

城市轨道交通车站客流时空分布特征分析及启示——以北京为例

王静 刘剑锋 马毅林

【摘要】轨道交通线网客流特征实质上是车站客流时空分布叠加及交换的效果体现,通过分析车站客流的波动性,发现北京轨道交通系统在不同时间维度和区域范围均呈现出明显的不均衡特征;针对车站特点进行聚类分析,归纳出不同用地类型车站工作日及周末车站客流时空分布存在较大差异,特别是决定车站规模的进站客流最大时段并非全部发生于工作日或早晚高峰,商业及文体景区类、对外枢纽类、高校类车站周末进站量比平日更高;北京轨道交通换乘系数远高于国内其它同类型城市,换乘车站是线路与线路之间的结合点,换乘设施服务水平直接决定了轨道交通系统的运行效率和吸引力;同时北京也是限流车站最多的城市,分析车站限流原因,对今后改善供给和服务水平大有帮助;需要特别指出,仅依靠轨道交通系统自身集散客流是不够的,只有通过与其他方式紧密衔接,根据区位特点做好差异化接驳设施,才能充分发挥车站的辐射作用。随着乘客出行需求日渐多样化,轨道交通规划和建设也应以人为本,面向乘客提供差异化、精细化的供给服务转变,最大限度挖掘公共交通潜力,促使轨道交通为居民出行发挥更大效用。

【关键词】轨道交通;车站;客流特征;换乘;限流;接驳方式

北京市现有常住人口超过 2000 万人,日均出行需求接近 6000 万人次,伴随城市空间的扩展,市民日常活动范围逐渐扩大,机动化出行比例也越来越高。面对交通需求的日益增长,近年来,北京市加快轨道交通发展与建设,对缓解城市交通拥堵、优化完善城市空间布局、提高人民生活质量等发挥了重要作用。目前,北京轨道交通系统承担了六环内 16.8%的出行,比十年前增加了 12.3 个百分点;日均服务进出站旅客 1000 余万人次,基本确立了其在公共客运体系中的骨干地位。轨道交通车站作为旅客乘降的场所,既是乘客出行的出发、换乘与终止点,也是连接轨道交通系统与城市的纽带,轨道交通线网客流特征实质上是车站客流时空分布叠加及交换的效果体现。查找文献中发现,已有轨道交通客流的研究主要侧重于线路和网络,单独对车站客流的讨论较少,而详细分析车站的客流特征,可为确定车站规模及制定运营计划提供量化依据,有利于提高建设工程的规划与设计质量,确保城市轨道交通开通后的服务水平,因此本文以北京轨道交通车站为例专门对其客流特征开展调查和分析。

1. 北京轨道交通车站空间分布及类型

北京轨道交通线网呈环线加方格网状布局,截止至 2013 年 10 月,全市已开通运营 16 条线路,里程达到 456 公里,全网共设车站 231 座,其中换乘车站 37 座(2 线换乘 34 个、3 线换乘 3 个),换乘站比例为 16%,平均站间距是 1.7 公里。

随着近年轨道交通的快速发展,核心区(二环内)轨道站点覆盖密度已达到 0.51 个/平方公里,现状轨道站点覆盖人口情况见图 1,其中核心区和五环内轨道交通站点 1000 米半径覆盖的土地面积比例分别为 77.5%和 46.6%,覆盖人口占相应区域内总人数的比例分别为 79.0%和 61.0%,标志着北京轨道交通在核心区的供给已处于较高水平。

依据不同的标准，可将轨道交通车站划分为以下几类：

- 按衔接线路数可将车站分为普通车站和换乘车站；
- 按车站周边用地性质可将车站分为居住类、办公类、商业及文体景区类、公交枢纽类、对外枢纽类、高校类以及混合类车站；
- 按流量是否管控可将车站分为限流车站和非限流车站。

