

地铁工程运营期全自动驾驶维护

莫志刚, 骆汉宾

(华中科技大学 土木工程与力学学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 本文从地铁工程全自动驾驶技术出发, 深入探讨与全自动驾驶相关的车辆、通信信号、综合监控专业的综合联动模型。为保障地铁全自动驾驶系统的安全性及高可靠度, 全自动无人驾驶系统中的综合维修诊断系统需要具有较完善的自诊断能力, 对中心、车站、轨旁、车载以及车-地通信等设备进行实时监督, 并能够实现远程故障报警和维护信息的综合管理分析。文章提出全自动驾驶综合自动化系统设计的架构及基于状态预测的设备动态预警机制, 并以地铁空调风机故障诊断为例, 对风机的正常运行阶段、故障初期状态、故障高发阶段进行动态预警测试, 仿真结果与现场实际情况一致, 可以为检修人员提供预防处理时间, 避免严重的故障事故发生, 降低事故故障对运营的影响。

关键词: 全自动驾驶; 深度集成; 故障诊断; 隧道风机

中图分类号: U231+.94 文献标识码: A 文章编号: 2095-0985(2018)03-0129-06

DOI:10.13579/j.cnki.2095-0985.2018.03.021

Maintenance of Rail Transit in Revenue Service Regarding Fully Automatic Operation

MO Zhi-gang, LUO Han-bin

(School of Civil Engineering and Mechanics, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: Based on Fully Automatic Operation (FAO) of rail transit, this article analyzed an FAO-related model, which combined Rolling Stock, Communicating, Signaling as well as Integrated Supervisory Control System (ISCS) as a comprehensive jointly control system. Since an FAO system required a high level of safety and reliability, the embedded integrated maintenance system was supposed to have advanced ability to diagnose and alarm any failure occurred in Operation Control Centre (OCC), station, trackside, car borne or communicating system in real time, and was capable to process maintenance data. The article presented a design frame regarding FAO and Traffic Control Integrated Automation System (TIAS), and a dynamic alarming mechanism based on device status. The tunnel fan was introduced as an example. Simulations were activated on the regular operation, pre-failure and typical failure phase for dynamic alarming testing. The testing result was in line with the reality of daily operation. The design could be an efficient vehicle to assist staff detecting failure earlier, to avoid the occurrence of severe accident and alleviate the impacts of revenue service.

Key words: FAO; comprehensive integration; failure diagnosis; tunnel fan

全自动驾驶(Full Automatic Operation, FAO)是指将列车驾驶员执行的工作完全交由自动化的、高度集中控制的列车运行系统完成。全自动驾驶系统通常具备列车自动唤醒、启动和休眠、自

动出入停车场、自动清洗、自动行驶、自动启停车、自动开关车门等功能, 并具有常规运行、降级运行和灾害工况等多重运行模式^[1]。文献[2]中, 将轨道交通自动化分为GOA0 (Grade of Automa-

收稿日期: 2017-07-12 修回日期: 2018-01-24

作者简介: 莫志刚(1974-) 男, 湖南桃源人, 博士研究生, 研究方向为工程管理(Email: mozigang@163.com)

通讯作者: 骆汉宾(1963-) 男, 湖北武汉人, 博士, 教授, 研究方向为工程管理、BIM(Email: luohbcm@hust.edu.cn)

基金项目: 国家“十三五”重点研发计划先进轨道交通重点专项(2016YFB1200401-102B)

tion) ~GOA4 共 5 个等级 ,轨道交通自动化等级如表 1 所示 ,GOA3 ,GOA4 为全自动驾驶模式。城市轨道交通全自动驾驶系统利用现代通信、自动控制、计算机技术 ,全面提升轨道交通的可靠性、安全性、可用性、可维护性 ,提高运行效率及整体自动化水平 ,实现城市轨道交通的最佳化运行。

