

黄洁, 杜德林, 王姣娥, 等. 基于城市群尺度的高铁列车与长途汽车网络结构比较 [J]. 地理科学, 2020, 40(12): 1958-1966. [Huang Jie, Du Delin, Wang Jiao'e et al. A comparative study on network structures of high-speed train and inter-city coach based on the urban agglomerations. Scientia Geographica Sinica, 2020, 40(12): 1958-1966.] doi: 10.13249/j.cnki.sgs.2020.12.002

基于城市群尺度的高铁列车与 长途汽车网络结构比较

黄洁¹, 杜德林^{1,2}, 王姣娥^{1,2}, 周健³, 金凤君^{1,2}

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所区域可持续发展分析与模拟重点实验室, 北京 100101;
2. 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100049; 3. 交通运输部科学研究院, 北京 100029)

摘要: 基于城市群尺度, 以高铁列车和长途汽车作为 2 种交通方式代表, 结合网络分析方法对比 2 种方式的联系格局和结构属性等。研究发现: ① 高铁列车在城市群之间的运输频次普遍较高, 长途汽车的频次主要集中于城市群内部的运输线路; ② 各城市群的长途汽车网络已拥有一定规模, 网络的成环率、结合度和连接率普遍高于高铁列车网络; ③ 2 种交通方式在不同城市群的发展差异较大, 长三角和珠三角等城市群的 2 种网络都较为成熟发达, 京津冀和成渝等城市群的长途汽车网络连通性明显优于高铁, 北部湾等城市群的 2 种网络都有较大的发展空间; ④ 高铁列车网络具有轴线结构特征, 长途汽车则呈“核心-边缘”的网络结构, 在具体城市群中两种网络结构又具有一定差异性。

关键词: 公路; 高铁; 城市群; 网络结构

中图分类号: K902 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2020)12-1958-09

城市群是区域工业化和城镇化发展到高级阶段的产物, 是人口、资金以及技术等要素聚集的区域, 更是中国新型城镇化的空间主体^[1-3]。作为国家参与全球竞争以及产业经济转移的重要载体, 城市群内部往往空间组织紧凑、经济联系紧密, 交通、通信等基础设施在此具有重要的支撑和保障作用^[3-5]。2014 年中共中央、国务院发布的《国家新型城镇化规划(2014—2020 年)》(http://www.gov.cn/gongbao/content/2014/content_2644805.htm?76p)提出“强化城市群之间交通联系, 加快城市群交通一体化规划建设”等。2019 年国家发改委发布的《2019 年新型城镇化建设重点任务》(发改规划[2019]617 号)(https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/201904/t20190408_962418.html)将“强化交通运输网络支撑”等作为工作重点。可见, 对交通运输体系的关注和研究, 在中国新型城镇化以及城市群

一体化建设过程中具有重要的现实意义。

交通网络既是城市群发展的重要支撑, 也是引导和优化城市群空间结构和空间秩序的重要基础^[6-8]。随着中国的交通建设不断向高速化和网络化发展, 交通运输体系逐步完善, 但是不同交通方式在技术经济特征以及管理运营方式等方面存在一定差异, 在空间上表现为适宜的运输距离和空间尺度不同^[9-11]。在基于单个交通方式或不同交通方式的比较研究中, 普遍认为铁路运输适宜于区域尺度, 特别是高铁的快速发展缩短区域间的时间距离, 改变城市之间的竞合关系^[12-14], 公路运输适宜于短距离运输^[15-17], 与中国的城市群空间格局存在较大吻合^[11, 17]。整体上, 高铁和公路 2 种交通方式受地理空间的约束明显, 对城市群内部的社会经济联系具有重要影响, 目前已有学者对城市群尺度 2 种网络发展进行研究分析^[18-23], 主要侧重

收稿日期: 2019-09-29; **修订日期:** 2019-12-19

基金项目: 国家自然科学基金项目(41722103, 41771134)、中国科学技术协会青年人才托举工程(2019QNRC001)资助。[Foundation: National Natural Science Foundation of China (41722103, 41771134), Young Elite Scientists Sponsorship Programme by the China Association for Science and Technology (2019QNRC001).]

作者简介: 黄洁(1988-), 女, 广西桂林人, 副研究员, 主要从事交通地理、大数据与城市交通研究。E-mail: huangjie@igsrr.ac.cn

通讯作者: 杜德林。E-mail: dudl.19b@igsrr.ac.cn

于单一网络分析, 缺少对运输组织网络比较及在不同城市群网络发展差异的研究。

鉴于此, 本文基于城市群尺度, 以地级市(包括直辖市、地级行政区和省辖县级行政单元)为基本研究单元, 采用高铁列车和长途汽车的时刻表数据构建交通组织网络, 刻画表征高铁和公路的城际运输联系, 旨在比较 2 种交通网络格局与中国主要城市群的空间关系以及在不同城市群的发展差异, 为城市群发展以及新型城镇化的基础设施建设提供一定参考。

