

doi:10.3969/j.issn.1000-7695.2020.14.015

山东省创新网络演变特征及影响因素分析

曾文霞¹, 董会忠¹, 盛科荣², 赵 蕾¹(1. 山东理工大学管理学院;
2. 山东理工大学经济学院, 山东淄博 255012)

摘要: 基于 2014—2017 年山东省 17 个地级市创新联系能力, 借助修正引力模型构建城市创新联系能力空间关联的有向加权矩阵, 运用社会网络分析法和二次指派程序 (QAP) 回归方法探讨城市创新联系能力空间网络结构特征及空间传导关系的形成机制。研究结果表明: (1) 山东省城市创新联系能力空间关联网络密度加大、整体连通性增加, 其中中、东部沿海城市处于网络的中心位置, 易与其他城市发生空间关联, 起到在城市之间产生空间关联的桥梁作用; (2) 山东省内陆城市“多三角型”的强关联网络和沿海城市“倒 T 型”的强关联网络得以扩展, 边缘城市依赖于核心城市发展, 形成具有较强关联的稳健性复杂创新网络; (3) 地理距离、人力资本水平差异、政策支持力度差异、企业信息化水平差异对山东省创新联系能力空间关联网络结构的影响方向及回归结果较为稳健。

关键词: 创新网络; 修正引力模型; 社会网络分析; QAP 回归

中图分类号: F124.3; F224; G301

文献标志码: A

文章编号: 1000-7695 (2020) 14-0116-07

Evolution Characteristics and Influencing Factors of Innovation Network in Shandong Province

Zeng Wenxia¹, Dong Huizhong¹, Sheng Kerong², Zhao Lei¹(1. School of Management, Shandong University of Technology;
2. School of Economics, Shandong University of Technology, Zibo 255012, China)

Abstract: Based on the data of urban innovation linkage capability of 17 prefecture-level cities from 2014 to 2017 in Shandong province, this paper uses the methods of Improved Gravity Model to construct indirect weighting matrix for spatial association of urban innovation linkage capability. Furthermore, uses the methods of Social Network Analysis and QAP regression to analyze the spatial network structure characteristics and the formation mechanism of spatial conduction relationship of urban innovation linkage capability. The results show that: (1) The spatial density of urban innovation linkage capability from 2014 to 2017 in Shandong is increasing, and the overall connectivity of the network is increasing, the characteristics of the node structure indicate that the cities in the central and eastern parts of Shandong are at the center of the network, they are easy to be spatially associated with other cities, and acts as a bridge to create spatial connections between cities. (2) The "multi-triangle" strong association network of inland cities and the "inverted T" strong association network of coastal cities in Shandong have been expanded, and the fringe cities rely on the development of core cities, making the whole network form a strong correlation and complex urban innovation linkage capability network. (3) The QAP regression and robustness test results show that the geographical distance, the difference of human capital level, the difference of policy support, and the difference of enterprise informatization level have a relatively stable impact on the spatial linkage network of urban innovation linkage capability in Shandong province.

Key words: innovation networks; Improved Gravity Model; network analysis; QAP regression

2016 年 5 月, 中共中央、国务院发布《国家创新驱动发展战略纲要》, 提出发挥创新要素的集聚优势, 建立跨区域创新网络, 推动经济高质量发展。

在此背景下, 山东省加快实施创新驱动型经济发展战略, 部署和推动新旧动能转换重大工程, 推进区域创新协调联动发展, 形成以创新为主体的新动能

收稿日期: 2019-09-20, 修回日期: 2019-12-11

基金项目: 国家自然科学基金项目“生产分割环境下城市网络空间结构的演化模式研究 (41771173)” ; 山东省社会科学规划研究重点项目“新型城镇化背景下山东省特色小镇建设模式与培育策略研究 (18BSJJ05)” ; 国家社会科学基金项目“‘2+26’ 城市煤炭消费减量替代差异化路径与政策协同机制研究” (19BJY085)

主导经济发展新格局。2018年山东省的高新技术企业新增2 600家,总数达到8 912家,由新动能创造的增加值占生产总值的比重达到48%^[1]。但是,同先进地区相比,山东省的创新规模、创新能力和创新质量等方面都有较大差距,各城市之间创新的空间溢出效应未得到充分发挥,加强城市间创新协同成为山东省提升整体创新能力的重大课题。以创新促进经济向高质量转型发展,不仅取决于当地创新产出的能力,也取决于当地与其他区域间的创新联系强度,因此,探讨城市创新联系能力空间关联网络的演变特征及其影响因素,有利于推动山东省城市创新网络协同发展。

