

多目标、多层次设备状态监测与诊断策略研究*

李岳 温熙森 陶利民 秦国军

(国防科技大学机械电子工程与仪器系 长沙 410073)

摘要 在分析大型复杂设备系统特点的基础上,提出了多目标、多层次设备状态监测与诊断的体系结构、诊断策略,并对系统实现方法进行了分析。

关键词 系统, 设备, 状态监测, 故障诊断

分类号 TH165.3

A Strategic Research on the Monitoring and Diagnosis of the Multi-object and Multi-level Equipment Condition

Li Yue Wen Xisen Tao Limin Qin Guojun

(Department of Mechatronics Engineering and Instrumentation, NUDT, Changsha 410073)

Abstract By analyzing the characteristics of the large-scale complicated equipment system, we present the systematical structure and the diagnostic strategy of the multi-object and multi-level condition monitoring and diagnosis. The realization technology of the system is also discussed.

Key words system, equipment, condition monitoring, fault diagnosis

对多目标、多层次设备状态进行监测与故障诊断是现代工业设备系统向大型化、复杂化、成组化、自动化、智能化和大功率方向发展的客观要求。大型复杂设备系统,一旦某些环节发生故障,轻则影响整个系统正常运行,重则将致使整个设备系统瘫痪,酿成重大破坏性事故。为确保这类系统高效、可靠地运行,必须对系统运行状态进行监视,一旦发现故障苗头,及时作出相应处理,以避免和抑制故障发生、发展;同时对系统故障进行分析处理,为设备维修提供建议,以缩短维修周期,节省维修费用。

多目标、多层次设备状态监测与故障诊断技术的核心内容包括:(1)对被监测对象(系统)进行分析,对检测信息进行选择与优化。(2)研究监测与诊断系统的体系结构、信

* 国家自然科学基金资助项目
1995年4月25日收稿

息模型、组态策略、层次与功能等特点,建立集成控制与管理平台,集多种监控技术于平台中,以实现总体功能。此项内容的核心亦即监控结构的确立与优化。(3)研究信息融合、状态描述、故障模型与诊断决策的理论与方法,建立通用、归一化的多目标、多层次设备监测与诊断准则。本文从分析大型复杂设备系统特点入手,以某大型船舶动力装置的复杂设备系统为背景,对上述几方面内容进行研究和讨论。

1 大型复杂设备系统特点分析

大型复杂设备系统常常是由多个互联的机械、液压、气动、电力、电子及机电结合的子系统或小系统组成,它具有以下特点:

(1)系统结构的复杂性。大型复杂设备系统通常体现为阶梯结构,系统无论从硬件组成或系统的功能上,均由若干子系统组成,子系统可以进一步分解为子子系统等。系统中各子系统之间存在各种强耦合或弱耦合作用,可通过协调实现系统内部的一致性,以实现系统的功能。系统一般不能作为黑箱研究,否则不可能确定子系统间的关系。因此,只能将系统作为灰箱来研究,才能真正的充分认识系统。

(2)系统描述的复杂性。在组成系统后,体现子系统独立运行状态的部分特征将消失,要描述系统,必须从系统的联结方式及功能出发,寻求新的特征。大型复杂机电系统的复杂性在很大程度上取决于系统的描述方式,而描述的简便性与精确性通常是矛盾的;系统的子系统种类多,且各子系统本身又是一个复杂的系统,其定量模型一般很难建立,因此复杂系统的精确模型难以建立。系统描述通常是非线性的,因为在系统的运行过程中不同的输入可能产生相同的结果;小的输入可能产生大的影响;大的输入可能产生小的影响;大小相同的输入可能产生相反的结果。

(3)系统状态及参数的时变性。系统中各个零部件的状态及参数随着时间的推移而变化,任一参数的变化会影响其所在子系统的变化,进而影响其它子系统的状态。因此,系统是时变的,并具有不确定性。

大型复杂设备系统的开放性,主要表现在大型复杂设备系统与其所处的环境之间有各种物质、能量和信息的交换。一方面,大多数大型复杂设备系统是人-机系统,操作人员通过向系统发送指令改变系统的运行状态。正确的操作使系统完成希望的功能,错误的操作甚至造成系统的失效。另一方面,系统处在各种外部环境(系统的服役环境)之中,各个子系统受着各种环境因素的影响,不同程度地改变着系统的参数和运行状态;同时,系统的服役环境也按一定规律随着时间而变化。

