

# 中原经济区经济联系网络空间格局

潘少奇<sup>1</sup>, 李亚婷<sup>1,2</sup>, 高建华<sup>1</sup>

(1. 河南大学环境与规划学院, 河南 开封 475004; 2. 河南大学黄河文明与可持续发展研究中心, 河南 开封 475004)

**摘 要:**以中原经济区县级行政单元为网络节点,利用重力模型测算1996年、2010年231个节点间的经济联系强度,分别取各个节点对外联系强度第1位、前5位、前10位的连接建立经济联系网络,运用GIS工具和社会网络分析方法分析网络的空间格局与演化特征。研究发现:①中原经济区经济联系网络发育不平衡,节点度分布呈明显的右倾“斜长尾分布”特征,少数节点掌握着绝对的“网络权力”,郑州市为整个网络的首位核心,洛阳市、邯郸市为副中心;网络中部、北部节点间连通情况相对较好,而东、南两个方向上节点连通能力亟需提升。②核心、边缘节点网络权力差距进一步扩大,2010年节点度值基尼系数和集中度指数比1996年均有明显提高,边缘区节点连通能力不足且进一步弱化,不利于中原经济区同毗邻地区的互动发展。③网络呈现多重轴—辐结构,郑州市为一级枢纽,洛阳市、邯郸市、漯河市等为二级枢纽;中原经济区正在建设的“十”字形发展轴和“米”字形发展带,有助于巩固一、二级枢纽间的经济联系,并使整个经济区实现优势互补、联动发展。④网络中的“掇客”节点主要位于中原城市群板块中,因此中原城市群发展对提高网络整体连通能力有很大作用。

**关 键 词:**经济联系网络;空间格局;中原经济区

doi: 10.11820/dlkxjz.2014.01.011

中图分类号:F291

文献标识码:A

## 1 引言

在全球化进程不断加快的背景下,世界经济版图上很难找到一个真正意义上的“孤立国”,区域间频繁的物质、能量、信息交换形成了复杂的经济联系网络,并成为区域经济学、经济地理学的研究重点(李春芬, 1995)。在区域经济联系网络中,各节点扮演着不同的网络角色,其发展也深受网络整体结构及演化趋势的影响。

区域经济联系网络的构建和分析方法很多(陈睿山等, 2013)。Reilly(1929)在研究零售市场问题时,提出两城市间人口流动与人口的乘积成正比,与两城市间的距离成反比,由此形成了“零售引力定律”,奠定了重力模型的基础。20世纪90年代,国内学者开始利用重力模型进行城市引力范围划分,之后以重力模型测算区域间经济联系强度的方法在学界得到广泛应用,王德忠(1996)、苗长虹等(2006)、顾朝林等(2008)、冷炳荣等(2011)分别用重

力模型分析了不同尺度研究区内的经济联系强度或经济联系网络结构。

随着社会经济发展,区域间“流”的种类不断增加,有越来越多的学者利用航空网、铁路网、区域投入产出表、区域存贷款量来对经济联系网络进行研究。例如,Amaral等(2000)、Bagler(2008)分别以城际航空网络为基础,研究了世界主要城市网络和印度国内城市网络的空间结构;金凤君(2001)、于涛方等(2008)、王姣娥等(2009)、武文杰等(2011)利用航空网分析了中国城市网络的结构和时空演变;孟德友等(2012)基于铁路网对中国省际经济联系格局进行了分析;王茂军等(2011)用土货/洋货流通数据分析了山东省民国时期城镇网络结构特征,并识别出网络中的城镇角色和关键链接;谭一洺等(2011)基于高级生产者服务业视角,分析了成渝地区城市网络体系结构特征。

进入21世纪后,以互联网、电信网为代表的信息网络不仅重构了全球联系的物理和虚拟空间结

收稿日期:2013-08;修订日期:2013-11。

基金项目:教育部人文社会科学重点研究基地重大项目(11JJD790017);国家自然科学基金项目(41001359);河南大学科研基金项目(2012YBRW031)。

作者简介:潘少奇(1980-),男,河南临颖人,博士研究生,讲师,主要从事产业集群与区域发展研究,E-mail: psq@henu.edu.cn。

构形式,同时也为区域关系研究提供了全新载体(刘卫东,2002;甄峰等,2002)。Wheeler等(1999)通过美国商业互联网主干网络,对主要城市在区域经济联系网络中的连通可达性进行了评价;汪明峰等(2004,2006)基于中国互联网骨干网络发展历史分析了中国城市体系格局,发现基于互联网与航空网构建的城市网络结构十分相像;甄峰等(2012)、王波等(2013)利用新浪微博用户关系数据,提出中国城市网络呈现出明显的分层集聚现象,具体表现为“三大四小”格局;魏宗财等(2008)通过个人信息联系网络演变,证实个体联系频率指数增幅与城市等级呈明显正相关关系。

从已有文献看,区域经济联系网络构建方法主要包括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;构建网络时,多通过设定经济联系强度阈值筛选有效连接,实现对节点间联系的[0,1]二值化,这种方法可能导致部分实力不强、对外联系较弱的节点不能连缀到网上而成为孤立点。现有研究基本都是以地市级行政单元或城市作为网络节点,这在分析全国尺度经济联系网络时可以保证研究精度;但在经济区、省域或城市群尺度研究中,地市级节点往往只有十几个甚至几个,以此构成的经济联系网络比较稀疏,不能很好反映区域经济联系网络结构特征和演化规律。且已有研究范围主要集中在全国或经济联系网络发育相对完善的区域,对于经济发展滞后、区域连通活力不强的区域关注较少。

