

doi:10.3969/j.issn.1672-6073.2017.05.002

基于多源数据的北京轨道交通 客流特征分析

李 臣, 陈艳艳, 刘小明, 路 尧

(北京工业大学北京市交通工程重点实验室, 北京 100124)

摘 要: 为提高城市轨道交通成网条件下客流预测与运营管理水平,有必要对轨道交通客流特征进行研究。结合实地调研数据,利用海量的市政交通“一卡通”(IC卡)数据和移动通信定位数据对北京市轨道交通乘客属性特征、时空特征、接驳特征、票价调整影响特征等进行分析,最后对客流需求高增长的北京轨道交通客流特征进行总结。结果表明:北京轨道交通工作日主要服务于中低收入的中青年通勤族,77.25%的乘客轨道交通出行时间在10~60 min之间;轨道交通线路高峰客流有明显的潮汐现象,受职住分离现象的影响,客流空间分布的不均衡性突出;现阶段轨道交通网络发展较为成熟,但仍有部分区域对轨道交通的需求较大;轨道交通站点接驳设施的便利性和完善性程度影响乘客对轨道站点交通方式的选择;在可接受范围内,票价调整对客流的影响在短期内较明显,经过渡期后客流量呈增加趋势。

关键词: 轨道交通; 客流特征; “一卡通”数据; 移动通信; 定位数据; 北京市

中图分类号: U231

文献标志码: A

文章编号: 1672-6073(2017)05-0007-10

Passenger Flow Characteristics of Beijing Rail Transit Based on Multi-source Data

LI Chen, CHEN Yanyan, LIU Xiaoming, LU Yao

(Beijing Key Laboratory of Traffic Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124)

Abstract: In order to improve the accuracy of passenger flow forecasts and the operation management level of urban rail transit networks, it is necessary to study the passenger flow characteristics of rail transit. This paper analyzes the passengers' attributes, the time-space and transferring characteristics as well as fare adjustment impacts of Beijing rail transit, using the field survey data, massive municipal transportation IC card data and mobile positioning data. Finally, it summarizes the characteristics of the increasing passenger flows of Beijing rail transit. The results show that Beijing rail transit mainly serves the middle and low-income commuters who are young or middle-aged on weekdays, and that the travel time of 77.25% passengers is between 10 to 60 minutes. There is obvious tidal flow during peak hours. The imbalance of the space distribution of passenger flows is salient due to home-work separation. The development of rail transit network has reached a mature stage, and it is greatly demanded in some areas. The convenience and integrity of transfer facilities in rail stations has an impact on passengers' travel mode selection. Within the acceptable range, fare adjustment has an obvious short-term influence on passenger flows, but the flows increase after the transition period.

Keywords: rail transit; passenger flow characteristics; IC card data; mobile; location data; Beijing

城市轨道交通以速度快、拥堵少、可靠性高的特点吸引越来越多的人选择其出行,客流需求的增加使

轨道交通线网客流特征呈现新的特点。为提高客流组织管理水平,合理进行客流预测,人们更加重视对轨道交通客流特征的研究,邓吉等^[1]从规划特性、线路特点和对工程方案有指导意义的7个指标入手进行客流特征分析,以期较好地把握客流趋势;陈锋等^[2]⁶⁴基于IC卡数据对公交客流的时空特征进行了宏观、中观分

收稿日期: 2016-11-11 修回日期: 2017-01-04

第一作者: 李臣,男,硕士研究生,研究方向:城市交通规划,
lichen158598@emails.bjut.edu.cn

基金项目: 交通部建设科技项目(2015318J37130);北京市自然科学基金重点项目(8131001)

析,并对服务水平与城市发展协调适配性做出评估;王多龙等^[3]从客流构成、客流时间和空间特征等方面详细介绍了天津地铁线网客流发展规律和客流特征,以期为其他城市轨道交通网络化运营过程中的运营管理、客流分析及预测提供参考。Assis 等^[4]分析了大量客流样本数据后,得出乘客候车和上下车行为特征,分析出不同线路客流的时间分布特征。目前对客流特征分析的研究较多,但对客流特征系统全面的分析较少,并且所用数据单一,本文借助多源数据,并对数据进行系统性分析,从乘客属性特征、时空特征、接驳特征、土地特征、票价影响等方面对北京轨道交通客流特征进行分析,数据可靠性高、样本量大且全面,尽可能较准确地分析轨道交通客流特征。

1 北京轨道交通客流特征概述

北京市轨道交通经过 47 年的发展,已基本实现网络化,客流特征呈现复杂、多样化特点。客流规模逐步增加,日均客流量由 2008 年的 332 万人次/d 发展至 2015 年的 911 万人次/d^[5-6];客流潮汐现象明显,郊区客流更加集聚于高峰时段,且断面流量不均衡性较大;同时,北京轨道交通客流时空特征呈现一定的规律,乘客出行属性特征也更加明显。

2 数据来源及说明

获取客流特征的传统手段主要依赖于人工调查,包括人工计数及问卷调查^[2]^[5]。传统手段单一,人工调查成本高、样本有限,且结果精度低。因此单纯利用传统手段分析轨道交通客流特征有很大缺陷,而多源数据融合为数据获取及分析带来方便。

2.1 实地调研数据

城市轨道交通服务对象的属性特征对了解客流结构及把握客流分布有一定影响,但这些特征无法通过 IC 卡的数据获取。为获取乘客属性特征,对北京轨道交通进出站量较大的站点进行乘客出行调查,发放问卷 4 000 份,回收有效问卷 3 596 份,问卷有效率为 89.90%。

2.2 北京市 IC 卡数据

北京市 IC 卡数据储存着乘客轨道交通出行有效信息 20 项,包括进出站编号、所属线路编号、刷卡时间等信息,通过对相关信息进行处理,可得客流时空分布特征、票价影响特征等。北京轨道交通工作日单日 IC 卡刷卡量为 520 万左右,本文统计了 2016 年 4 月 11 日到 4 月 17 日北京轨道交通 IC 卡数据,对数据进行整合

与对比,并重点归纳了 4 月 11 日的客流特征及趋势。

2.3 移动通信定位数据

移动通信定位数据借助人机,通过手机与基站间联系可获取居民出行 OD、速度及时间等信息^[7]。轨道站点一般安有微蜂窝基站,为借助移动通信定位数据分析轨道客流特征提供了保障。北京市中国移动手机用户数量高达 1 700 万个,约占总常住人口数的 75%,市区基站密度高达 44 cells/km²,每日数据总量高达 12 亿条,本文分析了 1 周的北京市中国移动手机通信数据,并对数据特征进行了归纳总结。

