

基于 Pathfinder 的大型综合体架空平台 消防疏散策略研究

宋世铭¹, 朱磊², 郑敏³, 邱磊², 王宇², 李百毅¹

(1. 西南交通大学建筑学院; 2. 四川省住房和城乡建设厅; 3. 四川省建筑科学研究院有限公司)

【摘要】以扎哈事务所在成都的“独角兽岛园区项目”为例, 针对大型综合体局部架空平台空间, 分析其在紧急情况下发生火灾时人员安全疏散状况, 提出相应的应急疏散优化策略。文章先介绍了相关项目概况及消防设计, 为模拟提供参考与分析依据。其次, 基于 pathfinder 疏散模拟软件对独角兽岛园区其中大平台上下部空间进行疏散仿真研究, 通过调研确定出人员基本构成与特征参数, 分析火灾时疏散效率、堵塞情况, 总结出单体与大平台衔接处存在的疏散问题, 最后针对现存问题提出相应的优化策略以提高疏散效率。本研究可为大型综合体架空平台人员密集场所人员疏散问题的优化及安全管理提供参考。

【关键词】疏散路径优化策略; pathfinder; 大型商业综合体架空系统; 人员疏散

中图分类号: TU998.1

DOI: 10.13655/j.cnki.ibci.2023.11.002

Research on Fire Evacuation Strategy of Large Complex Aerial Platform Based on Pathfinder

SONG Shi-ming¹, ZHU Lei², ZHENG Min³, QIU Lei², WANG Yu², LI Bai-yi¹

(1. Research on Fire Evacuation Strategy of Large Complex Overhead Platform Based on Pathfinder; 2. School of Architecture, Southwest Jiaotong University; 3. Sichuan Institute of Building Research)

【Abstract】Taking the "Unicorn Island Park Project" of Zaha Office in Chengdu as an example, aiming at the local overhead platform space of large complex, the safety evacuation situation of personnel in case of fire in emergency is analyzed, and the corresponding emergency evacuation optimization strategy is proposed. This paper first introduces the relevant project overview and fire protection design to provide reference and analysis basis for simulation. Secondly, based on the pathfinder evacuation simulation software, it conducts evacuation simulation research on the space above and below the large platform in Unicorn Island Park, determines the basic personnel composition and characteristic parameters through investigation, analyzes the evacuation efficiency and congestion situation in case of fire, and summarizes the evacuation problems existing at the junction between the monomer and the large platform. Finally, aiming at the existing problems, it puts forward corresponding optimization strategies to improve evacuation efficiency. This study can provide a reference for the optimization and safety management of evacuation problems in crowded places of large complex overhead platforms.

【Keywords】evacuation route optimization strategy; pathfinder; overhead system of large commercial complex; personnel evacuation

1 引言

当前, 国家标准中对许多复杂、不规则大型空间的消防设计没有明确规定, 因此国内许多大型复杂建筑综合体的方案设计及规范大多采用国际标准或者境外工程建设消防技术标准进行特殊设计^[1]。

2 项目概况

独角兽岛园区项目位于成都天府新区科学城、鹿溪智谷区内, 项目规划用地约 67.1hm², 净用地约 31.9hm², 总建筑面积 142 万 m²。为践行公园城市发展理念, 项目大平台与园区内十余栋建筑相连, 形成横跨城市道路的空中花园、慢行系统。本文主要针

对其梓州大道上盖大平台及其下部步行空间部分进行讨论。大平台为不规则形状, 东西向约 300m, 南北向约 350m, 位于地面上 10m 左右, 除结构厚度其下方净高不小于 6m, 与周围建筑三层接驳(见图 1)。



图1 大平台效果图

3 局部建筑消防设计

3.1 设计原则

①建筑单体及地下室按照现行建筑设计规范设计;②大平台下方公共道路按照现行城市道路规范;③大平台难点问题采用境外设计规范,主要参照《NFPA5000》(2021)美国消防协会建筑结构和安全规范。

3.2 消防设计难点

①人员数量多,大平台及其下部空间面积大,密集人群疏散过程中易出现拥堵现象;②人员构成复杂,虽主要以中青年为主,但存在地下商业步行街,存在携带东西的人员与工作服务的人员;③疏散效率不高,建筑部分采用整体式疏散,楼梯口易出现“瓶颈”,大平台到向下疏散的楼梯距离也无限制。

