

先进制造环境下的控制图技术

崔敬巍 谢里阳 叶旭明 编著

东 北 大 学 出 版 社

• 沈 阳 •

© 崔敬巍 谢里阳 叶旭明 2007

图书在版编目 (CIP) 数据

先进制造环境下的控制图技术 / 崔敬巍, 谢里阳, 叶旭明编
著. —沈阳: 东北大学出版社, 2007. 12

ISBN 978-7-81102-493-7

I. 先… II. ①崔… ②谢… ③叶… III. 统计控制: 质量控制
IV. TB114.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 204234 号

出 版 者: 东北大学出版社

地址: 沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号

邮编: 110004

电话: 024—83680267 (社务室) 83687331 (市场部)

传真: 024—83680265 (办公室) 83687332 (出版部)

网址: <http://www.neupress.com>

E-mail: neuph@neupress.com

印 刷 者: 沈阳中科印刷有限责任公司

发 行 者: 东北大学出版社

幅面尺寸: 140mm×203mm

印 张: 6.875

字 数: 185 千字

出版时间: 2007 年 12 月第 1 版

印刷时间: 2008 年 1 月第 1 次印刷

责任编辑: 潘佳宁 向 荣

责任校对: 刘 义

责任出版: 杨华宁

封面设计: 唐敏智

ISBN 978-7-81102-493-7

定 价: 26.00 元

前 言

20 世纪 20 年代，休哈特博士发明了以其名字命名的休哈特控制图（Shewhart Control Charts），为质量管理领域开辟了新纪元。休哈特控制图的提出，极大地带动了数理统计技术与质量管理理论的完美结合，创建了统计过程控制（Statistical Process Control, SPC）这一全新的理论和方法。这一新理论的提出和蓬勃发展将质量管理的重点转移到对过程状态的监控方面，从根本上改变了质量管理的事后检验状态。

SPC 理论和方法，无论在理论上还是在实践中均取得了丰硕的成果，已经被广泛应用于企业的质量管理实践。在 ISO 9000 系列文件中强调了 SPC 的重要性，这充分说明了企业界对 SPC 的重视。随着生产技术的不断发展，进入 20 世纪 80 年代以来，出现了以计算机集成制造 CIM、柔性制造 FM 为代表的先进制造模式。在 AMT 环境下，以控制图为主的常规 SPC 理论和方法面临极大的挑战。许多分析和研究证明，常规控制图方法已经不能适应 AMT 环境的需要。因此，不论是企业界还是学术界，都需要对常规控制图方法进行创新，从而对先进制造系统实施更为有效的质量管理和控制。本书主要针对在 AMT 环境下常规控制图所面临的一些问题，对控制图的理论及方法进行研究，进一步完善质量控制图的理论体系，同时为实际工作中正确使用质量控制图提供参考。本书的主要内容包括以下六个方面。

- 质量管理概述：主要介绍了质量的基础知识、质量管理概述及统计过程控制的基本概念、质量管理的设计基础等一些内容。

- 常规控制图理论：主要介绍控制图原理、控制图的概念及作用、控制图的分类、控制图在应用中的两类错误和检出力、控制图的判断准则、控制图在应用前的准备工作及一般程序等。

- 小批量生产过程的控制图技术：主要讨论了有先验信息的标准化变换控制图和无先验信息的 Q 控制图。

- 自相关过程的控制图技术：主要讨论了自相关现象对控制图犯第 I 类错误概率的影响，对调整界限控制图、特殊原因控制图、贝叶斯自相关控制图、批均值控制图的理论及性能进行了分析和研究。

- SPC 与 EPC 的集成控制技术：对 SPC 与 EPC 技术进行对比分析，并阐述两者集成的重要性；对由一阶动态过程及附加 ARMA (1, 1) 波动组成的系统，当输入发生阶跃变化时出现的暂态阶段进行了研究，提出了一种 SPC 与 EPC 集成的过程控制方法；构建了制造过程质量提升的理论集成概念模型。

