

高等学校城市轨道交通系列教材 

城市轨道交通卓越工程师教育培养计划系列教材

城市轨道交通车辆工程“卓越工程师”培养平台建设项目资助(11XK10)

# 城市轨道



# 车辆故障诊断

- 主 编：黄立新
- 副主编：张新泉
- 主 审：刘海波

中国铁道出版社  
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

高等学校城市轨道交通系列教材  
城市轨道交通卓越工程师  
教育培养计划系列教材

城市轨道交通车辆工程“卓越工程师”  
培养平台建设项目资助(11XK10)

# 城市轨道交通 车辆故障诊断

主 编 黄立新  
副主编 张新泉  
主 审 刘海波

中 国 铁 道 出 版 社

2014年·北 京

## 图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通车辆故障诊断/黄立新主编. —北京:中国铁道出版社, 2014. 1

高等学校城市轨道交通系列教材

ISBN 978-7-113-17279-4

I. ①城… II. ①黄… III. ①城市铁路—铁路车辆—故障诊断—高等学校—教材 IV. ①U279.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 208102 号

书 名: 高等学校城市轨道交通系列教材  
城市轨道交通车辆故障诊断  
作 者: 黄立新 张新泉

策划编辑: 殷小燕

责任编辑: 殷小燕 电话: (010)51873147

封面设计: 陈东山

责任校对: 张玉华

责任印制: 陆 宁

出版发行: 中国铁道出版社(100054, 北京市西城区右安门西街 8 号)

网 址: <http://www.tdpress.com>

印 刷: 三河市宏盛印务有限公司

版 次: 2014 年 1 月第 1 版 2014 年 1 月第 1 次印刷

开 本: 787 mm×960 mm 1/16 印张: 16 字数: 297 千

印 数: 1~3 000 册

书 号: ISBN 978-7-113-17279-4

定 价: 35.00 元

### 版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书, 如有印制质量问题, 请与本社读者服务部联系调换。电话: (010)51873174(发行部)  
打击盗版举报电话: 市电(010)51873659, 路电(021)73659, 传真(010)63549480

# 前 言

城市轨道交通具有运量大,准点率高,对城市现有规划影响较小等优点,成为目前城市公共交通的重要方式。目前,中国已经建成并开通运营的城市轨道交通总计达1 700多km。至2020年,我国城市轨道交通网络总里程将超过7 000 km,遍布34个城市,涵盖141条线路建设。城市轨道交通将逐渐成为城市公共交通的首选。

故障诊断是地铁车辆技术中的核心内容,也是现代地铁车辆保障运营安全不可或缺的部分。地铁车辆结构复杂、检测参数多,使得发生的故障类型也种类繁多。因此,如何提高地铁车辆故障诊断能力是一个亟待解决的课题。

本书紧密结合我国城市轨道交通的建设与发展,从基础理论出发,结合城市轨道交通运营系统实际应用与案例,开展具有实践意义的教学,注重故障诊断方法、系统分析的能力培养。主要内容有:设备故障诊断学的基本概念、故障诊断原理与技术、振动监测故障诊断技术、电子设备故障诊断技术、电气设备故障诊断技术、无损检测技术、无损检测技术在城轨上的应用;实例和案例分析包括:转向架故障、电气及控制系统故障、制动系统故障、车体故障、车辆附属系统故障、运行列车的故障处理和维修。

本书第1~5章由上海工程技术大学张新泉老师编写,第6~14由黄立新老师编写。刘海波担任本书的主审。

本书在编写过程中,得到了上海地铁、苏州地铁等企业的大力支持,在此表示衷心的感谢。文档排版得到了于云、王丹丹以及施氩旻的支持。本书还参考引用了国内外专家、学者的有关城市轨道交通的文献,部分城市轨道交通企业的资料,在此谨向有关专家和部门致以衷心的感谢。

本书系城市轨道交通车辆工程“卓越工程师”培养平台建设系列教材之一,可作为高等学校城市轨道交通车辆专业教学用书,也可作为中等职业教育相关专业的教学参考用书,还可作为城市轨道交通车辆专业的工程技术人员、技术工人的技术培训用书。

