

地铁客流预警技术基础探讨

李得伟¹ 孙宇星² 黄建玲²

(1. 北京交通大学交通运输学院 北京 100044; 2. 北京市交通委员会 北京 100161)

摘 要 结合北京市地铁物联网工程的建设,提出地铁客流预警的概念、框架,在总结既有客流预警方面成果的基础上,从实时客流预警和预测客流预警两方面进行探讨,分析不同类型预警的优缺点,提出客流预警的技术流程,研究客流预警的级别和定级依据,提出适合地铁的客流预警指标体系,并分析不同指标的适用条件和使用范围,最后提出客流预警阈值方面的参考建议。

关键词 地铁;客流;预警;指标;阈值

中图分类号 U231.92 **文献标志码** A

文章编号 1672-6073(2013)02-0062-05

1 地铁客流预警技术概况

我国城市轨道交通已经进入网络化运营时代,截至2011年底,内地共有北京、上海、广州、深圳、重庆5个城市的运营线网规模超过3条线,其总里程达到1 310 km,占已全部开通运营地铁里程的76.43%^[1]。已经成网的轨道交通共同表现出两个突出的特点:一是大规模的客流量,以北京地铁为例,2012年9月6日的地铁全网客流达到736.89人次,高峰时段有13个断面的列车满载率超过1.0,在这种情况下,如何动态监测地铁内的客流,确保安全运行,成为地铁运营的核心问题;二是出行路径多元化,在网络化条件下,乘客在起终点之间的路径选择出现多元化趋势,如何通过科学的运输组织手段,引导乘客出行,最终达到城市轨道交通系统尽可能均衡及效益最优,是地铁运营部门面临的另一个难题。

在这一背景下,2012年,北京市交通委组织开展了“轨道交通安全防范物联网示范工程”项目,该项目的

目的是通过在北京地铁布设物联网感知设备,研究开发先进的客流动态监控、预警和诱导系统,为地铁运营、应急等提供重要决策支持。本文结合该工程项目,针对其中的客流预警问题进行探索研究。该问题的研究成果,将对北京市地铁物联网工程提供依据,对国内其他城市的地铁运营起到重要的示范和指导作用。

目前,我国在地铁客流预警这一领域的研究还不成熟,有关的量化标准尚未完全建立,既有客流预警的研究主要有上海世博会、西安地铁、北京西客站^[2-4]等特定场景大客流预警的经验分析和手段探讨,但绝大多数仍然是依靠人工经验,方法还不系统。潘罗敏^[5]等对地铁客流预测方法进行了研究,并在预测基础上进行预警,丁蕾^[6]对南京地铁换乘站的客流预警进行了一定理论研究。这些研究为人们深入了解地铁客流预警提供了重要基础,然而对结合实际的监测工程,以整个地铁系统为研究对象、系统地开展地铁预警研究的资料目前还很缺乏。笔者旨在前人的研究基础上进一步明确预警的框架、提出地铁预警指标体系,为北京市地铁物联网工程的应用提供技术支持。

2 地铁客流预警的层次与框架

2.1 地铁客流预警的涵义

有关地铁客流预警尚无成熟的定义,结合国内外相关资料和实际工程经验的总结,将地铁客流预警的定义为:通过一定的技术手段监测或预测客流的关键指标,通过分析指标,并与设计或历史经验数据对比,预知异于常态的信息并通过图形、声音等多媒体信息方式呈现和报警,以期达到对决策管理人员进行提示和警告的技术。通过技术手段对区域进行直接监测并进行预警的技术是直接预警;通过数学计算、计算机模拟等方式计算、预测、推演等的预警则为间接预警。

地铁客流预警按照预警的对象包含网络预警、线路预警、车站预警和车站管理对象(设备设施)预警等4个层次,线路预警进一步可以分解为若干断面预警组

收稿日期:2012-09-19 修回日期:2012-10-31

作者简介:李得伟,男,博士,副教授,从事轨道交通运输组织现代化研究;lidw@bjtu.edu.cn

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61004105);教育部高等学校基本科研业务费(2011JBM159);国家科技支撑计划项目(2009BAG12A10)

合。所有预警均可以归结为列车预警和车站管理对象预警两种基本类型,因为它们可以通过直接监测获取对象上的客流数据,属于直接预警,其他均为间接预警。以轨道交通安全防范物联网示范工程为例,北京地铁客流预警示例如图 1 所示。

