

doi:10.3969/j.issn.1672-6073.2012.05.007

北京轨道交通网络化客流特征分析与启示

刘剑锋 罗 铭 马毅林 王 静 孙福亮 陈 锋
(北京交通发展研究中心 北京 100073)

摘 要 轨道交通网络化客流特征分析与总结,对于提高轨道交通规划设计与运营管理水平具有重要作用。分析北京轨道交通各条线路的客流成长规律,其中重点分析2007年以来每开通1条新线对既有线网、线路、所涉及车站的影响;分析线网客流特征,主要包括分析各线上下车量时空分布规律、乘坐距离分布趋势、换乘客流时空分布规律、高峰小时客流特征及不均衡性、断面流量特征等;从目前的客流特征出发,分析线网规划、工程设计、运输组织时应注意的若干问题。

关键词 北京轨道交通;网络;客流特征;成长规律;时空分布;不均衡性

中图分类号 U293.13;U239.5 **文献标志码** A
文章编号 1672-6073(2012)05-0027-06

近年来,北京轨道交通线网规模的不断扩大,轨道交通网络化客流特征已日趋明显,轨道交通线网客流分布特征也将随着线路的增加呈现新的特点。分析、认清与总结当前北京轨道交通网络化客流特征规律,对于今后进一步提高轨道交通规划设计与运营管理水平具有重要作用。

1 客流成长规律

2000年以来,北京市轨道交通线网规模经历了从2条线、线路长度58 km,到15条线、线路长度372 km的发展历程。近10年来,随着线网规模的扩大,特别是2007年10月5号线开通后,客流的网络化趋势初显

端倪,线网客运量迅速增长,日客运量从2000年的119万人次增长至2011年的700万人次以上。

2000—2011年间,各线路日客运量增长变化趋势见图1,概括地说,客流成长可大致分为3个阶段:

1) 2000—2004年,八通线开通前,线网日均客运量在130万人次/日以内,客流较为稳定,变化不大;

2) 2005—2007年,5号线开通前,线网日均客流量在200万人次/日以内,八通线、13号线在线路开通后的三四年时间内,客流增长缓慢,经历了较长的客流培育期,与此同时,1号线和2号线由于换乘客流影响呈现出较小幅度的增长;

3) 2007—2011年,5、10、4号线先后投入运营,日均客运量从400万人次/日增长至700万人次/日,为北京轨道交通客流的高速增长时期。

客运量年均增长率排前两位的分别是13号线和八通线,年均增长率分别为23.3%和21.7%,但是这两条具有郊区线特征的线路在开通后的前3年客流增幅却十分缓慢,经历了较长时间的客流培育期。5、10、4号线的客流年均增长率都在10%~20%,且从开通时客流一直保持较大幅度增长,没有经历培育期。1、2号线的年均客运增长率较低,均低于10%,而从图1可以看出,2000—2003年之间,这两条线的客流规模也比

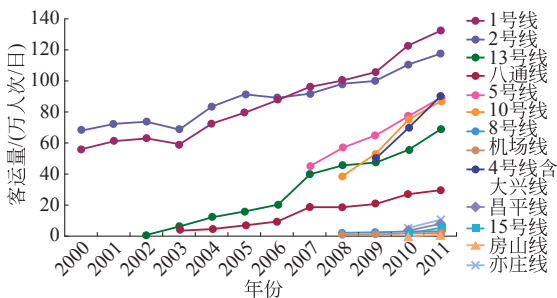


图1 北京轨道交通线路客运量成长曲线

收稿日期: 2012-06-15 修回日期: 2012-08-10
作者简介: 刘剑锋,男,博士,高级工程师,交通模型部部长,研究方向:交通建模理论与应用、轨道交通规划技术、交通信息化技术,lijf@bjtrc.org.cn
基金项目: 国家高技术研究发展计划(863计划)(2011AA110306-03)

