

轨道交通三线及以上换乘站客流交叉区域安全隐患分析及优化方案

田志银

重庆轨道交通运营有限公司 重庆 401120

【摘要】：随着我国城市轨道交通网络化运营深度推进，多线交汇的大型枢纽换乘站数量逐年增多，三线及以上换乘站成为城市轨道交通路网的关键核心节点。此类枢纽车站集中汇聚多条线路换乘客流、进出站客流、地面衔接客流及折返滞留客流，多维度流线高度叠加交织，客流交叉冲突密集、瞬时客流峰值突出、人员聚集风险极高。相较于常规双线换乘站，三线及以上换乘站客流组织体系更为复杂、拥堵点位更多、安全风险传导更快，整体安全管控难度呈几何倍数增长。

客流交叉区域作为多线换乘的核心交汇空间，是乘客流线转换、客流集散、速度交换的关键区域，同时也是拥堵滞留、人流对冲、踩踏隐患、疏散阻滞的高发区域，直接决定大型枢纽车站的整体运营安全水平。当前多数多线换乘枢纽存在先天结构局限、后期流线组织粗放、客流管控精细化不足、智能预警滞后等问题，高峰期安全隐患频发，严重影响轨道交通客运安全与通行效率。

本文以城市轨道交通三线及以上换乘站为研究对象，系统总结多线换乘客流交叉区域的流线特征与运行规律，全面梳理站内典型安全隐患类型，从空间布局、流线设计、设备匹配、运营管理、乘客行为、智能管控六个维度深入剖析隐患形成机理。结合国内大型换乘枢纽实际运营工况，从空间优化、流线重塑、物理分流、设备升级、标识更新、分级控流、智能监测、应急保障等方面提出系统性优化方案，构建适用于多线换乘枢纽的常态化安全管控体系。研究成果能够有效缓解多线换乘客流交叉冲突、降低高峰拥堵风险、提升车站客流疏散能力，为同类大型轨道交通枢纽客运组织优化、隐患治理及安全提升提供可靠的理论参考与实践依据。

【关键词】：轨道交通；三线换乘站；客流交叉；安全隐患；流线优化；客运组织

DOI:10.12417/2811-0528.26.18.011

1 引言

城市轨道交通是现代城市公共交通体系的骨干支撑，具有运量大、速度快、可靠性高、集约低碳的突出优势，在缓解城市交通拥堵、优化城市空间结构、支撑城市扩容发展方面发挥着不可替代的作用。近年来，国内各大城市轨道交通建设由单线延伸逐步转向网络化连片发展，路网密度持续提升，多条线路交汇形成的三线、四线大型换乘枢纽数量不断增加，成为城市轨道交通路网中的关键控制性节点。

双线换乘车站流线结构简单，主要以双向换乘、单向集散为主，客流冲突少、疏导压力可控，安全风险相对较低。而三线及以上换乘枢纽由于建设时序不同、空间结构复杂、换乘模式多样，普遍存在通道换乘、厅换乘、层换乘相结合的复合换乘形式，站内客流方向多、交织路径复杂、高峰客流叠加效应显著。在早晚通勤高峰、节假日出行高峰、大型文体活动散场时段，多线路列车集中到站，不同方向换乘客流、进出站客流、过街客流瞬间汇集，在通道交汇处、扶梯出入口、闸机区域、转角缓冲段形成大规模客流交叉重叠区域。

此类客流交叉区域具有瞬时性、高密度、多方向、高扰动、强传导的风险特征，一旦客流组织不当、疏导不及时、管控不到位，极易出现人流对冲、局部拥堵、乘客摔倒、群体性滞留等安全隐患，极端情况下会诱发拥挤踩踏事故，造成重大人员伤亡和恶劣社会影响。同时，大量早期建设的多线换乘车站受限于当时规划标准，空间预留不足、通道宽度偏窄、功能分区模糊、流线设计单一，无法适配当前网络化运营大客流集散需求，先天性缺陷导致客流交叉安全隐患长期反复存在。

