

城市轨道交通分布式疏散指示系统可实施性探讨

杨正波 魏海洋

(中铁第六勘察设计院集团有限公司, 300308, 天津//第一作者, 高级工程师)

摘要 城市轨道交通车站消防应急照明和疏散指示系统对于地下空间的消防安全疏散至关重要。结合天津滨海新区轨道交通 B1 线工程集中控制型疏散指示系统情况, 通过对系统方案、综合投资等进行技术经济分析比较, 探讨分布式疏散指示系统设置的可行性, 以期在保证智能疏散指示功能的前提下, 达到系统更稳定且更人性化的消防疏散目的。

关键词 城市轨道交通; 疏散指示系统; 5G 技术

中图分类号 U298.6:U231

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2022.09.012

Discussion on Feasibility of Distributed Evacuation Indication System in Urban Rail Transit

YANG Zhengbo, WEI Haiyang

Abstract The fire emergency lighting and evacuation indication system of urban rail transit station is crucial for underground space fire emergency evacuation and safety. Taking the centralized control evacuation indication system of Tianjin Binhai Line B1 project, through technical and economic analysis and comparison of system scheme and comprehensive investment, the feasibility of setting distributed evacuation indication system is discussed, serving the purpose of more stable and humanized fire evacuation under the premise of ensuring smart evacuation indication function.

Key words urban rail transit; evacuation indication system; 5G technology

Author's address China Railway Liuyuan Group Co., Ltd., 300308, Tianjin, China

由于地铁车站处于地下空间的位置特殊性, 一旦发生火灾, 大量乘客在进行逃生疏散时, 容易发生踩踏等次生灾害, 因此, 消防应急照明和疏散指示系统的设置尤为重要。

根据 GB 51309—2018《消防应急照明和疏散指示系统技术标准》, 现城市轨道交通车站采用集中电源集中控制型疏散指示系统(以下简称“集中控制型疏散指示系统”), 即由 1 台中央控制主机通过通信线路集中控制站内所有疏散指示灯具的指向,

疏散指示逻辑方案通常采用预案制, 即由人工预先对每种火灾报警信息做出预案, 预先配置设定好火灾报警信息所对应疏散指示灯的指示方向, 并存入数据库。当火灾发生时, 火灾报警系统通过通信线路联动集中控制型智能疏散指示系统主机, 主机根据事先设定好的预案开展工作, 引导人员安全疏散。

但集中控制型疏散指示系统存在以下几个问题: ①系统仅设有 1 台中央控制主机, 如果出现宕机故障, 整个系统将会瘫痪, 进而导致所有末端疏散指示灯将无法正常工作指示疏散方向; ②系统主机与火灾报警系统之间、系统主机与疏散指示灯具之间的通信均通过通信线缆传输信息, 如果出现通信线路损坏, 整个系统将无法接收或传输信息, 导致疏散指示灯具将无法正常工作指示; ③疏散指示灯在烟雾中穿透力弱且无距离安全出口的米标信息, 当火灾发生时, 逃生人员由于对环境陌生, 容易产生恐慌紧张的情绪。因此, 本文提出了基于 5G(第五代移动通信)技术的分布式疏散指示系统(以下简称“分布式疏散系统”), 并结合天津滨海新区轨道交通 B1 线实际工程项目, 尝试从系统组成、控制原理、技术经济性等方面, 对两种系统进行分析比较, 研究分布式疏散指示系统在城市轨道交通车站应用的可行性, 以期为后续的工程应用提供参考。

1 系统组成及控制原理

1.1 集中控制型疏散指示系统

集中控制型疏散指示系统由控制层、配电层和灯具层组成。控制层为消防应急照明和疏散指示系统控制器, 配电层为应急照明集中电源/应急照明配电箱, 灯具层为 DC 36 V/DC 24 V 的 A 型消防应急照明灯具。该系统结构如图 1 所示。

集中控制型疏散指示系统采用功率总线技术, 将车站所有应急照明灯具及其配套设备整合在一起。在正常情况下, 系统 24 h 实时巡检系统各设备及灯具的状态和故障信息, 监测系统各供电/通信回路的

