

# 流空间研究的演进框架与分析范式

文余源<sup>1,2</sup>, 刘洋<sup>1</sup>, 余子龙<sup>1</sup>

(1. 中国人民大学应用经济学院, 北京 100872; 2. 中国人民大学京津冀协同发展研究院, 北京 100872)

**摘要:** 流空间研究为城市与区域发展领域提供了新的分析视角, 有助于揭示和理解城市内部及区域间的动态交互作用。该研究不仅可为城市管理和空间规划提供科学的分析手段, 还能通过优化资源分配和提高空间利用效率, 为促进区域和城市的可持续发展提供理论指导。本文从概念、属性、特征和基本要素等方面系统梳理和深入剖析了流空间的内涵, 提出并分析了流空间研究的演进框架, 通过理论溯源、研究趋势和热点分析, 发现流空间研究呈现“超核心、多中心、泛主题”的发展态势。更进一步, 本文探讨了流空间研究的分析范式及其显著转变: 研究领域从单一的经济联系扩展到涵盖社会、文化、生态和地理等领域的多维联系; 研究数据从传统的统计调查数据发展为传统数据与多源大数据的结合; 研究方法从定性研究向动态定量研究转变。未来创新数据采集与融合技术、开发先进分析工具、拓展跨尺度研究方法、加强理论与实证结合和推动跨学科协作等是进一步深化流空间研究的潜在方向。

**关键词:** 流空间; 位空间; 要素流; 共现图谱; 范式内容

DOI: 10.11821/dlxb202504003

## 1 引言

在区域与城市研究领域, 流空间 (Space of Flows) 理论和分析方法促进了对传统空间, 即位空间 (Space of Places) 概念的深度反思和扩展。历史上, 空间常被视为静态、几何化的背景, 仅作为经济与社会活动发生的场所, 而非参与或推动这些活动的主体。但随着全球化的深入发展、交通运输能力的大幅提升及数字通信技术的快速进步, 包括人口、资本、信息与服务在内的空间流动性已经成为当代社会的显著特征。全球化引领的变革促使学者重新审视空间的本质, 并提出“流空间”这一概念, 该概念强调空间是在各种流动性的作用下动态生成并持续变化的<sup>[1]</sup>。流空间研究为理解城市和区域如何在全球网络中互联互通提供了新的理论框架, 并探讨这些连接如何影响经济模式、社会结构和文化形态等领域<sup>[2]</sup>。从关注物质流动 (如人口迁徙和货物运输) 到关注非物质流动 (如资本和信息流动), 流空间分析展现了空间组织的复杂性和流动性的重要地位。尤其是在数字化时代, 虚拟空间的流动性, 如社交媒体、电子商务和在线交流所实现的连接进一步扩展了流空间研究的边界, 使分析不局限于物理空间, 还涵盖了虚拟与物理空间的互动。因此, 流空间研究的兴起标志着学术理论的重大进步, 同时反映出对理解当代社会经济与文化现象的迫切需要。通过探讨空间流动性如何在全球层面上重组资源、重塑地理界限和塑造社会关系, 流空间研究为揭示全球化背景下的空间组织提供了关键视角和

收稿日期: 2024-02-22; 修订日期: 2024-11-07

基金项目: 国家自然科学基金项目(72373151, 71773133) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.72373151, No.71773133]

作者简介: 文余源(1970-), 男, 湖南东安人, 教授, 博士生导师, 主要从事区域经济与GIS研究。

E-mail: wenyuyuan@ruc.edu.cn

886-904 页

分析工具。随着该研究领域的不断深化，流空间分析已成为解读和应对21世纪城市与区域发展挑战的重要手段，其理论和方法的进一步发展将对未来的空间科学研究及实践产生深远影响。

城市和区域流空间研究揭示了各类要素流多层次、多维度互动关系，但也表现出在规模、密度、基础设施和治理方面的显著差异。作为城市与区域研究中不可或缺的部分，深入探究流空间演进框架，有助于增进对流空间理论的理解，提供一个更为综合的视角来分析城市和区域发展的多维复杂性。随着全球化和信息化进程的加速，流空间研究的动态性和复杂性也在不断扩展，使得对其发展趋势和分析方法的研究成为理解和适应这些变化，以及解读新兴空间现象的关键。同时，研究流空间新的分析范式能够促进方法论的更新，为城市与区域研究注入新的动力。因此，本文系统性地探讨了流空间研究，阐明其内涵并梳理了演进框架与分析范式，旨在深化学术界与实践领域对流空间的认知，并推动流空间研究在理论和应用层面的全面发展。

## 2 流空间的内涵

### 2.1 流空间的概念

社会的形成依赖于各种要素的流动。早期学界囿于数据可得性主要从时间和空间的维度出发，依据要素在各区域的累积量和变化量来描述区域之间的联系。随着信息技术的进步，要素传输的方式由实体路网转向非实体，从而塑造出一种新的空间形态——流空间。“流空间”的概念最早于1989年由Castells在《信息化城市》一书中提出，指资本、商品、信息、技术、服务等要素有向、反复流动所形成的具有共享时间的物质组织<sup>[3-4]</sup>。1996年Castells在其著作《网络社会的崛起》中进一步完善了流空间的定义，将流空间从单纯的虚拟技术空间扩展到地理空间和社会网络尺度，认为流空间是在信息技术时代，通过为信息、技术、资金的流动提供载体所形成的一种组织形式<sup>[5]</sup>。由于信息技术引发的信息化浪潮迅速改变了城市的政治、经济、文化及景观等各个方面，信息网络正对原有城市要素进行快速重组和重塑，促进了物流、人流、技术流、资金流等的聚集与扩散强度和速度，城市综合功能不断增强，信息技术进步使得各种“流”将距离遥远的地域联系在一起，并引发交易革命<sup>[6]</sup>。流空间是信息时代的新型空间形式，通过网络和路网连接地理上不相邻的区域，改变了物理距离对区域联系的传统影响<sup>[7]</sup>，促进了远距离城市间的要素、人员和事物互动。这种空间形式基于实体基础设施，但突破了地理限制，实现了大尺度范围内节点的互联互通。流空间创造了新的空间联系模式，打破了人们对传统地理空间联系的认识<sup>[8]</sup>。

随着国内流空间研究的不断推进，学术界对流空间概念的理解也在持续深化。学者们认为流空间是在网络空间引导下地方空间的新表现形式<sup>[9]</sup>，围绕人流、物流、资金流、技术流和信息流等要素构建，以信息技术和快速交通为支撑，创造了有目的、反复、可程式化的动态运动<sup>[10]</sup>。在中国语境下，流空间概念进一步发展，强调了信息流在引导不同流要素形成空间过程中的关键作用<sup>[11]</sup>。这种观点突出了信息流在区域网络结构中的带动作用，引申出交互性网络空间的概念<sup>[12]</sup>。整体而言，流空间是对传统的物理空间在研究方法、理论基础及逻辑转变等方面的革新<sup>[13]</sup>。

虽然流空间强调了空间动态和流动性的重要性，但为全面理解空间的多维性质，不可忽视与之相对应的另一关键概念——位空间。位空间作为流空间的补充和对照，专注于空间的静态和物理属性。位空间是以点、线、面为要素，借助交通基础设施实现城市

间要素的流动,形成的城市间的联系。由于位空间是以交通路网为媒介,因此城市间的联系受距离因素的影响较大。同时,位空间具有清晰的边界划分,受空间尺度影响,城市联系普遍遵循核心—边缘分布规律,即距离中心城市越近,城市间的联系越强,随着距离的增加,城市间的联系逐渐减弱。此外,位空间更多地强调城市等级性,等级越高,城市间的联系越紧密。不同于位空间,流空间由节点和流线组成,主要依托信息网络和通信设施,强调要素在节点间的有向性流动和积累,在空间上以网络化为主要形态,很大程度上克服了距离对节点间联系度的影响,借助信息网络技术,形成依附于实体空间的流空间组织架构。流空间中要素流动导致城市原有物理空间边缘被弱化和空间尺度限制的逐步消失(表1)。

表1 流空间与位空间的区别

Tab. 1 The differences between space of flows and space of place

属性	位空间	流空间
组成要素	点、线、面	点、流线
媒介	交通路网	信息网络、通信设施
主导因素	距离	信息与通信技术
空间边界	边界清晰,受空间尺度影响	边界模糊,不受空间尺度影响
联系模式	垂直、等级	双向、网络

流空间与位空间虽有本质区别,但又紧密联系。有学者认为信息与通信技术的快速发展使得位空间的重要性正在逐渐减弱<sup>[14]</sup>,但也有学者认为流空间对于位空间的替代作用仍然有限,这两个空间将长时间共存<sup>[12, 15]</sup>。虽然位空间目前仍然是主导性社会空间,随着信息通信技术的发展,越来越多的活动在其塑造的流空间中进行。位空间的位置功能更依赖于流空间的组织,流空间对位空间的影响正在增加。流空间理论将人们的注意力从政治界限定的、地方主导的位空间向网络空间转变,城市和城市群地理过程越来越多地由流空间来塑造<sup>[16]</sup>。但流空间尚未完全渗透到人类社会实践的所有领域,流空间下的城市空间逻辑并非否定“位”或地方的存在,更不是“终结地理位置”,因为流空间下“位”并未消失,其所依赖的网络连接了特定的地点(位)，“位”的逻辑和意义已被吸纳进了流空间塑造的城市网络<sup>[6]</sup>,区域空间形态已从位空间演变为位空间和流空间共存的新型空间。共存的具体表现为:①位空间正在扩展到相邻空间或关系空间;②流空间对位空间组织模式的影响正在加深。它不断地冲击,甚至开始在某些领域替代位空间;③流空间打破了时间和空间的限制,并在一定程度上指导了未来位空间模式的形成和发展。它在要素流动的相互作用中延伸到人类活动的所有领域<sup>[17]</sup>。

