

DOI: 10.5846/stxb201809152005

张雪梅, 叶贝贝·行业异质性视角下我国工业生态创新效率评价研究. 生态学报, 2019, 39(14): - .

Zhang X M, Ye B B. The evaluation of industrial eco-innovation efficiency in China from the perspective of industry heterogeneity. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(14): - .

行业异质性视角下我国工业生态创新效率评价研究

张雪梅, 叶贝贝*

兰州理工大学经济管理学院, 兰州 730050

摘要:随着资源紧缺、环境污染日益严峻,生态创新成为各国追逐的政治目标,研究我国不同工业行业的生态创新效率对我国的创新发展和可持续发展具有重要意义。从生态创新内涵出发,构建包括环境效益和经济效益在内的生态创新效率评价指标体系。以 2009—2015 年我国 34 个工业行业面板数据为样本,利用生产要素密集度将选取的 34 个工业行业归类为资源密集型行业、劳动密集型行业和资本密集型行业。运用基于实数编码加速遗传算法的投影寻踪分类模型进行综合评价,该方法可以依据最佳投影方向来判断各评价指标对综合评价目标的贡献大小和方向,利用投影指标值实现对 34 个行业的统一分类和评价。结果表明:不同要素密集度行业的生态创新效率存在显著差异,资本密集型行业的生态创新效率最高,资源密集型行业和劳动密集型行业的生态创新效率较为接近,但都低于行业整体平均水平,其中尤以劳动密集型行业中的有色金属矿采选业的生态创新效率最低;生态创新研发人力、财力的投入以及创新活动所带来的经济效益对生态创新效率的提升影响较大,而仪器和设备等物质投入对生态创新效率影响较小。

关键词:行业异质性;工业生态创新;效率评价;要素密集度;投影寻踪

The evaluation of industrial eco-innovation efficiency in China from the perspective of industry heterogeneity

ZHANG Xuemei, YE Beibei*

School of Economics and Management, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China

Abstract: The shortage of resources and the increasingly severe environmental pollution have made the eco-innovation become a political goal pursued by countries all over the world. The study on the eco-innovation efficiency of the different industrial sectors in China will be of great significance for the innovative and sustainable development. Starting from the connotation of eco-innovation, an assessment index system of eco-innovation efficiency was established, including environmental benefits and economic benefits. The panel data of 34 industrial sectors from 2009 to 2015 in China was taken as a sample and the 34 industrial sectors selected were classified into resource-intensive industries, labor-intensive industries and capital-intensive industries by using the production factor intensity in this study. The projection pursuit classification model based on real number encoded accelerating genetic algorithm was used for comprehensive assessment, while this method can judge the contribution size and direction of each assessment index to the comprehensive assessment objective according to the optimal projection direction, as well as realize the unified classification and assessment for the 34 industrial sectors through using the projection index value. The results show that the eco-innovation efficiency varies significantly in the industries with different factor intensities. The eco-innovation efficiency of the capital-intensive industries is the highest, while that of the resource-intensive industries and labor-intensive industries are close to each other but both

基金项目:国家自然科学基金项目(71763017);甘肃省高等科研项目(055007)

收稿日期:2018-09-15; 网络出版日期:2019-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: m15117056246@163.com

are lower than the overall average of the industry. Among them, the non-ferrous metal mining and dressing industry in labor-intensive industries shows the lowest eco-innovation efficiency. The input of manpower and financial resources in the research and development of eco-innovation and the economic benefits brought by innovation activities have a great influence on the improvement of eco-innovation efficiency, while the input of materials, such as instruments and equipment, etc., have less influence on that.

Key Words: industry heterogeneity; industrial eco-innovation; efficiency evaluation; factor intensity; projection pursuit

工业生态创新水平的提高可以促进生态环境的改善^[1]。如何准确地衡量不同工业行业对生态创新效率的影响及程度,对于从整体上把握生态创新绩效、制定创新政策、实现工业与资源环境协调发展具有重要的理论与现实意义。

1 文献综述

生态创新的概念最早是由 Fussler 和 James 提出的,是指既能够显著降低对环境的影响又具有商业价值的新产品和新工艺^[2]。由于不同学者研究角度和研究情境的不同,对生态创新概念的理解还没有形成完整一致的认识,尽管学者们对生态创新的界定术语不同,但本质却都是大致相似的。为此,评价我国不同工业行业的生态创新效率时,将生态创新效率理解为:综合考虑环境效益和经济效益在内的工业企业创新资源投入与产出过程中的创新效率。

目前对于生态创新效率的研究,国内外学者的关注主要在于研究对象和研究方法的不同。研究对象的不同,主要集中在以下方面:第一,在国家层面上,主要是关于生态创新政策制定的研究。Janicke 和 Jacob 研究表明,国家采用不同的政策形式会对生态创新的发展模式产生影响,符合国情的政策体系对生态创新的发展具有正向作用^[3]。Foxon 和 Pearson 对英国低碳创新政策的制定进行了研究,并提出了进一步发展建议^[4]。Kemp 通过对大多数发达国家生态创新政策的分类研究,为生态创新政策的制定与评估提供了依据^[5]。第二,在区域层面上,主要是对我国区域差异的研究,且大多数学者的研究结论基本一致,即我国东中西部的生态创新效率呈递减趋势^[6-8]。第三,针对某一特定行业的企业生态创新研究,Mazzanti 和 Zoboli 通过研究制造企业不同中小企业和产业之间的关系,发现生态创新效率的提高主要依赖于企业内部因素^[9]。Chadha 通过德国和瑞典的 8 个公司研究了应用生物高聚物技术的塑料工业的发展能力,为进一步了解传统生态创新所面临的挑战做出贡献^[10]。

