

文章编号:1003-2398(2015)04-0079-08 DOI: 10.13959/j.issn.1003-2398.2015.04.013

# 中原城市群城镇网络结构特征分析： 基于空间引力与客运联系

刘正兵,丁志伟,卜书朋,王发曾  
(河南大学 环境与规划学院, 开封 475004)

## THE NETWORK STRUCTURE ANALYSIS OF ZHONGYUAN URBAN AGGLOMERATION BASED ON INTERACTIVE AND TRAFFIC FLOW RELATIONSHIP

LIU Zheng-bing, DING Zhi-wei, BU Shu-peng, WANG Fa-zeng  
(College of Environment and Planning, Henan University, Kaifeng 475004, China)

**Abstract :**The urban agglomeration is tending to realize networking development, spatial relationship network is one of important contents for spatial structure, so it is necessary to study the relationship network to provide basic theory to the development of urban agglomeration. The paper makes the nodes of counties or cities as the object of research, and takes advantage of the amount of interactive and traffic flow to reveal the feature of spatial network in Zhongyuan Urban Agglomeration based on the Interactive and Complex Network model. The findings show that: not only the spatial relationship has clear characteristics of double centers and hierarchical structure for Zhongyuan Urban Agglomeration, but the distribution of regional relationship on maximum direction is orderly. Interactive network and traffic flow network could support each other, but they also have difference and dominate development of urban agglomeration network with each other; Zhengzhou and Luoyang own higher centrality degree than other nodes, but they could not control the network totally, two kinds of networks tend to form diverse sub-groups. The strongest relationship of node-node has the ordered combination, but both of the networks obey to the long-tailed distributions is not obvious, the degrees of networks could not keep orderly. The sub-groups of interactive network have a strong intra-relationship, they are affected by the administrative area or shield affects visibly.

**Key words :**spatial relationship; complex network; interactive network; traffic flow network; Zhongyuan urban agglomeration

**提 要 :**以中原城市群县、市区节点为研究单元,基于引力模型与复杂网络模型,根据测定的城镇间引力与城际直接的客运班次两类数据,对中原城市群空间网络结构特征进行比较与归纳。结果表明:中原城市群空间联系突出了“双中心”与层次结构特征,引力与客运联系网络互为支撑,又各具特色,郑州与洛阳在城市群网络结构中的中心度较高,但对网络并没有绝对的控制力,城市群网络的集团化效应明显。城市群最大联系轴向有序,但空间网络结构并没有呈

现较强的“长尾分布”,城镇网络结构中心度分布有序性差。城市群引力网络子群体间的联系较弱,内部的联系密切,受行政区划的屏蔽或行政级别差异影响显著;而客运联系网络各子群体之间的联系较强,核心市区功能效应显著。

**关键词 :**空间联系;复杂网络;引力网络;客运网络;中原城市群

**中图分类号 :**F291.1 **文献标识码 :**A

基金项目:国家自然科学基金项目(41271144);河南省政府决策招标课题项目(2014190/2014207);河南大学科研创新项目(Y1326016/Y1324004)

作者简介:刘正兵(1988),男,四川安岳人,硕士研究生,主要从事城市与区域发展研究。E-mail: liuzhengbing2013@126.com。

通讯作者:丁志伟(1983),男,河南荥阳人,博士,讲师,主要从事城市规划与设计、城市区域综合发展研究。E-mail: dingzhiwei1216@163.com。

收稿日期:2014-05-19;修订日期:2014-10-01

全球城市体系形成与空间事物的重组织成为当前城市与区域互动的主题,交通条件的改善、信息化技术的进步及创新体制的推进,已经突破了“中心-腹地”模式的限制,为城市群网络化发展提供了前提。网络结构作为城市群空间结构的重要表现形式,不仅能体现城镇间相互作用的点、线组合状态,而且能从流空间拓展中心地理论的等级、位序以及规模等静态结构体系<sup>[1]</sup>,更能体现基于交通、行政及市场要素在空间范围内呈现的各类结构体系<sup>[2]</sup>。可以说,网络结构不仅体现着城市群内部的各个城市间的相互作用与联系格局,也体现着城市群空间结构向高层次的演化趋势。根据空间流在交通网络中的运行时间,学者利用复杂网络理论对航空网络的结构特征<sup>[3,4]</sup>、动力行为及影响机制<sup>[5]</sup>进行了实证研究。就公路网络而言,作为该网络中的城市节点所形成的空间尺度明显小于航空网络,其在短距离范围内对航空网络具有替代性,公路网络的时空收敛性已为学者所证实<sup>[6]</sup>,且对于小尺度效应明显的公路网络的通达性研究较多<sup>[7]</sup>。铁路网络介于航空网络与公路网络之间,其客运流在地域空间内同样具有复杂网络结构的特征<sup>[8,9]</sup>,高速化对时空的进一步压缩与对部分网络替代,对区域城市网络结构具有重要的效应<sup>[10,11]</sup>。另外学者也关注水路航运网络结构的特征及动力学行为的研究<sup>[12,13]</sup>。除上述的实体交通网络结构外,学者同样利用其他流动要素对区域空间网络进行了分析,例如旅游流、交通客运流等<sup>[14-16]</sup>。同时也关注其他地理事物关系网络的结构分析,如学者在经济领域分析产业网络结构及其演变<sup>[17,18]</sup>,在大数据背景下分析信息化对流动空间的影响<sup>[19-21]</sup>等。