## 2.2 流空间的属性

根据Castells的研究,流空间可以用两个层次的构成加以描述<sup>[2]</sup>:一层是由现实生活中可以被感知的经济、社会、自然等物质环境构成的实体空间;另一层是由现代计算机技术和互联网空间支撑的数字化虚拟空间。从空间形态的角度来看,流空间是一种介于现实空间和虚拟空间之间的灰色区域。它既具有现实空间的地理属性(依赖于物理场所、信息基础设施和其他媒介),又具备虚拟空间的虚拟特性。作为流空间的重要组成部分,实体空间内的物质流动有两个显著特点:①在信息流的引导下,通过交通走廊实现的物理位移相比于无信息引导的物质流动,更加合理有序且高效;②物质流对信息流具有反馈作用并推动着信息流的更新和传播。以实体空间为依托的虚拟空间借助计算机和网络技术构建了一个持续运作、即时反馈的电子世界,大大拓展了实体空间的范围,同时也缩短了资源要素传输的空间距离,极大地便利了人类活动。

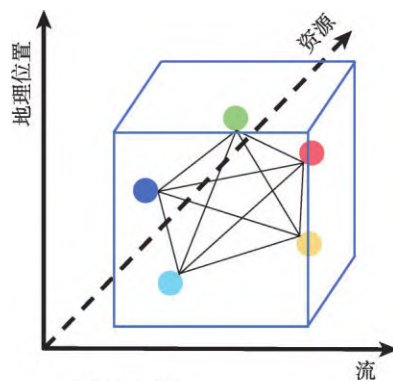
## 2.3 流空间的特征

流空间的核心特征包括流动性、共享性、高时效性、空间弹性和高级网络性。流动性是流空间最根本的特征,体现为各类要素在空间中自由移动和社会活动的动态性,挑

战了传统空间边界，推动空间重组和社会关系重构。共享性源于虚拟空间中数字信息的即时共享，节约资源并提高效率，突破地理距离限制。高时效性通过信息技术实现跨越时空的快速交流，压缩时间以提高空间效率。空间弹性反映在产业布局和组织管理的灵活性上，促进服务产业发展和管理创新。高级网络性体现为全球范围内的资源组织和强联系，推动区域经济一体化，形成经济要素的集聚扩散和即时反馈。这些特征相互关联，共同构成流空间的本质，推动社会经济创新发展和空间重构。

## 2.4 流空间的基本要素

流空间的基本要素主要包括两部分：基础设施和空间。基础设施是流空间的基础，包括路网、互联网和通信网络等。空间能够容纳各种要素流动，包括人流、物流、经济流和信息流。这些要素流在实体之间不断流动，分别形成了人口空间、经济空间和信息空间。一方面，要素流的流动离不开基础设施的支持，另一方面其也会间接刺激基础设施的建设和发展。在不同空间中，各种要素流的流动都离不开其相应的载体，这些载体可以是一个人、一个产品，也可以是一个地点。在流空间中，每个参与者都可以被抽象为一个节点，这些节点通过要素流的流动相互连接。流空间可以被视为一个由地理位置、资源和流构成的三维空间，其中，“地理位置”维度主要指位置信息（如经纬度、IP地址），可以用来区分每个节点；“资源”维度指的是每个节点的不同条件（如人口规模、经济发展水平、自然资源储备等）；“流”维度则是指每个要素流及其流动过程（图1）。



正方体表示空间  
实心圆表示载体或节点连线表示流

图1 流空间的基本要素示意

Fig. 1 Basic elements of space of flows

## 3 流空间研究的演进框架

演进框架用于阐释和分析一个领域、概念或系统随时间的演变和发展过程，提供了一种系统性的视角，通过追踪关键变化点、发展阶段和趋势，来理解特定主题的历史演进、当前状态和未来可能的发展方向。本节通过阐释流空间研究的理论沿革追踪流空间理论的起源与演化，梳理流空间的研究历程和特点展现流空间研究如何反映空间中要素流动的复杂性，总结研究趋势和热点揭示流空间研究的发展方向。

### 3.1 流空间研究的理论沿革

流空间相关理论的提出可以追溯至中心地理论、增长极理论和“点—轴”理论等理论的产生，这些理论通过对空间结构和区域发展模式的分析，为理解和解释流空间的形成和演变提供了初步的理论基础。1933年Christaller提出中心地理论，该理论主要关注城市等级和空间分布，强调通过合理的城市等级体系构建区域空间组织。该理论认为较大城市提供高级服务，小城镇提供基础服务，从而形成服务范围的层级结构<sup>[18]</sup>。随后在20世纪50年代，Perroux提出增长极理论，进一步强调了空间发展的不均衡性。这一理论主张关键产业或企业可作为经济增长的“极点”，通过辐射效应带动周边地区发展，丰富了区域经济增长的动力机制<sup>[19]</sup>。1984年中国地理学家陆大道首次提出了“点—轴”系统理论，该理论强调“点”（城市）和“轴”（交通线路）在区域发展中的协同作用，更加注重动态发展和区域整合。上述理论虽然对区域发展研究有重要贡献，但相较于流空间理论仍存在局限性。一方面，上述理论未能充分考虑现代通信和交通技术对人类活动和经

济分布的影响, 过于聚焦于物理空间中的实体和物质流动, 而忽视了信息、金融资本和服务等非物质流动的重要性。另一方面, 早期理论主要聚焦于静态结构, 如城市中心、增长极和连接轴线, 而忽视了经济活动、人口和信息流动等动态过程。随着全球化和网络化的发展, 跨国公司、全球供应链和数字经济等新兴现象对地理空间的影响日益突出。上述理论未能预见这些趋势, 因此在解释全球范围内的空间互动和经济集聚方面存在局限性。

1989年美国社会学家Castells首次提出了流空间理论, 其本义为“物质流动不需要空间形态的地理区位相邻也可实现要素时间共享的动态化空间”, 是一种新的空间组织主导形式。该理论包含4个层次: 物质基础设施、节点和枢纽、管理精英网络、电子交往活动空间<sup>[2-3]</sup>。在信息化和全球化背景下, 城市和区域发展不再仅仅是静态的空间组织问题, 流空间理论通过强调流动性和网络对空间的重构, 突破了传统城市等级体系理论框架, 提供了一个更符合当代社会经济发展趋势的研究视角。在此基础上, 2002年Taylor提出世界城市网络概念和互锁网络模型, 推动城市研究从传统理论转向网络理论。互锁网络包括枢纽层、节点层和次节点层<sup>[20]</sup>。随后, 2010年Taylor建立了中心流理论, 将网络关系视角拓展至城市与区域研究<sup>[21]</sup>。中心流理论与中心地理理论在空间结构上有显著差异: 前者关注城市间的水平关系和无界网络, 强调流创造地方; 后者强调垂直联系和空间有界性, 认为地方创造流。两种理论在空间结构和城市关系的理解上形成互补。此后, 曼彻斯特学派的部分经济地理学家提出全球生产网络 (Global Production Network, GPN) 理论, 进一步聚焦组织关系与地理关系, 关注同一企业内、企业间以及企业外的关系, 诠释了多尺度、动态性的全球经济网络<sup>[22]</sup>。上述理论发展反映了在全球化、信息化背景下学术界对空间关系的深入理解, 强调了流动性、网络连接和全球视角在现代城市和区域发展中的重要性, 为城市和区域发展研究提供了新的分析框架 (图2)。

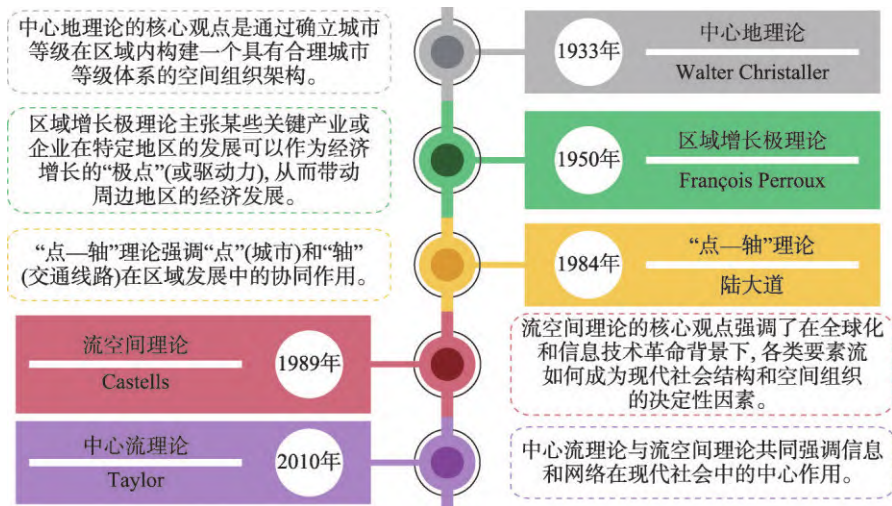


图2 流空间相关基础理论

Fig. 2 Basic theories related to space of flows

### 3.2 研究趋势和热点

**3.2.1 关键词共现图谱分析** 关键词在文献中最具代表性, 展现了文章的核心研究内容。关键词共现图谱能够揭示关键词之间的相互关系, 进而明确流空间研究的核心议题。本小节以中国知网 (CNKI) 中文文献为研究对象, 选取2000—2023年区域与城市经济学研究中436篇关于流空间的文献, 运用CiteSpace进行关键词共现图谱可视化分析 (图3)。文

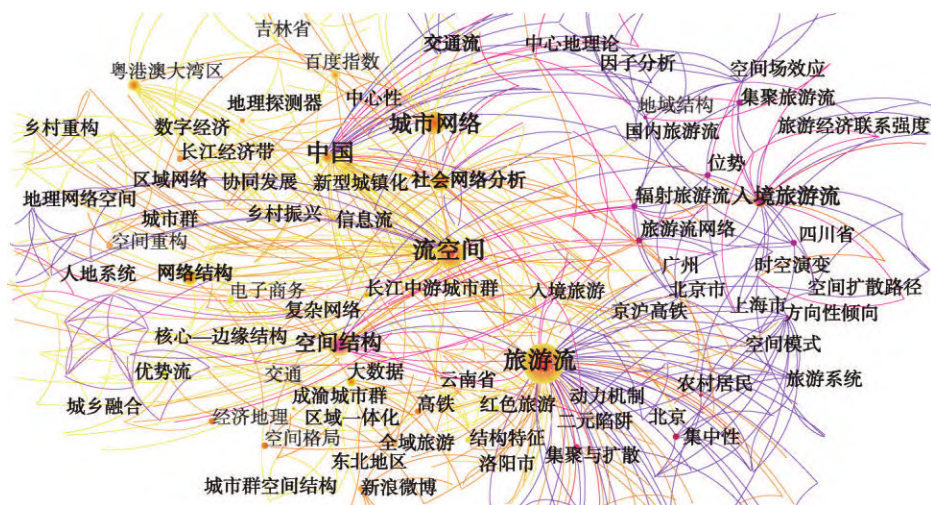


图3 2000—2023年流空间研究中文关键词共现图谱

Fig. 3 Co-occurrence map of Chinese key words in the research of space of flows from 2000 to 2023

