

# 中原经济区县际经济联系网络结构及其演化特征

李亚婷<sup>1,2</sup>, 潘少奇<sup>2</sup>, 苗长虹<sup>1,2</sup>

(1. 河南大学黄河文明与可持续发展研究中心暨黄河文明传承与现代文明建设河南省协同创新中心, 开封 475001; 2. 河南大学环境与规划学院, 开封 475004)

**摘要:** 以中原经济区县级行政单元为网络节点, 利用重力模型分别测算 1996 年、2010 年 226 个节点间的经济联系强度。首先设定同一阈值筛选有效连接, 分析网络连通能力变化; 再设定不同阈值, 分析网络结构及其演化特征。研究发现: ① 中原经济区经济网络连通能力有大幅度提高, 经济发展和交通改善是网络稠密化和便捷化的主要原因。② 节点连通能力差异很大, 少数节点掌握着绝对的网络权力, 郑州市等 5 个核心节点的地位尤其突出, 其连线呈横向“T”字形, 建设“十”字形发展轴需要提升东部节点的连通能力。③ 网络呈明显的核心—外围结构并有极化趋势, 核心区影响力和辐射力进一步增强, 中原经济区只有提高边缘“洼地”节点连通能力才能加强与毗邻区的融合发展。④ 网络节点集聚现象明显, 围绕次级核心节点形成了多个轴—辐结构子网络, “十”字形发展轴和“米”字形发展带的构建与发展, 将有利于形成多重轴—辐结构嵌套的经济联系网络。⑤ 郑州市等高度值节点因较强的连通能力成为网络中的中介节点, 一些度值不高的节点因处于“结构洞”位置上也具有较强的中介作用, 在提高中介节点连通能力的同时, 需要改善低度值中介节点所在小区域的经济和交通状况。

**关键词:** 经济联系网络; 空间格局; 演化; 中原经济区

DOI: 10.11821/dlyj201407005

## 1 引言

在经济全球化与区域经济一体化进程不断加快的背景下, 区域间不断进行的物质、能量、信息交换使区域不再是一个个的“孤立国”, 而是相互联系、相互作用并形成复杂的区域经济网络。区域经济网络的时空格局及演化是区域经济学、经济地理学研究的重点范畴<sup>[1]</sup>。区域间经济联系往往用相互作用强度来测度, 重力模型是比较常用的一种具体测度方法<sup>[2,3]</sup>。1929 年, 赖利 (Reilly W J) 将牛顿力学重力模型引入地理学中提出了“零售引力定律”, 为定量分析区域空间联系奠定了理论基础<sup>[4]</sup>。20 世纪 90 年代开始, 以重力模型测算区域间经济联系强度的方法在国内得到广泛应用, 杜国庆等<sup>[5-9]</sup>分别用重力模型分析了全国或省域的经济网络结构。在实际应用中, 学者们也提出了很多关于重力模型的修正方法, 比如在区域质量计算中引入“复合人口”概念<sup>[10]</sup>, 用综合评估方法获得区域综合质量<sup>[11]</sup>, 用对外经济服务量作为区域质量<sup>[9]</sup>, 用通勤时间或时间与货币成本平方根替代节点距离<sup>[8,11]</sup>, 在模型中引入同业影响因子和空间滞后因子<sup>[12]</sup>等。进入 21 世纪, 虽然有越来越多的学者开始通过区域投入产出表<sup>[13]</sup>、区域物资流量<sup>[14]</sup>或利用航空网<sup>[15-21]</sup>、

收稿日期: 2013-12-05; 修订日期: 2014-04-08

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41329001, 41001359)

作者简介: 李亚婷 (1981-), 女, 河南西华县人, 博士研究生, 讲师, 研究方向为区域发展与规划、GIS 应用研究。E-mail: ylti81@126.com

通讯作者: 苗长虹 (1965-), 男, 河南鄢陵县人, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为经济地理与区域发展。E-mail: chhmiao@henu.edu.cn

铁路网<sup>[22,23]</sup>、互联网<sup>[24-26]</sup>、跨国公司联系网<sup>[27,28]</sup>进行区域经济网络研究,但重力模型因其原理清晰、数据易获取且比较适用于均质平原上核心—外围结构研究而依然广为应用。

基于重力模型的经济联系测度和基于物质流、交通流、信息流的网络模拟是两种目前比较流行也有效的区域经济网络研究方法。已有研究多以地市级行政单元或城市为节点,在分析全国范围经济网络时,这种尺度的节点可以保证研究精度,但在经济区、省域或城市群范围的研究中,地市级节点往往只有十几个甚至几个,过少的节点和连接可能使网络比较稀疏,不能很好反映区域经济网络结构特征。在构建网络时,许多研究通过设定经济联系强度阈值,将大于阈值的连线视为有效连接,实现对节点间联系的 $[0, 1]$ 二值化<sup>[13,14,29]</sup>。这种方法存在的问题在于,在研究期内如果采用同一阈值建立不同时间断面上的经济联系网络,可以清晰地发现网络连通能力变化,但不易进行网络结构和节点角色分析;如果在不同时间断面按同一指标分别确定阈值,则方便进行网络结构和节点角色分析,却难以发现网络连通能力变化。从研究区域方面来看,已有研究主要关注全国<sup>[7,9,17-22]</sup>或长三角<sup>[30]</sup>、珠三角<sup>[31]</sup>、山东半岛<sup>[32]</sup>、辽中南<sup>[33]</sup>等经济比较发达、网络相对密集的区域,对于经济发展能力不强、网络发育不够完善的区域关注相对较少。

中原经济区地处黄河中下游地区,位居中国中部地带,涵盖了河南全省及山西的运城、晋城、长治,河北的邯郸、邢台,山东的菏泽、聊城,安徽的蚌埠、阜阳、宿州、淮北、亳州,共计30个省辖市、201个县,区域面积28.9万 $\text{km}^2$ ,2011年末总人口1.79亿,地区生产总值4.2万亿元,分别占全国的3%、13.3%和9%。

