

轨道交通网络建设起步期公交客流需求特征分析

李家斌 过秀成 王峰

【摘要】我国轨道交通系统快速发展，多数城市正处于网络建设起步期。新方式的引入使得客流在公交系统内部流动，需求特征发生变化。论文针对这一特定时期，通过案例归纳和实地调查分析等方式，对公交系统客流发展、轨道走廊客流转移、地面公交线路客流变化和公交枢纽客流转换特征进行研究。揭示的客流需求特征对于地面公交线网的调整具有参考意义。

【关键词】轨道交通；建设起步期；客流特征

1 引言

我国轨道交通系统正快速发展，多数城市先建设首条线路或快速形成“十字形”骨架线网（规模小于 100km，线路为 2~3 条），而后逐步完善网络，形成了一个较长的网络建设起步期[1]。新方式的引入使得客流在公交系统内部流动，客流需求特征的变化要求部分地面公交线路进行调整。研究该时期内公交客流需求特征对于地面公交线网的调整具有参考意义。

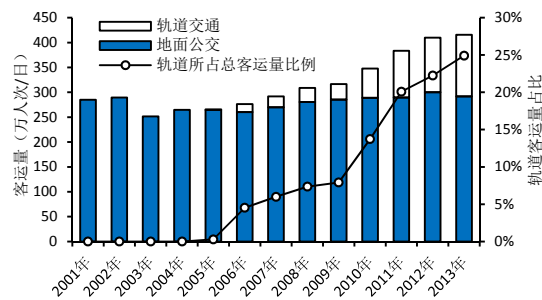
既有研究中对轨道运营后公交客流需求特征的研究集中在走廊客流转移和枢纽客流转换两个层面。走廊层面的研究均是在轨道网络化后进行的，文献[2]对悉尼走廊上乘客出行进行了调查发现轨道与地面公交使用群体在年龄、职业、出行目的、出行距离等方面存在差异；文献[3]对上海轨道 6 号线走廊上地面公交与轨道交通乘客出行进行调查，分析了出行时间、费用变化情况，结果显示地面公交向轨道转移的比例达 78%，出行时间是重要影响因素；文献[4]对上述数据进一步研究构建了方式竞争选择模型。枢纽层面的研究较多，文献[5-7]研究了轨道站点各方式客流接驳比例结构以及服务的时空范围。

总体上，既有研究对于轨道运营后公交客流需求特征的系统分析相对缺乏，且没有研究是针对网络建设起步期的。鉴于此，本文从公交系统、走廊、线路、枢纽 4 个层面对轨道交通网络建设起步期的公交客流需求特征进行系统的研究。

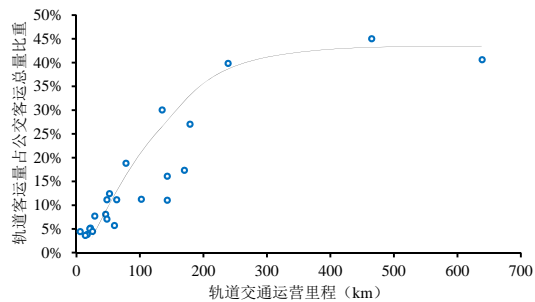
2 公交系统客流发展特征

公交系统客流发展变化主要反映在客运量和客运结构上。以南京市公共交通客运量发展情况为例进行分析。轨道 1 号线于 2005 年开通，次年日均客运量为 15.88 万人次/日，占公交客运总量的 4.53%，而地面公交客运量则有了 1.59% 的小幅下降，为 260.35 万人次/日。此后，两者同时保持增长的趋势，且轨道客流量增长更为明显。2010 年，轨道 2 号线开通、

“十字形”骨架网络形成后，日均客运量达到 96.16 万人次/日，占公共客运总量的 20.09%，而地面公交客运量并没有减少，有了 0.18% 的小幅增长，如图 1 所示。