1 文献综述

国外学者提出了3个阶段创新空间扩散理论、“创新网络”的概念以及区域创新存在空间关联性^[2-3]。社会网络分析法(social network analysis, SNA)进一步以二值化的“关系数据”揭示创新网络结构特征,突破了以往“属性数据”仅分析邻近地理区域关系的局限^[4]。国外学者较早地将社会网络分析法应用于创新网络空间关系的相关研究,如Fritsch等^[5]运用社会网络分析法证明强关系促进了德国公司及研究机构间的知识交流。

国内学者关于城市创新的研究主要从3个方面展开:(1)测度城市创新水平。学者多采用专利授权数、高水平论文合作数据等单一指标衡量城市创新水平^[6-7];与此同时,有学者采用生态环境、创新基础环境、创新辐射强度等新的功能参数构建城市创新联系能力评价指标体系^[8-10]。(2)探讨创新的空间特征。相关研究多关注创新水平的空间集聚特征,如刘曙光等^[11]使用空间自相关分析验证了创新的空间关联性,忽视了创新的网络结构特征。当前学者开始运用空间相互作用模型、社会网络分析等模型描述城市创新空间关联网络特征,如蒋天颖等^[12]运用引力模型探讨了浙江省创新产出空间联系的等级结构特征;部分学者利用社会网络分析法均验证了我国区域创新的网络化结构特征^[13-15]。(3)揭示城市创新的影响因素。相关研究重点考虑城市创新的空间效应,如程开明等^[16]运用空间计量模型测度创新集聚影响因素的空间溢出效应;刘曙光等^[11]运用地理加权回归法(GWR)证明了我国区域创新的空间集聚与空间扩散作用对其空间格局形成具有重要作用。此外,关于创新网络结构的形成机制也受到了学者的关注,如宋旭光等^[17]、方大春等^[18]运用二次指派程序(quadratic assignment procedure, QAP)回归方法验证了地理距离、人力资本水平等

因素在区域上的差异性对创新网络结构的形成有显著影响;邵汉华等^[19]将创新网络结构特征的中心度指标作为影响因素加入空间计量模型中,分析其对创新水平的驱动机制。

综上研究,在空间关系上大部分学者仅局限于单一区域创新的空间集聚特征,而当前区域创新表现出了跨区域流动特征;在影响因素的分析上,相关研究多运用空间计量模型探讨创新集聚的空间溢出效应,从“属性数据”的角度进行分析,忽略了创新空间网络结构的形成机制,而属性数据往往是由结构决定的^[20]。基于此,本文以山东省为地理分析单元,借助修正引力模型构建城市创新联系能力空间关联的有向加权矩阵,采用社会网络分析法的网络密度、度数中心度等指标探讨2014—2017年山东省创新联系能力网络的空间结构特征,并运用QAP回归分析从关系的视角揭示创新空间传导关系的形成机制,以期推动山东省创新战略由“点轴式”驱动向“网络化”驱动转变提供理论参考,同时为其他地区构建跨区域创新网络提供理论借鉴。

相比以往研究,本文可能的创新之处如下:一是运用社会网络分析法量化创新联系能力网络结构特征,同时关注空间关联的方向性及空间上的地理位置特征;二是构建自变量差异矩阵,运用QAP回归方法探讨各自变量差异矩阵对创新联系能力网络的形成机制,为山东省创新联系能力网络协同发展提供新视角。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

以山东省17个地级市作为地理分析单元,评价指标体系及影响因素的原始数据均来自2015—2018年《山东省统计年鉴》《中国城市统计年鉴》;各地级市间的距离采用各地级市市政府所在地之间的最短行车距离表征。

2.2 研究方法

2.2.1 城市创新联系能力评价指标体系

借鉴相关研究成果,本文从创新联系水平、创新联系环境、创新基础环境和企业信息化环境4个方面选取具体指标^[10-11],构建山东省城市创新联系能力的评价指标体系(见表1)。其中,城市创新联系水平不仅由其自身的创新联系总量衡量,也取决于该城市对其他城市的创新吸引能力,因此用创新联系总量、创新辐射强度来衡量^[10]。应用引力模型测算创新联系总量和创新辐射强度,公式如下:

$$R_i = \sum_{j=1}^n R_{ij} \quad (1)$$

$$R_{ij} = K \cdot \frac{M_A \cdot M_B}{D_{ij}^2} \quad (2)$$

式(1)(2)中: R_i 为城市 i 对外创新联系总量; n 为对外联系城市个数; R_{ij} 为两城市创新联系强度; D_{ij} 为城市 i 、 j 的时间距离; K 为引力常数, 取 1; M_A 、 M_B 分别为城市 i 、 j 的创新水平。

