

北京市轨道交通线网客流分布及成长规律

Passenger Demand Distribution and Increasing Trend over Beijing Rail Transit Network

王 静¹, 刘剑锋¹, 孙福亮^{1,2}

(1.北京交通发展研究中心,北京 100073;2.北京交通大学交通运输学院,北京 100044)

Wang Jing¹, Liu Jianfeng¹, Sun Fuliang^{1,2}

(1. Beijing Transportation Research Center, Beijing 100073, China; 2. School of Traffic and Transportation, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

摘要: 为了应对城市轨道交通快速建设带来的客流规模及分布的变化,有必要对线网客流变化趋势及成长规律进行研究。以北京市轨道交通系统IC卡数据为基础,从客流量的空间、时间分布等角度分析轨道交通网络化运营客流特征。分析轨道交通新线开通产生的诱发客流和转移客流,揭示新线开通对既有线路客流分布的影响。最后,从线网规模、线位、线网布局等方面归纳轨道交通线路及线网客流成长的一般规律。

Abstract: Facing the changes of passenger volumes and distribution caused by the rapid development urban rail transit, it is necessary to study the characteristics and increasing trend of passenger flows over rail transit network. Based on the IC card data obtained from Beijing rail transit system, this paper investigates the characteristics of rail transit network passenger distribution in space and time. By analyzing the induced demand and shifted flow caused by the opening of new subway lines, the paper reveals the effects of new subway lines on the passenger distribution over the existing lines. Finally, the paper summarizes the increasing trends of rail transit network passenger volumes in several aspects: network scale, location of subway lines, network layout, and etc.

关键词: 城市轨道交通;线网;客流分布;客流成长规律
Keywords: urban rail transit; network; passenger demand distribution; increasing trend of passenger flows

中图分类号: U491.1⁺2

文献标识码: A

收稿日期: 2010-12-09

作者简介:王静(1985—),女,北京人,硕士,工程师,主要研究方向:城市轨道交通规划。E-mail:wangj@bjtrc.org.cn

北京市自2007年以来每年至少有1条轨道交通新线投入运营,按照《北京市城市快速轨道交通近期建设规划(2007—2015年)》,未来几年还将有多条线路开通运营。轨道交通线网规模扩展后,沿线地区的居民出行结构会产生较大变化,轨道交通线网客流分布也将随着线路的增加呈现新的特点。例如,线网层面涉及客流总规模、分布特征;线路层面涉及各线路的客流规模、最大断面位置;车站层面涉及车站客流量、换乘量等。随着北京市轨道交通线网规模的不断扩大,对其线网客流分布和成长规律进行及时总结,将为促进轨道交通安全、高效、可持续发展,确保新线顺利开通,以及做好各线路间的运营组织协调提供依据和参考。

1 轨道交通网络化运营客流特征

轨道交通线网的形成是一个有序开发、逐步完善的网络化过程。北京作为中国第一个建设轨道交通的城市,从1965年1号线开工建设以来,截至2010年12月,已开通轨道交通线路14条,总里程达到336 km,共设176座车站^[1](见图1),线网最高日客运量超过650万人次,无论是轨道交通建设速度还是客运规模均位居世界城市前列,其网络化运营特征也正逐步显现。本文以近几年北京市轨道交通系统IC卡数据为基础,分析轨道交通网络化运营客流特征。

1.1 断面流量及方向不均衡性

图2为2010年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号线、5号线、13号线、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。

