

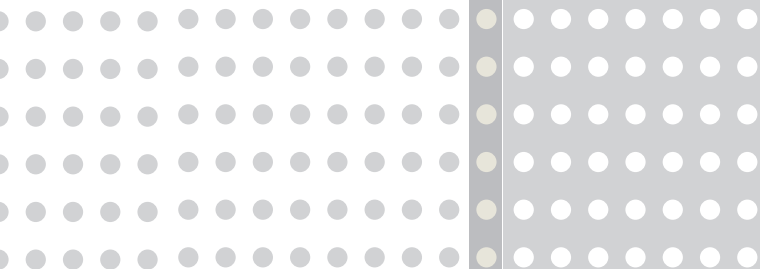
基于复杂网络分析的 信息空间 研究

王宁宁 著

河北科学技术出版社

基于复杂网络分析的
信息空间
研究

王宁宁 著



河北科学技术出版社

图书在版编目（CIP）数据

基于复杂网络分析的信息空间研究/王宁宁著. —
石家庄：河北科学技术出版社，2018. 11

ISBN 978-7-5375-9783-8

I. ①基… II. ①王… III. ①地理信息学—网络分析—研究 IV. ①P2-0

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 257921 号

Jiyu Fuzh Wangluo Fenxi de Xinxi Kongjian Yanjiu

基于复杂网络分析的信息空间研究

王宁宁 著

出版发行	河北科学技术出版社
地 址	石家庄市友谊北大街 330 号（邮编 050061）
经 销	新华书店
印 刷	河北纪元数字印刷有限公司
开 本	700 毫米×1000 毫米 1/16
印 张	16.875
字 数	250 千字
版 次	2018 年 11 月第 1 版
印 次	2018 年 11 月第 1 次印刷
定 价	30.00 元

前 言

信息空间本质上是建立在地域空间基础上的，由信息流实现区域信息纵向贯通、横向互联的虚拟空间。信息空间不同于传统的静态地理空间，是一种巨大的、相互关联的三维流动空间，具体表现为空间通信网络、数据库和信息的融合，进而创造“区域网络生态”，逐渐拓展原有的物质空间，为人们在网络生态环境下从事各种活动创造条件。信息技术重构的区域空间是城市全球网络化发展的先导因素，逐渐弱化了城市区域的界限，区域结构在较高的水平上达到新的平衡，形成功能上一体化的空间结构体系。因此信息要素流动视角下的区域信息空间日益成为当前国际区域研究的重要领域，为区域信息化的发展提供进一步的科学支撑。

笔者从流空间的视角出发，定义了信息空间的含义，认为信息空间是建立在物质场所、信息基础设施基础之上的，由物质和信息流所构成的，通过信息要素的流动将具有地理属性的物质空间节点联系起来，实现空间实体相互作用与互动的关联交互空间形态。

本书通过对信息空间领域和区域（城市、区域、国家）尺度的解析，采用数学形式定量地描述信息空间，并且探讨了信息空间的网络化表示形式，在此基础上，从不同的视角构建了信息空间的量化测度模型。一方面，从全国尺度出发，分别针对不同的模型进行了实证研究，将复杂网络理论与社会网络分析方法应用到省市信息空间联系研究中，以省市为网络节点，省市之间的信息辐射强度为连接边，构建基于信息空间的城市复杂网络，借助社会网络分析工具 UCINET 探讨了城市复杂网络的中心性、关联性、凝聚性以及小世界等网络特征。另一方面，从区域尺度出发，对京津冀区域的信息化建设情况展开分析，深入探讨了京津冀区域对中国省份的信息吸引力与辐射力

状况，尤其对京津冀区域的典型城市北京的信息吸引力与信息辐射力进行了有针对性的分析和研究。

在结合地理巴尔干现象分析的基础上，本书同样探究了信息空间典型的巴尔干化现象，构建了信息空间巴尔干化现象量化测度模型，进一步从全国角度进行了实证研究。以复杂性为视角，协同论与耦合论相结合，建立了信息空间与经济空间、社会空间、地理空间的耦合度与耦合关联度模型以及重心模型。在信息空间-其他空间耦合模型的基础上，进行了实证研究，具体分析了信息空间与其他空间的耦合关系。

