中国沿海地区海洋产业合作创新网络特征及其邻近性

李 颖[1],马 双[1],富宁宁[2],怡 凯[1],彭 飞[※2]
(1. 辽宁师范大学 地理科学学院,中国辽宁 大连 116029;
2. 辽宁师范大学 海洋经济与可持续发展研究中心,中国辽宁 大连 116029)

摘 要:创新是引领发展的第一动力,网络是创新成功的关键。文章基于2000—2017年中国沿海地区海洋产业合作专利数据,运用复杂网络分析、ArcGIS空间分析和地理探测器等方法,构建海洋产业合作创新网络,分析合作网络的特征、结构及邻近性机制得出:①沿海地区海洋产业合作专利经历萌芽和探索阶段,现在正处于高速发展阶段,但部分省的合作专利贡献率不足。②创新主体中心节点带动辐射能力与合作能力增强,高校是合作创新的主力军。以企业为中心的海洋技术创新体系尚未形成,企业创新生态环境有待完善。③海洋产业合作创新网络结构的广度扩张,有明显的合作团体出现,但网络整体通达性弱,结构松散、不稳定。④城市间趋于向更多、更广的范围拓展合作,上海市、青岛市、天津市、广州市与其他各城市联系较强,北京市引领创新能力逐渐凸显。⑤社会邻近性对海洋产业合作创新网络的解释力最高,且两两邻近性之间对城市间合作率的交互影响呈现双因子或非线性增强关系。

关键词:合作创新网络;海洋产业;多维邻近性;地理探测器;创新主体;合作专利
中图分类号:F129.9 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-8462(2021)02-0129-10
DOI:10.15957/j.cnki.jjdl.2021.02.014

The Characteristics and Proximity of Cooperative Innovation Network of Marine Industry in China's Coastal Areas

LI Ying[1], MA Shuang[1], FU Ningning[2], YI Kai[1], PENG Fei[2]
(*1. School of Geographical Sciences, Liaoning Normal University, Dalian 116029, Liaoning, China; 2. Research Center for Marine Economy and Sustainable Development, Liaoning Normal University, Dalian 116029, Liaoning, China*)

Abstract: Innovation is the first driving force to lead the development,and the network is the key to innovation. Based on the cooperative patents of marine industry in coastal areas of China from 2000 to 2017,this paper constructs cooperative innovation network of marine industry and analyzes its characteristics,structure and proximity mechanism by complex network analysis,ArcGIS spatial analysis method and Geodetector,etc. The results show that: 1) Cooperative patents of marine industry in coastal areas,experiencing,the germination and exploration stages,are at the stage of rapid development, but it presents insufficient contribution rate of cooperative patents in some provinces. 2) The central node of innovation subjects drives the radiation capacity and enhances the cooperation ability, universities are still the main force of cooperative innovation. However,the enterprise-centric marine technology innovation system has not yet been formed,and it needs to improve the innovative ecological environment of enterprises. 3) The structure of cooperative innovation network of marine industry has expanded in breadth and facilitates the emergence of cooperative groups,but the overall accessibility of network is weak and the structure is loose and unstable. 4) Cities tend to expand cooperation with others in more and wider areas. It has strong connections with other cities in Shanghai,Qingdao,Tianjin and Guangzhou,and the innovation ability in Beijing plays leading role. 5) Social proximity has the highest explanatory power for cooperative innovation network of marine industry,and the interaction of proximity on the cooperation rate between cities is a kind of bi-factor or non-linear enhancement relationship.

Keywords: cooperative innovation network; marine industry; multi-dimensional proximities; Geodetector; innovation subject; cooperative patent

收稿时间:2020-05-09;**修回时间:**2020-11-29
基金项目:辽宁省社会科学规划基金项目(L19CJL005、L17CJL001)
作者简介:李颖(1986—),女,山西太原人,博士,讲师,研究方向为资源环境与可持续发展等。E-mail:lynn8686@163.com
※**通讯作者:**彭飞(1986—),男,山西阳泉人,博士,副教授,研究方向为海洋地缘政治与区域创新。E-mail:feipeng@lnnu.edu.cn

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

近年来,我国沿海地区及其海洋经济发展迅速,到2017年,沿海11个省市区的GDP达457 290.49亿元,占全国总量的54.96%,其中海洋GDP占沿海地区GDP的16.97%,海洋经济正逐渐成为经济体系中的新动能[1]。但十三届全国人大常委会第七次会议听取并审议的《国务院关于发展海洋经济加快建设海洋强国工作情况的报告》中指出,"经多年发展,我国海洋经济实力大幅提升,但相较于发达国家海洋经济发展状况,我国仍处于相对较低水平"。海洋经济是我国经济高质量发展的蓝色引擎,但是目前作为海洋经济研究核心领域的海洋产业正面临着开发层次不足、产业结构较为老化、海洋新兴产业占比不高、科技创新基础薄弱、海洋创新与产业结构亟待升级等问题[2]。海洋科技创新是引领海洋经济高质量、高增速、高效率发展,特别是海洋新兴产业发展的不竭动力,但科技发展的高速化、环境的多变化、创新的复杂化等现状,使得单一机构难以实现内部创新,因此建立和维持与外部长期有效的合作网络是创新成功的关键[3-5]。创新网络的构建、发展与完善是海洋产业创新能力提升的动力引擎,因此研究海洋产业合作创新网络对于建设海洋强国和中国经济高质量发展具有重大意义。

