



乏信息理论与滚动轴承性能评估系列图书

夏新涛 徐永智 著

滚动轴承质量的乏信息评估



科学出版社

乏信息理论与滚动轴承性能评估系列图书

滚动轴承质量的乏信息评估

夏新涛 徐永智 著

本书相关内容得到国家自然科学基金(51475144、51075123)资助

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是论述滚动轴承质量乏信息评估方法的学术专著。主要包括乏信息系统理论的基本概念、滚动轴承制造工艺过程的灰验证与模糊验证、滚动轴承加工质量与振动的乏信息分析、滚动轴承质量的真值融合原理与模糊假设检验方法、滚动轴承质量的自助与灰自助实验评估、滚动轴承性能的乏信息过程假设检验、滚动轴承运行性能时间序列演化过程的识别方法,以及缺陷圆锥滚子轴承应力与振动的有限元分析。

本书可供从事滚动轴承设计、制造、测试、应用的理论研究与生产实践的科技人员阅读,也可作为高等学校机械类师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

滚动轴承质量的乏信息评估 / 夏新涛, 徐永智著. —北京: 科学出版社, 2016

(乏信息理论与滚动轴承性能评估系列图书)

ISBN 978-7-03-049785-7

I. ①滚… II. ①夏… ②徐… III. ①滚动轴承-质量检验

IV. ①TH133.33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 206551 号

责任编辑: 裴 育 / 责任校对: 郭瑞芝

责任印制: 张 伟 / 封面设计: 蓝 正

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京教图印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016 年 8 月第 一 版 开本: 720 × 1000 B5

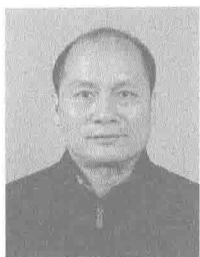
2016 年 8 月第一次印刷 印张: 20

字数: 403 000

定价: 98.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

作者简介



夏新涛,男,1957年1月出生于河南省新乡县。1981年12月于原洛阳农机学院(即洛阳工学院,现为河南科技大学)本科毕业后留校;1985年9月至1987年1月于哈尔滨工程大学学习硕士研究生主要课程;2007年12月于上海大学博士毕业。现任河南科技大学教授,教学名师,博士生导师(河南科技大学和西北工业大学机械设计及理论学科),中国轴承工业科技专家,洛阳市优秀教师和劳动模范。兼任 *Measurement* 等多个国内外杂志的评论员以及《轴承》杂志编委等职。主要从事滚动轴承设计与制造理论、精密制造中的测量理论以及乏信息系统理论等教学与研究工作。主持和参与完成国家与省部级科研项目21项,获得省部级教育教学、自然科学与科学技术奖7项;著书14部,授权发明专利8项,发表学术论文200余篇。

E-mail: xiagt1957@163.com; xiagt@haust.edu.cn。



徐永智,男,1974年4月出生于河南省洛阳市孟津县。1997年7月于洛阳工学院(现为河南科技大学)专科毕业后在中国一拖集团从事技术开发工作;2008年7月于河南科技大学硕士毕业;2008年9月开始在三门峡职业技术学院机电系机电一体化专业从事教学工作;2012年3月至今在西北工业大学攻读博士学位。发表学术论文9篇。

E-mail: xxyyzzhzh@163.com。

前 言

本书的研究内容属于乏信息系统理论范畴。乏信息也被称为贫信息,是指信息缺乏或严重缺乏。在许多信息科学与系统科学研究的理论中,乏信息系统被描述为信息不完备的不确定性系统,有时还有数据残缺等。灰色系统理论、模糊集合理论、粗集理论、混沌理论、信息熵原理、贝叶斯理论与自助法等都可以归属于乏信息系统理论。

