

世界大都会区城际轨道交通的发展规律

李琳娜¹, 曹小曙², 黄晓燕²

(1. 香港大学地理系, 香港; 2. 中山大学地理科学与规划学院, 广州 510275)

摘要:通过选取世界255个大都会区城际轨道交通样本,对城际轨道交通的发展历程、空间分布和网络特征进行了规律性总结;在此基础上,进一步分析城际轨道交通规模与大都会区人口、用地、经济规模之间的相关关系,构建多个回归模型;最后,应用于珠江三角洲区域,对其城际轨道交通的规模和布局进行预测。模型显示,世界大都会区城际轨道交通的规模与经济的相关程度最高,其次是人口和用地,而人均城际轨道规模与人均GDP和人口密度呈指数相关,其中,与人均GDP正相关,与人口密度负相关。应用模型得到,珠三角城际轨道交通的规划规模超前于现有经济发展水平,但低于人口发展水平。近期应重点建设广州、佛山、深圳、东莞4个城市重要节点的城际轨道交通,构建广佛和广深两条走廊,并联系珠海、中山、肇庆、惠州、江门的中心城区,形成以广州为中心的放射状布局;远期则需要进一步加大广州、深圳、佛山、东莞、珠海、中山的线网密度,扩大线网的覆盖范围,并对外围的肇庆、惠州和江门适当增加联系的节点,最终形成网络状布局。

关键词:大都会区;城际轨道交通;网络;规模;珠江三角洲

1 引言

20世纪70年代开始,城际轨道交通逐渐成为欧洲和北美各大都会区解决客运交通问题的重要方式,并被越来越多的国家和地区采用。对此,地理学者展开了广泛的研究。目前,国外相关研究主要集中在城际轨道交通的决策、规划、客流和影响4个方面。①决策方面,对于是否应建设城际轨道交通存在争议,反对者主要质疑轨道交通的成本太高,而且并不能从实质上改善区域交通^[1]。②规划方面,有学者对法国、德国、日本大都会区的轨道交通发展经验进行总结^[2],也有学者对站点的TOD开发(Transit-oriented Development,即以公共交通为导向的开发)^[3]、站点的可达性^[4]以及与其他交通方式的衔接^[5]进行了探讨,但线路布局方面的研究较少。③客流预测和客流的影响因素研究也是城际轨道交通的重要方面。传统的客流预测多采用重力模型和交通方式分配模型相结合的方法^[6],近年来,出行选择模型和对数模型的应用更广^[7-8]。客流预测中涉及的因素十分复杂,既包括人口、经济等

宏观因素,也包括众多的微观因素^[9],如拥挤程度、停车费用、票价、节庆事件等。④城际轨道交通的影响研究最受关注,主要考虑轨道交通建设后,居民出行选择行为^[10]、城市和区域的经济的发展^[11]、站点附近土地利用格局^[12]、区域的通达性格局^[13]、不同物业类型的房价租金、人口和经济的空间格局^[14]等6大方面的变化情况。2000年以来,国内相关研究增加,对国际发展经验进行了大量的定性总结^[15],研究还关注了客流预测模型^[16-17]。此外,城际轨道交通的影响主要集中在空间格局^[18]和经济发展^[19-20]两方面。

如上所述,国内外对大都会区的城际轨道交通开展了广泛的研究,但多为单个案例的深入分析,或少数几个案例的发展策略总结,缺少世界范围的横向对比和建设标准的规律性总结。本文试图通过对世界大都会区城际轨道交通样本的总结,归纳时空发展和网络结构特征,进而构建城际轨道交通规模与区域社会经济的回归模型,并将模型应用于珠江三角洲地区,为中国城际轨道交通的合理发展提供借鉴。

收稿日期:2011-05; 修订日期:2011-08.

基金项目:国家自然科学基金项目(41171139,41130747)。

作者简介:李琳娜(1986-),女,湖南邵阳人,博士生,主要从事交通地理研究。E-mail: Lilinna@hku.hk

通讯作者:曹小曙,男,博士,教授,博士生导师,主要从事交通地理与土地利用研究。E-mail: caoxsh@mail.sysu.edu.cn

2 数据资料与研究方法

2.1 数据与样本

根据定义“服务于城市区域的网络化快速轨道交通系统,采取小编组、高密度、公交化运行的行车组织方式,主要承担沿线各城市 and 主要中心城镇之间的客流,并兼顾各城市组团和次中心城镇之间的客流”^[18],城际轨道交通主要包括3种技术类型:轻轨、通勤(市郊)铁路和高速铁路。本文在世界范围内选取255个城际轨道交通样本,包括轻轨样本102个,通勤(市郊)铁路样本139个,高速铁路样本10个。由于轻轨和高速铁路并不一定属于城际轨道交通的范围,但在实际统计中又难以将这些类型剥离出来。因此,本文分别进行总体样本和分类样本分析,对照显示,误差很小,对结果影响不大。

研究的基础数据包括各城际轨道交通样本的基础数据和所在大都会区的基础数据,具体包括:城际轨道交通的开通时间、通车里程、站点数目、线路数目、轨道交通图,所覆盖大都会区的人口规模、土地规模和经济规模。城际轨道交通数据主要来自互联网资源^[21-23],大都会区的相关数据则来自联合国官方网站和统计公报^[24],统计口径和统计年份存在一定的差异,但由于样本量大,误差在合理范围内。珠江三角洲案例分析所用的总体及各镇的人口、经济数据来自广东省及各市、区的统计年鉴。

