

基于熵权-TOPSIS的京津冀科技创新能力与能源消耗关系研究

刘美辰¹, 王丹婷^{1*}, 邢继丹², 杨文博²

¹河北工程大学数理科学与工程学院, 河北 邯郸

²河北工程大学材料科学与工程学院, 河北 邯郸

收稿日期: 2023年5月25日; 录用日期: 2023年6月15日; 发布日期: 2023年6月27日

摘要

减少能源的消耗与排放是十四五规划中的目标, 科技创新是减少能源消耗与排放的基础。本文针对京津冀规模以上工业企业, 围绕科技创新投入与产出, 建立了科技创新指标体系。从R&D构成、企业办研发机构、技术获取或技术改造、新产品开发生产及销售和研发产出5个方面, 对京津冀科技创新能力进行研究。利用熵权-TOPSIS法, 并结合能源统计指标进行实证分析, 最终得出京津冀科技创新能力与能源消耗的关系。

关键词

科技创新, 能源消耗, 熵权-TOPSIS, 皮尔逊相关系数

Research on the Relationship between Scientific and Technological Innovation Ability and Energy Consumption in Beijing-Tianjin-Hebei Region Based on Entropy Weight-TOPSIS

Meichen Liu¹, Danting Wang^{1*}, Jidan Xing², Wenbo Yang²

¹School of Mathematical Science and Engineering, Hebei University of Engineering, Handan Hebei

*通讯作者。

文章引用: 刘美辰, 王丹婷, 邢继丹, 杨文博. 基于熵权-TOPSIS 的京津冀科技创新能力与能源消耗关系研究[J]. 统计学与应用, 2023, 12(3): 778-788. DOI: 10.12677/sa.2023.123081

²School of Materials Science and Engineering, Hebei University of Engineering, Handan Hebei

Received: May 25th, 2023; accepted: Jun. 15th, 2023; published: Jun. 27th, 2023

Abstract

Reducing energy consumption and emissions is the goal of the 14th Five-Year Plan, and technological innovation is the foundation for reducing energy consumption and emissions. This article establishes a technology innovation indicator system for industrial enterprises above designated size in the Beijing-Tianjin-Hebei region, focusing on the input and output of technology innovation. Conduct research on the technological innovation capability of Beijing-Tianjin-Hebei from five aspects: R&D composition, enterprise R&D institutions, technology acquisition or transformation, new product development, production and sales, and R&D output. Using the entropy weight TOPSIS method, and combined with the energy statistical indicators, the empirical analysis is carried out, and finally the relationship between Beijing-Tianjin-Hebei scientific and technological innovation capability and energy consumption is obtained.

Keywords

Technological Innovation, Energy Consumption, Entropy Weight TOPSIS, Pearson Correlation Coefficient

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

目前, 我国的经济增长模式正由低质高速的增长方式向高质量高效率的增长方式进行着转变, 转变过程中不断对发展方式、经济结构与发展动力源进行着优化与改善, 使之可以更加高效地进行转向发展。为了完成我国的经济增长模式的转变, 科技和创新成为了引领新时代发展的第一动力, 为国家、民族与社会的发展指引着方向。

第19届三中全会的报告提出, 我国目前要以完善科技创新体制机制为目标, 加快建设创新型国家, 并大力弘扬科学创新与工匠精神。通过对不断的培养创新型人才, 促进人才发展, 为国家建设提供人力保证。为增强国家战略科技力量, 以政府为主导建立国家实验室, 通过对基础科学的资金投入增加来激活我国科研领域与社会企业对基础科研与科研创新的动力。增强企业的领头羊作用, 以市场导向为风向, 使得产业能够与学术进行深度结合, 增加学术向产业落地转化的效果。创建完善的科研创新激励体制, 大力促进科研创新发展。通过支持社会各类主体的融通创新激励奖励机制, 大力提高科研成果向产业成果的转化效率。通过挖掘高质量, 高标准要求, 促使我国企业产业的现代化, 新型化水平。