中原经济区居于中国中部地带,涵盖了河南全域及山西的运城、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km<sup>2</sup>,2011年末总人口1.79亿人,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,加强区内不同省市间的经济合作,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》中提出,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。因此,系统分析中原经济区经济联系网络结构及其演化特征,对促进中原经济区乃至整个中原地区的建设

和发展具有重要的借鉴意义。

本文以中原经济区县级行政单元为网络节点(地级市市辖区合并为一个节点),利用重力模型测算1996年、2010年节点间的经济联系强度,分别取联系强度第1位、前5位和前10位,利用GIS工具建立相应的经济联系网络,分析其空间格局和演化特征,以期为中原经济区建设提供一定的理论支持。

## 2 研究方法和数据来源

### 2.1 研究方法

#### 2.1.1 区域经济联系网络构建

区域经济联系网络研究中,通常将子区域抽象为网络节点,将区域之间的联系抽象为连接边。本文研究涉及县级以上节点231个,节点间具体的资本流、交通流数据不易获取,而重力模型比较适用于封闭均质平原上核心—外围结构的研究,所以采用重力模型计算各节点间的经济联系强度,并以此建立区域经济联系网络。根据重力模型,节点*i*和节点*j*间的经济联系强度 $I_{ij}$ 为:

$$I_{ij} = G \frac{M_i M_j}{d_{ij}^b} (i \neq j; i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

式中: $I_{ij}$ 为节点*i*和节点*j*之间的经济联系强度;*n*为区域经济联系网络内所有节点数量; $M_i$ 和 $M_j$ 是节点*i*和节点*j*的区域质量,为各节点人口与GDP的几何平均数; $d_{ij}$ 为两节点间的距离系数,用城区间公路最短通行时间表示;*b*为距离摩擦系数,通常取2;*G*为经验常数,通常取1。求得节点间联系强度后,选取联系强度最大值、前5位、前10位进行经济联系网络构建和分析(下文简称Top1、Top5、Top10网络)。

#### 2.1.2 区域经济联系网络测度与分析

区域经济联系网络研究的重点是考察网络结构、内部通达性、识别重要节点,主要通过度、聚类系数、中间中心度等指标进行分析。

##### (1) 度(degree)

度是网络分析的主要工具之一,节点*i*的度是指节点*i*的连接边数目,记为 $k_i$ , $\{k_i = k; i = 1, 2, \dots, l\}$ 表示度为*k*的节点集合, $n_k$ 为集合中节点的个数。在区域经济联系网络中,度数大的节点被称为“hub”节点,表明与其发生经济联系的节点比较多,该节点在整个区域经济联系网络中发挥的作用比

较大。有向经济联系网络中节点的度包括出度、入度两种,本文建立的Top1、Top5、Top10网络中节点*i*的出度分别为1、5、10,入度则是以*i*点为Top1、Top5、Top10连接点的节点数量,后文分析中的度均指入度。网络中度数为*k*的概率为:

$$p_k = n_k / N \tag{2}$$

(2) 聚类系数(clustering coefficient)

聚类系数是指与节点*i*存在有效连接的节点*j*、节点*k*彼此也有效连接的概率,在社会关系网络中可以理解为朋友的朋友们是否也是朋友,反映了节点*i*组织全连通经济联系网络的能力。公式如下:

$$C_i = \frac{2E_i}{k_i(k_i - 1)} \tag{3}$$

式中:*C<sub>i</sub>*为节点*i*的聚类系数;*k<sub>i</sub>*为节点*i*和其他节点有效关联数;*E<sub>i</sub>*为*k<sub>i</sub>*个节点间实际存在的有效关联数。

(3) 中间中心度(betweenness centrality)

中间中心度为多个非邻接节点间通过节点*i*的最短路径的概率之和与理论最大值的比值,中间中心度高表示节点*i*很大程度上成为其他节点两两连接的中介,占据着保障和控制网络连通的关键位置。测度公式如下:

$$B_i = \frac{1}{(n-1)(n-2)} \sum_{j \neq k} \frac{b_{ijk}}{b_{jk}} \tag{4}$$

式中:*B<sub>i</sub>*为节点*i*的中间中心度;*b<sub>ijk</sub>*为节点*j*和节点*k*之间的最短路径数;*b<sub>jk</sub>*表示节点*j*和节点*k*之间经过节点*i*的最短路径数;*n*为整个网络节点数。

2.2 数据来源及处理

文中所涉及社会经济数据主要来源于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》,以及2011年《中国区域经济统计年鉴》;2010年各省市、县GDP均平减至1996年价格水平。

交通数据来自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》;鉴于经济区尺度上公路是最主要的连通方式,所以研究中仅取用了高速公路、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),设定时速分别为100 km、70 km、50 km;利用ArcGIS网络分析功能计算求得任意节点间的最短通行时间,并以某节点到其他任意节点最短通行时间之和

作为该节点的网络交通可达性。

3 经济联系网络空间格局

3.1 网络发育不平衡

分别取Top1、Top5、Top10连接建立中原经济区经济联系网络(图1)。可以清晰地看出节点度值差距十分明显,1996年3种网络中节点度的极差值分别为7、65、138;2010年分别为19、115、191。网络中度值较小的节点占了绝大多数,高度值节点所占比例很小。1996年Top1、Top5、Top10网络中度值小于等于中位数的节点数量占节点总数的比例分别为96.54%、90.91%、86.58%,2010年分别为97.40%、90.48%、85.71%。