4 相关模拟参数信息

4.1 疏散模式选择

Pathfinder 是由美国公司开发的一个基于人员运动的模拟器,常用于大型公共建筑的疏散模拟实验,软件有 steering 和 SFPE 两种运动模拟方式^[2]。Steering 模式常用于大型公共建筑的疏散模拟,门不会限制人群流动,人与人之间会保持合理间距,有碰撞响应。本文主要借助应用范围更广的 Steering 模式进行相关仿真模拟^[3]。

4.2 人员特征

大型商业综合体由于其功能复合、空间体量大等特性决定了其人员构成数量多且复杂。考虑建筑大平台及其下部空间主要为商业步行街、地铁站台以及部分办公服务人员。为尽可能全面地模拟各类人群疏散状况,将人员构成分为老年人、成年人、青少年、幼儿,按性别分男性、女性。最后依照实际调研确定疏散人数比重。

4.3 相关人员参数

4.3.1 人体尺寸

不同人种的体型系数存在差异,由于模拟软件由欧洲国家研发,其建议的人员体积参数不符合亚洲人一般体型,相较之下我国人体参数较小。因此,依据《中国成年人人体尺寸》规定,取成年男性肩宽为 50cm,成年女性肩宽为 45cm^[4]。

4.3.2 疏散速度

根据美国消防工程师协会 SFPE 的消防工程手册及 Simulex 的建议^[5],并结合四川消防研究所“973”课题研究中进行的人员疏散演习实验人员的疏散速度通过综合考量,取成年男性为 1.1m/s、成年女性 1m/s、儿童 0.8m/s、老人 0.6m/s。

4.3.3 疏散人数的确定

1) 大平台本身的人员数量

考虑到大平台虽然定性为城市公园,但由于部分单体建筑的商业与大平台接驳,同时大平台上有可能举行人员聚集的活动,因此,将梓州大道上方较远离单体建筑区域视作公园业态,大平台西侧及东南侧与商业接驳区域视作商业业态。

按假设情况计算大平台人数:大平台公园业态区域面积和商业业态区域面积分别为 23650m² 和 25938m²,公园参照《公园设计规范 GB 51192-2016》取 30m²/人计算,商业按《建筑设计防火规范 GB50016-2014(2018 年版)》^[6]中的地上三层商业营业厅取值,即 0.39 人/m²,则大平台人数为 23650/30+25938×0.39=10904 人。

2) 需要通过平台疏散的人员数量

通过大平台疏散的单体建筑的人员主要是与大平台同层接驳的商业的人员。考虑到建筑单体之间防火间距都满足规范的要求,根据分阶段疏散策略,在计算疏散人数时按照所有需经大平台疏散的商业中人数最多的一栋进行计算,共有 9 栋单体建筑的商业要经过大平台疏散(见图 2)。

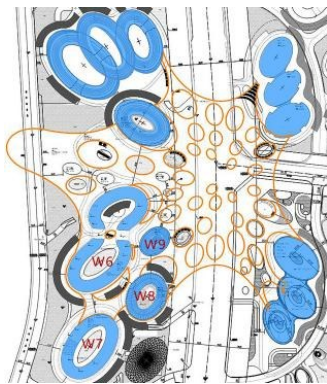


图2 大平台接驳建筑单体(图片来源:作者整理收集)

大平台疏散总人数=大平台本身的人数+需经大平台疏散的单体建筑中人数最多的一栋=10904+2722=13626 人。对于具体的人员组成比例,本文根据对商业场所的调研(设定见表 1)。

表1 人员组成比例

人员种类	成年男性	成年女性	儿童	老人	占比
顾客	30%	30%	30%	10%	90%
工作人员	50%	50%	-	-	10%
人员百分比	0.32	0.32	0.27	0.09	1
办公人员	50%	50%	-	-	100%
人员百分比	0.32	0.32	-	-	1

5 大平台疏散策略

5.1 不同起火位置的疏散策略

①单体建筑起火时,仅疏散起火单体建筑的人员;②大平台下方起火时,因大平台空间开阔,火灾不会立即对整个平台造成影响,因此大平台采用分阶段疏散的策略,根据火势动态调整需要疏散的大平台区域和需要通过大平台疏散的单体建筑的人员。本项目部分单体建筑在与大平台接驳的楼层设置了商业(仅一层),为了减少至地面的楼梯数量,大平台接驳的商业区域先疏散至大平台,再通过大平台楼梯往地面疏散。建筑单体均通过建筑内部楼梯直接疏散至地面,不通过大平台疏散。

