

基于日高铁流量视角的中国高速铁路 网络空间特征

初楠臣^{1,2}, 张平宇¹, 姜博³

(1. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130102; 2. 中国科学院大学, 北京 100049;
3. 东北农业大学资源与环境学院, 哈尔滨 150030)

摘要: 构建中国180×180的O-D城市日高铁流量矩阵, 基于社会网络分析研究其高铁网络结构特征, 结果表明: ① 中国高铁网络松散, 东、中部网络密度大于东北与西部, 以长三角为核心的东南与其他区域不均衡特征凸显, 东、中、西、东北包含不同的高铁区系与核心。② 日高铁流量表现为沿京沪高铁“廊道型”向东西两侧递减弱化的“非对称性”格局, 形成京沪、京广、杭福深相串联的高铁大三角主骨架; 高铁中心要素也呈现沿京沪、京广、沪昆、杭福深等向线路两侧不规则递减格局, “廊道效应”显著。③ 胡焕庸线东南侧城市对高铁要素掌控能力大于西北侧, 省会或区域中心城市多为高铁通达服务“中介”, 一线城市高铁空间溢出效应有向二、三线城市过渡态势。

关键词: 高铁网络; 日高铁流量; 社会网络分析; 结构特征; 空间格局; 中国

DOI: 10.11821/dlyj201811006

1 引言

高速铁路的运营标志着铁路运输进入崭新的现代化时代, 凭借其速度快、运力大、能耗低以及舒适安全等优点, 高速铁路很快占据交通运输体系的核心地位。2003年秦沈客运专线的开通标志着中国进入高速铁路时代。2004年及2008年国务院分别批准与修编调整了《中长期铁路网规划》, 中国迎来高铁建设的黄金时期。2016年7月《中长期铁路网规划》勾勒“八纵八横”高铁网络宏伟蓝图, 中国进入高铁建设的鼎盛时期, 关于高速铁路的研究随之成为相关学科的热点问题。目前的研究主要集中于高铁沿线区域与城市可达性^[1-9]、高铁空间效应^[10-19]、高铁对城市与区域经济的影响^[19-22]、高铁引发的空间结构及格局的演变^[23-25]、高铁对其他交通运输方式的影响^[26,27]等。高铁可达性为研究较为集中的方面, 姜博等^[1-5]基于加权平均旅行时间、经济潜力、可达性系数等分别测度中国“四纵四横”高铁网络、中国省际、中国中心城市等高铁通达性及其空间格局; 汪德根等^[6,7]从最短旅行时间、加权平均出行时间和到上海出行时间等视角分析长三角陆路可达性和一日交流圈等时圈格局变化; 蒋海兵等^[8,9]分析京沪与哈大高铁运营前后, 中心及沿线城市可达性变率及其空间格局变化。高铁引发的空间效应有要素集聚效应、节点一场所效应、非均衡时空收敛效应、边界突破与区位增强效应、核心一边缘效应、同城化与一体化效应等^[10-19]。

收稿日期: 2018-06-14; 修订日期: 2018-09-01

基金项目: 国家科技基础资源调查专项课题(2017FY101303-1); 国家自然科学基金项目(41571152); 黑龙江省自然科学基金项目(G2018003)

作者简介: 初楠臣(1992-), 男, 黑龙江佳木斯人, 博士研究生, 主要从事城市地理与区域发展研究。

E-mail: chunanchen_1992@163.com

通讯作者: 张平宇(1966-), 男, 吉林柳河人, 研究员, 博士生导师, 主要从事城市与区域发展研究。

E-mail: zhangpy@iga.ac.cn

2193-2205 页

高铁对经济的影响突出体现在其促进各大城市群间的经济联系, 区域经济一体化趋势将会更加明显^[19], 尤其是高铁增强了中国三大城市群和京广、京沪两条廊道在未来的经济发展潜力^[20], 但高铁线路对不同区域经济增长的影响存在一定差异, 引发全国及东、中、西部地区的区域经济格局将向非均衡状态发展^[21], 各高铁经济区空间组织模式的分异特征更加显著^[22]。高铁引发区域空间结构及格局的演变, 中国东中西三大地带间高铁城市等级的空间差异呈扩大态势^[23], 呈现以郑州为中心的“核心—边缘”结构, 且圈层结构逐渐向高铁沿线延伸^[24], 城市空间相互作用呈现明显的地带性和空间“廊道效应”^[25]。高铁对其他交通运输方式的影响突出体现在高铁与民航空间竞合, 500~900 km是高铁和航空竞争博弈的显著距离, 692 km是高铁和航空运输市场的分界距离^[26], 高铁服务市场集中于东中部经济走廊, 航空在西部具有竞争优势^[27]。

综上, 高铁的相关研究成果丰富, 理论、方法、实证均有所涉及, 但目前以城际间O-D高速铁路运营频次为数据源探讨高铁网络结构特征的研究较少, 且以往研究对象多集中于单个城市群、单个省份或单条高铁的沿线城市, 以中国高铁地级城市为研究对象, 探讨中国及对比其四大区域的高铁网络特征及格局的研究也相对较少。基于此, 以目前中国开通运营高铁的180个地级城市为研究对象, 构建180×180的O-D城市日高铁流量矩阵, 运用社会网络分析工具, 辅以ArcGIS中全局趋势和空间插值分析, 研究中国及其四大区域的高铁网络结构特征与格局, 以期优化中国“八纵八横”高铁网络建设布局和相关国土空间规划提供科学依据。

2 研究方法 with 数据来源

2.1 研究区概况

2016年中国高速铁路运营里程超过2.2万km, 占全球高铁运营里程的65%, 位居世界第一, 除宁夏、西藏、云南和台湾外, 中国大部分省份均已跨入高铁行列中, 中国289个地级市中已有180个开通运营高铁, 中国东部地区高铁地级城市数达63、中部58、西部41、东北18, 其中广东省高铁地级市(14)最多, 河南(13)次之, 海南(2)、青海(2)、贵州(1)最少。以目前开通高铁的180个地级城市为研究对象, 分析中国高速铁路网络结构特征、格局等。

2.2 日高铁流量

日高铁流量包括日高铁流出量与日高铁流入量, 城市日高铁流出量以日出发频次表征、日高铁流入量以日到达频次表征^[28]; 在构建的180×180 O-D城市日高铁流量矩阵中, 以A城市作为出发点, 1日内去往其他179个城市的高铁频次之和作为A城市的日高铁流出量; 以其他179个城市作为出发点, 1日内到达A城市的高铁频次之和作为其日高铁流入量, A城市的日高铁流出量与流入量的总和即为A城市的日高铁流量。

2.3 社会网络分析

2.3.1 高铁网络的构建 ① 确定网络范围及内部节点的选择, 中国作为网络研究范围, 180个高铁地级城市作为网络节点; ② 确定网络关系, 以高铁城市点对点间(出发地到目的地)的运行流动轨迹作为网络关系; ③ 数据收集, 180×180 O-D城市日高铁运营频次的网络矩阵作为数据源; ④ 将180×180 O-D城市日高铁运营频次矩阵导入到UCINET(网络分析集成软件), 利用其可视化工具中Netdraw绘制中国高铁网络结构图; ⑤ 构建节点关系赋值矩阵, 在180×180 O-D城市日高铁运营频次矩阵中, 每两个城市间均可用“1”或“0”表征, “1”为两个高铁城市发生高铁联系, “0”为不存在高铁联系, 得到1