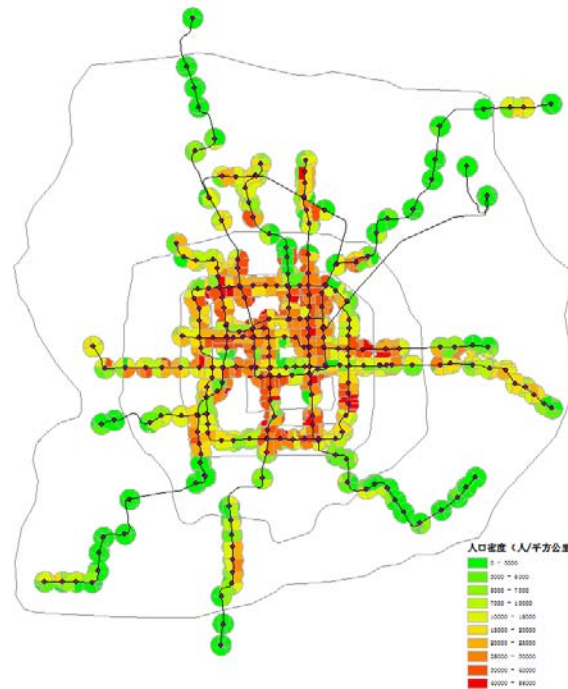


图 1 北京市轨道交通车站 1km 半径覆盖人口情况

2. 车站客流时间分布

2.1 不同时间维度下的客流波动特征

2012 年，北京轨道交通全年完成客运量 24.6 亿人次，进站客流在不同时间维度下均表现出一定的波动性，主要表现为以下几方面：

客流全年波动特征。按月份统计，通常三、四季度客流高于一二季度；由于寒假、春节返城离京人员较多，造成 1 月和 2 月进站乘客人数最低；全年进站量最大月份出现在 7 至 8 月，一是由于此阶段为旅游旺季，城市中流动人口的增加导致轨道客流相应上升，另一方面由于天气炎热，部分市民夏季出行时由公交、自行车等方式转移至乘车环境更为凉爽的轨道交通系统。

客流一周波动特征。一周各日的进站量也呈现出不均衡性，主要表现为周末进站量大幅下降，仅为工作日的 76.5%，且周日进站量略低于周六，说明轨道交通系统日常服务的通勤出行比例较高。

客流一日波动特征。尽管周末进出站量明显低于工作日，但从各日分时客流进站量分布（图 2）中可以看出，周末平峰时段（9:00~17:00）客流规模基本于工作日持平甚至略高；

与周末客流进站时间分布全日相对均衡不同，工作日有明显的早、晚高峰，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 13.7%；晚高峰出现在 17:30-18:30，晚高峰小时系数为 11.7%，早高峰两个小时（7:00-9:00）和晚高峰两个小时（17:00-19:00）客运量占全天的比例为 44.2%。

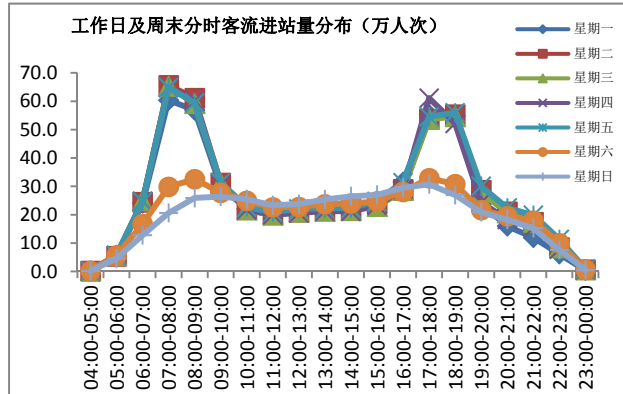


图 2 工作日及周末分时客流进站量分布

2.2 车站客流高峰小时发生时间

(1) 决定车站规模的进站客流最大时段并非全部发生于工作日

根据轨道交通车站附近土地利用类型影响，不仅车站进站客流的时间分布会有所区别，且不同用地类型的车站工作日与周末的客流特征也存在明显差异。从形态上看，目前北京 231 座车站可归纳为如下七类：

居住类。此类车站周边用地以居住类为主，多数位于近郊区和边缘组团，工作日进站客流时间较为集中，在时间上具有明显潮汐性，进站时间分布呈单峰形态，早高峰时段以进站客流量为主；居住类车站工作日与周末进站客流规模及时间分布均存大较大差异。

办公类。此类车站工作日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；与居住类车站相类，办公类车站工作日与周末进站客流规模及时间分布也存大较大差异。

对外场站类。此类车站客流全日时间分布较为均匀，客流分布随时间呈抖动趋势，工作日及周末客流进站规模均较高，无明显的低谷，客流与该类车站所服务的枢纽中其它方式（列车、航班、长途客车）的发车时刻密切相关。