本书在理论、方法和应用等方面都丰富了以往的研究和探讨，构建了一整套的信息空间研究体系，有助于政府制定科学决策。区域和城市信息空间的研究，可为政府的区域和城市信息规划提供服务，对促进中国区域和城市的信息化健康发展，缩减区域信息空间差异，优化信息空间结构具有重要的启示，对中国区域信息化发展的崛起，推动经济的发展具有重要的意义。

作为系列研究成果之一，本书的出版得到了国家自然科学基金项目（项目编号：61572079）《面向国家治理的云计算环境下联网审计流数据处理关键技术研究》的支持。

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 信息时代背景	2
1.2 信息空间理论的回顾与进展	4
1.3 本书研究目标	13
1.4 本书研究内容与意义	15
1.5 本书数据解析	17
1.6 本书框架	18
第 2 章 信息时代的区域空间结构	21
2.1 区域空间结构	21
2.2 流空间视角下的区域空间研究	28
2.3 信息时代对区域空间的影响和重塑	37
2.4 信息空间的产生及含义	41
2.5 信息空间的地理特性	49
2.6 信息空间的特征	50
2.7 信息空间的研究思路	51
第 3 章 信息空间的解析及网络模型构建	54
3.1 信息空间的解析	54
3.2 信息空间的数学描述和表现形式	58
3.3 信息空间模型	62
第 4 章 信息空间的复杂网络分析:全国尺度	73
4.1 基于辐射模型的信息空间关联复杂网络分析	73
4.2 基于互联网信息流的信息空间网络分析	86

4.3 基于信息功能的信息空间研究·····	97
第5章 京津冀信息空间的辐射力与吸引力分析:区域尺度 ·····	107
5.1 京津冀的信息化建设情况·····	107
5.2 京津冀的信息空间建设·····	114
5.3 京津冀对中国省份网络的信息吸引力和辐射力·····	119
5.4 北京对中国省份网络的信息吸引力和辐射力·····	127
第6章 全国城市学术信息空间定量分析:领域尺度 ·····	138
6.1 学术信息空间·····	138
6.2 学术信息空间模型构建·····	140
6.3 学术信息空间分析·····	143
第7章 信息空间巴尔干现象分析 ·····	152
7.1 地理空间的巴尔干现象·····	153
7.2 信息空间的巴尔干现象·····	156
7.3 信息空间的巴尔干现象分析·····	160
第8章 信息空间与经济空间、社会空间、地理空间的耦合分析 ·····	170
8.1 空间概念界定·····	170
8.2 经济空间、社会空间、地理空间与信息空间的关系解析·····	175
8.3 空间耦合的机理与研究方法·····	178
8.4 信息空间与经济空间的耦合关联分析·····	186
8.5 信息空间与地理空间的耦合关联分析·····	200
8.6 信息空间与人口空间的耦合关联分析·····	214
8.7 信息空间耦合结论·····	230
第9章 结论与展望 ·····	234
9.1 本书结论·····	234
9.2 本书创新·····	240
9.3 本书局限·····	241
参考文献 ·····	243
后记 ·····	263

第1章 绪 论

区域和省市*是人类聚集活动的中心和载体,是人类活动的空间聚集体^[1],省市由于地理临近性,物质、能量、信息的数量及行为在地理范畴中的广延性存在,构成区域地理空间,具体的表现形式是区域各组成要素的空间组合格局。随着历史的推进和区域的发展,人们逐渐认识到区域和城市的发展和进步不仅仅体现在经济总量的提升和城镇化规模的扩张,更体现在省市的交织化协同发展上。在此基础上,区域按照发展目标进行协作和联系,形成不可分割的有机体系。因此,各种区域空间形态被塑造出来,区域的研究也逐渐从属性走向关系,由等级走向网络,由封闭系统走向开放系统,逐渐聚焦网络关系层面上的区域体系与特征^[2-4]。

近年来,信息技术的发展带动区域和城市高速成长,区域间的联系也越来越紧密,信息技术渗透到经济社会生产和生活的方方面面,带来了巨大的时空压缩效应^[5],传统的区域空间开始重构,地理因素的影响逐渐减弱,信息要素作为区域发展的关键要素开始对区域的空间产生影响,由此产生的信息空间逐渐成为人们交流和活动的新场所。尤其信息技术的飞速发展催生了信息空间的诞生,信息技术以一种全新的方式,在改变居住生活空间的同时融入现代城市系统中,使信息空间的研究和省市间信息的联系和流动性逐渐成为地理学的研究重点,对区域信息规划具有实际重要意义。

