

教育部人文社会科学研究青年基金项目资助成果

Uncertain Quality Attributes Control and Diagnosis  
Based on Process Perspective

侯世旺 / 著

# 不确定质量特性 控制与诊断 ——基于过程视角



经济管理出版社  
ECONOMY & MANAGEMENT PUBLISHING HOUSE

教育部人文社会科学研究青年基金项目资助成果

Uncertain Quality Attributes Control and Diagnosis  
Based on Process Perspective

侯世旺 / 著

# 不确定质量特性 控制与诊断 ——基于过程视角



经济管理出版社  
ECONOMY & MANAGEMENT PUBLISHING HOUSE

图书在版编目 (CIP) 数据

不确定质量特性控制与诊断: 基于过程视角/侯世旺著. —北京: 经济管理出版社, 2016.12  
ISBN 978-7-5096-4832-2

I. ①不… II. ①侯… III. ①质量管理—研究 IV. ①F273.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 311767 号

组稿编辑: 申桂萍

责任编辑: 高 娅

责任印制: 黄章平

责任校对: 王淑卿

出版发行: 经济管理出版社

(北京市海淀区北蜂窝 8 号中雅大厦 A 座 11 层 100038)

网 址: [www.E-mp.com.cn](http://www.E-mp.com.cn)

电 话: (010) 51915602

印 刷: 北京九州迅驰传媒文化有限公司

经 销: 新华书店

开 本: 720mm × 1000mm/16

印 张: 16.5

字 数: 306 千字

版 次: 2016 年 12 月第 1 版 2016 年 12 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5096-4832-2

定 价: 59.00 元

·版权所有 翻印必究·

凡购本社图书, 如有印装错误, 由本社读者服务部负责调换。

联系地址: 北京阜外月坛北小街 2 号

电话: (010) 68022974 邮编: 100836

# 前 言

不确定性是指个体由于认知的有限而对复杂多变的客体难以准确预测。制造过程的相关参数、变量及约束等都有一定的模糊不确定性。尤其是质量特性值在测量、评价方面存在的模糊不确定性，使传统的质量控制图不再适用。基于过程视角，研究不确定质量特性控制图的构建及其异常识别与诊断，是一个既有理论价值又具有现实意义的研究课题，它可以为制造系统实施不确定质量特性监控提供理论指导，为制造系统不确定异常的诊断开辟新的实践途径。

第一，本书对统计过程控制（SPC）的基本理论以及常规控制图类型及其绘制进行了总结与回顾，为借鉴传统 SPC 基本原理，从过程视角，对不确定质量特性进行监控提供理论基础。

第二，借助模糊集合理论，阐述了不确定质量特性的模糊属性，给出了离散取值与连续取值不确定质量特性的表示方法，并介绍了模糊综合评判、模糊排序、模糊推理、模糊聚类等不确定质量管理中常用的模糊集合论方法。

第三，针对不确定质量特性控制图的构建，提出了基于贴近度与模糊数两种方案。前者利用样本模糊集与标准样品模糊集间的贴近度与给定阈值之间的关系，获得绘制计数型不确定特性控制图的数据，而利用区间数描述计量型质量特性，构建一种区间数的端点值的组合型控制图；后者利用评分统一处理两种不同类型的质量特性，并将评分转换为不同隶属函数类型的模糊数，以模糊数为样本数据绘制控制图。

第四，为了实现对不确定控制图模式的识别，提出了逐点识别方法、小波分解重构方法以及基于贝叶斯理论的方法。逐点识别方法逐点计算控制图触发各异常模式的模糊度，量化临界状态下异常模式发生的程度；小波分解重构方法用于处理控制图可能出现的不确定性异常的并发模式，通过控制图模式信号的小波分解重构，将并发异常模式分解为基本的异常模式；基于贝叶斯规则的模式识别方法，逐点计算各种模式参数的极大似然估计量，应用贝叶斯规则推算各模式出现

