

摘 要

资源和环境友好的发展模式是我国近年来一直秉持的绿色发展理念——2012年，我国将生态文明建设纳入了“五位一体”战略布局，2020年，我国在“十四五”规划中也明确指出要持续推动绿色发展和改善环境质量。改革开放以来，我国工业迅速发展，但是早期工业的高能耗生产模式也让各种环境问题接踵而至，工业生产中未经妥善处理的污染排放使得环境破坏和气候变暖等问题日益凸显，违背了绿色发展理念，因此工业的绿色转型刻不容缓。目前我国已经进入了“绿色工业革命”时代，在工业污染呈现出显著的空间集聚性的条件下，鼓励工业企业进行技术创新、促进工业节能减排和清洁生产，对经济可持续发展具有重要意义，而R&D活动作为企业技术创新的重要基础，能够有力推动工业企业进行清洁技术研发和绿色发展。因此，本文以效率作为切入点，对中国30个省、市、自治区的绿色工业效率进行测算，并在工业污染存在空间效应的条件下，从空间的视角探究R&D投入对绿色工业效率的影响。

本文的主要研究内容分为以下部分，首先，考虑工业生产中的能耗和非期望产出，构建绿色工业效率评价指标体系，运用全局超效率SBM模型测算了2008-2019年中国30个地区的绿色工业效率；其次，基于内生增长理论，假定R&D投入能促进地区绿色工业效率的提升，以绿色工业效率作为被解释变量，规模以上工业企业R&D经费存量和R&D人员全时当量作为核心解释变量，并考虑城市化水平、经济发展水平、产业结构、对外开放水平和政府环境管制作为影响效率的因素，建立普通面板模型和空间面板模型进行实证分析和稳健性检验；最后，根据研究结果，分析了各因素对绿色工业效率的影响，并提出促进地区工业绿色发展的建议。

经过研究，本文主要得出了以下几点结论：

一、2008-2019年期间我国的平均绿色工业效率值平缓上升，从区域上看，东部地区的绿色工业效率最高，而中、西部地区的效率值在2008-2016年表现为西部>中部，2017年后则呈现为中部>西部，但二者的效率差距不明显。从各个地区的效率结果来看，广东、江苏和北京的平均绿色工业效率值相对较高，山西、甘肃和江西的平均效率值相对较低；大部分地区的平均效率值分布在(0.25,0.5]这一区间，属于生产较无效率的状态，但是整体而言地区的绿色工业效率基本在小幅波动中上升。

二、R&D经费存量对当地绿色工业效率的影响为负向，R&D人员全时当量的影响则不显著，可能是研发活动具有长期性和不确定性的特点，R&D投入的人力和物力转变为实际的产出需要一定的过程，并且清洁技术研发需要较长时间

的投入,所以短期内节能减排技术与工业生产还未能有效融合。此外,工业行业间的技术应用情况存在差异,部分高能耗行业可能更多的是依靠技术引进,所以工业企业内部的 R&D 经费投入结构还不够合理化,研发创造的新技术、新工艺对整体工业绿色发展的促进作用有限。

三、在空间的视角下,R&D 投入对绿色工业效率影响的空间效应显著,但是 R&D 经费存量对效率的空间影响表现为负向,R&D 人员全时当量对效率的影响则为正向,说明当前 R&D 人员投入是促进地区间绿色工业效率提升的主要因素。由于知识的积累具有溢出性,所以各地区工业企业 R&D 人员的技术交流促进了新产品、新工艺的地区间流动,从而驱动各地绿色工业效率水平的提升;而 R&D 内部经费支出则可能由于资金分配结构不合理,以及周边 R&D 经费支出增加可能会吸引本地人才外流等因素,从而毗邻地区的 R&D 内部经费存量对当地绿色工业效率提升作用较弱,甚至在短期内体现为抑制作用。

四、地区经济发展、城市化水平、产业结构和政府环境规制能够不同程度地促进当地绿色工业效率的提升,因此,促进地区经济高质量增长、提高地区的城镇化水平和优化地区产业结构,是促进当地工业绿色发展的重要举措。

基于以上研究成果,本文提出了几项建议:一、合理分配工业行业的 R&D 资源,优化 R&D 投资结构,提升 R&D 质量;二、设立 R&D 奖励和污染排放约束的相应制度,鼓励企业积极进行绿色技术创新和技术交流;三、加强对污染型工业行业环境监管力度,提升全社会的节能环保意识。