较稳定,2003 年之后,这两条线所增加的客流更多的来自换乘客流。

2 客流时间分布特征

轨道交通客流的时间分布与居民出行的时间分布规律有着密切的关系。轨道交通的运能、线位、沿线土地的用地性质和规模都是影响轨道交通客流时段分布的主要因素。

2.1 线网客流时间分布特征

对进站客流时间分布进行统计发现(见图2),工作日客流早晚高峰明显,早高峰出现在7:30—8:30,早高峰小时系数(早高峰小时进站量占全日进站量的比值)为12.13%;晚高峰出现在17:30—18:30,晚高峰小时系数为10.55%,早高峰2个小时(7:00—9:00)和晚高峰2个小时(17:00—19:00)客运量占全天的比例为51.21%,还要注意,2011年北京有30多个高峰时段常态限流车站,因此早晚高峰时段客运量占全天的比例可能还要更高,这些都充分说明北京市轨道交通主要服务通勤出行的特点十分明显。周末客流分布较为均衡,无明显早晚高峰。

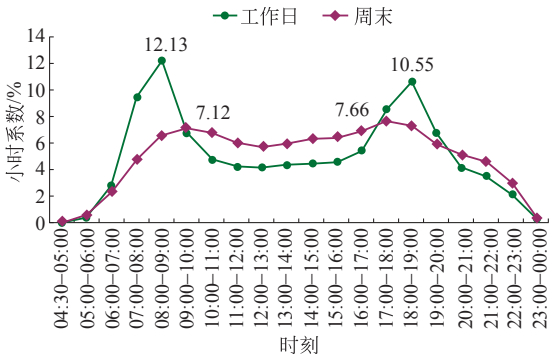


图2 线网进站客流时间分布

2.2 线路客流时间分布特征

从形态上看,工作日所有线路客运量小时时间分布特征与线网类似,均为驼峰形分布(见图3),所有线

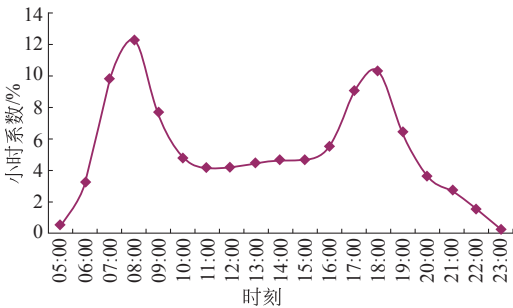


图3 线路进站客流时间分布形态

路早高峰进站客运量均比晚高峰客运量大。

虽然各线路均呈驼峰形分布,但具体出现的高峰时段和高峰小时系数(高峰小时客运量占全日的比值)还是有明显差别的。

1) 从出现时段上分析,早高峰小时最大进站高峰出现在8:00—9:00的有:1、2、5、10号线;早高峰小时最大进站高峰出现在7:30—8:30的有:4号线-大兴线,8、13、15号线,昌平线,亦庄线,八通线。这些趋势表明,越往外围的线路,如郊区线,进站高峰时段出现得越早。

2) 从早高峰小时系数上分析,小于13%的有:1号线、4号线-大兴线、15号线、房山线、八通线;大于13%的有:2、5、10、8、13号线,昌平线,亦庄线。这些趋势表明:早高峰系数较高的线路中大量车站位于郊区和大型居住区,客流分布具有明显的早晚高峰特征,早高峰以进站客流为主,部分车站的早高峰小时系数达到30%以上,由此拉高了整条线路的早高峰小时系数。

2.3 车站上、下车客流时间分布特征

各车站的客流时间分布要按进站、出站分别统计,一般市中心商业区和对外交通枢纽的高峰系数比较低,客流在时间分布上相对均衡;而郊区线路、通往中心城周边边缘组团的线路正好相反。从形态上看,目前北京372 km 轨道线网,共217座车站,可分为7类。

1) 居住类。这类车站早高峰时段以进站客流量为主,晚高峰时段以出站客流量为主,客流全日时间分布的不均衡性十分明显,多数位于近郊区和边缘组团,周边用地以居住类为主。

