

湖北省城市网络结构及其复杂性研究

董莹^{1, 2} 罗静^{※1, 3, 4} 郑文升^{1, 3, 4} 田野^{1, 2} 田玲玲^{1, 3, 4} 陈国磊^{1, 3, 41}

(1. 华中师范大学城市与环境科学学院, 中国湖北武汉 430079; 2. 湖北经济学院长江经济带发展战略研究院/财经高等研究院, 中国湖北武汉 430205; 3. 华中师范大学地理过程分析与模拟湖北省重点实验室, 中国湖北武汉 430079; 4. 湖北省发展和改革委员会/华中师范大学武汉城市圈研究院, 中国湖北武汉 430079)

【摘要】: 采用 GIS 及 Python 等技术手段, 构建湖北省城市关联网络, 提取出与各县(市、区)关联强度前 2、前 5、前 10 和前 20 的城市网络, 对其网络结构及复杂性进行分析后, 运用多元回归模型探索湖北省城市网络的形成机制。研究发现: (1) 城市中心性空间分布呈现一主两副、东高西低的特点。(2) 随着城市网络等级降低, 湖北省城市网络结构由以武汉为中心的单极吸引型转变为以武汉为主中心, 以宜昌、襄阳为次中心的主次复合辐射型。(3) 节点的择优连接倾向随着网络等级的降低而更加凸显, 但不同等级网络次中心的影响力呈现出尺度与区域差异。(4) 资源优势与用地成本、市场潜力、劳动力成本与区位因素对城市网络的影响力依次变小; 近邻优势在低等级城市网络中表现更为显著。

【关键词】: 地理国情普查 城市中心性 城市网络 都市圈 等级 一主两副空间结构

【中图分类号】: F299.2 **【文献标志码】:** A **【文章编号】:** 1000-8462 (2019) 07-0076-09

城市是城市体系的组成部分, 克里斯特勒和廖什提出的中心地模型能够较好地分析城市体系, 但它仅能表现静态的、相对孤立的体系^[1]。城市之间的相互关联、相互依赖性^[2]是城市的第二属性。随着交通技术和网络化的快速发展, 城市之间的关联和依赖越来越强, 城市网络化趋势更加明显。1992 年, Castells 提出了“流动空间”的新形式, 并明确提出城市是流动空间中的节点^[3]。城市网络作为一个相互关联的整体, 能够为通过信息流、交通流等流动空间进行合作的具有同样功能的城市提供外部效应, 流动空间的出现为城市网络的研究提供了媒介^[4]。2006 年, Peter Hall 分别基于跨国公司、交通网络、信息网络等流数据, 分析了欧洲八个巨型城市的空间结构特征, 为区域空间分析开创了新的视角^[5], 掀起了城市网络研究的热潮。

从当前城市网络的研究现状来看, 研究内容主要涵盖了几方面: 一是探索城市网络关联媒介。城市之间的关联媒介是构建城市网络并对其进行分析的基础, 城市在经济、社会、文化等多层面都具有关联特征^[4]。由于关联数据具有难以获取的特性, 当前主流的关联媒介包括交通基础设施^[6, 7, 8]、互联网络基础设施^[9, 10]、企业网络^[11, 12]等方面, 另外, 部分学者在选取城市规模指标的基础上, 通过重力模型构建城市关联模型^[13, 14]。对城市规模指标的选取也具有较大的差异性, 如陈锐等使用出发地与接受地的人口数作为区域实体的规模指标^[15], 李斌认为在使用重力模型时仅选取人口作为规模指标反映得并不全面, 他选取了两区域

基金项目: 国家自然科学基金项目(41871176); 国家社会科学基金青年项目(18CJY048); 国家自然科学基金青年项目(41801177); 国家社会科学基金一般项目(17BJL052)

作者简介: 董莹(1988—), 女, 湖北咸宁人, 博士研究生。主要研究方向为区域发展与城乡规划。E-mail: 243071673@qq.com。

※通讯作者: 罗静(1966—), 男, 湖北松滋人, 博士, 教授。主要研究方向为人文地理和经济地理。E-mail: luojing@mail.ccnu.edu.cn。

的非农人口和 GDP 共同作为规模指标^[16]。也有部分学者认为两个区域之间的相互关联应该反映的是区域之间各种功能的综合联系。如刘涛认为网络由线性要素相互联系所组成,而网络中节点与节点之间存在功能上的交互联系,也就是说城市联系的本质是各种功能综合联系的网络,选用了功能互补指数和政府联系指数两个指标代替城市规模^[17]。姚作林选用了包含经济、物质和公共服务的共 12 项指标对城市中心性进行测度后作为城市规模指标^[18]。二是对不同尺度城市网络的研究。当前城市网络主流流派有“世界城市网络”和“多中心城市区域”两种^[19],从尺度上可以划分为全球尺度、国家尺度^[20,21]和区域尺度^[22,23]等三类。对城市网络的研究多集中于全球和国家尺度,区域尺度多以都市圈为主。三是探索新的城市网络分析方法。Cattan、Rozenblat 等运用网络分析方法,对欧洲城市体系进行分析,开创了城市体系分析新方法^[24,25]。随着复杂网络在自然和社会科学领域快速兴起,Alderson 等受到复杂网络概念和相关方法的启发,将其引入地理和区域科学中,对交通网络和城市体系进行了研究^[26],此后复杂网络分析方法在城市网络研究中兴起。

从尺度上看,当前对城市网络的研究主要集中于全球尺度、国家尺度和都市圈尺度,对省域范围的研究较少^[5]。从数据选取上看,学者多选取交通、互联网、企业关联等单一关联数据,虽能表现出城市间的单一联系强度,但由于城市网络在经济、社会、文化等多层面均具有含义,其解释能力相对较弱。鉴于此,本文尝试采用综合性指标,在测度城市中心性综合评分的基础上,运用重力模型,构建湖北省城市网络,对其结构特征和复杂性进行分析,并探索湖北省城市网络的形成机制。

