

于 涛 著

工序质量控制系统研究

2

经济管理出版社

ECONOMIC MANAGEMENT PUBLISHING HOUSE

工序质量控制系统研究

于 涛 著

经 济 管 理 出 版 社

责任编辑：谭 伟

技术编辑：晓 成

责任校对：贾全惠

图书在版编目 (CIP) 数据

工序质量控制系统研究/于涛著. —北京：经济管理出版社，2002

ISBN 7-80162-394-0

I. 工... II 于... III. 产品质量—质量控制—研究

IV. F273.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 021366 号

工序质量控制系统研究

于 涛 著

出版：经济管理出版社

(北京市新街口六条红园胡同 8 号 邮编：100035)

发行：经济管理出版社总发行 全国各地新华书店经销

印刷：世界知识印刷厂

850×1168 毫米 1/32 7.5 印张 188 千字

2002 年 6 月第 1 版 2002 年 6 月北京第 1 次印刷

印数：1—6000 册

ISBN 7-80162-394-0/F·328

定价：19.00 元

·版权所有 翻印必究·

凡购本社图书，如有印装错误，由本社发行部负责调换。

通讯地址：北京阜外月坛北小街 2 号 邮编：100836

联系电话：(010) 68022974

序

当今时代，时间就是金钱，质量就是生命。产品质量的重要性，可以说已经是人尽皆知的了。事实上，提高产品的质量，可能还有更深远的意义。记得大概是在 90 年代初的一个年前，《上海管理科学》杂志要我写一篇下一年度第一期的开篇文章。我当时就以“持之以恒，狠抓产品质量”为题，写了一篇短文。很巧的是，当时我国国务院决定将该年度定为我国的质量年。

我还记得在那篇文章中曾经说过，我们在购买商品时，有时并不一定想买工业发达国家的产品，因为不但价格贵，而且以后的维修也比较麻烦，比不上国产品方便。但是，如果国产的商品质量有问题时，人们可能会出于无奈地选购国外的商品了。又如，我国的商品打不进国际市场，或者是打进去了，但是售价很低。究其原因，很可能也都是与产品质量达不到国外同类产品质量水平有关。从这个意义上讲，产品质量具有更深远的意义，已经是十分明显的了。

有的时候，我们在抓产品质量时，比较注意产品成品的质量检查。不合格的产品，坚决不让出厂门。产品成品的质量检查固然必要，也很重要，但是总存在着某种消极的成分。为什么不能做到防患于未然呢？为什么不在产品的生产过程中就抓住产品的质量呢？其实许多质量管理专家，都是或早或迟地想到了这个问题。但是限于工作的条件，限于可以使用的工具，妨碍了这件工作的实现。

多年来，于涛教授一直从事着质量管理的教学和科研工作，取得了丰硕成果，始终走在该研究领域的前沿。由于其自身具备

着机械加工、自动控制、计算机、测试、数理统计等多方面的知识和技能，有条件围绕产品质量形成过程中的工序质量这一重要环节，研究产品质量的控制。该著作对工序质量所作的专题研究，可使生产过程有可能在问题未出现前或刚出现时，就能及时地发现，及时地采取措施予以解决，从而保证不出或少出次品，做到防患于未然。

当然，这本著作的价值还不至于此。该专著还涉及到通过提高操作者的满意度提高产品质量，改变以理性原则为基准的刚性生产方式，使工序质量提升到柔性综合控制的更高水平；按盈亏平衡原理合理确定工序质量的水平，从而改变一味追求过高的工序能力指数，对工序能力不足持否定态度的旧观念；利用设立的工序质量改进指标体系，运用模糊数学、层次分析等方法，帮助管理人员随时了解质量的现状，以便及时采取相应的措施等。

同时，这本著作还具有很好的可操作性。这对改变我国质量管理工作中，一方面是理论上的日臻完善，另一方面在实际应用中却不尽人意的被动局面具有重要的作用。相信本书的出版，一定会有效地推进工业企业工序质量控制领域理论与实践的有机结合，对改进产品质量、提高经济效益、增强竞争能力，也都会产生积极的影响。

当然，事物的发展总是无止境的。旧的问题解决了，新的问题又会出现。我在欣喜地看到于涛教授的新著出版之际，也祝愿他、祝愿我国广大的质量管理专家，能在质量管理这一科学领域里取得更大的、更新的成就。为提高我国工业产品的质量，为我国工业产品在国际市场上的声誉做出新的贡献。