2.2 研究方法

对样本的城际轨道交通长度与大都会区的人口、用地、经济规模做相关分析,进而构建回归模型,以得到城际轨道交通规模与大都会区社会、经济背景之间的关系。

对城际轨道交通的交通网络图进行拓扑分析,采取连接率(β)、环路指数(μ)、实际成环率(α)和实际结合度(γ)4个指标。其中, β 和 μ 反映网路的连接程度, α 和实际结合度 γ 反映网络的扩展潜力,具体计算公式如下:

$$\beta = e/v$$

$$\mu = e - v + p$$

$$\alpha = (e - v + p) / (v - 5)$$

$$\gamma = e / (3(v - 2))$$

式中: e 是网络的边数; v 是网络的节点数; p 是网络的子图数。

3 世界城际轨道交通的时空与网络发展

3.1 发展历程

所收集的样本中,区域城际轨道交通最早为1834年建设于美国纽约的通勤铁路。将1834-2010年这100多年划分为6个时间段,对各阶段开通的轨道交通项目进行统计(图1、图2)。

(1) 城际轨道交通中,通勤铁路开始建设的时期最早,为19世纪30年代,而轻轨开始于19世纪中期,高速铁路则最早建设于1964年。由此可见,区域城际轨道交通随着时间发展,技术不断进步,速度不断提高,但轻轨和通勤铁路仍占主导地位。

(2) 从发展历程来看,在1970年以前,除了两次世界大战期间城际轨道交通的建设处于停滞状态以外,发展基本保持平稳。但是,二战以后,汽车技术得到改进,高速公路大量建成,民航普及,铁路运输走向下坡,世界出现了拆除轻轨系统的风潮,除了欧洲大陆仍然保持建设轻轨以外,英国、北美、新西兰等地都陆续拆除已建的轻轨。到了20世纪60年代初,各地的轻轨系统拆除殆尽。但是60年代末期,一些规划师开始意识到交通机动化和公共交通边缘化所带来的弊端,包括交通拥挤、城市中心衰退、环境污染严重等。于是,欧洲大陆以公共交通为主的给了规划师以启示。到了1970年以后,区域城际轨道交通重现建设高潮,尤其是轻轨交通^[25]。根据样本统计,1970年后建设的轨道交通项目多达169个,占总样本量约2/3,尤其是2000年以后,建设项目多达61个,占总样本量约1/4。

(3) 从地域分布来看,欧洲一直是区域城际轨道交通建设的重点地区。1970年开始,北美也成为重点发展地区,其城际轨道交通项目的数量仅次于欧洲。其他地区包括众多发展中国家的城际轨道交通建设项目也逐渐增多(图3),以非洲为例,大量轻轨项目正在建设。中国高速铁路也在飞速发展,有人称中国将成为未来世界“高速铁路的领跑者”。

3.2 空间分布

以大洲为单位,对城际轨道交通的样本进行统计,可以发现各地区在城际轨道交通发展水平上存在差异。

欧洲的城际轨道交通项目数量最大,占世界总量的1/2以上,总通车里程也最长,达27006 km,除通勤铁路长度略低于亚洲以外,轻轨、高速铁路均居世界首位。亚洲的区域轨道交通在数目上虽然

少于北美洲,但其通车总里程达23850 km,居世界第二,其高速铁路的发展规模也仅次于欧洲。除了日本的区域城际轨道交通发展较早且规模较大以外,亚洲的其他很多国家和地区都在积极地发展区域城际轨道交通,尤其是中国,未来将成为亚洲轨道交通重点发展的地区之一。北美洲在区域轨道交通项目上居第二位,但规模上小于欧洲和亚洲,排名第三,这与其小汽车交通发达,重视高速公路,而对轨道交通发展不够重视有关。美国的高速铁

路相对滞后,在美国,时速在127 km以上即可称为高速;而在欧洲和日本,意味着要在320 km以上。新提出的美国高速铁路计划,将引来未来北美的高速铁路迅速发展。南美洲、大洋洲和非洲的区域城际轨道交通发展相对较晚,规模也较小,但未来仍有很大的发展空间,目前,非洲有大量的城际轨道项目处于建设或规划阶段,预计2010年后会有大量项目投入使用(表1)。

