

国防科技工业质量与可靠性专业技术丛书

统计过程控制技术

杨跃进 主编

航空工业出版社

责任编辑：邵 箭

封面设计：麦醒媛

国防科技工业质量与可靠性专业技术丛书
第一批出版书目

统计过程控制技术

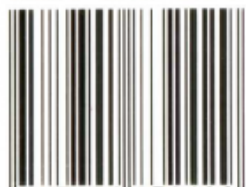
软件质量管理

危险分析与风险评价

故障模式、影响及危害性分析与故障树分析

军用元器件使用质量保证指南

ISBN 7-80183-242-6



9 787801 832429 >

ISBN 7-80183-242-6

V · 031

定价：20.00 元

国防科技工业质量与可靠性专业技术丛书

统计过程控制技术

国防科学技术工业委员会科技与质量司 组织编写

主编 杨跃进

编写 商广娟 郭 锐

主审 王 炘

航空工业出版社

内 容 提 要

本书是《国防科技工业质量与可靠性专业技术丛书》之一。

本书共分七章，其内容包括：统计过程控制概述，过程能力分析，控制图的基本原理，控制图及其应用，几种特殊控制图简介，控制图例与计算机作图，统计过程控制的实施与常见问题。书后还有4个附表：标准正态分布表及计量控制图系数表等。

本书可作为国防工程技术人员、质量与可靠性专业人员及各级领导干部对开展统计控制技术及其应用提供技术支持和学习参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

统计过程控制技术/杨跃进主编. —北京: 航空工业出版社,
2003.9

ISBN 7-80183-242-6

I. 统… II. 杨… III. 统计过程-质量控制 IV. TB114.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 085515 号

航空工业出版社出版发行

(北京市安定门外小关东里 14 号 100029)

利森达印务有限公司印刷

内部发行

2003年9月第1版

2003年9月第1次印刷

开本: 787×960 1/16

印张: 7.25

字数: 144千字

印数: 1—2000

定价: 20.00元


序

随着科学技术的进步和人们对高质量追求，质量工作越来越显示出它的重要性。三代中央领导同志都十分重视质量工作，多次强调要把质量工作作为关系到国民经济发展的抓大事来抓，质量工作在全国乃至全世界日益成为人们关注的焦点。质量对于军工产品而言尤其重要，从近代战争的历史看，武器装备的技术水平、质量水平在一定程度上决定了战争的式样和战争的进程。武器装备的质量直接关系到国防事业的发展，关系到未来战争的胜败，关系到战士的生命。国务院领导高度重视军品质量，强调指出“要整顿，要保军”、“保军首先要确保军品质量”。

国防科技工业战线的各级领导干部，长期以来始终坚持“军工产品质量第一”的方针，坚持预防为主，严把质量关，全面完成了党和国家交给的各项光荣任务，取得了一系列的光辉业绩，使国防建设和军工技术迅猛发展。新的国防科工委自成立以来就十分重视质量工作，强调“质量是国防科技工业的生命”，积极推进质量与可靠性基础建设，积极推动武器装备的质量与可靠性工作。但是，近年来，随着武器装备技术和质量要求的提高，随着军工队伍的新老交替，军工科研生产的质量形势依然十分严峻，质量工作面临着前所未有的巨大压力，迫切需要提高质量工作的力度和整体水平，提高全员的质量意识和工作质量，提高工程技术人员、质量与可靠性专业人员的业务素质和技术能力。为此，国防科工委组织编写了《国防科技工业质量与可靠性专业技术丛书》，有针对性的介绍当前质量与可

靠性方面的新要求、新技术、新方法，为全员质量教育培训和质量工作的规范化、科学化提供了强有力的技术支持，以便更加深入地贯彻落实军工质量法规和标准，指导军工科研生产的质量与可靠性工作。

国防科技工业战线的全体员工和广大质量工作者，要加强理论学习，不断增强质量意识和业务能力，以高度的革命热情和事业心、责任感，积极投身到军工科研生产的各项质量工作中去，为国防事业的发展做出更大的贡献。



2022.9.4.