的信度大小,并依据每个采样时点模式决策统计量的取值,对控制图模式做出判断。这些识别方法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传统模式识别方法应用精度的影响。

第五,提出了用于两种不同情况下的异常诊断方案。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,按异常严重程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,并根据由模糊异常—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贡献程度做出量化判断,并对可能的异因类优先排序。

对于需要进行质量详细诊断的复杂制造过程,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,构造了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,对上述方法进行了应用研究。

第六,为了动态展示不确定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网仿真方法在实际应用方面的困难,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。

第七,借鉴传统过程能力及过程能力指数的相关概念,提出基于模糊统计的不确定质量特性过程能力指数的估算方法,根据不确定质量特性的主观评分数来估计相应评价模糊数统计特征值,并以该特征值估算过程的工序能力指数,实现利用不确定质量特性的模糊评价信息对过程能力的估计。

最后,以Matlab为开发平台,建立了不确定质量特性控制原型系统,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，并以应用实例验证了系统的运行效果。

本研究成果得到教育部人文社会科学研究青年基金项目（13YJC630049）的资助。

由于作者水平有限，错误与不当之处在所难免，诚望各位读者提出宝贵意见和建议！

侯世旺

2016年10月

# 目 录

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 第一章 绪 论 .....               | 001 |
| 第一节 研究背景及意义 .....           | 001 |
| 第二节 不确定质量特性控制的研究现状 .....    | 003 |
| 一、不确定质量特性控制图的构建 .....       | 003 |
| 二、不确定质量特性控制图异常模式识别与诊断 ..... | 004 |
| 三、基于不确定质量特性指标的过程能力评价 .....  | 008 |
| 第三节 主要内容 .....              | 010 |
| 第四节 本章小结 .....              | 012 |
| 第二章 统计过程控制的基本理论 .....       | 013 |
| 第一节 SPC 概述 .....            | 013 |
| 一、SPC 的起源、发展 .....          | 013 |
| 二、过程质量影响因素 .....            | 014 |
| 三、过程质量的波动 .....             | 016 |
| 四、过程质量波动的统计特征 .....         | 017 |
| 五、过程质量状态 .....              | 018 |
| 第二节 控制图原理 .....             | 020 |
| 一、控制图的基本形式 .....            | 020 |
| 二、控制图的原理 .....              | 020 |
| 三、控制图的作用 .....              | 021 |
| 四、控制图的分类 .....              | 022 |
| 五、控制图的应用程序 .....            | 024 |
| 六、控制图的观测与分析 .....           | 025 |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 第三节 两类错误和 $3\sigma$ 方式 ..... | 025 |
| 一、两类错误 .....                 | 025 |
| 二、控制图的判异准则 .....             | 027 |
| 三、控制图的应用要点 .....             | 029 |
| 第四节 计量型控制图 .....             | 030 |
| 一、均值—极差控制图 .....             | 030 |
| 二、均值—标准差控制图 .....            | 031 |
| 三、中位数—极差控制图 .....            | 032 |
| 四、单值—移动极差控制图 .....           | 032 |
| 第五节 计数型控制图 .....             | 035 |
| 一、不合格品率控制图 ( $p$ 图) .....    | 035 |
| 二、不合格品数控制图 ( $np$ 图) .....   | 036 |
| 三、单位缺陷数控制图 ( $u$ 图) .....    | 036 |
| 四、缺陷数控制图 ( $c$ 图) .....      | 037 |
| 第六节 休哈特控制图的不适应性分析 .....      | 039 |
| 一、不适应现象 .....                | 039 |
| 二、应用条件和原理上的局限性 .....         | 039 |
| 三、造成不适应性的原因和解决方案 .....       | 040 |
| 第七节 通用控制图 .....              | 040 |
| 第八节 多元质量控制图 .....            | 041 |
| 一、 $\chi^2$ 控制图 .....        | 042 |
| 二、 $T^2$ 控制图 .....           | 043 |
| 第九节 控制图的经济性 .....            | 044 |
| 第十节 过程质量异常 .....             | 044 |
| 一、质量异常及其属性 .....             | 044 |
| 二、过程质量异常特点 .....             | 046 |
| 第十一节 本章小结 .....              | 046 |
| 第三章 模糊质量管理 .....             | 047 |
| 第一节 质量的模糊属性及其表示方法 .....      | 047 |
| 一、两类不确定性 .....               | 047 |
| 二、普通集合和模糊集合 .....            | 048 |

