

Passenger Flow Characteristics and Control Strategy Analysis of Beijing Rail Transit Line 5

Yu Zhao*, Meijie Jia, Huijuan Zhou

Beijing Key Lab of Urban Intelligent Traffic Control Technology, North China University of Technology, Beijing
Email: *up2u@sina.com

Received: Oct. 21st, 2016; accepted: Nov. 5th, 2016; published: Nov. 8th, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

The paper analyzes the passenger flow characteristics from the perspectives of time, space, sites of Beijing subway line 5 and analyzes the control strategy based on metro company original card data. It will provide support and suggestions on organization and operation of passenger flow in subway. The result shows that the passenger flow appears unbalance status on each section of the line because of the difference in land use along the line. The passenger flow distribution of the whole day presents a double-peak pattern and the two-way passenger flow distribution of the whole day appears fusiform. There is a huge difference between different stations on the amount of the inbound and outbound passengers during the morning and evening peak hours. That is, stations at both ends of the line have large inbound passengers and stations in the downtown area have large outbound passengers in the morning peak hours. However, the passengers in evening peak hours are exactly the opposite.

Keywords

Urban Rail Transit, Passenger Flow Characteristics, Temporal and Spatial Analysis, Passenger Flow Distribution, Sectional Passenger Flow

*通讯作者。

北京城市轨道交通5号线客流特征及控制策略分析

赵宇*, 贾梅杰, 周慧娟

北方工业大学城市道路交通智能控制技术北京市重点实验室, 北京
Email: up2u@sina.com

收稿日期: 2016年10月21日; 录用日期: 2016年11月5日; 发布日期: 2016年11月8日

摘要

利用轨道交通刷卡原始数据, 从全网客流、客流的时空分布、断面客流满载率等方面, 对北京城市轨道交通5号线进行客流特征提取和时空分析, 为轨道交通的客流组织、客流控制及运营提供参考及支持。结果表明, 受城市空间布局以及土地利用性质等因素的影响, 5号线的断面客流不均衡现象非常明显; 全天客流分布为“双峰形”, 全天双向断面客流分布为“纺锤形”; 早晚高峰期间不同站点间进出站客流量相差巨大, 早高峰时南北两端车站进站客流量大, 而市中心区域车站出站客流量大; 晚高峰却正好相反。

关键词

城市轨道交通, 客流特征, 时空分析, 客流分布, 断面客流

1. 引言

面对日益拥堵的地面交通和增长迅速的交通需求, 近年来北京地铁的建设已经进入到高速发展的阶段。根据《北京市城市轨道交通第二期建设规划(2015~2021年)》, 到2021年, 北京将建成24条线路、998千米的轨道交通网络, 届时轨道交通占公共交通出行量比例将达到62%。北京地铁线网规模逐步扩大, 探寻客流特征的工作更加受到重视, 把握客流特征和客流规律对于今后进一步提高规划水平、客流预测以及运营管理等具有重要作用。

2. 运营概况

北京地铁5号线南起丰台区宋家庄交通枢纽, 由南向北经过蒲黄榆路、天坛东路、崇文门外大街、雍和宫大街、惠新西街、北苑路, 终点位于北端太平庄地区的天通苑北站, 线路全长27.6 km, 共设23座车站, 其中10座换乘站。图1为北京市轨道交通5号线运营线路图, 文献[1]根据各车站客流特征把不同车站进行分类。

5号线是轨道交通线网规划中贯穿旧城区的南北直径线, 为一类骨架线路, 线路位于城市中轴线东侧, 南北向连接丰台、东城、朝阳、昌平4个区。连接了主城的中心与北部的北苑边缘集团, 中间服务于亚运村等高密度居住区、老城中心的王府井商业圈、东单大街、南部服务千方庄大型居住区。北京地铁5号线在北京乃至全国城市轨道交通建设史上有着其重要的地位, 是一条具有示范效应的典范工程及重要的里程碑[2]。

