

中国城市群多中心网络的拓扑结构

赵渺希^{1,2,3}, 黎智枫⁴, 钟 烨¹, Derudder Ben²

(1. 华南理工大学建筑学院, 广州 510640; 2. 根特大学地理系, 比利时 根特 9000;
3. 亚热带建筑科学国家重点实验室, 广州 510640; 4. 同济大学建筑城规学院, 上海 200092)

摘 要:在既有理论上扩展了城市群多中心网络的度量工具,考察中国12个城市群总部—分支机构的企业关联网络,比较梳理了地级城市空间联系的拓扑结构。实证研究发现:①包括长三角、珠三角和京津冀三大典型城市群在内,中国城市群内部网络系统的拓扑结构依然发育不完善,在联系数据方面均呈现出一定的稀疏矩阵特征,空间组合关系均为树状结构。②总部区位(出度)的层级性差异均高于分支机构区位(入度)的层级性差异,显示出城市群内部空间“流”的不对称性。③针对12个城市群内部网络的拓扑结构聚类分析表明:长三角、珠三角、京津冀、山东半岛、海峡西岸地区的城市群内部网络联系较为紧密,呈现出一定程度的一体化网络特征;其中三大典型城市群存在明显的企业总部集聚核心,其余城市群内部的网络联系松散,跨城企业联系比重较低,在拓扑结构上大多呈现出以省会或副省级城市为指向的向心式联系。

关 键 词:城市群;多中心网络;拓扑结构;中国

1 引言

探索城市群的拓扑结构一直是城市研究领域中的重要议题。二战以后,Christaller(1966)、Losch(1954)的中心地理论成为城市体系的经典理论。按照这一理论,区域由不同等级的中心地组成,中心城市为周边的从属区域提供服务,并以确定的腹地边界作为中心地的服务范围,每一个中心城市与其腹地中的从属城市构成了一个向心式的空间系统。

随着全球化过程中网络社会的崛起(Castells, 1996),传统的“场所空间”(Space of Place)正被“流动空间”(Space of Flow)所取代,导致空间形式和组织发生巨大的变化,城市体系的组织也由中心地模式转变为多中心的网络化模式(Taylor, 2004, 2009)。Parr(2002)指出,与中心地模式相比,网络化的城市体系空间组织更为均衡;Batten(1995)则进一

步总结为:中心地系统更加强调空间组织的向心性,表现为自上而下的单向垂直联系;而网络化的空间联系则强调节点性,表现为多个中心城市间的水平多向联系。

具体到大都市集聚地带,Scott(2001)最早定义了“全球城市区域”(Global City-Regions),Hall等(2006)则提出了多中心城市区域(Polycentric City-Regions)的概念,与传统的城市群概念相比,城市区域是一种产业阶段更为高级的城市集聚体,呈现出多中心、网络化的空间特征;与就业规模、人口规模等属性数据的均衡性相比,城市群内部多个城市之间均衡的功能联系更为重要(Meijers et al, 2011)。在实证层面,Hall等(2006)与Taylor等(2007)通过企业关联网络和通勤数据研究了欧洲8个多中心城市区域,揭示了发达城市集聚区内部“流”的结构特征;Lang等(2005)也对美国的10个城市区域进行了

收稿日期:2015-03;修订日期:2015-11。

基金项目:国家自然科学基金项目(51478189);广东省自然科学基金项目(2014A030313260);中央高校基本科研业务费重点项目(SCUT2015ZZ) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.51478189; Natural Science Foundation of Guangdong Province, No.2014A030313260; Key Program of Fundamental Research Funds for the Central Universities, No.SCUT2015ZZ]。

作者简介:赵渺希(1979-),男,湖南湘潭人,副教授,主要从事城乡发展与区域规划研究,E-mail: zmx0207@163.com。

引用格式:赵渺希,黎智枫,钟烨,等. 2016. 中国城市群多中心网络的拓扑结构[J]. 地理科学进展, 35(3): 376-388. [Zhao M X, Li Z F, Zhong Y, et al. 2016. Polycentric network topology of urban agglomerations in China[J]. Progress in Geography, 35(3): 376-388.]. DOI: 10.18306/dlkxjz.2016.03.012

深入研究。上述研究也带动了国内的相关实证研究(罗震东, 2010; 赵渺希, 2011); 在方法论层面, Green(2007)、Limtanakool 等(2007)各自独立地提出了系统性的城市群多中心度量工具, Meijers 等(2011)和Burger等(2012)采用理论、实证相结合的方式揭示了中心地模式与网络化模式的差异。

在国内学术界, 吴志强(1998)、顾朝林等(1999)较早地探讨了全球化背景下的中国城市发展, 唐子来等(2010)、宁越敏等(2012)从2005年前后开始深入研究全球化影响下的长三角城市群演化过程。但与Hall等(2006)对欧洲巨型城市区域的比较研究相比, 国内尚缺少一般意义上的城市群企业网络横向比较分析, 现有的实证研究过于集中在三大城市群, 其他城市区域则尚未有实测的企业联系比较分析。由于区域经济不平衡, 中国各地城市群的结构形态存在明显差异, 而相应的实证研究大多依赖于引力模型, 由此推断的空间网络并不是城市群的一种实际联系, 演绎计算的联系结果无法与现实“方向性”的城市流相匹配; 同时, 既有研究也没有对城市群的网络密度、网络效率、对称性、层级性、发育程度等拓扑结构要素进行系统的模式归纳, 在方法论意义上存在明显的研究盲点。

因此, 为应对国内外城市群的理论热点, 探索城市网络的拓扑分析工具、考察城市群空间联系的结构模式不但有着重要的实践意义, 更能为国内学术界提供方法论支撑, 这也是本文的主要出发点。

2 数据与方法

2.1 数据选取

目前西方度量城市网络联系的方法已臻于成熟, Taylor(2004)以“企业是城市间关系的作用者”为理论依据, 建立了生产性服务业的连锁模型分析工具, 并应用于欧洲多中心城市区域的定量研究; 同时涌现了一批从不同角度度量城市网络的研究成果, 例如Hanssens等(2014)采用生产性服务业数据, Burger等(2014)则采用多维度的数据(商务出行、通勤、企业联系等)进行了城市区域的多中心度量。

相比之下, 国内始终存在数据可得性问题: 商务出行、通勤的全样本数据均难以获取, 城市间的客运班次缺少方向性数据, 无法全面反映城市群的联系。从既有的研究来看, 城市间的企业联系是目前相对可靠的实测型数据, 赵渺希等利用企业数据

进行了多项实证研究(赵渺希, 魏冀明等, 2014; 赵渺希, 吴康等, 2014)。

在表征城市间关系的企业数据方面, 除了生产性服务业以外, Alderson等(2004)的世界500强企业区位研究暗含了总部—分支机构的关系, Scott(1982)也将企业总部、分支机构地点的区位组合称之为“联系”或“流”, 这种数据能有效地反映城市功能联系的方向性, 但若仅局限于世界500强企业, 中观的城市群层面就会面临着样本数量不足的问题。为此, 将样本对象扩展到了所有具有母—子关系的多区位企业, 从而形成企业总部—分支机构的关系数据库。

本文经环宇科技公司获得来自工商部门2012年企业事业单位名录, 该数据包含公司名称、注册地址、成立时间、企业电话等企业属性。在此基础上, 通过公司名称中“分公司/办事处/经营部/营业部/经销部/分行/分所”等字眼对分公司进行识别; 然后继续通过公司名称按所在城市群的各城市名称进行再次筛选, 如“上海力增工贸有限公司南京分公司”, 判断其总部所在城市; 最后, 通过企业电话中的区号判断分公司所在城市。由此获取总部—分支机构的空间联系数据。由于工商部门规定, 企业在异地经营必须设立分支机构, 而本文的所有城市均为县级以上地域单元, 因此也可避免由于注册地与办公地不一致而影响研究结论的情形。