数据来源：2014 南京交通发展年度报告。



数据来源：2013 年各城市统计年鉴。

图 1 南京市公共交通客运量发展情况 图 2 轨道交通运营里程与其占公交客流比重关系

分析各城市轨道交通运营里程与其占公交客运总量比重关系，该比重随着规模的扩大而上升，稳定于 50% 左右，如图 2 所示。一方面轨道网络密度的增长，提高了轨道服务的可获得性，另一方面轨道网络越加成熟的城市规模越大，出行距离越长，提高了轨道方式被选择的概率。

网络建设起步期，轨道线路仅布设于最主要的客流走廊上，服务中心城区客流需求，引导外围地区开发建设，仅能对走廊附近有限地区的乘客出行产生影响，承担部分地面公交出行需求，并没有从根本上改变整个公交系统结构，地面公交仍具有主体地位。在单条线路条件下，其客运量比重在 5% 左右；“十字型”骨架网络条件下，该值仍较小为 10% 左右。尽管在新线开通当年，地面公交客流可能会小幅下降，但从长远看两者将形成互利共赢的局面。

3 轨道交通走廊客流转移特征

以无锡轨道 1 号线走廊为例，对轨道乘客进行 RP 调查，内容包括本次出行信息以及轨道开通前相同目的出行信息等。调查于 2014 年 8 月（轨道开通一个月后）展开，涵盖 5 个工作日与 2 个双休日，在车厢内共收集问卷 711 份，有效问卷 645 份，有效率 90.72%。

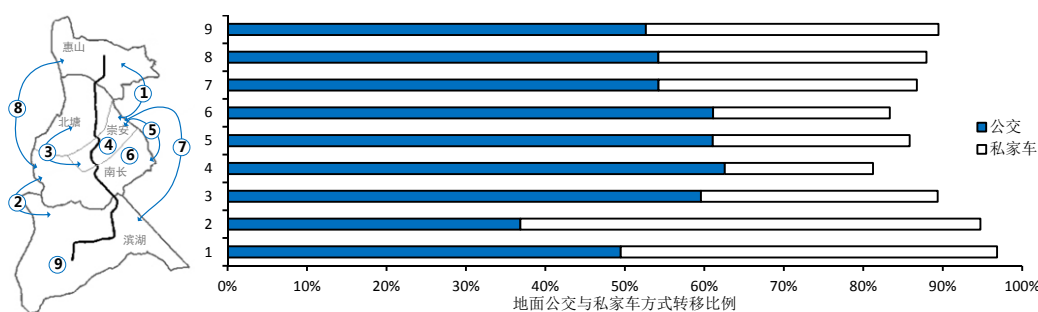
2.1 客流转移比例

轨道出行者在相同出行目的下原方式主要为地面公交（56.43%）和私家车（32.87%），如表 1 所示。这反映了出行距离是方式选择的最主要因素，地面公交、私家车相对于其他方式与轨道适应的出行距离最为相近。通勤、通学出行方式转移结果类似，而地面公交的比例更为高（64.00%），体现该类出行对于准时性的要求。

表 1 轨道交通出行者原出行方式构成比例

出行方式	步行	自行车	电动自行车	摩托车	地面公交	私家车	出租车
全部出行	1.86%	1.09%	3.26%	0.16%	56.43%	32.87%	4.34%
通勤、通学出行	1.78%	1.33%	4.44%	0.44%	64.00%	26.22%	1.78%

城市不同片区间或区内的方式转移特征差异明显,如图 3 所示。中心城区内部出行(④, ⑤, ⑥)的原方式中地面公交与私家车的出行比例相对较少,有相对多的适应短距离出行方式发生了转移。且中心城区内部出行的地面公交转移比例最高,近郊-中心城的跨区出行(③, ⑦, ⑧)与近郊内部的出行⑨次之,远郊-中心城的跨区出行(①, ②)最小。而私家车转移比例的空间性差异特征与地面公交相反。