节点度分布概率呈明显分层现象,并具有右倾“斜长尾分布”特征(图2),这表明中原经济区经济联系网络中大多数节点度值较小,居于网络“边缘”,少数节点度值很大,掌握着绝对的“网络权力”,网络倾向于高度依赖核心节点的轴—辐结构。郑州市度值在两年经济联系网络中都居于首位,且明显高于其他节点,说明郑州市一直都是中原经济区经济联系网络的首要核心;邯郸市、洛阳市也都具有较高的度值,可以视为网络副中心。

按照“核心带动,轴带发展”原则,中原经济区将努力提升郑州市的核心引领功能,并依托亚欧大陆桥通道和京广通道形成“十”字形发展轴,进而培育“米”字形发展地带。就空间格局看,中原经济区经济联系网络中部、北部比较稠密、通畅,而东部、南部则相对稀疏,发育不够完善;郑州市、洛阳市、邯郸市三个核心节点分别位于“十”字形发展轴的交点和西、北两个方向上,东、南两个方向则无连通能力突出的节点。中原经济区要想建设“十”字形发展轴,还需要对漯河市、信阳市、商丘市、亳州市等节点给予更多的支持和帮助。

以网络中全部节点区域质量平均值和交通可达性平均值为纵、横坐标轴交点,制作地市级节点分布散点图(图3)。由图可见,高度值节点不仅具有较高的区域质量,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;相反,一些交通相对落后或居于区域边缘的节点,虽然也具有较高的区域质量,但受交通可达性影响,其网络连通能力往往并不突出。



比如：南阳市 1996 年的区域质量稍次于邯郸市 (114.32: 124.08), 但其交通可达性却远远落后于邯郸市 (6.71: 4.41), 因此在 Top10 网络中其度值仅为邯郸市的 1/4。

3.2 核心、边缘节点网络权力差距进一步扩大

区域经济联系网络格局并非是一成不变的, 而是处于持续不断的发展演化中。随着社会经济发

展, 各节点的区域质量正在发生巨大变化, 而且区

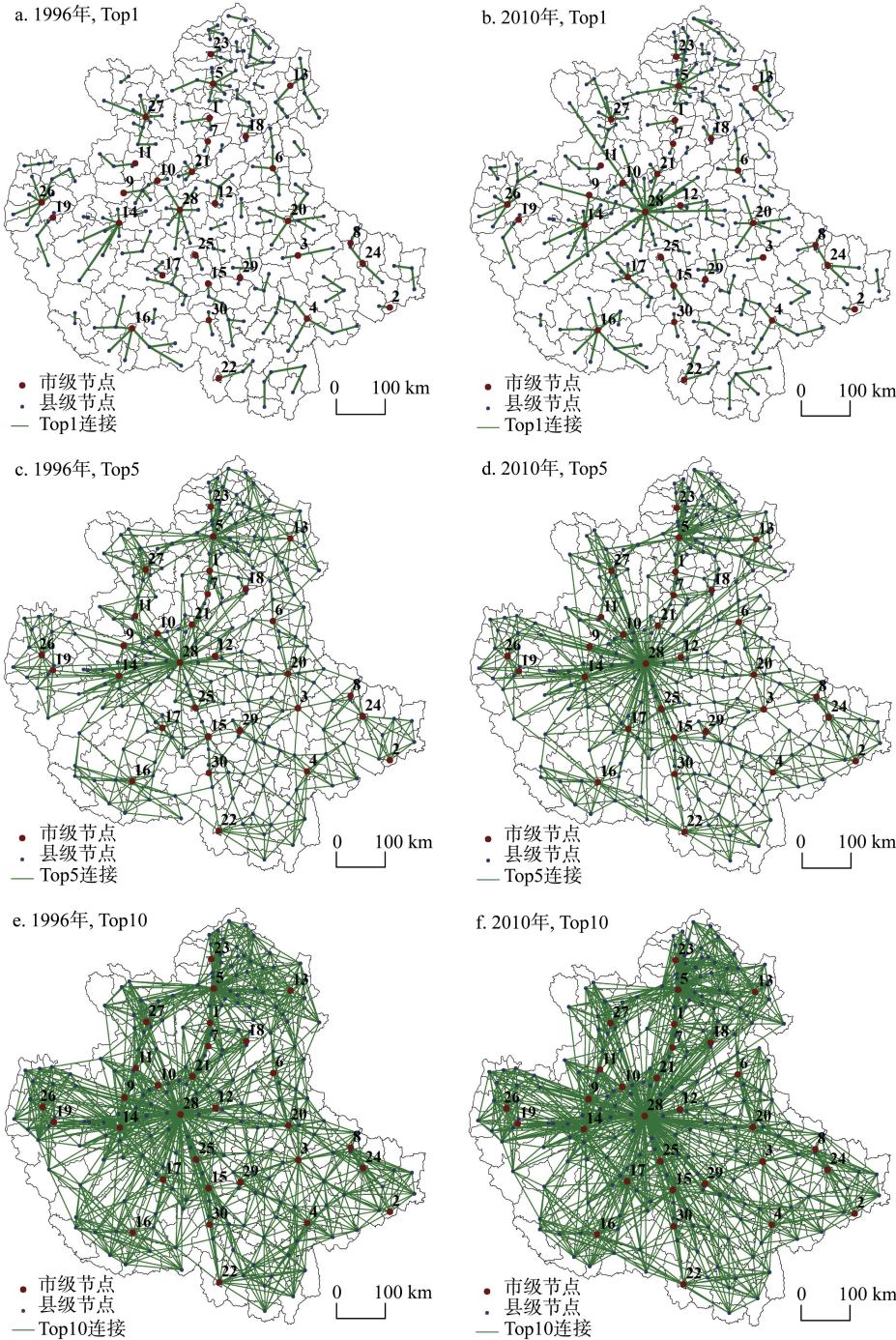


图 1 1996 和 2010 年中原经济区经济联系网络(Top1、Top5、Top10)<sup>①</sup>

Fig.1 Economic linkage network in Central Plains Economic Zone in 1996 and 2010 (Top1, Top5, Top10)