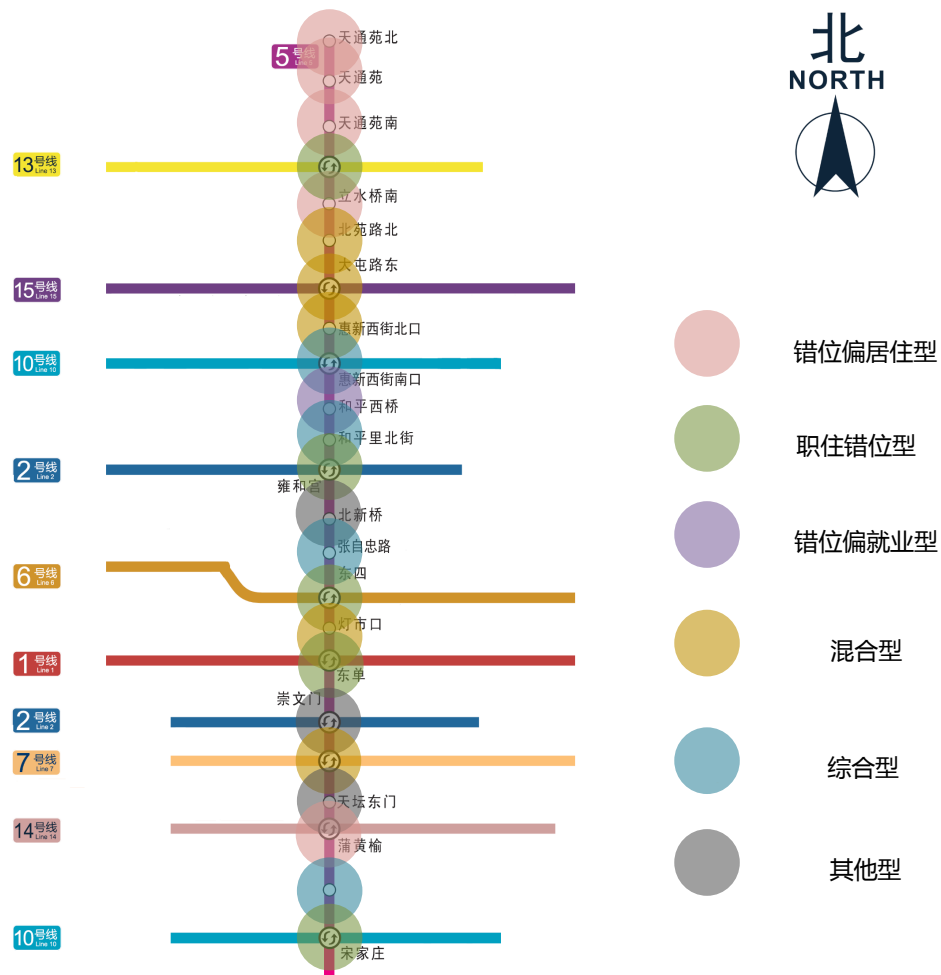


Figure 1. Operation route diagram of Beijing rail transit line 5
图 1. 北京市轨道交通 5 号线运营线路图

3. 客流特征

轨道交通的线路位置、运输能力、投入使用时间长短、沿线土地的应用性质等都是影响客流分布特征的因素。随着轨道交通的修建，沿线土地的开发会逐步加强，从而吸进更多的客流采取轨道交通作为出行工具。修建轨道交通可以增加整个轨道网络的可达性，可提升整个网络的服务水平变，使客流交换更加频繁。影响客流分布的因素多且复杂，需要在分析客流特征的同时注意不同因素带来的影响。

3.1. 地铁 5 号线对全网的影响

从 2007 年 10 月地铁 5 号线正式投入运营开始，5 号线就被称为连接南北的黄金动脉。地铁 5 号线在 2007 年 10 月开通之后对北京地铁全网的客流量的承担着重要的作用，表 1 为北京地铁日均客运量最多的前 5 名，在北京市全网 18 条线路中，5 号线承担了日均 85.4 万人次的客流量，排在全网线路中第 5 名[3]。随着北京市轨道交通网络化的快速发展，线路与线路之间的客流交换越来越频繁，日均客运量排名前 4 的线路的客流量都呈现下降趋势，而 5 号线则呈现出不减反增的趋势，凸显出“黄金动脉”的重要性。

Table 1. Daily passenger volume of part lines
表 1. 部分线路日均客运量

线路	日均客运量(万人次)		
	2014 年	2015 年	增幅
10 号线	168.9	144.4	-14.5%
4 号线 - 大兴线	126.3	117.7	-6.9%
1 号线	123.4	107.5	-12.9%
2 号线	116.8	100.8	-13.7%
5 号线	84.7	85.4	0.8%

3.2. 客流的时间分布特征

3.2.1. 一周客流分布特征

5 号线一周的客流分布情况如图 2 所示, 由于 5 号线开通年限较长且是连通北京城南北的唯一一条地铁, 乘客选择乘坐地铁 5 号线已经成为一种习惯, 工作日的客流分布情况较为平稳, 没有过大的客流变化, 星期一到星期四的客流量维持在 107 万人次上下, 星期五为工作日的最后一天, 客流量会增多到 111 万人次, 星期六、星期日为休息日, 客流下降较大, 其中星期日的客流量最小, 平均在 65 万人次左右。

3.2.2. 全天客流分布特征

地铁 5 号线全天的客流分布为“双峰型”, 乘客主要出行目的为通勤, 工作、上学的人群每天在固定的时间乘坐地铁, 所以全天的客流波动状态呈现早晚两个高峰[4]。5 号线一天各小时客流分布如图 3 所示, 早高峰出现在 7:00~9:00 之间, 早高峰小时系数[5] (早高峰小时进站量/全日进站量)为 13.9%, 晚高峰出现在 17:00~19:00 之间, 晚高峰小时系数(晚高峰小时进站量/全日进站量)为 11.1%, 早高峰的客流量要比晚高峰多。早高峰两个小时(7:00~9:00)与晚高峰两个小时(17:00~19:00)的客流量占全日客流出行比例的 46.2%, 平峰期间客流较均匀。

