

文章编号: 2095-2163(2021)10-0123-08

中图分类号: U121

文献标志码: A

# 城市轨道交通车站瓶颈处限流设施布设仿真研究

洪晨, 庄非凡, 景文丽, 陈瑜, 常颖

(上海工程技术大学城市轨道交通学院, 上海 201620)

**摘要:** 随着城市轨道交通网络规模的扩大, 中国大城市的轨道交通车站普遍存在高峰期客流过载问题。瓶颈(楼扶梯、闸机等)是影响车站效率的主要因素, 因此在客流高峰时期在瓶颈处布设限流设施已经成为日常客流管控的常态措施。目前对于限流设施的布设主要是依赖经验分析, 缺少科学的布设指导。本文以问卷调查为基础对各限流设施设置效果进行初步评估, 以 VISSIM 仿真软件为主要研究工具, 模拟不同客流强度下地铁车站内瓶颈处布设不同形式和尺寸限流设施下的行人运动过程, 分析和比较了单位时间通过限流设施的流量与速度, 提出了限流设施布设优化建议。

**关键词:** 轨道交通车站; 限流设施; 瓶颈; 客流控制

## Simulations on layout of flow restriction facilities at the bottlenecks in urban rail transit station

HONG Chen, ZHUANG Yifan, JING Wenli, CHEN Yu, CHANG Ying

(School of Urban Railway Transportation, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

**[Abstract]** With the expansion of the urban rail transit network, the rail transit stations in major cities generally suffer from the problem of passenger flow overload during peak hours. Bottlenecks (such as stairs, escalators, automatic fare automatic fare gate, etc.) are the main factors affecting station efficiency. Therefore, setting up flow restriction facilities at the bottleneck during peak passenger flow has become a normal measure for daily passenger flow control. At present, the layout of flow restriction facilities mainly relies on empirical analysis, and there is a lack of quantitative layout guidance. The preliminary evaluation of the installation effects of various flow restriction facilities based on a questionnaire survey is first conducted. Then VISSIM simulation software is employed as the main research tool to simulate the pedestrian movement process under different forms and sizes of flow restriction facilities at the bottlenecks in subway stations when passenger flow intensities are varied. Finally, the flow and speed of the flow restriction facilities per unit time are analyzed and compared, and the optimization suggestions for the layout of the flow restriction facilities are put forward.

**[Key words]** rail transit stations; flow restriction facilities; bottleneck; passenger flow control

## 0 引言

近年来,随着城市轨道交通网络规模的扩大、线路的增设,轨道交通各线路承担的客流量快速增长<sup>[1]</sup>。以上海为例:2019年上海轨道交通全年日均客流达到1 063万人次。在客流高峰时期,由于车站的集散能力趋于饱和,站内乘客拥堵和滞留的现象频发,对乘客出行造成极大影响<sup>[2]</sup>。客流高峰时期,乘客在安检机前方、闸机处、楼扶梯进出口大量堵塞,导致乘候车秩序较差,夹人夹物的事件时有发生,客流拥挤现象的出现,不但影响乘客上下车效率,造成列车晚点事故,还存在较大的安全隐患。

地铁运力与运量的矛盾日益突出,国内部分城市主要线路列车的满载率更是超过了100%,为了避免大客流对轨道交通站点的运营和整个轨道交通线路网造成过大的压力,轨道交通运营管理部门在车站内进行限流设施的布设。在现存限流设施通行能力尚且不足的状况下,如何在大客流下确保乘客能够快速安全的乘车成为社会日益关注的焦点问题。因此高峰期限流已经成为国内各大城市轨道交通车站的日常管控措施,如北京截至2019年1月常态限流车站已经达到96个,在大型活动、庆典、特殊天气等情况下,还会实行临时限流措施<sup>[3]</sup>。李建琳<sup>[4]</sup>分析了上海轨道交通6、8号线在高峰时段已有

**基金项目:** 国家自然科学基金面上项目(52072235);上海市青年科技英才扬帆计划项目(21YF1415800);教育部人文社科青年基金(20YJC630150)。

**作者简介:** 洪晨(1998-),女,本科生,主要研究方向:交通运输;庄非凡(1991-),女,博士,讲师,硕士生导师,主要研究方向:行人交通流、交通运输规划与管理;景文丽(1997-),女,本科生,主要研究方向:交通运输;陈瑜(1999-),女,本科生,主要研究方向:交通运输;常颖(1999-),女,本科生,主要研究方向:交通运输。

**通讯作者:** 庄非凡 Email: zhuangyf@sues.edu.cn

**收稿日期:** 2021-04-28

限流措施的不足之处,并对实施限流措施的车站做出了调整。限流设施是影响车站效率的主要因素,在运营情况下对车站固有设施大范围改造存在难度,而根据客流状态在瓶颈处进行疏导更具有可实施性。地铁运营公司在瓶颈处常采用限流设施和人员引导等方式,但是,就目前的客流疏导来说,主要停留在定性分析层面,相对来说缺乏科学的数据支撑,加上每个车站的结构和规模都有所差异,限流设施的布设实施上更是缺少参考理论,没有较为明确的量化指标,在设置形式和尺寸上难以掌握,各车站主要凭经验标准采取限流控制,因而难以评判限流设置的效果。

