

物联网环境下的机械系统状态监测技术展望

严新平 张月雷

1. 武汉理工大学船舶动力工程技术交通行业重点实验室, 武汉, 430063
2. 中国人民解放军 94270 部队, 济南, 255017

摘要: 论述了物联网环境下机械系统状态监测技术的新发展, 指出开展机械系统的可监测性设计是物联网环境下实施机械系统状态监测技术的基础, 研发符合物联网特征的在线监测传感器及其系统是物联网环境下开展机械系统状态监测的保证, 建立物联网环境下的机械系统状态监测技术标准体系是机械系统状态监测技术快速发展的支撑。

关键词: 物联网; 状态监测; 机械系统; 可监测性

中图分类号: TH11 **文章编号:** 1004—132X(2011)24—3011—05

Thoughts of Mechanical System Condition Monitoring Technology under IOT

Yan Xinping¹ Zhang Yuelei^{1,2}

1. Key Laboratory of Marine Power Engineering & Technology, Ministry of Transportation, Wuhan University of Technology, Wuhan, 430063
2. Unit 94270 of PLA, Jinan, 255017

Abstract: The latest progresses in mechanical system condition monitoring technology under the IOT was reviewed and presented. The monitorability-based design basic theory is fundamental to develop mechanical system condition monitoring technology under the IOT. A study of on-line monitoring sensors and their systems according with IOT features guarantees the development of mechanical system condition monitoring technology in IOT. The establishment of the standard system of mechanical system condition monitoring technology can provide the technical support to the development of mechanical system condition monitoring technology under IOT.

Key words: internet of things(IOT); condition monitoring; mechanical system; monitorability

0 引言

机械系统状态监测和故障诊断(condition monitoring and fault diagnosis, CMFD)技术伴随高新技术的发展而不断发展, 现已成为涉及机械学、摩擦学、热工学、计算机科学、信息科学、测试技术、信号处理和模式识别、决策诊断等技术领域的跨学科综合性技术^[1-3]。伴随电子、检测、信号

处理、传感器和计算机网络等技术的快速发展, 机械系统状态监测和故障诊断技术已被成功应用于机械、冶金、石化、化工、交通、铁道、航空、船舶、汽车、军工等机械装备维修保障领域, 在提高机械系统故障预防诊断能力、减少重大故障和过剩维修、降低全寿命周期维修费用、改善系统保障模式等方面发挥了极大的效用, 产生了巨大的经济效益。各种机械状态监测技术手段不断由研究阶段走向工程化应用, 新的状态监测传感器不断得到应用和推广, 机械系统状态监测受到了工程技术人员

收稿日期: 2010—12—31

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50975213, 51139005); 高等学校学科创新引智计划资助项目(B08031)

[J]. Int. J. of Vehicle Design, 2004, 36(1):1-12.

[3] 王铁, 巴德纯, 王庆, 等. 路面不平度影响下的悬架动载计算[J]. 东北大学学报, 2007, 28(1):95-98.

[4] Leplod A, Mcgowan N. Influence of Active Suspension Components on Durability [C]//SAE Word Congress. Detroit, 2005:981-985.

[5] Manfred B, Bertan B. Load Identification for CAE Based Fatigue Life Prediction of a New Bus Type [C]//Commercial Vehicle Engineering Congress and Exhibition. Rosemant, 2007:4281-4286.

[6] 喻凡, 林逸. 汽车系统动力学[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.

[7] 方同. 工程随机振动[M]. 北京: 国防工业出版社, 1995.

[8] Mori Y, Ellingwood B R. Reliability-based Service-life Assessment of Aging Concrete Structures[J]. Journal of Structural Engineering, 1993, 119(5): 1600-1621.