3 客流特征分析

3.1 乘客属性特征

问卷调查结果显示,北京轨道交通乘客性别比例相当;工作日及非工作日 25~34 岁乘客占比分别为 45.75% 和 41.39% (见图 1);公司员工、学生、事业单位/公务员和服务业人员占乘客的 70.19%;月收入在 5 000 元以下的乘客占比为 59.45%,5 000~8 000 元乘客占 27.20% (见图 2),参照 2015 年北京职工月平均工资 7 086 元,城市轨道交通主要服务于中低收入人群。

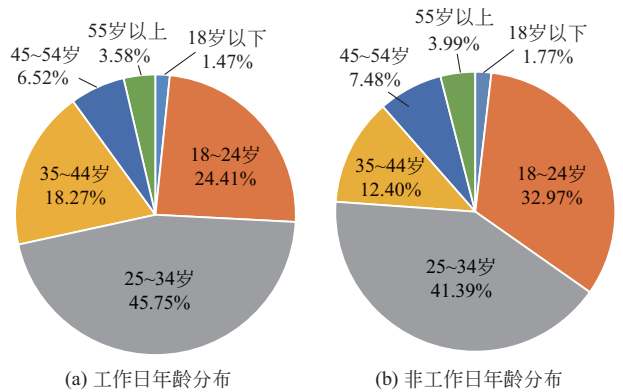


图 1 北京轨道交通乘客年龄分布
Fig. 1 Age distribution of Beijing rail transit passengers

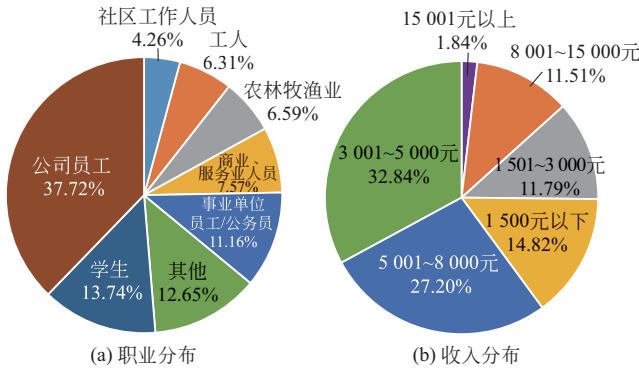


图 2 北京轨道交通乘客职业与收入分布
Fig. 2 Occupation and income distribution of Beijing rail transit passengers

北京轨道交通乘客出行最看重的因素是时间,乘车时间短占比为 56.67%,舒适性高占比仅为 13.38%;被调研者中有 63.88% 的乘客对线路比较熟悉,能较准确估算出行时间,如图 3 所示。

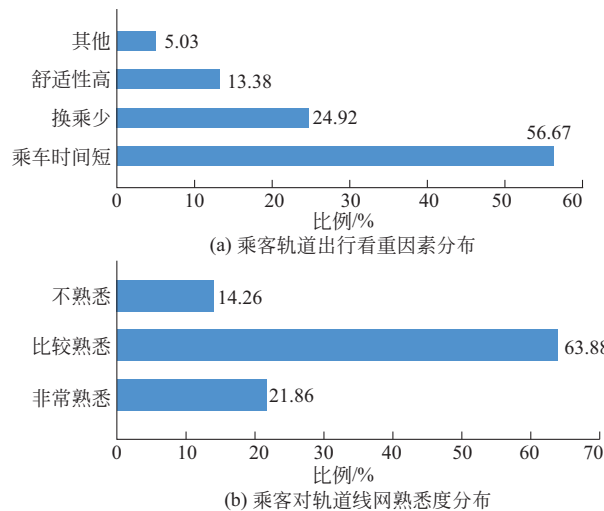


图 3 乘客轨道出行看重因素及对线网熟悉度分布
Fig.3 Factors considered by Beijing rail transit passengers for travelling and their familiarity with the network

3.2 时间分布特征

3.2.1 线网 1 周客流时间分布特征

对北京轨道交通线网 1 周客流的时间分布情况统计如图 4 所示,2016 年北京轨道交通全网日均客流量约为 955 万人次,工作日客流量达 1 062 万人次,周五达到最大值,超过 1 100 万人次,周六、日呈现大幅度下降的趋势,且周日客流量最小,通勤出行成为轨道交通的主要服务方式。

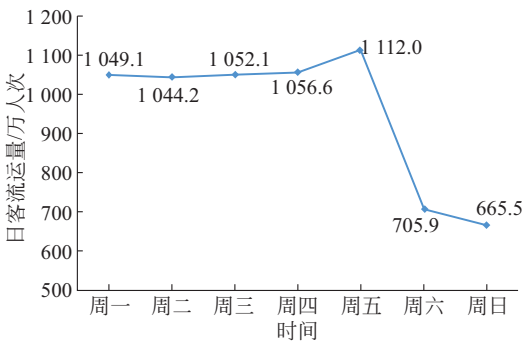


图 4 北京轨道交通日客流量分布
Fig.4 The daily passengers flow distribution of Beijing rail transit

同样对 1 周时间乘客在轨道内的出行时间和距离进行统计,得出工作日和非工作日乘客轨道交通出行时间和距离趋势相似,对工作日和非工作日轨道交通出行时间、距离分别求取平均值,得到图 5~6。

乘客轨道交通出行时间总体呈现先增后降趋势,工作日和非工作日分别有 77.25% 和 71.92% 的乘客出行在 10~60 min 之间,超过 60 min 后的轨道出行量分别占 19.48% 和 24.61%,且呈现明显减少的趋势,大于 100 min 的轨道交通出行量所占比例非常小。

乘客轨道出行距离总体也呈现先增后降趋势,工作日和非工作日分别有 81.87% 和 78.37% 的乘客出行在 5~30 km 之间,超过 30 km 后的轨道出行量分别占 8.23% 和 10.11%,且呈现明显减少的趋势,大于 50 km 的轨道出行量所占比例非常小。

3.2.2 线网进站客流时间分布特征

北京轨道交通线网早晚高峰客流时间分布如图 7 所示,工作日进站早晚高峰时段分别为 7:00—9:00 和 17:00—19:00,早晚高峰小时系数分别为 13.84% 和 11.21%。工作日高峰小时系数比非工作日系数大。