因此,本文通过 VISSIM 软件对某车站典型瓶颈区域(闸机口、扶梯口)客流运动过程进行建模,考虑不同客流强度改变限流设施布设形式及尺寸设置,并根据仿真结果对限流设施进行优化,根据不同工况下的瓶





颈处通行速度、流量来分析不同客流强度下瓶颈点限流设施的布设,将调查结果与仿真模型相结合,为实际中的限流方案设计提供可靠的理论依据。

## 1 地铁车站限流设施现状及主要问题

常见限流设施布设形式见表 1。目前,国内一线城市的轨道交通车站普遍存在高峰期客流过载问题,只能通过限流来控制客流高峰时段的客流组织。但目前地铁车站限流设施的设置主要存在以下问题:布设形式上,S 型栏杆一般占地很大,对布设区域的面积有一定要求,一般设置在进站广场区域。通道型栏杆相对占地较少,但是通道处若聚集客流,也会造成严重拥堵。布设尺寸上,车站若通行设施通过的实际客流较小,而限流设施布设过长、过宽,会导致乘客行走距离过长而降低乘客满意度。

表 1 常见限流设施布设形式

Tab. 1 Common layout of flow restriction facilities

限流设施	布设现场图	主要布设位置	作用
通道型		主要设在大型换乘通道内,占地较少	大客流时通常使用插销或者链条锁关闭 1 条至 2 条通道来进行封锁限流 <sup>[5]</sup>
直线型		主要布设在楼扶梯的延伸位置,设置形式比较单一,通常为固定式硬质栏杆,少部分为临时布设的可移动式拉带栏杆	目的是使楼扶梯口客流避免造成拥堵
L 型		常设置于进站闸机口处,基本分为固定式硬质栏杆以及可移动式拉带栏杆两类	L 型栏杆的作用主要是提前规划好乘客的行走路线,避免在瓶颈处造成拥堵并且在进站闸机前维持良好的秩序
S 型		通常与 L 型栏杆设置位置、类型基本一致	增加进站乘客行走距离

## 2 地铁车站限流设施布设乘客态度调查

### 2.1 问卷设置

由于目前鲜有关于地铁车站限流设施布设方案的研究,首先采取问卷法调查车站客流控制人员对限流设施布设方案的认知,定性判断 3 个限流设施的关键要素(布设方法、长度、宽度)对于限流效果的影响大小。调查对象是本校城市轨道交通专业的 20 名在校大四学生,均具有丰富的城市轨道交通车站站务人员实习经验并且具有客流控制知识储备。调查时间为 2021 年 1 月,获得有效问卷 20 份,

有效率 100%。部份问卷题目见表 2。

表 2 问卷部分题目

Tab. 2 Some questions of the questionnaire

题目	问卷选项	统计值	构成比
平时乘坐地铁的出行次数?(往返出行算一次)	一周 1~2 次(28.6%)	5 人	25%
	一周 3~4 次(57.1%)	6 人	30%
	一周 5~6 次(85.7%)	6 人	30%
	一周 7 次及以上(100%)	3 人	15%
下列因素对于限流设施作用效果的影响是怎样的?(该题为打分数,3 个选项总分为 100 分)	设施长度	41.85 分	41.85%
	设施宽度	27.25 分	27.25%
	设施布设形式	30.90 分	30.90%

### 2.2 问卷结果分析

被调查者的出行频次越高, 认为其打分可信度越高。因此将 20 份问卷结合出行频次百分比对 3 种形式限流效果分值进行加和求比例, 最终确定站务工作中对限流设施布设形式、长度、宽度影响限流效果的认知。计算结果为: 设施布设形式, 43.18%、设施宽度, 27.46%、设施长度, 29.36%。因此调查显示改变限流设施布设形式更能影响地铁车站瓶颈处的限流效果。

## 3 地铁车站限流设施布设及仿真研究

### 3.1 仿真软件介绍

VISSIM 是一种交通仿真软件, 主要以城市交通和公共交通运行为模型。VISSIM 用 2D 或 3D 动画更加形象地为用户展现出不同工况行人的行走路线

和行为。所以本文基于 VISSIM 仿真软件对地铁站限流设施不同布设形式、长度、宽度(方案)进行模拟仿真。

### 3.2 限流设施不同工况设置方案

本文对于限流设施的研究选取了车站的 2 个典型瓶颈区域: 楼扶梯和闸机。通过问卷可知被调查者认为改变限流设施布设形式对于限流效果的改善最佳, 所以就限流设施布设形式(直线型、L 型、S 型)进行工况的设置, 再改变其设置的长度、宽度, 进一步得出不同客流量情况下, 不同布设形式及尺寸对行人通行的影响。本次研究中, 客流量输入设置(人/h): 3 000、5 000、7 000; 限流设施布设形式: 无限流设施、直线型、L 型、S 型。