关键词: 绿色工业效率; R&D 投入; 超效率 SBM 模型; 空间计量模型

目 录

摘 要.....	I
Abstract.....	III
第一章 引言.....	1
第一节 研究背景和研究意义.....	1
一、研究背景.....	1
二、研究意义.....	3
第二节 国内外相关研究动态及文献综述.....	3
一、绿色工业的内涵.....	3
二、绿色工业效率的测度.....	4
三、R&D 投入与工业绿色发展.....	7
四、文献评述.....	9
第三节 研究内容与研究方法.....	10
一、研究内容.....	10
二、研究方法.....	11
第四节 本文可能的创新与不足.....	13
一、创新点.....	13
二、不足之处.....	13
第二章 相关经济学理论基础和概念界定.....	14
第一节 相关经济学理论基础.....	14
一、生态经济学理论.....	14
二、外部性理论.....	15
三、可持续发展理论.....	16
四、内生增长理论.....	16
第二节 概念界定.....	17
一、绿色工业.....	17
二、绿色工业效率.....	17
第三章 中国各地区绿色工业效率的测度.....	19

第一节 数据包络分析（DEA）的理论基础.....	19
一、传统的 DEA 模型.....	19
二、非径向的超效率 SBM 模型.....	20
第二节 指标体系构建和数据处理.....	22
一、评价指标体系的构建.....	22
二、数据的描述性统计分析.....	23
三、数据的处理.....	25
第三节 基于全局超效率 SBM 模型的绿色工业效率测算.....	27
一、全国和三大区域绿色工业效率.....	28
二、各地区绿色工业效率分析.....	29
第四章 R&D 投入对绿色工业效率影响的实证分析.....	33
第一节 R&D 投入对绿色工业效率影响的理论假定.....	33
第二节 变量选取和数据处理.....	33
一、变量选取.....	33
二、数据处理.....	34
三、数据的描述性统计.....	35
第三节 实证分析.....	36
一、数据的平稳性检验.....	36
二、面板模型的构建和结果分析.....	36
三、空间面板模型的构建和结果分析.....	38
四、模型的稳健性检验.....	44
第五章 结论和建议.....	46
第一节 研究结论.....	46
第二节 政策建议.....	47
参考文献.....	50
致谢.....	55
作者在读期间完成的研究成果.....	57

第一章 引言

第一节 研究背景和研究意义

一、研究背景

（一）工业的绿色转型刻不容缓

工业是国民经济增长的重要引擎，改革开放以来，我国工业迅速发展，进入 21 世纪后工业总产值先后超越日本、德国和美国，跃居世界第一位。然而在工业化初期，我国的工业生产更多地表现为能源密集型生产模式，2019 年，作为我国工业生产主要能源的煤在工业终端的使用量就达到了 5.88 亿吨，相比 2000 年增长了 60.54%。在粗放的工业生产模式下，伴随着能源投入的不断增长，工业废物的排放量也在逐渐上升，而未经妥善处理的废物排放到生态环境中，超出了其自净能力的容许量，使得一系列环境污染、雾霾等气候问题逐渐显现，对人类生活造成巨大威胁。高能耗和高污染排放的工业生产模式显然违背了可持续发展的理念，工业污染带来的环境破坏，开始警示人们在工业生产中亟需开拓一条生态与发展相得益彰的新道路。

2012 年，“五位一体”战略布局在党的十八大中被提出，其中强调了生态文明建设对经济发展的重要性，自此，生态环境问题在我国受到更高的重视，“绿色发展”开始进入人们的视野，我国也在近年提出要努力于 2030 年实现碳达峰和 2060 年实现碳中和的目标。在工业生产上，目前我国已进入“绿色工业革命”时代，所谓绿色工业，就是要实现工业向清洁和绿色生产转变，在工业生产活动中兼顾生态环境的保护，对自然资源和能源进行合理的规划和使用。近年来，我国已颁布一系列政策规划号召工业进行节能减排和绿色转型，2013 年，工信部部长苗圩指出面临资源消耗和气候变化的压力，推进工业绿色低碳发展是工业转型的必要路径^[26]；2015 年，国务院下发《中国制造 2025》，表明我国制造业的竞争力还需要大力提升，其中一条就是方针就是要注重行业的绿色发展，提高节能环保技术的应用能力；2016 年，工信部《关于工业绿色发展规划（2016-2020）的通知》中将工业绿色发展作为目标，指出要提升资源利用效率和清洁生产水平，