注: 样本量过小的出行 OD 对已舍去。

图 3 轨道交通出行者分区域原方式构成

2.2 客流转移影响因素

分析轨道出行者方式转移的影响因素。节省时间是重要的因素(75.97%),远高于排名第二的节约费用(23.88%)。而在相关研究表明费用也是重要因素,下文将对两者进行分析。

分析原出行方式中地面公交与私家车出行者出行时间累积频率,如图 4 所示。原方式为地面公交的出行者,在走廊上出行时间约为 15-40min,以平均运营速度 18km/h 计算,出行距离约为 4.5-12km;原方式为私家车的出行者,在走廊上出行时间约为 15-25min,以平均运营速度 30km/h 计算,出行距离约为 7.5-12.5km。

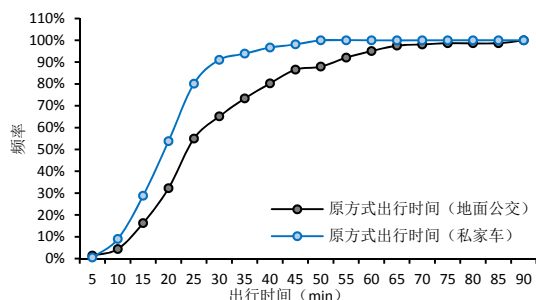


图 4 原方式在走廊上出行时间累积频率

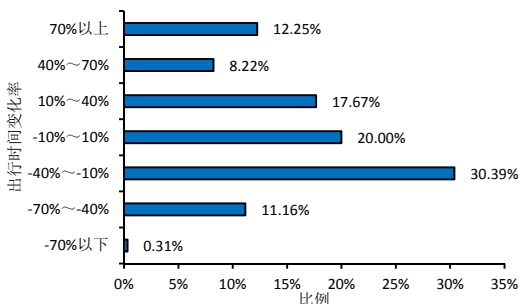


图 5 方式转移后出行时间变化率分布

方式转移前后出行时间的变化情况如图 5 所示。出行时间变化率在-10%~10%之间的,

可认为时间并没有节省或是浪费。方式转移后，42%的出行者的时间得到了节省，时间增加的比例为 38%。

结合出行时间变化与费用变化对出行方式转移的联合影响进行分析，如图 6 所示。原方式为地面公交的出行者中有更高的比例（63%）节省了时间，原方式为私家车的出行者中多数（73%）花费了更多时间来完成出行。绝大部分出行者（76%）的费用有所增加，幅度在 1~5 元之间，也有 19%的出行者出行费用不变。在时间变化一定的情况下，方式转移后费用增加的比例远高于减少与不变的比例，体现出乘客在使用快速、舒适、准点的运输服务时愿意付出更高的费用。时间与费用都不节省的出行者也达到一定比例（31%），其中 77%的出行者原方式是私家车，远高于全体样本中该比例（33%），52%的出行者认为准点、守时是方式转移考虑的因素，远高于全体样本中该比例（20%），可认为虽然费用与时间都不节省，但准点、可靠性高是该类群体选择轨道的主要原因。

