

道路网络密度与公交线网的关系分析*

——以上海9个典型地区为例

Analysis of the Relationship between Road Network Density and Bus Network:
A Case Study of 9 typical areas in Shanghai

熊鹏 宋小冬

文章编号1673-8985 (2016) 05-0101-08 中图分类号TU981 文献标识码A

摘要 以往关于常规公交导向的路网密度研究偏重抽象的理论分析,缺乏具体的实证研究。通过选取上海9个典型案例,对比分析发现它们都具有通常意义下的高密度公交网络,然而参照线路重复系数后可以确定这主要是因为客流强度过高,公交网络规模过巨引起的。研究表明干道路网密度对公交线网密度的影响比整体的路网密度更大。因此,讨论路网密度时必须考虑道路等级问题,即唯有适合公交运营的较高等级道路才对提高公交线网密度具有现实意义。

Abstract In the past, the research about bus-led urban road network density emphasized on the theoretical analysis, and was lack of empirical research. 9 typical cases in Shanghai are selected in this paper. Through comparative analysis, we find that they all have high bus network density in the usual sense. But with refer to line repeat coefficient, we can find the reason that is high traffic intensity and giant bus network scale. The results show that the density of main road is more important than the density of the whole network. Therefore, it is necessary to consider the road grade when discussing road network density, that is, only the high grade road which is suitable for the public traffic operation can be of practical significance to improve the density of the bus line.

关键词 路网密度 | 公交线网密度 | 线路重复系数 | 道路等级

Keywords Road network density | Bus line network density | Line repeat coefficient | Road grade

作者简介

熊鹏

宁波市规划局北仑分局

助理工程师

同济大学城乡规划专业 硕士研究生

宋小冬 (通讯作者)

同济大学高密度人居环境生态与节能教育部重点

实验室

教授

1 问题提出和研究背景

1.1 道路系统是提高公交服务水平的基础条件

提高公共交通服务水平,可以吸引更多的乘客^[1],也是公共交通优先的基本内涵。国内外较多研究侧重于如下领域:

- (1) 发展轨道交通;
- (2) 在道路上开辟公共汽车专用道,或进一步加开快速公交线路;
- (3) 交通信号优先^[2-3];
- (4) 公交线网优化^[4-5],使有限的资源提供最大的运能和最短的时间;
- (5) 限制私人小汽车,加大公交财政补贴^[6-7];

等等。

上述领域研究成果颇丰,但是对于道路网

络(作为公共交通的基础“硬件”)如何适应常规公共交通的研究,却较为少见,且已有理论研究演绎居多,实例归纳偏少。基本思路是:(1) 根据一般经验提出公交线网的优化目标(例如,到站步行距离最短^[8-11],非车时间最省^[12]等等);(2) 以理想的方格路网为模型,进行公式推导,建立优化目标与路网密度的函数关系;(3) 通过求导来计算目标函数达到极值时的路网密度,将结果纳入规划设计规范。但是,理论推演的路网密度并没有经过相关实证检验,具体的城市道路网络是否适应常规公交的运营,缺点何在,该方向的研究成果极少。如果发现公交运营条件差、服务水平低是道路系统的规划设计引起,要大规模改造,非常困难。

本研究的主要内容是选取若干典型地区,

*基金项目:“十二五”国家科技支撑计划“城镇群高密度空间效能优化关键技术研究(2012BAJ15B03)”资助。

归纳整理,分析路网密度、等级与公交线网密度、线路重复系数的关系,为合理规划道路系统提供依据或建议^①。

1.2 数据来源

研究所需的公交网络数据(包括公交线路和公交站点)通过百度地图API^②获得,道路网络数据由相关研究机构提供,属性字段包括道路等级^③、路段长度等。需要注意的是百度地图中公交线路是上下分行的,同一条公交线路由两条单向多段线组成。通过百度地图获得2 198条公交线路,实际仅为1 099对双向线路,例如55路公交车由上行(世界路新江湾城—南浦大桥)和下行(南浦大桥—世界路新江湾城)两条线路组成。因此如无特殊说明,在计算线路重复系数、线路里程等指标时,本研究中数值均为通常上下行不分时取值的两倍,公交线网密度的取值不受影响。

1.3 典型区域

研究案例的选取主要考虑路网的建设历史时期、密度、等级、结构特征等,确保研究对象具有多样性。而且道路建设和周围土地开发至少有20年历史,客流强度和方向相对明确,公交运营情况比较稳定。研究范围的划定以主干道围合的城市街区为主,同时兼顾居民生活习惯、社区意识、区域联系等因素。按照上述标准共选取9个典型区域,依次为老城厢、江浦公园地区、鞍山新村地区、浦东罗山黄山地区、曹杨新村、浦东上海滩花园地区、金杨新村、上南新村、陆家嘴花园(图1,表1-表4)。

(1) 老城厢区域由中华路、人民路围合而成,共计553个路段,184个街坊,区域面积198 hm²,街坊平均大小1.07 hm²。老城厢是开埠前的上海县城,其路网结构具有典型传统城市特色,即高密度、窄街巷(图2)。

