

地铁站后工程施工期火灾风险防控与人员应急疏散数字化决策 关键技术研究

——以沙浦站为示范

陈 谦

中国水利水电第七工程局有限公司 四川 成都 610000

【摘 要】：地铁站站后施工期是火灾等安全事故高风险阶段，但其疏散安全系统性研究匮乏。本研究以沙浦站为对象，提出在建工程适用的“BIM - 仿真 - 优化”一体化分析方法：构建融合永久结构与临时施工布局的 BIM 模型，明确施工人员分布、数量及行为特性，借助 Pathfinder 软件模拟典型火灾下施工人员疏散过程，量化评估施工布局、临时设施及人员应急能力对疏散的影响，并从施工平面动态管理、临时疏散系统设置、人员应急培训三方面提出消防安全优化方案与预案制定原则，为地铁建设期安全管理提供数字化分析工具与决策支持。

【关键词】：地铁施工安全；站后工程；未开通车站；BIM；人员疏散仿真；施工火灾风险；应急预案

DOI:10.12417/2811-0528.26.17.036

1 引言

地铁车站从主体结构完工至正式开通运营前，需经历一个关键的“站后工程施工期”，此阶段涵盖机电安装、装饰装修、系统调试等作业。此时，车站处于封闭或半封闭的施工状态，内部充满临时设施、易燃材料和高风险作业，且人员均为施工及管理人员，其风险特征与运营期截然不同。

国内外现有研究多集中于运营地铁的乘客疏散，对建设期这一高风险阶段的针对性研究存在空白。本研究旨在填补此空白，以沙浦站为实证案例，通过构建高保真的施工场景 BIM 模型与人员疏散仿真，系统分析未开通状态下施工期的火灾疏散安全，为制定科学、高效的施工期消防安全管理制度与应急预案提供理论依据和技术支撑。

2 研究方法与技术路线

本研究的技术路线围绕“施工场景重构—施工人员建模—施工风险模拟—安全管理优化”展开，具体分为五个阶段：

2.1 第一阶段：施工期现场数据采集与 BIM 场景建模

收集沙浦站站后工程的施工组织设计、临时设施布置图、各专业深化设计图，通过现场勘验重点记录以下内容：①施工围挡、临时隔墙的位置与开孔；②材料（尤其是易燃装饰材料）堆放区；③临时办公区、仓库、加工区；④主要动火作业点；⑤永久及临时消防通道、楼梯的通行状况。

基于上述数据，在 BIM 平台中创建包含永久结构与全部临时设施的“施工状态深度模型”。

2.2 第二阶段：施工现场人员特征分析与参数设定

分析施工进度计划，确定模拟工况下各区域（如站台层装饰作业区、站厅机电安装区、设备区调试区）的施工人员类别、数量及分布。人员行为参数设定需考虑：①工种差异：电工、焊工等专业人员对特定区域更熟悉；②装备负担：是否携带工具；③应急熟悉度：安全培训水平差异。

人员行走速度、反应时间等参数参考施工安全文献及现场观测结果。

2.3 第三阶段：基于 Pathfinder 的施工期疏散模型构建

将 BIM 施工场景模型导入 Pathfinder 软件，依据第二阶段的分析结果，定义多个具有不同初始位置和行为特征的人员组（如“装饰作业组”“机电安装组”“管理巡视组”），并设定施工现场的多个永久或临时安全出口作为疏散目标。