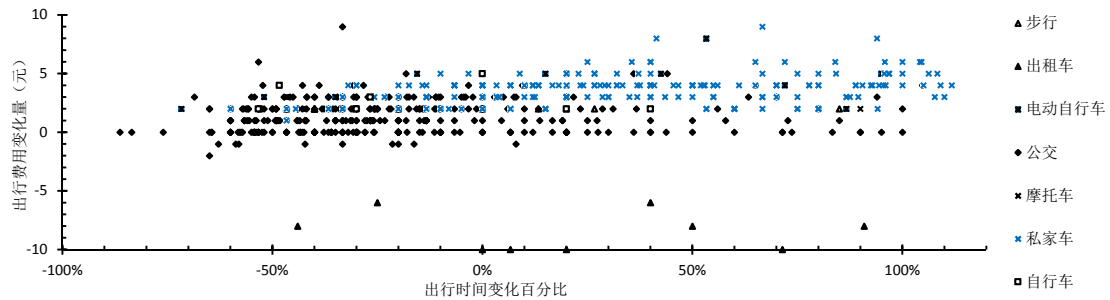


图 6 方式转移后出行时间与费用变化情况

4 地面公交线路客流变化特征

客流在公交系统内部流动反映在线路上，即是表现出线路客流量和分布的变化，论文以无锡为例分析其特征。

3.1 线路客流量变化

选取 2013 年 9 月-11 月和 2014 年 9 月-11 月地面公交线路日均客流量数据进行对比，涉及线路 205 条，占有线路（232 条）的 88.36%。将线路分为途径轨道交通走廊的线路（159 条）和不经走廊的线路（46 条）进行分析，如表 2 所示。在小汽车和电动自行车快速发展、居民出行距离逐步增长和轨道开通运营的多重影响下，走廊外地面公交线路客流下降了 10.92%，走廊内线路尽管下降量达到 44465 人次，但其相对值为 4.88%，低于总体值 5.38%，说明轨道的引入增强了走廊上公共客运的服务品质，在私人机动化快速发展进程中仍有较强竞争力。

表 2 无锡轨道 1 号线开通走廊内外地面公交线路日均客流变化情况

区域	客流量（人次/日）		变化量（人次/日）	变化率
	运营前	运营后		
途径走廊（159）	911156	866691	-44465	-4.88%
不经走廊（46）	82205	73228	-8977	-10.92%
合计（205）	993361	939919	-53442	-5.38%

将地面公交线路依据区位和走向划分为 8 类，分析各类线路客流变化特征差异，如图 7 所示。除其他类线路外，各类线路客流量均有所下降。中心城区内客流下降了 11.13%，而惠山新城内客流仅下降了 4.62%，在客流总量下降 5.38% 的背景下，说明中心城区会因轨道的吸引导致客流下降，而外围区域特别是线路终端则是客流潜在的增长区。平行于轨道方向的跨片区线路客流分别下降了 12.72% 和 7.25%，而垂直于轨道方向的跨片区线路客流分别下降了 1.51%、0.48% 和 5.02%，说明前者会因为轨道开通而流失客流，而后者则是客流增长的潜在线路。

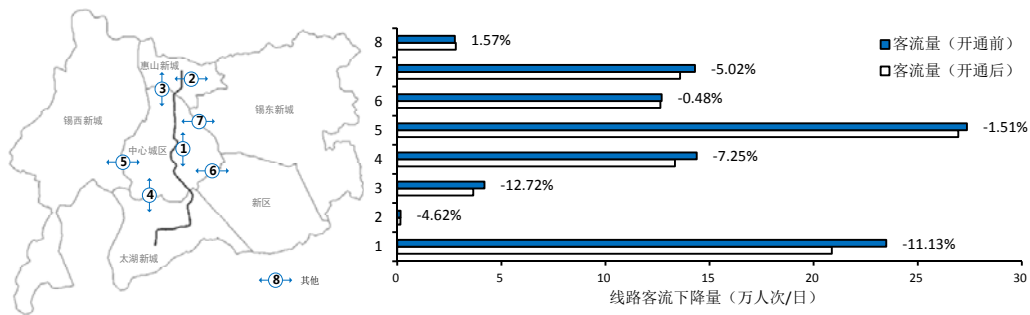


图 7 无锡轨道 1 号线开通分区域地面公交线路日均客流变化情况

分析走廊内线路各类客流变化率与总客流变化率的相关性，如图 8 所示。除刷员工卡客流变化率外，其他各类客流变化率与总客流变化率均具有一定相关性，这是由于员工乘坐公交一般结合工作需要且免费，轨道对其影响并不大。当各类客流变化率与总客流变化率相同时，散点聚集于图 8 中直线上。刷老\高龄卡客流和刷残疾人卡客流变化率散点整体上低于上述直线（即该类客流下降率低于总客流下降率），表现出老年人和残疾人考虑到自身出行的便捷性和费用，仍更倾向于使用地面公交；刷学生卡客流变化率散点整体上高于上述直线（即该类客流下降率高于总客流下降率），表现出学生群体对于新鲜事物的接受度较高。

