
交通网络对湖北省经济联系驱动 作用的空间异质性分析

方晨晨¹ 蒋惠园² 陈莎雯³ 何祎豪¹¹

(1. 浙江大学 城乡规划设计研究院有限公司, 中国浙江 杭州 310013;

2. 武汉理工大学 交通学院, 中国湖北 武汉 430063;

3. 上海理工大学 管理学院, 中国 上海 200093)

【摘要】: 通过改进城市质量评价体系和距离函数构建引力模型, 测算出湖北省各市综合发展质量和城市间经济联系强度, 从而构建全省经济联系网络, 并以城市经济联系势能为因变量, 路网密度为自变量, 在经济联系势能空间相关性检验的基础上, 运用最小二乘法和地理加权回归模型探索交通网络对经济联系驱动作用的空间异质性。研究表明: 湖北省经济联系层级现象显著, 高强度的联系关系缺乏, 东强西弱、南强北弱特征明显; 公路网对经济联系驱动作用小于铁路网, 公路网对长江城镇密集发展带、京广城镇发展轴的经济联系驱动作用相对较大, 铁路网对汉十城镇发展带、襄荆城镇发展轴的经济联系驱动作用相对较大。

【关键词】: 经济联系 公路网 城镇发展轴

【中图分类号】: F127; F511.99 **【文献标志码】:** A **【文章编号】:** 1000-8462 (2021) 07-0093-07

我国城镇化进程不断推进, 人、物、信息等经济要素在地区间的流动更加频繁, 区域间经济联系更为密切。交通网络是经济联系产生的重要途径, 不仅改变了区域间经济联系的距离, 也改变了经济联系的形式。交通基础设施的建设影响着地区经济联系, 但影响作用因地而异。《交通强国建设纲要》指出要尊重城市发展规律, 建设城市群一体化交通网。掌握交通网络对经济联系的影响作用, 有利于掌握经济联系空间格局和交通网络—经济联系之间关系的地区规律, 对于更加科学地指导交通基础设施布局和建设尤为必要。

经济联系通常以引力模型测度。Reilly W J^[1]首次将物理学中的万有引力定律应用于地理学领域研究中。Zipf^[2]首次将万有引力模型引入到城市体系空间相互作用分析, 建立城市群空间结构相互作用的理论基础。通过引力模型, 研究者不仅测算了全国^[3]、城市群^[4]、省级^[6]等不同层面的经济联系强度, 也得到了旅游业^[6]、物流业^[7]等不同行业的经济联系空间格局。与此同时, 引力模型也得到了不断的改进和优化, 主要分为两种: 一种是基于不同城市质量对于联系量影响的分异程度对其测度修正^[8-9], 另一种是基于距离衰减应遵循客观阻力和距离衰减规律而对距离函数进行修正^[10-11]。

交通基础设施不仅为地区经济增长提供强大动力, 也为地区间经济联系提供了必备的基础条件。研究表明, 交通基础设施

作者简介: 方晨晨(1995-), 男, 浙江杭州人, 硕士, 研究方向为交通规划与运输经济。E-mail:354096642@qq.com

对经济增长的贡献呈空间正相关性^[12]，且该贡献出现了因地而异的正向溢出效应^[13]。交通建设带来的是地区可达性的提升，即交通网络中各节点互相作用机会的变大^[14]，地区交通可达性与经济发展之间存在正相关趋势的非线性关系^[15]，可达性的提升能够增强城市经济联系^[16]。对比不同交通方式，虽然公路^[17]和铁路^[18]建设在重塑区域空间结构中都能提升城市对外经济联系强度总量，但铁路主导下的城市间联系强度带动作用更突出^[10]，对于公路，其等级越高带动作用也越突出^[19]。可见，交通基础设施的建成加快经济要素流动，良好交通基础设施条件能够增强区域区位优势。交通基础设施建设对地区空间结构的演化具有导向性^[20-21]。

