

# 基于行人仿真技术的南宁轨道交通金湖广场站 换乘通道服务水平评价及优化

陈虹兵

(广州地铁设计研究院股份有限公司, 510010, 广州//工程师)

**摘要** 基于换乘客流冲突点和进出闸乘客冲突点特征, 构建了一种通道换乘车站服务水平分级评价标准。通过行人仿真技术进行客流模拟, 并对南宁轨道交通金湖广场站换乘通道的原始方案进行服务水平评估分析, 进而提出了优化方案。仿真结果表明, 双路径模式下的客流组织效果较好, 可以有效分离换乘客流, 减少客流冲突点, 提高换乘通道服务水平。

**关键词** 城市轨道交通; 换乘通道; 服务水平; 客流仿真; 客流流线优化

**中图分类号** U231.4

**DOI:** 10.16037/j.1007-869x.2020.05.024

## Evaluation and Optimization of Transfer Tunnel Service Level at Jinhu Square Station of Nanning Rail Transit Based on Passenger Flow Simulation

CHEN Hongbing

**Abstract** Taking the conflict points of transfer passengers at gate machine as the evaluation parameters, a set of service level grading standards at transfer station is formed. By means of passenger flow simulation, the original scheme of Jinhu Square Station service level in Nanning rail transit is evaluated, an improvement scheme is proposed. The simulation results show that the passenger flow is better organized in a dual-path mode, which can effectively separate the transfer passengers, reduce the conflict points and improve the service level of metro transfer channel.

**Key words** urban rail transit; transfer tunnel; service level; passenger flow simulation; passenger flow route optimization

**Author's address** Guangzhou Metro Design & Research Institute Co., Ltd., 510010, Guangzhou, China

随着各地城市轨道交通的网络规模越来越大, 客流规模及强度不断攀升, 北京、上海、广州日客运量已突破千万人次级, 全国有 6 座城市已运营线网

客流强度超过 1.5 万人次/km。随着线网规模的壮大, 网络换乘节点越来越多。受诸多工程条件限制, 采用通道换乘形式的换乘站数量也日渐增多。城市轨道交通换乘站的客流流线设计受到了国内外较多学者的关注。国内大部分地铁换乘站点在设计之初均会借助客流仿真技术或理论计算来验证车站服务能力及指导客流组织。文献[1]以行人仿真为技术手段, 结合广州实际调研实际, 对地铁系统能力和服务水平的若干设计标准进行了探讨。文献[2]基于行人仿真技术研究了贯通式站厅的客流组织效果, 并针对具体站点进行了设计实践。文献[3]提出了一种地铁车站突发大客流疏散能力的理论计算与分析方法<sup>[3]</sup>。

本文对多个已运营的通道换乘站案例进行分析总结, 提出通道换乘站的评价体系。采用定性分析、定量计算并结合车站客流仿真的方法, 以南宁地铁 1 号线与 3 号线的换乘站——金湖广场为例, 采用行人仿真技术, 对车站通道换乘形式、换乘客流流线设计进行验证和评价, 为合理预测 3 号线开通后车站的运营情况以及对 1 号线既有车站的客流冲击提供依据。

## 1 对原设计方案的评价

通道换乘站的客流冲突包括换乘客流冲突和进出闸乘客冲突。基于换乘客流冲突点和进出闸乘客冲突点的特征, 将通道换乘站的服务水平细分为三级。具体评价标准描述见表 1。

采用行人仿真技术, 根据南宁轨道交通金湖广场站(1 号线与 3 号线换乘站)的原始方案建立仿真模型, 并通过仿真结果进行原始设计方案分析, 进而确定优化方案。

服务水平等级	换乘路径	冲突点	主要描述
A 级	2+2 模式	2 处	两线车站站厅付费区均采用双路径模式。换进出乘客路径分离,换乘客流基本无冲突,有 2 处进出闸乘客冲突点。乘客流线见图 1。
B 级	2+1 模式	5 处	一车站付费区采用双路径模式,另一车站付费区采用单路径模式。在采用单路径模式的一侧通道口有 1 处换乘客流冲突点,此外还有 4 处进出闸乘客冲突点。乘客流线见图 2。
C 级	1+1 模式	6 处	两线车站站付费区均采用单路径模式。换乘通道口两端均存在客流冲突。有 2 处换乘客流冲突点,4 处进出闸乘客冲突点。乘客流线见图 3。