献中的关键词具有高度的代表性，在关键词共现网络中，每个节点代表一个关键词，节点的大小通常表示关键词出现的频率，而线条表示关键词之间的共现关系。节点间的连线越粗，表示两个关键词一起出现的次数越多，意味着它们在研究文献中的相关性越高。连线及节点越接近紫色表示年份越早，越接近黄色表示年份越晚。中国流空间研究中的关键词共现网络密切相关，各关键词之间的共现关系较为清晰，表现出“超核心、多中心、泛主题”的格局。在流空间研究领域，中国学者主要关注旅游流、社会网络分析、网络结构、城市网络和空间结构等议题。从研究区域来看，流空间的研究区域由早年聚焦于北京、广州等单一城市内部要素流转向粤港澳大湾区、长江中游城市群等的区域间要素流动。从研究方法来看，社会网络分析、地理探测器等与流空间研究的结合成为揭示流空间下区域要素流的空间结构、网络结构主流分析方法。从研究对象来看，旅游流、交通流和信息流等相继成为流空间理论关注的核心内容，体现了现代社会中流动性的多维性和其对空间组织影响的深远意义。

再以“Web of Science”作为外文文献来源，通过主题检索词“space of flows”筛选文献，并将文献类别限定为区域与城市经济学领域中的“Article”“Dissertation Thesis”“Review Article”去重后共得到973篇英文文献。使用CiteSpace生成2000—2023年间流空间研究的英文关键词共现图谱，发现基于英文文献的流空间研究相对较为关注“city”“urban”“space”“place”“state”等不同空间尺度，注重“geography”“politics”“governance”“policy”“mobility”“traffic flow”“globalization”“migration”“impact”等研究领域，聚焦“model”“flow”“network”“patterns”“algorithm”“dynamics”等研究方法（图4）。与中文文献类似，也呈“超核心、多中心、泛主题”模式。

对比中英文流空间文献的关键词共现图谱，发现两者在热点主题上总体一致，均聚焦于各类要素流和网络分析，以城市为主要研究对象。然而，英文文献侧重理论输出，而中文文献更注重实际应用。

**3.2.2 聚类视图分析** 基于CiteSpace生成的聚类视图，可以深入洞察研究主题。聚类的同质性通过Silhouette值衡量，该指标反映了聚类成员之间的相似性程度。当Silhouette值大于0.7时，表明聚类结果是可靠和有说服力的。因篇幅限制仅以中文文献为例展示（下同），发现共有8个聚类的Silhouette值均超过0.7，显示了高度一致的聚类结果。CiteSpace

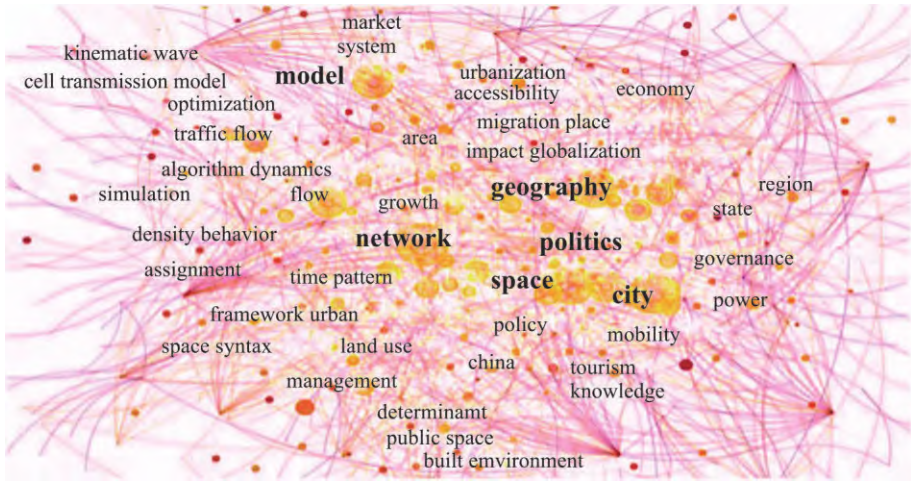


图4 2000—2023年流空间研究英文关键词共现图谱

Fig. 4 Co-occurrence map of English key words in the research of space of flows from 2000 to 2023

利用LLR算法从文献关键词中提取的名词短语作为聚类标签，能够概括主题内容。要深入分析研究热点和知识结构，还需进一步综合分析聚类内的关键词。具体的聚类主题包括流空间（聚类#0）、旅游流（聚类#1）、社会网络分析（聚类#2）、大数据（聚类#3）、空间结构（聚类#4）、入境旅游流（聚类#5）、中国（聚类#6）、交通流（聚类#7）、农村居民（聚类#8）以及数字农业农村（聚类#9）（图5）。这些主题覆盖了从理论到应用的广泛领域，展示了研究领域的多样性和丰富性。

**3.2.3 关键词突现历史** CiteSpace的突现性探测功能能够揭示一个领域内研究主题的重大转变，从宏观到微观，从单一到多元。这一功能中，所谓的“突现词”指的是在特定时间段（即突现时间）论文中频繁出现的关键词。这些关键词的“突现强度”代表其出现

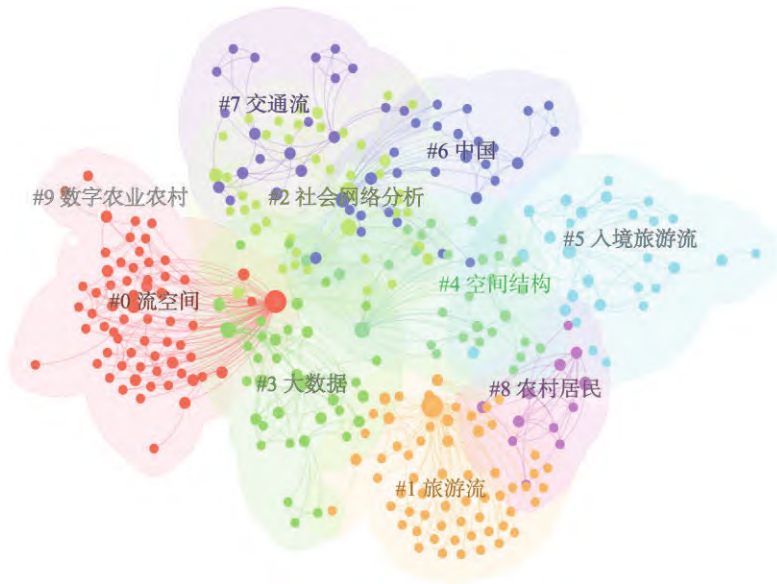


图5 2000—2023年流空间研究热点聚类视图

Fig. 5 Co-occurrence of Chinese key words in the research of space of flows

频率的突增程度。关键词的突现强度越大，表明其受到的关注程度也越高。本文将突现性探测的时间单位设为1，并以前13个突现词来绘制图谱（表2）。中文流空间文献突现强度最高的5个词分别是“流空间”（6.93）、“网络结构”（4.81）、“入境旅游流”（4.02）、“旅游流网络”（3.37）和“大数据”（3.32）。持续时间较长的突现词包括“城市网络”（7年）、“网络结构”（5年）、“空间场效应”（5年）、“入境旅游流”（4年）和“地域结构”（4年），而其他关键词的突现时段大约在2~3年。这表明国内流空间研究已从早期注重单一的位空间效应视角，转变为通过社会网络分析等方法来研究不同位置和流动的网络结构等更为复杂多元的研究范式。特别是从2020年以来，“流空间”这一关键词的突现强度一直保持较高，显示出在全球化和信息化背景下，区域与城市研究领域学界对利用流空间理论和相关方法来揭示网络化空间组织中的经济运行规律的兴趣不断增长。

表2 流空间研究突现关键词  
Tab. 2 Burst keywords in the research of space of flows

关键词	突现强度	始于年份	迄于年份	突现图谱(2000—2023年)
流空间	6.93	2019	2023	
网络结构	4.81	2018	2023	
入境旅游流	4.02	2010	2014	
旅游流网络	3.37	2012	2014	
大数据	3.32	2017	2020	
社会网络分析	3.17	2021	2023	
地域结构	2.55	2008	2012	
粤港澳大湾区	2.48	2021	2023	
城市网络	2.08	2016	2023	
百度指数	1.99	2019	2021	
空间场效应	1.62	2005	2010	
地理探测器	1.59	2019	2021	
信息流	1.51	2021	2023	

注：突现图谱中不同颜色的线段表示起讫年份，浅蓝色线段表示关键词尚未出现年份，深蓝色线段表示关键词出现年份，红色线段表示关键词激增年份。

## 4 流空间研究的分析范式

在探索流空间这一复杂而多维的概念时，分析范式作为研究的基础框架，提供了一种系统性的方法，帮助研究者理解和分析流空间及其对社会空间结构的影响。分析范式是科学研究中基本方法论和具体分析方法的集合，决定了研究的视角、方法和工具。流空间研究的分析范式强调理论分析与实证研究的结合，旨在深化对流空间理论的理解，并确保研究成果具有实践意义和应用价值。本文遵循“研究领域—研究内容—研究应用”的分析思路，从研究领域出发，聚焦不同的研究视角，搜集多种研究数据，利用多样的研究方法来实现研究目标，最终进入实际应用。流空间研究的分析范式提供了一个全面且灵活的分析框架，指导研究者如何有效地利用多源数据和多种分析技术来揭示流空间的内在机理和外表现。图6展示了流空间研究的分析体系。

