

# 基于改进引力模型和社会网络分析法的 山东省城市创新关联网络研究

张书豪, 吴艳婷, 于海生

(鲁东大学 数学与统计科学学院, 山东 烟台 264039)

**摘要:** 分析山东省城市之间的创新关联网络, 有助于提升城市创新能力。本文获取 2015—2021 年山东省创新型企业之间合作信息数据, 使用改进的引力模型和社会网络分析法, 从企业合作角度对山东省城市创新关联网络进行测度及特征分析。结果表明: 不同城市在创新关联网络中的地位不同, 经济实力越强的城市, 创新关联越强, 且往往在网络结构中处于核心地位; 山东省内不同区域已形成多个有凝聚力的子群, 充分展现了创新发展的空间聚集性。由此可见, 山东省由中心城市引领的创新格局已经形成。

**关键词:** 城市创新关联; 数据挖掘; 改进的引力模型; 社会网络分析法

**中图分类号:** O213; F124 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-8020(2022)04-0342-08

山东省作为连接中国经济内外循环的重要桥梁, 将成为中国构建新发展格局的先行示范区。近年来, 我国围绕山东省国际科技创新中心建设出台了一系列协同创新政策文件, 在促进协同创新合作模式升级的体制机制上, 进行了一系列的探索。由于不同城市之间的创新合作, 山东省形成了复杂的创新关联网络结构。企业因始终处于创新领域的前沿, 并能产生不同程度的创新扩散, 因此在创新关联网络中至关重要。城市群是未来中国建设的主方向, 但目前山东省在产业集群和协同发展方面相对薄弱。因此, 对山东省城市之间的创新关联网络进行全面分析, 将有助于提升城市创新能力, 促进区域协同发展。

目前, 国内外学者对城市创新关联网络问题进行了大量研究。Freenan<sup>[1]</sup> 定义了创新网络, 认为它是一种新型合作形式。蒋天颖等<sup>[2]</sup> 运用引力模型准确反映了城市创新关联的辐射范围、强度和空间结构。钱春蕾等<sup>[3]</sup> 利用改进的引力模型研究武汉城市圈引力格局, 发现改进的引力模型能更客观地反映城市间相对引力不等的现状。Fritsch 等<sup>[4]</sup> 较早地将社会网络分析法结合创新

网络空间, 蔡叶青等<sup>[5]</sup> 借助社会网络分析法构建了成渝城市群近 10 年的创新网络, 王斌等<sup>[6]</sup> 基于社会网络分析法分析 2005—2018 年湖北省科技进步奖获奖信息, 探究网络的核心节点和特征。彭英等<sup>[7]</sup> 借助引力模型和社会网络分析法, 对江苏省 13 个地级及以上城市进行创新空间关联实证分析。此外, 文献 [8—10] 采用不同的模型和方法对区域创新关联展开了研究。

虽然现有文献对城市创新关联网络问题的研究取得了显著成果, 但在数据来源方面, 多数研究使用面板数据, 未充分体现城际创新关联的复杂性。在模型构建方面, 多数研究采用人口和 GDP 作为引力模型的核心指标, 指标选取不够全面。因此, 本文在上述研究的基础上, 从数据来源和相关模型两个方面进行改进, 即使用数据挖掘的相关方法获取 2015—2021 年山东省 16 个地级及以上城市的创新型企业之间的合作信息数据, 借助改进的引力模型和社会网络分析法, 从企业合作角度对山东省城市创新关联网络进行测度及特征分析。

收稿日期: 2022-04-08; 修回日期: 2022-07-18

基金项目: 山东省社会科学规划研究项目(21CSDJ21); 山东省本科教学改革研究重点项目(Z2021274); 山东省研究生教育教学改革研究项目(SDYJG19073)

第一作者简介: 张书豪(1996—), 男, 山东烟台人, 硕士研究生, 研究方向为经济与社会统计。E-mail: 903800977@qq.com

通信作者简介: 于海生(1978—), 男, 山东寿光人, 副教授, 硕士研究生导师, 博士, 研究方向为经济与社会统计。E-mail: qingzhu\_yu@163.com