基于乏信息系统理论,本书论述滚动轴承质量评估方法,主要涉及的内容有乏信息系统理论的基本概念、滚动轴承制造工艺过程的灰验证与模糊验证、滚动轴承加工质量与振动的乏信息分析、滚动轴承质量的真值融合原理与模糊假设检验方法、滚动轴承质量的自助与灰自助实验评估、滚动轴承性能的乏信息过程假设检验、滚动轴承运行性能时间序列演化过程的识别方法,以及缺陷圆锥滚子轴承应力与振动的有限元分析。

本书首次对滚动轴承产品接触应力与振动的有限元进行设计与分析,对滚动轴承零件制造系统的运行状态进行研究,并对轴承零件加工质量以及产品运行质量进行全面的乏信息评估,将乏信息评估贯穿于滚动轴承的整个质量生命周期,揭示出滚动轴承零件与产品的质量实现、质量控制以及质量服役等质量的全生命周期运行机制,为提升机械产品与基础零部件的生产质量与服役质量奠定全新评估方法的理论基础。

本书内容是作者及其指导的硕士研究生多年来在滚动轴承质量乏信息评估方面的部分成果总结,主要内容及其研究思路与方法已经在《机械工程学报》、《航空动力学报》、《兵工学报》、《中国机械工程》、《轴承》、*Measurement Science and Technology*、*Measurement*、*Journal of Testing and Evaluation*、*The Journal of Grey System*、*Information Technology Journal*、*The Open Mechanical Engineering Journal*、*Journal of Computers* 等国内外学术期刊与国际学术会议上发表。

本书相关内容得到了国家自然科学基金(51475144 和 51075123)的资助。

本书由河南科技大学夏新涛(负责第1章、第2章、第3章、第4章、第5章、第8章与附录)和三门峡职业技术学院徐永智(负责第6章、第7章与第9章)撰写,由夏新涛统稿。河南科技大学的硕士研究生孟艳艳、秦园园、白阳、陈

士忠、董淑静、朱文换、叶亮、常振、李云飞、刘斌、卢阳、高正科、栗永非、徐相东等参与了本书写作的部分辅助工作。

作 者

2016 年春

目 录

前言

第 1 章 乏信息系统理论的基本概念	1
1.1 乏信息的基本概念	1
1.1.1 乏信息及其特征	1
1.1.2 乏信息融合原理	3
1.2 滚动轴承质量评估中的乏信息问题	6
1.2.1 滚动轴承零件制造工艺过程评估	6
1.2.2 滚动轴承零件加工质量评估	6
1.2.3 滚动轴承产品性能评估	7
1.3 主要研究内容	7
第 2 章 滚动轴承制造工艺过程的灰验证	9
2.1 基于灰自助最大熵法的机床加工误差调整	9
2.1.1 机械制造工艺中误差的参数估计	9
2.1.2 加工误差的调整	12
2.1.3 仿真实验与实际案例	13
2.2 工序能力及其等级的确定	18
2.3 排序灰关系的制造过程稳定性评估	19
2.3.1 制造过程的排序数据序列	19
2.3.2 排序数据序列的灰关系	19
2.3.3 制造过程稳定性评估方法	21
2.3.4 仿真实验与实际案例	22
2.4 基于自助最大熵法的制造过程变异评估	27
2.4.1 建立制造过程某属性的概率密度函数	28
2.4.2 制造过程某属性的参数估计	30
2.4.3 制造过程变异评估方法	30
2.4.4 仿真实验与实际案例	31
2.5 非排序灰关系的制造过程稳定性评估	44
2.5.1 制造过程的非排序灰关系	44
2.5.2 运用非排序灰关系评估制造过程稳定性	46

