

# 地理学视角下城市复杂性研究综述 ——基于近20年文献回顾

薛冰<sup>1,2</sup>, 赵冰玉<sup>1,3</sup>, 李京忠<sup>2,4</sup>

(1. 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016; 2. 辽宁省环境计算与可持续发展重点实验室, 沈阳 110016;  
3. 中国科学院大学, 北京 100049; 4. 许昌学院城乡规划与园林学院, 河南 许昌 461000)

**摘要:**城市作为组织结构复杂的开放人地地域系统,一直是地理学的研究核心之一。论文以2000—2020年相关文献为数据源,构建一套定量分析与定性认知相结合的文献分析判读体系,基于地理学视角从概念内涵、研究主题、技术方法等方面综述城市复杂性研究成果并开展讨论。过去20 a来,中国的城市复杂性研究逐渐从单尺度的格局、过程和机制研究转向于多尺度下复杂交互过程的集成与综合研究,并逐步形成了城市设施网络、城市人居环境、城市经济活动以及城市空间治理4个主要主题,在数据方法上逐步转向于空间技术及社会计算支持下的全景式全生命周期数据支撑的多维场景化分析。今后及未来一段时期,地理学视角下的城市复杂性研究需要进一步加强城市数字基础设施建设及全周期信息采集能力,加深对城市生态经济体系的综合测度及监控,增强跨区域发展机制影响下的城市流空间研究。

**关键词:**城市复杂性;人地关系;城市地理;城市空间结构;城市治理

地理学视角下的城市是复杂开放的典型人地地域系统<sup>[1]</sup>,其生产、生活和生态空间的格局分布及其内外物质流、信息流、资本流、价值流以及人流等都具有高强度高密度特征<sup>[2]</sup>。随着信息技术的迭代式发展及新型基础设施建设的推进,城市内部空间的物质循环、能量消耗以及信息流动的组织方式亦发生不同程度的响应及变革<sup>[3]</sup>,其空间结构更为扁平化<sup>[4]</sup>,但功能类型、组成要素及网络连接程度却趋于增强<sup>[5-6]</sup>,系统内及系统间的多维度、多结构、多层次、多要素间的关联关系更具复杂化<sup>[7]</sup>,这不仅表现在城市系统演化动力等方面结构化变动<sup>[8]</sup>,也反映在城市发展规律和模式<sup>[9]</sup>及其经济空间<sup>[10]</sup>等诸多具体发展领域,因此,揭示城市复杂性是推进和实现包容性可持续城市化的重要科学路径<sup>[11-12]</sup>。

作为致力于认识人类活动与地球表层自然特征的交互作用和深刻变化的学科<sup>[13]</sup>,地理学主要以

“空间”为研究对象<sup>[14]</sup>,以可视化、综合性、区域性和交叉性为特点<sup>[15-19]</sup>。地理学视角下的城市研究,关注城市空间要素、要素综合体及系统时空组织及过程、演化机制、区域特征等<sup>[9,20-23]</sup>,侧重于城市系统的结构、层级、物质和能量关系等<sup>[24-26]</sup>。从地理学的“格局—结构—过程—机理”而言<sup>[25]</sup>,城市系统演化是建立在复杂<sup>[26]</sup>、自组织及开放<sup>[27]</sup>的基础上,由内在交互作用机制为主要驱动力<sup>[28]</sup>,以系统整体演进<sup>[29]</sup>、结构<sup>[30]</sup>及功能演替<sup>[31]</sup>为主要内容的空间形式,具有格局复杂性、时空演化复杂性、主体行为及相互作用关系复杂性等复杂性表征<sup>[32-34]</sup>。

长期以来,基于统计、社会调查及遥感影像等传统数据从宏观层面对城市系统复杂性进行定性描述,为城市规划等提供了广泛的决策支持。但随着感知及网络技术的发展,城市空间数据的时空密度及数据种类得以提升,以手机信令数据、交通轨

收稿日期:2021-02-08;修订日期:2021-10-26。

基金项目:国家自然科学基金项目(41971166);辽宁省自然科学基金指导计划(20180550831)。[Foundation: National Natural Science Foundation of China, No. 41971166; Natural Science Foundation of Liaoning Province, No. 20180550831.]

第一作者简介:薛冰(1982—),男,江苏连云港人,研究员,教授,博士生导师,主要从事人地关系分析与区域可持续发展研究。E-mail: xuebing@iae.ac.cn

引用格式:薛冰,赵冰玉,李京忠. 地理学视角下城市复杂性研究综述: 基于近20年文献回顾[J]. 地理科学进展, 2022, 41(1): 157-172. [Xue Bing, Zhao Bingyu, Li Jingzhong. Urban complexity studies from the perspective of geography: A review based on the literature in the past 20 years. Progress in Geography, 2022, 41(1): 157-172.] DOI: 10.18306/dlkxjz.2022.01.014

迹数据、个人时空行为数据等为代表的“对人观测”数据更加突出强调人类活动全时空及全样本记录<sup>[35-36]</sup>,以兴趣点(point of interest, POI)、城市街景、夜间灯光等“对地观测”数据在传统遥感数据等的基础上实现对城市的更精细化描绘<sup>[37]</sup>,两者形成的“人”“地”系统数据具有大体量、多类型等显著的大数据特征<sup>[38-40]</sup>,并逐步实现了对城市的全景和多时间维度覆盖,进而与传统数据一起为城市系统复杂性的研究提供新的数据语境,引发新的思维和研究范式<sup>[39-43]</sup>,如地理信息大数据平台建设、城市产业全生命周期管理及基于智慧技术的城市规划体系框架等在监测、分析和应对城市重大变化中发挥了重大作用<sup>[41-42]</sup>。尽管地理学视角下的城市复杂性研究中已取得了较为丰硕的成果,但在新技术发展及社会转型背景下,迫切需要加强面向高质量发展的城市复杂性的理论体系、测度方法及实证研究的广度和深度,为支撑城市可持续发展建设提供决策支撑。

过去 20 a 是中国城市地理研究蓬勃发展的 20 a,也是基于传统数据语境的城市研究向新数据驱动的新城市研究逐步转向的 20 a。基于此,本文主要基于中国知网(CNKI)和 Web of Science 核心合集数据库中地理学期刊及地理学者发表的关于城市复杂性文献,辅以相关的学术著作及公开讨论或报告,系统总结并讨论地理学视角下城市复杂性内涵特征、研究主题及发展过程、方法学演变等问题,旨在为新时期城市复杂性研究提供新的总结和知识发现,以期未来城市复杂性研究能够有效地实现跨学科融合发展。

## 1 数据和方法

### 1.1 数据来源

检索文献主要来源于 CNKI 和 Web of Science 核心合集数据库。参考陈发虎等<sup>[5]</sup>、傅伯杰<sup>[13]</sup>提出陆地表层是一个无法分割、要素种类及数量繁多的有机整体,研究对象应包括空气、水等自然要素和经济、产业等人文要素的观点以及柴彦威等<sup>[44]</sup>、甄峰等<sup>[45]</sup>、贺灿飞<sup>[46]</sup>提出的城市治理是城市可持续发展的主要保障,也是城市研究的重要成分之一的观点,通过 CNKI(中文文献)或 Web of Science(英文文献)的高级检索功能,以“空气”“水”等自然要素、“产业”“经济”“基础设施”等人文要素、“空间结构”

“社会结构”“城市治理”等城市治理等相关内容以及“城市复杂性”“复杂性理论”“适应性复杂性”“网络复杂性”等复杂性延伸词汇为主题,以“地理”(模糊)为文献来源(英文以含“Geography”或“Geographic”或“GIS”)进行文献检索。检索年份为 2000—2020 年,并经过人工检查筛选后,共得到原始文献 746 篇,其中中文文献 396 篇,英文文献 350 篇。

### 1.2 研究方法

在结合学者们关于文献综述分析方法的基础上,构建了“定量分析+定性感知”文献分析体系(图 1)。采用 CiteSpace 软件对文献进行关键词聚类分析,绘制关键词时间线图、时间切片和突显词词谱,并从图谱中分析出城市复杂性研究在 2000—2020 年的演化趋势;在此基础上加入数理分析和文本分析,统计不同研究领域或研究方法的文献数量并对其进行特征值进行提取,总结出城市复杂性研究的概念演化、研究主题及数据方法。

## 2 城市复杂性主要研究进展

### 2.1 城市复杂性的概念及特征

自 19 世纪起,城市地理学家开始关注城市复杂性研究,Schlüter<sup>[47]</sup>认为梳理要素间关系是解释现存空间形态的关键,在此影响下,Park 等<sup>[48]</sup>通过对美国芝加哥市的调查,总结出城市人口流动对城市功能分异的 5 种作用力并由此提出同心圆学说;克里斯泰勒<sup>[49]</sup>通过分析一个地点对周围地区的相对意义

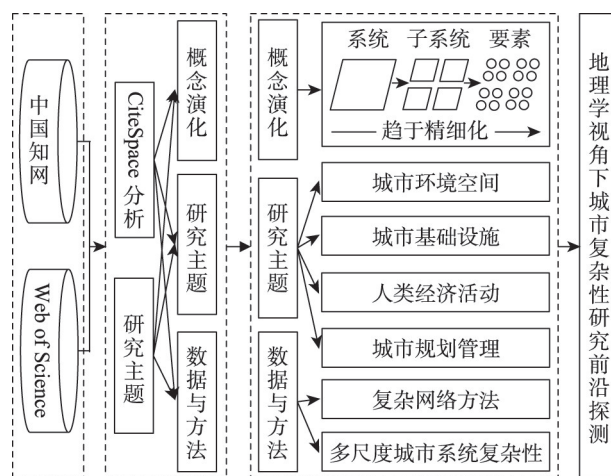


图1 融合“定性感知+定量分析”的文献分析方法技术路线图

Fig.1 Technological roadmap of the bibliometric analysis

的总和提出中心地理论。随后,钱学森先生<sup>[50]</sup>明确强调城市是一个开放的复杂巨系统,系统与周边环境存在物质、能量和信息的交换;吴传钧先生<sup>[51]</sup>进一步揭示子系统间的物质循环和能量转化是城市发展变化的根本原因。过去20 a中,以宋长青等为代表的中国地理学者,提出将复杂性视为地理学的第三特征<sup>[26,52]</sup>,复杂性研究是地理学成功的新路径,并解释了地理复杂系统的基本概念<sup>[26]</sup>。近几年以来,地理学视角下的城市复杂性研究逐步展现出重视空间大数据及相邻学科理论、方法的应用,注重地理过程的动态化和多尺度下复杂交互过程的综合化研究<sup>[53]</sup>。如Batty<sup>[54]</sup>将城市理解为物质或非物质的流和关系网络,认为流的累加或结合产生了势能,拉动城市要素形成一定的空间格局,而网络表示流运行的组织结构;张恩嘉等<sup>[55]</sup>认为颠覆性技术驱动下城市研究的认识论、本体论、方法论和研究客体均发生变化,从认识论和本体论中认知新城市的特征,基于大数据开展精细化、定量化和全面化<sup>[56]</sup>城市模型探索,为城市研究带来了新的视角和发现。国内外地理学者对城市复杂性概念及内涵认识亦经历着从现象、过程和知识的发现与描述、单一尺度影响因素和动力机制的挖掘,借助大数据机器学习等向破译多尺度城市复杂性综合本质特征转变。而经济全球化和“一带一路”倡议等全球治理体系及国家治理政策等对城市社会经济、文化形态及空间结构等不断改变和重塑,未来还需对城市复杂性的新表征、新动力等进行深入探讨。