湖北省地处长江中游地区，交通区位优势明显，全省城镇空间正按照“一主两副多极”的极核发展态势，形成“两轴两带”的区域发展轴线。作为交通强国建设试点省份将迎来新一轮交通基础设施建设。鉴于此，运用改进的引力模型和地理加权回归，分析湖北省交通网络对经济联系的驱动作用及其空间异质性，有利于促进湖北省交通网络的布局更好服务于地区经济发展。

1 研究方法 with 数据来源

1.1 引力模型

引力模型是衡量区域间经济联系强度的常用方法，参考相关研究^[7-11]，以城市综合发展水平衡量城市质量，以城市间公路和铁路两种交通方式综合通行时间为距离函数，构建改进的引力模型，见式（1）。

$$F_{ij} = K \times \frac{\sum_{\alpha=0}^n (W_{i-\alpha} Q_{i-\alpha}) \times \sum_{\alpha=0}^n (W_{j-\alpha} Q_{j-\alpha})}{\left[\sum_{\beta=0}^n (\theta_{ij-\beta} T_{ij-\beta}) \right]} \quad (1)$$

式中： $W_{i-\alpha}$ 为城市 i 的综合发展质量衡量指标 α 的权重； $Q_{i-\alpha}$ 为城市 i 的综合发展质量衡量指标 α 的量化值； $\theta_{ij-\beta}$ 为城市 i 到城市 j 交通方式 β 的权重； $T_{ij-\beta}$ 为城市 i 到城市 j 交通方式 β 的最小通行时间； K 为经济联系强度参数，通常为 1； λ 为经济联系强度衰减参数，通常为 2。

城市综合发展质量指标的选取遵循合理性、科学性等原则，从经济和社会发展等五个层面，利用湖北省各市 2018 年统计公报、统计年鉴等资料确定 14 个具体指标，并以主成分分析法^{[10][22-24]}确定指标权重。

距离函数则选取城市间通行时间为衡量指标，以城市间最短交通通行时间为参数，对引力模型的距离函数进行细化，见式（2）。

$$L_{ij} = \mu_{ij-R0} T_{ij-R0} + \mu_{ij-Ra} (\nu_{ij-Z} T_{ij-Z} + \nu_{ij-G} T_{ij-G}) \quad (2)$$

式中： L_{ij} 为距离函数； T_{ij-R0} 为城市 i 、 j 之间公路最短通行时间； μ_{ij-R0} 和 μ_{ij-Ra} 分别为公路和铁路最短通行时间权重，由公路客运量与铁路客运量之比得到； T_{ij-Z} 和 T_{ij-G} 分别为城市 i 、 j 之间普速铁路和高速铁路最短通行时间； ν_{ij-Z} 和 ν_{ij-G} 分别为普速铁路和高速铁路最短通行时间权重，由两种方式的班次数之比得到。通过畅途网等互联网票务网站获取公路客运数据，通过中国铁路客户服务中心（12306 网站）获取铁路客运数据。结合实际情况考虑换乘，得到湖北省地区间陆域综合通行时间。

1.2 地理加权回归模型

地理加权回归通过引入研究单元空间位置，建立局部回归方程，得到不同位置的回归系数，体现影响作用的空间异质性，其正负反映出自变量对因变量的驱动性或抑制性，其大小则反映作用的强弱，模型见式（3）。

$$Y_i = \beta_0(\mu_i, \nu_i) + \sum_{k=1}^n \beta_k(\mu_i, \nu_i) X_{ik} + \varepsilon_i \quad (3)$$

$$(i = 1, 2, \dots, n)$$

式中：\$(\mu_i, \nu_i)\$ 是第 \$i\$ 个样本点的空间位置坐标；\$\beta_k(\mu_i, \nu_i)\$ 是第 \$i\$ 个样本的第 \$k\$ 个回归参数；\$\varepsilon_i\$ 是第 \$i\$ 个样本的随机误差。

