

基础研究空间网络关联结构及影响因素分析

张壹宁

(上海理工大学 管理学院, 上海 200093)

摘要: 以我国 31 个省区市 2009—2018 年国家自然科学基金面上项目为样本, 采用改进的引力模型构建省区市之间的基础研究关联关系, 在此基础上利用社会网络分析模型分析我国省区市之间基础研究的空间网络结构演化及影响因素。研究表明: 网络整体的空间关联性逐步增强, 网络效率呈现出平缓的下降趋势; 东部沿海经济发达地区并未利用自身的优势对其他地区产生推动作用。基础科研空间关联网络划分为双向溢出、经纪人、净溢出和净受益 4 个板块, 板块内部的联系要大于板块之间的联系。地理位置临近、申请机构数量、科研人员、正副高职数量对基础科研的空间关联结构有显著性影响。

关键词: 引力模型; 社会网络分析; 基础研究

中图分类号: G 311 **文献标志码:** A

Spatial network structure and influencing factors of basic research

ZHANG Yining

(Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: Based on the projects funded by the National Natural Science Foundation of 31 provinces, autonomous regions and municipalities in China from 2009 to 2018, the improved gravity model was adopted to construct the relevance of basic research among provinces, autonomous regions and municipalities in China. On this basis, the social network analysis method was used to study the spatial correlation network structure and influencing factors of basic research in China. The main results are as follows. Spatial correlation of overall network gradually enhances and the network efficiency has a gentle decline. The eastern economically developed regions do not have a significant impact on basic research in other regions. Spatial association network for basic research can be divided into four functional blocks, including bidirectional spillover block, broker block, net spillover block and net beneficial block. The connections within the block are greater than the connections between the blocks. Spatial correlation structure of basic scientific research is significantly affected by geographical location, research application agencies, scientific researchers and the number of professor and associate professor titles.

Keywords: gravity model; social network analysis; basic research

收稿日期: 2020-10-14

第一作者: 张壹宁(1990-), 男, 博士研究生. 研究方向: 区域创新. E-mail: zynamn@163.com

中国致力于在“2020年成为创新型国家、2050年成为世界科技强国”，为实现这一目标，需要进一步加强基础研究。2018年1月31日国务院印发《关于全面加强基础科学研究的若干意见》，意见中指出要推进不同学科之间的交叉融合，推动基础研究成果共享，促进科技资源开放共享，构建跨区域创新网络。由此可以看出，随着基础研究跨学科融合模式的加剧，科研人员跨区域交流、合作、共享双方科研成果逐渐成为趋势，基础研究呈现了复杂且多线性的空间关联网络特征，因此，有必要进行系统性研究，即：a. 其空间关联网络特征及演化趋势如何；b. 各地区在基础科学研究发展空间关联网络中所处的位置及作用；c. 区域基础科研发展的空间关联性的影响因素有哪些。通过对以上问题进行研究，从而为促进我国基础研究提供政策参考。

近年来涌现出大量的基础研究管理及政策的文献，内容涉及基础研究的内涵^[1]、类型^[2]、影响因素^[3]、评价^[4]、基础研究对产业技术创新的作用^[5]等。这些研究明晰了基础研究对经济增长的积极影响，不足的是在当前国家出台一系列政策措施（如东部率先发展、西部大开发、中部崛起战略）等大背景下，较少研究涉及中国各地区基础研究之间的关联以及省域层面基础研究关联的影响因素。相关的文献研究也大多集中于从地理位置方面利用传统的空间计量技术来研究基础知识的溢出^[6-8]，没有考虑各区域基础研究交流所存在的关联。本文采用社会网络分析法（social network analysis, SNA）对区域基础研究的空间关联网络进行研究，社会网络分析法在各科研领域中得到广泛的应用。刘华军等^[9-10]通过社会网络分析法对我国能源消耗和环境污染的空间关联结构进行了研究。李敬等^[11]通过社会网络分析法研究了区域经济增长的空间关联特征。Huang等^[12]用社会网络分析法对我国的教育政策信息传递系统变迁进行了研究。Bu等^[13]用社会网络分析法揭示了中国省际天然气消费的网络特征和空间格局。许欣等^[14]用社会网络分析法对全球生产性服务贸易网络特征及其影响因素进行了研究。本文运用改进的空间引力模型建立区域基础研究关联矩阵并引入社会网络分析法对其进行整体和个体网络特征分析；构造块模型，进行板块分析；并利用QAP（二次分配程序）分析法剖析了我国基础研究空间关联

关系的影响因素，揭示了我国区域基础研究的整体网络分布和演化格局。

1 研究设计

1.1 基础研究发展空间网络关联关系的确定

国务院印发的《关于全面加强基础科学研究的若干意见》中指出国家自然科学基金支持源头创新的重要作用。国家自然科学基金因其公正、公平、公开的评审过程和经费管理深得广大科研人员的认可，另外，其也是最能反映科研人员科研能力和地区基础研究科研实力的重要指标^[15]。