5.2 大平台疏散宽度与距离

按NFPA5000,大平台通往地面的疏散楼梯宽度按每百人0.25m计算,即设计疏散宽度=疏散总人数/100×0.25=13626/100×0.25=34.065m;按NFPA5000,大平台上的疏散距离不限,目前设计中平台任一点至最近的楼梯的距离不超过150m。大平台疏散距离和疏散宽度:由于大平台疏散人数不超过20000人,疏散宽度按照每人0.0025m=2mm×1(A)×1.25(B)计算。系数A为楼梯踏步高度超过17.78cm计算值,本项目未超过,因此系数A为1;B为楼梯在760mm范围内没有扶手的系数,为1.25。

6 疏散分析

本文主要针对平台向下疏散处及建筑向外疏散处的节点空间,因综合体功能及人群复杂性,暂不对具体空间的内部交通做分析。模拟时采用以下人员疏散场景E1:平台上方和下方同时发生火灾,假设梓州大道汽车着火,同时邻近建筑体W6着火,导致平台和单体建筑W6需同时疏散,起火位置为平台下方距开洞最远的位置,根据疏散策略进行模拟分析。

6.1 疏散结果分析

利用人员疏散仿真软件Pathfinder对E1场景进

行疏散模拟分析,可以得到人员分布及疏散过程,建筑单体一部分从上往下疏散到一层出口视为安全疏散,一部分往大平台疏散,大平台向下疏散至室外地坪为安全(疏散结果见图3)。

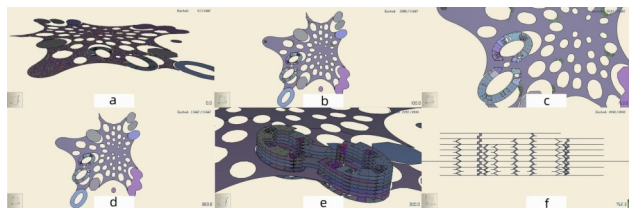


图3 疏散结果分析示意图

(图片来源:均来源于作者模型导图整理自绘)

注:a 0s时大平台及W6首层商业人员分布,图中蓝色:男性、红色:女性、绿色:儿童、紫色:老人;b 100s时刻人员分布;c 153s时刻人员分布;d 383.8s大平台所有人员疏散完毕;e 300s W6办公人员仍聚集于楼梯间疏散;f 752.3s W6办公人员疏散完成

疏散开始前,大平台上部人员均匀密集分布,开始疏散时,大部分人聚集向楼梯间,开始排队疏散;第153s时,大平台向下疏散部分楼梯拥堵严重,一部分人重新选择了疏散路径;第383.8s时,人员疏散完毕。而在120s时,W6建筑单体的人群仍然聚集在楼梯间排队向下疏散,300s时疏散效率仅达到46.5%,383.8s时,大平台疏散完成,W6接驳大平台一侧楼梯间却仍存在拥堵,而其他侧楼梯间基本疏散完成,直至752.3s时才通过防烟楼梯间完成疏散。

6.2 人员疏散时间

在特定的火灾场景下,若保证人员需要的安全疏散时间(T_{RSET})小于火灾发展到人体耐受极限条件的时间(T_{ASET}),则可实现人员疏散安全。该关系中加入安全余量($T_{ASET}-T_{RSET}$),以考虑假设和计算中的不确定性。然而火灾发生之后人们并不是马上开始疏散,首先由报警系统探测出火灾,然后做出的反应大体上分为觉察火灾迹象、确认火灾发生和采取逃生行动三个主要步骤^[7],疏散时间:

$$T_{RSET}=t_d+t_a+(t_0+t_i)+t_e \quad (1)$$

式(1)中: t_d 为探测时间,从火灾发生到探测出火灾的时间; t_a 为报警时间,从探测出火灾到通知人员发生火灾的时间; (t_0+t_i) 为疏散行动前准备时间,包括 t_0 人员识别时间和 t_i 人员反应时间; t_0 为人员识别时间,从听到或看到火灾信号到人员意识到必须采取措施的时间; t_i 为人员反应时间,从人员开始对火灾信号做出反应直至疏散行动开始的时间; t_e 为疏散行动时间,含人员移动时间和出口处排队等候时间^[8]。

由于本项目人员流动大,火灾能够快速被人员发现,结合类似项目经验,保守考虑火灾探测时间取

60s;从探测出火灾到通知平台上人员发生火灾的时间即报警时间取120s;综合考虑识别时间和反应时间及人员距离火源的位置因素,疏散行动前准备时间取120s。

模拟结果如下:①平台上人员及W6商业需要从平台疏散的人员,全部离开平台需要的时间4min45s;②在E1疏散场景下,所有人员去到平台下方见天的安全区域需要的时间18min35s。

