

全面质量管理

统计过程控制 (SPC) 技术原理和应用

钟伦燕 韩俊 刘红 主编



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

全面质量管理

统计过程控制(SPC)

技术原理和应用

钟伦燕 韩俊 刘红 主编



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书介绍统计过程控制(SPC)技术原理及其在生产过程质量控制中的应用。全书分为9章,系统、全面地介绍了SPC的发展历史和应用领域,SPC的基本工具——控制图技术的原理、特点和使用示例及其相应控制图的绘制步骤,并针对不同生产情况具体介绍控制图的原理、控制图上点子的判断准则、控制图的种类以及具体的操作方法,对生产过程质量控制具有重要价值。

本书适合企业质量管理与控制人员阅读,也可供统计过程控制技术研究人员和培训人员参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,翻版必究。

图书在版编目(CIP)数据

统计过程控制(SPC)技术原理和应用/钟伦燕,韩俊,刘红主编.—北京:电子工业出版社,2001.10
(全面质量管理)

ISBN 7-5053-7061-8

I.统… II.①钟…②韩…③刘… III.统计控制:过程控制 IV.F213.9

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第071477号

丛 书 名:全面质量管理

书 名:统计过程控制(SPC)技术原理和应用

主 编:钟伦燕 韩 俊 刘 红

责任编辑:王沈平

特约编辑:李盛沐 陈碧凤

排版制作:电子工业出版社计算机排版室

印 刷 者:北京天宇星印刷厂

装 订 者:河北省涿州桃园装订厂

出版发行:电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:15.25 字数:387千字

版 次:2001年10月第1版 2001年10月第1次印刷

书 号:ISBN 7-5053-7061-8
Z·372

印 数:2200册 定价:180.00元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页、所附磁盘或光盘有问题者,请向购买书店调换。
若书店售缺,请与本社发行部联系调换。电话 68279077

编 委 会

主 任 陈小筑

副主任 王黎明 叶玉青 周 健

编 委 孔学东 王群勇 王蕴辉 莫郁薇
曾向阳 陈浩华 彭苏娥 宋显娜

主 编 钟伦燕 韩 俊 刘 红

序

统计过程控制（简称 SPC）是一种统计控制技术，其实质是利用统计技术将数据转换成信息，编成文件，并采取纠正措施，改进过程效能。

统计过程控制是当今最流行、最有效的一种质量改进方法，发达国家的生产企业已普遍采用，并取得了显著的效果。在 20 世纪 70 年代，我国一些生产企业曾尝试采用这种技术，也取得了较好的效果；但由于某些原因（主要是数据采集技术和分析手段落后）未能坚持下来。

改革开放后，随着先进生产技术和先进生产设备的引进，特别是 ISO 9000 系列标准在我国的贯彻实施，SPC 技术在不少企业中得到重视和采用，一些企业还取得了较显著的效果。如何正确地、熟练地掌握 SPC 技术的具体操作方法成了推广应用该项技术的重要问题。

本书在介绍 SPC 发展历史、应用领域和实施程序的基础上，全面地、深入浅出地介绍了各种控制图的原理和特点，并通过大量的应用实例——对应地介绍了各种控制图的绘制步骤，具有很强的系统性和实用性，使用起来十分方便。本书无论对初学者还是已从事 SPC 工作的人员来说都是一本不可多得的统计过程控制技术应用教材。

本书的出版有助于 SPC 技术在更广泛的领域，特别是军工电子产品生产中推广应用。



2000 年 11 月 6 日

前 言

本书是在信息产业部科学技术司的支持下编写的。编写本书旨在为军工电子行业及其他相关行业提供统计过程控制技术的读本。本书阐述的控制图技术对生产过程质量控制,尤其是对提高产品质量一致性和稳定性具有良好的实用价值。全书介绍了各种生产情况的控制图技术的原理和应用示例,并详细介绍了相应控制图的绘制步骤。读者在实际应用时,既可直接使用相应控制图的绘制技术,也可将其编写成计算机程序(或购买商品化的计算机程序),实现自动化的数据采集和绘制。本书的具体内容如下:

- 统计过程控制技术、统计过程控制技术和控制图的关系(见第1章)。
- 控制图的原理、控制图上点子的判断准则、控制图的种类(见第2章)。
- 大规模生产条件下,各种常规控制图及其绘制,控制图的评价方法(见第3章)。
- 大规模生产条件下,常规控制图的归一化图——通用控制图及其绘制方法(见第4章)。
- 大规模生产条件下,生产比较稳定(波动较小)的控制图及其绘制(见第5章)。
- 大规模生产条件下,针对特定因素进行控制的常规选择控制图及其绘制(见第6章)。
- 小批量生产条件下的控制图及其绘制(见第7章)。
- 控制多个输出指标和多个特定因素的控制图(见第8章)。
- 过程能力指数的种类及其计算方法(见第9章)。

若读者已具备统计过程控制技术的基本知识,可根据自己工作的需要阅读相关章节;否则的话,请先阅读第1章、第2章和第9章,然后阅读相关控制图的章节。

本书在编写过程中得到信息产业部科学技术司、信息产业部电子第五研究所以及广州杰赛科技公司的大力支持和帮助,在此表示感谢。由于受编者水平和实际经验的限制,本书必定存在错误和不妥之处,衷心希望读者批评指正。

钟伦燕 韩俊 刘红

2000年11月

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 统计过程控制技术的发展和应⤵	(1)
1.2 SPC 的实施程序	(5)
第 2 章 控制图原理与判断准则	(7)
2.1 控制图原理	(7)
2.2 控制图的判断准则	(11)
2.3 控制图的种类及其实施程序	(16)
第 3 章 休哈特控制图	(21)
3.1 均值 - 极差控制图	(21)
3.2 均值 - 标准差控制图	(27)
3.3 中位数 - 极差控制图	(33)
3.4 单值 - 移动极差控制图	(37)
3.5 不合格品率控制图	(41)
3.6 不合格品数控制图	(45)
3.7 缺陷数控制图	(47)
3.8 单位缺陷数控制图	(50)
3.9 评价控制图性能的两个指标	(53)
第 4 章 通用控制图	(57)
4.1 随机变量的标准变换	(57)
4.2 直接打点法	(59)
4.3 通用均值图与通用极差图	(61)
4.4 通用不合格品数控制图	(64)
4.5 通用缺陷数控制图	(67)
第 5 章 小波动控制图	(71)
5.1 累积和控制图的形成与特点	(71)
5.2 计量型变量的累积和控制图	(74)
5.3 泊松分布变量的累积和控制图	(82)
5.4 二项分布变量的累积和控制图	(89)
5.5 移动平均控制图	(92)
5.6 指数加权移动平均控制图	(97)
5.7 高合格率过程的控制图	(103)
第 6 章 选择控制图	(107)
6.1 工序的两种质量和相应控制图	(107)
6.2 变量服从正态分布的选控图	(110)

6.3	变量服从二项分布的选控图	(118)
6.4	变量服从泊松分布的选控图	(126)
第7章	小批量生产控制图	(133)
7.1	变量服从正态分布的 Q 控制图	(133)
7.2	变量服从二项分布的 Q 控制图	(144)
7.3	变量服从泊松分布的 Q 控制图	(149)
7.4	目标控制图	(154)
7.5	比例控制图	(160)
第8章	多元控制图	(164)
8.1	均值向量控制图	(164)
8.2	多元离差控制图	(179)
8.3	多元单值向量控制图	(190)
8.4	均值向量和协差阵的联合检验	(195)
8.5	小批量生产抽样的大样本化	(198)
8.6	多因素多元选控图	(201)
第9章	工程能力和工程能力指数	(205)
9.1	工程能力	(205)
9.2	工程能力指数	(205)
9.3	工序综合工程能力指数和工序固有工程能力指数	(209)
附录		(214)
附录 A	均值 - 极差控制图系数表	(214)
附录 B	均值 - 标准差控制图系数表	(214)
附录 C	中位数 - 极差控制图系数表	(215)
附录 D	泊松变量累积和方案的参数与特性值	(215)
附录 E	泊松变量累积和方案的平均链长特性	(216)
附录 F	二项分布变量累积和图的方案与特性值	(217)
附录 G	二项分布变量累积和方案的平均链长 L	(218)
附录 H	标准正态分布表	(223)
附录 I	t 分布表	(224)
附录 J	χ^2 分布表	(226)
附录 K	L 分布表	(228)
附录 L	J 分布表	(229)
参考文献		(231)