本文选取2009—2018年各省区市高校及科研机构申请国家自然科学基金面上项目数据，数据来源于《国家自然科学基金资助项目统计资料》和《中国统计年鉴》。在研究范围上，本文选择全国31个省区市国家自然科学基金面上项目，由于社会网络分析法以“关系数据”为基础，所以，地区间基础科研发展空间关联关系的确定是研究的关键。就目前的研究来看，关系的确定主要采用VAR Granger Causality检验方法^[16]和引力模型^[17-18]，由于本文研究区域基础研究空间关联网络的发展特征，VAR Granger Causality检验方法无法刻画网络结构的动态变化，故本文采用引力模型并将其改进，用来阐述区域基础科研发展网络的动态演化特征。基本的引力模型为

$$F_{ij} = K \frac{M_i M_j}{D_{ij}^b} \quad (1)$$

式中： F_{ij} 为地区*i*和*j*之间的“引力”； M_i 、 M_j 分别代表地区*i*、*j*的“质量”； D_{ij} 为地区*i*和*j*之间的“距离”； b 为距离衰减系数； K 为经验常数。

为了增强引力模型在基础研究空间关联网络研究中的适用性，对引力模型进行了修正。本文的研究对象是地区之间基础研究的关联关系，所以，首要工作是确定综合衡量基础研究“质量”的指标，根据上文的研究，国家自然科学基金是衡量一个地区基础研究实力的重要指标，国家自然科学基金的申请机构是重要载体，科研人员是基础研究的重要执行者，根据以上分析，采用各地区国家自然科学基金的立项数量、申请机构数量、科研人员数量的几何平均值表示地区的基础研究“质量 M_i 、 M_j ”，用各省会城市之间的直线距离表示两地区之间“距离 D_{ij} ”，距离衰减系数

一般取 2；采用地区 i 的国家自然科学基金的立项数量与地区 i 和 j 的国家自然科学基金的立项数量之和的比重来修正经验常数。修正后的引力模型为

$$F_{ij} = k_{ij} \frac{\sqrt[3]{P_i G_i E_i} \sqrt[3]{P_j G_j E_j}}{D_{ij}^2}, \quad k_{ij} = \frac{E_i}{E_i + E_j} \quad (2)$$

式中： i, j 代表不同的省份； F_{ij} 为 i 与 j 之间的区域基础科研发展关联强度， E_i, E_j 分别为 i 与 j 的国家自然科学基金立项的数量； P_i, P_j 分别为各省区市申请国家自科基金机构的数量； G_i, G_j 分别为各省区市科研人员数量； D_{ij} 用来表示两省省会城市之间的直线距离。

依据式(2)计算出各省区市之间基础科研发展关联强度的引力矩阵，引力矩阵的各行取平均值作为临界值，引力值高于平均值的记为 1，表示该省份与其他省份基础科研之间存在相关关系，若引力值低于平均值的记为 0，表示该省份与其他省份基础科研之间不存在相关关系。

1.2 社会网络分析

为了明确各地区基础研究在全国空间关联网络中的节点地位，本文利用社会网络分析方法研究基础研究空间关联网络。整体网络特征包括空间关联强度和空间关联特征 2 个方面，空间关联强度采用网络密度指标衡量，采用网络关联度、网络等级度和网络效率衡量空间关联特征。主要采用度数中心度、接近中心度和中间中心度 3 个指标对个体网络特征进行刻画，借此研究各个地区在基础研究空间网络中的位置及作用。利用 CONCOR(迭代相关收敛法)对我国各区域基础研

究空间关联网络进行聚类分析和板块划分，揭示空间关联网络的内部结构和溢出路径，并对板块内部与板块之间的关联特征进行分析，据此判断各个板块在空间关联网络中的作用和地位。并在此基础上通过 QAP 对相关矩阵形成的影响因素进行分析。

2 中国区域基础科研发展的空间网络结构分析

2.1 整体网络结构特征及演变趋势

根据引力修正模型确定各省区市之间基础科研发展的空间关联关系，并建立关系矩阵，2009 年和 2018 年基础科研发展的空间关联网络图如图 1 和图 2 所示。

从图 1 与图 2 可以明显地看出，2018 年比 2009 年的基础研究空间关联网络复杂性更高，网络密度更大。在此基础上，本文运用 Ucinet 软件测算出了基础研究发展空间关联网络的网络关联度、网络密度、网络效率及网络等级度等定量指标。