同济大学 经济与管理学院

沈荣芳

2002年4月

前 言

长期以来，产品质量低下一直是制约我国经济发展速度、阻碍我国经济实力提高的重要原因。由西方发达国家创建的质量管理理论与方法体系，在引入到我国后往往流于形式而失去原有价值。当国内企业的生产条件、运营环境、管理基础不能有效提高生产率，增加经济效益的情况下，创建适宜的质量管理模式，开发设计有效的质量控制手段，解决一方面在质量管理理论上的日臻完善与丰富，而另一方面却难以落实到生产实践中的尴尬局面，已成为当前质量管理工作中的迫切要求。

本书以质量形成过程中的重要环节——工序质量为研究对象，对工序质量的构成要素、控制手段、理论基础、行为科学的引入，对工序质量改进的分析评价及工序质量控制的经济性等内容逐一进行了深入系统的探讨；并通过对国内外质量管理发展过程与现状的研究，通过对影响工序质量控制的各种观念加以分析比较。在对各种工序质量控制方法加以分析评价的基础上，围绕上述工序质量控制内容，提出了基于计算机技术的工序质量控制系统的设计，并指出在当前状况下设计开发该系统的必要性与可行性。

本书以系统理论、信息理论为基础，详细分析了构建工序质量控制系统所依据的理论与方法同计算机技术结合的可能性，对工序质量控制系统的目标、任务与范围予以规范和定位，对影响工序质量控制系统的主客观因素及其运动规律加以科学的界定与分析。以此为基础，融计算机技术、自动控制理论、传感技术、检测技术、质量控制方法等多学科于一体，成功地对工序质量控制系统进行了首创性设计与开发。

建立在传统观念基础上的工序质量自动控制系统是以面向加工对象为原则的刚性控制，与现代管理理念、先进制造技术表现出明显的不适应。本书运用行为科学中的理论与方法，按照以人为本的指导思想，首次将操作者满意度观念应用于工序质量控制系统之中，并进一步对操作者满意度在提高工序质量中的作用、满意度评价体系的设计及如何提高满意度的方法等进行了创新性研究，从而为实现闭环反馈控制和超前控制，实现工序质量的柔性控制，达到零缺陷生产的目的提供了有效手段。

作为工序质量控制系统中的重要研究内容，在分析评价工序质量提高与否的判定标准研究中，本书利用数理统计、模糊数学等理论所创建的工序质量改进评价指标体系，将宏观质量改进观念应用到具体的工序质量控制中，可使系统结合企业质量管理的实际情况，充分利用现有统计指标，客观正确地分析评价工序质量提高与否；并可有效地用于对生产加工过程中的某一工序、某一生产线甚至整个企业的质量改进情况进行客观公正的分析评价。

针对当今社会在技术上对产品质量具有无限提高的内在要求与企业追求经济效益的自然属性之间的矛盾，书中所提出的工序质量经济控制数学模型，对在两者之间如何取得平衡，如何进行优化提供了有效手段。依据该模型所制定的工序质量经济控制策略，可根据不同类型的加工方式，采取不同的控制方法，以提高经济效益为出发点，对工序质量进行有效控制。该模型的应用，能够有效地改变传统工序质量控制观念一味追求高质量，而全然不顾因此会使费用陡然增加的实际，使工序质量控制中对产品质量的高要求与经济性相结合原则的设想成为现实。

本书的研究内容是基于自己近年来所承担的、有关企业质量管理活动中工序质量控制的两项科研课题：“机加工过程中的产品质量控制与诊断系统设计”及“工序质量控制过程的质量预警及控制研究”。课题分别由山东省科委和山东省教委作为应用科

研项目立项，两项课题均已通过山东省科委组织的鉴定。其中一项获得山东省科技进步奖，一项获得山东省高校优秀科研成果奖。本书的整个研究是以工序质量控制为主线，将先进的计算机技术、测控技术与数理统计理论等有机的结合在一起，创造性地对工序质量控制系统进行了设计开发。系统中关于操作者满意度的研究，对更新传统加工理念，促进新型加工方式的出现具有重要的现实意义；系统中关于工序质量改进评价指标体系的创建，将宏观质量改进观念应用于工序质量控制这一具体活动中；系统中关于工序质量经济控制策略的研究，可使工序质量控制利用本书所创建的、具有很强可操作性的数学模型，在获得效益与投资成本之间寻求一种最佳平衡状态。

本书的研究主要包括：质量控制的作用及意义，工序质量控制的必要性与可行性，质量观点的演变对工序质量控制技术的影响，工序质量控制系统的分析与功能设计，基于操作者满意度的工序质量控制，工序质量改进评价指标体系的建立，工序质量控制的經濟控制策略，基于操作者满意度的工序质量控制系统的开发与实施等内容。围绕上述内容，在实验室条件下所开发的工序质量控制系统，已初步应用在企业的生产实践中并取得了良好的效果。