#### 3.2.1 扶梯处限流设施布设

扶梯处限流设施布设方案见表 3。

表 3 扶梯处限流设施布设方案表

Tab. 3 Layout plans of flow restriction facilities at the escalator

	直线型		L 型		S 型	
示意图						
单位/m	$L_z^楼$	$W_z^楼$	$L_L^楼$	$W_L^楼$	$L_S^楼$	$W_S^楼$
方案 1	2	1	3	1	8	1
方案 2	2	1.5	3.8	2	8	1.3
方案 3	2	2	4.3	2	8	1.5
方案 4	1.5	1	3	1.5		
方案 5	1	1	3	2		

方案中主要对扶梯处的限流设施做出了下列几方面的调整:

- (1) 针对直线型限流措施, 调整其宽度与长度, 将宽度以扶梯实际宽度为基础进行调整与修改。
- (2) 针对 L 型限流措施, 调整与扶梯相接处的

宽度以及行人入口宽度。

- (3) 针对 S 型限流措施, 调整行人通过位置设施设备的宽度, 其长度根据实际情况进行调整。

#### 3.2.2 闸机前限流设施布设

闸机前各限流设施布设方案见表 4。

表 4 闸机处限流设施布设方案

Tab. 4 Layout plans of flow restriction facilities at the automatic fare gates

	直线型		L 型		S 型	
示意图						
单位/m	$L_z^闸$	$W_z^闸$	$L_L^闸$	$W_L^闸$	$L_S^闸$	$W_S^闸$
方案 1	6.5	2	6.5	2	6.5	2
方案 2	6	2	6	2	6	2
方案 3	5.5	2	5.5	2	5.5	2
方案 4	6.5	3	6.5	3	6.5	3
方案 5	6.5	2.5	6.5	2.5	6.5	2.5

