

绿色技术创新效率及其影响因素 ——基于我国35个工业行业的实证研究

成琼文, 贺显祥, 李宝生

(中南大学商学院, 湖南长沙, 410083)

摘要: 基于我国工业行业的面板数据, 运用 DEA 模型测算了各行业的绿色技术创新效率, 并对绿色技术研发以及绿色技术转化两个阶段的效率进行了比较分析, 最后运用 Tobit 模型对绿色技术创新效率的影响因素进行了实证研究。研究发现: 中国工业行业绿色技术创新效率整体呈现上升的发展趋势, 但各行业间存在较大差距; 平均企业规模、市场化程度、对外开放程度及环境规制强度等是促进绿色技术创新效率提升的主要因素; 技术环境对绿色技术创新效率的影响主要作用于绿色技术研发阶段, 而绿色技术转化阶段则主要受市场环境和政策环境的影响。进一步提升绿色技术创新效率, 需要加大绿色技术创新投入, 优化资源配置, 营造良好的创新环境。

关键词: 绿色技术创新效率; 创新驱动; Tobit 模型

中图分类号: F062.9

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID)

文章编号: 1672-3104(2020)02-0097-11



一、引言

当前, 中国经济发展进入新时代, 绿色和创新成为驱动工业行业转型发展的两个关键因子。随着改革开放的不断深入, 我国在取得巨大成就的同时, 也付出了浪费资源与破坏环境的沉重代价。工业行业“高投入、高消耗、低产出”的现象层出不穷, 环境污染事件频频发生, 技术创新的绿色化脚步缓慢。党的十九大报告明确指出:“科学发展是解决一切问题的基础和关键, 必须坚定不移贯彻创新、协调、绿色、开放、共享五大发展理念; 始终坚持创新是引领发展的第一动力; 坚持人与自然的和谐共生……推进绿色发展与评价。”因此, 作为“创新驱动”和“绿色发展”的融合点, 绿色创新已经成为打破资源与环境束缚, 推进可持续发展的有效手段。本文将科学测度中国工业行业绿色技术创新的变化, 把握绿色技术创新的演化脉络, 探求绿色技术创新的影响因素, 为我国政府制定

合理有效的绿色创新政策, 提高工业技术创新效率, 实现可持续发展提供参考依据。

与传统创新不同, 绿色技术创新是基于绿色技术和技术创新概念衍生出来的一种绿色评价定义^[1], 其目的是为了实现经济与资源、环境的协调发展, 借助新理念、新科技降低资源消耗和环境污染, 同时获取相应经济效益的应用活动。由于绿色技术和创新活动包含技术创新、经济收益、区域环境等要素, 使得绿色创新概念涵盖的要素具有复杂多维度的特征, 这也导致学者们对绿色技术创新的定义未形成统一的认识^[2]。例如在企业层面, Qiaoling 等^[3]认为绿色技术创新包括了节能、防污染、废物回收、绿色产品设计、环境管理等方面的技术创新, 其不仅能给消费者和企业带来好处, 而且也能减少对环境的不良影响。Shu 等^[4]认为绿色技术创新是指企业在生产经营活动中依靠科学技术对工艺进行绿色改造升级, 从而实现经济与环境协调发展的工艺或产品绿色化的活动过程。产业层面, Gee & Mcmeekin^[5]针对敏感型行业, 认为绿色技术创新是激发行业从环境角度出发, 通过提高产

收稿日期: 2019-05-22; 修回日期: 2019-11-18

基金项目: 国家自然科学基金项目“资源约束下我国铝工业绿色管理机制设计研究”(71573284); 湖南省自然资源厅科技项目“湖南省矿区生态修复补偿机制研究”(2019-11)

作者简介: 成琼文(1972—), 男, 湖南湘乡人, 中南大学商学院研究员、博士生导师, 主要研究方向: 资源环境、企业创新; 贺显祥(1993—), 男, 湖南邵阳人, 中南大学商学院硕士研究生, 主要研究方向: 产业经济学; 李宝生(1993—), 男, 甘肃静宁人, 中南大学商学院硕士研究生, 主要研究方向: 产业经济学, 联系邮箱: 1962477403@qq.com

业的整体效率,实现节能减排、绿色产出的创新。田红娜等^[6]从制造行业出发,认为绿色技术创新是以生态为导向,其目的是节能、降耗和降低环境污染,关键是要进行绿色工艺的创新。宏观层面,张江雪和朱磊^[7]认为绿色技术创新不仅仅是要以经济增长为中心,也要考虑经济、自然和人全面协调发展的综合系统。刘明广^[8]认为绿色创新是在遵循经济规律和生态发展的前提下,既要促进经济的发展和进步,又要减少对环境的破坏,从而使得一个国家或区域的经济效益、社会效益和环境效益协调一致。基于上述的研究,本文从资源和环境角度出发,认为绿色技术创新是通过节约资源和促进废弃物的循环利用实现环境与经济的共同可持续发展,追求绿色生产来获取经济社会效益和环境效益的共增。

现有文献研究绿色技术创新主要集中在效率的测算和影响因素两个方面。在效率的测算方面,绿色技术创新效率的测算方法以随机前沿分析(SFA)为代表的参数方法和以数据包络分析(DEA)为代表的非参数方法为主。前者是由 Aigner 等^[9]、Meeuser & Julien^[10]分别提出,学者们后来对该方法进行了拓展。例如,杨振兵等^[11]将能源和环境同时作为生产性投入要素,纳入到随机前沿生产函数中,进而对中国工业生产中的“绿色”程度进行了测算。陈长江和高波^[12]利用该方法研究了我国各省份的技术进步、技术效率和规模效率的变化趋势。但由于 SFA 需要提前假定估计模型,并且也无法同时处理好和好两种产出,一定程度地制约了 SFA 在技术创新效率中的应用,因此更多的学者倾向于选择 DEA 来测算绿色技术创新效率。例如,沈能和周晶晶^[13]构建了非期望产出的 Hybrid DEA 模型,并在此基础上应用结构方程模型对绿色创新效率进行了分析。钱丽等^[14]运用两阶段的 DEA 模型研究了中国各省份工业企业绿色研发和成果转化的效率。罗良文和梁圣蓉^[15]基于两阶段创新价值链的视角,构建了中国区域工业企业绿色技术创新效率评价体系。

