

安检模式对铁路客站换乘地铁效率的影响

庄宇, 李丹瑞

(同济大学 建筑与城市规划学院, 上海 200092)

摘要: 随着新技术涌现和运用, 铁路车站客流集散过程中的安检模式对于车站区域步行换乘效率的影响及其空间设计策略, 正受到越来越多的关注。运用“MassMotion”软件对出站人流进行模拟, 比较了采用“人脸识别无感出站”和“轨道交通安检互认”技术前后, 对于不同空间节点人流出站情况的非均质影响及交互效应, 并基于上述结果建立了出站空间人员压力速查表, 为铁路车站前期设计评估提供参考。

关键词: 行人模拟; 换乘效率; 铁路车站; 安检流程
中图分类号: U291.6; TU248.1 **文献标志码:** A

Influence of Security Check Procedures on Transfer Efficiency from Railway Stations to Subways

ZHUANG Yu, LI Danrui

(College of Architecture and Urban Planning, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: As the number of newly-emerged technologies is rising, the influence of security check procedures on the pedestrian transfer efficiency of railway stations and the corresponding design strategies are increasingly concerned. After the pedestrian simulations are conducted by using the MassMotion Software, the influence of arriving passengers in different parts of railway stations, and the interaction effects between external factors are compared in two scenarios: the mutual recognition of security checks and the application of face recognition systems. Based on the results above, a reference table for impacts from arriving passengers is proposed as a supporting tool to help architects respond to complex scenarios in the early design stages.

Keywords: pedestrian simulation; transfer efficiency; train station; security check procedure

随着我国城市化进程的不断深入, 铁路车站等

交通枢纽越加成为了城市内人员流动的核心构件。而铁路车站的换乘效率是提升车站人流集散能力、促进铁路车站与城市高效协同发展的重要途径。旅客步行换乘效率作为车站运营效率的关键议题之一, 既有研究已提出了一系列设计与运营上的提升策略^[1-3]。其中, 近年来发展最快的便是安检模式的改进, 具体表现为安检互认与人脸识别无感出站技术的应用^[4]。因此, 安检模式改进对于铁路车站步行换乘效率的影响, 以及铁路车站的相应设计策略, 正受到越来越多研究者的关注。

既有研究在安检互认方面, 已经说明了安检互认对于铁路车站换乘效率提升的重要作用: 何震子等^[5]通过排队模型的数值模拟, 表明安检互认措施为深圳北站的旅客平均节约了 4.5 min 的换乘时间。但安检互认的实施也会产生更为剧烈的客流脉冲, 对车站建筑空间(尤其是旅客流量不均匀的出站空间)造成更大的客流压力^[6]。

在人脸识别应用方面, 以人脸识别技术为基础的“票、证、人”一体化检验闸机已经投入相关应用, 并拥有优秀的响应速度与准确率^[7]。进一步地, 衣帅^[4]提出了基于人工智能摄像头的无感出站技术方案并进行了实地测试。该方案由于去除了检票闸机对出站旅客的阻挡, 在未来有望进一步提高旅客换乘效率。

在车站设计应对策略方面, 既有研究按研究方法可分为如下两类: 第一类研究借助案例分析与实地调研, 归纳总结车站设计的总体发展趋势^[8], 或者指出特定车站中的设计问题^[9]。第二类研究则借助计算机多智能体模拟, 比选特定项目中的多个设计方案^[10], 或者寻找局部节点的最优设计^[11]。

然而既有研究还存在以下需完善的空间: 首先, 关于安检模式的定量评估维度尚不充分, 尚未考虑时间消耗之外的评估维度。其次, 既有研究缺少对多因素之间交互作用的讨论, 即: 外部条件变化是否

收稿日期: 2022-05-06

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(52178047)

第一作者: 庄宇, 教授, 工学博士, 主要研究方向为可持续的城市设计和站城融合。Email: arch-urban@163.com



论文
拓展
介绍

会影响安检模式对车站的作用效果。而对交互效应讨论的缺失将在很大程度上削弱研究结论对于现实复杂性、多变性的解释能力。最后,在设计应对策略上,多数研究要么聚焦于设计后期项目个体层面的模拟方案量化比选,要么聚焦于设计初期总体层面的设计原则归纳,而缺少一个中间层次:在铁路车站的设计初期,是否可以在避免动用大量资源进行项目模拟评估的情况下,为设计提供量化指导?此类量化辅助决策方法的缺失,降低了当前研究成果应用于车站建筑设计实践时的可行性。

因此本文的研究目标是:借助计算机模拟,多维度量化评估安检模式改进对铁路车站出站空间步行换乘效率的影响大小,及其与重要外部社会条件的交互效应;并从建筑设计角度总结安检模式改进对铁路车站步行换乘效率的影响;最后基于铁路车站外部社会条件的不同类别,提出相应的建筑设计量化辅助决策方法。