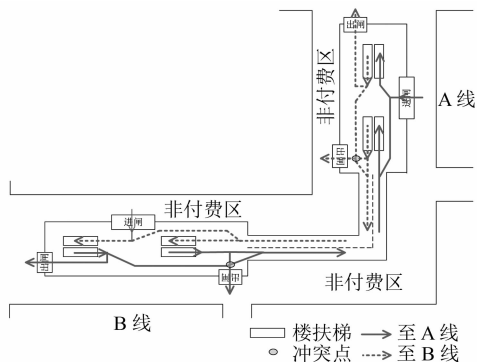


Figure 1 is a schematic diagram of the transfer station layout. It shows the intersection of Line A (A线) and Line B (B线). The diagram illustrates the flow of passengers between the two lines, including the use of stairs (扶梯) and the location of conflict points (冲突点). Arrows indicate the direction of travel: solid arrows for Line A and dashed arrows for Line B. A legend at the bottom identifies the symbols for stairs and conflict points.

### 1.1 评价方法与思路

评价采用定性与定量相结合的评价方法。参考通道换乘站服务水平分级评价指标,定性确定通道换乘站服务水平;采用行人仿真技术,对车站客流流线及设施设备布局进行量化分析。

## 1.2 仿真所用数据

仿真所用数据为符合国内通勤客流特性的模型数据。其中,车站设施设备能力的相关数据来源于南宁地铁实地调研结果,并参考城市轨道交通协会《地铁列车定员、车站规模动态计算方法及其标准研究》课题的研究成果。目前,南宁地铁全部车站均启用安检,故客流仿真模型还需考虑安检场景。

根据现状运营数据,南宁轨道交通 1 号线(以下简为“1 号线”)采用 B 型车,6 辆编组;现状高峰小时最小发车间隔为 5 min,高峰小时进出站客流量为 0.5 万人次/h。根据设计资料,南宁轨道交通 3 号线(以下简为“3 号线”)采用 B 型车,6 辆编组,运营初期最小发车间隔为 5 min。

### 1.3 原始设计方案评价

在金湖广场站,1号线与3号线采用单通道换乘。换乘通道最小宽度为9 m,有超过5 m的高差,设置了3部扶梯与1部楼梯。1号线与3号线的站厅付费区乘客流线均采用单路径模式(即进出站和换乘客流均靠楼扶梯组一侧通行)。车站原始设计方案的平面布置及换乘客流主要流线见图4。

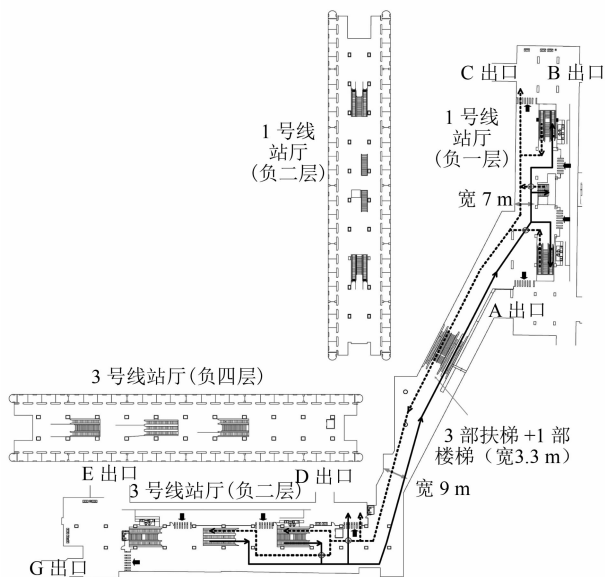


图4 车站换乘通道原始设计方案平面布局图

根据表 1,金湖广场站换乘模式属于 C 级(1+1 模式)。仿真得到的车站最大客流密度图见图 5。从

仿真结果可以看出,金湖广场站原始设计方案有 4 个拥堵点,其换乘客流交织严重,通道口客流密度较高,服务水平较低。拥堵点 1:在靠近 1 号线的换乘通道口,存在换进换出客流冲突、出站客流与换乘客流冲突。拥堵点 2:在换乘通道内,客流交织较多,通道服务水平较低,换乘通道楼扶梯能力不足,楼扶梯口有排队现象。拥堵点 3:在靠近 3 号线的换乘通道口,存在换进换出客流冲突、出站客流与换乘客流冲突。拥堵点 4:换乘客流集中在 3 号线南端的楼扶梯处,客流压力较大,楼扶梯口服务水平较低。