与0的赋值矩阵,表示“行”(节点)→“列”(节点)的流向及流量关系。

2.3.2 高铁网络指标及其内涵 基于UCINET,从网络密度(表征高铁网络联系总体分布状况)、中心度(表征高铁节点联系紧密程度、通达程度及对高铁要素的掌控能力)、核心—边缘结构(揭示高铁节点在网络中的相对中心、外围位置)、凝聚子群(寻找、识别与归类具有最高凝聚性的高铁城市群体)等指标解析高铁网络结构特征(表1)。

表1 高铁网络指标

Tab. 1 HSR network indexes

指标	UCINET计算操作方式	内涵	衡量标准
网络密度 (network density)	Network→ Cohesion→ Density→ (new)Density Overall	表征O-D高铁网络整体有效特征与高铁联系总体分布状况、紧密程度	在节点数量相同情况下,节点间高铁流量越多,网络密度越大,高铁联系越紧密,高铁对外开放程度、服务功能、获得资源要素的能力也越完善
点度中心度 (degree centrality)	Network→ Centrality→ Multiple Measures	衡量高铁城市与其它节点的交往能力,反映其处在该网络的相对中心位置程度	如果网络中一个节点与其它节点发生的高铁联系数量越多、流量值越大,点度中心度越高
中间中心度 (betweenness centrality)		控制力指标,反映其在多大程度上成为其它节点发生高铁联系的中介,及在发生桥接过程中对高铁要素的掌控程度	如果网络中一个节点位于和其它节点发生高铁联系的最短路径上,其中间中心度较高
接近中心度 (closeness centrality)		基于时间距离的层面刻画节点的 centrality,表征节点在城际间高铁要素流动的可达性	如果网络中一个节点与其它节点的可达能力越强,其接近中心度较高
特征向量中心度 (eigenvector centrality)		从整体视角出发判别O-D高铁网络中心度的标准化程度	依据高铁联系的概念对所有节点分配一个相对分值,在相同高铁流量的前提下,高分节点比低分节点贡献率大,其特征向量中心度越高
核心—边缘结构 (core/periphery structure)	Network→ Core/ Periphery→ Categorical/Continuous	O-D高铁网络中各节点相互联系而形成的一种中心紧密连接、外围逐渐稀疏的拓扑意义上的特质空间结构,划分为核心、边缘结构区,寻找核心、边缘结构区内部的核心、边缘城市	
凝聚子群 (cohesive subgroups)	Network→ Roles & Positions→ Structural→ CONCOR	O-D高铁网络中联系较强、直接、密切,具有一定内聚性与凝聚力的城市集合称为凝聚子群;从整体性的视角判别高铁网络内部是否存在凝聚子群,挖掘高铁凝聚子群及内部潜在的空间组织、结构状态、联系方式等	

中国高铁网络密度、中心度、核心—边缘结构等分析基于180×180 O-D城市日高铁运营频次的网络数据矩阵;其中东部、中部、西部及东北地区内部的网络密度、核心—边缘结构、凝聚子群分析基于东部(63个节点,63×63 O-D城市日高铁频次矩阵)、中部(58个节点,58×58 O-D城市日高铁频次矩阵)、西部(41个节点,41×41 O-D城市日高铁频次矩阵)、东北(18个节点,18×18 O-D城市日高铁频次矩阵)的数据源。

2.4 数据来源

高铁运营频次数据来源于中国铁路客户服务中心官方网站(www.12306.cn),以这180个城市中所有两两城市作为出发与到达站城市,依据高速铁路的定义(新建运营速度250 km/h及以上的动车组列车,或初期运营速度200 km/h及以上的客运专线铁路),统计的车次类型为GC—高铁/城际、D—动车,获取O-D城市日高铁运营频次矩阵。

3 日高铁流量分析

中国东部的日高铁流量(74185次/d)明显高于中部(42388次/d),西部(9537次/d)

高铁线路的匮乏,东北(8376次/d)路网连接度与密度均较低加之地域范围的限制导致其日高铁流量最低,成为中国高铁网络最为松散的群域空间。日高铁流量高的城市群集中在长三角(33083次/d)、海峡西岸(16098次/d)、长江中游(10974次/d)、京津冀(10846次/d),京沪、京广、沪宁杭、沪汉蓉、杭福深等多条高铁线路的纵横交织使其成为高铁流动最为频繁的紧密群域空间,珠三角(8358次/d)、中原(6714次/d)、山东半岛(4855次/d)等城市群の日高铁流量居中,辽中南(3909次/d)、哈长(2852次/d)、关中(2010次/d)、成渝(1728次/d)等城市群の日高铁流量较低。东部沿海省份の日高铁流量明显高于内陆腹地省份,呈现由东南朝西北向递减趋势,西部部分省份偏居一隅,日高铁流量偏低,江苏、浙江、河南、广东日高铁流量均超过10000次/d,湖南、福建、安徽、山东、河北、江西、湖北、辽宁介于5000~10000次/d,广西、陕西、吉林、四川、山西介于1000~5000次/d,黑龙江、贵州、甘肃、新疆、青海、海南、内蒙古等外围周边省份不足1000次/d。

在一个省域范围内,日高铁流量最高的城市多为省会城市,省会城市日高铁流量指向性特征显著,且日高铁流量较高的城市均集中于东部发达区域,而西部欠发达地区均相对最低,日高铁流量的高低也与沿线城市经济发展水平呈现一定程度拟合,高铁倾向服务于经济发展水平较高的地域。180个高铁地级城市の日高铁流出、流入量为67243次/d,日高铁总流量为134486次/d,不同地级城市呈现明显的等级层次性,上海、南京超过4000次/d,居中国首位,杭州、北京介于3000~4000次/d,武汉、广州、长沙、郑州、徐州、苏州、济南、无锡、深圳、常州介于2000~3000次/d,天津、福州、镇江、石家庄、合肥、厦门、上饶、南昌、宁波介于1500~2000次/d,日高铁流量超过1000次/d的城市比例为20.56%,超过500次/d的城市比例为53.89%,中国一半多的高铁地级城市日高铁流量均超过500次/d。

图1反映了中国日高铁流量的整体全局空间趋势,X、Y轴分别代表正东、正北方向,Z轴每条竖线分别代表每个高铁城市の日高铁流量,高铁日流出、日流入与总流量的全局空间趋势走向呈一定程度吻合,东西向の日高铁流量相对差距略大于南北向,整体非均衡性凸显。东西向呈自西向东的一阶函数递增态势,东部云集了京沪、京广、杭福深等主要高铁干线,区际、城际等“枝状”主轴骨架已初步成型,辅助线、延伸线和联络线等“叶状”架构扩展显著,西部高铁密集化程度不高,东部和中部高铁总里程占中国总里程的93.07%,西部仅占总里程的6.93%^[1],从而表现东部日高铁流量极高化、西部极低化特征;南北向の日高铁流量表现出以中部为核心、朝南北方向逐渐递减的倒U形格局,中部诸如郑州、武汉、长沙等城市作为整个中国高铁网络的中转与交换节点,接收来自四面八方的高铁流传输,而南北区位末端的高铁城市受边缘区位的影响,仅接收单向高铁流传输。

