



罗能生,田梦迪,杨钧,等. 高铁网络对城市生态效率的影响[J]. 中国人口·资源与环境,2019,29(11):1-10. [LUO Nengsheng, TIAN Mengdi, YANG Jun, et al. Impact of high-speed rail network on urban eco-efficiency[J]. China population, resources and environment, 2019, 29(11):1-10.]

高铁网络对城市生态效率的影响

——基于中国277个地级市的空间计量研究

罗能生¹ 田梦迪¹ 杨 钧² 李建明¹ 王玉泽¹

(1. 湖南大学经济与贸易学院, 湖南 长沙 410079; 2. 新乡学院管理学院, 河南 新乡 453000)

摘要 高铁开通产生了很大的社会经济效应与环境效应,综合研究高铁对这两种效应即生态效率的影响具有重要的理论意义和现实意义。本文采用2006—2016年中国277个地级市数据,将社会网络分析(SNA)和空间杜宾模型(SDM)相结合,检验我国高铁网络发展对城市生态效率的影响效应。研究发现:在全国范围内,高铁网络度数中心度(degree centrality)和中间中心度(betweenness centrality)的优化对城市生态效率产生显著正向效应,但是受城市异质性作用产生的影响效应具有明显差异性,具体表现为高铁网络中心度优化对中心区域产生正效应,对非中心区域产生负效应,即高铁网络在一定程度上加剧了城市生态效率不平衡、不协调发展的负面效应。在此基础上本文对结果进行机制检验,发现城市服务业集聚在高铁网络提高城市生态效率中具有中介作用。与此同时,采用人口地理矩阵和投入导向规模报酬不变的超效率DEA模型重新测算的城市生态效率分别对上述结果进行稳健性检验,结论依旧保持不变。因此,从长远发展来看,各级政府仍应大力发展高铁建设,推动高铁网络不断优化,带动经济效益和环境效应的提升,但是在进行高铁线路规划时,要注意中心城市虹吸效应带来的区域不平衡以及对欠发达地区的负面影响,在政策上给予一定的补救和补偿。

关键词 高铁网络; 社会网络分析; 城市生态效率; 空间杜宾模型

中图分类号 F57 **文献标识码** A **文章编号** 1002-2104(2019)11-0001-10 **DOI**: 10.12062/cpre.20190519

交通建设是关系到经济民生的重大工程,是稳增长、稳投资,调整产业结构、优化产业布局的重要前提,从2008年京津城际高铁问世,到2016年沪昆高铁全线开通,高铁以其舒适便捷的运输特点迅速发展。截止到2018年底,我国高速铁路营运里程高达2.9万km,占铁路总营运里程的22.1%,超过世界总里程数2/3,成为运营里程最长、密度最高的国家。中国铁路总公司会议披露,2019年我国铁路新投产线将超过6000km,其中高速铁路建设占比达到47.1%。根据《铁路中长期发展规划》显示,我国预计到2025年高速铁路总里程数达到3.8万km,以“八纵八横”为骨架,实现基本城市群、省会城市以及中型规模以上城市的连通。与此同时,党的十九大明确提出,要高度重视社会发展中经济与环境存在的不一致,平衡经济发展与环境建设,力求达到经济环境“双赢、共赢”局面。各级政府把生态文明建设放在重要位置,逐渐由追求经济高速

度向经济高质量转换。因此,单纯研究高铁对经济或者环境某一方面影响已经不能满足现阶段社会发展要求,我们必须统筹经济与环境两者之间的关系,综合分析高铁建设的社会效应。

现阶段研究高铁效应的文献相对较丰富,经济效益^[1]、环境效应^[2]以及差异效应^[3]等都是学者的关注点。从经济效应层面分析,高铁建设通过投资拉动效应^[4]、消费促进效应^[5]、提升城市间可达性^[6],提高区域资源配置效率^[1]等方面促进经济增长;从环境效应层面分析,一方面,高铁本身属于绿色交通^[7],在营运过程中能直接降低环境污染;另一方面,高铁建设改善了以往出行方式,对传统交通运输的替代效应产生了环境正外部性^[8]。王成新等基于对车辆碳排放计算,发现高铁在长距离运输中具有明显低碳性,其人均碳排放量大致占航运的1/5和高速公路的1/3^[8];从差异效应层面分析,高铁产生的社会效应具

收稿日期:2019-03-05 修回日期:2019-06-01

作者简介:罗能生,博士,教授,博导,主要研究方向为制度与区域经济发展。E-mail: lns1122@163.com。

通信作者:田梦迪,硕士生,主要研究方向为制度与区域经济发展。E-mail: mengdi0621@126.com。

基金项目:国家社会科学基金重大项目“交通污染排放的社会外部性及其对公共健康的影响研究”(批准号:17ZDA081);湖南省研究生科研创新项目“交通污染排放对公共健康的影响研究”(批准号:CX2018B209)。

有区位和时间上的差异性,卞元超等基于资源流动视角,采用倾向得分匹配倍差法进行实证研究,发现高铁开通拉大了城市间经济差距,在“用脚投票”和“极化效应”的机制下,中心城区会吸引优质要素流入,加速区域之间非均衡发展^[3]。此外,还有不少文献研究了高铁与旅游产业效率^[9]、高铁与贸易开放度^[10]等关系,这也为我们下面研究提供启示与借鉴。

基于对以往文献梳理,本文边际创新性大致体现在以下几个方面:其一,大多数文献对高铁效应的分析仅集中于经济或环境某一方面,统筹经济环境双重影响的文献较为少见,本文采用能够代表经济与环境综合效应的指标生态效率进行分析。其二,扩大生态效率测度范围,将生态效率研究从省域延伸到277个地级市,拓展样本容量,研究更加深入;其三,以往多采用面板研究高铁对城市的影响效应,忽略了城市之间的网络联系、交流合作和一般均衡效应,本文采用社会网络分析(SNA),将纵横交错的高铁线路看作网络,运用空间杜宾模型(SDM),分析高铁网络密度数中心度和中间中心度对城市生态效率的影响。