(2) 江浦公园区域由大连路、周家嘴路、平凉路、宁国路、黄兴路围合而成,共计169个路段,65个街坊,区域面积327 hm²,街坊平均大小5.03 hm²(图3)。



1a) 老城厢



1b) 江浦公园地区



1c) 鞍山新村地区



1d) 罗山黄山地区



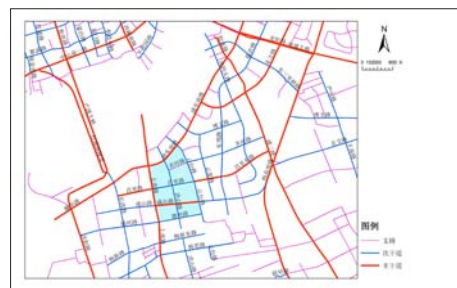
1e) 曹杨新村



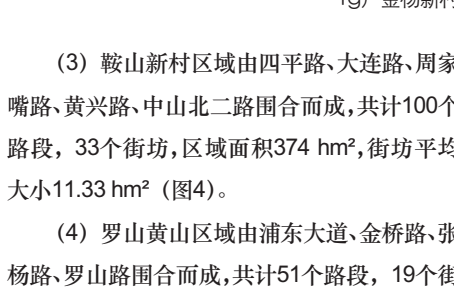
1f) 上海滩花园地区



1g) 金杨新村



1h) 上南新村



1i) 陆家嘴花园地区

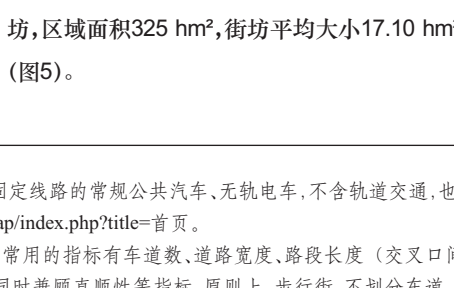


图1 研究区域的范围及周边情况

(3) 鞍山新村区域由四平路、大连路、周家嘴路、黄兴路、中山北二路围合而成,共计100个路段,33个街坊,区域面积374 hm²,街坊平均大小11.33 hm²(图4)。

(4) 罗山黄山区域由浦东大道、金桥路、张杨路、罗山路围合而成,共计51个路段,19个街坊,区域面积325 hm²,街坊平均大小17.10 hm²(图5)。

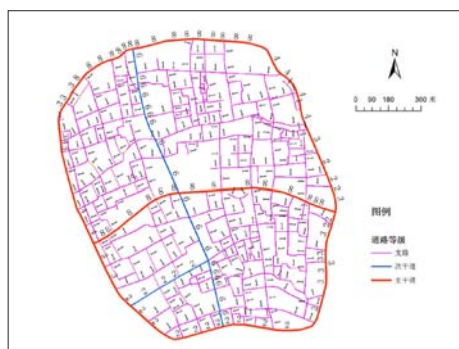
注释 ①如果没有特别说明,本文所提到的公交,均指有固定线路的常规公共汽车、无轨电车,不含轨道交通,也不含行驶在专用道路上的快速公共汽车。

②百度地图API网址, <http://developer.baidu.com/map/index.php?title=首页>。

③现实中道路等级划分并不存在严格的标准,目前常用的指标有车道数、道路宽度、路段长度(交叉口间距)、通畅性(直顺性)等。考虑到已有路网数据情况及分类的便捷性,本文道路等级划分主要依据车道数量,同时兼顾直顺性等指标。原则上,步行街、不划分车道、单车道以及单向的道路为支路;双车道、三车道以及四车道的道路为次干道;五车道及以上的道路为主干道。对于双车道、三车道及四车道:如果两侧没有路边停车位及独立非机动车道,或路段过短、或直顺性差(路段一端为丁字路口或尽头路),综合考虑后确定是划入支路还是次干道;如果直顺性非常好,在区域路网中的地位非常重要,可划入主干道。

表1 研究区域基本情况汇总

	区域面积 (hm ²)	街坊数	街坊面积平均值 (hm ²)	路段数量
老城厢	197.59	184	1.07	553
江浦公园地区	327.16	65	5.03	169
鞍山新村地区	373.96	33	11.33	100
罗山黄山地区	324.94	19	17.10	51
曹杨新村	218.39	28	7.80	82
上海滩花园地区	200.98	17	11.82	48
金杨新村	209.34	13	16.10	39
上南新村	101.35	7	14.48	23
陆家嘴花园	114.34	7	16.33	25



