

文章编号: 1000-713X(2020)03-0016-06

中图分类号: U293.6

文献标识码: A

# 基于智能卡数据的地铁乘客 出行时间特征分析

谭晓伟<sup>1,2\*</sup>

(1. 长安大学汽车学院, 陕西 西安 710064; 2. 长安大学汽车运输安全保障技术交通行业重点实验室, 陕西 西安 710064)

**摘要:** 利用智能卡数据对地铁乘客总体与不同票卡类型乘客、工作日与周末、刷卡进站与出站等出行时间特征进行了系统分析, 并总结其出行规律。定量描述了出行高峰期, 并分析了不同票卡类型乘客出行高峰期的特点, 旨在为城市轨道交通的运营及管理提供辅助决策支持。

**关键词:** 地铁; 智能卡数据; 出行时间特征; 出行高峰期; 工作日

## Metro Passenger Travel Temporal Characteristics Based on Smart Card Data

TAN Xiaowei<sup>1,2\*</sup>

(1. School of Automobile, Chang'an University, Xi'an 710064, China; 2. Key Laboratory of Automotive Transportation Safety Technology, Ministry of Transport, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

**Abstract:** Based on smart card data, this paper systematically analyses the travel time characteristics of metro passengers in general and different types of ticket cards, weekdays and weekends, check in and check out, and summarizes their travel rules. Then, the travel peak period is quantitatively described, and its characteristics of passengers with different types of ticket cards are analyzed, so as to provide certain decision support for the operation and management of urban rail transit.

**Keywords:** Metro; Smart card data; Travel temporal characteristics; Travel peak period; Weekday

收稿日期: 2019-09-18

录用日期: 2020-01-04

作者简介: 谭晓伟 (1985—), 男, 内蒙赤峰人, 工程师, 博士研究生。

\* 通讯作者: 394139952@qq.com

## 0 引言

随着地铁网络化、规模化运营和城市交通的日益拥堵,地铁以其特有的准时性、便捷性、舒适性,备受乘客出行青睐。地铁自动车票收集系统(Automatic Fare Collection System, AFC)在乘客刷卡进站和出站过程中,可产生海量的智能卡数据(Smart Card Data, SCD)。人们不断探索这些数据的用途,挖掘其潜在的价值。利用SCD研究乘客出行时间特征,将会为城市轨道交通企业运营、客流分析、应急处置等提供辅助决策支持。

基于SCD分析地铁乘客出行时间特征,国内外众多学者已有一定的研究成果。伦敦大学Irina Ceapa等(2012)<sup>[1]</sup>、Gong Yongxi等(2012)<sup>[2]</sup>、北京交通大学Yue Zhenhong等(2015)<sup>[3]</sup>基于地铁SCD研究了乘客在工作日、周末、不同站点的时间特征。Morency等(2007)<sup>[4]</sup>和Gao Qili等(2018)<sup>[5]</sup>分别研究了各种类型持卡者和中低收入群体出行时间特征。北京大学Cui Zhizhong(2015)<sup>[6]</sup>、深圳先进技术研究院Zhang Fan等(2016)<sup>[7]</sup>、中国地质大学刘超宇(2016)<sup>[8]</sup>利用SCD在地铁乘客出行时间特征分析的基础上,进一步研究乘客出行行为、出行模式和车站组织优化方案。

时间特征的分析方法有统计分析、相关系数矩阵、基于网络的聚类分析、特征分解法、加权复杂网络等。中国科学院赵娟娟等(2014)<sup>[9]</sup>提出系统方法挖掘地铁乘客时间、空间和异常特征,进而分析深圳地铁乘客时空出行类型。伦敦大学Chen Zhong等(2015)<sup>[10]</sup>提出利用多天的SCD数据从个体和整体两个层面测量客流变化的方法,主要有统计分析、相关系数矩阵和基于网络的聚类方法,最后以新加坡为案例进行了分析。哈尔滨工业大学深圳研究院Gong Yongxi等(2017)<sup>[11]</sup>提出用特征分解法分析地铁站客流随时间变化的类型,并探索动态空间的时空异构性。中南大学Feng Jia等(2017)<sup>[12]</sup>基于北京出行数据和地铁列车运行时刻表,用加权复杂网络分析了地铁列车和乘客出行时间特征。

