

# 多重城市网络空间结构及影响因素 ——基于有向多值关系视角

宋 琼<sup>1</sup>, 赵新正<sup>1</sup>, 李同昇<sup>1\*</sup>, 刘静玉<sup>2</sup>

(1. 西北大学城市与环境学院, 西安 710127; 2. 河南大学环境与规划学院, 河南 开封 475004)

**摘 要:** 从有向多值关系视角, 以中原城市群为案例区, 对比分析静态网络、百度信息网络、综合交通网络的空间结构, 选择经济、文化、行政、时间距离方面的7个因素构建关系回归模型, 剖析3个网络的影响因素。结果表明: ①3个网络之间的相关系数表现为: 百度信息网络与综合交通网络>百度信息网络与静态网络>综合交通网络与静态网络且其值均高于0.582, 表明整体的相似性大于差异性; ②在空间结构上, 3个网络均表现出以郑州为中心, 以京广线和陇海线为发展轴, 郑州、开封、新乡、洛阳、许昌构成了骨干网络, 并形成辐射与集聚优势共存的中心片区; 在中心片区之外, 3个网络表现出明显的差异性特征。网络节点的辐射与集聚能力在百度信息与综合交通网络中均是正相关, 而在静态网络中则是负相关; ③关系回归模型的7个因素均对3个网络产生了不同程度的影响, 其中企业合作、行业结构相似、经济制度邻近是影响3个网络相似性较强的因素, 而收入差距、文化相似、行政隶属、平均时间距离是影响它们之间差异性的因素。本研究为关系转向下的城市体系研究提供了新的思路。

**关键词:** 多重城市网络; 空间结构; 关系回归模型; 影响因素; 有向多值关系; 中原城市群

## 1 引言

城市体系作为人文—经济地理学研究的核心命题之一, 长期以来备受学术界关注。20世纪30年代, Christaller“中心地理论”的诞生, 对世界城市体系研究产生了重大影响。中国城市体系研究的热潮始于20世纪80年代(鲍超等, 2014), 并逐渐形成等级规模结构、职能类型结构、地域空间结构、网络系统的“三结构—网络”基本框架(顾朝林等, 1999)。90年代后, 人文—经济地理学关系转向中出现了从“地方空间”向“流空间”的转变(Castells, 1996), 促进了城市体系研究从“等级规模”向“城市网络”的范式转型。

城市网络作为复杂系统, 以人流、物流、经济流、信息流等动态“城市流”为交往方式, 空间投影交错密集, 城市作为网络节点成为多重流空间网络的连接器(Pfliege et al, 2010)。国外学者从生产性服务业(Jacobs et al, 2011)、互联网(Malecki, 2002a, 2002b)、社会网络(Scott, 2012)、城市创新合作(Huggins, 2017)等方面对城市网络展开了大量研究。以Taylor为代表的“全球化与世界城市”(GaWC)网络研究小组, 从企业网络视角对世界城市网络进行了系统的研究(Taylor, 2001, 2004; Taylor et al, 2002), 对区域和地方城市网络(Daniels et al, 2005)及其时空演变(Alderson et al, 2010; Derudder et al, 2010)也给予越来越多的关注, 连锁网络模型(Taylor, 2001)

收稿日期: 2017-12-14; 修订日期: 2018-05-03。

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(41401184); 教育部人文社会科学基金项目(14YJCZH222); 陕西省教育厅科学研究计划项目(14JK1753); 西北大学研究生自主创新项目(YZZ17148) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41401184; Project of Humanities and Social Sciences of Ministry of Education, China, No.14YJCZH222; Natural Science Foundation of MOE in Shaanxi Province, No.14JK1753; Graduate Student Innovation Project of Northwest University, No.YZZ17148]。

**作者简介:** 宋琼(1990-), 女, 河南林州人, 博士研究生, 主要从事经济地理与区域发展研究, E-mail: songqiongnwu@163.com。

**通讯作者:** 李同昇(1960-), 男, 陕西岐山人, 教授, 博士生导师, 主要从事经济地理与区域发展研究, E-mail: leetang@nwu.edu.cn。

**引用格式:** 宋琼, 赵新正, 李同昇, 等. 2018. 多重城市网络空间结构及影响因素: 基于有向多值关系视角[J]. 地理科学进展, 37(9): 1257-1267. [Song Q, Zhao X Z, Li T S, et al. 2018. Spatial structures and influencing factors of multiple urban networks based on the perspective of directed-multivalued relation[J]. Progress in Geography, 37(9): 1257-1267.]. DOI: 10.18306/dlkxjz.2018.09.008

和总部—分支机构模型(Alderson et al, 2010)被广泛应用于企业网络研究。受世界城市网络研究趋势的影响,国内城市网络研究也蓬勃兴起,学者们从经济联系网络(冷炳荣等, 2011),公路、铁路、航空交通运输网络(陈伟等, 2017; 王姣娥等, 2017),企业网络(王聪等, 2014; Zhao et al, 2015; 吴康等, 2015)及信息网络(王波等, 2013)等方面对中国的城市网络进行了大量研究,研究区域多围绕全国和典型城市群(He et al, 2017)展开,并开始关注不同形式网络结构的对比(Lao et al, 2016)、网络演化特征(李亚婷等, 2014)和网络驱动机制(钟业喜等, 2016)。引力模型(顾朝林等, 2008)、总部—分支机构(吴康等, 2015)、社会网络(钟业喜等, 2016)等方法仍是主要的研究方法,并得到了不断改进(Liu et al, 2012; 赵渺希等, 2014; 钱春蕾等, 2015)。关系网络根据方向和取值可分为4类:无向二值网络、有向二值网络、无向多值网络和有向多值网络(刘军, 2009)。囿于数据来源和模型,现有研究多为无向二值网络,缺点是不易比较城市在网络相互作用中的强弱,而有向多值网络在研究城市职能与城市间相互关系方面则具有更大的优势(刘铮等, 2013)。

