

地铁瓦斯隧道安全防控管理体系研究与应用^{*}

段军朝^{1,2,3,4} 申兴柱³ 徐朝阳³

(1. 中建三局基础设施建设投资有限公司, 430064, 武汉; 2. 华中科技大学土木工程与力学学院, 430074, 武汉;
3. 中建三局集团有限公司, 430064, 武汉; 4. 中建三局轨道交通公司, 430064, 武汉 // 第一作者, 高级工程师)

摘 要 针对地铁工程穿越瓦斯地层时所面临的危险源种类繁多、安全管理难度大等难题,利用物联网、流媒体和无线传输等技术,集成瓦斯自动检测、盾构施工实时监控、人员定位等专业应用,提出了全线覆盖、全员参与、全过程管理的集约化管控模式,构建了各参与方共同监管的地铁瓦斯隧道安全防控管理体系。该体系已成功应用于成都轨道交通6号线三期工程的全过程建设中。通过线上、线下联动管理的方式,对地铁线路穿越瓦斯地层时土建施工阶段的危险源进行实时智能化监测、迅速响应和及时处置,有效提高了施工过程中的安全风险管理水平,节约了管理成本。

关键词 地铁; 瓦斯隧道; 安全防控管理体系

中图分类号 U458

DOI:10.16037/j.1007-869x.2021.10.032

Research and Application of Safety Prevention and Control Management System for Metro Gas Tunnel

DUAN Junchao, SHEN Xingzhu, XU Zhaoyang

Abstract In view of various hazard sources and the difficult safety management of metro engineering when crossing the gas stratum, professional applications of automatic gas detection, real-time monitoring of shield tunneling and personnel positioning are integrated by using Internet of Things, streaming media and wireless transmission technology, an intensive control and management mode featuring whole line coverage, full participation and whole process management is proposed, in order to establish the safety prevention and control management system of metro gas tunnel under the supervision of all participants. The system has been successfully applied in the whole process of the Phase III construction of Chengdu rail transit Line 6. Through online and offline linkage management, the system can perform real-time monitoring, rapid response and timely disposal against the dangerous sources of the metro project crossing gas stratum at the civil construction stage, and effectively improve the level of safety risk management in the

construction process, at the same time save the management cost.

Key words metro; gas tunnel; safety prevention and control management system

First-author's address China Construction Third Engineering Bureau infrastructure construction investment Co., Ltd., 430064, Wuhan, China

地铁线路穿越瓦斯地层等重大危险源时,施工风险大、安全管控难,如何通过信息化的手段高效地进行安全管理成为各方关注的焦点。文献[1]利用物联网、GIS(地理信息系统)等现代技术搭建了专业信息化的地铁建设管理平台,该平台具有评估预警与响应处置等功能,通过人工监测、实时监测、现场巡视和视频监控4种手段对地下工程安全情况进行管理。文献[2]构建了城市轨道交通土建施工安全风险监控预警系统,实现了对车站基坑和区间隧道施工点的实时监控,提高了监测数据使用效率及施工管理的现代化水平。文献[3]提出了多用户警情信息与应急预案信息的协同在线风险管控方法,方便了城市轨道交通建设各单位用户之间的信息共享交流,实现了施工过程中各类安全风险的有效管控。文献[4]依托石家庄地铁工程项目,建立了施工安全管理信息平台,该平台涵盖实时监控、远程控制、预警报警、数据统计与分析等功能,为地铁建设安全平稳推进提供了保障。文献[5]研发了城市地铁施工安全监测信息管理系统,该系统可实现自动预警、及时发布信息与多用户协同管理的功能,并以杭州地铁项目为案例进行验证。文献[6]通过进行功能需求分析,开发了天津城市轨道交通安全风险监控系统,主要包含工程信息管理、施工进度、监测预警管理等3大功能。

上述研究对地铁工程土建施工阶段的安全风

^{*} 国家自然科学基金项目(51378235);中建三局科技研发课题(CSCEC3B-2018-29)