3.3. 客流的空间分布特征

3.3.1. 客流双向分布特征

5 号线上下行客流分布如图 4 所示, 5 号线一天的双向客流呈现“双向峰型”。5 号线北端沿线如天通苑北站、天通苑站等站点周边为大型居住区域, 早高峰期间客流的主要构成为上班、上学等通勤客流, 由北向南乘车的乘客数量巨大, 客流量明显高于由南向北乘车的乘客。5 号线南端沿线如宋家庄站、刘家窑站、磁器口站等周边区域主要为商业、工业、住宅等综合性用地, 晚高峰期间客流的主要构成为下班、下学人员等客流, 因此由北向南的客流多于由南向北的客流。

3.3.2. 全天断面客流分布

断面客流量指在固定的时间内(一小时或一天等)通过某两个车站区间的客流数量, 5 号线的全天断面客流分布较为均匀, 呈现“纺锤形”(如图 5 所示)。断面客流量较大的断面是连续的, 从东单、灯市口、东四等车站一直到惠新西街北口都处于客流量较大且均匀的状态, 从地理位置考虑, 断面客流量较大的车站位于南二环到北三环之间, 断面客流量最大的区域是从灯市口到东四区段, 全天上行断面客流量为 232,917 人, 全天下行断面客流量为 224,163 人。