综合国内外研究可发现,学者更多的是对区域内部经济联系的空间网络分析<sup>[22-24]</sup>,研究方法则主要根植于复杂网络理论分析。此类研究大部分避免了流动数据的客观限制,也能从区域联系网络视角揭示空间联系格局的分布状态,并取得了丰硕的成果。对于中原城市群空间结构而言,学者关注较多的是空间分布、空间整合与组织<sup>[25]</sup>、空间联系<sup>[26,27]</sup>、等级结构<sup>[28]</sup>等,近年来,也开始关注中原城市群的多中心网络结构特征<sup>[29,30]</sup>。但总体而言,将城镇间的相互作用量与实际流结合的案例较少,空间联系网络分析相对单一,各类功能联系网络的对比与融合研究较少。基于此,本文基于城镇间相互作用的间接量和客运联系的直接量进行对比与融合,以县、市区为研究单元,通过客运联系网络与复杂网络模型透视中原城市群的网络结构特征,以期为该城市群的空间结构优化组织与网络化发展战略与提供理论与实践参考。

## 1 数据与方法

### 1.1 数据来源

本研究以中原城市群县、市区城镇点为研究对象,共56个城镇(9个市区、33个县与14个县级市)。数据主要来源于《2013河南统计年鉴》、《2013中国城市统计年鉴》、2012年各城镇统计公报及2012版百度自驾地图。流动数据采用城际公路客运班次,即中原城市群内各个市区、县

与市区、县城之间三个层次的长、短途汽车客运班次,主要由各地客运汽车站时刻表及互联网搜索整理所得。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 相互联系的网络结构测度方法

##### (1) 引力模型

采用引力模型可计算城镇间相互作用联系量,其表达式<sup>[31]</sup>如下:

$$I_{ij} = \frac{M_i M_j}{D_{ij}^b} \quad (1)$$

式中 $I_{ij}$ 为城镇 $i$ 与 $j$ 之间的相互作用量, $M_i$ 、 $M_j$ 分别为城镇 $i$ 与 $j$ 的质量, $D_{ij}$ 为城镇 $i$ 与 $j$ 之间的最短距离,这里选公路自驾的最短距离, $b$ 为距离衰减系数(取其值为2)。在很多研究中,选择经济规模与人口规模对城镇间的相互作用量进行测度,但其并不能兼顾城镇质量的全面性,因此,本文采用综合指标进行测算。根据数据的可获得性、科学性、规范性、可比性等原则,从经济发展水平、社会发展水平、城镇发展规模及城镇建设投入水平四方面选取15个指标构建城镇综合质量指标体系。具体如下:选取城镇国内生产总值、第二产业产值、第三产业产值、工业生产总值、人均GDP、公共财政预算收入6个指标反映城镇经济发展水平;选取金融机构储蓄余额、万人卫生床位数、全社会消费总额、万人卫生技术人员数、万人普通中学在校生人数5项指标反映城镇社会发展水平;选取城镇人口与非农业人口两项指标反映城镇发展规模;选取公共财政预算支出与城镇固定资产投资两项指标反映城镇建设投入水平。去除量纲的影响,对原始数据进行标准化处理,利用主成分分析法提取主成分,结合指标总体方差的阐释以此确定各指标的权重,从而计算出各城镇的综合得分。由于各城镇的综合得分存在正负数的现象,为了便于进行再次计算与比较,需要对综合得分进行处理,统一加上一个临界值,其为最小值,并加常数1,使城镇的综合得分全为正数<sup>[32]</sup>。

##### (2) 客运流分析

城镇间的间接联系并没能全面反映网络结构,需要结合流动的直接联系进行补充与比较,主要以城镇节点间的往返客运班次反映其城市群直接联系,形成联系O—D路径,即两城镇互为该路径的起点与终点,由于流动能够体现城市群功能联系状况,流量具有功能活动意义。

根据城镇间的间接联系量与直接联系量,找出各城镇节点在整个空间联系网络存在的最大联系量节点,该网络实质为加权网络,利用Arc GIS绘制两两节点之间的最大联系牵引量(各市县节点间的首位联系轴线)。通过最大联系轴线进行位序-规模分析,计算各县市与其本身以外的所有城镇点的联系量为对外联系总量,以解释基于引力联系与流联系的城市群网络分布状况。

#### 1.2.2 复杂网络模型

##### (1) 中心度

中心度是网络结构的重要指标,能够反映城镇节点在区域网络中的位置与地位<sup>[2]</sup>。其表达式为:

$$D(c_i) = \sum_{j=1}^n d_i(c_i, c_j) / (n-1) \quad (2)$$

式中,  $D(c_i)$  为城镇节点在网络中的中心度,  $d_i(c_i, c_j)$  则表示城镇节点之间的相互关系。

(2) 集聚系数

该系数反映了网络结构的紧密程度, 以此描述网络节点各邻接点之间的比例关系, 其表达式为:

$$C_i = \frac{2E_i}{n(n-1)} \quad (3)$$

式中,  $C_i$  为节点  $i$  的集聚系数,  $E_i$  为节点  $i$  的相邻点  $n$  之间的连接数, 某节点  $C_i$  的越大, 则与其相邻接的节点之间的连接数越多。此外, 网络节点的平均集聚系数反映了网络集团化的趋势, 其主要考察了连接在一起的集团各自的近邻之中具有多少共同近邻<sup>[33]</sup>。

根据城市群城镇空间引力联系网络与客运联系网络的测量, 以两类网络形成各自的邻接矩阵, 在空间引力网络中以所有联系节点间的平均联系量为阈值, 对其邻接矩阵进行二值化, 并直接对空间客运联系网络(O—D)邻接矩阵进行二值化, 利用复杂网络模型分别对引力网络及客运网络的统计特征及现状进行定量评价, 并总结城市群复杂网络的结构特征。一般而言, 空间联系网络作为一个确定性的事物, 以此便于分析城镇网络要素分布状况。

2 结果与分析

2.1 基于空间联系的空间网络分布

2.1.1 城市群引力联系格局

通过计算, 结果见图 1-a。中原城市群内以郑州市区为首位联系城镇节点有 17 个, 其中荥阳市与郑州市区互为首位联系节点。洛阳市区作为第二位中心节点城市, 有 12 个县市节点以其为首位联系城市, 并与济源市互为首位联系节点, 地缘的临近是其联系格局形成的主要原因。平顶山、新乡市区各有 5 个城镇以其首位联系节点, 以焦作、开封市区为首位联系城镇的节点较少, 且其主要位于各个市