运用熵值法, 采用城市创新投入及创新产出来衡量城市创新水平^[21], 具体选用 R&D 人员数量和科学研究、技术服务和地质勘察业从业人员、R&D 经费内部支出来衡量创新投入, 选取 3 种专利(发明、实用新型和外观设计)授权数、高新技术企业产值、企业电子商务销售额来衡量城市创新产出^[11]。

运用 Converse 断裂点及场强公式计算城市创新辐射强度, 公式如下:

$$D_i = \frac{D_{ij}}{1 + \sqrt{\frac{M_B}{M_A}}} \quad (3)$$

$$F_i = \frac{M_i}{D_i^2} \quad (4)$$

式(3)(4)中: D_i 为断裂点到城市 i 的时间距离; D_{ij} 为 i 、 j 两城市的时间距离; M_A 、 M_B 分别为城市 i 、 j 的创新水平; F_i 为节点城市 i 的辐射强度。

表 1 城市创新联系能力评价指标体系

系统层	准则层 (权重)	指标层
创新联系能力 (M)	创新联系水平 (0.12)	创新联系总量; 创新联系辐射强度
	创新联系环境 (0.23)	货运总量/万吨; 客运总量/万人; 邮电、邮政和电信业务总量/亿元; 移动电话普及率/(部/百人); 互联网宽带普及率/(台/百人)
	创新基础环境 (0.48)	普通高等学校师生比; 每万人在校大学生人数/人; 人均公共图书馆藏书量/册; 地方财政收入/万元; 政府科学技术支出/万元; 人均 GDP/元; 建成区绿化覆盖率; 一般工业固体废物综合利用率; 污水处理厂集中处理率; 生活垃圾无害化处理率
	企业信息化环境 (0.17)	每百人使用计算机数/台; 每百家企业拥有网站数/个; 有电子商务交易活动占比

注: 1) 各指标原始数据源自 2015—2018 年《山东省统计年鉴》《中国城市统计年鉴》; 2) GDP 为地区生产总值。下同。

2.2.2 社会网络分析法

社会网络分析方法基于二值化的关系数据进行分析, 本文首先运用修正引力模型构建空间关联矩阵, 转化为空间二值矩阵, 采用社会网络分析法的网络密度、度数中心度等指标探讨 2014—2017 年山东省城市创新联系能力网络的空间结构特征。在构建空间关联矩阵时, 参考彭芳梅^[22]的做法, 考虑城市创新联系的双向性、不对称性特征, 利用修正引力模型体现辐射方向, 公式如下:

$$R_{i \rightarrow j} = \frac{M_i}{M_i + M_j} \cdot \frac{M_i \cdot M_j}{D_{ij}^2} \quad (5)$$

$$R_{j \rightarrow i} = \frac{M_j}{M_i + M_j} \cdot \frac{M_i + M_j}{D_{ij}^2} \quad (6)$$

式(5)(6)中: M_i 、 M_j 分别为城市 i 、 j 的创新联系能力; $R_{i \rightarrow j}$ 为城市 i 对城市 j 的创新空间作用强度; $R_{j \rightarrow i}$ 为城市 j 对城市 i 的创新空间作用强度。

3 山东省城市创新联系能力网络空间结构特征

为刻画山东省城市创新联系能力网络空间演化特征, 本文将空间关联矩阵转化为空间二值矩阵, 取断点值为 100, 即大于等于 100 取值为 1, 小于 100 取值为 0。

3.1 创新网络整体结构特征

利用 UCINET 软件计算山东省城市创新联系能力空间关联网络的网络密度(见表 2)。从 2014—2017 年的整体网络密度来看, 2014 年网络密度为 0.173, 网络整体连通性较差; 2017 年网络密度为 0.460, 较 2014 年网络密度有较大幅度提升, 表明城市间创新要素流动渠道增多, 网络整体连通性增加。