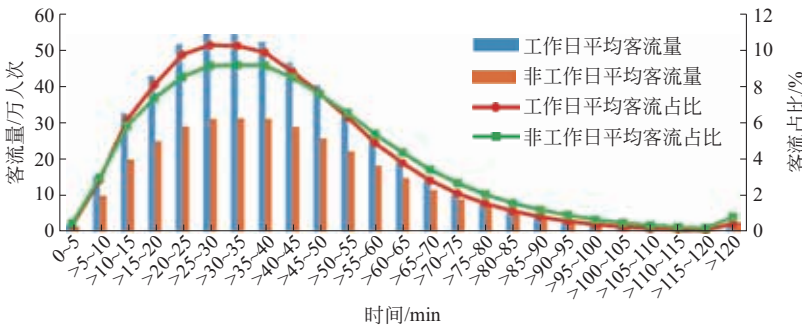


图 5 乘客轨道交通出行时间分布
Fig.5 Travel time distribution of rail transit passengers

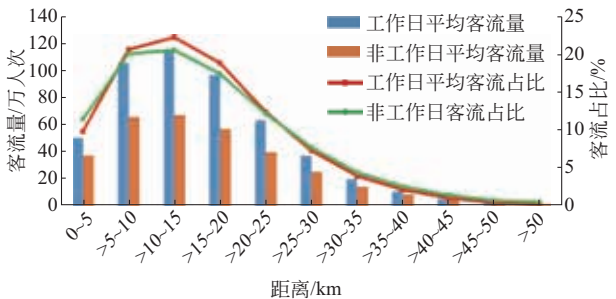


图 6 乘客轨道交通出行距离分布
Fig.6 Travel distance distribution of rail transit passengers

10:00—18:00 时段,非工作日出行比重大于工作日,且工作日出行时间较为集中,非工作日分散,7:00 之前及 22:00 之后,线网客流整体偏小。

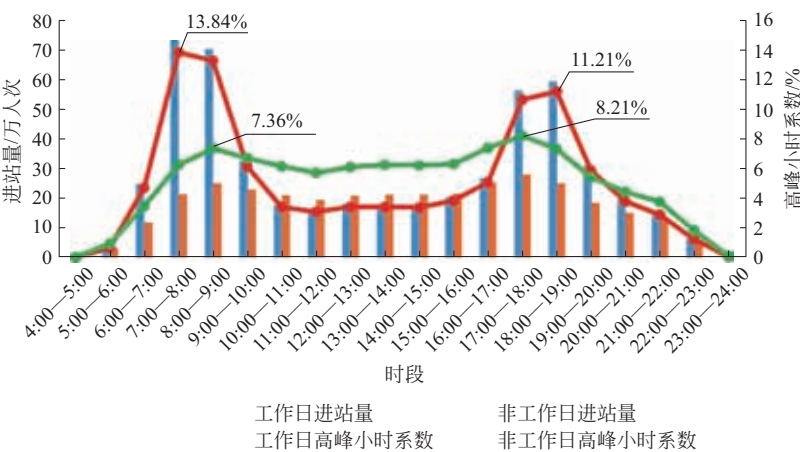


图7 北京轨道交通网进站客流量时间分布
Fig. 7 Temporal distribution of passenger flows entering rail transit network stations

3.2.3 线路进站客流时间分布特征

北京轨道交通网各线路工作日客流时间分布规律如图8所示,除机场快轨外,各线路客流时间分布特征相似,均有明显的早晚高峰,但各线路客流随时间变化趋势存在差异。

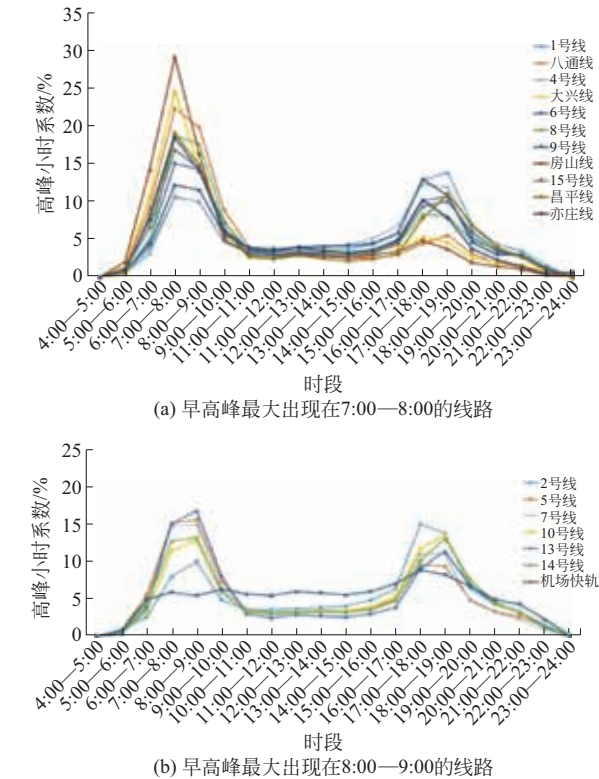


图8 轨道交通线路进站客流时间分布
Fig. 8 Temporal distribution of passenger flows entering rail transit stations

的线路主要集中于连通城区与郊区的线路(1号线-八通线、4号线-大兴线、6号线、8号线、9号线-房山线、15号线)和郊区线路(昌平线、亦庄线),如图8(a);早高峰最大进站高峰出现在8:00—9:00的线路有类环线(2号线、10号线、13号线)、5号线、7号线和14号线,如图8(b);机场快轨线没有明显的高峰现象。靠近郊区或者连同城区与郊区的线路进站高峰出现时间较早,且越外围线路,进站高峰时段越早,这主要与职住用地分布有关。

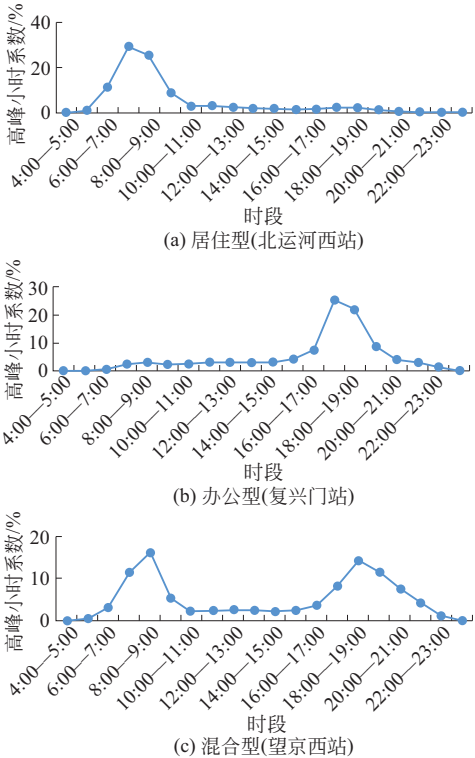
2) 早高峰乘客上班时间集中,为按时上班,更多乘客选择轨道交通出行,轨道交通早高峰进出站量明显比晚高峰