* 为简洁明了,本书通常情况下以“省市”指代省、自治区、直辖市以及特别行政区。

1.1 信息时代背景

(1) 信息时代的到来推动信息社会与空间加速拓展^[6]

技术的发展和进步在人类社会的发展史上始终发挥着关键重要的作用，推动产业结构、区域空间和社会形态的转变和演化。20世纪60年代以来，新技术的产生不断推动社会形态的抓变，西方的学术界逐渐将争论的焦点转移到新技术所带来的社会形态的转变上，相继提出了科学社会^[7]、后工业化社会^[8]、服务社会^[9]、知识社会^[10]、信息社会^[11]。随着信息技术的不断发展和深入应用，以信息为主要特征的新的信息社会形态和信息社会经济特征、结构和机制被推上研究高峰，数字时代、数字社会以及网络社会^[12]等更深层次的高级信息社会逐渐进入人们的视野，标志着信息技术“权贵”的兴起以及新的阶层原则的开始。

在信息技术的推动下，全球互联网扩张加速，传统的经济社会系统逐渐发生转变，数字文化开始广泛而深入地渗透到人们的生活当中，形成了以数字化、网络化以及个性化为代表的新型信息社会系统。内格罗蓬特在《数字化生存》一书中揭示了信息时代的转变以及后信息时代的到来，我们即将或者已经开始进入以数字和网络革命为主要特征，以网络化组织结构为本质的数字化时代^[13]。在后信息时代，各种经济与社会活动被赋予知识化与智能化的相关属性，信息和知识成为决定信息社会的关键要素，并且伴随着计算机、互联网以及远程通信终端的深入应用，人们的时间观念开始发生颠覆性的变化，距离在人们交互过程中的摩擦作用渐渐减弱。可以说，先进信息技术的发展和快速应用正在加速“破坏”与“瓦解”传统的生产和生活方式，时空概念逐渐缩小，传统的地域空间开始瓦解，“地球村”逐渐形成^[14-15]。

改革开放以来，我国的经济社会发展迅速，信息产业发展势头十足，不论是国家战略还是地方政府都把国家信息化与区域信息化放到重要的战略地位。经过几十年的发展和信息化普及，我国经历了从信息零时代的起步阶段

到信息化蓬勃发展的快速增长阶段。目前我国的信息网络基础设施规模目前已经居于世界第二，仅次于美国^[16]；截至2017年年底，我国互联网人口达7.72亿，居世界第一。席卷世界的信息化浪潮将我国推向信息时代的前沿。

拉斯特里斯^[17]指出，空间是社会的表达。信息技术的高速发展和广泛应用推动传统社会转型以及信息社会产生的同时，催生新的空间形态和特征。随着信息高速公路的建设和完善，区域空间概念打破原有的时空关系格局，空间在逻辑上开始缩小，地理空间被压缩，空间中的流动性也逐渐加强，空间逐渐超越了地理空间的历史性含义^[18]，信息时代的到来在一定程度上推动了信息社会与空间加速拓展。

(2) 全球信息化促进区域与城市相互作用与网络化联系

当代区域和城市的发展一般与全球化的过程密不可分。全球化涉及多种学科，是信息社会的主要驱动力之一。从地理空间视角出发，全球化代表一种全新的地理分布格局，并且隐含着导致活动和行为发生变化的相关新技术，与地方性、网络以及空间的瓦解密切相关，全球化的地理本质是从地域化的限制到多地域化和跨地域。广义的全球化指的是资金联系、货物联系、服务联系、人才联系、技术联系与信息联系等跨越国家边境并且程度不断地扩大和深化。詹姆斯认为全球化带来的社会关系的时空压缩，导致国际层面的跨国合并以及国内层面的区域融合^[19]。杨开忠^[20]发现，作为复杂的相互作用的过程，全球化在空间整合以及空间瓦解之间存在动态和辩证的关系。全球化必然带来一定程度的地域差异和地理不均衡。

在全球化的大背景下，信息技术的发展带来了全球信息化，空间整合变得更加容易。查尔斯·汉迪和约翰·M. 埃格^[21-22]指出，“世界技术变化得越高，越需要直接的联系，越全球化，地方的作用越加突出”，因此可以推断出，全球信息化使得区域和城市之间的相互联系更加紧密，更加重要，同时在信息技术影响下，真实的地理空间并不会完全消失，场所空间变得更加重要。

