

中国县域陆路交通优势度格局演化及经济效应

陈舒婷¹, 李裕瑞^{2,3}, 潘 玮^{2,3}, 王武林⁴, 金凤君^{2,3}

(1. 兰州大学资源环境学院, 兰州 730000; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所 中国科学院区域可持续发展分析与模拟重点实验室, 北京 100101; 3. 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100049; 4. 湖南师范大学旅游学院, 长沙 410081)

摘要: 基于2009年、2014年和2018年全国陆路交通数据, 集成路网密度、人口加权平均交通邻近度和区位优势度3个指标, 构建陆路交通优势度评价模型, 刻画2009—2018年中国县域陆路交通的规模、邻近水平和通达水平, 揭示陆路交通优势度的空间格局、演化特征及经济效应。研究表明: ① 2009—2018年中国陆路交通建设取得显著成效, 陆路交通优势度增长热点具有由城镇密集区向区际通道拓展的特征, 与“两横三纵”城市化战略密切相关, 陆路交通劣势主要位于西部、东北和省际边界地区, 是交通均衡发展补短板的关键区域。② 中国陆路交通优势区域的空间结构在不同区域和发展阶段存在差异, 其演化过程大致经历极核式、点轴式和轴辐式3个阶段, 未来交通建设应强化重要区域、交通主轴、关键走廊之间的衔接。③ 中国陆路交通优势度的总体经济效应为显著正效应, 其间接效应约为直接效应的1.5倍。但是交通建设并不总是促进县域经济增长, 交通优势的不同维度对经济发展的作用不同, 在不同区域背景 and 经济发展阶段也存在差异, 需要重视区位优势度改善可能带来的负面效应。

关键词: 陆路交通优势度; 格局演化; 经济效应; 中国

DOI: 10.11821/dlxb202208007

1 引言

建设交通强国是建设现代化经济体系的内在需要^[1]。《交通强国建设纲要》提出, 到2035年基本建成交通强国。1949年中华人民共和国成立以来, 中国交通事业在基础设施规模、客货运量等方面取得历史性进展, 在社会经济发展中发挥了重要作用^[2]。截至2020年, 中国铁路营业里程14.63万km、公路里程519.81万km, 其中高速铁路营业里程3.80万km、高速公路里程16.10万km, 均位居世界前列。但是, 中国交通发展不平衡、不充分的问题仍较突出, 在交通网络布局、服务质量、效率成本和区域协调等方面还存在一定不足, 尚未适应建设社会主义现代化强国的需要。

交通优势是区域优势的重要组成部分, 反映了区域交通基础设施的支撑能力和保障水平, 包括“量”(交通基础设施的规模)、“质”(交通基础设施的能力特征)、“势”(区域个体在区域系统中具有的某种优势状态)三个维度^[3], 与区域开发条件的逐步改善、国

收稿日期: 2021-04-25; 修订日期: 2022-04-05

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项(XDA23070300); 国家自然科学基金项目(41931293, 41971220, 41701118); 甘肃省教育厅优秀研究生“创新之星”项目(2021CXZX-100) [Foundation: Strategic Priority Research Program of the Chinese Academy of Sciences, No.XDA23070300; National Natural Science Foundation of China, No.41931293, No.41971220, No.41701118; Education Department of Gansu Province: "Star of Innovation" Project for Outstanding Graduate Students, No.2021CXZX-100]

作者简介: 陈舒婷(1998-), 女, 福建平潭人, 硕士生, 研究方向为城乡与区域发展。E-mail: chensht20@lzu.edu.cn

通讯作者: 李裕瑞(1983-), 男, 四川隆昌人, 研究员, 博导, 研究方向为乡村地理科学与工程。E-mail: liyr@igsnnr.ac.cn

土空间的优化开发以及人民生活水平的稳步提高密切相关^[2]。交通优势度是基于上述三个维度评价区域交通优势的集成性指标,在反映交通条件优劣方面更具优势^[4]。金凤君等较早使用交通优势度概念来甄别中国区域交通优势,并阐述了其基本表达结构和数理模型^[3],随后被国内许多学者借鉴并应用到省区^[5]、经济区^[6]、城市群^[7]等的交通优势特征研究中。但目前相关研究测算的交通优势度多是基于对铁路、高速公路等交通干线的考察^[7-9],对县道、乡镇村道等支线运输网的重视不足,也较少区分高速铁路和普速铁路,评价精度有待提高;此外,关于交通优势度空间格局的动态分析和规律研究还比较薄弱,也鲜有将人口分布与交通格局进行统筹考虑^[10]。

显著的交通优势通常意味着优越的发展潜力,是区域经济活动布局的重要依托^[3],但针对交通优势度的经济效应的研究尚不多见,多数研究仅探讨了二者的空间耦合关系^[4, 6, 9]。实际上,交通的经济效应是地理学和区域经济学等领域长期关注的热点话题^[2-3]。Aschauer 开创性地探讨了交通基础设施在经济增长中的重要贡献^[11],随后不少研究证明了改善交通条件在提高生产效率、促进市场扩张和创造就业机会等方面的积极作用^[12-13]。但也有证据表明,交通引起的相对地理位置变化往往会扩大区域差异^[14],其经济效应有时是不明确、不显著甚至负面的^[15]。以往多数研究通常分析的是交通基础设施的虚拟变量或密度、可达性、连通性等单一指标对经济发展的影响^[16],基于交通优势度这类综合性指标的相关讨论较少,鲜见解析交通优势度所涵盖的不同交通优势维度的经济效应差异。

陆路交通是区域经济社会发展的基础支撑^[17],基于陆路综合交通网络评价全国陆路交通优势度,定量认知区域陆路交通条件优劣和地域组织特征,理解其时空演化特征及经济效应,是值得关注的研究课题^[18-19]。本文力图刻画 2009 年、2014 年和 2018 年中国县域交通路网的规模、邻近水平和通达水平,深入分析陆路交通优势度的格局特征、演化过程、空间拓展模式与经济效应,并提出相关优化策略。据此,为厘清全国交通网络布局动态特征、推进“十四五”时期区域交通协调发展新格局、加快建设交通强国等相关决策提供有益参考。

2 数据与方法

2.1 数据来源

行政区划数据、县城驻地数据和交通路网数据来自中国科学院资源环境科学数据中心 (<http://www.resdc.cn/>),人口密度数据源于 WorldPop (<https://www.worldpop.org/>)^[20],社会经济数据源于《中国县域统计年鉴(县市卷)》。行政区划数据包括中国 2863 个县级行政单元(暂未含港澳台地区),并划分为东部、东北、中部和西部地区 4 个经济大区。经济效应分析时涉及的贫困县是指由原国务院扶贫办于 2011 年确定的 832 个国家级贫困县。为探讨近年来中国交通格局演化的阶段性规律,结合数据的可获得性和可比较性,采用 2009 年、2014 年和 2018 年 3 个年份的交通路网数据以及对应年份的人口数据。该套数据的起止时段与“五年计划”的起止年份较邻近,且数据质量和可比性较好。为确保数据的准确性和分析的便捷性,统一按照“高速铁路—普速铁路—高速公路—国道—省道—县道—乡镇村道”体系进行了重分类,并结合当年纸质交通图集和国家铁路局资料进行了细致检查、修正和补充。

2.2 研究方法

2.2.1 陆路交通优势度评价方法 (1) 路网密度。交通设施密度是评价交通网络的重要方法,对于铁路、公路等线状交通设施尤为适用^[6]。路网密度是指单位国土面积上的交通

设施网络的运营长度,直接反应交通网络的数量规模^[21]。计算公式为:

$$D_i = L_i / S_i \quad (1)$$

式中: D_i 表示区域*i*的路网密度; L_i 是区域*i*范围内的交通网总长度; S_i 为区域*i*的国土面积。一般而言,一个区域的道路网络越密集,可能具有更好的发展潜力。

(2) 人口加权平均交通邻近度。已有研究多采用交通干线影响度来评价交通对区域的影响程度^[3, 7, 22],具体方法是对某区域是否拥有某类型交通设施等情况进行分类赋值。该指标存在一定不足:首先,干线影响度大多考虑的是铁路、快速公路等大型交通设施的布局情况,对城际交通、乡镇村道等支线路网的关注不足;其次,基于矢量数据测算的交通设施与区域行政中心的交通距离,使得干线影响度极大程度受制于区域行政中心的位置,同时缺乏对人口的考虑,与实际情况可能存在偏差;此外,分类赋值法难免存在主观随意性,计算结果精度不高^[23]。