由于编写人员技术水平和实践经验上的局限性,书中疏漏或瑕疵在所难免,期待本教材的使用者和广大同行能予以指正,提出宝贵意见。

编 者

2013年12月于上海

# 目 录

<b>第 1 章 绪 论</b> .....	1
1.1 设备故障诊断学的基本概念 .....	2
1.2 故障诊断的理论原理与工程应用 .....	6
<b>第 2 章 故障诊断原理与技术</b> .....	8
2.1 概 述 .....	8
2.2 故障诊断原理.....	12
2.3 状态监测与故障诊断技术.....	16
2.4 故障诊断原理与技术的发展.....	24
<b>第 3 章 振动监测故障诊断技术</b> .....	28
3.1 振动的一般描述.....	28
3.2 振动信号分析检测方法.....	31
3.3 振动检测系统概述.....	37
3.4 旋转机械的状态监视与故障诊断.....	38
<b>第 4 章 电子设备故障诊断技术</b> .....	47
4.1 电子电路故障诊断基础知识.....	47
4.2 模拟电子电路故障诊断技术.....	48
4.3 数字电路故障诊断技术.....	59
4.4 可编程序控制器(PLC)故障诊断技术.....	73
<b>第 5 章 电气设备故障诊断技术</b> .....	84
5.1 低压电器故障诊断及维修.....	84
5.2 电机调速系统及故障检测 .....	101
5.3 列车牵引逆变器原理及维护 .....	104

<b>第 6 章 无损检测技术</b> .....	111
6.1 概    述 .....	111
6.2 渗透检测 .....	112
6.3 磁粉检测 .....	115
6.4 超声波探伤 .....	118
<b>第 7 章 无损检测技术在城轨上的应用</b> .....	123
7.1 车轴无损检测 .....	123
7.2 车轮无损检测 .....	127
7.3 滚动轴承无损检测 .....	131
<b>第 8 章 转向架故障</b> .....	137
8.1 概    述 .....	137
8.2 构    架 .....	140
8.3 车    轴 .....	147
8.4 车轮及轴箱装置结构及故障 .....	148
8.5 齿轮传动装置状态监控 .....	158
<b>第 9 章 电气及控制系统故障</b> .....	167
9.1 主电路故障 .....	167
9.2 AC01/AC02 车型辅助逆变器故障 .....	178
9.3 控制系统故障 .....	192
<b>第 10 章 制动系统故障</b> .....	195
10.1 制动系统的故障与维修.....	195
10.2 空气悬挂装置的故障与维修.....	208
<b>第 11 章 车体故障</b> .....	211
11.1 车门结构及其机械故障.....	211
11.2 车钩结构及故障.....	222
11.3 贯通道结构及故障.....	227

第 12 章 车辆附属系统故障 .....	231
12.1 空调系统.....	231
12.2 照明系统.....	235
第 13 章 运行列车的故障处理和维修 .....	241
第 14 章 列车故障的排查和维修 .....	243
附录 缩略语意义.....	245
参考文献.....	247

# 第 1 章 绪 论

工欲善其事,必先利其器。设备是生产发展的基本要素之一。随着人类社会文明的进步,人们所使用的工具设备也在不断迅速进步。从第二次世界大战之后,人类的科技成果数量每 10 至 15 年翻一番。从理论的产生到瓦特的第一个蒸汽机发明用了整整 80 年时间,近代原子弹的研制才用了 6 年时间,而激光器的研制仅用了一年时间。昨天的科学幻想,今天、明天就可能成为现实。当代的原子能技术、计算机科学、微电子技术、材料科学、遗传工程、遥感技术、海洋技术、激光、光导技术、纳米技术、模糊工程、神经网络技术等如万簇齐发,蓬勃发展。一种技术可以应用在多类设备上,而一类设备又可能蕴含着多种技术。技术进步和产业革命使今天的设备朝着大型化、复杂化、高级化、连续化、自动化、微型化等方向迅速发展。如果说自行车的零件数量仅为 100~1 000 数量级,而今天的宇宙飞船已超过了 100 万数量级。现代设备已成为现代科技的综合体现。这使得当代设备的故障诊断不但十分重要,而且日益复杂并具有较高的技术难度。

