

基于城市联系网络的城市群等级结构对比

刘湘平¹ 刘慧平² 邹滨³ 靳媛媛² 伊尧国⁴ 王娟²¹

(1. 中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司, 中国湖南 长沙 410014;

2. 北京师范大学 地理科学学部, 中国 北京 100875;

3. 中南大学地球科学与信息物理学院, 中国湖南 长沙 410083;

4. 天津城建大学 地质与测绘学院, 中国 天津 300384)

【摘要】: 城市群已成为中国新型城镇化发展的主体形态, 基于城市联系网络分析城市群城市等级结构为当前研究热点。文章以长三角、珠三角、京津冀和成渝 4 个城市群为研究区, 通过获取公路客运的日均发车班次数据构建城市群的城市联系网络, 基于城市联系强度划分出不同层级的联系子网, 利用复杂网络中度和特征向量指数对比分析城市群等级结构特征。结果表明: 各城市群城市之间的联系强度均呈现出明显的重尾分布特征, 基于重尾分级法可将城市联系网络及城市节点划分成不同层级。城市联系网络的层级结构和城市节点的等级结构特征形成明显的映射关系, 等级较高的联系线以中心城市为核心形成辐射状结构, 而中等水平的联系线以地方中心城市间的联系形成网络状结构, 对城市群的发展轴线或经济密集区有一定指示作用。长三角城市群与珠三角城市群的等级结构较为合理, 不同等级的中心城市在对应的联系子网中占据首要地位。京津冀城市群和成渝城市群处于中心城市快速发展阶段, 中心城市与周边城市形成较为明显的“断层”现象, 且以成渝城市群最为明显。

【关键词】: 城市群 等级结构 引力模型 复杂网络

【中图分类号】: TU982 **【文献标志码】:** A **【文章编号】:** 1000-8462 (2021) 02-0055-07

城市群是功能独立的多节点区域, 由一个或几个中心城市及其周边的附属城市组成, 城市节点的规模往往呈现出一定的分布规律。对此学者提出了首位度指数^[1]、位序—规模分布^[2-3]以及 Pareto 分布^[4]等相关指数, 以刻画城市规模结构的均衡程度。然而, 在经济全球化与信息化的背景下, 交通与通讯技术的革新使得城市之间的联系变得日益频繁且复杂, 城市体系的等级结构呈现出从静止、封闭的中心地模式向多中心、扁平化的网络模式转化的趋势^[5-6], 基于城市规模的等级结构对刻画当前城市群的复杂结构表现出一定的局限性^[7]。

城市等级结构不仅表现为城市规模大小的排序, 亦表现为城市职能大小, 即城市节点在区域中所流动的各种资源的等级、规模及其属性^[8-9]。基于空间相互作用模型测度城市间联系强度或利用大数据构建城市关系型数据网络结构, 成为目前分析城市

作者简介: 刘湘平(1988-), 男, 湖南邵阳人, 博士, 工程师, 研究方向为 GIS 方法与应用。E-mail:03239@msdi.cn
刘慧平(1963-), 女, 北京人, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为遥感与 GIS 应用等。E-mail:hpliu-l@bnu.edu.cn
基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金; 国家自然科学基金项目(40671127)

等级结构的主要方法。其中, 现有空间相互作用模型中以引力模型应用最为广泛^[10-12], 基于引力模型得到的最大引力城市联接数、势能值等指标, 能够定量刻画城市对外联系强度, 对揭示城市等级结构以及城市空间辐射范围具有指示作用^[13-15]。如牛方曲等人^[16]从理论上构建城市群多层次空间结构树, 强调了城市间相互联系的多层次性, 并以京津冀城市群为研究区进行了验证。从城市联系网络中城市节点的空间邻接性与联系强度出发, 可以对城市经济密集区进行划分, 充分反映城市节点等级与空间配置关系^[17]。另一方面, 许多学者从空间联系的角度出发, 通过构建城市间相互联系的关系型数据以揭示城市群的等级结构特征, 主要包括企业型数据、交通流数据等^[18-19]。企业是城市间进行经济联系的主体, 城市企业之间的联系反映出城市群多层次、多中心性的复杂地域结构^[6, 20]。如赵渺希基于企业关联网络考察了 12 个城市群的多中心网络结构^[21], 吴康则在全国尺度上分析了中国城市体系的层级结构^[22]。城市间客运量与城市规模等级具有较强的正相关关系, 使其成为测量城市联系强度的重要指标, 主要包括航空客运量^[23-24]、铁路客运量^[25-26]以及公路客运量^[27-28]等。其它基于关系型数据的相关研究还包括“百度迁徙”数据^[29]、新浪微博数据^[30-31]等网络大数据。