十四五规划指出, 我国到2035年将基本实现社会主义现代化, 通过关键技术的突破以及世界性难题的攻关, 成为在世界排名前列的现代化创新性国家; 保护生态, 实现绿色可持续发展; 生产方式也将向高效能, 低污染的方向转变; 我国今后每单位的生产总值能源消耗与CO₂的排放量均有13.5%与18%的下降, 污染物的排放也将持续减少, 实现环境与能源的可持续性发展。

2. 发展现状

2.1. 我国能源现状

2.1.1. 我国能源市场供不应求

21 世纪以来, 伴随着我国经济快速地发展, 能源消费总量也一直保持着较高的增速。虽然总体形势还属于宽松状态, 但随着能源需求的不断扩大, 局部地区、局部时段还有供应偏紧情况发生, 我国能源生产量不足的问题逐渐凸显。尤其是全国碳市场的正式启动和北方冬季的正式供暖, 由于煤价太高与能耗“双控”的约束, 多地推出了拉闸限电政策, 也让居高不下的煤炭价格进一步提高, 使得燃煤电厂不得不亏本运行, 甚至停产。

2.1.2. 现有能源消费结构存在不合理情况, 整体利用率较低^[1]

我国目前能源消费结构以煤炭为主, 其次为石油, 天然气、风能、核能等清洁能源占比很低, 说明我国能源结构亟待优化。尽管 2021 年我国煤炭的消费率有大幅度的下降, 但依旧占能源消耗总量的 56%, 主要污染物排放量已经超过环境承载能力, 空气污染严重, 生态破坏呈加剧之势。

自改革开放以来, 我国能源资源利用效率有所提高, 但与国外相比我国大量大宗产品生产线与生产企业仍在使用能耗较高的生产方式与设备, 导致我国的整体能源利用率处于一个较低的水平。

2.1.3. 我国新能源发展前景广阔

目前, 我国虽然在技术上与国际先进水平存在着较大的差距, 但是可再生能源的发展迅猛。可再生能源的增长主要集中在光伏和风能等清洁能源, 并且正在进一步完善以电力为中心的终端能源供给结构。这样的结构具有清洁、高效率并且方便的特点, 并且主要依靠各类清洁发电技术的快速发展与更清洁的利用方式, 会减少不可再生能源对于环境的污染。我国出台了一系列的政策, 为了推动新能源的发展。在政策的促进下, 可再生能源技术的专利申请量居于世界前列, 通过技术创新来整合可再生能源价值链中的高附加值部分, 在带动能源相关制造产业发展。

2.2. 京津冀发展现状

北京市、天津市、河北省是全国科技综合实力最强的区域, 拥有多所重点高校与研究机构, 其高素质人才的密集程度也远超其它地区。这些因素使得京津冀地区拥有高水平的科技创新能力, 并产出了丰富的知识创新成果。但是, 由于三地的行政区划不同, 导致科技创新要素的分布严重不均衡, 使得科技创新成果的转化率低, 阻碍了京津冀科技创新的协同发展。

为解决上述问题, 通过制定京津冀协同发展的国家战略来尝试解决。并且为了解决京津冀内部发展不协调问题, 习总书记特别提出京津冀协同发展的详细策略与方针, 其中京津冀要通过协同创新来刺激协同发展, 让协同创新成为发展的核心与任务。自提出京津冀协同发展以来, 三地在经济总量和社会发展方面均取得了明显的进步。

通过将北京市的产业外移, 减少北京市的非首都必须的功能, 降低交通、环境等方面的压力, 同时拉动周边省份协同发展, 合理的优化经济结构。同时, 为了进一步促进京津冀间的交流与合作, 建立了完善的交通综合网络, 基本形成了新的京津冀网络化综合运输通道格局——“四横、四纵、一环”。为保护生态环境, 京津冀三地在多方面展开合作, 在环境污染治理与生态协同共治方面有明显的效果。