1 方法

1.1 换乘效率的定义与评估

本文认同既有研究对“换乘效率”的综合解释^[12-13]:从旅客的视角出发,旅客换乘过程中的时间成本消耗、旅客之间的堵塞拥挤状态、对步行安全性的预期,都会构成旅客对“换乘效率”的感知。因此本文将“换乘效率”定义成以上三个维度的集合。

在评估方法上,基于既有研究的模型对比结果^[14]与相关议题软件应用情况^[15-16],并考虑到与建筑设计软件数据的互通能力,本文最终选择基于Helbing社会力模型^[17]的MassMotion软件来对铁路车站的旅客步行行为进行多智能体模拟,并用以下三个指标对换乘效率的含义进行定量诠释:

节点通行耗时:在单次模拟实验中,所有经过某段空间的旅客,在该段空间内消耗时间的均值。这反映了旅客在换乘过程中的时间成本消耗。

低水平持续时间:在单次模拟实验中,所有经过某段空间的旅客,在该段空间内低水平状态的持续时间的均值。所谓低水平状态,本文参照Fruin^[18]的研究,将旅客周边的人均地板占有面积小于 2.32 m^2 (LOS B)的状态定义为低水平状态。这反映了旅客的堵塞拥挤状态。

局部最高聚集人数:将整个观测时段划分为长

度为10 s的区间,统计每个时间区间中观测范围内的总人数平均水平,最后选择总人数最高的时间区间的总人数作为局部最高聚集人数。这反映了旅客的步行安全性。

1.2 主要自变量

安检模式的改进在传统模式下,由于安全与管理上的考虑,铁路换乘其他公共交通系统(如地铁)时需要二次安检,铁路出站时需要再次查票,铁路车站也需要大面积封闭管理空间。这些都阻碍了车站交通换乘效率与功能复合程度的进一步发展。

在既有文献中,安检流程改进主要包含安检互认和人脸识别出站两个方面。具体而言,“安检互认”指交通枢纽内不同交通工具之间形成内部联通外部统一的安检防护区,从而省去换乘时重复安检的步骤^[19]。

在人脸识别方面,既有研究^[20]已提出在人脸信息、购票信息、公安数据库互联互通的前提下,将原有闸机替换为具有人脸识别设施的安全门。相关识别设备在占用较少空间的情况下,其系统响应时间小于 1 s ^[7]。这意味着人脸识别设备的采用将大大减少旅客在出站闸机口前的停留时间,提高节点设备的处理能力。

因此,安检模式作为研究的主要自变量,将具有三个取值:传统安检、安检互认,以及安检互认+人脸识别。而安检模式的改进将具体体现于旅客的出站流程的改变(图1),以及通过特定节点(出站检票口)的耗时变化。

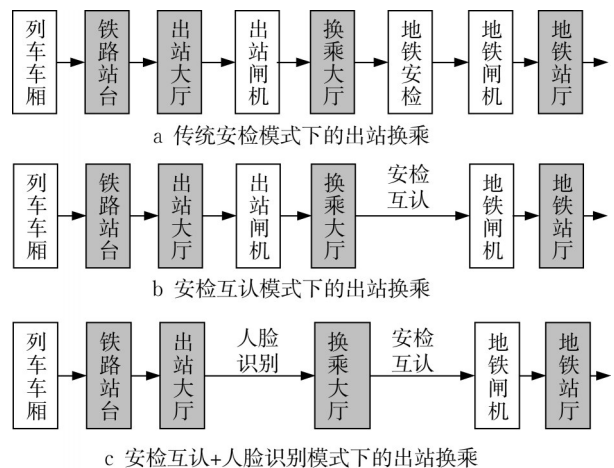


图1 不同安检模式下的铁路出站旅客换乘地铁的流程示意图

Fig. 1 Transfer procedures for arriving passengers in different security check modes

1.3 次要自变量

城际列车比例与地铁分担率 结合既有研究、政策中对铁路车站的未来发展趋势的讨论,本文将外部条件的研究范围聚焦在城际列车比例与地铁分担率这两类要素上。

从相关政策规定^[21]中可看出,城际列车占铁路班次的比例在未来有进一步上升的趋势。而城际列车比例的上升,将会对铁路车站的换乘效率带来两个影响:首先,城际列车“小编组、高密度”的特点^[22]会改变旅客客流的时空分布特征。具体而言,“小编组、高密度”正好反映了列车定员人数的降低与停靠频率的升高。其次,城际列车对中短途市民日常出行的拉动,可能让以商务交流、周末游憩为出行目的的铁路旅客比例更高^[23]。这会改变旅客携带行李的数量、结伴的

