

城市轨道交通火灾报警系统新技术研究

田宇¹, 梁海英², 赵小皓², 陈洪颖³, 管仲博³

(1. 亿雅捷交通系统(北京)有限公司, 北京 100029; 2. 北京市地铁运营有限公司, 北京 100032; 3. 北京利达华信电子股份有限公司, 北京 100176)

摘要: 鉴于城市轨道交通火灾安全需求, 聚焦火灾报警系统技术优化与国产化应用研究。通过剖析轨道交通环境特性及设备现状, 系统性开展火灾报警设备集成化设计与国产化替代研究。基于场景特殊性, 提出了创新集成化设计方案, 通过模块整合与智能算法优化, 实现火灾信号多维度感知与快速联动响应; 同时探索了国产设备规模化应用路径, 验证了其在成本控制、技术适配及产业自主化中的效能。研究结果表明, 集成化设计显著提升了系统协同性与预警可靠性, 国产设备应用不仅降低了建设运维成本, 更推动了消防技术自主创新与产业升级。

关键词: 火灾报警; 轨道交通; 集成化设计; 智能算法; 系统可靠性

中图分类号: TN92

文献标志码: A

doi: 10.11959/j.issn.2096-3750.2025.00504

Research on new technologies of fire alarm system for urban rail transit

TIAN Yu¹, LIANG Haiying², ZHAO Xiaohao², CHEN Hongying³, GUAN Zhongbo³

1. BII Transit Systems (Beijing) Co., Ltd., Beijing 100029, China

2. Beijing Subway Operation Co., Ltd., Beijing 100032, China

3. Beijing Leader Huaxin Electronic Co., Ltd., Beijing 100176, China

Abstract: In view of the fire safety requirements of urban rail transit, the technical optimization and domestic application research of fire alarm system was focused. By analyzing the environmental characteristics and equipment status of rail transit, systematic research on the integrated design and domestic substitution of fire alarm equipment was carried out. Based on the particularity of the scene, an innovative integrated design scheme was proposed, and multi-dimensional perception and rapid linkage response of fire signals were achieved through module integration and intelligent algorithm optimization. Meanwhile, the path of large-scale application of domestic equipment was explored and the effectiveness was verified in cost control, technology adaptation and industrial autonomy. The results show that the integrated design significantly improves the system coordination and early warning reliability; the application of domestic equipment not only reduces construction and operation and maintenance cost, but also promotes independent innovation and industrial upgrading in fire protection technology.

Key words: fire alarm, rail transit, integrated design, intelligent algorithm, system reliability

收稿日期: 2025-05-30; 修回日期: 2025-07-01

通信作者: 田宇, 85157060@qq.com

基金项目: 中国城市轨道交通协会科研专项 (No. CAMET-KY-202204)

Foundation Item: Scientific Research Special Project of China Association of Metros (No. CAMET-KY-202204)

0 引言

随着城市化进程的高速发展,轨道交通在城市公共交通体系中的地位愈发关键。城市轨道交通因其封闭性强、人员高度密集的特点,面临着严峻的火灾风险挑战。火灾报警系统(FAS, fire alarm system)作为预防火灾发生、降低火灾损失的核心系统,其性能优劣直接关乎轨道交通的安全运营以及乘客的生命财产安全^[1-2]。传统城市轨道交通火灾报警系统起源于民用建筑,所采用的消防建设标准及产品多适合民建场景,缺乏针对轨道交通使用场景的特殊设计。在应对复杂多变的环境时,暴露出诸多弊端,如响应迟缓、误报率高、集成度低、维护难度大等问题,难以契合现代轨道交通日益增长的安全需求。与此同时,随着我国科技水平的显著提升,使得国产化设备在性能和质量方面均取得了长足进步,为火灾报警系统的优化升级提供了技术路径。本文旨在深入探讨轨道交通火灾报警系统的集成化设计策略,并着重研究国产化设备在该系统中的创新优化,期望能为提升轨道交通的安全性提供有益参考。

本文研究借鉴多源信息融合技术框架,重点突破三层瓶颈:(1)感知层,采用光电复合传感技术提升烟温探测精度;(2)传输层,通过光纤环网冗余架构保障数据完整性;(3)决策层,采用数值模拟算法提高火灾预防和救援的效率。

1 轨道交通火灾报警系统概述

轨道交通具有封闭性强、人员密集、疏散困难等特点。一旦发生火灾,极易引发灾难性后果,不仅会造成大量人员伤亡和巨额财产损失,还可能引发轨道交通路网瘫痪,严重影响城市的正常运转秩序。因此,构建一套高效、可靠的火灾报警系统,对保障轨道交通的安全至关重要。

从轨道交通项目建设情况来看,可分为既有线路项目改造和新线项目建设。通常情况下,行车调度、设备管理、站务管理、消防管理等功能区域设置在同一车控室内^[3-6]。在较老的既有线路中,由于建设初期未充分考虑后续设备的安装需求,大部分设备为后期改造加装,车控室内设备空间局促,值班员操作效率受限。在设备的使用中还存在以下问题。