影响因素方面,现有文献主要从企业层面和政府层面展开研究。企业层面主要包括财务绩效、资金投入、高管特征以及公司治理等方面,例如, Li^[16]研究发现企业盈利能力对绿色产品创新具有正向影响,而对绿色过程创新的影响不显著。Ebrahimi & Mirbargkar^[17]等认为在动荡的市场中,财务绩效的提升能够对中小企业的绿色创新提供足够的资金,并且能够吸引创新人员加入企业中。Arena 等^[18]研究发现傲慢的首席执行官能够帮助企业追求不确定和非传统的战略,如企业绿色创新,原因是傲慢的 CEO 对他们自身能力的过度信任和他们高估创新成功后的正向回

报,从而降低了投资者对绿色创新项目风险的担忧。Shu 等^[4]研究认为绿色管理能够优先考虑外部支持者的环境问题,密切关注政府政策、客户的声音和公众利益,这些来自外部的丰富信息流扩大了企业的研发活动,有利于绿色创新项目的进行。而政府层面的研究主要涉及两个视角,一种是政府支持,另一种是政府管制。例如, Yao 等^[19]研究认为工业污染强度能够倒逼重工业行业(如炼油、化学制造和初级金属等)加快绿色创新研发,从而增强其环境合法性。Li 等^[20]研究发现,为了实现可持续发展和环境保护的目标,政府会鼓励企业进行绿色技术创新,政府的研发资金有利于企业绿色创新效率的提升,同时政府的绿色信贷有利于增强绿色创新的动机。

综合上述的文献分析可以得出,已有众多学者围绕技术创新效率开展了丰富的研究,这为本文对绿色技术创新效率的研究提供了坚实的理论基础。但从行业视角来分析的文献较少,更多的是聚焦中国的区域,即使有少数学者选择的视角是行业,也只是关注某单一行业,这可能会忽略整个工业行业发展的不平衡。基于此,本文试图选用 DEA 方法,从整个工业行业的视角对中国绿色技术创新效率进行研究,并运用 Tobit 模型分析中国工业行业绿色技术创新效率的影响因素,以期如何提高工业行业的绿色技术创新效率这一问题提供理论参考和政策建议。

二、理论框架及研究模型

(一) 两阶段视角下绿色技术创新的划分

绿色技术创新是由一系列相关联的子过程构成的,包括绿色设计、绿色研发、绿色生产、绿色转换等,各环节紧密相关,缺一不可。学术界关于技术创新阶段的划分标准主要有三种。一是基于创新要素流动方向和形态的视角,将其划分为知识资本、知识转化和知识开发三个阶段,不同阶段的要素投入和产出有明显的差异^[21];二是基于知识流动的视角,划分为知识共享、知识优势和知识创造三个阶段,创新是各方主体通过知识的获取、转移、运用与反馈的综体现^[22]。三是基于要素投入和产出的视角,将其分为技术研发和成果转化两个阶段^[23-24]。虽然学者们划分的依据不同,但本质相同。在绿色研发阶段,主要以绿色发展为导向,进行新知识、新技术的开发研究,企业通过投入研发人员和项目经费进行技术研究并获得专利。在成果转化阶段,主要以市场化为导向,通过技术升级将第一阶段的专利技术运用于新产品的生产

并获得新产品的销售收入。本文基于要素投入和产出的视角, 构建了中国工业行业的绿色技术创新的两阶段模型, 如图 1 所示。

由图 1 可知, 绿色技术创新行为的一个明显特征是具有两阶段连续性。绿色技术研发和绿色成果转化的实现, 与内在绿色创新资源投入和外部环境变量等均具有一定关联性。例如, 在绿色技术研发阶段, 各工业行业的专利产出既可能与内部 R&D 人员和 R&D 经费投入有关, 还可能与企业规模、各地方政府支持等因素有关。在绿色成果转化阶段, 产品的生产和销售不仅与绿色专利申请量、新产品开发项目数等内在变量有关, 而且还可能与市场化程度、环境规制强度等有关。不同阶段所受影响因素不同, 这也为后文绿色技术创新效率的影响因素分析提供了基础。

(二) 变量选取与指标说明

1. 研发阶段的投入与产出指标

投入指标: 企业的研发投入是影响绿色创新产出的直接因素, 测度企业研发投入水平的常用指标有研发人员与研发经费。由于在目前的统计口径中尚未出现针对绿色创新人员、绿色研发经费的统计数据, 本文借鉴肖仁桥^[25]的研究, 用传统的研发人员、研发经费等变量代替绿色研发人员和研发经费作为技术研发阶段的投入指标。这主要是考虑到很难将传统创新人员和绿色创新人员完全分离, 并且有很多普通的技术创新项目也能够有效地促进经济效益与环境效益的共增。

产出指标: 该阶段主要以科技知识类产出作为企业创新成果, 如专利、创新产品项目等。其中, 专利指标可以用专利申请数和专利授权数来衡量。被授予的专利技术能够较好地体现出企业绿色创新的潜在市场收益和经济价值的实现。因此, 本文选取专利申请量和拥有发明专利授权数来测度作为技术创新的产出指标。

2. 转化阶段的投入与产出指标

投入指标: 技术转化指企业科技成果转化为具体

产出的过程, 包括创新性投入和非创新性投入。一般来讲, 科技研发阶段生成的中间产出(如专利)并不会立即退出创新系统, 而是作为一种投入被二次开发(如专利交易、技术转让等), 从而继续为创新过程服务。另外, 要将专利转化为经济价值还需要其他技术改造等非创新性的要素投入。因此, 本文在绿色技术创新形成专利的基础上, 选取技术改造费用来衡量行业进行技术转化的非创新性投入。

产出指标: 绿色技术创新的最终目的是实现经济发展与生态环境的双重提升, 因此本文选取新产品销售收入和综合环境指数作为技术创新最终产出的衡量指标。新产品销售收入是企业将绿色创新技术商业化的指标表现, 能够较好地反映出该项技术转化为社会经济效益的状况; 综合环境指数是对工业废水排放量、工业废气排放量以及固体废物排放量进行负向化处理之后运用熵值法测算出来的, 能够体现出该项创新项目的生态效益。

(三) 研究方法与模型构建

数据包络分析(DEA)是一种相对有效的非参数评价方法, 能够实现多投入、多产出的实际问题, 并且能够根据已有的数据产生前沿而不需要对前沿面设定一个给定的生产函数^[24]。本文运用 DEA 模型分别计算我国工业行业绿色技术研发阶段和技术转化阶段的创新效率。

DEA 模型可表示为式(1):

$$\min[\theta_j - \varepsilon(\sum_{i=1}^p S_i^- + \sum_{k=1}^p S_k^+)] \quad (1)$$

