

中国城市体系网络化研究

胡国建¹, 陈传明¹, 金星星², 王 强¹

(1. 福建师范大学地理科学学院, 福州 350007; 2. 南京师范大学地理科学学院, 南京 210023)

摘要: 当前,学者普遍认同城市体系研究的重心从等级范式向网络范式转向。在大量的文献梳理基础上,阐述20世纪80年代以来中国城市体系研究范式的转向过程,并进一步梳理中国城市网络研究的进展、问题与关注重点。结果表明:2010年之后,网络成为中国城市体系研究的主流范式,等级体系文献数量呈波动递减趋势,全国和长三角成为热点关注区域;属性数据一定程度上弥补了早期城市网络研究中数据匮乏的状况,关系数据应成为未来研究的侧重点;不同研究视角及其所应用的数据存在着一定的局限性,多元视角的综合研究成为趋势。在此基础上,提出城市网络研究未来可能的突破点,包括:调整国家城市网络的研究框架、超越交通数据直接考察城市间的实体联系、测度企业外部的横向联系、有向加权网络分析和可视化、增加研究中的地理“意味”等。

关键词: 城市体系;城市网络;研究范式;研究进展;中国

DOI: 10.11821/dlxb201904005

1 引言

城市体系是指在一个相对完整的区域中,由一系列不同职能分工、不同等级规模、空间分布有序的城市所组成的联系密切、相互依存的城市群体^[1]。在全球化和信息化时代,物理连接(交通系统)和虚拟相通(信息系统)以及在此基础之上人、物、资金和信息等要素的流动将城市紧密连接在一起^[2]。城市通过复杂多样的动态“流”体现其经济、政治、社会和文化等功能,方式上包括城市间双向的、跳跃中间层级的垂直和水平联系,小城市也可以拥有中级,甚至高级职能^[3-5]。在此背景下,将城市体系当作静态、孤立系统的等级范式研究对城市空间组织新模式的描述和解释逐渐显得无力。而网络由于其开放、无限扩展的结构,只要能够在网络中相互沟通,就能整合入新的节点,所有节点在一定层面上都有重新排列组合的可能,并在不同尺度上形成相互嵌套的网络,使得网络具有独特的构造能力,可以适应节点自身发展及其连接状况(外界环境)的不断变化,为空间结构的成长提供了一种弹性的环境^[6-7]。因此,网络成为对城市之间复杂互动形式和结构的合理描述^[8]。

在中国经济快速发展的背景下,城市对外的人、物、资本、信息等要素的广泛联系

收稿日期: 2017-12-08; 修订日期: 2019-03-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(41671126, 41201171); 国家社会科学基金项目(14BSH102) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41671126, No.41201171; National Social Science Foundation of China, No.14BSH102]

作者简介: 胡国建(1992-), 男, 江西九江人, 硕士生, 主要研究方向为区域开发与规划、资源与环境管理。

E-mail: guojianhu1992@163.com

通讯作者: 陈传明(1963-), 男, 福建长乐人, 研究员, 主要研究方向为资源与环境管理、自然保护和区域规划。

E-mail: chencm63@163.com

俨然成为现代社会经济的显著特征,传统的省域经济和行政区经济逐步向城市群经济过渡,地区和国家城市网络体系日益成型,且镶嵌于全球城市网络中。城市网络的研究,符合当下中国乃至世界的经济发展特征,对中国以城市群为主体构建大中小城市和小城镇协调发展的城镇格局具有重要意义。

从广义上讲,研究范式是研究方法与研究思维的集成,是科学群体所认可和接受的概念、方法和科学体系^[9]。学者普遍认同城市体系研究的重点从等级范式向网络范式转移^[10-12]。但城市等级体系研究和城市网络体系研究各自的具体趋势是什么?本文通过文献计量分析,阐述中国城市体系研究范式的转向过程。同时,梳理国内城市网络研究的发展脉络,对该领域中研究成果、存在的问题与重点进行了评析,以期对中国城市网络研究提供借鉴和启示。

2 文献统计分析结果

城市体系是地理类期刊与城市类期刊关注的热点,综合考虑期刊影响力和相关文献数量,选取《地理学报》《地理研究》《地理科学》《城市规划学刊》《城市发展研究》和《城市问题》作为文献来源。通过每期内容的翻阅,初步筛选6种期刊自20世纪80年代以来497篇可能涉及城市体系研究的文献,经详读后保留309篇^①,并将文献分为等级范式研究、网络范式研究和无法分类的方法、理论等综述类研究3种类型(三分法)。在此基础上,依据数据性质,将网络范式研究再细分为基于属性数据的网络范式研究和基于关系数据的网络范式研究(四分法)^②。图1是20世纪80年代以来不同类型文献数量的变化趋势,其中:城市体系等级范式研究的文献共计160篇,网络范式研究的文献130篇,无法分类的方法、理论等综述类文献22篇,基于属性数据的网络范式研究文献70篇,基于关系数据的网络范式研究文献63篇^③。

2.1 城市等级与网络范式研究的3个阶段

从图1a可以将中国城市体系等级范式研究分为3个阶段:①1995年以前:文献数量较少(共17篇,每年平均1.42篇),1987年出现过短暂的波峰,但迅速回落。②1995-2005年:文献数量有所增加且相对稳定(共48篇,每年平均4.36篇)。③2005年以后:文献数量明显增加(截止到2016年共有95篇,每年平均8.36篇)。值得注意的是,在2008年达到最大值之后,相关文献数量呈波动递减趋势。

相应地,城市网络范式研究也分为3个阶段:①2000年以前:相关文献只在部分年份零星出现(共6篇,每年平均0.35篇)。②2000-2010年:文献数量有所增加且相对稳定(共30篇,每年平均2.73篇)。③2010年以后:文献数量显著增加(截至2016年共94篇,每年平均15.67篇),并在2011年超越了等级体系研究的文献数量,期间虽然数量波动较大,但总体维持在较高水平。

可见,21世纪前中国城市体系研究以等级范式为主,2000年以后网络范式研究的文献数量有所增加,但仍少于等级范式的研究;2010年之后,城市网络研究引发学者高度关注,其文献数量超过等级体系研究,网络成为城市体系研究的主流范式。