1 研究数据与方法

1.1 数据来源与网络构建

高铁列车数据主要通过查询中国铁路客户服务中心(<http://www.12306.cn/mormhweb/>)获取 G 字头、D 字头和 C 字头列车的时刻表数据。长途汽车数据主要通过调用欣欣旅游网(<http://www.cncn.com>)进行网页检索, 利用循环查询提取城市间的汽车班次, 在此基础上结合车次网、票价网以及携程网等网站, 进行人工校验和修正。由于高铁列车和长途汽车的班次行程较为固定, 因此本文仅采用 1 d 的数据作为代表。数据采集时间为 2018 年 5 月(不包含港澳台数据)。

研究以地级市为基本单元, 对同一城市的站点进行数据合并, 即原数据站点对站点的连接关系投影到城市对城市的尺度。在此基础上, 对高铁

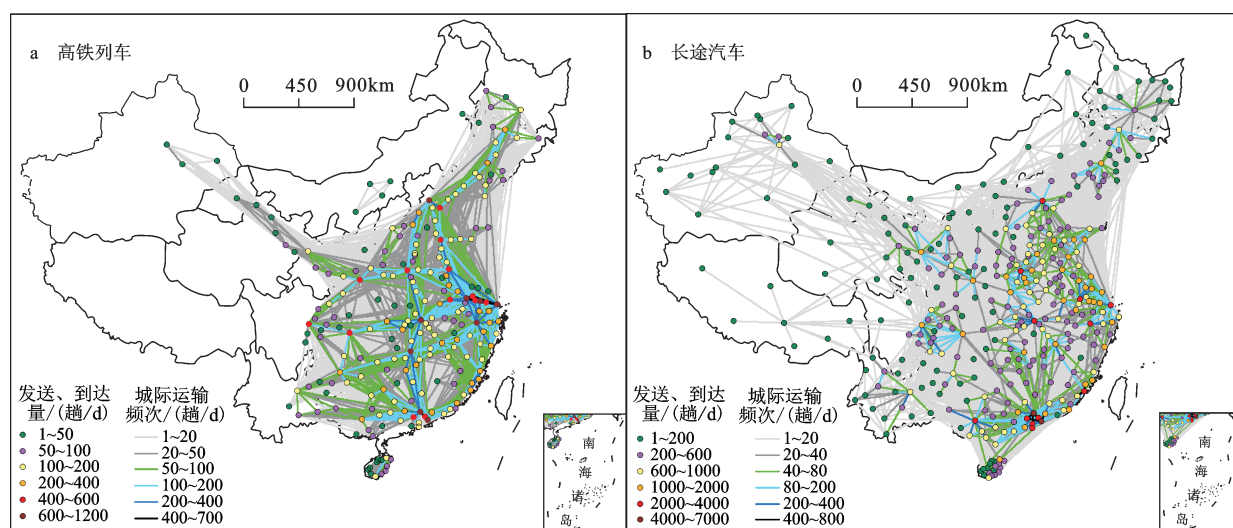
列车和长途汽车所经过的城市节点“A-B-C”分解为城市集合中任意 2 个城市间的连接关系, 即“A-B”“A-C”和“B-C”。最后以城市为节点、联系频率为边, 构建 2 种交通方式的组织网络 M 。

$$M = \begin{bmatrix} a_{1,1} & \cdots & a_{1,n} \\ \vdots & a_{i,j} & \vdots \\ a_{n,1} & \cdots & a_{n,n} \end{bmatrix}$$

式中, n 为高铁(或长途汽车)覆盖的城市总量; a_{ij} 代表城市 i 至城市 j 的班次总量($1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq n$), 包括从城市 i 至城市 j 和从城市 j 至城市 i , 考虑到交通运输基本具有对称性, 故 $a_{ij} = a_{ji}$; 研究中仅考虑城际联系, 所以当 $i=j$ 时, $a_{ij}=0$ 。整体上高铁列车网络覆盖 229 个城市, 连接 6 856 组城市对, 空间上呈轴线分布, 与中国的“四纵四横”客运专线的空间分布较为吻合; 长途汽车网络覆盖的城市和城市对数量较多, 分别有 361 个和 9 208 组, 网络结构在空间上表现出地方尺度的“核心-边缘”特征(图 1)。

1.2 主要城市群选择

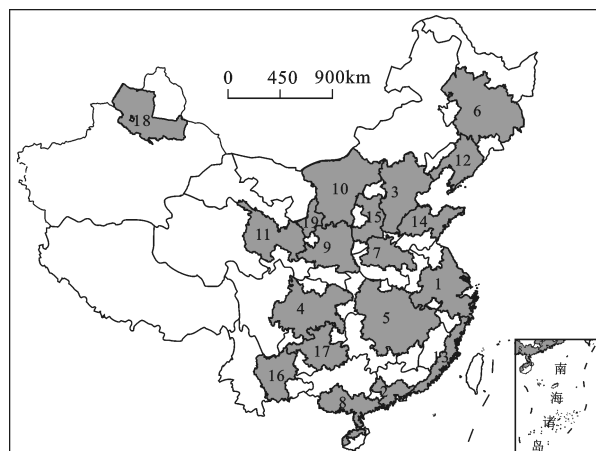
城市群是都市区和都市圈发展到高级阶段的产物, 体现了工业化和城镇化的发展水平^[1-3]。城市群内部往往社会经济联系紧密, 拥有发达的交通通信等基础设施网络, 支撑其较高的运输需求。结合已批复的城市群发展规划(如《长江三角洲城市群发展规划》等)和相关研究成果^[3,4], 本文主要选择了 19 个城市群(图 2)。



