

中原城市群铁路网络可达性及经济联系格局¹

安俞静^{1,4}, 刘静玉^{2,3}, 李宁^{2,3}, 乔墩墩^{2,3}, 刘梦丽^{2,3}

(1. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 江苏南京 210008; 2. 河南大学环境与规划学院, 河南开封 475000; 3. 中原经济区三化协调发展河南省协同创新中心, 河南郑州, 450046; 4. 中国科学院大学, 北京 100049)

【摘要】: 选取城市间最短旅行时间数据和社会经济综合指标, 采用加权平均旅行时间、修正后的引力模型、地统计分析、空间探索性分析和空间计量模型等方法, 对中原城市群可达性与经济联系格局进行分析。结果表明: (1) 中原城市群可达性水平整体呈现“十”字型空间格局, 南北向沿线城市的可达性优于东西向; 局部空间上, 高低值空间集聚分块状特征明显, 显著空间关联类型以显著 HH 区和显著 LL 区为主。(2) 经济联系整体呈现“钻石”型立体网络格局且分层态势明显; 局部空间上凸显以郑州、商丘、洛阳等核心区城市为中心的辐射状格局; 网络结构呈小团体集聚特征, 团体内部联系密切, 整体联系相对松散。(3) 经济联系强度受到城市规模、城镇化水平、交通、区位及资源流通能力等因素的共同影响。

【关键词】: 可达性 经济联系 空间格局 影响因素 中原城市群

【中图分类号】: F532.8 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1004-8227 (2018) 09-1947-11

DOI: 10.11870/cjlyzyyhj201809006

交通网络建设与区域经济发展的互动关系是地理学的研究热点^[1], 多数学者借助可达性方法对两者关系机制做出了深入探讨。可达性研究起源于古典区位论, 用以描述空间上某一要素实体位置的优劣程度^[2], Hansen^[3]最早将其定义为交通网络中各节点相互作用的机会大小, 反映了人们利用现有的交通基础设施从某一出发地到特定目的地的便捷程度。依据特定的交通系统, 城市可达性决定了空间相互作用的强度与广度, 反映了城市的地位、竞争力以及城市间交流的通畅程度, 对区域社会经济发展产生重大影响^[4]。因此, 对城市可达性及经济联系格局进行准确判断, 有利于明确城市发展方向, 为城市功能定位和区域协调发展提供理论支撑和决策依据。

中外学者在城市可达性方面的研究成果颇为丰富, 国外相关研究主要集中于交通基础设施的可达性评价以及交通条件改善对区域可达性和区域经济的影响等方面^[5-8]。国内学者侧重于从不同类型交通方式, 如公路^[9]、铁路^[10]、航空^[11]、综合交通^[12]视角, 采用人口、时空距离、社会经济等指标构建模型展开研究; 分析方法主要涉及潜力模型^[13]、引力模型^[14]、最短旅行时间^[10]、基于矩阵的拓扑法和基于空间句法的拓扑法^[16, 17], 以及借助多种方法与模型的对比分析; 研究内容集中于可达性格局和演化机制^[18]、可达性与经济发展关系^[19]、新建交通基础设施对区域可达性的影响评价等方面^[20]; 分析层面上来看, 现有研究尺度多样, 涉及国家^[21]、经济带^[22]、城市群^[23]、省域^[24]等宏观尺度, 以及市域^[25]、县域^[26, 27]等微观尺度。综合来看, 现有研究成果多集中于对交通线路进行可达性分析及与经济发展关系的探索, 对于经济联系影响因素尤其是定量综合因素测度较少涉及,

¹收稿日期: 2017-11-24; 修回日期: 2018-03-14

作者简介: 安俞静 (1994~), 女, 博士研究生, 主要从事城市地理学、城市一区域综合发展研究。E-mail: yujing_1912@163.com

此外，学者们多关注于交通基础设施良好、经济联系紧密且发展水平较高的区域，对于中西部欠发达地区的研究相对较少。

中原城市群地处中国中部，是京津冀、长三角、珠三角之间一体化程度最高、规模最大的城市群，该区域地理位置优越，“米”字型交通网络承接南北、连贯东西。2016 年 12 月国务院批复的《中原城市群发展规划》中指出，要立足区位优势，建设全国现代综合交通枢纽。与此同时，如何实现要素资源的空间优化与经济活动的合理配置，达到交通基础设施与社会经济协调发展的空间格局，是该区域发展所面临的重要问题。鉴于此，本文采用铁路交通的最短旅行时间数据，构建社会经济复合指标体系并修正引力模型，对中原城市群可达性与经济联系格局进行研究并定量测度其影响因素，以为交通网络构建及区域优化协调发展提供理论支持。

1 研究方法数据来源

1.1 研究区域

本文以中原城市群为研究区域，根据 2016 年 12 月国务院批复的《中原城市群发展规划》，范围涵盖河南、山东、山西、河北和安徽 5 省 30 个地级市，面积约 28.7 万 km²，具体研究单元为河南省 18 个省辖市和山东省聊城市、菏泽市，山西省长治市、晋城市、运城市，河北省邯郸市、邢台市，以及安徽省蚌埠市、淮北市、阜阳市、宿州市、亳州市。

1.2 研究方法

1.2.1 加权平均旅行时间

可达性是指利用现有的交通基础设施，从出发地到目的地的便捷程度，反映了某一城市节点与区域内其他城市进行空间交流与联系的难易程度，评价可达性的最常用指标有平均最短旅行时间和加权平均旅行时间。平均最短旅行时间是指借助于某种交通方式，某一城市节点到达区域内其他所有节点的最短旅行时间的平均值，这种方法假设了一种理想前提，即区域内各城市节点的社会经济发展水平是等同的。实际上，区域可达性不仅与空间区位和交通条件有关，还受地区城市规模、经济发展水平的影响，城市节点的社会经济发展水平影响人员流动的意愿和方向。因此综合考虑最短旅行时间和城市综合实力，采用加权平均旅行时间对可达性进行测度，模型如下：

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

式中： A_i 表加权平均旅行时间，反映 i 点在区域交通中的可达性水平，其数值越小代表可达性越好； T_{ij} 为节点 i 到 j 的最短旅行时间； M_j 为城市综合质量指数； n 为节点城市个数。