鉴于此,本文借鉴邻近度概念,尝试纳入人口栅格数据的邻近分析。一方面,栅格数据在可达性分析中已有应用^[24-25],能够模拟出区域中任一位置的情况^[26],但在邻近分析中的应用还不多见;另一方面,加权平均方法常见于可达性、出行时间等的测算,加权因子包括人口数量、经济总量等^[27],将社会经济与交通发展有机结合,但计算方法通常是基于矢量数据的网络分析,仅反映节点间的联系。具体地,本文以1 km×1 km的人口栅格数据为计算单元,借助GIS成本距离工具得到各人口单元与交通线路间的最短物理距离,将栅格的人口属性作为加权因子,以县域为统计范围计算各县的人口加权平均交通邻近度 N_i ,计算公式为:

$$N_i = \sum_{k=1}^n (\omega_j \times P_{ik} \times D_{ikj}) / \sum_{k=1}^n P_{ik} \quad (2)$$

式中: N_i 表示县域*i*的人口加权平均交通邻近度; j 包括高速铁路、普速铁路、高速公路、国道、省道、县道和乡镇村道共7种类型; ω_j 为第*j*类交通设施的权重,本文均取1/7; P_{ik} 为县域*i*中人口栅格单元*k*的人口数量; D_{ikj} 为县域*i*中人口栅格单元*k*关于交通设施*j*的最近距离; n 为县域*i*范围内栅格的数量。人口加权平均交通邻近度能够更全面地评价区域内人均到达各类交通线路的平均最短物理距离,一定程度上反映了交通设施布局与区域人口分布的耦合关系。一般而言,区域人口与交通设施的距离远近决定着当地的通达性和经济发展水平^[28],距离越近,人口加权平均交通邻近度的值越小,交通设施产生效益的潜力越大。

(3) 区位优势度。区位优势度是度量区域交通网络结构及区域对外联系的重要指标,是指被评价区域距离关键空间节点的通达程度,反映了交通网的完善程度^[3],计算公式为:

$$L_i = \frac{\sum_{j=1}^n \text{Min}(t_{ij})}{n-1}, \quad (j \in 1, 2, 3, \dots, n; i \neq j) \quad (3)$$

式中: L_i 为被评价单元*i*的区位优势度; $\text{Min}(t_{ij})$ 为被评价单元*i*到区域关键空间节点*j*的最短时间距离,本文基于1 km×1 km的栅格数据,采用成本加权距离法计算得到,栅格的时间成本赋值见表1; n 为关键空间节点的数量。关键空间节点的选择参照同类研究^[3],包括35个区域中心城市(直辖市、计划单列市、省会城市)和14个陆路口岸,这些节点在区域发展宏观格局中具有重要的辐射带动作用(表2)。

(4) 陆路交通优势度。设县域*i*的陆路交通优势度函数为 $F(x_i)$,计算公式为:

表 1 主要交通方式和时间成本赋值
Tab. 1 Main transport modes and time cost value setting

交通方式	高速铁路	普速铁路	高速公路	国道	省道	县道	乡镇村道	陆地
速度(km/h)	300	120	100	80	60	40	30	5
时间成本(min)	0.2	0.5	0.6	0.75	1	1.5	2	12

表 2 关键空间节点的选取
Tab. 2 The important nodes of research

类型	数量(个)	名称
区域中心城市	35	北京、上海、天津、重庆、石家庄、太原、呼和浩特、沈阳、长春、哈尔滨、南京、杭州、合肥、福州、南昌、济南、郑州、武汉、长沙、广州、南宁、成都、贵阳、昆明、拉萨、西安、兰州、西宁、银川、乌鲁木齐、大连、宁波、厦门、青岛、深圳
重要陆路口岸	14	黑河、绥芬河、珲春、满洲里、二连浩特、伊宁、塔城、博乐、瑞丽、畹町、河口、凭祥、东兴、丹东

$$F(x_i)=\sum_{i=1}^e(D_i'\times\beta_1+N_i'\times\beta_2+L_i'\times\beta_3),\quad (i\in 1,2,3,\cdots,n)$$
 (4)

式中： D_i' 、 N_i' 、 L_i' 分别为路网密度、人口加权平均交通邻近度和区位优势度的标准化值，为使陆路交通优势度具有纵向可比性，将不同年份的同类指标也一同进行标准化处理； β_i 为3类指标的权重，参考同类研究^[3, 22, 27-29]，均取为1，得到的陆路交通优势度值介于0~3。

2.2.2 空间自相关分析 空间自相关指分布于不同空间位置的对象属性数据之间潜在的相互依赖性，空间自相关分析是描述空间分布、识别异常空间位置和发现隐含空间关系的核心，包括全局空间自相关（Global Moran's I ）与局部空间自相关（Local Moran's I ）^[30]。

全局空间自相关主要描述研究区域范围内所有空间单元的整体关联程度，计算公式为：

$$\text{Global Moran's } I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} \right) \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (i \neq j)$$
 (5)

局部空间自相关能够反映集聚或异常发生的具体空间位置，计算公式为：

$$\text{Local Moran's } I = \frac{(x_i - \bar{x})}{S^2} \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_j - \bar{x}), \quad (i \neq j)$$
 (6)

式中： x_i 、 x_j 分别表示县域*i*和*j*的陆路交通优势度，且*i*≠*j*； W_{ij} 表示空间位置权重矩阵； \bar{x} 表示陆路交通优势度的平均值； S^2 是陆路交通优势度的方差；*n*指空间单元数量，本文为2863个。Moran's I 的取值范围为[-1, 1]，若取值大于0且显著，说明存在正的空间自相关，即中国县域陆路交通优势度在空间上呈现明显的集聚分布特征。

2.2.3 陆路交通优势度的经济效应分析

(1) 普通最小二乘法（Ordinary Least Square, OLS）。区域经济增长由多种因素驱动，内生增长理论认为增长是系统内部过程的直接结果，支持将交通变量作为影响因素纳入区域发展的研究框架^[31-32]，Douglas等^[33]和Anselin^[34]则将交通变量作为生产率的外部因素纳入生产模型。古典区位理论强调交通能显著改善可达性并降低运输成本，有利于技术扩散、市场扩张和效率提升，进而促进经济增长^[35]。现有研究大多采用综合方法来量化交通的经济效应，较少探讨不同维度的交通变量对不同产业增长的影响^[16]。鉴于

OLS模型是分析多个变量间关系最常用的方法, 参考Banerjee等的变量选择策略^[36], 借鉴生产函数模型的一般形式(式(7)), 将方程进行对数变化(式(8)), 首先估计不同交通优势维度的经济效应, 由此理解交通优势度对县域经济发展的影响。

$$ECO_{ij} = f(DEN_{ij}, PRO_{ij}, LOC_{ij}, AREA_{ij}, ARG_{ij}, IND_{ij}, SAV_{ij}, EXP_{ij}) \quad (7)$$

$$\ln ECO_{ij} = \beta_1 \ln DEN_{ij} + \beta_2 \ln PRO_{ij} + \beta_3 \ln LOC_{ij} + \beta_4 \ln AREA_{ij} + \beta_5 \ln ARG_{ij} + \beta_6 \ln IND_{ij} + \beta_7 \ln SAV_{ij} + \beta_8 \ln EXP_{ij} + \mu_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad (8)$$

式中: i 和 j 分别表示县域和年份; β_i 为各解释变量的回归系数; μ_i 、 ε_i 分别为未观测到的效应和随机误差项; ECO 是经济变量, 具体包括 GDP 、 $PCGDP$ 、 $PGDP$ 、 $SGDP$ 和 $TGDP$; $AREA$ 、 ARG 、 IND 、 SAV 和 EXP 为控制变量。相关变量的含义及描述性统计如表3所示。

表3 变量及描述性统计结果
Tab. 3 Variables and descriptive statistics

变量	变量名称	含义	2009年		2014年		2018年	
			平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差
因变量	GDP	地区生产总值(万元)	805839.48	1127804.72	1752368.62	2328857.18	2221025.74	3061453.14
	$PGDP$	第一产业增加值(万元)	145867.98	121984.78	239116.18	192345.92	263873.47	212186.07
	$SGDP$	第二产业增加值(万元)	474101.32	836109.52	895376.98	1324843.96	1016591.18	1637738.87
	$TGDP$	第三产业增加值(万元)	268936.96	427128.28	617875.46	968920.36	940561.10	1405512.45
解释变量	DEN	路网密度(km/km ²)	0.44	0.90	0.93	1.47	1.36	2.37
	PRO	人口加权平均邻近度(km)	38.92	83.65	16.67	31.61	12.52	21.63
	LOC	区位优势度(min)	797.60	366.65	621.39	284.88	547.52	229.84
	$TRAN$	交通优势度	1.86	0.15	1.93	0.11	1.96	0.11
	$AREA$	行政区域土地面积(km ²)	4498.04	10355.85	4342.00	10234.93	4317.39	10465.97
	AGR	农业机械总动力(万kW)	34.27	34.61	45.45	42.68	42.34	39.57
	IND	规模以上工业企业个数(个)	137.50	277.60	123.65	199.74	123.64	200.26
	SAV	居民储蓄存款余额(万元)	513477.43	816130.59	1049969.55	1340273.72	1631774.79	1946574.59
	EXP	一般公共预算支出(万元)	116506.23	93903.78	267577.71	199023.08	390409.83	291734.83