2.5.3	仿真实验与实际案例	47
2.6	本章小结	49
第 3 章	滚动轴承制造工艺过程的模糊验证	51
3.1	基于乏信息融合技术的机床加工误差调整	51
3.1.1	加工误差的乏信息融合技术	51
3.1.2	机床加工误差的调整	55
3.1.3	预测机床调整好以后的估计区间	56
3.1.4	预测机床调整好以后的可靠性	58
3.1.5	案例研究	60
3.2	基于模糊范数法的制造过程稳定性评估	65
3.2.1	制造过程稳定性的评估模型	65
3.2.2	案例研究	70
3.3	基于模糊等价关系的系统误差诊断	79
3.3.1	诊断的基本原理	79
3.3.2	案例研究	83
3.4	本章小结	93
第 4 章	滚动轴承加工质量与振动的乏信息分析	95
4.1	基于粗集理论的滚动轴承振动因素分析	95
4.1.1	基本原理	96
4.1.2	案例研究	98
4.2	基于神经网络的滚动轴承振动模型分析	100
4.2.1	基本原理	101
4.2.2	案例研究	103
4.3	基于模糊理论的滚动轴承质量聚类分析	107
4.3.1	实验数据的获取	107
4.3.2	模糊理论和模糊聚类算法	109
4.3.3	模糊聚类关系	111
4.3.4	案例研究	114
4.4	本章小结	121
第 5 章	滚动轴承质量的真值融合原理与模糊假设检验方法	123
5.1	真值融合原理	123
5.1.1	真值融合的概念	123
5.1.2	真值融合方法	124
5.1.3	真值融合的收敛准则	126
5.2	真值融合的实际案例	126

5.2.1	实验计划	126
5.2.2	圆锥滚子轴承加工质量与振动实验	127
5.3	真值融合的仿真案例	136
5.4	真值融合案例的归纳分析	137
5.5	滚动轴承质量时间序列的模糊假设检验	139
5.5.1	模糊假设检验模型	139
5.5.2	计算步骤	145
5.5.3	经验置信水平的蒙特卡罗仿真	145
5.6	滚动轴承质量时间序列假设检验的实验研究	147
5.6.1	实验统计量	147
5.6.2	滚动轴承噪声的演化评估	147
5.6.3	滚动轴承摩擦力矩的演化评估	150
5.7	关于模糊假设检验的讨论	153
5.8	本章小结	154
第 6 章	滚动轴承质量的自助与灰自助实验评估	155
6.1	滚动轴承质量的自助评估	155
6.1.1	数学模型	155
6.1.2	评估方法	156
6.1.3	滚动轴承振动的实验研究	156
6.1.4	滚动轴承零件加工质量实验研究	162
6.2	滚动轴承质量的灰自助评估	167
6.2.1	数学模型	167
6.2.2	滚动轴承振动的实验研究	169
6.2.3	滚动轴承零件加工质量实验研究	173
6.3	自助评估结果与灰自助评估结果的对比分析	177
6.4	本章小结	178
第 7 章	滚动轴承性能的乏信息过程假设检验	180
7.1	滚动轴承性能时间序列的假设检验模型	180
7.1.1	滚动轴承性能实验数据的预处理	180
7.1.2	最大熵概率密度函数	181
7.1.3	时间序列的先验样本	184
7.1.4	时间序列假设检验模型	185
7.2	滚动轴承性能相空间假设检验模型	187
7.2.1	滚动轴承性能的相空间重构	187
7.2.2	相空间后验概率密度函数	188

7.2.3	相空间假设检验模型	189
7.3	基于时间序列的滚动轴承振动实验研究	190
7.3.1	实验数据	190
7.3.2	实验数据的时间序列分析	193
7.3.3	时间序列假设检验与平稳性分析	201
7.4	基于相空间时间序列的滚动轴承振动实验研究	207
7.4.1	实验数据的相空间分析	207
7.4.2	相空间假设检验与平稳性分析	214
7.5	时间序列分析与相空间分析的结果比较	220
7.6	基于时间序列的滚动轴承摩擦力矩实验研究	224
7.7	本章小结	227
第 8 章	滚动轴承运行性能时间序列演化过程的识别方法	228
8.1	概述	228
8.2	滚动轴承运行性能时间序列演化的灰识别方法	229
8.2.1	灰色置信水平与乏信息元函数	229
8.2.2	时间序列稳定性识别准则	230
8.2.3	模拟实验	230
8.3	滚动轴承运行性能时间序列演化的泊松识别方法	232
8.3.1	变异强度的信息向量	232
8.3.2	累积失效概率函数	232
8.3.3	累积失效概率函数的应用	233
8.3.4	实验研究	233
8.4	本章小结	239
第 9 章	缺陷圆锥滚子轴承应力与振动的有限元分析	240
9.1	卡车轮毂轴承载荷计算与滚子凸度设计	240
9.1.1	卡车轮毂轴承的计算	240
9.1.2	滚子轴承的边缘效应与修形方法	244
9.1.3	圆锥滚子轴承有限元模型的建立	249
9.1.4	最大承载圆锥滚子与内外圈滚道接触问题的有限元分析	251
9.2	圆锥滚子轴承的凸度匹配与制造以及装配缺陷的有限元分析	256
9.2.1	圆锥滚子轴承的有限元分析	257
9.2.2	对数滚子母线凸度中心偏移的圆锥滚子轴承有限元分析	263
9.2.3	凸度滚子偏斜的圆锥滚子轴承有限元分析	268
9.3	凸度圆锥滚子轴承的动力学特性分析	271
9.3.1	显式动力学基本数学模型	271

