

# 基于 DPSIR 模型的工业绿色转型评价研究

## ——以河北省为例

孙丽文 曹 璐 吕静韦

(河北工业大学经济管理学院,天津 300401)

**[摘 要]** 随着资源环境问题的日渐严峻,实现工业绿色转型成为当前阶段的必然选择;而推动工业发展道路向绿色低碳转型的首要问题,是要对绿色转型水平做出科学、客观、有效的评价。基于 DPSIR 模型,从驱动力、压力、状态、影响、响应五个方面,构建了工业绿色转型综合评价指标体系;并采用熵权-灰关联-TOPSIS 方法,以河北省为例进行了实证评价;最后根据时、空两个维度的评价结果分析,提出河北省工业绿色转型的对策建议。

**[关键词]** 工业;绿色转型评价;DPSIR 模型;熵权-灰关联-TOPSIS 法

**[DOI 编码]** 10.13962/j.cnki.37-1486/f.2017.04.014

**[中图分类号]**F062.2 **[文献标识码]**A **[文章编号]**2095-3410(2017)04-0120-08

在资源环境的刚性约束与粗放的经济发展方式矛盾日益加剧的背景下,发展绿色经济是可持续发展的必由之路。作为国民经济重要组成部分和实体经济主体的工业,在推动经济增长、增加财政收入、扩大就业、改善民生的同时,传统的“三高一低”增长方式也使其成为高污染、高排放的主要源头,因此实现工业的绿色转型,不仅有助于减缓经济发展与生态环境之间的冲突,而且成为现阶段经济增长的新引擎,对于中国工业发展而言不仅是时代要求、更具有重要的现实意义。

### 一、工业绿色转型内涵及研究现状

#### (一)工业绿色转型内涵

作为绿色经济的重要组成部分,工业绿色转型是指以资源集约利用和环境友好为导向,以绿色创新为核心,以生产流程能源资源集约利用、污染物排放逐渐减少、可持续发展能力不断增强为目标,实现经济发展效益与生态环境效益双赢的过程<sup>[1][2]</sup>。

由以上内涵可以看出,工业绿色转型有两个要

点:“绿色”强调的是在工业生产全过程中,依靠技术创新实现污染物、废弃物的减排,资源能源利用效率的提升,环境负荷的降低;“转型”强调的是工业发展模式由传统到可持续,由粗放到集约,由高投入、高消耗、高污染、低效益到低投入、低消耗、低污染、高效益的转变。

#### (二)相关研究综述

自英国经济学家大卫·皮尔斯于 1989 年在《绿色经济蓝图》一书中提出“绿色经济”概念以来,特别是 2008 年新一轮世界金融危机爆发以后,国际社会深刻意识到难以为继的传统经济发展方式向绿色经济转型的必要性,于是绿色转型的全球研究热潮由此勃兴。中国学者对于绿色转型的研究主要从区域(城市)和产业两个维度展开;其中关于产业转型的研究,主要集中在以下方面:一是对产业绿色转型的动因、路径及对策的研究,二是对影响产业绿色转型因素的研究,三是对产业绿色转型的评价研究。

而有关产业绿色转型评价的研究,目前主要从

**[基金项目]** 本文是国家社会科学基金重点项目“基于竞争优势转型的我国产业创新生态系统理论、机制与对策研究”(项目编号:14AJY006)和河北省教育厅人文社会科学研究重大课题攻关项目“创新驱动战略下河北省产业转型升级路径研究”(项目编号:ZD201717)的阶段性成果。

**[作者简介]** 孙丽文(1964—),女,天津人,河北工业大学经济管理学院教授、博士生导师。主要研究方向:创新与区域产业发展。

两个路径展开,一是从全要素理论出发,通过测量产业绿色全要素生产率对绿色转型水平做出评价。如 Watanabe M, Tanaka K (2007), Jefferson G H, Rawski T G 和 Zhang Y (2008) 通过对中国工业绿色全要素生产率的分析,评价了中国工业绿色转型水平<sup>[3][4]</sup>;陈诗一(2010)基于环境全要素生产率视角,通过对中国改革开放以来工业全要素生产率的重新测算,评价并解释了中国的绿色工业革命<sup>[5]</sup>;王奇、王会和陈海丹(2012)利用随机前沿生产函数分析方法,研究了中国农业绿色全要素生产率的变化情况<sup>[6]</sup>;杨文举、龙睿赞(2012)结合方向性距离函数和跨期数据包络分析法,对中国地区工业绿色全要素生产率的增长进行了研究<sup>[7]</sup>;魏玮、谭林和刘希章(2015)研究了中国工业绿色全要素生产率的变动规律和演化趋势<sup>[8]</sup>;Shuai Shao, Ranran Luan 和 Zhenbing Yang 等(2016)分析了上海市工业绿色全要素生产率及主要决定因素,并对上海市工业绿色转型效果进行了评价<sup>[9]</sup>。