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n X_{in} \lambda_j + S_i^- = \theta_j X_{in}, (i=1, 2, \dots, p) \\ \text{s.t.} \begin{cases} \sum_{j=1}^n \lambda_j Y_{kn} - S_k^+ = Y_{kn}, (k=1, 2, \dots, q) \\ \theta_j, \lambda_j, S_i^-, S_k^+, (i=1, 2, \dots, p) \end{cases} \end{cases}$$

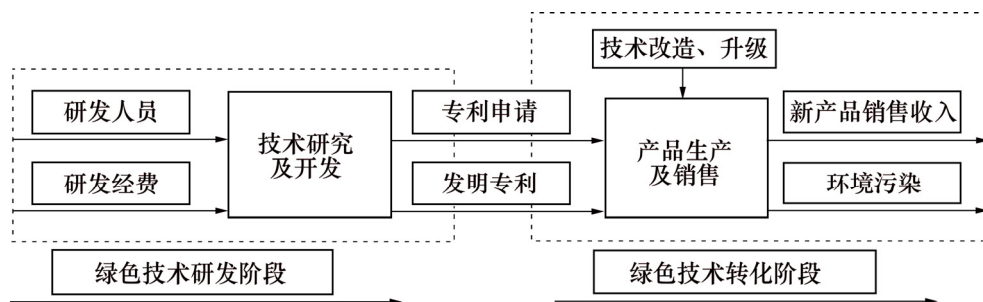


图 1 绿色技术创新两阶段过程

其中,结合本文研究对象,将每个行业视为一个决策单元(DMU),共有 n 个DMU, X_{in} 代表每个DMU j 的要素投入,在本文中指R&D人员全时当量和R&D经费支出; Y_{kn} 代表创新产出,在本文中指产品销售收入和综合环境指数; S_i^- 为各投入的松弛向量; S_k^+ 为各产出的松弛向量;该线性规划的最优解 θ_j 即为DMU j 在规模报酬不变下的效率值,且 $0 \leq \theta_j \leq 1$ 。

(四) 行业划分与编号

本文选取2011—2015年中国35个行业进行分析,行业的划分是根据国家统计局发布的行业分类标准进行,所用数据来源于《中国统计年鉴》《中国科技统计年鉴》和《中国环境统计年鉴》。

考虑到工业行业的名称较长,有必要对行业进行编号以便于后续研究,如表1所示。

(五) 测算结果及分析

基于本文构建的绿色技术创新效率测算模型,运用DEAP2.1软件对2011—2015年中国各工业行业整体的绿色技术创新效率进行测算。需要说明的是,运用DEA测算各工业行业的创新效率有两种方法:逐年测算和统一测算。但由于DEA分析是一个相对衡量方式,数值的高低只有相对意义,没有绝对意义,逐年测算的平均值的变化,只能表示不同行业之间的效率差距在发生,而并不能比较各行业在时间上的变化。因此我们将全部数据放入DEA中统一测算,结果如表2所示。

由表2可知,第一,在考察期内,中国工业行业绿色技术创新效率整体均值偏低。从年度均值变化趋

势来看,由2011年的0.36上升到了2015年的0.41,可以看出绿色技术创新效率整体呈现出上升的发展趋势。这说明随着国家将创新发展提升到战略高度和对环境规制的加强,我国工业行业的绿色技术创新效率得到了一定程度的提升。

第二,从行业来看,综合效率排名最高的基本聚集在技术密集型行业,如电气机械及器材制造业、医药制造业、通信设备、计算机及其他电子设备制造业,而排名最低的基本属于劳动密集型行业,如烟草行业、家具制造行业、印刷业等行业。其主要原因是:劳动密集型行业主要是依靠大量的劳动力,对创新和技术依赖程度较低;而技术密集型行业,又称知识密集型行业,需要运用复杂的、先进的、现代化的科学技术才能进行生产,因此该行业的综合创新效率最高。

对绿色技术研发及绿色技术转化两个阶段的效率分别进行测算,结果如表3所示。

由表3可知,在研发与转化阶段都存在综合技术效率为1的决策单元,说明该模型有效。研发和转化阶段的综合技术效率均值分别为0.61和0.64,转化阶段的效率值略高于研发阶段。

接下来我们以各个阶段的效率平均值作为划分标准,将整个工业行业划分为4个区域,如图2所示,横轴代表第一阶段(绿色技术研发阶段)的效率,纵轴代表第二阶段(绿色技术转化阶段)的效率。

第I区域为高研发-高转化,主要包括化学原料及化学制品制造业、医药制造业、交通运输设备制造业以及电气机械及器材制造业。这些行业的两阶段绿

表1 行业编号

编号	行业名称	编号	行业名称	编号	行业名称
H1	煤炭开采和洗选业	H13	木材加工及木、竹、藤、棕、草制品业	H25	有色金属冶炼及延压加工业
H2	石油和天然气开采业	H14	家具制造业	H26	金属制品业
H3	黑色金属矿采选业	H15	造纸及纸制品业	H27	通用设备制造业
H4	有色金属矿采选业	H16	印刷业和记录媒介的复制	H28	专用设备制造业
H5	非金属矿采选业	H17	文教体育用品制造业	H29	交通运输设备制造业
H6	农副食品加工业	H18	石油加工、炼焦及核燃料加工业	H30	电气机械及器材制造业
H7	食品制造业	H19	化学原料及化学制品制造业	H31	通信设备、计算机及其他电子设备制造业
H8	饮料制造业	H20	医药制造业	H32	仪器仪表及文化、办公机械制造业
H9	烟草制品业	H21	化学纤维制造业	H33	工艺品及其他制造业
H10	纺织业	H22	橡胶制造业	H34	电力、热力的生产和供应业
H11	纺织服装、鞋、帽制造业	H23	非金属矿物制品业	H35	燃气生产和供应业
H12	皮革、毛皮、羽毛(绒)及其制品业	H24	黑色金属冶炼及延压加工业		