表 1 轨道交通自动化等级

运营维护项目	基本功能	GOA0	GOA1	GOA2	GOA3	GOA4
列车运行安全	安全进路	人工	系统	系统	系统	系统
	列车间隔控制	人工	系统	系统	系统	系统
	速度监控	人工	人工	系统	系统	系统
列车驾驶	加减速调整	人工	人工	系统	系统	系统
	障碍物检测	人工	人工	人工	系统	系统
轨道监测	与人员碰撞	人工	人工	人工	系统	系统
	车门及站台门控制	人工	人工	人工	人工	系统
乘客监控	乘客意外行为	人工	人工	人工	人工	系统
	列车安全启动条件	人工	人工	人工	人工	系统
列车监控	列车进入、退出运营	人工	人工	人工	人工	系统
	列车状态监测	人工	人工	人工	人工	系统
危险检测	列车诊断;烟火、脱轨检测、应急疏散监督	人工	人工	人工	人工	系统 + 人工

1 概 述

我国城市轨道交通发展迅速 ,截至 2017 年末 ,全国城市轨道交通运营里程达到 3965 km; 全国有 31 个城市建设轨道交通 ,总在建里程近 4000 km^[3]。随着线网的加密 ,客流负荷增大 ,对轨道交通的建设、运营、维护提出了更高的要求 ,

跟踪、发展全自动驾驶技术具有现实的必要性和迫切性。

全自动驾驶模式运用列车自动控制系统 (Automatic Train Control ,ATC)^[4,5] 和综合监控系统 (Integrated Supervisory Control System ,ISCS)^[6,7] ,并结合人工监视、干预机制 ,在落实列车高精度运行的同时 ,减少不必要的人为操作失误。ISCS 通过建立运营预案 ,在紧急情况下快速反应 ,实现车辆、信号、通信系统 ,以及车站、区间的完善诊断、故障定位及报警功能等方面 ,提高对灾害、事故等的应急处理能力 ,保证全自动驾驶模式的实现 ,线路正常运行、乘客人身安全 ,并以提高整个线路体系防灾及车辆通过能力为根本目的。ISCS 是基于集成技术的、服务于轨道交通运营与管理的、实时和安全的自动化系统 ,集成系统的建设可按集成度及安全度的不同划分不同层次模型 ,标准定义的集成模型一般包括过程集成模型、信息交换集成模型和资源集成模型等。

全自动驾驶模式下的 ISCS 集成系统 ,应按严格意义上的全集成模型进行建设。目前逐步推广应用的行车综合自动化系统 (Trafficcontrol Integrated Automation System ,TIAS) 是一种全集成应用系统。TIAS 系统在原有集成互联 BAS (Building Automation Syste) ,PSCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) 等系统的基础上 ,将信号系统中的列车自动监督系统 (Automatic Train Supervision ,ATS) 、车辆等系统进行有效集成 ,形成以行车指挥为核心的综合自动化系统。其集成范围如图 1 所示。