产业绿色转型评价的另一路径,是根据绿色转型的内涵构建指标体系进行综合评价。如李佐军(2012)将绿色转型概括为减排能力、增绿能力、资源节约能力、资源结构优化能力、竞争力提升能力五个方面,以此构建评价指标体系<sup>[10]</sup>;Shanlin Yang, Yu Bai, Sufeng Wang 等(2013)从经济增长、人力资本、自主创新、工业结构调整与升级、居民生活质量、资源与环境六个方面建立综合评价指标体系,并运用层次分析法对 2000—2009 年中国工业发展方式的转变进行了研究与评价<sup>[11]</sup>;卢强、吴清华和周永章等(2013)提出利用工业资源消耗或污染物排放变化相对工业产值的弹性脱钩值,作为测度工业绿色转型升级水平的评价指标,以此为基础评价分析了“十一五”期间广东省及其五个区域工业绿色转型升级进展<sup>[12]</sup>;朱斌和史轩亚(2016)从绿色经济效益、绿色资源利用、绿色生产发展、绿色减排控制、绿色支持力度五个方面构建了产业绿色转型的系统评价体系,并引入熵值法改进的灰局势决策模型,对近五年来福建省及其九大设区市的产业绿色转型现状进行综合评价<sup>[13]</sup>。

通过相关文献的梳理,发现学者们观察视角不同,所建立的绿色转型评价指标体系也各有差异。由于工业绿色转型是一个复杂的综合系统,其转型过程

必然受多方面因素的影响,由此,本文将 DPSIR 模型引入研究,从驱动力、压力、状态、影响和响应五个方面构建指标体系,从一个新的视角对工业绿色转型情况进行综合评价,进而揭示工业发展存在的突出问题并指出未来转型方向,以期为更好地实现工业绿色转型提供合理依据。

## 二、基于 DPSIR 模型的工业绿色转型评价指标体系构建

### (一) DPSIR 模型及作用机理分析

DPSIR 模型是在 PSR 和 DSR 模型基础上衍生出来的。1993 年,经济合作与发展组织(OECD)从压力、状态、反应三个维度提出表征可持续发展的 PSR 模型<sup>[14]</sup>;之后,联合国可持续发展委员会(UNCSD)又提出了驱动力、状态、响应模型<sup>[15]</sup>;欧洲环境署(EEA)以此为基础进行综合,于 1998 年首次提出 DPSIR 模型,它从系统分析的角度看待人与生态环境系统的相互作用,从驱动力(Driving forces)、压力(Pressure)、状态(State)、影响(Impact)、响应(Response)五个维度,综合体现环境、经济与社会之间的相互制约关系。

本文将 DPSIR 模型引入研究,认为影响工业绿色转型的因素也可归纳为驱动力、压力、状态、影响、响应五个方面。

1. 工业绿色转型的“驱动力”分析。驱动工业绿色转型的因素主要包括技术创新、结构优化、能源效率和环境规制四个方面。(1)技术创新对于工业绿色转型的驱动主要表现在两个方面:一是通过技术进步来提高能效、减少污染排放,二是通过技术替代来改善能源结构和产业结构,从而驱动工业实现绿色转型;(2)结构优化是驱动工业绿色转型的内在动力,包括通过减少化石能源消费、发展低碳新能源的能源结构优化和通过传统工业的改造、更替、升级,减少“三高”行业的产业结构优化;(3)能源效率是能源利用水平高低的体现,通过改进能源效率,降低能源需求,减少能源消费总量,进而驱动工业绿色转型;(4)环境规制则是驱动工业绿色转型的制度力量,政府通过增加环境保护方面的财政支出,激励工业企业的绿色低碳转型行为。

2. 工业绿色转型的“压力”分析。“压力”反映的是资源环境对于工业活动的负荷程度,伴随工业

经济的快速发展,工业活动中温室气体 CO<sub>2</sub>,工业废气、废水中污染物 SO<sub>2</sub>、烟粉尘、氮氧化物等的排放量迅猛增长,由此造成的生态环境破坏和经济损失越来越严重,是工业向绿色低碳化转型的直接原因。

3.工业绿色转型的“状态”分析。“状态”是指目前工业发展的状况,是“驱动力”和“压力”因素共同作用的结果,主要包括反映工业生产活动最终成果的工业增加值、反映资源耗费情况的资源消费强度、反映工业生产技术和经营管理水平的劳动生产率、反映工业企业经济效益情况的成本费用利润率等。