随着中国城市化进程飞速发展, 中国境内已形成“5+9+6”的城市群空间结构新格局^[32], 以城市群为主体形态推动大中小城市和小城镇协调发展, 成为中国新型城镇化的重要手段。在当今城市经济高速发展, 城市间联系强度日益活跃的背景下, 合理城市等级结构将有助于资源合理流通, 推动区域经济的可持续发展^[33]。然而, 大多数城市群尚在以政府为主导的发展模式, 往往会导致核心城市过于集中、城市体系出现“断层”或“孤岛”等现象^[34-35]。现有文献中, 许多学者以全国城市体系或单个城市群构建城市联系网络, 对城市等级结构进行了较详细的论述^[18, 22], 但对多个城市群之间的等级结构对比分析较少。因此, 本文以长三角、珠三角、京津冀和成渝城市群作为典型案例, 利用城市间公路客运班次数据构建城市联系网络, 对比分析各城市群城市联系网络的层级特性以及城市节点的等级结构特征, 为中国未来城市群发展的决策与研究提供参考。

1 数据

1.1 研究区概况

中国境内已形成发育不等、结构不一的多个城市群^[36], 其中长三角城市群位于长江三角洲, 是我国综合实力最强的城市群, 发育水平亦最为成熟; 珠三角城市群是我国最早实施改革开放战略的地区, 亦是我国经济最发达的地区之一, 拥有广州和深圳两个全国经济中心城市; 京津冀城市群是以首都北京市为中心形成环渤海的经济发展区, 是中国北方经济发展的中心所在; 成渝城市群位于长江上游流域, 是全国人口、产业和城镇的主要聚集区, 亦是中国西部大开发的战略要地。4 个城市群都具有较高的经济发展水平和较为完善的城市结构体系, 并呈现出不同空间结构类型^[37], 其行政区划范围如图 1 所示。

1.2 数据来源

本文从携程网 (<https://bus.ctrip.com/>) 和车次网 (<http://checi.org/>) 上获取 2018 年 1 月中国城市之间公路客运的日均发车班次数据, 并通过随机抽取、交叉检验等方式对数据进行人工检查, 使得数据的完整性和可靠性得以保障。经统计, 绝大部分县的公路客运班次数据在网络缺失, 故只在本文在县域尺度上获取各个城市群的地级市和县级市行政单元 (表 1)。基于 ArcGIS 平台的网络分析功能, 对具有公路客运数据的城市点对建立连接路径——空间联系线, 并赋值起始城市间的日均客运班次, 代表城市间的联系强度 (假设每班次客运量一致), 从而构建城市群城市联系网络。



图 1 研究区范围示意图

注：本图基于国家测绘地理信息局标准地图服务网站下载的审图号为 GS(2016)2892 号的标准地图制作，底图无修改。

表 1 各城市群基本信息概况

城市群名称	地级市个数	县级市个数	行政单元总数
长三角	15	32	47
珠三角	9	8	17
京津冀	10	16	26
成渝	18	13	31

2 研究方法

本研究基于所有地级市和县级市之间的公路客运班次数据构建城市联系网络，利用重尾分级法将城市间联系网络按日均发车班次划分成不同等级的联系子网^[38]。采用复杂网络中度与特征向量指标划分城市节点等级，以分析城市联系网络的层级结构以及城市节点的等级结构。

