流空间与城市网络研究进展：理论、方法与未来方向探讨

陈敬业，黎美彤，吴玲玲，赵亚博

（广东工业大学建筑与城市规划学院，广州 510090）

摘要：对全球化及信息技术快速发展背景下的城市网络研究进展梳理归纳，重点围绕流空间理论的演化及其对城市网络研究发展的影响展开探讨。通过文献回顾，总结了流动要素的类型和测量方法、不同区域与尺度上的研究差异及数据挑战策略、全网分析与个网分析的应用案例，以及科学问题分类和实际案例应用等五个方面的实证研究进展。结论指出了当前研究存在的问题，并提出了未来研究方向，旨在促进城市网络领域的深入探索。

关键词：流空间；城市网络；理论背景；研究进展；未来方向

中图分类号：K90-0 **文献标志码：**A **文章编号：**1671－1807(2024)22－0208－08

随着全球化和信息技术的迅猛发展，城市不再是孤立的地理实体，而是通过流动的资本、信息、技术、人力等要素在更广阔的空间范围内相互联系与作用[1]。这种基于“流”的联系方式构成了城市间复杂的网络关系，即所谓的“流空间”。这一概念最初源自对全球城市网络及其层次结构的关注，它挑战了传统的以地理位置为基础的城市体系理论，为理解当今世界城市的动态性和复杂性提供了新的视角[2]。

Castells是研究流空间的先驱之一，他认为流空间是支配当今世界经济与社会发展的关键因素，它由多层次、多维度的网络构成，这些网络通过各种流动的要素连接在一起[3]。流空间的核心特征在于它的动态性、非连续性和不稳定性，这与传统的地理空间形成鲜明对比[4]。在地理空间中，城市作为固定的节点在静态的地理位置上互动；而在流空间中，城市则通过不断流动的要素在网络中定位自身，塑造其影响力和竞争力[5]。

在过去几十年中，学术界对流空间的研究兴趣显著上升，学者们不断从不同的角度来理解和解释流空间的概念、特征及其对城市发展的影响。例如，Taylor和Derudder[6]通过对世界城市的研究发现，尽管地理邻近性在一定程度上仍然影响城市间的联系，但在全球金融网络中，择优性即城市因其特定的优势而被选择参与网络已成为更为显著的力量；Amin和Thrift[7]进一步将文化和权力关系纳入考虑，探讨了城市间流动的文化动力以及这些流动如何在不同尺度上重新构建城市间的关系；高鑫等[4]强调流空间研究对于中国城市未来发展的重要性，在流空间研究尺度、主体和构成等方面提出“中国化”的理念和建议。

尽管流空间理论为我们提供了一个分析和理解当代城市关系的有效框架，但在实证应用中仍面临一系列挑战。首先，流空间的研究发展不能完全忽视地方性的作用和意义。地方性因素如文化、历史和社会结构对城市发展具有深远影响，而过分强调全球网络可能会忽略这些本土特性对城市身份和功能的影响。因此，流空间理论在分析城市网络时，需要更多地考虑地方性与全球性的交互作用，以及它们如何共同塑造城市的社会经济发展[8]。其次，流空间的测量和实证研究仍存在诸多挑战。量化流动要素如资本、信息、技术和人才的方法并不

收稿日期：2024-06-18

基金项目：国家自然科学基金(42101186)；广东省自然科学基金(2020A1515110341)；2023年广东省学位与研究生教育改革研究项目(2023JGXM_049)

作者简介：陈敬业(1998—)，男，广东湛江人，硕士研究生，研究方向为城市与区域发展；黎美彤(2001—)，女，广东茂名人，硕士研究生，研究方向为城市与区域发展；吴玲玲(1976—)，女，浙江余姚人，博士，讲师，研究方向为城市公共交通与土地利用、城市地理信息系统等；通信作者赵亚博(1988—)，男，河南南阳人，博士，副教授，硕士研究生导师，研究方向为城市与区域发展。

总是直接或明显的,这可能导致对流动模式的误解或不准确描述。不可否认,评估这些流动对城市的具体影响也非易事,因为城市间的关系和流动效果可能随时间、政策变化和经济周期而变化。研究者在应用流空间理论时,需要开拓和探索更加精细和适应性强的方法来捕捉这些动态变化,并确保理论的应用能够反映真实的城市间互动和依赖关系[9]。最后,流空间理论的应用还面临着数据获取和处理的挑战。在多数情况下,高质量的动态数据难以获取,尤其是涉及跨国或区域层面的精细流动数据。另外,数据的处理和分析需要复杂的统计和地理信息系统(geographical information system,GIS)技术,这对研究者的技能和资源提出了较高要求[10]。因此,流空间的应用在方法论和技术上仍需进一步创新,提高数据采集与分析的效能,以便更准确地理解和预测城市间的互动及其对城市发展的影响。