现在城市轨道交通车辆是机械、液压、电气与控制的集合体。因此轨道交通车辆的故障诊断技术将包括各类相关技术应用,以及系统总体的物理状态与性能状态的检测与监测、分析、识别与判断的基本过程。

轨道交通车辆故障诊断技术是利用测取轨道交通设备在运行中或相对静态条件下的状态信息,通过对所测信号的处理和分析并结合诊断对象的历史状况,来定量识别机械设备及其零件、部件的实时技术状态,并预知有关异常、故障和预测其未来技术状态,从而确定必要对策的技术。

任何一种机械设备在运行过程中,其内部的零件、部件必然要受到机械应力、热应力、化学应力以及电气应力等多种物理作用,随着时间的推移,这种物理作用的累计,使得机械设备正常运行的技术状态不断发生变化,随之可能产生异常、故障、失效或劣化状态。伴随着这些作用和变化,又必然会产生相应的振动、声音、温度以及磨损、碎屑等二次效应。机械设备故障诊断技术即是依据这种二次效应的物理参数来定量地掌握机械设备在运行中所受的应力、故障和劣化、强度和性能等技术状态指标,预测其运行的可靠性和性能;如果机械设备存在异常,则进一步对异常原因、部位、危险程度等进行识别和评价,确定其改善方法和维修技术。

对于液压、电气和控制系统的故障,包括其本身的机械结构故障,更多的是其性能指标变化所引起的故障问题。



从学科的定义出发,机械设备故障诊断技术(简称故障诊断技术)是建立在多种基本技术的基础之上,并融合多种学科理论的新兴综合性学科。因此,该学科具有基础理论较新、体系边界模糊、实施技术繁多、工程应用广泛、发展日趋迅速以及与高技术发展密切相关等特点。

### 1.1 设备故障诊断学的基本概念

随着设备的技术进步,故障诊断的理论和技術亦不断丰富和完善。按学科分类,故障诊断的原理与技术属于设备维修(维护)工程学的大范畴。

所谓的设备故障诊断学,是通过观察、探测、分析和推理来确定设备是否正常,找出异常部位和故障原因,并能预报故障发展趋势的一门综合学科。设备故障诊断主要包含故障诊断的逻辑与数学原理、诊断信息学和诊断物理化学等方面的内容。

诊断的逻辑与数学原理旨在为故障诊断与检索提供优化的逻辑与数学思路,以便快速、准确地进行诊断;故障信息学,偏重于信号的采集、处理与分析;诊断物理化学涉及设备结构及其理化原理,以及诊断过程和手段的物理化学原理等内容。

故障诊断技术是具体化、专门化、程序化的故障诊断操作方法。由于当今的设备已发展成为当代各种先进技术的荟萃,随着设备专门化、复杂化、流程化和自动化,不同种类的设备,应用不同种类的故障诊断技术;不同的诊断技术涉及不同的仪器、工作原理和适用范围。这部分的内容十分丰富,也是本书论述的重点。

设备状态监测与故障诊断不同,一般以故障诊断或质量诊断控制为目标。为方便起见,我们也把它纳入故障诊断技术的范畴加以介绍。

为了开展故障诊断问题的讨论,有必要对中外流行使用的有关术语作一些解释,对易于混淆的术语做一辨析。

故障(Fault, Trouble)指一台装置(或其零部件)在它应达到的功能上丧失了能力。

失效(Failure)指一台装置(或其零部件)丧失了在规定时间内正常功能。

注意:以上两个术语意思上大体相同,但故障似可以排除恢复其应达到的功能;而失效则强调预定时限内的功能丧失。在外延上,故障多对设备而言,失效多对零件而言。在工程应用上,“故障诊断”与“失效分析”常可相互混代。“故障分析”含义稍广,相似于“失效分析”。另外,“失效”与“事故”概念不同,后者更强调其后果和危害,前者主要指设备的功能状态。

有关故障,还通用以下术语:

a. 共同故障 由于某种共同原因而导致的系统故障。

- b. 相关故障 受其他单元故障影响而发生的故障。
- c. 故障机理 设备发生故障的物理化学现象,设备失去功能的理化过程。
- d. 失效模式 失效状态的类别,失效表征。

### 1. 故障分类

按照不同的分类标准,故障可分为:

#### (1) 渐发性故障和突发性故障

渐发性故障是由于各种设备初始参数劣化和老化过程发展而产生的。这类故障与材料的磨损、腐蚀、疲劳及蠕变等过程密切相关。这类故障与设备使用时间有关。突发性故障是由于各种不利因素以及偶然的外界影响共同作用的结果,这种作用超过了设备所能承受的限度。例如因润滑油中断而使零件产生的热变形裂纹。这类故障往往与设备使用时间无关。渐发性故障又可称为软故障,而突发性故障称为硬故障。

#### (2) 功能故障和参数故障

按故障后果分类,故障又可分为功能故障和参数故障。功能故障使设备不能继续完成自己的功能。而参数故障是设备的参数(特性)超出允许的极限值。与功能故障比较,参数故障不妨碍设备的继续运转,但按照技术标准来衡量,这些设备都是无工作能力或能力不佳的。机器加工精度的破坏就属于参数故障。马达烧坏使机器不能运转则属于功能故障。

#### (3) 功能故障和潜在故障

设备的故障包括潜在(可能发生)的故障和功能(已发生)故障两种。从设备的损伤程度和使用时间可以判断潜在故障发生的可能性。设备维护保养的目的,就是防止潜在故障发展为功能故障。

#### (4) 允许故障和不允许故障

故障还可分为允许故障和不允许故障。允许故障一般同导致设备输出参数逐步老化的过程密切相关。允许故障包括各种因素(使用技术条件所允许的)在最不利组合时引起的突发性故障。有时为了减少、缩小和简化设备结构,设计上允许一定的故障发生概率。这种故障是不应引起严重后果的。不允许故障与违反产品的制造和装配条件,违反操作使用制度和修理规章,技术条件或参数未考虑到的潜在原因等情况有关。

#### (5) 永久性故障和间歇性故障

永久性故障是指一旦发现就长期存在的故障。任何时候进行检测均可发现此类故障。间歇性故障是指某种特定条件下才出现或随机性的、存在时间短暂的故障现象。由于难以把握其出现的规律和时机,这种故障不易检测。

#### (6) 单故障和多故障

按同时出现故障的数量又分为单故障和多故障。若某一时刻仅有一个故障发生,称为单故障;若同时可能发生若干个故障,称为多故障。通常诊断多故障更为困难。

#### (7)危险性故障和安全性故障

根据工程技术本身的特点,从生产安全要求来分类又可分为危险性故障和安全性故障。危险性故障发生后会对人身、生产和环境产生危害。

### 2. 故障诊断术语

有关分析和诊断,通用以下术语:

(1)失效分析(Failure Analysis)也称故障分析。即指分析失效的原因、讨论预防对策的技术行为和管理行为。

(2)故障诊断(Fault Diagnosis)根据设备运行过程中产生的各种信息来判断其正常或异常,识别是否发生故障、发生故障的部位和原因的技术行为和推理过程。国外还流行使用技术诊断(Technical Diagnosis),也称为技术诊断学(Technical Diagnostics)或工程诊断(Engineering Diagnosis),后者的内涵较之前者更深入,其外延更广泛些。

(3)故障诊断原理 指通过物理、化学过程分析和数学与逻辑推断故障部位与起因的原理和方法。

按照故障诊断的不同类型,有如下术语:

#### (1)性能诊断

对新装的设备与系统进行诊断检查,并根据诊断结果加以调整,称为性能诊断。

#### (2)运行诊断

对正常服役的设备或系统进行运行状态诊断,监测故障的发生、发展称为运行诊断。

#### (3)定期诊断

对服役的设备隔一定时间进行一次检查和诊断称为定期诊断。

#### (4)在线监控

采用仪表和计算机信息处理系统对运行中的设备运行状态连续监视、控制,称为在线监控。

#### (5)直接诊断

直接根据设备零部件、部位,判断和确定设备的故障状态称为直接诊断。

#### (6)间接诊断

通过二次诊断信息间接判断设备故障状态为间接诊断。

#### (7)常规诊断

设备正常服役下的诊断称为常规诊断。

#### (8) 特殊诊断

创造特殊服役条件采集信息以便正确地诊断故障,称为特殊诊断。

#### (9) 简易诊断

通过人的五感或利用简单检测工具迅速地、粗略地判断设备故障称为简易诊断。

#### (10) 精密诊断

通过精密检测手段采集信息,由专家分析判断故障部位、原因及预防对策的诊断。

对故障模式和故障机理下面做一解释。

a. 故障模式 是从不同表现形态来描述故障,是故障现象的一种表征,相当于医疗上疾病的症状。表现在设备上如磨损、腐蚀、振动、歪斜、变形、龟裂、破损、泄漏、堵塞、发热、烧损、脱落、短路、导通不良、绝缘破坏等。