现阶段国内轨道交通安全管理研究多集中于设备故障、消防安全、日常运维、单线车站客流组织等领域，专门针对三线及以上多线交汇枢纽客流交叉区域隐患机理、冲突规律、系统性优化的专项研究相对较少，现场管控仍以人工疏导、临时控流为主，缺乏精细化、常态化、智能化的长效治理机制。因此，深入系统研究多线换乘站客流交叉区域安全隐患成因，构建科学完善的客流组织优化体系，对提升大型轨道交通枢纽安全韧性、防范重大客运安全事故、保障路网稳定高效运行具有重要的理论价值与工程实践意义。

2 三线及以上换乘站客流交叉区域运行特征

(1) 流线结构复杂, 交叉冲突点位密集: 三线及以上换乘枢纽同时承载线路间双向换乘、乘客进出站、站内折返、过街通行等多重功能, 站内包含至少六组以上主流换乘流线, 叠加进出站双向流线, 形成数十组交叉、对冲、交织路径。不同于双线车站简单十字交叉流线, 多线换乘车站呈现多层次、多方位、立体化交织特征, 侧向穿插、逆向汇流、多股人流叠加现象突出, 冲突点位数量远高于普通车站, 极易在通道交汇口、扶梯出口、站厅中部、闸机集群区形成固定拥堵风险点。

(2) 客流峰值瞬时爆发, 峰谷差异巨大: 多线换乘客流受列车班次衔接、通勤规律、节假日出行特征影响极大, 呈现典型的脉冲式客流特征。多线路列车集中到站瞬间, 大量客流同步涌入换乘通道与站厅交叉区域, 客流密度短时间急剧攀升, 远超常规通行负荷; 平峰时段客流稀疏、通行宽松, 峰谷流量差距悬殊。瞬时爆发式客流增加了管控预判难度, 人工巡查往往滞后于客流增长速度, 导致高峰隐患频发。

(3) 空间多层嵌套, 疏散路径紊乱无序: 多数三线换乘车站为分期建设, 存在上下多层结构、多通道分支、多区域连通的空间特点, 站内通道走向复杂、出口分布分散、换乘路径差异化大。陌生乘客极易出现迷路折返、原地观望、随意变道、逆行穿插等行为, 二次扰动正常客流秩序, 进一步加剧交叉区域人流混乱程度, 降低整体通行效率与疏散安全性。

(4) 风险传导性强, 单点隐患可诱发全站拥堵: 多线枢纽客流关联性极强, 各通道、各区域客流相互影响、相互传导。单个交叉点位若出现拥堵滞留, 会迅速向上游站台、通道、扶梯口反向积压扩散, 形成连锁拥堵效应, 短时间内蔓延至全站区域, 严重时导致列车限流、车站出入口控流、线路运行间隔拉大, 直接影响整条线路乃至片区路网的正常运营秩序。

3 客流交叉区域典型安全隐患分析

结合国内多线换乘枢纽日常运营实况, 客流交叉区域安全隐患主要集中在流线冲突、空间瓶颈、设备错配、标识缺失、疏散受限、人为扰动六大类别。

(1) 多向流线对冲冲突, 通行秩序严重混乱: 多线换乘核心隐患为多向人流无规则交叉对冲, 不同线路换乘人流、进出站人流在同一空间自由交织, 无物理隔离、无通行秩序约束。高峰时段抢道穿插、逆向通行、近距离交汇频繁, 乘客避让不及时易发生碰撞、摔倒、物品掉落等险情。高密度人流环境下, 局部微小摔倒事件极易引发连锁拥挤堆叠, 存在极大的踩踏安全隐患。

(2) 通道瓶颈狭窄, 高峰客流高密度滞留堆积: 部分老

旧多线换乘枢纽换乘通道宽度不足、交汇节点缺少缓冲平台、站厅有效通行面积偏小, 空间承载能力无法匹配现阶段大客流需求。多条线路客流叠加涌入后, 交叉节点迅速出现人员积压堆叠、通行速度骤降、客流密度超标等问题, 形成常态化拥堵卡点, 安全冗余严重不足。

