

机电设备故障诊断方法研究现状与发展趋势

薛光辉, 吴 森

(中国矿业大学(北京)机电与信息工程学院, 北京 100083)

摘 要:回顾了机电设备故障诊断技术的发展历程,从基于解析模型、系统信号处理和知识的故障诊断方法总结了设备故障诊断方法的研究现状,探讨了其存在的问题和不足,指出了其发展趋势、研究方向及热点问题。

关键词:故障诊断;研究现状;发展趋势;远程诊断;混合诊断

中图分类号:TP206+.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-0959(2010)05-0103-03

1 设备故障诊断技术的发展

设备故障诊断技术起源于20世纪60年代的美国。1978年R. A. Collacott博士在其编著的《机械故障诊断与状态监测》一书中明确的提出了“故障诊断”的概念,并很快为国际工程界所接受^[1]。到70年代中期,设备故障诊断研究的应用逐步推广到了电力、动力、核能等许多领域,得到了更加蓬勃的发展。

国内设备诊断技术从20世纪80年代初起步以来,大致经历了三个阶段,即起步与准备阶段(1980-1990)、发展阶段(1990-2000)高级阶段或设备诊断技术的完善阶段(2000-)。经过不懈努力,在理论研究和工程应用两方面都取得了丰硕的研究成果和宝贵的实践经验。目前,在国内的石化、冶金、水电等行业均取得了许多成功的案例。

2 设备故障诊断技术的研究现状

2.1 基于解析模型的故障诊断方法

基于解析模型的故障诊断方法是由Beard(1971)和Jones(1973)提出的^[2,3]。该方法利用Luenberger观测器(组)、等价空间方程、Kalman滤波器、参数模型估计与辨识等方法产生残差,基于某种准则或阈值对残差进行分析与评价,实现故障诊断。

1) 基于状态估计的故障诊断方法。重构被控过程的状态,与可测变量比较构成残差序列,然后通过构造适当的模型,用统计检验法从残差序列中提取故障特征并把故障检验出来,再作进一步的分离、估计及决策,从而实现故障诊断。

2) 基于参数估计的故障诊断方法。Iserman(1984)做了完整描述^[1]。根据参数的估计值与正常值之间的偏差情

况来判定系统的故障情况。根据机理分析建立模型参数 θ 与过程参数 p 的联系 $\theta = f(p)$,基于系统的输入输出序列估计出模型参数序列 $\hat{\theta}$,反求过程参数序列 \hat{p} ,与实际 p 标准值比较,确定系统是否发生故障及故障程度^[2]。

3) 基于一致性检验的故障诊断方法。通过检验系统实际模型与正常模型是否一致来判断系统是否存在故障。根据系统的状态方程求出能观性子空间以及其正交补,将测量的系统输出信号投影到该正交补上,即生成残差,根据残差的信息即可检测系统故障。

2.2 基于系统信号处理的故障诊断方法

该方法判断设备或系统是否存在故障是通过各种谱分析方法、时间序列特征提取方法、自适应信号处理方法等信息处理和特征提取方法来进行的,不需要诊断对象的准确模型,具有很强的适应性。

1) 基于Kullback信息准则故障诊断方法。把未建模动态特性当作软界估计,利用遗传算法和梯度方法辨识参数和软界,在Bullback信息准则中引入一个新指标评价未建模动态特性,合理设计阈值,选择合适的决策方案来实现故障诊断^[3]。

2) 基于小波变换的故障诊断方法。对系统的输入输出信号进行小波变换,求出所有奇异点,剔除噪声和输入突变引起的奇异点,保留系统故障对应的奇异点,从而实现系统的故障诊断。

3) 基于输出信号处理的诊断方法。利用谱分析法、概率密度法、相关分析法及互功率谱分析法对系统的输出进行各种分析,然后分析比较系统输出的幅值、相位、频率或相关性的差异,来判断系统是否存在故障。

4) 基于时间序列特征提取的诊断方法。选取与故障直接相关的状态变量,建立时间序列过程模型,以模型参数

收稿日期:2010-02-01

作者简介:薛光辉(1977-),男,河南汝州人,博士研究生,从事设备故障诊断、测控技术与仪器等教学与研究工作,主要研究方向为故障诊断、信号分析与处理和测控仪器设计与开发。

作为特征矢量来判别故障类型。

5) 基于信息融合的诊断方法。信息融合是多源信息综合处理的一项新技术,能将来自某一目标的多源信息加以智能化合成,产生比单一信源更精确、更完全的估计和判决,可解决对复杂系统进行故障诊断时存在的信号信噪比低、诊断可信度低等问题。

