

徐成龙, 庄贵阳. 供给侧改革驱动中国工业绿色发展的动力结构及时空效应[J]. 地理科学, 2018, 38(6): 849-858. [Xu Chenglong, Zhuang Guiyang. Dynamic Structure and Spatio-Temporal Effect of Supply-side Reform on Industrial Green Development in China. Scientia Geographica Sinica, 2018, 38(6): 849-858.] doi: 10.13249/j.cnki.sgs.2018.06.003

供给侧改革驱动中国工业绿色发展的动力结构及时空效应

徐成龙^{1,2}, 庄贵阳¹

(1. 中国社会科学院城市发展与环境研究所, 北京 100028; 2. 临沂大学商学院, 山东 临沂 276005)

摘要: 运用熵值法和动态面板的系统 GMM 估计方法对 2000~2015 年中国工业绿色发展水平及其供给侧动力结构进行探究, 结果表明: 中国工业绿色发展水平呈逐年递增趋势, “东中西”依次递减的空间演变格局越发明显; 绿色资本与中国工业绿色发展呈“U”型关系, 其他 5 类绿色要素供给对中国工业绿色发展均起到了促进作用; 工业绿色发展水平相对较高的东部地区的人口素质、绿色产业以及环境规制等对工业绿色发展的促进作用相对较大, 而工业绿色发展水平相对较低的中西部地区的能源结构、技术进步等对工业绿色发展的促进作用相对较大。

关键词: 供给侧改革; 工业绿色发展; 动力结构; 时空效应

中图分类号: F276/F205

文献标识码: A

文章编号: 1000-0690(2018)06-0849-10

可持续发展是 21 世纪全球各地区经济社会发展的重要目标^[1]。以高投资、高耗能和高排放为主要特征的传统工业增长模式引致污染排放逼近生态环境承载极限, 公众的绿色需求已经进入敏感期和冲突期, 工业绿色发展逐渐成为区域可持续发展的重要引领^[2,3]。新常态下面对经济下行与环境污染的双重压力, 供给侧结构性改革作为中国经济走出困境的对症良方和破解生态环境约束的必由之路, 无疑会对工业绿色发展起到积极地推进作用。基于此, 新形势下中国工业绿色发展的供给侧驱动力发生了怎样的变化? 供给侧结构性改革具体是怎样驱动工业绿色发展的? 中国工业绿色发展供给侧驱动力的区域差异性如何? 这些都是目前学术界亟待解决的问题, 同时也是本文将要探讨的主要内容。

1 研究进展

围绕供给侧结构性改革和工业绿色发展, 国内外学者进行了大量的相关研究。

1) 供给侧结构性改革的分析视角。根据已

有研究^[4-10], 至少可以从 4 个视角来分析: ① 从供给侧结构性改革的五大任务入手, 即对“三去一降一补”进行分析; ② 基于体制机制层面, 尤其是从市场体制机制的深化改革视角分析供给侧结构性改革; ③ 从经济增长的动力结构视角探究制度供给、产业供给和要素供给等供给侧驱动机制; ④ 从经济结构视角, 即企业、产业和政府 3 个层面来分析供给侧结构性改革问题。

2) 工业绿色发展的测度方法。当前对于工业绿色发展的评价方法大致有 3 种: ① 综合指标体系法。围绕工业绿色增长度、工业资源环境压力、工业绿色发展能力等方面进行构建并测算工业绿色发展指数的研究较为广泛, 但具体指标存在差异^[11-13]; ② 绿色全要素生产率贡献法。国内外学者主要通过 SBM 方向性距离函数与 Malmquist、Luenberger 及 Malmquist-Luenberger 生产率指标测算绿色全要素生产率^[14-17]; ③ 弹性脱钩值法。少数学者基于脱钩理论的核心思想, 将弹性脱钩值法应用于工业绿色转型升级的测算与评价^[18]。

收稿日期: 2017-08-28; **修订日期:** 2017-10-11

基金项目: 教育部人文社会科学基金项目(16YJCZH123)、中国博士后科学基金项目(2017M621003)、山东省自然科学基金项目(ZR2014DM001)资助。[Foundation: Humanities and Social Sciences Fund of Ministry of Education(16YJCZH123), China Postdoctoral Science Foundation(2017M621003), Nature Sciences Foundation of Shandong(ZR2014DM001).]

作者简介: 徐成龙(1988-), 男, 山东临沂人, 博士, 讲师, 研究方向为区域经济、资源与环境经济。E-mail: xclkygc@163.com

3) 供给侧改革驱动工业绿色发展的相关研究。基于供给侧结构性改革,工业绿色发展的供给侧驱动力大体可以分为传统要素供给(劳动、资本、技术、自然资源等)、产业供给(产业结构)和制度供给(环境规制)3方面^[19-27]。

综上,国内外学者围绕供给侧结构性改革和工业绿色发展开展了较为详细的理论与实证研究,尽管已经取得了一系列丰硕的成果,但还存在一系列亟待解决和反思的问题。① 针对工业绿色发展的供给驱动(制约)因素多是涉及到要素供给、产业供给和制度供给的某一方面,综合要素供给、产业供给和制度供给,较为系统地探究供给侧结构性改革对中国工业绿色发展影响的研究则不多。② 不难发现,关于供给侧结构性改革的研究多是集中于供给侧问题、体制机制改革、动力结构和经济结构单方面视角,而基于区域差异性系统构建供给侧结构性改革下中国工业绿色发展的提升路径还需进一步展开。

2 方法模型与数据来源

2.1 工业绿色发展测度

借鉴绿色发展的基本内涵和核心要义^[28,29],本文从工业绿色增长度、工业资源环境压力、工业绿色发展能力3方面综合构建工业绿色发展评价指标体系,具体指标包含21项(表1)。参考已有研究^[30],采用熵值法对工业绿色发展水平进行定量测度。