中原经济区是中部崛起战略的重要引擎,也是全国区域经济协调发展的战略支点。加强区内不同县市间的经济合作,构建科学合理的区域经济联系网络,是中原经济区建设的重要内容。《国务院关于支持河南省加快建设中原经济区的指导意见》提出,中原经济区要按照“核心带动、轴带发展、节点提升、对接周边”的原则,形成放射状、网络化空间开发格局。系统分析中原经济区经济联系网络结构及其演化特征,对中原经济区空间开发格局的塑造和优化具有指导作用。本文以中原经济区为研究对象,以县级行政单元(含市区)为网络节点,利用重力模型测算1996年、2010年两个时间断面上节点间经济联系强度。首先设定同一强度阈值筛选有效连接,绘制区域经济联系网络并分析网络连通能力变化;再设定同一指标的不同阈值,来分析经济联系网络的空间结构及其演化特征。

## 2 研究方法 with 数据来源

### 2.1 研究方法

本研究主要包括网络绘制和网络分析两个环节,研究框架如图1所示。采用重力模型<sup>[6]</sup>计算节点间的经济联系强度,并以此绘制区域经济联系网络。模型中区域质量通过求各节点人口与GDP的几何平均数得到;节点间的距离用公路最短旅行时间(即可达性)表示。计算得到1996年所有节点间经济联系强度平均值为 $I_{1996}$ ,2010年所有节点间经济联系强度平均值为 $I_{2010}$ 。首先均以 $(I_{1996} + I_{2010})/2$ 为阈值,筛

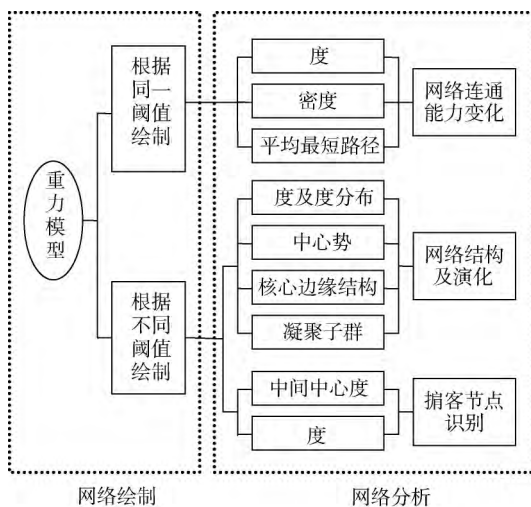


图1 研究思路与方法

Fig. 1 Research ideas and methods

选有效连接并绘制两个年份经济联系网络, 对比分析网络连通能力变化; 再分别以  $2 \times I_{1996}$ 、 $2 \times I_{2010}$  为阈值绘制网络, 进行网络结构及演变分析。

区域经济联系网络研究的重点是考察网络内部通达性、分析组团结构和识别重要节点。测度网络通达性, 主要基于节点度 (degree)、网络密度 (density)、网络平均最短路径 (average shortest length path) 等指标。分析组团结构及其演化, 则通过分析节点度和度分布规律、进行核心—边缘结构 (centripetal-centrifugal) 和凝聚子群 (cohesive subgroup) 划分, 来判定网络发育是否均匀, 是否存在核心—边缘结构, 哪些是网络的核心节点和集聚区, 并通过对比节点度值基尼系数、集中度指数和网络中心势 (centralization) 来分析网络演化趋势; 中介节点 (broker) 的识别主要基于节点的中间中心度 (betweenness centrality)。

上述指标中, 节点度是指与该节点直接连通的节点个数; 网络密度是网络中现有连接数与理论最大连接数的比值, 该指标越大 (最大值为1) 说明网络连通性能越好; 网络平均最短路径是网络任意两节点间最短路径的平均值, 该指标数值越小 (最小值为1) 说明网络连通性越好; 网络中心势主要用来测度网络对核心节点的依赖程度, 单核心星形网络中心势为1, 全连通网络中心势为0; 节点的中间中心度为网络中任意非邻接点对间最短路径通过该节点的概率之和与理论最大概率值的比值。

## 2.2 数据来源及处理

以1997年测绘出版社出版的《中国公路交通地图册》和2011年中国地图出版社出版的《中国区域交通旅游详图》两个时间断面交通图为资料来源, 将中原经济区30个地级市和196个县(市)<sup>①</sup>抽象为道路网络中的节点, 构建中原经济区公路网络体系, 利用ArcGIS网络分析功能获得任意两节点间的最短通行时间, 建立时间距离矩阵。鉴于在经济区尺度上公路是其主要连通方式, 计算中仅考虑了高速公路、国道和省道三级公路。根据中华人民共和国行业标准《公路工程技术标准》(JTGB01-2003), 设定高速公路、国道、省道行车速度分别为: 100 km/h、70 km/h、50 km/h。文中涉及的其他属性数据主要来源于1997年、2011年《河南统计年鉴》、《河北经济年鉴》、《山西统计年鉴》、《山东统计年鉴》、《安徽统计年鉴》, 2011年《中国区域经济统计年鉴》, 其中2010年的GDP平减至1996年价格水平。

# 3 结果分析

## 3.1 网络连通能力明显增强

1996年、2010年中原经济区经济联系网络所有节点间联系强度的平均值为850, 以其为阈值筛选保留有效连接并分析网络连通能力变化。在1996年经济联系网络中, 联系强度超过850的连线共有1079条, 其中1万以内的有1025条, 1万~2万之间的有33条, 2万~3万之间的有18条, 3万~4万之间的有2条, 4万以上的仅有1条; 新县等17个节点所有对外经济联系强度均小于850, 成为游离于经济联系网络之外的孤立点。在2010年经济联系网络中, 联系强度超过850的连线共有7317条, 其中1万以内的有6716条, 1万~5万之间的有539条, 5万~10万之间的有44条, 10万~15万之间的有10条, 超过15万的有8条。1996-2010年, 中原经济区经济联系网络节点间有效连接的强度总和由331万增长到3210万, 网络所有节点度值总和由2158增长到14634, 网络密度由0.042增加到了

<sup>①</sup>注: 县、市行政单元共231个, 因安阳县、濮阳县、邯郸县、濉溪县、泽州县分别与安阳市、濮阳市、邯郸市、淮北市、晋城市存在同城情况, 因此与临近市级节点合并。

