

质量监控与优化

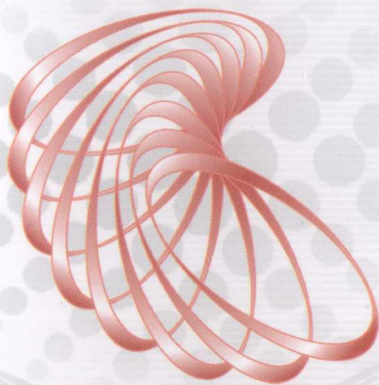
的

理论、算法及应用

—— 基于计算智能视角

● 崔庆安 著

Theory, Algorithm and Practice of Quality Monitoring and Optimization
— Based on Computational Intelligence



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



013070414

F407.406.3
10

质量监控与优化

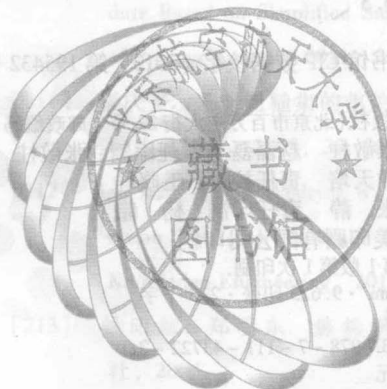
的

理论、算法及应用

——基于计算智能视角

● 崔庆安 著

Theory, Algorithm and Practice of Quality Monitoring and Optimization
—— Based on Computational Intelligence



北航

C1678291

F407.406.3

10



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

413070810

质量监控与优化是质量管理领域的核心问题。近年来,随着技术不断进步,出现了大量先进制造过程。对于此类过程,如果沿用传统质量监控与优化方法,将导致过程长期运行于次优状态,使产品质量及可靠性受到影响。

本书从计算智能的视角,研究和解决现代制造业中质量监控与优化的关键问题,例如,自相关过程的质量异常波动监控和识别、复杂作用关系过程的全局性响应建模和稳健性参数优化、非线性动态系统的稳健性参数优化、强噪声过程的参数调整规则提取等。本书附有较多的工程应用实例,以及各类算法的 Matlab 程序核心代码。

本书可作为从事质量监控和优化的科技工作和工程技术人员参考,也可作为高等院校管理科学与工程、工业工程、企业管理、系统工程等质量管理和质量工程相关专业的高年级本科生和研究生的教学用书。

图书在版编目(CIP)数据

质量监控与优化的理论、算法及应用:基于计算智能视角/崔庆安著. —北京:机械工业出版社,2013.9

ISBN 978-7-111-43722-2

I. ①质… II. ①崔… III. ①制造业-质量控制-计算方法
IV. ①F407.406.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 195432 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:张敬柱 赵磊磊 责任编辑:张敬柱 赵磊磊 宋亚东

版式设计:常天培 责任校对:王晓峰

封面设计:张静 责任印制:杨曦

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2013 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

140mm×203mm·9.625 印张·223 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-43722-2

定价:35.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

前言

随着经济全球化时代的来临，顾客需求日趋多样化，对产品质量的要求也越来越高。提高产品质量已成为企业增强自身核心竞争力的根本途径之一。而与制造技术进步相伴而生的，则是产品的形成过程日趋复杂，在机械电子、医药化工、精密仪器、汽车制造等行业的质量监控与优化领域出现了许多亟待解决的新问题。如何引入新理论和方法，提出系统性解决方案，从而克服原有方法的局限性，获得更高质量的产品，成为当前理论界与工程界的关注热点。

本书的主要目的在于提供一种利用计算智能理论方法解决质量监控与优化新问题的系统性方案，是作者近年来在该领域的理论研究成果和工程实践应用的总结和深化。本书涉及的关键问题包括：自相关过程的质量异常波动监控和识别、复杂作用关系过程的全局性响应建模和稳健性参数优化、非线性动态系统的稳健性参数优化、强噪声过程的参数调整规则提取等。

本书既非对计算智能理论的介绍分析，也非对传统质量监控与优化方法的理论回顾。在各章节安排上，首先对各类问题产生的现实背景、原有方法的不适用性进行了详细介绍，对引入计算

智能的可行性及理论原理进行了研究；而后提出了应用计算智能解决该类问题的算法步骤和实现流程，并通过仿真研究和应用案例分析说明了方法的有效性；最后还给出了各类算法的 Matlab 程序核心代码。