3. 相关研究及思路

3.1. 文献综述

针对不同省市科技创新能力与能源消耗关系的问题上, 均有不少学者对其进行了多方位的研究。

陈艳华(2017) [2]针对我国的东部、中部、西部与东北部四大地区,从关于科技创新的四个方面,构建了关于区域科技创新能力的综合指标评价体系,并结合数据进行实证分析,为未来的发展提出了相应的对策建议。

王震等(2021) [3]通针对河北省的经济发展情况,构建了关于科技创新协调关系的耦合指标评价指标体系。结合相关数据,研究发现近年来河北省的科技创新与经济耦合度一直处于高度耦合,并逐年上升;但从协调度来看科技创新滞后于经济增长。

石雪梅等(2014) [4]针对安徽省、全国以及上海市,进行了单位地区 GDP 能耗与三次产业结构关系分析。在其所研究的地区中发现国民生产总值每单位所消耗电量与当地的产业结构之间直接存在着向关联性。而且在所有产业类型中,只有当第二产业更加占比高时,整体的单位综合电源消耗都会有所下降。

沈梦涵等(2020) [5]通过构建经济增长这一需求对整体能源依赖度的研究,发现两者并非简单地线性关系,整体趋势多有波动,对于非清洁的能源总体表现出先上升后下滑的趋势;而对于清洁能源则表现先波动后上升的不同情况。

司增焯(2010) [6]通过考察单位 GDP 的耗电量来研究电力消耗的能力与该地区经济发展之间的关系。电力消耗越大,不能表明该地区经济发展好,但该地区经济发展好,电力消耗的 GDP 一定大。例如,西部地区的重工业发达,而重工业电力消耗 GDP 大,但西部地区的经济发展稍差。

蔡郁文,刘灿(2018) [7]主要研究全球主要国家科技论文的发表量与科研投入的比较分析,发达国家的科技论文的产出高,影响因子大,象征着这些国家在各个领域的强项。近几年,中国越来越重视科技投入与产出比,中国重视科技发展,将促进中国经济乃至世界经济的发展。

3.2. 本文思路

在现有文献中,虽然有很多学者已经对于科技创新与能源消耗的进行了深入的研究,但多为单独研究区域科技创新能力,或将经济发展与科技创新、能源消耗相结合。本文基于京津冀协同发展的背景下,创新性的利用熵权-TOPSIS 法,研究了区域科技创新能力与能源消耗间的关系。

4. 指标体系构建

4.1. 能源统计指标[8]

“克强指数[9]”是李克强总理于 2007 年对东北某省份进行经济分析而得出来的指数。本文参照“克强指数”并结合有关文献,选取了“万元地区生产总值能耗”、“能源消费总量增速”和“万元地区生产总值电耗”三个能源统计指标。

1) 万元地区生产总值能耗

即为本地区能源消费总量除以每万元地区生产总值。

$$X_1 = \left(\frac{\text{本年能源消费总量}/\text{本年 GDP}}{\text{上年能源消费总量}/\text{上年 GDP}} - 1 \right) * 100\% \quad (1)$$

2) 能源消费总量增速

能源消费总量是指某一特定时间某一地区国民经济中不同行业和家庭消耗的不同数量的能源,是一个跟踪能源消耗水平、组成和增长率的总指数。

$$X_2 = \left(\frac{\text{本年能源消费总量}}{\text{上年能源消费总量}} - 1 \right) * 100\% \quad (2)$$

3) 万元地区生产总值电耗上升或下降($\pm\%$)

即可理解为每万元地区生产总值所消费的电力。

$$X_3 = \left(\frac{\text{本年全社会用电量/本年 GDP}}{\text{上年全社会用电量/上年 GDP}} - 1 \right) * 100\% \quad (3)$$

