

## 城市轨道交通大型换乘车站应急防灾设计

周 兵 文 鹏

(中铁第四勘察设计院集团有限公司, 430063, 武汉)

**摘 要** [目的] 鉴于大型城市轨道交通(以下简称“城轨”)换乘车站数量不断增加,以及该类车站具有埋深较大、人员密集、逃生救援场地受限的特征,应急防灾难度和压力十分突出,因此需要对此类型车站的应急防灾进行设计。[方法] 以武汉光谷广场综合体工程作为实际案例,从火灾防护、大客流防护、洪涝防护、恐袭防护及突发疫情防护等 5 个重点方面,分析大型城市轨道交通车站所面临的灾害特征,结合方案设计、模拟仿真、计算分析等方式,对不同类型的灾害提出解决方案。[结果及结论] 采用开放式的建筑布局 and 贯通的人行交通层,结合自然排烟与下沉广场设置准安全区,是困难条件下大型地下空间的有效消防措施;结合车站特点分析客流高峰情况,对不同时段、不同类型的使用人群进行分类,并设置相对独立、交叉少的流线,以有效地进行大客流防护;除常规的洪涝防护措施外,提高与周边地下空间的硬隔离措施,如增加防淹门是作为洪涝防护的必要手段;提高站内的通透性,快速疏散乘客,避免堵塞滞留可有效防护恐怖袭击;对于突发疫情防护,应严格按照我国相关管理规定,落实日常防控管理,适时采取一般疫情或较大疫情响应措施。

**关键词** 城市轨道交通;大型换乘车站;应急防灾设计

**中图分类号** U231+.96:U231.4

**DOI**:10.16037/j.1007-869x.2024.03.041

## Emergency Disaster Prevention Design for Large Urban Rail Transit Transfer Station

ZHOU Bing, WEN Peng

(China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd., 430063, Wuhan, China)

**Abstract** [Objective] In view of the increasing number of large-scale transfer stations in urban rail transit, which are characterized by deep burial depth, intensive personnel, limited escape and rescue sites, the difficulty and pressure of emergency and disaster prevention is very prominent. It is necessary to design the emergency and disaster prevention for such type of stations. [Method] With Optics Valley Plaza Complex in Wuhan as a practical case, the disaster characteristics faced by the large-scale transfer station are analyzed from five key aspects i. e. fire prevention, large passenger flow prevention, flood prevention, terrorist attack prevention and emergency epidemic

protection. Solutions to the different types of disasters are proposed in combination with scheme design, simulation, calculation and analysis. [Result & Conclusion] Using open building layout and run-through pedestrian traffic layer, and setting up quasi-safety areas with natural smoke exhaust and sunken square are the effective fire prevention measures for the large underground space under difficult conditions. Analyzing the peak passenger flow based on the characteristics of the station, classifying the users of different types and in different periods, and setting up relatively independent and less crossover flow lines are the ways to effectively prevent large passenger flow. In addition to conventional flood prevention measures, strengthening hard isolation measures from surrounding underground spaces, such as adding flood doors, is a necessary means of flood prevention. Keeping the station clear, evacuating passengers quickly, and avoiding passengers' stagnation can effectively prevent terrorist attacks. In response to sudden epidemics, daily prevention and control management should be strictly implemented in accordance with China's relevant national regulations, and general or larger epidemic response measures should be taken in a timely manner.

**Key words** urban rail transit; large transfer station; emergency disaster prevention design

随着我国城市化进程的快速发展,城市轨道交通(以下简称“城轨”)线网也日益完善,大型多线城轨换乘车站不断增加。该类工程往往具有埋深较大、人员密集、逃生救援场地受限的特征,防灾难度和压力十分突出。

目前,国内外对于城轨车站和地下空间的防灾设计<sup>[1-3]</sup>、消防安全<sup>[4-6]</sup>等方面已有研究。对于以大型城轨车站为核心的城市地下综合体,其应急防灾更为复杂。本文结合武汉光谷广场综合体工程,从火灾、大客流、洪涝、恐怖袭击、突发疫情等五个重点方面,总结大型城轨车站应急防灾设计经验和要点。

