
区域可达性改善与交通联系网络结构演化

——以湖北省为例

田野^{1,2}, 罗静^{*1,2}, 孙建伟³, 崔家兴^{1,2}, 董莹^{1,2}, 陈国磊^{1,21}

(1. 华中师范大学地理过程分析与模拟湖北省重点实验室, 中国湖北武汉 430079; 2. 华中师范大学城市与环境科学学院, 中国湖北武汉 430079; 3. 贵州大学旅游与文化产业学院, 中国贵州贵阳 550025)

【摘要】选取 1985、1995、2005 和 2015 年的湖北省交通路网, 使用栅格成本距离、加权平均旅行时间、重心演化、网络密度、网络中心势和节点中心性等方法对湖北省县域交通可达性改善及交通联系网络结构的演化进行了研究, 结果发现: ①总体交通可达性与交通联系网络紧致程度均得到显著提升, 但同时呈现出明显的阶段性特征。近 10 年是湖北省县域交通可达性和交通联系网络发育提升最为迅猛的阶段, 鄂中、鄂东已经开始趋向形成一体化的交通联系网络。②交通可达性与交通联系网络均呈现出“核心—边缘”格局, 但可达性优势区有向鄂西移动的趋势, 交通联系网络则表现出以武汉、宜昌、襄阳为中心的等级结构差异。③可达性改善程度呈现“反自然地形”的态势, 显现出边缘山区提高快, 中部平原地区提高慢的“边缘—核心”格局。体现在交通联系网络中即呈现出直接联系显著增多, 网络中转效率提升明显, 城镇间交通联系更加紧密。

【关键词】可达性; 改善; 交通联系; 县域; 网络结构; 演化; 湖北省

【中图分类号】F294.3 **【文献标志码】**A **【文章编号】**1000-8462(2018)03-0072-10

【DOI】10.15957/j.cnki.jjdl.2018.03.009

收稿时间: 2017-07-14; 修回时间: 2017-09-11

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41371183、41671179); 国家留学基金委“国家建设高水平大学公派研究生项目” (201706770020); 华中师范大学中央高校基本科研业务费项目 (CCNU16JCZX09); 华中师范大学优秀博士学位论文培育计划项目 (2017YBZZ001)

作者简介: 田野 (1990—), 男, 河南永城人, 博士研究生。主要研究方向为区域发展与城乡规划。
E-mail: yongcheng_tianye@126.com。

※通讯作者: 罗静 (1966—), 男, 湖北松滋人, 教授, 博士生导师。主要研究方向为人文与经济地理学。
E-mail: luojing@mailccrm.edu.cn。

交通运输网络是实现地区间人员和物质流动赖以依托的主要方式。交通运输网络的发展改变了城镇之间旅行时间、运输距离和交通费用,引起彼此之间相对距离变化,为城镇的物质、人才、技术、信息资金的需求提供了保障^[1]。交通运输网络的完善程度直接影响区域经济与社会的发展的现实速度与未来潜力,而由此引发的空间效应成为交通地理的长期研究主题^[2]。

长期以来,国外学者对区域交通可达性的研究主要集中于路网结构特征^[3]、城市用地变化^[4]、城市公共设施布局^[5]等,方法上则集中于距离法^[6]、拓扑法^[7]、重力模型法^[8]等。国内学者对交通可达性的研究起步相对较晚,但无论从研究内容的广度还是深度均得到了深入发展。既有对于区域交通可达性格局及演化的研究,如张莉等^[9]对长三角地区陆路交通网的可达性进行了评价,蒋晓威等^[10]对安徽省公路网络可达性及演化进行了评价,也有对于新型交通方式变革对于区域可达性影响的研究,如高速公路网及其演化^[11-12]、高速铁路建设^[13-16]等对于区域可达性的影响等。部分学者还将可达性的研究成果进一步推广至公共服务均等化供给^[17-19]、景区可达性^[20-21]、旅游区划^[22-23]、城市经济联系^[24-25]、城市腹地范围判读^[26-27]等方面。从研究方法上来看,多集中于基于栅格计算的成本距离分析与基于矢量计算的网路分析,部分学者也对研究方法进行了创新,如矢量数据结合^[28],引入空间句法^[29]、分形理论^[30]等方法对区域交通可达性进行了分析。总体来看,交通可达性的研究领域日益扩展,研究方法不断创新,研究内容不断成熟。但从目前学者关注的侧重点来看,多通过构建不同类型的交通网络数据库,从成本消耗的角度出发,对单个节点的可达性进行评价,这一方式虽然能够较为明了地表现出单个节点在一定区域中交通通达程度,但却无法有效显示出节点间的交通联系强度、节点在区域中的地位以及不同节点可达性高低差异而造成的交通联系网络内部的结构分异。虽然部分学者以节点可达性为辅助利用空间关联模型分析了区域经济联系网络结构^[34],但对于节点间的相互交通联系以及由此形成的交通联系网络的关注则相对较少。

本文基于湖北省近 30 年交通路网,选取 1985、1995、2005 和 2015 年的交通路网数据,通过构建栅格成本数据集,运用 GIS 空间分析技术,分别计算出 4 个年份湖北省 103 个县(市、区)之间的时间成本,并构建加权平均旅行时间模型作为衡量某一县(市、区)可达性的具体指标。为了更好地表现出不同县(市、区)之间的交通联系强度、省内交通地位以及交通联系网络的内部结构,本文利用 4 个年份各县(市、区)之间的栅格时间成本与加权平均旅行时间构建交通联系时间成本网络,并利用网络分析方法从网络结构紧致程度、节点重要程度、节点通行能力等方面对其结构与演化进行分析,从而揭示出湖北省近 30 年交通可达性与交通联系网络的空间格局及演化,以为湖北省国土空间开发与交通事业发展提供决策支持与参考。

1 研究区概况

湖北省地处我国中部偏南,具有承东启西、连南接北的重要区位优势。湖北省内地域差异较为显著,中部主要为江汉平原,东部和西部分别位于大别山、秦巴山、武陵山以及幕阜山区,具有较为典型的代表性。全省共计 103 个县(市、区),其中市辖区 39 个,县级市 22 个,县 40 个以及省直管县级市 3 个,省直管林区 1 个,为了行文方便,以下县(市、区)统一称为城镇。截至 2015 年底,湖北省交通总里程约 27.2 万 km(不含民航航线、城市内道路),路网密度达 146.3km/100km²。其中,铁路营业里程 4060km(含高速铁路 1033km),公路通车总里程 25.3 万 km(含高速公路 6204km)^[31]。