第 1 章 绪 论

1.1 统计过程控制技术的发展和應用

1.1.1 统计技术与统计过程控制

1. 统计技术

统计技术是以概率论为理论基础发展起来的一门技术,分为描述性统计技术和推断性统计技术。描述性统计技术是用来对统计数据进行整理和描述的技术,如折线图、饼分图、频数直方图、散布图、帕雷图(排列图)和控制图等。推断性统计技术是在对统计数据描述的基础上,进一步对其反映的问题进行分析、解释和做出推断性结论的技术,如回归分析、统计抽样检验、实验设计和控制图等。在现代质量管理中广泛地采用了各种统计方法和工具,用于提高产品的质量。下面给出几种主要的统计技术及其用途。

控制图:用于监视并控制各类产品的生产和测量过程;

帕雷图:按重要顺序表示每一因素对整体作用的贡献;

散布图:发现和确认两组相关数据之间的关系;

直方图:显示数据波动的形态,直观地显示过程行为的信息;

因果图:分析和表达因果图解关系;

调查表:系统收集资料;

实验设计:确认哪些因素对过程和产品性能具有显著影响,并对结果进行定量分析;

统计抽样检验:对生产全过程进行抽样和验收产品批的质量;

回归分析:当过程条件或产品设计发生变化时,为过程或产品特性建立量化模型。

2. 统计过程控制

统计过程控制(Statistical Process Control,简称 SPC)是一种统计控制技术,其本质是利用样本的统计信息来判断过程状况,采取措施减少异常因素对过程的影响,以提高过程的效能。它的定义有多种描述。EIA-557-1A 关于 SPC 的定义为:SPC 是指利用统计技术将数据转换成信息,形成文件,以便纠正并改进过程的效能。GJB 3014 把 SPC 定义为:利用统计技术将数据转换成信息,并编成文件,采取纠正措施和改进过程效能。

广义的统计过程控制技术包括在线控制技术和线外控制技术。线外控制技术主要有频数直方图、散布图、帕雷图、回归分析、实验设计、工艺流程分析和测量设备分析等。在线控制技术主要有控制图和记录表等。

统计过程控制是当今一种最流行和最有效的质量改进方法。统计过程控制技术主要指运用休哈特(W.A. Shewhart)的过程控制理论即控制图来监测产品在生产过程中的各个阶

段(工序)的质量特性,根据控制图上的点子分布状况,分析质量特性的趋势,采取预防措施,确保生产过程始终处于统计控制状态,从而达到改进与保证质量的目的。

1.1.2 SPC 理论的历史和发展

统计过程控制技术伴随着质量管理技术的发展而发展。在 20 世纪 20 年代,为了在产品大量生产的情况下减少由于事后检验信息反馈不及时所造成的生产损失,贝尔电话实验室成立了以休哈特为学术领导人的过程控制研究小组和以道奇为学术领导人的产品控制研究小组。经过潜心研究,休哈特提出了过程控制理论以及监视过程的基本工具——控制图,并于 1924 年 5 月公布了世界上第一张控制图。1931 年休哈特对其多年的研究成果进行了总结,写出了著名的“Economic Control of Quality of Manufactured Products”(《工业产品质量的经济控制》)一书。20 世纪 30 年代,道奇与罗米格提出了抽样检验理论和抽样检验表。这两个小组的研究成果,在质量管理与控制领域具有划时代的影响,在他们之后虽然有数以千计的论文发表,但仍然是万变不离其宗。休哈特和道奇是将数理统计方法引入质量管理的开创者,是统计质量控制理论的创始人。休哈特被称为是统计质量控制的奠基人,当今的 SPC 理论与当年的休哈特理论并没有本质的区别。

休哈特理论的主要思想是:在产品的制造过程中,产品质量特性值总是波动的,这种波动可分成偶然波动和异常波动两大类。偶然波动是由于偶然因素引起的,而异常波动则是由于异常因素造成的。偶然波动在生产中始终存在,是不可避免的,对产品质量的影响极小,可以不加追究。异常波动在生产中时有时无,对产品质量影响极大,但是可以避免。因此,在生产过程中,需要关注的是产品质量的异常波动。应用控制图能够及时发现异常波动,当发现异常波动时需要尽快采取措施排除异常因素,并保证其不再出现。如此逐个排除异常因素,最终可以达到制造过程中只存在偶然因素而没有异常因素的状态,这也就是统计过程状态或称稳定状态。在稳定状态下进行生产,对于产品的质量有绝对的把握,而且生产是最经济的。若一条生产线的所有工序都达到稳定状态,则称之为全稳定状态生产线。SPC 之所以能够实现全过程的预防所依靠的就是全稳定生产线。