## 1 工程概况

光谷广场综合体工程(见图 1)位于武汉市主城

区与东湖国家自主创新示范区联系的重要节点——光谷广场,工程总建筑面积约 16 万  $\text{m}^2$ ,其主体为 3 条地铁线路交汇形成的大型换乘车站,武汉地铁 9 号线(以下简称“9 号线”)和武汉地铁 11 号线(以下简称“11 号线”)站台集中布置在光谷广场中心地下。

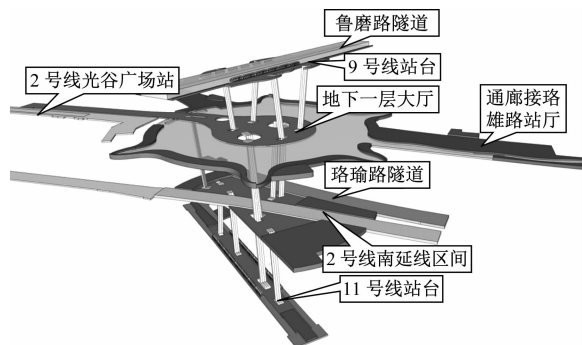


图 1 光谷广场综合体工程空间布局图

Fig.1 Spatial layout map of Optics Valley Plaza Complex

光谷广场综合体工程的超大体量和客流给应急防灾带来了巨大的挑战。根据工程特点,应急防灾的首要原则是简单便捷、快进快出,且其根本在于建筑布局。

通过对各种地铁线路的空间组合形式进行研究比选,创新采用了地下站厅、高架站台的建筑形式,将整个地下一层大厅设置为贯通的地铁换乘和交通层,形成  $\phi 200 \text{ m}$  贯通无阻隔的圆形交通大厅,并通过下沉广场与周边各地块连接,实现超大客流的便捷换乘和快速通行;9 号线站台布置于地下一层夹层,11 号线站台布置于地下三层,地下二层为换乘过渡厅和武汉地铁 2 号线(以下简称“2 号线”)区间,换乘流线简单规则。在合理建筑布局的基础上,针对各类型灾害防护进一步进行研究。

## 2 火灾防护

### 2.1 紧急疏散策略

光谷广场综合体工程设计的远期客流高峰小时达到 8.8 万人次/h,因此,确保在火灾等紧急情况下庞大客流的安全疏散是一个重大课题,也是最重要的功能目标。

在安全疏散策略上,采用常规手段难以将如此巨大的客流快速疏散至室外,由于地面交通限制,亦无条件设置大量疏散楼梯来解决垂直交通。为此,在地下一层环形大厅顶部设置电动天窗实现火灾自然排烟,在大厅周边开设 5 个大型下沉广场实

现人员快进快出。结合火灾疏散及自然排烟模拟,认定地下一层环形大厅区域在火灾工况下为准安全区。

为满足安全疏散距离要求,在大厅中部结合地铁设施设置 4 组直通地面景观环岛的疏散楼梯,确保事故工况下就近快速疏散人员,保证安全。地下一层公共区共设置 13 个安全出口,可将人员就近疏散至地面与避难走道,最远处的疏散距离不大于 50 m。光谷广场综合体工程地下一层大厅人员安全疏散流线见图 2。

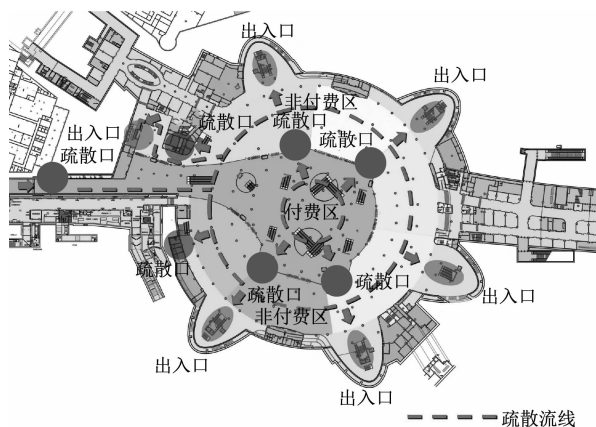


图 2 光谷广场综合体工程地下一层大厅人员安全疏散流线

Fig.2 Evacuation streamline of the underground floor hall in Optics Valley Plaza Complex