域范围内。对最大联系轴线的位序规模分析发现, Zipf 维数为 1.2742>1, 城市群引力联系网络的最大联系轴线较为集中。通过对城镇点的联系总量自然断点分级来看, 郑州市区为联系网络中的一级水平, 其综合实力较强, 第二级别的城镇为洛阳市区与荥阳市, 而三级水平城镇占到 17 个, 四级、五级水平个数分别为 20、16, 中、低层次的城镇节点较多。引力网络主要突出了省辖市区与县级市的层级性, 行政分级特征显著, 如荥阳、偃师、禹州、汝州等与开封、新乡、平顶山等省辖市区为同一层次。

郑州对自身周边的节点城镇以及开封的各个城镇的首位联系较为明显, 联系的首位性为郑汴都市区的构建提供了依据。在以郑州为首位联系城市的节点当中, 焦作、新乡以郑州为其最大的联系方向, 中心城市跨越其他城镇节点实现首位联系, 为中原城市群的轴向组团式发展提供了支撑。郑州与洛阳市域内非市区节点之间并不存在首位联系, 二者的中心城市都实现跨区的首位联系, 源于两个中心城市间实力相差较小, 周边城镇实力较强, 二者空间相互作用制衡性明显, 区域中心性亦显著, 而其他省辖市区节点在联系网络中地位并不突出。

2.1.2 城市群客运联系格局

根据城镇间的最大客运联系图 1-b 可知, 中原城市群以郑州市区为首位联系城市的节点有 18 个, 而以洛阳市区为首位联系城市的节点数为 12, 两城市在整个城市群客运网络中的地位仍然突出, 二者的城市功能效应突出。在其余城镇节点中, 以新乡、平顶山为首位联系节点数为 6 个, 开封、焦作市区的节点数仍然较少。郑州市区与荥阳同样互为最大功能联系的中心城市, 郑州市区对其他市域中心城市的空间牵引作用显著, 洛阳、开封、许昌、新乡、焦作市区均以郑州市区为首位中心联系城市。对最大联系轴线的位序规模分析发现, Zipf 维数等于 1.4972>1, 城市群客运联系网络的最大联系轴线较为集中。通过对城镇点的联系总量自然断点分级来看, 郑州为城市群联系网络的第一层次, 除济源市、漯河以外的其余 6 个省辖市区为第二级水平

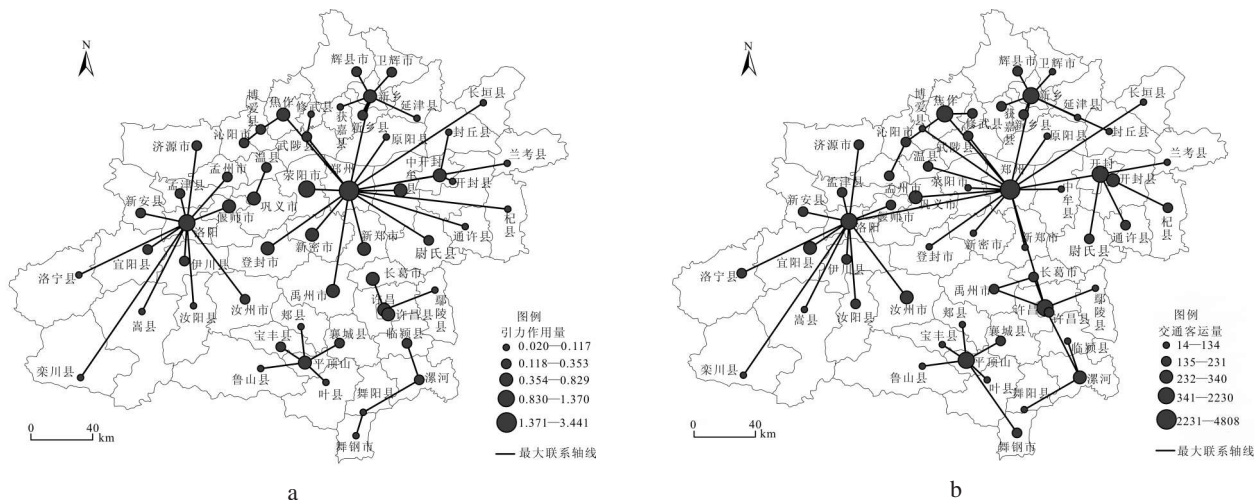


图 1 中原城市群空间联系网络节点的最大联系方向

Fig.1 The Maximum Orientation of Spatial Relationship Each Node for Zhongyuan Urban Agglomeration

状态,剩余的城镇节点为第四、五级层次,客运联系网络中的低层次水平的城镇占了绝大多数。

在整个城市群客运联系网络中,郑州相比于引力联系网络的跨区联系更为突出,其实现了与周边区域市区的联系牵引,且郑州对周边及其他县、市区节点的首位联系有所扩大。大多城镇首位联系轴线仍然局限于市域范围内,非省辖市区的城镇间在首位联系中的地位不明显,作为城市功能中心的市区,社会、经济活动远比非市区活跃,使得以人为行为主体的客运活动跨区联系效应显著。受空间距离与行政区划的影响,各个市域中市区往往作为其所影响区域内的县城节点的首位联系城市,而洛阳最为突出,以其为首位联系城市的节点主要集中于市域。