非常感谢导师沈荣芳先生在百忙之中为本书作序。实际上，以本人博士论文为基础撰写而成的书稿，字里行间无不浸透着先生的大量心血。

本书也是集体智慧的结晶，书中不少观念和方法的创新，得益于课题组成员的共同研讨和来自于指导研究生过程的启示；另外，书中还引用了许多专家学者的远见卓识，谨一并深表谢意！

由于本人才疏学浅，书中难免有许多不妥之处，敬请读者指正！

作者

2002年3月15日

目 录

1. 引 论.....	(1)
1.1 工序质量控制在产品质量中的作用和意义	(2)
1.2 工序质量控制的内容及存在的问题	(4)
1.3 在工序质量控制中应用计算机技术的构想	(7)
1.4 工序质量控制国内外研究概况	(10)
1.5 工序质量控制系统研究的内容	(14)
2. 质量观念演变对工序质量控制技术发展的影响分析	(17)
2.1 质量观念的演变	(18)
2.2 质量管理观念的变革	(20)
2.3 工序质量控制方式的变化与内容的革新	(22)
2.4 计算机技术在工序质量控制中的应用前景分析	(27)
2.5 工序质量控制自动化的现状及发展趋势分析	(31)
2.6 SPC 在先进制造环境中的地位与作用	(34)
3. 工序质量控制的理论及方法研究.....	(48)
3.1 工序质量控制的理论依据分析	(48)
3.2 工序质量控制的形式和方法分析	(53)
3.3 工序抽样法的选择及应用分析	(65)
3.4 面向个性化生产的工序质量状况综合判别法设计 ...	(72)

4. 工序质量控制系统的构建与功能设计.....	(81)
4.1 工序质量控制的目 的及应具备的条件分析	(82)
4.2 工序质量控制系统的构建原理探讨	(83)
4.3 工序质量控制系统的 设计原则确定及思路分析	(87)
4.4 工序质量控制系统的 功能设计	(92)
4.5 工序质量控制系统 功能的实现方式	(96)
4.6 工序质量控制系统的 数据采集与处理设计	(99)
5. 基于操作者满意度的工序质量控制系统研究	(110)
5.1 工序质量控制系统中人的作用再现的意义.....	(111)
5.2 工序质量控制系统中的信息传递研究.....	(113)
5.3 关于生产过程中操作者的满意度研究.....	(121)
5.4 基于操作者满意度的工序质量控制系统设计.....	(132)
5.5 操作者介入型控制的实验分析.....	(136)
5.6 使用 MPVS、MVDD 的实验研究	(139)
6. 工序质量经济控制模型的建立与实施研究	(144)
6.1 工序能力经济性分析.....	(144)
6.2 工序能力不足的经济控制策略探讨.....	(149)
6.3 工序诊断调节经济控制模型的建立与实施.....	(156)
7. 工序质量控制系统中质量改进指标体系的设计与应用	
.....	(161)
7.1 工序质量改进指标体系设计原则的确定.....	(161)
7.2 工序质量改进指标体系的构成设计.....	(162)
7.3 工序质量改进指标体系综合指标的设计.....	(170)
7.4 工序质量改进综合指标应用实例分析.....	(171)

8. 在线工序质量控制系统实施研究	(177)
8.1 在线工序质量控制系统的设计与开发	(177)
8.2 工序质量控制系统的运行试验	(207)
8.3 工序质量控制系统的功能及特点	(214)
结束语	(218)
参考文献	(222)

1. 引 论

质量是一个国家文化、经济、教育、科技和管理水平的综合反映，是一个民族物质文明的象征，是一个企业综合实力的具体体现，也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。树立全民质量意识、努力提高产品质量，已成为我国经济发展中的战略问题，已成为影响国民经济和对外贸易发展的关键因素。

本章以我国产品质量现状分析为基础，通过对提高产品质量的迫切性和重要性进行的充分论述，明确指出无论是从满足社会需求、提高综合国力，还是从增强企业竞争能力、提高企业经济效益来看，基于计算机技术的工序质量控制是提高产品质量的客观要求和根本保证，是质量管理中最具有现实意义的研究内容之一。