图2反映了中国日高铁流量的内部格局,表现出沿京沪高铁线路的“廊道型”向东西两侧逐渐递减弱化的“非对称性”空间态势,“核心廊道—边缘地带”特征凸显,京沪高铁成为中国高铁网络的重要主轴线,次轴线包括杭福深、京广、沪昆等高铁线路,形成以京沪、京广、杭福深相串联的中国高速铁路大三角主骨架。内部又涵盖被沪昆高铁相切割的两个小三角主骨架,以黄冈—九江、抚州—赣州为核心的区域成为这两个小三角主骨架的高铁流动断裂区。除京沪、杭福深高铁的沿线城市外,武汉、广州、长沙、郑州、合肥、南昌、沈阳、上饶等也是中国地域范围内的日高铁流量高值点,值得注意的是部分一线城市的高铁通达获益遵循边际效应递减规律,高铁空间溢出效应已逐渐向周边的二、三线城市过渡迁移,带来徐州、苏州、无锡、常州、镇江、上饶、莆田等城市日高铁流量的增加,未来有可能成为中国新的高铁增长极。

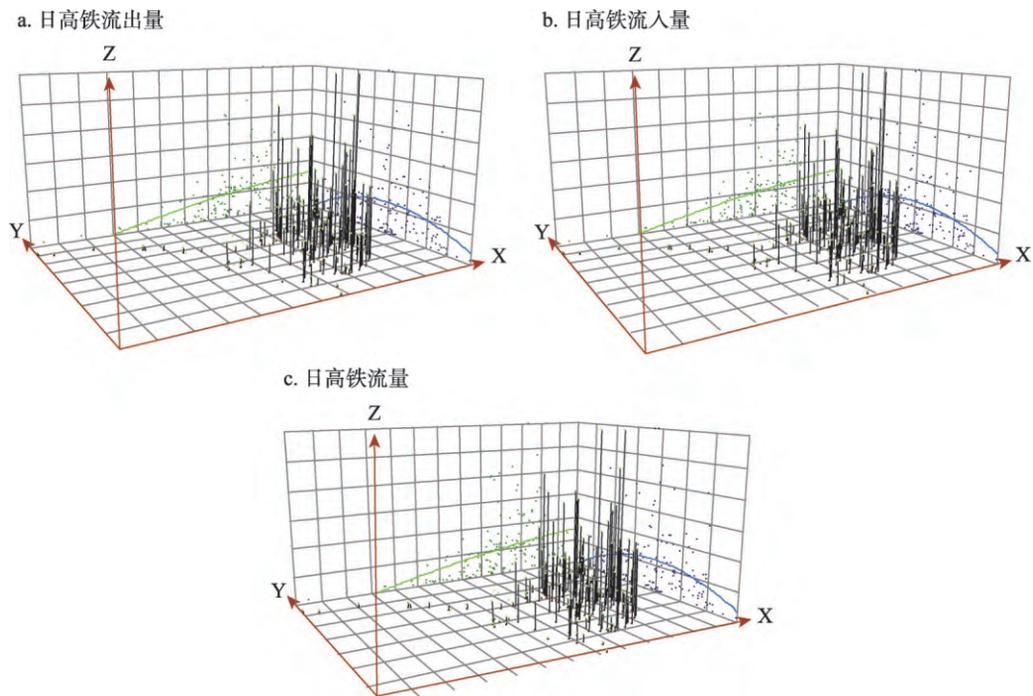


图1 日高铁流量的全局趋势3D分析

Fig. 1 Overall 3D trend of daily HSR flow

4 中国高速铁路网络结构分析

4.1 网络密度分析

中国高铁网络整体密度仅为0.2434, 总体较为松散, 依托高铁获得交通流要素能力较强的为东部与中部, 其网络密度分别为0.4352、0.3690, 东北、西部的高铁对外开放程度及内部服务功能有待完善, 网络密度仅为0.2301、0.1561, 低于中国整体密度; 目前东北与西部高铁城际联系为0, 西部高铁网络尚未成型, 城际高铁断裂联系尤为显著, 四个“孤岛”态势明朗(图3)。从城际高铁联系强度看, 城市点对点高铁日频次超过300、介于200~300、低于200分别为高、中、低密度联系, 上海—南京、广州—深圳、上海—苏州、南京—苏州、上海—无锡、南京—无锡隶属高密度联系, 上海—常州、南京—常州、北京—天津、无锡—苏州、上海—杭州、常州—苏州、无锡—常州、上海—镇江、南京—镇江、广州—长沙、南京—徐州隶属中密度联系, 除京、津外, 高、中密度联系的城市均集中于长三角, 其是中国高铁网络最为重要的辐射城市群, 日高铁流量也最高, 以长三角为核心的东南与其他区域的高铁城际联系也表现出极不均衡的网络格局特征。

4.2 中心度分析

各高铁城市的点度、特征向量中心度的相对差距远大于接近中心度, 中间中心度的差距最小, 点度、接近与特征向量中心度的高铁城市排名呈现一定吻合, 北京、上海、南京、徐州、武汉、郑州均居于前六位。

点度、特征向量中心度的内部空间格局大体吻合, 高铁辐射区集中于河北—河南—山东—安徽—江苏—浙江—福建—江西—湖南等串联区域, 也即东部及中部重要省份, 再次验证东、中部高铁城市综合联系交往能力、竞争与影响波及能力大于东北, 东北城