(2) 空间杜宾误差模型(Spatial Durbin Errors Model, SDEM)。已有研究指出, 交通不仅直接影响经济增长, 还会通过带动关联投资、引导区域贸易、促进产业结构优化等方式产生间接经济效应^[37], 空间计量模型是估计直接效应和间接效应的重要方法。若空间自相关分析表明中国陆路交通优势度具有显著的空间依赖性, 有必要采用空间计量模型估计交通优势度的总体经济效应。空间计量模型的两类基本模型分别是空间滞后模型(SAR)和空间误差模型(SEM), 采用拉格朗日乘数检验选择合适的模型。SDEM在空间误差模型(SEM)中纳入了自变量的空间滞后项, 不仅反映了外生变量的空间效应, 同时也考虑了误差项的空间依赖性, 更具应用价值^[38]。

本文拟构建的SDEM表达式为:

$$\ln ECO_{ij} = \mu_{ij} + \beta \ln TRAN_{ij} + \delta W \ln TRAN_{ij} + \varepsilon_{ij}, \quad \varepsilon_{ij} = \gamma W \varepsilon_{ij} + \theta_{ij} \quad (9)$$

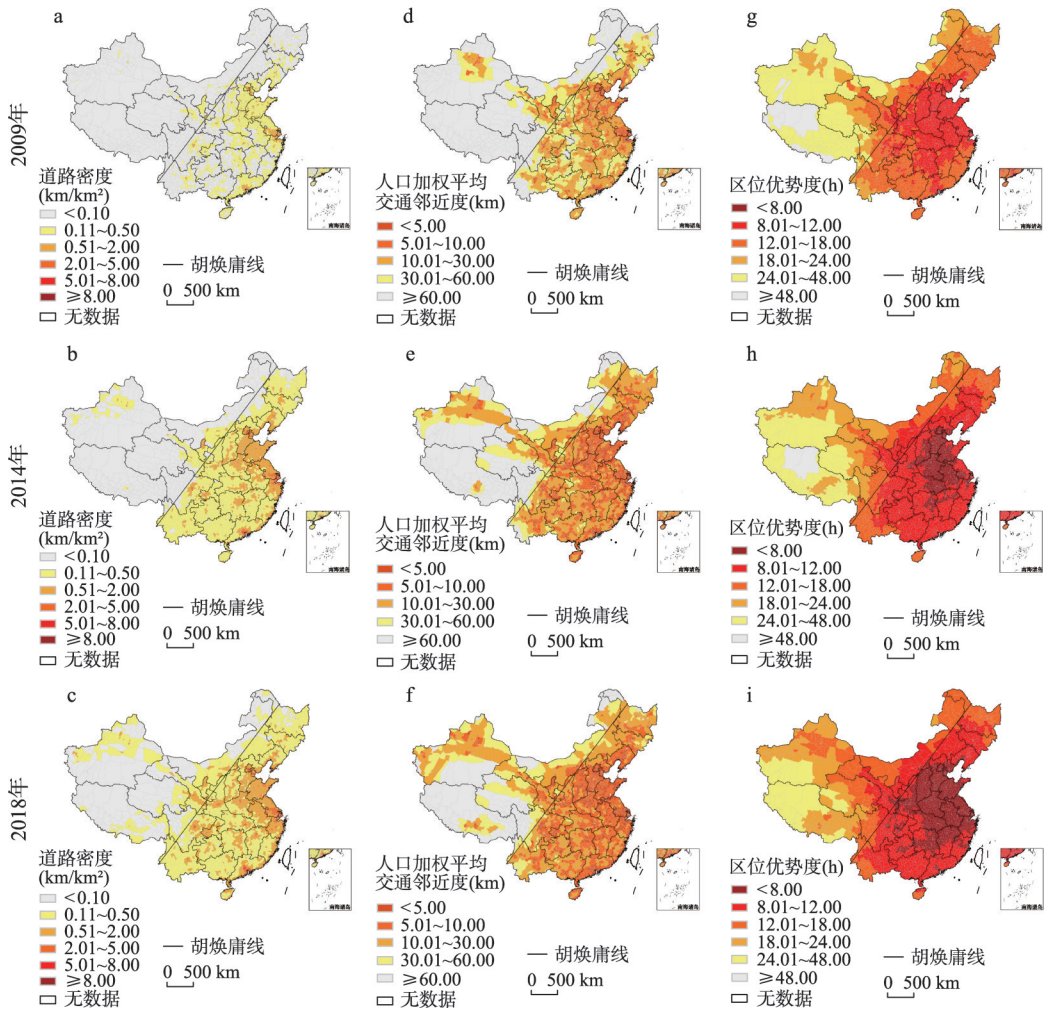
式中: W 为空间权重矩阵; μ 是常数项; ε 是随机误差项; β 、 δ 和 γ 是回归系数; θ 是标准误差项; 其余变量的含义同式(8)。由于SDEM同时报告了误差项的回归系数, 因此该模型中不再另外纳入上述控制变量, 着重关注交通优势度的直接经济效应与间接经济效应。

3 结果分析

3.1 不同交通优势维度的格局特征与演化过程

根据式 (1)~(3), 计算 2009 年、2014 年和 2018 年中国 2863 个县域的路网密度、人口加权平均交通邻近度和区位优势度, 参考相关规划和同类研究^[3, 5]对结果分级可视化(图 1)。

3.1.1 路网密度 中国陆路交通网络具有沿区际通道由东向西拓展的特征, 路网密度高值区由城市群向区际通道扩展, 与“两横三纵”城市化战略密切相关。2009 年中国路网密度均值为 0.44 km/km² (图 1a), 1095 个县 (38.25%) 的路网密度低于 0.1 km/km², 涉及 3.78 亿人。路网密集区主要位于江浙沪地区、广深地区和京津地区。2014 年中国路网密度均值提高至 0.93 km/km² (图 1b), 低于 0.1 km/km² 的县大幅减少至 286 个 (9.99%), 整体以胡焕庸线为界呈现东高西低的格局。路网密度在东部主要沿轴线拓展, 在西部多围



注: 基于自然资源部标准地图服务网站审图号为GS(2016)1580的标准地图绘制, 底图边界无修改。

图1 2009—2018年中国县域路网密度、人口加权平均交通邻近度和区位优势度

Fig. 1 Road density, population weighted average transportation proximity and location advantage of counties in China, 2009-2018

绕省会或地市渐次提升,路网密集区的空间形态与主要城市群地域相适应。2018年中国路网密度均值为 1.36 km/km^2 (图1c),150个县(5.24%)的路网密度低于 0.1 km/km^2 ,主要位于边远地区,涉及1830万人,较2009年减少95.15%。路网密度呈现围绕城市群的多中心放射格局,“两横三纵”通道的路网密度提升显著。路桥通道中,关中地区、兰西地区至天山北坡地区的路网密度提升较大;沿江通道中,长江中游地区的路网密度得到较全面提升,但未实现与成渝地区的联通;沿海通道基本实现路网密度大于 0.5 km/km^2 的县由吉林串联至广西;京哈京广通道中,长江中游地区的路网建设较快,区际间路网密度有待提升;包昆通道中,西南地区城市群基本实现路网密度大于 0.5 km/km^2 的均质化,但关中地区、宁夏沿黄经济区、呼包鄂榆地区之间的路网密度提升不大,区际交通发展相对缓慢。

