

地铁火灾自动报警系统全生命周期管理体系构建研究

张坤¹ 卞四方²

1. 徐州地铁运营有限公司, 中国·江苏 徐州 221000

2. 徐州轨道交通运营有限公司, 中国·江苏 徐州 221000

摘要: 伴随着城市轨道交通规模的不断扩大, 地铁系统也表现出高密度、高复杂性、高风险性的运行特点。火灾自动报警系统属于地铁消防安全体系的重要部分, 它的运行可靠程度同乘客的生命安全以及城市公共安全息息相关。但是目前系统在规划、设计、施工和运维等环节存在着割裂管理、信息不连贯、维护效率低等问题, 不能满足现代地铁安全运行的要求。按照全生命周期管理 (LCC) 理论, 本文创建了地铁火灾自动报警系统全过程管理体系, 用 BIM、物联网、大数据等技术提供智能化支撑方案。经由研究得知, 此体系可以有效地改善系统的运行可靠性以及故障反应速度, 给地铁消防安全管理工作给予理论和实际的参照。

关键词: 地铁工程; 火灾自动报警; 全生命周期; 对策

Research on the construction of life cycle management system for subway automatic fire alarm system

Zhang Kun¹, Bian Sifang²

1. Xuzhou Metro Operation Co., Ltd, China Jiangsu Xuzhou 221000

2. Xuzhou Rail Transit Operation Co., Ltd, China Jiangsu Xuzhou 221000

Abstract: With the continuous expansion of the scale of urban rail transit, the subway system also shows the characteristics of high density, high complexity and high risk. The automatic fire alarm system is an important part of the subway fire safety system. Its reliability is closely related to the life safety of passengers and urban public safety. However, there are some problems in the planning, design, construction, operation and maintenance of the system, such as fragmented management, incoherent information, and low maintenance efficiency, which can not meet the requirements of safe operation of modern subway. According to the theory of full life cycle management (LCC), this paper establishes the whole process management system of subway automatic fire alarm system, and provides intelligent support scheme with BIM, Internet of things, big data and other technologies. The research shows that this system can effectively improve the operation reliability and fault response speed of the system, and provide theoretical and practical reference for subway fire safety management.

Keywords: Subway engineering; Automatic fire alarm; Full life cycle; Countermeasure

0 引言

近些年来, 伴随着我国城市化进程的加快, 地铁已经成为大城市公共交通的主要方式之一。由于地铁空间封闭、人员密集、电气设备集中, 一旦发生火灾事故, 蔓延速度很快、疏散难度大, 容易造成严重后果。火灾自动报警系统属于地铁消防体系的“第一道防线”, 具有火灾早期探测和联动控制的功能。但是, 由于设计阶段考虑不周、施工质量参差不齐、运维管理分散等原因, 造成系统整体可靠性降低。传统的分阶段管理模式不能实现信息的贯通和协同优化, 所以需要引入全生命周期管理的思想, 从系统整体的角度来进行统筹规划和优化管理。

1 全生命周期管理理论基础

1.1 全生命周期管理概念

全生命周期管理就是对工程系统从规划、设计、建设、运行到退役全过程进行综合管理的方法, 核心是通过全过程优化来达到成本、性能、安全三者的统一协调。该理念重视的是从一开始的投资到整个生命周期内综合效益的考虑。LCC 在工程实践中不但是建设阶段的直接成本, 而且是运行维护费用、故障维修成本、系统更新改造费用和由于系统失效所造成的间接损失。因此, 从更广义的角度来讲, LCC 强调的是全寿命成本最优而不是初始投资最低。

