

# 南宁轨道交通5号线车辆专家诊断系统的应用

罗志骁 赵磊通

(南宁轨道交通建设有限公司, 530022, 南宁//第一作者, 高级工程师)

**摘要** 介绍了由车载系统、地面大数据中心两部分组成的南宁轨道交通5号线车辆专家诊断系统。该系统基于计算机、传感器、通信和工业控制技术,并融合大数据、信息化技术,实现车载监测数据在地面的存储、整合、分析、展示和应用,能够有效提高车辆智能化水平,进一步提高故障处置效率、降低运维成本。

**关键词** 城市轨道交通; 车辆; 专家诊断系统

**中图分类号** U279.3<sup>+</sup>23

**DOI**:10.16037/j.1007-869x.2023.02.032

## Application of Vehicle Expert Diagnosis System in Nanning Rail Transit Line 5

LUO Zhixiao, ZHAO Leitong

**Abstract** The vehicle expert diagnosis system of Nanning Rail Transit Line 5, which is composed of on-board system and ground big data center, is introduced. Based on computer, sensor, communication and industrial control technology and integration of big data and information technology, the storage, integration, analysis, display and application of on-board monitoring data in ground center is realized, effectively improving the intelligent level of vehicles, and the fault handling efficiency and operation and maintenance cost reduction to a further extent.

**Key words** urban rail transit; vehicle; expert diagnosis system

**Author's address** Nanning Rail Transit Construction Co., Ltd., 530022, Nanning, China

南宁轨道交通5号线(以下简称“5号线”)车辆专家诊断系统通过传感器采集车辆的各种数据信息,在地面大数据中心分析车辆发送至该中心的数据(状态数据、故障数据、环境数据等),通过数据分析和挖掘,或借助各种推理算法和智能诊断及预测模型来监控、诊断和管理车辆的状态,评估车辆的健康程度,并通过与工单管理系统的数据接口实现车辆故障和维护工单的推送。将上述技术应用于车辆维修保障工作,构建车辆专家诊断系统,通

过对车辆当前状态的描述,以及对下一时段车辆状态和故障的诊断,达到减少维修费用、将灾难性故障的风险降到最小,以及减少备件库存量的目的,使车辆根据自身健康状况诊断评估后进行相应的维修工作,从而改善昂贵的、周期性的维修工作,最大可能地减少车辆故障的发生。

## 1 车辆专家诊断系统的功能需求

1) 车辆数据的实时监控:该系统借助车辆数据实时监控以及大数据平台数据分析与挖掘能力,不断完善算法模型,提高车辆故障预测的准确度,使专业人员快速进行故障诊断,形成准确解决方案并提供及时的指导和维修,压缩故障处置时间。