2 数据来源和评价方法

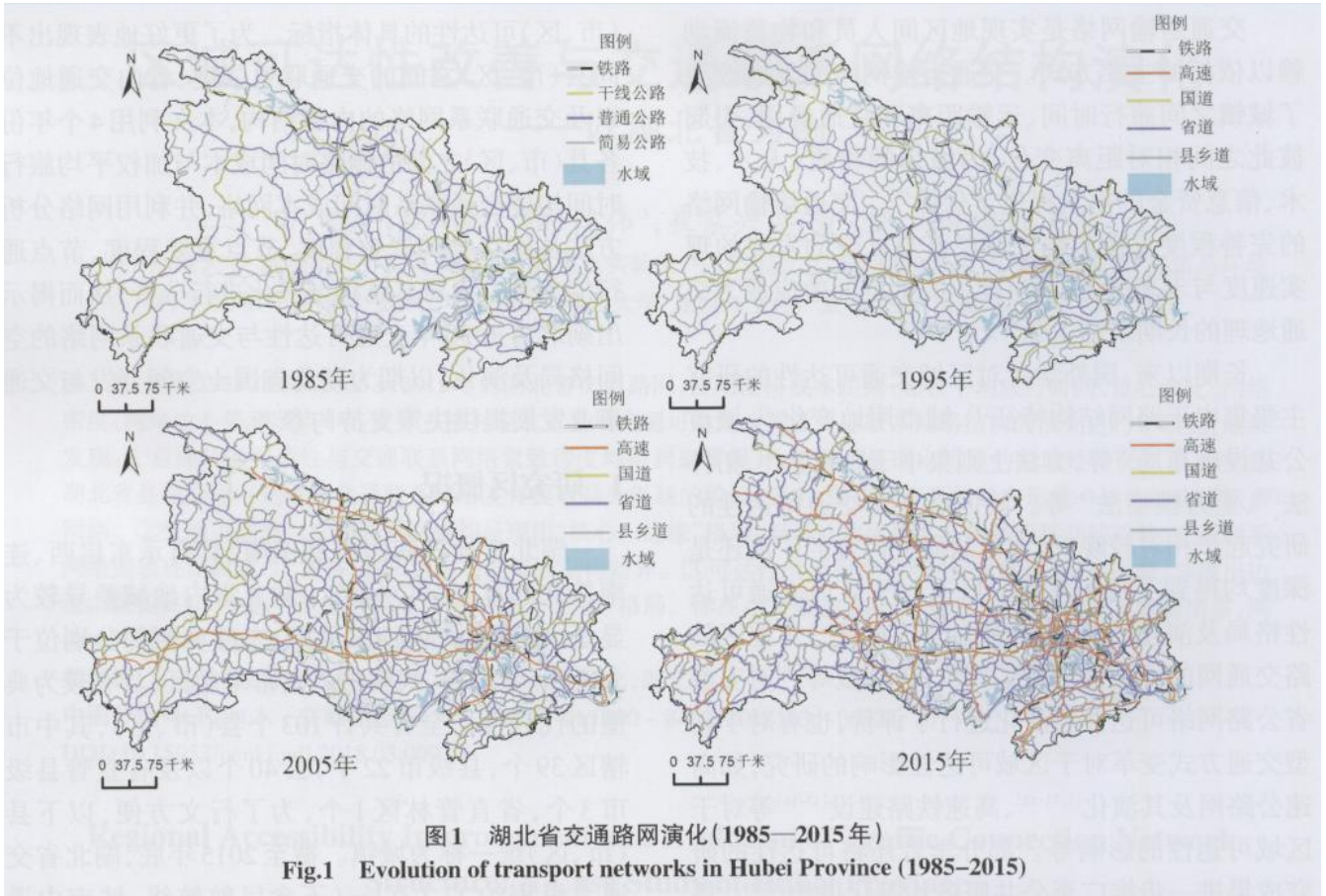
2.1 数据来源

湖北省交通及水域相关数据分别根据 1986 年地图出版社出版《中国分省公路交通地图册》、1999 年测绘出版社出版《中国公路交通地图册》、2006 年星球出版社出版《中华人民共和国交通地图集》和 2016 年中国地图出版社出版《中国交通地图册》经采样、配准、矢量化后,借助 ArcGIS10.2 软件平台,采用湖北省 1:250000 基础地理数据,将相关要素全部投影至 Gauss_Kmger114° E(图 1),GDP、人口数据来自 1986、1996、2006、2016 年《湖北统计年鉴》,其中 1985 年各城镇 GDP 数据难以获取,使用社会总产值加以替代。考虑到不同出版社道路网存在一定偏差,统一按照第一次地理国情普查道路数据进行了校

准。103 个县级城镇节点则分别在 Google Earth 上提取其政府所在地坐标，经转换后作为计算县级城镇间时间成本的点状要素。

2.2 数据处理与评价方法

2.2.1 栅格时间成本赋值



鉴于不同的交通出行方式速度存在很大差异，不同时期出行速度也受到当时交通工具及道路状况的影响。根据《中华人民共和国公路工程技术标准(JTGB01-2014)》，同时结合湖北省交通路网的实际情况，确定不同年份、不同类型等级交通线路的时速(表 1)。考虑到长江、汉江在省内的航运服务功能与技术进步影响，将长江、汉江速度按时间间隔设定为 15km/h、25km/h 两个等级，其他水域和陆地借助交通工具也具有一定的通行能力，因此统一设定为 2km/h 和 5km/h。需要说明的是，1985 年道路等级分为干线公路、普通公路和简易公路，为了保证结果的可比性，在设置速度时分别对应国道、省道和县道。

表 1 不同类型、年份交通线路速度设定(km/h)

年份	铁路 (城际/动车/高铁)	高速	国道 (干线公路)	省道 (普通公路)	县乡道 (简易公路)	长江、汉江	其他水域	陆地
1985	65	/	60	55	30	15		
1995	75	90	70	60	35		2	5
2005	85	100	80	70	40	25		
2015	95(120/150/250)	110	90	80	45			

由于高速公路和铁路属于相对封闭的交通线路系统，因此在高速、铁路、高速公路入口和铁路站点两侧分别做 100m 缓冲，高速及铁路缓冲区速度设为 1km/h，即默认基本不通行，高速公路入口和铁路站点缓冲区速度设置为最高时速 250km/h，即默认优先从该处通行。为保证计算结果的精确性，将湖北省交通路网按照 100m×100m 的栅格象元大小进行转化，共得到栅格 18621082 个，从而构建出湖北省 4 个年份交通栅格成本图。

2.2.2 交通可达性评价

根据所构建 4 个年份的交通栅格成本图，利用成本距离分析模块能够计算出每一栅格到湖北省某一县级城镇的所需的栅格时间成本，之后提取出其余 102 个县级城镇到该城镇的最短栅格时间成本，这样经过 103×4 次计算，得到 4 个年份每个城镇到其他城镇的栅格时间成本。在此基础上，计算出各城镇的平均栅格时间成本。鉴于城镇间交通联系受经济发展水平与人口数影响较大，因此引入各城镇 GDP 总量与区域人口数作为权重，构建加权平均旅行时间成本，作为衡量一地可达性的指标。见公式 (1)。

$$A_i = \frac{\sum_{j=1}^n (T_{ij} \times M_j)}{\sum_{j=1}^n M_j}, \quad M_j = \sqrt{G_j \times P_j} \quad (1)$$