1.3 探索性空间数据分析

因变量存在空间相关性（或异质性）是运用地理加权回归模型探索的基础。Moran's I 指数通过测量空间相邻样本点属性值的相似程度来判定是否存在空间相关性，分为全局相关性和局部相关性。见式（4）和式（5）。

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \theta_{ij} (X_i - \bar{X})(X_j - \bar{X})}{s^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \theta_{ij}} \quad (4)$$

$$I_i = \frac{(X_i - \bar{X}) \sum_{j=1}^n \theta_{ij} (X_j - \bar{X})}{s^2} \quad (5)$$

式中：\$I\$ 为全局 Moran's I 指数；\$n\$ 为样本单元个数；\$X_i\$ 与 \$X_j\$ 分别为单元 \$i\$ 和 \$j\$ 的属性值；\$s^2\$ 为样本的二阶中心距；\$\bar{X}\$ 为所有样本单元的平均值；\$\theta_{ij}\$ 为空间权重矩阵；\$I_i\$ 为局部 Moran's I 指数。

2 城际经济联系空间特征分析

将城市综合发展质量与通行时间分别代入式（1），得到湖北省经济联系强度矩阵，并通过 ArcGIS 及自然间断点法将矩阵可视化，构建出湖北省经济联系四级网络，如图 1。

湖北省城际经济联系网络在空间上类似于呈横放的等腰三角形分布特征，其顶角部分联系密集，实际表现为武汉城市圈城市间联系强度大且密集，而西部地区城市间联系强度小且稀疏。二级和三级联系网络表明，武汉市—宜昌市沿线的长江城镇密集发展带经济联系强度和复杂度要高于武汉市—襄阳市沿线的汉十城镇发展带，同时可知，宜昌市和襄阳市与武汉市的直接联系较弱，其联系分别通过各自邻近城市——荆州和随州而并非通过荆门市直接向东延伸。省域中部地区并没有向东较强的直接联系而是借助荆州市往东西向延伸。随州市向东与武汉市有较强的直接联系，高于向西与襄阳市的联系，武汉市对其牵制更大。天仙潜地区三市间关系密切，形成了较为完善的联系网络，对宜昌市连接武汉市发挥极大的中介作用。但从一级联系网络来看，与武汉城市圈其他城市相比，天仙潜地区与武汉市的联系相对较弱。黄冈—鄂州—黄石地区与武汉市联系最为紧密，且三市之间关系同样密切。武汉城市圈总体上形成了较高水平的联系网络。