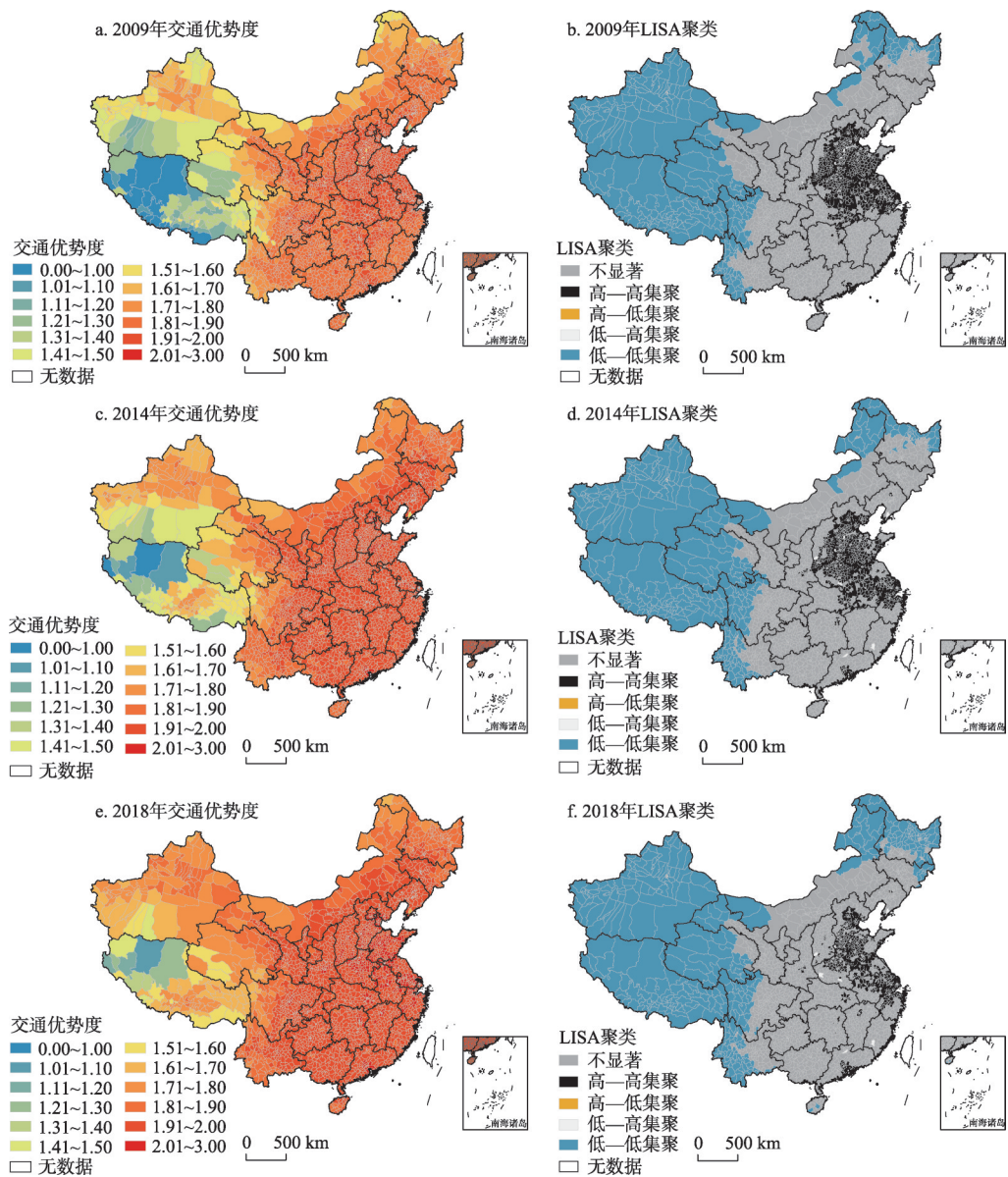
3.1.2 人口加权平均交通邻近度 陆路交通的出行便利程度改善显著,整体具有沿通道拓展的特征,云南边境、渝鄂交界和桂粤交界等省际边界地区的陆路交通邻近水平提升较大,西部偏远地区居民的陆路出行条件仍有较大提升空间。2009年全国人均距离各类道路的平均最短距离为 38.92 km (图1d)。人口加权平均交通邻近度的空间格局呈现多中心—外围结构,边缘地区的陆路出行便利程度不高。2014年人口加权平均交通邻近度均值为 16.67 km ,空间格局演变为连结的中心—放射结构(图1e)。西部地区通过带状交通通道与黄淮海地区连结,如天山北坡地区—河西走廊—黄河中下游沿岸—东陇海地区、北部湾地区—湘江流域—赣江流域—长江三角洲等。2018年人口加权平均交通邻近度均值为 12.52 km (图1f),相比2009年,新增2.15亿人实现了平均 30 km 之内能够利用到各类交通设施。主要通道周边的交通邻近水平提升显著,形成带状的交通邻近区域。

3.1.3 区位优势度 中国陆路交通通达性不断优化,时空收敛效应显著,区位优势度呈现以黄淮海平原为核心的不断迭代优化的中心—外围结构,大致可以划分为3个梯队。第一梯队主要包括京、津、冀、鲁、豫、皖、苏、晋、鄂9省市及周边地区,具有相对优越的交通地理区位;第二梯队主要为胡焕庸线以东的其余区县,是黄淮海平原的外围圈层,区位优势度次之;胡焕庸线以西的区县主要为第三梯队,区位优势度以大于 12 h 为主。2009年区位优势度均值为 13.29 h ,1606个县(56.10%)到全国节点城市的平均最短旅行时间小于 12 h ,171个县(5.97%)大于 24 h (图1g)。2014年区位优势度均值大幅缩短至 10.35 h ,2357个县(82.33%)小于 12 h ,大于 24 h 的县减少为77个(2.69%)(图1h)。新增751个县的区位优势度缩短至 12 h 以内,主要位于第二梯队,新增94个县实现平均 24 h 通达全国节点城市,主要位于第三梯队的北疆地区和藏中南地区。2018年区位优势度均值进一步缩短至 9.13 h ,第三梯队的改善最为显著,区位优势度大于 48 h 的区县实现清零(图1i)。

3.2 中国县域陆路交通优势度的格局特征和演化过程

陆路交通优势度由路网密度、人口加权平均交通邻近度和区位优势度集成得到,结合空间自相关分析进一步探讨其格局特征(图2)。在2009年、2014年和2018年,交通优势度的Moran's I 分别为0.287、0.341和0.395,标准化 Z 值分别为81.89、97.09和112.50,均通过显著性检验($p < 0.01$),说明中国县域陆路交通优势整体存在较强的正向空间自相关性,空间格局具有趋同集聚特征。

从格局特征上看,陆路交通优势度具有稳定的空间集聚和空间分异特征,主要受自然地形地势和社会经济发展的双重影响,所形成的区域性陆路交通劣势主要位于地势第一阶梯,区域性陆路交通优势主要位于中东部地区的城市群。陆路交通优势度在地势第一阶梯普遍低于1.6,绝大部分为低—低集聚,并在第一二级阶梯分界线发生突变;地势



注：基于自然资源部标准地图服务网站审图号为GS(2016)1580的标准地图绘制,底图边界无修改。

图2 2009—2018年中国县域陆路交通优势度及LISA聚类

Fig. 2 Overland transportation dominance and its LISA cluster map of counties in China, 2009-2018

平缓的中东部地区的交通优势逐渐凸显,陆路交通优势度以高于1.8为主,是高一高集聚的主要分布区域。其中,陆路交通优势度突破2的县,主要分布在社会经济较发达的区域性节点城市;交通发展滞后于区域整体水平的低一高集聚,多位于地市交界处。若将1.8(60%)视为县域陆路交通优势度的合格水平,2009年、2014年和2018年分别有7252.26万人、3315.98万人和2070.58万人处于交通优势度低于1.8的地区,由此估计在期间全国约新增5181.68万人的基本交通福利水平得到保障。

从演化过程上看,陆路交通优势区域的空间结构在不同区域和发展阶段存在差异,大致经历极核式、点轴式和轴辐式3个阶段(图3)。资源基础和区位条件较好的区域性

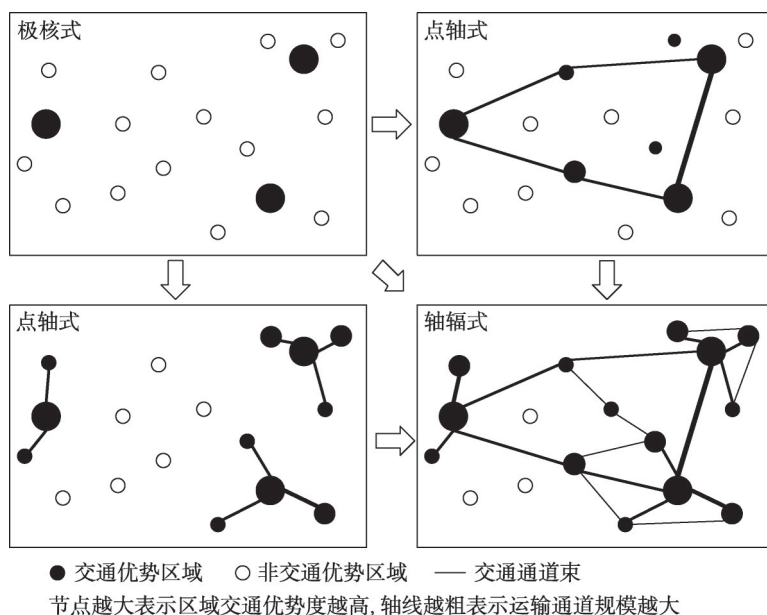


图3 陆路交通优势的空间结构及拓展模式

Fig. 3 Spatial structure and expansion model of overland transportation dominance