2.2 计量模型构建

依据传统理论经济学、制度经济学、转轨经济学、发展经济学、信息及行为经济学所构成的新供给经济学的“五维一体化”框架,系统梳理影响工业绿色发展的供给侧驱动力。其中,传统理论经济学中具体涉及劳动、资本和技术创新等传统要素供给;制度经济学和转轨经济学认为“制度”作为供给侧与经济生产方式及产业发展的宏观机制和环境等直接相关;发展经济学研究的侧重点主要在于供给侧的技术创新供给和制度供给;信息及行为经济学中不完全信息的柠檬市场理论引申出的企(产)业供给亦是供给侧需要纳入的重要内容。结合绿色发展理念,本文将从人口素质、绿色资本、清洁能源、绿色技术、绿色产业以及环境规制等6大方面构建供给侧结构性改革驱动工业绿色发展的计量模型^[31,32]。

$$IG=f(L,K,T,E,ER,IS) \quad (1)$$

为消除异方差,对数据进行处理,模型如下:

$$IG=a \ln L+b_1 \ln K+b_2 \ln^2 K+c \ln T+d \ln E+e \ln ER+f \ln IS+C \quad (2)$$

式中, IG 代表工业绿色发展指数; L 代表人口素质,用每10万人高等学校平均在校生数来衡量; K 代表绿色资本,用环境污染治理投资占GDP比重来衡量; T 代表绿色技术,用发明型专利申请授权数来衡量; E 代表清洁能源,用天然气占一次能源消费比重进行衡量; ER 代表环境规制,用单位工业总产值废气排放量的倒数进行衡量; IS 代表绿色产业,用六大高耗能产业比重进行衡量; b_1 、 b_2 为绿色资本对工业绿色发展影响的一、二次项系数; a 、 c 、 d 、 e 、 f 为人口素质、绿色技术、清洁能源、环境规制、绿色产业对工业绿色发展的影响系数; C 为常量。

2.3 数据来源

本文选取2000~2015年为研究时间段,分别对2000、2005、2010和2015年4个截面数据进行深入探究。相关经济、社会及资源环境等数据均来源于2001~2016年《中国统计年鉴》^[33]《中国工业经济统计年鉴》^[34]《中国环境统计年鉴》^[35]《中国能源统计年鉴》^[36]《中国科技统计年鉴》^[37]《中国劳动统计年鉴》^[38]等。同时,将中国各地区(不包括港澳台)分为东部、中部和西部三大地区,东部地区包括北京、天津、河北、辽宁、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东、海南;中部地区包括吉林、黑龙江、山西、安徽、江西、河南、湖北、湖南;西部地区包括内蒙古、广西、重庆、四川、贵州、云南、西藏、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆。

3 中国工业绿色发展水平测度及其时空特征

3.1 中国工业绿色发展评价指标的权重变动

依据工业绿色发展评价指标体系,采用熵值法对2000~2015年中国工业绿色发展各评价指标权重进行测算。从一级指标权重来看,工业绿色增长度权重由2000年的0.37下降到2015年的0.27;工业资源环境压力权重由2000年的0.35上升到2015年的0.5;工业绿色发展能力权重由2000年的0.27下降到2015年的0.23。由此可见,中国工业绿色发展中的资源消耗和环境污染问题越来越受到社会各界的广泛关注,而工业绿色增长度

表1 工业绿色发展评价指标体系

Table 1 Evaluation index system of industrial green development

目标	一级指标	二级指标	三级指标	指标方向
工业绿色 发展水平	工业绿色 增长度	工业绿色发展效率	工业总产值增长率	+
			规模以上工业企业成本费用利润率	+
			规模以上工业企业总资产贡献率	+
			六大高耗能工业产值占工业总产值比重	-
			工业企业R&D经费占工业总产值比重	+
		工业绿色发展潜力	工业企业R&D人员占从业人员比重	+
			工业企业专利申请授权数	+
			单位工业总产值用地量	-
			单位工业总产值水耗	-
			单位工业总产值电耗	-
	工业资源 环境压力	工业资源消耗	单位工业总产值能耗	-
			单位工业总产值二氧化硫排放量	-
			单位工业总产值COD排放量	-
			单位工业总产值固体废弃物产生量	-
		工业污染治理	工业二氧化硫去除率	+
			工业COD去除率	+
			工业固体废弃物综合利用率	+
			工业污染治理投资额占工业总产值比重	+
		基础设施建设	人均公园绿地面积	+
			造林面积占总面积比重	+
			保护区面积占辖区面积比重	+

注:“+”、“-”为指标值与工业绿色发展水平正、负相关。

和工业绿色发展能力在工业绿色发展过程中受到的关注程度则相对较小。

从二级指标权重来看,工业绿色发展效率权重一直减小,说明工业绿色发展效率对工业绿色发展水平的重要性持续下降;工业绿色发展潜力的权重整体呈波动平稳趋势。工业资源消耗和工业污染排放的权重均呈上升趋势,进一步说明中国越来越重视工业绿色发展中的资源消耗和污染排放问题。工业污染治理权重的上升趋势较为缓慢,而基础设施建设权重则呈下降趋势,说明虽然中国已经开始注重环境问题治理,但基础设施的建设相对落后(表2)。

3.2 中国工业绿色发展水平的变动趋势

从工业绿色发展水平看,2000~2015年中国工业绿色发展水平呈逐渐增加态势,这说明在经济发展和环境保护的双重约束下,中国工业绿色发展取得了较好的成绩。进一步从工业绿色增长度、工业资源环境压力和工业绿色发展能力3方面来看,工业绿色增长度大体呈下降趋势,这意味着工业绿色增长速度相对缓慢,尤其是2015年工业

表2 工业绿色发展的二级评价指标权重

Table 2 The weight of secondary evaluation indicators of industrial green development