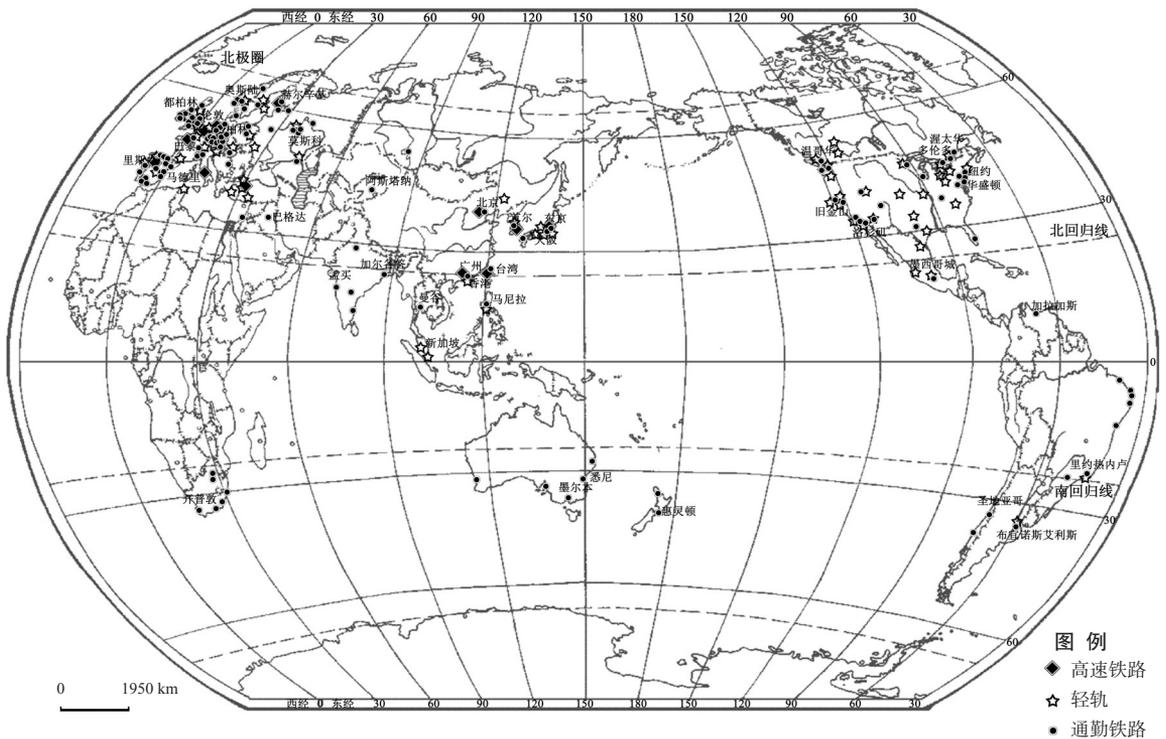


图1 2009年世界区域城际轨道交通分布示意图

Fig.1 Intercity rail transit in the world in 2009

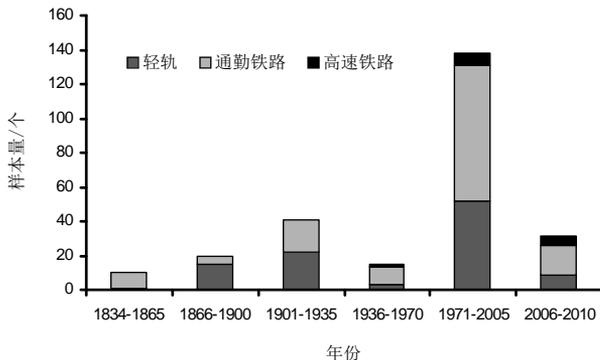


图2 世界城际轨道交通建设时序图

Fig.2 The timetable of intercity rail transit construction in the world

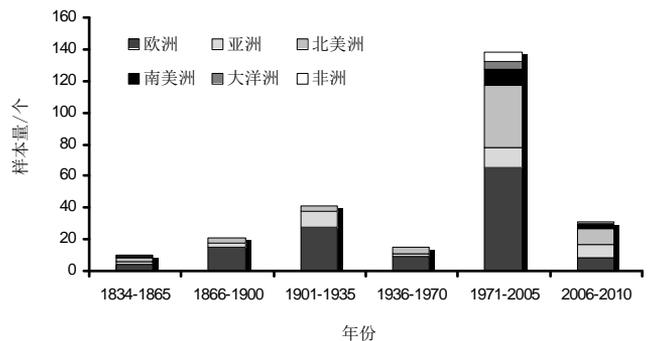


图3 世界城际轨道交通建设分布图

Fig.3 The distribution of intercity rail transit construction in the world

3.3 网络特征

计算所有样本的网络拓扑指标,并以大洲为单位,对比各地区的网络拓扑指标(表2)。可以发现,各地区的城际轨道交通网络发展水平存在差异。其中,连接率最高的是欧洲,达1.132,说明平均每个节点连接的线路数超过1,网络呈回路网络结构,但区域发展的均衡性也相差较大。其次是非洲,连接率较高,与样本量偏少有关。再次是亚洲和大洋洲,都超过了1。但北美洲和南美洲的网络连接率都低于1,说明网络的连接程度总体而言较低,大多呈树状结构。从环路指数来看,与连接率类似,欧洲的网络成环水平最高,达15.537,南美洲的成环水平最低,仅0.692。从区域内部差异性来看,欧洲和亚洲的不均衡性最大,其次是非洲,大洋洲和南美洲的内部差异最小。从实际成环率和实际结合度来看,南美洲和大洋洲值最小,网络扩展潜力较大。而欧洲的实际成环率和实际结合度值最大,表明其网络扩展潜力较小,内部差异性较大。

从样本的网络布局图来看,其空间结构可以分为以下5种形态:①串珠状,通过单条线路联系区域内的多个城镇,引导区域走廊的发展,多见于发展初期的城际轨道交通系统,如布宜诺斯艾利斯轻轨;②轴辐状,以区域内中心城市为轨道系统的中心,联系周边城镇,如大多伦多的区域通勤铁路;③树状,整个网络分叉较多,其顶点的节点联系较强,分支之间联系程度较低,如纽约都市区通勤铁路;

④网状,网络中各节点间的联系程度最高,为网络发展的高级形态,如都柏林的区域铁路;⑤混合状,大多数城际轨道交通网络并非规则的某一形态,而是多种形态混合组成的复杂网络,如“网络+树状”,“串珠状+串珠状”、“网络+放射状”等^[26]。以日本首都圈和巴黎都市圈为例,世界上成熟的城际轨道交通呈现出网络状的复杂空间结构,引导区域城市空间向多核心发展。

4 世界城际轨道交通规模的回归模型

4.1 基于总量指标的回归模型

选取城际轨道交通的长度(L)作为衡量区域城际轨道交通规模的指标,选取大都会区人口规模(P)、用地规模(S)、经济规模GDP总量(G)作为区域社会、经济指标,对254个城际轨道交通的总体样本(其中1个样本缺区域人口、用地数据)进行相关分析。由于部分轻轨和高速铁路不在区域城际轨道交通的范畴内,为了减少误差,本文选取7类样本进行相关分析,以便相互对照、检验,包括轻轨、通勤铁路、高速铁路的逐类分析和两类合并分析(表3)。

由以上数据可知,除了轻轨样本单独分析的相关性很弱以外,其余相关性都较高,均超过0.3,有些甚至达到0.7以上,并且通过了显著性概率0.01或0.05的检验。总体样本的统计显示,城际轨道交

表1 2009年世界各地城际轨道交通规模概况

Tab.1 The volume of intercity rail transit construction in each continent in 2009