表 2 2014—2017 年山东省城市创新联系能力网络密度

年份	网络密度	年份	网络密度
2014	0.173	2016	0.254
2015	0.195	2017	0.460

3.2 创新网络节点结构特征

为有效刻画各城市在网络中发挥的作用, 本文以 2017 年山东省 17 个地级市数据为例进行分析。首先, 运用度数中心度分析各城市在山东省创新联系能力空间网络结构中的地位。如表 3 所示, 济南、青岛、淄博等 8 个城市的度数中心度高于均值 36.42, 表明这些城市处于创新网络的中心地位, 与其他城市在空间上存在较多的直接联系; 城市创新联系能力空间关联存在不对称特征, 构成有向空间网络, 其中济南、青岛、淄博等 7 个城市创新联系能力的点入度大于点出度, 表明这些城市易受其他城市创新联系能力的推动作用影响, 创新联系能力的水平较高, 能够吸引创新要素并将其有效转化, 促进自身创新联系能力的提升, 在整个创新网络中为受益城市, 表现为净受益效应; 枣庄、莱芜、临沂等 6 个城市的点出度大于点入度, 表现为净溢出效应。

其次, 利用接近中心度刻画各城市在 2017 年山东省创新联系能力关联网络中产生联系的难易程度。如表 3 所示, 济南、青岛、淄博等 8 个城市的接近

中心度高于均值 52.96, 说明这些城市在网络中起到中心行动者的作用, 产生创新关联的能力不受制于网络中其他城市, 易与其他城市发生空间关联; 枣庄、菏泽、临沂等城市的接近中心度低于平均值, 表明这些城市推动其他城市创新联系能力提高的能力不明显, 同时受其他城市的带动作用影响不明显, 不受制于创新网络来带动自身的发展, 也表明其无法融入创新网络。

最后, 采用中间中心度反映各城市在 2017 年山东省创新联系能力网络中促进其他城市之间产生空间关联桥梁作用的程度。如表 3 所示, 高于均值 11.83 的有济南、潍坊、淄博等 6 个城市, 表明这些城市在网络中能起到促进其他城市之间产生空间关联的桥梁作用; 枣庄、威海、德州、聊城、滨州、菏泽的中间中心度为 0, 这些城市在网络中的控制能力较低, 与其他城市产生空间关联的能力不明显。

表 3 2017 年山东省城市创新联系能力网络节点中心度

城市	度数中心度					接近中心度		中间中心度	
	点出度	点入度	受益与否	中心度	排序 / 位	中心度	排序 / 位	中心度	排序 / 位
济南	10	13	受益	81.30	1	84.21	1	88.28	1
青岛	7	10	受益	62.50	2	72.73	2	19.92	4
淄博	7	10	受益	62.50	2	72.73	2	20.26	3
枣庄	3	0	溢出	18.80	13	5.88	17	0.00	12
东营	5	6	受益	37.50	6	61.54	5	0.45	11
烟台	3	4	受益	25.00	11	48.49	10	1.95	10
潍坊	7	9	受益	56.30	4	69.57	4	20.72	2
济宁	3	6	受益	37.50	6	57.14	6	16.48	5
泰安	5	5	—	31.30	9	53.33	8	5.73	8
威海	2	2	—	12.50	15	44.44	14	0.00	12
日照	3	3	—	18.80	13	47.06	12	5.00	9
莱芜	9	3	溢出	56.30	4	50.00	9	13.72	6
临沂	6	3	溢出	37.50	6	43.24	15	8.64	7
德州	2	1	溢出	12.50	15	47.06	13	0.00	12
聊城	4	2	溢出	25.00	11	48.49	11	0.00	12
滨州	5	5	—	31.30	9	57.14	7	0.00	12
菏泽	2	1	溢出	12.50	15	37.21	16	0.00	12
均值	4.88	4.88		36.42		52.96		11.83	

3.3 创新联系能力网络空间演变

为清晰直观地从空间视角探讨山东省城市创新联系能力的空间关联网络演变特征, 本文进一步考虑地理位置特征, 利用 ArcGIS10.2 软件绘制 2014、2017 年山东省城市创新联系能力的空间网络结构拓扑图 (见图 1)。其中, 用节点表示 17 个城市, 节点的大小表示度数中心度, 节点间的连线表示城市间存在空间关联, 节点间的箭头表示城市单向联系的溢出方向, 即点入度、点出度, 粗线段表示城市间存在双向联系。

从整体关联网络空间结构来看, 2014、2017 年空间关联网络中每个城市都至少与另外一个城市存在空间关联关系, 表明城市间的创新联系能力普遍存在关联关系, 创新联系能力空间结构的网络化特征初步形成。其次, 观察网络中表示强关联双向联系的粗线段, 2014 年山东省内陆中部地区形成以济南为核心城市, 与周边泰安、莱芜、淄博等 6 个城市为节点城市的“多三角型”强关联网络, 东部沿海地区形成以青岛为核心城市, 与周边日照、烟台、威海 4 个城市为节点城市的“倒 T 型”强关联网络,

