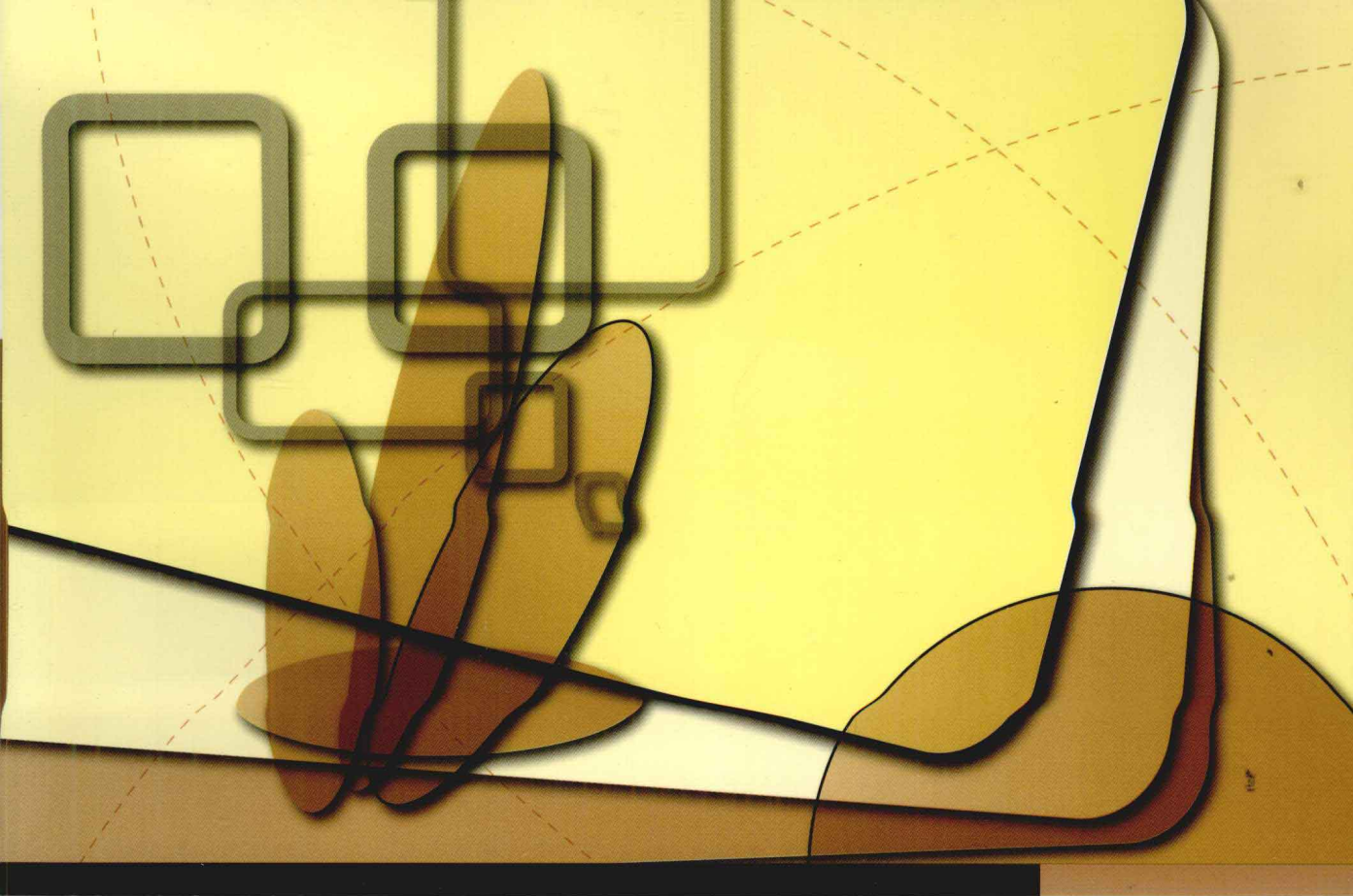
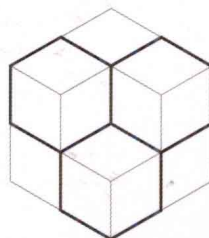




基于模糊理论的制造过程质量控制

JIYU MOHU LILUN DE ZHIZAO GUOCHENG ZHILIANG KONGZHI

侯世旺 著



Theory

Manufacture



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

基于模糊理论的制造 过程质量控制

侯世旺 著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书以模糊控制图的构建和模糊质量异常的识别与诊断为目标,应用模糊逻辑相关理论与方法,研究模糊质量控制图的构建方法、质量异常模式诊断的模糊推理与求解方法及模糊质量异常诊断模型的建立与仿真等问题,为质量控制中的模糊性问题处理提供支持。

