

克莱斯勒汽车公司

福特汽车公司

通用汽车公司

版权所有

不得翻印复制

统计过程控制

SPC

英文版为正式版本，中文版为翻译版本。购买英方手册，请联系：

Automotive Industry Action Group

26200 Lahser Road, Suite 200

Southfield, MI 48034 USA

Phone:1-248-358-3003

Fax:1-248-358-3253

Carwin continuous

Unit 1,Trade Link

Western Avenue, West Thurrock

Phone:44-1-708-861-333

Fax:44-1-708-861-941

或

中国汽车公司技术研究中心 译

1997年6月第一次印刷

2000年5月第二次印刷

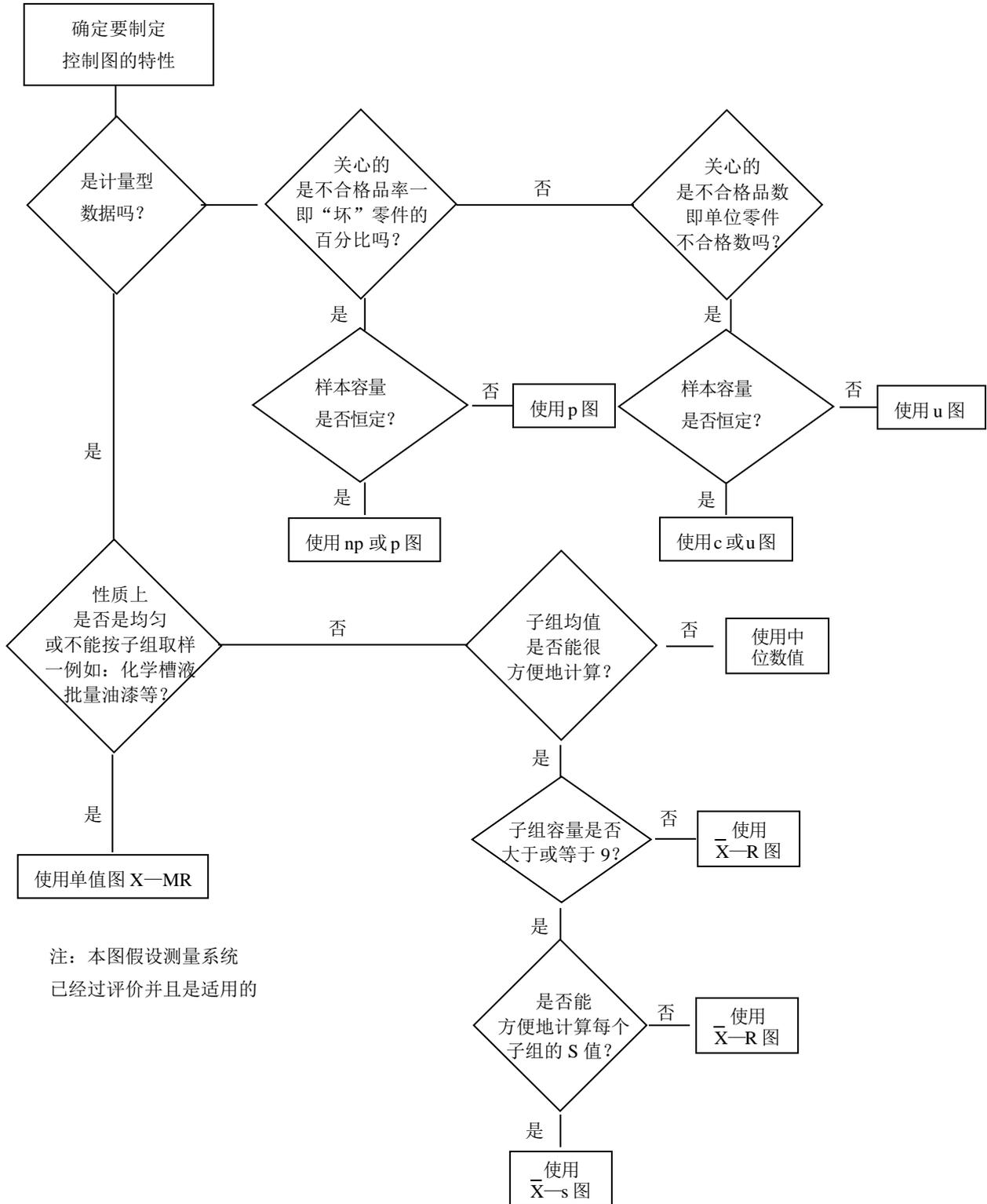
统计过程控制 (SPC) 参考手册

1992 年版• 1995 年第 2 次印刷(仅新封面)

©1992,©1995 版权

由克莱斯勒、福特和通用汽车公司所有

本手册所描述控制图的选用程序



QS-9000 及其配套手册中文版 修订工作组

张建伟	QS-9000 总培训师	中国汽车技术研究中心
于洪涛	QS-9000 培训师、审核员	中国汽车产品认证委员会质量体系认证中心
李志颖	QS-9000 培训师、审核员	中国汽车技术研究中心
郑元辉	QS-9000 培训师、审核员	中国汽车技术研究中心

基础统计过程分析 (SPC)

翻译

(中方) 蒋红卫

译校

(中方) 王秉刚 孙林 叶盛基 陈奕爽

(美方) David Tai (Ford)

Jason Yeh , Chen Jianhe (Chrysler)

Vicky Hao (GM)

Victor Tan , Mike Liao (Delphi)

QS-9000 及其配套手册中文版 再 版 前 言

自一九九七年六月 QS-9000 及其配套手册中文版出版发行以来，中国汽车行业在 QS-9000 的学习和理解，贯彻与实施以及开展第三方质量体系认证方面取得了长足的发展。以预防为主、减少浪费、通过持续改进不断满足顾客日益增长的需求已成为汽车供方管理观念的核心内容，汽车产品的质量有了明显的提高。

一九九八年十一月，在国家质量技术监督局国际合作司与标准化司、中国质量体系认证机构国家认可委员会及美国品士公司（PLEXUS CORPORATION）大力支持下，中国汽车技术研究中心获得了美国汽车工业行动集团（AIAG）关于 QS-9000 系列手册中文翻译、出版和在全球范围内发行的授权，同时一九九七年六月 QS-9000 系列手册中文版获得美国三大汽车公司认可。根据版权协议的要求和中文版发行近三年的使用情况，我们成立了修订工作组，根据来自各有关方面的修改建议，并结合我们在 QS-9000 培训及认证工作中的体会，翻译了 QS-9000 质量体系要求第三版、质量体系评定（QSA）第二版和生产件批准程序（PPAP）第三版，修改完善了产品质量先期策划和控制计划（APQP）、潜在失效模式及后果分析（FMEA）、测量系统分析（MSA）和统计过程控制（SPC）。

在修订和再版过程中，我们得到了国家质量技术监督局标准化司石保权司长、国际合作司孔小康副司长、中国质量体系认证机构国家认可委员会肖建华秘书长、王卫东及徐有刚部长、国家机械戒严局行业管理司杜芳兹调研员的支持和指导。在此表示诚挚的谢意。

感谢手册中文版 97 年版编委会中方及美方的全体成员。中方：王秉刚、叶盛基、张建伟、孙林、汪惠林、刘耀民、赵幼贤、张建中、颜景茂、李伟禹；美方：Keh Tung; David Tai ,Paul; M.Meredith (Ford); Jason Yeh ,Chen Jeanhe (Chrysler); Viocky Hao ,Bill Holland(GM)。

特别感谢美国品士公司总培训师方俭先生比给予的支持与指导。

中国汽车技术研究中心
二 0 0 0 年五月

QS-9000 及其配套手册中文本 编 译 前 言

为在中国推广和借鉴 QS-9000 汽车工业质量管理经验，促进中国汽车工业质量管理和质量保证水平的提高，并为在中国逐步开展 QS-9000 质量体系第三方认证做准备，促进准确理解 QS-9000 的全部内涵，在国家技术监督局机械工业部的积极倡导下，在美国三大汽车公司（Chrysler, Ford, GM）驻中国机构的支持下，中国汽车技术研究中心组织编译了中文本 QS-9000 及其配套手册[包括 QS-9000 质量体系要求、质量体系评定（QSA）、生产件批准程序（PPAP）、产品质量先期策划及控制计划（APQP）、潜在失效模式及后果分析（FMEA）、测量系统分析（MSA）、基础统计过程控制（SPC）共七册]。

在编译过程中，我们得到了中国各有关主管部门的大力支持，得到了美国三大汽车公司及德尔福（Delphi）公司驻中国机构的密切配合与协作。QS-9000 各有关单位共同组成编委会，组织有关专家对译稿先后进行了三轮的认真审议。形成正式译稿后，陆续寄至美国汽车工业行动集团（AIAG）审阅确认。因此，QS-9000 及其配套手册中文本是中美双方专家集体智慧的成果。

在此，我们谨向 QS-9000 及其配套手册中文本编译工作做出努力和贡献的各位人士致以诚挚的谢意。

这里，我们要特别感谢国家技术监督局认证办公室吴季直副司长、肖建华处长及王卫东先生；机构工业部科技与质量司石坚中副司长及阎育镇处长、汽车司有关领导及产品认证处郑金城处长、黄学平调研员的支持和指导；感谢美国三大汽车公司及德尔福驻中国机构各有关专家的协作和支持；感谢 QS-9000 及其配套手册中文本编委会全体专家和编译人员卓有成效的工作。感谢美国汽车工业行动集团（AIAG）对 QS-9000 及其配套手册中文译稿进行审阅的各位专家。

由于时间仓促，QS-9000 及其配套手册中文本尚未达到尽善尽美，有的编译难免有不足和不确切之处，敬请读者批评指正。我们也将本着 QS-9000 持续改进的精神，不断提高编译质量和翻译准确性。我们真诚地希望广大读者对 QS-9000 及其配套手册中文本提出改进建议和意见。

中国汽车技术研究中心
一九九七年六月 于天津

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）的共同主持下，由克莱斯勒、福特和通用汽车公司的质量和供方评定人员编制。

ASQC/AIAG 编写华丽的任务是将克莱斯勒、福特和通用汽车公司各自的供方评定系统的供方质量保证、全面质量创优、目标创优参考手册，报告格式及技术术语进行标准化处理。因此，任何供方可以利用手册来获取与克莱斯勒、福特和通用汽车公司的供方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，有些生产厂为其供方提供了方法，而其他的没有明确的要求。为了简化并减少对供方质量要求的差异，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。它并不限制相应的特殊过程或商品的统计方法的发展，也不包括所有的 SPC 技术。有关使用替代方法的问题，可求助于顾客质量部门。

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. Parvs 的领导和参与，以及三大公司质量和供方评定组胜任而努力的工作；感谢汽车工业行动集团（在 AIAG 主任 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 Martion（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 年版本的所有权及版权由 AIAG 所有，更多的副本可从 AIAG 获得。在得到 AIAG 的认可下，允许复制本手册的部分内容在供方组织使用。AIAG 联系电话：(313) 358-3570。

目录

第 I 章 持续改进及统计过程的控制概述

第 1 节	预防与检测	5
第 2 节	过程控制系统	7
第 3 节	变差：普通及特殊原因	9
第 4 节	局部措施和对系统采取措施	11
第 5 节	过程控制手过程能力	13
第 6 节	过程改进循环及过程控制	17
第 7 节	控制图：过程控制的工具	21
第 8 节	控制图的益处	25

第 II 章 计量型数据控制图

27

第 1 节	均值和极差图 ($\bar{X}-R$ 图)	29
	A 收集数据	31
	B 计算控制限	37
	C 过程控制解释	39
	D 过程能力解释	57
第 2 节	均值和标准差图 ($\bar{X}-\bar{s}$ 图)	65
	A 收集数据	65
	B 计算控制限	67
	C 过程控制解释	67
	D 过程能力解释	67
第 3 节	中位数图 ($\bar{x}-R$ 图)	69
	A 收集数据	69
	B 计算控制限	71
	C 过程控制解释	71
	D 过程能力解释	71
	E 中位数图的替代方法	72
第 4 节	单值和移动极差图 ($X-MR$ 图)	75
	A 收集数据	75
	B 计算控制限	75
	C 过程控制解释	77
	D 过程能力解释	77
第 5 节	计量型数据的过程能力和过程性能的理解	79
	A 过程术语的定义	79
	B 过程量度的定义	80
	C 条件和假设的描述	81
	D 使用过程量度的建议	83

第 II 章	计数型数据控制图	89
第 1 节	不合格品率的 P 图	91
A	收集数据	93
B	计算控制限	95
C	过程控制解释	99
D	过程能力解释	107
第 2 节	不合格品数的 np 图	111
A	收集数据	111
B	计算控制限	111
C	过程控制解释	111
D	过程能力解释	111
第 3 节	不合格数的 c 图	113
A	收集数据	113
B	计算控制限	113
C	过程控制解释	113
D	过程能力解释	113
第 4 节	单位产品不合格数据的 u 图	115
A	收集数据	115
B	计算控制限	115
C	过程控制解释	117
D	过程能力解释	117
第 IV 章	过程测量系统分析	119
第 1 节	引言	119
第 2 节	均值和极差法	121
A	进行研究	121
B	计算	122
C	结果分析	123
D	示例	127
附 录 A	关于分组的一些评述	131
附 录 B	过度调整	137
附 录 C	本手册所描述控制图的选用程序	139
附 录 D	C _{pm} 与其它指数 (USL-T) = (T-LSL) 的关系	141
附 录 E	控制图的常数和公式表	143
附 录 F	标准正态分布	147
附 录 H	参考文献及建议的读物	159
附 录 I	可复制的控制图表	161

插图目录

图	名称	页次
1	过程控制系统	6
2	变差：普通及特殊原因	8
3	过程控制及过程能力	12
4	过程改进循规蹈矩环	16
5	控制图	20
6	计量型数据——测量中间或最终过程输出的结果	26
7	X—R 图	30
8	X—R 图建立数据	32
9	X—的图“初始研究”	34
10	有控制限的 X—R 图	36
11	R 图——有超出控制限的点存在	38
12	R 图——链（极差）	40
13	R 图——非随机模式	42
14	X—R 图——重新计算控制限（极差）	44
15	X 图——超出控制限的点	46
16	X 图——链	48
17	X 图——非随模式	50
18	X—R 图——重新计算控制限	52
19	X—R 图——延长控制限	54
20	相对无规范限界的的过程变差	56
21	计算过程能力	58
22	评价过程能力	60
23	数据收集	64
24	X 和 s 图	66
25	中位数控制图	68
26	中位数控制图—解释	70
27	单值移动极差图	74
28	单值和移动极差图的解释	76
29	“目标柱”与损失函数的比较	82
30	调整过程与要求一致	84
31	计数型数据	88
32	不合格品率 p 图——数据收集	92
33	不合格品率 p 图——计算控制限制—表 1	94
33	不合格品率 p 图——计算控制限制—表 2	96
34	不合格品率 p 图——超出控制限制的点	98
35	不合格品率 p 图——链	100
36	不合格品率 p 图——非随机图形	102
37	不合格品率 p 图——重新计算控制限	104

38	不合格品数的 np 图.....	110
39	不合格品数的 c 图.....	112
40	交易会产品不合格数的 u 图.....	114
41	u 图——重新计算控制限.....	116
42	量具的重复性和再现性数据记录表.....	124
43	量具的重复性和再现性报告.....	125
44	量具的重复性和再现性数据表——示例.....	128
45	量具的重复性和再现性报告——示例.....	129

第 I 章

持续改进及统计过程控制概述

在今天的经济气候下，为了事业昌盛，我们——汽车制造商，供方及销售商必须致力于不断改进。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。本手册涉及到第二领域的某些要求。它描述了能使我们致力于的改进更有效的几种基本的统计方法。为了完成不同的任务需要不同程度的理解。本手册的对象是见习生以及刚开始从事统计法应用的管理人员。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参考文献。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）及一些先进的方法（如其他控制图、试验设计、质量功能展开等）。

本书所述的基本统计方法包括与统计过程控制及过程能力分析有关的方法。本手册的第 I 章阐述了过程控制和背景知识，解释了一些重要的概念：如变差的特殊及普通原因，并介绍了控制图，这个用来分析及监控过程非常有效的工具。第 II 章描述了构造和使用计量型数据控制图表（定量的数据，或测量）的 $\bar{X}-R$ ， $\bar{X}-s$ 图，中位数图以 $X-MR$ （单值及移动极差）图。这一章还介绍了过程能力的概念并讨论了广泛应用的指数及比值。第 III 章介绍了用于计数型数据（定性数据或计数值）的几种控制图： p 图、 np 图、 c 图及 u 图。第 IV 章介绍了测量系统分析的内容并列举了适当的例子。附录包括分组及过度调整的例子，如何使用控制图的流程图、常数及公式表、标准正态分布以及可复制的空白表等。术语索引给出了本手册所使用的术语及符号的解释，参考文献一节向读者提供了进一步学习的材料。

在开始讨论之前，需进行六点说明：

1. 收集数据并用统计方法来解释它们并不是最终目标，最终目标应是对读者的过程不断加深理解。当一个没有任何改进的技术专家是很容易的。增加知识应成为行动的基础；
2. 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。例子有：机器（性能特性）、记帐（差错率）、总销售额、浪费分析（废品率）、计算机系统（性能特性）及材料管理（运送时间）。本手册重点放在车间应用中。鼓励读者参考附录 H 中的参考文献应用于行政管理及服务中；

3. **SPC** 代表统计过程控制，不幸的是在北美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。只有当生产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，降低成本上发挥作用；
4. 尽管本书的每一点是通过已完成的例子来说明，要真正理解这些知识需要进一步与过程实际相联系。研究读者自己的工作场所或相似的部门中的实际例子是对本书的重要补充。然而，现有过程信息不能代替实际工作经验；
5. 本书可看成应用统计方法的第一步。它提供从经验中得到的法则，这些法则在许多方面得到了应用。然而，还是存在不能盲目使用这些法则的例外。本手册不能满足初学者对统计方法和理论知识的进一步需要，我们鼓励读者寻求正规的统计教育。在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的地方我们也鼓励读者向具有一定的统计理论知识与实践的人员请教。以便了解其它技术；
6. 测量系统对合适的数据分析来说很重要，并且在收集过程数据之间就应很好地了解它们，如果这样的一个系统缺少统计控制或他们的变差占过程数据总变差中很大比例，就可能作出不适当的决定。在手册中，假设该系统处于受控状态并且对数据的总变差没有大影响。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。

过程控制的需要

检测——容忍浪费

预防——避免浪费

第 1 节

预防与检测

过去，制造商经常通过生产来制造产品，通过质量控制来检查最终产品并剔除不符合规范的产品，在管理部门则经常靠检查或重新检查工作来找出错误，在这两种情况下都是使用检测的方法，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。

一种在第一步就可以避免生产无用的输出，从而避免浪费的更有效的方法是——预防。

对许多人来说预防和策略听起来很明智，甚至显然的。经常能听到这样的口号“第一次就把工作做好。”但光在口号是不够的。所要求的是理解统计过程控制系统和各个要素。下述七节介绍了这些要素。并可以看成是下列问题的答案：

- 什么是过程控制系统？（第 2 节）
- 变差是如何影响过程输出的？（第 3 节）
- 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？（第 4 节）
- 什么是统计受控过程？什么是有能力的过程？（第 5 节）
- 什么是持续改进循环？过程控制对哪一部分起作用（第 6 节）
- 什么是控制图：如何使用（第 7 节）
- 使用控制图有什么好处？（第 8 节）

学习以上材料时，读者可以查阅附录 G 的术语索引对关键术语和符号的定义。

有反馈的过程控制系统模型

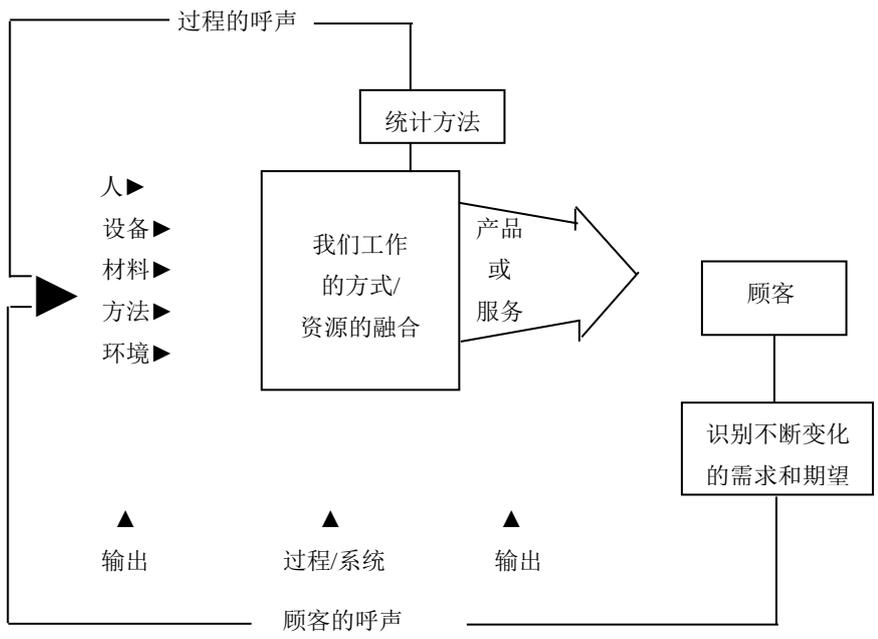


图 1 过程控制系统

第 2 节

过程控制系统

一个过程控制系统可以称为一个反馈系统。统计过程控制（SPC）是一类反馈系统，但也存在不是统计性的反馈系统。下面讨论这个系统的四个重要的基本原理。

1. 过程

所谓过程指地是共同工作以产生输出的供方、生产者、人、设备、输入材料、方法和环境以及使用输出的顾客之集合（见图 1）。过程的性能取决于供方和顾客之间的沟通，过程设计及实施的方式，以及动作和管理的方式等。过程控制系统的其他部分只有它们在帮助整个系统保持良好的水平或提高整个过程的性能时才有用。

2. 有关性能的信息

通过分析过程输出可以获得许多与过程实际性能有关的信息。但是与性能有关的最有用的信息还是以研究过程本质以及其内在的变化性中得到的。过程特性（如温度、循环时间、进给速率、缺勤、周转时间、延迟以中止的次数等）然后我们关心的重点。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。若有必要可采取适当的措施来校正过程或刚产生的输出。若需要采取措施，就必须及时和准确，否则收集信息的努力就白费了。

3. 对过程采取措施

通常，对重要的特性（过程或输出）采取措施从而避免它们偏离目标值太远是很经济的。这样能保持过程的稳定性并保持过程输出的变差在可接受的界限之内。采取的措施包括变化操作（例如：操作员培训、变换输入材料等），或者改变过程本身更基本的因素（例如：设备需要修复、人的交流和关系如何，或整个过程的设计——也许应改变车间的温度或湿度）。应监测采取措施后的效果，如有必要还应进一步分析并采取措施。

4. 对输出采取措施

如果仅限于对输出检测并纠正不符合规范的产品，而没有分析过程中的根本原因，常常是不经济的。不幸的是如果目前的输出不能满足顾客的要求，可能有必要将所有的产品进行分类报废不合格品或返工。这种状态必然持续到对过程采取必要的校正措施并验证，或持续到产品更改为止。

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 5 节）。因此，下面的讨论的重点将放在过程信息收集和分析上，以便对过程本身采取纠正措施。

每件产品的尺寸与别的都不同

图 2 变差：普通及特殊原因

第 3 节

变差的普通及特殊原因

为了有效地使用过程控制测量数据，理解变差的概念是很重要的，见图 2 所示。

没有两件产品或特性是完全相同的，因为任何过程都存在许多引起变差的原因。产品间的差距也许很大，也许小得无法测量，但这些差距总是存在。例如一个机加式轴的直径易于受生由于机器（间隙、轴承磨损）、刀具（强度、磨损率）、材料（直径、硬度）、操作人员（进给速率、对中准确度）、维修（润滑、易损零件的更换）及环境（温度、动力供应是否完成（项目）不同的阶段，他们所用设备的可靠性，票据本身的准确性及易读性，所遵守的规程及办公室中其他工作量的不同而不同。

过程中有些变差造成短期的、零件间的差异——例如机器及其固定装置间的游隙和间隙，或记帐人员工作的准确性等。另外一些变差的原因仅经常较长的时期后对输出造成影响，例如随差刀具或机器的逐渐磨损，或是规程发生有规则的变化，或是诸如动力不稳定等不规则的环境变化。这样，测量的周期以及测量是时的条件将会影响存在的变差的总量。

从最低要求的角度来看，总是将变差问题简单化。位于规定的公差的范围的零件是可接受的，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，迟缓的报告是不能接受的。然而，在管理任何一个过程减少变差时，都必须追究造成的原因。首先是区分普通原因和特殊原因。

虽然单个的测量值可能全都不同，但形成一组后它们趋于形成一个可以描述成一个分布的图形（见图 2），这个分布按下列特性区别：

- 位置（典型值）；
- 分布宽度（从最小值至最大值之间的距离）；
- 形状（变压器差的模式——是否对称、偏斜等）。

普通原因指的是造成随着时间的推移具有稳定的且可重复的分布过程中的许多变差的原因，我们称之为：“处于统计控制状态”、“受统计控制”，或有时简称“受控”。普通原因表现为一个稳定系统的偶然原因。只有变差的普通原因存在且不改变时，过程的输出才是可以预测的。

特殊原因（通常也叫查明原因）指的是造成不是始终作用于过程的变差的原因，即当它们出现时将造成（整个）过程的分布改变。除非所有的特殊原因都被查出来并且采取了措施，否则它们将继续用不可预测的方式来影响过程的输出。如果系统内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恒定的一部分。对于一些成熟的过程（例如经过几次不断改进的循环后的过程），顾客可能给予特许让一贯出现特殊原因的过程进行下去，这样的特许通常要求过程控制计划能确保答顾客的要求并且保证过程不受别的特殊原因的影响。（见第 5 节）