### 4.1 流空间分析范式的转变

总体而言，流空间研究的分析范式经历了3个显著转变：研究领域从单一的经济联系

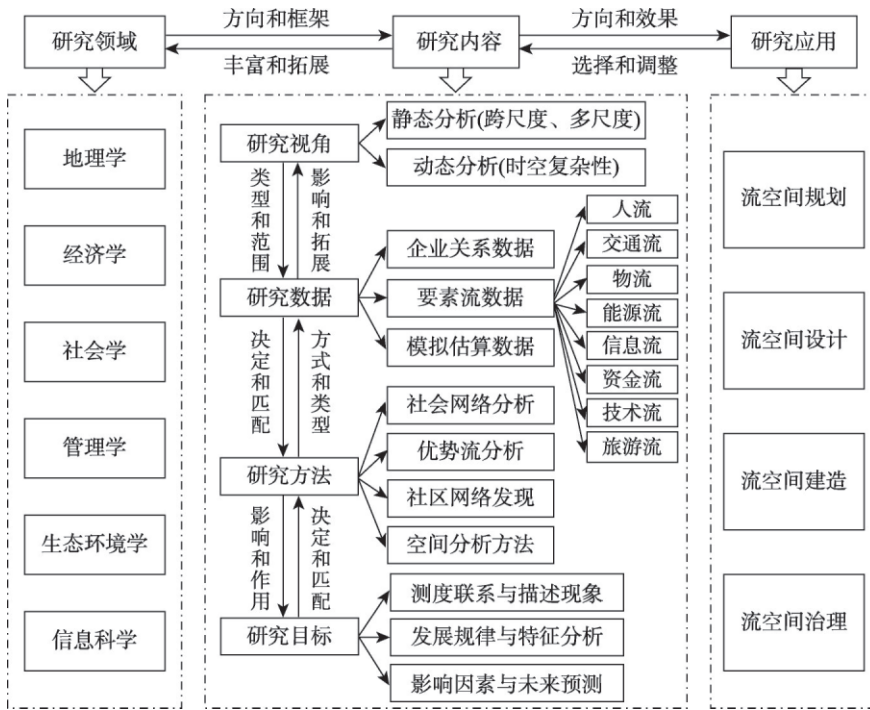


图6 流空间研究分析体系

Fig. 6 Analytical framework for the research of space of flows

扩展到包括社会、文化、生态和地理等多维联系；研究数据从传统统计调查数据发展为结合传统数据与多源大数据；研究方法从定性研究转向定量研究。

**4.1.1 研究领域从单一经济联系向社会、文化、生态和地理等多元联系转变** 经济联系仅是区域系统互动的一部分，早期的流空间研究主要关注全球化及区域城市经济活动，而“流空间”的研究还应包含政治、社会、文化、生态和地理等多元联系<sup>[23]</sup>，体现其与人类动力学、空间人口学及复杂科学等研究方向的融合。在多元联系的视角下，理论学者区分了与人相关的“软网络”和以基础设施为主的“硬网络”<sup>[24]</sup>，并基于流的形态（如人口、信息、技术和资金）及功能（如文化、经济、政治、社会和生态）构建区域总体联系的拓扑网络结构。实证学者则进一步拓展了空间关联的分析对象，包括从人口跨区域流动网络<sup>[25]</sup>、区域碳排放关联态势<sup>[26]</sup>、物种分布的生态网络<sup>[27]</sup>、公共卫生事件扩散与防控空间重构<sup>[28-29]</sup>，到非政府组织办公网络等一系列新的空间互动结构，这些都逐渐被纳入学术分析视野。

**4.1.2 研究数据从传统统计调查数据向传统与多源大数据结合转变** 以往研究受数据局限，多数学者从单一维度出发，基于某种统计调查数据进行区域和城市网络空间组织结构的研究，实证研究主要通过航班货运量、港口吞吐量、公路铁路航空客运流等统计数据量化网络结构<sup>[30-31]</sup>。随着流空间研究的深入，鉴于区域和城市网络空间结构的复杂性和系统性，仅从单一要素流视角难以全面表征空间网络，因此，能够提供实时、翔实且大量公开数据的地理移动定位服务和用户社交服务等多类型大数据越来越受到学者关注<sup>[32-34]</sup>，未来研究将主要采用多源多维流数据研究网络结构<sup>[35-36]</sup>。

**4.1.3 研究方法从定性研究向动态定量研究转变** 早期流空间研究主要依赖定性数据和描述性分析，这些数据通常通过实地调查、访谈和文献研究获得，强调对特定案例或区域

的详细描述和解释<sup>[28]</sup>。这种方法的优点在于能够深入了解具体情境和复杂背景，但缺点是缺乏广泛的可比性和普适性，数据量有限且更新缓慢。随着科技和通信技术的发展，现代流空间研究更强调数据的数量和质量，利用先进的数据收集技术（如传感器网络、卫星遥感、社交媒体数据等）获取大量实时数据。这些数据覆盖范围广、更新频率高，能够反映流动现象的动态变化。数据的实时性和广泛性使得研究能够捕捉到复杂的时空关系和动态模式，同时采用多种数学模型和计算技术，如时间序列分析、空间统计、空间计量、网络分析、机器学习及大数据分析等。这些方法能够处理大规模数据，揭示流动现象的复杂动态关系，进行模式识别和趋势预测<sup>[25, 36]</sup>。例如，网络分析可以揭示不同节点和路径间的关系，机器学习能够自动发现数据中的潜在模式和规律。这种转变不仅提高了研究的广度和深度，还增强了对复杂流动现象的理解和预测能力，可为区域和城市的经济社会发展提供更科学的决策支持。

## 4.2 流空间研究视角

流空间的研究视角经历了显著演变，呈现出从静态到动态、从单一到多元的发展趋势。最初研究主要集中于剖析网络的静态框架，随后逐步拓展到探索其动态流动和社区构成。随着研究深入，学者们引入了多尺度和跨尺度的分析方法，强调在不同地理和时间尺度上考察流空间的特征和现象，这大大拓展了研究的广度和深度。更进一步，时空复杂性视角的引入为流空间研究注入了新的活力，使得研究不再局限于静态网络结构的分析，而是更加关注流空间在时间和空间维度上的动态演变以及其中的复杂互动关系。通过整合这些视角，流空间研究得以全面揭示网络节点之间的关系、流动路径和模式，以及它们对社会、文化、生态和地理系统的影响。

具体而言，多尺度和跨尺度研究是揭示流空间规律和机制的重要视角。多尺度研究是指在不同的空间或时间尺度上进行观察和分析，以揭示某一现象或过程的多层次特征。随着流空间研究的不断深入，相关研究从省域、市域逐渐延伸至区县或街道尺度<sup>[37]</sup>。不同研究尺度下，流空间研究的方法、对象和内容差异较大，因此多尺度研究能够从多个层面反映流空间的不同特征<sup>[38]</sup>。多空间尺度分析在城市和区域发展研究中发挥重要作用，能揭示复杂动态模式并支持规划决策。它在城市交通流优化<sup>[39]</sup>、乡村发展研究<sup>[40]</sup>和旅游空间结构分析等领域有广泛应用<sup>[41]</sup>。跨尺度研究则关注不同尺度间的相互作用及其系统影响，主要应用于流空间网络韧性评估<sup>[42]</sup>和网络结构特征分析等方面<sup>[43]</sup>。

此外，时空复杂性也是一个关键视角。时空复杂性涉及多维时空关系的非线性和非确定性特征，反映了社会动态系统的复杂性<sup>[44]</sup>。城市和区域系统的复杂性源于内部主体种类的多样性、层次关系的复杂性以及流动的强度和方向的不确定性。随着远距离连接性和流动性的增强，流的空间范围从局部扩展到全局，形成多尺度嵌套的空间模式。在长时间序列中，系统内外部主体的发展不一致性进一步导致了时空复杂性<sup>[45]</sup>。通过时空数据分析、网络分析和复杂系统建模等方法，可以揭示流空间中的动态模式和自组织现象<sup>[46-47]</sup>。流空间的时空复杂性不仅对交通系统<sup>[48]</sup>、经济活动<sup>[49]</sup>和社会文化<sup>[50]</sup>等产生深远影响，还在智慧城市建设<sup>[51-52]</sup>、都市圈一体化<sup>[53]</sup>和城乡融合发展<sup>[54]</sup>等方面发挥了重要作用。

## 4.3 流空间研究数据

当前流空间研究所采用的数据主要来自3个领域：一是企业关系数据；二是要素流数据；三是利用经济属性数据进行模拟估算。

**4.3.1 企业关系数据** 企业关系数据并不直接度量区域或城市之间的联系，而是通过生产性服务业公司或跨国公司的企业空间组织和区位战略来分析城市网络<sup>[20]</sup>。采用企业关系数据表征城市网络的方法源于GaWC研究小组，思路是将城市经济的主体——企业视为

城市间联系的核心,通过连锁网络模型等方法将企业联系转换为城市间联系。其中,企业总部和分支机构的地理位置数据是流空间测度中企业关系使用的核心数据之一。这类数据包括了企业总部、区域总部、分支机构、服务中心、研发中心、生产设施等的具体地理位置信息,以及它们在城市、国家和全球范围内的分布情况。该类数据具有来源多样、覆盖范围和精度存在差异、数据访问受限等特征。通过深入分析这些地理位置数据,可以揭示企业如何通过其空间布局来优化运营效率、市场覆盖和战略资源的配置<sup>[55-56]</sup>。此外,通过比较不同企业在特定地区或全球范围内的布局策略,可以分析出行业内的竞争格局、合作模式以及企业对于地缘政治、经济环境变化的适应策略<sup>[57]</sup>。这些位置数据还可以用来研究城市之间的经济联系和依赖关系,如某个城市可能因为汇聚了大量高科技企业的研发中心而成为创新的热点区域。进一步地,企业地理位置分析有助于识别全球城市网络中的关键节点城市,这些城市因其在全球企业活动中的核心作用而拥有较高的战略地位和经济影响力<sup>[58]</sup>。因此,企业的空间组织和区位战略成为理解全球经济格局、城市网络结构及其动态变化的重要视角。