比例等,从而进一步影响旅客步行行为特性。

类似地,相关政府文件^[21]与实地调查^[24]也指出,地铁逐渐成为铁路车站出站旅客的主要选择。而地铁的进一步发展,首先将影响铁路出站旅客对于不同交通工具的选择比例,从而改变了出站空间不同节点处的旅客流量大小。除此之外,地铁发展带来的地铁乘客数量的增加,还会进一步影响地铁的开行方案,以及地铁站相应检票、安检设备的数量。

基于以上对于影响途径的分析,本文确定了次要自变量具体影响的多智能体模拟参数(表1)。其中 $N(\mu, \sigma^2)$ 表示随机变量取值符合均值为 μ ,标准差为 σ 的正态分布。 $U(a, b)$ 表示随机变量取值符合最小值为 a ,最大值为 b 的均匀分布。

表 1 研究变量与其对应的模拟参数

Tab. 1 Variables and their related simulation parameters

变量类别	具体影响因素	对应模拟参数	参数取值		
			传统安检	安检互认	安检互认+人脸识别
安检模式改进 (主要自变量)	旅客出站流程	行人步行流线	包含地铁安检	取消地铁安检	取消地铁安检
	设施服务水平	出站闸机通行耗时/s	$N(5.52, 1.48^2)$	$N(5.52, 1.48^2)$	$U(1, 2)$
			城际列车主导		非城际列车主导
城际列车比例 (次要自变量)	铁路开行方案	班次到达间隔/min 列车定员	7 645(CRH1A型列车)	10 1 226(CRH2A统型重联列车)	
	旅客个体特征	对扶梯的偏好程度/%	58	82	
		旅客下车平均耗时/s	1.54	1.84	
地铁分担率 (次要自变量)			地铁分担率小		地铁分担率大
	总体旅客量	出站旅客生成速度/(人·h ⁻¹)	4 450		4 950
	交通分担率	旅客换乘地铁比例/%	15		42
	设施设备配置	地铁安检设备数量	4		11
		地铁进站闸机数量	4		8
		铁路出站闸机数量	28		31
地铁开行方案	地铁班次开行间隔/min	3		3,部分线路 2	
固定量	建筑空间布局	建筑几何形体	(以研究对象为准)		
	设施设备能力	扶梯运行速度/(m·s ⁻¹)	0.5(铁路站),0.65(地铁站)		
		地铁闸机通过耗时/s	$U(2.5, 3.5)$		
		地铁安检通过耗时/s	4.38		
	铁路运行情况	扶梯最大流量/(人·min ⁻¹)	47(铁路站),90(地铁站)		
		站台调用	列车总是抵达铁路站最外侧站台		
旅客个体特征	列车上座率/%	100			
	平均步行速度/(m·s ⁻¹)	1.325			
	步行速度标准差/(m·s ⁻¹)	0.225			
	携带行李箱比例/%	55			

1.4 固定量

本文将自变量无法直接影响的模拟参数设定为固定量(表1)。其中,地铁设施通过效率和旅客特征的取值来源于文献研究^[25-27],扶梯的最大流量来自于作者实地测量。铁路运行时的站台调度和列车上座率则被控制为相同水平。

1.5 模拟结果分析方法

为了方便地对比安检改进、城际列车、地铁分

担率的换乘效率影响效果,同时减少模拟实验对算力的要求,本文参考析因设计的实验方法,把安检改进、城际列车、地铁分担率这三个变量分别取2~3个数值水平,再对各变量之间的所有取值组合进行多次重复模拟,最终将模拟结果进行组间比较,以确定安检模式对于换乘效率的影响,以及城际列车比例、地铁分担率的交互效应。研究变量与其对应的主要模拟参数设定结果经整理如表1所示。

1.6 研究对象与范围

本文以规划设计中的郑州小李庄站方案为例,其作为郑州“四主”车站之一,将形成车场规模为8台21线的大型铁路客站枢纽。近、远期旅客发送量分别为2 960万人、3 170万人,最高小时聚集人数为8 000人,属特大型车站。出站旅客换乘地铁的步行流线为“铁路站台层”、“出站通道-换乘大厅-地铁站厅层”、“地铁站台层”。三个楼层在空间中垂直叠合,标高依次递减。

郑州小李庄站在以下两个方面具有案例代表性:①从旅客规模上看,小李庄站是特等站,代表了中国铁路车站中人员压力问题最突出的车站类型;②从步行换乘空间的组织形式来看,小李庄“上进下出”的格局,代表了国内大型铁路车站的主流做法^[8]。