进一步探讨各城市在交通网络中的地位，可采用可达性系数来表征各城市可达性水平的相对高低，表达式为：

$$A'_i = \frac{A_i}{\left(\frac{\sum_{i=1}^n A_i}{n} \right)} \quad (2)$$

式中： A_i 代表 A_i 城市的可达性系数； n 为城市个数。 A_i 值小于 1，表示 i 城市可达性水平高于区域平均水平，反之，则低于区域平均水平。

1.2.2 经济联系测度

现有研究中，引力模型是测度区域经济联系的常用方法，本文采用城市间铁路最短旅行时间和复合指标计算下的城市综合质量指数修正引力模型，对中原城市群各城市间的经济联系进行测度：

$$R_{ij} = \frac{M_i M_j}{D_{ij}^2} \quad R_i = \sum_{j=1}^n R_{ij} \quad (3)$$

式中： R_{ij} 代表城市 i 与城市 j 之间的经济联系强度； R_i 是 i 城市的对外联系总量； M_i 、 M_j 为城市 i 、 j 的综合质量指数； D_{ij} 为基于铁路交通的城市间最短旅行时间。

1.2.3 空间分析方法

(1) 克里金插值分析方法。克里金插值是基于结构分析和变异函数理论，根据区域内已知点的属性值对其周围未知点特性进行无偏最优估计的一种方法。对中原城市群可达性水平进行空间插值，有助于更好地预测其空间分布特征。

(2) 空间自相关分析方法。空间自相关分析用以揭示研究单元间的空间依赖性和异质性特征，包括全局空间自相关和局部空间自相关。全局 Moran' s I 指数用以描述属性值的整体空间分布特征，其数值在 $[-1, 1]$ 之间，大于 0 表示整体存在空间正相关性，反之为负相关，若其值等于 0 则代表不存在空间相关性。局部自相关用于探讨区域空间异质性特征，本文采用 LISA 指数来识别局域空间集聚中心。

1.2.4 空间计量模型

城市间经济联系在一定程度上存在着空间交互效应，多表现为空间依赖或空间相关。因此，在基本线性回归的基础上，建立空间权重矩阵对标准化模型进行优化，计量模型如下：

(1) 空间滞后模型 (SLM)

$$y = \beta_0 + \rho W y + x \beta + \varepsilon \quad (4)$$

该模型用于探讨各变量在区域内是否存在外溢效应，其中： y 是因变量； x 为外生解释变量； ρ 代表空间回归系数； W 为空间权重矩阵； β 为待估系数； β_0 为常数项； ε 代表随机误差。

(2) 空间误差模型 (SEM)

$$y = \beta_0 + \lambda W y + x \beta + \varepsilon \quad (5)$$

空间误差模型主要用于测度接临区域的误差冲击对本区域观测值的影响程度，式中 λ 为空间回归系数，其它系数同上。

具体模型的选择参照相应判别标准，在 OLS 模型的基础上进行空间相关性检验，判别 LMlag、LMerr 及稳健 R-LMlag、R-LMerr 统计量的显著性，若 LMlag 较 LMerr 显著，且稳健 R-LMlag 较 R-LMerr 显著，则适用于空间滞后模型；反之，适用于空间误差模型。

1.3 指标体系

城市节点的综合发展水平用综合质量指数来表征并采用复合指标进行测度，在可获取性、完备性与科学性的基础上，参考已有研究成果，从经济发展、社会发展和城市建设 3 个层面选取 14 个指标构建城市综合发展水平指标体系（表 1），采用最大值法对数据进行标准化处理，并借助 SPSS 软件，运用主成分分析方法测度城市综合发展水平。

表 1 城市综合发展水平指标体系

Tab. 1 Evaluation index system of comprehensivedevelopment of cities		
目标层	准则层	指标层
城市综合发展水平指标体系	经济发展	地区生产总值、人均 GDP、二三产业产值比重、公共财政收入、固定资产投资额、居民储蓄存款余额
	社会发展	从业人员数量、社会消费品零售总额、城镇人均可支配收入、邮电业务量、卫生机构床位数
	城市建设	人均公园绿地面积、人均道路面积、建成区绿化覆盖率

1.4 数据来源

因区域内有关物流数据的获取较为困难，且货运能力通常借助货运量指标进行衡量，货运班次在区域联系中所占的比例较少，而城市间旅行时间和客运流更能反映区域可达性水平，因此，本文以客运交通作为联系媒介。同时考虑到铁路交通适用于省际城市间的长途运输，铁路客流数据具有准确性高和易获取的特点，能够较好地反映中原城市群省际城市间经济联系的现实情况。

因此，选用城市间铁路客运的最短旅行时间作为计算可达性与经济联系的基础数据，参考已有研究成果，数据来源于“携程网”，查询时间为 2017 年 8 月 10 日。查询过程中，首先选择两城市间所有直达客运列车中的最短旅行时间，若两城市间没有直达列车，该网站自动为其提供耗时最短的中转路线，本文只统计路程时间，不考虑换乘的中转时间和停留时间。社会经济数据来源于 2016 年《中国城市统计年鉴》，河南、山东、山西、河北及安徽各省份统计年鉴。

2 结果分析

2.1 可达性结果分析

2.1.1 可达性空间分异特征

基于铁路交通网络和城市综合质量指数，运用公式（1）、（2）计算中原城市群各地级市单元的可达性水平（表 2）。

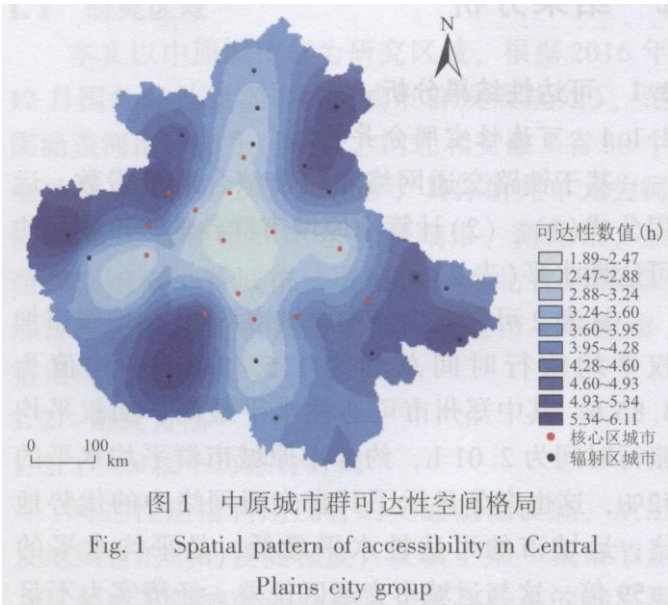
从表 2 可以看出，中原城市群 30 个地级市加权平均旅行时间总和为 115.47h，平均值为 3.85ho 其中郑州市可达性水平最高，加权平均旅行时间为 2.01h，约为中原城市群平均水平的 52%，这也充分显示了其在交通网络中的优势地位；运城市的可达性水