- 结论及展望：对全书内容作归纳性总结，并展望未来的技术发展方向。

本书在编写过程中参考和借鉴了不少国内外的相关资料，在此谨向有关作者表示深深的谢意！本书得到“863”项目“基于制造资源优化配置的制造过程管理系统”（2001AA412020）、国家教育部高等学校博士学科点专项科研基金（20050145027）和沈阳大学学科建设项目著作出版的资助，感谢沈阳大学机械工程学院、科技中心及研究生学科办对本书所提供的支持与帮助。

由于 AMT 环境下的统计过程控制技术涉及面较广，对其研究仍处于初步阶段，书中还有许多内容尚需深入细致的研究，加之作者学识、水平所限，难免有不当之处，敬请学者、读者批评指正。

作 者

2007 年 12 月

目 录

前 言

第 1 章 质量管理概述	1
1.1 质量的基本知识	1
1.2 质量管理概述	7
1.3 统计过程控制	14
1.4 质量管理的统计基础	22
第 2 章 常规控制图理论	29
2.1 控制图的概念及作用	29
2.2 控制图原理	31
2.3 控制图的分类	37
2.4 控制图在应用中的两类错误和检出力	39
2.5 控制图的判断准则	42
2.6 控制图应用前的准备工作	46
2.7 控制图应用的一般程序	48
2.8 常规控制图	48
2.9 AMT 环境下常规控制图理论所面临的问题	51
第 3 章 小批量生产过程的控制图技术	54
3.1 多品种、小批量生产及其特点	54
3.2 小批量生产过程中控制图理论面临的问题	55

3.3	小批量生产过程的控制图方法研究进展	58
3.4	标准化变换控制图	66
3.5	Q 控制图	72
3.6	面向小批量生产过程的控制图选用	96
第 4 章	自相关过程的控制图技术	97
4.1	概 述	97
4.2	自相关过程的建模	98
4.3	自相关过程的质量控制	99
4.4	自相关过程的控制图方法研究进展	101
4.5	自相关现象对单值 X 控制图的影响分析	105
4.6	调整界限单值 X 控制图	111
4.7	特殊原因控制图	114
4.8	贝叶斯自相关控制图	126
4.9	自相关现象对均值 $\bar{X}$ 控制图的影响分析	137
4.10	调整界限均值 $\bar{X}$ 控制图	140
4.11	批均值控制图	143
4.12	特殊原因控制图与批均值控制图的 ARL 性能比较	146
第 5 章	SPC 与 EPC 的集成控制技术	151
5.1	统计过程控制与工程过程控制	151
5.2	SPC 与 EPC 集成的研究进展	158
5.3	SPC 与 EPC 集成的必要性	168
5.4	SPC 与 EPC 集成的过程控制方法研究	170
5.5	制造过程质量提升的理论集成概念模型	182

第 6 章 结论及展望.....	188
6.1 小批量生产过程的控制图技术	188
6.2 自相关过程的控制图技术	190
6.3 SPC 与 EPC 的集成控制技术.....	193
参考文献.....	196

第 1 章 质量管理概述

1.1 质量的基本知识

质量是一个企业综合实力的具体体现，也是一个民族物质文明的象征，还是一个国家文化、经济、教育、科技和管理水平的综合反映，是衡量一个国家经济实力和左右一个国家政治地位的重要因素。质量问题是我国经济发展中的一个战略问题，它反映着综合国力的强弱，是决定我国经济发展、国际经济地位和发展水平的关键因素。

1.1.1 质量的概念

质量是质量管理的对象。质量的概念最初仅用于产品，后来逐渐扩展到服务、过程、体系和组织及以上几项的组合。随着产品质量在国际贸易和人们经济活动中的地位日益提高，人们对质量以及质量管理的认识、实践和研究也在不断深入，一部分术语的概念扩大了含义，逐渐形成更加准确科学的质量术语标准。ISO/TC 176 综合了上述观点，在国际标准 ISO 9000：2000 中进一步规范了质量及质量管理的术语和定义。

1.1.1.1 质量的定义

质量（Quality）的比较全面和准确的定义是：“一组固有特性满足要求的程度”（ISO 9000：2000 __3.1.1）。对质量定义的理解包括如下两个要点。

（1）固有特性

“固有的”，是指某事或某物中本来就有的，尤其是那种永久的特性。例如，螺栓的直径、机器的生产率或接通电话的时间等技术特性。当然，特性还有不是某事物本来就有的，而是完成产品后，因不同的要求而对产品所增加的特性，如产品的价格、硬件产品的供货时间和运输要求特性等。