考虑到不可确定的因素对疏散行动的影响,通常在疏散模拟的结果上乘以1.2的安全系数,以确保一定的安全余量。根据人员疏散模拟结果,疏散场景E1平台上人员疏散总时间为:1min+2min+2min+18.6×1.2min=27.32min。根据模拟分析结果,可用安全疏散时间 $T_{ASET} \geq 30\text{min}$,人员需要的安全疏散时间为27.32min,因此 $T_{ASET} > T_{RSET}$,满足安全疏散要求。

6.3 疏散问题总结

综合体建筑具有功能复合性,常存在多类人群共同疏散,而商业和办公单体有独立标准的防烟楼梯间,且常与附属功能用房合设,导致出口空间方向性不明显,并且靠经大平台一侧存在大部分人集中疏散造成拥堵,随后又重新规划路线,一定程度上降低了人流疏散效率。而实际生活中,开放的平台空间相对办公塔楼人群密度低,可分担更多疏散压力,建筑单体与平台过渡的空间上容易产生疏散“瓶颈”,实际上大部分人群会选择放弃向大平台疏散。

7 优化策略

7.1 平面疏散策略优化

7.1.1 明确并简化平面疏散路径

一是简化各建筑单体部分防烟楼梯间的位置与疏散方向,应有引导性、方向易识别以免造成疏散过程中人员方向和出口选择的改变。二是独角兽综合体采用参数化设计,作为开放的大平台有较多椭圆形开孔,造型处理需要与疏散结合更加紧密。三是综合体功能复合性强,大平台与建筑单体平面形式有艺术性且需考虑流线是否明确、减少不必要迂回。

7.1.2 建筑与大平台的衔接空间引导性和空间尺度

通过模拟过程可知疏散过程中人员会因堵塞选择改变路径,影响后续疏散方向性和效率。而许多综合体中为提高使用空间利用率,常削弱疏散出口

及衔接空间的存在感和尺度,或是将疏散空间置于不显眼处或有迂回的前导空间,不利于紧急状况下识别与通过。故需要适当扩大疏散楼梯间前空间的尺度感并赋予较明确的指向性。

7.2 垂直疏散策略优化

一般综合体垂直疏散在按疏散距离和数量要求下设置防烟楼梯间以外,还应注意疏散出口均匀分布以确保疏散距离适宜同时合理分配人流。虽然规范中扶手电梯不作为疏散用,但随着技术和质量的提升,扶手电梯在一定时限内也能作为辅助疏散手段,可以结合平台空间做应急疏散下人流的分流。

8 结语

本文以独角兽项目大平台为例,借助Pathfinder进行疏散模拟针对建筑单体与开放平台衔接空间的疏散过程进行研究,发现问题,并提出了相应的优化策略。现代大型综合体建筑及室外平台空间本身具有一定的艺术造型,加上复合功能与复杂的人员组成,除基本的消防设计原则和相关规范,也应当结合实际相关技术进行模拟。在能满足疏散安全的情况下,尽可能优化疏散路径和空间,缩短疏散时间提高效率,最终实现合理性、美观性、安全性兼顾,提高综合体的商业价值。

参考文献

- [1] 住房和城乡建设部印发工作细则和文书式样规范建设工程消防设计审查验收[J]. 建筑监督检测与造价, 2020, 13(4): 22+24.
- [2] 阎卫东, 张瑞, 刘家喜, 张野, 孙文. 基于Pathfinder的高校图书馆火灾疏散研究[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2021, 37(4): 627-633.
- [3] 马燕平, 郑学林, 臧建彬. 单洞双层超大直径城市盾构隧道逃生优化模拟[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(11): 4641-4647.
- [4] GB/T 10000-1988. 中国成年人人体尺寸[S].
- [5] 傅智敏, 黄晓哲. 建筑消防设计与灭火救援[J]. 消防技术与产品信息, 2018, 31(6): 46-48+64.
- [6] GB 50016-2014 (2018年版). 建筑设计防火规范(2018年版)[S].
- [7] 刘亚儒, 李继康, 王汉良. 大型体育建筑群连接屋盖消防安全研究[J]. 决策探索(中), 2020(12): 71-72.
- [8] 张昊, 董四辉. 基于Pathfinder的地铁区间火灾人员疏散仿真研究[J]. 科技创新导报, 2017, 14(1): 19-24.