现有研究对乘客刷卡进站和刷卡出站时间特征对比分析不够具体,对不同持卡类型乘客时间特征研究不够深入,对于出行高峰期缺少定量而非定性的描

述。本文以南京地铁为例,对乘客总体与不同票卡类型乘客、工作日与周末、刷卡进站与出站等出行时间特征进行系统分析,并对出行高峰期进行定量描述。

## 1 研究数据描述

本研究选取南京地铁2017年9月18日(周一)至2017年9月24日(周五)共七个交易日的智能卡数据。截止2017年9月,南京地铁已开通运营线路共有7条,包括1号线、2号线、3号线、4号线、10号线、S1号线、S8号线,共174座车站。首尾班车经过各车站的时间最早始于早晨05:40,最晚终于凌晨00:18,考虑到刷卡后进站和候车需要的时间,将刷卡统计时间记为05:00—24:00。提取出有效的智能卡数据,共11375436条,数据格式见表1。

表1 智能卡数据格式

进站时间	出站时间	进站站点	出站站点	一卡通号	票卡类型
------	------	------	------	------	------

其中票卡类型包括:成年人卡、学生卡、老年人卡、残疾人卡、普通单程票,不同票卡类型出行分布见表2。

表2 不同票卡类型出行分布

序号	票卡类型	刷卡进站(人次)	占比(%)
1	成年人卡	7726858	69.6
2	学生卡	318612	2.8
3	老年人卡	700163	6.1
4	残疾人卡	73657	0.6
5	普通单程票	2508531	20.9
合计		11375436	100

## 2 乘客出行时间特征

### 2.1 乘客总体出行时间特征

以5min为时间单元分别绘制整个地铁系统刷卡进站和刷卡出站时间与客流量的关系曲线,如图1所示。

通过分析,可以得出以下特征:

a. 工作日(周一至周五)的进站客流分布大致呈现出早晚两个出行高峰期,分别体现乘客从家到工作地/学校、从工作地/学校到家两个重要的通勤出行阶段。

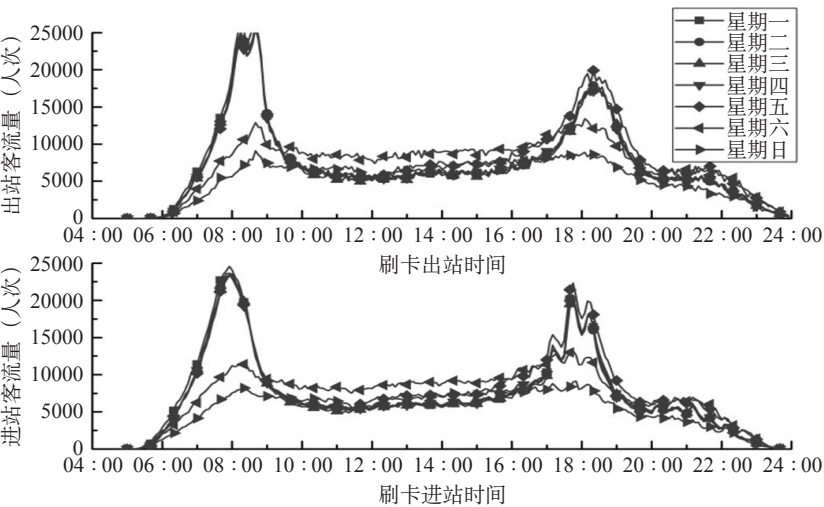


图1 地铁系统内客流量随时间变化曲线

- b. 工作日早高峰期呈现的特征相对晚高峰期更明显，因为乘客上班 / 上学时间受严格约束，时间比较集中，而下班 / 放学时间反之。
- c. 工作日进站和出站波形相似，进站客流量比出站客流量较先达到峰值。
- d. 周五的晚高峰比其它工作日更早一些，且高峰期特征更明显。
- e. 周末的客流量明显小于工作日的客流量，且一天内客流变化比较平缓。周末以通勤为刚性需求的出行比例很小，以外出购物、旅游、餐饮、娱乐等出行为主，不受出行时间约束。
- f. 周日的客流量小于周六的客流量，外出购物、旅游、餐饮、娱乐等出行需求相对减少。