式中： A_i 为城镇 i 的加权平均旅行时间成本； j 为省域范围内的某一城镇； T_{ij} 为 i 城镇至 j 城镇的最短栅格时间成本； M_j 为节点 j 的权重属性； n 为城镇数目。 A_i 值越小表示该城镇可达性越好。

引入可达性重心考察可达性优势区域的变化，见公式 (2)。

$$W(x_i, y_i) = \left(\frac{\sum_{i=1}^n A_i x_i}{\sum_{i=1}^n A_i}, \frac{\sum_{i=1}^n A_i y_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \right) \quad (2)$$

式中： x_i 、 y_i 分别为湖北省 103 个城镇横、纵坐标； A_i 为城镇属性值即加权旅行时间成本； n 为城镇数； $W(x_i, y_i)$ 为可达性重心坐标。若重心与区域几何中心点发生偏移，则偏移方向指向可达性优势区域偏移的方向，偏移距离则指示了优势区域的移动程度。

2.2.3 交通联系网络结构评价

为了表现湖北省县域交通联系网络结构的特征及演化，在此引入网络分析方法，将湖北省 103 个城镇抽象为 103 个节点，之间的时间成本则抽象为网络中的联系，从而构建湖北省 103 个城镇之间的交通联系网络。在此从网络结构紧致程度、节点重要程度、节点通行能力等方面选取指标对湖北省交通联系网络结构及各城镇在交通网络中的地位和作用进行评价。

2.2.3.1 网络密度。网络密度是指网络中节点的实际联系数与可能拥有的最大联系数之比，它实际上反映了网络的连通程度，网络密度越大，网络发育越成熟，结构越复杂^[32]，计算方法见公式 (3)。

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c(m_i, m_j)}{n(n-1)} \quad (3)$$

式中: D 为网络密度; n 为网络中节点数,此处为湖北省城镇数; c 为节点间联系的时间成本; m_i 、 m_j 为节点间联系函数。

2.2.3.2 网络中心性。网络中心性包括两个类型的表征指标,一类是对节点的评价,包括度中心性、介中心性等。度中心性指节点连接其他节点的数目,表征该节点在区域中的重要性,节点的度中心性越大表明节点的连通能力越强。介中心性表征节点的媒介作用,节点介中心性越高则表明该节点对于其他节点的影响越大,对于网络的控制能力越强。另一类则是对网络整体结构特征的表征,包括度中心势、介中心势等^[33-34]。度中心势表现整体网络的中心性,网络度中心势越大,表明网络结构越复杂,网络中节点的连接程度越高。介中心势表现整体网络中各节点的相互连接程度,网络介中心势越小表明网络中节点连接过程中经过其他节点的次数越少,整体网络连接的效率越高。计算方法见公式(4)、(5)。

$$C_D(m_i) = \sum_{j=1}^n C_{ij} \quad (4)$$

$$C_D = \sum_{i=1}^n [C_D(m_i)_{\max} - C_i] / \max \left[\sum_{i=1}^n [C_D(m_i)_{\max} - C_i] \right]$$

式中: $C_D(m_i)$ 指单个节点度中心性; c_{ij} 指城镇间联系的时间成本; C_D 指网络度中心势; $C_D(m_i)_{\max}$ 指网络中节点度中心性的最大值; C_i 指网络中各节点的度中心性。

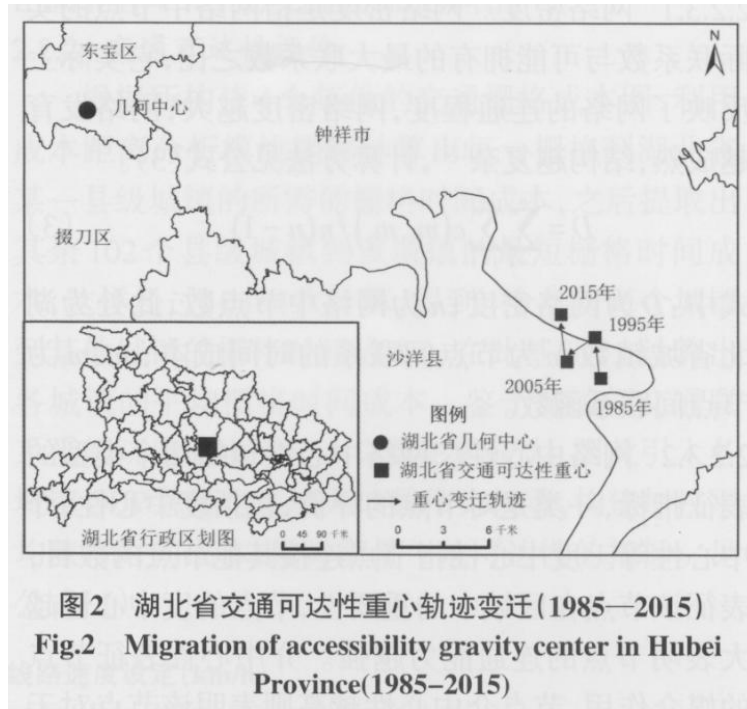
$$C_B(m_i) = \sum_j \sum_k m_{jk}(i) \quad (5)$$

$$C_B = \sum_{i=1}^n \left[(C_B(m_i)_{\max} - C_k) / (n-1) \right]$$

式中: $C_B(m_i)$ 指节点介中心性; $m_{jk}(i)$ 指节点*i*经过点*j*、*k*之间的概率; C_B 指网络的介中心势, $C_B(m_i)_{\max}$ 指网络中节点介中心性的最大值; C_k 指网络中各节点的介中心性。

3 可达性格局分析

利用公式(1)分别计算出湖北省 103 个城镇节点 4 个年份的加权平均旅行时间成本,之后按照 0.5h 间隔进行划分得出湖北省 4 个年份半小时通行圈的空间格局(图 2)。