表 2 2011—2015 年工业行业绿色技术创新效率测算结果

行业/ 年度	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	行业 均值	排 名
H1	0.47	0.46	0.47	0.49	0.47	0.47	8
H2	0.44	0.42	0.42	0.44	0.40	0.42	12
H3	0.30	0.30	0.31	0.30	0.31	0.30	25
H4	0.30	0.30	0.31	0.31	0.31	0.30	25
H5	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	29
H6	0.33	0.33	0.36	0.37	0.37	0.35	15
H7	0.32	0.33	0.35	0.35	0.35	0.34	18
H8	0.34	0.32	0.32	0.33	0.33	0.33	20
H9	0.21	0.21	0.20	0.21	0.20	0.20	35
H10	0.36	0.35	0.35	0.35	0.36	0.35	15
H11	0.30	0.33	0.33	0.31	0.34	0.32	23
H12	0.28	0.29	0.29	0.29	0.30	0.29	29
H13	0.28	0.29	0.29	0.29	0.30	0.29	29
H14	0.28	0.29	0.29	0.29	0.31	0.29	29
H15	0.32	0.32	0.33	0.32	0.34	0.33	20
H16	0.29	0.29	0.30	0.30	0.30	0.30	25
H17	0.30	0.33	0.33	0.34	0.35	0.33	20
H18	0.32	0.31	0.28	0.28	0.30	0.30	25
H19	0.51	0.51	0.53	0.53	0.57	0.53	5
H20	0.53	0.55	0.59	0.61	0.67	0.59	2
H21	0.28	0.28	0.29	0.29	0.29	0.29	29
H22	0.25	0.39	0.38	0.38	0.38	0.35	15
H23	0.43	0.45	0.47	0.49	0.48	0.47	8
H24	0.39	0.43	0.45	0.45	0.45	0.43	11
H25	0.34	0.47	0.35	0.34	0.37	0.38	14
H26	0.36	0.38	0.47	0.45	0.46	0.42	12
H27	0.50	0.34	0.55	0.56	0.54	0.50	7
H28	0.50	0.54	0.54	0.49	0.48	0.51	6
H29	0.49	0.60	0.64	0.60	0.56	0.58	4
H30	0.48	0.54	0.52	0.49	0.97	0.60	1
H31	0.56	0.62	0.56	0.54	0.68	0.59	2
H32	0.44	0.44	0.49	0.47	0.52	0.47	8
H33	0.30	0.31	0.30	0.30	0.35	0.31	24
H34	0.34	0.35	0.36	0.33	0.33	0.34	18
H35	0.28	0.28	0.28	0.29	0.29	0.28	34
年度 均值	0.36	0.38	0.39	0.39	0.41	0.39	

表 3 2011—2015 年工业行业分阶段绿色技术创新效率测算结果

行业	绿色技术研发效率				绿色技术转化效率			
	2011 年	2013 年	2015 年	行业 均值	2011 年	2013 年	2015 年	行业 均值
H1	0.48	0.50	0.54	0.51	0.99	0.95	0.86	0.93
H2	0.57	0.59	0.59	0.58	0.78	0.71	0.67	0.72
H3	0.52	0.54	0.53	0.53	0.58	0.57	0.57	0.57
H4	0.51	0.50	0.51	0.51	0.60	0.61	0.60	0.60
H5	0.48	0.50	0.49	0.49	0.60	0.59	0.58	0.59
H6	0.52	0.56	0.57	0.55	0.63	0.65	0.64	0.64
H7	0.54	0.57	0.54	0.55	0.60	0.61	0.64	0.62
H8	0.50	0.52	0.52	0.51	0.68	0.62	0.63	0.64
H9	0.36	0.39	0.40	0.38	0.56	0.51	0.49	0.52
H10	0.59	0.54	0.62	0.58	0.60	0.64	0.58	0.61
H11	0.52	0.53	0.69	0.58	0.57	0.61	0.49	0.56
H12	0.50	0.52	0.55	0.52	0.56	0.55	0.54	0.55
H13	0.52	0.54	0.53	0.53	0.54	0.54	0.57	0.55
H14	0.58	0.62	0.74	0.65	0.48	0.47	0.42	0.46
H15	0.50	0.51	0.52	0.51	0.63	0.64	0.64	0.64
H16	0.50	0.54	0.54	0.53	0.59	0.56	0.56	0.57
H17	0.63	0.75	0.82	0.73	0.47	0.44	0.42	0.44
H18	0.46	0.41	0.43	0.43	0.69	0.68	0.68	0.68
H19	0.58	0.65	0.70	0.64	0.87	0.82	0.82	0.84
H20	0.65	0.75	0.76	0.72	0.82	0.80	0.88	0.83
H21	0.45	0.47	0.44	0.45	0.63	0.61	0.67	0.64
H22	0.39	0.62	0.63	0.55	0.63	0.61	0.60	0.61
H23	0.67	0.74	0.76	0.72	0.65	0.64	0.63	0.64
H24	0.39	0.45	0.53	0.46	1.00	0.98	0.85	0.94
H25	0.48	0.47	0.49	0.48	0.72	0.75	0.76	0.74
H26	0.69	0.77	0.79	0.75	0.52	0.61	0.58	0.57
H27	0.71	0.90	0.95	0.85	0.70	0.61	0.57	0.63
H28	0.74	1.00	1.00	0.91	0.67	0.54	0.48	0.56
H29	0.50	0.70	0.70	0.63	0.99	0.93	0.79	0.90
H30	0.81	0.96	1.00	0.92	0.59	0.54	0.97	0.70
H31	0.90	0.94	1.00	0.95	0.63	0.60	0.68	0.64
H32	0.74	0.89	1.00	0.88	0.60	0.55	0.52	0.56
H33	0.56	0.53	0.61	0.57	0.54	0.56	0.57	0.56
H34	0.65	0.91	1.00	0.85	0.51	0.39	0.33	0.41
H35	0.49	0.49	0.49	0.49	0.57	0.58	0.58	0.58
年度 均值	0.56	0.62	0.66	0.61	0.65	0.63	0.62	0.64

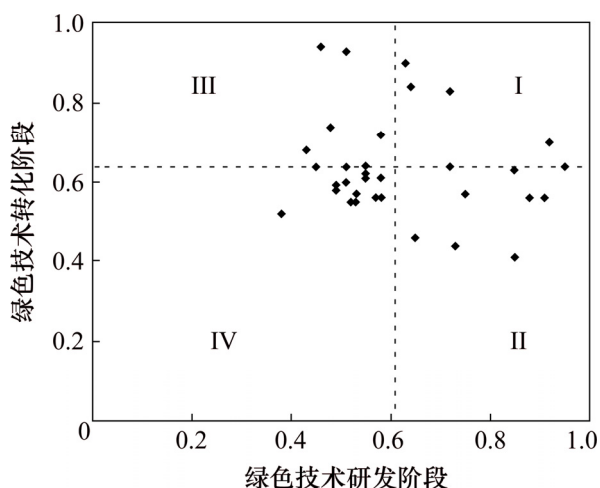


图2 工业行业两阶段绿色技术创新效率矩阵

色技术创新效率均表现良好,绿色技术研发和绿色技术转化水平较为均衡。可能的原因是:这类行业具有良好的发展基础和产业化环境,绿色技术创新与市场需求的契合度较高,比较容易实现成果的转化。因此这些行业应该继续保持现有的发展模式,加强研发成果的吸收和转化。