（2）要求

要求是指“明示的、通常隐含的或必须履行的需求或期望”。

“明示的”，可以理解为是规定的要求。如在文件中阐明的要求或顾客明确提出的要求。

“通常隐含的”，是指组织、顾客和其他相关方的惯例或一般做法，所考虑的需求或期望是不言而喻的。例如化妆品对顾客皮肤的保护性等。一般情况下，顾客或相关方的文件（如标准）中不会对这类要求给出明确的规定，供方应根据自身产品的用途和特性进行识别，并作出规定。

“必须履行的”，是指法律法规要求的或有强制性标准要求的。如食品卫生安全法、GB 8898“电网电源供电的家用和类似用途的电子及有关设备的安全要求”等。供方在产品的实现过程中必须执行这类标准。

要求可以由不同的相关方提出，不同的相关方对同一产品的要求可能是不相同的。组织在确定产品要求时，应兼顾各相关方的要求。

1.1.1.2 质量概念按实体对象的分类

质量的概念按照实体对象的不同可细分为产品质量、服务质量、过程质量及工作质量等。

（1）产品质量（Quality of product）

根据质量的定义，产品质量可理解为“产品满足规定概要与潜在需要的特征和特性的总和”。反映用户需要的产品质量特性归纳起来一般有6个方面，即性能（Function）、寿命（Life）、可靠性

与维修性 (Reliability and repairability)、安全性 (Safety)、适应性 (Adaptability) 和经济性 (Economy)。

(2) 服务质量 (Quality of service)

服务质量是指服务性行业各项活动或工业产品的销售和售后服务, 满足规定或潜在需要的特征和特性的总和。服务质量依行业而定, 其主要的共同性质和特性有 6 个方面, 即功能性 (Function)、经济性 (Economy)、安全可靠 (Safety reliability)、时间性 (Time service)、舒适性 (Comfortability) 和文明性 (Civility)。

(3) 过程质量 (Quality of process)

过程质量是指过程满足规定需要或潜在需要的特征和特性的总和, 也可以说是过程的条件与活动满足需要的程度。从产品和服务质量形成过程来说, 可分为设计过程质量 (Quality in designing)、制造过程质量 (Quality in manufacturing)、使用过程质量 (Quality in using) 及服务过程质量 (Quality in servicing)。

生产制造过程是从设计质量到产品实物质量的实现过程, 也是在产品形成全过程中涉及职能部门最广泛及参与人员最多的重要过程。在制造过程中, 质量控制的核心内容是对工序进行质量控制。工序是按照产品制造的工艺规律, 对产品、零件制造过程划分的每一个改变质量特性 (形状、尺寸、物理性能、化学性能) 的基本单元。它既是产品生产的基本单位, 也是进行质量控制和质量检验的基本环节。从质量管理的角度看, 这里所说的工序尽管产品、零件不同, 批量和生产方式不同, 其加工的性质和内容的繁简程度也可能有很大差别, 但是作为一道工序来说, 都是由操作者、机器设备、材料或半成品、工艺方法和工装、环境和测量构成的。正是这些元素共同组成了一道工序, 不管是哪一因素发生了变化, 都会对工序所加工的产品质量造成影响。因此, 所谓工序是指操作者、机器设备、材料、工艺方法和环境在规定条件下的组合, 是这些因素对产品质量综合起作用的过程。

产品是由零部件组成的，而零件又是由经过若干道工序的加工逐步形成的，可以说产品质量是由工序的质量决定的。因此要保证和提高产品质量，必须从研究工序质量入手，从而采取措施控制各种因素的变化，改善和提高工序质量。早在 20 世纪 20 年代，美国学者休哈特（Shewhart W. A.）就提出了统计过程控制理论以及监视过程的工具——控制图。经过近一个世纪的不断发展和完善，控制图已经成为工序质量控制的主要方法之一。