由于行人拥堵、排队过久等换乘效率问题,往往以空间节点的形式集中体现在车站空间的局部之中,因此本研究对于车站换乘效率的评估,将集中于对出站步行空间的几个关键节点(图2、图3)的评估上。节点空间的选择为:出站通道、换乘大厅(出站集散厅)、地铁站厅与地铁站台。

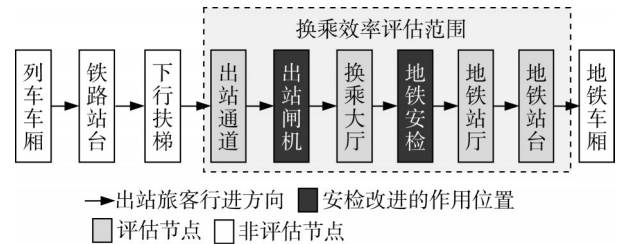


图2 换乘效率评估范围在铁路出站旅客流程中的位置
Fig. 2 Research scope in exiting procedure of arriving passengers

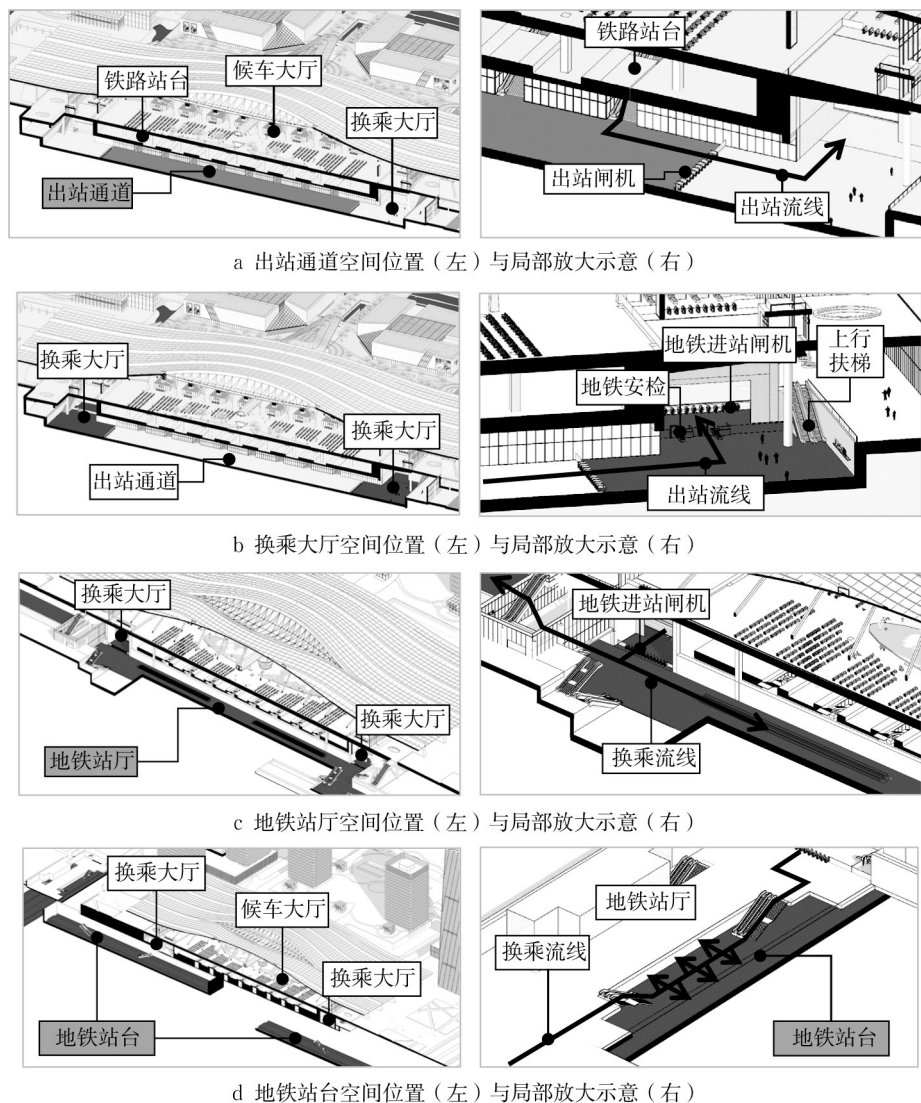


图3 换乘效率研究节点空间示意

Fig. 3 Illustrations for studied spaces

2 模拟结果与分析

2.1 安检改进的非均质影响

模拟结果如图4所示。图中数据点表示样本的均值,数据点上的误差线表示样本数据均值的95%置信区间。研究发现,无论研究范围内的外部条件(城际列

车比例、地铁分担率)是何种状态,安检流程的改进(安检互认、人脸识别出站)均可以极大地缩短铁路旅客在出站空间中的通行时间。这进一步验证了既有研究的观点:安检流程的改进是未来铁路车站降低通行时间的重要途径之一。安检互认与人脸识别在多种条件下的车站设计与运营中都具有广泛的研究与应用前景。