险管理体系进行了研究,并取得了一些成功的经验和方法。但已有管理体系的监管覆盖范围小,未有效包含地铁隧道施工作业面中的各类危险源,同时在功能和适用性等方面存在一定的缺陷。此外,当地铁线路穿越瓦斯地层时,尚无适用于该复杂地质环境下的瓦斯隧道安全防控管理体系。鉴于此,本文利用物联网、移动互联网和无线传输等技术,集成瓦斯监测、风速检测和盾构施工监控等专业应用,运用流媒体、大数据等手段搭建了多方参与、共同监管的地铁瓦斯隧道安全防控管理体系,旨在构建全线覆盖、全员参与、全过程管理的集约化管控模式,实现危险源实时智能监测、迅速响应、合理处置。研究成果可为国内外地铁工程施工阶段的安全风险管理提供借鉴和指导。

1 地铁瓦斯隧道安全防控管理体系

1.1 地铁瓦斯隧道安全防控管理体系架构

地铁瓦斯隧道安全防控管理体系集成了隧道瓦斯浓度自动监测(G)、盾构施工实时数据监控(S)、重大危险源视频监控(H)、隧道施工人员定位(P)及劳务人员人脸识别实名制管理(R)5大系统,实现了重大安全风险实时综合监控管理。其架构如图1所示。该体系基于互联网技术,构建广域网和局域网通信传输网络,依托短距离无线通信技术,实现沟通和传输的多向性。同时,采用物联网技术,通过对目标智能化的跟踪及监控,实现瓦斯浓度自动监测、盾构施工实时数据传输、隧道施工人员定位及人员的实名制管理等诸多功能;借助流媒体视频点播及回访、远程监控功能,应用于重大危险源的全方位监控,实现了空间和时间的解放。

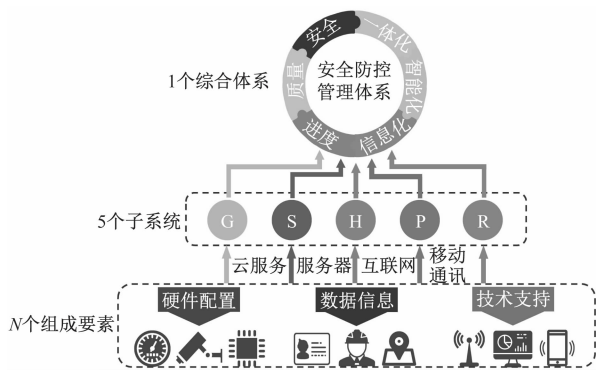


图1 地铁瓦斯隧道安全防控管理体系架构图

Fig.1 Framework diagram of safety prevention and control management system for subway gas tunnel

地铁瓦斯隧道安全防控管理体系的硬件系统包括上层集成中心和下层监控平台2个层次。其中,上层集成中心即位于项目公司总部的总调度指挥中心,是各种信息的集散地;下层监控平台位于各个施工工点项目部,负责对现场施工情况的具体监控与信息上传。具体的硬件配置主要包括应用服务器、数据服务器、万维网服务器、工程师工作站、硬件防火墙、交换机、路由器,以及各类相关监控设备,如摄像机、传感器、检测仪、馈电断路器、人脸识别闸机等。

1.2 地铁瓦斯隧道安全防控管理体系的主要特点

为了有效应对地铁线路穿越瓦斯地层时所面临的诸多安全管控风险及难题,首次开发了地铁瓦斯隧道安全防控管理体系。该体系的特点如图2所示,主要特点包括以下3个方面:

1) 构建了基于互联网浓度技术的复杂环境下,集隧道瓦斯浓度自动监测、盾构施工数据实时监控、重大危险源远程监控、隧道施工人员定位和劳务人员人脸识别实名制管理为一体的城市轨道交通安全防控管理体系,实现了对重大安全风险综合管控的功能。