2.1 城市联系网络等级划分

以往研究中往往在城市联系网络的基础上，选取城市节点的最大引力联系线或整个城市体系的前 N 强联系线组成子网^[13]，以分析城市体系的结构特征^[18-19]。这样的划分方法具有较为明确的研究目的，但忽略了数据自身的分布特征，且单一的阈值较难反映具有不同城市数量的多个城市群结构特征。根据前人研究结果，城市间联系强度服从幂率分布^[39-40]，即对数据中值大于 x 的概率进行统计得到其概率分布 $\text{prob}(X > x)$ ，与 x 的常数次幂 (α) 呈反比关系，如公式 (1) 所示：

$$\text{prob}(X > x) \propto x^{-\alpha} \quad (1)$$

幂率分布的数据具有重尾分布特征，即数据值较小的“尾部”占整个数据的绝大部分，数据值大的“头部”占据较小部分。基于这一特性 Jiang Bin^[38]提出重尾分级法，以取均值的方法对城市联系网络等级进行划分，其主要思路为：计算所有联系线的引力强度平均值，小于均值的联系线单独划分成一级子网，对大于均值的联系线构建新的子网络，并通过重复取均值划分出不同等级的联系子网。

2.2 复杂网络指数

对第 k 级城市联系子网以 $G_k=(V_k, E_k)$ 表示，其中 $V_k=\{v_{k1}, v_{k2}, \dots, v_{kn}\}$ 是网络中所有节点的集合； $E_k=\{e_{k1}, e_{k2}, \dots, e_{kn}\}$ 是网络中边（联系线）的集合， N_k 表示联系线数量， F^- 表示所有联系线的引力强度平均值。令 $A_k=\{a_{ij}\}$ 为 G_k 邻接矩阵，其中 a_{ij} 表示城市之间的联接关系，如果 2 个城市直接连接，则 $a_{ij}=1$ ，否则 $a_{ij}=0$ 。

2.2.1 度

城市节点的度（Degree）是基于网络局部属性计算节点重要性的指标，定义为与之相连的邻居数目。如公式（2）所示， D_i 表示城市节点的度。度指标反映了城市节点对其它城市的作用能力，常常用作城市辐射力强弱的判断标准。

$$D_i = \sum_{j \in G} a_{ij} \quad (2)$$

2.2.2 特征向量

特征向量（Eigenvector Centrality）是基于网络全局属性计算节点重要性的指标，它考虑了邻居节点的重要性。如果一个城市节点与一个重要城市相连接，那么它的重要性将会得到提升；相反，如果邻居重要性不是很高，那么即使该城市节点拥有较高的度，其重要性也不一定很高。

$$E_i = \lambda^{-1} \sum_{j=1}^N a_{ij} e_j \quad (3)$$

式中： λ 为邻接矩阵 A 的最大特征值； $e=(e_1, e_2, \dots, e_n)^T$ 为邻接矩阵 A 对应最大特征值 λ 对应的特征向量。

3 结果分析

3.1 城市联系网络层级划分

本文利用 Jeff Alstott 发布的 Powerlaw 库函数^[41]，对各城市群城市之间相互联系的客运班次进行幂函数拟合，并基于重尾分级法将 4 个城市群的城市联系网络划分成 4 个等级，结果见表 2。4 个城市群的幂指数 α 值均在 1.2~1.6 之间，并通过 5% 的显著性水平检验，反映出城市间的联系强度存在着明显的重尾分布特征^[41]。京津冀城市群与成渝城市群的幂指数值最高，接近 1.6。这两个城市群内部的城市发展水平差异性较强，极化发展现象较为突出，城市之间的公路客运联系集中在几个中心城市。长三角城市群城市和珠三角城市群的幂指数值分别为 1.46 和 1.25，这两个城市群较为发达并趋向于扁平化发展模式。级别越高的联系子网平均联系强度 F^- 越大，而联系线数量 N 越少，映证了重尾分布的特征。

3.2 城市联系网络层级特征分析

基于各城市的日均发车客运班次指标,结合重尾分级法将城市节点划分成四级,其中第一级城市的客运班次大于或等于 3361 次,第二级城市阈值为[1502, 3361),第三级城市阈值为[344, 1502),第四级阈值为[0, 200),结合城市联系网络的等级结构得到图 2。