1.2 在地铁消防系统中的适用性分析

地铁火灾自动报警系统具有长期运行、高可靠性的特点,而且有很强的联动性,它的性能不是一成不变的,会随着时间的、环境和设备状态的变化而变化。由于地铁系统一般处于封闭、高湿、高粉尘和复杂的电磁环境之中,设备老化速度快,运行状态容易受多种因素的影响,所以单一阶段的管理模式很难保证系统的长期稳定运行。采用全生命周期管理的思想,可以有效地打破传统的“设计-施工-运维”相分离的管理模式,使各个阶段的信息可以互相共享并进行动态的优化管理。在规划和设计阶段就应将运维需求分析纳入其中,在施工阶段同时考虑后期维护的方便性,在运行阶段反向反馈设计缺陷,形成闭环管理机制。LCC 理念的加入可以推进数据贯通和系统协同,对设备运行数据、故障数据以及维护记录展开不断累积并加以分析之后,就能给后面系统的改良赋予支撑。对误报率和环境因素的关系进行分析,可以改善探测器的布置方案,提高整个系统的可靠性。

1.3 管理目标与原则

本研究中全生命周期管理的主要目的有如下几点,第一是提高系统的整体运行可靠性。经过全过程的管理机制,消除各个阶段之间衔接不畅造成的系统误差和故障隐患,保证火灾自动报警系统在复杂的运行环境里依然有稳定的响应能力。其次是降低全生命周期的运维成本。通过设计、施工阶段对系统结构和设备进行优化选择,降低后期的维修次数和维修费用,达到经济性的优化。第三,提高火灾响应速度。通过改善系统联动逻辑以及数据传递方式,缩短了火灾探测到联动执行的时间,提高了应急反应速度,给人员疏散留出更多的逃生时间。最后实现系统智能化、可追溯管理。借助信息化技术,对设备运行状况实施即时监测并加以记载,从而达成整个过程的可追溯目的,进而给后续的剖析与改良赋予数据支撑。管理原则有四个,一是安全第一的原则,一切设计和管理活动都要把保证地铁运行安全作为首要目的;二是全过程控制的原则,对系统各个生命周期阶段实行连续的管理与动态的控制;三是数据驱动的原则,用数据采集和分析来支撑决策的优化;四是持续优化的原则,根据运行反馈不断改善系统性能,实现长期迭代提高。

2 地铁火灾自动报警系统全生命周期管理体系构建

2.1 规划阶段管理体系

规划阶段主要是需求分析、系统定位,根据地铁线路

客流特征、站点分布、风险等级进行评价。此阶段需要确定系统的安装标准、探测的覆盖范围和联动控制的方法。同时要要进行火灾风险预估,保证系统的设计目的同实际的运行环境相契合。

2.2 设计阶段管理体系

设计阶段要重视标准化和协同设计机制的创建,使用 BIM 技术开展多专业融合建模工作。机电、通信、结构三者协同优化可以消除设计冲突。创建设计审查和风险评定体系,就探测器布置是否合理、联动逻辑是否完备展开全面检验,从源头上改善系统的可靠程度。

2.3 施工阶段管理体系

施工阶段是决定系统质量的重要环节,要实行全过程的质量控制。包含设备进场检验、安装工艺标准化管理、隐蔽工程验收等。另外使用信息化监控手段对施工进度、质量实行实时记录,使施工过程有迹可循。

2.4 调试与验收阶段管理体系

本阶段主要是对系统的性能进行检验,即单机调试、系统联动测试和火灾模拟实验。对报警响应时间、联动执行准确性等指标进行检测,保证系统达到设计要求。另外还要创建第三方检测机制来保证验收结果的客观性和权威性,如图 1。