1 理论机制与研究假设

1.1 高铁网络、经济环境效应与城市生态效率

高铁网络对城市生态效率的影响主要通过经济效应和环境效应两种途径完成。高铁建设对经济增长的带动效用可分为直接带动和间接促进两方面,从直接拉动效应来看,高铁建设相较于传统铁路投资有更高的经济投入,高铁投资带动关联产业发展,通过提高产业经济效益促进区域经济增长,即投资直接拉动经济产出^[4]。从间接促进机制来看,首先,高铁网络的不断完善打破了城市之间的市场分割,加速技术要素、信息要素以及对时间敏感的高级人才要素等资源流动^[11],促使资源要素在不同城市间重新进行分配,提升要素利用效率,为地区经济建设注入新活力,催动经济发展;其次,高速铁路具有高效便捷的特性,能够压缩区域间的时间成本,提升城市间的可达性^[6],方便城市间交流,为城市经济发展创造良好的外部条件;此外,高铁建设创造了更多的就业机会,提升了居民的人均收入^[4],高收入带动高消费,从而带动城市经济增长。

高铁对经济产生增长效益的同时,也对城市环境建设产生影响。高铁建设是绿色可持续发展政策在交通建设方面的实际体现,高铁本身具有高清洁和低能耗特性^[2],在实际运营中能够直接降低环境污染;公路机车尾气排放是造成空气污染的主要途径,高速铁路通过对传统公路机车的替代,降低了交通拥堵和气体废弃物的排放,也降低了环境污染。此外,高铁建设完善了交通网络设施,削弱了要素流动障碍,有助于地区产业结构升级^[12],从而对地区环境建

设产生正向影响。基于以上分析,本文提出如下假设:

H1: 从全国范围来看,高铁网络的完善通过推动经济增长、降低环境污染两条途径,引致城市生态效率提升。

1.2 高铁网络、异质性与城市生态效率

高铁网络对城市生态效率的作用效应可能受到城市异质性影响。我国地大物博,城市发展水平参差不齐,各个城市在区位条件、资源要素禀赋以及政府出台的环境政策方面存在差异,这种差异性在很大程度上可能导致高铁网络对生态效率影响效应的不同。从提升经济路径来看,其一,多数研究发现高铁开通与地区经济发展具有密切联系,但是高铁是否有助于地区经济发展则在很大程度上取决于“聚集效应”与“溢出效应”的大小,因此,高铁对于经济的作用效果并不能一概而论。其二,高铁开通密切了中心城市与边缘城市的交流,中心城市在吸引技术、人才等资源方面具有先天优势,落后地区的优质要素流入中心区域,产生所谓的“马太陷阱”,加深地区之间经济水平差异^[3],导致高铁建设对中心城市经济发展产生促进效应,周边城市具有抑制作用。从环境改善路径来看,高铁建设强化了中心城市自身优势,促使其不断提高市场准入水平^[13],清洁型和高附加值产业逐渐以中心城市作为首要选址地区,而污染程度较高和低附加值产业逐渐迁出中心城市,只能选择周边小城市,最终形成中心城市以资本密集型企业为主,周边小城市以劳动密集型为主的发展格局。综上,高铁建设在中心城市中具有经济外部性,能以低水平的环境污染得到高水平的经济产出,边缘城市则相反。基于以上分析,本文提出如下假设:

H2: 高铁网络对城市生态效率的作用效应可能受城市异质性影响,呈现出差异性。

1.3 高铁网络、服务业集聚与城市生态效率

我国服务业集聚与交通运输方式和运输速度具有密切关系,时间距离和客专性逐渐成为影响服务业空间布局的重要因素^[14]。与其它交通运输相比,高速铁路主要以客运为主,营运速度也由最初的250 km/h提高至350 km/h,降低了时间成本,因此高铁本身运输特点可以直接带动城市服务业进步。此外,高铁建设通过提升高铁城市对资源要素以及人才的吸引力^[11],推动要素和高级人才在时空收敛作用下重新进行分配,成为服务业集聚的间接推手^[14]。服务业空间集聚不仅是城市经济发展的中间力量,还同时兼具清洁和低能耗特点,是典型的“绿色经济”^[14]。由此看来,高速铁路通过促进服务业集聚,能够以较低能源消耗和环境污染得到较大规模经济产出,进而提高城市生态效率。

高铁通过服务业集聚对城市生态效率的影响效应还受城市规模异质性的影响。首先,高铁建设充分发挥了大

城市的先天优势,促使周边城市众多要素资源流入大城市,满足大城市服务业集聚的要素需求。其次,高铁网络的优化能够提高城市间可达性,缩短时间距离,激发高级人才留在大城市发展的热情,从而提升大城市服务业集聚程度^[14]。此外,大型城市本身具有适合服务业发展的市场容量,服务业能够在大型城市的超额需求下不断发展,但中小型城市自身的限制没有给服务业发展创造良好的市场环境。因此,在大城市中高铁网络优化能够提升服务业集聚,进而提升生态效率,但在中小城市中却对服务业集聚产生负效应,不利于生态效率提升。基于以上分析,本文提出如下假设:

H3: 高铁网络通过促进服务业空间集聚进而促进城市生态效率的提升

H4: 高铁网络将服务业空间集聚作为生态效率传导机制受城市异质性影响,呈现出差异性。

2 高铁网络测算与现状分析

2.1 测算指标选取

高铁网络(G),本文根据两个城市之间有无高铁构建复杂网络,并运用社会网络分析方法(SNA)对高铁进行网络性质分析。根据铁路网络定义方式,分别有R、L、P三种空间,R空间以车次作为节点,L空间以车站作为节点,P空间以线路作为节点。结合我国高铁开通实际情况,本文采用P空间以线路来衡量节点联系,若两个城市之间开通高铁线路,赋值为“1”,反之赋值为“0”,最终运用ucinet软件对网络指标测量。社会网络学者提出了多种能够量化权力的指标,常用的中心度是对权力研究的重要贡献。结合本文具体实际,借鉴许和连的研究方法^[15],采用度数中心度($degree\ centrality$)和中间中心度($betweenness\ centrality$)对高铁网络进行测算分析。

2.2 高铁网络的现状分析

考虑到高铁开通对地区实际产生的效应,我们将城市6月份之前开通的高铁定义为当年开通,之后开通的高铁定义为下一年开通,由此构建二值网络进行测量。2008年我国开通高铁的城市仅有3个,分别是合肥、滁州、南京,2016年高达177个,8年中新增高铁城市174个。由于测算年份和城市数量众多,不便全部列出,表1仅给出2016年网络度数中心度前9名城市相关指标的数值。通

