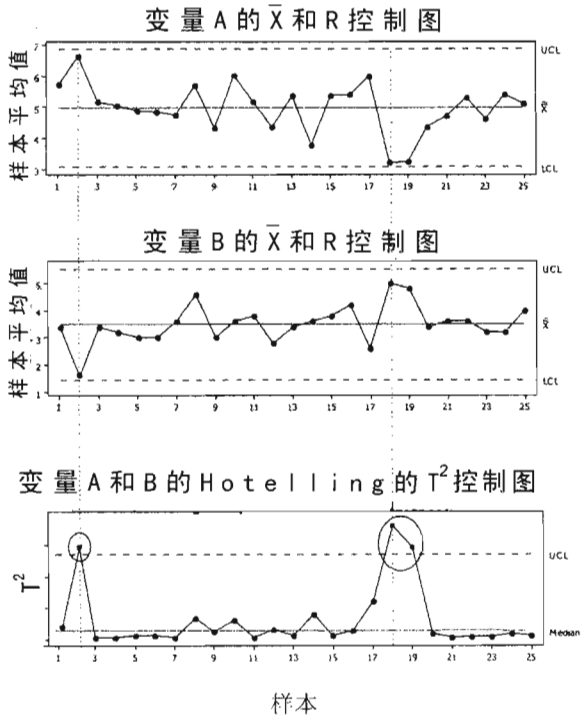


在跟踪设备可靠性的例子中，失效时间的控制图使用的子组容量为 1。控制限是基于指数分布，此分布的参数 θ 等于平均失效间隔时间（MTBF）。通常，这种方法的控制限被选择为基本分布的 0.135 和 99.865 百分点。

如同上述其他方法，为了使这种方法有效，典型的做法是要求用足够大的样本进行能力研究，以有效地获取非正态形式。这种方法的优点是数据不需要复杂地计算就可以被描点，并且它比调整系数提供了更精确的控制限。

多变量的控制图

多变量控制图适合于当它想要同时控制两个或更多特性，这些特性反应了对产品或过程的性能。它们的优点是所有变量的组合影响可以用一个单一的统计量进行监控。例如，零件清洗液的 PH 值和温度的组合影响可以连接到通过粒子计数测量的零件清洁度。多变量的控制图提供了探测均值移动和参数关系变化的一种方法。



变量的相关矩阵能够被用于测试一个多变量的控制图是否有用。为使多变量方法是可行的，矩阵输入应该显示那些变量是充分相关的。

三个最普遍的多变量控制图统计量是 Hotelling 的 T^2，多变量加权移动均值（MEWMA）及多变量累积和（MCUSUM）。

多变量控制图减少了**第一类错误**（Type I error），例如，与使用单一变量控制图分别判定每个变量相比，多变量控制图发出假的失控信号的可能性较小。

这种方法的简单也是它的缺点。不受控的情况可以使用单个统计量来探测，但此图的结果分析不能告知它是由哪个变量引起的。为了分辨出特殊原因，可能还需要使用其他统计工具作额外的分析。参见 Kourti 与 MacGregor（1996）。

多变量控制图在数学上是复杂的，这些方法的实际应用是需要用计算机处理的。然而，对用于估计分布统计量的适当技术的使用进行验证是重要的。参见 Wheeler（1995）、Montgomery（1997）和例如 Mason 与 Young（2001）的最近文献，对于多变量控制图的详细讨论。

其它控制图

在**第一章，第 E 节，第 3 类**的过程被定义为一个不是统计受控但对其公差是可接受的过程。存在变差的特殊原因，变差的来源是已知的并可以预测的，但由于经济的原因它不能被消除。然而，特殊原因的这种可预测性可以要求监视和控制。一种在变差特殊原因的可预测性方面确定偏差的方法是回归控制图。

回归控制图

回归控制图是用于监控两个相关变量之间的关系，以确定是否和何时偏离已知的可预测的关系。这些控制图最初是应用在行政管理的过程，但它们也已经用于分析多种类型变量之间的相关性。

回归控制图可跟踪两个变量之间的线性相关，例如：

- 产品成本对重量。
- 产量对机器循环时间（线速度）。
- 温度对压力。
- 尺寸变化相对于工装周期。

例如，如果一个工具相对过程的每次循环发生固定的磨损，尺寸特性如直径（Y）能够基于执行的循环数（X）来预测。使用随着时间收集的数据，这个线性关系模型可以定义为：

$$Y = b_0 + b_1 X$$

当 X 等于 0 循环时，预测的 Y 是等于 b_0。因此，b_0 是工具从未使用时的预测尺寸。

b_0 和 b_1 是用简单的线性回归方程式来估计的。

控制图的建立需要画出线 $\hat{Y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X$，它是对 $Y = b_0 + b_1 X$ 的估计，并且计算它的 95%或 99%预测区间。计算的预测限是最紧密靠着 $\overline{X}$ 的点的曲线。通常，它们用 $\hat{Y} \pm 3s$ 代替，以收紧每一 X 的控制限。

点超出了控制限说明工具的寿命已经与基本的工具寿命有着显著的不同。对于特定的情况，这可能是有利的或有害的。

线性仅是变量关系中的一种类型。回归控制图可以应用于数学模型能够被确定的任何关系。

对超出原始观察值范围之外的部分（延伸部分）作预测应该小心。在这个范围之外使用回归模型的精确性应该是受到怀疑的。未来值的预测区间和回归方程式的置信区间都变得越来越宽。可能需要额外的数据进行模型确认。

置信区间的讨论可以在 Hines 和 Montgomery（1980）里找到。

残差控制图

对回归控制图的一个可供选择的方法是绘出残差的值。根据回归方程式，残差的值 ε 是 $Y - \hat{Y}$。残差的控制图可以用与 $\overline{X}$ 等于零的单值控制图相同的方式加以处理。

残差控制图和回归控制图在技术上是等价的，不同之处仅在于它们的表达方式。

这个方法在变量关系很复杂时将是更有用和更直观的。

自回归控制图

控制图方法通常假设从一个过程的输出数据是独立的和同一分布的。对许多过程，这个假设不正确。数据遵从*时间序列*，随时间连续获得，经常是前后依赖的。这些类型的过程输出是*自相关的*，而用标准控制图方法做分析，可能导致错误的结论。

处理序列依赖性的一个通常方法是抽取在时间上足够分开的样本，使依赖性不明显。这在实际工作中常常是可行的，但它的有效性依赖于推迟的样本搜集，并且可能会延长超过适当的取样时间间隔。同样，为了利用不是为某种数据类型设计的技术，这种方法忽视了可能对于精确预测有用的或甚至必要的信息。

自回归移动平均（ARMA）是一种对来自时间序列的数据的分析方法，它是基于过去的观察值的相互依赖性得出对未来观察值的预测。随时间飘移、移动或循环的过程是使用时间序列分析比较好的对象，并且 ARMA 方法可能是适合的。

自回归（AR）的模型被定义为：

$$X_i = \xi + \phi_1 X_{i-1} + \phi_2 X_{i-2} \ldots + \varepsilon_i \qquad \text{（AR）}$$

当前的观察值等于一个常数，加上先前观察值的一个加权组合和一个随机的组成部分。

移动均值（MA）的模型被定义为：

$$X_i = \mu - \theta_1 \varepsilon_{i-1} - \theta_2 \varepsilon_{i-2} \ldots + \varepsilon_i \qquad \text{（MA）}$$

当前观察值等于一个常数，加上先前的随机调整值的一个加权组合和一个随机的组成部分。

ARMA（自回归移动平均）模型是 AR（自回归）和 MA（移动平均）的模型的结合：

$$X_i = \xi + \phi_1 X_{i-1} - \theta_1 \varepsilon_{i-1} + \phi_2 X_{i-2} - \theta_2 \varepsilon_{i-2} \ldots + \varepsilon_i \qquad \text{（ARMA）}$$

Box 和 Jenkins 定义了 ARMA（p、d、q）术语以定义完全的 ARMA 模型的子集，在那里，p 是自回归参数的个数，d 表示数据被差分的次数（在下面定义），q 是移动均值参数的个数。

所以，ARMA（1、0、0）是一阶自回归没有差分的模型。

$$X_i = \xi + \phi_i X_{i-1} + \varepsilon_i .$$

ARMA（0、0、1）是一阶的移动均值没有差分的模型。

$$X_i = \mu - \theta_1 \varepsilon_{i-1} + \varepsilon_i .$$

和 ARMA（1、1、1）是一阶自回归移动平均有一次差分的模型。

$$Y_i = \xi + \phi_1 Y_{i-1} - \theta_1 \varepsilon_{i-1} + \varepsilon_i .$$

对一阶自回归（AR）和自回归移动平均（ARMA）的模型且模型是平稳的，参数 ϕ 必须是在区间 $-1 < \phi < 1$ 以内，也就是，不会差异到无穷大。（在高阶的模型中，对于 ϕ 值有类似的限

制。）对非平稳的过程来说，数据将需要被*差分*。差分会消除一个观察值和另一后面的观察值之间的序列依赖性。

$$Y_i = X_i - X_{i-k}$$

差分的观察值等于当前的观察减去先前的 k 个样品的观察值。如果模型不是平稳的，数据应该只是被差分。来自制造过程中的大部分数据不需要差分。过程不会差异到无穷大。

下一步是确定包含在模型中的自回归参数的个数和移动均值参数的个数。通常的情况下，需要的ϕ的或 θ的数量将不会大于 2。ARMA（1、d、0），ARMA（2、d、0），ARMA（1、d、1），ARMA（2、d、1），ARMA（1、d、2），ARMA（2、d、2），ARMA（0、d、1），ARMA（0、d、2）是普遍的组合，并且在选择最好的之前，估计它们是可行的。

估计参数使用非线性估计。

一旦模型被确定且是平稳的，就可估计参数，接下来，就可以从过去的观察值中预测下一个观察值。例如（ARMA（1、0、1））：

$$\hat{X}_t = \xi + \phi_1 X_{t-1} - \theta_1 \varepsilon_{t-1}$$

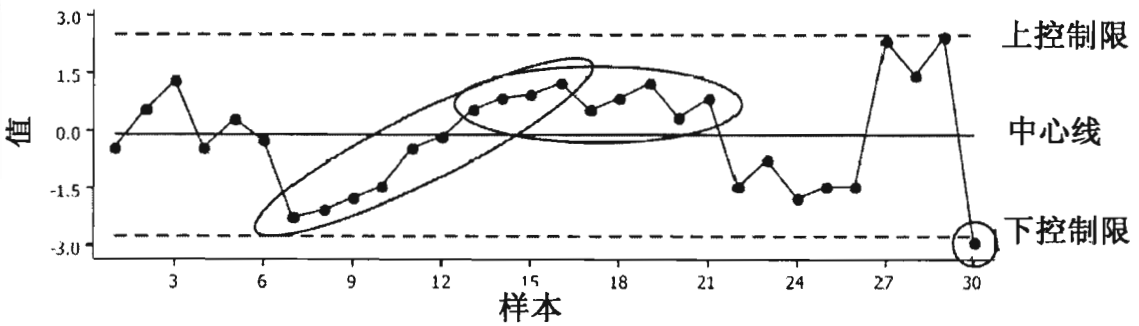
残差的计算为：

$$\varepsilon_t = X_t - \hat{X}_t$$

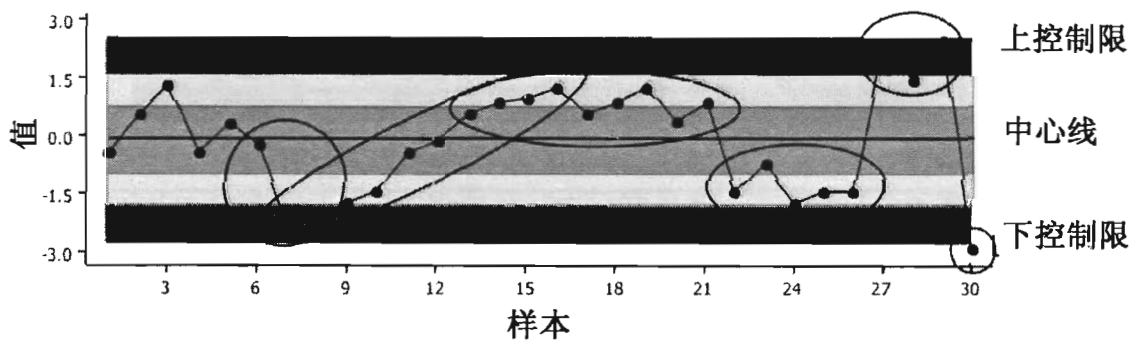
并且 ε 的值将是独立的呈正态分布的随机变量，并且可以用单值控制图或残差控制图来进行分析。对于更完整的讨论，参见 Box, Jenkins 和 Reinsel（1994）。

区域控制图

第二章，第 B 节，表 II.1 提供了探测不受控信号的不同的规则。前四个规则可以容易在人工的控制图上实施，但后面的规则不太适合于快速地可视化地识别，因为它们需要确定所描的点距中心线有几倍的标准差。将控制图划分成为距中心线 1、2 和 3 倍标准差的“区域”，这可能有帮助的。



这些区域有时被称为“sigma”区域（这里 sigma 不是单值而是样本均值的分布的标准差。）这些区域有助于使用一个或多个表格中的准则，以可视化地识别是否存在特殊原因。参见 Montgomery（1997）和 Wheeler（1995）。

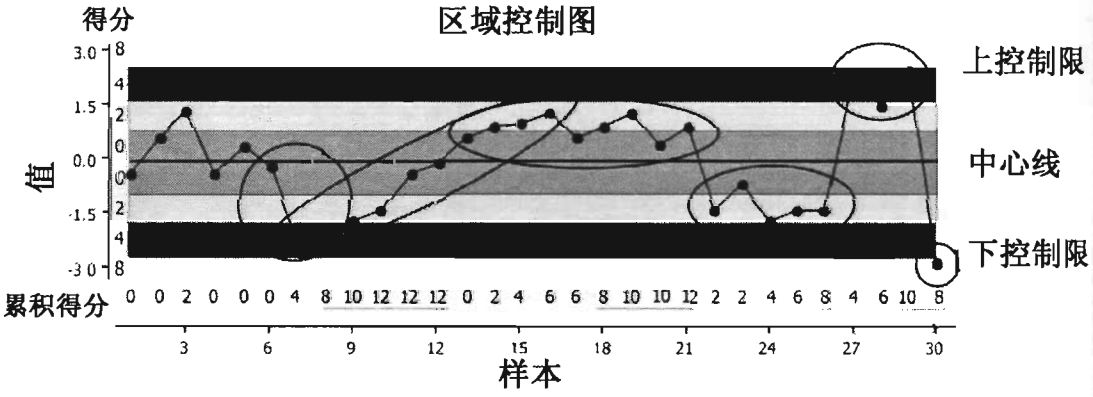


控制图的划分可以与控制图的*运行得分总和分析* 相联系来产生区域控制图。*运行得分总和* 控制图分析是由 Roberts（1966）提出的，并由 Reynolds（1971）做了更进一步地研究。这个方法是对每个区域指定一个得分。对区域 R_{+i} 的得分 α_i 设定为非负，对区域 R_{-i} *的*得分 β_i 设定为非正。一套典型的得分表如下：

区域	得分
$\left[\mu_X, \mu_X + \sigma_{\overline{X}}\right)$	0 或 +1
$\left[\mu_X + \sigma_{\overline{X}}, \mu_X + 2\sigma_{\overline{X}}\right)$	+2
$\left[\mu_X + 2\sigma_{\overline{X}}, \mu + 3\sigma_{\overline{X}}\right)$	+4
$\left[\mu_X + 3\sigma_{\overline{X}}, \infty\right)$	+8

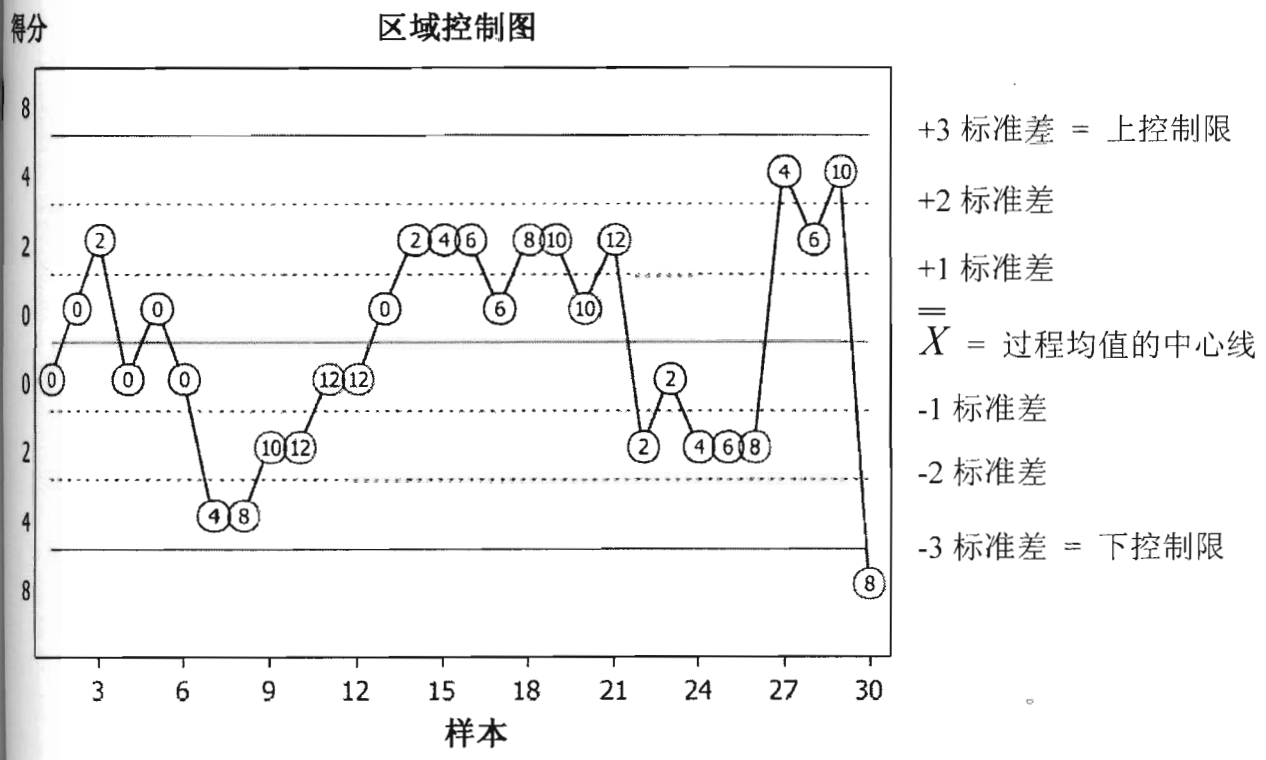
在对称于中心线以下的四个区域被指定相应的负的得分。

区域控制图是在均值 $\overline{X}$（或单值）控制图和累积和控制图之间的混合物。基于这些区域，它分析一个累积的得分。累积的得分是在这些区域所描的点的得分的总和的绝对值。每次中心线被越过时，累积得分被重设为零。



如果某个点的累积得分大于或等于 8，那么此点就不受控了。这样，分析者就不需要像在休哈特控制图上那样辨认与图形相关的非随机模式。用 0、2、4、8 这种打分方法相当于在一个 $\overline{X}$（或单值）控制图中使用特殊原因标准准则中的 1、5 和 6 项准则，并且比准则 8 更严格。用 1、2、4、8 这种打分方法相当于在一个 $\overline{X}$（或单值）控制图中使用特殊原因标准准则中的 1、2、5 和 6 项准则，并且比准则 7 和 8 更严格。正如上面的图形所显示，趋势（准则 3）也可以依靠趋势的开始和终止来探测。

区域控制图可以被修改而消除描点的过程，可以根据区域而不是刻度来描点。因此，一个标准的区域控制图能够适合大多数的需要；可以用作控制图的程序确定对一个过程何时采取行动。



区域控制图可以使用加权的方案对特定过程提供需要的灵敏度。例如，一套加权（得分）方案可以用于初始阶段以探测特殊原因。然后，当过程处于受控时，加权可以改变，并且它对于探测飘移更加重要。

区域控制图的效率用那些标准的控制试验比较它的平均运行长度来证明。对于将图划分成得分为 0、2、4 和 8，区域控制图表现得与休哈特控制图同样好，或好于休哈特控制图。（见 Davis et al. (1990)）。

此页留白

第四章

认识计量型数据的过程能力和过程性能

此页留白

介绍

一个稳定的过程的输出可用其统计分布来描述。该过程必须是稳定的（统计受控），其分布才能被用于预测将来的结果。[37] 一个过程的分布是根据对取自过程的样本的测量值计算而得到的特性（统计量）来描述的。

通常最感兴趣的统计量是用来估计与顾客要求相关的分布的位置（或中心）和分布宽度。一般来说，分布的位置是通过样本均值或中位数来估计的。分布宽度通常是使用样本的极差或样本标准差来估计的。

在生产出可以接受的产品方面，过程的趋中和分布宽度相互作用。当分布偏离中心时，可以容纳过程变差（分布宽度）的“可自由活动的空间”就减小了。过程位置的移动、过程分布宽度的增加、或者这些因素的组合，可能使生产出的零件超出规范限值。只有这样分布的过程将不能生产顾客需要的产品。



本章介绍了一些技术来估计与产品规范有关的过程能力和性能。通常，所评价的过程需要是稳定（统计受控）的。对于不稳定的过程，讨论过程变差及相关的能力指数是没有什么价值的。但是对于显示过程变差的系统的特殊原因的过程，例如刀具的磨损，其过程能力评价的合理方法已经建立（见 Spiring, F.A.（1991））。

另外，通常假设所讨论的过程的单值读数的分布近似地服从正态分布 [38]，本节将只讨论常用的指数和比值：

- 与规范有关的、仅反映过程变差的指数：C_p 和 P_p；
- 与规范有关的、综合反映过程变差及其趋中情况的指数：C_{pk} 和 P_{pk}；
- 与规范有关的、仅为过程变差的比值 CR 和 PR。

注：本手册中尽管没有讨论其他的指数，但其他的指数的信息可参见**附录 D** 及**参考文献。**

最后，本章将介绍与过程测量有关的条件和假设，最后给出建议如何应用这些测量在持续改进过程中加强对过程的理解。

[37] 参见**第一章，第 C 节至第 F 节。**
[38] 对非正态的分布和自相关的过程参见**第四章，第 B 节。**



本手册充分意识到围绕过程“**控制**”、“**能力**”和“**性能**”的基本概念和定义所存在的误解和争议。这里应指出的是彻底解决这些问题不是本手册的目的。而只是在一定的程度上提出和讨论它们，使每个读者有机会对它们做出更好的解释，以便为持续过程改进提供价值和知识。

此页留白

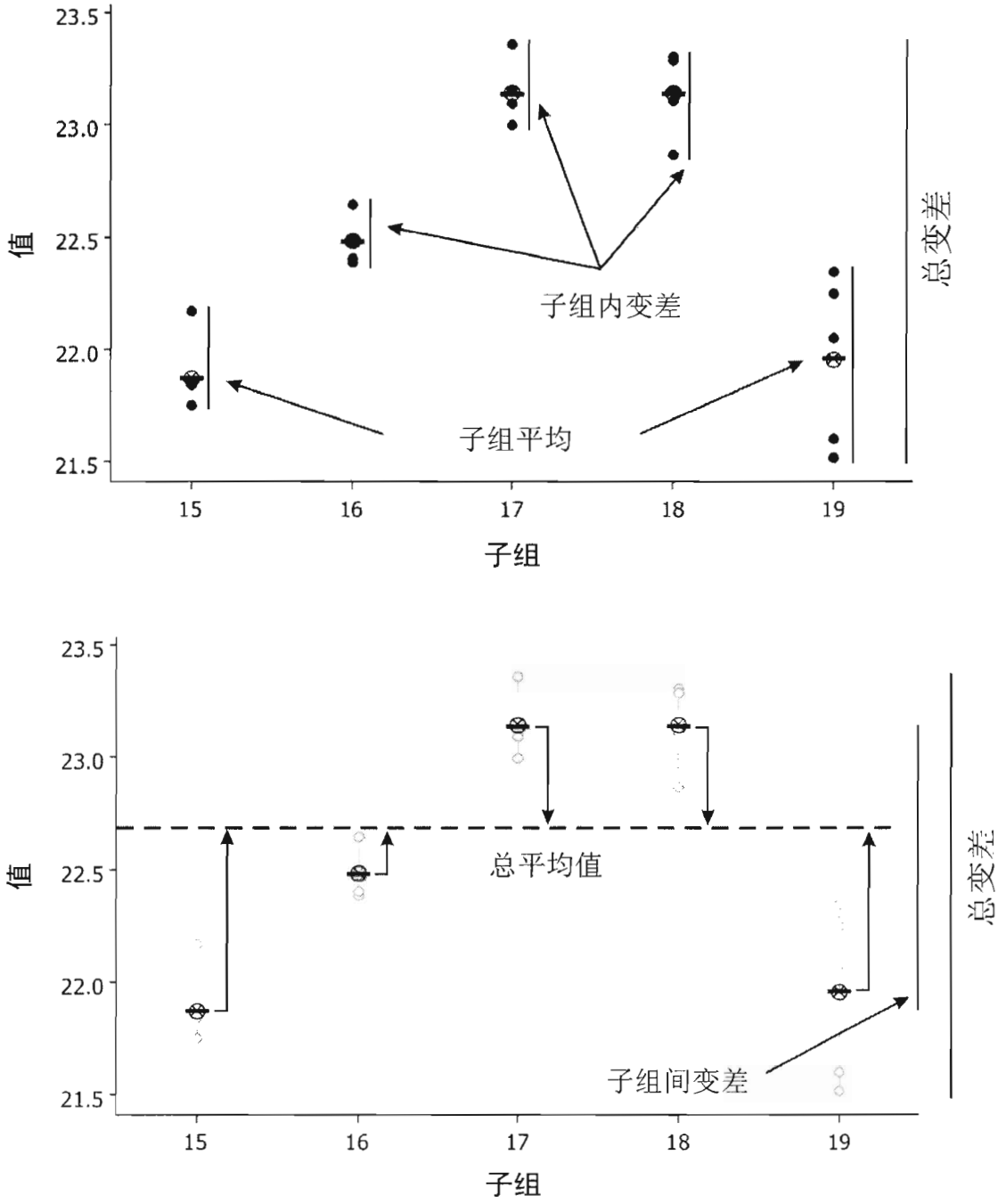


图 **IV.1**：子组内和子组间变差

第四章 — 第 A 节

过程术语的定义

过程变差有各种形式：

- ***过程固有变差*** —— 仅仅由于普通（系统）原因产生的那部分过程变差。
- ***子组内变差***（σ_c） —— 仅仅由于子组内的变差引起的变差。如果过程处于统计受控状态，该变差就是对过程固有变差的一个好的估计。估计值可以从控制图 $\bar{R}/d_2$ 或 $\bar{s}/c_4$ 得到。
- ***子组间变差*** —— 由子组间的变差产生的变差。如果过程处于统计受控状态，该变差应该为 0。
- ***过程总变差***（σ_p） —— 由子组内和子组间二种变差所引起的变差。如果过程处于不受控状态，过程总变差将包括特殊原因和普通原因的影响。该变差可以采用详细控制图或者过程研究中的所有读数，通过样本的标准差 s 来估计：$\sigma_p = s = \sqrt{\sum_i^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$，式中，$x_i$ 是单个读数，$\bar{x}$ 是读数的均值，n 是单个读数的总个数。
- ***过程能力*** —— 仅适用于统计稳定的过程，是过程固有变差的 $6\hat{\sigma}$ 范围，式中 $\hat{\sigma}$ 通常用 $\bar{R}/d_2$ 或者 $\bar{s}/c_4$ 来估计。
- ***过程性能*** —— 过程总变差的 $6\hat{\sigma}$ 范围，式中 $\hat{\sigma}$ 通常用样本的标准差 s 来估计。