随着社会经济的高速发展,城市联系趋向复杂化和多样化,网络多重性愈发明显,以属性数据表征的静态网络仍具有意义,而人口、企业、交通、信息等方面的动态网络则更为直观,二者之间相互关联。将静态属性数据与动态流数据相结合,从有向多值关系视角进行多重网络集成研究成为趋势,且信息流、公路客运流、铁路客运流等在中观尺度表现出的有向多值特征也为更全面地认识城市网络提供了可靠支撑。城市群作为中观尺度的典型代表,是国家新型城镇化最重要的空间组织路径(方创琳, 2014),今后将在助推城镇化进程和引领区域发展中发挥至关重要的作用。

在系统整合的思想下,基于有向多值关系视角,以中原城市群为实证案例,从网络的层级和节点方面对比分析静态网络、百度信息网络、综合交通网络空间结构的共性与差异性特征;从经济、文化、行政、时间距离方面构建城市网络的关系回归模型,借助QAP方法,剖析3个网络的影响因素,总结它们之间共性与差异性特征的影响因素,不仅可为城市网络研究提供新的思路,也可科学规划城市群区域的空间组织路径提供有益参考。

## 2 研究区域、数据及方法

### 2.1 研究区域

2016年12月国务院正式批复《中原城市群发展规划》,将原来河南省9市的范围扩展为5省30市(图1)(中共中央国务院, 2016)。中原城市群地处承东启西,连贯南北的“两横三纵”城镇化战略格局中陆桥通道与京广通道的交汇处,在中国城市群中具有典型代表性。本文的基本地域单元为30个城市市区,2015年市区总面积3.21万km<sup>2</sup>,总人口3656.79万人。

### 2.2 数据来源

人口与社会经济发展数据主要来自2016年《中国城市统计年鉴》。鉴于济源市无下辖区,所有指标均采用《河南统计年鉴》的全市数据。百度搜索指数来源于百度指数网,为2016年7月-2017年7月搜索指数平均值。公路客运班次数据来源于携程网和河南省公路客运联网售票平台;公路的时间和空间距离为百度地图两市政府所在地之间行车时间和里程数。铁路客运班次数据来源于铁路12306售票网站;铁路时间距离为2个城市间火车的行车时间数据(若城市间火车既有普通车次又有高铁车次,则取普通车次与高铁车次的行车时间平均值;无直达火车的城市间按最短时间、最短路程原则,取中间城市换乘的行车时间之和)。公路和铁路客运班次数据均为2017年7月1-7日的平均值。

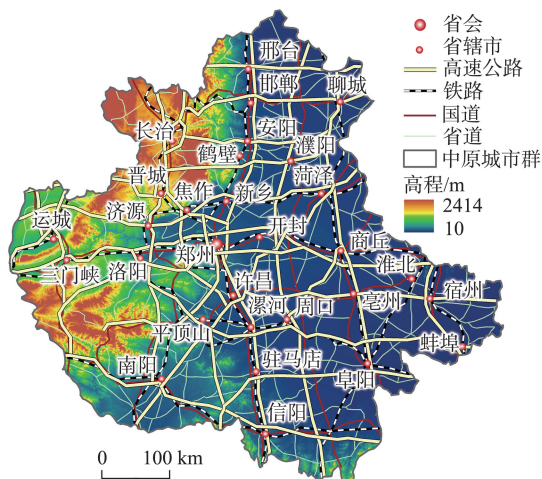


图1 中原城市群区位图

Fig.1 Location of the Zhongyuan urban agglomeration

## 2.3 研究方法

### 2.3.1 静态网络度量模型

引力模型是基于属性数据估算城市间联系强度的重要工具,在具体研究中被不断改进以提高模拟精度,计算公式为(钱春蕾等, 2015):

$$F_{ij} = K \frac{\left( \sum_{h=0}^n W_{i-h} \times P_{i-h} \right) \times \left( \sum_{f=0}^n W_{j-f} \times P_{j-f} \right)}{D_{ij}} \quad (1)$$

式中:  $F_{ij}$  为城市  $i$  和  $j$  间的联系值;  $W_{i-h}$  和  $P_{i-h}$  分别为城市  $i$  中影响城市综合实力的第  $h$  种因子的权重值和量化值;  $W_{j-f}$  和  $P_{j-f}$  分别为城市  $j$  中影响城市综合实力的第  $f$  种因子的权重值和量化值,采用熵值法测算各因子的权重值;  $n$  为因子总数;  $D_{ij}$  为城市间公路空间距离;  $K$  为相对引力常量。综合实力大的城市指向综合实力小的城市为矢量正方向,反之为负方向,计算过程如下:

$$K = G \times (1 \pm a) = \begin{cases} 1 + a & (Q_i > Q_j) \\ 1 - a & (Q_i < Q_j) \end{cases}, \quad a = \frac{(Q_i^2 + Q_j^2)}{(Q_i + Q_j)^2} \quad (2)$$

式中:  $G$  为量纲转换系数,值取 1;  $a$  为调节系数;  $Q_i$ 、 $Q_j$  分别为城市  $i$ 、 $j$  的综合实力。

根据对城市综合实力的理解,构建包括城市规模、城市经济、城市发展、城市生活、城市生态 5 个系统 15 个具体指标的城市综合实力评价指标体系(表 1)。

### 2.3.2 社会网络分析法

(1) 网络密度。网络密度反映网络中城市关系的稠密性,通过网络中实际存在的关系数与理论上可能存在的关系数之比得到。计算公式为(刘军, 2009):

$$D = \frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k d(n_i, n_j)}{k(k-1)} \quad (3)$$