基于上述对城市复杂性概念及内涵演变分析,可以判定城市作为典型的开放复杂的人地巨系统这一基本地理学认知特征,系统内自然和人文要素称为“主体”<sup>[57]</sup>,主体具有学习力和适应性,能感知外界信息刺激,通过学习来调节自己的行为<sup>[58]</sup>。主体间及主体与环境的非线性交互及反馈作用称为“流”,流具有强度和方向性<sup>[59]</sup>。城市系统通过流实现物质循环、能量转化及信息交互,推动整体的状态演化,促使主体在空间上产生小区分异和功能分区<sup>[60]</sup>。由于系统内主体种类繁多,本质各异,层次关联复杂,流的强度和方向具有不确定性,致使复杂性程度增加,同时随着远距离人地系统连接性和流动性的不断强化<sup>[61]</sup>,流的空间流动范围从系统内或邻近系统扩展到更远距离,最终建立全球多尺度嵌套空间模式,并且在长时间序列下,系统因主体间、主体与系统间的发展不一致性产生时空复杂

性<sup>[62-65]</sup>(图2)。

## 2.2 主要研究主题

基于CiteSpace分析获取城市交通、城市人居环境及社区建成环境等30个高频关键词,在此基础上,借助CiteSpace关键词共现网络分析以及人工识别等方法对上述30个高频关键词进一步合并、归类,形成环境设施、交通设施及人工建成环境等17个关键词,同时参考傅伯杰院士<sup>[24]</sup>提出的地理学研究应以人地关系为主线,以环境动态、人类社会动态及区域综合分析为主要内容的观点,将上述17个关键词归为传统基础设施、新型基础设施、硬环境空间、软环境空间、国土空间规划、人文社会空间、产业空间集聚及环境经济效应8个研究热点和城市设施网络、城市人居环境、城市经济活动及城市空间治理4个研究主题,覆盖人文地理、自然地理和信息地理3大分支学科,并以此形成城市复杂性研究主题环(图3)。

### 2.2.1 城市设施网络

基础设施是城市发展的先决条件和重要支撑<sup>[66]</sup>,其内涵随经济和信息网络技术的发展而改变<sup>[61]</sup>。目前,中国有以社会服务、交通运输和生态环境为主体的传统基础设施<sup>[67]</sup>,也有以推动智能化信息基础设施建设、提升传统基础设施智能化水平为目的的新型基础设施<sup>[68]</sup>。在过去,城市系统的正常运转主要依赖于传统基础设施,确定城市对基础设施的需求结构、空间布局和时间特点是形成供需平衡的基本匹配预案的基础和支撑。地理学基于基础设施的空间异质性,通过多类型多时相遥感影像、POI和多级路网等多源数据,集成利用变异系数、空间自相关、地理探测器等方法,探讨基础设施产品的时空格局、可达性、供需水平、产业关联和协同发展等问题<sup>[68-69]</sup>,主要涉及公共交通<sup>[70]</sup>和城市绿地<sup>[71]</sup>等领域。例如,公共交通的复杂性主要从管理、道路和流量3个方面进行研究<sup>[72]</sup>,通过分析交通网络的拓扑特征、混合交通网络流量相互影响机制和道路负载能力空间布局<sup>[73]</sup>,进一步认识到交通网络形成机理和时空复杂性,对科学组织城市人口与物品的交通运输活动具有重要作用;城市绿地复杂性体现在景观结构的多样性与复杂性、城市绿地的建设与管理<sup>[74]</sup>,基于地理学掌握景观的空间分布、变化机制及速率是科学管理城市绿地的基础,保证绿地与土地利用模式、社会经济的协同发展是实现城市生态基础设施可持续发展的核心<sup>[75]</sup>。基于上述分



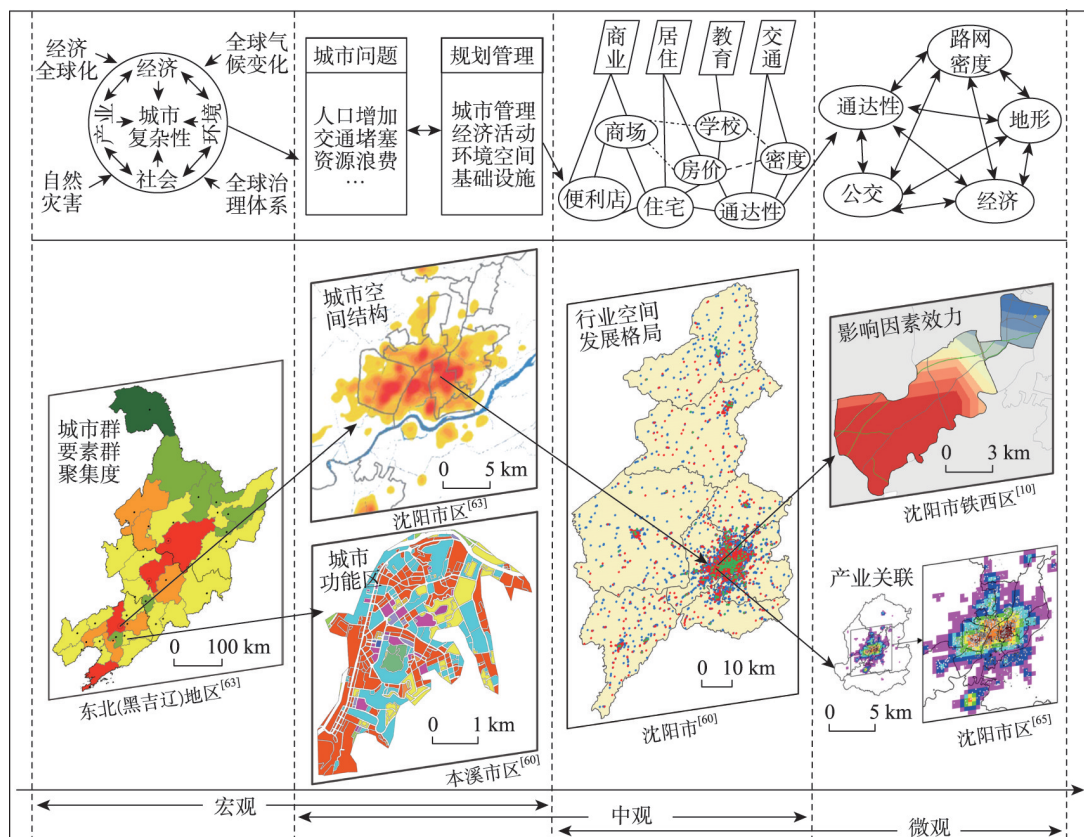


图2 城市复杂性研究的复合示意图

Fig.2 Framework of urban complexity research



图3 文献归类示意图

Fig.3 Schematic diagram of literature classification

析,基础设施产品具有长效服务机制,与社会经济、城市化、人口流动等相互依赖、驱动和促进<sup>[76]</sup>,如林建鹏等<sup>[77]</sup>证实了目前中国城市基础设施发展

具有不均衡性,表现在东部高、东北和西部低。自十八大以来,中国城市基础设施水平与城市经济发展水平相关性减弱,更加强调以人为本的城镇化。

目前,地理学已借助大量实证研究挖掘传统基础设施产品服务水平的区域差异性及其制约因素,未来还需及时、精准感知市场需求,避免过剩产能和供不应求等问题,如地理学重点围绕传统基础设施优化升级、新型基础设施长期高效运转及“人—物—网”一体化空间<sup>[78]</sup>建设等问题,通过解释区域整体结构和演化规律、先进生产要素(信息、人才、知识、创新等)的驱动作用及政府政策等要素的影响效力等,为系统创建新型基础设施网络提供决策支撑<sup>[79]</sup>,为进一步促进地理学在新型基础设施建设领域的交叉融合提供启示。

### 2.2.2 城市人居环境

城市人居环境是居民生活的主体<sup>[80]</sup>,分为硬环境空间和软环境空间,其中:硬环境空间包括人工建成环境和自然生态环境,软环境空间主要指网络空间和社会文化空间。在硬环境空间方面,在新型城镇化和全球气候变化背景下<sup>[81]</sup>,城市更容易遭受环境变化带来的不利影响,使得对自然和人文环境现象的描述、预测、风险和敏感性评估、响应策略制定成为热点话题<sup>[82]</sup>。地理学对城市环境空间组织影响和作用机理的认知,从早期强调热岛效应、空气质量等现象的时空布局特征<sup>[83-84]</sup>,继而考虑自然和人文因素的驱动作用和环境的承载力,而后又从经济社会和人类活动视角关注居民感知、演化趋势和环境治理的问题<sup>[85-86]</sup>,经历了一个由表及里、由浅入深、由表象描述到机制分析的渐进过程<sup>[87]</sup>。目前,环境规划治理和政策制定是实现生态环境健康的关键策略<sup>[88-89]</sup>,而城市环境治理复杂性体现在管理主体的多元性和涉及领域的广泛性,需考虑城市作为社会—经济—生态复合系统的复杂性<sup>[90]</sup>。因此,跨尺度的环境空间表征、过程及机制研究对城市如何在全球化过程中提高自身的竞争力、适应力和学习能力,实现利益的最大化以及在全球气候变化中如何增加城市稳定性和管治城市具有现实意义<sup>[91]</sup>,如以珠江三角洲为示范区进行海岸带综合风险评估与制图证实珠江流域防洪标准中尚未考虑气候变化因素,应将防范标准至少分别提高一个级别<sup>[92]</sup>。在软环境空间方面,通信技术的快速发展促使网络空间成为人类生产生活的主要场所之一<sup>[93]</sup>。网络空间是“网络—现实”复杂系统中的智能主体,与现实空间在时间和空间上都具有渗透、改变和转移的性质。网络舆情是社会舆情在虚拟空间的延伸,对社会舆情具有反作用,会影响社会治理的方向<sup>[94]</sup>,其复杂性在于网民行为不确定性及结构复杂