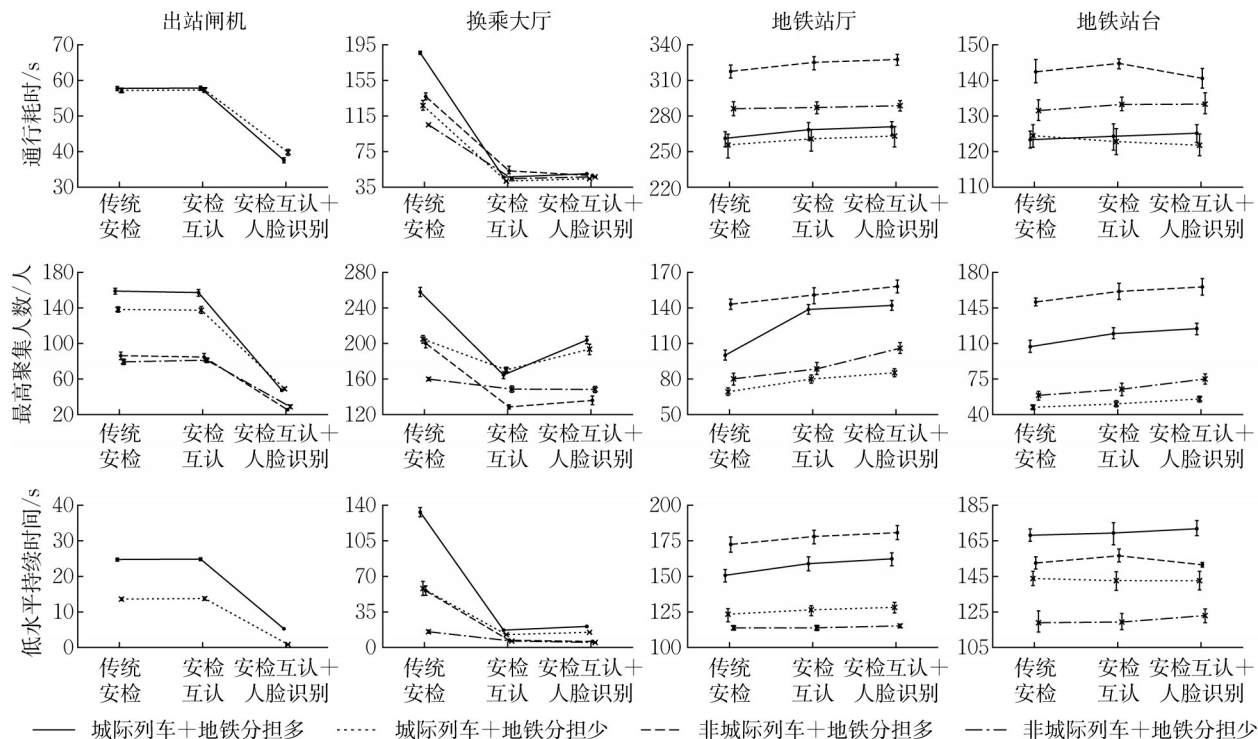


图4 不同安检模式与外部条件下的铁路出站旅客换乘效率比较

Fig. 4 Comparison of transfer efficiencies for arriving passengers in different security check procedures and external conditions

然而,安检改进措施对出站空间聚集压力、低水平持续时间的影响并非总是正向的,铁路车站各个空间节点中的影响效果并不相同:铁路出站通道将受益于安检改进,地铁站台、站厅对安检改进不敏感,而换乘大厅反而可能会因安检效率的提高而承受更大的压力。

2.2 安检改进与外界条件存在交互效应

模拟结果揭示了城际列车比例、安检流程、地铁分担率这三类因素对换乘效率的复杂影响关系。首先,当采用安检互认、人脸识别时,城际列车实验组在通行耗时、低水平持续时间方面,比非城际列车实验组下降得更多。因此,以城际列车为主的铁路车站从安检互认、人脸识别中得到的换乘效率提升收益更大。