过测算高铁网络中心度指标,我们可以发现,我国高铁网络建设不断趋于完善,城市覆盖率逐年增加,节点城市间交流合作日益密切,具体表现为“四纵四横”的顺利完成和“八纵八横”的规划开展。此外,高铁网络度数中心度和中间中心度较高的城市,其服务业密度也相对较高。服务行业大多为高科技产业,人才资源是服务业发展的引擎动力,高铁建设能够提高城市之间的可达性,压缩“时间成本”,增加高铁城市对高级人才的吸引力,导致优质人才资源逐渐流入高铁城市,因此高铁网络中心度越高,该城市服务业密度也越高。

3 计量模型选择和数据说明

3.1 变量说明与数据来源描述

3.1.1 被解释变量

生态效率是融合经济与环境综合指标的定量描述,即“经济增加值与环境影响的比值”^[16]。根据经济社会的不同发展阶段,不同学者提出了多种测量生态效率的方法,数据包络分析法(DEA)为目前大部分学者青睐,能够有效解决投入与产出单位的不一致。Fare.等首次提出“非合意要素”DEA模型,将环境污染作为非期望产出纳入模型进行测算^[17]。由于传统DEA模型无法有效解决投入和产出中的松弛性问题,因此Tom进一步改善DEA模型,提出超效率SBM模型,解决多个决策单元效率值为1时无法进一步区分问题^[18]。为了统筹分析各城市经济、资源与环境问题,本文沿用多数学者的方法,选择包含非合意产出的超效率SBM模型,运用MAXDEA Pro软件进行城市生态效率测算。

基于数据可得性,尽可能延长时间跨度和拓展样本容量,本文采用2006—2016年中国277个地级市作为研究对象,指标包括投入要素、期望产出和非期望产出。投入要素包括劳动、资本、土地、能源等,劳动投入用各城市年末就业人员数表示,资本投入参考柯善咨等城市固定资本存量测算方法^[19],由湖南大学经济与贸易中心提供,土地投入采用历年城市建成区面积,能源投入用城市历年用电量进行替代;期望产出为各城市地区生产总值,以2003年为基期,运用不同省份GDP平减指数进行平减;非期望产出分别为工业二氧化硫排放量、工业废水排放量和工业烟尘(粉尘)排放量。

表1 度数中心度前9名城市特征

变量	南京	北京	广州	武汉	长沙	株洲	上饶	杭州	常州
度数中心度	14.660	14.136	13.613	13.089	13.089	13.089	13.089	13.089	11.518
中间中心度	5.539	6.736	14.861	26.311	6.227	6.227	2.956	9.643	1.430
服务业密度	0.148	0.452	0.174	0.206	0.146	0.086	0.084	0.244	0.094

3.1.2 其它解释变量

度数中心度(*degree centrality*)。度数中心度刻画的是网络中节点城市与其它城市之间的交往能力,不存在城市与城市之间的控制效应,具体测算方式为:

$$DC_i = \frac{1}{N-1} \sum_{j=1, j \neq i}^n K_{ij}$$

DC_i 表示节点城市的度数中心度, K_{ij} 代表 i 城市 j 年其它城市与其直接相连的个数, N 为节点城市数量。

中间中心度(*betweenness centrality*)。若网络中某个城市处于多条交往路径上,该城市也就成为交通枢纽城市。由于处于此位置的节点城市可以通过控制或者曲解信息传递而影响整个群体^[24],因此该城市具有重要交通地位。我们通过测算中间中心度来刻画节点城市在高铁网络枢纽地位,具体测算方式为:

$$BC_i = \frac{2}{N^2 - 3N + 2} \sum_{j \neq i}^n \frac{a_{ji}^i}{\delta_j^i}$$

BC_i 表示节点城市的中间中心度, δ_j^i 表示从节点城市 j 到 i 的最短路径总条数, a_{ji}^i 表示在所有最短路径中 f 经过 i 到达 t 的路径数, N 为节点城市数。

控制变量:①人口密度(PD),人口集聚会对经济和环境造成双重的影响,本文采用年末人口数与城市行政区域面积比值表示;②人均 GDP($PGDP$),本文用各城市 GDP 总值与年末人口数比值来衡量,代表城市经济发展水平;③投资开放程度(FDI),用各地级市实际利用外资额占 GDP 比重表示,其中实际利用外资额采用当年美元对人民币汇率进行折算;④产业结构(IND):本文以第三产业增加值占 GDP 比重进行刻画;⑤环境规制(ER):本文采用各地级市二氧化硫去除率来表示,考虑到不同城市经济发展水平和排污强度的差异,借鉴沈坤荣研究方法^[20],用各城市污染排放程度占全国排放程度比值对其进行加权处理: $ER = pt \times \frac{p_{ij}}{\sum_i p_{ij}} / \frac{gdp_i}{\sum_i gdp_i}$;⑥交通发展水平(TC):本文采用各城市客运量占期末人口总数来表示。⑦科技水平(SCI),用科研、技术服务和地质勘查业从业人数占年末单位从业人员数比重表示。表 2 报告了变量的描述性统计结果。

3.1.3 数据来源描述

本文研究时间范围从 2006—2016 年,样本容量为 277 个地级市。高铁数据分别从国家铁路管理局、中国铁路总公司以及各地政府公告中手动搜集,其它数据均来自《中国统计年鉴》《中国城市统计年鉴》《中国工业经济统计年鉴》《中国水资源公报》《中国环境统计年鉴》以及各省份历年统计年鉴。

3.2 计量模型选择与建立

3.2.1 空间权重矩阵的设定

• 4 •

表 2 描述性统计结果

变量	观测值	均值	标准差	最小值	最大值
EE	3 047	0.368 7	0.192 0	0.091 2	3.324 7
DC	3 047	1.063 6	2.608 3	0.000 0	14.660 0
BC	3 047	0.150 5	1.102 0	0.000 0	26.311 0
FDI	3 047	2.360 0	2.467 3	0.001 2	21.220 3
IND	3 047	42.845 4	10.983 5	8.580 0	80.230 0
SCI	3 047	2.029 0	1.728 7	0.118 3	41.059 6
PD	3 047	6.514 6	0.878 8	3.521 9	9.345 7
PGDP	3 047	9.723 3	0.660 9	7.937 7	12.192 5
ER	3 047	0.782 1	1.052 4	0.000 1	9.691 0
TC	3 047	22.345 5	46.428 6	0.560 4	1 508.195 0