① 文献收集和筛选原则:(1)包括早期市域范围的城镇体系研究;(2)不包括早期《地理研究》和《地理科学》的学位论文摘要;(3)不包括书评、资讯、通知和发言稿。

② 基于属性数据使用引力模型来研究城市网络的文献数量较多,此类文献在分析网络的同时也经常会涉及到等级研究。因此本文在“三分法”继续增加分类。

③ 有3篇文献的网络内容和等级内容同等重要,另有3篇网络范式研究同时包括属性数据和关系数据。

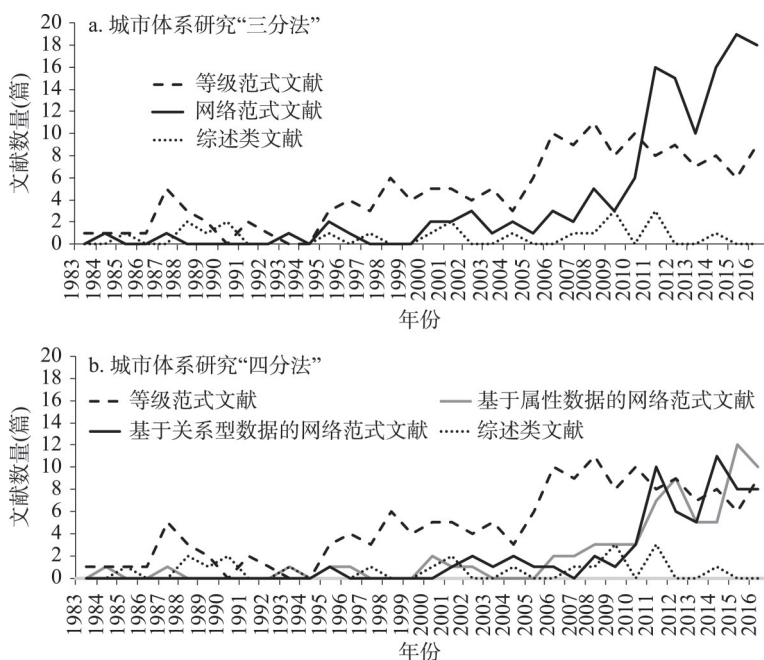


图1 城市体系研究范式的文献统计

Fig. 1 Literature statistics of urban system research paradigm

2.3 基于属性数据和关系数据的城市网络研究

根据图1b, 2000年以前的城市网络研究较少, 多为基于属性数据与引力模型的成果。2000年以后, 基于属性数据和基于关系数据的城市网络文献数量互有高低, 都处于较低水平。2010年以后, 两类文献数量开始迅速增加, 先后超过了城市等级体系研究的文献数量。整体上, 两类文献的数量变化趋势大致相同。

2.4 城市体系研究的区域选择

收集的文献中共涉及304个研究区域(表1), 包括国家及以上、地区、省域和市域及以下4类, 其中地区是指城市群、都市圈等不按行政界线为边界的研究区。国家及以上文献较多(107篇, 占35.20%), 并以国家层面的城市体系研究为主; 地区层面的文献最多(124篇, 占40.79%), 长三角是学者的关注热点; 省域层面的文献较少(56篇, 占18.43%), 涉及中国20个省级行政区; 市级及以下层面的文献最少(17篇, 占总数的5.59%), 大多是早期对城镇体系的研究。

3 国内城市网络研究的进展

如上文所述, 网络范式已成为城市体系研究的主流。因此, 有必要梳理城市网络研究, 特别是基于关系数据的城市网络研究。

3.1 基于属性数据的城市网络研究

21世纪前的中国城市网络研究以属性数据为主, 且大部分没有进行可视化, 创造较多的“矩阵中的城市关系”, 如朱晓林等^[13]、云大修等^[14]以经济指标和人口指标测度不同地区内城市间的经济联系强度。2000年以后关系数据逐渐兴起, 但属性数据仍是学者探索城市网络的重要手段, 相关研究多是通过引力模型及其修正模型来测度城市间的联系

表 1 城市体系研究区域选择的文献统计结果
Tab. 1 Statistics of the study regions in existing literature

研究区分类及数量	研究区域及数量
国家及以上(107)	中国(89)、全球(11)、美国(2)、欧洲(2)、西班牙(1)、中国-东盟(1)、中国-韩国(1)
地区(124)	长三角(37)、东北地区(8)、京津冀(7)、珠三角(7)、中原城市群(4)、山东半岛(4)、关中一天水经济区(3)、长江中游(3)、长江经济带(3)、武汉都市圈(3)、皖江城市带(3)、中部地区(2)、辽中南(2)、西江经济带(2)、西部地区(2)、辽东半岛(2)、环渤海地区(2)、淮海经济区(2)、中三角城市群(1)、中国滨海地带(1)、中国边境(1)、浙中城市群(1)、粤东城镇群(1)、徐州都市圈(1)、新疆—西西伯利亚(1)、武汉城市群(1)、苏州—宁波(1)、沈阳都市圈(1)、美国东北部城市群(1)、陆桥经济带(1)、鲁苏豫皖交界区(1)、辽宁沿海(1)、两湖平原(1)、兰白西城市群(1)、酒泉—嘉峪关地域(1)、江南(1)、江淮城市群(1)、江汉平原城市群(1)、济南都市圈(1)、河西走廊(1)、海峡西岸经济区(1)、成渝城市群(1)、成渝产业带(1)、成都平原城市群(1)、北京—天津(1)、北部湾城市群(1)
省级行政区(56)	河南(7)、江苏(6)、山东(6)、上海(5)、甘肃(4)、安徽(3)、广东(3)、湖北(3)、吉林(3)、新疆(3)、海南(2)、江西(2)、浙江(2)、澳门(1)、北京(1)、福建(1)、广西(1)、贵州(1)、黑龙江(1)、四川(1)
市级及以下(17)	长春(1)、伊春(1)、徐州(1)、西宁(1)、武汉(1)、温州(1)、通辽(1)、唐山(1)、台州(1)、平凉(1)、南京(1)、洛阳(1)、陇东(1)、乐清(1)、科尔沁左翼中旗(1)、灌云县(1)、赣榆县(1)

强度。近年来，部分学者综合研究和比较了基于属性数据和关系数据构建的城市网络，如王海江等^[15]、沈丽珍等^[5]分别将铁路网络、航空网络和企业网络及信息流网络与通过引力模型计算的城市网络进行对比。另外，少数学者还引进除引力模型之外的空间关系模型对城市网络进行分析^[16]。

3.2 基于关系数据的城市网络研究

文献统计分析中，有 52 篇文献涉及到具体的关系数据（包括 5 篇使用多种关系数据），从数据来源的角度将相关文献归为 4 类：企业关联模型、交通流、信息流和其他（图 2）。