4.工业绿色转型的“影响”分析。“影响”指的是在“驱动力”和“压力”因素作用下的工业发展现状对技术创新的需求,主要体现为工业企业在资源环境的压力下要形成可持续的竞争力,必须加强创新研发及人才投入。

5.工业绿色转型的“响应”分析。“响应”即政府和企业为减轻工业活动对资源环境的破坏,通过创新活动所采取的措施,如提高工业污染物去除率、固体废弃物综合利用率,改善环境空气质量,增大绿化面积等。

综上所述,绿色转型的“驱动力”和“压力”造成当前工业发展“状态”,而“状态”又反过来激励企业创新、“影响”企业的创新活动,其“响应”表现为废弃物的减少和综合利用,改善目前状态、向绿色工业转型。基于 DPSIR 模型的工业绿色转型机理如图 1 所示。

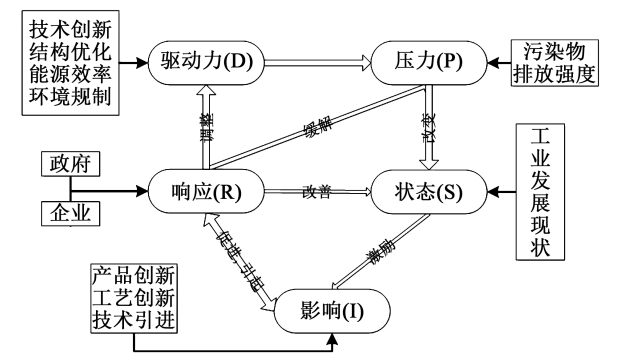


图 1 基于 DPSIR 模型的工业绿色转型机理图

(二)工业绿色转型 DPSIR 指标的选取

基于 DPSIR 模型,结合可持续发展、资源环境经济相关理论,本文从驱动力、压力、状态、影响和响应五个方面,对工业绿色转型评价指标进行选取。

1.“驱动力”指标的选取。“驱动力”是驱动工业绿色转型的因素,包括技术创新、结构优化、能源效率、环境规制四个方面,因此选取自主创新水

平<sup>①</sup>、清洁能源比和高耗能产业比重、能源强度、节能环保投资比重五个指标分别代表上述四个方面。

2.“压力”指标选取。“压力”反映工业活动对资源环境造成的破坏,因此选取工业 CO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、烟粉尘、氮氧化物、废水排放强度五个指标代表。

3.“状态”指标选取。“状态”表示工业发展现状,因此选取工业增加值、劳动生产率、成本费用利润率以及单位工业增加值水、电消耗五个指标代表。

4.“影响”指标选取。“影响”是当前工业发展状态对于工业创新活动的需求,因此选取创新人才强度、R&D 投入密集度、新产品创新效率、R&D 项目投入强度、R&D 效率五个指标表示。

5.“响应”指标选取。“响应”是为减缓生态环境压力而采取的一系列措施,因此选取工业 SO<sub>2</sub>、烟粉尘去除率,工业固体废物综合利用率,环境空气质量优良率,建成区绿化覆盖率五个指标代表。

综上分析,本文选取了包括 1 个目标层(即工业绿色转型发展,表达指标体系的总目标)、5 个准则层(即驱动力、压力、状态、影响、响应)和 25 个指标层构成的指标体系,见表 1。

表 1 工业绿色转型综合评价指标体系

目标层	准则层	指标层	指标方向	标示
工业绿色转型发展	D 驱动力	R&D 效率	正	X <sub>1</sub>
		高耗能工业比重	负	X <sub>2</sub>
		清洁能源比	正	X <sub>3</sub>
		节能环保投资比重	正	X <sub>4</sub>
		能源强度	负	X <sub>5</sub>
	P 压力	工业 CO <sub>2</sub> 排放强度	负	X <sub>6</sub>
		工业 SO <sub>2</sub> 排放强度	负	X <sub>7</sub>
		工业烟粉尘排放强度	负	X <sub>8</sub>
		工业氮氧化物排放强度	负	X <sub>9</sub>
		工业废水排放强度	负	X <sub>10</sub>
	S 状态	工业增加值	正	X <sub>11</sub>
		工业劳动生产率	正	X <sub>12</sub>
		工业成本费用利润率	正	X <sub>13</sub>
		工业增加值水耗	负	X <sub>14</sub>
		工业增加值电耗	负	X <sub>15</sub>
	I 影响	创新人才强度	正	X <sub>16</sub>
		R&D 投入密集度	正	X <sub>17</sub>
		新产品创新效率	正	X <sub>18</sub>
		R&D 项目投入强度	正	X <sub>19</sub>
		R&D 效率	正	X <sub>20</sub>
	R 响应	工业 SO <sub>2</sub> 去除率	正	X <sub>21</sub>
		工业烟粉尘去除率	正	X <sub>22</sub>
		工业固体废物综合利用率	正	X <sub>23</sub>
		环境空气质量优良率	正	X <sub>24</sub>
		建成区绿化覆盖率	正	X <sub>25</sub>