第II区域为高研发-低转化,主要包括金属制品业、非金属矿物制品业、通用设备制造业、电力、热力的生产和供应业等行业。这类行业的特点是研发阶段的效率较高,但是在成果转化阶段的效率较低。可能的原因是:这类行业对技术的需求较高,研发阶段需要大量的资金、人力、物力来支撑,但在现阶段很难实现技术上的重大突破,同时在成果转化阶段盲目地投资,不重视技术的消化吸收,导致成果转化效率较低。因此处于该区域的行业应该在保持技术研发效率的同时,加强对产业化进程的推进,促进科学技术向生产力的方向转化。

第III区域为低研发-高转化,主要包括煤炭开采和洗选业、石油和天然气开采业等行业。说明这类行业技术转化能力较强,能够很好地完成科技成果的技术转化。但值得注意的是,该区域的技术研发效率较低。因此处于该区域的行业应该重点加强基础科研设施的建设,为技术活动的正常运行提供保障。

第IV区域为低研发-低转化,主要集中在农副食品加工业、纺织业、橡胶制造业、食品制造业等。处于该区域的行业对创新的需求较小,对技术创新的资源投入有限,导致第一阶段的研发效率较低,而第一阶段较低的研发效率制约了第二阶段的技术转化效率。因此这些行业应该注重自身资源的挖掘与外部资源的引入,努力提高技术创新的综合效率。

三、绿色技术创新效率影响因素的实证分析

(一) Tobit 回归模型

运用 DEA 测算出来的是各工业行业的相对绿色技术创新效率值,其取值受到约束而限于 0-1 之间,在这种情况下,使用普通最小二乘法(OLS)可能会导致参数的估计值偏向于 0,出现估计值不可信的情况。Tobin 运用截取回归模型(也称 Tobit 模型)来处理这一问题,见式(2)。

$$y^* = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_{ij} + \varepsilon_i \quad (2)$$

$$y_i = y_i^*, \text{ 当 } 0 < y_i^* \leq 1$$

$$y_i = 1, \text{ 当 } y_i^* > 1$$

$$y_i = 0, \text{ 当 } y_i^* < 0$$

其中, y^* 为删失后的效率值, β_0 为常数项, x_{ij} 为自变量, β_j 为估计参数。

(二) 指标选取

参考 Medeiros 等^[26]、许晓燕等^[27]的研究,并结合我国工业行业绿色技术创新发展现状及特征,将影响工业行业绿色技术创新效率的因素进行系统分析,从市场环境、技术环境和政策环境三个维度来确定主要影响因素,构建了工业行业绿色技术创新效率的影响因素概念模型,如图 3 所示。

1. 市场环境

选取了平均企业规模 and 市场化程度作为主要影响因素。关于企业规模对技术创新的影响,学者们得出了两种截然不同的观点,一种观点是以熊彼特为代表的驱动假说,即技术创新具备规模报酬特征,企业规模越大,开展绿色技术创新活动可以获得的规模报酬就越多,也就越有利于企业技术创新^[28];另一种观点则是认为企业存在组织惰性^[29],随着规模的增大,企业知识、资源、技术、运作体系等逐渐固化,对原有资源的依赖性越强,组织惰性逐渐凸显,会阻碍企业的进一步创新。

2. 技术环境

从外部和内部两个视角分别选取了对外开放程度和自主创新作为主要影响因素。在新时代背景下,技术创新普遍出现跨国、跨领域的合作特征,刘志彪^[30]认为我国要在全面开放的新格局下获取全球创新资

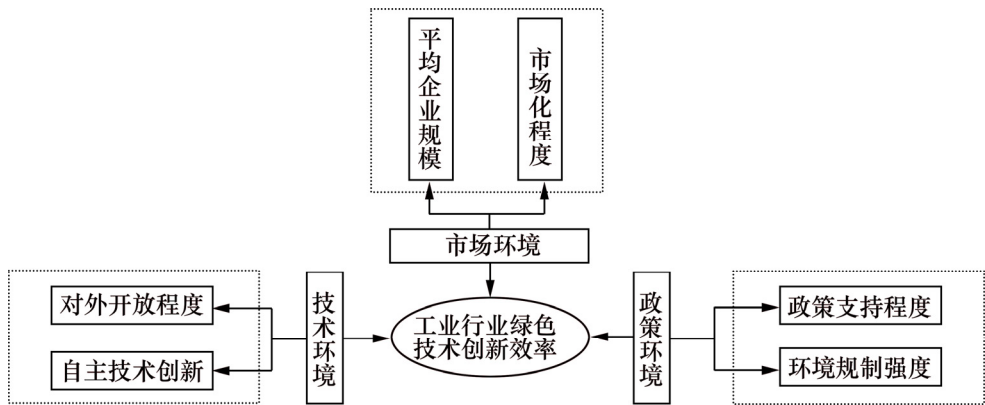


图3 工业行业绿色技术创新效率影响因素图

源，进而推动关键领域的创新。郭威和司孟慧^[31]认为开放式创新的程度对一个行业的创新能力有显著影响，能够促使产业结构调整、加快创新要素国际间的流动。自主创新是行业利用自身现有资源对内部技术进行改进与创新的过程，在技术创新过程中企业应掌握主动权，避免对外来技术过度依赖，导致失去市场竞争力和行业创造力。

3. 政策环境

选取了政策支持程度和环境规制强度这两个指标作为主要影响因素。政府是市场的管理者，行业的经营活动需要以政府政策为指导，以政府提供稳定的市场环境与必要的制度保障为基础。政府通常会对企业的创新项目给予创新专项补贴、绿色贷款、税费返回等优惠政策，以达到激发企业积极创新目的。

把环境因素纳入创新效率的考核体系，环境规制也就成为影响绿色技术创新效率的重要因素之一。波特假说认为环境规制可以促使企业进行绿色创新，但过强的环境规制可能会使企业承担较大的环保压力而缺乏足够的资金进行绿色技术创新。因此环境规制对工业行业绿色技术创新效率的影响有待研究。