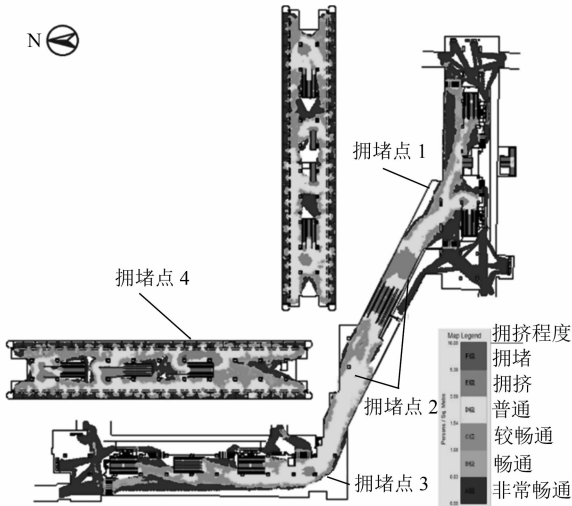


图 5 车站换乘通道原始设计方案最大客流密度仿真图

## 2 优化方案及其评价

### 2.1 优化方案

结合金湖广场站的结构特点和换乘路线,本文梳理优化思路,提出包含 4 项优化措施的优化方案,并针对每项措施提出相应的站厅层改造方法。具体优化方案见表 2。

表 2 金湖广场站换乘通道的优化方案		
措施	优化思路	站厅层改造方法
措施一	拓宽通道口,分离换乘客流	换乘通道增加隔离栏杆;D 出入口处出站闸机东移并旋转布置
措施二	将换乘模式由 1+1 模式改良至 2+1 模式	将 3 号线东侧付费区向非付费区拓宽 2 m;3 号线付费区乘客流线由单路径模式变为双路径模式
措施三	将换乘模式由 2+1 模式改良至 2+2 模式	将 1 号线西端出站闸机向西外移;组织 3 号线换乘 1 号线客流由西端绕行至南端
措施四	提升楼扶梯的通行能力	将 3.3 m 宽的 1 部楼梯改造为 1 部扶梯+1 部楼梯(约 1.3 m 宽)

### 2.2 优化方案的仿真分析

对优化方案进行仿真模拟,并将模拟得到的主要指标与原始设计方案进行对比。对比结果见表

3。由模拟结果可以看出:优化车站客流流线及设备布局后,换乘通道口的客流冲突减少,拥挤度明显降低,服务水平得到提升;通道口乘客平均密度较少,人流速度明显提升;换乘通道楼扶梯能力提升后,楼扶梯口排队现象改善,通行时间减少。由 3 号线换乘 1 号线的乘客在站厅层绕行,其换乘距离虽增加了约 30 m,但换乘时间却减少了约 51 s,平均换乘速度提高了约 30%。

表 3 仿真模拟主要指标对比表

比较项目		设计 方案	优化 方案	比较结果
平均换乘时间/s		325	274	减少 51 s
平均换乘距离/m		246	277	由于绕行,换乘 距离增加 31 m
平均换乘速度/(m/s)		0.76	1.01	增加 0.25 m/s
1 号线换 乘通道口	客流密度/(人/m <sup>2</sup> )	1.4	1.00	减少 0.4 人/m <sup>2</sup>
	客流速度/(m/s)	1.00	1.24	增加 0.24 m/s
3 号线换 乘通道口	客流密度/(人/m <sup>2</sup> )	2.4	1.4	减少 1.0 人/m <sup>2</sup>
	客流速度/(m/s)	0.62	0.93	增加 0.31 m/s

注:由于车站早高峰换乘客流主要以 3 号线换乘 1 号线为主,换乘指标主要以此部分乘客为主。换乘指标仅统计换乘主方向(3 号线换乘 1 号线)

目前,3 号线已开通试运营,优化方案中的措施一和措施二已经实施,措施三与措施四由于涉及 1 号线既有运营车站及土建改造暂未实施,日后将视 3 号线开通后客流增长情况再实施。

### 2.3 优化方案的大客流应对能力分析

由于 3 号线高峰小时换出客流大于换入客流,且 3 号线站厅付费区面积大于 1 号线付费区面积,因此,在大客流模式下,应优先控制 3 号线换出客流,以减少客流对 1 号线的冲击。

当采取措施一拓宽 3 号线一侧换乘通道口后,排队空间增加了 900 m<sup>2</sup>,可容纳约 1 800 人,既能为节假日突发客流提供客流控制条件,也能为扶梯故障预留排队空间。由仿真模型模拟结果发现,即使 3 号线换乘 1 号线的上行扶梯发生故障,拓宽的换乘通道也足以应对 15 min 的累积客流。可见,采用优化方案后车站的大客流应对能力得到加强,

## 3 结语

研究表明,采用 2+2(双站双路径)换乘模式可以将换出换进客流分离,减少客流冲突点,提高换乘通道口的服务水平。采用单通道换乘模式的换乘站,在大客流情况下,应对换乘通道进行软隔离,以分离不同换乘方向的乘客,减少客流流线交叉。

(下转第 109 页)