本书的出版得到了国家自然科学基金（71171180）、河南省高等学校骨干教师支持计划（2012GGJS-020）、河南省教育厅自然科学研究项目（2011A410003）、郑州大学人才引进项目、郑州大学骨干教师支持计划的资助。在书付梓之际，谨向多年来一直教导、关心本人成长的导师天津大学何桢先生表示由衷感谢；向所有教导帮助过的老师、所有被本书引用成果的专家学者表示诚挚谢意。张玉雪、郑鹏飞参与了部分文字录入和文稿校对工作，在此也一并表示感谢；同时感谢郑州大学管理工程学院提供的宽松和谐的科研环境；还要特别感谢家人长期以来的奉献和支持，家人的关爱是本人前进的不竭动力。

由于水平所限，时间仓促，书中难免有不足之处，敬请广大读者批评指正。

著者

82 去式系网空研工人前研量量研研研研研 章三第

82 去式系网空研工人前研量量研研研研研 章三第

目 录

82 去式系网空研工人前研量量研研研研研 章三第

82 去式系网空研工人前研量量研研研研研 章三第

82 去式系网空研工人前研量量研研研研研 章三第

82 去式系网空研工人前研量量研研研研研 章三第

前言

82 去式系网空研工人前研量量研研研研研 章三第

82 去式系网空研工人前研量量研研研研研 章三第

82 去式系网空研工人前研量量研研研研研 章三第

82 去式系网空研工人前研量量研研研研研 章三第

82 去式系网空研工人前研量量研研研研研 章三第

82 去式系网空研工人前研量量研研研研研 章三第

82 去式系网空研工人前研量量研研研研研 章三第

82 去式系网空研工人前研量量研研研研研 章三第

82 去式系网空研工人前研量量研研研研研 章三第

82 去式系网空研工人前研量量研研研研研 章三第

82 去式系网空研工人前研量量研研研研研 章三第

82 去式系网空研工人前研量量研研研研研 章三第

82 去式系网空研工人前研量量研研研研研 章三第

82 去式系网空研工人前研量量研研研研研 章三第

82 去式系网空研工人前研量量研研研研研 章三第

第三章 自相关过程质量监控的人工神经网络方法	58
第一节 背景介绍	58
第二节 统计过程控制的基本原理	61
第三节 自相关过程的统计模型	65
第四节 自相关过程的 EWMA 控制图	68
第五节 基于 Hopfield 人工神经网络的自相关过程 质量监控方法	70
第六节 本章小结	91
第四章 响应建模的支持向量回归机方法	92
第一节 背景介绍	92
第二节 质量优化的经典响应曲面法	96
第三节 响应建模的机器学习描述	104
第四节 实验设计条件下支持向量回归机的核函数及 参数选择	107
第五节 基于支持向量回归机的复杂过程响应建模 方法	115
第六节 仿真研究	117
第七节 降低吡啶二乙基硼烷合成反应综合成本的 应用研究	132
第八节 本章小结	138
第五章 静态稳健性参数优化的支持向量回归机方法	139
第一节 背景介绍	139

第二节	静态稳健性参数优化的双响应曲面法·····	141
第三节	双响应和单一响应的支持向量回归机稳健性建模方法·····	144
第四节	仿真研究·····	151
第五节	板弹簧加工过程的稳健性参数优化·····	155
第六节	印刷过程的稳健性参数优化·····	166
第七节	电感电阻串联电路的稳健性参数优化·····	169
第八节	本章小结·····	173
第六章	动态稳健性参数优化的支持向量回归机方法·····	174
第一节	背景介绍·····	174
第二节	非线性动态系统的统计模型·····	176
第三节	基于支持向量回归机的动态系统稳健性参数优化·····	179
第四节	注射加工过程的稳健性参数优化·····	186
第五节	本章小结·····	199
第七章	参数调整规则提取的粗糙集方法·····	200
第一节	背景介绍·····	200
第二节	基于粗糙集的参数调整规则提取·····	202
第三节	应用案例分析·····	205
第四节	本章小结·····	223