伴随着信息全球化的发展，城市和区域之间的联系更加紧密，区域性、全国性以及全球性的信息网络日益浮现^[23]。根据卡斯特的研究，信息背景下

的空间形态是一个网络化的过程，因此信息背景下的空间应该在网络背景下研究。信息技术发展使得区域和城市之间的信息联系和沟通日益频繁，由此导致区域和城市之间通过信息联系而相互作用的强度越来越强。卡斯特^[24]认为，在全球化时代，尤其是信息的全球化，各种各样的网络包括实体网络与虚拟网络，塑造了区域与城市的新型空间形态以及区域与城市在信息网络中的位阶。中心区域的发展以及扩散进一步连接了周边地区的网络化过程，进而共同推动大区域的形成和发展。

1.2 信息空间理论的回顾与进展

信息空间是地理学和信息学相结合的一个信息概念，作为一个新热点，信息空间目前的研究方兴未艾，现存的文献材料较为薄弱，因此研究工作需要从研究领域和研究方法论两个角度展开，并且汲取其中的营养。对于研究领域，分别从信息空间的概念、所属学科以及表现方式三个层面来进行，信息空间是信息的空间，离不开信息化，也离不开区域的空间结构，信息空

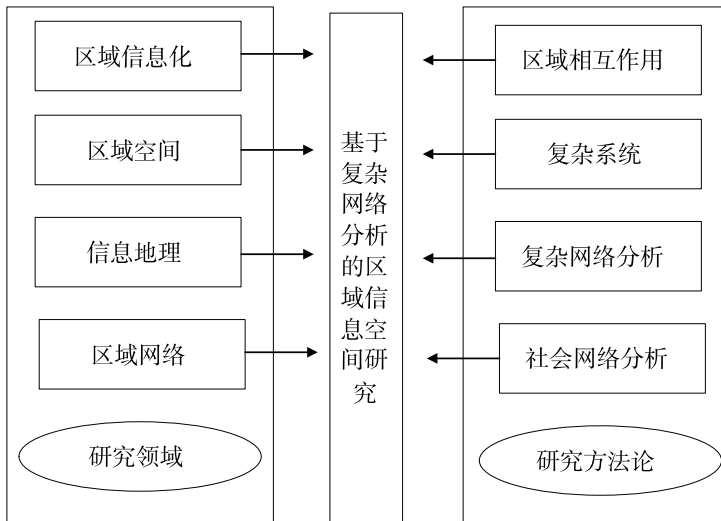


图 1-1 文献综述框架

间的研究又结合信息学和地理学科的特点,属于信息地理学的范畴,并且信息空间的表现形式是网络化,因此在研究领域上,本书将从信息化、区域空间、信息地理学以及区域网络四个方面展开相关评述。对于研究方法论,本书主要集中于区域相互作用、复杂系统、复杂网络分析以及社会网络分析等几个方面,因此关于研究方法论的文献综述也从上述四个方面展开,为随后的研究工作做准备。

1.2.1 信息空间领域

(1) 信息化与信息社会的内涵与特征

20世纪60年代,日本的科学技术和经济研究团体首次提出了信息化的概念^[25],随后被译成英文传播到西方,20世纪70年代后期,西方社会才开始普遍使用“信息化”和“信息社会”的概念,并逐渐纳入理论研究中,因此信息化是西方理论与日本实际相结合的产物,描述了工业社会转化到信息社会的过程^[26-27]。20世纪80年代,国内开始对信息化进行研究,关于信息化的表述,中国的学术界以及政府部门都做过较长时间的探讨,例如“信息化是计算机、通信和网络技术的现代化”^[28]，“信息化是物质生产占主导地位的社会向信息产业占主导地位的社会转变的发展过程”^[29]。信息化的研究起源于日本,成熟于西方国家,诸如信息社会、信息产业、信息经济、信息战略等理论与研究成果对后续的研究具有重要的意义。

