

车辆基地机电设备故障监测及诊断系统

高臻^{1,2} 王 骞^{1,2} 齐海娟^{1,2} 展爱花^{3,4} 陈 竹^{3,4}

(1. 北京市轨道交通建设管理有限公司, 100068, 北京;

2. 城市轨道交通全自动运行系统与安全监控北京市重点实验室, 100068, 北京;

3. 北京市数字交通枢纽工程技术研究中心, 100095, 北京;

4. 北京竞业达沃凯森科技有限公司, 100095, 北京//第一作者, 工程师)

摘 要 系统地介绍了车辆基地机电设备故障监测及诊断系统的设计目标、关键技术和系统功能。该系统基于工业物联网技术, 运用以预测技术为核心的故障预测和健康管理 (PHM) 策略, 采用 MEMS (微机电系统) 传感器实时监控并采集车辆基地机电设备的状态数据、故障数据, 通过窄带物联网 (LoRaWAN) 实现监测数据上传, 对车辆基地机电设备进行状态监测, 实时获取设备状态信息, 对设备进行故障预测和健康管理。该系统能够有效解决城市轨道交通车辆基地机电设备维检修困难、因设备故障导致灾难性事故频发、车辆基地管理计划难制定、设备维修过程不便于管控与追溯、信息化进程落后、物流管理差等诸多问题。

关键词 城市轨道交通; 车辆基地; 机电设备; 故障监测; 故障预测和健康管理; 微机电系统传感器; 窄带物联网

中图分类号 U231.94

DOI:10.16037/j.1007-869x.2019.12.041

Fault Monitoring and Diagnosis System of Mechanical and Electrical Appliances in Vehicle Base

GAO Zhen, WANG He, QI Haijuan, ZHAN Aihua, CHEN Zhu

Abstract The design purpose, crucial technology and functions of the fault monitoring and diagnosis system for mechanical and electrical appliances in vehicle base are introduced systematically. Based on industrial internet of things technology, this system adopts the prognostics and health management (PHM) strategy with fault prediction as the core technology, uses micro-electro-mechanical system (MEMS) sensor to implement real-time monitor and collect the status data and fault data of the mechanical and electrical appliances in vehicle base, the data are then uploaded through narrowband internet of things (LoRaWAN) for simultaneous monitoring of the appliances, obtaining real-time status of the appliances and PHM. The system is capable of tackling problems effectively including the difficulties in maintenance and repair of

mechanical and electrical equipment in vehicle base, the frequent disastrous accidents caused by equipment failures, the difficult formulation of management plan for vehicle base, the inconvenient management and trace-ability of equipment maintenance process, as well as the backward information process and poor logistics management.

Key words urban rail transit; vehicle base; electro-mechanical appliances; fault monitoring; PHM; MEMS; LoRaWAN

First-author's address Beijing MTR Construction Administration Corporation, 100068, Beijing, China

随着最新轨道交通装备技术的使用, 轨道交通装备及系统的复杂化、综合化、智能化程度不断提高。随着轨道交通装备及系统的组成环节和影响因素的增加, 其研制、生产、维护和保障的成本越来越高, 发生故障和功能失效的几率越来越大。因此, 轨道交通装备及系统的故障诊断和维护逐渐成为业界关注的焦点。综合考虑轨道交通装备及系统的可靠性、安全性、经济性, 以预测技术为核心的故障预测和健康管理 (PHM) 策略获得更多的重视和应用, 成为自主式后勤保障系统的重要基础^[1]。

故障预测是健康评估和寿命预测的过程, 能够确定系统当前处于健康退化过程中的哪一个状态, 如正常工作状态、效率下降状态还是故障状态, 并能根据系统当前健康状态及合适的状态退化模型, 预测系统剩余使用寿命 (RUL)。健康管理是根据诊断/预测结果, 结合可用维修资源和使用需求, 作出适当决策的过程。故障预测和健康管理侧重于评估故障发生的影响, 通过维修管理减少损失。^[2]

本文介绍的车辆基地机电设备故障监测及诊断系统, 运用 PHM 策略, 将运营、检修人员、设备、环境纳入区域性的物联网, 通过对车辆基地内重要机电设备 (如风机、空调、水泵、电梯等)、重要通信