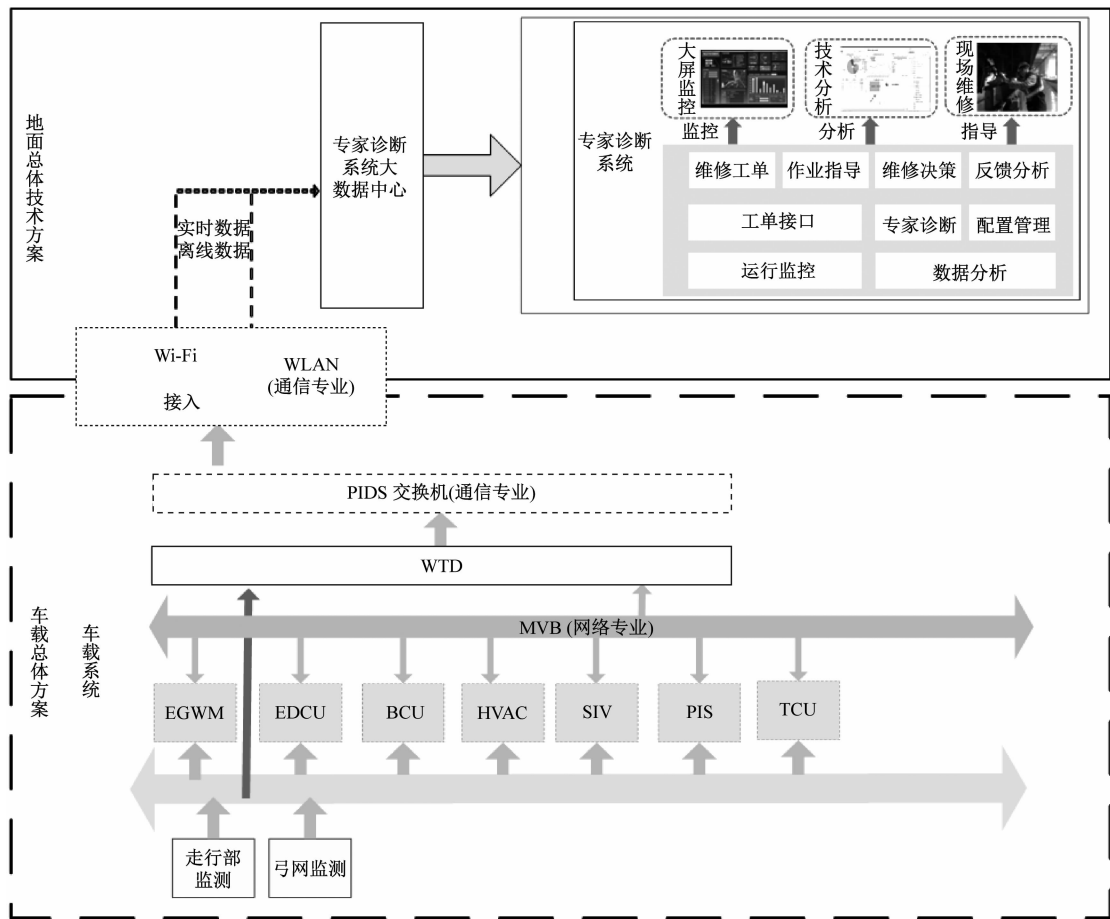
2) 车辆的智能运维需求:通过完整收集车辆各子系统数据,形成车辆运行过程中的数字模型,为车辆使用、车辆设计、故障总结等提供充足的数据支撑;运用大数据平台的技术手段,助力提升车辆整体设计。

3) 车辆检修现场管控能力:通过联动工单管理系统,减少人工干预流程,从而形成完整的故障发现—故障分析—工单派遣—故障处理的闭环流程。

## 2 车辆专家诊断系统的设计及功能分析

5号线车辆专家诊断系统包括车载和地面大数据中心两个部分。车载WTD(远程数据传输装置)通过网络专业的MVB(多功能车辆总线)和以太网获取车载数据,WTD连接PIDS(旅客信息显示系统)交换机,通过通信专业的WLAN(无线局域网)通道实现车地数据无线传输。在地面建设线路级大数据中心,依托大数据技术建设专家诊断系统。车辆专家诊断系统总体框架见图1。

车载子系统由TCMS(列车控制与管理系统)、弓网监测系统及走行部监测系统组成,其通过MVB和以太网传输传感器将监测数据传输到WTD。WTD负责采集车载监测子系统收集的信息,并通



注:EGWM 为网安模块;EDCU 为电子门控单元;BCU 为制动控制单元;HVAC 为暖通空调;SIV 为辅助逆变器;PIS 为乘客信息系统;TCU 为牵引控制单元。

图 1 车辆专家诊断系统总体框架

Fig. 1 Overall framework of vehicle expert diagnosis system

过既有 WLAN 车-地传输通道将信息发送至地面大数据中心。

地面大数据中心汇集车载数据,综合分析、评价车辆及其部件状况,推送分析诊断结果至车辆检修管理系统,并提供其应用展示。

### 2.1 车载系统设计

5 号线车载系统由 TCMS、弓网监测系统和走行部监测系统等组成。在每列列车 Tc(带司机室的拖车)1 车安装 1 套车载信息 WTD 作为专家诊断系统车载诊断主机。WTD 支持以太网和 MVB 接口。