节点城市往往是区域发展的增长极，密集的社会经济活动所派生的交通需求明显超过其他点，通常率先具有突出的陆路交通优势。区域发展过程中，增长极与周围点的社会经济联系加强，为了满足越来越多的运输需求，就会建设连接它们的各种交通线路，既提高了增长极和相关点的交通优势，也改善了沿线地区的陆路交通区位。区域中将形成不同规模的运输通道和交通优势区域，相互连接形成点轴空间结构^[39-40]。在中东部，交通轴线一般侧重连接区域性节点城市，陆路交通优势区域呈带状分布。例如，2014年京津地区与保定、石家庄、邯郸、新乡和郑州等城市形成跨区域的带状交通优势区，连通这些节点城市的县具有优于周边区域的路网密度和交通邻近度。而在西部，陆路交通优势往往由区域性节点城市向周边小城市拓展，形成块状的陆路交通优势区域。这在包昆通道上的滇中地区、黔中地区、宁夏沿黄地区和呼包鄂榆地区均有体现，例如，2018年贵阳与遵义和黔东南、昆明与曲靖和红河州，这些城市组团形成块状的交通优势区，暂未有跨区域形成带状交通优势区的迹象。随着社会经济不断发展，陆路交通优势区域演变为轴辐式的网络结构。轴心一般是交通优势突出的省会、地市等区域性节点城市，辐点通常是位于腹地的小城市、新区等，纵横交错的交通网络沟通了各地区的联系，区域交通趋于协同发展，形成相对均质的面状陆路交通优势区域，主要分布于黄淮海平原。

3.3 中国县域陆路交通优势度的经济效应分析

3.3.1 陆路交通优势度的经济效应差异 交通的经济效应不仅在地理和时间上存在差异^[37]，不同维度的交通禀赋特征产生的经济效应也是不同的^[16]。根据式(8)估计路网密度、人口加权平均交通邻近度和区位优势度在全国、贫困县、非贫困县、东部地区、东北地区、中部地区和西部地区对GDP、PGDP、SGDP和TGDP的作用(表4)。总体上，模型对PGDP、TGDP、SGDP和GDP的拟合优度依次提高，在不同分区的拟合优度差距不大。限于篇幅，表4仅展示交通变量的标准回归系数。需要说明的是，由于PRO和LOC指标为距离和时间成本，回归系数显著为负表示其对经济增长的作用显著为正。

表4 陆路交通优势度的分维度经济效应

Tab. 4 Estimation of sub-dimensional economic effects of overland transportation dominance

	变量	2009年				2014年				2018年			
		lnGDP	lnPGDP	lnSGDP	lnTGDP	lnGDP	lnPGDP	lnSGDP	lnTGDP	lnGDP	lnPGDP	lnSGDP	lnTGDP
全国	lnDEN	0.067***	-0.166***	0.044***	0.055**	0.099***	-0.233***	0.074***	0.141***	0.077***	-0.189***	0.043**	0.109***
	lnPRO	-0.117***	-0.038	-0.146***	0.017	-0.106***	0.045*	-0.114***	-0.080**	-0.085***	0.011	-0.098***	-0.079***
	lnLOC	0.089***	0.142***	0.020	0.058*	0.074***	0.110***	0.028	0.079***	0.057***	0.076***	-0.022	0.042***
	R ²	0.881	0.709	0.817	0.515	0.877	0.686	0.762	0.864	0.887	0.680	0.803	0.883
贫困县	lnDEN	0.037**	-0.062***	0.037	0.050**	0.090***	-0.080**	0.072*	0.161***	0.013	-0.097***	-0.018	0.085***
	lnPRO	-0.084***	-0.028	-0.101**	-0.054	-0.071***	0.014	-0.087**	0.002	-0.028	0.106***	-0.013	-0.042
	lnLOC	0.081**	0.087*	0.110**	-0.009	0.046	0.010	0.086*	-0.043	0.048	0.024	0.078*	-0.047
	R ²	0.863	0.728	0.735	0.694	0.842	0.744	0.602	0.802	0.863	0.748	0.702	0.836
非贫困县	lnDEN	0.089***	-0.179***	0.160***	0.043	0.113***	-0.241***	0.106***	0.114***	0.074***	-0.182***	0.025	0.096***
	lnPRO	-0.085***	0.009	-0.144**	0.078*	-0.069***	-0.027	-0.067***	-0.083***	-0.110***	-0.038	-0.140***	-0.085***
	lnLOC	0.000	0.210***	-0.125***	0.062	0.026	0.182***	-0.083***	0.075***	0.010	0.127***	-0.068***	0.027
	R ²	0.833	0.601	0.762	0.343	0.841	0.589	0.748	0.839	0.854	0.580	0.774	0.861
东部地区	lnDEN	0.060**	0.027	-0.011	0.030	0.106***	-0.019	0.093***	0.064**	0.108***	0.064	0.086**	0.084***
	lnPRO	-0.057*	0.012	-0.068**	0.015	-0.078***	0.070	-0.088***	-0.056**	-0.124***	-0.121**	-0.126***	-0.105***
	lnLOC	0.036	0.252***	-0.053*	0.115	0.121***	0.338***	0.033	0.089***	0.190	0.420***	0.011***	0.155***
	R ²	0.910	0.620	0.891	0.457	0.903	0.599	0.864	0.898	0.899	0.587	0.860	0.898
东北地区	lnDEN	-0.036	-0.174**	-0.033	-0.032	-0.008	0.241**	-0.092	-0.092	-0.090	-0.171	-0.137	0.043
	lnPRO	0.039	-0.256***	0.027	0.178	-0.097	0.054	0.010	-0.175*	-0.297***	-0.355***	-0.151	-0.318***
	lnLOC	0.156*	-0.153	0.066	-0.050	0.038	-0.229*	-0.003	0.028	0.088	-0.246**	-0.027	0.155
	R ²	0.772	0.624	0.808	0.141	0.781	0.562	0.781	0.715	0.803	0.604	0.707	0.763
中部地区	lnDEN	0.082***	-0.032	0.092**	-0.008	0.106***	-0.180***	0.145***	0.059	0.081***	-0.046	0.055	0.100***
	lnPRO	-0.029	0.085**	-0.092**	-0.061	-0.119***	-0.019	-0.158***	-0.137***	-0.033	0.038	-0.016	-0.069**
	lnLOC	-0.014	0.034	-0.023	-0.006	-0.024	0.014	0.008	0.090**	0.030	0.041	-0.128***	0.089***
	R ²	0.851	0.736	0.750	0.450	0.867	0.783	0.782	0.804	0.855	0.801	0.780	0.822
西部地区	lnDEN	0.067***	-0.103***	0.057**	0.069**	0.133***	-0.120***	0.099***	0.183***	0.065***	-0.143***	0.031	0.114***
	lnPRO	-0.089***	-0.078**	-0.099***	0.018	-0.056**	0.017	-0.046	-0.066**	-0.038	0.138***	-0.035	-0.052**
	lnLOC	-0.004	0.105***	-0.034	-0.043	-0.015	0.020	-0.045	0.027	0.002	-0.005	0.018	-0.016
	R ²	0.842	0.726	0.752	0.518	0.830	0.701	0.647	0.815	0.864	0.742	0.724	0.864

注：所有回归均纳入了式(8)所示的控制变量；*、**和***分别为在10%、5%和1%水平上达到显著。

路网密度的经济效应以正向作用为主，对TGDP的促进最为显著。从地区上看，路网密度的经济效应在不同经济区域差异明显。路网密度在东部地区的经济效应最为显著和稳健，始终是促进经济增长的重要因素；在中部和西部地区的经济效应次之；在东北地区的弹性系数多为负值，但并不显著，说明仅仅加密路网对东北地区的经济发展贡献不大。可能的原因是东北地区的交通设施建设与人口存在时空错配^[10]，陆路交通设施有效需求不足，低使用效率导致其弱溢出效应^[41]。从时间上看，路网密度的平均经济效应呈增强趋势。具体地，路网密度在东部地区的经济贡献持续增强；在其余地区，路网密度在2014年的经济贡献最大，2018年与2009年较为接近。侧面说明陆路交通的经济效应可能与经济发展阶段密切相关，在经济基础较好的地区可能具有更为稳健和持续的经济效应^[42]。