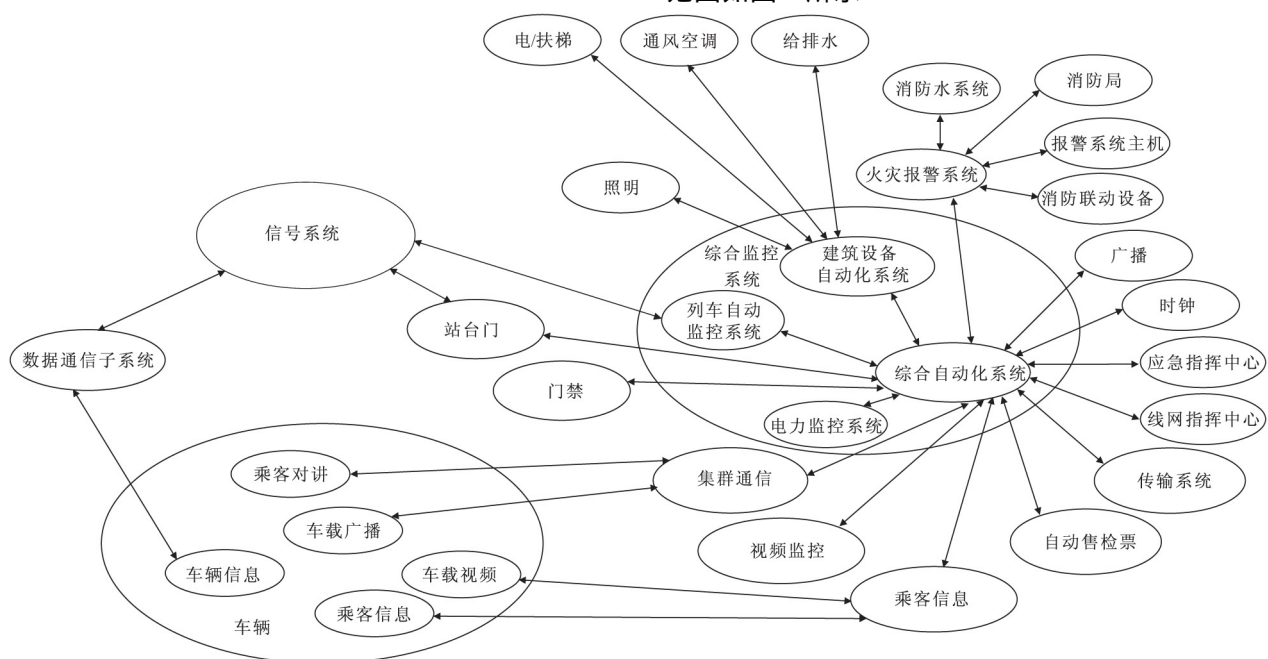


图 1 全自动驾驶集成范围

在全自动驾驶模式中,由于系统集成度和复杂度的增加,可能的故障点和故障类型也越来越多。同时现有各专业的状态监测和维护也没有一个统一的标准,设备监测信息不够全面,监测及报警信息分散,各系统之间也不能共享监测信息,形成“信息化孤岛”,不利于事故的快捷分析。鉴于全自动无人驾驶系统中应用的综合自动化系统技术,有必要对各集成系统的维护维修诊断功能进行合理的集成,同时基于统一的维修诊断集成系统平台^[8,12]运用大数据分析技术,建立以状态监测、故障诊断、数据分析、维护管理为目标的综合维护诊断系统。

2 全自动驾驶的综合维护诊断需求

全自动驾驶系统中的综合维修诊断系统需要具有较完善的自诊断能力,包括对中心、车站、轨旁、车载以及车-地通信等设备进行实时监督和故障报警,同时能够实施远程故障报警和维护信息的综合管理分析能力。具体体现在如下几个方面:

(1) 状态监测: 系统能够实时监测系统设备的运行状态并及时报警,并提供详细的故障位置、设备编号、故障类型等,同时提供快捷的维护辅助决策。

(2) 故障诊断: 系统能够辅助快速定位故障,并迅速执行维护作业。通过分析故障特征,结合历史专家经验,采用故障树分析手段形成故障特征库。故障发生后可以直接调取故障特征库查阅

相关参数的异常变化,实现快速故障定位。

(3) 预防性维修: 为减少故障维修的概率,以相关维修标准为基础,通过大数据统计分析策略提供指导性的维修策略。

(4) 预测性维修: 运用保存在企业基础信息系统(综合监控、车辆运行、企业级实时数据库等)中的设备原始海量运行数据,通过数据挖掘技术中的多元回归、主分量分析等技术,在相似性理论支持下,转化成动态的设备在线模型。通过大数据分析平台、故障预测分析系统,将动态设备模型计算生成的实时预估值和设备测点的实测值进行比较,并根据比较结果发布设备早期故障状态预警。