(三)工业绿色转型评价方法选择

目前关于工业绿色转型评价的方法主要包括AHP、熵权法、灰色关联法、模糊综合评价、物质流分析法(MFA)等。现有研究大多采用单一方法、结合专家打分或仅依靠客观信息直接计算指标权重后给出评价结果,这样就不免存在主观性强、应用范围狭窄、数据处理环节简单的局限性。鉴于此,本文选取了包含熵权、灰色关联分析和TOPSIS模型的综合评价方法,以达到在消除主观影响的同时,得到客观合理的评价结果。

C.E.Shannon 在 20 世纪 40 年代提出了信息熵的概念用以度量系统的无序度,在经济领域多用来确定指标权重。熵权法是一种客观赋权法,不仅计算精度高,而且对于评价结果的解释也更为客观。灰色关联分析来源于灰色系统理论,测度的是因素间相互联系的相对紧密程度,或是对项目中各样本方案进行动态分析,其结果具有直观性、普适性。TOPSIS 属于多目标决策分析法,主要用于计算所研究指标与理想解的贴近程度<sup>[16]</sup>。

本文采用熵权-灰关联-TOPSIS 法建立工业绿色转型综合评价模型,首先由于原始数据包含正、负指标,且量纲不统一,因此利用极差法对原始数据进行标准化处理,设处理后的矩阵为  $Y = (y_{ij})_{mn}$ ;接着,根据熵权法计算指标权重  $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$  并由此计算加权规范化矩阵  $Z = (z_{ij})_{mn} = w \cdot y_{ij} (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$ , 确定正理想解  $z_j^+ = \max(z_{1j}, z_{2j}, \dots, z_{mj}) = w_j$  和负理想解  $z_j^- = \min(z_{1j}, z_{2j}, \dots, z_{mj}) = 0$ ; 然后,计算各年份(各地级市)工业绿色转型现状与正负理想解的 Euclid 距离;随后,计算各指标灰色关联系数及与正负理想解的灰色关联度;最后,根据 Euclid 距离和灰色关联度的无量纲化处理结果  $D_i^+, D_i^-, R_i^+, D_i^-$  和绝对贴近度公式  $T_i^+ = \alpha R_i^+ + \beta D_i^-$ 、 $T_i^- = \alpha R_i^- + \beta D_i^+$  计算各年份(各地级市)工业绿色转型评价指数。

三、河北省工业绿色转型实证评价

河北省工业具有先天的能源资源依赖特性,工业大而不强,产能过剩问题突出,工业结构偏重,决定了河北省能源消耗、资源消耗、污染排放大省的重重身份。重工业活动对生态环境的冲击巨大,资源环境为河北省经济高速发展付出了惨痛代价,区域

严重持续的雾霾和地下水污染为河北省工业发展敲响了警钟,急需向低碳绿色方向转型。

(一)河北省工业发展现状分析

1.工业产值与产业结构现状。2015 年,河北省全部工业增加值 12626.2 亿元,比 2011 年增长 7.5%。规模以上工业增加值达 11244.7 亿元,占比高达 89%,其中六大高耗能行业增加值比上年增长 3.2%。规模以上工业企业实现利润 2181.4 亿元,比上年下降 11%,工业中高耗能工业比重接近 50%。从整体来看,河北省工业经济增速较快,产业结构调整进程加速、但高耗能产业占工业总体比重依然较高,转型任务艰巨。

2.工业能源消费结构与能源效率。河北省能源消费结构呈现着“富煤、贫油、少气”的特征,从 2015 年数据看,能源消费总量中化石能源消费占比河北省高达 97.98%,而全国占比为 88%,显示出河北省对化石能源依赖过大,清洁能源短缺,能源结构不合理。此外,2015 年单位产值能耗河北省为 1.745 吨标准煤/万元,而全国仅为 0.76 吨标准煤/万元,河北省能源效率远低于全国水平;尽管近年来能源单耗有所降低,但由于持续加快的经济增长率及产业结构偏重,能源消耗大于能源生产,因此节能、低碳化转型的压力较大。