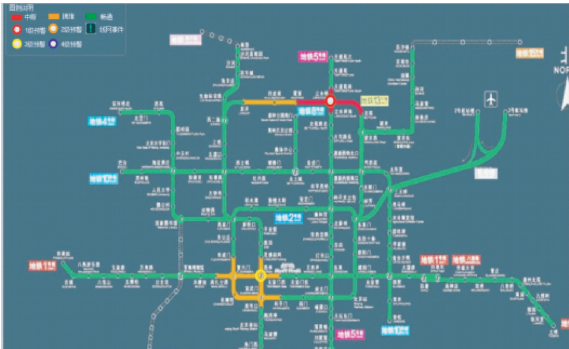


图 1 北京地铁客流预警示例

地铁客流预警按照预警目的,可以分为交通预警和安全预警;按照预警数据来源,可以分为实时预警和预测预警;按照预警报警值的参照标准,可以分为以设计标准为依据和以历史同期值为依据的预警。采用不同类型的客流预警,其预警的目的、特点及适应条件都不同,具体如表 1 所示。

表 1 不同类型的地铁客流预警对比分析

分类标准	分类结果	特点	优缺点/适用条件
按照预警目的	交通预警	以拥挤作为预警状态评判的标准	拥挤与人数直接相关,预警的可靠性较高,适用于地铁出行路径诱导
	安全预警	以踩踏风险作为评判依据	踩踏受到偶然因素影响,预警可靠性较低,适用于地铁大客流应急处置
	实时预警	以实时监测到的客流指标作为预警提示的数据基础	具有数据准确的优点,并且可以预警到设备设施层,但同时需要大量精确、可靠的监测设备,其准确性受数据传输速度、传输效果等影响较大
	预测预警	具有一定超前性,在实时量的基础上进行短时客流预测(如 15 min 以后),并进行未来状态预警	对监测设备的数量要求较低,适宜分步实施,但预警的准确性受到预测模型的影响,往往较难对特定时间特定设施上(如车门处等)的客流进行预警
按照预警数据来源	按照预警报警值的参照标准	以设计标准为依据	将地铁客流指标与相同采集或预测位置的设计标准进行对比,若超过一定范围,则进行预警
	以历史同期值为依据	通过将实际采集或者预测到的指标与历史同期(如上周、上月、上年等)的实际值进行对比	由于地铁使用的年限很长,原有设计标准未必适合现状的设备和客流条件,因此,这种方法具有一定局限性

地铁客流预警的技术流程如图 2 所示。为了实现客流预警,首先需要在地铁列车、车站等位置安装视频、激光等检测设备,进行客流信息的采集,通过对有效信息的采集、编码、传输、加工和抽取,综合运用信息分析技术,获取地铁客流的检测值如流量、密度、速度等;其次,根据预警目的构建客流预警指标体系,并利用客流的检测值或预测值进行计算,划分合适的预警标准,对客流状态进行评估。将评估结果输入决策支持系统,为运营部门提供客流疏导、行车组织、应急救援等方面的措施,同时利用乘客信息系统 PIS 向乘客发布诱导信息,进而影响客流分布;最后,通过客流信息采集对方案实施后的效果进行分析和评估。整个过程是一个闭环的过程。

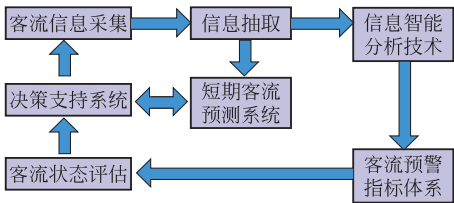


图 2 地铁客流预警技术流程

2.2 地铁客流预警的级别

地铁客流预警的级别划分应以不同级别导致的客伤风险(用客伤事件发生概率表示)以及报警后应当采取的措施为依据,与已有的相关技术标准相统一,并满足各级别之间易区分易记忆的要求。按照上海世博会、西安地铁等客流预警的一般经验,地铁客流预警可以采取 3 级(红、橙、黄)或 4 级(红、橙、黄、绿)标准。

客流预警的定级标准因监控预警对象的不同而应有所区分。客流规模、客流拥挤的覆盖范围(一般用局部、大面积等表示)、客流滞留比例、客流流动速度等 4 个标准可以作为地铁客流预警级别的划分参考依据。对单个设备(如站台)的预警可以用一个或若干个指示进行定级;对整体的预警(如车站)则需要不同设备和不同指标之间的配合,例如对于地铁车站,尽管站台拥挤程度一般,但站厅和进站通道的滞留超过一定标准时,该车站仍具有较高的拥挤风险,报警级别应适当提高。对于换乘车站,还需考虑上游车站的站台客流状态,当上游车站达到了一定级别的预警,换乘车站也应根据情况产生报警。