0.288。这说明,2010 年中原经济区节点间经济联系总量和联系频度比 1996 年有了大幅度的提升。

经济联系网络的稠密化明显提高了区域内部联系的便捷程度。研究期内网络平均最短路径由 3.196 减少到了 1.722,网络连通便捷程度提高了近 50%。经济联系网络稠密化和便捷化源于区域经济发展和交通条件改善。1996 年,中原经济区总人口为 1.55 亿人,GDP 总量为 6032.78 亿元,任意两节点间的平均可达时间为 5.45 h;2010 年,区域总人口达到了 1.67 亿人,GDP 总量为 23250.70 亿元,任意两节点间的平均可达时间为 4.03 h。期间区域总人口和 GDP 分别增长了 7.74% 和 285.41%,而节点间平均可达时间则减少了 26.06%。

3.2 网络发育不平衡,呈现核心—边缘结构

分别以当年经济联系强度平均值的 2 倍为阈值,绘制中原经济区 1996 年和 2010 年的经济联系网络(图 2)。从节点度值分布概率来看(图 3),两年经济联系网络节点度值均呈现分层结构,具有较明显的“右倾斜长尾分布”特征。度值在中位数以下的节点数量分别占节点总数的 77.43% 和 76.11%,表明中原经济区经济联系网络中大多数节点的度值较小,居于网络边缘;少数关键节点度值很大,掌握着绝对的网络权力。其中,郑州市度值在两个年份中都居于首位且明显高于其他节点,说明郑州市一直是中原经济区经济联系网络的首要核心;安阳市、洛阳市、邯郸市、漯河市也都具有较高的度值,可以视

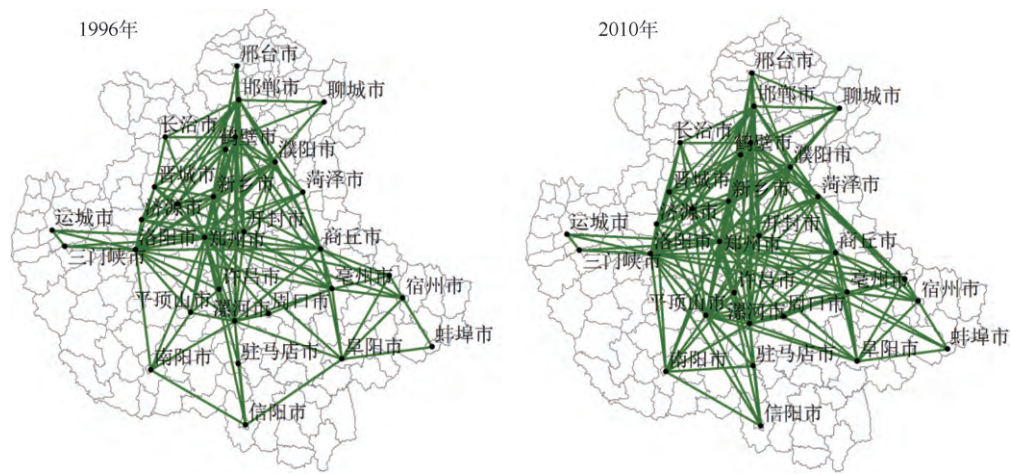


图 2 中原经济区经济联系网络  
注:为便于观察和分析网络结构,图中只纳入了 30 个地市级节点  
Fig. 2 Economic linkage network of Central Plains Economic Zone in 1996 and 2010

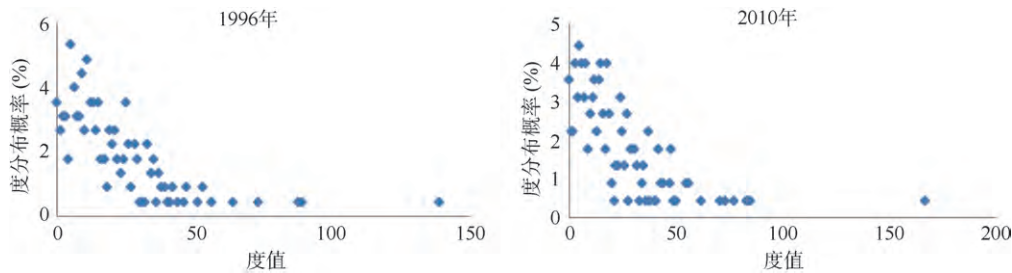


图 3 节点度值分布概率  
Fig. 3 Distribution probability of nodes' degree in 1996 and 2010

为网络的副中心。从现有网络格局看，五个核心节点主要分布在经济联系网络中部，其连线呈横向的“T”字形状，网络东部缺少连通能力较强的核心节点；中原经济区要想建设“十”字形发展轴，还需对商丘市、周口市、菏泽市等东部节点给予更多的支持和帮助。

分析节点度值高低原因可以发现（图4），高度值节点不仅具有相对较高的区域质量，往往也在交通网络中发挥着连南贯北、承东启西的作用，在对外交通可达性方面具有明显优势。比如，中原经济区高速公路的飞速发展（图5）使平顶山市和濮阳市的交通条件得到极大改善，1996年平顶山市和濮阳市到中原经济区其他县市的平均最短时间