2.2 网络拓扑结构的度量

本文基于网络的拓扑结构, 在度量各个城市群区域一体化的基础上, 从密度、强度、对称性、层级性和网络发育程度等5个方面进行计算分析, 度量城市群多中心网络的程度。需要说明的是, 现有的城市网络分析方法大多不适应数据稀疏型矩阵(例如部分城市的数值过低甚至为0、无法进行对数计算, 因而不适应于Hall等的位序规模分析, 也不适用于Limtanakool等的信息熵公式)。本文的测度方法采用了两两差值的方法, 有效避免了传统测度计量方法的弊病。

首先, 定义城市群网络的基本单位为两城市之间的实际连接数, 以 T_{ij} 表示 i 城的总部在 j 城设立分支机构的企业数量。同时, 为了表征整个网络中各节点之间的平均连接数, 以方便城市群之间的横向比较, 网络的平均联系强度 AL 的计算公式如下:

$$L = \sum_j \sum_i T_{ij} \quad (1)$$

$$AL = \frac{L}{n(n-1)} \quad (2)$$

式中: L 为网络中所有联系的总和, n 为城市群内城市总个数。

(1) 自容性

为了描述城市群中区域一体化的程度,借鉴Hall等(2006)在对欧洲8个巨型城市区域概述中所用的自容性指标对跨城企业总部—分支机构所表征的区域一体化进行量度。本文以地级市行政边界作为自容性的量度范围。对于城市群中的网络,各个城市的自容性 Le_i 可量化如下:

$$Le_i = \frac{e_{ii}}{\sum_i T_{ij} + \sum_i T_{ji} + e_{ii}} \quad (3)$$

式中: e_{ii} 为总部和分支机构在同一个城市 i 的企业数量。 Le_i 的值域在0和1之间,当 Le_i 的值越接近0,表明该城市参与区域一体化的程度越高,反之说明城市与其他城市的联系越弱。

为便于城市群之间的横向比较,本文还试图探索空间网络的整体自容性(Le),其度量公式如下:

$$Le = \frac{\sum_i e_{ii}}{\sum_i \sum_j T_{ij} + \sum_i e_{ii}} \quad (4)$$

(2) 联系强度

为便于城市群之间的城市联系大小的横向比较,本文在实际连接数的基础上,提出连接强度 L_{ij} ,该数值表示 i 城的企业总部在 j 城设立分公司的数量占城市群内全部跨城企业联系的比例。

$$L_{ij} = \frac{T_{ij}}{\sum_j \sum_i T_{ij}} \quad (5)$$

式中:不考虑方向的话, i 城和 j 城之间的联系强度(\widehat{L}_{ij})等于 i 城总部在 j 城设立分公司的连接强度 L_{ij} 与 j 城总部在 i 城设立分公司的连接强度 L_{ji} 之和;其计算公式如下:

$$\widehat{L}_{ij} = L_{ij} + L_{ji} \quad (6)$$

考虑到城市群内总部—分支机构跨城联系的出入关系,对于某个城市 i ,其节点强度 S_i 必然等于网络联系中流入强度 S_i^{in} 以及流出强度 S_i^{out} 之和,按照网络分析的一般统计工具,其计算公式分别如下:

$$S_i^{\text{out}} = \sum_j L_{ij} \quad (7)$$

$$S_i^{\text{in}} = \sum_j L_{ji} \quad (8)$$

$$S_i = S_i^{\text{in}} + S_i^{\text{out}} \quad (9)$$

(3) 对称性

延续联系的方向性度量,可以进一步分析网络的对称性。Green(2007)提出了城市群出度、入度的

多中心测度公式,但其计算分析仍然存在拓扑结构问题,如图1所示,节点的出入度都相同,却显然不具有相同的拓扑结构:图1a中4个节点依次单向循环形成闭合的网络结构,每两个节点之间都不是对等的联系结构;反观图1b中的网络,任意两个节点之间的联系均是出入相等,这表明Green的多中心测度方法并不能完全反映稀疏矩阵的对称性。

在类似的网络方向性研究中,Limtanakool等(2007)分别从节点和联系提出了有关对称性的计算公式,并将节点的对称性扩展到了联系的对称性。但是,Limtanakool的度量公式也存在缺陷,即节点和联系两者对称性的量纲不统一,一种是相对比例计算,一种是熵值计算,这种量纲上的不一致不利于网络之间的横向比较。考察Hall等(2006)、Green(2007)对于数组差异的方法,记 X 为网络中某一指标的数组差异, X_{\max} 为该指标最大可能值,则数组均衡性(P)的计算公式可以表示为:

$$P = 1 - \frac{X}{X_{\max}} \quad (10)$$

式中: X 既可以是Limtanakool提到的熵值,也可以是Hall等(2006)、Green(2007)提到的标准差,还可以是数组中元素差值的绝对值之和,且当上述公式中 X 为网络中节点强度的标准差时,上述公式则成为Hall、Pain多中心度量的一部分;若以矩阵中各类元素两两差值的绝对值累计作为差异性的度量,则可解决Limtanakool熵值、差值比例两类指标量纲不统一的问题。

对于网络而言,节点和连接的对称性也是网络特征中的重要指标。对于节点而言,节点的对称性 SN_i 可表明节点是流入型还是流出型;对于连接而言,连接的对称性 SL_{ij} 表明两个节点 i, j 之间的连接更倾向于往哪个节点。对于网络中的节点 i ,其对称性 SN_i 和其与 j 点连接对称性 SL_{ij} ,可以通过比例差值的形式予以计算:

$$SN_i = \sum_j L_{ij} - \sum_j L_{ji} = S_i^{\text{in}} - S_i^{\text{out}} \quad (11)$$

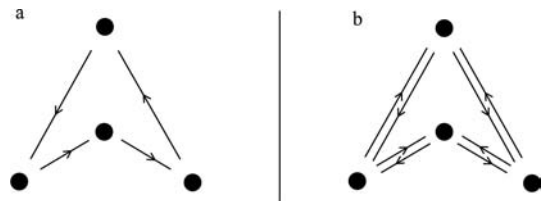


图1 网络对称性示意图

Fig.1 Network symmetry schematic diagram

$$SL_{ij} = L_{ij} - L_{ji} \quad (12)$$

在对单边和单点的对称性进行衡量的基础上,为进一步进行城市群之间的横向比较,本文希望得到整个城市群的所有节点和边的对称性。

对于城市群中所有边的对称性 SL ,则有:

$$SL = 1 - \frac{1}{2} \sum_j \sum_i |L_{ij} - L_{ji}| \quad (13)$$

式中: $\sum_i |L_{ij} - L_{ji}|$ 为上文所提到的 X ,即数组间两两元素的差值的绝对值之和。当网络中 L_{ij} 或者 L_{ji} 为0的时候,即网络各节点之间均是单方向流动的时候, $\sum_j \sum_i |L_{ij} - L_{ji}|$ 会达到最大值2,此时 SL 的取值为0。

SL 越接近1,说明城市群内的企业联系在各城市之间越对称;若 SL 越接近0,则说明各城的联系全部为单向流动,节点之间的联系属于完全不对称性。由于 L_{ij} 、 L_{ji} 均为网络联系的相对值,对其进行再次加、减计算不会影响量纲。

而对于网络整体节点对称性(SN)的计算,则是基于对网络中同每一个元素出度和入度差值的绝对值之和累加的原理,公式如下:

$$SN = 1 - \frac{1}{2} \sum_i |S_i^{\text{in}} - S_i^{\text{out}}| \quad (14)$$

式中: 当每个节点的流入流出情况相同时,该累加值 $\sum_i |S_i^{\text{in}} - S_i^{\text{out}}|$ 为0,出入的差异 SN 值达到最大值1。当网络中的节点为单向流动的时候, SN 达到最小值0。

(4) 层级性

本文的样本数据属于稀疏矩阵,在相关的数据分析中,若某城市的节点值为0,位序—规模的量度将失效,同时该指标并不能很好地反映关系研究中的点和连接的离散程度。故提出节点层级性 β^{in} 和连接层级性 β^{out} 两个指标替代位序—规模的分析方法。对于节点层级性:

$$\beta^{\text{in}} = 1 - \frac{1}{2(n-1)} \sum_i \sum_j |S_i - S_j| \quad (15)$$