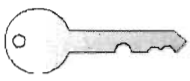


如果过程处于统计受控状态，过程能力将非常接近过程性能。当过程的能力和性能 $6\hat{\sigma}$ 之间存在较大差别时表示有特殊原因存在。

可预测过程的过程测量

指数 — 双边公差

本节将讨论常用的针对带有上下限的规范的指数[39]。



注意：以下讨论的指数仅仅当过程处于稳定（*统计受控*）状态时才有效。如果过程不处于统计受控状态，这些指数可能会引起误导，正如**图 IV.4** 中所示的。

C_p

C_p：这是能力指数。它把过程能力与由公差表示的最大可允许的变差进行比较。该指数反映了过程是否能够很好地满足变化要求。C_p 计算公式：$C_p = \dfrac{USL - LSL}{6\sigma_C} = \dfrac{USL - LSL}{6\left(\overline{R}/d_2\right)}$

C_p 是不受过程位置的影响，这个指数只是针对双边公差而计算的。

C_{pk}

C_{pk}：这是一个能力指数。它考虑了过程的位置和能力。对于双边公差，C_{pk} 将总是小于或者等于 C_p。

$$C_{pk} \le C_p$$

只有当过程位于中心时，C_{pk} 将等于 C_p。

C_{pk} 通过 *CPU* 或者 *CPL* 的最小值来计算，其中：

$$CPU = \frac{USL - \overline{\overline{X}}}{3\sigma_C} = \frac{USL - \overline{\overline{X}}}{3\left(\overline{R}/d_2\right)} \quad \text{和}$$

$$CPL = \frac{\overline{\overline{X}} - LSL}{3\sigma_C} = \frac{\overline{\overline{X}} - LSL}{3\left(\overline{R}/d_2\right)}$$



C_{pk} 和 C_p 应该总是一起进行评价和分析。如果 C_p 值远大于对应的 C_{pk} 值，表明有机会通过使过程趋中来改进。

[39] 正如在**第二章，第 A 节**论述，过程分析需要的数据是使用测量系统采集得到，并且测量系统应该与过程相适应，而且具有可以接受的测量系统特性。

P_p

P_p：这是一个性能指数。它把过程性能与由公差表示的最大可允许的变差进行比较。该指数反映了过程是否能够很好地满足变化要求。P_p 计算公式：

$$P_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma_p} = \frac{USL - LSL}{6s}$$

P_p 不受过程位置的影响。

P_{pk}

P_{pk}：这是性能指数。它考虑了过程的位置和性能。对于双边公差，P_{pk} 将总是小于或者等于 P_p，只有当过程位于中心时，P_{pk} 才等于 P_p。

$$P_{pk} \le P_p$$

P_{pk}：通过 PPU 或者 PPL 的最小值来计算

$$PPU = \frac{USL - \overline{\overline{X}}}{3\sigma_p} = \frac{USL - \overline{\overline{X}}}{3s}$$ 和

$$PPL = \frac{\overline{\overline{X}} - LSL}{3\sigma_p} = \frac{\overline{\overline{X}} - LSL}{3s}$$

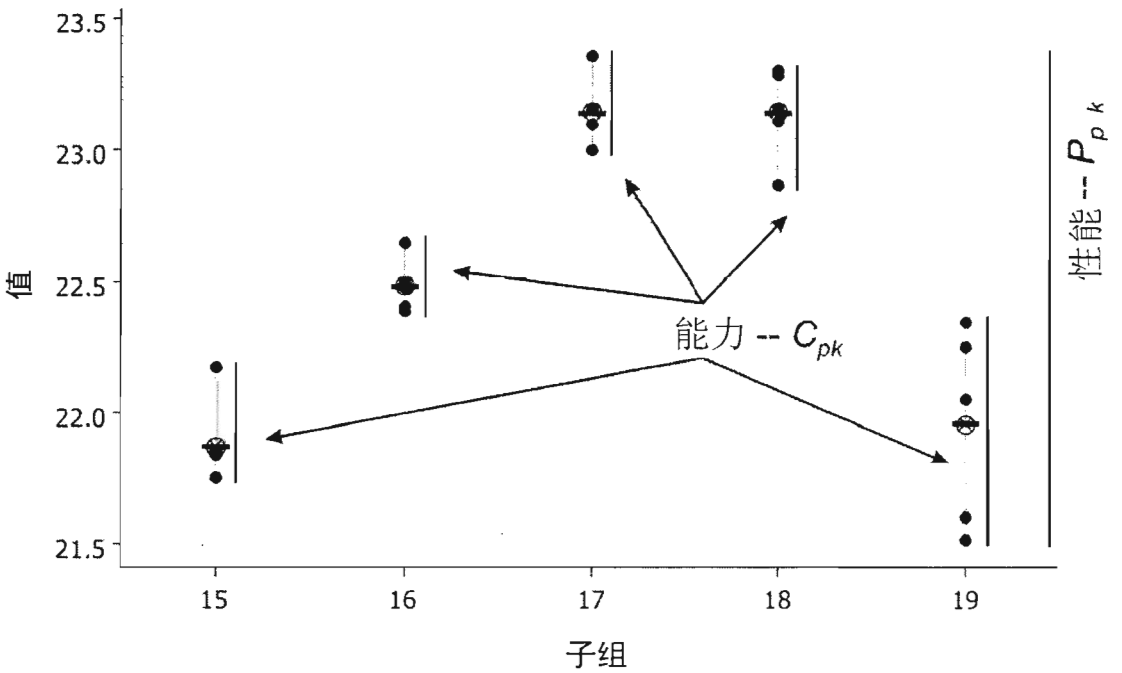
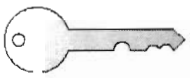


图 IV.2：C_{pk} 和 P_{pk} 比较





P_{pk} 和 P_p 应该总是一起进行评价和分析。如果 P_p 值远大于对应的 P_{pk} 值，表明有机会通过使过程趋中来改进。

如果过程处于统计受控状态，过程能力将非常接近过程性能。C 和 P 之间出现较大差异，表明有特殊原因出现。见**图 IV.3** 和 **IV.4**。

CR

CR：能力比值，是 C_p 的倒数；

$$CR = \frac{1}{C_P}$$

PR

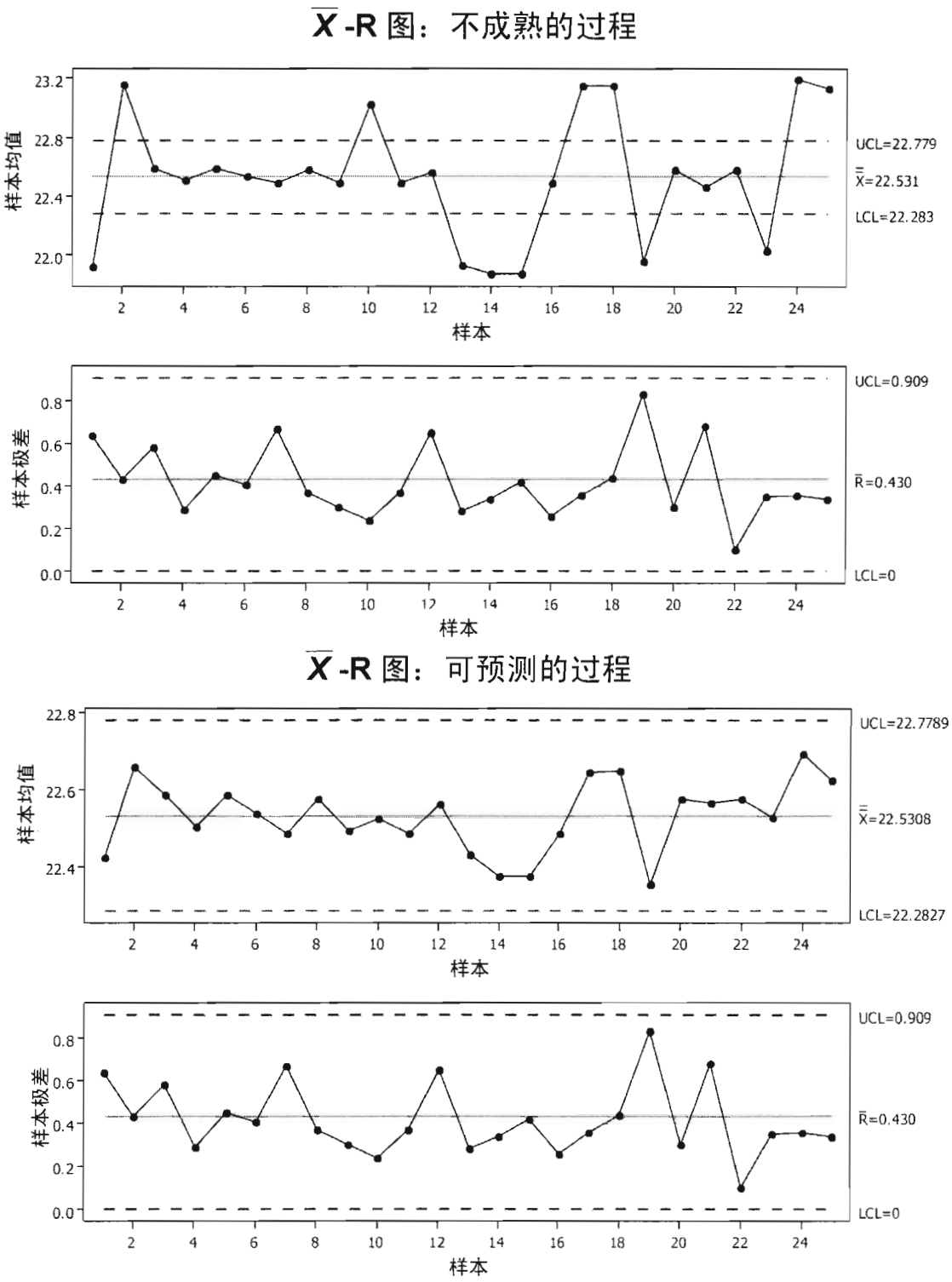
PR：性能比值，是 P_p 的倒数；

$$PR = \frac{1}{P_P}$$

注：所有这些测量的计算案例见**附录 F**。

PPM

百万分之一不合格品率有时用来作为过程能力的补充测量。为了使用能力指数信息估计不合格品率，必须确定数据的概率分布。为此经常使用正态分布，这是一个假设，在进行下一步之前需要对数据进行拟合优度检验，以验证这个假设。为了作出正确的推断，应该理解能力指数和不合格品率之间的非线性关系，（关于该题目的详细讨论见 Wheeler（1999））。

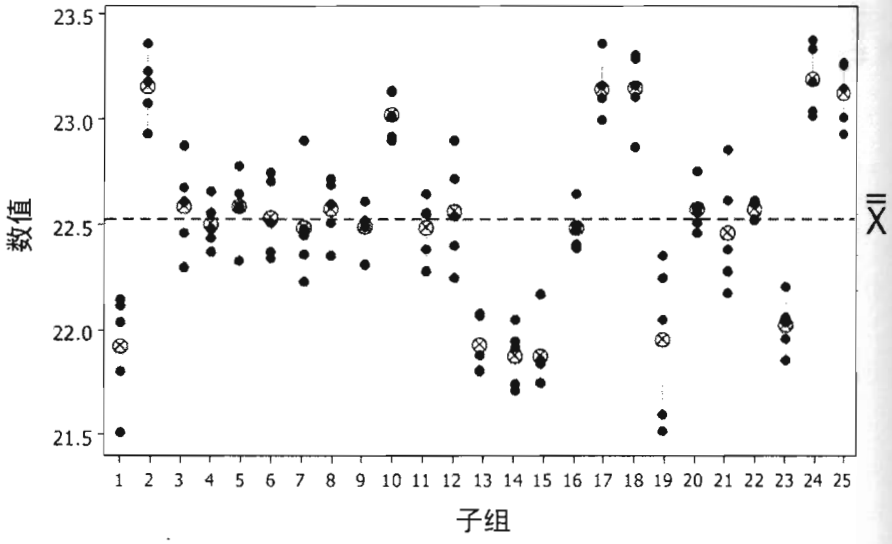


注意：由于二个过程的子组内变差是相同的，因此极差图是相同的。

图 **IV.3**：一个可预测过程和不成熟过程之间的比较

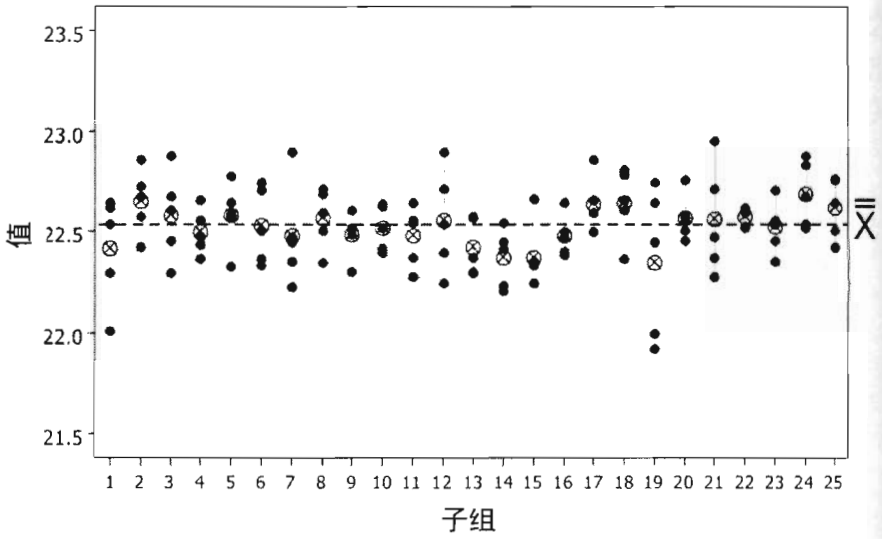
不成熟过程 ——统计不受控

Ppk = 0.71
Cpk = 1.80



下图的过程与上图的过程具有相同的子组内变差，但是子组间变差不相同。

Ppk = 1.71
Cpk = 1.80



过程处于统计受控状态

图 IV.4：由可预测过程和不成熟过程产生的 C_{pk} 和 P_{pk} 值

指数 — 单边公差

本节讨论的常用的指数是针对要么只有上限或要么只有下限的规范。

C_p

C_p：这是一个能力指数。它把过程能力与由公差表示的最大可允许的变差进行比较。这个指数对于单边公差没有意义。



如果产品的特性具有物理极限（例如：平面度不可能小于 0），*Cp* 就可以用物理极限（0.0）作为下限的替代值来计算。但是这个数值与 C_{pk} 没有处在双边公差情况下的那种相同的关系。

C_{pk}

C_{pk}：这是一个能力指数。它同时考虑了过程位置和能力。在具有物理极限的单边公差时，C_{pk} 可以小于、等于或者大于 C_p。

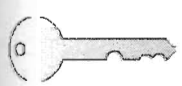
C_{pk} 直接与过程所产生的不合格品比例有关。它等于 *CPU* 或者 *CPL*，这取决于公差是 *USL* 或者 *LSL*，式中：

$$CPU = \frac{USL - \overline{\overline{X}}}{3\left(\overline{R}/d_2\right)}$$

$$CPL = \frac{\overline{\overline{X}} - LSL}{3\left(\overline{R}/d_2\right)}$$

P_p

P_p：性能指数。它把过程性能与由公差表示的最大可允许的变差进行比较。这个指数对于单边公差没有意义。



如果产品的特性具有物理极限（例如：平面度不可能小于 0），P_p 就可以用物理极限（0.0）作为下限的替代值来计算。但是这个数值与 P_{pk} 没有处在双边公差情况下的那种相同的关系。

P_{pk}

P_{pk} 直接与过程所产生的不合格比例有关。它等于 PPU 或者 PPL，这取决于公差是 USL 或者 LSL，式中：

$$PPU = \frac{USL - \overline{\overline{X}}}{3s}$$

$$PPL = \frac{\overline{\overline{X}} - LSL}{3s}$$



在单边公差情况下，P_{pk} 替代符号是 P_{pku} 或 P_{pkl}，这取决于极限值是 USL 或者 LSL。

CR

CR：能力比值，是 C_p 的倒数。同样，这个指数对于单边公差没有意义。

PR

PR：性能比值，是 P_p 的倒数。同样，这个指数对于单边公差没有意义。

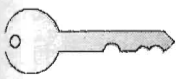
注：所有这些测量的计算示例见**附录 F**。

第四章 — 第 B 节

条件描述

应当指出过程变差和过程趋中是二个不同的过程特性。需要分别认识每个特性。为了帮助分析，可以将两个特性组合成一个指数就方便了，例如 C_p、C_{pk} 或 P_p、P_{pk}。这些指数可以用于以下场合：

- 用随时间变化的趋势来测量持续的改进；
- 决定需要改进的过程的优先次序。



能力指数 C_{pk} 还可用来确定一个过程是否能有能力满足顾客的需要。这是能力指数的最初始的用途。性能指数 P_{pk} 表示过程性能是否实际上满足了用户的需求。为了有效地使用这些指数（以及**第四章，第 A 节**描述的其它所有过程测量），必须认识围绕他们的***条件***。如果这些条件不能够满足，这些测量就很少有或没有意义，并可能在理解过程中产生误导。以下三个是在**第 A 节**中叙述的所有能力测量必须满足的最低条件：

- 产生数据的过程处于统计稳定状态，即此普遍接受的 SPC 规则不能够被违反；
- 过程数据中的单个测量值构成近似的正态分布[40]；
- 规范是以顾客需求为基础的。

一般来说，计算得出的指数（或比值）可被接受为“真实”的指数（和比值），即不考虑抽样变差对计算值的影响。例如，计算得出的指数 C_{pk}，1.30 和 1.39 可能来自相同的稳定过程，仅仅是由于抽样变差。

关于此题目，可参见 Bissell, B.A.F.（1990）、Boyles, R. A.（1991）和 Dovich, R. A.（1991）。

[40]对于非正态分布，见以下几页。

非正态分布和多变量分布的处理[41]

虽然正态分布在描述和分析很多种过程时是有用的，但是，它不能够用于所有过程。一些过程本身是非正态分布，其分布与正态分布的偏差较大，以至于采用正态分布作为一种近似，可能会导致错误的决定。其它具有多个相关特性的过程，应该按照多变量分布建立模型。

在前面描述的指数之中，C_p、P_p、C_R 和 PR 对于非正态性是稳健的，而 C_{pk} 和 P_{pk} 则不是这样。

指数和不合格品率的关系

虽然许多人使用 C_{pk} 和 P_{pk} 指数作为无量纲的衡量，但是在每个指数和相关的不合格比例（或 ppm）的过程参数之间还是有直接关系。假设 $Cp > 1$，能力指数关系由下式给出：

$$\text{不合格的比例} = 1 - \int_{-\infty}^{z_c} e^{-\left(\frac{x}{2}\right)^2} dx$$

式中 $z_c = 3C_{pk}$ 和

$$C_{pk} = \text{最小值}\{CPU, CPL\}$$

类似地，P_{pk} 与性能不合格品率的关系：

$$z_p = 3P_{pk}$$

根据对 C_{pk} 和 P_{pk} 的这种认识，用于非正态分布的指数也能被用于在指数和过程不合格品率之间建立同样的关系。

确定非正态分布的这些指数，需要许多大表格或者采用近似迭代技术。没有计算机程序的帮助，很少能够进行计算。

使用转换的非正态分布

一种方法是将非正态分布转换成（近似）正态分布。规范也使用相同的参数进行转换。然后，指数 C_{pk} 和 P_{pk} 根据用正态分布的标准计算方法转换后的空间来确定。

[41] 正如在**第二章，第 A 节**中所讨论，过程分析要求采用与过程相适应的，具有可以接受的测量系统特性的测量系统采集数据。

两种得到支持的常用的转换方法如下：

- Box-Cox 转换

  试验设计分析的方法在满足以下条件时是适当并且有效的："（a）当模型在*结构上*是适当的，（b）并且误差（假设是独立的）具有*固定的方差*，（c）是*正态分布*[42] "。Box 和 Cox（1964）讨论了一种转换，能够较好地满足所有三条要求。该转换由下式表示：

$$w = x^{\lambda}$$

式中 $-5 \le \lambda \le 5$

并且，$\lambda = 0$ 用于自然对数转换

$\lambda = 0.5$ 用于均方根转换

虽然该转换是通过试验设计分析而建立的，但它还是在将过程数据转换为正态分布中得到了应用。

- 约翰逊转换

  1949 年，Norman L. Johnson 开发了一个转换系统，它近似产生正态分布[43]。该系统表示为：

S_B	$w = \log\left(\frac{x}{(1-x)}\right)$	有界量
S_L	$w = \log(x)$	对数正态
S_U	$w = \sinh^{-1}(x) = \log\left(x + 1 + \sqrt{x^2 + 1}\right)$	无界量

正如分布的 Pearson 系列的情况，这个曲线系统包括了所有可能的单峰分布；也就是，它包括了全部可行的*偏态 — 峰态* 平面。它还包含一个作为边界形状的熟悉的对数正态分布。然而，在通常情况下，约翰逊曲线是四个参数的函数。

[42] Box, G. E. P., Hunter, W. G., and Hunter, J. S., *Statistics for Experimenters*, John Wiley and Sons, New York, 1978, pg.239。

[43] 参见 Johnson（1949）。

使用非正态形式的非正态分布

用非正态形式将过程分布模型化，然后确定不合格的比例，也就是，确定规范之外的非正态分布的区域。

一个将非正态分布模型化的普遍方法是采用 Pearson 曲线族。这个曲线族最适当的曲线由匹配力矩法确定；也就是，把与抽样分布相匹配的带倾斜（*SK*）和峰态（*KU*）的曲线用作基本形式的模型。正如约翰逊转换系统中的情况，这个曲线族包括了所有可能的单峰分布形式；也就是，它包括了全部可行的*偏态 — 峰态* 面。

为了计算等效于 *Ppk* 指数的非正态分布指数，非正态分布形式（$f(x)$）用来确定不合格比例，即非正态分布在规范上下限之外的面积。

$$P_L = \int_{-\infty}^{LSL} f(x)dx \quad \text{和}$$

$$P_U = \int_{USL}^{\infty} f(x)dx$$

这些值运用标准正态分布的反函数转换成 z 值。即：z_L 和 z_U 按照下式计算：

$$P_L = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{z_L} e^{-\left(\frac{x}{2}\right)^2} dx \quad \text{和}$$

$$P_U = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{z_U}^{\infty} e^{-\left(\frac{x}{2}\right)^2} dx$$

$$\text{那么 } P_{pk} = \frac{\text{最小值}\{z_L, z_U\}}{3}$$

虽然 P_p 的标准计算是一个稳健的估计，更准确的估计能够利用习惯的做法得到，即把过程的分布宽度定义为包括了分布的 99.73%的范围（代表了一个等同 $\pm 3\sigma$ 的正态分布宽度）。此范围的极限称为“0.135% 分位数”（$Q_{0.00135}$）和“99.865%分位数”（$Q_{0.99865}$）。也就是，总体中的 0.135%的值是落在小于 $Q_{0.00135}$ 和大于 $Q_{0.99865}$[44] 的区域中。

[44] 在一般的公式：$Q_{099865} = -Q_{0.00135} = z_{0.99865}s$

$$0.00135 = \int_{-\infty}^{Q_{0.00135}} f(x)dx \quad \text{和}$$

$$0.99865 = \int_{Q_{0.99865}}^{\infty} f(x)dx$$

那么，P_p 的计算：

$$P_p = \frac{\text{技术规范范围}}{99.73\%\text{估计范围}} = \frac{\text{技术规范范围}}{Q_{0.99865} - Q_{0.00135}}$$

式中，采用了非正态形式来计算分位数。

当用 $\left(\overline{R}/d_2\right)$ 替代上式中的 s，就可以计算能力指数 C_p。

因为这个方法运用了总变差计算不合格率，所以对于已有的非正态分布 C_{pk} 没有相似的计算。

在一些文件中给出了用分位数计算 P_{pk} 的一种替代方法：

$$P_{pk} = \text{最小值}\left(\frac{USL - \overline{X}}{Q_{0.99865} - \overline{X}}, \frac{\overline{X} - LSL}{\overline{X} - Q_{0.00135}}\right)$$

这种方法并不将指数 P_{pk} 与不合格率联系起来。也就是说，对于不同的不合格率，不同的非正态形式将有相同的指数。为了适当地解释和比较这些指数，非正态形式应该和指数值同时被考虑。

多变量分布

当多个变量相关时，过程分布应该用多变量的形式建立模型。过程性能指标 P_{pk} 可以首先由确定不合格比例来估计，即多变量分布超出技术规范外的的面积。

对于许多几何尺寸特性（GD&T），在描述过程时经常采用双变量正态形式。

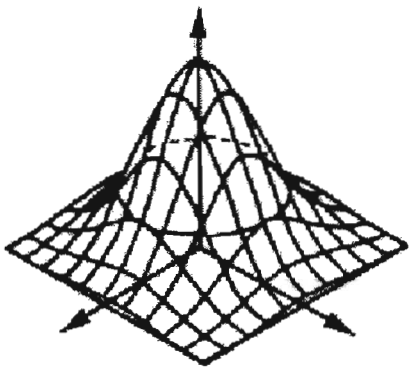
当且仅当一对随机变量 X 和 Y 具有以下联合概率密度时，这对随机变量具有双变量正态分布：

$$f(x,y)=\frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y\sqrt{1-p^2}}e^{\left(-\frac{z}{2(1-\rho^2)}\right)}$$

式中 $$z=\left(\frac{x-\mu_x}{\sigma_x}\right)^2-\frac{2\rho(x-\mu_x)(y-\mu_y)}{\sigma_x\sigma_y}+\left(\frac{y-\mu_y}{\sigma_y}\right)^2$$

$$\rho=\operatorname{cov}(x,y)=\frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x\sigma_y}$$

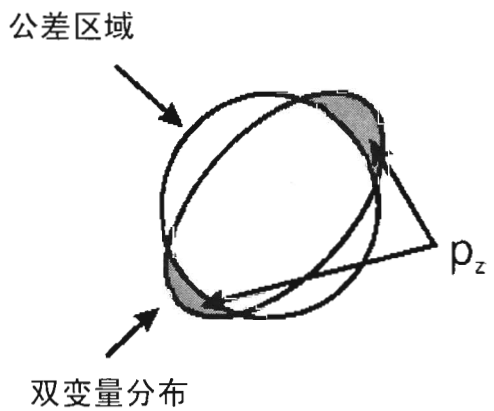
对于 $-\infty<x<\infty;\quad -\infty<y<\infty;$ 式中 $\sigma_x>0;\ \sigma_y>0$