"创新网络"最早由Freeman提出,被认为是基于制度安排的系统内部创新过程,并且企业间的创新合作是网络连接的主要机制[6]。随着"地方空间"被"流动空间"所取代,其已经成为衡量创新要素的共享、流动、互补、整合和转化的有效途径和重要载体[7]。虽然我国创新研究的起步时间较晚于国外,但国内、国外学者都已对创新网络进行了大量研究,取得丰硕成果,主要包括在区域、国家、全球等不同尺度上的创新网络的拓扑性质、空间分布、形成演化规律等基础性分析或其对创新绩效的影响等研究,如①基于电子信息、装备制造、生物医药等一种或多种产业的协同合作创新网络或集群创新网络的研究[8-12];②基于专利技术合作与转移的城市创新网络研究[13-15];③基于邻近性视角的创新网络的形成演化机理分析等[16-17]。邻近性是经济地理学分析网络演化的重要视角,能很好地度量主体与其他主体之间的合作创新倾向,对网络形成有重要意义,已被广泛关注。1990年代以来,邻近性由一维向多维不断拓展,但因研究视角的差异,对邻近性有不同维度的划分,如Boschma将其划分为地理邻近性、制度邻近性、社会关系邻近性和认知邻近性;Knoben等将邻近性划分为地理邻近性、组织邻近性和技术邻近性等[18-19]。由此可见,创新网络研究已在不同领域、不同视角取得了丰富的创见性成果,但仍存在需进一步研究的问题。通过梳理文献发现:装备制造业、电子信息产业等重点产业的相关研究已相当完备,但海洋产业的研究主要是关于海岛地区、省域等小范围尺度的合作创新网络研究,鲜有以沿海地区为研究区的研究[4,20]。而对于网络形成演化规律的多维邻近性或影响因素探究,多以多元回归分析(QAP)、负二项式回归模型等方法为主,运用回归系数来解释自变量与因变量之间的相互关系和影响程度。如吕国庆[17]等分析我国装备制造业联合申请的发明专利数据,认为地理邻近是网络形成的基础及演化的首要驱动因子,社会邻近是寻求合作创新伙伴的重要方式。合作创新网络的多维邻近性交互作用是未来的研究重点[7]。然而多维邻近性的交互作用分析多是在回归模型中用邻近性的乘积项来表征[14,17],但两因子之间的交互作用不一定是简单的乘积关系[21],因此本文应用地理探测器方法来分析交互作用。地理探测器的一个独特优势是探测两自变量交互作用于因变量,它既包括乘积关系,也包括其他关系,使交互作用的分析更全面[21]。

沿海地区在国民经济发展中占有重要地位,创新引领下的海洋产业合作专利在海洋强国战略中的地位不容忽略,但我国海洋创新仍面临着高投入、高风险、资源短缺等问题,因此对海洋产业创新能力的全面了解将利于更好地实施海洋强国战略[22]。基于此,本文以2000—2017年沿海地区的合作专利为研究对象,运用复杂网络分析、ArcGIS空间分析和地理探测器等方法,从网络特征、拓扑结构等方面来定量分析合作网络中各节点之间的合作关系、空间联系及形成机制,厘清沿海地区海洋产业政产学合作创新网络的结构特征以及多维邻近性机制及交互作用。明晰沿海地区海洋产业的创新能力,以期更精准地引领海洋经济高质量发展,为建设海洋强国提供一定借鉴。

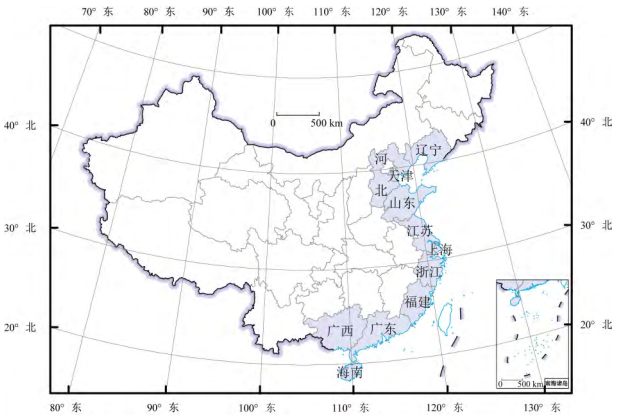
1 数据与方法

1.1 专利数据来源与处理

本文以中国沿海地区为研究区(限于数据,本文尚未将港澳台地区和港澳台合作专利数据包含在内),包括辽宁、天津、河北、山东、江苏、上海、浙江、福建、广东、广西、海南在内的11个省(直辖市、

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

自治区),约占全国国土面积的13.6%(图1)。专利作为技术创新的产物,是技术创新活动的晴雨表,联合申请专利被广泛用来作为研究合作创新的实证指标之一[23]。产学研合作创新网络的研究成果已十分丰富,政产学合作创新网络作为其的发展,也是复杂关系网络中的重要合作模式和国家创新体系建设的重要组成部分[11]。因此,本文在国家专利局(http://www.cnipa.gov.cn)检索海洋产业政产学合作专利数据,构建合作网络,揭示政产学不同主体间的技术交流,探究海洋产业的创新能力及网络形成与演化的邻近性机制。合作专利数据筛选及处理标准:①时间和范围界定。海洋产业的第一个专利出现在1985年,但前期(1985—1999年)关于海洋产业的数据较少,故本研究选取2000—2017年中国沿海各省市的海洋产业合作专利数据。②政产学的界定。若申请人包含"部、局、国家"等机构名称的划归"政"范围;包含"公司、集团、企业、厂"等营利性机构名称的划归"产"范围;包含"大学、学院、学校、研究院、研究中心、研究所"等机构名称的划归"学"范围[11]。如申请人中机构名称为"国家海洋局第一研究所",则以首先出现的"国家、局"来界定该机构所属"政"的范围。③原始数据的检索。在国家专利局网站的高级检索中筛选发明专利与实用新型的数据,对名称一项进行检索,将公布公告中包含"海洋、海、船、渔、滩涂"等关键词的专利视为海洋产业专利的数据(只要涉及海洋的数据都算海洋产业专利数据),再次确认并剔除"海绵""海量""内河"等非海洋产业的数据。④创新主体筛选与区分。本文聚焦于不同政产学创新主体之间的合作,因此申请人为个人、"产产合作""学学合作"等创新主体则不属于本文的研究对象。如某一专利的申请人为大连海事大学和中国海洋大学,本文将删除数据不予考虑;若某一专利拥有3个及以上的合作机构,根据机构所属范围拆分成两两不同机构的合作关系。如广州海洋地质调查局、防灾科技学院、宜宾三江机械有限责任公司的"政产学合作",被拆分成广州海洋地质调查局和宜宾三江机械有限责任公司的"政产合作";防灾科技学院和宜宾三江机械有限责任公司的"产学合作";防灾科技学院和广州海洋地质调查局的"政学合作"。⑤对主体的基本信息进行二次确认,确保不同政产学合作划分一致,经过筛选,最终得到1 642项合作专利,创新主体944个。



注:基于自然资源部标准地图服务系统的标准地图(审图号:GS(2019)1825)绘制,底图无修改。

图1　沿海地区地理位置

Fig.1　Coastal location of China

1.2　研究方法

1.2.1　复杂网络分析

Gephi是一款可视化的复杂网络分析软件,功能与Ucinet有相似之处,它可以实现对大型网络的聚类、统计等简单分析,具有操作性强、可视化效果美观等优点[24]。运用Gephi软件构建合作创新网络,将创新主体抽象为节点,不同政产学主体间的合作专利作为边,主体与其他主体的连接数为该节点权重,主体间的专利合作次数为边权重,并构建无向合作网络,引入平均度、平均加权度、平均聚类系数、平均路径长度、模块化、网络密度、网络直径等指标来分析合作创新网络的复杂拓扑结构特征[4,25-26]。

