



开放科学  
(资源服务)  
标识码  
(OSID)

# 山东省六个国家创新型城市的创新竞争力评价 ——基于主成分分析和集对分析

陈静 岳海鸥 武张亮

济南市科学技术信息研究所 济南 250010

**摘要:** 创新竞争力是城市在可持续发展过程中获得长久竞争优势的重要力量,对创新型城市的创新竞争力评价研究,将有助于城市的创新竞争力的提高,对建设创新型省份和创新型国家具有重要意义。本文选择以山东省6个国家创新型城市为研究对象,建立了4个一级指标和18个二级指标的创新竞争力评价指标体系。首先,利用主成分分析和聚类分析,分别对6个国家创新型城市的创新竞争力进行了分析研究,根据两种分析方法的结果,将创新型城市归为3类:青岛、济南,创新竞争力最强;潍坊、东营、烟台,其创新竞争力一般;济宁市,创新竞争力较弱;其次,通过集对分析法计算各指标权重和综合得分,进一步分析了影响城市创新竞争力的重要因素;最后,提出了对提高创新型城市创新竞争力的建议。

**关键词:** 创新型城市; 创新竞争力; 主成分分析; 集对分析

**中图分类号:** F293.1 G35

## Evaluation of Innovative Competitiveness of Six National Innovative Cities in Shandong Province—Based on Principal Component Analysis and Set Pair Analysis

CHEN Jing YUE Haiou WU Zhangliang

Ji'nan Science and Technology Information Research Institute, Ji'nan 250001, China

**Abstract:** Innovative competitiveness is an important force for cities to gain long-term competitive advantage in the process of sustainable development. The evaluation of innovative competitiveness of innovative cities will contribute to the improvement

**基金项目:** 山东省软科学研究计划重点项目(2017RZA01005)。

**作者简介:** 陈静(1978-),博士,副研究员,研究方向:战略研究、情报分析, E-mail: chjingg@163.com; 岳海鸥(1985-),硕士,助理研究员,研究方向:战略研究、情报分析; 武张亮(1981-),助理研究员,研究方向:战略研究、情报分析。

of innovative competitiveness for cities, and has great significance to the construction of innovative provinces and innovative countries. This paper chooses six innovative cities in Shandong Province as the research areas, and establishes four first-level indicators and 18 second-level indicators of innovation competitiveness evaluation index system. Firstly, using principal component analysis and cluster analysis, the innovation competitiveness of innovative cities in six countries is analyzed and studied. According to the results of the two analysis methods, innovative cities are classified into three categories: Qingdao and Ji'nan, with the strongest innovation competitiveness. The innovative competitiveness of Weifang, Dongying and Yantai are general and Ji'ning is weak; Secondly, through the set pair analysis method to calculate the weights and comprehensive scores of each index, we further analyzed the important factors affecting the competitiveness of urban innovation. Finally, suggestions for improving the innovative competitiveness of innovative cities are put forward.

**Keywords:**Innovative city; innovation competitiveness; principal component analysis; set pair analysis.

为深入贯彻新时代中国特色社会主义思想,全面落实自主创新战略,探索差异化的城市创新发展路径,国家科技部和国家发展改革委围绕完善区域创新体系,增强可持续发展能力,加快实现创新驱动发展,陆续确立了国家创新型城市建设试点名单,以推动建设若干具有示范意义的创新型城市和区域创新中心。截至2016年底,全国共有61个城市获批为国家创新型建设试点城市<sup>[1]</sup>,2018年国家科技部、发展改革委又公布了新一轮的17个城市获批建设国家创新型试点城市,至此,我国共有78个国家创新型建设试点城市。其中山东省共有6个国家创新型城市,分别是济南、青岛、烟台、济宁、潍坊和东营。

创新是引领发展的第一动力,创新是经济发展新常态背景下城市建设的必然选择,建设创新型国家必须以建设创新型城市为重要支柱。创新型城市是指主要通过科技革命,知识变革、人力发展和体制改革等创新要素驱动发展的城市<sup>[2]</sup>,建设国家创新型城市是探索城市发展新模式的内在要求,而创新竞争力是保持城市可

持续发展的根本动力<sup>[3]</sup>。创新竞争力是城市在发展过程中获得竞争优势的重要力量,提高国家创新竞争力需要以提高城市创新竞争力为前提,而提高城市的创新竞争力又需要对影响城市创新竞争力的创新要素进行充分认识和研究。因此,对国家创新型城市的创新竞争力评价研究显得尤为重要。

创新型城市的创新竞争力评价是城市研究和建设的基础性工作,对其进行深入的评价研究不仅能够促进城市健康、科学、可持续发展,还能够对创新型城市的创新体系的建立与完善起到促进作用<sup>[4]</sup>。随着国家创新型城市建设的理论和实践越来越丰富,关于创新型城市创新评价的研究也越来越多,学者们对于创新型城市的研究不断深入和丰富。例如,王保乾等运用超效率DEA-CCR模型和双重差分法对长三角地区创新型城市的创新绩效进行评估<sup>[5]</sup>;魏先彪同样利用DEA模型对长三角地区的创新型城市的发展模式、评估体系、创新内容等展开了详实的分析研究<sup>[6]</sup>;方创琳等从自主创新、产业创新、人居环境创新和体制机制创新四大