1.1 轨道交通环境电磁干扰强

轨道交通系统的电气设备和通信设备会产生电磁干扰。地铁的牵引供电接触网系统在运行过程中会产生交变电磁场,以辐射或耦合的形式干扰周围通信线路^[7]。此外,牵引电流的波动、整流电流的高次谐波等也会产生干扰^[8-9]。随着地铁车辆自动化程度的提高,车载电子设备种类和数量不断增加,这些设备在运行时产生的电磁干扰也进一步加剧。而且地铁内存在专用集群无线通信系统、民用移动通信系统、公安集群无线通信系统等多个无线通信系统。这些系统之间频谱宽度大,容易产生干扰^[10]。

1.2 设备环境工况恶劣

地铁列车运行产生的噪声可达90 dB以上,行驶过程中产生的振动较大^[11-14]。并且在车站出入口、风道及区间隧道等区域,环境湿度大,粉尘浓度高。设备需具备更高的耐久性和可靠性,能够在恶劣环境下长期稳定运行。这就要求终端设备具备较高的防护等级。且随着城市轨道交通线路里程增加,火灾报警系统网络节点大幅增加且传输距离变长,网络设计的冗余性和安全性也亟待解决。

1.3 设备互通互联困难

当前城市轨道交通火灾报警系统以进口产品为主。而大部分进口产品存在一定技术壁垒,并且有些品牌已退出中国市场。致使不同线路各品牌产品互不兼容,难以实现消防信息的互联互通及线网级的消防管理。此外,部分既有线的报警产品使用寿命接近到期,故障频率逐年上升,但进口产品备件采购困难,产品升级后向下兼容性较低且技术封闭,为地铁消防安全带来重大隐患。

由于火灾报警系统及消防子系统设备品牌各异、设计不同,且数据相对封闭,不同品牌的终端设备之间无法实现互联互通。这导致车控室值班员在面对各种不同型号和操作风格的设备时,很难进行准确、高效的,影响应急响应时间。目前,轨道交通火灾报警系统在实际应用中,对进口设备依赖程度较高,存在成本高昂、维护困难、设备兼容性差等问题;而国产设备则存在联网能力不足、抗干扰能力较弱、环境适应性差、防护性能较低以及通用性不强等问题,难以满足轨道交通大规模网络的实际需求。这些问题迫切需要通过集成化设计和国产化设备的改进来加以解决,从而实现城市轨道交通

交通火灾报警系统的优化升级。

2 轨道交通火灾报警系统集成化设计

国务院安全生产委员会印发的《“十四五”国家消防工作规划》明确提出，要突破关键核心技术，推动灾害事故救援主战装备高端化、高精尖装备国产化。2022年8月16日至17日，习近平总书记在辽宁考察时的讲话指出“全面建成社会主义现代化强国，实现第二个百年奋斗目标，必须走自主创新之路。要时不我待推进科技自立自强，只争朝夕突破‘卡脖子’问题，努力把关键核心技术和装备制造业掌握在我们自己手里”。在这样的政策背景下，消防设备行业目前朝着专业化与多元化方向发展，不仅需要高质量的消防设备产品，还需要为客户提供个性化的解决方案和增值服务。

消防集成化设计的核心在于实现多系统的无缝对接与高效联动，将智能消防报警系统等多个相关系统有机整合为一体^[15-17]，涵盖应急照明控制器、电气火灾监控器^[18-21]、消防电源监控器和防火门监控器等多个子系统，在统一协议的规范下实现可靠通信，确保轨道交通设施的每一个角落都能得到全方位、无死角的消防安全保障。通过增强系统的网络防护能力、设备稳定性和运营安全性，降低潜在风险，保障轨道交通设施的安全运行。

火灾报警系统的设计思路是选用经过市场充分验证的核心技术，结合成熟的火灾报警设计理念，融合市场前沿的先进技术和智能算法。在保证系统稳定性和设计先进性的同时，确保产品具备较高的性价比，保障产品研发进度。此外，设计必须严格遵循现有国家标准及设计规范，充分满足地铁使用过程中的特殊要求。

系统设计主要包括中心级火灾报警监控系统及光纤环网设计、车站级火灾报警控制器设计、总线产品设计以及应急疏散系统、电气火灾系统、防火门监控系统、电源监控系统的集成一体化设计。

2.1 轨道交通光纤环网设计

在轨道交通火灾报警系统中，光纤环网具有显著优势，为系统高效运行提供了坚实支撑。光纤环网采用环形结构，一旦某段光纤出现故障，系统自动切换信号路径，避免数据中断^[22-24]。例如，在地铁日常维护中不慎损坏某段光纤节点，系统仍能保持正常通信，确保火灾报警信息、设备运行状态等