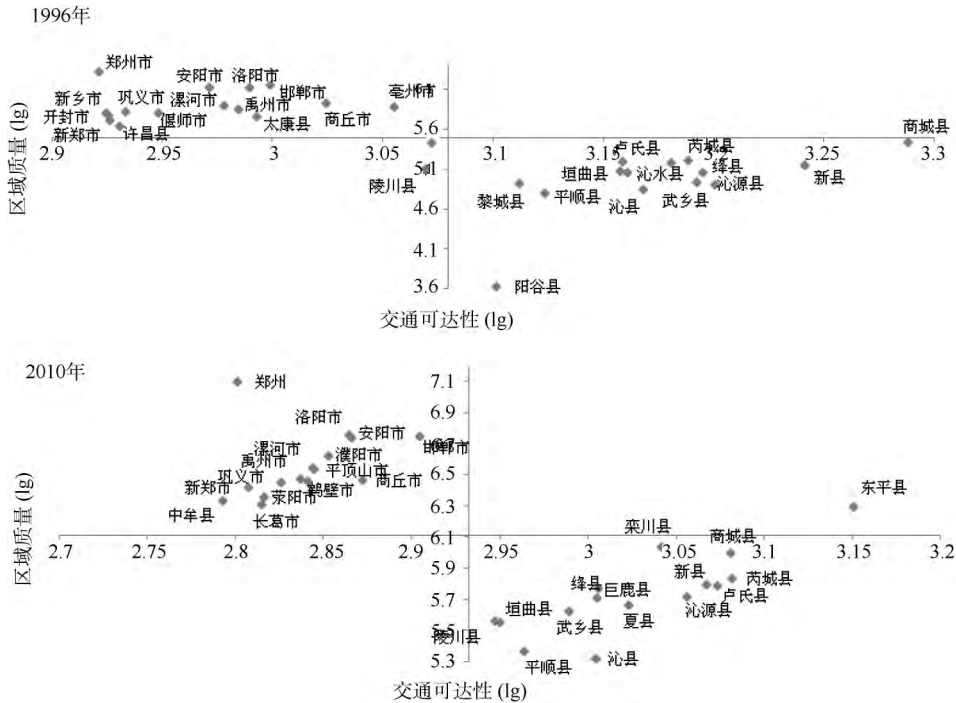


图4 度值排名前15位和后15位节点的区域质量和交通可达性

Fig. 4 The first and the last 15 nodes in regional quantities and transportation accessibility

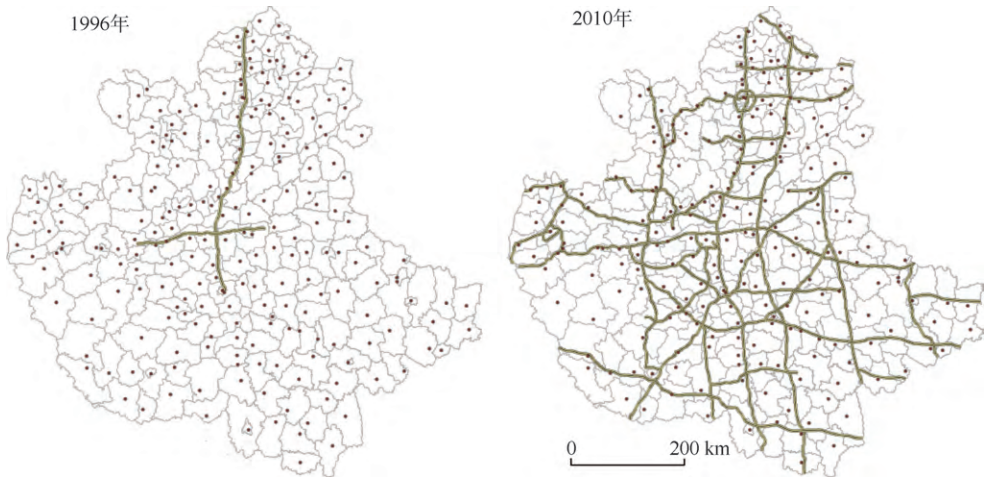


图5 中原经济区高速公路网

Fig. 5 The freeway network of Central Plains Economic Zone in 1996 and 2010

分别为5.22 h和5.27 h，2010年则缩短到3.11 h和3.17 h。同样，东平县2010年的区域质量排名较1996年明显提高，但由于交通相对落后，目前尚无高速公路通过，因此该县与其他县市的经济联系相对较弱。而在交通发展轴线上的荥阳市、长葛市和中牟县，由于快速的工业化以及政府投资倾斜，区域经济迅速发展，区域质量得到极大提高。

对网络核心—边缘结构分析显示，1996年经济联系网络中处于核心区的节点有85个，处于边缘区的节点有141个；2010年经济联系网络中处于核心区的节点有87个，处于边缘区的有139个。1996年网络核心区和边缘区的密度分别为0.289、0.036，核心区与边缘区之间的联系密度为0.058；2010年网络核心区和边缘区的密度分别为0.317、0.030，核心区与边缘区之间的联系密度为0.069；核心区、边缘区密度差距十分明显，且核心区与边缘区之间的联系密度远远小于核心区的网络密度。这说明，中原经济区经济联系网络呈现明显的核心—边缘结构，多数节点居于联系密度较低的边缘区。2010年与1996年相比，网络核心区的密度略有增加而边缘区密度略有减少。在30个地市级节点中，由边缘区进入核心区的有蚌埠市、南阳市、邢台市，说明这3个节点在网络整体连通中的带动作用正逐步增强；三门峡市、信阳市、宿州市、运城市、长治市、周口市、驻马店市等7个节点则一直处于网络边缘区（表1），成为经济联系网络中的“洼地”。

2010年与1996年相比，度值增大的节点有116个，不变的有20个，减少的有90个。节点度值的此消彼长会导致网络结构的演变。1996年、2010年节点度值的基尼系数分别为0.447、0.465，说明2010年节点连通能力间的差距比1996年略有增加；2010年节点度值的前1、10、20位集中指数比1996年分别增加了8.72%、6.74%、0.97%；且研究期内网络中心势由42.01%增加到45.07%；由此可以看出中原经济区经济联系网络正处于极化阶段，网络核心的影响力和辐射力正在逐步增强。

3.3 网络呈现不同等级的轴—辐结构

采用Ucinet的Concor对中原经济区经济联系网络进行凝聚子群分析（图6、表2、表3），旨在根据节点联系的亲疏程度对网络集聚区进行识别。为了避免干扰，排除了度值为0的节点。1996年划分出的4个子群在空间上大体呈现“东—西—南—北”的分布特征。第一子群主要包括豫中及豫西北地区，包含了郑州市、洛阳市、安阳市等重要节点；该子群以郑州市为核心，在四个子群中密度最高，是中原经济区经济联系网络发育最好的区域。第二子群主要包括冀南地区，以邯郸市为区域核心。第三子群主要包括豫东、皖西、鲁西南交界地区，由商丘市和亳州市共同组成区域核心。第四子群主要包括豫西南地区，节点数量少，网络发育较差。2010年划分出的4个子群大体呈现“东—西—中—北”的分布特征。第一子群主要包括豫北、晋东南地区，以安阳市为区域核心。