2) 办公类。这类车站早高峰以出站客流量为主,晚高峰以进站客流量为主,时间分布趋势与居住主导类正好相反,多数位于金融街、CBD、中关村、上地、亦庄等大型就业岗位集中的区域。

3) 场站类。这类车站客流全日时间分布较为均匀,客流随时间呈抖动趋势,这与该类车站所服务的枢纽中其他方式(列车、航班、长途客车)的发车时刻密切相关。

4) 混合类。这类车站周边多数为混合用地性质,客流全日进出站时间分布均有两个明显的早晚高峰,如果从时间分布趋势上细分,又可分为居住主导类、办公主导类和居住+办公类。

5) 商业中心类。这类车站多数位于大型商业中心或体育娱乐中心周边,客流全日时间分布较为均衡,

但进、出站高峰出现时段差异较为明显,上午 9:00 之后以出站客流为主,下午 15:00 后以进站客流为主。

6) 枢纽节点类。这类车站服务于北京市大型公交枢纽,客流全日进出站时间分布均有 2 个高峰。

7) 其他类。不具备以上 6 类进出站时间分布特征的车站。

目前,北京市 7 类车站空间分布如图 4 所示。



图 4 不同类型轨道交通车站分布

从空间分布上看,居住类和居住主导类主要分布在四环以外区域的边缘组团和郊区新城,而办公类、办公主导类、商业类则主要分布在四环以内区域。各类车站所占比例如图 5 所示。

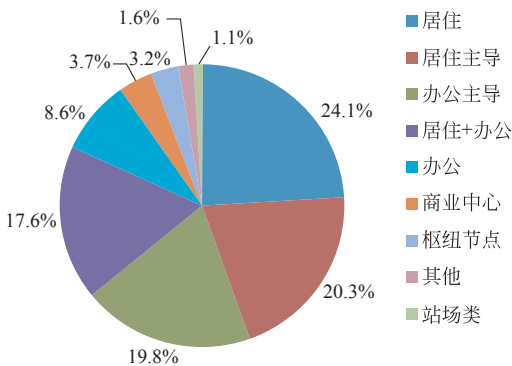
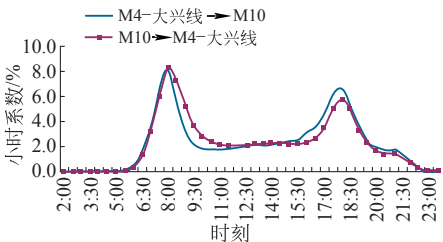


图 5 不同类型轨道交通车站数目统计

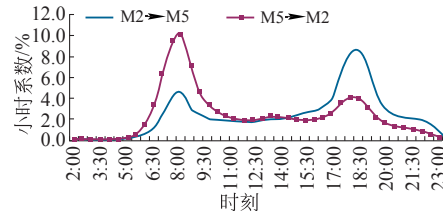
目前,北京轨道交通 217 座车站中,居住与居住主导类所占比例最高,占比 44.4%;其次为办公和办公主导类,所占比例为 28.4%。

2.4 换乘车站分方向换乘客流时间分布特征

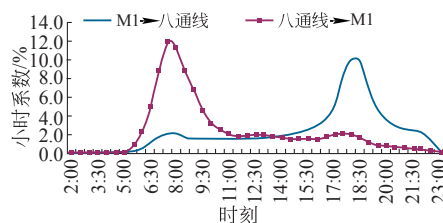
各换乘车站的客流时间分布要分方向分析,统计北京目前 24 座换乘车站,换乘客流的时间分布特征有 3 类,见图 6、表 1。



(a) 双峰类(海淀黄庄)



(b) 高低峰类(雍和宫)



(c) 单峰类(四惠)

图 6 换乘车站分方向换乘客流时间分布形态

表 1 北京换乘车站时间分布特征分类

换乘站种类	换乘站个数	换乘站名称
双峰型	9	复兴门、西单、东单、建国门、国贸、西直门、海淀黄庄、立水桥、宋家庄
高低峰型	10	宣武门、崇文门、东直门、雍和宫、惠新西街南口、知春路、北土城、芍药居、望京西、霍营
单峰型	5	四惠、四惠东、西二旗、大葆台、新宫、郭公庄