1 研究区域、方法与数据

1.1 研究区域

湖北省包含 12 个省辖市、1 个自治州、3 个省直管市以及 1 个林区,其中省辖市依次为武汉市、黄石市、襄阳市、荆州市、宜昌市、十堰市、孝感市、荆门市、鄂州市、黄冈市、咸宁市、随州市,自治州为恩施土家族苗族自治州,省直管市包括仙桃市、潜江市和天门市,林区为神农架林区。湖北省共下辖 103 个县(市、区)。1986 年,湖北省提出了重点建设“大三角”的思路,即分别以武汉和黄石、宜昌和荆州(沙市)、襄阳和十堰为一角,予以优先发展,带动全省。2004 年提出加快形成以武汉为主中心,以襄阳和宜昌为副中心,以黄石、荆州、十堰等大城市为支撑,以县域经济为基础的区域发展格局。2015 年提出要基本形成省内区域发展“三个三分之一”的格局。虽然湖北省多年来提出了多种发展格局,但是鲜有学者通过定量分析的方法对省域范围内的城市空间结构开展研究,省域作为一种行政单元,其范围内城市的关联特征必然会受到地方政策的影响,对省域范围内的城市网络进行研究具有一定的实践和理论意义。

1.2 指标选取与数据来源

1.2.1 指标选取

由于城市中心性的内涵丰富,目前对于城市中心性的测度指标体系尚不统一。对于城市中心性评价切入点的不同决定了指标选取的差异^[27,28],其共性则体现为多采用综合性指标作为测度城市中心性的主要依据。本文构建指标体系时主要基于用地数据,依据克里斯泰勒中心地理论中的组织设施类型构建城市中心性指标体系。与之前文献相比,虽缺少了综合性的社会经济指标,但由于用地数据具有全面性和统计一致性的特点,能够较为全面地反映城市中心性,同时也能够避免由于统计标准不一所导致的指标重复选取的问题,具有较强的科学性和合理性。本文选取产业设施、公共服务设施(包括文化设施、医疗卫生设施)和交通设施等共 25 项指标构建指标体系,其中产业设施包括批发零售业、能源资源、水泥建材、机械制造、食品加工、生物化工、包装印刷、家具建材和服装纺织等 9 个具体指标,医疗卫生设施包括一级甲等、乙等、丙等,二级甲等、乙等、丙等及三级甲等和三级乙、丙等共 8 个具体指标,文化设施包括普通高校、高中、初中及小学 4 个具体指标,交通设施包括客运站、火车站、高速公路出入口及港口等 4 个具体指标。

1.2.2 数据来源

城市中心性测度指标体系中 3 大类共 25 项指标均来自于 2015 年湖北省第一次全国地理国情普查数据。在对城市网络形成机制进行分析时，用到了 GDP、城镇居民可支配收入、常住人口、人口城镇化率、平均工资、房价、开发强度、行政区划等级、距湖北省政府距离等 9 个指标，其中 GDP、城镇居民可支配收入、常住人口、人口城镇化率、平均工资来自于 2016 年《湖北省统计年鉴》以及各地市统计年鉴，房价数据采集自安居客网页，开发强度以及距湖北省政府距离（欧式距离）根据湖北省地理国情普查数据计算获取。行政区划等级为虚拟变量，由于越接近政治权力中心，就越可能获取到更多的政治资源和政策信息，因此根据行政等级将湖北省 103 个县（市、区）分别进行赋值，如湖北省省会城市中心城区赋值为 5，远城区赋值为 4，其他区赋值为 3，县级市赋值为 2，县赋值为 1^[11]。

1.3 研究方法

1.3.1 网络构建方法

(1)城市中心性。城市中心性是指城市为周边提供商品和服务的能力。基于地理国情普查数据中的产业、公共服务和交通三类用地数据，运用区位熵、信息熵等方法，计算湖北省 103 个县（市、区）的产业中心性、公共服务中心性和交通中心性，并得出城市中心性综合评分。

$$CI_i = \sum_{j=1}^m w_j \cdot E_{ij} \cdot N_i' \quad (1)$$

式中：CI_i为 i 城市中心性综合评分；w_j为 j 指标的权重；E_{ij}为 i 城市 j 指标的对外服务功能量；N_i'为地均 GDP 标准化值；N_i为地均 GDP 值。

运用区位熵计算对外功能量：

$$E_{ij} = G_{ij} - G_i(G_j/G) \quad (2)$$

式中：E_{ij}为 i 城市 j 指标对外服务功能量；G_{ij}表示 i 城市 j 类用地面积；G_i表示 i 城市行政区面积；G_j为全省 j 类用地面积；G 为全省行政区面积。

$$E'_{ij} = E_{ij} / E_{\max} \quad (3)$$

$$P_{ij} = E'_{ij} / \sum_{i=1}^m E'_{ij} \quad (4)$$

$$H_j = -k \sum_{i=1}^n P_{ij} \ln P_{ij} \quad (5)$$

式中：k=1/lnn。

运用信息熵法计算 j 指标的权重：

$$w_j = \frac{1 - H_j}{\sum_{j=1}^m (1 - H_j)} \quad (6)$$

式中： w_j 为 j 指标的权重。

(2) 重力模型。本文选用交通网络距离和城市中心性综合评分对城市的关联模型进行构建：

$$W_{ij} = p \frac{x_i^a \cdot x_j^b}{d_{ij}^\gamma} \quad (7)$$

式中： W_{ij} 为 i 地与 j 地之间的关联强度； x_i 和 x_j 分别为 i 城市和 j 城市中心性综合评分^[27]；在考虑规模指标时，由于只选了一个指标，所以 $a=b=1$ ； p 为常数，该模型的主要功能用于区分区域间引力的大小，因此 p 值取 1； γ 为距离衰减系数，参照李斌^[25]选取 $\gamma=2$ ； d_{ij} 为 i 城市与 j 城市之间的交通网络距离，基于 2015 年湖北省地理国情普查道路网中的高速、国道和省道，运用 ArcGIS 中的网络分析工具，对城市之间的交通网络长度进行测度，得出 d_{ij} 。

