

中国工业绿色转型的 减排效应及污染治理投入的影响

王 勇 刘厚莲*

摘要: 减少污染排放是中国工业绿色转型的关键和基本目的,本文分别从工业结构和行业内两个层面考察中国工业绿色转型的基本态势。应用 Sun(1998)的完全分解方法,将工业废气和废水的排放分解为规模效应、强度效应和结构效应,结果表明:行业内的绿色转型是减少污染排放的主要推动力量,而工业结构转型的贡献较小,但是工业结构绿色转型对于减少废气排放的作用相对更加明显。本文进一步通过构建面板 VAR 模型,检验了工业污染源治理投资、清洁生产投资以及“三同时”投资三种模式对中国工业绿色转型的冲击作用,发现清洁生产投资和“三同时”投资更有助于行业内的绿色转型,而三种污染治理模式对工业结构转型的推动作用主要体现在中度污染行业产值份额的变动上,重污染行业尤其是工业废气排放的治理投入需要进一步加强。

关键词: 工业绿色转型;减排;污染治理;面板 VAR

一、引言

工业是现阶段中国经济增长的重要力量,但是工业化也对环境和生态系统造成了巨大的破坏。根据陈诗一(2009)的测算,改革开放期间,占全国 40.1%的工业 GDP 消耗了全国 67.9%的能源,排放出全国 83.1%的二氧化碳。面对日益增强的资源和环境约束,工业绿色转型是实现节能减排和经济发展方式转变的必然要求。从本质上讲,工业的绿色转型是促进能源集约利用,减少污染排放和提高可持续发展能力的过程。其中,减少污染排放是中国工业绿色转型的关键和基本目的。

根据发达国家的经验,减少工业污染排放的方法主要有以下几种:一是通过行业内的绿色转型^①,降低污染排放强度来减少总量的污染排放;二是通过劳动分工的方式向发展中国家大规模转移污染密集型行业来减少本国污染排放;三是通过工业结构的清洁化调整,降低高污染行业的比重来减少整体的污染排放。对于发展中国家而言,通过高污染行业的海外

*王勇,南开大学经济学院,邮政编码:300071,电子信箱:braveking524@sina.com;刘厚莲,南开大学经济学院,邮政编码:300071,电子信箱:liuhoulian1@126.com。

感谢匿名审稿人提出的宝贵修改意见。当然,文责自负。

^①行业内的绿色转型则对应于 Martin 等(1997)所阐述的末端治理和行业内替代升级两种方式:前者是指在生产过程的末端通过安装污染减排设施减少污染排放;后者是指通过不断改进生产流程,以实际生产技术的绿色升级来减少生产过程中的污染排放。

转移来减少污染排放并不现实。因此,对于中国来说,污染排放的减少主要体现在行业内的污染排放强度降低和工业结构逐渐向低污染行业倾斜两个层面,即实现行业内和工业结构的绿色转型,这是中国工业绿色转型的主要内容。当工业结构保持不变时,降低行业污染排放强度能够减少整体的污染排放量,但是如果工业结构中重污染行业的比重同时上升,就有可能抵消行业污染排放强度降低的减排效果,甚至带来整体污染排放的增加。

除了收入水平提升引致的内在减排动力^①之外,污染治理是推动工业绿色转型和减少污染排放的重要力量。一方面,污染治理设施的投入,不管是末端治理还是清洁生产过程,都会明显降低污染的排放强度;另一方面,污染治理政策会淘汰高污染行业的落后产能,关停并转高污染企业和抑制这些企业的进入,起到了“腾笼换鸟”的作用。为了减少污染排放,中国实施了一系列的污染治理政策。但总体来说,仍然是以环境投资为主,主要包括:企业污染治理的“三同时政策”、工业污染源的限期治理以及环境影响评价等等。那么,这些工业污染治理措施能否有效地减少污染?其关键在于当前的工业污染治理能否促进中国工业的绿色转型,即降低行业污染排放强度和推动工业结构清洁化。基于这种逻辑,本文主要回答以下问题:(1)从污染排放的角度来讲,中国当前的工业绿色转型呈现怎样的态势,行业内和工业结构的绿色转型分别发挥什么样的作用;(2)当前的污染治理是否有助于工业绿色转型的实现和污染排放的减少?对于这些问题的阐释,有助于从污染排放的视角厘清中国工业绿色转型的基本特征,积极发挥污染治理在工业绿色转型和污染减排中的作用。

二、中国工业的绿色转型趋势与基本特征

为了系统反映工业绿色转换趋势,我们应用工业行业 1998—2012 年的样本数据,跨越了“九五”、“十五”、“十一五”和“十二五”四个五年规划,能够代表中国工业转型的基本历程。各行业和地区的污染排放数据来源于《中国环境年鉴》,经济指标来源于《中国统计年鉴》和《中国工业经济统计年鉴》。需要说明的是,2002 年和 2010 年前后采用的是不同的行业分类标准,我们参照傅京燕和李丽莎(2010)的方法将 1998—2000 年的行业分类与 2002 年版的分类进行对接。将 2010 年后的汽车制造业和铁路、船舶、航空航天及其他运输设备制造业合并为 2002 年版的交通运输设备制造业。基于数据的完整性,剔除了 2002 年版行业分类标准中的其他采矿业、工艺品及其他制造业、废弃资源和废旧材料回收加工业,最终确定 36 个工业行业。本文选用行业产值比重和污染排放强度的变化来分别衡量工业结构和行业内的绿色转型,各工业行业产值均使用各行业的出厂价格指数平减为 1998 年的价格水平。

(一) 工业结构绿色转型趋势与基本特征

工业结构绿色转型意味着工业结构逐渐偏离高污染行业,即高污染行业在工业结构中的比重下降。要判断中国工业结构是否呈现出这样的变动特征,首先需要明确的是各行业的污染排放强度。由于不同行业的污染物排放类型存在很大的差别,本文分别以不同的污染物为标准来判断各行业的污染程度。如果根据不同污染物判断的行业结构转变均呈现清洁化趋势,就能够证明工业结构整体呈现出绿色转型趋势。由于废物排放的数据存在较多