## 1 模型及方法理论

### 1.1 改进的引力模型

与城市相关的万有引力理论认为,城市之间的空间关联强度同样遵循随距离衰减的规律,可以用万有引力定律来测度。传统的引力模型为:

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

其中:  $F_{ij}$  为城市  $i$  和城市  $j$  之间的引力;  $M_i$  和  $M_j$  为城市  $i$  和城市  $j$  的质量;  $D_{ij}$  为城市  $i$  和城市  $j$  之间的直线距离;  $b$  为距离衰减系数(距离参数的摩擦力),通常取 2;  $k$  为比例常数。

为了准确测度城市之间创新关联的强度,本文从核心指标、距离和比例常数 3 个方面对传统引力模型进行调整。

#### 1) 核心指标

重新定义城市的“质量”。本文将不同城市间的创新型企业合作关系作为核心指标,采用不同城市间创新型企业的投资事件、投资金额及分支机构 3 个维度的输入和输出值对城市间合作关系进行表征。 $X_{ij}$ 、 $Y_{ij}$  和  $Z_{ij}$  分别代表城市  $i$  的创新型企业对城市  $j$  的投资事件数、投资金额和分支机构数, $X_{ji}$ 、 $Y_{ji}$  和  $Z_{ji}$  代表逆向的企业合作信息。

#### 2) 距离

在物理学中,距离的测量主要针对空间距离而言。在市场经济环境下,大部分的创新要素流动都依赖于公路和高铁网络,城市之间的创新关联受实际交通条件的限制。因此,本文将欧式距离  $D_{ij,1}$  和车行距离  $D_{ij,2}$  的几何平均数纳入模型,作为城市  $i$  和城市  $j$  之间最后的调和距离  $D_{ij}$ ,即:

$$D_{ij} = \sqrt{D_{ij,1} \times D_{ij,2}}。 \quad (2)$$

#### 3) 比例常数

由于经济失衡效应,出发地和目的地的交互作用值是不相等的,且与经济发展水平成正比。故本文使用每个城市的创新型企业数与两个城市的创新型企业数总和的比值来缩放比例常数  $K_{ij}$ ,得到下面关系式:

$$K_{ij} = \frac{I_i}{I_i + I_j}, \quad (3)$$

其中, $I_i$  和  $I_j$  分别表示城市  $i$  和城市  $j$  所拥有的创

新型企业总数。

综合上述改进,得到用于测度创新关联强度的改进引力模型如下:

$$G_{ij} = K_{ij} \frac{\sqrt[3]{X_{ij} Y_{ij} Z_{ij}} \sqrt[3]{X_{ji} Y_{ji} Z_{ji}}}{D_{ij}^2}, \quad (4)$$

其中, $G_{ij}$  代表城市  $i$  对城市  $j$  的关联强度值。

### 1.2 社会网络分析法

社会网络分析法(social network analysis, SNA)是为研究个人、非正式群体和正式群体之间关系而建立的一种方法,常用于揭示行为者之间相互作用的特征<sup>[11]</sup>。SNA 主要关注网络结构,此方法以节点之间的纽带关系作为分析的基本单位,描述节点之间关系模式的复杂属性,同时展现这些节点与其他节点相比的多样性。

本文采用 SNA 中的网络整体形态分析、中心性分析和凝聚子群分析对城市创新关联网络进行测度。

#### 1) 网络整体形态分析

本文从网络的密度、标准差、平均地测距离等方面对网络整体形态展开分析。网络密度是指网络中各个成员之间联系的紧密度,对其分析可以判断关联强度的高低。利用 Ucinet 6 软件可得出网络密度值,计算公式如下:

$$D = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n R_{ij}, \quad (5)$$

其中: $D$  为网络密度; $n$  为城市节点数量; $R_{ij}$  是由城市  $i$  与城市  $j$  的创新关联强度值经过二值化处理后得到,结果为 0 或 1。

#### 2) 中心性分析

中心性是度量整个网络中心化程度的重要指标,网络中心性又可以分为度数中心度、接近中心度和中间中心度 3 个指标。在城市群网络中,处于中心位置的城市更容易获得资源和信息,并且对其他城市影响力更大<sup>[12]</sup>。