在研究方法方面,比较常用的方法有因子分析法、随机前沿分析(Stochastic Frontier Analysis, SFA)和数据包络分析(Data Envelopment Analysis, DEA)及各类拓展模型上。华振运用因子分析法对 2009 年东北三省的生态创新绩效进行分析,发现生态创新综合绩效最高的是辽宁省,最低的是吉林省^[11]。曹霞和于娟通过改进的随机前沿分析法对中国 30 个省份的生态创新效率进行评价,认为中国生态创新效率存在区域异质性^[12]。冯志军对比分析了用 DEA-SBM 方法测算的生态创效率与 DEA-CCR 模型测算的传统创新效率,发现 DEA-SBM 方法测算的结果更符合实际^[13]。任耀等运用 DEA-RAM 模型对山西省各地区的生态创新效率进行分析,得出能源的无效率投入是导致山西省生态创新无效率的根本原因^[14]。刘明广运用组合 DEA 效率评价模型,对我国 30 个省级行政区生态创新效率进行评价,研究发现在横向上我国大部分地区生态创新效率水平较低,呈现东高西低的阶梯式发展格局,在纵向上三大区域内部具有不同的分异特征^[15]。

通过文献回顾,发现以往学者们对生态创新效率的研究较少涉及产业层面,而本文将以工业为研究对象,从行业异质性的角度进行效率评价。首先,构建工业生态创新效率评价指标体系,然后在整体效率评价基础上分行业研究其变化情况。从目前生态创新效率的评价方法来看,主要是因子分析法、随机前沿分析(SFA)和数据包络分析(DEA)以及对这些方法的改进和优化。因子分析法相对简单,随机前沿分析法(SFA)需要事

先确定变量之间的函数关系,具有一定的主观因素,且在较为复杂的经济环境中很难做到。数据包络分析(DEA)方法只能解决决策单元的相对有效性问题,其权重的确定具有不确定性,容易受到人为因素的影响,造成不能实现对所有决策单元进行全排序。相对于以上几类评价方法,投影寻踪分类模型具有赋权客观、人为干扰小、稳健性好等优点。因此,本文尝试运用投影寻踪分类模型对不同行业的生态创新效率进行评价。

2 我国工业行业异质性分析

行业异质性是由于不同行业在行业规模、技术水平、要素投入等方面存在差异,而形成的明显区别于其他行业的特征。目前学术界还未形成统一的行业分类量化标准,学者们根据研究目的的不同采用了不同的分类方式,主要的划分方式包括生产要素密集程度、环境污染排放程度和能源消耗程度。按照生产要素密集度,可将制造业划分为劳动密集型、资本密集型、技术密集型以及资源密集型四个类型^[16]。按照环境污染程度,可将制造业划分为污染密集型行业和清洁生产型行业^[17]。按照能源消耗程度,可将制造业划分为能源密集型行业和非能源密集型行业^[18]。除此之外,秦楠等选取工业行业二氧化硫排放量、烟尘排放量、废水排放量和固体废弃物产生量这四类污染物指标将工业行业分为重度污染行业、中度污染行业、轻度污染行业,分析环境规制对不同行业就业的影响^[19]。随着经济的不断发展,生产要素密集度被广泛应用于行业分类的研究领域^[20],以此为依据,且与联合国 SITC 标准进行对照,将技术密集型产业归入资本密集型产业中,并根据 2017 年版的《国民经济行业分类标准》将选取的 34 个工业部门分为资源密集型、劳动密集型和资本密集型产业,分类结果如表 1 所示。同时,为了统计的一致性,将汽车制造业和铁路、船舶、航空航天和其他运输设备制造业整合为交通运输设备制造业。其中,由于“其他采矿业”、“废弃资源和废旧材料回收加工业”、“其他行业”“水的生产和供应业”的数据缺失太多,故将其剔除。

表 1 我国 34 个工业行业的分类
Table 1 Classification of 34 industrial sectors in China

资源密集型产业 Resource-intensive industry	劳动密集型产业 Labor-intensive industry	资本密集型产业 Capital-intensive industry
1 煤炭开采和洗选业	10 黑色金属矿采选业	22 文教、工美、体育和娱乐用品制造业
2 石油和天然气开采业	11 有色金属矿采选业	23 石油、煤炭及其他燃料加工业
3 农副食品加工业	12 非金属矿采选业	24 化学原料和化学制品制造业
4 食品制造业	13 纺织业	25 医药制造业
5 酒、饮料和精制茶制造业	14 纺织服装、服饰业	26 化学纤维制造业
6 烟草制品业	15 皮革、毛皮、羽毛及其制品和制鞋业	27 黑色金属冶炼和压延加工业
7 木材加工和木、竹、藤、棕、草制品业	16 家具制造业	28 有色金属冶炼和压延加工业
8 电力、热力生产和供应业	17 造纸和纸制品业	29 通用设备制造业
9 燃气生产和供应业	18 印刷和记录媒介复制业	30 专用设备制造业
	19 橡胶和塑料制品业	31 交通运输设备制造业
	20 非金属矿物制品业	32 电气机械和器材制造业
	21 金属制品业	33 计算机、通信和其他电子设备制造业
		34 仪器仪表制造业