(三) 变量说明及数据来源

环境规制强度则参考朱平芳等^[32]的研究，选取各工业行业的工业“三废”排放量，运用综合指数法进行计算得出。首先计算*i*行业第*j*项排放指标的比重，如式(3)：

$$p_{ij} = \frac{X_{ij}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^m X_{ij}}, (i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, 3) \quad (3)$$

p_{ij} 的数值越大并超过 1，表示*i*行业第*j*项污染物的排放水平相对越高，对各项排放指标进行加总即可得出*i*行业的环境规制强度，如式(4)：

$$p_i = 1/3(p_{i1} + p_{i2} + p_{i3}) \quad (4)$$

需要说明的是，该指数是直接采用污染物排放量进行

表4 绿色技术创新效率影响因素变量说明

变量名称	变量符号	变量含义
技术创新效率	Y	各工业行业绿色技术创新效率及两阶段效率
平均企业规模	MCS	各工业行业生产总值除以企业数
市场化程度	UNC	各工业行业实收资本中非国家资本比例
自主创新	IE	各工业行业 R&D 经费内部支出比例
对外开放程度	FC	各工业行业实收资本中外国资本比例
政策支持程度	GOV	各工业行业 R&D 经费来源于政府比例
环境规制强度	ER	依据综合指数法构建

计算的，因此计算出的指数越小，代表环境规制强度越大，反之则表示环境规制强度越小。

(四) 实证分析

根据本文假设和变量定义，为检验我国工业行业绿色技术创新的影响因素，构建方程(5)。

$$Y = \beta_1 MCS + \beta_2 UNC + \beta_3 IE + \beta_4 FC + \beta_5 GOV + \beta_6 ER + C + \varepsilon \quad (5)$$

运用 STATA12.0 对方程(5)进行回归分析，首先以绿色技术创新效率为因变量进行系数估计，其次分别以绿色技术研发效率和绿色技术转化效率为因变量进行回归，结果见表 6：

从表 6 的实证结果可以看出：

(1)从整体上看，企业规模与绿色技术创新效率在 1%的水平上正相关，表明企业规模越大，行业的绿色

技术创新效率就越高。分阶段来看,企业规模对绿色技术转化效率较为显著,而对绿色技术研发效率不显

表6 回归分析结果

变量/阶段	绿色技术创新	绿色技术研发	绿色技术转化
MCS	0.006*** (3.63)	-0.0003 (-0.15)	0.003* (1.71)
UNC	1.046*** (6.65)	0.167 (0.92)	0.785*** (4.53)
IE	-0.480 (-1.02)	-1.357** (-2.51)	-0.698 (-1.35)
FC	0.632*** (2.72)	0.633** (2.37)	0.416 (1.63)
GOV	-1.020** (-2.49)	-0.442 (-0.93)	-1.297*** (-2.87)
ER	-0.117*** (-2.83)	-0.071 (-1.49)	-0.106** (-2.34)
C	0.144 (0.33)	1.582*** (3.18)	0.650 (1.37)

注:***、**、*分别表示在1%、5%和10%的水平下显著,括号内为系数t值。

著。可能的原因是:一方面企业规模越大,能够用于开展技术创新的人力和资金就越多,能够更好地将专利转化为经济价值;二是根据前文的叙述,技术创新具有的规模报酬特征使得企业规模对创新产生驱动效应。

(2) 市场化程度与绿色技术创新效率在1%的水平上正相关,并且主要是通过影响技术转化阶段的效率来实现的。说明从长期来看,适当的市场竞争会迫使行业提高绿色技术创新效率,从而降低行业创新的边际生产成本。另外,Arrow^[33]认为与垄断产业相比,处于竞争市场下的创新激励大于垄断情境下的创新激励。

(3) 自主创新对绿色技术创新效率具有负效应,但是这种效应并不显著。分阶段来看,相对于转化阶段,自主创新对研发阶段的创新效率的负效应更加显著。

(4) 对外开放程度显著正向影响绿色技术创新效率及绿色技术研发效率,但对绿色技术转化阶段的效率影响并不显著。可能是引进发达国家的资本会给中国企业带来技术外溢,从而带动绿色技术创新能力的提升。

(5) 以技术创新补贴为代表的政策支持对绿色技术转化效率具有显著负向影响,并且无法促进绿色技术创新效率的提升。这一结果说明政府技术创新补贴

等政策支持的实际效果偏离了预期目标。可能的原因是:政府的创新补贴资金具有一定的“公共品”属性,企业为了获得更多的创新补贴,会主动与政府建立寻租关系,从而产生寻租成本,挤占了本应用于绿色创新的研发补贴。

(6) 环境规制与绿色技术创新效率的相关系数显著为负,说明环境规制正向影响绿色技术创新效率。可能的原因是:加强环境规制强度会使企业面临更大的环保压力,企业会有更强的内在动力通过绿色技术创新来减少污染排放,会使企业技术创新效率得到提高。

四、结论及政策建议

中国经济正处于创新驱动的关键阶段,传统的过度依赖资源投入、对生态环境破坏严重的发展方式难以为继,依靠技术创新拉动经济向着质量提升的方向发展是中国工业转型的关键。本文以我国2011—2015年工业行业为研究对象,测算了工业行业的绿色技术创新效率,并在此基础上进一步探究了绿色创新效率的驱动和抑制因素。主要结论有:①我国工业行业绿色技术创新效率整体呈现出上升的发展趋势,但各行业内差距较大,具体来说,绿色技术创新效率较高的行业主要集中于技术密集型行业,而劳动密集型的行业面临技术创新效率偏低的现状。②从影响因素来看,企业规模、市场化程度、对外开放程度及环境规制强度对绿色技术创新效率产生驱动效应,政策支持则产生抑制效应,自主创新对绿色技术创新效率的影响并不显著。

结合本文的研究结果,对提高我国工业行业绿色技术创新效率提出以下几点政策建议:

(1) 加大绿色技术创新投入,优化创新资源合理配置。近年来,我国工业行业绿色技术创新效率虽然有所提升,但在一些关键领域的技术水平和创新能力与发达国家之间仍存在较大差距。对于一些存在产能过剩的行业,可以适当减少创新资源的投入,更多地将创新资源向高科技、高附加值的智能制造、大数据及新能源等高新技术产业倾斜,发挥创新资源的“集聚效应”。

(2) 补足技术创新效率短板,突破绿色技术进步瓶颈。绿色技术研发效率偏低制约了中国工业行业绿色技术创新效率的提升。因此,无论是政府制定政策还是企业内部进行绿色技术创新管理,都需要重视绿色技术研发和绿色技术转化两个阶段,通过增加研发