不含港澳台基础数据

图 1 高铁列车和长途汽车的地理格局与运输联系

Fig.1 The geographical pattern and transportation connections of high-speed train and inter-city coach



1. 长三角; 2. 珠三角; 3. 京津冀; 4. 成渝; 5. 长江中游; 6. 哈长; 7. 中原; 8. 北部湾; 9. 关中平原; 10. 呼包鄂榆; 11. 兰西; 12. 辽中南; 13. 海峡西岸; 14. 山东半岛; 15. 晋中; 16. 滇中; 17. 黔中; 18. 天山北坡; 19. 宁夏沿黄; 不含港澳台基础数据

图2 中国主要城市群格局

Fig.2 Main urban agglomerations in China

1.3 网络结构属性评价

网络结构属性是网络元素间相互作用形成的结构序参数,可反映网络拓扑结构、发育程度和演化特征等,常见的评价指标有成环率、结合度和连接率等^[24,25]。成环率(α)是网络环路数与最大可能环路数比值,反映成环水平,一定程度可体现网络的复杂程度;结合度(γ)是指网络中实际连线数与最大可能连线数的比率,主要用于分析网络内聚性或紧密程度;连接率(β)是每个节点的平均连接线路数,体现了区域网络的发达程度和复杂程度。本文主要采用成环率、结合度和连接率计算各城市群内部高铁列车网络和长途汽车网络的结构属性,在此基础上对比城市群内部的2种交通网络。

2 长途汽车和高铁列车网络与城市群空间关系

2.1 交通网络的空间分布

高铁列车网络和长途汽车网络与中国主要城

市群的分布较为重合,大部分班次资源分布于城市群内部和城市群之间(表1)。在城市节点方面,高铁列车网络和长途汽车网络分别有75.5%和62.3%位于城市群地区,涉及全网络的班次资源均在80%以上。在城市对方面,高铁列车网络中11.5%为城市群内部联系,50.8%为城市群之间的联系,长途汽车网络中的2类城市对分别有13.6%和44.6%,2种交通网络在城市群内部的城市对数量较少,这与城市群本身覆盖的城市数量有关,交通方式在此能形成的城际运输联系有限。在班次频率方面,高铁列车网络以城市群间班次频率最多,达35.7%,其次为城市群内部联系(33.9%),长途汽车网络则以城市群内部的班次居多,达47.9%,这与2种交通方式适宜的运输距离相对应。可见高铁列车和长途汽车在城市群内部均以较少的城市集聚较多的班次资源,城市群是2种交通网络重要的分布地区。

2.2 城市群内外交通网络比较

高铁列车在大部分城市群之间的班次频率较高,长途汽车则在城市群内部的班次频率普遍较高。对于城市群内部(图3),长途汽车在11个城市群的班次频率高于高铁列车,长三角、京津冀、长江中游、海峡西岸、辽中南、哈长、晋中和黔中8个城市群内部则以高铁列车的班次频率较高,可以发现高铁列车频率较高的城市群主要位于东部和中部地区,多属于高铁建设相对成熟的区域。在城市群之间的联系中,有14个城市群以高铁列车对其他城市群的运输频次更高,仅珠三角、北部湾、呼包鄂榆、宁夏沿黄和天山北坡5个城市群以长途汽车对其他城市群的频次更多。此外,除高铁列车尚未连通的区域外,80.0%的城市群之间以高铁列车的频次更高。可见在跨城市群的交通运输联系中,高铁往往更具运输优势,但对于一些高铁网络尚不发达的区域,长途汽车仍是对外联系的重要交通方式。

表1 高铁列车网络和长途汽车网络与城市群空间关系/%

Table 1 The relationship between the high-speed train, inter-city coach networks and urban agglomerations/%

交通网络	城市节点分布		城市对分布			班次频率分布		
	城市群地区	其他	城市群内部	城市群间	其他	城市群内部	城市群间	其他
高铁列车	75.5	24.5	11.5	50.8	37.7	33.9	35.7	30.4
长途汽车	62.3	37.7	13.6	44.6	41.8	47.9	20.4	31.7

注:城市群与非城市群地区、非城市群地区之间的连接均属于其他类型;不含港澳台基础数据。

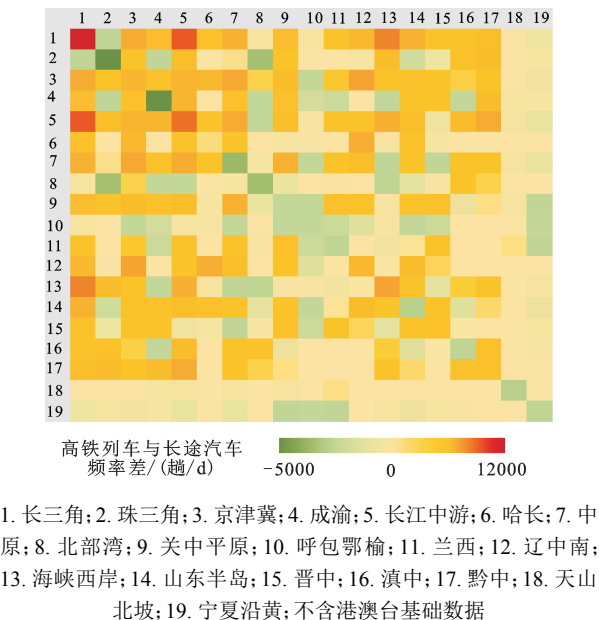


图 3 城市群内外高铁列车与长途汽车频次差值

Fig.3 Comparison between high-speed trains and inter-city coaches intra- and inter- urban agglomerations