性、商业传播和政府的治理引导等多维度的耦合关系<sup>[95]</sup>。地理学基于空间统计比较网络和社会舆情的时空及数量特性,认为网络和社会舆情空间传播强度具有一致性,地理距离在网络传播过程中具有不可忽视的作用<sup>[96]</sup>,宋鹏飞等<sup>[97]</sup>、赵燕慧等<sup>[98]</sup>在研究海量的突发事件网络舆情信息,如新冠肺炎疫情、日本核废水入海等时,采用中文分词、词性标注和GIS空间化表达等方法,总结不同类型网络舆情的时空分布特征和差异性,进一步透视社会舆情存在的地理规则,及时准确地把信息优势转化为决策优势,为决策者及时处理突发事件提供技术支持<sup>[99]</sup>。因此,探索网络舆情的动态过程和演变机制是预测现实事件发展趋势的关键一步,对精准实施公共事件处理提供决策支持。基于上述分析,地理学视角下城市人居环境复杂性的研究主要集中于城市硬环境或软环境空间单一角度,甚少提及城市硬环境和软环境的协同发展,而城市高质量、高品质人居环境的建设需要城市硬环境和软环境的有机结合,未来地理学还需关注城市硬环境和软环境空间相互促进或抑制机制的问题,例如,如何基于城市历史文化底蕴构建城市硬环境空间提升人居环境质量及如何基于城市硬环境空间赋予地物文化属性打造“网红”景点拉动城市经济发展。

### 2.2.3 城市经济活动

经济活动是城市发展的主要驱动力,是城市复杂性的核心体现,主要表现在产业经济活动的组织形式及效应<sup>[100]</sup>。当前,产业经济复杂性的主体是企业,主要表现在企业创新系统、产业集群、供应链和知识复杂度<sup>[101]</sup>。例如,基于复杂适应系统(CAS)体系中的刺激—反应模型,企业通过沟通、竞争、合作三阶段的循环往复,获取对环境的“刺激”,同时内部从知识、技术、信息等多方面提升竞争力,响应外部环境变化,企业可与区域内具有共性或互补性的企业形成产业集群获得竞争优势<sup>[65]</sup>。地理学基于多尺度、多地域分析验证了企业内生力量、政府行为导向和区域增长等均从不同层面影响企业创新能力及多类型产业集群的演化机制<sup>[102-103]</sup>。供应链是产业经济系统中的物质和资金流动渠道,其复杂性表现在供应链主体和网络结构复杂性<sup>[104]</sup>、社会经济环境动态性,研究切入点是供应链适应能力、协调性及网络结构演化<sup>[105]</sup>,地理学基于实地研究和经济统计年鉴数据,利用相关变化的地理分布及速率阐明供应链面临的外部环境变化,有助于供应链系统及时调整自身、自身与环境的关系以获得良好的



生存环境和维持相对稳定性<sup>[106]</sup>,如面对以全球化脱钩、贸易保护主义、贸易摩擦等为显著特征的新经济全球化,金凤君等<sup>[107]</sup>、潘峰华等<sup>[108]</sup>认为中国城市应建立以“一带一路”倡议为核心的生产—贸易供应链和国内、国际双循环相互促进的新发展格局。产业集群是对区域内部各种资源空间结构优化的过程,并逐渐形成产业集聚效应,对区域产业竞争和经济发展发挥重大作用,如京津冀技术密集型产业集聚是提升区域知识复杂度、拉动经济发展的关键因素<sup>[109-110]</sup>。知识复杂度是产业经济系统发展的驱动力<sup>[111-113]</sup>,由区域内知识主体数量<sup>[114]</sup>与知识主体间的联系(集体知识)决定<sup>[115]</sup>,知识复杂度越高,空间粘性越强,区域竞争力越大<sup>[116]</sup>。需要进一步指出的是,在当前国际国内“双循环”的背景下,城市经济活动组织形式、产品服务及原材料、资金流及信息流等空间流动形式和流动范围亦将发生显著改变,而目前地理学视角下城市经济活动复杂性研究仅限于单一尺度下的组织形式及效应研究,较少关注多尺度下城市经济活动复杂性的形成机制及演变趋势,因此,如何结合时代发展主题,进一步加强城市经济活动复杂性的纵深研究,特别是从地理学视角开展流空间以及新型产业空间关系及其在不同尺度上的交互机制研究,是当前及未来一段时期的重要挑战。

#### 2.2.4 城市空间治理

城市空间治理是国家空间治理的主要阵地<sup>[117]</sup>,是由治理环境、治理主体、治理方法和治理客体构成的相互影响、相互关联的复杂开放系统<sup>[118]</sup>,是分配和协调城市空间资源,协控政府、市场和社会等多方利益关系的重要过程,是提升空间生产效率、优化空间社会秩序的重要抓手<sup>[119]</sup>。城市空间治理能力和水平的提升是解决城市各类空间规划冲突、缓解城市人地关系失调、增进人民福祉的重要治理维度<sup>[120]</sup>。“以人为本”新型城镇化战略的重点推进和互联网技术的广泛应用促进多元共治、精细化、数字化、智慧化和智能化治理格局的形成<sup>[121-122]</sup>,也引发治理客体范畴及复杂性增加等治理问题,表现在城市物质空间范围、形态、肌理、要素的更新,城市非物质空间意识形态感知、建构、维稳、整治,城市物质空间与非物质空间的相互促进和掣肘,城市突发事件频发等,诸如城市空间扩展及更新、地域功能分异、居民日常行为空间感知、城市文化空间建构、城市物质及网络空间的深度融合、城市应急管

理等<sup>[123-126]</sup>。地理学侧重于个体时空行为及空间分异、空间关系、时空过程、影响因素乃至形成机制等方面的研究,为挖掘治理对象存在的时空和社会属性,描述治理对象与城市环境及大尺度过程间交互关系,刻画治理对象在时空上的差异性需求提供可能,进而为制定精细化治理、政策调整及效应分析方案提供技术和决策支撑<sup>[127]</sup>。例如,叶强等<sup>[128]</sup>借助多时间段土地利用现状图对1979—2014年长沙市城市功能用地扩展模式进行分析,发现该城市存在城市运行效率低下、资源浪费及功能融合度差等问题,建议制定具有地域特色的空间规划方案;面对突发性公共卫生事件,叶玉瑶等<sup>[129]</sup>借助大数据与地理空间分析技术,探究COVID-19疫情时空演化过程,整合关键风险来源和对城市的影响,针对疫情发展实时提出可行性政策;谌丽等<sup>[130]</sup>对中国40个重点城市的城市文化氛围满意度调查数据进行分析,结果表明,文化消费层次、文化设施、历史文化积淀和居民个体因素对城市文化氛围满意度均有显著影响,从而为从城市文化空间建构视角提高居民文化自信和生活质量提供了依据。目前,地理学视角下城市空间治理复杂性研究主要集中在城市产业、环境等治理客体复杂性,却未注意到如何进行城市空间治理的顶层设计<sup>[131-132]</sup>,合理分配城市空间资源,以及协调各方利益也是优化空间社会秩序的重要保障,因此,如何借助互联网平台构建扁平化/参与式治理平台,形成政府、居民及社会多元长效协同机制及如何结合地理学、物联网感知等技术探索城市居民多元化需求、城市物质及非物质空间在空间治理作用下的演进及优化等是促进“多规合一”改革、实现“共建共治共享”和“精细化治理”的重要保障<sup>[133]</sup>,应该说,在城市空间治理中,地理学的学科理论及关联技术越来越发挥着重要的基础及关键性作用。

#### 2.3 城市复杂性研究数据与方法

地理学视角下的城市复杂性研究分为两阶段(图4)。早期的研究分为多尺度城市复杂性和复杂网络研究。多尺度城市复杂性研究以问卷调查、统计年鉴和遥感影像等数据,利用分形理论(表1),找到城市部分过渡到整体的桥梁,形成结构和递阶尺度方面的多分维谱,描述城市功能结构复杂性,借助元胞自动机,模拟城市生长,对未来发展作出情景分析,包括城市细节模拟、城市分形模拟、城市增长机制和城市人口增长的历史过程等<sup>[131-135]</sup>。复杂

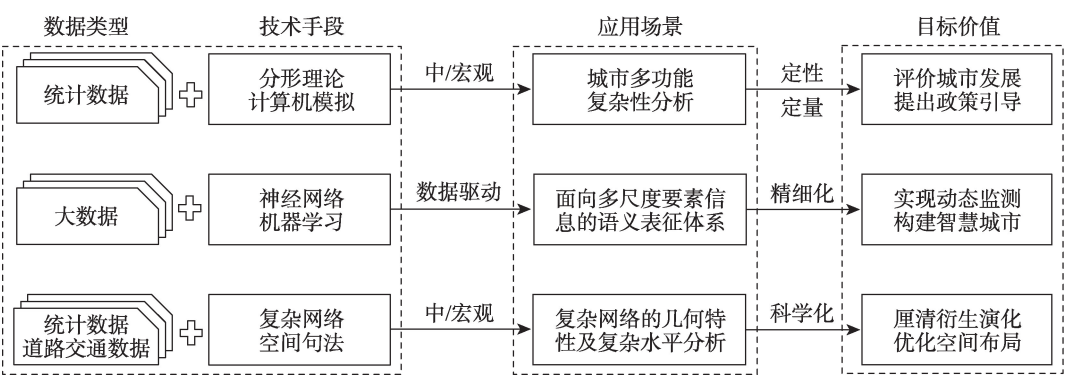


图4 多时期数据在城市复杂性中的应用框架

Fig.4 Application framework of multi-period data in urban complexity research

表1 主要研究方法

Tab.1 Main research methods			
研究方法	原理	主要参数	应用场景
分形理论	复杂现象内部的自相似性,分为多个相对独立的部分,根据分形维度和分形元特征刻画现象内部、现象间的互动行为,探究混沌事物内部的结构 <sup>[135]</sup>	长度、分支及盒子维数	土地利用、城市边界、城市化空间过程
元胞自动机	复杂系统通过相对简单的决策准则演化而成 <sup>[134]</sup>		细节模拟、分形模拟、城市增长机制
复杂网络	复杂网络是指具有自组织、自相似、吸引子、小世界、无标度中部分或全部性质的网络,简而言之即呈现高度复杂性的网络。其复杂性主要体现在结构复杂、网络演化、节点和连接多样性、动力学复杂性等方面 <sup>[136]</sup>	特征路径长度、聚合系数	城市群、多级道路、公共交通(公交、地铁、高铁)、产业、流空间
空间句法	空间句法是将大尺度复杂网络分割成大量小尺度的基本单元,以量化的方式描述节点间的几何、距离和拓扑等,说明空间分异特征 <sup>[137]</sup>	连接值、集成度、深度值、智能值和可达性评价值	
机器学习	机器学习是一类综合的方法,通过模拟人类的学习行为,获取新的知识或技能,进行复杂系统的分类、辨别和推演。主要模型有决策树、随机森林、人工神经网络与贝叶斯学习等 <sup>[138]</sup>		智慧城市、数字孪生城市