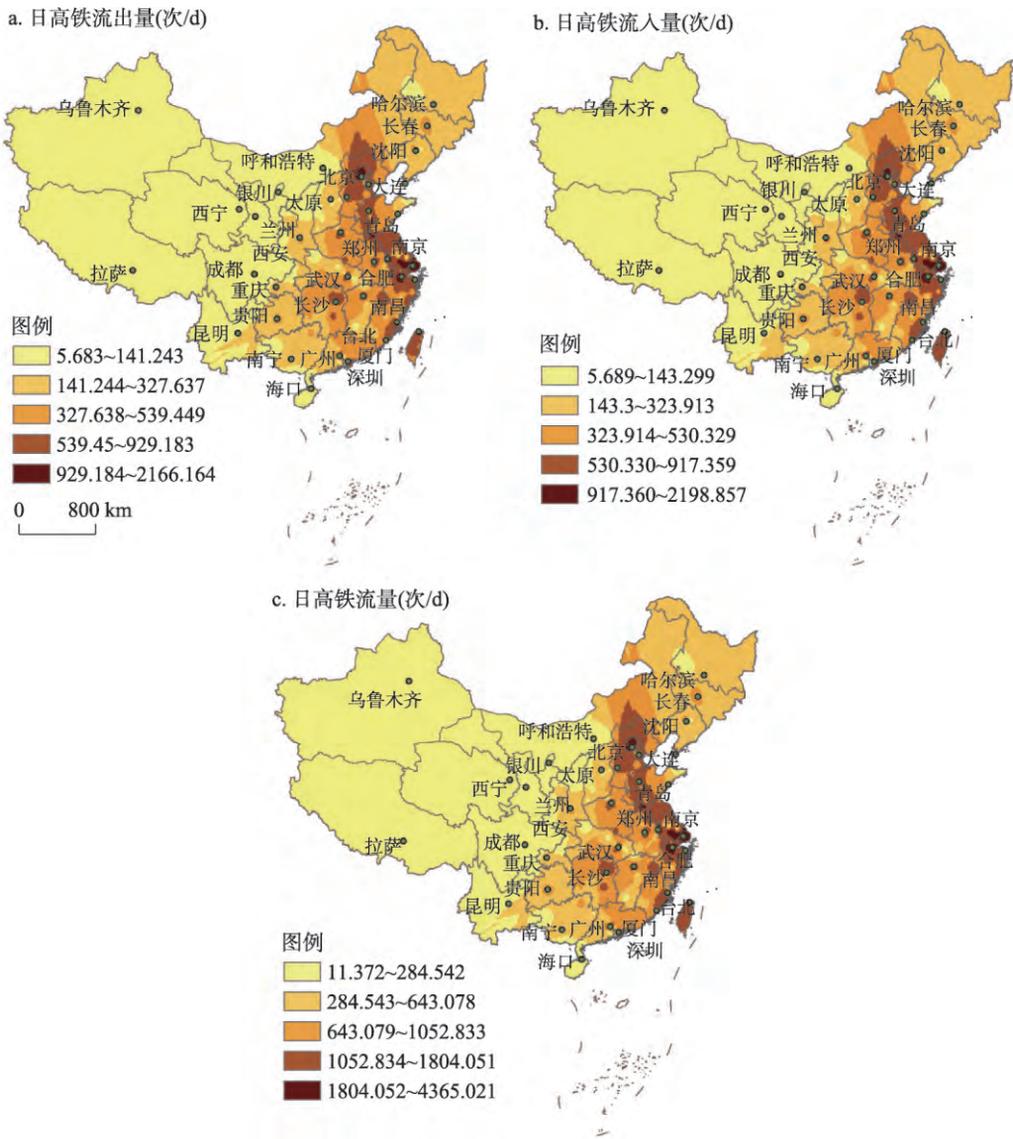


图2 城市日高铁流量空间格局
Fig. 2 Spatial pattern of urban daily HSR flow

市的高铁辐射与集聚力强于西部，甘肃、新疆、西藏、青海等成为相对孤立的低值区，边缘区位加之线路未通阻碍其依托高铁进行要素的集散；同时中国这种高铁辐射流动区也呈现沿京沪、京广、沪昆、杭福深等高铁向线路两侧不规则递减的格局，与这几条高铁线路的空间分布呈一定耦合，表现出较强的“廊道效应”特征（图4）。

接近中心度的高低格局大致被胡焕庸（黑河—腾冲）线相分割，胡焕庸线东南侧城市对中国高铁网络要素的掌控能力远大于西北侧，高铁网络权利集中于东南侧城市，城际高铁通达接近程度与高铁要素集散流动活跃，胡焕庸线西北侧没有高铁核心地位级别高的城市，核心力不强，高铁网络控制与影响能力低下，高铁要素仍承接于胡焕庸线东南侧核心城市的扩散（图4）。

中间中心度尚未形成覆盖范围广泛的特质集群，整体呈离散型空间分布，中间中心

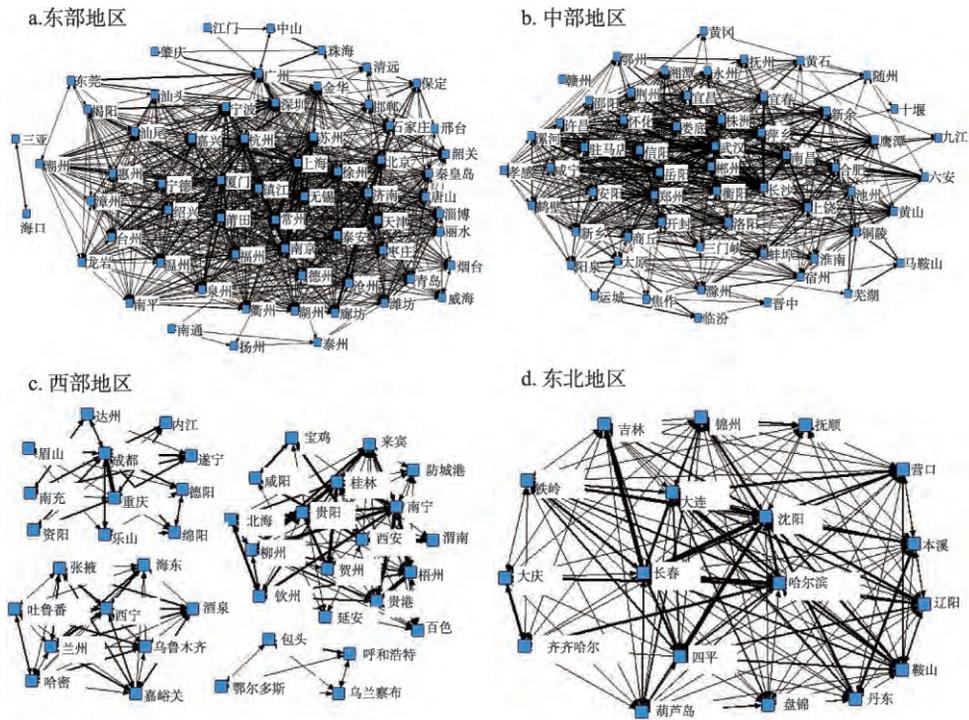


图3 高铁城际联系网络可视化结构图
Fig. 3 Intercity HSR connection visual network

度较高的城市多为省会或区域中心城市, 包括成都、重庆、广州、深圳、北京、石家庄、郑州、徐州、南京、上海、杭州、福州等, 这些城市占据着高铁网络重要位置, 也是多条高铁线路通达服务的“中介”与“桥接”, 其余高铁城市的中介能力微弱, 依附性强成为其自主发展的瓶颈制约, 主要接受以上城市的辐射影响及高铁流的波及等; 同时研究发现, 部分城市的点度、接近及特征向量中心度均位于前列, 但其中间中心度较低, 说明城市的高铁核心地位高并不意味着其“中介”能力强 (图4)。

4.3 核心—边缘结构分析

中国及东、中、西、东北区域内部, 核心组团内部城际高铁联系强度远大于核心组团→边缘组团、边缘组团→核心组团, 核心组团内部的城市均保持着极为密切的高铁联系, 核心对边缘组团的辐射效应相对较弱, 边缘组团内部城际高铁关联密度最低、节点间高铁互动最有待加强。东部无论核心、边缘组团内部, 还是核心—边缘组团间, 其关联密度均高于中国, 东北次之, 中部大于西部, 尤其是东部核心组团的城际高铁关联“一体化”态势显著, 关联密度 (64.391) 达到最高 (表2)。