2) 攻克了复杂环境下城市地铁瓦斯隧道安全风险管控的关键技术,提出了1套适用于高瓦斯暗挖隧道、低瓦斯盾构隧道的瓦斯浓度自动监控系统,解决了风电瓦斯闭锁等难题。

3) 实现了全员参与、全线覆盖、全过程监控的远程动态管理。标段项目部、项目公司、第三方单位等参与方可以随时随地查询各工点的施工信息,获知目前的安全状态,同时进行双向通信。

1.3 地铁瓦斯隧道安全防控管理体系的主要功能

1.3.1 隧道瓦斯浓度自动监控

通过在隧道各工作面(矿山法隧道:掌子面、衬砌台车等部位;盾构法隧道:螺旋机出土口、1#和5#台车尾部等部位)安装瓦斯传感器,以及在隧道回风流内安装风速传感器,并将监测信息回馈至主控计算机进行分析处理,实现了对洞内瓦斯浓度和回风风速的24h实时自动化监测。当瓦斯浓度或者回风风速达到预警值时,洞内传感器和洞外监控中心自动进行声光报警。如图3所示,利用设备开停传感器、馈电断路器等对被控设备自动断电,实现风电、瓦电闭锁功能。同时对盾构机、隧道内的固定电器、内燃设备、运输设备等进行针对性防爆改装,保证隧道施工安全。

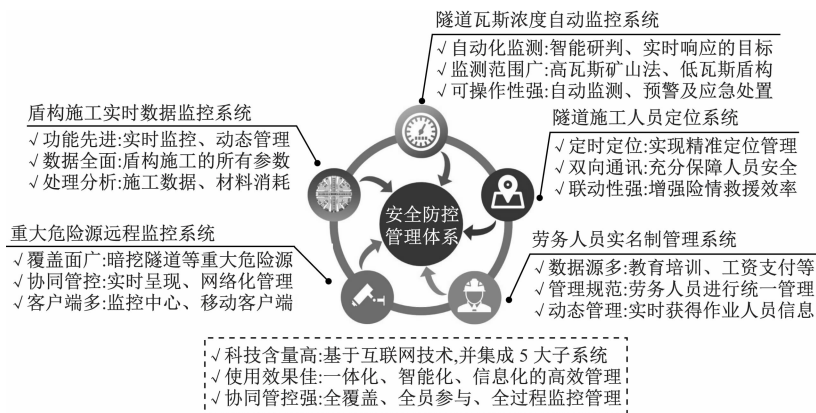


图 2 地铁瓦斯隧道安全防护管理体系的功能及特点

Fig. 2 Functions and characteristics of safety prevention and control management system for subway gas tunnel

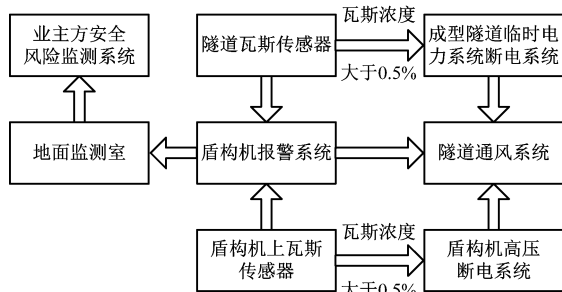


图 3 瓦斯隧道浓度自动监测及风电闭锁原理示意图

Fig. 3 Schematic diagram of gas tunnel concentration automatic monitoring and wind power locking principle

1.3.2 盾构施工实时数据监控

通过构建盾构施工实时数据监控系统,各层级的管理人员可以实时获得全线每台盾构机在低瓦斯地层中的各项掘进参数、盾构姿态、工程进度、设备运行状态等信息。利用计算机强大的数据存储和处理功能,系统可以对施工参数、材料消耗数据等进行统计和分析,实现了盾构施工过程中各种相关数据的自动识别、有序存储、信息汇总及动态管理。可方便对盾构掘进过程中出现的问题进行分析,便于远程实时掌控盾构施工情况,从而对盾构施工的安全、质量和进度等进行全面管控。