通过 Ucinet 可以计算出 2009 年 31 个省区市存在的关联关系的个数为 196 个，2018 年 31 个省区市存在的关联关系的个数为 216 个，由图 3 中的网络密度趋势线呈上升趋势可得，2009—2018 这 10 年间各省区市之间的基础科研关联有所增强。除了对网络密度进行定量分析外，运用 Ucinet 对省区市基础科研空间关联网络的网络效率和网络等级度等指标进行定量分析。

图 4 中网络等级度趋势线显示比较稳定，说

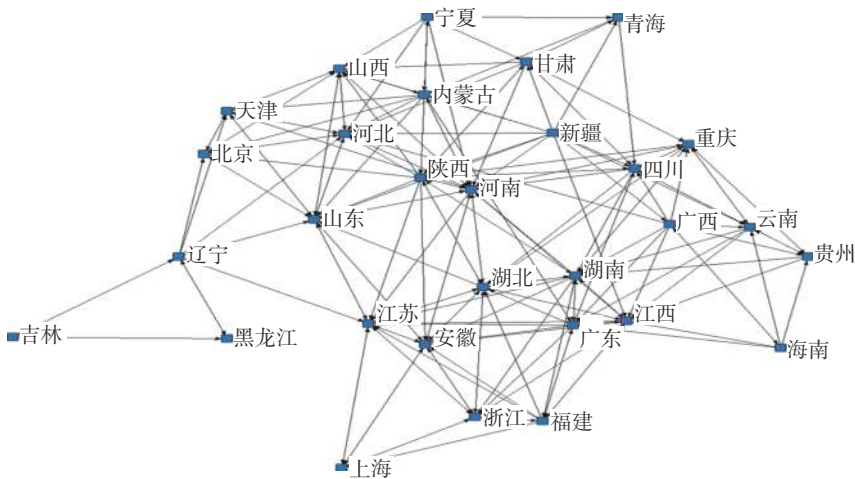


图 1 2009 年中国区域基础科研空间关联网络

Fig.1 Spatial association network of China's regional basic scientific research in 2009

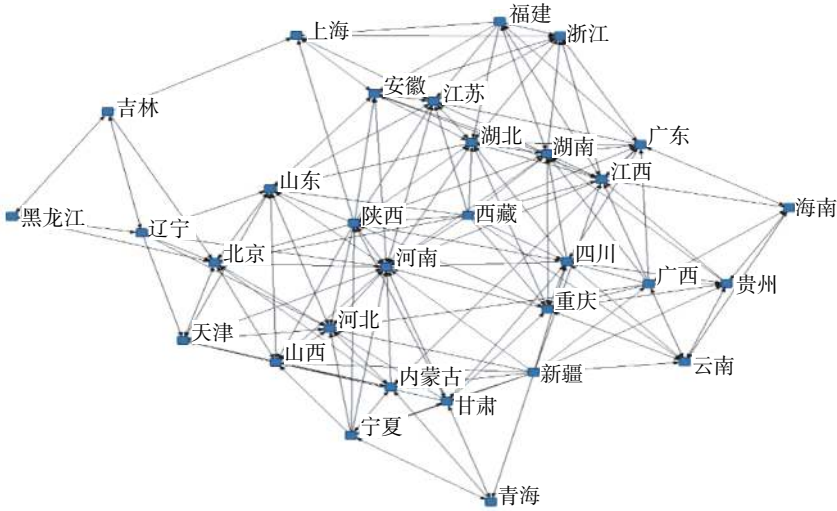


图 2 2018 年中国区域基础科研空间关联网络

Fig.2 Spatial association network of China's regional basic scientific research in 2018

明 2009—2018 年间区域基础科研空间关联等级结构基本没有变化。由图 4 中网络效率趋势线可以看出，网络效率呈下降的趋势，这表明各省区市基础研究之间的联系日益紧密。

2.2 中心性分析

表 1 是 2018 年度数中心度、接近中心度、中间中心度等指标测算的结果，以此分析各省区市在基础科研空间关联网络中的地位和作用。

对于度数中心度而言，与人们认知相悖的是，拥有较强基础科研能力的省市大多具有较低的点出度及较高的点入度，北京的点出度及点入度指标值分别为 4 和 11，上海的点出度及点入度指标值分别为 3 和 6，广东的这 2 项指标值排名分别位于总表的第 6 位和第 18 位。进一步分析发现，北京、上海、天津、浙江、山东等东部地区的点入度高于自身的点出度，不难发现，具有较强基础