多,轨道客运压力更大;晚高峰乘客下班后,时间相对宽松,部分乘客选择费用相对便宜的公交出行。

3) 多数线路早高峰小时系数普遍大于晚高峰小时系数,郊区线路更为明显,八通线、大兴线、房山线早高峰小时系数是晚高峰小时系数的4倍以上。早高峰系数较高的线路中较多车站位于职住区。

3.2.4 站点客流时间分布特征

按站点高峰小时进站量和用地性质不同,将轨道站点分为如图9所示四大类。



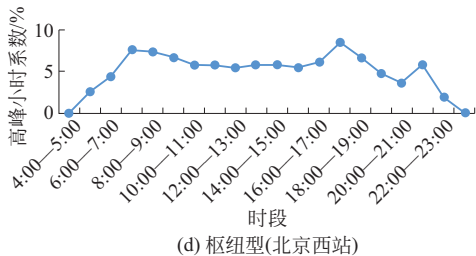


图 9 不同类型站点时间分布特征

Fig. 9 Temporal distribution characteristics of passenger flows in different stations

1) 居住型。早晚进站高峰小时系数差别较大,分别为 15% ~ 40% 和 2% ~ 10%,车站主要分布于居住区,早高峰以进站客流为主,多分布于四环及四环外郊区、郊区线路末端。

2) 办公型。早晚进站高峰小时系数分别为 2% ~ 10% 和 11% ~ 30%,车站主要分布于就业区、商务区等工作集聚区,早高峰进站客流小,晚高峰进站客流较大,站点进站客流随时间变化趋势与居住型相反,主要分布在四环以内偏北部区域、西二旗、上地、中关村等地。

3) 混合型。早晚进站高峰小时系数为 7% ~ 23%,站点主要分布于职住混合区,一般以居住为主、商务工作为辅或以商务工作为主、居住为辅。进站量早晚高峰小时系数均较大且差别较小,客流有两个高峰。

4) 枢纽型。早晚进站高峰小时系数无明显规律,站点主要服务于交通枢纽区域,全日客流无明显的高峰,客流波动较大。

根据以上分类,结合公交 IC 卡数据分析,对北京 278 座站点分类如表 1 所示。

表 1 北京轨道交通站点分类

Tab. 1 Classification of Beijing rail transit station

类型	数量	比例/%	主要区域
居住型	127	45.68	居住区
办公型	59	21.22	就业区
混合型	85	30.58	职住混合区
枢纽型	7	2.52	交通枢纽区

3.3 空间分布特征

3.3.1 线网断面客流分布特征

北京轨道交通全天客流主要集中在中心城区以及

城区向郊区辐射的线路(见图 10),与北京职住分离现象相吻合。郊区向城区的线路中昌平线、房山线、亦庄线客流压力相对较小。线路高峰客流有明显的潮汐现象,中心向郊区辐射的线路断面不平衡系数较大。早高峰时段,1 号线-八通线、4 号线、5 号线、6 号线东段、13 号线等进城方向客流处于高负荷状态,同时受放射型线路客流影响,四环内沿 10 号线地区东部与北部客流量相对较多。

平均运距作为衡量城市轨道交通线路运营的重要

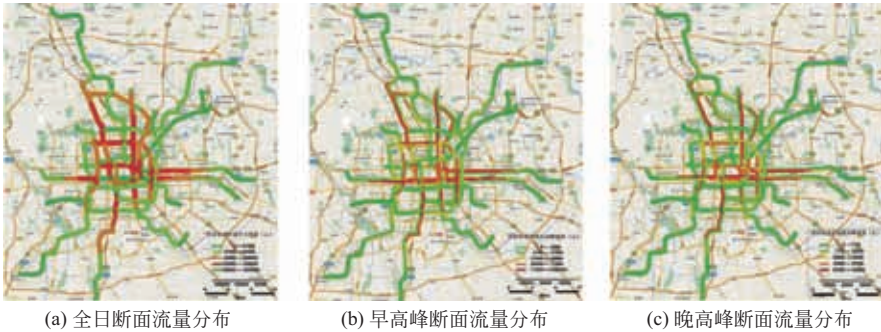


图 10 北京轨道线网断面流量分布

Fig. 10 Flow distribution of Beijing rail transit lines

指标,既可反映线路乘客空间分布情况,也可反映客流在各断面上的聚集程度^[8]。对北京轨道各线路工作日平均运距统计见图 11,全日轨道交通线网平均运距为 9.02 km/人。线路平均运距差别较大,城区线路或贯穿城区线路的平均运距在 4 ~ 10 km/人。房山线平均运距最大,为 14.7 km/人,最小为 2 号线,不到 5 km/人。平均运距占比最大的为房山线,为 64%,最小的是 10 号线,仅为 14%。

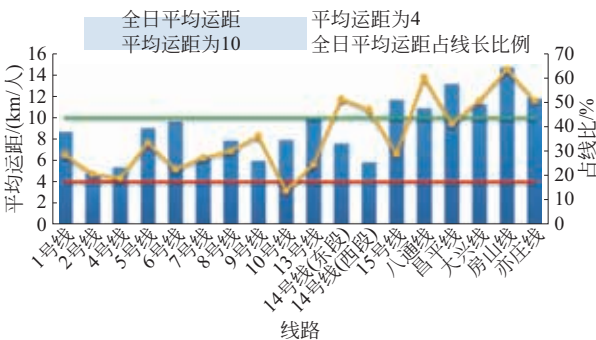


图 11 北京轨道线路全日平均运距及占比分布

Fig. 11 Distribution of average distance and the rate of average distance using Beijing rail transit lines

平均运距与线路所属区域及换乘站数量有密切关系,郊区线路密度小于城区线路,作为进出城区的重要通道,乘客乘坐距离长,而城区就业岗位多且密集,故

城区或贯穿城区线路的平均运距明显小于郊区线路；换乘站点多的线路平均运距较小，换乘站起到一定的分流效用。

轨道交通线网进出道路环线的断面流量不平衡系数较大（见图 12、13），东部、西部、北部五环进出城比例差别较大，南部三环进出城比例差别大，并且早高峰进城量大于晚高峰出城量，晚高峰出城时间较为分散。早高峰东部、西部、北部五环进城量超过出城量的4 倍，而南部三环进出城比例较大，比例为 3.9 倍；晚高峰东部、西部、北部五环出城量是进城量的 4 倍，而南部三环出城量是进城量的 2.6 倍。