1.3.2 网络测度方法

(1) 度与度累计概率。节点 i 的度 D_i 是指与节点 i 相连连接的边数， k_i 表示度为 k 的节点集合， n_k 为集合中节点的个数，由于文中仅考虑了有向网络，因此 N 为入度大于 0 的节点数目（入度指节点作为连接边终点的次数）。 $p(k)$ 为度数为 k 的概率，具体公式如下：

$$p(k) = n_k / N \quad (8)$$

当节点较少时，通常会采用度累计概率分布探索城市网络的分布规律。

(2) 聚类系数。聚类系数是指所有相邻节点间连接边的数目占可能最大连接边数目的比例。对于某个节点 i ，考虑与其相连节点的集合为 k_i ，那么在由 i 的 k_i 个关联节点构成的子网中，实际存在的连接边数 E_i 与全部 k_i 个节点完全连接时的总边数的比值就定义为节点 i 的聚类系数：

$$C_i = \frac{E_i}{C_{k_i}^2} = \frac{2E_i}{k_i(k_i - 1)} \quad (9)$$

式中： k_i 表示度为 k 的节点集合； E_i 为在 i 的 k_i 个关联节点构成的网络中，实际存在连接的边数。网络的聚类系数 C 就是所有节点聚类系数的平均值，即：

$$C = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N C_i \quad (10)$$

(3)平均路径长度。在城市网络中节点 i 经过最少的节点到达节点 j 的路径称为两点的最短路径，而连接两点最短路径所包含连接边的数目就是两点间距离，记点 i 到点 j 的距离为 d_{ij} ，对所有节点对的最短路径求平均，就得到网络的平均路径长度。

$$L = \frac{2}{n(n-1)} \sum_{i \neq j} d_{ij} \quad (11)$$

1.3.3 多元线性回归模型

运用多元线性回归模型，分析湖北省城市网络的形成机制^[29]，具体模型为：

$$D_i = a + a_1 F_1 + a_2 F_2 + a_3 F_3 \quad (12)$$

式中： D_i 为城市网络中节点 i 的入度； a 、 a_1 、 a_2 、 a_3 为系数； F_1 、 F_2 、 F_3 分别为影响因素。

2 湖北省城市网络空间结构及其特征

以地理国情普查数据中的产业、公共服务和交通三类用地数据为基础，使用公式（1）～（6）对湖北省城市中心性综合评分进行测度。利用公式（7）计算湖北省城市空间关联强度，并构建城市网络。由于湖北省县（市、区）较多，对全部 103 个县（市、区）间空间关联进行分析会大大弱化城市网络的特性表现。因此，本文选取与每个县（市、区）关联强度最高的前 2、5、10、20 名的城市，分别构建 top2、top5、top10 和 top20 城市的有向无权网络（下文分别称之为 top2 城市网络、top5 城市网络、top10 城市网络和 top20 城市网络）。之后利用公式（8）～（11）获取分等级分区域城市网络的复杂属性，并得到如下结论。

2.1 以武汉为主中心，宜昌、襄阳为副中心的“一主两副”空间结构鲜明

运用几何间距法对湖北省产业中心性、公共服务中心性、交通中心性以及综合中心性插值图进行分等（图 1）。产业中心性高值区位于武汉及孝感部分地区，次高值区主要位于襄阳、宜昌和荆州。从公共服务中心性评分高值区的分布来看，武汉市六个中心城区及青山区、东西湖区排名前八，形成了较为突出的中心。宜昌市西陵区、伍家岗区和猇亭区以及襄阳市樊城区公共服务能力较强，但与武汉差距较大，其他地区的公共服务水平均较低。交通中心性评分高值区位于武汉中心城区，次高值区位于宜昌、襄阳、荆州、十堰以及武汉东部黄石、鄂州等地。城市中心性综合评分的高值区主要分布于武汉及其周边区域，次高值区则位于襄阳、宜昌及其周边区域。整体而言，湖北省产业中心性、公共服务中心性、交通中心性以及城市中心性综合评分的高值区分布基本上均表现为以武汉为主中心，以宜昌、襄阳为副中心的“一主两副”格局。但也存在一些差异性，如交通中心性相对向东偏移，即鄂州、黄石等地交通中心性评分较高。公共服务中心性评分不均衡性最显著，高值区与次高值区的差距较大。

从湖北省城市网络格局来看，以武汉为主中心，以宜昌、襄阳为副中心的格局同样较为显著。在城市网络由规则网络—复杂网络—随机网络演变过程中，一般而言，度分布显现出从单点分布到指数、幂率分布到二项分布、泊松分布的特点。对湖北

省 top2、top5、top10 和 top20 城市有向网络累计度分布进行拟合分析,结果显示,网络的度累计概率均呈现幂率分布(图2),拟合度分别为 0.841、0.813、0.972 和 0.926,均高于指数分布的拟合度(R^2 分别为 0.783、0.754、0.764 和 0.827),无标度网络特征明显。幂指数低于复杂网络的平均水平(2~3),说明四种类型城市网络中大多数网络的连接均集中于小部分节点,网络的节点度异质性非常高。对 top20 城市网络的关联方向进行分析后,发现武汉连接边数占比高达 55.3%,宜昌和襄阳连接边数占比分别为 13.3%和 5.0%,武汉、宜昌和襄阳连接边数总占比达到 73.3%,承担了连接省内其他节点的主要功能,湖北省城市网络的节点连接表现出明显的“马太效应”,武汉、宜昌、襄阳的“一主两副”格局显著。