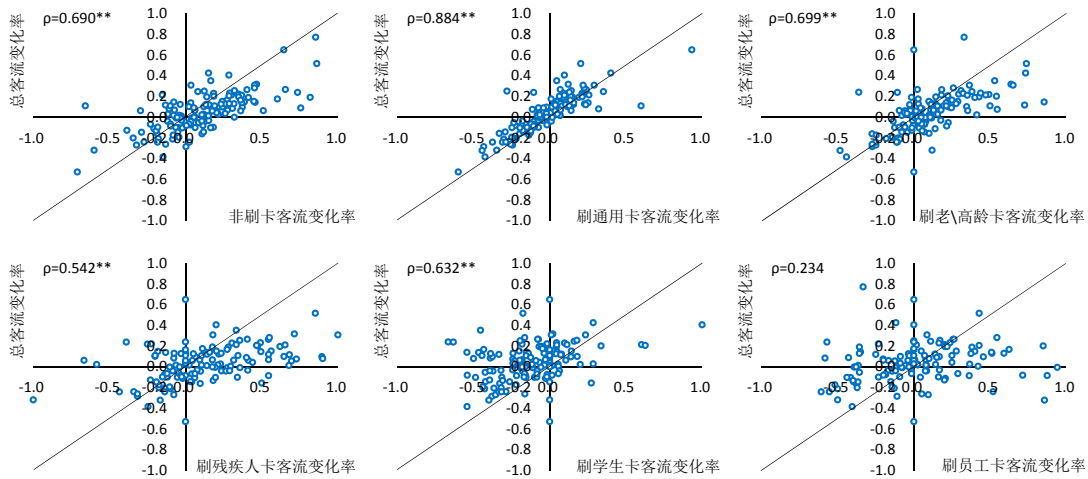


图 8 线路总客流变化率与各类客流变化率相关性分析

考虑到地面公交与轨道线路在低共线情况下将产生良好的合作效果,在高共线时则表现出竞争效果。假设线路客流变化量(率)与轨道线路共线情况存在非线性相关性,采用 Spearman 相关性检验,结果如表 3 所示。在相关规划实践中,常以避免地面公交客流过度下降为主要目标对线路进行调整,作为调整线路筛选标准的典型指标与客流变化情况的相关性并不显著。

表 3 地面公交线路客流变化与影响因素相关性分析

		与轨道共站数	与轨道共线长度	共线长度比例
增长量	相关系数	-.168*	-.129	-.155
	Sig. (双侧)	.034	.105	.051
增长率	相关系数	-.168*	-.143	-.159*
	Sig. (双侧)	.034	.072	.045