^①这里指的是污染排放与人均收入水平所呈现的倒“U”型关系,即环境库兹涅兹曲线,但是很多研究如蔡昉等(2008)都证明了中国目前大多数省市依然位于倒“U”型曲线的左边,单纯的人均收入提升并不足以迎来库兹涅兹转折,此时环境治理是减少污染排放的必要手段。

的缺失,并且固体废弃物的排放率已经处于较低的水平,所以本文分别以1998-2012年各行业单位产值的废水和废气排放强度均值大小来判断各行业的污染程度。

表1中污染最轻的行业排在第一位,污染最重的行业排在最后一位,将排名在1-12的行业确定为轻污染行业、将排名在13-24的行业确定为中污染行业,剩下的确定为重污染行业,分别考察这三类行业平均产值份额的变化^①。

表1 分别以废水和废气排放为标准衡量的不同行业污染强度排名

行业名称	废水	废气	行业名称	废水	废气
文教体育用品制造业	1	2	有色金属冶炼及压延加工业	19	32
塑料制品业	2	6	医药制造业	20	17
电气机械及器材制造业	3	3	食品制造业	21	19
通信设备、计算机及其他电子设备制造业	4	4	农副食品加工业	22	16
印刷业和记录媒介的复制	5	1	石油加工、炼焦及核燃料加工业	23	29
烟草制品业	6	11	饮料制造业	24	20
家具制造业	7	14	非金属矿采选业	25	25
纺织服装、鞋、帽制造业	8	27	纺织业	26	15
通用设备制造业	9	7	黑色金属冶炼及压延加工业	27	33
交通运输设备制造业	10	10	电力、热力的生产和供应业	28	36
专用设备制造业	11	9	煤炭开采和洗选业	29	23
仪器仪表及文化、办公用机械制造业	12	13	燃气生产和供应业	30	34
金属制品业	13	12	化学纤维制造业	31	28
木材加工及木、竹、藤、棕、草制品业	14	21	化学原料及化学制品制造业	32	26
橡胶制品业	15	18	黑色金属矿采选业	33	30
石油和天然气开采业	16	22	有色金属矿采选业	34	24
皮革、毛皮、羽毛(绒)及其制品业	17	5	水的生产和供应业	35	8
非金属矿物制品业	18	35	造纸及纸制品业	36	31

注:表中排名由小到大表示该种污染物的行业污染程度由轻变重。

由图1可以看出,不管是以废气排放还是以废水排放为划分标准,轻污染行业的产值比重都出现了大幅度的上升。以废水排放划分为例,每个轻污染行业的平均产值份额从1998年的3.03%上升到2012年的4.06%,整个轻污染行业的产值比重由36.4%上升到48.7%。中、重污染行业加总结果呈现出与轻污染行业明显相反的变动趋势,平均的产值份额从1998年的5.30%下降到2012年的4.27%。其中,中污染行业和重污染行业的比重分别从1998年的2.64%和2.63%下降到2012年的2.08%和2.20%。以废气排放为划分标准的三类行业也呈现出同样的变化趋势,并且这种变化在2003年之前表现得更加明显,说明2003年以前中国工业结构的绿色转型速度相对较快,而2003年之后工业结构的转型速度趋缓。

^①对于污染行业的划分没有统一标准,如Greenstone(2002)将废水或废气排放量占整个工业行业废水或废气排放量百分比超过7%的行业确定为重污染行业。这种总量的方法无法反映污染密集特征,所以使用更多的是行业的污染排放强度,如Walker(2011)、李玲和陶锋(2012),但是对轻、中、重污染行业的划分依然不一致。简单一分为三的方法主要是为了行业产值份额的比较,同时划分结果与已有研究也基本一致,不同的划分方法并没有影响这三类行业的总体变化趋势。

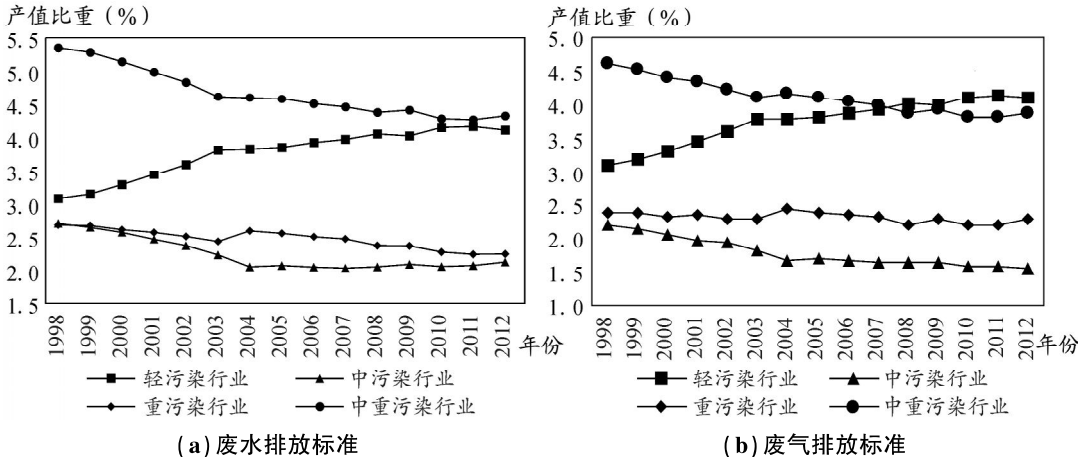


图 1 不同污染类型行业平均产值比重的变化趋势

在诸多行业中,轻污染行业比重的上升,主要源于通信、计算机及其他电子设备制造业、电气机械及器材制造业、通用设备和交通运输设备制造业等行业的迅速发展。而中污染和高污染行业产值比重的下降主要源于纺织、饮料、食品和造纸、金属冶炼以及电力热力行业的相对萎缩。以废气排放为准确定的轻污染行业和中污染行业产值比重的变化也呈现出相同的特征。区别在于,以废气排放衡量的重污染行业产值比重变动幅度相对较小,而中污染行业产值比重变化较大。这是因为以废水排放为标准,纺织业是重污染行业;而以废气排放为标准时,纺织业是中污染行业,其产值份额在 1998-2012 年间出现了大幅下降。按照废气排放划分,有色金属冶炼及压延加工业是高污染行业,而以废水排放划分是中污染行业,其产值份额在 1998-2012 年间出现了大幅上升,所以才会抵消其他行业相应的变动趋势。总体来看,工业结构呈现出明显的绿色转型趋势,有利于污染排放的减少。