① 为便于读图, 将 30 个地市级节点进行编号并在图上标识: 安阳(1)、蚌埠(2)、亳州(3)、阜阳(4)、邯郸(5)、菏泽(6)、鹤壁(7)、淮北(8)、济源(9)、焦作(10)、晋城(11)、开封(12)、聊城(13)、洛阳(14)、漯河(15)、南阳(16)、平顶山(17)、濮阳(18)、三门峡(19)、商丘(20)、新乡(21)、信阳(22)、邢台(23)、宿州(24)、许昌(25)、运城(26)、长治(27)、郑州(28)、周口(29)、驻马店(30)。



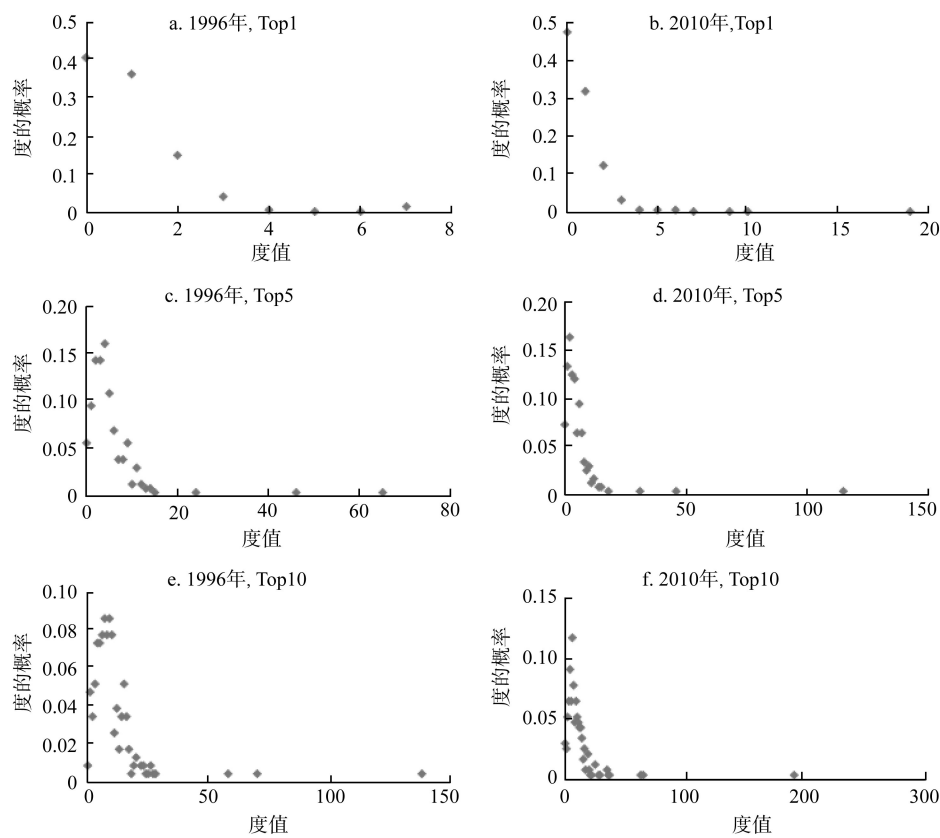


图2 1996和2010年节点度分布概率(Top1、Top5、Top10)  
Fig.2 Distribution probability of node degree in 1996 and 2010 (Top1, Top5, Top10)

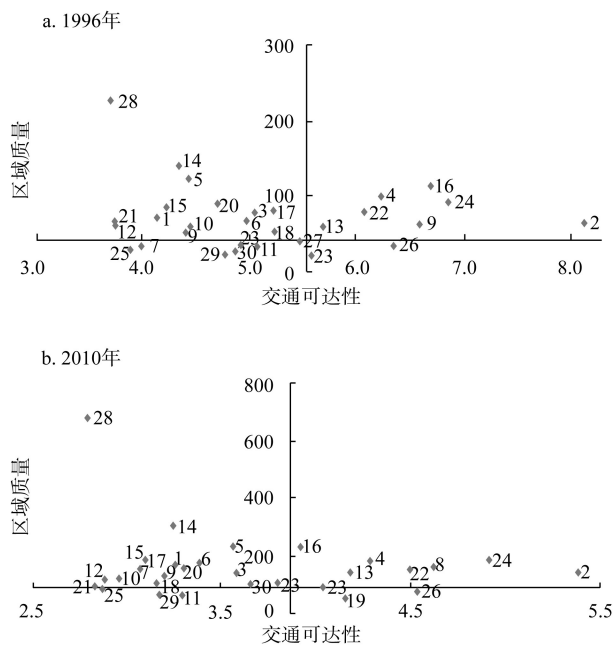


图3 1996和2010年30个地市级节点的区域质量和可达性<sup>②</sup>  
Fig.3 Regional quantities and accessibility of 30 municipal nodes in 1996 and 2010

域交通情况也有很大改观,因此节点间的相互联系格局也在发生变化。现通过对比两年节点度的基尼系数(贺灿飞等, 2010)和集中度指数(王子龙等, 2006)来分析网络演化规律(表1, 表2)。在 Top1、Top5、Top10 网络中,2010 年节点度的基尼系数比 1996 年分别提高了 14.76%、14.29%、12.16%,节点连通能力差距进一步扩大,网络发育不平衡现象更加明显。