**在置信度(双侧)为 0.01 时,相关性是显著的,*在置信度(双侧)为 0.05 时,相关性是显著的。

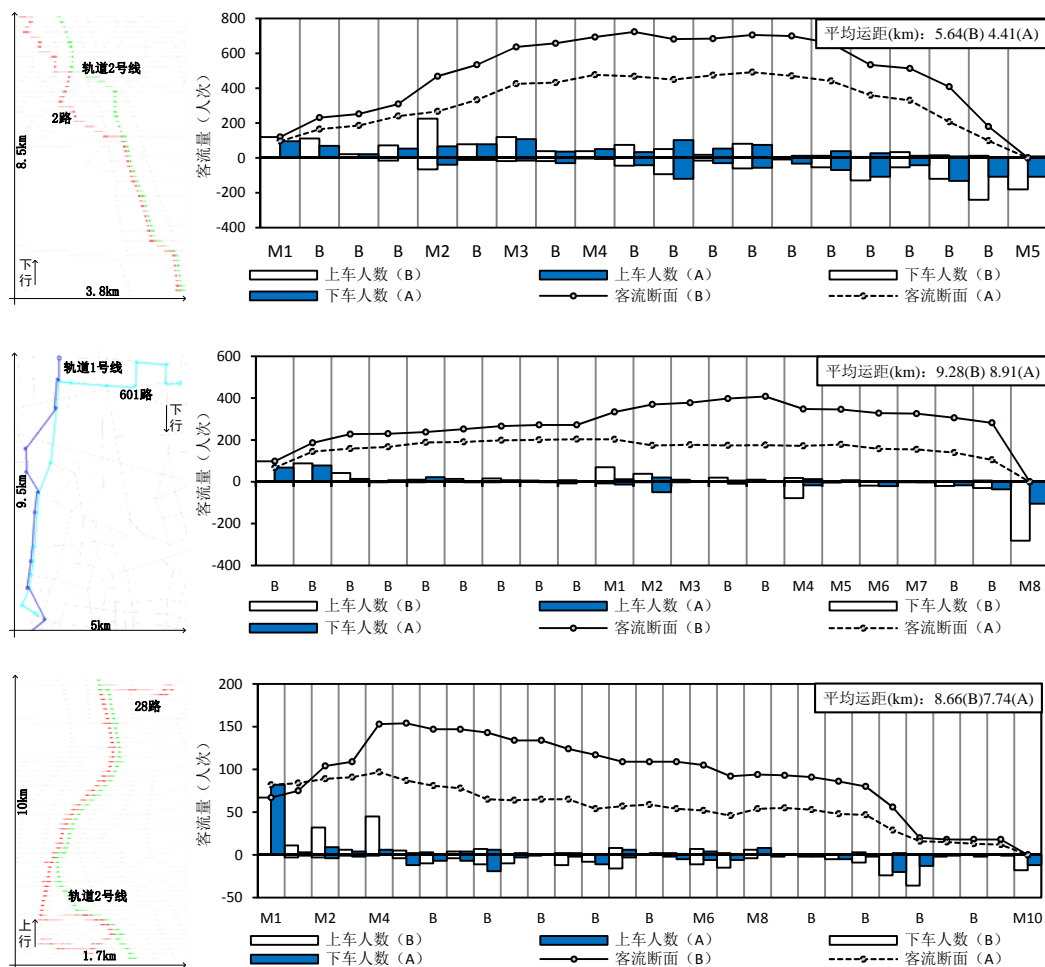
3.2 线路客流分布变化

对轨道开通前后地面公交线路客流分布特征进行对比,数据为无锡轨道开通前后,公交 2、28、601、705 路 4 条位于走廊内且与轨道几何关系较为典型的线路高峰小时单方向跟车调查数据。各线路客流分布特征对比如图 9 所示,其中, M 和 B 均为公交站点, M 表示该站点周围有轨道车站;(B)、(A)分别代表轨道开通前、后。

公交 2 路西段与轨道 2 号线共线 5.5km,涉及 4 个轨道站点。轨道开通前后客流断面均呈“凸”型,最高断面位置不变,但由于轨道吸引了部分走廊上长距离出行客流,断面量下降了近 40%,平均运距也从 5.64km 下降到 4.41km。各站点乘降量方面,变化量大的站点周围基本都有轨道交通车站,如 M2 站,线路中段各站乘降量变化不大。

公交 601 路南北向与轨道 1 号线共线 3.3km，涉及 8 个轨道站点，从长安始发到达堰桥新城后折向南终于汽车站。M1 至 M8 站间客流部分转移至轨道，导致 M1 站上车客流下降明显，客流断面形态由“凸”型转变为“平”型，最高断面位置转移至惠山新城的 M1 站。线路首站上车客流基本不变，而在 M2 站下车客流增长明显，体现了其接驳轨道客流的功能，线路平均运距从 9.28km 下降到了 8.91km。