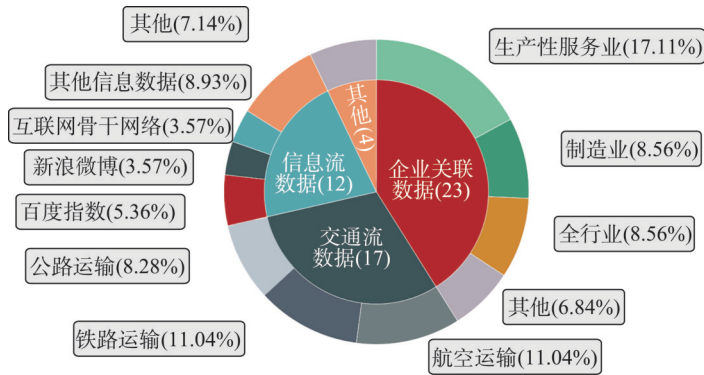


图 2 城市网络研究数据的文献统计结果
Fig. 2 Statistics of data sources of urban network research

3.2.1 企业组织关系视角 城市网络形成的驱动机制研究中，企业常被认为是最重要的活动主体。很大程度上，人、物、资本、技术等要素在空间上流动是以企业内部以及外部的网络为载体，形成嵌于城市网络中的企业网络。从这个意义上来说，企业关联是城市之间相互作用的“因”，其他的流属于企业间联系“果”^[17]。

中国企业关联视角的城市网络研究深受以 Taylor 为首的 GaWC 研究小组的影响^④，主

④ <http://www.lboro.ac.uk/gawc/group.html>

要利用企业跨区域的分支(或子公司)数量构建城市关系矩阵,以此表征城市间的联系强度并构建网络。2008年张晓明等基于高级生产者服务业数据分析了长三角地区的城镇格局^[18]。2010年以来,赵渺希等^[19]、武前波等^[20]和王成等^[21]学者以不同企业为对象,探讨中国的城市网络体系。总体上,以生产者服务业为数据源的文献最多,其次是制造业、全行业和跨国公司等。

3.2.2 交通流视角 交通运输网络是形成城市网络系统的物质条件和必要前提^[22]。与企业组织视角将注意力集中在城市网络的“代理人”不同,交通流(航空流、铁路流和公路流^⑤)视角的城市间网络研究的以实体联系为基础,直接反映城市间的功能联系、交易流和连通度^[23]。其中,基于航空关系数据的城市网络研究起步较早,如王姣娥等^[12]、周一星等^[24]和金凤君等^[25]学者基于航空关系数据揭示了不同时段中国城市网络及其格局演变等特征。由于航空运输平均距离长,相关研究多分析全国城市网络。基于铁路和公路流的相关研究起步稍晚,钟业喜等^[26]、冯长春等^[27]和戴特奇等^[28]学者基于铁路网络分析区域或全国范围的城市网络及其空间格局。受运距限制,公路客运流相关研究大多聚焦在较小的区域尺度,节点级别最低可至县级行政单位^[11, 29-30]。

3.2.3 信息流视角 随着中国信息化程度急速发展,越来越多的学者关注信息流对城市发展的影响与作用。国内对于信息流与城市网络之间关系的研究表现出理论“先行”、实证“落后”的特点。早在1989年季增明^[31]就认为应将信息流的探讨与地域结构分析密切联系起来,并注意地域之间、国际间的比较;之后,汪明峰等^[6]、张捷等^[32]、甄峰等^[33]就信息空间特征、虚拟空间与实体空间之间的关系、信息流引发的城市网络变化等方面进行讨论和梳理,但2012年以前,少有利用信息流数据研究城市网络的文献^[34]。2012年之后,大数据时代为研究城市网络提供了新的契机,相关研究(特别是基于网络信息数据)如雨后春笋般出现。相对于调查问卷、统计年鉴等传统数据源,大数据具有样本量大、成本低和周期短等特点^[35],挖掘表征信息流的关系型大数据成为研究城市网络的新趋势和新方法。甄峰团队对使用网络大数据研究城市网络做出了诸多有益的探索^[36-38];刘铮等^[39]、蒋大亮等^[40]通过网络大数据处理分析全国或区域尺度的城市网络。另外,曹子威等^[41]、董超等^[42]基于电话通信数据研究了区域城市网络格局。

3.2.4 其他视角 有少部分研究以城市间其他的“要素流”来探讨城市网络,如王茂军等^[43]、李王鸣等^[44]分别通过民国土洋货流通资料和问卷调查的物流资料,分析山东省和台州市的城镇网络。在知识经济时代,知识流动越来越成为推动经济增长的关键因素。学者也已经注意到,把握城市网络研究的新动向,需要关注知识经济新特征^[45],相关实证研究也已得到开展,陆天赞等以合作专利数据探析长三角和美国东北部城市之间创新合作关系^[46];马海涛等通过高端归国人才的移动轨迹研究城市网络,拓展了城市网络构建的理论方法与研究内容^[47]。

可见,属性数据由于容易获取以及所用的引力模型较为成熟、逻辑简单,成为早期实证研究的主要数据来源,为城市网络研究的发展做出积极贡献。在工业化初中期,引力模型对城市网络进行刻画合理性源于距离衰减规律的普遍性。随着经济的持续推进,引力模型的适用程度下降,加上关系数据匮乏的状况逐渐缓解,学者越来越倾向于挖掘能直接反映城市联系状况的关系数据。与属性数据建立于一系列理论假设与情景模拟来测度城市联系强度相比,关系数据是城市联系的直接证据,能更真实的揭示城市关系状况。

⑤ 不少文献使用交通流数据单纯研究交通体系(如航空交通网络),没有通过交通网络表征城市网络,本文分析不考虑此类文献。

4 中国城市网络研究的反思

4.1 不同研究视角的局限性

国内城市网络研究逐渐摆脱了过去数据匮乏的状况。但是,不同视角及其所用的数据因为类别、详略、准确性等问题存在着一定的局限性,需要客观审视。

4.1.1 属性数据 随着经济发展模式的演进,传统引力模型的适用性受到挑战。现实世界由于空间异质性造成不同地区在时空可达性上存在差异,即引力模型的参数应当随着时空的变化而变化。同时,虚拟世界中传输的瞬时性突破了时空的限制,导致基本无法选出引力公式的分母。除此之外,属性数据得出的引力强度不具有方向,无法反映城市关系的非对称性,难以准确描述纷繁复杂的城市联系^[48]。