2a) 道路等级

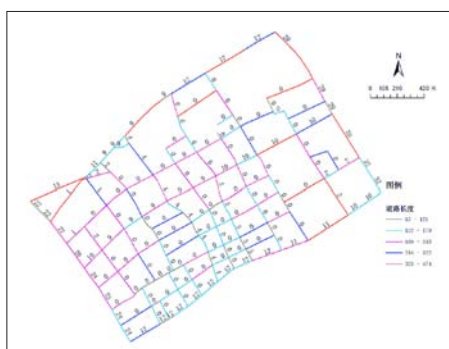


2b) 道路长度

图2 老城厢基本情况

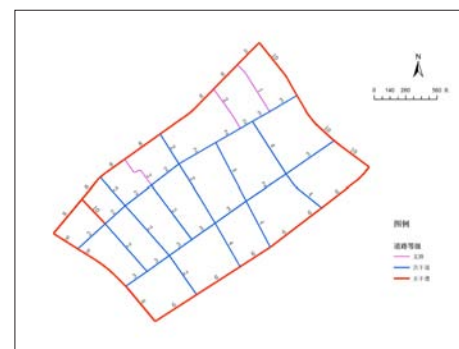


3a) 道路等级

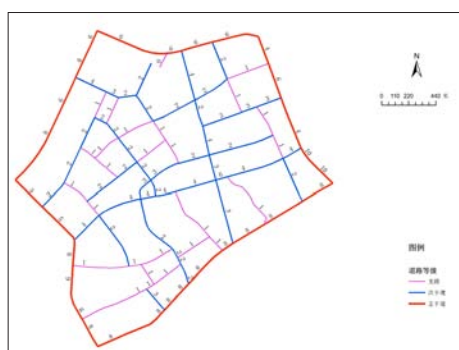


3b) 道路长度

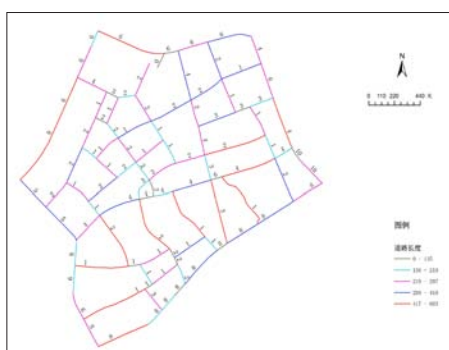
图3 江浦公园地区基本情况



5a) 道路等级

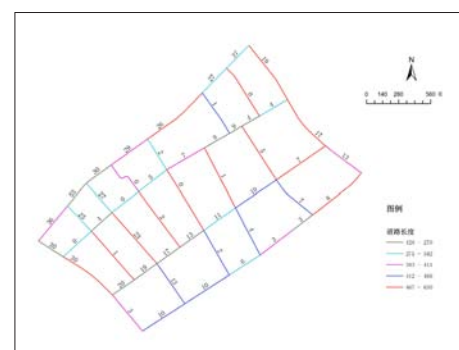


4a) 道路等级



4b) 道路长度

图4 鞍山新村地区基本情况



5b) 道路长度

图5 罗山黄山地区基本情况

(5) 曹杨新村区域由大渡河路、金沙江路、中山北路、曹杨路、武宁路围合而成, 共计82个路段, 28个街坊, 区域面积218 hm², 街坊平均大小7.80 hm²。曹杨新村始建于1951年, 是新中国第一个工人新村, 路网结构受西方“邻里单位”影响, 非对称自由布局 (图6)。

(6) 上海滩花园区域由浦东大道、张杨路、民生路围合而成, 共计48个路段, 17个街坊, 区域面积201 hm², 街坊平均大小11.82 hm² (图7)。

(7) 金杨新村由金桥路、张杨路、居家桥路、杨高中路围合而成, 共计39个路段, 13个街坊, 区域面积209 hm², 街坊平均大小16.10 hm² (图8)。

(8) 上南新村由浦东南路、上南路、德州路、云台路围合而成, 共计23个路段, 7个街坊, 区域面积101 hm², 街坊平均大小16.33 hm² (图9)。

(9) 陆家嘴花园由张杨路、民生路、杨高中路、源深路围合而成, 共计25个路段, 7个街坊, 区域面积114 hm², 街坊平均大小16.33 hm² (图10)。



6a) 道路等级



6b) 道路长度

图6 曹杨新村基本情况

表2 研究区域道路长度汇总 (单位:km)

	支路	次干道	主干道	总计
老城厢	33.55	2.13	6.67	42.34
江浦公园地区	16.83	7.88	7.52	32.23
鞍山新村地区	7.18	11.79	8.09	27.06
罗山黄山地区	1.31	10.66	7.93	19.90
曹杨新村	6.67	6.67	5.97	19.31
上海滩花园地区	3.12	6.50	5.19	14.81
金杨新村	0.85	7.88	4.72	13.45
上南新村	0.40	3.51	3.56	7.46
陆家嘴花园	0.00	6.03	2.13	8.15

表3 研究区域公交线路总长度汇总 (单位:km)