(5) 维修跟踪: 为维护过程提供一个发现问题—处理问题—解决问题—问题反馈的闭环跟踪工作机制。

(6) 资产管理: 全生命周期内对设备的使用、维修与报废进行监测和处理,及时更新资产的使用情况。

3 系统架构设计与实现

3.1 架构设计

按照前述基本需求,结合基于全集成的全自动驾驶系统中的综合自动化系统设计,整个维护诊断系统可以划分为设备层、服务层、监测层、决策层。各层次结构组成如图2所示。

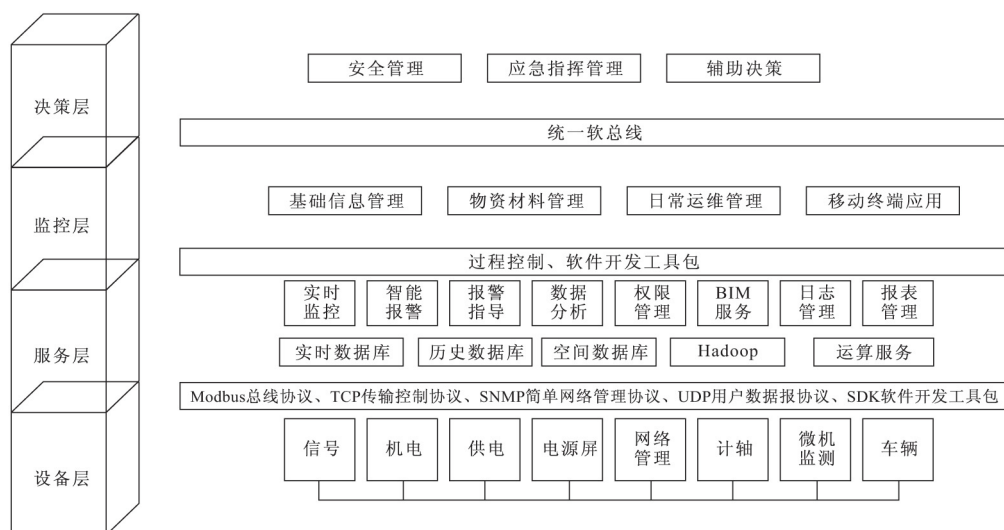


图2 综合维修系统架构

(1) 设备层: 数据采集层是所有被集成系统维护数据的基本来源。对于已经纳入综合自动化系统的各专业如供电、机电专业可以直接通过内部软总线实现数据共享;对于其他辅助系统,如计

轴、微机监测、电源屏等,则可以设置采集器进行接口通信转换,实时获取设备维护数据。接口位置一般在各子系统的维修终端提供的网络端口或者下位主机的维护数据端口。

(2) 服务层: 系统服务层实现实时服务功能的管理、历史数据和操作记录的存放及归档管理, 并通过 API(Application Programming Interface) 或 SQL(Structured Query Language) 接口实现与外部系统的接口; 同时为支持大数据分析, 该层与 Hadoop 集群之间采用文件接口方式实现大数据的数据转移, 以便实现维护大数据的挖掘分析功能。

(3) 监测层: 应用监测层是综合维护维修系统的关键环节, 由监测工作站、应用分析工作站以及移动终端组成, 并分别执行相应的功能。监测工作站主要负责所有运行设备的实时状态监视和报警显示、报表生成、操作记录等; 同时承担系统维护管理如维护计划、工单管理、备件管理、资产状态更新等管理性工作; 应用分析工作站主要完成事故事后分析和故障预测分析, 包括大数据分析结果展示。

(4) 决策层: 决策层主要完成重大事故故障的辅助决策和应急指挥, 协调多方力量参与解决, 以及日常安全管理。

在综合维修诊断系统中, 为方便统一管理和共享各系统的维护信息, 维护诊断系统的各层之间采用内部标准软总线技术实现基于数据单元技术的可靠数据交换机制; 同时为了保证数据的安全性和可靠性, 对于关键设备如实时服务器、本地历史数据服务器采取热备冗余配置方式, 在任意时间只有一台服务器处于主用状态, 另一台服务器处于备用状态, 主用服务器和备用服务器之间始终保证数据的同步和一致性, 在应用监测层任何应用可以从任意一台服务器请求数据。