(二) 行业内的绿色转型趋势与基本特征

图 2 反映了高、中、低污染行业废水和废气排放强度的变化趋势。

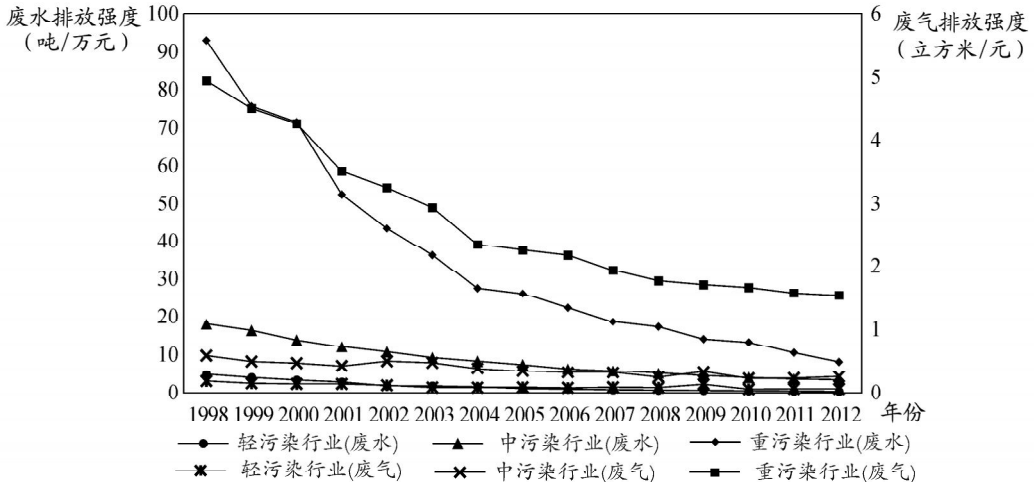


图 2 不同污染行业废水和废气排放强度的变化趋势

整体来看,行业污染强度出现了明显下降,尤其是重污染行业。从废水排放来看,重污

染行业每万元产值的废水排放从1998年的92.9吨下降到2012年的8.1吨,下降了10.5倍;重污染行业的废气排放从1998年的4.9立方米每元下降到2012年的1.5立方米每元,下降了2.3倍。因此,工业部门尤其是重污染行业呈现出了明显的绿色转型趋势,并且这种趋势在废水排放层面表现得更加明显,这是因为工业废水治理要领先于废气。从污染物治理效果来看,2009年工业废水排放达标率为94%,而工业废气中二氧化硫排放达标率仅有61%,这是废气和废水排放强度变化差异的一个重要原因。另外,行业污染排放强度变化趋势也与工业结构转型趋势呈现相同的特征,2004年之前的变化要相对强于2004年以后。

三、污染排放和污染强度变化的分解

(一) 分解方法

既然工业结构和行业内均呈现出比较明显的绿色转型趋势,那么这种转变是否降低了污染排放,这两个方面的变化分别对减少污染排放的贡献究竟有多大?这对于明确中国工业绿色转型的基本特征至关重要。指数分解方法目前被广泛地应用于对能源消耗和能源消耗强度的分解,其好处在于能够将能源消费的变化分解为来源于经济活动所产生的规模效应,行业技术变化所产生的能源强度效应和经济结构转变所产生的结构效应,这正是本文所需要的。这些方法的一个共同缺点是不完全分解中所产生的残差问题,通常的处理方法是将分解中的残差忽略,但这可能会导致分解的较大误差。因此,本文参照Sun(1998)提供的完全分解方法来考察工业结构和行业内部绿色转型对污染排放的影响。

E_0 和 E_t 分别表示工业部门在基期和第 t 期的污染排放量,从基期到第 t 期的污染排放量变化即为:

$$\Delta E = E_t - E_0 = Q^t \sum_i I_i^t S_i^t - Q^0 \sum_i I_i^0 S_i^0 \quad (1)$$

其中 Q^t 和 Q^0 分别表示工业部门第 t 年和基期的工业产值水平; I_i^t 和 I_i^0 分别表示行业 i 在第 t 期和基期的污染排放强度; S_i^t 和 S_i^0 分别表示行业 i 第 t 期和基期在工业部门中的产值份额。在Sun(1998)的分解中, $\Delta E = EQ + EI + ES$, EQ 为规模效应, EI 为强度效应, ES 为结构效应,计算公式分别如下:

$$\begin{aligned} EQ &= \Delta Q \sum_i I_i^0 s_i^0 + \frac{1}{2} \Delta Q \sum_i (I_i^0 \Delta s_i + s_i^0 \Delta I_i) + \frac{1}{3} \Delta Q \sum_i \Delta I_i \Delta s_i \\ EI &= Q^0 \sum_i s_i^0 \Delta I_i + \frac{1}{2} \sum_i \Delta I_i (s_i^0 \Delta Q + Q^0 \Delta s_i) + \frac{1}{3} \Delta Q \sum_i \Delta I_i \Delta s_i \\ ES &= Q^0 \sum_i I_i^0 \Delta s_i + \frac{1}{2} \sum_i \Delta s_i (I_i^0 \Delta Q + Q^0 \Delta I_i) + \frac{1}{3} \Delta Q \sum_i \Delta I_i \Delta s_i \end{aligned} \quad (2)$$

除了考虑污染排放总量的变化外,污染排放强度也是评价工业绿色转型的一个重要方面。从基期到 t 期的污染排放强度变化 ΔI 可以分解为强度效应和结构效应,即:

$$\Delta I = I^t - I^0 = II + IS \quad (3)$$

强度效应和结构效应的计算公式分别如下:

$$\begin{aligned} II &= \sum_i s_i^0 \Delta I_i + \frac{1}{2} \sum_i \Delta I_i \Delta s_i \\ IS &= \sum_i I_i^0 \Delta s_i + \frac{1}{2} \sum_i \Delta I_i \Delta s_i \end{aligned} \quad (4)$$