针对以上问题,本文将通过总结流空间与城市网络领域的文献,开展对该领域的核心概念、理论进展和方法论发展系统梳理。同时,对当前研究中存在的问题与未来的研究方向进行探讨,旨在提供一个相对清晰的脉络和指南,以理解流空间与城市网络研究的现状和未来趋势。

1 城市网络研究主要进展

1.1 城市网络概念的演化与定义

城市网络的概念源自于流空间理论,并在此基础上进一步发展。该概念继承了流空间理论对城市间关系的重视,同时更加强调城市作为网络节点的角色和互动性。在实证研究中,城市网络的研究主要关注城市间的连通性,探讨城市如何在各种流动中形成网络结构,以及这些结构如何影响城市的互动和组织形态[10-11]。

城市网络研究不仅关注城市在网络中的角色和地位,还涉及城市间的互动模式,以及这些互动如何共同塑造城市的影响力[5,12]。具体来说,城市网络研究的核心是探讨实体城市间的组织结构,以及城市在网络中的地位和功能。在这一框架下,城市被视为网络中的节点,而节点间的连接则代表了城市间各种形式的联系,包括但不限于经济联系[13]、基础设施链接[14]和知识文化交流[11]等。城市网络概念的出现进一步强调了现代城市间的相互依赖性和协同效应,这为城市研究提供了一个独特的视角,以探讨城市在全球或区域中的地位和作用,以及城市的发展策略和竞争力是如何形成的。

1.2 城市网络实证研究要素类型

城市流要素,作为构成城市网络的基本单元,其类型和特性对网络结构和功能具有决定性影响。在城市网络研究中,流要素通常根据其特性被划分为不同的类别。基于方向性特征,流要素可以被分为“有向流要素”和“无向流要素”。

有向流要素指的是那些具有明确流动方向的要素,它们在城市间的移动是单向的,反映发送地与接收地之间的不对等关系[15]。典型的有向流包括人流,如通勤者和旅客的迁移[16];物流,指货物从生产地到消费地的运输[17];资金流,涉及金钱从资本过剩地区流向资本需求地区的移动[10];信息流,如数据、新闻和其他信息的联系与传递[18];以及知识流中的专利转移和授权[19],后者特指技术知识和创新成果通过法律手段在不同实体间转移的过程。这些有向流要素的研究有助于揭示城市间的贸易依赖、投资关系和技术交流模式。

无向流要素则不强调流动的方向性,而是关注城市节点间的相互联系或共享资源[13]。这包括交通线路、班次和运量等基础设施要素[10],它们为城市间的双向交流提供了条件;城市间经济联系[13],如市场准入和商业合作,通常不区分哪一方是服务的提供者或消费者;企业生产网络[5],涉及多个企业在产品制造过程中的合作关系;以及知识流中的论文合著和专利合作[11],后者体现了不同研究实体间共同研发和创新活动的成果。无向流要素的研究有助于理解城市如何构建起互联互通的网络结构,并在资源共享和合作中促进各自的发展。如表1所示。

除了方向性分类,城市流要素还可以根据研究的需要被分为单一流和综合流。单一流聚焦于某一特定类型的流要素,如仅考虑货物的物流或仅分

表1 城市流要素类型

流要素类型		可观测性	常用模型
有向流要素	人流	●	联系矩阵
	物流	●	联系矩阵
	资金流	●	联系矩阵
	交通流	●/◎	联系矩阵
	信息流	◎	联系矩阵
	知识流(技术转移)	◎	联系矩阵
无向流要素	通信流	●	联系矩阵
	经济流	◎	引力模型
	企业组织网络	◎	联系矩阵
	知识流(论文合著)	◎	联系矩阵
	产业链	◎	投入产出模型
	城市外向功能量	◎	城市流强度模型

注:●表示直接测量;◎表示间接测量。

析资金的资金流，这种划分有助于深入分析特定类型的城市间流动[17,20]；综合流则包含多种类型的流要素，它提供了一个更为全面的视角来考察城市间的互动和依存关系[10]。

在测量方法上，直接测量要素和间接测量指标是两种常见的手段。直接测量要素是指可以直接获取其流量、流向和联系强度等信息的城市流要素，如通过手机信令数据来追踪人口迁徙动态及路径[16]。间接测量指标则常用于难以直接量化的场合，如城市创新网络中的知识流动[21]，这类指标通常需要借助替代变量来估算，如通过专利申请数量来衡量城市的创新能力，或使用学术论文引用次数来反映一个城市的学术影响力[22]。