工作状况等,通过声光报警提醒管理人员及时对故障灯具或线路进行维护检修。在火灾工况下,系统实时与火灾报警系统(FAS)主机联动,接收火灾报警信号

并确定着火点的位置,并通过自动/手动程序控制和改变疏散指示标志灯的指示方向,从而使逃生人员安全、准确、迅速地选择安全通道逃生。

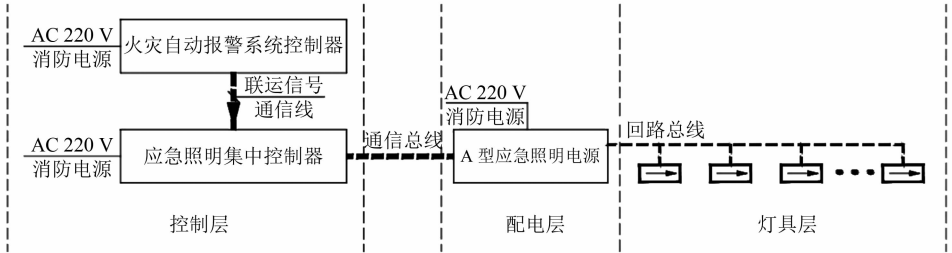


图 1 集中控制型疏散指示系统结构图

Fig. 1 Structure diagram of centralized control evacuation indication system

1.2 分布式疏散指示系统

分布式疏散指示系统由配电层和灯具层组成,其系统结构如图 2 所示。系统配电层为应急照明配电箱。不同于集中控制型疏散指示系统,分布式疏散指示系统的灯具层包括了具备 5G 传输能力的通信单元,其中通信网络采用目前已实现无线网络全

覆盖的民用通信传输系统,具备加载更新建筑场所信息的处理单元,智能算法的计算单元,控制频闪及距离显示功能的控制单元,显示功能的屏显单元和巡检维护的二维码,为一个能够进行通信、计算、处理及控制的独立装置。智能疏散指示灯具构造示意图如图 3 所示。

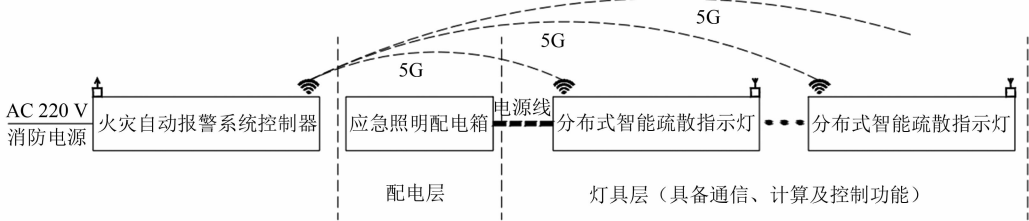


图 2 分布式疏散指示系统结构图

Fig. 2 Structure diagram of distributed evacuation indication system

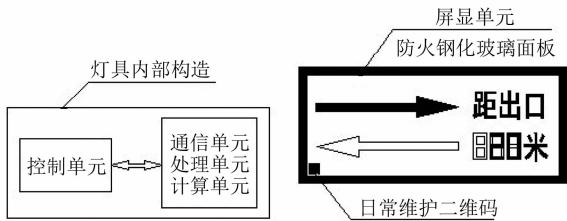


图 3 智能疏散指示灯具构造示意图

Fig. 3 Structural diagram of intelligent evacuation indication lighting unit

分布式疏散指示系统在逃生算法方面,采用确定式和启发式相结合的算法,融入仿生学和人类行为特征的概念,系统根据发生火灾的位置通过合适的算法进行计算,以实现逃生逻辑。在系统可靠性方面,采用 FMEA(失效模式与影响分析)方法,从中央处理器单元、信息载波发送和信息接收单元的选型与设计,将可能存在的安全隐患一一排除;同

时引入“故障导向安全”的可靠性设计理念,保证系统在故障模式下进入“无害”的安全状态,并能发出故障信号。

分布式疏散指示系统无集中控制型智能疏散指示系统的中央控制主机及通信控制线路,系统中的每个疏散指示灯具均拥有独立的通信单元、计算单元、控制单元及屏显单元,形成分布式系统结构。其中,通信单元通过 5G 网络接收火灾报警系统发送的火警信息,计算单元可根据着火点位置动态生成最佳疏散方向,传输至控制单元,并控制屏显单元频闪及距离显示,有效引导人员安全疏散。在正常情况下,每个疏散指示灯具常亮指向就近安全出口的方向,并显示距离最近安全出口的米标信息。日常系统的实时状态监视、事件记录查询、终端远程复位、设备自检等信息通过二维码在维保人员的手机端进行维护管理。在火灾工况下,所在防火分

区的疏散指示灯通过 5G 接收火灾报警系统发送的火警信息,灯具自动转入频闪状态,计算单元根据其自身建立的建筑场所信息,独立分析、判断疏散指示灯指向的出入口路线中是否存在火情障碍。若无火情障碍,灯具则保持目前的疏散指示方向,显示距离安全出口的米标信息;若存在火情障碍,灯具计算单元则计算出避开火情的疏散指示方向,控制单元根据实时计算结果,调整疏散指示方向及显示至安全出口的距离,通过屏显单元引导人员安全疏散,分布式疏散指示系统的逻辑框图和疏散路径示意图分别如图 4 和图 5 所示。

