

地铁列车客室侧门智能化管理技术研究与应用

魏圆良 李洪波 林琳 王茂权 刘天天

(中车唐山机车车辆有限公司, 063035, 唐山)

摘要 [目的]客室侧门作为地铁车辆的重要组成系统,其具有故障率高、维修量大等特点。为提高客室侧门在使用过程中的稳定性,须对客室侧门状态进行实时监测,从而实现提前识别并解决故障隐患。[方法]建立一套客室侧门智能化管理体系,通过整个体系实现对客室侧门各种状态数据的采集、传输和处理。先对现有客室侧门的门控器进行升级,使其不仅可以监控车门开启、关闭、锁闭等一般状态信息,同时还可以监控车门的开关门时间、开关门力、关键尺寸等特殊状态信息;再将实时状态信息通过车地通信系统发送至设置于地面的大数据分析系统,通过与该车门历史数据对比和基于数据驱动的大数据分析与比较,判断该车门是否处于亚健康状态,并预测可能出现的故障。维护人员可根据故障预测信息提前维护车门。[结果及结论]通过客室侧门智能化管理技术可实现对车门状态的全方位监控,能够在车门没有发生故障时就提前检修和排除亚健康问题,降低车门故障率,提升车门运行稳定性。

关键词 地铁列车;客室侧门;故障预测信息;智能化管理技术;故障率

中图分类号 U270.38⁺⁶

DOI:10.16037/j.1007-869x.2025.03.055

Research and Application of Intelligent Management Technology for Metro Train Passenger Compartment Side Doors

WEI Yuanliang, LI Hongbo, LIN Lin, WANG Maoquan, LIU Tiantian

(CRRC Tangshan Co., Ltd., 063035, Tangshan, China)

Abstract [Objective] As a critical system consisting of metro vehicles, the passenger compartment side door (shorten as PCSD) presents peculiarities of high failure rates and significant maintenance demands. To enhance their operational stability, it is necessary to monitor the state of PCSD in real time, so as to identify and solve potential faults in advance. [Method] An intelligent PCSD management system is established to facilitate the collection, transmission, and processing of various PCSD status data. First, the existing PCSD controllers are upgraded to monitor not only general status information such as door opening, closing, and locking, but also specific state parameters like door opening/closing time, door opening/

closing force, and critical dimensions. The real-time status information is then transmitted via the vehicle-wayside communication system to a ground-based big data analysis system. Through analysis and comparison of the door historical data and data-driven big data, whether a door is in a suboptimal state is determined and potential faults are detected. Maintenance personnel can perform preventive maintenance of the doors based on fault prediction information. [Result & Conclusion] The intelligent management technology enables comprehensive monitoring of PCSD status, allowing for preventive maintenance and resolution of suboptimal conditions before faults occur. This approach reduces door failure rates and enhances the stability of door operations.

Key words metro train; passenger compartment side door; fault prediction information; intelligent management technology; failure rate

地铁列车客室侧门为乘客进出列车提供通道,在地铁运行过程中车门需要经常开闭,如果车门不能正常开启或关闭,地铁的运行将会受到很大影响^[1]。客室侧门系统具有设备数量多、动作频繁、故障率高及运维量大等特点^[2],而维修存在缺乏故障准确定位、查找难度大、检修频次高、调整参数多等难题。据统计,某城市地铁2009—2018年车辆故障中数量排名第一的为车门系统故障,占故障总数的40%左右^[3]。地铁公司对地铁车辆的传统维保模式主要由计划维修和故障维修构成^[4-5],而传统维保模式已经不能满足更高质量的服务需求,因此,基于智能化管理技术的状态维修越来越得到重视。该状态维修能够有效避免传统维保模式中因为各要素相对独立而造成的故障查找难度大,故障解决效率低等问题^[6-8]。

1 技术方案

客室侧门智能化管理技术的关键是扩大对各种车门状态的监控和预测。实现此功能的前提是对现有客室侧门系统的门控器进行升级。升级后

的门控器定义为智能门控器,它不仅可以监控车门的一般状态并将状态信息发送给车辆,如车门解锁、开启、关闭、锁闭状态等;同时,可以对车门的特殊状态进行实时监控并对特殊状态中的亚健康状态进行提前预测,如开关门时间、开关门力、关键尺寸等。

为了实现对客室侧门系统的智能化管理,需要搭建出完整的智能化管理体系,通过整个体系的支撑来完成对客室侧门系统各种状态数据的采集、传输和处理;最终实现对客室侧门系统的实时监测、故障诊断、故障预测等目的。