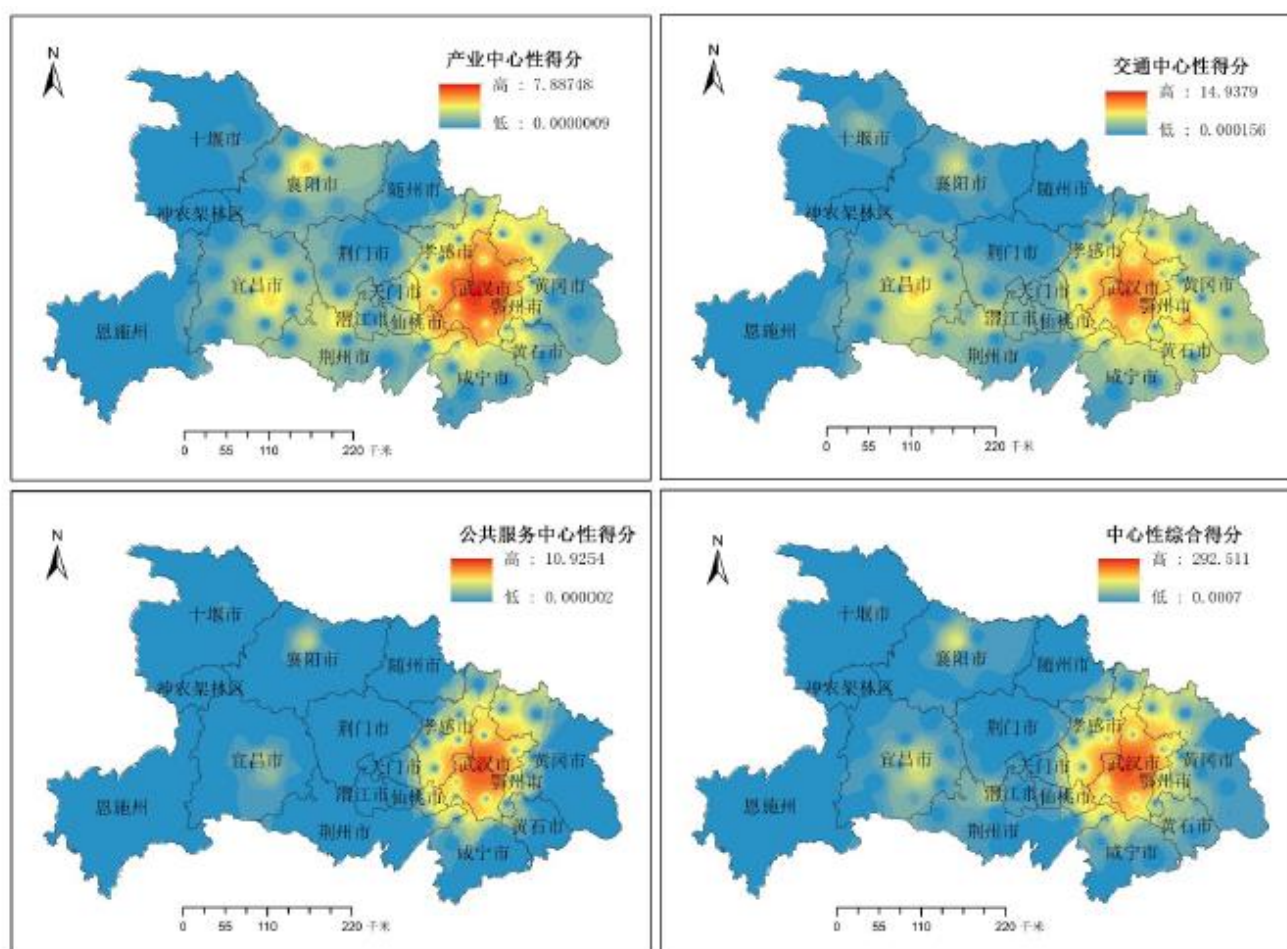


图1 湖北省县(市、区)中心性评分

2.2 随着城市网络等级降低,网络空间格局由单极吸引型向主次复合辐射型转变

随着城市网络等级的降低,城市网络格局由单一向复合转变。top2 城市网络体现为以武汉为中心的单极吸引型结构,武汉市连接边数占比 98.1%。top5 城市网络以武汉为中心的单极结构更加凸显,98.3%的网络连接方向为武汉市。top10 城市网络连接量大幅增加,宜昌、襄阳、鄂州、黄石、荆州、十堰、孝感及咸宁等地市中心城区与周边区域的关联开始凸显,武汉连接边数占比下降到 81.4%。top20 城市网络最为复杂,武汉连接边数占比下降到 55.3%(图3)。

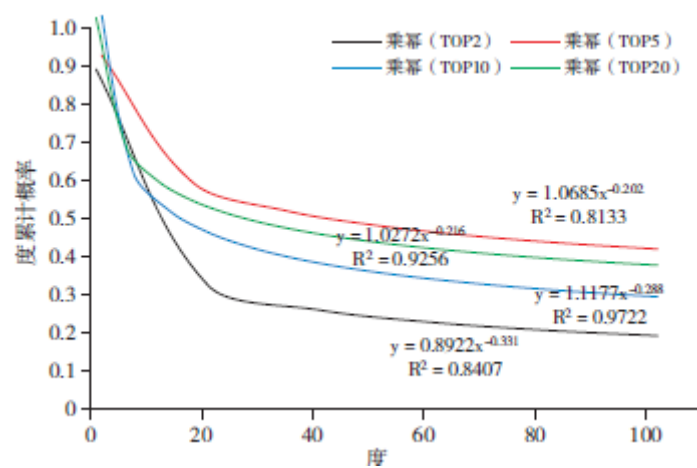


图2 湖北省分等级城市网络度及强度累计概率分布拟合

为更清晰地表达次级中心的关联网络空间格局，将 top10 和 top20 城市网络剔除武汉市后进行分析（图 4）。湖北省 top10 城市网络（剔除武汉市）形成了以鄂州（黄石）、宜昌及襄阳为中心的城市网络格局，但是鄂州（黄石）、宜昌和襄阳 3 个片区相对独立。top20 城市网络（剔除武汉市）中鄂州（黄石）、宜昌以及襄阳 3 个中心之间的关联逐渐凸显，3 个片区中鄂州、黄石、黄冈之间的关联，宜昌、荆州、荆门之间的关联，襄阳、十堰、随州之间的关联也逐渐凸显出来。