	支路	次干道	主干道	总计
老城厢	0.74	14.15	74.10	88.99
江浦公园地区	2.22	36.65	130.42	169.29
鞍山新村地区	1.91	71.13	115.34	188.37
罗山黄山地区	0.43	78.82	155.52	234.76
曹杨新村	2.39	31.33	118.54	152.26
上海滩花园地区	0.00	42.42	93.75	136.17
金杨新村	2.26	89.36	43.35	134.97
上南新村	0.00	16.43	65.34	81.77
陆家嘴花园	0.00	41.50	23.20	64.70

表4 研究区域有公交的道路长度汇总 (单位:km)

	支路	次干道	主干道	总计
老城厢	0.74	1.54	6.61	8.89
江浦公园地区	1.34	5.92	7.52	14.77
鞍山新村地区	1.07	9.49	8.09	18.65
罗山黄山地区	0.43	9.41	7.93	17.77
曹杨新村	0.78	5.33	5.97	12.08
上海滩花园地区	0.00	6.41	5.19	11.60
金杨新村	0.32	7.88	4.72	12.93
上南新村	0.00	3.10	3.56	6.66
陆家嘴花园	0.00	5.83	2.13	7.96

2 路网密度与公交线网密度的关系

2.1 综合路网密度与公交线网密度的关系

通常情况下,如果线网过于稀疏,则到站距离过长,乘客不便;如果线网过于密集,则行车频繁,易在交叉口和狭窄路段阻塞,影响系统运营效率。实践经验表明,综合考虑各种因素,中心城区的公交线网密度以3—5 km/km²为宜。对照9个案例地区可以发现,它们的公交线网密度基本处于合理范围内并且略微偏高,最低的老城厢也达到了4.50 km/km²,最高的陆家嘴花园地区更是高达6.96 km/km² (表5)。

一般理论认为路网密度是公交线网密度的基础,两者应该存在正相关关系,即唯有高密度的城市道路网络才能支撑密集的公交线网。但是在本研究调查的9个案例中,该规律却并不明显。第一,老城厢和江浦公园地区是两个特例,老城厢的综合路网密度最高,但是公交网络密度最低,江浦公园地区的情况与之类似;第二,其他案例中综合路网密度和公交线网密度的关系是不稳定的 (图11)。

进一步观察,可以发现,所有的主干道都有公交线路,大部分次干道也有公交线路,而支路中敷设公交线路的比例却是非常低的 (表6)。支路不易通行公交,支路比例太高不能提升公交网络密度,老城厢、浦江公园地区的情况验证了这一点。

2.2 干道路网密度和与公交线网密度的关系

通过对比干道路网密度 (次干道加主干道) 和公交线网密度的关系 (图12),可以发现,两者存在显著的正相关关系,即干道路网密度越高,公交线网密度越高。老城厢的干道路网密度最低,公交线网密度最低,陆家嘴花园地区的干道路网密度最高,公交线网密度最高,其他案例中干道路网密度高低也和公交线网密度高度相关。

如果细分主、次干道与公交线网密度的关系,可以判定:第一,主干道对公交线网的密度影响不明显,如老城厢主干道密度最高,线网密度最低,陆家嘴花园主干道密度最低,线网密度反而最高,其他案例中主干道密度与线网密度

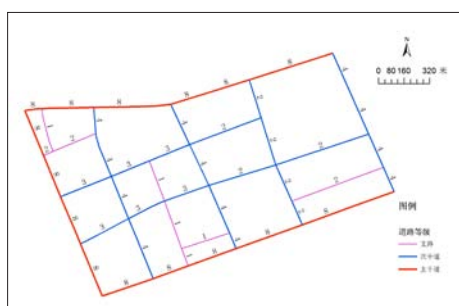
表5 典型区域的路网密度与公交线网密度汇总 (单位:km/km²)

	路网密度				公交线网密度
	支路	次干道	主干道	综合	
老城厢	16.98	1.08	3.37	21.43	4.50
江浦公园地区	5.14	2.41	2.3	9.85	4.52
鞍山新村地区	1.92	3.15	2.16	7.24	4.99
罗山黄山地区	0.4	3.28	2.44	6.12	5.47
曹杨新村	3.05	3.05	2.74	8.84	5.53
上海滩花园地区	1.55	3.23	2.58	7.37	5.77
金杨新村	0.42	3.92	2.35	6.69	6.17
上南新村	0.39	3.46	3.51	7.36	6.57
陆家嘴花园	0.00	5.27	1.86	7.13	6.96

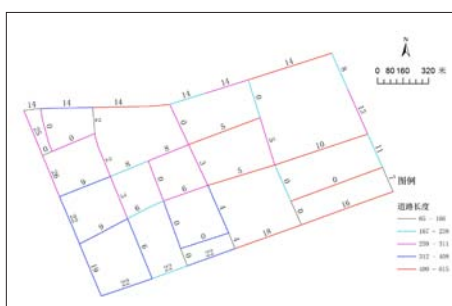
的关系不明确,缺乏规律性特征;第二,次干道的比例越高,公交线网密度也高,尽管存在一定的不稳定性,但是整体趋势比较明显,如:金杨新村、上南新村、陆家嘴花园。