此处的强度效应和结构效应与污染排放总量的分解一致,都表示行业 i 的污染排放强度和产值份额从基期到第 t 期的变化,即 ΔI_i 和 Δs_i 的贡献。只不过,在污染排放变动的分解中,其表示的是 ΔI_i 和 Δs_i 对工业部门整体污染排放量变化的贡献;而在污染排放强度的分解中其表示的是 ΔI_i 和 Δs_i 对工业部门整体污染排放强度变化的贡献。其中,强度效应说明的是行业内的绿色转型,即行业污染排放强度降低对工业绿色转型的作用;而结构效应说明的是工业部门中不同污染行业比重变化对工业绿色转型的作用。

(二) 分解结果

为了呈现工业绿色转型对污染排放的影响,我们分别对废气、废水排放量和排放强度的变化进行分解,见表 2 和表 3。

表 2 1998—2012 年工业废气和废水排放量变化的分解

年份	污染物变化	废气排放(亿标立方米)				废水排放(万吨)			
		合计	EQ	EI	ES	合计	EQ	EI	ES
1998—2002	ΔE	40 402	84 593	-31 193	-12 997	-174 634	1 093 199	-1 171 082	-96 749
	$\Delta E/E_0$	30.3%	63.4%	-23.4%	-9.8%	-8.8%	55.2%	-59.2%	-4.9%
	减排贡献	100%	-	70.5%	29.5%	100%	-	92.4%	7.6%
2002—2007	ΔE	212 946	329 783	-135 780	18 943	354 092	2 752 088	-2 245 152	-152 844
	$\Delta E/E_0$	122.6%	189.8%	-78.2%	10.9%	19.6%	152.5%	-124.4%	-8.5%
	减排贡献	100%	-	116.2%	-16.2%	100%	-	93.6%	6.4%
2007—2012	ΔE	246 913	374 193	-96 626	-30 654	-126 956	1 680 023	-1 660 065	-146 914
	$\Delta E/E_0$	63.9%	96.8%	-25.0%	-7.9%	-5.9%	78.1%	-77.2%	-6.8%
	减排贡献	100%	-	76.0%	24.0%	100%	-	91.9%	8.1%
1998—2012	ΔE	500 261	988 102	-442 907	-44 932	44 385	11 111 525	-10 313 721	-753 419
	$\Delta E/E_0$	375.2%	741.1%	-332.2%	-33.7%	2.2%	561.4%	-521.1%	-38.1%
	减排贡献	100%	-	90.8%	9.2%	100%	-	93.2%	6.8%

注:由于污染排放的减少主要源于强度效应和结构效应,所以表中减排贡献指的是强度效应和结构效应对污染排放绝对减少量的贡献,不包括规模效应引致的污染排放增加。

表 3 1998—2012 年工业废气和废水排放强度变化的分解

年份	污染物变化	废气排放(立方米/元)			废水排放(吨/万元)		
		合计	强度效应	结构效应	合计	强度效应	结构效应
1998—2002	ΔI	-0.4897	-0.3453	-0.1444	-14.0206	-12.9391	-1.0815
	$\Delta I/I_0$	-24.43%	-17.22%	-7.21%	-47.12%	-43.49%	-3.63%
	减排贡献	100%	70.5%	29.5%	100%	92.3%	7.7%
2002—2007	ΔI	-0.4707	-0.5544	0.0836	-9.9271	-9.2774	-0.6498
	$\Delta I/I_0$	-31.07%	-36.59%	5.52%	-63.09%	-58.96%	-4.13%
	减排贡献	100%	117.5%	-17.5%	100%	93.5%	6.5%
2007—2012	ΔI	-0.2220	-0.1688	-0.0532	-3.1811	-2.9167	-0.2644
	$\Delta I/I_0$	-21.26%	-16.17%	-5.09%	-54.78%	-50.23%	-4.55%
	减排贡献	100%	76.1%	23.9%	100%	91.7%	8.3%
1998—2012	ΔI	-1.1824	-1.0666	-0.1158	-27.1289	-24.9841	-2.1447
	$\Delta I/I_0$	-58.99%	-53.21%	-5.78%	-91.18%	-83.97%	-7.21%
	减排贡献	100%	90.2%	9.8%	100%	92.1%	7.9%

注:表中减排贡献的定义与表 2 类似,指的是强度效应和结构效应对污染排放强度下降的贡献。

工业部门的废气排放呈现比较明显的上升趋势,1998 年工业部门的废气排放总量为 133 336 亿标立方米,2012 年则达到 633 597 亿标立方米,增长了 3.75 倍,并且这一趋势在 2002—2007 年最为明显,增长了 1.2 倍。而废水排放的变化相对较小,1998 年废水排放

1 979 162亿吨,2012年为2 023 547亿吨,2012年相对于1998年仅上升2.24%,1998-2002年和2007-2012年还出现了下降的趋势。因此,废气排放是1998-2012年总体污染加重的主要原因,这将是未来工业污染治理所要面对的主要问题。

不管是废气排放还是废水排放,均在2002-2007年呈现加重的迹象,这是因为进入21世纪以来,高速的城市化和急剧的工业化带动了污染排放的增加。从分解的结果中可以看到,2002-2007年,工业规模的膨胀使得废气排放增加了1.9倍,废水排放增加了1.5倍。根据《中国统计年鉴》数据,2002-2007年,中国的城镇化水平由37.6%上升到44.9%,同时工业在国内生产总值的比重也由40.5%上升到43%。而与此相比,1998-2002年和2008-2012年间,工业占国民生产总值的比重不增反降,分别由40.3%下降到39.5%和由41.5%下降到38.5%。所以,再次工业化使得2002-2007年污染排放的规模效应比其他年份高得多。