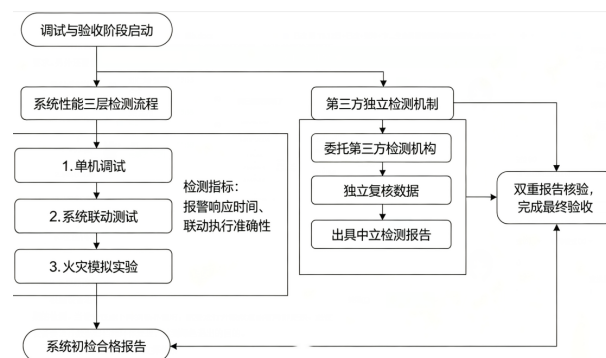


图1 消防系统测试与验收全流程框图

2.5 更新改造与退役管理体系

根据设备老化和新技术更新的情况,应该建立评价体系,对系统的性能做定期的检测。当设备性能下降到临界值时,就要进行升级改造或者局部更换。退役设备要进行数据归档和环保处理,达到绿色退出的目的。

3 基于信息化技术的管理支撑体系

3.1 BIM+GIS 融合应用

利用 BIM (建筑信息模型) 和 GIS (地理信息系统) 的融合,可以创建出宏观线路、中观车站、微观设备三个层次的全面可视化管理体系,进而达到地铁消防系统空间数字化呈现和精细化管理的目的。从微观上来说, BIM 技

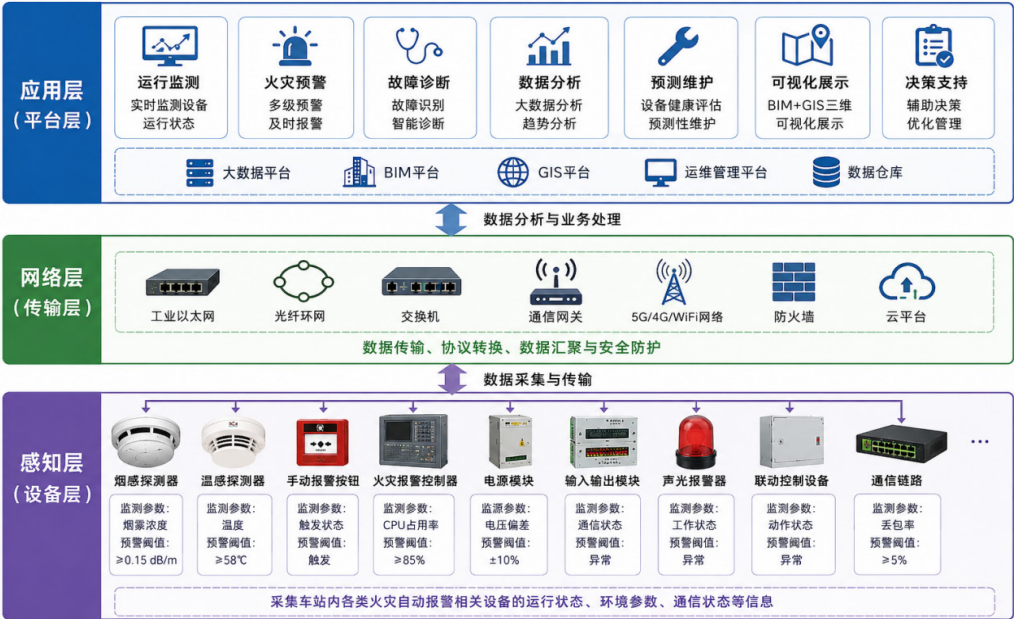


图2 地铁火灾报警系统物联网三层架构拓扑图

术可以对车站内部火灾自动报警系统进行高精度建模，烟感探测器、温感探测器、手动报警按钮、报警控制器、联动设备等各个设施的位置、型号、安装方式、连接关系都可以在三维模型中直观地展现出来。BIM 模型不但是静态展示的工具，它也可以储存设备属性信息和维护数据，给以后的运维管理工作提供基本的数据支持。从宏观上来说，GIS 技术可以把整个地铁线路网络空间化表示出来，把车站的分布、区间、周边环境的风险源（商业区、隧道出口、地下空间密集区等）都放在一个空间上加以叠加分析，进而找出危险性较高的地方。客流大、换乘频繁的换乘站或者商业综合体之间，可以利用 GIS 的空间分析手段来提前做好消防资源的配置以及应急疏散方案，如图 2。