城市是人类生活的重要场所,随着人流、物流、资金流、信息流等在各城市之间的频繁流动,区域内形成了以各城市节点为中心的“流空间”。由图 2 可以看出,城市节点的等级与其对外联系强度的等级呈现出较高的一致性,即城市节点等级越高,与其连接的联系线等级也越高,反之则反,这种一致性具体表现在:(1)中心城市是城市群经济发展的主导者和引领者,与其它城市保持着较高的经济联系强度。中心城市相联接的联系线等级往往较高,并占据了城市客运联系网的 1 级和 2 级联系线大部分,呈现出辐射状网络结构。长三角城市群以上海市为中心辐射整个城市群。珠三角城市群则主要以广州为主中心、深圳为次中心分别辐射珠三角西翼区域和东翼区域。京津冀城市群主要以北京为中心形成单核心结构,成渝城市群以重庆市和成都市为中心形成“双核心”结构。位于长三角城市群中沿上海—南京发展轴线上的常州、无锡和苏州市等,由于较强的经济基础以及与城市职能定位,与周边城市具有联系较高的经济联系^[42],故 1~2 级联系线亦呈现出辐射状的网络结构。(2)各地级市与县级市之间形成 3 级联系线,主要呈现出网络状结构。如长三角城市群的杭州—绍兴—嘉兴等组群、京津冀城市群的石家庄—保定—沧州等组群,通过辐射作用与周边县市形成较为密度的网络状格局。(3)城市节点等级较低的县市之间联系强度较弱,联系线的等级最低,并占据了城市联系网络的绝大部分。这些城市节点主要为各地级市所辖的县级市和县域,由于人口规模较小及资源禀赋较差,使得其与周边县市的联系虽然频繁,但联系强度较低。另一方面,不同等级的联系子网反映了不同等级城市的职能结构,并呈现出不同的空间结构特征。1 级和 2 级联系线主要反映中心城市与周边城市的空间相互作用关系,中心城市处于主导地位,与周边城市形成辐射状空间结构。呈现出网络状结构的 3 级联系子线主要反映经济密集区的城市间相互联系。如长三角城市群上海—杭州—宁波发展轴线,覆盖了嘉兴市、绍兴市等地级城市,形成产业与人口密集分布的交通经济带。具有相似结构的还包括京津冀城市群沿北京—保定—石家庄—沧州经济密集区^[43]。第 4 级的城市联系线主要为县级市之间的联系线,占据了城市联系线的绝大部分,形成遍及整个区域的复杂网络,但日均发车的班次数较小。

3.3 城市等级结构对比分析

对城市群各级联系子网城市节点的度值与特征向量值进行计算,由于不同子网的联系线数量不同,以节点度的绝对值为指标会降低不同等级子网之间的可比性,故对每一级子网中节点度值进行归一化处理,如图 3 所示。上海市在长三角城市群等级结构中处于核心位置,为 1 级联系子网和 3 级联系子网的中心,其归一化后的度值与特征向量值均为 1。作为次中心的省会城市南京市和杭州市,因为地理位置位于南北两侧边缘,使得其在整个城市群客运网络中的特征向量值较小。相反,位于南京—上海发展廊道上的常州市、无锡市及苏州市等大中城市相互之间的联系随着城市群的发展而不断加强,城市间客运班次较多,趋向于网络状结构,并在 2~4 级联系子网中均具有较高的特征向量与度值^[44]。珠三角城市群的城市规模等级趋于“扁平化”发展,主要表现在不同等级的联系子网中不同等级的城市占据着重要位置。如 1 级联系子网中广州市的特征向量值远大于其它城市,表明广州市在整个城市群中占据着绝对的主导地位。而在 2 级和 3 级联系子网中,深圳市、佛山市、江门市、东莞市等均占据着重要的位置,比如深圳市在区域内的跨城企业合作、金融服务业中起着重要的枢纽作用,而东莞市已成为重要的加工制造业基地,区域内城市等级结构由极核型向扁平化、均匀化的网络型结构发展。

表 2 城市联系网络等级结构划分

指标名称	长三角城市群		珠三角城市群		京津冀城市群		成渝城市群	
	F	N	F	N	F	N	F	N
1 级联系子网	331	12	1822	3	180	6	285	6
2 级联系子网	147	46	841	6	95	10	116	12