二级指标	2000年	2005年	2010年	2015年
工业绿色发展效率	0.18	0.12	0.10	0.06
工业绿色发展潜力	0.19	0.30	0.21	0.21
工业资源消耗	0.17	0.19	0.27	0.29
工业污染排放	0.19	0.16	0.17	0.21
工业污染治理	0.11	0.11	0.13	0.12
基础设施建设	0.16	0.12	0.12	0.11

增加值增长率仅为1.08%;工业资源环境压力呈快速下降趋势,这意味着中国资源集约利用水平和污染排放效率的显著提高对工业绿色发展的促进作用较为明显;工业绿色发展能力呈缓慢下降趋势,这反映中国对于环境保护的相关基础设施建设力度不足,污染治理项目本年完成投资额占工业总产值的比重由2000年的0.28%下降到2015年的0.07%(表3)。

3.3 中国工业绿色发展水平的空间格局及演变

从区域分布来看,2015年中国工业绿色发展

表3 2000~2015年中国工业绿色发展综合指数

Table 3 Comprehensive index of industry green development of China in 2000-2015

指标	2000年	2005年	2010年	2015年
工业绿色增长度	0.09	0.06	0.08	0.06
工业资源环境压力	0.30	0.29	0.39	0.46
工业绿色发展能力	0.06	0.07	0.06	0.05
工业绿色发展水平	0.45	0.42	0.53	0.57

水平呈东中西依次递减的空间分布格局。其中,工业绿色发展水平最高的地区主要包括北京、上海、天津、广东、重庆、福建、陕西、山东、浙江、吉林、江苏等,其工业绿色发展指数为0.62,东部地区有8个;工业绿色发展水平中等的地区主要包括四川、湖北、安徽、湖南、河南、江西、黑龙江、广西、河北和辽宁等,其工业绿色发展指数为0.55,中部地区有6个;工业绿色发展水平最低的地区主要包括贵州、内蒙古、海南、云南、宁夏、山西、甘肃、西藏、

新疆、青海等,其工业绿色发展指数为0.42,西部地区有8个。

从空间格局演变趋势来看,2000~2015年中国工业绿色发展水平较高的区域基本集中在东部,而工业绿色发展水平较低的区域则呈“由中向西”的空间演变格局(图1)。进一步从东、中、西三大区域来看,2000~2015年工业绿色发展水平均呈上升趋势,且东部最高、中部次之、西部最低。综上可知,中国工业绿色发展水平呈现东中西依次递减规律,且工业绿色发展水平的“东中西”空间演变格局越发明显。

4 中国工业绿色发展的供给侧驱动力分析

4.1 中国绿色供给侧驱动力时空特点

劳动供给对工业绿色发展的影响主要体现在高等在校学生数以及R&D人员等方面。时间维度看,每10万人高等在校学生数有明显上升趋势,

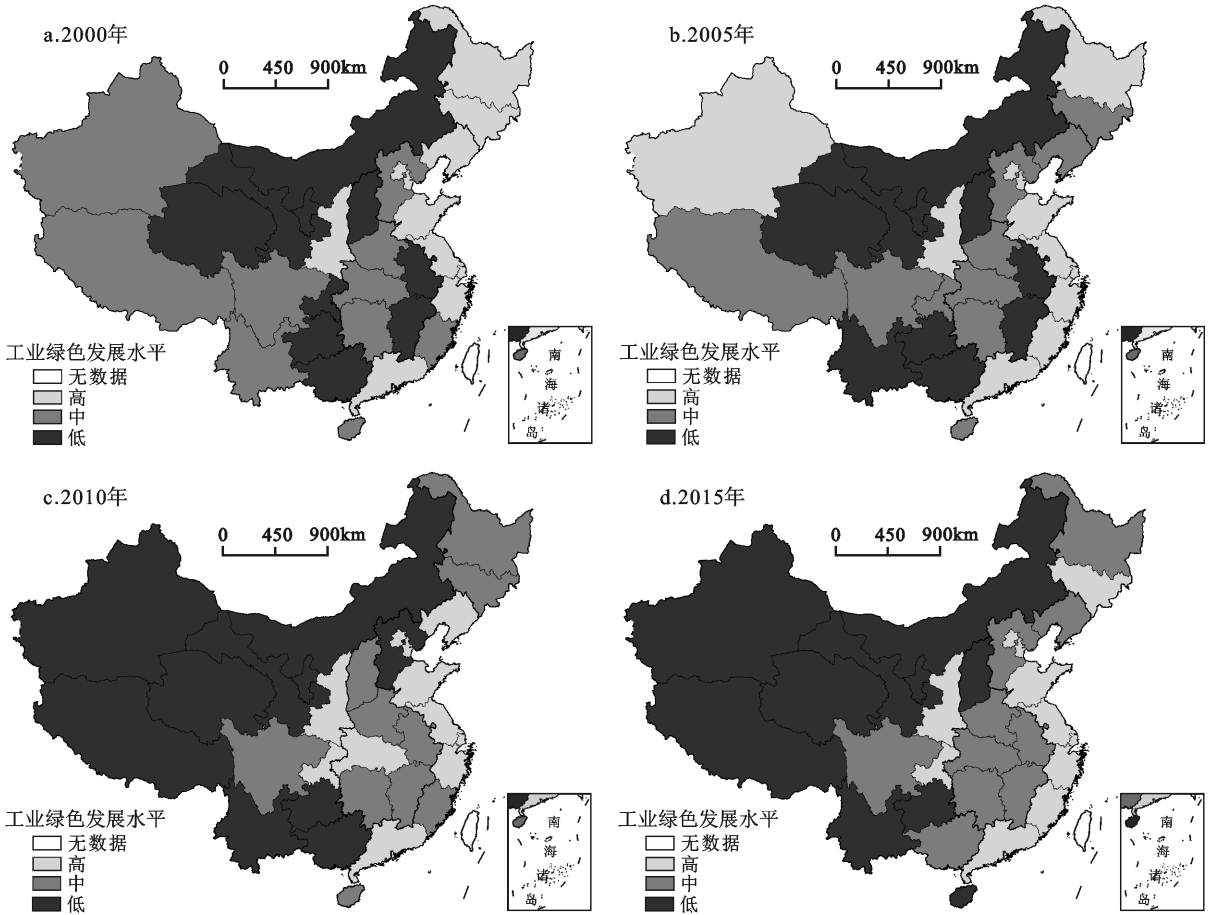


图1 2000~2015年中国工业绿色发展水平的时空演变

Fig.1 Spatio-temporal evolution of industrial green development level of China in 2000-2015