与此同时,行业污染排放强度出现了明显的下降,是减少工业污染排放的主要动力,这主要得益于1990年代后期和21世纪初期所实施的较为严格的节能减排政策。根据《中国的环境保护(1996-2005)》白皮书所提供的资料,“九五”期间,国家关闭8.4万家严重浪费资源和污染环境的小企业;“十五”期间,又连续三次发布淘汰落后生产能力、工艺和产品的目录,并进一步淘汰了3万多家浪费资源和污染严重的企业,这大大降低了高污染行业的污染排放强度。在此期间,中国工业的绿色全要素生产率达到了顶峰,并且重工业的绿色生产率增长明显高于轻工业(陈诗一,2010),工业绿色转型趋势明显,所以我们在看到规模效应带来污染大幅度提升的同时,强度效应也同时带来了污染的大幅度降低。

从结构效应和强度效应的贡献来看,行业内绿色转型是工业部门污染排放和强度变化的主要力量。行业污染排放强度的降低贡献了1998-2012年间废气排放减少的90.8%,废水排放减少的93.2%,而工业结构转变仅贡献了9.2%和6.8%。在工业化加深的2002-2007年,污染排放强度降低对整体污染排放减少的贡献更大,其对废气排放和废水排放减少的贡献分别达到了116.2%和93.6%,而工业结构变化甚至增加了总体的废气污染排放,说明在这一时期中国工业绿色转型趋势减弱,这有违新型工业化的根本诉求。在分阶段的变化中,1998-2002年和2007-2012年间,工业结构转变对污染排放减少的贡献相对较大。1998-2002年工业结构转型对废气和废水排放减少的贡献分别达到了29.5%和7.6%,2007-2012年工业结构转型对废气和废水排放减少的贡献分别达到了24%和8.1%。污染排放强度分解的结构效应和强度效应呈现出一致性的特征,1998-2012年,强度效应和结构效应对废水和废气污染排放强度下降的贡献分别是90.2%、92.1%和9.8%、7.9%。整体上,中国工业的绿色转型趋势在经历2002-2007年的衰退后,又呈现出继续好转的势头,这得益于2007年后新型工业化,特别是信息行业发展的贡献。可以预见,如果继续大力执行切实有效的环境政策,工业的绿色转型趋势将得以持续和加强。

值得注意的是,在分解中,工业结构转变对废气排放减少的贡献要大于废水排放。这可能与废气排放的行业集中性有关,例如工业粉尘的排放主要集中在非金属矿物制品业和黑色金属冶炼及压延加工业,这两个行业贡献了粉尘和烟尘排放的80%和25%,电力、热力的生产和供应业分别贡献了烟尘和二氧化硫排放的40%和60%,废气排放的行业集聚性要明显高于废水排放。因此,工业结构转变,尤其是对几个主要废气排放行业进行污染治理和产业调整能够有效地减少整体的污染排放。在未来的污染治理中,针对废气的治理应该重点关注这几个行业。如果污染治理措施得以坚持,那么污染治理的效果将会比较明显。

四、污染治理方式与中国工业的绿色转型

通过上文的分析,工业污染排放的减少主要源于工业结构和行业内的绿色转型。因此,要判断现有的污染治理措施能否有效减少污染排放,关键在于这些措施能否推动工业在上述两个方面实现转变。中国目前的污染治理投入主要包括:一是企业污染治理的“三同时政策”,即所有新建、改扩建项目的防治污染设施必须与主体工程同时设计、同时施工和同时投入运行;二是对排放污染物的企事业单位征收排污费,并将其中的部分返还给被征收单位用于治理污染;三是老工业污染源的限期治理^①;四是城市环境基础设施建设;五是所有建设项目在开工之前进行环境影响评价,确定污染防治的环保投资方案(张晓,1998)。这些政策基本上包含了政府进行污染治理的各种投入,《中国环境年鉴》也对以上污染治理投入进行了比较详细的统计,分别是建设项目“三同时”环保投资、排污费收入、工业污染源治理投资、城市环境基础建设投资和环境影响评价申请项目环保投资额。除了政府投入以外,污染治理还包括企业所负担的污染治理设施投资及其运行费用。这些污染治理投入能否推动工业绿色转变?不同的污染治理方式是否会带来不一致的影响?为了对这些问题进行回答,我们采用面板 VAR 模型来分解出不同政策冲击带来的不同作用。面板 VAR 模型通过误差项的正交化处理,可以排除其他因素的影响,得到一个变量冲击对于另一个变量冲击的反应。

(一) 变量定义与说明

1. 污染治理力度的测度

上述的污染治理投入大致可以划分为三类:(1)工业污染治理投资,主要用于对工业污染源的治理,其中部分来源于排污费的返还^②,属于“事后治理”;(2)预防性的污染治理投入,包括“三同时”政策和环境影响评价,但是环境影响评价所申请的环保投资尚未真正付诸实施,这里仅包括“三同时”污染治理投资,属于“事前治理”;(3)清洁生产投入,主要体现为企业污染治理设施的资本投资和运行费用,由于企业的污染治理投资^③被包含在工业污染治理投资中,因此使用企业废水和废气污染治理设施的运行费用来代替。

我们采用如下方法来测度三种不同方式的污染治理力度:首先,对废水、废气排放和污染治理投资额进行无量纲化处理,解决数据计算中存在的量纲问题。(1)分别计算每一类工业

污染物排放和工业污染治理投入所有地区^④的平均值, $\bar{E}_{jt} = \sum_{i=1}^n E_{ijt}/n$ 和 $\bar{I}_{jt} = \sum_{i=1}^n I_{ijt}/n$, 其中 $n=30$, i 代表地区, \bar{E}_{jt} 为第 t 年所有地区 j 种工业污染排放量的平均值, \bar{I}_{jt} 为第 t 年所有地区 j 种污染治理投入的平均值;(2)对工业污染物和污染治理投入进行无量纲化处理,分别用各地区工业污染物排放量和污染治理投入除以所有地区的平均值,即 $SE_{ijt} = E_{ijt}/\bar{E}_{jt}$, $SI_{ijt} = I_{ijt}/\bar{I}_{jt}$, SE_{ijt} 和 SI_{ijt} 分别表示无量纲化后的工业污染物排放和工业污染治理投入,指标越大, i