双变量正态分布

为了计算多变量等同于 P_{pk} 的指数，利用多变量形式（例如 $f(x, y)$）可确定不合格比例，即多变量分布超出技术规范（公差）之外的体积。在双变量情况下：

$$p_z=\iint_{\text{公差区域之外}} f(x,y)\,dx\,dy \quad \text{和}$$



利用标准正态分布的反函数，这个值可以转变为 z 值。即：

$$p_z = \int_{-\infty}^{z} e^{-\left(\frac{x}{2}\right)^2} dx$$

那么 $P_{pk} = \frac{z}{3}$

运用下式可以计算 P_p 估计：

$$P_p = \frac{\text{技术规范内的面积}}{\text{估计的99.73\%的面积}}$$

这里，利用了多变量形式计算估计 99.73%的面积。

因为这个方法运用了总变差计算不合格比例，所以对于多变量 C_{pk} 没有类似的情况。[45]

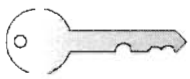
[45] 另参见 Bothe（2001）与 Wheeler（1995）。

此页留白

第四章 — 第 C 节

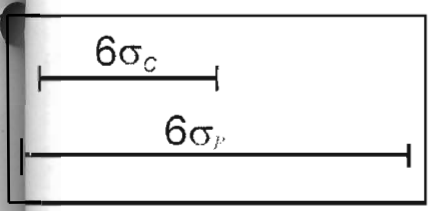
建议使用的过程测量

有效使用任何过程测量的关键依然是决定于对测量实际上所表达的信息的认识程度。那些在统计学界中反对使用 C_{pk} 等指数的人很容易地指出在现实中很少有过程能完全符合建立 C_{pk} 所要求的条件、假设及参数（见 B.（1989）和 Herman, J. T.（1989））。本手册的立场是：即使所有条件都得到满足，也很难基于一单个的指数或比值来评价或真正认识一个过程，其原因在下面讨论。



没有单个指数或者比值可以用来描述一个过程。强烈推荐用相同数据集，计算四个指数（C_p、C_{pk} 和 P_p、P_{pk}）。通过这些指数之间的比较能够深入认识过程潜在的问题，有助于随时测量改进和确定改进的优先次序。例如，较低的 C_p、C_{pk} 可能显示出子组内变差有问题，而较低的 P_p、P_{pk} 可能显示总变差有问题。

图形分析应该与过程测量结合使用。这种分析的例子包括控制图、过程分布图以及损失函数图。



此外，将过程固有变差 $6\sigma_C = 6\bar{R}/d_2$ 相对过程总变差 $6\sigma_p = 6s$ 作图，以比较过程“能力”和“性能”并且跟踪改进，这是有用的方法。通常，这个差距的大小表示特殊原因对过程的影响程度。即使没有使用过程指数，这种图形分析还是能够很好地帮助认识过程。



过程测量的目标应是使“**过程的声音**”满足“**顾客的声音**”。[46]



所有能力和性能的评价都应局限于单个过程的特性。从来就不适合将几个过程的能力或性能结果组合或平均成一个指数[47]。

[46] 参见**表 I.1**。
[47] 多变量过程选择方法参见**第四章，第 B 节**。

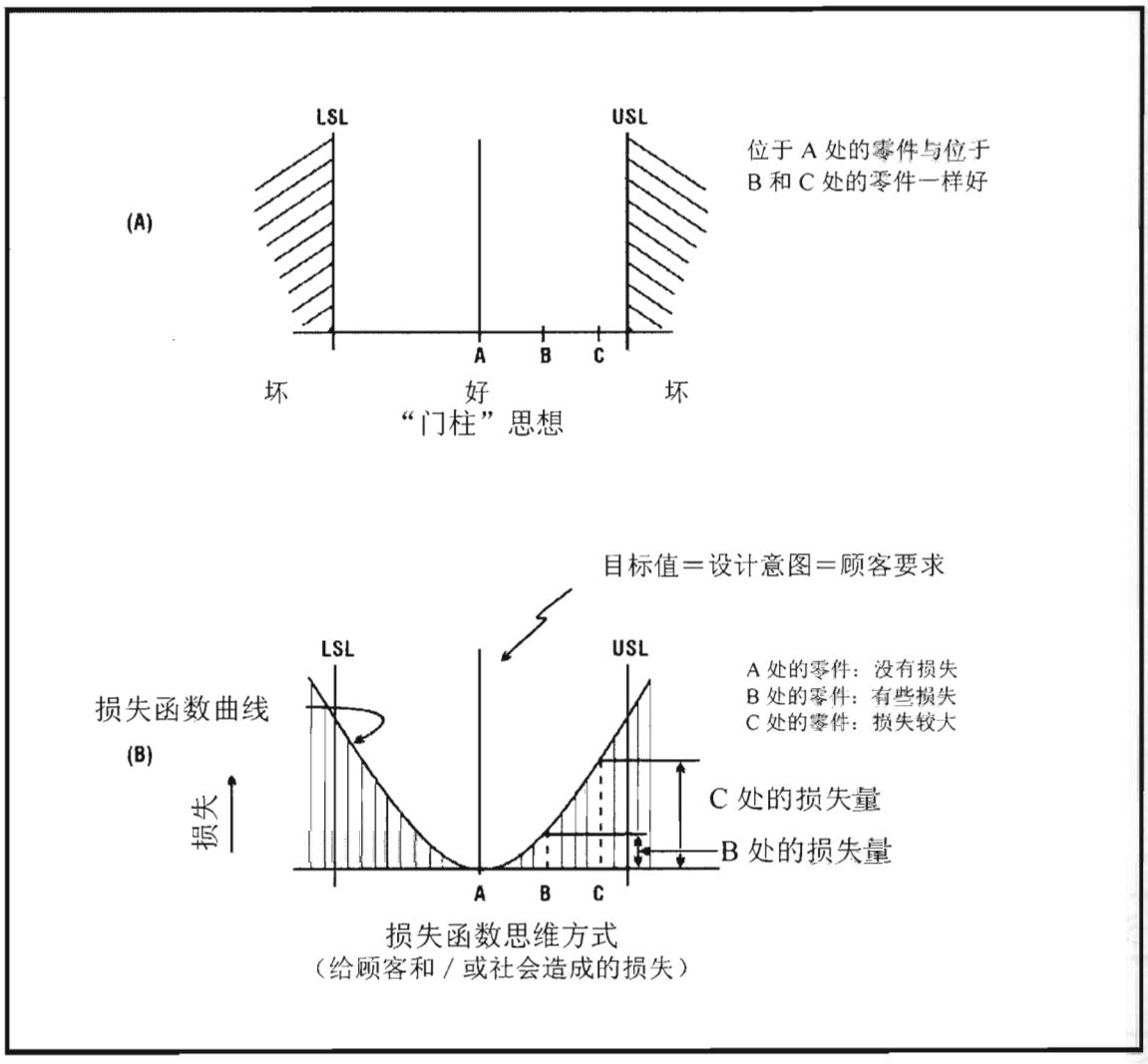


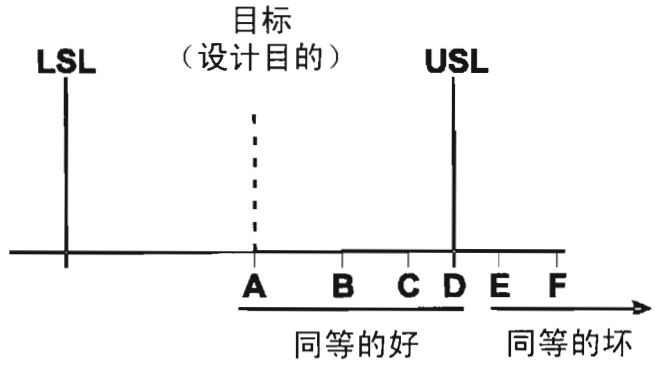
图 IV.5：“门柱”与损失函数

损失函数的概念

使用能力指数（以及其它过程测量）的驱动力是期望生产的所有零件都在顾客规范内。激发这种期望的基本概念是：对于所有在规范之内的零件，不论这些零件在技术规范内的什么的位置都是同等的“好”（可接受的）；所有超出技术规范的零件，不论它们偏离技术规范多远都是同等的“坏”（不可接受的）。质量专业人士有时将这个概念定义为“门柱”思想。（见图 **IV.5(A)**）。

尽管这种思维模式（好 / 坏）过去一直被广泛使用，人们还是建议采用一个更有用的模式（即一种与真实的社会更接近的模式），如**图 IV.5(B)**所示。一般来说，这个模型是一个二次函数形式，使用的原理是：某一特性偏离规范目标值越远，顾客或社会所遭受的损失越大，这个概念称作损失函数，其中隐含的假定是设计意图（规范目标值）是与顾客的要求相一致的。

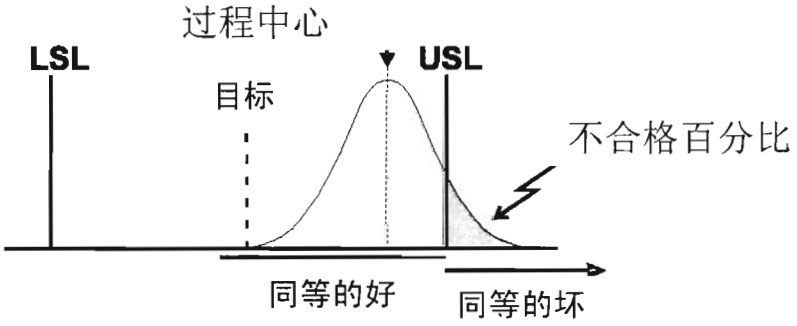
管理变差中的第一步是了解多大变差是可以接受的，即偏离目标值或名义值多少是允许的。从传统上来说，“接受”和“允许”的判断值是基于设计工程师对于功能要求、设计规则以及使用环境（工程主题知识）的认识，但是受到生产过程的经济约束。这个部分的设计过程的结果被反映在工程技术规范（公差）中。



技术规范的意义是什么？理想地说，所有设计特性都应该等于设计意图 —— 产生完美结果的目标值。但由于有变差存在，二个不同的零件，一个零件的特性落在目标值上，另一个零件的相同的特性偏离了目标，但是仍在技术规范之内，这两个不同零件的差别对于顾客来说意味着什么？

通常采用类似“门柱”方法来描述。在许多体育运动中（例如：足球、橄榄球、曲棍球、篮球），如果球越过了门柱（在篮球中进了篮框），就判得分。对于球是被射入球门还是滑过球门柱没有任何差别，得分是一样的。

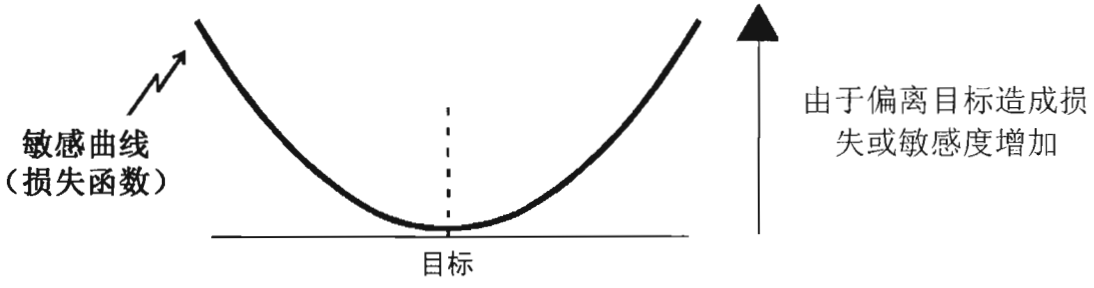
在制造过程中，这就意味着在技术规范的界限内的每件事情都被认为同等的好，在界限之外的每件事情都同等的差。



这个方法对于离散特性（例如，零件有或者没有清洁孔）可能是有效的，但是当涉及到具有连续响应的特性时，这种方法并不反映顾客对于不同的输出水平反应如何。

不考虑技术规范，有可能确定顾客对于偏离目标（设计意图）的敏感程度，参见 Goble, et al（1981）。当特性远远偏离了目标越远，就会有更多的顾客能够“感觉”到相比设计目标有差别 — 主要是使用起来更加“费力”。在许多情况下，发生的损失（在时间、成本、效率上的损失等）可能与每次偏离的增加有关。这种损失可以适用于单个顾客，也可以扩展到组织甚至整个社会。

典型的敏感度曲线（损失函数）具有二次函数的形式。



有两种方法分析损失函数。它可以与设计意图或者功能的技术规范相比较。

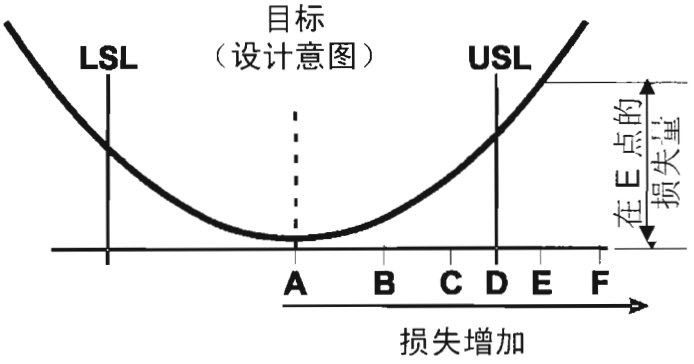


图 IV.6：损失函数和技术规范比较

从顾客的观点，**图 IV.7** 表示技术规范限值的一侧与另一侧特性之间没有功能上的差别。

损失函数与技术规范的比较提供了将特性进行划分的方法。**图 IV.7** 表示**特性** A 的损失函数在技术规范限值范围内是相对平坦的。这就意味着顾客对于特性 A 在技术规范范围内的变差不敏感。因为所有的特性都被期望在技术规范范围内，这个特性满足了稳健的可行的定义。[48]

如果顾客对于特性的期望变差不敏感，可称这个特性为***稳健的***。

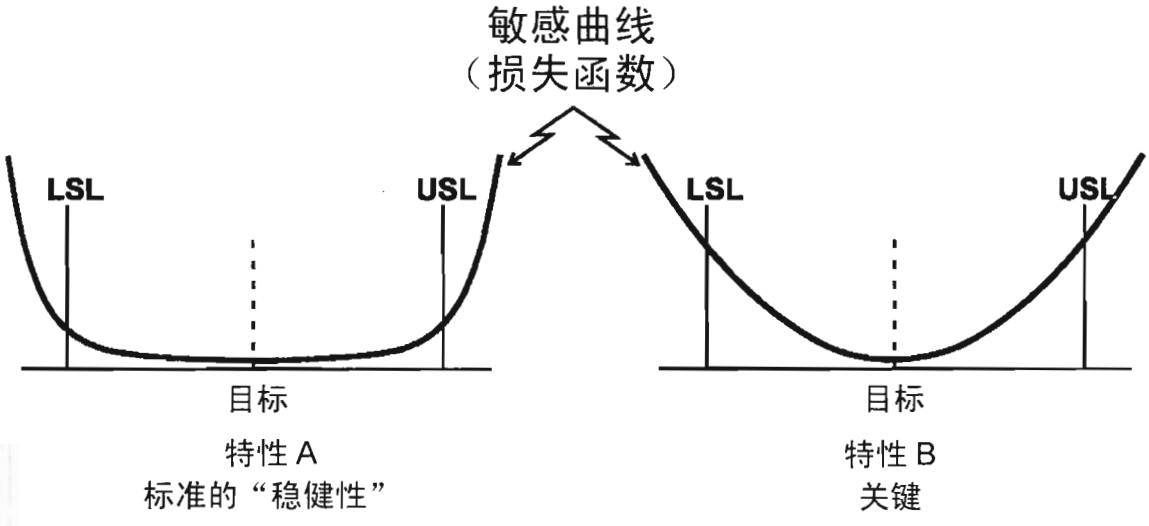


图 IV.7：损失函数的比较

[48] 可选择的定义：如果一个设计对于由于加工、工艺、材料和环境的变化不敏感，该设计就是稳定的。

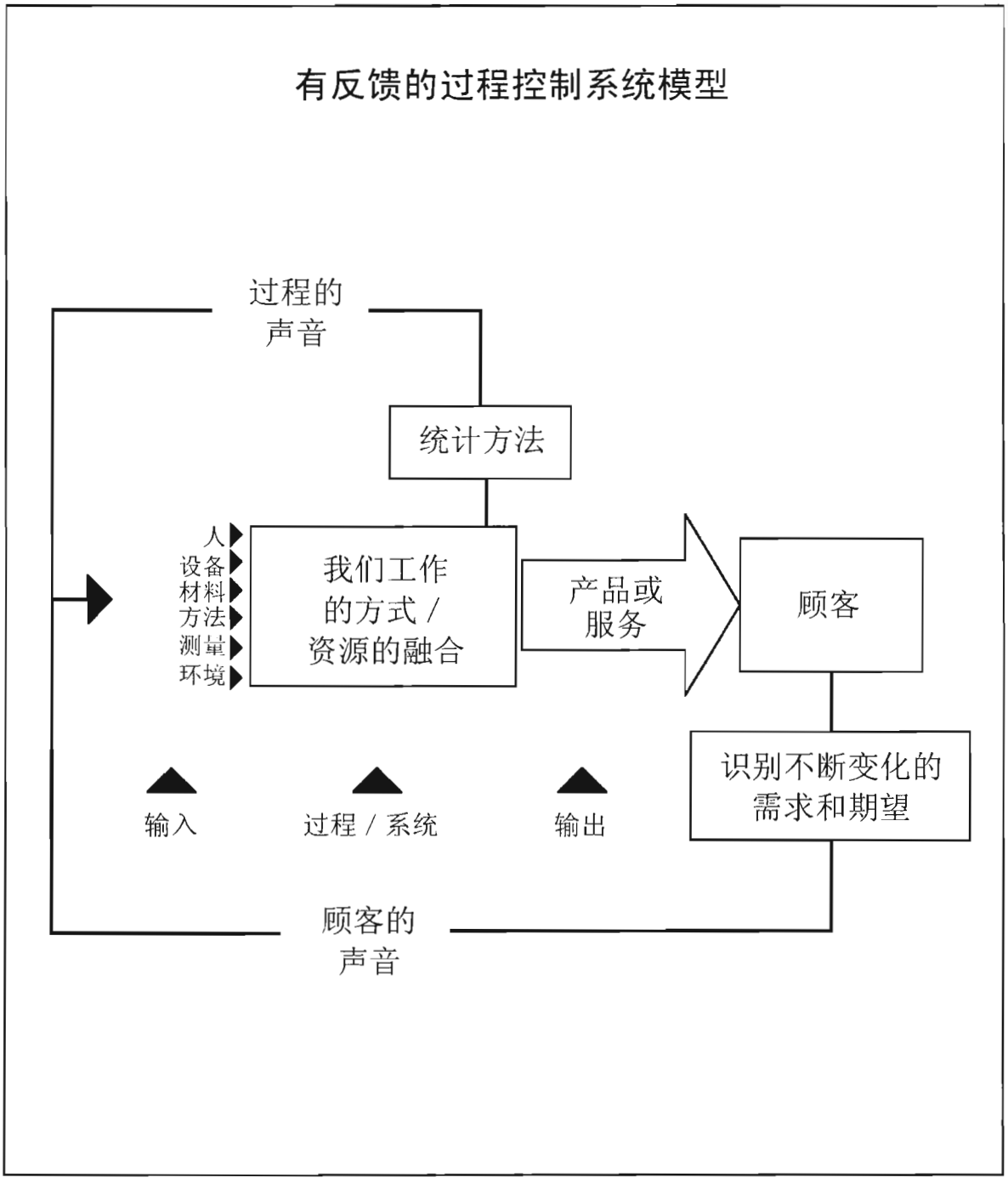
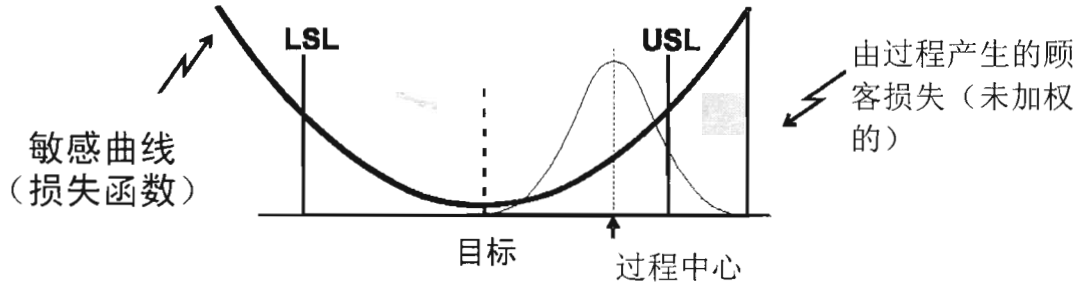

有反馈的过程控制系统模型
过程的
声音
统计方法
人
设备
材料
方法
测量
环境
我们工作
的方式 /
资源的融合
产品或
服务
顾客
识别不断变化的
需求和期望
输入
过程 / 系统
输出
顾客的
声音

图 IV.8：过程控制系统

将过程与顾客的要求联系起来

在**第一章，第 B 节**（见**图 IV.8**），将一个过程控制系统描述为一个反馈系统。一个过程的输出特性也能够根据概率分布以图形表示。这个分布可以称为是过程分布（见**图 IV.9(a)**）。



敏感度曲线也提供了生产过程控制的方向。过程与损失函数和技术规范一起进行比较表明，顾客总的损失随着过程的中心（均值）偏离目标程度的增加而增加。

为了评价过程分布对于顾客的影响，可以建立一个过程特性的损失函数（见**图 IV.9 (b)**）。将过程分布添加在顾客要求损失函数曲线上（见**图 IV.9 (c)**）显示：

- 过程中心与顾客目标要求一致的程度。
- 由过程产生的顾客损失。

基于这些观察，可以推断如下：

- 为了将顾客的损失最小化，过程（过程中心）应该被调整到与顾客的要求（技术规范目标）一致。
- 如果持续降低目标值周围的变差（见**图 IV.9 (e)**），对于顾客是有利的。

这种分析有时被称为将“**过程的声音**”调整到与“**顾客的声音**”一致（更详细的分析见 Scherkenbach, W. W. (1991)）。

在**图 IV.9(d)**的例子中，超过技术规范的零件只占顾客总损失的45%。其余的损失来自于处在技术规范之内但不在目标值上的零件。

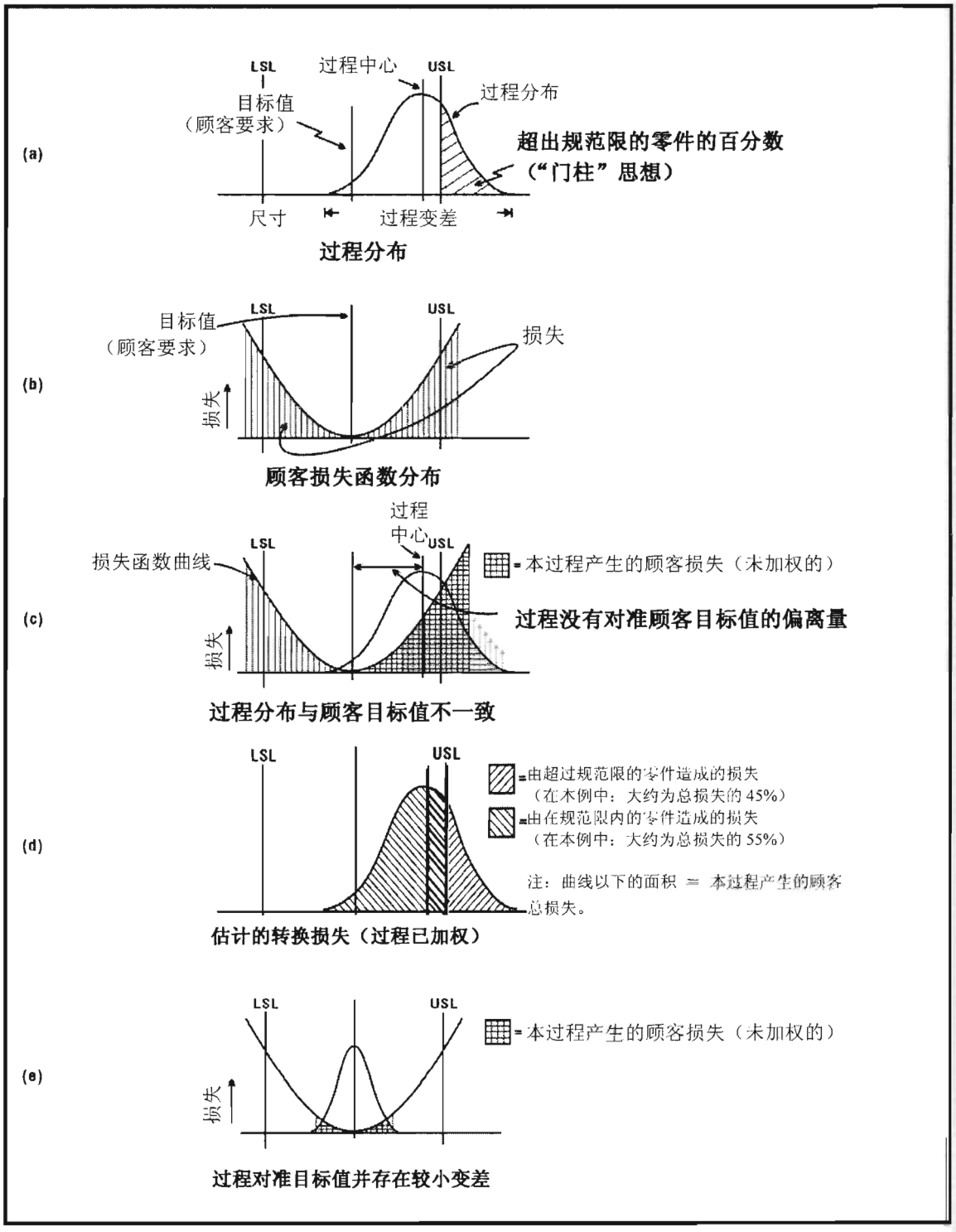


图 IV.9：调整过程与要求一致

这是通过对总损失的估计来确定：将零件实际分布所产生的损失（不合格零件）与由于顾客对技术规范内变差的敏感所产生的损失结合在一起。这就强烈建议，“门柱”模型，或“坏”零件的百分比计算（超出技术规范的零件），对于认识过程给顾客实际造成的影响不能够提供适当的评价。

此页留白

附录A

关于抽样的一些解释

分组的影响

控制图是用来回答关于过程的问题，为了使控制图起作用，重要的是控制图要回答正确的问题。对一个 $\overline{X}$ 图提出问题，“存在于子组均值间的变差是否比子组内的变差大？”因此，理解子组内和子组间的变差原因对理解控制图和过程变差是最重要的。大多计量型数据用控制图可将子组内的变差与子组间的变差相比，因此，在解释控制图时，重要的是要组成子组以便认识影响过程结果的变差的可能原因。

自相关数据

在做 SPC 抽样时，通常有 3 个特征：

1. 容量：在样本中要选择多少零件？
2. 频率：多长时间抽一次样？
3. 类型：组成样本是连续选取零件，还是随机选取零件[49]，或通过其他结构化的计划选取？

对上面提到的 3 个特征，大多数人对 1 和 2 有经验，但对 3 很少考虑。事实上，大多数的控制计划模板中没有覆盖样本*类型*。样本*类型* 对 SPC 图表的结果有很大影响，这点应该被了解。