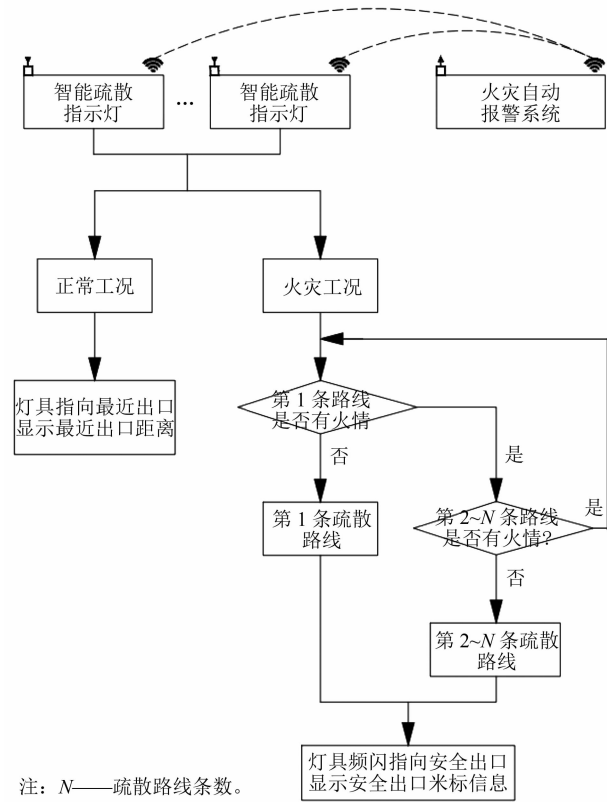


图 4 分布式疏散指示系统逻辑框图
Fig. 4 Logic diagram of distributed evacuation indication system

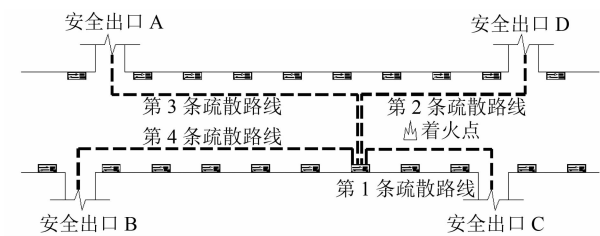


图 5 分布式智能疏散指示系统疏散路径示意图
Fig. 5 Schematic diagram of evacuation path of distributed intelligent evacuation indication system

2 案例分析

以天津滨海新区轨道交通 B1 线一期工程(北段)车站北路站为例,比较分析以上两种系统方案。车站北路站为地下两层岛式车站,其中车站地下一层为站厅层,地下二层为站台层。车站总长为 244.1 m,标准段宽为 23.1 m,有效站台长度均为 140 m。车站主体建筑面积为 10 347 m²,出入口通道、风道(风亭)建筑面积为 4 515 m²。

2.1 集中控制型疏散指示系统方案

以天津滨海新区轨道交通 B1 线一期工程(北段)车站北路站为例,车站疏散指示系统采用集中控制型疏散指示系统,系统在车站控制室设置 1 套集中控制型应急照明控制器,在车站站厅层和站台层的 A、B 端照明配电室根据疏散指示回路设置不同数量的应急照明配电箱,其系统框图如图 6 所示。

2.2 分布式疏散指示系统方案

如果采用分布式疏散指示系统,系统在车站站厅和站台层的 A、B 端照明配电室各设置 1 套应急照明配电箱,为应急疏散指示灯和应急疏散照明灯提供电源,其系统框图如图 7 所示。

2.3 技术经济比较

由表 1 所示的集中控制型疏散指示系统和分布式疏散指示系统的技术比较可知,分布式疏散指示系统优势较为明显,主要体现在以下方面:

1) 系统更稳定可靠。分布式疏散指示系统没有集中控制型疏散指示系统的中央控制主机及通信控制线路,为分布式系统结构。每个疏散指示灯各自为主机控制器,均具备独立通信、计算、控制及显示能力,即使出现宕机故障,也仅为某个疏散指示灯故障,不影响其他灯具的正常使用。系统不会出现集中控制型疏散指示系统的全系统瘫痪情况,甚至分布式系统灯具自带蓄电池时,即使电源线故障,由于均能收到 5G 信号,系统不受物理线缆通断影响,整个系统可靠性更高。