	项目数量				总通车里程/km			
	合计	轻轨	通勤铁路	高速铁路	合计	轻轨	通勤铁路	高速铁路
欧洲	129	53	68	8	27005.78	1855.20	19201.78	5948.80
亚洲	39	14	19	6	23849.99	276.06	20032.03	3541.90
北美洲	60	32	28	-	10149.00	1506.90	8642.10	-
南美洲	13	2	11	-	2097.80	52.90	2044.90	-
大洋洲	7	-	7	-	3877.00	0.00	3877.00	-
非洲	7	1	6	-	2674.00	23.00	2651.00	-

资料来源:根据互联网资料[21]整理。

表2 世界各地城际轨道交通网络发展程度指标比较

Tab.2 Index comparisons of intercity rail transit network maturity in different regions

地区	样本量	连接率		环路指数		实际成环率		实际结合率	
		平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差
北美洲	60	0.973	0.101	1.95	4.601	0.016	0.039	0.368	0.032
大洋洲	7	1.015	0.025	2.571	1.618	0.014	0.015	0.347	0.011
非洲	7	1.103	0.166	12.571	17.756	0.065	0.081	0.383	0.052
南美洲	13	0.946	0.044	0.692	2.213	0.001	0.004	0.357	0.016
欧洲	121	1.132	0.680	15.537	64.850	0.093	0.364	0.411	0.236
亚洲	33	1.035	0.327	6.212	21.901	0.044	0.166	0.381	0.110

注:由于高速铁路整体网络为全国范围,样本中排除了高速铁路样本。

通的规模与大都会区经济规模的相关系数最高,相关系数达到0.422,其次是人口,相关系数为0.418,用地的影响相对较小,相关系数为0.407,均通过了显著性概率0.01的检验。

进一步对相关的样本进行回归分析,除去只包含轻轨的样本,对余下6类样本分别建立回归模型,先采用全部进入策略(Enter),再采取逐步回归策略(Stepwise),得到的结果如表4。

4.2 基于人均指标的回归模型

考虑到城际轨道交通的规模除了受大都会区社会、经济总量的影响以外,还与人口密度、人均GDP等人均和地均指标有关。因此,消除人口和用地的影响,对人口密度(P/S)、人均GDP(G/P)与人均轨道交通长度(L/P)和地均轨道交通长度(L/S)的相关性做进一步分析。结果显示,人均轨道交通长度(L/P 与人均GDP呈正相关,相关系数为0.172,通过显著性水平0.01的检验,与人口密度(P/S)呈负相关。而考察地均轨道交通长度(L/S)与人口密度(P/S)、人均GDP(G/P)间的关系,相关性却不显著(表5、表6)。可见,区域轨道交通的人均发展水平同时受到经济发展水平和人口密度影响,经济发展水平高的地方,人均轨道交通

里程较长,而人口密度高的地方,区域轨道交通的密度反而低。进一步进行回归分析,同时建立线性模型、指数模型和三次函数模型,对比3类模型,发现指数模型的解释量最大,且通过显著性水平0.001检验,因此确定指数模型为人均轨道交通规模的匡算模型(d)和模型(e)。

5 模型应用:珠三角城际轨道交通的规模及布局预测

5.1 珠三角城际轨道交通的规模预测

2005年通过的《环渤海京津冀地区、长江三角洲地区、珠江三角洲地区城际轨道交通网规划》标志着中国大都会区城际轨道交通规划和建设的开始。到2009年,规划共进行了两次调整,从最初的规划600 km,扩展到最终的1890 km,布局也从连通地级以上城市调整为覆盖所有县级以上城市。虽然网络密度随着规模扩大有所增加,但规划的网络空间形态保持着放射与环状相结合的网状模式。可见,珠三角旨在通过建设成熟的城际轨道交通系统,快速连接区域内不同等级的城市,促进城际交流,从而推动整个大都会区的一体化发展,并

表3 城际轨道交通规模与大都会区人口、用地和经济规模的相关关系

Tab.3 Correlation between intercity rail transit scale and metropolitan area's population, land and economic scale

	区域人口规模(P)	区域用地规模(S)	区域经济规模(G)	样本选取(样本量)	
区域 城际 轨道 交通 规模 (C)	皮尔逊相关系数	.418**	.407**	.422**	总体样本(254)
	双尾检验显著性	.000	.000	.000	
	皮尔逊相关系数	-.056	.148	.105	轻轨样本(102)
	双尾检验显著性	.579	.138	.295	
	皮尔逊相关系数	.426**	.342**	.383**	通勤铁路样本(138)
	双尾检验显著性	.000	.000	.000	
	皮尔逊相关系数	.634*	.800**	.796**	高速铁路样本(14)
	双尾检验显著性	.015	.001	.001	
	皮尔逊相关系数	.368**	.334**	.344**	轻轨、通勤铁路样本(240)
	双尾检验显著性	.000	.000	.000	
	皮尔逊相关系数	.655**	.705**	.764**	轻轨、高速铁路样本(116)
	双尾检验显著性	.000	.000	.000	
	皮尔逊相关系数	.432**	.408**	.431**	通勤、高速铁路样本(152)
	双尾检验显著性	.000	.000	.000	

注: **. 相关系数的显著性水平为0.01, *. 相关系数的显著性水平为0.05。

表4 城际轨道交通规模与大都会区人口、用地和经济规模的回归分析

Tab.4 Regression analyses between intercity rail transit scale and metropolitan area's population, land and economic scale

样本选取	回归方程	模型	判定系数R ²	F检验统计量观测值	概率P值
总体样本	$L=87.205+0.168P+0.024G+0.059S^{***}$	(a)	0.214	22674	0.000
	$L=138.001+0.104G^{***}$	(b)	0.178	54592	0.000
	$L=108.086+0.066G+0.060S^{**}$	(c)	0.202	31832	0.000

注: ***. 相关系数的显著性水平为0.001。通过对不同类型样本的回归分析,一共可建立16个回归方程,表中选取的是基于总体样本建立的回归方程。判定系数R²的值偏低主要是因为选取的变量较少,只包括区域人口、用地和经济变量,而影响城际轨道交通规模的因素还有区域的多其他因素,如政策、投资、技术、自然条件等,但文章的重点是区域轨道交通规模与区域社会、经济背景之间的关系,故对研究影响不大。