地理学第一定律(Tobler's First Law)指出:“事物彼此联系,距离相近事物之间的相关性更强”,因此,以往大多数文献采用地理距离倒数构建空间权重矩阵。然而经济发展并不能单纯孤立看待,城市间存在着密切的交流合作,空间效应的产生不仅与地理距离有关,城市属性也是不可忽视的原因。基于此,本文将城市最突出两大属性:人口属性和经济属性分别与地理距离相结合,构建城市经济地理矩阵和城市人口地理矩阵。

$$W_{ij}^p = \begin{cases} (P_i \times P_j) / d_{ij}^2 & i \neq j \\ 0 & i = j \end{cases}$$

其中, W_{ij}^p 代表城市经济地理矩阵, P_i 和 P_j 分别表示城市 i 和城市 j 在 2006—2016 年期间内经 GDP 平减指数平减后的人均 GDP 的平均值。

$$W_{ij}^q = \begin{cases} (Q_i \times Q_j) / d_{ij}^2 & i \neq j \\ 0 & i = j \end{cases}$$

其中, W_{ij}^q 代表城市人口地理矩阵, Q_i 和 Q_j 分别表示城市 i 和城市 j 在 2006—2016 年期间内城市年末人口数的平均值。

3.2.2 空间相关性检验

生态效率是统筹经济、资源、环境的综合指标,是城市属性的综合体现,因此城市之间的生态效率很可能存在空间相关性,本文以经济地理权重矩阵和人口距离权重矩阵为基础,对生态效率的 Moran's I 进行检验,公式如下:

$$\text{Moran's I} = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (X_i - \bar{X})(X_j - \bar{X})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

Moran's I 大于 0 则表明城市生态效率之间正相关,小于 0 为负相关,接近于 0 表示城市生态效率之间不存在空间相关性,表 3 为在两种不同权重矩阵下部分年份的 Moran's I。表中呈现了 Moran's I 均在 1% 的水平上显著大于 0,表明城市生态效率之间存在强烈的空间相关性,

因此,本文采用空间计量进行实证分析。

3.2.3 计量模型的设定

常见的空间计量模型主要有空间误差模型(SEM),空间滞后模型(SLM)和空间杜宾模型(SDM),针对模型选择本文先进行了 Hausman 检验, Hausman 检验的统计量为 40.106($P = 0.003$),因此,选择固定效应。由表 4 可知, LM 和 Robust LM 统计量系数均通过显著性检验,表明该模型兼具空间误差和空间滞后两者特征。进一步分析可知, LR 检验和 Wald 检验均拒绝将空间杜宾模型(SDM)简化为空间滞后模型(SLM)或空间误差模型(SEM),综上本文选择双固定效应空间杜宾模型进行计量实证。

为了准确分析生态效率的影响因素,充分考虑生态效率的时间惯性,本文结合罗能生等研究结果^[21],将生态效率滞后项($EE_{i,t-1}$)纳入模型。

$$EE_{it} = \eta EE_{i,t-1} + \alpha_1 DC_{it} + \sum \beta Z_{it} + \delta (WEE)_{it} + \theta W(\alpha_1 DC_{it}) + \sum \beta WZ_{it} + \lambda_{it} + \mu_{it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

$$EE_{it} = \eta EE_{i,t-1} + \alpha_1 BC_{it} + \sum \beta Z_{it} + \delta (WEE)_{it} + \theta W(\alpha_1 BC_{it}) + \sum \beta WZ_{it} + \lambda_{it} + \mu_{it} + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

其中, EE_{it} 表示 i 城市 t 年的生态效率, DC_{it} 表示 i 城市 t 年高铁网络的度数中心度, BC_{it} 表示 i 城市 t 年高铁网络的中间中心度, Z_{it} 为控制变量集合, W 为空间权重矩阵, λ_{it} 和 μ_{it} 分别表示时间固定效应和空间固定效应, ε_{it} 为误差项。

4 实证结果

4.1 高铁网络对城市生态效率的影响

本文采用双固定效应空间杜宾模型进行计量回归,

表 3 不同空间权重矩阵下生态效率莫兰指数

生态效率	经济地理空间权重矩阵			人口地理空间权重矩阵		
	Moran's I	z 值	p 值	Moran's I	z 值	p 值
2006	0.074 ***	12.597	0.000	0.041 ***	6.936	0.000
2008	0.053 ***	9.212	0.000	0.032 ***	5.454	0.000
2010	0.054 ***	9.415	0.000	0.032 ***	5.612	0.000
2014	0.043 ***	7.586	0.000	0.033 ***	5.704	0.000
2016	0.045 ***	7.880	0.000	0.028 ***	4.919	0.000

注: 由于篇幅有限, 本表只报告部分年份检验结果。

表 4 空间计量模型选择检验

LM 检验	统计量	p 值	模型检验	统计量	p 值
LM-lag	295.301	0.000	Wald-spatial-lag	55.533	0.000
R-LM-lag	3.005	0.083	LR-spatial-lag	47.690	0.000
LM-error	776.811	0.000	Wald-spatial-error	89.127	0.000
R-LM-error	487.515	0.000	LR-spatial-error	87.588	0.000

表 5 为报告结果, 其中, 模型(1) ~ (2) 为全样本实证结果, (3) ~ (4) 为基于开通高铁城市的结果。

从模型(1) ~ (4) 来看, 生态效率滞后项 $EE_{i,t-1}$ 在两组样本中系数均为正, 且在 1% 水平上通过显著性检验, 这表明了当期城市生态效率会受到前一期经济环境因素的影响, 与罗能生的研究结果一致^[21]。