3.工业污染减排现状。2015 年河北省工业污染物排放情况如表 2 所示,由此可见尽管河北省在降污减排方面做了很多工作,但在全国范围内污染物排放水平依然很高,其中工业烟粉尘的排放更是达到了全国最高水平。2015 年河北省环境空气质量优良率为 52.1%,虽比上年有所增长,但与 2009 年的 93.82%相比仍有很大差距,进一步反映出生态环境为河北省经济高速增长付出的巨大代价,工业绿色转型面临巨大的压力和迫切需求。

表 2 河北省工业污染物排放量及排名		
污染物名称	排放量(万吨)	在 31 个省市中的排名
SO <sub>2</sub>	110.84	5
氮氧化物	135.08	2
烟粉尘	157.54	1
化学需氧量	120.81	5
氨氮	9.73	9

4.工业科技活动现状。2015 年规模以上工业企业科技活动现状如表 3 所示。由表中数据可知,河北省在科技进步与自主创新方面与全国水平相比有

很大差距,工业企业研发投入不足,自主创新能力薄弱。此外,由于京津对人才的强力吸附效应,致使河北省人力资源流失严重,进而制约了河北省科技进步和创新能力的提升。

表 3 河北省及全国 2015 年规模以上工业企业科技活动情况对比

科技活动情况	河北省	全国
R&D 投入密集度	0.55	0.84
有效发明专利占比	50%	71.2%
创新人才强度	0.76%	4.23%

综上,河北省的工业绿色转型具有典型性和代表性,下面就从时间和空间两个维度,对河北省工业绿色转型进展情况及空间差异进行评价与分析。

(二)河北省工业绿色转型进展评价

首先从时间维度,选取 2009—2014 年数据,对河北省工业绿色转型的进展进行纵向评价。本文所有数据来源于《中国统计年鉴 2010—2015》、《中国环境统计年鉴 2015》、《中国城市统计年鉴 2015》、《中国能源统计年鉴 2015》、《河北统计年鉴 2010—2015》以及河北省 11 个地级市统计年鉴、《河北科技统计年鉴 2010—2015》中的相关数据整理与进一步计算。其中,CO<sub>2</sub>排放量的测度,根据能源分品种消耗量及《省级温室气体清单指南》提供的能源碳排放系数进行计算。

1.纵向评价数据处理与计算

由于被评价年份个数为 6、评价指标个数为 25,则决策矩阵为  $X = (x_{ij}) \cdots (i = 1, 2, \cdots, 6; j = 1, 2, \cdots, 25)$  运用极差法按照公式(1)、(2)对原始数据进行标准化处理后,再根据熵权法原理,按照公式(3)计算出各指标权重及排序结果,见表 4。

对于正向指标:  $y_{ij} = x_{ij} - x_{\min} / x_{\max} - x_{\min}$  (1)

对于负向指标:  $y_{ij} = x_{\max} - x_{ij} / x_{\max} - x_{\min}$  (2)

其中  $x_{\max}$ 、 $x_{\min}$  分别为同一指标下的最大、最小值;正向指标表示数值越大,情况越优;负向指标表示数值越大,情况越差。

首先计算信息熵:  $H_j = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij}$ , 其中,  $p_{ij} = y_{ij} / \sum_{i=1}^m y_{ij}$ ;  $k = 1 / \ln m$ ;

再计算指标 j 的权重:  $w_j = (1 - H_j) / \sum_{j=1}^n (1 - H_j)$  (3)

其中,  $w_j \in [0, 1]$  且  $\sum_1^n w_j = 1$ 。

根据权重的计算结果可知,自主创新水平、R&D

项目投入强度、R&D 投入密集度、创新人才强度几个指标的权重在 0.05 以上,这综合表明技术创新是河北省工业实现绿色转型发展最关键的因素。

表 4 纵向评价各指标权重及排序

排序	1	2	3	4	5	5	7	8	8
指标	X <sub>1</sub>	X <sub>19</sub>	X <sub>17</sub>	X <sub>16</sub>	X <sub>23</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>13</sub>
权重	0.078	0.077	0.054	0.052	0.046	0.046	0.045	0.044	0.044
排序	10	10	12	13	14	15	15	17	17
指标	X <sub>24</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>18</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>12</sub>	X <sub>25</sub>	X <sub>20</sub>	X <sub>11</sub>	X <sub>14</sub>
权重	0.043	0.043	0.038	0.036	0.034	0.033	0.033	0.031	0.031
排序	19	20	20	20	23	23	25		
指标	X <sub>10</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>21</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>15</sub>	X <sub>22</sub>		
权重	0.029	0.028	0.028	0.028	0.027	0.027	0.026		

然后根据各指标权重,计算加权规范化矩阵和正负理想解;在此基础上,按照公式(4)、(5)求得各年份工业绿色转型现状与正负理想解的 Euclid 距离:

$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (z_{ij} - z_j^+)^2}$  (4)

$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (z_{ij} - z_j^-)^2}$ ; (5)

再根据公式(6)、(7)可得各指标灰色关联系数,其中,分辨系数 ρ 取 0.5。进而按照公式(8)、(9)可以求得各指标与正负理想解的灰色关联度:

$\gamma_{ij}^+ = \frac{\min_i \min_j |z_{ij} - z_j^+| + \rho \max_i \max_k |z_{ij} - z_j^+|}{|z_{ij} - z_j^+| + \rho \max_i \max_k |z_{ij} - z_j^+|}$ ; (6)

$\gamma_{ij}^- = \frac{\max_i \min_j |z_{ij} - z_j^-| + \rho \max_i \max_k |z_{ij} - z_j^-|}{|z_{ij} - z_j^-| + \rho \max_i \max_k |z_{ij} - z_j^-|}$ ; (7)

$\gamma_i^+ = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \gamma_{ij}^+$ ; (8)

$\gamma_i^- = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \gamma_{ij}^-$ ; (9)

Euclid 距离与灰色关联度经无量纲化处理后的结果为:

$D^+ = \{ 0.4261, 0.4223, 0.6566, 0.7964, 0.9231, 1.0000 \}$ ;

$D^- = \{ 1.0000, 0.8608, 0.6275, 0.5271, 0.5247, 0.4648 \}$ ;

$R^+ = \{ 1.0000.0.9098, 0.8236, 0.7724, 0.7453, 0.6708 \}$ ;

$R^- = \{ 0.6717, 0.6871, 0.7452, 0.8083, 0.8877, 1.0000 \}$ ;

最后根据上述结果,在计算绝对贴近度的基础上,根据相对贴近度的计算公式(10)得出河北省工业绿色转型发展纵向评价指数:

$$C_i^+ = T_i^+ / (T_i^+ + T_i^-) \tag{10}$$

式中  $C_i^+$  值越大,表示工业绿色转型发展越好。  
评价结果如表 5 所示:

年份	2009	2010	2011	2012	2013	2014
工业绿色转型指数	0.3622	0.4122	0.4475	0.5086	0.6146	0.6456

2.纵向评价结果分析

根据表 5 评价结果,按指数大小进行排序可得:  
2014>2013>2012>2011>2010>2009。

从整体看,河北省工业绿色转型发展趋势向好,“十二五”期间绿色转型发展较快,一直处于上升阶段,这主要得益于随着京津冀协同战略的推进,河北省工业转型步伐加快,采取了一系列大力化解过剩产能的政策措施;但是从发展程度而言,绿色转型指数最大值仅为 0.6456,离转型目标差距较大,还有很大的提升空间。

根据学者孙毅、景普秋(2012)关于产业绿色转型发展阶段研究观点<sup>[17]</sup>,工业绿色转型可划分为起步期、深化期和成熟期三个阶段,即从“深褐色”——“褐绿色”——“浅绿色”发展。据此,本文参考国内外相关标准及工业绿色转型的实际情况,将工业绿色转型发展指数划分为三个区间(见表 6)。

表 6 工业绿色转型发展指数划分标准			
指数值	(0~0.5)	(0.5~0.8)	(0.8~1)
发展阶段	深褐色	褐绿色	浅绿色

由表 5 指数评价结果和表 6 划分标准可知,2009、2010、2011 年还处在工业绿色转型的起步期;2012 年是转型深化期的初级阶段,属于刚刚突破起步期的界限;2013、2014 年进入深化期的中级阶段,这一阶段绿色转型发展较快,但距离成熟期还有很大发展空间。

(三)河北省工业绿色转型空间评价

从空间维度,选取石家庄、唐山、秦皇岛、邯郸、沧州、保定、衡水、张家口、承德、邢台、廊坊 11 个地级市,对河北省内工业绿色转型水平的区域差异进行横向比较。

1.横向评价数据处理与计算

被评价地级市个数为 11,评价指标个数为 25,则决策矩阵为  $X=(x_{ij})_{mn}(i=1,2,\cdots,11;j=1,2,\cdots,25)$ 。与纵向评价步骤一致,计算出各指标权重及排序结果见表 7:

根据权重的计算结果可知,创新人才强度、清洁能源比、自主创新能力、环境空气质量优良率、工业增加值电耗、R&D 效率几个指标的权重在 0.05 以上,归结而言,技术创新、能源效率与结构、环境规制是影响河北省 11 个地级市实现工业绿色转型发展的主要因素;其中,有 3 个指标都代表技术创新,表明技术创新是工业实现绿色转型发展的关键因素。