当网络中出现只有一个节点有值,其余节点均为0的时候, $\sum_i \sum_j |S_i - S_j|$ 会出现最大值 $2(n-1)$,其中 n 为网络中节点的数量。若 β^{in} 越接近1,则证明网络中各节点的差异性较少;若 β^{in} 越接近0,则说明企业联系活动越往少数特定的城市集聚。

由于节点的强度指标是由流入的分公司和流出的分公司共同决定,为此,节点的层级性可以进一步细分为流入分公司的层级性 β^{in} 和流出分公司的层级性 β^{out} ,其计算公式与节点的层级性相类似,如下:

$$\beta^{\text{in}} = 1 - \frac{1}{2(n-1)} \sum_i \sum_j |S_i^{\text{in}} - S_j^{\text{in}}| \quad (16)$$

$$\beta^{\text{out}} = 1 - \frac{1}{2(n-1)} \sum_i \sum_j |S_i^{\text{out}} - S_j^{\text{out}}| \quad (17)$$

同理,对于联系的层级性 β^{L} ,类似可得计算公式:

$$\beta^{\text{L}} = 1 - \frac{1}{2(n-1)} \sum_m \sum_k |L_m - L_k| \quad (18)$$

当网络中节点的全部流向只流向一个节点时,网络中联系差值的最大值为 $2(n-1)$,若 β^{L} 越接近1,证明网络中各连接的差异性越少;若 β^{L} 越接近于0,则说明企业的联系集中于某两个城市之间的连接。

(5) 网络密度

网络密度 Δ 这一概念经常被运用到描述网络之间各节点联系的紧密程度上,Green(2007)曾对网络密度作出定义,本文沿用该定义如下:

$$\Delta = \frac{L}{L_{\text{max}}} \quad (19)$$

式中: L_{max} 值为理论上网络中所能出现的最大连接数。由于该指标不易计算和获取,在计算方法上本文沿用Green(2007)的算法:选取网络中分支机构最少的节点城市,并假定剩余节点的全部企业均往该节点城市设立分支机构,在这时出现网络的最大联系值 L_{max} 。

(6) 网络发育程度

在网络密度的计算中,Green(2007)、Limtana-kool等(2007)采用的数据均是完全网络的形态,在现实中适用于大样本的城市间通勤流,但当采用样本相对较少的总部—分支机构型企业联系时,少数城市间可能并不存在联系,这时就不存在完全网络的满格矩阵,而代之以稀疏矩阵,也就是部分城市之间无直接联系的情形。例如,图2中两个网络若以网络密度公式计算,则两者均有着相同的多中心程度;但是在不完全的网络中,图2a为6个节点依次相连的网络,图2b则为两个彼此不相连的三角形网络,显然两个网络也存在密度上的差异。

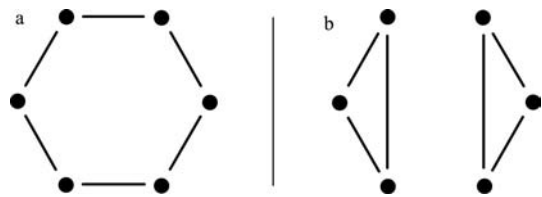


图2 网络发育的拓扑结构模式

Fig.2 Topology structures for network development

对于这一问题,在网络的图论工具中,可通过网络的发育程度来予以综合度量。借鉴程连生(1998)、Derrible等(2011)的相关研究成果,选取了 γ^e (实际成环率)、 γ^l (连接率)、 γ^n (实际结合度)3类指数以衡量网络发育程度,并给出以下公式:

$$\gamma^e = (e - v + 1) / (2v - 5) \quad (20)$$

$$\gamma^l = e / v \quad (21)$$

$$\gamma^n = e / 3(v - 2) \quad (22)$$

式中: e 为网络的边数, v 为节点数。连接率 γ^l 是反映网络连接程度的指标;而实际成环率 γ^e 和实际结合度 γ^n 是反映网络扩展潜力的指标。 γ^e 为环路指数与最大可能环路数的比值,反映实际成环的水平; γ^l 为网络中线路数 e 与网络节点数 v 之间的比值,反映每个节点平均连接的线路数, γ^l 小于1时,网络呈树状网络结构, γ^l 大于1时,为回路网络结构; γ^n 反映线路的实际结合水平,其值越小,结合潜力越大。

2.3 研究对象

由于多中心网络是一种相对高级的区域空间形态,因此尚未发育完善的城市群无法全部纳入网络分析,并且本文的重点也不是城市群的区域空间识别,因此研究的对象筛选主要依据现有的文献,而不拘泥于地域范围的“绝对合理性”。

本文主要采用通用的地级以上城市为标准,但是在武汉城市群中,本文研究对象则包括部分省直管县级市;另外,在成渝城市群中,重庆具有省域的空间尺度,将1997年重庆成立直辖市之前的3个地级行政区(即万州、黔江和涪陵市)作为统计单元。

目前关于城市群的成熟度尚无研究定论,故综合比较方创琳(2009)、曾鹏等(2011)、宁越敏等(2012)以及相关部门关于中国城市群的研究成果,结合企业网络数据的完善程度进行逐步筛选,最终选择了12个城市群作为研究对象(表1)。

3 多中心网络的拓扑结构

3.1 网络拓扑结构的分项特征

根据网络的拓扑类型分析工具,从自容性、密度、网络对称性、网络层级性、联系强度、网络发育程度等6个方面共13个指标对12个城市群进行空间网络的拓扑结构分析,结果如图3、表2所示。由于联系强度的原始数据极差较大,在图3的绘制过程中对平均联系强度指标和总联系强度采用了归一化处理,以便读者直观地了解拓扑指标。总体

表1 中国12个城市群及其包含城市

Tab.1 Twelve urban agglomerations in China and the cities included

城市群	包含城市
京津冀	北京、天津、石家庄、唐山、秦皇岛、保定、张家口、承德、沧州、廊坊
辽中南	沈阳、大连、鞍山、抚顺、本溪、丹东、辽阳、营口、盘锦、铁岭
山东半岛	济南、青岛、烟台、潍坊、淄博、东营、威海、日照
长三角	上海、南京、无锡、常州、苏州、南通、扬州、镇江、泰州、杭州、宁波、嘉兴、湖州、绍兴、舟山、台州
海峡西岸	福州、厦门、漳州、泉州、莆田、宁德
珠三角	广州、深圳、珠海、佛山、江门、肇庆、惠州、东莞、中山
关中	西安、咸阳、宝鸡、渭南、铜川、商州
中原	郑州、洛阳、开封、新乡、焦作、许昌、平顶山、漯河、济源
武汉	武汉、黄石、鄂州、黄冈、仙桃、潜江、孝感、咸宁、天门、随州、荆门、荆州
长株潭	长沙、株洲、湘潭、岳阳、常德、娄底
北部湾	南宁、防城港、钦州、北海
成渝	重庆、成都、自贡、泸州、德阳、绵阳、遂宁、内江、乐山、南充、眉山、宜宾、广安、雅安、资阳

上,13个指标的变异系数中,联系强度的数组差异最大(均超过1.0),其次是网络发育程度的3个指标,再次是网络密度指标,其余指标的变异系数均在0.5以内(表2)。

(1) 联系强度

衡量强度的指标分为平均联系强度指标(AL 值)和总联系强度指标(L 值)。从这2个指标来看,长三角城市群表现出最强的联系强度,珠三角城市群次之,反映了该两个城市群内城市联系程度较高。而中原城市群、武汉城市群、成渝城市群和北部湾城市群的平均联系强度均较小,意味着城市之间的联系较弱(图3、表2)。

(2) 对称性

对称性包含了联系(SL 值)和节点(SN 值)2个指标。在各个城市群中,往往呈现出大城市流出(总部)、小城市流入(分支)的非对称性。总的看来,辽中南和北部湾城市群的总部—分支机构最为对称,而武汉、关中、京津冀城市群的非对称性较强,并分别形成了以武汉、西安、北京为中心流向周边城市的情况(图3、表2)。

(3) 层级性

在各城市群中出现了流出企业的层级性(β^{out} 值)均要高于流入企业的层级性(β^{in} 值)这一显著的特征,同时,层级性的4个指标中以出度的变异系数最大(表2),表明总部比分支机构在城市群内部表现