**4.3.2 要素流数据** 随着交通运输和信息技术的快速发展,地理障碍逐渐消除,城市或区域间的人流、交通流、物流、能源流、信息流、资金流、技术流和旅游流等联系日益紧密。这种变化使原本基于地理空间的经济组织结构发生了改变<sup>[59]</sup>。表3展示了8种流要素的分类体系,涵盖流要素的定义、数据及其概述和特点。其中,人流和交通流的使用数据存在时空重合度,共同包含交通网络数据、人口迁徙数据和手机信令数据3个类别。

表3 流要素分类体系表

Tab. 3 Classification system for flows elements

类型	定义	数据	数据概述	数据特点
人流	人口从地理空间的一个位置在一定时间内转移到地理空间的任意其他位置的迁徙现象	交通网络数据	铁路客运数据、公路客运数据、航空客运数据、客运班次等	连接性和拓扑结构、属性多样性、动态性等
交通流	城市或区域内部及之间乘坐主要交通工具并且通过相应的交通基础设施的要素流动过程	人口迁徙数据 手机信令数据	百度和腾讯迁徙数据 移动电话网络中的基站通话记录和数据会话记录等	属性多样性、动态性等 实时性强、时空精确度高、覆盖范围广、来源丰富
物流	物品实体从供应地出发向接收地转移的流动过程	企业物流记录、 交通运输统计、 进出口数据	贸易统计数据、物流公司记录、海关数据、运输公司数据	来源多样、覆盖范围和精度存在差异、数据访问受限、时间敏感性强
能源流	能源在不同区域和部门之间的输送和消费过程	能源市场数据	能源统计年鉴、能源公司数据、政府能源报告、国际能源署(IEA)数据	数据复杂、涉及多种能源类型、时间敏感性高
信息流	数据和知识在不同地理位置和人群之间的传播	信息检索数据 文本词频数据	搜索引擎数据 新闻报道、社交媒体论坛与政府和非政府组织的报告等	准确性、可获取性 高维度、非结构化、主观性和多义性
资金流	资金流动的过程,通常情况下因成员间商品或其所有权转移而发生	金融市场数据	银行企业数据、国际收支平衡表、投资关系和投资强度等	高敏感性、时效性强、数据保密性高
知识技术流	技术知识、创新和技能在不同地理区域、组织或个人之间的传播和应用过程	合作论文、专利数据	国际期刊数据库(如Web of Science数据库)、国内期刊数据库(如中国知网和万方等)、专利数据库	建设已经非常完善,几乎历史上的所有发表论文、专利都被电子化入库
旅游流	游客在不同旅游目的地之间的流动	基于社交媒体的数字足迹数据	微博、微信、Facebook、Youtube、Flicker等网络社交平台数据	多样性、实时性、关联性

人流、交通流、物流、能源流、信息流、资金流、知识技术流和旅游流是构成区域和城市网络结构及职能的关键要素，他们相互依存、影响，形成一个复杂而有机的系统，支撑社会经济的高效运作（图7）。在多源流要素的研究中，流要素被分为物质流和非物质流。物质流指的是实体物质的移动，例如人流、交通流、物流、能源流和旅游流；非物质流指的是信息、资金和知识技术等无形要素的流动。在这个系统中，交通运输网络（如航空、铁路、公路、航道、管道）和信息网络（如广播、电视、互联网）作为流载体，为各类流要素的移动提供基础支撑。交通流是人流、旅游流、物流和能源流实现地理位置转移的直接物质载体。信息流则作为核心，通过数据的采集、处理和传输，优化并支持其他流要素的运行和管理。例如，交通流依赖信息流提供的实时数据来优化管理和规划。资金流与信息流紧密结合，通过金融市场的实时信息促进资金流动和配置。知识技术流通过信息流传播和应用，推动创新和发展。同时，物质流的流动过程中也融合了知识技术流和资金流的影响。特别值得注意的是，人才流作为更高层次的人流，依附于人口流，通过交通网络在不同地方间移动，体现了知识和信息载体的流动。这种多元流要素的相互作用和整合，构成了支持现代社会和经济发展的复杂网络系统。

在研究过程中，需要注意不同流要素之间的差异性规律。例如，不同流要素在规模、范围、速度和频率上有所不同。人流和旅游流具有明显的季节性，而资金流和信息流则具有全球性和持续性。信息流动的速度和频率最高，其次是资金流动，能源流、物流和人流的速度相对较慢，频率相对较低。因此，在利用不同交通工具构建人流和物流组织网络时，由于其载客量、载货量、流动速度和发车频率各不相同，有时需要对单次运载量进行转换<sup>[60]</sup>。手机信令、数字足迹、腾讯迁徙等大数据的流要素记录方式，对数据产生对象有一定的门槛要求，且受到基础设施及节假日的影响较大，难以全面充分地反映区域或城市间的网络联系<sup>[61]</sup>。

**4.3.3 模拟估算数据** 当缺少上述两类数据时，借助引力模型、经济属性数据和距离数据，考虑地理衰减效应，构建区域或城市间经济联系网络是第3种获取流数据方法。经济属性数据在流空间分析中的应用是多方面的，涵盖了从宏观经济趋势分析到微观经济行为研究的各个领域<sup>[62]</sup>，因此使用该方法既能反映综合联系又可以体现专项要素联系<sup>[35-36]</sup>。但在利用该方法时需要注意，经济属性数据实际上未能捕捉到区域或城市间实际发生的“流”，只是利用距离数据和引力模型模拟出地方场所间可能发生的“流”，并非真正属于流空间研究数据范畴。进入21世纪，随着连锁网络模型的提出和地理大数据的兴起，基于关系型数据和流数据的城市网络研究逐渐兴起，属性数据更多作为探索区域和城市网络的辅助手段进行分析。

#### 4.4 流空间研究方法和目标

从研究方法上看，已有研究多采用社会网络分析、优势流分析、社区网络发现和空间分析等方法基于无向网络进行分析，主要集中于宏观视角下城市群整体空间结构和流要素空间分布差异，重视城市之间联系强弱的对比和分级<sup>[63]</sup>。流空间研究方法的丰富不仅拓展了研究的边界，而且提升了其阐释现实世界复杂现象的能力，增强了理论与实践的连通性，使流空间分析在捕捉和应对现实世界的多样性与复杂性方面变得更为精准和有效。

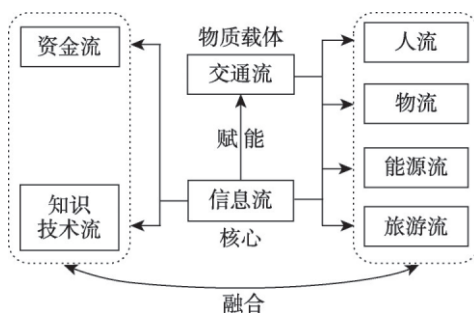


图7 要素流关系图

Fig. 7 Diagram of elements flow relationships

社会网络分析通过计算中心性指标等,揭示城市群中的领导城市、互动强度和整体结构特征。主要的中心性指标包括度中心性、接近中心性、中介中心性和特征向量中心性,每种指标从不同角度评估节点的重要性<sup>[64-66]</sup>。度中心度描述了节点的辐射程度,包括点出度和点入度<sup>[39]</sup>。而中心势是描述整个网络结构特征的指标,衡量的是网络中节点中心性分布的不均匀程度<sup>[37, 65]</sup>。此外,凝聚子群划分<sup>[67]</sup>、核心—边缘结构识别<sup>[37, 65, 68]</sup>、图密度、平均聚类系数和平均路径长度<sup>[33, 64, 69]</sup>、网络密度<sup>[39, 66]</sup>、网络效率<sup>[66]</sup>、网络关联度<sup>[66]</sup>、集群系数<sup>[33]</sup>和小世界网络效应<sup>[39]</sup>等方法也在流空间研究中得到广泛运用,帮助理解和描绘网络的结构特性、节点间的互动模式以及整个网络的效率和稳健性。

优势流分析主要研究交通、通信、贸易等网络中资源、信息或人员的流动模式,侧重于识别和评估网络中的主导流动路径,主要包含以下几个步骤:数据收集、网络构建、流量分析、路径识别、网络中心性分析、结构特征分析和动态变化分析等。在优势流分析中,整体联系和首位联系是两个关键概念,用于描述和分析网络中节点间流动的特性,有助于理解交通、通信、贸易等领域网络流动的结构和重要性<sup>[35, 37, 70-71]</sup>。优势流分析方法不仅可以揭示网络中最重要的流动路径,还可以帮助理解这些流动如何受到网络结构的影响,以及这些流动对网络功能和效率的影响。该分析方法对于优化网络设计、提高网络效率以及制定相关政策和决策具有重要意义。

社区网络发现旨在识别网络中紧密连接的节点群体,主要应用于城市规划、交通网络和经济活动分析等领域<sup>[72-73]</sup>。在城市规划与区域发展领域,识别城市网络中的社区结构可以揭示城市或区域之间的功能联系和经济依赖,优化区域发展策略和城市规划布局<sup>[74]</sup>。在交通流量网络中应用社区发现算法,有助于识别交通流中的主要聚集区和关键流动路径,为缓解交通拥堵、规划交通基础设施提供数据支持<sup>[75-76]</sup>。通过分析经济网络中的社区结构,可以发现经济活动的集群效应,识别关键经济节点和产业链联系,支持产业政策的制定和资源的合理配置<sup>[77]</sup>。

空间分析方法涵盖了空间统计、空间计量经济学和空间智能方法等。空间统计方法如空间自相关<sup>[78]</sup>、社会空间网络聚类<sup>[69, 79]</sup>等主要用于分析流空间相关数据,对流空间模式进行描述和总结。空间计量模型如探索性数据分析方法(ESDA)、地理加权回归模型(GWR)<sup>[80]</sup>等在流空间研究中也广泛使用,主要用于各类要素流的影响因素分析<sup>[81-83]</sup>。此外,空间智能方法利用机器学习和其他智能算法来处理和分析流空间相关数据,提升对复杂空间关系的理解和预测能力。如基于分布式流计算框架,运用高时空分辨率的数据源,实现对城市热点区域的实时探测和动态分析<sup>[84]</sup>。基于上述方法,流空间研究的主要目标,即测度联系与描述现象、发展规律与特征分析和影响因素与未来预测可得以实现。