中国高铁网络 14 个核心城市, 多为多条高铁线路的交汇点, 除北京、郑州、武汉、济南、长沙、南昌外, 其余核心城市均分布于长三角, 再次验证长三角引导着中国高铁网络格局态势的变化。东、中、西、东北内部高铁核心数分别为 10、7、9、5, 东部高铁核心与中国相交叠, 以南京、上海为代表的长三角高铁核心城市数量最多; 中部, 除长沙、武汉、郑州与南昌外, 诸如衡阳、郴州与信阳等二三线城市跃居为网络核心, 其一, 当一线城市巨大的“虹吸效应”达到一定程度时, 势必带来高铁空间要素的溢出, 波及至二三线城市, 其二, 作为多条高铁线路交叉点, 时空收敛效应的导向带来要素的

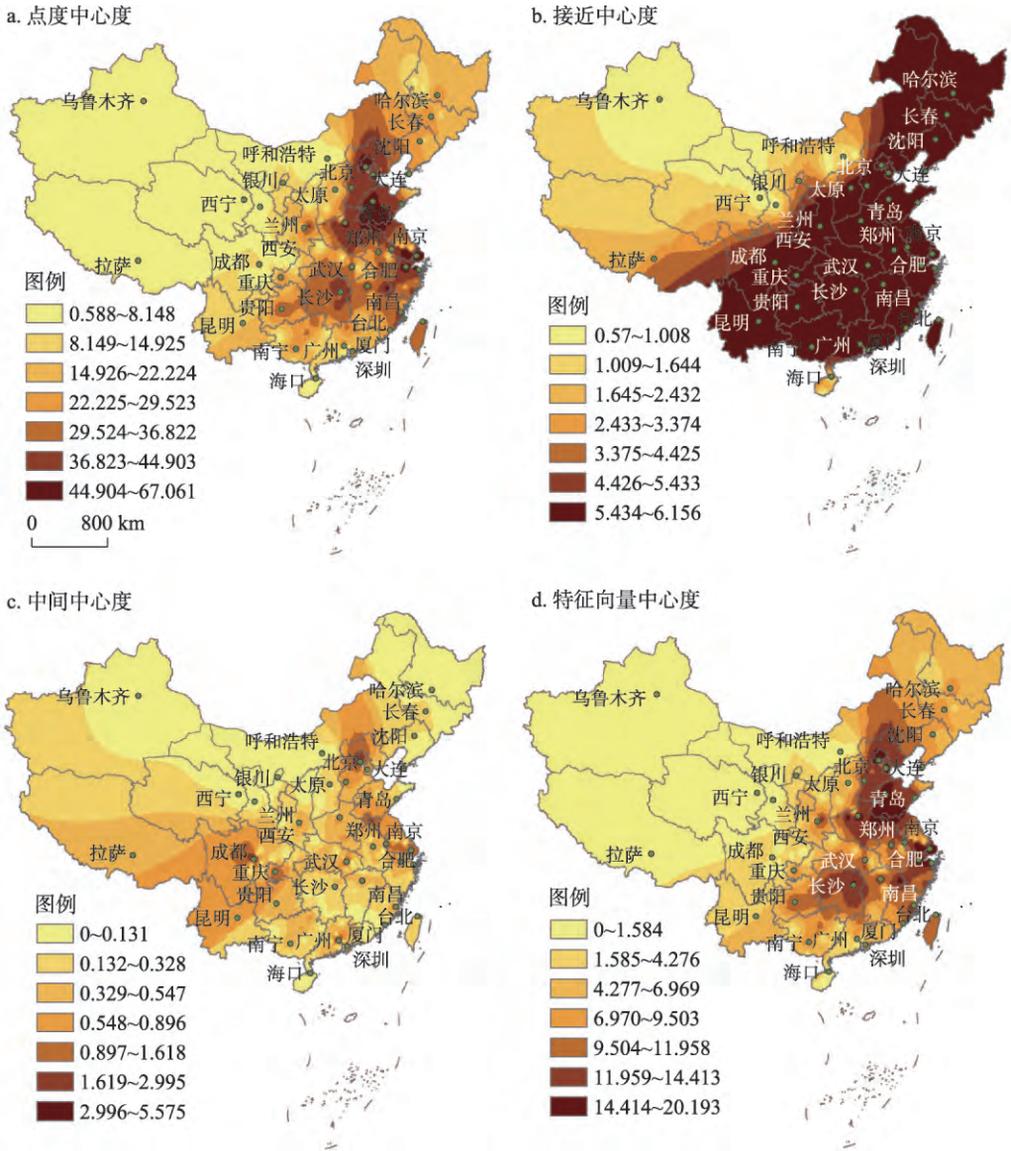


图4 中心度空间格局

Fig. 4 Spatial pattern of centrality

表2 核心—边缘密度矩阵

Tab. 2 Density matrix of core-periphery structure

	核心(中国/东部/中部/西部/东北)	边缘(中国/东部/中部/西部/东北)
核心	59.280/64.391/12.202/13.181/27.167	4.268/7.364/3.332/0.340/11.361
边缘	4.283/7.220/3.420/0.337/11.347	1.503/4.225/1.441/1.304/3.644

高度集聚化，高铁经济势位迅速提升；西部核心集中于南宁等城市所在的广西，相对西部其他省份，柳南、衡柳、湘桂、南钦、南广、南防、南北、钦防、钦北、南昆等高铁线路纵横交织，相对最为密集化，成为西部高铁重心所在；东北高铁核心包括沈阳、长春、大连、哈尔滨等副省级城市，除此，四平位于哈大高铁中间区位，可达性的改善程

度最为显著^[14], 核心地位逐渐强化(表3)。

表3 高铁网络核心城市
Tab. 3 Core memberships in HSR network

	城市(网络核心度)											
中国 (correlation: 0.616)	北京 (0.156)	上海 (0.151)	南京 (0.151)	徐州 (0.149)	郑州 (0.141)	武汉 (0.138)	济南 (0.138)	杭州 (0.131)	苏州 (0.131)	无锡 (0.129)	长沙 (0.126)	常州 (0.123)
	镇江 (0.121)	南昌 (0.120)										
东部 (correlation: 0.692)	南京 (0.199)	上海 (0.198)	杭州 (0.188)	徐州 (0.184)	苏州 (0.183)	常州 (0.182)	无锡 (0.182)	北京 (0.177)	镇江 (0.175)	济南 (0.172)		
中部 (correlation: 0.649)	长沙 (0.557)	武汉 (0.313)	郑州 (0.276)	衡阳 (0.264)	郴州 (0.258)	信阳 (0.201)	南昌 (0.190)					
西部 (correlation: 0.597)	南宁 (0.634)	梧州 (0.358)	贵港 (0.341)	桂林 (0.339)	柳州 (0.323)	来宾 (0.214)	钦州 (0.170)	北海 (0.159)	贺州 (0.128)			
东北 (correlation: 0.815)	沈阳 (0.592)	长春 (0.462)	大连 (0.300)	四平 (0.259)	哈尔滨 (0.248)							