3 城市群内部高铁列车和长途汽车网络结构

3.1 网络属性比较

高铁列车网络受轨道线路的限制, 建设发展的时间也相对较短, 相比之下, 长途汽车依托各级公路组织运输, 发展时间较长, 因此在各城市群中长途汽车覆盖的城市对数量以及网络的成环率、结合度和连接率普遍较高, 仅海峡西岸城市群以高铁列车的网络结构属性较高(表 2)。具体而言, 长三角和长江中游城市群的城市规模最大, 其高铁列车和长途汽车网络的城市对数量明显高于其他城市群, 网络连接率最高, 且成环率和结合度均在平均水平之上。珠三角、辽中南和海峡西岸城市群的高铁列车网络成环率的和结合度均在 0.7 以上, 长途汽车网络则超过 0.8, 较高的成环率和结合度反映城市群内部 2 种交通网络的复杂程度较

表 2 高铁列车与长途汽车网络属性

Table 2 Structural characteristics of the two networks

城市群		城市数/ 个	城市平均 距离/km	高铁列车网络				长途汽车网络			
				城市对/ 个	成环率 (α)	结合度 (γ)	连接率 (β)	城市对/ 个	成环率 (α)	结合度 (γ)	连接率 (β)
长三角城市群		26	230	177	0.51	0.54	6.81	296	0.90	0.91	11.38
珠三角城市群		9	90	28	0.71	0.78	3.11	36	1.00	1.00	4.00
京津冀城市群		13	259	42	0.45	0.54	3.23	73	0.92	0.94	5.62
成渝城市群		16	188	33	0.17	0.28	2.06	120	1.00	1.00	7.50
长江中游城市群		31	290	238	0.48	0.51	7.68	256	0.52	0.55	8.26
哈长城市群		11	306	35	0.56	0.64	3.18	37	0.60	0.67	3.36
中原城市群		14	159	31	0.23	0.34	2.21	86	0.94	0.95	6.14
北部湾城市群		15	240	20	0.07	0.19	1.33	51	0.41	0.49	3.40
关中平原城市群		10	199	14	0.14	0.31	1.40	31	0.61	0.69	3.10
呼包鄂榆城市群		7	283	6	0.00	0.29	0.86	13	0.47	0.62	1.86
兰西城市群		9	179	10	0.07	0.28	1.11	16	0.29	0.44	1.78
辽中南城市群		12	174	51	0.73	0.77	4.25	62	0.93	0.94	5.17
海峡西岸城市群		11	287	55	1.00	1.00	5.00	47	0.82	0.85	4.27
山东半岛城市群		13	227	28	0.24	0.36	2.15	78	1.00	1.00	6.00
晋中城市群		6	158	6	0.10	0.40	1.00	12	0.70	0.80	2.00
滇中城市群		5	167	4	0.00	0.40	0.80	8	0.67	0.80	1.60
黔中城市群		6	158	10	0.50	0.67	1.67	13	0.80	0.87	2.17
天山北坡城市群		6	226	-	-	-	-	9	0.40	0.60	1.50
宁夏沿黄城市群		4	111	-	-	-	-	4	0.33	0.67	1.00
平均值	全部	11.8	206.9	46.4	0.35	0.49	2.82	65.6	0.70	0.78	4.22
	平均距离<200 km	9.1	158.3	20.8	0.29	0.47	1.96	38.8	0.73	0.82	3.45
	平均距离>200 km	14.8	260.9	75.1	0.41	0.51	3.78	95.6	0.67	0.74	5.07

注: “-”表示城市群内部尚无高铁列车运行; 不含港澳台基础数据。

高、各个城市之间联系紧密、网络发育较为成熟。京津冀、成渝、中原、山东半岛、晋中和黔中 6 个城市群的高铁列车和长途汽车网络差异较大,其长途汽车网络的成环率和结合度均达 0.7 以上,高于平均水平,相比之下高铁列车的成环率和结合度明显较低,表明城市群依托长途汽车网络形成紧密联系,但高铁列车网络的通达性明显较差,高铁网络有较大的发展空间。北部湾、哈长、关中平原、呼包鄂榆、兰西、滇中、天山北坡和宁夏沿黄 6 个城市群的两种网络的成环率、结合度和连接率都相对较低,基本都在平均水平之下,2 种交通网络较低的属性表明城市之间联系的紧密程度较低,交通网络都有较大的发展空间,特别是天山北坡和宁夏沿黄 2 个城市群内部尚无高铁运营。

此外,空间距离对城市群两种网络的发展也有一定影响,各城市群的城市平均距离主要集中于 100~300 km,结合现有研究认为的高铁与公路优势竞争区间分界线在 200 km 左右^[12],对比发现,对于城市平均距离在 200 km 以上的城市群,其高铁列车网络成环率和连接率的平均水平约是 200 km 以下城市群的 1.5 倍,结合度也略高一些,相比之