1.3.3 重大危险源视频监控

如图 4 所示,在盾构法隧道和矿山法隧道的关键位置,结合当前工况和施工进度动态设置施工专用监控摄像头,利用互联网技术将现场施工情况同步传输至监控中心和移动客户端,可以实时了解施工进度,掌握可视范围的施工情况等,从而实现对重大危险源的全方位远程管控。地铁瓦斯隧道安全防护管理体系同时具有录像、预警、双向语音等功能。出现险情时,项目公司监控中心可及时向现

场发出警告,线下管理人员完成处置后需在系统上消除预警信息,实现安全风险闭合式管理。

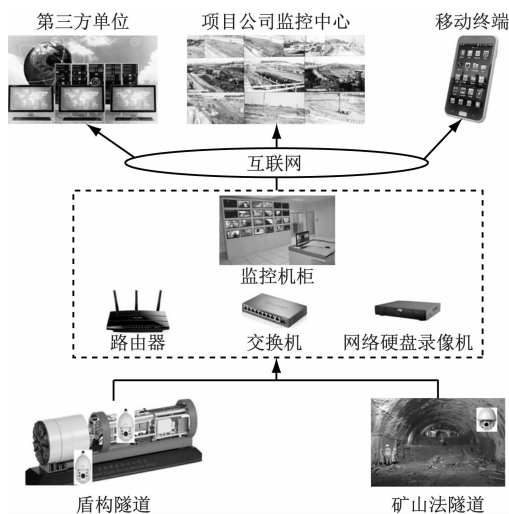


图 4 重大危险源视频监控拓扑图

Fig. 4 Video monitoring topology of major hazard installations

1.3.4 隧道施工人员定位

隧道施工人员定位系统是基于 RFID (无线射频识别) 技术构建的,系统构建时导入了地铁线路布局及周边环境等信息。通过施工人员携带的定位器,定位系统能够实时探测和显示洞内人员数量及具体位置,管理人员可实时查看洞内人员数量和位置分布等情况。定位器同时具备双向通讯功能,能够在紧急情况下,群发撤离通知信号或发出求救信号,达到事故预防和有效施救的目的。

1.3.5 劳务人员人脸识别实名制管理

劳务人员人脸识别实名制管理系统集教育培训、出工考勤、用工分析、工资支付等多种功能于一体。其系统架构如图 5 所示。劳务人员在进场施工前需办理实名制管理卡,录入个人基本信息、工种、

技能等级等详细信息。当进行安全教育培训、进入或离开施工现场时,通过人脸识别或刷卡进行考勤和信息统计。工人的从业经历、优良表现、违章违规行为等亦会进行全过程记录,以作为工人技能等级认证、务工准入的重要依据。