### 2.1.3 两类联系网络格局总体特征

从两类联系网络可以看出,二者具有相似性,市区是城市群网络的核心,在整个中原城市群网络结构中主要是以市区为牵引中心。在城市群联系网络中,郑州、洛阳占据了大多数首位联系轴线,二者的最大联系牵引轴线较多,空间牵引作用较强,对区域联系网络具有空间引导性,而其他省辖市区在网络中的引导力相对较弱。因此,中原城市群的空间联系网络结构的“双中心”牵引效应明显,一方面,郑州的综合实力对城市群空间引导力较强,且主要集中于中、东部,实现跨区的联系,其在功能联系方面对城市群空间结构的塑造作用明显,另一方面,洛阳则主要体现在城市经济综合实力对区域的影响力,空间相互作用效应显著,从而对中原城市群西部城镇空间组合发展具有引导性,但其在空间功能联系中所担的角色较弱。在城市群空间最大联系方向中,其呈现出显著的轴向特征,主要集中在郑州为中心的城市周边,其集聚与辐射能力较强,虽然以洛阳为最大联系方向的轴线较多,但其强度仍然弱于郑州与其周边的最大联系强度,中原城市群联系方向相对集中有序。

另外,中原城市群空间联系网络的城镇群体具有一定

的层级性,主要形成省辖市区为核心,非市区县城为边缘的联系格局特征,城市群在空间位置上呈现“市区-周边-市县”节点相牵引的分布格局,说明在城市群空间联系发展过程中,不会因为联系属性的差异影响城市群的总体格局,区域空间结构具有相对的稳定性或惰性(如郑州市区的层级地位),原有的城镇体系结构亦会影响空间的联系网络结构。省辖市济源并没有呈现此特征,说明中心实力与腹地大小的差异对节点在联系网络的位置影响较为重要,政策倾向在短期内并不能改变其在网络中的地位。

### 2.2 基于复杂网络的空间网络结构特征

区域空间网络对非均质空间的形成具有重要的作用,空间相互作用能够通过多维网络进行研究,从而使得对区域空间网络的研究一般依赖于空间相互作用关联矩阵<sup>[34]</sup>,需要在一定地理尺度下研究联系节点在城市群网络中的相应位置,并对网络参数的分布状态与性质(如无标度性与小世界性)进行描述,以此反映城市群网络的发展状态。

#### 2.2.1 城市群网络中心度分布

##### (1) 空间引力网络中心度分布

通过对引力网络中心度的计算(图2-a),该网络的平均度数为10,表明每一县、市区节点能实现平均与10个节点的紧密联系。省辖市区的中心度位序度较其他城镇高,各个市区中心度的极差为9,表明市区间网络度差异较小。郑州市区的中心度最大为48,洛阳为32,仅次于郑州,嵩县、洛宁、延津、栾川的网络度较小,除省辖市区外,边缘的城镇节点网络中心度相差较小。以引力网络的中心度及其累计概率绘制散点进行函数模拟,并将对网络影响微弱的0值城镇节点排除在外,以此反映网络度分布规律。由图3-a显示,空间引力网络度分布倾向于指数分布,幂函数分布不突出,城市群城镇间引力网络并不具有无标度性特征,城市群网络度的“长尾”性并不显著。

引力网络中郑州市区周边城镇的度数较大,高于部分省辖市区,以郑州为中心的都市区在中原城市群内的空间

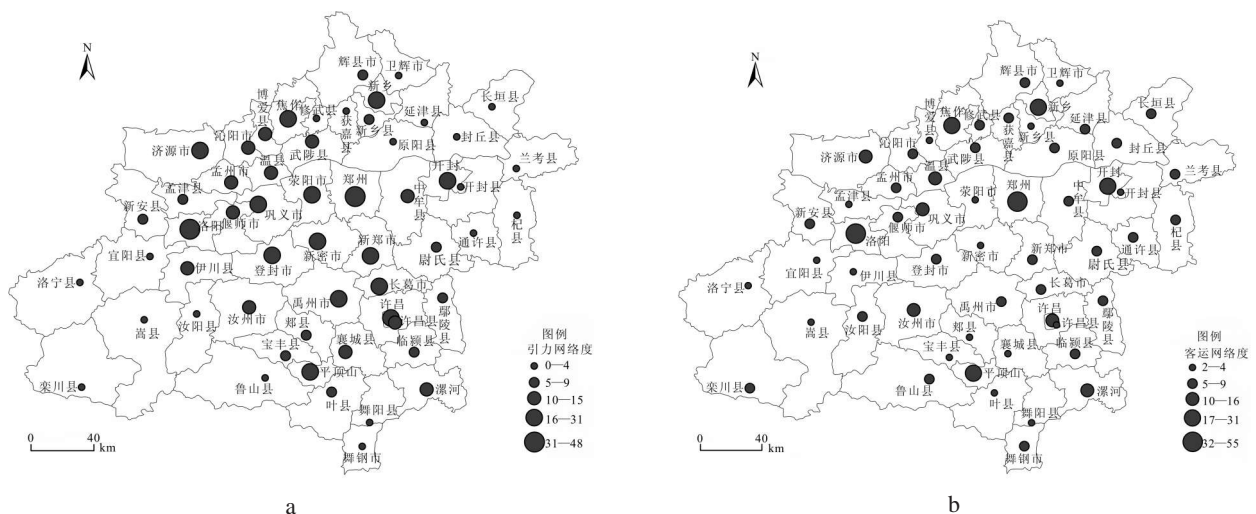


图2 中原城市群网络度分布

Fig.2 The Spatial Distribution of Degree of Network for Zhongyuan Urban Agglomeration

