

基于财富500强中国企业网络的城市网络空间联系特征

赵新正^{1,2,3}, 李秋平¹, 芮 旻^{1,2,3}, 刘晓琼^{1,2,3}, 李同昇^{1,2,3}

(1. 西北大学城市与环境学院, 西安 710127; 2. 陕西省地表系统与环境承载力重点实验室, 西安 710127; 3. 陕西省情研究院, 西安 710127)

摘要: 基于2015年世界财富500强中的102家中国企业数据, 根据企业组织特征构建了反映企业—城市间关联的折衷网络模型, 借助网络分析等多种方法分析了中国地级城市间和典型城市群之间的网络联系。研究发现: ① 城市网络总体连通性较差、向心集中性强, 发育不够完备; 城市网络连接具有明显的行政中心指向、沿海指向和资源指向; 网络节点城市对外经济依赖度高, 网络结构扁平特征明显。城市群网络存在权力分散、地位分化和外部联系依赖特征。② 城市网络中省域、城市群和俱乐部边界效应明显, 区域内的中心城市规模和数量对省域行政区经济、城市群经济和俱乐部经济的发展产生影响。③ 城市在多尺度网络中的功能分化明显, 大城市和区域型中心城市比中小城市拥有更加完备和均衡的功能体系。沿海三大城市群的辐射带动作用明显, 其他城市群的优势功能有待突出。④ 城市(群)跨尺度区域功能互动效应显著, 城市(群)的自我经济集聚能力与城市(群)的对外辐射带动功能之间存在密切的正向关系。研究为城市网络模型拓展及理解中国城市网络空间联系特征提供了支撑。

关键词: 折衷网络模型; 城市网络; 跨尺度关联; 边界效应

DOI: 10.11821/dlxb201904006

1 引言

全球化和信息化共同推动了城市研究领域“网络范式”的出现。从20世纪60年代开始, 以Hall、Friedmann和Sassen为代表的学者分别从综合控制、资本与技术控制、高端生产性服务控制视角对世界城市的属性及分类进行了研究^[1-4], 掀起了世界城市体系研究的浪潮; 90年代, Castells提出了“流动空间理论”^[5], 将世界城市视为“流动空间的节点和枢纽”, 提出了基于关系视角的世界城市研究框架^[6]; 2000年以来, 以英国拉夫堡大学全球化与世界城市(Globalization and World Cities, GaWC)研究小组为代表的一批学者将“流动空间”理论与全球城市及世界城市理论相结合, 利用企业间关系数据对城市网络开展了大量实证研究, 形成了城市研究领域的“网络范式”^[7-9]。为反映城市间关联关系, 学者们在企业联系数据之外基于跨国移民联系^[10]、科研与创新合作关系^[11]、航空^[12-13]和电信基础设施联系^[14]、商业新闻联系^[15]、非政府组织间联系^[16]等多源数据, 奠定了城市

收稿日期: 2017-10-30; 修订日期: 2019-03-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(41401184, 41329001); 福特基金(0155-0883); 教育部人文社会科学青年基金项目(14YJCZH222); 陕西省教育厅项目(14JK1753) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41401184, No.41329001; Ford Foundation, No.0155-0883; MOE Project of Humanities and Social Sciences, No.14YJCZH222; Natural Science Foundation of MOE in Shaanxi, No.14JK1753]

作者简介: 赵新正(1983-), 男, 河南安阳人, 博士, 副教授, 主要从事城市地理研究。E-mail: xzzhao@nwu.edu.cn

通讯作者: 刘晓琼(1977-), 女, 青海西宁人, 博士, 副教授, 主要从事农业与乡村地理研究。E-mail: liuxq@nwu.edu.cn

网络研究的多视角基础。伴随着研究技术的发展,城市网络研究视角和数据源还在进一步丰富,基于铁路^[17-20]、公路^[21-22]等基础设施的客流联系数据、反映海运联系的海运线路和集装箱数据^[23-25]、反映城市间信息联系的社交网络平台互动^[26]及网络迁徙数据^[27-28]、反映城市间创新联系的产学研关系数据^[29]相继被城市网络研究者所使用,基于企业网络视角研究城市网络的学者也在通过不断的扩充企业类型和数量来获取更全面的数据^[30-31]。尽管研究视角和研究数据越来越多元化,但是由于城市网络的根本是城市间经济联系,而企业是城市间网络的关键作用者^[32],因此企业组织视角依然是多视角城市网络研究的主流学派^[33]。

从城市网络研究内容来看,构建能够广泛应用的企业—城市网络转译模型是企业组织视角下城市网络研究的难点^[6]。城市连锁网络模型^[34]是目前最具影响力的模型,但是该模型的一些基本假设有待完善,如 Rozenblat 指出企业内部的联系并非像连锁网络模型所假设的那样普遍存在于任意两分支机构之间^[35]; Alderson 和 Beckfield 在研究中强调企业内部的纵向联系,并基于企业的所有权关系提出了 Alderson-Beckfield 模型^[36-37],其利用全行业跨国公司数据对世界城市网络进行分析的思路与中国全面工业化的国情更加符合,因此成为国内学者们较为推崇的模型; Neal 等指出企业—城市网络转换的本质是 2-模网络向 1-模网络的转换^[38]; 刘行健等分析指出上述转换过程存在一定的信息损失,采用企业—城市的 2-模基础网络进行分析可能是一种更合理的选择^[39]; Hennemann 等在综合考虑企业联系地理特征和企业层级性特征基础上,依据中心城市在网络中的关键作用提出一种替代性的分区核心算法^[40]以便更好地实现企业—城市网络的转译,赵渺希等在运用分区核心算法时提出优先对单一公司进行遍历计算的改进方法^[41],进一步规避了企业—城市网络转换中的信息损失。此外, Rozenblat 在基于企业网络计算城市间联系时考虑了城市内部企业集聚的影响^[42]; 王成等则从汽车生产网络联系入手,构建了基于企业间联系的城市网络^[43]。自 2012 年在美国地理学会年会 (AAG) 上组织了“GaWC 连锁网络模型功能、应用与批评”专题讨论以来,企业—城市网络转译模型的改进研究受到了城市网络研究者的广泛关注。

从城市网络研究对象来看,城市(群)跨尺度网络功能联系是城市网络研究的新方向。劳动分工的深化导致城市经济辐射范围逐步超越了传统的腹地范围,城市与不同尺度区域内其他城市之间的联系使其具有了全球、国家、区域和地方等多重功能。值得注意的是,城市多尺度区域功能联系之间并非完全独立关系,已有研究表明城市内部互动会增加城市的对外联系权重,同时在全球尺度占据网络中心位置的城市会对地方产生较强的乘数效应^[42]。由于城市的多尺度功能体现了城市在不同尺度区域中的竞争优势,研究城市跨尺度网络功能间的关联关系将有助于明晰城市集聚经济以及城市在不同尺度区域内竞争优势之间的相互作用关系,从而更好地揭示城市网络的组织规律。需要进一步指出的是,伴随着劳动分工的深化,城市群逐渐被视为参与全球竞争的基本单元,并在引领国家经济持续健康发展和提升国际竞争力方面被寄予厚望。由于城市群的竞争力来源包括内部集聚经济效应的增强和外部网络联系的提升两个途径,且二者之间存在相互影响,因此,关注城市群之间的复杂网络联系及其与城市群集聚效应之间的互动关系除了有助于认识城市网络组织规律外,还有助于弄清城市群竞争力的来源。

现有研究多围绕城市的网络地位^[44]以及城市群内部城市网络组织特征^[45-46]展开,对于城市群之间的网络联系及其与城市群内部集聚效应之间的互动关注尚待补充,无法回答“城市群网络联系有什么样的特征”“城市群建设对城市网络的影响”以及“城市群网络