#### 4.5 流空间研究应用

流空间研究应用涵盖对资源、人流、交通流、物流、能源流、信息流、资金流、技术流和旅游流等动态网络的分析与优化,涉及流空间规划、设计、建造和治理等多个领域。

在流空间规划中,通过分析和优化流动要素,可以科学配置和组织空间资源,提高空间利用效率和整体功能性。优化交通运输网络和物流系统可以显著降低物流成本和碳排放,提升区域经济效益。合理分布人流、优化道路和公共交通系统的布局确保人群流动顺畅和安全,利用物联网和大数据技术优化信息采集、传输和处理路径,提升城市管理和服务的智能化水平。

流空间设计通过分析和优化人流、交通流、物流、信息流等优化空间布局、功能配置和环境设计。合理规划道路、步道和公共空间布局确保人群流动顺畅,优化仓储和配

送中心位置设计最佳物流路径提高货物流转效率，优化信息采集、传输和处理支持智慧城市和智能建筑应用，环境设计融入生态设计理念优化绿地、水系和生态廊道布局，创造高效、舒适和可持续的空间环境，满足多样化需求，促进经济效益、提升社会福利。

流空间建造结合现代技术和生态理念，推动建筑环境智能化和绿色化发展，推动智能交通系统和能源管理系统应用，通过智能交通信号控制系统改善交通流量、减少拥堵、提高通行效率，结合物联网、大数据等技术实现建筑空间智能管理和高效运行。综合考虑动态因素和空间需求，流空间建造可以创建高效、智能、生态和宜居的环境，促进城市和区域的可持续发展。

流空间治理通过综合管理和协调城市或区域内交通流、物流、能源流、信息流等动态要素。实时监控和调度交通流量缓解拥堵、保障安全便捷出行，科学管理物流体系提升运输效率、降低成本，增强城市管理智能化和精细化水平，促进区域间合作和资源共享，优化生态空间布局减少环境污染和资源浪费，实现空间资源的高效利用和优化配置，提升治理效能和公共服务水平。

## 5 结论与讨论

本文以区域与城市研究中的流空间相关基础理论为依托，以厘清流空间的内涵为基础，对流空间研究的演进框架与分析范式进行系统梳理。纵观整体，流空间研究历经初期探索、理论发展、方法技术革新和应用拓展等阶段，呈现全球视角与网络中心性、动态流动性、技术与社会互动、空间不平等与边缘化和跨学科方法等多个特点，研究趋势呈现“超核心、多中心、泛主题”态势，研究热点由注重单一的位空间效应视角转变为复杂多元的分析视角，其背后的变化逻辑反映了全球化和技术进步背景下学界对空间流动性本质的深入探索以及对空间不平等问题的关注，同时也体现了流空间研究多元化和跨学科方法的多元应用。流空间研究的分析范式经历了研究领域多元化、研究数据多维化和研究方法定量化的转变，研究视角也从剖析网络的静态框架拓展到探索其动态流动和社区构成，强调多尺度和跨尺度分析，研究成果在流空间规划、设计、建造和治理等领域得到广泛应用。流空间研究的深化提升了对现实世界复杂现象的阐释能力，增强了理论与实践的连通性，在捕捉和应对现实世界的多样性与复杂性方面更为精准和有效，也为城市与区域研究带来了新的视角和工具。

虽然流空间研究在区域与城市研究中扮演重要角色，但仍面临诸多挑战。主要包括高质量数据获取受限、分析方法难以处理复杂现象、跨尺度研究缺乏有效联系、理论与实证脱节以及跨学科整合不够等问题。未来研究应聚焦于创新数据采集与融合技术，利用区块链等技术通过数据清洗和集成平台融合多源数据；开发先进分析工具，应用机器学习、人工智能等技术增强对复杂数据的处理能力；拓展跨尺度研究方法，构建跨越不同尺度的理论框架和分析方法；深化理论与实证结合，确保理论能够反映实践的复杂性，为实践提供新的理论支撑；推动跨学科协作，创建跨学科研究平台，通过知识共享和技术融合，形成综合性研究方法，为区域和城市规划与政策制定提供科学支持。

### 参考文献(References)

- [1] Sokol M, Van Egeraat C, Williams B. Revisiting the "informational city": Space of flows, polycentricity and the geography of knowledge-intensive business services in the emerging global city-region of Dublin. *Regional Studies*, 2008, 42(8): 1133-1146.
- [2] Castells M. Grassrooting the space of flows. *Urban Geography*, 1999, 20(4): 294-302.

- [3] Castells M. The informational city: Information Technology, Economic Restructuring and the Urban-Regional Process. Oxford: Basil Blackwell, 1989.
- [4] Tang Zilai, Zhao Miaoxi. Economic globalization and transformation of urban system in the Yangtze River Delta region: Interlocking network and value-added hierarchy. Urban Planning Forum, 2010(1): 29-34. [唐子来, 赵渺希. 经济全球化视角下长三角区域的城市体系演化: 关联网络和价值区段的分析方法. 城市规划学刊, 2010(1): 29-34.]
- [5] Castells M. The Rise of the Network Society. Oxford: Blackwell, 1996.
- [6] Zhou Zhenhua. A Study on Globalizing Cities. Shanghai: Shanghai People's Publishing House, 2008. [周振华. 崛起中的全球城市: 理论框架及中国模式研究. 上海: 上海人民出版社, 2008.]
- [7] Himanen P. The Hacker Ethic and the Spirit of the Information Age. New York: Random House, 2001.
- [8] Zook M A. Underground globalization: Mapping the space of flows of the Internet adult industry. Environment and Planning A: Economy and Space, 2003, 35(7): 1261-1286.
- [9] Sun Zhongwei, Lu Zi. A geographical perspective to the elementary nature of space of flows. Geography and Geo-Information Science, 2005, 21(1): 109-112. [孙中伟, 路紫. 流空间基本性质的地理学透视. 地理与地理信息科学, 2005, 21(1): 109-112.]
- [10] Shen Lizhen. Space of Flows. Nanjing: Southeast University Press, 2010. [沈丽珍. 流动空间. 南京: 东南大学出版社, 2010.]
- [11] Gao Xin, Xiu Chunliang, Wei Ye. Study on the sinicization of "space of flows" basing on the visual angle of urban geography. Human Geography, 2012, 27(4): 32-36, 160. [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. 人文地理, 2012, 27(4): 32-36, 160.]
- [12] Dong Chao, Li Zhengfeng. Concepts of space in the information age: Reflections and development of space of flows. Studies in Dialectics of Nature, 2014, 30(2): 59-63. [董超, 李正风. 信息时代的空间观念: 对流空间概念的反思与拓展. 自然辩证法研究, 2014, 30(2): 59-63.]
- [13] Niu Junwei. From urban space to flowing space: Review of Manuel Castells' spatial theory. Journal of Central South University (Social Science), 2014, 20(2): 143-148, 189. [牛俊伟. 从城市空间到流动空间: 卡斯特空间理论述评. 中南大学学报(社会科学版), 2014, 20(2): 143-148, 189.]
- [14] Flusser V. Ende der Geschichte, Ende der Stadt? Vienna: Picus, 1991.
- [15] Blatter J. From "spaces of place" to "spaces of flows"? Territorial and functional governance in cross-border regions in Europe and North America. International Journal of Urban and Regional Research, 2004, 28(3): 530-548.
- [16] Brown E, Derudder B, Parnreiter C, et al. World city networks and global commodity chains: Towards a world-systems' integration. Global Networks, 2010, 10(1): 12-34.
- [17] Albrechts L, Coppens T. Megacorridors: Striking a balance between the space of flows and the space of places. Journal of Transport Geography, 2003, 11(3): 215-224.
- [18] Christaller W. Central Places in Southern Germany. Jena: Gustav Fischer Verlag, 1933.
- [19] Perroux F. Note on the notion of "growth pole". Applied Economy, 1955, 8(1-2): 307-320. [Perroux F. Note sur la notion de "pôle de croissance". Économie Appliquée, 1955, 8(1-2): 307-320.]
- [20] Taylor P J, Catalano G, Walker D R F. Measurement of the world city network. Urban Studies, 2002, 39(13): 2367-2376.
- [21] Taylor P J, Hoyler M, Verbruggen R. External urban relational process: Introducing central flow theory to complement central place theory. Urban Studies, 2010, 47(13): 2803-2818.
- [22] Boyd J P, Mahutga M C, Smith D A. Measuring centrality and power recursively in the world city network: A reply to Neal. Urban Studies, 2013, 50(8): 1641-1647.
- [23] Robinson J. Urban geography: World cities, or a world of cities. Progress in Human Geography, 2005, 29(6): 757-765.
- [24] Malecki E J. The economic geography of the internet's infrastructure. Economic Geography, 2002, 78(4): 399-424.
- [25] Zeng Yongming. Research on the spatial structure of China's interregional migration flow: Description, model expression and prediction. Population & Economics, 2022(6): 58-76. [曾永明. 中国跨区域人口迁移流空间结构研究: 描述、模型表达与预测. 人口与经济, 2022(6): 58-76.]
- [26] Shan Yuhong, Cheng Qiuyue, Ke Xinli, et al. Research on the correlation pattern and trend of land use carbon emissions and its influencing factors in counties of Hubei province from the perspective of flow space. China Land Science, 2024, 38(3): 48-59. [单玉红, 程秋月, 柯新利, 等. 流空间视角下湖北省县域土地利用碳排放关联态势及其影响因素研究. 中国土地科学, 2024, 38(3): 48-59.]
- [27] Yang Wenrui, Li Jing, Wen Cheng, et al. Building ecological networks in Beijing Plain based on local species distribution. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(20): 8213-8222. [阳文锐, 李婧, 闻丞, 等. 基于物种分布的北京平原生态网络构建. 生态学报, 2022, 42(20): 8213-8222.]