### 3.3 不同限流设施方案仿真

#### 3.3.1 楼扶梯处限流设施方案仿真

在本文的研究中,用 VISSIM 软件将上面 39 种不同的限流设施布设工况进行仿真,仿真图如图 1

所示。

通过仿真得到通过扶梯的流量及行人速度,各仿真工况持续时间为 600 s,并将测量结果与无限流设施进行对比,结果如图 2 所示。

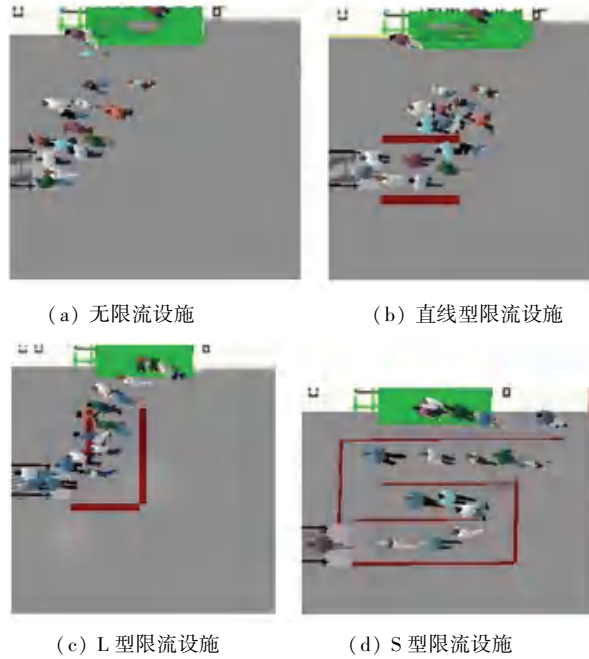
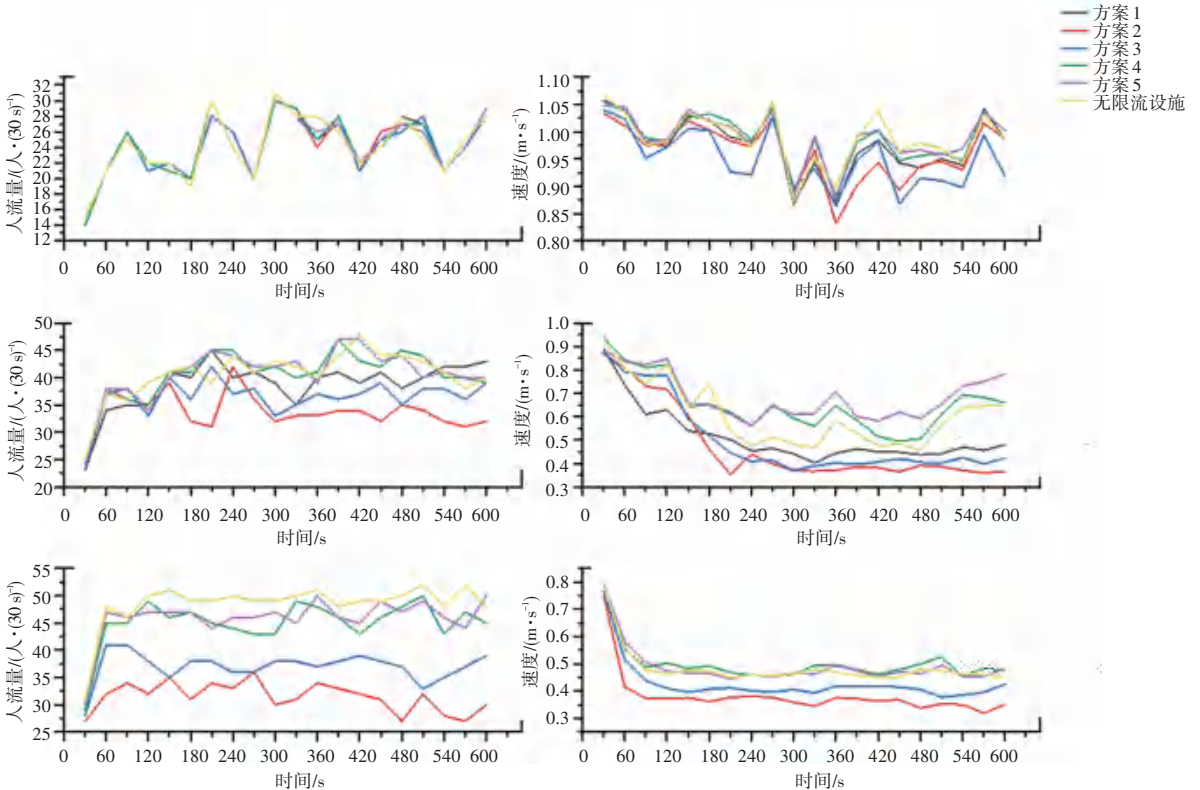
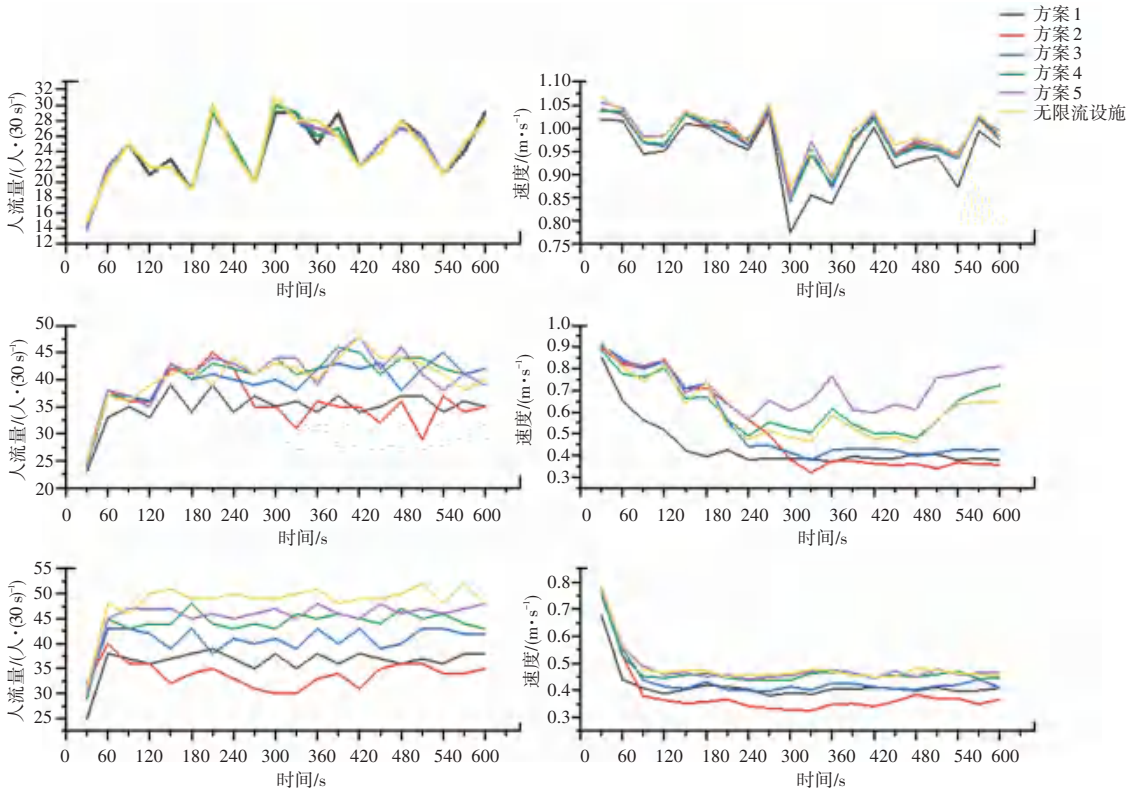