1.2.2　ArcGIS空间分析

在空间分析中,根据创新主体所属地(县)级市将创新主体之间的合作转变为各个城市之间的合作,应用ArcGIS10.2中的XY转线功能,得出合作网络的空间联系图。

1.2.3　多维邻近性与地理探测器

虽然多维邻近性机制研究成果较多,但尚未形成一个公认、清晰且规范的分析框架,尤以地理、制度、社会、组织和认知邻近性或其中某几个组合的多维邻近性框架居多[27]。考虑研究对象及度量方法,本文将构建地理、经济、社会、技术(包含于认知邻近性)、制度邻近性的多维邻近性框架。

地理探测器是基于因子、交互、风险和生态4个探测器,揭示地理事物或现象的空间分异性、探测因变量驱动力的一组统计学方法[21],被广泛应用在探测地理要素格局演变的驱动力和空间分异等

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

分析中[28-30]。传统的驱动力分析需要线性、正态性等的条件假设或对数据的数理统计特征有要求，而地理探测器几乎无任何条件假设，可有效克服传统模型的局限性，识别多因子之间的关联，符合现实地理事物的分布特征[30]。地理探测器可以有效避免自变量与因变量之间的线性关系及自变量之间乘积交互作用假设，且对自变量的共线性免疫，擅长分析类型量。因此本文借助因子、交互探测器探测多维邻近性对城市之间创新合作率的影响。利用自然断点法将地理邻近性分为6级，经济邻近性、社会邻近性、技术邻近性分为10级，制度邻近性分为5级。

地理邻近性是最早且最多地被用来研究的一种邻近性维度，表示合作网络中的各节点的空间距离，反映了主体间的远近程度。创新主体倾向于与距离较近的不同主体开展合作，这有利于降低路费等交易成本，增加面对面交流的机会，利于沟通与问题的解决，保证合作关系进一步发展。但现代通信技术的发展，已经打破空间距离的限制，使远距离合作成为可能。地理邻近性有多种测度方法，本文参考阮平南等[31]的度量方法，通过在地图上计算两创新主体所属城市间的空间直线距离进行度量。

经济邻近性表示城市之间经济发展水平的差异，近年来较多地被用来研究空间效应。区域间的活动也是经济系统间的活动，经济差异越小，越有利于资源要素流动和知识交流，对不同主体间的合作产生积极效应。本文以城市当地生产总值表示经济发展水平[32]。其测算公式为：

$$E_{ij} = \left| e_i - e_j \right| \tag{1}$$

式中：E_{ij}表示城市i、j之间的经济差距，用城市之间的GDP之差的绝对值表示；$e_{i(j)}$表示每个城市GDP的平均值，数据来源于国家统计局和各地区统计局。

社会邻近性表示创新主体在文化、社会关系、社会背景等方面的相似性，即主体在微观层面的社会嵌入性，其值大小反映社会关系的亲疏[14]。通常，合作关系是在密切社会交往的基础上建立起来的，亦是一种相互信任关系，且优于匿名或新建立的联系。参考刘承良等[33]的算法，基于主体之间的相对合作强度，通过构建杰卡德指数(Jaccard index)的方法来计算：

$$S_{ij} = \frac{I_{ij}}{Cs_i + Cs_j - I_{ij}} \tag{2}$$

式中：$Cs_{i(j)}$分别为国家$i(j)$的强度中心性，即城市i与城市j的两两合作的总和。

制度邻近性表示不同主体受一定规则约束程度的相似性[34]。不同主体间制度相似性越高，即享有越相似的制度环境，则越利于知识跨城市交流。只有在相似的制度环境下，主体间才会有相似的规范、准则和激励政策等，知识转移受限小，合作更自由、更高效。城市行政级别是明确且不会随意更改的正式制度，不同级别城市长期存在差距[35]。本文采用城市行政级别的差距来测度制度距离，一个城市以最高值取值一次，直辖市制度值为4，副省级城市制度值为3，省会城市的制度值为2，地级市的制度值为1，其他城市的制度值为0。城市之间制度距离的公式[35]：

$$\tau_{ij} = \left| c_i - c_j \right| \tag{3}$$

式中：τ_{ij}表示城市i、j的制度差异；$c_{i(j)}$分别表示城市$i(j)$的制度值。

技术邻近性表示不同主体在认知基础和技术结构上的关联性与相似性，即合作主体双方技术经验和知识基础的相似程度[34]。在技术与知识的掌握上越相似，不同主体间对已有知识技术的吸收和运用水平越高，越利于更多合作创新的建立与维持。但过度的技术邻近会造成新知识技术开发方面的束缚，影响新领域方向的合作。本文借鉴Jaffe指数来测度技术邻近程度[36]，其计算公式为：

$$T_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^{m} F_{ki} F_{kj}}{\sqrt{\sum_{k=1}^{m} F_{ki}^2 \sum_{k=1}^{m} F_{kj}^2}} \tag{4}$$

式中：k表示不同技术领域的专利，$k=(1,\cdots,m)$，根据国家知识产权局公布的中国专利分类，中国专利分为发明、实用新型和外观设计三类，本文为发明与实用新型的专利数据，即$m=2$；$F_{ki(j)}$表示城市$i(j)$在技术领域k所产生的专利授权数。Jaffe指数的值域为[0,1]，其值越大，两区域技术结构越相似。

2 海洋产业合作创新网络的结构特征分析

根据合作专利数量的年变化特征(图2)，将2000—2017年分成三个时段进行合作网络的结构研究，即2000—2009、2010—2014、2015—2017年。

2000—2009年专利数量呈小幅波动变化，处于萌芽期，2006年首届全国海洋科技大会召开，强调大力发展海洋科技事业促进海洋科技创新，使得2006年之后专利的数量小幅升高，但每年的数量小于50项。其中，山东省的专利数量最多，河北省、

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

福建省较少,广西壮族自治区和海南省在合作专利方面为空白,各省市的创新主体数量较少或没有创新主体。2011年,国家海洋局等多部门联合发布《国家“十二五”海洋科学和技术发展规划纲要》,提出“在“十二五”期间提升海洋科技对海洋经济的贡献率,增加专利授权数量”。创新主体的活力被激发,2010—2014年专利数量波动较大,专利数量较前一阶段增加3.6倍,但每年的数量小于170项,其中,上海市、江苏省、山东省的专利数多,而广西壮族自治区在合作专利方面仍是空白。海洋强国战略以及《全国科技兴海规划(2016—2020年)》的提出,为海洋产业创新提供政策支持,激发广大海洋科技工作者和创新主体的热情和干劲,2015—2017年专利、主体数量增速明显,且每年的数量大于170项,证明了海洋产业的创新能力日益增强,其中,广东省、山东省、上海市的合作专利数量多,以广东省的发展最快,专利数量增率为300项/10y,主体数量较上一阶段增加1.05倍,仅次于江苏省。创新主体数量整体呈上升趋势,2000—2011年创新主体的数量与合作专利数量基本保持一致;2011年之后,合作专利数量高于创新主体数量。在第三阶段,江苏省的创新主体和合作专利都较多,相较而言山东省的合作专利多,但创新主体数量少,表明该阶段山东省固定主体间的合作次数增多(图2,表1)。