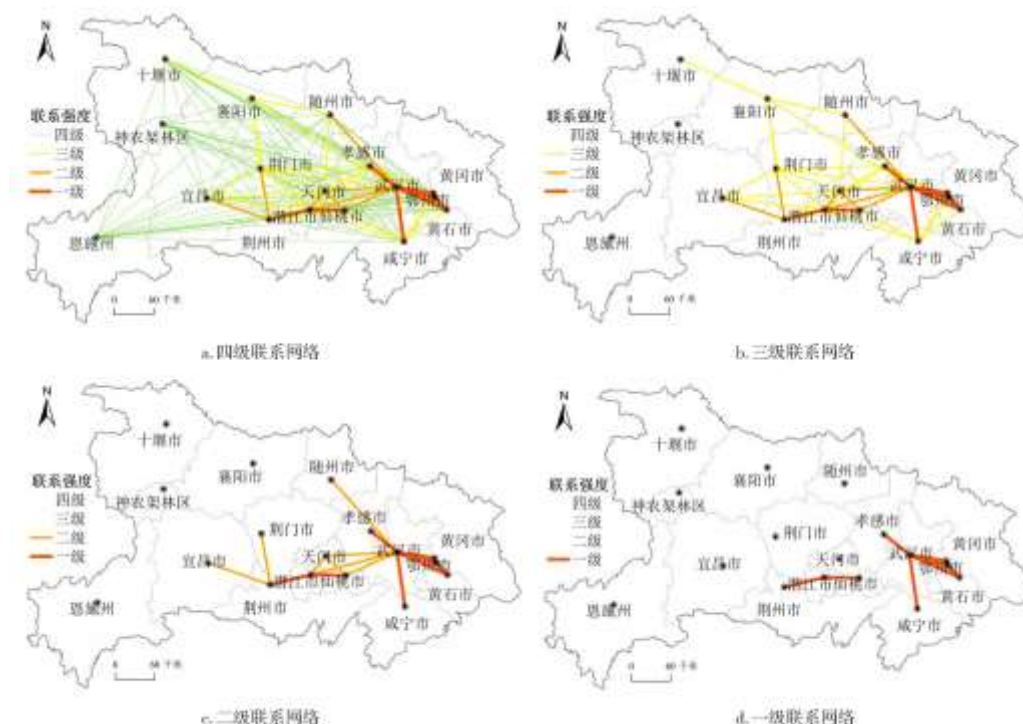


图 1 湖北省经济联系网络分级网络

3 交通网络对经济联系驱动作用及其空间异质性分析

3.1 研究变量选取

3.1.1 因变量选取

经济联系由城市产生，将许多个城市之间点对点的经济联系串连起来，便形成经济联系网络，因此探索交通网络对经济联系的影响还应从经济联系产生的单元——城市角度分析。城市 i 与其他城市的联系关系可以分为吸引关系和辐射关系，由此城市的联系强度也分为吸引强度和辐射强度，两种强度都反映城市 i 的联系活力。将城市 i 的吸引强度与辐射强度求得平均值，定义为经济联系势能^[7]。

3.1.2 自变量选取

结合研究区域，体现空间属性，选用公路网密度和铁路网密度为自变量。由散点图初步判定，公路网密度、铁路网密度与经济联系势能存在较为明显的线性关系，可进行最小二乘法 and 地理加权回归分析。

3.2 经济联系势能的空间相关性检验

3.2.1 全局相关性检验

对湖北省各市经济联系势能全局相关性检验，得到湖北省各市经济联系势能的全局 Moran's I 统计量值为 0.450，远大于预期指数，整体存在空间正相关性，同时 P 值约为 0 小于 0.01, Z 得分为 3.976，大于 2.580，因此湖北省各市的经济联系势能在

空间上存在集聚分布，即普遍存在较大经济联系势能的城市相邻，或者较小经济联系势能的城市相邻的格局。该全局相关性检验结果也为后续运用地理加权回归模型的合理性奠定了基础。

3.2.2 局部相关性检验

对湖北省各市经济联系势能局部相关性检验，结果如图 3。

图 3a 中，“高一高”地区为红色，是指经济联系势能大的城市被经济联系势能大的城市所包围；“低一高”地区为白色，是指经济联系势能小的城市被经济联系势能大的城市所包围；“低一低”地区为蓝色，是指经济联系势能小的城市被经济联系势能小的城市所包围；“高一低”地区为橙色，是指经济联系势能大的城市被经济联系势能小的城市所包围。分析可知，湖北省各市经济联系势能表现出了通过显著性检验的局部集聚区域。其中，武汉、鄂州、黄冈为高一高集聚，神农架林区为低一低集聚，不存在高一低或低一高集聚。从图 3b 中可以看出，大部分城市落入了第一和第三象限，同时也有少部分点落入了二、四象限，湖北省各市的经济联系势能集聚效应明显。出现高一高集聚效应的多为武汉城市圈内，表明武汉城市圈内城市的经济联系势能带动作用较强，进一步说明武汉城市圈区域内的城市之间联系紧密，要素流动更为密切。而出现低一低集聚的城市为鄂西区域，说明该区域城市经济联系势能不大，区域内城市间交流不够密切，作为经济支点的宜昌、襄阳市带动作用不明显。