3.1 总体交通可达性有较大幅度提高，但呈现出显著的阶段性特征，高速、高铁对区域可达性提升的加速作用显著。

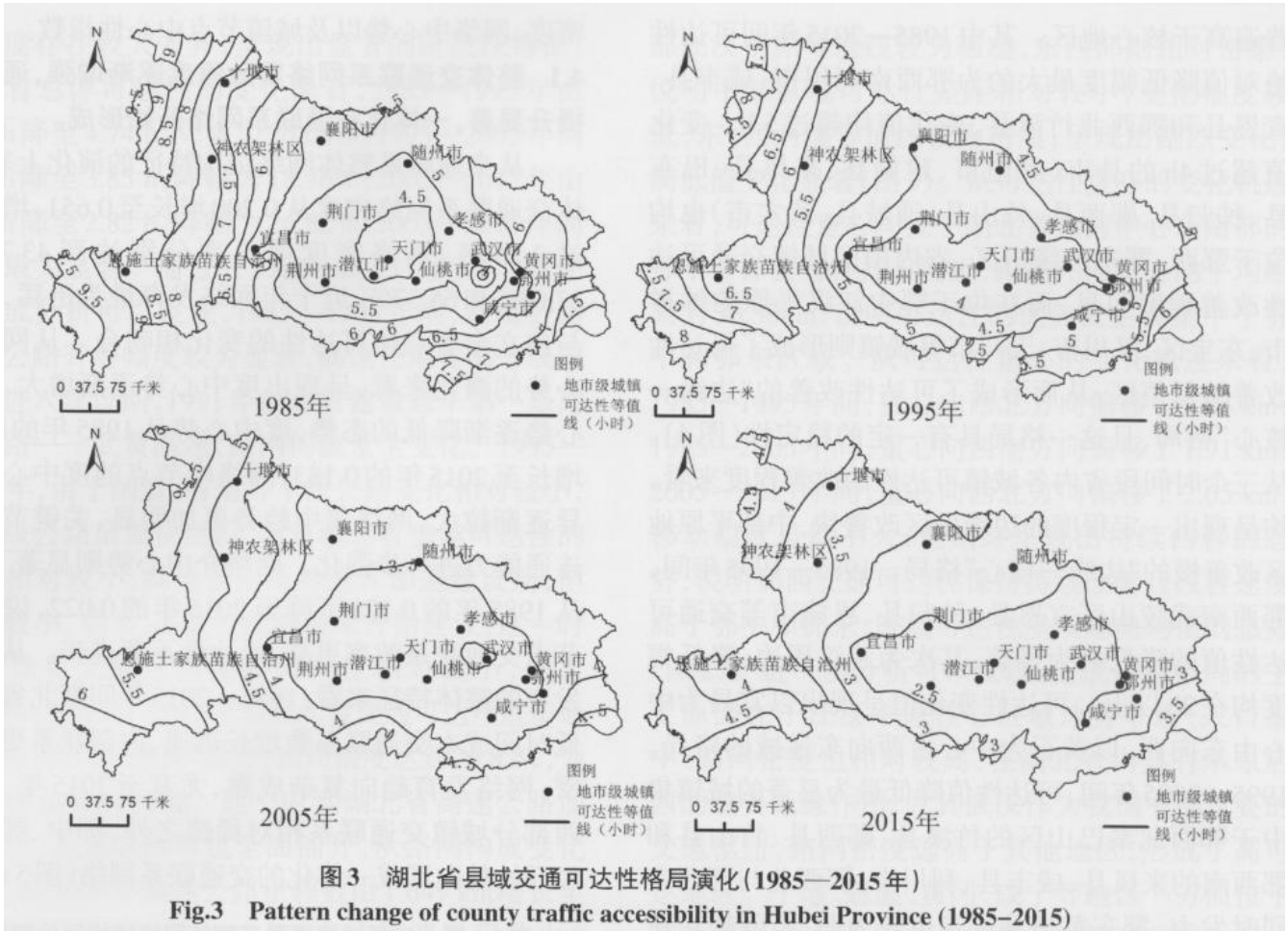
1985—2015年间，湖北省总体可达性值从5.93h降低至2.82h，下降近52.48%。最高可达性值由的1985年的9.68h(竹溪县)降低至2015年的4.78h(来凤县)，降低幅度达到50.60%。从区域总体格局上看，4小时通行圈由1985年的武汉附近区域逐步扩展，1995年扩展至大部分江汉平原地区，2005年向西扩展至宜昌、襄阳以西，向东扩展至咸宁、黄石以东。到2015年，除鄂西南武陵山区的来凤县(4.78h)、鹤峰县(4.64h)、咸丰县(4.37h)、宣恩县(4.14h)、利川市(4.06h)、鄂西北秦巴山区的郧县(4.08h)、郧西县(4.34h)、竹溪县(4.57h)、竹山县(4.02h)可达性值在4h以上，其余各城镇均降低至4h以下，全省范围的“4h通达圈”已基本形成(图3)。就交通可达性阶段变化来看，不同时期变化幅度存在较大差异，呈现出显著的阶段性特征。从全省总体可达性的变化来看，1985—1995年由5.93h降至4.74h，降幅为20.06%，1995—2005年由4.74h降至3.85h，降幅为18.76%，2005—2015年由3.84h降至2.82h，降幅为26.82%，2005—2015年间进步最为显著。通过对1985—2015年间湖北省路网构成分析可以发现，1985—1995年间，新增公路以及公路升等幅度较为显著，高速公路等高等级道路也进入建设期，1991年湖北省建成通车第一条高速公路——武黄高速，路网构成发生变化。1995—2005年，由于国道、省道等干线公路变化相对较小，低等级公路虽加快建设，但对湖北省整体可达性的影响相对较小，高速公路虽然进入加速建设期，但幅度较小，动车、高铁等此时尚未开始建设，这一时期湖北省交通可达性提高幅度相对较小，仅有18.76%。2005—2015年是湖北省交通可达性进步最为迅速的时期，整体可达性提高幅度达到26.82%，为30年来最快的时期。这一时期湖北省高速公路加快建设，高速铁路等也全面铺开，从路网构成变化来看，近10年中高速公路里程数由1649km增长至6204km，增幅达到2.77倍，高速铁路里程数由0km增长至1033km，高等级交通线路的快速增长大大改善了湖北省县域交通可达性(表2)。

表2 湖北省交通路网构成变化

道路等级		1985年	1995年	2005年	2015年
铁路里程 (km)	高速铁路	/	/	/	1033
	普通铁路	1582	1940	2758	3027
公路里程	高速	/	/	1649	6204

(km)	国道	省道	县道
	9980	3774	4477
	11030	11014	16022
	6916	13221	20159

注：数据分别来自《湖北统计年鉴 1985》《湖北统计年鉴 1995》《湖北统计年鉴 2005》、湖北交通厅政府信息公开申请。其中 1985 年公路交通统计口径与后 3 个年份有所差别，国道、省道统一统计；1995 年前建成高速未纳入统计。