联系对城市群竞争力的影响”等一系列问题。因此,将每个城市群视为一个独立的空间单元,加强城市群网络联系及其跨尺度网络功能关联的研究显得尤为重要。

总之,在世界城市和流动空间理论的引导下,城市体系研究领域出现了“网络研究范式”,企业组织视角成为了网络研究的主流视角。就研究内容来说,构建能够普遍接受的企业—城市网络的转译模型是企业组织视角下城市网络研究的理论难点;就研究对象来说,关注城市(群)多尺度网络功能联系之间的关联关系则是该研究新的方向。基于上述背景,本文首先通过企业功能的标准化分类和对跨国公司高管的访谈,构建了一个新的企业—城市网络转译模型,并采用2015年进入财富500强榜单的中国企业在大陆的子公司数据库构建了城市间关联矩阵;随后借助网络分析方法和GIS空间统计分析方法,探索了城市(群)在多尺度区域内的联系特征及其多尺度网络功能之间的关联关系,为理解城市网络空间组织与演化规律和制定城市发展战略提供了支撑。

2 研究方法

本文选取2015年进入财富500强榜单的中国企业作为基础数据,通过网络查询完善分支机构和主营业务信息,删除了大量加油站、门市部等办事处性质的分支机构,并将所有分支机构所在地归并到地级及以上城市。考虑到鸿海集团、仁宝电脑等企业虽然总部在台湾,但有相当大一部分业务在大陆,因此将其在大陆的子公司纳入计算范围。共有分布在311个地级及以上城市的4591条总部和分支机构(分属102家企业集团)被纳入统计范围,同时选取20个城市群作为研究区域,20个城市群范围的界定采用方创琳提出的标准^[47]。

2.1 企业集团内部联系的界定

改进企业—城市网络转译模型需要先对企业网络关系进行梳理和总结。企业网络联系包括企业内部组织联系和企业间业务性联系,企业间的业务性联系数据往往具有保密性强、复杂性高、变动性大的特征,而企业内部组织联系数据通常更加容易获取并且相对稳定。在股权控制和功能分工两大核心动力的推动下,企业内部形成了两类联系,一是“自上而下的管控型联系”(垂直联系),二是“跨部门的协作型联系”(水平联系)。企业集团内部子公司之间的联系与此相近,尤其是伴随着分工的细化,企业集团内部的功能部门出现了企业化经营特征,集团内部子公司间的联系可用企业内部组织关系来近似模拟。

经典的企业组织结构包括“U”型、“M”型以及矩阵型等多种模式^[48],复杂的企业组织模式是基于企业网络视角研究城市网络面临的巨大挑战,将企业集团各子公司与多样化企业功能部门进行类比,并通过标准化分类和半结构式访谈来确定集团内部子公司间网络联系是城市网络研究的关键。Defever提出将跨国公司分支机构划分为研发、生产、销售、商务、总部以及办事处6种类型^[49],该分类方法既具有普适性又能比较明确地反映企业功能分工,相比连锁网络模型仅笼统的将其分为总部、区域性总部和不同等级的办事机构来说是一个很大的进步,因此可以将其作为对多样化企业功能部门进行统一分类的基础。考虑到企业组织结构的层级性以及地理空间特征,在参考Defever所提出的功能分类标准进行分类时,本文做了进一步的细化并按照其功能的重要性进行了赋值(表1)。为了更加客观地确定不同功能部门之间的实际联系,本文共访谈了30位大型企业集团管理人员,并总结出了企业集团各分支机构间的联系规律,形成了功能联系判断矩阵(表2)。

表 1 企业功能分类及赋值情况表

Tab. 1 Function classification

分类代码：分类名称(赋值)	分类代码：分类名称(赋值)
X_1 ：集团总部型企业(5分)	X_7 ：面向板块业务的商务服务型企业(3分)
X_2 ：面向集团总部的商务服务型企业(4分)	X_8 ：区域性市场总部型企业(3分)
X_3 ：综合型研发总部企业(4分)	X_9 ：地方性市场部企业(2分)
X_4 ：板块业务总部型企业(4分)	X_{10} ：通用零部件生产企业(2分)
X_5 ：市场总部型企业(4分)	X_{11} ：专用零部件生产企业(2分)
X_6 ：面向板块业务的研发企业(3分)	

表 2 功能联系判断矩阵^①

Tab. 2 The connection matrix

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}
X_1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
X_2	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
X_3	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1
X_4	1	1	1	1	0/1	0/1	0/1	0	0	1	0/1
X_5	0	0	1	0/1	0	0/1	0/1	0/1	0	0	0
X_6	0	0	1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	0	0	1
X_7	0	0	1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	0	0	0
X_8	0	0	1	0	0/1	0/1	0/1	0/1	0/0/1	0	0
X_9	0	0	0	0	0	0	0	0/0/1	0	0	0
X_{10}	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0/1
X_{11}	0	0	1	0/1	0	1	0	0	0	0/1	0/1

注：① 0 表示两企业间不存在有效联系，1 表示两企业间存在有效联系，0/1 表示同属一个业务板块的两个企业间存在有效联系，0/0/1 表示同属一个业务板块且在同一区域的两个企业之间存在有效联系；② 企业的业务板块分类以官网的业务介绍为准；③ 企业集团某项业务的区域性总部辐射区域按照经济协作区和省级行政区两类进行划分。若企业集团某业务的区域性总部不超过 8 个，则该业务下区域性总部的辐射范围采用 8 大经济区作为判断依据^[50]；若企业集团某业务的区域性总部超过 8 个，则该业务下区域性总部的辐射范围采用省级行政区划单元作为判断依据。

2.2 城市间网络关联强度测算

总体来看，企业集团子公司之间的联系可以分为四大类型：① 垂直联系 I（遍在性）存在于 X_1 和 X_2 之间、 X_1 和 X_3 之间、 X_1 和 X_4 之间；② 垂直联系 II（条件性）存在于 X_4 和 X_5 之间、 X_4 和 X_6 之间、 X_4 和 X_7 之间、 X_4 和 X_{10} 之间、 X_4 和 X_{11} 之间、 X_5 和 X_8 之间、 X_8 和 X_9 之间；③ 水平联系 I（遍在性）存在于 X_2 和 X_2 之间、 X_2 和 X_3 之间、 X_2 和 X_4 之间、 X_3 和 X_3 之间、 X_3 和 X_4 之间、 X_3 和 X_5 之间、 X_3 和 X_6 之间、 X_3 和 X_7 之间、 X_3 和 X_8 之间、 X_4 和 X_4 之间；④ 水平联系 II（条件性）存在于 X_5 和 X_6 之间、 X_5 和 X_7 之间、 X_6 和 X_6 之间、 X_6 和 X_7 之间、 X_6 和 X_8 之间、 X_6 和 X_{11} 之间、 X_7 和 X_7 之间、 X_7 和 X_8 之间、 X_8 和 X_8 之间、 X_{10} 和 X_{11} 之间、 X_{11} 和 X_{11} 之间。

完成对企业集团内部联系的界定后，可通过以下的方法来测算城市—城市间的关联矩阵。具体步骤为：

① 功能联系判断矩阵根据 30 位国内大型企业集团高级管理人员的访谈结果汇总而成。通过半结构式访谈，受访人员会对企业集团内各分支机构或分公司间的业务联系进行打分，只有两个分支机构或子公司间的联系得到 60% 以上的受访者肯定时才会视为有效联系。

(1) 计算基于公司 k 形成的城市 i 与城市 j 间的连通值:

$$T_{ij,k} = \sum_{m,n} V_{i,k(m)} V_{j,k(n)} W_{mn,k} \quad (1)$$

式中: $T_{ij,k}$ 代表城市 i 和城市 j 基于 k 公司分支机构所建立的联系强度; $V_{i,k(m)}$ 代表 k 公司在城市 i 的分支机构 m 的权重; $V_{j,k(n)}$ 代表 k 公司在城市 j 的分支机构 n 的权重; $W_{mn,k}$ 代表 k 公司的分支机构 m 和分支机构 n 之间的关联系数 (表2)。