3.2 物联网感知与实时监测

物联网（IoT）技术的应用，使得地铁火灾自动报警系统由原来的“被动响应”模式转变为现在的“主动感知”。在重要的设备和关键的地方布置各种类型的传感器，可以对环境状况和设备运行情况实施即时采集并加以持续监测。系统构成主要是烟雾浓度传感器、温度传感器、电压电流监测模块、设备运行状态监测节点等。这些感知终端依靠无线或者有线通信网络，把采集到的数据立刻传送到中央监控平台，从而产生连续的数据流。从运行机制上来说，系统可以对采集到的数据进行多角度的分析，比如根据温度变化速度来判断是否会出现火灾危险，根据烟雾浓度的变化来发现异常状况，根据设备电流的变化来发现设备的老化或者故障隐患。系统可以设置多级预警机制，数据达到阈值的时候会自动发出报警并进行联动。另外，

物联网技术可以对设备整个生命周期的状态进行跟踪，从设备安装、运行、保养、更换等各个环节都可以得到相关的数据记录，为之后设备寿命预测和维修决策提供支持。借助这样的实时感知机制，系统反应速度和运转可靠性都会得到改善，人工巡检的依赖程度就会降低，如表 1。

表1 火灾自动报警系统主要监测对象及预警阈值

监测对象	监测参数	预警阈值	处置措施
烟感探测器	烟雾浓度	≥0.15 dB/m	一级预警
温感探测器	温度	≥58℃	联动确认
报警控制器	CPU占用率	≥85%	巡检维护
电源模块	电压偏差	±10%	故障排查
通信链路	丢包率	≥5%	网络诊断

上述多维度阈值监测依托物联网终端实时采集数据实现主动预警，降低人工巡检依赖，同时数据同步上传中央平台完成长期存储，为设备健康评估、寿命预测及预测性维护提供数据支撑。

3.3 大数据与智能分析

地铁火灾自动报警系统长时间使用之后，会产生大量的设备运行数据、报警记录、故障信息以及维护记录。这些数据如果只用来存储而不进行深入的分析，那么它的价值就无法得到充分发挥。因此，使用大数据分析技术有重要的意义。对历史运行数据进行结构化整理和清洗之后，就可以创建出统一的数据分析模型，从而对不同种类的设备运行规律展开探究。例如可以对某一类烟感探测器在各种环境条件下出现的误报次数进行分析，进而改进其安装位置和灵敏度的设定；也可以对以往出现的故障数据加以聚类分析，找出设备常见故障类型及其原因。智能分析上

可以采用机器学习或者预测模型,对设备运行状态做趋势预测。例如用时间序列分析来预测设备性能的衰减趋势,从而提前做好维护工作,由原来的“事后维修”变为现在的“事前预防”。除此之外,大数据技术还可以创建风险评价模型,就各个车站、各个区域的火灾危险程度展开动态评定,进而给消防资源调配和应急预案改善赋予科学支撑。就整体而言,大数据以及智能分析技术的使用,使得系统变得越来越智能,并且决策更加科学。

4 全生命周期管理的优化对策

4.1 全生命周期标准体系协同构建与统一管理机制

应建立地铁火灾自动报警系统规划、设计、施工、运维全过程一体化标准体系,统一设计规范、施工工艺标准、设备选型原则、运维管理要求,形成跨阶段贯通的标准化管理框架,保证技术标准和管理规范的一致性执行。另外还要建立多方协同的标准执行和交底机制,加强设计、施工、运维单位之间标准的协同以及信息的对齐,保证关键技术参数、接口协议、系统功能要求在整个生命周期内一致。在此基础上,根据工程实践和技术发展动向,创建起动态更新和迭代改良机制,从而保证标准体系一直契合地铁消防系统智能化以及复杂化的需要。