设备(如摄像头、交换机)、重要自动化设备(如轨旁设备、车载设备等)的状态监测,实时获取设备状态信息,对设备进行故障预测和健康管理。

1 车辆基地机电设备故障监测及诊断系统设计目标

基于工业物联网的车辆基地机电设备故障监测及诊断系统,综合利用多种一体化数字传感器采集多源监测数据,通过窄带物联网(LoRaWAN)实现机电设备运行及监测数据的上传,依托监测数据,经过滤、分析、判别设备运行监测参数,反向判别设备故障类型,从而多维度构成设备健康评价模型,为制定检修计划排程和部件更换提供依据。具体目标如下:

- 1) 设备状态监控。通过感知设备获得设备运行的直接数据,监控设备的位置状态。
- 2) 预测性诊断及维护。通过独立采集机电设备的运转真实状态新型,对设备进行预测性诊断及维护。
- 3) 健康状态跟踪。对现场设备进行长期的、实时的健康状态跟踪。
- 4) 超系统补充。对系统无法直接获取的数据进行超系统补充。
- 5) 报警机制优化。通过系统的及时报警,提高场地的安全报警机制。
- 6) 管理策略优化。通过接口直接关联设备维护系统平台,实现智能、优化的维护管理。

2 车辆基地机电设备故障监测及诊断系统关键技术

2.1 受电弓的基本结构

MEMS(微机电系统)是智能化时代的核心交互器件,集微型传感器、执行器,以及信号处理和控

制电路、接口电路、通信和电源于一体。MEMS 技术是典型的多学科交叉的前沿技术,涉及到自然科学的多个领域。^[3]MEMS 传感器也成为工业物联网领域智能终端的核心。

MEMS 传感器采用刻蚀加工工艺将机械及电子器件封装在一块小芯片上,体积小,几乎不受地球引力,受外界环境影响小,无需标定;输出为全数字信号,便于分析、处理。基于此,采用 MEMS 传感器可有效保证系统低功耗运行,保证实现无损安装,不破坏机电设备原有结构。

车辆基地机电设备故障监测及诊断系统以 MEMS 传感器作为智能终端,内置算法及模型,采集机电设备的物理状态特征,并对采集的特征进行一次运算,过滤敏感信息,降低网络负载,实现数据负载的轻量化,并将运算结果上传至基站。

2.2 窄带物联网通信技术

窄带物联网是由 3GPP(第三代伙伴计划协议)标准化组织定义的一种技术标准,是一种专为物联网设计的窄带射频技术,以室内覆盖、低成本、低功耗和广连接为特点。这种技术可应用于 GSM(全球移动通信)网络和 LTE(长期演进)网络^[4]。

窄带物联网具有长距离、多节点数、低功耗、自组网,以及维护成本低、私密性强、适用于电池供电等特点。车辆段基地的机电设备、重要通信设备分布范围广、数量大、监测点位多,而且监测数据具有时间间隔性,因此对采集设备及数据提出高性能、远距离、低功耗、支持大规模节点数量等要求。基于工业物联网的车辆基地机电设备故障监测及诊断系统首次在车辆段基地环境下应用窄带物联网技术,旨在通过窄带物联网实现对机电设备、重要通信设备的监测数据的上传。窄带物联网数据通信流程如图 1 所示。

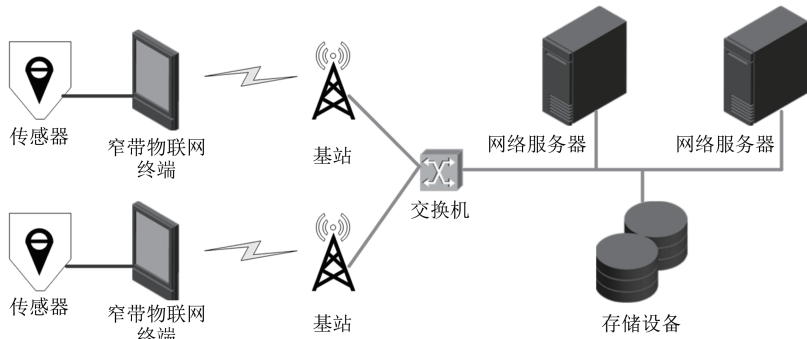


图 1 窄带物联网数据通信流程

2.3 设备设施状态监测预警技术

车辆基地机电设备设施监测预警包括对车辆基地内重要机电设备(如风机、空调、水泵、电梯等)、重要自动化设备(如轨旁设备、车载设备等)的状态监测。综合利用各类 MEMS 传感器采集多源监测数据,建立实时的状态趋势及故障预警模型。依托监测设备状态数据,经过滤、分析、判别设备运行参数等,反向判别设备故障类型,多维度创建设备健康评价体系,为制定检修计划排程和部件更换提供依据。通过与已有的模型库或自学习数据进行比对,分析、判断、预警设备的运行状态和故障风险。

