

# 东北地区交通优势度演变格局及影响机制

孙宏日, 刘艳军, 周国磊

(东北师范大学地理科学学院, 长春 130024)

**摘要:** 交通是老工业地区可持续发展的重要资源, 评价和研究交通优势度的时空分异规律和机制具有重要的现实意义。本文建立了基于交通路网密度、交通干线影响度和区位优势度的综合评估体系, 并以东北地区为例, 通过网络分析、冷热点分析、多变量线性回归和地理加权回归等方法深入探讨了交通优势度总体空间格局及其影响因素和作用机制。结果表明: ①东北地区交通优势度总体呈上升趋势, 其空间分布格局呈现以哈大线为轴的“核心—外围”结构, 交通优势度高值多沿交通干线分布。②东北地区整体交通优势度空间极化现象显著, 高值区多在高铁沿线集聚, 低值区在内蒙古东部及黑龙江省北部集聚, 且其空间差异逐渐增加。③快速交通方式对东北地区交通优势度贡献高, 人口承载能力对交通优势度时空分异的影响作用逐渐增强, 扩充交通干线、增加交通枢纽有助于提升东北地区交通优势度水平。

**关键词:** 交通优势度; 区位优势度; 交通干线影响度; 路网密度; 东北地区

DOI: 10.11821/dlxb202102014

## 1 引言

交通优势度是反映交通网络规模、交通系统完善程度以及通达性的综合指标<sup>[1]</sup>, 反映区域交通基础设施网络支持其经济社会活动的水平和状态。交通优势度是交通设施支撑能力、交通干线影响度和区位优势的综合体现, 是评价区域交通优势高低的一个集成性指标, 比路网密度、交通可达性等单一指标更能体现区域的交通发展水平。交通优势度的定量测度及时空分析可以有效评价区域交通基础设施建设情况与便捷程度, 反映区域经济发展的交通优势和未来潜力。通过对交通优势度进行时空演变分析可以有效评价区域基础设施的优劣, 反映区域的空间发展趋向。交通优势度的演变是自然条件、社会需求和经济发展协同作用的结果(图1)。相较于其他类型区域, 老工业地区普遍经历过衰退的过程, 交通基础设施是支撑其发展的重要因素, 良好的交通优势度对于老工业地区发展与振兴具有显著促进作用, 可加强老工业基地对外联系与合作, 促进资源开发、经济发展、人口流动、交通物流之间形成良性互动, 实现老工业地区可持续发展。

目前, 关于交通优势度的研究主要集中在以下方面: ①交通优势度及相关研究。Hansen于1959年首次提出可达性的概念<sup>[2]</sup>, 金凤君等<sup>[1]</sup>和Hu等<sup>[3]</sup>在此基础上提出交通优势度的定义, 并进行定量测度。此后, 有学者探讨了交通优势度与城镇化<sup>[4]</sup>、土地利用效率<sup>[5]</sup>

收稿日期: 2019-06-21; 修订日期: 2020-08-14

基金项目: 国家自然科学基金项目(41771172, 41001099) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41771172, No.41001099]

作者简介: 孙宏日(1996-), 女, 辽宁丹东人, 博士生, 主要从事城市地理、城市与区域发展研究。

E-mail: sunhr429@nenu.edu.cn

通讯作者: 刘艳军(1981-), 男, 吉林镇赉人, 博导, 教授, 中国地理学会会员(S110007211M), 主要从事城市地理、经济地理研究。E-mail: liuyj323@nenu.edu.cn

的关联。但是学者更加关注交通系统及交通可达性的研究。比如,交通系统与生态系统的协调发展成为近年来的研究热点<sup>[6]</sup>,并有学者制定了可持续的交通发展指标<sup>[7]</sup>。同时,部分学者关注交通可达性与区域经济社会发展等方面的关系,认为交通可达性与产业集聚呈现显著正相关<sup>[8]</sup>,并探究了交通发展带来的经济效应<sup>[9-10]</sup>。在交通通达能力及其影响方面,一些学者探究了地区公共服务设施可达性<sup>[11-14]</sup>,

以及地区公共交通发展存在的平衡问题<sup>[15]</sup>,高铁对区域可达性及城市区位<sup>[16-18]</sup>、区域可达性对城市房价和企业选址均有影响<sup>[19-21]</sup>,且不同交通运输方式表达的级联体系结构存在差异<sup>[22]</sup>;②交通优势度、可达性的测度方法研究。交通优势度的测度方法集中于交通路网密度、交通干线影响度和区位优势度的加权叠加<sup>[23]</sup>,更加全面和综合。可达性作为区域通达能力度量指标,也被广泛应用于交通及相关研究中,构建网络数据集在区域可达性研究中使用较广<sup>[24]</sup>,同时部分学者运用加权平均旅行时间、经济潜力模型及日常可达性等方式测度区域交通可达性水平<sup>[18, 25-27]</sup>。为优化可达性测度方式,部分学者以GIS为基础开发新型量度工具并提出基于旅行时间的高分辨率时空公共交通网络模型等方式来衡量区域可达性<sup>[28-31]</sup>;③老工业基地交通优势度及交通可达性研究。目前老工业地区以交通可达性研究为主,交通优势度的研究较少,学者们更加关注经济发达地区<sup>[32]</sup>。学者们探究了中国东北老工业基地的省际城市可达性<sup>[33]</sup>以及区域交通设施的发展对老工业基地产生的影响<sup>[34]</sup>,部分研究着重于工业区的环境与生态问题<sup>[35]</sup>以及交通与环境的交互作用<sup>[36]</sup>,并对区域的交通政策以及区域的交通基础设施面临的问题进行了评估<sup>[37-38]</sup>。同时,有学者对不发达地区的交通运输扩张情况进行了研究讨论<sup>[39]</sup>,认为改善衰退城市的交通运输问题是提高生活质量的有效方法<sup>[40]</sup>,其中基础设施服务能力的提高可对衰退地区的可持续发展发挥重要作用<sup>[41]</sup>。此外,部分学者对东北地区交通发展情况以及网络联系程度进行了分析讨论<sup>[42-44]</sup>,并探讨了高铁对旅游空间结构的影响<sup>[45]</sup>。从已有研究来看,多利用可达性等单一指标评价区域交通联系能力和水平,且目前关于交通优势度的研究多停留在空间格局上,对作用机制的深入讨论相对较少。此外,相比较于发达地区,呈现衰退趋势的老工业地区交通优势度研究相对较少,因此需要更加强化交通优势度及其相关领域的探讨。

本文选取东北地区作为研究对象,从路网密度、交通干线影响度和区位优势三者入手,建立综合评价体系定量测度交通优势度,同时运用变异系数、冷热点等方法分析交通优势度的空间分异格局,并引入最小二乘法(OLS)与地理加权回归(GWR)从交通要素及经济社会要素两个方面来探究东北地区交通优势度的影响因素及作用机制,补充相关领域研究成果,以期为东北地区及其他老工业地区优化区域交通布局、提高交通可达性以及实现振兴发展提供参考借鉴。