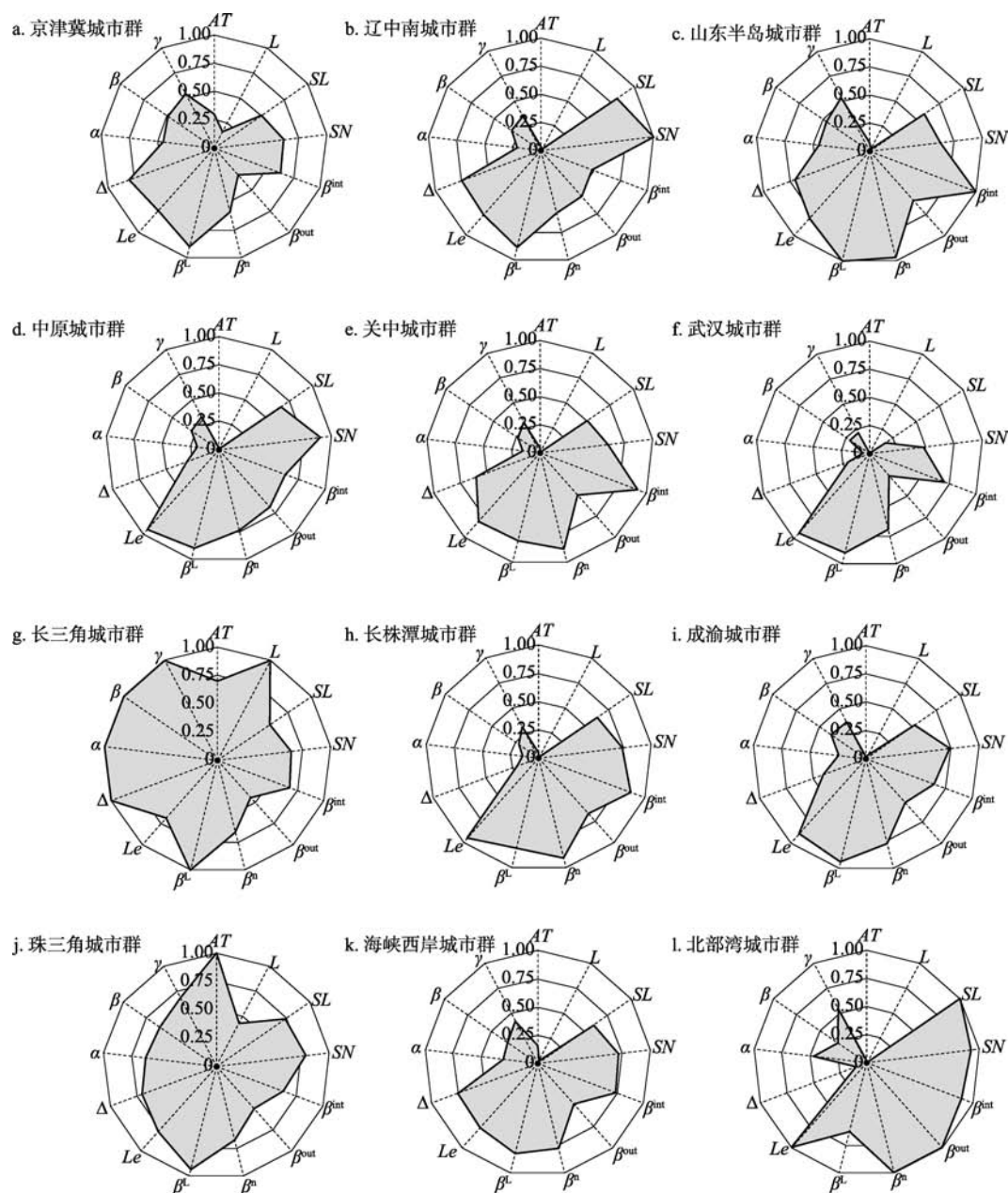


图3 城市群网络拓扑指标的相对值

Fig.3 Relative topology index of urban agglomeration network

出更强烈的集聚特性,其中,流出企业的集聚现象以京津冀和武汉城市群最为明显, β^{out} 值分别低至0.16、0.13。相反,北部湾城市群和中原城市群的均衡较为明显,这与缺乏较为强大的中心城市有关。与总部企业明显的集聚趋势相反,分支机构显著的分散特征反映了分公司在选址上的分散、均衡以达到贴近市场需求的目的(图3、表2)。

若以所有联系总和相对值(β^n 值)来考察城市网络节点的层级性,在12个城市区域中,长三角、珠三角、京津冀和辽中南城市群均出现了较为明显的集

聚现象,层级性指标中的 β^n 值均小于0.4。值得指出的是,该类集聚并非发生在单一的中心城市:如珠三角的深莞广、京津冀的京津、长三角的沪苏杭甬锡,这一现象与Hall等(2006)在对欧洲八大城市区域的研究结果相似,即由于区域的交通设施和通信技术的进步所带来的“流动空间”会使地理空间出现重构,并仍然遵循按服务功能等级聚集的原则,发生于具有不同等级的城市聚合体。

(4) 自容性

自容性作为衡量区域一体化的重要指标,反映

表2 城市群的网络拓扑指标的原始值
Tab.2 Original topology index of urban agglomeration network

城市群	强度		对称性		层级性				自容性	密度	发育程度		
	AT	L	SL	SN	β^{in}	β^{out}	β^s	β^t	Le	Δ	γ^e	γ^t	γ^a
京津冀	10.69	962	0.38	0.50	0.47	0.16	0.34	0.46	0.72	0.16	1.27	5.60	1.17
辽中南	1.10	98	0.61	0.81	0.36	0.27	0.33	0.45	0.74	0.15	0.60	3.60	0.75
山东半岛	2.86	160	0.44	0.51	0.75	0.29	0.56	0.51	0.77	0.14	1.27	5.25	1.17
长三角	25.01	6002	0.42	0.53	0.51	0.22	0.38	0.51	0.66	0.20	2.82	11.38	2.17
海峡西岸	5.73	172	0.45	0.58	0.55	0.24	0.45	0.42	0.74	0.15	0.86	3.67	0.92
珠三角	35.57	2561	0.55	0.64	0.47	0.25	0.39	0.48	0.75	0.14	1.77	6.89	1.48
关中	1.57	47	0.38	0.49	0.69	0.25	0.51	0.41	0.79	0.12	0.43	2.67	0.67
中原	0.61	44	0.50	0.73	0.47	0.34	0.43	0.46	0.92	0.06	0.54	3.33	0.71
武汉	0.29	61	0.13	0.39	0.53	0.13	0.40	0.46	0.91	0.04	0.16	2.40	0.46
长株潭	1.50	30	0.47	0.60	0.65	0.33	0.53	0.42	0.92	0.04	0.40	2.40	0.67
北部湾	0.67	8	0.75	0.75	0.67	0.50	0.58	0.32	0.97	0.02	1.33	3.50	1.17
成渝	0.53	192	0.39	0.60	0.48	0.26	0.45	0.48	0.86	0.08	0.68	4.22	0.79
平均值	10.94	1700.84	0.14	0.12	0.11	0.09	0.08	0.05	0.09	0.06	0.71	2.43	0.45
变异系数	1.52	1.97	0.31	0.20	0.20	0.33	0.18	0.11	0.12	0.51	0.70	0.53	0.44

了本地的总分支机构占该城市全部总部和分支机构的比例。长三角城市群拥有区域内最低的自容性,其 Le 值为0.66,即意味着34%的总部一分支机构是异地分布的,企业的跨城联系较为紧密,区域一体化程度较强;其次京津冀、珠三角、辽中南、海峡西岸等城市群的 Le 值均在0.7~0.8之间;中原、北部湾、武汉、长株潭等城市群的自容性 Le 值均在0.9以上,这些城市群的总部一分支型企业跨城比例不足10%,区域一体化进程有待完善(图3、表2)。