3 模型构建、指标选取和数据来源

3.1 投影寻踪分类模型

投影寻踪(Projection Pursuit, PP)是由 Kruscal 提出的一种通过降维的思想来达到分析高维数据的新型统计方法^[21]。而投影寻踪分类(Projection Pursuit Classification, PPC)模型就是依据 PP 的思想建立的综合评价模型,该方法能够降低系统的复杂性,其权重的确定具有客观性,突破了因子分析法、SFA、DEA 等传统评价方法一般只能解决具有正态分布特征问题的限制^[22],能够有效的进行多指标样本评价,是处理复杂非正态线

性问题的有效方法。而生态创新效率评价作为一种多目标、多指标的评价问题,利用 PPC 能够很好地进行解决。PPC 能够把不同行业的生态创新效率拉开适当差距,来实现对不同工业行业的分类和排序,还可以通过最佳投影方向的大小来反映不同指标对生态创新效率的影响,便于更有针对性的提出有效措施和建议。因此,基于 PPC 的优势,按如下步骤构建模型:

步骤 1 评价指标归一化。

对取值越大越优的指标

$$x(i, j) = \frac{x^*(i, j) - x_{\min}(j)}{x_{\max}(j) - x_{\min}(j)} \quad (1)$$

对取值越小越优的指标

$$x(i, j) = \frac{x_{\max}(j) - x^*(i, j)}{x_{\max}(j) - x_{\min}(j)} \quad (2)$$

式中, $\{x^*(i, j) | i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, p\}$ 为评价指标的样本集, $x^*(i, j)$ 为第 i 个样本的第 j 个指标的取值, n, p 分别为样本容量和指标数量,其中 $x_{\max}(j)$ 和 $x_{\min}(j)$ 分别代表第 j 个指标的最大值和最小值。

步骤 2 构造投影指标函数 $Q(\alpha)$ 。

投影寻踪方法就是将 p 维数据 $\{x(i, j) | j = 1, 2, \dots, p\}$ 以 $\alpha = \{\alpha(1), \dots, \alpha(p)\}$ 为方向进行一维投影变换的投影值 $z(i)$

$$z(i) = \sum_{j=1}^p \alpha(j) x(i, j), (i = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

然后根据 $\{z(i) | i = 1, 2, \dots, n\}$ 的一维散布图进行评价,式(3)中 α 为单位向量。选择投影方向时,要求投影值 $z(i)$ 的散布特征应满足:局部投影点尽可能密集,最好凝聚成若干个点团,而在整体上投影点团之间尽可能散开。因此,投影指标函数可以表示为:

$$Q(\alpha) = S_z D_z \quad (4)$$

式中, S_z 为投影值 $z(i)$ 的标准差, D_z 为投影值 $z(i)$ 的局部密度,即

$$S_z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (z(i) - E(z))^2}{n-1}} \quad (5)$$

$$D_z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (R - r(i, j)) \cdot u(R - r(i, j)) \quad (6)$$

式中, $E(z)$ 为序列 $\{z(i) | i = 1, 2, \dots, n\}$ 的平均值, R 为局部密度的窗口半径,它的选取既要使包含在窗口内的投影点的平均个数不太少,避免滑动平均偏差太大,又不能使它随着 n 的增大而增加太高, R 可以根据试验来确定。 $r(i, j)$ 表示样本之间的距离, $r(i, j) = |z(i) - z(j)|$ 。 $u(t)$ 为一单位阶跃函数,当 $t \geq 0$ 时,其值为 1,当 $t < 0$ 时,其函数值为 0。

步骤 3 优化投影指标函数。

当各指标的样本集给定时,投影指标函数 $Q(\alpha)$ 只随着投影方向 α 的变化而变化,不同的投影方向反应不同的数据结构特征,最佳投影方向就是最大可能暴露高维数据某类特征结构的投影方向,因此可以通过求解投影指标函数最大化问题来估计最佳投影方向,即

$$\text{最大化目标函数: } \text{Max} Q(\alpha) = S_z D_z \quad (7)$$

$$\text{约束条件: } \sum_{j=1}^p \alpha^2(j) = 1 \quad (8)$$

这是一个以 $\{\alpha(j) | j = 1, 2, \dots, p\}$ 为优化变量的复杂非线性优化问题,用传统的优化方法处理较难,所以采用基于实数编码的加速遗传算法来解决其高维全局寻优问题。目标函数达到极值时得到最佳投影方向。

步骤 4 分类(优序排列)。

把由步骤 3 求得的最佳投影方向 α^* 代入(3)式后可得各样本点得投影值 $z^*(i)$, 将 $z^*(i)$ 与 $z^*(j)$ 进行比较,二者越接近,表示样本 i 与 j 越倾向于同一类,若按 $z^*(i)$ 值从大到小排序,则可以将样本从优到劣进行排序。

%1.2 指标选取和数据来源

由投影寻踪分类模型可知,要实现对不同行业的生态创新效率的有效测度必须构建科学、合理的评价指标。与传统技术创新不同的是,本文不仅考虑到创新所带来的期望产出大小,还考虑了生态创新所需的人员、经费、资源等投入要素和非期望产出对生态创新效率的影响,同时以生态创新内涵为基础,即追求经济效益和环境效益的统一,借鉴有关学者的研究,并考虑数据的可获得性,对投入与产出指标进行选取。

(1)投入指标

无论是新古典框架下的生产函数,还是内生经济增长框架下的生产函数,资本与劳动始终是基础性核心资源要素。因此,选择资本和人力两方面作为投入变量。除此之外,还从物力方面进行考虑。借鉴已有的研究^[23]将 R&D 经费内部支出和 R&D 人员全时当量作为衡量生态创新投入的资本和人力,由于科研人员是通过仪器设备来完成有关创新活动的研发,所以选取仪器和设备原价作为物力投入指标。