其中潍坊作为连接沿海与内陆城市在空间上产生关联的“桥梁”, 其余城市为网络中的边缘城市。2017 年, 网络中两两节点间的双向直接关联增多, 表明联系紧密的城市增多; 边缘城市融入原先形成的网络结构, 其中聊城、济宁、菏泽这 3 个边缘城市加入内陆中部地区“多三角型”强关联网络, 日照加入东部沿海地区“倒 T 型”网络, 促使整个网络形成具有较强关联的稳健性复杂创新网络。同时, 网络中距离较近的边缘城市如菏泽、济宁、枣庄、临沂间没有形成强关联网络, 而是倾向于加入原先形成的网络, 可见, 这些创新联系能力较低且中心度水平表现较差的城市较依赖于级别高的城市, 这是由于这些城市人力资本等促进创新联系能力提高的资源较少, 从而受核心城市的辐射较强, 较容易与核心城市产生空间上的联系。从网络空间结构的关联方向看, 省内中、东部地区绝大多数城市具有很强的吸收能力, 接收关系显著多于发出关系; 西南地区城市的吸收能力往往低于溢出能力, 接收关系远远小于发出关系, 与创新网络节点结构特征分析的节点中心度分析结果一致。

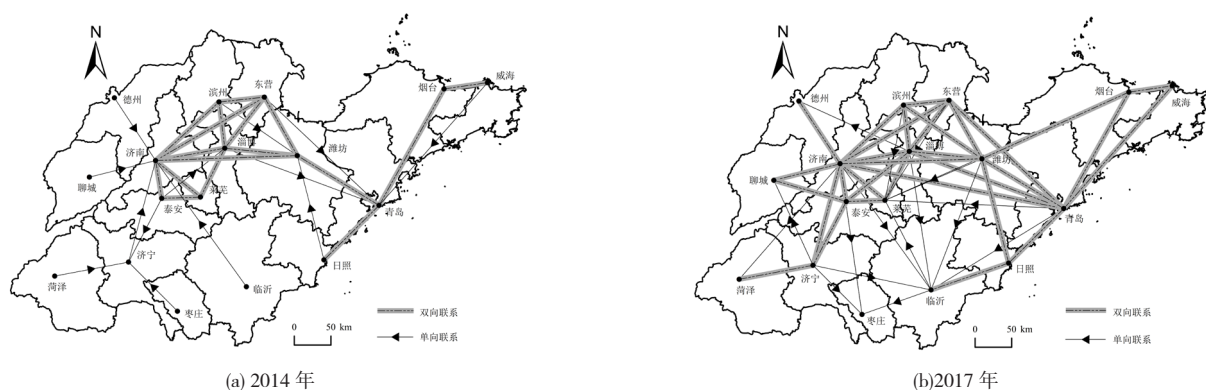


图1 山东省城市创新联系能力空间网络分布

4 山东省城市创新空间网络结构的影响因素

4.1 模型设定与变量说明

本文利用 QAP 回归方法揭示 2014—2017 年山东省城市创新联系能力网络空间传导关系的影响因素。对自变量差异矩阵和因变量矩阵进行多元回归分析, 由于传统计量统计方法不能分析两两矩阵之间的关系, 因此借助社会网络分析中的 QAP 回归进行分析。借鉴有关文献研究方法, 从地理邻近性、经济发展水平、信息传播水平、高等教育水平、政策支持力度、企业信息化水平 6 个方面构建影响山东省城市创新联系能力空间网络结构的自变量差异矩阵^[10-11]。其中: 地理邻近性用城市之间的空间相邻关系矩阵来表征, 即相邻取 1, 不相邻取 0; 经济发展水平差异用人均地区生产总值差异矩阵表示; 信息传播水平差异用互联网宽带普及率差异矩阵表示; 人力资本水平差异用每万人在校大学生人数差异矩阵表示; 政府支持力度差异用科学技术支出占公共财政收入比重差异矩阵表征; 企业信息水平差异用电子商务交易活动占比差异矩阵表示。参考秦奇等^[23]的做法构建各自变量差异矩阵, 以所在列与行的城市自变量属性值的比值构造差异矩阵。为确定合理的断点值以将自变量矩阵二值化, 将矩阵中小于 1 的值取倒数, 其中高等教育水平自变量比值差距较大, 取其自然对数进行处理。依据经验, 除自变量地理邻近性以外, 以上 5 个自变量差异矩阵分别取阈值为 2.0、1.5、1.5、1.5 和 1.2, 即小于阈值取值为 1, 否则取值为 0, 得到二值化的自变量差异矩阵。基于此, 选取创新空间关联矩阵作为被解释变量、各自变量差异矩阵作为解释变量, 构建模型如下:

$$MI=f(D,eco,int,edu,pol,ent) \quad (7)$$

式(7)中: MI 为创新联系能力空间关联矩阵; D 为地区间的空间相邻矩阵; eco 为经济发展水平差异关联矩阵; int 为信息传播水平差异关联矩阵; edu

表示人力资本水平差异关联矩阵; pol 为政策支持力度差异关联矩阵; ent 为企业信息水平差异关联矩阵。

4.2 QAP 结果分析

4.2.1 QAP 相关分析

利用 UCINET 软件对 2014、2017 年山东省城市创新联系能力空间关联关系矩阵与各个自变量差异矩阵进行 QAP 相关分析, 选取 10 000 次随机置换次数, 结果如表 4 所示, 2014 年地理距离、人力资本水平差异、政策支持力度差异、企业信息化水平差异的相关系数通过显著性水平检验, 说明这 4 个自变量对创新联系能力的空间关联有显著影响; 其次, 经济实力差异、信息水平差异的相关系数均没有通过显著性水平检验, 表明这两个自变量的差异对城市创新联系能力空间关联没有显著影响。2017 年, 经济实力差异的相关系数通过 5% 显著性检验, 其余自变量差异的相关系数均未发生大幅度变化, 其符号均未发生改变。

4.2.2 QAP 回归分析

选取 QAP 相关分析水平, 运用 UCINET 软件将其与城市创新联系能力空间关联关系矩阵进行 QAP 回归分析, 随机置换次数设置为 10 000 次, 再次逐步剔除无显著意义的变量, 得到 QAP 回归分析结果(见表 4)。2014、2017 年调整后的可决系数分别为 0.383、0.456, 且在 1% 的显著性水平下显著, 表明地理距离、教育水平差异、政策支持力度差异、企业信息化差异 4 个自变量分别解释 2014 年、2017 年城市创新联系能力空间关联的 38.3%、45.6%。与经验相比, 本文的模型测算结果较好^[24-25]。若回归系数为正, 表明城市间自变量差异越小, 城市间的创新要素流动性越强, 城市间的创新空间关联程度越高, 促进了城市创新联系能力网络的扩展; 若回归系数为负, 表明城市间自变量差异越小, 城市间的创新要素流动性较差, 抑制了城市创新联系能力网络的形成与扩展。具体结果如下:

(1) 2014、2017 年地理距离的回归系数为正, 均在 1% 的水平上显著, 表明地理距离对城市创新联系能力空间关联起到正向作用, 邻近的城市间创新联系能力的空间关联关系越强。

(2) 2014、2017 年人力资本的回归系数为负, 表明人力资本水平的差异越大, 城市间创新联系能力的吸引力比较优势越突出, 其创新要素的流动性越强。由于济南、青岛两地拥有较多高等院校, 因此这两个城市拥有远远高于其他城市的人力资本积累, 使得其人力资本积累负向显著影响城市间的创新合作。

(3) 2014、2017 年政策支持力度的回归系数为正, 表明政策上的相似性有利于城市间进行创新联系能力的深度合作, 城市间政府协同治理对城市创新联系能力的空间关联关系起到正向作用。

(4) 2014 年, 企业信息化水平的回归系数为正, 说明企业信息化水平较高城市的创新辐射力度还较小, 相似发展水平的城市间倾向于进行创新联系能力的合作。2017 年企业信息化水平的回归系数为负, 表明企业信息化水平差异越大, 城市间的创新合作与交流越多, 空间关联关系就越强, 高水平企业信息化的城市创新辐射力度加强, 低企业信息化水平城市之间原本形成的创新合作关系被打破, 形成低—高企业信息化水平城市创新合作的模式。