混合类。此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+商业、居住+办公类等。通常情况下此类车站两个高峰峰值存在一定差异。

商业及文体景区类。此类车站多数位于大型商业中心或体育娱乐中心周边，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。通常情况下此类车站周末进站量高于工作日。

公交枢纽类。此类车站服务于北京市大型公交枢纽，工作日进站时间分布有两个高峰；周末客流小于工作日，且无明显早晚高峰。

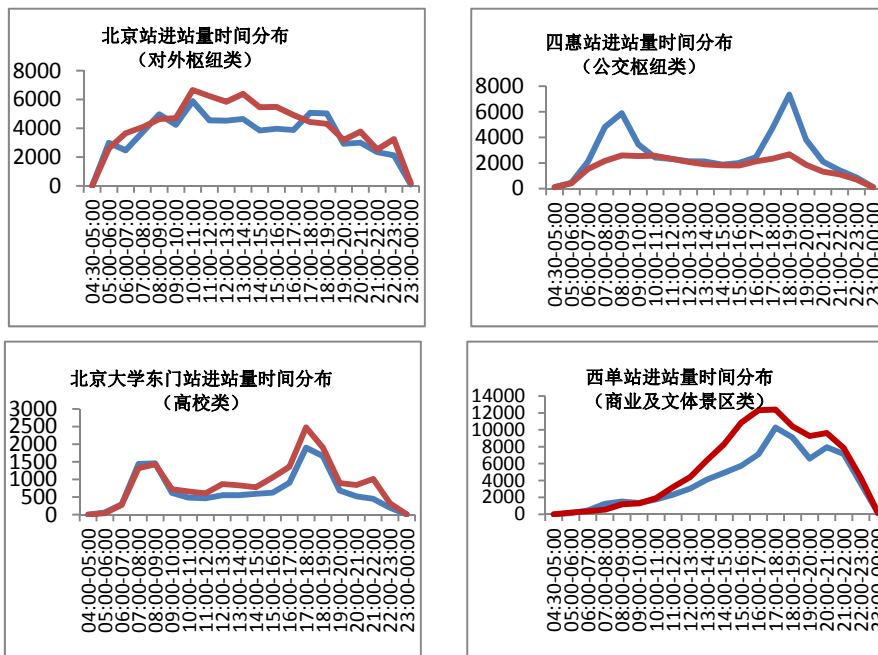
高校类。此类车站位于高等院校周边，由于白天学生在校学习，上午进站客流较少，下午至晚上进站人数逐渐增加，周末进站量一般高于工作日。

工作日日均进站量大约为周六的 1.28 倍，是周日的 1.36 倍，需特别注意的是，并非每个车站周末进站人数均低于工作日。统计显示，商业及文体景区类、对外枢纽类、高校类等车站周末进站量普遍还要高于工作日，其中高校、商业及文体景区类车站增加幅度超过 15%。表 1 将各类型站点分用地性质进行归类，设工作日进站量为 1 分别计算周六及周日客流变化情况。

表 1 不同用地类型车站工作日及周末进站量关系

进站量	居住	办公	商业及文体景区	对外枢纽	公交枢纽	高校	混合
工作日	1	1	1	1	1	1	1
周六	78.4%	60.6%	115.3%	111.2%	82.2%	129.6%	73.0%
周日	72.9%	54.6%	117.1%	114.1%	81.8%	127.4%	67.8%

此外，与全网客流进站时间工作日与周末时间分布存在明显区别不同，商业及文体景区类、对外枢纽类、高校类等工作日及周末客流进站时间分布形态基本一致，典型车站进站客流随时间分布如图 3 所示。