(2)产出指标

关于产出指标的选择,主要从期望产出和非期望产出两个角度进行考虑,期望产出是创新活动得到的正面产出,而非期望产出则是创新活动的负面产出^[7]。

对于期望产出指标的选取,学者们常从科技研发阶段和成果转化阶段进行选取^[24]。专利作为创新活动的直接产出,较接近创新的商业应用。尤其是发明专利不仅技术含量高而且很少受到专利审查的约束,能够全面客观地反映创新成果和科技能力。因此,选用发明专利申请数作为生态创新的产出指标。但是,专利不能很好地反映成果的转化能力和市场价值,所以选取其他补充指标来衡量生态创新的经济效益就显得很有必要,借鉴胡剑波和刘辉的研究将新产品销售收入作为衡量生态创新经济效益的评价指标^[25]。

工业活动往往伴随着污染排放等非期望产出,而非期望产出的数量越少,越有利于生态创新效率的提高^[26]。对非期望产出的衡量,学者们常采用碳排放量^[27]、环境污染指数^[28]、工业二氧化硫排放量^[29]来评价创新的环境友好程度。但现实中,由于异质性的存在,不同工业行业产生的污染物不同,对环境的影响也会有所不同,所以选取反映工业行业创新活动资源环境代价的废水排放强度、废气排放强度和固体废弃物排放强度作为衡量环境效益的非期望产出。具体指标内容见表 2。

表 2 工业生态创新效率评价指标体系
Table 2 Evaluation index system of industrial ecological innovation efficiency

指标类型 Index type	一级指标 Primary indicator	二级指标 Secondary index
投入指标 Input index	人力投入	R&D 人员全时当量(人/年)
	资本投入	R&D 经费内部支出(万元)
	物力投入	仪器和设备原价(万元)
产出指标 Output index	期望产出	发明专利申请数(件)
		新产品销售收入(万元)
	非期望产出	废水排放强度=废水排放量/工业销售产值(万 t/亿元)
		废气排放强度=废气排放量/工业销售产值(亿 m ³ /亿元)
		固体废弃物排放强度=固体废弃物排放量/工业销售产值(万 t/亿元)

考虑到统计口径的一致性,数据可得性和连续性,选择我国 34 个工业行业(表 1)2009—2015 年的面板数据为样本,所有指标数据来自相应年份的《中国科技统计年鉴》、《中国统计年鉴》、《中国工业统计年鉴》和《中国环境统计年鉴》。其中废水排放强度、废气排放强度和固体废弃物排放强度是通过计算处理所得。2009 年的塑料和橡胶制造业是分开统计的,为了统计数据的一致性,将其进行合并。2012 年以后的《中国环

境统计年鉴》未对分行业的固体废气物排放量进行统计,则用分行业的一般工业固体废弃物产生量代替。

4 实证结果分析

4.1 评价指标的最佳投影方向

根据 PPC 模型的计算步骤,首先采用公式(1)、公式(2)对指标进行归一化处理,然后用 MATLABR 2014 b 编程求解最佳投影方向。由于 RAGA 算法控制参数取值不同会影响寻优性能,经过学者们研究发现 n 取 300 以上, P_c 取 0.8, P_m 取 0.8 时,寻优效果最好^[30]。所以按此原则选定 n 为 400, P_c 为 0.8, P_m 为 0.8,加速次数为 20,得到 2009—2015 年的最佳投影方向如表 3 所示。

表 3 生态创新效率评价指标的最佳投影方向

Table 3 Optimal projection direction of evaluation index of ecological innovation efficiency

评价指标 Evaluating indicator	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
R&D 人员全时当量 Full time equivalent of R&D personnel	0.4183	0.4403	0.5250	0.5213	0.3476	0.4647	0.6014
R&D 经费内部支出 Internal expenses for R&D funds	0.5735	0.4518	0.3860	0.1369	0.3547	0.5066	0.3665
仪器和设备原价 Original price of instruments and equipment	0.0417	0.0402	0.0807	0.0054	0.0044	0.0457	0.0127
专利申请数 Number of patent applications for invention	0.0756	0.2740	0.3980	0.4852	0.5749	0.3338	0.3027
新产品销售收入 Sales income of new products	0.5827	0.5211	0.5356	0.5200	0.4669	0.4673	0.5218
废水排放强度 Wastewater discharge intensity	0.3059	0.2589	0.2702	0.2313	0.0463	0.0416	0.1705
废气排放强度 Exhaust emission intensity	0.2217	0.1211	0.1199	0.3469	0.3832	0.2924	0.3206
固体废弃物排放强度 Solid waste emission intensity	0.0797	0.4149	0.1904	0.1724	0.2363	0.3291	0.0400
均值 Mean value	0.2874	0.3153	0.3132	0.3024	0.3018	0.3102	0.2920

R&D: 研究与开发, Research and development

最佳投影方向各分量值不仅可以衡量各评价指标对总体评价目标贡献的大小和方向(α^* 越大,影响越大),还可以用来观察同一指标随时间变化影响程度的变动情况(封志明等,2005)^[31]。为了更好地分析 8 个评价指标的影响程度以及随时间的变化情况,计算出 8 个评价指标在各年投影方向的均值,若某个指标的投影方向值大于均值,则说明该指标的影响程度较大,否则较小。表 3 的结果表明:各评价指标 $\alpha(j)$ 均为正值,说明各评价指标的投影方向一致。R&D 人员全时当量和新产品销售收入在各年的投影方向值都大于均值,说明这两个指标对生态创新效率的影响程度较大。R&D 经费内部支出除了在 2012 年的投影方向值小于均值外其余年份都大于均值,说明 R&D 经费内部支出对生态创新效率的影响程度也较大。R&D 人员全时当量体现了人们对生态创新的重视程度,加大 R&D 项目的管理人员和直接服务人员的投入不仅能有效地缓解就业压力,提高劳动者的素质,同时还能改善环境质量,提高人们的生活水平。R&D 经费内部支出反映了科技研发支持力度,加大科研经费的投入,可以提高研发人员的积极性,增强科技研发能力,为消化吸收国外先进技术提供条件,从而提高我国的科技发展水平,因此 R&D 经费内部支出是促进生态创新的坚实后盾。新产品销售收入是创新成果在经济上的实现,创新只有带来了经济效益,才能更好的激励人们继续进行创新。