由2000年的15 574人上升到2015年的72 182人;R&D人员占总人口的比重也呈逐年上升趋势,由2000年的0.02%上升到2015年的0.06%。空间维度看,每10万人高等在校学生数的东西部差距呈先增大后减小趋势,差值由2000年的403人上升到2005年的1 289人,之后又下降到2015年的808人;虽然东中西部R&D人员占总人口的比重均呈增加趋势,但东部增长速度相对较快,由2000年的0.02%上升到2015年的0.07%。

资本供给对工业绿色发展的影响主要体现在环境治理投资上,其占GDP的比重越高说明资本投入在绿色发展方面的比例就越大。时间维度看,环境治理投资占GDP的比重呈波动下降趋势,2000、2005、2010和2015年的比重分别为1.39%,1.3%,1.66%和1.28%。空间维度看,2000~2015年中国东部地区的绿色资本投资呈波动下降趋势,而中部和西部地区的绿色资本投资则呈上升趋势。

自然资源供给对工业绿色发展的影响主要体现在清洁能源的使用和消费上,清洁能源逐渐替代传统化石能源是工业绿色发展的重要体现。时间维度看,天然气消费占一次能源消费总量的比重由2000年的1.72%上升到2015年的4.79%;而煤炭消费占一次能源消费总量的比重由2000年的68.5%下降到2015年的64%。空间维度看,东中西部地区天然气消费占比分别由2000年的0.86%,1.02%,4.45%上升到2015年的5.15%,3.05%,5.81%,但西部地区的增加速度相对较慢;东部和中部地区煤炭消费占比分别由2000年的42.53%和34.56%下降到2015年的38.54%和30.64%,而西部地区的比重则由2000年的22.91%上升到2015年的30.82%。

技术供给对工业绿色发展的影响主要体现在发明专利申请授权数,技术创新驱动代替传统资源能源驱动将从根本上提高中国绿色发展能力。整体来看,发明专利申请授权数由2000年的6 177件上升到2015年的263 436件,增长42.65倍。分区域看,除2010~2015年东部地区发明专利申请授权数的增长率出现了略微下降趋势外,2000~2015年中国东、中、西部地区的发明专利申请授权数和增长率均呈增加趋势。

产业供给对工业绿色发展的影响可以通过六大高耗能产业的发展态势来衡量。从六大高耗能产业所占GDP比重来看,2005年以后中国东中西

地区的比重均呈现下降趋势。其中,东部地区的比重基本维持在31%左右,中部地区的比重由2005年的41.61%下降到2015年的32.89%,西部地区的比重由2005年的44.54%下降到2015年的40.03%。

制度供给对工业绿色发展的影响主要体现在环境规制上。从变动趋势来看,2000~2015年中国环境规制强度不断增加,单位废气工业总产值由2000年的0.62元/m³增加到2015年的1.61元/m³。从空间格局看,2000~2015年中国东中西三大区域的环境规制强度均呈现增加趋势,且环境规制强度一直呈现“东中西”依次递减的空间格局。

4.2 中国供给侧驱动力与工业绿色发展的关联性分析

基于人口素质、绿色资本、清洁能源、绿色技术、绿色产业以及环境规制等绿色供给侧驱动力的时空特点,下面将初步探讨供给侧驱动力与工业绿色发展中的关联性,具体分析供给侧驱动力与工业绿色增长度、工业资源环境压力以及工业绿色发展能力的关系(图2)。其中,人口素质、清洁能源、绿色技术、绿色产业和环境规制分别与工业绿色增长度和工业资源环境压力呈同方向变动关系,而与工业绿色发展能力呈反方向变动关系,这表明随着人口素质的提高、清洁能源的发展、绿色技术的进步、产业结构的优化以及环境规制的加强,工业绿色增长度不断增加、工业资源环境压力不断减小、工业绿色发展能力不断下降。绿色资本与工业资源环境压力的关系属于“U”型,这表明随着绿色资本投资的增加,工业资源环境压力呈现先增大后减小的变动趋势,而目前中国大多数区域仍然处于绿色资本投资的初期;绿色资本与工业绿色增长度和工业绿色发展能力的关系没有明显特征。

5 供给侧改革对中国工业绿色发展的时空效应分析

虽然中国工业绿色发展水平呈“东中西”依次递减的空间演变格局,但是处于较高水平的区域基本集中在东部,而处于较低水平的区域则基本集中在中部和西部。因此,运用动态面板的系统GMM估计方法分别定量分析中国、东部以及中西部区域的工业绿色发展驱动机制(表4)。