图 1 扶梯处限流设施 VISSIM 仿真图

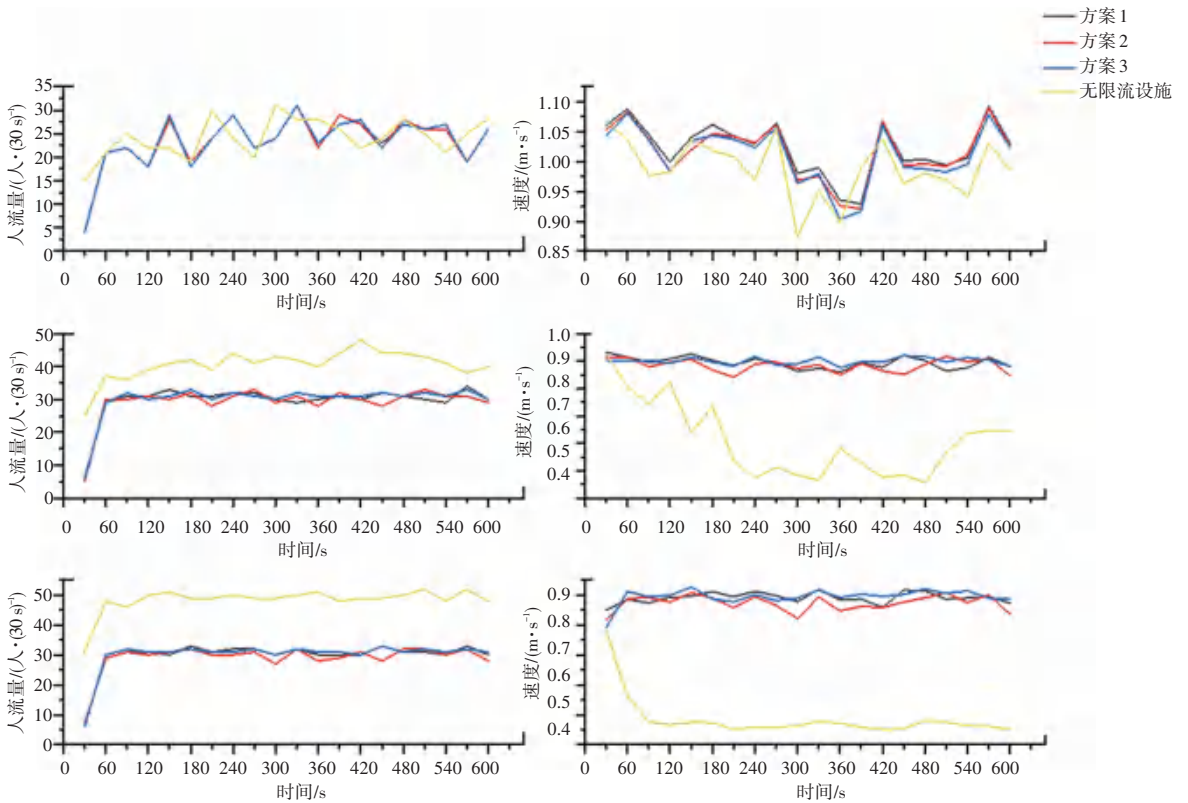
Fig. 1 VISSIM simulation sketches of the flow restriction facilities at the escalator



(a) 直线型限流设施



(b) L 型限流设施



(c) S 型限流设施

图 2 楼扶梯处不同限流设施方案流量图

Fig. 2 Flow-time diagrams of different flow restriction facilities layouts at the escalator

图2中,3幅图的第一行、第二行、第三行分别表示输入人流量(人/h)为3 000、5 000、7 000时的输出结果。对比限流设施布设方案的变化量发现,与无限流设施时相比,不论是哪种形式限流设施的布设都使得通过楼扶梯处的单位流量减少,起到了限流作用。此时通过瓶颈位置的乘客速度越快,可认为限流设施的布设效果越好。当通过扶梯的客流量较少,如每小时通过3 000人时,增设限流设施或更改限流设施的规模、尺寸、形状等变量,速度提高率为0.2%~0.4%,对通行速度并无显著影响。当通过扶梯的客流量适中,如每小时通过5 000人,限流设施的效果则较为显著,速度提高率为:直线型10%~17%、L型12%~14%、S型26%~28%。所以若要加快扶梯通行效率,则可选择设置S型限流设施,且S型布设形式下方案3(设施长度:8 m、宽度:1.5 m)效果最佳,其速度提高率为54.62%。当通过扶梯的客流量较大,如每小时7 000人时,限流设施的限流效果最为显著,速度提高率为:直线型24%~35%、L型16%~30%、S型38%~40%。其中,布设S型限流设施的效果最佳,且设施尺寸的改变对限流效果影响不大。综上所述,当楼扶梯入口处空间充足,且客流量较大时,布设合理尺寸的S型限流设施既可以有效降低客流的进入量,缓解扶梯压力,又能促进大规模人群的有序运动,提高乘