全书共分为6章,第1章介绍不确定质量控制的研究现状,第2章阐述模糊不确定质量控制图的构造,第3章为模糊不确定质量异常模式识别及粗诊断,第4章介绍基于模糊关系方程遗传算法(GA)求解的质量异常详细诊断系统,第5章为基于模糊Petri网的不确定质量异常诊断建模与仿真,第6章为模糊不确定质量控制原型系统的建立及应用。

本书可作为工业工程专业、管理类及工程类专业高年级本科生、研究生的教材或参考书,也可供教师、企业管理人员及工程技术人员参考。

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,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

基于模糊理论的制造过程质量控制 / 侯世旺著. —北京: 电子工业出版社, 2011.12

ISBN 978-7-121-15559-8

I. ①基… II. ①侯… III. ①制造过程—质量控制 IV. ①TB4

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第264332号

策划编辑: 李 洁 (lijie@phei.com.cn)

责任编辑: 徐 萍

印 刷:

装 订: 北京中新伟业印刷有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编: 100036

开 本: 787×980 1/16 印张: 8.75 字数: 224千字

印 次: 2011年12月第1次印刷

印 数: 2000册 定价: 29.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

前 言

现代制造企业中，产品质量特性和生产过程中在许多方面具有不确定性和模糊性，同时，由于产品质量特性模糊渐变的特点，需要对产品质量及产品生产过程进行模糊处理与评判。传统的质量控制方法难以处理此类问题，因此，需要对质量控制中的不确定性和模糊性问题进行研究。

自从 20 世纪 60 年代加州伯克利大学的 L.A.zadeh（扎德）教授（1965）提出模糊集合理论以来，模糊理论得到了长足的发展。它以模糊集合为基础，接受模糊性现象存在的事实，以处理概念模糊不确定的事物为研究目标，并积极地将其实地量化成计算机可以处理的信息，其有效性已经在模式识别、模糊控制、人工智能及专家系统、信号处理等诸多工程领域得到验证。

本书主要包括以下内容。

第一，提出了基于专家评分与模糊数的模糊控制图构建方法与步骤。设计了将专家评分转换为不同隶属函数类型的模糊数的相应算法，提出了以模糊数为样本数据绘制模糊控制图的步骤；分析了给定截集水平下可能性与必要性测度在控制图异常状态下的特征，作为判断过程受控状态的准则，并分析了不同隶属函数类型构建的模糊控制图的特点。

第二，为了适应历史数据不全面或过程复杂度不太高的制造过程质量异常粗诊断的需要，建立了基于模糊推理的质量异常粗诊断系统。该系统通过逐点计算控制图异常模式特征数，按异常严重度分段设置隶属函数，将控制图异常模式特征数转换为隶属度，并根据模糊异常-异因类之间的模糊关系转化规则进行模糊推理。系统还按照异常模式与异因的关系度，为每个异因类设计了聚合算子，聚合中间推理结果，实现模糊质量异常识别及粗诊断，将不同异因类对异常模型的贡献程度进行量化判断，并对可能的异因类优先排序。

第三，对于需要进行质量详细诊断的复杂制造过程，本书建立了基于模糊关系方程遗传算法（GA）求解的质量异常详细诊断系统。该系统以控制图数据为输入，计算监控窗口内异常模式发生隶属度。对于难以由控制图数据直接计算特征数的异常模式，利用小波分解重构及拟合方法，将控制图数据分解为基本模式信号的组合，选择其中不同部分重构模式信号，并用参数方程对重构信号的拟合度作为异常模式特征数，计算相应的隶属度。用模糊关系矩阵及异常模式隶属度构建模糊关系方程，将其转化为优化问题，构造 GA 求解模型，实现对质量异常的详细诊断，并通过精密轴加工质量诊断实例，对上述方法进行应用研究。

第四,针对质量异常的发生与传播过程,建立了质量异常诊断的模糊推理 Petri 网(FRPNs)模型,根据模糊质量异常及其诊断特点,提出了 FRPNs 模型的模糊推理规则及运行规则。鉴于常规 Petri 网仿真方法在应用方面的难度较大,通过建立 FRPNs 模型与状态流(Stateflow)仿真工具基本元素之间的对应关系,设计了质量诊断 FRPNs 模型的 Stateflow 仿真方法,实现由控制图数据触发,实时分析控制图模糊异常模式发生程度、动态异常诊断及结果显示。

第五,以 Matlab 为开发平台,建立了模糊质量控制原型系统,设计了系统的结构功能,分析了各功能模块的处理流程、数据类型及交互界面等关键问题,并通过应用实例验证了系统的运行效果。

本书的出版得到了中国博士后科学基金项目(2011M501272)及航空科学基金项目(2010ZG53075)的资助,作者在此表示衷心的感谢!

由于作者水平有限,错误和不当之处在所难免,诚望各位读者提出宝贵意见和建议!