4.2. 京津冀科技创新指标体系

4.2.1. 指标体系构建依据

本文的研究主题是京津冀的科技创新能力，主要以京津冀的规模以上的工业企业为研究对象，通过创新投入与科技产出两方面数据为研究口，结合有关文献，针对京津冀三地，建立了科技创新指标体系，主要涵盖了2个一级指标——科技创新投入与科技创新产出，5个二级指标为“R&D构成”、“企业办研发机构”、“技术获取或技术改造”、“新产品开发生产及销售”和“研发产出”，以及相关的19个三级指标，具体见表1：京津冀科技创新指标体系。

Table 1. Beijing-Tianjin-Hebei science and technology innovation index system

表 1. 京津冀科技创新指标体系

一级指标	二级指标	三级指标	单位	符号
科技 创新 投入	R&D 构成	R&D 人员	(人)	A ₁
		R&D 人员折合全时当量合计	(人年)	A ₂
		R&D 经费内部支出	(万元)	A ₃
		R&D 经费外部支出	(万元)	A ₄
		机构数	(人)	A ₅
	企业办 研发机构	机构人员	(人年)	A ₆
		机构经费支出	(万元)	A ₇
		机构仪器设备	(万元)	A ₈
		引进境外技术经费支出	(万元)	A ₉
		消化吸收经费支出	(万元)	A ₁₀
		购买境内技术经费支出	(万元)	A ₁₁
		技术改造经费支出	(万元)	A ₁₂
科技 创新 产出	新产品开发 生产及销售	新产品开发项目数	(项)	A ₁₃
		新产品开发经费支出	(万元)	A ₁₄
		新产品出口收入	(万元)	A ₁₅
		新产品销售收入	(万元)	A ₁₆
	研发产出	专利申请数	(件)	A ₁₇
		发明专利	(件)	A ₁₈
		有效发明专利	(件)	A ₁₉

4.2.2. 指标的解释

1) “R&D 构成”，即研究与开发，指一种有组织的，且能在科学技术领域为创造新技术的创新性活动，由四个三级指标构成。主要包括了对于基础知识的研究、实际应用研究与试验研发三类活动。从

国家层面来看,科技的研究与开发水平体现着该国的政治经济实力;从企业层面来看,科技的研究与开发水平体现着企业的核心竞争力。

2)“企业办研发机构”由四个三级指标构成。企业办研发机构是指由企业运营的技术中心、研究机构、开发中心、开发部门、研究所、试点研讨会等管理生产系统相对独立(或者与其它单位联合运营)。企业研发机构是企业技术创新的重要平台,可以提高企业技术创新能力,促进企业与大学之间的研究和技术合作,为企业产品再生和大规模生产提供技术支持,加强研发,加强科技成果和变革研发。

3)“技术获取或技术改造”由四个三级指标构成。技术获取或技术改造反映了企业对现有设备和生产流程条件的变革,以改善经济效益,提高产品质量。技术变革不同于现有的外部技术、模仿和创新水平上的技术吸收,以促进产业结构现代化水平、公司生产效率的提高以及对结构产生重大影响的优化和现代化。

4)“新产品开发生产及销售”由四个三级指标构成。新产品的开发是企业发展中重要的一部分,是企业根据市场的需求对产品进行设计,直至产品投入销售,并根据客户体验继续改进至。新产品开发能力展现了企业生存前景与发展的战略核心,是企业研究与开发的重点内容;销售情况则体现了人们对新产品的接受程度。

5)“研发产出”由三个三级指标构成。研发产出是科技的应用研究和开发,不断进行,以使企业能够创造性地利用新的科技知识,大幅度改进技术、产品和服务。研发投入越来越受到重视,被视为经济增长的引擎,随着研发投入的增加,研发规模将会扩大,为中国提供更多的发展机会,促进科技成果的进一步交流和经济发展。

5. 研究方法

5.1. 熵权-TOPSIS

在统计学领域中,当数据越分散时,熵值越小,可认为该数据包含信息越多,权重越大。因此,熵权法就是利用信息熵的定义,为多指标综合评价提供依据。TOPSIS 是一种常用的综合评价方法,通过逼近理想解的程度来评价样品的优劣等级。熵权-TOPSIS 使用信息熵来构建度量权重,并根据从被评估样本到最优或最劣解的距离对样本进行排序。