网络研究是从城市道路交通的几何拓扑特征研究开始<sup>[136]</sup>,以道路数据、公交车或地铁线路及站点数据为数据源,基于复杂网络和空间句法,采用节点中心性、平均路径长度、群聚系数、社区检测、连接值、集成度和深度值等指标或方法对网络的节点、连接和系统动力进行分析,认识复杂网络的拓扑结构演化及复杂性涌现过程<sup>[137]</sup>。随着新一代信息技术的发展,基本实现对地球表面整体空间,直至每个参与其中的个体的数据采集,并形成数量巨大、结构复杂、类型众多的数据集合。大体量的全景、全生命周期数据为城市复杂性的研究提供了新的思维方法,引发新的研究范式。机器学习等研究方法基于多源数据进行学习策略的探索和潜在结构的发现,将所得模型计算的结果作为新的数据样本进行循环迭代,实现模型的自我学习,实现城市的多方位感知、精细计算和高度仿真<sup>[138]</sup>。目前主要应

用领域有:城市生长模拟、城市生命周期中主体行为模式和城市活动实时监测。但由于地理学者大数据获取受限、对国际和国内政策、面向高质量发展转型中的城市认识不足,未将大数据及其方法在城市复杂性研究中的优势完全展现,应尽快实现大数据共享平台的建设,以便为数字孪生城市和智慧城市的建设提供支持。

3 结论与展望

通过“定性感知+定量分析”的文献分析法对2000—2020年地理学视角下城市复杂性研究进行回顾,得到一些新认知与新思考:①近20a来地理学视角下城市复杂性概念与内涵的认知由单一尺度静态化“表征—过程—机制”分析向多尺度动态化复杂交互过程的综合化研究转变,在经济、科技

快速发展及学科交叉融合中实现对城市复杂性的深化认知;② 主要研究主题包括城市设施网络、城市人居环境、城市经济活动和城市空间治理4个方向,为基础设施服务、经济发展、空间环境优化与治理等提供决策支持,也为推动区域可持续发展做出贡献;③ 数据与方法从城市表象的定性描述到城市精细测度,并逐渐转向于城市孪生及场景化。研究始终注重面向国际科学前沿与相邻学科方法的应用,积极推进数据采集与集成、模拟仿真等研究,促进方法的创新和新兴领域的发展。目前,随着网络及社会感知技术的快速发展,城市人地关系的广度和深度进一步深化,城市复杂性进一步加深,目前及未来一段时期,地理学视角下的城市复杂性研究依然存在着若干亟待解决或突破的关键科学问题。

第一,加强城市复杂性的尺度性研究,挖掘机理机制。目前,地理学已立足城市经济发展、生态文明建设等诉求,对单一尺度下城市宏观、中观及微观主体的形成机理、发展模式、耦合关系及影响因素效力等进行了深入研究,但对跨尺度的交互反馈现象关注不足,且对跨尺度的交叉反馈的深层次认知仍待深化。未来还需融合宏观、中观及微观尺度建立全景式管理与决策模型<sup>[136]</sup>,推动对城市复杂性的尺度解构,增强产业生态网络设计、环境生态过程模拟等主要模块的尺度认知,促进以数据为中心的扁平化管理模式的建立。

第二,丰富和完善大数据校验方法,提高数据精度。目前,地理学热衷于大数据的实践应用,已将城市复杂性研究与现代信息技术要素充分结合,精准感知城市肌理脉络、解析地域功能生长发育过程<sup>[135-138]</sup>,为实现城市精细化监测及智能化管理提供技术支撑。但大数据的校验及精准度提升仍关注不足,未形成系统性数据检验及矫正体系,未来还需构建数据标准化管理体系、丰富数据检验方法,从数据生产、采集、管理及应用等多个环节提升数据质量,减少因数据精度低下造成的结果偏差率。

第三,加强跨区域发展机制影响下城市流空间研究,侧重全球关系表达。在“一带一路”倡议和全球化背景下<sup>[139]</sup>,地理学的研究尺度已从中国区域转向全球尺度,并已通过解析全球政治、经济格局及相关政策等<sup>[140]</sup>对中国区域城市的外部环境复杂性等进行深入探讨<sup>[141-143]</sup>,未来也需要进一步加强地缘政治等学科在城市复杂性中的探索及实证,补充形成具有中国地理特色的城市复杂性研究范式,并着重研究经济全球化、贸易摩擦等背景下中国城市运

行机理转变与决策价值发现<sup>[144-147]</sup>,并利用总集成升华为中国国情与语境背景下的知识输出。

## 参考文献(References)

- [1] 陆大道,姚士谋,李国平,等. 基于我国国情的城镇化过程综合分析[J]. 经济地理, 2007, 27(6): 883-887. [Lu Dadao, Yao Shimou, Li Guoping, et al. Comprehensive analysis of the urbanization process based on China's conditions. *Economic Geography*, 2007, 27(6): 883-887.]
- [2] 薛冰,李京忠,肖骁,等. 基于大数据的城市人地关系分析与应用计算平台: 2018年中国地理学会地理大数据计算环境“优秀实用案例”[J]. 全球变化数据学报, 2018, 2(3): 290-294. [Xue Bing, Li Jingzhong, Xiao Xiao, et al. A big-data-based platform for human-land relations analysis and application in urban areas: The GSC best practice data computing environment 2018. *Journal of Global Change Data & Discovery*, 2018, 2(3): 290-294.]
- [3] Furlong K. Small technologies, big change: Rethinking infrastructure through STS and geography[J]. *Progress in Human Geography*, 2011, 35(4): 460-482.
- [4] Li L F. Geospatial constrained optimization to simulate and predict spatiotemporal trends of air pollutants[J]. *Spatial Statistics*, 2021, 45: 100533. doi: 10.1016/j.spas-ta.2021.100533.
- [5] 陈发虎,张国友. 中国地理学的发展[J]. 科技导报, 2020, 38(13): 12-18. [Chen Fahu, Zhang Guoyou. Development of geography in China. *Science & Technology Review*, 2020, 38(13): 12-18.]
- [6] 杨保军,郑德高,汪科,等. 城市规划70年的回顾与展望[J]. 城市规划, 2020, 44(1): 14-23. [Yang Baojun, Zheng Degao, Wang Ke, et al. Review and prospect of urban planning development in the past 70 years. *City Planning Review*, 2020, 44(1): 14-23.]
- [7] 宋刚,唐蔷. 现代城市及其管理: 一类开放的复杂巨系统[J]. 城市发展研究, 2007, 14(2): 66-70. [Song Gang, Tang Qiang. Modern urban management: An open complex giant system. *Urban Studies*, 2007, 14(2): 66-70.]
- [8] Zhu Q R, Leibowicz B D. Vehicle efficiency improvements, urban form, and energy use impacts[J]. *Cities*, 2020, 97: 102486. doi: 10.1016/j.cities.2019.102486.
- [9] Zhang F Z, Chung C K L, Yin Z H. Green infrastructure for China's new urbanisation: A case study of greenway development in Ma'an Shan[J]. *Urban Studies*, 2020, 57(3): 508-524.
- [10] 薛冰,肖骁,李京忠,等. 基于POI大数据的老工业区房价影响因素空间分异与实证[J]. 人文地理, 2019, 34(4): 106-114. [Xue Bing, Xiao Xiao, Li Jingzhong, et al.