关键数据不间断传输，维持火灾报警系统稳定运行，保障轨道交通运营安全，轨道交通火灾报警系统网络如图1所示。

光纤环网可使通讯不受电磁干扰影响。在轨道交通复杂电磁环境下，光纤环网能稳定传输数据，避免信号失真、误报等问题，保证火灾报警信息准确及时传达，为应急处置提供可靠依据。因光纤环网具备高带宽特性，即使系统扩展亦无网络拥堵风险，确保各类数据快速、顺畅传输，实现对火灾报警系统全面、实时监控。

光纤环网传输损耗低，借助专用光收发模块，传输距离可达120 km。这使得轨道交通沿线即使站点间距大、线路长，也无须频繁设置中继节点就能保证信号强度和品质，降低建设和维护成本，同时减少因中继节点故障带来的风险，提升系统整体稳定性。

随着轨道交通建设发展，火灾报警系统存在增加新设备或功能升级的情况。光纤环网具备良好扩展性，可方便地接入新节点，无须大规模改造网络结构。例如，新建车站或区域接入时，只需在环网上增加相应接口和设备，就能快速融入现有系统，满足轨道交通持续发展的需求。

火灾报警系统的完整网络分为控制器局域网（CAN, controller area network）和光纤骨干网络两部分，车站内的火灾报警控制器、气体灭火控制器、防火门监控器、电气火灾监控器等消防设备主机通过控制器局域网环网连接到车站级图形工作站（GCC, graphic control center），车站信息汇集到车站GCC和车站火灾报警控制器显示，车站内部联动控制由车站消防联动控制器控制。

车站级GCC及消防设备经光纤交换机通过光纤骨干网络将各车站网络连接至控制中心。车站间网络采用光纤环网架构，并设置运营指挥中心，在指挥中心配置中心级GCC图型工作站、中心级FAS主机，可集中显示整个线路的设备状态以便于集中指挥和调度^[25-28]。骨干网光纤交换机使用专用光收发模块保证网络信息传输距离不小于120 km^[29]，有效保障数据传输的稳定性和可靠性。

2.2 火灾报警控制系统设计

火灾报警控制器作为火灾报警系统的核心设备，承担着连接并监控气体灭火控制器、消防联动控制盘、消防广播以及各种火灾报警探测器、联动

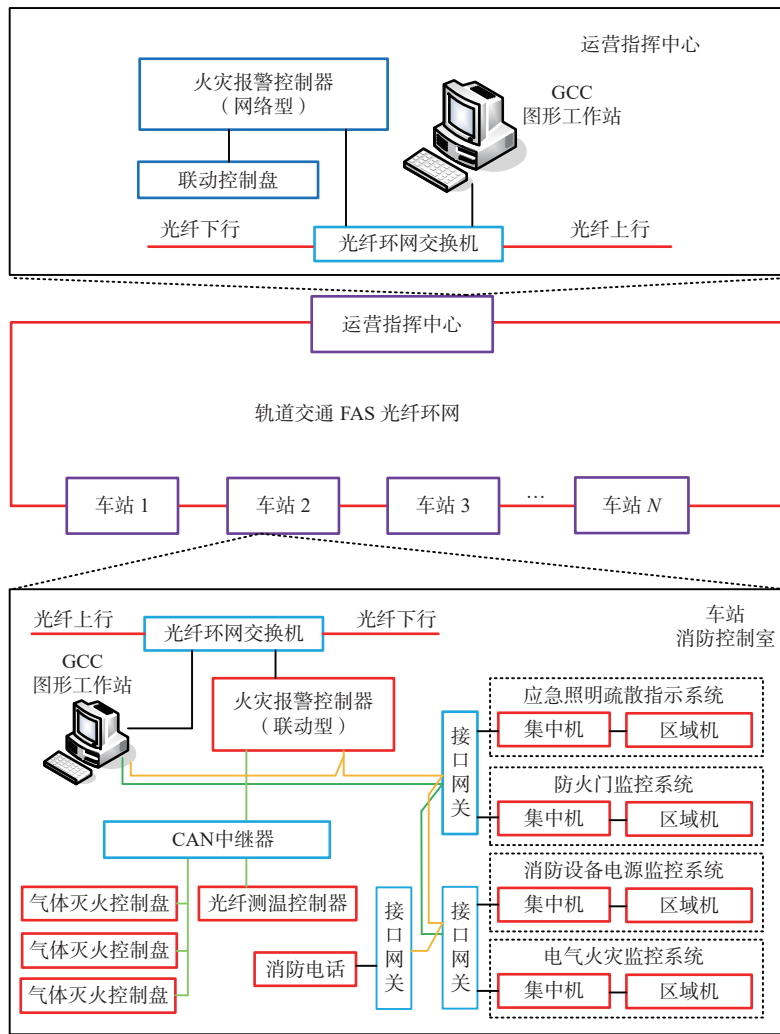


图 1 轨道交通火灾报警系统网络

模块、火灾显示盘等设备的重要任务^[30-32]。

为了实现集中设计、减少空间占用，本文设计将 2 台火灾报警控制器的控制面板和电源整合安装在 1 个机柜内，机柜剩余空间用于安装联动控制盘和消防电话等设备。每台火灾报警控制器的容量为 20 回路，每个回路可设置 255 个地址点。火灾报警控制器支持机柜扩展，扩展机柜内可安装消防广播等其他消防设备。单个机柜尺寸为 600 mm×500 mm×1 800 mm，防护等级达到 IP31，为了便于现场检修维护，机柜的后面及侧面均可打开。