（4）工作质量（Working quality）

工作质量是指与质量有关的各项工作对产品质量、服务质量的保证程度。工作质量能反映企业的组织工作、管理工作与技术工作水平。工作质量的特点是：它不像产品质量那样能直观地表现在人们面前，而是体现在一切生产、技术、经营活动之中，并且通过企业的工作效率及工作成果，最终通过产品质量和经济效果表现出来。

1.1.2 与质量相关的概念和术语

国际标准化组织所制定的 ISO 9000：2000《质量管理体系 基础和术语》标准中，规范了有关质量活动的相关术语，介绍如下。

① 过程（Process），是指“一组将输入转化为输出的相互关联或相互作用的活动”（ISO 9000：2000 —3.4.1）。过程由输入、实施活动和输出 3 个环节组成。过程可包括产品实现过程和产品支持过程。一般过程示意图如图 1.1 所示。

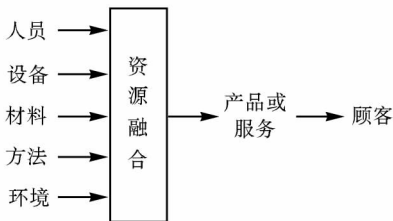


图 1.1 一般过程示意图

② 产品（Product），是指“过程的结果”（ISO 9000：2000 —3.4.2）。产品有 4 种通用的产品类别，即服务（如商贸、运输）、软件（如计算机程序、字典）、硬件（如机械零部件、电子计算机）

和流程性材料（如石油等）。

③ 顾客（Customer），是指“接受产品的组织或个人”（ISO 9000：2000 __3.3.5）。例如，消费者、委托人、最终使用者、零售商、受益者和采购方。顾客可以是组织内部的或外部的。

④ 组织（Organization），是指“职责、权限和相互关系得到有序安排的一组人员及设施”（ISO 9000：2000 __3.3.1）。

⑤ 质量特性（Quality characteristic），是指“产品、过程或体系与要求有关的固有特性”（ISO 9000：2000 __3.5.2）。由于顾客的需求是多种多样的，所以反映产品质量的特性也是多种多样的。它包括性能、适用性、可信性（可用性、可靠性、维修性）、安全性、环境、经济性和美学性等。

⑥ 管理（Management），是指“指导和控制组织的彼此协调的活动”（ISO 9000：2000 __3.2.6）。

⑦ 质量管理（Quality management），是指“指导和控制某组织与质量有关的彼此协调的活动”（ISO 9000：2000 __3.2.8）。

⑧ 体系（系统）（System），是指“相互关联或相互作用的一组要素”（ISO 9000：2000 __3.2.1）。

⑨ 管理体系（Management system），是指“建立方针和目标并实现这些目标的体系”（ISO 9000：2000 __3.2.2）。一个组织的管理体系可包括若干个不同的管理体系，如质量管理体系、财务管理体系和环境管理体系等。

⑩ 质量管理体系（Quality management system），是指“在质量方面指挥和控制组织的管理体系”（ISO 9000：2000 __3.2.3）。

⑪ 质量方针（Quality policy），是指“由组织的最高管理者正式颁布的该组织总的质量宗旨和方向”（ISO 9000：2000 __3.2.4）。

⑫ 质量目标（Quality objective），是指“与质量有关的、所追求或作为目的的事物”（ISO 9000：2000 __3.2.5）。

⑬ 质量策划（Quality planning），是指“质量管理中致力于设

定质量目标并规定必要的作业过程和相关资源以实现其质量目标的部分”(ISO 9000: 2000 __3. 2. 9)。

⑭ 质量保证 (Quality assurance), 是指“质量管理中致力于对达到质量要求提供信任的部分”(ISO 9000: 2000 __3. 2. 11)。

⑮ 质量控制 (Quality control), 是指“质量管理中致力于达到质量要求的部分”(ISO 9000: 2000 __3. 2. 10)。

⑯ 质量改进 (Quality improvement), 是指“质量管理中致力于提高有效性和效率的部分”(ISO 9000: 2000 __3. 2. 12)。