在休哈特之后,很多学者又提出了很多控制图,用于过程控制,比较重要的有下列几种。

(1) 累积和控制图。休哈特控制图仅利用了过程当前点子的信息,并未充分利用整个样本点子的信息,因此对过程的小变动(例如小于 1.0σ 的变动)不够灵敏。为此,1954 年佩基(E.S. Page)应用序贯分析原理,首先提出了累积和控制图(CUSUM: Cumulative Sum Control Chart)。它可以将一系列点子的微弱信息累积起来,因此对过程的小变动比较灵敏,随后许多学者对此进行了研究。

(2) 指数加权移动平均控制图。指数加权移动平均控制图(EWMA: Exponentially Weighted Moving Average Control Chart)是另一种用于检出过程小波动的控制图,其性能几乎与累积和控制图相同,最早由罗伯茨(S.W. Roberts)于 1959 年提出。由于 EWMA 是所有过去与当前观测值的加权平均,所以它对正态分布假设不敏感。

(3) 小批量生产控制图。小批量生产控制图包括:无先验信息小批量生产控制图;有历史信息小批量生产控制图;以及将相似工序同类分布的产品的质量特性值数据,通过数学变换成为同一分布从而累积成大样本的控制图。

(4) 累积合格品数控制图。累积合格品数控制图(CCC: Cumulative Counts of Confor-

mance Chart)是20世纪80年代IBM公司的专家卡尔因(Thomas W. Calvin)提出的,用于高合格率产品生产过程的计数型变量的过程控制,避免当不合格率极低时,计数型变量控制图的样品量过大的问题。

(5) 多元控制图。最早的多元控制图是1947年侯特林(H. Hotelling)提出的多元均值 T^2 图控制图,多元控制图在20世纪80年代到90年代初得到较快发展。多元控制图比一元控制图复杂得多。例如,在生产线的工序中,指标往往是多个,对于多指标的控制问题,一个很自然的想法就是,应用休哈特控制图分别对每一个指标进行控制。但是这样做没有考虑指标间的相关性,通常会导致错误的结论。因为在一定的显著性水平下,各变量的分别控制与全部变量的联合控制的控制域不同,用前者代替后者会出现过控或欠控两种报警错误。因此,无论各变量之间是否存在相关关系,都不能用对各变量的分别控制代替对全部变量的联合控制。多元情况时必须采用多元控制图进行控制。多元控制图有两种基本的类型:一种用来控制均值向量,如 χ^2 图和 T^2 图等;另一种用来控制离差(协方差),如W图、L图和|S|图等。实际应用时,两种多元控制图也需要联合使用。

(6) 选控控制图。上述各类控制图都是对生产过程中的所有异常因素都加以控制的控制图,被称为全控图。我国质量管理界著名学者张公绪教授于1979年提出了选控控制图(Cause-Selecting Control Chart)理论,即有选择地对引起质量波动的部分因素加以控制,从而缩小查找异常因素的范围,提高了工作效率。选控图应用数学变换实现选控,选控图与全控图具有一一对应的关系。

从应用情况来看,SPC技术的发展可分为3个阶段。

第一阶段为SPC阶段。它利用控制图技术,能科学地区分出生产过程中产品质量的偶然波动与异常波动,从而对过程的异常及时报警,以便采取措施,消除异常,恢复过程的稳定。大批量连续生产过程的SPC比较成熟,小批量生产过程的SPC正在不断完善。

第二阶段为SPCD阶段。SPCD(Statistical Process Control and Diagnosis)即统计过程控制与诊断,是利用控制图技术诊断出过程发生异常的原因、异常发生的地点。目前SPCD已进入实用阶段。

第三阶段为SPCDA阶段。SPCDA(Statistical Process Control, Diagnosis and Adjustment)即统计过程控制、诊断和调整,是利用控制图技术诊断出过程发生异常的原因、异常发生的地点,并能自我加以调整,至今无实用性成果。

1.1.3 SPC技术的应用前景

SPC技术诞生后,使质量管理从质量检验阶段进入到质量控制阶段。由于SPC技术是对产品质量进行主动预防控制,它与事后的被动检验相比,可大量降低质量损失,提高产品质量的一致性和稳定性。但是SPC技术诞生后的前20年并未被生产企业看好,在很长一段时间都没有得到较好的应用。主要原因是:

(1) 对SPC技术理解不全面。一些公司接触SPC技术之后,并没有认真研究,认为这种质量控制方法与其他控制方法一样,只是提高产品质量的一种手段,生产的目的是给客户提供合格的产品,并不一定要采用它。事实上SPC技术作为在线控制的最有效手段,最关键的作用是发现工序中存在的一些潜在问题,在尚未出现废品时就能及时发出报警信息,以便采取纠正措施,从而减少废品,提高工序的一次合格率和质量的一致性。