表1 30个地市级节点的核心—边缘分布  
Tab. 1 Core-peripheral distribution of 30 municipal nodes

时间	区域	节点
1996	核心区	安阳市、亳州市、阜阳市、邯郸市、菏泽市、鹤壁市、淮北市、济源市、焦作市、晋城市、开封市、聊城市、洛阳市、漯河市、平顶山市、濮阳市、商丘市、新乡市、许昌市、郑州市
	边缘区	蚌埠市、南阳市、三门峡市、信阳市、邢台市、宿州市、运城市、长治市、周口市、驻马店市
2010	核心区	安阳市、蚌埠市、亳州市、阜阳市、邯郸市、菏泽市、鹤壁市、淮北市、济源市、焦作市、晋城市、开封市、聊城市、洛阳市、漯河市、南阳市、平顶山市、濮阳市、商丘市、新乡市、邢台市、许昌市、郑州市
	边缘区	三门峡市、信阳市、宿州市、运城市、长治市、周口市、驻马店市

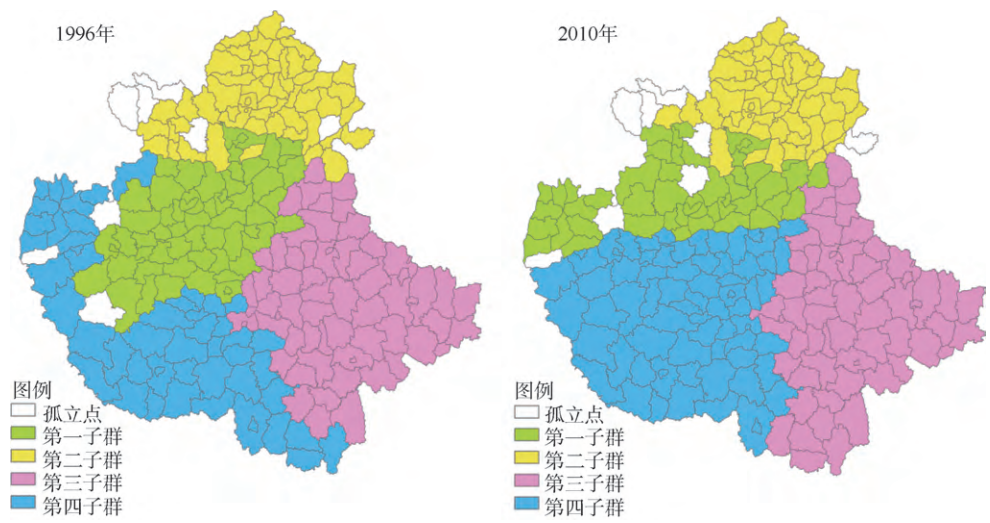


图6 中原经济区经济联系网络凝聚子群

Fig. 6 The cohesive subgroups of the economic linkage network in 1996 and 2010

表2 中原经济区经济联系网络凝聚子群情况

Tab. 2 Cohesive subgroups in the network						
年度	子群	节点数	占全网比例 (%)	度值总和	占全网比例 (%)	核心节点
1996	1	56	25.69	1638	39.30	郑州市
	2	55	25.23	834	20.01	邯郸市
	3	57	26.15	1199	28.77	商丘市—亳州市
	4	50	22.94	497	11.92	平顶山市—南阳市
2010	1	40	18.35	906	19.67	安阳市
	2	50	22.94	739	16.04	邯郸市
	3	57	26.15	1030	22.36	商丘市—亳州市
	4	71	32.57	1931	41.92	郑州市

表3 中原经济区经济联系网络凝聚子群密度表

Tab. 3 Density of the cohesive subgroup in the network									
1996年	子群1	子群2	子群3	子群4	2010年	子群1	子群2	子群3	子群4
子群1	0.386	0.046	0.057	0.036	子群1	0.262	0.068	0.014	0.102
子群2	0.046	0.228	0.005	0.000	子群2	0.068	0.229	0.001	0.011
子群3	0.057	0.005	0.229	0.025	子群3	0.014	0.001	0.238	0.061
子群4	0.036	0.000	0.025	0.131	子群4	0.102	0.011	0.061	0.278

第二、三子群与1996年相比变化不大，且仍分别以邯郸市、商丘市—亳州市为区域核心；第四子群则涵盖了豫中、豫西南地区，在4个子群中节点数量最多且网络密度最大，说明研究期内豫中地区同豫西南地区间的经济联系有较大幅度增强。

从子群密度看，1996年4个子群内的网络密度均大于全网密度0.088，2010年4个子群内的密度也大于全网密度0.097，但子群间联系都很弱。除了2010年第一子群同第四子群间联系稍强外，其余子群间的联系密度均远低于网络平均水平。这说明，中原经济

区经济联系网络存在区域“抱团”现象，在以郑州市为首位核心的轴—辐结构整体网络中，围绕次级核心节点洛阳市、邯郸市、安阳市、平顶山市等还形成了多个轴—辐结构的子网络，这些子网络通过或强或弱的连接，组成了庞大复杂的整体经济联系网络。

3.4 中介节点在网络连通中发挥重要作用

节点在经济联系网络中的重要性不仅与其度值相关，更与其在网络中的中介作用密切相关。中间中心度是描述节点中介作用的参数，中间中心度高的节点往往居于其他节点的最短连接线上，发挥着不可或缺的中介作用。研究期内，郑州市、邯郸市、安阳市、洛阳市、漯河市、信阳市的中间中心度一直名列前茅，说明他们始终是网络中重要的中介节点。比如郑州市的中间中心度均大于45%，也即网络所有点对最短连接通道中将近一半都要通过该市，由此可见郑州市是网络连通最重要的枢纽。

对比节点中间中心度和度值可以发现（表4），节点在网络中的中介作用与度值并不绝对正相关。中间中心度排名前10位的节点中，1996年的运城市、长治市、信阳市、晋城市和2010年的淮北市、信阳市、河津市的度值排名都比较靠后，说明虽然与这些节点直接连接的节点数目不是特别多，但它们却扼守在局部高密度相互联系的最短通道上，扮演着“结构洞”的角色，也是全网连通中不可或缺的重要节点。如1996年经济联系网络中运城市度值仅为11，但位于其西部的临猗县、闻喜县、夏县、永济市、河津市、稷山县、新绛县对外连通情况更差，这些节点要与东部节点相连，绝大部分最短连接通道都要经过该市，因此运城市成了西北一隅对外连通的门户。