方面对中国创新型城市的建设现状做了综合评估<sup>[7]</sup>；张剑等对国家战略引领下的创新型城市的内涵演进、发展模式与建设路径、评价体系等方面进行总结与反思<sup>[8]</sup>。但现有研究也存在一些值得探讨的问题。首先，随着技术的发展和城市化进程不断加快，特别是长江经济带发展、“一带一路”建设、京津冀协同发展等重大战略规划的深入实施，以及各大城市提出的人才引进政策的实施，创新型城市的战略布局、发展模式、发展定位、创新要素没有随之适应调整；其次，一些创新型城市存在高投入、低产出现象，仅通过一种评价方法难以分析全面，从而会忽略创新投入和产出是否均衡发展；再次，不同的创新型城市其政策会因地不同，现有部分研究出现了理论与实践不在同一“频道”上，其创新型评价没有充分考虑到城市的定位和政策复杂性。本文立足于山东省6个国家创新型城市，分别从城市的发展布局、定位、竞争优势出发，利用主成分分析和集对分析构建了创新型城市创新竞争力的综合评价体系，分析其城市创新竞争力的实际情况，对其创新竞争力的差异进行比较分析，最后通过计算指标权重和综合得分进一步分析了影响城市创新能力的重要因素，并提出了对提高创新型城市创新竞争力的建议。本文的研究结果将有助于山东省创新型城市创新竞争力的提高，进而对建设创新型省份和创新型国家具有一定的理论指导意义。

## 1 相关理论及文献述评

随着经济日新月异的发展和科学技术的不断

断进步，城市发展的重要性越来越突出，无论是国际城市之间还是国内城市之间的竞争与技术创新都体现了城市的发展实力。因此，城市的发展实力也在某种程度上代表了一个区域或者一个省份甚至一个国家的综合实力。城市创新竞争力的相关研究是伴随着国家创新系统理论和区域创新系统理论的发展和完善而产生的，作为影响城市创新要素发展的空间载体，创新型城市的相关研究引起了社会广泛关注，其相关理论研究得到了快速发展。国内外大量学者对创新型城市的相关理论进行了深入研究，国外学者 Landry 在 2000 年时就提出使用七要素来构建城市创新竞争力的评价体系，包括组织文化、领导能力、创新型人才、多样性人才、城市发展空间、城市包容性和信息化<sup>[9]</sup>；美国学者 Florida 在 2002 年则提出建立城市创新能力评价体系应从高科技、创新型人才、城市宽容度多样化等多角度出发<sup>[10]</sup>；Pinto & Guerreiro 在 2010 年对欧洲 175 个城市地区的创新能力进行评价时，构建了一个由技术、经济结构、人力资本和劳动力市场四个大类指标构成的区域创新评价体系<sup>[11]</sup>；Autio 同样对创新体系中的技术发展研究进行了初步评价，同时提出对国家创新体系和城市区域创新体系应采用不同的评价方法<sup>[12]</sup>。国内学者赵黎明首次提出了城市创新系统理论<sup>[13]</sup>，后续有大量学者对城市创新能力进行了深入的研究，苏晨青等从创新产出能力、组织运行能力、创新投入能力、环境支撑能力四个方面设计了四维创新能力指标体系，构建了长江中游城市群创新能力评价模型，并进行实证研究<sup>[14]</sup>；黄亮等通过科技创新投入、科技创新产出、科技创新载体、科技

创新绩效构建的一级指标体系对长江经济带 50 座城市科技创新能力进行了分析<sup>[15]</sup>；李庆军等从创新资源、知识创造、创新合作、企业创新、创新绩效、创新环境 6 个方面构建了城市创新能力评价体系，利用因子分析法进行山东区域各城市创新能力评价<sup>[16]</sup>；李世泰等从创新资源、创新载体、创新制度、创新环境、创新绩效 5 个方面构建了城市创新能力评价指标体系，采用了因子赋权评价法和系统聚类分析法对山东半岛城市群创新能力进行评价，对其空间分异特征进行了深入分析<sup>[17]</sup>。从以上研究不难看出，构建评价指标体系是评价一个城市创新竞争力强弱的重要方法，许多学者都致力于通过这个方法对城市的创新能力展开评价和研究，其研究成果为城市的创新竞争力评价做出了理论铺垫，具有一定的实践指导作用<sup>[18]</sup>。但是，在文献梳理过程中，发现很多学者都只采用了一种评价方法，很少有针对创新型城市发展的实证性研究，同时对采取的评价指标很少有分析其相互之间的关系，及评价体系和评价方法的合理性，且大部分研究未充分分析其综合创新竞争力。本文依据科技部发布的《中国区域创新能力评价报告 2017》的指标体系，将创新投入、创新产出、创新绩效以及创新环境指标纳入创新竞争力评价中，将投入、产出、绩效和环境进行有机衔接，利用主成分分析和集对分析双重评价方法构建综合评价体系，并通过聚类分析进行验证，为创新型城市发展提供参考。

## 2 创新竞争力评价指标体系构建

选取《中国区域创新能力评价报告 2017》

中对创新型城市创新竞争力评价的指标作为本次研究的评价体系，确定国家创新型城市创新竞争力为目标层，以创新绩效、创新产出、创新投入和创新环境为一级指标，以高新技术企业数、高新技术产业产值、高新技术产业产值占规模以上工业产值比例、……、地区生产总值、人均生产总值、规模以上工业营业收入等 18 个数据为二级指标。这样就构建了由目标层、一级指标、二级指标组成的山东省国家创新型城市的创新竞争力评价指标体系(如表 1 所示)。

表 1 山东省国家创新型城市创新竞争力评价指标体系

| 目标层     | 一级指标           | 二级指标                | 变量标志 |
|---------|----------------|---------------------|------|
| 创新竞争力指数 | 创新绩效           | 高新技术企业数             | X1   |
|         |                | 高新技术产业产值            | X2   |
|         |                | 高新技术产业产值占规模以上工业产值比例 | X3   |
|         | 创新产出           | 发明专利申请数量            | X4   |
|         |                | 发明专利授权数量            | X5   |
|         |                | 科技著作                | X6   |
|         |                | 国家行业标准              | X7   |
|         |                | 科技论文                | X8   |
|         |                | 技术市场成交合同数量(输出技术)    | X9   |
|         | 创新投入           | 技术合同成交额(输出技术)       | X10  |
|         |                | R&D 经费支出 千元         | X11  |
|         |                | R&D 人员数量            | X12  |
|         |                | R&D 折合全时工作量         | X13  |
|         |                | 技术合同成交项数(吸纳技术)      | X14  |
|         | 技术合同成交金额(吸纳技术) | X15                 |      |
|         | 创新环境           | 地区生产总值              | X16  |
|         |                | 人均生产总值              | X17  |
|         |                | 规模以上工业营业收入          | X18  |