## 2 研究区域与数据

### 2.1 研究区域

研究区域为中国东北地区,包括辽宁省、吉林省、黑龙江省以及内蒙古自治区东部

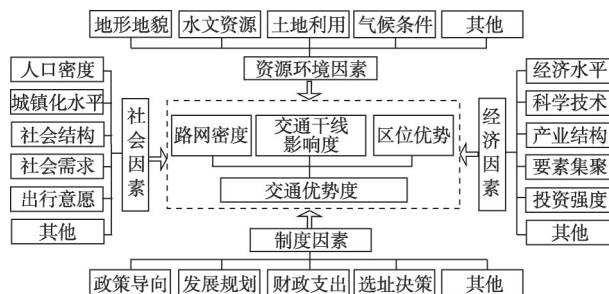


图1 交通优势度及影响因素理论框架

Fig. 1 Theoretical framework of traffic dominance and its influencing factors

地区（图2）。研究区共含228个研究单元，其中副省级市辖区4个（沈阳、大连、长春、哈尔滨）、地级市辖区33个、县级市65个、县95个、旗31个，土地总面积约127.06万km<sup>2</sup>，2016年总人口11937.29万人，城镇化率为49.36%。东北地区是中国最早建设的工业基地之一，为中国经济社会发展做出了重要贡献，但在市场经济转型过程中，东北地区的产业结构无法适应快速变革的发展模式，近年来面临经济增速滞缓、人口流失等发展困境，而交通是其未来振兴发展的重要支撑，因此探讨东北地区交通优势度显得尤为必要。

2.2 数据来源

本文以东北地区228个县域单元为研究对象，并将2010年与2016年县域单元空间范围进行统一。数据来源如表1所示，路网数据来源于国家地理信息局。数据涉及2010年与2016年的高速铁路、普通铁路、高速公路、国道、省道、县道，根据《中华人民共和国公路工程技术标准》规定，结合已有文献和实际运营时速<sup>[46-47]</sup>，将时速设置如表2所示。



图2 研究区域  
Fig. 2 Study area

表1 数据来源与说明  
Tab. 1 Data sources and description

数据类型	数据来源	说明
国道/省道/高速公路/普通铁路/县道	国家地理信息局	—
2010—2016年高速铁路	国家地理信息局	高速铁路线路
地形起伏度	地理空间数据云 ( <a href="http://www.gscloud.cn">http://www.gscloud.cn</a> )	根据GDEMDEM 30 m分辨率数字高程数据提取东北地区DEM，并重采样为100 m分辨率，分区统计像元后取平均值作为该地区的高程。
建设用地面积	中国科学院资源环境科学数据中心 ( <a href="http://www.resdc.cn">http://www.resdc.cn</a> )	根据土地利用数据提取东北地区建设用地类型，将其重分类后分区统计各县域单元的建设用地面积。
社会经济指标	《辽宁统计年鉴》(2011年、2017年) 《黑龙江统计年鉴》(2011年、2017年) 《吉林统计年鉴》(2011年、2017年) 《内蒙古统计年鉴》(2011年、2017年) 《中国城市统计年鉴》(2011年、2017年) 《中国县域统计年鉴》(2011年、2017年)	各县域单元年末总人口、地区生产总值、行政区面积、固定资产投资、财政支出、二三产总产值。

表2 各等级路网时速  
Tab. 2 Speed of highways and railways

名称	高速公路	国道	省道	县道	普通铁路	高速铁路
速度(km/h)	100	80	60	40	120	160~350

注：参照阎福礼等<sup>[46]</sup>及张莉等<sup>[47]</sup>，有调整。

3 研究方法

3.1 交通优势度测度

交通优势度（Traffic Dominance）由各县域单元的路网密度、交通干线影响度、区位优势度分别进行标准化处理后采用等比加权求和得到。其表达式为<sup>[23]</sup>：

$$TSC_i = \sum(TND_i \times \omega_1 + TA_i \times \omega_2 + LD_i \times \omega_3)$$

(1)

式中:  $TSC_i$ 表示县域单元*i*的交通优势度;  $TND_i$ 表示县域单元*i*的交通路网密度;  $TA_i$ 表示县域单元*i*的交通干线影响度;  $LD_i$ 表示县域单元*i*的区位优势度;  $\omega_1$ 、 $\omega_2$ 、 $\omega_3$ 分别为3个指标的权重, 本文采用等比加权法, 因此 $\omega_1 = \omega_2 = \omega_3$ 。

**3.1.1 交通路网密度** 交通路网密度 (Traffic Network Density) 在一定程度上反映区域发展的支撑能力, 是交通供给能力的体现。路网密度越大, 区域社会经济和对外联系依托越强, 对区域经济保障能力越强。其表达式为<sup>[23]</sup>:

$$TND_i = \frac{L_i}{S_i} \quad (2)$$

式中:  $TND_i$ 表示县域单元*i*的交通路网密度;  $L_i$ 为县域单元*i*的交通设施运营长度;  $S_i$ 为县域单元*i*的土地面积。

**3.1.2 交通干线影响度** 交通干线影响度 (Traffic Trunk Line Influence Degree) 在一定程度上能够反映干线基础设施对区域发展的支撑和保障能力, 是区域对外联系能力的体现。交通干线影响度越大, 其对区域发展支撑能力越强。已有研究通常将单线、复线铁路作为子类型, 未将目前新兴起的快速交通方式考虑进来, 为补充这一内容, 本文结合已有研究<sup>[4]</sup>及现实情况尝试对交通干线影响度的评价体系进行改进, 并采用分类赋值法对各县域单元的交通干线影响度进行评价 (表3)。

表3 交通主要设施权重赋值  
Tab. 3 Weighted values of important traffic facilities

类型	子类型	标准	赋值	类型	子类型	标准	赋值
公路	高速公路	拥有高速公路	2	机场	干线机场	距枢纽机场 50 km 以内	1.5
		距高速公路 30 km 以内	1.5			拥有干线机场	1.5
		距高速公路 60 km 以内	1			距干线机场 30 km 以内	1
		其他	0			其他	0
	国道公路	拥有国道	0.5		支线机场	拥有支线机场	0.5
		其他	0			其他	0
铁路	高速铁路	拥有高铁站点	2	港口	主要港口	拥有主要港口	2
		距高铁站点 30 km 以内	1.5			距主要港口 30 km 以内	1.5
		距高铁站点 60 km 以内	1			距主要港口 60 km 以内	1
		其他	0			其他	0
	普通铁路	拥有普通铁路	0.5		一般港口	拥有一般港口	0.5
		其他	0			其他	0
机场	枢纽机场	拥有枢纽机场	2				

注: 参照金凤君等<sup>[1]</sup>, 有调整。

**3.1.3 区位优势度** 区位优势度 (Location Dominance) 用来评价研究区内各县域单元与中心城市 (各地级市市区) 的远近程度, 代表各县域单元的地理区位优势, 是区域交通通达能力的体现。通常情况下, 时间越短, 区位优势度越高, 为逆向指标。其表达式为:

$$LD_i = \frac{\sum M_j T_{ij}}{\sum M_j} \quad (3)$$

式中:  $LD_i$ 代表县域单元*i*的区位优势度, 其值越小, 区位优势度越高;  $T_{ij}$ 代表县域单元*i*通过交通路网到达县域单元*j*的最短时间距离;  $M_j$ 为县域单元*j*的权重, 反映县域单元*j*的吸引力, 本文将县域单元*j*的人口与GDP的几何平均值作为县域单元*j*的权重。

### 3.2 空间均衡性差异

变异系数 (Coefficient of Variation) 在相对意义上评估交通优势度空间分布均衡性, 其表达式为<sup>[18, 48]</sup>:



$$CV = \frac{\hat{\sigma}^p}{\frac{\sum M_i A_i}{\sum M_i}} \quad (4)$$

式中:  $CV$ 表示变异系数;  $\hat{\sigma}^p$ 代表标准差;  $A_i$ 表示各县域单元的交通路网密度、交通干线影响度、区位优势度以及交通优势度;  $M_i$ 表示县域单元 $i$ 的权重,为县域单元 $i$ 的人口与GDP的几何平均值