可见，城市流要素的类型和测量方法是理解和分析城市网络动态的关键。通过对不同类型流要素的细致研究，能够更精确地刻画城市间的相互作用，进而为城市规划和管理提供科学依据。未来研究应进一步探索新的流要素类型和测量方法，以适应城市网络研究的不断深化和发展需求。

1.3 城市网络实证研究区域与尺度

基于流空间的城市网络研究尺度是理解城市间关系的重要维度，它包括全球[23]、国家[24]和区域[12]三个主要层面，以及它们之间的尺度重组[25]。研究区域和尺度的选择不仅决定了研究对象的范围，也影响了数据获取的途径、研究方法和分析结果的解释。

在全球层面上，研究通常关注跨国的流动和联系，如国际贸易、全球航空网络和世界城市的连通性[26]。全球尺度的研究往往涉及对全球经济活动的空间分布和组织结构的分析。例如，Derudder等[23]通过分析全球航空网络中的枢纽结构，揭示了全球城市体系中的核心节点和边缘节点。这些研究提供了宏观视角下城市间相互作用的图景，并指出了全球化过程中的关键驱动因素。

国家层面的研究则更注重国家内部城市间的网络构建，探讨国家内部不同区域和城市群之间的互动模式[27]。在这一尺度上，学者主要聚焦于国家的基础设施建设、内部迁移流或经济联系等研究。例如，马学广和唐承辉[24]对中国高速铁路网络如何影响城市空间联系与格局的研究，突显了基础设施投资在塑造国内城市网络中的作用。

区域层面的城市网络研究是目前最为常见的尺度，特别是考虑到数据获取难度、国情差异等实际问题[28,19]。这一尺度允许研究者深入特定地区内部的城市体系，考察相对微观的城市间相互作用。例如，周灿等[12]对长三角城市群的研究表明，区域内城市间的创新要素流动对于提升区域创新能力至关重要。此外，区域层面的研究还有助于揭示地方发展政策如何影响城市间的合作与竞争关系[29]。

面对数据获取性差和国情差异等挑战，研究者采取了一系列措施来提高研究的可行性和可靠性。首先，利用公开的数据集和统计资料可以在一定程度上缓解数据不足的问题。例如，使用国家或地方政府发布的人口[30]、经济[31]和交通流量数据[32]作为城市网络分析的基础。其次，采用多源数据融合技术，例如，结合手机信令移动[16]、资本流动[10]、专利合作(转移)[33]等新型大数据，可以提供更为全面和精细的网络视角。另外，开展跨国或跨区域的比较研究，也可以通过案例对比来发现和解释不同地区城市网络的差异性和共性[34]。

通过以上分析可知，基于流空间的城市网络研究尺度是多元化的，它要求研究者根据研究目的和问题性质选择合适的尺度。同时，解决数据获取性差和国情差异等问题需要创造性地利用多种数据来源和技术手段，以确保研究结果的准确性和普遍性。未来的研究中应进一步探索新的数据收集和分析方法，以深化对不同尺度城市网络结构和动态的理解。

1.4 城市网络实证研究方法

城市网络研究方法的发展，反映了该领域对城市间复杂联系和互动模式理解的不断深化。在城市网络研究方法中，可归纳为“全网”和“个网”两种类型的分析方法[35]，每种方法都提供了不同视角来探索城市间的互联性及其形成的网络结构。如表2所示。

全网分析关注的是整个网络的结构和特性，它能够揭示网络整体的形态、密度、连通性等特征。这种分析通常使用社会网络分析(social network analysis，SNA)中的全局指标，如网络密度、网络中心势、特征向量等，来量化网络的整体属性[5]。例如，在研究中国城市创新网络时，段德忠等[36]利用全网分析揭示了全国城市创新网络的复杂性及其生长机制。此外，全网分析方法能够进一步揭示网络结构的演变趋势[13]。

与全网分析相辅相成的是个网分析，这种方法专注于网络中单个节点或节点间关系的细节。它允许研究者深入分析单个城市在网络中的角色和地

表 2　城市网络研究方法信息

分析视角	方法	意义
全网分析	网络密度(network density)	衡量网络中可能与实际连接关系的比例
	网络中心势(network centralization)	衡量网络中节点中心化的程度
	特征向量(eigenvectors)	用于识别网络中的影响力节点
	聚类系数(clustering coefficient)	衡量网络中节点的聚集倾向
	平均路径长度(average path length)	网络中所有节点对之间的平均最短路径长度
	网络直径(network diameter)	网络中最长的最短路径的长度
	网络模块化(modularity)	识别可否划分为若干个紧密连接的子群组
	核心-边缘结构分析(core-periphery)	识别网络中的核心节点和边缘节点
	小世界性分析(small-world)	评估网络是否具有高聚类系数和短平均路径特性
	网络演化分析(network evolution)	研究网络结构随时间的变化趋势和模式
个网分析	点度(degree)	一个节点的直接连接数
	点度中心性(degree centrality)	衡量节点在网络中的直接联系程度
	接近中心性(closeness centrality)	衡量节点到达网络中其他所有节点的平均距离
	中间中心性(betweenness centrality)	衡量节点在连接其他节点对路径上的频率
	特征向量中心性(eigenvector centrality)	考虑节点的连接数量和质量
	局部聚类系数(local clustering)	衡量节点邻居之间的相互连接程度
	结构洞分析(structural holes)	识别网络中不存在冗余联系的节点
	核心度(coreness)	衡量节点在网络核心位置的程度
	连通度(connectivity)	衡量节点在网络中的连接多样性
	互惠性(reciprocity)	在有向网络中,衡量节点间互相连接的程度