火灾报警控制器采用 12.1 英寸彩色液晶显示，全部操作均可按键操作或触摸操作。控制器主控软件经重新设计，网络容量可达 255 台控制器类设备，网络通信协议使用通用 MODBUS 协议输出状态信息，也可使用专用定制协议使通信更为稳定快速。每台火灾报警控制器最大可接 20 个回路，容量

可达 5 100 点，回路可环形布线，通信距离可达 3 000 m，主机柜内可安装 64 路多线控制盘和 128 路总线控制盘，多线输出和总线输出可分别扩展到 160 路和 384 路。机柜可扩展辅柜安装其他消防联动控制设备使用。

火灾报警控制器回路板采用插拔式安装方式，在现有成熟产品的基础上增加回路保护、环路功能，进一步提升抗干扰能力，不仅性能稳定，而且维修便捷。

联动电源输入电压范围为 AC220V (-15%，+10%)，可提供两路隔离的 24V 直流电源分别供给火灾报警控制器和联动设备使用，机柜可满足 IP31 的防护等级要求。机柜可提供 1 路 CAN、1 路 RS485、1 路以太网接口，可通过安装联网模块扩展多路 CAN 和以太网接口，可扩展光纤接口。

该系统满足 GB/T 17626.3-2016 《电磁兼容试验

和测量技术射频电磁场辐射抗扰度试验》试验等级3和GB/T 17626.8-2006《电磁兼容试验和测量技术工频磁场抗扰度试验》试验等级4的试验要求，能够从容应对复杂电磁环境，确保系统稳定运行^[33]。

火灾报警控制器可以动态读取报警点附近感烟探测器的实时烟雾浓度值，综合判定是否为真实火情，有效避免误报情况^[34-35]。感烟探测器与感温探测器、手动按钮等多种设备结合有效提高火灾预防能力。火情发生时可以通过读取其他未报火警区域感烟探测器的烟雾实时值，提前获知烟雾扩散情况，为救援决策提供数据支持。

2.3 应急照明控制器、电气火灾监控器、防火门控制器、电源监控器一体化设计

消防辅助控制系统（含应急照明控制器、电气火灾监控器、防火门控制器及电源监控器）采用模块化插箱设计，各子系统独立安装于专用插箱内，集成于统一机柜。

应急照明控制器配置18英寸触摸液晶屏，实时监控车站内集中电源与应急灯具状态，最大支持128个集中电源节点。电气火灾监控器、防火门控制器及电源监控器均采用4英寸液晶触控界面（兼容按键操作），并基于统一硬件平台（集成主板、回路板及端子板），通过软件配置实现功能分化。各控制器带载能力分别为：电气火灾监控器2 040监测点、防火门控制器1 600节点、电源监控器1 024节点。

系统集成于600 mm×500 mm×1 800 mm标准机柜（防护等级IP31），支持联动电源集中供电或独立电源冗余供电。机柜提供基础通信接口（1×CAN、1×RS485、1×以太网），可扩展多路CAN、以太网模块及光纤接口。消防辅助控制系统通过CAN总线实现内部通信，并基于CAN协议与火灾报警系统直接交互，实现毫秒级联动响应。

2.4 总线产品抗干扰和高防护设计

总线产品主要有感烟探测器、感温探测器、声光报警器、手动报警按钮、消火栓按钮、联动模块、气体灭火控制设备等。

感烟探测器、感温探测器在现有成熟产品的基础上，进一步强化防护性能，增强总线抗电磁干扰能力^[36-37]，并增加了多级灵敏度调节功能。在探测器各组件接缝处添加硅胶密封条，在保证探测性能的前提下，缩小迷宫防虫网的孔径，使防护性能提

升至IP54。通过选用工业级元器件，并合理设计工作环境温度范围，将其扩展为-40℃~75℃，同时在产品内部加强三防涂覆处理，确保产品能够在复杂恶劣的环境下稳定运行。对总线产品的通信电路进行重新设计，增加了自短路保护功能，避免某个总线设备或某段线路故障影响系统稳定性。产品增加了抗干扰电路及元件，将抗电磁辐射性干扰性能提升至30 V/m。还增加了灵敏度可调、自动污染补偿功能，有效降低误报率，提高系统可靠性。