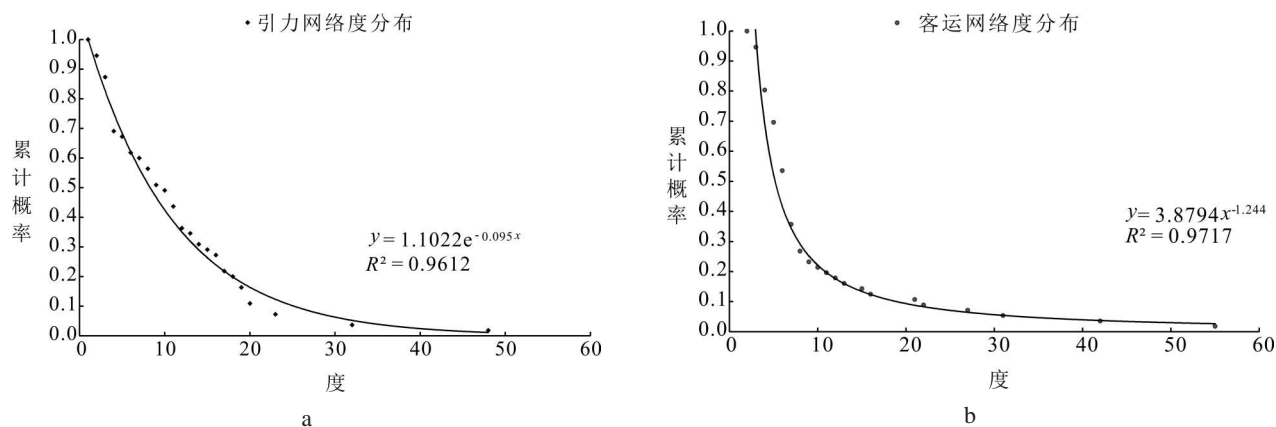


图3 中原城市群空间联系网络度的分布状态

Fig.3 The Distribution of Network Degree Centrality in Zhongyuan Urban Agglomeration for Spatial Relationship

效应明显,其在城市群网络中的地位较为凸显。而网络度数较小的城镇主要位于城市群区域的边缘位置,地域的空间位置影响了该类城镇的网络位置,表明城市群联系网络具有距离衰减性,地理位置对城市群网络的组成结构有重要的作用。各中心市区对城市群网络的形成及组织具有重要意义,从侧面反映了中心市区的经济效应显著,由于其是城市发展及影响的核心区域,导致其中心度高于其他非市区节点,但仅单一的市区对引力网络并不具有控制力。

#### (2)空间客运网络中心度分布

通过对客运网络中心度的计算(图2-b),其网络的平均度数为8,表明每一县、市区节点能实现平均与8个节点的紧密联系,每一城镇节点的平均对外联系较引力网络弱;省辖市区间的极差为20,各中心市区对网络具有相对的控制力,相对于引力网络的差异更大。郑州的网络中心度仍然最大为55,洛阳为42,同样仅次于郑州,其余城镇间的中心度差异同样较小。各市区在市域范围内的功能牵引较强,除省辖市区外,各个城镇节点度均为较低层次,郑州、洛阳最为突出。同样对客运网络度与其累计概率进行模拟发现(图3-b),城市群客运网络度则呈现出较强的幂函数分布的状态,与引力模型相区别,其幂指数为1.24,但根据BA网络的特性,幂指数为2与3之间,实际网络才具有意义,大多数实际网络幂指数倾向于此区间<sup>[22]</sup>,由此可见,中原城市群客运网络在目前阶段并不具有较强的无标度特征。城市群客运网络呈现较弱的右长尾特性,核心城市的网络度较非核心的高,交通位置的差异性使得该网络节点中心度的差异较引力网络大。

在客运联系网络中,新乡县、舞阳县、许昌县、郟县等较低,由于其与省辖市区较近,个别城镇节点甚至与市区趋于一体化(如许昌县与魏都区等),使得其对外联系能直接实现与中心市区的紧密联系,受行政影响显著。由此,在推动城市群网络化过程中,应与城乡一体化相结合,对于近邻城镇组合需要打破行政的屏蔽。

#### 2.2.2 城市群网络集聚系数分布

##### (1)引力网络集聚状态

从中原城市群引力联系网络的平均集聚系数来看,空间引力网络节点的平均值为0.73(见表1),联系网络的局

部连接明显,中原城市群网络具有较强的集聚性,城市群联系网络节点具有集团化的特征,同时也展现出小世界网络的特征。洛宁、嵩县、舞钢集聚系数为0,节点的网络集聚差异较大,区位效应显著。引力网络相对于客运网络的集聚程度较弱,需要加强其与城市群内其他城镇尤其是相邻市区的空间联系,表明城市群在规划及范围界定中考虑到行政区的完整性,导致在城市群网络中联系较弱的城镇节点组成城市群区域的一部分,其具有阻碍城市群网络结构发展的效应。

##### (2)客运网络集聚状态

计算客运网络节点的平均网络集聚系数,空间客运网络节点的均值为0.78,结合网络节点中心度的内部分异与平均集聚系数,空间客运联系网络的集团化特征较引力网络强,城市群网络内部的分块性较为明显。而在客运联系网络中,并不存在集聚系数为0的节点,各个城镇间的联系更为紧密,各个省辖市区的集聚系数小于县城,省辖市区作为空间集聚的重要牵引作用较为显著,与引力网络在集聚性能方面具有相似性。

#### 2.2.3 城市群网络总体结构特征

郑州的网络中心度均为最大值,以郑州和洛阳为城市群正副中心能够引领城市群网络结构的发展,城市群的复杂网络度进一步验证了区域双中心结构的存在。城市群网络度数较高的城镇数量较少,而度数较小的城镇占了大多数,低层次的城镇较多,城镇在空间网络结构中组织不合理。距离会影响城镇节点的网络特征,但并不是全部,功能的效应更为显著,各个省辖市区本身就拥有较好的网络地位,对邻近城镇具有空间压缩性。如开封市区与开封县、新乡市区与新乡县、许昌市区与许昌县在发展过程中,距离的邻近,并没有提高相应县城节点的中心度。由于受市区空间的扩容影响,必将促进二者的一体化,并实现撤县设区,其反而降低了县城的网络度,形成以市区为主体的网络节点。总体而言,中原城市群空间引力的网络整体中心度要大于客运空间联系网络,城市群内各城镇受其他城镇的空间引力或影响力较强,整个城市群网络的功能效应相对于城镇间的潜能作用较弱,呈现显著的“中心-腹地”结构特征,洛阳更依赖于综合实力的空间效应。