#### 3) 凝聚子群分析

分析城市网络凝聚子群可以反映不同城市在网络中的关系位置,揭示城市群内部的空间结构。本文使用的 CONCOR 法(convergent correlation)是一种迭代相关收敛法,可将一些待计算的项目分为相关系数为 1 和 -1 的两类,以实现对社会角色描述的代数分析。

## 2 数据及指标选取

### 2.1 数据的选取和说明

本文研究对象为 2015—2021 年山东省地级及以上城市的创新型企业。山东省地级及以上城市为济南市、青岛市、淄博市、枣庄市、东营市、烟台市、潍坊市、济宁市、泰安市、威海市、日照市、滨州市、德州市、聊城市、临沂市、菏泽市,共计 16 个。将城市两两组对,可得 120 个城市组对。将 2015—2021 年认定的高新企业、成立且获得融资的创业企业定义为创新型企业。使用 Python 中的爬虫工具批量获取天眼查、启信宝、企查查等企业信息查询网站中的相关数据。

在处理相关数据的过程中,对若干细节问题说明如下:

- 1) 对于 2021 年底已经被吊销、注销和迁出的企业,不纳入相关计算;
- 2) 对于变更名称的企业,以变更后的企业名称为准;
- 3) 对于在异地设置研发中心或办事处,作为设置分支机构处理;
- 4) 对同一企业在不同平台存在的个别信息差异进行数据清洗和剔除;
- 5) 对企业在省外进行的投资或接收到的省外投资数据不作保留。

### 2.2 指标选取

在对创新关联网络强度进行测度时,本文选取与创新型企业相关指标,共计 3 个维度,分别为不同城市间创新型企业的投资事件数量、投资金额及设立分支机构数量。如果城市 A 的创新型企业对城市 B 中的企业进行了投资或者设置了分支机构,那么认为两者之间产生了创新关联。

在进行创新关联网络特征中心性分析时,选用的中心性指标为度数中心度、中间中心度和接近中心度。

## 3 实证分析

### 3.1 创新关联网络强度测度

利用改进的引力模型,对山东省 16 个地级及

以上城市之间的创新关联强度进行计算,将关联度最强的数值赋值为 100。为了方便后续分析及可视化呈现,对计算后的城市创新关联强度值进行无向化处理,使同一组配对城市的引力值保持一致,计算公式为:

$$G_{ij}^* = \frac{G_{ij} + G_{ji}}{2} \tag{6}$$

利用式(6)得到城市创新关联强度值,结果如图 1 所示。由图 1 可以看到,济南和青岛之间产生了最强的创新关联,烟台、潍坊、临沂等城市也与济南进行了充分的创新合作。

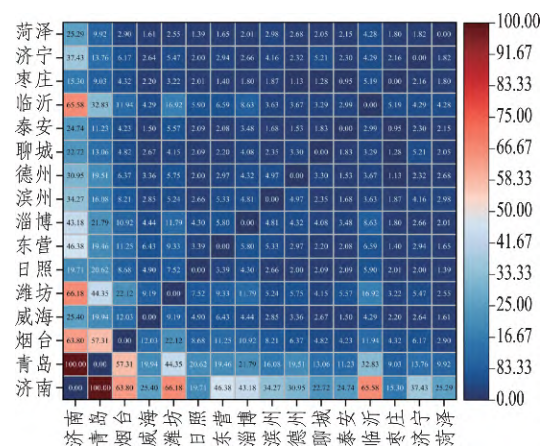


图 1 创新关联强度值  
Fig.1 Innovation association strength value

为了更形象直观地展现城市间的创新关联强度在空间上的特征,绘制网络连线,见图 2。由图 2 可知:济南对外部城市产生了强大的创新辐射,突破了地理因素限制,与胶东半岛地区产生了密切的创新关联;青岛虽然在地理空间上并不处于中心位置,但仍旧与周边地区尤其是潍坊和烟台产生了明显的创新联动。济南和青岛作为山东省城市创新关联网络的绝对中心,拥有优秀的对外辐射能力和资源集中能力。并且,本文发现关联强度较高的创新合作主要发生在济南或青岛,这体现了山东双核心结构对资源禀赋的引领作用。