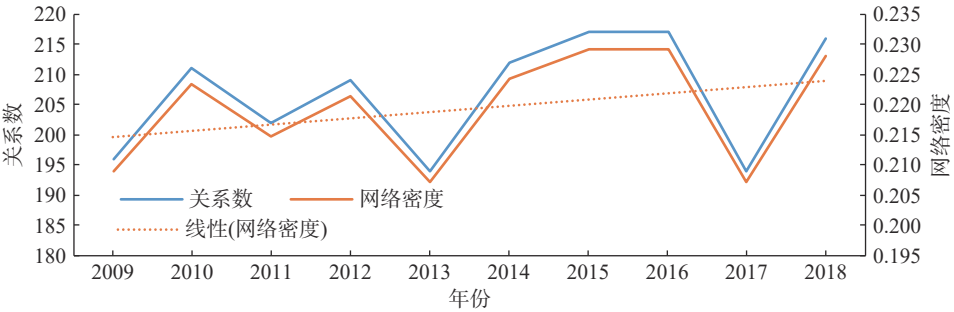


图 3 区域基础科研空间网络密度与关系数

Fig.3 Network density and relationship number of regional basic scientific research space

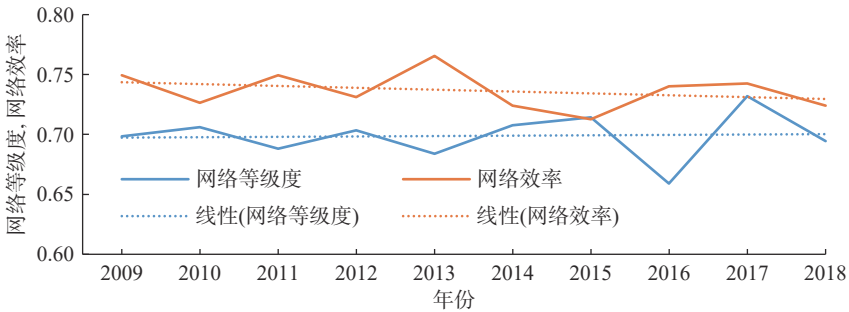


图 4 区域基础科研空间网络等级度与网络效率

Fig.4 Network grade and network efficiency of regional basic scientific research space

表 1 中国区域基础科研空间关联网络中心性分析

Tab.1 Centrality analysis of regional basic scientific research spatial association network in China

省份	度数中心度		接近中心度		中间中心度
	点出度	点入度	点出度	点入度	
北京	4	11	12.99	54.55	1.61
上海	3	6	12.82	38.46	1.20
江苏	6	12	13.83	57.69	2.62
广东	9	6	15.23	44.78	8.88
湖北	8	12	14.63	57.69	5.38
浙江	5	8	13.70	46.15	2.09
陕西	13	8	15.39	52.63	13.98
山东	7	11	13.89	56.60	3.72
四川	8	9	15.08	44.12	6.04
湖南	10	10	15.15	47.62	5.33
辽宁	7	2	22.56	3.45	2.99
天津	4	7	13.45	50.85	0.23
安徽	7	10	13.89	55.56	3.61
黑龙江	3	2	19.11	3.45	0
福建	8	4	14.42	39.47	2.05
重庆	7	8	14.85	43.48	4.64
吉林	4	2	19.11	3.45	0.57
河南	9	18	14.56	71.43	15.09
甘肃	8	5	14.71	41.10	4.85
河北	6	12	13.95	58.82	4.82
山西	6	9	13.95	52.63	2.36
云南	5	7	14.09	34.09	1.44
江西	7	10	14.29	48.39	2.79
广西	9	4	15.08	28.30	1.36
贵州	7	6	14.56	33.71	1.54
新疆	12	0	18.18	3.23	0
海南	5	4	14.29	34.48	2.09
内蒙古	7	6	14.78	44.78	8.47
青海	3	3	13.83	31.25	0.06
宁夏	7	4	14.49	35.71	1.82
西藏	12	0	18.41	3.23	0

科研实力的省区市并未对其他省区市产生较强的基础科研关联影响，反而从其他省区市获得了较高的基础科研关联性收益，这种具有集聚趋势的发展方式会在短期内使我国少数省区市发展成基

础科研优势省份，但从长远角度看，该发展趋势势必会拉大我国各省区市间的基础科研差距。

在接近中心度方面，通过与度数中心度进行比较，接近中心度点入度的排序与度数中心度点入度的排序有一定相似性。通过分析发现，我国区域基础科研网络中有着较高度数中心度点入度的省区市也有着较高的接近中心度点入度，如河南、河北、湖北、江苏、山东等省在两项指标的排名均处于前列，表明这些省区市在区域基础科研关系网络中善于从更多的省区市获益，且这种基础科研的受益能力易受到其他省区市的支配，自身具有较强的可变动性，易驱动区域基础科研关系网络的进一步发展；相反，有着较低度数中心度点入度的省区市也大多有着较低的接近中心度点入度，如青海、宁夏、海南、新疆等省区市，表明这些省区市在区域基础研究关联关系网络中较少地从其他省区市获得研究的资源，这些省区市的基础科研实力在全国各省区市较靠后。因此，这些省区市亟需加强与其他省区市的交流，提升在区域基础科研关联关系网络中的科研潜力。