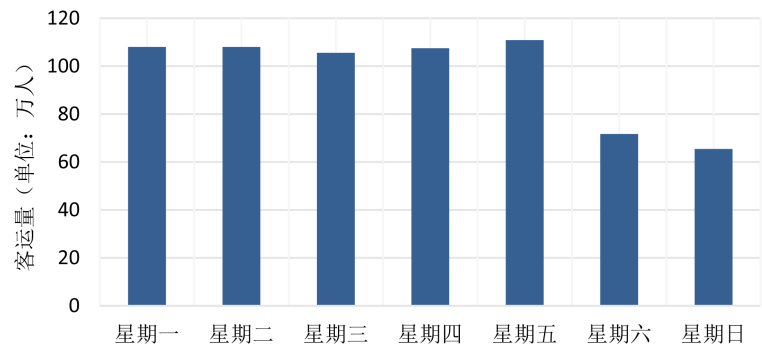


Figure 2. Weekly passenger flow distribution
图 2. 一周客流分布图

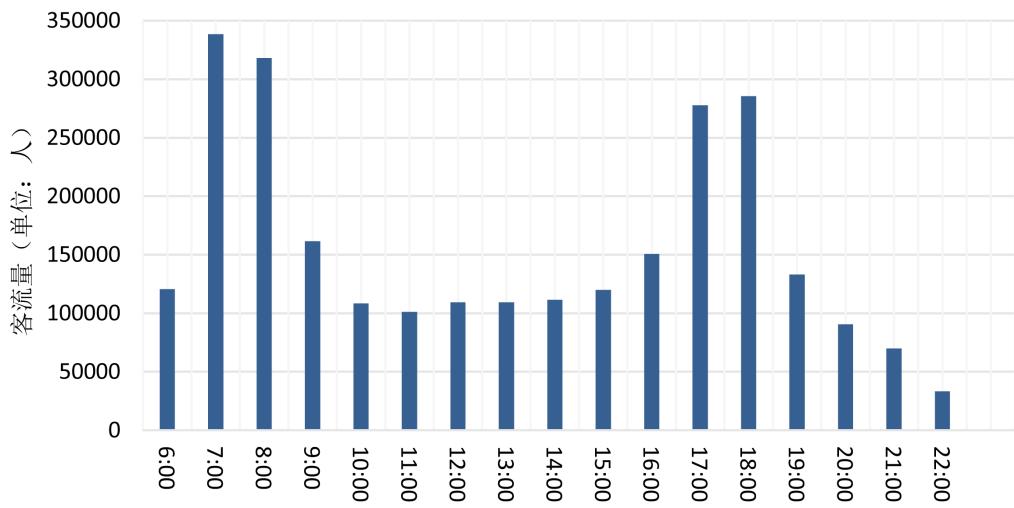


Figure 3. Hourly passenger flow distribution
图 3. 一天各小时客流分布图

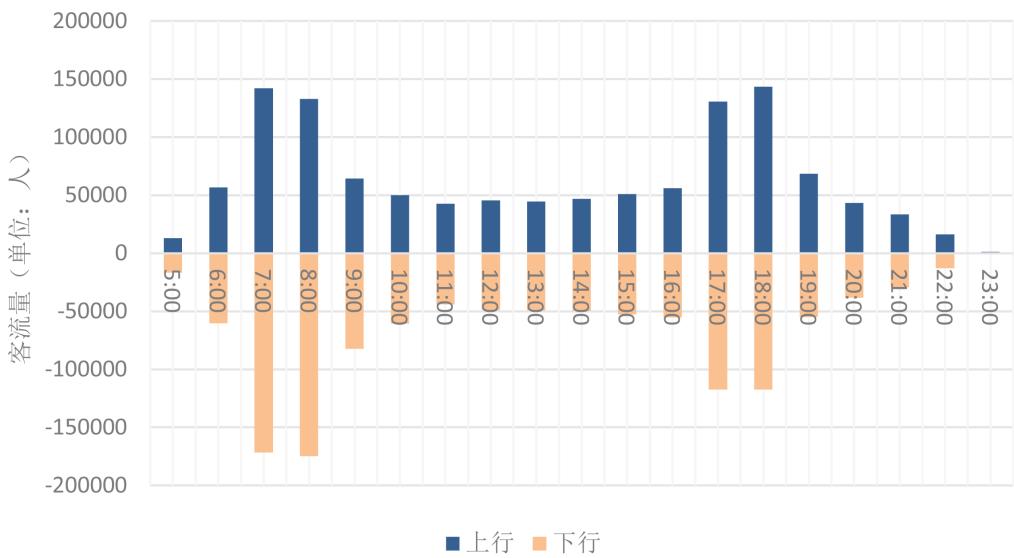


Figure 4. Upstream and downstream passenger flow distribution
图 4. 上下行客流分布图

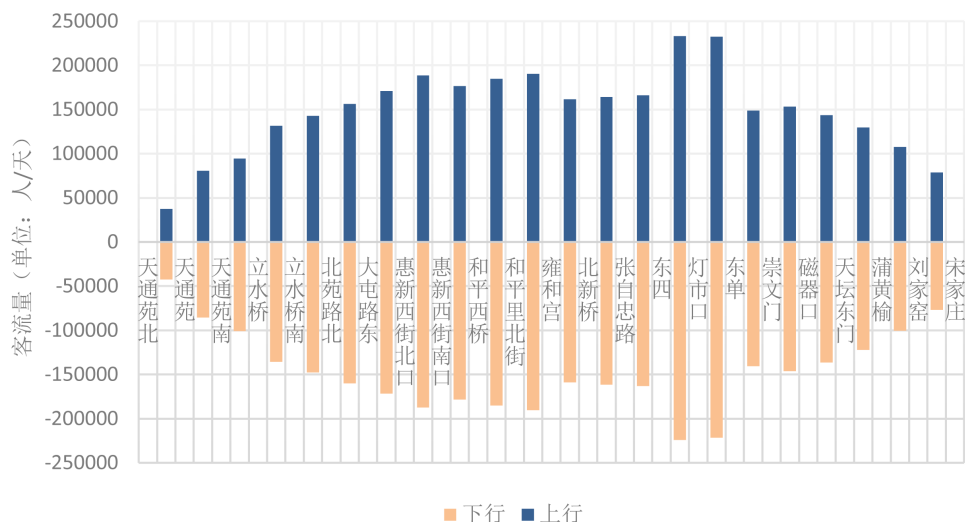


Figure 5. All day sectional passenger flow distribution
图 5. 全天断面客流分布

3.3.3. 早晚高峰期间双向断面客流分布

5 号线早晚高峰期间双向断面客流量如图 6、图 7 所示，早晚高峰期间双向断面客流满载率如图 8、图 9 所示，选择采集早高峰客流数据的时间段为 7:00~9:00，晚高峰对应的时间段为 17:00~19:00。5 号线为连接市郊的轨道交通线路，早晚高峰时间段内通勤客流对断面客流的影响最为突出，5 号线的早晚高峰断面客流呈现的潮汐现象比一般线路更加明显，且影响广泛[6]。5 号线的列车编组采取 B 型车 6 节编组，根据《城市轨道交通工程设计规范》[7]，车辆定员时的乘客站立密度为 6 人/m²，此时满载率为 100%，根据研究，当密度大于 6 人/m²时乘客活动艰难，非常拥挤，等待上车的乘客难以进入车厢[8]。

早高峰期间下行客流巨大，从立水桥站到雍和宫站区段内的早高峰小时断面客流量几乎都超过 3 万人，平均客流量为 34,134 人，客流满载率均大于 100%，其中惠新西街南口站到惠新西街北口站的断面客流量最大，为 38,010 人，客流满载率为 132%，客流到达雍和宫站后换乘量较大，经过换乘后的雍和宫站到北新桥站断面客流量降为 21,214 人。早高峰期间下行方向客流满载率大于 100%的共计有 8 个区间，满载率最大的区间为灯市口站到东单站区间，为 108%。早高峰期间相比下行客流量的巨大，上行客流明显少的许多，仅有东单站到东四站区间断面客流人数多于 3 万人，这说明早高峰期间客流的双向断面分布不均匀，形成这种现象的原因是因为 5 号线周边的土地利用性质和客流结构不同。

5 号线的晚高峰客流分布与早高峰的客流分布基本呈现一个逆向形态，但是平均断面客流量小于早高峰。与早高峰相似，上行断面客流量较大的区段为立水桥站到惠新西街南口站，上行客流满载率超过 100%的有 4 座车站，满载率最大的是惠新西街南口站到惠新西街北口站的 114%，下行断面客流量最大的区段为灯市口站到东单站，满载率为 95%。

断面客流量大的区间一般位于大型换乘站特别是市郊的一些大型换乘枢纽站附近，最大断面客流量一般发身在枢纽站前的区间内，客流到达换乘枢纽站后换乘其他线路或者乘坐其他交通工具，例如 5 号线的立水桥站、惠新西街南口站等。