信息化带来的最直接的影响就是信息社会的产生。日本学者增田米二和林雄二郎相继在20世纪60年代出版著作^[30-31],提出了信息社会的概念。信息社会的主要特征是通信化、计算机化和自动化(3C)^[32],关于浮现中的信息社会的机制、结构和社会意义的讨论在20世纪70年代到80年代达到高峰,1973年美国著名社会学家贝尔的《后工业化社会的来临——对社会预测的一种探索》^[33]奠定了西方信息社会研究的基石,在学术界引起了极大的轰动,随后1982年约翰·奈斯比特在《大趋势》^[34]中指出,贝尔的后工业社会就是信息社会。20世纪90年代,信息社会逐渐成为欧共体争论及政策框架中的重要主题,将新的通信技术和信息技术作为克服社会经济增长停滞的重要战

略^[35]，因此信息社会也被赋予了更深层次的特征，例如多媒体技术和信息高速公路。英国学者马丁的《信息社会》^[36]第一次系统的从政治、经济、社会和文化四个角度全面阐释了信息社会的含义和特征。

西方学者对信息社会的研究和贡献也逐渐引起的国内不同领域学者的关注。杨文洋^[37]于2000年界定了信息社会与社会信息化，并且给出了信息社会的重要定义“信息社会是社会各领域以现代信息技术为核心技术，以信息资源为基本资源，通过对信息资源的充分开发和有效利用来实现充分发展的社会”。社科院的查汝强指出，信息社会具有“信息技术化，全面自动化，具备社会信息网络系统，信息和信息产业占据重要地位”^[38]。随后清华大学的熊澄宇在《信息社会4.0》^[39]中首次提出了信息社会发展的四个阶段：信息技术应用阶段、信息产业发展阶段、信息经济推进阶段以及信息社会构建阶段。同时，清华大学的崔保国教授^[40]从信息社会发展、信息科学技术、信息产业、就业、信息财富五个方面归纳总结了信息社会的基本特征。著名的信息经济学者乌家培教授在《信息社会与网络经济》^[41]一书中指出信息社会的来临是持续推进过敏经济和社会信息化的必然结果。

因此，国内外大量的文献对信息化和信息社会进行了探讨，使得信息化以及信息社会一度成为学术界最重要的热点之一。中西方的学者研究侧重点不同，西方学者侧重对信息社会现状进行描述，总结特征，缺乏对信息社会的解释和动力机制研究^[42]，而国内的学者从不同领域对信息社会展开初步的非系统性的研究，也缺乏对信息社会的本质特征深入而细致的研究，信息社会的研究依然是一个任重道远的过程。

(2) 区域空间理论演变

传统的区域空间理论从最早的区位理论^[43]到中期的区域科学^[44]，再到空间经济学和经济地理学以及新经济地理学^[45]等，区域空间的理论不断地完善与发展，涵盖了大量的区域空间结构的研究内容。

在区域空间理论形成之前，很多学者已经从不同的角度对区域空间的经济活动展开研究，形成了四种典型代表性的区位论：杜能的农业区位论^[46]、韦伯的工业区位论^[47]、克里斯泰的中心地理论^[48]以及勒施的市场区与市场网

络理论^[49]。随着经济和社会的进一步发展,区域空间结构内涵开始拓展,在这方面做出重要开创性贡献的是德国学者奥拓伦巴^[50]以及美国学者达恩^[51],他们提出经济空间结构概念,将区位理论发展为空间结构理论,随后德国学者博芬特尔^[52]、贝利^[53]、加里森^[54]等对空间结构理论的发展和应用进行了完善和补充。此外沃那·松巴特的生长轴理论^[55],约翰·弗里德曼的核心—外围理论^[66]、弗朗索瓦·佩鲁的增长极理论^[67]都是区域空间理论发展的重要组成部分。

自20世纪80年代以来,针对区域空间结构的研究热点,中国学者也从不同的角度对区域空间展开了大量的研究,并且提出了大量具有中国特色的理论观点,例如陆大道院士的“点—轴”系统理论^[57],陈才的“区域经济地域结构”^[58],李小建总结的经济空间结构理论体系^[59],南开大学郝寿义教授的区域经济空间的三元结构理论^[60],顾朝林等区域空间结构理论^[61]以及聂华林的“小西北区域”^[62]等。区域空间理论不断地丰富和发展。