为确保火灾各类场景下人员都可以安全疏散到安全区域,达到安全目标,进行了人员安全疏散三维仿真模拟和优化设计,并进一步制定了工程紧急情况下人员安全疏散的基本控制策略:

1) 当地下一层圆形站厅、换乘厅或 9、11 号线站台发生火灾时,通过该站的 9、11 号线列车不在该站停留,直接驶离该站;2 号线与地下一层圆形站厅的换乘通道在火灾时关闭,不作为相互借用的安全出口,2 号线列车正常运行;反之,2 号线发生火灾时,该线路列车不在该站停留,而是直接驶离该站,9、11 号线正常运行。

2) 当行驶到站的列车发生火灾时,着火列车一侧的站台门全部打开,列车上的乘客通过站台门疏散到站台;当列车靠站而车门与站台门未对准位置时,仅应急疏散门和对应的车门打开供人员疏散。

3) 车站站厅人员直接通过站厅出入口疏散至室外;车站换乘厅和站台上的人员首先通过楼梯、自动扶梯及封闭楼梯间疏散至站厅层,再通过站厅

的出入口疏散至室外。此外,车站人员还可通过车站设置的直通地面或避难走道的封闭楼梯间进行疏散。

4) 紧急疏散时,自动扶梯与火灾探测器联动,并自动缓慢停止作为疏散楼梯使用。楼梯和自动扶梯附近发生火灾时,其不再作为疏散楼梯使用。

5) 紧急疏散时,所有闸机通道均与火灾探测信号联动打开供人员疏散,包括进站闸机、出站闸机和员工通道。站厅出入口附近发生火灾时,该出入口不再作为疏散出口使用。

## 2.2 公共区防火分区与防排烟

根据建筑和消防功能需求,9 号线站台、地下一层站厅、地下二层转换厅,以及 11 号线站台公共区划为同一个防火分区,面积为  $41\,025\text{ m}^2$ 。光谷广场综合体工程的巨大体量,以及大跨度、高空间的独特布局,形成了超大规模的地下一层公共区,面积约  $3.4\text{ 万 m}^2$ ,体积约  $30\text{ 万 m}^3$ ,相当于 10 个标准地铁车站。为满足地下一层公共区防排烟要求,设计需达到的总排烟量达  $207.04\text{ 万 m}^3/\text{h}$ ,这是常规地铁车站机械排烟手段难以解决的巨大难题。

通过烟气控制和气流组织三维仿真模拟,验证了光谷广场综合体工程利用顶部采光天窗进行自然排烟的可行性,同时获得了自然排烟系统及通风空调系统的关键技术参数,相应制定了光谷广场综合体工程地下一层公共区防排烟系统的解决方案:地下一层采用自然排烟方式,即在地下一层通高大厅及 9 号线车站隧道上方设置排烟天窗,并保证其距地下一层任意一处的距离均不超过  $30\text{ m}$ ,且其开启面积不小于地下一层总面积的  $5\%$ 。光谷广场综合体工程地下一层公共区自然排烟和通风系统,如图 3 所示。

通过对可能发生的不同火源位置、不同火灾场景下的人员疏散进行模拟计算,对比分析各火灾场景下的疏散可利用时间和疏散需要时间后发现:地下一层站厅体量大,具有较大的蓄烟空间;自然排烟效果较好,烟气不易发生沉降;车站内人员能在危险来临前逃离危险区域,人员疏散安全。由此可见:在排烟系统有效的情况下,车站内烟气能得到较好控制,且能满足人员安全疏散的要求。