其次,安检模式对换乘效率的影响程度,还取决于地铁分担率的大小。地铁交通分担率越高,不同

安检模式带来的换乘效率差异、城际列车组与非城际列车组之间的换乘效率差异也就越大。

最后值得注意的是,对于地铁分担率较低、城际列车比例较少的铁路车站,安检模式的改进对其低水平持续时间、人员聚集压力的改善十分有限。

2.3 更灵活的设计辅助方法

出站空间人员压力速查表 基于2.1、2.2节结论可得,在复杂多变的社会、技术变革趋势下,不同车站的换乘效率将会产生巨大的差异,固定、单一的设计应对策略并不能满足未来铁路车站的设计需要。

但现行铁路设计相关规范依然采用的是相对单一的设计策略或规定。以出站空间中的出站集散厅(即本文研究对象中的换乘大厅)为例,如现行设计规范^[25]中,中型及以上铁路客站出站集散厅的大小按高峰小时发送量下人均不少于 0.2 m^2 计算。当前规范中对于集散厅面积的估算,仅基于高峰小时发

送量,而尚未将环境要素(如城际列车比例、安检流程、地铁分担率)作为面积计算的因子之一。换言之,当前规范对于环境要素的考虑尚不充分,尚不能灵活适应不同项目中环境要素的差异性。

缺失灵活性的面积估计策略将带来换乘效率降低或空间利用率低等不利影响。同样以出站集散厅为例,由于当下铁路车站的出站集散厅往往结合了交通换乘功能(如本文的研究对象),铁路车站往往存在城际列车旅客比例不断扩大、地铁的交通分担率不断提高的发展趋势。在此背景下,未采用安检互认的出站集散厅必然会承受比当下水平更大程度的客流单位压力。若按当前的人均面积指标去计算集散厅面积,则可能会遭遇换乘效率降低的风险。另一方面,若出站集散厅采用安检互认与人脸识别

等安检改进措施,而人均指标依然依照原先标准,则会带来交通空间冗余、空间利用率低下的问题。同理,出站空间中的其他部分也会面临相似的问题。为了让铁路车站设计更好地适应未来复杂多变的环境变化趋势,铁路车站的空间设计策略应当从单一、固定的形态,转向灵活、适应性强的形态。

因此,本文对于铁路车站初期方案阶段的设计方法提出以下改进建议:在初步确定铁路车站出站空间的使用面积时,若要考虑车站未来使用中在城际列车比例、地铁分担率、安检流程上的可能变化,可以用当下设计实践中的习惯性指标为基准,参考以下的人员压力速查表(表 2),查阅得到给定未来状况下人员压力的估计值,从而为设计决策提供更好的信息辅助支持。

表 2 出站空间人员压力速查表

Tab. 2 Reference table for impacts of arriving passengers

外部条件		空间节点				
城际列车比例	地铁分担率	铁路旅客在地铁的占比	安检模式	出站通道	换乘大厅	地铁站厅
比例较小	较小(15%左右)	占比很少	传统安检	基准	基准	基准
			安检互认	→	→	→
			人脸识别	→	→	→
		占比很多	传统安检	→	→	→
			安检互认	→	→	→
			人脸识别	→	→	↑
	较大(超过40%)	占比很少	传统安检	→	↑	→
			安检互认	→	→	→
			人脸识别	↓↓	→	→
		占比很多	传统安检	→	↑	↑↑
			安检互认	→	→	↑↑
			人脸识别	↓↓	→	↑↑
比例较大(超过40%)	较小(15%左右)	占比很少	传统安检	↑↑	↑	→
			安检互认	↑↑	→	→
			人脸识别	↓	↑	→
		占比很多	传统安检	↑↑	↑	→
			安检互认	↑↑	→	→
			人脸识别	↓	↑	→
	较大(超过40%)	占比很少	传统安检	↑↑	↑↑	→
			安检互认	↑↑	→	→
			人脸识别	↓	↑	→
		占比很多	传统安检	↑↑	↑↑	↑
			安检互认	↑↑	→	↑↑
			人脸识别	↓	↑	↑↑

注:①“→”表示最高聚集人数相较于基准状况的变化不超过25%;②“↑”或“↓”表示上升或下降幅度在25%~50%之间;③“↑↑”或“↓↓”表示上升或下降幅度超过50%

3 结论与展望

本文在以下几个方面回应了研究目标:首先,本文借助多智能体模拟,在时间消耗的评估维度上补充了人员聚集压力与低服务水平持续时间的维度。本文在进一步量化验证既有研究结论的同时,还指