当法向压应力大于等于临界值时,以机械磨损为主;当法向压应力小于临界值时,以电弧烧蚀为主。因此,当法向压应力等于或接近临界值时,机械磨损和电弧烧蚀取得均衡。这样既能保证供电性能,又能使得摩擦副材料的总损失最小。此时的接触压力应是最佳的标称静态接触压力。

## 4 结论

1) 受流器与第三轨的相互作用主要是由二者之间的接触压力来支配的。不同调节方式的接触压力特点有很大的差异,其中气压调节方式受流器受流性能高于弹簧调节方式的受流器。目前,我国已经研制成功并批量投入运用的自主知识产权受流器主要采用弹簧调节方式。尽管气压调节式受流器成本偏高,但对进一步提高受流性能有利。因此,加快对这种类型受流器自主知识产权产品的研发是十分必要的。

2) 当法向压应力接近或等于临界值时,接触面上的导电和磨损性能取得均衡,既能保证供电性能,又实现了摩擦副材料的总损失最小。因此,若在某一接触压力作用下使受流滑板与第三轨接触区的法向压应力接近或等于临界值,则该接触压力就是理想的标称静态接触压力设计值。法向压应力临界值与两接触体的尺寸、材料以及通过的电流密度等多种因素相关,需要经过大量的试验研究才能确定。法向压应力临界值的具体取值将成为今后的研究重点。

## 参考文献

[1] 柳拥军.城市轨道交通[M].北京:科学出版社,2016:10.

(上接第105页)

通过对比金湖广场站车站原始设计方案及优化方案的仿真结果发现,优化方案可明显改善车站站厅层客流流线,提升客流流速,减少换乘时间。在既有的土建工程条件下,优化方案可分步实施。其中,优化措施三与措施四涉及1号线车站既有运营部分的土建改造,可视3号线开通后的具体客流情况再实施。

## 参考文献

[1] 史海欧,孙元广.地铁系统能力和服务水平的若干设计标准探讨[J].城市轨道交通研究,2012(6):23.  
[2] 孙元广,杨乃莲,史聪灵,等.基于行人仿真技术的轨道交通多

- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.轨道交通 第三轨受流器:GB/T 32589—2016[S].北京:中国标准出版社,2016.  
[3] 中华人民共和国住房和城乡建设部.城市轨道交通钢铝复合导电轨技术要求:CJ/T 414—2012[S].北京:中国标准出版社,2013.  
[4] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.轨道交通车辆组装后的检测与试验规则:GB/T 14894—2005[S].北京:中国标准出版社,2005.  
[5] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.轨道交通 供电系统和机车车辆运行匹配:GB/T 28027—2011[S].北京:中国标准出版社,2011.  
[6] 谭协民,谭振兴,程卫群,等.用于广州地铁14/21号线的新型地铁车辆第三轨下部气动受流器设计[J].数字通信世界,2015(7):202.  
[7] HARTLAND D.High-speed third rail shoe gear[J].Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit,1995,209:77.  
[8] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.地铁车辆通用技术条件:GB/T 7928—2003[S].北京:中国标准出版社,2003.  
[9] 杨晓艳.基于分形理论的受流器/第三轨动态接触特性研究[D].北京:北京交通大学,2015.  
[10] HANDZEL P Z, KLIMCZAK T, POLIJIANIUK A.On the experimental verification of the Greenwood-Williamson model for the contact of rough surface[J].Wear,1992,154(1):115.  
[11] GOERKE D,WILLNER K.Normal contact of fractal surfaces: experimental and numerical investigations [J].Wear,2008,264(7):589.  
[12] HOLM R.Electric contacts[M].New York:Springer.1967.  
[13] 董霖,陈光雄,朱旻昊,等.地铁钢铝复合式第三轨/受电靴载流摩擦磨损特性研究[J].摩擦学报,2007(3):274.

(收稿日期:2018-05-18)

线换乘车站设计研究-以广州天河公园站为例[J].中国安全生产科学技术,2014,10(10):106.

- [3] 刘智成,史聪灵,钟茂华,等.地铁车站突发客流疏散运输能力的理论计算与分析[J].中国安全科学学报,2006,16(9):34.  
[4] 广州地铁设计研究院股份有限公司.南宁市轨道交通一号线客流预测修编[R].广州:广州地铁设计研究院股份有限公司,2010  
[5] 广州地铁设计研究院股份有限公司.广州地铁列车、车站服务水平调研及服务等级分类研究[R].广州:广州地铁设计研究院股份有限公司,2016  
[6] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.地铁设计规范:GB 50157—2013[S].北京:中国建筑工业出版社,2014.

(收稿日期:2019-05-08)