双峰类车站两方向换乘客流没有明显的方向性;高低峰类车站两方向换乘客流有较明显的方向性;单峰类车站两方向换乘客流有明显的方向性,多数位于郊区线与中心城线网的换乘节点。

城市空间功能布局、轨道交通站点周边用地性质、居民出行特征等因素决定了轨道交通的时间分布特征。上述分析表明,在轨道交通规划设计、客流预测和运营组织中要着重注意以下几点:

1) 由于部分车站采取高峰时段限流的措施及部分线路区间高峰时段车厢过于拥挤的影响,导致轨道交通的吸引力下降。目前,通过轨道刷卡数据或人工调查统计的轨道高峰小时系数很可能低于实际的情况,因此在轨道客流预测及运营组织中应注意留有

余地。

2) 由于车站类型不同,车站的高峰小时与线路高峰小时不一定出现在同一时段(如早高峰),在规划设计中要特别注意:不能一概用线路高峰时段的车站上下车客流作为确定车站规模的依据。

3) 不同类型换乘车站的分方向换乘客流时间分布存在明显的不同,对客流不均衡性明显的车站,如早高峰时段某一方向换乘流量大,而晚高峰很可能出现在另一方向,因此在规划设计和运营组织时,为适应这种客流特征,应尽可能考虑均衡换乘设施的利用。

3 客流空间分布特征

3.1 车站进出站客流空间分布

北京轨道交通全日和高峰时段进站客流空间分布均呈现出明显的不均衡性,如图7所示。其中,全日进站量低于1万人次的车站共有59个,而高于5万人次的车站共有15个,进站量前20位的车站大部分集中于三环以内和13号线西北端的居住区。

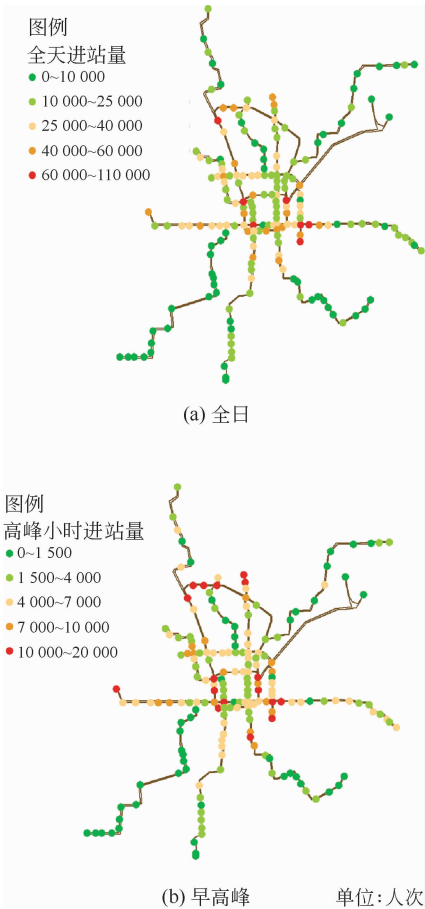


图7 进站客流空间分布

3.2 全日换乘量空间分布

全网每日换乘量达235万人次,换乘量的分布极不均衡(见图8),在全网24个换乘车站中,换乘量超过15万人次,并且早高峰小时换乘量超过2万人次的车站包括西直门站、复兴门站、建国门站、国贸站、东单站。早高峰换乘量最大的西直门站换乘量达3.4万人次/h,而多数换乘站高峰小时换乘量均在1万~1.8万人次,甚至不到1万人次;换乘设施能力不足,换乘距离过远严重影响地铁服务水平。