式中:  $D$  为网络密度;  $k$  为节点数;  $d(n_i, n_j)$  为节点  $n_i$ 、 $n_j$  之间的关系量。

(2) 平均最短路径。最短路径是指 2 个城市直

接连接或经过其他节点实现连接的最少边的数目(吴康等, 2015)。网络的平均最短路径即为所有城市间最短路径之和的平均值,描述了网络全局的连通性。计算公式为(冷炳荣等, 2011):

$$L = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i \neq j} d_{ij} \quad (4)$$

式中:  $L$  为网络平均最短路径;  $n$  为城市数;  $d_{ij}$  为城市  $i$  到城市  $j$  的路径长度。

(3) 点的中心度。点的中心度分为绝对中心度与相对中心度 2 类。绝对中心度为城市  $i$  与其他所有城市的联系量之和,相对中心度为绝对中心度与网络中城市的最大绝对中心度值之比。中心度又分为外向程度和内向程度,在有向多值网络中以外向程度表征城市的辐射能力,以内向程度表征城市的集聚能力,中心度值越大,则该城市在网络的中心性越强,与其他城市的联系能力越强。计算公式为(刘军, 2009):

$$C(n_i) = \sum_{j=1}^n X_{ij} \quad (5)$$

式中:  $C(n_i)$  为中心度的外向/内向程度;  $X_{ij}$  表示网络中城市  $i$  与城市  $j$  的联系值。

(4) 二次指派程序 QAP(Quadratic Assignment Procedure)。以对关系矩阵的置换为基础,对 2 个关系矩阵各值进行相似性比较,给出相关系数和回归系数,同时对系数进行非参数检验(刘军, 2009),避免了多元回归模型易产生多重共线性的问题。

## 3 多重城市网络空间结构分析

静态网络采用静态网络度量模型测算城市间的联系值和方向,参考相关研究(王永明等, 2012),判定阈值为 2。百度信息网络以百度搜索指数刻画。综合交通网络采用 AHP 法将公路客运班次与铁路客运班次数据合并构建,邀请人文—经济地理学领域的 33 位专家学者为公路客运和铁路客运的

表 1 城市综合实力评价指标体系

Tab.1 Evaluation index system of urban comprehensive strength

目标层	系统层	指标层
城市综合实力	城市规模	市区总人口、建成区面积
	城市经济	人均 GDP、固定资产投资额、第三产业总产值、工业增加值、实际使用外资金额
	城市发展	人均城市道路面积、万人拥有公共汽(电)车辆数
	城市生活	在岗职工平均工资、万人拥有高校在校学生数、万人拥有医生数、社会消费品零售总额
	城市生态	人均绿地面积、建成区绿化覆盖率





借助中间1个城市来实现连通,有3组城市则需要借助中间2个城市实现连通。在3个网络中静态网络联系较稀疏,平均最短路径较长。核心骨架表现为以郑州为中心,以京广、陇海、长治—洛阳为轴的H型格局。一、二级联系表现为郑州向外的辐射作用和空间邻近的城市间的联系,其区域差异为:西部强于东部,北部强于南部。三、四级联系继续在近距离城市间增加,形成以开封、洛阳、新乡、许昌、焦作、邯郸、晋城为中心的局部区域网络,此时区域东南部稍显弱势。五级网络表现为远距离城市间的弱联系。整体看,郑州、开封、洛阳、新乡、许昌、焦作的辐射能力均已覆盖全域,相互间也处于较高等级联系,中部城市集群一体化态势显现。

百度信息网络密度为0.991,平均最短路径为1.009,其中99.1%的城市实现了信息直接连通,仅有0.9%的城市最短路径为2。在3个网络中百度信息网络联系最稠密,实现直接连通的城市最多。郑州在百度信息网络中居于主导地位,27个城市的被搜索量最大值均来自于郑州,17个城市向外搜索量的第1位也是郑州。百度信息网络在空间上形成以郑州、商丘为中心的放射状骨干网络,高等级联系覆盖面比较广。受网民规模的地域差异影响,中原城市群中部的郑州、洛阳、新乡和东部的商丘,南部的南阳、信阳,在一、二级联系中表现突出。三级联系继续在中部、南部城市间增多。四、五级联系多为西北部 and 东南部城市的向外联系。在5个等级联系线中,四级联系线以42.99%的占比居最大,说明百度信息网络发育程度较好。百度信息网络中郑州→洛阳的关注度最高,为第2位郑州→开封的1.44倍,而8条未联结的线中有5条为淮北市的对外联系。

综合交通网络密度为0.846,在空间上表现为以郑州为中心由内向外圈层递减的特征。平均路径长度为1.154,其中84.59%的城市可实现交通直达,15.41%需借助中间1个城市换乘实现交通可达。与其他网络相比,综合交通网络的联系稠密性与网络连通性强于静态网络,弱于百度信息网络。综合交通网络受交通区位影响突出,骨干网络由京广、陇海、京九3条铁路大动脉组成。一级联系表现为京广轴沿线的安阳—许昌、邢台—邯郸,陇海轴沿线的洛阳—商丘。二级联系继续沿京广和陇海轴发育,并出现沿京九铁路的第3条发展轴。将一、