3.2 系统实现

按照如上架构设计, 整个综合维修诊断系统的数据流如图 3 所示。

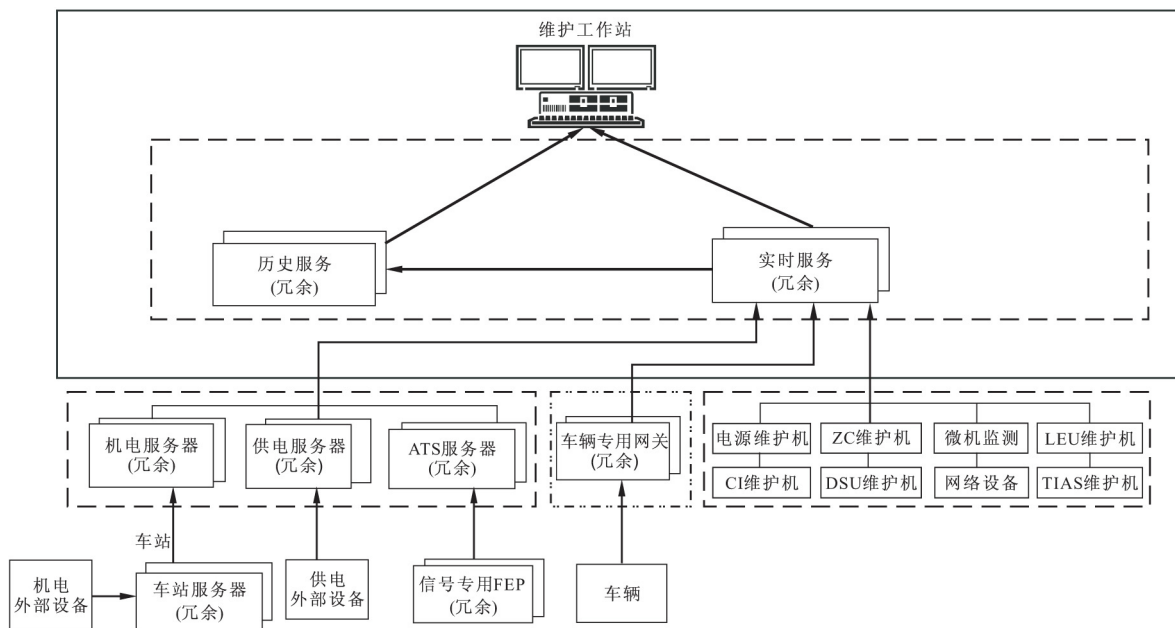


图3 综合维修诊断系统的应用数据流

(1) 维修实时服务器

实时服务器整合原信号系统的维修支持系统(Maintenance Support System, MSS) 和综合监控专业的设备维护系统, 均采用冗余配置。通过维护网收集来自信号专业(计算机联锁 Computer Interlock, CI)、轨旁设备、数据传输网、轨旁电子单元(Line Electronic Unit, LEU)、电源、计轴、微机监测的信息; 通过 ATC 网收集来自信号专业的车载控制器的信息; 通过 ISCS 网络收集来自 ISCS 设备运行状态信息、车辆的运行状态信息、智能网络电源控制器信息、以及软件模块的运行状态; 通过 ATC 网、ISCS 网、维护网来监测网络交换机运行状态等信息。

(2) 历史服务器

配置的磁盘阵列用于存储系统的报警数据、维护数据、操作记录等数据。磁盘阵列采用冗余配置, 并可将历史数据导出至外部存储设备以便长期保存。

(3) 维护工作站

位于维修中心的维护工作站, 通过网络连接到实时服务器, 获取供电、机电、车辆、信号(计算机联锁、区域控制器(Zone Control ZC)、车载控制器、数据存储单元、数据传输系统(Data Communication System, DCS)、LEU)、电源、计轴、微机监测等外部设备状态, 提供报警显示和维护操作的人机界面; 位于控制中心网管室的网管工作站, 通过

网络连接到维修实时服务器,获取网络设备状态,提供报警显示和维护操作的人机界面。位于控制中心网管室的工程师站,实现设备软件管理功能,提供报警显示和维护操作的人机界面。位于各设备集中站信号设备室、维护部、项目部、停车场车载维护部、停车场信号设备室、控制中心网管室的维护工作站,通过网络连接到实时服务器,获取信号设备及内部设备状态,提供报警显示和维护操作的人机界面。

3.3 预测性维修分析

在传统的综合维修系统中,设备状态的监视与故障报警是其主要功能。随着人工智能和大数据技术的发展,在深度集成的系统中,大量的直接或间接性的实时设备监测数据汇总在一起并归入历史数据库统一管理,这就为预测维修奠定了较好的数据基础。因此,基于状态预测的设备动态预警是一种新颖的维修方式。