投入、引入高素质的研发人员等措施来提高绿色技术创新效率。

(3) 以绿色生态为目标导向, 营造技术创新氛围。经济转型的核心是要激发行业的创新活力, 而这又依赖于管理实践的创新精神。政府可以根据行业发展特征制定适合本行业的技术创新发展规划, 进一步完善产业创新政策, 为企业的绿色技术创新提供坚实后盾。

参考文献:

- [1] 梁中, 昂昊. 中国绿色技术创新效率演化及其空间治理[J]. 财贸研究, 2019(8): 16–25, 63.
LIANG Zhong, ANG Hao. Green technology innovation efficiency evolution and space governance in China[J]. Finance and Trade Research, 2019(8): 16–25, 63.
- [2] 李健, 马晓芳. 京津冀城市绿色创新效率时空差异及影响因素分析[J]. 系统工程, 2019(5): 51–61.
LI Jian, MA Xiaofang. Comparative analysis of the time-space differences and influencing factors of cities' green innovation efficiency in Beijing-Tianjin-Hebei[J]. Systems Engineering, 2019(5): 51–61.
- [3] LUO Qiaoling, MIAO Chenglin, SUN Liyan, et al. Efficiency evaluation of green technology innovation of China's strategic emerging industries: An empirical analysis based on Malmquist-data envelopment analysis index[J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 238(9): 146–156.
- [4] SHU C, ZHOU K Z, XIAO Y, et al. How green management influences product innovation in China: The role of institutional benefits[J]. Journal of Business Ethics, 2016, 133(2): 471–478.
- [5] GEE S, MCMEEKIN A. Eco-innovation systems and problem sequences: The contrasting cases of US and Brazilian biofuels[J]. Industry & Innovation, 2011, 18(3): 301–315.
- [6] 田红娜, 毕克新, 吕萍. 制造业绿色工艺创新的动力机制研究[J]. 湖南大学学报(社会科学版), 2013 (1): 78–84.
TIAN Hongna, BI Kexin, LV Ping. Research on dynamic mechanism of green process innovation for manufacturing industry[J]. Journal of Hunan University(Social Sciences), 2013 (1): 78–84.
- [7] 张江雪, 朱磊. 基于绿色增长的我国各地区工业企业技术创新效率研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2012(2): 113–125.
ZHANG Jiangxue, ZHU lei. Research on Technological Innovation Efficiency of Industrial Enterprises Based on Green Growth of Regions in China[J]. The Journal of Quantitative & Technical Economics, 2012(2): 113–125.
- [8] 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[J]. 科技管理研究, 2017(17): 257–266.
LIU Guangming. Research on regional green innovation efficiency and convergence based on combinatorial DEA and spatial econometrics[J]. Science and Technology Management Research, 2017(17): 257–266.
- [9] AIGNER D, LOVELL C A K, SCHMIDT P. Formulation and estimation of stochastic frontier production function models[J]. Journal of Econometrics, 1977, 6(1): 21–37.
- [10] MEEUSEN W, JULIEN V D B. Efficiency estimation from cobb-douglas production functions with composed error[J]. International Economic Review, 1977, 18(2): 435.
- [11] 杨振兵, 邵帅, 杨莉莉. 中国绿色工业变革的最优路径选择——基于技术进步要素偏向视角的经验考察[J]. 经济学动态, 2016(1): 76–89.
YANG Zhenbing, SHAO Shuai, YANG Lili. The optimal path of China's green industry reform: An empirical study based on the perspective of the elements of Technological progress[J]. Economic Perspectives, 2016(1): 76–89.
- [12] 陈长江, 高波. 中国 TFP 增速减缓的结构分解与区域特征: 2001—2014[J]. 中南大学学报(社会科学版), 2019(4): 83–90.
CHEN Changjiang, GAO Bo. Component decomposition and regional characteristics of Chinese TFP change: 2001—2014[J]. Journal of Central South University(Social Sciences), 2019(4): 83–90.
- [13] 沈能, 周晶晶. 技术异质性视角下的我国绿色创新效率及关键因素作用机制研究: 基于 Hybrid DEA 和结构化方程模型[J]. 管理工程学报, 2018(4): 46–53.
SHEN Neng, ZHOU Jingjing. A study on China's green innovation efficiency evaluation and functional mechanism based on hybrid DEA and SEM model[J]. Journal of Industrial Engineering and Engineering Management, 2018(4): 46–53.
- [14] 钱丽, 王文平, 肖仁桥. 共享投入关联视角下中国区域工业企业绿色创新效率差异研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2018(5): 27–39.
QIAN Li, WANG Wenping, XIAO Renqiao. Research on the regional disparities of China's industrial enterprises green innovation efficiency from the perspective of shared inputs [J]. China Population, Resources and Environment, 2018(5): 27–39.
- [15] 罗良文, 梁圣蓉. 中国区域工业企业绿色技术创新效率及因素分解[J]. 中国人口·资源与环境, 2016(9): 149–157.
LUO Liangwen, LIANG Shengrong. Green technology innovation efficiency and factor decomposition of China's industrial enterprises[J]. China Population, Resources and Environment, 2016 (9): 149–157.
- [16] LI D, ZHENG M, CAO C, et al. The impact of legitimacy pressure and corporate profitability on green innovation: Evidence from China top 100[J]. Journal of Cleaner Production, 2017, 141 (1): 41–49.
- [17] EBRAHIMI P, MIRBARGKAR S M. Green entrepreneurship and green innovation for SME development in market turbulence[J]. Eurasian Business Review, 2017, 7(4): 1–26.