从中国整体来看,模型的Sargan值为0.152,且

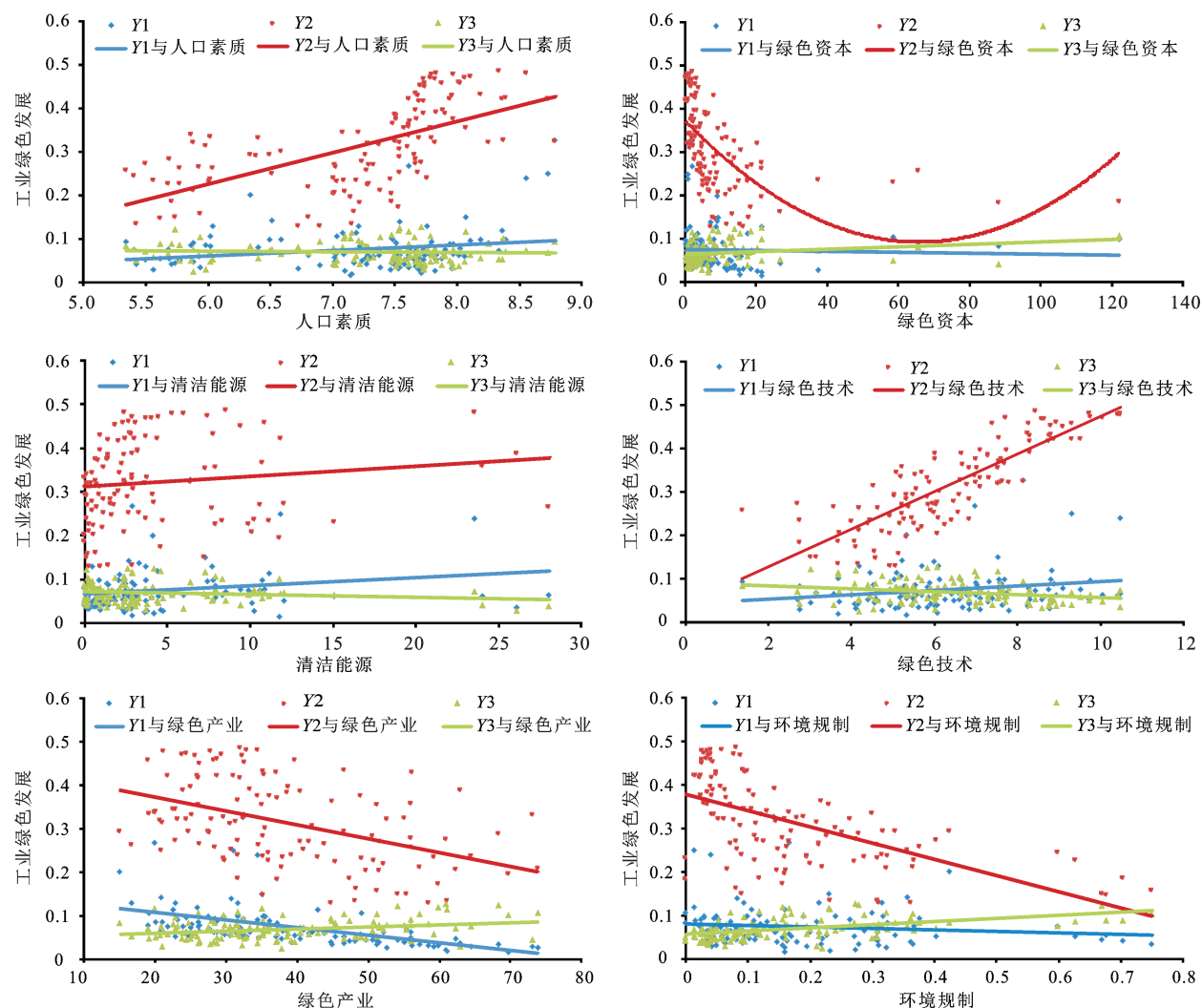


图2 供给侧驱动力与工业绿色增长度(Y1)、资源环境压力(Y2)以及绿色发展能力(Y3)的散点图

Fig.2 Scatter diagram of supply-side driving power and industrial green growth degree (Y1), resource environment pressure (Y2) and green development ability (Y3)

表4 2000~2015年中国供给侧驱动力对工业绿色发展的影响

Table 4 The influence of supply-side driving force on industrial green development in 2000-2015

变量	中国	东部	中西部
常数	-0.566(-2.01)**	-1.078(-5.97)***	-0.003(-0.01)
L	0.147(3.53)***	0.203(8.17)***	0.078(1.47)
K	-0.007(-3.62)***	-0.007(-2.42)**	-0.008(-3.43)***
K ²	0.0001(1.20)	-	0.0001(1.61)
E	0.006(2.96)***	0.005(4.93)***	0.011(2.43)**
T	0.033(3.40)***	0.02(3.57)***	0.049(3.04)***
IS	-0.004(-8.78)***	-0.004(-3.98)***	-0.005(-6.75)***
ER	0.124(2.22)**	0.179(2.29)**	0.117(2.72)***
Sargan	0.152	0.719	0.405
AR(1)P值	0.991	0.547	0.709

注: **、***分别代表5%和1%的水平上显著;“-”代表不含该变量;()内数值为t值。

AR(1)的P值为0.991,这说明模型整体通过了假设检验的验证。人口素质对工业绿色发展的影响系数为0.147,这说明人口素质的不断提高对中国工业绿色发展水平的提升将起到积极的促进作用;绿色资本与工业绿色发展呈“U”型关系,即绿色资本对工业绿色发展的促进作用具有门槛效应,只有达到既定值以后,绿色资本的增加才对工业绿色发展起到正向促进作用;清洁能源对工业绿色发展的影响系数为0.006,这说明天然气占比越高对工业绿色发展就越有利;绿色技术对工业绿色发展的影响系数为0.033,这说明发明型专利申请授权数的增加对工业绿色发展水平的提高起到促进作用;六大高耗能产业所占比重对工业绿色发展水平的影响系数为-0.004,这说明绿色产业

的供给将对工业绿色发展水平的提升起到积极的促进作用;环境规制对工业绿色发展的影响系数为0.124,这说明环境规制强度的不断增加将对工业绿色发展水平的提升起到积极的促进作用。