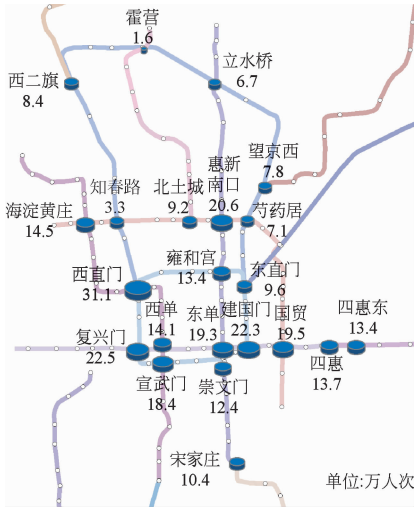


图8 全网换乘量分布

3.3 断面流量分布

图9为2012年4月某工作日早高峰小时轨道交通线网断面流量分布,各线路双向客流最大断面位置及流量标注在图中相应位置。1、5、13号线和八通线等放射线进城方向均处于满负荷状态,客流累积至第一个换乘站处开始降低,乘轨道交通进入四环内的客流量达到

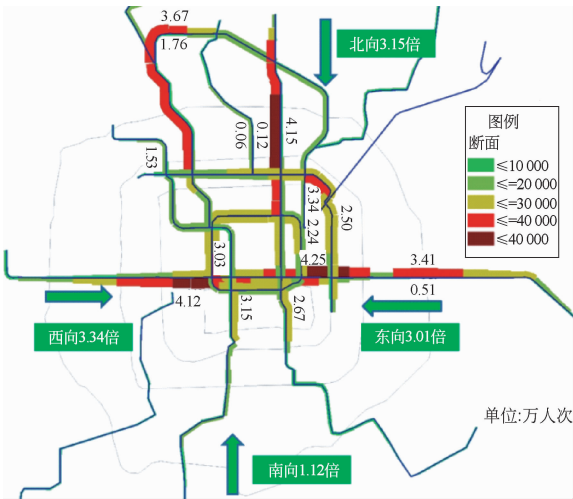


图9 某工作日早高峰小时线网断面流量分布

出四环的4.4倍。断面客流表现出明显的向心性和潮汐性,同一线路不同方向的断面流量不均衡性明显,放射线不均衡性大于环线,郊区线不均衡性大于市区线,换乘站越少、越集中的线路断面流量不均衡性越明显。

3.4 出行距离和平均运距

2012年某工作日轨道交通线网平均乘距为17.3 km,对各条线路的日平均运距及其占线路长度的比例进行统计(见图10)发现,各条线路平均运距差别很大,平均运距一般为线路长度的25%~35%。环线客流以换乘为主,平均运距偏短;放射线长距离出行特征明显,平均运距较长。各线路平均运距最大的是15号线,为15.6 km,其次为昌平线和13号线。平均运距占线路长度比例最大的是昌平线,为58%,其次为八通线。平均运距与轨道交通在线网中的线位以及换乘站的数量有直接关系:郊区线平均运距高于市区线,放射线高于环线;放射线末端车站客流长距离出行特征明显,平均运距较长;一般情况下,换乘站越多平均运距越小,中心城区的换乘站对客流发挥分流作用。

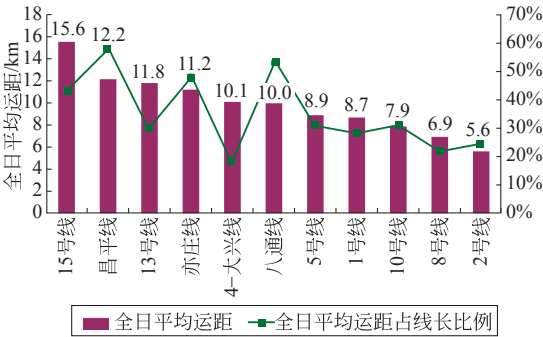


图10 某工作日各线路平均运距及占线路长度比例

图11所示为轨道和公交出行距离的时间分布图,北京地铁全部客流中乘距16~30 km的占59.1%,而10 km以内行程的占20.6%,这表明地铁服务于长距离出行的功能正在回归其应有的正确定位。