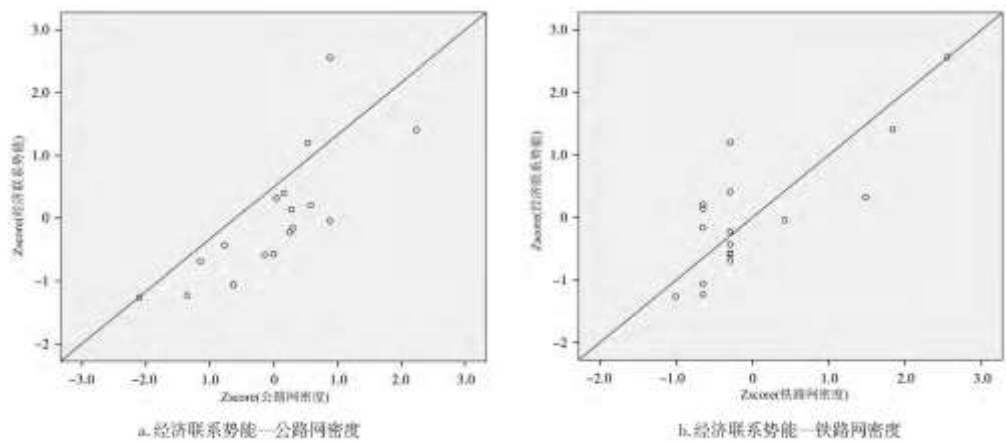


图 2 城市经济联系势能与路网密度散点图

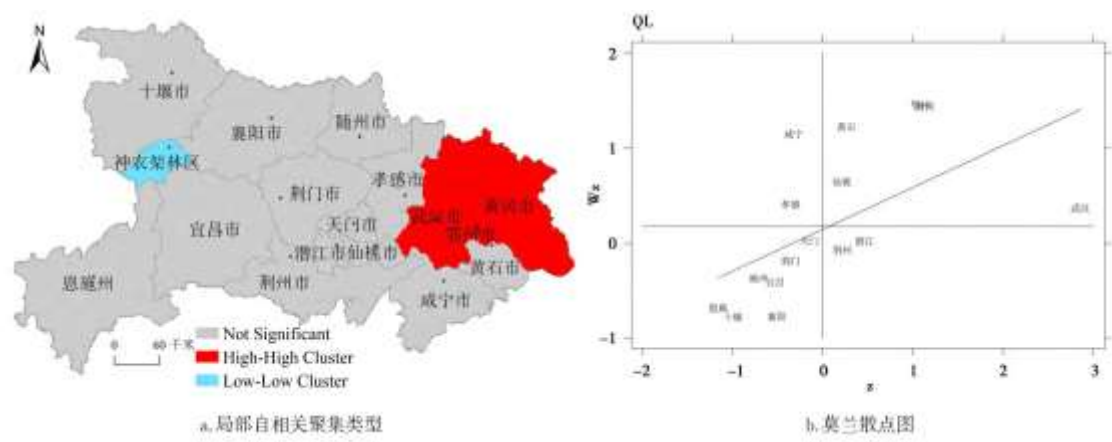


图 3 经济联系势能局部相关性检验

3.3 基于 OLS 的驱动作用全局性分析

地理加权回归是建立在构建一个正确的最小二乘法（OLS）模型的基础上的，为此首先运用 OLS 模型分析路网密度对经济联系势能的全局性驱动作用。将公路网密度和铁路网密度作为自变量，城市经济联系势能作为因变量进行最小二乘法回归。