在 Top1 网络中,2010 年 CR1、CR5、CR10 集中度指数(分别代表度值排名第 1 位、前 5 位之和、前 10 位之和与所有节点度值之和的比值)比 1996 年分

表 1 中原经济区经济联系网络节点度的基尼系数  
Tab.1 Gini coefficient of node degree of economic linkage network in Central Plains Economic Zone

	Top1 网络	Top5 网络	Top10 网络
1996 年	0.5869	0.4394	0.4012
2010 年	0.6735	0.5021	0.4500
增幅/%	14.76	14.29	12.16

② 图中节点编号与图 1 相同。

表2 中原经济区经济联系网络节点度的集中度指数

网络 年度	Top1			Top5			Top10		
	CR1	CR5	CR10	CR1	CR5	CR10	CR1	CR5	CR10
1996年	0.0303	0.1472	0.2294	0.0563	0.1420	0.1974	0.0597	0.1390	0.1926
2010年	0.0823	0.2208	0.3247	0.0996	0.1948	0.2528	0.0827	0.1697	0.2355
增量/%	171.62	50.00	41.54	76.91	37.18	28.06	38.53	22.09	22.27

别提高了171.62%、50.00%、41.54%；在Top5网络中，分别提高了76.91%、37.18%、28.06%；在Top10网络中，分别提高了38.53%、22.09%、22.27%。表明中原经济区经济联系网络经过15年发展，核心节点的网络权力得到明显提升，而实力较弱节点的网络权力则进一步弱化。

中原经济区居于中国中部枢纽地带，特殊的区位决定其势必要“对接周边”，同长三角、山东半岛、江苏沿海、京津冀、关中天水等周边经济区进行互动与合作。区域边缘节点连通能力不足且进一步弱化的趋势，将不利于中原经济区与毗邻地区的互动发展。

3.3 网络呈现多重轴—辐结构

用聚类分析可以探讨经济联系网络的局部连接特征，亦即分析网络中节点的邻居节点是否也存在连接关系。为了实现聚类分析将之前构建的有向网络转化为无向网络，由于Top1网络连接边较少，故只考虑Top5、Top10网络。

计算结果显示(表3)，郑州市、邯郸市、洛阳市等高度值节点的聚类系数都很低；并且郑、洛两市

的度值增加而聚类系数明显降低，邯郸市情况却恰恰相反。说明3个核心节点周边邻居节点间的连接比较稀疏，随着核心节点辐射范围增大，其邻居节点间的联系却进一步弱化。现用30个地级市节点的度值和聚类系数进行拟合(图4)，两者的皮尔逊相关系数均为负值，且通过1%显著性检验，说明聚类系数随着节点度的升高而降低，两者总体上呈负相关关系。

结合经济联系网络图(图1)可以发现，中原经济区高度值节点是周边节点的主要连接对象，而周边节点间的相互连接较少，网络以郑州市、洛阳市、

表3 典型节点的聚类系数和度

		1996年		2010年	
		度	聚类系数	度	聚类系数
Top5	郑州市	65	0.067	116	0.039
	邯郸市	46	0.093	46	0.115
	洛阳市	24	0.210	32	0.143
Top10	郑州市	138	0.075	191	0.058
	邯郸市	70	0.025	65	0.173
	洛阳市	58	0.186	63	0.174

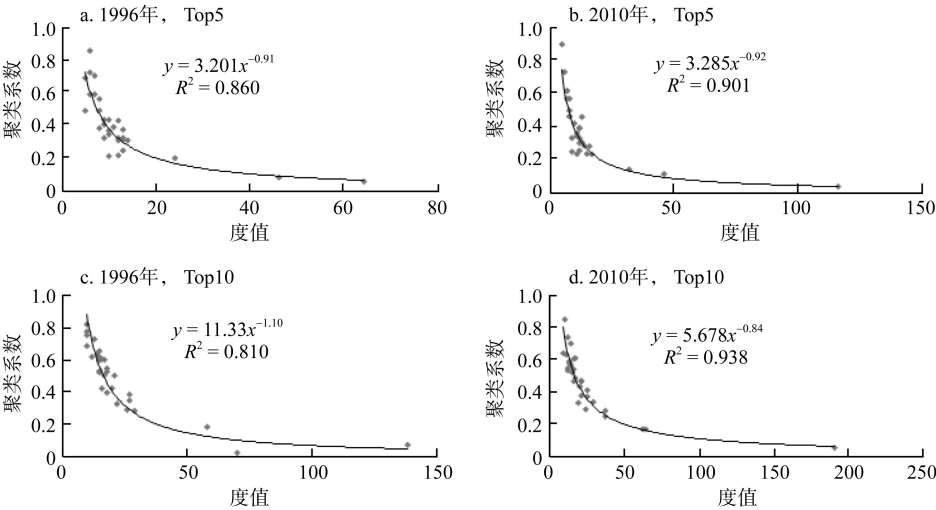


图4 30个地市级节点聚类系数与度的关系

Fig.4 Relationship between clustering coefficient and degree of 30 municipal nodes