在考察期间内, 无论是全样本还是开通高铁城市样

表 5 高铁网络影响城市生态效率的实证结果

解释变量	全部城市		开通高铁城市	
	(1)	(2)	(3)	(4)
EE_{t-1}	0.248 5 *** (14.68)	0.206 7 *** (12.01)	0.158 9 *** (7.15)	0.092 2 *** (4.07)
DC	0.292 9 *** (2.91)		0.291 6 ** (2.17)	
BC		0.177 4 *** (10.07)		0.200 1 *** (10.00)
FDI	-0.249 0 (-0.20)	-0.464 9 (-0.38)	1.876 3 (1.21)	1.644 3 (1.09)
IND	-1.202 1 *** (-2.83)	-1.089 4 *** (-2.61)	-1.399 1 ** (-2.29)	-1.125 6 * (-1.91)
SCI	0.245 1 *** (14.00)	0.240 7 *** (13.96)	0.266 8 *** (12.86)	0.259 8 *** (12.84)
PD	-0.450 4 *** (-4.72)	-0.495 3 *** (-5.27)	-0.353 3 *** (-2.70)	-0.426 2 *** (-3.35)
$PGDP$	0.156 3 *** (11.43)	0.153 2 *** (11.38)	0.192 5 *** (9.53)	0.184 4 *** (9.36)
ER	-0.765 0 (-1.17)	-0.451 3 (-0.70)	-2.284 4 * (-1.85)	-1.445 4 (-1.21)
$(ER)^2$	0.705 3 (0.81)	0.404 9 (0.47)	2.562 8 (1.27)	1.721 0 (0.88)
TC	0.153 5 *** (3.54)	0.169 5 *** (3.96)	0.219 0 *** (2.83)	0.264 5 *** (3.50)
$W_X \times X$	YES	YES	YES	YES
ρ	0.383 3 *** (3.04)	0.365 2 *** (2.81)	0.411 6 *** (3.26)	0.386 2 *** (2.98)
时间效应	YES	YES	YES	YES
地区效应	YES	YES	YES	YES
R-squared	0.136 1	0.121 0	0.131 1	0.146 5
N	2 770	2 770	1 720	1 720

注: *、**、*** 分别表示 10%、5%、1% 的显著性水平。括号内表示 z 统计值, 下表同。

本,网络的度数中心度和中间中心度系数均为正数,且至少在 5% 水平上通过显著性检验。网络度数中心度刻画的是城市的局部中心指数,衡量网络中城市自身的交往能力,如果节点城市与网络中的许多其它城市相连,则该点就具有较高的度数中心度。度数中心度越高代表该城市在网络中与其它城市高铁线路连接度越高,能够通过科技共享、产业合作等获得更高的经济产出,有助于节点城市的生态效率的提升。中间中心度则代表节点城市在高铁网络中与其它所有城市的互动,不仅代表相邻城市的直接交流,更重要的是一种“掌控”能力,体现城市在交通网络中的枢纽地位。中间中心度高的城市在吸引高级人才和资源要素上具有先天优势,知识流、信息流等要素流向中间中心度高的城市,从而推动本地区经济增长,提高生态效率。总之,中心度高的节点城市引致的规模经济、密度经济、要素经济等对生态效率具有正向效应,能够催动城市生态效率的提升。验证了假设 1。

针对其它控制变量,产业结构(*IND*)与城市生态效率负相关,这可能是由于我国产业水平发展不足,第三产业发展远滞后于一二产业,整体科技水平不高,还不足以成为地区支柱产业,因此对经济和环境贡献度还不具有显著优势。科技水平(*SCI*)与生态效率在 1% 的水平上显著为正,有利的证明了科技是发展的第一要义。很显然,科技进步能够带来技术层面变革,推动企业由劳动密集型向资源密集型转变,提高企业产出能力,降低环境污染水平,进

而带动生态效率的提升。高铁城市情况与全国保持一致。本文研究还发现,两组样本中人口密度(*PD*)与生态效率均负相关,人口的快速聚集加大了城市环境压力,人们的环境保护意识还不高,过度包装、滥用资源能源等现象屡见不鲜,从而造成生态效率下降;人均 GDP(*PGDP*)的系数显著为正,说明聚集经济有助于提升资源利用效率,提高环境质量重视程度,进而降低污染,提升生态效率;交通基础设施(*TC*)系数为正,城市交通基础设施越发达,居民在出行方式上越倾向于公共交通出行,公交效率的提升能够减弱城市交通拥堵和降低能源消耗^[22],从而对生态效率产生正效应。其它控制变量包括对外开放程度、环境规制并不具有统计上的显著性。

4.2 高铁网络对城市生态效率影响的异质性分析

前述分析表明高铁网络完善对城市生态效率产生正效应,但由于我国城市众多,资源要素禀赋、城市区位条件以及政策具有明显差异,因此高铁网络对城市生态效率的作用效应可能会受到城市异质性影响。下面我们将基于区位条件异质性、城市规模异质性、经济发展水平异质性以及产业结构异质性进行分析。

4.2.1 基于区位条件和城市规模的异质性检验

依据国家发改委对三大区位以及城市等级的分类标准,本文将城市分为东中西和大中小进行异质性检验。东中部地区高铁网络度数中心度和中间中心度的优化对城市生态效率的提升具有正效应,西部地区高铁网络度数中

表 6 基于城市区位条件和城市规模的异质性分析

解释变量	东中部城市		西部城市		大城市		中小城市	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
EE_{t-1}	0.184 9 *** (9.50)	0.125 9 *** (6.33)	0.459 5 *** (13.57)	0.456 6 *** (13.57)	0.159 8 *** (6.40)	0.077 2 *** (3.03)	0.395 6 *** (18.71)	0.395 7 *** (18.71)
DC	0.258 7 ** (2.44)		0.430 9 (0.96)		0.550 7 *** (3.60)		-0.104 3 (-0.92)	
BC		0.193 5 *** (10.36)		0.213 2 ** (2.05)		0.237 0 *** (10.59)		-0.030 5 (-0.56)
控制其它变量	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
$W_X \times X$	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
ρ	0.451 5 *** (3.54)	0.411 4 *** (3.15)	0.448 2 * (2.58)	0.475 5 *** (2.72)	0.432 8 *** (3.36)	0.452 5 *** (3.43)	0.100 1 (0.62)	0.097 0 (0.60)
时间效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
地区效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
R-squared	0.111 1	0.115 5	0.104 2	0.059 4	0.033 9	0.009 2	0.399 2	0.450 3
N	2 200	2 200	540	540	1 300	1 300	1 470	1 470