(5) 网络密度

密度指标是反映城市群中各网络节点联系紧密程度的指标,不难发现,京津冀和长三角城市群内各城市联系较为紧密,而北部湾、武汉城市群内部的联系最为松散。当然,由于网络密度最大值为1,可以看出,包括长三角在内的三大城市群,其空间联系的拓扑结构依然不完善(网络密度 Δ 值的最大值仅为0.20),均呈现出明显的稀疏矩阵特征(图3、表2),这一现象与王发曾等(2007)提出的“许多城市群还没有形成以城市集群为支撑的有整体竞争实力的地域实体”的判断基本相符,也深化了赵渺希等(2012)关于中国城市间企业网络的特征研究。

(6) 网络发育程度

在网络发育方面,实际成环率 γ^e 以长三角、珠三角城市群最高;另外,通过 γ^e 和 γ^a 的量度,12个城市群网络的 γ^t 均大于1,说明企业样本数据显示的城市联系成树状网络结构。珠三角和长三角城市群

三项指标均较大、网络发育程度最高,而北部湾、武汉、长株潭等城市群的网络发育程度较低,且其松散的网络形态结构与高自容性并存,与学术界通称的“巨型城市区域”相比尚有明显差距(图3、表2)。

3.2 空间网络的类型特征

在SPSS中采用Ward联接的方法对12个城市群进行聚类分析。理论上12个城市群可分为2类,但在聚类过程中发现(图4),在3类到5类的分异更明显,且采用快速聚类进行校核后也得到了同样的分类图。为使网络拓扑结构具有一定的区分度,本文最终采用了4类拓扑结构:第Ⅰ类包括长三角城市群;第Ⅱ类包括珠三角、京津冀城市群;第Ⅲ类包括海峡西岸城市群、山东半岛城市群;第Ⅳ类包括

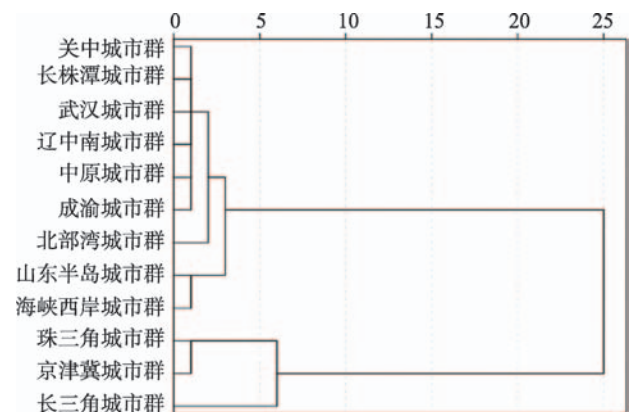


图4 12个城市群树状分类图
Fig.4 Cluster classification of the twelve urban agglomerations

成渝城市群、辽中南城市群、中原城市群、武汉城市群、长株潭城市群、关中城市群、北部湾城市群。

根据13个指标聚类分析所得的类型平均值与12个城市群的总体平均值的标准差倍数(表3),可以判断各个地域类型的基本特征。一般而言,如某一类型地域的指标高于或低于总体平均值的0.5倍标准差(0.50 Std.),则表明该因子可以作为判断这类地域的特征要素;如几个指标离总体平均值都在0.5倍标准差(0.50 Std.)以内,则以偏离总体平均值的标准差倍数较大的因子作为判断这类地域的特征要素。

(1) I类城市群:层级明显的一体化模式

该城市群的网络密度、联系强度、网络发育程度3类指标均远高于12个城市群的平均值,而自容性指标明显低于平均值,这表明长三角各个城市之间的联系紧密,呈现出明显的一体化网络,并显示以上海为强核心,苏州、杭州、宁波、南京、无锡为多中心的层级性网络结构。

值得一提的是,虽然长三角的节点的均衡性低于平均水平(β^{in} 、 β^{out} 、 β^n 值相对于其他城市群的负值反映了城市群中集聚核心的存在),但是网络中联系的层级性(β^L 值)指标在12个城市群中较为突出,说明长三角尽管存在明显的强核城市——上海,但是网络中联系的均衡性最好(图5、表3),苏州、杭

州、宁波和南京等等城市之间不仅与上海有较多的垂直联系,而且4个城市之间也有大量的水平联系;其低层级城市湖州、嘉兴等城市之间亦有联系,水平交互的网络结构明显。

(2) II类城市群:双核分工的一体化模式

II类城市群联系强度、网络发育程度均明显高于平均水平;同时,跨城企业在该城市群中分布较为聚集。与长三角类似,该类城市群节点的层级性这一指标同样较为突出(β^{in} 、 β^{out} 、 β^n 值的负值同样反映了城市群中集聚核心的存在),总部企业较为集中分布在深圳和北京,并形成深圳—广州、北京—天津分工的双核差异化分工格局(图3、图5、表3)。结合I类城市群的特征可以发现,上海、北京、深圳分别是三大城市群中的总部集聚地,是中国城市体系中参与全球价值链分工的顶端城市,这一现象在一定程度上证实了唐子来等(2010)、赵渺希等(2014a)的研究结论。

另外,京津冀、珠三角的自容性较低,在各等级城市之间也有着较强的水平联系,尤其是珠三角,佛山—中山、佛山—东莞等联系也呈现较强的一体化特征。

(3) III类城市群:弱双中心模式

III类城市群的联系强度、网络发育程度次于II类城市群,但层级性的均衡性较弱,说明城市群内

表3 城市群网络拓扑指标偏离总体平均值的标准差倍数

类别	强度		对称性		层级性				自容性	密度	发育程度		
	AT	L	SL	SN	β^{in}	β^{out}	β^n	β^L	Le	Δ	γ^c	γ^L	γ^n
I类	1.58	1.99	-0.25	-0.55	-0.36	-0.55	-0.82	1.24	-1.61	1.65	2.55	2.80	2.60
II类	1.42	1.26	0.06	-0.21	-0.72	-0.72	-1.01	0.44	-0.82	0.75	0.72	0.69	0.70
III类	0.37	0.03	-0.08	-0.42	0.91	-0.06	0.74	0.34	-0.61	0.66	0.08	-0.05	0.08
IV类	-0.74	-0.65	0.04	0.26	0.00	0.30	0.20	-0.40	0.64	-0.64	-0.59	-0.58	-0.59

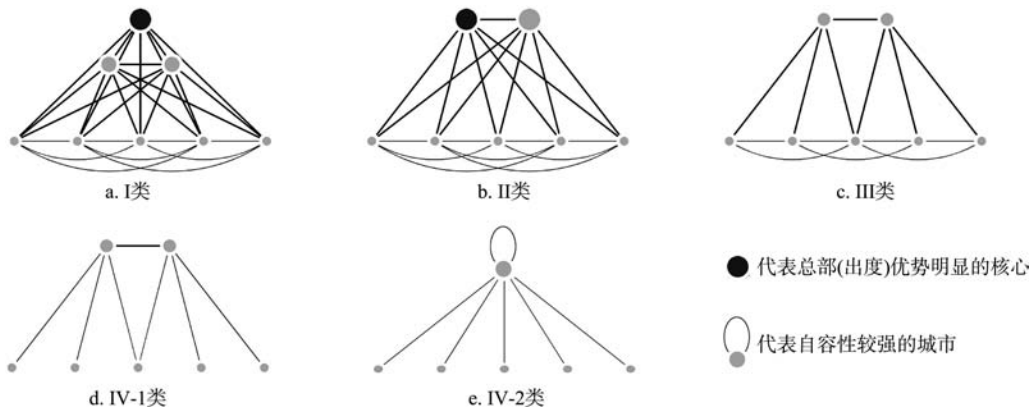


图5 城市群的网络拓扑模式图

Fig.5 Network topology of urban agglomerations

各城市的跨城企业的数量差距较少,呈现较为明显的均衡分布趋势。其中该类城市群入度层级性的均衡性数值较大(B^I 值高于平均值0.91倍Std.),同时节点的总层级性不明显(B^T 值高于平均值的0.74倍Std.),即表明该类城市群内的分公司选址较为均衡,也有一定的多中心趋势(图5、表3)。