(编辑 郭伟)

作者简介: 王其东, 男, 1964年生。合肥工业大学机械与汽车工程学院教授、博士研究生导师, 安徽理工大学副校长、教授。主要研究方向为车辆动力学与控制。梅雪晴, 男, 1977年生。合肥工业大学机械与汽车工程学院博士研究生。

的日益关注和认可,成为机械系统可靠、高效、安全运行的基本保障。

长期以来,与前沿科学技术融合是机械系统状态监测技术发展的动力和源泉。每次新技术、新理念、新方法引入机械系统状态监测技术领域,都带来了机械系统状态监测技术、监测模式和监测传感器的快速发展和新的飞跃。近年来物联网技术在各领域的快速发展和广泛应用为机械系统状态监测技术的发展提供了新的环境,这给机械系统状态监测技术的发展带来了新的机遇和挑战。

1 物联网技术

1.1 物联网内涵

物联网(Internet of things, IOT)^[4]通过传感器、射频识别、全球定位系统等技术,实时采集任何需要监控、连接、互动的物体或过程的声、光、热、电、力学、化学、生物、位置等各种需要的信息,通过各种网络接入,实现物与物、物与人的广泛的链接,实现对物品和设备运行过程的智能化感知、识别和管理。

应用创新是物联网发展的核心,以用户体验为核心的创新是物联网发展的灵魂^[5]。顾名思义,物联网就是“物物相连的互联网”,它具有两层意思:一是物联网的核心和基础仍然是互联网,物联网是在互联网基础上延伸和扩展的网络;二是其用户端延伸和扩展到了任何物体与物体之间。同时,这里的“物”要具备信息接收、传输、发送、存储、计算功能,具备重要处理器和操作系统及专门的应用程序,并具备在网络中可被识别的唯一编号特性,遵循物联网的通信协议。

1.2 物联网意义和应用现状

物联网作为一种信息技术正在改变着人类生产、生活的模式,主要表现在以下两个方面:①物联网有效地将无处不在的末端设备和设施通过各种无线或有线的长距离和短距离通信网络实现物—物、人—物之间的互联互通,在内网、专网或互联网环境下将它们联系在一起,形成了物—物、人—物之间的信息网络,使物体具备了灵性,极大地改变了人们目前的生活方式。②物联网采用信息安全保障机制,可实现设备的安全可控及个性化的实时在线监测、定位追溯、报警联动、调度指挥、安全防范、远程控制管理、远程维修保养、在线升级、统计报表、决策支持、产品服务等功能,实现对事物的高效、节能、安全、环保的管理控制运行等工作,最终实现对人员、机器、物(设备和基础设

施)的实时的智慧管理和控制,改善了人与自然间的关系。

物联网作为一个智能项目并作为新一代信息技术的重要组成部分,自从 1999 年被提出来后便得到各国研究机构和产业界的大力推动,引起了各国政府的高度重视。2009 年,温家宝总理在中国科学院传感网工程研发中心考察时提出建立“感知中国”中心,要求科研机构今后着力突破物联网关键技术。经过 10 多年的快速发展,物联网以惊人的速度被广泛应用于工业自动化、公共安全、智能运输、智能建筑、数字化医疗、遥感勘测、环境保护、消防、军事、煤炭、金融、水务、林业、电力、农业、气象、石化、供应链、移动 POS 等领域,它作为一种聚合性、系统性的创新应用技术,掀起了继计算机、互联网与移动通信网之后的世界信息产业的第三次革命性创新^[5]。

2 机械系统状态监测技术发展的不足和存在的问题

状态监测技术作为机械系统高效、可靠、安全、经济运行的基本保障,现已形成以热工参数监测、瞬时转速监测、振动监测、油液监测为主的机械系统状态监测技术体系。在物联网高速发展的今天,机械系统状态监测技术的发展和出现了许多新的问题和挑战。