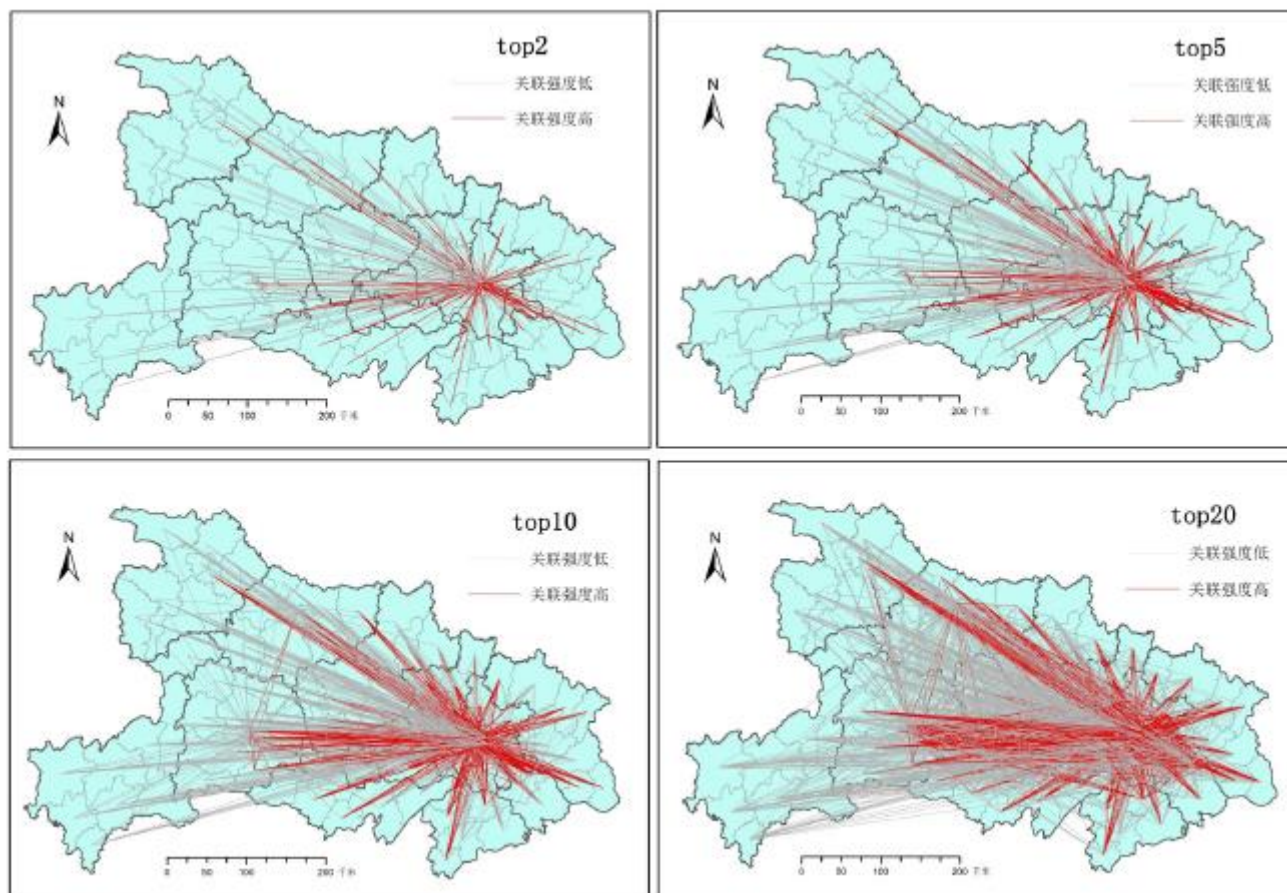


图 3 湖北省分等级城市网络

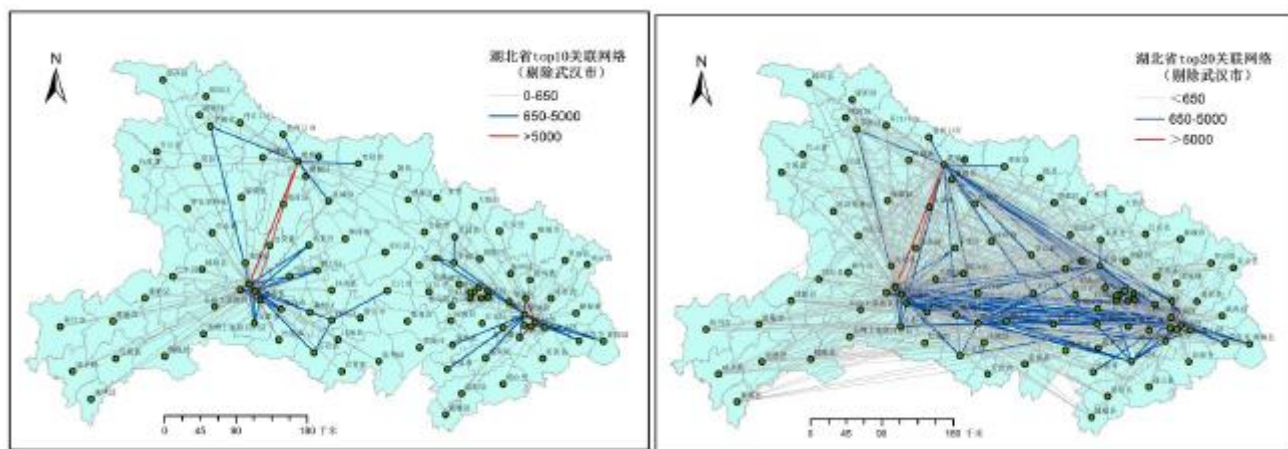


图 4 湖北省 top10 和 top20 城市网络（剔除武汉市）

总体而言，湖北省 top2 和 top5 城市网络联系方向为由四周向武汉市聚合，呈现以武汉为中心的单极吸引型格局。top10 城市网络表现为以武汉为主中心，以鄂州、宜昌和襄阳为次中心的网络格局，基本形成了黄鄂黄都市圈、宜荆荆都市圈和襄十随都市圈。但其关联主要表现为主中心吸引次中心，次中心对主中心的吸引能力较弱，次中心对周边区域的辐射能力也较弱。都市圈之间以及内部的关联结构不稳定，如宜荆荆都市圈内仅存在宜昌对荆门和荆州的关联，但缺少荆门和荆州对宜昌的关联以及荆州与荆门之间的相互关联。top20 城市网络进一步复杂化，表现为以武汉为主中心，以宜昌和襄阳为次中心网络格局，并形成了武汉都市圈、宜荆荆都市圈和襄十随都市圈。top20 城市网络中主次中心相互关联较强，三个都市圈内的相互关联较为紧密，形成了较为稳定的以武汉为主中心，以宜昌、襄阳为次中心的主次复合辐射型网络结构（图 5）。

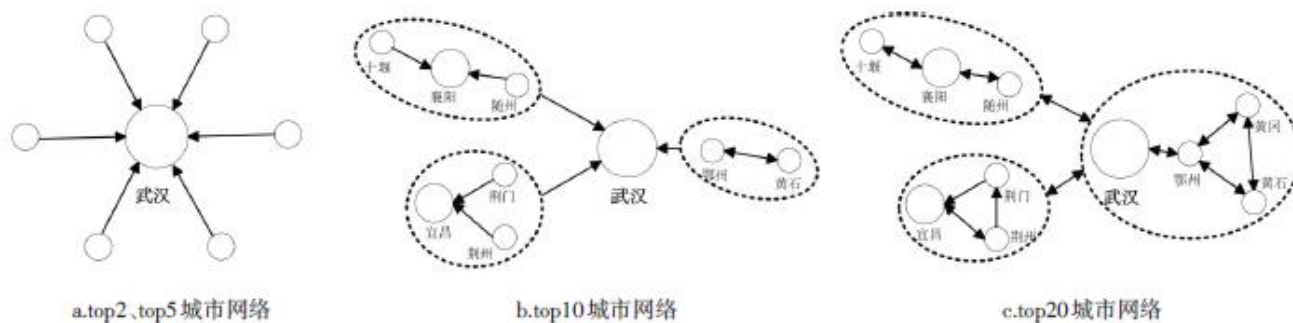


图 5 湖北省城市网络空间结构抽象图

注：a 为单极吸引型空间结构，b 和 c 为主次复合辐射型空间结构。

2.3 节点的择优连接倾向随着网络等级的降低而更加凸显,但不同等级网络次中心的影响力呈现出尺度与区域差异