1.2 进出站客流量

对轨道交通1号线23个车站早高峰小时进出站客流量进行统计(见图3)发现，由于放射线末端

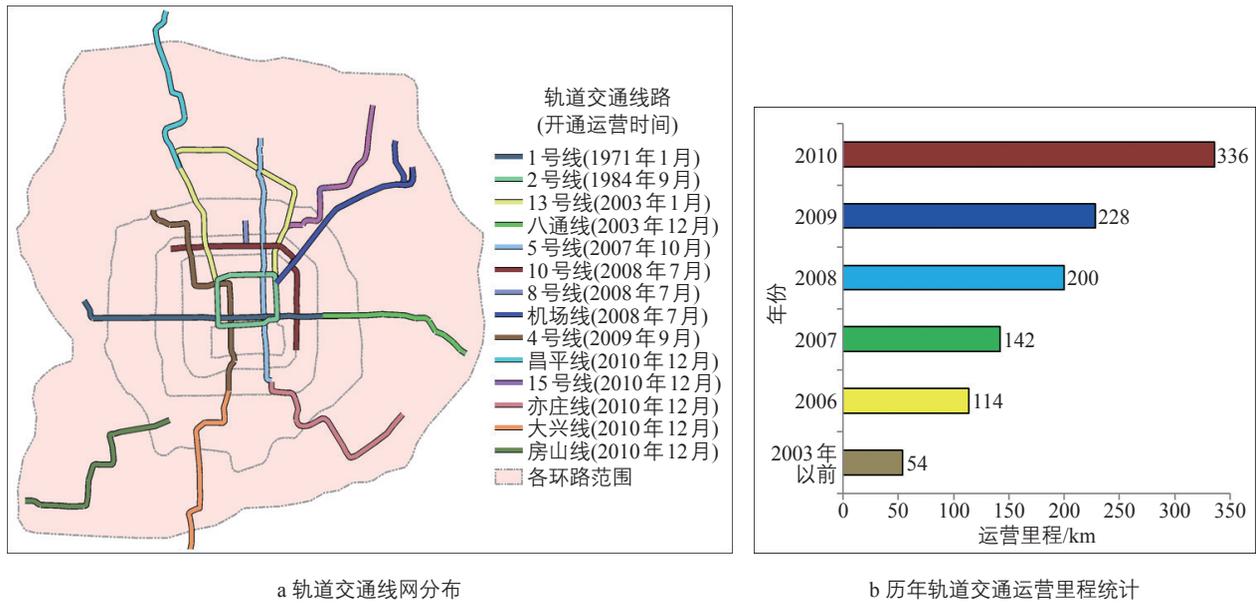


图1 北京市轨道交通发展历程
Fig.1 Development of Beijing rail transit system

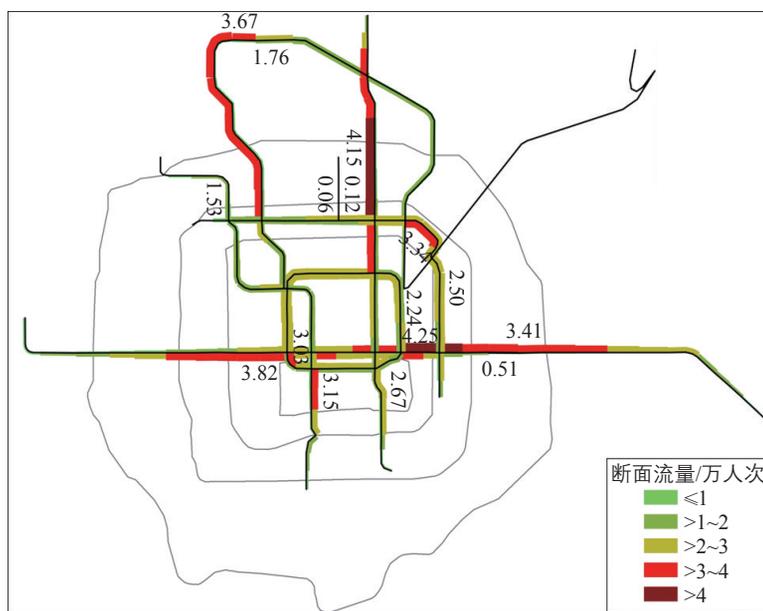


图2 2010年某工作日早高峰小时轨道交通线网断面流量分布
Fig.2 Distribution of rail transit passenger volumes during morning peak hour of a weekday in Beijing in 2010