b. 故障机理 是诱发零件、部件、设备系统发生故障的物理化学过程、电子与机械过程。也可以说是形成故障的原因。一般地,故障机理可以写成:

I(目标状态、内因)+II(外因、诱因)→III(故障模式)

总的来说,故障模式反映着故障机理的差别。但是,相同的故障模式,故障机理不一定相同。反之,故障机理相同,也可能具有不同故障模式。由于这种错综复杂的关系,使得故障诊断具有一定的复杂性和困难。

### 3. 产生故障的基本原因

下面就故障机理(或故障产生的原因)做一概述。设备故障产生的原因是多方面的,归纳起来主要有以下几点:

#### 1. 设计不合理

结构缺陷;印刷线路、配电路布局不合理;电子元器件参数选择不当;线路可靠性差;零件、材料配合、润滑方式选择不当;应力过高、应力集中;对使用条件和工作环境考虑不周等。

#### 2. 制造、安装、使用中的缺陷

电气布线、焊接、绝缘隔离以及印刷线路达不到工艺要求;机械切削、压力加工、热处理、焊接、电镀、装配、安装、调试、使用、维护保养、维修、技术改造中产生的缺陷。

#### 3. 原材料缺陷

电器材料的电阻、电容、导电性能、绝缘性能等指标缺陷;金属材料不符合技术要求;铸件、锻件、轧制件缺陷及热处理缺陷等。

#### 4. 使用不当

超出规定的使用条件或环境发生变化,造成电压过高、电流过大;机械设备的

过载、过热、腐蚀、磨损、泄漏以及操作失误；维护不当、管理混乱等。

### 5. 自然耗损

电子、电气元器件的老化；电参数的改变、绝缘层的破裂；机械磨损、疲劳、腐蚀、老化、蠕变等。

有些故障是由单一原因造成的；有些则是多种因素综合引起的；有的是一种原因起主导作用而其他因素起媒介作用；有的是连锁诱发的因素引起，就像是多米诺骨牌，形成一连串的反应。

## 1.2 故障诊断的理论原理与工程应用

故障诊断理论的逻辑与数学原理，是指与故障诊断相关的逻辑方法与数学运算。故障诊断技术基本以统计学、可靠性、信息论及系统工程理论为基础，以数学为工具的多学科的综合体，至今产生了许多应用广泛的故障诊断方法。所涉及的数学领域包括概率论与可靠性、系统工程、信息论以及最近发展起来的模糊集合理论；涉及的逻辑领域为形式逻辑、布尔逻辑以及模糊逻辑与近似推理等内容。

设备故障诊断技术发展至今，已提出了大量的方法。按照德国 P. M. Frank 教授所提出的观点，将所有的故障诊断方法划分为基于解析模型、基于信号处理和基于知识的方法三大类方法。

故障诊断的逻辑与数学原理的主要功用为：

### 1. 描述故障

用数学或逻辑语言来描述设备的技术状态。将被考虑对象的技术状态的历史、现状以及将来反映出来。这种描述可以是静态的，也可以是动态的。描述应是简洁的、有效的，能够突出特点，抓住本质，便于人们的判断决策。

### 2. 识别故障

在复杂纷纭的技术状态中，能够辨别故障特征，这也是故障诊断逻辑与数学的任务之一。这种识别包括异常特征的识别，即判断设备有无故障；还包括故障模式的识别，即判断有何种故障发生。