从区域层面来看,东部地区和中西部地区两个模型的Sargan值分别为0.719和0.405,且AR(1)的 P 值分别为0.547和0.709,这说明两个模型整体均通过了假设检验的验证。东部地区人口素质对工业绿色发展的影响系数为0.203,中西部地区人口素质对工业绿色发展的影响不显著,这说明东部地区人口素质对工业绿色发展的促进作用高于全国平均水平,而中西部地区应高度重视未来人口素质的提高。东部地区绿色资本对工业绿色发展的影响系数为-0.007,主要是由于东部地区绿色资本呈整体下降趋势;中西部地区绿色资本与工业绿色发展呈“U”型关系,但不显著,这说明中西部地区绿色资本投资力度还需继续加大。东部地区和中西部地区清洁能源对工业绿色发展的影响系数分别为0.005和0.011,这说明中西部地区天然气占一次能源消费的比重对工业绿色发展的促进作用更明显。东部地区和中西部地区绿色技术对工业绿色发展的影响系数为0.02和0.049,这说明中西部地区发明型专利申请授权数对工业绿色发展的促进作用更大。东部地区和中西部地区六大高耗能产业所占比重对工业绿色发展水平的影响系数分别为-0.004和-0.005,这说明中西部地区六大高耗能产业的发展对工业绿色发展的负面影响更大;东部地区和中西部地区环境规制对工业绿色发展的影响系数分别为0.179和0.117,这说明东部地区的环境规制强度对工业绿色发展水平的促进作用要大于西部。

6 结论与讨论

6.1 结论

1) 从工业绿色发展水平来看,时间维度,虽然2000~2015年中国工业绿色发展水平呈逐年递增趋势,且工业资源环境压力越来越小,但工业绿色增长度和工业绿色发展能力还需进一步提升和加强;空间维度,中国工业绿色发展水平均呈现东中西依次递减规律,工业绿色发展水平的“东中西”空间演变格局越发明显。

2) 从绿色供给要素来看,时间维度,2000~2015年中国人口素质、绿色资本、清洁能源、绿色

技术、绿色产业以及环境规制等绿色供给动力均呈现良好的发展态势。空间维度上,人口素质和环境规制均呈“东高西低”的空间格局;东部地区绿色资本呈整体下降趋势,中西部地区绿色资本呈上升趋势;清洁能源的增长速度呈东中西依次递减趋势;绿色技术的增长速度则呈西高东低的发展趋势;绿色产业没有呈现出较为明显的空间转移趋势。

3) 整体而言,人口素质、清洁能源、绿色技术、绿色产业以及环境规制等绿色要素供给对中国工业绿色发展均起到了促进作用,绿色资本与中国工业绿色发展呈“U”型关系。区域而言,工业绿色发展水平相对较高的东部地区的人口素质、绿色产业以及环境规制等对工业绿色发展的促进作用较大,而工业绿色发展水平相对较低的中西部地区的能源结构、技术进步等对工业绿色发展的促进作用较大。另外,无论是东部还是中西部地区都需要继续加大绿色资本投资力度。

6.2 讨论

面对新常态下经济增速放缓和环境污染加剧的现实压力,供给侧结构性改革和工业绿色发展成为经济发展转型和生态环境好转的重要抓手。沿着供给理论的历史发展轨迹,不难发现供给侧框架下的动力要素种类繁多,而本文仅仅选取了研究相对较多的要素供给、产业供给和制度供给3方面,今后应继续补充和完善供给侧动力要素体系,以更全面地衡量和探索中国供给侧结构性改革的成效和规律。同时,工业绿色发展内涵还有待于进一步明确和界定,如何更加科学准确地测度工业绿色发展水平,也是未来研究需要重点关注的方向。

参考文献(References):

- [1] 牛文元.可持续发展理论的内涵认知——纪念联合国里约环发大会20周年[J].中国人口·资源与环境,2012,22(5):9-14. [Niu Wenyuan. The theoretical connotation of sustainable development: The 20th anniversary of a conference on environment and development in Rio De Janeiro, Brazil. China Population, Resources and Environment, 2012, 22(5): 9-14.]
- [2] 何甜,帅红,朱翔.长株潭城市群污染空间识别与污染分布研究[J].地理科学,2016,36(7):1081-1090. [He Tian, Shuai Hong, Zhu Xiang. Pollution space recognition and pollution distribution of Changsha-Zhuzhou-Xiangtan urban agglomeration. Scientia Geographica Sinica, 2016, 36(7): 1081-1090.]
- [3] 韩楠,于维洋.中国工业废气排放的空间特征及其影响因素研