从节点中心度和度值的变化来看（表5），在30个地级市节点中，二者均增大的节点有13个，这些节点对外连通能力提升明显，中介作用也显著增强；中间中心度减小但度

表4 中原经济区经济联系网络中介节点  
Tab. 4 Broker nodes in the network

1996年	中间中心度(%)	度值	度值排名	2010年	中间中心度(%)	度值	度值排名
郑州市	45.64	139	1	郑州市	48.81	167	1
邯郸市	11.63	88	3	邯郸市	12.70	83	4
安阳市	8.33	89	2	安阳市	5.10	84	3
运城市	7.69	11	133	洛阳市	4.67	85	2
洛阳市	6.34	73	4	漯河市	3.31	77	5
长治市	4.48	14	111	濮阳市	2.92	73	6
漯河市	4.31	64	5	平顶山市	2.14	71	7
信阳市	3.38	21	76	淮北市	2.13	34	41
晋城市	3.35	24	65	信阳市	1.86	20	84
商丘市	2.95	53	7	河津市	1.80	7	167

注：分析时未涵盖度值为0的节点

表5 30个地市级节点中间中心度与度值变化分类表  
Tab. 5 Classification of 30 municipal nodes by the change of betweenness centrality and degree

	度值增大	度值减小或不变
中间中心度 增大	郑州市、濮阳市、平顶山市、菏泽市、邢台市、鹤壁市、蚌埠市、淮北市、焦作市、驻马店市、济源市、许昌市、周口市	邯郸市
中间中心度 减小	长治市、晋城市、商丘市、洛阳市、漯河市、阜阳市、南阳市、聊城市、亳州市、三门峡市	运城市、安阳市、信阳市、宿州市、新乡市、开封市

值增大的节点有10个, 这些节点网络连通能力虽得到了提升, 但中介作用受到了分流和弱化, 因此中间中心度有不同程度的下降; 中间中心度增大但度值减小的节点仅有邯郸市1个, 其连通能力虽略有下降, 但由于周边节点在与南部节点连通时对其依赖性增强, 故邯郸市中介作用不降反升; 中间中心度与度值均减小的节点有6个, 这类节点的网络连通能力和中介作用都有下降趋势。

中介节点在区域连通中发挥着重要作用, 需要在经济发展和交通建设中予以更多的关注。对于低度值的中介节点, 除了继续保持、加强其中介作用外, 还要着重改善其所小区域的经济和交通状况, 提升周边节点的对外连通能力。

## 4 结论与讨论

中原经济区是中原崛起战略的重要引擎, 也是全国区域协调发展的战略支点。针对国家对该区域实施“核心带动, 节点提升, 轴带发展, 对接周边”空间布局的发展要求, 本文基于引力模型测算了中原经济区县际经济联系强度, 分别刻画了1996年、2010年的区域经济联系网络。通过对网络格局及演化特征的分析, 得出如下结论:

(1) 中原经济区经济联系网络连通能力在研究期内得到极大提高。节点间联系的数量和质量都有大幅度提升, 网络表现出明显的稠密化趋势, 连通更加便捷。区域经济发展和交通条件改善是中原经济区经济联系网络连通能力提高的主要原因。

(2) 中原经济区经济联系网络发育不平衡, 节点度值呈分层结构并具有“右倾斜长尾”分布特征, 少数节点掌握着绝对的网络权力, 经济发展、交通建设存在区域差异是导致网络发育不均衡的主要原因。郑州市为网络的首要核心, 安阳市、洛阳市、邯郸市、漯河市为次级核心。五个网络核心节点主要分布在网络中部, 连线呈横向的“T”字形状, 网络东部缺少连通能力较强的核心节点。因此, 中原经济区要建设“十”字形发展轴和“米”字形发展地带, 就必须对商丘市、周口市、菏泽市等东部节点给予更多的支持和帮助。

(3) 中原经济区经济联系网络呈现明显的核心—边缘结构, 核心区、边缘区网络密度差距明显, 边缘区较弱的经济联系影响了网络的对外连通能力。核心节点的影响力和辐射力进一步增强, 但边缘区节点连通能力相对弱化。中原经济区要“对接周边”, 加强与毗邻经济区的互动发展, 就需要提高处于区域边缘的“洼地”节点的连通能力。

(4) 中原经济区经济联系网络包含局部连接较强的凝聚子群, 但子群间的联系很弱, 在以郑州市为首位核心的整个轴-辐结构网络中, 还有多个围绕次级核心节点形成的轴-辐结构子网络。中原经济区“十”字形发展轴和“米”字形发展带的构建与发展, 将有利于形成多重轴—辐结构嵌套的经济联系网络。

(5) 郑州市、邯郸市、安阳市、洛阳市、漯河市等是中原经济区经济联系网络中重要的中介节点。多数中介节点的度值都很高, 而一部分度值不太高的节点因扮演“结构洞”角色, 也发挥着重要的中介作用。中原经济区不仅要进一步提高中介节点的连通能力, 还要着重改善低度值中介节点所在小区域的经济和交通状况。

基于重力模型测算出的经济联系强度只是对现实世界的近似模拟, 区域间的经济联系强度不仅取决于区域质量和交通通达性, 还与行政区划、经济结构、历史传统、政府政策等因素密切相关。同时, 人为划定“封闭研究区域”强化了中心区位节点的中介作用, 而明显弱化了与研究区域以外存在大量经济联系的边缘区位节点的连通能力。此外, 由于节点质量存在非常大的差异, 同样的联系强度对不同节点具有不同的意义, 通