第八章 各类算法的 Matlab 代码 225

第一节 基于 Hopfield 神经网络自相关过程

..... 监控算法代码 225

第二节 支持向量回归机核函数及参数选择算法

..... 代码 235

第三节 基于支持向量回归机的单一响应建模算法

..... 代码 262

第四节 动态稳健性参数优化的支持向量回归机建模

..... 算法代码 267

第五节 基于粗糙集的参数调整规则提取算法代码 269

参考文献 278

第一章

绪 论

第一节 研究背景及意义

制造业是国家的支柱产业，提高产品质量是增强综合国力的根本途径之一。特别是在当前经济全球化的背景下，如何通过高质量的产品来获得竞争优势，对企业而言更具有现实意义。当代质量管理大师 J. M. Juran（朱兰）早在美国质量学会（American Society for Quality, ASQ）1994 年年会上就指出，20 世纪以“生产力的世纪”载入史册，未来的 21 世纪将是“质量的世纪”。ASQ 前主席 Harrington（哈林顿）也指出：“这不是一场使用枪炮的战争，而是商业战争，战争中的主要武器就是产品质量。”随着社会进步和物质文明的日益丰富，人们对于产品或服务的质量要求越来越高，有关质量管理的研究也日益受到重视。

一、质量管理的发展

一般认为，现代质量管理的发展经历了质量检验、统计质量

控制和全面质量管理三个阶段。20 世纪初至 20 世纪 30 年代是质量检验阶段，主要特征是以事后检验的方式来控制和保证产品质量。该期间，科学管理之父 F. W. Taylor（泰勒）提出了科学管理理论，首次将质量检验作为一个独立部门从生产管理中分离出来，其深远的影响一直延续至今；这一阶段后期还提出了许多具有划时代意义的统计学方法，如 W. A. Shewhart（休哈特）的统计过程控制（Statistical Process Control, SPC）理论，H. F. Dodge（道奇）的抽样检验理论等，对质量管理的发展产生了深远影响，成为现代质量管理的基石。20 世纪 40 年代至 20 世纪 50 年代是统计质量控制（Statistical Quality Control, SQC）阶段，主要特征是强调以数据说话和应用统计学方法进行质量管理，从单纯地依靠“事后把关”的质量检验，发展到过程控制、预防性控制与事后检验相结合的管理方式，统计学方法、SPC 等方法得到了广泛应用。20 世纪 60 年代以来，随着生产规模的不断扩大，影响产品质量的因素日益复杂，质量管理发展到了全面质量管理（Total Quality Management, TQM）的阶段。这一阶段的主要特征是把质量问题作为一个有机整体加以综合分析研究，实施全员、全过程、全企业的管理。TQM 阶段出现了不少新的质量管理理论与技术工具，如“新七种”“老七种”质量工具；W. E. Deming（戴明）的“质量管理十四要点”^[1]；由休哈特提出，戴明改进与推广的“PDCA 循环”^[2]；朱兰的“质量三部曲”^[3]，Taguchi（田口玄一）的质量工程学^[4]；Ishikawa（石川馨）总结出的全公司范围的质量管理（Company-Wide Quality Control, CWQC）；P. B. Crosby（克劳斯比）的“零缺陷”^[5]理论等，对于质量管理水平的提高起到了极大的促进作用。为使企业生产组织的各方面都能够有序、规范地进行，从而确保产品质

量的稳定,国际标准化组织 ISO 的质量技术保证委员会发布了 ISO 9000 族质量管理体系标准,总结出质量管理的八项基本原则,即:以顾客为关注焦点,领导作用,全员参与,过程方法,管理的系统方法,持续改进,以事实为基础进行决策,与供方互利的关系。这些原则反映了 TQM 的基本思想,是企业建立质量管理体系的理论基础。ISO 9000 族质量管理体系虽然在设计、生产、检测、服务等各个环节对组织行为进行了规范,但它只是一个基础性的标准,并不能代表质量管理的最高标准。为此,世界各国相继制定了本国的卓越绩效模式来促进质量水平的提高,比较著名的有美国马尔科姆·波多里奇国家质量奖、欧洲质量奖、日本戴明奖等。中国质量协会于 2001 年正式启动了全国质量管理奖的评审工作,并制定了“卓越绩效评价准则”^[6],以引导和激励企业追求卓越的质量经营,提升国际竞争力。

自 TQM 阶段以来,日本的公司通过学习和实践,对 TQM 的理论进行了深入的创新和发展,经过若干年的艰苦努力,逐步提高了产品质量,在全球市场,特别是在汽车、电子等相关行业,对美国形成了绝对的竞争优势。20 世纪 80 年代,为了应对严峻的市场竞争形势,美国摩托罗拉公司提出并实施了六西格玛战略,希望通过不断努力和持续质量改进,在 5 年内将质量水平提高 10 倍,确保摩托罗拉在全球竞争中的优势地位。