客通行速度,因而限流效果较好。

### 3.3.2 闸机处限流设施方案仿真

在本文的研究中,用VISSIM软件将闸机前不同限流设施的布设工况仿真输出,仿真过程如图3所示。

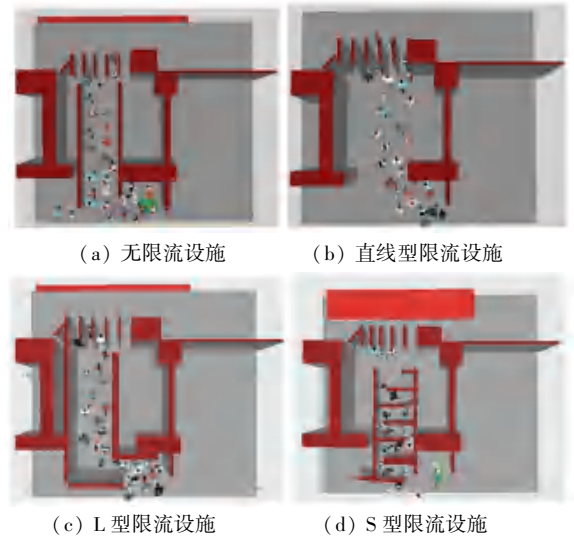
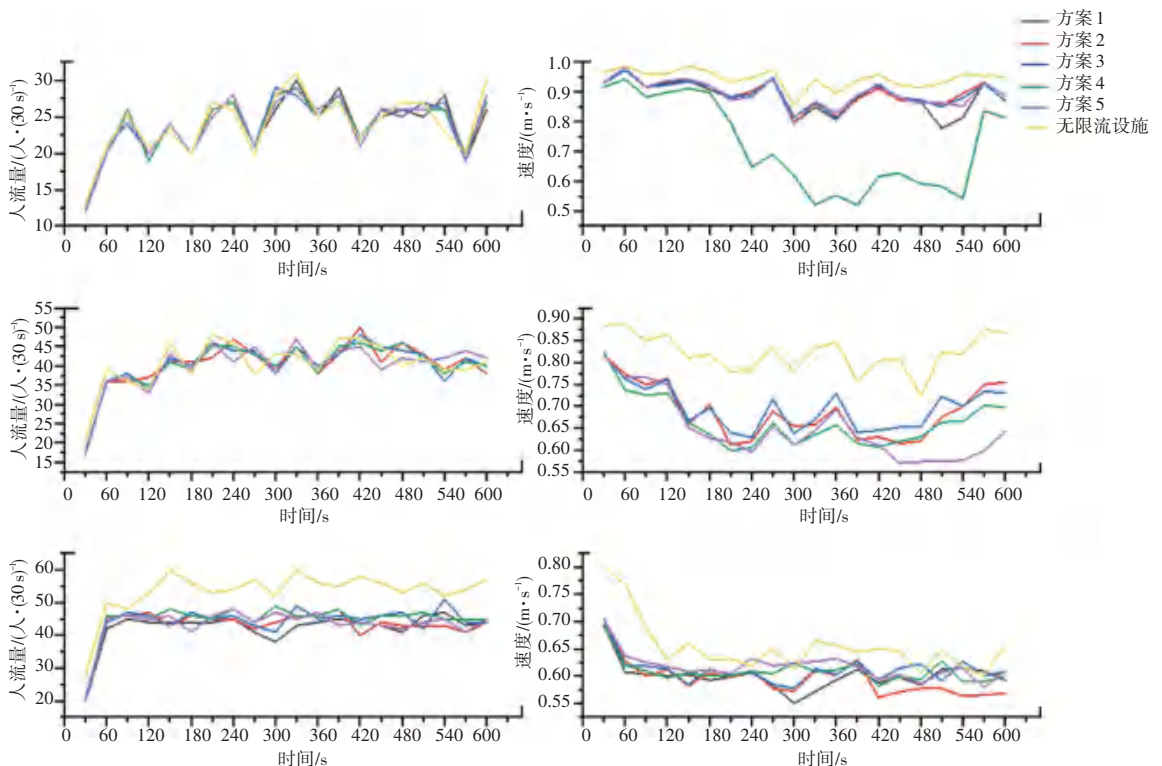