信息化以及信息社会的产生和发展,使得区域空间理论迈上一个新的高度。信息技术发展带动生产从传统的工业模式向信息模式转变,原有的空间要素布局重新整合,产生新的空间形态。因此原有的区域空间理论不再完全适合信息社会下的空间形态,国内外学者开始探索新的区域空间理论研究。斯科特^[63]针对新的空间形态做了开创性的工作,展开了对新产业空间的研究,随后尼克·亨利^[64]以及马丁·海登赖克^[65]对新产业空间理论进行了补充性的研究。国内的顾朝林、吴林海、赵玲勋等^[66-68]对信息时代的信息产业走廊进行了深入的研究与分析。欧克·帕克^[69]提出了网络范式来寻求新的空间现象的结束框架,伴随着向信息发展模式的转变,大量的学者对信息时代的空间形态进行了预测和展望,描述了新的经济社会空间形态,例如马歇尔·麦克卢汉的“地球村”^[70],托夫勒的“电子村庄”^[71],卡斯特尔斯的“信息城市和技术城”^[72],布鲁恩和莱茵巴克的技术地理复杂性^[73],巴尼·沃夫的“新的信息空间”^[74],肯尼迪·科里的“都市带理论”^[75]以及斯科特的“全球城市区域概念”^[76],区域空间理论在信息化背景下不断被充实与完善。

(3) 基于信息地理学的信息空间研究

20世纪90年代以来,随着信息技术的发展和广泛应用,信息的影响开始

渗透到地理学中，产生了信息地理学这一新学科^[77]。在信息地理学的创新框架下，学者们对其特征和发展展开了多方面的研究和探讨。西方学者在信息地理学方向进行了大量的探讨，提出了虚拟地理学以及电信地理学等新的分支学科框架^[78]。在这些研究框架下，产生了大量的研究成果。哈维^[79]提出了著名的“时空压缩”观点，改变了传统的场所空间在地理学研究的主导地位，从信息学的角度为地理学提供了崭新的研究方向和思维视角，引发了地理学界、信息学界以及相关其他的学科领域的大思考。在信息技术的影响下，传统的空间结构理论开始产生新的变化，空间要素的表现形式和作用机制发生改变，新型的地域空间格局产生，传统的“距离衰减”^[80]以及“收益递减”^[81]规律也渐渐不适应新的空间，流空间开始成为区域空间理论的新主角。在这方面，卡斯特做出了开创性的努力和工作，他设想了基于计算机网络的流空间形态，并且结合地理空间的规律，提出了流空间的三个主要的层次^[82]。在这一时期，“地理总结”^[83]以及“距离死亡”^[84]等悲观论调也充斥着信息地理学的研究领域中，反映了学者们对信息化对地理学造成冲击的悲观情绪和恐惧感。

20世纪90年代末，计算机网络技术开始渗透社会经济各个方面，信息革命对传统工业的改造更加的深刻，学者开始对地理、社会、经济、信息、建筑、计算机、规划等多个学科领域展开大量的研究，在地理学领域的主要研究成果包括区位研究、均衡与非均衡、空间形态、城市形态、信息空间与城市网络等^[85-89]。2000年以来，互联网、云计算、大数据、移动互联网以及大数据的快速发展对空间形态和空间结构的转变带来了剧烈的变化^[90-91]，加速了信息空间的研究，丰富了信息理论学的内容。

国内外对信息空间已有一定程度的研究，研究视角从属性走向关系，由等级走向网络，由封闭系统走向开放系统，逐渐聚焦网络关系层面上的区域空间体系与特征。国外研究中艾布拉姆森等利用全球城市的互联网基础设施，构建城市网络连接关系，从基础设施角度研究城市信息空间的网络体系问题^[92-93]。电子地理研究小组^[94]通过采用国际交易电话量等表征信息流的关系性数据建立国家之间的信息流网络，探讨了国家之间信息网络的特征。国内