就中间中心度而言，我国基础科研关联网络内各省区市的该指标值存在着极为严重的两极分化，河南、陕西、四川等省的该项指标值居于总榜的前列，表明这些省区市在区域基础科研关联网络中处于中间位置，其他省区市间区域基础科研关联关系的构建及发展与这些省区市有着重要关系。而北京、上海、浙江等省区市该项指标值不足 5，表明其在区域基础科研关联网络中对其他省区市的影响和控制作用不大，印证了前文所得出的结论，经济水平发达、基础研究能力强的省市更善于从区域科研关联关系网络中收益，而不善于对关系网络中其他省区市产生基础研究输出性影响。

2.3 块模型分析

表 2 通过块模型揭示网络中的空间聚类关系与溢出路径，本文选择最大分割深度为 2，集中标准为 0.2，将全国 31 个省区市划分为 4 个不同的基础研究发展板块。板块 1 的成员有 9 个，分别是北京、吉林、辽宁、河南、黑龙江、河北、山西、山东、天津，这些省市主要集中在东三省、京津冀和环渤海地区；板块 2 的成员有 5 个，分别是内蒙古、甘肃、青海、宁夏、新疆，这些省份主要集中在大西北等边远地区；板块 3 的成员有

表 2 板块溢出效应
Tab.2 Plate spillover effect

板块	接受关系矩阵(个)				接受板块外溢出板块外期望内部关实际内部关		系比例/%	
	1	2	3	4	关系数/%	关系数/%	系比例/%	系比例/%
1	41	2	7	1	34	10	27	80
2	14	13	4	6	5	24	13	35
3	15	2	54	5	30	22	30	71
4	5	1	19	27	12	25	20	52

10 个，分别是陕西，江西，上海，江苏，安徽，广东，湖南，湖北、浙江、福建，这些省市主要集中在东南沿海和中部地区；第 4 个板块的成员有 7 个，分别是广西、四川、海南、云南、贵州、西藏、重庆，这些省区市主要集中在大西南地区。

根据表 2 的分析结果，区域基础研究空间关联网络中存在 216 个关联关系，4 个板块内部的关系数是 135 个，板块之间的关系数是 81 个，板块内部间的联系要大于板块之间的联系。板块 1 发出关系数是 51 个，其中，属于板块内部的关系是 41 个，接收板块外关系数是 34 个；期望和实际内部关系比例分别为 27% 与 80%。该板块的接收板块外关系数远大于溢出板块外关系数，因此，板块 1 是典型的“净受益板块”。板块 2 发出关系数是 37 个，其中，属于板块内部的关系数是 13 个，接收其他板块的关系数是 5 个；期望和实际内部关系比例分别为 13% 与 35%。该板块即对自身板块发生关系，也对其他板块发生关系，因此，板块 2 属于“净溢出板块”。板块 3 发出关系数是 76 个，其中，属于板块内部的关系数是 54 个，接收其他板块的关系数是 30 个，期望和实际内部关系比例分别为 30% 与 71%。该板块既对其他板块产生溢出效应，又接收其他板块的溢出效应，因此，板块 3 扮演着“中介”和桥梁的作用，因此，板块 3 是“经纪人板块”。板块 4 发出关系数是 52 个，属于板块内部的关系是 27 个，接收板块外关系有 12 个；期望和实际内部关系比例分别为 20% 与 52%。板块 4 对板块内和板块外均产生了溢出效应，因此，板块 4 为“双向溢出板块”。

本文利用 Ucinet 软件计算出各个板块的密度矩阵，通过密度矩阵可以看出各板块之间的关联关系。2018 年整体网络的密度为 0.232，由表 3 可

知，在我国的基础科研中，各板块内部之间的关联密度大于整体网络的密度，表明各板块内部各省区市区间基础研究关联密切，融合度高。除了板块 4 与板块 3 之间的关联密度大于整体网络的密度，其余板块之间的密度都小于整体网络的密度，这说明各板块之间关联度不高，交流不够密切，各板块要加强基础科研交流力度。仔细分析，板块 1 与板块 2 内所在的省区市基本上处于中国地理位置的北方，板块 3 和板块 4 所在的省区市基本处于中国的南方，这说明我国南北地区基础科研交流力度不大，进一步验证了地理距离会对基础科研的交流产生一定的影响。

表 3 基础科研空间关联板块的密度矩阵
Tab.3 Density matrix of spatial correlation plate of basic scientific research

板块	板块1	板块2	板块3	板块4
板块1	0.57	0.04	0.07	0
板块2	0.31	0.65	0.08	0.17
板块3	0.14	0.04	0.61	0.07
板块4	0.10	0.06	0.27	0.64