2.2 不同类型乘客出行时间特征

以 5min 间隔分别绘制不同票卡类型乘客刷卡进站和刷卡出站时间与客流量的关系曲线，如图 2 所示。通过分析，可以得出以下特征：

- a. 成人工作日出行的时间特征和总体出行时间特征较为相似，工作日呈现出早晚两个高峰期，周末客流变化比较平缓，见图 2.a。
- b. 学生在工作日出行呈现出三个高峰期，早高峰期是所有出行群体中最短的，且非高峰期出行人次较少，这和学生上学期间严格的作息要求是一致的。此外，学生周末出行较为活跃，

见图 2.b。

c. 老年人出行比较有规律，上午和下午各会呈现一定的出行高峰态势，早高峰期是所有出行群体中最长的，下午微弱的高峰期比其他类型群体提前一些；周一至周日的出行需求随时间的变化趋势基本一致，且下午 5:00 后出行需求锐减，见图 2.c。

d. 持单程票出行的乘客，以外地乘客为主。他们每天大部分时段出行分布比较均匀，但周末客流量比工作日大，见图 2.e。

3 出行高峰期分析

3.1 出行高峰期的界定

出行高峰期，是指一日中（或上、下午）出现大交通量的一段时间。以 5min 记为一个统计周期，将第  $i$  天的第  $j$  个统计周期记为  $t_{ij}$ ，对应刷卡进站人数记为  $P_{ij}$ 。本文提出以刷卡进站人数  $P_{ij}$  的 75% 中位数  $m_i$  为界，界定高峰时间，即当  $P_{ij} > m_i$  时，则对应的  $t_{ij}$  为一个高峰时间单元  $T_{ij}$ ， $n$  个连续的  $T_{ij}$  即为第  $i$  天的高峰期  $T_i$ 。

根据上述定义，得出工作日和周末高峰时间单元，分别见表 3 和表 4。

3.2 乘客出行高峰期

工作日内周五的高峰期与其他几日有所不同，结合每日高峰时间单元的分布特点，将一周的高峰期分为三类：

表3 工作日高峰时间单元

统计周期 起始时间	高峰时间单元					统计周期 起始时间	高峰时间单元				
	周一	周二	周三	周四	周五		周一	周二	周三	周四	周五
6 : 45	√					16 : 10					√
6 : 50	√	√	√	√		16 : 15					√
6 : 55	√	√	√	√		16 : 20					√
7 : 00	√	√	√	√	√	16 : 25					√
...	...	...	...	...	...	16 : 30		√			√
8 : 55	√	√	√	√	√	16 : 35	√	√	√	√	√
9 : 00	√	√	√	√		...	...	...	...	...	...
9 : 05	√	√	√	√		18 : 45	√	√	√	√	√
...	...	...	...	...	...	18 : 50	√	√	√		√