作 者

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 研究背景	(1)
1.2 质量控制过程及其异常	(2)
1.2.1 质量异常及其属性	(2)
1.2.2 质量控制过程及其异常特点	(3)
1.3 不确定性质量控制的研究现状	(4)
1.3.1 基于模糊理论的质量控制图构建	(4)
1.3.2 质量控制图异常模式识别诊断	(5)
1.4 主要研究内容	(9)
第 2 章 模糊控制图构造	(11)
2.1 模糊质量控制	(11)
2.1.1 模糊控制图原理	(11)
2.1.2 模糊质量控制的基本过程	(12)
2.2 模糊数的构造	(13)
2.2.1 模糊数的定义	(13)
2.2.2 模糊数的构造方法与流程	(15)
2.2.3 模糊数构造实例	(17)
2.3 模糊控制图及其异常判断	(18)
2.3.1 模糊控制图打点模糊数定义	(18)
2.3.2 控制图可能性与必要性测度	(19)
2.3.3 模糊控制图异常判断	(20)
2.4 模糊控制图的应用分析	(22)
2.4.1 评分样本数据处理	(22)
2.4.2 控制图分析	(24)
2.5 模糊数类型对模糊控制图的影响分析	(24)
2.5.1 隶属函数类型	(24)
2.5.2 隶属函数类型对模糊控制图的影响	(26)
2.6 本章小结	(29)

第 3 章 模糊质量异常模式识别及粗诊断	(30)
3.1 模糊质量异常模式识别及诊断模型	(30)
3.2 质量异常模糊问题描述	(31)
3.3 模糊推理系统设计	(33)
3.3.1 模糊语言变量	(33)
3.3.2 模糊规则的聚合与蕴含	(34)
3.3.3 模糊逻辑推理	(35)
3.3.4 推理的图解方法	(38)
3.3.5 模糊推理系统框架及输入/输出变量定义	(40)
3.3.6 模糊推理模块设计	(42)
3.3.7 模糊聚合算子设计	(46)
3.4 应用实例分析	(46)
3.5 本章小结	(49)
第 4 章 基于模糊关系方程的质量诊断	(50)
4.1 质量诊断的模糊关系方程模型	(50)
4.1.1 基于模糊关系方程的质量异常诊断原理	(50)
4.1.2 质量异常诊断模糊关系方程的求解问题	(52)
4.1.3 基于模糊关系方程 GA 求解的质量异常诊断模型	(53)
4.2 模糊质量异常诊断方程的参数确定	(54)
4.2.1 模糊诊断矩阵 R 的构建	(54)
4.2.2 模糊异常隶属度向量构建	(55)
4.3 模糊关系方程的 GA 求解	(59)
4.3.1 模糊关系方程求解规划	(59)
4.3.2 GA 求解基本流程	(61)
4.3.3 GA 相关参数设置	(62)
4.4 应用实例分析	(64)
4.4.1 质量异常定义及异因分析	(64)
4.4.2 模糊关系矩阵构建	(66)
4.4.3 模糊质量异常隶属度计算	(68)
4.4.4 模糊关系方程 GA 求解	(71)
4.5 本章小结	(75)
第 5 章 模糊 Petri 网质量异常诊断	(76)
5.1 模糊推理 Petri 网质量异常诊断原理	(76)

5.2	质量异常诊断中的模糊产生式规则及 FRPNs 表示	(78)
5.2.1	质量异常诊断中的模糊产生式规则类型	(78)
5.2.2	规则的 FRPNs 表示	(78)
5.2.3	否命题的处理	(79)
5.3	FRPNs 模型	(79)
5.3.1	模型定义	(79)
5.3.2	模型的运行规则	(80)
5.4	状态流 (Stateflow) 仿真模型	(80)
5.4.1	Stateflow	(81)
5.4.2	由 FRPNs 构造 Stateflow 仿真模型	(81)
5.5	应用实例分析	(85)
5.5.1	质量异常诊断 FRPNs 模型	(85)
5.5.2	FRPNs 模型的 Simulink/Stateflow 仿真	(87)
5.5.3	仿真过程及结果分析	(90)
5.6	本章小结	(93)
第 6 章	模糊质量控制原型系统	(94)
6.1	模糊质量控制系统框架	(94)
6.2	系统功能及算法流程	(95)
6.2.1	系统功能描述	(95)
6.2.2	系统功能算法流程	(96)
6.3	系统应用实例	(101)
6.4	本章小结	(106)
附录 A	绘制模糊控制图的 Matlab 程序代码	(107)
附录 B	不同类型模糊控制图参数转换	(110)
附录 C	模糊关系方程 GA 求解	(114)
附录 D	第 4 章异因成对比较矩阵	(116)
附录 E	案例控制图数据	(120)
附录 F	第 4 章案例隶属度分析	(122)
附录 G	GA 算法适度函数	(125)
附录 H	sfunwavelet.m	(126)
参考文献		(128)

