

城市轨道交通节点换乘车站换乘设计 难点分析及其应对措施

张 瑾

(广州地铁设计研究院股份有限公司, 510010, 广州//高级工程师)

摘 要 由于设计目标与实际运营情况存在差异,导致城市轨道交通节点换乘车站存在运力不匹配、局部区域客流拥堵等问题。分析了节点换乘车站换乘设计的技术难点及其成因。结合乘客换乘行为特征,讨论了站台实际通行能力、关键设施通过能力等参数对换乘能力的影响,阐述了在换乘站内实施客流引导、限流等措施的实际作用,提出了优化站台换乘能力取值、增设可调节客流密度的相关设施、增加对既有车站在新线接入前换乘能力的评估等建议,以期使节点换乘车站的设计更加符合运营的实际需求。

关键词 城市轨道交通;节点换乘站;换乘设计;换乘能力;客流密度

中图分类号 U231.4;U293.1

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.07.025

Analysis and Countermeasures for Difficulties in Urban Rail Transit Node Transfer Station Interchange Design

ZHANG Jin

Abstract Due to the gap between the design goal and the actual operation effect, there are some problems such as mismatching of urban rail transit node transfer stations transport capacity and local passenger flow congestion. The technical difficulties and their causes in node transfer station design are summarized. Combined with the characteristics of passenger transfer behavior, the influence of parameters including actual platform and bottleneck passing capacity on the transfer capacity is discussed. The practical effect of passenger guiding in transfer station, and of restriction precautionary measures is expounded. Suggestions such as optimizing platform capacity threshold, adding facilities to adjust passenger flow density, and evaluating the transfer capacity of existing stations before accessing new line are put forward, which are expected to make the design of node transfer station to meet the actual demand.

Key words urban rail transit; node transfer station; transfer design; transfer capacity; passenger density

Author's address Guangzhou Metro Design & Research In-

stitute Co., Ltd., 510010, Guangzhou, China

按照城市轨道交通两条换乘线路间的结构关系,城市轨道交通换乘车站可分为平行换乘车站与非平行换乘车站,其中的非平行换乘车站因两条线路需在某一交通节点上实现换乘功能,故又被称为节点换乘车站。常见的城市轨道交通节点换乘站站型主要包括“T”型、“十”字型和“L”型结构3种。节点换乘车站因其具有适用性广、换乘距离短、设计灵活等特征在各大城市轨道交通线网中被广泛采用。以往的工程设计尝试了采用不同的设计手法来提高其换乘的便捷性及舒适性,但实际运营中仍普遍存在换乘路径选择不均衡、客流交织严重,候车乘客与站台流动区乘客间干扰严重等问题。

文献[1-2]对节点换乘站的拥堵点及影响因素进行了分析。文献[3]分析了城市轨道交通车站乘客的行动特征及各关键节点密度、速度、流量三者之间的关系。文献[4-6]对站台乘客分布与聚集趋势进行了研究与分析。文献[7-8]分析了节点型换乘站乘客的行为特征,并对客流组织进行了仿真研究。上述研究均针对节点换乘站的局部问题进行了详细研究与具体论述,本文在这些研究的基础上,对乘客行为进行实地调查分析,将乘客行为与现有主流设计目标进行差异对比,系统地修正关键设计理念,提出针对性的设计对策,以期城市轨道交通节点换乘站的换乘设计提供参考。

1 节点换乘站换乘设计技术难点分析

1.1 站台换乘的实际运营功能未达到设计预期

换乘距离是评估换乘车站便捷性的重要指标,零距离换乘的理念受到重点关注。节点换乘站的最短换乘路径为站台换乘路径,因换乘节点直接联系两条线路的站台,站台换乘路径在水平衔接间距