2.3 路网等级结构与公交线网密度的关系

干道密度的高低取决于道路等级结构和综合路网密度两个方面,即综合路网密度越高,干道占比越高,干道密度越高。综上,要通过提高干道密度来加大公交线网密度就必须同时优化等级结构和加密路网。通过对比9个案例中路网等级结构、综合路网密度、公交线网密度的关系(表7,图13)可以发现:第一,路网等级结构的影响是基础性和第一位的,干道比例不足,道路等级过低,再高的路网密度也是无济于事的,如老城厢和江浦公园地区;第二,在干道占比达到一定水平的情况下,加密路网和提高干道占比都有利于支撑高密度公交线网,但是提高干道占比的效果更加明显,这一点可以从曹杨新村与上海滩花园、金杨新村、上南新村等案例的对比中得到验证。



7a) 道路等级

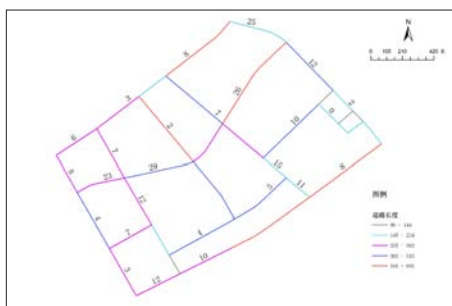


7b) 道路长度

图7 上海滩花园地区基本情况

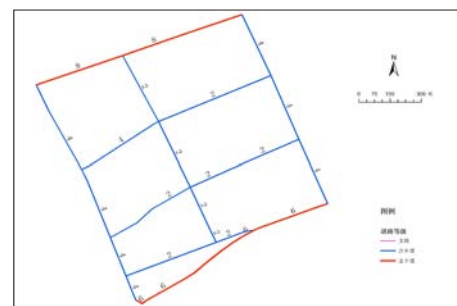


8a) 道路等级

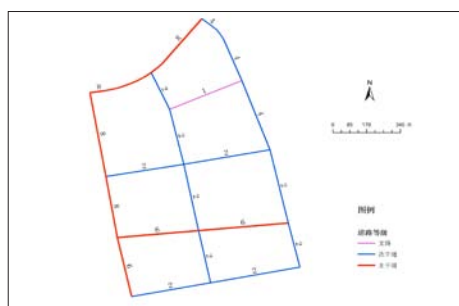


8b) 道路长度

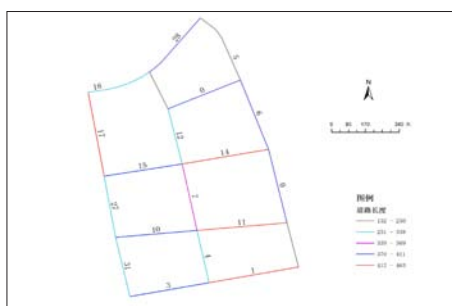
图8 金杨新村基本情况



10a) 道路等级

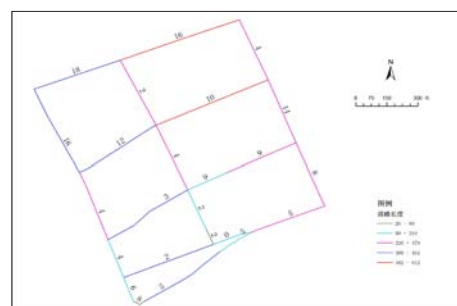


9a) 道路等级



9b) 道路长度

图9 上南新村基本情况



10b) 道路长度

图10 陆家嘴花园基本情况

按照路网等级结构不同,9个典型区域可以分为3组(图14)。

(1) 低等级高密度型路网,包括老城厢和江浦公园地区。该类地区的支路比例一般在50%以上,综合路网密度非常高,属于典型的传统城市路网结构。这种路网虽然步行便捷,但是路段以不分车道、单行道及步行街为主,不适合公交巴士运营,因此能够支撑公交线网的道路密度却是非常稀少的。

(2) 高等级低密度型路网,主要指罗山黄山地区。该类型路网干道比例非常高,但是路网相对稀少,属于典型的宽马路、大街坊路网结构。这种路网结构虽然干道比重大,但是由于路网密度整体偏低,干道密度还是相对不足,因此仅能部分满足公交线网加密要求,但是对公交线网的支撑作用还是优于第一类。

(3) 高等级中密度型路网,包括上海滩花园地区、金杨新村、上南新村以及陆家嘴花园。该类型路网中。这种路网结构虽然整体密度一般,但是由于干道比例非常高,因此能够有力地支撑高密度的公交线网。

3 路网密度与线路重复系数

3.1 未考虑公交网络规模的线路重复系数

一般情况下,重复系数过低,市民可选择的公交线路少,与之相反,重复系数过高,站点通行能力受阻,乘客候车、上车不方便,容易出现“甩客”或二次停站现象。因此通常,线路重复系数应控制在3.0—4.0左右,由于本研究中的公交线路是上下行分开计算的,因此线路重复系数以6.0—8.0为宜。整体而言,9个地区的综合线路重复系数都超出了合理范围,其中,罗山黄山地区最高,而陆家嘴花园最低(表8)。