(2) 计算城市 i 与城市 j 之间的总体连通值:

$$T_{ij} = \sum_k T_{ij,k} \quad (2)$$

按照上述思路, 通过计算机程序构建了311个城市间的关联矩阵, 并借助UCINET的矩阵运算模块对同一个城市群内的城市进行归并, 获得20个城市群间的关联矩阵。

2.3 模型论证

对企业组织结构真实性的模拟是企业组织视角下城市网络研究不断发展的核心动力。经典的Alderson-Beckfield模型和连锁网络模型在对企业组织结构进行模拟时都采用较为简单的处理方法: 前者采用一个三级树状结构对企业组织结构进行模拟^[37] (图1a), 该方法较好地反映了企业集团内部的资本控制关系, 但是忽略了企业集团内部的分工协作关系 (如面向同一业务的商务服务型企业, 虽然与市场总部型企业之间不一定有资本控制关系, 但两者之间的协作性联系是无可争议的); 后者采用完备网络来模拟企业组织结构 (图1b), 该方法假定企业集团内部任何两个子公司之间均存在联系, 从而忽略了企业内部的分工及层级特征, 夸大了企业内部联系 (如将零部件生产企业与面向集团总部的商务服务性企业之间, 这种几乎不存在的联系也视为有效联系)^[41]。之后的分区核心算法^[40]虽然考虑了企业联系的区域特征, 但是在判定同一区域内两个企业是否存在连接关系时, 仅将其中一方位于最大区位优势所在城市作为判断企业之间存在的条件, 并未考虑两个企业之间业务联系的真实性的真实性, 这在一定程度上扩大了区域性总部所在城市的连接值, 虽然赵渺希等后来采用对企业优先遍历的方法对分区核心算法进行了改进^[41], 也无法完全避免该问题。

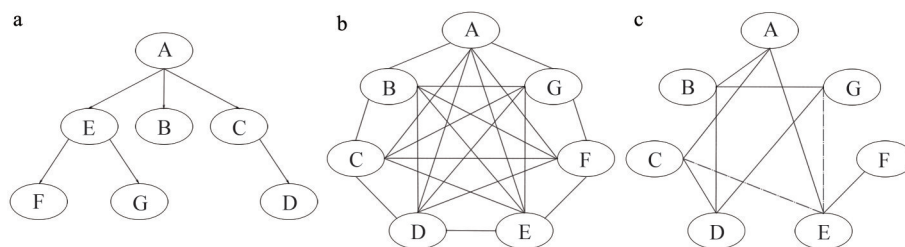


图1 典型企业—城市网络转译模型逻辑图

Fig. 1 Logic diagram of three enterprise-city translation model

本文提出的转译方法适用于“企业—企业”网络向“城市—城市”网络转换。通过对企业功能的标准化分类以及对企业组织关系的严格甄别, 本文提出的转译方法有效避免了垂直网络模型带来的过度简单化问题, 也避免了连锁网络模型带来的冗余联系问题; 尤其是该方法考虑了企业集团内部业务的板块化分割以及特定业务的地理分区特征, 将企业联系分为遍在性和条件性联系 (图1c中的虚线部分) 后, 首先利用计算机程序对单个企业逐一遍历, 然后再进行叠加计算, 从而减少了2-模网络向1-模网络转变中

的信息损失。由于该方法的核心是企业功能联系判断矩阵 (表 2), 该矩阵对企业集团内部联系的界定既不像连锁网络模型所假定的那样广泛, 也不像 Alderson-Beckfield 模型那样仅考虑资本控制关系, 因此命名为“折衷网络模型”。

3 测度指标

3.1 网络中心性指标

网络中心性指标包括点的中心度和图的中心势, 中心度能够反映网络中节点的权利地位及空间联系特征, 中心势能够反映网络结构向中心节点集中的倾向度, 基于城市关联矩阵和城市群关联矩阵, 可得到多个反映城市 (群) 网络中心性指数 (表 3)。

表 3 城市(群)中心性指数计算公式
Tab. 3 Calculation formula of centrality index

	公式	备注
中心性	城市 $C_i = \sum_j T_{ij}$ (3)	C_i 表示城市 i 在网络中的绝对度数中心度; C_{\max} 为网络内的实际最大中心度; C 为整个城市网络的度数中心势。
	层面 $C = \sum_i^n (C_{\max} - C_i) / \max \sum_i^n (C_{\max} - C_i)$ (4)	
	城市 $M_i = \sum_n C_{in}$ (5)	C_{in} 代表城市群 i 中第 n 个城市的中心度; M_i 是城市群 i 的度数中心度; M 是整个城市群网络的度数中心势; M_{\max} 是城市群网络内的实际最大中心度。
	群层面 $C = \sum_i^n (M_{\max} - M_i) / \max \sum_i^n (M_{\max} - M_i)$ (6)	

3.2 网络分派指数

网络分派指数 ($E-I$ 指数) 用来反映一个网络中小团体网络特征是否明显, ① 当 $E-I$ 指数接近于 1 时, 反映出区域内城市网络密度明显低于区域外部城市网络密度, 区域外联系占主导, 区内联系是网络洼地; ② $E-I$ 指数接近于 -1 时, 反映出区域内城市网络密度明显高于区域外城市网络密度, 区域内联系占主导, 该区域倾向于从总体城市网络中独立出来; ③ 当 $E-I$ 指数接近于 0 时, 反映出区域内外城市网络联系密度相近, 区内网络联系与总体网络融为一体。通过对城市群以及省级行政范围内城市网络 $E-I$ 指数的计算, 可以来反映城市网络中特定区域所形成的“边界效应”是否明显”。

$$E-I = \frac{\rho_{EL} - \rho_{IL}}{\rho_{EL} + \rho_{IL}} = \frac{eRC_i / ((n-k)(n-k-1)/2) - iRC_i / (k(k-1)/2)}{eRC_i / ((n-k)(n-k-1)/2) + iRC_i / (k(k-1)/2)} \quad (7)$$

式中: eRC_i 为区域对外联系总量; iRC_i 为区域内部联系总量; ρ_{EL} 为区域外部联系网络密度; ρ_{IL} 为区域内部联系网络密度; n 为网络节点数量; k 为区域内网络节点数量。

3.3 区域性功能指标

城市在不同尺度区域网络中的中心度指数可以反映其在多尺度区域中的地位和功能。按照来源区域对城市或城市群的网络中心度进行分解, 可以得到一组反映城市或城市群在多尺度区域网络中功能的指标 (表 4)。需说明的是, 城市的自容中心度和城市群的自容中心度分别反映了城市集聚效应和城市群集聚经济效应, 自容中心度越高, 城市和城市群的集聚经济效应越强, 自容中心度越低, 城市和城市群的集聚经济效应越弱。

3.4 跨尺度功能关联指数

为了研究城市 (群) 在不同尺度区域内承担的不同功能之间的相互作用规律。本文采用城市 (群) 在不同尺度区域功能 (中心度) 之间的相关系数来反映城市 (群) 各区域功能之间的互动关联效应。

表4 城市(群)多尺度区域网络功能系数计算公式

Tab. 4 Calculation formula of decompose index of centrality

		计算公式			
城市层面		城市群层面		备注	
中心度	$S_i = T_{ii}$	(8)	$I_i = \sum_{i=k1, j=k1}^{i=k2, j=k2} T_{ij}$	(16)	S_i 为自容中心度; P_i 为省域中心度; A_i 为城市群中心度; N_i 为国家中心度; S_{pi} 为自容功能系数; P_{pi} 为省域功能系数; A_{pi} 为城市群功能系数; N_{pi} 为国家功能系数; I_i 为城市群自容中心度; G_i 为城市群俱乐部中心度; E_i 为城市群国家中心度; I_{pi} 为城市群自容功能系数; G_{pi} 为城市群俱乐部功能系数; E_{pi} 为城市群国家功能系数; T_{ij} 为城市 <i>i</i> 与 <i>j</i> 之间的联通值; $\{k_1, k_2\}$ 为 <i>i</i> 城市群内城市集合; $\{k_3, k_4\}$ 为 <i>i</i> 城市群外城市集合; $\{k_5, k_6\}$ 为非城市群城市集合。
	$P_i = \sum_{i=1}^{i=2} T_{ij}$	(9)	$G_i = \sum_{i=k1, j=k3}^{i=k1, j=k3} T_{ij}$	(17)	
	$A_i = \sum_{i=3}^{i=4} T_{ij}$	(10)	$E_i = \sum_{i=k1, j=k5}^{i=k2, j=k6} T_{ij}$	(18)	
	$N_i = \sum_{i=5}^{i=6} T_{ij}$	(11)			
功能系数	$S_{pi} = S_i / \sum_{i=1}^{i=r} T_{ii}$	(12)	$I_{pi} = I_i / \sum_{i=1}^{i=r} T_{ii}$	(19)	
	$P_{pi} = P_i / \sum_{i=1}^{i=r} T_{ii}$	(13)	$G_{pi} = G_i / \sum_{i=1}^{i=r} T_{ii}$	(20)	
	$A_{pi} = A_i / \sum_{i=1}^{i=r} T_{ii}$	(14)	$E_{pi} = E_i / \sum_{i=1}^{i=r} T_{ii}$	(21)	
	$N_{pi} = N_i / \sum_{i=1}^{i=r} T_{ii}$	(15)			

$$R_{xy} = \sum (x - \bar{x})(y - \bar{y}) / \sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2} \quad (22)$$