- POI-based analysis on the affecting factors of property prices' spatial distribution in the traditional industrial area. *Human Geography*, 2019, 34(4): 106-114. ]
- [11] Lai S-K, Han H Y. Urban complexity and planning: Theories and computer simulations [M]. London, UK: Routledge, 2016.
- [12] Elmqvist T, Andersson E, Frantzeskaki N, et al. Sustainability and resilience for transformation in the urban century [J]. *Nature Sustainability*, 2019, 2: 267-273.
- [13] 傅伯杰. 联合国可持续发展目标与地理科学的历史任务 [J]. *科技导报*, 2020, 38(13): 19-24. [Fu Bojie. UN sustainable development goals and historical mission of geography. *Science & Technology Review*, 2020, 38(13): 19-24. ]
- [14] Reed M G, Christie S. Environmental geography: We're not quite home: Reviewing the gender gap [J]. *Progress in Human Geography*, 2009, 33(2): 246-255.
- [15] Glückler J, Doreian P. Social network analysis and economic geography-positional, evolutionary and multi-level approaches [J]. *Journal of Economic Geography*, 2016, 16(6): 1123-1134.
- [16] 周素红, 张琳, 林荣平. 地理环境暴露与公众健康研究进展 [J]. *科技导报*, 2020, 38(7): 43-52. [Zhou Suhong, Zhang Lin, Lin Rongping. Progress and prospect of the research on geographical environment exposure and public health. *Science & Technology Review*, 2020, 38(7): 43-52. ]
- [17] Gong Y F, Yao Y X. Demographic changes and the housing market [J]. *Regional Science and Urban Economics*, 2021: 103734. doi: 10.1016/j.regsciurbeco.2021.103734.
- [18] 薛冰, 李京忠, 肖骁, 等. 基于兴趣点(POI)大数据的人地关系研究综述: 理论、方法与应用 [J]. *地理与地理信息科学*, 2019, 35(6): 51-60. [Xue Bing, Li Jingzhong, Xiao Xiao, et al. Overview of man-land relationship research based on POI data: Theory, method and application. *Geography and Geo-Information Science*, 2019, 35(6): 51-60. ]
- [19] Csomós G, Farkas Z J, Kolcsár R A, et al. Measuring socio-economic disparities in green space availability in post-socialist cities [J]. *Habitat International*, 2021, 117: 102434. doi: 10.1016/j.habitatint.2021.102434.
- [20] Turkina E, van Assche A, Kali R. Structure and evolution of global cluster networks: Evidence from the aerospace industry [J]. *Journal of Economic Geography*, 2016, 16(6): 1211-1234.
- [21] 张杨, 刘艳芳, 刘莹, 等. 2007—2019年武汉市地面沉降时空分异特征及地理探测机制 [J/OL]. *武汉大学学报(信息科学版)*, 2021-09-16 [2021-10-25]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1676.TN.20210916.1453.004.html>.
- [22] Zhang Yang, Liu Yanfang, Liu Ying, et al. Spatio-temporal variation and geographical detection mechanism of land subsidence in Wuhan from 2007 to 2019. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2021-09-16 [2021-10-25]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1676.TN.20210916.1453.004.html>. ]
- [23] Xu Y, Yang X. Access to ports and the welfare gains from domestic transportation infrastructure [J]. *Journal of Urban Economics*, 2021, 126: 103392. doi: 10.1016/j.jue.2021.103392.
- [24] Xue B, Xiao X, Li J Z. Identification method and empirical study of urban industrial spatial relationship based on POI big data: A case of Shenyang City, China [J]. *Geography and Sustainability*, 2020, 1(2): 152-162.
- [25] 傅伯杰. 地理学: 从知识、科学到决策 [J]. *地理学报*, 2017, 72(11): 1923-1932. [Fu Bojie. Geography: From knowledge, science to decision making support. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(11): 1923-1932. ]
- [26] Giannone E, Paixão N, Pang X L. JUE insight: The geography of pandemic containment [J]. *Journal of Urban Economics*, 2021: 103373. doi: 10.1016/j.jue.2021.103373.
- [27] 宋长青, 程昌秀, 史培军. 新时代地理复杂性的内涵 [J]. *地理学报*, 2018, 73(7): 1204-1213. [Song Changqing, Cheng Changxiu, Shi Peijun. Geography complexity: New connotations of geography in the new era. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(7): 1204-1213. ]
- [28] 房艳刚, 刘继生. 城市系统演化的复杂性研究 [J]. *人文地理*, 2008, 23(6): 37-40, 36. [Fang Yangang, Liu Jisheng. Complexities of urban system evolution. *Human Geography*, 2008, 23(6): 37-40, 36. ]
- [29] 段德忠, 刘承良. 国内外城乡空间复杂性研究进展及其启示 [J]. *世界地理研究*, 2014, 23(1): 55-64. [Duan Dezhong, Liu Chengliang. Research progress of domestic and overseas urban-rural spatial complexity. *World Regional Studies*, 2014, 23(1): 55-64. ]
- [30] 陆大道, 刘彦随, 方创琳, 等. 人文与经济地理学的发展和展望 [J]. *地理学报*, 2020, 75(12): 2570-2592. [Lu Dadao, Liu Yansui, Fang Chuanglin, et al. Development and prospect of human-economic geography. *Acta Geographica Sinica*, 2020, 75(12): 2570-2592. ]
- [31] Huggins R, Thompson P. Behavioral explanations of spatial disparities in productivity: The role of cultural and psychological profiling [J]. *Economic Geography*, 2021, 97(5): 446-474.
- [32] 徐媛银, 李枝坚, 曾辉. 我国海岸带城市化系统耦合协调时空动态特征: 以东海海岸带城市为例 [J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 2021, 57(3): 536-544. [Xu Nuan-

- yin, Li Zhijian, Zeng Hui. Spatio-temporal dynamic characteristics of coupling and coordination of urbanization system: Case study in the coastal zone of East China Sea. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2021, 57(3): 536-544. ]
- [32] 李锦生. 历史文化街区保护中产权复杂性的认识 [J]. 城市规划学刊, 2018(1): 3. [Li Jinsheng. Understanding the complexity of property rights in the conservation of historic and cultural districts. *Urban Planning Forum*, 2018(1): 3. ]
- [33] Perez J, Fusco G, Moriconi-Ebrard F. Identification and quantification of urban space in India: Defining urban macro-structures [J]. *Urban Studies*, 2019, 56(10): 1988-2004.
- [34] Liao C, Clark P E, DeGloria S D, et al. Complexity in the spatial utilization of rangelands: Pastoral mobility in the Horn of Africa [J]. *Applied Geography*, 2017, 86: 208-219.
- [35] 王圣音, 高勇, 陆锋, 等. 场所模型及大数据支持下的场所感知 [J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2020, 45(12): 1930-1941. [Wang Shengyin, Gao Yong, Lu Feng, et al. Place model and big geo-data supported place sensing. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2020, 45(12): 1930-1941. ]
- [36] 席广亮, 甄峰. 基于大数据的城市规划评估思路与方法探讨 [J]. 城市规划学刊, 2017(1): 56-62. [Xi Guangliang, Zhen Feng. Exploring the ideas and methods of urban planning evaluation based on big data. *Urban Planning Forum*, 2017(1): 56-62. ]
- [37] 张西雅, 扈海波. 基于多源数据的北京地区PM<sub>2.5</sub>暴露风险评估 [J]. 北京大学学报(自然科学版), 2018, 54(5): 1103-1113. [Zhang Xiya, Hu Haibo. Risk assessment of exposure to PM<sub>2.5</sub> in Beijing using multi-source data. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2018, 54(5): 1103-1113. ]
- [38] 朱建军, 宋迎春, 胡俊, 等. 测绘大数据时代数据处理理论面临的挑战与发展 [J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2021, 46(7): 1025-1031. [Zhu Jianjun, Song Yingchun, Hu Jun, et al. Challenges and development of data processing theory in the era of surveying and mapping big data era. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2021, 46(7): 1025-1031. ]
- [39] Ducruet C, Itoh H. Regions and material flows: Investigating the regional branching and industry relatedness of port traffics in a global perspective [J]. *Journal of Economic Geography*, 2016, 16(4): 805-830.
- [40] Salvati L. The 'niche' city: A multifactor spatial approach to identify local-scale dimensions of urban complexity [J]. *Ecological Indicators*, 2018, 94: 62-73.
- [41] 韩传峰, 王忠礼, 王增光. 区域基础设施系统的复杂性与长效性 [J]. 复杂系统与复杂性科学, 2009, 6(1): 77-85. [Han Chuanfeng, Wang Zhongli, Wang Zengguang. The complexity and the long-term characteristic of regional infrastructure system. *Complex Systems and Complexity Science*, 2009, 6(1): 77-85. ]
- [42] 涂伟, 曹劲舟, 高琦丽, 等. 融合多源时空大数据感知城市动态 [J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2020, 45(12): 1875-1883. [Tu Wei, Cao Jinzhou, Gao Qili, et al. Sensing urban dynamics by fusing multi-sourced spatiotemporal big data. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2020, 45(12): 1875-1883. ]
- [43] Connolly C, Keil R, Ali S H. Extended urbanisation and the spatialities of infectious disease: Demographic change, infrastructure and governance [J]. *Urban Studies*, 2021, 58(2): 245-263.
- [44] 柴彦威, 龙瀛, 申悦. 大数据在中国智慧城市规划中的应用探索 [J]. 国际城市规划, 2014, 29(6): 9-11. [Chai Yanwei, Long Ying, Shen Yue. Big data application in China's smart city planning. *Urban Planning International*, 2014, 29(6): 9-11. ]
- [45] 甄峰, 席广亮, 秦萧. 基于地理视角的智慧城市规划与建设的理论思考 [J]. 地理科学进展, 2015, 34(4): 402-409. [Zhen Feng, Xi Guangliang, Qin Xiao. Smart city planning and construction based on geographic perspectives: Some theoretical thinking. *Progress in Geography*, 2015, 34(4): 402-409. ]
- [46] 贺灿飞. “经济全球化与中国区域发展”专辑序言 [J]. 地理科学进展, 2019, 38(10): 1447-1448. [He Canfei. Preface of "Economic globalization and China's regional development". *Progress in Geography*, 2019, 38(10): 1447-1448. ]
- [47] Schlüter O. Die ziele der geographie des menschen [M]. München, Germany: Oldenbourg, 1906.
- [48] Park R E, Burgess E W, McKenzie R D. The city: Suggestions for investigation of human behavior in the urban environment [M]. Chicago, USA: The University of Chicago Press, 1925.
- [49] 克里斯特勒. 德国南部中心地原理 [M]. 常正文, 王兴中, 译. 北京: 商务印书馆, 2010. [Walter Christaller. Central principle of southern Germany. Translated by Chang Zhengwen, Wang Xingzhong. Beijing, China: Commercial Press, 2010. ]
- [50] 钱学森. 关于地学的发展问题 [J]. 地理学报, 1989, 44(3): 257-261. [Qian Xuesen. On the development of geology. *Acta Geographica Sinica*, 1989, 44(3): 257-261. ]
- [51] 吴传钧. 展望中国人文地理学的发展 [J]. 人文地理,