新兴主体不断加入,合作专利逐渐增多,创新能力有所提高。山东省、江苏省、上海市在海洋产业专利合作上处于领先,发展较为平稳,广东省是发展最快的省份,而海南省和广西壮族自治区较为落后。海南省拥有得天独厚的海洋资源优势,但在海洋产业创新方面与其海洋资源大省的地位极不匹配,亟需增加合作来提高创新能力。

表1　2000—2017年沿海地区海洋产业各省市合作专利与主体数量统计

Tab.1　The general information of cooperative patents and subjects of provinces and cities in coastal marine industry from 2000 to 2017

省市	2000—2009		2010—2014		2015—2017	
	专利数(项)	主体数(个)	专利数(项)	主体数(个)	专利数(项)	主体数(个)
辽宁	14	17	34	24	29	38
河北	1	2	5	9	11	16
天津	13	19	43	43	100	51
山东	30	24	126	61	166	107
江苏	26	21	137	71	135	140
上海	19	30	139	76	146	84
浙江	20	17	70	69	84	63
福建	3	5	5	11	48	34
广东	9	12	53	58	156	119
广西	0	0	0	0	4	5
海南	0	0	3	7	13	11

2.1　合作网络的拓扑结构

运用Gephi软件绘制创新主体合作网络时间变化图(图3),节点标签的大小、边连线粗细程度分别代表合作网络中创新主体的重要程度(该节点连接度)以及主体间合作次数。2000—2009年(图3a)创新主体数量较少,网络规模小,主体间合作少,处于萌芽阶段,创新主体中心依次为上海交通大学、浙江大学、上海海事大学、中国科学院海洋研究所、大连工业大学;2010—2014年(图3b)创新主体数量明显增多到400个,网络规模扩张,重要的创新主体已经发生变化,上海交通大学、浙江海洋学院、浙江大学、中国海洋大学、中交第三航务局有限公司成为重要的创新主体中心,主体之间的合作次数增

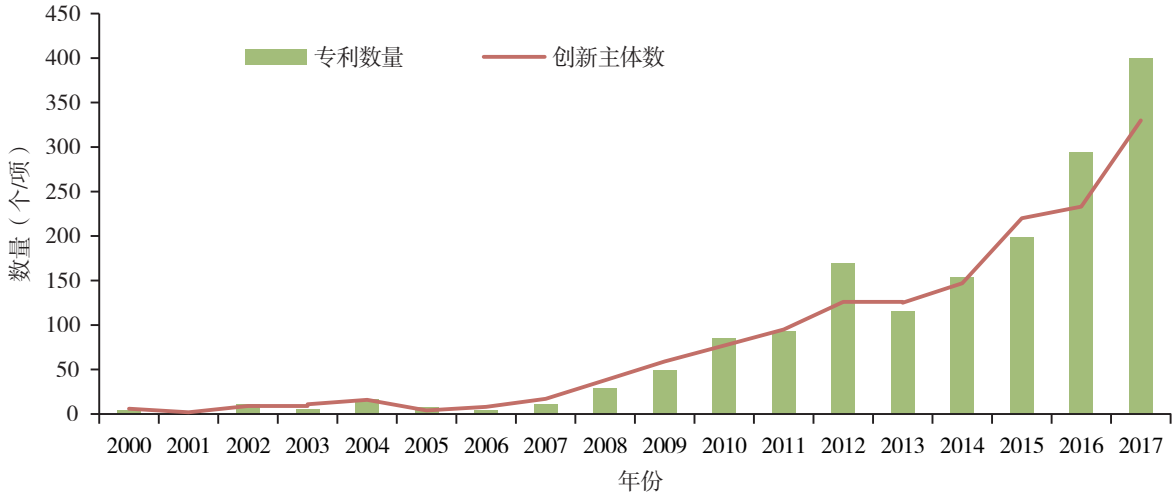


图2　2000—2017年沿海地区海洋产业合作专利与创新主体数量统计

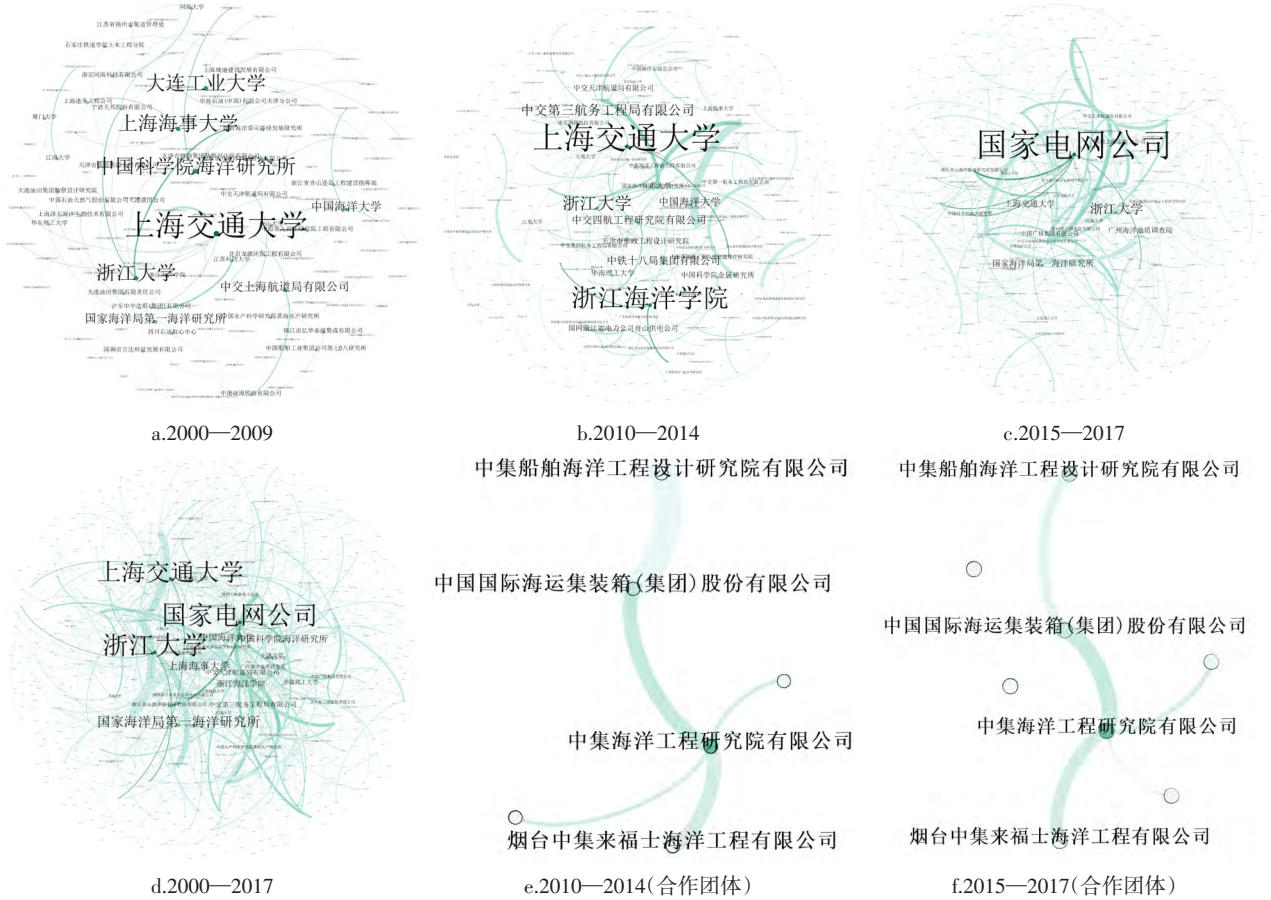
Fig.2　The general information of cooperative patents and innovation subjects in coastal marine industry from 2000 to 2017