式中: R_{xy} 代表城市的功能*X*和功能*Y*之间的关联效应; x 和 y 为反映*X*和*Y*两种功能中心度, \bar{x} 和 \bar{y} 为*X*和*Y*两种功能中心度平均值。在城市尺度, 采用城市自容功能—城市的省域功能关联指数 (R_{sp})、城市自容功能—城市的城市群功能关联指数 (R_{sa})、城市的自容功能—城市的国家功能关联指数 (R_{sn}) 来反映城市集聚经济效应与城市外部功能联系之间的关联关系。具体来说, 基于自上而下的角度, R_{sn} 、 R_{sp} 、 R_{sa} 3个指标能够反映城市在国家、省域及城市群中的功能对城市经济集聚能力的影响; 基于自下而上的角度, 上述3个指标能够反映城市集聚经济对于城市的省域地位、城市群地位以及国家地位的影响。在城市群尺度, 采用城市群自容功能—城市群的俱乐部功能互动指数 (R_{ig})、城市群自容功能—城市群国家功能互动指数 (R_{ie}) 来反映城市群集聚经济与城市群外功能联系之间的关联关系。具体来说, 基于自上而下的角度, R_{ie} 、 R_{ig} 2个指标能够反映城市群的国家地位和俱乐部地位对城市群集聚经济能力的影响; 基于自下而上的角度, 2个指标能够反映城市群集聚经济对其在俱乐部和国家尺度区域中功能的影响。

4 城市网络联系特征分析

4.1 网络总体特征分析

城市网络总体连通性较差、向心集中性强, 发育不够完备。城市总体网络中包含311个地级及以上城市或行政单位, 占全国地级及以上城市或行政单位总数的92%, 网络覆盖面非常广; 单值网络(按照网络联系强度是否为0的标准将网络联系强度进行二值化处理后形成的网络)密度为0.22, 表明网络节点间的直接连通性较低; 根据单值网络计算, 总体网络中心势为0.78, 表明网络具有典型的向心特征; 根据多值网络计算, 总体网络中心势为0.03, 表明网络内核心城市与网络中心城市之间的联系为弱联系。单值网络中心势则高达0.78, 多值网络中心势仅有0.03, 反映出中国的城市网络具有明显的向心特征, 同时核心城市与网络中心城市之间的联系较弱。

城市网络连接具有明显的行政中心指向、沿海指向和资源指向。①各节点城市在城市网络中的地位非均衡特征明显, 各城市网络中心度的标准差(17598)是其平均值(5422)的3.25倍。②行政中心指向特征明显。一是北京在全国城市网络中的首位度为1.38, 表明北京不仅是政治中心, 同时也是最重要的经济中心城市; 二是从中心度排名

前 40 位的城市的结构特征来看, 北京、上海、天津、重庆 4 个直辖市以及 26 个省会城市(南宁和台北除外)均名列其中, 占据了 75% 的比例, 同时除了深圳以外, 计划单列市的排名均低于所在省份省会城市的排名; 行政地位与城市网络地位之间具有显著的正向关系。③沿海集聚和资源集聚特征在城市网络研究中表现的极为明显。此外, 中心度排名前 60 位的城市中还有 13 个沿海城市和 9 个资源型城市(表 5)。

表 5 2015 年中心度排名前 60 位城市

Tab. 5 Top 60 cities of centrality in 2015

城市-排序	中心度	城市-排序	中心度	城市-排序	中心度	城市-排序	中心度	城市-排序	中心度
北京-1	329475	太原-13	34547	呼和浩特-25	20562	晋城-37	8666	保定-49	4395
上海-2	137782	石家庄-14	33371	合肥-26	20524	厦门-38	7244	连云港-50	4181
深圳-3	56482	重庆-15	30034	南昌-27	19094	宜昌-39	7184	鄂尔多斯-51	4137
天津-4	55617	郑州-16	29597	海口-28	18691	沧州-40	6096	榆林-52	3887
西安-5	48777	长春-17	28344	哈尔滨-29	17951	珠海-41	5600	烟台-53	3863
武汉-6	48522	济南-18	28028	西宁-30	15566	常州-42	5436	泉州-54	3848
南京-7	48442	长沙-19	27429	银川-31	15370	日照-43	5396	扬州-55	3705
香港-8	46807	福州-20	25741	唐山-32	13728	鞍山-44	5391	邢台-56	3649
成都-9	44546	昆明-21	25402	青岛-33	13200	洛阳-45	5247	盘锦-57	3647
广州-10	43193	乌鲁木齐-22	23394	大连-34	11675	廊坊-46	4692	佛山-58	3621
杭州-11	42714	兰州-23	21040	宁波-35	10148	邯郸-47	4581	淄博-59	3614
沈阳-12	36839	贵阳-24	20822	苏州-36	9502	酒泉-48	4478	大庆-60	3556

城市网络结构扁平化特征明显。节点城市自容中心指数偏低, 近 60% 的城市自容中心度为 0, 自容中心度超过 15% 的城市仅有 5 个, 分别为滨州市 (17%)、长治市 (19%)、晋城市 (20%) 和唐山市 (21%), 鞍山市 (22%) 居首位。相反, 城市的国家功能指数普遍较高, 311 个城市的功能指数均超过 50%, 236 个城市的功能指数超过 80%, 278 个城市与北京、上海、深圳等国家中心城市具有直接联系, 表明中国城市网络是以少数中心城市为中心的扁平网络结构。

城市群网络存在权力分散化、地位分层化和联系外部化的特征。①城市群网络权力分散。按照单值网络来看, 城市群网络属于中心势为 0 的完备网络, 是典型的权力分散型网络; 按照多值网络来看, 城市群网络的中心势也仅为 0.22, 反映出网络的向心集聚能力非常弱, 网络权力分散特征明显。②城市群之间的网络地位分化特征明显。基于城市群网络中心度计算的变异系数高达 0.98, 且排名第 1 的城市群中心度是排名第 2 位的城市群中心度的 1.66 倍、是排名第 20 位城市群中心度的 95 倍, 城市群的网络地位存在明显差异; 中心度排名前 5 位的城市群均为国家级城市群, 其中心度平均值远高于区域性城市群 (5 倍) 和地方性城市群 (7 倍), 可见国家级城市群、区域性城市群和地方性城市群之间存在明显的层级分化(表 6)。③城市群网络联系对外依赖度高。各城市群的俱乐部功能指数均占有绝对优势, 国家功能指数和自容功能指数普遍较低, 多数城市群的国家功能指数高于自容功能指数, 表明城市群的经济联系最重要的来源为其他城市群城市, 其次为非城市群城市, 最后才是城市群内部的其他城市(表 6)。

4.2 网络中的边界效应分析

省级层面: 所有省级行政单位(不含香港、澳门、台湾和 4 个直辖市)的 $E-I$ 指数显著且接近 -1, 显示出各省内部的城市之间均形成了联系较为紧密的小团体网络结构, 从