- 1996, 11(S1): 1-10. [Wu Chuanjun. Prospect on the development of human geography in China. *Human Geography*, 1996, 11(S1): 1-10. ]
- [52] 程昌秀, 史培军, 宋长青, 等. 地理大数据为地理复杂性研究提供新机遇 [J]. *地理学报*, 2018, 73(8): 1397-1406. [Cheng Changxiu, Shi Peijun, Song Changqing, et al. Geographic big-data: A new opportunity for geography complexity study. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(8): 1397-1406. ]
- [53] 张立强, 李洋, 侯正阳, 等. 深度学习与遥感数据分析 [J]. *武汉大学学报(信息科学版)*, 2020, 45(12): 1857-1864. [Zhang Liqiang, Li Yang, Hou Zhengyang, et al. Deep learning and remote sensing data analysis. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2020, 45(12): 1857-1864. ]
- [54] Batty M. The size, scale, and shape of cities [J]. *Science*, 2008, 319: 769-771.
- [55] 张恩嘉, 龙瀛. 空间干预、场所营造与数字创新: 颠覆性技术作用下的设计转变 [J]. *规划师*, 2020, 36(21): 5-13. [Zhang Enjia, Long Ying. Spatial intervention, place making and digital innovation: Design transformation driven by disruptive technologies. *Planners*, 2020, 36(21): 5-13. ]
- [56] 吴志峰, 柴彦威, 党安荣, 等. 地理学碰上“大数据”: 热反应与冷思考 [J]. *地理研究*, 2015, 34(12): 2207-2221. [Wu Zhifeng, Chai Yanwei, Dang Anrong, et al. Geography interact with big data: Dialogue and reflection. *Geographical Research*, 2015, 34(12): 2207-2221. ]
- [57] 赵剑冬, 黄战. 基于Agent的经济社会系统建模与仿真研究 [J]. *复杂系统与复杂性科学*, 2011, 8(4): 59-67. [Zhao Jiandong, Huang Zhan. A study on agent based social-economic system modeling and simulation. *Complex Systems and Complexity Science*, 2011, 8(4): 59-67. ]
- [58] Zhang Z K, Guan D B, Wang R, et al. Embodied carbon emissions in the supply chains of multinational enterprises [J]. *Nature Climate Change*, 2020, 10(12): 1096-1101.
- [59] Crooks A, Castle C, Batty M. Key challenges in agent-based modelling for geo-spatial simulation [J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2008, 32: 417-430.
- [60] 薛冰, 赵冰玉, 肖骁, 等. 基于POI大数据的资源型城市功能区识别方法与实证: 以辽宁省本溪市为例 [J]. *人文地理*, 2020, 35(4): 81-90. [Xue Bing, Zhao Bingyu, Xiao Xiao, et al. A POI data-based study on urban functional areas of the resources-based city: A case study of Benxi, Liaoning. *Human Geography*, 2020, 35(4): 81-90. ]
- [61] 马恩朴, 蔡建明, 韩燕, 等. 人地系统远程耦合的研究进展与展望 [J]. *地理科学进展*, 2020, 39(2): 310-326. [Ma Enpu, Cai Jianming, Han Yan, et al. Research progress and prospect of telecoupling of human-earth system. *Progress in Geography*, 2020, 39(2): 310-326. ]
- [62] Howell P. Book review: *Swinging city: A cultural geography of London 1950-1974* [J]. *Progress in Human Geography*, 2012, 36(5): 688-689.
- [63] 薛冰, 肖骁, 李京忠, 等. 基于兴趣点(POI)大数据的东北城市空间结构分析 [J]. *地理科学*, 2020, 40(5): 691-700. [Xue Bing, Xiao Xiao, Li Jingzhong, et al. Analysis of spatial economic structure of northeast China cities based on points of interest big data. *Scientia Geographica Sinica*, 2020, 40(5): 691-700. ]
- [64] 薛冰, 肖骁, 李京忠, 等. 基于POI大数据的城市零售业空间热点分析: 以辽宁省沈阳市为例 [J]. *经济地理*, 2018, 38(5): 36-43. [Xue Bing, Xiao Xiao, Li Jingzhong, et al. POI-based analysis on retail's spatial hot blocks at a city level: A case study of Shenyang, China. *Economic Geography*, 2018, 38(5): 36-43. ]
- [65] 薛冰, 肖骁, 李京忠, 等. 基于POI大数据的沈阳市住宅与零售业空间关联分析 [J]. *地理科学*, 2019, 39(3): 442-449. [Xue Bing, Xiao Xiao, Li Jingzhong, et al. POI based spatial correlation of the residences and retail industry in Shenyang City. *Scientia Geographica Sinica*, 2019, 39(3): 442-449. ]
- [66] 尹向来, 黄彩虹. 基础设施与城市化水平耦合协调关系演变: 基于285个地级市的实证研究 [J]. *世界地理研究*, 2018, 27(6): 77-87, 97. [Yin Xianglai, Huang Caihong. Research on the evolution of coupling and coordinating relationship between infrastructure and urbanization: Empirical analysis of China's 285 prefecture-level city. *World Regional Studies*, 2018, 27(6): 77-87, 97. ]
- [67] 高喆, 顾江, 顾朝林, 等. 美国基础设施状况和重建计划 [J]. *世界地理研究*, 2020, 29(4): 669-674. [Gao Zhe, Gu Jiang, Gu Chaolin, et al. The US infrastructure status and its reconstruction plan. *World Regional Studies*, 2020, 29(4): 669-674. ]
- [68] Lam C Y, Tai K, Cruz A M. Topological network and GIS approach to modeling earthquake risk of infrastructure systems: A case study in Japan [J]. *Applied Geography*, 2021, 127: 102392. doi: 10.1016/j.apgeog.2021.102392.
- [69] 唐新华. 新型基础设施在国家治理现代化建设中的功能研究 [J]. *中国科学院院刊*, 2021, 36(1): 79-85. [Tang Xinhua. Function of new infrastructures on national governance modernization. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2021, 36(1): 79-85. ]
- [70] Furlong K. Geographies of infrastructure 1: Economies [J]. *Progress in Human Geography*, 2020, 44(3): 572-582.

- [71] 周详, 张晓刚, 何龙斌, 等. 面向行为尺度的城市绿地格局公平性评价及其优化策略: 以深圳市为例 [J]. 北京大学学报(自然科学版), 2013, 49(5): 892-898. [Zhou Xiang, Zhang Xiaogang, He Longbin, et al. Equity assessment on urban green space pattern based on human behavior scale and its optimization strategy: A case study in Shenzhen. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2013, 49(5): 892-898. ]
- [72] Wu S S, Zhuang Y, Chen J Y, et al. Rethinking bus-to-metro accessibility in new town development: Case studies in Shanghai [J]. *Cities*, 2019, 94: 211-224.
- [73] 王海起, 李留珂, 陈海波. 基于图结构的城市道路短时交通流量时空预测模型 [J]. 地理与地理信息科学, 2021, 37(4): 1-9. [Wang aiqu, Li Liuke, Chen Haibo. Spatio-temporal prediction model of urban short-term traffic flow based on graph structure. *Geography and Geo-Information Science*, 2021, 37(4): 1-9. ]
- [74] Pinto L, Ferreira C S S, Pereira P. Environmental and socioeconomic factors influencing the use of urban green spaces in Coimbra (Portugal) [J]. *Science of the Total Environment*, 2021, 792: 148293. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.148293.
- [75] 浩飞龙, 张浩然, 王士君. 基于多交通模式的长春市公园绿地空间可达性研究 [J]. 地理科学, 2021, 41(4): 695-704. [Hao Feilong, Zhang Haoran, Wang Shijun. Spatial accessibility of urban green space in central area of Changchun: An analysis based on the multi-trip model. *Scientia Geographica Sinica*, 2021, 41(4): 695-704. ]
- [76] Ley D. A regional growth ecology, a great wall of capital and a metropolitan housing market [J]. *Urban Studies*, 2021, 58(2): 297-315.
- [77] 林建鹏, 曹现强, 张颖慧. 中国城市市政基础设施水平影响因子及非均衡性: 基于城市分层分析框架 [J]. 地理科学, 2021, 41(4): 562-570. [Lin Jianpeng, Cao Xianqiang, Zhang Yinghui. Influencing factors and disequilibrium of urban municipal infrastructure in China: Analysis framework based on city classification. *Scientia Geographica Sinica*, 2021, 41(4): 562-570. ]
- [78] 姚冠辉, 郑晓年. 面向“十四五”谋篇布局 统筹推进创新基础设施建设 [J]. 中国科学院院刊, 2020, 35(11): 1366-1372. [Yao Guanhui, Zheng Xiaonian. Structuring and organizing for 14th Five-year Plan, balancedly promoting the construction of innovation infrastructure. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2020, 35(11): 1366-1372. ]
- [79] 崔蓉, 李国锋. 中国互联网发展水平的地区差距及动态演进: 2006—2018 [J]. 数量经济技术经济研究, 2021, 38(5): 3-20. [Cui Rong, Li Guofeng. Regional differences and distributional dynamics of Internet level in China: 2006-2018. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 2021, 38(5): 3-20. ]
- [80] Szymanowski M, Latocha A. Does the environment matter? Depopulation in the Sudetes (case study of the Kłodzko region, SW Poland) [J]. *Applied Geography*, 2021, 135: 102535. doi: 10.1016/j.apgeog.2021.102535.
- [81] 石春娜, 姚顺波, 陈晓楠, 等. 基于选择实验法的城市生态系统服务价值评估: 以四川温江为例 [J]. 自然资源学报, 2016, 31(5): 767-778. [Shi Chunna, Yao Shunbo, Chen Xiaonan, et al. Economic valuation of ecosystem services based on choice experiments: A case study of Wenjiang in Sichuan Province. *Journal of Natural Resources*, 2016, 31(5): 767-778. ]
- [82] 贾卓, 强文丽, 王月菊, 等. 兰州—西宁城市群工业污染集聚格局及其空间效应 [J]. 经济地理, 2020, 40(1): 68-75, 84. [Jia Zhuo, Qiang Wenli, Wang Yueju, et al. The spatial characteristics and spatial effect of industrial pollution agglomeration in Lanzhou-Xining urban agglomeration. *Economic Geography*, 2020, 40(1): 68-75, 84. ]
- [83] 王阳, 孙然好. 区域气候背景对城市热岛效应的影响规律 [J]. 生态学报, 2021, 41(11): 4288-4299. [Wang Yang, Sun Ranhao. Impacts of regional climate on urban heat islands in China. *Acta Ecologica Sinica*, 2021, 41(11): 4288-4299. ]
- [84] 胡杨, 马克明. 城市街道绿化对空气质量及微气候影响的综合模拟研究 [J]. 生态学报, 2021, 41(4): 1314-1331. [Hu Yang, Ma Keming. A comprehensive simulation study on the influence of urban street greening on air quality and microclimate. *Acta Ecologica Sinica*, 2021, 41(4): 1314-1331. ]
- [85] Wang Y J, Chen X P, Zhang Z L, et al. Cross-city convergence in urban green space coverage in China [J]. *Sustainability*, 2019, 11(17): 4707. doi: 10.3390/su11174707.
- [86] 唐秀美, 刘玉, 任艳敏, 等. 基于需求的京津冀地区生态系统服务价值时空变化研究 [J]. 北京大学学报(自然科学版), 2021, 57(1): 173-180. [Tang Xiumei, Liu Yu, Ren Yanmin, et al. Evaluation and analysis of ecosystem services value in Beijing-Tianjin-Hebei region based on demand zoning. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2021, 57(1): 173-180. ]
- [87] 张子龙, 逯承鹏, 陈兴鹏, 等. 中国城市环境绩效及其影响因素分析: 基于超效率DEA模型和面板回归分析 [J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29(6): 1-7. [Zhang Zilong, Lu Chengpeng, Chen Xingpeng, et al. Urban environmental performance and its driving factors in China: Based on the super-efficiency DEA and panel regressive analysis. *Journal of Arid Land Resources and Envi-*