公交 705 和 28 路走向基本一致，由火车站始发沿轨道 2 号线走廊由中心城区驶向锡东新城，分别共线 4.6km 和 6.8km，涉及 4 和 6 个轨道站点。客流断面形态仍为“斜”型，但倾斜幅度有所下降。两条线路前若干个 M 站上车客流有一定下降或保持不变，而线路中部的 M 站下车客流也有明显下降，意味着轨道吸引了该区段一定量的客流。705 路相比于 28 路在后段有更多的覆盖区域，体现接驳轨道交通客流功能，其 M5-M8 站上车客流有一定幅度增加；28 路首站至末站间的客流是其主要客流，向轨道转移的比例不高，首站至线路中段客流部分被转移至轨道。上述差异导致 705 路平均运距从 8.66km 下降到了 7.74km，而 28 路则由 6.44km 上升到 7.67km。



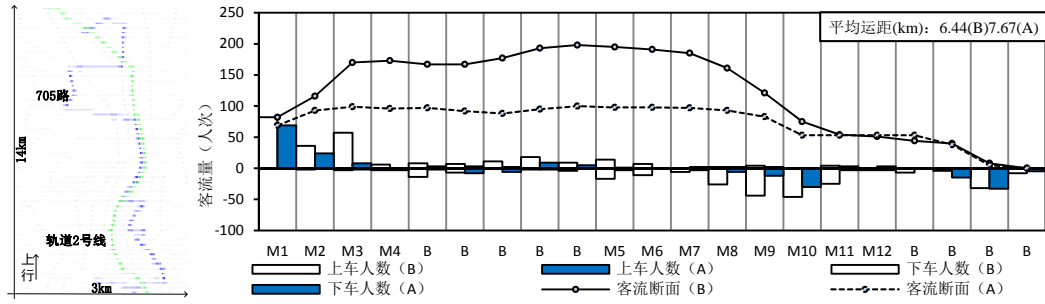


图 9 各线路客流分布特征变化情况

5 公交枢纽客流转特征

4.1 接驳方式结构

公交枢纽客流转特征主要表现在接驳方式结构和时空范围上。结合在南京、无锡的实地调查和其他城市相关研究结论，分析轨道客流接驳方式结构，如表 4 所示^[5-9]。除步行方式外，地面公交是最主要的接驳方式，比例在 30%左右。

表 4 国内部分城市轨道交通接驳方式结构

	步行	地面公交	非机动车	出租车	小汽车	其他
重庆（2008 年）	76.60%	20.30%	--	--	--	3.10%
成都（2012 年）	49.30%	38.30%	2.90%	4.00%	3.50%	2.00%
南京（2013 年）	49.86%	30.68%	6.00%	6.13%	6.45%	0.88%
无锡（2014 年）	54.69%	28.53%	7.60%	3.10%	4.88%	1.20%