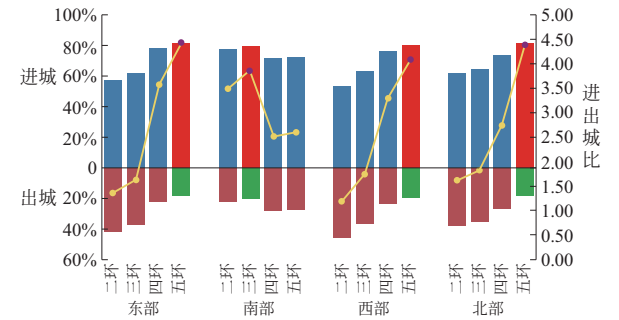


图 12 早高峰轨道线网穿过道路环线断面流量比
Fig. 12 The cross section flow ratio which rail transit lines go through the ring road in morning peak hours

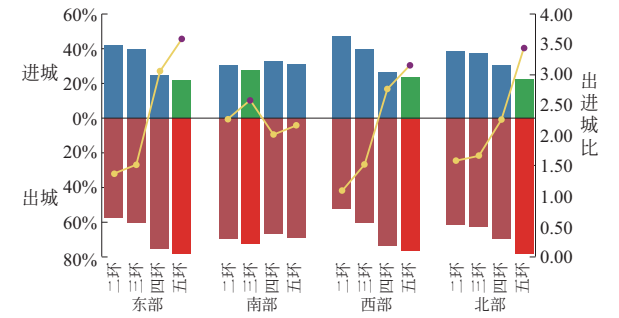


图 13 晚高峰轨道线网穿过道路环线断面流量比
Fig. 13 The cross section flow ratio which rail transit lines go through the ring road in evening peak hours

3.3.2 线路客流强度分布特征

客流强度是指轨道交通网络或线路每千米每日平均承担的客运量，是反映轨道交通线网运营效率和经济效益的一个重要指标^[9]。对北京轨道交通线路1 周客流强度统计如图 14。

线路客流强度变化趋势相似，非工作日客流强度小于工作日。轨道交通网日均客流强度为 2.05 万人次/km·d，工作日客流强度与非工作日客流强度分别为 2.25 万人次/km·d 和 1.58 万人次/km·d。客流

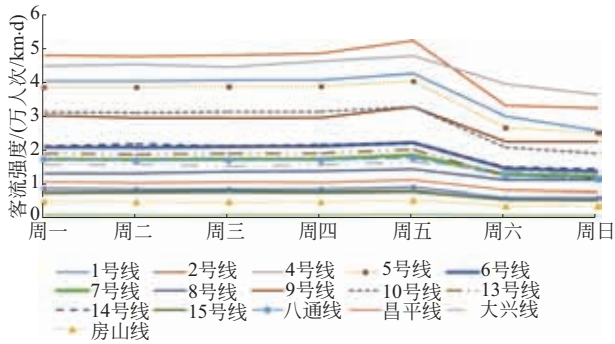


图 14 北京轨道线路日均客流强度分布
Fig. 14 Daily flow intensity distribution of Beijing rail transit passengers

强度高于全网平均值的线路位于城市核心区，或多数站点位于城市中心区，如 1 号线、2 号线、4 号线作为连接职住区的线路，客流强度均超过 4.0 万人次/km·d。郊区线路客流强度较小且工作日与非工作日相差不大。环线(2 号线、10 号线)非工作日客流强度较工作日有较大的下降趋势，环线客流强度受通勤影响较大。

3.3.3 进出站客流空间分布特征

早高峰进站量大的站点主要集中于郊区及住宅区，出站量大的站点主要在工作集聚地及商务区，晚高峰进站量与早高峰相反，如图 15 所示，这与北京轨道交通主要服务于通勤出行和商务出行相符。为避免大客流站点的安全隐患，常对站点进行限流，常态限流站点与高峰进出站量较大站点的分布相近，早高峰限流站点多分布于五环及五环以外，以交通枢纽站、末端中转站、居住型站点为主，晚高峰限流站点多集中于四环及四环以内，主要为商业办公型站，早晚高峰同时限

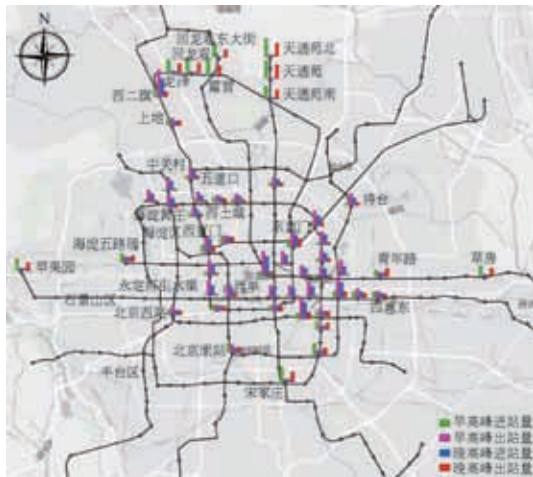


图 15 北京轨道高峰进站量分布
Fig. 15 Distribution of passenger flow entering stations during peak hours

流的站点多分布于 5 号线,如图 16 所示,可将轨道交通站点高峰进出站量作为站点限流依据之一,并根据远期客流预测,规划新建轨道交通站点的限流措施。

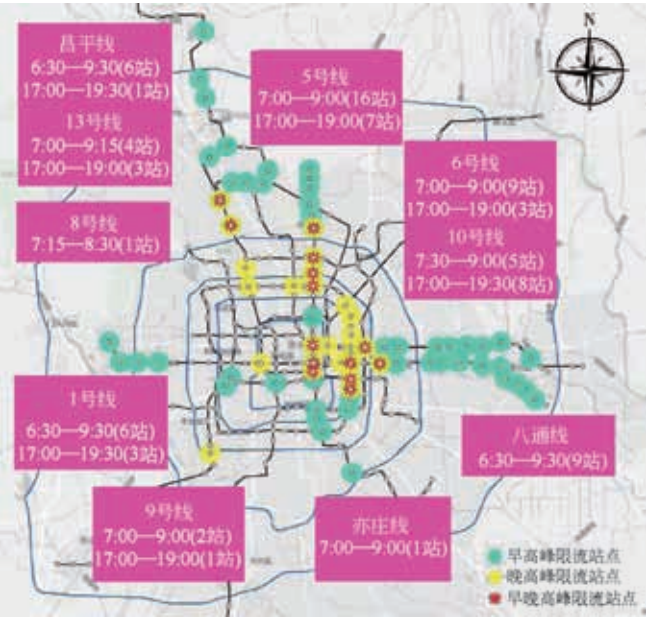


图 16 北京轨道高峰常态限流站点分布
Fig. 16 Distribution of the stations which limit passengers entering the stations in peak hours