2.3 基于知识的故障诊断方法

基于知识的故障诊断技术是基于建模处理和信号处理的诊断技术发展的高级形式,因不需要精确的数学模型,具有良好的应用前景。

1) 基于人工神经网络的故障诊断方法。选择合适的变量作为神经网络的输入,利用样本数据对神经网络进行训练,确定神经网络的权值和阈值,然后将系统的检测样本输入训练好的神经网络,根据其输出和已知故障类型的编码进行比较,即可确定故障的类型。

2) 基于不确定理论的故障诊断方法。基于不确定理论的故障诊断方法主要有:①基于模糊逻辑推理的故障诊断方法;②基于灰色理论的方法,包括灰色预测、灰色关联度分析、灰色聚类 and 灰色决策等内容;③基于 D-S 证据理论的故障诊断方法;④基于粗糙集理论的故障诊断方法;⑤基于贝叶斯网络的推理方法。

3) 基于模糊神经网络的故障诊断方法。

模糊神经网络技术是将模糊逻辑系统与神经网络相结合,充分吸收了模糊逻辑理论和神经网络技术的优点,既能处理专家知识和经验,又能通过自学习增强系统的判断能力。

4) 基于专家系统的故障诊断方法。该方法克服了基于模型的故障诊断方法对模型的过分依赖性,成为故障诊断的有效方法,并在很多系统中得到了广泛应用。故障诊断专家系统可分为基于专家知识的第一类故障诊断专家系统和基于模型知识的第二类故障诊断专家系统。

5) 基于遗传算法的故障诊断方法。遗传算法(GA)是由 Bagley J. D(1967) 提出的, John Holland(1975) 教授做了开创性的研究。GA 是一种新兴的模拟自然界生物进化机制的搜索寻优技术。近年来,GA 开始应用于模式识别和故障诊断中。

6) 基于故障树分析的故障诊断方法。20 世纪 60 年代初,美国贝尔电话研究所在其导弹发射控制系统的设计中首先应用了故障树分析法,现被广泛应用于核电站、化工厂等的设备安全分析和维修中。故障树是特征向量与故障向量之间的全部逻辑关系的反映。故障树分析包括定性分析和定量分析,前者中使用最小割集算法和最小路集算法找出导致顶事件发生的所有可能的故障模式;后者主要目的是求顶事件发生的特征量(如可靠度、重要度、故障率、累计故障概率、首次故障时间等)和底事件的重要度。

7) 基于实例推理的故障诊断方法。实例推理(Case-Based Reason,简称 CBR)是一种新兴的人工智能推理技术,可缩短问题求解途径,提高推理效率,能利用原有系统中

的经验教训,避免重犯错误、缩短诊断过程,关键是如何建立一个有效的实例索引机制与实例组织方式。

8) 混合智能故障诊断方法。将两种或两种以上的智能诊断方法相结合,构成一个多方法相融合的混和系统,各种方法相互配合,实现优势互补,以提高诊断系统的性能。

3 设备故障诊断技术存在的问题

3.1 基于模型的故障诊断方法

传统的基于模型的故障诊断方法,需要构造与设备故障有关的残差模型。被诊断对象往往是复杂大系统,具有滞后、强耦合、参数时变等非线性特性,难以获得其准确的残差模型,导致大多数基于系统模型的故障诊断方法在非线性系统中具有很大的局限性。

3.2 基于系统信号处理的故障诊断方法

以传感器技术为基础,以信息处理技术为手段的现代设备诊断技术在历经几十年的发展与应用,已取得明显的经济效益。理论研究与应用结果表明,由于各种信息检测手段和诊断方法大多是利用诊断对象所表现出来的特定信号来诊断特定类型的故障,对多故障同时发生和各种故障之间可能存在的相互联系及影响难以分析。

3.3 基于知识的故障诊断方法

基于人工智能的智能故障诊断方法大致可分为基于知识推理的智能诊断方法和基于数值计算的智能诊断方法两大类。它克服了一些传统诊断方法存在的困难,解决了一些复杂系统的故障诊断问题,但仍存在着许多问题。前者推理效率低,学习能力、自适应能力差,在线诊断困难、实时性差。后者对奇异模式的判断能力差,对结论及其过程缺乏解释能力,忽视了领域专家的经验知识,推广能力不足,学习机器的参数优化问题,训练和测试结果可能会出现较大的随机性等问题。