本章在客观分析工序质量控制的地位和作用的基础上，针对我国企业当前设备陈旧，加工手段落后，资金匮乏的状况，通过对工序质量控制在产品质量中的地位和作用的分析，通过对国内外工序质量控制的发展过程的研究及国内外对工序质量控制尚无有效的控制手段的现状分析，在基于计算机技术、现代管理理论、自动控制技术、检测技术及传感技术等以前所做的研究基础上，采取与传统工序质量控制不同思路与方法，提出了依据现代质量管理理论与技术，开发适合当前生产力发展的工序质量控制系统的设想，并对在工序质量控制系统的研究中，如何充分体现科学性、先进性、可操作性、可行性及经济性等特点进行了探讨。

1.1 工序质量控制在产品质量中的作用和意义

产品质量低劣已严重制约着我国国民经济的健康发展，削弱了我国产品在国际市场上的竞争力，导致了资源的浪费与经济效益的低下。法国质量协会主席雷麦特认为，法国每年的质量损失约占企业增值的 13%~20%。世界质量管理研究院副主席哈林顿认为，西方国家的工业企业不良品质量成本约占制造成本的 20%~30%。美国的统计资料表明该国的不良成本通常占售价的 30%左右，如 IBM 公司的质量不良成本始终在 20%~40% 间波动。由此可见，即使是西方发达国家，尽管采取了一系列科学严格的管理措施，如 3‰ 原则、PPM 级、PPM 级管理、实时生产管理、零缺陷活动等。

由于质量问题而导致的质量损失也是巨大的。这种质量损失由于其损失的界定范围和计算依据不同而有不同的结论，有的国外学者估计，全世界每年因质量问题造成的损失占社会总收入的 $1/5 \sim 1/4$ ，西方发达国家按工业总产值计算每年的质量损失约在 5% 左右。就我国的生产力发展水平和企业管理水平还远低于西方国家先进水平的现状来看，这项损失也应是十分惊人的。笔者曾就我国的质量损失进行过专门探讨，认为即使只按工业总产值的 5% 计算，我国的质量损失每年也要高达几千亿元（我国 1995 年工业总产值 91894 亿元，1996 年工业总产值 99595 亿元，1997 年工业总产值 113733 亿元，1998 年工业总产值 119048 亿元，1999 年工业总产值 126111 亿元）。

据有关材料分析，当前我国产品质量水平能达到国际先进水

平的只有 13% 左右，有 65% 的产品落后于世界先进水平 20 年左右。如国产汽车的平均故障里程最高的仅为国外产品的 33%，低的只有 5%，约相当于西方国家 70 年代的水平。我国从 1989 年第三季度到 1999 年第二季度共 10 年 40 个季度中，在全国共抽查了 4127 家企业生产的 1856 类产品 55004 种，合格 40087 种，平均抽样合格率仅为 72.9%。这意味着我国在经济稳定增长的同时，也在惊人地生产着大量的不良产品。造成这种质量水平低下的主要原因之一就是制造过程的质量监控不力，缺乏必要的质控手段。据有关材料表明，在对美国 500 家最大企业的一项调查中发现：其管理人员和一般员工掌握 TQM 的比率分别为 68.8% 和 57.1%，掌握 SPC (Statistical Process Control) 技术的比率分别为 39.9% 和 36.3%。而对我国 85 家企业的调查中表明，经常使用质量管理七种工具的有 21 家，偶尔使用的有 34 家，根本不用的有 30 家，各占 24.7%，40% 和 35.3%；使用控制图进行工序控制的 17 家，不用的占 68 家，各占 20% 和 80%。而且在使用广度和深度上也与国外有很大差距。造成这种局面的原因：①职工对 SPC 技术掌握不够，没有能力利用这一成熟的技术进行工序控制；②现有的统计过程控制技术不能有效地满足企业的需要，企业看不到明显的效益，因而对企业缺乏吸引力。所以说，加强在线控制，强化工序管理，降低工序不良品损失，已成为国家和企业提高产品质量、增强经济效益的当务之急。而提高产品质量也就意味着提高国民经济增长的质量，也就是提高国民经济运行的质量。从这方面讲，质量就是一个宏观的质量，也是一个社会的质量。

世界著名的质量管理专家朱兰博士指出：“在次品上发生的成本等于一座金矿，可以对它进行有利的开采”。如果加上废品、返修品所发生的成本，就等于几座金矿。我国有多少这样待开发的“金矿”，是很难数清的。如果所有都能够在提高产品质量、