与前述Ⅰ类、Ⅱ类城市群相比,Ⅲ类城市群内部并没有出现典型的出度(总部)集聚城市,双中心的总部—分支机构地域分工不如前两类城市群明显。

(4) Ⅳ类城市群:待发育的向心模式

Ⅳ类城市群不但联系强度较弱, AT 值低于平均值的0.74倍标准差,而且非核心城市之间的水平联系也明显不足,网络效率、密度和网络发育程度均低于平均值(表3)。同时,对称性指标较为突出,其原因在于核心城市的吸纳能力不足,表现为各城市流出企业与流入的企业相当。

其中,结合网络联系与自容性分布,Ⅳ类城市群又可以细分为2种亚型(图5):双核心城市的单向辐射型(如成渝、辽中南城市群)、单中心且自足性的单向辐射型(如武汉、长株潭、关中城市群)。

此外,还可通过定性观察对该类城市群进行延展讨论:Ⅱ类城市群中,虽然成渝、武汉、长株潭、中原城市群中都不乏像成都、重庆、武汉、长沙、郑州等经济中心城市,但在企业关联网络维度上表现为低水平的多中心分散型空间布局,中心城市大而不断的特征制约了跨城企业机构的入驻。

3.3 空间网络的联系特征

由于抽象的拓扑结构并不反映城市群内在的联系格局,本文进一步分析了空间网络的一般特征(图6)。研究发现,总部—分支企业总量越大的城市,其关联度越高;枢纽城市往往成为总部的高度集聚地。与Hall等(2006)关于欧洲8个巨型城市群的研究类似,即市场服务腹地较大的公司和办事机构显示出强劲地在首位城市集聚的趋势。在12个城市群中,枢纽城市分别是北京和天津、上海、深圳、沈阳和大连、青岛、厦门、郑州、西安、武汉、长沙、成都和重庆。企业关联网络的结构在12个城市群中的差异较大,包括单中心放射结构、双核的网络结构以及多中心网络结构等。

研究也发现,随着城市群发展越成熟,除了核心城市对周边各等级城市有较强和集中的联系外,发达城市群中次级规模城市之间也出现了一定程

度的联系,垂直的等级城镇体系有被水平横向联系所取代的迹象,城市的企业总部—分支机构联系显示出一定的网络化趋势。

限于篇幅,本文仅对京津冀、长三角、珠三角3个城市群进行网络的具体阐述。京津冀城市群呈现以北京、天津双核为主的网络结构,北京和天津两大枢纽城市联系占整个城市群联系值的42.5%。北京作为最主要的总部所在城市,出度(总部)数明显大于入度(分支机构)数,其他城市的则相反。其余城市除与北京、天津和石家庄有主要联系外,城市之间亦有联系。同时,就自容性而言,北京的自容性明显较低,反映其在区域中强烈的外向企业网络组织特征。

长三角城市群形成了以上海为枢纽,苏州、杭州、宁波、南京、无锡为次枢纽的网络结构。上海拥有最多的跨城企业,对城市群中其他各个城市显示出紧密的企业联系,尤其对苏杭甬宁的联系最为紧密,其中又以上海—苏州的企业联系最强(938家)。无论在江苏省还是浙江省内,绝大部分城市与枢纽城市(上海)和省会城市(南京或杭州)的网络关联度明显高于省内的其他城市,同时上海的自容性相对较低、企业网络的外向性非常突出。

在珠三角城市群内,城市网络具有一体化的结构特征:深圳拥有最多的跨城企业,广州、东莞和佛山次之,形成了以深圳为核心的多中心网络结构。广州—深圳之间的企业联系反映了区域两大核心城市之间的紧密联系,深圳—东莞次之。肇庆、江门的跨城企业总量较小,只与地理位置较邻近的城市有零星的企业联系。自容性方面,深圳不仅有着强劲的枢纽结节性,外向性的企业总部控制功能也比广州更为突出。

4 结论与讨论

4.1 结论

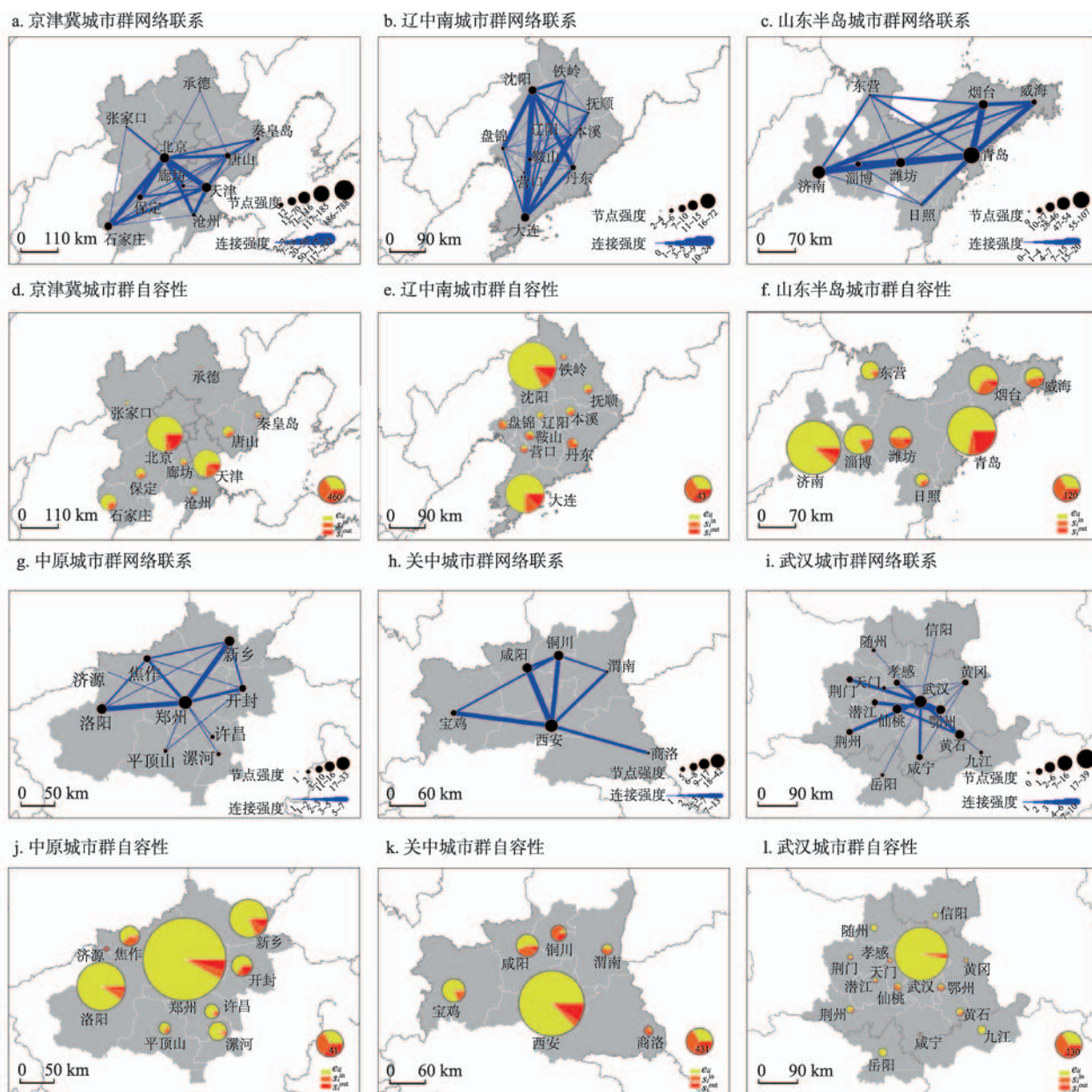
本文的主要创新在于:在既有研究基础上扩展了城市群多中心网络的度量工具,系统性的网络分析方法为后续的相关研究提供了铺垫。针对中国12个城市群的实证研究发现,包括长三角、珠三角、京津冀三大典型城市群在内,中国城市群内部网络的拓扑结构依然发育不完善,在联系数据方面均呈现出一定的稀疏矩阵特征,空间组合关系上均为树状结构。总部区位(出度)的层级性差异均高于分支