线路重复系数过高,可能是因为公交网络规模过大,属于总量问题,也可能是线网密度偏低,属于结构问题。前面的研究表明干道密度是满足要求的,公交线网密度也是充足的,因此问题主要是公交网络规模过大。公交网络规模涉及轨道交通等其他交通方式对常规公交的分流问题,已超出本研究范畴,不再赘述。

虽然分析表明干道密度已经满足要求,但

表6 有公交线路的道路长度占整体道路长度的比例(%)

	支路	次干道	主干道	综合
老城厢	2.21	72.15	100.00	21.00
江浦公园地区	7.94	75.08	100.00	45.84
鞍山新村地区	14.87	80.52	100.00	68.93
罗山黄山地区	32.54	88.28	100.00	89.29
曹杨新村	11.71	79.86	100.00	62.55
上海滩花园地区	—	98.71	100.00	78.34
金杨新村	38.00	100.00	100.00	96.08
上南新村	—	88.35	100.00	89.22
陆家嘴花园	—	96.78	100.00	97.62

表7 不同等级路网密度占综合路网密度的比例

	支路占比(%)	次干道占比(%)	主干道占比(%)	干道占比(%)	路网密度	公交线网密度
老城厢	79.18	5.03	15.74	20.77	21.43	4.50
江浦公园地区	52.22	24.45	23.35	47.79	9.85	4.52
鞍山新村地区	26.52	43.55	29.88	73.43	7.24	4.99
罗山黄山地区	6.58	53.61	39.88	93.49	6.12	5.47
曹杨新村	34.55	34.54	30.94	65.48	8.84	5.53
上海滩花园地区	21.08	43.87	35.00	78.87	7.37	5.77
金杨新村	6.32	58.62	35.11	93.73	6.69	6.17
上南新村	5.30	47.07	47.66	94.72	7.36	6.57
陆家嘴花园	0.00	73.92	26.07	99.99	7.13	6.96

表8 线路重复系数汇总

	支路	次干道	主干道	综合	公交线网密度(km/km ²)
老城厢	1.00	9.21	11.21	10.01	4.5
江浦公园地区	1.66	6.20	17.34	11.46	4.52
鞍山新村地区	1.78	7.49	14.26	10.10	4.99
罗山黄山地区	1.00	8.37	19.61	13.21	5.47
曹杨新村	3.06	5.88	19.84	12.60	5.53
上海滩花园地区	—	6.61	18.08	11.74	5.77
金杨新村	7.00	11.34	9.18	10.44	6.17
上南新村	—	5.30	18.38	12.28	6.57
陆家嘴花园	—	7.12	10.92	8.13	6.96

是仍然存在优化的空间。如果深入分析不同等级道路的差异就可以发现:(1) 重复系数太高主要是由于主干道引起的;(2) 次干道的线路重复系数基本上处于合理的取值范围之内;(3) 除金杨新村外,其他区域支路的公交线路条数都是非常稀少。因此如果能够将部分支路升级改造为次干道,就可以在公交网络规模及线网