《国防科技工业质量与可靠性专业技术丛书》

编审委员会

主 任 栾恩杰

副主任 吴伟仁 马恒儒 高志强 郭瑞霞 龚庆祥

委 员 (按姓氏笔画为序)

王 炘	王 勇	王 琳	史正乐
朱明让	朱春元	孙 勤	孙守魁
李良巧	李滋刚	李锦华	杨多和
张 忠	张恩惠	邵锦成	郎志正
庞海涛	徐继源	高辛平	卿寿松
屠庆慈			

前 言

从美国休哈特 (W. A. Shewhart) 博士提出统计过程控制 (SPC) 的概念至今已有 70 多年了。SPC 作为现代质量管理不可缺少的工具, 已为越来越多的人所认识并用于生产实践活动中。

SPC 用统计的观点揭示出过程的波动是导致质量问题的原因, 而过程的波动又具有统计规律。利用这种统计规律性, 我们可以预测过程质量的发展趋势, 发现改进机会, 通过控制和减小波动, 达到有效地提高产品和服务质量的目的。今天, SPC 作为有效地度量、分析、改进和监控生产或服务过程质量的工具, 其作用已不仅是减小过程的不合格品, 而且通过对过程波动的分析和控制, 使过程的潜能得以充分发挥, 使过程的输出更好地满足顾客的要求, 帮助我们在提高产品或服务质量的同同时, 降低生产成本, 缩短产品开发周期或生产周期, 使“预防为主”、“将质量建造到产品或服务中”得以很好的实现。SPC 作为一种科学手段, 在现代质量管理中占有重要的地位。今天, 应用 SPC 技术已作为“世界级”企业质量管理的基本要素, 在 ISO9000 等国际质量管理标准中, 也可以看到关于应用 SPC 的要求。

虽然我国自 1978 年推广全面质量管理以来, 不少质量管理和工程技术人员曾接受过 SPC 的培训, 但由于对 SPC 强调的面向过程的管理观念的认识不足以及在结合生产实际正确应用方面存在的问题, 使得 SPC 的应用没有很好地坚持下来并取得效果。在质量管理体系建设中, 统计技术的应用是许多企业的薄弱环节。应当承认, 在 SPC 的应用方面, 我们远远落后于世界先进国家。因此, 提高对 SPC 所代表的先进管理理念的认识, 加强对 SPC 技术方法的学习, 结合科研生产实践取得应用成果, 是提高我们的质量管理水平的重要环节。

本书重点介绍了统计过程控制技术及其应用, 包括: 过程波动对质量的影响; 过程能力的基本概念和分析方法; SPC 的核心技术——控制图理论和主要的常规控制图的应用; 为了满足国防工业特殊生产环境的需要, 本书还介绍了一些特殊类控制图的用法。为了使读者能更好地了解 SPC 技术, 本书中还补充了部分控制图例题和计算机绘图方法, 以及 SPC 实施案例和常见问题与回答。

本书共分 7 章:

第 1 章主要介绍了 SPC 的发展历史, 重点介绍了波动理论以及减小波动的意义和 SPC 用到的数理统计的基本概念。

第 2 章介绍了过程能力的基本概念, 以及过程能力指数 C_p 、 C_{pk} 和过程绩效指数

P_{pk} 的分析与计算方法。

第3章、第4章和第5章介绍了控制图的基本概念,包括过程失控判断准则、各种控制图的选用方法等。以均值-极差控制图、单值-移动极差控制图、不合格品率控制图、单位不合格或单位缺陷数控制图为例,重点介绍了常规控制图的绘图方法与应用。为了满足国防工业特殊生产环境的需要,补充介绍了目标控制图和多变量控制图的绘图与应用。

第6章以例题的形式补充了大量的控制图题例以及计算机绘图方法。

第7章介绍了一个成功地应用SPC等技术提高过程质量的案例,并且就实施SPC中经常遇到的问题,以问答的形式进行了讨论。

本书由杨跃进主编,第1章、第2章、第3章、第7章由杨跃进编写;第4章、第5章由商广娟编写;第6章由郭锐整理编写。本书的许多内容引用了多年来航空工业推广SPC技术的培训内容以及由北京中航科创质量技术中心开发的SPC多媒体光盘的内容。王欣、李永红、张改娥、蒋家东等同志为本书的撰写提供了大量资料。赵菁同志为本书绘制了大量图表,在此一并致谢。