### 3.3 空间分布的冷热点格局

冷热点分析可为每一个要素计算 Getis-Ord  $G_i^*$ 统计来确定高值或低值要素在空间上发生聚类的位置,其表达式为<sup>[49]</sup>:

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n \omega_{ij} x_j - \sum_{j=1}^n x_j / n \sum_{j=1}^n \omega_{ij}}{\sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n x_j^2}{n} - (\bar{X})^2} \sqrt{\frac{[n \sum_{j=1}^n \omega_{ij}^2 - (\sum_{j=1}^n \omega_{ij})^2]}{n-1}}} \quad (5)$$

式中:  $G_i^*$ 统计是 $z$ 得分;  $x_j$ 是要素 $j$ 的属性值;  $\omega_{ij}$ 是要素 $i$ 和 $j$ 之间的空间权重;  $n$ 为要素总数。  $G_i^*$ 值为正且高于临界值表示为交通优势度的热点区域,  $G_i^*$ 值为负且低于临界值为冷点区域,其余为不显著区域。

### 3.4 影响因素及作用机制

鉴于交通优势度为综合性指标,为深入揭示具体交通要素对东北地区交通优势度的贡献,基于数据可获取性及可操作性原则选取7个交通要素相关指标(表4)。根据相关研究,将交通出行成本赋值为高铁1.75元/min,普通铁路0.22元/min,高速公路、国道、省道、县道0.10元/min<sup>[18]</sup>。

区域交通优势度受经济、产业结构、交通设施水平、人口等多重因素影响,本文基于数据可获取性等原则选取人口密度( $x_1$ )、人均GDP( $x_2$ )、地均固定资产投资( $x_3$ )、地均财政支出( $x_4$ )、二三产占比( $x_5$ )、人均建设用地面积( $x_6$ )、地形起伏度( $x_7$ )等7个指标(表5),试图探讨东北地区交通优势度时空分异的主要影响因素及作用机制。

鉴于东北地区交通优势度具有明显的空间差异,并受区域发展要素的影响,本文在OLS模型基础上选用地理加权回归模型分析东北地区整体交通优势度的影响因素及其空间异质性。模型公式为<sup>[50]</sup>:

$$y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_{j=1}^n \beta_j(u_i, v_i) x_{ij} + \varepsilon_i \quad (6)$$

式中:  $y_i$ 为总体县域单元 $i$ 的交通优势度水平;  $(u_i, v_i)$ 为县域单元 $i$ 的中心坐标;  $\beta_0(u_i, v_i)$ 为 $i$ 的回归常数;  $\beta_j(u_i, v_i)$ 为 $i$ 点上的第 $j$ 个回归参数;  $x_{ij}$ 为第 $i$ 个解释变量 $x_j$ 在 $i$ 点上的具体数值;  $\varepsilon_i$ 为随机误差项。

表4 交通要素原始变量

Tab. 4 Original variables of the transport elements

指标名称	指标性质	指标解释
距最近铁路站点距离( $X_1$ )	负向	对外铁路通达能力
距最近机场距离( $X_2$ )	负向	对外航空通达能力
最短时间交通出行成本( $X_3$ )	负向	交通出行选择效用
行政中心1 h等时圈面积( $X_4$ )	正向	综合陆路交通能力
地均县道拥有量( $X_5$ )	正向	近程联系能力
地均国道、省道、高速公路拥有量( $X_6$ )	正向	中程联系能力
地均铁路拥有量( $X_7$ )	正向	远程联系能力

注: 行政中心1 h等时圈面积是指由各县域单元行政中心出发通过交通路网以最快速度行驶1 h能到达的范围。

表5 影响因素原始变量

Tab. 5 Original variables of the influencing factors

指标名称	指标性质	指标解释
人口密度( $x_1$ )	正向	人口承载能力
人均GDP( $x_2$ )	正向	经济发展水平
地均固定资产投资( $x_3$ )	正向	地块开发力度
地均财政支出( $x_4$ )	正向	财政支持力度
二三产占比( $x_5$ )	正向	产业结构水平
人均建设用地面积( $x_6$ )	负向	建设开发程度
地形起伏度( $x_7$ )	负向	自然地势地貌

## 4 交通优势度时空分异格局

### 4.1 交通优势度时空演变特征

通过前文公式计算, 将交通路网密度、交通干线影响度和区位优势度均划分为5个等级并进行空间可视化表达(图3), 将上述3个指标加权叠加得到各县域单元交通优势度的空间格局, 将其分为5个等级(表6), 等级分布形成以哈大线为轴线向外辐射的递进格局。2010—2016年高交通优势度地区数目明显增加( $TSC \geq 2$ ); 辽宁西部、吉林东部以及黑龙江东部和北部( $1 \leq TSC < 2$ ), 受高铁、机场等交通设施辐射效应高交通优势度地区数目减少了41个; 呼玛县、塔河县、新巴尔虎右旗等边缘地带( $0 \leq TSC < 1$ ), 由于难以接受交通设施辐射, 交通优势度无明显提高(图3d、3h)。

东北地区各县域单元交通优势度水平总体呈现上升趋势, 但空间分布不均, 以哈大线为轴线呈现“核心—外围”空间格局, 高速铁路沿线以及机场周围的交通优势度改善明显, 交通优势度水平呈现明显的空间自相关(图3d、3h)。交通优势度较高地区