出了安检改进带来的人员压力影响在车站内部各节点存在非均匀分布的现象,从而以一个更全面的视角量化评估了安检改进对于铁路车站运行的影响。

其次,本文讨论了在城际列车比例与地铁分担率两个外部条件的交互效应,指出安检改进带来的人员聚集压力同时取决于地铁分担率和城际列车比

例的取值。该结论表明,如果在评估之中不考虑外部条件的特性,安检模式对于铁路车站的影响将难以得到准确评估,从而影响设计方案的质量。

最后,基于车站设计者的上述需求,本文提出了铁路车站不同发展情景下的人员压力速查表,以此作为铁路车站新建或更新改造时的量化辅助决策工具。借助于此,设计者得以在设计初期掌握不同条件环境下铁路车站未来使用状态的变化趋势,从而在一定程度上避免设计后期在交通模拟验证时与初期设想差距过大,以致被迫大幅度修改设计的情形。

综上,本文探究了安检模式对铁路客站换乘地铁效率的影响。其研究结论有望为国内大型“上进下出”式铁路车站的设计或改造提供前期参考。而本文在未来尚有以下发展空间:首先,本文仅选择了城际列车、地铁分担率作为交互效应研究中的外部条件要素,未来研究中可以纳入更多的要素进行评估。其次,本研究对外部条件要素采取了二元化取值,未来研究中可以采用更细化的取值区间。最后,本文并未在人员压力速查表的基础上进一步提出量化指标。但未来研究可在综合不同类型的车站案例后,直接提出针对不同情景的人均面积指标修正系数表。

作者贡献声明:

庄宇:研究框架、实验设计,数据分析与解释,论文修改与定稿。

李丹瑞:实验设计,数据分析与解释,模拟软件的准备、设定与运行,论文撰写与修改。

参考文献:

- [1] 戴一正,程泰宁,陈璞.“站城融合发展”初探[J].建筑实践,2019(9):16.
DAI Yizheng, CHENG Taining, CHEN Pu. Brief discussion about integrated station-city development [J]. Architectural Practice, 2019(9): 16.
- [2] 靳聪毅,沈中伟.以站城融合为导向的当代铁路客站发展研究[J].建筑技艺,2019(7):80.
JIN Congyi, SHEN Zhongwei. Research on the development of contemporary railway station guided by the integration of station and city[J]. Architecture Technique, 2019(7):80.
- [3] 于晨,殷建栋,郭磊,等.“站城融合”策略在高铁站房设计中的应用与研究——以杭州西站方案设计的要点分析为例[J].建筑技艺,2019(7):45.
YU Chen, YIN Jiandong, GUO Lei, *et al.* Application and research of “station-city integration” strategy in the design of high-speed railway station: Taking Hangzhou west railway station as an example [J]. Architecture Technique, 2019(7): 45.
- [4] 衣帅.铁路旅客无感出站关键技术及应用方案研究[D].北京:中国铁道科学研究院,2020.
YI Shuai. Railway passengers unconscious outbound key technology and application scheme research[D]. Beijing: China Academy of Railway Science, 2020.
- [5] 何震子,韩寒,杨家文.深圳北站国铁与地铁安检互认的换乘效率提升研究[J].城市轨道交通研究,2021,24(3):18.
HE Zhenzi, HAN Han, YANG Jiawen. Transfer efficiency improvement between railway and subway based on safety check recognition at Shenzhen north railway station [J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(3): 18.
- [6] 杨瑞霞,兰亚京,韩宝明,等.安检互认条件下的市郊铁路与地铁换乘站客流模拟仿真研究[J].城市轨道交通研究,2021,24(1):202.
YANG Ruixia, LAN Yajing, HAN Baoming, *et al.* Simulation research on passenger flow of suburban railway and metro transfer station under mutual recognition of security [J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(1): 202.
- [7] 安然,王辉麟.人脸识别系统在铁路车站安检区域应用的研究[J].铁路计算机应用,2012,21(9):21.
AN Ran, WANG Huilin. Application research on face recognition system in safety area of railway stations [J]. Railway Computer Application, 2012, 21(9): 21.
- [8] 石博.大型高速铁路客运站与站前广场一体化趋势研究[D].长沙:中南大学,2011.
SHI Bo. Study on the integration of large high-speed railway passenger station and station square [D]. Changsha: Central South University, 2011.
- [9] 宋凯丽.城市轨道交通枢纽综合体站前广场复合化设计研究——以北京市东直门交通枢纽为例[D].北京:北京建筑大学,2017.
SONG Kaili. Research on the compound design of station square in urban rail transit complex — Take Beijing Dongzhimen traffic terminal as an example [D]. Beijing: Beijing University of Civil Engineering and Architecture, 2017.
- [10] HOOGENDOORN S P, HAUSER M, RODRIGUES N. Applying microscopic pedestrian flow simulation to railway station design evaluation in Lisbon, Portugal [J]. Transportation Research Record, 2004, 1878(1): 83.
- [11] 苏华.轨道交通车站行人流建模与设施布局优化研究[D].西安:长安大学,2018.
SU Hua. Model of pedestrian flow and facility layout optimization for rail transit stations [D]. Xi'an: Chang'an University, 2018.
- [12] 杨宏伟,张超,郭柳贞.铁路客运站与市内交通换乘效率评价[J].铁道运输与经济,2004,26(10):15.
YANG Hongwei, ZHANG Chao, GUO Liuzhen. Efficiency assessment on passenger interchange between railway passenger station and urban public transport [J]. Railway Transport and Economy, 2004, 26(10): 15.