与垂直间距上均明显优于站厅换乘路径,因此在设计中曾经一度备受推崇。然而随着投入运营的节点换乘站不断增加,业内专业人员逐渐发现,除靠

近换乘节点处的乘客外,站台其他区域的大多数乘客很少采用端部的站台换乘路径,而倾向于采用站厅换乘路径,如图1所示。

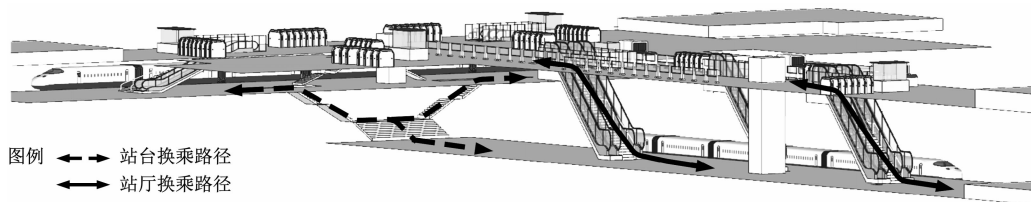


图1 典型节点换乘站换乘路径示意图

Fig.1 Diagram of transfer route in typical node transfer station

同时,因站台换乘节点的面积较小,换乘距离较短,在站内进行客流引导、限流的难度较大,运营单位提高站台换乘效率的意愿不强,从而导致站台换乘路径中楼梯的使用率未达到设计目标。另外,站台换乘的便捷性与舒适性较差,换乘节点处拥堵状况高发,乘客的换乘体验不佳。设计推荐的换乘优势路径在实际运营中出现了利用率低、局部拥堵等现象,为了找寻其具体原因,需对站台换乘路径的效能进行深入分析。

1.2 设计换乘客流强度量级内关键设施处出现拥堵

GB 50157—2013《地铁设计规范》中列出了楼梯扶梯通道等关键性设施(以下简称“关键设施”)的最大通过能力,同时要求换乘设施的通过能力应满足高峰时段设计换乘客流量的需要。在设计阶段,各关键设施的通过能力均按照高峰时段设计换乘客流量进行了复核,由此普遍认为车站的各项关键设施均可满足该站设计客流强度范围内的需求,换乘节点区域拥堵是由于换乘客流量超过了设计客流量级而引起。

通过对已运营项目的调研发现,虽然实际的换乘客流量并未达到高峰时段的设计换乘客流量,但是却出现了拥堵,且拥堵现象十分常见。以广州地铁4号线、5号线的换乘站车陂南站为例,该站的高峰时段设计换乘客流量为16 679人/h。该站在07:00—08:00间的实际换乘量约为7 000人/h,并未超出设计客流量级,但已在换乘节点附近的站台区域出现拥堵现象,站台远离换乘节点端的换乘运能明显降低,车站启动了客流引导工况;在08:00—09:00间,该站的换乘客流量约为2.3~2.7万人/h,超过了设计换乘客流量,因而站台区域的拥堵进一步加剧,车站启动了限流工况。

由此可知,换乘站发生客流拥堵,不仅是因为换乘客流量超过设计客流量,而是由多种原因共同作用导致,需要对拥堵的成因进行深入分析。

1.3 新线开通对既有线路产生客流冲击

分期设计和建设的城市轨道交通线路,在新线开通接入城市轨道交通线网时,新增的换乘站出现换乘能力不足、换乘客流拥挤、对乘客采取控制措施时间长等现象的概率远高于同步设计和建设的换乘车站出现拥堵的概率。因此,需在设计阶段补充新线开通后,应新增换乘站中新开通车站对既有车站客流冲击的评估,以评估其换乘能力是否能满足要求。

2 节点换乘站换乘设计技术难点成因分析

2.1 乘客换乘行为特征分析

既有研究表明,乘客在车站内行走时常选用最短路径法则,即:行人在步行时,为了尽快达到目的地,总是倾向于选择步行距离最短或时间最短的路径^[5-7]。但由于大部分行人对立体空间的认知较弱,难以把握整个换乘站的错层空间,因此大多倾向于选择视野范围内阶段性的最短路径。换乘车站楼梯扶梯组密布,错层空间关系复杂,这进一步强化了乘客选择阶段性最佳路径的心理,具体表现为乘客总是倾向于选择距离自己较近的关键设施,因此,距离站厅楼梯扶梯组较近的乘客,常常会选站厅换乘路径,而非真正意义上的整体最短的站台换乘路径。

由于乘客在站台并非均匀分布,而是以各个靠近楼梯扶梯处的列车车门为中心分区聚集,局部站台区域的密度较大,加之换乘客流到达较为集中,易对纵向穿越站台的乘客造成阻碍。此外,乘客的排队间距与人流密度成反比,在站台候车客流不多的

情况下,乘客排队间距较大,此时换乘乘客穿越候车人群的难度较大。这些站台候车乘客的行为特征都将给换乘乘客行走至下游站台造成较大的阻碍。

乘客对立体空间的认知问题可通过乘客引导及完善导向设施等手段予以改善。但是,实际站台通过能力若受到站台设施布置及乘客候车位置的影响,将直接制约抵达下游站台的乘客数量。若因