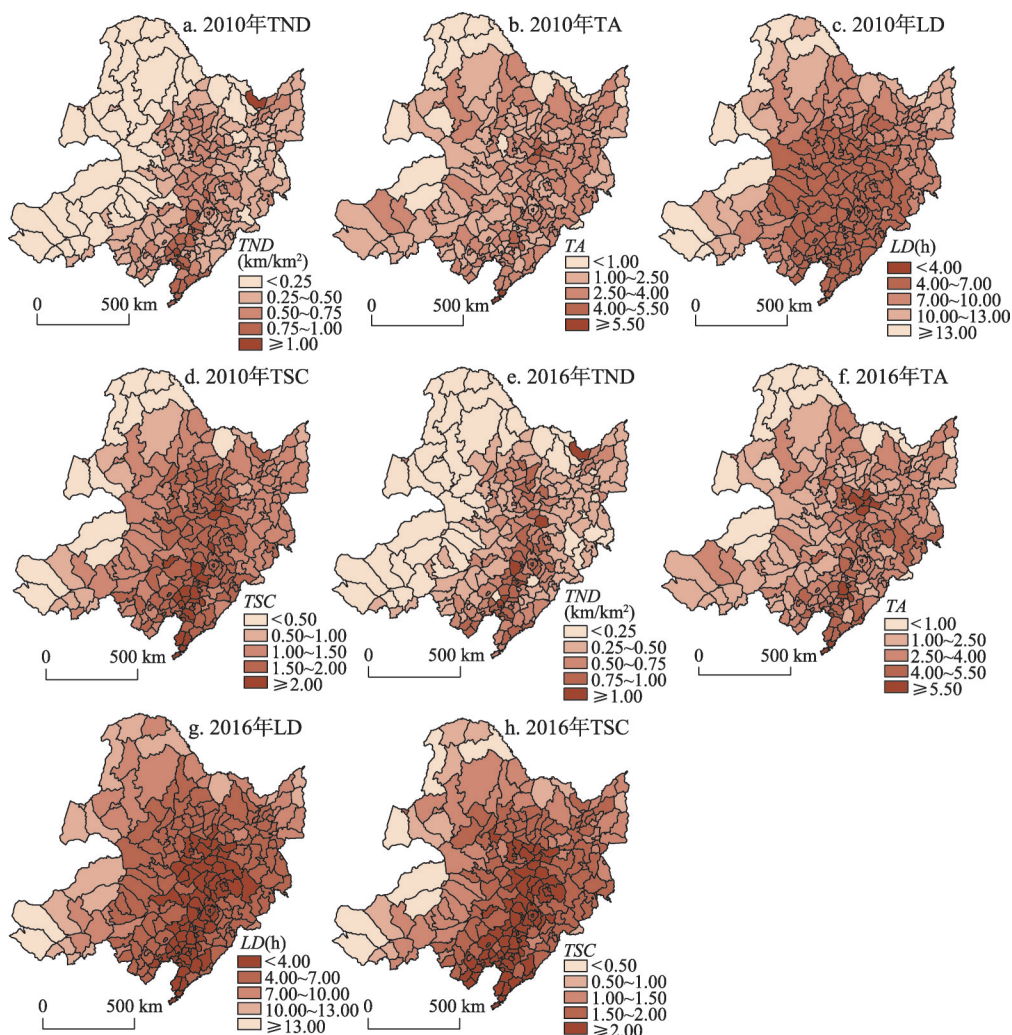


图3 2010年与2016年东北地区交通优势度空间格局演化

Fig. 3 The spatial pattern evolution of traffic dominance in Northeast China in 2010 and 2016

( $TSC \geq 2$ ) 县域单元数目截至 2016 年年末已达 77 个, 占比 33.77%, 人口覆盖度达到了 56.89% (表 6), 集中于松嫩平原和辽河平原一带, 地域优势显著, 而内蒙古东部、大兴安岭地区以及东部的长白山地带交通优势度相对较差, 表明交通优势度的空间格局与自然地势呈现空间耦合性。经过计算, 东北地区交通优势度总体均值由 1.493 提升至 1.772, 变化率为 18.69%。其中, 黑龙江省的交通优势度均值由 1.379 提升至 1.624, 吉林省的交通优势度均值由 1.668 提升至 1.974, 辽宁省的交通优势度均值由 1.843 提升至 2.263, 内蒙古东部交通优势度均值由 1.084 提升至 1.225。

4.2 交通优势度空间均衡性差异

变异系数用来评估交通优势度的均衡性与极化现象, 反映 2010 年与 2016 年间高速铁路的开通及新增机场的建设在空间视角下带来的空间集聚与分散效应 (图 4)。CV 值越小, 表明东北地区的交通优势度空间分布越均衡。从整体来看, 东北地区的交通优势度的变异系数由 0.243 增加至 0.253, 变化率为 4.102%, 表明东北地区交通优势度出现了空间极化现象, 其空间差异逐渐增加。从局部差异来看, 东北地区的交通路网密度、交通干线影响度的变异系数增长率分别为 9.97%、15.93%, 而区位优势度的变异系数由 0.414 提升至 0.585, 变化率高达 41.15%, 印证了在新增机场和高铁的影响下, 东北地区交通优势度极化现象明显。

4.3 交通优势度冷热点分布格局

通过计算交通优势度的 Getis-Ord  $G_i^*$  指数, 将其按照置信水平划分为 7 个等级, 得到东北地区交通优势度的冷热点分布空间格局 (图 5)。总体来看, 东北地区的热点重心集中于京哈沿线及哈大沿线, 显著热点区与显著冷点区均呈现连片分布, 少数区域零散分布。显著热点区集中于辽中南、辽北与吉林省中西部地区, 为人口密集、交通优势度较高、距离中心城区较近、城市功能相对复杂的区域, 如沈阳、大连、长春等经济中心; 显著冷点区集中分布于黑龙江省北部以及内蒙古东部地区, 通常表现为经济水平较低、交通运输方式单一、人口密度小、资源配置较少的区域, 如大兴安岭地区、锡林郭勒盟等区域; 次冷点区与次热点区主要分布在显著冷点区与显著热点区的外围, 呈小块状分布, 以小兴安岭地区为主并及附近边界县域。东北地区的路网密度、交通干线影响度、区位优势度以及交通优势度的显著冷热点区面积均呈现上升趋势, 表明东北地区的总体交通优势度在高铁的影响下产生了明显的空间差异, 在一定程度上解释了东北地区交通优势度变异系数增加的原因。

表 6 2010 年和 2016 年东北地区交通优势度分级  
Tab. 6 Classification of traffic dominance in Northeast China

TSC	2010 年		2016 年	
	县域单元数目	人口覆盖度 (%)	县域单元数目	人口覆盖度 (%)
0~0.50	12	0.74	7	0.56
0.50~1.00	15	1.44	12	0.83
1.00~1.50	82	24.72	44	10.76
1.50~2.00	91	43.62	88	30.95
$\geq 2.00$	28	29.53	77	56.89