回归模型的 R 为 0.866, R^2 为 0.749, 调整的 R^2 为 0.714, 意味着公路网密度和铁路网密度可以解释城市经济联系势能 74.9% 的变化原因。F 统计量为 20.934, 大于 $F_{0.05}(2, 14)=3.74$, 表明模型通过 F 检验, 即公路网密度和铁路网密度中至少一项会对城市经济联系势能产生影响关系。根据 t 值判断, 两个自变量均通过了显著性检验, 与因变量的线性关系显著。另外, 模型的多重共线性检验结果表明, 模型 VIF 值都为 1.596, 小于 7.5, 公路网密度和铁路网密度两变量不存在共线性问题。对残差检验, 残差分别通过了齐次性、正态性和自相关检验, 回归结果较好。

公路网密度的回归系数值为 0.470, 铁路网密度的回归系数值为 0.495, 均通过显著性检验。由此表明, 公路网密度、铁路网密度均对城市经济联系势能产生显著的正向驱动作用, 铁路网密度对城市联系强度驱动作用大于公路网密度, 完善铁路线网布局更能加强城市间的经济联系。

3.4 基于 GWR 的驱动作用空间异质性分析

在全球性分析的基础上, 运用地理加权回归模型定量描述公路网密度和铁路网密度对城市经济联系势能的驱动作用及其在不同地区所表现出的异质性。使用自适应距离法创建核表面, 采用 AIC 准则法确定带宽。地理加权回归 AICc 值为 39.840, R^2 为 0.780, 调整后的 R^2 为 0.690, 达到拟合要求。

从残差检验结果可知, 所有样本均未超过 2.5 倍标准差, 模型可靠性较高。局部 R^2 呈现出东部地区低于西部地区的趋势, R^2 均达到了 0.640 以上, 说明路网密度对经济联系势能的解释能力自东向西逐渐增强。另外, 条件数为 2.0 左右, 大于 0 远小于 30, 不存在局部多重共线性问题。残差自相关检验表明, Moran's I 指数为 -0.191, Z 值为 -0.962, P 值为 0.336, 没有通过显著性检验, 残差项不呈空间自相关, 回归模型通过检验。

公路网密度和铁路网密度的驱动作用在空间上呈现非平稳性, 对不同地区经济联系势能驱动程度不同。通过 ArcGIS 对结果中标准化回归系数反距离权重插值, 得到图 4。

公路网密度标准化回归系数平均值为 0.397, 最大值 0.473, 最小值 0.363, 空间异质性较为明显。公路网密度对各地区经济联系势能均呈正向驱动作用, 且驱动作用总体上呈现自东向西、自北向南逐渐增强态势。十堰市、襄阳市、荆门市以及天仙潜地区处于相对低值区域, 该区域公路网密度对经济联系势能的驱动作用相对较小; 而鄂西南地区的恩施州和宜昌市处于相对高值区域, 公路网密度对该区域经济联系势能驱动作用相对较大; 黄冈市与武汉城市圈其他城市相比处于相对低值区域, 与荆州市相当; 公路网密度对随州—孝感—武汉—黄石—咸宁连线地区的经济联系势能具有相同驱动程度。

铁路网密度标准化回归系数平均值为 0.628, 最大值 0.533, 最小值 0.476, 空间差异性较为明显。铁路网密度对各地区经济联系势能均呈正向驱动作用, 且驱动作用总体上呈现自东向西、自南向北逐渐增强态势。武汉城市圈的黄石市、黄冈市、咸宁及鄂州处于相对低值区域, 该区域铁路网密度对经济联系势能的驱动作用相对较小; 而鄂西北地区的十堰市和襄阳市处于相对高值区域, 铁路网密度对经济联系势能的驱动作用相对较大; 铁路网密度对鄂中地区经济联系势能驱动程度表现出较为明显的分级现象, 分为荆门—随州和宜昌—荆州—天仙潜—孝感; 武汉市—孝感—仙桃与恩施州地区驱动程度相当。

总体来看, 公路网对经济联系驱动作用小于铁路网, 公路网对长江城镇密集发展带、京广城镇发展轴的经济联系驱动作用相对较大, 铁路网对汉十城镇发展带、襄荆城镇发展轴的经济联系驱动作用相对较大。