第 1 章

绪 论

1.1 研究背景

制造业对于每个国家的国民经济都有着重大的影响。随着世界经济的全球化,制造业正面临着生产规模、经济效益、品种、质量和环境保护等多方面的严峻挑战,其中连续稳定的产品质量一直是制造工业界追求的目标。先进制造技术(Advanced Manufacture Technology, AMT)的出现及其在制造业的广泛应用,使制造过程变得越来越复杂,但对于产品质量的严格保障却是它们的共同特点。

控制图作为统计质量控制(Statistical Quality Control, SQC)的主要工具之一,被广泛应用于过程稳定状态及过程能力的监控。它以制造过程的一个或几个质量相关特性的度量值为操作对象,通过控制限及统计检验将正常波动与异常波动区分开来。控制图由不同采样时点的质量特性数据绘制而成,发生异常时,一般的过程信号通常由多种频率成分组成,体现为控制图的多种异常模式,每种异常模式都可反映丰富的相关过程异常因素,大都具有明显的物理意义。这些模式在具体的应用场合中常常影射出不同的过程失控原因。

制造系统中存在大量模糊不确定性问题。学者 Carvalho 和 Machado 指出:在全球化市场中,企业必须应对高度变化的经营环境……生产制造系统的相关参数、变量及约束规则都有其固有的模糊不确定性。因此,应用控制图进行制造过程质量控制时面临许多新的问题。

首先，在控制图的构建方面。由于制造系统的复杂性及检测控制技术等各方面因素的制约，不可能将影响制造质量的全部质量特性纳入控制体系，其中有的质量特性本身难以量化，制造过程对于这类特性的处理，大多是用专家评分、语言评价等模糊手段，对于这类特性值而言，无法构建常规的计量控制图，而最终仅用合格与不合格做出判断，难以描述过程质量的渐变过程或中间水平。构建应用于这类质量特性的模糊控制图，对于实现过程及产品质量的精细化控制十分必要。

其次，在控制图的异常识别及诊断方面。制造过程中影响质量的人、机、料、法、测、环境六大因素构成一个复杂系统，其异常的产生和传播是典型的动态行为过程。一个异常状态的出现可能导致一系列后继状态的发生，表现为异常的并发性；一个异常也可能由多个原因造成，多个不同的原发性异常沿各自不同的传播途径可引发同一系统级异常。因此，在应用控制图进行过程异常模式识别诊断过程中存在以下模糊不确定性问题：

- (1) 点子处于控制线上或边界时，过程状态的确定；
- (2) 异常点数非常接近异常规则规定的点数时，过程状态的确定；
- (3) 控制图上的某一点同时触发两种或以上异常模式时，异常原因的诊断；
- (4) 多种质量异常混合且并发情况下，异常模式的分类识别及异因定位。

考虑质量的模糊不确定属性，并不是将清晰质量进行“模糊”的处理。揭示质量的模糊属性，一方面固然是对于复杂大系统的质量问题进行粗线条处理，但在相当广泛的范围内却是质量研究的一种“精细化”。模糊质量控制是以适用性质量标准为依据，更为细致和精确地研究制造过程模糊不确定质量特性的控制及模糊异常识别与诊断。上述问题的解决，对于应用控制图实现制造过程模糊质量控制和提升质量控制水平意义重大。

1.2 质量控制过程及其异常

1.2.1 质量异常及其属性

质量异常就是质量控制过程检测到的或由质量专家评估认定的质量指标偏离正常范围的情形。在应用控制图实施过程质量控制时，质量异常是指控制图点子的异常排列情形。

质量控制过程的异常包含如下属性。

- (1) 异常诱发异因，即引发质量异常的可能因素。造成制造过程质量波动的原因主要是 5M1E (Man, Machine, Material, Method, Measurement, Environment)。
- (2) 异常参量，即制图点子所描述的质量特性指标对应的物理量。如规格尺寸、精度、

灵敏度、振动、噪声、效率、外观质量等,不同种类的产品有不同的要求。上述参量值超出了规定的范围,即表明质量控制过程发生了异常。

(3) 异常症状,即异常参量超出了规定的范围,且被人们观测到的现象。它是异常的外在表现。

(4) 异常信息,即反映质量控制过程异常状况的特征信息。异常症状显然是异常信息,设备的异常现象、报警信号、系统测试分析结论、设备的使用期限、维护保养状况、运行及修理记录等在一定的条件下也是异常信息。异常信息及其与异常的某种对应关系,是异常诊断的起点和依据。

(5) 异常范围,即异常的涉及面。有的异常是单一性的,有的异常是并发性的。前者是由个别因素异常引起的结果,后者涉及多种因素,对于复杂制造过程而言,后者更为常见。

(6) 异常强度,即异常的严重程度,表现为质量指标与规格之间的偏离程度。严重异常强度高,轻微异常反之。质量监控过程中应注意发现异常趋势,避免严重异常发生,轻微异常信息量不充分,不明显,异常分析诊断的难度要大。