借鉴国内外客流预警相关的经验,将地铁客流预警级别划分为 4 级,其中第 4 级为一般性预警,剩余 3 级为操作性预警,具体级别的判定标准则根据预警对象不同划分。

2.2.1 车站客流预警的级别

车站客流预警级别主要根据进站口、站厅、站台3级客流的总体状态进行划分,如表2所示。

表2 地铁车站客流预警建议级别

级别	含义	标志	客伤风险	措施
4级 (绿)	大客流 征兆	进站口流量持续增加;站厅售票排队持续增加;站台无滞留乘客、通行顺畅	≥60%	一般性预警,站外信息告知和状态监控
3级 (黄)	局部大 客流	进站口流量持续增加;站台有滞留乘客、通行缓慢	≥80%	临时加开列车
2级 (橙)	大面积 大客流	站台有滞留乘客、通行缓慢;站厅客流密度较大;进站口流量持续增加	≥90%	限流(单向、过站、延长间隔)
1级 (红)	大客流 爆满	站台客流爆满、同时两列车后客流无明显减少;站厅客流爆满、进站楼梯口大量排队现象;进站口流量持续增加	≥95%	截流(封站、停运)

2.2.2 列车客流预警的级别

列车客流预警主要根据列车的满载率作为依据进行级别划分,考虑到实际运营情况,将列车预警划分为4个级别,如表3所示。

表3 列车客流预警级别划分

级别	含义	标志	客伤风险	措施
4级 (绿)	大客流 征兆	满载率超过80% 连续下车客流少于上车客流	≥60%	一般性预警,站内信息提示和状态监控
3级 (黄)	局部大 客流	满载率达到100%	≥80%	临时加开列车
2级 (橙)	大面积 大客流	连续两个断面满载率超过120%	≥90%	车站限流
1级 (红)	大客流 爆满	连续两个断面满载率超过130%	≥95%	甩站、停运

2.3 地铁客流预警的监测位置

随着监测技术的日益成熟,视频、激光、红外等监测技术已经被用于地铁客流监测,既有的工程技术人员主要关注监测手段的先进性。实际上,监测地点的选择同样重要。根据以上客流预警的层次,确定监测位置。

1) 对站内客流监测,监测地点主要包括出入口、站厅重点区域、站台等候区、上行楼扶梯、自动售检票机以及换乘通道始末端等位置。

2) 对断面客流监测,监测地点可以选择列车上和车门处。

由于地下空间的结构问题,并不是以上所有的地点都适合安装监测设备,此时应当注意运用科学的方法弥补盲点的客流状态。

3 地铁客流预警指标

地铁客流预警指标的设计应考虑以下因素。

1) 指标的设计应与预警的目的相结合,针对安全的预警和针对拥挤的预警指标应有所区别。

2) 需要考虑指标计算所涉及的原始数据能够通过设备方便采集和获取,例如:利用AFC设备采集实时客流进行实时预警的做法虽然理论上可行,但由于数据海量、传输效果不稳定等原因,在技术上尚不可行。

3) 需要结合既有的相关标准考虑指标阈值确定的可行性。如果既有的标准规范存在某类指标的极值建议标准,这类指标应当优先考虑。

3.1 指标体系

3.1.1 物联网直接监测指标

对于客流,面向拥挤的监测指标主要是客流流量、速度、密度。单点地铁客流物联网设备可以直接检测的值主要是瞬间客流密度,通过一定的技术处理可以获得进入和离开检测区域的客流流量。两个激光监测设备同时连续布置于地铁的通道等位置,可以监测到客流的流速值。此外,通过视频设备的辅助,运用数字图像处理技术,可以获取客流中每个个体的行人轨迹,对踩踏事故视频的研究发现,在极度拥挤条件下,踩踏事故发生前,拥挤人群中每个个体的头部运动出现横向运动,这是重要的踩踏征兆,通过获取乘客轨迹,分析轨迹运动,可以作为面向安全的监测指标。

3.1.2 地铁客流预警指标体系

根据地铁客流预警的应用范围、适应条件及指标的特征,将地铁客流预警指标划分为承载能力指标、设备能力指标、安全性指标和波动性指标4类。具体如表4所示。

1) 承载能力指标属于地铁车站整体拥挤水平或安全水平的指标,它反映了地铁车站的乘客聚集量,由于站台上下车处监测困难,实际很难获得准确的车站乘客聚集量,因此该指标适用于预测性预警。