### 3. 寻找故障原因

从故障特征（症状、现象）出发，通过某种逻辑和数学方法，以较优的方式搜寻故障原因和发生故障的部位或基本单元。这也就是故障分析与故障定位的过程。

### 4. 预测故障

应用先验的知识以及检测信息，通过一定的数学方法，推测故障发展的后果以

及设备状态变化的轨迹,即为预测故障。预测的任务主要为状态预测、时间预测以及后果预测。

由故障起因推算其后果的数学与逻辑过程为“正向”运算,而由故障后果寻求起因的过程则是“反向”运算。由于故障的复杂性特征,某一故障可能对应多个故障特征;反之,某一特征又可能对应多种故障;而且其成因与结果又常常是多层次的,于是会形成因果相连的链状或网状结构。网上的某一现象,既是上一层结果,又是下一层的原因。而故障诊断的逻辑与数学,既有从因求果的正向运算,又有由果求因的反向运算,也可能会有双向运算。“正向”运算多用于故障分析,如故障树分析,可靠性预测等等。

故障诊断主要应用“反向”运算,如模式识别、聚类分析、推理、故障字典查寻、诊断树搜寻等等。值得指出的是,除了经典数学和逻辑方法,近年来发展起来的模糊集合论已成为诊断数学与逻辑原理的重要组成部分,并在故障诊断领域有着广阔的应用前景。近年来活跃的研究分支——神经网络理论,也应属于故障诊断逻辑与数学的范畴。

# 第2章 故障诊断原理与技术

## 2.1 概 述

当可以建立较准确的监测设备对象的数学模型时,首选基于解析模型的方法。现已证明基于观测器的状态估计方法与等价空间方法是等价的。参数估计法更易于故障的定位与故障幅值的估计。当可以得到被控对象的输入、输出信号,但很难建立被控对象的解析数学模型时,可以采用基于信号处理的方法,其中,小波变换方法是近年来发展起来的一种很有前途的方法。当很难建立被控对象的定量数学模型时,可采用基于知识的方法。

### 1. 解析模型

作为最早发展的故障诊断方法,解析模型的方法是基于数理统计研究本质,针对系统样本的一种数学处理的故障诊断方法。但由于样本的质量和容量、模型本身局限、噪声的存在以及系统日益复杂,使得其精确性较差。可分为状态估计诊断法、参数估计诊断法和一致性检验诊断法。

#### 1) 状态估计诊断法

状态估计诊断法主要是通过获得系统的状态参数的变化,提取样本,研究样本的残差,从残差中提取系统的故障特征,进行故障诊断。包括基于 Kalman 滤波器的方法和 Luenberger 观测器的方法。近几年出现了线性矩阵不等式方法、Luenberger 鲁棒故障检测观测器方法、基于多模型估计的混合估计方法等,对一定部件具有简单有效的特点。

#### 2) 参数估计诊断法

参数估计诊断法是根据概率统计的相关理论,研究故障系统相关数据的统计特性,建立相关数学算法。比如最小二乘法、极大似然估计法、随机逼近法和自适应算法等。极大似然估计是依据概率事件的极大可能性为基础的常用方法。

#### 3) 一致性检验诊断法

一致性检验诊断法依据给出的状态方程求出系统的能观性子空间以及该子空间的正交补,将测量到的系统输出信号往正交补上投影,形成残差,然后根据参差特征判断故障类型。

### 2. 信号处理方法

此方法主要用于故障检测中,基于检测所得数据进行处理,方法简单,一般与

其他方法结合效果较好。

#### 1) 频域分析法

作为设备故障诊断领域中应用广泛的一种方法,频域分析法通过数据的傅里叶等数学变换将复杂信号分解为有限或无限个频域的分量和,得到诸如分量的功率谱图,进而判断故障类型和故障源。该方法主要适用于平稳信号的相关分析。

#### 2) 小波分析法

小波分析是一种时-频分析的方法,通过对信号进行多尺度小波分解,得到各子带数据,通过小波变换系数模的局部极大值来提取相关特征,进而来实现对信号奇异性的检测,从而确定故障发生的时间。该方法对非平稳瞬态信号具有宽频响应的特点,具有良好的时频域定位特性,在低频处有较高的频率分辨率,在高频处有较高的时间分辨率。