注: 由于篇幅有限,本表只报告主要变量的回归结果,下表同。

心度与生态效率之间未通过显著性检验,但中间中心度在5%水平上通过正向检验。这可能是因为,东中部地区经过长期高水平发展,具有雄厚的经济实力,高铁开通为本地区经济建设提供完善的交通保障。西部城市由于所处区位限制,自身经济发展水平不足,加之西部地区进行高铁建设的时间较短,因此该地区依托高铁与不同城市之间的交流效应还不明显,作为衡量交往能力的度数中心度对生态效率影响并不显著。但是,其它地区与西部地区进行贸易交流的过程中,西部地区处于高铁主要线路的城市作为进行交流的必经之路,能够发挥其交通枢纽作用,吸引优质资源流入,带动经济发展,这也可能是中间中心度具有统计显著性的一个解释。

在大城市中,高铁度数中心度和中间中心度每提高1单位,生态效率分别提升0.551和0.237,作用效应远大于全国范围;在中小城市中,度数中心度和中间中心度每提高1单位,生态效率分别降低0.104和0.031。原因在于高铁开通对于生态效率作用效应存在时间延长性,高铁建设本身是一项高耗能和高投入产业,小城市由于自身发展水平限制,短期内接受程度和融合程度不及大城市,高铁开通引致的经济环境效应并不显著,甚至在初期呈现抑制。此外,由于“用脚投票”和“虹吸效应”的作用,人才、资源等要素从边际报酬率低的中小城市流入大城市,催动大城市经济增长;对于周边中小城市,由于优质要素的流失,陷入所谓的“马太陷阱”,阻碍本地区经济发展,由此导致高铁建设对生态效率的效应受城市规模异质性影响而不同。

4.2.2 基于城市发展水平和城市产业结构的异质性检验

表7呈现了从城市发展水平和产业结构考虑的异质性回归结果。城市发展水平以人均GDP均值为分类依据分为发达城市和欠发达城市;产业结构以第三产业增加值占GDP比重的均值作为分类标准,分为产业结构高水平城市和产业结构低水平城市。结果显示发达和产业结构优化程度高的城市,其高铁网络中心度的优化对生态效率有促进作用,但是在欠发达和产业结构优化度低的城市高铁网络中心度并不具有显著性。原因可能在于:与经济欠发达城市相比,依托经济发达城市雄厚的财政资金,高铁能够推动要素进行快速的配置和重组,引致规模经济,从而提高城市经济水平,提升生态效率。产业结构水平高的城市能够吸引先进的创新技术,促使该地区产业由高耗能向低耗能过渡,加上高铁建设弥补了交通设施的不完善,削弱要素流动障碍,为产业结构优化升级提供充足的要素资源,进一步推动产业升级,提高地区经济环境建设,从而对生态效率产生正效应,而产业结构水平低的城市对先进技术吸收能力有限,导致高铁建设对生态效率的提升还不具有显著性。验证了假设2。

4.3 高铁网络对城市生态效率影响的机制检验

从整体上看,高铁网络中心度优化确实有助于城市生态效率的提升,那么高铁网络到底通过何种途径对城市生态效率产生影响?高铁网络对生态效率效应具有城市异质性,那么这种传导机制是否也会产生差异性?下面我们在模型中引入服务业集聚变量,将服务业集聚作为高铁网络影响城市生态效率的机制,建立如下模型:

表7 基于城市发展水平和城市产业结构的异质性分析

解释变量	发达城市		欠发达城市		产业优化度高城市		产业优化度低城市	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
EE_{t-1}	0.134 3*** (4.53)	0.057 7* (1.91)	0.427 9*** (23.92)	0.426 9*** (23.88)	0.180 8*** (6.86)	0.085 0*** (3.15)	0.316 9*** (15.52)	0.317 6*** (15.55)
DC	0.452 2** (2.32)		0.031 9 (-0.36)		0.446 8*** (2.9)		-0.183 4 (1.44)	
BC		0.229 4*** (8.20)		0.037 6 (0.83)		0.245 4*** (10.62)		-0.007 4 (-0.17)
控制其它变量	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
$W_X \times X$	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
ρ	0.523 3*** (3.24)	0.529 6*** (3.25)	0.124 5 (0.77)	0.115 6 (0.71)	0.663 4*** (4.34)	0.653 3*** (4.19)	0.225 9 (1.61)	0.225 8 (1.61)
时间效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
地区效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
R-squared	0.134 8	0.074 0	0.231 0	0.358 1	0.156 0	0.162 6	0.390 4	0.456 2
N	940	940	1 830	1 830	1 260	1 260	1 510	1 510

$$EE_{it} = \alpha_1 DC_{it} + \eta EE_{i,t-1} + \alpha_2 SER_{it} \times DC_{it} + \alpha_3 SER_{it} + \sum \beta Z_{it} + \delta (WEE)_{it} + \theta W(\alpha_1 DC_{it}) + \sum \beta WZ_{it} + \lambda_{it} + \mu_{it} + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

$$EE_{it} = \alpha_1 BC_{it} + \eta EE_{i,t-1} + \alpha_2 SER_{it} \times BC_{it} + \alpha_3 SER_{it} + \sum \beta Z_{it} + \delta (WEE)_{it} + \theta W(\alpha_1 BC_{it}) + \sum \beta WZ_{it} + \lambda_{it} + \mu_{it} + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

其中, SER_{it} 表示 i 城市 t 年服务业集聚程度, α_2 表示服务业集聚与高铁网络交互项系数, 若系数 α_2 显著且为正, 表明高铁网络确实通过促进服务业集聚提高城市生态效率, 若系数 α_2 显著且为负, 表明高铁网络通过抑制服务业集聚阻碍城市生态效率提升, 若系数 α_2 不显著, 表明服务业集聚不是高铁网络影响城市生态效率的机制途径, 其它指标意义同上。对于服务业集聚度的衡量, 本文参考张明志的研究^[23], 采用城市服务业就业密度作为服务业集聚的代理变量。表 8 是加入服务业集聚的实证结果, 模型

(1) ~ (2) 为全样本检验, 模型 (3) ~ (6) 是机制分析的城市规模异质性检验。

从表 8 呈现的结果分析, 在全国样本范围内加入服务业集聚变量后, 网络度数中心度、中间中心度以及生态效率的估计系数已经不再显著, 但服务业密度与两项中心度交互项系数均通过 1% 水平显著性检验, 且系数均为正。这说明城市服务业集聚确实是高铁网络影响城市生态效率的重要机制, 高铁网络与城市服务业的联动效应促进了生态效率提升。验证了假设 3。