局部措施和对系统采取措施

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实施
- 通常可纠正大约 15%的过程问题

对系统采取措施

- 通常用来消除变差的普通原因
- 几乎总是要求管理措施，以便纠正
- 大约可纠正 85%的过程问题

第 4 节

局部措施和对系统采取措施

在上面讨论的两种变差以及可能采取的减少它们的措施*之间有着重要的联系。

简单的统计过程控制技术能检查变差的特殊原因。发现变差的特殊原因并采取适当措施通常是与该过程操作直接有关人员的责任。尽管有时纠正时要求管理人员介入，介解决变差的特殊原因通常要求采取局部措施。这一点在早期的过程改进中尤为重要。当某人对特殊原因成功持采取适当的措施后，其余的问题通常要求采取管理行动而不是局部措施来解决。

相同的简单的统计过程控制技术也能指明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的责任在于管理谷。有时与操作直接相关人员的处于较有利的位置发现它们并将它们报告给管理人员来采取措施的。总的来说，解决变差普通原因通常需要采取系统措施。

过量过程变差中较小的部分——工业经验建议为 15%——是通过与操作直接有关人员局部纠正的。采取的措施类型如不正确将给机构带来大的损失，不但劳而无功，而且会延误问题解决甚至使问题恶化。例如：如果需要管理人员对系统采取措施（如选择提供一致输入材料的供方）时却采取的是局部措施（如调整机器）就不对“。无论如何，为了更好地减少过程变差的变通原因需要管理人员和与操作直接相关的人员的密切合作。

*W.E.戴明博士在“日本发生了什么?”和其它一些文章中讨论这一问题。该方为《工业质量控制》1967年8月NO.3,24卷第3部第89-93页。

**码这些发现首先由J.M.朱兰博士提出,并已在戴明博士的经验中得到证实。

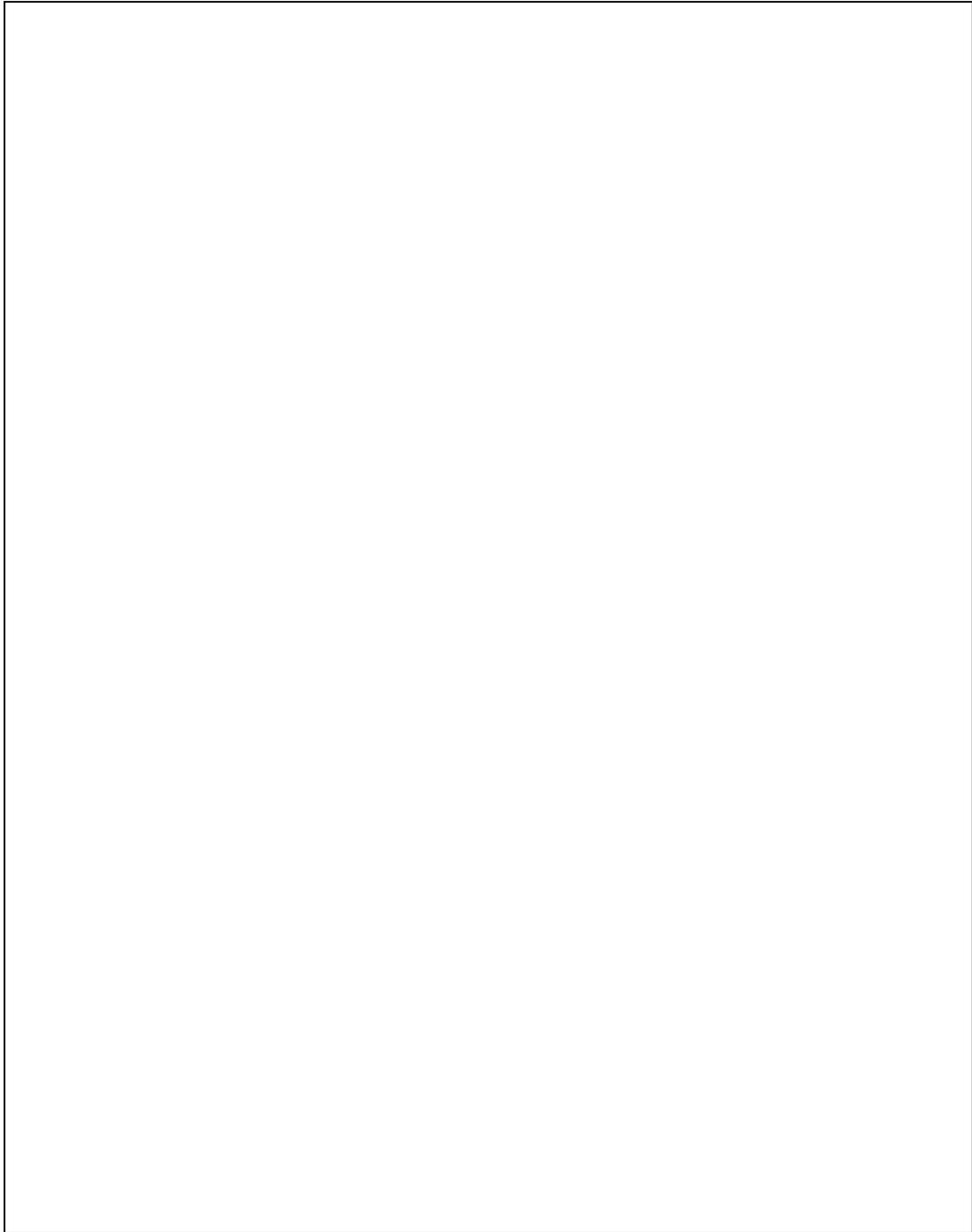


图3 过程控制及过程能力

第 5 节

过程控制和过程能力

过程控制系统的目标是对影响过程的措施作出经济合理的决定。也就是说，平衡不需控制时采取了措施（过度控制或擅自改变）和需要控制时未采取措施（控制不足）的后果。必须前面提到的变差的两种原因——特殊原因和普通原因的关系下处理好这些风险。（见图 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，过程控制系统的的一个作用是当出现变差的特殊原因时提供统计信号，并且当不存在特殊原因时避免错误信息。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，永久地保留它们）。

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（例如分布宽度最小），在处于统计控制状态下的运行过程，数据收集到后就能证明过程能力，而不考虑规范相对于过程分布的位置和/或宽度的状况如何；

- 然而，内外部的顾客更关注过程的输出以及与他们要求（定义为规范）的关系如何，而不考虑过程的变差如何。

一般说来，由于受统计控制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的产品比例。只要过程保持受统计控制状态并且其中分布的位置、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。对过程采取的第一个措施就是将过程定位在其目标值上。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。通常要求用对系统采取措施从而减少产生变差的变通原因的方法来改进过程的能力（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，参见第 2 章第 5 节。

简言之，首先应通过检查并消除变差的特殊原因使用权过程处于受统计控制状态，那么性能是可预测的，变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是否受控进行分类，过程可分成 4 类，如下表所示：

满足要求	控制	
	受控	不受控
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受控统计控制状态的且其固有变差（能力）必须小于图纸的公差。理想的情况是具有 1 类过程，该过程受统计控制且有能力满足要求，是可接受的。2 类过程是受控过程但存在因普通原因造成的过大的必须减少的变差。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变通原因。

在有些情况下，顾客也许允许制造商运行一个 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 2 章第 5 节所讨论的损失函数）；

- 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，因成本原因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：

- 该过程是成熟的，例如，该过程已经过几个循环的持续改进；

- 允许存在的特殊原因在已知一段时间内表现出产生稳定的后果；

- 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与允许存在的特殊原因不稳定的其它原因。

在汽车工业中可接受的作法是一个过程被证明处于统计控制状态后才计算其过程能力。过程能力是作为利用从过程中得到的统计数据来进行过程性能预测的基础。利用从过程中得到的一定时间的不稳定或不重复的数据来进行预测是没有什么价值的。特殊原因是造成分布的形态、分布宽度或位置改变的原因，因此会很快使过程能力预测失效。用来计算不同的能力指数或比值所要求的数据是从处于统计控制状态的过程获得的。

能力指数可分成两类：长期的和短期的。短期能力的研究是以从一个操作循环中获取的测量为基础的。这些数据用控制图分析后作为判定该过程是否在统计控制状态下运行的依据。如果没有发现特殊原因，可以计算短期能力指数。如果过程不是处于受控状态，就要求采取解决变差的特殊原因的措施。这种研究通常用于验证由顾客提出的过程中生产出来的首批产品。另一个用途，有时也叫机器能力研究，是用来验证一个新的或经过修改的过程实际性能是否符合工程参数。

如果一个过程是稳定的并且能符合短期的要求。紧接应进行另一种型式的研究。长期能力研究包括通过很长一段时间内所进行的测量应在足够长的时间内收集数据，同时这些数据应能包括所有能预计到的变差的原因，很多变差原因可能在短期研究时还没有观察到。当收集到足够的的数据后，将这些数据画在控制图上，如果没有发现变差的特殊原因，便可以计算长期的能力和性能指数。这种研究的一个用途是用来描述一个过程在很长的一个时期内包括很多可能变差原因出现后能否满足顾客的要求的能力——例如：量化过程性能。

几个不同的指数已被提出。因为 1) 没有一个单独的指数可以万能地适用于所有过程；且 2) 没有一个给定的过程可能通过一个单独的指数完整地来描述。例如：推荐同时使用 C_p 和 C_{pk} （见第 II 章第 5 节），并与图表技术一起使用，可以更好地理解估计的分岂有此理和规范界限的关系。在某种意义上说就是比较（并且努力使两者一致）“过程的呼声”和“顾客的呼声”（参见参考文献 22）。

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，可以从计算这些指数的数据中找到合适的解释。

有关汽车公司已经确定了对过程能力固定的要求。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合适，或不是基于顾客的要求，努力使过程来符合这些规范浪费大量时间和精力。第 II 章第 5 节描述的是能力和性能指数的选择以及在使用这些指数时的注意事项。

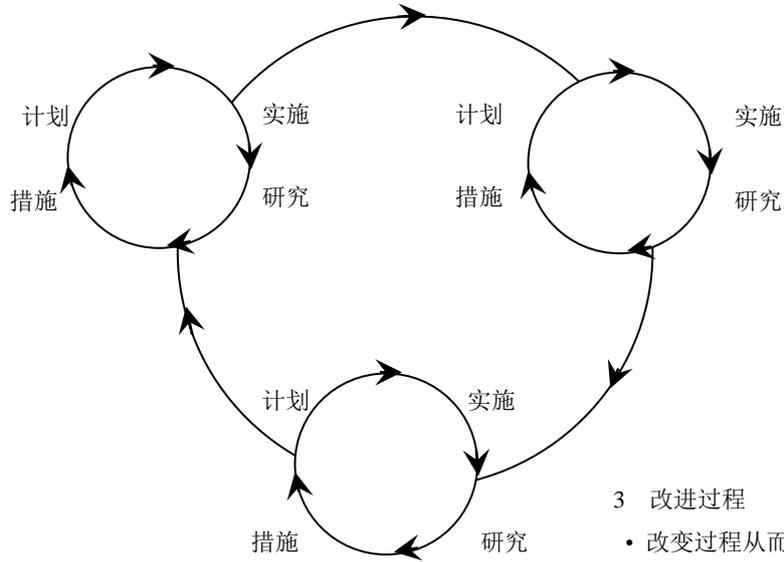
持续改进过程循环的各个阶段

1. 分析过程

- 本过程应做些什么?
- 会出现什么错误?
- 本过程正在做什么?
- 达到什么控制状态?
- 确定能力

2. 维护过程

- 监控过程性能
- 查找变差的特殊原因并采取措施



3 改进过程

- 改变过程从而更好地理解普通原因变差
- 减少普通原因变差

图 14 过程改进循环

第 6 节

过程改进循环及过程控制

在应用持续改进过程这一概念时，可以使用 3 阶段的循环（见图 4），每一个经历改进的过程都可以在这个循环中找到位置。

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，为了对过程很好的理解应回答以下问题：

- 本过程应做什么？
- 会出现什么问题？
 - 本过程会有哪些变化？
 - 我们已经知道本过程的什么变差？
 - 哪些参数受变差的影响大？
- 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？
 - 本过程的生产的产品是否处于统计控制状态下？
 - 本过程是否有能力？
 - 本过程是否可靠？

为了较好地理解过程可能应用许多技术，如小组会议，与开发或操作过程的人员（主管专家）商讨，审阅过程的历史或进行失效模式及后果分析（FMEA）。本手册所述的控制图也是应使用的工具。这些简单的统计方法用来帮助大家区别变差的普通及特殊原因。变差的特殊原因应注明。当达到了统计控制状态后，便可以计算能力指数从而帮助评定本过程长期能力的当前水平。

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平上。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帮助你。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具明显的竞争上的劣势。要达到“世界级”水平要求用稳定的有计划的努力来进行过程改进循环的下一阶段。

3. 改进过程

到达这一点，已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。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。为上要使用额外的过程分析工具，包括更先进的统计方法，例如：试验设计及先进的控制图等。附录 H 列出一些有用的参考文献做为进一步的研究。

通过减小变差业改进过程主要包括有目的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，其意图是以更低的成本改进质量。

当新的过程参数确定后，这种循一举理回转到分析过程。由于进行某些改变，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。

控制图

上控制限

中线

下控制限

1. 收集
 - 收集数据并画在图上
2. 控制
 - 根据过程数据计算试验控制限
 - 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并采取减小它的措施

重复这三个阶段从而不断改进过程

图 5 控制图

第 7 节

控制图——过程控制的工具

贝尔试验室的 Walter 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，在美国和其它国家，尤其是日本，成功地把控制图应用于各种过程控制场合。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，它们在系统或过程改进要求减少普通原因变差时控制图能反映其大小。

使用控制图来改进过程是一个重复的程序，多次重复收集、控制及分析几个基本的步骤（见图 5）。首先，按计划收集数据（附录 A 提供了这样一个数据收集计划的输入）；然后，利用这些数据计算控制限，控制限是解释用于统计控制数据的基础；当过程处于统计控制状态，控制限可用来解释过程能力。为了使过程在受控和能力上得以改进，就必须识别普通及特殊原因并据此改进过程；然后该循环又重新开始，更多的数据被收集、解释并且作为采取措施的基础。

1. 收集

被研究的特性（过程或产品）的数据收集后将之转换成可心画到控制图上的形式。这些数据可能是一个机加工零件的尺寸的实测值、一匹维尼布上的缺陷数、轨道车的通过时间、记账的错误数目等。

2. 控制

利用数据计算试验控制限，将它们画在图上作为分析的指南。控制限并不是规范限值或目标，而是基于过程的自然变化性和抽样计划。

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。如果明显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（一般是局部措施）的后，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。

3. 分析及改进

当所有的特殊原因被消除之后，过程在统计控制状态下运行，楞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误差过大，则过程不能生产出始终如一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。

通常可以发现尽管在过程刚建立时已经对准了目标值，过程的实际位置 (\bar{X}) 可能与该值不一致。对于那些实际值偏离目标值并且重新给过程定位很经济的过程应考虑重新调整以便使其与目标值更加一致。以上调整是假设该调整不会影响过程的变差。但情况不可能总是这样，应了解由于重新调整过程的位置可能加大过程的变差，则应在顾客满意和经济性两方面进行权衡。

必须不断地对过程的长期性能进行分析，通过对现行的控制图进行周期的、系统的评审可以很容易地完成这一工作。通常会有特殊原因出现的新证据，一些特殊原因经理解后也许能对减少整个过程的变差有利。其他的对过程有害的特殊原因需要被了解、修改或消除。

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。要减小这种变差就要“缩小”控制限上的控制限——即经重新计算的控制限要相互靠近。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处于稳态且控制限计算正确，过程错误地产生超出控制限的点的机会是相同的，与控制限间的距离无关（参见第5节）。

还没有谈到的一点是控制限的重新计算问题。一旦经过程合适的计算，并且如果过程中普通原因变差不发生改变，则控制限就是合理的，出现偏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，但需要根据过程本身情况来决定。

为了不断地改进过程，重复以上三个阶段适当地多收集数据。通过操作受统计控制的过程来减少过程变差，并且不断分析过程的变化。

控制图的益处

合理使用控制图能：

- 供正在进行过程控制的操作者使用
- 有助于过程在质量上和成本上能持续地，可预测地保持下去
- 使过程达到：
 - 更高的质量
 - 更低的单件成本
 - 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 8 节

控制图的益处

下面列举了使用控制图的一些重要的益处：

控制图是了解过程变差并帮助达到统计过程状态的有效工具。控制图一般由操作人员保留在工作场地上。当需要采取措施——以及不需要采取措施时（例如过度调整——见附录 B）时，控制图可给与操作密切有关的人员提供可靠的信息：

- 当过程处于统计控制状态，其性能将是可预测的，这样生产者和顾客都可以依赖一致的质量水平，以及达到该质量水平的稳定的成本；

- 处于统计控制状态的过程可以通过减少普通原因变差和改进过程的中心线（目标）来进一步改进。可以估计出在系统中建议改进的期望效果，甚至相对微小的变化的实际影响也可通过控制图的数据来识别。所需的数据量将随受检的过程而变化。这种通过减少对目标值的变差来改进过程的方法可以减少成本并提高生产率；

- 控制图为两班或三班操作过程的人员之间、生产线（操作者、管理谷）和支持活动（维修、材料控制、过程工程、质量控制）的人员之间，过程中不同的工序之间，供方和使用者之间，制造/装配车间和设计人员之间就有关过程性能的信息交流提供了通用的语言；

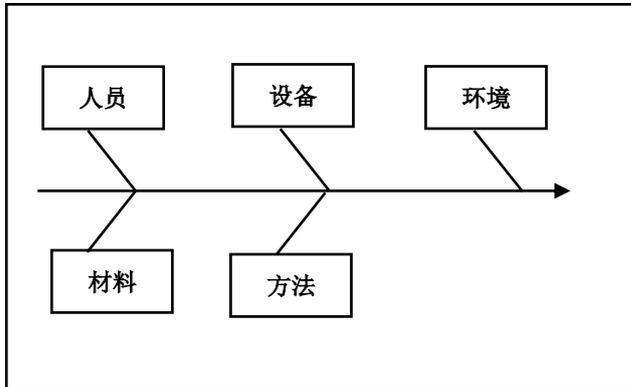
- 控制图，通过区分变差的特殊原因和普通原因，为人们就任何问题应采取适当的局部改进措施还是要求采取管理措施提供依据。这样可以减少混淆、挫折以及误导性解决问题的努力而造成的高成本。

本手册的其余内容是介绍控制图的制作及解释。在学习这些技术说明及建议时，最好要记住若想从控制图中得到的真正的好处就要掌握和有效地使用它。附录 C 提供的控制图选择表为在什么情况下使用什么控制图提供了帮助。

注：附录 I 提供了两个空白的控制图和过程记录表格的示例。如果使用其他形式的控制图，应至少包括以下内容：过程特性名称、零件号、特性描述、计量单位，0=_____（用于代码数据），抽样频率，样本容量，刻度描述（ \bar{X} ，中位数等），刻度值，子组数据，时间，操作员姓名或识别号，使用的量具或测量方法，记录过程注释的地方。

一个好语音是在每张控制图上列出测量设备的重复性和再现性（GR&R%）的数据，作为控制图解释的参考，同时强调了以这样的事实：已完成了测量系统分析。

与过程有关的控制图



测量结果

- 计量单位 (mm, kg 等)
- 原点 (0 mm, 32°F 等)

过程

结果举例	控制图举例
<ul style="list-style-type: none"> • 轴的外径 (英寸) • 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) 	用于均值测量的 \bar{X} 图 用于极差测量的 R 图

测量方法必须保证始终产生准确和精密的结果



*注：当前有的计量学书籍将准确度定义为没有偏倚。

图 6 计量型数据——测量中间或最终过程输出的结果

第 II 章

计量型数据控制图

当从一个过程中可得到测量值时，使用计量型数据的控制图是一种有力的工具。例如：轴承的直径、关门所用的力，或审查一张收据所用的时间等。计量型数据控制图——尤其是其最普通的形式，**X—R** 图——代表了控制图在过程控制中的典型应用。（见图 6）

计量型数据的控制图应用广泛，有如下原因：

1. 大多过程和其输出具有可测量的特性，所以其潜在应用广泛；
2. 量化的值（例如：“直径为 16.45mm”）比简单的是一否陈述（例如：“直径符合规范”）包含的信息更多；
3. 虽然获得一个测得的数据比获得一个通过或不通过的数据成本高，但为了获得更多的有关过程的信息而需要检查的件数却较少，因此，在某些情况下测量的费用更低；
4. 由于在作出可靠的决定之前，只需检查少量产品，因此可以缩短零件生产和采取纠正措施之间的时间间隔；
5. 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限界之内。这一点对寻求持续改进来说是很重要的。

计量型控制图可以通过分布宽度（零件间的变异性）和其位置（过程的平均值）来解释数据。由于这个原因，计量型数据用控制图应该始终成对准备及分析——一张图用于位置，另一张图用于分布宽度。最常用的是 **X** 和 **R** 图。**X** 是一个小的子组的平均值——是位置的量度；**R** 是每个子组的极差（最大值减去最小值）——分布宽度的量度。

本章第 1 节讨论中较长篇幅讨论 **X—R** 图，本章第二节讨论 **X** 和 **s** 图（**R** 图的替代），第三节讨论中位数图（平均值和极差图的简单替代图），本章第 4 节讨论用于单值的控制图（当必须在单值而不是子组的基础上作出决定时）。

使用控制图的准备

- 建立适用于实施的环境
- 定义过程
- 确定待管理的特性

考虑到：

- 顾客的需求
 - 当前及潜在的问题区域
 - 特性间的相互关系
- 确定测量系统
 - 使不必要的变差最小

第 1 节

均值和极差图 (X—R 图)

在使用 X—R 图之前，必须作几点适当的准备：

- 建立适合于实施的环境

除非管理者已准备好一个可靠的环境，否则任何统计方法都会失败。必须排除机构内阻碍人们公正的顾虑。管理者必须提供资源（人力和物力）来参与和支持改进措施。

- 定义过程

必须根据过程与其周围的其他操作和上下使用者之间的关系，以及每个阶段的影响因素（人、设备、材料、方法和环境）来理解过程。因果分析图、过程流程图等技术可以使这些更加直观并且让理解过程的不同方面的人员的经验集中起来。

- 确定作图的特性

用来确定这些特性的例子为通用公司的《关键特性命名系统》(见附件 H, 参考文献 24)。学习的重点应放在那些对过程改进有帮助的特性上[排列图 (Pareto) 原理的一个应用]。应适当考虑如下因素：

——顾客的需求：包括使用产品和服务作为输入的后续过程顾客和作为最终产品的顾客。了解这两种顾客的需求，询问他们过程何处需要改进，体现共同合作和理解的精神；

——当前的潜在问题区域：考虑存在的浪费或低效能力的证据（如：废品、返工、过长的加班时间、与目标值不符）以及有险情的区域（如：产品或服务的设计或过程中任何元素即将进行的变化）。这些是改进的机会，需要应用管理企业所涉及的知识；

——特性之间的相互关系：为了有效率及有效果地研究应利用特性间的关系。比如，如果关心的特性很难测量（比如体积），选择一个相关的容易测量的特性（比如重量）。另外，如果一具项目的几个单独的特性具有相同的变化趋势，可能只用一个特性来画图就足够了。注意：统计上的相关性不意味着变量之间存在因果关系。在缺乏现存过程的知识时，可能要设计一个试验来验证这些关系和重要性。

- 定义测量系统

必须可操作地定义其特性，这样，今天就可以以与昨天意义一样的方式将数据送给所有有关人员。这包括指明应收集哪些信息，在何处、如何以及在什么条件下收集。测量设备的本身的准确性和精密性必须是可预测的。周期性校正是不够的。有关这一主题的详细介绍见第 IV 节。这个特性的定义将影响所使用的控制图的类型——计量数据控制图，例如 X—R 图，或计数型数据控制图，见第 III 节描述。

- 使不必要的变差最小化

在开始研究之前应消除不必要的变差外部原因。这一点可能简单地意味着观察过程按预定的方式运行，或意味着用已知的输入材料恒定的控制设定值进行控制的研究。目的是避免甚至不用控制图就能纠正的明显问题、这些包括过度的过程调整或过度控制等。在所有情况下，过程记录表上应坚持记录所有相关事件，例如：刀具更换、新的原材料批次等，这将有利于下一步的过程分析。

图 7 X-R 图

A. 收集数据

成对使用的 \bar{X} -R 图是从对过程输出的特性的测量发展而来的。这些数据是以样本容量恒定的小子组的形式报出的，这种子组通常包括 2~5 件连续的产品，并周期性的抽取子组（例如：每 15 分钟抽样一次，每班抽样两次等）。应制定一个收集数据的计划并将它作为收集、记录及将数据画到控制图上的依据。

A. 1 选择子组大小、频率和数据（见图 7）

a. 子组大小——计量型控制图的第一关键步骤就是“合理子组”的确定——这一点将决定控制图的效果及效率。

选择子组应使得一个子组内在该单元中的各样之间出现变差的机会小。如果一个子组内的变差代表很短时间内的零件间的变差，则在子组之间出现不正常的变差则表明过程发生变化，应进行调查并采取适当的措施。

在过程的初期研究中，子组一般由 4 到 5 件连续生产的组合，仅代表单一刀具、冲头、模槽（型腔）等生产出的零件（即一个单一的过程流）。这样做的目的是每个子组内的零件都是在很短的时间间隔内及非常相似的生产条件下生产出来的并且相互之间不存在其他的系统的关系。因此，每个子组内的变差主要应是普通原因造成的。当这些条件不满足时，最后的控制图可能不会有效地区分变差的特殊原因，或可能出现本节 C.1.a 和 C.4.c 中所述的异常图形。对于所有的子组样本的容量应保持恒定。

b. 子组频率——其目的是检查经过一段时间后过程中的变化。应当在适当的时间收集足够的子组，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换班、或操作人员更换、温升趋势、材料批次等原因造成的。