1. 1. 3 质量观念的演变

人类社会自从有了生产活动, 特别是在以交换为目的的商品生产活动中, 质量和质量管理一直是人们研究的重要课题。随着经济的发展和社会的进步, 人们对质量的要求也不断提高, 质量的概念也不断发生着变化。

纵观生产与经济发展的历史, 人们对质量的理解具有不同的阶段性, 见表 1. 1。

表 1. 1 质量观念的演变		
时期	质量观念	具体内容
产品导向时期	符合性	从生产角度去看质量。质量以符合现行标准的程度作为衡量依据。“符合标准”就是合格的产品质量
销售导向时期	适用性	从用户角度去看质量。质量以适合需要的程度作为衡量依据。“满足使用性”就是合格的产品质量
激烈竞争时期	广义性	从社会角度去看质量。质量包含各个方面, 如性能性、经济性、可靠与维修性、安全性、适应性、时间性、舒适性、文明性和环保性等

可见, 随着社会生产力的发展以及消费者消费观念和消费水平的变化, 质量已由单一、扁平的观念发展成为综合、立体的观念。

1.2 质量管理概述

质量管理是随质量问题的发生而产生的。质量管理的定义为：在质量方面指挥和控制组织的协调活动。在质量方面的指挥和控制活动，通常包括质量方针和质量目标以及质量策划、质量控制、质量保证和质量改进。

1.2.1 质量管理的发展

质量管理这一概念早在 20 世纪初就提出来了，它是伴随着工业生产与竞争逐步形成、充实和发展起来的。对于不同的时期，质量管理理论、技术和方法都在不断地发展和变化，并且有不同的特点。

(1) 检验质量管理 (Inspecting Quality Control, IQC) 阶段

这一阶段的时间从 20 世纪初至 20 世纪 30 年代末。其主要特征是有专职的检验部门，执行“事后把关，剔除不合格品”。在这一阶段里，对产品作出合格与不合格的判断，不允许不合格品进入下道工序或出厂，起到了把关的作用。但由于事后检验信息反馈不及时所造成的生产损失很大，因此又萌发出“预防”的思想。

(2) 统计质量管理 (Statistical Quality Control, SQC) 阶段

这一阶段的时间从 20 世纪 40 年代至 50 年代末。其主要特征是强调应用统计方法进行科学管理，突出质量的预防性控制与事后检验相结合的管理方式。统计方法的应用减少了不合格品的出现，降低了生产费用，但忽视了管理功能的发挥；加之数理统计方法本身“深奥难懂”，致使人们误认为“质量管理就是数理统计”限制了它的发展。

(3) 全面质量管理 (Total Quality Control, TQC) 阶段

这一阶段的时间从 20 世纪 60 年代至 80 年代末。其主要特征

是在设计、制造、销售全过程进行全面的质量控制，强调人的因素。现代化的大规模生产环境十分复杂，影响产品的质量因素也是多种多样的，单纯依靠统计方法不可能解决一切质量管理问题。在这种环境下，20 世纪 60 年代初，美国通用电气公司的费根堡姆（Feigenbaum A. V.）提出了“总体质量控制”的思想，朱兰（Juran J. M.）提出了“全面质量管理”的概念。全面质量管理理论虽然发源于美国，但在日本取得了巨大成功。目前，全面质量管理概念已被世界各国普遍接受，在实践中得到了丰富的发展。

（4）质量管理与保证体系认证（Quality Management and Assurance System Certification, QMASC）阶段

这一阶段是从 20 世纪 80 年代开始到至今。其主要特征是质量保证和质量管理体系的逐步推广和完善。1979 年，国际标准化组织成立了“质量保证”技术委员会，从事质量管理 and 质量保证标准的制定工作，并于 1987 年制定出一套质量管理 and 质量保证国际标准，经过两次改版、修订和扩展，目前实施版本为 2000 年版。ISO 9000 标准族是当代工业发达国家质量管理 and 质量保证经验的科学总结。ISO 9000 系列标准的发布、贯彻与实施，为企业建立质量管理 and 质量保证体系提供了框架体系，促进了企业质量管理的发展。