2) 设备能力指标反映了单个设备上的客流状态,过高的密度、过低的速度均反映了客流的异常状态,流量指标反映了单个设备的能力利用情况,对设备设施流量的监测,不仅要考虑入口断面流量,还要考虑出口

表 4 地铁客流预警指标及适应条件

指标类型	预警对象	指标集合	适应条件
承载能力指标	车站预警	车站乘客聚集量/人	整体车站报警
设备设施能力指标	设备设施预警	客流密度/(人/m ²) 客流速度/(m/s) 客流流量/(人/s) 高密度持续时间/s 通行效率/(无量纲)	拥挤监测
安全性指标	设备预警	速度变化率/(m/s) 高密度辐射范围/m ² 人群压力/(1/s ²)	踩踏事故检测
波动性指标	设备预警	密度变化率/(人/m ²)	突发客流监测

断面流量,二者的差值可以反映设备的实际客流占用状况。由于瞬间高密度和持续高密度对地铁设备的影响有很大区别,因此,笔者亦将高密度持续时间作为监测指标,同时,该指标也能够支持决策人员对瞬间高密度报警是否需要处置进行进一步确认。通行效率反映潜在的乘客拥挤,其定义是乘客实际速度与期望速度的比值,其取值范围为[0,1],该值越接近 1 表明通行效率越高。

3) 安全性指标主要反映拥挤造成踩踏事故的可能性。在拥挤的人群中出现速度的突变,极易引起踩踏事故,这主要由速度变化率来描述。高密度辐射范围则从拥挤的规模上反映了人群的安全性,大规模的高密度人群比小规模的高密度人群更易引起事故的发生。为了更加准确地监测踩踏事故发生的可能性,笔者借鉴德国社会学家 Helbing 提出的人群压力^[7]的概念,并将其引入到踩踏预警指标体系中,其基本定义如下:

$$P(t) = \rho(t) \operatorname{var}_t(\vec{v}) \tag{1}$$

式中, $\rho(t)$ 表示 t 时刻监测区域的人群密度, $\operatorname{var}_t(\vec{v})$ 表示监测时段监测区域人流速度的方差,计算公式为 $\operatorname{var}_t(\vec{v}) = [V(\vec{r},t) - V(\vec{r})]^2$ 。

既有研究发现,当该值超过 0.2 人/s² 时,人群中出现“湍流”现象;当达到 0.4 人/s² 时,踩踏事故随时有可能发生。

4) 波动性指标反映了客流规模随时间的变化情况,持续监测地铁出入口等区域的密度变化率,可以比较准确及时地判断突发大客流的产生,从而触发突发大客流预警,这对启动大客流预案,保证地铁的安全运营具有重要意义。

3.2 地铁客流预警阈值的建议

地铁客流预警目前在国内外尚无公认的阈值定义。研究最为广泛的是客流密度值,一般认为在通道内当密度接近或大于 5 人/m² 时极易发生踩踏事故^[8],因此,该值可以作为安全预警的重要依据。对拥挤预警,当通道内密度达到 2 人/m² 时,人立即产生拥挤的感觉^[9],笔者调研发现 2 人/m² 作为拥挤预警的阈值是合理的。然而,由于车站内的地铁客流属于行人流预警的一个分支,因此,行人流方面的一些研究成果可以作为参考,由于不同国家、同一国家不同的发展时期所制定的划分标准与指标不尽相同。如美国 A 级标准的行人空间同日本 A 级标准行人空间相差达 3.7 倍之多;美国 1971 年与 1985 年制定的标准也相差很大。因此,我国地铁客流预警无法直接照搬国外的相关数据,在对地铁车站不同设备上的客流进行大量基础研究后,划分了人行通道、楼扶梯、排队区、检票区、安检区、站台等设施的服务水平,确定了其实际的通过能力(小于设计通过能力^[10]),可以为地铁客流预警标准的制定提供参考,具体可见文献^[11]。实际上不同车站由于服务的人群不同,车站对下游车站的影响程度不同,预警的阈值不宜完全一致,需要根据实际情况调研确定。

对于地铁列车的客流预警,我国目前采用的地铁车辆一般按照额定立席人数 6 人/m² 计算,(超员)人数按 8 人/m² 计^[12],该值可以作为客流预警的参考依据。考虑到地铁线路的行车间隔,可以比较容易地将其转化为断面能力预警指标。