邯郸市等高度值节点为核心,形成了若干个轴—辐结构子网络,这些子网络通过或强或弱的连接,组成了复杂的整体经济联系网络。

已有研究表明,轴—辐结构是比较高效的网络组织形式,可以简化网络结构、降低网络成本,产生规模效益、集聚效益和空间效益;较大规模的轴—辐结构网络往往具有比较复杂的层级关系(金凤君等, 2005; 梁滨等, 2009; 王鑫磊等, 2012; 武文杰等, 2011)。中原经济区经济联系网络节点度值差异很大,分层结构明显,属于多重轴—辐结构嵌套的经济联系网络。郑州市作为全网的首位核心,是轴—辐结构中的一级枢纽,承担着对整个经济区“核心带动”的重任;洛阳市、邯郸市、漯河市、平顶山市、亳州市等节点连通能力也比较突出,是轴—辐结构中的二级枢纽,主要对周边市、县发挥引领、辐射作用。目前中原经济区正在着力建设“十”字形发展轴和“米”字形开发地带,这一战略有助于巩固一、二级枢纽间的经济联系,发挥郑州市核心发展极的带动作用;有助于促进轴—辐结构子网络间的联系,使整个经济区实现优势互补、联动发展。

3.4 中原城市群在网络连通中发挥重要的中介作用

虽然网络中“hub”节点是周边节点的连通核心,往往拥有较大的网络权力,但事实上节点对整体网络连通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在其他节点的最短连接线上担当中介,具有“掇客”(broker)作用。由于Top1网络中连接边较少,故只考虑Top5、Top10网络,经过计算可以得出节点的中间中心度(表4)。

结果表明,中间中心度较高的节点主要位于区域中部,在1996年Top5、Top10网络中,中间中心度排名前十位且属于中原城市群的节点有4个、7个,2010年分别有5个、7个。节点中间中心度与度有一定正相关关系,同时与其在网络中的位置息息相关。比如在2010年Top5、Top10网络中,中牟县的度值虽仅为4和10,却位居中间中心度第二位,邯郸市的度值虽为46和65,却位居中间中心度的第15位和第14位。郑州市的中间中心度要远远大于其他节点,这是其度值最高且靠近区域几何中心两种因素共同作用的结果。“掇客”节点在区域连通中发挥着不可或缺的重要作用,需要在经济建设、交

表4 中间中心度排名前10位节点  
Tab.4 The top 10 nodes of betweenness centrality

序号	1996年		2010年	
	Top5	Top10	Top5	Top10
1	郑州市0.3278	郑州市0.4517	郑州市0.3421	郑州市0.4627
2	中牟县0.1753	新乡市0.1450	中牟县0.2188	中牟县0.1314
3	商丘市0.1557	洛阳市0.1237	菏泽市0.2142	漯河市0.1295
4	亳州市0.1367	安阳市0.1217	兰考县0.1941	武陟县0.1141
5	菏泽市0.1259	开封市0.1062	东明县0.1490	新郑市0.1010
6	磁 县0.1152	邯郸市0.1052	濮阳县0.1250	菏泽市0.0860
7	汝州市0.1105	漯河市0.0672	鹤壁市0.1213	辉县市0.0826
8	曹 县0.1063	商丘市0.0650	开封县0.1102	安阳市0.0751
9	邯郸市0.0956	长葛市0.0624	开封市0.1079	新安县0.0688
10	新乡市0.0953	汝州市0.0593	濮阳市0.0939	商水县0.0653

通建设中予以更多的关注。中原城市群作为“掇客”节点密集区,对提高整个经济区的连通活力具有重要意义。

4 结论

运用重力模型测算中原经济区231个县级节点间的经济联系强度,构建基于Top1、Top5、Top10连接的中原经济区经济联系网络,通过网络格局和演化特征分析,得出如下结论:

- (1) 中原经济区经济联系网络发育不平衡。节点度值差异很大,并呈现右倾“斜长尾分布”特征,绝大多数节点度值较小,少数节点度值很大,掌握着绝对的网络权力。郑州市为整个经济联系网络的首位核心,洛阳市、邯郸市为副中心。在“十”字形发展轴东、南两个方向上没有连通能力突出的节点,需要对漯河市、信阳市、商丘市、亳州市等节点给予更多的支持和帮助。
- (2) 中原经济区经济联系网络核心、边缘节点网络权力差距进一步扩大。Top1、Top5、Top10网络节点度的基尼系数在研究期内分别增加了14.76%、14.29%、12.16%;CR10集中度指数分别增加了41.54%、28.06%、22.27%。这一趋势导致郑州等重要节点的网络连通权力进一步提升,但边缘区节点网络连通能力不足并进一步弱化,将不利于中原经济区与毗邻地区的互动发展。
- (3) 中原经济区经济联系网络呈现多重轴—辐结构。郑州市为轴—辐结构的一级枢纽,洛阳市、

邯郸市、漯河市等为二级枢纽。中原经济区正着力建设的“十”字形发展轴和“米”字形发展带,有助于巩固一、二级枢纽间的经济联系,发挥郑州市核心发展极的带动作用;有助于促进各轴—辐结构子网络间的联系,使整个经济区实现优势互补、联动发展。

(4) 中原经济区经济联系网络的“掇客”节点主要位于中原城市群范围内,因此中原城市群发展对提高网络整体连通能力有很大作用。

基于重力模型测算出的经济联系强度只能模拟理想条件下的节点联系状况,在现实世界中由于区位、政策等因素影响,区域间经济联系强度并不一定与区域质量绝对成正比。重力模型中用最短通行时间代替最短距离作为距离系数虽是一种改进,但位于人为划定所形成封闭研究区域边缘的节点在交通可达性上会存在固有劣势。在建网时根据联系强度 Top1、Top5、Top10 筛选有效连接并进行[0, 1]二值化,虽然保证了网络对所有节点的全覆盖,但无疑也忽略了一些强度较大的连接。这些问题,都有待于未来结合其他方法,进一步加以探讨。

## 参考文献(References)

陈睿山, 叶超, 蔡运龙. 2013. 区域经济联系测度方法述评. 人文地理, 28(1): 43-47. [Chen R S, Ye C, Cai Y L. 2013. Reviews on methods measuring the interregional economic connection. Human Geography, 28(1): 43-47.]