下,其长途汽车网络成环率和结合度的平均水平则略低于 200 km 以下的城市群,但连接率仍然较高。

3.2 典型城市群分析

基于城市群内部的高铁列车和长途汽车网络属性,进一步选择长三角、珠三角、京津冀和北部湾 4 个具有代表性的城市群进行分析,其中长三角城市群属于规模大、2 种交通网络都较为发达的类型,珠三角城市群的 2 种网络复杂性、内聚性以及发达程度都较高,京津冀城市群的长途汽车网络明显发达于高铁列车,北部湾城市群的 2 种网络发展都相对较弱,4 个城市群分别代表不同发展特征的城市群。

空间上(图 4),长三角城市群的高铁列车网络和长途汽车网络表现出多中心的结构特征,以上海、南京和杭州为主要核心,高铁列车在核心城市间组织运输,尤其以沪宁城际铁路沿线的城市对班次明显较高,长途汽车网络则围绕核心城市呈放射状分布,以至周边邻近城市的班次频率较高。珠三角城市群的 2 种网络结构较为相似,表现出围绕广州和深圳的双中心特征,2 个城市集中城市

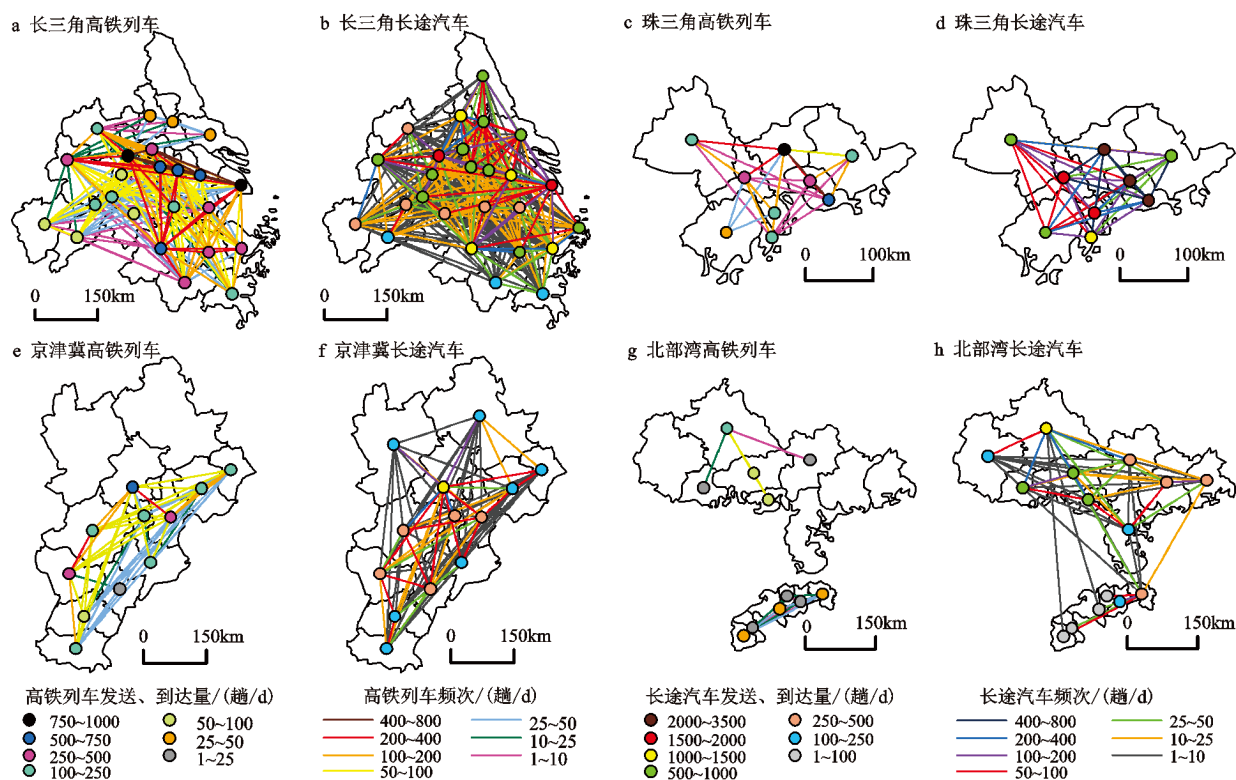


图 4 典型城市群内部高铁列车与长途汽车网络

Fig.4 High-speed train and inter-city coach networks in representative urban agglomerations

群 40% 以上的高铁列车和长途汽车班次。京津冀城市群的 2 种网络结构差异较大, 长途汽车网络主要围绕北京形成放射状结构, 高铁则以北京和天津为中心主要沿石家庄-北京-天津-秦皇岛呈轴带分布。北部湾城市群的高铁列车网络和长途汽车主要形成以南宁和海口为核心的一大一小双组团结构, 2 个组团间长途汽车班次较少且没有高铁列车, 交通联系较弱, 这与其特殊的地理环境有较大关系。

进一步对比城市群中高铁列车和长途汽车网络的前 10 位城市对(表 3), 可以发现在长三角和京津冀城市群中仅有少数城市对重叠, 空间差异较大, 珠三角城市群中有 8 组城市对重叠, 网络相似性较高, 北部湾则有 4 组城市对重叠。此外, 高铁列车的前 10 位城市对多分布于城市群内的主要高铁干线沿线, 长途汽车则多为核心城市至周边邻近城市。