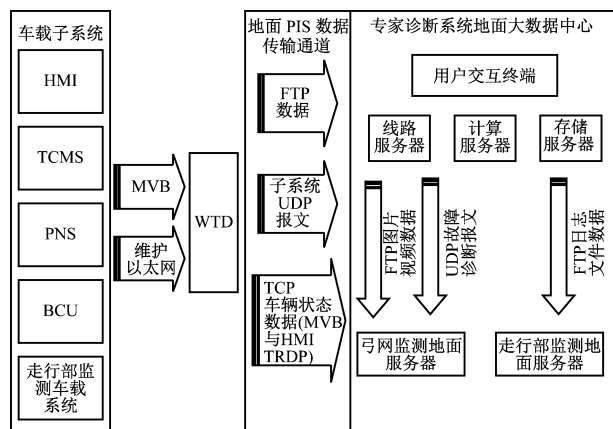
车载子系统产生的数据主要分为 2 类,分别是:

1) 实时故障报文类数据:WTD 通过 MVB 网络监听 MVB 端口数据,以获取列车和各子系统(车门、空调、制动、牵引、辅助、PIS)的实时状态和故障,同时通过正线无线网络按照 1 s 周期定时向地面线路采集服务器发送的实时数据,实现在地面实时监测 FAO 车辆运行状态的目标。

2) 离线文件类数据:车门、走行部、空调、制动、牵引、辅助和弓网等系统通过车载以太网将需要在地面分析的离线数据发送至 WTD,WTD 根据离线数据的实时性要求按照一定的周期将其发送至地面线路采集服务器。离线数据周期根据子系统的地面分析需求确定,离线数据传输通常包括正线运营时传输和库内 WLAN 传输。WTD 的以太网数据支持 FTP(文件传输协议)和 UDP(用户数据包协议),其数据格式支持文件和 UDP 报文。车辆专家诊断系统传输拓扑见图 2。

### 2.2 地面系统设计

5 号线车辆专家诊断系统通过车载数据采集及车地无线传输实现数据落地到地面大数据中心,将基于场景的车载监测数据、检修业务数据有效耦合,对车辆状态特征和运行机理进行深度挖掘,实现列车状态感知与跟踪、故障诊断、健康状态评估



注: HMI 为人机接口界面; PNS 为弓网检测车载主机; TCP 为传输控制协议; TRDP 为列车实时数据通信协议。

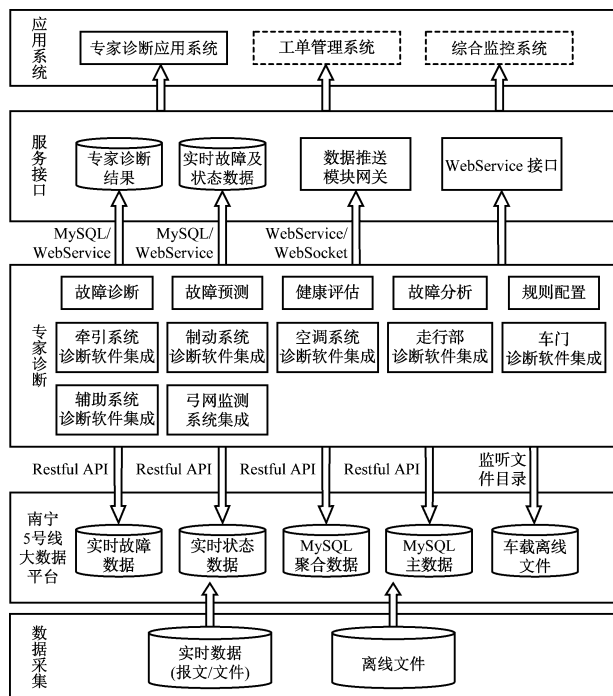
图 2 车辆专家诊断系统传输拓扑

Fig. 2 Transmission topology of vehicle expert diagnosis system

等目标, 保证列车安全可靠、提效节能及精准管理。

### 2.2.1 地面系统架构

5 号线车辆专家诊断系统中地面系统的架构是由数据采集、大数据平台、专家诊断模块、服务接口及应用系统等部分构成, 见图 3。



注: MySQL 为一种数据库产品; WebService 为全球广域网服务; WebSocket 为一种在单个 TCP 连接上进行全双工通信的协议; Restful 为一种网络应用程序的设计风格 and 开发方式; API 为应用程序编程接口。