衷心希望本书对广大质量管理与工程技术人员推广SPC技术有所帮助。

编者

2003年7月

目 录

第 1 章 概述	
1.1 什么是统计过程控制	(1)
1.2 识别、控制与减小波动的意义	(2)
1.3 过程波动的两种状态及其性质	(5)
1.4 波动的数学表达——概率分布与常用统计量	(7)
1.5 SPC 是识别和减小波动的基本工具	(11)
第 2 章 过程能力分析	
2.1 过程能力的基本概念	(14)
2.2 过程能力指数 C_p 与 C_{pk}	(15)
2.3 过程绩效指数 P_{pk} 及应用	(21)
第 3 章 控制图基本原理	
3.1 控制图的基本概念	(25)
3.2 控制图的种类与选用条件	(30)
第 4 章 常规控制图及其应用	
4.1 均值 - 极差控制图的作图方法及应用	(35)
4.2 单值 - 移动极差控制图及应用	(47)
4.3 不合格品率控制图及应用	(50)
4.4 单位不合格控制图及应用	(55)
第 5 章 几种特殊控制图简介	
5.1 目标控制图的应用	(60)
5.2 Hotelling T^2 多变量控制图	(63)
第 6 章 控制图题例与计算机作图	(70)
第 7 章 SPC 的实施与常见问题	(70)
7.1 一个成功应用 SPC 的案例	(89)
7.2 实施 SPC 常见问题与回答	(93)
附表	(98)
参考文献	(103)

第1章 概述

统计过程控制（SPC）是现代质量管理中不可缺少的工具。因此，不深入掌握 SPC 技术，就不是一名称职的国防科技工业质量管理人员。有效地应用 SPC 可以帮助我们提高产品或服务的质量，同时降低生产成本，缩短产品开发周期或生产周期。通过应用 SPC 及其相关技术，我们可以更有效地度量、分析、改进和监控生产或服务过程，更好地实现“预防为主”，“将质量建造到产品或服务中”。

1.1 什么是统计过程控制

统计过程控制是指用统计学的方法和技术对过程进行分析和控制。统计过程控制技术是那些可以用于过程分析与控制的数理统计技术与方法。统计过程控制的英文是 Statistical Process Control。因此，一般我们用英文缩写 SPC 来表示。

最早提出 SPC 的概念并用于质量管理实践活动的是美国休哈特（W. A. Shewhart）博士。早在 20 世纪 20 年代，美国贝尔实验室成立了以休哈特博士为首的过程控制研究组，这个研究小组提出了用统计的方法监控生产过程，并且提出了统计工具——控制图。第一张控制图诞生于 1924 年 5 月 16 日。1931 年，休哈特博士在其著作《工业产品质量的经济控制》一书中，详细论述了统计过程控制理论，奠定了 SPC 的发展基础。休哈特博士的 SPC 理论及其统计工具——控制图，对 20 世纪 30~40 年代的美国工业界产生了一定的影响，特别是在第二次世界大战期间，美国军方在军需物资的采购中积极推行休哈特方法，促进了 SPC 在工业界的应用。但遗憾的是，第二次世界大战后，美国人发现自己处于无可匹敌的地位，拥有世界上惟一未受重大战火破坏的工业体系而又面对战后出现的巨大消费市场。在繁荣兴旺的卖方市场上，企业不再关注质量。50~80 年代，SPC 的应用逐渐从美国工业中消失了。但是，一个地理上和资源上的小国——日本，携其高质量低成本的产品夺走了大批的国际市场，甚至在美国国内，大量的消费者成了日本轿车、家用电器和电子产品的忠实用户。谈到日本企业在这段历史上的成功，不能不谈到戴明（W. Edwards Deming）博士等美国著名质量管理专家的贡献。戴明博士将 SPC 的概念引入日本，指导日本的企业实实在在地应用 SPC 并取得成果。经过 20 几年的努力，日本跃居世界质量与生产力的领先地位。在日本强有力的竞争之下，质量再次成为人们关注的焦点，SPC 在西方工业发达国家再次兴起。

