

基于智慧地铁的车站客流压力分级管控策略

陈春娇

(上海申通地铁集团有限公司技术中心, 201103, 上海//高级工程师)

摘要 从地铁车站大客流管控需求出发,提出了基于智慧地铁的车站客流压力分级管控技术和管控策略,即基于客流智能监控的车站客流压力分级技术和基于客流压力分级技术的大客流管控策略。分析了智慧地铁下的车站大客流管控需求和思路,介绍了车站客流压力分级管控技术和管控策略。该策略的提出可为地铁运营管理者更加精细化地处理各类大客流风险提供了依据。

关键词 智慧地铁; 客流状态感知; 客流压力分级; 大客流管控

中图分类号 U231.4; F530.7

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2021.01.011

Research on Station Passenger Flow Pressure Classification Management and Control Strategy Based on Smart Metro
CHEN Chunjiao

Abstract Starting from the requirements of metro large passenger flow management and control, a management and control strategy for station passenger flow pressure based on smart metro is proposed, which consists of "station passenger flow pressure classification technology based on passenger flow intelligent monitoring" and "large passenger flow management and control strategy based on passenger flow pressure classification technology". The station large passenger flow management and control requirements and ideas under smart metro are analyzed, and the station passenger flow pressure classification management and control technology and strategy are introduced. The proposal of this theory provides a theoretical basis for metro operation managers to deal with various large passenger flow risks with delicacy.

Key words smart metro; passenger flow status perception; passenger flow pressure classification; large passenger flow management and control

Author's address Technical Center of Shanghai Shentong Metro Group Co., Ltd., 201103, Shanghai, China

交通运输部 2020 年第 175 号文件《关于推动城市轨道交通高质量发展的指导意见(征求意见稿)》提出“打造智慧地铁,提升发展动能”。中国城市轨道交通

交通协会 2020 年 3 月发布了《中国城市轨道交通智慧城轨发展纲要(2020—2035 年)》,以此作为城市轨道交通(以下简称“城轨”)行业今后一个时期制订智慧城轨发展的技术政策、技术规范、发展规划以及实施计划的指导性文件。由此可见,中国城市轨道交通已开始步入智慧化发展的新阶段。上海地铁作为智慧地铁的探索者和先行者,在近期发布的《上海智慧地铁建设与发展纲要》中也明确提出了要“打造站内站外全息客流监测手段的客流智能监控”。即:在地铁站点的不同的区域,包括站外、站厅、换乘通道等,选择不同的客流检测技术,得到不同区域客流指标,并与车站瓶颈点能力进行匹配,从而判断车站客流压力水平,为更精细化的采取相应的客流管控措施提供支持。

1 智慧地铁下的车站大客流管控需求和思路

1) 车站大客流的产生原因。车站大客流的产生,既有客流的时空分布不均衡造成高峰客流量超预期的因素,也有区段运输能力确实偏小造成乘客滞留及站台拥挤的原因。对车站客运组织影响最大的就是突发事件下的客流集聚。这类突发大客流很难提前预测,但规模大、影响大,一旦发生如果处置不及时容易引发比较严重的社会公共安全事故。因此,各地对车站大客流都十分关注,也针对不同车站制定了相应的应急处置预案。

2) 现状车站客流管控手段。目前,地铁运营单位一般根据车站客流的变化规律及经验,采取了多种大客流管控措施,如站内外限流导流、列车跳停、增派临时人员等。但客流是个动态变化的过程,由于缺少技术手段,无法及时定量掌握客流量及变化趋势,车站大客流管控往往表现为对突发大客流管控不及时和对常态化大客流过度控制。目前的客流管控手段离运营管理的精细化要求存在一定差距,而智慧地铁的发展为实现车站大客流精确管控提供了契机。

3) 智慧地铁下的车站大客流管控需求。对于发生地点相对固定、持续发生的车站大客流,大客流管控方案建议以预防性措施为主,着力提高运能和容量。在智慧地铁快速发展大背景下,应利用信息技术手段对这些大客流车站进行实时监控,实时掌握车站内的客流分布情况及变化趋势,根据不同等级的控制目标及时调整、优化管控措施,缓解客运组织压力,以保障地铁运营的安全有序。对于突发性的的大客流,由于发生的时间、地点都是不确定的,其解决方案应以快速发现、快速处置为原则,尽量将大客流风险控制在较低水平,保障生命财产安全。

4) 智慧地铁下的车站大客流管控思路。状态感知、数据管控、自动诊断、业务闭环、持续进化是智慧地铁的主要特征。对于车站来说,状态感知主要是做到对车站客流状态、车站设备运行状态等进行主动感知,也就是能对车站各部位的客流拥挤情况进行实时监控;数据管控主要是能对实时监控的多源数据进行融合处理,满足用户需求;自动诊断就是利用大数据智能分析与决策技术对车站客流压力进行分析、评估和预判,为决策提供依据。本文主要分析基于智慧地铁的前两个特征,提出车站大客流的压力分级管控技术与管控策略,为智慧地铁在车站内的推广应用提供技术支撑。