2.1 机械系统的可监测性不足

产品设计对产品质量的贡献率达 70%~80%^[6],设计阶段决定了产品的质量特性和专有属性。同样,机械产品在设定的监测诊断技术水平下,机械设备的状态监测能力即可监测性水平在设计阶段就决定了。文献^[7]指出,可监测性(monitorability)是检测和隔离故障的能力。然而国内众多机械产品制造厂在设计时往往只考虑产品的外观、性能、功能、可靠性、维修性等因素而未对产品的状态监测能力进行完整的考虑,更谈不上机械产品在设计之初就进行可监测性设计的问题,其产品的状态监测故障诊断系统多为后装和外装^[8],同时产品使用者与制造厂家很少建立信息反馈。可见产品设计和状态监测一直走在平行的两股道上,基本上互不影响^[9-10]。长期以来国内大量机械设备的可监测性都不足,即使考虑了状态监测故障诊断方面的问题,由于其状态监测和故障诊断系统多为后装或外装的,机械系统的状态监测能力及故障诊断的准确性和可靠性都受到了限制。例如,在有些大型舰船上,许多重要的、关键的设备需要进行监测,可使用的监测的技

术手段也有多种方式和方法,但由于在设计建造时忽略了设备的监测诊断工作所需要的必备条件,没有预留监测所需要的监测部位或接口,从而导致对许多需要重点监测的设备无法进行有效的监测或是监测得不够直接准确^[11]。

2.2 监测仪器设备和分析数据管理模式存在问题

当前机械产品状态监测与故障诊断技术的发展呈现出多样性态势,各种监测设备和传感器更加多样和细密^[12],不少在线新型传感器、监测仪器不断地嵌入机械系统中,很多监测设备也补充到各行业的监测实验室。虽然这些仪器设备的功能都比较先进,但相互之间在物理上是隔离的,从而导致了在设备实际状态监测工作中很多监测设备和仪器的利用率很低,造成极大的资源浪费。且目前机械系统状态监测技术仍以离线监测模式为主,存在计划检测和不定检测的现象,致使机械系统状态监测的数据实时性差、系统故障诊断预测精度和能力受到限制。同时,即使众多机械产品安装了状态监测故障诊断系统并采集了很多状态数据,但由于对这些数据重视不够,未形成专门的管理机制,致使数据的管理和利用率较低。很多行业和单位也积累了丰富的诊断数据、案例知识,但这些数据格式不统一且相对比较分散,也未能得到充分利用。总之,当前机械产品的状态监测仪器设备和分析数据管理的模式不利于监测数据的提取、传输,不利于监测数据人工归类、存档,不利于数据格式的转换,不利于进行装备技术状态的趋势分析,不利于监测仪器设备的统一管理,不利于实现监测数据的实时性处理和分析。

2.3 机械产品状态监测技术标准建设发展缓慢

标准规范是技术发展、管理和应用的前提^[13],机械系统状态监测技术作为一门工程应用技术,其标准化是重要的技术基础^[14]。

(1)随着各项技术的不断发展,监测技术也从原来的热工监测发展成为性能参数、振动、油液、瞬时转速等系列化监测,监测模式也由原来的实验室分析发展成为离线、在线、混合模式(离线与在线相结合)多样化的模式。

(2)伴随工业应用的不断发展,监测技术故障诊断已由单一方法向多种方法融合集成、由单台设备使用向系统装备应用、由良好环境向恶劣环境、由单一方法监测向多元监测方法组合、由静态监测向动态监测、由失效分析到全寿命周期系统监测方向发展,现有的技术标准已不能满足当前机械系统状态监测技术发展的需要。

(3)各行各业在开展机械系统状态监测技术工作中积累了丰富的经验和数据,但各专业分析机构、实验室(国家、省部、企业等)由于采用的仪器、方法、判断标准自成体系,致使数据之间缺乏可比性,数据通用性差,造成结论说服力差。

总之,机械产品状态监测技术标准化的制定工作远远落后于状态监测技术的快速发展,其技术标准化已成为机械系统状态监测技术发展的瓶颈。机械产品状态监测技术的发展急需构建机械系统状态监测技术离线、在线、混合模式的操作、管理、数据格式等的相关标准。