基于大型复杂设备系统的上述特点,在对其进行状态监控与故障诊断时,必须将系统分解为易于监控与诊断的子系统,逐级建立模型。

2 状态监测与故障诊断的检测信号的选择与处理

2.1 检测信号的选择

大型复杂设备系统,结构复杂,信息种类繁多,检测信号分布面广,合理选择信号参数,是进行设备状态识别和故障诊断的先决条件。要做好这项工作,首先必须全面透彻了解与掌握系统设备原理与结构。一般可选择以下几方面的信息作为检测对象:

- (1) 设备运行过程的状态信息，如流体压力、温度、电力系统的电流、电压、频率与功率，机构的转速、往复频率，润滑系统油样；
- (2) 设备运行时的效应信息，主要包括机器振动，声发射，结构应力与应变等；
- (3) 设备环境参考信息，如环境温度，空气成分变化。

2.2 信息分类处理策略

信息分类的实质是对设备故障进行分类。由于大型设备系统是由诸多复杂设备单元集成的，其潜在的故障源很多，故障种类和性质也不尽相同。既有结构故障，亦有功能故障；既有危及整个机组设备总体运行的系统级故障，也有影响设备局部的部件级、零件级故障。本文针对大型复杂设备的结构、功能特点将故障分为软件故障和硬件故障两大类，每类中又可根据其影响范围按层次分解为系统级、设备级、部件级和零件级故障。按此方法分解与处理故障，有利于专家系统知识表述与诊断推理。

2.3 故障特性分析与模型建立

由于大型复杂设备系统本身所固有的特点，其故障也通常表现出如下特性：

2.3.1 层次性

这是大型复杂设备系统中故障的最基本特性。上一层次系统的故障必然源于其子系统、子子系统间联系的故障，这是故障的“纵向性”。该特性为机械设备这一复杂系统的诊断提供了一个有效的策略与模型表述方式，即层次诊断策略与层次诊断模型，将复杂系统逐步分解直至所指定层次为止。

针对故障所表现出的层次性，采用故障树分析 (FTA) 模型可以简洁而有效地分析、表述和处理故障。图 1 为某大型船舶动力装置设备系统的 FTA 模型。

以系统中最不希望发生的事件作为分析的目标 (顶事件)，找出系统中可能发生的设备失效、环境变化等因素 (各种底事件) 与系统失效之间的逻辑联系，以建立故障模型。通过分析故障的 FTA 模型可分析故障产生的原因，进行故障分析与推理。

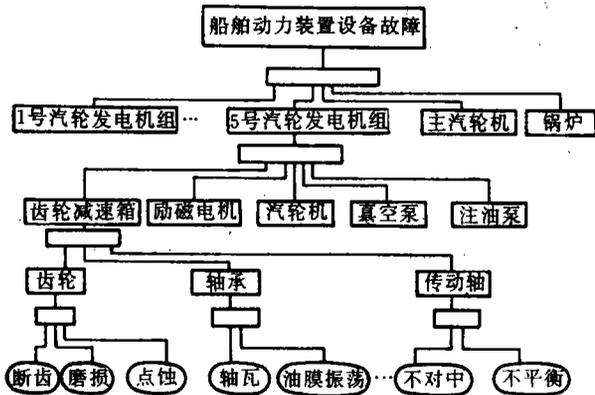


图 1 某大型船舶动力装置设备 FTA 模型

2.3.2 相关性

当某一零件 (或组元) 发生故障时，同它相关的零件 (或组元) 的状态也可能劣化，这是故障的“横向性”。这一特性带来了同一层次系统中多个故障并存的现实。基于灰色理论的灰色关联分析模型，不失为解决故障相关性的有效方法之一。

2.3.3 模糊性

这是大型复杂设备故障的一个重要特性。建立以模糊数学为核心的故障模糊综合决策模型和建立在概率论与模糊数学基础上的不确定性理论的故障描述与识别理论与方

法，已成为解决此类故障诊断问题的有效方法。

3 多目标、多层次设备状态监测系统体系结构

3.1 系统功能特点分析

进行多目标、多层次设备状态监测与故障诊断是保证大型复杂设备系统正常运行、高效可靠执行预定操作的基本条件之一。对于不同的设备系统，其监测系统的结构与功能存在微观差别。然而从宏观来看是有共性的，其要求一般包括以下几方面：

- (1) 系统操作简单、方便，具备优良的人机接口和较完备的服务功能；
- (2) 系统具有高度容错与自恢复功能，具备可维护、可移植、可扩充等特性；
- (3) 具备系统调度与网络管理标准接口；
- (4) 检测的信号应能实质反映系统运行状态的信号，对采集的信号应根据该信号发生地点、影响范围及研究程度等进行分级处理；

(5) 对于引发系统灾难性事故的故障应具有预报、预测和诊断能力，对这类故障应根据其性质建立相应的故障模型，并通过对相关信息的采集与分析，判断故障的发展趋势，预测可能发生的故障。