SPC 从诞生至今已有 70 多年的历史了。它用统计的观点提出，过程的波动是导

致质量问题的原因，而过程的波动又具有统计规律。利用这种统计规律性，我们可以预测过程质量的发展趋势，发现改进机会，通过控制和减小波动，达到有效地提高产品和服务质量的目的。因此，SPC作为一种科学手段，在现代质量管理中占有重要的地位。今天，应用SPC已作为“世界级”企业质量管理的基本要素。在ISO9000等国际质量管理标准中，也可以看到关于应用SPC的要求。例如，ISO技术报告TR10017《统计技术在ISO9001:1994中的应用指南》（注：该技术报告在2000版的ISO9000簇标准中仍适用），对SPC的应用提出了实施指南；QS9000标准对从事汽车零部件生产并按QS9000标准认证的企业，明确提出了SPC的应用要求；而IPC90标准则是对从事电子产品生产的企业提出的SPC实施指南。此外，美国波音公司等“世界级”公司也把应用SPC作为推进产品质量改进的一个重要手段，20世纪90年代初期，波音公司就提出了AQS标准，要求供应商应用SPC等先进方法，提高产品质量。由此可见，应用SPC等先进质量管理技术已成为当今质量体系建设不可缺少的部分。

1.2 识别、控制与减小波动的意义

正如前面所介绍的那样，SPC是识别和控制过程波动的科学方法。在生产实践中，即使操作者、机器、原材料、加工方法、测量手段、生产环境等条件相同，生产出来一批产品的质量特性的实际值并不完全一样，总是存在差异，这就是质量特性的波动（Variation）。

波动是无处不在的。在我们的日常生活中，存在大量的关于波动的例子。假如你每天精确记录到达办公室的时间的话，你可以发现每天到达的时间不尽相同，这就是波动。产品与服务的实现过程也总是存在波动的。比如，在生产过程中，按照同一图样、遵照同一作业指导书、采用同样规范的原材料、在同一台设备上、由一位操作者生产出的一批产品，其质量特性的实测值并不完全相同，总是存在差异，也就是波动或者变异。又比如，开一张票据所花的时间或文件复印的清晰程度都会存在差异。服务过程的等候时间、送货时间，服务过程的差错以及各种特性也存在波动或者变异。

那么，我们为什么要识别、控制，并努力地减小波动呢？

从顾客的角度来说，他们希望所获得的产品或服务与他们的期望或要求之间的差异越小越好。也就是说，他们希望相对于其要求的目标值来说，波动越小越好。正如世界著名质量管理专家田口玄一博士所指出的那样，质量特性实际值一旦偏离目标值就会对顾客造成损失；质量特性越远离目标值，对顾客造成的损失就越大；顾客的损失是与质量特性实际值与目标值之差的平方成正比的（如图1-1所示）。因此，我们应该努力地减小质量特性的波动。

从过程运行的角度来说，过程输出质量特性的波动反映了过程运行的状况，是过

程以它特有的方式在向我们诉说过程运行中存在的问题。过程输出的波动是过程的“声音”。我们需要识别顾客的“声音”和过程的“声音”（如图1-2所示）。按照顾客要求以及过程的表现识别改进机会，并对过程进行有效控制。

那么，我们有效地“倾听”顾客的“声音”和过程的“声音”了吗？

我们可能有这样的体会：按照我们传统的过程控制方法，即：对过程输出质量特性按照合格/不合格进行检验，我们把不合格的产品挑出来，对它们进行分析和处理。我们不再关心那些落在规范限或公差限内的合格产品。我们常常面对这样的问题，操作人员一般将轴加工得偏大一些。因为，这样不易出现超下差而报废的情况。操作人员一般将孔加工得偏小一些。因为，这样不易出现超上差而报废的情况。当这些合格的大轴和合格的小孔交付到顾客，即：装配工序的时候，引起了不好装，不好调，需要返修，降低了性能和使用寿命等一系列问题。这样的控制方法使我们忽视了顾客的“声音”。

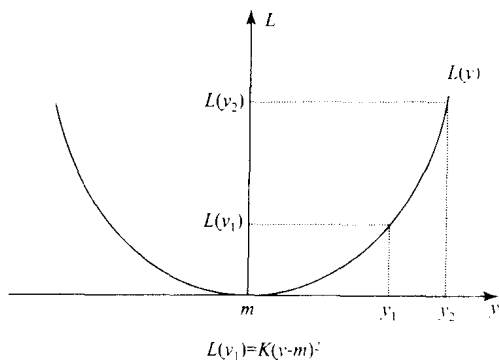


图1-1 田口质量损失函数

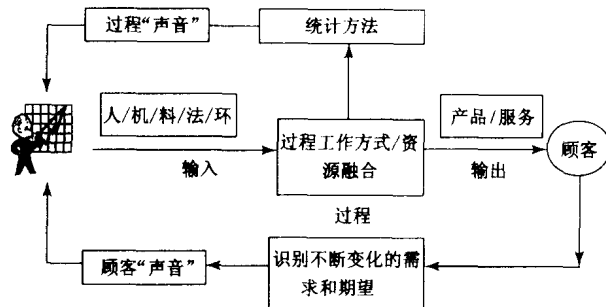


图1-2 顾客的“声音”与过程的“声音”