人口加权平均交通邻近度的经济效应以正向作用为主, 主要贡献由促进 *SGDP* 转为促进 *TGDP*。从地区上看, 人口加权平均交通邻近度在非贫困地区的经济贡献整体高于贫困地区, 在东北地区的平均经济效应最强。但实际上, 人口加权平均交通邻近度在东北地区早期的经济效应多不显著, 在 2018 年才转变为显著的正向作用, 说明提高东北人口密集地区的交通承载力具有重要意义。从时间上看, 人口加权平均交通邻近度的平均经济效应呈增强趋势, 尤其是在 2018 年有较明显的提升。但在贫困县, 人口加权平均交通邻近度在 2018 年的经济效应反而变得不显著。

区位优势度的经济效应以负向作用为主, 少数的正向作用多不显著。古典区位理论认为交通设施通过提高可达性和机动性产生社会经济效应^[35]。但新经济地理学指出交通网络改变了集聚和分散的平衡, 产生的新核心—边缘结构往往会扩大区域差异^[43-44], 因此改善区位优势度可能会阻碍边缘落后县的经济增长。从地区上看, 区位优势度对经济增长的负效应在东部地区和非贫困地区较为突出, 对 *PGDP* 和 *GDP* 的负面影响较大。可能的解释是改善区位优势度加速了中心城市与其周边县域间的价值流动和资源共享, 有力促进了县域本地城镇化进程, 第一产业发展相对滞后; 但东部地区的中心城市同时具有较强的虹吸作用, 加之劳动力和资本的相对流动性大于商品^[60], 导致其他经济活动倾向于区域性集中, 反而可能不利于其周边多数县的经济增长。在其余地区, 区位优势度的经济效应多为不显著的负向作用, 即提高县域的全国通达性对其经济增长未必具有显著影响。从时间上看, 区位优势度对经济增长的负向作用随时间推移有所缓解, 尽管在全国层面仍为负向作用, 但对中部地区的 *SGDP* 和东北地区的 *PGDP* 转为显著的正向作用。

3.3.2 陆路交通优势度的总体经济效应 表 5 为 SDEM 报告的陆路交通优势度在全国层面上的总体经济效应, 解释变量的回归系数均通过显著检验 ($p < 0.01$), 模型对 *SGDP*、*PGDP*、*TGDP* 和 *GDP* 的拟合优度依次提高。随机误差项 We_{ij} 的系数均为正值 (平均系数为 71.09%)。 $\ln \text{TRAN}$ 和 $W \ln \text{TRAN}$ 分别表示陆路交通优势度对县域经济增长的直接效应和间接效应, 尽管不同交通优势维度的效应方向存在差异, 但二者均呈正向作用 (平均系数分别为 25.38% 和 36.12%)。由此, 陆路交通优势度的经济效应总体表现为空间溢出而非空间竞争效应, 县域自身的陆路交通优势度提升不仅有利于当地的经济增长, 同时还将促进相邻县的经济增长。在考虑空间自相关的情况下, 陆路交通优势度的经济效应增强, 其累积邻近效应约为直接效应的 1.5 倍。陆路交通优势度对全国县域 *PGDP*、*SGDP*、*GDP*、*TGDP* 的直接贡献依次增大, 对全国县域 *TGDP*、*GDP*、*SGDP*、*PGDP* 的间接贡献依次增大, 对全国县域 *PGDP*、*TGDP*、*SGDP*、*GDP* 的总体贡献依次增大。从时间上看, 陆路交通优势度的总体经济效应变化不大, 其直接效应趋于增强而间接效应趋于减弱, 对 *PGDP* 的经济效应趋于减弱而对 *GDP*、*SGDP* 和 *TGDP* 的经济效应趋于增强, 这与前述 OLS 模型的结果相近。

表 5 中国陆路交通优势度的总体经济效应

Tab. 5 Estimation of overall economic effects of overland transportation dominance

变量	2009 年				2014 年				2018 年			
	$\ln \text{GDP}$	$\ln \text{PGDP}$	$\ln \text{SGDP}$	$\ln \text{TGDP}$	$\ln \text{GDP}$	$\ln \text{PGDP}$	$\ln \text{SGDP}$	$\ln \text{TGDP}$	$\ln \text{GDP}$	$\ln \text{PGDP}$	$\ln \text{SGDP}$	$\ln \text{TGDP}$
$\ln \text{TRAN}$	0.204***	0.095***	0.217***	0.212***	0.298***	0.167***	0.279***	0.335***	0.378***	0.090**	0.355***	0.415***
$W \ln \text{TRAN}$	0.420***	0.506***	0.427***	0.392***	0.336***	0.396***	0.349***	0.261***	0.284***	0.453***	0.278***	0.232***
We_{ij}	0.729***	0.735***	0.724***	0.699***	0.739***	0.731***	0.692***	0.733***	0.698***	0.700***	0.649***	0.702***
μ	-0.030	-0.102**	-0.031	-0.022	-0.055	-0.104**	-0.036	-0.048	-0.035	-0.082*	-0.015	-0.033
R^2	0.708	0.697	0.700	0.678	0.708	0.667	0.648	0.688	0.708	0.641	0.644	0.709

注: *, ** 和 *** 分别为在 10%、5% 和 1% 水平上达到显著。

4 讨论

(1) 基于栅格数据的人口加权距离法比基于矢量数据的邻近分析更为精准。以往多数研究通常只简单考虑研究单元内是否拥有某种交通设施,忽视了交通设施规模、人口规模及二者的空间关系^[11]。若采用常规的基于县域驻地的邻近分析,中国2863个县距离各类道路的平均最短距离在2009年、2014年和2018年分别为 (33.86 ± 78.14) km、 (13.00 ± 28.46) km和 (9.38 ± 18.84) km。本文采用人口加权距离法的对应结果为 (38.92 ± 83.65) km、 (16.67 ± 31.61) km和 (12.52 ± 21.63) km,更能反映区县间差异。此外,由于传统的邻近分析忽视了区域中人口的不均衡分布,在空间格局上倾向于高估交通设施布局稀少地区的交通邻近水平。总体上,基于人口栅格数据的邻近分析,有效提高了数据利用率,同时与统计描述相比,能够较好地模拟出人口分布与交通设施布局的邻近关系^[25]。

(2) 本文揭示了近年来中国陆路交通优势度的格局演化及经济效应。金凤君等曾度量了中国2006年的区域交通优势度,发现区域交通优势度大致由沿海逐渐向内陆依次递减,城镇密集区的交通优势较明显^[3]。Hu等计算了1910—2012年5个时期的中国县域交通优势度,发现交通优势度的空间分布不均匀,与交通网络扩张具有相似性^[29]。本文评价了2009—2018年3个时期的中国县域陆路交通优势度,部分发现与上述结论一致,这与交通基础设施的历史继承性有关。然而,上述研究均未讨论交通优势度的经济效应,本文不仅发现陆路交通优势度的空间格局受自然地形和社会经济发展的双重影响,增长热点具有由城镇密集区向区际通道拓展的特征,空间拓展大致经历极核式、点轴式和轴辐式3个阶段,还尝试解析了陆路交通优势度的经济效应。计量结果表明交通优势的不同维度对经济增长的影响存在权衡效应,交通基础设施建设并不总是促进县域经济增长,但陆路交通优势度的总体经济效应仍为显著正向作用,间接效应约为直接效应的1.5倍。

(3) 对新时期交通基础设施建设的启示。从格局演化上看,陆路交通劣势主要位于西部、东北和省际边界地区的山区县、贫困县和生态脆弱县等,是交通均衡发展补短板的关键区域。未来应继续推进西部陆海新通道建设,推动东北地区结合人口经济要素把握交通增量时空间,加速省际间、城市群间和城乡间的交通一体化发展,强化交通主轴和关键走廊间的衔接协调。从经济效应上看,陆路交通优势度的经济效应具有空间溢出特征,其总体效应、直接效应、间接效应分别对GDP、TGDP、PGDP的贡献最为可观,各交通优势维度均对PGDP的正向作用较弱且趋于减弱,说明改善交通优势很可能会通过促进产业结构调整来增加县域经济总量。不同交通优势维度对经济增长的影响存在权衡效应,即路网密度和人口加权平均交通邻近度的经济效应以正向作用为主,但区位优势度主要呈负向作用。未来应着力破解西部和东北地区的区域性交通劣势,充分发挥交通优势度的累积邻近效应,同时要认识到改善区位优势度可能会以牺牲多数边缘县的增长为代价导致增长向少数核心县集中^[14],尤其在东部地区,应推进交通运输与当地产业发展的有机融合。

(4) 本文整理了2009年、2014年和2018年的陆路交通数据,并基于此分析了中国县域陆路交通优势度的格局演化与经济效应,一定程度上丰富了交通地理学研究,但也存在不足。① 陆路交通的经济效应分析有待深化,未来将着力改进计量方法以进一步探讨陆路交通影响经济增长的间接效应和时间效应;② 对交通提升策略的讨论还较初步,有待结合区县具体情况进行深入分析。尽管如此,本文建立的交通数据集及计算分析结果,可为人地系统综合模拟提供系统化的交通数据支持^[45],对于理解和模拟人地系统演化、城乡融合状态具有应用价值^[46]。