侧向通行瓶颈限制,客流的换入需求量大于实际站台通过能力时,就会在换入站台的同时出现站台换乘设施利用率低与站台拥堵率高的情况。

2.2 站内关键设施对区域拥堵的影响分析

如图2所示,按照流量、密度、速度3个参数模型,以站台的楼扶梯为例,当流量最大时,密度达到最佳值,此后随着密度的进一步加大,流量反而有所减小。

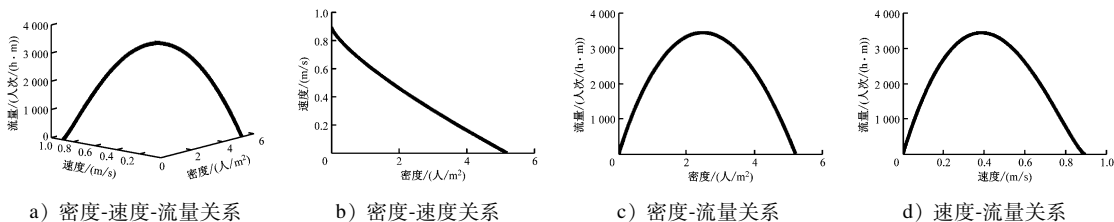


图2 节点换乘站站台换乘楼梯的流量-密度-速度模型

Fig. 2 Flow-density-velocity model of stairs for platform transfer at node transfer station

实际设计工作中,在验算各项关键设施能力时,均以《地铁设计规范》中的最大通过能力为验算参数,而最大通过能力相应地需由最佳密度来保证其流量。当因出现短时冲击客流、突发客流、超限客流等原因导致密度超过最佳密度时,车站将出现拥堵,关键设施的能力不能再以理论上限值继续运行。由此,关键设施开始出现能力下降,甚至出现客流停滞现象,拥堵区域呈现出由拥堵点沿乘客行走路径向车站各部位扩大的趋势。

在实际客流量未超过高峰时段设计客流量情况下,发生拥堵的最主要原因是关键设施未以最佳通行密度运行。这时需要合理设置各类客流引导、限流设施,调整、控制客流以最佳密度通过关键设施,使关键设施能力接近最大通过能力理论值。

2.3 新线开通下换乘运能测算中的问题

新线开通会对既有线网的客流分布和运营组织产生一定的影响,可能导致原来部分能力已较为紧张的车站因客流的进一步增加而出现拥堵现象。

对于两条线路同时开通运营的换乘车站,两条线路均需进行进出站客流量与换乘客流量的核算。新线开通后换乘站出现拥堵的原因较为简单,仅为客流预测存在误差。

而对于因新线接入既有线网后新增的换乘站,通常设计输入的客流量仅包含新开通车站的客流预测值及新开通车站与既有车站间的换乘客流预测值。在对既有线路的关键设施进行换乘能力验算时,因采用站厅换乘的乘客与进出站乘客在部分

路径上有所重叠,两部分客流具有不可分割性,所以部分关键设施的能力损耗往往被低估或忽略了。

在设计计算时还容易出现以下误区:把新开通车站的换乘能力与既有车站的换乘能力简单平均,将均分后的结果用来对换乘客流需求进行核验。而对于一条完整的换乘路径而言,应对路径上的最不利瓶颈点进行核验,以验证整条换乘路径的实际通过能力。

综上所述,在进行新线开通后车站换乘客流测算时,未考虑既有车站现有进出站客流对站厅换乘路径关键设施能力造成的折减,未考虑站台实际通行能力对站台换乘路径上通过能力造成的折减,车站的总换乘能力将新开通车站换乘能力与既有车站换乘能力进行简单平均,均会导致既有车站换乘能力计算结果较实际换乘能力大,从而在一定程度上加大了新线开通后新增换乘站出现拥堵的风险。

3 针对节点换乘站设计难点的对策

3.1 站台换乘能力折减问题的设计优化

站台上候车流线为垂直于列车行进方向的流线,换乘流线为平行于列车行进方向的流线,这两条流线之间存在交叉。候车流线具有堆积型特征,易造成换乘流线密度、速度、流量关系的不稳定。同时,由于站台的缓冲空间小,不具备客流疏导的条件,不宜作为主要的换乘引导路径,需结合站内实际客流强度,折减站台换乘设计能力在车站换乘体系中承担的比例。