表 7 横向评价各指标权重及排序									
排序	1	1	1	4	5	6	7	8	8
指标	$X_{16}$	$X_3$	$X_1$	$X_{24}$	$X_{15}$	$X_{20}$	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{25}$
权重	0.080	0.080	0.080	0.072	0.060	0.055	0.049	0.045	0.045
排序	10	11	12	13	13	15	16	16	18
指标	$X_{19}$	$X_{22}$	$X_{21}$	$X_{17}$	$X_5$	$X_4$	$X_7$	$X_6$	$X_8$
权重	0.038	0.037	0.036	0.033	0.033	0.032	0.027	0.027	0.026
排序	19	20	21	22	23	24	25		
指标	$X_2$	$X_9$	$X_{13}$	$X_{18}$	$X_{14}$	$X_{10}$	$X_{23}$		
权重	0.025	0.024	0.023	0.022	0.019	0.017	0.016		

根据各指标权重,与纵向评价步骤一致,最终得到河北省工业绿色转型空间横向评价结果。各地区的综合评价结果见表 8;具体到驱动力、压力、状态、影响、响应五个因素评价指数的对比,如图 2 所示。

表 8 河北省工业绿色转型空间横向评价结果						
排序	1	2	3	4	5	6
评价指数	0.5761	0.5242	0.5099	0.4914	0.4861	0.4838
城市	保定	张家口	沧州	承德	秦皇岛	石家庄
排序	7	8	9	10	11	
评价指数	0.4733	0.4702	0.4522	0.4500	0.3557	
城市	廊坊	衡水	唐山	邯郸	邢台	

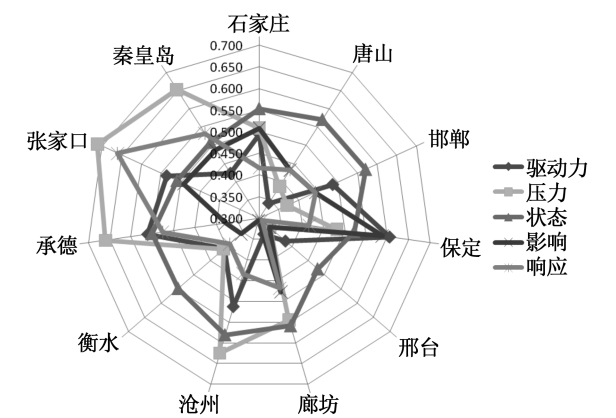


图 2 驱动力、压力、状态、影响、响应五层次评价指数对比图

2.横向评价结果分析

由表 8 综合评价结果可知,河北省 11 个地级市中,保定、张家口、沧州工业绿色转型指数在 0.5 以上,步入转型深化期;承德、秦皇岛、石家庄、衡水和廊坊的指数在 0.47 到 0.49 之间;唐山和邯郸的指数



大致一样,邢台的指数最低且与其他城市差距最大。从整体发展水平看,除保定外其余城市之间差距很小,并且指数最高仅仅 0.5761。因而从空间维度来看,河北省工业绿色转型处于较低水平,工业绿色转型任务依然艰巨。

根据图 2 分析 DPSIR 各因素的影响,可以看出:(1)从驱动力看,保定、承德、张家口、沧州评价指数在 0.5 以上,其原因在于张家口和承德两个城市工业比重较低、有资源环境优势,在能源结构方面会更趋向于清洁化,而保定和沧州是由于企业自主创新水平较高;(2)从工业绿色转型的压力指标看,邢台、邯郸、唐山、衡水四个城市的工业污染物、废弃物排放强度大,表明工业活动对于资源环境的负荷高,因此这几个城市要加大节能减排力度;(3)从目前工业发展状态看,各城市差距较小。其中由于沧州、唐山、邯郸三个城市的工业增加值、工业劳动生产率较高,因而相对而言指数水平高一些;(4)从工业创新活动的影响看,只有保定和石家庄两个城市的评价指数在 0.5 以上,表明这两个城市在创新人才强度、R&D 效率、R&D 项目投入强度方面表现较好,技术创新水平较高,这与保定和石家庄高等院校、科研院所集中密不可分;(5)从响应指标看,即为减轻工业活动对资源环境造成的压力而采取的措施,只有张家口、承德和秦皇岛三个城市评价指数在 0.5 以上,其余城市评价指数差距不大且水平都较低,表明大部分城市仍需在提高工业污染物、废弃物的去除率和综合利用率方面下功夫。