注: 人口覆盖度=各等级县域单元总人口/东北地区总人口 $\times 100\%$ 。

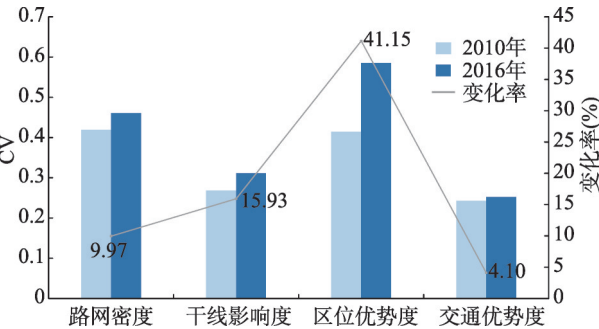


图 4 交通优势度各指标变异系数及变化率  
Fig. 4 CV and change rate of traffic dominance



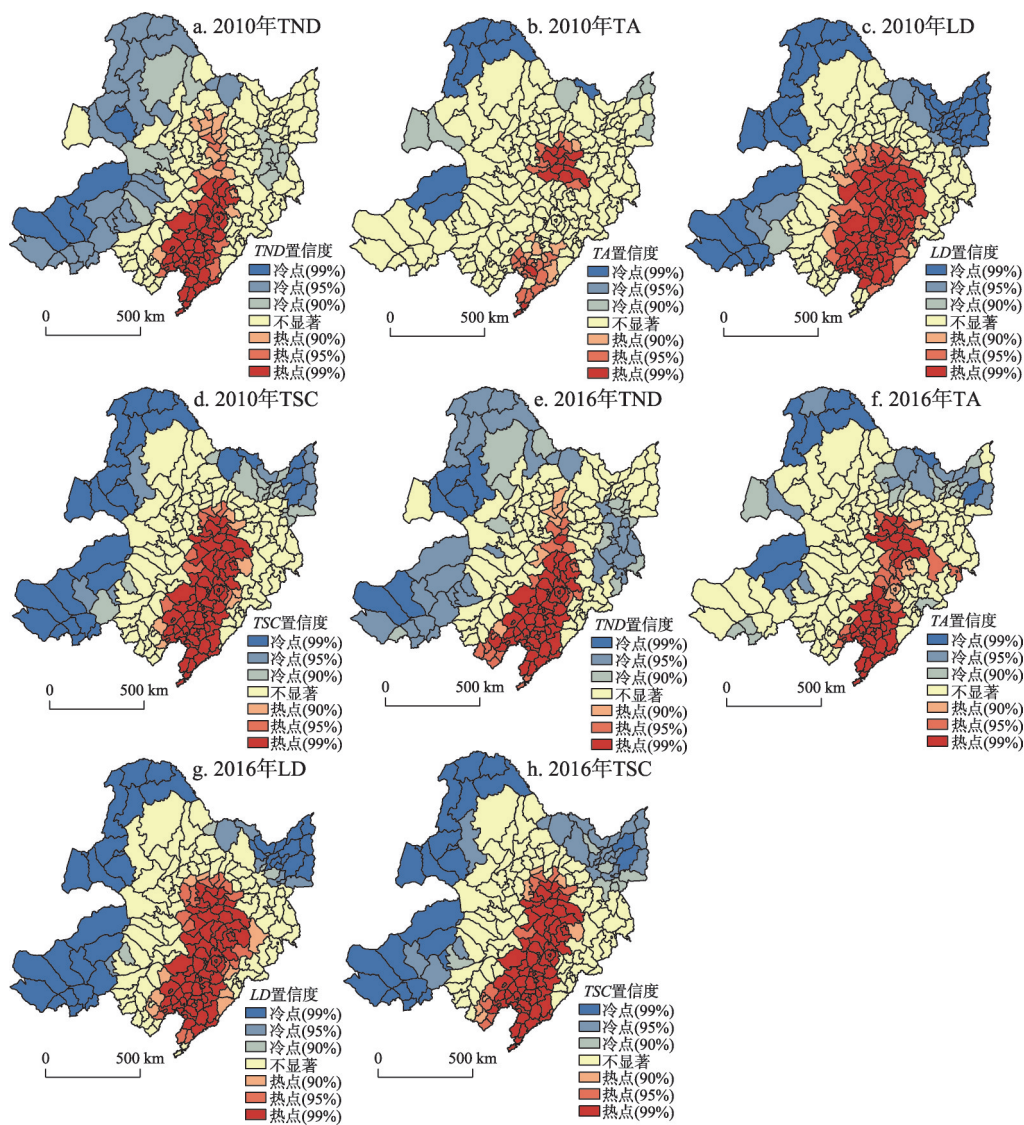


图5 2010年与2016年东北地区交通优势度冷热点分布空间格局演化

Fig. 5 The spatial pattern evolution of Getis-Ord  $G_i^*$  of traffic dominance in Northeast China in 2010 and 2016

## 5 交通优势度时空分异机制

### 5.1 交通要素对交通优势度演变的贡献

为探究交通要素对交通优势度的贡献情况,对各变量与交通优势度的关系进行最小二乘参数估计,将各项指标进行标准化处理后全部转为正向指标,变量间不存在共线性问题,估计参数如表7所示。研究表明距最近铁路站点的距离与地均县道拥有量对交通优势度的贡献最大,交通出行成本受交通方式影响,其对交通优势度的作用逐渐减弱。

地均县道拥有量是地区近程联系能力的体现,拥有量越高,其联系能力越强。从OLS回归结果上看,2010—2016年各县域单元的地均县道拥有量每增加1,交通优势度可增加1.322。地均县道拥有量多受居民出行需求的影响,通常居民选择县道多以机动化



表 7 交通要素的 OLS 参数估计结果

Tab. 7 Parameters estimation results of OLS module level of transport elements

年份	指标名称	回归系数	OLS 调整后 $R^2$
2010 年	最短时间交通出行成本	1.223***	0.773
	距最近铁路站点距离	0.454***	
	地均县道拥有量	0.650***	
	地均国道、省道、高速公路拥有量	0.569***	
2016 年	行政中心 1 h 等时圈面积	0.869***	0.691
	地均县道拥有量	1.322***	
	距最近铁路站点距离	0.653***	
	距最近机场距离	0.359***	

注：\*\*\*表示  $p < 0.01$ 。

方式出行到达较近地区，人口大量集聚地区居民出行需求高，必然促进县道快速发展，形成县道使用效益的差异，进而形成县道路网结构的差异，导致各县域单元近程联系能力的差异，引致东北地区各县域单元交通优势度的空间差异。且县道拥有量在地区交通路网的占比远超过高速公路与铁路，其在各县域单元的交通路网发展中起承接作用，增加地区的县道拥有量能够在一定程度上提升该地区的交通优势度。

距最近铁路站点距离是地区对外铁路通达能力的体现，距离越近，其通达能力越强。2010 年结果表明各县域单元行政中心距最近铁路站点的距离每增加 1，交通优势度就会提高 0.454，至 2016 年，交通优势度提高 0.653，表明铁路站点对交通优势度的贡献作用逐渐增强。距最近铁路站点的距离影响铁路的辐射效应差异，从而影响居民出行意愿，形成居民对铁路枢纽需求的差异，导致铁路路网发展能力的差异，形成各县域单元对外铁路通达能力的差异，进而形成东北地区交通优势度的空间格局差异。且高速铁路的相继开通运营能够弱化各县域单元间的交通距离对各县域单元地理区位的影响，增加县域单元的铁路站点能够有效改善东北地区各县域单元的交通优势度。

除上述主要贡献因子外，最短时间交通出行成本、距最近机场距离、行政中心 1 h 等时圈面积及地均国道、省道、高速公路拥有量对交通优势度也具有辅助贡献作用（图 6）。最短时间交通出行成本回归结果表明交通出行成本每增加 1，交通优势度就会增加 1.223。2010 年多数高铁并未开通，东北地区的交通方式以公路与普通铁路为主，二者的

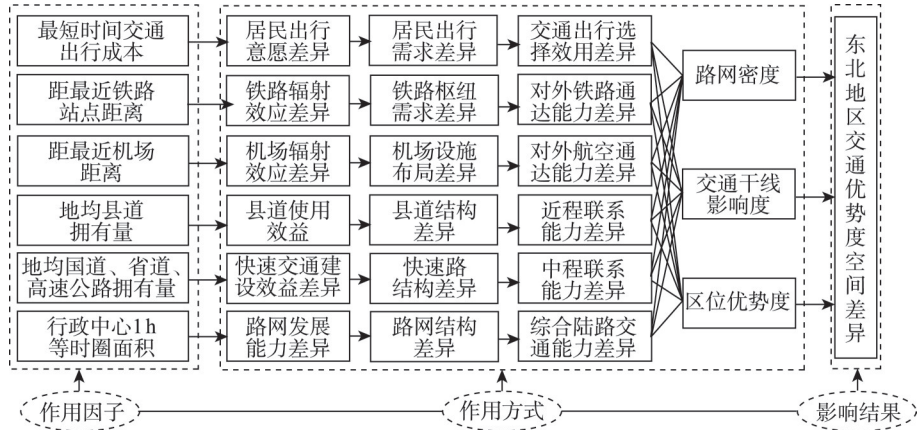


图 6 交通要素对交通优势度的空间分异作用

Fig. 6 The mechanisms of transport elements on the spatial differentiation of traffic dominance

出行成本差距较小,居民出行多考虑时间成本,而到2016年,高铁的开通运营缩短了高铁沿线居民的出行时间,同时增加了居民出行的交通成本,弱化了出行成本对交通优势度空间差异的贡献作用。距最近机场距离是地区对外航空通达能力的体现,2010—2016年东北地区机场数目由22个增加至29个,各县域单元行政中心距最近机场距离每增加1,交通优势度增加0.359,表明机场对东北地区交通优势度的作用正逐步提升,距最近机场距离的差异反映了机场辐射效应的差异,从而导致东北地区各县域单元对外航空通达能力及交通优势度的空间差异。地均国道、省道、高速公路拥有量是地区中程联系能力的体现,从OLS回归结果上看,2010年各县域单元的地均国道、省道、高速公路拥有量每增加1,交通优势度提升0.569,表明2010年国道、省道和高速公路在东北地区的交通发展中起着重要支撑作用,其拥有量的差异会导致居民出行选择效用的差异,从而引起快速路空间结构及东北地区各县域单元交通优势度的空间差异,而至2016年,铁路发展迅速,在道路发展过程中起到了替代作用,弱化了高速公路对区域交通发展的贡献。行政中心1h等时圈面积是地区综合陆路交通能力的体现,从OLS回归结果上看,2010年各县域单元间交通方式差异较小,以高速公路与普通铁路为主,致使各县域单元1h等时圈面积的空间格局差异较小,至2016年,1h等时圈面积每增加1,交通优势度增加0.333。各县域单元行政中心1h等时圈面积反映了各县域单元的路网发展能力差异,导致东北地区各县域单元对外通达能力及交通优势度的空间差异。