1.1 智能化管理体系架构

智能化管理体系架构主要分为4个层次:基础数据层、感知层、网络层及应用层,如图1所示。

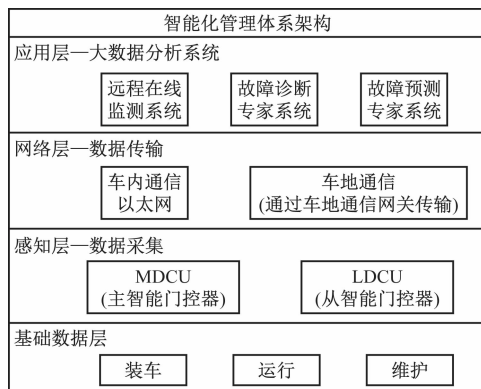


图1 智能化管理体系架构

Fig. 1 Intelligent management system architecture

基础数据层:主要包含客室侧门的3个实际环节产生的各种数据,即装车、正线运行及维护保养。

感知层:主要指客室侧门在上述环节中通过智能门控器对车门状态数据进行采集。智能门控器分为2种型号:MDCU(具有网关功能的主智能门控器)、LDCU(具有采集功能的从智能门控器)。一般每节车厢需要设置2个MDCU,其中1个MDCU作为备用,其余门控器均为LDCU。

网络层:以单节车辆为传输单元,车辆内主、从智能门控器通过以太网手拉手组网,LDCU将数据通过以太网传输到该车辆内的MDCU;MDCU通过车内的车载网关将该车辆内包括自身的所有智能门控器数据发送至设置于地面的大数据分析系统。

应用层:主要是指通过对客室侧门各种状态数据的分析实现远程监测、故障诊断、故障预测等功能。

1.2 数据采集

门控器将采集车门开关过程中的电流、电压、

速度、门位置、转角等参数,以及门控器多种I/O(输入/输出)信号,具体如表1所示。

表1 车门系统数据采集列表

Tab. 1 Vehicle door system data collection list

参数名称	变量类型	变量描述
电流	INTEGER16	依据具体要求确定
电压	INTEGER16	依据具体要求确定
速度	INTEGER16	依据具体要求确定
门位置	INTEGER16	依据具体要求确定
转角	INTEGER16	依据具体要求确定
锁到位开关状态	BOOLEAN1	1 = 有效, 0 = 无效
关到位开关状态	BOOLEAN1	1 = 有效, 0 = 无效
开门时间	UNSIGNED16	依据具体要求确定
关门时间	UNSIGNED16	依据具体要求确定

1.3 数据传输

数据传输分为车内数据传输和车地数据传输,如图2所示。

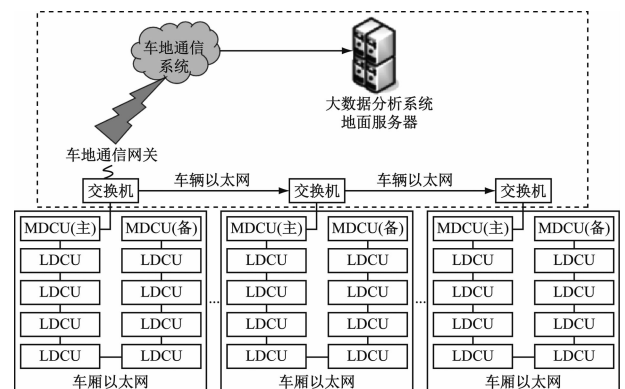


图2 车内及车地数据传输示意图

Fig. 2 Diagram of data transmission inter-vehicle and vehicle-to-ground

1) 车内数据传输:主、从门控器之间以手拉手以太网进行组网。

2) 车地数据传输:车地数据传输以车辆为传输单元,每节车厢的数据汇总至车辆网关,然后通过车地通信系统将数据传输到地面服务器。

3) 数据传输协议:LDCU和MDCU(备)将采集的数据通过协议1传输至MDCU(主);MDCU(主)通过协议2将自身采集以及接收的数据传输至车地通信网关;车地通信网关通过自有协议将车门原始数据透传至大数据分析系统地面服务器;大数据分析系统地面服务器集成远程在线监测系统、故障诊断专家系统以及故障预测专家系统,如图3