诚然,关系数据应成为未来城市网络的侧重点。然而,这并不意味着引力模型的退出。事实上,不断有学者对引力模型进行复杂的修正,以期更真实的模拟现实世界,本文认为未来引力模型在城市网络中的应用需注重以下几点:① 注重参数在时空差异性,如戴特奇等^[49]、郑清菁等^[50]对引力模型参数的时空间差异进行实证研究的尝试;② 定量选择修正模型限定因素,不少学者定性判断和选择修正条件,未来应侧重实证检测城市联系强度的各种决定因素,选择最佳的修正公式;③ 验证测算结果,相关研究多缺乏结果的验证,有文献将引力模型和关系数据的研究结果进行综合研究,属于多元视角的平行研究^[5, 15]。引力模型的应用领域广泛,其中在国际贸易联系研究中的应用最为成熟,城市网络研究有必要对其进行借鉴。

4.1.2 企业关联视角 企业关联视角的城市网络研究受到学者的青睐,但现有文献中存在以下问题:① 受数据的可获得性的影响,相关研究多反映的是企业内部不同级别机构的垂直联系,存在着明显控制与被控制的关系(全球总部—地区总部—地区分支),即运用层级结构的数据来分析具有明显水平联系特征的城市网络,未能考量企业间的外部横向联系。② 假想的企业与城市联系量大小,并非代表真实的城市之间联系水平^[51];相关数据过于强调城市间的经济联系,忽视政治、社会、文化等联系。③ 不同企业的规模和影响能力存在显著差异,若以母子公司为研究对象,母公司对子公司的持股比例也不尽相同,仅仅通过母子企业数量来反映联系显然存在局限性。④ 企业关联视角的城市网络研究(特别是基于高级生产者服务业和跨国公司)中,边缘城市容易被忽视。

4.1.3 交通流视角 基于交通流视角的城市网络研究仍存在或忽视一些问题。本质上,人和物的流动才是城市间真正的实体联系,飞机、列车和汽车等交通工具只是作为人和物的载体在两个或多个节点上往返运动,因此有必要对航空、列车和客车数据能多大程度表征人流和物流进行讨论:① 运输上限和上座率的影响。不少研究用班次数据对真实流量进行替代^[15, 26-27],运输班次能否准确反映流量受到运输上限(定员量或者载重量)和上座率的干扰。② 运输距离对运输方式的影响。不同的交通工具适合不同运输距离,城市间联系强度的研究受到运距的干扰。如基于航空运输的城市网络研究中,由于短途运输中旅客乘坐飞机的比例低,近距离城市间的联系强度会被低估。已有多元交通流视角的城市网络研究显示,不同类型交通方式透视的城市网络特征有较明显的差异^[12, 52]。③ 海陆状况对运输方式的影响。和运距的影响一样,海陆状况对交通方式的选择也有较大影响,如绝大部分汽车和铁路运输无法跨越海洋。④ 中转地被高估。交通流视角的城市网络中易造成中转地被高估,目前将始发地和目的地作为网络节点的研究较少,多是按照区间段划分,过分强调了运输中转城市的地位^[53]。

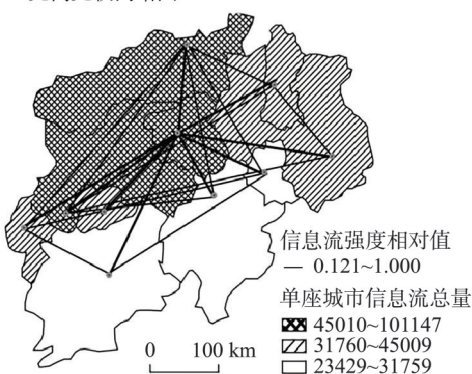
4.1.4 信息流视角 大数据的空间分析给经济地理、城市地理研究带来了新的发展机遇,

此背景下，需冷静审视大数据研究热潮^[54]：① 基于信息流的城市网络研究中海量数据主要来源于少数大型数据分享平台（如百度指数、新浪微博），其时空属性受到这些平台的限制，大数据的潜力仍未被完全发掘。② 鉴于大数据的低价值密度特征，数据单条记录的价值远小于传统“小数据”，甚至包括无价值和负价值的“干扰”数据。当然，除了通过数量弥补质量之外，还可借助数据处理手段过滤研究中不需要的数据。

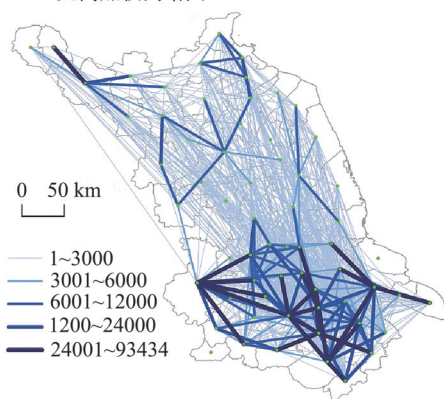
4.2 城市网络的可视化

4.2.1 4种网络形式 关系数据具有起点和终点（方向）以及联系强度（权重）。不同的数据处理和可视化方式可以呈现出4种网络：无方向和无联系强度的无向无权网络（图3a），无方向、具有联系强度的无向加权网络（图3b），具有连接方向、无联系强度的有向无权网络（图3c），有方向和有联系强度的有向加权网络（图3d）。

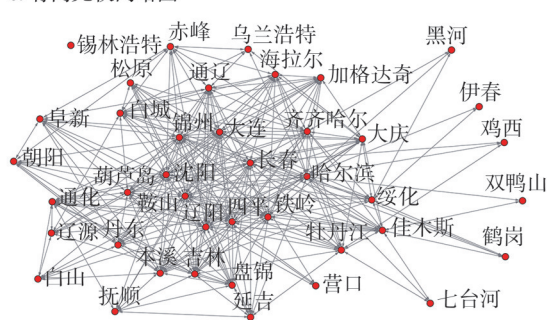
a. 无向无权网络图



b. 无向加权网络图



c. 有向无权网络图



d. 有向加权网络图

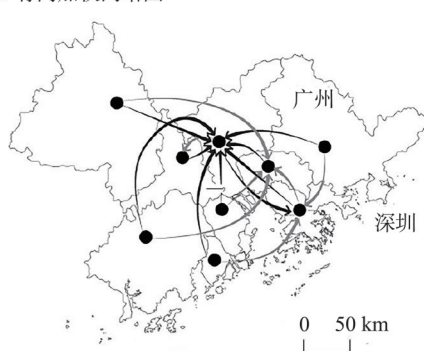


图3 4种网络图示意^[40, 43, 55-56]

Fig. 3 Four forms of visualization for urban network^[40, 43, 55-56]