(3) 通行设备能力不匹配, 形成固定拥堵源: 扶梯、楼梯、闸机作为客流交叉核心转换设备, 普遍存在能力错配问题。扶梯单向通行、上下人流交叉干扰严重, 扶梯双向混行冲突突出; 闸机集中布置导致进出站客流、换乘客流相互抢道挤压, 设备通行效率无法适配瞬时客流峰值, 长期形成固定拥堵瓶颈, 持续放大区域安全风险。

(4) 导向标识体系不完善, 加剧人流无序扰动: 多线枢纽空间复杂、路径繁多, 但站内标识普遍存在层级混乱、关键节点指引缺失、转弯处提示不足、新旧标识不统一、远距离预判指引缺失等问题。乘客频繁出现走错通道、中途折返、原地驻足观望等行为, 折返人流与正向人流二次交叉冲突, 进一步加剧站内混乱程度。

(5) 应急疏散通道受限, 突发事件处置难度大: 客流交叉拥堵区域多位于通道中段、扶梯出口、闸机集群等狭窄区域, 周边固定设施多、有效疏散宽度不足、人员堆叠密集。一旦发生乘客晕倒、摔倒冲突、物品起火、设备故障等突发情况, 无法实现快速隔离、快速疏散、快速导流, 极易造成拥堵堵死、救援通道受阻, 小隐患极易升级为重大安全事件。

(6) 乘客不规范通行行为诱发动态隐患: 高峰时段乘客赶车奔跑、随意横穿人流、驻足拍照、扎堆问路、滞留等候等不规范行为频发, 严重破坏正常通行秩序。在高密度交叉人流环境中, 微小的人为扰动即可引发局部秩序失控, 形成突发性拥堵风险, 是多线换乘站最常见、最难预判的动态安全隐患。

4 客流交叉区域安全隐患成因分析

(1) 车站先天空间布局存在结构性短板: 多数三线换乘车站分阶段施工、分期投运, 早期规划未预判后期网络化大客流叠加需求, 导致换乘通道狭窄、交汇节点无缓冲空间、站厅功能分区模糊、付费区与非付费区交叉混杂, 形成永久性空间瓶颈, 无法通过常规疏导彻底解决拥堵隐患, 是客流交叉风险高发的根本原因。

(2) 流线组织模式粗放, 缺乏科学分流设计: 多数车站仍采用传统自由通行模式, 未根据多线客流特征实施单向循环、物理隔离、路径分流设计, 多方向流线完全交织混杂, 无固定通行规则。自由通行模式下人流对冲、穿插、折返无法从源头规避, 长期处于高风险运行状态。

(3) 运营管控精细化不足, 分级控流体系缺失: 车站日常管控多采用统一疏导模式, 未区分平峰、高峰、极端大客流差异管控, 未对关键交叉卡点设置固定值守岗位。高峰客流叠加时疏导力量不足、干预滞后、控流不及时, 无法实现提前分流、提前减压。

(4) 智能监测预警体系滞后, 被动治理问题突出: 现阶段多数车站仍依靠人工巡查发现拥堵, 缺乏客流密度实时监测、峰值预判、智能预警系统, 无法提前识别客流叠加风险, 往往在大量拥堵形成后才开展疏导管控, 属于典型的事后处置、被动治理模式。

(5) 乘客通行素养参差不齐, 无序行为扰动大: 乘客对复杂换乘路径不熟悉、赶车心态强烈, 普遍存在抢行、逆行、驻足滞留等不良通行行为, 人为破坏客流秩序, 进一步增加交叉区域混乱程度, 加大现场安全管控压力。