3 物联网环境下状态监测技术发展的思考

物联网技术的快速发展,为机械系统状态监测技术更快速地发展带来了新的思路和活力。紧紧围绕物联网环境下机械系统状态监测技术高效快速发展这个主题,为实现机械系统实用、高效、准确、可靠的状态监测系统这个目标,从机械产品设计思想、监测系统软硬件技术和状态监测技术工程化实施标准等角度开展物联网环境下的机械系统状态监测关键技术的研究成为当前研究的重点和急需解决的问题。根据当前机械系统状态监测技术的现状及物联网发展的需要,应主要从以下几方面开展工作。

3.1 赋予机械设备(系统)可监测性,加大机械系统状态监测基础理论研究

为应对物联网技术的发展和挑战,首先我们要让机械设备具备满足物联网环境下机械产品状态监测技术发展的基础,提高机械产品的可监测性水平,即能让机械产品具备准确实时获取其运行的相关状态信息的基础。这就需要:在产品的设计之初就考虑系统的可监测性问题,加大机械系统状态监测技术基础理论的研究和应用;将状态监测故障诊断与现代设计理论结合,即从系统角度开展大型机械设备的可监测性关键问题的研究,构建机械系统可监测性的内涵和可监测性设计理论体系框架;开展可监测性设计内涵理论、机械设备监测点优化布置方法、可监测性设计方法和可监测性设计评价参数体系等关键问题理论的研究和应用,形成从设计—状态监测—故障诊断—维修—…—报废—再设计的全生命周期内的机械设备健康管理闭环体系,用于指导产品设计实践工作以满足大型机械设备和用户对产品的需要。同时扩大新技术、新方法的应用,为大型机械设备可监测性设计提供理论支撑和方法指导,不断提高产品性能和智能化、自动化水平,进而提高

产品的市场竞争力,适应物联网环境下机械产品状态监测技术快速发展的需要。

3.2 积极发展机械设备在线监测方法与仪器,研发实验分析仪器网络化数据采集与管理系统

传感器作为用于监测机械设备各种环境、结构强度和运行状态参数的设备已成为机械系统运行过程中监测的“眼睛”,是完成物联网环境下机械产品状态监测技术不可或缺的部分。采用微纳米、智能材料、光纤传感等技术,积极研发基于微型化、无线网络、超低功耗以及非电池供电的在线监测传感器和便携式监测仪器设备,使其能嵌入机械产品中而让机械产品具备物联网中物的基本特征属性,这是满足物联网环境下状态监测技术发展的保障。同时加强各种新技术新成果的转化,不断实施工程化应用并建立可靠的在线监测手段和模式,不断提高监测数据的实时性和准确性。另一方面,充分利用在线监测设备和离线便携式设备资源,加大基于信息融合故障诊断系统的研制,构建专家知识库建立基于网络的分布式资源状态监测故障诊断系统。利用有线无线长距离短距离通信网络实现物联网环境下机械产品状态监测技术网络化需求,使机械产品状态监测系统具备如下功能:自动采集仪器分析数据;各种监测分析方法的数据的保存、查询,浏览历史数据、输出分析报表、进行趋势分析;支持分布式应用,能随装备或机动采集车使用;配置式软件模式,支持新增加分析仪器和传感器;各种知识的异地调用和共享。

3.3 构建机械系统状态监测技术标准和数据存储传输标准体系

为推动机械系统状态监测技术工作的深入发展,更好地服务于工业生产的需要,急需建立科学的、完善的、有效的、切实可行的状态监测技术标准体系。鉴于物联网环境下机械产品状态监测技术涉及面广,其标准体系应该包括各种状态监测技术实施全过程涉及的操作规范、仪器设备、工作环境等标准以及监测数据格式和数据分析判断等的标准,具体应该包括数据的采集、取样、分析、判断及其工作环境和数据传输格式、方法和存储等标准。笔者根据机械系统状态监测技术的发展现状和多年从事机械系统工况监测技术工作的经验,以满足市场需求为牵引,以技术发展为动力,寻求机械系统状态监测技术工作各行各业所关注的共性问题,积极开展物联网环境下机械系统状态监测技术标准体系的建立,认为主要应从以下几方面开展标准体系的建设工作:借鉴国际标准