车站周边一般为大型居住区，客流具有明显的潮汐性特征，因此，在线路末端乘降量中，进站客流占最大或较大比例。对IC卡数据进行分析显示，当车站周边地区用地功能单一时，进站或出站客流往往集中在某几个时段，例如5号线北端途经天通苑社区的车站以及13号线服务上地科技园区的西二旗站，存在早晚错开的进站高峰和出站高峰，加重了线路运营过程中的客流不均衡性。此外，由于就业岗位主要集中在城六区，早高峰出站客流向中心城区方向聚集。

因此，轨道交通进出站客流量特征可归纳为：同一车站进出站客流量以及同一线路不同车站进出站客流量差异均较大。其中，放射线末端进出站客流量差异明显，特别是郊区线，早高峰以进站客流为主；处于市区的车站越靠近中心城区客流吸引力越大，早高峰以出站客流为主；换乘站乘降量高于普通站。

1.3 换乘客流

对轨道交通线网各换乘站换乘量进行统计发现，西直门站换乘量最大(见图4)，这与该站在路网中的地位 and 所属线路服务区域有直接关系。西直门站是三线换乘车站，并且是重要的交通枢纽，高换乘比例充分说明三线换乘站在轨道交通线网中强大的联络功能。总体来讲，轨道交通线网中换乘量的分布极不均衡，在18个换乘站中，日换乘量超过20万人次的换乘站只有3个，而换乘量却占线网换乘总量的30%；10万~20万人次的换乘站有7个，换乘量占线网换乘总量的45%。

1.4 平均运距及乘距

2010年北京市轨道交通线网平均乘距为15.51 km，乘客平均乘坐站数为10.99个。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5)发现，各条线路平均运距差别较大，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。13号线和八通线2条郊区线平均运距最高，特别是八通线，其平均运距超过线路长度的50%。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。

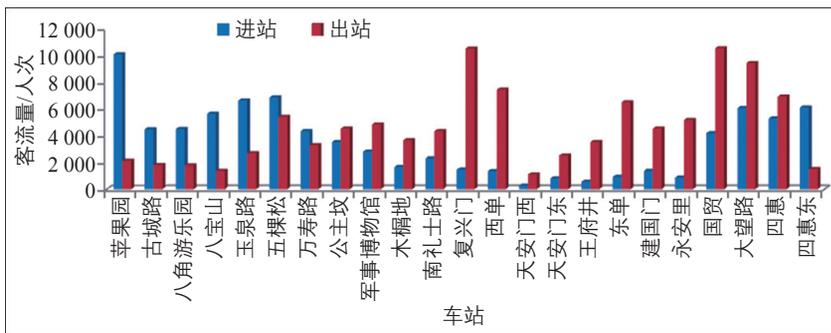


图3 2010年某工作日早高峰小时轨道交通1号线进出站客流量分布

Fig.3 Passenger volume entering/departing each stops of subway line 1 during morning peak hour of a weekday in Beijing in 2010