对于环境恶劣的特殊场所使用的手动报警按钮、消火栓按钮、声光报警器，为满足高防护要求对外壳进行了重新设计。加强了前后壳体和进出线密封措施，并选用耐高温ABS工程塑料，使其防护性能达到IP65，工作环境温度范围达到-40℃~75℃。产品增设底座支架形成防水空腔，阻断墙体结构渗水。产品内部采用三防涂覆处理，确保在复杂环境下稳定运行。电路部分在现有成熟产品基础上，增加抗干扰和短路保护措施，抗电磁辐射干扰性能达到30 V/M。改进后的产品具有抗干扰性能强、误报率低、防护性能高的特点，更适用于城市轨道交通区间隧道、区间变电所、泵房等环境恶劣场所。

对于城市轨道交通车站环境相对较好的场所使用的手动报警按钮、消火栓按钮、声光报警器和联动模块，在保持常规产品外形结构不变的同时，通过选用耐高温外壳材料增强对环境的适应能力，并通过使用工业级元器件增强电路短路保护性能和抗电磁干扰能力。此类产品成熟稳定，改进成本低，具有较高的性价比。对于有更高防护需求的联动模块，可通过加装高防护等级的模块箱进行防护。

3 试验数据与验证

为了验证改进后的国产化设备效能，在工厂搭建了模拟环境，并进行了对比试验。试验依据消防产品国家标准规定的测试项目，并采用常规产品与改进产品对比测试的方法，以验证同等条件下不同产品的实际性能。

对于改进优化的感烟探测器、感温探测器、手动火灾报警按钮、声光报警器等总线产品，首先，依据国家标准进行符合性试验。试验结果显示改进产品均能符合国标要求。符合性试验结束后，提高试验等级进行产品性能试验，包括电磁辐射抗扰度、

工频磁场抗扰度、交变湿热、高温低温等试验内容。国标要求电磁辐射抗扰度辐射强度为 10 V/m，性能试验提高至 30 V/m；工频磁场抗扰度国标中未作规定，性能试验取 30 A/m；交变湿热试验由 2 个周期增加至 5 个周期；高温运行试验由 55 °C 提高至 75 °C，低温运行试验由 -10 °C 降至 -40 °C。在整个试验过程中，改进产品均可正常工作。

为了进一步验证产品运行的稳定性，在工厂搭建模拟轨道交通场景的试验环境，进行对比试验。试验在相同位置分别布设常规产品和改进产品，包括感烟探测器、感温探测器、手动火灾报警按钮、声光警报器、联动模块等。每类产品各 10 只，连续 30 天不间断运行。运行期间进行高湿度、水汽、粉尘、气流、烟气等试验。

试验结果显示，常规产品在测试过程中手动报警按钮有 4 只报故障，声光警报器有 2 只报通信故障；感烟探测器有 3 只误报火警，1 只报故障；感温探测器有 1 只报故障；联动模块有 2 只报故障。经分析，通讯故障原因为高温潮湿环境造成接线端子接触不良；误报火警为水汽、粉尘造成迷宫污染。而试验中改进产品除 1 只手动报警按钮报故障外，其余产品全部运行正常。其中，在模拟轨道交通电磁环境（GB/T 17626.3-2016 等级 3）下，改进设备误报率可降低 30%，射频辐射抗扰度达 30 V/m，均满足极端工况要求。改进产品与常规产品试验对比见表 1。

表 1 改进产品与常规产品试验对比

改进产品				常规产品			
产品类别	样品数量	故障数量	故障率	产品类别	样品数量	故障数量	故障率
手动报警按钮	10	1	10%	手动报警按钮	10	4	40%
声光警报器	10	0	0	声光警报器	10	2	20%
联动模块	10	0	0	联动模块	10	2	20%
感温探测器	10	0	0	感温探测器	10	1	10%

表 2 改进产品 30 天模拟试验感烟探测器灵敏度前后比值对比

样品编号	试验前后灵敏度比值	样品编号	试验前后灵敏度比值
1	1.24	6	1.1
2	1.2	7	1.9
3	2	8	1.15
4	1.1	9	1.2
5	1.35	10	1.33

在模拟轨道交通场景的试验环境运行 30 天后，进行感烟探测器报警灵敏度对比试验。改进的 10 只感烟探测器，均通过模拟火灾报警试验。虽然其中 2 只探测器（3 号、7 号样品）试验前后灵敏度比值出现较大偏离，但仍然能够正常报警。而常规产品有 4 只探测器失去报警功能，2 只探测器灵敏度比值出现严重偏差产生误报，30 天模拟试验感烟探测器灵敏度前后比值对比见表 2 和表 3。

表 2 和表 3 中试验前后灵敏度比值越大，说明感烟探测器报警误差越大。通常常规产品试验前后灵敏度比值超过 2 时就存在探测不准确的情况，实际试验中，常规产品中的 2 号、3 号、7 号、10 号样品已失去报警功能，5 号和 9 号样品出现探测不准确的情况，而改进产品由于初始响应阈值较大，试验前后灵敏度比值即使超过 3，仍能可靠探测火灾产生的烟雾。