密度不变的情况下将主干道的线路压力分解到改造后的支路上。

3.2 考虑公交网络规模后的线路重复系数

对比每平方公里的公交线路里程可以发现案例之间的差异是非常显著的(表9),每平方公里的公交线路里程受到客流强度,轨道交通

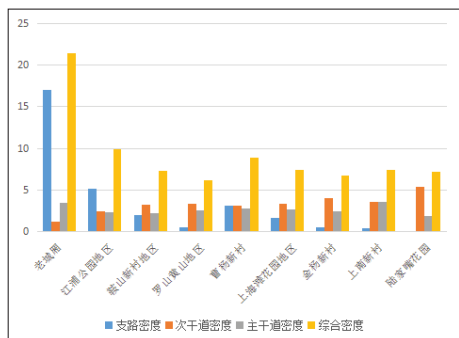


图11 公交线网密度与路网密度的关系（横坐标从左往右公交线网密度依次升高）

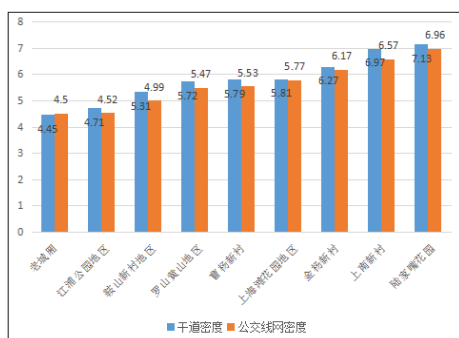


图12 公交线网密度与干道密度的关系（横坐标从左往右公交线网密度依次升高）

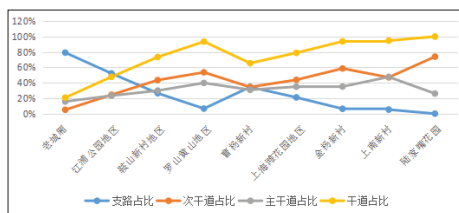


图13 公交线网密度与路网密度的关系（横坐标从左往右公交线网密度依次升高）

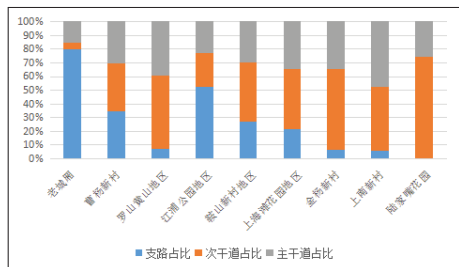


图14 路网密度结构对比分析

及其他交通方式分担比例等多重因素的影响，已经超出研究范畴，不在此讨论。

在比较线路重复系数时应该剔除公交线网规模的影响，下面以老城厢每平方公里的公交线路里程为标准，对其它区域的线路重复系数进行校正（表10）。理论认为，在公交线网规模

表9 每平方公里的公交线路里程（单位:km/km²）

	支路	次干道	主干道	综合
老城厢	0.38	7.16	37.50	45.04
江浦公园地区	0.68	11.20	39.86	51.75
鞍山新村地区	0.58	21.74	35.26	57.58
罗山黄山地区	0.13	24.26	47.86	72.25
曹杨新村	1.10	14.35	54.28	69.72
上海滩花园地区	—	21.11	46.65	67.75
金杨新村	1.08	42.69	20.71	64.47
上南新村	—	16.21	64.47	80.68
陆家嘴花园	—	36.29	20.29	56.58

表10 校正后的线路重复系数

	校正系数	支路	次干道	主干道	综合	公交线网密度 (km/km ²)
老城厢	1.00	1.00	9.21	11.21	10.01	4.50
江浦公园地区	1.16	1.43	5.34	14.94	9.88	4.52
鞍山新村地区	1.29	1.38	5.81	11.05	7.83	4.99
罗山黄山地区	1.61	0.64	5.37	12.57	8.47	5.47
曹杨新村	1.56	1.96	3.77	12.72	8.08	5.53
上海滩花园地区	1.51	—	4.38	11.97	7.77	5.77
金杨新村	1.44	4.86	7.87	6.38	7.25	6.17
上南新村	1.80	—	2.94	10.21	6.82	6.57
陆家嘴花园	1.26	—	5.65	8.66	6.45	6.96

已定的前提下，线路重复系数与公交线网密度成反比。对比校正后9个案例中线路重复系数和公交线网密度的关系可以发现，在公交线网规模既定的情况下，公交线网密度和线路重复系数是成反比的（鞍山新村是唯一的例外），与理论推测一致。其中，陆家嘴花园的公交线网密度是最高的，其线路重复系数也是最低的。

4 结论与讨论

公交线网密度对市民出行的方便程度具有重要影响，高密度的公交线网可以有效地缩短乘客步行到站距离、增加可选择的公交线路、减少换乘次数。在小城市或偏远郊区等客流强度较小的地区受制于公交网络规模，公交线路条数有限，因此无法布设高密度的公交线网。但是，在人口密度高、公交需求量大的条件下，公交线路条数众多，但是由于适合公交的道路有

限，庞大的公交网络只能引起线路重复系数的提高，此时道路网络将成为制约公交线网密度提高的基础性条件。

9个研究区域的公交线网密度基本上都符合相关技术规范，并且指标还相对偏高，但是我们不能据此推论道路网络肯定合适公交运营，因为它们线路重复系数普遍偏高，而且主要集中在主干道上。在道路总面积有限的条件下，优化路网等级结构，提高次干道比例，增加适合公交运营的城市道路，有利于提升公交线网密度和降低线路重复系数。与私人小汽车相比，常规公交的车型较大，路幅过窄，不适合公交车辆行驶，连续长度过短（顺直性较差），引起公交车转弯绕道，增大非直线系数，也对公交不利。

如果规划不能够提供符合基本要求的干道密度，那么公交线网密度就无法显著提高，服务水平就无法明显改善，杨佩昆曾经提出这个

观点^[13], 本研究验证了他的观点。在路网改造时, 将支路升级为次干道, 道路宽度保持在双车道 (应通过各种手段限制两侧临时停车) 至4车道, 提高顺直性 (延长路段的连续长度), 有利于公交运营。本研究结论和路权分配、信号优先、私人小汽车限制及公交财政补贴政策均不矛盾, 但是对城市规划实践而言, 道路网络结构的改善应该成为公交优先的重点。■