9.3.2 自助法概述	272
9.3.3 滚子带凸度的圆锥滚子轴承动力学有限元分析	274
9.3.4 滚子凸度偏移对圆锥滚子轴承振动性能影响的动力学有限元分析	285
9.4 本章小结	297
参考文献	299
附录 区间映射的牛顿迭代法源程序	302

第1章 乏信息系统理论的基本概念

本章简要介绍乏信息系统理论的基本概念和滚动轴承质量评估中的乏信息问题，为后续章节的研究奠定基础。

1.1 乏信息的基本概念

1.1.1 乏信息及其特征

1. 乏信息与乏信息过程

乏信息也被称为贫信息，是指信息缺乏或严重缺乏。在许多信息科学与系统科学研究的理论中，乏信息系统被描述为信息不完备的不确定性系统，有时还有数据残缺等。灰色系统理论、模糊集合理论、粗集理论、混沌理论、信息熵原理与自助法等都可以归属于乏信息系统理论^[1-5]。

在机械系统评估中，系统总体的概率分布未知或概率分布很复杂，同时(或)仅有小子样数据可供参考，就属于乏信息问题；无系统总体的任何概率分布信息，而仅有极少个数据的评估，属于严重乏信息问题。乏信息也包括趋势项的先验资料问题，无趋势项的任何规律性先验信息的评估也属于乏信息范畴。

在机械系统的研究中主要有两类乏信息现象。

第一类是已有产品的改进。例如，新型军用装备轴承单元，在已经具有类似产品的先验知识(如技术资料)背景下，仅对很少量产品进行实验分析，以获取、验证或预测改进产品的总体性能参数，并将研究结果与现有技术资料作对比分析，作为新的先验知识进行补充。这种现象体现了先验知识是在不断沉淀和积累过程中得到丰富与完善的。

第二类是新产品研制与开发。新产品研制与开发的批量一般很小，特别是一些新航天轴承组件，品种很多但每个品种每次只有极小批量，能用于实验研究的更少，几乎没有关于概率分布等可靠的背景资料，属于信息严重缺乏的系统。对这种情况，只能通过极少次的实验研究，来评估产品的总体性能参数，并将研究结果作为后续生产的先验知识进行储备与逐渐积累^[6]。

基于变量(参数)与因变量(函数)历程的乏信息系统称为广义的乏信息过程，简称乏信息过程。

参数有两个含义,第一个是关于滚动轴承质量与工况等的技术参数;第二个是统计学上的统计量。乏信息系统理论将参数看作变量,将函数看作因变量。

乏信息系统理论的目的是抽象或采用某个参数,用于揭示研究对象的某种规律与运行机制。

从数学的观点看,因变量随着变量的变化而变化,呈现出某种趋势。对于乏信息系统,如果变量是时间,则因变量的取值就形成一个时间序列,就是乏信息过程;如果变量不是时间,则因变量的取值就形成一个数据序列,仍呈现出某种趋势,也称为乏信息过程^[1]。