#### 四、结语

综合以上从时间和空间两个维度的评价表明,河北省工业绿色转型呈现出越来越好的发展趋势,但整体发展水平还不高,城市之间发展差距不大,具有很大发展空间与转型潜力。同时,两个维度的指标赋权结果表明,技术创新、能源效率与结构、环境规制是影响工业绿色转型的主要因素;而技术创新则是其中最关键的因素。因而,要推进工业绿色转型步伐,首先必须实施创新驱动战略,一方面,通过技术改进与工艺创新实现节能减排与清洁生产,最大限度提高能源利用效率,降低污染物排放强度;另一方面,通过技术升级与产品创新实现产业结构优化调整,降低高耗能工业比重,提升产品附加值、延

伸产业链。其次,要改善能源结构,开发新能源和低碳技术。最后,充分发挥政府的引导、监督与环境规制作用,推进工业发展向高端、智能、绿色化迈进,助推工业实现绿色低碳转型。

#### 【注】

①自主创新水平 = 1/对外技术依存度;对外技术依存度 = 技术引进经费/(R&D 经费 + 技术引进经费),对外技术依存度表示工业企业对技术引进的依赖程度。

#### 参考文献:

[1] 中国社会科学院工业经济研究所课题组,李平.中国工业绿色转型研究[J].中国工业经济,2011,(04):5-14.

[2] 彭星,李斌.贸易开放、FDI 与中国工业绿色转型——基于动态面板门限模型的实证研究[J].国际贸易问题,2015,(01):166-176.

[3] Watanabe M, Tanaka K. Analysis of Chinese Industry: A Directional Distance Function Approach[J].Energy Policy, 2007,35(12):6323-6331.

[4] Jefferson G H, Rawski T G, Zhang Y. Productivity Growth and Convergence across China's Industrial Economy[J]. Journal of Chinese Economic and Business Studies, 2008,6(2): 121-140.

[5] 陈诗一.中国的绿色工业革命:基于环境全要素生产率视角的解释(1980—2008)[J].经济研究,2010,(11):21-34.

[6] 王奇,王会,陈海丹.中国农业绿色全要素生产率变化研究:1992-2010 年[J].经济评论,2012,(05):24-33

[7] 杨文举,龙睿贇.中国地区工业绿色全要素生产率增长:——基于方向性距离函数的经验分析[J].上海经济研究,2012,(07):3-13.

[8] 魏玮,谭林,刘希章.中国工业绿色全要素生产率动态演变特征研究[J].价格理论与实践,2015,(09):91-94.

[9] Shuai Shao, Ranran Luan, Zhenbing Yang et al. Does directed technological change get greener: Empirical evidence from Shanghai's industrial green development transformation[J]. Ecological Indicators, 2016(6):758-770.

[10] 李佐军.中国绿色转型发展报告[M].北京:中央党校出版社,2012:6-8.

[11] Shanlin Yang, Yu Bai, Sufeng Wang et al. Evaluating the transformation of China's industrial development mode during 2000-2009[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013(1):585-594.

[12]卢强,吴清华,周永章等.广东省工业绿色转型升级评价的研究[J].中国人口·资源与环境,2013,(07):34-41.

[13]朱斌,史轩亚.区域产业绿色转型的综合评价与战略分析——以福建省为例[J].生态经济,2016,(09):100-105.

[14]魏君仙,罗文峰.基于 DPSIR 模型的成都市生态可持续发展评价[J].环境科学与管理,2013,(02):184-187.

[15]巢惟志,孙宁,米卫红,等.长三角制造业的低碳经

济发展状况与对策——基于 DSR 模型的评价研究[J].华东经济管理,2012,(01):47-50.

[16]王飞,杜晓丽.基于熵权-灰色关联-TOPSIS 的低碳经济综合评价[J].科技管理研究,2013,(07):48-51.

[17]孙毅,景普秋.资源型区域绿色转型模式及其路径研究[J].中国软科学,2012,(12):152-161.

(责任编辑:刘 军)

A Study of Evaluation of Industrial Green Transformation Based on DPSIR Model:  
A Case Study of Hebei Province

SUN Liwen, CAO Lu, LV Jingwei

(School of economics and management, Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China)

**Abstract:** With the problem of resources and environment becoming increasingly serious, it is an inevitable choice to realize the green transformation of the industry in the current stage; To push the industrial development transforming into green low-carbon path, the key issue is to make a scientific, objective and effective evaluation of the level of green transformation. Based on the DPSIR model, the paper proposes comprehensive evaluation index system of industrial green transformation from five aspects of driving forces, pressure, state, impact and response. By using entropy weight-grey correlation-TOPSIS method, this paper makes an empirical evaluation of Hebei Province; And according to the analysis of the results of the two dimensions of time and space, the paper puts forward the countermeasures and suggestions for Hebei industrial green transformation.

**Key Words:** Industry; Green transformation evaluation; DPSIR model; Entropy weight-grey correlation -TOPSIS method