## 5.2 交通优势度格局分异影响因素

相关指标在进行回归之前均进行了标准化处理,地形起伏度数据与人均建设用地面积为逆向指标,在标准化处理时转为正向指标。假设上述因子对交通优势度水平均形成有效影响,在进行GWR前,对各解释变量与交通优势度的关系进行OLS参数估计,对于存在严重共线的变量采取逐一剔除处理,估计参数如表8所示。最终2010年与2016年均提取高程、人口密度、二三产占比和人均建设用地面积4个指标。研究表明地形起伏度是交通优势度的主导因素,产业结构水平、人口承载能力与建设开发程度也发挥了重要支撑作用。总体来看,东北地区交通优势度空间格局的影响因素在两个时期具有一致性。

为进一步探究东北地区交通优势度时空分异的空间异质性,采用地理加权回归(GWR)模型对2010年与2016年交通优势度的影响因素解释变量进行参数估计,同时将GWR各解释变量的回归系数进行空间可视化表达(图7)。结果表明,2010年与2016年调整后 $R^2$ 分别为0.60和0.62,模型拟合效果优于OLS,说明此模型能够在60%至70%的程度上解释东北地区交通优势度影响因素在空间上的分异特征。

从人口密度回归系数来看(图7a、7e),2010—2016年回归系数在空间上呈现由南向北递增的趋势,与交通优势度的空间格局具有明显差异,表明高交通优势度地区受人口承载能力影响较小,而低交通优势度地区受其影响较大,人口承载与集聚能力的增强可强化交通设施规模与路网等级,促使地区吸引更多的人口集聚,形成正向促进作用。从二三产占比的回归系数来看(图7b、7f),2010—2016年回归系数在空间上呈现由西南

表8 影响因素的OLS参数估计结果

Tab. 8 Parameters estimation results of OLS module level of influencing factors

年份	指标名称	回归系数	OLS调整后 $R^2$
2010	高程	1.095***	0.521
	人口密度	0.147***	
	二三产占比	0.652***	
	人均建设用地	0.338***	
2016	高程	1.300***	0.563
	人口密度	0.783***	
	二三产占比	0.608***	
	人均建设用地	0.844***	

注: \*\*\*表示 $p < 0.01$ 。

向东北地区递增的态势,表明低交通优势度地区对产业结构水平敏感性较强,地区产业集聚能力与交通枢纽完善能力相辅相成,产业的发展依托于交通设施,产业结构水平的提高能够促进要素流动,进而带动地区交通设施结构的调整,推动交通优势度水平的提升。从高程回归系数来看(图7c、7g),2010—2016年回归系数在空间上呈现由东部和西部向中部递增的态势,并在中北部形成高值集聚,且回归系数差异减小,表明交通优势度对高程的敏感性正在减弱,地形起伏度可通过交通设施建设难度影响地区交通发展,也同时影响人口的集聚能力与产业结构调整能力,间接影响地区交通优势度。从人均建设用地面积回归系数来看(图7d、7h),2010—2016年回归系数在空间上呈现由东向西递增的趋势,表明高交通优势度地区对高人均建设用地面积的低敏感性,高建设用地面积的地区路网密度小,居民出行成本高、要素集聚能力弱,从而间接影响地区交通优势度。

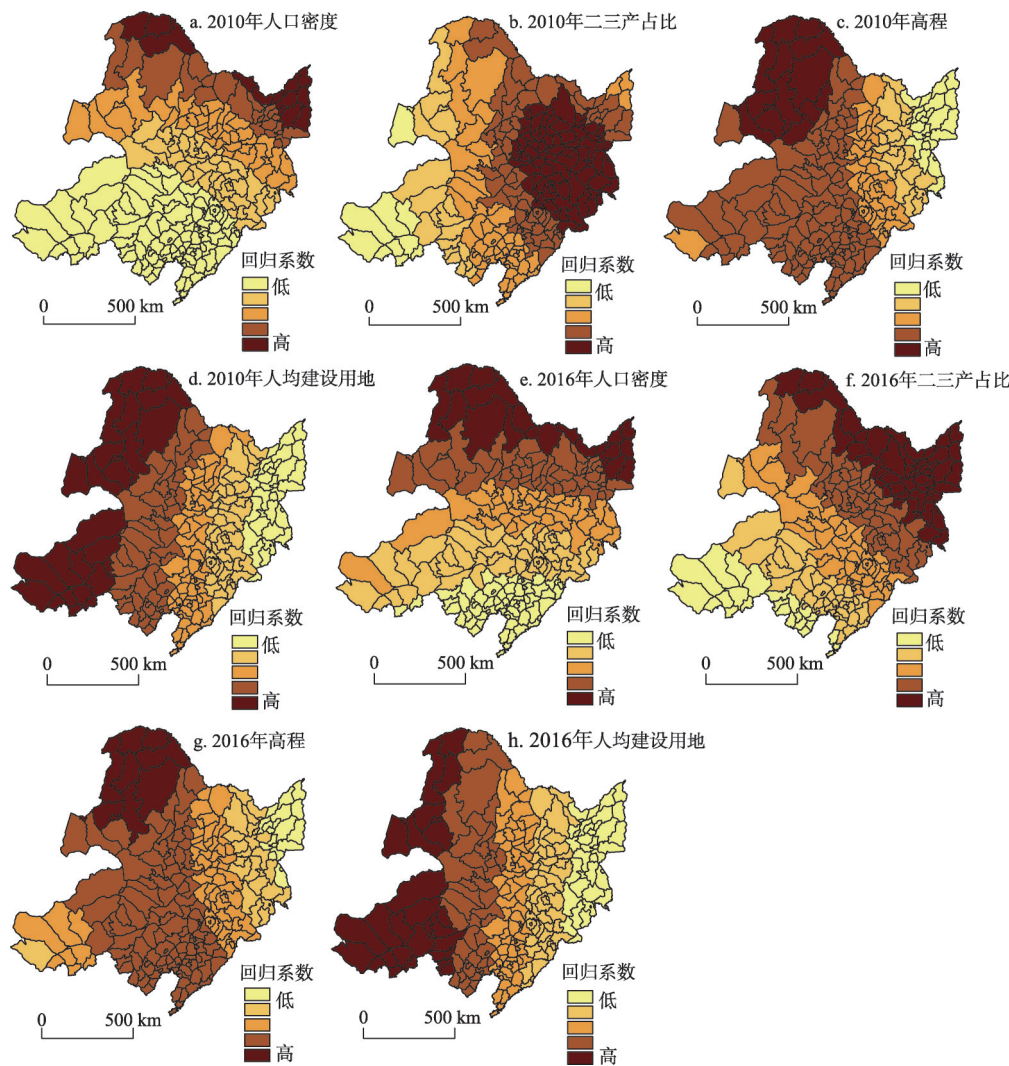


图7 2010年和2016年东北地区交通优势度影响因素回归系数空间分布

Fig. 7 Spatial distribution of regression coefficient of influencing factors of traffic dominance in Northeast China in 2010 and 2016