## 2.3 应急救援

不同于地面建筑可设计消防环道,地下公共建筑需充分利用城市公共设施来满足消防救援的需

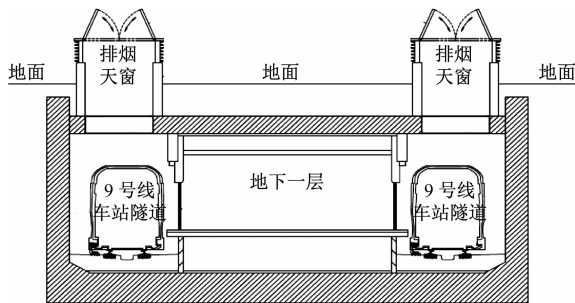


图 3 光谷广场综合体工程地下一层公共区自然排烟和通风系统

Fig. 3 Natural smoke exhaust and ventilation system of the underground floor hall in Optics Valley Plaza Complex

要。光谷广场综合体工程所在区域为城市交通核心区,城市主干道交通便利,为消防救援创造了有利条件;地下空间疏散口、消防电梯等救援通道相应沿道路设计,并在大型下沉广场前段设置前广场,兼顾消防救援的场地,为应急救援提供场所。在火灾及其他灾害发生时,可通过枢纽与应急管理部门的联动迅速获取救援。

## 3 大客流防护

地铁车站大客流类型主要有:节假日大客流、大型活动大客流、恶劣天气大客流,以及设置设备故障引发的大客流等。大客流影响因素主要包括单位时间内乘客人数、大量进站客流持续时间、瞬间客流量、乘客结构及车站结构等。根据已有 2 号线光谷广场站的运营统计数据,光谷广场节假日高峰期的客流量达到  $20\text{ 万次/d}$  以上,大客流类型主要以节假日(包含寒暑假起始及结束时期)学生、白领客流为主,持续时间长、绝对数量大。

根据区域客流特点及实际情况,本工程的大客流疏导重点措施为:设计顺畅合理的客流流线,使得客流分布均匀,避免客流交叉干扰和过度迂回。对相对集中进站(集中设置 6 处进站闸机,每处设置 1 台安检机)和分散进站(分散设置 8 处进站闸机,每处设置 1 台安检机)进行对比发现:相对集中进站方案下通过单台安检机的平均客流量为  $3\,037\text{ 人次/h}$ ,表明高峰时段进站客流压力较大;分散进站方案下通过单台安检机的平均客流量为  $2\,362\text{ 人次/h}$ ,客流较为适中。同时通过对进出站客流流线和换乘客流流线,以及自动扶梯上下行方向的设计优化,保障客流流线顺畅,最大限度地避免客流流线交叉。



## 4 洪涝防护

光谷广场综合体工程防淹设计的暴雨频率按当地百年一遇暴雨重现期的标准设防。通过对该工程整个场地的竖向标高、防洪水位及暴雨内涝水位进行系统分析,综合确定每个出地面设施的设计标高,以及周边地面的场地标高和坡度,避免暴雨引起出地面设施积水或倒灌,确保工程防洪、防涝安全。对于有洪水和内涝隐患的工程,需将其与区域防洪体系协调动作,从源头上避免灾害的发生。

在设备设施方面,除控制出地面设施口部标高、设置防洪闸槽与防淹挡板、设置排水沟与集水井等常规措施外,结合以往周边商业地下室淹水造成地铁线路被淹的案例,在车站与周边商业地下室接口设置防淹门,在紧急情况下可及时将其关闭。

## 5 恐怖袭击防护

### 5.1 恐怖袭击特征

地铁系统作为重要的城市公共交通设施,是恐怖袭击风险较高的目标之一。地铁车站的主要恐怖威胁有:爆炸活动、生化及放射性恐怖袭击、纵火等。除此以外,恐怖分子也可能利用地铁安全措施不完善、阻塞轨道制造混乱等手段发动突然袭击。地铁恐怖袭击的安全薄弱环节主要存在于下述部位:

- 1) 出入口:既是恐怖袭击进入的通道,也是人员疏散的关键通道;
- 2) 地铁付费区:环境封闭、人员密集,在遭受恐怖袭击后疏散、通风、排烟、照明等均较困难;
- 3) 车厢内部:车厢内人员拥挤,空间狭窄,遭受袭击后容易引发恐慌,引起踩踏等二次灾害。

### 5.2 恐怖袭击防护措施

在地铁车站应对恐怖袭击的防控中,从设计阶段就应考虑应对恐怖袭击的需要,在出入口、站台、机电设计等方面有效提高地铁安全预防能力。

1) 出入口设计。可将车站的主要出入口设计为开敞式的下沉庭院,整合进出站自动扶梯和残疾人电梯,兼顾地下采光、通风排烟功能,同时使出入口成为一览无遗的公共空间,避免封闭狭窄空间的不利影响。组合式下沉广场出入口如图4所示。

2) 装修艺术设计。优美的装修艺术设计可减少消极心理暗示,采用丰富亮丽的色彩,活泼向上

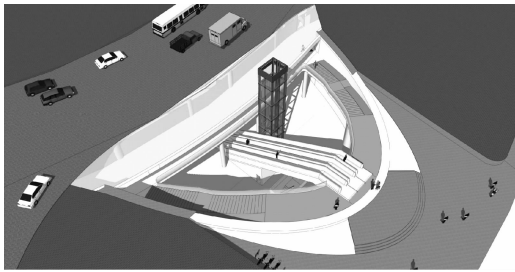


图4 组合式下沉广场出入口

Fig.4 Entrance and exit of combined sunken plaza

的风格,有利于营造健康、积极的空间氛围。装饰宜简洁通透,避免使用过多材料堆砌,以免遇袭时造成坍塌和堵塞,进而造成人员伤亡和影响人员及时疏散。工程材料应避免使用易燃、化学制品类材料,谨慎使用普通玻璃等破碎时产生锋利尖角或飞屑的材料。

3) 完善安全设备。在客流相对集中的付费区进站闸机附近均设置安检设备,乘客进入车站前需对行李进行安全检查,确保违禁品不被带入站台及车厢中。在工程内部设置自动喷水灭火系统、除烟设备、消火栓和紧急照明灯等报警及消防设施系统,确保车站发生大火时及时被扑救,减缓、阻止灾害蔓延,为人员逃生提供时间。

4) 完善的通风设施。良好的送风和排烟系统,能在火灾时对热烟气进行有效控制,为乘客和救援人员提供新鲜空气和能见度;在遭遇毒气袭击时,可根据投放毒气的场所,利用通风排烟系统采取不同的启闭组合措施进行针对性防治,同时可在公共区适当位置布置防毒面具器材箱,使人员能在最短时间内完成安全防护。

## 6 突发疫情防护

传染病突发应急处置应当坚持预防为主、依法管理、属地管理、分级预防、快速反映及依靠科技的原则。

### 6.1 突发疫情预防措施

严格按照《中华人民共和国传染病防治法》的规定,落实各项日常防控措施。根据疫情需要做好消毒物品、防护用品等物资的相应储备;同时加强宣传教育和督导检查,普及传染病防治知识,积极开展健康教育,真正做到群防群控。工作人员应及时、如实报告突发公共卫生事件与传染病疫情信息,不得瞒报、缓报、谎报或授意他人瞒报、缓报、谎报。

## 6.2 突发疫情应急响应

根据传染病疫情预警通报,结合具体疫情,经传染病突发疫情工作小组提出,传染病突发疫情应急领导小组批准启动和终止相应级别的应对预案。

1) 一般疫情响应在坚持日常防控措施的基础上,适时采取以下措施:① 检索传染源,发现传染病确诊病人或疑似病人时,应立即采取应急防控措施;② 根据传染病的种类,对疫点(区)和病人实施必要的隔离和医学观察;③ 加强重点部位如休息室、卫生间等部位的防控,加强公共场所的通风换气,定期消毒;④ 加强舆论引导、宣传,以及传染病防治卫生知识的健康教育,引导工作人员及乘客树立卫生防病意识。