4.4 凝聚子群分析

中国高铁多中心—枢纽化—网络化的多维嵌套空间网络模式初步成型, 各子群的构成与城市地理区位保持较好的拟合, 地域邻近性、高铁线路导向性均是子群组成的重要驱动因素, 东部(8个子群)、中部(7个子群)、西部(6个子群、2个关系对)及东北(3个子群、2个关系对)内部3级层面分别构建各自的高铁关系对与凝聚子群, 不同的子群与关系对相互间的聚合性又存在显著的差异, 在2级层面又形成不同的高铁区系。

东部高铁城市聚合规整, 子群内部省域城市交叠较少, 包含京津冀—山东区系、苏沪浙区系、浙江—福建区系、广东区系, 其中京津冀子群(北京—天津—石家庄—唐山—秦皇岛—邯郸—邢台—保定—廊坊)与山东子群(济南—青岛—淄博—枣庄—烟台—潍坊—泰安—威海—德州—沧州)关联密切, 有助于依托高铁加快京津冀与山东半岛间要素流通; 苏沪浙内部, 沪宁子群(上海—南京—无锡—徐州—常州—苏州—镇江—湖州—丽水)与扬泰通子群(扬州—泰州—南通)高铁凝聚力大; 浙江子群(杭州—宁波—温州—绍兴—嘉兴—金华—衢州—台州)与福建子群(福州—厦门—漳州—泉州—莆田—南平—龙岩—宁德)在杭福深高铁拉动下, 集聚态势显著; 广东中部(广州—深圳—珠海—韶关—肇庆—江门—清远—东莞—中山)与其东部子群(汕头—惠州—汕尾—潮州—揭阳—海口—三亚)高铁聚合性强。

中部的3级高铁子群省域破碎化现象严重, 各省域高铁城市被严重分割, 组建交叉省域间子群, 涵盖合肥—郑武区系、南昌—长沙区系、九鹰—蚌滁区系及太原区系, 其中合肥子群(合肥—黄冈—六安—咸宁—随州—荆州—宜昌—鄂州—十堰—黄石—岳阳)与郑武子群(郑州—武汉—焦作—三门峡—商丘—信阳—新乡—孝感—驻马店—漯河—开封—洛阳—安阳—鹤壁—许昌)的高铁关联紧密, 该区系覆盖了整个河南、湖北及部分安徽省; 江西省的高铁城市被分割, 部分与湖南东部城市共建区系, 部分与安徽城市共建区系, 其中南昌子群(南昌—邵阳—抚州—怀化—娄底—湘潭—萍乡—宜春)与长沙子群(长沙—株洲—郴州—衡阳—永州)高铁联系积极, 九鹰子群(九江—鹰潭—上饶—新余)与蚌滁子群(蚌埠—滁州—铜陵—池州—宿州—芜湖—淮南—马鞍山—黄山)高铁

关联作用强,仅太原子群(太原—运城—晋中—临汾—阳泉)处于相对孤立态势。

西部的各子群组建的地域性明确,包括四川区系、陕西—内蒙古—甘肃—青海—新疆区系、广西—贵州区系,成渝子群(重庆—成都—资阳—内江)、德遂子群(德阳—遂宁—绵阳—南充—达州—眉山—乐山)组建四川省重要高铁区系;在郑西、兰新等高铁的推进下,西包子群(西安—包头—鄂尔多斯—呼和浩特—乌兰察布—延安—咸阳—宝鸡—渭南)与兰新子群(兰州—西宁—乌鲁木齐—海东—吐鲁番—哈密—张掖—嘉峪关—酒泉)高铁互动紧密,地域覆盖范围相对最为广泛;南宁子群(南宁—防城港—贵港—梧州—百色)与北海—钦州关系对、贵阳子群(贵阳—桂林—贺州)与柳州—来宾关系对高铁联系凸显。

东北,黑龙江省域内部形成哈大齐高铁区系,辽吉二省高铁城市交织,组建辽吉内陆腹地地区系与沿海地区系,哈齐城际高铁推进齐齐哈尔—大庆关系对与哈尔滨的高铁关联最为积极;哈大高铁加速长沈子群(长春—沈阳—吉林—四平—铁岭—抚顺)与大连子群(大连—鞍山—营口—辽阳)的一体化进程;辽西子群(盘锦—锦州—葫芦岛)与本溪—丹东关系对均位处沿海经济带,高铁凝聚力量大。

5 结论与讨论

5.1 结论

(1) 中国高铁网络总体较为松散,东、中部网络密度大于东北与西部,以长三角为核心的东南与其他区域不均衡格局特征凸显。其中东部包含京津冀—山东、苏沪浙、浙江—福建、广东等区系,内部核心城市多分布于长三角;中部涵盖合肥—郑武、南昌—长沙、九鹰—蚌滁及太原等区系,内部核心有长沙、武汉、郑州、南昌等;西部包括四川、陕西—内蒙古—甘肃—青海—新疆、广西—贵州等区系,内部核心多集中于广西内部;东北形成哈大齐、辽吉内陆腹地与沿海等区系,内部核心有沈阳、长春、大连、哈尔滨等。

(2) 日高铁流量表现为沿京沪高铁“廊道型”向东西两侧逐渐递减弱化的“非对称性”格局,京沪高铁为主轴线,杭福深、京广、沪昆等高铁为次轴线,形成京沪、京广、杭福深相串联的高铁大三角主骨架,内部涵盖被沪昆高铁相切割的两个小三角主骨架。在此基础上,高铁中心要素也呈现沿京沪、京广、沪昆、杭福深等高铁向线路两侧不规则递减的格局,“廊道效应”显著。

(3) 一半多的高铁地级城市日高铁流量超过500次/d,且胡焕庸线东南侧城市对高铁要素的掌控能力远大于西北侧城市,带来其东南侧的省会或区域中心城市多成为高铁通达服务的“中介”,同时一些一线城市的高铁空间溢出效应有向周边二、三线城市过渡迁移的态势,部分二、三线城市未来有可能成为新的高铁增长极。

5.2 讨论

本文仅研究静态的高铁网络结构特征,并未探究多年的、动态序列的高铁“流”及其网络结构的变化,未来随着一些在建线路的开通(如东北进京高铁预计2019年开通),导致本文结论尚存在一定的局限性。中国高速铁路正处于快速发展中,其建设与营运里程在未来5~10年增长幅度较大,随着“八纵八横”高铁线路的不断运营,“核心—核心”与“核心—网络”的空间链接模式逐步向“网络—网络”的模式过渡,以长三角为核心的高铁集散场势必将进一步扩张,产生新的高铁区系间与内部的延拓、袭夺与耦合发展态势以及新一轮高铁核心的更替;除此,高铁网络结构还会受到地形(平原、山丘、高原)等自然地理条件的影响,这也是本文所欠缺的。