4. 站点客流分布

4.1. 进出站客流规模相差悬殊

车站的进出站客流数量受沿线土地利用性质、客流结构、开发程度等因素影响，图 10 为 5 号线早高

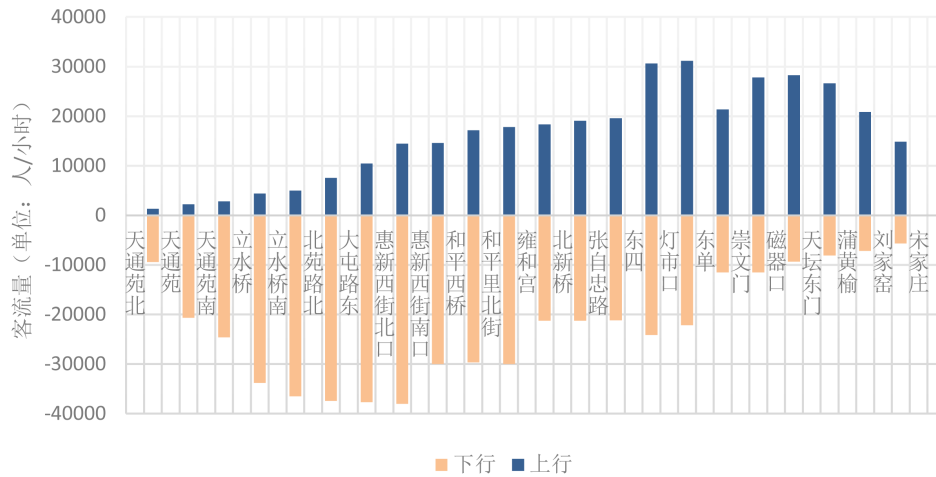


Figure 6. Sectional passenger flow distribution at early peak
图 6. 早高峰断面客流分布

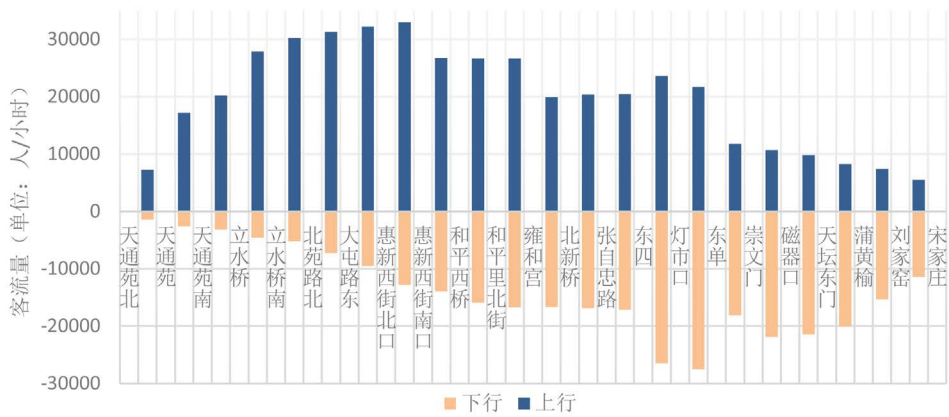


Figure 7. Sectional passenger flow distribution at late peak
图 7. 晚高峰断面客流分布

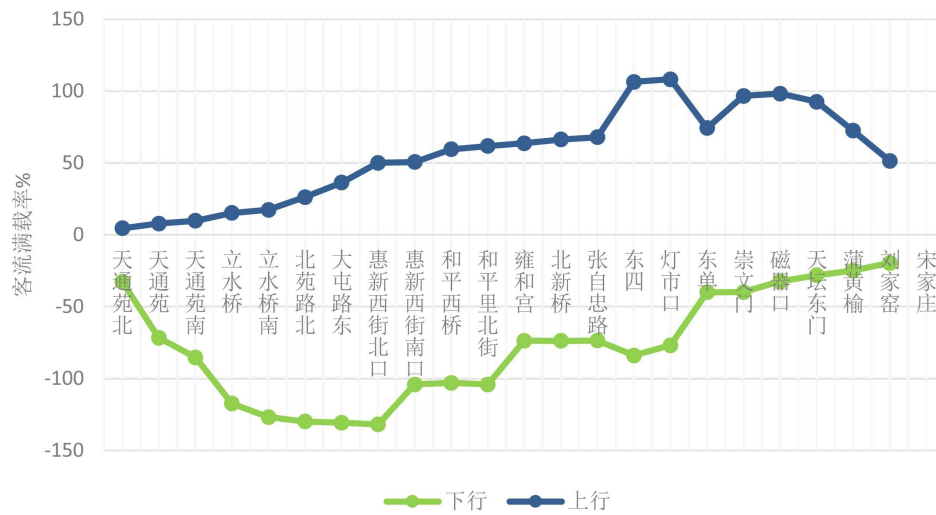


Figure 8. Sectional passenger flow rate at early peak
图 8. 早高峰断面客流满载率

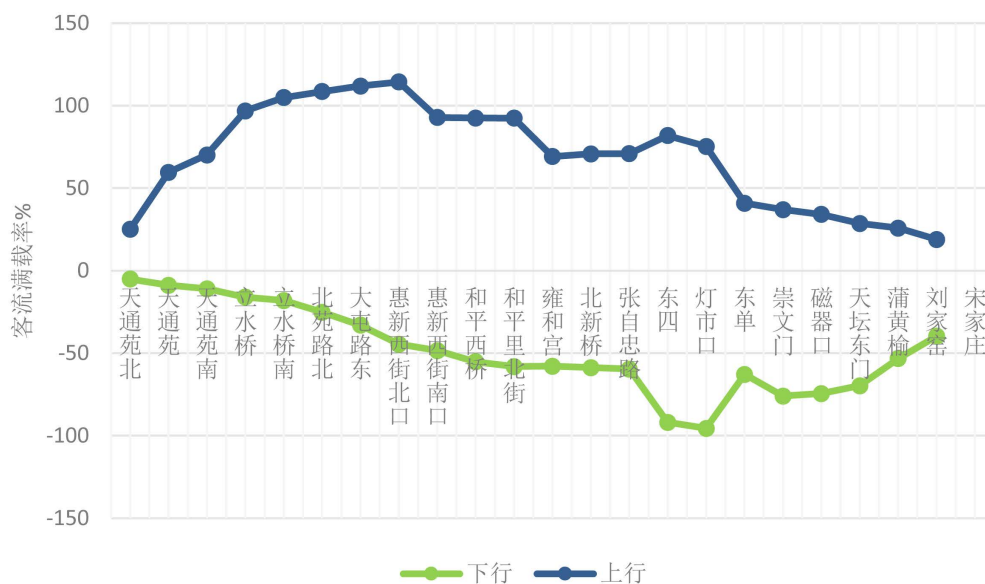


Figure 9. Sectional passenger flow rate at late peak

图 9. 晚高峰断面客流满载率