表 4 山东省城市创新联系能力空间网络 QAP 回归分析结果

自变量	因变量 MI (山东省城市创新联系能力网络)				
	2014 年		2017 年		
	QAP 相关	QAP 回归 1	QAP 相关	QAP 回归 1	QAP 回归 2
D	0.571***	0.538***	0.632***	0.568***	0.579***
eco	-0.037		0.193**	0.056	
int	0.025		0.063		
edu	-0.251**	-0.231***	-0.161*	-0.162**	-0.151**
pol	0.112*	0.064*	0.337***	0.169***	0.178***
ent	0.181**	0.102*	-0.140*	-0.095*	-0.096**
R ²		0.392		0.466	0.464
Adj-R ²		0.383		0.456	0.456

注: 1) ***、**、* 分别为在 0.01、0.05、0.1 显著性水平下通过检验, 下同; 2) QAP 回归 1 代表首次回归; 3) QAP 回归 2 代表逐步回归。

4.2.3 稳健性检验

对上述 QAP 回归分析中通过显著性检验的自变量差异矩阵与城市创新联系能力空间关联矩阵进行稳健性检验, 参考王俊等^[26]的研究做法, 分别选取 2014、2017 年城市创新联系能力引力值平均值的 80% 和 120% 作为断点值, 并在此基础上得到不同年份城市间创新联系能力空间二值化矩阵作为被解释变量进行 QAP 回归 (见表 5), 结果表明, 两个断点值下所有回归变量的符号均未发生改变, 且回归系数未发生大幅度的变化, 表明各变量对山东省城市创新联系能力空间关联网络结构的影响方向及

回归结果较为稳健。

表 5 山东省城市创新联系能力空间网络 QAP 回归分析的稳健性检验结果

自变量	因变量 MI (山东省城市创新联系能力网络)			
	2014 年		2017 年	
	80% QAP 回归	120% QAP 回归	80% QAP 回归	120% QAP 回归
D	0.614***	0.563***	0.566***	0.540***
edu	-0.189**	-0.180**	-0.153**	-0.115*
pol	0.097**	0.055	0.144**	0.160**
ent	0.069	0.096*	-0.127**	-0.081*
R ²	0.460	0.391	0.437	0.390
Adj-R ²	0.452	0.382	0.428	0.381

注: 断点值分别取引力值平均值的 80%、120%。

5 结论

本文借助修正引力模型构建城市创新联系能力空间关联的有向加权矩阵, 采用社会网络分析法的网络密度、度数中心度等指标探讨 2014—2017 年山东省城市创新联系能力网络的空间结构特征, 运用 QAP 回归方法探讨影响城市创新网络空间传导关系的形成机制, 得到以下结论:

(1) 从整体网络密度来看, 2014 年山东省城市创新联系能力网络的整体连通性较差, 2017 年较 2014 年网络密度提升了 1 倍, 城市间创新要素流动渠道增多, 网络整体连通性增加; 网络节点结构特征分析表明, 山东省内陆中、东部绝大多数沿海城市处于网络的中心位置, 同时在网络中扮演着中心行动者的角色, 促进其他城市之间产生空间关联的桥梁作用程度也较高。

(2) 从整体关联网络空间结构特征来看, 2014 年山东省内陆中部地区城市形成“多三角型”强关联网络, 东部沿海地区城市形成“倒 T 型”强关联网络, 潍坊作为连接沿海与内陆城市在空间上产生关联的“桥梁”, 初步形成创新网络化结构特征; 2017 年边缘城市依赖于核心城市发展, 内陆城市的“多三角型”强关联网络与沿海城市的“倒 T 型”强关联网络得以扩展, 促使整个网络形成具有较强关联的稳健性复杂创新网络。从网络空间结构的关联方向看, 山东省东、中部地区绝大多数城市具有很强的创新吸收能力, 接收关系显著多于发出关系。

(3) 从 QAP 回归及稳健性检验结果来看, 地理距离、人力资本、政策支持、企业信息化对山东省城市创新联系能力网络的形成有显著影响。其中, 地理距离对城市创新联系能力空间关联有显著的空间溢出现象; 人力资本水平负向显著影响城市间的创新合作, 其差异越大, 城市创新联系能力的空间关联越强; 政策支持力度正向显著影响城市间的创新合作, 政府协同治理促进城市创新联系能力

产生空间关联；2014 年企业信息化的回归系数为正、2017 年为负，低企业信息化水平城市之间原本形成的创新合作关系被打破，形成低—高企业信息化水平城市创新合作的模式。