(7) 劣化速度,即异常发生与发展的速度。有的异常是突然产生的,有的则是逐步渐进发展的。对于突发型异常,应注意掌握异常的预兆。对于渐变型异常,应长期监测,弄清其发展趋势。

(8) 异常时效,即异常的持续状况。有的异常是暂时的、间断性的、时有时无的;有的异常一旦出现只有在修理或更换了零件之后才能恢复功能,这类异常是永久性异常或故障。暂时性异常的原因在制造过程外部,永久性异常的直接原因在制造过程内部。

(9) 异常频率,即异常出现的频繁性。有的异常经常出现,有的异常偶尔出现。对经常出现的异常,应考虑采取有力措施消除其根本原因。偶发性异常分析起来要困难得多。

1.2.2 质量控制过程及其异常特点

质量控制过程及其异常具有下列特点。

(1) 质量指标模糊性。对于制造过程质量的评价,存在许多语言性描述,如质量等级的优良中差等,使常规的定量质量控制方法难以适用。

(2) 异常诱发异因的隐蔽性。质量控制过程存在大量的不确定性模糊质量异常描述,在过程终端——产品身上反映出来的异常,其诱发异因分散于过程的每道工序及每一个SME点上,由于检测技术的限制及异因本身的模糊属性,任何制造过程都不可能将所有的质量相关因素纳入监测体系,在多数场合对现场质量工程师的经验判断依赖较大,造成异常诱发异因定位的复杂性。

(3) 交错性。质量控制过程的异常症状与原因之间存在各种各样的重叠与交叉。一个症状有多种可能原因；一个异常源也可能引起多处的症状；一个症状也可能同时由多个异常源叠加起来形成。对于一个症状有多种可能原因的情形，应采取有效手段剔除不存在的原因；对于一个异常源产生多个症状的情形，可利用多个症状的组合去确定异常源；对于叠加现象，应全面考虑影响因素，分清各因素作用的主次轻重。

(4) 随机性。在质量控制系统运行过程中，受到各种各样随机性因素的影响，使异常具体发生点及变化方向不确定，引起判断与定量分析的困难。

此外，质量控制作用的对象为制造过程，属于非线性时变系统，基于精确数学模型的异常诊断方法在工业生产现场难以实际应用，相比之下，基于知识、经验和模糊推理的人工智能诊断方法效果会更好。

1.3 不确定性质量控制的研究现状

1.3.1 基于模糊理论的质量控制图构建

一般计数型质量控制图中所处理的数据都是布尔型的数据，如可用或不可用、合格或不合格。自从 L.A. Zadeh 在 1965 年提出了模糊集合论后，模糊数学的发展十分迅速。应用模糊的观念来处理一些模糊资料，用隶属度替代传统的布尔逻辑，可以解决模糊重叠、划分不清的原始资料的量化处理问题。例如，对水泥抗压强度的预测，对统计数据分析及置信区间的估计，对变压器的故障检测，对人力资源效率的预测，对企业销售决策的支持，等等。国内外许多学者也将模糊技术引入质量控制图的构造过程。

Fazel Zarandi 等人提出了一种模糊自适应抽样与运行规则方案，通过调整隶属函数的参数可以构造适应不同程度过程偏移的控制图。Orhan Engin 等提出了一种适用于多工序计数型控制图抽样的模糊方案。Y.K. Chen 等将过程偏移视作服从已知隶属函数的模糊数，利用模糊截集作为可能的偏移量，通过 Min-Max 原则优化控制图参数。Murat Gülbay 和 Cengiz Kahraman 提出了一种直接模糊方案，对于样本质量评价的一系列语言变量及控制限始终用模糊集合表示，不用解模糊化为特征值，而根据各样本模糊集合与控制限模糊集合的 α -截集的重合度来决定受控状态，并由 α 决定检验的宽严程度。H Taleb、M Limam 及天津大学的张剑、李从东等提出应用模糊集合表示产品的语言型数据，采用加权平均法来解模糊化，将语言型数据的模糊集合转变为真实值来建立控制图；蔡正英、程谷辉通过预先建立质量标准的模糊语言变量集合以及相应的模糊集，给定质量标准的三角隶属函数，