2 车站客流压力分级管控技术

2.1 车站客流压力影响要素

影响车站客流压力的设施设备较多,一般来说,可分为车站容纳能力和设施设备通行能力。车站容纳能力主要指站台容纳能力,是影响车站客运服务能力的关键因素;设施设备通行能力包括出入口通行能力、闸机(安检)通过能力、楼扶梯通过能力、换乘通道通过能力等。车站整体的客流压力等级由不同区域和各设施设备的客流压力综合决定。

智慧地铁下,能够对车站不同区域以及各设施设备处的客流量进行实时监控,在此前提下,结合车站容纳能力和设施设备能力,能够计算出车站不同区域及各设施设备的车站客流压力值及压力持续时间,以反映车站的客流压力水平。因此可以用整体压力水平和车站不同区域及各设施设备客流压力水平进行定量描述。

关于客流感知技术和各设施设备客流压力模型,很多学者都进行了研究,此处不再赘述,本文重点研究客流压力分级标准与大客流管控策略。

2.2 车站客流压力指标及分级标准

智慧车站的客流信息采集主要分为客流总量、排队长度、客流密度、客流流速等指标,不同车站受车站规模和站型影响,客流总量和排队长度属于个性化指标,无法达成统一的标准。而客流密度和客流流速不受空间大小影响,属于通用性指标。参考《美国公共交通通行能力和服务质量手册(TCQSM)》中对于排队和等候区域行人服务水平的划分标准,车站局部区域客流压力可划分为5个等级,其中A级最高,E级最低,如表1所示。

表1 客流压力指标分级标准

压力等级	平均行人步行速度/(m/s)	人均占据面积/(m ² /人)
A(严重拥挤)	0.60 ~ < 0.83	0 ~ < 0.30
B(非常拥挤)	0.83 ~ < 1.09	0.30 ~ < 0.70
C(拥挤)	1.09 ~ < 1.22	0.70 ~ < 0.90
D(正常)	1.22 ~ < 1.32	0.90 ~ < 1.20
E(宽松)	1.32 ~ < 1.50	≥ 1.20

为了对不同的数据指标采取统一的衡量标准,可根据线性插值原理,以[0,100]为区间范围,计算出各设施设备客流压力指标对应的压力分值 P_i 。同样分为5个等级,其中一级最高,依次递减,具体如表2所示。

表2 客流压力分值与等级

压力分值	> 75 ~ ≤ 100	> 60 ~ ≤ 75	> 50 ~ ≤ 60	> 30 ~ ≤ 50	> 0 ~ ≤ 30
压力等级	一级	二级	三级	四级	五级

得到各设备设施的壓力分值后,按照专家评价法得到的设施设备重要性权重进行加权计算,得到车站高峰时段的客流压力分数 P 。

$$P = P_{\text{闸机}} \alpha_{\text{闸机}} + P_{\text{换乘通道}} \alpha_{\text{换乘通道}} + P_{\text{楼扶梯}} \alpha_{\text{楼扶梯}} + P_{\text{出入口}} \alpha_{\text{出入口}} + P_{\text{站台}} \alpha_{\text{站台}}$$

式中:

$P_{\text{闸机}}$ 、 $P_{\text{换乘通道}}$ 、 $P_{\text{楼扶梯}}$ 、 $P_{\text{出入口}}$ 、 $P_{\text{站台}}$ ——分别表示闸机、换乘通道、楼扶梯、出入口和站台的客流压力分数;

$\alpha_{\text{闸机}}$ 、 $\alpha_{\text{换乘通道}}$ 、 $\alpha_{\text{楼扶梯}}$ 、 $\alpha_{\text{出入口}}$ 、 $\alpha_{\text{站台}}$ ——分别表示闸机、换乘通道、楼扶梯、出入口和站台的重要性权重。

一旦发生列车延误或其他突发事件,运营管理者需持续关注实时客流状态,以及车站整体及各瓶颈点客流压力等级。当客流压力达到三级时,可报警提示;达到二级及以上时,可启动相应的大客流应急响应预案,同时上报上级部门。

2.3 车站客流压力分级技术

1) 时段客流压力等级。尽管客流压力指标是衡量车站客流压力等级的重要依据,但压力的持续时间及拥堵范围(拥堵区域面积)也是决定车站压力等级的重要参数。城轨客流具有明显的潮汐性特征,早、晚高峰持续时间大约为 2 h,因此以 15 min 为一个数据分析单位,设 2 h 为一个客流压力评价时间窗,将 2 h 分为 8 个时间片(出入口、闸机/安检、站厅、楼扶梯、站台共 5 个瓶颈点,因此共计 40 个时间