3 级联系子网	48	134	385	24	34	27	34	44
4 级联系子网	6	598	46	85	4	145	4	257
α 值	1.461		1.251		1.547		1.557	
显著性水平	0.016		0.023		0.039		0.031	

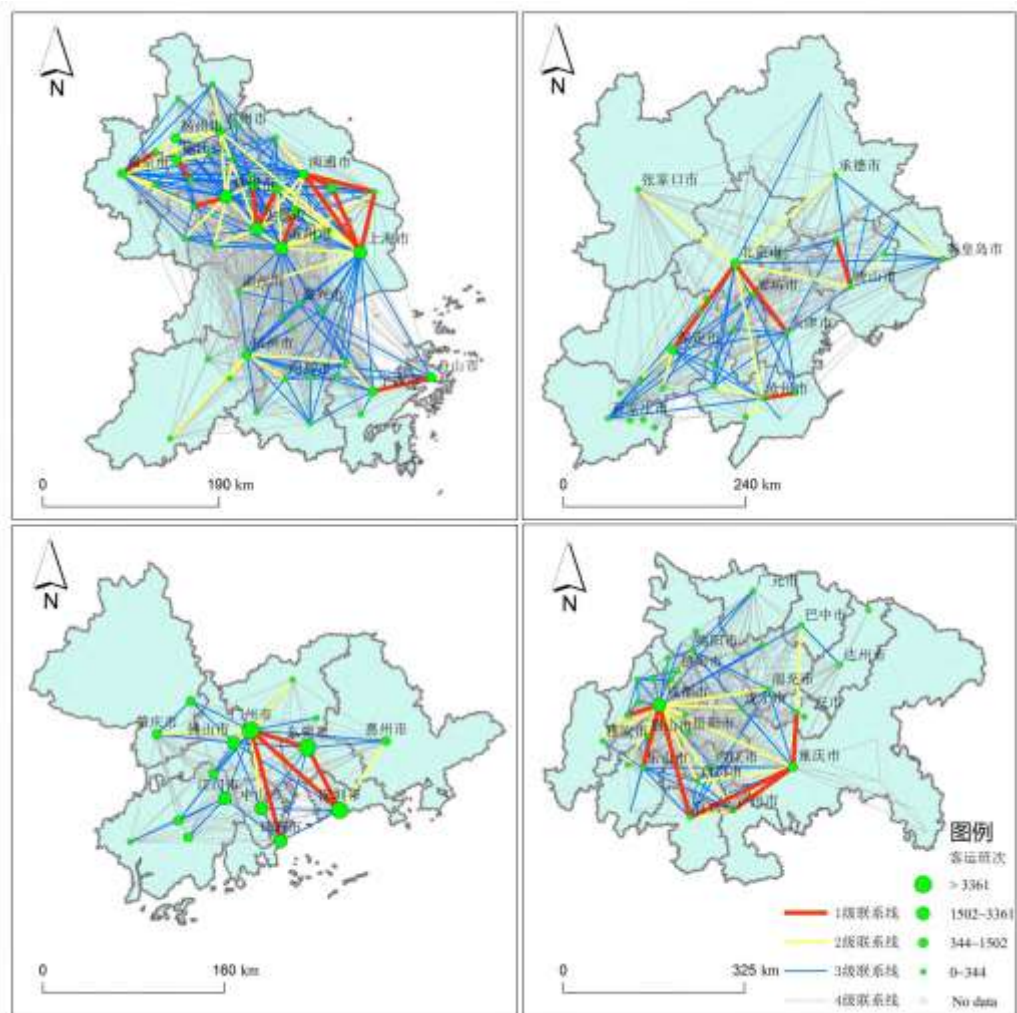


图 2 城市联系网络等级结构示意图

京津冀城市群的城市联系网络呈现出以北京市为“强极核”的空间格局，其归一化后的度值和特征向量值均为 1，为 1~3 级联系子网的中心城市。而作为次核心的天津市和石家庄市仅在 4 级联系子网中占据重要的位置，且分别在 1 级和 2 级联系子网中特征向量值位于第 5 位，发挥着地方中心城市的辐射作用。位于核心城市之间的交通枢纽城市，往往在联系子网中具有较高的特征向量值。如保定市位于京津冀北京—石家庄的发展廊道上且毗邻北京，成为北京市疏通城市功能、调整产业布局的重要战略城市^[45-46]，与北京市及其它城市的客运联系均较强，并在 1~3 级联系子网中均位于重要位置。