将控制图分为不同质量层次。徐斌通过模糊分类器与神经网络的结合,解决了小批量生产环境难以满足构造 SQC 控制图的大样本要求的问题。Zarandi 等提出了以模糊隶属函数为参数的模糊多目标模型,实现 XBar 控制图的优化设计。S.M. El-Shal 等通过应用模糊规则对 SQC 规则进行改进,致力于减少控制图误发警报,改善检测速度。P. Grzegorzewski 等提出了一种基于必要性系数的模糊控制图。K.L. Hsieh 等给出了应用模糊理论构造 IC 制造过程晶体片缺陷检测的 c 图。J.D.T. Tannock 提出了构造单值模糊控制图的方法。H. Rowlands 等通过将模糊逻辑与控制图集成,提出了模糊 SPC (Statistical Process Control) 方法。

1.3.2 质量控制图异常模式识别诊断

生产过程处于受控状态的标准一般为:控制图上的点不超过控制界限且点的排列分布没有缺陷。所谓缺陷,是指控制图异常模式主要有“链”、“偏离”、“倾向”、“周期”、“接近”、“分层”、“突变”、“混合分布”等多种情况,每种模式都有各自的特征。最常用的方法是利用满足一定统计规律的判别条件来进行判断,如连续 7 点不断上升或下降时应判断为“倾向”异常模式,不同应用场合有不同的判别规则。在控制图模式识别的基础上,过程质量诊断的目标是建立异常状态与异常原因之间的映射关系,实现对异常的定位。将过程视为一个多因素作用的复杂质量系统,控制图模式代表对系统的实时采样检测,通过诊断将其转换为相应的物理信息。

对于复杂系统,由于其异常是多种多样的,而且异常和征兆之间不存在一一对应的简单关系,其异常诊断往往是一种探索的过程,这一过程可用图 1-1 表示。

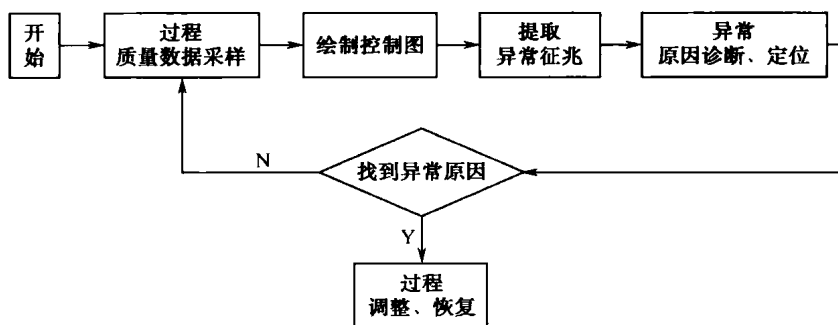


图 1-1 过程质量异常识别诊断流程图

近年来,国内外学者对控制图的异常模式识别与诊断技术展开了积极的研究,采用的方法大致可分为基于统计的方法、模式识别法、基于神经网络的方法和模糊诊断法。

1. 基于统计的方法

许多工业生产过程产生了大量的过程数据,通过对过程数据的统计分析可以监测系统的运行状况,评估控制性能的优劣,以及对出现的故障情况进行判断。这种基于数据驱动的统计监控及故障诊断方法得到了广泛的应用。

统计过程监控根据正常工况的历史数据,使用数理统计理论建立统计监控模型,用于在线的生产过程监控。统计模型降低了过程变量中数据的维数,消除了变量之间的相关关系,能够提取出正常工况数据的重要信息。

目前广泛使用的统计方法主要有主元分析(PCA)、Fisher 判别分析(FDA)、规范变量分析(CVA)、独立主元分析(ICA)和偏最小二乘(PLS)等方法。然而这些方法都是基于线性变换的统计方法,即假定过程变量之间满足线性相关关系。为了处理非线性系统,许多学者提出了基于核函数的方法,如KFDA、KPCA。

2. 模式识别方法

在得不到准确的系统数学模型时,进行故障检测和诊断的一个有效途径是采用模式识别方法。其前提条件是必须收集并保存好正常操作及故障状态下的历史数据,然后将这些历史数据作为训练样本进行处理,提取出关键信息。这一过程称为特征提取,其目标是提取出那些可以明确识别出的、某一类型区别于其他类型的特征,然后设计出一个决策算法,基于提取出的特征集合,最优地对采集到的样本进行分类。当新的样本出现时,首先提取出该样本中的特征信息,然后便可以基于上述决策算法,判定是哪一种故障最有可能产生了这一样本。

模式识别的特点是不需要系统的数学模型,而使用测量数据来分类,对于控制图的分析 and 判断通常是基于由判别函数体现的特定的判别规则的,在过程诊断中应用十分广泛,在各类机械故障诊断、工程结构诊断及通信系统故障诊断等方面都获得了成功的应用。