表1 中原城市群网络节点集聚系数(部分)

Tab.1 The Clustering Coefficient of Nodes for Zhongyuan Urban Agglomeration(part)

引力网络	集聚系数	引力网络	集聚系数	客运网络	集聚系数	客运网络	集聚系数
洛宁县	0.00	焦作	0.59	郑州	0.13	新郑市	0.60
嵩县	0.00	禹州市	0.59	洛阳	0.18	荥阳市	0.67
舞钢市	0.00	新郑市	0.61	开封	0.28	新密市	0.67
郑州	0.21	长葛市	0.62	宝丰县	0.30	武陟县	0.68
舞阳县	0.33	新密市	0.63	焦作	0.39	孟州市	0.68
新乡	0.34	汝州市	0.64	许昌	0.48	汝州市	0.69
洛阳	0.35	荥阳市	0.66	中牟县	0.53	新安县	0.70
开封	0.42	济源	0.67	新乡	0.55	沁阳市	0.70
平顶山	0.48	漯河	0.67	济源	0.56	漯河	0.71
巩义市	0.52	总体均值	0.73	巩义市	0.56	总体均值	0.78

中原城市群网络的无标度性不明显,两类网络度分布位于中间序列的城镇节点较多,主要集中于10—20之间,其余位置的城镇节点相对较少,核心城市网络度的首位度较低,与中原城市群城镇体系结构具有相似性,虽然城市群空间联系网络的首位层级性明显,但城市群城镇网络度分布的层级结构仍不尽合理。在中原城市群两类网络结构中,城市群网络的集聚效应明显,各个省辖市区的集聚系数较小,而其周边城镇集聚系数相对较大,表明城市群各非市区城镇能够与相邻市区有较强的集聚效应。空间联系网络本身的分布影响网络的集聚过程,除郑州外,大多数节点趋向于原有的行政区域集中,导致中原城市群网络具有较强的集聚作用。空间距离的效应在网络节点集聚系数分布中表现较为明显,集聚系数较大的城镇基本上离中心城区近,在相邻市区之间的城镇易受市区的辐射影响对外有较高的联系总量,如巩义市、新郑市、长葛市、荥

阳市等城镇在中原城市群联系网络中有较强的集聚性。中原城市群网络的空间集聚更倾向于交通效应,在发挥城市群网络化带动性的同时,如何发挥其交通的优势成为关键,郑州市在中原城市群城镇体系的首位带动性较差,其对城市群网络的凝聚能力很大部分取决于交通的优势地位及交通运输业的外向功能。

#### 2.2.4 城市群网络组团结构

根据对中原城市群网络特征的描述,城市群网络具有异质性,小世界网络特征较为突出,其集聚性能明显,使得城市群网络内部存在不同的组团(子群),在复杂网络中主要以社团为其特征表达。因此,本文采用Ucinet的Concor模块对城市群网络进行聚类分析,结果展示,整个城市群的两类联系网络均被划分为8个子群,如表2所示,中原城市群网络组团可以归纳为两种模式。

##### (1) 近邻式组团显著的引力网络结构

在中原城市群引力网络中,各城镇组成的团体主要依赖于地域的相邻,郑州市区、焦作市区、洛阳市区、新乡市区、济源市形成一个组团,其内部的联系较为紧密,跨市域行政区划效应明显。而开封市辖各城镇形成一个组团,虽然与核心城市郑州所在的组团相邻,但并没能提高其在网络中的地位,各城镇的抱团取暖仅仅是暂时的规避行为,并不能有效的促进城市群网络式的发展。仅有发展较好的尉氏县与郑州市域的相邻城镇联系紧密,形成脱离郑州与开封的紧密团体。在城市群网络结构中处在较为边缘位置的舞阳县、栾川县、舞钢市形成一个子群,许昌、平顶山、漯河及相邻部分城镇形成一个团体结构,这与中原城市群的成长三角地带的实际相符,充分说明了中原城市群在建设发展过程中需要继续完善该三角地带的结构,这是由其本身存在的联系网络特性所决定的。在引力网络中以非市区为单位构成的群体占了大多数,一方面是由中心城市本身的带动力及辐射强度不足造成的,这需要中原城市群有一个强有力的发展核心来引

表2 中原城市群网络的社团结构分布

Tab.2 The Communities' Structure of Network of Zhongyuan Urban Agglomeration

社团	空间引力网络划分	空间客运网络划分
1	郑州、温县、巩义市、荥阳、焦作、偃师市、洛阳市、武陟县、博爱县、沁阳市、孟州市、济源市、新乡市	郑州
2	宜阳县、新安县、伊川县、孟津县、嵩县、洛宁县	新安县、卫辉市、新密市、宜阳县、洛宁县、伊川县、偃师市、嵩县、汝阳县、博爱县、孟津县、巩义市、荥阳市
3	杞县、开封县、兰考县、开封市、通许县	修武县、温县、沁阳市、辉县市、获嘉县、原阳县、延津县、封丘县、长垣县、新乡县、武陟县、孟州市
4	获嘉县、原阳县、修武县、辉县市、新乡县、长垣县、卫辉市、延津县、封丘县	新乡、济源、洛阳、焦作
5	新郑市、新密市、尉氏县、中牟县、登封市	中牟县、开封县、新郑
6	平顶山、叶县、临颖县、许昌市、襄城县、禹州市、长葛市、漯河市、许昌县、鄢陵县	鲁山、宝丰县、杞县、栾川县、登封市、叶县、兰考县、尉氏县、汝州市、鄢陵县、郟县、通许县
7	舞阳县、舞钢市、栾川县	开封市、平顶山、许昌
8	汝州市、宝丰县、汝阳县、鲁山县、郟县	舞钢市、舞阳县、临颖县、漯河市、禹州市、长葛市、襄城县、许昌县