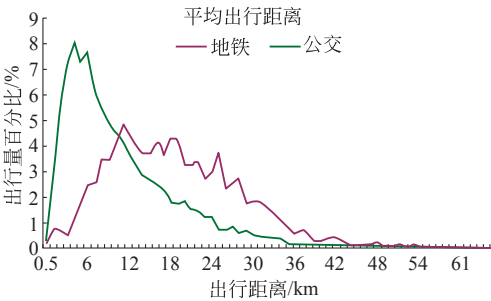


图11 2012年轨道与公交出行距离分布

4 客流服务水平

4.1 满载率

近几年正值轨道交通客流快速增长期,对地铁客流增长估计不足,多条干线出现运能缺口。2012年某工作日满载率均超过100%的有6条线路:昌平线、13号线、5号线、1号线、八通线和10号线,最大断面满载率位居前三位的线路是昌平线、13号线和5号线(见图12),都是连接北部居住区与中心城的线路。

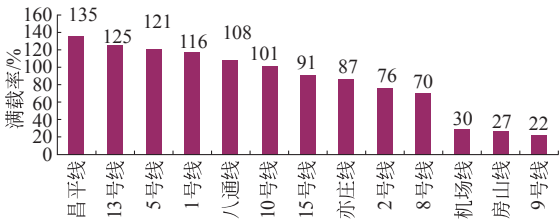


图12 轨道各线路满载率情况

4.2 交通衔接方式构成

轨道进出站交通衔接方式构成中,步行占据绝对主导地位,步行占比达到60%以上,此外是公交和自行车比例相对较大。早高峰进出站衔接方式构成中,进站步行所占比例(61%)要低于出站步行比例(80%)19个百分点,而进站公交比例(25%)高出了出站公交比例(12%)13个百分点,这主要由于北京市比较大型的上车站点多集中于郊区新城和外围边缘组团,乘客较分散地居住于轨道周边,因此做好这些区域的公交衔接尤为重要。

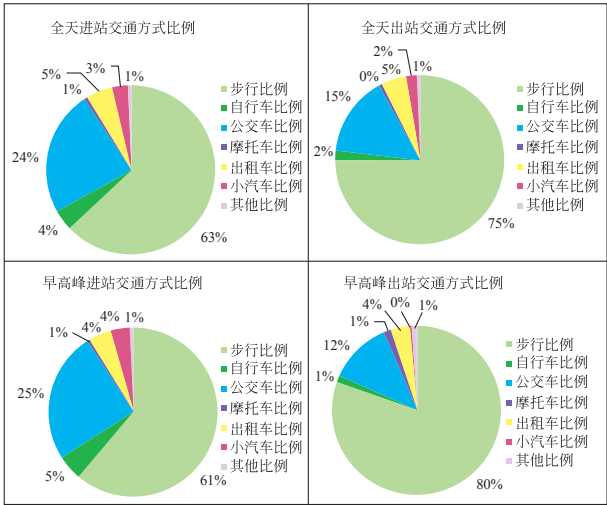


图13 轨道交通车站交通衔接方式构成

尽管在整个轨道网络进出站客流中,通过公交换乘到达或驶离车站的客流所占比例低于步行,但是在

部分站点,公交换乘客流占据相当的比例。图 14 为公共汽车换乘轨道的比例分布,在轨道进站客流中,超过 40% 的客流通过公交到达的进站口有 30 个,占比 14%。其中有 10 个位于五环外,10 个位于三环到五环之间,二、三环之间有 7 个,二环内有 3 个。

超过 40% 的客流通过公交驶离的出站口有 13 个, 占有车站数量的 6%。其中有 4 个位于五环外, 6 个位于四、五环之间, 三、四环之间有 1 个, 二环内有 3 个。

由表 2 可知,在位于线路末端的 19 个车站中,乘客使用公交换乘的比例明显高于全网水平:进站公交换乘大于 40% 的有 10 个,达 53%;出站公交换乘大于 40% 的有 5 个,占比 26%。

表 2 进出站公交换乘比例分布

进站口类型		<10%	<20%	20% ~ 30%	30% ~ 40%	≥40%	合计
全部	进	49	51	45	40	30	215
	出	72	54	46	30	13	215
位于线路末端的车站	进	0	2	3	4	10	19
	出	1	5	4	5	5	19