在城市轨道交通领域中,适用于故障预测分析的设备主要有车辆、轨道线路、通风设备、供电、信号以及IT设备,其一般具备传感器测点或监测的条件;监测数据具备连续性,且数据具有波动的特性。对于该类设备进行动态预警一般按照如下处理流程进行。

(1) 模型建立:针对采集到的大量设备监测数据建立监测模型,以便计算模型预测实时状态,并分析模型预测实时状态与正常状态的对比,确定模型预测与正常状态的权值关系。

(2) 状态预估:根据相似性原理计算模型的实时预估值。每个测点的实时预估值取决于该监测点的历史运行规律和其他间接监测点的关联相似度。

(3) 动态预警:基于预测模型计算生成的状态预估值形成动态的报警带,通过实时预估的变化发现设备存在的异常征兆。

通过故障预测模型,相较于传统的固定报警上限的状态监测,可以根据设备所有关联监测点建立模型,实现设备劣化状态的早期预警,以便检修人员提前制定检修计划,及时对设备进行相应检修,使设备恢复正常的运行状态,减少设备故障造成的损失。

按照上述思路,收集某空调风机的历史数据进行故障预测报警分析。根据监测设备对象特性,我们收集空调风机的电机轴承震动、轴承温度和风机电流,建立各测点的预估模型,然后投入仿真运行,如图4所示。

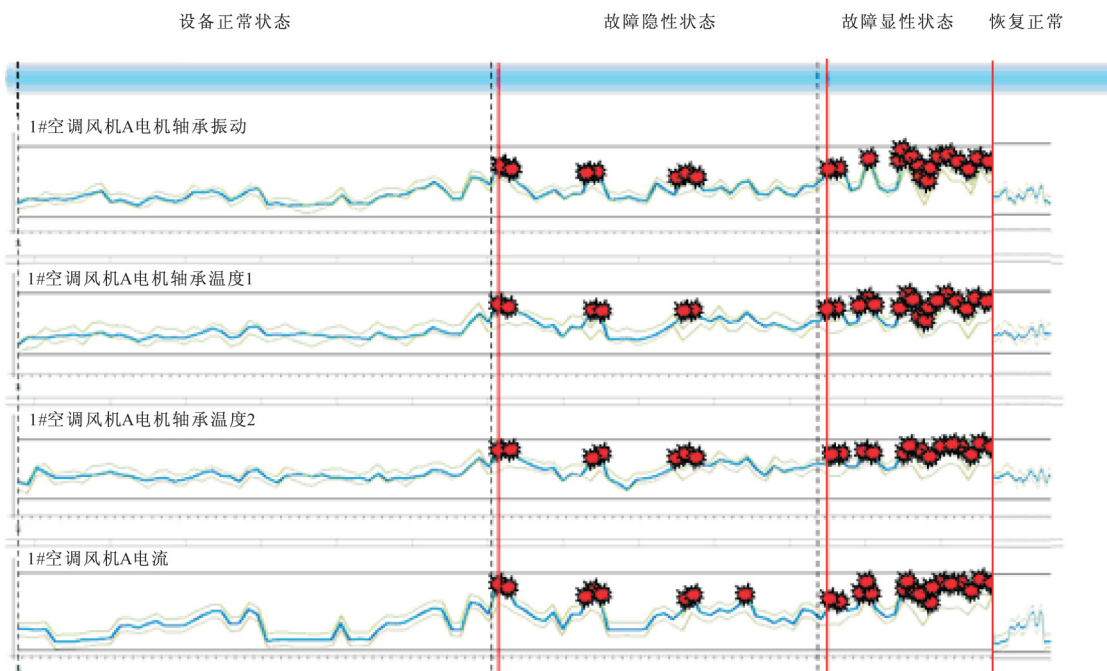


图4 风机动态预警曲线

图4中蓝色曲线代表模型预测结果,灰色曲线代表动态报警区间。风机经历了正常运行阶段、故障初期状态、故障高发阶段,直至超过报警限值导致停机故障。在正常运行阶段,预测结果基本都处于动态预警带内部;在故障隐性阶段,预