在 2012 年以后专利申请数和废气排放强度的投影方向值高于均值,表明在 2012 年以后专利申请数和废气排放强度开始对生态创新效率产生较大影响。专利申请数反映了创新的真实水平,只有那些新颖性强、技术含量高和市场前景好的专利才能提高生态环境的质量。废气排放强度体现了工业创新活动资源环境的代价,在今后创新活动中要重视废气的排放,不能以牺牲环境为代价盲目提高销售产值。

仪器和设备投入在各年的影响都较低,其对生态创新效率的贡献程度较小,提高或降低仪器和设备价格并不会对生态创新效率产生较大影响。

4.2 我国 34 个工业行业生态创新效率分类及其变化情况

把最佳投影方向代入公式(3)可得 2009—2015 的最佳投影值和排名情况,表 4 中的 34 个行业用数字代

替,数字所代表的行业和表 1 相同。最佳投影值越大,说明该行业的生态创新效率越高。

表 4 2009—2015 年 34 个行业投影值
Table 4 Projection values of 34 industries from 2009 to 2015

行业 Industry	样本投影值 Sample projection value							均值 Mean value	排名 Ranking 均值排名 Mean ranking
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015		
1	0.8050	0.8917	0.7666	0.8086	0.7394	0.7581	0.5642	0.7619	18
2	0.7338	0.9310	1.0488	0.7919	0.7077	0.7629	0.5715	0.7925	15
3	0.7274	0.8859	0.7636	0.8691	0.8278	0.8754	0.6984	0.8068	14
4	0.6827	0.8618	0.7160	0.8059	0.7587	0.7975	0.6240	0.7495	19
5	0.6645	0.8419	0.6862	0.7756	0.7362	0.7718	0.5664	0.7204	23
6	0.6900	0.8738	0.7112	0.8018	0.7192	0.7419	0.5806	0.7312	21
7	0.6571	0.8383	0.6763	0.7634	0.6839	0.7212	0.5461	0.6980	27
8	0.4395	0.6882	0.5708	0.4397	0.4019	0.4787	0.3123	0.4759	32
9	0.6227	0.8209	0.6574	0.7472	0.6561	0.7015	0.5391	0.6778	29
10	0.5529	0.5225	0.4408	0.5383	0.3700	0.3506	0.4470	0.4603	33
11	0.4918	0.3554	0.4235	0.5308	0.4292	0.4266	0.4397	0.4424	34
12	0.6115	0.7856	0.6321	0.7594	0.6378	0.6704	0.5201	0.6595	30
13	0.7914	0.9841	0.8752	0.9280	0.8962	0.9251	0.7514	0.8788	13
14	0.6939	0.8762	0.7260	0.8705	0.7862	0.8153	0.6692	0.7768	16
15	0.6549	0.8391	0.6775	0.7882	0.7225	0.7583	0.5882	0.7184	26
16	0.6670	0.8507	0.6943	0.7939	0.7133	0.7463	0.5981	0.7234	22
17	0.3810	0.6086	0.4266	0.5620	0.6587	0.7115	0.4391	0.5411	31
18	0.6715	0.8535	0.6889	0.7860	0.7102	0.7440	0.5806	0.7192	25
19	0.8079	1.0041	0.8770	0.9851	0.9243	0.9472	0.7766	0.9032	10
20	0.6693	0.9042	0.7781	0.7206	0.7145	0.7723	0.6213	0.7401	20
21	0.7964	0.9614	0.8262	1.0054	0.9560	0.9868	0.8303	0.9089	9
22	0.6791	0.8589	0.7017	0.8511	0.7869	0.8175	0.6563	0.7645	17
23	0.6675	0.8678	0.7030	0.7761	0.7117	0.7610	0.5507	0.7197	24
24	1.1324	1.1704	1.2414	1.2938	1.2985	1.3689	1.1705	1.2394	6
25	0.9169	1.0432	0.9663	1.0542	1.0445	1.1055	0.9142	1.0064	8
26	0.6104	0.8289	0.6816	0.7598	0.7122	0.7446	0.5428	0.6972	28
27	1.0883	1.2874	1.1042	1.0151	0.8928	0.9888	0.6855	1.0089	7
28	0.8190	0.9951	0.8847	0.9335	0.8785	0.9328	0.7551	0.8855	12
29	1.2766	1.3310	1.3773	1.4627	1.4499	1.4503	1.2603	1.3726	4
30	1.1923	1.2883	1.3135	1.4090	1.4247	1.3601	1.1662	1.3077	5
31	1.9590	2.1213	2.0110	2.0019	1.9777	2.0818	1.9326	2.0122	2
32	1.5698	1.7429	1.7986	1.9051	1.8952	1.9004	1.6995	1.7873	3
33	2.0944	2.3625	2.3834	2.4032	2.4038	2.4332	2.3109	2.3416	1
34	0.8302	0.9739	0.9180	0.9735	0.9255	0.9438	0.7572	0.9032	11