位,以及城市之间的具体互动方式[35]。个网分析通常涉及局部指标,如点度、接近中心度、中间中心度等,它们有助于识别网络中的关键行动者或桥梁。例如,沈泽洲和王承云[37]对上海所处创新网络地位研究中进行的个网分析,通过考察上海与其他创新中心的连接性,发现上海在全球科技创新网络中处于核心地位。

城市网络的形成是一个复杂的动态过程,其中择优性和地理邻近性是两个关键因素[27]。择优性是指城市基于其特定的优势(如经济、技术、文化等)而被选择加入网络的趋势,地理邻近性则强调物理距离对于城市间联系的影响。这两种力量的作用可以通过多种理论模型来解释,如引力模型[13]、隶属度模型[38]等。这些模型通常基于城市规模、距离衰减函数等参数来预测城市间的交互强度。实证研究结果也支持了这些理论的预期,如吴康等[27]在研究中国城市空间网络时发现,城市间的相互作用受到择优性和邻近性两个因素的共同影响。

为了更精确地分析城市网络的形成机制,还采用了多种统计和计算工具,如复杂网络分析[27]、指数随机图模型(exponential random graph model, ERGM)[39]、多尺度地理加权回归(multi-scale geographically weighted regression, MGWR)[17]、二次指派程序(quadratic assignment procedure, QAP)[13]等。这些方法能够帮助研究者从大量的网络数据中提取有意义的信息,并将其可视化。例如,Windzio[39]利用 ERGM 对全球移民网络进行分析,并绘制了移民网络中的社团结构。

综上所述,城市网络的研究方法不仅包括全网和个网的分析框架,还涵盖了从理论建模到实证检验的一系列系统化步骤。这些方法的应用促使城市网络研究不断深入,为理解城市在全球化背景下的互联互通提供了丰富的分析手段和分析工具。未来的研究需要继续探索新的数据分析技术,并将这些方法与城市发展的实际问题相结合,以期提供更为深刻且具有操作性的城市规划和建设指导。

1.5　城市网络实证研究科学问题

城市网络研究的核心在于理解和解释城市间的流动关系,这些流动关系构成了城市的网络结构,并影响着城市的发展与竞争力。在城市网络研究领域,科学问题主要可以分为两大类型:一类集中在流空间内部的各种现象分析,另一类则将城市网络的视角扩展到更广泛的研究领域。

首先,关于流空间内部的现象分析,即"以流论流"型研究,这类研究通常关注流动性的模式、强度、影响因素及其对城市网络结构的影响。该类型的研究不仅关注流动的物质基础[16-17],如货物、资本和人员的物理移动,也关注信息、技术以及文化等非物质流动[18,40]。具体而言,研究问题可以包括城市间交通流的网络特征[14]、区域内部科技合作网络的发展历程[22]、全球城市知识网络的驱动模

式[41]等。例如，席强敏等[42]通过对京津冀地区科研和技术合作网络的分析，发现该地区科研和技术合作网络的形成受到地理邻近性和择优连接的双重影响。此外，研究还涉及城市网络的动态演变，如徐宜青等[43]对长三角城市群创新网络的研究，揭示了区域一体化进程中城市协同创新的演变趋势。

其次，城市网络间接影响的问题，即“借流论他物”型研究，这类研究通常关注的是城市网络结构如何影响或被其他科学问题所影响。该类型的研究强调了城市网络分析工具的应用价值，将其应用于城市规划、经济发展、社会问题等领域。例如，城市网络研究范式的兴起重塑了集聚理论的地理基础，陆军和毛文峰[44]在研究区域经济发展模式时，提出城市间能够通过“借用规模”行为促进区域一体化，并基于城市网络外部性论证了区域经济高质量发展新模式。此外，城市网络这一视角也被用于城市扩张[45]、腹地识别[46]等方面的研究。在公共卫生领域，城市网络的概念也被用来分析疾病的传播风险，如 Chen 等[47]在研究 COVID-19 传播的健康风险因素时，考虑了人口流动和城市连通性对的疾病传播的影响。