首先,根据数据建立原始指标数据矩阵。

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1p} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & \cdots & x_{np} \end{pmatrix} \quad (4)$$

其中,矩阵中的 x_{ij} 表示第 i 个城市的第 j 项评价指标的数值。

然后,为消除因不同量纲而对数据造成的影响,对指标进行预处理。其中,正向化指标的标准化处理公式为:

$$x_{ij} = \frac{x_j - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (5)$$

负向指标的标准化处理公式则为:

$$x_{ij} = \frac{x_{\max} - x_j}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (6)$$

利用标准化处理之后数据,计算概率矩阵 P ,其中 P 的每一列的加和为 1:

$$p_{ij} = \frac{x'_{ij}}{\sum_{i=1}^n x'_{ij}} \quad (0 \leq p_{ij} \leq 1) \quad (7)$$

计算每个评价指标所对应的熵值，熵值的大小与其所含有的信息量成正比：

$$e_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{ij} \quad (8)$$

计算信息效用值，并用其来衡量指标的重要性。指标的信息效用值与其对应的信息量成正比：

$$d_j = 1 - e_j \quad (9)$$

对指标的信息效用值进行归一化处理，即可得到第 j 项指标的权重为：

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{i=1}^m d_j} \quad (10)$$

构造加权矩阵为 $z_{ij}^* = x'_{ij} w_j$ ，即可得到加权矩阵：

$$Z^* = \begin{bmatrix} x_{11}w_1 & x_{12}w_2 & \cdots & x_{1p}w_p \\ x_{21}w_1 & x_{22}w_2 & \cdots & x_{2p}w_p \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1}w_1 & x_{n2}w_2 & \cdots & x_{np}w_p \end{bmatrix} \quad (11)$$

寻找最优、最劣方案：

$$\begin{cases} z^{*+} = \max_{n,p} (z_1^*, z_2^*, \dots, z_p^*) \\ z^{*-} = \min_{n,p} (z_1^*, z_2^*, \dots, z_p^*) \end{cases} \quad (12)$$

计算第 i 个评价对象到最优、最劣方案的距离：

$$\begin{cases} D_i^+ = \sqrt{\sum_j (z_{ij}^* - z_j^{*+})^2} \\ D_i^- = \sqrt{\sum_j (z_{ij}^* - z_j^{*-})^2} \end{cases} \quad (13)$$

构造指标与最优解的相对接近度：

$$C_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \quad (14)$$

最后，根据 C_i 的大小进行排序， C_i 越大，排名越靠前；反之，则排名靠后。

5.2. 皮尔逊相关系数

皮尔逊相关系数主要用于度量两个变量间的线性相关性。设存在两组数据 $X: \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ 与 $Y: \{Y_1, Y_2, \dots, Y_n\}$ ，则总体的 Pearson 相关系数为：

$$\rho_{XY} = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{n \sum X^2 - (\sum X)^2} \sqrt{n \sum Y^2 - (\sum Y)^2}} \quad (15)$$

ρ 的取值范围为 $[-1, 1]$ 。如果 $\rho > 0$ ，变量呈正相关；反之 $\rho < 0$ ，则呈负相关；且绝对值越大表示两个变量间的相关性越强；反之，则表明相关性越小。

6. 实证分析

本文通过对 2017~2021 年的《中国科技统计年鉴》以及中国统计局官网的相关数据进行整理作为本文数据计算的主要来源。考虑到数据的完整性与统计口径的一致性，仅整理京津冀三个省份的 19 个指标下的数据信息，不存在数据的缺失。使用 Matlab2021a，通过熵权法确定原始指标权重，然后采用 TOPSIS 对京津冀三个省份进行综合评价。