从表 4 知,与 2009 年相比,2015 年有 29 个行业的生态创新效率是增强的,煤炭开采和洗选业等 17 个行业提高了 1.1 以上(煤炭开采和洗选业、电力热力生产和供应业、黑色金属冶炼和压延加工业提高了 1.4 以上,石油和天然气开采业等 4 个行业提高 1.2 以上),造纸和纸制品业、金属制品业、化学原料和化学制品制造业、电气机械和器材制造业以及计算机、通信和其他电子设备制造业 5 个行业是减少的,其中计算机、通信和其他电子设备制造业出现了明显的下降,下降了 22%,尽管有色金属矿采选业排名最后,但其 7 年内的增长率达到 112%,说明其发展趋势良好。

将表 4 中的 34 个工业行业在 2009—2015 年的均值数据导入 SPSS 20 软件,进行聚类分析,结果分为五

类,如图 1 所示。

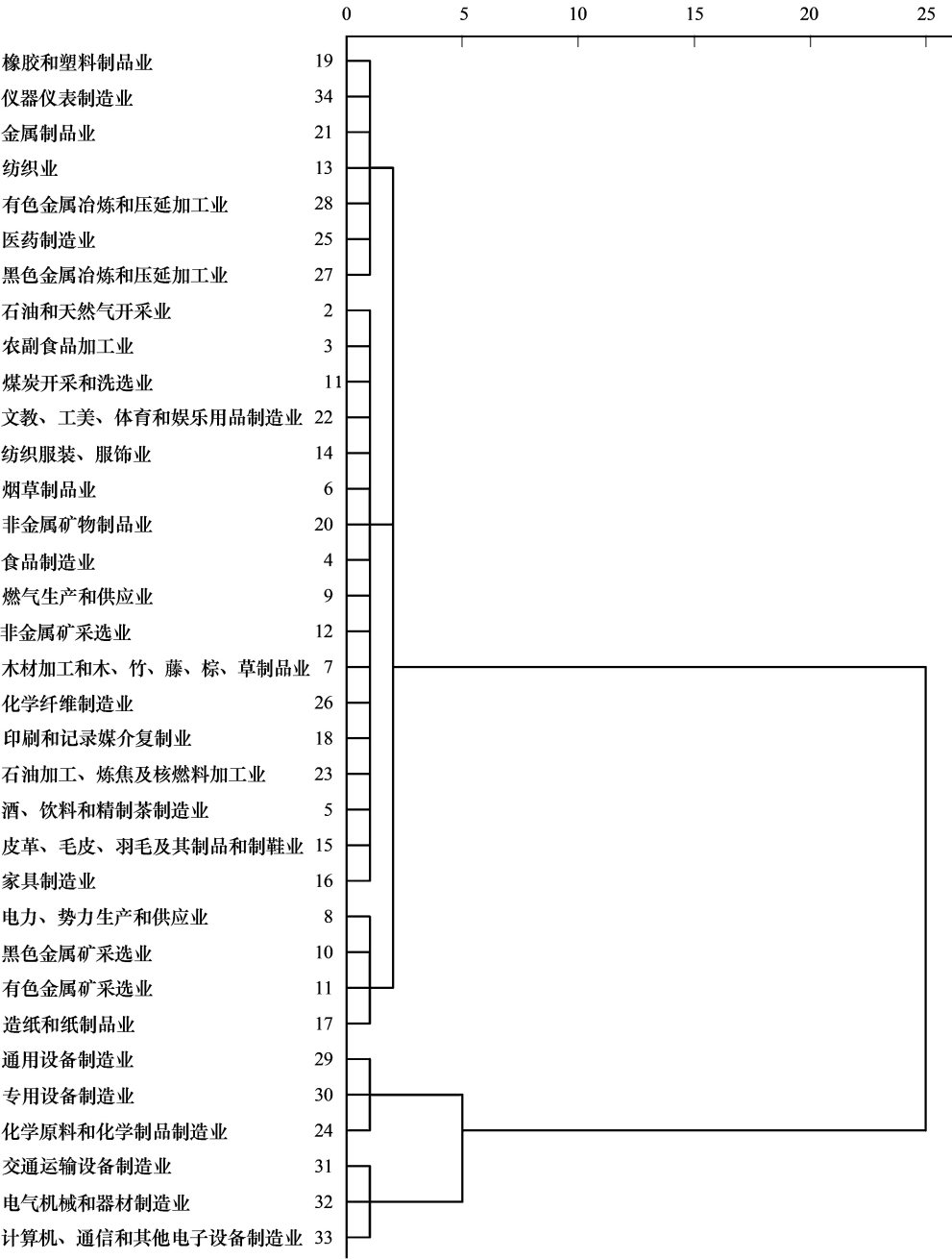


图 1 2009—2015 年 34 个工业行业生态创新效率聚类情况

Fig.1 Clustering of ecological innovation efficiency in 34 industrial sectors from 2009 to 2015

从图 1 的聚类情况可以看出,我国 34 个工业行业的生态创新效率存在很大的行业差异性。计算机、通信和其他电子设备制造业,交通运输设备制造业,电气机械和器材制造业的年均值达到 1.7 以上,排名前三位,是生态创新效率“很高”的第一类;通用设备制造业,专用设备制造业,化学原料和化学制品制造业的年均值为 1.2 以上,是生态创新效率“较高”的第二类;黑色金属冶炼和压延加工业,医药制造业,金属制品业,橡胶和塑料制品业,仪器仪表制造业,有色金属冶炼和压延加工业,纺织业的年均值在 0.85—1.0 之间,是生态创新效率“一般”的第三类;排名 14—30 的农副食品加工业,石油和天然气开采业等 17 个行业的年均值都大于 0.6,属于生态创新效率“较低”的第四类;排名 31—34 的造纸和纸制品业,电力热力生产和供应业,黑色金属矿采