图 3 车辆专家诊断系统中地面系统架构

Fig. 3 Architecture of the ground system in vehicle expert diagnosis system

大数据平台包含云计算的 3 层框架, 分别为: IaaS (基础设施即服务)、PaaS (平台即服务) 和 SaaS (软件即服务)。大数据平台的主要内容:

1) 以可视化工具为基础, 实现后续各种应用系统的页面快速构建与部署。

2) 集成 ETL (数据抽取、转换和加载) 任务调度工具、关系型数据库、NOSQL 数据库、消息队列、Hadoop (一种分布式系统基础架构) 分布式文件存储及容器等配套基础软件服务。

3) 构建以车辆和运营检修为基础的大数据平台数据层模型, 将所有结构化和非结构化数据构建模型, 解决算法、数据质量、统计口径及机器学习等技术难题。

4) 以 Docker 容器技术集成第三方供应商挖掘应用, 合理分配 CPU (中央处理器) 计算、存储、内存和虚拟中间件等资源。

5) 标准化的数据采集接口, 在面对各种第三方与车辆复杂异构的数据类型时, 提供不同数据采集接口标准与技术, 实现数据实时和离线的多数据源接入能力。

6) 具有数据预处理与整合处理能力, 在预处理中对车载系统实时传输至地面的数据进行协议解析且将其转换为业务数据存入数据库, 并对不同线路的协议版本进行可配置化管理。

### 2.2.2 车辆智能运维地面系统功能

车辆智能运维地面系统功能主要由运行监控、子系统模块、故障管理、整车分析、运营指标分析、车辆履历管理、备品备件管理、文件管理、系统管理等主要模块组成。该系统可实现车辆的实时状态监控与历史数据的统计分析, 从各个维度对车辆数据进行集中展示, 并通过其与检修业务系统的工单接口, 为工单派发、故障处理提供数据支撑, 为运营决策提供参考依据。

#### 2.2.2.1 运行监控

1) 线路监控。线路监控的主要功能是通过图形化界面实时了解列车运行状态, 分析各条线路故障及列车运行情况。线路监控的全局操作主要是通过全局数据查看列车运行状态, 通过点击页面查看列车运行的详细信息。线路监控界面还包括在线列车数、离线列车数、总车数、车辆总里程显示, 以及近 12 个月的全网车辆正线故障率和车辆可靠度指标两个统计表格。

2) 状态预览。状态预览的主要功能是查看线

路各列列车的运行状态及部分重要参数信息,每列列车信息以卡片的形式进行显示,可根据列车状态或列车运行模式进行筛选。在本模块中,筛选条件有两个,一个是根据列车状态筛选离线和在线车辆,另一个是根据列车运行模式筛选符合条件的列车。

3) 车辆监控。车辆监控展示车辆所有信息,包括车辆基础信息以及各个子系统的一些重要参数。可在车辆监控界面选择线路号和列车号,通过不同的页面切换查看不同系统的统计信息。

4) HMI 同屏。HMI 同屏实时展示车辆上司机 HMI 屏幕信息,包括司机屏幕能看到的所有车辆实时状态:下一站、终点站、速度、网压、网流,以及车辆重要系统的显示状态、司机台指示灯等。同时 HMI 同屏还包括各个子系统,如旁路监控、空调、牵引系统、制动系统、辅助系统的重要状态。

5) 故障监控。从车辆和子系统维度对故障数量进行统计,每列列车信息以卡片形式展示,对故障进行高亮提示,并展示当前的实时故障信息列表。

#### 2.2.2.2 子系统

1) WTD 通过 MVB 采集空调、牵引、辅助、制动、车门、烟火报警、PIS 等子系统数据,并将其传输至地面系统进行处理和展示。每个子系统都可根据用户所选择的线路、列车及时间段,查询各个车厢的实时状态信息以及统计故障信息。