2. 乏信息的各种表现

乏信息主要表现在以下 11 个方面:

(1) 大量生产实践已经证明概率分布被确知,但对特定的研究对象的实验数据很少;

(2) 参考同类产品或实验,假设概率分布的先验信息已知,但实验数据很少;

(3) 无任何概率分布的先验信息或确知的信息,但可以获取大量的实验数据;

(4) 无任何概率分布的先验信息或确知的信息,也无法获取大量的实验数据即数据很少;

(5) 实验数据的样本个数很多,但每个样本的信息含量很少;

(6) 实验数据的样本很少,但每个样本的信息含量很多;

(7) 具有复杂的概率分布,实验数据很少;

(8) 大量生产实践已经证明趋势项被确知,但对特定的研究对象的实验数据很少;

(9) 趋势项的过去、当前和未来状态是未确知的、未知的或不确定的;

(10) 可能有意外的瞬间干扰;

(11) 变化未知的随机函数。

3. 乏信息系统理论的特征

乏信息系统理论的特征主要体现在以下 6 个方面:

(1) 乏信息系统理论的数学基础主要来自灰色系统理论、模糊集合理论、信息熵原理、贝叶斯理论、混沌理论、范数理论、粗集理论、自助方法等,其中也必然隐含着经典统计学的某些思想。

(2) 乏信息系统理论的研究对象是信息不完备的不确定性系统即乏信息系统。例如,“部分信息已知,部分信息未知”的“小样本”、“贫”信息不确定系统。

(3) 乏信息系统理论的核心是解决无先验信息的信息评估问题。例如,只有几个数据,再无其他任何信息的问题。

(4) 乏信息系统理论的精髓是对研究对象事先不做出任何概率分布上的假设, 即适合于任何已知的和未知的概率分布。

(5) 乏信息系统理论的最典型表现是小样本个数、小样本含量、概率分布未知以及变化趋势未知。

(6) 乏信息系统理论解决问题的主要方法是融合各种数学思想, 扬长避短, 灵活多样。

1.1.2 乏信息融合原理

乏信息系统理论研究乏信息现象的主要方法是乏信息融合。下面介绍直接解法、定性融合、定量融合和本征融合等四种乏信息融合的基本方法^[1,5]。

1. 直接解法

用一种或多种数学方法求出乏信息问题的解, 称为直接解法。直接解属于乏信息系统解集的一个特殊子集。

例如, 假设用三种数学方法研究某一个乏信息问题, 得到三个解 f_1 , f_2 和 f_3 , 从而构成一个解的子集 F :

$$F = (f_1, f_2, f_3)$$

将解集 F 看成解的进行时即不同的方案, 以解集 F 为基础, 就可以进行定性融合与定量融合分析, 给出问题的最终解即最后的决策。

2. 定性融合

定性融合是指在给定的论域 U 中, 已知解集

$$F = (f_1, f_2, \dots, f_i, \dots, f_m) \quad (1-1)$$

且有

$$f_i = (f_{i1}, f_{i2}, \dots, f_{ij}, \dots, f_{in}) \quad (1-2)$$

记“属性一致性于”为符号“ $\subseteq$ ”, 在解集 F 中, 总存在且至少存在一个来自 F 的元素的集合, 是满足准则 θ 的最终解 f_0 , 表示为

$$f_0 | \theta | \text{From } F \subseteq F_0 \quad (1-3)$$

式中, F_0 为系统属性的真值集合即白箱问题; $| \theta$ 为在准则 θ 下; $| \text{From}$ 为来自解集 F 的元素。

由于系统信息或数据的不完备性, 用不同的数学方法分析, 将得出不同的结果 f_i , 甚至有些结果可能是相互矛盾的。若将这些结果看成一个解的集合即解集 F , 则定性融合是指在某种准则下, 从这些解集中提取具有某种一致性元素的子集, 并将这个子集作为系统的最终解 f_0 。