机构区位(入度)的层级性差异,显示城市群内部空间“流”的不对称性。

本文对12个城市群内部网络的拓扑结构进行聚类分析,归纳了中国城市群空间交互的基本模式:长三角、珠三角、京津冀、山东半岛、海峡西岸地区城市群内部网络联系较为紧密,呈现出一定程度的一体化网络特征,其中前3个城市群均存在明显的企业总部集聚核心;其余城市群内部的网络联系松散,在拓扑结构上大多呈现出以省会或副省级城市为指向的向心式联系。从12个城市群企业网络的13项指标来看,发达地区城市群(东部沿海的5个城市群:珠三角,海峡西岸,长三角,山东半岛和京津冀城市群)的拓扑结构关系生成有两个关键的

过程:一是城市间企业总部—分支机构的异地分离,由此形成的跨城经营活动成为城市联系的直接动力,进而通过低自容性映射出城市群空间网络的一体化格局;二是发达城市群企业总部的空间集聚。上述两个过程是相伴相生的,分支机构的增多必然会导致总部职能的增强。而东部沿海城市群与其他待发育城市群出现企业网络化特征差别的重要原因在于,区域内是否有多个城市在发生上述的空间过程。

珠三角城市群中的深圳、广州等,长三角城市群中的上海、杭州和南京等,京津冀城市群中的北京、天津等以及海西城市群中的福州和厦门等东部沿海城市,凭借其区位优势及其行政等级优势,在



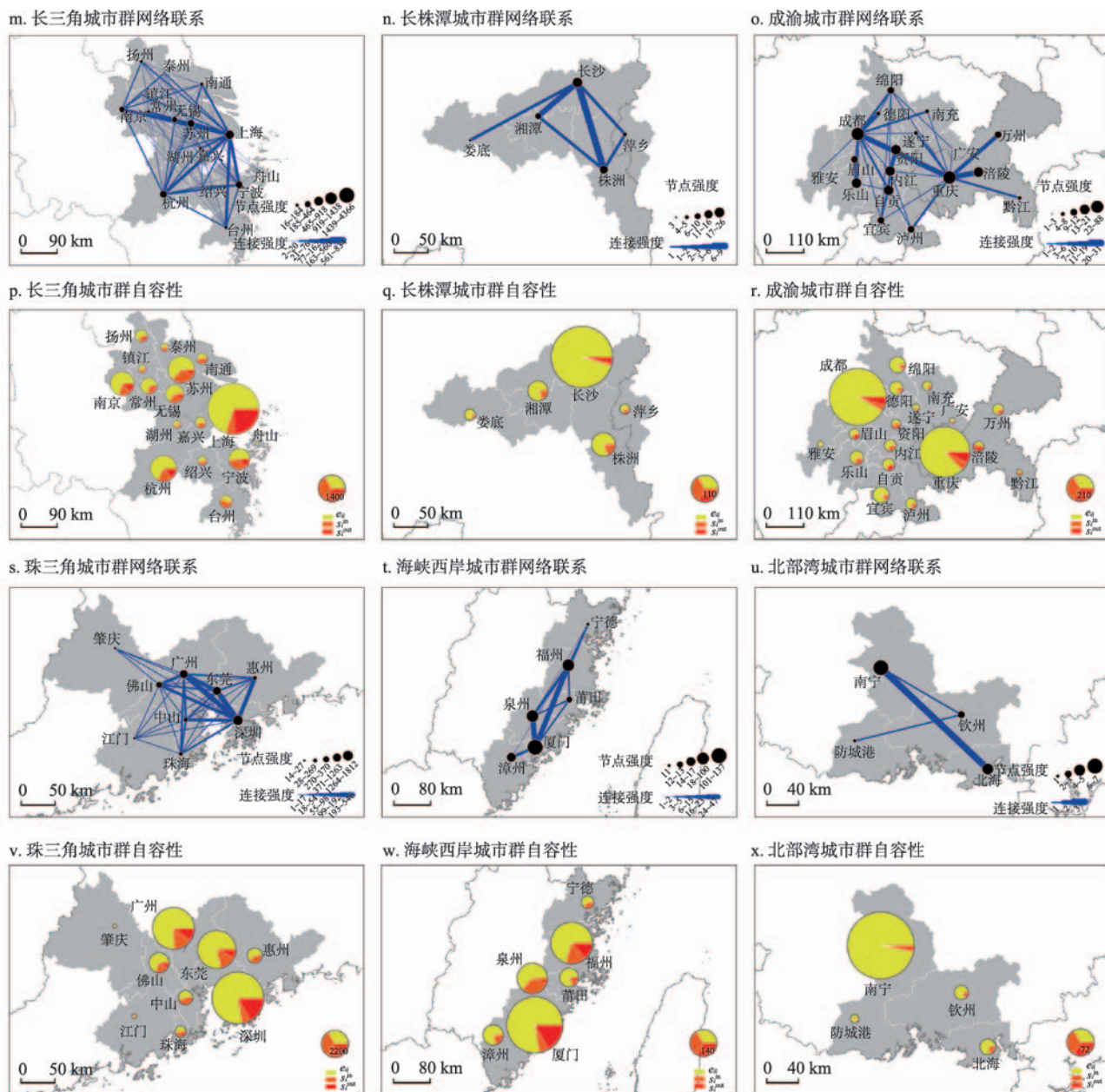


图6 城市群的网络及自容性

Fig.6 Network and self-compatibility of urban agglomerations

中国融入全球的历史机遇中获得先机,大量企业和人才往上述城市集聚。随着这些城市企业的迅猛发展,总部和分支的功能出现异地分离的需要,城市之间总部—分支的经济联系开始在多个城市以星形的结构出现,整体上则形成了网络化的特征。在该过程中某些城市逐渐发展为网络中的核心节点,如上海、北京和深圳。相比于沿海城市群,内陆城市群主要由区域内省会城市(郑州、武汉、西安等)承担企业原始集聚的过程,因此在总部—分支的经济联系中,更多地呈现出指向省会城市的星形结构或者松散的网络结构。

分公司选址是企业基于市场规律作出的理性选择,现状东部城市群和城市群内部城市网络的差异是由于企业“用脚投票”而造成的,城市和区域规划可根据这种市场的特征作出相应的响应。

对于欠发达地区的城市群,现阶段应培育核心城市的集聚规模、提高城市群的服务能级。Burger等(2015)的实证研究结果显示,集聚规模较大的城镇有着更好的公共服务设施福利,在本质上,这不仅符合Marshall等(1920)的企业邻近产生的技术共享效应,而且也在一定程度上映射了中西部小城镇发展动力不足的实际情况。另外,借鉴“流动空

间”、网络城市(Parr, 2002)的概念,可以先行注重基础设施的建设,增强中心城市的区域服务能级,最大限度地发挥中心城市的“借用规模(Borrowed size)”效应(Burger等, 2015),缓解其他区域性公共设施投入不足的问题。

对于长三角、珠三角、京津冀“北上广深”等核心城市的功能扩散问题,则可基于多中心功能联系的互补性,着眼实现功能的有机疏散,但产业、设施的外迁并不是区域功能的均匀扩散,而应将具有前后向关联的功能在各个中心之间进行专业化的集聚,通过分散中的集聚维系 Marshall等(1920)所指的企业邻近性优势,否则,“撒胡椒面”式的产业疏散方式将损害产业功能集聚的正向外外部性需求、无法实现“整体大于局部之和”的系统性优势。当然,具体的区域产业发展与布局还有待在后续研究中通过因地制宜的发展规划和产业政策不断完善。

参考文献 (References)