所示。

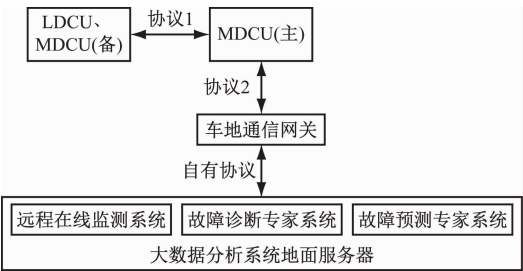


图 3 数据传输示意图

Fig. 3 Data transmission diagram

1.4 系统主要功能

1.4.1 远程在线监测

系统可以远程实时监测客室侧门工作状况,地面管理人员和车辆维护人员可以通过网络远程了解车门实时运行情况,通过实时监测数据可以更直观地观察车门各种状态,例如车门开启状态、关闭状态、紧急解锁状态、隔离状态及障碍物触发状态等。相关人员可以根据上述信息对客室侧门系统的状态进行有效判断以及展开对应处置工作。

1.4.2 故障诊断

系统会自动采集车门在使用过程中的各种故障信息,通过故障诊断系统的典型故障规则知识库

智能化判断当前的车门是否产生了故障,以及故障的原因和检修方案。同时,系统将故障车门的位置、故障原因、检修方案推送给维护人员,维护人员可根据故障诊断信息快速定位故障车门,根据故障原因和检修方案提前准备必须的检修工具和预计的更换部件。

1.4.3 故障预测

系统会自动采集车门各类运行参数的数据信息并通过与车门历史数据的对比以及数据驱动的大数据分析方法,判断车门是否处于亚健康工作状态,预测未来可能发生的故障,并确定可能导致问题的部件位置及检修范围。维护人员可依据系统提供的故障预测信息,迅速定位处于亚健康状态的车门,并根据潜在问题的部件位置及建议的检修范围,提前对车门进行精确处理,以消除潜在故障。

1.5 故障诊断和故障预测种类

车门故障诊断信息如表 2 所示,表中仅为典型的车门故障诊断项点及其诊断标准和故障补救方法。

车门故障预测如表 3 所示,表中仅为典型的车门故障预测项点及其监测参数和故障预测条件。

表 2 车门故障诊断表

Tab. 2 Vehicle door fault diagnosis list

序号	故障诊断项点	诊断标准	故障补救方法
1	车门驱动电机电路断路故障	电机驱动车门运动过程中,未检测到相符电流值且门位置未改变	检查电机与车门控器之间的接插件;检查方法门控器的电机驱动电路和供电电路
2	车门 3 s 内未解锁故障	门驱动电机启动 3 s 后,锁到位开关依然指明车门锁到位,且车门位置传感器检测不到车门运动	检查车门驱动机构的自由运动、车门的调节、安全继电器的功能和车门控器的输出电路
3	车门未经许可离开开锁到位位置故障	车门在没有任何开车门进程的情况下,离开了开锁到位位置	检查紧急解锁装置钢丝绳松紧度,紧急解锁开关的调节;检查车门关到位开关安装位置;检查车门锁到位开关安装位置;检查车门控器输入线路

表 3 车门故障预测表

Tab. 3 Vehicle door fault prediction list

序号	故障预测项点	监测参数	故障预测条件
1	对中尺寸异常	① 电压;② 电流;③ 门位置或转速;④ 转角	通过电机曲线状态,阻力变化,结合数据挖掘等综合判断两车门页相对于车的位置偏差是否超过某一阈值
2	全程阻力异常	① 开/关车门时间;② 电流;③ 电压;④ 转速;⑤ 转角	通过电流、电压、转速 3 个参数的均方差、时域频域的特征值,并结合数据挖掘数据等综合判断
3	开/关门时间异常	开/关车门时间	开/关门时间超过预测值

车门故障预测原理,以对中尺寸异常为例,其规则建立过程包含以下 3 个方面:

1) 通过台架试验,采集车门正常状态及多种对

中尺寸异常下的开关门数据(每种状态至少 50 组数据);

2) 提取车门各种状态下车门数据特征,车门开

关门曲线分段(升速、高速平台、降速、缓行),提取每段数据的均值、标准差、最大值、最小值、峰度、峭度,组成每种状态的特征矩阵;

3) 通过 KMEANS 聚类算法,将正常特征矩阵与对中尺寸异常特征矩阵进行聚类分析。如两类数据的分离准确率高干预设阈值 0.8,则将聚类中心中距离较大的前 20 组特征取出来,同时添加上正常至异常状态的变化趋势作为规则进行存储。通常,对中尺寸异常做 3 组以上试验(对中 5 mm、7 mm、9 mm)形成三组规则。