2) WTD 通过 MVB 网络和车载以太网采集弓网和走行部监测子系统的报文及文件,将其传输至地面系统接收处理后,地面系统分发数据至弓网和走行部的地面分析系统,由该子系统进行分析后将结果数据传输至车辆专家诊断系统中的地面系统进行统一展示。

#### 2.2.2.3 故障管理

故障管理由当前故障、历史故障、故障管理和故障清单模块组成。可根据列车号、所属系统、故障等级、故障时间段进行当前和历史故障信息的筛选,并能查看对应故障的详细故障信息,能选择想展示的故障信息列,提供故障信息批量导出的功能,点击查看详情后会给出故障的详细描述和处置建议。当系统检测到车辆有故障发生,不论用户处于任何界面,右下角都会出现弹窗提示。

#### 2.2.2.4 整车分析

整车分析由趋势分析与可靠性分析组成。趋势分析模块可选择任意车辆参数,在不同时间维度

下生成趋势图表,并提供下载功能;可靠性分析模块可根据用户选择的查询条件,展示列车整车及子系统 MTBF(平均故障间隔时间)、MDBF(平均故障间隔距离)信息,并统计子系统 MTBF、MDBF 的同比和环比指数,以及提供下载功能。

#### 2.2.2.5 运营指标分析

运营指标分析由故障统计、里程统计和能耗统计组成。故障统计主要对故障进行统计,根据用户查询条件,使用图表形象化展示故障统计数据变化,包括子系统故障统计、车辆故障统计及故障数量同比、环比、故障率等;里程统计主要是根据用户所选择的月份查询出每条线路的总里程、月里程、日均里程、当月最高里程、里程变化趋势及列车每月里程统计等数据;能耗统计以线路与月份作为区间范围,从月份、年度、车辆等维度,统计公里能耗、总能耗、辅助能耗、再生能耗以及能耗的同比与环比等指标,反馈线路与车辆的能耗情况。

### 3 车辆专家诊断系统在 5 号线的应用

本文基于 5 号线车辆项目,全面调研并分析验证车辆专家诊断系统在其检修智能运维方面的运用效果,总结得出:车辆专家诊断系统依托于大数据等技术实现了正线运行车辆的状态监控及故障实时预警功能,提升了车辆的故障处理效率。同时,该系统存在以下问题:

1) 车辆实时运行状态数据及故障数据量庞大,数据传输的准确性和可靠性依然不足。针对此类问题,可以通过建立车辆与本系统间的可靠传输,通过可靠传输协议、失败重传和车辆本地数据缓存等方式,保证传输的可靠性与可达性;同时大数据分析与计算必然带来海量数据,其中难免会产生失真数据,可通过布隆过滤器等大数据常用数据清洗手段剔除失真数据,提高原始数据的准确性,为大数据计算提供可靠的数据支撑。

2) 车辆专家诊断系统的应用还处于起步阶段,车辆寿命周期内重要部件的状态预测仍需庞大数据的支持,且预测的准确性亦需进一步验证,即需在一段时间内不断对算法模型进行重新标定与修正,以提高数据耦合以及数据分析与预测的准确性。

3) 随着数据量增多,可能出现车辆专家诊断系统算力瓶颈与容量瓶颈。为了保证数据的高效录入与计算结果准确、快速的输出,需要该系统支持其横向扩展。物理层面上,该系统支持物理机的横

向扩展,支持新的物理节点加入;软件层面上,该系统需要支持计算、存储节点的横向扩展,可通过容器编排的手段灵活配置节点与利用硬件资源。

## 4 结语

本文设计的5号线车辆专家诊断系统由车载系统与地面系统组成,车载监测数据通过车辆MVB和以太网网络传输,由无线传输装置WTD采集,经既有WLAN车地无线传输通道落地,在地面大数据中心实现车载监测数据的存储、整合、分析及展示,并将分析诊断结果推送至业务检修系统,能够有效减少正线故障发生后的信息流转环节,缩短正线抢修反应时间,提高车辆智能化水平。同时通过车辆专家诊断系统,可对正线运行的车辆数量、车辆健康状况、运营能耗等多个维度的信息一目了然,为车辆精益化管理提供实时数据支撑,实现城市轨道交通高效、安全运营。

## 参考文献

- [1] 杨培盛,董先鹏,侯飞,等.城市轨道交通车辆远程专家诊断系统设计和应用[J].现代城市轨道交通,2021(4):25.