赵文仓等通过对柴油机的几种常见油管压力故障信号的分析,提出了一种提取模板向量和信息向量的方法,并且建立了5种模板库,采用欧式距离作为信息向量和模板向量的相似性测度,设计了一种基于最近邻准则的试探聚类算法来进行故障诊断。欧阳晓黎等对故障诊断问题进行了数学描述,分析了模式识别和故障诊断之间的联系,研究了基于模式识别的故障诊断过程及一般自适应诊断系统的设计理论,并重点讨论和分析了数据参数化、模式类构成、特征选取和分类器设计的具体实现过程。张成宝等以AR模型参数和残差方差为模式向量,采用3种统计模式识别方法对变速箱的齿轮状态进行了识别,说明模式识别技术在故障诊断中有重要的作用。白雷石等提出一种基于模式识别的故障诊断方法,利用传感器检测柴油机燃油压力波形,对波形进行数学建模和特征提取,并选用

Euclidean 距离最小判别法, 将其应用到柴油机燃油压力波形的故障诊断中, 得到相当理想的诊断结果。F. Akbaryan 等提出了模式识别方法在多元过程故障诊断中的应用。

3. 基于神经网络的方法

大型复杂过程的不确定性使得其建模困难, 对它的了解程度直接影响诊断规则的准确性。近年来, 神经网络由于其自适应性、高容错性和很强的自学习能力而被应用于故障诊断中, 它通过训练使网络中的权值变化, 最后达到某一稳定状态, 相当于用具体的示例来达到一般化, 类似于人的形象思维。Guh 用 BP 神经网络对控制图中的异常模式进行识别; Chiu 等人提出了用 BP 神经网络识别不同自相关系数下, 时间序列 AR(1)模型的不同参数偏移, 可以很好地识别 $1 \sim 3\sigma$ 偏移数据; 乐清洪提出一种利用局部有监督特征映射 (Regional Supervised Feature Mapping, RSFM) 网络进行识别的方法, 在一定程度上有效提高了对控制图异常识别的准确性; D.T. Pham 等人提出了激励神经网络 (Spiking Neural Networks, SNNs) 在控制图模式识别方面的应用; 郑唯唯等人利用 Elman 型反馈神经网络对过程质量进行预测和诊断; Jamal Arkat 等人利用神经网络对一阶自回归残差累积和控制图异常进行检测; S.T.A. Niaki 等人提出应用 ANN 对多元控制图异常时的异常变量进行识别诊断; 咎涛等人采用自适应修改学习率 BP 网络和概率神经网络对控制图异常进行识别; 上海交通大学的 Jianbo Yu 等人提出一种基于知识库的 ANN, 用于在线监控整个制造过程并对不同质量等级的产品进行分类; Samanta 等人阐述了 ANN 诊断方案在滚动轴承故障诊断中的实际应用; 哈尔滨工业大学的陈平等人提出了改进的 BP 算法用于控制图模式识别, 以改善训练速度及识别准确率指标; 吴少雄针对控制图特殊模式和混合模式, 提出了将输入数据经小波分解后的近似系数与各层细节系数的能量成分组成的特征向量作为概率神经网络的输入进行控制图模式识别的方法。研究表明, 采用神经网络的方法比传统的统计判别方法具有更好的性能。

4. 模糊诊断方法

对于具有模糊特性的质量异常识别诊断问题, 许多学者尝试使用模糊方法来处理, 即利用质量异常的模糊征兆进行状态识别, 推理并做出决策, 最终推断出产生故障的原因。其基本思路就是根据实际问题进行特征提取或特征变换 (将原来普通意义上的特征值变为模糊特征), 建立模糊集的隶属函数, 或建立元素之间的模糊相似关系, 并确定这个关系的隶属函数 (相关程度), 然后运用有关模糊数学的原理方法进行分类识别诊断。

刘伯鸿等通过模糊数学模型描述检测参数结果和故障原因之间的关系, 用模糊关系矩阵来反映相应的故障机理。龚雯提出了在机械加工误差源诊断领域利用模糊理论对模糊信息、模糊知识进行数字化表达的方法, 通过建立诊断知识与加工误差源之间的模糊关系,

运用模糊推理及模糊模式识别, 诊断主要加工误差源。李春泉等提出将实际质量特性与合理质量特性对应比较, 作为模糊输入向量, 以故障缺陷发生可能度作为模糊输出向量, 通过模糊规则与正反向模糊推理, 推理合成后得到产品质量模糊故障诊断。郑再象等将生产线加工的产品质量数据所生成的控制图的各种异常形态进行归类, 建立相应的数学模型和异常模式集, 同时也对变速器生产线上的常见故障进行归类并建立相应的故障集, 在异常模式集与故障集之间建立模糊关系模型, 依靠计算机进行自动识别, 完成生产线常见故障的快速诊断。巩敦卫等考虑模糊特征分量对识别模糊特征的重要程度, 给出一种新的模糊模式识别方法, 能够由工序失控原因特征向量给出工序失控原因。高峻等对输入的异常现象进行模糊分析, 推断导致异常的根源, 并给出排除异常原因的方案。H.M. Hsu 等提出一种应用模糊推理机制诊断 $\bar{X}$ Bar 控制图异常的方法。J.D.T. Tannock 等给出了基于模糊逻辑单值控制图的 3 种典型异常模式(偏移、趋势及周期或循环)的识别诊断方法。N. Saravanan 等提出一种基于振动信号的模糊分类器, 用于齿轮变速箱的故障诊断。Alexander P. 提出应用模糊关系进行异常的因果分析, 通过对模糊关系方程的求解实现异常原因的定位。Sourabh Dash 等提出一种用于识别趋势异常模式的模糊推理方案, 根据相似性测度判别故障模式类型。张晓丹等将模糊理论和专家系统相结合来处理故障诊断问题, 专家系统的输入部分做相应的模糊处理, 在推理过程中采用模糊推理机制, 再对输出进行解模糊, 最终得出推理结果。