此外,因站台换乘通道中换乘客流的流速较快,进入站台的换乘客流会对站台候车客流形成冲击,可能引发推挤甚至客伤事故,因此,换乘通道不

宜侵入站台的候车范围,且选择的换入楼扶梯口需与站台门的端门留有一定的缓冲间距(距离应大于等于2 m),如图3所示。

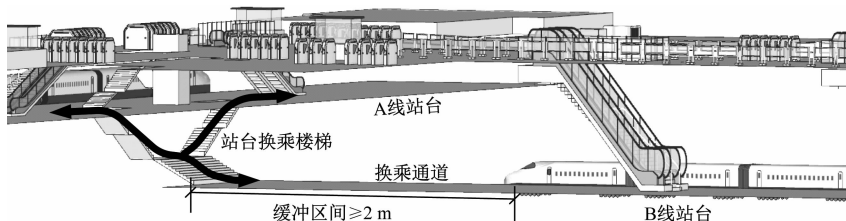


图3 节点换乘站换入站台区域的设计优化示意图

Fig. 3 Design optimization of transfer platform area for node transfer station

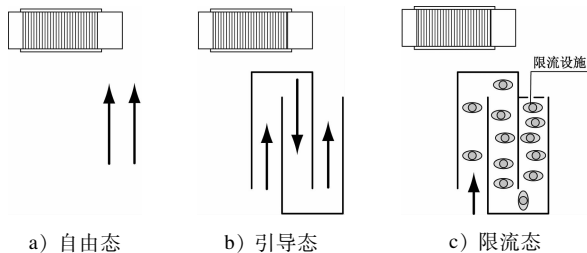
3.2 短时冲击客流强度超出设计值的对策

换乘设计中不应将换乘便捷性作为设计的首要目标,而应寻求换乘客流稳定的密度、速度、流量关系,以促使关键设施保持最大通过能力。设计时一般以高峰小时客流量作为设计依据,但在实际的运营中可能会出现高峰小时客流量未超过设计值、短时客流密度值超过最佳密度值的情况。此时换乘客流的到达较为集中,且站台候车乘客聚集在换乘节点连接处,将进一步加大因短时客流冲击导致站台拥堵的发生概率。因此,将短时客流密度超出设计客流强度的工况作为常规工况纳入设计工作中,在设计阶段有针对性地对该工况进行研究,制定有效的应对措施,可使换乘站的适应力进一步提高。

具体的设计对策为:设计时依据短时客流密度与最佳密度的关系,分为短时客流密度小于最佳密度、短时客流密度约等于最佳密度、短时客流密度大于最佳密度3种情况。这3种情况分别对应客流的自由态、引导态、限流态3种工况,按照不同工况下的客流特征进行流线设计及空间规划,并考虑3种工况间灵活切换的工程条件。如图4所示,以换入站台的楼扶梯口区域为例,自由态工况下的流线设计应便捷、高效、清晰;引导态工况下,应在关键设施前部预留设置分向引流空间的条件,用于客流引导;限流态工况下,应设置不妨碍其它方向客流正常流线的限流空间,用于控制换乘客流的流向与速度。上述工况的设计均应以不影响灾害时疏散通畅性为前提。

3.3 新线接入后对既有车站客流冲击的对策

在新线设计时,应增加对既有车站接入新线后既有运能的适应性评估,预测既有运能下站台乘客的滞留情况、站内和站外需要限流的乘客数量,以



注:箭头表示换乘客流流向。

图4 换入站台区域3种工况下的客流组织措施

Fig. 4 Passenger organization measures of transferring to platform area under 3 working conditions

及客运强度与高峰时段客流设计值之间的关系,并将因既有车站的进、出站客流造成的关键设施折减影响纳入评估范围。

换乘路径通常由多个关键设施串联组成,其中,最小局部节点的通过能力决定了全路径的整体通过能力。因此,不应通过扩大新线车站换乘能力来达到加大既有车站换乘能力的目的,而应将所有换乘路径按照需要通过的关键设施组特征进行分类,在所有路径中找出最小节点的通过能力,用以核验全路径的通过能力。

如图5所示,从B线出站换入A线的换乘路径由B线的出站/换乘设施组与A线的进站/换乘设施组组成,则A线进站/换乘设施组与B线出站/换乘设施组均应先扣除两条线路的进出站客流在其中所占的比例后,再对设施组的通过能力进行对比,取其中的较小者作为换乘路径能力的评估值。