化组织(ISO)的相关状态监测技术标准,开展等效工作,以建立我国的监测技术标准体系;依靠从事状态监测技术研发和应用的高校、科研院所、企事业单位,开展相关监测技术标准的制定工作;通过国家各级学会、协会等社团组织,推动状态监测技术标准体系的建立;选择确立机械系统状态监测技术的主题,开展物联网环境下机械系统状态监测技术标准体系的建立;构建物联网环境下机械系统状态监测技术数据传输、安全协议等标准。

4 物联网环境下船舶动力系统监测技术应用实例

近年来,笔者结合“十五”国家重点技术装备研制项目“300M3 挖泥船及相关工程化”开展了基于物联网技术的机械系统状态监测技术应用的有益探索和尝试。在产品设计中充分考虑了系统的可监测性问题,以挖泥船为例,机舱内的两台主机和三台发电柴油机及机泵舱内的泥泵、齿轮箱、泥泵柴油机和液压系统作为状态监测的研究对象,采用振动监测、瞬时转速监测、常规热力参数监测和油液监测等多方法多参数监测模式开展了可监测性设计工作,并开发了配套的故障诊断和维修决策支持系统,最终构建了基于物联网的船舶远程故障诊断系统如图 1 所示。该系统自 2004 年 8 月投入运行以来大大提高了系统的故障诊断预测和船舶设备管理水平,产生了巨大的经济效益和社会效益。

5 结语

物联网技术的产生将赋予机械系统状态监测技术新的内涵和新的契机及活力,它在机械系统状态监测技术中的应用和推广,不仅能进一步推动机械系统状态监测技术快速发展,更能提高机械系统状态监测技术水平。一方面,在硬件方面要加大新技术、新方法的转化,不断提高机械系统的可监测性,提高监测设备传感器等的准确性和可靠性,使机械系统具备物联网所需的特征属性。另一方面,在软件方面要加强状态监测数据管理分析系统的提升,形成物联网环境下的机械系统状态监测技术的新发展。总之,充分挖掘物联网技术在机械系统状态监测技术中的应用,将使机械系统状态监测技术更有效地为人类生产活动服务。