参考文献：

- [1] 山东省人民政府. 山东省新旧动能转换情况报告 [Z]. 济南：山东省人民政府, 2019.
- [2] MORRILL R L. Innovation diffusion as a spatial process [J]. *Economic Geography*, 1969, 45(3): 277–278.
- [3] FREEMAN C. Networks of innovators: a synthesis of research issues [J]. *Research Policy*, 1991, 20(5): 499–514.
- [4] FREEMAN L C. The development of social network analysis [M]. Vancouver: Empirical Press, 2004: 124–125.
- [5] FRITSCH M, KAUFFELD-MONZ M. The impact of network structure on knowledge transfer: an application of social network analysis in the context of regional innovation networks [J]. *The Annals of Regional Science*, 2010, 44(1): 21–38.
- [6] 王悦, 张福琴, 史文秀. 区域创新产出空间异质性及关联网络分析 [J]. *科技进步与对策*, 2019, 36(9): 43–50.
- [7] 金钟范, 张广. 中国城市科技创新网络结构特点研究：基于高水平论文合作网络的分析 [J]. *城市与环境研究*, 2016 (1): 29–48.
- [8] 张爱华. 区域创新评价指标体系构建 [J]. *统计与决策*, 2017 (24): 51–54.
- [9] 吕拉昌, 孙飞翔, 黄茹. 基于创新的城市化：中国 270 个地级及以上城市数据的实证分析 [J]. *地理学报*, 2018, 73(10): 1910–1922.
- [10] 王越, 王承云. 长三角城市创新联系网络及辐射能力 [J]. *经济地理*, 2018, 38 (9): 130–137.
- [11] 刘曙光, 韩静. 2005—2015 年我国区域创新空间格局演化问题研究 [J]. *科技管理研究*, 2018, 38(20): 103–111.
- [12] 蒋天颖, 谢敏, 刘刚. 基于引力模型的区域创新产出空间联系研究：以浙江省为例 [J]. *地理科学*, 2014, 34(11): 1320–1326.
- [13] 李琳, 牛婷玉. 基于 SNA 的区域创新产出空间关联网络结构演变 [J]. *经济地理*, 2017, 37(9): 19–25, 61.
- [14] 周灿, 曾刚, 曹贤忠. 中国城市创新网络结构与创新能力研究 [J]. *地理研究*, 2017, 36(7): 1297–1308.
- [15] 牛欣, 陈向东. 城市间创新联系及创新网络空间结构研究 [J]. *管理学报*, 2013, 10(4): 575–582.
- [16] 程开明, 章雅婷. 中国城市创新空间溢出效应测度及分解 [J]. *科研管理*, 2018, 39(12): 86–94.
- [17] 宋旭光, 赵雨涵. 中国区域创新空间关联及其影响因素研究 [J]. *数量经济技术经济研究*, 2018, 35(7): 22–40.
- [18] 方大春, 马为彪. 我国区域创新空间关联的网络特征及其影响因素 [J]. *西部论坛*, 2018, 28(2): 50–61.
- [19] 邵汉华, 周磊. 长江经济创新驱动带的空间关联网络结构及效应分析：以国家高新区为例 [J]. *中国科技论坛*, 2019 (5): 107–115.
- [20] WASSERMAN S, FAUST K. *Social network analysis: methods and applications* [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1994: 56–57.
- [21] 杨丽, 孙之淳. 基于熵值法的西部新型城镇化发展水平测评 [J]. *经济问题*, 2015 (3): 115–119.
- [22] 彭芳梅. 粤港澳大湾区及周边城市经济空间联系与空间结构：基于改进引力模型与社会网络分析的实证分析 [J]. *经济地理*, 2017, 37(12): 57–64.
- [23] 秦奇, 吴良, 李飞, 等. 基于社会网络分析的东南亚地缘关系研究 [J]. *地理学报*, 2018, 73(10): 2014–2030.
- [24] 刘军. QAP: 测量“关系”之间关系的一种方法 [J]. *社会*, 2007(4): 164–174, 209.
- [25] FREEMAN L C. Centrality in social networks conceptual clarification [J]. *Social Networks*, 1979, 1(3): 215–239.
- [26] 王俊, 夏杰长. 中国省域旅游经济空间网络结构及其影响因素研究：基于 QAP 方法的考察 [J]. *旅游学刊*, 2018, 33(9): 13–25.

作者简介：曾文霞（1994—），女，山东潍坊人，硕士研究生，主要研究方向为区域经济学；董会忠（1968—），通信作者，男，山东烟台人，教授，硕士研究生导师，主要研究方向为区域发展；盛科荣（1977—），男，山东日照人，副教授，博士，主要研究方向为城市地理；赵蕾（1994—），女，山东青岛人，硕士研究生，主要研究方向为区域经济学。