城市创新竞争力的强弱是多个创新要素综合联动和反馈作用的结果,根据《报告》的创新评价体系可知建设创新型城市必须把握好创新绩效、创新产出、创新投入和创新环境这四大创新要素的内在机制,这四个创新要素的优劣程度及组合状况最终体现在创新竞争力上,因为,创新竞争力是衡量一个城市创新水平高低的重要标准。为此,我们构建了四个创新要素之间的内在结构图(如图1)。从图1中可以看出,四个创新要素的发展促进着城市创新竞争力的发展,其创新竞争力主要表现在企业、高等院校和科研单位的创新能力上。另外,四个创新要素之间具有作用和反作用;创新环境和创新绩效体现的是城市创新软条件;创新环境和创新投入表现出了创新支撑作用;创新投入和创新产出体现了城市创新的硬条件;创新绩效和创新产出是城市创新竞争力的完美体现。

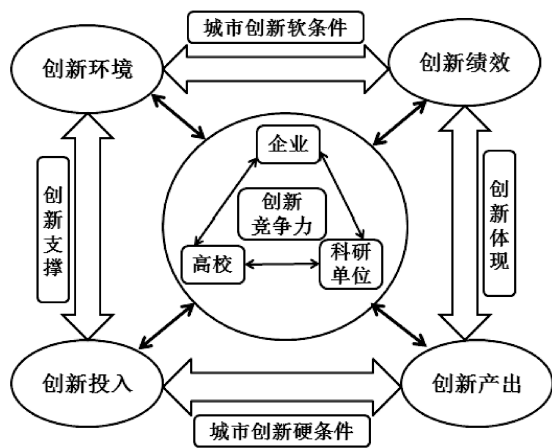


图1 四个创新要素的有机联系内在结构图

### 3 数据来源与评价方法

#### 3.1 主要数据来源

鉴于评价对象的可比性以及数据的可获取

性,本研究根据《中国区域创新能力评价报告2017》建立了城市创新能力评价指标体系,选取山东省6个国家创新型试点城市的指标数据作为分析对象。指标数据来源于《2017山东统计年鉴》和《2017山东科技年鉴》。

#### 3.2 主成分分析方法

影响城市创新竞争力的因素有很多,不仅涉及到经济、文化,同样涉及到城市资源、底蕴、历史、区位等,在分析城市创新竞争力时会处理很多指标数据,这些数据不仅庞大而且复杂,且指标数据之间存在一定的相关性,因此,选择主成分分析法。主成分分析法主要是利用降维思想,将多个反映研究对象各方面信息、具有相关性的指标,通过线性代数转换成几个简单具有代表性的指标,从中找出彼此相关性较差但可以代表原始变量数据的几个主成分,具体分析步骤参考文献<sup>[19]</sup>。

#### 3.3 集对分析方法

集对分析是由我国学者赵克勤提出的一种针对确定性和不确定性问题进行同异反定量分析的理论<sup>[20]</sup>。它的本质是将不确定以及模糊性的指标进行数据处理和辩证分析,转化成确定性的指标,是解决多目标决策、多属性评价的有效途径,已在评价、管理、预测和规划等研究领域得以广泛应用<sup>[21]</sup>。分析研究一个指标体系的评价是否科学合理,各指标权重是一个非常大的影响因素。权重是否能够反映指标的重要性,直接影响到整个评价体系的准确性<sup>[22]</sup>。在评价指标权重上,有主观赋权和客观赋权两种方法,本文避免了专家的主观因素,采用了

更加公正的信息熵权法，计算步骤参考文献<sup>[23]</sup>。

## 4 数据结果分析

### 4.1 软件分析

通过 SPSS 软件，对山东省 6 个国家创新型城市的 18 个指标因子进行主成分分析，分析了几个主成分的特征值、贡献率、累计贡献率、成分数和成分系数，同时还进行了聚类分析验证。

#### 4.1.1 主成分确定

从表 2 可知，特征根 > 1 的主成分有 3 个，

第一个主成分方差贡献率达到 67.133%，第二个主成分方差贡献率为 19.661%，第三个主成分方差贡献率为 6.416%，三个主成分累计方差贡献率达到了 93.21%，即反映了原有信息的 93.21%，按 85% 的标准来看，说明主成分因子的提取效果很好，基本保留了原来指标的信息，因此我们可以选取这 3 个主成分作为影响创新型城市创新竞争力的主要因素，这样由开始的 18 个指标数据转化为了 3 个新的指标。同时由图 2 主成分碎石图可知，从第 3 个特征值后的线性变化走势开始趋于平稳，验证了前面所取三个主成分是合适的。

表 2 解释的总方差

| 成份 | 初始特征值  |        |        | 提取平方和载入 |        |        | 提取平方和载入 |        |        |
|----|--------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|
|    | 合计     | 方差的 %  | 累积     | 合计      | 方差的 %  | 累积 %   | 合计      | 方差的 %  | 累积 %   |
| 1  | 12.084 | 67.133 | 67.133 | 12.084  | 67.133 | 67.133 | 11.924  | 66.247 | 66.247 |
| 2  | 3.539  | 19.661 | 86.794 | 3.539   | 19.661 | 86.794 | 3.656   | 20.312 | 86.560 |
| 3  | 1.155  | 6.416  | 93.210 | 1.155   | 6.416  | 93.210 | 1.197   | 6.651  | 93.210 |
| 4  | 0.730  | 4.058  | 97.268 |         |        |        |         |        |        |
| 5  | 0.492  | 2.732  | 100.00 |         |        |        |         |        |        |