- 程连生. 1998. 中国新城在城市网络中的地位分析[J]. 地理学报, 53(6): 481-491. [Cheng L S. 1998. China's new cities and their positions in the urban network[J]. *Acta Geographica Sinica*, 53(6): 481-491.]
- 方创琳. 2009. 城市群空间范围识别标准的研究进展与基本判断[J]. 城市规划学刊, (4): 1-6. [Fang C L. 2009. Research progress and general definition about identification standards of urban agglomeration space[J]. *Urban Planning Forum*, (4): 1-6.]
- 顾朝林, 孙樱. 1999. 经济全球化与中国国际性城市建设[J]. 城市规划学刊, (3): 1-6. [Gu Z L, Sun Y. 1999. Economic globalization and construction of international cities in China[J]. *Urban Planning Forum*, (3): 1-6.]
- 罗震东. 2010. 长江三角洲功能多中心程度初探[J]. 国际城市规划, 25(1): 60-65. [Luo Z D. 2010. Study on the functional polycentricity of Yangtze River Delta[J]. *Urban Planning International*, 25(1): 60-65.]
- 宁越敏, 张凡. 2012. 关于城市群研究的几个问题[J]. 城市规划学刊, (1): 48-53. [Ning Y M, Zhang F. 2012. On the research of large city clusters of China[J]. *Urban Planning Forum*, (1): 48-53.]
- 唐子来, 赵渺希. 2010. 经济全球化视角下长三角区域的城市体系演化: 关联网络和价值区段的分析方法[J]. 城市规划学刊, (1): 29-34. [Tang Z L, Zhao M X. 2010. Economic globalization and transformation of urban system in the Yangtze River Delta Region: Interlocking network and value-added hierarchy[J]. *Urban Planning Forum*, (1): 29-34.]
- 王发曾, 刘静玉. 2007. 我国城市群整合发展的基础与实践[J]. 地理科学进展, 26(5): 88-99. [Wang F Z, Liu J Y. 2007. The foundation and practice of integration development of urban agglomeration in China[J]. *Progress in Geography*, 26(5): 88-99.]
- 吴志强. 1998. “全球化理论”提出的背景及其理论框架[J]. 城市规划学刊, (2): 1-6. [Wu Z Q. 1998. On the background of "globalisation theory" and its theoretic framework[J]. *Urban Planning Forum*, (2): 1-6.]
- 曾鹏, 黄图毅, 阙菲菲. 2011. 中国十大城市群空间结构特征比较研究[J]. 经济地理, 31(4): 603-608. [Zeng P, Huang T Y, Jue F F. 2011. Comparative study on spatial structure characteristics of Chinese ten top urban agglomeration[J]. *Economic Geography*, 31(4): 603-608.]
- 赵渺希. 2011. 长三角区域的网络交互作用与空间结构演化[J]. 地理研究, 30(2): 311-323. [Zhao M X. 2011. Evolution of network and spatial structure in Yangtze River Delta[J]. *Geographical Research*, 30(2): 311-323.]
- 赵渺希, 刘铮. 2012. 基于生产性服务业的中国城市网络研究[J]. 城市规划, 36(9): 23-28, 38. [Zhao M X, Liu Z. 2012. Research on China's city network based on production service industry[J]. *City Planning Review*, 36(9): 23-28, 38.]
- 赵渺希, 魏冀明, 吴康. 2014. 京津冀城市群的功能联系及其复杂网络演化[J]. 城市规划学刊, (1): 46-52. [Zhao M X, Wei J M, Wu K. 2014. Functional linkages in the Beijing-Tianjin-Hebei conurbation region and the evolution of complex networks[J]. *Urban Planning Forum*, (1): 46-52.]
- 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.]
- Alderson A S, Beckfield J. 2004. Power and position in the world city system[J]. *American Journal of Sociology*, 109(4): 811-851.
- Batten D F. 1995. Network cities: Creative urban agglomerations for the 21st century[J]. *Urban Studies*, 32(2): 313-327.
- Burger M J, Meijers E J. 2012. Form follows function? Linking morphological and functional polycentricity[J]. *Urban Studies*, 49(5): 1127-1149.
- Burger M J, Meijers E J, Hoogerbrugge M M, et al. 2015. Borrowed size, agglomeration shadows and cultural amenities in North-West Europe[J]. *European Planning Studies*, 23(6): 1090-1109.
- Burger M J, van der Knaap B, Wall R S. 2014. Polycentricity and the multiplexity of urban networks[J]. *European Planning Studies*, 22(4): 816-840.
- Castells M. 1996. The rise of the network society[M]. Oxford: Blackwell.
- Christaller W. 1966. Central places in southern Germany[M]. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.
- Derribe S, Kennedy C. 2011. Applications of graph theory and network science to transit network design[J]. *Transport Reviews*, 31(4): 495-519.
- Green N. 2007. Functional polycentricity: A formal definition in terms of social network analysis[J]. *Urban Studies*, 44

- (11): 2077-2103.
- Hall P, Pain K. 2006. The polycentric metropolis: Learning from mega-city regions in Europe[M]. London, UK: Earthscan.
- Lang R E, Dhavale D. 2005. Beyond megalopolis: Exploring America's new megalopolitan geography[J]. Metropolitan Institute Census Report Series, 46(3): 5-6.
- Limtanakool N, Dijst M, Schwanen T. 2007. A theoretical framework and methodology for characterising national urban systems on the basis of flows of people: Empirical evidence for France and Germany[J]. Urban Studies, 44(11): 2123-2145.
- Losch A. 1954. The economics of location[M]. New Haven, CT: Yale University Press.
- Marshall A, Marshall M P. 1920. Economics of industry[M]. London, UK: Macmillan and Company.
- Meijers E, Burger M, van Oort F. 2011. Report of the RSA research network on regional urban systems and their performance: Urban systems 20? Washington, USA and Delft, NL, 16-17th September 2010[J]. Regions Magazine, 281(1): 22.
- Parr J. 2002. The location of economic activity: Central place theory and the wider urban system[M]//McCann P. Industrial location economics. Cheltenham, UK: Edward Elgar Publishing: 32-82.
- Scott A J. 1982. Locational patterns and dynamics of industrial activity in the modern metropolis[J]. Urban Studies, 19(2): 111-141.
- Scott A J. 2001. Global city-regions: Trends, theory, policy [M]. New York: Oxford University Press.
- Taylor P J. 2004. World city network: A global urban analysis [M]. London, UK: Routledge.
- Taylor P J. 2009. Urban economics in thrall to Christaller: A misguided search for city hierarchies in external urban relations[J]. Environment and Planning A, 41(11): 2550-2555.
- Taylor P J, Pain K. 2007. Polycentric mega-city regions: Exploratory research from western Europe, in the Healdsburg research seminar on mega regions[C]//The Healdsburg research seminar on megaregions. Healdsburg, CA: Lincoln Institute of Land Policy and Regional Plan Association: 59-67.

Polycentric network topology of urban agglomerations in China

ZHAO Miaoxi^{1,2,3}, LI Zhifeng⁴, ZHONG Ye¹, DERUDDER Ben²

(1. Architecture School, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China; 2. Geography Department, Gent University, Gent 9000, Belgium; 3. State Key Laboratory of Subtropical Building Science, Guangzhou 510640, China; 4. School of Architecture and Urban Planning, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: This study puts forward a systematic analysis tool of urban agglomeration polycentric networks according to the space of flow theory, investigates the enterprise association networks of the twelve urban agglomerations in China empirically, and identifies the basic patterns of prefecture-level cities' spatial relationships through classification. The result indicates that the internal network topology of Chinese urban agglomerations, including the three most typical urban agglomerations (Yangtze River Delta-YRD, Pearl River Delta-PRD, and Beijing-Tianjin-Hebei region-BTH), is still far from reaching maturity. Specifically, the data of connection to some extent constitute a sparse matrix and the spatial association shows a tree structure. The hierarchy of headquarter locations (outflow) is more concentrated than that of branch locations (inflow), which shows asymmetry of the flows within the urban agglomerations. At the urban agglomeration level, two basic network connection patterns can be identified using cluster analysis of the twelve urban agglomerations internal network topology. The first type including the Yangtze River Delta, Pearl River Delta, Beijing-Tianjin-Hebei region, Shandong Peninsula, and the western side of the Taiwan Straits, is internally closely connected urban agglomeration networks and shows characteristics of integrated networks. The three most typical urban agglomerations (YRD, PRD, and BTH) are distinct headquarter hubs. The other type containing the rest of the urban agglomerations is internally loosely connected networks and the percentages of cross-city connections are lower than the first type. Most of them show a centripetal structure around the provincial capital or sub-provincial cities topologically.

Key words: urban agglomerations; polycentric network; topology; China