在过程的初期研究中，通常是连续进行分组或很短的时间间隔进行分组，以便检查过程在很短的时间间隔内是否有其它不稳定的因素存在。当证明过程已处于稳定状态（或已对过程进行改进），子组间的时间间隔可能增加。对正在生产的产品进行监测的子组频率可以是每班两次、每小时一次或其他可行的频率。

c. 子组数的大小——子组数的大小应满足两个原则，从过程的角度来看，收集越多的子组可以确保变差的主要原因有机会出现，一般情况下，包含 100 或更多单值读数的 25 或更多个子组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。

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，只有它们是最接近的，并且对建立子组的基础很清楚的情况下才能使用。

注：为进一步了解分组对控制图解释的影响，参见附录 A。

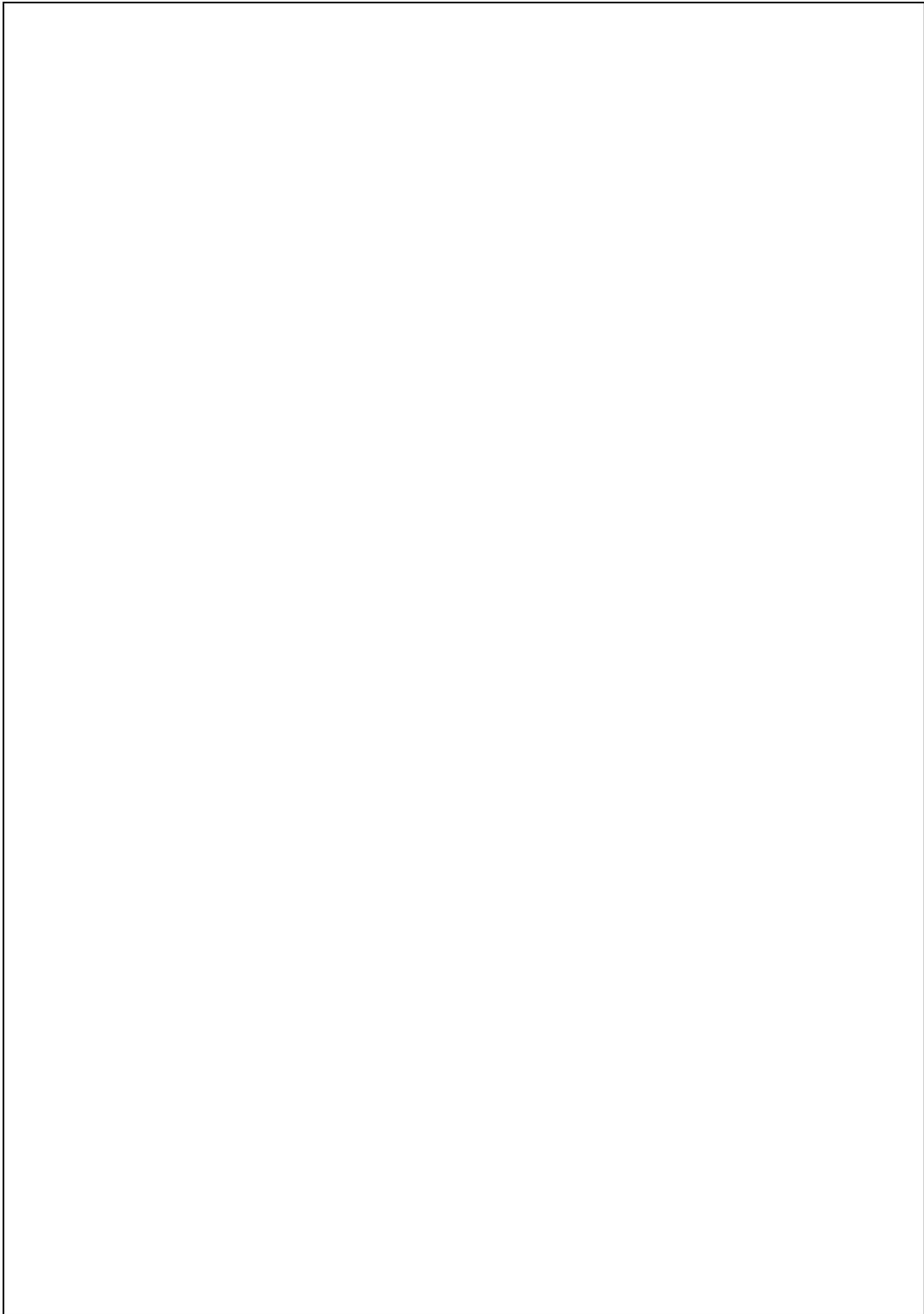


图 8 R 图——数据

A. 2 建立控制图及记录原始数据（见图 8）

\bar{X} -R 图通常是將 \bar{X} 图画在 R 图之上方，下面再接一个数据栏。 \bar{X} 和 R 的值为纵坐标，按时间先后的子组为横坐标，数据值以及极差和均值点应纵向对齐。

数据栏应包括每个读数的空间。同时还应包括记录读数的和、均值 (\bar{X})、极差 (R) 以及日期/时间或其他识别子组的代码空间。

填入每个子组的单个读数及识别代码。

A. 3 计算每个子组的均值 (\bar{X}) 和极差 (R) (见图 8)

画在控制图上的特性量是每个子组的样本均值 (\bar{X}) 和样本极差 (R)，合在一起后它们分别反映整个过程的均值及其变差。

对每个子组，计算：

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \cdots + X_n}{n}$$

$$R = X_{\text{最大值}} - X_{\text{最小值}}$$

式中： X_1 ， X_2 …为子组内的每个测量值。N 为子组的样本容量。

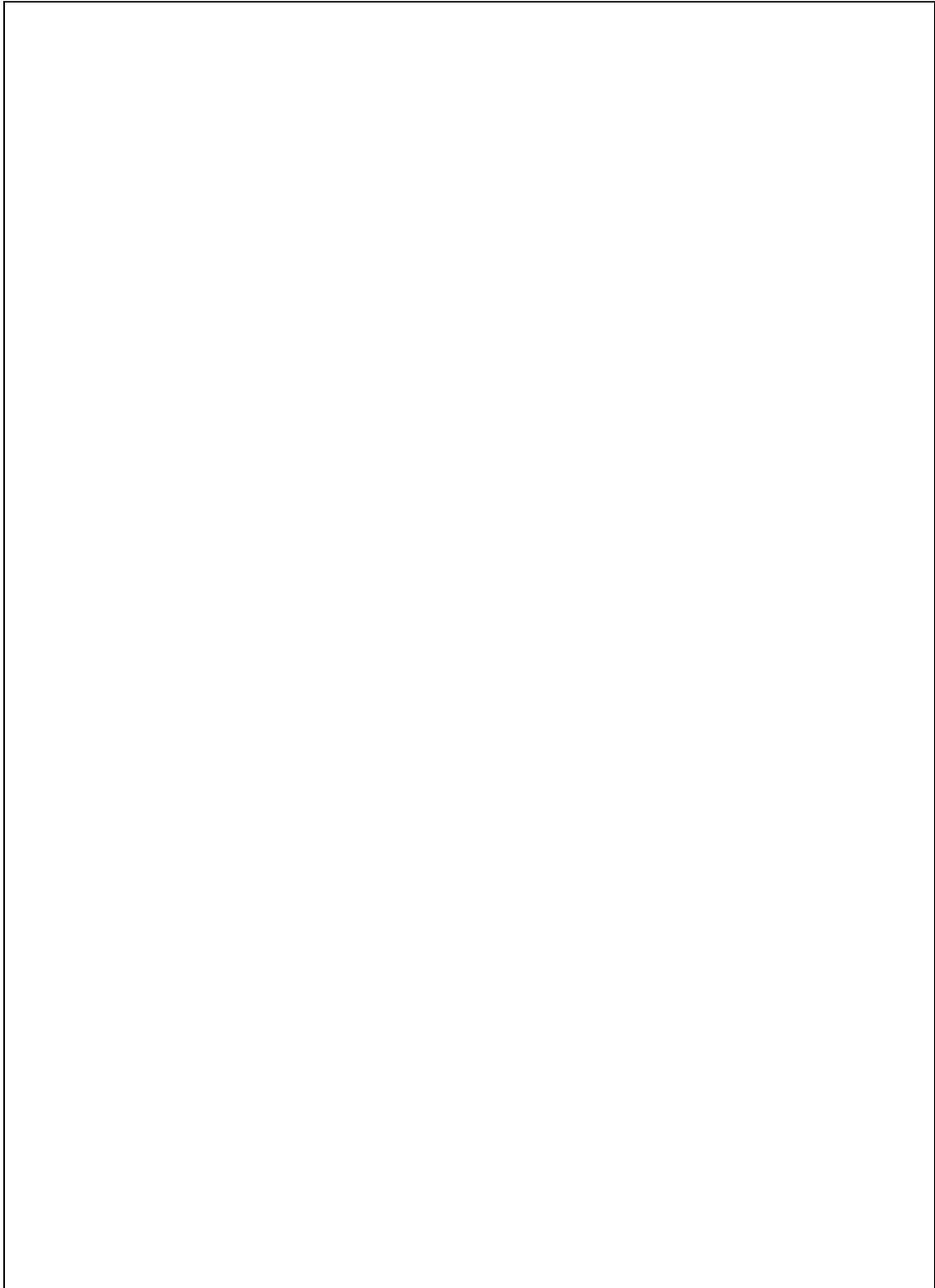


图9 \bar{X} -R 图——“初始研究”

A. 4 选择控制图的刻度（见图 9）

两个控制图的纵坐标分别用于 \bar{X} 和 R 的测量值，用于确定刻度值的一些通用的指南是有帮助的，尽管它们在特殊情况下可能要修改。对于 \bar{X} 图，坐标上的刻度值的最大值与最小值之差应至少为子组均值（ \bar{X} ）的最大与最小值差的 2 倍。对于 R 图，刻度值应从最低值 0 开始到最大值之间的差值为初始阶段所遇到的最大极差（ R ）的 2 倍。

注：一个有用的建议是将 R 图的刻度值设置为均值图的刻度值的 2 倍（例如：平均值图上 1 个刻度代表 0.01 英寸，则在极端差图上 1 刻度代表 0.02 英寸，在一般的子组大小情况下，均值和极差的控制限将具有大约相同的宽度，给分析以直观的帮助。

A. 5 将均值和极差画到控制图上（见图 9）

将均值和极差分别画在其各自的图上。该工作在确定了刻度以后尽快完成。将各点用直线联接起来从而得到可见的图形趋势。

简要地浏览一下所有画上去的点，看它们是否合理，如果有的点比别的点高得很鑫或低得很多，需确认计算及图是否正确，应确保所画的 \bar{X} 和 R 点在纵向是对应的。

注：为了再次强调生产现场的所有控制限的控制图的应用，还没有计算控制限（由于没有足够的数据）的初期操作控制图上应清楚地注明“初始研究”字样。这样，这些标有“初始研究”的控制图，不论是用于能力的初次确定还是用于过程经过改进/改变后的研究，是仅允许用在生产现场中还没有控制限的过程控制图。

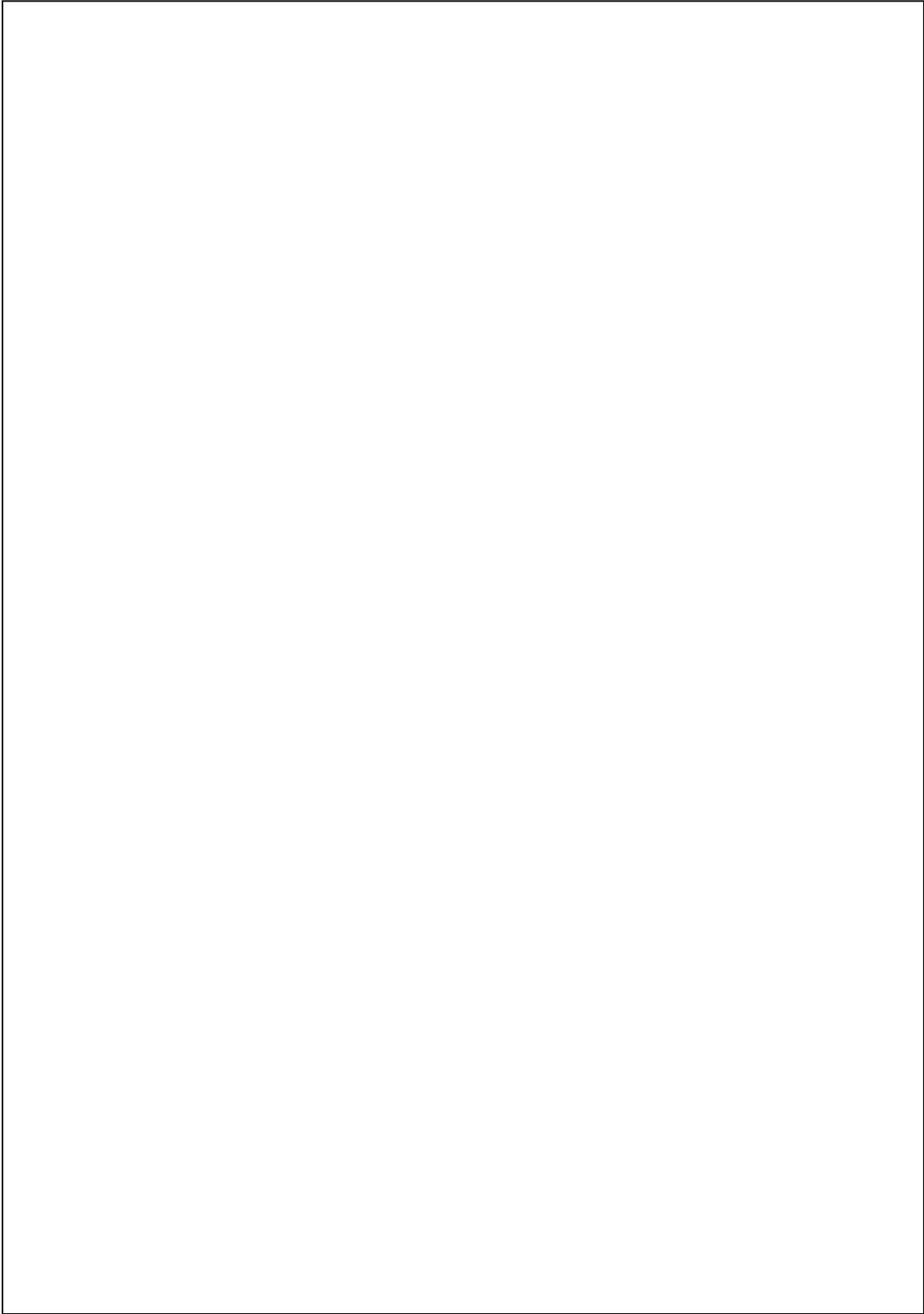


图 10 有控制限的 \bar{X} -R 图

B. 计算控制限

首先计算极差图的控制限，再计算均值图的控制限，计量型数据的控制图的控制限的计算要使用下列公式中的字母表示的系数。这些系数随着子组大小（n）的不同而不同，列在下面对应公式的表中，附录 E 提供了更完整的表。

B. 1 计算平均极差（ \bar{R} ）及过程均值（ \bar{X} ）（见图 10）

在研究阶段，计算：

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_k}{k}$$
$$\bar{X} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \dots + \bar{X}_k}{k}$$

式中：k 为子组的数量， R_1 和 \bar{X}_1 即为第 1 个子组的极差和均值， R_2 和 \bar{X}_2 为第 2 个子组的极差和均值，等等。

B. 2 计算控制限（见图 10）

计算控制限是为了显示仅存在变差的普通原因时子组的均值和极差的变化和范围。控制限是由子组的样本容量以及反映在极差上的子组内的变差的量来决定的。按下式计算极差和均值的上下控制限：

$$UCL_R = D_4 \bar{R}$$
$$LCL_R = D_3 \bar{R}$$
$$UCL_X = \bar{X} + A_2 \bar{R}$$
$$LCL_X = \bar{X} - A_2 \bar{R}$$

式中： D_4 、 D_3 、 A_2 为常数，它们随样本容量的不同而不同，下表是从附录 E 摘录的样本容量从 2 到 10 的一个表：

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D_4	3.27	2.57	2.28	2.11	2.00	1.92	1.86	1.82	1.78
D_3	*	*	*	*	*	0.08	0.14	0.18	0.22
A_2	1.88	1.02	0.73	0.58	0.48	0.42	0.37	0.34	0.31

*对于样本容量小于 7 的情况， LCL_R 可能技术上为一个负值。在这种情况下没有下控制限，这意味着对于一个样本数为 6 的子组，6 个“同样的”测量结果是可能成立的。

B. 3 在控制图上作出平均值和极差控制限的控制线（见图 10）

将平均极差（ \bar{R} ）和过程均值（ \bar{X} ）画成水平实线，各控制限（ UCL_R ， LCL_R ， UCL_X ， LCL_X ）画成水平虚线；把线标上记号，在初始研究阶段，这些被称为试验控制限。

图 11 R 图——有超出控制限的点存在（略）

C. 过程控制解释

对控制限的解释如下：如果过程的零件间的变异性 and 过程均值保持在现有的水平(如分别通过 **R** 和 **X** 来估计的), 单个的子组极差(**R**)和均值 (**X**) 会单独地随机变化, 但它们会很少超过控制限。而且, 数据中不会出现与由于随机变化产生的图形有明显不同的图形与趋势。分析控制图的目的在于识别过程变化性的任何证据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受统计控制——进而采取适当的措施。**R** 图和 **X** 图应分别分析, 但是对两个图形进行比较时, 有时可以帮助深入了解影响过程的特殊原因。

C. 1 分析极差图上的数据点

由于不论解释子组极差或子组均值的能力都取决于零件间的变差。因此首先分析 **R** 图。将数据点与控制限相比确定超出控制限的点或非随机的图形或趋势。

- a. **超出控制限的点** (图 11) ——出现一个或多个点超出任何一个控制限是该点处于失控状态的主要证据。因为在只存在普通原因引起变差的情况下超出控制限的点会很少, 我们便假设该超出的是由于特殊原因造成的。因此, 任何超出控制限的点是立即进行分析, 找出存在特殊原因的信号。给任何超出控制限的点作标记, 以便根据特殊原因实际开始的时间进行调查, 采取纠正措施 (见本节 c.2 段)。

超出极差上控制限的点通常说明存在下列情况中的一种或几种:

- 控制限计算错误或描点时描错;
- 零件间的变化性或分布的宽度已经增大 (即变坏), 这种增大的可以发生在某个时间点上, 也可能是整个趋势的一部分;
- 测量系统变化 (例如, 不同的检验员或量具);
- 测量系统没有适当的分辨力。

有一点位于控制限之下 (对于样本容量大于等于 7 的情况), 说明存在下列情况的一种或几种:

- 控制限或描点错误;
- 分布的宽度变小 (即变好);
- 测量系统已改变 (包括数据编辑或变换)。

控制限之内的图形或趋势——当出现非随机的图形或趋势时, 尽管所有的极差都在控制限之内, 也表明出现这种图形或趋势的时期内过程失迭或过程分布宽度发生变化。这种情况会给出首次警告: 应纠正不利条件。相反, 某些图形或趋势是好的, 并且应当研究以便使过程得到可能的永久性改进。比较极差和均值图的图形也可以更深刻

地理解。

b. **链**（见图 12）——在下列现象之一表明过程已改变或出现这种趋势：

- 连续 7 点位于平均值的一侧；
- 连续 7 点上升（后续等于或大于前点）或下降；

标记促使人们作出决定的点，并从这点做一条参考线延伸到链的开始点将是有帮助的。分析时应考虑开始出现改变或趋势的大致时间。

高于平均极差的链或上升说明存在下列情况之一或全部：

- 输出值的分布宽度增加，其原因可观胆无规律的（例如设备工作不正常或固定松动）或是由于过程中的某个要素变化（例如，使用新的不是很一致的原材料），这些都是常见的问题，需要纠正；

- 测量系统改变（例如，新的检验员或量具）。

低于平均极差的链，或下降链表明存在下列情况之一或全部：

- 输出值分布宽度减小，这常常是一个好状态，应研究以便推广应用和改进过程；

- 测量系统改变，这样会遮掩过程真实性能的变化。

注：当子组数（n）变得更小（5 或更小）时，低于 R 的链的可能性增加，则 8 点或更多点组成的链才能表明过程变差减小。

图 13 R 图—非随机模式

c. **明显的非随机图形**（见图 13）——除了会出现超过控制界的点或长链之外，数据中还可能出现其他的易分辨的由于特殊原因造成的图形。注意不要过分地解释数据，因为即使随机的数据（即普通原因）有时也可能表现出非随机（即出现特殊原因）的假象。非随机的图形例子：明显的趋势（尽管它们不属于链的情况），周期性，数据点的分布在整个控制限内，或子组内数据间有规律的关系等（例如：第一个读数可能总是最大值）。下列介绍一种验证子组内数据点的总体分布的准则：

各点与 R 的距离：一般地，大约 $2/3$ 的描点应落在控制限的中间三分之一的区域内，大约 $1/3$ 的点落在其外的三分之二的区域。

如果显著多于 $2/3$ 以上的描点落在离 R 很近之处（对于 25 个子组，如果超过 90% 的点落在控制限三分之一的区域），则应对下列情况的一种或更多进行调查：

- 控制限或描点已计算错或描错；
- 过程或取样方法被分层；每个子组系统化包含了从两个或多个具有完全不同的过程均值的过程流的测量值（例如：从几组轴中，每组抽一根，测取数据）^{*}；
- 数据已经过编辑（极差与均值相差甚远的几个子组被更改或删除）。

如果显著少于 $2/3$ 以下的描点落在离 R 很近的区域（对于 25 个子组，如果有 40% 或少于 40% 的点落在中间三分之一的区域），则应对下列情况的一种或两种进行调查：

- 控制限或描点计算错或描错；
- 过程或抽样方法造成连续的分组中包含从两个或多个具有明显不同的变化性的过程流的测量值（例如：输入材料批次混淆）。^{*}

如果存在几个过程流，应分别识别和追踪。^{*}

^{*}参见附录 A。

图 14 $\bar{X}-R$ 图—重新计算控制限（极差）（略）

C. 2 识别并标注特殊原因（极差图）（见图 14）

对于极差数据内每个特殊原因进行标注，作一个过程操作分析，从而确定该原因并改进对过程的理解；纠正条件并且防止它再发生。控制图本身就是问题分析的有用的工具，能提示何时该条件开始以及该条件持续多长时间。但是应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的变差而对过程改进起到积极作用。应对这些特殊原因进行评定。以便在过程的适当地方使之固定下来。

为了将生产的不合格输出减到最小以及获得诊断用的新证据，及时分析问题是重要的。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。对识别变差的特殊原因来说过程记录表可能也是一具有用的信息源。

应强调提解决问题通常是最困难最费时的一步。来自控制图的统计输入可以是一个合适的开始点，但其它的方法例如排列图，因果图或其他的图形分析法也是很有帮助的（参见附录 H，参考文献 11）。然而，对状态的解释最终在于过程以及与之有关的人。在对过程采取可显著改进性能的措施时，需要有彻底性、耐性、洞察力和理解力。

C. 3 重新计算控制限（极差图）（见图 14）

在进行初次过程研究或重新评定过程能力时，失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，以排除失控时期的影响。排除所有受已被识别并解决或固定下来的特殊原因影响的子组。然后重新计算新的平均极差（ \bar{R} ）和控制限，并画下来。确保当所有的极差与新的控制限比较时，表现为受控，如有必要重复识别/纠正/重新计算的过程。

由于出现特殊原因而从 R 图中去掉的子组，也应从 X 图中去掉。修改后的 \bar{R} 和 $\bar{\bar{X}}$ 可用于重新计算均值的试验控制限， $\bar{\bar{X}} \pm A_2 \bar{R}$ 。

注：排除代表不稳定条件的子组并不仅是“丢弃坏数据”。而是排除受已知的特殊原因影响的点，我们有普通原因引起的变差的基本水平的更好估计值。这为用来检验将来出现变差的特殊原因的控制限提供了最适当的依据。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）。

图 15 \bar{X} 图——超出控制限的点

C. 4 分析均值图上的数据点

当极差受统计控制时，则认为过程的分布宽度——子组内的变差——是稳定的。然后应对均值进行分析看看在此期间过程的位置是否改变。由于 \bar{X} 的控制限取决于极差图中变差大小，因此如果均值处于统计控制状态，其变差便与极差图中的变差——系统的普通原因变差有关。如果均值没有受控，则存在造成过程位置不稳定的特殊原因变差。

a. 超出控制限的点（见图 15）——出现一点或多点超出任一控制限就证明在这点出现特殊原因。这是立即对操作进行分析的信号在控制图上标注的这样的数据点。（见第 35 页）。

一点超过任一控制限通常表明存在下列情况之一或更多：

- 控制限或描点错误；
- 过程已改变，或是在当时的那一点（可能是一件独立的事件）或是一种趋势的一部分；
- 测量系统发生变化（例如：不同量具或检验员）。

图 16 \bar{X} 图—链（略）

控制限之内的图形或趋势——出现非随机图形或趋势证明在这和图形或趋势出现的时期内过程失控。比较极差图和均值图的图形是有帮助的。

b. 链（见图 16）——下列每一种情况都表明过程已开始变化或有变化的趋势：

- 连续 7 点在平均值的一侧；
- 7 点连续上升或下降。

标注这些促使人们作出决定的点；从该点做一条参考线延伸到链的开始点，分析时应考虑开始出现变化趋势或变化的时间。

与过程均值有关的链通常表明出现下列情况之一或两者：

- 过程均值已改变——也许还在变化；
- 测量系统已改变（飘移、偏倚、灵敏度等）。

图 17 \bar{x} 图—非随机模式

c. 明显的非随机图形（见图 17）——尽管必须注意不要过分解释数据，但其他一些特别的图形中也能表明存在变差的特殊原因。这些图形模式中有趋势、周期性，位于控制限点的异常分布宽度以及子组内数值之间的相关性等。下列给出检验异常分布宽度的准则：