选业,有色金属矿采选业 4 个行业年均值小于 0.6,属于生态创新效率“很低”的第五类。由聚类情况可知,生态创新效率“很高”的第一类和“较高”的第二类均属于资本密集型行业。在生态创新效率“一般”的第三类中,资本密集型行业占 57%。在生态创新效率“较低”的第四类中,资源密集型行业和劳动密集型行业占 82%。而生态创新效率“很低”的第五类均为资源密集型行业和劳动密集型行业,其中劳动密集型行业占 75%。综合以上分析结果表明,资本密集型行业的生态创新效率最高,而资源密集型行业和劳动密集型行业的生态创新效率都较低。

为进一步验证上述效率值聚类分析结果,再按三大异质行业分别测算其生态创新效率。表 5 为三大类行业在 2009—2015 年的生态创新效率值(产业内所有行业的均值),图 2 为 2009—2015 年全部行业及三大类型产业生态创新效率对比及发展趋势。

表 5 三大类型产业在 2009—2015 年的生态创新效率值

Table 5 Ecological innovation efficiency values of three major industries from 2009 to 2015

年份 Years	资源密集型产业 Resource-intensive industry	劳动密集型产业 Labor-intensive industry	资本密集型产业 Capital-intensive industry	全部行业 All industries
2009	0.6692	0.6491	1.1412	0.8426
2010	0.8482	0.7954	1.2978	1.0015
2011	0.7330	0.6722	1.2373	0.9043
2012	0.7559	0.7723	1.2953	0.9680
2013	0.6923	0.7099	1.2617	0.9162
2014	0.7343	0.7379	1.2991	0.9515
2015	0.5559	0.6051	1.1078	0.7843

从全部行业的整体来看,2009—2010 年我国工业行业生态创新效率呈现上升趋势,2010—2011 年呈现下降趋势,2011—2014 呈现微小的波动变化,2014 年以后呈下降趋势。从行业异质性的角度来看,资本密集型行业的生态创新效率是最高的,明显高于劳动密集型和资源密集型行业,劳动密集型和资源密集型行业的生态创新效率在 2010 年的时候达到最高值,之后两者的生态创新效率几乎接近,但均低于全部行业的平均水平。

5 结论与建议

综上所述,得出以下结论:

(1) 工业生态创新效率整体呈现波动变化趋势。2015 年的行业均值甚至低于 2009 年的行业均值,生态创新研发人力、财力的投入以及创新活动所带来的经济效益对生态创新效率的影响最大。除此之外,在“十二五”时期,随着专利申请数的增多以及废气排放强度的减少,使环境状况得到进一步改善,对生态创新效率的提高具有正向作用。但是,创新活动所需仪器设备等物质投入对生态创新效率并没有产生较大的影响。

(2) 在 2009—2015 年期间,我国 34 个工业行业的生态创新效率存在显著的行业差异性。其中生态创新效率很高的行业均属于资本密集型行业,包括计算机、通信和其他电子设备制造业,交通运输设备制造业,电气机械和器材制造业等三个行业。生态创新效率很低的行业均属于劳动密集型行业和资源密集型行业,其中尤以有色金属矿采选业最低。

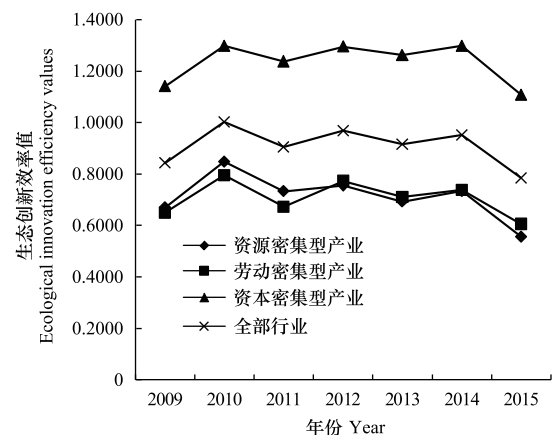


图 2 2009—2015 年全部行业及三大类型产业生态创新效率对比及发展趋势

Fig. 2 Comparison and development trend of ecological innovation efficiency of all industries and three major industries from 2009 to 2015

根据实证结论,提出相关政策建议:

(1)生态创新人力、财力的投入是提高生态创新效率的根本保证,我国必须注重对研发人才的培养,增加生态创新活动资金的投入,拓宽生态创新融资渠道。一方面,加强与发达国家的交流与合作,引进消化吸收国外先进技术;另一方面,积极引导扶持工业企业开展自主生态创新活动,增加专利的申请范围,实现产学研的充分结合。

(2)资源密集型行业大多属于污染较严重的行业,政府应采取强制性措施淘汰那些高排放、高能耗、产能过剩的企业。在进行较高强度环境规制的同时,还可以利用市场手段,激励污染治理效果好的企业通过排污权交易获利,从而主动进行生态创新。

劳动密集型行业由于科技含量不高,生态创新效率也较低,可以利用税收优惠、降低融资困难、市场准入与激励等政策措施,把握当前智能制造的契机,来促进行业转型升级,从而增强生态创新能力。