为了更好地表现湖北省城市网络的内部结构分异，按照上文所呈现省内都市圈分布进行网络重构，其基本思路与省域网络建构方法相同，从而形成湖北省城市网络（省域网络）、武汉都市圈网络、宜荆荆都市圈网络、襄十随都市圈网络。由于都市圈网络内节点较少，top20 网络建构完成后属性近规则网络，分析意义较小，因此本文仅对 top2、top5 和 top10 城市网络的属性

进行了测算。在对湖北省 top2、top5 和 top10 城市网络的复杂性进行分析后发现，随着湖北省城市网络等级的降低，城市网络聚类系数显著增大，说明网络节点的集聚趋势更加明显。结合前文网络中心分布特征，表明节点更加趋向于围绕网络中心集聚，节点择优连接偏好随网络等级降低愈发增强。与此同时，城市网络的平均路径长度则表现出先变小后变大的变化特征。其主要原因是随着网络规模大幅增加，top2 和 top5 城市网络中次中心节点个数的变化较小，仅增加了 2 个入度大于 0 的节点，导致 top5 城市网络平均路径长度急剧降低。而在 top10 城市网络中次中心节点个数快速增多，使得平均路径长度变大。表明次中心在 top10 城市网络中对周边城市的影响更为明显。

分区域城市网络的聚类系数同样随网络等级下降不断上升，但平均路径长度呈现出波动性变化。武汉都市圈城市网络平均路径长度先下降后上升，表明次中心与周边城市的关联在 top10 城市网络中开始显现。宜荆荆都市圈城市网络平均路径长度先上升后下降，主要原因是入度大于 0 的节点在 top5 城市网络中快速增加，即在宜荆荆都市圈 top5 城市网络中次中心与周边城市的关联已经开始凸显。襄十随都市圈网络次中心对周边城市的影响在 top2、top5 和 top10 城市网络中均未凸显，因此，其平均路径长度随城市网络等级的降低而逐渐变小。