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 三、质量的模糊属性 .....                | 050 |
| 四、质量模糊属性的表示方法 .....            | 052 |
| 第二节 质量管理的模糊集合论方法 .....         | 060 |
| 一、模糊综合评判 .....                 | 060 |
| 二、模糊排序 .....                   | 066 |
| 第三节 本章小结 .....                 | 070 |
| 第四章 不确定质量特性控制图 .....           | 071 |
| 第一节 基于贴近度的模糊控制图构建 .....        | 072 |
| 一、模糊控制图应用中的模糊集论有关知识 .....      | 072 |
| 二、模糊计数值控制图 .....               | 076 |
| 三、模糊计量值控制图 .....               | 080 |
| 第二节 基于模糊评分数的不确定质量特性控制图构建 ..... | 084 |
| 一、模糊质量控制 .....                 | 084 |
| 二、模糊数的构造 .....                 | 086 |
| 三、模糊控制图及其异常判断 .....            | 091 |
| 四、模糊控制图的应用分析 .....             | 095 |
| 五、模糊数类型对模糊控制图的影响分析 .....       | 100 |
| 第三节 本章小结 .....                 | 109 |
| 第五章 不确定质量异常模式识别 .....          | 110 |
| 第一节 概 述 .....                  | 110 |
| 第二节 控制图不确定异常模式的逐点识别方法 .....    | 113 |
| 一、控制图异常模式定义 .....              | 113 |
| 二、控制图异常模式特征数计算 .....           | 113 |
| 三、控制图异常模式发生度度量 .....           | 115 |
| 第三节 控制图并发异常模式的小波分解重构方法 .....   | 121 |
| 一、不确定质量异常的特殊形式——并发异常模式 .....   | 121 |
| 二、小波变换对 SPC 数据的预处理 .....       | 122 |
| 三、用于模式识别的 BP 神经网络 .....        | 123 |
| 四、应用分析 .....                   | 125 |
| 第四节 基于贝叶斯理论的控制图异常模式识别方法 .....  | 129 |

|                                              |            |
|----------------------------------------------|------------|
| 一、模式建模以及参数估计 .....                           | 129        |
| 二、信度更新 .....                                 | 130        |
| 三、控制图模式决策变量的构造 .....                         | 131        |
| 四、控制图模式识别流程 .....                            | 133        |
| 五、数值分析 .....                                 | 133        |
| 第五节 本章小结 .....                               | 137        |
| <b>第六章 不确定质量异常诊断 .....</b>                   | <b>138</b> |
| 第一节 基于模糊推理的不确定质量异常诊断 .....                   | 138        |
| 一、基本思路 .....                                 | 138        |
| 二、质量异常模糊问题描述 .....                           | 139        |
| 三、模糊推理诊断基础 .....                             | 140        |
| 四、模糊推理模块设计 .....                             | 150        |
| 五、模糊聚合算子设计 .....                             | 152        |
| 六、应用实例分析 .....                               | 153        |
| 第二节 基于模糊关系方程的质量诊断 .....                      | 158        |
| 一、质量诊断的模糊关系方程模型 .....                        | 158        |
| 二、模糊质量异常诊断方程的参数确定 .....                      | 161        |
| 三、模糊关系方程的 GA 求解 .....                        | 164        |
| 四、应用实例分析 .....                               | 169        |
| 第三节 本章小结 .....                               | 187        |
| <b>第七章 基于模糊 Petri 网的不确定质量异常诊断建模与仿真 .....</b> | <b>190</b> |
| 第一节 模糊推理 Petri 网质量异常诊断原理 .....               | 190        |
| 第二节 质量异常诊断中的模糊产生式规则及 FRPNs 表示 .....          | 192        |
| 一、质量异常诊断中的模糊产生式规则类型 .....                    | 192        |
| 二、规则的 FRPNs 表示 .....                         | 192        |
| 三、否命题的处理 .....                               | 192        |
| 第三节 FRPNs 模型 .....                           | 194        |
| 一、模型定义 .....                                 | 194        |
| 二、模型的运行规则 .....                              | 194        |
| 第四节 状态流 (Stateflow) 仿真模型 .....               | 195        |