片)。判断车站客流压力的持续时间及拥堵范围,只需自动识别出车站各瓶颈点客流压力指标达到“拥挤”及以上级别的时间片总和,时间片总和越大,则说明车站整体拥堵持续时间和拥堵范围越大。

综合车站客流压力分值及拥堵时间片数,确定时段客流压力分级标准,其中一级最高,依次递减,具体如 3 表所示。

表 3 不同车站客流压力分值和车站客流压力等级对应的客流压力持续时间

车站客流压力等级	车站客流压力分值				
	压力非常大[80,100]	压力很大[60,80)	压力较大[30,60)	压力一般[20,30)	压力较小<20
一级	≥24 个时间片	≥30 个时间片			
二级	18 ~ 23 个时间片	24 ~ 29 个时间片	>35 个时间片		
三级	12 ~ 17 个时间片	18 ~ 23 个时间片	30 ~ 35 个时间片		
四级			24 ~ 29 个时间片	✓	
五级					✓

注:“✓”表示全部 40 个时间片。

通过该方法得到的车站不同时段客流压力等级,可为车站全天客运组织方案的制定提供重要依据。

2) 全日客流压力等级。利用上述方法分别计算车站在不同时段的客流压力分值后,按照全天不同时段的重要性等级(或不同时段客流占比),对车站全日客流压力分值和时间片个数进行加权平均,得到车站全日客流压力分值 $P_{\text{全日}}$ 。

$$P_{\text{全日}} = \beta_{\text{早高峰}} P_{\text{早高峰}} + \beta_{\text{平峰}} P_{\text{平峰}} + \beta_{\text{晚高峰}} P_{\text{晚高峰}}$$

式中:

$P_{\text{早高峰}}$ 、 $P_{\text{平峰}}$ 、 $P_{\text{晚高峰}}$ ——分别表示早高峰、平峰和晚高峰时的客流压力分值;

$\beta_{\text{早高峰}}$ 、 $\beta_{\text{平峰}}$ 、 $\beta_{\text{晚高峰}}$ ——分别表示早高峰、平峰和晚高峰时的重要性等级(或客流占比)。

根据表 2 和表 3 即得到车站全日客流压力等级。通过该方法,可以得到车站不同特征日的客流压力等级,可为车站的人员及物资的管理提供重要依据。

3) 全年客流压力等级。得到车站在不同特征日的客流压力分值后,按照不同特征日在一年中的天数,对车站的客流压力分值和时间片个数进行加权平均,得到车站全年客流压力分值 $P_{\text{全年}}$ 。

$$P_{\text{全年}} = P_{\text{工作日}} \frac{\text{工作日天数}}{365} + P_{\text{周末}} \frac{\text{周末天数}}{365} + P_{\text{节日}} \frac{\text{节日天数}}{365} + P_{\text{其他特殊日}} \frac{\text{其他特殊日天数}}{365}$$

式中:

$P_{\text{工作日}}$ 、 $P_{\text{周末}}$ 、 $P_{\text{节日}}$ 、 $P_{\text{其他特殊日}}$ ——分别表示工作日、周末、节日和其他特殊日的客流压力分值。

根据表 2 和表 3 即得到全年车站客流压力等级。车站全年客流压力等级是运营管理者制定下一年运营管理策略的重要依据,也是常态化限流车站选取的主要手段。

3 基于智慧车站的客流压力管控策略

3.1 突发大客流快速响应策略

对于突发性大客流,应在局部或车站客流压力等级达到三级时,及时启动大客流预警,并快速发现大客流风险点,快速采取管控措施。需依据先外部后内部、先局部后整体的防控策略进行防控。

所谓先外部后内部,即车站客流压力防控的节点应该尽量前移,尽量避免站台和楼扶梯出现客流积压。对以进出站为主的非换乘大客流车站,客流管控应设在出入口和闸机/安检口,以站外限流为主,同步调整或增加闸机/安检的位置和数量。对以换乘为主的大客流车站,应在站厅/通道增派人员,同步设置隔离栏进行导流、引流,将大客流风险控制在面积大、疏散方便的站厅区域。若客流压力持续增加,需及时申请外部支援。

所谓先局部后整体,即当车站瓶颈点客流压力达到三级大客流响应标准时,应先采取局部管控措施;若大客流压力持续增加,局部措施无效时,需向上级主管部门申请,采取加开备车、列车跳停、限流甚至封站等措施,将大客流风险维持在可控范围。