- 究[J].地理科学,2016,36(2):196-203.[Han Nan, Yu Weiyang. Spatial characteristics and influencing factors of industrial waste gas emission in China. *Scientia Geographica Sinica*, 2016, 36(2):196-203.]
- [4] 林毅夫.供给侧改革的短期冲击与问题研究[J].河南社会科学, 2016,24(1):1-4.[Lin Yifu. Short term shocks and problems of supply side reform. *Henan Social Sciences*, 2016, 24(1):1-4.]
- [5] 洪银兴.准确认识供给侧结构性改革的目标和任务[J].中国工业经济,2016(6):14-21.[Hong Yinxing. Accurate understanding of the goal and task of structural reform of the supply front. *China Industrial Economics*, 2016 (6):14-21.]
- [6] 林卫斌,苏剑.供给侧改革的性质及其实现方式[J].价格理论与实践,2016(1):16-19.[Lin Weibin, Su Jian. The nature and way of supply-side reform. *Price Theory and Practice*, 2016(1):16-19.]
- [7] 冯泰来.从限权的角度看供给侧改革的有效实施[J].学术探索, 2016(5):92-96.[Feng Tailai. Analysis of the implementation of supply-side reform from the angle of power restrictions. *Academic Exploration*, 2016(5):92-96.]
- [8] 徐君,李巧辉,王育红.供给侧改革驱动资源型城市转型的机制分析[J].中国人口·资源与环境,2016,26(10):53-60.[Xu Jun, Li Qiaohui, Wang Yuhong. Integrated mechanism of resource-based cities transformation driven by the supply reform. *China Population, Resources and Environment*, 2016, 26(10): 53-60.]
- [9] 张志元.供给侧改革背景下提高我国先进装备制造业竞争力研究[J].当代经济管理,2016(12):52-56.[Zhang Zhiyuan. A study on improving the competitive ability of the advanced equipment manufacturing under the background of the supply-side reform. *Contemporary Economy Management*, 2016 (12):52-56.]
- [10] 黄群慧.论中国工业的供给侧结构性改革[J].中国工业经济, 2016(9):5-23.[Huang Qunhui. On China industrial structural reform of the supply front. *China Industrial Economics*, 2016(9): 5-23.]
- [11] 苏利阳,郑红霞,王毅.中国省际工业绿色发展评估[J].中国人口·资源与环境,2013,23(8):116-122.[Sun Liyang, Zheng Hongxia, Wang Yi. Evaluation on green development of China's provincial industry. *China Population, Resources and Environment*, 2013, 23(8):116-122.]
- [12] 王鹏,尤济红.中国环境管制效果的评价研究——基于工业绿色发展的一个空间视角[J].经济社会体制比较,2016(5):25-42.[Wang Peng, You Jihong. Evaluating environmental regulation in China: Based on the space perspective of industrial green development. *Comparative Economic & Social Systems*, 2016(5): 25-42.]
- [13] 李琳,张佳.长江经济带工业绿色发展水平差异及其分解——基于2004~2013年108个城市的比较研究[J].软科学,2016,30 (11):48-53.[Li Lin, Zhang Jia. The difference and decomposition of industrial green development level of the Yangtze River Economic Belt—Based on the comparative study of 108 cities from 2004 to 2013. *Soft Science*, 2016, 30(11):48-53.]
- [14] Chambers R, Fare R, Grosskopf S. Productivity growth in APEC countries[J]. *Pacific Economic Review*, 1996(1): 181-190.
- [15] Kumar S. Environmentally sensitive productivity growth: A global analysis using malmquist-luenberger index[J]. *Ecological Economic*, 2006(56):280-293.
- [16] 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+58.[Chen Shiyi. China's green industrial revolution: An interpretation from the perspective of environmental total factor productivity (1980-2008). *Economic Research Journal*, 2010(11):21-34+58.]
- [17] 彭星,李斌.贸易开放、FDI与中国工业绿色转型——基于动态面板门槛模型的实证研究[J].国际贸易问题,2015(1):166-176.[Peng Xing, Li Bin. Trade openness, FDI and green transformation of Chinese industry: An empirical analysis based on dynamic threshold model using panel data. *Journal of International Trade*, 2015(1):166-176.]
- [18] 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,2013,23(7):34-41.[Lu Qiang, Wu Qinghua, Zhou Yongzhang et al. Analysis on the Assessment of greenery transformation-upgrading of industry in Guangdong. *China Population, Resources and Environment*, 2013, 23(7): 34-41.]
- [19] 李佐军.“十三五”我国绿色发展的途径与制度保障[J].环境保护,2016(11):20-23.[Li Zuojun. Study on the approach and system guarantee of China's green development during the 13th five-year period. *Environmental Protection*, 2016(11):20-23.]
- [20] 薛钢,潘孝珍.财政分权对中国环境污染影响程度的实证分析[J].中国人口·资源与环境,2012,22(1):77-83.[Xue Gang, Pan Xiaozhen. An empirical analysis on the impact of fiscal decentralization on environmental pollution in China. *China Population, Resources and Environment*, 2012, 22(1):77-83.]
- [21] 张德茗,白秀艳.技术差距、技术引进与中国工业绿色经济增长[J].广西社会科学,2016(1):71-76.[Zhang Deming, Bai Xiuyan. Technology gap, technology import and green economic growth of China's industry. *Social Sciences in Guangxi*, 2016 (1):71-76.]
- [22] 王俊松,颜燕,胡曙虹.中国城市技术创新能力的空间特征及影响因素——基于空间面板数据模型的研究[J].地理科学,2017, 37(1):11-18.[Wang Junsong, Yan Yan, Hu Shuhong. Spatial pattern and determinants of chinese urban innovative capabilities base on spatial panel data model. *Scientia Geographica Sinica*, 2017, 37 (1):11-18.]
- [23] 周五七.行业特征对低碳约束下工业绿色TFP增长的影响[J].中国人口·资源与环境,2014,24(5):66-71.[Zhou Wuqi. Impact of industrial features on green TFP growth under the lowcarbon constraint. *China Population, Resources and Environment*, 2014, 24(5):66-71.]
- [24] 邹辉,段学军.长江经济带经济-环境协调发展格局及演变[J].地理科学,2016,36(9):1408-1417.[Zou Hui, Duan Xuejun. Pattern evolution of economy-environment coordinated develop-