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

多，如中集船舶海洋工程设计研究院有限公司与中国国际海运集装箱（集团）股份有限公司合作57次，因为节点连接度低，没有成为中心节点，但企业是重要的合作节点；2015—2017年（图3c）创新主体数量达到602个，国家电网公司、浙江大学、上海交通大学、国家海洋局第一海洋研究所、广州海洋地质调查局成为重要的创新主体合作中心，与其他主体间连接度增加，不同主体之间的合作次数增加，但仍存在大量节点拥有低连接度的现象。

创新合作主体日益增多，创新主体中心一直以“政”“学”机构为主，多以“学”的机构为主导，这与海岛地区的海洋产业合作创新主力、东北地区装备制造业产学研合作创新主力的观点一致[4,11]。上海交通大学、浙江大学是相对稳定且重要的“学”的创新中心节点，连接度高，对外合作能力与引领创新能力极强；其次为“政”的机构，“政”的中心节点每个时间段都有变化，以国家电网公司的连接度最高；“产”的机构中心地位低，但却是不可缺少的合作主体（图3d）。在国家引导和支持创新要素向企业集聚及产学研联合开展技术合作消化吸收再创新等政策引导下，企业作为知识的需求方，虽然中心地位暂不显现，但每阶段中“产”机构数量都超50%且呈增长趋势，所以企业将会是一个潜在的合作中心与合作“中介”。

从2000—2017年各阶段的网络拓扑结构特征量可知（表2），除网络密度和模块化指数呈现减小趋势，其他特征量呈现上升趋势。节点个数、平均度和加权平均度增大表明越来越多的新兴主体加入合作，网络中主体的合作紧密度提升，合作频繁；平均聚类系数增加，节点集聚程度升高。紧密度升高以及新兴主体不断加入，造成网络中节点的联系增多，网络广度扩张，但新兴主体间单次合作次数高于新兴主体与原有创新主体合作次数，低连接度节点多，高连接度的节点少，即两两间合作多，多主体间连接较少，各创新主体之间的连通性弱，且每个节点需要12次中转实现连通，导致网络的直径、平均路径长度升高而密度降低；模块化指标接近1，表明分化出明显的合作团体，社区强度强，如中集船舶海洋工程设计研究院有限公司、中国国际海运集装箱（集团）股份有限公司、中集海洋工程研究院有限公司和烟台中集来福士海洋工程有限公司合作团体（图3e、3f），但呈现减小的趋势，表明社区强



a.2000—2009　b.2010—2014　c.2015—2017

d.2000—2017　e.2010—2014（合作团体）　f.2015—2017（合作团体）

图3　沿海地区海洋产业创新主体合作网络图

Fig.3　Cooperative network map of innovation subjects of marine industry in coastal areas

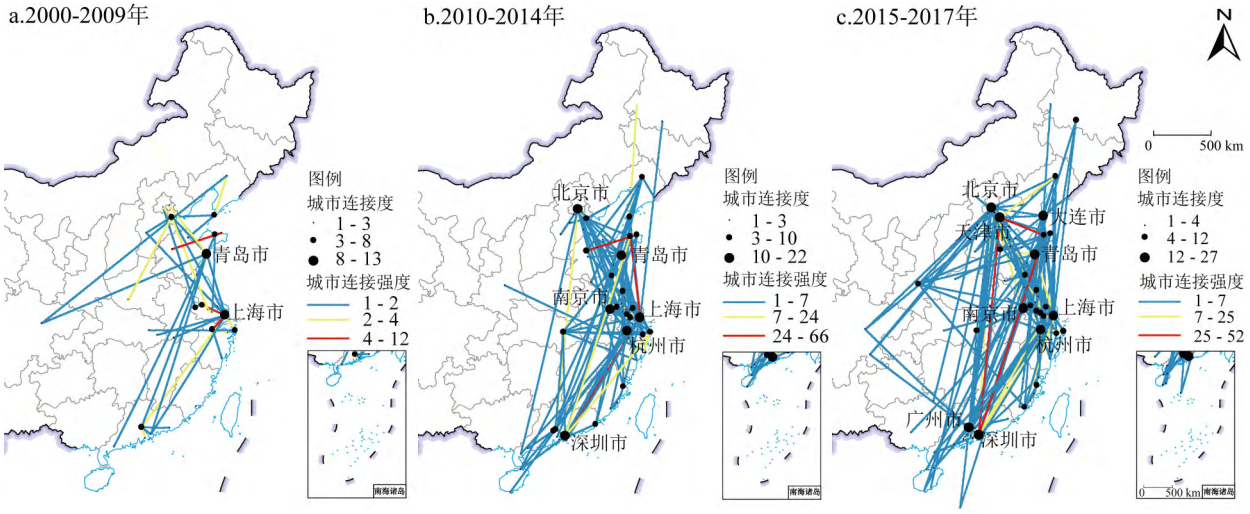
(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表2　2000—2017年沿海地区海洋产业合作创新网络特征量统计