|                                         |     |
|-----------------------------------------|-----|
| 一、Stateflow .....                       | 195 |
| 二、由 FRPNs 构造 Stateflow 仿真模型 .....       | 196 |
| 第五节 应用实例分析 .....                        | 199 |
| 一、质量异常诊断 FRPNs 模型 .....                 | 199 |
| 二、FRPNs 模型的 Simulink/Stateflow 仿真 ..... | 200 |
| 三、仿真过程及结果分析 .....                       | 207 |
| 第六节 本章小结 .....                          | 210 |
| 第八章 基于不确定质量特性的过程能力评价 .....              | 211 |
| 第一节 过程能力与过程能力指数 .....                   | 211 |
| 一、工序能力 .....                            | 211 |
| 二、工序能力指数的计算 .....                       | 213 |
| 三、工序能力指数评价 .....                        | 217 |
| 四、质量标准与工序能力之间的关系 .....                  | 218 |
| 五、提高工序能力的途径 .....                       | 219 |
| 第二节 基于模糊统计的不确定质量特性过程能力指数计算模型 .....      | 220 |
| 一、不确定质量特性评价数据的模糊统计模型 .....              | 220 |
| 二、实例分析 .....                            | 222 |
| 第三节 本章小结 .....                          | 224 |
| 第九章 不确定质量控制原型系统 .....                   | 225 |
| 第一节 不确定质量控制系统框架 .....                   | 225 |
| 第二节 系统功能及算法流程 .....                     | 225 |
| 一、系统功能描述 .....                          | 225 |
| 二、系统功能算法流程 .....                        | 228 |
| 第三节 系统应用实例 .....                        | 233 |
| 第四节 本章小结 .....                          | 238 |
| 参考文献 .....                              | 239 |

# 第一章

## 绪论

### 第一节 研究背景及意义

“控制图作为统计过程控制（Statistical Process Control, SPC）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，通过控制界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映射出不同的过程失控原因。

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，即控制图异常模式主要有“链”、“偏离”、“倾向”、“周期”、“接近”、“分层”、“突变”与“混合分布”等多种情况，每一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，而且其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。

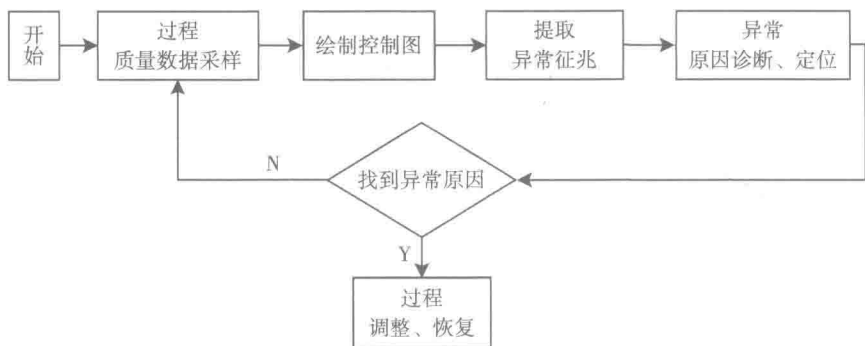


图 1-1 过程质量异常识别诊断流程

不确定性是指个体由于认知的有限而对复杂多变的客体难以准确预测。在全球化市场中，企业必须应对高度变化的经营环境，制造系统的相关参数、变量及约束等都有一定的模糊不确定性。质量特性值在测量、评价方面存在的模糊不确定性，使传统的质量控制图不再适用。研究不确定质量特性控制图的构建及其异常识别与诊断，是一个既有理论价值又具有现实意义的研究课题，它可以为制造系统实施不确定质量特性监控提供理论指导，为制造系统不确定异常的诊断开辟新的实践途径。