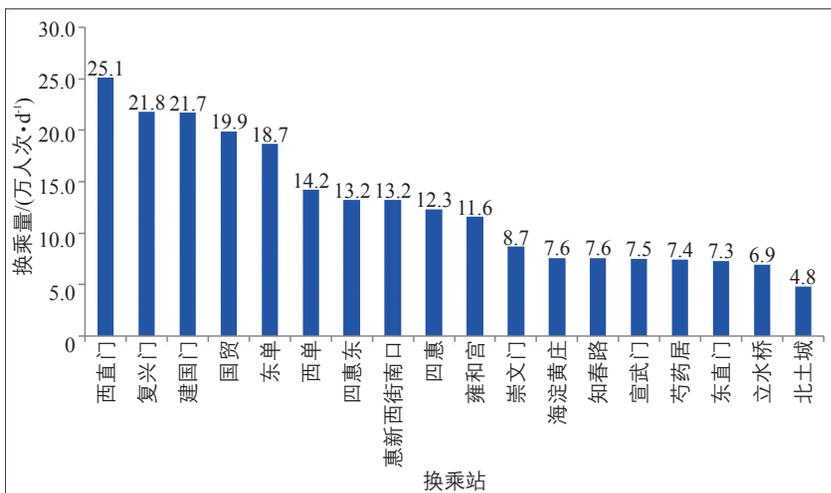


图4 2010年某工作日轨道交通换乘站日换乘量排序

Fig.4 Transfer passenger volume of a weekday in 2010

1.5 客流时间分布

对进站客流时间分布进行统计(见图6)发现，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

数为12.13%；晚高峰出现在17:30—18:30，晚高峰小时系数为10.55%，这说明北京市轨道交通主要服务通勤出行。周末客流分布较为均衡，早晚高峰不明显，晚高峰出现在16:30—17:30，晚高峰小时系数仅为7.66%。进一步比较各线路工作日早高峰小时系数发现，在承担通勤功能的所有线路中：2号线高峰小时系数较低，符合城市中心区轨道交通环线的特征；13号线高峰小时系数最高，其郊区线特征明显；八通线和5号线早高峰小时系数高于其他线路，这是因为这两条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。

1.6 影响轨道交通线网客流特征的关键因素

城市交通与土地利用之间相互联系、相互制约。交通的产生主要取决于城市土地利用空间布局和组织。在满足供应的条件下，城市土地利用规划确定后，客流的产生和分布就客观存在了。北京市城市空间结构呈单中心特征，城市中心区聚集了大量企事业单位、商业设施、交通场站、教育及医疗机构等主要客流吸引点。随着大量居住小区聚集在轨道交通线路末端建设，沿线形成以车站为中心的密集的带状区域，产生大量的交通需求。职住分离是形成长距离向心出行及进出站高峰小时系数偏高的根本原因，因此，也带来高峰时段同一线路不同方向客流的严重不均衡。归根结底，在轨道交通形成网络且规模固定的情况下，影响轨道交通线网客流特征的关键因素是

城市空间结构及轨道交通线网所覆盖范围的土地利用情况。

2 新线开通对既有线路客流分布的影响

新开通的轨道交通线路进一步强化了城市各区域之间的交通联系，在一定程度上缓解了沿线交通走廊的压力，同时对既有轨道交通线路客流分布产生一定影响。

2.1 诱发客流

交通供给影响交通需求，随着新线开通，轨道交通线网客流分布会相应产生变化。轨道交通

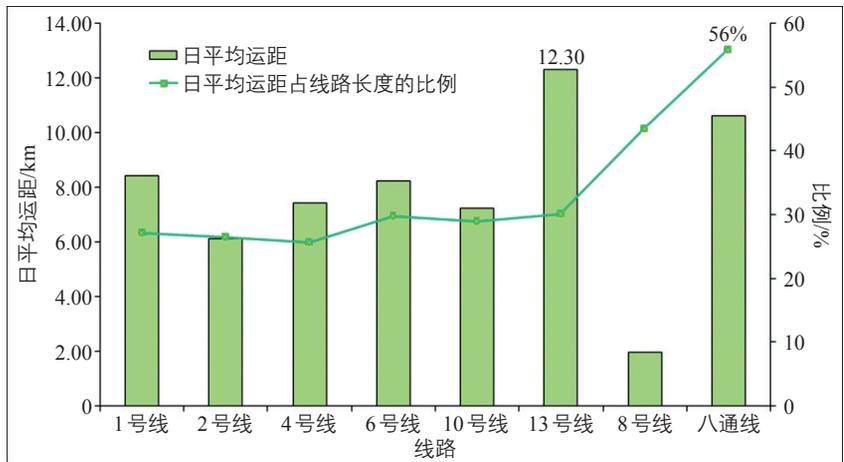


图5 2010年某工作日轨道交通线路日平均运距及其占线路长度的比例

Fig.5 Daily average travel distance vs. total length of the rail transit lines on a weekday in 2010