Tab.2　Characteristic statistics of cooperative innovation network of marine industry in coastal areas from 2000 to 2017

时间	节点	平均度	平均加权度	网络直径	平均路径长度	平均聚类系数	网络密度	模块化
2000—2009	134	1.388	2.269	4	1.678	0.203	0.010	0.954
2010—2014	400	1.535	4.015	9	2.440	0.239	0.004	0.953
2015—2017	602	1.671	4.618	12	4.733	0.233	0.003	0.927
2000—2017	944	1.788	4.949	19	7.189	0.231	0.002	0.938

注:数据由Gephi软件统计得出。



注:基于自然资源部标准地图服务系统的标准地图(审图号:GS(2019)1823)绘制,底图无修改。

图4　沿海地区海洋产业合作创新网络空间联系分布图

Fig.4　Spatial distribution of cooperative innovation network of marine industry in coastal areas

度稍稍减弱,新兴主体不再倾向于游离在网络中心团体之外。与海岛地区的创新网络特征相比,沿海地区的紧密程度更高、社区强度强[4]。

综上,新兴主体不断加入,但限于新兴主体自身间的合作,与已有主体或已有主体自身间的合作较少,导致网络通达性较低,造成合作网络不稳定。沿海地区海洋产业合作创新网络结构虽然有所扩展和出现合作团体,但整体网络不连通且局部连通性低,结构松散,合作创新状况有待改善。

2.2　合作网络的创新主体空间分布

提升创新能力的重要方法是从外部获取知识,将创新主体之间的合作转化为所属城市之间的合作。运用ArcGIS软件绘制不同城市间合作网络的空间联系图,节点越大表示城市连接度高,城市居于合作中心的地位,连线粗细表示城市间合作次数多少。2000—2009年(图4a),参与合作的城市较少,合作也较少,重要的合作中心只有青岛市和上海市,上海市与镇江市的合作次数最多为12次;2010—2014年(图4b),合作中心与其他城市之间的联系显著增加,重要的合作中心发生变化,形成以上海市、杭州市、南京市、青岛市、北京市、广州市为重要城市节点的空间格局,上海市与深圳市之间的合作最多且增至66次;2015—2017年(图4c),合作中心变为上海市、北京市、广州市、青岛市、南京市、天津市、杭州市、深圳市、大连市,城市间合作次数最多为深圳市和天津市之间的52次,较上一时段降低,但其他城市间的合作也更加频繁,形成了北以北京市、天津市,中以上海市,南以深圳市、广州市为主的主要合作创新网络通道,以及天津市、烟台市和深圳市间的高频次合作"创新三角",打破地理距离限制。

城市间的合作趋于向更多、更广的范围拓展,不仅沿海地区的城市联系日渐频繁,沿海地区的城市与非沿海地区的城市联系也增多,以北京市、西安市、武汉市为主,网络结构逐渐扩大。3个时间段中重要的合作城市中心,由2个增加为9个,尤以上海市、青岛市、天津市、广州市连接度高,知识溢出能力较强;北京市作为重要的政治、科研中心,是沿海地区乃至全国的重要知识溢出地,引领海洋产业的创新能力也逐渐凸显。

3　邻近性机制的地理探测

3.1　因子探测

因子探测用于揭示不同风险因子对城市间合

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

作率的影响程度。主要是通过分析层内方差与层间方差的关系来确定空间异质性q值的大小，进而确定各邻近性对因变量（合作率）所发挥的作用。q值的取值为[0,1]，q=0时表示自变量与因变量完全无关，q=1时表示该自变量完全影响因变量。q×100%表示自变量对因变量的解释力，q值越大，邻近性对合作率的影响作用越强，解释力越高。由表3可知不同时段多维邻近性对合作率的影响程度排序基本为：社会邻近性>经济邻近性>技术邻近性>地理邻近性>制度邻近性，各时段都是社会邻近性的解释力最高，发挥作用最强。仅在合作的早期阶段（2000—2009年），地理邻近性的解释力高于技术邻近性，说明在早期地理距离的限制作用大，随着时间的推移地理邻近的作用减弱。三个时段的各邻近性对合作率的解释力也在不断变化，在2010—2014年的解释力最高，其中社会邻近性的解释力高于30%。并在2015—2017年各邻近性的解释力降低并趋于平稳，和2000—2017年整体时段的解释力接近。整体上，海洋产业合作创新的主体倾向选择社会邻近的方式建立联系，说明“关系”是影响区域创新空间联系的最重要因素，与英国的共同申请专利研究、中国的31个省市的区域创新的空间关联研究结果具有相似性——社会邻近性促进合作[37-38]。城市等级、地理距离、技术结构、经济差异对于合作创新联系的限制和削弱作用小于亲密的社会关系对合作联系增加的作用。在亲密社会关系、相互信任的基础上进行合作可以有效地将合作流程化繁为简，降低合作双方在信息获取上的成本和信息交易的风险性及未知性，同时亦会提高双方对知识转移和外部嵌入的可能性，为知识溢出提供条件。所以在寻求合作时，创新主体应优先考虑与潜在合作对象在文化、社会关系、背景和知识资源等方面的比较优势，相似性越高，社会关系亲密，易于合作关系的开展和深化。

3.2 交互探测

交互探测是探测不同风险因子是否有交互作用，且交互作用的假设不局限于传统的统计方法。探测器分别将自变量X_1和X_2两个图层叠加，得到$X_1 \cap X_2$的新图层，通过比较$q(X_1 \cap X_2)$与$q(X_1)$、$q(X_2)$的关系，据此判断两因子的交互类型是否会增加或减弱对合作率的解释力或因子对合作率的影响是否相互独立。利用交互探测器探测邻近性因子与合作率变化的交互关系（表4），结果表明邻近性对合作率的影响存在交互作用，说明邻近性因子之间对合作率的影响既不是单一因子起作用，也不是简单的叠加过程，而是在不同风险因子的交互作用下，呈现出双因子增强或非线性增强的关系。由表4可知，不同邻近性的交互作用仅社会邻近性与地理邻近性、技术邻近性以及技术邻近性与经济邻近性呈现双因子增强关系，其余均呈现非线性增强的关系，增强交互作用显著。其中社会邻近性与其他邻近性交互后的解释力均超过20%，即社会邻近性与其他邻近性交互后能在超过20%的程度上解释合作率，起到相互促进的作用。尤其社会邻近性与经济邻近性的交互作用强度值最高，表明在寻找潜在合作对象时，综合考虑社会关系亲密度和经济差距，会对合作成功率的提升起到更为显著的驱动作用。制度邻近性与社会邻近性的交互作用对合作率的解释力是单一制度邻近性影响的8倍之多，两者交互极大地增强解释力。不同创新主体间的相互信任、稳定且亲密的社会关系能帮助双方跳出制度环境的限制，利于合作创新主体间在知识上的沟通、交流、学习和互补，而且亲密的社会关系也需要相似的制度来维护。本文基于地理探测器的邻近性交互作用的分析结果都为不同程度的增强效果，促进合作；而王平平等[38]基于QAP多元回归对我国区域创新空间关联的邻近性乘积交互作用研究，认为地理邻近性与社会邻近性的交互作用明显但表现为替代效应，这可能与研究对象、交互作用的定义等差异有关。