图 3 为创新关联网络具体层级分布。在关联强度第一层级(图 3(a))中,由济南对外部地区的创新辐射已经形成,但尚未形成网络结构。可见,济南凭借其在交通条件、行政地位和研发投入等方面的优势,成为创新合作网络中的主要发起点和接收点。

由图 3(b)可见:济南、青岛对周边地区产生了相对较强的创新关联,体现了创新关联的空间邻近

性;同时,与之相连接的城市在人口规模、工业产值、能源交通等方面也都处于山东省中上游水平。这一方面说明这两个城市有一定实力对外输出创新产业或技术,另一方面说明其广阔市场和优质创业环境为吸引分支机构提供了充分保障。多种因素相辅相成,构成了关联强度第二层级的格局。

显然,由图 3(c)可知,各地之间的关联规模更加庞大,关联现象更加普遍。济南对周边地区产生了广泛的创新辐射,充分体现其核心节点的地位。除济南外,个别经济大市、强市也产生了对外辐射的规模效应,各地区之间由于产业结构互补、原料需求和市场规模扩大等因素而产生了更为复杂的网络结构。诚然,具体到每个城市组合

上,第三层级在总的投资规模和分支机构的绝对数量方面与前两个层级还有很大差距,但是这也为各地区间自发产生创新关联事件提供了客观的基础和充分的保障。

最后,在第四层级中,创新关联网络已经基本覆盖各地区,地区间的联系密度愈发增大。由图 3(d)可以看出,在鲁西南地区,一些城市间依然存在创新联系不足甚至匮乏的现象,在关联网络中处于明显的稀疏地带。主要因为该地区经济基础相对薄弱,在消费需求、高新技术产业吸引力等方面存在不足,在对外输出技术、资金和扩大市场规模的能力上也有所欠缺,这是山东省在建设创新型省份道路上所必须解决的补短板问题。