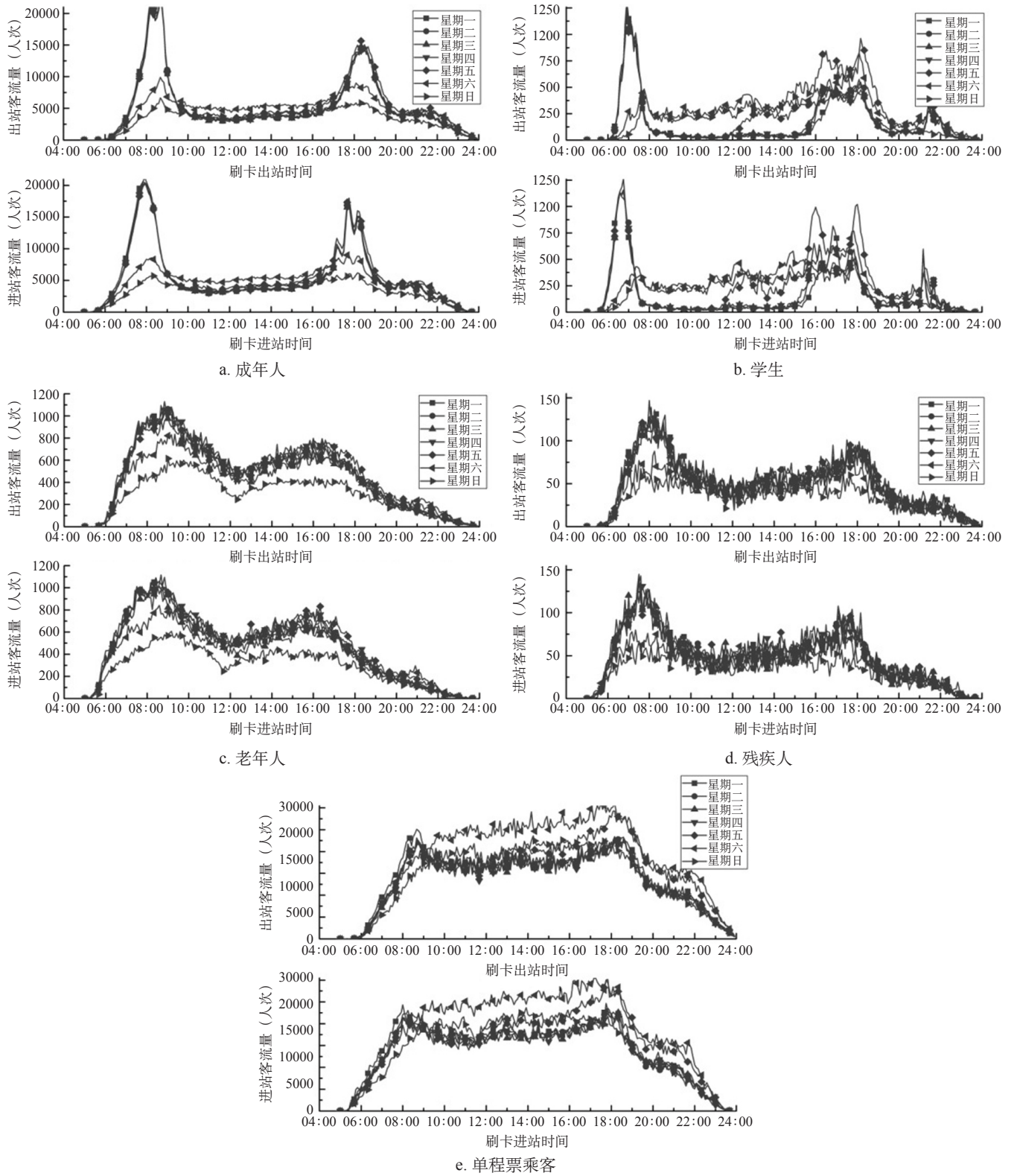


图2 不同类型乘客客流随时间变化曲线

周一至周五进站高峰期:

$$T_{1\text{类}} = T_1 \cap T_2 \cap T_3 \cap T_4 \quad (1)$$

周五进站高峰期:

$$T_{2\text{类}} = T_5 \quad (2)$$

周末进站高峰期:

$$T_{3\text{类}} = T_6 \cap T_7 \quad (3)$$



表 4 周末高峰时间单元

统计周期 起始时间	高峰时间单元		统计周期 起始时间	高峰时间单元		统计周期 起始时间	高峰时间单元	
	周六	周日		周六	周日		周六	周日
7:50	√		8:45			15:30	√	√
7:55			8:50	√		15:35	√	√
8:00	√	√	...	...	...	15:40	√	√
8:05	√	√	15:10		√	...	...	...
8:10	√	√	15:15	√	√	18:20	√	√
...	...	...	15:20		√	18:25	√	√
8:40	√	√	15:25	√	√	18:30	√	