3.3 网络组织特征

对比 4 个城市群内部的高铁列车和长途汽车网络, 可以发现交通方式的技术经济特征、地理环境和基础设施等方面的约束, 以及城市群自身的社会经济发展水平对 2 种网络的结构具有明显的影响。技术经济特征的差异导致 2 种交通方式适宜的运输距离不同^[10,12], 因此在空间范围相对较小且社会经济联系紧密、发育程度较高的珠三角城市群, 2 种网络的结构相似, 共同为城市群的发展提供支撑和保障, 而在范围相对较大的长三角和京津冀城市群, 2 种网络则表现出一定的层级结构

和互补关系, 高铁列车主要在中心城市间组织运输, 长途汽车则通常以中心城市至周边邻近城市的班次较多。地理环境一方面会影响城市间的社会文化交流^[11], 另一方面也会影响交通设施的建设, 例如北部湾城市群形成 2 个相互联系较弱的网络组团, 导致城市群整体的网络属性值较低。在设施网络的影响下, 高铁列车网络表现出沿主干线路分布的轴线结构, 长途汽车则围绕中心城市形成“核心-边缘”的分布特征, 这与高铁主要依托站点和线路等基础设施运营而长途汽车依托相对发达成熟的公路网组织运营有较大关系。

4 结论与讨论

交通是城市群地区社会经济发展的基础和支撑, 随着新型城镇化的不断推进以及高速交通的迅速发展, 对城市群内部交通网络结构的研究具有重要意义。作为陆路交通的重要组成部分, 高铁和公路在中短距离运输市场具有十分重要的地位, 2 种交通方式的网络组织结构以及空间协调关系极大地影响城市群地区交通网络的发展。因此, 本文基于城市群尺度, 研究对比高铁列车网络和长途汽车网络, 以此反映高铁和公路 2 种运输方式的组织结构以及在不同城市群的发展差异, 研究发现:

1) 高铁列车网络和长途汽车网络与中国城市群的重叠度较高, 其中高铁在城市群间班次频率普遍高于长途汽车, 城市群内部则以长途汽车明显较高。整体上高铁主要在中心城市间组织运输,

表 3 典型城市群班次前 10 位城市对
Table 3 Top 10 city-pairs of the two networks in representative urban agglomerations

排名	长三角		珠三角		京津冀		北部湾	
	高铁列车	长途汽车	高铁列车	长途汽车	高铁列车	长途汽车	高铁列车	长途汽车
1	南京-无锡	杭州-绍兴	广州-深圳	广州-深圳	北京-天津	北京-保定	南宁-钦州	南宁-玉林
2	上海-南京	宁波-舟山	广州-佛山	广州-东莞	保定-石家庄	北京-廊坊	南宁-北海	南宁-防城港
3	上海-苏州	合肥-安庆	广州-东莞	深圳-东莞	北京-石家庄	北京-张家口	北海-钦州	南宁-北海
4	南京-常州	杭州-宁波	深圳-东莞	广州-佛山	北京-保定	北京-承德	海口-东方	钦州-防城港
5	南京-苏州	南京-扬州	广州-肇庆	深圳-惠州	天津-秦皇岛	邢台-邯郸	儋州-东方	阳江-茂名
6	上海-无锡	镇江-扬州	肇庆-佛山	广州-珠海	唐山-秦皇岛	北京-天津	海口-儋州	南宁-钦州
7	常州-无锡	泰州-扬州	广州-中山	深圳-佛山	石家庄-邯郸	保定-衡水	东方-临高	北海-钦州
8	上海-常州	上海-苏州	深圳-惠州	广州-中山	天津-唐山	石家庄-衡水	海口-临高	海口-澄迈
9	苏州-无锡	南京-泰州	中山-佛山	深圳-中山	保定-邯郸	北京-沧州	儋州-临高	湛江-茂名
10	南京-镇江	上海-南通	广州-珠海	广州-肇庆	石家庄-邢台	北京-石家庄	南宁-防城港	南宁-崇左

注: 不含港澳台基础数据。

表现出沿主干线路分布的轴线特征,长途汽车则主要以短距离运输的频率比较高,围绕中心城市呈“核心-边缘”的分布特征。

2) 城市群内部高铁列车和长途汽车的网络结构存在一定相似性和差异性,这与2种交通方式的技术经济特征和发展时间、以及城市群自身的社会经济、地理环境和基础设施等方面的约束有较大关系。作为一种相对新型的交通方式,高铁列车在城市群内部的网络成环率、结合度和连接率普遍低于长途汽车,2种交通网络在不同城市群的发展差异也较大。具体在代表性的城市群中,长三角和珠三角等城市群的2种交通网络都较为成熟复杂、连通性较高,协调和平衡2种运输方式、促进城市群的进一步发展是未来需要关注的重点。京津冀和成渝等城市群已拥有相对便捷的公路运输,其长途汽车网络的结构属性明显高于高铁,高铁网络有较大的提升空间。北部湾和哈长等城市群的2种交通网络的发展都相对较弱。因此,各城市群未来交通网络建设和发展需要关注的重点不尽相同,需要结合城市群自身的空间范围、地理环境、社会经济发展水平等,协调2种运输方式,发挥各自的优势,支撑城市群的可持续发展。