- ronment, 2015, 29(6): 1-7. ]
- [88] 郭城, 陈颖彪, 郑子豪, 等. 顾及时空背景的遥感生态指数适用性分析: 以粤港澳大湾区为例 [J]. 地理与地理信息科学, 2021, 37(5): 23-30. [Guo Cheng, Chen Yingbiao, Zheng Zihao, et al. Applicability analysis of RSEI considering spatio-temporal background: A case study of Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area. Geography and Geo-Information Science, 2021, 37(5): 23-30. ]
- [89] 陈新闻, 李小倩, 吕一河, 等. 生态空间区划体系的理论内涵及关键技术探讨 [J/OL]. 生态学报, 2021-10-11 [2021-10-25]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2031.q.20211009.1422.044.html>. [Chen Xinchuan, Li Xiaolian, Lv Yihe, et al. Theoretical and technical discussion on the system of ecological space zoning. Acta Ecologica Sinica, 2021-10-11 [2021-10-25]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2031.q.20211009.1422.044.html>. ]
- [90] 黄裕普, 逯承鹏, 肖骁, 等. 东北老工业区矿业城市产业生态系统演化与重构: 以辽宁大石桥为例 [J]. 生态学报, 2018, 37(10): 3146-3154. [Huang Yupu, Lu Chengpeng, Xiao Xiao, et al. Evolution and reconstruction of industrial ecosystems of mining cities in the traditional industrial area of northeastern China: A case study of Dashi-qiao in Liaoning Province. Chinese Journal of Ecology, 2018, 37(10): 3146-3154. ]
- [91] Barnes M L, Wang P, Cinner J E, et al. Social determinants of adaptive and transformative responses to climate change [J]. Nature Climate Change, 2020, 10(9): 823-828.
- [92] 吴绍洪, 戴尔阜, 潘韬. “综合全球环境变化与全球化风险防范关键技术研究”研究进展 [J]. 地理研究, 2011, 30(3): 577. [Wu Shaohong, Dai Erfu, Pan Tao. Progress on 'Research and demonstration of key technologies for integrated global environmental change and globalization risk prevention'. Geographical Research, 2011, 30(3): 577. ]
- [93] 邓昭华, 王世福, 赵渺希. 新媒体的规划公众参与和前瞻: 以广州大佛寺扩建工程事件为例 [J]. 城市规划, 2014, 38(7): 84-90. [Deng Zhaohua, Wang Shifu, Zhao Miaoxi. Public participation in planning through new media and its prospects: A case study on dafo temple expansion, Guangzhou. City Planning Review, 2014, 38(7): 84-90. ]
- [94] Shen Y, Ta N, Chai Y W. The Internet and the space-time flexibility of daily activities: A case study of Beijing, China [J]. Cities, 2020, 97: 102493. doi: 10.1016/j.cities.2019.102493.
- [95] Wang B, Loo B P Y. The hierarchy of cities in internet news media and Internet search: Some insights from China [J]. Cities, 2019, 84: 121-133.
- [96] 郭启全, 高春东, 孙开锋, 等. 基于“人—地—网”关系的网络空间要素层次体系建设 [J]. 地理研究, 2021, 40(1): 109-118. [Guo Qiquan, Gao Chundong, Sun Kaifeng, et al. The construction of cyberspace elements hierarchical system based on man-land-network relationship. Geographical Research, 2021, 40(1): 109-118. ]
- [97] 宋鹏飞, 孙勇, 季民, 等. 基于自然语言处理的大气质量舆情空间化方法研究 [J/OL]. 测绘地理信息, 2021-01-05 [2021-04-29]. <https://doi.org/10.14188/j.2095-6045.2019569>. [Song Pengfei, Sun Yong, Ji Min, et al. Method of atmospheric quality public opinion based on natural language processing. Journal of Geomatics, 2021-01-05 [2021-04-29]. <https://doi.org/10.14188/j.2095-6045.2019569>. ]
- [98] 赵燕慧, 路紫, 张秋雯. 多类型微博舆情时空分布关系的差异性及其地理规则 [J]. 人文地理, 2018, 33(1): 61-69. [Zhao Yanhui, Lu Zi, Zhang Qiuluan. The differences of spatial and temporal distribution relations in public opinion of multi-type micro-blog and its geographical rules. Human Geography, 2018, 33(1): 61-69. ]
- [99] 常建霞, 李君轶. 新冠肺炎疫情和公众焦虑情绪的时空分异研究: 基于微博数据的分析 [J]. 人文地理, 2021, 36(3): 47-57, 166. [Chang Jianxia, Li Junyi. Spatiotemporal distribution of COVID-19 and public anxiety: Analysis based on micro-blog data. Human Geography, 2021, 36(3): 47-57, 166. ]
- [100] Lei W Q, Jiao L M, Xu Z B, et al. Scaling of urban economic outputs: Insights both from urban population size and population mobility [J]. Computers Environment and Urban Systems, 2021, 88: 101657. doi: 10.1016/j.compenurbsys.2021.101657.
- [101] Grimes S. Decoding China's export miracle: A global value chain analysis [J]. Economic Geography, 2021, 97(5): 521-523.
- [102] Storme T, Derudder B, Dörny S. Introducing cluster heatmaps to explore city/firm interactions in world cities [J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2019, 76: 57-68.
- [103] 曹贤忠, 曾刚, 司月芳, 等. 企业创新网络与多维邻近性关系研究述评 [J]. 世界地理研究, 2019, 28(5): 165-171. [Cao Xianzhong, Zeng Gang, Si Yuefang, et al. Research progress on firm innovation networks and multi-dimensional proximity from the perspective of economic geography. World Regional Studies, 2019, 28(5): 165-171. ]
- [104] Beier G, Niehoff S, Xue B. More sustainability in industry through industrial internet of things? [J]. Applied Sciences, 2018, 8(2): 219. doi: 10.3390/app8020219.

- [105] Wachsmuth D. Infrastructure alliances: Supply-chain expansion and multi-city growth coalitions [J]. *Economic Geography*, 2017, 93(1): 44-65.
- [106] 康江江, 林柄全, 宁越敏. 中国大陆苹果零部件供应链空间组织研究 [J]. *经济地理*, 2021, 41(7): 138-145. [Kang Jiangjiang, Lin Bingquan, Ning Yuemin. Spatial organization and influencing factors of Apple's component supply chain in China. *Economic Geography*, 2021, 41(7): 138-145. ]
- [107] 金凤君, 姚作林. 新全球化与中国区域发展战略优化对策 [J]. *世界地理研究*, 2021, 30(1): 1-11. [Jin Fengjun, Yao Zuolin. New globalization and China's regional development strategy optimization. *World Regional Studies*, 2021, 30(1): 1-11. ]
- [108] 潘峰华, 方成. 从全球生产网络到全球金融网络: 理解全球—地方经济联系的新框架 [J]. *地理科学进展*, 2019, 38(10): 1473-1481. [Pan Fenghua, Fang Cheng. From global production network to global financial network: A new framework for understanding global-local economic linkages. *Progress in Geography*, 2019, 38(10): 1473-1481. ]
- [109] 于树江, 王云胜, 曾建丽, 等. 创新价值链下京津冀高技术产业技术创新效率及驱动要素研究 [J]. *科学决策*, 2021(7): 77-90. [Yu Shujiang, Wang Yunsheng, Zeng Jianli, et al. Technological innovation efficiency and driving factors of high-tech industries in Beijing-Tianjin-Hebei under the innovation value chain. *Scientific Decision Making*, 2021(7): 77-90. ]
- [110] Kuus M. Professions and their expertise: Charting the spaces of 'elite' occupations [J]. *Progress in Human Geography*, 2021, 45(6): 1339-1355.
- [111] Brunn S D. A review of geographies of disruption: Place making for innovation in the age of knowledge economy. By Tan Yigitcanlar and Tommi Inkinen [J]. *Economic Geography*, 2019, 95(4): 421-422.
- [112] Jiang L, Xue B, Ma Z X, et al. A life-cycle based co-benefits analysis of biomass pellet production in China [J]. *Renewable Energy*, 2020, 154: 445-452.
- [113] 武前波. 知识经济背景下中国城镇化的第三次浪潮 [J]. *经济地理*, 2020, 40(9): 62-69. [Wu Qianbo. The third wave of urbanization in China based on knowledge economy. *Economic Geography*, 2020, 40(9): 62-69. ]
- [114] 武前波, 张露茗, 俞姝姝. 知识经济时代杭州近郊大型社区消费设施特征 [J]. *城市规划*, 2019, 43(2): 35-45. [Wu Qianbo, Zhang Luming, Yu Shushu. Characteristics of urban amenity in large communities in the suburb of Hangzhou at the era of knowledge economy. *City Planning Review*, 2019, 43(2): 35-45. ]
- [115] 李丹丹, 汪涛, 魏也华, 等. 中国城市尺度科学知识网络与技术知识网络结构的时空复杂性 [J]. *地理研究*, 2015, 34(3): 525-540. [Li Dandan, Wang Tao, Wei Yehua, et al. Spatial and temporal complexity of scientific knowledge network and technological knowledge network on China's urban scale. *Geographical Research*, 2015, 34(3): 525-540. ]
- [116] 武廷海. 国土空间规划体系中的城市规划初论 [J]. *城市规划*, 2019, 43(8): 9-17. [Wu Tinghai. A discussion on urban planning in spatial planning system. *City Planning Review*, 2019, 43(8): 9-17. ]
- [117] 曾黎, 何为, 唐鹏, 等. 空间治理现代化语境下成都市国土空间规划探索 [J]. *规划师*, 2020, 36(19): 72-78. [Zeng Li, He Wei, Tang Peng, et al. Land and space planning in the context of modern space governance, Chengdu. *Planners*, 2020, 36(19): 72-78. ]
- [118] Geffroy D, Oliver R, Juran L K, et al. Projecting the metropolis: Paris 2024 and the (re)scaling of metropolitan governance [J]. *Cities*, 2021, 114: 103189. doi: 10.1016/j.cities.2021.103189.
- [119] Turner V K, Kaplan D H. Geographic perspectives on urban sustainability [M]. London, UK: Routledge, 2021.
- [120] 党安荣, 田颖, 甄茂成, 等. 中国国土空间规划的理论框架与技术体系 [J]. *科技导报*, 2020, 38(13): 47-56. [Dang Anrong, Tian Ying, Zhen Maocheng, et al. Theoretical framework and technical system of the territory and spatial planning in China. *Science & Technology Review*, 2020, 38(13): 47-56. ]
- [121] 樊杰. 面向中国空间治理现代化的科技强国适应策略 [J]. *中国科学院院刊*, 2020, 35(5): 564-575. [Fan Jie. Adaptive strategy of powerful country of science and technology for modernization of China's space governance. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2020, 35(5): 564-575. ]
- [122] 单勇兵. 基于GIS的徐州城镇体系空间结构分形研究 [J]. *地理与地理信息科学*, 2011, 27(4): 111-112. [Shan Yongbing. Research on spatial fractal structure of Xuzhou urban system based on GIS. *Geography and Geo-Information Science*, 2011, 27(4): 111-112. ]
- [123] Yu W T, Zhu H, Zhang S Y. Sustainable development and tourists' satisfaction in historical districts: Influencing factors and features [J]. *Journal of Resources and Ecology*, 2021, 12(5): 669-681.
- [124] 汪光焘, 李芬. 推动新型智慧城市建设: 新冠肺炎疫情对城市发展的影响和思考 [J]. *中国科学院院刊*, 2020, 35(8): 1024-1031. [Wang Guangtao, Li Fen. Construction of new smart city powered by informatization: Effects and thinking of COVID-19 epidemic on urban