首先，将整理得到的指标体系中的数据进行标准化处理，利用熵权法求得三级指标的权重，如表 2。

Table 2. The weight of the Beijing-Tianjin-Hebei three-level index

表 2. 京津冀三级指标所占权重

三级指标	2016	2017	2018	2019	2020
R&D 人员(人)	0.0138	0.0147	0.0125	0.0196	0.0248
R&D 人员折合全时当量合计(人年)	0.0113	0.0096	0.0099	0.0165	0.0225
R&D 经费内部支出(万元)	0.0045	0.0078	0.0126	0.0218	0.0228
R&D 经费外部支出(万元)	0.0166	0.0705	0.0796	0.0205	0.0456
机构数(个)	0.0178	0.0584	0.0543	0.1216	0.1217
机构人员(人)	0.0179	0.0358	0.0345	0.0488	0.0441
机构经费支出(万元)	0.017	0.0275	0.032	0.0437	0.048
仪器和设备原价(万元)	0.0162	0.0097	0.013	0.0284	0.0417
引进技术经费支出(万元)	0.2611	0.1188	0.2273	0.1817	0.157
消化吸收经费支出(万元)	0.1921	0.3242	0.0183	0.1837	0.206
购买境内技术经费支出(万元)	0.2047	0.0946	0.3059	0.1113	0.1193
技术改造经费支出(万元)	0.0711	0.0715	0.0511	0.0819	0.0244
新产品开发项目数(项)	0.003	0.0006	0.0003	0.002	0.0081
新产品开发经费支出(万元)	0.002	0.0153	0.0225	0.0281	0.0252
新产品出口收入(万元)	0.0826	0.0638	0.0253	0.0015	0.016
新产品销售收入(万元)	0.0077	0.0011	0.0066	0.0108	0.0139
专利申请数(件)	0.0078	0.0064	0.0067	0.006	0.0035
发明专利(件)	0.0281	0.0348	0.039	0.03	0.0251
有效发明专利(件)	0.0249	0.035	0.0485	0.042	0.0304

然后，将标准化处理后的数据与对应三级指标权重相乘，即为相应城市二级指标的熵值，如表 3。再将一级指标所包含的二级指标熵值相加，即可求得一级指标的熵值。

Table 3. Entropy value of first-class indicators in Beijing Tianjin Hebei**表 3.** 京津冀一级指标熵值

一级指标	地区	2016	2017	2018	2019	2020
科技创新投入	北京	0.732	0.676	0.691	0.460	0.524
	天津	0.173	0.167	0.182	0.191	0.183
	河北	0.239	0.349	0.359	0.601	0.554
科技创新产出	北京	0.072	0.090	0.106	0.088	0.086
	天津	0.118	0.099	0.071	0.042	0.047
	河北	0.058	0.065	0.070	0.067	0.069

指标体系中的二级指标的权重由三级指标权重加总求和可得，再将二级指标权重相加即可求得一级指标权重，各级指标权重的总和均为 1。

由表 4 可以看出，技术获取或技术改造，即企业对现有设施与生产工艺条件进行的改造，对于创新的需求比较强烈，是评价科技创新能力的重要指标，所占的权重最高。

Table 4. The weight of the Beijing-Tianjin-Hebei secondary index**表 4.** 京津冀二级指标所占权重

二级指标	2016	2017	2018	2019	2020
R&D 构成	0.0462	0.1026	0.1146	0.0784	0.1157
企业办研发机构	0.0689	0.1314	0.1338	0.2425	0.2555
技术获取或技术改造	0.729	0.6091	0.6026	0.5586	0.5067
新产品开发生产及销售	0.0953	0.0808	0.0547	0.0424	0.0632
研发产出	0.0608	0.0762	0.0942	0.078	0.059

由表 5 可以发现，科技创新投入，即促进科技创新活动的资金投入，主要用于研究开发、工装准备和工业工程、生产启动和产前开发、无形和有形技术的获取以及产品设计等，所占的权重最高；而科技创新产出情况与科技创新投入相比所占权重不大。

Table 5. The weight of the Beijing-Tianjin-Hebei first-level index**表 5.** 京津冀一级指标所占权重