表 6 2015 年城市群总体中心度与跨尺度功能指数

Tab. 6 Centrality and multi-scale regional function index of urban agglomeration in 2015

城市群代码	中心度 (排名)	自容功 能指数	俱乐部 功能指数	国家功能 指数	城市群代码	中心度 (排名)	自容功 能指数	俱乐部 功能指数	国家 功能指数
UA ₁	84110(5)	4.97	91.01	8.99	UA ₁₁	38008(13)	3.11	91.07	8.93
UA ₂	27466(16)	1.71	89.26	10.74	UA ₁₂	70570(6)	7.03	90.41	9.59
UA ₃	57291(9)	13.97	89.88	10.12	UA ₁₃	18238(19)	1.62	90.61	9.39
UA ₄	4787(20)	0.94	95.38	4.62	UA ₁₄	24725(18)	2.14	92.89	7.11
UA ₅	62181(8)	8.7	91.57	8.43	UA ₁₅	69325(7)	5.61	90	10
UA ₆	47146(10)	3.47	90.83	9.17	UA ₁₆	26880(17)	2.18	92.09	7.91
UA ₇	37140(14)	6.34	89.89	10.11	UA ₁₇	125649(4)	11.43	90.54	9.46
UA ₈	33331(15)	2.05	93.32	6.68	UA ₁₈	274965(2)	7.04	88.27	11.73
UA ₉	41778(11)	12.89	82.61	17.39	UA ₁₉	40408(12)	5.84	91.02	8.98
UA ₁₀	455386(1)	33.92	92.81	7.19	UA ₂₀	133552(3)	10.35	87.29	12.71

注：城市群代码：成渝城市群(UA₁)，滇中城市群(UA₂)，关中城市群(UA₃)，广西北部湾城市群(UA₄)，哈长城市群(UA₅)，海峡西安城市群(UA₆)，呼包鄂城市群(UA₇)，江淮城市群(UA₈)，晋中城市群(UA₉)，京津冀城市群(UA₁₀)，兰西城市群(UA₁₁)，辽中南城市群(UA₁₂)，宁夏城市群(UA₁₃)，黔中城市群(UA₁₄)，山东半岛城市群(UA₁₅)，天山北坡城市群(UA₁₆)，长江中游城市群(UA₁₇)，长三角城市群(UA₁₈)，中原城市群(UA₁₉)，珠三角城市群(UA₂₀)。

而证实了省域边界效应的存在(表7)。深入分析表明，广东、四川、安徽、广西、云南和黑龙江6省的 $E-I$ 指数绝对值偏低，究其原因可分为两类：前3个省份因受到外部的香港、上海、重庆等强中心城市辐射的影响，导致省级行政边界的约束作用被削弱；后3个省份则是由于内部缺乏强有力的中心城市带动导致省级行政边界的约束作用被削弱。

城市群层面(表8)，除了滇中、北部湾、兰西、宁夏和天山北坡等5个城市群因城市数量过少统计结果无意义外，其余15个城市群的 $E-I$ 指数均显著接近于-1，表明城市群边界效应明显，即城市群内部城市之间更容易形成一个相对独立的小团体网络。进一

表 7 2015 年省域分派指数表

Tab. 7 E-I index of provinces in 2015

省域	$E-I$ 指数	省域	$E-I$ 指数	省域	$E-I$ 指数	省域	$E-I$ 指数	省域	$E-I$ 指数
山东	-0.90**	福建	-0.96**	黑龙江	-0.85**	云南	-0.83**	江西	-0.97**
河南	-0.91**	广西	-0.85**	甘肃	-0.92**	江苏	-0.97**	湖南	-0.98**
吉林	-0.99**	陕西	-0.99**	贵州	-0.93**	湖北	-0.97**	西藏	-
新疆	-0.95**	内蒙古	-0.96**	辽宁	-0.92**	浙江	-0.98**		
广东	-0.89**	青海	-0.99**	山西	-0.99**	四川	-0.84**		
安徽	-0.73**	宁夏	-0.97**	海南	-0.99**	河北	-0.99**		

注：*表示0.05的置信水平，**表示0.01的置信水平。

表 8 2015 年城市群分派指数表

Tab. 8 E-I index of urban agglomerations in 2015

城市群	$E-I$ 指数	城市群	$E-I$ 指数	城市群	$E-I$ 指数	城市群	$E-I$ 指数	城市群	$E-I$ 指数
UA ₁	-0.91**	UA ₅	-0.98**	UA ₉	-1.00**	UA ₁₃	-	UA ₁₇	-0.88*
UA ₂	-	UA ₆	-0.93*	UA ₁₀	-1.00**	UA ₁₄	-0.97**	UA ₁₈	-0.98**
UA ₃	-0.99**	UA ₇	-0.99**	UA ₁₁	-	UA ₁₅	-0.94**	UA ₁₉	-0.97*
UA ₄	-	UA ₈	-0.91**	UA ₁₂	-0.96*	UA ₁₆	-	UA ₂₀	-0.97**

注：-表示因为样本数量低于6个，回归模拟无统计学意义；*表示0.05的置信水平，**表示0.01的置信水平。

步的分析显示, 海峡西岸城市群、江淮城市群、长江中游城市群以及成渝城市群的 $E-I$ 指数绝对值偏低, 其缘由是: ①一方面海峡西岸城市群和江淮城市群内部都缺乏强有力的中心城市辐射带动, 另一方面两城市群周边的长三角城市群、珠三角城市群以及长江中游城市群都具有较强的辐射能力, 此消彼长导致两城市群的边界效应被削弱, 城市群内部网络联系较为松散; ②成渝城市群、长江中游城市群均为跨省(市)的城市群, 行政区经济的运行导致省域边界效应明显, 而城市群的边界效应则被削弱。

俱乐部层面, 城市群俱乐部的 $E-I$ 指数(-0.76)显著为负且接近-1, 表明城市群俱乐部的边界效应存在。进一步分析显示, 城市群俱乐部功能指数普遍较高, 平均值达到90.54%, 最高值(UA₄北部湾城市群)为95.38%, 最低值(UA₉晋中城市群)为82.61%, 表明城市群的经济联系主要来源于城市群自身及其与其他城市群之间的联系; 为更清楚地反映城市群俱乐部对城市群联系的贡献, 本文从俱乐部指数中去除了自容中心指数部分, 从而得出反映城市群与其他城市群之间的联系占城市群总体中心度比重的净俱乐部指数, 该指数平均值为83%, 最低值也高达59%, 反映出城市群具有较高的对外联系依赖特征, 城市群俱乐部是城市群获取竞争力的重要来源。

值得注意的是, 不同尺度区域边界效应具有不同的现实意义。城市网络中省域内城市间联系较为密切的一个重要原因是省级行政边界的刚性约束导致了区域经济活动以省域为单位来组织和开展, 即所谓的行政区经济现象^[51]导致省域边界效应的出现。城市网络中各城市群内城市之间联系较为密切的原因是由于城市群内部集聚的各种专业化城市和多样化城市给城市之间的分工与联系提供了更多选择机会, 即城市群经济现象^[52]导致了城市群边界效应的出现。上述结论与陈伟等^[21]等基于多元交通数据分析中国城市网络得出的结论一致。此外, 城市群俱乐部内城市之间联系较为密切的一个重要原因是由于俱乐部内各城市在经济政策、经济组织模式等方面所形成的邻近关系促进了城市之间的联系, 即存在一种俱乐部经济导致俱乐部边界效应的现象。

综上所述, 省域行政区经济、城市群经济和俱乐部经济效应分别是省域边界效应、城市群边界效应和俱乐部边界效应产生的背后原因, 多重区域边界效应也验证了省域行政区经济、城市群经济和俱乐部经济的存在。此外, 上述分析表明出边界效应的强弱还受到区域内外中心城市规模和数量的影响, 这也证实省域行政区经济、城市群经济和俱乐部经济与中心城市的规模和数量之间存在关联关系。