综上所述, 已有文献关于模糊控制图构建方面的共同特点在于预先给定模糊集合的隶属函数, 然后在此基础上通过模糊运算及解模糊化方法构建模糊控制图, 不足之处在于当先验信息出现偏差时, 无法对应用过程做出调整, 从而可能引发结果的失真。基于统计的诊断方法常用于多元过程质量监控与诊断, 需要大量的过程测量数据, 对于质量指标难以清晰度量或无法用数值表示的场合显然难以适用。模式识别诊断法对具有良好类间分离特性的不同异常模式分类比较有效, 但是质量控制图有多种模式, 又包含许多关于生产过程的信息, 这些规则并不能完全详尽地描述某一过程的特定模式, 同时控制图中常常夹杂着大量的干扰信号, 造成模式间的差异变得比较模糊, 影响基于规则的识别系统的判别精度。神经网络诊断法的不足在于它的知识分布于系统内部, 没有明确的物理意义; 不能清楚地解释推理过程, 也不能直接利用规则; 由于求解是以示例为基础的相似近似解, 求解不可能完全正确; 由于过程的复杂性, 训练样本数据集难以完全覆盖过程异常-异因集合, 对于未加学习异常模式, 它无法识别诊断。已有文献有关模糊诊断方法, 对于异常模式本身的模糊不确定性研究, 即对于异常模式的定义模糊性、不同异常模式发生与否的模糊性及不同异因对异常的贡献程度的不确定性研究较少。

1.4 主要研究内容

针对质量控制中存在的 uncertainty 问题, 本书研究的内容主要包括以下方面。

1. 模糊质量控制图的构建

休哈特控制图对于具有模糊质量特性的质量控制场合难以正常发挥作用, 鉴于常规控制图在统计质量控制中的良好效果, 对于产品质量中间水平的模糊表示及相应控制图的构造有明显的应用价值。根据模糊质量特性指标的专家评分数据, 应用相应算法构造不同隶属函数类型的模糊数, 以模糊数的截集作为模糊控制图的打点数据, 并应用模糊数均值的模糊测度作为判异准则, 可以有效避免预先给定隶属函数的先验失真对模糊控制图的影响。借助模糊控制图, 可以方便地实现由质量评分数据构建控制图并对其受控状态做出判断, 实现利用控制图对模糊质量特性指标的控制, 从而有效解决常规计数型控制图非此即彼的二分质量控制。

2. 模糊质量异常模式识别

实际发生的质量异常与质量控制图上的打点呈现的模式之间存在着对应关系, 这在常规控制图中已经得到证实, 对于模糊质量异常模式的识别直接决定着异常诊断结果的正确与否。对于 1.1 节中提及的几种不确定性控制图异常模式, 通过控制图模式信号的小波分解重构, 可以实现并发模式的分解, 将其转换为基本异常模式的组合; 通过逐点计算控制图触发各异常模式的模糊度, 可以实现临界状态下异常模式发生程度的量化判别, 为质量异常的预防提供可靠信息。同时, 解决了模糊不确定条件下, 由于缺乏大量确定性数据而难以应用基于统计的方法进行模式识别的难题, 也避免了模式模糊性对于传统模式识别方法应用精度的影响。

3. 模糊质量异常诊断

利用异常模式与引发异常的原因之间的对应关系进行异常诊断是传统质量诊断中的主要原理, 利用模糊异常模式隶属度及模糊异常与异因之间的模糊关系进行诊断对于模糊质量异常诊断至关重要。根据制造过程质量控制图, 判断相关异常模式的发生程度, 利用模糊推理规则、模糊关系方程实现对控制图异常的模糊诊断, 实现适应不同应用条件的质量异常大类异因粗诊断及具体异因细诊断, 即对发生何种异常及不同异常因素对其贡献程度做出量化判断, 并对可能的异常因素做出优先排序, 这对于模糊质量异常诱发原因的定位及异常排除具有重要指导作用。同时有效解决了基于神经网络的诊断方法对于学习样本的强依赖性。