3.2 常态化大客流管控优化策略

对于常态化大客流车站,应打破以往简单限流

的粗放做法,根据车站客流实时状态,在保证安全的情况下以乘客“少等待、少绕行”为原则,不断调整限流方案。

若车站在持续一周的时间内车站客流压力发生变化,管理者需根据客流压力变化情况,合理调整客运组织方案及人力物力等资源配置。对于累计一年客流压力发生变化的车站,应对车站容纳能力与客流需求进行全面评估,必要时启动车站补短板工程。

3.3 不同类型车站资源协调策略

基于智慧车站的客流压力分级技术,可以获得车站在不同时段的客流压力等级,而对于高、低峰客流差异明显的车站,需采取高峰、平峰不同策略:高峰以安全优先,平峰以效率优先。在高峰时段,根据车站各个瓶颈点的压力特征,在重要瓶颈点增派人员进行巡视和引导,从而快速发现和处理可能引发安全事故的事件。同时,应充分挖掘早高峰、晚高峰、平峰车站客流特征互补的车站组团,研究资源共享机制,实现组内人力、物力等资源的灵活配置。

3.4 基于客流压力管控的智慧车站建设建议

由于突发大客流无法提前预知,时间地点都不固定,而智慧车站建设短期内还无法做到全面实施,因此可先在大客流风险较大的常态大客流车站优先建设智慧车站。

从大客流管控的角度对智慧车站建设的先后顺序提出如下建议:优先在对外交通枢纽站、大型换乘站以及车站客流压力等级较大的车站进行先期试点;其次考虑站台和换乘通道客流压力等级较大的车站。对于客流压力较小、近几年客流发展稳定的车站,从成本角度考虑,不建议进行智慧车站建设。

4 结语

基于智慧车站的客流监测系统能够微观上了解

车站各瓶颈点客流压力的具体情况,帮助车站进行精细化管理;同时,通过一定的评估规则,建立城轨车站客流压力分级系统,可以更加精准了解不同客流状态下的压力水平,解决了以往车站管理者面对车站大客流时,知道客流拥挤但并不知道拥挤程度的难题,为车站优化资源配置、提高运营管理水平提供了有效支撑。

参考文献

- [1] 龚华靖.上海轨道交通车站站台客运能力分析与研究[J].城市轨道交通研究,2013(11):115.
- [2] 美国交通运输委员会.公共交通通行能力和服务质量手册[M].2版.杨晓光,滕靖,译.北京:中国建筑工业出版社,2011.
- [3] 何越磊,成建,刘志钢,等.轨道交通车站运营负荷评估与优化研究[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2015(6):156.
- [4] 戴子文,谭国威,戴子龙.城市轨道交通车站分类及等级划分研究[J].都市快轨交通,2016(4):38.
- [5] WILLIAM H K L, CHEUNG C Y, LAM C F. A study of crowding effects at the HongKong light rail transit station [J].Transportation Research, 1999, 33: 401.
- [6] 吕高腾.城际轨道交通客流量预测方法研究[D].兰州:兰州交通大学,2013.
- [7] 付婷.城市轨道交通车站集散能力瓶颈识别[D].北京:北京交通大学,2014.
- [8] 李三兵.城市轨道交通车站客流特征与服务设施的关系研究[D].北京:北京交通大学,2009.
- [9] 上海申通地铁集团有限公司.智慧地铁实施纲要[R].上海:上海申通地铁集团有限公司,2019.
- [10] 伍敏.城市轨道交通车站大客流处置的数据驱动模式[J].城市轨道交通研究,2020(3):4.
- [11] 江志彬,陈菁菁,谷金晶.地铁智慧车站的内涵和实践途径[J].城市轨道交通研究,2019(9):6.
- [12] 陈菁菁.上海轨道交通汉中路站智慧车站的建设实践[J].城市轨道交通研究,2020(6):135.

(收稿日期:2020-07-10)

交通运输部:2020年全国城市轨道交通数据速报之说明

截至2020年12月31日,全国(不含港澳台,下同)共有44个城市开通运营城市轨道交通线路233条,运营里程7545.5 km,车站4660座,实际开行列车2528万列次,完成客运量175.9亿人次,进站量109.1亿人次,全年未发生一般及以上运营安全责任事故。

2020年,新增城市轨道交通线路39条,新增运营里程1240.3 km,较去年增长20.1%;新增天水、三亚、太原3个城市首次开通运营城市轨道交通。受疫情影响,全年完成客运量较2019年下降约62.9亿人次,下降26.4%。随着复工复产持续推进,城市轨道交通客运量逐步回升,第4季度已恢复至去年同期的94.1%,为保障城市正常运行发挥了重要作用。详见第10页“信息窗”附表。

(摘自2021年1月5日交通运输部官网)