各点与过程均值的距离：一般情况下，大约三分之二的描点应落在控制限三分之一的中间区域内，大约 1/3 的点落在其它三分之二区域；1/20 的点应落在控制限较近之处（位于外三分之一的区域）。另外，存在大约 1/150 的点落在控制限之外，但可认为是受控的稳定系统合理的一部分——就是说，在约 99.73% 的点位于控制限之内。

如果大超过 2/3 的点落在过程均值的附近（对于 25 个子组的情况，如果有 90% 多的点在控制限三分之一的中间区域），应调查下列情况之一或更多：

- 控制限或描点已计算错或描错或重新计算错；
- 过程或取样方法分层；每个子组包含从两个或多个具有不同的均值的过程流的测量值；
- 数据已被编辑。

如果大大少于 2/3 的数据点落在过程平均值的附近（对于 25 个子组的情况，如果有 40% 或少于 40% 的数据落在中间三分之一区域内），则应调查下列情况之一或两者：

- 控制限或描点计算错或描错；
- 过程或抽样方法造成连续的子组中包含从两个或多个不同的过程流的测量值*。（这可能是由于对可调整的过程进行过度控制造成的，这里进程改变是对过程数据中随机波动的响应**）。

如果存在几个过程流，应分别识别和追踪。*

* 参见附录 A 示例

** 见附录 B 示例

图 18 \bar{X} -R 图—重新计算控制限

C.5 识别和标注特殊原因（均值图）（见图 18）

对于均值数据中每一个显示处于失控状态的条件进行一次过程操作分析，以确定特殊原因的产生的理由，纠正该状态，并且防止它再现。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。同样要记住并不是所有的特殊原因都是不利的。（见第 38 页，C.2 节）

诸如排列图和因果分析图等对解决技术问题会有帮助(见附录 H, 参考文献 11)。

C.6 重新计算控制限（均值图）（见图 18）

当进行首次过程研究或重新评定过程能力时，要排除已发现并解决了的特殊原因的任何失控的点，重新计算并描画过程均值和控制限。确保当与新的控制限相比时，所有的数据点看起来都处于受控状态，如有必要，重复识别/纠正/重新计算的程序。

以上的讨论目的在于从功能上介绍控制图分析。但是其它考虑的事项也对分析人员有帮助。最重要的一点是提示，也就是即使是受统计控制的过程，随着更多的数据得到评审，从任何单个子组上得到特殊原因的错误信号的不变概率，将转变为增加在控制图上某处发现错误信号的可能性。

虽然将所有做了标记的事件作为特殊原因的可能的证据来调查是明智的，但应意识到它们可能是由于系统原因造成的，而应构成局部过程问题。如果没有明显的证据表明已发现过程的特殊原因，任何“纠正”措施将可能增加而不是减少过程输出的总变异。

解释，数据随机性验证及问题解决的进一步讨论，见附录 H，参考文献 7~13。

图 19 \bar{X} -R 图—延长控制限

C.7 为了继续进行控制延长控制限（见图 19）

当首批（或以往的）数据都在试验控制限之内，延长控制限使之覆盖将来的一段时期。如果过程中心偏离目标值，这时还希望调整过程使之对准目标（见第 22 页）。这些控制限可用来继续对过程进行监视，操作人员和当地检验人员根据 X 或 R 控制图上出现的失控状态的信号采取及时的措施。

子组容量的变化将影响期望的平均极差以及极差和均值图的控制限。这种情况可能会发生。例如：如果决定减小样本容量但增加抽样频率，这样可以在不增加每天抽样零件总数的情况下，更快地检测到大的过程变化。为了调整新的子组样本容量对应的中心线和控制限，应采取如下措施：

- a. 估计过程的标准偏差（用 $\hat{\sigma}$ 表示）用**现有的**子组容量计算：

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

式中 R 为子组极差的均值（在极差受控时期）， d_2 随样本容量变化的常数，下表从附录 E 中摘录：

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

- b. 按照新的子组容量查表得到系数 d_2 、 D_2 、 D_3 、和 A_2 ，计算新的极差和控制限：

$$\bar{R}_{\text{新}} = \hat{\sigma}d_2$$

$$UCL_R = D_4 \bar{R}_{\text{新}}$$

$$LCL_R = D_3 \bar{R}_{\text{新}}$$

$$UCL_X = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R}_{\text{新}}$$

$$LCL_X = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}_{\text{新}}$$

将这些的控制限画到控制图上，并作为不断进行的过程控制的基础。

只要过程的均值和极差保持受控，可将控制限延长用于以后的时期。但是，如果有证据表明过程的均值或极差已被改变（不论在哪个方向），应查明原因；如果变化是可调整的，则应根据当前的性能重新计算控制限。

C.8 有关“控制”的最后概念——用于进一步的考虑

“在一个生产过程中永远无法达到一种完美的控制状态。过程控制图的目的是完美的而是合理、经济的控制状态。因此，在实践中，一个受控的过程并不是图上无任何失控之处的过程。如果一张控制图上从来不出现失控点，我们将严肃地查问该操作是否应画图。对于车间目的来说，一个受控的过程即是仅有很少百分比的点失控并且对失控点采取过适当的措施。”（摘自于附录 H，参考文献 7 第 220~221 页）。

图 20 相对于规范限界的过过程变差（略）

显然，统计控制有不同的水平或程度。所使用的控制定义，其范围从仅分析离群值（超出控制限）到链，趋势和发展，到全区域分析。当所使用的控制定义发展到全区域分析时，发现失去控制的机会就增加（比如：没有离群值的过程可能通过一个处于控制限之内明显的链而表现出失控）。由于这些原因，所使用的控制定义应与你检查控制点这个状态的能力一致，并且在同一过程一个时期内保持一致。由于操作者处于培训阶段的初期，或操作者缺少经验，一些供方在车间不能适时地应用更充分的控制定义。适时地检查某控制点是否失控是控制图的优点。对数据的过分解会对保持真正的经济控制状态中带来危害。

D. 过程能力解释

继续使用图 18 的例子来讨论下列假设下的过程能力的解释：

- 过程处于统计稳定状态；
- 过程和各测量值服从正态分布；
- 工程及其它规范准确地代表顾客的需求；
- 设计目标值位于规范的中心；
- 测量变差相对较小。

如果已经确定一个过程已处于统计控制状态，还存在过程是否有能力满足顾客需求的问题，为了理解和提高过程的能力，在思想必须发生一个重要的转变：能力反映普通原因引起的变差，并且几乎总是要对系统采取管理措施来提高能力（见图 20）。

在解决了 \bar{X} 和 R 两个图上的控制问题（特殊原因的识别、分析、纠正并防止重视），并且现行的控制图反映过程处于统计控制状态（最好是 25 个以上的子组）之后开始过程能力的评定。一般情况下，将过程输出的分布与工程规范相比，看是否始终满足这些规范。

有许多技术可用来评定处于统计控制状态过程的能力。有的假设过程输出服从钟形的正态分布。如果不知道分布是否是正态分布，则应进行正态性检验使用诸如审查直方图，在正态分布纸上描点，或使用更精确的方法（见附录 H，参考文献 9，第 27 章）来验证过程分布是否服从正态分布。如果怀疑或已确定不是正态分布，则应使用可变通的技术，例如将数据转化成正态分布，（参考附录 H，参考文献 14，第 2 部分）计算机曲线拟合或图形分析。当分布图形是正态的，则可使用下述的技术。该技术只包括以控制图上的数据为基础的简单计算，用过程均值 $\bar{\bar{X}}$ 作为分布的位置，用标准偏差来表示测量的分布宽度，标准差是用包含平均极差 \bar{R} 的简单公式计算出来的。

从示例得出：

图 21 计算过程能力

注意：任何能力分析技术，不管它看起来多么精确，也只能得到大概的结果。这是因为：(1) 总是存在一些抽样变差，(2) 没有“完全”受统计控制的过程，(3) 没有一个实际的输出“准确”服从正态分布（或其他任何简单分布）。使用最后结果时一定要小心，解释应有保留。

D. 1 计算过程的标准偏差

由于子组内过程的变异性是通过子组的极差来反映的，所以可以使用平均极差 \bar{R} 来估计过程的标准偏差 σ 。计算：

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

式中 \bar{R} 是子组极差的平均值（对极差受控的时期） d_2 是随样本容量变化的常数，见下面从附录 E 摘录的表：

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

只要过程的极差和均值两者处于统计控制状态，则可用估计的过程标准偏差（ $\hat{\sigma} R/d_2$ ）来评价过程的能力。

D. 2 计算过程能力（见图 21）

过程能力是指按标准偏差为单位来描述的过程均值与规范界限的距离，用 Z 表示。画了张显示分布曲线， \bar{X} ， $\hat{\sigma} R/d_2$ ，规范界限及 Z 值的图是有帮助的。

- 对于单边容差，计算：

$$Z = \frac{USL - \bar{X}}{\hat{\sigma}R/ d_2} \quad \text{或} \quad Z = \frac{\bar{X} - LSL}{\hat{\sigma}R/ d_2} \quad (\text{选择合适的})$$

式中：SL=规范界限， \bar{X} =测量的过程均值， $\hat{\sigma} R/d_2$ =估计的过程标准偏差。

- 对于双边容差，计算：

$$Z_{USL} = \frac{USL - \bar{X}}{\hat{\sigma}R/ d_2} \quad Z_{LSL} = \frac{\bar{X} - LSL}{\hat{\sigma}R/ d_2}$$

$$Z_{min} = Z_{USL} \text{ 或 } Z_{LSL} \text{ 的最小值}$$

式中：USL, LSL=规范上限和下限； Z 值为负值说明过程均值超过规范。

可使用 Z 值和标准正态分布表（附录 F）来估计多少比例的输出会超出规范值（是一个近似值，假设过程处于统计控制状态并呈现正态分布）：

- 对于单边容差，沿着附录 F 表的边缘，找到 Z 值。表的左边为 Z 的整数部分和十分位值，上端为 Z 值的百分位值，行和列的交点的值即为超出规范的百分比 P_z 。例如，对于 $Z=1.56$, 1.5 行和 x. x6 列的交点得到 $P_z=0.0594$ ，或大约 6%：

从示例可得出：

如果用 Z_{min} 表示过程能力的要求是 $Z_{min} \geq 4$ ，那么目前的过程能力是不可接受的，因为 $Z_{min}=2.23$ ，并且有大约 1.3% 的产品超出规范，即使能把过程向中心调整后 $Z_{min}=2.76$ 也不行，必须采取措施。

• 为了改进过程的实际能力（长期目标），必须减少普通原因变差：这一点可用减小 σ 来达到。用现在的过程均值 \bar{X} 来计算相对于现在的规范 $Z_{min}=4$ 情况下，所需的分布宽度：

$$\sigma_{新} = \frac{USL - \bar{X}}{Z_{min 新}} \quad \text{或} \quad \sigma_{新} = \frac{\bar{X} - LSL}{Z_{min 新}}$$

取决于哪个规范界限离过程均值更近，由于在这里 USL 是最近的界限，则

$$\sigma_{新} = \frac{0.900 - 0.738}{4} = \frac{0.162}{4} = 0.0405$$

这意味着必须采取措施使过程的标准偏差从 0.0725 减少到 0.0405, 大约提高 44%。

如果通过控制图已证实过程已经过向中心调整，且 $\bar{X}_{新}=0.700$ 则根据现行的规范 $Z_{min}=4$ ($\bar{X} \pm 4\sigma$)，所需的过程分布宽度为：

$$\sigma_{新} = \frac{USL - \bar{X}_{新}}{Z_{min 新}} = \frac{0.900 - 0.700}{4} = \frac{0.200}{4} = 0.0500$$

在将过程调整到规范的中心时，需要采取措施将过程的标准偏差从 0.0725 减少到 0.0500, 大约 30%。

- 如果对所有的产品进行筛选，大约 1.3%（如果向中心高速的话大约 0.6%）必须报废或返工, 这是很不经济且不可靠的。
- 在某些情况下, 短期替代办法可能是增加规范的容差。

如果过程不要经过改变, 新的 $\bar{X} \pm 4\sigma$ 规范应为：

$$\begin{aligned} \bar{X} \pm 4\sigma &= 0.738 \pm 4 \times 0.0725 = 0.738 \pm 0.290 \\ &= 0.410 \sim 1.028 \text{ (圆整为: } 0.45 \sim 1.03) \end{aligned}$$

如果过程已经调整并经控制图证实 $\bar{X}_{新}=0.700$ (向中心调整), 新的 $\bar{X} \pm 4\sigma$ 规范应为：

$$\begin{aligned} \bar{X} \pm 4\sigma &= 0.700 \pm 4 \times 0.0725 = 0.700 \pm 0.290 \\ &= 0.410 \sim 0.990 \text{ (圆整为: } 0.40 \sim 1.00) \end{aligned}$$

图 22 评价过程能力

• 对于双向容差,分别计算超过上、下规范界限的百分比。例如,如果 $Z_{USL}=2.21, Z_{LSL}=-2.85$, 则总的超出规范界限的值 $P_{ZUSL}+P_{ZLSL}=0.0136+0.0022=0.0158$ 或大约为 1.6%。

Z_{min} 也可转化为能力指数 C_{PK} , 按下式定义:

$C_{PK} = \frac{Z_{min}}{3} = CPU$ (即 $\frac{\bar{X} - LSL}{3\sigma}$) 或 CPL (即时 $\frac{USL - \bar{X}}{3\sigma}$) 的最小值

式中: USL 和 LSL 为工程规范上、下限, \bar{X} 为过程均值, σ 为过程材料偏差, 由 R/d_2 计算得到。

$Z_{min}=3$ 的过程, 其能力指数 $C_{PK}=1.00$; 如果 $Z_{min}=4$, 则过程能力指数为 $C_{PK}=1.33$ 。

D. 3 评价过程能力 (见图 22)

涉及到这个问题, 过程已处于统计控制状态并且其能力指数已用 Z_{min} 或 C_{PK} 来描述。下一步是根据是否符合顾客的要求来评价过程能力。

基本的目标是对过程的性能进行持续改进。但是在近期, 首先应考虑的是哪些过程应优先获得注意。这是一个必要的经济性的决定。情况各不相同, 取决于有问题的特定过程的实质以及其它也需要立即采取改进措施的过程性能。

虽然每个决定可以单独地执行, 但使用更广泛的指南来设定优先顺序和促进改进工作的持续性常是有帮助的。例如, 某些程序的全面能力指数要求 $Z_{min} \geq 3$, 或 $C_{PK} \geq 1.00$, 对于影响被选重要产品特性的新过程的能力指数要求为 $Z_{min} \geq 4$ 或 $C_{PK} \geq 1.33$ 。这些要求意在保证特性、产品及制造资源各方面一致的内容, 请查阅本章第 5 节。

不论是对未满足的能力指数值作出响应, 或是为超过最低能力指数要求对持续改进成本和质量性能作出响应, 所要求的措施是相同的;

• 通过减少普通原因引起的变差或将过程均值调整到接近目标值方法来改进过程性能, 这通常意味着要采取措施来改进系统;

在那些要采取更为紧急措施来满足短期需要的情况, 可用以下两种临时的办法:

• 对输出进行筛选, 根据需要进行报废或返工处置 (这样会增加成本和容许浪费);

• 改变规范使之与过程性能一致 (这样既不能改进过程也不能满足顾客要求)。

以上两种方法与过程改进相比显然是下策。

提高过程能力

为了提高过程能力（从而改进性能），将精力集中在减少普通原因上，为此通常要求对系统采取管理措施，加以纠正

对改变的过程制作控制图并分析

通过连续监视控制图确保系统改进的有效性

D. 4 提高过程能力

为了提高过程能力，必须重视减少普通原因。必须将注意力直接集中在系统中，即造成过程变异性的根本因素上，例如：机器性能、输入材料的一致性、过程操作的基本方法、培训方法或工作环境。一般来说，纠正这些造成不可接受的过程能力的系统原因可能会超出操作者或他们的现场管理人员的能力。相反，需要采取管理层介入做一些基本的变化、分配资源，并为改进过程的整个性能进行协调。用短期的局部措施来纠正系统是不会成功的。

在附录 H 所列的若干参考文献中都对分析系统变异性技术进行了讨论。基本的解决问题技术如排列图分析及因果分析是很有帮助的（见附录 H，参考文献 11）。然而，为了显著减少变差可能有必要使用更高级的过程分析方法，包括诸如试验设计等统计技术。附录 H 中参考文献 7~13 介绍了这些更先进的方法。

D. 5 对修改的过程绘制控制图并分析

对过程已采取了系统的措施后，其效果应在控制图上表现出来。控制图便成了验证措施是否有效的一种方式。

在对过程实施改变时，应仔细地监视控制图。在该变化期间会使操作发生混乱，有可能造成新的控制问题，掩盖系统变化的真实效果。

在变化时期的所有不稳定的因素都能解决后，应评定新的过程能力并将它作为将来操作控制限的基础，通常情况下，变化后用 25 个子组的数据足以建立新的控制限。

数据收集 底漆厚度(微米)

样本容量—每天2次每次10个连续的零件

	1-11 1	2	1-12 1	2	1-13 1	2	1-14 1	2	1-15 1	2	1-18 1	2	1-19 1	2
1	1.30	1.01	1.22	1.08	.98	1.12	.92	1.04	1.08	1.20	1.25	1.24	1.13	1.08
2	1.10	1.10	1.05	1.12	1.30	1.30	1.10	1.14	.92	1.13	.91	1.34	1.16	1.31
3	1.20	1.15	.93	1.11	1.31	1.01	1.13	1.18	1.14	1.19	.96	1.40	1.12	1.12
4	1.25	.97	1.08	1.28	1.12	1.20	1.02	1.12	1.20	1.15	1.04	1.26	1.22	1.18
5	1.05	1.25	1.15	1.00	1.08	1.11	.03	1.00	1.02	1.03	.93	1.13	1.12	1.15
6	.95	1.12	1.27	.95	1.10	.93	1.17	1.02	1.04	1.25	1.08	1.15	1.07	1.17
7	1.10	1.10	.95	1.15	1.15	1.02	1.24	1.05	.94	1.20	1.29	1.08	1.04	.98
8	1.16	.90	1.11	1.14	1.35	1.25	.98	1.34	.105	1.24	1.42	.102	1.28	1.05
9	1.37	1.04	1.12	1.28	1.12	1.05	1.34	1.12	1.12	1.10	1.10	1.05	1.12	1.00
10	.98	1.08	1.10	1.31	1.26	1.10	1.12	1.05	1.06	1.03	1.00	1.18	1.10	1.26
X	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
S	.136	.098	.106	.120	.121	.115	.136	.101	.086	.079	.170	.125	.070	.107
	1-20		1-21		1-22									
	1	2	1	2	1	2								
1	1.08	1.14	1.06	1.14	1.07	1.13								
2	1.26	1.02	1.12	1.22	1.05	.90								
3	1.13	1.14	.98	1.18	.97	1.12								
4	.94	.94	1.12	1.27	1.05	1.04								
5	1.30	1.30	1.20	1.17	1.16	1.40								
6	1.15	1.08	1.02	1.26	1.02	1.12								
7	1.07	.94	1.19	1.15	1.14	1.15								
8	1.02	1.12	1.03	1.07	1.07	1.01								
9	1.22	1.15	1.02	1.02	1.00	1.30								
10	1.18	1.36	1.09	1.36	1.06	1.14								
X	1.14	1.12	1.08	1.18	1.06	1.13								
S	.111	.137	.074	.099	.059	.141								

图 23 数据收集

第 2 节

均值和标准差图(\bar{X} -s 图)

象 \bar{X} -R 图一样, \bar{X} -s 图也是从测得的过程输出数据中发展来的。并且通常也是成对使用。由于极差容易计算且对样本容量较小的子组 (尤其是小于 9 的) 较为有效。所以研究出了极差图来俄国过程变差的情况。但是, 它计算起来比较复杂, 而且不容易检查出仅因子组内单个值异常造成变差的特殊原因。一般说来, 当出现下列一种或多种情况时用 s 图代替 R 图:

- 数据是由计算机按实时时序记录和/或描图的, 则 s 的计算程序容易集成化;

- 有方便适用的袖珍计算器使 s 的计算能简单按程序算出;
- 使用的子组样本容量较大, 更有效的变差量度是合适的。

\bar{X} -s 图的详细说明与 \bar{X} -R 图的很相似; 不同之处如下:

A. 收集数据

(见本章第 1 节第 A 部分, 不同之处如下)

- 如果原始数据量大, 常将他们记录在单独的数据表上 (见图 23), 只有每组的 \bar{X} 和 s 出现在图上;
- 利用下列公式之一计算每个子组的标准差:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

或

$$s = \sqrt{\frac{\sum X_i^2 - n\bar{X}^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{X_1^2 + nX_2^2 + \cdots + X_n^2 - n\bar{X}^2}{n-1}}$$

式或: X_i , \bar{X} 和 n 分别代表子组的单值, 均值和样本容量。

注: 如果按一般计算写法不要对 X 值进行圆整。

s 图的刻度尺寸应与相应的 \bar{X} 图的相同。

图 24 X 和 s 图 (略)

B. 计算控制限（见图 24）

（参见本章第 1 节 B 部分，不同之处如下）

- 计算标准差和均值的上、下控制限（ $UCL_S, LCL_S, UCL_X, LCL_X$ ）:

$$UCL_S = B_4 \bar{s}$$

$$UCL_X = \bar{X} + A_3 \bar{s}$$

$$LCL_S = B_3 \bar{s}$$

$$LCL_X = \bar{X} + A_3 \bar{s}$$

式中： \bar{s} 为各子组样本标准差的均值， B_4 、 B_3 和 A_3 随样本容量变化的常数，下表是从附录 E 摘录的样本容量为 2 到 10 的常数值：

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
B_4	3.27	2.57	2.27	2.09	1.97	1.88	1.82	1.76	1.72
B_3	*	*	*	*	0.03	0.12	0.19	0.24	0.28
A_3	2.66	1.95	1.63	1.43	1.29	1.18	1.10	1.03	0.98

*在样本容量低于 6 时,没有标准差的下控制限。

C. 过程控制解释

（参见本章第 1 节 C 部分）

D. 过程能力解释

（参见本章第 1 节 D 部分，不同之处如下）

- 估计过程标准差：

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

式中： \bar{s} 是样本标准差的均值（标准差受控制时期的）， c_4 为随样本容量变化的常数，下表为附录 E 摘录的样本容量从 2 到 10 的 c_4 值：

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
c_4	0.798	0.886	0.9214	0.940	0.952	0.959	0.965	0.969	0.973

*如果过程服从正态分布,只要均值和标准差均处于控制状态,可用 $\hat{\sigma}$ 的估计值来直接评价过程能力。

图 25 中位数控制图（略）

第 3 节 中位数数 (\tilde{X} -R 图)

中位数图 (见图 25) 用可代替 \bar{X} -R 图用于测量的数据过程控制, 尽管中位数在统计意义上不如均值那样理想, 但中位数可产生相同的结论并具有如下优点:

- 中位数易于使用, 并不要求很多计算。这样可以使车间工人易于接受控制图方法。
- 由于描的是单值的点 (以及中位数), 中位数图可显示过程输出的分布宽度并且给出过程变差的趋势;
- 由于一张图上可显示中位数及分布宽度, 所以它可用来对几个过程的输出或同一过程的不同阶段的输出进行比较;
- 中位数图的详细说明与 \bar{X} -R 图类似, 不同之处如下:

A. 收集数据

(见本章第节 A 部分, 不同之处如下)

- 一般情况下, 中位数图用在子组的样本容量小于或等于的情况, 样本容量为奇数时更方便。如果子组样本容量为偶数, 中位数是中间两个数的均值;
- 只要描一张图, 刻度的设置为下列的较大者 (a) 产品规范容差加上允许的超出规范的读数或 (b) 测量值的最大值与最小值之差的 1.5 到 2 倍。图的刻度应与量具一致;
- 将每个子组的单值描在图中一条垂直线上, 圈出每个子组的中位数 (中间值: 如果样本容量为偶数, 中位数为中间两个数值平均值)。为帮助解释其趋势, 将各子组的中位数用直线连接起来;
- 将每个子组中位数 (\tilde{X}) 和极差 (R) 填入数据表。建议同时画出极差图来观察极差的趋势或链。

B. 计算控制限

(见本章第 1 节 B 部分, 不同之处如下)

- 计算子组中位数的均值, 并在图一画上这条线作为中心线; 将此值记为 \bar{X} ;
- 计算极差的平均值, 记为 \bar{R} ;
- 计算极差和中位数的上、下控制限 ($UCL_R, LCL_R, UCL_X, LCL_X$):

$$UCL_R = D_4 \bar{R}$$

$$LCL_R = D_3 \bar{R}$$

$$UCL_X = \bar{X} + \bar{A}_2 \bar{R}$$

$$LCL_X = \bar{X} - \bar{A}_2 \bar{R}$$

图 26 中位数控制图—解释（略）

式中： D_4 、 D_3 和 \bar{A}_2 是随样本容量变化的常数，下表为人附录 E 摘录的样本容量从 2 到 10 的常数值：

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D_4	3.27	2.57	2.28	2.11	2.00	1.92	1.86	1.82	1.78
D_3	*	*	*	*	*	0.08	0.14	0.18	0.22
\bar{A}_2	1.88	1.19	0.80	0.69	0.56	0.51	0.43	0.41	0.36

*对于样本容量小于 7 时，没有极差的控制下限。

*在控制图上表明中位数控制线

C. 过程控制解释

（见本章第 1 节 C 部分，不同之处如下）

- 将每个计算的极差与 UCL_R 和 LCL_R 行比较。或者，将与极差控制限对应的点标在个特制卡片的边缘上，将这些标记与每个子组内最大值和最小值之间的距离进行比较。在超过极差界的子组上画一窄的垂直框；

- 标注超出中位数控制限的子组的中位数，并注意在控制限之内的中位数的分布范围（ $1/3$ 的点位于中间三分之一控制限之内）或存在在图形或趋势（见图 26）；

- 对影响极差或中位数的特殊原因采取适当的措施。

D. 过程能力解释

（见本章第 1 节 D 部分，不同之处如下）

- 估计过程标准偏差：

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

式中： \bar{R} 为样本极差的均值（在极差受控时期内）， d_2 为随样本容量变化的常数，下表为从附录 E 摘录的样本容量从 2 到 10 的 d_2 值：