建立绿色制造体系。由此可见，在当前资源约束日益趋紧的环境下，工业的绿色转型已经成为工业发展的必经之路，而相比于此前的工业革命，“绿色”在生态环境方面提出了更高的要求，发展绿色工业本质上就是要在生产活动中节能降耗，实现废物的减量化、资源化和无害化。

（二）技术创新是工业绿色转型的有力支持

为推进工业绿色发展，我国制定的《工业绿色发展规划（2016-2020）》中明确指出，工业转型的特征之一是创新驱动，北京大学新结构经济学研究院院长林毅夫也表示，工业企业应实现绿色发展，并指出技术创新是实现绿色工业化的前提。在推进工业的绿色化转型中，要提高工业生产中的创新能力，就需要在研发、管理和生产模式上进行改进创新，开展绿色清洁技术的研究，提升工业企业节能减排的绿色生产能力，进而减少污染排放和提高废物循环利用率。

R&D 活动作为在科学技术领域中进行新应用创造的活动，是开展研发和提高创新水平的重要基础。近年来，我国对科技创新的重视在不断提高，全社会 R&D 投入强度由 2006 年的 1.39% 上升到 2019 年的 2.23%，在 R&D 经费和 R&D 人员投入上，二者在 2019 年分别达到了 22144 亿元和 480.08 万人/年，相比 2006 年增长了 219.52% 和 637.36%。在工业生产中，R&D 活动作为企业开展技术创新和新产品发明的有力支撑，也是促进工业企业发展高技术和实现清洁化生产的关键。一方面，通过 R&D 投入推进工业企业进行技术创新，能够促进大数据、人工智能等先进技术与实体经济充分融合、优化产业结构，让企业的生产效率得以提升，并创造更多的产量和产值；另一方面，清洁技术的研发，有助于企业对有毒有害的生产要素进行替代，促进企业进行产品的绿色设计，从而为企业降低能耗和处理污染物提供了可能，进一步实现工业的绿色转型升级和可持续发展。

综上所述，在当前资源约束不断趋紧、环境问题日益凸显的形势下，推进工业绿色化生产刻不容缓。那么，通过技术创新能否促进企业节能降耗、减少环境污染？技术创新对工业绿色发展的影响究竟如何？工业污染存在显著的空间效应（胡志强等（2016）^[11]、平智毅等（2019）^[28]和贾卓等（2020）^[20]），在污染存在空间集聚性的条件下，绿色工业效率是否也存在空间相关性？R&D 投入对绿色工业效率是否有空间影响？鉴于此，本文将以效率作为切入点，探究 R&D 投入能否促进企业进行技术创新和提升绿色工业效率，并回答 R&D 投入对绿色

工业效率是否存在空间效应。

二、研究意义

大气污染、全球变暖等问题已经对人类社会构成了严重威胁，在资源约束趋紧的环境下，国内外在推进经济的绿色发展上已逐渐达成共识。在粗放的发展模式下，工业活动排放的污染物已经给生态环境带来巨大的压力，推进工业的绿色化转型是当前环境下的紧迫任务，也是实现经济可持续发展的必要路径。因此，在污染物存在显著空间集聚性的环境下，绿色工业效率是一个值得关注和研究的问题，本文将探究 R&D 投入对我国绿色工业效率的影响并研究其空间效应，进一步了解 R&D 投入对工业绿色效率的影响机制，丰富已有的研究成果。

目前关于 R&D 投入对工业绿色发展的研究，大多是探究 R&D 投入对工业转型、碳生产率以及环境质量的影响，从空间层面上探讨 R&D 投入对绿色工业效率影响的研究较少。因此，在当前环境和生态问题逐渐凸显的背景下，通过本文的研究，可以进一步了解 R&D 投入对我国不同地区绿色工业效率的影响情况；此外，若研究结果显示 R&D 投入对绿色工业效率的影响存在空间效应，则可为促进各地区工业绿色和协调发展提供政策参考。

第二节 国内外相关研究动态及文献综述

一、绿色工业的内涵

伴随着工业化的推进，大量的能源消耗和“工业三废”排放、工业碳排放使得粗放的工业生产模式已经不能满足经济可持续发展的需要。日益显著的环境污染等问题对各行业的生产模式带来了挑战，引发国内外对工业化发展的新路径进行思考，绿色发展逐渐成为国际共识，但是目前国内外对于工业绿色转型的路径仍处于探索阶段，Chukwumerije Okereke（2018）表示当前还没有可以效仿的“可持续工业化”的发展模式^[53]。对于“绿色发展”的概念，学者们大多从资源和环境友好的角度，提出对绿色发展的理解，例如，王金南等（2006）认为环境是促进绿色发展的内在动力，在发展中人类应树立与自然和谐共处的共同体理念，并促进资源的可持续利用^[37]；王玲玲和张艳国（2012）^[38]、胡鞍钢和周绍杰（2014）