3 湖北省城市网络形成机制分析

城市网络是一个多维复杂的巨系统，影响其形成与变化的因素多样。城市产业、公共服务和交通的区位选择往往受到诸如市场、成本、资源等多因素的影响^[28]。因此，本文从市场、成本和资源等角度出发，选取常住人口、人口城镇化率、GDP、城镇居民可支配收入、房价、平均工资、开发强度、距湖北省政府距离以及行政区划等级等 9 个指标，对湖北省城市网络的形成机制进行分析。

为避免所选取的指标受到多重共线性的影响，运用主成分分析法从 9 个指标中抽取 3 个主成分。结果显示：主成分 1 是最重要的变量，解释了总方差的 55.85%，主要包括了开发强度、人口城镇化率、城镇居民可支配收入、房价以及行政区划等级 5 个指标，旋转因子载荷系数分别为 0.912、0.865、0.862、0.811 和 0.780，根据主成分 1 的主要特征将其命名为资源优势与用地成本。主成分 2 能够解释 14.95%的变量，主要包括常住人口和 GDP 两个指标，旋转因子载荷系数分别为 0.911 和 0.739，根据主成分 2 的主要特征将其命名为市场潜力。主成分 3 能够解释 11.19%的变量，主要包括了平均工资和与湖北省政府距离两个指标，旋转因子载荷系数分别为 0.883 和 0.558，根据主成分 3 的特征将其命名为劳动力成本与区位因素。之后运用公式（12）对湖北省 top10 和 top20 城市网络节点入度的影响因素进行多元线性回归。

对湖北省 top10 和 top20 城市网络节点入度的影响因素进行多元线性回归后发现：

(1) top10 城市网络多元回归的显著性水平为 $1.04e^{-10}$ ，远小于 0.001， R^2 值为 0.89，表明 top10 城市网络节点入度的拟合效果较好。top20 城市网络多元回归模拟 R^2 值为 0.46，虽然远低于 top10 城市网络的拟合结果，但是其显著性水平为 $5.17e^{-5}$ ，也远小于 0.001，表明该模型也能够较好地解释 top20 城市网络节点入度的差异。

(2) 湖北省城市网络受到资源优势与用地成本、市场潜力、劳动力成本与区位因素以及网络近邻优势的共同作用。随着城市网络等级的降低，网络近邻优势的影响逐渐凸显，资源优势与用地成本、市场潜力以及劳动力成本与区位因素对城市网络的影响程度有所下降。

(3) 3 个主成分因子对湖北省 top10 和 top20 城市网络的节点入度均为正向影响。其中资源优势与用地成本是导致湖北省 top10 和 top20 城市网络节点入度差异性分布的主要原因。在湖北省 top10 和 top20 城市网络节点入度的多元回归方程中，资源优势与用地成本指标系数均为正值，且显著性水平均小于 0.001，说明湖北省 top10 和 top20 城市网络节点的入度随着城市开发强度、人口城镇化率、城镇居民可支配收入、房价以及行政区划等级的提高而变大。市场潜力对湖北省城市网络的形成也有一定的影响。尤其是在 top10 城市网络中，市场潜力对城市网络节点的入度影响显著，随着城市网络等级的降低，市场潜力对其

仍有较为显著的影响，但是显著程度有所降低。劳动力成本与区位因素对湖北省城市网络的形成影响最小，仅在 top10 城市网络中通过了显著性检验，在 top20 城市网络中不显著。其主要原因有二：一是湖北省劳动力成本虽然能够一定程度上影响湖北省 top20 城市网络节点的入度分布，但是由房价差异所导致的用地成本差异，由城市开发强度、人口城镇化率、城镇居民可支配收入以及行政区划等级等因素所导致的用地资源、人口资源以及政治资源差异以及市场潜力等因素对湖北省城市网络节点入度的影响更大。二是湖北省 top20 城市网络相对于 top10 城市网络而言更倾向于是一个多中心城市网络，除武汉市外，宜昌、襄阳对区域范围内的节点具有较强的影响力，因此距湖北省政府的距离在低等级城市网络中的影响程度较弱。

4 结论与启示

第一，湖北省初步形成“一主两副”的省域城市网络结构。从城市中心性的分布差异来看，湖北省产业中心性、公共服务中心性、交通中心性以及综合中心性的空间结构虽存在一定的差异性，但均呈现一主（武汉）两副（宜昌、襄阳）、东高西低的格局。从城市网络的分布格局来看，湖北省 top20 城市网络也形成了以武汉为主中心，以宜昌、襄阳为副中心的空间格局。

第二，随着城市网络等级的降低，湖北省城市网络从以武汉为中心的单极吸引型向以武汉为中心，以宜昌、襄阳为次中心的主次复合辐射型网络格局转变。湖北省 top2 和 top5 城市网络主要呈现出以武汉为中心的单极吸引型格局；湖北省 top10 城市网络中虽形成了以武汉为主中心，以鄂州、宜昌和襄阳为次中心的网络格局，黄鄂黄都市圈、宜荆荆都市圈和襄十随都市圈也基本成型，但是都市圈之间以及都市圈内部的相互关联较弱，都市圈关联结构不稳定。在湖北省 top20 城市网络中主中心（武汉）、次中心（宜昌、襄阳）分明，武汉都市圈、宜荆荆都市圈和襄十随都市圈之间的相互关联网络较为稳定，形成了以武汉为主中心，以宜昌、襄阳为次中心的主次复合辐射型格局。湖北省都市圈之间及都市圈内部的关联在低等级城市网络中才开始凸显，表明其都市圈之间及内部的关联较弱。鉴于此，建议湖北省强化区域间的合作交流，尤其是都市圈之间的合作交流。应抢抓国家“中部崛起”、长江经济带和长江中游城市群建设等契机，依托都市圈资源优势，促进都市圈联动发展。