一些影响样本类型的因素与过程本身有关 —— 他们依赖于制造过程的性质。一种普遍的特定现象是许多现代的，高速的，自动化的过程被认为是*自相关的*。

许多人可能熟悉相关性的概念。在日常生活中有许多相关性的例子（例如，高度 / 重量），比较两个特性以确定它们之间是否存在显著的关系。当一个特性值上升时，另一个特性值可能随之上升（表示正相关），或者可能随之下降（表示负相关），或者可能

[49] 理解“随机”的真正含义很重要。在工作中，许多人认为所谓“随机”选择就是盲目地挑选他们所生产的零件。事实上，这也许是偶然地抽样或随便地抽样。随机抽样要求特殊的技术以确保样本的随机性。当要求随机抽样时，偶然或随便地抽样会导致错误的和偏倚的结论。

独立变化（零相关）。数学公式中相关性的取值在－1（负相关），0（零相关），到+1（正相关）之间。为了达成这些结果，从总体抽取几个样本，对两个重要特性之间进行比较。对于生产来说，同一个产品 / 过程的不同特性可以被用来比较。

在自相关中，不是对一个零件的两个特性进行比较，而是用一个零件的特性与在此之前生产的零件的同一特性进行比较。也可能是与在此之前刚生产出的一个零件（称为 1 个*滞后*）或两个零件（称为 2 个*滞后*）等比较。

高速的，自动化过程的一些特性经常是自相关。这通常是因为存在一个可预知的特殊原因的变差，与普通原因引起的变差相比它会带来更大的变差。也就是说，当比较样本之间的变差时，主要过程输入的变差在抽样的时段没多少变化。这可以举例说明：

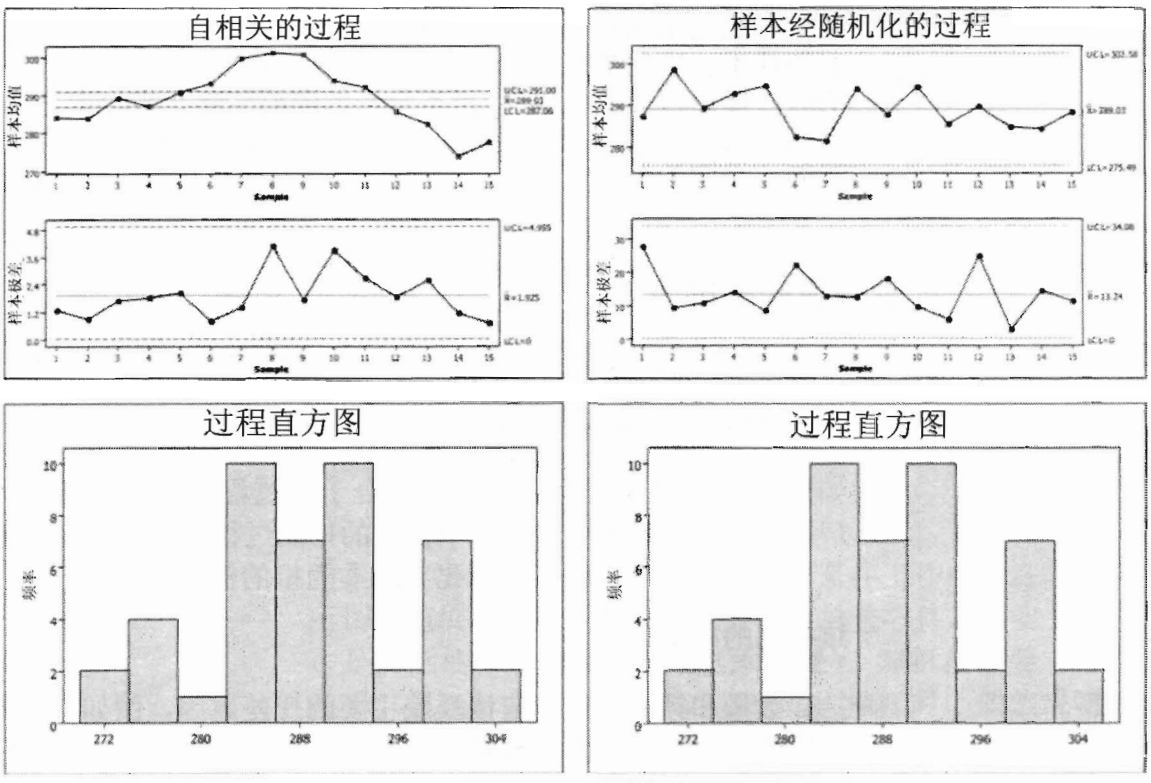
温度的例子：

如果要做一个房间（或外面的院子）温度的 $\overline{X}$ *和* R 控制图，无意义的抽样计划会要求取 5 个连续的温度读数 —— 这 5 个值实际上是相同的，然而，一个小时以后抽取下一个样本时，温度很可能不同于一个小时之前，但这 5 个读数还是相同的，按此方法继续下去。

这个控制图完成后，在 $\overline{X}$ 图上可能会有明显的随机的变差，但极差图就会是一连串的零，平均极差接近于零。$\overline{R}$ 要用来计算均值的控制限，公式为 $\overline{\overline{X}} \pm A_2 \times \overline{R}$，所以控制限将和总均值非常近，大多数点将会在控制限之外。这是一个极端的例子，但它指出了当自相关存在且被忽略时会发生什么情况。

冲压的例子：

卷材，顺序冲模过程数据是典型自相关的。如果数据被随机化（即钢卷被切成板后并被随机化，然后测量），则数据不是自相关的。但是最后的结果（直方图显示的总的过程分布）是一样的。自相关的根本原因已经消除。永远这么做是可行的吗？不，在这个例子中不行 —— 但是这个例子说明过程中自相关的可能特性。



如果在计算 C_{pk} 时忽视自相关对过程变差的影响，自相关能导致令人误解的结论。因为 C_{pk} 是在 $\overline{R}$（子组内标准差估计）的基础上计算而得，显然上面的例子中 C_{pk} 会非常高，然而很明显地，过程中的很多变差未被 C_{pk} 捕捉到。

识别自相关

识别一个过程是不是自相关的，首先按照 6M [50] 考虑过程的输入，如果一个过程高度地依赖于操作者，过程不可能是自相关的。另一方面，如果过程高度地依赖于原材料，并且原材料是一个连续变量（例如送入金属冲压过程的钢卷），每卷内的自相关很可能很高，同样地，对一个高度依赖于专用机器的相关特性（例如冲压机和冲模组合受到润滑油，冲模温度，工具条件等的影响）的过程，当过程依赖材料和机器两者时自相关可能是显著的。

[50] 人，材料，方法，机器，自然的力量（环境），测量系统。

其次，能用统计分析[51]确定自相关系数和模式。成对样本相关分析方法能用来对当前的样本和之前的样本、下一个样本和当前的样本、依此类推进行比较。当过程的样本是稳定的和独立的时，描点将“随机地”（正态分布的随机）落在控制限之间。自相关[52]过程的描点不会远不同于它们邻近的抽样点，形成缓慢的、漫游的模式。

处理自相关的方法

通常，自相关过程是不能改变的，可能会要求不同的抽样方法。

***I* 和 *MR*（*单值和移动极差*）：**

如果子组内的变差小于或等于适合于该过程的测量系统的分辨率，*I* 和 *MR* 图可能是一个合适的控制过程变差的方法。但是，强自相关可能仍然显示出它的非随机的模式。

结构化的样本：

抽样数量和频率的选择应该反映主要的变差原因，例如，如果过程的主要变差原因是材料，那就应该在材料发生变化时抽样（例如，卷材的变化）。

自回归图：

对于违背了样本数据是独立的假设的情况，自回归模型会是适合的，见**第三章**。

结构化的图表：

如果自相关的原因（特殊原因）是可预知的，可以通过把子组内的变差与子组间的变差分离开，分别做控制图来控制这个过程。子组间 / 子组内图可利用*单值移动极差图* 和*极差图* 的方法：

- ***单值图*** 是把子组均值当作单值描点，而其控制限是基于*移动极差* 。
- ***移动极差图*** 用基于子组均值的移动极差描述子组间的变差。
- 极差（或***标准差*** ）图描述的是子组内的变差。

---

[51] Durbin-Watson 的测试统计数值是确定自相关程度的一种方法，许多统计软件包都包括了这种方法。见 *Biometrika*，38，第 159 - 178 页，1951 年版。

[52] 例子见**附录 A** 自相关讨论。

要用标准控制图方法分析这些，以确保普通原因（子组内）变差和自相关原因（子组间）保持一致（见 Wheeler（1995））。

总结

在这里重要的是要考虑到自相关的概念和认识过程中的自相关的能力，然后了解自相关对统计结果的影响。



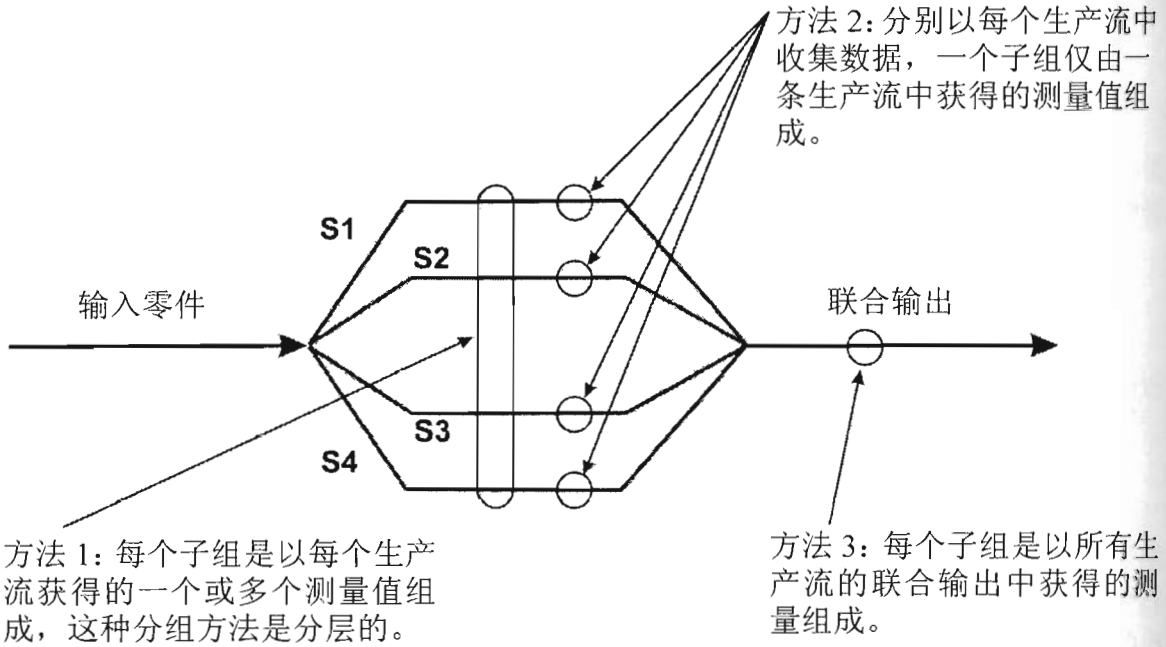
自相关的讨论旨在提高对这种现象的认识，如何识别自相关，如果没有识别或了解自相关，会给运行良好的 SPC 带来很坏的影响。如果读者怀疑一个过程的自相关，应该向统计学专家咨询。

重要的是要理解“随机”的真正含义。在工作中，许多人认为所谓“随机”选择就是盲目地在各处挑选零件，事实上，这也许是偶然抽样或随便抽样（见**术语表**）。随机抽样要求特殊的技术（见统计学参考书）。当要求随机抽样时，偶然或随便地抽样会导致偏倚从而带来错误的结论。

多生产流过程的例子

考虑下列示例，一个生产过程，由 4 个并列的生产流组成，建议用控制图来分析过程输出的变差，所以需要决定如何为控制图采集数据。有多种抽样方法供参考。可以从每个输出流中抽取一些零件组成一个子组，或者同一个子组内只包含来自一个输出流的零件，或者组成子组的零件是从混合的输出中抽取，不考虑这些零件的来处。下图示给出了用这三种方法进行抽样获得结果的一个例子。

从多输出流生产过程（锭子）中采集数据的方法



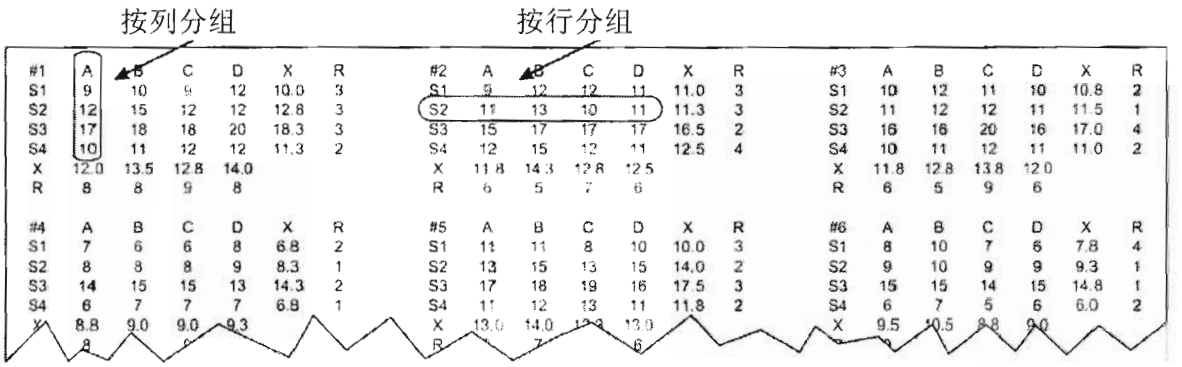
每小时以每个生产流的四个连续循环中抽取 16 个零件样品。

下列是这些数据的一个示例。

	机器的循环			
样本号	**A**	**B**	**C**	**D**
生产流S1	17	18	18	20
生产流S2	12	15	12	12
生产流S3	9	10	9	12
生产流S4	10	11	12	12

从以上资料中可以获得三种变差源，透过矩阵中不同的列可以获得**循环与循环**之间的变差，生产流与生产流之间的变差可以透过矩阵的行得到，小时与小时间的变差可以从不同的由 16 个零件组成的样本得到。

一种分组的方法是描绘数据中每个矩阵中的各列的均值和极差，使用这种分组方法，每个子组中将包括生产流与生产流间的变差，而小时与小时的变差和循环与循环间的变差将产生子组之间的差异。另一种可能的分组方法是描绘数据中各矩阵中每行的均值和极差，这种方法，每个子组内可以获得循环与循环间的变差，而小时与小时间的变差和生产流与生产流间的变差将产生子组之间的差异。



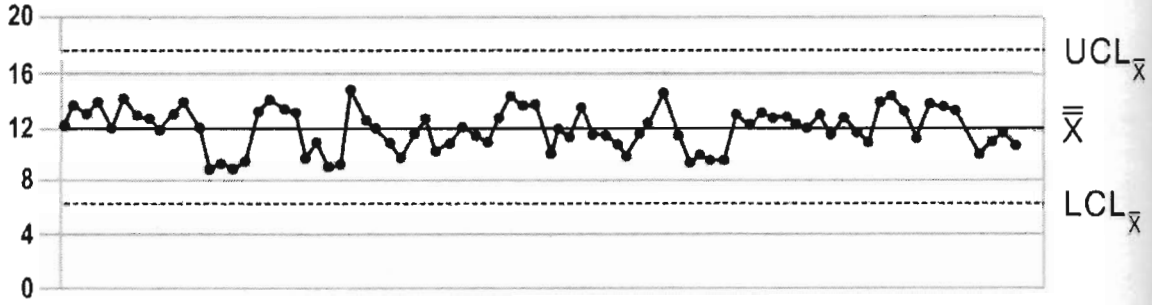
对每种分组方法，使用连续 20 个小时所获得的数据来绘制控制图。

方法 1：按列（循环）分组

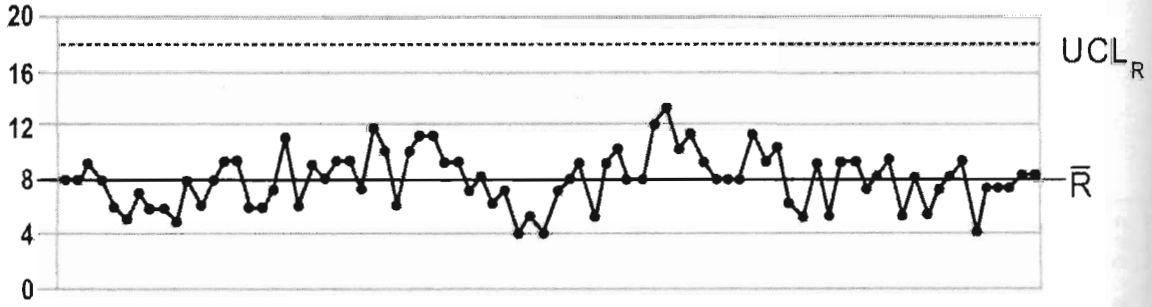
这种分组方法产生 80 个 n=4 的子组，过程总均值为 11.76 个单位，平均极差等于 7.85，$\overline{X}$ 图的控制限是 17.48 和 6.04 个单位，极差图的上控制限为 17.91 个单位。

评审极差图显示使用这种方法看来子组内的变差是稳定的。

按列（循环）分组的 $\overline{\mathbf{X}}$ 图

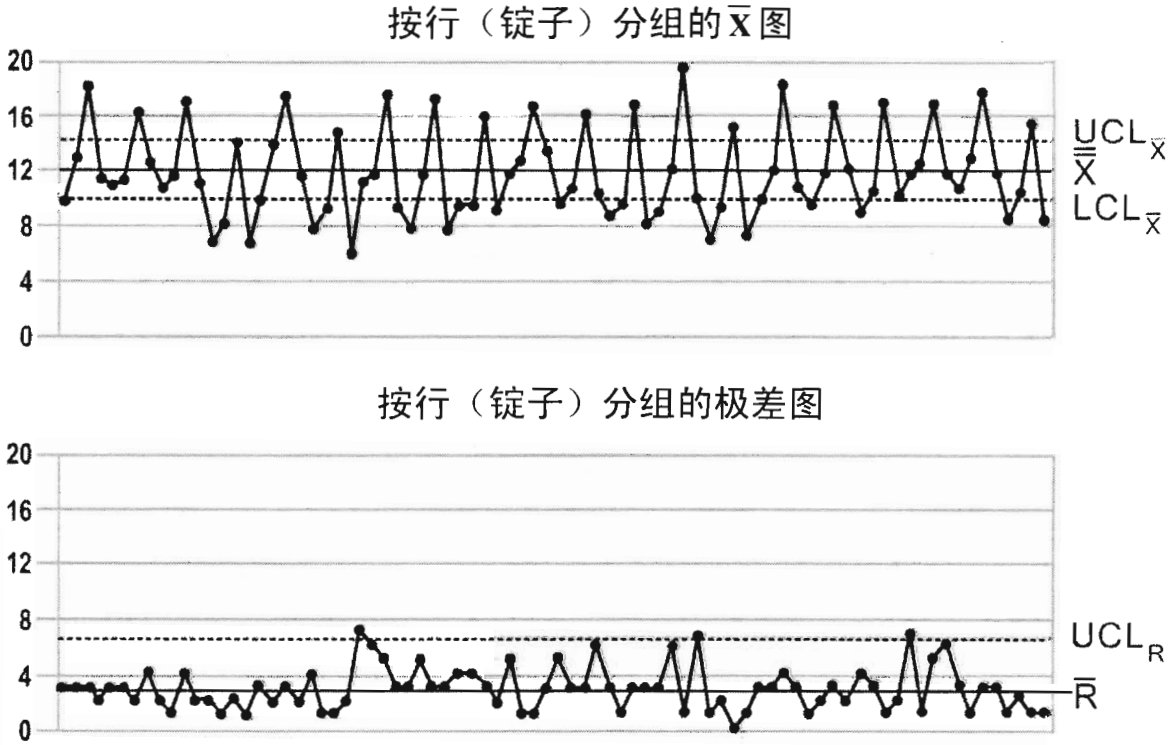


按列（循环）分组的极差图



方法 2：按行分组

第二种分组方法产生 80 个 n=4 的子组，平均极差为 2.84 个单位，$\overline{X}$ 图的控制限为 13.83 和 9.70 个单位，极差图的上控制限为 6.46 个单位，这种分组方法的控制图如下：



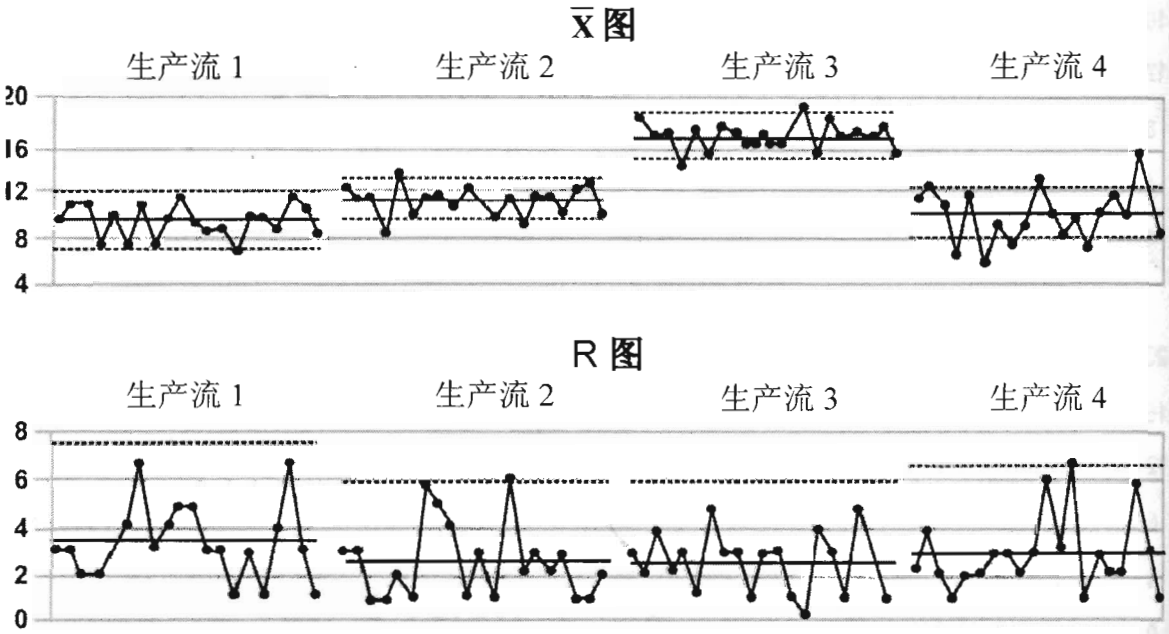
不同的分组方法所得的控制图很不相同，尽管它们是从同一组数据中得到的，按行分组的 $\overline{X}$ 图显示出一种模式，相对于第 3 行（锭子 3）的所有点比其他生产流操作上的点高得多，第 1 个 $\overline{X}$ 图没有反应出生产流与生产流的差异，因为要把每个生产流的读数进行平均而得每个 $\overline{X}$ 值。

对数据按不同的方法分组，所得的控制图会说明不同的问题。

对于第一组控制图，生产流与生产流间的变差用作比较的基础，R 图用来检查生产流与生产流间的变差随着时间是否稳定，而 $\overline{X}$ 图用来将循环与循环间、小时与小时间的变差与生产流与生产流间的变差相比。

第二组控制图用循环与循环间的变差作为比较的基础，R 图用来检查循环与循环间的变差随着时间是否稳定，而 $\overline{X}$ 图用来将生产流与生产流间的变差，和小时与小时间的变差与根据极差建立的基本变差作比较，即循环与循环间的变差。第二组控制图识别影响过程的特殊原因，即第三个生产流不同于与其他生产流。由于生产流之间的差异太大，在第一组控制图上的控制限比第二组上的控制限宽得多。

用第二个分组方法时，可用数据产生 4 组独立的控制图，每个生产流一组。

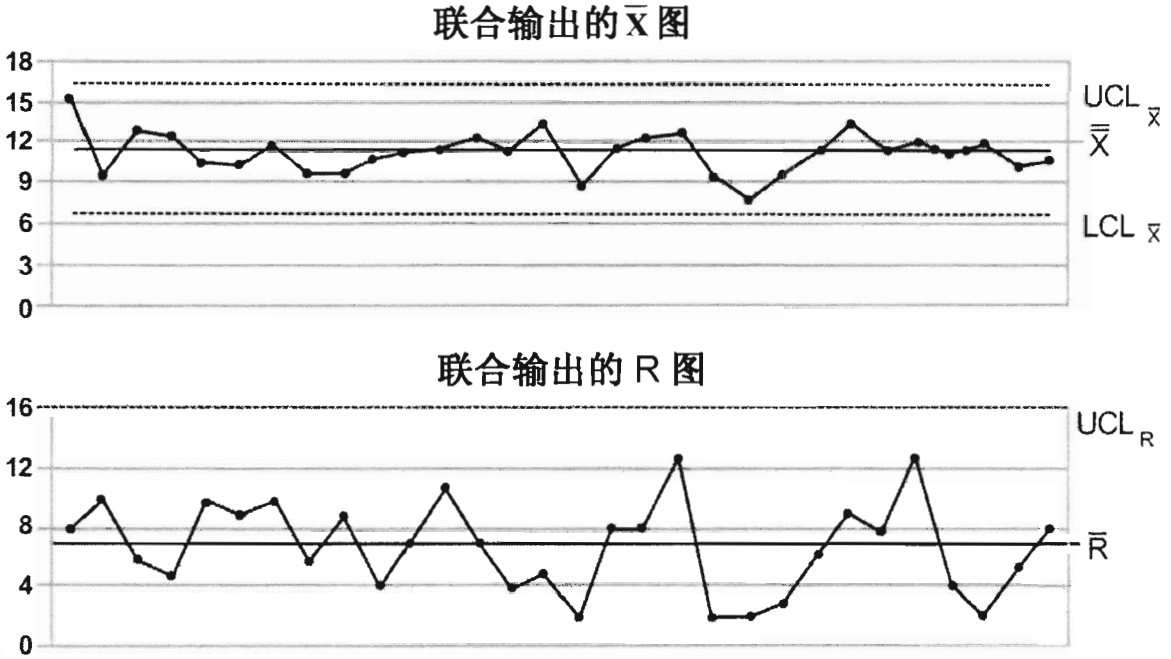


对控制图进行对比可知第三个生产流的均值比其他的大，并且此单个过程处于失控状态。用来研究每个生产流结果的基准变差是在极差图中反映的循环与循环之间的变差，对于每个生产流中小时与小时之间变差的影响，见 $\overline{X}$ 图所示，在使用相同的刻度绘制控制图时，可以比较每个生产流之间的变差和水平。

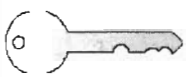
方法 3：

第三种构成样本的方法是将全部四个生产流的输出混合后抽取样品，该方法可以识别将带到下一过程的变差，但不再能区分一个零件来自哪个生产流。只要混合了联合的生产流中的零件，则极差反映了生产流与生产流之间的变差和循环与循环间

的变差的混合情况，此外，$\overline{X}$ 值包含小时与小时之间的变差。如果小时与小时之间的变差足够大，则在 $\overline{X}$ 图上可以看作是出现了失控的点。