[12]认为绿色发展涵盖多个层面，它需要考虑资源的可承载度和自然生态的容量，通过保护环境来实现可持续发展。

绿色发展的理念体现在经济社会的很多领域，产业的绿色发展便是其中之一，工业作为第二产业的一部分，推进其绿色转型对于实现节能集约化生产具有重要的意义。对于绿色工业的内涵，刘红明（2009）认为绿色化是新型工业化的必然要求，“工业绿色化”要求工业企业在生产中，要树立起环境保护意识，在生产过程中降低污染排放，实现产出与环境质量协调发展^[21]；陈妍（2013）提出只有转变发展理念和增长方式，才能推动企业淘汰落后产能，推动工业绿色转型^[2]；傅志寰（2015）表示工业绿色发展是利用科技创新来提高能效、减少污染，进而实现工业生产制造、产品和企业的绿色化的发展模式^[8]；史丹（2018）指出工业的绿色及低碳化发展就是要摒弃传统工业化进程中无限制地消耗资源、损害地球生态环境的经济活动，不能不顾环境和资源危机而盲目地追求经济增长^[31]。

综上所述，学者们认为绿色工业应该是节能环保的、可持续的、不以牺牲自然资源和環境为代价的新型工业发展模式，在资源约束日益趋紧的条件下，工业发展更需贯彻绿色发展的理念，实现绿色化转型。

二、绿色工业效率的测度

效率问题在经济学中被学者们广泛研究，生产有效率就是在既有的技术条件下，最大化地使用了稀缺的资源，实现了最优产出，因此效率是对资源配置、投入产出能力和生产有效性的评价。效率的评价方法主要有参数法、非参数法和半参数法，其中参数法需要设定具体的生产函数，代表性的有索洛余值法和前沿分析法；非参数方法则无需设定生产函数，而是对于有多种投入和产出的决策单元，通过构建生产前沿面并测算生产点与其之间的距离来评价效率，该方法的代表是数据包络分析（DEA），其本质是一个线性规划模型；半参数方法则是由 Olley 和 Pakes（1996）在研究企业的同时选择和退出问题中提出的效率测度方法，该方法在效率测度中将生产函数估计和非参数估计相结合，能够有效解决微观企业的同时选择和退出可能导致的内生性问题^[51]。

从现有的文献研究来看，目前学者们主要是从宏观的视角对工业效率进行研究，在效率的测算中，数据包络分析（DEA）由于无需假定生产函数，且能从多

投入多产出的角度测算效率,从而得到学者的广泛使用。在传统工业效率的测算中,学者们大多以资本和劳动作为投入,以工业总产值或增加值作为产出。随着资源和环境问题不断凸显,学者们在工业效率的评价中逐渐意识到忽略环境的约束可能会使得工业效率的评价失真,从而在评价指标体系中考虑能耗和污染排放,将测算的效率定义为工业 GTFP、工业生态效率、工业环境效率等,以反映工业生产过程中的“绿色”水平。例如,部分学者在传统工业效率评价指的基础上,纳入了污染排放量作为非期望产出,主要有工业 SO₂ 排放量、工业烟(粉)尘排放量、工业 CO₂ 排放量和工业“三废”排放量,如辜子寅(2014)^[9]、肖枝洪和冉波(2017)^[41]、黄磊和吴传清(2019)^[15]、黄磊(2021)^[16]。更进一步地,学者们在效率测算中考虑能源和资源消耗,将工业能源、水资源、工业用电、工业用地等加入到投入指标中,例如涂正革和刘磊珂(2011)^[35]、查建平等(2011)^[44]、焦兵和孙君厚(2015)^[19]、岳鸿飞等(2018)^[43]、胡立和等(2019)^[13]、张仁杰和董会忠(2020)^[45]、孙振清等(2020)^[32]、董会忠和韩沅刚(2020)^[7]、Chen Yanhua et al(2020)^[54]。