## 6 结论与讨论

本文借助东北地区交通路网及相关社会经济数据并运用网络分析及地理加权回归等方法探讨了东北地区交通优势度时空分异及影响机制,结论如下:

(1) 东北地区交通优势度总体呈上升态势,其空间格局多沿交通干线呈放射状分布,吉林省与辽宁省多数地区受高铁辐射影响,交通优势度明显提高。

(2) 东北地区交通优势度在2010—2016年间出现了空间极化现象,交通优势度的高值区集中于哈大沿线及京哈沿线,低值区集中于黑龙江北部与内蒙古东部,且空间差异有增大趋势。

(3) 快速交通方式对东北地区交通优势度贡献高,人口承载能力对交通优势度时空分异的影响作用逐渐增强,扩充交通干线、增加交通枢纽有助于提升东北地区交通优势度水平。

本文借鉴金凤君等提出的交通优势度概念<sup>[1]</sup>,利用网络分析技术从路网密度、交通干线影响度和区位优势度3个维度综合评估东北地区的交通通达能力和发展水平,在已有研究基础上,结合高铁、枢纽机场等重大交通设施发展建设情况尝试对交通干线影响度与区位优势度模型进行适当调整和改进,采用加权平均旅行时间反映各县域单元的区位优势,使其更能反映东北地区交通设施空间布局整体发展态势和特征。相比于单一指标,交通优势度的测度方法更为综合全面,结果更为可靠。此外,目前关于交通优势度及相关研究多停留在交通优势度及相关指标的空间格局方面,研究内容多为比较研究,对其内在影响机制缺乏深入讨论,尤其是对于交通要素本身作用的探讨,因此本文从交通要素出发,旨在探讨具体交通要素对交通优势度的作用程度,结果表明增加铁路站点与机场数目、扩充县道密度能够有效改善东北地区的交通供给能力、交通通达能力与对外联系能力。同时本文综合了人口、社会结构、经济水平、城镇化水平、土地利用方式等外部因素作为探究东北地区交通优势度空间分异的原始变量,运用地理加权回归对交通优势度的总体格局影响因素进行了深入分析,进一步拓展了研究视角和深度。区域交通优势度的系统评估非常复杂,其发展演变受到很多因素的影响和制约,由于受到数据获取等的限制,本文对于交通优势度的评估及其演变分析仅进行了初步尝试,未来拟利用GIS二次开发平台,构建网络模型,以期更精确地评估和讨论区域综合交通优势,为区域交通布局优化及其可达性提升提供参考。

## 参考文献(References)

- [1] 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.]
- [2] Hansen W G. How accessibility shapes land use. *Journal of the American Institute of Planners*, 1959, 25(2): 73-76.
- [3] 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.
- [4] Ji Xiaofeng, Jiang Li, Chen Fang. Spatio-temporal cooperative evolution analysis of transportation superiority and county urbanization in Yunnan Province. *Scientia Geographica Sinica*, 2017, 37(12): 1875-1884. [戢晓峰,姜莉,陈方.云南省县城城镇化与交通优势度的时空协同性演化分析. *地理科学*, 2017, 37(12): 1875-1884.]
- [5] 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.]

- [6] Lu S R, Liu Y. Evaluation system for the sustainable development of urban transportation and ecological environment based on SVM. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 2018, 34(2): 831-838.
- [7] Kwok R C W, Yeh A G O. The use of modal accessibility gap as an indicator for sustainable transport development. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 2004, 36(5): 921-936.
- [8] Song Y N, Lee K, Anderson W P, et al. Industrial agglomeration and transport accessibility in metropolitan Seoul. *Journal of Geographical Systems*, 2012, 14(3): 299-318.
- [9] Cheng Y S, Loo B P Y, Vickerman R. High-speed rail networks, economic integration and regional specialisation in China and Europe. *Travel Behaviour and Society*, 2015, 2(1): 1-14.
- [10] Jia S M, Zhou C Y, Qin C L. No difference in effect of high-speed rail on regional economic growth based on match effect perspective? *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2017, 106: 144-157.
- [11] Polo G, Acosta C M, Ferreira F, et al. Location-allocation and accessibility models for improving the spatial planning of public health services. *PLOS ONE*, 2015, 10(3): e0119190. DOI: 10.1371/journal.pone.0119190.
- [12] Zheng Z C, Xia H M, Ambinakudige S, et al. Spatial accessibility to hospitals based on web mapping API: An empirical study in Kaifeng, China. *Sustainability*, 2019, 11(4): 1160. DOI: 10.3390/su11041160.
- [13] Song Y Z, Tan Y, Song Y M, et al. Spatial and temporal variations of spatial population accessibility to public hospitals: A case study of rural-urban comparison. *GIScience & Remote Sensing*, 2018, 55(5): 718-744.
- [14] Zhao M F, Liu S H, Qi W. Spatial differentiation and influencing mechanism of medical care accessibility in Beijing: A migrant equality perspective. *Chinese Geographical Science*, 2018, 28(2): 353-362.
- [15] Farmer S. Uneven public transportation development in neoliberalizing Chicago, USA. *Environment and Planning A*, 2011, 43(5): 1154-1172.
- [16] Sun Wei, Wang Xiaonan, Liu Yanjun. The impact of high-speed rail on the location of resources-based cities in China. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(1): 1-13. [孙威, 王晓楠, 刘艳军. 高速铁路对中国资源型城市区位的影响. *自然资源学报*, 2019, 34(1): 1-13.]
- [17] Chang J S, Lee J H. Accessibility analysis of Korean high-speed rail: A case study of the Seoul metropolitan area. *Transport Reviews*, 2008, 28(1): 87-103.
- [18] Yang J, Guo A D, Li X M, et al. Study of the impact of a high-speed railway opening on China's accessibility pattern and spatial equality. *Sustainability*, 2018, 10(8): 2943. Doi: 10.3390/su10082943.
- [19] Geng B, Bao H J, Liang Y. A study of the effect of a high-speed rail station on spatial variations in housing price based on the Hedonic model. *Habitat International*, 2015, 49: 333-339.
- [20] Jiang H N, Xu W, Zhang W Z. Transportation accessibility and location choice of Japanese-funded electronic information manufacturing firms in Shanghai. *Sustainability*, 2018, 10(2): 390. DOI: 10.3390/su10020390.
- [21] Yang J, Bao Y J, Zhang Y Q, et al. Impact of accessibility on housing prices in Dalian city of China based on a geographically weighted regression model. *Chinese Geographical Science*, 2018, 28(3): 505-515.
- [22] Wang Jiaoe, Du Delin, Jin Fengjun. Comparison of spatial structure and linkage systems and geographic constraints: A perspective of multiple traffic flows. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(12): 2482-2494. [王姣娥, 杜德林, 金凤君. 多元交通视角下的空间级联系统比较与地理空间约束. *地理学报*, 2019, 74(12): 2482-2494.]
- [23] 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. 中原经济区县域交通优势度与区域经济空间耦合. *经济地理*, 2012, 32(6): 7-14.]
- [24] Shaw S L, Fang Z X, Lu S W, et al. Impacts of high speed rail on railroad network accessibility in China. *Journal of Transport Geography*, 2014, 40: 112-122.
- [25] Gutiérrez J. Location, economic potential and daily accessibility: An analysis of the accessibility impact of the high-speed line Madrid-Barcelona-French border. *Journal of Transport Geography*, 2001, 9(4): 229-242.
- [26] Hou Q, Li S M. Transport infrastructure development and changing spatial accessibility in the Greater Pearl River Delta, China, 1990-2020. *Journal of Transport Geography*, 2011, 19(6): 1350-1360.
- [27] Cao J, Liu X C, Wang Y H, et al. Accessibility impacts of China's high-speed rail network. *Journal of Transport Geography*, 2013, 28: 12-21.
- [28] Miller H J, Wu Y H. GIS software for measuring space-time accessibility in transportation planning and analysis. *Geoinformatica*, 2000, 4(2): 141-159.
- [29] Liu S X, Zhu X. Accessibility analyst: An integrated GIS tool for accessibility analysis in urban transportation planning. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2004, 31(1): 105-124.