2) 系统疏散逻辑更先进。集中控制型疏散指示系统预设疏散地图信息,在火灾情况下,根据 FAS 反馈着火信息,生成逃生路径进行疏散。而分布式疏散指示系统不预设地图信息,只需根据着火点位置,每个灯具均进行独立分析、判断与计算,确定最佳疏散方向并动态生成逃生路径。

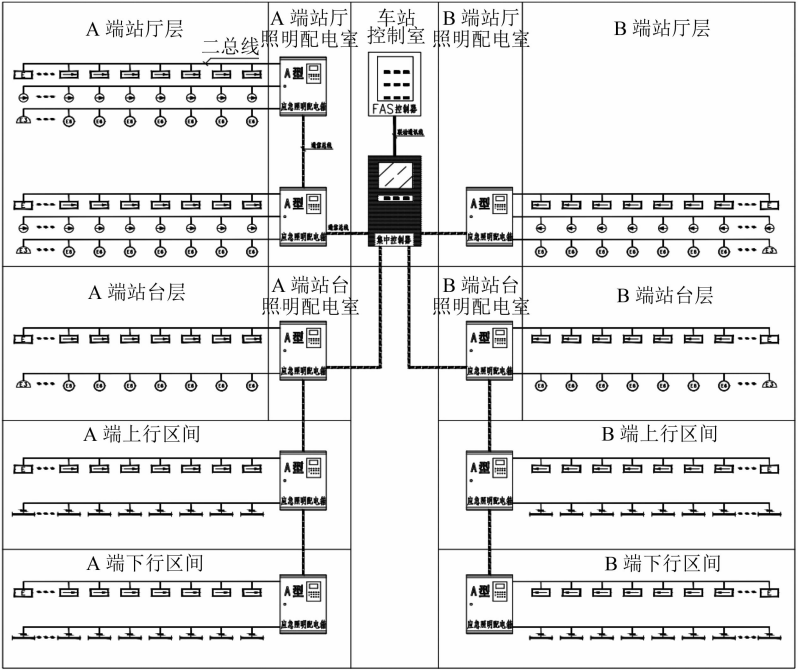


图 6 集中控制型疏散指示系统网络构架图

Fig. 6 Network architecture diagram of centralized control evacuation indication system

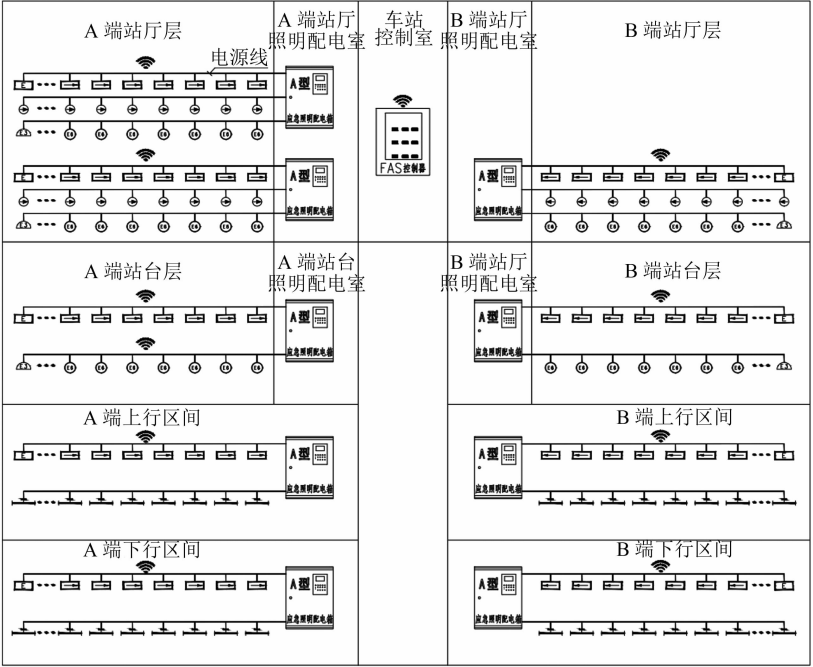


图 7 分布式疏散指示系统网络构架图

Fig. 7 Network architecture diagram of distributed evacuation indication system

表 1 集中控制型和分布式疏散指示系统的技术比较

Tab. 1 Technical comparison between centralized control and distributed evacuation indication system

系统结构	处理单元	通信方式	响应时间/s	疏散逻辑	疏散指示	可维护性
集中控制型	1 台 CPU	RS485/RS232	0.30	预案/动态	频闪	就地+控制室
分布式	<i>n</i> 台 CPU	5G	0.01	动态	频闪+距离显示	就地+远程