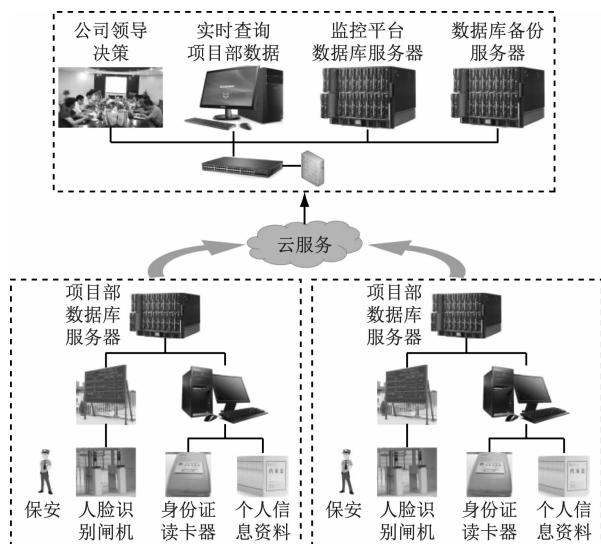


图5 劳务人员实名制管理系统架构图

Fig. 5 Architecture of real name management system for labor service personnel

2 地铁瓦斯隧道安全防控管理体系的应用

成都轨道交通6号线三期工程(原11号线一期工程)全长23.37 km,采用全地下敷设。该线路有4.7 km位于高瓦斯地段、6.6 km位于低瓦斯地段,瓦斯段总长度达到11.3 km,是国内穿越瓦斯地层最长的城市地铁线路。依托于此工程,经不断改进和优化,地铁瓦斯隧道安全防控管理体系的稳定性和适应性得以不断提高。目前,该体系已成功应用于成都轨道交通6号线三期工程建设中。图6为地铁瓦斯隧道安全防控管理体系的管理界面,全线110余项重大危险源得到了有效监控管理,及时发现并消除了多项安全隐患,施工过程中未发生一起安全事故,为全线瓦斯隧道的顺利贯通提供了强有力的保障,切实提高了城市地铁项目的一体化和智能化安全管理水平。

同时,地铁瓦斯隧道安全防控管理体系前期投入少,整体工作性能稳定,节约了前期搭建和后期维护成本,减轻了管理人员的工作量,提高了管理工作效率,有效降低了管理成本,为工程项目安全、高效、优质地履约提供了技术支撑。



图6 地铁瓦斯隧道安全防控管理体系的管理界面

Fig. 6 Management interface of subway gas tunnel safety prevention and control management system

3 结语

1) 形成了集隧道瓦斯浓度自动监测、盾构施工数据实时监控、重大危险源远程监控、隧道施工人员定位,以及劳务人员人脸识别实名制管理配置优化和一体化安全管理的关键技术,提高了地铁线路穿越瓦斯地层施工阶段的安全管理水平。

2) 提出了施工工区、标段项目部、项目公司、第三方单位通过线上线下联动、全线覆盖、全员参与、全过程管理的集约化管控模式,搭建了“点-线-网”全方位的安全防控管理体系,有效保证各监管方的多点协调管控。

3) 地铁瓦斯隧道安全防控管理体系能够有效地对地铁瓦斯隧道建设过程中的安全风险进行监控、预警和快速处置,实现了地铁瓦斯隧道建设全过程一体化、智能化、信息化的安全监管,有效提高了瓦斯地层中地铁项目的安全风险管理效率和水平,降低了管理成本,具有较好的推广应用价值。

参考文献

- [1] 杨树才. 城市轨道交通工程建设安全风险监控信息系统研究[J]. 现代隧道技术, 2014(3): 43.
YANG Shucai. Study of a monitoring information system for the safety risks of urban rail transit engineering [J]. Modern Tunneling Technology, 2014(3): 43.
- [2] 肖玲玲. 城市轨道交通土建施工安全风险监控预警系统[J]. 山西电子技术, 2018(3): 3.
XIAO Lingling. Risk monitoring and warning system for urban rail transit civil construction safety [J]. Shanxi Electronic Technology, 2018(3): 3.
- [3] 戴义, 都芳浩, 廖高毅. 面向多用户的城市轨道交通施工安全监测信息在线风险管控方法[J]. 测绘与空间地理信息, 2018(12): 43.

(下转第165页)

5 结语

为了快速响应客户个性化的需求、提高零部件的重用率,本文定义了地铁车辆转向架柔性产品平台的内涵,提出一套地铁通用模块与柔性模块设计方法。前者所构建的通用模块实例可以提高模块的重用率,后者所构建的柔性模块模型可以提高模块的变型设计效率。以侧梁梁体和车轴为例,验证了所提方法的可行性与有效性。