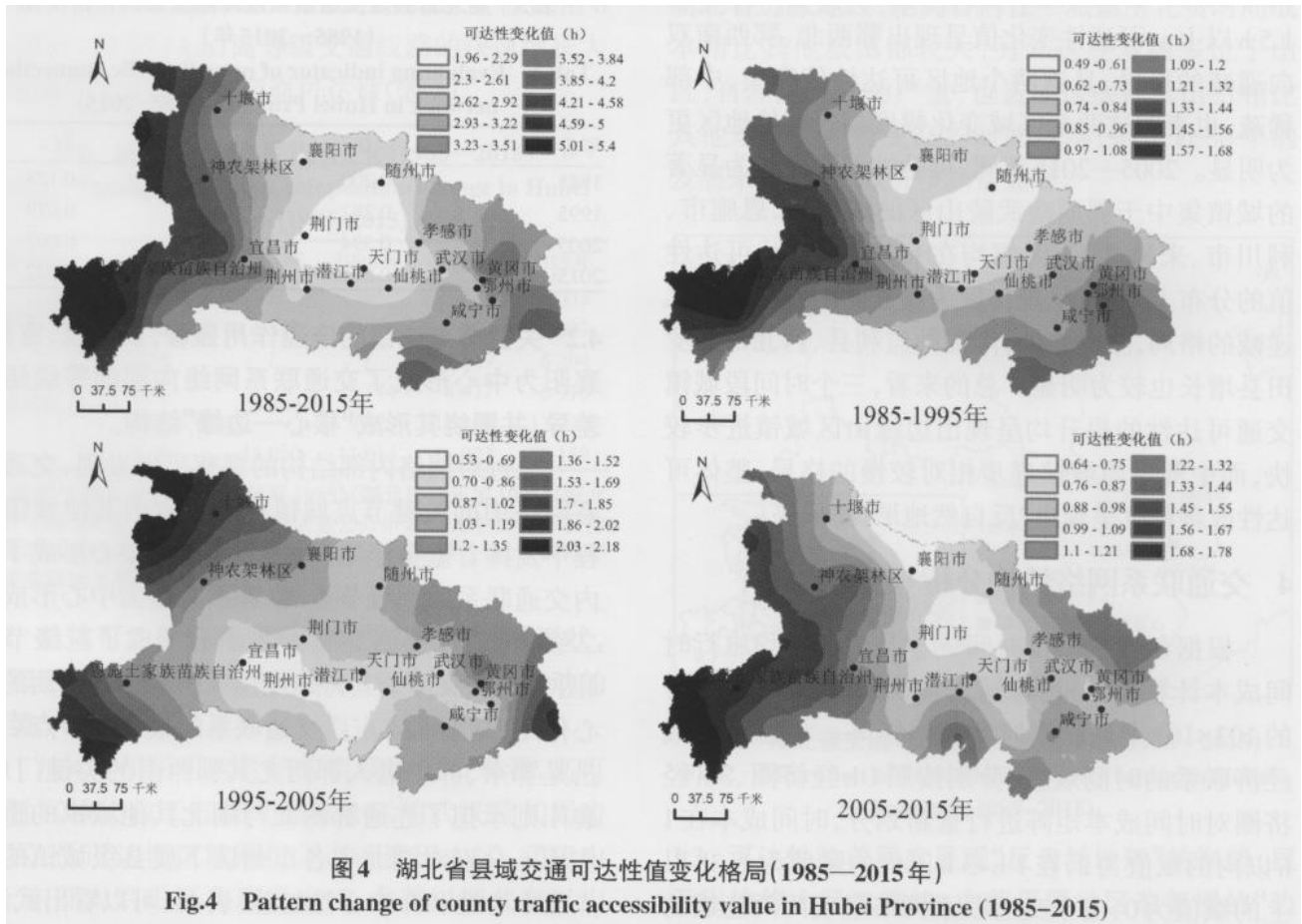
3.2 总体可达性格局呈现近似“核心-边缘”形状，优势区始终集中于鄂中和鄂东，但有向鄂西移动的趋势

从 4 个年份可达性值等值线的分布来看，高可达性区域均位于江汉平原核心区的武汉及其周边地区，低可达性区域则位于西部秦巴山区、武陵山区、东部大别山区和幕阜山区，尤其以湖北秦巴山区腹地竹溪县、竹山县，武陵山区腹地来凤县、鹤峰县等最为明显。等值线呈现典型的不规则分布，中部江汉平原等值线较为稀疏，东西部则相对密集，说明中部区域可达性差距相对较小，变化幅度较低，东、西两端等值线较为密集，呈现出剧烈变化，高低值变化显著(图 3)。从可达性重心的变化轨迹来看，可达性重心均位于湖北省几何中心东南部的鄂中沙洋县与钟祥市附近，距离几何中心的平均距离为 36.30km，说明可达性的优势区主要集中于鄂中和鄂东区域。从可达性重心的变化轨迹来看，1985—1995 年间，重心向西北方向偏移了 2.84km；1995—2005 年间，重心向西南方向偏移了 1.91km；2005—2015 年间，重心向西北方向偏移了 2.65km，移动幅度虽然不大，但始终呈现出持续西移的态势，说明鄂西交通可达性保持持续改善且改善速度高于鄂中和鄂东，区域可达性呈现趋向均衡的态势(图 2)。进一步分析可以发现，造成这种格局的主要原因在于江汉平原核心区域地势平坦、人口集中、路网密度也相对较高，在湖北省内具有承东启西的重要地缘作用，尤其武汉作为我国中部重要的交通枢纽，路网密度远高于其他地区，形成了高可达地区。十堰、恩

施、黄冈、咸宁等地区一方面位于湖北省边缘地区，距离省内任一城镇所花费时间成本相比其他城镇都较大，另外这些城镇多位于山区，自然阻隔较为严重，也造成这些地区出行相比其他地区要花费更高的时间成本，但从近 30 年的发展来看，该区域进步非常显著。

3.3 可达性改善程度呈现“反自然地形”的形势，显示出边缘山区改善快，中部平原地区改善慢的“边缘—核心”的格局

从可达性值降低的变化上来看，边缘山区变化普遍高于核心地区。其中 1985—2015 年间可达性绝对值降低幅度最大的为鄂西南利川市、咸丰县、宣恩县和鄂西北竹溪县，变化值均超过 5h。变化值超过 4h 的县市（恩施市、建始县、来凤县、巴东县、秭归县、郧西县、竹山县、通城县、武穴市）也均位于鄂西、鄂东边缘山区，省内山区城镇交通可达性改善程度明显，而在位于鄂中江汉平原的钟祥市、东宝区、汉川市、天门市等城镇则形成了可达性改善的低值区，从而形成了可达性改善的“边缘—核心”格局，且这一格局具有一定的稳定性（图 4）。从三个时间段省内各城镇可达性的改善程度来看，均呈现出一定程度的边缘山区改善快，中部平原地区改善慢的“边缘—核心”格局。1985—1995 年间，鄂西南武陵山区宣恩县、秭归县、恩施市等交通可达性值的降低最为显著，其次为武汉周边，降低幅度均在 2h 以上。可达性变化值呈现出以宜昌为中心由东向西、以黄石为中心由西向东递减的格局。1995—2005 年间，可达性值降低最为显著的城镇集中于鄂西北秦巴山区的竹溪县、郧西县、竹山县和鄂西南的来凤县、咸丰县、利川市，鄂西北与鄂西南同时发力，鄂东黄梅县进步也较为明显，降幅均在 1.5h 以上。可达性变化值呈现出鄂西北、鄂西南双向递减的格局，且这两个地区可达性值密集，中部稀疏，也表明这两个区域变化幅度相较其他地区更为明显。2005—2015 年间，可达性值降低最为显著的城镇集中于鄂西南武陵山区的咸丰县、恩施市、利川市、来凤县等，降幅均在 1.6h 以上，从可达性值的分布上来看，呈现出极为显著的由西南向东北递减的格局，除此之外，南部的监利县、西北部的罗田县增长也较为明显。总的来看，三个时间段城镇交通可达性的提升均呈现出边缘山区城镇进步较快，而中部平原城镇进步相对较慢的格局，整体可达性改善程度呈现出“反自然地形”的形势。