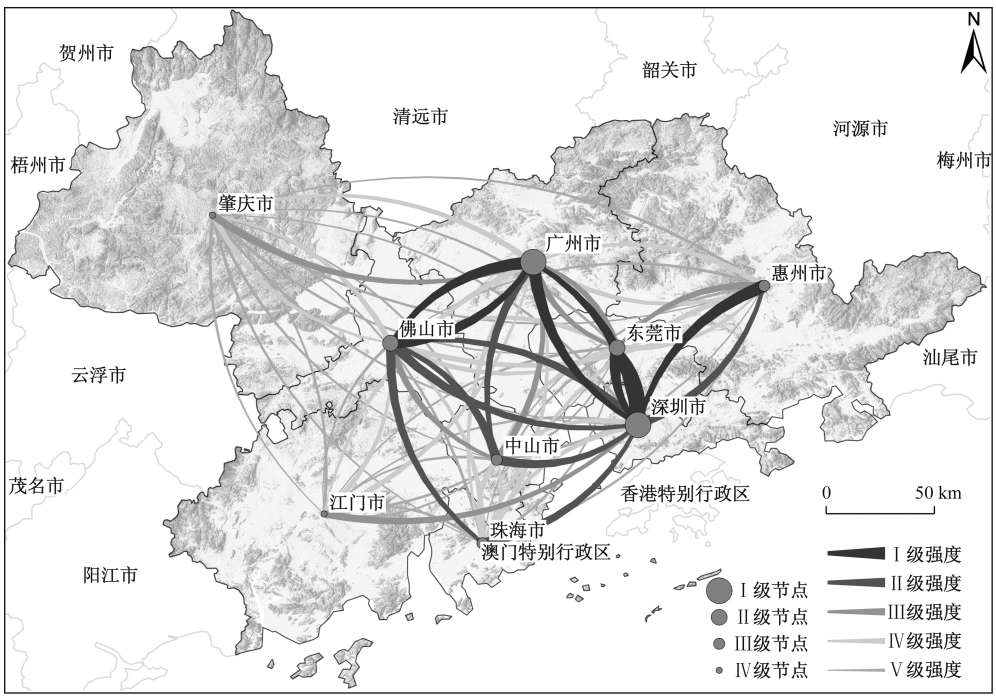
面对这些多样化的研究问题，城市网络研究需要发展更为精细的理论模型和分析方法。这包括但不限于多维度网络分析[48]、时间序列分析[43]、复杂系统模拟等[49]。通过这些方法，研究者能够更深入地理解城市网络的形成机制、演化过程及其对城市发展的影响。同时，跨学科的合作也变得越来越重要，经济学家、社会学家、地理学家、城市规划师和政策制定者等都可以在城市网络研究的框架下共同探讨城市发展的复杂问题。

总之，“以流论流”型研究和“借流论他物”型研究共同构成了城市网络研究的两大支柱。前者聚焦于城市网络内部的流动特性和结构关系，而后者则将这些分析工具和视角应用于更广泛的研究领域。这两种研究类型不仅展示了城市网络研究的多样性和深度，也证明了其在现代城市研究和规划实践中的重要应用价值。未来的研究将继续拓展这些问题的深度和广度，为城市科学的发展和城市规划的科学化提供坚实的理论基础和实证支持。

2　城市网络实证研究案例——珠三角城市群专利转移网络

本文采用大数据挖掘方法，提取国家知识产权局（China National Intellectual Property Administration，CNIPA）数据库网站收录的 2020 年珠三角城市群城市间专利转移记录，并根据专利转移记录信息，以城市为节点，以转移关系为边，以转移数量为联系强度权重，构建城市间专利转移网络（图 1）。

从整体上看，珠三角城市群的专利转移网络呈现出高度的连通性，整体网络密度为 0.971 8，显示



基于审图号为 GS(2024)0650 号标准地图制作，底图无修改

图 1　珠三角城市群 2020 年专利转移网络节点与联系特征

该地区的城市间存在着密切的创新合作关系。这种合作关系很大程度是由于地方性因素,如地理接近性、文化相似性以及共享的经济目标等因素的共同作用。

其次,珠三角城市群的专利转移网络联系,呈现明显的分层结构。Ⅰ级强度联系关系包括广州-佛山、广州-深圳、深圳-东莞以及深圳-惠州。同时这些城市间存在较强的互惠性,即互为彼此最有力的专利转移输入或输出地,表明这些城市在创新活动中具有高度的互动性和协同性,两者在科技、产业、人才等方面的资源具有一定互补性和地理接近性。Ⅱ级强度联系关系包括广州-中山,深圳-佛山、惠州、中山、珠海,佛山-中山、珠海。其中,专利转移具有较强互惠性关系的城市对为深圳-佛山,表明两者创新联系较紧密,产业发展互补性较强。此外,江门和肇庆处于联系强度较弱区域,其创新交互能力有待进一步发展。这类城市在创新资源、产业结构、科技政策等方面存在一定的不足,需要通过加强与其他城市的合作,提升其在专利转移网络中的地位和作用。