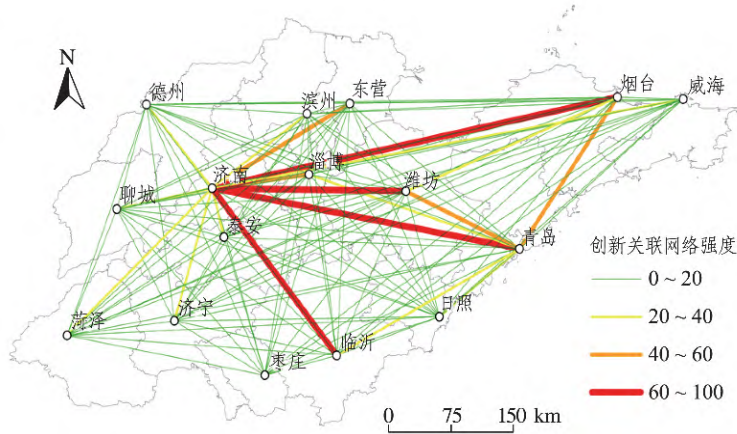


图 2 创新关联网络图

Fig.2 Innovation association network diagram

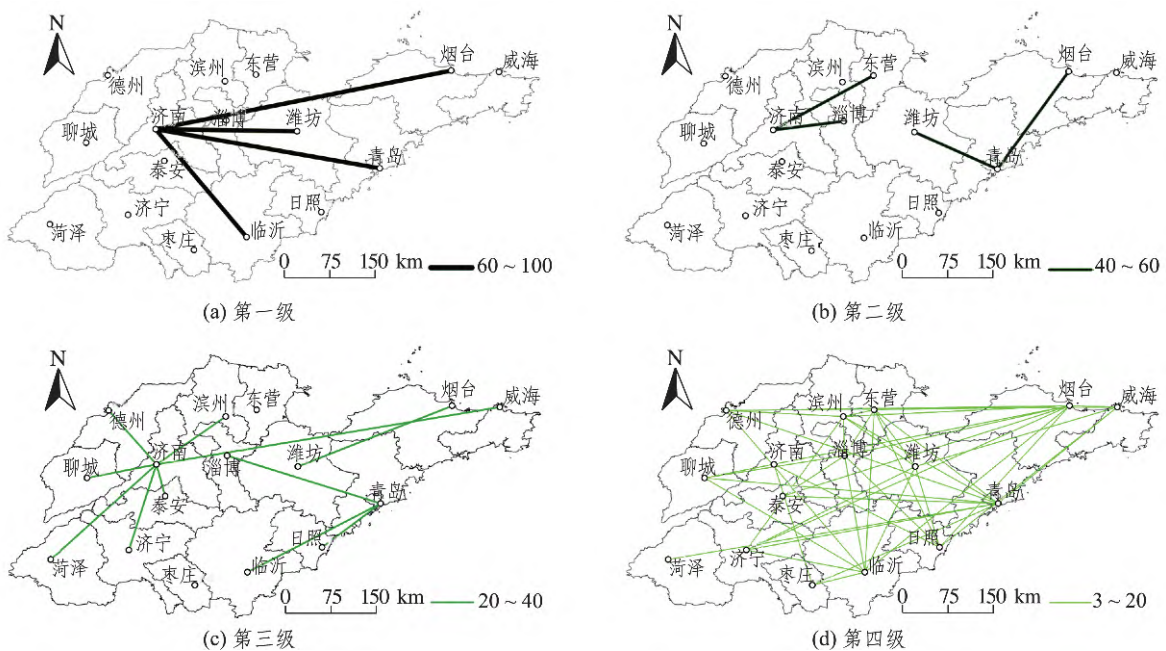


图 3 创新关联网络强度一至四级

Fig.3 Innovation association network strength from 1 to 4

### 3.2 创新关联网络特征分析

一个区域内的各个城市被认为是网络中的节点,城市之间跨空间的创新互动被认为是纽带。通过社会网络分析法,可以清晰地展现城市群网络结构形成过程中的相互作用及溢出效应。本节将从网络整体形态分析、中心度分析以及凝聚子群分析 3 个方面入手,对山东省创新关联网络特征进行系统分析。

#### 1) 创新关联网络整体形态分析

该网络结构与物理学中的晶体类似,区域内部不同层次的节点城市通过创新关联网络相连,具体的网络形态见图 4。由图 4 可见,大城市往往处于结构的核心或关键位置,在该地区发挥主导作用,如青岛、济南等;中小城市则作为外围节点参与网络的构成,如菏泽、枣庄、日照等。

经过测算,创新关联网络模型的密度为 0.320 8,由此可知,山东省地级及以上城市之间创新关联较为稀疏,仍有较大提升空间;标准差为 0.466 9,表明不同城市存在两级差异。此外,整个网络的平均测地距离为 2.249,说明每个城市平均要经过 2~3 个节点来连接目标城市,网络通

达性不够,城市间的创新合作交流在一定程度上受到限制。

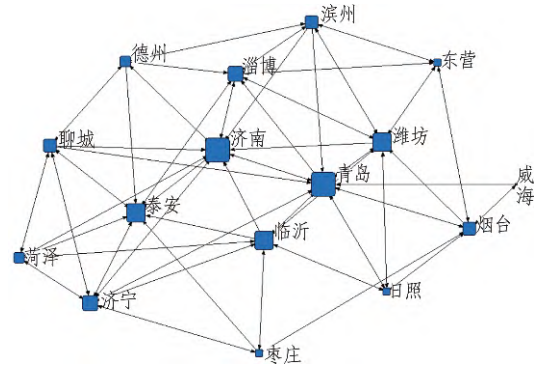


图 4 创新关联网络形态

Fig.4 The form of innovation association network

#### 2) 创新关联网络中心性分析

中心性分析可以识别结构位置对网络节点的影响。使用 Ucinet 6 计算山东省城市关联网络的中心性指标,包括度数中心度、中间中心度和接近中心度,共 3 个指标,并对其在 0 和 1 之间进行归一化处理,以使不同中心度之间具有可比性。具体计算结果见表 1。