4 设备故障诊断方法的发展趋势

目前,设备故障诊断方法的发展趋势主要表现在混合智能、智能机内测试技术和基于 Internet 的远程协作等方面。

4.1 混合智能故障诊断方法研究

将多种不同的智能故障诊断方法结合起来构成混合诊断系统是智能故障诊断研究的发展趋势之一。结合方式主要有专家系统与神经网络结合, CBR 与专家系统和神经网络结合,模糊逻辑、神经网络与专家系统结合等。其中模糊逻辑、神经网络与专家系统结合的诊断模型是最具有发展前景的,也是目前人工智能领域的研究热点之一。但尚有很多问题需要深入研究。总的趋势是由基于知识的系统向基于混合模型的系统、由领域专家提供知识到机器学习、由非实时诊断到实时诊断、由单一推理控制策略到混合推理控制策略。

射流泵抽真空装置的研究

李 凯, 胡乾坤

(黄淮学院, 河南 驻马店 463000)

摘 要: 射流泵抽真空装置是煤矿自动排水系统的重要组成部分, 针对抽真空控制设计过程中存在的问题, 进行了流场仿真和实验研究, 讨论了抽真空过程中压力与速度的变化规律, 阐述了影响射流泵抽真空的主要因素, 为理论分析作了有力的补充。

关键词: 射流泵; 抽真空; 负压

中图分类号: TD744 **文献标识码:** B **文章编号:** 1671-0959(2010)05-0105-03

1 概 述

煤矿井下排水系统是煤矿安全生产的有力保障, 随着科学技术的发展和煤矿安全要求的提高, 井下自动排水系统必将成为煤矿井下排水系统发展的必然趋势。从传统的排水系统到自动排水系统的转换设计中, 如何对排水系统各环节进行控制是井下自动排水系统运行的关键^[1]。射流

泵抽真空装置是井下排水系统的关键组成部分。在现如今设计的一套自动排水系统中存在如下问题: 用电磁阀对射流泵抽真空装置控制时, 无法实现对水泵泵腔抽真空, 排水系统也就无法运行。针对自动排水系统设计中存在的用电磁阀控制射流泵抽真空时射流泵不能完成抽真空动作和什么是影响射流泵抽真空的主要因素这两个问题, 本文从理论和实验两方面对其进行研究。

4.2 智能机内测试技术研究

BIT 技术可为系统和设备内部提供故障检测和隔离的自动测试能力。随着传感器技术、超大规模集成电路和计算机技术的日益发展, BIT 技术也得到了不断完善。国内外近年来的研究表明, BIT 技术是提高设备测试性的最为有效的技术途径之一。目前, BIT 研究和发展趋势: 与自动测试设备(ATE, Automatic Test Equipment) 日渐融合、应用领域不断拓宽、发展为具有状态监控与故障诊断能力的综合系统、智能化。

4.3 基于 Internet 的远程协作诊断技术研究

基于 Internet 的设备故障远程协作诊断是将设备诊断技术与计算机网络技术相结合, 用若干台中心计算机作为服务器, 在企业的关键设备上建立状态监测点, 采集设备状态数据, 在技术力量较强的科研院所建立分析诊断中心, 为企业提供远程技术支持和保障。当前研究的关键问题: 远程信号采集与分析; 实时监测数据的远程传输; 基于 Web 数据库的开放式诊断专家系统设计; 通用标准。

5 设备故障诊断技术研究热点

目前, 设备故障诊断方法的研究热点很多, 大致可归纳如下: ①多传感器数据融合技术; ②在线实施故障检测

算法; ③非线性动态系统的诊断方法; ④混合智能故障诊断技术; ⑤基于 Internet 的远程协作诊断技术; ⑥故障趋势预测技术; ⑦以故障检测及分离为核心的容错控制、监控系统 and 可信性系统研究。

参考文献:

- [1] Iserman R. Process fault detection based on modeling and estimation methods - a survey [J]. Automatica, 1984, 20(4): 387 ~ 404.
- [2] Iserman R. Fault diagnosis of machines via parameter estimation and knowledge processing - tutorial paper [J]. Automatica, 1993, 29(4): 815 ~ 835.
- [3] Kumamaru K, et al. Robust fault detection using index of Kullback discrimination information [Z]. In: Proc. of IFAC world Congress, 1996.
- [4] 李士勇. 模糊控制、神经控制和智能控制论 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1998.
- [5] 高洪涛, 王敏. 证据理论在旋转机械综合故障诊断中应用 [J]. 大连理工大学学报, 2001, 41(4): 459 ~ 462.
- [6] 胡涛. 粗糙集理论在不确定性知识表达及故障诊断中的应用研究 [D]. 成都: 电子科技大学, 2001.

(责任编辑 赵巧芝)

收稿日期: 2009-12-15

作者简介: 李 凯(1979-), 男, 山西忻州人, 讲师, 现在黄淮学院从事煤矿机械设备方面的研究及教学工作。