廊坊市作为连通京津的枢纽城市，在 4 级联系子网中具有最大的度值和特征向量。成渝城市群以重庆市和成都市构成双核心空间结构，其中成都市作为四川省的省会城市，与周边大中型城市保持着较高的经济联系，包括雅安市、德阳市、乐山市、宜宾市等，且在 1~3 级联系子网均具有最大的特征向量值，是区域联系网的核心城市^[47]。重庆市则主要辐射与其相邻的广安市、泸州市和宜宾市等，在 1 级

和 3 级联系网中分别占据着最大的度值和最大的特征向量值。但是两个核心城市之间的联系较弱, 在空间上形成一定程度上的“背离”现象^[48]。而且其它城市在 1~3 级联系子网中度值与特征向量值均低于两个核心城市, 仅在 4 级联系子网中表现出核心位置, 反映了成渝城市群中城市节点等级的断层现象较为明显^[49]。

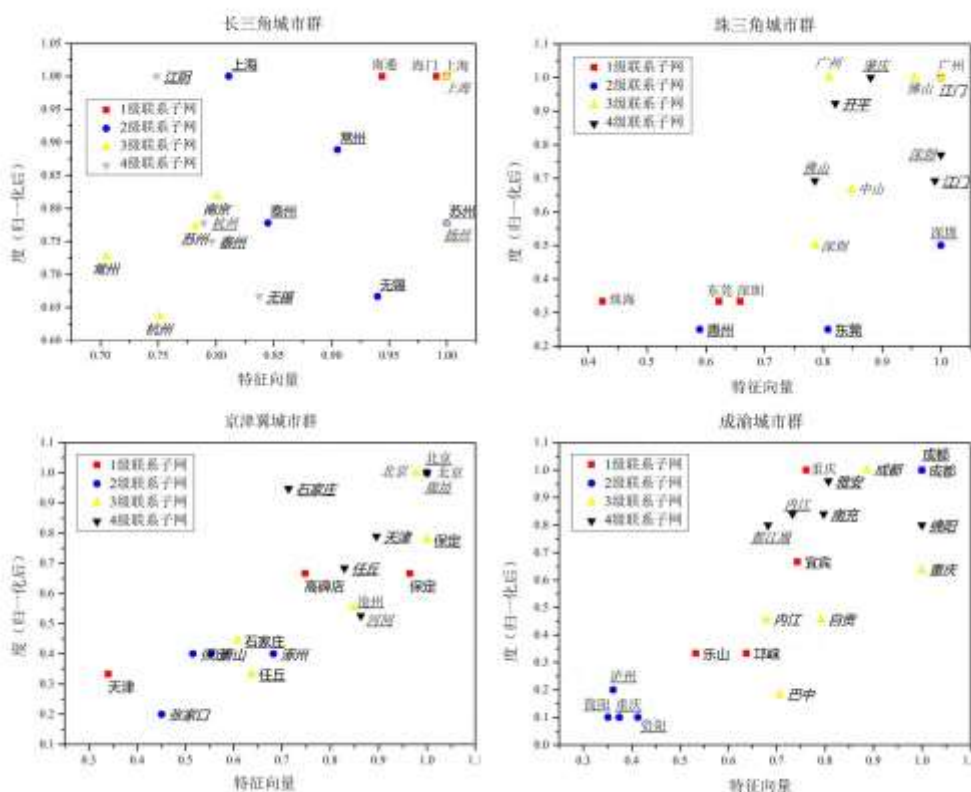


图 3 各城市群联系子网中城市节点等级

注: 图中只展示各级联系子网特征向量值前 5 位的城市, 仅带下划线的表示 2 级联系子网城市, 仅斜体的表示其它的为 3 级联系子网城市, 斜体加下划线的表示 4 级联系子网城市, 1 级联系子网城市。