2) 较大疫情响应应适时采取以下措施:① 根据传染病的种类可采取对所有人群实施隔离、控制措施,及时对人群聚集点进行定时消毒;② 发现疫情后在 4 h 内上报与患者接触密切接触人员的摸排情况,配合卫生防疫部门做好流调和消毒等工作。

3) 重大疫情响应时可实行封闭管理。

## 7 结语

1) 大型地铁站首要问题是研究最优建筑布局,实现简单便捷、快进快出的功能和防灾需求。

2) 结合自然排烟与下沉广场设置的准安全区是困难条件下大型地下空间的有效消防措施。

3) 大客流及恐怖袭击灾害可重点通过开放的空间布局和完善设施设备来规避。

4) 针对洪涝灾害,需系统分析确定工程场地、出口标高及防淹设施,并将其与区域防洪体系协调进行防范。

5) 针对突发疫情,需重点落实防控措施和应急预案。

## 参考文献

[1] 柴家远. 大型复杂地下空间总体设计研究[J]. 铁道工程学

报, 2012, 29(7): 77.

CHAI Jiayuan. Research on overall design of large-scale complex underground space[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2012, 29(7): 77.

[2] 邱桐, 陈湘生, 苏栋. 城市地下空间综合韧性防灾抗疫建设框架[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2021, 61(2): 117.

QIU Tong, CHEN Xiangsheng, SU Dong. Comprehensive, resilient disaster and pandemic prevention construction framework for urban underground spaces[J]. Journal of Tsinghua University (Science and Technology), 2021, 61(2): 117.

[3] 熊朝辉, 周兵, 何丛. 武汉光谷广场地下交通综合体设计创新与思考[J]. 隧道建设(中英文), 2019, 39(9): 1471.

XIONG Zhaohui, ZHOU Bing, HE Cong. Innovations and thinking on design of Wuhan Optics Valley Square underground traffic complex[J]. Tunnel Construction, 2019, 39(9): 1471.

[4] 黄昕, 靳健, 林作忠, 等. 基于复杂网络的城市深部空间火灾灾害链分析及智慧减灾方法研究[J]. 应用基础与工程科学学报, 2021, 29(5): 1280.

HUANG Xin, JIN Jian, LIN Zuozhong, et al. Complex network-based analysis on fire disaster chain of urban deep underground space and intelligent disaster mitigation measures[J]. Journal of Basic Science and Engineering, 2021, 29(5): 1280.

[5] 刘松涛, 卫文彬, 刘诗瑶. 城市综合交通枢纽地下换乘大厅消防安全对策研究[J]. 工业建筑, 2016, 46(6): 16.

LIU Songtao, WEI Wenbin, LIU Shiyao. Study of fire safety countermeasures for underground transfer halls of comprehensive urban transportation hub [J]. Industrial Construction, 2016, 46(6): 16.

[6] 邱少辉. 武汉光谷广场综合体全地下高大空间自然排烟可行性研究[J]. 暖通空调, 2019, 49(6): 58.

QIU Shaohui. Feasibility study on natural smoke exhaust in all underground and high space of Wuhan Optics Valley Plaza Complex [J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2019, 49(6): 58.

· 收稿日期:2021-08-24 修回日期:2021-12-15 出版日期:2024-03-10

Received:2021-08-24 Revised:2021-12-15 Published:2024-03-10

· 通信作者:周兵, 正高级工程师, zhoubing02@126.com

· ©《城市轨道交通研究》杂志社, 开放获取 CC BY-NC-ND 协议

© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

欢迎投稿《城市轨道交通研究》

投稿网址:tougao. umt1998.com