此外,站台换乘能力虽受站台换乘通过能力控制,但仍可发挥一定的换乘效用。新线接入后,需对既有换入站台的换乘能力进行合理评估。

当既有换入站台的换乘能力不能满足新线开通后换入客流的需求时,应设置足够的换乘缓冲区

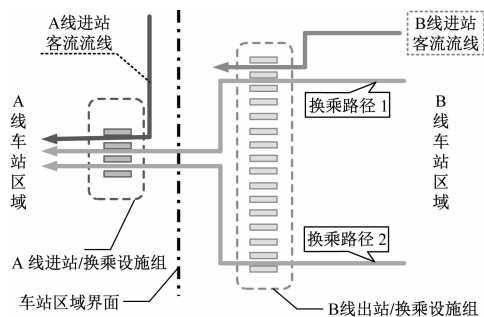


图5 根据换乘路径核算换乘能力示意图

Fig. 5 Calculated transfer capacity according to transfer paths

域,提供较为舒适的换乘等候设施,以改善乘客的换乘体验,降低运营风险。

4 结语

节点换乘站的站台换乘路径具有一定的优势,但也有其局限性,应在合理的范围内使用。维持换乘客流良好的流量、密度、速度关系,是换乘车站管理的核心,应将客流的疏导和限流工况作为常规工况纳入车站设计中,以便于线路开通后相关客流引导措施的实施。

按照路径原则计算换乘能力,可有效体现各项影响因素对换乘能力的折减,使计算结果更接近于运营实际。在新线的前期设计阶段,应突破目前仅研究工程实施性的评估方式,进一步评估既有车站换乘承载能力的适应范围,以便在线网中选择适宜的接入点,避免在新线运营后出现难以弥补的设计缺憾。

参考文献

- [1] 费爽,刘智丽. 地铁换乘系统拥堵点的仿真分析及优化研究[J]. 城市轨道交通研究, 2018(7): 100.
- FEI Shuang, LIU Zhili. Simulation analysis of metro congestion points and optimization method[J]. Urban Mass Transit, 2018(7):100.

- [2] 何彬,顾保南,杨照. 城轨交通换乘站结点换乘设施行人拥挤分析方法[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2020(6): 861.
- HE Bin, GU Baonan, YANG Zhao. Pedestrian congestion analysis method for transfer facilities in urban metro transit transfer stations[J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2020(6): 861.
- [3] 叶建红,陈小鸿. 行人交通流三参数基本关系式适用性研究[J]. 西南交通大学学报, 2016(1): 138.
- YE Jianhong, CHEN Xiaohong. Applicability analysis of triparametric fundamental equations for pedestrian traffic flow[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2016(1):138.
- [4] 卢钧,董芳芳. 城市轨道交通乘客上车前分布情况的统计研究[J]. 城市轨道交通研究, 2010(7): 53.
- LU Jun, Dong Fangfang. Statistical analysis of the passenger distribution before getting on subway train[J]. Urban Mass Transit, 2010(7):53.
- [5] 吴非,杨云超,袁振洲. 城市轨道交通列车停站期间乘客候车位置选择[J]. 城市轨道交通研究, 2010(9):52.
- WU Fei, YANG Yunchao, Yuan Zhenzhou. Waiting location choice of passengers in urban rail transit platform during the train stop[J]. Urban Mass Transit, 2010(9):52.
- [6] 武勇彦,荣建,刘小明,等. 轨道交通车辆到达前站台乘客候车分布研究[J]. 北京工业大学学报, 2012(6): 875.
- WU Yongyan, RONG Jian, LIU Xiaoming, et al. Passengers distribution in urban rail transit platform before vehicle arrival[J]. Journal of Beijing University of Technology, 2012(6):875.
- [7] 娜兰左. 城市轨道交通“T”型换乘站客流组织评价方法研究[D]. 北京:北京交通大学, 2012.
- NA Lanzuo. A study on the evaluation methods of passenger-flow organization in urban rail transit “T” transfer station[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2012.
- [8] 马语佳. 成网条件下地铁换乘站客流组织仿真优化[D]. 成都:西南交通大学, 2017.
- MA Yujia. Simulation and optimization of the transferring station passenger flow organization in subway networks[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2017.

(收稿日期:2021-09-06)

敬请关注《城市轨道交通研究》微信视频号

《城市轨道交通研究》微信视频号聚焦轨道交通行业内的热点问题、焦点问题,以及新技术、新成果,邀请相关专业领域内的专家学者及高级管理人员以视频方式解读和评述,是您及时获知行业资讯、深度了解轨道交通各专业领域的最佳平台。您还可以通过该平台查阅往期论文、查询稿件进度、开具论文录用通知书。敬请关注。