带动周边区域的经济发展^[27]。

根据建立的回归模型,对珠三角城际轨道交通的规模和布局进行预测,从而为其建设提供参考。根据 GDP 总量和人均 GDP,珠三角的城际轨道交通规模匡算值分别为 486 km 和 1278 km,低于规划值 1890 km,而根据人口密度,匡算值为 3461 km,综合经济和用地指标,匡算值为 2820 km,进一步加入人口指标,得到匡算值为 3418 km。可见,珠三角城际轨道交通的规划规模超前于现有经济发展水平,但低于人口发展水平。

5.2 珠三角城际轨道交通的分布预测

5.2.1 基于现状社会经济指标的预测

选取镇级节点,根据各镇的社会、经济水平,利用回归模型进行匡算。考虑到模型(a)、(b)、(c)主要针对整个区域的轨道交通规模与人口、经济的相关

分析,而各个镇只是整体网络中的局部节点,因此,选取模型(d)和(e)进行匡算,基础数据包括各个镇 2007 年的人口密度和人均 GDP,得到各个镇的城际轨道交通规模匡算值(表 7)。结果显示,各镇的规模匡算的平均值介于 0.3~37.3 km 之间。匡算规模最大的节点为深圳的南山区,最小的节点位于肇庆的高要,对所有的节点进行聚类分析,得到 4 个等级(表 8)。第 1 等级包括广州的天河和深圳的南山,轨道交通的匡算平均值在 35~38 km;第 2 等级包括 4 个节点,同样位于广州和深圳的市区,匡算平均值介于 9.091~31.658 km;第 3 等级包括 20 个节点,除了广州和深圳以外,还包括了珠海、佛山、肇庆、东莞等节点,匡算平均值介于 14.183~23.094 km;第 4 等级包括 347 个节点,轨道交通规模的匡算值更小。

表 5 城际轨道交通密度与大都会区人口密度、人均 GDP 的相关关系

Tab.5 Correlation between intercity rail transit density and metropolitan area's population density and GDP per capita

		区域人口密度(P/S)	区域人均 GDP(G/P)
区域人均城际轨道交通规模(L/P)	皮尔逊相关系数	-0.162**	0.172**
	双尾检验显著性	0.010	0.006
区域地均城际轨道交通规模(L/S)	皮尔逊相关系数	0.064	0.041
	双尾检验显著性	0.311	0.516

注: **. 相关系数的显著性水平为 0.01, *. 相关系数的显著性水平为 0.05。

表 6 城际轨道交通人均规模与大都会区人口密度、人均 GDP 的回归分析

Tab.6 Regression analyses between intercity rail transit scale per capita and metropolitan area's population density and GDP per capita

	回归方程	模型	判定系数 R ²	F 检验统计量观测值	概率 P 值
指数	$L/P=0.228e^{0.230 \cdot G/P}$ ***	(d)	0.053	14.034	0.000
模型	$L/P=0.828e^{-1.152 \cdot P/S}$ ***	(e)	0.137	40.056	0.000

注: ***. 相关系数的显著性水平为 0.001。

表 7 珠江三角洲基于模型的城际轨道交通规模值

Tab.7 Intercity rail transit scale of Pearl River Delta based on regression models

	模型匡算值/km					规划值
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(km)
珠江三角洲	3418	486	2820	1278	3461	1890

表 8 珠江三角洲各街镇基于现状社会经济的城际轨道匡算规模等级

Tab.8 Intercity rail transit scale ranking of the towns in Pearl River Delta based on current social and economic conditions

等级	数目	模型	最小值/km	最大值/km	平均值/km	标准差
第1等级	2	(q)	34.225	35.853	35.039	1.2
		(r)	35.775	40.312	38.044	3.2
第2等级	4	(q)	19.772	38.025	31.658	8.1
		(r)	0.740	19.045	9.091	9.2
第3等级	20	(q)	7.590	25.427	14.183	5.0
		(r)	15.511	35.856	23.094	4.3
第4等级	347	(q)	0.142	11.762	2.353	2.0
		(r)	0.376	19.309	5.740	4.1

将各街镇匡算的平均值划分为5个等级,得到图4。可见,城际轨道交通规模需求最大的节点首先位于广州和深圳,其次是珠海、佛山和东莞,再次是惠州、中山、肇庆和江门。从各个城市内部来看,也可以划分出一些等级。以广州为例,天河区位于第1等级,海珠区和增城的新塘镇位于第2等级,越秀区、荔湾区、黄埔区和花都区狮岭镇、新华街位于第3等级。珠海的香洲区(除唐家湾镇、南屏镇、横琴镇)为珠海轨道交通规模匡算值最大的区域。佛山的禅城区、惠州的惠阳区淡水街分别是佛山、惠州轨道交通规模匡算值最大的节点。东莞最主要的节点位于厚街镇、长安镇和虎门镇。肇庆最主要的节点位于端州区、四会的东城街和城中街。

5.2.2 基于潜在社会经济指标的预测

随着人口的增长和经济的发展,城际轨道交通的规模需求也相应增大,因此,需要考虑珠三角未来的人口和经济发展水平,建设与之相适应的轨道交通规模。根据各市(区)的城市总体规划和社会经济发展规划,得到各市(区)的人口和GDP增长率。

在各镇的人口、经济2020的预测数据基础上,进一步根据匡算模型,匡算出各镇未来的城际轨道交通规模值。匡算平均值的范围扩大为0.35~79.57 km。利用聚类分析,将各个节点划分为7个等级(表9)。前3个等级的节点都位于深圳;第4等级为广州的天河区;第5等级除了广州和深圳的中心城区外,还包括广州南沙的黄阁镇以及佛山的禅城区;第6等级共有39个节点,其中11个点位于东莞,11个点位于佛山,主要分布在顺德和南海,6个节点位于广州,主要包括市区的黄浦区、荔湾区以及花都、增城的4个镇,3个节点位于深圳的宝安和龙岗,此外,珠海、肇庆、惠州、中山、江门也分别有1~2个节点处于第6等级。由此可见,广州、深圳、东莞所需的城际轨道交通规模等级较高且比较集中,而其余城市的高等级节点较为分散,也多集中在市区或经济较发达的镇区。