4 结论

本研究以长三角、珠三角、京津冀和成渝城市群为研究区, 利用所有地级城市和县级城市之间公路客运发车班次数据构建城市联系网络, 对比分析各城市群城市联系网络的层级结构以及城市节点的等级结构特征, 主要结论如下:

(1) 各城市群内部的城市联系强度呈现出明显的重尾分布特征, 根据重尾分级法可以将城市联系网络划分出不同的等级。城市联系网络的层级结构与城市节点的等级特征呈现出相互映射的关系, 日均发车班次较高的城市联系线以中心城市为核心向外形成辐射状结构; 中等水平的联系线主要反映了地方城市之间的经济联系, 在空间上呈现出网络状结构。长三角城市群和珠三角城市群的城市等级结构较为均衡, 表现在不同等级的客运联系子网中为不同等级的城市占据着主导地位。而京津冀城市群和成渝城市群的等级结构较为极化, 表现在具有较高的幂指数值, 且中心城市占据了 1~3 级联系子网的核心位置。

(2) 通过结合复杂网络中节点度与特征向量的概念, 揭示了各城市群城市节点的等级结构特征。长三角城市群与珠三角城市

群已形成以首位城市为中心向多个方向延伸的经济廊道，多中心城市之间形成“点—轴”式发展的空间结构。中心城市对外联系占据了区域联系的主要部分，在1~2级联系子网中具有较高的度值与特征向量值。京津冀城市群的公路客运联系网络呈现出以北京市为中心城市，而联接核心城市的廊道城市在较强的区位优势下，在城市联系网络当中发挥着重要的作用，如保定市和廊坊市。成渝城市群则以重庆市与成都市为核心形成辐射状结构，在等级结构中表现出较强的垄断性，但在空间上形成较明显的空间背离现象。当地政府应加强核心城市的扩散作用，促进地方中心城市的建设，避免导致资源过度集中，从而建立更为合理的城市等级结构。

参考文献:

- [1]Jefferson M. The law of the primate city[J]. Geographical Review, 1939, 29(2):226-232.
- [2]Zipf G K. Human behavior and the principle of least effort[J]. American Journal of Sociology, 1949, 110:306-306.
- [3]丁睿, 顾朝林, 庞海峰, 等. 2020 年中国城市等级规模结构预测[J]. 经济地理, 2006(S1):218-221.
- [4]Richardson H W. Theory of the distribution of city sizes:review and prospects[J]. Systems of Cities Readings on Structure Growth&Policy, 1978, 7(3):239-251.
- [5]Neal Z P. From central places to network bases:a transition in the U. S[J]. Urban Hierarchy, 1900-2000[J]. City & Community, 2011, 10(1):49-75.
- [6]Hall P G, K Pain. The polycentric metropolis:learning from mega-city regions in Europe[M]. Abingdon:Routledge, 2006.
- [7]冷炳荣, 杨永春, 谭一洛. 城市网络研究:由等级到网络[J]. 国际城市规划, 2014, 29(1):1-7.
- [8]马学广, 李贵才. 欧洲多中心城市区域的研究进展和应用实践[J]. 地理科学, 2011, 31(12):1423-1429.
- [9]Castells M. The rise of the network society[M]. Blackwell Publishers, 1996.
- [10]王欣, 吴殿廷, 王红强. 城市间经济联系的定量计算[J]. 城市发展研究, 2006, 13(3):55-59.
- [11]苗长虹, 王海江. 河南省城市的经济联系方向与强度[J]. 地理研究, 2006, 25(2):222-232.
- [12]Capello R, P Nijkamp. Spatial interaction models:from the gravity to the neural network approach[J]. Contributions to Economic Analysis, 2004, 266:317-346.
- [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.
- [14]Du G. Using GIS for analysis of urban systems[J]. Geo Journal, 2000, 52(3):213-221.
- [15]王海江, 苗长虹, 茹乐峰, 等. 我国省域经济联系的空间格局及其变化[J]. 经济地理, 2012, 32(7):18-23.