- [18] ARENA C, MICHELON G, TROJANOWSKI G. Big egos can be green: A study of CEO hubris and environmental innovation[J]. *British Journal of Management*, 2018, 29(2): 316–336.
- [19] YAO Q, ZENG S, SHENG S, et al. Green innovation and brand equity: Moderating effects of industrial institutions[J]. *Asia Pacific Journal of Management*, 2019, 6(4): 1–30.
- [20] LI Z, LIAO G, WANG Z, et al. Green loan and subsidy for promoting clean production innovation[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 187(3): 421–431.
- [21] 王莉静, 王庆玲. 高技术产业技术引进消化吸收再创新分阶段投入与产出关系研究——基于分行业数据的实证研究[J]. *中国软科学*, 2019(1): 184–192.
- WANG Lijing, WANG Qingling. Study on the relationship of input and output of re-innovation after digesting the introduced technology in high-tech industry: An Empirical Study Based on Different Industry Data[J]. *China Soft Science*, 2019(1): 184–192.
- [22] 涂振洲, 顾新. 基于知识流动的产学研协同创新过程研究[J]. *科学学研究*, 2013(9): 1381–1390.
- TU Zhenzhou, GU Xin. Study on process of industry-university-research institute collaborative innovation based on knowledge flow[J]. *Studies in Science of Science*, 2013(9): 1381–1390.
- [23] 熊曦, 关忠诚, 杨国梁, 等. 嵌套并联结构两阶段 DEA 下科技创新效率测度与分解[J]. *中国管理科学*, 2019(3): 206–216.
- XIONG Xi, GUAN Zhongcheng, YANG Guoliang, et al. Measuring S&T efficiency and its decomposition using a two-stage DEA model with nested parallel structures[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2019(3): 206–216.
- [24] 范德成, 李盛楠. 区域高技术产业技术创新效率测度与提升路径研究——基于共享投入关联型两阶段 DEA 模型[J]. *运筹与管理*, 2019(5): 156–165.
- FAN Decheng, LI Shengnan. Research on measurement and promotion path of technology innovation efficiency of regional high-tech industry-based on relational two-stage DEA model with shared inputs[J]. *Operations Research and Management Science*, 2019(5): 156–165.
- [25] 肖仁桥, 宋莹, 钱丽. 企业绿色创新产出及其空间溢出效应研究——基于两阶段价值链视角[J]. *财贸研究*, 2019(4): 71–83.
- XIAO Renqiao, SONG Ying, QIAN Li. Research on spatial spillover effect of enterprises' green innovation output from the perspective of value chain in two stages[J]. *Finance and Trade research*, 2019(4): 71–83.
- [26] MEDEIROS J F, VIDOR G, JOSÉ LUÍS DUARTE RIBEIRO. Driving factors for the success of the green innovation market: A relationship system proposal[J]. *Journal of Business Ethics*, 2018, 147(2): 327–341.
- [27] 许晓燕, 赵定涛, 洪进. 绿色技术创新的影响因素分析——基于中国专利的实证研究[J]. *中南大学学报(社会科学版)*, 2013(2): 29–33.
- XU Xiaoyan, ZHAO Dingtao, HONG Jin. The influencing factors analysis of green technological innovation——on the basis of an empirical analysis of patents in China[J]. *Journal of Central South University(Social Sciences)*, 2013(2): 29–33.
- [28] 成琼文, 李宝生. 政府补贴、要素市场扭曲与企业创新——基于双边随机边界模型的分析[J]. *商业研究*, 2019(10): 19–30.
- CHENG Qiongwen, LI Baosheng. Government subsidies, factor market distortion and enterprise innovation: Based on two-tier stochastic frontier model[J]. *Commercial Research*, 2019(10): 19–30.
- [29] GILBERT C G. Unbundling the structure of inertia: growth versus routine rigidity[J]. *Academy of Management Journal*, 2005, 48(5): 741–763.
- [30] 刘志彪. 新时代形成全面开放新格局与建设现代化经济体系[J]. *中南大学学报(社会科学版)*, 2019(2): 1–6.
- LIU Zhibiao. Forming an all-directional opening pattern and construction of a modern economic system in the new era[J]. *Journal of Central South University(Social Sciences)*, 2019(2): 1–6.
- [31] 郭威, 司孟慧. 新中国 70 年金融开放的逻辑机理与经验启示: 兼论中美贸易摩擦下的开放取向[J]. *世界经济研究*, 2019(10): 15–26, 88, 134.
- GUO Wei, SI Menghui. Logic mechanism, experience inspiration and future orientation of 70-Year financial opening in new China[J]. *World Economy Studies*, 2019(10): 15–26, 88, 134.
- [32] 朱平芳, 张征宇, 姜国麟. FDI 与环境规制: 基于地方分权视角的实证研究[J]. *经济研究*, 2011(6): 133–145.
- ZHU Pingfang, ZHANG Zhengyu, JIANG Guolin. Empirical study of the relationship between FDI and environmental regulation: An intergovernmental competition perspective[J]. *Economic Research Journal*, 2011(6): 133–145.
- [33] ARROW K J. Economic welfare and the allocation of growths for invention[J]. *Nber Chapters*, 1972, 10(12): 609–626.

Green technology innovation efficiency and its influencing factors: Empirical study based on 35 industries in China

CHENG Qiongwen, HE Xianxiang, LI Baosheng

(School of Business, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: Based on the panel data of China's industrial industry, this paper uses the DEA model to measure the efficiency of green technology innovation in various industries, compares and analyzes the efficiencies at the two stages of green technology R&D and the conversion of green technology. Finally, it exploits the Tobit model to evaluate the efficiency of green technology innovation in its empirical study on the influencing factors. The research finds that the overall efficiency of green technology innovation in China's industrial industry is on the rise with yet great gaps between industries, that factors such as average enterprise size, degree of marketization, degree of opening to the outside world, and intensity of environmental regulations are the main forces that promote the improvement of the efficiency of green technology innovation, and that the impact of the technology environment on the efficiency of green technology innovation works mainly at the stage of the green technology R&D, while the green technology transformation stage is mainly affected by the market environment and policy environment. To further improve the efficiency of green technology innovation, we need to increase investment in green technology innovation, optimize resource allocation, and create a good environment for innovation.

Key Words: green technology innovation efficiency; innovation-driven; Tobit model

[编辑: 谭晓萍]

(上接第 96 页)

The formation of professional values: History, practices and theory

WANG Yan^{1,2}, JIA Liangding¹, NING Peng¹

(1. School of Business, Nanjing University, Nanjing 210093;

2. School of Business, Jiangsu Normal University, Xuzhou 221116)

Abstract: Nowadays, professionals and professional organizations are constantly mired in ethical anomaly or even ethical degradation. One of the causes of the situation is the loss of professional values. Nevertheless, in current research literature, there lack such explorations into or any theoretical model on how to construct professional values and how to influence professional practices. Thus, we integrated the literature on historical institution and professionalism, and, by adopting a deductive approach, built a dynamic model on the relationship between the formation of professional values and its interaction with professional activity. Our research finds that professional value, as the crystalized expression of historical peculiarities, helps establish professional order, and form sustainable professional structure which can in turn influence daily professional practices. Setting up appropriate and right values can catalyze the advancement of professionals and professional organizations, and can help resolve problems such as ethical anomie or even ethical degradation of professionals and professional organizations.

Key Words: profession; professional values; professional practice; professional substance; historical institutional theory

[编辑: 谭晓萍]