六西格玛质量的统计含义是使产品的缺陷率水平降低至百万分之 3.4 以下,随着应用的不断深入,六西格玛逐渐被赋予了更多管理层面的因素,并且代表了继 TQM 之后质量管理发展的最新趋势。目前,六西格玛已发展为一套系统的业务改进方法体系,是旨在持续改进企业业务流程,实现客户满意的管理方法。

它通过系统地、集成地采用质量改进流程，实现无缺陷的过程设计，即面向六西格玛的设计（Design for Six Sigma, DFSS），并对现有过程进行过程定义（Define）、测量（Measure）、分析（Analyze）、改进（Improve）、控制（Control），简称 DMAIC 流程，消除过程缺陷和无价值作业，从而提高质量和服务、降低成本、缩短运转周期，达到客户完全满意，增强企业竞争力^[7-9]。

摩托罗拉实施六西格玛获得了巨大的成功：1988 年，获得美国马尔科姆·波多里奇国家质量奖；1992 年，产品和服务的质量水平达到了六西格玛水平；而 1987~1997 的 10 年间通过实施六西格玛管理带来的收益累计达到 140 亿美元。受摩托罗拉成功实施六西格玛的激励，通用电气、柯达、联合信号、西门子、三星、LG、东芝、英特尔、微软、杜邦等国际企业于 20 世纪 90 年代中期后相继实施了六西格玛管理，并取得了显著成效。2000 年以来，我国也有不少企业成功实施了六西格玛管理方法，如联想、中兴、宝钢、哈飞、中航一集团等，也同样取得了显著的成效。2002 年 9 月，中国质量协会成立了全国六西格玛推进工作委员会，使我国六西格玛的应用和研究进入了一个快速、有序、全面发展的新时期。经过 10 余年的推广，截至 2013 年，全国应用六西格玛管理的企业已呈指数增长态势，为企业绩效的提升、核心竞争力的增强起到了极大的促进作用。

二、质量监控与质量优化的现实问题

“质量计划”“质量控制”“质量改进”被称为朱兰“质量

三部曲”^[3]。其中,“质量计划”是指开发产品的结构化和规范化流程,以确保最终结果能够满足顾客需求。主要活动包括设定质量目标、识别顾客、明确顾客需求、产品开发、产品实现过程开发、过程控制措施的确定等;“质量控制”指的是保持过程的稳定性,防止过程向负面改变并维持现状,主要活动包括对实际绩效的评估、实际绩效与质量目标的对比、采取减小或消除差异的措施等;“质量改进”指的是有组织地取得良性的、前所未有的绩效水平的提高,主要活动包括认识到改进的必要性、做好改进的基础工作、确定改进项目、建立项目小组、现状诊断、提出改进措施、建立控制措施巩固效果等。作为三个普遍过程,“质量计划”“质量控制”“质量改进”在质量管理中起着重要作用,企业质量管理的一切活动几乎都是按照这三个阶段展开的。

本书主要关注质量控制和质量改进阶段的相关研究。由于质量控制和质量改进涵盖的领域较多,为限定研究范围并有所区别,本书采用了“质量监控”(Quality monitoring)和“质量优化”(Quality optimization)的表述。其中,质量监控是指对于制造过程的质量特性波动统计特性的监测和控制,通过对质量特性在时间上的波动变化分析,识别判断出由非随机性因素引起的统计异常状态,并给出异常状态的模式类型。而质量优化则是指对于具体的物理或工程机理不明晰的制造过程,探究质量特性与影响因素之间的影响机理并建立拟合模型,进而对影响因素进行调整,以得到期望的质量特性值。

随着经济全球化时代的来临,顾客需求日趋多样化和苛刻,产品质量竞争持续加剧;加上科技进步的影响,生产制造过程也日趋复杂。在机械电子、医药化工、精密仪器、汽车等现代制造

行业,出现了许多前所未有、亟待解决的质量监控和质量优化的瓶颈问题。例如自相关制造过程质量波动的监控与识别;复杂作用关系制造过程的参数设定和调整、质量特性优化与稳健性参数设计等。对于这些问题,若应用传统方法,例如休哈特控制图、响应建模优化、双响应建模优化等,由于应用前提条件的改变,传统方法的应用效果有限,产品质量仍有较大的提升空间。如何引入新的、系统性的解决方案,突破原有质量监控与质量优化的瓶颈,成为迫切需要解决的现实问题。