参考文献 References

- [1] Anable J. 'Complacent Car Addicts' or 'Aspiring Environmentalists'? Identifying travel behaviour segments using attitude theory[J]. *Transport Policy*, 2005, 12(1): 65-78.
- [2] 关伟, 申金升, 葛芳. 公交优先的信号控制策略研究[J]. *系统工程学报*, 2001 (3): 176-180.
GUAN Wei, SHEN Jinsheng, GE Fang. Bus priority signal control strategy [J]. *Journal of Systems Engineering*, 2001(3): 176-180.
- [3] 张卫华, 陆化普. 公交优先的预信号控制交叉口车辆延误分析[J]. *中国公路学报*, 2005 (4): 78-82.
ZHANG Weihua, LU Huapu. Bus signal priority control pre intersection analysis [J]. *Journal of China Highway Vehicle Delay*, 2005(4): 78-82.
- [4] 张卫华, 陆化普, 石琴, 等. 公交优先的信号交叉口配时优化方法[J]. *交通运输工程学报*, 2004 (3): 49-53.
ZHANG Weihua, LU Huapu, SHI Qin, et al. Bus priority signal intersection optimization method [J]. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 2004(3): 49-53.
- [5] 张卫华, 陆化普. 公交优先的预信号控制交叉口车辆延误分析[J]. *中国公路学报*, 2005 (4): 78-82.
ZHANG Weihua, LU Huapu. Bus signal priority control pre intersection analysis [J]. *Journal of China Highway Vehicle Delay*, 2005(4): 78-82.
- [6] 吴稼豪, 李硕, 卢丙成. 城市公共交通线路网络设计的一种优化方法[J]. *上海机械学院学报*, 1983 (4): 23-35, 180.
WU Jiahao, LI Shuo, LU Bingcheng. An optimization method for the design of urban public traffic line network [J]. *Journal of Shanghai Institute of Mechanical Engineering*, 1983(4): 23-35, 180.
- [7] 夏伟民, 黄斌, 陈绍仲. 城市公共交通线路的优化设计[J]. *运筹学杂志*, 1985 (1): 54-59.
XIA Weimin, HUANG Bin, CHEN Shaozhong. Optimal design of urban public traffic lines [J]. *Journal of Operational Research*, 1985(1): 54-59.
- [8] 杨兆升. 城市公共交通网络的优化研究[J]. *汽车技术*, 1985 (5): 54-60.
YANG Zhaosheng. Study on optimization of urban public transport network [J]. *Automobile Technology*, 1985(5): 54-60.
- [9] 张启人, 熊桂林. 公共交通大系统建模与优化[J]. *系统工程*, 1986 (6): 25-39.
ZHANG Qiren, XIONG Guilin. Large system modeling and optimization of public transportation [J]. *System Engineering*, 1986 (6): 25-39.
- [10] 刘清, 衷仁保, 朱志勇, 等. 实现城市公交线网优化的数学模型和广义A~*算法[J]. *系统工程理论与实践*, 1992 (2): 11-17.
LIU Qing, ZHONG Renbao, ZHU Zhiyong, et al. Realization of urban public traffic line network optimization mathematical model and generalized A star algorithm [J]. *System Engineering Theory and Practice*, 1992(2): 11-17.
- [11] 王镜. 基于博弈分析的城市公共交通定价及补贴的理论与方法研究[D]. 北京: 北京交通大学博士学位论文, 2008.
WANG Jing. Study on the theory and method of urban public transport pricing and subsidy based on game theory [D]. Beijing: The Dissertation for Doctor's Degree of Beijing Jiaotong University, 2008.
- [12] 李明敏, 方良平. 城市公共交通财政补贴方法的改进[J]. *城市公用事业*, 2008 (4): 20-23, 67.
LI Mingmin, FANG Liangping. Research on improvement of financial subsidy for urban public transport [J]. *City Utilities*, 2008,(4): 20-23, 67.
- [13] 波良可夫 A A. 城市交通和街道规划[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1959.
Brown Coff A A. City traffic and street planning[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 1959.
- [14] 王召森. 规划道路网密度指标调整之思考[J]. *城市交通*, 2004 (3): 46-48.
WANG Zhaosen. Thinking on the adjustment of the density index of the planning road network [J]. *Urban Traffic*, 2004(3): 46-48.
- [15] 文国玮. 城市交通与道路系统规划[M]. 北京: 清华大学出版社, 2001.
WEN Guowei. City traffic and road system planning [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2001.
- [16] 蔡军. 关于城市道路合理间距理论推导的讨论[J]. *城市交通*, 2006 (1): 55-59.
CAI Jun. Discussion on the reasonable distance theory of urban road [J]. *Urban Traffic*, 2006(1): 55-59.
- [17] 徐循初, 黄健中. 城市道路与交通规划 (下册) [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.
XU Xunchu, HUANG Jianzhong. City traffic planning (2) [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2005.
- [18] 杨佩昆. 重议城市干道网密度——对修改《城市道路交通规划设计规范》的建议[J]. *城市交通*, 2003 (00): 52-54.
YANG Peikun. Heavy discussion on urban road network density: proposes on the revision of 'urban road traffic planning and design standards' [J]. *Urban Traffic*, 2003(00): 52-54.