车辆基地机电设备故障监测及诊断系统基于现场实时状态数据建立预警分析模型,通过 FMEA(失效模式与影响分析)风险分析和报警、故障、异常、运行数据的数据归集,运用 RCM(以可靠性为中心的维修)分析模型确定设备维修策略、维修周期和维修内容,包括维修策略决策、维修时机决策、设备维修项目决策 3 个部分。针对故障异常的现象和报警采用动态的 FTA(故障树分析)决策树,定位可能的故障原因和部位;按照零部件寿命周期预警提出需要更换检查的零部件清单,结合设备状态检测结果,提出计划维修的检查项目和维修更换内容。图 2 为设备状态数据处理流程。

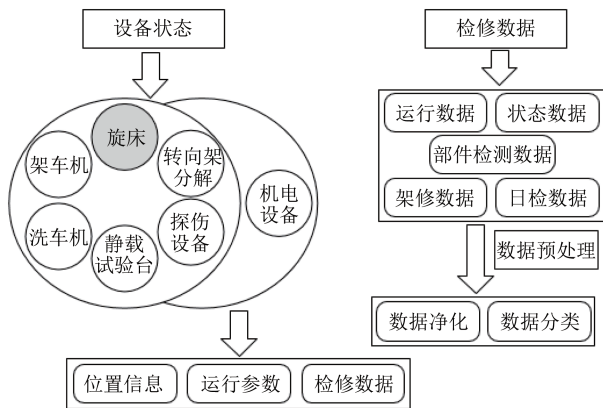


图 2 设备状态数据处理流程示意图

以电机轴承监测为例(见图 3),采用 MEMS 传感器监测电机轴承运转情况,融合边缘计算技术,对轴承在工作环境下冲击与振动参数进行采集、处理、计算并提取出轴承的故障特征倍频。硬件端完成分析后,将计算后的健康特征送至服务端处理、收集、建模。

2.4 全寿命周期管理

在传统管理模式中,主要重视设备的运行状态

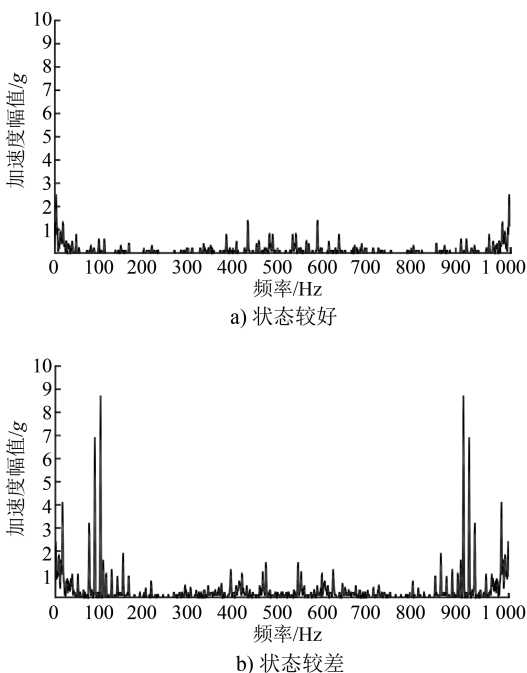


图 3 电机轴承监测结果截图

管理,对设备的采购信息、安装信息及维护信息等内容没有加以有效管理,因此在设备运行的管理过程中就会出现一定的问题。传统管理模式中,设备维修制度采用的是计划修,这容易导致设备与检修周期之间无法相互匹配,进一步会出现设备缺少修理或设备维护过度的情况,从而增加管理及维护成本。^[5]

设备全寿命周期管理主要利用车辆基地机电设备现场采集的数据,建立基于维修全寿命状态跟踪及管理机制的信息化系统,实现电客车、工程车、车辆工艺等设备的日常运营、日常维护等管理,提高生产效率,做到过程可监控、可追溯,故障可预测、可预防,结果可统计、可输出。

3 车辆基地机电设备故障监测及诊断系统功能及应用

3.1 监测点位的选取原则

车辆基地机电设备故障监测及诊断系统监测点选取原则如下:

1) 典型性试点监测。针对摄像机、配电箱、井盖、紧急求助报警按钮、灭火器、消火栓,以 3%~10%的比例将各系统点位作为物联网的典型试点应用。

2) 子系统维修难点监测。选取高大空间安装

的、不易检修的风机(双速轴流风机、轴流风机、射流风机)为监测对象,进行监测并作出预测报警。

3) 子系统监测。选取风机、水泵、机房整体环境等子系统整体作为研究对象,进行系统监测。

3.2 监测内容

1) 机电设备-暖通设备监测。风机智能监测模块对高大空间安装的、不易检修风机(双速轴流风机、轴流风机、射流风机)的电机温度进行监测,对因风机运行磨损、安装固定失效等引起的风机振动异常进行监测并作出预测报警;水泵智能监测模块对供暖系统水泵的电机温度进行监测,对因水泵运行磨损、固定失效等引起的振动异常进行监测并作出预测报警。

2) 机电设备-机房监测。控 UPS(不间断电源)主机柜智能监测模块利用热像原理对 UPS 主机柜的温度进行监测,提高 UPS 的安全保障;机房温湿度智能监测模块监测机房内的温度、湿度,保证机房内设备的正常工作环境;机房 $PM_{0.5-10}$ 智能监测模块监测机房内的 $PM_{0.5-10}$, 保证机房正常的工作环

境;机房漏水智能监测模块监测机房是否有漏水,以保证机房内的设备安全。

3) 机电设备-弱电设备。电子远程水表监测模块、电表监测模块和燃气表监测模块的计量设备需为电子计量,带有 modbus 通信接口,通过安装节点通信模块,定期传输至设备设施监测系统。

3.3 监测数据应用

1) 监测预警。可对车辆基地内的风机、水泵、空调等设备进行状态监测、异常检测、故障预警推送。

2) 监测数据查询、统计。对实时(帧间隔 10 s)、周期、逢变上报的数据进行数据存储,对监测数据进行分类,可按照时间、故障类型等进行查询,并可对故障等数据进行统计。

3) 设备失效分析。通过对机电设备的温度、振动等数据进行实时监测,形成频谱或趋势图,对图谱中的数据跳变、偏移、趋势等进行分析,可预测设备失效。趋势分析示例如图 4 所示。

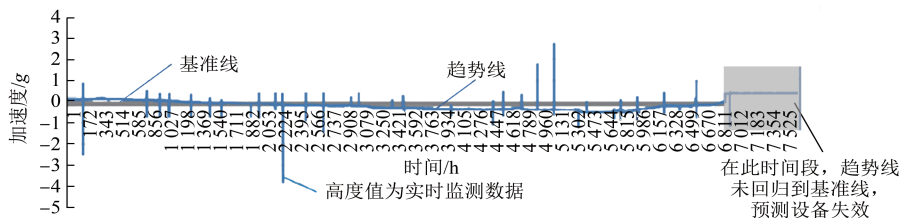


图 4 车辆基地机电设备故障监测及诊断系统趋势分析截图

4 结语

车辆基地机电设备故障监测及诊断系统,一方面可准确有效地预测车辆基地机电设备潜在故障的发生、发展和转移,智能地诊断出设备故障原因与严重程度,并对故障进行预测分级,维修人员可根据预警提示设备失效程度以及剩余寿命开展下一步维检修工作,提高设备运行安全性,从而节约维修费用,避免重大事故的发生。另一方面能够为将来的设计、评估和系统分析提供历史数据,通过分析总结系统中容易出故障的设备或者设备容易出故障的具体位置进行系统优化设计。

综上所述,该系统可广泛应用于轨道交通、工厂生产线、车辆基地、市政公共场所等领域机电设备、运转设备的监测及诊断中,可为企业保证工作

环境安全可靠、提高设备运行效率、降低生产维修成本等提供有力支撑。

参考文献

- [1] 彭宇,刘大同,彭喜元.故障预测与健康管理技术综述[J].电子测量与仪器学报,2010(1): 1.
- [2] 何源川,王晨升,马玉.故障预测与健康管理(PHM)的方法综述[EB/OL].(2015-05-13)[2019-05-20]. <http://www.paper.edu.cn/releasepaper/content/201505-164>.
- [3] 蔡欢欢.MEMS 传感器在汽车电子中的应用[J].电子元件与材料,2014(5): 97.
- [4] 中国日报网.新一代信息技术“窄带物联网”[N/OL](2016-05-04)[2019-05-20]. http://language.chinadaily.com.cn/2016-05/04/content_25049194.htm.
- [5] 安田,孙培国,董广民,等.煤矿机电设备的全生命周期管理探讨[J].工业技术,2016(5): 89.

(收稿日期:2019-09-10)