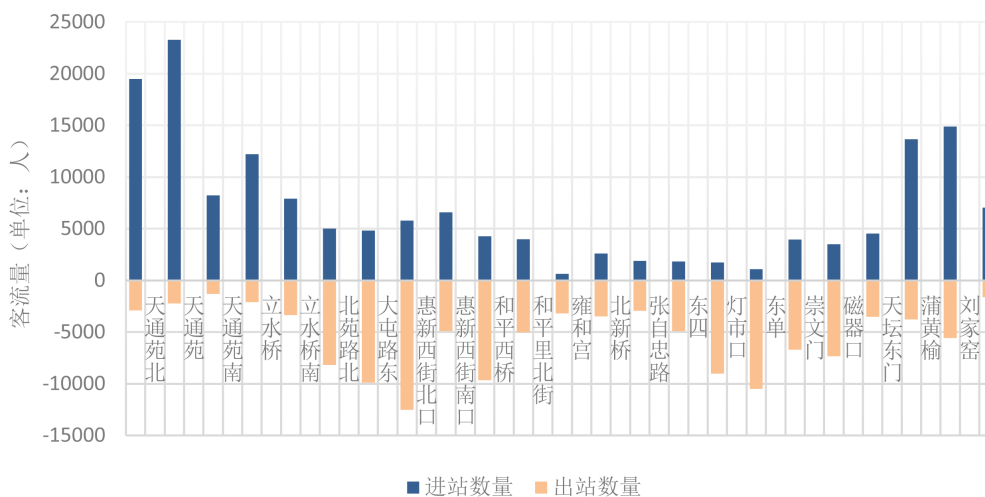


Figure 10. Volume of passengers inbound and outbound at early peak

图 10. 早高峰进出站客流量图

峰进出站的客流量，呈现出远离市中心区域的车站进站客流量较大，出站量较小，而位于市中心区域车站的进站量较小，出站量较大，这再次体现了 5 号线的客流主体为通勤人员的特点。位于市中心区域的车站的进出站客流量比较均衡，而远离市中心区域的车站的进出站客流量差距较为悬殊，天通苑北站、天通苑站的早高峰进站客流量巨大，早高峰期间进站量分别为 19,483 人和 23,270 人，而早高峰期间进站量最小的雍和宫站进站量仅为 622 人。5 号线的常态限流车站有 15 座，在高峰期期间限流车站的客流数量已经超过了列车承载能力，需要在早高峰期间对车站进行常态化限流。

4.2. 车站利用率不均衡

图 11 为 5 号线早高峰进站人数图，高峰期期间 5 号线各站平均乘客进站量为 6908 人，只有 8 座车站的进站量高于 6908 人，比例仅为 35%，进站量位于前 20% 的车站运输的乘客总数占 5 号线全部进站客