5 结论

(1) 2009—2018年中国陆路交通建设取得显著成效,交通基础设施规模扩张迅速,陆路交通优势度的区域差异趋于缩小,增长热点具有由城镇密集区向区际通道拓展的特征,与“两横三纵”城市化战略密切相关。路网密度和人口加权平均交通邻近度在两横三纵轴线上增长明显;区位优势度在主要城市化地区明显提升;陆路交通优势度空间格局主要受自然地形和社会经济发展的双重影响。陆路交通劣势主要位于西部、东北和省际边界地区的山区县、贫困县和生态脆弱县等,是补短板、强弱项,实现交通均衡发展的关键区域。

(2) 交通优势区域的空间结构在不同区域和发展阶段存在差异,其演化过程大致经历极核式、点轴式和轴辐式3个阶段。区域性节点城市通常率先具有交通优势,而后通过不同规模的运输通道与周边小城市或其他区域性节点城市连通,形成块状或带状的交通优势区域;随着区域不断发展,交通优势区域会演变为轴辐式的网络结构,形成相对均质的面状交通优势区域。未来交通建设应强化重要区域、交通主轴、关键走廊之间的衔接协调。

(3) 陆路交通优势度的总体经济效应为显著正效应,其间接效应约为直接效应的1.5倍,但交通建设并不总是促进县域经济增长,具体经济效应在不同区域背景 and 经济发展阶段存在差异,交通优势的不同维度对经济发展的作用不同。陆路交通优势度的总体经济效应随时间的变化不大,但其直接效应趋于增强而间接效应趋于减弱。区位优势度、人口加权平均交通邻近度和路网密度对经济增长的平均贡献依次增强。路网密度在东部、非贫困县等经济条件较好的地区具有更为稳健和持续的经济效应;人口加权平均交通邻近度在非贫困地区的经济贡献整体高于贫困地区;区位优势度的经济效应以负向作用为主,在非贫困县和东部地区较为突出。因此,有必要根据区域发展条件和地理特征,采取更加具体、适宜的差异化交通发展路径。

参考文献(References)

- [1] Pang Yuehui, Wang Rong, Wei Wei. "Transportation powerful nation" strategy: Background, implication and path exploration. *Reformation & Strategy*, 2018, 34(8): 29-35. [庞跃辉, 王戎, 魏巍. “交通强国”战略的背景、意蕴及路径探索. *改革与战略*, 2018, 34(8): 29-35.]
- [2] Jin Fengjun, Chen Zhuo. Evolution of transportation in China since Reform and Opening-up: Patterns and principles. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(10): 1941-1961. [金凤君, 陈卓. 1978年改革开放以来中国交通地理格局演变与规律. *地理学报*, 2019, 74(10): 1941-1961.]
- [3] Jin Fengjun, Wang Chengjin, Li Xiuwei. Discrimination method and its application analysis of regional transport superiority. *Acta Geographica Sinica*, 2008, 63(8): 787-798. [金凤君, 王成金, 李秀伟. 中国区域交通优势的甄别方法及应用分析. *地理学报*, 2008, 63(8): 787-798.]
- [4] Yu Zengtao, Wei Suqiong, Lin Zenan. Research on coordination development between regional transportation superiority degree and economic level in Fujian. *Journal of Fujian Normal University (Natural Science Edition)*, 2017, 33(2): 79-87. [余增涛, 韦素琼, 林泽楠. 福建省交通优势度与经济水平协调发展研究. *福建师范大学学报(自然科学版)*, 2017, 33(2): 79-87.]
- [5] Min Min, Miao Changhong, Zhong Jiahui. Improvement of evaluation model of transportation superiority degree and its application in Henan. *Journal of Henan University (Natural Science)*, 2017, 47(4): 409-417. [闵敏, 苗长虹, 钟佳慧. 交通优势度评价模型的改进及其在河南省的应用. *河南大学学报(自然科学版)*, 2017, 47(4): 409-417.]
- [6] Meng Deyou, Shen Jinghong, Lu Yuqi. Spatial coupling between transportation superiority and economy in central plain economic zone. *Economic Geography*, 2012, 32(6): 7-14. [孟德友, 沈惊宏, 陆玉麒. 中原经济区区域交通优势度与区域经济空间耦合. *经济地理*, 2012, 32(6): 7-14.]

- [7] Cui Xuegang, Fang Chuanglin, Zhang Qiang. Spatial relationship between high-speed transport superiority degree and land-use efficiency in Shandong Peninsula urban agglomeration. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(6): 1149-1161. [崔学刚, 方创琳, 张蔷. 山东半岛城市群高速交通优势度与土地利用效率的空间关系. *地理学报*, 2018, 73(6): 1149-1161.]
- [8] Wang Wulin, Yang Wenyue, Cao Xiaoshu. Road transport superiority degree and impact on economic growth in the concentrated contiguous severe poverty areas in China. *Progress in Geography*, 2015, 34(6): 665-675. [王武林, 杨文越, 曹小曙. 中国集中连片特困地区公路交通优势度及其对经济增长的影响. *地理科学进展*, 2015, 34(6): 665-675.]
- [9] Guo Xiangyang, Mu Xueqing, Ming Qingzhong, et al. Spatial coupling between rapid traffic superiority degree and tourist flow intensity in tourist destinations. *Geographical Research*, 2019, 38(5): 1119-1135. [郭向阳, 穆学青, 明庆忠, 等. 旅游地快速交通优势度与旅游流强度的空间耦合分析. *地理研究*, 2019, 38(5): 1119-1135.]
- [10] Zhao Pengjun, Lyu Di, Hu Haoyu, et al. Population-development oriented comprehensive modern transport system in China. *Acta Geographica Sinica*, 2020, 75(12): 2699-2715. [赵鹏军, 吕迪, 胡昊宇, 等. 适应人口发展的现代化综合交通运输体系研究. *地理学报*, 2020, 75(12): 2699-2715.]
- [11] Aschauer D A. Is public expenditure productive? *Journal of Monetary Economics*, 1989, 23(2): 177-200.
- [12] Osei- Kyei R, Chan A P C. Developing transport infrastructure in sub- Saharan Africa through public- private partnerships: Policy practice and implications. *Transport Reviews*, 2016, 36(2): 170-186.
- [13] Zheng S Q, Kahn M E. China's bullet trains facilitate market integration and mitigate the cost of megacity growth. *PNAS*, 2013, 110(14): E1248-E1253.
- [14] Puga D. European regional policies in light of recent location theories. *Journal of Economic Geography*, 2002, 2(4): 373-406.
- [15] Crescenzi R, di Cataldo M, Rodríguez-Pose A. Government quality and the economic returns of transport infrastructure investment in European regions. *Journal of Regional Science*, 2016, 56(4): 555-582.
- [16] Jiao J J, Wang J E, Zhang F N, et al. Roles of accessibility, connectivity and spatial interdependence in realizing the economic impact of high-speed rail: Evidence from China. *Transport Policy*, 2020, 91: 1-15. DOI: 10.1016/j.tranpol.2020.03.001.
- [17] Chen Yu, Jin Fengjun, Lu Yuqi, et al. Development history and accessibility evolution of land transportation network in Beijing-Tianjin-Hebei region. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(12): 2252-2264. [陈娱, 金凤君, 陆玉麒, 等. 京津冀地区陆路交通网络发展过程及可达性演变特征. *地理学报*, 2017, 72(12): 2252-2264.]
- [18] Laurance W F, Balmford A. A global map for road building. *Nature*, 2013, 495(7441): 308-309.
- [19] Jin Fengjun, Chen Zhuo. The inheritance and development of transportation geography in China: Based on analysis of papers published in *Acta Geographica Sinica*. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(11): 2230-2242. [金凤君, 陈卓. 基于《地理学报》创刊85年载文的中国交通地理学传承与发展. *地理学报*, 2019, 74(11): 2230-2242.]
- [20] Stevens F R, Gaughan A E, Linard C, et al. Disaggregating census data for population mapping using random forests with remotely-sensed and ancillary data. *PLOS ONE*, 2015, 10(2): e0107042. DOI: 10.1371/journal.pone.0107042.
- [21] Cheng Jiajia, Wang Chengjin, Liu Weidong. Distribution configuration and spatial differentiation of transport superiority degree in northwest China. *Advances in Earth Science*, 2016, 31(2): 192-205. [程佳佳, 王成金, 刘卫东. 西北地区交通优势度格局及空间分异. *地球科学进展*, 2016, 31(2): 192-205.]
- [22] Sun Hongri, Liu Yanjun, Zhou Guolei. The spatiotemporal differentiation and mechanisms of traffic dominance in Northeast China. *Acta Geographica Sinica*, 2021, 76(2): 444-458. [孙宏日, 刘艳军, 周国磊. 东北地区交通优势度演变格局及影响机制. *地理学报*, 2021, 76(2): 444-458.]
- [23] Meng Deyou, Shen Jinghong, Lu Yuqi. Evolvement of spatial pattern of county level transportation superiority in Henan, China. *Scientia Geographica Sinica*, 2014, 34(3): 280-287. [孟德友, 沈惊宏, 陆玉麒. 河南省县域交通优势度综合评价及空间格局演变. *地理科学*, 2014, 34(3): 280-287.]
- [24] Wang Zhenbo, Xu Jiangang, Zhu Chuangeng, et al. The county accessibility divisions in China and its correlation with population distribution. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(4): 416-426. [王振波, 徐建刚, 朱传耿, 等. 中国县域可达性区域划分及其与人口分布的关系. *地理学报*, 2010, 65(4): 416-426.]
- [25] Weiss D J, Nelson A, Gibson H S, et al. A global map of travel time to cities to assess inequalities in accessibility in 2015. *Nature*, 2018, 553(7688): 333-336.
- [26] Huang Jixia, Zhang Tianyuan, Wang Li, et al. Spatial distribution patterns and the accessibility evaluation of oil and gas resources in Russia. *Acta Geographica Sinica*, 2020, 75(9): 2009-2024. [黄季夏, 张天媛, 王利, 等. 俄罗斯油气资源空间分布格局及可达性评估. *地理学报*, 2020, 75(9): 2009-2024.]