(2) 数据的采集繁琐。SPC技术的核心是利用样本的统计信息来判断过程状况,换言之就是利用样本的统计数据绘制控制图,根据控制图上样本点的信息,判断工序是否存在潜在问题。因此,利用SPC的过程涉及大量数据的采集、整理和分析,这些工作既繁琐又枯燥,在计算器和计算机不很普及的年代,数据的计算还是一件十分复杂的工作。很多企业就是因为数据采集繁琐以及计算麻烦,难以推广SPC技术。

(3) 不能持之以恒。使用SPC技术来改进质量,是一个渐进的过程,不可能一蹴而就。在控制图显示异常后,表明工序存在的潜在异常因素已经发生作用,就必须查找出异常因素,采取措施予以消除,保证这个异常因素今后不再发生。应用SPC技术是一个不断查找出异常因素并予以消除的过程。在这个过程中,只有收集到足够的数据才能进行。要使SPC成功地运作,要花很长的时间,甚至数年时间。有的企业利用控制图控制工序一段时间后,认为效果不理想或没有预料中的理想,就中途而废;也有些企业认为利用控制图已经取得了成功,就不再需要应用了。

二战中经济遭受严重破坏的日本,经过30年的努力,到1980年跃居世界工业产品质量与生产率的领先地位。美国质量管理专家认为日本成功的基石之一就是广泛应用了SPC技术。日本在1950年通过休哈特早期的一个同事戴明,将SPC技术引入日本,并广泛推广。面对日本的竞争,从20世纪80年代开始,SPC技术在西方工业发达国家开始复兴。面对过程控制方法在1950~1980年这段时间内从美国工业界中逐渐消失的局面,美国汽车工业首先重新大规模推行SPC,美国汽车业的三巨头广泛使用统计过程控制技术,到20世纪90年代其产品竞争能力再次超过日本同行。美国钢铁工业也大力推行SPC,加拿大钢铁公司在1988年将SPC列为该公司七大高科技方向之一。

我国在20世纪60年代初有少数单位试图推行工序控制。70年代,在中国科学院系统所及有关部委质量管理部门的推动和帮助下,有些工厂作了一些试点,并取得了一些成效。但由于种种原因,应用效果不理想,未能坚持下来。改革开放后,随着大型跨国公司进入我国,SPC技术再次引入我国企业,并在一些企业取得了显著效果。随着ISO 9000标准在我国企业的贯彻,SPC技术再次受到重视。

最近50年特别是近30年,SPC技术的应用领域从机械制造业扩大到其他制造业。随着控制图理论的完善,SPC技术应用范围从大规模生产过程控制推广到小批量生产过程的控制,从只对过程的异常发出报警信息发展到对异常进行诊断。不少企业应用SPC技术获得的效果十分显著,例如:

(1) 英国某制造多层印刷电路板的企业,可生产1500种规格的产品,有相互联系的化学、机械和照相制版工序约50个。应用SPC后,66%的工序处于统计受控状态,其余34%的工序也得到了控制,受控工序的废品率降低了30%。

(2) 德克萨斯仪器公司在其砷化镓集成电路生产线中,经过实施SPC后,受到控制的13个关键工序的平均工序能力指数从0.84提高到1.38,其中溅射氮化钽薄膜的工序根据SPC的结果进行改进后,工序能力指数从0.57上升到2.06,电镀工序的工序能力指数从0.5上升到1.2。

(3) Timex公司实施SPC技术后,因质量不合格导致的产品的批拒收率下降了42%。

(4) 天津普林电路板公司在沉铜、图形电镀、碱蚀和热风等几个工序中设立SPC控制图后,产品合格率从92%提高到98%。

(5) 北京 718 厂,在其片式膜固定电阻器生产线的电阻膜形成、激光调阻和电镀 3 个工序使用控制图后,抽取 100 只 RMK 2012 型 $2 \times (1 \pm 0.05) \text{k}\Omega$ 的产品测试比较,数据为:实施前 $\bar{R} = 2.0262 \text{ k}\Omega$, $R_{\max} = 2.068 \text{ k}\Omega$, $R_{\min} = 1.937 \text{ k}\Omega$, 实施后 $\bar{R} = 1.9856 \text{ k}\Omega$, $R_{\max} = 2.006 \text{ k}\Omega$, $R_{\min} = 1.973 \text{ k}\Omega$ 。