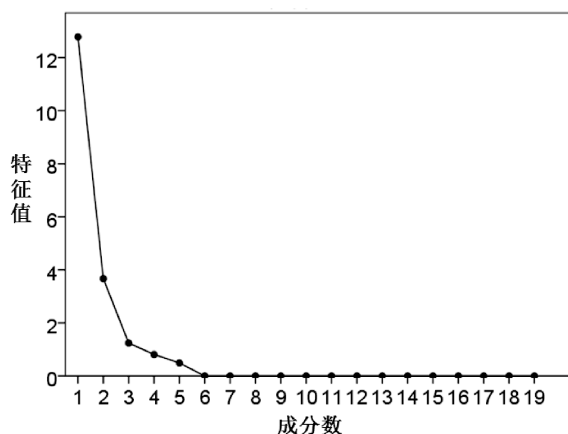


图 2 主成分碎石图

#### 4.1.2 主成分分析

经过后续分析，得到成分矩阵表，为了更加直观的看出 3 个主成分变量对应的原始指标，我们根据成分的载荷量大小进行排序、归类、重命名，新的指标  $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$  代替原来的 18 个指标，我们用这 3 个新的指标来评价山东省国家创新试点城市的创新竞争力，数据见表 3。

在第一主成分  $F_1$  中，主因子  $F_1$  与高新技术企业数、发明专利申请数量、发明专利授权数量、科技论文、技术市场成交合同数量（输

出技术)、技术合同成交额(输出技术)、R&D经费支出(千元)、R&D人员数量、R&D折合全时工作量、技术合同成交项数(吸纳技术)、技术合同成交金额(吸纳技术)、地区生产总值这12个指标具有较大的相关性,累积方差贡献率最大,为67.133%,反映的是城市综合经济发展情况,因此,将 $F_1$ 因子定义为综合经济因子;在第二个主成分 $F_2$ 中,主因子 $F_2$ 与高新技术产业产值、规模以上工业主营

业收入这2个指标相关性较大,其方差贡献率为19.661%,反映的是企业发展水平,因此,可以将 $F_2$ 因子定义为企业技术发展因子;在第三个主成分 $F_3$ 中,主因子 $F_3$ 只与人均生产总值具有较大相关性,反映的是城市经济发展水平,因此定义为城市经济发展水平因子,说明经济发展水平较高的城市,不仅可以带动本地企业的发展,还可以满足人民高水平的消费和生活,从而影响城市创新竞争力的评价<sup>[24]</sup>。

表3 成分矩阵

| 指标                  | 成份     |        |        |
|---------------------|--------|--------|--------|
|                     | $F_1$  | $F_2$  | $F_3$  |
| 高新技术企业数             | 0.958  | 0.141  | -0.150 |
| 高新技术产业产值            | 0.328  | 0.918  | 0.75   |
| 高新技术产业产值占规模以上工业产值比例 | -0.916 | 0.322  | -0.102 |
| 发明专利申请数量            | 0.940  | 0.266  | -0.070 |
| 发明专利授权数量            | 0.994  | 0.039  | 0.015  |
| 科技著作                | 0.603  | -0.223 | 0.182  |
| 国家行业标准              | 0.406  | -0.838 | 0.155  |
| 科技论文                | 0.973  | -0.132 | 0.113  |
| 技术市场成交合同数量(输出技术)    | 0.943  | -0.123 | -0.118 |
| 技术合同成交额(输出技术)       | 0.864  | 0.438  | -0.236 |
| R&D经费支出(千元)         | 0.976  | -0.050 | 0.078  |
| R&D人员数量             | 0.919  | -0.325 | 0.141  |
| R&D折合全时工作量          | 0.935  | -0.278 | 0.128  |
| 技术合同成交项数(吸纳技术)      | 0.949  | -0.197 | -0.110 |
| 技术合同成交金额(吸纳技术)      | 0.944  | 0.278  | 0.064  |
| 地区生产总值              | 0.873  | 0.384  | -0.245 |
| 人均生产总值              | 0.036  | 0.380  | 0.921  |
| 规模以上工业主营业务收入        | 0.106  | 0.962  | 0.071  |

#### 4.1.3 城市创新竞争力主成分综合评价

首先对18个原始指标数据进行标准化处理得到标准化数据,根据成分得分系数矩阵表(见

表4)中18个指标的得分系数,通过主因子得分方程,计算各主成分得分,通过综合得分进一步对主因子分析解释。3个主成分因子的得

分方程为:

$$Y_1=0.079X_1+0.27X_2-0.076X_3+0.078X_4+0.082X_5+0.05X_6+0.034X_7+0.08X_8+0.078X_9+0.072X_{10}+0.081X_{11}+0.076X_{12}+0.077X_{13}+0.079X_{14}+0.078X_{15}+0.072X_{16}+0.003X_{17}+0.009X_{18};$$

$$Y_2=0.04X_1+0.259X_2-0.091X_3+0.075X_4+0.011X_5-0.063X_6-0.237X_7-0.037X_8-0.035X_9+0.124X_{10}-0.014X_{11}-0.092X_{12}-0.081X_{13}-0.056X_{14}+0.078X_{15}+0.109X_{16}+0.107X_{17}+0.272X_{18};$$

$$Y_3=-0.13X_1+0.65X_2-0.088X_3+-0.061X_4+0.013X_5+0.157X_6+0.134X_7+0.098X_8-0.102X_9-0.204X_{10}+0.068X_{11}+0.122X_{12}+0.111X_{13}-0.095X_{14}+0.056X_{15}-0.212X_{16}+0.798X_{17}+0.061X_{18}。$$