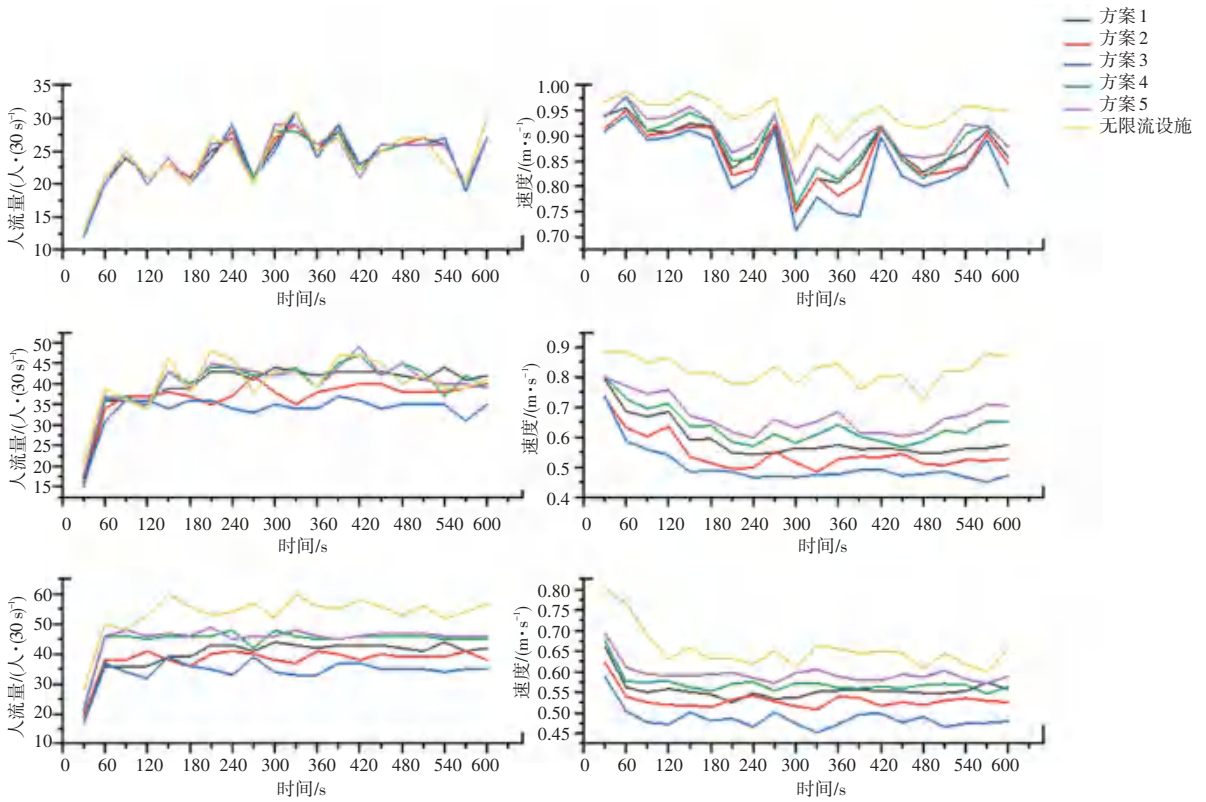
图3 闸机处限流设施 VISSIM 仿真图

Fig. 3 VISSIM simulation sketches of the flow restriction facilities at the automatic fare gates

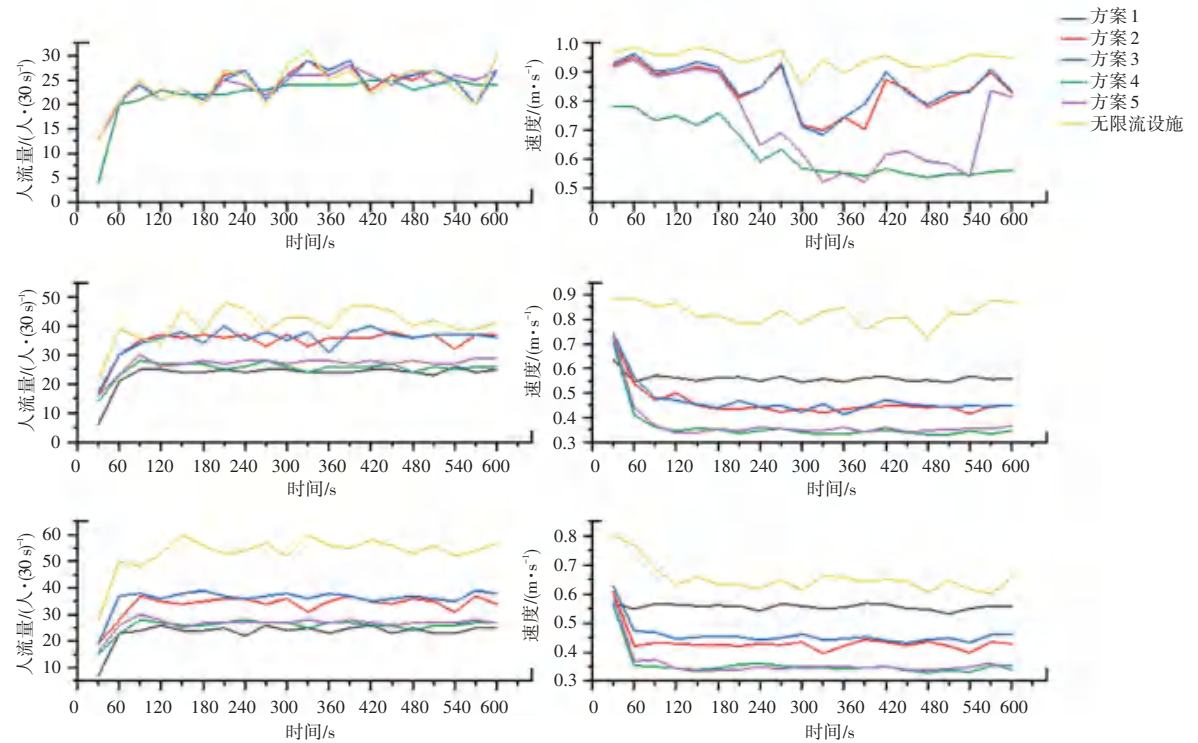
通过仿真得到通过扶梯的流量及行人速度,改变不同工况,并将测量结果与无限流设施进行对比,得到相关数据,如图4所示。