二、三级联系叠加,中原城市群形成了以郑州为中心,以鹤壁—新乡—焦作—济源—洛阳—平顶山—漯河—周口—商丘—菏泽—濮阳—鹤壁为环形边界的中心区域交通网;西北部的长治、晋城、运城表现较弱。四、五级联系表现为中心区域城市与外围区域城市间的联系,以及外围区域城市间的相互联系。

综合来看,静态网络、百度信息网络、综合交通网络的共性特征是:中原城市群表现为以郑州为中心,沿京广、陇海铁路线形成了2条主发展轴且态势稳固,郑州、开封、新乡、洛阳、许昌构筑起核心骨干网络。三者的差异性特征为:①比较静态网络与综合交通网络,发现南北向的第3条发展轴正在形成,最终将在共性特征中表现为长治—洛阳的发展轴还是聊城—阜阳的发展轴,有待时间考证;②在骨干网络以外的区域,3个网络表现出明显的差异:静态网络显示区域东南部发展比较弱,综合交通网络显示区域西北部比较弱,而百度信息网络则显示区域西北部和东南部均比较弱。

### 3.2 多重网络节点特征

根据相对中心度中城市辐射与集聚能力(表3),分析3个网络的节点特征。结果显示3个网络的共性特征为:郑州、洛阳、开封、新乡、许昌形成一个辐射与集聚均较强的中心片区,且郑州是片区核心。

3个网络的差异性特征表现如下:

从辐射能力看:①静态网络中辐射能力排名前10的城市,有7个(郑州、洛阳、开封、许昌、新乡、焦作、漯河)位于城市群的中部区域,有3个(邯郸、晋城、蚌埠)位于外围区域,而商丘、阜阳、信阳的辐射能力排在后3位。②百度信息网络受信息化水平影响,郑州、洛阳、新乡、开封、焦作、安阳的优势明显;受人口规模尤其是网民规模的影响,商丘、周口、信阳、南阳的表现也比较好;而地处东南部的蚌埠、宿州、亳州和淮北则位居城市群的后4位。③综合交通网络中郑州优势最明显,其次是开封与商丘,而济源、淮北、长治、晋城和运城等由于缺乏交通区位优势排名靠后。

从集聚能力看:①静态网络中城市的集聚能力与辐射能力呈不显著负相关状态,相关系数为-0.248。济源、鹤壁、安阳、运城、宿州的集聚能力排在前5位,而辐射能力却排在中等或靠后。集聚能力排在后3位的是南阳、聊城、蚌埠。②百度信息

表3 中原城市群多重网络的相对中心度  
Tab.3 Relative centrality degree of multiple networks in the Zhongyuan urban agglomeration

城市	静态网络		百度信息网络		综合交通网络	
	辐射	集聚	辐射	集聚	辐射	集聚
郑州	1.000	0.711	1.000	1.000	1.000	1.000
开封	0.415	0.690	0.329	0.643	0.333	0.420
洛阳	0.434	0.651	0.392	0.777	0.301	0.372
平顶山	0.156	0.805	0.247	0.524	0.173	0.185
安阳	0.191	0.888	0.266	0.551	0.269	0.373
鹤壁	0.157	0.977	0.186	0.446	0.206	0.206
新乡	0.352	0.795	0.356	0.539	0.260	0.427
焦作	0.294	0.825	0.271	0.465	0.110	0.125
濮阳	0.116	0.853	0.243	0.482	0.179	0.176
许昌	0.363	0.669	0.253	0.563	0.282	0.399
漯河	0.208	0.723	0.209	0.461	0.292	0.379
三门峡	0.160	0.748	0.193	0.479	0.167	0.158
南阳	0.148	0.621	0.315	0.643	0.131	0.151
商丘	0.075	0.756	0.442	0.616	0.330	0.369
信阳	0.068	0.743	0.333	0.572	0.222	0.279
周口	0.162	0.732	0.362	0.463	0.108	0.164
驻马店	0.111	0.784	0.236	0.497	0.184	0.227
济源	0.132	1.000	0.139	0.419	0.049	0.073
邢台	0.161	0.856	0.218	0.312	0.217	0.252
邯郸	0.365	0.647	0.262	0.402	0.250	0.273
聊城	0.172	0.590	0.203	0.342	0.094	0.122
菏泽	0.147	0.696	0.248	0.336	0.109	0.146
淮北	0.204	0.636	0.088	0.242	0.037	0.032
亳州	0.081	0.741	0.103	0.324	0.100	0.118
宿州	0.091	0.873	0.115	0.282	0.075	0.092
蚌埠	0.204	0.518	0.126	0.428	0.129	0.166
阜阳	0.072	0.716	0.154	0.402	0.128	0.202
长治	0.161	0.775	0.167	0.291	0.032	0.061
晋城	0.243	0.836	0.154	0.267	0.026	0.063
运城	0.075	0.888	0.161	0.273	0.022	0.038

网络中城市的集聚能力与辐射能力呈显著正相关状态,相关系数为0.853。郑州、洛阳、开封、许昌、新乡组成了辐射与集聚能力均较强的中心片区,而集聚能力排在后4位的宿州、运城、晋城和淮北则地处西北、东南片区。③综合交通网络中城市的集聚能力与辐射能力也呈显著正相关状态,相关系数为0.977。集聚与辐射能力排在前10的城市皆位于京广、陇海轴带上,而地处西北部的济源、长治、晋城和运城则相对较弱。

4 多重城市网络影响因素分析

城市网络作为复杂系统,其演化发展受多方面

因素共同影响。立足于关系解释关系,从经济、文化、行政、时间距离方面引入7个关系变量构建城市网络关系回归模型,分别对静态网络、百度信息网络、综合交通网络进行影响因素分析。