- [27] Wang Wulin, Yang Wenyue, Cao Xiaoshu. Research on coordination degree between road transport superiority degree and county economic level in Wuling Mountain Area. *Human Geography*, 2019, 34(6): 99-109. [王武林, 杨文越, 曹小曙. 武陵山区公路交通优势度与县域经济水平协调度研究. *人文地理*, 2019, 34(6): 99-109.]
- [28] Wu Wei, Cao Youhui, Cao Weidong, et al. The pattern of transportation superiority in Yangtze River Delta. *Geographical Research*, 2011, 30(12): 2199-2208. [吴威, 曹有挥, 曹卫东, 等. 长三角地区交通优势度的空间格局. *地理研究*, 2011, 30(12): 2199-2208.]
- [29] Hu H, Wang J E, Jin F J, et al. Evolution of regional transport dominance in China 1910-2012. *Journal of Geographical Sciences*, 2015, 25(6): 723-738.
- [30] Anselin L. Local Indicators of Spatial Association: LISA. *Geographical Analysis*, 2010, 27(2): 93-115.
- [31] Barro R J. Government spending in a simple model of endogenous growth. NBER Working Papers, 1988.
- [32] Muvawala J, Sebukeera H, Ssebulime K. Socio-economic impacts of transport infrastructure investment in Uganda: Insight from frontloading expenditure on Uganda's urban roads and highways. *Research in Transportation Economics*, 2021, 88: 100971. DOI: 10.1016/j.retrec.2020.100971.
- [33] Holtz-Eakin D, Schwartz A E. Spatial Productivity Spillovers from Public Infrastructure: Evidence from State Highways. NBER Working Papers, 1995, 2(3): 459-468.
- [34] Anselin L. Spatial externalities, spatial multipliers, and spatial econometrics. *International Regional Science Review*, 2003, 26(2): 153-166.
- [35] Fujita M, Krugman P R, Venables A J. *The Spatial Economy: Cities, Regions, and International Trade*. Boston: The MIT Press, 1999. [藤田正久, 保罗·克鲁格曼, 安东尼·维纳布尔斯. *空间经济: 城市、区域和国际贸易*. 波士顿: 麻省理工出版社, 1999.]
- [36] Banerjee A, Duflo E, Qian N. On the road: Access to transportation infrastructure and economic growth in China. *Journal of Development Economics*, 2020, 145: 102442. DOI: 10.1016/j.jdeveco.2020.102442.
- [37] Lin Xiongbin, Yang Jiawen, Tao Zhuolin, et al. Transport investment, economic spatial aggregation, and multiple paths: A joint estimation by spatial panel and structural equation modeling. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(10): 1970-1984. [林雄斌, 杨家文, 陶卓霖, 等. 交通投资、经济空间集聚与多样化路径: 空间面板回归与结构方程模型视角. *地理学报*, 2018, 73(10): 1970-1984.]
- [38] Anselin L. *Spatial Econometrics: Methods and Models*. Dordrecht: Kluwer Academic, 1988. [卢克·安瑟林. *空间计量经济学: 方法与模型*. 多德雷赫特: 克鲁尔学术出版社, 1988.]
- [39] Lu Dadao. Formation and dynamics of the "pole-axis" spatial system. *Scientia Geographica Sinica*, 2002, 22 (1): 1-6. [陆大道. 关于“点—轴”空间结构系统的形成机理分析. *地理科学*, 2002, 22(1): 1-6.]
- [40] Lu Yuqi, Yuan Linwang, Zhong Yexi. Evolutionary model of the central place hierarchical system. *Science China: Earth Science*, 2011, 41(8): 1160-1171. [陆玉麒, 袁林旺, 钟业喜. 中心地等级体系的演化模型. *中国科学: 地球科学*, 2011, 41(8): 1160-1171.]
- [41] Wang Xiaodong, Deng Danxuan, Zhao Zhongxiu. Impact of transportation infrastructure on economic growth: An empirical test based on inter-provincial panel data and Feder model. *Management World*, 2014(4): 173-174. [王晓东, 邓丹萱, 赵忠秀. 交通基础设施对经济增长的影响: 基于省际面板数据与Feder模型的实证检验. *管理世界*, 2014(4): 173-174.]
- [42] Herzog I. National transportation networks, market access, and regional economic growth. *Journal of Urban Economics*, 2021, 122: 103316. DOI: 10.1016/j.jue.2020.103316.
- [43] Krugman P. Increasing returns and economic geography. *Journal of Political Economy*, 1991, 99(3): 483-499.
- [44] Elburz Z, Nijkamp P, Pels E. Public infrastructure and regional growth: Lessons from meta-analysis. *Journal of Transport Geography*, 2017, 58: 1-8. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2016.10.013.
- [45] Liu Yansui. Modern Human-Earth Relationship and Human-Earth System Science. *Scientia Geographica Sinica*, 2020, 40(8): 1221-1234. [刘彦随. 现代人类关系与人类系统科学. *地理科学*, 2020, 40(8): 1221-1234.]
- [46] Liu Yansui, Long Hualou, Li Yurui. Human geography research based on the new thinking of global rural-urban relationship. *Acta Geographica Sinica*, 2021, 76(12): 2869-2884. [刘彦随, 龙花楼, 李裕瑞. 全球城乡关系新认知与人文地理学研究. *地理学报*, 2021, 76(12): 2869-2884.]

Evolution of China's overland transportation dominance and its economic effect: A county-level analysis

CHEN Shuting¹, LI Yurui^{2,3}, PAN Wei^{2,3}, WANG Wulin⁴, JIN Fengjun^{2,3}

(1. College of Earth and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China;

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

4. College of Tourism, Hunan Normal University, Changsha 410081, China)

Abstract: Overland transportation is the fundamental support of regional economic and social development. Based on the national data about overland transportation in 2009, 2014, and 2018, we develop an evaluation model of transportation dominance involving three dimensions, namely, scale, proximity, and accessibility. These dimensions are interpreted by road density, population-weighted average transportation proximity, and location advantage, respectively. We further reveal the spatial pattern and evolution of overland transportation dominance and then estimate its economic effect. The results show that: (1) Significant progress has been made in China's overland transportation from 2009 to 2018. Overland transportation dominance expands from urban intensive areas to inter-regional channels, which is closely related to the urbanization strategy called a "two horizontal and three vertical" pattern. The inferiority of overland transportation is mainly found in the western, northeastern, and provincial border areas. These areas are the key to balanced transportation development to make up for the current shortcomings. (2) The spatial patterns of the overland transportation dominance are different in different regions and development stages, which can be abstracted as the evolution of "pole-and-core, point-and-axis, and hub-and-spokes". Future transportation development should strengthen the connection between important regions, the main transportation axes, and the key transportation corridors. (3) The overall economic effect of overland transportation dominance is significantly positive, and its indirect effect is about 1.5 times as large as the direct effect. However, transportation does not always promote county economic growth, whose sub-dimensional economic effect varies in different regions and periods.

Keywords: overland transportation dominance; pattern evolution; economic effect; China