通过以上试验验证可知，改进产品比常规产品在可靠性和报警性能上有显著提升，故障率、误报率大幅下降，更适用于城市轨道交通复杂多变的环境。

4 结束语

本文围绕城市轨道交通火灾报警系统的集成化设计和国产化设备优化设计展开深入研究，取得了丰富成果。通过集成化设计，系统在性能和可靠性方面实现显著提升。光纤环网设计保障了数据的稳

表 3 常规产品 30 天模拟试验感烟探测器灵敏度前后比值对比

样品编号	试验前后灵敏度比值	样品编号	试验前后灵敏度比值
1	1.7	6	1.3
2	X	7	X
3	X	8	1.5
4	1.36	9	2.1
5	3.0	10	X

定传输，火灾报警系统集成设计实现了设备的高效集中控制，消防辅助控制系统一体化设计提升了系统协同性，总线产品的抗干扰和高防护设计增强了系统在复杂环境下的适应性，为轨道交通安全运营筑牢坚实防线。

城市轨道交通火灾报警系统国产化设备的优化设计，对行业技术自主化与成本控制具有显著价值。一方面，有效降低了系统成本，缓解了轨道交通建设和运营中的经济压力，为行业大规模应用提供了经济可行性；另一方面，有力推动了技术进步，促进了国内相关产业的发展和科技创新，提升了我国在轨道交通消防领域的自主研发能力和核心竞争力。

随着轨道交通建设规模的不断扩大和技术要求的日益提高，火灾报警系统仍面临诸多挑战。未来需要持续加大研发投入，进一步提升国产化设备的性能和质量。加强对新技术的研究和应用，探索更先进的火灾探测、报警和联动控制技术，提高系统的智能化水平和应对复杂情况的能力。此外，还需注重人才培养，打造一支既懂技术又具备创新能力的专业团队，为行业的可持续发展提供人才保障。通过各方共同努力，为城市轨道交通的消防安全提供更加有力、持久的保障。

参考文献：

- [1] 刘超. 火灾自动报警系统在地铁火灾中的实践探析[J]. 数字通信世界, 2024(2): 57-59.
LIU C. Practice and analysis of automatic fire alarm system in subway fires[J]. Digital Communication World, 2024(2): 57-59.
- [2] 任岩. 地铁火灾自动报警系统的应用[J]. 电子元器件与信息技术, 2021, 5(4): 70-71.
REN Y. Application of automatic fire alarm system in subway[J]. Electronic Component and Information Technology, 2021, 5(4): 70-71.
- [3] 陈蓝志. 消防控制室的设计探讨[J]. 智能建筑电气技术, 2024, 18(5): 66-70.
CHEN L Z. Discussion on the design of fire control room[J]. Electrical Technology of Intelligent Buildings, 2024, 18(5): 66-70.
- [4] 祖宇川, 黄华, 卢其峰, 等. 南宁北站及附属房屋消防控制室合并应用[J]. 铁路技术创新, 2024(3): 121-125.
ZU Y C, HUANG H, LU Q F, et al. Application of merging fire control rooms in Nanningbei railway station and affiliated buildings[J]. Railway Technical Innovation, 2024(3): 121-125.
- [5] JIN R Y, LI J J, WANG H X, et al. Automatic device arrangement and wiring for fire alarm systems in metro stations: a case study[J]. Journal of Building Engineering, 2024, 97: 110617.
- [6] 严斌. 长沙地铁2号线西延二期地铁车站设备用房自动灭火系统的选用和设计[J]. 高铁速递, 2024, 3: 64-66.
YAN B. Selection and design of automatic fire extinguishing systems for equipment rooms in Changsha metro line 2 west extension phase II metro stations[J]. High-Speed Rail Express, 2024, 3: 64-66.
- [7] 王忠君. 城市轨道交通工程电磁兼容和电磁干扰问题研究[J]. 科学与信息化, 2020, 9: 155.
WANG Z J. Research on electromagnetic compatibility and electromagnetic interference in urban rail transit engineering[J]. Science and Informatization, 2020, 9: 155.
- [8] 支永健, 朱柄全, 袁科亮, 等. 轨道交通牵引系统电磁兼容技术研究及应用[J]. 安全与电磁兼容, 2024(3): 25-38.
ZHI Y J, ZHU B Q, YUAN K L, et al. Research and application of electromagnetic compatibility technology in railway traction system[J]. Safety & EMC, 2024(3): 25-38.
- [9] 蔡恒. 城市轨道交通供电系统电磁兼容设计[J]. 通信电源技术, 2021, 38(16): 37-40, 44.
CAI H. Talking about the electromagnetic compatibility design of urban rail transit power supply system[J]. Telecom Power Technology, 2021, 38(16): 37-40, 44.
- [10] 郭雨欣. 地铁通讯系统电磁干扰危害的解决措施[J]. 数字技术与应用, 2022, 40(8): 40-42.
GUO Y X. Solutions to electromagnetic interference hazards in subway communication system[J]. Digital Technology & Application, 2022, 40(8): 40-42.
- [11] 李平, 祝朋玮, 赖晨翔, 等. 地铁列车运行对建筑物振动影响的多因素研究[J]. 城市轨道交通研究, 2023, 26(11): 65-69, 75.
LI P, ZHU P W, LAI C X, et al. Multifactor study on the impact of subway train operation on building vibration[J]. Urban Mass Transit, 2023, 26(11): 65-69, 75.
- [12] 卓炳灿. 地铁振动对周边建筑物影响分析研究[J]. 重庆建筑, 2024, 23(11): 43-45, 51.
ZHUO B C. Study on the impact of subway vibrations on surrounding buildings[J]. Chongqing Architecture, 2024, 23(11): 43-45, 51.
- [13] 冯青松, 齐英睿, 周涛, 等. 地铁环境振动对精密仪器影响的预测与分析[J]. 噪声与振动控制, 2025, 45(2): 185-190.
FENG Q S, QI Y R, ZHOU T, et al. Prediction and analysis of the influence of subway environmental vibration on precision instruments[J]. Noise and Vibration Control, 2025, 45(2): 185-190.
- [14] 张兆威, 陶连金, 王志岗, 等. 地铁车辆段咽喉区车致振动实测与分析[J]. 城市建筑, 2025, 22(8): 186-191.
ZHANG Z W, TAO L J, WANG Z G, et al. Analysis on the measurement of vehicle-induced vibrations in the throat area of the subway depot[J]. Urbanism and Architecture, 2025, 22(8): 186-191.
- [15] 黄自武, 何卫. 地铁列车对数据中心精密设备的振动影响评价[J]. 噪声与振动控制, 2023, 43(3): 167-174.