前文分析了我国基础研究空间关联网络的各区域空间关联结构的变化趋势、整体结构、个体网络特征和各区域的关联关系，对我国的各区域的空间关联关系有了相对全面的了解。但是，基础研究空间关联关系是如何形成的，哪些因素促进或阻碍了这种关联关系的产生，这些问题还未能回答。因此，接下来将着重分析基础研究空间关联的影响因素，以期为各区域基础研究水平的协同发展提供新的思路。

3 中国区域基础研究发展空间关联性的影响因素分析

为了进一步揭示各区域基础研究空间关联关系和溢出路径的形成机制，利用 QAP 分析法对基础研究空间关联网络的影响因素进行分析，探究出影响我国区域基础研究的空间关联性的相关因素。

3.1 影响因素选取与模型建立

区域基础研究空间关联网络受到多种因素的综合影响。国外多项研究表明，地理距离的远近对基础研究的空间关联程度呈现出明显的影响关系。Fritsch 等^[19]认为各区域通过资源流动、知识

交流等措施与其他地理距离相邻的地区进行有关区域基础研究的广泛合作。Katz^[20]指出研究合作的程度受到地理距离的影响,空间地理距离越近,则区域间的研究合作越多。此外,某个地区的知识结构、知识存量和经济水平对当地的基础研究水平有很大的影响。人力资本和知识存量对一个地区的技术创新能力、创新活跃程度至关重要,而这两方面因素对基础研究而言同样重要。同时本文加入经济发展水平这一因素^[8],关注各地经济发展状况是否会对当地基础研究活动产生影响。运用人均GDP地区差异、GDP地区差异度量地区之间经济发展水平的差异。另外,各省区市地方财政科技拨款的差异反映各省区市对科研投入支持力度的不同,这种情况可能影响地区基础研究的关联程度,因此,将政府的支持力度作为影响空间关联结构的因素。

在借鉴前人研究的经验基础上^[8]选择影响因素,采用各省区市有资格申请科学基金的研究单位数量反映各省区市基础研究知识存量,各省区市科研人员数量反映科研人力资本,在国家自然科学基金项目申请人专业技术职务中教授与副教授的比例已经接近90%,由此可以看出,教授与副教授是申请国家自然科学基金项目的主力军,因此,各省区市教授与副教授人数对各地区基础研究的能力有一定的影响,将各省区市教授与副教授人数纳入影响因素的考虑范畴。这些影响因素均以差值的绝对值来表示地区差异,此外,由于不同矩阵的单位度量不同,对这些影响因素的矩阵采用标准化处理。构建模型:

$$R = (N, G, P, U, I, S, T)$$

(3)

式中:因变量 R 为我国区域基础研究的空間关联矩阵; N 表示人均GDP地区差异; G 表示GDP地区差异; P 表示地方财政科技拨款的差异; U 表示科研人员数量差异; I 表示各地申请机构数量差异; S 表示空间相邻关系; T 表示各地区高级职称人数差异。

各影响因素的具体描述如表4和表5所示。

3.2 QAP 相关分析

通过Ucinet进行QAP相关性分析,进行5000次的随机置换,所得的运行结果如表6所示。

表6显示,各省份GDP地区差异、空间相邻关系、科研人员数量差异、地方财政科技拨款的差异、申请机构数量差异、各地区高级职称人数差异的相关系数在1%的水平上显著为正,基础研

表 4 影响因素样本描述统计量

Tab.4 Sample descriptive statistics of influencing factors

影响因素	单位	极小值	极大值	均值	标准差
科技研发人员	人	326.00	621950.00	96168.81	143985.53
地区生产总值	亿元	1477.63	97277.77	29506.69	23905.15
人均GDP	元	31336.13	140211.24	65253.54	29121.60
高级职称人员数量	人	1030.00	56735.00	23309.45	14128.46
政府财政科技支出	亿元	8.12	1034.71	167.95	211.07
申请机构数量	个	2.00	222.00	31.77	39.64

表 5 影响因素的具体测度指标说明

Tab.5 Description of specific measurement indicators of influencing factors

影响因素	字母表示	具体测度
人均GDP地区差异	N	地区生产总值/人口数
GDP地区差异	G	地区生产总值
地方财政科技拨款的差异	P	地方财政科技支出
科研人员数量差异	U	各地区研发人员数量
各地申请机构数量差异	I	各地区申请机构数量
空间相邻关系	S	两地区相邻取1,不相邻取0
高级职称人数差异	T	各地区正、副高级职称人数

表 6 基础研究空间关联矩阵与其影响因素的相关分析结果

Tab.6 Correlation analysis results of spatial correlation moment and its influencing factors of basic research