4 结论与建议

4.1 结论

在湖北省经济联系空间特征分析的基础上,运用最小二乘法和地理加权回归模型探索交通网络对经济联系驱动作用及其空间异质性,得到如下结论:

(1)经济联系空间特征分析表明,湖北省经济联系网络大体呈横放的等腰三角形分布特征,实际表现为武汉城市圈联系强度大且密集,而西部地区联系强度小且稀疏;长江城镇密集发展带经济联系强度和复杂度要高于汉十城镇发展带;宜昌市、襄阳市与武汉市的直接联系较弱,其联系网络分别通过各自邻近的荆州和随州而并非通过荆门市向东延伸;武汉城市圈总体上形成了较高水平的联系网络,但与其他城市相比,天仙潜地区与武汉市的联系相对较弱,武鄂黄黄都市连绵带联系相对紧密。

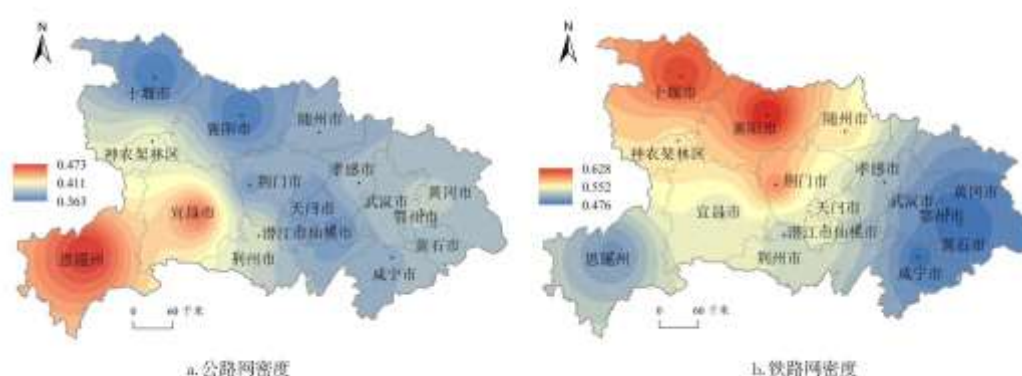


图4 公路网密度和铁路网密度局部回归系数渲染图

(2)经济联系势能空间相关性检验表明,武汉城市圈东部城市经济联系出现高一高集聚效应,鄂西出现低—低集聚的效应。

(3)驱动作用的空间异质性分析表明,公路网密度和铁路网密度均会对经济联系势能产生显著的正向驱动作用,铁路网密度强于公路网密度。公路网密度对经济联系势能驱动作用总体上呈现自东向西、自北向南逐渐增强态势。铁路网密度对经济联系势能驱动作用总体上呈现自东向西、自南向北逐渐增强态势。可知,公路网对长江城镇密集发展带、京广城镇发展轴的经济联系驱动作用相对较大,铁路网对汉十城镇发展带、襄荆城镇发展轴的经济联系驱动作用相对较大。

4.2 建议

长江城镇密集发展带、京广城镇发展轴地区更应该完善公路网布局,而汉十城镇发展带、襄荆城镇发展轴地区更应该完善铁路网布局。可针对性新建加密武汉至西南方向和南北向的干线公路网,适当增加鄂西南地区路网建设的倾斜力度,并建设更具地方特色的公路路网;重视对武鄂黄黄连绵都市区等经济发达地区现有低等级路线的扩容升级;加快建设连接襄阳和宜昌两市的襄荆城镇发展轴沿线地区高速铁路线,促进襄阳宜昌两市在鄂西地区经济发展中的带动作用;另外,需填补鄂中荆门地区高速铁路空白。

参考文献:

[1]Reilly W J.Methods for the Study of Retail Relationships[M].Austin:University of Texas Press,1929.