(6) 桂林制药厂土霉素车间利用 SPC 技术后,土霉素优级品率从 55.6% 提高到 80.5%。

随着电子计算机技术的发展,很多生产设备已经有自动的数据收集系统,为 SPC 的应用提供了条件。伴随着市场竞争不断加剧,SPC 技术应用的范围越来越广,除生产领域外,SPC 技术还广泛应用于服务业,如邮电行业的质量管理、医院的质量管理、铁路运输的质量管理以及软件编程的质量管理,并获得了成功。如北京天坛医院化验室实施 SPC 技术后,工作效率提高了 3 倍。

1.2 SPC 的实施程序

SPC 技术是质量体系的有机组成部分,应用 SPC 技术是一个系统工程,SPC 强调全过程的预防。SPC 的特点是:

- SPC 是全系统的、全过程的,要求全员参加,人人有责,这一点与全面质量管理的精神是一致的;
- SPC 强调用科学方法(主要是控制图)来保证全过程的预防;
- SPC 不仅用于生产过程,而且可用于服务过程和一切管理过程,SPC 要靠实施过程中取得的经验逐步完善。

应用 SPC 一般按下列步骤进行:

(1) 企业要制定系统的实施计划。实施计划包括:确定实施 SPC 的领导小组及其负责人,实施的目标,资源的配置,人员的培训,实施的日程表。SPC 的采用是一个学习的过程,进行这项工作最有效的方法是先进行小规模实验,在 SPC 应用到某一工序前,防范措施应落实到位。

(2) 对人员进行 SPC 及相关知识的培训。培训的内容有:SPC 的重要性,抽样方法,控制的概念和控制图,能力分析,质量管理,概率和统计基础知识,控制标准的制定方法,过程控制网图(过程控制网图是指按工艺流程顺序对每道工序的关键变量列出的图)的制定。对于操作者重点培训的是抽样(样品量,抽样频数,数据的收集),控制图点子的绘制,控制图点子的判断准则。可能的话,培训应与学员的工作实际联系起来。

(3) 确定影响质量的关键因素。首先对全厂的每道工序都要进行分析(可使用因果图),找出对最终产品影响最大的关键因素即关键变量(可使用帕雷图)。然后,根据关键变量,列出过程控制网图。

(4) 提出或改进规格标准。首先对步骤(3)得到的每个关键变量进行具体分析,然后根据实施状况和要求对每个关键变量建立过程控制标准,并填写过程控制标准表(可参见表 1.2.1)。本步骤的完成相当花费时间,制定一个部门的过程控制标准,短的要数月,长的要数年时间。

(5) 编制控制标准手册。编制的控制标准手册,供各道工序使用。它是企业正式的质

量管理文件,必须落实并贯彻执行,手册的更改必须严格按程序进行。控制标准手册应简明易懂,便于操作。

(6) 对过程进行统计监控。应用合适的控制图对各个工序进行监控,若发现问题,则必须对上述控制手册进行修订。必须注意的是同一工序可以使用多种控制图进行控制,有时不同规格的产品也可以使用相同的控制图进行控制,正确与合理使用控制图是 SPC 获得成效的关键。

(7) 对过程进行诊断并采取措施解决问题。控制图出现异常点后,可运用各种质量管理方法对过程进行诊断,找出原因,并采取措施予以消除。在诊断后的纠正过程中有可能引出新的关键质量因素,必须重复步骤(3)、步骤(4)和步骤(5)。

表 1.2.1 过程控制标准表

所在部门		控制点		控制因素		文件号		制定日期	
控制内容									
过程标准									
控制原因									
测量要求									
数据报告途径									
控制图	是否建立控制图		控制图类型		制定人	制定日期		批准人	批准日期
纠正措施									
操作程序									
审核程序									
制定人			审批人			审批日期			

第 2 章 控制图原理与判断准则

2.1 控制图原理

2.1.1 控制图概念

控制图(Control Chart)是用来区分质量特性波动是由系统原因引起的异常波动还是由过程固有的随机原因引起的偶然波动的一种工具。偶然波动一般只会在预计的界限内随机出现,而系统原因引起的异常波动则不然。过程存在异常波动表明需要对其影响因素加以判别、调查和剔除,并使之处于受控状态。控制图是一种用科学方法设计的图,可以对过程质量加以测定和记录,从而对其进行控制管理。它建立在数理统计学的基础上,利用有效数据建立控制界限。图中通常有中心线(CL:Central Line)、上控制界限(UCL:Upper Control Limit,也称做上控制线)和下控制界限(LCL:Lower Control Limit,也称做下控制线),并有按顺序抽取的样本统计量数值的描点序列,第 i 个样本点的坐标是 i (对应 i 样本的统计量),如图 2.1.1 所示。