(1)加大机械系统状态监测技术基础理论研究,构建可监测性设计理论以指导机械系统的设计是实现物联网环境下机械系统状态监测技术快速发展的基础。

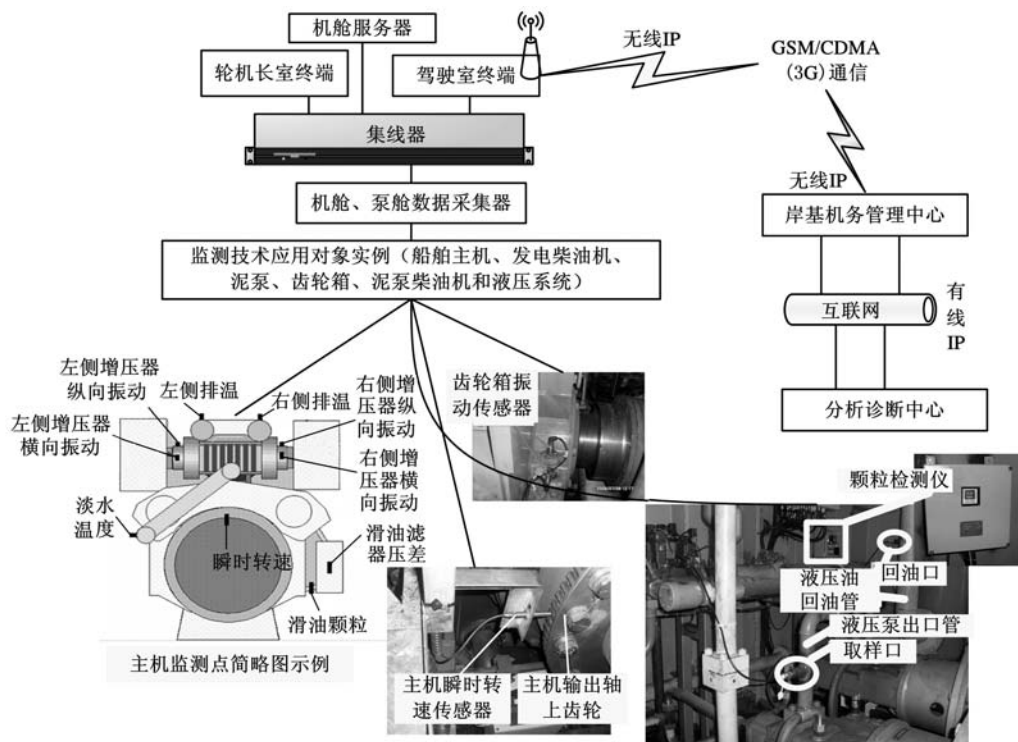


图 1 基于物联网技术的机械系统状态监测技术应用实例

(2)积极研发适合物联网环境的机械设备在线监测方法和仪器,开发网络化数据采集和管理分析系统是机械系统状态监测技术快速发展的保障。这将提高机械系统状态监测现有资源的利用率以及监测数据信息的利用空间,从而大大提高机械系统状态监测故障诊断能力和水平,不断提高机械系统的智能化水平。

(3)规范物联网环境下机械系统状态监测技术,构建其完整的标准体系是实现物联网环境下机械系统状态监测技术快速发展的技术支撑。

参考文献:

[1] 陈源华,张月雷,严新平.工程船舶动力机械状态监测与故障诊断现状与展望[J].中国设备工程,2010(5):7-8.

[2] Hameed Z, Hong Y S, Cho Y M, et al. Condition Monitoring and Fault Detection of Wind Turbines and Related Algorithms: a Review [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2009, 13(1): 1-39.

[3] Yang W, Tavner P J, Wilkinson M R. Condition Monitoring and Fault Diagnosis of a Wind Turbine Synchronous Generator Drive Train[J]. IET Renewable Power Generation, 2009, 3(1): 1-11.

[4] 孔宁.物联网资源寻址关键技术研究[D].北京:中国科学院研究生院,2008.

[5] 彭晓珊.关于物联网技术发展及应用前景的研究[J].汕头科技,2010(1):25-30.

[6] 张义民.机械产品可靠性设计的内涵和递进[J].机

械工程学报,2010,46(14):167-188.

[7] Haffaf H, Ould Bouamama B, Dauphin-Tanguy G. Matroid Algorithm for Monitorability Analysis of Bond Graphs[J]. Journal of the Franklin Institute, 2006, 343(1): 111-123.

[8] 张月雷,严新平,袁成清,等.可监测性设计在机械产品中的应用研究[J].中国机械工程,2010, 21(20):2500-2504.

[9] 张月雷,严新平,袁成清.机械系统的可监测性设计探讨[J].船海工程,2010,39(2):78-81.

[10] 张优云,谢友柏.状态监测故障诊断与现代设计技术[J].中国机械工程,1997,8(5):101-103.

[11] 陈锦玲.监测诊断技术在舰船动力装置的应用[C]//中国造船工程学会修船技术委员会年会论文集.北京:中国造船工程学会修船技术委员会,2004:255-259.

[12] 刘杰.分布式资源环境下船舶动力设备诊断系统的关键技术研究[D].武汉:武汉理工大学,2010.

[13] 王辉,张丽.交通科技信息资源共享平台标准规范研究与制定[J].交通信息与安全,2009,27(5):57-60.

[14] 严新平.油液监测技术标准体系建设的思考[J].中国设备工程,2010(2):63-64. (编辑 苏卫国)

作者简介:严新平,男,1959年生。武汉理工大学能源与动力工程学院可靠性工程研究所教授、博士研究生导师。研究方向为机械系统监测、诊断与控制,运输安全与运载工具智能化,摩擦学系统与磨损预防,智能运输系统的关键技术。张月雷,男,1977年生。武汉理工大学能源与动力工程学院可靠性工程研究所博士研究生,中国人民解放军94270部队技术少校。