过确定阈值筛选有效连接并对节点间联系进行[0, 1]二值化的方法, 虽大大简化了计算和分析, 但也会对网络结构分析的准确性造成一定影响。

## 参考文献(References)

- [1] 李春芬. 区际联系: 区域地理学的近期前沿. 地理学报, 1995, 50(6): 491-496. [Li Chunfen. Inter-regional connectivity: As a recent frontier of regional geography. Acta Geographica Sinica, 1995, 50(6): 491-496.]
- [2] 陈睿山, 叶超, 蔡运龙. 区域经济联系测度方法述评. 人文地理, 2013, 28(1): 43-47. [Chen Ruishan, Ye Chao, Cai Yunlong. Reviews on methods measuring the interregional economic connection. Human Geography, 2013, 28(1): 43-47.]
- [3] 王欣, 吴殿廷, 吴红强. 城市间经济联系的定量计算. 城市发展研究, 2006, 13(3): 55-59. [Wang Xin, Wu Dianting, Wu Hongqiang. An attempt to calculate economic links between cities. Urban Studies, 2006, 13(3): 55-59.]
- [4] Reilly W J. Methods for the study of retail relationships. University of Texas, 1929, Bulletin(2944): 1-9.
- [5] 杜国庆. 发展中国家的城镇体系空间结构研究: 以中国为例. 南京大学学报, 2006, 42(3): 225-241. [Du Guoqing. Spatial structure of urban systems in developing countries: A case study of China. Journal of Nanjing University, 2006, 42(3): 225-241.]
- [6] 苗长虹, 王海江. 河南省城市的经济联系方向与强度: 兼论中原城市群的形成与对外联系. 地理研究, 2006, 25(2): 222-232. [Miao Changhong, Wang Haijing. On the direction and intensity of urban economic contacts in Henan province. Geographical Research, 2006, 25(2): 222-232.]
- [7] 顾朝林, 庞海峰. 基于重力模型的中国城市体系空间联系与层域划分. 地理研究, 2008, 27(1): 1-12. [Gu Chaolin, Pang Haifeng. Study on spatial relations if Chinese urban system: Gravity model approach. Geographical Research, 2008, 27(1): 1-12.]
- [8] 孟德友, 陆玉麒. 基于引力模型的江苏区域经济联系强度与方向. 地理科学进展, 2009, 28(5): 697-704. [Meng Deyou, Lu Yuqi. Strength and direction of regional economic linkage in Jiangsu province based on gravity model. Progress in Geography, 2009, 28(5): 697-704.]
- [9] 冷炳荣, 杨永春, 李英杰, 等. 中国城市经济网络结构空间特征及其复杂性分析. 地理学报, 2011, 66(2): 199-211. [Leng Bingrong, Yang Yongchun, Li Yingjie, et al. Spatial characteristics and complex analysis: A perspective from basic activities of urban networks in China. Acta Geographica Sinica, 2011, 66(2): 199-211.]
- [10] 赵雪雁, 江进德, 张丽, 等. 皖江城市带城市经济联系与中心城市辐射范围分析. 经济地理, 2011, 31(2): 218-223. [Zhao Xueyan, Jiang Jinde, Zhang Li, et al. The economic links between the cities in Wanjiang Urban Belt and the radiation scope of the central city. Economic Geography, 2011, 31(2): 218-223.]
- [11] 段七零, 毛建明. 基于引力模型与0-1规划模型的省域经济区划: 以江苏省为例. 经济地理, 2011, 31(8): 1239-1245. [Duan Qiling, Mao Jianming. On economic regionalization in provincial scope based on the gravity model and 0-1 programming model: A case study of Jiangsu province. Economic Geography, 2011, 31(8): 1239-1245.]
- [12] 刘卫东, 刘红光, 范晓梅, 等. 地区间贸易流量的产业—空间模型构建与应用. 地理学报, 2012, 67(2): 147-156. [Liu Weidong, Liu Hongguang, Fan Xiaomei, et al. Sector-specific spatial statistic model for estimating inter-regional trade flows: A case study of agricultural, chemical and electronic sectors in China. Acta Geographica Sinica, 2012, 67(2): 147-156.]
- [13] 吕康娟, 付旻杰. 我国区域间产业空间网络的构造与结构测度. 经济地理, 2010, 30(11): 1785-1791. [Lv Kangjuan, Fu Minjie. Construction and structural measurement of the inter-regional industrial spatial networks in China. Economic Geography, 2010, 30(11): 1785-1791.]
- [14] 王茂军, 田丽英, 杨学春. 山东省城镇网络结构与城镇网络角色识别: 基于民国时期土货/洋货流通网络的分析. 地理研究, 2011, 30(9): 1621-1636. [Wang Maojun, Tian Liying, Yang Xuechun. Study on structure of urban network in Shandong province and on identifying city-roles in the network: Based on the analysis of circulation network of native products/foreign goods in the republic of China. Geographical Research, 2011, 30(9): 1621-1636.]
- [15] Amaral L A N, Scala A, Barthélemy M. Classes of small-world networks. Proceedings of the National Academy of Sciences, USA, 2000, 97: 11149-11152.
- [16] Bagler G. Analysis of the airport network of India as a complex weighted network. Physica A, 2008, 387: 2972-2980.
- [17] 金凤君. 我国航空客流网络发展及其地域系统研究. 地理研究, 2001, 20(1): 31-39. [Jin Fengjun. A study on network of domestic air passenger flow in China. Geographical Research, 2001, 20(1): 31-39.]
- [18] 于涛方, 顾朝林, 李志刚. 1995年以来中国城镇体系格局与演变: 基于航空流视角. 地理研究, 2008, 27(6): 1407-1418. [Yu Taofang, Gu Chaolin, Li Zhigang. China's urban systems in terms of air passenger and cargo flows since