进一步统计得到分布图(图5)。2020年的匡算平均值介于0.35~79.57之间,相对于2007年的0.27~37.27 km规模有所扩大。从2020年的匡算值

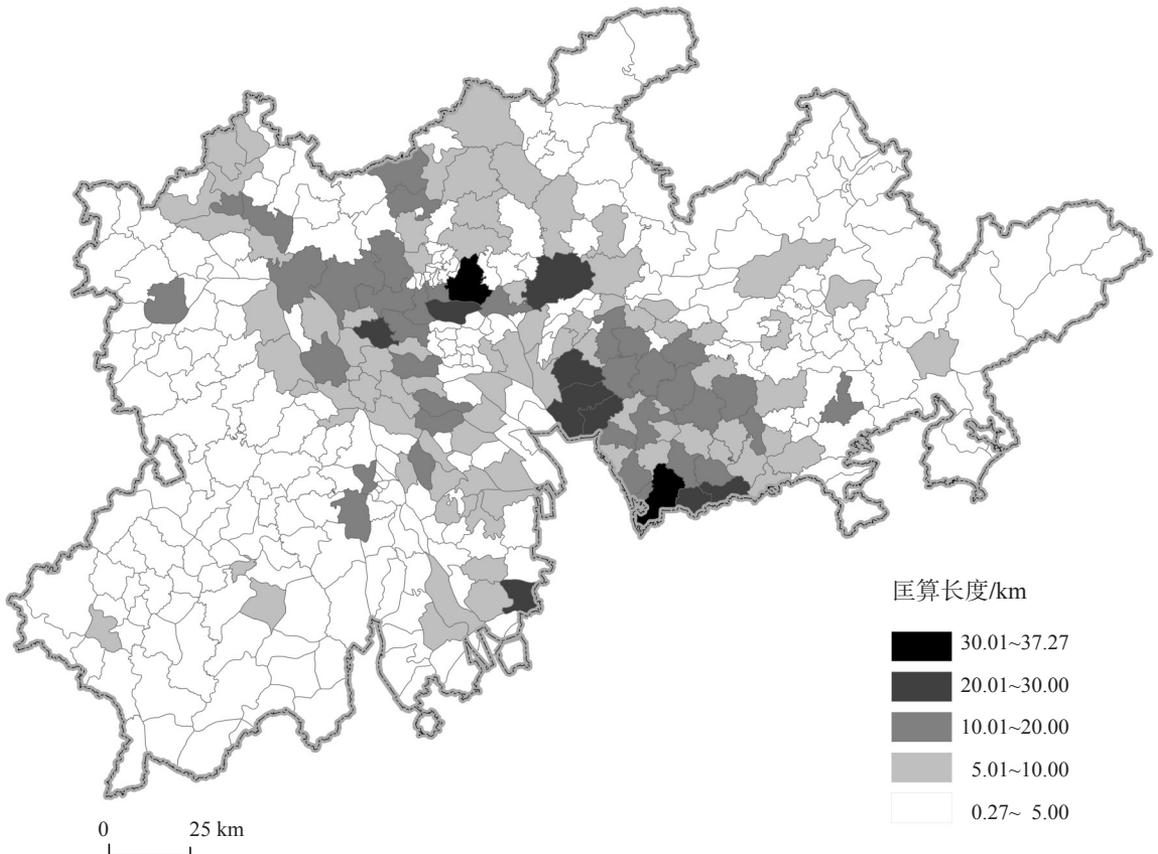


图4 2007年珠江三角洲各街镇城际轨道交通的匡算长度

Fig.4 Intercity rail transit scale of the towns in Pearl River Delta based on the models (2007)