R 图检查生产流与生产流的变差和循环与循环之间的变差随着时间是否一致，$\overline{X}$ 图回答这样的问题。“如果过程中仅存在循环与循环之间和生产流与生产流之间的变差，$\overline{X}$ 值中的变差就是所期望的吗？或者还存在小时与小时之间的变化吗？”



一般情况下，子组内表现的变差应该是目前研究认为最不显著或最不感兴趣的那类变差，在所有情况下，所使用的分组方法应该能回答有关变差潜在原因影响的问题。

样本容量对指数的影响

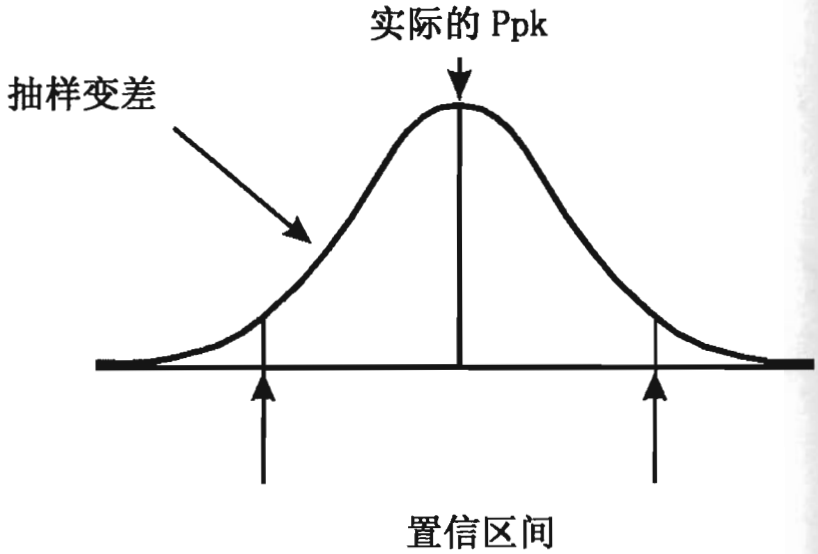
用指数评价一个过程时，一个样本的结果也许看起来与第二个样本的结果相矛盾。对一个新过程尤其如此，最初抽取的样本证明生产过程的是指数满足或超过顾客要求，但是在后来的正常生产期间抽取的样本的指数达不到要求。

这是因为有以下不同的原因：

- 从初始抽样到批量生产抽样，过程已变化 —— 例如，初始抽样也许使用了不同的材料、设置和程序等。
- 初始抽样没有包括影响生产过程的所有可能的变差原因，如果初始样本量小，很有可能如此。
- 实际过程指数接近目标指数，抽样变差带来不同的结论。

前两个原因与对作用于过程的变差的来源的认识有关，并在**第一章**进行了讨论。

第三个原因是针对在任何抽样方案中固有的抽样变差（参见**第一章，第 G 节**），除非样本包含了过程所有的输出，否则计算过程分布的统计量（这里为指数）时，将存在抽样变差[53]。

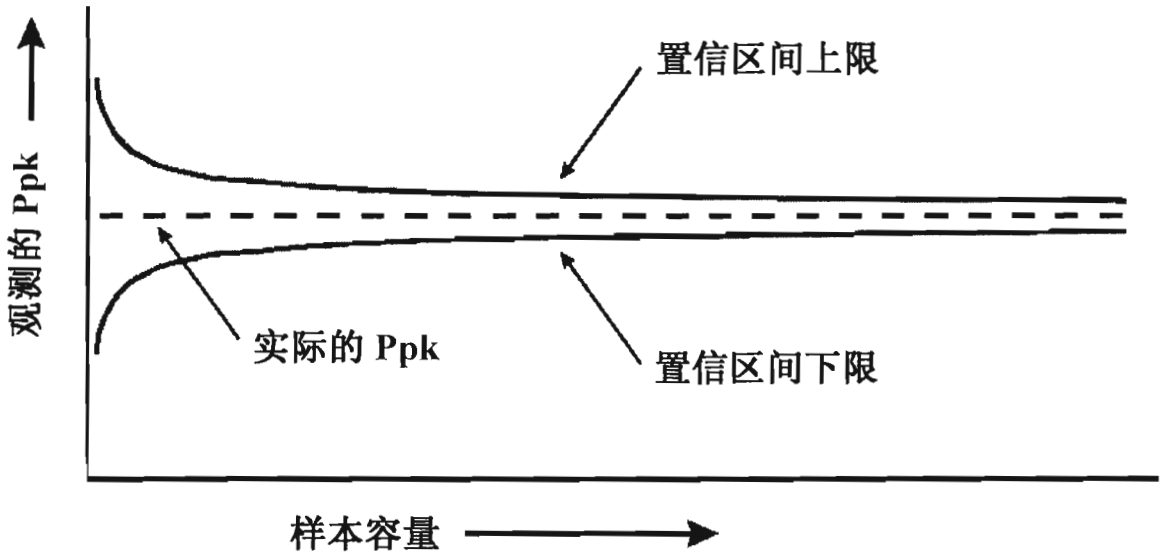


用抽样分布（统计量（指数）的分布）可以计算指数的置信区间，

[53] 注：尽管指数的实际抽样分布通常是非正态的，但本讨论将用一个对称的分布作为例子。

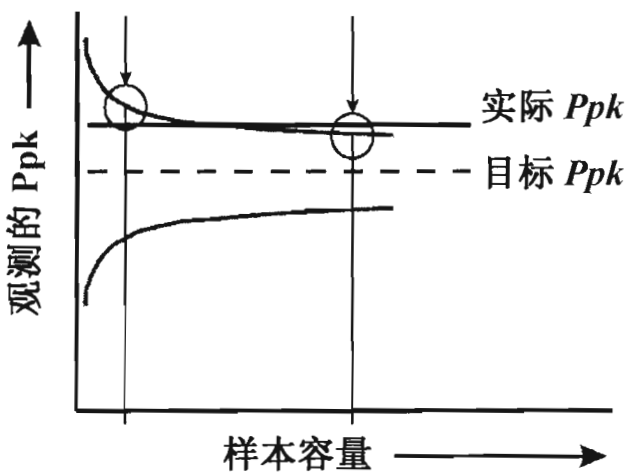
利用这些值对过程作出决定（例如，过程是否可接受）。

以普遍的风险水平 α 为 0.05 为例，95%的置信区间将确定 95%的次数包含实际的（和未知的）值的可能范围，也就是说，如果抽样重复 100 次，会对过程作出 95 次相同的决定（可接受或不可接受）。

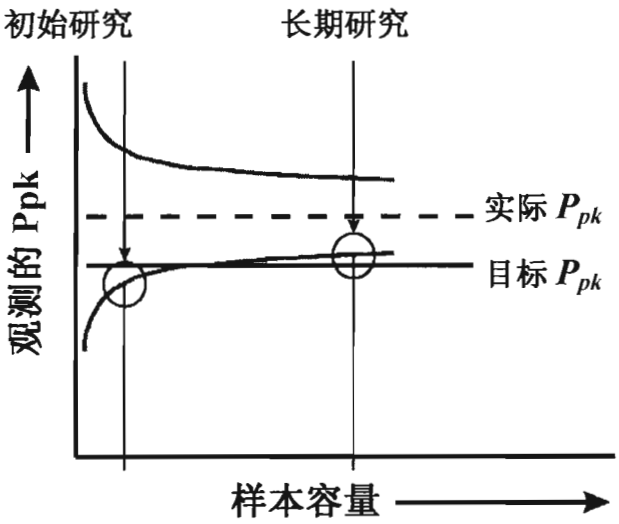


抽样分布的宽度是样本容量的函数，样本越大抽样分布越“窄”，正是抽样分布的这个特性导致了好象矛盾的结论。

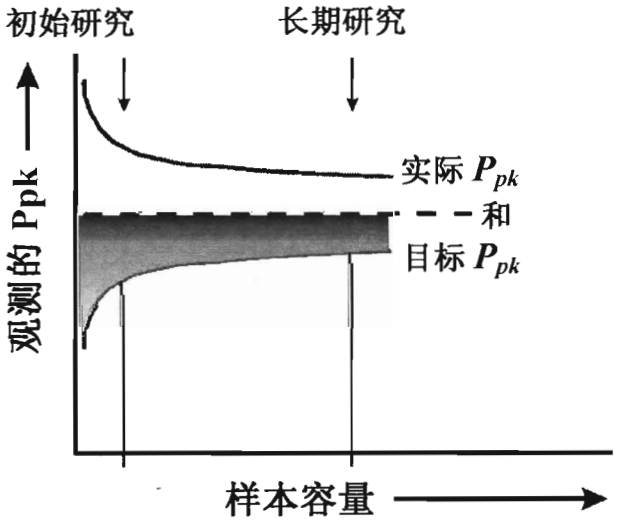
例如，当评价一个新过程时，由于原材料 / 零件的可获得性的限制，初始样本通常很小，一旦进入批量生产过程，这个限制就不存在了。



当实际的指数接近目标指数，即使过程没有变化，并且两个样本有相同的变差原因，抽样变差的不同可能会导致好象矛盾的结论。



不论样本容量如何，实际的指数（未知的）与目标指数完全相等的情况，认为过程可接受的概率只有 50%，换句话说，只有一半的次数，计算的指数会大于或等于目标指数。





用于过程研究的样本容量以及实际指数如何接近于目标指数的情况，都会显著影响对过程作出的任何 *预测性* 决定的有效性。

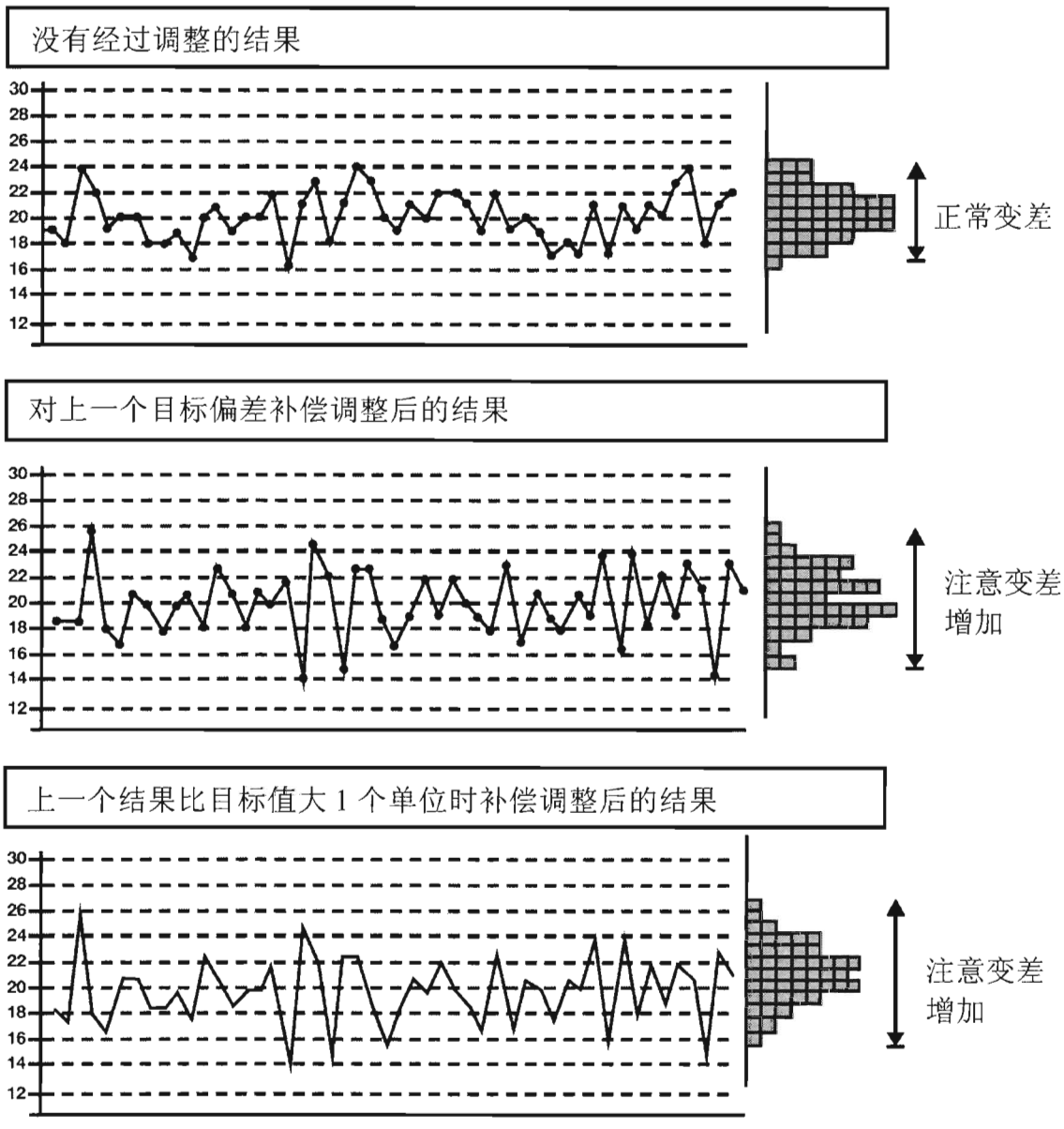
附录B

关于特殊原因的一些评述

过度调整

过度调整是把每一个对目标的偏离当作过程中有特殊原因来处理的作法。

如果根据每一次所作的测量来调整一个稳定的过程，则调整就成了另外一个变差源。下列的例子说明了这个概念：第一个图显示了没有进行调整时结果中的变差；第二个图显示了对过程中每个目标偏差进行补偿调整后结果中的变差；第三个图显示了仅当上一个结果比目标值大 1 个单位时进行补偿调整后结果的变差。第三种情况的补偿是为了保持符合一组规范要求，每种调整方法均增加了输出的变差，因为不调整时这种变差是稳定的（参见 戴明 （1989），第 11 章）。

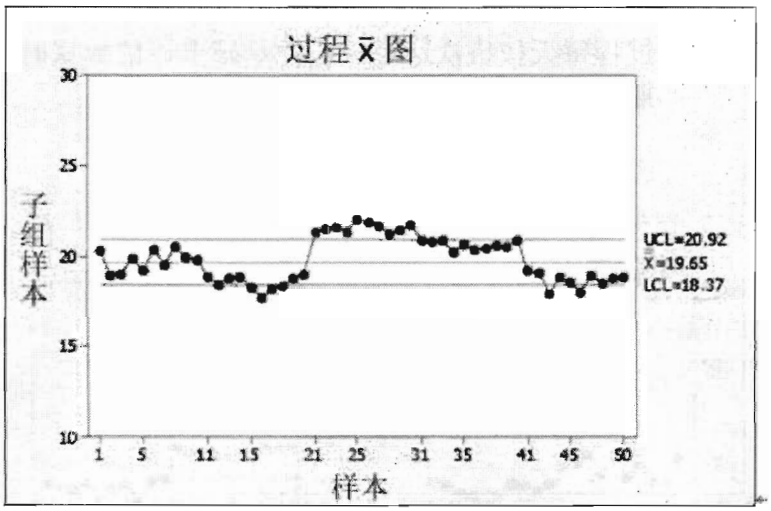


注意：这些图假设测量系统已经被评价而且是适合的。

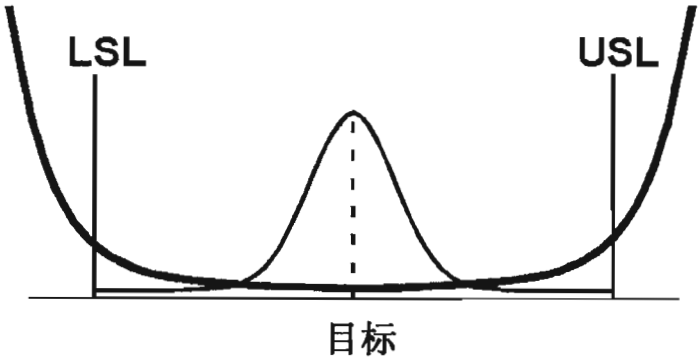
依赖于时间的过程

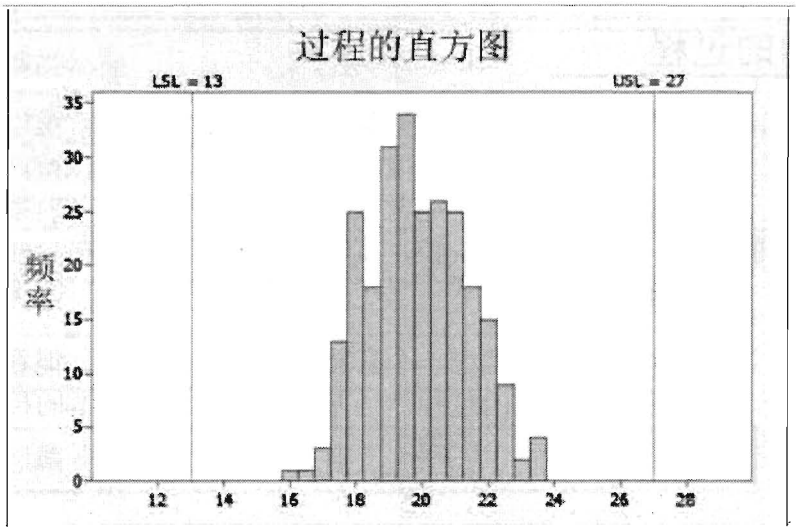
第 3 类的过程（参见**第一章，第 E 节**）通常难以适合典型的控制图模型。这些类型的过程很少随着时间保持严格的稳定。因为子组内的变差通常很小，过程位置和分布的很小波动都可能引起过程统计失控，事实上，这种情况对产品质量和顾客的实际影响很小。

举例来说，考虑一个有相当恒定的离散度，但存在小的、随机的位置变化的过程。当基于最初 25 个样本的控制限确定时，显示许多点不受控。

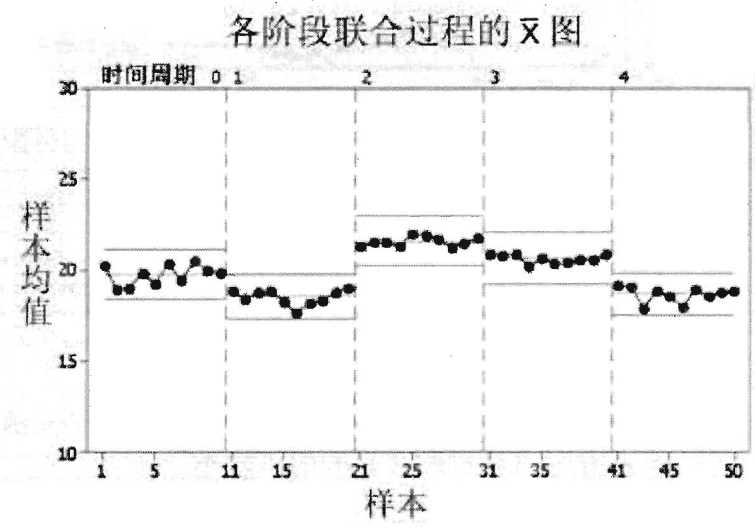


但是，与规范相较，由于过程能力小，且损失函数平坦，数据的直方图显示对顾客影响的风险小。





过程每天按班次运行，在此基础上评估数据时，过程展示出短期的统计受控。



这意味着可用短期控制图（见**第三章**）监控过程。其他依赖时间的过程可以用单值和移动极差图、EWMA 图、ARIMA 图和其他图监控。

图形显示对一些特殊原因敏感，对进一步的研究或过程改进的需要应该依据事情优先级来考虑。

问题是在这种条件下评估的过程参数是否可靠，答案是否。Deming（1986）、Wheeler 和 Chambers（1992）、Bothe（2002）讨论了有关过程处于非统计控制时进行能力评估的风险，结论

是基于从一个不稳定的过程得来的数据作出的错误决定，其结果可能是严重的。通常，稳定的过程是正确评价过程能力的前提

然而，在特定的情况下，如例子中所述的依赖于时间的过程，典型的指数将提供一个过程性能的保守估计。

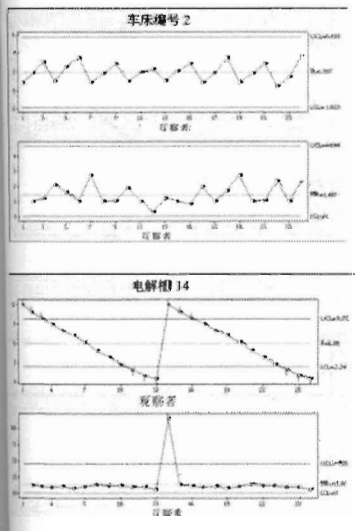
在某种情况下，顾客可能允许生产者运行一个过程即使它是**第3类的过程**，这些情况包括：

- 顾客对规范内的变差不敏感（见**第四章**损失函数讨论）。
- 对特殊原因采取的措施，在经济上超过了给任何所有顾客带来的利益，出于经济的考虑，允许的特殊原因可能包括工装磨损、重新研磨工装、循环的（周性的）变差等。
- 特殊原因已经被识别并被证明是一致的和可预测的。

在这些情况下，顾客可能有如下要求：

- 过程是成熟的。
- 被允许的特殊原因显示在已知的时段，以一致的方式产生作用。
- 有一个有效的控制计划，以确保符合所有过程输出的规范，防止其他特殊原因出现或被允许的特殊原因表现不一致。

重复的图形



有时，由于已知的可查明的原因 —— 不能经济地消除的原因，控制图中出现重复的模式。

例如加工一个轴的外径，因为刀具磨损，外径会变大。在这个例子中，均值图会有一个上升的趋势，这个趋势会持续到刀具更换为止，均值图会随时间呈现一个锯齿图形。如这个例子显示，当过程有一个明显随时间变化的输入变量，它不能被经济地转变为随机原因时，将出现重复的趋势。

另一个能产生趋势的例子是涉及化学品的过程。处理零件时化学品浓度会变稀，从而产生一个趋势，这种趋势一直会持续，直到过程调整使化学品浓度回到最初的水平。



其他的例子包括受到周围温度、湿度和人的疲劳影响的过程，当这些类型的重复模式存在时，由于有特殊原因（经济性的影响）作用于过程，均值图将呈现不受控制的情形。如果这些特殊原因的影响显示可随时间预测，且附加的变差对顾客是可接受的，则修正过程控制以允许这些特殊原因的存在。

对此采用的一个方法是通过修正控制限来替代标准控制限，有关修正控制限的资料见 AT&T（1984），Grant 与 Leavenworth（1996 年），Duncan（1986 年），Charbonneau Webster（1978 年）。



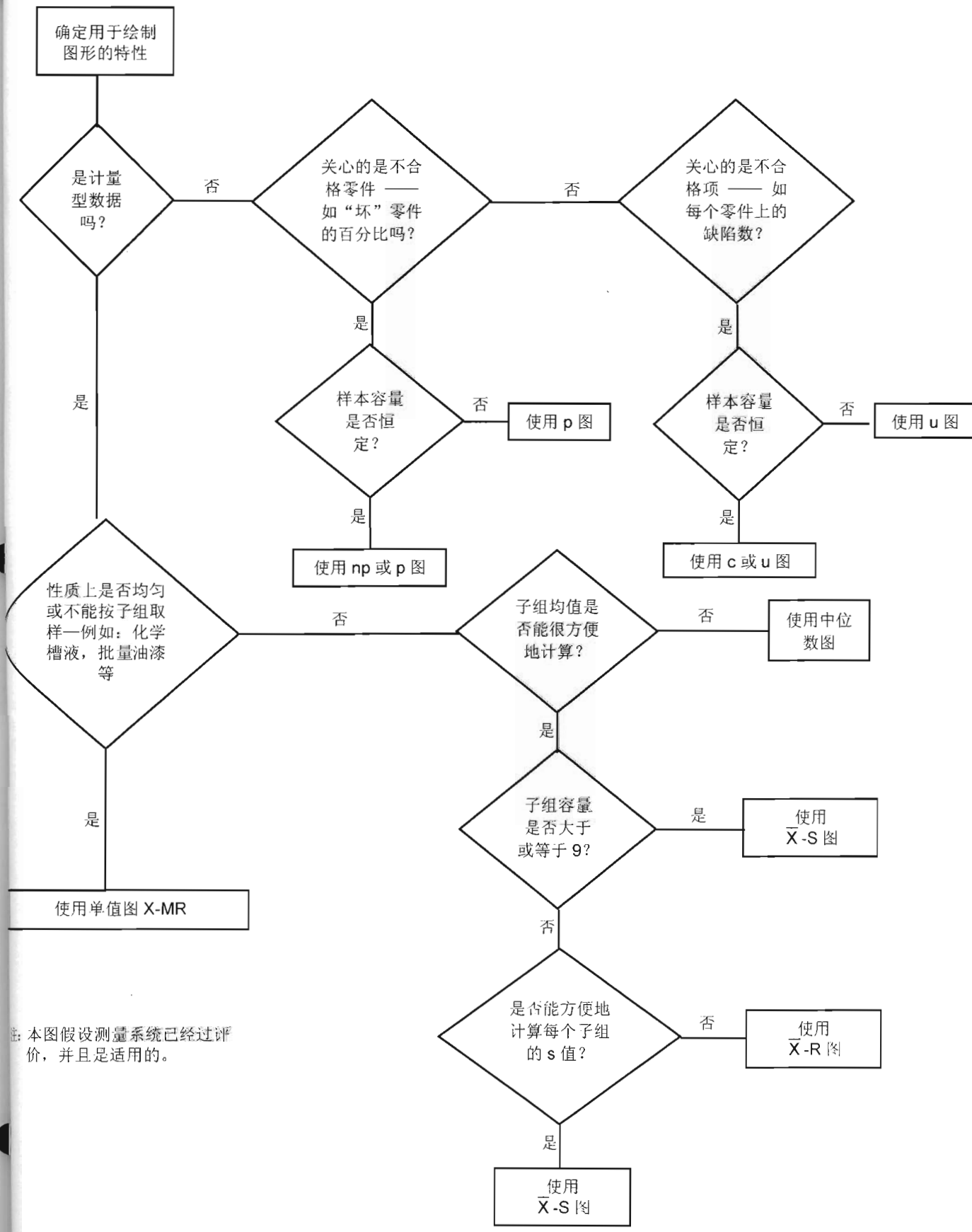
应该慎用修正控制限，因为这些图形可能不能揭示制造过程是否处于统计受控。

另一个方法是用**第三章**中讨论的**回归控制图**。

除了影响趋势，这些类型的特殊原因也可能引起批与批之间的均值移动。如果顾客接受这个附加的变差，过程可以用**第三章**中讨论的**短期控制图**控制。

附录C

本手册所描述控制图的选用程序



注：本图假设测量系统已经过评价，并且是适用的。

此页留白

附录D

C_{pm} 和其它指数的关系

常与田口的**损失函数**联系在一起的 C_{pm}，是一种考虑过程趋中对评价过程能力或性能的影响的可选方法。C_{pk} 和 P_{pk} 关注的是过程均值不是规范的目标值，而 C_{pm} 关注规范目标值。如**第四章**所讨论，针对相同的数据应该使用所有四个标准指数（C_p、C_{pk}、P_p 和 P_{pk}）来评价，以获得对过程能力或性能的全面评价，C_p 和 C_{pk} 或 P_p 和 P_{pk} 之间很大的一个不同点在于是否考虑了过程趋中。相反，通过在计算中包括了过程均值和规范目标值之间的变差，C_{pm} 指数评价了过程满足规范的程度，无论它是否已趋中。参见 Boyles（1991），Chan, L. J., S.W. Cheng 与 F.A. Spiring（1988）。