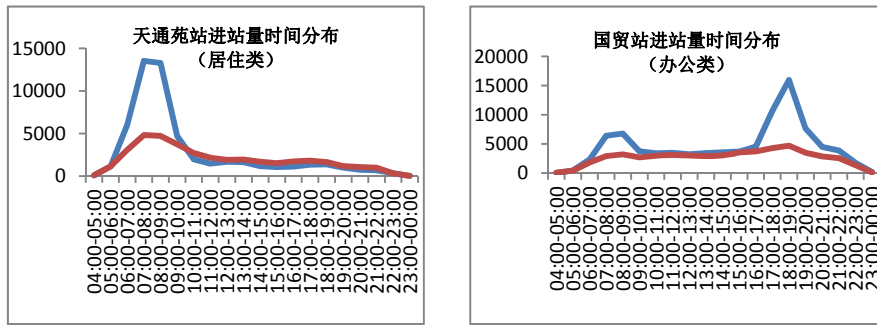


图3 典型车站工作日与周末进站量时间分布（蓝色-工作日，红色-周末）

(2) 并非所有车站客流高峰小时出现在早晚高峰

通过对各车站最大小时进站量的发生时间及比例进行统计，结果显示，车站进站客流平均高峰小时系数为 18.22%，其中，T2 航站楼高峰小时系数最低，仅为 8.3%；沙河高教园高峰小时系数最大，达到 34.7%。总体看来，居住类车站高峰小时系数普遍较高，对外枢纽类车站则是整体偏低。

不仅各站高峰小时系数差异明显，而且不同类型车站高峰小时的发生时间也存在差别。数据显示，进站高峰小时发生在 7:00 至 9:00 车站比例为 57.6%，发生在 17:00 至 19:00 的车站比例为 39.7%。另有 2.7% 的车站高峰小时发生在其它时段，此类车站主要涉及对外枢纽类、商业及文体景区类，非典型车站高峰小时发生时段及比例见表 2。

表 2 非典型车站高峰小时发生时段及比例

车站	高峰小时时间	高峰小时比例	站点周边用地性质
北京站	10: 00-11: 00	8.37%	对外枢纽
T2 航站楼	10: 00-11: 00	8.33%	对外枢纽
北京西站	15: 00-16: 00	8.38%	对外枢纽
天安门东	16: 00-17: 00	11.60%	商业及文体景区
动物园	16: 00-17: 00	15.22%	商业及文体景区
奥体中心	21: 00-22: 00	14.96%	商业及文体景区

通过以上分析可得出：由于车站用地类型不同，进站客流的规模和时间分布，特别是工作日与周末的客流特征存在较大差异，商业及文体景区类、对外枢纽类、高校类等车站周末进站量高于工作日，且决定车站规模的进站客流最大时段并非全部发生于工作日。因此，在规划设计工作中要特别注意，不能一概用工作日线路高峰时段或工作日车站高峰小时的车站上、下车客流作为确定车站规模的依据。这就要求在线路可行性研究阶段及初步设计阶段的客流预测工作中，对于大型客流集散车站，特别是设置在对外枢纽、商业中心和文化体育活动场所的站点，除给出常规客流预测结果外，还应分析此类车站周末及节假日乘降量及其对线路高峰小时最大断面客流量和站点进、出站量的影响。

3. 车站客流规模及空间分布

(1) 单站进站客流规模相差近 140 倍

车站客流规模受站点周边用地类型、开发强度及程度等因素影响较大，通过对 2013 年

7月所有工作日进站量均值进行统计，结果显示，北京轨道交通系统日均进站乘客为554万人次，各站全日进站客流规模从0.07万至9.70万人次不等，相差近140倍速。进站量低于1万人次的车站比例为24.4%，1至2万的车站比例为26.7%，7至8万的车站为2.2%，8万以上的车站比例为0.9%。通过对各站进站高峰小时客流进行统计，一小时内车站进站最大值从160人至15990人次之间，平均每站服务进站乘客4136人次/高峰小时。

(2) 仅39%的车站达到平均进站量以上

各车站全日进站量排序分布见图3，空间分布不均衡特征明显。平均每个车站服务进站乘客约为2.4万人次，231个车站中只有90座达到平均进站量以上，比例仅为39%。进站量位于前20%的车站服务乘客总数占至全部进站客流的44.1%，而进站量位于后20%的车站仅占全日所有进站量的4.6%。进站量位于前十位的车站集中分布在公交枢纽及对外枢纽附近，总进站量约为75万人次，占有乘客的14.1%。进站量后十位的车站主要分布于郊区线四环以外的位置，车站周边土地处于待开发或开发强度较低水平，总进站量为1.9万人次，仅占有进站客流的0.36%。

(3) 进站量空间分布中心城高于外围

车站进站量排序如图4所示，进站客流分布呈现中心城高外围低的趋势，一方面受城市空间布局 and 开发强度的影响，各地区的出行产生和吸引存在差异；另一方面，现有服务水平下，轨道交通全行程速度仅为小汽车的79%，长距离出行与小汽车相比无明显竞争优势，对外围地区居民吸引力不高，而轨道交通主要吸引目标人群正是此部分中长距离出行的乘客。