4种网络形式中，有向加权网络的每条边所包含的信息最多，但研究中几乎看不到有向加权网络图，零星的有向加权网络图呈现的效果也不佳，主要因为有向加权网络会增加网络结构的复杂性和稠密度（若双向联系需要用两条边表示），网络分析的难度也会增加。而绘制网络图常用的软件ArcGIS和Ucinet都无法较好的生成有向加权网络图。因此，研究中大部分使用无向加权网络和有向无权网络。这两种网络的可视化都降低了关系数据的价值，无向化忽略了城市间联系的不对称性，二值化（无权化）忽略了城市间联系的强度。

4.2.2 网络稠密化 从早期“矩阵中的城市关系”，到结构相对简单的网络图，再到如今复杂多样的网络图。反映的不仅是城市联系强度的强化和形式的多样，也是数据日益丰富和可视化技术进步的结果。然而近年来，可视化中网络过度稠密化的情况开始浮现，过度稠密的网络使可视化丧失了简化复杂性，便于审视和增加理解的意义，且容易掩盖网络中的属性信息（节点位置、边的方向等），甚至导致图形的网络结构产生面化的趋势。

4.3 识别性分析占主体地位

识别性分析在城市网络研究中占据了主要地位：通过数据所构建的功能网络（企业网络、交通网络、信息网络等）来表征城市网络，使用不同的算法描述网络和城市及其动态变化特征。2012年之后的大数据研究热潮一度加剧了这种状况，基于大数据的研究有重相关性、轻因果性的倾向，研究人员为了数据而去收集数据，通过数据分析另外一种变量（城市网络），但是很难揭示两组变量之间的关系，仅利用数据说明了现象，却没有产生知识^[57]。

可用于分析城市网络的数据不断涌现，城市网络的量化研究逐渐摆脱了以往关系数据“贫乏”的窘境，但也要警惕过犹不及的情况。不断有学者意识到过度的识别性分析不利于城市网络研究的进一步发展，甄峰在评价大数据热潮时认为：无论是定量研究还是定性研究，无论“小数据”还是“大数据”，都应当给予同样的重视，要避免“迷恋”于数据分析和可视化技能^[54]。

5 趋势与展望

5.1 现有趋势

（1）理论方法的引进和修正。国外城市网络研究取得了较丰富的成果，对起步相对较晚的中国具有重要的借鉴意义。考虑到中国的经济基础、社会制度以及转型期复杂的经济社会文化背景，城市网络研究中对国外理论（如流空间理论、嵌入性理论等）的引介必须认真区别其运行环境，并对相关理论、方法进行必要修正。

（2）关系数据的挖掘和质量的提升。关系数据的获取较为不易，政府和企业应该推动信息的共享、打破“信息孤岛”、消除“数据烟囱”。“大数据”给研究者打了一剂“强心剂”，有必要深入挖掘城市间的关系大数据。同时，需要认真审视，剔除不适合用于研究的数据，避免技术主义、数据主义。

（3）多元视角的综合研究。多元视角的城市网络研究成为趋势，城市的联系复杂多样，在不同的功能网络中扮演的角色和地位不尽相同，单一视角或数据源的研究容易得出片面化的结果。要准确地把握城市间的联系，必须立足于不同维度，通过不同数据源去考量城市关系，推动城市间空间关系的新认知。

5.2 研究展望

本文在现有研究基础之上，提出下一阶段国内城市网络研究中5个可能的突破口：

（1）从更大尺度考量中国城市网络。中国城市网络是世界城市网络的一个重要板块，中国的城市在世界的分工合作中扮演的角色越来越重要，与境外城市的联系日益紧密。未来需要对国家城市网络的框架进行调整。特别是发展水平较高的大城市，应置于在全球尺度中来把握其发展和联系。而且关注国家边界的影响，有助于提炼中国城市网络的特性。

（2）跳出交通数据直接考察城市间的实体联系。交通数据能在多大程度上反映人和物的空间流动有待讨论。目前来看，大数据为人和物的流动数据挖掘提供了一个新方

向。其基本原理是通过普遍流行的传感器设备时刻记录人和物的移动轨迹，也就是跳出交通数据，直接使用出发地和目的地（OD）数据反映区域中城市间的联系。目前，百度迁移已经被应用到城市网络的研究实践中^[58-59]。

（3）关注企业外部横向联系的测度。企业关联模型大多以企业内总部与分支的联系为基础。现实中，不同企业间横向的资金、物质和信息等要素的联系强度可能远高于企业内部的联系强度，且企业外部横向联系比内部纵向联系更符合城市网络的内涵。目前，潘峰华等通过企业在公开募股（IPO）期间的服务关系研究城市网络^[60]；王成等以汽车零部件企业的交易链研究城市网络^[21]。能否挖掘到更多可靠的企业外部联系数据，是后续研究中可以关注的重点。

（4）对有向加权网络的分析和可视化。城市网络研究中大多数的算法都降低了关系数据的价值，简化了网络的结构（二值化和无向化）。有向加权网络可以更加真实地刻画城市网络及其城市节点的真实状况。目前，刘铮等^[39]、赵梓渝等^[59]、冷炳荣等^[61]对有向加权网络进行了探讨；陈伟等引入 Infomap 算法尝试顾全城市网络中的点权、边权和方向等属性^[30]。深化有向加权网络的分析，是未来城市网络研究的一个重要议题。在可视化上，网络图的边权一般用粗细划分，方向一般用箭头表示，还有学者用其他属性（如颜色、距离）表示权重与方向。如何反映节点间的不对称性联系是有向加权网络可视化的重点。

（5）警惕城市网络研究的“地理空心化”。伴随着城市体系研究由等级范式向网络范式转变的是交通和通讯技术进步所带来的时空压缩，各种网络渠道弱化地理临近性，流动空间淡化了场所的空间逻辑。对此，甚至有学者提出“地理学终结”的观点。同时，以社会网络分析为代表的许多算法倾向对网络进行几何图论的分析，很大程度上缺乏对地理空间的指示作用。因此，本文认为未来的城市网络研究中有必要更多的结合地理空间特性，如考察距离阻力对城市间不同层面联系（如实体联系和虚拟联系）的影响；关注行政界线对城市间联系的影响；分析“场所空间”与“流空间”在城市网络中的作用强度、相互塑造的形式等。

参考文献(References)