3.3.4 换乘站客流空间分布特征

图 17 为北京轨道交通网换乘站全日换乘量与进站量分布,工作日换乘客流约 500 万人次,换乘量空间分布不均衡,换乘量最大的国家图书馆站达 24.6 万人次,而十里河站仅 3 万人次,全日换乘量超过 12 万

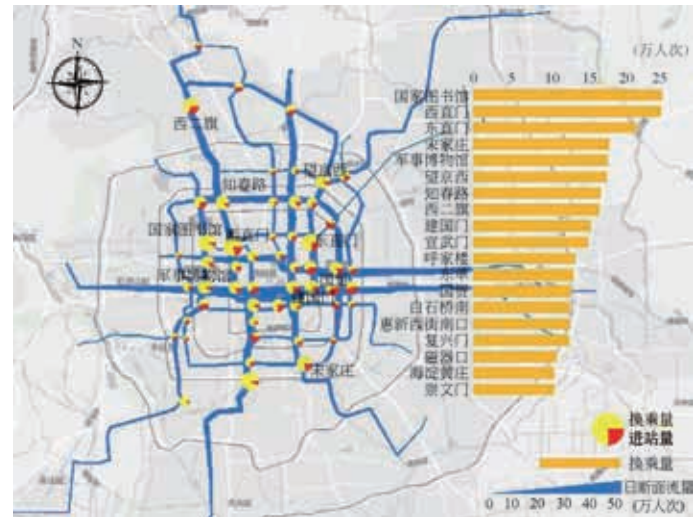


图 17 全日换乘站换乘量与进站量分布
Fig. 17 Distribution of passenger transferring flow and passenger entering the stations per day

人次的站点占到 31%。换乘站主要以换乘客流为主,除北京南站、三元桥、双井站外,其他站点的换乘客量均大于进站量,且郭公庄、国家图书馆站、军事博物馆站换乘客量是进站量的 10 倍多,换乘客流大的站点对应线路的断面流量也大,且主要分布于线路交接处或枢纽站附近,表 2 为北京轨道早晚高峰换乘站换乘客量分布。

表 2 北京轨道换乘站点换乘客量分布占比
Tab. 2 Flow distribution of passengers transferring in Beijing rail transit stations

换乘量/万人次	早高峰占比/%	晚高峰占比/%
0 ~ 2	34.62	44.23
2 ~ 4	36.54	38.46
4 ~ 6	19.23	13.46
6 ~ 8	5.77	3.85
8 ~ 10	3.85	0.00

馆站换乘客量是进站量的 10 倍多,换乘客流大的站点对应线路的断面流量也大,且主要分布于线路交接处或枢纽站附近,表 2 为北京轨道早晚高峰换乘站换乘客量分布。

3.4 土地利用与客流特征的关系

轨道交通与土地利用的协调发展是解决城市交通问题的重要途径,在土地利用与交通相互关系的研究中,人口密度是用来衡量建设环境的常用手段之一[10]。土地利用强度大的区域,人口密度大,轨道线路密度亦越大,客流规模随之增加。

图 18 为北京工作居住人口密度分布情况,线路站点周边人口密度相对较大,四环内商务区域工作人口密度较大,居住人口相对分散,三环内人口居住密度相

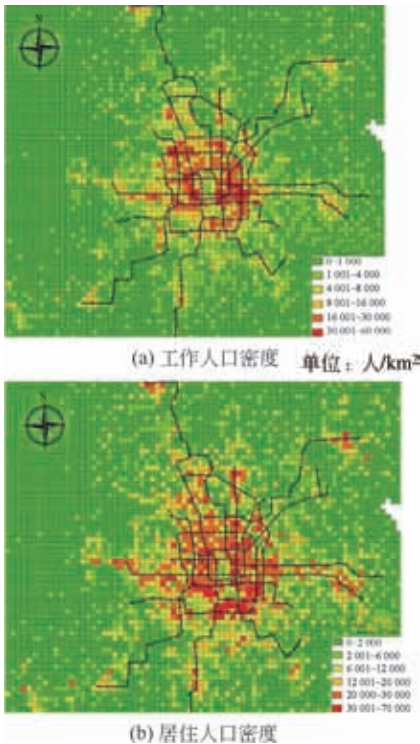


图 18 北京人口密度分布
Fig. 18 The population density distribution in Beijing

对均匀,五环外天通苑、通州、回龙观等区域居住人口密度相对较大。可根据用地性质和人口密度作为轨道交通远期规划的依据之一,由此而知,1号线与6号线西部区域、房山线延伸方向、4号线北部区域对轨道交通需求仍较大。

土地利用和人口密度与轨道交通发展有相互促进作用,轨道交通线路到达地区,可达性高,人口密度大,对交通需求会增大,轨道交通也会增加建设。以居住为主要用地的区域,人口居住密度较大,郊区线路或连通城区与郊区的线路孕育着较大的通勤客流,高峰单向客流压力大,双向客流不均衡;以就业为主要用地的区域,通常集聚在市中心或商务区,工作人口密度大,客流以通勤为主;高密度开发、土地利用混合度高的区域,可达性高,人口居住和工作密度均较大,客流特征

较为复杂。

3.5 票价调整对客流影响的特征

票价对于轨道交通客流有一定影响,尤其对低收入人群影响较大。为了解票价调整对客流的影响程度,对北京轨道交通票价调整后各月同一工作日(除新增线路外)的线路客流量与调价前客流量(2014年10月、11月平均数据)增加比例进行统计,结果见表3。

调价后短期内客流呈现骤减趋势,2015年2月减少比例达到最大,3月后客流呈增加趋势,之后客流减少比例主要在10%以内,部分线路客流已经开始增加。2月份正逢春节期间,为区分春节及调价对客流规模影响程度,对于2012年到2015年部分月份客流数据(每年1月、2月客流与前一年10月、11月平均数据)进行对比,如表4所示。与2012年、2013年、2014年2月

表 3 调价后北京轨道交通客流增加比例分布

Tab. 3 The increasing proportion distribution of Beijing rail transit passenger flow after the price adjustment