平最低，是平均水平的 1.59 倍，这与运城市交通区位差、经济实力不足等密切相关。从可达性系数来看，可达性水平高于和低于平均水平的城市均为 15 个，各占比 50%，其中河南省除周口、济源、濮阳、平顶山和南阳 5 个城市外，其余 13 个单元（占比 72%）的可达性均高于平均水平，河北省邢台、邯郸市的可达性系数也均小于 1。处于中原城市群外围区域的城市，如山东省菏泽、聊城，山西省长治、晋城、运城和安徽省宿州、亳州、阜阳、淮北、蚌埠，可达性系数大于 1，可达性低于区域平均水平。

表 2 中原城市群各城市可达性水平
Tab. 2 Accessibility of cities in Central Plains city group

城市名称	$A_i(h)$	A_i	城市名称	$A_i(h)$	A_i	城市名称	$A_i(h)$	A_i
郑州	2.010	0.522	邯郸	2.944	0.765	阜阳	4.741	1.232
新乡	2.409	0.626	焦作	2.961	0.769	长治	4.876	1.267
开封	2.449	0.636	三门峡	3.210	0.834	濮阳	4.937	1.283
洛阳	2.475	0.643	邢台	3.344	0.869	平顶山	5.012	1.302
许昌	2.499	0.649	信阳	3.789	0.984	淮北	5.066	1.316
驻马店	2.511	0.652	周口	3.945	1.025	晋城	5.109	1.327
商丘	2.594	0.674	宿州	4.007	1.041	聊城	5.432	1.411
鹤壁	2.703	0.702	济源	4.257	1.106	蚌埠	5.447	1.415
安阳	2.776	0.721	亳州	4.381	1.138	南阳	5.967	1.550
漯河	2.935	0.763	菏泽	4.580	1.190	运城	6.105	1.586

为更直观反映中原城市群可达性水平的空间分异格局，借助 ArcGIS10.3 软件对各城市的加权平均旅行时间进行克里金差值（图 1）。



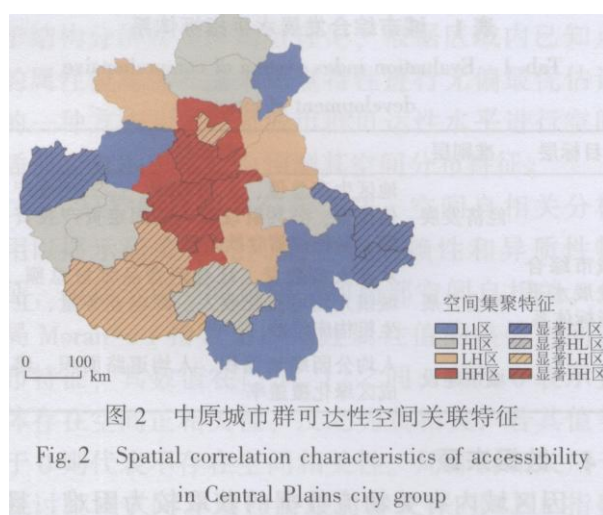
由图 1 可以看出，基于铁路交通的中原城市群可达性呈现明显的“十”字型空间格局，京广铁路和陇海铁路沿线城市可达性较好，沿“十”字向外扩展，可达性水平依次降低，中原城市群边界城市如聊城、濮阳、运城、南阳以及安徽省的蚌埠和淮北市，可达性最差。一方面，这些城市的铁路交通基础设施建设较为落后，除运城、蚌埠外，其他城市均未开通高铁路线；另一方面该地区均位于中原城市群边界地带，与核心区及其他城市的空间距离过大，平均加权旅行时间自然较高。进一步来看，南北方向上加权平均旅行时间的等值线较东西方向稀疏，即相同的可达时间下，南北向拉伸的距离远于东西向，表明南北向沿线城市的可达性优于东西向城市，且中原城市群北部地区的可达性水平高于南部地区。第三，核心发展区加权平均旅行时间均

值为 3.27h, 且 14 个城市集中分布于“十”字型干线上, 可达性水平较辐射区高, 其中郑州市位于区域几何中心, 承担了中原城市群区域内外交通枢纽的角色, 可达性最优。此外, 铁路交通的长距离运输特点及空间联系的跳跃性, 使得轴线联系中个别城市的跨区域联系性凸显, 如洛阳、商丘、漯河成为仅次于郑州市的交通枢纽, 可达性水平较高, 而辐射区加权平均旅行时间均值为 4.36h, 多分布于区域边缘地带。总体来看, 可达性水平与其距核心城市的距离呈现出一定的空间耦合性, 河南省城市及河北省邯郸和邢台市的可达性水平较其他区域高, 这是城市地理区位及铁路交通设施建设水平的共同结果。

2.1.2 可达性空间关联特征

借助 ArcGIS10.3 刻画中原城市群可达性水平

的空间关联特征, 全局自相关显示 Moran' s/值为 0.3278, 且 Z 值通过了 5%的显著性水平检验, 说明各地区可达性水平总体呈现空间正相关关系, 集聚特征明显。为进一步探索高低值的空间聚类形态, 运用 Geo-da 软件对可达性局部空间自相关格局展开分析(图 2)。