- [1] Zhou Yixing. Urban Geography. Beijing: The Commercial Press, 1995. [周一星. 城市地理学. 北京: 商务印书馆, 1995.]
- [2] Camagni R, Salone C. Network Urban Structures in northern Italy: Elements for a theoretical framework. Urban Studies, 1993, 30(6): 1053-1064.
- [3] Smith D A, Timberlake M. Conceptualising and mapping the structure of the world system's city system. Urban Studies, 1995, 32(2): 287-304.
- [4] Shen Lizhen, Gu Chaolin. Integration of regional space of flows and construction of global urban network. Scientia Geographica Sinica, 2009, 29(6): 787-793. [沈丽珍, 顾朝林. 区域流动空间整合与全球城市网络构建. 地理科学, 2009, 29(6): 787-793.]
- [5] Shen Lizhen, Luo Zhendong, Chen Hao. Relation measurement and integration of regional space flows: A case study of Hubei Province. Urban Problems, 2011(12): 30-35. [沈丽珍, 罗震东, 陈浩. 区域流动空间的关系测度与整合: 以湖北省为例. 城市问题, 2011(12): 30-35.]
- [6] Wang Mingfeng, Gao Feng. Spatial logic of networks: Explaining the evolution of global urban system in the information age. Urban Planning International, 2007, 22(2): 36-41. [汪明峰, 高丰. 网络的空间逻辑: 解释信息时代的世界城市体系变动. 国际城市规划, 2007, 22(2): 36-41.]
- [7] Zhou Zenhua. Logistic relation of globalization, global urban network and global cities. Social Sciences, 2006(10): 17-26. [周振华. 全球化、全球城市网络与全球城市的逻辑关系. 社会科学, 2006(10): 17-26.]
- [8] Dicken P, Kelly P, Olds K, et al. Chains and networks, territories and scales: Towards a relational framework for analysing the global economy. Global Networks, 2001, 1(2): 89-112.
- [9] Li Shuangcheng, Wang Yang, Cai Yunlong. The paradigm transformation of geography from the perspective of

- complexity sciences. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65 (11): 1315-1324. [李双成, 王羊, 蔡运龙. 复杂性科学视角下的地理学研究范式转型. *地理学报*, 2010, 65(11): 1315-1324.]
- [10] Luo Zhendong, He Heming, Wei Jianglu. Intercity relationship and structure of Anhui province from the perspective of passenger flow of coach travel. *Scientia Geographica Sinica*, 2012, 32(10): 1193-1199. [罗震东, 何鹤鸣, 韦江绿. 基于公路客流趋势的省域城市间关系与结构研究: 以安徽省为例. *地理科学*, 2012, 32(10): 1193-1199.]
- [11] Ke Wenqian, Lu Yuqi, Zhu Yu, et al. Urban spatial interaction characteristics basis on expressway traffic flow: A case study in Jiangsu Province. *Human Geography*, 2016, 31(6): 130-136. [柯文前, 陆玉麒, 朱宇, 等. 基于高速公路交通流的江苏省城市空间关联特征. *人文地理*, 2016, 31(6): 130-136.]
- [12] Wang Jiao'e, Jing Yue. Comparison of spatial structure and organization mode of inter-city networks from the perspective of railway and air passenger flow. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(8): 1508-1519. [王姣娥, 景悦. 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. *地理学报*, 2017, 72(8): 1508-1519.]
- [13] Zhu Xiaolin, Zhong Yongyi. Urban group research and economic zone planning. *Urban Problems*, 1984(3): 31-37. [朱晓林, 钟永一. 城市群体研究与经济区规划. *城市问题*, 1984(3): 31-37.]
- [14] Yun Daxiu. An approach to the urban system of Hainan. *Geographical Research*, 1993, 12(3): 80-88. [云大修. 初探海南岛城镇体系. *地理研究*, 1993, 12(3): 80-88.]
- [15] Wang Haijiang, Miao Changhong. Network structure and regional difference of aviation links in China. *Scientia Geographica Sinica*, 2015, 35(10): 1220-1229. [王海江, 苗长虹. 中国航空联系的网络结构与区域差异. *地理科学*, 2015, 35(10): 1220-1229.]
- [16] Liu Tao, Tong De, Li Guicai. City linkage based on city functional network: Taking zhujiang River Delta as an example. *Scientia Geographica Sinica*, 2015, 35(3): 306-313. [刘涛, 仝德, 李贵才. 基于城市功能网络视角的城市联系研究: 以珠江三角洲为例. *地理科学*, 2015, 35(3): 306-313.]
- [17] Zhao Miaoqi, Chen Chen. A comparison between service network in the airline passenger network and advanced producer urban system of China. *Urban Planning Forum*, 2011(2): 24-32. [赵渺希, 陈晨. 中国城市体系中航空网络与生产性服务业网络的比较. *城市规划学刊*, 2011(2): 24-32.]
- [18] Zhang Xiaoming, Wang Chun. Spatial structure of Yangtze River Delta mega-city region in the perspective of APS. *Journal of Urban and Regional Planning*, 2008, 1(2): 43-64. [张晓明, 汪淳. 长江三角洲巨型城市区域城镇格局分析: 高级生产者服务业的视角. *城市与区域规划研究*, 2008, 1(2): 43-64.]
- [19] Zhao M, Liu X, Derudder B, et al. Mapping producer services networks in mainland Chinese cities. *Urban Studies*, 2015, 52(16): 3018-3034.
- [20] Wu Qianbo, Ning Yuemin. China's urban network based on spatial organization of electronic information enterprises. *Geographical Research*, 2012, 31(2): 207-219. [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. *地理研究*, 2012, 31(2): 207-219.]
- [21] Wang Cheng, Wang Maojun, Chai Jing. The relationship between centrality and power in the city network. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(12): 1953-1972. [王成, 王茂军, 柴菁. 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.]
- [22] Xue Junfei. Hierarchical structure and distribution pattern of Chinese urban system based on aviation network. *Geographical Research*, 2008, 27(1): 23-32, 42. [薛俊菲. 基于航空网络的中国城市体系等级结构与分布格局. *地理研究*, 2008, 27(1): 23-32, 42.]
- [23] Zhang Chuang. Toward the data and measurement in urban network research. *Modern Economic Science*, 2009, 31(3): 106-112. [张闯. 城市网络研究中的数据与测量. *当代经济科学*, 2009, 31(3): 106-112.]
- [24] Zhou Yixing, Hu Zhiyong. Looking into the network structure of Chinese urban system from the perspective of air transportation. *Geographical Research*, 2002, 21(3): 276-286. [周一星, 胡智勇. 从航空运输看中国城市体系的空间网络结构. *地理研究*, 2002, 21(3): 276-286.]
- [25] Jin Fengjun, Wang Chengjin. The hub-and-spoke and China aviation network organization. *Geographical Research*, 2005, 24(5): 774-784. [金凤君, 王成金. 轴—辐侍服理念下的中国航空网络模式构筑. *地理研究*, 2005, 24(5): 774-784.]
- [26] Zhong Yexi, Lu Yuqi. Hierarchical structure and distribution pattern of Chinese urban system based on railway network. *Geographical Research*, 2011, 30(5): 785-794. [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. *地理研究*, 2011, 30(5): 785-794.]
- [27] Feng Changchun, Xie Danxing, Ma Xueguang, et al. Functional polycentricity of the urban region in the Zhujiang River Delta based on intercity rail traffic flow. *Scientia Geographica Sinica*, 2014, 34(6): 648-655. [冯长春, 谢旦杏, 马学广, 等. 基于城际轨道交通流的珠三角城市区域功能多中心研究. *地理科学*, 2014, 34(6): 648-655.]