取  $n = 4$ ，根据公式 (1)–(3) 得出，地铁乘客周一至周四早晚出行高峰期分别为上午 6:50—9:10 和下午 4:35—6:50，周五早晚高峰期分别为上午 7:00—9:00 和下午 4:10—6:55，周末早晚高峰期分别为上午 8:00—8:45 和下午 15:25—18:30。对高峰期的时长和客流量等参数进行统计，见表 5。

由表 5 可进一步得知：

- a. 工作日内周五晚高峰期持续时间最长，分担的客流量最大。
- b. 周末早高峰期比工作日持续时间短，晚高峰期比工作日持续时间长。
- c. 周六早晚高峰期比周日同时段分担的客流量大。

表 5 高峰期主要指标

	高峰期	高峰 时长 (min)	高峰时长 占比 (%)	高峰期 客流量 (人次)	日客流量 (人次)	客流量 占比 (%)
周一	上午 6:50—9:10	140	12.3%	469160	1688371	27.8
	下午 4:35—6:50	135	11.8%	369073		21.9
周二	上午 6:50—9:10	140	12.3%	451012	1656266	27.2
	下午 4:35—6:50	135	11.8%	364445		22.0
周三	上午 6:50—9:10	140	12.3%	444695	1630910	27.3
	下午 4:35—6:50	135	11.8%	361900		22.2
周四	上午 6:50—9:10	140	12.3%	446129	1660147	26.9
	下午 4:35—6:50	135	11.8%	362074		21.8
周五	上午 7:00—9:00	115	10.1%	406848	1845071	22.1
	下午 4:10—6:55	165	14.5%	478866		26.0
周六	上午 8:00—8:45	45	3.9%	98468	1676618	5.9
	下午 15:25—18:30	185	16.2%	412435		24.6
周日	上午 8:00—8:45	45	3.9%	69865	1215053	5.7
	下午 15:25—18:30	185	16.2%	297417		24.4

3.3 不同类型乘客出行高峰期

成年人工作日出行高峰出现在两个时间段：上午 6:55—9:10，下午 4:35—7:00。成年人周末出行高峰期出现在两个时间段：上午 8:00—8:45，下午 3:25—6:30。

学生上课期间（周一至周五）出行高峰期出现在三个时间段：上午 6:00—7:30，下午 3:30—6:25 和晚上 9:05—9:20。学

生周末出行高峰出现在两个时间段：中午 12:10—12:45，下午 2:40—6:10，上午高峰期不明显。

老年人工作日出行高峰出现在早晚两个时间段：上午 6:50—10:25，下午 3:05—4:30。老年人周末出行高峰期为上午 7:25—10:40，下午高峰期不明显。

残疾人工作日出行高峰主要出现在早晚两个时间段：上午 6:20—9:00，下午 4:30—6:15。残疾人周末出行高峰时间单元分布比较分散，高峰期不规律。

单程票乘客工作日出行高峰主要出现在早晚两个时间段：上午 7:45—9:10，下午 4:30—6:15。单程票乘客周末出行只出现一个高峰期：下午 12:45—5:55。

4 结语

本文首先利用 SCD 分析了地铁乘客刷卡进站与刷卡出站的时间特征。得到两个主要结论。(1) 工作日特征：进站客流分布大致呈现出早晚两个出行高峰期；早高峰期呈现的特征相对晚高峰期更明显；进站和出站波形相似，进站客流量比出站客流量较先达到峰值；周五的晚高峰比其它工作日更早一些，且高峰期特征更明显。(2) 周末特征：客流量明显小于工作日的客流量，且一天内客流变化比较平缓；周日的客流量小于周六的客流量。