对中尺寸异常诊断过程包含以下三点:

1) 选取前 300 条数据存储作为标定数据集;

2) 从实时运行中采集 50 组开关门数据,并按照规则构建流程中的方法,计算得到 20 组特征及变化趋势;

3) 将计算得到特征与趋势与已存储的规则进行比对,根据匹配的特征及趋势数量计算概率,最终选取概率最高的项点取出作为诊断结果。

2 应用情况

为提高地铁列车运行稳定性,我国部分地铁已经在客室侧门上成功应用了智能化管理技术。在实际应用中将远程在线监测、故障诊断及故障预测集成于大数据分析系统,系统共分为 5 个功能模块:(数据查询模块,对地区、线路及时间范围进行筛选;(车辆展示模块,对选中线路内的所有车辆统一平铺展示,并显示各列车未闭环告警数;(列车模型展示模块,展示选中列车的车门实时运行状态;(告警记录列表展示及告警记录数据支持模块;(数据统计分析展示模块。

3 结语

地铁列车客室侧门智能化管理技术,通过实时监测车门系统的工作状况和工作参数,并实时上传至地面服务器的大数据分析系统,利用与历史数据的对比及数据驱动的大数据分析法,实现对车门是否处于故障或亚健康状态的准确判断,进而为检修人员提供“故障修”或“状态修”的精确指导。

该智能化管理系统具备在车门故障没有发生前即进行提前检修与亚健康问题排除的能力,从而能有效降低车门故障率的发生,有效提高车门系统的运行稳定性。

参考文献

- [1] 王夫歌,邢宗义,秦勇,等.基于 WLSM 和 FWGM 的地铁车门故障危害性评估研究[J].组合机床与自动化加工技术,2015(6):36.
WANG Fuge, XING Zongyi, QIN Yong, et al. Study on fault harmfulness assessment based on WLSM and FWGM for metro door [J]. Modular Machine Tool & Automatic Manufacturing Technique, 2015(6):36.
- [2] 皇甫小燕,程祖国,王建兵.上海轨道交通列车车门故障时域特征分析[J].城市轨道交通研究,2012,15(7):30.
HUANGFU Xiaoyan, CHENG Zuguo, WANG Jianbing. Time-domain analysis on Shanghai metro train door failure [J]. Urban Mass Transit, 2012, 15(7):30.
- [3] 郭蕾,付志亮,成志刚,等.中国标准地铁列车车门系统统型化研究[J].铁道车辆,2022,60(3):87.
GUO Lei, FU Zhiliang, CHENG Zhigang, et al. Study on systematization of China standard metro train door system [J]. Rolling Stock, 2022, 60(3):87.
- [4] 陈卓.城市轨道交通设备维修策略研究[D].南京:东南大学,2020.
CHEN Zhuo. Research on maintenance strategy of urban rail transit equipment [D]. Nanjing: Southeast University, 2020.
- [5] 王众.地铁车辆维修模式浅谈[J].中国设备工程,2017(2):43.
WANG Zhong. Discussion on maintenance mode of subway vehicles [J]. China Plant Engineering, 2017(2):43.
- [6] 张春,李鹏程.基于状态维修的动车组关键部件寿命预测[J].铁路计算机应用,2015,24(7):1.
ZHANG Chun, LI Pengcheng. Key components life prediction of EMU based on condition-based maintenance [J]. Railway Computer Application, 2015, 24(7):1.
- [7] 武舒然.地铁车辆状态维修信息管理系统研究[D].北京:北京交通大学,2018.
WU Shuran. Research on condition maintenance information management system of subway vehicles [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2018.
- [8] 秦征,杨明辉,吴亮.地铁车辆门系统维修新技术[C]//2018 轨道交通·杭州湾高峰会议论文集.杭州:浙江省发改委,2018:185.
QIN Zheng, YANG Minghui, WU Liang. New maintenance technology of metro vehicle door system [C] // 2018 Rail Transit-Proceedings of Hangzhou Bay Summit. Hangzhou: Zhejiang Provincial Development and Reform Commission, 2018:185.

· 收稿日期:2022-11-10 修回日期:2023-02-09 出版日期:2025-03-10

Received:2022-11-10 Revised:2023-02-09 Published:2025-03-10

· 通信作者:魏圆良,高级工程师,sjc-weiyuanliang@tangche.com

· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议

© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license