表 3　珠三角城市群 2020 年专利转移网络节点度中心度

排序	城市	出度	入度	度中心度
1	深圳	1412	789	2 201
2	广州	829	810	1 639
3	佛山	591	725	1 316
4	东莞	401	555	956
5	中山	257	338	595
6	惠州	179	401	580
7	珠海	272	219	491
8	江门	90	165	255
9	肇庆	87	116	203

另外,珠三角城市群专利转移网络地位,呈现明显的核心-边缘结构特征。根据网络节点的度中心度,将城市地位分为四个等级。其中,广州、深圳属于网络Ⅰ级节点,此类城市专利转移数量较大,拥有较强的技术创新与转化能力,属于网络中的核心驱动力与领导者。佛山、东莞属于网络Ⅱ级节点,提供可观的专利转移数量,属于网络中的追随者和突破者。惠州、中山和珠海属于网络Ⅲ级节点,而江门、肇庆则属于网络Ⅳ级节点,此类城市创新发展能力较弱,属于网络中的受益者和弱势者。

总的来说,通过城市网络结果分析,为理解珠三角城市群的创新动态提供了重要的洞见,也为政策制定者提供了有关如何进一步促进区域创新和合作的建议。

3　结论

基于以上分析,可以发现:

(1)流空间作为一个理论概念,提供了一个新的视角来理解城市间的关系。这一概念强调了城市间的流动要素——包括物质和非物质的流动——在构建城市网络中的重要性。随着全球化和信息技术的发展,流空间的研究不仅有助于揭示城市间的相互作用和依赖关系,也能够展现城市在全球网络中的地位和角色。

(2)城市流要素作为城市网络研究的核心,其分类与特性对于理解城市间互动具有决定性作用。有向和无向流要素揭示了城市联系的方向性和互联互通性,而单一流与综合流的区分有助于深入或全面评估城市动态。直接与间接测量方法的应用则展示了在数据获取上的挑战及解决方案,为后续研究提供了科学有效的分析手段。未来工作需进一步探究新的流要素类型及其测量方法,以适应城市网络研究的进展和需求。

(3)基于流空间视角的城市网络研究尺度涵盖了全球、国家和区域三个层面,以及它们之间的多尺度组合。这些不同的研究尺度决定了研究对象的范围和数据获取的途径。面对数据获取性差和国情差异等挑战,采取了多种策略来提高研究的可行性和可靠性,包括利用公开数据集、采用多源数据融合技术以及开展跨国或跨区域的比较研究。

(4)城市网络的研究方法已经发展出全网分析和个网分析两大类型,分别关注网络的整体结构和特定节点或连接的细节。这些方法的应用展示了城市网络分析的多样性和深入性,同时也揭示了城市间互动的复杂性。未来的研究需要继续探索新的数据分析技术,并将这些方法与城市发展的实际问题相结合,以期提供更为深刻且具有操作性的城市规划和建设指导。

(5)城市网络研究的问题类型可以归纳为“以流论流”型和“借流论他物”型。前者聚焦于城市网络内部的流动特性和结构关系,而后者则将这些分析工具和视角应用于更广泛的研究领域。这两种研究类型不仅展示了城市网络研究的广度和深度,也证明了其在现代城市研究和规划实践中的重要应用价值。

(6)珠三角城市群的专利转移网络实证案例,展示了在信息化背景下分析城市间动态联系关系的一种方法,同时也提出了超越传统地理决定论的城市网络关系研究新视角。这种观察进一步强调

了城市网络中流动要素的重要性，它在塑造城市网络结构和功能中起着关键作用。

未来的研究应当继续深化对流空间和城市网络的理解，特别是在以下几个方面：首先，进一步完善和发展城市网络的理论模型，以更好地捕捉城市间复杂的互动关系；其次，加强对城市网络动态变化的研究，尤其是在全球化和地方化双重趋势影响下的城市网络演化[50]；此外，跨学科的合作对于理解城市网络的多维性至关重要，未来的研究需要更多地整合经济学、社会学、地理学等多个学科的视角和方法；最后，随着大数据和计算技术的发展，未来研究可以利用机器学习、人工智能等方法来分析大规模的城市网络数据，以揭示城市网络的新特征和规律。

综上所述，流空间与城市网络研究为理解当代城市的发展和城市间的相互作用提供了有效的理论框架和分析工具。通过对现有研究的总结和反思，不仅能够更深入地认识城市网络的复杂性，也期望能够为未来的城市研究和规划实践提供新的方向、政策建议和决策支持。

参考文献

[1] MEIJERS E. From central place to network model: theory and evidence of a paradigm change[J]. Tijdschrift Voor Economische en Sociale Geografie, 2007, 98(2): 245-259.