- [13] 毛宏黎. 高铁车站旅客离站换乘行为分析及效率评价研究[D]. 重庆:重庆交通大学, 2019.
MAO Hongli. Research on behavior analysis and efficiency evaluation of passenger departure transfer in high-speed railway station[D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2019.
- [14] DUIVES D C, DAAMEN W, HOOGENDOORN S P. State-of-the-art crowd motion simulation models[J]. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2013, 37: 193.
- [15] 郎林枫. 基于行人流模拟的高校综合教学楼门厅空间设计策略研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2018.
LANG Linfeng. Research on design strategy of entrance space of college comprehensive teaching building based on pedestrian flow simulation[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2018.
- [16] PU Y. Capacity analysis of the union station rail corridor using integrated rail and pedestrian simulation[D]. Ann Arbor: University of Toronto (Canada), 2017.
- [17] HELBING D, BUZNA L, JOHANSSON A, *et al.* Self-organized pedestrian crowd dynamics: Experiments, simulations, and design solutions[J]. *Transportation science*, 2005, 39(1):1.
- [18] FRUIN J J. Designing for pedestrians a level of service concept[D]. Ann Arbor: Polytechnic University of Brooklyn, 1970.
- [19] 邹明辉. 粤港澳大湾区城际铁路公交化运营模式探讨[J]. *铁道运输与经济*, 2021, 43(4):91.
ZOU Minghui. Discussion on intercity railway operation of public transportation mode in Guangdong-Hong Kong-Macao greater bay area[J]. *Railway Transport and Economy*, 2021, 43(4):91.
- [20] 高仕龙. 基于智能化的高铁车站旅客乘降组织优化研究[D]. 北京:中国铁道科学研究院, 2019.
GAO Shilong. Research on optimization of passengers' boarding and traveling organization by high-speed railway station based on intelligent[D]. Beijing: China Academy of Railway Science, 2019.
- [21] 中国国家铁路集团. 新时代交通强国铁路先行规划纲要[EB/OL]. [2020-11-12]. <http://www.china-railway.com.cn/xwzx/rdzt/ghgy/gyqw/202008/P020200812637973169357.pdf>
- China State Railway Group Co., Ltd.. Outline of powerful nation railway advance planning in the new era [EB/OL]. [2020-11-12]. <http://www.china-railway.com.cn/xwzx/rdzt/ghgy/gyqw/202008/P020200812637973169357.pdf>
- [22] 周钊, 要甲, 龙东方, 等. 区域城际铁路列车开行方案特征分析[J]. *铁道运输与经济*, 2010, 32(1):40.
ZHOU Zhao, YAO Jia, LONG Dongfang, *et al.* Analysis on characteristics of operation scheme of regional intercity railway train[J]. *Railway Transport and Economy*, 2010, 32(1):40.
- [23] 张小辉. 城际铁路客运枢纽交通衔接设施配置方法研究[D]. 南京:东南大学, 2014.
ZHANG Xiaohui. Research on the methods of traffic facilities allocation of intercity railway passenger transport hub [D]. Nanjing: South East University, 2014.
- [24] 汤薛艳. 高铁客运枢纽旅客离站换乘方式选择行为研究[D]. 西安:长安大学, 2017.
TANG Xueyan. Studying on the transfer mode choice behavior of arrival passengers in high-speed railway passenger transport hub[D]. Xi'an: Chang'an University, 2017.
- [25] 国家铁路局. 铁路旅客车站建筑设计规范: TB10100—2018 [S]. 北京:中国铁道出版社有限公司, 2018.
National Railway Administration of the People's Republic of China. Code for design of railway passenger station: TB10100—2018 [S]. Beijing: China Railway Publishing House Co., Ltd., 2018.
- [26] 陈建宇. 基于Anylogic的成都北站铁路客流换乘城市轨道交通仿真研究[D]. 成都:西南交通大学, 2014.
CHEN Jianyu. The study on the transfer between rail and urban rail transportation by means of simulation — A case study in chengdu[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2014.
- [27] LI D, HUANG R, WU Y. Sensitivity analysis of pedestrian simulation on train station platforms [C]//Projections — Proceedings of the 26th International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia, CAADRIA 2021. Shanghai: The Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA), 2021: 529 - 538.