本文选取高铁列车和长途汽车代表高铁和公路2种交通方式,一定程度上反映城市群内部2种方式的运输结构,然而受数据获取限制,本文仅从频次视角进行研究,由于车型和运输组织等方面的差异,2种交通工具的单次载客量不同,因此与实际旅客运输情况可能存在一定差异。同时,受限于长途汽车时刻表数据的获取难度,研究仅限于2018年,而中国的高铁仍处于建设发展过程中,未来高铁的规划建设势必会对城市结构产生新的影响,因此未来可通过累积更新数据,从历史视角研究城市群内部交通网络的发展以及组织结构变化等。此外,普通铁路也是陆路交通的一种重要运输方式,会对居民日常出行产生影响,未来可进一步结合普通铁路,综合研究多元交通网络的发展和组织结构。

参考文献(References):

- [1] 陈守强,黄金川.城市群空间发育范围识别方法综述[J].地理科学进展,2015,34(3): 313-320. [Chen Shouqiang, Huang Jinchuan. Review of range recognition research on urban agglomerations. Progress in Geography, 2015, 34(3): 313-320.]
- [2] 方创琳,鲍超,黄金川,等.中国城镇化发展的地理学贡献与责任使命[J].地理科学,2018,38(3): 321-331. [Fang Chuanglin, Bao Chao, Huang Jinchuan et al. Contribution, responsibility and mission of geography on China's urbanization development. Scientia Geographica Sinica, 2018, 38(3): 321-331.]
- [3] 方创琳,王振波,马海涛.中国城市群形成发育规律的理论认知与地理学贡献[J].地理学报,2018,73(4): 651-665. [Fang Chuanglin, Wang Zhenbo, Ma Haitao. The theoretical cognition of the development law of China's urban agglomeration and academic contribution. Acta Geographica Sinica, 2018, 73(4): 651-665.]
- [4] 方创琳.中国城市群研究取得的重要进展与未来发展方向[J].地理学报,2014,69(8): 1130-1144. [Fang Chuanglin. Progress and the future direction of research into urban agglomeration in China. Acta Geographica Sinica, 2014, 69(8): 1130-1144.]
- [5] 姚士谋,王肖惠,陈振光.大城市群内新型城镇化发展的策略问题[J].人文地理,2015,30(4): 1-5. [Yao Shimou, Wang Xiaohui, Chen Zhenguang. Strategy problem of newurbanization in big urban agglomeration. Human Geography, 2015, 30(4): 1-5.]
- [6] 金凤君.基础设施与经济社会空间组织[M].北京:科学出版社,2012. [Jin Fengjun. Spatial organization of infrastructure, economy and society. Beijing: Science Press, 2012.]
- [7] 吴威,曹有挥,张璐璐,等.基于供给侧的区域交通发展水平综合评价——以中国三大城市群为例[J].地理科学,2018,38(4): 495-503. [Wu Wei, Cao Youhui, Zhang Lulu et al. Comprehensive evaluation of regional integrated transportation development level based on supply-front perspective: Taking three major urban agglomerations in China as examples. Scientia Geographica Sinica, 2018, 38(4): 495-503.]
- [8] 顾朝林,曹根榕.基于城镇化发展趋势的中国交通网战略布局[J].地理科学,2019,39(6): 865-873. [Gu Chaolin, Cao Genrong. Strategic layout of China's future transportation network based on urbanization trends. Scientia Geographica Sinica, 2019, 39(6): 865-873.]
- [9] 王姣娥,景悦.中国城市网络等级结构特征及组织模式——基于铁路和航空流的比较[J].地理学报,2017,72(8): 1508-1519. [Wang Jiao'e, Jing Yue. A comparative research of spatial structure and organization mode of inter-city networks from the perspective of railway and air passenger flows. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(8): 1508-1519.]
- [10] 陈伟,修春亮,柯文前,等.多元交通视角下的中国城市网络层级特征[J].地理研究,2015,34(11): 2073-2083. [Chen Wei, Xiu Chunliang, Ke Wenqian et al. Hierarchical structures of China's city network from the perspective of multiple traffic flows. Geographical Research, 2015, 34(11): 2073-2083.]
- [11] 陈伟,刘卫东,柯文前,等.基于公路客流的中国城市网络结构与空间组织模式[J].地理学报,2017,72(2): 224-241. [Chen Wei, Liu Weidong, Ke Wenqian et al. The spatial structures and organization patterns of China's city networks based on the