4.3 网络节点跨尺度功能分异特征分析

对城市中心度和区域性功能指数进行对数变换, 按“平均值+标准差”方法进行筛选, 可对城市功能进行分类(表9)。

I类为综合功能发展型, 是指城市除了在代表城市基本功能的省域功能或国家功能方面具有优势外, 还在代表城市非基本功能的自容功能方面拥有优势。该类型城市以超级大城市和区域型中心城市为主, 包含少数基础雄厚的资源型城市如晋城、大同、长治和鞍山等。II类为基本功能均衡发展型, 是指城市在国家功能和省域功能两项基本功能方面同时具有优势, 但是在自容功能方面优势不足, 该类城市以中西部地区的一般省会城市为主。III类为单一基本功能发展型, 具体包括国家功能主导型(III-1)和省域功能主导型(III-2)两个子类, 前者仅在国家功能方面具有优势的城市, 包括西宁、银川、厦门和沧州4个城市; 后者仅在省域功能方面具有优势的城市, 包括盐城等29个城市。总体来看, 城市在多尺度网络中的功能分化明显, 大城市和区域型中心城市比中小城市拥有更加完备和均衡的功能体系。

表9 基于网络连接的城市功能分类表

Tab. 9 Classification of urban function based on network connection

综合功能发展型(I)			基本功能均衡发展型(II)			单一基本功能发展型(III)				
北京	香港	太原	呼和浩特	济南	长沙	III-1	西宁	银川	厦门	沧州
上海	南京	石家庄	兰州	沈阳	海口	III-2	盐城	常州	洛阳	吉林
天津	深圳	唐山	福州	合肥	南昌	邯郸	咸阳	扬州	十堰	襄阳
西安	苏州	郑州	乌鲁木齐	宁波	宜昌	邢台	佛山	珠海	延安	晋中
武汉	杭州	长春	重庆	青岛	贵阳	镇江	淮安	日照	张家口	滨州
广州	成都	晋城	哈尔滨	大连	昆明	朔州	惠州	上饶	渭南	鹰潭
大同	长治	鞍山				廊坊	中山	南通	鄂尔多斯	榆林

沿海三大城市群的辐射带动作用明显，其他城市群的优势功能尚待跟进。按照“平均值+标准差”的标准对城市群进行筛选，发现3个城市群在俱乐部中心度和国家中心度方面有具有突出的优势（包括长三角、京津冀和珠三角城市群），而在自容中心度方面仅有两个城市群具有突出优势（包括长三角和京津冀城市群），其他城市群在3个尺度的区域性功能方面均没有表现出任何突出优势。这表明在中国的城市群战略引导下，仅有少数国家级城市群的辐射带动功能超越了传统的腹地范围，包括成渝城市群和长江中游城市群两个国家级城市群在内的多数城市群尚区域功能优势尚需强化，突出优势仍是未来城市群战略实施的重点任务。

4.4 网络节点跨尺度区域功能关联性分析

城市跨尺度区域功能关联效应显著且存在等级和区域分异。城市跨尺度功能关联指数均非常显著且在0.9左右（表10），表明城市不同尺度区域功能之间确实存在正向关联效应。该分析结果验证了Rozenblat的假设，即城市内部互动所形成的集聚经济效应有利于增强城市对外联系权重，同时居中心地位、在国家或区域尺度承担一定功能的大城市会对城市内部集聚经济的发展产生一定的乘数效应^[42]。进一步分析发现，以大城市为主的综合功能发展型城市（I类城市）关联指数最高且非常显著，以中西部一般省会城市为主的基本功能均衡发展型城市（II类城市）仅有 R_{sn} 指数显著为正，以少数欠发达地区省会城市和一般城市为主的单一基本功能发展型城市（III类城市）仅有 R_{sp} 指数显著为正。分区域来看，东部地区城市 R_{sn} 和 R_{sp} 指数在四大板块区域均居于首位，中部地区城市和西部地区城市的 R_{sn} 和 R_{sp} 指数分别位居次席。反映出东部地区城市集聚经济能力与其对外功

表10 跨尺度城市关联指数

Tab. 10 Correlation index between multi-scale regional function

区域	全部城市	I类城市	II类城市	III类城市	东部城市	中部城市	西部城市	东北城市
R_{sn}	0.920**	0.956**	0.798**	0.185	0.948**	0.800**	0.760**	0.610**
R_{sp}	0.876**	0.875**	0.297	0.502**	0.885**	0.677**	0.838**	0.456**
区域	UA ₁	UA ₃	UA ₅	UA ₆	UA ₇	UA ₈	UA ₉	UA ₁₀
R_{sn}	0.96**	0.99**	0.89**	0.99**	0.56	0.99*	0.90*	0.99**
R_{sa}	0.86**	0.81*	0.88**	0.99**	0.74	0.97**	0.78	0.93**
区域	UA ₁₂	UA ₁₄	UA ₁₅	UA ₁₇	UA ₁₈	UA ₁₉	UA ₂₀	
R_{sn}	0.15	0.98**	0.56*	0.90**	0.98**	0.99**	0.93**	
R_{sa}	0.23	0.95**	0.56*	0.84**	0.88**	0.9**	0.71**	

注：① *表示0.05的置信水平，**表示0.01的置信水平；② UA₂、UA₄、UA₁₁、UA₁₃和UA₁₆因样本城市数量太少，无法获得有统计意义的结果。

能之间的关联关系最为密切,中部地区城市的集聚能力与其在国家层面的地位密切相关,西部地区城市的集聚能力与其在省内的地位关系更密切。

从城市群来看,城市群跨尺度功能关联指数均非常显著且接近于 0.9 (R_{ig} 为 0.93**, R_{ie} 指数为 0.85**),表明城市群较强的自我经济集聚能力有助于增强其对其他城市群以及城市群以外城市的辐射带动能力,同时城市群与其他城市群及城市群以外城市之间的经济联系也有助于城市群内部自我集聚能力的提升。进一步地,通过对各城市群 R_{sn} 和 R_{sa} 指数的对比发现,多数城市群内的 R_{sn} 指数高于 R_{sa} 指数,表明虽然城市自身的集聚能力与其城市群功能之间也存在显著的正向互动作用,但是城市自身集聚能力与其在国家尺度的功能之间关联性更强。

5 结论与展望

5.1 结论

本文基于 2015 年世界财富 500 强中的 102 家中国企业数据,根据企业组织特征构建了反映企业—城市间关联的折衷网络模型,借助网络分析等多种方法分析了中国地级城市间和典型城市群之间的网络联系特征,得出以下基本结论:

(1) 企业组织关系细化是企业—城市网络转译模型优化的重要突破口。对于企业集团内部子公司之间联系的辨识精度不够是现有城市网络研究文献存在的共性问题。本研究通过对企业组织关系的规范界定和有效甄别提出的折衷网络转译模型,在一定程度上改善了上述问题,并采用对单一企业逐个遍历计算后再进行叠加的方法规避了模型转译过程中的信息损失问题。与传统的企业—城市网络转译模型获得的城市场间关联数据相比,采用折衷网络转译模型所获得的城市场间关联数据更接近于真实情况。

(2) 充分发挥沿海区位、行政中心和资源优势,制定和实施针对性、差异化的发展战略是提升城市网络地位的有效途径。网络节点的非均衡特征表明网络中城市间的竞争更加激烈,而区位、行政和资源优势是影响城市网络地位的关键因素;省域边界效应提醒我们在制定区域经济发展战略时应该充分考虑和利用省域单位作为区域经济组织重要空间单元这一基本事实;城市跨尺度关联网络效应及其表现出来的等级与区域差异为不同等级和地域城市提升其在网络中的地位提供了差异化的路径。对于中小城市尤其是西部地区城市来说,提升自身的集聚经济效应是增强其在省域城市网络中影响力的重要突破点;对于占据区域中心地位的城市尤其是中西部地区行政中心城市来说,发挥其区域性中心区位优势是提升其在国家城市网络中地位的有效途径;对于具有多尺度区域功能的综合性大城市尤其是东部地区大城市来说,将其在国家城市网络中的优势转变为城市集聚经济效应是促进城市发展的重要途径。