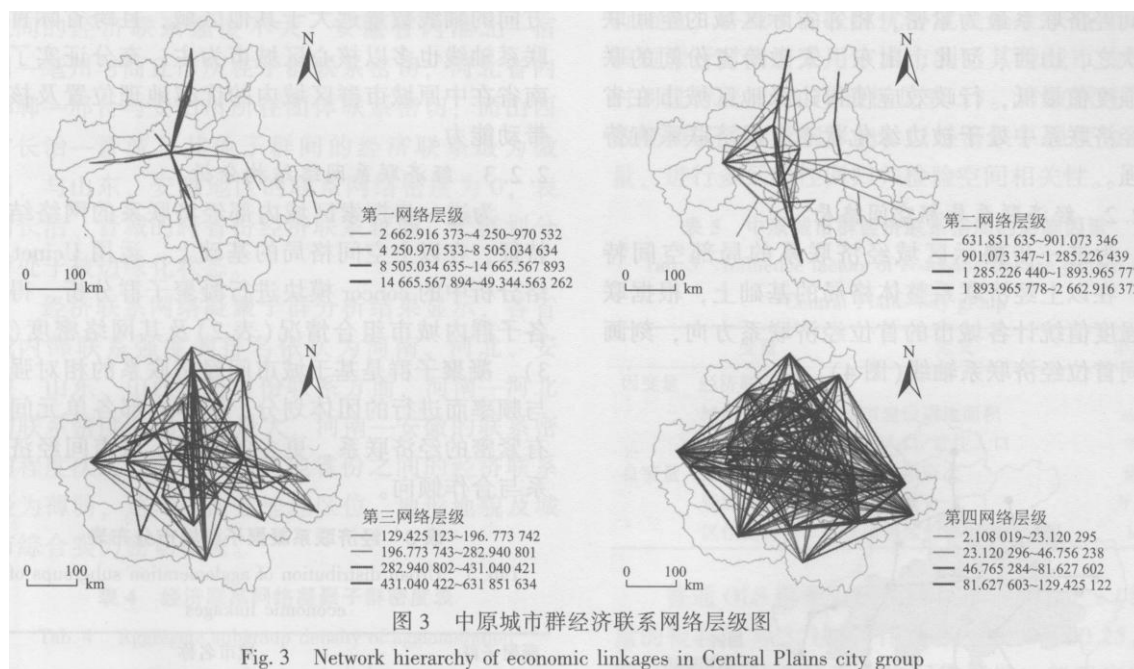
(1) 空间关联特征：空间分布上高高值和低低值集聚均呈现明显的块状形态, 集聚区域相对集中。HH 区为可达性水平的高值集聚区, 集中于郑州、开封、漯河、焦作、安阳等核心区城市, 且呈现出明显的“纺锤”形空间分布形态。高值集聚区域为多条交通干线的交汇处, 依托于良好的交通设施及天然地理优势, 由此至中原城市群其他单元的加权平均旅行时间较短, 均值为 2.58h, 可达性水平处区域最优状态。HL 区为高低值孤立区, 自身可达性水平较周围地区高, 该区域的斑块面积最小, 仅包含中原城市群 20%的地级市单元。LH 区主要分布于各省级行政单位的边界区域, 集中于中原城市群的西南、东北以及鹤壁、长治和周口市, 该区域位于中原城市群核心发展区外围, 自身的可达性水平较相邻周边地区低, 属于低高值空心地带。LL 区为低值萧条区, 集中于中原城市群的东南、西部外围边界, 地域范围上以安徽和山西省城市居多, 该低值集聚状态也验证了地区可达性水平与其至核心城市空间距离之间的耦合性特征。

(2) 显著空间关联特征：中原城市群可达性水平呈现显著关联特征的城市共有 11 个, 其中以显著 HH 区和显著 LL 区为主。显著 HH 区优势明显, 集中分布于郑州、开封、新乡、许昌五市形成的菱形区域内, 该区域位于中原城市群几何中心, 基于铁路交通的旅行时间普遍较短, 此外, 核心区高水平的城市综合质量对外具有较强的辐射与带动作用, 高值集聚现象明显。显著 LL 区分布于中原城市群边缘的运城、宿州和蚌埠市, 该区域与中原城市群其他单元间的经济联系薄弱, 区域可达性水平和城市综合质量指数普遍偏低。显著 HL 区和显著 LH 区分布于显著 HH 区外围, 数量较少且集中于核心发展区边界城市, 如鹤壁、平顶山、南阳和驻马店市, 该区域与周边城市相比可达性与城市综合质量水平发展不一, 空间上呈现出高低值孤立状态。

2.2 经济联系结果分析

2.2.1' 经济联系整体空间格局

运用公式(3)计算城市间经济联系强度并以此绘制联系轴线图,根据强度值划分联系网络层级,并借助 ArcGIS 自然断点方法对其进行空间可视化表达(图3)。



总体上看,城市间的经济联系格局符合联系愈强,数量愈少的生态规律,且沿铁路轴线分布态势明显。第一网络层级代表经济联系最为紧密的区域,呈现出以郑州为中心的“十”字型结构,具有较强的路径指向性,由图3可知,两条干线沿线城市经济联系最为密集,陇海线上郑洛、郑开联系轴线较为突出,京广线上郑州与安阳、新乡、焦作、许昌、漯河,安阳与鹤壁、邯郸、邢台之间的经济联系强度较大。第一网络层级中联系轴线共有30条,其中由郑州与其他城市形成的联系连线高达14条,占有第一层级联系轴线的47%;由河南省内城市与其他城市形成的联系轴线有28条,占比93%,由此可见河南省尤其是郑州市在中原城市群内的核心地位。第二网络层级呈现“一横两纵”格局,同时洛阳、许昌、开封、新乡四市形成紧密联系圈并向外辐射,且跨省之间的经济联系相对增多。该层级水平经济联系呈现多中心态势,洛阳、许昌、开封、新乡、商丘的次区域中心地位开始显现,在跨省界经济联系中,安阳与邯郸、邢台,商丘与菏泽、亳州的联系强度值较高。总体来看,第二层级网络格局仍是以河南省内城市间的经济联系为主,进一步凸显了河南省在中原城市群内的交通及经济地位。第三网络层级构成了区域内经济联系的基本框架,反映了中原城市群地级市单元间错综复杂的经济联系格局,地区性中心城市开始凸显,包括西部地区三门峡市,南部信阳,北部邯郸、邢台,以及东部地区的亳州和宿州市,这些城市向外的经济联系强度较大,在相应地区内交通优势明显,经济社会发展的辐射带动力相对较强。第四层级水平的经济联系最为微弱,广泛密集分布于中原城市群各地级市单元,空间上呈现出“钻石”型立体网络状联系格局且分层态势明显。由图可知,在省级单位行政体制下,省内城市间经济联系最为紧密,相邻省际区域的空间联系次之,山西、河北、山东、安徽跨省份间的联系强度值最低,行政效应使得边缘地区城市在省际经济联系中处于被边缘化状态,经济联系有待加强。