综上，多维邻近性在不同程度上对城市间的合作率产生影响，其中社会邻近性对城市间的合作率

表3 多维邻近性解释力

Tab.3 The explanatory power of multi-dimensional proximities

	2000—2017		2000—2009		2010—2014		2015—2017	
	q statistic	*p value*	*q statistic*	*p value*	*q statistic*	*p value*	*q statistic*	*p value*
地理邻近性	0.0528	0.0096	0.1210	0.3247	0.0450	0.2522	0.0491	0.0850
经济邻近性	0.0714	0.0147	0.1243	0.7611	0.1058	0.1319	0.0675	0.1486
社会邻近性	0.1822	0.0000	0.2861	0.2884	0.3291	0.0000	0.1690	0.0000
制度邻近性	0.0263	0.1073	0.0617	0.5755	0.0369	0.2985	0.0245	0.3034
技术邻近性	0.0593	0.0480	0.1099	0.8462	0.1309	0.0381	0.0510	0.3451

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表4　多维邻近性交互探测结果

Tab.4　The interaction of multi-dimensional proximities

	地理邻近性	经济邻近性	社会邻近性	制度邻近性	技术邻近性
地理邻近性	0.0528				
经济邻近性	0.1313**	0.0714			
社会邻近性	0.2366*	0.2755**	0.1822		
制度邻近性	0.0998**	0.1153**	0.2174**	0.0263	
技术邻近性	0.1239**	0.1289*	0.2385*	0.1009**	0.0593

注:"*"为双因子增强,即$q(X_1 \cap X_2) > \max[q(X_1), q(X_2)]$;"**"为非线性增强,即$q(X_1 \cap X_2) > q(X_1) + q(X_2)$。

的影响显著,解释力最高,社会关系的亲密程度是提高合作率的关键,当然对其他邻近性最优范围的把握也很重要。城市间合作率的变化在多维邻近性的交互影响下均呈现不同程度的增强作用,因此在选择潜在合作伙伴时,应综合考虑多维邻近性之间的交互作用,这会比只考虑单一邻近性效果翻倍。

4　结论与讨论

4.1　结论

在21世纪的新形势、新要求下,科技兴海、海洋强国等工作任重道远,海洋产业的关键核心技术源头供给不足、转化率不高、创新贡献率低、协同创新效率低等问题亟需解决。本文基于2000—2017年沿海地区的海洋产业合作专利数据,运用复杂网络分析、ArcGIS空间分析和地理探测器等方法,定量分析合作网络的拓扑结构特征、空间分布及邻近性机制,力求明晰沿海地区海洋产业创新能力,结论如下:

①沿海地区海洋产业合作专利经历了萌芽和探索阶段,目前正处于高速发展阶段,广东省发展势头足,但作为海洋"大省"的海南省,却属于海洋产业专利创新"小省",专利创新能力不足,对合作专利贡献不足,应加强与领先省市的合作,并抓住地理与战略优势,提高科技创新的整体实力。

②海洋产业合作创新网络的结构广度扩张,合作网络活跃度提升,有明显的合作团体出现,但整体上网络通达性弱,结构较为松散、不稳定。创新主体中心逐渐集中,中心节点带动辐射能力与合作增强。以上海交通大学、浙江大学和国家电网公司为核心,鼓励已有合作关系继续深入并发展合作,充分带动新兴、边缘主体参与到与核心或已有主体之间的合作,挖掘企业的"中介"潜力。以企业为核心主体的海洋技术创新体系尚未形成,企业的创新带动能力较为薄弱,创新生态环境有待进一步完善。

③在创新网络的空间演化方面,城市间的合作趋于向更多、更广的范围拓展,且城市间合作日渐频繁。沿海地区内上海市、青岛市、天津市、广州市的知识溢出能力较强;与区域外的城市联系也有所增多,网络结构逐渐扩大,北京市成为海洋产业的重要知识溢出地,创新能力逐渐凸显。海洋产业机构的分布打破了沿海独有的模式,鼓励更多内陆地区的机构加入合作,促进创新要素流动。

④多维邻近性用来度量主体与伙伴之间合作创新的倾向,充分发挥不同维度邻近性的正向效应,将利于创新网络的形成、发展与完善。社会邻近性对沿海地区海洋产业合作创新网络的解释力最高,社会关系亲密,信任增加,利于主体间合作的开展与深入。且不同邻近性之间存在交互作用,并对城市间合作率变化起着双因子或非线性增强的作用,因此在选择合作伙伴时应综合考虑多维邻近性之间的交互作用。

4.2　讨论

海洋产业的崛起是一个长期且缓慢的过程,虽然沿海地区海洋产业合作创新网络中新兴节点不断涌入,节点间合作增多,但核心主体的数量少,辐射带动作用不强,创新主体对外部资源的利用效率不高。创新主体绝对数量提升,但之间相对联系不足,导致创新网络结构稳定性差,处于网络形成的初期阶段。明确今后发展和努力的方向,对引领海洋产业创新具有重大意义。地理距离不是合作交流的障碍,但城市内主体合作更容易,如在上海市、青岛市、天津市、广州市、北京市等城市内提高政府创新主体地位,保证科研院校、政府、企业核心主体的数量,对核心主体划分等级,并给予不同政策支持,有助于形成稳定的主体中心,带动城市内社会关系亲密的主体创新,引领创新要素向企业流动,再进一步带动城市外的主体创新,提高整体创新能力,稳固网络结构。

本文定量分析了沿海地区海洋产业不同政产学合作专利的创新网络结构特征,运用地理探测器

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

对多维邻近性的解释力和交互作用进行探测，丰富了邻近性交互作用的研究形式，但对于多维邻近性的更多维度等方面的挖掘还有待更进一步的深入。今后海洋产业创新网络研究可考虑加入全国地区海洋产业或不同机构间的合作专利和合作论文数据，扩大数据量和邻近性的维度，以期更加全面地分析海洋产业合作创新网络和创新能力。

参考文献：

[1] 国家海洋局. 2017年中国海洋经济统计公报[R]. 2017.