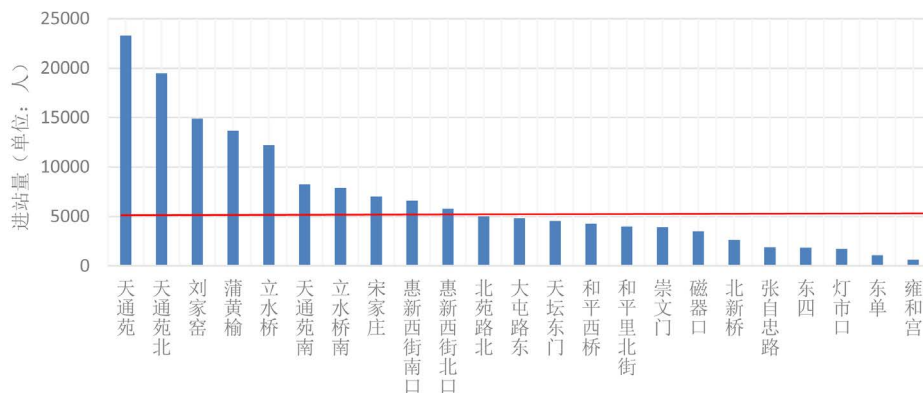


Figure 11. Volume of passengers inbound at early peak

图 11. 早高峰进站人数图

流的 53%，而进站量位于后 20% 的车站运输的乘客总数仅占 5 号线全部进站客流的 5%。进站量最多的 8 个车站均位于 5 号线的南北端，而进站量最少的车站位于北京市二环以内。极大的客流集中在 5 号线的南北端，使得位于南北端的车站在早高峰期间不得不采取限流措施以降低进站量，而位于二环内的车站客流压力则小得多。进站客流呈现中心低、外围高的趋势主要受城市的空间布局以及土地利用性质等原因，而这些因素造成了 5 号线的车站利用率不均衡的问题[9]。

4.3. 换乘站客流的不均衡性

北京地铁 5 号线为连接郊区与市区的市区直径线，在早晚高峰当中绝大多数客流集结在南北端的车站，到达市区之后通过换乘车站到达城市的各个区域，早高峰中从 5 号线刷卡进站的乘客中有 70.1% 的乘客选择换乘其他线路到达城市的各个区域，换乘 10 号线的乘客最多，其次是 1 号线与 2 号线，大量的换乘客流集中在立水桥站、惠新西街南口站与雍和宫站换乘，给换乘车站带来了极大的压力。

换乘站的客流不均衡包括客流数量上的不均衡以及换乘客流方向的不均衡[10]。图 12 为早高峰期间 5 号线 3 个典型换乘车站的客流数量情况，换乘量远远高于进出站的客流量，说明了换乘车站的主要服务对象是换乘客流，同时也对换乘车站的换乘通道以及自动扶梯、楼梯等设施提出较高要求。换乘客流方向的不均衡指的是 8 个不同换乘方向当中换乘数量的差距悬殊。早高峰期间约有 2.4 万人在立水桥站换乘 13 号线，其中霍营站通过立水桥站换乘到 5 号线下行方向的客流最多，约为 1.6 万人次。早高峰期间约有 7 万人在惠新西街南口站换乘 10 号线，其中 5 号线换乘至芍药居方向的客流最多，约为 2.1 万人次。早高峰期间约有 6 万人在雍和宫站换乘 2 号线，其中 5 号线换乘安定门方向的乘客最多，约为 1.8 万人次。

4.4. 站点间客流转移的不均衡性

跟据高峰期的断面客流满载率可知，在早高峰期间当列车经过天通苑北站、天通苑站、天通苑南站、立水桥站这四个车站之后，乘客数量快速增加，满载率远超 100%，而满载率超过 100% 的严重拥挤现象直到列车驶过雍和宫站才得以缓解。大量居住在城市北端的乘客在早高峰期间通过前 4 个车站乘坐 5 号线，大多数乘客的目的车站为惠新西街南口站和雍和宫站，乘客通过这两座换乘车站进入市区内的工作或上学地点。早高峰期间惠新西街南口站共出站 33,370 人，来自前 4 个车站的有 26,484 人，占 79.4%，雍和宫站共出站 24,893 人，来自前 4 个车站的有 9962 人，占 40%。前 4 个站点的乘客去往惠新西街南口站以及雍和宫站的乘客数量统计如表 2 所示，数据显示来自前 4 个车站的乘客有超过半数以上的乘客选择去往惠新西街南口站及雍和宫站。

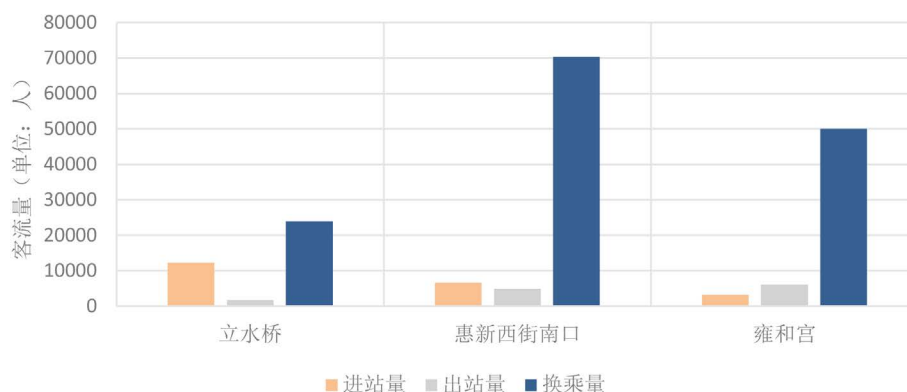


Figure 12. Volume of passengers in transfer station at early peak

图 12. 换乘站早高峰客流量

Table 2. Statistics of passenger whereabouts of part sites

表 2. 部分站点乘客转移统计

车站	共进站人数	去往惠新西街南口站的人数	去往惠新西街南口站的比例	去往雍和宫站的人数	去往雍和宫站的比例	比例共计
天通苑北	17,969	6378	35.5%	2756	15.3%	50.8%
天通苑	21,650	8338	38.5%	3422	15.8%	54.3%
天通苑南	7502	2852	38%	1278	17%	55%
立水桥	22,95	8915	39.6%	2506	11.1%	50.7%