对于生态创新效率较高的资本密集型行业,应该实施生态创新驱动战略,通过绿色金融与投资,进一步加强资本与生态环保技术的有机融合,从而激发企业的自觉生态创新行为,获得可持续的竞争优势。

参考文献 (References):

- [1] 董培培, 霍聪佳. 行业异质性视角下绿色创新效率研究. 河南科技大学学报: 社会科学版, 2018, 36(2): 85-90.
- [2] Fussler C, James P. Driving Eco-innovation: A Breakthrough Discipline for Innovation and Sustainability. London: Pitman, 1996.
- [3] Jänicke M, Jacob K. Lead markets for environmental innovations: a new role for the nation state. Global Environmental Politics, 2004, 4(1): 29-46.
- [4] Foxon T J, Pearson P J G. Towards improved policy processes for promoting innovation in renewable electricity technologies in the UK. Energy Policy, 2007, 35(3): 1539-1550.
- [5] Kemp, René. Ten themes for eco-innovation policies in Europe. Sapiens, 2011, 4(4.2): 224-231.
- [6] 韩晶. 中国区域绿色创新效率研究. 财经问题研究, 2012, (11): 130-137.
- [7] 殷群, 程月. 我国绿色创新效率区域差异性及其成因研究. 江苏社会科学, 2016, (2): 64-69.
- [8] 刘明广. 区域创新系统绿色创新效率的空间分布及收敛性研究. 工业技术经济, 2017, 36(4): 10-18.
- [9] Mazzanti M, Zoboli R. Embedding environmental innovation in local production systems: SME strategies, networking and industrial relations: evidence on innovation drivers in industrial districts. International Review of Applied Economics, 2009, 23(2): 169-195.
- [10] Chadha A. Overcoming competence lock-in for the development of radical eco-innovations: the case of biopolymer technology. Industry and Innovation, 2011, 18(3): 335-350.
- [11] 华振. 中国绿色创新绩效研究——与东北三省的比较分析. 技术经济, 2011, 30(7): 30-34, 41-41.
- [12] 曹霞, 于娟. 绿色低碳视角下中国区域创新效率研究. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(5): 10-19.
- [13] 冯志军. 中国工业企业绿色创新效率研究. 中国科技论坛, 2013, (2): 82-88.
- [14] 任耀, 牛冲槐, 牛彤, 姚西龙. 绿色创新效率的理论模型与实证研究. 管理世界, 2014, (7): 176-177.
- [15] 刘明广. 区域绿色创新效率评价与收敛性研究——基于组合 DEA 与空间计量视角. 科技管理研究, 2017, 37(17): 257-266.
- [16] 沈能, 赵增耀, 周晶晶. 生产要素拥挤与最优集聚度识别——行业异质性的视角. 中国工业经济, 2014, (5): 83-95.
- [17] 王锋正, 郭晓川. 环境规制强度、行业异质性与 R&D 效率——源自中国污染密集型与清洁生产型行业的实证比较. 研究与发展管理, 2016, 28(1): 103-111.
- [18] 孙少勤, 郭琴琴. 基于行业异质性的中国工业碳排放影响因素分析. 企业经济, 2014, (9): 103-108.
- [19] 秦楠, 刘李华, 孙早. 环境规制对就业的影响研究——基于中国工业行业异质性的视角. 经济评论, 2018, (1): 106-119.
- [20] 周四军, 廖芳芳, 李丹玉. 考虑行业异质性的我国工业能源效率分析. 产经评论, 2017, 8(1): 31-44.
- [21] Kruskal J B. Linear transformation of multivariate data to reveal clustering//Shepard R N, Romney A K, Nerlove S B, eds. Multidimensional Scaling: Theory and Applications in the Behavioral Sciences Vol. 1. Theory. New York: Seminar Press, 1972.
- [22] 楼文高, 杨雪梅, 张卫. 区域智力资本评价的投影寻踪模型及其实证研究. 情报杂志, 2010, 29(7): 113-116, 126-126.
- [23] 孔晓妮, 邓峰. 中国各省区绿色创新效率评价及其提升路径研究——基于影响因素的分析. 新疆大学学报: 哲学·人文社会科学版, 2015, 43(4): 14-18.
- [24] 钱丽, 肖仁桥, 陈忠卫. 我国工业企业绿色技术创新效率及其区域差异研究——基于共同前沿理论和 DEA 模型. 经济理论与经济管理, 2015, (1): 26-43.
- [25] 胡剑波, 刘辉. 我国区域工业生态创新效率评价——基于 SBM 模型和 CCR 模型的分析. 科技管理研究, 2014, 34(14): 47-52.
- [26] 肖仁桥, 丁娟, 钱丽. 绿色创新绩效评价研究述评. 贵州财经大学学报, 2017, (2): 100-110.
- [27] 毕克新, 杨朝均, 黄平. 中国绿色工艺创新绩效的地区差异及影响因素研究. 中国工业经济, 2013, (10): 57-69.
- [28] 刘冬华, 李俊杰, 陈亮. 中国工业生态技术创新效率评价——基于 2011—2014 年省际面板数据. 吉林工商学院学报, 2017, 33(1): 5-13.
- [29] 杨立生, 王倩, 柴鑫. 基于 SBM-DEA 模型的企业绿色持续创新效率研究. 云南财经大学学报, 2018, 34(5): 102-112.
- [30] 金菊良, 丁晶. 遗传算法及其在水科学中的应用. 成都: 四川大学出版社, 2000: 36-40.
- [31] 封志明, 郑海霞, 刘宝勤. 基于遗传投影寻踪模型的农业水资源利用效率综合评价. 农业工程学报, 2005, 21(3): 66-70.