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

- 如果过程服从正态分布，只要中位数和极差处于统计控制状态，则可直接用 σ 估计来评价过程能力。

E. 中位数图的替代方法

对于现行过程控制，其控制限是由先前收集的数据得到的，画图过程可简化如下：

- 使用一个图，其刻度增量的设置与使用的量具一样（在产品规范值内至少有 20 个刻度值）并画上已填入的中位数的中心线和控制限；
- 使用一张卡片（可能用塑料的）标上极差的控制限，假设有影响极差的特殊原因会产生失控的点而不只是趋势；
- 操作者将每个单值点标在图上，但不需要将这些数据记录下来；
- 操作者将极差卡片与每个子组的最大标记点和最小标记点进行比较，对任何超出卡片上的控制限的子组用窄垂直框圈上；
- 操作者对计算出每个子组的中位数并圈上，标注任何超出任一个控制限的中位数；
- 对于超过控制限之外的极差或中位数，操作者可采取适当的措施来调整或纠正过程，或者通知管理人员或支持人员。

图 27 单值移动极差图（略）

第 4 节

单值和移动极差图 (X—MR)

在某些情况下，有必要用单位而不是子组来进行过程控制，在这样的情况下，子组内的变差实际上为 0，这种情况通常发生在测量费用很大时（例如破坏性试验），或是当在任何时刻点的输出性质比较一致时（例如：化学溶液的 pH 值）。在这些情况下，可按下面介绍的方法绘制单值控制图，但要注意下面 4 点：

- 单值图在检查过程变化时不如 X—R 图敏感；
- 如果过程的分布不是对称的，则在解释单值控制图时要非常小心；
- 单值控制图不能区分过程的零件间重复性，因此，在很多情况下，最好还是使用常规的子组样本容量较小（2 到 4）的 X—R 控制图，尽管在子组间都要求较长的时间；
- 由于每一子组仅有一个单值， \bar{X} 和 σ 值会有较大的变异性，（即过程是稳定的）直到子组数达到 100 以上为止。

单值控制图的详细介绍与 X—R 图有些相同，不同之处如下：

A. 收集数据（见图 27）

（见本章第 1 节 A 部分，不同之处如下）

- 在数据图上从左至右记录单值读数（X）。
- 计算单值间的移动极差（MR）。通常最好是记录每对连续读数间的差值（例如：第一和第二个读数点的差，第二和第三个读数间的差等）。这样移动极差的个数比单值读数的个数少一个（25 个读数可得到 24 个移动极差）。在很少的情况下，可在较大的移动组（例如 3 或 4 个（或固定的子组（例如所有的读数均在一个班上读取）的基础上计算移动极差。注意，尽管测量是单独抽样的，但是读数的个数形成移动极差的成组（例如，2、3 或 4）决定了各义样本容量 n，当查系数表时必须考虑该值；

• 单值图（X 图）的刻度按下列最大者选取（a）产品的规范容差加上超过规范的读数的允许值，或（b）最大单值读数与最小单值读数之差的 1.5 到 2 倍。移动极差（MR）图的刻度间隔与 X 图一致。

B. 计算控制图

（见本章第 1 节 B 部分，不同之处如下）

- 计算并描绘过程均值（单值读数之和除以读数的个数，按常规记为 \bar{X} ，见附录术语，并计算平均极差（R），注意对于样本容量为 2 的移动极差，其移动极差（MR）的个数比单值读数的个数少 1；

图 28 单值和移动极差图的解释 (略)

- 计算控制限:

$$UCL_{MR} = D_4 \bar{R}$$

$$LCL_{MR} = D_3 \bar{R}$$

$$UCL_X = \bar{X} + E_2 \bar{R}$$

$$LCL_X = \bar{X} - E_2 \bar{R}$$

式中: \bar{R} 为移动平均极差, \bar{X} 是过程均值, D_4 、 D_3 和 E_2 是用来对计算移动极差进行分组, 并随样本容量变化的常数, 见下面从附录 E 的表:

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D_4	3.27	2.57	2.28	2.11	2.00	1.92	1.86	1.82	1.78
D_3	*	*	*	*	*	0.08	0.14	0.18	0.22
\bar{A}_2	1.88	1.19	0.80	0.69	0.56	0.51	0.43	0.41	0.36

*对于样本容量小于 7 时, 没有极差的控制下限。

注: 当 R 大于中位数极差 \bar{R} 时 (这种情况常见), 另一种计算控制限的方法是, 使用样本容量为 2 的移动极差的中位数极差, 按下式计算控制限 (见附录 H, 参考文献 23):

$$UCL_{MR} = 3.865 \bar{R}; \quad LCL_{MR} = 0$$

$$UCL_X = \bar{X} + 3.14 \bar{R}; \quad LCL_X = \bar{X} - 3.14 \bar{R}$$

C. 过程控制解释 (见图 28)

(见本章第 1 节 C 部分, 不同之处如下)

- 审查移动极差图中超出控制限的点, 这是存在特殊原因的信号。记住连续的移动极差间是有联系的, 因为它们至少有一点是共同的。由于这个原因, 在解释趋势时要特别注意。对于趋势的解释可能要请教统计学家;

- 可用单值图分析超出控制限的点, 在控制限内点的分布, 以及趋势或图形。但是这需要注意, 如果过程分布不是对称的, 用前面所述的用于 \bar{X} 图的规则来解释时, 可能会给出实际上不存在的特殊原因的信号。

D. 过程能力解释

(见本章第 1 节 D 部分, 不同之处如下)

- 与 $\bar{X}-R$ 图一样, 可用下式估计过程的标准差:

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

式中： \bar{R} 为移动极差的均值， d_2 是用于对移动极差分组的随样本容量 n 而变化的常数，见下面从附录 E 摘录的部分表：

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

- 如果过程处于正态分布，只要过程处于统计控制状态，就可直接用 σ 的估计值评价过程能力。

第 5 节

计量型数据的过程能力和过程性能的理解

一个统计稳定（受控）的制造过程的输出可用其分布来描述。该分布的特性用来评价该过程。例如，通常感兴趣的特性是分布的中心，如果分布没有适当地定位，则该制造过程北朝鲜生产与目标值不太符合的产品。在这种情况下，一些零件甚至会超出规范。那么具有这样一个分布的过程便会被评价为不能符合顾客的需求的过程。如果分布范围太宽（太分散），不管其分布位置在哪，也都可能出现同样的问题。由于不能确切地知道分布的特性，所以必须收集数据来估计它们。

本节介绍一些技术来估计与规范有关的分布特性的确定性。这里要重新强调产生数据的过程具有统计稳定性的基本先决条件。讨论过程变差及相关的能力指数对不可预计的过程来说意义不大。但是要知道对于存在系统的特殊原因变差（例如刀具磨损）的过程已存在评价其过程能力的合理方法（见附录 H，参考文献 17）。另外，通常假设从受分析的过程得到的单值读数的分布近似地服从正态分布。在定义了过程能力和相关的术语后，本节将只定义和讨论下列常用的指数和比值：

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中心的指数： C_{PU} 、 C_{PL} 、 C_{PK} 和 P_{PK} ；

与规范有关的过程变差比值 CR 和 PR 。

注：本手册中尽管没有讨论其它的指数，但附录 D 及附录 H 的参考文献 16 介绍了其中之一 C_{pm} 指数， C_{pm} 是一个相对新的指数，近来得到了大家的关注。

最后，本节将介绍与过程度量有关的条件和假设，最后给出如何应用这些度量在持续改进过程结构内提高了对过程理解的建议。

本手册充分意识到人们会误解和相反地理解与过程“控制”、“能力”和“性能”有关的基本概念和定义。这里应指出的是彻底解决这些问题不是本手册的目的。而只是将它们提出和讨论到一定的深度使每个读者有机会对它们作出更好的解释。以便为不断改进过程提供有价值资料 and 知识。

A. 过程术语的定义

- 过程固有变差——仅由于普通原因产生的那部分过程变差。该变差可以从控制图上通过 \bar{R}/d_2 来估计。也可用其它量（例 \bar{s}/c_4 ）。

- 过程总变差——由于普通和特殊两种原因所造成的变差，本变差可用样本标准差 S 来估计。这是用详细的控制图或过程研究中得到的所有单值读数计算出来的。即：

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(X_i - \bar{X})^2}{n-1}} = \hat{\sigma}_s$$

式中： X_i 为单值读数， \bar{X} 为单值读数的均值， n 为所有单值读数的个数。

- 过程能力——仅适用于统计稳定的过程，是过程固有变差的 6σ 范围，式中通常由 \bar{R}/d_2 ($\sigma\bar{R}/d_2$) 计算而得。
- 过程性能——过程总变差的 6σ 范围，式中通常通过样本的标准差 S 计算而得，记为 $\hat{\sigma}_s$ 。

B. 过程量度的定义

B. 1 指数

C_P ：这是一个能力指数，定义为容差宽度除以过程能力，不考虑过程有无偏移，一般表达为：

$$C_P = \frac{USL - LSL}{6\hat{\sigma}_{R/d_2}}$$

P_P ：这是性能指数，定义为不考虑过程有无偏移时，容差范围除以过程性能，一般表达为： $P_P = \frac{USL - LSL}{6\hat{\sigma}_{R/d_2}}$ （该系数仅用来与 C_P 及 C_{PK} 对比，或/和 C_P 、 C_{PK} 一起去度量和确定一段时间内改进的优先次序）。

C_{PU} ：这是上限能力指数，定义为上容差范围上限除以实际过程分布宽度上限，一般表达为：

$$C_{PU} = \frac{USL - \bar{X}}{3\hat{\sigma}_{R/d_2}}$$

C_{PL} ：这是下限能力指数，定义为容差范围下限除以实际过程分布宽度下限，一般表达为：

$$C_{PL} = \frac{\bar{X} - LSL}{3\hat{\sigma}_{R/d_2}}$$

C_{PK} ：这是考虑到过程中心的能力指数，定义为 C_{PU} 或 C_{PL} 的最小值。它等于过程均值与最近的规范之间的差除以过程总分布宽度的一半。

P_{PK} : 这是考虑到过程中心的性能指数, 定义为: $\frac{USL - \bar{X}}{3\hat{\sigma}_{R/d_2}}$ 或 $\frac{\bar{X} - LSL}{3\hat{\sigma}_{R/d_2}}$ 的最小值 (仅用来与和对比, 并测量和确定随时间改进的优先顺序)。

B. 2 比值

CR : 这是一种能力比值, 是的倒数, 即: $CR = \frac{1}{C_p} = \frac{6\hat{\sigma}_{R/d_2}}{USL - LSL}$ 。

PR : 这是一种性能比值, 是的倒数, 即: $PR = \frac{1}{C_p} = \frac{6\hat{\sigma}_s}{USL - LSL}$ 。

注: 所有这些测量的示例见 45 页。

B. 3 样本标准差—— s 与 s 的说明

s (本节 A 和 B 部分所用的) 和 s (用于 65 页 \bar{X} 和 s 图中) 使用同一个用来计算样本标准差的公式, 即, s 及 $s =$; 然而式中的 n 代表两种不同类型的样本容量:

- 对于 s (60 页), n 代表所有抽样的单值读数的总数量, 例如, 这些单值读数的总个数可以从计算控制图上所有子组的单值读数的总个数得到;

- 对于 s (页), n 表示任何一个给定的一般了组内的单值读数的总个数, 一般 n 是一个常数且对每个子组来说都一样;

- 估计整个过程 (总体) 的标准差用 s , 估计某个已知 $\hat{\sigma}_s$ 固定大小的子组的标准差, 用 s (见 52 页~53 页)。

C. 条件和假设的描述

应当指出过程变差和过程中心是两个不同的过程特性。需要分别理解每个特性。然而, 为了简化每个特性的单独分析, 可以将两个特性联合成一个指数就方便了, 如 C_{PK} 和 P_{PK} 。这些指数用于以下场合:

- 用随着时间变化需要改进测量持续的改进;
- 确良决定过程中的需要改进的项目的优先次序。

能力指数 (例如 C_{PK}) 还可用来确定一个过程是否有能力满足顾客的要求 (能力指数最初目的), 应指出这种额外的用途不适用于性能指数 (见 61 页使用性能量度的建议)

为了有效地使用这些指数 (以及本节 B 部分介绍的其他所有过程量度), 必须理解他们周围的条件和假设。如果不符合这些条件和假设, 这些量度就很少有或没有意义, 这样对理解产生这些量度的过程就毫无价值。以下四个条件是本节 B 部分所述的所有能力量度指数必须满足的最低条件:

- 产生数据的过程处于统计稳定状态；
- 过程数据的单个测量值基本处于正态分布；
- 规范是以顾客要求为基础的；
- 存在一种将计算的指数（或比值）看成为“真实”的指数（或比值）的意愿即：不考虑抽样变差对计算值的影响，（例如仅仅由于抽样变差 C_{PK} “真值”为 1.40 的过程，计算值可能是 1.05,或反之亦然。这个问题的详细讨论参见附录 H，参考文献 19，20，21。

图 29 “目标柱”与损失函数的比较（略）

D. 建议使用的过程量度

有效使用任意过程量度的关键依然是理解量度实际上代表了什么（特性）的程度。那些在统计学界中反对使用 C_{PK} 等值的人能很容易地指出在现实中很少有过程能完全符合计算 C_{PK} 所要求的条件、假设及参数（见附录 H，参考文献 14 及 18）。再者，在本手册中，由于如下几段所讨论的原因，即使所有的条件者已满足了，也很难用一个单独的指数或比值的值来评价或真正理解一个过程。

D. 1 损失函数的概念

生产出的所有零件都符合工程规范要求，这一可理解的期望是使用能力指数（以及其他过程量度）的驱动力。激发这种期望的基本概念是这样一种思维方法：对于所有在规范之内的零件，不管它们位于规范范围内的什么地方都是好的（可接受的），所有超出规范的零件，还价它们偏离规范多远，都是坏的（不可接受的），质量专家有时将这种概念定义为“目标柱”思维方法（见 29 图（a））。

尽管这种思维模式（好/坏）过去一直在广泛应用，图 29（b）提供了另一种更有用的模式即一种与真实的行业更接近的模式。总的来说，该模式的形式为一抛物线并且利用随着某特定的特性值偏离规范目标值越远，顾客或社会蒙受的损失呈二次方增加（与线性相反）的原理，这种被称为损失函数的概念中隐含的假设是设计意图（规范目标值）能适当的与顾客的要求很好地保持一致。

图 30 调整过程与要求一致（略）

D. 2 语过程与顾客的要求一致

第 I 章的第 2 节用图描述了一个过程（见图 1，第 6 页），这一过程的输出特性也可根据其变差的分布图形来表示。该分布可称作过程分布见图 30（a）。

可以对图 30（a）所示的过程特性分布建立一个如图 30（b）所示的损失函数图。另外，假设在顾客要求（规范的目标值）中没有与仅有很小的变差，将过程分布叠加到顾客要求损失函数曲线上[图 30（c）]，可得到两个结论：

- 为了减少顾客的损失，希望语过程（过程中心）使之与顾客的要求（规范目标值）一致；
- 如果不断减少目标值周围的变差，可给顾客带来额外的好处[见图 30（e）]。

这种分析有时被称为将“过程的呼声”调整到“顾客的呼声”一致（详细介绍见附录 H，参考文献 22）应注意尽管在本例中假设“顾客的呼声”没有变差，而实际中“顾客的呼声”（规范目标值）的确有变化，这样用一个给定的过程要取得顾客真正的满意就更难了。

最后，当考虑本过程正在生产的零件的实际分布，产生估计的转化损失时，结合本过程正产生可以看出：在这种情况下顾客总损失中，仅有约 45%是由超出规范限的零件造成的，而其余的是规范限之内但不是目标值处的零件造成的[图 30（d）]。这很好地说明了“目标柱”思维方法或计算“坏的”零件（超出规范限的零件）的百分数，的确不能为实际过程对顾客的影响提供正确的理解。

D. 3 过程量度的应用

基于前几段所讨论的理由,并假设本节 C 部分所列的条件已满足,提出下列有关使用过程量度来提高理解和有效地不断改进过程的建议:

- 描述一个过程时不能只使用一个指数或比值:再者
- 应同时使用两个或多个指数或比值——例如, C_p 和 C_{pk} , P_p 和 P_{pk} , CR 和 C_{pk} , 或 PR 和 P_{pk} 至少应一起使用; 以及
- 极力推荐图表分析过程量度一起使用, 这些分析例如: 控制图, 估计的过程分布图, 以及图 30 所示的损失函数分析图等。另外, 尤其是对于不稳定的过程, 最好同时画出过程固有变差相对总变差图和/或 $\hat{\sigma}_{R/d_2}$ 相对 $\hat{\sigma}_s$ 图, 以便对过程“能力”和“性能”间的差距取得了解和对改进进行跟踪。通常情况下, 该差距的大小也是对过程失控程度的量度, 即使是不稳定的过程, 依据不稳定的程度, 与稳定的过程相比, 其过程估计是 ($\hat{\sigma}_{R/d_2}$ 和 $\hat{\sigma}_s$) 有较大的变异性和不确定性。应当进行这些类型的图形分析, 即使在没有计算和/或使用过程量度 (即 C_p/C_{pk} 等) 的情况下, 也可以对过程有很好的理解;
- 为了不断改进过程, 应在顾客损失最小的情况下, 使用过程量度不断调整“过程的呼声”使之与“顾客的呼声”一致。

最后要注意的是所有的能力评审都是针对性单个的过程特性, 千万还要把几个过程的能力结果合成或平均为一个指数。

希望在此整个框架工作中的过程量度的应用, 能以有竞争性的速度实现真正的过程改进提供一些必要的信息。

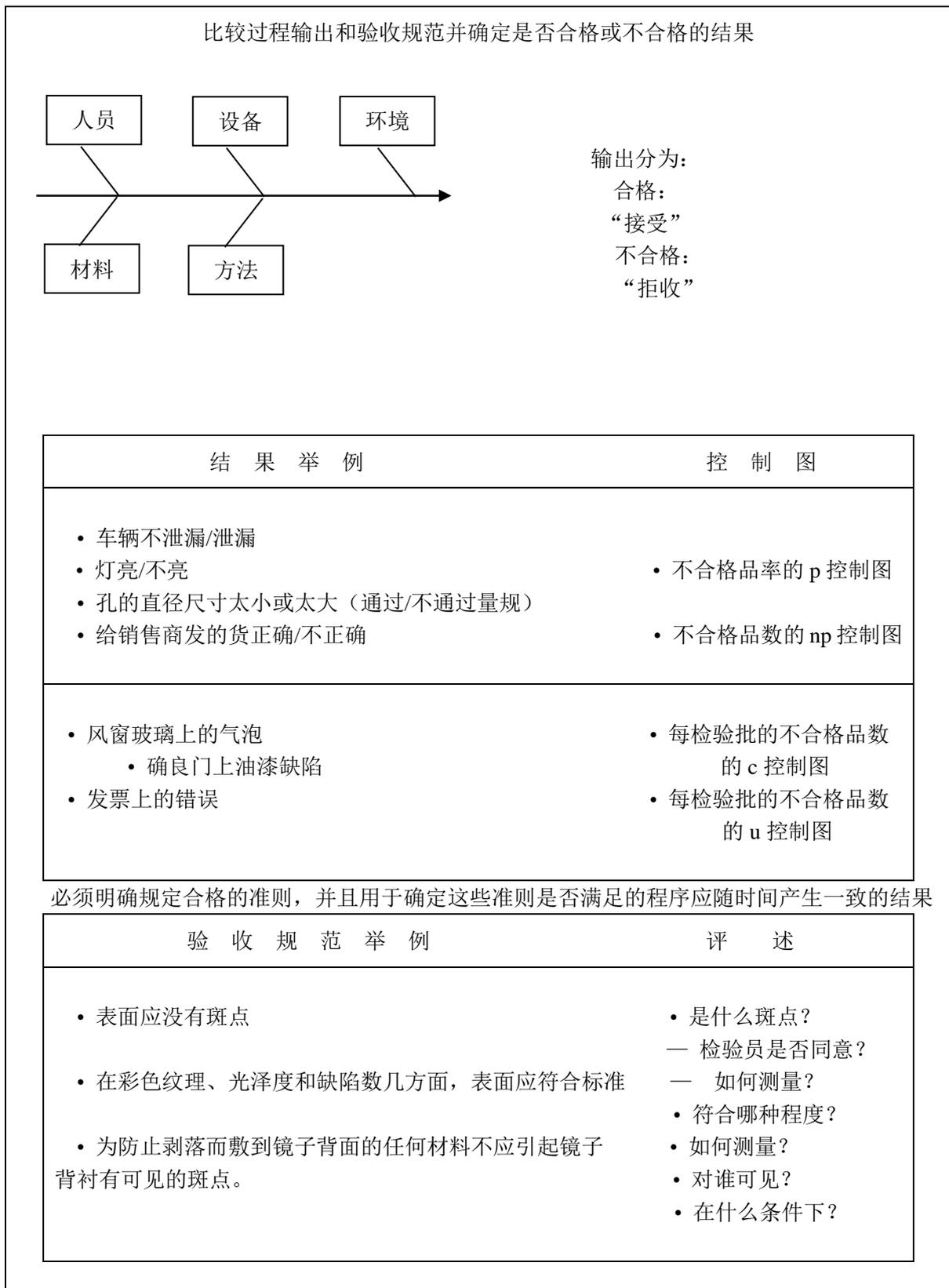


图 31 计数型数据

第 III 章

用于计数型数据的控制图

尽管控制图大多数情况都与计算型数据联系在一起（如第 II 章所示），但也开发了用于计数型数据的控制图（见图 31），计数型数据只有两个值（合格/不合格，成功/失败，通过/不通过，出席/缺席），但它们可被计数从而用来记录和分析*。例如：所需标签的出现，一个电路的连续性，或文件打印的错误等。其他例子如：特性是可测量的，但是其结果只是简单的记录成是/否的形式，例如用通过量规来测量轴的直径是否合格，用目视或是规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，几条原因如下：

- 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不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——检验、要求修理的书面记录、拒收材料的筛选等。在这些情况下，不涉及到额外的收集数据的费用，只是将数据转化成控制图的工作；

- 在必须收集新数据的地方，获得计数型数据通常是很快且不需很多费用，并且由于使用简单的量具（例如通过量规），所以通常不需要专业化的收集技术；

- 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：部门一次成功性能，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；

- 当在一个组织机构内引进控制图时，优先解决某些问题及在最需要的地方应用控制图是很重要的，问题的信号会来自成本控制系统，使用者的抱怨、内部的难关（瓶颈）等地方，对于关键的总体质量量度应用计数型控制图通常能对需要更详细检查特定过程的地方指出一条路子——包括应用计量型数据控制图的可能。

*本手册将使用合格/不合格来进行计数型数据讨论，仅仅因为：（1）它们是“传统”使用的数据；（2）刚开始走上持续提高之路的机构通常从这些类型开始；（3）文献上适用的许多例子采用这些类型，不应认为仅仅是这些“可接受的”类型，或者计数型控制图不能用于 1 类过程（见 12 页）（参考附录 H）。

以下四节介绍四种主要的计数型控制图的基本知识：

第 1 节——不合格品率的 **P** 控制图（样本容量不一定相同）；

第 2 节——不合格品数的 **np** 控制图（相同样本容量）；

第 3 节——不合格数的 **c** 控制图（相同样本容量）；

第 4 节——单位不合格数的 **u** 控制图（样本容量不一定相同）。

最先介绍的 **p** 控制图其内容比其它的长，因为它介绍了一些主要的概念，其它三

节集中介绍其他类型控制图的不同特点。

应用控制图的准备工作

- 建立一个适用于行动的环境
- 定义过程
- 确定要管理的特性

应考虑：

- 顾客的需求
- 当前及潜在的问题领域
- 特性之间的关系
- 定义测量系统，使之具有可操作性
- 使不必要的变差最小

第 1 节

不合格品率的 p 图

p 图用来测量在一批检验项目中不合格品（不符合或所谓的缺陷）项目的百分数。可举一个例子，一个由 75 个零件组成的样本，每天抽样两次，是以每小时或每天为基础分组的产品的某一百分率，或是及时交货的比率等。这可以是评价一个特性值（是否安装了一个特殊的零件）或是许多特性值（在电气系统检查台中是否发现某些不正常之处）。重要的是：

- 把被检查的每一个元件，零件或项目记录成合格或不合格（即使一个项目有几处不合格，也仅记录为一个不合格项）；

- 把这些检验的结果按一个有意义的基础条件分组，并且把不合格的项目用占子组的大小的十分之几来表示。

在使用 p 图以前，必须采取以下几个预备步骤：

- 建立一个适于行动的环境。除非管理者提供一个相应的环境，否则任何统计方法都会失败；

- 定义过程。必须根据它与其他操作/使用乾的关系，影响过程每个阶段的过程/要素（人、设备、材料、方法和环境）来理解过程。象因果分析图之类的技术可以帮助使这些关系可视化；

- 确定要管理的特性。将精力集中在对过程改进最有积极作用的那些特性上（排列图原理的应用）；

应适当考虑以下因素：

- 顾客的需求。包括使用产品或服务作为输入的任何后续过程，以及使用最终产品的顾客；

- 当前以及潜在的问题区域。考虑现在的浪费或性能不好的证据（如废品、返工、过度超时、与目标值不符等）以及存在风险的区域（如：对产品设计或服务，或过程中任意要素即进行变化）。

- 特性的相互关系。充分利用特性间的关系是有效的现实研究方法，如果一个项目的几个不同的特性变化趋向于合并，对其只描绘一个特性就够了。（，参见 26 页）

- 定义测量系统。必须可操作地定义其特性，以便把发现的问题可以用今天与昨天相同意义的方式通知到所有有关人员。包括应确定在哪、如何以及在什么条件下收集什么信息。当涉及到个人的判断时，要建立可操作的定义可能会很困难——但也特别重要。特性的定义将影响所使用的控制图的类型——计数型控制图，如 p 图或计量型数据图，如第 II 节所述；