①工业污染源的限时治理包含减少污染排放的两种方式:一是在生产过程的末端通过安装减排装置减少污染排放;二是改造现有的生产流程来减少污染排放。因此,工业污染源的限时治理不仅仅表现为末端治理。在实际的治理中仍然以末端治理居多,同时具有典型的事后治理特征,即污染产生后的治理方式。

②排污费收入中返还用于治理污染源的部分包括贷款豁免、环保贷款、治理补助以及购置仪器设备等。

③体现为工业污染治理投资来源中的“企业自筹”。

④除西藏和港澳台地区外的所有其他省、自治区和直辖市。

地区第 t 年污染物排放和污染治理强度相对于其他地区越高。

其次,根据无量纲化的数据计算各地区的污染治理力度。(1)对地区工业污染排放进行综合评分, $TE_{it} = \sum_j SE_{ij}/j$, 其中 $j=2$, 即工业废气和废水排放, TE_{it} 越大则说明 i 地区相对于其他地区污染排放越强;(2)将各种污染治理投入分别除以综合评分即得到“事后治理”投入强度(inv)、“事前治理”投入强度(sts)和清洁生产投入强度($qjsc$)三种污染治理指数。

2. 工业绿色转型的衡量

工业绿色转型的衡量包括行业内和工业结构两个方面,分别采用各地区高、中、低污染行业工业产值份额的变化和各地区单位产值污染排放强度的变化^①来衡量各地区工业结构和行业内的绿色转型趋势。分别使用 $dfeis1$ 、 $dfeis2$ 和 $dfeis3$ 来表示以废水排放为标准确定的低、中、高污染行业产值份额的变化;使用 $dfeiq1$ 、 $dfeiq2$ 和 $dfeiq3$ 来表示以废气排放为标准确定的低、中、高污染行业产值份额的变化;分别使用 $zfeis$ 和 $zfeiq$ 表示单位产值污染排放的变化。《中国工业经济统计年鉴》仅提供了各地区 27 个工业行业的统计数据,没有被统计的行业有:皮革、毛皮、羽毛(绒)及其制品业,木材加工及木、竹、藤、棕、草制品业,家具制造业,印刷业和记录媒介的复制,文教体育用品制造业,橡胶制品业,燃气生产和供应业,水的生产和供应业。但是本文依然按照表 1 的计算确定三种类型的污染行业,最终以废气排放为污染标准确定 7 个轻污染行业、9 个中污染行业和 11 个重污染行业,以废水排放为污染标准确定 8 个轻污染行业、9 个中污染行业和 10 个重污染行业。

(二) VAR 模型的构建

基于上文的分析,我们构建面板 VAR 模型来估计不同污染治理方式对工业结构和行业内绿色转型的影响,模型如下:

$$Y_{it} = \alpha_0 + \sum_{j=1}^p \beta_j Y_{it-j} + \gamma_i + u_{it} \quad (5)$$

(5)式中: Y_{it} 表示截面 i 在第 t 期的向量组合,由于本文的被解释变量有八个,这就意味着八个这样的向量组合, β_j 表示变量滞后项的估计系数, p 为估计模型的滞后阶数, γ_i 表示截面的个体固定效应, u_{it} 为误差扰动项。

VAR 模型要求每个变量都是平稳的,如果非平稳,则应具有协整关系。为了保证面板单位根检验的有效性,本文同时采用两种方法进行检验,结果如表 4 所示。

表 4 单位根检验结果

检验方法	Levin-Lin-Chu	Im-Pesaran-Shin	检验方法	Levin-Lin-Chu	Im-Pesaran-Shin
统计量	t 值	t -bar	统计量	t 值	t -bar
$dfeiq1$	-14.8970***	-2.8398***	$zfeiq$	-22.3908***	-5.1385***
$dfeiq2$	-15.4684***	-3.7655***	$zfeis$	-13.7177***	-2.6983***
$dfeiq3$	-14.9173***	-3.6081***	inv	-19.8324***	-3.7299***
$dfeis1$	-14.8617***	-2.8441***	$qjsc$	-16.8957***	-4.3060***
$dfeis2$	-15.2435***	-3.4071***	sts	-18.3043***	-4.7006***
$dfeis3$	-18.1636***	-3.6742***			

注:***表示在 1% 的显著水平下拒绝存在单位根的原假设。

①这相当于对序列进行一阶差分,同时也保证了数据的平稳性。

上述检验一致表明各变量均具有平稳性。VAR 模型需要确定变量的滞后阶数,我们用 AIC、SIC 和 HQIC 准则来选择。表 5 中三种信息准则的结果一致表明滞后阶数选取为 1,即模型中 p 等于 1。

表 5 面板 VAR 滞后阶数的检验结果

被解释变量	<i>dfeiq1</i>		<i>dfeis3</i>		<i>zfeiq</i>	
	1	2	1	2	1	2
AIC	-2.9077*	-1.2293	-2.4334*	-0.8207	10.9748*	12.4253
SIC	-1.4396*	0.5206	-0.9653*	0.9292	12.4429*	14.1752
HQIC	-2.3239*	-0.5313	-1.8497*	-0.1227	11.5586*	13.1233

注:*表示信息准则所选定的滞后期,由于篇幅有限,我们仅选择性的汇报三组结果。

(三) 面板 VAR 的估计结果分析

VAR 模型中,滞后的解释变量与固定效应相关,这使得均值差分可能存在偏误,本文使用向前均值差分来消除固定效应,即“Helmert 过程”。这一方法消除了每期未来观测值的均值,进而滞后变量与转换变量正交,且与误差项无关。因此,本文采用 GMM 进行估计^①,以滞后变量为工具变量。表 6 中汇报了 GMM 回归结果,基于此,可以通过蒙特卡罗模拟得出脉冲响应函数以及方差分解结果。根据估计结果可以看出,三种污染治理方式中清洁生产投资和“三同时”投资对行业内的绿色转型均具有显著影响,但是工业污染治理投资的影响则不显著。就工业结构转型来看,GMM 的估计结果表明现有的污染治理方式对中污染行业产值比重变化的影响最大,并且回归结果比较显著,但是对于轻污染和重污染行业产值比重的影响较小,回归结果也不显著。