顾朝林, 庞海峰. 2008. 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, 27(1): 1-12. [Gu C L, Pang H F. 2008. Study on spatial relations of Chinese urban system: gravity model approach. Geographical Research, 27(1): 1-12.]

贺灿飞, 朱彦刚, 朱晟君. 2010. 产业特性、区域特征与中国制造业省区集聚. 地理学报, 65(10): 1218-1228. [He C F, Zhu Y G, Zhu S J. 2010. Industrial attributes, provincial characteristics and industrial agglomeration in China. Acta Geographica Sinica, 65(10): 1218-1228.]

金凤君. 2001. 中国航空客流网络发展及其地域系统研究. 地理研究, 20(1): 31-39. [Jin F J. 2001. A study on network of domestic air passenger flow in China. Geographical Research, 20(1): 31-39.]

金凤君, 王成金. 2005. 轴—辐服务理念下的中国航空网络模式构筑. 地理研究, 24(5): 774-784. [Jin F J, Wang C J. 2005. Hub-and-spoke system and China aviation network organization. Geographical Research, 24(5): 774-784.]

冷炳荣, 杨永春, 李英杰, 等. 2011. 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, 66(2): 199-211. [Leng B R, Yang Y C, Li Y J, et al. 2011. Spatial characteristics and complex analysis: a perspective from basic activities of urban networks in China. Acta Geographica Sinica, 66(2): 199-211.]

李春芬. 1995. 区际联系: 区域地理学的近期前沿. 地理学报, 50(6): 491-496. [Li C F. 1995. Inter-regional connectivity: as a recent frontier of regional geography. Acta Geographica Sinica, 50(6): 491-496.]

梁滨, 毛焱. 2009. 武汉城市圈轴—辐网络旅游空间结构研究. 经济地理, 29(7): 1214-1217. [Liang B, Mao Y. 2009. A study on hub and spoke network tourism spatial structure of Wuhan metropolitan area. Economic Geography, 29(7): 1214-1217.]

刘卫东. 2002. 论中国互联网的发展及其潜在空间影响. 地理研究, 21(3): 347-356. [Liu W D. 2002. Development of the internet in China: spatial characteristics and implications. Geographical Research, 21(3): 347-356.]

孟德友, 陆玉麒. 2012. 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, 31(1): 107-122. [Meng D Y, Lu Y Q. 2012. Analysis of inter-provincial accessibility and economic linkage spatial pattern based on the railway network. Geographical Research, 31(1): 107-122.]

苗长虹, 王海江. 2006. 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, 25(2): 222-232. [Miao C H, Wang H J. 2006. On the direction and intensity of urban economic contacts in Henan Province. Geographical Research, 25(2): 222-232.]

谭一泓, 杨永春, 冷炳荣, 等. 2011. 基于高级生产者服务业视角的成渝地区城市网络体系. 地理科学进展, 30(6): 724-732. [Tan Y M, Yang Y C, Leng B R, et al. 2011. Urban network system in Chengdu-Chongqing region in the perspective of advanced Producer service. Progress in Geography, 30(6): 724-732.]

汪明峰, 宁越敏. 2004. 互联网与中国信息网络城市的崛起. 地理学报, 59(3): 446-454. [Wang M F, Ning Y M. 2004. The internet and the rise of information network cities in China. Acta Geographica Sinica, 59(3): 446-454.]

汪明峰, 宁越敏. 2006. 城市的网络优势: 中国互联网骨干网络结构与节点可达性分析. 地理研究, 25(2): 193-203. [Wang M F, Ning Y M. 2006. The network advantage of cities: an analysis of spatial structure and node accessibility of Internet backbones in China. Geographical Research, 25(2): 193-203.]