2.2.2 经济联系局部空间格局

为进一步揭示区域经济联系的局部空间特征,在以上经济联系整体格局的基础上,根据联系强度值统计各城市的首位经济

联系方向，刻画空间首位经济联系轴线（图 4）。

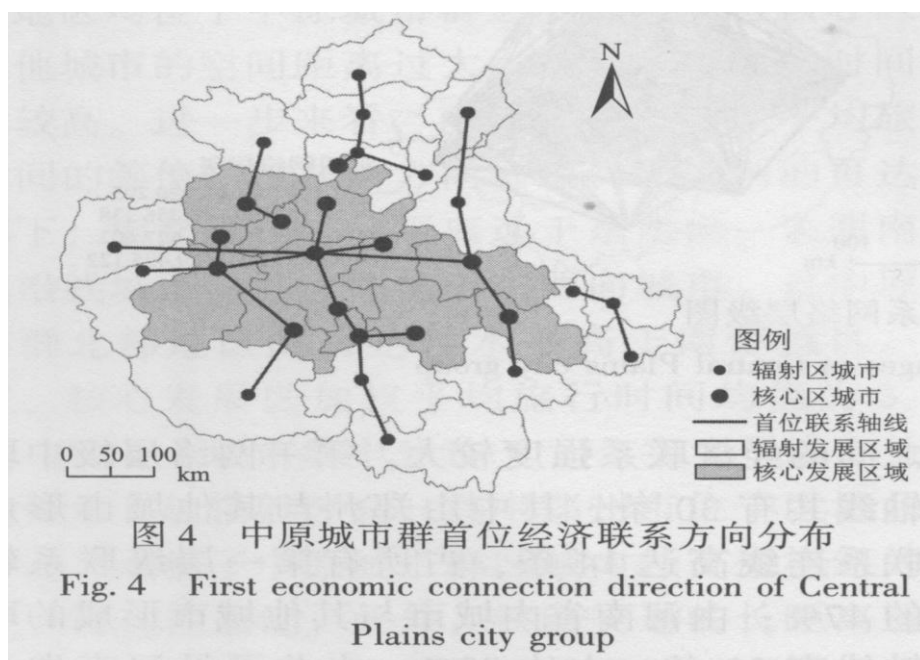


图 4 中原城市群首位经济联系方向分布

Fig. 4 First economic connection direction of Central Plains city group

经济联系的局部空间格局揭示了区域重要节点城市及其分布特征，郑州市为中心的辐射状联系格局明显，以其为首位经济联系方向的城市有 6 个，除山西省运城市以外，其他城市均集中于中原城市群核心发展区，表明河南省内部城市的经济联系较为密集。其次是商丘、洛阳、漯河及安阳市，分别位于核心发展区的东、西、南、北 4 个方位，是地区性中心节点和区域性次中心节点，以这些地区为首位联系方向的城市共有 12 个，其中跨省界的首位联系轴线有 4 条，表明该城市在区域内具有较强的联通性与辐射力。第三，中原城市群辐射发展区城市的首位联系方向相对分散，安阳、邢台的首位联系城市为邯郸，安徽省内蚌埠、淮北的首位联系城市为宿州，且省际边界城市的首位经济联系方向多以河南省内城市为主，如晋城的首位联系城市为焦作，运城的首位联系城市为郑州，菏泽、亳州均以商丘为首位联系城市。

总体来看，中原城市群经济联系局部空间呈现以核心区城市为中心向外辐射状格局，且整体凸显轴向特征。以河南省内城市为首位经济联系方向的轴线数量远大于其他区域，且跨省际首位联系轴线也多以核心区城市为主，充分证实了河南省在中原城市群区域内的优越地理位置及核心带动能力。

2.2.3 经济联系网络结构分析

为进一步探索区域内部经济联系的网络结构特征，在以上空间格局的基础上，运用 Ucinet 网络分析中的 concor 模块进行凝聚子群分析，得到各子群内城市组合情况（表 2）及其网络密度（表 3）。凝聚子群是基于城市间经济联系的相对强度与频率而进行的团体划分，团体内部各单元间具有紧密的经济联系，更多的体现了城市间经济联系与合作倾向。

由表 3 可知，中原城市群内部经济联系的组团状特征明显，在三级层面上可以分为 7 个较小的凝聚子群，各子群的城市分布基本符合空间临近原则，省内城市间经济联系较跨省份联系密切。表 4 中经济联系的总体网络密度为 0.557，整体经济联系较为松散，而各凝聚子群内部的网络密度值较高。具体来看，各团体内部的经济联系中，第一、二、六子群联系最为紧密，网络密度值均为 1，淮北—宿州—亳州、长治—晋城团体内部的网络密度值最低，子群内的经济联系相对薄弱。其次，各团体之间的经济联系上，郑州、洛阳所在子群与其他子群均保持有密切的经济联系，该群体多以核心发展区城市为主，数量上占城市总数的 47%，区域内各单元的城市综合质量水平较高、交通设施完善且空间上分布于中原城市群的中部、北部和西南地区，在区域整

体的功能联系中处于核心地位，能够引领中原城市群整体的经济联系与区域一体化发展。聊城、菏泽、亳州、阜阳四市跨省份组成第四凝聚子群，其内部联系网络密度达到 0.875,但与其它团体之间的经济联系强度不大。安徽省内淮北—宿州—亳州与商丘市所在子群联系密切，河北省内邯郸—邢台与安阳市所在团体联系密切，而山西省长治—晋城与其他子群间的经济联系最为微弱，与山东、安徽地区的联系网络密度为 0,表明长治、晋城的跨省份经济联系较弱，子群划分时处于被边缘化状态。

表 3 经济联系凝聚子群城市分布表

Tab. 3 Urban distribution of agglomeration subgroups of economic linkages

凝聚子群	城市名称
1	洛阳、新乡、焦作、开封、商丘、许昌、三门峡、南阳、济源
2	郑州、安阳、鹤壁、濮阳、运城
3	漯河、周口、驻马店、平顶山、信阳
4	聊城、菏泽、亳州、阜阳
5	淮北、宿州、亳州
6	邯郸、邢台
7	长治、晋城

表 4 经济联系网络凝聚子群密度表

Tab. 4 Aggregate subgroup density of agglomeration subgroups of economic linkages

	1	2	3	4	5	6	7
1	1.000	1.000	1.000	1.000	0.651	1.000	0.690
2	1.000	1.000	0.833	0.667	0.417	1.000	0.451
3	1.000	0.961	0.933	0.560	0.310	0.213	0.100
4	1.000	0.600	0.250	0.875	0.239	0.524	0.000
5	0.523	0.315	0.375	0.500	0.651	0.150	0.000
6	0.750	1.000	0.167	0.333	0.125	1.000	0.105
7	0.516	0.460	0.024	0.083	0.000	0.233	0.700