图6 轨道交通线网进站客流时间分布

Fig.6 Time distribution of passenger loading volume of rail transit network

线网规模的扩展改变了线路沿线的可达性,促使沿线土地开发强度提高,对土地利用布局产生一定影响;同时,扩大了轨道交通的吸引范围,从而影响客流的产生和分布^[2]。

通常将以车站为圆心、半径 800 m 覆盖范围作为轨道交通的直接覆盖区域,其客流是轨道交通线网客流的主体,占客流总量的 70%。对于布局合理的轨道交通线网,直接覆盖区域内的居民可以选择步行方式到达轨道交通车站。随着北京市轨道交通线网规模的扩展,直接覆盖区域由 5 号线开通后的 139 km² 扩大至 10 号线开通后的 174 km²,并于 2010 年年底 5 条新线开通后达到 408 km²。根据大城市调研得到的经验值,当使用轨道交通方式出行时,在从出发地到目的地的出行方式链组合中,超过 50% 的乘客选择步行—轨道交通—步行的模式,见表 1。

此外,城市轨道交通各条线路的车站与公交线路相互配合,每条公交线路又有一定的接驳范围,以吸引公交车站周边区域的客流,这一区域称为轨道交通的间接覆盖范围。然而,选择公交换乘轨道交通的客流比例较低,特别是选择公交—轨道交通—公交出行方式链组合的比例不足 10%。

在轨道交通线网规模扩展的过程中,新线的

表 1 轨道交通乘客一次出行方式链组合比例

出行方式组合	轨道交通—步行	轨道交通—公交	%
步行—轨道交通	50~80	≤ 25	
公交—轨道交通	≤ 25	≤ 10	

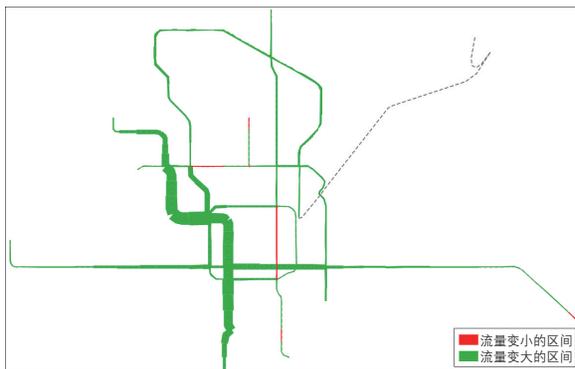


图 7 轨道交通 4 号线开通前后早高峰线网断面客流分布变化

Fig.7 Distribution of rail transit network passenger volume during morning peak hour before and after the opening of subway line 4

开通增加了轨道交通的直接覆盖范围(步行—轨道交通—步行),使线网客流在总体上增长;同时,可达性的提高能极大扩展既有线路的间接覆盖范围(公交—轨道交通—公交),并引起既有线路客流的增长。

2.2 转移客流

轨道交通新线与既有线路的结合点在换乘站,换乘是转移客流的主要来源和途径。新线开通以及一票制带来的换乘便利使得北京市轨道交通网络效应初步显现、客运量呈正增长。各线路客流的增长包括本线路客流的增长和换乘客流的增长,其中,换乘客流的增长是主要来源。统计显示,北京市轨道交通各线路换乘系数普遍较高,2010 年线网平均换乘系数达到 1.7。随着轨道交通线网连通性的增强,乘客的出行路径由于存在不同的换乘选择而具有更明显的多样性,导致轨道交通线网的客流分布随之变化^[3]。

以轨道交通 4 号线为例,对其开通前后既有线路早高峰断面流量进行比较,分析新线开通对既有线路客流的影响程度。4 号线开通后,1 号线、2 号线、10 号线和 13 号线在相同区间断面普遍产生客流叠加,流量高于 4 号线开通前,与 4 号线换乘站相邻的线路区间表现得尤为明显,见图 7。这是由于 4 号线在海淀黄庄站、西直门站、西单站和宣武门站分别与其他线路形成换乘,连通性的增强使得各换乘站的换乘客流远大于车站的直接吸引客流。因此,在新线开通后,需要重点对新线换乘站相邻的线路区间进行客流疏导。

4 号线开通使轨道交通线网的可达性提高,大多数区间断面的客流会有一定幅度的提升,但 5 号线雍和宫站至崇文门站的客流却有所下降。主要原因是 4 号线与 5 号线均为贯穿城市南北的大通道,并且在穿越 2 号线的区域内属于并行运营,4 号线的开通分担了该范围部分南北出行需求;另外,一些原先选择雍和宫站和崇文门站换乘的乘客在 4 号线开通后重新选择路径,在其他车站进行换乘。