传统的质量管理方法对过程输出质量特性的波动的控制十分粗放，但现代质量管理则认为，必须重视波动。波动越大，产品的适配性、服务的配合等就越差，在装配和调整过程中将要花费更多的时间和资源；波动过大，还将引起产品性能、可靠性和使用寿命的降低。因此，波动将表现为企业内部资源的浪费和顾客的经济损失。正如田口博士的质量损失函数描述的那样。

[实例]

一个从事质量分析的咨询公司对投放市场的美国制造的索尼彩电和日本制造的索尼彩电的质量特性进行了抽样统计，其中色彩强度的抽样结果表明，美国公司生产的

电视机的色彩强度测量值没有落在规范要求之外，但接近目标值的彩电数量与接近规范上、下限的彩电数量相差不多，呈“面团”型分布。而日本公司彩电的色彩强度测量值虽然有少量落在规范上、下限之外，但大部分彩电的色彩强度接近目标值，呈倒钟形分布（如图 1-3 所示）。在市场上，尽管日本索尼的彩电有少数不符合规范要求，但日本索尼的市场竞争力却比美国公司的强。因为，绝大多数日本索尼的顾客买到的是色彩强度接近于理想值的产品。他们的感受要比美国公司的顾客好得多。

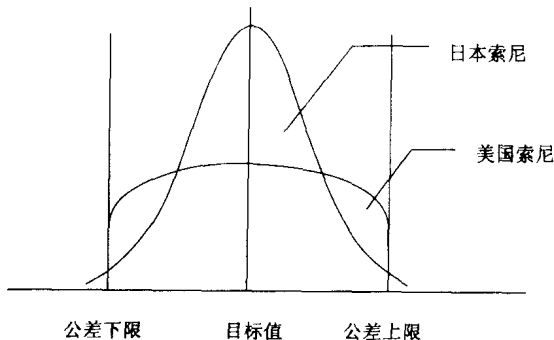


图 1-3 质量特性的波动对顾客的影响

我们在对“超差品”进行分析时，也往往忽视了过程的“声音”。我们常常是对着不符合规范要求的一件或几件产品来分析产生超差的原因。而不是从过程波动的总体上来分析和把握改进的机会。因此，我们的分析往往带有经验主义和主观“臆想”的色彩。常常是，同样的问题不断发生，成了质量管理的“慢性病”。要知道，对于同样的超差现象，引起的原因可能是根本不同的。比如，对于图 1-4 所示的两种完全相同的超差现象来说，图 1-4 (a) 所示的超差可能是对某些因素控制得不好而引起的。而图 1-4 (b) 所示的超差是由于过程输出的分散性太大而引起的。对这类问题，需要我们对过程进行详细的考察，甚至需要对过程方法进行重新设计才能解决。

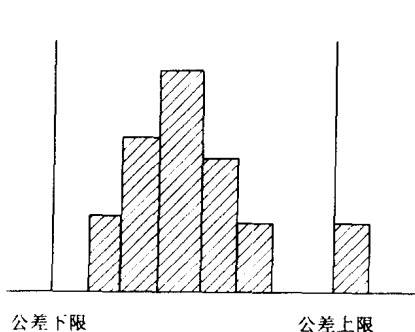


图 1-4 (a) 超差是由特殊原因引起的

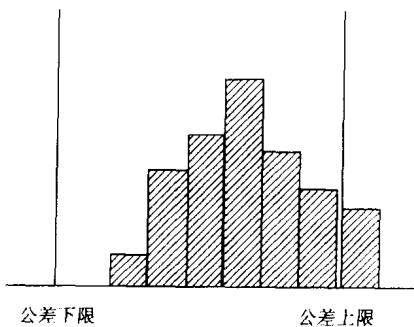


图 1-4 (b) 超差是由于过程太分散引起的

因此，我们需要学会“倾听”顾客“声音”和过程“声音”。从这个角度来说，我们需要学习识别、控制和减小波动的方法。

1.3 过程波动的两种状态及其性质

从统计学的角度来看，过程输出质量特性的波动可以分为两类，即：由随机因素（又称为普通因素）影响而引起的波动，我们通常将这种波动称为正常波动；和由系统因素（又称为特殊因素）影响而引起的波动，我们通常将这种波动称为异常波动。