- [28] Xue Rui, Yu Ji'an. Mechanism of spatial reconstruction on the spread and control of epidemic diseases: From the perspective of space of flows. *Areal Research and Development*, 2021, 40(6): 1-5, 37. [薛芮, 余吉安. 疫情类公共卫生事件扩散与防控的空间重构作用: 以流空间为视角. *地域研究与开发*, 2021, 40(6): 1-5, 37.]
- [29] Duan Wei, Guo Gang, Chen Bin, et al. A review of modeling human travel and social contacts for public health management. *Journal of System Simulation*, 2019, 31(10): 1970-1982. [段伟, 郭刚, 陈彬, 等. 面向公共卫生的人类空间移动与接触行为模型. *系统仿真学报*, 2019, 31(10): 1970-1982.]
- [30] Derudder B, Witlox F. Mapping world city networks through airline flows: Context, relevance, and problems. *Journal of Transport Geography*, 2008, 16(5): 305-312.
- [31] Wang Jiaoe, 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.]
- [32] Liu Wangbao, Shi Enming. Spatial pattern of population daily flow among cities based on ICT: A case study of "Baidu Migration". *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(10): 1667-1679. [刘望保, 石恩名. 基于ICT的中国城市间人口日常流动空间格局: 以百度迁徙为例. *地理学报*, 2016, 71(10): 1667-1679.]
- [33] Wang Lucang, Liu Haiyang, Liu Qing. China's city network based on Tencent's migration big data. *Acta Geographica Sinica*, 2021, 76(4): 853-869. [王录仓, 刘海洋, 刘清. 基于腾讯迁徙大数据的中国城市网络研究. *地理学报*, 2021, 76(4): 853-869.]
- [34] García-Palomares J C, Gutiérrez J, Mínguez C. Identification of tourist hot spots based on social networks: A comparative analysis of European metropolises using photo-sharing services and GIS. *Applied Geography*, 2015, 63: 408-417.
- [35] Shen Wencheng, Li Peiqing, Yao Wenwen, et al. The structural characteristics and spatial organization pattern of China's urban network based on the multiple flow. *Geographical Research*, 2023, 42(2): 514-533. [沈文成, 李培庆, 姚雯雯, 等. 多重流空间视角下的中国城市网络空间结构特征及组织模式. *地理研究*, 2023, 42(2): 514-533.]
- [36] Lin Sainan, Deng Huilin, Peng Xinyu, et al. Pattern and influencing factors of urban spatial connection in Wuhan metropolitan area from the perspective of flow space. *Economic Geography*, 2024, 44(2): 81-89. [林赛南, 邓慧琳, 彭馨雨, 等. 流空间视角下武汉都市圈城市空间联系格局及影响因素. *经济地理*, 2024, 44(2): 81-89.]
- [37] Liao Chuangchang, Li Xiaoming, Hong Wuyang, et al. Multi-dimensional measurement of network structure of Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area from the perspective of traffic flows space. *Geographical Research*, 2023, 42(2): 550-562. [廖创场, 李晓明, 洪武扬, 等. 交通流空间视角下粤港澳大湾区网络结构多维测度. *地理研究*, 2023, 42(2): 550-562.]
- [38] Hou Jingxuan, Zhang Enjia, Long Ying. The progress and prospects of the multi-scale urban space network research. *Urban Planning International*, 2021, 36(4): 17-24. [侯静轩, 张恩嘉, 龙瀛. 多尺度城市空间网络研究进展与展望. *国际城市规划*, 2021, 36(4): 17-24.]
- [39] Li Yuanjun, Wu Qitao, Zhang Yuling, et al. Spatial structure and formation mechanism of expressway traffic flow network based on space of flows: A case study of Guangdong province. *Geographical Research*, 2021, 40(8): 2204-2219. [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. *地理研究*, 2021, 40(8): 2204-2219.]
- [40] Wang Linshen, Yun Yingxia, Ni Jianbo. The geo-space of Taobao village in China: Theoretical framework based on space of flows. *City Planning Review*, 2017, 41(6): 27-34. [王林申, 运迎霞, 倪剑波. 淘宝村的空间透视: 一个基于流空间视角的理论框架. *城市规划*, 2017, 41(6): 27-34.]
- [41] Ma Binbin, Chen Xingpeng, Chen Fangting. Multi-scale temporal and spatial differentiation characteristics of Dunhuang tourism flow based on social big data. *Economic Geography*, 2021, 41(3): 202-212. [马斌斌, 陈兴鹏, 陈芳婷. 基于社交大数据的敦煌旅游流多尺度时空分异特征. *经济地理*, 2021, 41(3): 202-212.]
- [42] Li Yan, Sun Yang, Chen Wen. Construction of space of information flows and assessment of network resilience from reflexive perspective: A case study of Baidu index in Yangtze River Delta. *Journal of University of Chinese Academy of Sciences*, 2021, 38(1): 62-72. [李艳, 孙阳, 陈雯. 反身性视角下信息流空间建构与网络韧性分析: 以长三角百度用户热点搜索为例. *中国科学院大学学报*, 2021, 38(1): 62-72.]
- [43] Wei Sheng, Wang Lei, Yuan Jinfu. Characteristics of spatial structure of high-speed railway network flow in the Yangtze River Delta from the "station-city" perspective. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2023, 32(9): 1898-1907. [韦胜, 王磊, 袁锦富. 站—城视角下长三角高铁网络“流”空间结构特征研究. *长江流域资源与环境*, 2023, 32(9): 1898-1907.]
- [44] Prigogine I, Stengers I. *Order out of Chaos: Man's New Dialogue with Nature*. New York: Bantam Books, 1984.

- [45] 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. [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. *地理科学进展*, 2022, 41(1): 157-172.]
- [46] Batty M. *Cities and Complexity: Understanding Cities with Cellular Automata, Agent-based Models, and Fractals*. London: MIT Press, 2005.
- [47] Derudder B, Taylor P. Change in the world city network, 2000-2012. *The Professional Geographer*, 2016, 68(4): 624-637.
- [48] Qiu Jianjian, Liu Yihua, Chen Haoran, et al. Urban network structure of Guangdong-Hong Kong-Macao greater bay area with the view of space of flows: A comparison between information flow and transportation flow. *Economic Geography*, 2019, 39(6): 7-15. [邱坚坚, 刘毅华, 陈浩然, 等. 流空间视角下的粤港澳大湾区空间网络格局: 基于信息流与交通流的对比分析. *经济地理*, 2019, 39(6): 7-15.]
- [49] Li Chuangxin, Ma Yaofeng, Zhang Ying, et al. The spatial field effect and regional structure of concentration and diffusion of inbound tourism flows on spatial and temporal scale: Case of typical district of the eastern part of the silk road. *Geographical Science*, 2012, 32(2): 176-185. [李创新, 马耀峰, 张颖, 等. 时空二元视角的入境旅游流集散空间场效应与地域结构: 以丝路东段典型区为例. *地理科学*, 2012, 32(2): 176-185.]
- [50] Zhu Yuanyuan, Zeng Juxin, Han Yong, et al. Theoretical construction on spatio-temporal integration of cultural information flow between urban and rural areas. *Geographical Science*, 2016, 36(3): 342-351. [朱媛媛, 曾菊新, 韩勇, 等. 城乡文化信息流时空整合的理论体系构建. *地理科学*, 2016, 36(3): 342-351.]
- [51] Mandelbrot B, Hudson R L. *The misbehavior of markets: A fractal view of financial turbulence*. New York: Basic Books, 2006.
- [52] Batty M, Axhausen K W, Giannotti F, et al. Smart cities of the future. *The European Physical Journal Special Topics*, 2012, 214(1): 481-518.
- [53] Geng Hui, Jiao Huaifu, Ye Lei. Theoretical framework and research emphasis of integrated symbiotic network system in metropolitan area. *Geographical Research*, 2023, 42(2): 475-494. [耿慧, 焦华富, 叶雷. 都市圈一体化共生网络系统的理论框架与研究重点. *地理研究*, 2023, 42(2): 475-494.]
- [54] Zhou Jianing, Bi Xuehao, Zou Wei. Driving mechanism of urban-rural integration in Huaihai economic zone: Based on the space of flow. *Journal of Natural Resources*, 2020, 35(8): 1881-1896. [周佳宁, 毕雪昊, 邹伟. “流空间”视域下淮海经济区城乡融合发展驱动机制. *自然资源学报*, 2020, 35(8): 1881-1896.]
- [55] Ma Liya, Xiu Chunliang, Feng Xinghua. Analysis of network characteristics of northeast cities from the perspective of multi-flow. *Economic Geography*, 2019, 39(8): 51-58. [马丽亚, 修春亮, 冯兴华. 多元流视角下东北城市网络特征分析. *经济地理*, 2019, 39(8): 51-58.]
- [56] Tu Jianjun, Yao Lan, Wang Jingsong, et al. Network spatial structure evolution of Chengdu-Chongqing urban agglomeration from the perspective of enterprise flow. *Economic Geography*, 2023, 43(4): 83-95, 205. [涂建军, 姚兰, 王静松, 等. 企业流视角下成渝城市群网络空间结构演变. *经济地理*, 2023, 43(4): 83-95, 205.]
- [57] Liu Yaobin, Hu Weihui, Luo Kang, et al. Structure evolution of enterprise remote investment network from perspective of Flow Space: A case study of urban agglomeration around Poyang Lake. *Resources and Environment in the Yangtze River Basin*, 2023, 32(5): 916-927. [刘耀彬, 胡伟辉, 骆康, 等. 流空间视角下企业异地投资网络结构演化研究: 以环鄱阳湖城市群为例. *长江流域资源与环境*, 2023, 32(5): 916-927.]
- [58] Ma Xiaohan, Ren Lijian, Yun Yingxia. Research on Beijing-Tianjin-Hebei regional spatial planning from the perspective of enterprise information flow. *Modern Urban Research*, 2022, 37(5): 8-13. [马晓菡, 任利剑, 运迎霞. 企业信息流视角的京津冀区域空间规划探究. *现代城市研究*, 2022, 37(5): 8-13.]
- [59] Yao Wencui, Zhou Jie, Chen Hongju, et al. Spatial structure of regional network based on Internet public information flow. *Economic Geography*, 2017, 37(10): 10-16. [姚文萃, 周婕, 陈虹桔, 等. 基于互联网公共信息流的区域网络空间结构研究. *经济地理*, 2017, 37(10): 10-16.]
- [60] Wang Jiaoe, Du Delin, Jin Fengjun. Comparison of spatial structure and linkage systems and geographic constraints: A perspective of multiple traffic flows. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(12): 2482-2494. [王姣娥, 杜德林, 金凤君. 多元交通流视角下的空间级联系统比较与地理空间约束. *地理学报*, 2019, 74(12): 2482-2494.]
- [61] Pan Jinghu, Lai Jianbo. Research on spatial pattern of population mobility among cities: A case study of "Tencent Migration" big data in "National Day-Mid-Autumn Festival" vacation. *Geographical Research*, 2019, 38(7): 1678-1693. [潘竞虎, 赖建波. 中国城市间人口流动空间格局的网络分析: 以国庆—中秋长假和腾讯迁徙数据为例. *地理研究*, 2019, 38(7): 1678-1693.]
- [62] Huang Jun, Li Jun, Zhou Heng, et al. Dynamic development of Wuhan metropolitan area based on urban connection.