- 使不必要的变差最小。在研究开始之前应消除不必要的外部变差原因。目的是确定甚至不使用控制图时就能且应纠正的明显问题。在所有情况下，应坚持在过程登记表记录所有相关事件，例如：规程改变，使用新的原材料批次等。这将有助于后续问题的分析。

图 32 不合格率 p 图——数据收集（略）

A. 收集数据

A.1 选择子组的容量，频率及数量（见图 32）

a. 子组容量——用于计数型数据的控制图一般要求较大的子组容量（例如 50 到 200 或更多）以便检验出性能的一般变化。对于显示可分析的图形的控制图，子组容量应足够大，大到每个组内包括几个不合格品。（例如 $np > 5$ ）。但是应注意如果每个子组代表很长的一段时间的过程操作，大的子组容量会有不利之处。如果子组容量是恒定的或它们变化不超过 $\pm 25\%$ 是最方便的，但不一定是这样。如果子组容量相对 p 来说足够大也是很有好处的，这样能获得下控制限，从而也可以发现由于改进造成的可查明的原因。

b. 分组频率——应根据产品的周期确定分组的频率以便帮助分析和纠正发现的问题。时间间隔则反馈快，但也许与大的子组容量的要求矛盾。

c. 子组的数据——收集数据的时间就在足够长，使得能找到所有可能的影响过程的变差源。一般情况下，也应包括 25 或更多的子组，以便很好地检验过程的稳定性，并且如果过程稳定，对过程性能也可产生可靠的估计。

A.2 计算每个子组内的不合格品率（ p ）（见图 32）

记录每个子组内的下列值：

被检项目的数量—— n

发现的不合格项目的数量—— np

通过这些数据计算不合格品率：

$$p = \frac{np}{n}$$

这些数据应记录在数据表中作为初步研究的基础。当最近的过程数据适用时，它们可以用来加速这一阶段的研究。

A.3 选择控制图的坐标刻度（见图 32）

描绘数据点用的图应将不合格品率作为纵坐标，子组识别（小时、天等）作为横坐标。纵坐标的刻度应从 0 到初步研究数据读数中最大的不合格率值的 1.5 到 2 倍的值。

A.4 将不合格品率描绘在控制图上（见图 32）

描绘每个子组的 p 值，将这些点联成线通常有助于发现异常图形和趋势。

当点描完后，粗览一遍看看它们是否合理。如果任意一点比另的高出或低出许多，检查计算是否正确。

记录过程的变化或者可能影响过程的异常情况，当这些情况被发现时，将它们记录在控制图“备注”部分。

图 33 不合格品率 p 图——计算控制限—表 1（略）

B. 计算控制限

B.1 计算过程平均不合格品率(\bar{p})(见图 33 第一页)

对于 k 个子组的研究时期,计算不合格品率的均值如下:

$$\bar{p} = \frac{n_1p_1 + n_2p_2 + \cdots + n_kP_k}{n_1 + n_2 + \cdots + n_k}$$

式中: n_1p_1, n_2p_2, \dots 及 n_1, n_2, \dots 为每个子组内的不合格项目数及检查的项目数.注意不要混淆不合格品百分数($p \times 100$)和不合格品率 (p)。

B.2 计算上、下控制限 (UCL, LCL) (见图 33—I)

如果过程受统计控制,子组的样本容量一定,则控制限为过程平均值加或减期望的变差允许值。对于 K 个子组的研究时期,按下式计算上下控制限:

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

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

式中: n 为恒定的样本容量。

注: 当 p 很小和/或很小时, LCL 的计算值有时会为负值,在这种情况下则没有下控制限。因为即使在极精确的时期内 $p=0$, 也在随机变差极限之内。

B.3 画线并标注 (见图 33—I)

- 过程均值 (P) ——水平实线。
- 控制限 (UCL, LCL) ——水平虚线。

在初始研究阶段, 这些被认为是试验控制限。

图 33 不合格率 p 图——计算控制限—表 2 (略)

注：上述给出的控制限计算公式适用于子组容量相同的情况下（因为它们可能是处于受控的取样情况），理论上，只要样本容量改变（即使是一个子组），控制限随之变化，在对每个具有不同的样本容量的子组应分别计算各组的控制限。但实际应用时，当各子组容量与其平均值相差不超过正负 25% 时（典型的处于相对稳定的条件下的实际生产量），可用平均样本容量（ \bar{n} ）来计算控制限。在这种情况下， $UCL_p, LCL_p = \bar{p} \pm 3\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})/\bar{n}}$ 。当子组容量的变化超过上述值时，则要求单独计算这些特别小或特别大样本时期内的控制限。合理的程序（应在控制图的“评述”栏记录）为：

- 确定可能超过其平均值 $\pm 25\%$ 的样本容量范围，找出样本容量超出该范围的所有子组；
- 按下式重新计算这些点准确的控制限：

$$UCL_p, LCL_p = \bar{p} \pm 3\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})/n} = \bar{p} \pm 3\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})/\bar{n}}$$

式中： n 为特殊子组的样本容量，点与点之间只有 n 的值变化。

- 在控制图上描绘受影响的子组新的上、下控制限（见图 33—II），并作为识别特殊原因的依据。

注意：任何处理可变控制限的程序都会变得麻烦，并且可能使企图解释控制图的人员造成混淆。如果可能的话，最好是调整数据收集计划、从而使用恒定的样本容量。

图 34 不合格品率 p 图——超出控制限的点（略）

C. 过程控制用控制图解释

目的：找出过程不再以同一水平运行的证据——即过程失控——并采取相应的措施。数据点中存在超出控制限的点，或者存在超出随机情况下可能出现的明显趋势或图形，这就表明存在变差的特殊原因。

C.1 分析数据点，找出不稳定的证据

超出控制限的点（见图 34）

a. 超出任一控制限就证明在那点不稳定。由于过程稳定且只存在普通原因变差时，很少会出现超出控制限的点。所以我们假设超出的值是由于特殊原因造成的。特殊原因可能有益也可能有害，两种情况下都应立即调整。这是对任何控制图采取措施的主要决定原则。应标注任何超出控制的点。

超出上控制限的点（不合格品率更高）通常表明存在下列的一个或多个情况：

- 控制限或描点错误；
- 过程性能恶化，在当时那点或作为一种趋势的一部分；
- 评价系统已改变（例如：检验员、量规）。

低于控制限下的点（不合格品率更低）通常表明存在下列一个或多个情况：

- 控制限或描点错误；
- 过程性能已改进（为了改进，应当研究这种情况且长期保持）；
- 测量系统已改变。

在控制限之内的图形或趋势——出现异常的图形或趋势，即即使所有的点都在控制限之内，都证明在出现这个图形或趋势的时期内过程失控或性能水平变化。这种情况会提前给出有关状态的警告，如不纠正，这种状态将造成点超出控制限。

注：当每个子组的不合格项目的平均值（ np ）较大时（ ≥ 9 ），子组的 p 的分布近似于正态分布并且可以使用与 X 图所用分析相似的分析方法。若 np 较小（ ≤ 5 以下），则不能直接应用下列规则。

图 35 不合格品率 p 图——链（略）

b. 链（见图 35）——在一个受控的， np 中等较大的过程中，落在均值两侧的点的数量将几乎相等。下列任一情况都表明过程变化或开始有变化的趋势：

- 连续 7 点位于均值的一侧；
- 连续 7 点上升（后者与前者相等或比前者大）或连续地下降。

在这些情况下，应对促使采取措施的点进行标记（例如第 7 个高于平均值的点），从这点作一条参考线延伸到链的开始点是有帮助的，分析时应考虑趋势出现或开始变化时的大致时间。

出现高于均值的长链或连续上升的点，通常表明存在下列情况之一或两者：

- 过程的性能已恶化——而且可能还在恶化；
- 评价系统已改变。

出现低于均值的长链或连续下降，通常表明存在下列情况之一：

- 过程性能已改进（应研究其原因，并将它固定下来）；
- 评价系统已改变。

注：当 np 很小（5 以下），出现低于 p 的链的可能性增加，因此有必要用长度为 8 点或更多的点的长链来作为合格品率降低的标志。

图 36 不合格品率 p 图——非随机图形

c. 明显的非随机图形（见图 36）——尽管必须小心还要过分解数据，但其他一些明显的图形也可能表明存在变差的特殊原因。这些图形有趋势、周期性，控制限内异常分布的点以及子组内值的相关性（例如子组中所有不合格项目都发生在最初的几个读数中）。下列给出验证异常的分布方法：

点到过程的均值的距离：通常，在一个处于统计控制状态，仅存在普通原因变差并且其 np 中等较大的过程中，大约 2/3 的点将在位于控制限中部三分之一的区域内；大约 1/3 的点将位于控制限三分之二以内的区域，大约 1/20 的点将位于与控制限较接近的区域（外部三分之一区域）。

如果明显多于 2/3 的点将位于与均值接近的地方（对于 25 个分组，如果 90% 以上的点位于控制限中部三分之一内），这就意味着下列一种或几种情况：

- 控制限或描点的计算错误或描点错误；
- 过程或取样方法分层：每个子组包含来自两个或多个具有不同平均性通报过程流的测量（例如：两条平行的生产线的混合的输出）；
- 数据被编辑过（明显偏离均值已调换或剔除）。

如果大大少于 2/3 的点位于过程均值较近的区域（对于 25 个子组，40% 以下的点位于中部三分之一的区域内），则意味着存在下列情况之一或全部：

- 发生了计算或描点错误；
- 过程或取样方法造成连续的子组包含来自两个或多个具有不同均值性能的过程流的测量（例如：每班之间性能的差异）。

如果存在几个过程流，应分别识别和跟踪它们。

图 37 不合格品率用 p 图——重新计算控制限（略）

C.2 寻找并纠正特殊原因（见图 37）

当从数据中已发现了失控的情况时，则必须研究操作过程以便确定其原因。然后纠正该原因并尽可能防止其再发生。由于特殊原因是通过控制图发现的，要求对操作进行分析，并且希望操作者或现场检验员有能力发现变差原因并纠正。可利用诸如排列图分析和因果分析等解决问题技术（见附录 H，参考文献 11）。

对于应用实时数据进行现行研究时，失控条件的分析包括及时调查过程的操作，将重点放在寻找发生什么样的变化，可以解释异常性能上。当该分析导致了采取纠正措施时，措施的效果会在控制图上明显地反应出来。

对于使用历史数据进行初步研究时，时间的推移可能会使分析过程操作变化更困难。尤其是对于出现又消失的现象来说。分析应尽可能地在当时条件下进行，以便识别该条件并防止它再发生。这一点在“备注”栏中详细地记录是很有帮助的。

C.3 重新计算控制限（见图 37）

当进行初始过程研究或对过程能力重新评价时，应重新计算试验控制限，以便排除某些控制时期的影响，这些时期中控制状态受到特殊原因的影响，但已被纠正。剔除与特殊原因有关的点以及本节 B 部分图上所指的点后，应重新计算控制限。本步骤是防止在估计典型的变异性时包括发生异常的生产时期。应再次对照修改后的控制限检查历史数据，以确认不再有表明可查明原因的点。

一旦历史数据表明一致性能均在试验的控制限之内。则可将控制限延伸到将来的时期。它们便变成了操作控制限，当将来的数据收集并记录了后，就对照它来评价。

由于样本容量改变，现行的控制限将不等于分析时期得到的控制限。在这种情况下，使用 B.1 和 B.2 节的基本公式，但是用需要的样本容量 $n_{\text{新}}$ 代替 \bar{n} 。

注：对数据中随机性的进一步解释，检验的讨论及问题的解决，见附录 H 的参考文献 6~12

计算过程能力

从实例可得：

目前的过程能力是：功能检验的失效为 3.12%
(96.88%合格)

评价过程能力

如果进行 100%的功能检验并已选出不合格的产品，顾客是得到免受不合格产品的保护。但是 3%的平均失效率（要求返工或报废）是很浪费的，应研究提高长期性能水平的措施。

D. 过程能力解释

当解决了控制问题后（识别、分析了特殊原因并适当地纠正了/防止其再发生），控制图就反应出基本过程能力。对于 p 图（和其他计数图）过程能力计量型的数据在观念上是不同的。计数型数据控制图上的每一点直接表明不符合顾客要求的不合格品（不符合规范）的百分数比值，而计量型控制图上的点表明该过程正在产生与工程规范无的结果。因此对于计数型控制图，能力直接被定义为不合格品的平均百分数或比例。而计量型控制图的能力指的是将/或不将过程的中心调整到规范的目标值后，（稳定）过程产生的总的（固有的）变差（ $6\hat{\sigma}_{\bar{R}/d_2}$ ）。

D.1 计算过程能力

- 对于 p 图，过程能力是通过过程平均不合格品率来表示，当所有点都受控后才计算该值。如需要，还可以用符合规范的比率（ $1-P$ ）来表示；

- 对于过程能力的初步估计值，应使用历史数据，但应剔除与特殊原因有关的数据点；

- 当正式研究过程能力时，应使用新的数据，最好是 25 个或更多时期子组，且所有的点都受统计控制。这些连续的受控的时期子组的 p 值是该过程当前能力的更好的估计值。

D.2 评价过程能力

- 刚才计算的过程能力反映该过程生产和可能预期生产的现阶段性能水平，只要过程保持受控状态并且在性能上不经历任何基本的改变，则过程会并且能够按现有水平运行。从一个时期到另一个时期，测得的不合格品率百分数将在控制限间变化，但除去过程中的任何变化，或允许存在超出控制的时期之外，合格品的百分数的平均值将趋于稳定；

- 这个平均能力，而不是波动的单值，必须对照管理上对于特殊特性的期望来评价。那么，如果这个平均水平不可接受，则应直接对过程本身进行理直气壮分析并采取措施（管理人员的责任）。

提高过程能力

为了提高过程的长期性能，应集中精力解决影响所有时期的普通原因，这通常要求采取管理措施

画出修改后的过程的控制图并分析

利用控制图连续监视，确保系统改变的有效性

D3 改进过程能力

- 过程一旦表现出处于统计控制状态，该过程所保持的不合格平均水平即反映了该系统的变差原因——过程能力。在操作上诊断特殊原因（控制）变差问题的分析方法不适用于诊断影响系统的普通原因变差。必须以对系统本身直接采取管理措施，否则过程能力不可能得到改进。有必要使用长期的解决问题的方法来纠正造成长期不合格的原因。

可以使用诸如排列图分析法及因果分析图等解决问题技术（见附录 H，参考文献 11）。但是如果仅使用计数型数据很难理解问题所在，通常，尽可能地追溯变差的可疑原因。并借助计时型数据进行分析（例如 \bar{X} -R 图）将有利于问题的解决。

D.4 绘制并分析修改后的过程控制图

- 当对过程采取了系统的措施后，其效果应在控制图上明显地反应出来；控制图成为验证措施有效性的和种途径；

- 对过程进行改变时，应小心地监视控制图。这个变化时期对系统操作会是破坏性的，可能造成新的控制问题，掩盖系统变化后的真实效果；

- 在过程改变期间出现的特殊原因变差被识别并纠正后，过程将按一个新的过程均值处于统计控制状态。这个新的均值反映了受控状态下的性能，可作为现行过程控制的基础。但是还应继续对系统进行调查和改进。

图 38 用于不合格品数的 np 图（略）

第 2 节

不合格品数的 np 图

np 图（见图 38）用来度量一个检验中的不合格（不符合或所谓的缺陷）品的数量。与 p 图不同，np 图表示不合格品的实际数量而不是与样本的比率。P 图适用的基本情况相同，当满足下列情况时可选用 np 图：（a）不合格品实际数量比不合格品率更有意义或更容易报告，（b）各阶段子组的样本容量相同。np 图的详细说明与 p 图很相似，不同之处如下：

A. 收集数据

（见本章第一节 A 部分，不同之处如下）

- 受检验样本的容量必须相等。分组的周期应按照生产间隔和反馈系统而定。样本容量应足够大使每个子组出现几个不合格品，在数据表上记录样本的容量；
- 记录并描绘每个子组内的不合格品数（np）。

B. 计算控制限

（参见本章第 1 节 B 部分，不同之处如下）

计算过程不合格品数的均值（ $n\bar{p}$ ）。

$$np = \frac{np_1 + np_2 + \dots + np_k}{K}$$

式中： np_1 、 np_2 ……为 K 个子组中每个子组的不合格数。

- 计算上、下控制限（UCL，LCL）

$$UCL_{np} = n\bar{p} + 3 \sqrt{n\bar{p} \left(1 - \frac{np}{n}\right)} = n\bar{p} + 3\sqrt{n\bar{p} (1-\bar{p})}$$

$$LCL_{np} = n\bar{p} - 3 \sqrt{n\bar{p} \left(1 - \frac{np}{n}\right)} = n\bar{p} - 3\sqrt{n\bar{p} (1-\bar{p})}$$

式中 n =子组的样本容量。

C. 过程控制解释

（参见本章第 1 节 C 部分）

D. 过程能力解释

（参见本章第 1 节 D 部分）。注意 np 图的过程能力与 p 图一样还是 \bar{p} 。

图 39 不合格品数用 c 图（略）

第 3 节

不合格品数的 c 图

c 图（见图 39）用来测量一个检验批内的不合格（或缺陷）的数量（与描在 np 图上的下合格品的数量不同）。c 图要求样本的容量恒定或受检材料的数量恒定，它主要应用于以下两类检验：

- 不合格分布在连续的产品流上（例如每匹维尼龙上的瑕疵，玻璃上的气泡或电线上绝缘层薄的点），以及可以用不合格的平均比率表示的地方（如每 100 m²维尼龙上的瑕疵）；

- 在单个的产品检验中可能发现许多不同潜在原因造成的不合格（例如：在一个修理部记录，每辆车或元件可能存在一个或多个不同的不合格）。

以下是绘制和应用 c 图的步骤，与前面所介绍的 p 图的基本绘制方法有相同之处，不同之处介绍如下：

A 收集数据

（参见本章第 1 节 A 部分，不同之处如下）

- 检验样本的容量（零件的数量，织物的面积，电线的长度等）要求相等，这样描绘的 c 值将反映质量性能的变化（不合格的发生率 c）而不是外观的变化（样本容量 n），在数据表中记录样本容量；

- 记录并描绘每个子组内的不合格数（c）。

B 计算控制限

（参见本章第 1 节 B 部分，不同之处如下）

- 计算过程不合格数均值（ \bar{c} ）：

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

式中： c_1, c_2, \dots 为 k 个子组内每个子组的不合格数）

- 计算控制限（ UCL_c 和 LCL_c ）

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

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

C 过程控制解释

（参见本章第 1 节 C 部分）

D 过程能力解释

（参见本章第 1 节 D 部分，不同之处如下）

过程能力为 \bar{c} ，即固定容量 n 的样本的不合格数平均值。

图 40 单位产品不合格数的 u 图（略）

第 4 节

单位产品不合格数的 u 图

u 图（见图 4）用来测量具有容量不同的样本（受检材料的量不同）的子组内每检验单位产品之内的不合格数量。除了不合格数是按每单位产品为基本量表示以外，它是与 c 图相似的。u 图和 c 图适用于相同的数据情况，但如果样本含有多于一个“单位产品”的量，为使报告值更有部门时，可以使用 u 图，并且在不同时期内样本容量不同时必须使用 u 图。u 图的绘制与 p 图相似，不同之处如下：

A. 收集数据

（参见本章第 1 节 A 部分，不同之处如下）

- 各子组样本的容量彼此不必都相同，尽管使它的容量保持在其平均值的正负 25% 以内可以简化控制限的计算；

记录并描绘每个子组内的单位产品不合格数（u）。：

$$u = \frac{c}{n}$$

式中：c 为发现的不合格数量，n 为子组中样本的容量（检验报告单位的数量），c 和 n 都应记录在数据表中。

注：每个子组的样本容量 n 是按检验报告单位来表示的，有时报告的单位是一个产品单元，如一台发动机。然而，多数情况下检验报告单位不是一个产品单位。例如，在注明为每 100 个单位产品中不合格的报告中，报告单位为 100 个单位产品，而 n 代表检验了多个一百。

B. 计算控制限

（参见本章第 1 节 B 部分，不同之处如下）

- 计算每单位产品过程不合格数的平均值：

$$\bar{u} = \frac{c_1 + c_2 + \dots + c_k}{n_1 + n_2 + \dots + n_k}$$

式中：c₁, …及 n₁, …为 K 个子组内每个子组的不合格数及样本容量。

计算控制限（UCL 和 LCL）

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

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

式中 \bar{n} 为平均样本容量。

图 41 u 图——重新计算控制限（略）

注：（见图 41）如果某些子组的样本容量与平均样本容量的差通过正负 25%，按下式重新计算其准确的控制限：

$$UCL_u, LCL_u = \bar{u} \pm 3\sqrt{\bar{u}} / \sqrt{\bar{u}} = \bar{u} \pm 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$$

式中： \bar{u} 为过程均值， n 为特定子组的样本容量（检验报告单元的数量）。改变控制图上的控制限并作为识别特殊原因的基础。

注意使用可变的控制限是很麻烦的而且可能造成混淆。最好尽可能使用容量的样本来避免这种情况发生。

C. 过程控制解释

（参见本章第 1 节 C 部分）

D. 过程能力解释

（参见本章第 1 节 D 部分）

过程能力为 \bar{u} ，即每报告单元的不合格数的均值。

第 IV 章 过程测量系统分析

第 1 节

引 言

当确定了一个给定的过程要测量的特性值后，则应对这个（些）特性的测量系统进行评价从而确保为这个（些）特性而收集的 SPC 数据进行有效的分析。回顾由世界上所有的统计学家和质量专家共同发现的基本理论是，观测值由被测特性的真值加上测量误差组成，或：

$$\text{观测值} = \text{真值} + \text{测量误差}]$$

“测量误差”是一个统计学术语，意指造成观测值偏离真值的测量变异性的所有原因的净效果。不幸的是，这个关系意味着我们在面临着一个问题：使用包含额外变差的信息（即数据）来对产品作出决定。进一步展开说，在一批（子组）或多批（子组）至少包含两个测量值的一组数据中，整个时间内的总变异由两个相应的部分构成：

$$\text{总变异} = \text{生产变异} + \text{测量变异}^*$$

减少测量变异对过程变异评价的影响是很重要的。为了更全面地理解测量系统分析的各个方面，请参考由汽车工业行动集团（AIAG）于 1990 年 12 月出版的汽车工业《测量系统分析（MSA）手册》（附录 H，参考文献 15）。本节这里介绍是在 ASQC 汽车部 MSA 手册中介绍的更先进的，同时也得到广泛应用的测量系统分析方法之一。这是在进行统计过程控制之前对测量系统进行评价的一种比较容易接受的方法，但决不意味着这是唯一可接受的 MSA 技术。另外，这里介绍的技术假设 MSA 手册中介绍的测量系统的其他关键因素即准确度、线性以及稳定性已经评价并认为可以接受。

*参见附录 H，参考文献 18。

第 2 节 均值和极差法

均值和极差法[X—R，有时被称为大样法（Long Method）]是确定测量系统的重复性和再现性的一种数学方法。该方法允许将测量系统分成两个独立的部分：重复性和再现性。

如果重复性比再现性大，原因可能是：

- 量具需要维修；
- 应重新设计量具使其更精密；
- 应改进量具的夹紧或定位装置；
- 零件内变差太大。

如果再现性大于重复性，则可能存在以下原因：

- 需要对操作员进行如何使用量具和读数的培训；
- 量具表盘上的刻度值不清楚；
- 可能需要某种形式的夹具来帮助操作者更为一致地使用量具。

A. 进行研究

尽管操作者的人数，试验的次数以及零件的个数可能不相同，下面的讨论代表了这项研究的最优化的条件。参见 124 页图 42 量具的 R&R 数据表。

详细的程序如下：

1. 操作者为 A、B、C，将零件从 1 到 10 编号，但号码不让操作者看见；

注：这 10 个零件应在过程的整个范围内随机地挑选。尽可能地让零件代表整个过程（变差）是很重要的。

2. 校正量具；

3. 让操作者 A 以随机的顺序对 10 个零件进行测量并让另一个人将结果填写在第 1 行中。让操作者 B 和 C 在不看别人测量读数的情况下对 10 个零件进行测量并分别将结果填在第 6 行和 11 行中；

4. 用另一种随机的次序来重复以上循环，将数据填写在第 2、7 和 12 行中。数据应记录在适当的列中。例如，如果测量的是第 7 个零件的尺寸则应将结果记在标有零件 7 的那一列上。如果需要 3 次试验，则重复该循环，并将数据填在第 3、8 和 13 行中；

5. 当零件的尺寸较大或不能相同时对零件的尺寸进行测量时，第 3，4 步可改成下列所述的方法：

a. 让操作者 A 测量第 1 个零件并在第 1 行里记录其读数，让操作者 B 测量第 1 个零件并将读数记在第 6 行中，让操作者 C 测量第 1 个零件并将读数记录在第 11 行中；

b. 让操作者 A 重新测量第 1 个零件并将读数记录在第 2 行，操作者 B 在第 7 行中记录重复折数据，操作者 C 在 12 行中记录重复的数

据，如果需要进行 3 次测量，重复该循环并将结果填写在第 3，8 和 13 行中。

6. 如果操作者在不同的班中也可使用别的方法。让操作者 A 测量所有的 10 个零件并将读数填在第 1 行中，接着让操作者 A 以不同的次序重新测量这些零件并将结果填在第 2 行和第 3 行。让在其他班上的操作者 B 和 C 进行上述同样的测量。

B. 计 算

图 42 和图 43 演示出了量具的重复性和再现性的计算方法。图 42 为数据表，上面记录着所有的研究数据。图 43 是一张报告表，下面记录了所有的识别信息及根据所述公式进行的所有计算，下面是收集数据后，用以上数据进行计算的程序：

1. 用第 1、2、3 行中的最大读数减去最小读数并将结果记录在第 5 行中。对第 6、7 和 8 行，以及 11、12、13 行的数据进行同样的计算并分别将结果记在第 10 行和 15 行中（图 42）；