4.1 关系回归模型构建

城市网络研究的对象本质上是城市间的关系,借助QAP关系回归方法来对城市网络的影响因素进行定量分析。具体模型为:

$$Y_i = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + \cdots + a_7X_7 \quad (i = 1, 2, 3) \quad (6)$$

式中: $Y$ 为城市网络关系矩阵因变量,其中 $Y_1$ 为静态网络, $Y_2$ 为百度信息网络, $Y_3$ 为综合交通网络; $a_0$ 为常数, $a_1 - a_7$ 为回归系数; $X_1 - X_7$ 为解释因子关系矩阵,具体如下:



(1)  $X_1$ : 企业关系。企业网络是整合生产空间和地域空间的有效组织途径。采用2015年《财富500强》榜单中102家中国企业, 涉及6个行业类别的4591条总部—分支机构信息数据, 提取中原城市群30个城市间的企业关系。

(2)  $X_2$ : 经济行业关系。行业结构关系会对城市网络联系尤其是经济联系产生重要影响。选取2015年中原城市群30个城市第二、三产业共17个行业的数据, 采用表征行业间结构差异的克鲁格曼专业化指数(张旺等, 2012)来刻画经济行业关系。

(3)  $X_3$ : 收入差距关系。收入差距是影响城市间联系的潜在因素。以每2个城市间人均GDP绝对差值构建收入差距关系矩阵 $X_{3,1}$ , 以每2个城市间人均GDP差值的平方构建收入差距关系矩阵 $X_{3,2}$ 。

(4)  $X_4$ : 经济制度邻近关系。将该城市是否有省级以上经济开发区/工业园区作为衡量城市间经济制度邻近的指标。在关系矩阵中, 若2个城市既有国家级园区又有省级园区则关系赋值为1.5, 若均只有国家级园区关系赋值为1, 若均只有省级园区关系赋值为0.5, 若没有园区则赋值为0。

(5)  $X_5$ : 文化关系。文化具有区域性、差异性、包容性及排他性(池子华, 2013), 这些特性使人们在文化相似的区域内交往相对频繁, 差异较大的区域内交往稍弱。选择文化景观关系表征城市群的文化关系。虽然文化关系在地域上有多种表现形式, 但在文化区划中皆遵循文化主导性和相似一致性原则。根据吴必虎(1996)对中国文化区的划分和刘沛林等(2010)对中国传统聚落景观区的划分, 中原城市群同属1个中原文化区, 分属4个景观区和7个景观亚区。故在文化关系矩阵中, 中原城市群的文化相似度可分为3级, 赋值范围取0~1之间。遵循相等间隔原则, 同属一个景观亚区的城市间文化相似度最大, 赋值为0.9; 同属一个景观区, 但不属同一景观亚区的文化相似度中等, 赋值为0.6; 分属2个景观区的文化相似度较小, 赋值为0.3。

(6)  $X_6$ : 行政关系。在中国各级行政区内, 因发展需求, 经济功能长期占据首位, 在空间上形成了行政区经济现象(刘君德, 2006)。同样, 在基础设施建设方面, 如《河南省铁路网规划研究报告(2013-2030)》也以省级行政区为规划和实施单元。究其根本, 省级政府是基于行政隶属关系来制定和落实政策, 从而地域联系表现出省内城市间较省际城市

间的联系相对紧密, 故在行政关系矩阵中同省内城市间关系赋值为1, 不同省城市间关系赋值为0。

(7)  $X_7$ : 平均时间距离关系。时间距离是影响城市间交往效率的重要因素, 通常时间距离越短, 交往效率越高。因在静态网络度量模型中采用公路空间距离变量, 为防止共线性, 回归因子采用铁路时间距离和公路时间距离的平均值来构建平均时间距离关系矩阵。

## 4.2 回归结果

城市网络的关系回归结果显示(表4), 模型对百度信息网络和综合交通网络的解释力均在40%以上, 对静态网络的解释力也达到26.5%, 有显著解释意义。

综合来看, 经济方面的企业关系、行业关系、制度邻近是影响静态网络、百度信息网络、综合交通网络之间相似性较强的因素, 而收入差距、文化、行政、时间距离在3个网络中的不同结果导致了它们之间的差异性。

7个因子的回归结果分别为: ①企业关系回归结果在3个网络中均显著为正, 说明企业间的合作越多, 城市间的联系越紧密。与其他因子相比, 企业关系对静态网络、综合交通网络的影响最大。②表征经济行业关系的克鲁格曼专业化指数与3个网络均呈显著负相关, 说明在中原城市群内, 行业结构相似的城市间网络联系更紧密。③收入差距因

表4 中原城市群多重网络的影响因素回归结果  
Tab.4 Regression results of influencing factors of multiple urban networks in the Zhongyuan urban agglomeration

影响因素	回归系数		
	$Y_1$ 静态网络	$Y_2$ 百度信息网络	$Y_3$ 综合交通网络
$X_1$ 企业关系	0.268***	0.175**	0.333**
$X_2$ 经济行业关系	-0.083**	-0.165**	-0.143**
$X_{3,1}$ 收入差距关系	0.090	-0.160**	-0.020
$X_{3,2}$ 收入差距关系	-0.001	0.370**	0.184
$X_4$ 经济制度邻近关系	0.160**	0.189**	0.159**
$X_5$ 文化关系	0.186***	0.042	0.127**
$X_6$ 行政关系	0.035	0.426***	0.223**
$X_7$ 平均时间距离关系	-0.174***	-0.050	-0.128**
$R^2$	0.265	0.423	0.401