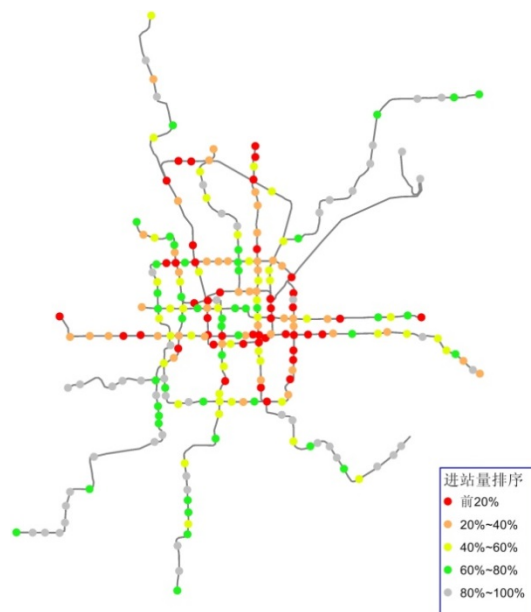


图4 各车站全日进站量排序

4. 换乘站客流构成及服务水平

(1) 换乘系数高

目前北京轨道交通系统日均客流量1010万人次，其中换乘量455万人次，换乘系数为

1.82，其中换乘 1 次的乘客占总客流量的 59.3%，换乘 2 次及以上的占到 10.1%。由于城市规模大、出行距离长，且是平原式的地形，功能区布局又相对分散，因此城市缺少 OD 集中的客流走廊，并且北京轨道交通线网布局呈方格加环线形态，多种因素导致北京轨道交通换乘系数和换乘量均高于国内其它城市。

(2) 被动换乘是导致换乘量高的原因之一

调查显示，37 座换乘车站日均乘降量为 20.2 万人次/站，是普通站乘降量（8.5 万人次/站）的 2.38 倍；平均每个换乘站承担换乘量 12.7 万人次/日。换乘车站中，全日乘降量及换乘量最大的均为西直门站，分别为 49.7 万和 34.4 万。换乘量占车站乘降量的比例范围从 31.0% 至 93.1% 不等，平均值达到 63.1%，其中换乘比例最高的为郭公庄站，达到 94%，主要原因是房山线（郊区线）为半径线，在郭公庄站与 M9 形成单点换乘，一方面，房山线乘客进入中心城内部的需求较高，该线终点郭公庄站并非主要客流吸引点；另一方面该线路仅有唯一换乘点，造成大量客流在此被动换乘。各换乘站乘降量及换乘量比例见图 5。