-
- [16]牛方曲,刘卫东,宋涛,等.城市群多层次空间结构分析算法及其应用——以京津冀城市群为例[J].地理研究,2015,34(8):1447-1460.
- [17]Dadashpoor H, Afaghpoor, A Allan. A methodology to assess the spatial configuration of urban systems in Iran from an interaction perspective[J]. *Geojournal*, 2015, 82(1):109-129.
- [18]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.
- [19]Hou H, Liu Y, Liu Y, et al. Using inter-town network analysis in city system planning: a case study of Hubei Province in China[J]. *Habitat International*, 2015, 49:454-465.
- [20]Taylor P J, B Derudder. World city network: a global urban analysis[J]. *International Social Science Journal*, 2004, 31(4):641-642.
- [21]赵渺希,黎智枫,钟桦,等.中国城市群多中心网络的拓扑结构[J].地理科学进展,2016,35(3):376-388.
- [22]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.
- [23]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[J].地理学报,2011,66(4):435-445.
- [24]宋伟,李秀伟,修春亮.基于航空客流的中国城市层级结构分析[J].地理研究,2008,27(4):917-926.
- [25]钟业喜,陆玉麒.基于铁路网络的中国城市等级体系与分布格局[J].地理研究,2011(5):785-794.
- [26]焦敬娟,王姣娥,金凤君,等.高速铁路对城市网络结构的影响研究——基于铁路客运班列分析[J].地理学报,2016,71(2):265-280.
- [27]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.地理学报,2017,72(2):224-241.
- [28]王海江,苗长虹,牛海鹏,等.中国中心城市公路客运联系及其空间格局[J].地理研究,2016,35(4):745-756.
- [29]刘望保,石恩名.基于 ICT 的中国城市间人口日常流动空间格局——以百度迁徙为例[J].地理学报,2016,71(10):1667-1679.
- [30]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.
- [31]陈映雪,甄峰,王波,等.基于社会网络分析的中国城市网络信息空间结构[J].经济地理,2013,33(4):56-63.
- [32]方创琳.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,2014,69(8):1130-1144.
- [33]顾朝林.中国城镇体系:历史、现状、展望[M].北京:商务印书馆,1992.

-
- [34]钟海燕.成渝经济区城市体系优化分析——基于位序规模模型[J].地域研究与开发,2014,33(3):60-63.
- [35]刘建朝,高素英.基于城市联系强度与城市流的京津冀城市群空间联系研究[J].地域研究与开发,2013,32(2):57-61.
- [36]方创琳,宋吉涛,蔺雪芹.中国城市群可持续发展理论与实践[M].北京:科学出版社,2010.
- [37]宋吉涛,方创琳,宋敦江.中国城市群空间结构的稳定性分析[J].地理学报,2006,61(12):1311-1325.
- [38]Jiang B.Head/tail breaks for visualization of city structure and dynamics[J].Cities,2015,43(3):69-77.
- [39]戴特奇,金凤君,王姣娥.空间相互作用与城市关联网络演进[J].地理科学进展,2005,24(2):80-89.
- [40]Liu Y,Sui Z,Kang C,et al.Uncovering patterns of interurban trip and spatial interaction from social media check-in data[J].Plos One,2013,9(1):e86026.
- [41]Alstott J,E Bullmore,D Plenz.Powerlaw:a python package for analysis of heavytailed distributions[J].Plos One,2014,9(1):e85777.
- [42]汪淳,陈璐.基于网络城市理念的城市群布局——以苏锡常城市群为例[J].长江流域资源与环境,2006(6):797-801.
- [43]吴良镛.京津冀地区城乡空间发展规划研究[M].北京:清华大学出版社,2002.
- [44]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[J].地理科学进展,2009,28(5):697-704.
- [45]姜博,初楠臣,修春亮,等.中国“四纵四横”高铁网络可达性综合评估与对比[J].地理学报,2016,71(4):591-604.
- [46]尹征,卢明华.京津冀地区城市间产业分工变化研究[J].经济地理,2015,35(10):110-115.
- [47]赵映慧,李佳谣,郭晶鹏.基于百度指数的成渝城市群网络联系格局研究[J].地域研究与开发,2017,36(4):55-59.
- [48]郭丽娟,王如渊.四川盆地城市群主要城市通达性及空间联系强度研究[J].人文地理,2009(3):42-48.
- [49]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.