$X_1、X_2、X_3\cdots X_{18}$  为标准化处理后的数据,  $Y_1、Y_2、Y_3$  为各主成分得分。若设  $S$  为国家创新型城市综合指标得分,  $W_i$  为各主成分的权重, 则城市创新竞争力主成分综合得分公式为:  $S=W_1Y_1+W_2Y_2+W_3Y_3$ ,  $W_i=\frac{\gamma_i}{\gamma_1+\gamma_2+\gamma_3}$ , 其中  $\gamma_i (i=1, 2, 3)$ , 表示第  $i$  主成分的权重<sup>[25]</sup>。从表 2 中可以计算出三个主成分的权重分别为:  $W_1=0.72, W_2=0.21, W_3=0.07$ , 根据以上公式计算可得 6 个国家创新城市的创新竞争力指数综合得分、各主成分排名及城市综合得分排名(见表 5)。从表 4 中可以

分析得出, 山东省 6 个国家级创新城市竞争力水平差异较大, 青岛和济南为最先进入的国家创新型城市, 青岛位于第一位, 综合得分最高为 1.408, 济南位于第二位, 综合得分为 0.585, 除了青岛和济南, 其余 4 个国家创新型城市其综合得分都为负数, 创新竞争力综合排名为青岛 > 济南 > 烟台 > 潍坊 > 东营 > 济宁。

表 4 成分得分系数矩阵

| 指标 | 成份     |        |        |
|----|--------|--------|--------|
|    | 1      | 2      | 3      |
| 1  | 0.079  | 0.040  | -0.130 |
| 2  | 0.027  | 0.259  | 0.65   |
| 3  | -0.076 | 0.091  | -0.088 |
| 4  | 0.078  | 0.075  | -0.061 |
| 5  | 0.082  | 0.011  | 0.013  |
| 6  | 0.050  | -0.063 | 0.157  |
| 7  | 0.034  | -0.237 | 0.134  |
| 8  | 0.080  | -0.037 | 0.098  |
| 9  | 0.078  | -0.035 | -0.102 |
| 10 | 0.072  | 0.124  | -0.204 |
| 11 | 0.081  | -0.014 | 0.068  |
| 12 | 0.076  | -0.092 | 0.122  |
| 13 | 0.077  | -0.081 | 0.111  |
| 14 | 0.079  | -0.056 | -0.095 |
| 15 | 0.078  | 0.078  | 0.056  |
| 16 | 0.072  | 0.109  | -0.212 |
| 17 | 0.003  | 0.107  | 0.798  |
| 18 | 0.009  | 0.272  | 0.061  |

表 5 国家创新型城市指标得分及综合得分排名

| 城市 | $Y_1$ 得分 | $Y_2$ 得分 | $Y_3$ 得分 | $S$ 综合得分 | 排名 |
|----|----------|----------|----------|----------|----|
| 济南 | 0.947    | -0.444   | -0.047   | 0.58531  | 2  |
| 青岛 | 1.529    | 1.002    | 1.383    | 1.40811  | 1  |
| 烟台 | -0.416   | 0.878    | 0.236    | -0.09862 | 3  |
| 济宁 | -0.830   | -0.797   | -1.643   | -0.87998 | 6  |
| 潍坊 | -0.343   | 0.146    | -0.943   | -0.28231 | 4  |
| 东营 | -0.886   | 0.336    | 1.76     | -0.44416 | 5  |



#### 4.1.4 聚类分析验证

为了验证主成分因子分析的合理性，我们进一步利用 SPSS 软件再对选定的 3 个主成分得分进行聚类分析，本次聚类采用系统聚类法，距离测度采用平方 Euclidean 距离，得到系统聚类分析图（见图 3）。

从聚类分析图中可以看出，6 个城市根据创新竞争力可分为 3 类，青岛和济南城市创新力强的城市分为第一类，东营、潍坊、烟台创新竞争力一般的城市归为第二类，济宁创新竞争力较弱的城市另归为第三类。通过聚类分析图验证了前面主成分因子分析的合理性。

力评价指标体系以及获取的二级指标原始数据，利用集对分析评价法，信息熵值法计算 6 个城市的创新竞争力的一级指标和二级指标权重，结果如表 6，并进一步分析得出国家创新城市