- ment in the Changjiang River Economic Belt. *Scientia Geographica Sinica*, 2016, 36(9): 1408-1417.]
- [25] 马丽,张博,杨宇.东北地区产业发展与工业SO₂排放的时空耦合效应[J].地理科学,2016,36(9):1310-1319.[Ma Li, Zhang Bo, Yang Yu. The spatio-temporal coupling relationship between industrial development with SO₂ emission of Northeast China. *Scientia Geographica Sinica*, 2016, 36(9): 1310-1319.]
- [26] 张明志,余东华.制造业低碳化导向的供给侧改革研究[J].财经科学,2016(4):58-68.[Zhang Mingzhi, Yu Donghua. Research on the supply-side reform of low-carbon oriented manufacturing. *Finance & Economics*, 2016(4): 58-68.]
- [27] 李斌,彭星.环境规制工具的空间异质效应研究——基于政府职能转变视角的空间计量分析[J].产业经济研究,2013(6):38-47.[Li Bin, Peng Xing. Studies on spatial heterogeneity effects of environmental regulation instruments: Spatial empirical analysis from the perspective of transformation of government functions. *Industrial Economics Research*, 2013(6): 38-47.]
- [28] 张江雪,王溪薇.中国区域工业绿色增长指数及其影响因素研究[J].软科学,2013,27(10):92-96.[Zhang Jiangxue, Wang Xiwei. Research on measurement and influencing factors of the industrial green growth index by region in China. *Soft Science*, 2013, 27(10): 92-96.]
- [29] 吴旭晓.区域工业绿色发展效率动态评价及提升路径研究——以重化工业区域青海、河南和福建为例[J].生态经济,2016,32(2):63-68.[Wu Xuxiao. Research on the improving path and dynamic evaluation of regional industrial green development efficiency: Taking the heavy chemical industry zone of Qinghai, Henan and Fujian as examples. *Ecological Economy*, 2016, 32(2): 63-68.]
- [30] 王富喜,毛爱华,李赫龙,等.基于熵值法的山东省城镇化质量测度及空间差异分析[J].地理科学,2013,33(11):1323-1329.[Wang Fuxi, Mao Aihua, Li Helong et al. Quality measurement and regional difference of urbanization in Shandong province based on the entropy method. *Scientia Geographica Sinica*, 2013, 33(11): 1323-1329.]
- [31] 陈妍,梅林.东北地区资源型城市经济转型发展波动特征与影响因素——基于面板数据模型的分析[J].地理科学,2017,37(7):1080-1086.[Chen Yan, Mei Lin. Cyclical characteristics and influential factors of resource-based cities' economy in Northeast China—Based on panel data model. *Scientia Geographica Sinica*, 2017, 37(7): 1080-1086.]
- [32] 刘红明.工业绿色化的内涵及影响因素分析[J].现代经济探讨,2008(11):54-57.[Liu Hongming. The connotation and influencing factors of industrial green. *Modern Economic Research*, 2008(11): 54-57.]
- [33] 国家统计局.中国统计年鉴(2001~2016)[M].北京:中国统计出版社,2001-2016. [China Statistical Bureau. China statistical yearbook (2001-2016). Beijing: China Statistics Press, 2001-2016.]
- [34] 国家统计局工业统计司.中国工业经济统计年鉴(2001~2016)[M].北京:中国统计出版社,2001-2016.[Industrial Statistics Department of China Statistical Bureau. China industry statistical yearbook (2001-2016). Beijing: China Statistics Press, 2001-2016.]
- [35] 国家统计局,环境保护部.中国环境统计年鉴(2001~2016)[M].北京:中国统计出版社,2001-2016.[China Statistical Bureau, Environmental Protection Department. China statistical yearbook of environment (2001-2016). Beijing: China Statistics Press, 2001-2016.]
- [36] 国家统计局能源统计司.中国能源统计年鉴(2001~2016)[M].北京:中国统计出版社,2001-2016.[Energy Statistics Department of China Statistical Bureau. China energy statistical yearbook (2001-2016). Beijing: China Statistics Press, 2001-2016.]
- [37] 国家统计局,科学技术部.中国科技统计年鉴(2001~2016)[M].北京:中国统计出版社,2001-2016.[China Statistical Bureau, Ministry of Science and Technology. China statistical yearbook on science and technology (2001-2016). Beijing: China Statistics Press, 2001-2016.]
- [38] 国家统计局人口和就业统计司,人力资源和社会保障部规划财务司.中国劳动统计年鉴(2001~2016)[M].北京:中国统计出版社,2001-2016. [Population and Employment Statistics Department of China Statistical Bureau, Planning and Finance Department of Human Resources and Social Security Ministry. China labour statistical yearbook (2001-2016). Beijing: China Statistics Press, 2001-2016.]

Dynamic Structure and Spatio-Temporal Effect of Supply-side Reform on Industrial Green Development in China

Xu Chenglong^{1,2}, Zhuang Guiyang¹

(1. *Institute for Urban & Environmental Studies, Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100028, China;*

2. Business College, Linyi University, Linyi 276005, Shandong, China)

Abstract: Industrial green development driven by supply-side reform had played an important role in regional sustainable development in China. And the level of industrial green development was measured by entropy method. Drawing on the “five-dimensional integration” framework of new supply economics based on traditional theory economics, institutional economics, transition economics, development economics, information and behavioral economics, the article systematically combed the green supply-sidedriving forces in China. Supply-side reform driving industry green development was quantitatively analyzed by system GMM estimation method of dynamic panel from 2000 to 2015. Conclusions were as follows. Firstly, the pressure of resources and environment was becoming more important, whereas the degree of industrial green growth was becoming less important in industrial green development. And the importance of the capacity of industrial green development was relatively stable in industrial green development. Secondly, in terms of time dimension, the level of industrial green development in China was increasing year by year, but the degree of industrial green growth and the capacity of industrial green development needed to be further improved and strengthened. From the spatial dimension, the descending successively spatial evolution pattern from east to west was becoming more and more obvious. High-level areas of industrial green development were concentrated mainly in the eastern; Low-level areas of industrial green development were concentrated mainly in the central and western. Thirdly, the green supply-side driving powers, such as population quality, green capital, clean energy, green technology, green industry and environmental regulation, had shown active development trend, and also revealed obvious spatial heterogeneity. Lastly, green capital and industrial green development in China showed “U” shape relationship, and population quality, clean energy, green technology, green industry and environmental regulation had promoted the industry green development in China. Population quality, green industry and environmental regulation promoted the industry green development of the eastern region where the level of industrial green development was relatively higher. Energy structure and technological progress promoted the industrial green development of the central and western region where the level of industrial green development was relatively lower. Moreover, the eastern, central and western regions needed to increase investment in green capital. Overall, these results will provide guidance and reference for regional sustainable development.

Key words: supply-side reform; industrial green development; dynamic structure; spatio-temporal effect