目前来看,中国长三角城市群的高铁网络最为密集化、日高铁流量最高,引导中国高铁网络格局态势的变化,而京沪高铁作为中国高铁网络最为重要的主轴线,依托该高铁主轴线形成长三角为核心的沿海经济社会要素向内陆腹地的快速扩散,通过长沙、武汉、郑州等中部节点“桥接”,成都、重庆、西安等西部节点“桥接”,沿着京广、沪昆、沪汉蓉等次轴高铁线路及其接驳线、延伸线,逐步实现未来沿海与内陆腹地经济社会要素的相对均衡化格局。未来随着高铁线路的快速普及化、高铁经济社会要素的快速流通化,将打破城市群尺度,城市群与城市群间组合成更高级别的组团模式,形成更大体量的格局形态与更高级别的经济体。京津冀子群与山东子群的组合加速京津冀与山东半岛两个城市群的经济社会一体化,浙江子群与福建子群的集聚也有助于提升长三角与海峡西岸城市群的经济社会聚合性。除此,高铁的运行也会打破城市群内部的经济组合模式,相毗邻的城市群的部分城市由于高铁重新聚合,对于城市群重组带来新的机遇,对于其经济社会要素的重新分配也产生一定影响。

关于未来高铁建设布局的优化调整:其一,避免高铁线路的过度扩张、过度超前、重复建设、能力浪费,减少与其他交通方式的不协调与不合理竞争问题;其二,考虑到我国交通发展和区域经济社会发展阶段的关系、区域和国家的交通合理结构等问题,适当推进向西部地区高铁线路的建设与延伸,适当加大东部,尤其是长三角、珠三角、京津冀等发达城市群及沿海高铁干线、支线的完善;其三,在国家“一带一路”倡议背景下,满足高铁建设与其技术经济的合理性,实现中国腹地与沿海的全方位合作、海铁联运的新格局,完善与东北亚俄罗斯、朝鲜、日本的国际运输通道,借助高铁发展沟通中、俄、朝、韩、日、蒙与欧洲的重要运输轴带。

参考文献(References)

- [1] 姜博,初楠臣,修春亮,等.中国“四纵四横”高铁网络可达性综合评估与对比.地理学报,2016,71(4): 591-604. [Jiang Bo, Chu Nanchen, Xiu Chunliang, et al. Comprehensive evaluation and comparative analysis of accessibility in the four vertical and four horizontal HSR networks in China. Acta Geographica Sinica, 2016, 71(4): 591-604.]
- [2] 冯长春,丰学兵,刘思君.高速铁路对中国省际可达性的影响.地理科学进展,2013,32(8): 1187-1194. [Feng Changchun, Feng Xuebing, Liu Sijun. Effects of high speed railway network on the inter-provincial accessibilities in China. Progress in Geography, 2013, 32(8): 1187-1194.]
- [3] 孟德友,陈文峰,陆玉麒.高速铁路建设对我国省际可达性空间格局的影响.地域研究与开发,2011,30(4): 6-10. [Meng Deyou, Chen Wenfeng, Lu Yuqi. Impacts of high-speed railway on the spatial pattern of the regional accessibility in China. Areal Research and Development, 2011, 30(4): 6-10.]
- [4] 钟业喜,黄洁,王玉钊.高铁对中国城市可达性格局的影响分析.地理科学,2015,35(4): 387-395. [Zhong Yexi, Huang Jie, Wen Yuzhao. Impact of high-speed railway on spatial pattern of Chinese cities' accessibility. Scientia Geographica Sinica, 2015, 35(4): 387-395.]
- [5] 钟少颖,郭叶波.中国高速铁路建设对城市通达性影响分析.地域研究与开发,2013,32(2): 46-51. [Zhong Shaoying, Guo Yebo. The impact of accessibility of railway network with the high-speed railway construction in China. Areal Research and Development, 2013, 32(2): 46-51.]
- [6] 汪德根,章黎.高速铁路对长三角地区都市圈可达性影响.经济地理,2015,35(2): 54-61, 53. [Wang Degen, Zhang Yun. The influence of high-speed railways on accessibility of Yangtze River Delta region's metropolitans. Economic Geography, 2015, 35(2): 54-61, 53.]
- [7] 陶卓霖,杨晓梦,梁进社.高速铁路对长三角地区陆路可达性的影响.经济地理,2016,36(8): 40-46. [Tao Zhuolin, Yang Xiaomeng, Liang Jinshe. Impact of high-speed rail on land transportation accessibility of Yangtze River Delta. Economic Geography, 2016, 36(8): 40-46.]
- [8] 蒋海兵,徐建刚,祁毅.京沪高铁对区域中心城市陆路可达性影响.地理学报,2010,65(10): 1287-1298. [Jiang Haibing, Xu Jiangan, Qi Yi. The influence of Beijing-Shanghai high-speed railways on land accessibility of regional center cities. Acta Geographica Sinica, 2010, 65(10): 1287-1298.]
- [9] 姜博,初楠臣.哈大高铁对区域可达性影响及空间格局演变.城市规划,2015,39(11): 92-98. [Jiang Bo, Chu Nanchen. Impact of Harbin-Dalian high-speed rail on regional accessibility and evolution of spatial pattern. City Planning