[2] 狄乾斌，梁倩颖. 中国海洋生态效率时空分异及其与海洋产业结构响应关系识别[J]. 地理科学，2018，38(10)：1606－1615.

[3] 孙才志，郭可蒙，邹玮. 中国区域海洋经济与海洋科技之间的协同与响应关系研究[J]. 资源科学，2017，39(11)：2017－2029.

[4] 宓泽锋，朱菲菲，曾刚. 海岛地区海洋产业发展的合作创新网络演化——以舟山市定海区为例[J]. 科技管理研究，2017，37(7)：130－135.

[5] Tidd J，Bessant J，Pavitt K. Managing innovation：integrating technological，market and organization change[J]. Social Science Electronic Publishing，2005，11(98)：338－339.

[6] Freeman C. Centrality in social networks：conceptual clarification[J]. Social Networks，1979，1(3)：215－239.

[7] 周灿，曾刚，尚勇敏. 演化经济地理学视角下创新网络研究进展与展望[J]. 经济地理，2019，39(5)：27－36.

[8] 周灿，曹贤忠，曾刚. 中国电子信息产业创新的集群网络模式与演化路径[J]. 地理研究，2019，38(9)：2212－2225.

[9] 周灿，曾刚，王丰龙，等. 中国电子信息产业创新网络与创新绩效研究[J]. 地理科学，2017，37(5)：661－671.

[10] Ter Wal A L J. Cluster emergence and network evolution：a longitudinal analysis of the inventor network in Sophia-Antipolis[J]. Regional Studies，2013，47(5)：651－668.

[11] 韩增林，袁莹莹，彭飞. 东北地区装备制造业官产学创新合作网络发展演变[J]. 经济地理，2018，38(1)：103－111.

[12] De Prato G，Nepelski D. Global technological collaboration network：network analysis of international co-inventions[J]. The Journal of Technology Transfer，2014，39(3)：358－375.

[13] 许佳琪，梁滨，刘承良，等. 中美城际科技创新合作网络的空间演化[J]. 世界地理研究，2019，28(4)：12－23.

[14] 张翼鸥，谷人旭，马双. 中国城市间技术转移的空间特征与邻近性机理[J]. 地理科学进展，2019，38(3)：370－382.

[15] 焦美琪，杜德斌，桂钦昌，等. 全球城市技术合作网络的拓扑结构特征与空间格局[J]. 地理科学，2019，39(10)：1546－1552.

[16] Balland P A，Belso-Martínez J A，Morrison A. The dynamics of technical and business networks in industrial clusters：embeddedness，status or proximity?[J]. Economic Geography，2016，92(1)：35－60.

[17] 吕国庆，曾刚，顾娜娜. 基于地理邻近与社会邻近的创新网络动态演化分析——以我国装备制造业为例[J]. 中国软科学，2014(5)：97－106.

[18] Boschma R. Proximity and innovation：A critical assessment[J]. Regional Studies，2005，39(1)：61－74.

[19] Knoben J，Oerlemans L. Proximity and inter-organizational collaboration：A literature review[J]. International Journal of Management Reviews，2006，8(2)：71－89.

[20] 王崇锋，张月明，郭鸿帅，等. 基于合著网络分析法的海洋产业创新合作模式研究——以山东省为例[J]. 科技管理研究，2016，36(20)：190－195，200.

[21] 王劲峰，徐成东. 地理探测器：原理与展望[J]. 地理学报，2017，72(1)：116－134.

[22] 邱凤霞. 基于社会网络的海洋经济创新系统分析[D]. 天津：河北工业大学，2014.

[23] 高霞，陈凯华. 合作创新网络结构演化特征的复杂网络分析[J]. 科研管理，2015，36(6)：28－36.

[24] 邓君，马晓君，毕强. 社会网络分析工具Ucinet和Gephi的比较研究[J]. 情报理论与实践，2014，37(8)：133－138.

[25] 刘承良，桂钦昌，段德忠，等. 全球科研论文合作网络的结构异质性及其邻近性机理[J]. 地理学报，2017，72(4)：737－752.

[26] 杨文龙，杜德斌，游小珺，等. 世界跨国投资网络结构演化及复杂性研究[J]. 地理科学，2017，37(9)：1300－1309.

[27] 吕国庆，曾刚，顾娜娜. 经济地理学视角下区域创新网络的研究综述[J]. 经济地理，2014，34(2)：1－8.

[28] 黄木易，岳文泽，方斌，等. 1970—2015年大别山区生态服务价值尺度响应特征及地理探测机制[J]. 地理学报，2019，74(9)：1904－1920.

[29] 郭卫东，钟业喜，冯兴华，等. 长江中游城市群县域公路交通网络中心性及其影响因素[J]. 经济地理，2019，39(4)：34－42.

[30] 李颖，冯玉，彭飞，等. 基于地理探测器的天津市生态用地格局演变[J]. 经济地理，2017，37(12)：180－189.

[31] 阮平南，王文丽，刘晓燕. 技术创新网络多维邻近性演化研究——基于IBM专利合作网络数据[J]. 科技进步与对策，2018，35(8)：1－7.

[32] 陈跃刚，张弛，吴艳. 长江三角洲城市群多维邻近性与知识溢出效应[J]. 城市发展研究，2018，25(12)：34－44.

[33] Leydesdorff L. On the normalization and visualization of author co-citation data：Salton's cosine versus the Jaccard index[J]. Journal of the American Society for Information Science and Technology，2008，59(1)：77－85.

[34] 夏丽娟，谢富纪，王海花. 制度邻近、技术邻近与产学协同创新绩效——基于产学联合专利数据的研究[J]. 科学学研究，2017，35(5)：782－791.

[35] 梁琦，李建成，夏添，等. 知识交流合作的空间溢出与邻近效应——来自长三角城市群的经验证据[J]. 吉林大学社会科学学报，2019，59(2)：41－51，219－220.

[36] Jaffe A B. Technological opportunity and spillovers of R&D：evidence from firms' patents，profits，and market value[J]. American Economic Review，1986，76(5)：984－1001.

[37] Crescenzi R，Nathan M，Rodríguez-Pose A. Do inventors talk to strangers? On proximity and collaborative knowledge creation[J]. Research Policy，2016，45(1)：177－194.

[38] 王平平，金浩，赵晨光. 区域创新网络演化及其邻近性机理[J]. 技术经济与管理研究，2020(6)：25－30.

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net