表 6 面板 VAR 模型的 GMM 估计结果

被解释变量	<i>dfeiq1</i>	<i>dfeiq2</i>	<i>dfeiq3</i>	<i>dfeis1</i>	<i>dfeis2</i>	<i>dfeis3</i>	<i>zfeis</i>	<i>zfeiq</i>
被解释变量	0.2636***	-0.1417	0.1292*	0.1146	0.1704**	0.0182	0.5893***	0.8156**
滞后一期	(3.56)	(-1.56)	(1.71)	(1.03)	(2.08)	(0.30)	(12.13)	(86.43)
<i>inv(t-1)</i>	0.0027	-0.0210***	0.0109	0.0108*	-0.0202**	0.0080	-0.2635	-0.2181
	(0.45)	(-2.69)	(1.51)	(1.69)	(-2.64)	(1.17)	(-0.84)	(-0.88)
<i>qjsc(t-1)</i>	0.0057	-0.0261**	0.0116	0.0126	-0.0126	-0.0013	-1.5421***	-1.1829***
	(0.75)	(-2.34)	(1.14)	(1.45)	(-1.11)	(-0.13)	(-3.40)	(-3.66)
<i>sts(t-1)</i>	0.0006	-0.0164**	0.0137*	0.0082	-0.0087	0.0007	-0.9772***	-0.8687***
	(0.13)	(-2.45)	(1.92)	(1.64)	(-1.30)	(0.11)	(-3.71)	(-4.28)

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

1. 脉冲响应分析

根据图 3-图 6 脉冲响应的估计结果,污染治理方式对中国工业绿色转型的影响均存在明显的滞后性。不管是工业结构还是行业内的绿色转型,不同的污染治理方式均在滞后一期产生影响并达到顶峰,之后趋于衰减。因为不管是什么样的污染治理方式均需要安装相应的减排设备,这些设施发挥作用都需要一定的时间。

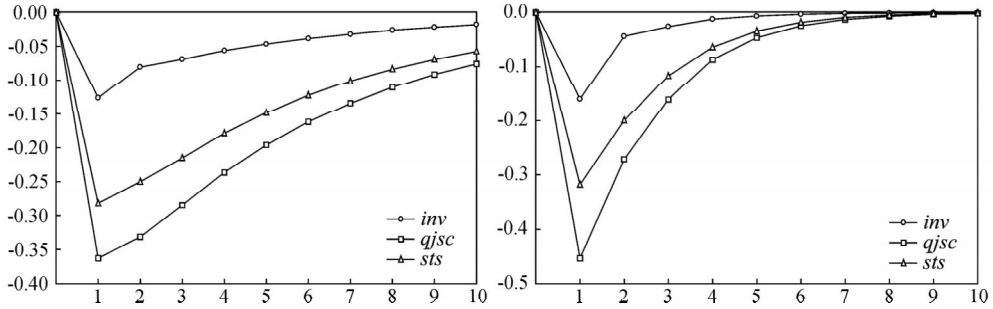
对于行业内的绿色转型而言,不同污染治理方式产生的负向冲击强度并不一致,这种特

^①在我们的估计中,方程恰好识别,即工具变量个数等于解释变量个数,因此,系统 GMM 等价于对每个方程进行 2SLS 估计。

征在工业废水和废气排放强度上得到了比较一致的验证。整体来看,清洁生产投资的冲击最为明显,“三同时”政策其次,工业污染治理的作用最小(见图3)。这种效应也反映在GMM估计中,工业污染治理投资对行业污染排放强度 $zfeis$ 、 $zfeiq$ 的回归系数并不显著(见表6)。原因可能在于工业污染治理投资一般是企业根据政府要求建设附属的环保设施,这针对的主要是已经竣工投产项目,尤其是一些老工业污染源的治理。但是近年来,工业污染治理投资的变化很小(赵连阁等,2014),并且在中国很多的污染治理设施虽然建成,但是缺少相应的运行资金,实际上并没发挥相应的污染治理作用(OECD,2007),一部分的工业污染治理投资没有发挥减排作用。而清洁生产投入指标所采用的废气和废水污染实施的运行费用是实际污染治理中所发生的,因此,一个标准差的清洁生产投入冲击带来的效应更加显著。而“三同时”政策属于“事前治理”投入,能够比较好地防止新的污染源出现,该种治理方式的负向冲击效应也比较明显。总的来说,清洁生产和“三同时”投入对于促进工业行业内的绿色转型有着重要的推动作用,提高污染治理设施的运行效率以及实现污染治理投入由“事后治理”向“事前治理”转变是实现工业绿色转型和减少工业污染排放的必然要求。