(3) 积极增强城市群集聚能力,逐步突出城市群优势功能是未来城市群战略实施的重点任务。城市群边界效应和城市群俱乐部边界效应表明,城市群战略具有增强城市群内部集聚经济效应和促进城市群之间联系的双重效果,因此跻身城市群对于城市的发展来说通常具有积极的意义。权力分散的城市群网络为各城市群的独立发展提供了良好基础,但是沿海三大城市群之外其他城市群既缺乏集聚优势也缺乏区域功能优势的客观现实给城市群建设带来了巨大挑战。考虑到城市群内部集聚经济与城市群跨尺度区域功能之间的关联效应,采用分类指导、因地制宜的思路来增强城市群的集聚能力或突出城市群的区域功能优势。对于集聚功能偏弱(自容指数小于 5% 或自容指数介于 5% 和 10% 之

间但低于国家功能指数)的成渝、滇中、海峡西岸、江淮、兰西、黔中、天山北坡、呼包鄂、辽中南、山东半岛、长三角以及中原城市群来说,其首要任务是要通过积极加强基础设施的一体化建设、制定功能互补的产业政策体系等举措,吸引全产业链在城市群内进行整体布局,增强城市群集聚能力;对于具有一定集聚功能(自容指数超过10%或自容指数介于5%和10%之间但高于国家功能指数)的关中、哈长、晋中、京津冀、长江中游以及珠三角城市群来说,可通过进一步发挥其对全国的辐射能力来提升城市群整体竞争力。

5.2 展望

本文构建的折衷网络模型丰富了城市网络研究视角和数据源,从城市和城市群联系两个尺度对城市(群)网络进行的剖析以及对跨尺度区域功能关联关系的研究丰富了城市网络研究内容。论文还存在一定不足:首先,由于暂时没有完整的获取到所有企业的设立时间信息,本文只分析了2015年单个年份的城市网络特征,没有对网络的动态变化特征进行跟踪分析;其次,由于进入财富500强的中国企业多为“国字”号企业,而“国字”号企业的布局受行政因素的影响较大,导致城市网络连接中出现了行政指向(首都及省会城市地位较高)以及网络发育受行政区经济影响的现象,因此本文研究结果呈现出一定的“行政干预特色”,下一步将通过财富500强内中国和非中国企业之间的对比,来展示下“全球化”和“地方化”力量对中国城市网络格局塑造的差别;最后,城市跨尺度功能关联效应的等级和区域差异受城市的产业政策、产业结构以及经济发展水平等多种因素的影响,且对于城市发展战略的制定具有重要的意义,限于篇幅无法对其展开详细的论述,这也将是未来继续研究的重要方向。

致谢:感谢两位审稿专家专业、细致的修改建议,感谢加拿大莱斯布里奇大学余立博士和西北大学刘建红、张健老师在论文修改过程中给予的帮助!

参考文献(References)

- [1] Sassen S. The Global City: New York, London, Tokyo. Princeton: Princeton University Press, 1991.
- [2] Hall P. The World Cities. London: Weidenfeld and Nicolson, 1966.
- [3] Friedmann J, Wolff G. World city formation: An agenda for research and action. *International Journal of Urban and Regional Research*, 1982, 6(3): 309-344.
- [4] Friedmann J. The world city hypothesis. *Development and Change*, 1986, 17(1): 69-83.
- [5] Castells M. The Rise of Network Society. Oxford: Blackwell, 1996.
- [6] Yang Yongchun, Leng Bingrong, Tan Yiming, et al. Review on world city studies and their implications in urban systems. *Geographical Research*, 2011, 30(6): 1009-1020. [杨永春, 冷炳荣, 谭一泓, 等. 世界城市网络研究理论与方法及其对城市体系研究的启示. *地理研究*, 2011, 30(6): 1009-1020.]
- [7] Meijers E, Romein A. Realizing potential: Building regional organizing capacity in polycentric urban regions. *European Urban and Regional Studies*, 2003(10): 173-186.
- [8] Burger M, Meijers E. Form follows function? Linking morphological and functional polycentricity. *Urban Studies*, 2012, 49(5): 1-23.
- [9] Camagni R P. City networks as tools for competitiveness and sustainability//Taylor P J, Derudder B, Saey P, et al. *Cities in Globalization*. London and New York: Routledge, 2007: 102-123.
- [10] Beaverstock J V, Smith R G, Taylor P J, et al. Globalization and world cities: Some measurement methodologies. *Applied Geography*, 2000, 20(1): 43-63.
- [11] Matthiessen C W, Schwarz A W, Find S. World cities of scientific knowledge: Systems, networks and potential dynamics. An analysis based on bibliometric indicators. *Urban Studies*, 2010, 47(9): 1879-1897.
- [12] Smith D A, Timberlake M. Conceptualizing and mapping the structure of the world system's city system. *Urban Studies*,

- 1995, 32(2): 287-302.
- [13] Wang J, Mo H, Wang F. Evolution of air transport network of China 1930-2012. *Journal of Transport Geography*, 2014, 40: 145-158.
- [14] Wang Mingfeng, Ning Yuemin. The internet and the rise of information network cities in China. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(3): 446-454. [汪明峰, 宁越敏. 互联网与中国信息网络城市的崛起. *地理学报*, 2004, 59(3): 446-454.]
- [15] Taylor P J. Hierarchical tendencies amongst world cities: A global research proposal. *Cities*, 1997, 14(6): 323-332.]
- [16] Taylor P J. The new geography of global civil society: NGOs in the world city network. *Globalizations*, 2004, 1(2): 265-277.
- [17] Wu Kang, Fang Chuanglin, Zhao Miaoxi, et al. The intercity space of flow influenced by high-speed rail: A case study for the rail transit passenger behavior between Beijing and Tianjin. *Acta Geographica Sinica*, 2013, 68(2): 159-174. [吴康, 方创琳, 赵渺希, 等. 京津城际高速铁路影响下的跨城流动空间特征. *地理学报*, 2013, 68(2): 159-174.]
- [18] Jiao Jingjuan, Wang Jiao'e, Jin Fengjun, et al. Impact of high-speed rail on inter-city network based on the passenger train network in China, 2003-2013. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(2): 265-280. [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. *地理学报*, 2016, 71(2): 265-280.]
- [19] Jiang Bo, Chu Nanchen, Xiu Chunliang, et al. Comprehensive evaluation and comparative analysis of accessibility in the four vertical and four horizontal HSR networks in China. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(4): 591-604. [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. *地理学报*, 2016, 71(4): 591-604.]
- [20] Ke Wenqian, Lu Yuqi, Chen Wei, et al. Evolutionary stages and theoretical model of high-speed traffic network spatiotemporal structure. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(2): 281-292. [柯文前, 陆玉麒, 陈伟, 等. 高速交通网络时空结构的阶段性演进及理论模型. *地理学报*, 2016, 71(2): 281-292.]
- [21] Chen Wei, Liu Weidong, Ke Wenqian, et al. The spatial structures and organization patterns of China's city networks based on the highway passenger flows. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(2): 224-241. [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.]
- [22] Wu Wei, Cao Youhui, Cao Weidong, et al. Spatial structure and evolution of highway accessibility in the Yangtze River Delta. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61(10): 1065-1074. [吴威, 曹有挥, 曹卫东, 等. 长江三角洲公路网络的可达性空间格局及其演化. *地理学报*, 2006, 61(10): 1065-1074.]
- [23] Cao Youhui, Cao Weidong, Jin Shisheng, et al. The evolution mechanism of the coastal container port system of China. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(3): 424-432. [曹有挥, 曹卫东, 金世胜, 等. 中国沿海集装箱港口体系的形成演化机理. *地理学报*, 2003, 58(3): 424-432.]
- [24] Wang Chengjin, Jin Fengjun. Organization networks of Chinese marine container transportation. *Scientia Geographica Sinica*, 2006, 26(4): 392-401. [王成金, 金凤君. 中国海上集装箱运输的组织网络研究. *地理科学*, 2006, 26(4): 392-401.]
- [25] Wang Liehui, Hong Yan. Spatial structure of container port systems across the Taiwan Straits under the direct shipping policy: A complex network system approach. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(4): 605-620. [王列辉, 洪彦. 直航背景下海峡两岸集装箱港口体系空间结构: 基于复杂网络的视角. *地理学报*, 2016, 71(4): 605-620.]
- [26] Zhen Feng, Wang Bo, Chen Yingxue. Spatial structure of the Yangtze River Delta urban network based on the pattern of listed companies network. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(8): 1031-1043. [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. *地理学报*, 2012, 67(8): 1031-1043.]
- [27] Liu Wangbao, Shi Enming. Spatial pattern of population daily flow among cities based on ICT: A case study of "Baidu Migration". *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(10): 1667-1679. [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. *地理学报*, 2016, 71(10): 1667-1679.]
- [28] Zhao Ziyu, Wei Ye, Pang Ruiqiu, et al. Alter-based centrality and power of Chinese city network using inter-provincial population flow. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(6): 1032-1048. [赵梓渝, 魏冶, 庞瑞秋, 等. 基于人口省际流动的中国城市网络转变中心性与控制力研究: 兼论递归理论用于城市网络研究的条件性. *地理学报*, 2017, 72(6): 1032-1048.]
- [29] Huggins R, Prokop D. Network structure and regional innovation: A study of university-industry ties. *Urban Studies*, 2016, 54(4): 931-952.
- [30] Li Xiande. Spatial structure of the Yangtze River Delta urban network based on the pattern of listed companies network. *Progress in Geography*, 2014, 33(12): 1587-1600. [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. *地理科学进展*, 2014, 33(12): 1587-1600.]