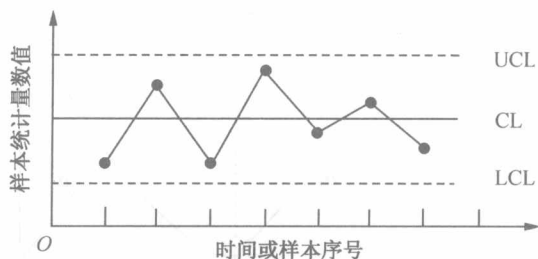


图 2.1.1 控制图示意图

2.1.2 控制图的原理

概率统计理论认为“概率很小的事件在一次试验中实际上是不可能发生的”,如果概率很小的事件真的在一次试验中发生了,就认定该事件发生的概率不是很小。控制图就是将概率论的这种理论,运用于生产实践的抽样,认为从处于稳定状态(统计受控状态)的生产过程中抽取的任一产品,其特征值不符合过程总体分布的事件是一小概率事件。如果抽样中发生了此类事件,说明过程不是处于稳定状态。控制图的诊断实质上是一种统计推断,它建立在生产过程处于稳定状态的基础上,根据抽取的一定数量的产品质量信息,利用概率统计理论推断全体产品质量状况。正是因为控制图的诊断是统计推断,是根据有限的样本信息来判断总体分布是否具有指定的特征,是一种假设检验,因此,利用控制图的诊断存在假设检验固有的两类错误,即“弃真”的错误和“取伪”的错误。

1. 控制图原理的第一种解释

工序质量控制过程就是利用样本统计量检验总体均值 μ 和标准差 σ 是否发生显著性变化的过程。在质量特性为连续值时,最常见的质量特性值分布为正态分布,若抽样得到的样本均值为 \bar{x} , n 为样本大小,使得

$$P\left(\left|\frac{\bar{x}-\mu}{\sigma/\sqrt{n}}\right| < z_{\alpha/2}\right) = 1 - \alpha \quad (2.1.1)$$

成立,则认为当显著性水平为 α 时,总体均值 μ 未发生显著变化,即工序处于稳定状态。式(2.1.1)中:

$$P\left(\left|\frac{\bar{x}-\mu}{\sigma/\sqrt{n}}\right| < z_{\alpha/2}\right) \text{ —— } \left|\frac{\bar{x}-\mu}{\sigma/\sqrt{n}}\right| < z_{\alpha/2} \text{ 的概率;}$$

μ —— 总体均值;

σ —— 总体标准差;

α —— 显著性水平;

$z_{\alpha/2}$ —— 标准正态分布上侧 $100 \times (\alpha/2)$ 百分位点。

式(2.1.1)给出了总体均值 μ 没有发生显著变化的样本均值 \bar{x} 的取值范围: $(\mu - z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \mu + z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}})$ 。显然, $\mu - z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ 和 $\mu + z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ 是工序总体均值 μ 是否发生显著变化的分界线,如图 2.1.2 所示。

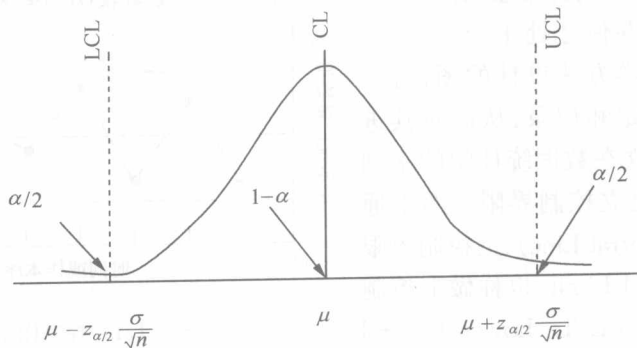


图 2.1.2 正态分布示意图

在图 2.1.2 中,

上控制线	$UCL = \mu + z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$	(2.1.2)
中心线	$CL = \mu$	
下控制线	$LCL = \mu - z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$	

对于不同的 α 值,查正态分布表的 $z_{\alpha/2}$,便可计算出相应的控制界限。式(2.1.2)中各符号的含义与式(2.1.1)相同,它是控制图计算控制界限的基本公式。