表 1 中心度计算结果

Tab.1 Calculation results of centrality

城市	入度	出度	度数中心度	中间中心度	接近中心度
济南	10	9	1.000 0	0.170 0	0.750 0
青岛	9	9	1.000 0	0.174 4	0.714 3
淄博	7	5	0.800 0	0.076 3	0.652 2
德州	2	5	0.466 7	0.013 0	0.454 5
聊城	5	6	0.733 3	0.049 4	0.517 2
泰安	8	4	0.800 0	0.040 9	0.625 0
济宁	6	7	0.866 7	0.097 1	0.555 6
烟台	5	5	0.666 7	0.102 0	0.535 7
潍坊	7	7	0.933 3	0.103 4	0.652 2
日照	4	4	0.533 3	0.013 1	0.535 7
临沂	6	7	0.866 7	0.115 4	0.600 0
威海	1	2	0.200 0	0.000 0	0.357 1
东营	4	4	0.533 3	0.030 1	0.517 2
滨州	4	5	0.600 0	0.023 4	0.500 0
菏泽	2	5	0.466 7	0.002 1	0.384 6
枣庄	2	4	0.400 0	0.013 2	0.441 2

对度数中心度和中间中心度可视化呈现,结果如图 5、6 所示。

分析图 5 可知,由于不同城市的创新企业的合作关系是有向的,因此可以从出度和入度两个角度进行中心性分析。具体来看,就入度而言,

济南、青岛、泰安具有更高的入度,这意味着城市可以吸引更多的投资和分支机构,产生创新集聚效应;淄博、泰安、潍坊等城市受邻近中心城市影响明显,入度同样较高,借助其吸收能力承接了较多的创新外溢。相比之下,威海、枣庄、德州、菏泽

等城市的入度较低,表明这些城市对周边城市缺乏足够的吸附能力。就出度而言,济南、青岛同样

表现出优势,这意味着它们对外投资的强度相较于其他城市更高,对外的创新辐射也更强。

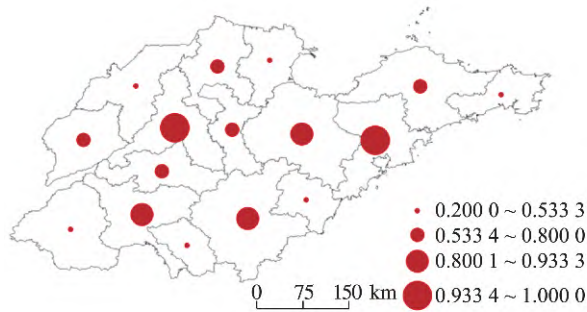


图5 各城市度数中心度

Fig.5 The degree centrality of each city

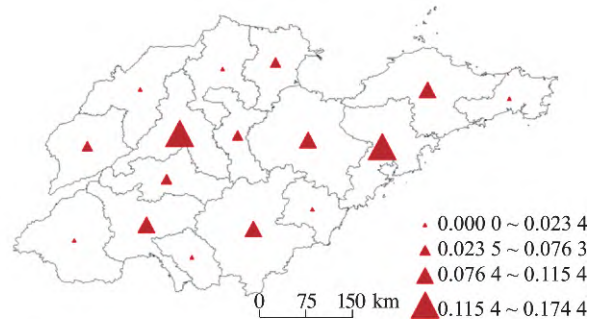


图6 各城市中间中心度

Fig.6 The intermediary centrality of each city

中间中心度主要测量城市控制资源的能力。由图6可知,青岛和济南的中间中心度均达到了0.17,表明它们可以控制更多资源,成为连接其他城市投资交流的枢纽,对协助其他城市开展创新合作也有很大帮助。德州、日照、威海、菏泽、枣庄等城市的中间中心度较低,说明这些城市在连接其他城市的城市群中没有起到中介作用。计算可知,前6个城市的中间中心度加和共占总数的76.2%,而后10个城市的份额很小,仅占23.8%。因此得出结论,所有城市的中间中心度近似服从二八定律,大部分创新联系是由小部分排名靠前的城市实现的。

### 3) 创新关联网络凝聚子群分析

为了探究子群的网络结构及其广泛的合作关系,本文使用Ucinet 6软件中的CONCOR法对创新关联网络的凝聚子群进行分析,测算结果见图7。由图7可知,山东省各城市在二级分支上分为4个具有凝聚力的子群,在三级分支上分为8个具有凝聚力的子群。