注: \*\*\*表示在0.001显著性水平下通过检验, \*\*表示在0.05显著性水平下通过检验, \*表示在0.1显著性水平下通过检验。

子在静态网络与综合交通网络中均不显著,但与百度信息网络呈正U型关系,这反映出以青壮年居多的网民,对城市的关注度首先随着收入差距的扩大而降低,当收入差距扩大到一定程度后,关注度会随着差距拉大而上升。④经济制度邻近变量在静态网络、百度信息网络、综合交通网络中均显著为正,意味着开发区/工业园区的制度相似会对以上网络中城市间的合作关系产生促进作用。⑤文化关系在静态网络、综合交通网络中回归系数显著为正,说明文化相似性越高,人们越容易获得心理认同感,从而增强了区域客运及其他社会经济活动的频繁联系。在百度信息网络中不显著,表明信息网络比其他网络具有更高的文化包容度。⑥行政关系在百度信息网络、综合交通网络中回归结果显著为正,说明受行政隶属影响,百度信息网络和综合交通网络中同省城市间联系强于省际城市间联系。而与静态网络正相关但不显著,部分原因是静态网络度量模型为近似测算城市间联系且强化了距离邻近的作用。⑦平均时间距离因子与3个网络的回归结果均为负相关,说明城市网络联系仍遵循着随时间距离增大而联系减弱的地理学规律。在百度信息网络中回归结果不显著,反映出信息化时代距离的影响作用在减弱。比较7个因子对各网络的影响程度发现:静态网络受企业关系和文化关系影响大,百度信息网络受行政关系和收入差距影响大,而综合交通网络受企业关系和行政关系影响大。据此认为,企业合作与行政隶属关系是影响城市网络的主因。

## 5 结论与讨论

本文从网络的层级和节点两方面出发,对中原城市群静态网络、百度信息网络、综合交通网络的空间结构进行了综合对比分析;构建了城市网络关系回归模型,剖析了3个网络的影响因素。主要结论为:

(1) 3个网络的共性特征为:中原城市群的网络结构以郑州为中心,由京广线和陇海线构成两条发展轴,郑州、开封、新乡、洛阳和许昌不仅组成了城市群的骨干网络,而且形成辐射与集聚优势共存的中心片区。

(2) 3个网络的差异性特征为:①3个骨干网络

的表现形式存在差异:静态网络是以郑州为中心,由京广、陇海、长治—洛阳3条线组成“H”型;百度信息网络是以郑州和商丘为双中心呈放射状;综合交通网络是以郑州为中心,由京广、陇海和京九铁路线构成“H”型。②3个网络中城市的辐射与集聚能力的关系存在差异:静态网络中城市的辐射与集聚能力为负相关,而百度信息网络和综合交通网络中城市的辐射与集聚能力均为正相关。③3个网络发展较弱的区域存在差异:静态网络中为东南部,百度信息网络中为西北部和东南部,综合交通网络中为西北部。

(3) 静态网络、百度信息网络、综合交通网络之间的相关系数表现为:百度信息网络与综合交通网络>百度信息网络与静态网络>综合交通网络与静态网络,且均高于0.582,显示出它们之间的相似性大于差异性。究其原因,企业关系、行业关系、制度邻近是引致它们相似性较强的因素,而收入差距、文化、行政、时间距离则导致了它们之间的差异性。

(4) 7项因素均对3个网络产生了不同程度的作用:①经济关系对区域城市网络的驱动力最强,表现为在企业合作较多的城市间和经济制度邻近的城市间,网络联系更紧密;城市在选择合作伙伴时,倾向于与行业结构相似的城市进行合作;收入差距与百度信息网络则呈正U型关系。②文化关系作为影响城市网络的潜在因素,表现为文化越相似,城市群网络联系越紧密,但百度信息网络则拥有较高的文化包容度。③行政关系的回归结果反映出百度信息网络和综合交通网络均存在省内城市间较省际城市间联系较强的现象,而静态网络受行政隶属的影响并不显著。④时间距离显示信息化在一定程度上降低了现实距离的影响力,但3个城市网络的联系仍表现出随距离增大而减弱的情况。

基于有向多值关系视角,对具有不同表征意义的多重城市网络空间结构进行梳理,总结它们的共性和差异性特征,分析各影响因素在3个网络中的不同作用,不仅为城市网络研究提供了新思路,也为科学制定空间组织路径和相关政策的实施提供了更为全面的依据。本文从经济、文化、行政、时间距离方面选取7个因子构建关系回归模型,对3个网络的影响因素作出了较好的解释。然而城市网络作为复杂巨系统,其影响因素纷繁多样,且部分因素难以量化,因此,在城市网络的影响因素和驱



动机制方面,有待学者们进一步深入挖掘。受数据获取途径所限,本文未对城市间物流网络、创新合作网络等进行探究,剖析多重动态网络的时空演变特征及动力机制将是今后努力的方向。