正态分布的一个结论对质量管理很有用,即无论均值 μ 和标准差 σ 取什么值,若取 $\frac{z_{\alpha/2}}{\sqrt{n}} = 3$,则 \bar{x} 落在 $(\mu - z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \mu + z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}})$ 范围内的概率为 99.73%,也就是说超出这个范围的概率仅为 0.27%。而超出范围一侧,即大于 $\mu + z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ 或小于 $\mu - z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ 的概率为 0.135% $\approx 1\%$ (如图 2.1.2 所示)。通常用的控制图就是先将图 2.1.2 顺时针方向旋转 90°,如图 2.1.3(a)所示,然后以中心线为对称轴将上下控制线翻转 180°,这样就得到了一张控制图,如图 2.1.3(b)所示。具体来讲,如 $n = 1$ 则是单值(x 值)控制图;如 $n > 1$ 则是均值(\bar{x} 值)控制图。这样确定的控制界限,上、下控制线与中心线恰好相距 3 倍标准差,也称为确定控制界限的“3 σ 原则”或“3 σ 方式”,通常使用控制图的控制界限就是上、下控制线与中心线恰好相距 3 倍标准差。一般规定中心线用实线绘制,上下控制线用虚线绘制。

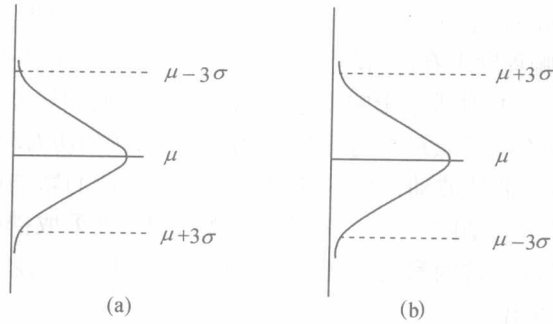


图 2.1.3 控制图的演变

现结合例子来说明控制图的原理。假定某厂有一剪切细铜线的设备,可以剪切长度为 8.00 mm 的铜引线。引线的标准差为 0.26 mm,样本总体均值为 8.00 mm,可得到 3σ 方式的上控制线(简记为 UCL)、中心线(简记为 CL)、下控制线(简记为 LCL)的值为

$$UCL = \mu + 3\sigma = 8 + 3 \times 0.26 = 8.78 \text{ (mm)}$$

$$CL = \mu = 8.00 \text{ (mm)}$$

$$LCL = \mu - 3\sigma = 7.22 \text{ (mm)}$$

见图 2.1.4, UCL, CL 和 LCL 统称为控制线。

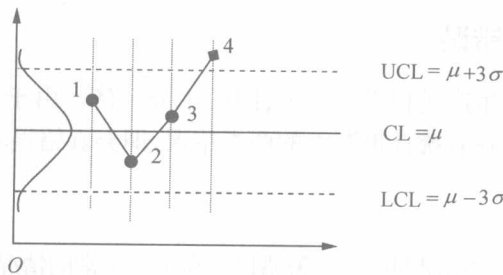


图 2.1.4 \bar{x} 控制图

为了控制引线的质量,每隔半小时随机抽取一根裁好的铜线,测量其长度,将结果描点在图 2.1.4 中,并用直线段将点子连接起来,以便观察点子的变化趋势。由图 2.1.4 所示可看出,前 3 个点子都在控制界限内,但第 4 个点子超出了上控制线。为了有所区别,把第 4 个点子用方点表示,表明此根引线长度过长了,应注意。现在对这第 4 个点子应作如下判断。根据正态分布的结论,在生产正常的条件下,点子超出上控制线的概率只有 0.135% 即千分之一左右,可能性非常小。根据统计理论,小概率事件实际上不发生,如发生则判断为异常。因此,可判断第 4 抽验时刻的生产过程中存在异常。

在控制图上描点,实质上就是进行统计假设检验,即检验假设(已知 $\sigma = 0.26 \text{ mm}$)

$$H_0: \mu = 8.00 \text{ (mm)}$$

$$H_1: \mu \neq 8.00 \text{ (mm)}$$

控制图的上、下控制线即为接受域与拒绝域的分界线,点子落在上、下界限之间,表明 H_0 可接受,点子落在上、下界限之外,表明 H_0 应拒绝。

2. 控制图原理的第二种解释

从微观角度来看,引起产品质量波动的原因主要来自 6 个方面:人(man)、机器(machine)、