5 结语

近年来,北京市在优先发展公共交通方面做了大量工作,经过近 10 年的发展,轨道交通网络已初具规模,公共客运的骨干作用日渐突出。当前突出的问题是:线网覆盖面不足,多条线路无法应对高峰大客流冲击,拥挤度高,换乘不便,这些问题抑制了部分交通需求并导致其转向其他交通方式,均有待尽早解决。因此,在快速建设轨道交通的同时要注重对其客流成长规律和经验进行总结,以及对客流分布及相关特征开展研究,以此提高轨道交通的吸引力、最大限度地挖掘公共交通的潜力,促使轨道交通为居民出行发挥更大的效用,实现交通与城市的和谐发展。

Analysis on the Passenger Flow Characteristics of Beijing Urban Rail Network

Liu Jianfeng Luo Ming Ma Yilin Wang Jing Sun Fuliang Chen Feng

(Beijing Transportation Development Research Center, Beijing 100073)

Abstract: Analysis and summary of passenger flow characteristics are crucial for the improvement of subway planning and operation management. This paper focuses on three aspects: 1. The rules of passenger flow growth since 2007, with the influence of newly-opened subway line on the subway network, existing lines and related stations emphasized; 2. Passenger flow characteristics of subway network, including time-space distribution of boarding and alighting scale, riding distance distribution trend, time-space distribution of transfer passenger flow, unbalance of passenger flow during the peak hour, and characteristics of cross-section flow; 3. Analysis on issues to be addressed for network planning, engineering design, transport organization based on current passenger-flow characteristics.

Key words: Beijing rail transit; subway network; passenger flow characteristics; rules of growth; time-space distribution; unbalance

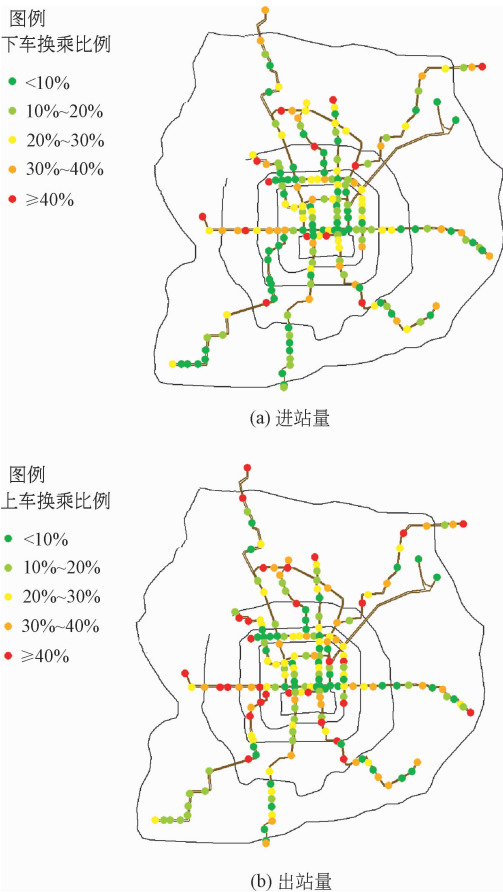


图 14 公共汽车换乘轨道比例分布

参考文献

[1] 郑丽娟. 基于城市轨道交通网络运营的客流分布预测研究[D]. 上海: 同济大学, 2008.

[2] 北京交通发展研究中心. 第四次北京市交通综合调查简报[R]. 北京, 2012.

[3] 方吉祥. 城市轨道交通客流预测及运输组织方案的研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2007.

[4] 沈景炎. 城市轨道交通线网规划与客流预测[J]. 都市轨道交通, 2007, 20(1): 10-14.

[5] 王静, 刘剑锋, 孙福亮. 北京轨道交通线网客流分布及成长规律[J]. 城市交通, 2012, 10(2): 26-32.

(编辑: 曹雪明)