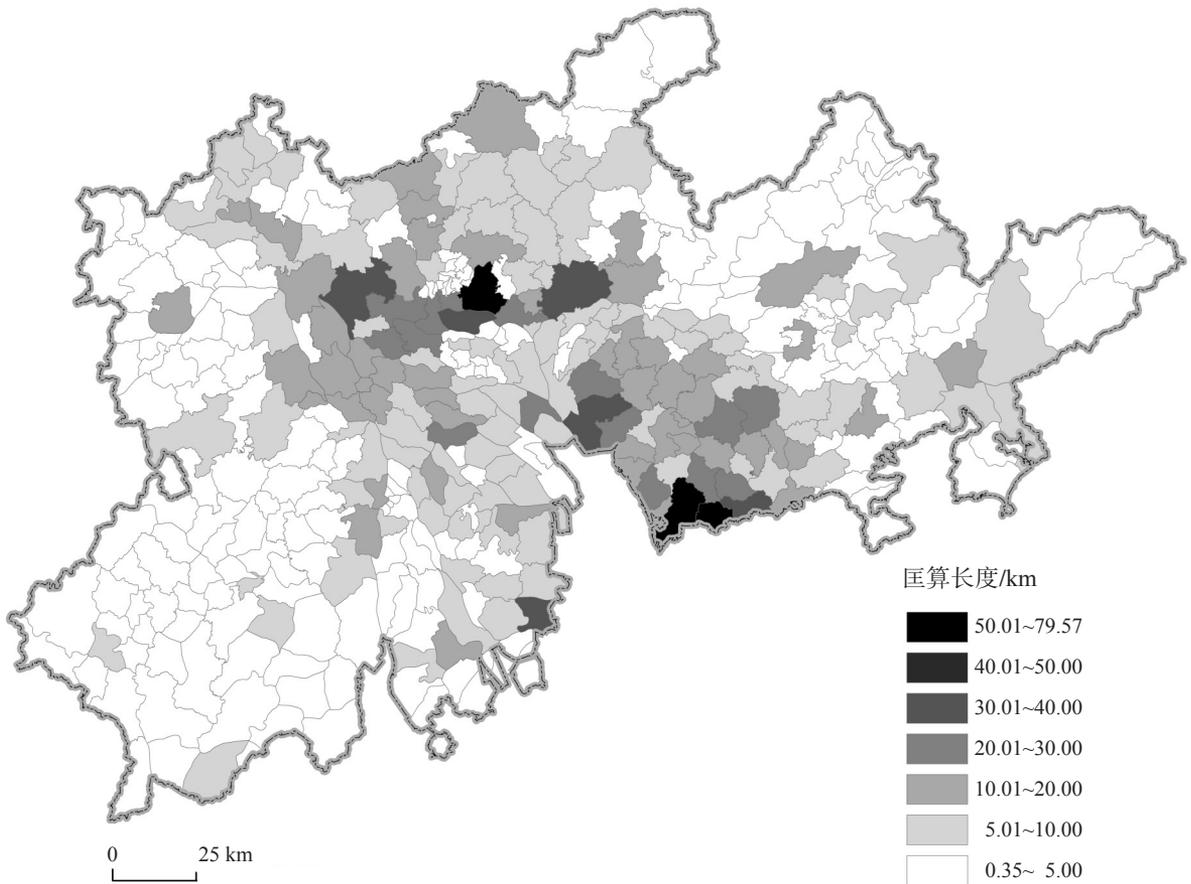


图5 珠江三角洲各街镇城际轨道的匡算长度(2020年)

Fig.5 Intercity rail transit scale of the towns in Pearl River Delta based on the models (2020)

分布格局可以看出,规模最高值位于深圳的南山区,其次是广州的天河区和深圳的福田区,匡算平均值在50~60 km的范围内,再次是深圳的罗湖区、广州的海珠区、珠海的香洲区、东莞的虎门镇、广州增城的新塘镇和佛山南海的狮山镇,匡算平均值在30~40 km之间,匡算平均值在20~30 km的节点全部位于广州、深圳、佛山和东莞,匡算值在10~20 km和5~10 km的节点在9个地级市均有分布,且数量分别达到49个和98个。

6 结论

世界大都会区的城际轨道交通主要是20世纪70年代以后开始受到重视并逐步发展起来的,21世纪以来发展尤为迅速,目前主要分布在欧洲和北美,其次是亚洲,而南美洲、大洋洲和非洲的区域城

表9 珠江三角洲各街镇基于预测社会经济的城际轨道匡算规模等级
Tab.9 Intercity rail transit scale ranking in towns of Pearl River Delta based on future social and economic conditions

等级	数目	模型	最小值/km	最大值/km	平均值/km	标准差
第一等级	1	(q)			118.100	
		(r)			41.039	
第二等级	1	(q)			93.055	
		(r)			14.026	
第三等级	1	(q)			30.259	
		(r)			0.606	
第四等级	1	(q)			66.975	
		(r)			34.724	
第五等级	5	(q)	41.977	57.048	49.587	5.442
		(r)	1.250	20.511	11.393	7.979
第六等级		(q)	7.337	38.562	16.604	7.769
		(r)	13.440	42.635	22.970	5.976
第七等级		(q)	0.187	16.434	3.301	2.771
		(r)	0.193	17.187	6.259	3.927

际轨道交通发展相对较晚,规模也较小。其网络结构在空间上呈现出一定的差异,欧洲轨道交通的网络成环水平最高,但内部的不均衡性也最大,南、北美洲的网络连接程度总体较低,内部差异较小,网络的扩展潜力较大。通过相关分析,构建回归模型可知,城际轨道交通的总规模与大都会区的总人口

规模、总经济规模和总用地规模呈现出线性相关,其中,与经济规模的相关性最高,其次是人口规模,相对而言,用地规模的影响较小。城际轨道交通的人均规模则与人均经济水平、人口密度呈现出指数相关。

将建立的多个回归模型应用到珠江三角洲及其各个街镇,得出珠三角城际轨道交通的总规模和分布。对比珠三角现有的规划,在规模上,根据GDP总量和人均GDP,珠三角的城际轨道交通规模匡算值仅为486 km和1278 km,低于规划值1890 km,而根据人口密度,匡算值为3461 km,因此,珠三角城际轨道交通的规划规模超前于现有经济发展水平,但低于人口发展水平。珠三角近期应重点建设广州、深圳、佛山、东莞4个城市的重要节点的城际轨道交通,即重点构建广佛和广深两条走廊,并联系珠海、中山、肇庆、惠州、江门的中心城区,形成以广州为中心的放射状网络。远期,需要进一步加大广州、深圳、佛山、东莞、珠海、中山的线网密度,扩大线网的覆盖范围,并对外围的肇庆、惠州和江门适当增加联系的节点,如肇庆的四会、江门的鹤山、惠州的惠阳等节点,最终形成网状布局结构。

当然,本文也不可避免的存在一些局限,由于城际轨道交通案例的选取难度较大,一方面,样本量有限,另一方面,轻轨、高速铁路的部分案例难以完全归于城际轨道交通,虽然通过技术手段对照减少误差,但误差仍然存在。其次,城际轨道交通的规模受到多方面的影响,本文仅探讨人口、经济、用地规模的影响,视角比较局限,但其余因素的资料难以获取,故难以纳入讨论框架,未来需要进一步探讨。