- [30] Ford A, Barr S, Dawson R, et al. Transport accessibility analysis using GIS: Assessing sustainable transport in London. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2015, 4(1): 124-149.
- [31] Tribby C P, Zandbergen P A. High- resolution spatio- temporal modeling of public transit accessibility. *Applied Geography*, 2012, 34: 345-355.
- [32] Wang L, Liu Y, Mao L, et al. Potential impacts of China 2030 high- speed rail network on ground transportation accessibility. *Sustainability*, 2018, 10(4): 1270. DOI: 10.3390/su10041270.
- [33] Yin Peng, Li Chenggu, Chen Cai. Inter-provincial accessibility and economic linkage spatial pattern in Northeast China. *Economic Geography*, 2014, 34(6): 68-74. [尹鹏, 李诚固, 陈才. 东北地区省际城市可达性及经济联系格局. *经济地理*. 2014, 34(6): 68-74.]
- [34] Dong Dapeng, Chen Cai. Transport infrastructure and the development of old industrial bases of Northeast China. *Economic Geography*, 2009, 29(7): 1143-1147. [董大朋, 陈才. 交通基础设施与东北老工业基地形成与发展: Var 模型的研究. *经济地理*, 2009, 29(7): 1143-1147.]
- [35] Fernández I, Ruiz M C. Descriptive model and evaluation system to locate sustainable industrial areas. *Journal of Cleaner Production*, 2009, 17(1): 87-100.
- [36] Demirel H, Sertel E, Kaya S, et al. Exploring impacts of road transportation on environment: A spatial approach. *Desalination*, 2008, 226(1-3): 279-288.
- [37] Clercq F L, Bertolini L. Achieving sustainable accessibility: An evaluation of policy measures in the Amsterdam area. *Built Environment*, 2003, 29(1): 36-47.
- [38] Canzler W. Transport infrastructure in shrinking (East) Germany. *German Politics & Society*, 2008, 26(2): 76-92.
- [39] Taaffe E J, Morrill R L, Gould P R. Transport expansion in underdeveloped countries: A comparative analysis. *Geographical Review*, 1963, 53(4): 503-529.
- [40] Tighe J R, Ganning J P. Do shrinking cities allow redevelopment without displacement? An analysis of affordability based on housing and transportation costs for redeveloping, declining, and stable neighborhoods. *Housing Policy Debate*, 2016, 26(4-5): 785-800.
- [41] Huning S, Naumann M, Bens O, et al. Transformations of modern infrastructure planning in rural regions: The case of water infrastructures in Brandenburg, Germany. *European Planning Studies*, 2011, 19(8): 1499-1516.
- [42] Peng Xiangming, Han Zenglin. County transportation superiority degree and level of economic development space coupling: Based on quantitative analysis of 44 agricultural counties in Liaoning Province. *Resource Development & Market*, 2017, 33(9): 1077-1083. [彭向明, 韩增林. 县域交通优势度与经济发展水平空间耦合: 基于辽宁省 44 个农业县的定量分析. *资源开发与市场*, 2017, 33(9): 1077-1083.]
- [43] Zhao Yinghui, Jiang Bo, Guo Hao, et al. The centrality and network connection of cities in Northeast China based on public passenger transport. *Economic Geography*, 2016, 36(2): 67-73. [赵映慧, 姜博, 郭豪, 等. 基于公共客运的东北地区城市陆路网络联系与中心性分析. *经济地理*, 2016, 36(2): 67-73.]
- [44] Ren Qiping, Chen Cai. Vicissitude research on man-land relationship in Northeast China during one hundred years: The development of its population, city and traffic. *Human Geography*, 2004, 19(5): 69-73. [任启平, 陈才. 东北地区人地关系百年变迁研究: 人口、城市与交通发展. *人文地理*, 2004, 19(5): 69-73.]
- [45] Wang Shaobo, Luo Xiaolong, Guo Jianke, et al. Dynamic evolution of tourism spatial structure under the improvement of the high speed rail network in Northeast China. *Scientia Geographica Sinica*, 2019, 39(4): 568-577. [王绍博, 罗小龙, 郭建科, 等. 高铁网络化下东北地区旅游空间结构动态演变分析. *地理科学*, 2019, 39(4): 568-577.]
- [46] Yan Fuli, Zou Yizhao, Wang Shixin, et al. Study of the spatial pattern of accessibility for different transportation modes in China. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2017, 26(6): 806-815. [阎福礼, 邹艺昭, 王世新, 等. 中国不同交通模式的可达性空间格局研究. *长江流域资源与环境*, 2017, 26(6): 806-815.]
- [47] Zhang Li, Lu Yuqi. Assessment on regional accessibility based on land transportation network: A case study of the Yangtze River Delta. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61(12): 1235-1246. [张莉, 陆玉麒. 基于陆路交通网的区域可达性评价: 以长江三角洲为例. *地理学报*, 2006, 61(12): 1235-1246.]
- [48] Martín J C, Gutiérrez J, Román C. Data envelopment analysis (DEA) index to measure the accessibility impacts of new infrastructure investments: The case of the high- speed train corridor Madrid- Barcelona- French border. *Regional Studies*, 2004, 38(6): 697-712.
- [49] Rossi R E, Mulla D J, Journel A G, et al. Geostatistical tools for modeling and interpreting ecological spatial dependence. *Ecological Monographs*, 1992, 62(2): 277-314.
- [50] Mcmillen, D P. Geographically weighted regression: The analysis of spatially varying relationships. *American Journal of Agricultural Economics*, 2004, 86(2): 554-556.



## The spatiotemporal differentiation and mechanisms of traffic dominance in Northeast China

SUN Hongri, LIU Yanjun, ZHOU Guolei

(School of Geographical Sciences, Northeast Normal University, Changchun 130024, China)

**Abstract:** Traffic facilities are important resources for the future sustainable development of old industrial areas. It is of great practical significance to evaluate and study the spatiotemporal differentiation laws and mechanisms of traffic dominance. A comprehensive evaluation method based on traffic network density, traffic trunk line influence degree, and location dominance was constructed to measure traffic dominance. Taking Northeast China as the case study, the influencing factors and mechanisms of the overall pattern of traffic dominance were analyzed through network analysis, multivariable linear regression and geographic weighted regression. The results show that: (1) The overall traffic dominance of Northeast China is on the rise, and its spatial distribution pattern takes Harbin-Dalian line as the axis and presents a "core-periphery" structure. (2) The spatial differentiation of the overall traffic dominance of the study area is obvious. Most of the high value areas are concentrated along the high-speed railways, while the low value areas are mainly distributed in the east of Inner Mongolia and the north of Heilongjiang. The spatial difference is increasing gradually. (3) The fast traffic mode contributes a lot to the traffic dominance of Northeast China, and the influence of population carrying capacity on the spatiotemporal differentiation of traffic dominance is gradually strengthened. Expanding the traffic trunk lines and increasing the number of traffic hubs will help to improve the traffic dominance of Northeast China.

**Keywords:** traffic dominance; location dominance; traffic trunk line influence degree; traffic network density; Northeast China