线路	2014—12	2015—01	2015—02	2015—03	2015—05	2015—07	2015—09	2015—11	2016—01	2016—03	2016—04
1号线	-7.37%	-15.80%	-37.05%	-7.28%	-12.12%	-2.10%	-11.11%	-5.76%	-12.17%	-2.34%	-4.35%
2号线	-5.32%	-15.36%	-32.31%	-8.85%	-11.37%	-3.14%	-7.59%	-7.23%	-15.59%	-10.30%	-8.93%
4号线	0.20%	-13.95%	-27.95%	-6.92%	-6.76%	1.00%	-2.04%	-3.08%	-7.40%	-1.96%	1.80%
5号线	-1.23%	-5.65%	-35.17%	6.80%	2.75%	7.16%	-1.78%	9.51%	4.31%	16.42%	16.90%
6号线	13.23%	3.94%	-33.68%	16.77%	17.47%	23.96%	17.37%	34.62%	18.56%	32.25%	31.99%
8号线	2.39%	-0.85%	-34.09%	11.55%	8.65%	28.78%	11.12%	23.64%	4.58%	22.93%	20.46%
9号线	6.62%	-12.28%	-27.27%	-2.16%	-3.60%	5.99%	22.32%	6.57%	2.27%	12.06%	11.17%
10号线	-14.32%	-20.62%	-54.28%	-15.93%	-15.36%	-12.36%	-18.84%	-4.23%	-14.85%	-6.03%	-7.74%
13号线	-8.31%	-18.38%	-50.64%	-17.81%	-12.62%	-10.38%	-16.31%	-5.22%	-16.30%	-7.38%	-7.95%
八通线	-13.31%	-20.50%	-46.79%	-10.11%	-13.39%	-11.35%	-16.39%	-7.20%	-14.71%	-1.17%	-2.82%
昌平线	-4.23%	-20.65%	-52.36%	-6.79%	-4.88%	0.68%	-2.70%	9.14%	4.99%	26.22%	22.46%
大兴线	-3.89%	-17.96%	-34.43%	-8.98%	-8.68%	-8.68%	-6.89%	-2.69%	-10.38%	2.40%	4.79%
房山线	-0.64%	-19.33%	-43.12%	-9.02%	-6.84%	-3.19%	11.03%	0.64%	-6.93%	7.84%	6.29%
亦庄线	-10.50%	-21.49%	-48.53%	-6.95%	-10.35%	-8.21%	-7.84%	0.70%	-10.86%	5.81%	3.00%

表 4 北京轨道线路客流增加比例分布

Tab. 4 The increasing proportion distribution of passenger flow in each line of Beijing rail transit

线路	2012—01	2012—02	2013—01	2013—02	2014—01	2014—02	2015—01	2015—02
1号线	-7.63%	0.85%	-8.42%	-22.98%	-10.92%	-6.89%	-15.80%	-37.05%
2号线	-6.71%	0.53%	-4.85%	-16.14%	-9.65%	-2.13%	-15.36%	-32.31%
4号线	-7.08%	1.65%	1.08%	-13.62%	-10.42%	-7.59%	-13.95%	-27.95%
5号线	-14.10%	-3.42%	-5.59%	-22.78%	-13.55%	-9.08%	-5.65%	-35.17%
6号线	—	—	23.97%	11.06%	-11.27%	-6.99%	3.94%	-33.68%
8号线	—	—	23.62%	7.28%	3.80%	16.82%	-0.85%	-34.09%
9号线	—	—	230.11%	84.37%	-1.17%	22.48%	-12.28%	-27.27%
10号线	-16.13%	-2.44%	-0.31%	-20.20%	-13.68%	-8.05%	-20.62%	-54.28%
13号线	-19.66%	-6.12%	-4.26%	-24.70%	-15.10%	-10.36%	-18.58%	-50.64%
八通线	-14.13%	-1.42%	-10.89%	-29.49%	-14.73%	-10.32%	-20.50%	-46.79%
昌平线	-19.67%	-2.27%	8.50%	-13.15%	-15.12%	-8.77%	-20.65%	-52.36%
大兴线	-12.94%	-1.44%	13.37%	-3.76%	-15.13%	-9.73%	-17.96%	-34.43%
房山线	13.19%	5.27%	99.35%	7.22%	-13.48%	-12.93%	-19.33%	-43.12%
亦庄线	-18.22%	-0.92%	10.99%	-6.89%	-16.59%	-10.95%	-21.49%	-48.53%

客流减小比例相比,2015 年 2 月客流减小比例较大,因此,短期内,调价对客流影响较大,在 2015 年 2 月份客流减小比例达到最大。

调价后,乘客有一定的票价适应期,客流短期内骤然下降,在居民出行总量不变的情况下,部分客流会转移到其他交通方式,而交通方式的改善需要一定的时间,则造成乘客出行方式出现短时紊乱,经约 3 个月过渡期,此现象会逐渐消失,客流减小程度降低,甚至随线网的完善客流呈现增加趋势。

在大多乘客可接受的票价范围内,单纯依靠调价来减少客流压力的效果短期明显,可分散高峰时段客流压力,而过渡期后效果甚微,但调价对降低轨道运营财政压力会起到可观的效用。

3.6 接驳交通方式对客流影响的特征

接驳方式对客流的影响表现为:接驳越方便,可达性越高,选择轨道交通出行乘客越多,客流压力越大。根据调查结果,在轨道接驳交通方式中,步行占比最大,达 64%,公交、自行车占比分别居第二(27%)和第三位(5%)。图 19、20 为早高峰不同线路乘客到离站交通方式接驳比例分布。

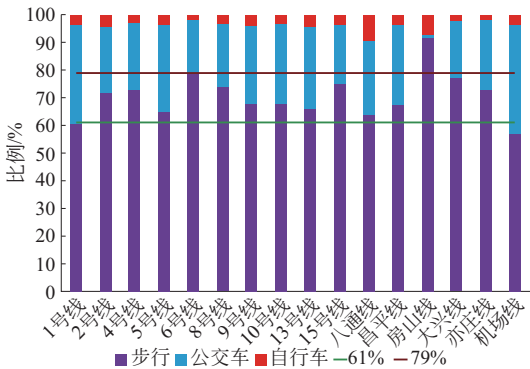


图 19 早高峰不同线路乘客到站接驳交通方式比例分布
Fig. 19 The proportion distribution of transfer mode from outside to rail transit stations in morning peak hours