经济联系网络凝聚子群分析结果显示，各省域内部联系强度的排名依次为河南、河北、安徽、山东、山西；跨省份联系方面，河南—河北的联系密度和强度值最大，河南—安徽的联系密切程度次之，而山西与其他省份之间的经济联系最为薄弱，这与山西省地理区位、地形地貌及城市综合实力密切相关。

3 经济联系影响因素分析

中原城市群内经济联系格局作为一种现象表征，其内在有多种影响因素及形成机理。其中，城市自身吸引力与辐射力是经济联系发生的根本前提，城镇化发展良好的地区具有更为优越的集聚与扩散能力。同时，城市空间联系载体、沟通与转运能力是经济联系的重要保障，交通设施良好、资源流动便捷的区域具有更为密切的联系网络。此外，城市基础规模及空间地理区位也是影响人员及资本流动意向的重要因素。基于此，综合选取城市规模、城镇化水平、交通优势度、资源流通力和区位优势度作为经济联系的主要影响因素。具体而言，选取城市建设用地面积数据表征城市规模，采用城镇人口与常住人口比重来衡量城镇化水平，选取城市间铁路客运班次数据表征交通优势度，资源流通力借助城市客运总量进行衡量，各城市的区位优势度是基于铁路交通的最短旅行时间，采用该城市到达其他城市的平均时间进行表征（对应指标见表 5）。对数据进行对数变换以消除量纲影响，以经济联系强度为因变量，进行多元线性回归并检验空间相关性。

表 5 中原城市群经济联系格局的影响因素

Tab. 5 Influence factors of economic linkage pattern in Central Plains city group

变量	定义	单位
因变量经济联系强度		
城市规模	城市建设用地面积	m ²
城镇化水平	城镇人口 / 常住人口	%
自变量交通优势度	铁路客运班次	班
资源流通力	客运总量	万人
区位优势度	铁路客运的最短旅行时间	h

普通 OLS 模型分析结果显示, Moran's I 统计量的检验值为 3.127, 伴随概率为 0.00025, 说明经济联系存在显著的空间集聚性, 忽略空间交互作用来探索各因素与经济联系的关系显然是不合适的。另外, 拉格朗日乘数检验中, LMlag 较 LMerr 显著, 且稳健 R-LMlag 较稳健 R-LMerr 显著, 因此, 适于选择空间滞后模型进行量化分析, 结果见表 6。

模型估计结果中为 0.8954, 表明方程的拟合程度较好, 经济联系格局与各解释变量关系密切, 各因素回归系数均为正, 说明经济联系强度与各解释变量呈正相关关系。根据计量分析结果, 并结合以上空间分异特征分析经济联系强度的影响因素, 如下:

表 6 空间滞后模型分析结果

Tab. 6 Analysis results of spatial lag model

影响因素	回归系数	T 统计量	P 值
常数	0.346 8***	3.945 6	0.000 0
城市规模	0.328 8 ...	3.081 8	0.002 1
城镇化水平	0.129 1 *	1.609 8	0.054 2
交通优势度	0.529 7 ***	4.030 0	0.000 5
资源流通力	0.142 4**	2.536 1	0.012 5
区位优势度	0.162 8**	2.603 1	0.015 5

注: ***表示 0.01 的显著度, **表示 0.05 的显著度, *表示 0.1 的显著度。

(1) 城市规模对经济联系的影响作用较为明显。从联系强度值来看, 对外联系总量等级较高的地区多为基础规模强劲的核心城市或区域中心城市, 经济联系强度值最高的 10 个研究单元中, 郑州、洛阳、开封、邯郸、新乡和焦作 6 市的基础规模均排名前 10。城市的基础规模越大, 对外开放程度越高, 与周围区域经济联系的需求越大, 且伴随城镇化发展, 城市规模日益成为多方面基础实力的综合体现, 其对经济联系的影响力度有增无减。

(2) 城镇化对经济联系格局的形成具有推动作用。其回归系数为 0.1291, 通过了 10%水平的显著性检验, 表明城镇化水平的提高对于经济联系格局的优化发展具有积极影响。城镇化水平是衡量一个地区社会发展的重要标志, 一个地区的城镇化水平越高, 对外的辐射能力及人员与资本向其流动的意愿越强。纵观中原城市群, 郑州市城镇化水平位居区域首位, 对周围地区要素的集聚与扩散能力最强, 洛阳、邯郸位居其后, 对中原城市群西部及北部城市的辐射效应明显, 这些城镇化水平较高的城市对应的经济联系总量同样处于较高等级。反观经济联系强度较低的单元如亳州、宿州、淮北等地, 其城镇化均处于区域落后水平。

(3) 交通优势度是制约经济联系的决定性因素。其回归系数在众因素中为最大, 且通过了 1%水平的显著性检验。交通设施建设的发达与否, 直接影响城市、区域经济联系的强度与质量。从铁路客运联系来看, 交通设施对区域经济联系及网络特征的

影响较为明显，中原城市群可达性呈“十”字型空间格局，沿线城市的可达性水平较高且城市间经济联系密切；干线交汇处如郑州、商丘、安阳成为区域交通枢纽，空间联系中较为突出的轴线有郑洛、郑新、郑许、邯邢等，这些交通枢纽及轴线城市的经济联系总量均高于区域平均水平。

(4) 资源流通力是城市间经济联系、要素交流的重要保障。物流行业的蓬勃发展使得客货流量大、资源流转能力强的城市成为区域联系中心，这些城市是人流、物流和信息流的集散地，与其他地区保持有密切的交流与联系，具有城市建设良好、基础设施完善、经济发展潜力大等诸多优点。从客流量数值来看，省会城市、交通枢纽、传统物资转运城市对外联系的能力较强，此外，地处省际交界地带承担对外开放职能的城市如商丘、周口、阜阳、南阳等地也具有良好的资源流通能力。

(5) 区位优势度是城市可达性与对外经济联系的直接影响因素。城市在区域内的地理位置优越是一种天然优势，对外交通的便捷性使其在资源流动、就业发展等诸多方面具有较强的承载力，同时与其他地区的社会经济文化交流也最易发生。中原城市群核心发展区地处区域几何中心，城市可达性与经济联系总量均处于较高水平，区域内部间经济联系最为紧密，且多为首位经济联系城市；而边缘地区尤其是东南、西部边界城市，与中原城市群其他地区的经济联系较为薄弱。