(1) 拓展统计质量控制的理论研究，为不确定质量特性控制图构建提供理论指导。控制图作为统计质量控制的基本工具，可以有效实现过程异常的报警，减少过程的异常运行时间与不良品，但制造系统中存在大量模糊不确定质量特性，对于这类特性，大多是用专家评分、语言评价等处理手段，无法构建常规的计量控制图。本书为构建不确定质量特性的控制图提供一般理论与方法，从而将计量性控制图的适用范围拓展到全质量特性。

(2) 有助于将不确定质量特性纳入质量监控体系，推进制造系统实施精细化质量控制。由于制造系统与产品本身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，尤其是不确定质量特性，纳入控制体系。由于部分或全部不确定质量特性的监控缺失，对复杂制造过程而言，即使采用先进的设备、工艺、管理方法，也会出现难以预料的质量缺陷。通过构建不确定质量特性控制图，为不确定质量特性的测量、评价提供工具与手段，可以对

不确定质量特性从非此即彼的二分评价，转变为对其变化全过程的评价，如图 1-2 所示，从而将不确定质量特性纳入质量监控体系，对于实现过程质量的精细化控制具有重要意义。

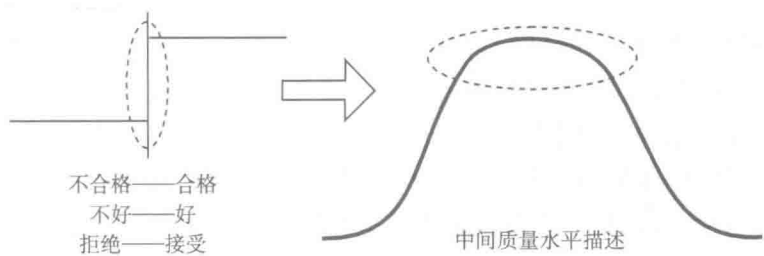


图 1-2 不确定质量特性的描述方法

(3) 有助于实施不确定条件下的质量异常诊断，全面提升制造系统的质量控制水平。制造过程中影响质量的人、机、料、法、环、测六大因素构成一个复杂系统，其异常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续状态的发生，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诸多模糊不确定性问题：点子处于控制线上或边界时，过程状态的确定；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；控制图上的某一点同时触发两种或两种以上异常模式时，异常原因的诊断；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等。研究不确定质量特性控制图异常模式的识别与诊断，可以及早发现潜在异常，并对实施预防提供决策支持，全面提升制造系统的质量控制水平。

## 第二节 不确定质量特性控制的研究现状

### 一、不确定质量特性控制图的构建

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，比如对水泥抗压强度的预测，对统计数据的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，国内外许多学者也将模糊技术引入质量控制图的构建过程。

Fazel Zarandi 等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以及控制限始终用模糊集合表示，不用解模糊化为特征值，而根据各样本模糊结合与控制限模糊集合的一截集的重合度来决定受控状态，并由  $\alpha$  决定检验的宽严程度。H. Taleb 与 M. Limam 以及天津大学的张剑、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。

## 二、不确定质量特性控制图异常模式识别与诊断

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。

### (一) 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。

## (二) 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以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地识别出的、某一类型区别与其他类型的特征,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,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,并且建立了五种模板库,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,采用三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。

### （三）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；胥涛等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；Jianbo Yu 等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 等阐述了 ANN 诊断方案在滚动轴承故障诊断中的实际应用；陈平等提出了改进的 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；吴少雄针对控制图的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。

### （四）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