测结果偶尔超出预警带;在故障显性阶段,预测结果大部分超出预警带,整个仿真运行与实际结果基本一致。

从仿真运行结果可知,基于模型预测的动态预警能够为检修人员提供一定的预防处理时间,

如果处理得当,可以避免严重的故障发生,降低故障对运营的影响。

4 结 语

随着全自动驾驶技术的不断推广应用,基于全集成的综合维修诊断系统为设备维修诊断提供了更深入、更全面的分析手段,打破了以往各专业维修诊断的信息化孤岛,实现了各专业维修诊断数据的整合和共享,提高了维修诊断效率。随着大数据技术的快速发展,将故障预测和健康管理技术应用于轨道交通系统的维修诊断系统,建立以综合维护管理为目标的城市轨道交通系统健康维护体系是下一个研究热点。

参 考 文 献

- [1] 王曰凡. 全自动无人驾驶系统——全新理念的城市轨道交通模式[J]. 城市轨道交通研究, 2006, (8): 1-5.
- [2] IEC62290-1-2006, Railway Applications-Urban Guided Transport Management and Command/Control Systems-Part 1: System Principles and Fundamental Concepts[S].
- [3] 王 颢. “十二五”期间城市轨道交通产业发展回顾[EB/OL]. [2017-12-01]. http://gjss.ndrc.gov.cn/zftp/xyqzlxhg/201712/t20171221_871242.html
- [4] 肖 衍, 苏立勇. 全自动驾驶信号系统功能需求分析[J]. 铁道通信信号, 2014, 50(12): 39-42.
- [5] 徐 杰. 城市轨道交通 CBTC 系统列车自动驾驶关键技术的研究与实现[D]. 北京: 中国铁道科学研究院, 2012.
- [6] 魏晓东. 现代自动化技术在城市轨道交通中的应用[J]. 自动化博览, 2003, (4): 6-11.
- [7] 莫志刚. 综合监控系统项目实施过程的关键点[J]. 城市轨道交通研究, 2013, (12): 9-13.
- [8] Shanghai Shentong Metro Group Company. Construction of Urban Rail Transit and Operation Technology[M]. Shanghai: Tongji University Press, 2007.
- [9] 杨文轩. 基于大数据的城轨信号系统健康维护平台研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2016.
- [10] 魏晓东. 地铁综合监控系统建设的关键问题分析[J]. 自动化博览, 2009, (5): 14-37.
- [11] 朱焯中. 城市轨道交通自动监控系统的互联互通技术方案[J]. 城市轨道交通研究, 2012, (4): 19-23.
- [12] 李 钢. 依托综合监控提升地铁管理水平[J]. 城市轨道交通研究, 2013, (12): 18-20.
- [13] 谭熙静, 何正友, 于 敏, 等. 基于 DFTA 的地铁车站级综合监控系统可靠性分析[J]. 铁道学报, 2011, 33(7): 52-60.
- [14] 蒋晓明. 地铁综合监控系统运行和维护模式探讨[J]. 中国高新技术企业, 2012, (16): 97-98.
- [15] 施 计. 中央级综合监控系统故障时的降级运行方案[J]. 都市快轨交通, 2012, 25(4): 28-30.
- [16] 邝永松. 信号系统列车自动监控故障降级行车组织分析[J]. 城市轨道交通研究, 2016, (10): 126-129.

(上接第 128 页)

- [8] Uys P E, Farkas J, Jármai K, et al. Optimisation of a steel tower for a wind turbine structure[J]. Engineering Structures, 2007, 29: 1337-1342.
- [9] 赵文涛, 曹平周, 陈建锋. 风力发电钢塔筒的荷载计算方法和荷载组合研究[J]. 特种结构, 2010, 27(4): 73-76.
- [10] Dorylo A S S. Estimating wind speed distribution[J]. Energy Conversion and Management, 2002, 43: 2311-2318.
- [11] 李 军, 胡 非, 王丙兰, 等. 风速的 Weibull 分布参数[J]. 太阳能学报, 2012, 33(10): 1667-1671.