- [28] Dai T, Jin F. Spatial interaction and network structure evolvement of cities in terms of China's rail passenger flows. *Chinese Geographical Science*, 2008, 18(3): 206-213.
- [29] Luo Zhendong, He Heming, Wei Jianglv. Intercity relationship and structure of Anhui province from the perspective of passenger flow of coach travel. *Scientia Geographica Sinica*, 2012, 32(10): 1193-1199. [罗震东, 何鹤鸣, 韦江绿. 基于公路客流趋势的省域城市间关系与结构研究: 以安徽省为例. *地理科学*, 2012, 32(10): 1193-1199.]
- [30] 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.]
- [31] Ji Zeng Min. A preliminary study of information geography. *Human Geography*, 1989, 4(3): 17-22. [季增民. 信息地理学初探. *人文地理*, 1989, 4(3): 17-22.]
- [32] Zhang Jie, Gu Chaolin, Du Jinkang, et al. Geographical approach to cyberspace: Review and prospect. *Science Geographica Sinica*, 2000, 20(4): 368-374. [张捷, 顾朝林, 都金康, 等. 计算机网络信息空间(Cyberspace)的人文地理学研究进展与展望. *地理科学*, 2000, 20(4): 368-374.]
- [33] Zhen Feng, Liu Xiaoxia, Liu Hui. Regional urban network influenced by information technology: New directions of urban studies. *Human Geography*, 2007, 22(2): 76-80. [甄峰, 刘晓霞, 刘慧. 信息技术影响下的区域城市网络: 城市研究的新方向. *人文地理*, 2007, 22(2): 76-80.]
- [34] Wang Mingfeng, Ning Yuemin. The network advantage of cities: Analysis of spatial structure and node accessibility of internet backbones in China. *Geographical Research*, 2006, 25(2): 193-203. [汪明峰, 宁越敏. 城市的网络优势: 中国互联网骨干网络结构与节点可达性分析. *地理研究*, 2006, 25(2): 193-203.]
- [35] Boyd D, Crawford K. Critical questions for big data: Provocations for a cultural, technological, and scholarly phenomenon. *Information, Communication & Society*, 2012, 15(5): 662-679.
- [36] Zhen Feng, Wang Bo, Chen Yingxue. China's city network characteristics based on social network space: An empirical analysis of Sina Micro-blog. *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.]
- [37] Chen Yingxue, Zhen Feng, Wang Bo, et al. A study of internet information asymmetry relations among Chinese cities based on the micro-blog platform. *Advances in Earth Sciences*, 2012, 27(12): 1353-1362. [陈映雪, 甄峰, 王波, 等. 基于微博平台的中国城市网络信息不对称关系研究. *地球科学进展*, 2012, 27(12): 1353-1362.]
- [38] Xiong Lifang, Zhen Feng, Xi Guangliang, et al. Characteristics of the city network in the three major economic zones of China: A study based on Baidu information flow. *Tropical Geography*, 2014, 34(1): 34-43. [熊丽芳, 甄峰, 席广亮, 等. 我国三大经济区城市网络变化特征: 基于百度信息流的实证研究. *热带地理*, 2013, 34(1): 34-43.]
- [39] Liu Zheng, Wang Shifu, Zhao Miaoxi, et al. Exploratory analysis of directed weighted network of city. *Geographical Research*, 2013, 32(7): 1253-1268. [刘铮, 王世福, 赵渺希. 有向加权型城市网络的探索性分析. *地理研究*, 2013, 32(7): 1253-1268.]
- [40] Jiang Daliang, Sun Ye, Ren Hang. Analyses on the city network characteristics of Middle Yangtze urban agglomeration based on Baidu Index. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2015, 24(10): 1654-1664. [蒋大亮, 孙烨, 任航. 基于百度指数的长江中游城市群城市网络特征研究. *长江流域资源与环境*, 2015, 24(10): 1654-1664.]
- [41] Cao Ziwei, Luo Zhendong, Geng Lei. Information-flow based comparative research of urban-region relations: A case study of Ma'anshan and Wuhu. *Economic Geography*, 2013, 33(5): 47-53. [曹子威, 罗震东, 耿磊. 基于信息流的城市—区域关系比较研究: 以马鞍山和芜湖为例. *经济地理*, 2013, 33(5): 47-53.]
- [42] Dong Chao, Xiu Chunliang, Wei Ye. Network structure of "space of flows" in Jilin Province based on telecommunication flows. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(4): 510-519. [董超, 修春亮, 魏冶. 基于通信流的吉林省流空间网络格局. *地理学报*, 2014, 69(4): 510-519.]
- [43] Wang Maojun, Tian Liying, Yang Xuechun. Study on structure of urban network in Shandong province and on identifying city-roles in the network: Based on the analysis of circulation network of nativeproducts/foreign goods in the republic of China. *Geographical Research*, 2011, 30(9): 1621-1636. [王茂军, 田丽英, 杨雪春. 山东省城镇网络结构与城镇网络角色识别: 基于民国时期土货/洋货流通网络的分析. *地理研究*, 2011, 30(9): 1621-1636.]
- [44] Li Wangming, Jiang Yong, Chai Zhouyue. Research of regional city space development characteristics based on logistics connection of groups: A case of Taizhou area. *Urban Studies*, 2011, 18(6): 111-117. [李王鸣, 江勇, 柴舟跃. 基于企业物流联系的区域城市空间发展特征研究: 以浙江省台州市域为例. *城市发展研究*, 2011, 18(6): 111-117.]
- [45] Yan Xiaopei, Lin Zhangping. Current status and development direction of urban geographic research in the West. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(Suppl.1): 77-84. [闫小培, 林彰平. 近期西方城市地理研究动向分析. *地理学报*, 2004,