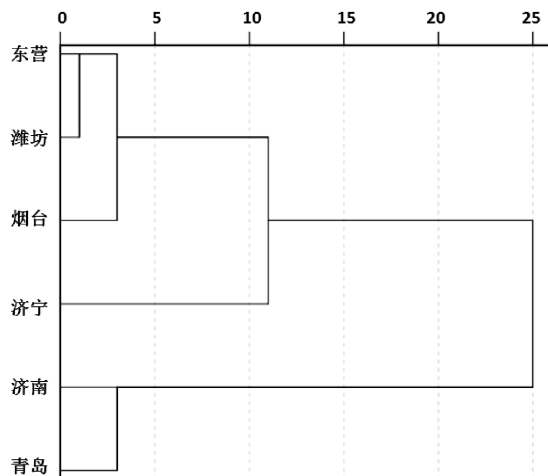


图 3 六个国家创新型城市聚类分析

#### 4.2 集对分析

通过构建的山东省国家创新城市创新竞争

表 6 基于集对分析的国家创新城市竞争力评价指标体系权重

| 目标层   | 一级指标 | 权重     | 二级指标                | 变量标志 | 权重     |
|-------|------|--------|---------------------|------|--------|
| 创新竞争力 | 创新绩效 | 0.2106 | 高新技术企业数             | X1   | 0.3504 |
|       |      |        | 高新技术产业产值            | X2   | 0.3751 |
|       |      |        | 高新技术产业产值占规模以上工业产值比例 | X3   | 0.2745 |
|       | 创新产出 | 0.3497 | 发明专利申请数量            | X4   | 0.1181 |
|       |      |        | 发明专利授权数量            | X5   | 0.2179 |
|       |      |        | 科技著作                | X6   | 0.0989 |
|       |      |        | 国家行业标准              | X7   | 0.0000 |
|       |      |        | 科技论文                | X8   | 0.2002 |
|       |      |        | 技术市场成交合同数量（输出技术）    | X9   | 0.1596 |
|       |      |        | 技术合同成交额（输出技术）       | X10  | 0.2053 |
|       | 创新投入 | 0.3168 | R&D 经费支出 千元         | X11  | 0.2295 |
|       |      |        | R&D 人员数量            | X12  | 0.1856 |
|       |      |        | R&D 折合全时工作量         | X13  | 0.1944 |
|       |      |        | 技术合同成交项数（吸纳技术）      | X14  | 0.1907 |
|       |      |        | 技术合同成交金额（吸纳技术）      | X15  | 0.1998 |
|       | 创新环境 | 0.1229 | 地区生产总值              | X16  | 0.2856 |
|       |      |        | 人均生产总值              | X17  | 0.3198 |
|       |      |        | 规模以上工业主营业务收入        | X18  | 0.3946 |

竞争力评价综合得分和排序见下表 7。从表 6 可以看出，一级指标的权重创新产出 > 创新投入 > 创新绩效 > 创新环境，可见创新产出和创新投入更能体现出一个城市的创新竞争力。从表 7 的综合得分结果分析，青岛的综合得分最高为 0.865，济南综合得分为 0.747，这 2 个城市的综合得分远大于其余 4 个城市的综合得分，可见青岛、济南的城市创新竞争力远强于其他城市。潍坊和东营为 2018 年新进入的国家创新型试点城市，其综合得分已经超过了济宁，略低于烟台市。通过集对分析得出的山东省 6 个国家创新型城市综合得分排名同主成分分析得出的排名一样，进一步验证了主成分分析法和集对分析法这两种方法对城市创新竞争力的评价的合理性。

表 7 基于集对分析的国家创新城市竞争力评价综合得分和排名

| 城市 | 综合得分  | 排名 |
|----|-------|----|
| 济南 | 0.747 | 2  |
| 青岛 | 0.865 | 1  |
| 烟台 | 0.523 | 3  |
| 济宁 | 0.258 | 6  |
| 潍坊 | 0.427 | 4  |
| 东营 | 0.369 | 5  |

## 5 山东省国家创新型城市竞争力比较评价综合分析

综合两种评价方法对山东省国家创新型城市创新竞争力进行评价分析，两种评价方法其结果相同。总体来看，这 6 个国家创新型城市的创新竞争力综合排名基本上符合山东省城市

创新竞争力的实际情况。根据主成分分析、聚类分析和集对分析方法的综合得分，山东省 6 个国家创新型城市创新竞争力可以分为三类。

第一类：青岛和济南，其创新竞争力最强，在新转化的 3 个主成分指标中，青岛在综合经济因子  $F_1$  和企业技术发展因子  $F_2$  中，得分位居首位，在城市经济发展水平因子  $F_3$  中，略低于东营市，由此可见，青岛市的创新竞争力在山东省的顶尖地位，具有很强的创新竞争力。济南市在综合经济因子  $F_1$  中得分仅低于青岛市，而在企业技术发展因子  $F_2$  和城市经济发展水平因子  $F_3$  中得分都较低，综合得分排第二位，虽然与青岛市综合得分差距较大，但与其余 4 个国家创新型城市相比还是具有非常大的优势。从综合经济因子分析青岛市排第一，济南市排第二，这与青岛市的特殊地理位置和济南市为省会城市是密不可分的，同时这个两个城市的高校和国家级科研院所众多也是体现创新竞争力的重要原因。另外，政府的重视程度也很大程度上影响着城市的创新竞争力，2017 年山东省政府公布关于《山东省创新型省份建设实施方案》和 2018 年印发的《山东省创新型省份建设实施方案》都明确要求要将山东率先建设成创新型省份，这两个方案都提出要将青岛、济南建设成具有重要影响的区域科技创新中心，形成创新型省份建设的核心支撑力量，以这两个区域科技创新中心为中心点辐射带动全省创新发展。

第二类：潍坊、东营、烟台，其创新竞争力一般，东营、潍坊、烟台为山东半岛蓝色经济区的主要城市，同样是青岛市区域科技创新中心辐射带动城市，三个城市的综合经济因子

$F_1$  得分都为负数, 排名为潍坊 > 烟台 > 东营; 在企业技术发展因子得分都为正数, 具体排名烟台 > 东营 > 潍坊; 在城市经济发展水平因子上, 其排名为烟台 > 潍坊 > 东营, 可见三个城市在三个主成分得分上各有优势, 创新能力分布具有一点的空间差异。潍坊和东营为 2018 年新进入的国家创新型试点城市。2017 年潍坊市以深化科技体制改革为动力, 以推动科技成果转移转化为主线, 以及一系列的创新发展战略, 重视科技创新投入, 高新技术企业数量增加迅速, 在最新的中国城市发展研究会“中国城市创新能力”, 在全国地级市创新能力排名由 2012 年的第 32 位提升到第 7 位。东营市坚持科技面向经济社会发展的导向, 区域创新竞争力不断提高, 以建设幸福美丽新东营为奋斗目标, 在城市经济发展水平因子上  $F_3$  得分上, 位居首位, 得分达到 1.76, 这可能与东营市的规模以上工业结构简单相关, 其主要集中在橡胶和塑料制品业、石油加工和化学制品制造业上, 东营生产的轮胎产能占到全国的四分之一, 且是全国最大的石油装备生产基地, 产业专业性强, 城市经济发展较为便利和专业。潍坊和东营作为山东城市发展的后起之秀, 对科技创新投入重视程度较大, 但是其科技创新竞争力还有待进一步提高。烟台市在三个主成分因子中得分较均匀, 皆处于中间位置, 其综合得分低于青岛和济南, 位居第三位, 科技创新竞争力高于潍坊和东营, 2016 年烟台市规模以上高新技术产业实现产值 7011.95 亿元, 略微低于青岛市, 位于全省第二, 可见烟台市在科技创新产出方面比较突出。