近来研究较广泛的小波包方法是对小波变换的一种改进,是在多分辨分析基础上构成的一种更精细的正交分解方法,在全频带对信号进行多层次的频带划分,提供完整的时频铺叠,它既继承了小波变换所具有的时频局部化的优点,又继续对小波变换没有再分解的高频频带进行进一步分解。因此它可以同时在低频和高频部分进行分解,自适应地确定信号在不同频段上的分辨率,从而提高了频率分辨。

一般情况下,小波分析方法与人工智能诊断方法结合更能取得较好效果。

### 3. 基于知识的智能故障诊断方法

#### 1) 专家系统故障诊断方法

专家系统故障诊断方法的本质是通过获取多位该领域专家的经验而建立数据库,采用一定的搜索策略并通过推理手段解决故障诊断问题。专家故障诊断方法的结构图如图 2.1 所示,结构由知识库、数据库、学习机、推理机、解释器、上下文、征兆获取和人机交互界面组成。

该方法的缺点在于:

- (1) 知识库受专家知识的局限性和主观性限制。
- (2) 在推理方法中权值的赋值主观性很强。

#### 2) 神经网络故障诊断方法

神经网络的诊断算法首先根据研究故障的形式选择适合的网络类型,进而确定网络的结构。有了合适的结构,通过已有故障数据对该网络进行训练,使神经网络能够对该类型的故障进行一类辨识和泛化,然后将新的故障征兆量输入神经网络,利用输出的信息进行故障诊断。该方法是一种人工智能算法,又由于 MATLAB 中有相关的使用模块,故得到广泛应用。目前研究的重点是集中在网络的算法收敛性和泛化能力的进一步提高上。

#### 3) 模糊故障诊断方法



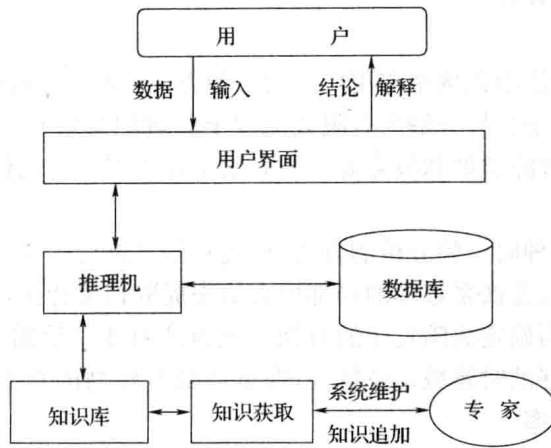


图 2.1 专家系统结构

模糊故障诊断的基本思路是利用对故障测得的相关信号的分析获得故障征兆,基于模糊数学的原理,研究故障信号和征兆之间的模糊关系来分析该系统的故障状态。下面以模糊故障向量识别法来简要介绍该类型方法的简单过程:

(1) 建立故障与征兆之间的模糊关系矩阵  $R$ , 其中的矩阵元素为征兆对原因的隶属度;

(2) 测试待诊断对象, 检测状态的特征参数, 并提取出特征参数向量矩阵  $X$ ;

(3) 求解关系矩阵  $Y = X \times R$ , 得到待测状态的故障向量, 再运用一定的判定原则(如最大隶属度原则, 阈值原则等)得到诊断结果。

模糊故障诊断由于克服了过程本身的不确定性、不精确性以及噪声等所带来的困难, 因而在处理复杂的大时滞、时变及非线性系统时, 显示出它的优越性。模糊故障诊断方法的不足之处是对复杂的诊断系统, 要建立正确的模糊规则和隶属函数, 是一项很复杂的工作。

#### 4) 遗传算法故障诊断方法

目前遗传算法主要和其他的诊断方法结合使用, 起到优化系统的作用, 单独使用比较少。例如: 与神经网络相结合时, 主要优化神经网络的权重, 优化收敛的速度; 与模糊集理论相结合时, 主要用于优化模糊推理的规则; 与小波结合过程中优化小波, 得到性能优良的小波。遗传算法克服了专家系统存在的推理速度慢和先验知识很少情况下知识获取困难的障碍。

#### 5) 粗糙集故障诊断方法

粗糙集理论是在分类能力不变的前提下, 通过知识简约, 导出问题的决策或分类规则。以其为基础出现了基于粗糙集的专家系统故障诊断方法、基于信息冗余