王波, 甄峰, 席广亮, 等. 2013. 基于微博用户关系的网络信



- 息地理研究:以新浪微博为例. 地理研究, 32(2): 380-391. [Wang B, Zhen F, Xi G L, et al. 2013. A study of cyber geography based on micro-blog users' relationship: with a case of Sina micro-blog. Geographical Research, 32(2): 380-391.]
- 王德忠, 庄仁兴. 1996. 区域经济联系定量分析初探: 以上海与苏锡常地区经济联系为例. 地理科学, 16(1): 51-57. [Wang D Z, Zhuang R X. 1996. The preliminary probe into the quantitative analysis of regional economic links. Scientia Geographica Sinica, 16(1): 51-57.]
- 王姣娥, 莫辉辉, 金凤君. 2009. 中国航空网络空间结构的复杂性. 地理学报, 64(8): 899-910. [Wang J E, Mo H H, Jin F J. 2009. Spatial structural characteristics of Chinese aviation network based on complex network theory. Acta Geographica Sinica, 64(8): 899-910.]
- 王茂军, 田丽英, 杨学春. 2011. 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, 30(9): 1621-1636. [Wang M J, Tian L Y, Yang X C. 2011. 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, 30(9): 1621-1636.]
- 王鑫磊, 王圣云. 2012. 中部地区“轴—辐”物流网络构建: 基于公路和铁路运输成本的分析视角. 地理科学进展, 31(12): 1583-1590. [Wang X L, Wang S Y. 2012. The hub-and-spoke logistics network system in central China based on road and railway transportation cost. Progress in Geography, 31(12): 1583-1590.]
- 王子龙, 谭清美, 许箫迪. 2006. 产业集聚水平测度的实证研究. 中国软科学, (3): 109-116. [Wang Z L, Tan Q M, Xu X D. 2006. The empirical analysis of agglomeration level measurement of industrial cluster. China Soft Science, (3): 109-116.]
- 魏宗财, 甄峰, 张年国, 等. 2008. 信息化影响下经济发达地区个人联系网络演变: 以苏锡常地区为例. 地理科学进展, 27(4): 82-88. [Wei Z C, Zhen F, Zhang N G, et al. 2008. The Evolution characteristics of personal communication network of economically developed regions under the influence of infomationization: a case study of Suzhou-Wuxi-Changzhou Area. Progress in Geography, 27(4): 82-88.]
- 武文杰, 董正斌, 张文忠, 等. 2011. 中国城市空间关联网结构的时空演变. 地理学报, 66(4): 435-445. [Wu W J, Dong Z B, Zhang W Z, et al. 2011. Spatio-temporal evolution of the China's inter-urban organization network structure: based on aviation data from 1983 to 2006. Acta Geographica Sinica, 66(4): 435-445.]
- 于涛方, 顾朝林, 李志刚. 2008. 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, 27(6): 1407-1408. [Yu T F, Gu C L, Li Z G. 2008. China's urban systems in terms of air passenger and cargo flows since 1995. Geographical Research, 27(6): 1407-1408.]
- 甄峰, 顾朝林. 2002. 信息时代空间结构研究新进展. 地理研究, 21(3): 257-266. [Zhen F, Gu C L. 2002. New perspectives on spatial structure research in information era. Geographical Research, 21(3): 257-266.]
- 甄峰, 王波, 陈映雪. 2012. 基于网络社会空间的中国城市网络特征: 以新浪微博为例. 地理学报, 67(8): 1031-1043. [Zhen F, Wang B, Chen Y X. 2012. China's city network characteristics based on social network space: an empirical analysis of Sina micro-blog. Acta Geographica Sinica, 67(8): 1031-1043.]
- Amaral L, Scala A, Barthelemy M. 2000. Classes of small-world networks. Proceedings of the National Academy of Sciences, 97(21): 11149-11152.
- Bagler G. 2008. Analysis of the airport network of India as a complex weighted network. Physica A, 387(12): 2972-2980.
- Reilly W J. 1929. Methods for the study of retail relationships. Austin, TX: University of Texas Press.
- Wheeler D C, O'Kelly M E. 1999. Network topology and city accessibility of the commercial Internet. Professional Geographer, 51(3): 327-339.

# Spatial pattern of economic linkage network in Central Plains Economic Zone

PAN Shaoqi<sup>1</sup>, LI Yating<sup>1,2</sup>, GAO Jianhua<sup>1</sup>

(1. College of Environment and Planning, Henan University, Kaifeng 475004, Henan, China;

2. Center for Yellow River Civilization and Sustainable Development, Henan University, Kaifeng 475004, Henan, China)

**Abstract:** The Central Plains Economic Zone is an important engine of the central plains rising strategy, and it is also the strategy fulcrum of the regional coordinated development. Building a scientific and reasonable regional economic relation network is an important part of the construction of the Central Plains Economic Zone. This paper takes the Central Plains economic zone as a study area and its counties as the network nodes. The economic relation intensity among 231 nodes in 1996 and 2010 are calculated based on the gravity model. The regional quantity in the model is represented by the geometrical mean of GDP and population of the nodes. The GDP of 2010 have been deflated to the price level of 1996. The distance coefficient is represented by the shortest journey time by highway between the cities. Economic linkage network has been built in terms of the first, top5 and top10 in connecting intensity of each nodes, using the tools of GIS and method of Social Network Analysis to analyze the spatial pattern and evolutionary characteristics of the network, and the analysis is mainly based on the concept of degree, degree distribution, clustering coefficient and betweenness centrality, etc. The results show that: (1) The Central Plains economic zone has an unbalanced economic linkage network, and the distribution of the node degree exhibit an obvious rightward "inclined long-tailed distributions". The number of nodes with degree less than or equal to the median accounts for more than 85% of the total number of nodes, and a small number of nodes hold the absolute network power. Zhengzhou is the center of the network, while Luoyang and Handan are the sub-centers. The connectivity of the central and northern nodes is relatively strong, while measures should be taken to increase the connectivity of the eastern and southern nodes. (2) The network power gap between the central and marginal nodes is further widening, and the Gini coefficient and concentration ratios (CR1, CR5, CR10) of the node degree have increased significantly from 1996 to 2010. The network power of the core nodes further increases, while the connecting ability of the marginal nodes declines gradually. The unbalanced network development is more pronounced, and this will restrain the interactional development between the Central Plains Economic Zone and its adjacent regions. (3) The network has a multiple hub-and-spoke structure. The correlation between the node degree and clustering coefficient is significantly negative. This proves that the nodes with high degree are the main connection objects of the adjacent nodes, while there are fewer mutual connections between the peripheral nodes. With the high degree nodes as the core, the network formed several sub-networks with hub-and-spoke structure of different levels. Zhengzhou is the primary hub, and plays as the core leading role for the entire economic zone, while Luoyang, Handan and Luohe are the secondary hubs, mainly playing the roles of leading and radiating for the surrounding cities and counties. The construction of the cross-shape development axis and “米” glyph development zone will strengthen the economic linkage between the primary hub and the secondary hub, it will also help the entire region to realize the advantageous complementarities and linkage development. (4) The broker nodes play an important intermediary role in the network connectivity, and the betweenness centrality is not only closely related to the node degree, but also influenced by its location in the network. The broker nodes in the economic linkage network of the Central Plains Economic Zone are mainly located in the Central Plains City Group, so the development of the Central Plains City Group will have significant impact on improving the whole connectivity of the network.

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