减少次品方面多下一点工夫，即便是不增加很大投入的情况下，就可以为社会减少很多浪费，创造更多的财富。因此质量又是一个微观的质量、具体的质量。

1.2 工序质量控制的内容及存在的问题

工序质量控制就是对影响工序质量水平的因素进行分析、控制和管理的过程。在产品生产过程中，监控工序质量因素的变化及其规律，使产品质量特性在允许范围内波动，达到能够稳定地生产出合格品的目的。早在 1939 年，美国质量管理专家休哈特与戴明合著的《由统计方法出发的质量管制》书中即强调：“质量是制造出来的，而非检验出来的”，主张“将简单而且单刀直入的统计方法，运用在制造过程之中，才是预防质量滑坡的最好方法，也惟有统计的质量管制技巧，才能节省大量的检验成本，在最经济而有效的条件下，达到质量管理的目标”。

1.2.1 工序质量控制的内容

(1) 对生产条件的控制。就是对人、机、料、法、环、测等六大影响因素进行控制，也就是要求生产技术及业务部门提供并保持合乎标准要求的条件，以工作质量去保证工序质量。同时，还要求每道工序的操作者对所规定的生产条件精心有效地控制，包括开工前的检查和加工过程中的监控，检查人员应给予有效监督。

(2) 对关键工序的控制。对影响质量的关键工序应采取特殊措施。对关键工序，除控制生产条件外，平衡经济效益与质量水平间的关系，采取各种措施使其始终处于最优状态，而其中最

效的方式就是工序质量统计控制。

(3) 对计量和测试条件的控制。计量测试条件关系到质量数据的准确性，必须加以严格控制，要规定严格的检定制度，计量器具应有明显的合格标志，超期未检定或检定不合格者应严格禁用；测试手段和方法必须适应先进工序质量控制技术的要求。

(4) 对不良品的控制。不良品的控制应有明确的制度和程序，不是仅仅局限于报表的统计和简单的返修品与废品的区别，而更重要的是根据统计信息进行预防性控制及正确评价，保持工序质量改进的持续性。

“产品检验”是工序质量控制的最原始、也是最基本的手段。而现代工序质量控制则要求从产品设计和生产的全过程，转化为商品后用户投入使用，对产品存在的和可能发生的问题，事先进行研究分析，实时进行监控，防患于未然。

由于现代工序质量控制内涵的拓延，较之于单纯“产品检验”无论是在质量的管理范围、管理内容、管理方法，还是管理层次、管理效果等方面均具有提高经济效益的现实意义与提高管理水平的长远意义。因此，它日益为工业界决策层、企业管理人员和工程技术人员所重视。

1.2.2 工序质量统计控制

早在上个世纪初，以数理统计技术为基础的工序质量控制就在生产过程中显示出其重要作用并取得了明显成效。随着社会生产力的不断发展，人们对产品质量要求的不断提高，以及管理科学理论的不断丰富和发展，工序质量控制的理论和方法非但未被摒弃，反而在现代化生产加工过程中愈加成熟和完善。尤其是计算机技术的飞速发展，使以数理统计理论为依据的工序质量控制方法有了更加广阔的应用前景。

在工序质量控制中，最有效的控制方式和手段之一就是工序

质量统计控制。工序质量统计控制，就是应用概率与数理统计理论把两类因素（偶然因素和系统因素）区别开来，以使该系统工序保持稳定状态。也就是一种从生产工序中收集数据、进行统计分析、判断是否稳定，发现异常立即采取措施，使工序恢复正常的有效方法。工序质量统计控制的工作内容包括以下三部分：

(1) 收集数据。从要控制的工序中收集含有质量特征信息的数据，这些数据的采集不但应该是实时的，而且应该符合随机抽样理论。

(2) 统计分析。针对要解决的问题选择相应的 SPC 工具对数据进行处理、分析，找出影响工序的主要因素，制定解决的最佳途径。

(3) 现场管理。根据统计分析的结果来管理生产，改善工序参数，使生产能始终处于控制状态。

1.2.3 工序质量控制实践中亟待解决的问题

在实际生产过程中，可选择若干个直接影响产品质量变化的关键工序进行监控。参照技术标准，确立检测指标，通过对关键工序进行现场实测来取得数据，并依据正态分布等理论，分析产品质量波动情况，了解不良品的分布及检验其变化趋势，以便及时采取相应措施，使生产现场各个关键工序、各个重要环节都处于受控之中，因此而基本控制住整个产品质量。

但在工序质量控制的实践中，仍有许多问题亟待解决：

(1) 工序能力分析理论简单粗糙，难以有效指导生产实践。

(2) 如何改变传统的检验方式，实现质量控制的高效化和经济性有效结合。

(3) 如何充分利用产品质量的信息，分析了解设备的运行状态。即作为设备运行状态表现形式的产品质量信息，如何用其进行反馈控制。