可见,轨道交通新线开通对既有线路的影响主要通过轨道交通直接覆盖区域和换乘站实现客流诱发和转移。在轨道交通线网形成初期,线网

密度很小，新线开通后，与既有线路吸引范围的重叠区域少，在换乘站与既有线路相交时能扩大既有线路的吸引范围、引发既有线路客流增长。随着轨道交通线网规模的扩大，新线开通对线网其他线路产生叠加诱增效果，将促使既有线路的客流强度提高。几条轨道交通线路很难发挥综合效益，只有形成高效的线网才能充分发挥轨道交通优势。随着轨道交通线网的形成和一票制带来的换乘便利，各车站之间的路径呈现更多选择，因此将打破既有平衡，有利于形成多线、多点、分散换乘的辐射性较强的基本构架，这对线网的稳定性有着重要作用^[4]。

3 轨道交通线网客流成长规律

从第一条轨道交通线路建成后30多年里，北京市运营的轨道交通线路只有2条，日均客运量低于130万人次。近10年，随着轨道交通的发展，特别是5号线、10号线开通后，北京市轨道交通基本成网，线网客运量迅速增长，日客运量从2000年的119万人次增长至2010年的600万人次。2000—2010年轨道交通各线路日客运量统计见图8。2000年以来，轨道交通各线路客运量均有一定增长，年均增长率从高到低依次为：4号线42.0%、10号线37.9%、13号线37.3%、八通线31.7%、5号线20.9%、1号线8.2%。2000—2005年各线路客流年均增长率低于10%，2005年之后

客流逐年加速增长，新开通线路客流年均增长率均超过30%，既有线路(1号线和2号线)年均客流增长率也超过10%。

通过分析北京市轨道交通线网建设历程和运营数据，可以发现客流变化趋势有一定规律可循。

1) 线网规模。

在轨道交通建设初期，运营线路较少，须经历从居民认知、适应、熟悉并搭乘直至形成合理客流吸引区域的过程，在这个培育阶段，客流较少且增长比较缓慢^[5]。随着轨道交通逐步成网，当有新线开通时，不仅线网客运量呈现大幅增长趋势，且每条线路也会产生不同程度的增长。这是因为轨道交通单一线路可达性差，除沿线覆盖范围以外，吸引客流的能力非常有限；而当轨道交通形成一定规模以后，再加上公共汽车的配合，轨道交通辐射范围呈指数增长，促使线网客流量级发生变化。因此，轨道交通发挥效益的关键在于形成网络。

2) 线位。

对于穿越市区的放射线，客流强度与线路走向和主要客运走廊的重合度有关，一般在开通初期、近期日客运量上升幅度均较大，中、远期增长较慢。相比之下，郊区线开通后相当长时间内，客流呈现总体上升趋势，直至沿线区域开发相对成熟后趋于稳定。例如13号线和八通线，在开通前3~4年客运量较低且增长缓慢，这与其周边土地开发强度低有关；2006—2007年线路客运