注:两类网络社团划分并不具有一一对应性,仅为社团编号。

领。另一方面是由于县域发展的实力差异及相邻区域的距离差异所造成。

利用聚类分析得出的密度矩阵来窥探城市群网络中各个子群体的内外部联系状况,如表3所示,各个团体自身内部都存在较为紧密的联系,仅第七个社团内并不具有内在联系,源于栾川县与舞钢市、舞阳县并不相邻,无法形成紧密的社团。各社团之间在网络中的联系较弱,需要进行轴向规划设计,仅第五类群体与第六类群体之间联系紧密,郑州周边的县市与平顶山、许昌、漯河具有紧密的联系,主要源于郑州南部的县域新密市、新郑市与长葛市、许昌的相互作用较强,从首位联系来看,郑州为许昌禹州市的首位联系城市,轴向显著;由于新郑航空港作为郑州市域的重要人流与物流集散地,京港澳高速、国道107及京广铁路线等的相连使得交通联系具有便捷性,加之地域的相邻,导致该两个子群间的联系较强。

表3 城市群引力网络团体的联系密度矩阵  
Tab.3 The Density Matrix of Interactive Relationship for the Communities of Zhongyuan Urban Agglomeration

团体	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	1	0	0	0	0	0	0
3	0	0	1	0	0	0	0	0
4	0	0	0	1	0	0	0	0
5	0	0	0	0	1	1	0	0
6	0	0	0	0	1	1	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	1

(2) 中心-边缘式组团显著的客运网络结构

中原城市群客运联系网络突出了核心城市的作用,郑州作为整个中原城市群网络的核心城市,与其他网络子群体均存在较强的联系,能够支配城市群网络实现组团式发展,因而使其成为了独立的社团而存在。从该网络结构来看,形成省辖市区与县市组团相分离的格局,子群体间的联系较多,个别子群体内部联系相对较弱,与空间引力网络具有显著的区别,新乡、济源、洛阳、焦作市区为一组团,与郑州相联系,长期以来的各个市区所在的行政区具有较强的联系,从而促成网络的组团形成。根据网络密度矩阵(表4),开封、许昌、平顶山所在子群体与漯河及鲁山县等所在子群体具有较强的联系,许平漯三角地带与开封市县存在网络发展的功能联系,由于郑州本身就能引领各子群体的联系,其余子群体作为相对的边缘组团而存在,以此推动其他组团与核心城市的互动发展。新乡与修武等县市所在的子群体联系较强,该地域内中心市区对周边范围内的县市有较强的牵引,主要为新乡与焦作所辖的县市,具有一定的近邻效应。各个市区所在的子群体间均存在较强的联系,功能联系在中原城市群网络中的跨区效应显著,各个省辖市区仍然作为社会政治经济的中心,对网络的组团有重要的引领作用,非市区处于网络边缘。

在两个网络的聚类比较过程中发现,二类网络并不是完全的分隔,而是互为支撑,主要体现在对网络特征塑造的要素,如距离、行政、社会经济实力、城市的辐射对两类网络均有重要作用。在形成城市群组团过程中,既有近邻与行政效应,并随距离而衰变,又有功能跨区效应,只是客运联系网络的后一个效应更明显而已。

表4 城市群客运网络团体的联系密度矩阵  
Tab.4 The Density Matrix of Traffic Flow Relationship for the Communities of Zhongyuan Urban Agglomeration

团体	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	1	1	1	1	1	1	1
2	1	0	0	0	0	0	0	0
3	1	0	0	1	0	0	0	0
4	1	0	1	1	0	0	1	0
5	1	0	0	0	0	0	0	0
6	1	0	0	0	0	0	1	0
7	1	0	0	1	0	1	1	1
8	1	0	0	0	0	0	1	0

注:两两团体对应的矩阵值小于0.5,则转化为0,表明二者存在联系较弱,大于0.5则转化为1,表明二者联系较强;每一个团体自身值为1时,表明其内部联系紧密。

3 结论及建议

通过对中原城市群两类空间联系网络结构的分析发现,城市群首位联系较明显,即中原城市群轴向规模分布相对有序,以郑州、洛阳形成的“双中心”结构模式凸显,二者在城市群网络中具有最高的中心度,城市群网络节点度分布具有层级性,但规模结构不尽合理,需要进一步提升郑、洛的中心度。中原城市群空间联系网络的“长尾分布”特征并不明显,网络具有较强的集聚组团性能。中心市区与各县市具有相对的分割性,两类网络具有一定相似性,二者互为支撑,行政分割是影响两类网络分布的重要要素,但两类网络受到的驱动效应仍然具有显著的差异性,引力网络有较强的地理邻近与区划效应,各个中心城市具有共同引领性,引力网络突出了各个中心市区临近的组团功能,城镇组团内部联系较强;而客运联系网络较多的是跨区的社会经济功能效应,郑州空间引领作用较为突出,客运网络在组团过程中则展现了“多中心”市区的组团效应,各个网络组团之间的联系较强。

城市群网络化发展是城市群今后发展的重要方向之一,传统的“中心-腹地”的区域结构并不能反映城市及区域的空间“流”的时代特征,受中心地理理论的影响,在一定程度上过分注重了“中心-圈”等点状格局的战略导向,而忽略了网络化发展的轴带作用。轴带对于城市区域空间结构的推动意义深远,尤其是在工业化的后期,交通的高速发展促进轴带的发展,结合轴带与节点的相互作用机制,是实现城市及区域网络化发展的基础。由此,对于中原城市群的网路发展而言,加强空间发展的“多向性”,

在保证郑州为核心的首位联系,更需要加强东南部城镇间的首位联系。注重核心发展极的构建尤为重要,郑东新区、开封新区、郑汴产业带可以作为发展的核心区域来推动城市群的空间发展,即组建现代化郑汴都市区。各县市应该增强其与中心市区的互动效应,对于那些位于边缘的县市需要打破行政界线的限制,因此,当前省直管县的设立具有针对性,未来还需要对城市群网络边缘的其他县市给予政策支持。