4 交通联系网络结构分析

根据各城镇栅格时间成本及加权平均旅行时间成本计算结果,构建湖北省103个城镇4个年份的 103×103 交通联系时间成本矩阵。考虑到区域经济联系的时间效应,分别按照1h经济圈、3h经济圈对时间成本矩阵进行重新划分,时间成本在1h以内的赋值为2,在1h~3h以内的赋值为1,3h以上的赋值为0,由于交通联系网络呈现两两连通的特点,因此此处构建多值无向矩阵。利用公式(3)、(4)、(5)分别计算出不同时间交通联系网络的网络密度、网络中心势以及城镇节点中心性指数。

4.1 整体交通联系网络紧致程度逐渐增强,通达性提升显著,一体化交通联系网络开始形成。

从交通联系整体网络结构特征的演化上来,整体交通联系网络密度从0.200增长至0.651,增长超过3.26倍,网络密度增长率分别达到43.72%、37.03%和65.37%,近十年网络发育最为迅猛,这也与前文全省总体可达性的变化相吻合。从网络中心势的演化来看,呈现出度中心势逐渐增大,介中心势逐渐降低的态势,度中心势从1985年的0.148增长至2015年的0.183,网络中节点的度中心性差异逐渐拉大,网络集中趋势更加明显,关键节点的连通能力进一步强化。网络介中心势则显著下降,从1985年的0.128下降至2015年的0.022,说明各节点交通联系效率更高,通达性不断进步。从网络发育的整体特征来看,1985—2015年间湖北省城镇低时间成本交通联系系数增长迅速,内部联系更加紧密,网络发育趋向复杂成熟,尤其至2015年,除鄂西部分城镇交通联系相对稀疏之外,鄂中、鄂东已经开始趋向形成一体化的交通联系网络(图5)。

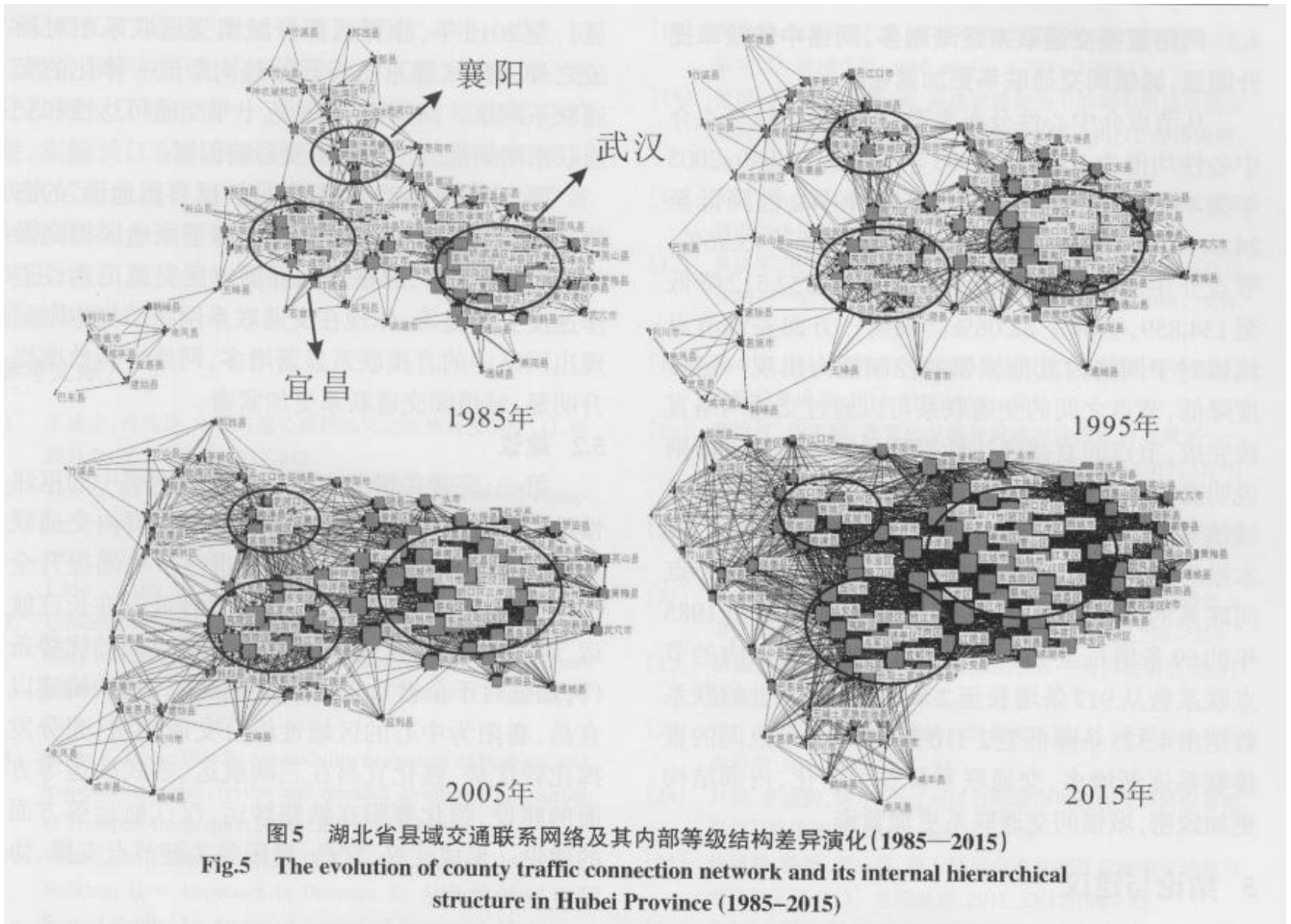


表 3 湖北省县域交通联系整体网络结构评价指标(1985—2015 年)

年份	D	C_d	C_n
1985	0.200	0.148	0.128
1995	0.287	0.169	0.079
2005	0.394	0.173	0.067
2015	0.651	0.183	0.022