研究中张捷等人^[95]早在1997年就对信息时代地理空间的历史定位及空间连通性展开研究,开信息空间研究的先河,其后汪明峰团队^[18]将视角聚焦网络信息空间的与城市发展,从地理学的角度探讨了城市学者研究网络信息空间的方法,并且在此基础上扩展了网络信息空间测度方法和城市地理学的研究内容。张捷以及路紫团队^[96-103]则以旅游网站为切入点,开展了对互联网信息空间的分异研究,包括网络地理空间分异,流动空间分异等信息化下的新的空间形态与布局。随着信息技术的作用凸显,有关网络信息空间的地理学研究不断涌现,包括信息时代的空间形态,空间效应,信息技术与旅游等,丰富了信息地理学的发展^[104-107]。徐静等^[108]基于系统科学原理,从信息视角研究城市系统的信息要素和信息空间,进而以北京为例,对其信息空间及演进情况进行实例分析。孙中伟等^[107]根据2008年全球互联网地图,利用网络分析方法,计算了城市节点的整体可达性和最短距离可达性,并结合总带宽和连线数据,对世界互联网城市进行了等级划分。董志良等^[109]以中央网络数据为基础,分析了区域信息流的等级结构和流动模式,揭示了我国互联网网络结构的特征。汪明峰等^[5]从信息基础设施切入,建立了一种评价中国互联网城市可达性的方法,并对五大骨干网络的空间结构和节点可达性进行了分析。总体上目前对于信息空间的研究还处于起步阶段,多数研究主要侧重于静态基础设施所构造的实体网络,以及基于静态统计信息构造的区域信息网络^[110-117],较少关注区域间的信息流动以及流动空间的整体分布格局和特征,很难完整地反映出区域信息空间的差异性和动态特点。

(4) 区域空间网络研究

区域空间理论的发展带动区域空间等级体系向区域空间网络转变。区域空间网络研究起源于“分散城市”^[118]的探讨,随后哥特曼^[119]对大都市地区展开研究,并将研究聚焦于多中心地区。城市区域的多中心其实是区域与城市网络化的一种雏形。梅杰斯与卡玛格尼^[120]认为城市与区域相互联系是由于互补网络所导致的,皮尔德也同意这种观点,强调城市之间的功能互补差异是导致城市互补与合作产生的重要原因^[121]。因此多中心区域的城市之间的合作已渐渐脱离传统的等级关系,区域网络关系更加的突出。在城市网络方面,

泰勒侧重的是城市外部的关系以及联系的过程，他于 20 世纪 90 年代提出的“城市性”理论从中心流来解释区域内以及跨区域的城市之间的互动联系，包括人口联系、信息联系、资金联系、商品联系等^[122-123]。这是首次正式肯定了区域网络研究的重要性。尼尔认为区域研究应该从空间等级转向关系等级，以关系为主要特征的区域网络结构成为现代区域空间研究的重点^[124]。

区域网络的研究主要以城市网络为主要方向，研究成果也比较丰富。国内外学者对城市网络进行了大量的研究。研究集中在城市经济网络、城市生态网络、城市交通网络、城市通信网络以及城市航空网络等领域^[125-127]，在此基础上城市网络研究从属性走向关系，由等级走向网络，由封闭系统走向开放系统，逐渐聚焦网络关系层面上的城市体系与特征^[128-129]。在研究视角上，研究可以划分为两大类。一类是研究区域实体网络，探讨以实体物质性基础设施通路为主要联系的城市区域网络特征。这方面的研究主要是区域交通网络、城市航空网络等^[130]，比如采用城市间航空旅客数量作为城市间联系或者采用城市间的带宽来反映联系。王娇娥等从航空网络角度分析区域空间结构，并且指出中国的航空可达性与城市体系上层结构在空间上较为吻合^[131]。薛俊菲通过中国 14 家主要航空公司的航线数据，构建城市网络分析证明航空网络中城市的航线数量与城市体系中的规模等级基本上呈现正相关关系^[132]。另一类城市信息网络研究则集中于基于信息流动与传递的城市信息网络体系，以信息交流和用户网络关系为基础获取城市之间的关系型数据来研究城市之间的联系^[133-134]。熊丽芳等^[135]借助百度指数，获取 2009 年和 2012 年长三角两两城市间的用户关注度数据，通过模拟城市信息流，分析长三角城市网络的时空演变。陈映雪等^[136]引入社会网络分析方法，探究了基于微博信息空间的城市网络特征以及区域城市组团模式。路紫等^[137]以开心网 15 个大学群为案例，应用信息熵和度分布两种方法，研究了社会性网络服务社区中人际节点空间分布特征及其地缘因素的影响。在研究方法上，针对城市网络结构国内外学者较为早期的研究集中于决策分析方法、数理统计方法以及组合数学模型等^[138-139]。随着复杂科学和复杂网络的研究兴起，社会网络分析方法被广泛应用到城市网络研究领域^[140-142]。