另外,城市群网络是一个复杂的体系,城市群体间客运、货流、资金流、信息流、劳动流、空间相互作用、企业生产链条及企业间的从属关系等均能在各自的属性上反映城市群网络结构,且各类网络具有各自的特点。由于受研究数据的限制,还需要全面地对各类网络的耦合关系及其运行机制进行分析,以此全面反映区域网络发展的结构特征;城市群网络结构具有非均质性特征,如何对城市群网络结构的多尺度(空间范围)、多层次(网络及节点等级性)及多维度(多属性)分析成为解析城市群空间网络结构的重要内容。

#### 注释:

引力联系使得每一个节点都存在当量的联系,可能会夸大空间联系状态,不具有可比性,因此,主要对首位联系比较分析。

位序规模分布公式为:

$$P(r) = P_1 r^{-\alpha}$$

式中, $r$ 为最大联系方向的规模, $P(r)$ 为第 $r$ 位的联系轴线规模, $P_1$ 为理论上最大的联系量。 $\alpha > 1$ 时,空间最大联系轴线分布集中, $\alpha < 1$ 时,各城镇间首位联系轴线较为分散,最大方向联系轴线的首位度不突出,中低等强度的联系轴线较发育。

#### 参考文献

- 王士君,冯章献,刘大平,等.中心地理论创新与发展的基本视角和框架[J].地理科学进展,2012,31(10):1256-1263.
- 汪小帆,李翔,陈关荣.复杂网络理论及其应用[M].北京:清华大学出版社,2006.
- 刘宏鲲,周涛.中国城市航空网络的实证研究与分析[J].物理学报,2007,56(1):106-112.
- 王姣娥,莫辉辉.中国航空网络演化过程的复杂性研究[J].交通运输系统工程与信息,2013,14(1):71-80.
- 曾小舟.基于复杂网络理论的中国航空网络结构实证研究与分析[D].南京:南京航空航天大学,2012.
- 牛树海.高速公路网络化的时空收敛效应研究——以河南省为例[J].人文地理,2006,21(6):106-110.
- 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.
- DENG Y, YANG Y, MA R. Highway network structure characteristics based on complex network theory[J]. China Journal of Highway and Transport, 2010,23(1):98-104.
- GU Xuejing, LI Dewei, QIN Lu. Spatial Structural Characteristics of Chinese Railway Passenger Network Based on Complex Network Theory[C]//National Conference on Information Technology and Computer Science. Paris: Atlantis Press, 2012:750-753.
- 孟德友,陆玉麒.高速铁路对河南沿线城市可达性及经济联系的影响[J].地理科学,2011,31(5):537-543.
- 王姣娥,丁金学.高速铁路对中国城市空间结构的影响研究[J].国际城市规划,2011,26(6):49-54.
- 熊文海.世界航空网络的结构特性及其动力学行为研究[D].青岛:青岛大学,2009.
- 宗刚,胡蓓蓓,韩建飞.中国沿海港口网络空间结构的复杂性研究[J].中国软科学,2012(12):171-178.
- 王永明,马耀峰,王美霞.中国重点城市入境旅游空间关联网络特征及优化[J].人文地理,2013,28(3):142-147.
- 马耀峰,林志慧,刘宪锋,等.中国主要城市入境旅游网络结构演变分析[J].地理科学,2014,34(1):25-31.
- 罗震东,何鹤鸣,耿磊.基于客运交通流的长江三角洲功能多中心结构研究[J].城市规划学刊,2011(2):16-23.
- 吕康娟,付曼杰.我国区域间产业空间网络的构造与结构测度[J].经济地理,2010,30(11):1785-1793.
- 孙露,薛冰,张子龙,等.基于SNA的中国产业网络结构演化及定量测度[J].生态经济,2014,30(2):83-87.
- 甄峰,刘晓霞,刘慧.信息技术影响下的区域城市网络——城市研究的新方向[J].人文地理,2007,22(2):76-80.
- 甄峰,王波,陈映雪.基于网络社会空间的中国城市网络特征——以新浪微博为例[J].地理学报,2012,67(8):1031-1043.
- 熊丽芳,甄峰,席广亮,等.我国三大经济区城市网络变化特征[J].热带地理,2014,34(1):34-43.
- 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[J].地理学报,2011,66(2):199-211.
- 刘耀彬,戴璐.基于SNA的环鄱阳湖城市群网络结构的经济联系分析[J].长江流域资源与环境,2013,22(3):263-271.
- 汤放华,汤慧,孙倩,等.长江中游城市群经济网络结构分析[J].地理学报,2013,68(10):1357-1366.
- 刘晓丽,方创琳,王发曾.中原城市群的空间组合特征与整合模式[J].地理研究,2008,27(2):409-420.
- 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[J].地理研究,2006,32(7):222-232.
- 刘立平,穆桂松.中原城市群空间结构与空间关联研究[J].地域研究与开发,2011,30(6):164-168.
- 王发曾,郭志富,刘晓丽,等.基于城市群整合发展的中原地区城市体系结构优化[J].地理研究,2007,26(4):637-650.
- 史雅娟,朱永彬,冯德显,等.中原城市群多中心网络式空间发展模式研究[J].地理科学,2012,32(12):1430-1438.
- 史雅娟,朱永彬,顾高翔.基于公路交通流量的中原城市群网络结构特征[J].中州大学学报,2013(1):9-13.
- 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[J].地理研究,2008,27(1):1-12.
- 梅志雄,徐颂军,欧阳军,等.近20年珠三角城市群城市空间相互作用时空演变[J].地理科学,2012,32(6):694-701.
- 杜海峰,李树茁, W.F. Marcu, 等.小世界网络与无标度网络的社区结构研究[J].物理学报,2007,56(12):6886-6893.
- Rozenblat C, Melançon G. Methods for Multilevel Analysis and Visualisation of Geographical Networks[M]. Berlin: Springer, 2013: 19-25.

责任编辑 高岩辉