4 结论与讨论

4.1 结论

本文基于铁路交通选取最短旅行时间数据、建立复合社会经济指标体系，借助模型与方法对中原城市群可达性与经济联系格局进行测度，识别了铁路客运网络可达性空间格局与城市间经济联系的主要发展方向。研究结论如下：

(1) 中原城市群各省辖市的铁路可达性水平不一，整体呈现出以郑州为中心的“十”字型空间格局，沿“十”字向外扩展可达性水平依次降低，这与中原城市群铁路干线走向呈现出高度耦合性。局部空间上，北部地区可达性水平高于南部地区且南北向沿线城市的可达性优于东西向城市，说明京广铁路对于区域空间联系的带动效应较陇海铁路显著。基于空间关联的分析显示，可达性水平的高值集聚区域分布于核心发展区，高低值孤立区和高值空心区零散分布于河南省边界城市，而中原城市群边缘城市的可达性水平普遍偏低，属于低值萧条区，该集聚状态也证实了地区可达性水平与其至核心城市空间距离之间存在的耦合性特征。

(2) 区域空间经济联系存在显著的地区分异现象，省内城市间经济联系最为紧密，相邻省际区域次之，山西、河北、山东、安徽跨省份间的联系强度最低。经济联系强度整体呈现出沿主要铁路干线延伸并随距离增加而不断减小的特征，联系网络的小团体集聚现象凸显，各凝聚子群内部城市联系密切，子群间整体联系相对松散，在一定程度上也反映了中部地区对于区域整体尤其是边缘地区的辐射带动能力还有待于提升。局部空间上，郑州与其他地区的经济联系轴线最多且强度较大，区域性核心地位凸显，其次是商丘、洛阳、漯河和安阳市，在分地区及跨省界联系中具有较强的联通性及辐射力。另外，区域内首位经济联系方向多以核心区城市为主，边缘地区受到行政效应影响，经济联系较为薄弱。

(3) 通过对中原城市群经济联系强度的测算与分析，可以看出城市间经济联系强度受到城市规模、交通条件、地理区位、资源流通力与城镇化水平等因素影响。交通优势度是制约经济联系的决定性因素，其回归系数最大，城市规模的影响作用次之，而地理区位优势是一种天然的地缘优势，此外，资源流通力是城市间功能联系的重要保障，城镇化建设对经济联系格局优化具有推动作用。以上五类因素交织影响形成了中原城市群经济联系的基本格局。

4.2 讨论

基于上述分析结果，区域边界尤其是西部和东南地区，集中连片的低可达性与薄弱经济联系制约了中原城市群整体水平的

提高，高铁时代的来临在加强城市间经济联系的同时，也进一步加深了上述区域的边缘化状态。而边缘地市具有沟通内外与跨区域协作的地缘优势，完善的交通基础设施是其沟通与联系外界的基本前提。因此，应推进边缘城市的铁路交通设施建设，积极分享高铁福利。加快建设郑济、郑万、郑合、郑太高速铁路，构建以郑州为中心的西北—东南和西南—东北发展轴，以此推动区域边缘长治、晋城、蚌埠、聊城、濮阳、南阳等城市扩容提质。与此同时，也应依托于主要铁路干线，着力促进郑州大都市区的深度融合与发展，增强其辐射带动力和资源整合力，强化核心区城市可达性与经济联系，并带动重要节点城市联动发展，使其成为中原城市群可达性与经济发展的重要增长极。此外，高铁时代下区域内的资源流动更为便捷，城市之间的经济联系强度与均衡化程度将进一步提升，因此，在中原城市群内统筹城市分工、调整产业结构、优化资源配置，对于区域整体可达性与经济联系水平的提高具有重要意义。

本文借助模型与方法对中原城市群可达性水平及经济联系格局做出了分析，能够为城市功能，定位及区域协调发展提供有价值的参考。基于铁路交通展开研究只代表一种可量化角度，分析结果并不能反映全部的现实状况，今后还需从不同类型运输方式或综合交通网络视角开展研究，以丰富相关理论体系。其次，区域经济联系基本格局是多种因素综合作用的结果，除去本文的 5 个影响因子，还需从资源禀赋、产业结构、行政效应、政策倾斜等方面展开分析。另外，区域可达性水平及经济联系状况涉及时空两个维度，如何从时间序列上对两者演变格局进行更加全面和深入的探讨，也是今后研究需要努力的方向。

参考文献：

- [1] 金凤君, 王成金, 王姣娥, 等. 新中国交通运输地理学的发展与贡献[J]. 经济地理, 2009, 29(10): 1588-1593. JIN F J, WANG C J, WANG J E, et al. Development and contribution of transportation geography since 1949 [J]. Economic Geography, 2009, 29(10): 1588-1593.
- [2] 陈洁, 陆峰, 程昌秀. 可达性度量方法及应用研究进展评述[J]. 地理科学进展, 2007, 26(5): 100-110. CHEN J, LU F, CHENG C X. Advance in accessibility evaluation approaches and applications [J]. Progress in Geography, 2007, 26(5): 100-110.
- [3] HANSEN W G. How accessibility shapes land-use [J] • Journal of the American Institute of Planners, 1959, 25: 73-76.
- [4] 李一曼, 修春亮, 孙平军. 基于加权平均旅行时间的浙江省交通可达性时空格局研究[J]. 人文地理, 2014, 29(4): 155-160. LI Y M, XIU C L, SUN P J. Analyzing spatial pattern and accessibility of comprehensive transport in Zhejiang Province [J]. Journal of Human Geography, 2014, 29(4): 155-160.
- [5] KWAN M P, MURRAY A T. Recent advances in accessibility research: representation, methodology and applications [J]. Geographical Systems, 2003(5): 129-138.
- [6] BOWEN J. Airline hubs in southeast asia: national economic development and modal accessibility [J]. Journal of Transport Geography, 2000(8): 25-41.
- [7] XUAN Z, SUXIA L. Analysis of impact of the MRT system on accessibility in Singapore using an integrated GIS tool [J]. Journal of Transport Geography, 2004(12): 89-101.
- [8] NIGEL HALPERN, SVEIN BRATHEN. Impact of airports on regional accessibility and social development [J] • Journal of Transport Geography, 2011, 19(6): 1145-1154.