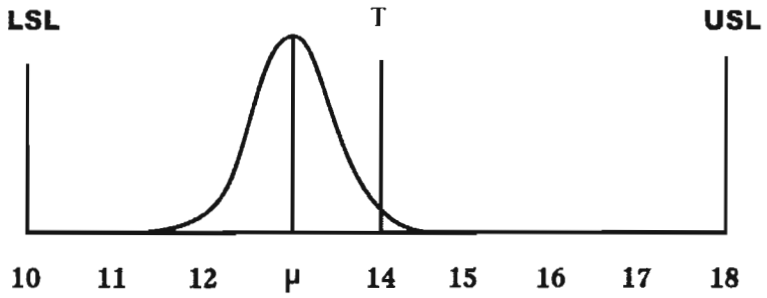
本手册讨论的 C_{pm} 和其它指数间的区别源于标准差的计算方式，本文中讨论的指数是使用的标准差，即针对过程均值 $\overline{X}$ 的变差，C_{pm} 使用的是针对目标值 T 的变差：

$$C_{pm} = \frac{USL - LSL}{6s_{C_{pm}}}, \text{式中} \quad s_{C_{pm}} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{(x_i - T)^2}{n-1}}$$

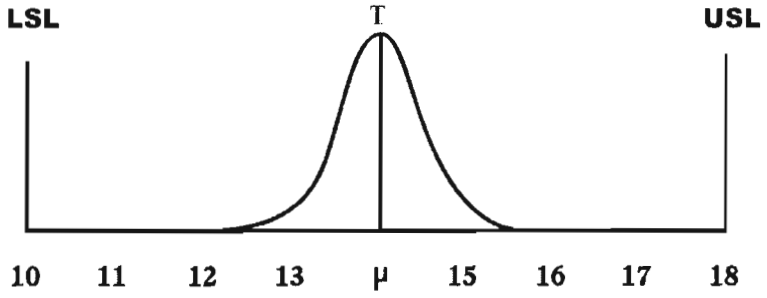
下列图假设双边公差[54]，即：

$(USL - T) = (T - LSL)$

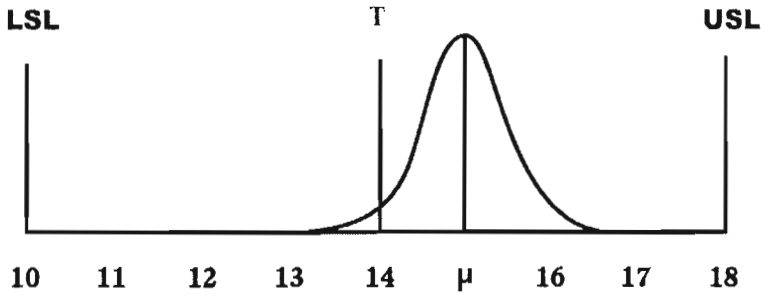
[54] 见 Bothe（2001），对 T 不是规范中心时的讨论。



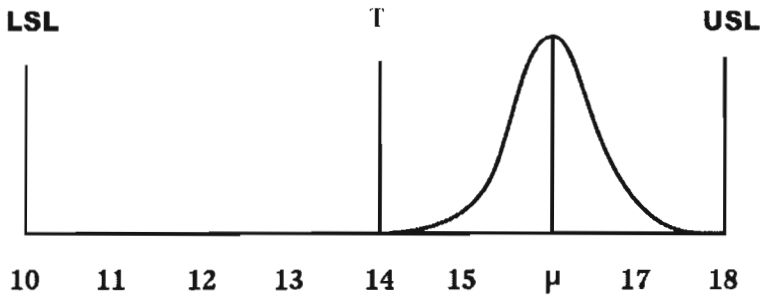
μ	Cp	CPL	CPU	Cpk	Cpm
13	2	1.5	2.5	1.5	1.11



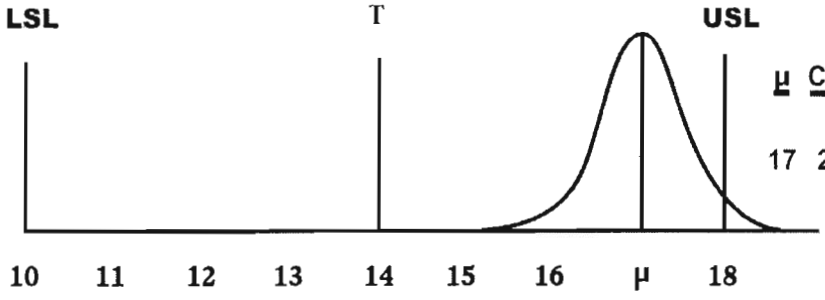
μ	Cp	CPL	CPU	Cpk	Cpm
14	2	2.0	2.0	2.0	2.00



μ	Cp	CPL	CPU	Cpk	Cpm
15	2	2.5	1.5	1.5	1.11



μ	Cp	CPL	CPU	Cpk	Cpm
16	2	3.0	1.0	1.0	0.63



μ	Cp	CPL	CPU	Cpk	Cpm
17	2	3.5	0.5	0.5	0.43

附录E

控制图的常数和公式表*

	$\overline{X}$-R 图				$\overline{X}$-s 图			
	均值图	极差（R）图			均值图	极差（R）图		
	控制限系数	估计 σ_X 用的除数	计算控制限用的系数		控制限系数	估计 σ_X 用的除数	计算控制限用的系数	
子组大小	A_2	d_2	D_3	D_4	A_3	c_4	B_3	B_4
2	1.880	1.128	—	3.267	2.659	0.7979	—	3.267
3	1.023	1.693	—	2.574	1.954	0.8862	—	2.568
4	0.729	2.059	—	2.282	1.628	0.9213	—	2.266
5	0.577	2.326	—	2.114	1.427	0.9400	—	2.089
6	0.483	2.534	—	2.004	1.287	0.9515	0.030	1.970
7	0.419	2.704	0.076	1.924	1.182	0.9594	0.118	1.882
8	0.373	2.847	0.136	1.864	1.099	0.9650	0.185	1.815
9	0.337	2.970	0.184	1.816	1.032	0.9693	0.239	1.761
10	0.308	3.078	0.223	1.777	0.975	0.9727	0.284	1.716
11	0.285	3.173	0.256	1.744	0.927	0.9754	0.321	1.679
12	0.266	3.258	0.283	1.717	0.886	0.9776	0.354	1.646
13	0.249	3.336	0.307	1.693	0.850	0.9794	0.382	1.618
14	0.235	3.407	0.328	1.672	0.817	0.9810	0.406	1.594
15	0.223	3.472	0.347	1.653	0.789	0.9823	0.428	1.572
16	0.212	3.532	0.363	1.637	0.763	0.9835	0.448	1.552
17	0.203	3.588	0.378	1.622	0.739	0.9845	0.466	1.534
18	0.194	3.640	0.391	1.608	0.718	0.9854	0.482	1.518
19	0.187	3.689	0.403	1.597	0.698	0.9862	0.497	1.503
20	0.180	3.735	0.415	1.585	0.680	0.9869	0.510	1.490
21	0.173	3.778	0.425	1.575	0.663	0.9876	0.523	1.477
22	0.167	3.819	0.434	1.566	0.647	0.9882	0.534	1.466
23	0.162	3.858	0.443	1.557	0.633	0.9887	1.545	1.455
24	0.157	3.895	0.451	1.548	0.619	0.9892	0.555	1.445
25	0.153	3.931	0.459	1.541	0.606	0.9896	0.565	1.435

	中心线	控制限	
$\overline{X}$-R 图	$CL_{\overline{X}} = \overline{\overline{X}}$	$UCL_{\overline{X}} = \overline{\overline{X}} + A_2\overline{R}$	$LCL_{\overline{X}} = \overline{\overline{X}} - A_2\overline{R}$
	$CL_R = \overline{R}$	$UCL_R = D_4\overline{R}$	$LCL_R = D_3\overline{R}$
$\overline{X}$-s 图	$CL_{\overline{X}} = \overline{\overline{X}}$	$UCL_{\overline{X}} = \overline{\overline{X}} + A_3\overline{S}$	$LCL_{\overline{X}} = \overline{\overline{X}} - A_3\overline{S}$
	$CL_s = \overline{s}$	$UCL_s = B_4\overline{s}$	$LCL_S = B_3\overline{s}$

* 摘自 ASTM-STP-15D，《数据和控制图分析形式手册》1976 年版，第 134~136 页。ASTM 版权所有，经允许后复制（1916 Race Street, Philadelphia, Pennsylvania 19103）。

附录 E — 控制图的常数和公式表（续）

	中位数图**				单值图			
	中位数图	极差（R）图			单值图	极差（R）图		
	控制限系数	估计 σ_X 用的除数	计算控制限用的系数		控制限系数	估计 σ_X 用的除数	计算控制限用的系数	
子组容量	$\widetilde{\widetilde{A}}_2$	d_2	D_3	D_4	E_3	d_2	D_3	D_4
2	1.880	1.128	—	3.267	2.660	1.128	—	3.267
3	1.187	1.693	—	2.574	1.772	1.693	—	2.574
4	0.796	2.059	—	2.282	1.457	2.059	—	2.282
5	0.691	2.326	—	2.114	1.290	2.326	—	2.114
6	0.548	2.534	—	2.004	1.184	2.534		2.004
7	0.508	2.704	0.076	1.924	1.109	2.704	0.076	1.924
8	0.433	2.847	0.136	1.864	1.054	2.847	0.136	1.864
9	0.412	2.970	0.184	1.816	1.010	2.970	0.184	1.816
10	0.362	3.078	0.223	1.777	0.975	3.078	0.223	1.777

	中心线	控制线	
中位数图	$CL_{\tilde{X}} = \overline{\widetilde{X}}$	$UCL_{\tilde{X}} = \overline{\widetilde{X}} + \overline{\widetilde{A}}_2 \overline{R}$	$LCL_{\tilde{X}} = \overline{\widetilde{X}} - \overline{\widetilde{A}}_2 \overline{R}$
	$CL_R = \overline{R}$	$UCL_R = D_4 \overline{R}$	$LCL_R = D_3 \overline{R}$
单值图	$CL_X = \overline{X}$	$UCL_X = \overline{X} + E_2 \overline{R}$	$LCL_X = \overline{X} - E_2 \overline{R}$
	$CL_R = \overline{R}$	$UCL_R = D_4 \overline{R}$	$LCL_R = D_3 \overline{R}$

扩大范围的 d_2 表见《MSA》手册第三版。

** $\widetilde{\widetilde{A}}_2$ 系数取自 ASTM-STP-15D “**数据和效率表**”，包含在 Dixon 和 Massey，1969 年版，第 488 页。

附录 E — 控制图的常数和公式表（续）

计数型数据用控制图

	中心线	控制限	
***p* 图**用于某一分类的件数比例	$CL_p = \overline{p}$	样本容量不必恒定	
		$UCL_{p_i} = \overline{p} + 3\dfrac{\sqrt{\overline{p}(1-\overline{p})}}{\sqrt{n_i}}$	$LCL_{p_i} = \overline{p} - 3\dfrac{\sqrt{\overline{p}(1-\overline{p})}}{\sqrt{n_i}}$
		如果样本容量恒定（n）	
		$UCL_p = \overline{p} + 3\dfrac{\sqrt{\overline{p}(1-\overline{p})}}{\sqrt{n}}$	$LCL_p = \overline{p} - 3\dfrac{\sqrt{\overline{p}(1-\overline{p})}}{\sqrt{n}}$
***np* 图**用于某一分类的件数 / 比率	$CL_{np} = \overline{np}$	$UCL_{np} = \overline{np} + 3\sqrt{\overline{np}(1-\dfrac{\overline{np}}{n})}$ $= \overline{np} + 3\sqrt{\overline{np}(1-\overline{p})}$	$LCL_{np} = \overline{np} - 3\sqrt{\overline{np}(1-\dfrac{\overline{np}}{n})}$ $= \overline{np} - 3\sqrt{\overline{np}(1-\overline{p})}$
***c* 图**用于一个或多个分类发生的数量	$CL_C = \overline{c}$	$UCL_C = \overline{c} + 3\sqrt{\overline{c}}$	$LCL_C = \overline{c} - 3\sqrt{\overline{c}}$
***u* 图**用于在每个单位上一个或多个分类发生的数量	$CL_u = \overline{u}$	样本容量不必恒定	
		$UCL_u = \overline{u} + 3\dfrac{\sqrt{\overline{u}}}{\sqrt{n_i}}$ $= \overline{u} + 3\sqrt{\dfrac{\overline{u}}{n_i}}$	$LCL_u = \overline{u} - 3\dfrac{\sqrt{\overline{u}}}{\sqrt{n_i}}$ $= \overline{u} - 3\sqrt{\dfrac{\overline{u}}{n_i}}$
		使用平均样本容量	
		$UCL_u = \overline{u} + 3\dfrac{\sqrt{\overline{u}}}{\sqrt{\overline{n}}}$ $= \overline{u} + 3\sqrt{\dfrac{\overline{u}}{\overline{n}}}$	$LCL_u = \overline{u} - 3\dfrac{\sqrt{\overline{u}}}{\sqrt{\overline{n}}}$ $= \overline{u} - 3\sqrt{\dfrac{\overline{u}}{\overline{n}}}$
		如果样本容量恒定（n）	
		$UCL_u = \overline{u} + 3\dfrac{\sqrt{\overline{u}}}{\sqrt{n}}$ $= \overline{u} + 3\sqrt{\dfrac{\overline{u}}{n}}$	$LCL_u = \overline{u} - 3\dfrac{\sqrt{\overline{u}}}{\sqrt{n}}$ $= \overline{u} - 3\sqrt{\dfrac{\overline{u}}{n}}$

此页留白

附录F

能力指数计算举例

为了能力指数是有效的，应满足以下几个假设（见**第四章，第 A 节**和**第 B 节**）：

- 数据来源的过程在统计上是稳定的，即不能违反这个普遍接受的 SPC 规则。
- 过程数据中的单个测量值构成近似的正态分布[55]。
- 必须评估足够数量的零件，以便获取过程的固有变差。建议使用子组容量为 5 收集至少 125 个单值，对于某特定应用的情况，其他的子组容量可能更适合，但样本总量应该至少是 125。
- 规范是基于顾客的要求。

对下列数据集进行的评价是基于这些假设，并当这些假设成立时才可以计算能力指数。

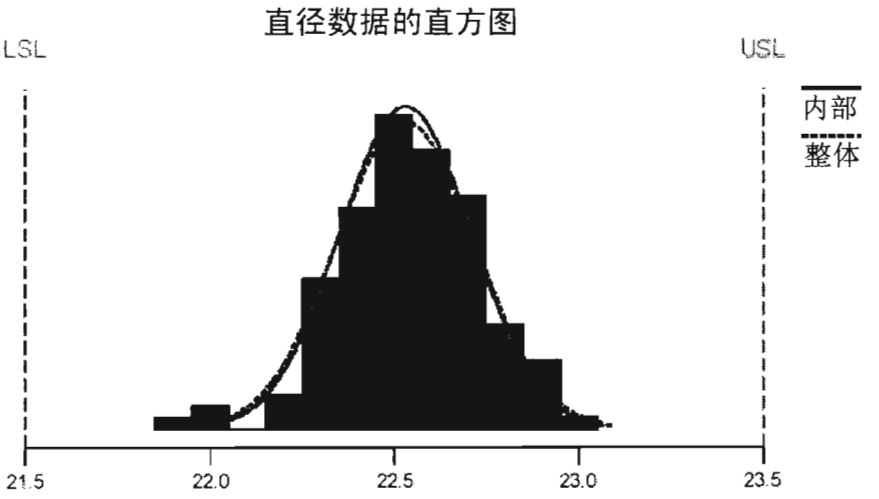
[55] 非正态分布见**第五章，第 B 节**。

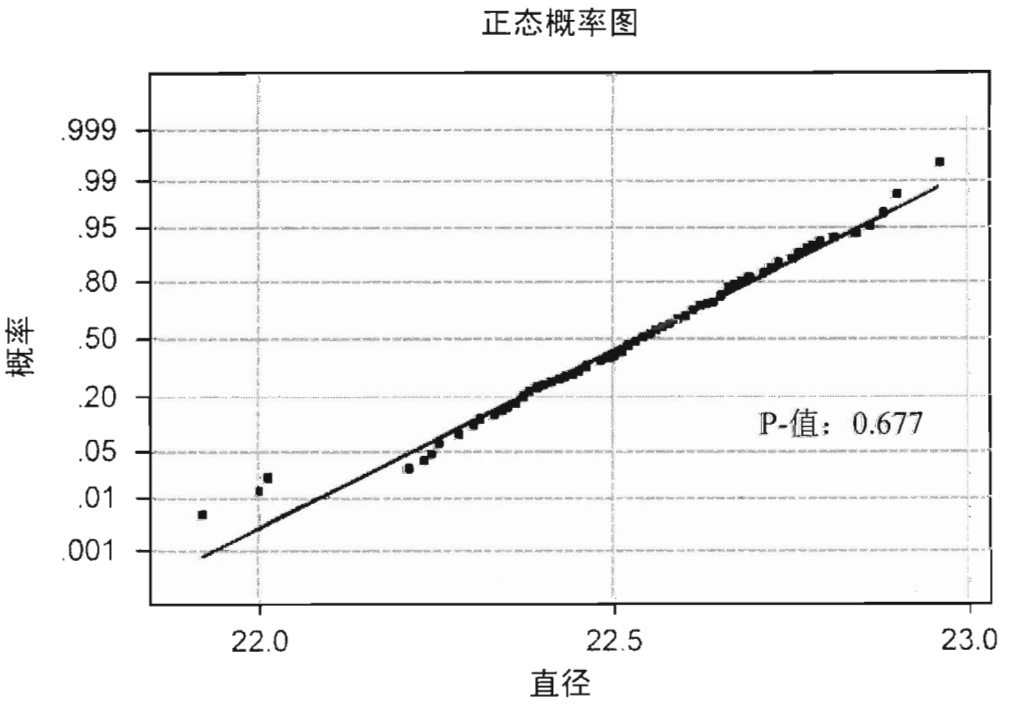
数据集：

数据点	直径	数据点	直径	数据点	直径	数据点	直径	数据点	直径
1	22.30	26	22.37	51	22.28	76	22.65	101	22.48
2	22.54	27	22.34	52	22.55	77	22.50	102	22.38
3	22.01	28	22.75	53	22.38	78	22.41	103	22.28
4	22.62	29	22.71	54	22.65	79	22.39	104	22.72
5	22.65	30	22.51	55	22.56	80	22.48	105	22.96
6	22.86	31	22.23	56	22.54	81	22.50	106	22.53
7	22.68	32	22.36	57	22.25	82	22.86	107	22.52
8	22.43	33	22.90	58	22.40	83	22.60	108	22.61
9	22.58	34	22.45	59	22.72	84	22.60	109	22.62
10	22.73	35	22.48	60	22.90	85	22.66	110	22.60
11	22.88	36	22.60	61	22.31	86	22.79	111	22.54
12	22.68	37	22.72	62	22.57	87	22.61	112	22.56
13	22.46	38	22.35	63	22.38	88	22.81	113	22.36
14	22.30	39	22.51	64	22.58	89	22.66	114	22.46
15	22.61	40	22.69	65	22.30	90	22.37	115	22.71
16	22.44	41	22.61	66	22.42	91	22.65	116	22.84
17	22.66	42	22.52	67	22.21	92	22.75	117	22.52
18	22.48	43	22.52	68	22.45	93	21.92	118	22.88
19	22.37	44	22.49	69	22.24	94	22.00	119	22.68
20	22.56	45	22.31	70	22.55	95	22.45	120	22.54
21	22.59	46	22.42	71	22.25	96	22.51	121	22.76
22	22.65	47	22.64	72	22.36	97	22.58	122	22.65
23	22.78	48	22.52	73	22.25	98	22.46	123	22.51
24	22.58	49	22.40	74	22.34	99	22.76	124	22.77
25	22.33	50	22.63	75	22.67	100	22.56	125	22.43

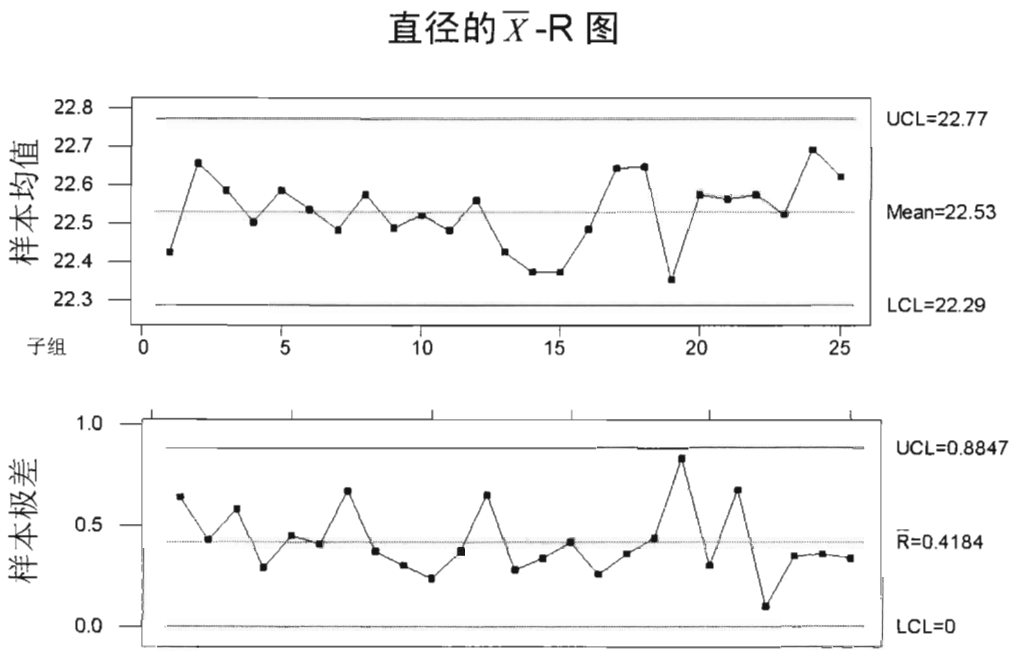
分析

直方图、概率图和$\overline{X}$-R图能用来确定前两个假设的有效性。





以上两个图证明数据可能是来自正态分布的总体。



控制图提供了过程处于统计受控的证据，因此，此数据集可适用于计算指数。

直径统计量：

样本容量＝n＝ 125
子组容量＝ 5
子组的数量＝ 25

上规范限＝ 23.5
下规范限＝ 21.5

规范是基于顾客和功能的要求。

$$\text{子组内标准差} = \hat{\sigma}_C = \overline{R}/d_2 = \frac{0.4184}{2.326} = 0.179880$$

$$\text{总变差的标准差} = s = \sqrt{\sum_i^n \frac{(x_1 - \overline{x})^2}{n-1}} = 0.189037$$

以上信息对指数的评估是必要的。

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\left(\overline{R}/d_2\right)} = \frac{23.5 - 21.5}{6 \times 0.179881} = 1.85$$

$$C_{pk} = \text{最小值}\left(CPL = \frac{\overline{\overline{X}} - LSL}{3\left(\overline{R}/d_2\right)},\quad CPU = \frac{USL - \overline{\overline{X}}}{3\left(\overline{R}/d_2\right)} \right)$$

$$= \text{最小值}\left(CPL = \frac{22.5308 - 21.5}{3 \times 0.179880},\quad CPU = \frac{23.5 - 22.5308}{3 \times 0.179880} \right)$$

$$= \text{最小值}\,(CPL = 1.91,\quad CPU = 1.80)$$

$$= 1.80$$

$$P_p = \frac{USL - LSL}{6s} = \frac{23.5 - 21.5}{6 \times 0.189037} = 1.76$$

$$P_{pk} = \text{最小值}\left(PPL = \frac{\overline{\overline{X}} - LSL}{6s},\quad PPU = \frac{USL - \overline{\overline{X}}}{6s} \right)$$

$$= \text{最小值}\left(PPL = \frac{22.5308 - 21.5}{3 \times 0.189037},\quad PPU = \frac{23.5 - 22.5308}{3 \times 0.189037} \right)$$

$$= \text{最小值}\,(PPL = 1.82,\quad PPU = 1.71)$$

$$= 1.71$$

结论：

形成下列观察：

- C_{pk} 近似等于 C_p，P_{pk} 近似等于 P_p，这两种情况均显示过程已很好地趋中。
- 所有的指数都明显地显示，如果过程一直处于统计受控，过程有能力生产接近零缺陷的产品。
- 因为 C_p 和 P_p 几乎相等，这意味子组间变差最小。
- C_{pk} 和 P_{pk} 间大的差异表明存在大的子组间变差。
- C_p 和 C_{pk} 间大的差异（或 P_p 和 P_{pk} 间）表明过程的趋中有问题。



注：过程变差是能力指数计算的组成部分，因此选择子组内变差的计算方法的一致性是很重要的。如下表所示，有两种估计过程变差（$\hat{\sigma}_C$）的方法和它对 C_{pk} 计算的影响，两者都是正确的，也就是说，两者都是对“真实的”变差的有效估计，如果用 $\overline{X}$ - R 图收集数据就用 $\overline{R}/d_2$，如果用 $\overline{X}$ - s 图收集数据则用 $\overline{s}/c_4$。

$\hat{\sigma}_C$ 的计算方法	结果总结	
	子组间变差	C_{pk}
$\overline{R}/d_2$	0.1799	1.80
$\overline{s}/c_4$	0.1820	1.78

注：总变差的标准差（$\hat{\sigma}_p$ = 0.1890）不受估计子组内变差方法的影响。

附录 G

词汇及符号表

本手册所使用的词汇：

自回归的移动平均控制图
ARMA Control Chart

自回归移动平均（Autoregressive Moving Average, ARMA）控制图是利用一种回归模型以说明数据之间相互关系的控制图。当抽样数据是相互独立的这种假设状况不存在时，可使用这种控制图。

计数型数据
Attributes Data

可被分类以用来记录和分析的定性数据，包含此特性的例子如：所要求的标志的出现、所有必要求的紧固件的安装、支出费用报告中疏忽的错误。其它的例子是一些本身就可被测量的特性（即可以作为计量型数据），只是其结果用简单的*是／否*的形式来记录，例如：利用通／止规（go/no-go gage）来检验一根轴直径的可接受性，或在一张图纸上发生的任何工程更改。计数型数据通常以不合格品或不符合的形式来收集；通常采用 p、np、c 和 u 控制图来分析这些数据（另参见**计量型数据**）。

自相关
Autocorrelation

在一个固定时间序列下所有要素之间的相关程度。

均值
Average
（另参见均值 Mean）

数值的总和除以数值的数量（样本量）。在将被平均的数值的符号上加一横线来表示平均。例如：

- $\overline{X}$（X-bar）是在一个子组内数值 X 的平均；
- $\overline{\overline{X}}$（X double bar）是子组均值（$\overline{X}$）的平均；
- $\overline{\tilde{X}}$（X 波浪-bar）是子组中位数的平均；
- $\overline{R}$（R-bar）是子组极差的平均。