2. 记录在第 5、10 和 15 行的值应为正值（图 42）；

3. 将第 5 行的值求和并除以抽样零件的数量而得到第 1 个操作者的试验平均极差 R_a ，对第 10 行和 15 行进行同样的计算可以得到 R_b 和 R_c （见图 42）；

4. 将第 5、10 和 15 行的均值（ \bar{R}_a 、 \bar{R}_b 、 \bar{R}_c ）移到第 17 行中，将它们加起来再除以操作者的数量并将结果记为 R （总的平均极差）（图 42）；

5. 把 R 填入第 19 和 20 行（平均值）并分别乘以 D_4 和 D_3 以得到了上下控制限。注意如果只进行两次试验，则 $D_3=0$ ， $D_4=3.27$ 。将单个极差控制上限的值（ UCL_R ）填在第 19 行。如果试验的次数少于 7，则控制下限（ LCL_R ）等于 0（图 42）；

6. 对于极差大于计算的 UCL 的数据，应让同一操作者对原来所使用的零件进行重新测量，或者剔除这些值，对余下的值重新进行平均，并按照修改后的样本容量重新计算 R 和（ UCL_R ）控制限。对产生失控条件的特殊原因进行纠正；

7. 将各行（第 1、2、3、6、7、8、11、12 以及第 13 行）的数据求和。将每行的和除以抽样零件的数量并将这些值记录在最右边标着“均值”的那列中（图 42）；

8. 将 1、2、3 行的均值相加再除以试验的次数，并将结果记在第 4 行中的 \bar{X}_a 空格中，分别对第 6、7、8 行以及 11、12、13 行的数据进行同样的计算并将结果分别填在第 9 行和第 14 行中的 \bar{X}_b 和 \bar{X}_c 格中（图 42）；

9. 在 18 行的适当位置填写第 4、9 及 14 行中均值的最大值及最小值，并求出它们的差，并将该差值填在 18 行中标有 \bar{X}_{DIFF} 的空格处（图

42);

10. 将每个零件每次试验的测量值求和, 并除以总的测量次数(试验的次数乘以操作者的个数)。将结果填入第 16 行中为零件均值提供的地方(图 42);

11. 用最大的零件均值减去最小的零件均值并将结果记在第 16 行中标有 R_p 的空格处。 R_p 即零件均值的极差(图 42);

12. 将计算得到的 \bar{R} 、 \bar{X}_{DIFF} 及 R_p 移到报告表侧的空格处(图 43);

13. 完成报告表的左边标有“测量系统分析”一栏下的计算(图 43);

14. 完成报告表右边标有“过程变差%”一栏下的计算(图 43);

15. 检查结果, 确保没有错误。

C. 结果分析

量具重复性和再现性数据表及报告表见图 42 和图 43, 可以提供分析量具研究数据方法。该分析可以对整个测量系统和它的组成部分的重复性的变差以及过程变差的百分数, 以及它的分量——重复性和再现性以及零件间变差进行估计。在报告表左侧(图 43)的测量单元分析栏之下, 对变差的每个分量计算了 5.15 倍标准差值分布范围, 这个范围占了正态分布曲线下面积的 99%。

重复性或设备变差 (EV 或 σ_e) 等于总的平均极差 R 乘以一个常数 K_1 , K_1 是由量具研究中所进行的试验次数所决定的。

再现性或评价人变差 (AV 或 σ_o) 等于最大的操作者均值之差 (\bar{X}_{DIFF}) 乘以一个常数 K_2 , K_2 取决于量具研究所做试验的操作者数量。由于评价人变差受设备变差的影响, 必须从其中减去设备变差的部分来调整一下, 所以, 按下式计算评价人变差 (AV):

$$AV = \sqrt{[\bar{X}_{DIFF} \times K_2]^2 - \left[\frac{(EV)^2}{(nr)} \right]}$$

式中: n =零件的个数, r =试验的次数。如果根号内的值为负值, 则取 $AV=0$

操作人员/ 试验序号	零件										均值
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1. A 1											
2. 2											
3. 3											
4. 均值											$\bar{X}_a =$
5. 极差											$\bar{R}_a =$
6. B 1											
7. 2											
8. 3											
9. 均值											$\bar{X}_b =$
10. 极差											$\bar{R}_b =$
11. C 1											
12. 2											
13. 3											
14. 均值											$\bar{X}_c =$
15. 极差											$\bar{R}_c =$
16. 零件均值 (\bar{X}_p)											$\bar{R}_p =$
17. $[\bar{R}_a =$ $+\bar{R}_b =$ $+\bar{R}_c =$]/[操作者号]=											$\bar{R} =$
18. $[\text{Max}\bar{X} =$ $-\text{Min}\bar{X} =$]= \bar{X}_{DIFF}											
19. $[\bar{R} =$ $\times D_4^* =$]= UCL_R											
20. $[\bar{R} =$ $\times D_4^* =$]= UCL_R											

* D_4 在 2 次试验时取 3.27, 在 3 次试验时取 2.58, 对于 7 次以下的试验 $D_4^* = 0$, UCL_R 代表单值 R 的极限, 圈出那些超出极限的试验, 识别其原因并加以纠正。用与原来相同的评价人和量具, 重复这些读数或剔除超限值后, 用剩下的观测值来重新计算均值, R 值及控制限。

注: _____

图 42 量具的重复性和再现性数据记录表

零件号和名称: _____ 量具名称: _____ 日期: _____
 特性: _____ 量具号: _____ 试验人员: _____
 规格: _____ 量具型式 _____
 根据数据表: $\bar{R} =$ _____ $\bar{X}_{DIFF} =$ _____ $R_p =$ _____

测量系统分析	过程变差%																				
<p>重复性—设备变差 (EV)</p> $EV = R \times K_1$ $= \underline{\quad} \times \underline{\quad}$ $= \underline{\quad}$	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <th>试验次数</th> <th>K₁</th> </tr> <tr> <td>2</td> <td>4.45</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>3.05</td> </tr> </table> <p>%EV = 100[EV / TV] = 100[<u> </u> / <u> </u>] = <u> </u>%</p>	试验次数	K ₁	2	4.45	3	3.05														
试验次数	K ₁																				
2	4.45																				
3	3.05																				
<p>再现性—试验人员变差 (AV)</p> $AV = \sqrt{[(X_{DIFF} \times K_1) - (EV^2 / nr)]}$ $= \sqrt{[(\underline{\quad} \times \underline{\quad}) - (\underline{\quad}^2 / \underline{\quad} \times \underline{\quad})]}$ $= \underline{\quad}$	<p>%AV = 100[AV / TV] = 100[<u> </u> / <u> </u>] = <u> </u>%</p> <p>n=零件数量 r=试验次数</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <th>评价人</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> <tr> <th>K₂</th> <td>3.65</td> <td>2.70</td> </tr> </table>	评价人	2	3	K ₂	3.65	2.70														
评价人	2	3																			
K ₂	3.65	2.70																			
<p>重复性和再现性 (R&R)</p> $R\&R = \sqrt{(EV^2 + AV^2)}$ $= \sqrt{(\underline{\quad}^2 + \underline{\quad}^2)}$ $= \underline{\quad}$	<p>%R&R = 100[%R&R / TV] = 100[<u> </u> / <u> </u>] = <u> </u>%</p>																				
<p>零件变差(PV)</p> $PV = R_p \times K_3$ $= \underline{\quad} \times \underline{\quad}$ $= \underline{\quad}$	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <th>零件数量</th> <th>K₃</th> </tr> <tr> <td>2</td> <td>3.65</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>2.70</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>2.30</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>2.08</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>1.93</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>1.82</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>1.74</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>1.67</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>1.62</td> </tr> </table> <p>%PV = 100[PV / TV] = 100[<u> </u> / <u> </u>] = <u> </u>%</p>	零件数量	K ₃	2	3.65	3	2.70	4	2.30	5	2.08	6	1.93	7	1.82	8	1.74	9	1.67	10	1.62
零件数量	K ₃																				
2	3.65																				
3	2.70																				
4	2.30																				
5	2.08																				
6	1.93																				
7	1.82																				
8	1.74																				
9	1.67																				
10	1.62																				
<p>总变差(TV)</p> $TV = \sqrt{(R\&R^2 + PV^2)}$ $= \sqrt{(\underline{\quad}^2 + \underline{\quad}^2)}$ $= \underline{\quad}$																					

所有的计算都是建立在预计的 5.15 σ (正态分布曲线下面积的 99.0%)基础之上的。

K₁ 为 5.15/d₂; 式中 d₂ 取决于试验次数 (r) 和零件的个数 (m) 乘以操作操作员的人数 (g), 假设后者大于 15, d₂ 值来自附件 E;

AV——如果根号下的计算值为负值, 则评价的变差 (AV) 等于 0 (σ);

K₂ = 5.15/d₂, 式中 d₂* 取决于操作者数(m)和(g),g=1, 因为只计算一个极差;

K₃ = 5.15/d₂, 式中 d₂* 取决于零件的个数(m), 并且(g)等于 1, 因为只计算一个极差;

d₂* 查“质量控制和工业统计”(A.J.Duncan)的表 D₃ (附录 H, 参考文献 9)。

图 43 量具的重复性和再现性报告

测量系统重复性和再现性变差 (R&R 或 σ_m) 等于设备变差的平方与评价人变差的平方之和再开方, 即:

$$R\&R = \sqrt{[(EV)^2 + (AV)^2]}$$

零件间变差 (PV 或 σ_p) 等于零件均值的极差 (R_p) 乘以一个常数 (K_3), 取决于量具研究中所用的零件的个数。

研究的总变差 (TV) 等于重复性和再现性变差的平方与零件间变差 (PV) 的平方和再开方, 即:

$$TV = \sqrt{(R\&R)^2 + (PV)^2}$$

如果已知过程的变差并且它的值是以 6σ 为基础的, 则它可以用来代替由量具研究数据计算得到的总的研究变差 (TV)。这一步可由下面两个公式得到:

$$1. TV = 5.15 \left[\frac{\text{过程变差}}{6.00} \right]$$

$$2. PV = \sqrt{[(TV)^2 + (R\&R)^2]}$$

这两个值 (TV 和 PV) 可代替它们的前面所计算的值。

如果量具研究中的每个因素的变差已确定, 可将它与总的变差 (TV) 对比。方法是进行量具报告表上 (图 43) 右边的“过程变差百分数”下的计算。

设备变差在总变差 (TV) 中所占的百分比 (%EV) 按 $100 \left[\frac{EV}{TV} \right]$ 计算。其他变差在总变差中所占的百分比按下列公式计算:

$$\%AV = 100 \left[\frac{AV}{TV} \right]$$

$$\%R\&R = 100 \left[\frac{R\&R}{TV} \right]$$

$$\%PV = 100 \left[\frac{PV}{TV} \right]$$

各因素所占的百分数之和将不等于 100%。

应对过程变差的百分比的结果进行评价, 从而确定测量系统是否能适合预期的运用。

如果用容差的百分比来代替过程变差的百分比进行分析的效果更好，则可对量具重复性和再现性报告（图 43）进行修改，将表中右边的过程变差的百分比改成容差的百分比，在这种情况下，%EV，%AV，%R&R 和 %PV 计算公式中的总变差（TV）由容差值代替。两种方法都应使用。

用以上两种方法计算出的量具重复性和再现性（%R&R）可接受的条件是：

- 误差 < 10%——量具系统可接受；
- 误差为 10%到 30%之间——考虑到应用的重要性、量具的成本以及维修的费用等可能是可接受的；
- 误差大于 30%——量具系统需要改进，应努力找到问题所在并纠正。

D. 示例

某公司开始评价某一测量系统，第一个要评价的量具是垫片厚度测量仪。质量部工程师决定用 10 个能反映过程变差的零件并从检验人员中随机抽出三名操作者来检验，从而确定系统的变差。由于时间太紧，所以只进行两次试验。按本节上面所述的方法收麻和分析数据，其结果是图 44 和图 45。

单值极差的上控制限（ UCL_R ）和下控制限（ LCL_R ）的计算见图 44，数据可以在重复性极差的控制图上，但通过对极差进行分析可知所有的极差均处于受控状态（即在 UCL_R 和 LCL_R 之间）。这说明所有的操作者是一致的并且用同样的方式使用量具。

必须计算每种变差分量的过程变差百分比和测量设备分析（见图 45）。对结果进行评价从而确定该测量系统是否能适合预期的应用。在本例中，%R&R 为 25.2%，因此可认为本测量系统刚好可用来测量过程的变差。

操作人员/ 试验序号	零件										均值
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1. A 1											0.83
2. 2											0.83
3. 3											
4. 均值											$\bar{X}_a = 0.85$
5. 极差											$\bar{R}_a = 0.05$
6. B 1											0.79
7. 2											0.75
8. 3											
9. 均值											$\bar{X}_b = 0.77$
10. 极差											$\bar{R}_b = 0.03$
11. C 1											0.83
12. 2											0.83
13. 3											
14. 均值											$\bar{X}_c = 0.83$
15. 极差											$\bar{R}_c = 0.03$
16. 零件均值 (\bar{X}_P)											$\bar{R}_P = 0.56$
17. $[\bar{R}_a=0.05 + \bar{R}_b=0.05 + \bar{R}_c=0.03] / [\text{操作人员}=3] =$											$\bar{R} = 0.04$
18. $[\text{Max}\bar{X}=0.83 - \text{Min}\bar{X}=0.77] = \bar{X}_{\text{DIFF}}$											0.06
19. $[\bar{R}=0.04 \times D_4^* = 0.13] = \text{UCL}_R$											0.13
20. $[\bar{R}=0.04 \times D_4^* = 0.00] = \text{UCL}_R$											0.00

* D_4 在 2 次试验时取 3.27, 在 3 次试验时取 2.58, 对于 7 次以下的试验 $D_3^* = 0$, UCL_R 代表单值 R 的极限, 圈出那些超出极限的试验, 识别其原因并加以纠正。用与原来相同的评价人和量具重复这些读数或剔除超限值后, 用剩下的观测值来重新计算均值和 R 值及控制限。

注: _____

图 42 量具的重复性和再现性数据表——示例

零件号和名称：垫片

量具名称：测厚仪

日期：4/12/88

特性：厚度

量具号：X—2934

试验人员：

规格：0.6—1.0mm

量具型式：0.0~10.1mm

根据数据表： $\bar{R}=0.04$

$\bar{X}_{DIFF}=0.06$

$R_P=0.56$

测量系统分析		过程变差%																					
重复性—设备变差 (EV) $EV = R \times K_1$ $= 0.04 \times 4.56$ $= 0.18$		<table border="1"> <thead> <tr> <th>试验次数</th> <th>K_1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2</td> <td>4.56</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>3.05</td> </tr> </tbody> </table>	试验次数	K_1	2	4.56	3	3.05	$\%EV = 100[EV / TV]$ $= 100[0.18/0.93]$ $= 18.7\%$														
试验次数	K_1																						
2	4.56																						
3	3.05																						
再现性—试验人员变差 (AV) $AV = \sqrt{[(X_{DIFF} \times K_1) - (EV^2/nr)]}$ $= \sqrt{[(0.06 \times 2.70) - (0.18^2/10 \times 2)]}$ $= 0.16$		<table border="1"> <thead> <tr> <th>评价人</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>K_2</td> <td>3.65</td> <td>2.70</td> </tr> </tbody> </table>	评价人	2	3	K_2	3.65	2.70	$\%AV = 100[AV / TV]$ $= 100[0.16/0.93]$ $= 16.8\%$ n=零件数量 r=试验次数														
评价人	2	3																					
K_2	3.65	2.70																					
重复性和再现性 (R&R) $R\&R = \sqrt{(EV^2 + AV^2)}$ $= \sqrt{(0.18^2 + 0.16^2)}$ $= 0.24$		<table border="1"> <thead> <tr> <th>零件数量</th> <th>K_3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2</td> <td>3.65</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>2.70</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>2.30</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>2.08</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>1.93</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>1.82</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>1.74</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>1.67</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>1.62</td> </tr> </tbody> </table>	零件数量	K_3	2	3.65	3	2.70	4	2.30	5	2.08	6	1.93	7	1.82	8	1.74	9	1.67	10	1.62	$\%R\&R = 100[\%R\&R / TV]$ $= 100[0.24/0.93]$ $= 25.2\%$
零件数量	K_3																						
2	3.65																						
3	2.70																						
4	2.30																						
5	2.08																						
6	1.93																						
7	1.82																						
8	1.74																						
9	1.67																						
10	1.62																						
零件变差(PV) $PV = R_P \times K_3$ $= 0.56 \times 1.62$ $= 0.09$		<table border="1"> <tbody> <tr> <td>10</td> <td>1.62</td> </tr> </tbody> </table>	10	1.62	$\%PV = 100[PV / TV]$ $= 100[0.09/0.93]$ $= 96.8\%$																		
10	1.62																						
总变差(TV) $TV = \sqrt{(R\&R^2 + PV^2)}$ $= \sqrt{(0.24^2 + 0.09^2)}$ $= 0.93$																							

所有的计算都是建立在预计的 5.15 σ (正态分布曲线下面积的 99.0%)的基础之上的。

K_1 为 5.15/ d_2 ; 式中 d_2 取决于试验次数 (r) 和零件的个数 (m) 乘以操作操作员的人数 (g), 假设后者大于 15, d_2 值来自附件 E;

AV——如果根号下的计算值为负值, 则评价的变差 (AV) 等于 0 (σ);

$K_2 = 5.15/d_2$, 式中 d_2^* 取决于操作者数(m)和(g),g=1,因为只计算一个极差;

$K_3 = 5.15/d_2$, 式中 d_2^* 取决于零件的个数(m),并且(g)等于 1,因为只计算一个极差;

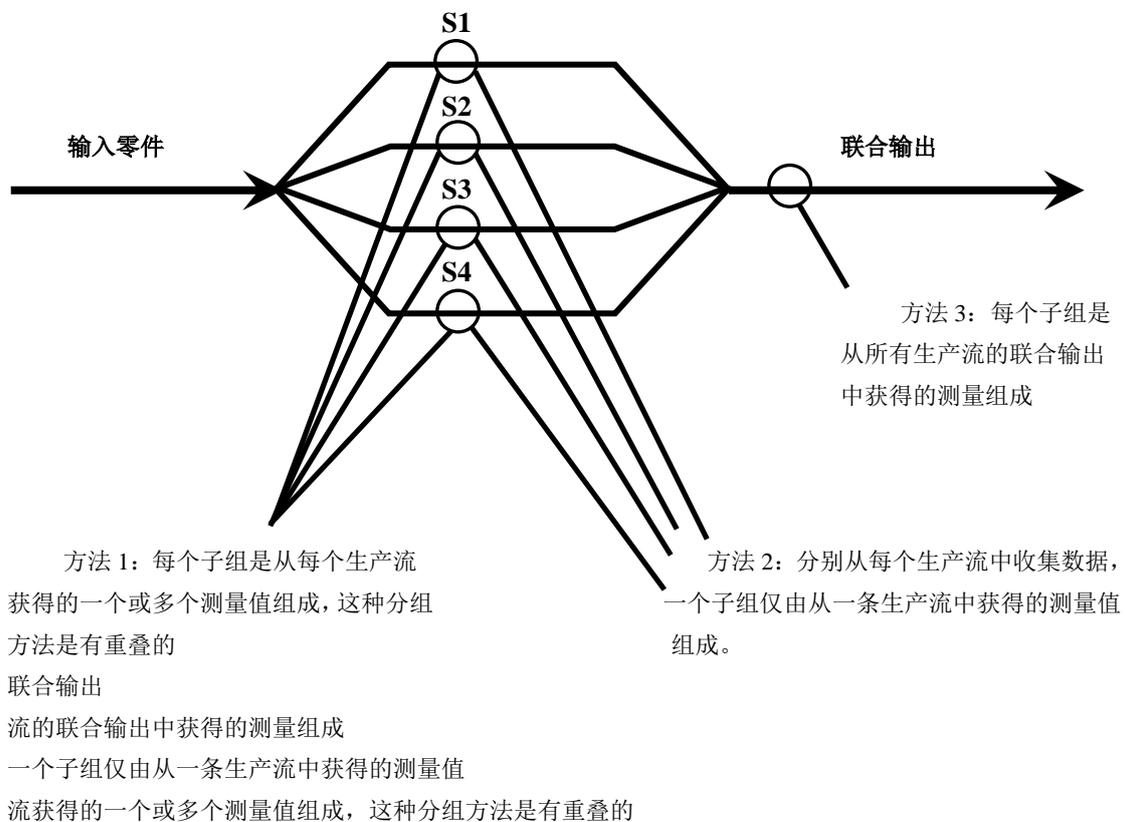
d_2^* 查“质量控制和工业统计”(A.J.Duncan)的表 D_3 (附录 H,参考文献 9)。

图 43 量具的重复性和再现性报告单一示例

附录 A

关于分组的一些评述

控制图是用来答复过程中的问题。为了使控制图起作用，重要的是控制图要回答正确的问题一个 X 图提出了问题。“存在于子组平均值中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，在解释控制图形成子组时，重要的是理解影响过程结果的变差可能的原因。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，所以应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。下图示出了用这三种方法进行抽样获得结果的一个例子。



每小时从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#	A	B	C	D
生产流 1	17	18	18	20
生产流 2	12	15	12	12
生产流 3	9	10	9	12
生产流 4	10	11	12	12

从以上数据中可以获得三种变差源，通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通过矩阵的行得到。小时与小时间的变差可以从 16 个零件中不同的样品得到。

一种分组的方法是描绘数据中每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含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规蹈矩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。极差的平均值等于 7.85。极差图的上控制限为 17.91 个单位。使用这种方法看来子组内的变差是稳定的。

按列（循环）分组的极差图（略）

按列（循环）分组的 \bar{X} 图（略）

方法2 按行分组

第二种分组方法产生 80 个 $n=4$ 的子组。过程总平均值为 11.76 个单位,极差的均值为 2.84 个单位, \bar{X} 图的控制限为 13.83 和 9.70 个单位,R 图的上控制限为 6.46 个单位。这种分组方法的控制图如下:

按行（锭子）分组的极差图（略）

按行（锭子）分组的 \bar{X} 图（略）

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 \bar{X} 图显示出一种图形,相对于第3行(锭子3)的所有点比其他生产流操作上的点大得多。第1个 \bar{X} 图没有反应出生产流的差异,因为取得每个 \bar{X} 值要把每个生产流的读数进行平均。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,生产流与生产流的变差用作比较的基准,R图用来检查生产流与生产流的变差在随着时间是否稳定,而 \bar{X} 图用来将循环与循环间,小时与小时的变差与生产流与生产流的变差相比。第二组控制图

用循环与循环间的变差随着时间是否稳定，而 \bar{X} 图用来将生产流与生产流间的变差及小时与小时间的变差与极差即循环与循环间的变差确定的基本变差作比较。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的控制限宽得多。

用第二个分组方法时，可用试验数据产生 4 组不同的控制图，每个生产流一个。

R 图（略）

\bar{X} 图（略）

对控制图进行对比可知第三个生产流的均值比其他的大，而个别过程处于失控状态。用来研究每个生产流中获得结果的基本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 \bar{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，但不再能区别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，则极差反映了混合的生产流与生产流之间的变差以及循环与循环间的变差，此外， \bar{X} 值包含了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 \bar{X} 图上可以看作是出现了失控的点。

联合输出的 R 图

联合输出的 \bar{X} 图

R 图检查生产流与生产流的变差以及循环与循环之间的变差随着时间是否一致。 \bar{X} 图回答这样的问题：“如果过程中仅存在与循环与循环之间和生产流与生产流之间的变差， \bar{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是目前研究认为最不重要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能回答有关变差潜在原因影响的问题。

附录 B

过度调整

过度调整是把每个偏离目标值当作过程中特殊原因处理的方法。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最后结果比目标值大 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（参见附录 H，参考文献 4，第 11 章）。

（图略）

附录 C
本手册所描述控制图的选用程序（略）

附录 D

Cpm*与其它指数[USL—T]= (T—LSL)]**的关系

* $C_{pm} = \frac{USL-LSL}{6\sigma C_{pm}}$ ，式中 $\sigma C_{pm} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(X_i-T)^2}{n-1}}$ ；T=规范目标值 Xi 为给定的单个样本读数 n=样本读数的总量；

** L.S.Chan, S.W.Cheng, and F.A.Spiring, “过程能力新度量值: Cpm”, 《质量技术杂志》Vol.20, No.3, 1998年7月, 第16页。从美国质量控制协会出版物《质量控制杂志》中复制而来。

附录 E

控制图的常数和公式表

子组容量	X-R 图*				X-S 图*			
	均值 X 图		极差 R 图		均值 X 图		标准差 S 图	
	计算控制限	标准差估计	计算控制		计算控制	标准差估计	计算控制	
	用的系数	值的除数	限用的系数		限用的系数	值的除数	限用的系数	
n	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	0.149	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	0.738	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	0.545	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

$UCL_X, LCL_X = \bar{X} \pm A_2 R$ $UCL_R = D_4 R$ $LCL_R = D_3 R$ $\hat{\sigma} = R/d_2$	$UCL_X, LCL_X = \bar{X} \pm A_3 S$ $UCL_S = B_4 S$ $LCL_S = B_3 S$ $\hat{\sigma} = S/C_4$
---	---

* 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(1916Race Street, Philadelphia, Pennsylvania 19103)

子组容量	中位数图* *				单值图 *			
	中位数 X 图		极差 R 图		单位 X 图		极差 R 图	
	计算控制限	标准差估计	计算控制	限用的系数	计算控制	标准差估计	计算控制	限用的系数
用的系数	值的除数	限用的系数	限用的系数	值的除数	值的除数	限用的系数	限用的系数	
n	A_2	d_2	D_3	D_4	E_2	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	1.696	—	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

$$UCL_X, LCL_X = X \pm A_2 R$$

$$UCL_R = D_4 R$$

$$LCL_R = D_3 R$$

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

$$UCL_X, LCL_X = X \pm E_2 R$$

$$UCL_S = D_4 R$$

$$LCL_S = D_3 R$$

$$\hat{\sigma} = S/C_4$$

* 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(1916Race Street, Philadelphia, Pennsylvania 19103)

** A 系数取自 ASTM—STP—15D“数据和效率表”,包含在 W.J.Dixon 和 F.J.Massey,Jr.,《统计分析概论》(第三版,1969 年 488 页)中;McGraw-Hill Book Company,New York.