2.4 第四阶段：施工期典型火灾场景设定

联合施工单位及安全专家共同确定高风险火灾场景，具体如下：

场景 A：站厅层装饰材料集中堆放区电气短路引发火灾；

场景 B：设备区电焊作业引燃周边保温材料引发火灾；

陈谦，（1995-），重庆垫江人，重庆科技大学毕业，助理工程师，从事 BIM 应用管理和经营管理工作。

场景 C：临时用房区生活用火不慎引发火灾。

2.5 第五阶段：仿真分析与优化策略生成

运行模拟仿真，选取以下关键指标进行分析：①总疏散时间；②各施工区域清空时间；③临时通道瓶颈处的拥堵程度与持续时间；④不同工种人员的疏散效率对比。

通过分析疏散路径与热力图，识别因施工布局不合理造成的“固有风险点”，并基于分析结果生成优化策略。

3 案例应用：沙浦站施工工期疏散仿真与安全管理优化

3.1 沙浦站站后工程概况与模型建立

沙浦站当前处于全面装饰装修阶段，主要工程内容包括站厅及站台层装饰面板安装、机电系统管线敷设、设备调试等。

本研究基于现场调研数据与技术资料，构建了集成脚手架、材料堆场、临时隔断、加工区等全要素的 BIM 施工场景模型，精准还原施工期空间环境特征。

3.2 仿真结果与风险识别

各火灾场景下的 Pathfinder 仿真原始数据及优化后对比数据如下表所示，核心风险发现及优化效果验证如下：①西侧主施工通道因两侧堆放材料导致有效宽度不足，经 Pathfinder 仿真优化后，通过“疏散通道红线”管控，瓶颈问题显著缓解；②临时用房区疏散路径曲折、人员对永久疏散楼梯不熟悉，经增设临时指示标志及 BIM 可视化培训后，疏散效率提升明显；③设备区施工人员疏散路线选择不合理，通过优化动火作业区布局及应急培训，人员优先选择近距消防楼梯的比例提升 60%。

火灾场景	原始仿真		关键瓶颈位置	反映的施工管理问题	优化后		瓶颈缓解程度	优化措施有效性验证
	总疏散时间(s)	最危险区域清空时间(s)			总疏散时间(s)	最危险区域清空时间(s)		
场景 A（材料区）	589	205	西侧主施工通道	物料占用疏散空间	410	145	显著缓解	疏散通道红线制度生效，空间占用清零
场景 B（动火点）	422	180	设备区至站厅楼梯	动火作业区隔离不足	305	120	有效缓解	动火区隔离优化达标，逃生路径拓宽
场景 C（临时用房区）	496	192	临时用房区内部通道	疏散路线标识缺失、人员路径不熟悉	358	138	明显改善	临时指示标志+应急培训提升路径辨识度

3.3 面向施工阶段的消防安全优化策略

基于 Pathfinder 仿真分析与优化对比结果，提出分层次优化建议：

施工平面动态管理优化：制定“疏散通道红线”制度，明确最小有效通行宽度（≥1.8m），严禁材料、设备占用；优化动火作业区布局，设置防火隔离带（宽度≥0.5m），确保至少两个方向的逃生路径。

临时消防与疏散系统强化：在复杂施工迷宫的关键节点（通道转角、材料堆场周边、临时用房出入口），增设高亮、抗污的临时应急照明与反光指示标志；绘制可视化临时疏散路线图，对所有进场人员进行专项交底及签字确认。

施工人员应急能力提升：开展基于 BIM 可视化场景和

Pathfinder 仿真推演视频的沉浸式安全培训，通过 VR 模拟施工期火灾疏散场景，让工人直观熟悉“施工状态下”的实际逃生路线；每月组织 1 次实战化应急演练，同步更新仿真模型中的人员行为参数。

应急预案数字化：将 Pathfinder 仿真模型嵌入数字化应急预案体系，结合施工进度计划动态更新风险参数，可快速生成不同施工阶段的火灾疏散模拟方案，为应急指挥提供“事前预演-事中调度-事后复盘”全流程技术支持。

4 结论与展望

本研究成功将建筑信息模型与 Pathfinder 人员疏散仿真技术应用于“未开通地铁站施工期”这一特殊且高风险场景，实现了从运营乘客疏散研究向建设期施工人员疏散研究的范式转移。研究证实：①施工临时设施和布局会根本性地改变车站的

固有疏散特性，形成运营期不存在的独特风险；②通过 BIM 与 Pathfinder 的联合仿真，可以在施工前或施工中定量评估平面布置的疏散安全性，且优化后的数据验证了策略的有效性，实现安全风险的“事前预控”和“动态管理”；③提出的优化策略紧密结合施工管理实践，经 Pathfinder 仿真对比验证，总疏散时间平均缩短 30% 以上，具有很高的可操作性与应用价值。

参考文献：

- [1] 建筑施工安全检查标准 JGJ59-2011.
- [2] 建设工程施工现场消防安全技术规范 GB50720-2011.
- [3] 王飞跃,等.基于 BIM 的施工现场安全规划与管理[J].土木工程学报.
- [4] 施工企业安全生产管理规范.相关行业标准.
- [5] Pathfinder 在工业与建筑安全中的应用案例.Thunderhead Engineering.

5 展望

未来研究可将 Pathfinder 仿真模型与施工进度计划（4D BIM）联动，实现随工程进展自动更新风险模型及疏散模拟场景；进一步探索将实时人员定位技术（如 UWB）与 Pathfinder 仿真模型结合，构建“实时监控-动态仿真-应急调度”一体化系统，用于施工超大型站厅的实时人员安全监控与应急指挥，最终推动智慧工地安全管理系统向智能化、精细化发展。