1995. *Geographical Research*, 2008, 27(6): 1407-1418.]
- [19] 王姣娥, 莫辉辉, 金凤君. 中国航空网络空间结构的复杂性. *地理学报*, 2009, 64(8): 899-910. [Wang Jiaoe, Mo Huihui, Jin Fengjun. Spatial structural characteristics of Chinese aviation network based on complex network theory. *Acta Geographica Sinica*, 2009, 64(8): 899-910.]
- [20] 武文杰, 董正斌, 张文忠, 等. 中国城市空间关联网络结构的时空演变. *地理学报*, 2011, 66(4): 435-445. [Wu Wenjie, Dong Zhengbin, Zhang Wenzhong, et al. Spatio-temporal evolution of the China's inter-urban organization network structure: Based on aviation data from 1983 to 2006. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(4): 435-445.]
- [21] 薛俊菲. 基于航空网络的中国城镇体系等级结构与分布格局. *地理研究*, 2008, 27(1): 23-32. [Xue Junfei. Hierarchical structure and distribution pattern of Chinese urban system based on aviation network. *Geographical Research*, 2008, 27(1): 23-32.]
- [22] 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. *地理研究*, 2012, 31(1): 107-122. [Meng Deyou, Lu Yuqi. Analysis of inter-provincial accessibility and economic linkage spatial pattern based on the railway network. *Geographical Research*, 2012, 31(1): 107-122.]
- [23] Sasaki K, Ohashi T, Ando A. High-speed rail transit impact on regional system: Does the shinkansen contribute to dispersion? *The Annals of Regional Science*, 1997, 31(1): 77-98.
- [24] 汪明峰, 宁越敏. 城镇的网络优势: 中国互联网骨干网络结构与节点可达性分析. *地理研究*, 2006, 25(2): 193-203. [Wang Mingfeng, Ning Yuemin. The network advantage of cities: An analysis of spatial structure and node accessibility of internet backbones in China. *Geographical Research*, 2006, 25(2): 193-203.]
- [25] Wheeler D C, O' Kelly M E. Network topology and city accessibility of the commercial Internet. *Professional Geographer*, 1999, 51(3): 327-339.
- [26] Gorman S P, Kulkarni R. Spatial small worlds: New geographic patterns for an information economy. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2004, 31(2): 273-296.
- [27] Taylor P J, Derudder B, Witlox F. Comparing airline passenger destinations with global service connectivities: A worldwide empirical study of 214 cities. *Urban Geography*, 2007, 28(3): 232-248.
- [28] Taylor P J. Leading world cities: Empirical evaluations of urban nodes in multiple networks. *Urban Studies*, 2005, 42(9): 1593-1608.
- [29] 王茂军, 杨雪春. 四川省制造产业关联网络的结构特征分析. *地理学报*, 2011, 66(2): 212-222. [Wang Maojun, Yang Xuechun. The structural features of regional manufacturing industrial association network: A case study of Sichuan Province. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(2): 212-222.]
- [30] 朱英明, 于念文. 沪宁杭城市密集区城市流研究. *城市规划汇刊*, 2002, (1):31-44. [Zhu Yingming, Yu Nianwen. Urban flows in the Huninghang urban compact district. *Urban Planning Forum*, 2002, (1):31-44.]
- [31] 张虹鸥, 叶玉瑶, 罗晓云, 等. 珠江三角洲城市群城市流强度研究. *地域研究与开发*, 2004, 23(6): 53-56. [Zhang Hongou, Ye Yuyao, Luo Xiaoyun, et al. Research on the degree of the urban flow of Pearl River Delta. *Areal research and development*, 2004, 23(6): 53-56.]
- [32] 姜博, 修春亮, 赵映慧. 环渤海地区三大城市群外向服务功能测度与比较. *人文地理*, 2009, 25(4): 62-65. [Jiang Bo, Xiu Chunliang, Zhao Yinghui. Measurement and comparison on the extrovert service function of three urban groups in Bohai Rim. *Human Geography*, 2009, 25(4): 62-65.]
- [33] 姜博, 修春亮, 陈才. 辽中南城市群城市流分析与模型阐释. *经济地理*, 2008, 28(5): 853-861. [Jiang Bo, Xiu Chunliang, Chen Cai. Analysis of urban flow and model explanation on the urban group in middle-south part of Liaoning province. *Economic Geography*, 2008, 28(5): 853-861.]

## Structure and evolution of economic linkage network at county level in Central Plains Economic Zone

LI Yating<sup>1,2</sup>, PAN Shaoqi<sup>2</sup>, MIAO Changhong<sup>1,2</sup>

(1. Key Research Institute of Yellow River Civilization and Sustainable Development & Collaborative Innovation Center on Yellow River Civilization of Henan Province, Henan University, Kaifeng 475001, Henan, China; 2. College of Environment and Planning, Henan University, Kaifeng 475004, Henan, China)

**Abstract:** With the rapid development of economic globalization and regional economic integration, the various contacts between cities and regions have become stronger and have a characteristic of network. As a result, regional economic linkage has always been a hot issue in economic geography and regional research. Researches on regional economic ties have provided theoretical basis and research paradigms in economic zone. However, current researches on regional characteristics are insufficient in regional economic ties, especially in less developed areas. Moreover, traditional research has mostly used the same threshold to establish economic networks in different periods, thus the change of the connectivity could be clearly identified, but the whole network structure of economic network and the roles of cities and key links in the network are difficult to be identified. If the same index was used to determine the threshold respectively at different time, it would be convenient to analyze the network structure and the roles of the cities, while it would be hard to identify the change of the connectivity. This paper, based on the gravity model in combination with network analysis of GIS which is used to acquire the matrix of the shortest time between any two counties, taking the Central Plains Economic Region as an example, calculates the economic linkage intensity between counties in 1996 and 2010, and analyses the network structure and its evolution characteristics by setting the same and different threshold separately. The conclusions can be drawn as follows: (1) The connectivity of the economic network has greatly improved in the Central Plains Economic Region, and the economic development and improvement of transportation is the main cause for the increase of network density and facilitation. (2) The connectivity among nodes is very different, and a small number of nodes hold the absolute network power, in which Zhengzhou and other four core nodes are particularly prominent. The linkage framework presents a transverse "T"-shaped pattern, and increasing the connectivity of eastern nodes will be helpful for constructing the cross-shape development axis. (3) The network has core-periphery structure and polarization trend, and the core region has the enlarging influence and radiation on the adjacent region. To strengthen the connectivity of nodes in the edge area will improve the regional integration development. (4) The connectivity of nodes tends to agglomerate by the "hub-and-spoke" network structure around the secondary core nodes, the construction and evolution of the cross-shape development axis and the "米"-like development zone will facilitate to form multiple hub-and-spoke nested economic network. (5) Zhengzhou and other prominent nodes have become the "brokers" in the network due to their strong connectivity, but some nodes with low degree values act as the "structural holes" between the cluster regions. It is necessary to raise the ability of the connectivity of the "broker" nodes and the low degree value nodes by improving the economic and transportation conditions.

**Key words:** economic linkage network; spatial pattern; evolution; Central Plains Economic Zone