接驳方式结构存在区域性差异。以南京为例，相对于主城区，副城的接驳方式中速度更快的机动化比例有所上升，而非机动化比例有所下降，如图 10 所示。

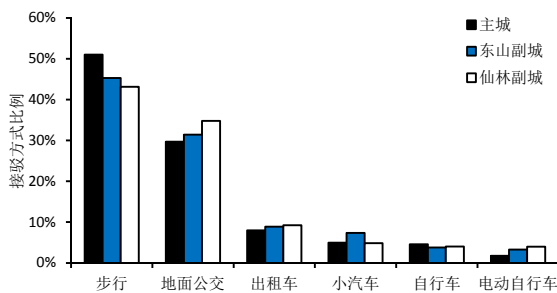


图 10 南京市各城区轨道交通接驳方式结构

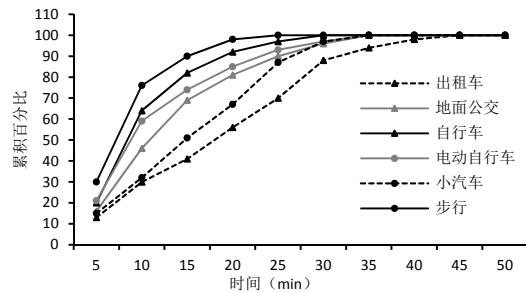


图 11 各方式接驳时间累积频率

4.2 接驳时空范围

统计南京、无锡轨道客流调查数据，计算出各接驳方式在一定时间内的客流比例，如图 11 所示，约 80%的轨道乘客接驳时间小于 25min。各方式 80 分位接驳时间值分别为步行 12min，自行车 15min，电动自行车 18min，地面公交 20min，小汽车 22min，出租车 28min。

结合平均速度计算接驳距离,得到各接驳方式服务范围,步行 0.7~0.9km,自行车 2.1~3.2km,电动自行车 4.1~6.4km,地面公交 5.1~7.1km,小汽车 9.4~12.5km,出租车 11.9~15.9km。

6 结语

本文针对特定时期——轨道交通网络建设起步期,分析了公交系统客流发展、轨道走廊客流转移、地面公交线路客流变化和公交枢纽客流转换特征。研究表明:①该时期内,地面公交仍是公交系统主体,新线开通当年,客流可能会小幅下降,但从长远看其与轨道将形成互利共赢的局面;②走廊上客流转移的主要方式是地面公交,且多发生于中心城区与近郊,在走廊上的出行距离在 4.5-12km 之间;③节省时间和准点可靠是客流转移的主要原因,出行费用的影响并不明显;④外围地区以及与轨道方向垂直的地面公交线路是客流潜在增长区域;⑤老年人和残疾人考虑到出行的便捷性和费用,仍更倾向于使用地面公交,而学生群体对于轨道的接受度较高;⑥与轨道交通共站数、共线长度和共线比例等指标与线路客流变化情况相关性并不显著;⑦轨道车站附近地面站点客流乘降量变化明显,线路平均运距不一定变短;⑧地面公交是除步行外最主要的轨道接驳方式,且外围地区使用比例更高;⑨大部分轨道乘客接驳时间小于 25min,且各方式间存在差异。

【参考文献】

- [1] 孔哲,过秀成,侯佳,费跃. 大城市轨道交通网络演变的生命周期特征研究[J]. 城市轨道交通研究,2013,08:32-38.
- [2] Harrington A, Parolin B. Factors affecting the use of bus and rail services in a deregulated environment[J]. Transportation. 1991, 18(2): 175-193.
- [3] 吴娇蓉,王昊,梁丽娟. 上海轨道交通 6 号线客运走廊出行方式转移和出行者效用变化分析[J]. 城市轨道交通研究, 2010, (02): 33-38.
- [4] 梁丽娟,吴娇蓉,王昊. 道路公交与轨道交通竞争选择模型研究——基于上海轨道交通 6 号线客运走廊[J]. 城市轨道交通研究. 2009(09): 30-34.
- [5] 岳芳,毛保华,陈团生. 城市轨道交通接驳方式的选择[J]. 都市快轨交通. 2007, 20(4): 36-39.
- [6] 杜彩军,蒋玉琨. 城市轨道交通与其他交通方式接驳规律的探讨[J]. 都市快轨交通. 2005, 18(3): 45-49.
- [7] 邓毛颖. 轨道交通与其它交通方式衔接规划研究[J]. 规划师. 2004, 20(8): 76-78.
- [8] 廖姜. 基于用地功能的轨道站点衔接研究[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 重庆交通大学, 2012.
- [9] 梅丽. 城市轨道交通接驳方式选择研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 西南交通大学, 2013.

【作者简介】

李家斌,男,硕士,杭州市城市规划设计研究院,助理工程师。电子信箱: hz_jbli@163.com

过秀成,男,博士,东南大学交通学院,教授、博导

王峰,男,硕士,杭州市城市规划设计研究院,所长、高级工程师