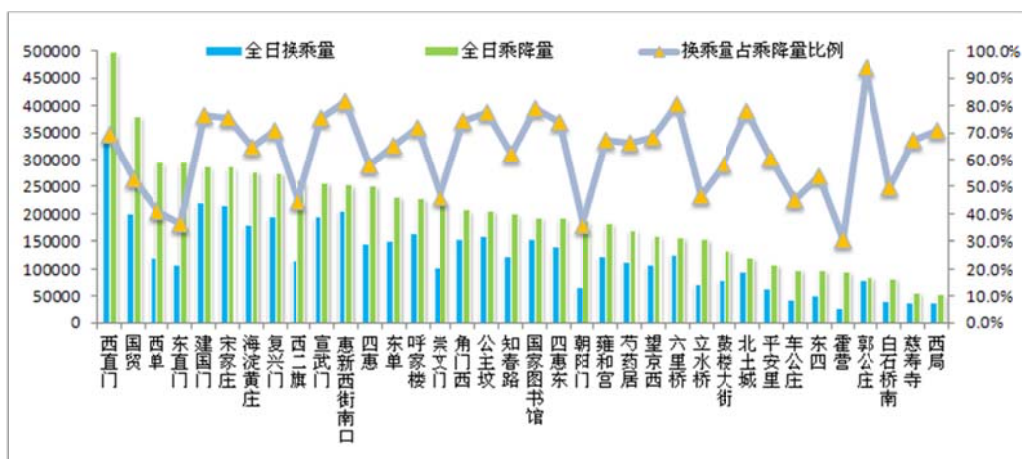


图 5 换乘站乘降量与换乘量

5. 车站限流原因及影响

北京现有 42 个常态限流车站，占车站总数的 18.2%。限流车站普遍情况为站点周围用地性质较单一，多以居住类为主，区域内职住自平衡能力较弱，进站客流时间相对集中且有明显的潮汐性。运力明显不足的线路包括 M5（15 座限流车站，占线路总车站数的 65.2%）和八通线（10 座限流车站，占线路车站数的 76.9%）。限流的原因一方面是高峰时段进站客流规模过大，车站设施及设备所能提供的服务能力受限，例如高峰小时进站量前 10 位的车站有 7 个常态限流；另一方面受高峰小时线路运送能力影响导致列车过早饱和，无法满足线路中段乘客后续上车需求，例如：九棵树站、惠新西街北口站。2013 年第三季度北京轨道交通限流车站位置见图 6。



图 6 2013 年第三季度北京轨道交通限流车站位置

由于部分车站采取高峰时段限流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，居民通勤出行需求可能通过错峰上下班和方式转移被抑制，通过目前轨道刷卡数据或人工调查统计的轨道方式高峰小时系数很可能低于实际的需求。若车站能力可满足需求不需采取限流措施，则现状轨道交通进站客流规模将进一步提高，进而对车站设施及设备规模提出更高要求。

6. 进出站客流接驳体系

相较于其它方式，轨道交通站间距较大，其覆盖范围及吸引范围有限，难以做到门到门服务，仅依靠轨道交通系统自身集散客流是不够的，只有通过与其他方式紧密衔接起来，才能使城市轨道交通系统发挥最大作用。

(1) 对外枢纽及公交枢纽类车站吸引客流量大

对比工作日与周末排名前十位的车站可以看出，工作日办公类车站客流较多，周末则是商业类客流较高；对外枢纽类及公交枢纽类车站每日进站客流总量均比较靠前，由此可以判断城市对外、对内接驳方式对轨道交通客流贡献较大。

表 3 工作日及周末进站前十名车站排名

车站	用地性质	工作日排名	车站	用地性质	周末排名
东直门	公交枢纽	1	西单	商业	1
国贸	办公	2	北京站	对外枢纽	2
西单	商业	3	北京西站	对外枢纽	3
大望路	混合	4	东直门	公交枢纽	4
西直门	公交枢纽	5	西直门	公交枢纽	5
西二旗	办公	6	北京南站	对外枢纽	6
北京站	对外枢纽	7	王府井	商业	7
北京西站	对外枢纽	8	国贸	办公	8
三元桥	混合	9	大望路	混合	9
崇文门	混合	10	前门	公交枢纽	10

（2）步行为轨道交通主要接驳方式

调查结果显示（图7），北京轨道进出站衔接方式构成中，步行占据绝对主导地位，56%以上的乘客直接通过步行方式到达或离开车站，常规公交是除步行以外轨道交通乘客最主要的衔接方式，这一比例达到34.1%。进出站衔接方式的选择与车站所在区位有显著关系：位于核心区的车站步行衔接比例高达76.6%；随着轨道车站密度的降低，单个车站的服务范围增大，轨道交通与地面公交、出租车、非机动车等方式的组合出行量也逐步增长；位于线路端点的车站公交接驳比例大幅上升，达到42.9%。

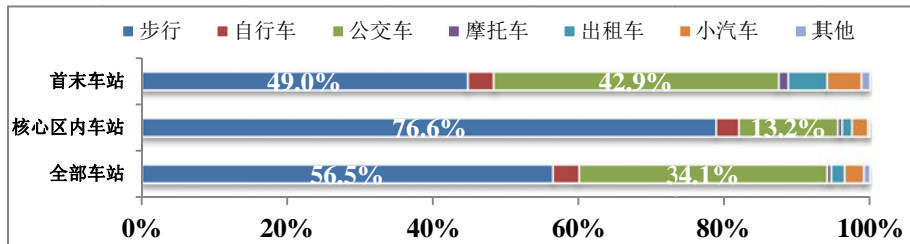


图7 北京轨道交通进出站接驳方式比例

7. 思考与启示

一直以来，北京市都坚持公众利益优先和效率最优原则，落实优先发展公共交通政策。随着社会经济的快速发展，轨道交通需求的高增长和多样化特征将更为突出，考虑到出行者的需求实际上具有一定差异，设计并提供不同等级的轨道交通服务将成为一种趋势，这就对轨道交通规划、设计及运营人员提出更高标准和要求。通过本文分析，可以考虑从以下角度提供轨道交通差别化、精细化的服务：