4.2 关键节点城镇的连通作用显著,以武汉、宜昌、襄阳为中心形成了交通联系网络内部的等级结构差异,并围绕其形成“核心—边缘”结构。

通过对网络内部结构的观察可以发现,交通联系网络中的关键节点城镇在联系省内其他城镇过程中发挥着重要作用,以鄂东武汉为中心形成了省内交通联系的一级节点,以鄂西宜昌为中心形成了二级节点,以鄂西北襄阳为中心形成了三级节点(图5)。武汉由于其特殊地位承担了连通东西的核心作用,是湖北省东西交通联系的最主要节点。宜昌是鄂东、鄂中进入鄂西尤其鄂西南的关键门户,襄阳则承担了连通鄂西北与湖北其他城镇的重要作用。分别对湖北省各市州区下属县级城镇的节点度中心性和介中心性加总(表4),可以看出武汉、宜昌、襄阳城市三城市的节点度中心性均高于该地区的其他城市,形成了区域节点度中心性高值区,成为网络的核心节点,尤其以武汉市最为显著,4个年份节点度中心性值分别为512、712、848、1263,远高于其他城市,在网络中的连通作用最强。三城市的节点介中心性虽然均呈现下降趋势,但仍可以看出,其介中心性值同样高于其他

城市，说明三城市与其他城镇的连通作用最为显著，其他城市需要通过这三个城市才能完成彼此之间交通联系，其中介枢纽地位最为显著。反观省内边缘山区城市，呈现出节点度中心性和介中心性双低的特征，尤其以鄂西十堰市、恩施州、神农架林区最为显著，说明一方面这些城市与其他城镇的交通联系程度相对较弱，另一方面说明其对外交通联系不可避免需要依靠其他城市的中转。由此形成了外围城市交通联系较弱，而核心城市交通联系较强的网络结构，也进一步验证了前文交通可达性呈现“核心—边缘”的基本格局。

表 4 湖北省各市州区节点度中心性与介中心性分布 (1985—2015)

市州区	1985		1995		2005		2015	
	$C_D(m_i)$	$C_B(m_i)$	$C_D(m_i)$	$C_B(m_i)$	$C_D(m_i)$	$C_B(m_i)$	$C_D(m_i)$	$C_B(m_i)$
武汉市	512	1 376. 413	712	1 297. 081	848	1 011. 284	1 263	890. 533
宜昌市	202	1 371. 389	298	1 213. 789	405	932. 599	931	772. 918
襄阳市	149	1 240. 327	278	751. 302	370	663. 222	496	442. 815
黄冈市	187	114. 292	292	66. 042	422	35. 644	619	34. 567
黄石市	180	207. 473	278	163. 726	325	40. 793	425	16. 226
荆门市	115	1 044. 871	149	426. 73	239	414. 115	379	171. 137
荆州市	112	353. 471	198	680. 091	266	329. 6	580	249. 911
十堰市	72	306. 157	92	260. 038	122	121. 035	204	30. 791
随州市	50	542. 439	68	314. 212	121	174. 685	200	110. 781
咸宁市	103	205. 928	161	45. 536	238	31. 457	377	21. 22
鄂州市	100	146. 912	131	73. 245	173	31. 351	257	30. 197
孝感市	190	654. 896	264	489. 438	408	344. 633	627	207. 019
恩施州	48	672	53	462. 774	92	272. 089	183	28. 479
神农架林区	5	0	10	56. 675	22	80. 568	32	11. 79
省直管县级市	75	942. 431	134	788. 54	185	544. 21	233	103. 55

4.3 网络直接交通联系逐渐增多，网络中转效率提升明显，城镇间交通联系更加紧密。

从节点介中心性分布来看，1985 年城镇节点介中心性均值为 100. 039，1995 年均值为 66. 049，2005 年为 47. 651，至 2015 年平均节点介中心性降低至 24. 049，30 年间平均节点介中心性下降了 75. 96%，节点介中心性的最高值从 1985 年的 752. 512 降低至 134. 859，下降了 82. 08%。说明一方面关键节点城镇对于网络内其他城镇的控制能力出现一定程度降低，节点之间的交通联系可以通过交通网络直接完成，节点间直接通达性提升显著。另一方面则说明交通联系网络的通行效率提高明显，关键节点城镇对其他节点城镇在交通连通过程中造成的成本损失显著下降，网络中转效率显著提高。从节点间联系的分布来看，1h 以内的节点联系数由 1985 年的 69 条增长至 2015 年的 426 条，1~3h 以内的节点联系数从 912 条增长至 2568 条，3h 以上的联系数则由 4323 条降低至 2310 条，网络中节点间的直接联系逐渐增多，交通联系日益稠密化，内部结构更加致密，城镇间交通联系更加紧密。

5 结论与建议

5.1 结论

分别使用栅格成本距离、加权平均旅行时间、重心演化等方法对湖北省县域交通可达性的整体格局与演化进行了评价，之后通过构建县域交通联系时间成本矩阵并运用网络密度、网络中心势、节点度中心性、节点介中心性等方法对湖北省交通联系

网络结构进行分析，并得到如下结论：

第一，交通可达性与交通联系网络均呈现出“核心—边缘”格局，且具有较强的稳定性。但通过对可达性重心的分析可以发现，可达性优势区有向鄂西移动的趋势，交通可达性开始显现出趋向均衡的态势。交通联系网络则表现出较为显著的内部等级结构差异，形成了以武汉为中心的省内交通联系一级节点，以宜昌为中心的二级节点和以襄阳为中心的三级节点，三城市承担了省内各城镇交通联系的关键职能。

第二，交通可达性与交通联系网络紧致程度均得到显著提升，但同时呈现出明显的阶段性特征。近十年是湖北省县域交通可达性提升最为迅猛的阶段，整体交通可达性值降低了 26.82%，交通联系网络密度则提高了 65.37%。与此同时整体交通联系网络紧致程度逐渐增强，网络联系强度进步明

显。至 2015 年，除鄂西部分城镇交通联系相对稀疏之外，鄂中、鄂东已经开始趋向形成一体化的交通联系网络。高速、高铁是近十年交通可达性和交通联系网络提升迅速的重要影响因素。

第三，可达性改善程度呈现“反自然地形”的态势，显现出边缘山区提高快，中部平原地区提高慢的“边缘—核心”的格局。外围山区交通可达性进步速度更为显著，体现在交通联系网络结构中则呈现出网络中的直接联系显著增多，网络中转效率提升明显，城镇间交通联系更加紧密。

5.2 建议

第一，完善关键节点城镇在交通网络中的枢纽性地位。充分发挥武汉、宜昌、襄阳在省内交通联系中的枢纽节点地位。武汉要进一步巩固提升全国性交通枢纽的服务功能，充分发挥武汉在长江航运、国际航运、高速铁路、高速公路等方面的优势条件，加强对于全省及全国的服务能力。加快构建以宜昌、襄阳为中心的区域性综合交通枢纽，充分发挥比较优势，强化宜昌在三峡航运、多式联运等方面的建设，强化襄阳在铁路转运、汉江航运等方面的建设。形成武汉、宜昌、襄阳等关键节点支撑、协同发展的格局。

第二，适度超前发展高速、高铁等高等级交通基础设施。高速、高铁等高等级交通运输基础设施的建设是提高区域交通可达性和交通运输能力的重要支撑。积极对接国家交通运输相关规划，加快省内安来高速、武深高速、呼北高速等的建设，与此同时要积极推进省级麻竹高速、宜来高速以及其他区域性高速公路建设，形成覆盖全省的“九纵五横三环”高速公路网。加快武九高铁、武西高铁、郑万高铁、京九高铁、沪汉蓉高铁湖北段建设，形成以武汉为核心的“米”字形高铁网络，尽快实现高等级路网省域全覆盖。