参考文献

- [1] Henderson H. Light rail, heavy cost. *Planning*, 1994, 60(5): 8-14.
- [2] Priemus H, Konings R. Light rail in urban regions: What Dutch policymakers could learn from experiences in France, Germany and Japan. *Journal of Transport Geography*, 2001, 9(3): 187-198.
- [3] Belzer D, Autler G. Transit oriented development: Moving from rhetoric to reality. 2002-06-15[2010-04-04]. <http://www.ulisacramento.org/documents/tod/4.Implementation/IM6.pdf>.
- [4] Givoni M, Rietveld P. The access journey to the railway station and its role in passengers' satisfaction with rail travel. *Transport Policy*, 2007, 14(5): 357-365.
- [5] Givoni M, Banister D. Airline and railway integration. *Transport Policy*, 2006, 13(5): 386-397.
- [6] Nijkamp P, Reggiani Aa, Tritapepe T. Modelling inter-urban transport flows in Italy: A comparison between neural network analysis and logit analysis. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 1996, 4(6): 323-328.
- [7] Mandel B, Gaudry M, Rothengatter W. A disaggregate Box-Cox Logit mode choice model of intercity passenger travel in Germany and its implications for high-speed rail demand forecasts. *The Annals of Regional Science*, 1997, 31(2): 99-120.
- [8] Martin J, Nombela G. Micro economic impacts of investments in high speed trains in Spain. *The Annals of Regional Science*, 2007, 41(3): 715-733.
- [9] Sakanishi A. Commuting patterns in the Osaka Metropolitan area: A GIS-based analysis of commuter rail passengers. *Review of Urban and Regional Development Studies*, 2006, 18(1): 41-59.
- [10] Senior M L. Impact on travel behavior of Great Manchester's light rail investment (Metrolink Phase 1): Evidence from household surveys and Census data. *Journal of Transport Geography*, 2009, 17(3): 187-197.
- [11] Froidh O. Market effect of regional high-speed trains on the Svealand line. *Journal of Transport Geography*, 2005, 13(4): 352-361.
- [12] Bollinger C R, Ihlanfeldt K R. The impact of rapid rail transit on economic development: The case of Atlanta's MARTA. *Journal of Urban Economics*, 1997, 42(2): 179-204.
- [13] Zhu X, Liu S. Analysis of the impact of the MRT system on accessibility in Singapore using an integrated GIS tool. *Journal of Transport Geography*, 2004, 12(2): 89-101.
- [14] Ryan S. The value of access to highways and light rail transit: evidence for industrial and office firms. *Urban Studies*, 2005, 42(4): 751-764.
- [15] 袁家冬, 李少星. 日本三大都市圈快速轻轨交通网的形成与发展. *世界地理研究*, 2005, 14(3): 1-6.
- [16] 陆化普, 王建伟, 陈明. 城际快速轨道交通客流预测方法研究. *土木工程学报*, 2003, 36(1): 41-45.
- [17] 王海强, 马国忠, 刘开元. 基于重要度的城际轨道交通空间出行分布预测的研究. *交通标准化*, 2005, 2(3): 93-96.

- [18] 曹小曙, 刘望保. 城际轨道交通规划建设对珠江三角洲区域空间的影响. 现代城市研究, 2005(12): 43-46.
- [19] 边经卫. 大城市空间发展与轨道交通. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.
- [20] 颜琼. 城际轨道交通沿线土地集约利用对区域经济发展的作用. 都市快轨交通, 2006, 19(2): 6-12.
- [21] Wikipedia. Light rail. 2012-01-29[2012-01-29]. http://en.wikipedia.org/wiki/Light_rail.
- [22] Wikipedia. Commuter rail. 2012-01-18[2012-01-29]. http://en.wikipedia.org/wiki/Commuter_rail.
- [23] Wikipedia. High-speed rail. 2012-01-28[2012-01-29]. http://en.wikipedia.org/wiki/High-speed_rail.
- [24] Demographia. Demographic World Urban Areas & Population Projections. 5th ed. 2012-01-23[2012-01-29]. www.demographia.com.
- [25] Taplin M. The history of tramways and evolution of light rail. 2006-08-24[2010-04-04]. <http://www.lrta.org/mrthis-tory.html>.
- [26] Rodrigue J P, Comtois C, Slack B. The Geography of Transport Systems. New York: Routledge, 2009.
- [27] 吕韬, 姚士谋, 曹有挥, 等. 中国城市群区域城际轨道交通布局模式. 地理科学进展, 2010, 29(2): 249-256.

The Spatial-temporal Evolution, Scale and Network Characteristics of Intercity Rail Transit in Worldwide Metropolitan Areas

LI Linna¹, CAO Xiaoshu², HUANG Xiaoyan²

(1. Department of Geography, The University of Hong Kong, Hong Kong;

2. School of Geography and Planning, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: Based on 255 worldwide intercity rail transit samples, this paper summarizes the spatial-temporal evolution and network characteristics of intercity rail transit, analyzes the correlation between intercity rail transit scale and metropolitan population, area and economic scale, and then constructs five regression models. Finally, it predicts the scale and layout of intercity rail transit in the Pearl River Delta of China by applying the models. The models indicate that that the scale of intercity rail is mostly related to regional economic scale, and less related to regional population and area scale. Meanwhile, there is exponential correlation between regional intercity rail scale per capita and regional GDP per capita as well as the population density. And the rail scale per capita is positively correlated to GDP per capita while negatively related to population density. According to the application of regression models, the planning scale of intercity rail transit in the Pearl River Delta is advanced comparing with the economic development while lagged comparing with the population development. In a short period of time, the intercity rail should connect the significant nodes in Guangzhou, Shenzhen, Foshan and Dongguan as well as the inner cities in other cities in the Pearl River Delta. In the long term, the rail line density should be increased in Guangzhou, Shenzhen, Foshan, Dongguan, Zhuhai and Zhongshan, and the nodes number should be increased in the periphery cities including Zhaoqing, Huizhou and Jiangmen.

Key words: metropolitan area; intercity rail transit; network; scale; Pear River delta

本文引用格式:

李琳娜, 曹小曙, 黄晓燕. 世界大都会区城际轨道交通的发展规律. 地理科学进展, 2012, 31(2): 221-230.