进入 21 世纪后，质量管理将进入一个新的发展阶段，即第五阶段——社会质量管理（Social Quality Management, SQM）阶段。再进一步，则将向全球质量管理（Global Quality Management, GQM）阶段发展。

可见，质量管理的发展经历了一个从被动走向主动、从片面走向全面、从企业内部走向社会 and 全球的发展过程。

1.2.2 质量控制

质量控制是质量管理的一部分，致力于满足质量要求。质量管

理的一项主要工作是通过收集数据、整理数据，找出波动的规律，把正常波动控制在最低限度，消除系统性原因造成的异常波动，把实际测得的质量特性与相关标准进行比较，并对出现的差异或异常现象采取相应措施进行纠正，从而使工序处于控制状态。这一过程就叫做质量控制。

质量控制技术包括两大类，即抽样检验和过程质量控制。抽样检验通常发生在生产前对原材料的检验或生产后对成品的检验，根据随机样本的质量检验结果决定是否接受该批原材料或产品。对抽样检验的研究，创始于20世纪20年代，它的奠基人是美国贝尔电话实验室（Bell Telephone Laboratory）的道奇（H. F. Dodge）。他和罗米（H. G. Roming）共同于1929年发表了一篇题为《一种计数抽样检验方法》的论文。过程质量控制是指对生产过程中的产品随机样本进行检验，以判断该过程是否在预定标准内生产。自1924年休哈特提出控制图理论以来，经过80多年的发展，过程质量控制技术已经广泛地应用到质量管理中，在实践中也不断地产生了许多新的方法。例如，用于非数字资料的工具和技术统计方法，包括分层法、因果图、水平对比法、头脑风暴法、流程图、树图、矩阵图、亲和图、对策表和过程决策程序图等；用于数字资料的工具和技术统计方法，包括控制图、直方图、排列图、散布图、回归分析、方差分析和试验设计等。应用这些方法，可以从经常变化的生产过程中系统地收集与产品有关的各种数据，并用统计方法对数据进行整理、加工和分析，进而画出各种图表，找出质量变化的规律，实现对质量的控制。石川馨曾经说过，企业内95%的质量问题可通过企业全体人员应用这些工具得到解决。无论是ISO 9000还是近年来非常风行的6Sigma质量管理理论，都非常强调这些基于统计学的质量控制技术的应用。因此，要真正提高产品质量，企业上至领导下至员工都必须掌握质量控制技术并在实践中加以应用。抽样检验用于采购或验收，而过程质量控制则应用于各种形式

的生产过程。

质量形成于生产全过程，为生产出符合要求的产品，必须使影响产品质量的全部因素在生产全过程中始终处于受控状态。因此，质量控制是指生产全过程的质量控制，通常有设计过程的质量控制、制造过程的质量控制、销售和服务的质量控制以及监督的质量控制等。由此可以看出，质量控制不仅是对产品实物质量本身的控制，而且更加强调对产品质量形成过程的质量进行控制，通过控制过程质量的方法来控制最终的产品实物质量。因此，研究基于过程的质量控制方法必将成为质量控制技术研究领域的重点。

生产制造过程是从设计质量到产品实物质量的实现过程，也是在产品质量形成全过程中涉及职能部门最广、参与人员最多的重要过程。如果没有稳定的制造过程做保障，产品设计的高质量也就无法体现出来。在制造过程中，质量控制的核心内容是对工序进行质量控制。工序是构成制造过程的基本单位，即产品制造质量是经过无数工序的加工过程逐渐形成的。因此，通过工序质量控制，可以确保生产过程处于稳定状态，预防不合格品的出现；这也是“预防为主”这一管理思想的具体体现。

1.2.3 质量改进

质量改进是质量管理的一部分，致力于增强满足质量要求的能力。持续的质量改进是质量管理的基本特点，也是 2000 版 ISO 9000 族标准版中提出的质量管理八项原则之一。目前，我国企业更迫切需要质量改进，以提高产品的质量水平，提高顾客的满意程度，不断降低成本，增强市场竞争力。

质量改进是一个过程，要按照一定的规则进行。质量改进的基本过程即 PDCA 循环。

(1) PDCA 的内容

第一阶段是策划，制定方针、目标、计划书、管理项目等；