[2] TAYLOR P J, HOYLER M, VERBRUGGEN R. External urban relational process: introducing central flow theory to complement central place theory[J]. Urban Studies, 2010, 47(13): 2803-2818.

[3] CASTELLS M. The rise of the network society[M]. Cambridge, USA: Blackwell Publishers, 1996.

[4] 高鑫，修春亮，魏冶. 城市地理学的“流空间”视角及其中国化研究[J]. 人文地理，2012，27(4)：32-36.

[5] 盛科荣，杨雨，孙威. 中国城市的网络地位及影响因素研究——基于上市公司500强企业网络视角[J]. 地理科学，2020，40(5)：740-750.

[6] TAYLOR P J, DERUDDER B. World city network: a global urban analysis[M]. Brandon, Vermont, USA: Psychology Press, 2004.

[7] AMIN A, THRIFT N. Cultural-economy and cities[J]. Progress in Human Geography, 2007, 31(2): 143-161.

[8] BATHELT H, MALMBERG A, MASKELL P. Clusters and knowledge: local buzz, global pipelines and the process of knowledge creation[J]. Progress in Human Geography, 2004, 28(1): 31-56.

[9] 姚常成，吴康. 集聚外部性、网络外部性与城市创新发展[J]. 地理研究，2022，41(9)：2330-2349.

[10] 王少剑，高爽，王宇渠. 基于流空间视角的城市群空间结构研究——以珠三角城市群为例[J]. 地理研究，2019，38(8)：1849-1861.

[11] 马海涛，徐楦钫，江凯乐. 中国城市群技术知识多中心性演化特征及创新效应[J]. 地理学报，2023(2)：273-292.

[12] 周灿，曾刚，宓泽锋，等. 区域创新网络模式研究——以长三角城市群为例[J]. 地理科学进展，2017，36(7)：795-805.

[13] 赵亚博，黄柳倩，马世发，等. 珠三角城市群经济联系的演变特征及影响因素探讨[J]. 广东工业大学学报，2022，39(3)：95-104.

[14] 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[J]. 地理学报，2017(8)：1508-1519.

[15] 刘铮，王世福，赵渺希，等. 有向加权型城市网络的探索性分析[J]. 地理研究，2013，32(7)：1253-1268.

[16] 喻冰洁，崔叙，张秋仪，等. 大城市空间交互网络的多中心结构特征及形成机制研究——基于流动空间与空间效应的成都实证[J]. 规划师，2021，37(21)：66-74.

[17] 赵亚博，胡蝶，黄柳倩，等. 粤港澳大湾区物流网络特征与影响因素研究[J]. 地理科学进展，2024，43(4)：685-699.

[18] 熊丽芳，甄峰，王波，等. 基于百度指数的长三角核心区城市网络特征研究[J]. 经济地理，2013，33(7)：67-73.

[19] 盛彦文，苟倩，宋金平. 城市群创新联系网络结构与创新效率研究——以京津冀、长三角、珠三角城市群为例[J]. 地理科学，2020，40(11)：1831-1839.

[20] 高鹏，何丹，宁越敏，等. 长三角地区城市投资联系水平的时空动态及影响因素[J]. 地理研究，2021，40(10)：2760-2779.

[21] 马海涛. 基于知识流动的中国城市网络研究进展与展望[J]. 经济地理，2016，36(11)：207-213.

[22] 吴家权，谢涤湘，李超骓，等. 知识创新与技术创新网络空间结构的演化特征——基于“流空间”视角的粤港澳大湾区案例研究[J]. 城市问题，2021(4)：12-21.

[23] DERUDDER B, DEVRIENDT L, WITLOX F. Flying where you don't want to go: an empirical analysis of hubs in the global airline network[J]. Tijdschrift Voor Economische en Sociale Geografie, 2007, 98(3): 307-324.

[24] 马学广，唐承辉. 中国城市网络化空间联系与格局——基于高铁客运流的大数据分析[J]. 经济地理，2018，38(4)：55-64.

[25] 贺灿飞，任卓然，王文宇. “双循环”新格局与京津冀高质量协同发展——基于价值链分工和要素流动视角[J]. 地理学报，2022，77(6)：1339-1358.

[26] 李恩康，陆玉麒，杨星，等. 全球城市网络联系强度的时空演化研究——基于2014—2018年航空客运数据[J]. 地理科学，2020，40(1)：32-39.