定性融合有两个方面的含义: 第一个是融合, 即综合考虑各个解集; 第二个

是定性,即不再进行复杂的数学计算,只是寻求某种一致性,而且,最终解中的元素全部来自解集 F ,没有更新的信息出现。

例如,在一定约束条件下,对某个系统进行优化分析,考虑了三个指标:成本 a 、环境污染 b 和危险性 c 。设这些指标可以用当量数据表示,数据的值越小越好。优化目标集 f 为

$$f = (a, b, c) \rightarrow \min$$

假设用四种数学方法求解,得到四个解集,分别为

$$f_1 = (0.1, 0.9, 0.4)$$

$$f_2 = (0.3, 0.7, 0.9)$$

$$f_3 = (0.2, 0.5, 0.5)$$

$$f_4 = (0.3, 0.9, 0.3)$$

解集 F 为

$$F = (f_1, f_2, f_3, f_4)$$

显然,在解集 F 中,对应最小 a 的是 f_1 中的 0.1; 对应最小 b 的是 f_3 中的 0.5; 对应最小 c 的是 f_4 中的 0.3。于是得到一个子集:

$$f_0 = (0.1, 0.5, 0.3)$$

如果 f_0 满足约束条件,则它就是系统的最优解;否则,就以 f_0 为模板,再进行对比分析,将最接近 f_0 的 f_i 作为最终解。显然, f_0 中的元素均来自解集 F 。

3. 定量融合

定量融合是指在式(1-1)和式(1-2)中,记“属性一致性于”为符号“ $\subseteq$ ”,在解集 F 中,总存在且至少存在一个与 F 的元素有关联的集合,是满足准则 Θ 的最终解 f_0 ,表示为

$$f_0 | \Theta | \text{Fusion } F \subseteq F_0 \quad (1-4)$$

式中, F_0 为系统属性的真值集合即白箱问题; $| \Theta$ 为在准则 Θ 下; $| \text{Fusion } F$ 为关联解集 F 元素即融合解集 F 元素。

实际上,定量融合是对解集 F 进行复杂的数学上的融合处理,直接得出一个最终解 f_0 。这里定量的含义是,在一定的准则下,建立融合模型,考虑一定的权重,对 f_i 按指标进行数学处理,得出最终解 f_0 ,一般最终解 f_0 中的数据和解集 F 有某种联系,但具体数值可能不同。

最常见而且简单的定量融合方法是加权均值处理。

例如,用四种数学方法对系统某一指标进行分析,得到解集 F 为

$$F = (f_1, f_2, f_3, f_4) = (0.3, 0.2, 0.3, 0.5)$$

若设各种方法的权重为

$$A = (a_1, a_2, a_3, a_4) = (0.2, 0.2, 0.3, 0.3)$$

则加权均值即最终解 f_0 为

$$\begin{aligned} f_0 &= \frac{1}{\sum_{i=1}^4 a_i} \sum_{i=1}^4 a_i f_i = \frac{1}{0.2+0.2+0.3+0.3} \times (0.2 \times 0.3 + 0.2 \times 0.2 + 0.3 \times 0.3 + 0.3 \times 0.5) \\ &= 0.06 + 0.04 + 0.09 + 0.15 \\ &= 0.34 \end{aligned}$$

显然, 最终解 f_0 中的数据和解集 F 有某种联系, 但具体数值不同。定量融合一般会有新的信息出现。在这个例子中, 最终解 f_0 退化为实数。

4. 本征融合

本征融合是一种特殊的直接解法。

本征融合是指在给定的论域 U 中, 设知识集为

$$F = (f_1, f_2, \dots, f_i, \dots, f_m) \quad (1-5)$$

知识集的本征信息子集为

$$f_i = (f_{i1}, f_{i2}, \dots, f_{il}, \dots, f_{iw}) \quad (1-6)$$

非空的乏信息集为

$$\Pi = (\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_j, \dots, \pi_n) \neq \emptyset \quad (1-7)$$