- highway passenger flows. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(2): 224-241.]
- [12] Cheng Y H. High-speed rail in Taiwan: New experience and issues for future development[J]. *Transport Policy*, 2010, 17(2): 51-63.
- [13] Yang H, Dijst M, Witte P et al. The spatial structure of high speed railways and urban networks in China: A flow approach[J]. *Tijdschrift Voor Economische en Sociale Geografie*, 2017, 109(1): 109-128.
- [14] 王姣娥, 焦敬娟, 金凤君. 高速铁路对中国城市空间相互作用强度的影响[J]. *地理学报*, 2014, 69(12): 1833-1846. [Wang Jiao'e, Jiao Jingjuan, Jin Fengjun. Spatial effects of high-speed rails on interurban economic linkages in China. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(12): 1833-1846.]
- [15] 王成金. 中国高速公路网的发展演化及区域效应研究[J]. *地理科学进展*, 2006, 25(6): 126-137. [Wang Chengjin. Regional impact and evolution of express way networks in China. *Progress in Geography*, 2006, 25(6): 126-137.]
- [16] 王海江, 苗长虹, 牛海鹏, 等. 中国中心城市公路客运联系及其空间格局[J]. *地理研究*, 2016, 35(4): 745-756. [Wang Haijiang, Miao Changhong, Niu Haipeng et al. Highway passenger transport contact and its spatial distribution in the central cities of China. *Geographical Research*, 2016, 35(4): 745-756.]
- [17] 张苏文, 杨青山. 哈长城市群核心-外围结构及发展阶段判断研究[J]. *地理科学*, 2018, 38(10): 1699-1706. [Zhang Suwen, Yang Qingshan. The core-periphery structure and the growth stage of Harbin-Changchun Urban Agglomeration. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(10): 1699-1706.]
- [18] Song G, Yang J. Measuring the spatiotemporal variation and evolution of transport network of China's megaregions[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2016, 26(10): 1497-1516.
- [19] 李鑫, 郭进利, 张禹. 三大城市群的高速铁路网络特征对比分析——基于复杂网络视角[J]. *资源开发与市场*, 2016, 32(6): 703-707. [Li Xin, Guo Jinli, Zhang Yu. Comparative analysis on characteristics of high-speed railway network by three major urban agglomerations in China: Based on complex networks theory. *Resource Development & Market*, 2016, 32(6): 703-707.]
- [20] 孙阳, 姚士谋, 张落成. 中国沿海三大城市群城市空间网络拓展分析——以综合交通信息网络为例[J]. *地理科学*, 2018, 38(6): 827-837. [Sun Yang, Yao Shimou, Zhang Luocheng. Spatial expansion of urban network for the three coastal agglomerations of China: A study based on integrated traffic information network. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(6): 827-837.]
- [21] 周恺. 长江三角洲高速公路网通达性与城镇空间结构发展[J]. *地理科学进展*, 2010, 29(2): 241-248. [Zhou Kai. Expressway network accessibility analysis and structured change of urban system in Yangtze River Delta megalopolis. *Progress in Geography*, 2010, 29(2): 241-248.]
- [22] 汪德根, 孙枫. 长江经济带陆路交通可达性与城镇化空间耦合协调度[J]. *地理科学*, 2018, 38(7): 1089-1097. [Wang Degen, Sun Feng. Geographic patterns and coupling-coordination between urbanization and land transportation accessibility in the Yangtze River Economic Zone. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(7): 1089-1097.]
- [23] 陈卓, 金凤君, 王姣娥. 基于高速公路流的东北大都市区边界识别与结构特征研究[J]. *地理科学*, 2019, 39(6): 929-937. [Chen Zhuo, Jin Fengjun, Wang Jiao'e. Spatial boundaries and structural characteristics of metropolitan areas in Northeast China: A study using the data of expressway flows. *Scientia Geographica Sinica*, 2019, 39(6): 929-937.]
- [24] 莫辉辉, 王姣娥. 复杂交通网络: 结构、过程与机理[M]. 北京: 经济管理出版社, 2012. [Mo Huihui, Wang Jiao'e. *Complex transport network: Structure, process & mechanism*. Beijing: Economy & Management Publishing House, 2012.]
- [25] 焦敬娟, 王姣娥. 海航航空网络空间复杂性及演化研究[J]. *地理研究*, 2014, 33(5): 926-936. [Jiao Jingjuan, Wang Jiao'e. Spatial structure and evolution of Hainan Airlines Network: An analysis of complex network. *Geographical Research*, 2014, 33(5): 926-936.]

A Comparative Study on Network Structures of High-speed Train and Inter-city Coach Based on the Urban Agglomerations

Huang Jie¹, Du Delin^{1,2}, Wang Jiao'e^{1,2}, Zhou Jian³, Jin Fengjun^{1,2}

(1. Key Laboratory of Regional Sustainable Development Modeling/Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. China Academy of Transportation Sciences, Beijing 100029, China)

Abstract: High-speed railway and highway are the important components of land transportation and play an important supporting role in the development and integration of the urban agglomerations. At the urban agglomeration level, this article takes high-speed trains and inter-city coaches as the representatives of the two modes, and compares the characteristics of the two networks with the network analysis method. The results show that: 1) The frequency of high-speed trains is generally higher between urban agglomerations, and the frequency of inter-city coaches is mainly concentrated in the city-pairs in urban agglomerations; 2) The inter-city coach network are more mature and complex in many urban agglomerations and have higher values of the network characteristic indicators than high-speed trains. 3) The development of the two modes of transportation varies greatly in different urban agglomerations. The two networks in the Yangtze River Delta and the Pearl River Delta are relatively mature and developed. The inter-city coach network connectivity in the Beijing-Tianjin-Hebei and Chengdu-Chongqing urban agglomerations is obviously superior to that of the high-speed train network. 4) The high-speed train network is with axis structure, while the inter-city coach network shows the 'core-periphery' structure. In the specific urban agglomeration, the two networks' structures hold differences.

Key words: road transportation; high-speed train; urban agglomeration; network structure