从三级分支的视角来看,三级子群1是核心城市子群,由济南和青岛组成,其形成的子群密度值最高。由于该子群在创新合作上与其他城市保持紧密联系,没有其他子群可以与之抗衡,因此可以推断城市群的网络发展主要以济南、青岛子群为主,对其他7个子群进行全覆盖的创新辐射,中心城市带动其他地区的联动效应已初步形成。三级子群1对于组成三级子群2的德州、泰安辐射力很强,与其合并形成二级子群。

由于鲁南地区相互作用日益加深,三级子群3和三级子群4由鲁南经济圈的的城市组成,它们

同样形成二级子群。鲁南城市群在二级分支上属于一个子群,在三级分支上属于两个子群,基本体现了城市格局的形成。临沂成为鲁南地区的龙头城市,在壮大地方经济、引领地方发展方面发挥着引领作用。通常大多数的子群是由地理上彼此靠近的城市组成。三级子群5和三级子群6中有3个城市位于胶东半岛经济圈,三级子群7与三级子群8由潍坊引领,全部集中在鲁中、鲁北地区,这体现出地理近邻性对于创新关联的影响。

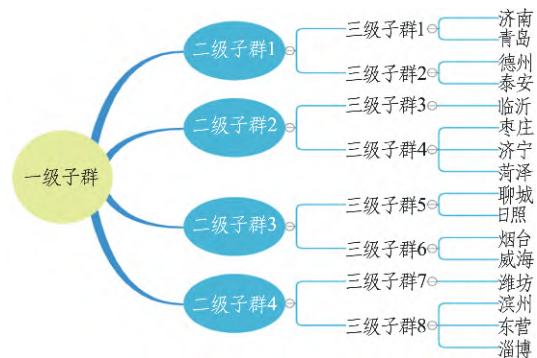


图7 凝聚子群聚类结果

Fig.7 Clustering results of condensed subgroups

图8是二级分支凝聚子群分布情况。由图8可知,山东省内不同地区已形成若干创新关联区块,以鲁南、鲁中、鲁北地区以及胶东半岛地区表现尤为明显,充分展现了省内创新发展要素在空间上的聚集性、耦合性。

三级分支凝聚子群密度矩阵见表2,可以看出,在三级子群这一层次,子群1、5、6、8内部之间的联系更紧密。对于跨子群的联系密度而言,子群1与子群4具有最密切的联系,体现了核心城

市与鲁南经济圈充分的创新合作。但从整体来看,山东省内不同子群之间联系尚很薄弱,尤其是内部联系松散且在创新关联网络中没有处于核心位置的子群,它们往往只与个别头部子群联系,其