- Review, 2015, 39(11): 92-98.]
- [10] 姜博, 初楠臣, 王媛, 等. 高速铁路对城市与区域空间影响的研究述评与展望. 人文地理, 2016, 31(1): 16-25. [Jiang Bo, Chu Nanchen, Wang Yuan, et al. The research review and prospect of the impact on urban and regional space of high-speed rail. *Human Geography*, 2016, 31(1): 16-25.]
- [11] 王姣娥, 焦敬娟. 中国高速铁路网络的发展过程、格局及空间效应评价. 热带地理, 2014, 34(3): 275-282. [Wang Jiao'e, Jiao Jingjuan. Development process, spatial pattern and effects of high-speed rail network in China. *Tropical Geography*, 2014, 34(3): 275-282.]
- [12] 王姣娥, 丁金学. 高速铁路对中国城市空间结构的影响研究. 国际城市规划, 2011, 26(6): 49-54. [Wang Jiao'e, Ding Jinxue. High-speed rail and its impacts on the urban spatial structure of China. *Urban Planning International*, 2011, 26(6): 49-54.]
- [13] 张博野, 闫晨红, 曾菊新. “三铁”建设中的武汉城市圈空间效应. 经济地理, 2014, 34(10): 46-52. [Zhang Boye, Yan Chenhong, Zeng Juxin. The spatial effects of Wuhan metropolitan area during the construction of rail rapid transit system including high-speed railways, intercity railways and subways. *Economic Geography*, 2014, 34(10): 46-52.]
- [14] 姜博, 初楠臣, 王媛, 等. 高速铁路影响下的城市可达性测度及其空间格局模拟分析: 以哈大高铁为例. 经济地理, 2014, 34(11): 58-62, 68. [Jiang Bo, Chu Nanchen, Wang Yuan, et al. High-speed railway impact on the measure of urban accessibility and its spatial pattern simulation analysis: A case of Harbin-Dalian high-speed rail. *Economic Geography*, 2014, 34(11): 58-62, 68.]
- [15] Kim H, Sultana S. The impacts of high-speed rail extensions on accessibility and spatial equity changes in South Korea from 2004 to 2018. *Journal of Transport Geography*, 2015, 45: 48-61.
- [16] Jiao Jingjuan, Wang Jiao'e, Jin Fengjun, et al. Impacts on accessibility of China's present and future HSR network. *Journal of Transport Geography*, 2014, 40: 123-132.
- [17] Vickerman R. High-speed rail and regional development: The case of intermediate stations. *Journal of Transport Geography*, 2015, 42: 157-165.
- [18] Shaw S L, Fang Zhixiang, Lu Shiwei, et al. Impacts of high speed rail on railroad network accessibility in China. *Journal of Transport Geography*, 2014, 40: 112-122.
- [19] 张学良, 聂清凯. 高速铁路建设与中国区域经济一体化发展. 现代城市研究, 2010, 25(6): 7-10. [Zhang Xueliang, Nie Qingkai. High-speed rail construction and the regional economic integration in China. *Modern Urban Research*, 2010, 25(6): 7-10.]
- [20] 张萌萌, 孟晓晨. 高速铁路对中国城市市场潜力的影响: 基于铁路客运可达性的分析. 地理科学进展, 2014, 33(12): 1650-1658. [Zhang Mengmeng, Meng Xiaochen. Impact of high-speed railway on market potential of Chinese cities: Analyses based on railway passenger transport accessibility. *Progress in Geography*, 2014, 33(12): 1650-1658.]
- [21] 贾善铭, 覃成林. 高速铁路对中国区域经济格局均衡性的影响. 地域研究与开发, 2015, 34(2): 13-20. [Jia Shanming, Qin Chenglin. The influence of high-speed railway to the equilibrium of China's regional economic pattern. *Areal Research and Development*, 2015, 34(2): 13-20.]
- [22] 陆军, 宋吉涛, 梁宇生, 等. 基于二维时空地图的中国高铁经济区格局模拟. 地理学报, 2013, 68(2): 147-158. [Lu Jun, Song Jitao, Liang Yusheng, et al. The simulation of spatial distribution patterns of China's HSR-economic zones based on the 2D time-space map. *Acta Geographica Sinica*, 2013, 68(2): 147-158.]
- [23] 焦敬娟, 王姣娥, 金凤君, 等. 高速铁路对城市网络结构的影响研究: 基于铁路客运班列分析. 地理学报, 2016, 71(2): 265-280. [Jiao Jingjuan, Wang Jiao'e, Jin Fengjun, et al. Impact of high-speed rail on inter-city network based on the passenger train network in China, 2003-2013. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(2): 265-280.]
- [24] 金凤君, 焦敬娟, 齐元静. 东亚高速铁路网络的发展演化与地理效应评价. 地理学报, 2016, 71(4): 576-590. [Jin Fengjun, Jiao Jingjuan, Qi Yuanjing. Evolution and geographic effects of high-speed rail in East Asia. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(4): 576-590.]
- [25] 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. 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.]
- [26] 丁金学, 金凤君, 王姣娥, 等. 高铁与民航的竞争博弈及其空间效应: 以京沪高铁为例. 经济地理, 2013, 33(5): 104-110. [Ding Jinxue, Jin Fengjun, Wang Jiao'e, et al. Competition game of high-speed rail and civil aviation and its spatial effect: A case study of Beijing-Shanghai high-speed rail. *Economic Geography*, 2013, 33(5): 104-110.]
- [27] 王姣娥, 胡浩. 中国高铁与民航的空间服务市场竞合分析与模拟. 地理学报, 2013, 68(2): 175-185. [Wang Jiao'e, Hu Hao. Competition and cooperation of high-speed rail and air transport in China: A perspective from spatial service market view. *Acta Geographica Sinica*, 2013, 68(2): 175-185.]
- [28] 陈建军, 郑广建, 刘月. 高速铁路对长江三角洲空间联系格局演化的影响. 经济地理, 2014, 34(8): 54-60, 67. [Chen Jianjun, Zheng Guangjian, Liu Yue. The spatial connection evaluation of Yangtze River Delta with the high-speed rail. *Economic Geography*, 2014, 34(8): 54-60, 67.]

Spatial characteristics of Chinese high-speed railway network from the perspective of daily flow

CHU Nanchen^{1,2}, ZHANG Pingyu¹, JIANG Bo³

(1. Northeast Institute of Geography and Agroecology, CAS, Changchun 130102, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. College of Resource and Environment, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: This paper studied the spatial structure, pattern, and characteristics of China's high-speed railway (HSR) network. The paper first built a daily origin-destination (O-D) HSR flow matrix consisting of 180*180 cities to evaluate the daily HSR flow of China. Then by analyzing the network density, four kinds of centralities, core/periphery structure and cohesive subgroups using the network analysis software, i.e., University of California at Irvine Network (UCINET), this paper displayed the structure and characteristics of China's HSR network. Finally, the global trend analysis and spatial interpolation function of geographic information system (GIS) were used to simulate the pattern of the daily HSR flow and four kinds of centralities in China and to reveal the characteristics and the differentiation of their spatial distribution. The results are as follows. First, spatially, the HSR network of China is loosely organized. The HSR network density of different regions differs greatly as such: eastern China > central China > northeastern China > western China. Particularly, the HSR network density of the Yangtze River Delta is higher than that of other region in China. This phenomenon shows the imbalanced and uncoordinated development of China's current HSR network. The HSR cliques and cores of eastern China, central China, northeastern China and western China are different. Second, by analyzing the daily HSR flow, we find that the flow of Beijing-Shanghai HSR line which has developed into the main "corridor" of China's HSR flow is much higher than that of the rest lines. However, its west and east sides have shown an asymmetric reduction trend. Beijing-Shanghai HSR line, Beijing-Guangzhou HSR line and Hangzhou-Fuzhou-Shenzhen HSR line are the nation's HSR center-lines, as they have the highest daily HSR flow. These three lines have developed into a triangle pattern, which is the basis of China's HSR spatial structure. The spatial pattern of the flows of the key urban elements, such as the population and industries, has been affected by the HSR network. These key elements of both sides of the Beijing- Shanghai HSR, Beijing- Guangzhou HSR, Shanghai- Kunming HSR, Hangzhou-Fuzhou-Shenzhen HSR lines have an asymmetric reduction trend, which shows the strong influence of the "corridor". Third, key elements related to HSR such as population and industries of the cities located to the southeast of the Hu Huanyong Line are higher than those of the cities to the northwest of the line in China. Beijing, Guangzhou, Chengdu, Chongqing, Shenzhen, Zhengzhou, Shijiazhuang, Nanjing and Shanghai are the national important HSR accessibility intermediary cities. These cities, together with other provincial capitals and regional central cities, have spatially developed into multiple service centers of China. Besides, the spatial spillover effects based on the HSR accessibility have been spilled from the first-tier developed cities to the second- tier or third- tier cities. The HSR development and its accessibility have brought potential agglomeration chances to second-tier or third-tier cities.

Keywords: HSR network; daily HSR flow; social network analysis; structure and characteristics; spatial pattern; China