5 客流交叉区域安全隐患综合优化方案

针对三线及以上换乘站客流交叉隐患复杂、风险联动性强的特点, 坚持源头治理、空间优化、流线重塑、智能赋能、分级管控、应急兜底的原则, 构建全方位优化体系。

(1) 优化空间布局, 消除结构性瓶颈隐患: 对狭窄换乘通道、转角卡点、扶梯出口区域进行微改造, 拆除部分非必要设备、优化商铺摆放、拓宽有效通行宽度; 在人流交汇节点增设缓冲平台, 缓解瞬时客流堆积; 重新划分站厅功能分区, 实现换乘客流、进出站流物理分区, 减少交叉概率。

(2) 重塑客流流线, 实施单向循环分流: 针对多方向交织流线, 推行单向循环通行模式, 对高频冲突通道设置单向通行、定向导流; 利用护栏、导流柱、柔性隔离带对多向人流实施物理隔离, 彻底杜绝相向对冲、侧向穿插问题; 区分进站、出站、换乘专属路径, 实现流线分离、各行其道, 从根源减少交叉冲突。

(3) 优化设备配置, 提升客流转换能力: 调整扶梯运行方向, 高峰统一单向输送, 减少双向混行冲突; 优化闸机布局,

分离进站闸机、出站闸机、换乘闸机功能区域; 对拥堵严重楼梯设置单向通行标识, 规范通行秩序; 根据客流峰值规律动态调整设备运行策略, 最大化提升设备通行匹配能力。

(4) 升级导向标识系统, 减少折返扰动: 统一全站标识体系, 在通道入口、转角处、扶梯口、分流节点增设多级预判指引标识; 增加地面导向箭头、分区指引、距离提示、方向提示; 对复杂换乘路径增设连续指引, 减少乘客观望、折返、走错概率, 稳定客流通行秩序。

(5) 建立分级控流机制, 实现精细化管控: 划分常态平峰、早晚高峰、节假日大客流、极端叠加客流四级管控模式, 根据客流密度动态增派疏导人员, 在交叉卡点、扶梯口、交汇区设置固定值守岗; 实施上游控流、中段疏导、末端释放的梯度疏导策略, 避免瞬时客流集中涌入交叉区域。

6 结论

三线及以上轨道交通换乘枢纽具有流线复杂、客流叠加明显、交叉冲突密集、风险传导迅速的突出特点, 客流交叉区域是大型枢纽最核心、最高频的安全风险点。站内空间结构性缺陷、流线组织混乱、设备匹配不足、管控粗放、智能预警滞后、乘客无序行为扰动, 共同导致高峰时段拥堵混乱、对冲冲突、滞留堆积等安全隐患频发, 严重制约枢纽安全稳定运行。

本文通过系统分析多线换乘客流交叉区域运行特征与隐患机理, 针对性提出空间优化、流线重塑、物理隔离、设备提质、标识升级、分级控流、智能预警、行为管控、应急强化的一体化优化方案, 能够从源头大幅降低客流交叉冲突概率、缓解高峰拥堵、提升集散效率, 全面提升多线换乘枢纽客运安全管理水平。

随着城市轨道交通网络化程度持续加深, 大型多线换乘枢纽客流压力将持续增大。未来应进一步结合大数据、人工智能、仿真模拟技术, 持续优化动态客流组织方案, 推进客流管控由人工经验管控向数字化、精细化、智能化长效治理转型, 持续提升轨道交通大型枢纽安全运营韧性, 保障城市轨道交通网络安全、高效、有序运行。

参考文献:

- [1] 交通运输部.城市轨道交通运营安全风险分级管控和隐患排查治理管理办法[Z].2024.
- [2] GB 50157-2013,城市轨道交通工程设计规范[S].北京:中国计划出版社,2013.
- [3] 王浩.城市轨道交通多线换乘枢纽大客流组织与安全优化[J].都市快轨交通,2023,36(04):112-117.
- [4] 李阳.地铁三线换乘站客流冲突特征及疏散优化研究[J].交通科技与管理,2024(12):89-92.
- [5] 张俊杰.大型地铁枢纽客流交叉拥堵机理与治理策略[J].城市公共交通,2023(08):56-60.
- [6] 陈凯.网络化运营下地铁换乘站安全隐患分析及管控对策[J].工程技术研究,2025(03):134-136.