- Planners, 2017, 33(1): 85-92. [黄俊, 李军, 周恒, 等. 基于城市联系度的武汉城市圈动态发展研究. 规划师, 2017, 33(1): 85-92.]
- [63] Yang Huiyu, Zeng Da, Li Miaomiao, et al. Urban niche in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area from the perspective of multiple space of flows. *Acta Geographica Sinica*, 2023, 78(8): 1983-2000. [杨辉宇, 曾达, 李苗苗, 等. 多元流空间视角下粤港澳大湾区城市生态位研究. 地理学报, 2023, 78(8): 1983-2000.]
- [64] Deng Huihui, Liu Yujia, Wang Qiang. Spatial structure of city network about digital technology in China: Discussion on network urban agglomeration construction. *China Industrial Economics*, 2022(9): 121-139. [邓慧慧, 刘宇佳, 王强. 中国数字技术城市网络的空间结构研究: 兼论网络型城市群建设. 中国工业经济, 2022(9): 121-139.]
- [65] Wang Chaohui, Qiao Haohao, Zhang Shanshan, et al. Evolution of spatial pattern of inbound tourism flows and enlightenment of high-quality development of metropolitan tourism: A case study of Shanghai. *Journal of Natural Resources*, 2022, 37(12): 3167-3182. [王朝辉, 乔浩浩, 张姗姗, 等. 入境旅游流空间格局演化及大都市旅游高质量发展: 以上海市为例. 自然资源学报, 2022, 37(12): 3167-3182.]
- [66] Gu Cheng, Zhang Shushan. Network structure and influencing factors of spatial connection in the intelligence of China's logistics industry. *Economic Geography*, 2023, 43(5): 117-127. [谷城, 张树山. 中国物流产业智能化空间联系的网络结构及其影响因素. 经济地理, 2023, 43(5): 117-127.]
- [67] Zhang Lei, Sha Meijun, Ma Chaoqian. Evolution characteristics of production-living-ecological function in Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration at the county level. *Economic Geography*, 2022, 42(4): 82-92. [张磊, 沙美君, 马超前. 三生功能视角下京津冀城镇圈类型划分与变化特征. 经济地理, 2022, 42(4): 82-92.]
- [68] Guo Qianqian, Zhang Zhibin, Chen Long, et al. Characteristics and network structure of urban linkage in northwest China from the perspective of "flow space". *Economic Geography*, 2023, 43(3): 88-99. [郭倩倩, 张志斌, 陈龙, 等. "流空间"视角下西北地区城市关联特征与网络格局分析. 经济地理, 2023, 43(3): 88-99.]
- [69] Zhang Guanghai, Yuan Hongying. Spatial network pattern and complexity of urban tourism information flow in China. *Economic Geography*, 2023, 43(1): 197-205. [张广海, 袁洪英. 中国城市旅游信息流空间网络格局及其复杂性. 经济地理, 2023, 43(1): 197-205.]
- [70] Pain K, Hall P. Informational quantity versus informational quality: The perils of navigating the space of flows. *Regional Studies*, 2008, 42(8): 1065-1077.
- [71] Huang Song, Li Yanlin, Wang Mengfei. Measurement of tourist route information between cities and its flow space characteristics: Based on big data of the online travel platforms from 2019 to 2021. *Economic Geography*, 2022, 42(11): 204-215. [黄松, 李燕林, 王梦飞. 城市间旅游线路信息测度及其流空间特征: 基于2019—2021年在线平台大数据. 经济地理, 2022, 42(11): 204-215.]
- [72] Fortunato S, Hric D. Community detection in networks: A user guide. *Physics Reports*, 2016, 659: 1-44.
- [73] He K, Li Y R, Soundarajan S, et al. Hidden community detection in social networks. *Information Sciences*, 2018, 425: 92-106.
- [74] De Montis A, Caschili S, Chessa A. Commuter networks and community detection: A method for planning sub regional areas. *The European Physical Journal Special Topics*, 2013, 215(1): 75-91.
- [75] Lu F, Liu K, Duan Y Y, et al. Modeling the heterogeneous traffic correlations in urban road systems using traffic-enhanced community detection approach. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 2018, 501: 227-237.
- [76] Yang Y F, Cao J D, Qin Y, et al. Spatial correlation analysis of urban traffic state under a perspective of community detection. *International Journal of Modern Physics B*, 2018, 32(12): 1850150. DOI: 10.1142/S0217979218501503.
- [77] Zuo Z, Mclellan B C, Li Y, et al. Evolution and insights into the network and pattern of the rare earths trade from an industry chain perspective. *Resources Policy*, 2022, 78: 102912. DOI: 10.1016/j.resourpol.2022.102912.
- [78] Yu Wenli, Pu Yingxia, Chen Gang, et al. Spatial analysis of the patterns and mechanism of inter-provincial migration flows in China. *Geography and Geo-Information Science*, 2012, 28(2): 44-49. [于文丽, 蒲英霞, 陈刚, 等. 基于空间自相关的中国省际人口迁移模式与机制分析. 地理与地理信息科学, 2012, 28(2): 44-49.]
- [79] Gu Qishi, Zhang Haiping, Chen Min, et al. Hierarchical network structures and regional differentiations of tourist source destinations of Nanjing based on cellular signaling data. *Geographical Science*, 2019, 39(11): 1739-1748. [顾秋实, 张海平, 陈旻, 等. 基于手机信令数据的南京市旅游客源地网络层级结构及区域分异研究. 地理科学, 2019, 39(11): 1739-1748.]
- [80] Xie Yawen, Li Xiaoqing, Zhou Kaichun, et al. Spatial pattern and influencing factors of urban tourism Douyin attention: A case study of the urban agglomeration in the middle reaches of the Yangtze River. *Economic Geography*, 2023, 43(2): 220-228. [谢亚文, 李晓青, 周楷淳, 等. 城市旅游抖音关注度空间分布及影响因素: 以长江中游城市群为例. 经济地理, 2023, 43(2): 220-228.]

- [81] Xu Dong, Huang Zhenfang, Huang Rui. The spatial effects of haze on tourism flows of Chinese cities: Empirical research based on the spatial panel econometric model. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(4): 814-830. [徐冬, 黄震方, 黄睿. 基于空间面板计量模型的雾霾对中国城市旅游流影响的空间效应. *地理学报*, 2019, 74(4): 814-830.]
- [82] Gao Yani, He Dan, Gao Peng, et al. Node status of the Yangtze River Delta urban network: Through the lens of three-level equity relationship. *Geographical Research*, 2022, 41(6): 1577-1592. [高雅妮, 何丹, 高鹏, 等. 基于三层级股权关系的长三角城市网络节点地位研究. *地理研究*, 2022, 41(6): 1577-1592.]
- [83] Zhou Honghao, Gu Guofeng. The evolution of China's city network and its environmental effects from the perspective of externalities. *Geographical Research*, 2022, 41(1): 268-285. [周宏浩, 谷国锋. 外部性视角下中国城市网络演化及其环境效应研究. *地理研究*, 2022, 41(1): 268-285.]
- [84] Wang Haocheng, Xiang Longgang, Guan Xuefeng, et al. Urban hotspot detection from the data stream of taxi pick-up and drop-off based on distributed multistage grid clustering. *Journal of Geo-Information Science*, 2023, 25(7): 1514-1530. [王浩成, 向隆刚, 关雪峰, 等. 基于出租车上下客数据流与分布式多阶段网格聚类的城市热点区域实时探测方法. *地球信息科学学报*, 2023, 25(7): 1514-1530.]

## Evolutionary framework and analytical paradigms for the space of flows

WEN Yuyuan<sup>1,2</sup>, LIU Yang<sup>1</sup>, YU Zilong<sup>1</sup>

(1. School of Applied Economics, Renmin University of China, Beijing 100872, China; 2. Beijing-Tianjin-Hebei Collaborative Development Research Institute, Renmin University of China, Beijing 100872, China)

**Abstract:** Space of flows research provides a novel analytical perspective in the domain urban and regional development, facilitating the elucidation and comprehension of dynamic interactions within urban systems and inter-regional networks. This research not only offers scientific analytical tools for urban governance and spatial planning but also provides theoretical guidance for promoting sustainable urban and regional development by optimizing resource allocation and improving spatial efficiency. This paper systematically reviews and analyzes the connotation of the space of flows in terms of its concept, attributes, characteristics, and fundamental elements. Based on this, the paper proposes and examines the evolutionary framework of space of flows research. Through theoretical tracing, research trend analysis, and hotspots identification, the study reveals that space of flows research exhibits a development pattern characterized by "super-core, polycentric, and pan-thematic" tendencies. Furthermore, this paper explores the analytical paradigm of space of flows research and its significant shifts: the research domain has expanded from singular economic linkages to multi-dimensional connections encompassing social, cultural, ecological, and geographical spheres; research data have evolved from traditional statistical surveys to an integration of conventional data and multi-source big data; and research methodologies have transitioned from qualitative studies to dynamic quantitative research. Future directions for deepening space of flows research include innovating data acquisition and integration technologies, developing advanced analytical tools, expanding cross-scale research methods, enhancing the synthesis of theoretical and empirical studies, and promoting interdisciplinary collaboration in the context of spatial dynamics and urban-regional systems.

**Keywords:** space of flows; space of places; flow of elements; co-occurrence map; paradigm content