平均运行长度
Average Run Length

不受控信号（out of control signal）之间样本子组的期望数量。受控（in-control）的平均运行长度（ARL_0）是错误警报之间样本子组的期望数量。

子组之间的变差
Between-subgroup Variation

参见**变差**。

二项式分布
Binomial Distribution

应用于合格和不合格产品的计数型数据的离散型概率分布，是 *p* 和 *np* 控制图的基础。

因果图
Cause and Effect Diagram

一种用于解决单个或群组问题的简单工具，它利用图形来描述各种的过程要素，以分析过程变差的可能来源。它也被称为鱼骨图（依其形状命名）、石川图（依其发明者命名）。

中心线
Centerline

在控制图上的一条线，代表所描点的各项数据的均值。

特性
Characteristic

一个过程或其输出的明显特征。

普通原因
Common Cause

变差的一种来源，它影响了被研究的过程的输出中的所有单值；它是过程固有变差的来源。

置信区间
Confidence Interval

从对样本数据的计算而得到这些数值的一个区间或范围，它以（100－α）的确信度包含了所研究的总体参数，即总体均值的真值。α 被称为***显著性水平*** *(Level of Significance)*，是犯**第 I 类错误**（Type I error）的概率。参考 Montgomery 在 1997 年的著作中，或 Juran 和 Godfrey 在 1999 年著作中所介绍的计算方法。

连续的
Consecutive

按顺序生产的输出产品；这是选择子组样本的基础。

持续改进
Continual Improvement

一种可操作性的哲学，它充分利用**公司**内的人才，以不断提高效率的方式来为顾客生产出品质不断提升的产品，从而保障股东投资的回报。这是一个动态的策略，

用来提高公司在面对现在和未来市场状况下的实力。它与任何静态策略不同的地方是，后者（明白地或隐含地）认为产生一定程度的不符合是不可避免的。

控制
Control

参见**统计控制**。

控制图
Control Chart

表现一个过程的某一特性的图形表示法，这图上画出了从该特性所收集到的一些统计量的数值，如一条中心线、一条或两条的控制限。它使**第Ⅰ类错误**和**第Ⅱ类错误**的净经济损失降低至最小。它有两个基本的用途：一是用作判断以确定一个过程是否一直处于统计受控状态，二是用来帮助保持该过程的统计受控状态。

控制限
Control Limit

在控制图上的一条线（或多条线），作为判断一个过程是否稳定的基础。如果存在超出控制限的变差，则证明该过程正遭受特殊原因的影响。控制限是根据过程数据所计算出来的，不要与工程规范混淆。

控制统计量
Control Statistic

在控制图开发和使用时所用到的统计量。这是一个基于样本数据或由样本数据计算得来的数值（如：一个子组的均值或极差），用以对产生输出并从该输出中取样的过程作出判断。

便利抽样法
Convenience Sampling

一种抽样方案，它利用一种“容易的”方法来收集样本，但是它不能反映出那些可能影响过程的潜在特殊原因的状况。例如，只在生产中断之前收集样本，或从储存箱、托盘或其它型式的储存容器的上部取样。这种抽样并不适用于过程的分析或控制，因为它可能导致一个偏倚的结果，和因此归纳出一种错误的决定。

相关性
Correlation

变量之间的相互关系的程度。

相关矩阵
Correlation Matrix

所考虑诸因素间的所有可能的相关性的矩阵。

累积和控制图
CUSUM Control Chart

一种控制图的方法，它利用当前的和过去最近的过程数据，以探测过程均值或变差的从小到中等程度的变化。CUSUM 表示偏离目标值的偏差的“累积和（cumulative sum）”，并且赋予当前数据和过去的最近数据同等权重。

数据
Datum

“数据”的单数形式，在一系列数据中的一个单点。不要和用在几何尺寸与公差中的基准点这个词相混淆。

探测
Detection

一种被动（事后）型的策略，它试图在产品生产出来之后才去识别不合格的输出，并将其与合格的输出隔离（参见**预防**）。

分散
Dispersion

参见**过程分布宽度**。

分布
Distribution

描述变差稳定的系统的输出的一种方式，作为一组的单值形成了一个可以用位置、分布宽度和形状这些术语来描述的图形。位置一般用均值表示，或者用中位数表示；分布宽度用样本的标准差或样本极差来表示；形状涉及许多特性，如对称性（偏斜）及尖峰（峰态）。这些经常使用一般分布的名称来概括，如正态分布、二项式分布，或泊松（Poisson）分布。

指数加权移动均值控制图
EWMA Control Chart

指数加权移动均值（Exponentially Weight Moving Average, EWMA）控制图是一种用来探测过程位置的较小偏移变化的方法。它是把指数加权移动均值作为一个统计量来监控过程的位置。

任意抽样法
Haphazard Sampling

一种抽样方法，其样本是利用非系统性的、混乱的、非策划的，和 / 或无秩序的方法所选取。这种抽样法并不适合应用于过程的分析或控制，因为它将导致一个偏倚的结果，而且可能归纳出一种错误的决定。

单值
Individual

一个单独的数值，或对某一个特性的一次测量，通常用符号 X 表示。

固有变差
Inherent Variation

参见**变差**。

位置
Location

关于一个分布的中心趋势的有代表性的数值的通用名词。

损失函数
Loss Function

以图形表示顾客感受（损失）和偏离目标（设计意图）之间的相互关系。实施这种分析时并不考虑产品规范。

均值
Mean

对位置的一种测量。一组测量值的**均值**。

多变量累积和控制图
MCUSUM Control Chart

这种多变量累积和控制图（Multivariate Cumulative Sum Control Chart）是针对多变量情况的一种累积和控制图（CUSUM Control Chart）的应用。

中位数
Median

对位置的一种测量。将一组测量值从小到大排列，其中间的数值即为中位数。如果这些数值的个数为偶数，方便的方法是将中间的两个数值的均值作为中位数。子组中位数是用于过程位置的一种简单控制图的基础。在这单值符号的上方加波浪号（～）来表示中位数：$\tilde{X}$ 表示一个子组的中位数。

多变量指数加权移动均值控制图
MEWMA Control Chart

这种多变量指数加权移动均值控制图（Multivariate Exponentially Weight Moving Average Control Chart）是针对多变量情况的一种指数加权移动均值控制图（EWMA Control Chart）的应用。

众数
Mode

对位置的一种测量，其定义为在一个分布或数据组中出现最频繁的数值（在一个数据组中可能有多于一个以上的众数）。

移动极差
Moving Range

对过程分布宽度的一种测量。在两个或多个连续样本中的最大值与最小值之差。这种差是按这样方式计算的：每当获得一个新增的数据（样本）时，就在样本中加上这个新的点，同时删除数据中“最老的”点，然后计算与这点有关的极差，因此每次极差计算都从前一次极差计算中共享了至少一个点的数值。一般而言，这移动极

差被应用于单值控制图，并且通常用两点（相邻的点）来计算移动极差。

多变量控制图
Multivariate Control Chart

这一类的控制图是被开发用来监视和控制某些过程，而这些过程更适用于多变量分布的模型而不是多个单一变量分布。

不合格品
Nonconforming Units

不符合某一规范或其它检验标准的产品；通常采用 p 和 np 控制图以分析这种产生不合格品的系统。

不合格
Nonconformity

一种不符合某一规范或其它检验标准的特定情况。一单个的不合格品可能会有多处的不合格。例如：一扇车门可能有几处凹陷和缝隙，再加上车门把手的功能失效；对暖气通风空调单元进行功能性检验时可能发现一些潜在的缺陷。通常采用 c 和 u 控制图分析这种产生不合格的系统。

非正态控制图
Non-Normal Control Chart

一种控制图的方法，当对非正态分布的特性进行修正时，此方法是对数据或控制限作调整，以允许用类似于休哈特（Shewhart）控制图的方法进行过程控制。

非正态分布
Non-Normal Distribution

不服从正态形式的一种概率分布；即连续两个以上的动差不全为零的分布。

正态分布
Normal Distribution

一种针对计量型数据的连续的、对称的、钟形的频率分布，它是计量型数据控制图的基础。

预控制
Pre-Control

利用每个样本中的两个数据点对产品（不符合）控制进行概率分析的一种应用。

可操作的定义
Operational Definition

清楚地沟通质量的期望和性能信息的方法；它由以下三部分组成：
(1) 适用于某一个物体或一组物体的准则，
(2) 对这一个物体或一组物体进行一种试验，
(3) 一个决定：是或不是 —— 这一个物体或一组物体是否符合上述准则。[56]

过度调整
Over-adjustment

干预；对实际处于统计受控的过程采取措施。将一个变差或错误视为是一种特殊原因，但是事实上此原因是属于系统的（普通原因）。

排列图
Pareto Chart

一种用于解决问题的简单工具，按照对成本或总变差的影响程度，对各种潜在的问题区域或变差来源进行排序。一般情况下，大多数的成本（或变差）是由于少数原因所造成的，所以解决问题的最优先工作是集中在那些“关键的少数”原因上，而暂时忽视那些“不重要的多数”原因。

点估计
Point Estimate

从样本数据中计算而获得的一个统计量（单个数值）（如均值或标准差）；对于这个统计量存在的期望是：它接近于所估计的总体参数。

泊松分布
Poisson Distribution

应用于不合格数的计数型数据的一种离散型概率分布，是 c 和 u 控制图的基础。

预测区间
Prediction Interval

一旦建立了一个总体的回归模型，可以用回归量，x_0, x_1, ...x_n 的未来数值（样本）预测响应值，y，在这预测中（100−α）的置信区间被称为预测区间。

预防
Prevention

是一个主动（事前）型的策略，透过直接分析并对过程本身实施纠正的措施以改进质量和生产力。预防与持续改进的观念是一致的（另参见**探测**）。

[56] 见 戴明（1982）。

基于概率的控制图
Probability Based Charts

为了对产品和过程的控制和分析，对基于类别的数据和有关分类的概率所应用的分析和图表方法。

概率抽样
Probability Sampling

参见**随机抽样**。

问题解决
Problem Solving

从症状分析到原因分析（特殊的或普通的），再到改进措施的过程。这过程中可应用的基本技术有：排列图、因果图和统计过程控制技术。

过程
Process

结合了人、设备、物料、方法、测量和环境而产生输出——设定的产品或服务。过程涉及营运业务的各个方面；“6M”是一个词组，有时候用来描述一个过程：人（Man）、物料（Material）、方法（Method）、机器（Machine）、生产环境（Mother Nature）和测量（Measurement）。

过程均值
Process Average

一个特定过程特性的测量值分布的位置，通常用 $\overline{\overline{X}}$ 来表示整体的总均值。

过程能力
Process Capability

过程固有变差的 $6\hat{\sigma}$ 范围。

对于**计量型数据（Variables Data）**的情况
其被定义为 $6\hat{\sigma}_c$。

对于**计数型数据（Attributes Data）**的情况
通常被定义为不合格品或不合格的平均比例或比率。

过程控制
Process Control

参见**统计过程控制**。

过程性能
Process Performance

过程总变差的 $6\hat{\sigma}$ 范围。

过程分布宽度
Process Spread

过程特性的单值的分布的变化程度；通常用过程均值加或减几倍的标准差来表示（$\overline{\overline{X}} \pm 3\hat{\sigma}$）。

二次函数
Quadratic

属于二次的数学模型，一个最普通的例子即为抛物线。

随机性
Randomness

数据中没有呈现可辨别的模式的状况。

随机抽样
Random Sampling

随机抽样是使得所有样本点都具有相同的机会（概率）被抽取。随机抽样是系统化的和经过策划的；也就是说，所有样本点都是在任何数据被选取之前就确定的。

为一个样本容量为 *n* 的样本选取样品的过程，应该是这样的方式：所涉及的 *n* 个样品中的每一个在样本中都有相同的机会被选到。

便利抽样法（Convenience Sampling）：

参见**便利抽样法**

任意抽样法（Haphazard Sampling）：

参见**任意抽样法**

极差
Range

对过程分布宽度的一种测量。在一个子组、样本或总体中，最大值与最小值之间的差。

合理子组
Rational Subgroup

按下列方式组成子组：最大可能地使每个子组中的测量值相似，最大可能地使各个子组彼此不同。这种组成子组的方案应能够确定某过程变差是否包含了特殊原因变差。

回归控制图
Regression Control Chart

回归控制图是用来监控两个相关的变量之间的关系，以确定是否和何时从已知可预测的相互关系中发生偏离。

残差控制图
Residuals Control Chart

用一个拟合模型和其数据之间的残差（差异）来监视该过程的图表。一个过程的偏移将造成其残差均值的偏移。

链
Run

控制图上持续上升或下降，或在中心线之上或之下的一系列连续点。它可能是存在变差的特殊原因的证据。

样本
Sample

参见**子组**。

形状
Shape

由数值的分布形成整体模式的一种一般概念。形状涉及了许多特性，如对称性（偏态）和峰度（峰态）。

短期控制图
Short Run Control Chart

一种控制图的方法：对于一个在一次运行期间只生产少量产品的过程，通过对数据或控制限进行调整，就可以使用类似于休哈特（Shewhart）控制图的方法对该过程进行过程控制。

σ
Sigma

用此希腊字母代表一个总体的一个标准差。

特殊原因
Special Cause

一种变差来源，其只会影响过程的某些输出；它通常是间歇性的且不可预计的。特殊原因有时被称为可查明原因，它的发生信号是：一个或多个点超出控制限，或在控制限之内出现一种非随机性的模式。

规范
Specification

判断一个特定的特性是否可接受的工程要求。规范不能与控制限混淆。在理想情况下，规范与顾客（内部的和/或外部的）的要求或期望直接紧密相连，或者兼容。

双边（Bilateral）：

双边规范是确定某过程范围的两个极限的要求。通常称为双侧规范或公差。

单边（Unilateral）：

单边规范是仅确定某过程范围的一个极限的要求。通常称为单侧规范或公差。

分布宽度
Spread

在一个分布中从最小值到最大值之间的期望距离（另参见**过程分布宽度**）。

稳定性
Stability

不存在特殊变差的原因；处于统计受控的状态。

稳定过程
Stable Process

统计受控的过程。

标准差
Standard Deviation

对过程输出的分布宽度的测量，或对从过程中抽样的统计量的分布宽度（如：子组的均值）的测量。

统计量
Statistic

基于或从样本数据计算而得到的数值（如：一个子组的均值或极差），以用来对产生输出的过程进行推论。

统计受控
Statistical Control

描述一个过程的状态，当这过程中所有特殊原因的变差都已被消除，并且仅存在普通原因；如：观察到的变差可被归咎于一个恒定系统的偶然原因。其证据是，在控制图上没有超出控制限的点，或在控制限范围内没有非随机性的模式。

统计推断
Statistical Inference

从总体的一个样本中获得数据进行估计或推断该总体参数的信息。推断的形式可以是一个单独数值（*点估计*）或一对数值（*区间估计*）。

统计过程控制
Statistical Process Control

应用诸如控制图等统计技术来分析某一过程或其输出，以便采取适当的措施来达到并保持一种统计受控的状态，从而提高过程能力。

统计公差限
Statistical Tolerance Limits

期望包含了一个总体的特定比例的一种数值区间或范围。参见 Montgomery 在 1997 年著作，或是 Juran 和 Godfrey 在 1997 年著作的计算方法。参见**公差区间**。

红绿灯信号控制图
Stoplight Control Chart

一种基于概率的过程控制的的图表，其使用了 3 种分类和两次抽样。在这方法中，目标区域是绿色，警告区域是黄色，停止区域是红色。这些颜色的使用促成了“红绿灯信号”的名称。

子组
Subgroup

用来分析某一过程性能的一个或多个观察值或测量值。通常选用合理子组使得每个子组内的变差尽可能的小（代表来自于普通原因的变差），同时以子组间的差异来显示过程性能上的变化（如：特殊原因）。合理子组一般由连续的零件所组成，仅管有时采用随机抽样。

公差
Tolerance

参见**规范**。

公差区间
Tolerance Interval

参见**统计公差限**。

总过程变差
Total Process Variation

参见**变差**。

第 I 类错误
Type I Error

拒绝了一个真实的假设。例如：采取了一个适用于特殊原因的措施，而实际上这过程并没有发生变化（过度控制）。这和生产者的风险或 α 的风险有关。

第 II 类错误
Type II Error

没有去拒绝一个错误的假设。例如：对实际上已遭受特殊原因影响的过程，没有采取适当的措施（控制不足）。这和消费者的风险或 β 的风险有关。

单峰的
Unimodal

如果一个分布只有一个众数，则这分布可被视为单峰的。

计量型数据
Variables Data

定量的数据，这种测量值可用来进行分析。例如：用毫米（公厘）表示的轴承直径、用牛顿表示关门的力量、用百分比表示电解液的浓度、用牛顿-米表示紧固件的力矩。$\overline{X}$-R 控制图、$\overline{X}$-s 控制图、中位数和极差控制图、单值和移动极差控制图都是应用于计量型数据。另参见**计数型数据**。（术语“计量型”，虽然听起来有点怪，但可被用作于区分某些变化间的差异和从连续变量

获取数据产生的控制图。）

变差
Variation

过程的单个输出之间所不可避免的差异；变差的来源可分成两个主要的类别：**普通原因**和**特殊原因**。

固有变差（Inherent Variation）：

仅由于普通原因所造成的过程变差。

子组内变差（Within-subgroup Variation）：

仅由于子组内的变差所造成的变差。如果过程是处于统计受控的状态，此变差是对过程固有变差的好的估计。可通过控制图的 $\overline{R}/d_2$ 或 $\overline{s}/c_4$ 来估计此变差

子组之间变差（Between-subgroup Variation）：

由于不同子组之间的变差所造成的变差，如果过程是处于统计受控的状态，此变差应该为零。

总过程变差（Total Process Variation）：

由子组内变差和子组之间变差共同造成的变差。如果过程不是处于统计受控状态，其总过程变差将包含了来自特殊原因和普通原因的影响。此变差可以由样本的标准差 s 来估计，它使用了从一份详细的控制图或过程研究中获得的全部单个读数：

$\hat{\sigma}_p = s = \sqrt{\sum_i^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$ 这里的 x_i 是一单个的读数，$\bar{x}$ 是这些单个读数的均值，以及 n 是这些单个读数的总数量。

子组内变差
Within-subgroup Variation

参见**变差**。

区域分析
Zone Analysis

这是对休哈特（Shewhart）控制图进行详细分析的一种方法，它将 $\overline{X}$ 图上从均值到控制上限之间分成三等分的区域，同时将均值到控制下限之间也分成三等分的区域[57]。

[57] 另参见 AT&T. (1984)

本手册所使用的符号：

A_2 计算均值控制限时 $\overline{R}$ 的乘数；见**附录 E** 的表。

$\widetilde{A}_2$ 计算中位数控制限时 $\overline{R}$ 的乘数；见**附录 E** 的表。

A_3 计算均值控制限时 s 的乘数；见**附录 E** 的表。

B_3, B_4 计算样本标准差的上下控制限时分别用作 $\bar{s}$ 的乘数；见**附录 E** 的表。

c 在一个样本中的不合格数，c 图的介绍见**第二章**的**第 C 节**。

$\overline{c}$ 样本容量恒定为 n 时，样本的平均不合格数。

c_4 估计过程标准差时 $\bar{s}$ 的除数；见**附录 E** 表。

C_p 稳定过程的能力指数，通常定义为 $\frac{(USL-LSL)}{6\hat{\sigma}_c}$。

C_{pk} 稳定过程的能力指数，通常定义为 CPU 或 CPL 的最小值。

CPL 下限的能力指数，通常定义为 $\frac{\overline{\overline{X}}-LSL}{3\hat{\sigma}_c}$。

CPU 上限的能力指数，通常定义为 $\frac{USL-\overline{\overline{X}}}{3\hat{\sigma}_c}$。

CR 稳定过程的能力比值，通常定义为 $\frac{1}{C_p}$。

d_2 估计过程标准差时 $\overline{R}$ 的除数；见**附录 E** 表。

D_3, D_4 计算极差的上下控制限时分别用作 $\overline{R}$ 的乘数；见**附录 E** 的表。

E_2 计算单值控制限时，平均移动极差 $\overline{MR}$ 的乘数；见**附录 E** 的表。

k 用来计算控制限时的子组数量。

LCL 下控制限；$LCL_{\overline{X}}$，LCL_R，LCL_P 等等，分别是对平均值、极差、不合格品率等的下控制限。

LSL 工程规范的下限。

MR 主要是应用于单值图的一系列数据点的移动极差。

n 在一个子组内的单值的数量；子组的样本容量。

$\overline{n}$	子组样本容量的均值；一般应用于子组样本容量变化的计数型控制图。
np	在一个样本容量为 n 的样本中不合格品的数量，np 图的介绍见**第二章**的**第 C 节**。
$\overline{np}$	样本容量恒定为 n 的样本中不合格品的平均数量。
p	一个样本中不合格品的比率。对 p 图的讨论见**第二章第 C 节**。
$\overline{p}$	一系列的样本中，不合格品的平均比率。
P_p	性能指数，通常定义为 $\frac{(USL-LSL)}{6\hat{\sigma}_p}$。
P_{pk}	性能指数，通常定义为 PPU 或 PPL 的最小值。
PPL	下限的性能指数，通常定义为 $\frac{\overline{\overline{X}}-LSL}{3\hat{\sigma}_p}$。
PPU	上限的性能指数，通常定义为 $\frac{USL-\overline{\overline{X}}}{3\hat{\sigma}_p}$。
PR	性能比率，通常定义为 $\frac{1}{P_p}$。
p_z	输出超过某一关注点的比例，如超过某一特定的规范限值，z 个标准差单位是远离了过程均值的距离。

R	子组的极差（最大值减去最小值）；对 R 图的讨论见**第二章**的**第 C 节**。
$\overline{R}$	一系列具有固定子组容量的子组极差的均值。
s	子组的样本标准差，对 s 图的讨论见**第二章**的**第 C 节**。过程的样本标准差，对这 s 的讨论在**第四章**的**第 A 节**。
$\overline{s}$	一系列子组的平均样本标准差，如有必要可以按样本容量来加权。
SL	单边工程规范的极限。
u	在一个样本中每个单位的不合格数量，这样本中可能含有一个以上的单位，对 u 图的讨论见**第二章**的**第 C 节**。
$\overline{u}$	样本中单位的不合格数的均值，其样本容量不必相同。
UCL	上控制限；$UCL_{\overline{X}}$，UCL_R，UCL_P 等等，其分别是均值、极差、不合格品率等的上控制限。
USL	工程规范的上限。
X	一个单值。对单值图的讨论见**第二章**的**第 C 节**。
$\overline{X}$	一个子组内数值的均值，对 $\overline{X}$ 图的讨论见**第二章**的**第 C 节**。

$\overline{\overline{X}}$	对子组均值的平均（如有必要可按样本容量来加权）；测得的过程均值。
$\tilde{\tilde{X}}$	一个子组中的数值的中位数；对中位数图的讨论见**第二章**的**第 C 节**。它被读为“x tilde”。
$\overline{\tilde{\tilde{X}}}$	子组中位数的均值，估计的过程中位数。它被读为“x-tilde bar”。
z	从过程均值到一个关注值（如工程规范）的标准差单位的数量。当应用于能力评审时，Z_{USL} 就是与上规范限值的距离，Z_{LSL} 是与下规范限值的距离，而 Zmin 是与最近的规范限值的距离。
σ	希腊字母 sigma 用于表示一个总体的一个标准差。
$\sigma_{\overline{X}}$、σ_R、σ_{np} 等	基于样本过程输出的一个统计量的标准差，例如：子组均值的分布的标准差，子组极差的分布的标准差，不合格品数的分布的标准差等。
$\hat{\sigma}$	对一个过程特性的标准差的估计值。
$\hat{\sigma}_p$	用位于均值附近的一组单值的样本标准差，来估计某一过程的标准差。这是过程的总过程变差的估计值。
$\hat{\sigma}_c$	用从某过程中得到的子组样本的平均极差估计一个稳定过程的标准差，通常是结合控制图使用，系数 d_2 见**附**

录 E 表。这是子组内变差，并且是过程固有变差的估计值。

此页留白

附录H

参考文献和建议的读物 [58]

American National Standards Committee Z-1 (1996). *Guide for Quality Control Charts; Control Chart Method of Analyzing Data; Control Chart Method of Controlling Quality During Production*, American Society for Quality (ASQ), Milwaukee, WI.

ASQC Statistics Division, Statistical "How-To" Techniques Series, ASQC Quality Press (15 Volumes), 1979-1991.

ASQC (1987). *Definitions, Symbols, Formulas, and Tables for Control Charts*, ANSI/ASQC A1-1987.

ASTM International (2002). *Manual on Presentation of Data and Control Chart Analysis* (STP-15D), 7th edition.[59]

AT&T Technologies, Inc. (1984). *Statistical Quality Control Handbook*. AT&T Technologies, Inc. (originally published by Western Electric Co., Inc., 1956).

Bhote, K.R. (1991). *World Class Quality*. AMACOM, New York.

Bothe, D. (2001). *Measuring Process Capability*. Landmark Publishing, Cedarburg, WI.

Box, G.E.P., Jenkins, G.M. and Reinsel, G.C. (1994). *Time Series Analysis, Forecasting and Control*. Third Edition. Prentice Hall.

Bissell, B.A.F. (1990). "How Reliable Is Your Capability Index?", *Applied Statistics*, Vol. 39, 1990, pp. 331-340.

Boyles, R.A. (1991). "The Taguchi Capability Index", *Journal of Quality Technology*, Vol. 23, 1991, pp. 17-26.

Box, G.E.P. and Cox, D.R. (1964). "*An Analysis of Transformations*", *J. Royal Stat. Soc.*, Series B, V26, p. 211

Brase, C.H., and Brase, C.P. (1999). *Understanding Statistics*, 6th edition, Houghton Mifflin Company, New York.

Burr, I.W. (1942). "Cumulative Frequency Distributions", *Annals of Mathematical Statistics*, Vol. 13, pp. 215-232.

Burr, I.W. (1967). "The Effect Of Non-Normality On Constants For Charts", Industrial Quality Control, May, pp. 563-569.

[58] 参见 Freund and Williams (1966) for an extensive listing of statistical terms and definitions。
[59] 可从 ASTM International 组织，100 Barr Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959 获得。

Chan, L.J., Cheng, S.W. and. Spiring, F.A. (1988). "A New Measure of Process Capability: Cpm", *Journal of Quality Technology*, Vol. 20, No. 3, 1988, pp. 162-175.

Chan, L.K., and Cui, H.J. (2003). "Skewness Correction charts for Skewed Distributions", *Naval Research Logistics*, Volume 50, Issue 6, pp. 555 - 573.

Champ, C.W., and Rigdon, S.E. (1997). "An Analysis of the Run Sum Control Chart", *Journal of Quality Technology*, Vol. 29, No. 4.

Charbonneau, H.C. and Gordon, L.W. (1978). *Industrial Quality Control*, Prentice-Hall, Inc.

Chrysler, Ford, and General Motors (1995). *Advanced Product Quality Planning Manual*, AIAG.

DaimlerChrysler, Ford, and General Motors (2003). *Measurement Systems Analysis Reference Manual*, AIAG.

Davis, R.B., Homer, A., and Woodall, W.H. (1990). "Performance of the Zone Control Chart", *Communications in Statistics – Theory and Methods*, 19, pp. 1581-1587.