- HUANG Z W, HE W. Influence of subway trains on precision equipment vibration in a data center[J]. *Noise and Vibration Control*, 2023, 43(3): 167-174.
- [16] 华孟迪, 余祺晖, 赵健. 地铁火灾自动报警系统消防联动设计分析[J]. *电气技术*, 2020, 21(7): 116-119, 124.
- HUA M D, YU Q H, ZHAO J. The design and analysis of fire linkage logic of the automatic fire alarm system in subway[J]. *Electrical Engineering*, 2020, 21(7): 116-119, 124.
- [17] 叶小冬. 智能建筑火灾自动报警与消防联动系统设计研究[J]. *建筑与预算*, 2021(1): 47-49.
- YE X D. Design and research of automatic fire alarm and fire fighting linkage system in intelligent building[J]. *Construction and Budget*, 2021(1): 47-49.
- [18] 周毅飞, 张芷铭. 电气火灾监控系统与电气火灾防护[J]. *今日消防*, 2023, 8(9): 4-6.
- ZHOU Y F, ZHANG Z M. Electrical fire monitoring system and electrical fire protection[J]. *Fire Protection Today*, 2023, 8(9): 4-6.
- [19] 刘金木. 电气火灾监控系统的应用实践分析[J]. *工程技术研究*, 2024, 9(16): 229-231.
- LIU J M. Analysis on the application practice of electrical fire monitoring system[J]. *Engineering and Technological Research*, 2024, 9(16): 229-231.
- [20] 吴继珍, 赵霖. 城市轨道交通区间隧道消防应急照明设计研究[J]. *光源与照明*, 2022(4): 25-28.
- WU J Z, ZHAO L. Study on the design of fire emergency lighting for tunnels in urban rail transit section[J]. *Lamps & Lighting*, 2022 (4): 25-28.
- [21] 周伟. 消防疏散照明及疏散指示系统在城市轨道交通工程中的应用研究与实践[J]. *光源与照明*, 2023(4): 10-12, 104.
- ZHOU W. Application research and practice of fire evacuation lighting and evacuation indicating system in urban rail transit engineering[J]. *Lamps & Lighting*, 2023(4): 10-12, 104.
- [22] 黄鹏程, 王瑛. 光伏电站光纤环网损耗优化方法[J]. *上海节能*, 2021(6): 624-628.
- HUANG P C, WANG Y. Optimal loss method of optical fiber loop network based on photovoltaic power station[J]. *Shanghai Energy Conservation*, 2021(6): 624-628.
- [23] 张瀚文. 光纤环网在港口业务上的应用[J]. *城市情报*, 2023(2): 121-123.
- ZHANG H W. Application of optical fiber ring network in port business[J]. *City Information*, 2023(2): 121-123.
- [24] 张伟. 全光纤环网照明系统在上海虹桥国际机场中的应用[J]. *现代建筑电气*, 2021, 12(4): 48-53.
- ZHANG W. Application of optical fiber ring lighting system in Shanghai Hongqiao international airport[J]. *Modern Architecture Electric*, 2021, 12(4): 48-53.
- [25] 吴跃, 吴卉, 李高科, 等. 城市轨道交通车站综合操作管理平台方案研究[J]. *铁路计算机应用*, 2020, 29(11): 40-43.
- WU Y, WU H, LI G K, et al. Integrated operation management platform for station of urban rail transit[J]. *Railway Computer Application*, 2020, 29(11): 40-43.
- [26] 张浩, 葛淼. 城市轨道交通智慧车站建设探究[J]. *江苏科技信息*, 2023, 40(21): 71-73.
- ZHANG H, GE M. Discussion on the construction of smart stations in urban rail transit[J]. *Jiangsu Science and Technology Information*, 2023, 40(21): 71-73.
- [27] 姜臻祺. 上海轨道交通智慧车站的架构设计探讨[J]. *城市轨道交通研究*, 2020, 23(3): 4-7.
- JIANG Z Q. Structural design of intelligent station for Shanghai urban rail transit[J]. *Urban Mass Transit*, 2020, 23(3): 4-7.
- [28] 李樊, 杜呈欣, 王志飞, 等. 城市轨道交通智慧车站建设研究[J]. *现代城市轨道交通*, 2023(7): 16-20.
- LI F, DU C X, WANG Z F, et al. Research on smart station construction for urban rail transit[J]. *Modern Urban Transit*, 2023(7): 16-20.
- [29] 沈超鹏, 康健, 段冀新, 等. 一种通用长距离无中继光纤传输系统设计[J]. *计算机与网络*, 2025, 51(1): 1-12.
- SHEN C P, KANG J, DUAN J X, et al. Design of a common repeaterless optical fiber transmission system for long distance[J]. *Computer and Network*, 2025, 51(1): 1-12.
- [30] 史新. 基于智能建筑的火灾自动报警系统设计[J]. *科技资讯*, 2024, 22(10): 213-215.
- SHI X. Design of the automatic fire alarm system based on intelligent buildings[J]. *Science & Technology Information*, 2024, 22 (10): 213-215.
- [31] 林成志. 智能建筑火灾自动报警与消防联动系统研究[J]. *居业*, 2023, 15(12): 137-139.
- LIN C Z. Research on automatic fire alarm and fire fighting linkage system of intelligent building[J]. *Create Living*, 2023, 15(12): 137-139.
- [32] 颜剑东. 城市轨道交通火灾自动报警系统设计与应用[J]. *数码精品世界*, 2021, 7: 231-232.
- YAN J D. Design and application of automatic fire alarm systems for urban rail transit[J]. *Digital Fine Product World*, 2021, 7: 231-232.
- [33] ESLAMI B A, TAGHIPOUR S. A hierarchical k-out-of-n optimization model for enhancing reliability of fire alarm systems[J]. *Process Safety and Environmental Protection*, 2024, 191: 401-416.
- [34] WU Q, WU J Y. Design discussion of a wireless fire alarm system based on data fusion technology[J]. *Journal of Electronic Research and Application*, 2025, 9(2): 58-64.
- [35] LEI L, WANG Z Y, LIANG Z H. Study on the influence of fire source location on cable tunnel detection and alarm system[J]. *Case Studies in Thermal Engineering*, 2024, 64: 105507.
- [36] 张宇聪. 城市轨道交通通信系统电磁干扰及处理技术分析[J]. *人民公交*, 2024(12): 85-87.
- ZHANG Y C. Analysis of electromagnetic interference and its treatment technology in urban rail transit communication system[J]. *People's Public Transportation*, 2024(12): 85-87.
- [37] 齐万明, 陈小琳, 穆晓彤. 复杂电磁环境下轨道交通车辆整车抗