相互之间的联系并不密切。通过增加创新投入和吸引更多创新资源,可使这些子群升级为区域中心城市,继而提高网络内的联系强度。

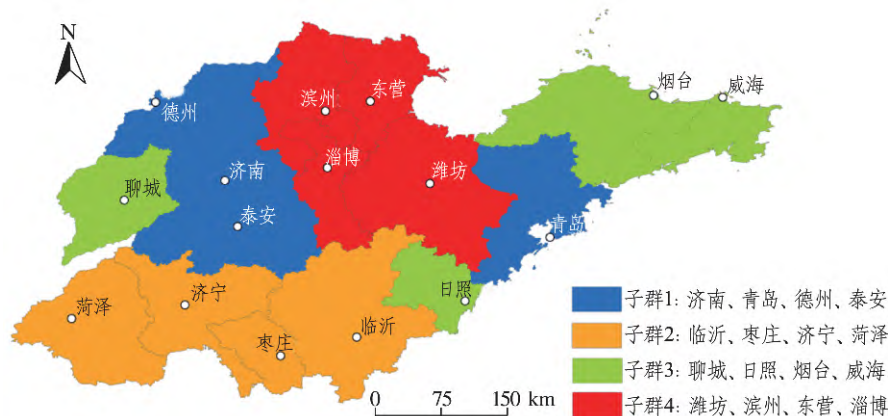


图 8 二级分支凝聚子群分布

Fig.8 Distribution of condensed subgroups of secondary branches

表 2 三级分支凝聚子群密度矩阵

Tab.2 The condensed subgroup density matrix of tertiary branches

三级子群	子群 1	子群 2	子群 3	子群 4	子群 5	子群 6	子群 7	子群 8
子群 1	1.000	1.000	0.000	0.500	0.500	0.000	0.000	0.167
子群 2	1.000	0.500	0.000	0.167	0.000	0.000	0.000	0.500
子群 3	0.500	0.500	0.000	0.667	1.000	0.000	1.000	0.000
子群 4	0.667	0.500	1.000	0.667	0.167	0.000	0.000	0.000
子群 5	0.250	0.000	1.000	0.000	1.000	0.250	1.000	0.000
子群 6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.500	1.000	0.500	1.000
子群 7	0.500	0.000	1.000	0.000	1.000	0.000	0.000	1.000
子群 8	0.333	0.167	0.000	0.000	0.167	0.000	1.000	1.000

## 4 结论

本文基于山东省地级及以上城市创新企业的合作数据,使用改进的引力模型对创新空间关联网络进行分析,对各城市间的创新关联强度进行测算。其次,运用 SNA 对山东省创新关联网络的结构和空间交互效应进行系统分析,以探究不同区域在创新网络中的作用和地位。本文研究结果表明,山东省城市之间创新关联情况有较大的发展潜力,子群之间的互动充分体现了山东省创新发展的空间聚集性,山东省已经形成由青岛、济南等中心城市引领的创新格局。

### 参考文献:

- [1] FREENAN C. Networks of innovators: a synthesis of research issues [J]. Research Policy, 1991, 20(5): 499-514.
- [2] 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.
- [3] 钱春蕾, 叶菁, 陆潮. 基于改进城市引力模型的武汉城市圈引力格局划分研究 [J]. 地理科学进展, 2015, 34(2): 237-245.
- [4] 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.
- [5] 蔡叶青, 杨中华, 向纯洁. 基于社会网络分析的湖北协同创新合作网络研究 [J]. 科技与经济, 2020, 33(3): 36-40.
- [6] 王斌, 万栗江, 罗坚. 成渝城市群创新网络空间结构

- 演化及优化策略研究: 基于社会网络分析法[J]. 工业技术经济, 2022, 41(3): 136-144.
- [7] 彭英, 余小莉. 基于改进引力模型的江苏省城市创新空间关联及其影响因素[J]. 科技管理研究, 2021, 41(24): 81-86.
- [8] 苏屹, 韩敏睿, 雷家骥. 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.
- [9] 岑聪, 姜巍. 互联网发展、空间关联与区域协同创新[J]. 统计与决策, 2021, 37(2): 70-74.
- [10] 孙中瑞, 樊杰, 孙勇, 等. 中国绿色科技创新效率空间关联网络结构特征及影响因素[J]. 经济地理, 2022, 42(3): 33-43.
- [11] 王素洁, 李想. 基于社会网络视角的可持续乡村旅游决策探究: 以山东省潍坊市杨家埠村为例[J]. 中国农村经济, 2011(3): 59-69.
- [12] 张利飞, 王歆迪. 专利引用关系视角下高科技产业专利池的形成机制研究: 以 MPEG-2 专利池为例[J]. 软科学, 2015, 29(8): 20-24.

## Urban Innovation Association Network in Shandong Province Based on Improved Gravity Model and Social Network Analysis

ZHANG Shuhao, WU Yanting, YU Haisheng

(School of Mathematics and Statistics Science, Ludong University, Yantai 264039, China)

**Abstract:** The analysis on the innovation association network among cities in Shandong Province is contributed to improving the innovation ability of cities. The cooperation information data of innovation-oriented enterprises in Shandong Province from 2015 to 2021 were obtained in this paper. By using the improved gravity model and social network analysis method, the characteristics of the urban innovation association network in Shandong Province were measured and analyzed from the perspective of enterprise cooperation. The results show that different cities have different positions in the innovation association network. With the increase of economic strength, the innovation association becomes stronger, and the city is usually in the core of the network structure. Different regions in Shandong Province have formed a number of cohesive subgroups, fully showing the spatial aggregation of innovation development. Therefore, it can be seen that the innovation pattern led by central cities has been formed in Shandong Province.

**Keywords:** urban innovation association; data mining; improved gravity model; social network analysis

(责任编辑 顾建忠)