其次，对不同票卡类型乘客的时间特征进行了研究。结果表明，成人工作

表 6 周一至周五高峰期主要指标

	高峰期	高峰时长 (min)	高峰时长占比 (%)
	成年人 上午 6:55 — 9:10	135	11.8
	下午 4:35 — 7:00	145	12.7
学生	上午 6:00 — 7:30	90	8.3
	下午 3:30 — 6:25	175	15.4
	晚上 9:05 — 9:20	15	1.3
老年人	上午 6:50 — 10:25	215	18.9
	下午 3:05 — 4:30	85	7.4
残疾人	上午 6:20 — 9:00	160	14
	下午 4:30 — 6:15	105	9.2
单程票	上午 7:45 — 9:15	100	8.8
	下午 4:30 — 6:15	105	9.2

日出行的时间特征和总体出行时间特征较为相似；学生工作日出行呈现出三个高峰期，早高峰期是所有出行群体中最短的，且非高峰期出行人次较少；老年人出行早高峰期是所有出行群体中最长的，下午微弱的高峰期比其他类型群体略有提前；单程票乘客每天大部分时段出行分布比较均匀，但周末客流量比工作日大。

再次，提出以地铁乘客刷卡进站人数的 75% 中位数界定高峰期，结合每日高峰时间单元的分布特点，将乘客一周内的高峰期分为三类：周一至周四早晚出行高峰期分别为上午 6:50—9:10 和下午 4:35—6:50，周五早晚高峰期分别为上午 7:00—9:00 和下午 4:10—6:55，周末早晚高峰期分别为上午 8:00—8:45 和下午 15:25—18:30。通过对高峰期主要指标进行进一步分析可得出：工作日内周五晚高峰期持续时间最长，分担的客流量最大；周末早高峰期比工作日持续时间短，晚高峰期比工作日持续时间长。周六早晚高峰期比周日同时段分担的客流量大。最后，对不同票卡类型乘客群体的高峰期进行了分析。

#### 参考文献：

[1] Ceapa I, Smith C, Capra L. Avoiding the crowds: understanding Tube station congestion patterns from trip data[C]// ACM SIGKDD International Workshop on Urban Computing. ACM, 2012: 134–141.

[2] Gong Y, Liu Y, Lin Y, et al. Exploring spatiotemporal characteristics of intra-urban trips using metro smartcard records[C]// International Conference on Geoinformatics. IEEE, 2012: 1–7.

[3] Yue Z, Chen F, Wang Z. Passenger Trip and Typical Stations Analysis Using Smart Card Data[C]// Cota International Conference of Transportation Professionals. 2015: 493–499.

[4] Morency C, Trépanier M, Agard B. Measuring transit use variability with smart-card data[J]. Transport Policy, 2007, 14(3): 193–203.

[5] Gao Q L, Li Q Q, Yue Y, et al. Exploring changes in the spatial distribution of the low-to-moderate income group using transit smart card data[J]. Computers Environment & Urban Systems, 2018.

[6] Cui Z, Long Y. Perspectives on Stability and Mobility of Passenger's Travel Behavior through Smart Card Data[J]. Computer Science, 2015.

[7] Zhang F, Zhao J, Tian C, et al. Spatiotemporal Segmentation of Metro Trips Using Smart Card Data[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2016, 65(3): 1137–1149.

[8] 刘超宇. 基于 AFC 系统数据的地铁客流分析及乘客出行特征研究[D]. 北京：中国地质大学，2016.

[9] Zhao J, Tian C, Zhang F, et al. Understanding temporal and spatial travel patterns of individual passengers by mining smart card data[C]// IEEE, International Conference on Intelligent Transportation Systems. IEEE, 2014: 2991–2997.

[10] Zhong C, Manley E, Arisona S M, et al. Measuring variability of mobility patterns from multiday smart-card data[J]. Journal of Computational Science, 2015, 9: 125–130.

[11] Gong Y, Lin Y, Duan Z. Exploring the spatiotemporal structure of dynamic urban space using metro smart card records[J]. Computers Environment & Urban Systems, 2017, 64: 169–183.

[12] Feng J, Li X, Mao B, et al. Weighted complex network analysis of the Beijing subway system: Train and passenger flows[J]. Physica A Statistical Mechanics & Its Applications, 2017, 474: 213–223.

(责任编辑：杨小宝)