什么是随机因素（或普通因素）呢？随机因素（或普通因素）是那些随时随地影响过程的、微小的、在技术上很难根本消除的或消除其影响要花费很大的经济代价的、在过程中允许存在的波动影响因素。它们具有下述特点：

- 在过程中时刻存在着，对过程波动的影响力随时变化；
- 这类因素一般复杂繁多，要列举出所有的因素很困难；
- 所有随机因素的共同作用导致了过程的总波动；
- 很难通过对过程的控制来减小或消除随机因素的影响；
- 减小随机因素的影响需要对过程进行系统地改进。

生产过程中存在的一些典型的随机影响因素有：原材料的成分和性能在规范内的微小差异；机器在规定范围的微小振动；温度、湿度的微小变化；操作方法、测量方法和测量仪器的微小差异等。

仅由随机因素引起的过程输出质量特性波动是固有波动。我们把只受随机因素影响的过程称为处于统计控制状态的过程，简称为受控状态或稳定状态。

什么是系统因素（或特殊因素）呢？系统因素（或特殊因素）是那些正常的过程中并不存在，一旦存在则影响显著的；对波动的大小和作用方向一般具有倾向性或周期性（例如，使所有数据都偏大或偏小或数据平均值的突变）；容易查明和控制的；在正常的过程中不允许存在的波动因素。它们具有下述特点：

- 并不经常存在于过程中；
- 它们通常来自过程之外；
- 相比随机因素而言，对过程波动有较大的影响；
- 容易发现和隔离。

生产过程中存在的一些典型的系统原因有：原材料的成分和性能不符合规定的要求；机器设备带病运转；操作者违反操作规程；测量工具带系统性误差等。

如果过程受到了系统因素的影响，我们称之为失控状态或不稳定状态。

区分过程的两类影响因素和两种状态对分析、控制和减小过程的波动来说，具有十分重要的意义。对于受控的过程来说，其输出质量特性的波动具有统计规律性。也就是说，虽然这时过程输出质量特性是波动的，在对它们进行测量前，我们不能准确

地说出这些质量特性的测量值具体是多少，但是我们可以利用统计规律，预测其波动范围。而对于失控过程来说，过程的输出不再服从预期的分布，我们无法对输出质量特性的波动范围进行预测。但我们可以根据失控的形式、出现失控的时间以及过程的状态，对失控原因进行分析，从而准确地找到引起失控的原因并加以纠正和控制。而对于不同影响因素引起的过程波动，应采取不同的控制与改进方法。例如，对系统因素引起的过程波动，应对过程进行控制。而对随机因素引起的过程波动来说，加强对过程的控制是不奏效的，需要对过程进行系统地改进，例如，改进技术、重新设计过程参数或方法、重新设计流程等。

不了解过程波动的性质和规律，盲目地控制或调整过程往往使我们事倍功半。花了力气，却得不到好的结果。下面的事例就是发生在我们身边的一个典型例子。

[案例]

开关压力是某型号产品的关键质量特性。要求将其控制在一定的范围之内（如图 1-5 (a) 所示）。开关压力大于 B 点，则可能造成操作员不易打开开关。开关压力小于 A 点，则可能由于振动或加速度等影响，使开关误动作。在生产过程中，工程技术人员发现产品的开关压力不易控制。总有一些开关的压力大于 B 或小于 A。如果将工序向压力大的方向调整，那么加工出来的开关可以通过“防误”测试，但是有一部分却通不过“开启”测试。如果将工序向压力小的方向调整，那么加工出来的开关可以通过“开启”测试，但是有一部分却通不过“防误”测试。

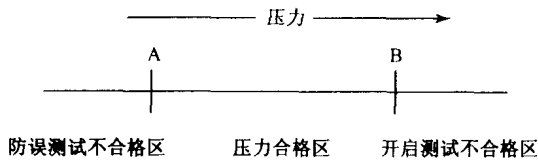


图 1-5 (a) 开关压力范围示意图

当我们将加工出来的所有开关的压力进行测试，并根据这些测量值绘制出过程输出质量特性波动的分布图形（如图 1-5 (b) 所示）时，我们可以看出，过程的输出 - 开关压力太分散了，过程输出的波动太大了。