YANG Peisheng, DONG Xianpeng, HOU Fei, et al. Design and application of remote expert diagnosis system for urban rail transit vehicles[J]. Modern Urban Rail Transit, 2021(4): 25.

- [2] 陈骁.城市轨道交通车辆在线监测与诊断系统研究[J].电子测量技术,2019,42(20):104.

CHEN Xiao. Research on on-line monitoring and diagnosis system for urban rail transit vehicles[J]. Electronic Measurement Technology, 2019, 42(20): 104.

- [3] 刘述芳.城市轨道交通关键设备智能运维系统初步建构[J].设备管理与维修,2018(增刊1):22.

LIU Shufang. Preliminary construction of intelligent operation and maintenance system for key equipment of urban rail transit[J]. Plant Maintenance Engineering, 2018(S1): 22.

- [4] 李球,朱士友,龙静.地铁车辆在线监测系统的设计和应用[J].城市轨道交通研究,2013,16(11):45.

LI Qiu, ZHU Shiyou, LONG Jing. Design and application of metro train in online monitoring system[J]. Urban Mass Transit, 2013, 16(11): 45.

- [5] 白广利,纪彬.远程专家诊断系统的应用研究[J].自动化技术与应用,2011,30(6):41.

BAI Guangli, JI Bin. The application of remote experts diagnosis system[J]. Techniques of Automation and Applications, 2011, 30(6): 41.

(收稿日期:2022-10-27)

(上接第140页)

运营单位提供借鉴。

## 参考文献

- [1] IEC. Railway applications — urban guided transport management and command/control systems; IEC 62290:2004[S]. Geneva: IEC, 2004.

- [2] International Association of Public Transport. A global bid for automation; UITP observatory of automated metros confirms sustained growth rates for the coming year[EB/OL]. [2012-12-13] [2021-09-29]. [https://metroautomation.org/wp-content/uploads/2012/12/Automated\\_metros\\_Atlas\\_General\\_Public\\_2012.pdf](https://metroautomation.org/wp-content/uploads/2012/12/Automated_metros_Atlas_General_Public_2012.pdf).

- [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部.地铁设计规范:GB 50157—2013[S].北京:中国建筑工业出版社,2014. Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Code for design of metro: GB 50157—2013[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2014.

- [4] 周衡,仲思东.基于视频图像的水位监测方法研究[J].半导体光电,2019,40(3):390.

ZHOU Heng, ZHONG Sidong. Research on water level monitoring

based on image processing[J]. Semiconductor Optoelectronics, 2019, 40(3): 390.

- [5] 贾文超,张齐,莫爵同.地铁隧道中全站仪自动化监测控制网布设及复测技术研究[J].广东建材,2021,37(6):34.

JIA Wenchao, ZHANG Qi, MO Juetong. Research on the layout and re-measurement technology of automatic monitoring control network of electronic total station in metro tunnel[J]. Guangdong Building Materials, 2021, 37(6): 34.

- [6] 罗海涛.基于“BIM+GIS”的运营城市轨道交通交通安全监测与评估[J].铁道勘察,2021,47(4):33.

LUO Haitao. Research on safety monitoring and evaluation of urban rail transit based on 'BIM + GIS'[J]. Railway Investigation and Surveying, 2021, 47(4): 33.

- [7] 郑艳,金鑫,侯林锋,等.既有线车站及区间隧道保护的自动化监测技术应用分析[J].地矿测绘,2022,38(1):9.

ZHENG Yan, JIN Xin, HOU Linfeng, et al. Application analysis of automatic monitoring technology for existing railway station and section tunnel protection[J]. Surveying and Mapping of Geology and Mineral Resources, 2022, 38(1): 9.

(收稿日期:2022-09-26)