三、研究意义

本书将从一种有别于传统统计学方法——基于计算智能的视角,采用人工神经网络、支持向量回归机、粗糙集等计算智能方法,通过模式识别、过程建模、规则提取等手段,研究解决自相关过程、复杂作用关系过程的质量监控与质量优化的瓶颈问题。研究属于应用基础型研究,具有重要的理论意义和应用价值。在理论上,如何采用计算智能方法提升过程控制效果和改进产品质量,一直是国内外质量管理与质量工程学界关注的热点与前沿问题,但是现有研究多侧重于具体问题的解决,系统性地研究计算智能方法对于质量监控和质量优化的适用性并提出解决方案,有价值的成果还不多见,本书的研究可丰富这一领域的理论成果;在应用上,目前我国制造业产品质量与国外先进水平相比仍有差距,主要表现之一就是虽然原材料相同,但是产品质量却大不相同,其主要原因即在于质量监控与质量优化效果的差距。本研究将有助于改变这种状况,缩小与发达国家产品质量水平的差距。

第二节 国内外研究现状

一、基于计算智能的质量监控研究现状

计算智能在质量监控中的应用主要是采用人工神经网络或支持向量机对控制图的异常模式进行识别,或者结合主成分分析、模糊逻辑等方法来提高识别的可靠性。按照适用对象的不同,可以分为对于符合独立性假设的传统制造过程质量异常波动的监控,以及对于自相关过程质量异常波动的监控。

1. 关于传统制造过程质量异常波动的监控

较早的研究是直接利用计算智能方法(例如人工神经网络、支持向量机等)对控制图异常模式进行识别,采用计算智能的优势是能够识别出控制图不同的、混杂在一起的异常模式。

沈维蕾和谢峰^[10]利用竞争型人工神经网络来对控制图的异常模式进行监控;姜兴宇等^[11]提出一种基于 Elman 神经网络的工序质量诊断方法;初红艳等^[12]利用 4 个 BP 人工神经网络,对印刷过程控制图的异常模式进行了识别,并对其中的特征参数进行了估计;Cheng 等^[13]在累积和控制图检验出过程异常的基础上,利用支持向量机估计过程均值的变化幅度,对比研究发现,该方法的精度要高于单独采用累积和控制图和人工神经网络的方法;王秀红^[14]采用三层人工神经网络解决统计过程控制和工程过程调整整合而引起的控制图漏发警报概率较高的问题,将过程

输入输出之间的协方差矩阵作为人工神经网络输入,提高了对于过程异常波动的监控可靠性;Fatemi^[15]等提出一种多层感知机和LVQ人工神经网络的混合模型,该模型不仅能够对过程的各种异常状态进行监控,而且可以识别出造成非随机波动的主要影响因素来源,并估计出异常状态发生的时间点。

随着研究的深入,研究者在单独应用计算智能方法的基础上,通过采用主成分分析、小波分析等样本数据预处理方法,进一步提高了对过程异常模式的监控识别精度。

杨世元等^[16]利用主成分分析将控制图趋势数据集的高维特征投影至低维空间,然后设计了不同的支持向量机分类器进行异常模式的监控,取得了比BP人工神经网络、SLFM方法更高的识别率;吴少雄^[17]针对控制图的特殊模式和混合模式,将输入数据经小波分解,形成新的特征向量作为概率人工神经网络输入,再进行控制图模式识别,提高了算法收敛速度和识别精度;张敏和程文明^[18]采用基于支持向量机的多分类器对控制图的失效模式进行识别,采用粒子群算法优化了支持向量回归机核函数的参数,该方法识别精度比BP人工神经网络有较大提升;胡胜等^[19]针对由于各类异常特征的相关和相似而带来的网络结构复杂和识别精度不高的问题,首先采用核主成分分析简化样本数据集维度,而后再利用BP人工神经网络对过程异常模式进行监控;兰秀菊等^[20]提出一个三层的控制图模式识别模型,利用小波分析将控制图异常模式的数据分解为低频和高频部分,再利用支持向量机进行识别,提高了模型对于混杂模式识别的准确率;Ebrahimzadeh等^[21]提出一种基于混合智能算法的控制图异常状态的监控方法,采用K均值聚类对样本进行预处理,而后对比研究了多层感知机、概率人工神经网络、径向基函数人工神经网络