早高峰期间源头车站客流需求大，乘客乘坐地铁行驶距离远，占用运力资源大，客流转移的不均衡性明显，造成长时间多区段满载率高，致使 4 站过后满载率远超 100%，而到 12 站以后才降低。

5. 客流控制策略分析

北京地铁公司公布的 2016 年地铁常态限流车站名单中 5 号线的限流车站已增加到 16 座，由于客流需求量大、城市发展快、土地开发利用变化快等因素造成的 5 号线客流拥挤的现象从开通以来几乎未曾改变。地铁建成后对客流拥挤所采取的措施中最有效果的是分时段限流的方法，而现有的限流措施仅依据经验来控制客流，在运营效率、安全性等角度还有很多提升空间，而如果经过科学的论证，采取严谨的限流措施，则在保障安全性的同时还可以提高效率。

对于一条线路的客流控制应采用“点”、“线”联合控制，把车站作为客流控制的基本单元，从线路的角度考虑每座车站的乘车客流对于整体线路的影响，根据分析结果确定控制策略。

在采取限流措施的时候需要考虑站间客流转移关系及多车站协同控制限流，对每座车站的客流来源进行分析，寻找造成客流拥挤现象的源头车站，对源头车站进行协同限流。早高峰期间 5 号线源头车站对整体线路影响深远，前 4 座车站早高峰的客流需求接近 7 万人，超过 50% 的乘客的目的车站是惠新西街南口站及雍和宫站，源头车站迅速占用运力资源，致使后面车站的乘客难以乘坐地铁，直到雍和宫站运力才得到释放。考虑乘客转移关系，在制定限流策略的时候需对天通苑北站、天通苑站、天通苑南站、立水桥站进行合理的乘客限流，合理分配运力，使得整体线路的效率得到提高。

6. 结论

根据轨道交通售检票历史机刷卡数据分析得出北京地铁 5 号线的时空客流特征、站点客流特征，为

轨道交通的客流组织及运营提供参考及支持。

(1) 地铁5号线全天的客流分布为“双峰型”，早高峰出现在7:00~9:00之间，早高峰小时系数为13.9%，晚高峰出现在17:00~19:00之间，晚高峰小时系数为11.1%。

(2) 5号线的全天断面客流分布较为均匀，呈现“纺锤形”，5号线全天上下行客流分布不均衡系数为1.02。断面客流量最大的区域是从东单到东四区段。

(3) 早高峰期间上行方向惠新西街南口站到惠新西街北口站的断面客流量最大，客流满载率为132%，早高峰期间下行方向满载率最大的区间为灯市口站到东单站区间，为108%。晚高峰期间上行断面客流量较大的区段为立水桥站到惠新西街南口站，满载率最大的是惠新西街南口站到惠新西街北口站的114%，下行断面客流量最大的区段为灯市口站到东单站，满载率为95%。

(4) 5号线早晚高峰期间不同站点间进出站客流量相差巨大，南北端车站进站客流量大，市中心区域出站量大。受城市空间布局以及土地利用性质等因素的影响，5号线的车站利用率不均衡，换乘车站的换乘客流量也不均衡。

(5) 早高峰期间源头车站客流需求大，乘客乘坐地铁行驶距离远，占用运力资源大，客流转移的不均衡性明显，造成长时间多区段满载率高，致使4站过后满载率远超100%，而到12站以后才降低。

基金项目

国家重点研发计划(2016YFB1200402)；北京市教委科技计划项目(KM20140009002)；学科建设 - 城市轨道交通智能控制人才培养项目(XN075)。

参考文献 (References)

- [1] 尹芹, 孟斌, 张丽英. 基于客流特征的北京地铁站点类型识别[J]. 地理科学进展, 2016, 35(1): 126-134.
- [2] 张继菁, 张磊, 刘明. 北京地铁5号线设计技术创新[J]. 都市快轨交通, 2010, 23(3): 23-27.
- [3] 北京交通发展研究中心. 北京市交通运行分析报告[R]. 北京: 北京交通发展研究中心, 2015.
- [4] 刘剑锋, 陈必壮, 马小毅, 等. 城市轨道交通网络化客流特征及成长规律——基于京沪穗深城市轨道交通网络客流数据分析[J]. 城市交通, 2013(6): 6-17.
- [5] 刘娜. 城市轨道交通客流后评估体系及指标研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京交通大学, 2010.
- [6] 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]. 城市交通, 2012, 10(2): 26-32.
- [7] DB11/995-2013 城市轨道交通工程设计规范[S]. 北京: 北京市城乡规划标准化办公室, 2013.
- [8] 吴奇兵, 陈峰, 高永鑫, 李小红, 翟庆生. 城市轨道交通车厢立席密度计算模型[J]. 交通运输工程学报, 2015, 15(4): 101-109.
- [9] 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.
- [10] 王静, 刘剑锋, 马毅林, 孙福亮, 陈锋. 北京市轨道交通车站客流时空分布特征[J]. 城市交通, 2013(6): 18-27.

期刊投稿者将享受如下服务：

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：ojtt@hanspub.org