[27] 吴康，方创琳，赵渺希. 中国城市网络的空间组织及其

复杂性结构特征[J]. 地理研究,2015,34(4):711-728.
[28] 赵渺希,钟烨,徐高峰. 中国三大城市群多中心网络的时空演化[J]. 经济地理,2015,35(3):52-59.
[29] 王方方,杨焕焕. 粤港澳大湾区城市群空间经济网络结构及其影响因素研究——基于网络分析法[J]. 华南师范大学学报(社会科学版),2018(4):110-120.
[30] 姚永玲,邵璇璇. 中国城市人口空间网络结构及其影响因素[J]. 人口与经济,2020(6):1-16.
[31] 王方方,杨焕焕. 粤港澳大湾区城市群空间经济网络结构及其影响因素研究——基于网络分析法[J]. 华南师范大学学报(社会科学版),2018(4):110-120.
[32] 李苑君,吴旗韬,张玉玲,等. "流空间"视角下高速公路交通流网络结构特征及其形成机制——以广东省为例[J]. 地理研究,2021,40(8):2204-2219.
[33] 周灿,曾刚,曹贤忠. 中国城市创新网络结构与创新能力研究[J]. 地理研究,2017,36(7):1297-1308.
[34] 赵渺希,黎智枫,钟烨,等. 中国城市群多中心网络的拓扑结构[J]. 地理科学进展,2016,35(3):376-388.
[35] 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[J]. 地理学报,2015(12):1953-1972.
[36] 段德忠,杜德斌,谌颖,等. 中国城市创新网络的时空复杂性及生长机制研究[J]. 地理科学,2018,38(11):1759-1768.
[37] 沈泽洲,王承云. 上海参与全球科技创新网络地位研究——基于WIPO专利合作数据[J]. 世界地理研究,2023,32(2):93-103.
[38] 宋琼,谢志祥,李同昇,等. 长江中游城市群城市网络空间结构研究[J]. 地域研究与开发,2017,36(3):59-65.
[39] WINDZIO M. The network of global migration 1990—2013: using ERGMs to test theories of migration between countries[J]. Social Networks,2018,53:20-29.
[40] 马海涛,徐楦钫,江凯乐. 中国城市群技术知识多中心性演化特征及创新效应[J]. 地理学报,2023(2):273-292.
[41] 曹湛,戴靓,吴康,等. 全球城市知识合作网络演化的结构特征与驱动因素[J]. 地理研究,2022,41(4):1072-1091.
[42] 席强敏,李国平,孙瑜康,等. 京津冀科技合作网络的演变特征及影响因素[J]. 地理学报,2022(6):1359-1373.
[43] 徐宜青,曾刚,王秋玉. 长三角城市群协同创新网络格局发展演变及优化策略[J]. 经济地理,2018,38(11):133-140.
[44] 陆军,毛文峰. 城市网络外部性的崛起:区域经济高质量一体化发展的新机制[J]. 经济学家,2020(12):62-70.
[45] 焦利民,唐欣,刘小平. 城市群视角下空间联系与城市扩张的关联分析[J]. 地理科学进展,2016,35(10):1177-1185.
[46] 李涛,周锐. 长三角地区网络腹地划分的关联测度方法比较[J]. 地理学报,2016(2):236-250.
[47] CHEN M, CHEN Y, XU Y, et al. Population flow based spatial-temporal eigenvector filtering modeling for exploring effects of health risk factors on COVID-19[J]. Sustainable Cities and Society,2022,87:104256.
[48] 盛科荣,杨雨,张红霞. 中国城市网络的凝聚子群及影响因素研究[J]. 地理研究,2019,38(11):2639-2652.
[49] VAN DERPOL J. Introduction to network modeling using exponential random graph models (ERGM): theory and an application using R-project[J]. Computational Economics,2019,54(3):845-875.
[50] 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[J]. 地理研究,2012,31(2):207-219.

Progress in Space of Flows and Urban Network Research: Theory, Methodology and Future Directions

CHEN Jingye, LI Meitong, WU Lingling, ZHAO Yabo

(School of Architecture and Urban Planning, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510090, China)

Abstract: The advancements in urban network research under the backdrop of rapid globalization and information technology development were reviewed and summarized, with a focus on the evolution of space of flows theory and its impact on the development of urban network studies. Through a literature review, empirical research progress was synthesized in five areas: types and measurement methods of flow elements, research differences across regions and scales, data challenge strategies, applications of total network analysis and individual network analysis, as well as classification of scientific issues and their practical case applications. The conclusion identifies current research problems and future research directions are proposed in order to foster deeper exploration in the field of urban networks.

Keywords: space of flows; urban networks; theoretical background; research progress; future directions