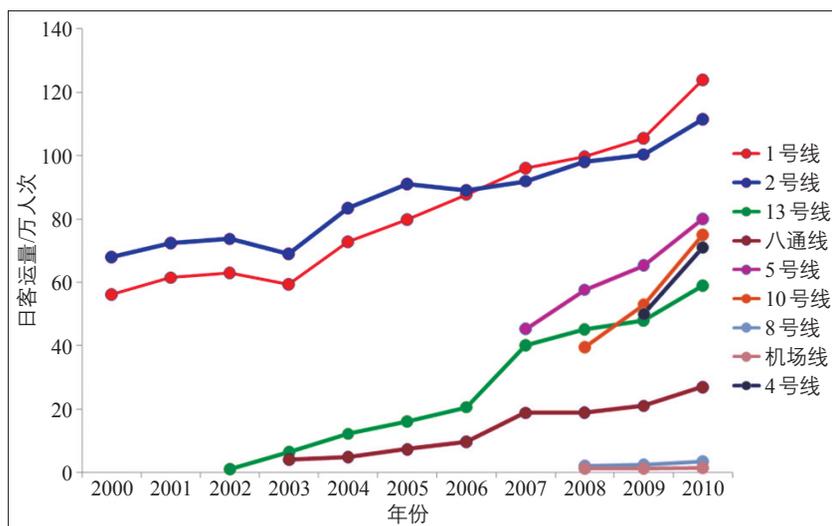


图8 2000—2010年轨道交通各线路日客运量

Fig.8 Daily passenger volume of different subway lines from 2000 to 2010

量增长较快,主要原因是周边土地得到了较大规模的开发;2007—2009年随着土地利用趋于成熟,客运量增长的步伐也逐步减缓。因此可以认为,轨道交通客流与周边用地开发有密切关系,这对把握郊区线客流特征具有参考作用。此外,郊区线客流形成和培育时间较长,例如,八通线开通7年后日客运量不足22万人次,远低于开通1年的4号线(57万人次)和开通2年的10号线(53万人次)。

3) 线网布局。

5号线开通以前,大部分换乘站都与2号线相连,2号线一直是线网中日客运量最大的线路,1号线以低于2号线客流一定的量稳定增长,其增长趋势与2号线同步。随着5号线、10号线、4号线相继开通,轨道交通网络效应进一步得到发挥,线网及各条线路的客流均有增长,1号线客流增长超越2号线成为日客运量最大的线路且延续至今。究其原因有两方面:一方面,随着新线开通,换乘车站更多、分布更广,换乘不再完全依赖2号线;另一方面,5号线、4号线均穿越2号线,对南北向的出行起到分流作用。因此,在轨道交通线网不断完善条件下,因其他线路的分流,一条线路的远期客运量不一定是该线路在各阶段的最大值。

4) 边界条件。

票制票价、政策法规、重大事件等对轨道交通线网客运量有较大影响。近年来,北京市历经的两次轨道交通票制票价改格(2003年实施换乘收费和2007年10月调整为全网一票制)、2008年奥运会机动车单双号限行以及延续至今的机动车尾号限行政策、2010年底出台的小客车数量调控等强有力治堵措施均在轨道交通客运量上得到显著反映。主要表现为:票价的提高短期内减弱了轨道交通的吸引力,导致轨道交通客运量降低;针对机动车出台的交通需求管理措施会引导部分出行由私人交通方式转移到公共交通方式,引发轨道交通客运量增长。

4 结语

一直以来,北京市都坚持公共利益优先和效

率最优原则,落实优先发展公共交通政策。轨道交通建设和运营里程的迅速增长对缓解道路客运交通压力、改善空气质量的效果显而易见。然而,轨道交通在发展的同时也面临诸多问题,例如部分车站不得不采取高峰时段限流措施,从而抑制部分交通需求并导致其转向其他交通方式。另外,由于部分线路区间高峰时段车厢过于拥挤导致轨道交通的吸引力下降,无法达到鼓励使用公共交通的预期效果。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:

References:

- [1] 北京交通发展研究中心. 2011北京市交通发展年度报告[R]. 北京: 北京交通发展研究中心, 2011.
- [2] 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.
Fang Jixiang. The Study of Passenger Flow Volume Forecasting and Transportation Organization Scheme in Urban Rail Transit[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2007.
- [3] 刘剑锋, 孙福亮, 柏赞, 许娟. 城市轨道交通乘客路径选择模型及算法[J]. 交通运输系统工程与信息, 2009(2): 85-90.
Liu Jianfeng, Sun Fuliang, Bai Yun, Xu Juan. Passenger Flow Route Assignment Model and Algorithm for Urban Rail Transit Network[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2009(2): 85-90.
- [4] 沈景炎. 城市轨道交通线网规划与客流预测[J]. 都市快轨交通, 2007(1): 10-14.
Shen Jingyan. Network Planning and Passenger Flow Prediction for Urban Rail Transit[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2007(1): 10-14.
- [5] 北京交通发展研究中心. 城市轨道交通客流预测相关问题研究[R]. 北京: 北京交通发展研究中心, 2008.