4 结语

本文在北京市轨道交通物联网工程的应用背景下,针对地铁客流预警问题,从预警的层次、监测位置、预警指标体系及阈值建议等方面进行了比较基础性的探讨。通过实践得出如下结论:客流预警与服务水平不同,预警要从视频、AFC、售票、激光等设备以及历史数据库等平台多个方面收集大量信息;地铁系统的预警宜组合分析预警,即充分考虑监测指标的组和监测地点组合,否则容易发生虚报警;客流预警分级宜根据影响范围、预警指标值等综合确定;客流预警的阈值宜按照预警的目标慎重选择,不同车站由于客流构成不同,对下游的影响不同,预警阈值不宜相同;预警宜按照实际采集值进行预警。地铁客流预警是一个复杂的问题,涉及不同专业的知识,应从预警的标准、执行和解除等方面开展专门研究。

参考文献

[1] 中国城市轨道交通研究年度报告课题组. 中国城市轨道交通研究年度报告[R]. 北京:北京交通大学出版社,2011.

[2] 李彬.2010年上海世博园区大客流状态下国外交通系统预警及应对方案[J]. 城市公共事业,2010, 24(2):1-4.

[3] 吕华.西安地铁遇大客流将启动预警机制保障安全[EB/OL]. [2010-09-28]. http://news.xiancn.com/content/2011-09/28/content_2493497.htm.

[4] 刘晓琴,姚晓晖,庞雷.马尔科夫链模型在铁路春运客流预测中的应用[J]. 安全,2010(2):5-10.

[5] 潘罗敏.地铁短时客流量预测预警研究[D]. 北京:首都经贸大学,2011.

[6] 丁蕾.城市轨道交通换乘站客流预警及应对方法研究[D]. 南京:南京理工大学,2012.

[7] Helbing D,Johansson A. The dynamics of crowd disasters:an empirical study[J]. Physical Review E, 2007(75):1-7.

[8] Hughes R L. A continuum theory for the flow of pedestrians [J]. Transportation Research:Part B,2002(36):507-535.

[9] 朱嵘.基于世博会人流组织的规划用地构成与策略[J]. 规划师,2006(7):43.

[10] GB 50157—2003 地铁设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,2003.

[11] 李得伟,韩宝明.行人交通[M]. 北京:人民交通出版社,2011:403-405.

[12] GB/T 7928—2003 车辆设计通用标准[S]. 北京:中国计划出版社,2003:5-6.

(编辑:郝京红)

Study on Early Warning of Passenger Flows on Mass Transit Railway

Li Dewei¹ Sun Yuxing² Huang Jianling²

(1. School of Traffic and Transportation, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044;
2. Beijing Municipal Commission of Transport, Beijing 100161)

Abstract: Based on the project of Internet of Things (IOT) in Beijing mass transit railway system, this article proposes the basic concept and framework of the early warning of passenger flow (EWP) and discusses the real-time-and forecast-based EWP. The advantages and disadvantages of different types of early warning are analyzed. The technical flow chart and classification of the system are presented. The suitable warning index system and its application scope for mass transit railway are proposed. Some thresholds of the early warning indices are put forward in the end.

Key words: mass transit railway; passenger flow; early warning; threshold

(上接第61页)

手法呈现,证明高雄在推动都市美学中的用心与创意,并以此来发展城市观光,打造城市品牌,提高国际能见度,这些对于正在进行轨道交通建设的城市而言有值得借鉴之处。

参考文献

[1] 阮如舫.跟着捷运欣赏公共艺术:阮如舫的都市美学[EB/OL]. (2009-11-25)[2012-09-28]. <http://blog.ylib.com/rufus/Archives/2009/12/25/12296>.

[2] 阮如舫.打开城市百宝箱[M]. 天津:百花文艺出版社,2004.

[3] 高雄市政府捷运工程局.高雄捷运车站专辑[M]. 高雄,2009.

[4] 杨子葆.世界经典捷运建筑[M]. 台北:台北木马文化,2004.

[5] 高海燕.城市轨道交通站场环境艺术设计研究[D]. 重庆:重庆大学,2006.

(编辑:郝京红)

Design of Exits and Entrances for Rail Transit Stations

Zhao Shengyu Ruan Rufang

(School of Architecture and Urban Planning, Suzhou Institute of Science and Technology, Suzhou 215001)

Abstract: Currently, some aspects such as the aesthetic values, originality and the artistic values of design have been ignored in designing exits and entrances for Chinese urban rail transit stations. Authors made an analysis on the design of entrances and exits for several metro stations in Kaohsiung. Some proposals were made on how to improve the design aesthetically, culturally and artistically in terms of the shapes, colors, materials, structures, etc. of exits and entrances.

Key words: urban rail transit; station; design exit and entrance; landscape aesthetics; Kaohsiung