本文总结了以上学者在考虑能耗和污染排放后的工业效率评价指标体系,整理出具有代表性的指标及效率测算模型见表 1.1。

表 1.1 相关学者的工业效率评价指标和测算模型

作者	投入指标	产出指标	测算模型
涂正革、刘磊珂(2011)	L: 规模以上工业企业年均从业人数 K: 规模以上工业企业固定资产净值年均余额 E: 工业能源消费总量	Y: 工业增加值 B: 工业 SO ₂ 排放量	非期望产出 SBM 模型
查建平等(2011)	L: 工业年均从业人数 K: 固定资产净值年均余额 E: 工业终端能源消耗量	Y: 工业增加值 B: 工业能源碳排放量	Malmquist-Luenberger 方向距离函数
辜子寅(2014)	L: 工业从业人数 K: 固定资产净值年均余额	Y: 工业增加值 B: 工业“三废”排放量	C2R、C2GS2 模型
肖枝洪、冉波(2017)	L: 工业年均从业人数 K: 固定资产净值年均余额	Y: 工业增加值 B: 工业 CO ₂ 排放量	SBM 模型
岳鸿飞等(2018)	L: 规模以上工业行业年平均用工人数 K: 工业行业固定资本存量 E: 规模以上工业行业能源消费总量	Y: 规模以上工业企业主营业务收入 B: 工业行业“三废”排放量	SBM-DDF 模型、ML 指数

续表 1.1 相关学者的工业效率评价指标和测算模型

胡立和等(2019)	L: 规模以上工业行业平均用工数	Y: 规模以上工业企业总产值	传统 DEA、
	K: 规模以上工业企业资本存量	B: 规模以上工业企业 SO ₂ 、废水排放量、一般工业固体废物产生量	Malmquist 模型
	E: 工业行业能源消费总量		
黄磊、吴传清(2019); 黄磊(2021)	L: 工业从业人数	Y: 工业增加值	全局超效率
	K: 规模以上工业企业固定资产投资合计	B: 工业废水排放、工业 SO ₂ 排放量、工业烟(粉)尘排放量	SBM 模型; 全局超效率 EBM 模型
张仁杰、董会忠(2020)	L: 第二产业从业人数、R&D 人员数	Y: 工业企业利润总额、发明专利数	非期望 SBM 模型
	K: 新增固定资产投资、环境治理投资	B: 工业“三废”排放量	
	E: 工业用水、用电、用煤、用地		
董会忠、韩沅刚(2020)	L: 工业就业人数	Y: 工业增加值	超效率 SBM 模型
	K: 工业固定资产	B: 工业 SO ₂ 、烟尘、废水排放量、一般工业固体废物未处理量	
	E: 工业能耗总量、工业供水总量、工业用地面积		
Chen Yanhua et al (2020)	L: 城镇就业人数	Y: 工业增加值	超效率 SBM 模型
	K: 固定资产投资	B: 工业 SO ₂ 、废水、废气排放量	
	E: 能源消费、用水总量		

注: 表中 L 代表劳动力, K 代表资本, E 代表能源; Y 代表期望产出, B 代表非期望产出。

以上学者在对绿色工业效率的测算中运用了各种 DEA 方法的衍生模型, 研究对象涵盖中国工业行业、长江经济带地区以及中国 31 省、市、自治区。在研究结论上, 学者们的研究结果显示工业生产率或效率在地区或行业中呈现出不平衡的状态, 其中涂正革 (2011)^[35]、查建平等 (2011)^[44]、辜子寅 (2014)^[9]、胡立和等 (2019)^[13]和 Chen Yanhua et al (2020)^[54]研究发现 GTFP 或绿色工业效率为东部>中部>西部, 张仁杰和董会忠 (2020)^[45]则得出 2011 年之后工业效率值东部>西部>中部的结论, 且张仁杰和董会忠 (2020)^[45]、Chen Yanhua et al (2020)^[54]发现效率存在空间集聚性; 从效率的发展趋势看, 学者们的结论也有所差异, 涂正革 (2011)^[35]、董会忠和韩沅刚 (2020)^[7]在对 30 个地区的工业效率测算中发现效率值有小幅下降, 肖枝洪和冉波 (2017) 则发现大部分地区的效率呈先减后增的趋势^[41], 岳鸿飞等 (2018) 对中国 36 个工业行业的效率进行测算, 结果表明在 2011-2015 年期间效率值出现较大幅度的下降^[43], 黄磊和吴传清 (2019) 在对长江经济带 11 个省市的绿色工业效率研究中则发现效率值

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/347100030115006160>