第三，扶持边远山区、贫困地区交通事业发展，尽快构建一体化交通运输网络。充分发挥交通事业发展在扶贫工作中的重要作用，根据不同地区的基本情况，有选择地加快省域边远山区和贫困地区的交通基础设施建设。对于鄂中平原丘地要加大路网密度建设，鄂西山区则要加快路网构建步伐。着力推进这些地区交通基础路网、交通干线、客运服务、交通物流网络的覆盖，同时要实施路网连通、对接工程，实现边远山区、贫困地区与主要城市、关键节点城镇的连通，构建一体化的交通运输网络。

第四，抢抓长江经济带开放开发政策契机，加

快发展长江“黄金”水运通道。利用“一带一路”、长江经济带开放开发等国家重大的区域发展战略，充分发掘长江航运潜力，推进现有港口枢纽提升扩能，实施长江深水航运通道整治工程，配合国家三峡水运新通道等相关重大项目工程，提高长江“黄金通道”综合运输效益。与此同时，要加快长江与汉江、清江及其他航线的连通工程，构建长江综合航运体系。

参考文献:

- [1] 王成金, 程佳佳. 中国高速公路网的可达性格局及演化[J]. 地理科学, 2016, 36(6):803 - 812.
- [2] Hou Q, Li S. Transport infrastructure development and changing spatial accessibility in the Greater Pearl River Delta, China, 1990-2020 [J]. Journal of Transport Geography, 2011, 19(6): I 350 - I 360.
- [3] Gutierrez J, Condeço-Melhorado A, Martin J C. Using accessibility indicators and GIS to assess spatial spillovers of transport infrastructure investment [J]. Journal of Transport Geography, 2010, 18(1):141 - 152.
- [4] Geurs K T, van Wee B. Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and research directions [J]. Journal of Transport Geography, 2004, 12(2): 127 - 140.
- [5] Giles-Corti B, Broomhall M H, Knuiaman M, et al. Increasing Walking: How Important Is Distance To Attractiveness, and Size of Public [J]. American Journal of Preventive Medicine, 2005, 28(2):169- 176.
- [6] Ingram D R. The concept of accessibility : a search for an operational form[J]. Regional Studies, 1971, 05(2): 101 - 107.
- [7] Caschili S, De Montis A. Accessibility and Complex Network Analysis of the U. S. commuting system [J]. Cities, 2013, 30(3): 4-17.
- [8] Sakkas N, Perez J. Elaborating metrics for the accessibility of buildings [J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2006, 30(5):661 -685.
- [9] 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[J]. 地理学报, 2006, 61(12): 1 235 - 1 246.
- [10] 蒋晓威, 曹卫东, 罗健, 等. 安徽省公路网络可达性空间格局 及其演化[J]. 地理科学进展, 2012, 31(12):1591-1599.
- [11] 吴威, 曹有挥, 曹卫东, 等. 区域高速公路网络构建对可达性 空间格局的影响——以安徽沿江地区为实证[J]. 长江流域 资源与环境, 2007, 16(6): 726 - 731.
- [12] 孟德友, 李小建, 樊新生. 高速公路引导下中原经济区交通可 达性空间格局[J]. 地域研究与开发, 2016, 35(2): 36 -40.
- [13] 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[J]. 地理学报, 2016, 71(4):591-604.
- [14] 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[J]. 地理学报, 2010, 65(10):1 287-1 298.
- [15] 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[J]. 经济地 理, 2014, 34(11):58-62.
- [16] 黄洁, 钟业喜, 李建新, 等. 基于高铁网络的中国省会城市经 济可达性[J]. 地理研究, 2016, 35(4):757 - 769.
- [17] 吴建军, 孔云峰, 李斌. 基于 GIS 的农村医疗设施空间可达性 分析——以河南省兰考县为例[J]. 人文地理, 2008, 23(3):

- [18] 陶卓霖, 程杨, 戴特奇. 北京市养老设施空间可达性评价[J]. 地理科学进展, 2014, 33(5):616 - 624.
- [19] 韩艳红, 陆玉麒. 教育公共服务设施可达性评价与规划—以江苏省仪征市高级中学为例[J]. 地理科学, 2012, 32(7): 822 - 827.
- [20] 潘竟虎, 从忆波. 中国 4A 级及以上旅游景点(区)空间可达性测度[J]. 地理科学, 2012, 32(11): 1 321 - 1 327.
- [21] 靳诚, 陆玉麒, 范黎丽. 基于公路网络的长江三角洲旅游景点可达性格局研究[J]. 自然资源学报, 2010, 25(2):258-269.
- [22] 靳诚, 黄震方. 基于可达性技术的长江三角洲旅游区划[J]. 地理研究, 2012, 31(4):745-757.
- [23] 张广海, 朱旭娜. 我国旅游区划研究进展[J]. 地理与地理信息科学, 2016, 32(3):89-94.
- [24] 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[J]. 经济地理, 2014, 34(6):68 - 74.
- [25] 徐维祥, 陈斌, 李一曼. 基于陆路交通的浙江省城市可达性及经济联系研究[J]. 经济地理, 2013, 33(12):49 - 53.
- [26] 文玉判, 钟业喜, 黄洁. 交通网络演变对中心城市腹地范围的影响——以江西省为例[J]. 经济地理, 2013, 33(6):59-65.
- [27] 段德忠, 刘承良. 基于城市腹地的乡镇通达性的时空格局及其演化——以湖北荆州市 112 个乡镇为例[J]. 长江流域资源与环境, 2014, 24(4): 548 - 556.
- [28] 邓羽, 蔡建明, 杨振山, 等. 北京城区交通时间可达性测度及其空间特征分析[J]. 地理学报, 2012, 67(2): 169- 178.
- [29] 张琪, 谢双玉, 王晓芳, 等. 基于空间句法的武汉市旅游景点可达性评价[J]. 经济地理, 2015, 35(8):200 - 208.
- [30] 刘承良, 段德忠, 余瑞林, 等. 中国四大都市圈城乡道路网分形的多尺度比较分析[J]. 经济地理, 2013, 33(3):52_58.
- [31] 湖北省人民政府. 省人民政府关于印发湖北省综合交通运输“十三五”发展规划纲要的通知[EB/OL]. <http://www.hbjt.gov.cn/zwdt/tzgg/wjtz/130042.htm>.
- [32] 罗家德. 社会网络分析讲义(第二版)[M]. 北京:社会科学文献出版社, 2010.
- [33] 刘军. 整体网分析讲义:UCINET 软件实用指南[M]. 上海:格致出版社, 2009.
- [34] 张荣天. 长三角城市群网络结构时空演变分析[J]. 经济地理, 2017, 37(2):46-52.