## 参考文献(References)

- 鲍超, 陈小杰. 2014. 中国城市体系的空间格局研究评述与展望[J]. 地理科学进展, 33(10): 1300-1311. [Bao C, Chen X J. 2014. Review and prospect of research on the spatial pattern of China's urban system[J]. Progress in Geography, 33(10): 1300-1311.]
- 陈伟, 刘卫东, 柯文前, 等. 2017. 基于公路客运流的中国城市网络结构及空间组织模式[J]. 地理学报, 72(2): 224-241. [Chen W, Liu W D, Ke W Q, et al. 2017. The spatial structures and organization patterns of China's city networks based on the highway passenger flows[J]. Acta Geographica Sinica, 72(2): 224-241.]
- 池子华. 2013. 人口流动中的文化基因[J]. 人民论坛, (18): 136-137. [Chi Z H. 2013. Cultural genes in population flow [J]. People's Tribune, (18): 136-137.]
- 方创琳. 2014. 中国城市群研究取得的重要进展与未来发展方向[J]. 地理学报, 69(8): 1130-1144. [Fang C L. 2014. Progress and the future direction of research into urban agglomeration in China[J]. Acta Geographica Sinica, 69(8): 1130-1144.]
- 顾朝林, 徐海贤. 1999. 改革开放二十年来中国城市地理学研究进展[J]. 地理科学, 19(4): 320-331. [Gu C L, Xu H X. 1999. Development of urban geography since 1978[J]. Scientia Geographica Sinica, 19(4): 320-331.]
- 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[J]. 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[J]. Geographical Research, 27(1): 1-12.]
- 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[J]. 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[J]. Acta Geographica Sinica, 66(2): 199-211.]
- 李亚婷, 潘少奇, 苗长虹. 2014. 中原经济区县际经济联系网络结构及其演化特征[J]. 地理研究, 33(7): 1239-1250. [Li Y T, Pan S Q, Miao C H. 2014. Structure and evolution of economic linkage network at county level in Central Plains Economic Zone[J]. Geographical Research, 33(7): 1239-1250.]
- 刘军. 2009. 整体网分析讲义: UCINET 软件实用指南[M]. 上海: 格致出版社. [Liu J. 2009. Overall network analysis notes: UCINET software practical guide[M]. Shanghai, China: Truth & Wisdom Press.]
- 刘君德. 2006. 中国转型期“行政区经济”现象透视: 兼论中国特色人文—经济地理学的发展[J]. 经济地理, 26(6): 897-901. [Liu J D. 2006. Perspective of the "administrative region economy" phenomenon in China's transitional period: An introduction of human- economic geography with Chinese characteristics[J]. Economic Geography, 26(6): 897-901.]
- 刘沛林, 刘春腊, 邓运员, 等. 2010. 中国传统聚落景观区划及景观基因识别要素研究[J]. 地理学报, 65(12): 1496-1506. [Liu P L, Liu C L, Deng Y Y, et al. 2010. Landscape division of traditional settlement and effect elements of landscape gene in China[J]. Acta Geographica Sinica, 65(12): 1496-1506.]
- 刘铮, 王世福, 赵渺希, 等. 2013. 有向加权型城市网络的探索性分析[J]. 地理研究, 32(7): 1253-1268. [Liu Z, Wang S F, Zhao M X, et al. 2013. Exploratory analysis of directed weighted network of city[J]. Geographical Research, 32(7): 1253-1268.]
- 钱春蕾, 叶菁, 陆潮. 2015. 基于改进城市引力模型的武汉城市圈引力格局划分研究[J]. 地理科学进展, 34(2): 237-245. [Qian C L, Ye J, Lu C. 2015. Gravity zoning in Wuhan Metropolitan area based on an improved urban gravity model[J]. Progress in Geography, 34(2): 237-245.]
- 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[J]. 地理研究, 23(2): 380-391. [Wang B, Zhen F, Xi G L, et al. 2013. A study of cybergeography based on micro- blog users' relationship: With a case of Sina micro-blog[J]. Geographical Research, 23(2): 380-391.]
- 王聪, 曹有挥, 陈国伟. 2014. 基于生产性服务业的长江三角洲城市网络[J]. 地理研究, 33(2): 323-335. [Wang C, Cao Y H, Chen G W. 2014. Study on urban network of Yangtze River Delta region based on producer services[J]. Geographical Research, 33(2): 323-335.]
- 王姣娥, 景悦. 2017. 中国城市网络等级结构特征及组织模式: 基于铁路和航空流的比较[J]. 地理学报, 72(8): 1508-1519. [Wang J E, Jing Y. 2017. Comparison of spatial structure and organization mode of inter- city networks from the perspective of railway and air passenger flow[J]. Acta Geographica Sinica, 72(8): 1508-1519.]