第三，随着城市网络等级降低，网络呈现出更明显的择优连接倾向，网络次中心的影响程度呈现区域差异。湖北省省域城市网络与省内都市圈城市网络聚类系数均随网络等级降低而增大，表明城市网络择优连接优势随着城市网络等级的降低而凸显。随着城市网络等级的降低，由于次中心对周边节点影响程度存在区域差异，平均路径长度表现出较为明显的分等级分区域差异。鉴于此，湖北省内都市圈城市网络的发展需探索差异化发展路径。武汉都市圈主中心（即武汉）首位度高，但主次中心差距较大，应强化次中心的承接能力，提高次中心的辐射带动能力，为湖北省省域网络一体化发展奠定基础。宜荆荆都市圈中宜昌、荆门和荆州的城市中心性均不强。需围绕国家创新型城市建设，支持宜昌、荆门和荆州三个中心城市建设创新型城市，培育创新发展动力。襄十随都市圈在强化主中心辐射带动能力的同时，需加快培育次中心。

第四，资源优势与用地成本、市场潜力、劳动力成本与区位因素以及网络近邻优势对城市网络格局均存在影响。在对湖北省城市网络的节点的入度分布差异的影响因素进行分析后发现：资源优势与用地成本是城市网络最主要的影响因素，市场潜力大的城市对节点的吸引力会更强，劳动力成本与区位因素对城市网络的影响程度相对较弱。不同等级城市网络受到近邻优势的影响程度存在差异性。随着网络等级的降低，城市网络受近邻优势的影响逐渐变大，资源优势与用地成本、市场潜力、劳动力成本与区位因素等对城市网络的影响有所降低。

参考文献：

- [1]Taylor P J. Hierarchical Tendencies among World Cities:A Global Research Proposal[J]. Cities,1997, 14(6):323-332.
- [2]Christaller W. Central Place in Southern Germany[M]. Translated by Baskin C W, Englewood Cliffs. NJ and London:Prentice Hall,1966.

-
- [3]Castells M. The space of flows:A theory of space in the information society[C]. Conference of “The New Urbanism” organized by Princeton University in October 1992.
- [4]Camagni R P. From City Hierarchy to City Network:Reflections about an Emerging Paradigm[C]//Lakshmanan T R,Nijkamp P(eds). Structure and Change in the Space Economy.Springer,Berlin,Heidelberg,1993.
- [5]叶磊,段学军,欧向军. 基于交通信息流的江苏省流空间网络结构研究[J]. 地理科学,2015,35(10):1230-1237.
- [6]陈伟,刘卫东,柯文前,等. 基于公路客流的中国城市网络结构与空间组织模式(英文)[J]. Journal of Geographical Sciences,2018,28(4):477-494.
- [7]王姣娥,莫辉辉,金凤君. 中国航空网络空间结构的复杂性[J]. 地理学报,2009,64(8):899-910.
- [8]孟德友,冯兴华,文玉钊. 铁路客运视角下东北地区城市网络结构演变及组织模式探讨[J]. 地理研究,2017,36(7):1339-1352.
- [9]熊丽芳,甄峰,王波,等. 基于百度指数的长三角核心区城市网络特征研究[J]. 经济地理,2013,33(7):67-73.
- [10]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.
- [11]李仙德. 基于上市公司网络的长三角城市网络空间结构研究[J]. 地理科学进展,2014,33(12):1587-1600.
- [12]金钟范. 基于企业母子联系的中国跨国城市网络结构——以中韩城市之间联系为例[J]. 地理研究,2010,29(9):1670-1682.
- [13]吴康,方创琳,赵渺希. 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,2015,34(4):711-728.
- [14]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.
- [15]陈锐,王宁宁,赵宇,等. 基于改进重力模型的省际流动人口的复杂网络分析[J]. 中国人口·资源与环境,2014,24(10):104-113.
- [16]李斌,许立民,秦奋,等. 基于重力模型的河南省公路客流空间运输联系[J]. 经济地理,2010,30(6):955-959.
- [17]刘涛. 基于功能网络的珠三角区域城市联系研究[J]. 经济地理,2015,35(12):57-62.
- [18]姚作林,涂建军,牛慧敏,等. 成渝经济区城市群空间结构要素特征分析[J]. 经济地理,2017,37(1):82-89.
- [19]黄璜. 全球化视角下的世界城市网络理论[J]. 人文地理,2010,25(4):18-24.
- [20]武前波,宁越敏. 中国城市空间网络分析——基于电子信息企业生产网络视角[J]. 地理研究,2012,31(2):207-219.

-
- [21] 蒋小荣, 杨永春, 汪胜兰, 等. 基于上市公司数据的中国城市网络空间结构[J]. 城市规划, 2017, 41 (6) :18-26.
- [22] 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.
- [23] 马学广, 李鲁奇. 基于铁路客运流的环渤海城市空间联系及其网络结构[J]. 经济地理, 2017, 37 (5) :66-73.
- [24] Cattán N. Barrier Effects:The Case of Air and Rail Flows[J]. International Political Science Review, 1995, 16 (3) :237-248.
- [25] Rozenblat C. Pumain D. The Location of Multinational Firms in the European Urban System[J]. Urban Studies, 1993, 30 (10) :1691-1709.
- [26] Andersson C, Frenken K, Hellervik A. A complex network approach to urban growth[J]. Environment and Planning A: Economy and Space, 2006, 38 (10) :1941-1964.
- [27] 朱媛媛, 丁明磊, 曾菊新. 武汉都市圈中心地系统结构及扩散域研究[J]. 城市问题, 2012 (12) :48-53.
- [28] 盛科荣, 杨雨, 孙威. 中国城市网络中心性的影响因素及形成机理——基于上市公司 500 强企业网络视角[J]. 地理科学进展, 2019, 38 (2) :248-258.
- [29] 杜晓娟, 甄峰, 常恩予. 基于电子商务势能的中国城市体系格局与形成机制——以阿里巴巴集团为例[J]. 经济地理, 2016, 36 (9) :49-57.