第三类: 济宁市, 从主成分因子综合得分

和集对分析综合得分上看, 济宁市城市创新竞争都弱于其他城市。其主成分综合经济因子  $F_1$  得分较低, 仅略高于东营市, 而其余两个主因子企业技术发展因子  $F_2$  得分和城市经济发展水平因子  $F_3$  得分, 都是处于最低值。济宁市的高新技术产业产值甚至还不到 2000 亿, 为 6 个国家创新型城市最低, 在本次研究选取的 18 个指标体系里, 济宁市有 7 个指标值为最低, 6 个指标为第二低, 可见, 影响济宁市城市创新竞争力的因素有很多。济宁市虽属于济南市区域科技创新中心的辐射带动城市, 然而其地理位置偏远, 带动作用较弱。济宁市一方面没有其他国家创新型城市的优越地理位置, 另一方面加上政府的扶持力度弱于其他城市, 从而导致济宁市的城市创新竞争力较弱。

## 6 主要结论与建议

### 6.1 评价方法的可靠性

仅靠单一的评价方法来分析国家创新型城市创新竞争力难以得到可靠的评价结果。本文首先通过主成分分析来对 18 个指标进行降维处理, 获得 3 个主成分因子即综合经济因子  $F_1$ 、企业技术发展因子  $F_2$ 、城市经济发展水平因子  $F_3$ , 再通过聚类分析进行验证主成分评价结果, 最后再通过集对分析, 采用信息熵值法对评价要素和评价指标进行赋权, 确定各一级指标和二级指标的权重, 再计算综合得分, 最后比较得出两种分析评价方法得到了相同的结果。解决了单一的评价方法的弱势和主观评价法带来的主观差异, 而导致出现评价结果不一致的问题。

## 6.2 评价指标体系的合理性

对城市创新竞争力评价研究的相关文献很多,评价方案也多种多样,但创新绩效、创新产出、创新投入以及创新环境仍然是衡量城市或区域创新竞争力最为主要的几个指标。同时,这个几个指标体系也是《中国区域创新能力评价报告 2017》中衡量创新的基础指标,这 4 个方面的指标都从存量、相对水平和增长率 3 个维度分别反映了城市创新的实力、效率和潜力。考虑到山东省 6 个国家创新型城市之间的经济差距,以及影响城市创新竞争力的因素和评价指标体系庞大,因此,尽量选取了创新绩效、创新产出、创新投入和创新环境这 4 个相对指标,一方面降低了指标对各城市规模的敏感程度,另一方面便于评价和分析各层次的城市创新竞争力,对指标体系进行二级层次划分,以此增强指标的可比性。所建立的评价指标体系并不是单纯的评出创新能力排名,而是要从二级指标中看出竞争力差距,引导和鼓励各市向提高创新能力的方向和目标发展,重视关键要素和瓶颈要素,从而确定攻破重点,提高创新能力。

本文应用主成分分析法和集对分析法对山东省六个国家级创新型城市创新竞争力进行了综合评价。通过两种评价方法得出的综合排名,完全一致。将 6 个国家创新型城市归为三类:青岛和济南创新竞争力最强,处于领先地位,是山东省的两个区域科技创新中心;潍坊、东营、烟台创新竞争力一般,这三个城市都处于山东蓝色经济区科技创新型城市中,创新潜力较大;济宁市城市创新竞争力较弱。从所选取的 18 个二级指标分析看,基本上符合山东省城市创新竞争力的实际情况。从两种评价方法的综合得

分看,该评价指标体系都适合用于城市创新竞争力评价,可见,该评价指标体系具有一定的合理性。

## 6.3 影响创新竞争力指标体系之间的关系

创新是打开经济增长之锁的“钥匙”,城市创新体系综合能力是城市创新体系中所有要素和行为主体有机组合的总体能力,主要表现为城市创新体系的整体协调和整合能力。影响城市创新竞争力的指标体系主要包括创新环境、创新绩效、创新投入和创新产出。创新环境是创新活动的内在驱动力,是衡量城市经济发展水平和基础设施完善程度的能力,良好的创新环境为企业、高校、科研单位等创新人才施展创新活动提供平台,为创新绩效提供创新环境软条件,并协调和整合城市各种创新功能。只有良好的创新环境才会有更多的创新机会和创新投入,为社会更多的创新资金、技术投入提供支撑。创新绩效是一切创新行动的体现物,是企业、高校、科研单位等创新主体通过创新活动为社会提供创新产品、创新技术、科研成果转化等创新产出。创新投入是驱动一个城市科技创新力发展提升的核心动力,是科技进步的物质基础和重要前提,是直接推动科技进步的主要动力,是经济增长不可或缺的重要因素之一,只有加大创新投入,才会有更好的创新环境,创新主体的创新活动才会更加具有活力,为城市创新提供硬条件。创新产出是一个城市创新竞争力的外在表现,是衡量一个城市创新能力的重要指标,随着创新环境的优化,创新投入的加大,城市有着更好的创新平台,创新产出能力才会不断提高,创新绩效才会显著增