- 王永明, 马耀峰, 王美霞. 2012. 中国入境游客多城市旅游空间网络结构[J]. 地理科学进展, 31(4): 518-526. [Wang Y M, Ma Y F, Wang M X. 2012. Network structure of multic-ity inbound tourists to China[J]. Progress in Geography, 31(4): 518-526.]
- 吴必虎. 1996. 中国文化区的形成与划分[J]. 学术月刊, (3): 10-15. [Wu B H. 1996. Partition and the formation of the Chinese culture areas[J]. Academic Monthly, (3): 10-15.]
- 吴康, 方创琳, 赵渺希. 2015. 中国城市网络的空间组织及其复杂性结构特征[J]. 地理研究, 34(4): 711-728. [Wu K, Fang C L, Zhao M X. 2015. The spatial organization and structure complexit of Chinese intercity networks[J]. Geographical Research, 34(4): 711-728.]
- 张旺, 申玉铭. 2012. 京津冀都市圈生产性服务业空间集聚特征[J]. 地理科学进展, 31(6): 742-749. [Zhang W, Shen Y M. 2012. The spatial characteristics of producer service agglomeration in Beijing- Tianjin- Hebei Metropolitan region[J]. Progress in Geography, 31(6): 742-749.]
- 赵渺希, 吴康, 刘行健, 等. 2014. 城市网络的一种算法及其实证比较[J]. 地理学报, 69(2): 169-183. [Zhao M X, Wu K, Liu X J, et al. 2014. A novel method to approximate intercity networks and its empirical validation[J]. Acta Geographica Sinica, 69(2): 169-183.]
- 中共中央国务院. 2016. “关于中原城市群发展规划的批复 (国函[2016]210号)”[EB/OL]. 中华人民共和国中央人民政府网, 2016-12-28 [2017-6-06]. [Central Committee of Communist Party of China and the State Council. 2016. Guanyu zhongyuan chengshiqun fazhan guihua de pifu (state letter [2016] No. 210)[EB/OL]. The Central People's Government of the People's Republic of China website, 2016-12-28 [2017-6-06].]
- 钟业喜, 冯兴华, 文玉钊. 2016. 长江经济带经济网络结构演变及其驱动机制研究[J]. 地理科学, 36(1): 10-19. [Zhong Y X, Feng X H, Wen Y Z. 2016. The evolvement and driving mechanism of economic network structure in the Changjiang River Economic Zone[J]. Scientia Geographica Sinica, 36(1): 10-19.]
- Alderson A S, Beckfield J, Jessica S J. 2010. Intercity relations and globalization: The evolution of the global urban hierarchy, 1981-2007[J]. Urban Studies, 47(9): 1899-1923.
- Castells M. 1996. The rise of the network society[M]. Oxford, UK: Blackwell.
- Daniels P W, Ho K C, Hutton T A. 2005. Service industries and Asia-Pacific cities: New development trajectories[M]. London, UK: Routledge.
- Derudder B, Taylor P J, Ni P, et al. 2010. Pathways of change: Shifting connectivities in the world city network, 2000-2008[J]. Urban Studies, 47(9): 1861-1877.
- He J H, Li C, Yu Y, et al. 2017. Measuring urban spatial interaction in Wuhan Urban Agglomeration, Central China: A spatially explicit approach[J]. Sustainable Cities and Society, 32: 569-583.
- Huggins R, Prokop D. 2017. Network structure and regional innovation: A study of university- industry ties[J]. Urban Studies, 54(4): 931-952.
- Jacobs W, Koster H, Hall P. 2011. The location and global network structure of maritime advanced producer services[J]. Urban Studies, 48(13): 2749-2769.
- Lao X, Zhang X, Shen T, et al. 2016. Comparing China's city transportation and economic networks[J]. Cities, 53: 43-50.
- Liu X, Derudder B. 2012. Two-mode networks and the interlocking world city network model: A reply to Neal[J]. Geographical Analysis, 44(2): 171-173.
- Malecki E J. 2002a. Hard and soft networks for urban competitiveness[J]. Urban Studies, 39(5): 929-945.
- Malecki E J. 2002b. The economic geography of the Internet's infrastructure[J]. Economic Geography, 78(4): 399-424.
- Pflieger G, Rozenblat C. 2010. Introduction. Urban networks and network theory: The city as the connector of multiple networks[J]. Urban Studies, 47(13): 2723-2735.
- Scott K, Liew T. 2012. Social networking as a development tool: A critical reflection[J]. Urban Studies, 49(12): 2751-2767.
- Taylor P J. 2001. Specification of the world city network[J]. Geographical Analysis, 33(2): 181-194.
- Taylor P J, Catalano G, Walker D R F. 2002. Measurement of the world city network[J]. Urban Studies, 39(13): 2367-2376.
- Taylor P J. 2004. World city network: A global urban analysis [M]. New York: Routledge.
- Zhao M, Liu X, Derudder B, et al. 2015. Mapping producer services networks in mainland Chinese cities[J]. Urban Studies, 52(16): 3018-3034.

## Spatial structures and influencing factors of multiple urban networks based on the perspective of directed-multivalued relation

SONG Qiong<sup>1</sup>, ZHAO Xinzheng<sup>1</sup>, LI Tongsheng<sup>1\*</sup>, LIU Jingyu<sup>2</sup>

(1. College of Urban and Environmental Sciences, Northwest University, Xi'an 710127, China;

2. College of Environment and Planning, Henan University, Kaifeng 475004, Henan, China)

**Abstract:** Urban system is one of the core subjects of human-economic geography. From the perspective of directed-multivalued relation, taking the Zhongyuan urban agglomeration as the case study area, a comparative study on spatial structures and influencing factors of multiple urban networks—static network, Baidu information network, and comprehensive transportation network—will provide a new train of thought for urban system research under relational transition. This study analyzed the hierarchical structure and the node structure of the networks of the Zhongyuan urban agglomeration, to extract generality and particularity of the three networks mentioned above. Furthermore, we built a relational regression model with the help of the quadratic assignment procedure (QAP) method to dissect the influencing factors of these three networks, from the aspects of economy, culture, administration, and time distance. The empirical results are as follows: (1) The correlation coefficients of the three networks are over 0.582, presented as Baidu information versus comprehensive transportation > Baidu information versus static > Comprehensive transportation versus static, and the overall similarity is stronger than the difference. (2) Integrating the three networks, the Zhongyuan urban agglomeration, a mononuclear spatial structure cored by Zhengzhou, consisted of two regional development belts along with the Beijing-Guangzhou railway and the Lianyungang-Lanzhou railway, and formed a central area with obvious advantages of radiation and concentration with a backbone network constituted by Zhengzhou, Kaifeng, Xinxiang, Luoyang, and Xuchang. Outside of the central area, the three networks showed obvious particularity. The radiation and agglomeration ability of cities have negative correlation in static network, while showed positive correlation in Baidu information network and comprehensive transportation network. (3) The seven influencing factors have different effects on the three networks. Enterprise cooperation, industrial structure similarity, and economic system proximity lead to the similarity of the three networks. Meanwhile, income gap, cultural similarity, administrative affiliation, and average time distance lead to their differences.

**Key words:** multiple urban networks; spatial structure; relational regression model; influencing factors; directed-multivalued relation; Zhongyuan urban agglomeration