（1）轨道交通应建立多层次的轨道交通系统和多样化的轨道运营组织方式

随着城市发展，人们对出行效率的要求越来越高，线网规划时可考虑在站点密度较（例如2015年二环内轨道车站1km覆盖人口比例将达到95.2%）且容积率较低的核心区减少设站，对进站量排名靠后的车站可以建立越行线、大站快线等多种运营组织，改变目前“站站停”的单一组织方式，提升轨道交通旅行速度，从而吸引更多长距离的乘客使用轨道交通。

（2）详细分析车站高峰小时发生时间及客流规模，为车站设计提供更为可靠的量化依据

由于决定车站规模的进站客流最大时段并非全部发生于工作日或早晚高峰，因此仅给出常规客流预测结果是不够的。车站内部组织应以提高乘客服务水平为出发点，根据站点所处的区位功能特征、线路的功能层次、相交线路数量、周边用地性质、客流量级、客流匹配关系等因素进行车站分类，对于不同功能、类别车站，采用不同的设计标准。

（3）重视换乘车站自身布置和规划并从拓扑关系层面优化线网衔接结构

换乘车站是线路与线路之间的结合点，其服务水平直接决定了轨道交通系统的运行效率和吸引力。随着今后线网规模扩大，换乘比例和换乘客流将进一步增加，轨道交通的建设和发展对换乘客流预测的准确性和前瞻性以及换乘设施的设计提出了更高的标准和要求。不仅

要从线网规划层面优化线网衔接结构,例如外围线路与中心城线路的衔接尽量创造多点换乘条件,不同线路间换乘车站布局上优先考虑同台换乘等,还要重视换乘车站自身的布置和规划,包括运能匹配性(站台人数)、换乘便捷性(换乘时间,换乘流线顺畅性)、设施能力(超高峰饱和度,楼梯扶梯端部拥堵人数,站台人流密度)和换乘舒适性等。

(4) 注意车站限流后表现出的客流特征与实际需求不完全对称

车站限流实质上是由于轨道供给与实际需求不匹配造成的,受限流影响,居民错峰出行或选择其它方式,因此,通过目前轨道刷卡数据或人工调查统计的轨道方式高峰小时系数低于实际的需求,后续线路在设计和建设时应充分考虑此因素并吸取以往教训,在轨道客流预测及运营组织中注意留有余地。

(5) 根据车站所处区位特征做好差异化接驳服务, 统筹规划并力争同步实施

根据区位特点做好差异化接驳设施对提高轨道交通吸引力和服务水平至关重要。对于中心城内车站分布密度高、步行进站比例大的特点,需继续加强车站一体化设计工作,接驳重点放在车站与周边建筑“无缝衔接”,最大限度的人车分流。线路起终点通常情况下是与其他交通子系统换乘接驳的重要节点,所以此类车站出入口的设置应与公交站点、出租车停车区、自行车停车场及人行过街设施配置相匹配,接送距离轨道站点较远的居民使用轨道交通,以充分发挥车站的辐射作用,实现轨道交通、公交、小汽车等交通方式的融合,从而提高轨道交通的可达性和服务范围,达到提高城市公共交通服务水平的目的。

因此,在加速轨道交通建设的同时要注意提供差别化、精细化的服务,才能提高轨道交通吸引力、最大限度挖掘公共交通潜力,促使轨道交通为居民出行发挥更大效用,实现交通与城市和谐发展。

【参考文献】

- [1]毛保华.城市轨道交通规划与设计[M],北京:人民交通出版社,2011.5.
- [2]刘剑锋,罗铭,马毅林,王静等.北京轨道交通网络化客流特征分析与启示[J],北京:都市快轨交通,2012.10.
- [3]王静,刘剑锋,孙福亮.北京市轨道交通线网客流分布及成长规律[J],北京:城市交通,2012.3.

【作者简介】

王静,女,硕士,北京交通发展研究中心,工程师。电子信箱:wangj@bjtrc.org.cn

刘剑锋,男,博士,北京交通发展研究中心,高级工程师。电子信箱:ljf@bjtrc.org.cn

马毅林,男,硕士,北京交通发展研究中心,工程师。电子信箱:mayl@bjtrc.org.cn