Deming, W. Edwards (1950). *Some Theory of Sampling*, Dover Publications Inc., New York.

Deming, W. Edwards (1967). "What Happened in Japan?", *Industrial Quality Control*, Vol. 24, No. 3, August, pp. 89-93.

Deming, W. Edwards (1982). *Quality, Productivity and Competitive Position*, Massachusetts Institute of Technology, Center for Advanced Engineering Study.

Deming, W. Edwards (1989). *Out of the Crisis*, Massachusetts Institute of Technology, Center for Advanced Engineering Study.

Deming, W. Edwards (1994). *New Economics: for Industry, Government*, Education, Massachusetts Institute of Technology, Center for Advanced Engineering Study.

Dixon, W.J and Massey, F.J., Jr. (1969). *Introduction to Statistical Analysis*, Third Edition, McGraw-Hill Book Co., New York.

Doty, L.A. (1991). *Statistical Process Control*, ASQ Quality Press, Milwaukee WI.

Dovich, R.A. (1991). *Statistical Terrorists*, Quality in Manufacturing Magazine, March-April, 1991.

Duncan, A.J. (1974). *Quality Control and Industrial Statistics*, 5th ed., Richard D. Irwin, Inc.

English, J.R., Lee, S., Martin, T.W., Tilmon, C. (2000). "Detecting Changes In Autoregressive Processes with X and EWMA charts", *IIE Transactions*, December.

Farnum, N.R. (1992). "Control Charts for Short Runs: Nonconstant Process and Measurement Error", *Journal of Quality Technology*, Vol. 24.

Fellers, G., (1991). *SPC for Practitioners: Special Cases and Continuous Processes*, ASQ Quality Press, Milwaukee, WI.

Freund, J.E. and Williams, F.J. (1966). *Dictionary/Outline of Basic Statistics*, Reprint. Originally published: McGraw-Hill, New York. Dover edition 1991.

General Motors Corporation (1991). *Key Characteristics Designation System*, GM-1805 QN.

Grant, E.L. and. Leavenworth, R.S. (1980). *Statistical Quality Control*, 7th ed., McGraw-Hill, Inc.

Gruska, G.F., Mirkhani, K., and Lamberson, L.R. (1973). *Point Estimation Samples*, The Third Generation, Inc. Troy, MI.

Gruska, G.F. (2004). *Enumerative vs. Analytic Studies*, Omnex, Ann Arbor, MI.

Gunter, B. (1989). "Use and Abuse of Cpk", 4 parts, *Quality Progress*, January 1989, March 1989, May1989 and July 1989.

Heaphy, M.S. and Gruska, G.F., (1982). "Markovian Analysis of Sequenced Sampling", *36th AQC Transactions*, ASQC.

Herman, J.T. (1989). "Capability Index-Enough for Process Industries?", *Proceedings, ASQC 43rd AQC*.

Ishikawa, K. (1976). *Guide to Quality Control*, Asian Productivity Organization, Revised Edition.

Jaehn, A.H. (1991). "The Zone Control Chart", *Quality Progress*, Vol. 24, No. 7, pp. 65-68.

Johnson, N.L. (1949). "Systems of Frequency Curves Generated by Methods of Translation," *Biometrika*, Vol 36, pp. 149-176.

Juran, J. and Godfrey A.B. (1999). *Quality Handbook*, 5th ed., McGraw-Hill, Inc.

Kane, V.E. (1989). *Defect Prevention- Use of Simple Statistical Tools*, Marcel Dekker, Inc. and ASQC Quality Press.

Keats, J.B. and Montgomery D. C. (1991). *Statistical Process Control in Manufacturing*, ASQ Quality Press, Milwaukee, WI.

Kourti, T., MacGregor, J.F. (1996). "Multivariate SPC Methods for Process and Product Monitoring", *Journal of Quality Technology*, Vol. 28, No. 4.

Lowry, C.A., Woodall, W.H., Champ, C.W., and Rigdon, S.E. (1992). "A Multivariate Exponentially Weighted Moving Average Control Chart", *Technometrics*, 34, pp. 46-53.

Lowry, C.A. and Montgomery, D.C. (1995). "A Review Of Multivariate Control Charts", IIE *Transactions*, 27, pp. 800.

Mauch, P.D. (1991). *Basic SPC: A Guide For the Service Industries*, ASQ Quality Press, Milwaukee, WI.

Mason, R.I. and Young, J.C. (2001). "Implementing Multivariate Statistical Process Control Using Hotelling's T^2 Statistic", *Quality Progress*.

Montgomery, D.C. (1997). *Introduction to Statistical Quality Control*, 3rd ed., John Wiley, New York.

Ott, E.R. (1975). *Process Quality Control*, McGraw-Hill, Inc.

Pham, H., (2001). *Recent Advances In Reliability And Quality Engineering*, Series on Quality, Reliability and Engineering Statistics - Vol. 2, World Scientific.

Reynolds, J.H. (1971). "The Run Sum Control Chart Procedure", *Journal of Quality Technology* Vol 3, pp. 23-27.

Roberts, S.W. (1966). "A Comparison of Some Control Chart Procedures", *Technometrics*, Vol 8, pp. 411-430.

Scherkenbach, W.W. (1991). *Deming's Road to Continual Improvement*, SPC Press, Knoxville TN.

Shewhart, Walter A. (1931). *Economic Control of Quality of Manufactured Product*, Van Nostrand; republished ASQ Quality Press , (1980), Milwaukee, WI..

Spiring, F.A (1991). Assessing Process Capability in the Presence of Systematic Assignable Cause, *Journal of Quality Technology*, Vol. 23, No. 2, April, 1991.

Wadsworth, H.M. (1989). *Handbook of Statistical Methods for Engineers and Scientists*, McGraw-Hill, New York.

Wheeler, D.J. (1991). *Short run SPC*, SPC Press, Knoxville, TN.

Wheeler, D.J. (1995). *Advanced Topics in Statistical Process Control*, SPC Press, Knoxville TN.

Wheeler, D.J. and Chambers, D.S. (1986). *Understanding Statistical Process Control*, 2nd ed., SPC Press, Knoxville, TN.

Wheeler, D.J. (1999). *Beyond Capability Confusion*, SPC Press, Knoxville, TN.

Wise, S.A. and Fair, D.C. (1998). *Innovative Control Charting*, ASQ Quality Press, Milwaukee, WI.

附录I

标准正态表

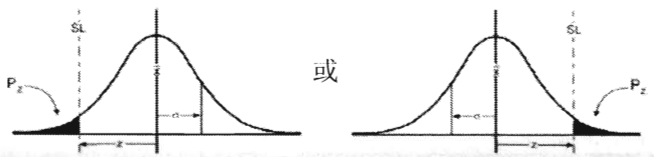
| z |	x.x0	x.x1	x.x2	x.x3	x.x4	x.x5	x.x6	x.x7	x.x8	x.x9
0.0	0.50000000	0.50398940	0.50797830	0.51196650	0.51595340	0.51993880	0.52392220	0.52790320	0.53188140	0.53585640
0.1	0.53982780	0.54379530	0.54775840	0.55171680	0.55567000	0.55961770	0.56355950	0.56749490	0.57142370	0.57534540
0.2	0.57925970	0.58316620	0.58706440	0.59095410	0.59483490	0.59870630	0.60256810	0.60641990	0.61026120	0.61409190
0.3	0.61791140	0.62171950	0.62551580	0.62930000	0.63307170	0.63683070	0.64057640	0.64430880	0.64802730	0.65173170
0.4	0.65542170	0.65909700	0.66275730	0.66640220	0.67003140	0.67364480	0.67724190	0.68082250	0.68438630	0.68793310
0.5	0.69146250	0.69497430	0.69846820	0.70194400	0.70540150	0.70884030	0.71226030	0.71566120	0.71904270	0.72240470
0.6	0.72574690	0.72906910	0.73237110	0.73565270	0.73891370	0.74215390	0.74537310	0.74857110	0.75174780	0.75490290
0.7	0.75803630	0.76114790	0.76423750	0.76730490	0.77035000	0.77337260	0.77637270	0.77935010	0.78230460	0.78523610
0.8	0.78814460	0.79102990	0.79389190	0.79673060	0.79954580	0.80233750	0.80510550	0.80784980	0.81057030	0.81326710
0.9	0.81593990	0.81858870	0.82121360	0.82381450	0.82639120	0.82894390	0.83147240	0.83397680	0.83645690	0.83891290
1.0	0.84134470	0.84375240	0.84613580	0.84849500	0.85083000	0.85314090	0.85542770	0.85769030	0.85992890	0.86214340
1.1	0.86433390	0.86650050	0.86864310	0.87076190	0.87285680	0.87492810	0.87697560	0.87899950	0.88099990	0.88297680
1.2	0.88493030	0.88686060	0.88876760	0.89065140	0.89251230	0.89435020	0.89616530	0.89795770	0.89972740	0.90147470
1.3	0.90319950	0.90490210	0.90658250	0.90824090	0.90987730	0.91149200	0.91308500	0.91465650	0.91620670	0.91773560
1.4	0.91924330	0.92073020	0.92219620	0.92364150	0.92506630	0.92647070	0.92785500	0.92921910	0.93056340	0.93188790
1.5	0.93319280	0.93447830	0.93574450	0.93699160	0.93821980	0.93942920	0.94062010	0.94179240	0.94294660	0.94408260
1.6	0.94520070	0.94630110	0.94738390	0.94844930	0.94949740	0.95052850	0.95154280	0.95254030	0.95352130	0.95448600
1.7	0.95543450	0.95636710	0.95728380	0.95818490	0.95907050	0.95994080	0.96079610	0.96163640	0.96246200	0.96327300
1.8	0.96406970	0.96485210	0.96562050	0.96637500	0.96711590	0.96784320	0.96855720	0.96925810	0.96994600	0.97062100
1.9	0.97128340	0.97193340	0.97257110	0.97319660	0.97381020	0.97441190	0.97500210	0.97558080	0.97614820	0.97670450
2.0	0.97724990	0.97778440	0.97830830	0.97882170	0.97932480	0.97981780	0.98030070	0.98077380	0.98123720	0.98169110
2.1	0.98213560	0.98257080	0.98299700	0.98341420	0.98382260	0.98422240	0.98461370	0.98499660	0.98537130	0.98573790
2.2	0.98609660	0.98644740	0.98679060	0.98712630	0.98745450	0.98777550	0.98808940	0.98839620	0.98869620	0.98898930
2.3	0.98927590	0.98955590	0.98982960	0.99009690	0.99035810	0.99061330	0.99086250	0.99110600	0.99134370	0.99157580
2.4	0.99180250	0.99202370	0.99223970	0.99245060	0.99265640	0.99285720	0.99305310	0.99324430	0.99343090	0.99361280
2.5	0.99379030	0.99396340	0.99413230	0.99429690	0.99445740	0.99461390	0.99476640	0.99491510	0.99506000	0.99520120
2.6	0.99533880	0.99547290	0.99560350	0.99573080	0.99585470	0.99597540	0.99609300	0.99620740	0.99631890	0.99642740
2.7	0.99653300	0.99663580	0.99673590	0.99683330	0.99692800	0.99702020	0.99710990	0.99719720	0.99728210	0.99736460
2.8	0.99744490	0.99752290	0.99759880	0.99767260	0.99774430	0.99781400	0.99788180	0.99794760	0.99801160	0.99807380
2.9	0.99813420	0.99819290	0.99824980	0.99830520	0.99835890	0.99841110	0.99846180	0.99851100	0.99855880	0.99860510
3.0	0.99865010	0.99869380	0.99873610	0.99877720	0.99881710	0.99885580	0.99889330	0.99892970	0.99896500	0.99899920

附录 I
标准正态表

| z |	x.x0	x.x1	x.x2	x.x3	x.x4	x.x5	x.x6	x.x7	x.x8	x.x9
3.1	0.99903240	0.99906460	0.99909570	0.99912600	0.99915530	0.99918360	0.99921120	0.99923780	0.99926360	0.99928860
3.2	0.99931290	0.99933630	0.99935900	0.99938100	0.99940240	0.99942300	0.99944290	0.99946230	0.99948100	0.99949910
3.3	0.99951660	0.99953350	0.99954990	0.99956580	0.99958110	0.99959590	0.99961030	0.99962420	0.99963760	0.99965050
3.4	0.99966310	0.99967520	0.99968690	0.99969820	0.99970910	0.99971970	0.99972990	0.99973980	0.99974930	0.99975850
3.5	0.99976740	0.99977590	0.99978420	0.99979220	0.99979990	0.99980740	0.99981460	0.99982150	0.99982820	0.99983470
3.6	0.99984090	0.99984690	0.99985270	0.99985830	0.99986370	0.99986890	0.99987390	0.99987870	0.99988340	0.99988790
3.7	0.99989220	0.99989640	0.99990040	0.99990430	0.99990800	0.99991160	0.99991500	0.99991840	0.99992160	0.99992470
3.8	0.99992770	0.99993050	0.99993330	0.99993590	0.99993850	0.99994090	0.99994330	0.99994560	0.99994780	0.99994990
3.9	0.99995190	0.99995390	0.99995570	0.99995750	0.99995930	0.99996090	0.99996250	0.99996410	0.99996550	0.99996700
4.0	0.99996830	0.99996960	0.99997090	0.99997210	0.99997330	0.99997440	0.99997550	0.99997650	0.99997750	0.99997840
4.1	0.99997930	0.99998020	0.99998110	0.99998190	0.99998260	0.99998340	0.99998410	0.99998480	0.99998540	0.99998610
4.2	0.99998670	0.99998720	0.99998780	0.99998830	0.99998880	0.99998930	0.99998980	0.99999020	0.99999070	0.99999110
4.3	0.99999150	0.99999180	0.99999220	0.99999250	0.99999290	0.99999320	0.99999350	0.99999380	0.99999410	0.99999430
4.4	0.99999460	0.99999480	0.99999510	0.99999530	0.99999550	0.99999570	0.99999590	0.99999610	0.99999630	0.99999640

4.5	0.9999966023	0.9999967586	0.9999969080	0.9999970508	0.9999971873	0.9999973177	0.9999974423	0.9999975614	0.9999976751	0.9999977838
4.6	0.9999978875	0.9999979867	0.9999980813	0.9999981717	0.9999982580	0.9999983403	0.9999984190	0.9999984940	0.9999985656	0.9999986340
4.7	0.9999986992	0.9999987614	0.9999988208	0.9999988774	0.9999989314	0.9999989829	0.9999990320	0.9999990789	0.9999991235	0.9999991661
4.8	0.9999992067	0.9999992453	0.9999992822	0.9999993173	0.9999993508	0.9999993827	0.9999994131	0.9999994420	0.9999994696	0.9999994958
4.9	0.9999995208	0.9999995446	0.9999995673	0.9999995889	0.9999996094	0.9999996289	0.9999996475	0.9999996652	0.9999996821	0.9999996981
5.0	0.9999997133	0.9999997278	0.9999997416	0.9999997548	0.9999997672	0.9999997791	0.9999997904	0.9999998011	0.9999998113	0.9999998210
5.1	0.9999998302	0.9999998389	0.9999998472	0.9999998551	0.9999998626	0.9999998698	0.9999998765	0.9999998830	0.9999998891	0.9999998949
5.2	0.9999999004	0.9999999056	0.9999999105	0.9999999152	0.9999999197	0.9999999240	0.9999999280	0.9999999318	0.9999999354	0.9999999388
5.3	0.9999999421	0.9999999452	0.9999999481	0.9999999509	0.9999999535	0.9999999560	0.9999999584	0.9999999606	0.9999999628	0.9999999648
5.4	0.9999999667	0.9999999685	0.9999999702	0.9999999718	0.9999999734	0.9999999748	0.9999999762	0.9999999775	0.9999999787	0.9999999799
5.5	0.9999999810	0.9999999821	0.9999999831	0.9999999840	0.9999999849	0.9999999857	0.9999999865	0.9999999873	0.9999999880	0.9999999886
5.6	0.9999999893	0.9999999899	0.9999999905	0.9999999910	0.9999999915	0.9999999920	0.9999999924	0.9999999929	0.9999999933	0.9999999936
5.7	0.9999999940	0.9999999944	0.9999999947	0.9999999950	0.9999999953	0.9999999955	0.9999999958	0.9999999960	0.9999999963	0.9999999965
5.8	0.9999999967	0.9999999969	0.9999999971	0.9999999972	0.9999999974	0.9999999975	0.9999999977	0.9999999978	0.9999999979	0.9999999981
5.9	0.9999999982	0.9999999983	0.9999999984	0.9999999985	0.9999999986	0.9999999987	0.9999999987	0.9999999988	0.9999999989	0.9999999990
6.0	0.9999999990									

表中的值是1 – Pz，就是过程输出超过某一个特定的关注值（例如某一规范限）的比例，此关注值距过程均值（一个受统计控制和正态分布的过程）有*z*个标准差。例如，如果*z* = -2.17，Pz= 1 - 0.98499660 = 0.0150或1.5%，在任何实际的状况下，此比例只是个接近值。



索引

American National Standards Committee Z1，211

ASQ，211, 213, 214

ASQ Statistics Division，211

ASTM，181, 182, 211

Autocorrelation 自相关，159, 160, 191

Average (See also Mean) 均值（另参见均值），43, 60, 62, 63, 71, 76, 78, 79, 82, 83, 85, 87, 89, 93, 95, 97, 109, 111, 116, 119, 191, 194, 195, 198, 213

Average and Range Chart 均值和极差图，63, 78, 79

Average and Standard Deviation Chart 均值和标准差图，82, 83

Average Run Length 平均运行长度，76, 111, 191

Bhote, K.R, 104, 211

Binomial Distribution 二项式分布，192

Bissell, B.A.F., 139, 211

Bothe, D., 145, 174, 179, 211

Box, G.E.P., 115, 120, 141, 211

Boyles, R.A., 139, 179, 211

Brase, 211

Burr, I.W., 114, 211

c chart *c* 图，183, 204

Capability 能力，19, 20, 128, 185, 211, 213, 214

Cause and Effect Diagram 因果图，192

Centerline 中心线，32, 48, 59, 80, 83, 85, 87, 90, 93, 95, 97, 181, 182, 183, 192

Champ, C.W., 212, 213

Chan, 114, 179, 212

Characteristic 特性，151, 192

Charbonneau, H.C., 63, 176, 212

Cheng, S.W., 179, 212

Common Cause 普通原因，12, 192, 203

Common Cause (See also Special Cause) 普通原因（另见特殊原因），13

Confidence Interval 置信区间，192

Consecutive 连续的，192

Control 控制，7, 9, 19, 20, 25-34, 37, 38, 41, 43, 45, 47-74, 79, 80, 83, 85, 87, 89, 90, 93, 95, 97, 99-108, 113, 117, 118, 121, 128, 157, 176, 177, 181-183, 188, 191-202, 211-214

Control Chart 控制图，28, 29, 32, 37, 41, 45-55, 58, 59, 71, 72, 74, 79, 89, 99, 100, 107, 108, 113, 117, 121, 176, 177, 181-183, 191-196, 199, 200, 202, 211-214
均值和极差控制图，63, 78, 79
Average and Standard Deviation Chart 均值和标准差控制图，82, 83
c chart *c* 图，183, 204
CUSUM 累积和图，109, 110, 111, 112, 122, 194, 195
EWMA 指数加权平均移动，109, 111, 112, 174, 194, 195, 212
Individuals and Moving Range Chart 单值和移动极差图，87, 89, 174
MCUSUM 多变量累积和，113, 116, 195
Median and Range Chart 中位数和极差图，84, 85
MEWMA 多变量指数加权移动平均，113, 116, 195
np chart *np*图，183, 192, 206
p chart *p*图，70, 183
Regression Chart 回归控制图，118
Residuals Chart 残差控制图，118, 120
Short Run Chart 短期控制图，176
Stoplight Control Chart 红绿灯信号控制图，202
u chart *u*图，108, 183, 207
Zone Chart 区域控制图，121

Control Limit 控制限，30, 55, 56, 59, 61, 62, 64, 65, 69, 70, 80, 83, 85, 87, 90, 93, 95, 97, 181, 182, 183, 193

Control Statistic 控制统计量，58, 59, 193

Convenience Sampling 便利抽样法，193, 199

Correlation 相关性，53, 193

Correlation Matrix 相关性矩阵图，193

Cox, D.R., 115, 141, 211

Cui, H., 114, 212

CUSUM 累积和，109, 110, 111, 112, 122, 194, 195

Davis, R.B., 123, 212

Deming, W. Edwards, 17, 19, 29, 57, 171, 174, 197, 212, 214

Detection 探测，7, 194, 197

Dispersion 分散，194

Distribution 分布，192, 194, 196, 197

Dixon, W.J., 182, 212

Doty, L.A., 212

Dovich, R.A., 139, 212

Duncan, A.J., 63, 176, 212

English, J.R.,, 212

EWMA 指数加权平均移动，109, 111, 112, 174, 194, 195, 212

Fair, D.C., 47, 109, 214

Farnum, N.R., 109, 212

Fellers, G., 213

Freund, J.E., 211, 213

Godfrey A.B., 63, 109, 192, 201, 213

Gordon, L. W., 63, 212

Grant, E.L., 57, 63, 109, 176, 213

Gruska, G.F., 57, 102, 213

Gunter, B., 147, 213

Haphazard Sampling 任意抽样法，194, 199, 200

Heaphy, M.S., 102, 213

Herman, J.T., 147, 213

Homer, A., 212

Index (See Process Capability) 指数（另见过程能力），185, 211, 213

Individual 单值，86, 87, 89, 93, 95, 97, 110, 194

Individuals and Moving Range Chart 单值和移动极差图，87, 89, 174

Inherent Variation 固有变差，195, 203

Jaehn, A.H., 213
Jenkins, G.M., 119, 120, 211
Johnson, N.L., 115, 141, 142, 213
Juran, J., 17, 63, 109, 192, 201, 213
Kane, V. E., 213
Keats, J. B., 213
Kourti, T., 117, 213
Lamberson, L.R., 213
Leavenworth, RS, 57, 63, 109, 176, 213
Lee, S., 212
Location 位置，13, 194, 195
Loss Function 损失函数，104, 148, 150, 151, 179, 195
Lowry, C.A., 113, 213
MacGregor, J.F., 117, 213
Martin, T.W., v, 212
Mason, R.L., 117, 214
Massey, F.J Jr., 182, 212
Mauch, P. D., 214
MCUSUM 多变量累积和，113, 116, 195
Mean (See also Average) 均值（另见均值），191. 195
Median中位数，84, 85, 182, 195
Median and Range Chart 中位数和极差图，84, 85
MEWMA 多变量指数加权移动平均，113, 116, 195
Mirkhani, K., 213
Mode 众数，195
Montgomery, D.C., 47, 57, 109, 110, 111, 113, 117, 118, 121, 192, 201, 213, 214
Moving Range 移动极差，43, 86, 87, 89, 107, 110, 160, 174, 195
Multivariate Distribution 多变量分布，140, 144
Nonconforming Units 不合格产品，196
Nonconformity 不合格，196
Non-Normal Chart 非正态控制图，113
Non-Normal Distribution 非正态分布，140, 142, 196
Normal Distribution 正态分布，140, 142, 196
np chart *np*图，183, 192, 206
Operational Definition 可操作的定义，197
Ott, E.R., 63, 214
p chart *p*图，70, 183
Pareto Chart排列图，197
Performance 性能，9, 128, 212
Pham, H, 114, 214
Point Estimate 点估计，197
Poisson Distribution 泊松分布，197
Prediction Interva l预测区间，197
Prevention 预防，7, 194. 197, 213
Probability based charts 以概率为基础的控制图，101, 198
Probability Sampling 概率抽样法，198
Problem Solving 解决问题，198
Process 过程，1, 4, 8, 9, 18, 19, 21, 24, 25, 26, 29, 31, 33, 34, 53, 67, 103, 107, 125, 127, 131, 132, 135, 136, 147, 152, 153, 154, 162, 194, 198, 201-203, 211-214
Process Average 过程均值，198
Process Capability 过程能力，18, 19, 125, 131, 198, 211, 212, 214
  Variables Data Case 计量型数据案例，198
Process Control (See Statistical Process Control) 过程控制（另见统计过程控制），1, 4, 8, 9, 18, 19, 25, 29, 152, 198, 201, 212, 213, 214
Process Performance 过程性能，125, 131, 198
Process Spread 过程分布宽度，194, 198, 201
Quadratic 二次，199
Randomness 随机性，199
Range 极差，31, 43, 60, 62, 72, 79, 85, 87, 158, 160, 164, 195, 199
Rational Subgroup 合理子组，199
Regression Chart 回归控制图，118
Reinsel, G.C., 120, 211
Residuals Chart 残差控制图，118, 120
Reynolds, J.H, 121, 214
Rigdon, S.E, 212, 213
Roberts, S.W., 121, 214
Run链，76, 107, 111, 191, 200, 212, 214
Sample样本，51, 52, 58, 85, 163, 168, 188, 200
Sampling 抽样
  Convenience Sampling 便利抽样法，193, 199
  Haphazard Sampling 任意抽样法，194, 199, 200
  Probability Sampling 概率抽样法，198
  Random Sampling 随机抽样法，198, 199
  Rational Subgroup 合理子组，199
Scherkenbach, W.W., 153, 214
Shape 形状，13, 200
Shewhart, Walter A., 19, 29, 30, 31, 76, 109, 111, 113, 114, 115, 122, 123, 196, 200, 203, 214
Short Run Chart 短期控制图，176
Sigma (σ), 200
Special Cause (See also Common Cause) 特殊原因（另见普通原因），12, 13, 60, 62, 75, 171, 200, 203
Specification规范，67, 188, 200, 202
  双边，132
  单边，137
Spiring, F.A., 127, 179, 212, 214
Spread (See also Variation) 分布宽度（另见变差），13, 127, 198, 201
Stability 稳定性，201
Stable Process 稳定的过程，201
Standard Deviation 标准差，79, 83, 85, 87, 160, 201
Statistic统计，58, 59. 193, 201, 214
Statistical Control 统计控制，20, 55, 60, 193, 201
Statistical Inference 统计学的推论，201
Statistical Process Control 统计过程控制，1, 4, 198, 201, 212, 213, 214

Statistical Tolerance Limits 统计学的公差限，201, 202
Stoplight Control Chart 红绿灯信号控制图，202
Subgroup 子组，48, 55, 57, 58, 79, 83, 85, 130, 181, 182, 188, 195, 199, 200, 202
Tilmon, C., 212
Tolerance (See Specification) 公差（见规范），104, 201, 202
Total Process Variation 总过程变差，131, 202, 203
Type I Error 第I类错误，202
Type II Error 第II类错误，202
u chart *u*图，108, 183, 207
Unimodal 单峰的，202
Variables Data (See also Attribute Data) 计量型数据（另见计数型数据），44, 125, 191, 198, 202
Variation 变差，12, 13, 67, 83, 130, 131, 190, 192, 193, 195, 202, 203
  Inherent Variation 固有变差，195, 203
  Total Process Variation 总过程变差，203
Wadsworth, H.M., 214
Wheeler, D.J., 47, 63, 89, 107, 111, 117, 121, 134, 145, 161, 174, 214
Williams, F.J., 211, 213
Wise, S.A., 47, 109, 214
Woodall, W.H, 212, 213
Young, J.C., 117, 214
Zone Analysis 区域分析，203
Zone Chart 区域图，121

此页留白