4.2 多源数据融合与轨道交通数据中台建设机制

应该建立统一的轨道交通数据中台体系,将火灾自动报警系统以及BAS、FAS、SCADA等各个子系统的数据集接入并进行统一治理,从而达到对多源异构数据进行标准化编码、集中存储和集中管理的目的。从技术角度来说,要创建统一的数据接口规范和通信协议标准,促使各个子系统之间数据可以互相连接,冲破信息壁垒,达成跨系统数据共享和协同使用。同时创建统一的数据模型和数据服务机制,将设备运行数据、报警信息以及运维记录融合起来加以分析,从而给系统联动优化以及运行决策赋予数据支持。另外还要加强数据治理体系的建设,提高数据质量控制的能力,保证数据的完整、准确、及时。

4.3 智能化运维体系构建与预测性维护机制

推进地铁火灾自动报警系统运维模式由人工化、非智能化向智能化、自动化转变,创建起以状态感知和数据分析为依托的智能运维体系,逐渐取代传统的手工巡查模式。用智能巡检机器人、移动巡检终端和远程诊断系统来完成关键设备运行状况的自动采集和及时反馈。另外还要建立设备健康状态评价模型,把各种运行数据整合到同一个分析系统中,从而对设备运行状况展开动态评价并划分等级。在此基础上建立预测性维护机制,根据设备性能的变化趋

势提前制定出维护和更换的计划,从被动维修转变为主动预防,从而提高运维效率、降低综合运维成本。

4.4 联动控制架构优化与系统可靠性提升机制

对火灾自动报警系统及其联动子系统进行结构上的改善和控制逻辑上的重组,采用模块化、分层式的控制架构,把报警触发、逻辑判断和执行控制三者分开来,从而减小系统的复杂程度,提高系统的运行稳定性。联动控制机制上建立多级联动校验和确认系统,给重要控制命令增加冗余触发路径和逻辑校验条件,提高系统复杂情况下的稳定性。引入通信冗余以及备用控制通道的设计来提高系统的抗故障性、容错性。另外还要经常进行系统的联动测试和火灾场景模拟演练,不断检验、改善联动逻辑,提高整个系统反应速度和联动的可靠性。

5 结语

地铁火灾自动报警系统属于城市轨道交通消防安全保障体系的重要组成,它的运行可靠程度以及管理水准直接关系到地铁运营安全和突发事件应急处置水平。本文研究表明,在采用全生命周期管理之后,系统可以消除传统分阶段管理所造成的弊端,从而达到系统信息的顺畅连接和协同改善的目的,进而提高火灾自动报警系统可靠性与运行效率。信息化技术深度融合之后又使系统有了更强的实时感知能力和智能决策水平,给地铁消防安全管理赋予了更为科学、高效的技术支持。随着人工智能以及数字孪生技术的发展,地铁火灾自动报警系统管理模式会越来越趋向于智能化、精细化、自主化,其全生命周期管理体系也会不断得到完善,给城市轨道交通安全稳定运行提供更加有力的保障。

参考文献:

- [1] 高凌芳. 高层智能建筑火灾自动报警与消防联动系统设计及应用[J]. 华东科技(综合), 2025(03): 69.
- [2] 夏伯平. 浅谈智能建筑火灾自动报警与消防联动系统[J]. 建筑工程技术与设计, 2023(11): 580.
- [3] 陈刚. 浅析火灾自动报警及消防联动系统在智能建筑中的应用[J]. 建筑工程技术与设计, 2025(19): 44-46.
- [4] 周海刚. 关于消防自动化应与建筑智能化同步发展的分析[J]. 砖瓦世界, 2023(24): 293.
- [5] 宋锦威, 陈久权, 李宏明等. 城市地下综合管廊火灾自动报警系统及监控系统设计[J]. 智能建筑与智慧城市, 2023(04): 98-101.

作者简介: 张坤(1991.07-), 男, 汉族, 江苏徐州人, 本科, 工程师, 研究方向: 地铁消防安全。