-
- [9] 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):804-812.WANG C J, CHENG J J. Spatial pattern of expressway network accessibility and evolution in China [J]. Scientia Geographica Sinica, 2016, 36(6) : 804-812.
- [10] 高尚,薛东前.高铁背景下河南省铁路交通可达性与经济潜力格局[J].经济经纬,2017,34(2):13-18.GAO S, XUE D Q. The rail traffic reachability and economic potential structure in henan province on the background of high-speed rail [J]. Economic Survey, 2017, 34(2) : 13-18.
- [11] 姜海宁,谷人旭,陆玉麒,等.江苏省民用机场可达性及其服务能力评价[J].地理科学,2010,30(4):521-528. JIANG H N, GU R X, LU Y Q, et al. Assessment of accessibility and service capability of civil airports in Jiangsu Province [J]. Scientia Geographica Sinica, 2010, 30(4) : 521-528.
- [12] 李一曼,修春亮.浙江省陆路交通可达性与经济社会协调性研究[J].长江流域资源与环境,2014,23(6):751-757. LI Y M, XIU C L. Analyzing the relationship between accessibility of land transport and social economy in Zhejiang Province [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2014, 23 (6) : 751-757.
- [13] 陈少沛,邱健妮,庄大昌.基于潜力模型的广东城市可达性度量及经济联系分析[J].地理与地理信息科学,2014,30(6):64-69. CHEN S P, QIU J N, ZHUANG D C. Urban accessibility measure and economic connection analysis in guangdong province based on potential model [J]. Geography and Geo-Information Science, 2014, 30(6): 64-69.
- [14] 孟德友,陆玉麒.基于铁路客运网络的省际可达性及经济联系格局[J].地理研究,2012,31(1):107-122. MENG D Y, LU Y Q. Analysis of inter-provincial accessibility and economic linkage spatial pattern based on the railway network [J]. Geographical Research, 2012, 31(1): 107 - 122.
- [15] 梅志雄,徐颂军,欧阳军.珠三角公路网络可达性空间格局及其演化[J].热带地理,2014,34(1):27-33. MEI Z X, XU S J, OU Y J. Spatial pattern and evolution of road network accessibility in the Pearl River Delta [J]. Tropical Geography, 2014, 34(1): 27-33.
- [16] 刘承良,段德忠,余瑞林,等.武汉城市圈城乡道路网络结构演化及复杂性研究[J].地理科学,2014,34(4):401-409. LIU C L, DUAN D Z, YU R L, et al. Topological structure evolution and complexity of urban-rural road network in Wuhan Metropolitan Area [J]. Scientia Geographica Sinica, 2014, 34 (4) : 401-409.
- [17] 刘承良,余瑞林,段德忠.基于空间句法的武汉城市圈城乡道路网通达性演化分析[J].地理科学,2015,35(6):698-707. LIU C L, YU R L, DUAN D Z. The evolution of spatial accessibility of urban-rural road network based on the space syntax in Wuhan Metropolitan Area [J]. Scientia Geographica Sinica, 2015, 35(6) : 698-707.
- [18] 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. MENG D Y, LI X J, FAN X S. Evolution of spatial pattern of traffic accessibility under the expressway construction in Central Plain Economic Region [J]. Areal Research and Development, 2016, 35(2) : 36-40.
- [19] 陈博文,陆玉麒,柯文前,等.江苏交通可达性与区域经济发展水平关系测度——基于空间计量视角[J].地理研究,2015,34(12):2283-2294. CHEN B W, LU Y Q, KE W Q, et al. Analysis on the measuring of the relationship between transportation accessibility and level of regional economic growth in Jiangsu: based on spatial econometric perspective [J].

Geographical Research, 2015, 34 (12): 2283-2294.

[20] 陶卓霖, 杨晓梦, 梁进社. 高速铁路对长三角地区陆路可达性的影响[J]. 经济地理, 2016, 36(08): 40-46. TAO Z L, YANG X M, LIANG J S. Impact of high-speed rail on land transportation accessibility of Yangtze River Delta [J] • Economic Geography, 2016, 36(08) : 40-46.

[21] 王成金, 王伟, 张梦天, 等. 中国道路网络的通达性评价 与演化机理[J]. 地理学报, 2014 , 69(10): 1496-1509. WANG C J, WANG W, ZHANG M T, et al. Evolution, accessibility of road networks in China and dynamics: From a long perspective [J]. Acta Geographica Sinica, 2014, 69 (10) : 1496-1509.

[22] 曹小曙, 李涛, 杨文越, 等. 基于陆路交通的丝绸之路 经济带可达性与城市空间联系 U]. 地理科学进展, 2015, 34(6) : 657-664. CAO X S, LI T, YANG W Y, et al. Accessibility and urban spatial connections of cities in the silk road economic belt based on land transportation [J]. Progress in Geography, 2015, 34 (6) : 657-664.

[23] 李红, 李晓燕, 吴春国. 中原城市群高速公路通达性及 空间格局变化研究[J]. 地域研究与开发, 2011, 30(1): 55-58. LI H, LI X Y, WU C G. Study on highway accessibility and spatial layout alteration of central china urban agglomeration [J]. Areal Research and Development, 2011, 30(1): 55- 58.

[24] 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. HUANG J, ZHONG Y X, LI J X, et al. Economic accessibility of provincial capital cities in China based on the presence of high-speed rails [J]• Geographical Research, 2016, 35(4): 757-769.

[25] 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) : 109-113. LI C X, WU K N, GAO X, et al. Urban accessibility measure and economic connection analysis based on potential model: a case study of Tangshan city [J]. Modern Urban Research, 2017(2) : 109-113.

[26] 王妙妙, 曹小曙. 基于交通通达性的关中——天水经济区 县际经济联系测度及时空动态分析[门]. 地理研究, 2016, 35(6) : 1107-1126•WANG M M, CAO X S. The measurement of inter-county economic linkage and spatio-temporal dynamics analysis in guanzhong-tianshui economic region based on the traffic accessibility [J]. Geographical Research, 2016, 35(6) : 1107-1126.

[27] 史琴琴, 康江江, 鲁丰先, 等. 山西省县域可达性及城市 经济联系格局[J]•地理科学进展, 2016, 35 (11): 1340-1351. Q Q, KANG J J, LU F X, et al. Accessibility and urban economic linkages of counties in Shanxi Province [J]. Progress in Geography, 2016, 35(11) : 1340-1351.