变量	实际相关系数	显著性水平	相关系数均值	标准差	最小值	最大值	$p \geq 0$	$p \leq 0$
N	0.06	0.17	0	0.06	-0.20	0.20	0.17	0.83
G	0.17	0	0	0.06	-0.19	0.20	0	1
P	0.16	0	0	0.06	-0.19	0.17	0	1
U	0.21	0	0	0.06	-0.20	0.21	0	1
S	0.57	0	0	0.04	-0.13	0.16	0	1
I	0.15	0	0	0.06	-0.19	0.19	0	1
T	0.14	0	0	0.06	-0.19	0.17	0	1

究空间关联效应明显,表明这6个影响因素矩阵与我国基础研究空间关联效应明显。人均GDP地区差异矩阵的相关系数为正,在10%的水平上不显著,表明人均GDP差异矩阵与基础研究空间关联效应不明显,所以,将人均GDP从影响因素中舍去。

通过进一步对与空间关联矩阵显著相关的6个变量进行相关分析,发现各个变量之间还存在

着一定的相关性，因此，这6个影响因素之间存在“多重共线性”问题，通过QAP回归分析解决此类问题。

3.3 QAP 回归分析

通过Ucinet进行QAP回归分析，经过计算调整后的判定系数 $R^2=0.35$ ，表示模型对因变量各省区市基础研究关联网络变异的解释为35%，在1%的水平下显著。

由表7对QAP回归分析得到，地理位置临近矩阵在1%水平上显著，说明地理位置相邻的区域更有利于科研要素的流动。科研人员差异在1%的水平上显著，有助于增强区域基础研究发展的空间关联性。申请机构数量差异，正、副教授数量差异在10%的水平上显著，其中，正、副教授数量差异标准化回归系数为-0.091，说明目前很多高科研人才从欠发达地区流入发达地区，区域之间的空间关联关系产生负向空间溢出效应，该指标差异越大，表明地区间的基础研究发展模式的差异越大，阻碍了区域基础研究发展空间关联关系的建立。GDP差异、地方财政科技拨款的差异这2个影响因素没有通过显著性检验，对基础科研发展空间关联关系的建立没有显著影响。

表 7 QAP 回归分析结果与检验指标

Tab.7 QAP regression analysis results and test indexes

变量	实际相关系数	显著性水平	相关系数均值	标准差	最小值	最大值	$p \geq 0$	$p < 0$
N	0.06	0.17	0	0.06	-0.2	0.2	0.17	0.83
G	0.17	0	0	0.06	-0.19	0.2	0	1
P	0.16	0	0	0.06	-0.19	0.17	0	1
U	0.21	0	0	0.06	-0.2	0.21	0	1
S	0.57	0	0	0.04	-0.13	0.16	0	1
I	0.15	0	0	0.06	-0.19	0.19	0	1
T	0.14	0	0	0.06	-0.19	0.17	0	1

4 结论与建议

4.1 研究结论

运用改进的引力模型计算出我国31个省区市之间的基础科研关联结构，在此基础上，运用社会网络分析法分析了基础科学研究空间关联网络结构；并运用QAP回归分析，揭示了基础科学研究空间关联性的影响因素，得出结论：

a. 通过整体网络分析，2009—2018年我国各

省区市基础研究的空间网络的关联逐步增强，科研空间关联等级结构基本没有变化，网络的稳定性逐步增强。

b. 通过个体网络研究发现，基础研究实力较高的省区市不仅没有对其他省区市的基础研究产生带动作用，反而从其他省区市获得了较高的关联性收益，净收益效应明显。

c. 通过空间聚类分析发现，我国区域基础研究空间关联网络形成了4个板块，各板块内部之间的关联密度大于整体网络的密度，表明各板块内部各省区市间基础研究关联密切、融合度高，但是，板块之间的基础研究关联不够紧密。

d. 地理位置的邻近性、科研人员数量差异、申请机构数量差异对我国基础研究的空间关联均产生了显著的正向影响，正、副教授数量差异对基础研究空间关联网络产生负向的影响。

4.2 政策建议

研究结果表明，目前基础研究发展整体水平不平衡，省区市之间基础科研联系呈现出显著的地域差异特征。为进一步提升并稳固我国省区市之间的基础科研联系，规划省区市基础科研网络结构，从而缩小区域间的发展差异。提出如下建议：

a. 基础研究较发达的省区市要发挥领导作用，加大对落后地区的扶持力度。北京、上海等具有较高基础科研实力的省区市更善于从其他省区市获取资源来进一步扩充自己的基础研究实力，却忽略了构建自身基础研究影响力辐射范围。作为基础科研资源集聚的发达省区市要进一步加强与其他省区市的基础科研交流，带动周边地区的基础科研发展。通过分析可以发现，我国中部的一些省区市充当基础研究中间人的作用，这些省区市促进了西部与中部的基础研究资源的交流。在充当中间人的同时可以获得基础研究水平较高的省区市的资源的输入，同时这些省区市又可以与基础研究水平弱的省区市进行科研交流，带动基础科研落后省区市的发展。

b. 各板块之间要加强基础科研的交流互动。各板块内部的关联密度大于整体网络的关联密度，但是，大部分板块之间的关联密度要小于整体网络的关联密度，板块内部的各省区市地理位置相邻，地理距离对我国各省区市基础研究的交流产生了一定的影响。所以，各省区市要克服距离的障碍，进一步加强基础科研的交流。由于我