(6) 具备数据库、知识库生成、管理与通讯功能。作为监控系统，将监控中的信息记录下来是非常必要的，这些数据为分析故障原因提供原始资料，为设备系统的改型设计、设备维修提供参考；

(7) 具备归一化智能信息处理策略。

3.2 系统体系结构

为了满足系统功能特性，这类监控系统设计常采用模块化、层次化、递阶控制的结构形式。采取集中管理和分散监测策略，由主监控系统管理若干台通用型信号处理和数据采集分析处理装置。系统结构按功能划分为三层，依次为系统管理层、现场工作站层和设备层（如图 2 所示）。

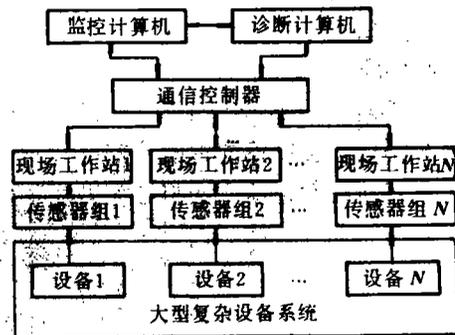


图 2 监控体系图

① 系统管理层：负责接收、制定和修改监控计划，控制管理工作站层的测控任务，并且完成故障分析与处理；

② 现场工作站层：以设备成组或区域集中为原则，具体管理和执行某一类监控任务或某一区域范围内的监测任务；

③ 设备层：针对一个物理量执行一次或多次测量任务，并将结果传输到上一级控制器。

4 故障处理方法与策略^[2~5]

对于建立在多传感器多特征信息基础上的实时状态监控与故障诊断系统，需要及时处理的信息量很大，各状态信息之间的关系复杂，采用常规的信息处理方法很难达到目的。对于大型复杂设备系统，因其结构的复杂性、工况的多样性以及每种传感器信号的

局限性,在进行有效的设备状态监测与诊断时必须采用传感器信息的集成和融合技术,以便各取所长,互相补充,真实地反映设备运行状态,对设备故障做出科学正确的分析与决策。经过集成与融合的多传感器信息能完善地、精确地反映环境特征;而单一传感器只能获取环境特征的部分信息段。经过集成与融合的多传感器信息具有信息的冗余性、信息的互补性、信息的实时性和信息的低成本性。有关传感器信息集成与融合方法的研究工作,国内外许多科研机构正在广泛深入地进行,并取得了不少研究成果。在众多的传感器融合方法中,对于大型复杂设备系统,基于神经网络的多传感器集成与融合技术是行之有效的方法之一。

故障诊断可在多传感器信息集成与融合的基础上采取两步处理策略。第一步是故障检测,第二步是诊断推理。故障检测的主要任务是对成组设备系统的总体状态进行初级识别,判断设备系统是否出现异常(或故障),以设置诊断推理启动标志;诊断推理的主要任务是在设备系统发生异常时,进一步对故障的原因进行分析、推理,以达到故障定位之目的,并为故障处理、设备维修提供参考意见和建议。

应用基于层次诊断模型的神经网络和专家系统相结合的混合系统进行故障诊断,采用深浅层知识相结合的推理策略对设备故障进行推理与定位,是实现多目标、多层次设备故障诊断的实用方法。

5 结束语

本文在分析大型复杂设备系统特点的基础上,提出了实现多目标、多层次设备状态监测与诊断系统的体系结构、功能模型及系统实现技术。由于现代设备系统功能日趋完备、结构日益复杂,对状态监控与诊断系统的要求愈来愈高,基于多传感器信息融合、多参数多模型综合决策的智能监控与诊断技术是当前和今后的主流。人工智能、信息处理等一系列新技术、新方法将在大型复杂设备的工况监测与故障诊断中发挥重要作用。

参考文献

- 1 Wen Xisen, Tang Bingyang, Li Yue. Implemetation of Operational Condition Monitoring and Fault Diagnosis System for Power Devices. ICCOMMAD'93, Briston, 1993
- 2 袁 军. 智能系统多传感器信息融合研究进展. 控制理论与应用, 1994, (5)
- 3 Murali Krishnanurthi, Don T Philips. An Expert System Framework for Machine Fault Diagnosis, Computers ind Engng, 1992, 22(1)
- 4 Handelman D A. Integrating Neural Networks and Knowledge-Based System for Intelligent Robotic Control, IEEE contr Syst Mag. 1990, 10(3)
- 5 张安华, 同淑荣. 基于专家-神经网络的故障诊断系统. 见: 第二届全国智能控制专家讨论论文集, 1995

(责任编辑 卢天凯)