电磁干扰设计[J]. 西华大学学报(自然科学版), 2021, 40(5): 26-34.

QI W M, CHEN X L, MU X T. Vehicle-level anti-electromagnetic interference design of rail transit vehicles in complex electromagnetic environment[J]. Journal of Xihua University (Natural Science Edition), 2021, 40(5): 26-34.

[作者简介]



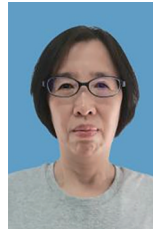
田宇(1980-), 男, 亿雅捷交通系统(北京)有限公司技术经理, 主要研究方向为城市轨道交通火灾报警系统、智慧消防等。



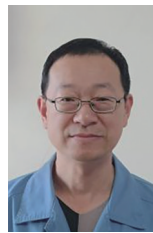
梁海英(1979-), 男, 北京市地铁运营有限公司资产维护管理部机电(供电、能源)总监, 主要研究方向为城市轨道交通供配电系统、低压动照系统、综合监控系统、火灾报警系统、环境控制系统等。



赵小皓(1982-), 女, 北京市地铁运营有限公司资产维护管理部机电(供电、能源)主管, 主要研究方向为城市轨道交通供配电系统、综合监控系统、火灾报警系统、环境控制系统等。



陈洪颖(1969-), 女, 北京利达华信电子股份有限公司技术总监, 主要研究方向为消防行业火灾报警产品类。



管仲博(1973-), 男, 北京利达华信电子股份有限公司消防产品经理, 主要研究方向为火灾报警系统。