参考文献

- [1] SIMPSON T W. Product platform design and customization: Status and promise[J]. *Ai Edam*, 2004, 18(1): 3.
- [2] MEYER M H, LEHNERD A P. The power of product platforms: building value and cost leadership [J]. *Research Technology Management*, 1997, 10020: 39.
- [3] 王元珠,韩才元. 国外机车车辆产品技术平台的发展[J]. *内燃机车*, 2007(2): 1.
WANG Yuanzhu, HAN Caiyuan. The development of the technology platform of foreign locomotive and rolling stock products[J]. *Railway Locomotive and Motor Car*, 2007(2): 1.
- [4] 贺世忠,李涛,汪林峰,等. 新型高模块化 A 型地铁转向架设计[J]. *电力机车与城轨车辆*, 2019(3): 35.
HE Shizhong, LI Tao, WANG Linfeng, et al. Design of a new high-modularization bogie for A-type metro[J]. *Electric Locomotives & Mass Transit Vehicles*, 2019(3): 35.
- [5] 李易峰,韩鑫,黎荣,等. 复杂机电产品柔性模块识别方法研究[J]. *机械设计与制造*, 2019(3): 178.
LI Yifeng, HAN Xin, LI Rong, et al. Research on flexible modules identification method for complex electromechanical products [J]. *Machinery Design & Manufacture*, 2019(3): 178.
- [6] 童时中. 模块化研究及实践的现状和发展[J]. *电子机械工程*, 2011(2): 1.

TONG Shizhong. Current situation and progress of the study and practice of modularization [J]. *Electro-Mechanical Engineering*, 2011(2): 1.

- [7] DU X H, JIAO J X, TSENG M M. Architecture of product family: fundamentals and methodology [J]. *Concurrent Engineering*, 2001, 9(4): 309.
- [8] SUH E S, WECK O L, CHANG D. Flexible product platforms: framework and case study [J]. *Research in Engineering Design*, 2007, 18(2): 67.
- [9] 张孝远,周建中,曹广品,等. 基于模糊多属性决策的高混凝土坝浇筑方案优选 [J]. *四川大学学报(工程科学版)*, 2011(4): 32.
ZHANG Xiaoyuan, ZHOU Jianzhong, CAO Guangjing, et al. Fuzzy multiple attribute decision making optimal selection for construction scheme of high concrete dam [J]. *Journal of Sichuan University (Engineering Science Edition)*, 2011, (4): 32.
- [10] 崔宁博,张振平,楼豫红,等. 基于 TOPSIS 的区域农业节水发展水平综合评价模型 [J]. *应用基础与工程科学学报*, 2016(5): 978.
CUI Ningbo, ZHANG Zhenping, LOU Yuhong, et al. Evaluation method of comprehensive agricultural water-saving development level based on TOPSIS in a regional area [J]. *Journal of Basic Science and Engineering*, 2016(5): 978.
- [11] 钟元木,黎伟洋,韩鑫. 地铁车辆车体快速设计方法 [J]. *城市轨道交通研究*, 2019(3): 101.
ZHONG Yuanmu, LI Weiyang, HAN Xin. Study on rapid design method of metro vehicle body [J]. *Urban Mass Transit*, 2019(3): 101.
- [12] 曹庆锋,常文军. 日本轨道交通发展历程及经验启示 [J]. *交通运输研究*, 2019(3): 10.
CAO Qingfeng, CHANG Wenjun. Development history and experience enlightenment of Japanese rail transit [J]. *Transport Research*, 2019(3): 10.

(收稿日期:2019-11-08)

(上接第 160 页)

- DAI Yi, DU Fanghao, LIAO Gaoyi. Method based on multi-user and on-line risk control of urban rail construction safety monitoring information [J]. *Geomatics and Spatial Information Technology*, 2018(12): 43.
- [4] 李双平. 轨道交通建设安全风险管理系统的设计与实现 [D]. 石家庄:石家庄铁道大学,2017.
LI Shuangping. Design and implementation of safety risk management system for rail transit construction [D]. *Shijiazhuang: Shijiazhuang Tiedao University*, 2017.
- [5] 都芳浩. 网络环境下城市地铁施工安全监测信息管理系统设

计与实现 [D]. 成都:西南交通大学,2017.

- DU Fanghao. The design and implementation of network management system of metro construction monitoring information [D]. *Chengdu: Southwest Jiaotong University*, 2017.
- [6] 刘宏根. 天津城市轨道交通安全风险监控管理系统的设计与实现 [D]. 天津:天津大学,2016.
LIU Honggen. The design and implementation of rail traffic safety risk monitoring and management system for Tianjin [D]. *Tianjin: Tianjin University*, 2016.

(收稿日期:2019-11-01)