计数型数据用控制图

不合格品率的 p 图，样本容量不必相等：

$$UCL_p, LCL_p = \bar{p} \pm 3\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})/n}$$

或

$$= \bar{p} \pm 3\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})/n}$$

不合格品数的 np 图，样本容量应相等：

$$UCL_{np}, LCL_{np} = \bar{p} \pm 3\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})}$$

不合格品数的 c 图，样本容量应相等：

$$UCL_c, LCL_c = \bar{c} \pm 3\sqrt{\bar{c}}$$

单位产品不合格数的 u 图，样本容量不必相等：

$$UCL_u, LCL_u = \bar{u} \pm 3\sqrt{\bar{u}/\bar{n}}$$

或

$$u \pm 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{\bar{n}}}$$

注：选用计数型数据用控制图指南

数：

（简单，但样本容量应相等）

比率：

（较复杂，但要调整到可理解的比率，并且
可以处理容量不等的样本）

np	c
p	u

附录 F

标准正态分布

P_z =过程输出超过特殊规定值（如工程规范限）的比例，这个特殊规定值与过程均值相距为 z 个标准差单位（针对处于统计控制状态并呈现正态分布的过程）。如： $z=2.17$,则 $p_z=0.0150$ 或 1.5%,在任何实际情况下,该比例仅为近似值。

附录 G

术语及符号

下面是本手册使用的术语的直接描述，其运算的与数学的定义见附录 H 中的参考文献。
本手册所使用的术语 (Terms Used in This Manual):

高级统计方法 (Advanced Statistical Methods)

比基本的统计方法更复杂的统计过程分析及控制技术，包括更高级的控制图技术、回归分析、试验设计、先进的解决问题的技术等。

计数型数据 (Attributes Data)

可以用来记录和分析的定性数据，例如：要求的标签出现，所有要求的紧固件安装，经费报告中不出现错误等特性量即为计数型数据的例子。其他的例子如一些本来就可测量（即可以作为计量型数据处理）只是其结果用简单的“是/否”的形式来记录，例如：用通过/不通过量规来检验一根轴的直径的可接受性，或一张图样上任何设计更改的出现。计数型数据通常以不合格品或不合格的形式收集，它们通过 p 、 np 、 c 和 u 控制图来分析（参见计量型数据）。

均值 (Average) (参见平均值 Mean)

数值的总和被其个数（样本容量）除，在被平均的值的符号上加一横线表示。例如，在一个子组内的 x 值的平均值记为 \bar{X} ， $\bar{\bar{X}}$ (\bar{X} 两横) 为子组平均值的平均值， \tilde{X} (\bar{X} 上加一波浪线) 为子组中位数的平均值。 R 为子组极差的平均值。

认知 (Awareness)

个人对质量和生产率相互关系的理解，把注意力引导到管理义务的要求和达到持续改进的统计思想上。

基本的统计方法 (Basic Statistical Methods)

通过使用基本的解决问题的技术和统计过程控制来应用变差理论，包括控制图的绘制和解释（适用于计量型数据和计数型数据）和能力分析。

二项分布 (Binomial Distribution)

应用于合格和不合格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-Effect Diagram)

一种用于解决单个或成组问题的简单工具，它对各种过程要素采用图形描述来分析过程可能的变差源。也被称作鱼刺图（以其形状命名）或石川图（以其发明者命名）。

中心线 (Central Line)

控制图上的一条线，代表所给数据平均值。

特性 (Characteristic)

一个过程或其输出的明显特性，可按这个特性收集计量型或计数型数据。

普通原因 (Common Cause)

造成变差的一个原因，它影响被研究过程输出的所有单值；在控制图分析中，它表现为随机过程变差的一部分。

连续的 (Consecutive)

连续生产的产品单元，是选择子组样本的基础。

质量和生产率持续改进 (Continual Improvement in Quality and Productivity)

一种可操作的宗旨，它充分利用公司内的人才，用不断提高效率的方式来为顾客生产质量不断提高的产品，从而归还受益者投资。这是一个动态的战略，使公司提高现在及未来市场条件中的能力。与任何静态的战略不同，它认为 2（显然地或隐含地）一些特殊的不合格中不可避免的。

控制 (Control)

用来表示一个过程特性的图象，图上标有根据那个特性收集到的一些统计数据，如一条中心线，一条或两条控制限。它能减少 I 类错误和 II 类错误的净经济损失。它有两个基本的用途：一是用来判定一个过程是否一直受统计控制；二是用来帮助过程保持受控状态。

控制图 (Control Limit)

控制图上的一条线(或几条线)，作为制定一个过程是否稳定的基础。如有超出了控制极限变差存在，则证明过程受特殊因素的影响。控制限是通过过程数据计算出来的，不要与工程的技术规范相混淆。

累计和 (CUSUM)

一种先进的统计方法，它利用当前的和最近的过程数据来检验过程均值中不大的变化或变异性，CUSUM 代表偏离目标值的变差的“累积和”，它把当前和最近的数据看得同等重要。

探测 (找出) (Detection)

一种被动(事后)型的策略，它企图在产品生产出来后发生不能接受的输出，并将其与好的输出分开(参见预防)。

分布 (Distribution)

描述具有稳定系统变差的输出的一种方式，其中单个值是不可预测的，但一组单值就可形成一种图形，并可用位置、分布宽度和形状这些术语来描述。位置一般用均值来表示，或者用中位数表示。分布宽度用样本的标准差或样本极差表示，形状包括许多特性，比如对称性及峰度，但经常使用常见分布的名称来概括，如：正态分布，二项分布，或泊松分布。

单值 (Individual)

一个单个的产品或一个特性的一次测量，通常用符号 X 表示。

位置 (Location)

分布中心趋势典型值的一般概念。

平均值 (Mean)

一组测量值的均值。

中位数 (Median)

将一组测量值从小到大排列后，中间的值即为中位数。如果数据库的个数为偶数，一般将中间两个数的平均值作为中位数。子组中位数是构成简单的有关过程位置的控制图的基础。中位数加波浪号(～)的符号表示；如 \tilde{X} 就是一分组的中位数。]

移动极差 (Moving Range)

两个或多个连续样本值中最大值与最小值之差, 这种差是按这样方式计算的: 每当得到一个额外的数据点时, 就在样本中加上这个新的点, 同时删除其中时间上“最老的”点, 然后计算与这点有关的极差, 因此每个极差的计算至少与前一个极差的计算共用一个点的值。一般说来, 移动极差用于单值控制图, 并且通常用两点 (连续的点) 来计算移动极差。

不合格品 (Nonconformity)

一个具体出现的不符合规范要求或其他检验标准的情况, 有时称为缺陷。一个不合格品中能有多处不合格。(例如: 一扇门也许有几处凹痕和缝, 对化油器进行功能检验可发现一些潜在的不合格。分析产品不合格的系统, 用 c 和 u 控制图。

正态分布 (Normal Distribution)

一种用于计量型数据的、连续的、对称的钟形频率分布, 它是计量型数据用控制图的基础。当一组测量数据服从正态分布时, 有大约 68.26% 的测量值落在平均值处正负一个标准差的区间内, 大约 95.44% 的测量值将落在平均值处于正负两个标准差的区间内; 大约 99.73% 的值将落在平均值处正负三个标准偏差的区间内。这些百分数是控制界限或控制图分析的基础 (因为即使整个输出的全部数据不服从正态分布, 但其子组平均值趋向于正态分布), 而且是许多过程能力确定的基础 (因为许多工业过程的输出服从正态分布。)

可操作的定义 (Operational Definition)

清楚地交流质量期望和性能信息的方式; 它由以下三部分组成: (1) 适用于某一个物体或一个组标准, (2) 对这一个体或组进行一种试验; (3) 一个决定: 是或不是——这一个体或组是否符合上述要求。

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序对各种潜在的有问题的区域变差源进行排序。一般情况下, 大多数的成本 (或变差) 是由于少量原因造成的, 所以解决问题的精力最好是优先集中在少量关键的原因上, 而暂忽视多数不重要的原因。

泊松分布 (Poisson Distribution)

应用于不合格数的计数型数据概率分布, 是 c 和 u 控制图的基础。

预防 (Prevention)

是一个主动 (事前) 型的策略, 通过直接分析和改善过程本身来改进质量和生产率。预防是与持续改进的宗旨是一致的 (参见检验)。

解决问题 (Problem-Solving)

从症状分析到产生的原因 (特殊的或普通的) 再到改进性能措施的过程。可用的基本技术有: 排列图, 因果图及统计过程控制技术。

过程 (Process)

能产生输出——一种给定的产品或服务的人、设备、材料、方法和环境的组合。过程可涉及到我们业务的合格各个方面, 管理过程的一个有力工具即为统计过程控制。

过程均值 (Process Average)

一个特定过程特性的测量值分布的位置即为过程平均值, 通常用 \bar{X} 来表示。

过程能力 (Process Capability)

一个稳定过程的固有变差 ($6\sigma R/d_2$) 的总范围。

——对于计量型数据 (Variables Data Case)

- (1) 过程固有能力的定义为 $6\sigma R/d_2$;
- (2) 符合规范的过程能力（即输出符合规范的百分数%）可以通过考虑过程中心及分布宽度（如 C_{PK} ）等指数和一些假设来估算。然而，也有估算这个值更精确的方法。

——对于计数型数据（Attributes Data Case）

过程能力通常用不合格的平均比例或比率表示。例如，从控制图上来说，过程能力被定义为 \bar{p} , \bar{c} 或 \bar{u} ，这里直接指的是不符合规范的产品平均比例或比率（或用符合规范的比例 $1-\bar{p}$ 表示）。

过程控制（Process Control）

参见统计过程控制。

过程性能（Process Performance）

一具过程总变差的总范围 $6\sigma R/d_2$ 。

过程分布宽度（Process Spread）

一个过程特性单值的分布变化程度。通常用过程平均值加减几倍的标准差来表示（例如： $X \pm 3\sigma$ ）。

二次方程式（Qadratic）

属于二次幂的数学关系式，二次方程式最普通的例子即为抛物线。

随机性（Randomness）

单值是不可预测的状态，尽管它可能符合某种分布规律。

随机抽样（Random Sampling）

使得所考虑的几个个体的所有组合被抽作样本的机会是相同的机样过程。

极差（Range）

一个子组、样本或总体中最大与最小值之差。

合理子组（Rational Subgroup）

按下列方式组成的子组：给予最大机会使得每个子组中测量相同，并且给予最大机会使得子组之间彼此不同。这种分组方法提出了一种确定一个过程的变差是否来自一个恒定系统的偶然要求的要求。

链（Run）

控制图上一系列连续上升或下降，或中中心线之上或之下的点。它是分析是否存在造成变差的特殊原因的依据。

链图（Run Chart）

一种代表过程特性的简单图形，上面描有一些从过程中收集到的统计数据（通常是单值）和一条中心线（通常是测量值的中位数），可用来进行链分析。（参见控制图）

样本（Smample）

应用于过程控制时，它是子组的同义词，这个用法的目的完全不同对于一大群人或项目等的估计。

形状（Shape）

数值分布形成的总体图形的一般概念。

σ （Singma σ ）

用于代表标准差的希腊字母。

特殊原因 (Special Cause)

一种间断性的, 不可预计的, 不稳定的变差根源。有时被称为原因, 存在它的信号是: 存在超过控制子的点或存在控制限之内的链或其它非随机性的图形。

规范 (Specification)

判定一特定的特性是否可接受的工程技术要求。规范不能与控制限混淆, 理想情况规范直接与顾客 (内部的或外部的) 的要求或期望紧密相连, 或者兼容。

分布宽度 (Spread)

和个分布中从最小值到最大值之间的间距 (参见过程分布宽度)。

稳定性 (Stability)

不存在变差的特殊原因; 处于统计控制的状态。

稳定过程 (Stable Process)

处于统计控制状态的过程。

标准差 (Standard Deviation)

过程输出的分布宽度或从过程中统计抽样值 (例如: 子组均值) 的分布宽度的量度, 用希腊字母 σ 或字母 s (用于样本标准差) 表示。

统计值 (Statistic)

由样本数据计算得到的值 (例如: 子组均值或极差), 用来推断产生输出的过程, 而这个样本也是来自这个输出。

统计控制 (Statistical Control)

描述一个过程的状态, 这个过程中所有的特殊原因变差都已排除, 并且仅存在普通原因。即: 观察到的变差可归咎于恒定系统的偶然原因; 在控制图上表现为不存在超出控制限的点或在控制限范围内不存在非随机性图形。

统计过程控制 (Statistical Process Control)

使用诸如控制图等统计技术来分析过程或其输出以便采取适当的措施达到并保持统计控制状态从而提高过程能力。

子组 (Subgroup)

用来分析过程性能的一个或多个事件或测量。通常选用合理分组使得每个子组内的变差尽量小 (代表普通原因的变差), 同时使得各子组间过程性能的变化 (即特殊原因变差) 不一样。合理子组一般由连续的零件组成, 尽管有时采用随机抽样。

I 类错误 (Type Error)

拒绝一个真实的假设; 例如: 采取了一个适用于特殊原因的措施而实际上的过程还没有发生变化; 过度控制。

II 类错误 (Type Error)

定量的数据, 可用测量值来分析。例如: 用毫米表示的轴承颈直径, 用牛顿表示关门的力, 用百分数表示电解液的浓度, 用牛顿·米表示紧固件的力矩, $\bar{X}-R$ 图, $\bar{X}-s$ 中位数, 单值和移动极差控制图都用于计量型数据 (参计数型数据)。

变差 (Variation)

过程的单个输出之间不可避免的差别; 变差的原因可分成两类: 普通原因和特殊原因。

——固有变差 (Inherent Variation)

仅由普通原因造成的过程变差，由 $6\sigma R/d_2$ 来估计：

——总变差 (Total Variation)

由于普通和特殊两个原因造成的变差，用 σ_s 估计。

区域分析 (Zone Analysis)

这是对休哈特 (Shewhart) 控制图详细分析的一种方法，它将 \bar{X} 图上均值到控制上限的区域分成三等分，并将平均值到控制下限的区域也分成三等分。这些等分的区域有时被称为“ σ ”区域（这里的 σ 为平均分布标准差，而不是单值）。只要数据服从正态分布（即受控）则期望一定比例落在每个区域内的概率是一定的。例如，落在均值相邻区域的概率是 0.3413，落在下一个区域的概率为 0.136，落在最近一个区域的概率是 0.02135，落在上、下控制限之外区域的概率各是 0.00135。那么可以根据与这些区域相关的数据点来检验数据中是否有些不自然的趋势。极差图的概率取决于样本的容量，计数型数据控制图的概率是以二项分布或泊松分布为基础的。由这个系统得到的经验方法可用作过程微小变化的早期警告系统，而这种微小变化可能不会反映为超出控制线的点。读者若想获得更多的信息可参考 Western Electric “统计质量控制手册”第 25~31, 180~183 页（附录 H，参考文献 7）。

本手册所使用的符号：

A_2 ——计算均值控制限时 R 的乘数，见附录 E 的表。

\tilde{A}_2 ——计算中位数控制限时 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 ——分别为计算样本标准差上下控制限时 s 的乘数，见附录有的表。

C ——样本中的不合格数， c 图的介绍见第 III 间第 3 节。

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 s 的除数，见附录 E 表。

C_P ——稳定过程能力指数通常定义为 $\frac{USL-LSL}{6 \hat{\sigma} R/d_2}$ 。

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

CPL——能力指数下限，通常定义为 $\frac{\bar{X}-LSL}{3 \hat{\sigma} R/d_2}$ 。

CPU——能力指数下限，通常定义为 $\frac{USL-\bar{X}}{3 \hat{\sigma} R/d_2}$ 。

CR——稳定过程的能力比值，通常定义为 $\frac{6 \hat{\sigma} R/d_2}{(USL-LSL)}$ 。

d_2 ——估计过程标准差时 R 的除数，见附录 E 表。

D_3 、 D_4 ——分别为计算极差的上下控制限时 R 的乘数，见附录 E 的表。

E_2 ——用来计算单位控制限时 R 的乘数，见附录 E 的表。

k ——用来计算控制限时子组的个数。

LCL——下控制限。 LCL_X ， LCL_R ， LCL_P 等分别是均值、极差、不合格品率等的下控制限。

LSL——工程规范的下限。

MR——主要用于单值图一系列点的移动极差。

n ——一个子组内的单值的个数；子组的样本容量。

\bar{n} ——平均子组样本容量。

np ——在一个容量为 n 的样本中不合格品的数量， np 图的介绍见第 III 章第 2 节。

$n\bar{p}$ ——样本容量恒定为 n 时，不合格品数的平均数。

p ——一个样本中的不合格品率， p 图的介绍如见第 III 章第 1 节。

\bar{p} ——一系列样本中的平均不合格品率。

P_P ——性能指数，通常定义为 $\frac{(USL-LSL)}{6\hat{\sigma}_s}$ 。

PR ——性能比率，通常定义为 $\frac{6\hat{\sigma}_s}{(USL-LSL)}$ 。

P_{PK} ——性能指数，通常定义为 $\frac{USL-\bar{X}}{3\hat{\sigma}_s}$ 或 $\frac{\bar{X}-USL}{3\hat{\sigma}_s}$ 的最小值。

P_Z ——输出超过利益点的比例，这种利益点诸如特定的规范限值，与过程均值之差为 z 个标准差单位。

\bar{R} ——子组的极差（最大值减去最小值）； R 图的介绍见第 III 章。

$\bar{\bar{R}}$ ——一系列容量相等子组的平均极差。

\tilde{R} ——一系列容量相等子组的平均的均值。

R ——一系列容量相等子组的平均极差的中位数极差。

s ——子组的样本标准差， s 图的介绍见第 II 章第 2 节。

s ——过程的样本标准差， s 的介绍见第 II 章第 5 节。

\bar{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加权。

SL ——单边工程规范极限。

u ——一个样本中每单元不合格数，这个样本可能含有一个以上单位， u 图的介绍见第 III 章第 4 节。

\bar{u} ——样本中单位不合格数的平均值，样本的容量不必相等。

UCL ——上控制限， UCL_X 、 UCL_R 、 UCL_P 等分别是均值、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，是其它子组统计值的基础，单值图的讨论见第 II 章第 4 节。

\bar{X} ——一个子组数值的平均数， X 图的讨论见第 II 章第 1 节。

$\bar{\bar{X}}$ ——子组均值的均值（如有必要可按样本容量加权）；测得的过程均值。注：在本手册中， \bar{X} 有作单值图的过程均值（第 II 章第 4 节）尽管它仅代表一个水平的平均（单值点），以便避免与通常便服了组均值的 \bar{X} 相混淆。

\bar{X} ——一个子组的数值的中位数；中位数图的讨论见第 II 章第 3 节。

$\bar{\bar{X}}$ ——子组中位数的均值，估计的过程中位数。

Z ——从过程均值到一个利益值（例如工程规范）的标准差单位个数。当用于能力评审时， Z_{USL} 就是与上规范限的距离，是的与与下规范限的距离，而 Z_{min} 是与最近的规范限的距离。

σ ——一个过程特性单值分布的标准差。

$\hat{\sigma}$ ——过程特性标准差的估计值。

$\sigma_{\bar{X}}$ 、 σ_R 、 σ_P ，等——基于样本过程输出的一个统计值标准差，例如，子组均值分布的标准差（为 $\sigma\sqrt{n}$ ），子组极差分布的标准差，不合格品率分布的标准差等。

$\hat{\sigma}_s$ ——用位于该组平均值附近的一组单值的样本标准差来估计的过程标准差。

$6\hat{\sigma}_{R/d_2}$ ——用从过程中得到的子组样本的平均极差来估计稳定过程的标准差，通常在控制图内容中讨论，式中 d_2 为附录 E 表中的系数。

附录 H

参考文献及建议的读物

1. Walter A. Shewhart, *Economic Control of Quality of Manufactured Product*, Van Nostrand, 1931; republished ASQC, 1980. Available from the American Society for Control, 611 East Wisconsin Ave., Milwaukee, WI 53202.
2. Walter A. Shewhart, *Statistical Method from the Viewpoint of Quality Control*, Edited by W. Edwards Deming, the Graduate School, Department of Agriculture, 1939
3. W. Edwards Deming, *Quality, Productivity and Competitive Position*, Massachusetts Institute of Technology, Center for Advanced Engineering Study, 1982.
4. W. Edwards Deming, "Out of the Crisis," Massachusetts Institute of Technology, Center of Advanced Engineering Study, 1989.
5. American National Standards Institute, *Guide for Quality Control and Control Chart Method of Analyzing Data (ASQC Standards B1-1958 and B2-1958/ANSI Z1.1-1958, revised 1975)*.
American National Standards Institute, *Control Chart Method of Controlling Quality During Production (ASQC Standard B3-1958/ANSI Z1.3-1958, revised 1975)*.

NOTE: The above two booklets are available from the American Society for Quality Control, 611 East Wisconsin Ave, Milwaukee, WI 53202.

6. American Society for Testing and Materials, *Manual on Presentation of Data and Control Chart Analysis (STP-15D)*, 1976. Available from the ASTM, 1916 Race Street, Philadelphia, PA 19103.
7. Western Electric CO., Inc., *Statistical Quality Control Handbook*, 1956. Available from: I.D.C. Commercial sales, Western Electric Company, P.O. Box 26205, Indianapolis, Indiana 46226.
8. Harvey C. Charbonneau and Gordon L. Webster, *Industrial Quality Control*, Prentice-Hall, Inc., 1978.
9. Acheson J. Duncan, *Quality Control and Industrial Statistics*, Richard D. Irwin, Inc., Fourth Edition, 1974.
10. Eugene L. Grant and Richard S. Leavenworth, *Statistical Quality Control*, McGraw-Hill, Inc., Fifth Edition, 1980.
11. Kaoru Ishikawa, *Guide to Quality Control*, Asian Productivity Organization, Revised Edition, 1976.
12. J.M. Juran, Frank M. Gryna, Jr., and R.S. Bingham, Jr., *Quality Control Handbook*, McGraw-Hill, Inc., Fourth Edition, 1990.
13. Ellis R. Ott, *Process Quality Control*, McGraw-Hill Inc., 1975
14. Bert Gunter, "Use and Abuse of C_{PK} ," 4 parts, *Quality Progress*, January 1989, March 1989, May, 1989 and July 1989.
15. ASQC Automotive Division/AIAG, *Measurement Systems Analysis Reference Manual*, AIAG, 1990.
16. L.J. Chan, S.W. Cheng, and F.A. Spiring, "A New Measure of Process Capability: C_{pm} ," *Journal of Quality Technology*, vol, 20, No. 3, 1988, pp 162-175.

17. Fred A.Spiring, "Assessing Process Capabiliyt in the Prescnce of Systematie Assignable Cause,"Journal of Qualiyt Technoloh, Vol. 23, No.2, April 1991
18. John T.Herman, "Capability Index-Enough for Process Industries?"Proceedings, ASQC 43rd AQC. 1989.
19. Robert A.Dovivh, "Statistical Terrorists,"Quality in Manu facturine Manazine, March-April, 1991.
20. B.A.F.Bissell, "How Reliable Is Your capability Index?,"Applied Statistics,Vol. 39,1990,pp 331-340.
21. R.A.Boyles,"The Taguchi Capability Index,"Journal of Quality Technology,"vo- l.23,1991,pp.17-26.
22. William W.Scherkenbach,Drmin's Road to Comtinual Improvement,SPC Press, Inc., 1986.
23. Donald J.Wheeler, David s.Chambers Understanding Stantistical Process Contr- o l, Statistical Process Controls, Inc., 1986.
24. General Motors corporation, Key Characteristics Designation System,GM-1805 QN, 1991.
25. Douglas C.Montgomery,Introduction to Statistical Quality Control,ASQC Qua- lity Press, 1991.
26. Leonard A.Doty, Statistical Process Control, ASQC Quality Press, 1991.
27. Peter D. Mauch , Basic SPC: A Guide For the Service Industries, ASQC Quality Press, 1991.
28. J.Bert Keats and Douglas C. Montgomery, Stutistical Process Control in Manuf- acturing,ASQC Quality Press, 1991.
29. Gary Fellers, PhD.,SPC for Practitioners:Special Cases and Continuous Process- es , ASQC Quality Press, 1991.
30. ASQC Statistics Division, Statistical "How-To"Techniques Series,ASQC Quali- Ty Press (15 volumes), 1979-1991.
31. Victor E.Kane,Defect Pervention-Use of Single Statistical Tools, Marcel Dekker, Inc. and ASQC Quality Press, 1989.
32. ASQC, Definitions, Symbols, Formulas, and Tables for Control Charts, ANSI/ ASQC A1-1987.

附录 I
可复制的控制图表

控制图（略）

供应商/S.P.C 手册使用者意见反馈过程

为了不断修改完善,在每年 10 月份本汽车工业基础统计过程控制 (SPC) 手册要进行正式的周期性评审/修订。为达到顾客满意,这种评审不仅要充分考虑适用的汽车制造商每年的更改要求,而且还要考虑汽车工业界和使用乾团体使手册更加有效和增加使用价值的反馈意见。为此,欢迎书面提出有关手册理解和实施的正反两方面的建设性意见。请在下述相应位置填写您的意见并指出手册具体的页码。您的意见请按下述地址寄送:

姓名 _____

代表 _____

供应 /公司/部门 名称

地址 _____

电话 () _____

请列出您的三大汽车顾客及其地址:

_____	_____
顾客	地址
_____	_____
顾客	地址
_____	_____
顾客	地址

反馈意见 _____

(需要时可附页) _____

寄至: C.Q.Project Team coordinator
AIAG Headquarters-Suite 200
26200 Lahser Road
Southfield, Michigan 48

联系信息

联系人：李金玉

电话：86-22-84771635

传真：86-22-24375351

Email: caqc@public.tpt.tj.cn

武修英

86-22-84771202

86-22-24375352

catarctr@public.tpt.tj.cn