-
- [2] Zipf G K. The hypothesis: on the intercity movement of persons[J]. American Sociological Review, 1946(12): 677-686.
- [3] 王海江. 中国中心城市交通联系及其空间格局[D]. 开封: 河南大学, 2014.
- [4] 李远和. 长江中游城市群发展空间格局分析[D]. 武汉: 湖北大学, 2017.
- [5] 刘瑞娟. 基于空间视角的区域联系分析[D]. 西安: 长安大学, 2014.
- [6] 史庆斌, 谢永顺, 韩增林, 等. 东北城市间旅游经济联系的空间结构及发展模式[J]. 经济地理, 2018, 38(11): 211-219.
- [7] 刘程军, 周建平, 蒋建华, 等. 电子商务背景下县域物流的空间联系及其网络结构研究——以浙江省为例[J]. 地理科学, 2019, 39(11): 1719-1728.
- [8] Russon M G, Vakil F. Population, convenience and distance decay in a short-haul model of united states air transportation[J]. Journal of Transport Geography, 1995, 3(3): 179-185.
- [9] 彭芳梅. 粤港澳大湾区及周边城市经济空间联系与空间结构——基于改进引力模型与社会网络分析的实证分析[J]. 经济地理, 2017, 37(12): 57-64.
- [10] 于建峰, 曾俊伟, 钱勇生, 等. 不同交通方式对兰西城市群空间分布影响研究[J]. 铁道运输与经济, 2019, 41(10): 7-13, 40.
- [11] 吴常艳, 黄贤金, 陈博文, 等. 长江经济带经济联系空间格局及其经济一体化趋势[J]. 经济地理, 2017, 37(7): 71-78.
- [12] 王伯礼, 张小雷. 新疆公路交通基础设施建设对经济增长的贡献分析[J]. 地理学报, 2010, 65(12): 1522-1533.
- [13] 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[J]. 管理世界, 2014(4): 173-174.
- [14] Hansen Walter G. How accessibility shapes land use[J]. Journal of the American Institute of Planners, 1959, 25(2): 73-76.
- [15] 刘传明, 曾菊新. 县域综合交通可达性测度及其与经济发展水平的关系——对湖北省 79 个县域的定量分析[J]. 地理研究, 2011, 30(12): 2209-2221.
- [16] 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.
- [17] 李晨曦, 吴克宁, 高星, 等. 基于潜力模型的城市公路网络可达性及经济联系分析——以唐山市为例[J]. 现代城市研究, 2017(2): 108-113.
- [18] 王姣娥, 焦敬娟, 金凤君. 高速铁路对中国城市空间相互作用强度的影响[J]. 地理学报, 2014, 69(12): 1833-1846.

-
- [19]叶昌友,王遐见. 交通基础设施、交通运输业与区域经济增长——基于省域数据的空间面板模型研究[J]. 产业经济研究, 2013(2):40-47.
- [20]Horner M. Exploring metropolitan accessibility and urban structure[J]. Urban Geography, 2004, 25(3):264-284.
- [21]Scott A J, Agnew J, Soja E W, et al. Global city-regions[C]//Scott A J. (Ed.). Global City-regions:Trends, Theory, Policy. Oxford University Press, Oxford, 2001.
- [22]何超,李萌,李婷婷,等. 多目标综合评价中四种确定权重方法的比较与分析[J]. 湖北大学学报: 自然科学版, 2016, 38(2): 172-178.
- [23]唐永超,王成新,王瑞莉,等. 黄河流域区域交通与经济空间关联研究[J/OL]. 经济地理, <http://kns.cnki.net/kcms/detail/43.1126.k.20201014.1342.002.html>, 2020-12-18.
- [24]董莹, 罗静, 郑文升, 等. 湖北省城市网络结构及其复杂性研究[J]. 经济地理, 2019, 39(7):76-84.