强。总之，提高城市创新竞争力离不开创新环境、创新绩效、创新投入和创新产出四个方面，同样离不开企业、高校和科研单位等创新主体的创新活动。四个指标体系与创新主体共同形成五位一体，缺少任何一个环节或者某个环节没有及时跟上创新步伐，都无法体现出城市的创新竞争力。

#### 6.4 提高城市创新竞争力的建议

提高城市创新竞争力是一个复杂的系统工程问题，不是简单的资金投入就可以获得好的结果。首先，不同的城市在提高自主创新竞争力时，不仅要明确影响城市创新竞争力的创新要素，还要协调好各创新要素之间的关系，保证其全面发展。可以根据本文的评价结果的综合得分，协调统筹好创新绩效、创新投入、创新产出、创新环境的发展，这四个创新要素是维持城市持续创新能力的基础，重视了这四个创新要素，就可以长期保持城市的创新竞争力。其次，每一个城市都有自己独特的优势和劣势，需要扬长避短，将优势发挥出来，同时尽量降低自己的劣势。不同的城市要根据自己实际的创新资源和创新要素，从城市的优势产业和战略性新兴产业出发，充分发挥城市创新载体的基础研究与创新应用研究，一方面加大创新资金的投入，同时注重创新成果的转化，发挥高新技术产业在城市创新过程中的带头效应。再次，完善创新型城市建设工作，加大科技计划项目投入和科技奖励，重点要加强企业的创新主体地位，增加企业的资金研发投入，同时还要提高高等院校、科研院所和工程技术研究中心等的建设工作，对创新性好的研究项目要加

大财政拨款力度，坚持一手抓企业的创新地位，一手抓科研单位的创新投入和产出，提高科技成果转化效率。

#### 参考文献

- [1] 章文光, 李伟. 创新型城市创新效率评价与投入冗余分析 [J]. 科技进步与对策, 2017, 34(6): 122-126.
- [2] 邹燕. 创新型城市评价指标体系与国内重点城市创新能力结构研究 [J]. 管理评论, 2012, 24(6): 50-57.
- [3] 王育新. 基于产业集群的高新区竞争力评价及发展研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2010.
- [4] 李琳, 韩宝龙, 李祖辉, 等. 创新型城市竞争力评价指标体系及实证研究——基于长沙与东部主要城市的比较分析 [J]. 经济地理, 2011, 31(2): 224-229+236.
- [5] 王保乾, 罗伟峰. 国家创新型城市创新绩效评估——以长三角地区为例 [J]. 城市问题, 2018(1): 34-40.
- [6] 魏先彪. 基于创新链的国家创新型城市发展模式与评估研究 [D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2017.
- [7] 方创琳, 马海涛, 王振波, 等. 中国创新型城市建设的综合评估与空间格局分异 [J]. 地理学报, 2014, 69(4): 459-473.
- [8] 张剑, 吕丽, 宋琦, 等. 国家战略引领下的我国创新型城市研究: 模式、路径与评价 [J]. 城市发展研究, 2017, 24(9): 49-56.
- [9] Landry C. The creative city; A toolkit for urban innovators, 1st ed [M]. London: Earth scan Publications Ltd., 2000.
- [10] Florida R. The rise of the creative class and how it's transforming work, life, community and everyday life [M]. New York: Basic Book, 2002.
- [11] Pinto H, Guerreiro J. Innovation regional planning and latent dimensions: the case of the Algarle region [J]. Annals of Regional Science, 2010, 44(2): 315-329.
- [12] Erkkö A. Evaluation of RTD in regional systems of innovation [J]. European Planning Studies, 1998,

- 6(2): 131-140.
- [13] 赵黎明,冷晓明.城市创新系统[M].天津:天津大学出版社,2002.
- [14] 苏晨青,解佳龙,胡树华.基于突变级数法的长江中游城市群高新区创新能力评价研究[J].价值工程,2018,37(12): 234-237.
- [15] 黄亮,王振,范斐.基于突变级数模型的长江经济带50座城市科技创新能力测度与分析[J].统计与信息论坛,2017,32(4): 73-80.
- [16] 李庆军,王霞,潘云文,等.基于因子分析的山东区域创新能力评价研究[J].科学与管理,2017,37(6): 32-37.
- [17] 李世泰,赵亚萍,张喆.山东半岛城市群创新能力评价研究[J].地域研究与开发,2012,31(4): 64-68.
- [18] 隋艳颖.创新驱动发展战略下城市创新能力比较研究——以一线城市为例[J].首都经济贸易大学学报,2018,20(1): 69-79.
- [19] 赵自阳,李王成,王霞,等.基于主成分分析和因子分析的宁夏水资源承载力研究[J].水文,2017,37(2): 64-72.
- [20] 赵克勤.集对分析对不确定性的描述和处理[J].信息与控制,1995(3): 162-166.
- [21] 吴姗姗,张凤成,曹可.基于集对分析和主成分分析的中国沿海省海洋产业竞争力评价[J].资源科学,2014,36(11): 2386-2391.
- [22] 傅为忠,赵冉.基于集对分析和信息熵权法的中部六省区域自主创新能力评价研究[J].科技和产业,2015,15(2): 9-16.
- [23] 陈明星,陆大道,张华.中国城市化水平的综合测度及其动力因子分析[J].地理学报,2009,64(4): 387-398.
- [24] 张立新,崔丽杰.基于非整秩次WRSR的市域科技人才生态环境评价研究——以山东省17地市为例[J].科技管理研究,2016,36(2): 83-87.
- [25] 赵文娟,寿建敏.基于主成分分析的我国主要沿海港口竞争力评价[J].发展改革理论与实践,2018(3): 38-43+7.