一级指标	2016	2017	2018	2019	2020
科技创新投入	0.8441	0.8431	0.851	0.8795	0.8779
科科技创新产出	0.1561	0.157	0.1489	0.1204	0.1222

由图 1 京津冀的二级指标权重变化图可以看出，R&D 情况在科技创新中所占的权重逐年上升，研发机构和项目的数量增加。企业研发机构所占比例越来越大，说明我国企业的自主科技研发能力越来越强，使得企业在科学技术创新中占到了主体的作用，政府充分发挥了对企业的引导和鼓励的作用。技术获取和技术改造的占比例在科技创新中逐年降低，引进和消化国外的先进技术的状态下降，我国掌握的自主知识产权增多。新产品的开发和销售权重增加，体现了自主创新能力的增强。研发产出及相关情况所占

比重下降。

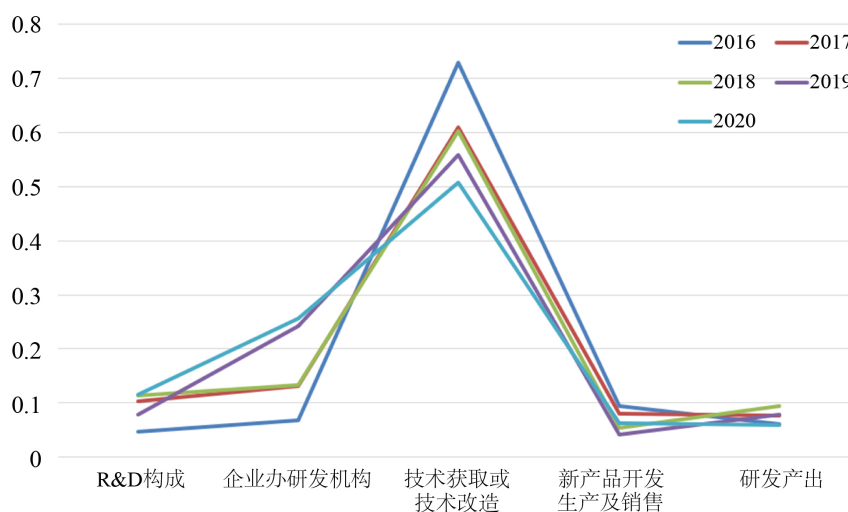


Figure 1. Secondary indicator weight change graph
图 1. 二级指标权重变化图

结合熵权法所确定的权重，采用 TOPSIS 法对 3 个省市进行了评分，对京津冀科技创新能力情况进行综合评价，最终结果如表 6 所示：

Table 6. TOPSIS score
表 6. TOPSIS 得分

	2016	2017	2018	2019	2020
北京	0.803	0.765	0.796	0.5478	0.611
天津	0.291	0.266	0.253	0.234	0.229
河北	0.297	0.415	0.429	0.668	0.6229

利用 2016~2020 年京津冀三个地区的 TOPSIS 评分与京津冀的能源统计指标的皮尔逊相关系数表如下。

Table 7. Correlation coefficient
表 7. 相关系数

相关系数	北京	天津	河北
万元地区生产总值能耗上升或下降(±%)	0.585	-0.973	0.312
能源消费总量增速(%)	0.612	-0.619	-0.281
万元地区生产总值电耗上升或下降(±%)	0.939	-0.472	0.261

由表 7 可知，万元地区生产总值能耗上升或下降与北京市和河北省的科技创新的发展呈正相关，与天津市呈负相关；能源消费总量增速与北京市的科技创新的发展呈正相关，与天津市和河北省呈负相关；万元地区生产总值电耗上升或下降与北京市和天津市的科技创新的发展呈负相关，与河北省呈正相关。

7. 结论[10]