国交通运输能力和通信技术越来越发达,将进一步促进我国各省区市的基础科研交流。

c. 要加大研发经费投入,促进研发经费的合理、科学使用。积极鼓励各省区市的科研机构积极申报国家研究课题,提高课题申报热情。东部地区经济发达,西部地区与东部地区发展差异显著,导致西部科研人才流向了东部的发达地区,使得东、西部基础研究实力差距越来越大。政府应该加大对西部地区各种政策的支持力度,给予西部地区充足的资金支持,保障科技人员的福利待遇,采用经济手段与行政手段相结合,规范东部地区人才竞争手段。另外,加大区域间空间溢出效应,如东部发达地区对中西部欠发达地区进行对口支援,促进共同发展。

参考文献:

- [1] 张先恩,刘云,周程,等. 基础研究内涵及投入统计的国际比较[J]. *中国软科学*, 2017(5): 131–138.
- [2] 王欣爽,白莽. 从基础研究的分类谈我国基础研究的战略问题[J]. *哈尔滨工业大学学报(社会科学版)*, 1999, 1(1): 37–39.
- [3] ZHU Z Y, GONG X. Basic research: its impact on China's future[J]. *Technology in Society*, 2008, 30(3/4): 293–298.
- [4] TOOLE A A. The impact of public basic research on industrial innovation: evidence from the pharmaceutical industry[J]. *Research Policy*, 2012, 41(1): 1–12.
- [5] HOSSAIN N, BISCHOFF J, WILLY C, et al. Increasing research productivity: the impact of knowledge management applications in university research environments[J]. *Knowledge and Process Management*, 2015, 22(2): 63–67.
- [6] GROSSMAN G M, HELPMAN E. Innovation and growth in the global economy [M]. Cambridge: MIT Press, 1991: 323–324.
- [7] 王铮,马翠芳,王莹,等. 区域间知识溢出的空间认识[J]. *地理学报*, 2003, 58(5): 773–780.
- [8] 唐先明. 我国省域基础研究影响因素与空间分布研究——基于国家自然科学基金视角[D]. 重庆: 重庆大学, 2010.
- [9] 刘华军,刘传明,孙亚男. 中国能源消费的空间关联网络结构特征及其效应研究[J]. *中国工业经济*, 2015(5): 83–95.
- [10] 刘华军,刘传明. 环境污染空间溢出的网络结构及其解释——基于1997–2013年中国省际数据的经验考察[J]. *经济与管理评论*, 2017, 33(1): 57–64.
- [11] 李敬,陈澍,万广华,等. 中国区域经济增长的空间关联及其解释——基于网络分析方法[J]. *经济研究*, 2014, 49(11): 4–16.
- [12] HUANG C, WANG S T, SU J, et al. A social network analysis of changes in China's education policy information transmission system (1978–2013)[J]. *Higher Education Policy*, 2020, 33(2): 323–345.
- [13] BU Y, WANG E D, BAI J H, et al. Spatial pattern and driving factors for interprovincial natural gas consumption in China: based on SNA and LMDI[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 263: 121392.
- [14] 许欣,徐晓玉,韩珠林. 全球生产性服务贸易网络特征及其影响因素研究——基于社会网络分析法[J]. *价格理论与实践*, 2020(3): 18–21.
- [15] 马廷灿,曹慕昆,王桂芳. 从国家自然科学基金看我国各省市基础研究竞争力[J]. *科学通报*, 2011, 56(36): 3115–3121.
- [16] 苏屹,韩敏睿,雷家骝. 基于社会网络分析的区域创新关联网络研究[J]. *科研管理*, 2018, 39(12): 78–85.
- [17] 邵汉华,周磊,刘耀彬. 中国创新发展的空间关联网络结构及驱动因素[J]. *科学学研究*, 2018, 36(11): 2055–2069.
- [18] 卞元超,吴利华,白俊红. 财政科技支出竞争是否促进了区域创新绩效提升——基于研发要素流动的视角[J]. *财政研究*, 2020(1): 45–58.
- [19] FRITSCH M, SLAVTCHEV V. Universities and innovation in space[J]. *Industry and Innovation*, 2007, 14(2): 201–218.
- [20] KATZ J S. Geographical proximity and scientific collaboration[J]. *Scientometrics*, 1994, 31(1): 31–43.

(编辑: 石 瑛)