- 59(S1): 77-84.]
- [46] Lu Tianzan, Wu Zhiqiang, Huang Liang. International comparison of creative cities cluster: An analysis of social network and spatial organization on innovative collaboration: International comparison of creative city cluster between the Bosnywash megalopolis and the Yangtze River Delta region. *Urban Planning Forum*, 2016(2): 35-44. [陆天赞, 吴志强, 黄亮. 网络关系与空间组织: 长三角与美国东北部城市群创新合作关系的比较分析. *城市规划学刊*, 2016(2): 35-44.]
- [47] Ma Haitao. Triangle model of Chinese returnees: A tentative method for city networks based on talent flows. *Geographical Research*, 2017, 36(1): 161-170. [马海涛. 基于人才流动的城市网络关系构建. *地理研究*, 2017, 36(1): 161-170.]
- [48] Wu Jiansheng, Liu Hao, Peng Jian, et al. Hierarchical structure and spatial pattern of China's urban system: Evidence from DMSP/OLS nightlight data. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(6): 759-770. [吴健生, 刘浩, 彭建, 等. 中国城市体系等级结构及其空间格局: 基于 DMSP/OLS 夜间灯光数据的实证. *地理学报*, 2014, 69(6): 759-770.]
- [49] Dai Teqi, Liu Yi. Temporal variations in parameters of gravity model: An analysis on China's inter-city railway passenger flows. *Progress in Geography*, 2008, 27(4): 110-116. [戴特奇, 刘毅. 重力模型系数时间变化路径分析: 以中国城际铁路旅客交流为例. *地理科学进展*, 2008, 27(4): 110-116.]
- [50] Zheng Qingjing, Dai Teqi, Tao Zhuolin, et al. Spatial heterogeneity of gravity model parameters: A case study of inter-city railway passenger flow in China. *Progress in Geography*, 2014, 33(12): 1659-1665. [郑清菁, 戴特奇, 陶卓霖, 等. 重力模型参数空间差异研究: 以中国城市间铁路客流为例. *地理科学进展*, 2014, 33(12): 1659-1665.]
- [51] 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, 谭一铭, 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.]
- [52] Chen Wei, Xiu Chunliang, Ke Wenqian, et al. Hierarchical structures of China's city network from the perspective of multiple traffic flows. *Geographical Research*, 2015, 34(11): 2073-2083. [陈伟, 修春亮, 柯文前, 等. 多元交通流视角下的中国城市网络层级特征. *地理研究*, 2015, 34(11): 2073-2083.]
- [53] Derudder B, Witlox F, James Faulconbridge J, et al. Airline data for global city network research: Reviewing and refining existing approaches. *GeoJournal*, 2008, 71(1): 5-18.
- [54] Zhen Feng, Wang Bo. Rethinking human geography in the age of big data. *Geographical Research*, 2015, 34(5): 803-811. [甄峰, 王波. “大数据”热潮下人文地理学研究的再思考. *地理研究*, 2015, 34(5): 803-811.]
- [55] Meng Deyou, Feng Xinghua, Wen Yuzhao. Urban network structure evolution and organizational pattern in Northeast China from the perspective of railway passenger transport. *Geographical Research*, 2017, 36(7): 1339-1352. [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. *地理研究*, 2017, 36(7): 1339-1352.]
- [56] Li Zhifeng, Zhao Miaoxi. City networks in cyberspace: Using Douban-Event to measure the cross-city activities in urban agglomeration of China. *Human Geography*, 2016, 31(6): 102-108. [黎智枫, 赵渺希. 赛博空间视角下中国三大城市群网络特征: 基于豆瓣跨城活动数据. *人文地理*, 2016, 31(6): 102-108.]
- [57] Yang Zhenshan, Long Ying, Douay Nicolas. Opportunities and limitations of big data applications to human and economic geography: The state of the art. *Progress in Geography*, 2015, 34(4): 410-417. [杨振山, 龙瀛, Nicolas Douay. 大数据对人文—经济地理学研究的促进与局限. *地理科学进展*, 2015, 34(4): 410-417.]
- [58] Wei Ye, Xiu Chunliang, Liu Zhimin, et al. Spatial pattern of city network in transitional China based on the population flows in "Chunyun" period. *Scientia Geographica Sinica*, 2016, 36(11): 1654-1660. [魏冶, 修春亮, 刘志敏, 等. 春运人口流动透视的转型期中国城市网络结构. *地理科学*, 2016, 36(11): 1654-1660.]
- [59] Zhao Ziyu, Wei Ye, Wang Shijun, et al. Measurement of directed alternative centrality and power of directed weighted urban network: A case of population flow network of China during "Chunyun" period. *Geographical Research*, 2017, 36(4): 647-660. [赵梓渝, 魏冶, 王士君, 等. 有向加权城市网络的转变中心性与控制力测度: 以中国春运人口流动网络为例. *地理研究*, 2017, 36(4): 647-660.]
- [60] Fenghua Pan, Wenkai Bi, James Lenzer, et al. Mapping urban networks through inter-firm service relationships: The case of China. *Urban Studies*, 2017, 54(12): 1-16.
- [61] Leng Bingrong, Yang Yongchun, Li Yingjie, et al. Spatial characteristics and complex analysis: A perspective from basic activities of urban networks in China. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(2): 199-211. [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. *地理学报*, 2011, 66(2): 199-211.]

Research progress of networking of urban systems in China

HU Guojian¹, CHEN Chuanming¹, JIN Xingxing², WANG Qiang¹

(1. School of Geographical Science, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China;

2. School of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

Abstract: At present, there is a consistency that the focus of urban system research has shifted from the hierarchical to network paradigm. Based on an extensive review of existing studies, this paper investigates the shift of paradigm of China's urban system research since the 1980s, and discusses the development situation, main problems, and key topics of related research on urban network. The results show that: (1) After 2010, the amount of literature about urban network has increased dramatically and become the mainstream of urban system research, while the number of studies on the hierarchy system decreased. And the existing studies mainly focus on the urban system at national level and in the Yangtze River Delta. (2) The attribute data to a certain extent compensate for the lack of data in the early urban network research. Meanwhile, although the gravity model was widely used in these studies, its suitability is gradually decreasing. (3) In contrast, the relationship data have attracted scholars' attention, which is mainly applied to the urban system research from three perspectives: enterprise organization, traffic flow and information flow. However, due to the limitations of different perspectives, a comprehensive research on multiple perspectives has gradually become imperative. (4) The identification analysis has been the dominant theme of urban network research. Visualization analysis and design for urban system is mainly supported by directed unprivileged networks and undirected weighted networks. (5) Five important aspects of urban network research in future include adjusting the research framework of national urban network, examining the physical connections between cities directly without traffic data, measuring the horizontal linkages between the outside enterprises, analyzing and visualizing the directed weighted network research, and intensifying the geospatial characteristics of urban network research.

Keywords: urban system; urban network; research paradigm; research progress; China