注:CPU——中央处理器。

3) 系统响应更迅速。分布式疏散指示系统的每个疏散指示灯具均可通过 5G 网络接收火灾报警系统发送的火警信息,相较于传统通信线路而言,其响应度更快。

4) 系统维护更便捷。分布式疏散指示系统日

常的维护管理,可通过装在维保人员手机端的屏显单元二维码随时随地进行,不仅可以实现就地、控制室和远程维护,还节省了后台的管理主机,系统管理和维护更为便捷。以车站北路站为例,两个系统的投资费用情况如表 2 所示。

表 2 疏散指示系统设备数量及投资费用表(不含区间)

Tab. 2 Quantity and investment cost of evacuation indication system equipment (excluding interval)

系统类型	主控制器/套	集中电源/套	疏散标志灯/盏	疏散标志灯(地理)/盏	疏散照明灯/盏	通信总线/m	总投资/万元
集中控制型	1	6	350	220	280	3 500	42
分布式	0	6	350	220	280	0	50

从表 2 数据可以看出,相比于分布式疏散指示系统,集中控制型疏散指示系统的投资总体少 8 万元。这主要是由于分布式系统的消防应急疏散指示灯具均具有中央处理芯片,能够进行独立通信、计算、处理及控制功能,其单价约为集中控制型系统疏散指示灯的 2.5~3.0 倍,但随着电力电子技术的不断发展和设备的量产化,分布式系统的疏散指示灯设备造价将会下降,两个系统的投资差别将会不断缩小。

通过对车站北路站两个系统的系统结构、通信方式、疏散逻辑、系统维护及投资费用的综合比较,获得两者综合技术经济对比结果,如表 3 所示。

表 3 疏散指示系统的综合技术经济对比

Tab. 3 Comprehensive technical and economic comparison of evacuation indication system

系统类型	可靠性	响应度	疏散逻辑	维护性	投资
集中控制型	可靠	快	正常	正常	正常
分布式	更可靠	更快	先进	便捷	较高

由表 3 可知,分布式疏散指示系统尽管投资较高,但其系统可靠性、响应度、疏散逻辑及系统可维护性较集中控制型系统更具优势。

3 结语

城市轨道交通车站消防应急照明和疏散指示系统对于地下空间的消防安全疏散至关重要。随着计算机技术和网络通信技术的不断发展,智能消防应急照明和疏散指示系统在满足系统运行要求的前提下,采用成熟先进的技术、设备配置与选型是该领域不断升级换代的需求。相较于集中控制型疏散指示系统,分布式疏散指示系统尽管其投资较高,但基于其分布式系统结构,在系统先进性、可靠性、开放性、响应度及可维修性等方面均具有领

先性,尤其在系统结构上,其分布式独立处理单元具有极其安全可靠的优势,值得在新建线路或改造项目中推广实施。

参考文献

[1] 董海燕,杜晓冬,杜奕智,等. 基于蚁群算法的智能型疏散指示系统的设计[J]. 控制工程,2019(6):1126.
DONG Haiyan, DU Xiaodong, DU Yizhi, et al. Design of intelligent evacuation indication system based on Ant Colony algorithm[J]. Control Engineering of China,2019(6):1126.

[2] 龚晓. 智能型消防应急照明和疏散指示系统[J]. 现代建筑电气,2013(3):50.
GONG Xiao. Intelligent fire emergency lighting and evacuation indicator system [J]. Modern Architecture Electric, 2013 (3):50.

[3] 汪志雷,华敏,徐大用,等. 地铁隧道火灾人员疏散模拟研究[J]. 消防科学与技术,2014(6):645.
WANG Zhilei, HUA Min, XU Dayong, et al. Simulation research of human evacuation in subway tunnel fire[J]. Fire Science and Technology,2014(6):645.

[4] 马瑞娥. 消防应急照明和疏散指示系统设计要点[J]. 现代建筑电气,2019(9):23.
MA Ruie. Design essential of fire emergency lighting and evacuation indicating system[J]. Modern Architecture Electric, 2019(9):23.

[5] 湛杰. 城市轨道交通智能疏散指示系统的设计及建设[J]. 中国科技投资,2016(21):263.
CHEN Jie. Design and construction of intelligent evacuation indication system for urban rail transit [J]. China Venture Capital,2016(21):263.

[6] 李泽华. 集中控制集中电源型应急疏散指示系统设计[D]. 长沙:湖南大学,2012.
LI Zehua. Centralized control of the design and development of the centralized power intelligent evacuation systems [D]. Changsha:Hunan University,2012.

(收稿日期:2022-01-20)