从模型 (3) ~ (6) 可知, 在大城市样本中高铁网络中心度与服务业密度的交互项与全样本估计结果一致, 但是在中小城市中系数均为负, 且不具有显著性。这表明大型城市中高铁建设通过促进服务业集聚提升城市生态效率, 但是在中小型城市中, 高铁建设通过抑制服务业集聚对生态效率产生了不利影响。验证了假设 4。

表 8 高铁网络影响城市生态效率的机制检验

解释变量	全样本		大城市		中小型城市	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
EE_{t-1}	0.239 8*** (14.15)	0.191 5*** (11.06)	0.144 3*** (5.78)	0.050 5** (1.97)	0.393 4*** (18.58)	0.388 1*** (18.31)
DC	-0.059 3 (-0.36)		0.111 2 (0.43)		0.061 8 (0.24)	
SER	0.183 8*** (2.59)		0.283 6** (2.12)		0.012 7 (0.19)	
$DC \times SER$	2.418 3** (2.54)		2.415 7* (1.81)		-1.78 7 (-0.74)	
BC		-0.036 4 (-0.75)		-0.027 2 (-0.42)		0.133 4 (0.55)
SER		0.156 8** (2.31)		0.173 8 (1.41)		0.005 5 (0.08)
$BC \times SER$		1.157 8*** (4.61)		1.408 5*** (4.16)		-1.626 2 (-0.60)
控制其它变量	YES	YES	YES	YES	YES	YES
$W_X \times X$	YES	YES	YES	YES	YES	YES
ρ	0.348 2*** (2.77)	0.331 9** (2.56)	0.356 0*** (2.75)	0.384 1*** (2.91)	0.099 3 (0.61)	0.150 3 (0.92)
地区效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES
时间效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES
R-squared	0.166 6	0.151 3	0.035 8	0.007 6	0.438 1	0.398 6
N	2 770	2 770	1 300	1 300	1 470	1 470

4.4 稳健性检验

本文从两方面对实证结果和机制分析结果进行稳健性检验。首先,在前文的分析中,我们主要采用了经济地理矩阵作为空间权重矩阵,在稳健性检验中,采用人口地理矩阵重新对上述结果进行检验,回归结果和表5保持一致。其次,为了避免由测算生态效率方法导致的实证结果的不稳健,我们采用以投入导向规模报酬可变的超效率DEA模型来对生态效率值重新进行测算,保持其它的控制变量不变,结果显示各变量的系数显著性和符号与上文基本相同,机制分析稳健性检验结果同上。囿于文章篇幅限制,相关稳健性检验结果省略。

5 结论以及政策建议

随着高铁由线成网,交通基础设施趋于完善,高铁网络产生了很大的经济环境效应,但是现有研究大多停留在对某一方面的影响,对于综合效应的影响尚未有提及。基于上述背景,本文将社会网络分析与空间计量结合,基于中国277个地级市进行实证检验。主要研究结论包括:第一,高铁网络度数中心度和中间中心度与生态效率之间具有显著正向关系。第二,高铁网络产生的经济环境效应受区位条件、城市规模、经济发展水平以及产业结构异质性影响,表现出高铁建设对生态效率影响的非均等化;第三,城市服务业集聚作为高铁网络影响城市生态效率的传导机制,也受城市异质性影响,城市实力雄厚的中心城区与全国样本情况相同,即高铁网络通过促进服务业集聚提高城市生态效率,但是对于周边地区却产生相反影响。

本文通过相关指标测算和实证分析,阐述了我国高铁网络的发展现状以及存在的一些主要问题,针对当前各地区过度高涨的高铁建设热情和实现区域环境均衡发展提供以下政策建议:

第一,高铁网络中心度的优化对于城市生态效率具有正外部性,高铁网络有利于区域经济环境的可持续发展,同时高铁建设是一项高技术、高投入工程,经济回报率具有时间滞后性,但是,从长远发展目标来看,高铁建设仍旧利大于弊。因此,各地区政府仍应该大力发展高铁建设,促进经济与环境协调发展。第二,高铁网络建设产生的作用效应具有地区差异性,且在短期内无法消除。原因可能在于区域经济的非均衡发展以及大型城市的虹吸效应,导致低污染高产出的企业向大型城市靠拢,大部分低附加值企业向中小城市转移,因此高铁网络优化改善了大型城市的经济环境水平,但却加剧了中小城市的不均衡不协调发展。这意味着各地区政府在进行高铁建设规划中,要因地制宜,切合地区经济和环境现状,不能盲目的跟风从众,要从地区实际情况出发,制定符合特定地区发展的交通设

施建设政策。总之,高铁网络中心度越高的城市普遍具有较高水平的生态效率,故而政府要继续发展和完善高铁网络,强化重要城市的网络中心度,促进整体生态效率的优化。此外,各级政府在进行高速铁路规划时,要注重中心城市在“用脚投票”机制和虹吸效应带来的区域不平衡和对欠发达地区生态效率负面效应,在政策出台上给予弥补,尽快实现城市生态效率的均等化。

(编辑:于杰)