问题集为

$$Q = (q_1, q_2, \dots, q_k, \dots, q_h) \quad (1-8)$$

记“属性一致性于”为符号“ $\subseteq$ ”, 在知识集 F 中, 存在且至少存在两个与问题集 Q 的元素有某种映射关系的集合, 是满足非空信息集 Π 的最终解 f_0 , 表示为

$$f_0 | \Pi | \text{Com_Fusion } F \text{ AND } Q | f_{il} \subseteq F_0 \quad (1-9)$$

式中, F_0 为系统属性的真值集合即白箱问题; $|\Pi$ 为在非空的乏信息集 Π 下; $|\text{Com_Fusion } F$ 为与 F 有某种属性联合关系的融合; $\text{AND } Q$ 为且针对“与”包含问题集 Q ; f_{il} 为知识元素; $|f_{il}$ 为依托于 f_{il} 。

一个乏信息系统的发展经历了多个重要阶段, 两个相邻阶段的过渡状态称为通道。通道是系统发展的关键环节, 因此又称为关节。由于信息的缺乏或严重缺乏, 通道被堵塞, 几乎没有信息流动。仅用一种数学工具难以打通所有通道, 必须根据不同的通道状态和特征, 采用不同的数学工具予以打通。实际上, 乏信息的本征融合是指, 将两种及两种以上数学理论有机地结合起来, 取长补短, 形成一种新的方法, 对系统进行分析, 直接得出最终解。与单一数学方法的解相比, 本征融合的最终解一般具有更好的效果。本征融合会出现重要的新信息。

例如, 熵是不确定性的度量, 因此可以直接用于评估不确定性问题。但使用熵方法需要知道系统的概率密度函数(或频率值), 为此, 可以配合使用自助再抽

样方法模拟系统的概率分布信息。这样就可以在系统概率分布未知时评估系统的不确定性问题。一旦模拟出系统的概率分布信息,就可以利用经典统计理论或贝叶斯理论研究系统的特征信息,进而给出统计推断。这里在解决不确定性问题时,实际上融合了三种数学思想。

若乏信息集 Π 为空集,则属于黑箱问题。

以上仅仅是给出了简单概念和例子,实际上,乏信息系统理论的分析方法是多种多样的。特别是,考虑到实际工程的复杂性,往往是综合运用以上三种信息融合方法去解决问题,因而可以衍生出更多的融合方法。

1.2 滚动轴承质量评估中的乏信息问题

1.2.1 滚动轴承零件制造工艺过程评估

随着科学技术的快速发展,对机械产品质量的要求越来越高。在满足产品质量要求的前提下,为提高效益,降低生产成本,须控制制造过程中加工产品的合格率即保证加工的产品质量。机床调整好以后进入正式生产阶段,其制造过程是否稳定可直接影响到制造过程中加工的产品质量。显然,对机床调整好以后制造过程的稳定性进行研究是有意义的。

测量不确定度是测量结果本身具有的一个特征参数,可以用来合理地描述某属性被测量值的分散程度。测量不确定度含有若干个分量,按照其数值评定方法的不同,可分为统计不确定度与非统计不确定度两种。目前,测量不确定度主要是用统计学方法来处理,某些情况也可用乏信息理论来估计。在实际制造过程中,制造系统的结构复杂且影响因素较多,导致制造过程也具有较复杂的属性,一般情况下其属性的概率分布是未知的。如果还用统计学方法研究制造过程的稳定性则是行不通的。

非平稳随机过程的动态非线性评估是研究制造过程的重要问题,因为其复杂的制造过程是多变的。

1.2.2 滚动轴承零件加工质量评估

轴承零件制造加工质量的内容很多,有加工精度方面的球度、圆柱度、圆度以及各种跳动误差等,还有加工表面质量方面的粗糙度、烧伤、裂纹和拉毛等问题。这些加工质量参数被认为是随机变量,它们的概率密度函数,即使对大批量生产而言,有很多到目前仍然是未知的和待确认的。如果像经典统计学那样,简单地假设它们的概率密度函数为正态分布或瑞利分布,这样的假设带来的误差是难以估量的。