- development. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2020, 35(8): 1024-1031. ]
- [125] 郭建科, 王琰, 王英, 等. 基于“高铁+”网络的东北地区城市联系网络结构研究 [J]. *地理与地理信息科学*, 2021, 37(4): 51-56. [Guo Jianke, Wang Yan, Wang Ying, et al. Research on urban connection network structure in northeast China based on "high-speed rail +" network. *Geography and Geo-Information Science*, 2021, 37(4): 51-56. ]
- [126] Zhang X Q, Ji Z, Zheng Y Q, et al. Evaluating the effect of city lock-down on controlling COVID-19 propagation through deep learning and network science models [J]. *Cities*, 2020, 107: 102869. doi: 10.1016/j.cities.2020.102869.
- [127] 龚蔚霞, 张虹鸥, 周晴, 等. 基于基塘系统保护的国土空间治理策略: 以顺德区为例 [J]. *热带地理*, 2021, 41(4): 685-693. [Gong Weixia, Zhang Hong'ou, Zhou Qing, et al. Spatial governance strategy based on the dike-pond system: A case study of Shunde District, Foshan. *Tropical Geography*, 2021, 41(4): 685-693. ]
- [128] 叶强, 莫正玺, 许乙青. 1979—2014年长沙市城市功能用地扩展与驱动力研究 [J]. *地理研究*, 2019, 38(5): 1063-1079. [Ye Qiang, Mo Zhengxi, Xu Yiqing. The expansion and driving forces of the functional space land: A case study of Changsha from 1979 to 2014. *Geographical Research*, 2019, 38(5): 1063-1079. ]
- [129] 叶玉瑶, 王长建, 张虹鸥, 等. 基于人口流动的广东省COVID-19疫情风险时空分析 [J]. *地理学报*, 2020, 75(11): 2521-2534. [Ye Yuyao, Wang Changjian, Zhang Hongou, et al. Spatio-temporal analysis of COVID-19 epidemic risk in Guangdong Province based on population migration. *Acta Geographica Sinica*, 2020, 75(11): 2521-2534. ]
- [130] 湛丽, 党云晓, 张文忠, 等. 城市文化氛围满意度及影响因素 [J]. *地理科学进展*, 2017, 36(9): 1119-1127. [Chen Li, Dang Yunxiao, Zhang Wenzhong, et al. Satisfaction on urban cultural environment and influencing factors. *Progress in Geography*, 2017, 36(9): 1119-1127. ]
- [131] Ye C, Liu Z M. Rural-urban co-governance: Multi-scale practice [J]. *Science Bulletin*, 2020, 65(10): 778-780.
- [132] 叶超, 庄良, 吴佩瑾. 长三角地区城乡融合发展的时空格局 [J]. *苏州大学学报(哲学社会科学版)*, 2021, 42(4): 43-51. [Ye Chao, Zhuang Liang, Wu Peijin. Spatial-temporal evolution and patterns of rural-urban integration in the Yangtze River Delta region. *Journal of Soochow University (Philosophy & Social Science Edition)*, 2021, 42(4): 43-51. ]
- [133] 王波, 张伟, 张敬钦. 突发公共事件下智慧城市建设与城市治理转型 [J]. *科技导报*, 2021, 39(5): 47-54. [Wang Bo, Zhang Wei, Zhang Jingqin. Smart city construction and urban governance transformation under public emergencies. *Science & Technology Review*, 2021, 39(5): 47-54. ]
- [134] Liu Y, Batty M, Wang S Q, et al. Modelling urban change with cellular automata: Contemporary issues and future research directions [J]. *Progress in Human Geography*, 2021, 45(1): 3-24.
- [135] 刘大均, 谢双玉, 陈君子, 等. 基于分形理论的区域旅游景区系统空间结构演化模式研究: 以武汉市为例 [J]. *经济地理*, 2013, 33(4): 155-160. [Liu Dajun, Xie Shuangyu, Chen Junzi, et al. Evolution models for the spatial structure of regional tourist scenic spots system based on fractal theory: A case study of Wuhan. *Economic Geography*, 2013, 33(4): 155-160. ]
- [136] 刘承良, 段德忠, 余瑞林, 等. 武汉城市圈城乡道路网络结构演化及复杂性研究 [J]. *地理科学*, 2014, 34(4): 401-410. [Liu Chengliang, Duan Dezhong, Yu Ruilin, et al. Topological structure evolution and complexity of urban-rural road network in Wuhan metropolitan area. *Scientia Geographica Sinica*, 2014, 34(4): 401-410. ]
- [137] 武凯华, 李朝奎, 刘俊杰, 等. 基于空间句法理论的城市群核心区发展边界识别 [J]. *地理研究*, 2020, 39(6): 1418-1426. [Wu Kaihua, Li Chaokui, Liu Junjie, et al. Identification of growth boundary of core areas in an urban agglomeration based on spatial syntax theory. *Geographical Research*, 2020, 39(6): 1418-1426. ]
- [138] 陈宝芬, 张耀民, 江东. 基于CA-ABM模型的福州城市用地扩张研究 [J]. *地理科学进展*, 2017, 36(5): 626-634. [Chen Baofen, Zhang Yaomin, Jiang Dong. Urban land expansion in Fuzhou City based on coupled cellular automata and agent-based models (CA-ABM). *Progress in Geography*, 2017, 36(5): 626-634. ]
- [139] 黄渊基, 蔡保忠, 郑毅. 新时代城乡融合发展: 现状、问题与对策 [J]. *城市发展研究*, 2019, 26(6): 22-27. [Huang Yuanji, Cai Baozhong, Zheng Yi. Integration of urban and rural development in the new era: Present situation, problems and countermeasures. *Urban Development Studies*, 2019, 26(6): 22-27. ]
- [140] 宋涛. 地缘经济视角下的边境地理学研究框架 [J]. *科技导报*, 2018, 36(3): 49-54. [Song Tao. Research framework of border geography from the perspective of geoeconomics. *Science & Technology Review*, 2018, 36(3): 49-54. ]
- [141] 李兵, 彭飞. 基于GDELT数据库的中国及东南亚国家间地缘关系演变 [J]. *世界地理研究*, 2021, 30(6): 1127-1139. [Li Bing, Peng Fei. The evolution of geo-re-

- lations between China and southeast Asian countries based on GDELT. *World Regional Studies*, 2021, 30(6): 1127-1139. ]
- [142] 沈安南, 王亮绪, 高峻. 基于深度学习的公民参与城市治理的时空格局研究: 以苏州市为例 [J]. *地理信息世界*, 2020, 27(2): 44-48. [Shen Annan, Wang Liangxu, Gao Jun. The spatiotemporal pattern of citizen participation in urban governance based on deep learning: A case study of Suzhou. *Geomatics World*, 2020, 27(2): 44-48. ]
- [143] 李慧敏, 陈光. 论数据驱动创新与个人信息保护的冲突与平衡: 基于对日本医疗数据规制经验的考察[J]. *中国科学院院刊*, 2020, 35(9): 1143-1151. [Li Huimin, Chen Guang. On conflict and balance between data-driven innovation and personal information protection: A study of Japan's medical data regulation experience. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2020, 35(9): 1143-1151. ]
- [144] 薛冰, 肖骁, 苏芳, 等. 地理学在新冠肺炎疫情早期防控中的学术响应及展望 [J]. *地理科学*, 2020, 40(10): 1593-1600. [Xue Bing, Xiao Xiao, Su Fang, et al. Geographical academic responses and outlook in the novel coronavirus pneumonia epidemic prevention and control. *Scientia Geographica Sinica*, 2020, 40(10): 1593-1600. ]
- [145] 张志强, 陈云伟. 建设适应经济社会发展趋势的科技创新体系 [J]. *中国科学院院刊*, 2020, 35(5): 534-544. [Zhang Zhiqiang, Chen Yunwei. Building scientific and technological innovation system of adaptive to economic and social development trend. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2020, 35(5): 534-544. ]
- [146] 王一名, 伍江, 周鸣浩. 城市更新与地方经济: 全球化危机背景下的争论、反思与启示 [J]. *国际城市规划*, 2020, 35(3): 1-8. [Wang Yiming, Wu Jiang, Zhou Minghao. Urban regeneration and local economy: Debates and reflections in the crisis of globalisation. *Urban Planning International*, 2020, 35(3): 1-8. ]
- [147] National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. *Pathways to urban sustainability: Challenges and opportunities for the United States* [M]. Washington D C, USA: The National Academies Press, 2016.

## Urban complexity studies from the perspective of geography: A review based on the literature in the past 20 years

XUE Bing<sup>1,2</sup>, ZHAO Bingyu<sup>1,3</sup>, LI Jingzhong<sup>2,4</sup>

(1. Institute of Applied Ecology, CAS, Shenyang 110016, China;

2. Key Lab for Environmental Computation and Sustainability of Liaoning Province, Shenyang 110016, China;

3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

4. College of Urban Planning and Architecture, Xuchang University, Xuchang 461000, Henan, China)

**Abstract:** As an open human-natural system with a complex organizational structure, the urban system has always been the core object of geographic research. Using the published literature from 2000 to 2020 as the data, we developed a new approach by combing quantitative and qualitative analyses to investigate related research results from the perspective of geography in terms of conceptual connotations, research themes, and technical methods, and put forward the future research needs. Over the past 20 years, urban complexity research in China has gradually shifted from single-scale pattern, process, and mechanism research to integrated and comprehensive research on complex interaction processes at multiple scales, and has gradually formed four major themes, including urban facility networks, urban habitat, urban economic activities, and urban spatial governance. In terms of data analysis methodology, the research has gradually shifted to multi-dimensional scenario analysis supported by spatial technology and social computing with panoramic whole-life cycle data. In the future, urban complexity research from the perspective of geography needs to further strengthen the construction of urban digital infrastructure and life cycle information collection capability, deepen the comprehensive measurement and monitoring of urban ecological-economic systems from the perspective of geospatial pattern, and study the urban flow space under the influence of cross-regional development mechanism.

**Keywords:** urban complexity; human-natural system; urban geography; urban spatial structure; urban governance