参考文献

- [1] 王雨飞,倪鹏飞. 高速铁路影响下的经济增长溢出与区域空间优化[J]. 中国工业经济,2016(2):21-36.
- [2] 祝树金,尹诗姝,钟腾龙. 高铁开通抑制了城市环境污染吗?[J]. 华东经济管理,2019,33(3):52-57.
- [3] 卞元超,吴利华,白俊红. 高铁开通、要素流动与区域经济差距[J]. 财贸经济,2018,39(6):147-161.
- [4] 蒋茂荣,范英,夏炎,等. 中国高铁建设投资对国民经济和环境的短期效应综合评估[J]. 中国人口·资源与环境,2017,27(2):75-83.
- [5] 董艳梅,朱英明. 高铁建设能否重塑中国的经济空间布局——基于就业、工资和经济增长的区域异质性视角[J]. 中国工业经济,2016(10):92-108.
- [6] 冯长春,丰学兵,刘思君. 高速铁路对中国省际可达性的影响[J]. 地理科学进展,2013,32(8):1187-1194.
- [7] YUE Y, WANG T, LIANG S, et al. Life cycle assessment of high speed rail in China[J]. Transportation research part D: transport and environment, 2015,41:367-376.
- [8] 王成新,苗毅,吴莹,等. 中国高速铁路运营的减碳及经济环境互馈影响研究[J]. 中国人口·资源与环境,2017,27(9):171-177.
- [9] 魏丽,卜伟,王梓利. 高速铁路开通促进旅游产业效率提升了吗?——基于中国省级层面的实证分析[J]. 经济管理,2018,40(7):72-90.
- [10] 孙浦阳,张甜甜,姚树洁. 关税传导、国内运输成本与零售价格——基于高铁建设的理论与实证研究[J]. 经济研究,2019(3):135-149.
- [11] 杜兴强,彭妙薇. 高铁开通会促进企业高级人才的流动吗?[J]. 经济管理,2017,39(12):89-107.
- [12] 李中. 交通基础设施的技术演进对产业结构升级研究[D]. 南京:东南大学,2015:27-81.
- [13] 张梦婷,俞峰,钟昌标,等. 高铁网络、市场准入与企业生产率[J]. 中国工业经济,2018(5):137-156.
- [14] 邓涛涛,王丹丹,程少勇. 高速铁路对城市服务业集聚的影响[J]. 财经研究,2017,43(7):119-132.
- [15] 许和连,成丽红,孙天阳. 离岸服务外包网络与服务业全球价值链提升[J]. 世界经济,2018,41(6):77-101.
- [16] SCHALTEGGER S, STURM A. Ökologische rationalität[J]. Die unternehmung,1990,44(4):273-290.
- [17] FÄRE R, GROSSKOPF S, LOVELL C, et al. Multilateral

- productivity comparisons when some outputs are undesirable: a nonparametric approach [J]. The review of economics and statistics, 1989, 71(1): 90-98.
- [18] TONE K. A slacks-based measure of super-efficiency in data envelopment analysis [J]. European journal of operational research, 2002, 143(1): 32-41.
- [19] 柯善咨, 向娟. 1996—2009 年中国城市固定资本存量估算 [J]. 统计研究, 2012, 29(7): 19-24.
- [20] 沈坤荣, 金刚, 方娴. 环境规制引起了污染就近转移吗? [J]. 经济研究, 2017, 52(5): 44-59.
- [21] 罗能生, 王玉泽. 财政分权、环境规制与区域生态效率——基于动态空间杜宾模型的实证研究 [J]. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(4): 110-118.
- [22] 林伯强, 杜之利. 中国城市车辆耗能与公共交通效率研究 [J]. 经济研究, 2018, 53(6): 142-156.
- [23] 张明志, 余东华. 服务业集聚对城市生产率的贡献存在拐点吗? ——来自中国 275 个地级及以上城市的证据 [J]. 经济评论, 2018(6): 15-27.
- [24] 赵静, 黄敬昌, 刘峰. 高铁开通与股价崩盘风险 [J]. 管理世界, 2018, 34(1): 157-168, 192.
- [25] 韩永辉, 黄亮雄, 王贤彬. 产业结构优化升级改进生态效率了吗? [J]. 数量经济技术经济研究, 2016, 33(4): 40-59.
- [26] 黄建欢, 谢优男, 余燕团. 城市竞争、空间溢出与生态效率: 高位压力和低位吸力的影响 [J]. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(3): 1-12.
- [27] 高键, 魏胜. 基于计划行为理论的生活方式绿色化形成的双重交互效应研究 [J]. 经济与管理评论, 2018(2): 51-61.
- [28] 吴畏, 石敬琳. 全球绿色经济治理的两个关键因素 [J]. 管理科学, 2018, 31(3): 1-10.
- [29] 高翔. 高速铁路在服务业分布中的作用——基于城市层级体系视角的研究 [J]. 中国经济问题, 2019(1): 106-123.
- [30] 王刚, 龚六堂. 浅析高速铁路建设投资的产业经济效应 [J]. 宏观经济研究, 2013(6): 67-71.
- [31] 张勋, 王旭, 万广华, 等. 交通基础设施促进经济增长的一个综合框架 [J]. 经济研究, 2018, 53(1): 50-64.
- [32] 汤维祺, 吴力波, 钱浩祺. 从“污染天堂”到绿色增长——区域间高耗能产业转移的调控机制研究 [J]. 经济研究, 2016, 51(6): 58-70.

Impact of high-speed rail network on urban eco-efficiency: based on the spatial measurement of 277 prefecture-level cities nationwide

LUO Neng-sheng¹ TIAN Meng-di¹ YANG Jun² LI Jian-ming¹ WANG Yu-ze¹

(1. College of Economics & Trade, Hunan University, Changsha Hunan 410079, China;

2. School of Management, Xinxiang University, Xinxiang Henan 453000, China)

Abstract The operating of high-speed rail has produced great social-economic effects and environmental effects. The comprehensive study of the impact of high-speed rail on those two effects, namely eco-efficiency, has important theoretical and practical significance. Based on the data of 277 prefecture-level cities in China from 2006 to 2016, this paper combines social network analysis (SNA) and spatial Durbin model (SDM) to verify the impact of development of rail network on urban eco-efficiency in China. The results show that: the optimization of degree centrality and betweenness centrality of high-speed rail network has significantly positive effects on Urban eco-efficiency nationwide, but the effects brought about by urban heterogeneity are significantly different. Generally speaking, the optimization of centrality has a positive effect on eco-efficiency in the central region and a negative effect in the non-central region which means the high-speed rail network aggravates the negative effect of unbalanced and uncoordinated development of urban eco-efficiency to a certain extent on the basis. At the same time, this paper examines the mechanism of the results, and then finds that high-speed rail network promotes eco-efficiency through the agglomeration of urban service industry. At the same time, the urban eco-efficiency re-estimated by the population geography matrix and the input-oriented scale-based variable-value super-efficiency DEA model respectively test the robustness of the above results, and the conclusion remains unchanged. Promote the constantly optimization of high-speed rail network, improve the economy and environment. Therefore, on the long run of development, governments should continue to develop high-speed rail to construction of region. However, when making line planning of high-speed rail, we should pay attention to the regional imbalance caused by the siphon effect of central cities and its negative impact on underdeveloped areas, and provide remedies and compensation by implementing some policies.

Key words high speed rail network; social network analysis; urban ecological efficiency; spatial Dubin model