- [31] Pan F, Bi W, Lenzer J, et al. Mapping urban networks through inter-firm service relationships: The case of China. *Urban Studies*, 2017, 54(16): 3639-3654.
- [32] Taylor P J. *World City Network: A Global Urban Analysis*. London: Routledge, 2004.
- [33] Derudder B. The Mismatch between concepts and evidence in the study of a global urban network//Taylor P J, Derudder B, Saey P, et al. *Cities in Globalization*. London and New York: Routledge, 2007: 261-275.
- [34] Taylor P. Specification of the world city network. *Geographical Analysis*, 2001, 33: 181-194.
- [35] Rozenblat C, Pumain D. Firm linkages, innovation and evolution of urban systems//Taylor P J, Derudder B, Saey P, et al. *Cities in Globalization*. London and New York: Routledge, 2007: 124-149.
- [36] Alderson A S, Beckfield J. Power and position in the world city system. *American Journal of Sociology*, 2004, 109(4): 811-851.
- [37] Alderson A S, Beckfield J, Jessica S J. Intercity relations and globalization: The evolution of the global urban hierarchy, 1981-2007. *Urban Studies*, 2010, 47(9): 1899-1923.
- [38] Neal Z. Structural determinism in the interlocking world city network. *Geographical Analysis*, 2012, 44(2): 162-170.
- [39] Liu X, Derudder B. Two-mode networks and the interlocking world city network model: A reply to Neal. *Geographical Analysis*, 2012, 44 (2): 171-173.
- [40] Hennemann S, Derudder B. An alternative approach to the calculation and analysis of connectivity in the world city network. *Environment and Planning B*, 2014, 41(3): 392-412.
- [41] Zhao M, Wu K, Liu X, et al. A novel method for approximating intercity networks: An empirical comparison for validating the city networks in two Chinese city-regions. *Journal of Geographical Sciences*, 2015, 25(3): 337-354.
- [42] Rozenblat C. Opening the black box of agglomeration economies for measuring cities' competitiveness through international firm networks. *Urban Studies*, 2010, 47(13): 2841-2865.
- [43] Wang Cheng, Wang Maojun, Chai Qing. The relationship between centrality and power in the city network. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(12): 1953-1972. [王成, 王茂军, 柴箐. 城市网络地位与网络权力的关系: 以中国汽车零部件交易链接网络为例. *地理学报*, 2015, 70(12): 1953-1972.]
- [44] Derudder B, Cao Z, Liu X, et al. Changing connectivities of Chinese cities in the world city network. 2010 - 2016. *Chinese Geographical Science*, 2018, 28(2): 183-201.
- [45] Zhao M, Liu X, Derudder B, et al. Mapping producer services networks in mainland Chinese cities. *Urban Studies*, 2015, 52(16): 3018-3034.
- [46] Liu X, Derudder B, Wu K. Measuring polycentric urban development in China: An intercity transportation network perspective. *Regional Studies*, 2016, 50(8): 1302-1315.
- [47] Fang C. Important progress and future direction of studies on China's urban agglomerations. *Journal of Geographical Sciences*, 2015, 25(8): 1003-1024.
- [48] Li Xiaojian. *Company Geography*. Beijing: Science Press, 1999. [李小建. 公司地理论. 北京: 科学出版社, 1999.]
- [49] Defever F. Functional fragmentation and the location of multinational firms in the enlarged Europe. *Regional Science and Urban Economics*, 2006(36): 658-677.
- [50] Li Shantong, Hou Yongzhi. Mainland of China: Divided into eight social economic regions. *Forward Position in Economics*, 2003(5): 12-15. [李善同, 侯永志. 中国大陆: 划分 8 大社会经济区域. *经济前沿*, 2003(5): 12-15.]
- [51] Liu Junde. Perspective of the "administrative region economy" phenomenon in China's transitional period: An introduction of human-economic geography with Chinese characteristics. *Economic Geography*, 2006, 26(6): 897-901. [刘君德. 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. *经济地理*, 2006, 26(6): 897-901.]
- [52] Li Xuexin, Miao Changhong. The nature and sources of city group economy. *Urban Problems*, 2010(10): 16-22. [李学鑫, 苗长虹. 城市群经济的性质与来源. *城市问题*, 2010(10): 16-22.]

The characteristics of urban network of China: A study based on the Chinese companies in the Fortune Global 500 list

ZHAO Xinzhen^{1,2,3}, LI Qiuping¹, RUI Yang^{1,2,3}, LIU Xiaoqiong^{1,2,3}, LI Tongsheng^{1,2,3}

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

2. Key Laboratory of Earth Surface System and Environmental Carrying Capacity of Shaanxi Province, Northwest University, Xi'an 710127, China; 3. Shaanxi Institute of Provincial Resource, Environment and Development, Xi'an 710127, China)

Abstract: Based on the data of Chinese enterprises that entered the Fortune 500 list in 2015, this paper uses the eclectic model to construct the inter-city association network. Using the network analysis method, the spatial connection characteristics of 311 inter-city networks at prefecture level and above and 20 urban agglomerations networks in China are examined respectively. The research found that: (1) The overall connectivity of urban network is poor, the centripetal concentration is strong, and the network is not complete. The urban network connection shows a strong tendency of political center cities directivity, coastal cities directivity as well as resource-based cities directivity. The external economic dependence of each node city in the urban network is high, and the urban network structure has obvious flattening characteristics. The network of urban agglomerations is characterized by decentralization of power, differentiation of status and dependence on external connections. (2) The boundary effect of provinces, urban agglomerations and urban agglomerations clubs in the urban network is significant. The network evolution process is influenced by the provincial administrative district economy, the urban agglomerations economy and the urban agglomerations club economy. The size and number of central cities in the region and its surrounding areas have an impact on the provincial administrative district economy, the city agglomerations economy and the urban agglomerations club economy. (3) The function of cities is obviously divided in a multi-scale network. The large cities and regional central cities have a complete and more balanced function system than the small and medium-sized cities do. The radiation effect of three major urban agglomerations in coastal China is significant, while the dominant function of other urban agglomerations needs to be strengthened. (4) The cross-scale regional functional interaction effect of cities (clusters) is significant. The radiation-driven function of cities (clusters) is positively related to their self-agglomeration capabilities. This study provides support for the understanding of urban network model expansion and the spatial relation of urban network in China.

Keywords: eclectic mode; urban network; trans-scale correlation; boundary effects