(a) 直线型限流设施



(b) L型限流设施



(c) S型限流设施

图 4 闸机处不同限流设施方案流量图

Fig. 4 Flow-time diagrams of different flow restriction facilities layouts at the automatic fare gates

图 4 中, 3 幅图的第一行、第二行、第三行分别表示输入人流量(人/h)为 3 000、5 000、7 000 时的输出结果。对比限流设施布设方案的变化量发现,

与无限流设施时相比, 不论是哪种形式限流设施的布设都使得通过闸机处的单位流量减少, 起到了限流的作用。布设限流设施后, 闸机处乘客速度并没

有得到提高,反而降低较大。速度降低率为:直线型 5.3%~21.3%、L型 4.75%~28.15%、S型 10.15%~55.89%。原因可能是由于本次仿真工况中闸机入口前空间较小,布设不同形式的限流设施后虽然降低了客流进入量,但也阻碍了乘客通行速度。其中S型布设形式下,乘客的速度降低率最大,说明其不但没有促进乘客的有序运动,反而起到了障碍的作用,因而需要特别注意不适于在空间狭小的闸机前布设。

#### 4 结束语

通过分析地铁站的限流设施现状及主要存在的问题,研究了瓶颈处限流设施的优化布设方案。通过 VISSIM 软件对某轨道交通车站典型瓶颈处安置不同限流设施的布设形式和尺寸下的客流运动进

行仿真研究,分析其对瓶颈处的通行流量和速度的影响,得出限流措施的优化布设建议,从而为实际限流方案设计提供参考,对城市轨道交通车站的客流疏导起到一定的借鉴意义。

#### 参考文献

- [1] 王波. 上海轨道交通客流空间分布特征分析[J]. 交通与运输学术版,2016(1):140-143.
- [2] 陈波. 地铁车站大客流组织措施[J]. 都市轨道交通,2015, 28(3): 20-23.
- [3] 杨静,代盛旭,周浪雅,等. 城市轨道交通相邻多车站动态协同限流研究[J]. 铁道运输与经济,2020,42(3): 112-118.
- [4] 李建琳. 上海轨道交通限流客运调整实践研究[J]. 现代城市轨道交通,2011,8(4):81-83.
- [5] 吴君尚,张碧纯,胡媛,等. 轨交车站站外限流栏杆设置方案优化研究[J]. 地下工程与隧道,2013(1):38-41,57.
- [6] 吴飞燕. 基于 HTML5 Canvas 绘图技术应用[J]. 电子测试,2018(4):116,118.
- [7] 余飞. 基于 HTML5 的图形图像协同处理技术研究是实现[D]. 荆州:长江大学,2015.
- [8] 黄术,田文军,杨建楠. 基于 HTML5 的油田地质图形数据可视化方法研究[J]. 信息系统工程,2020(10):12-16.
- [9] 谭吉学,曹文利. 矢量数据压缩方法研究[C]//第二届“测绘科学前沿技术论坛”. 长春:《测绘通报》编辑部,2010:294-296,305.
- [10] 刘永来,段永宝,官立祥. 三次样条插值方法及其在形变数据预处理中的应用[J]. 勘察科学技术,2017(6):47-50.
- [11] 李荣国,王见. MySQL 数据库在自动测试系统中的应用[J]. 计算机应用,2011,31(S2):169-171,175.
- [12] 朱文. 基于 HTML5Canvas 技术的在线图像处理方法的研究[D]. 广州:华南理工大学,2013.

(上接第 122 页)