早高峰时段到站接驳交通方式与离站方式相比,步行所占比例前者低于后者,而公交车、自行车反之。这主要是由到离站人们不同的时间价值取向引起的。早高峰乘客出行前端由家到轨道交通站点,末端由轨道交通站点到单位,步行相较于自行车和公交速度慢,在出行链前端,出行者倾向于速度快、用时短的交通方式,末端在到达时间有保证的前提下,出行者倾向于绿色出行。各接驳方式承担的客流量亦与各种方式和轨

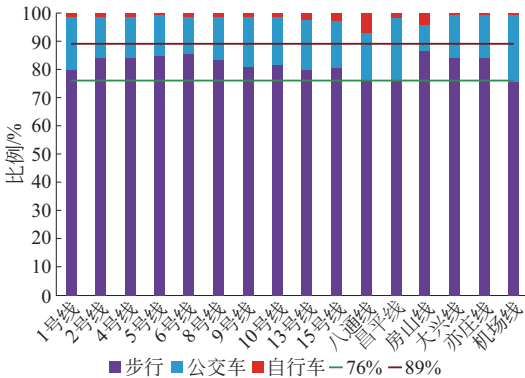


图 20 早高峰不同线路乘客离站接驳交通方式比例分布
Fig. 20 The proportional distribution of transfer mode from rail transit station of different lines to outside in morning peak hours

道交通的衔接程度有关。

房山线的步行占比到离站均最大,约为 90% 左右,机场线的步行占比最小,其他各线路步行占比分布于一定范围。八通线的轨道乘客接驳中,公共自行车所占比例相对较大,约占 10%。八通线沿线区域,尤其是通州区域,自行车覆盖率高,使用便捷。图 21 为北京轨道交通站点周边 1 km 公共自行车数量分布,八通线附近通州区域密度最高,其次是东城区、西城区、大兴区等区域,而朝阳区、海淀区、房山区、昌平区地铁沿线公共自行车数量较少,回龙观、天通苑、中关村等大型住宅商务区公共自行车数量也较少。公共自行车接驳方式的缺失,使客流会转向步行、公交、出租车等方式与轨道交通接驳。



图 21 北京轨道站点周边 1 km 公共自行车数量分布
Fig. 21 The distribution of public bicycles number within 1 km around the Beijing rail transit station

4 结论

北京轨道交通客流需求的高增长及时空分布波动性等特征愈加明显,本文借助多源数据对客流特征进行分析,得出以下结论:

1) 北京轨道交通工作日主要服务于中低收入的中青年通勤族,工作日有 77.25% 的乘客轨道出行时间在 10 ~ 60 min 之间,81.87% 的乘客轨道出行距离在 5 ~ 30 min 之间。

2) 土地利用和人口密度与轨道交通发展有相互促进作用,轨道交通线路到达地区,可达性高,人口密度大,对交通需求会增加,轨道交通也会增加建设。现有北京轨道交通网络发展较为成熟,但仍有部分区域轨道交通需求较大。根据土地利用性质和人口密度分布,1 号线与 6 号线西部区域、房山线延伸方向、4 号线北部区域对轨道交通需求仍较大。

3) 北京轨道交通线路高峰客流有明显的潮汐现象,受职住分离现象的影响,客流空间的不均衡性突出。从时间分布看,工作日早晚高峰客流明显,高峰小时系数基本在 11% ~ 14% 之间;从空间分布看,日均客流强度为 2.05 万人次/km · d,其中 1、2、4、5 号线日客流强度是全网日均客流强度的 2 倍左右,同时北京轨道交通穿过道路环线东部、西部、北部五环进、出城比例相差大,南部三环进、出城比例相差比较大。

4) 在可接受范围内,票价调整对客流的影响在短期内明显,经一段时间的过渡期后客流量呈增加趋势,但调价对降低轨道运营财政压力会起到可观的效用。

5) 轨道站点接驳设施的便利性和完善性程度会影响乘客到离轨道站点交通方式的选择,例如八通线沿线区域,尤其是通州区域,自行车覆盖率高,使用便捷,在轨道站点接驳中,公共自行车所占比例相对较大,约为 10%。

参考文献

[1] 邓吉,赵亮,郑晓薇,等.城市轨道交通客流特征分析在可研阶段的应用[J].都市轨道交通,2016,29(1): 87-91.
DENG Ji, ZHAO Liang, ZHENG Xiaowei. Application of analysis of passenger flow characteristics in the period of feasibility study for urban rail transit projects[J]. Urban rapid rail transit, 2016, 29(1): 87-91.

[2] 陈锋,刘剑锋.基于 IC 卡数据的公交客流特征分析:以北京市为例[J].城市交通,2016,14(1):51-58.
CHEN Feng, LIU Jianfeng. Characteristics of bus passenger flow based on IC card data: a case study in Beijing[J]. Urban transport of China, 2016, 14(1): 51-58.

[3] 王多龙,李得伟.天津地铁客流发展规律及特征分析[J].城市轨道交通研究,2016,19(7):40-45.
WANG Duolong, LI Dewei. Development discipline and characteristics of passenger flow in Tianjin Rail transit network[J]. Urban mass transit, 2016, 19(7): 40-45.

[4] ASSIS W O, MILANI B E. Generation of optimal schedules for metro lines using model predictive control[J]. Automatica, 2004, 40(8): 1397-1404.

[5] 北京交通发展研究中心.2015 年北京交通发展年度报告[R].北京,2015.
Beijing Transportation Research Center. Beijing transport annual report of 2015[R]. Beijing: 2015.

[6] 北京交通发展研究院.2016 年北京市交通发展年度报告[R].北京,2016.
Beijing Transport Institute. Beijing transport annual report of 2016[R]. Beijing, 2016.

[7] 赖见辉.基于移动通信定位数据的交通信息提取及分析方法研究[D].北京:北京工业大学,2014.
LAI Jianhui. Research on data mining and analysis in transportation based on mobile communication location[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2014.

[8] 马超群,王玉萍.城市轨道交通客流特征与规律分析[J].铁道运输与经济,2015,37(6):85-91.
MA Chaoqun, WANG Yuping. Analysis on characteristics and principle of passenger flow of urban rail transit[J]. Railway transport and economy, 2015, 37(6): 85-91.

[9] 钱堃.城市轨道交通客流强度特征和换乘组织研究[D].北京:北京交通大学,2015.
QIAN Kun. Analysis on the intensity of passenger flow and transfer organization in urban rail transit[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2015.

[10] 郑洁,陆化普.城市土地利用对交通需求特性影响研究[J].中南公路工程,2007,32(2):175-179.
ZHENG Jie, LU Huapu. Study on the impacts of urban land use on travel demand[J]. Journal of central south highway engineering, 2007, 32(2): 175-179.

(编辑:曹雪明)