北京市的科技创新投入熵值从 2016 年的 0.732 逐年递减至 2020 年的 0.524, 说明由于北京市正在疏解非首都功能, 将高耗能的产业迁移至其他地区, 所以工业企业投入逐年递减; 但科技创新产出熵值则由 2016 年的 0.072 增加至 2020 年的 0.86, 说明北京市虽然减少了科技创新投入, 但由于科技创新水平较高, 所以科技成果转化效率更高, 产出也就更多。由北京市科技创新能力与能源消耗指标的呈正相关性可以发现, 北京市的工业基础庞大, 转型升级时间较长, 导致了能源的消耗进一步扩大。

2016~2020 年天津市的科技创新投入熵值在 0.15~0.2 之间, 而科技创新产出熵值则由 2016 年的 0.118 减少至 2020 年的 0.047, 说明天津市的科技成果转化效率较低, 创新投入不能更好地驱动经济发展。从天津市科技创新能力与能源消耗指标呈负相关性可以发现, 能源使用量在不断减少, 且能源利用率随着科技的创新逐渐提高, 说明作为老工业基地的天津市, 正在积极推进工业结构调整, 节能效果显著, 增强了工业企业竞争力。实现了长期稳定的高质量发展, 扎实推进京津冀协同发展重大国家战略。

河北省的科技创新投入熵值从 2016 年的 0.239 逐年递增至 2020 年的 0.554, 科技创新产出熵值也由 2016 年的 0.058 增加至 2020 年的 0.069, 说明由于河北省承接了大量来自北京的产业, 科技创新投入与产出发展迅速, 进一步优化了产业结构。由科技创新能力与能源消耗指标的相关性可以发现, 科技创新能力与能源消费增速呈负相关, 而与万元地区生产总值能耗及电耗呈正相关, 缓解了河北省 GDP 的增长对于能源的依赖, 实现了绿色发展的目标。

致 谢

首先, 我们要感谢论文的指导教师王丹婷, 感谢您对我们的指导和支持, 使得我们的论文能够顺利完成。当然, 我们还要感谢提供数据的参考文献作者。感谢你们的研究成果和数据, 为我们的研究提供了重要的支撑和参考。我们深感感激, 谢谢你们们的付出和支持, 让我们的研究更加严谨和有力。我们将继续努力, 为推动学术进步和社会发展做出更多的贡献。

参考文献

- [1] 李佐军, 盛三化. 通过供给侧改革优化中国能源供给结构[J]. 江淮论坛, 2017(6): 5-10+2.
- [2] 陈艳华. 基于熵权 TOPSIS 的区域科技创新能力实证研究[J]. 工业技术经济, 2017, 36(5): 46-51.
- [3] 王震, 冯晓光. 河北省科技创新与经济协调发展的实证研究[J]. 华北理工大学学报(社会科学版), 2021, 21(2): 26-31.
- [4] 石雪梅, 葛斐, 王海超, 荣秀婷, 李凯, 李周. 单位 GDP 电耗与产业结构关系研究[J]. 舰船电子工程, 2014, 34(5): 78-82.
- [5] 沈梦涵, 邹昀东. 基于 GRA-TOPSIS 的经济增长对能源依赖度评价与预测[J]. 商业经济, 2020(6): 133-135.
- [6] 司增焯. 电力消耗与经济发展关系研究——基于单位 GDP 电耗的考察[J]. 西部商学评论, 2010, 3(2): 66-85.
- [7] 蔡郁文, 刘灿. 全球主要国家(地区)研发投入与产出的比较分析[J]. 中国科学基金, 2018, 32(4): 442-448. <http://doi.org/10.16262/j.cnki.1000-8217.2018.04.016>
- [8] <http://www.stats.gov.cn/>
- [9] 秦梦, 唐光胜, 张雨辰, 石以涛. 基于“克强指数”的中国宏观经济混频预测分析[J]. 统计与决策, 2021, 37(13): 108-111. <http://doi.org/10.13546/j.cnki.tjyj.2021.13.025>
- [10] Li, W.H., Song, H.F., Dong, F. and Li, F.F. (2022) The High Quality Development in Beijing-Tianjin-Hebei Regions: Based on the Perspective of Comparison. *Procedia Computer Science*, **199**, 1244-1251. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.158>