调整过程使开关压力变大或变小，是无济于事的。因为此时过程输出的分散性太大了，应该减小过程的分散程度。而要减小分散程度就需要在开关的设计和工艺方法的改进上寻找机会，而不是简单地调整过程的设置（如图 1-5 (c) 所示）。因此，解决该问题的出路是，改进产品设计和工艺设计。

过程的波动并不是深不可测的“黑箱”。研究波动的规律及其状态可以提供许多有用的信号，而这些信号对于有效地分析、改进和控制过程是十分关键的。只有对过程的规律及其状态进行深入的了解，才能对过程采取适宜的措施和控制，否则任何措施的效果都可能适得其反或没有作用，与我们的期望背道而驰。

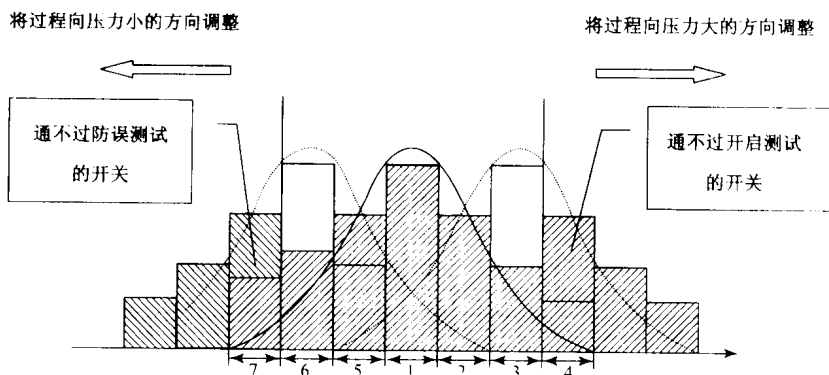


图 1-5 (b) 开关压力分布图

改进开关的设计和工艺方法, 使过程输出的波动变小。

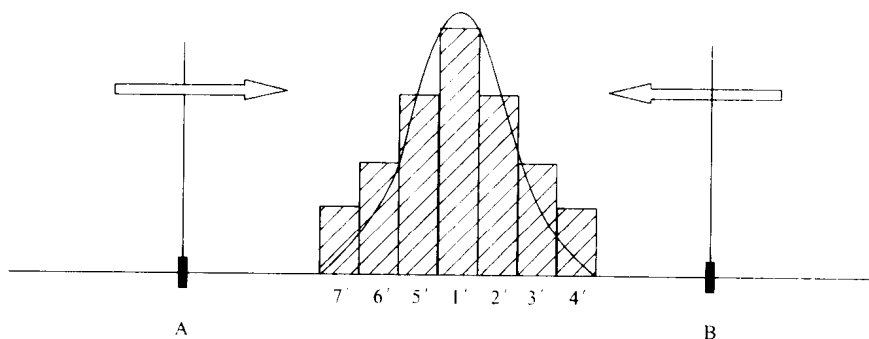


图 1-5 (c) 通过减小过程波动使问题解决

1.4 波动的数学表达——概率分布与常用统计量

如果一个过程只受随机因素的影响, 也就是说过程处于受控状态或稳定状态, 那么这个过程的波动是有规律可循的。我们可以用概率与统计学的方法来描述这个规律。如果从一个稳定的过程中测量一批零件的质量特性, 并将这些测量值用频数图表示出来, 我们可以得到如图 1-6 所示的图形。

观察这个频数图, 如果我们增加测量的产品数量并且提高测量精度和加密绘图区间, 那么, 这个频数图的包络线就趋向于一个连续曲线(如图 1-7 所示)。这个连续曲线有这样的特点: 它是左右对称的倒钟形曲线。这就是在描述过程输出质量特性波动中最常用的数学模型——正态概率分布曲线。也是在 SPC 中最常用的概率分布曲线。

描述一个正态分布需要两个基本参数: 表示分布中心位置的特征数 μ 和表示分布分散程度的特征数 σ 。我们可以用 μ 和 σ 来刻画分布的中心和分散程度, 以及