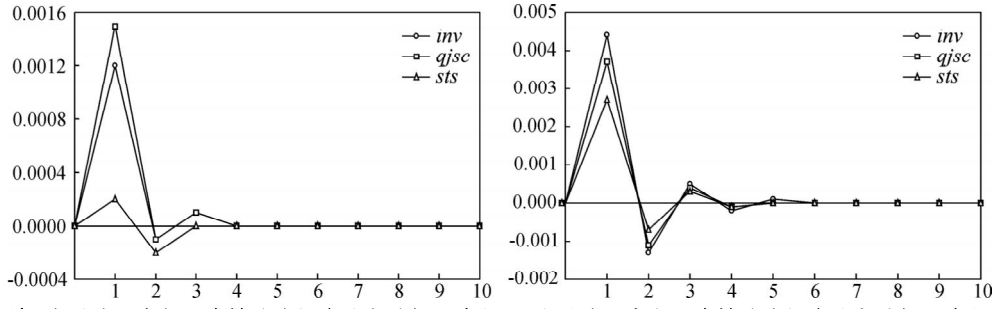
就工业结构的绿色转型来说,三种污染治理方式均会对轻污染行业的比重产生正向冲击,在第二期达到顶峰,然后趋于衰减,说明现行的污染治理模式有助于工业结构逐渐偏向低污染行业(见图4)。但是GMM的估计结果显示,这三种污染治理投入的回归系数并不显著,说明三种政策对轻污染行业比重上升的影响并不明显(见表6)。这是因为基于轻污染行业的低污染排放特征,污染治理投入对轻污染行业的直接影响极其微弱,污染治理投入对轻污染行业产值比重变化的影响更多地是通过中、重污染行业间接产生。从图5和图6可以看出,污染治理投入对这两类行业的冲击效应是相反的,两种效应相互抵消,反映在轻污染行业上,冲击效应就比较微弱。相应地,从GMM估计结果和脉冲响应图中,可以看到三种污染治理投入对中度污染行业产值比重的影响最为明显(见表6),一方面是因为轻污染行业和重污染行业的脉冲响应图都在第一期表现出正向的特征,这就导致中污染行业的产值比重下降比较明显;另一方面中度污染行业本身也在接受着较强的污染治理,这种直接效应也比较显著。总体上,三种污染治理投入的冲击作用存在明显差别,清洁生产和工业污染治理投入的冲击效应更加明显,“三同时”投入的影响较小。毕竟,“三同时”政策仅对进入企业或扩建项目提出污染治理要求,更多当前的现有企业或生产设施都需要污染源治理以及清洁生产的投入。

从图6可以发现,对于重污染行业而言,三种污染治理投入对工业绿色转型的作用并不那么积极。三种污染治理方式在第一期大多产生了正向的冲击作用,对于以废水排放为标准确定的重污染行业冲击较弱,而对以废气为标准确定的重污染行业冲击较强。虽然均在第二期出现负向的影响,但是这种冲击的作用相对较小,这不利于工业结构的绿色化调整。因为重度污染行业很多都是重工业,而我国正处于城市化进程加快和快速工业化时期,面临着工业结构转变与刚性需求的矛盾性问题。并且中西部地区以及东北地区的产业布局具有一定程度的政府投资驱动性质(蔡昉等,2009),如西部大开发战略、东北老工业基地振兴战略、中部崛起战略,这些产业布局很多都是以高资本密集的重工业为基础进行的。因此,污染治理投入对重污染行业的影响是极其微弱的。另外,污染治理对以废气衡量的重污染行业的冲击作用更明显,这与上文所说废气排放的集中性有很大的关系,集中治理核心重污染行业的废气排放能够较好地推动工业结构的绿色转型。



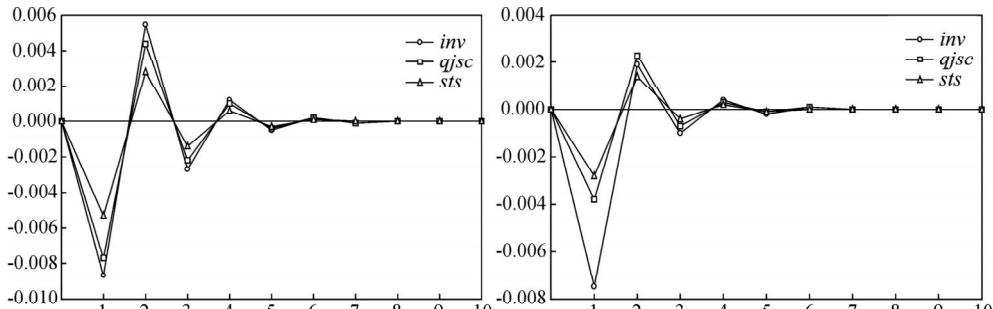
注:左图是废气排放强度、右图是废水排放强度。

图3 不同污染治理方式对行业内绿色转型的脉冲影响结果



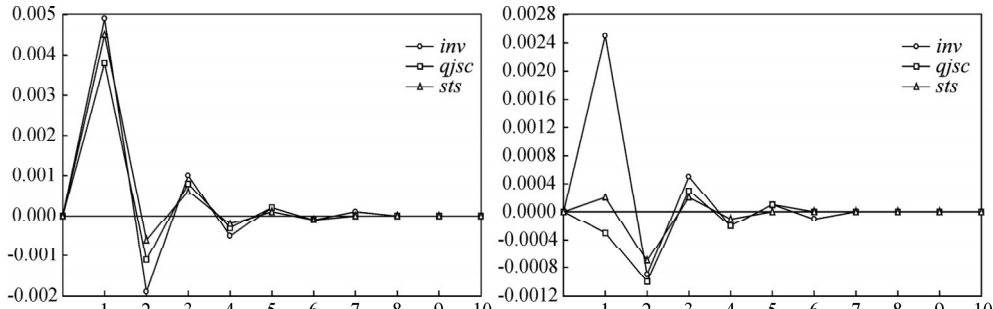
注:左图是以废气污染排放为标准确定的轻污染行业,右图是以废水污染排放为标准确定的轻污染行业。

图4 不同污染治理方式对轻污染行业比重变动的脉冲影响结果



注:左图是以废气污染排放为标准确定的中污染行业,右图是以废水污染排放为标准确定的中污染行业。

图5 不同污染治理方式对中污染行业比重变动的脉冲影响结果



注:左图是以废气污染排放为标准确定的重污染行业,右图是以废水污染排放为标准确定的重污染行业。

图6 不同污染治理方式对重污染行业比重变动的脉冲影响结果

2. 方差分解结果

为了更加精确地确定不同污染治理方式对工业绿色转型的影响,本文以方差分解的方式得到不同 VAR 方程中污染治理方式对工业绿色转型的贡献程度。为了节省篇幅,我们仅汇报以工业绿色转型相关指标作为被解释变量的方差分解结果。由于第 10 个预测期以后方差分解的结果变化不大,所以本文也仅汇报了第 10 个预测期的方差分解结果。

表 7 方差分解结果

变量	<i>zfeis</i>	<i>zfeiq</i>	<i>dfeiq1</i>	<i>dfeiq2</i>	<i>dfeiq3</i>	<i>dfeis1</i>	<i>dfeis2</i>	<i>dfeis3</i>
<i>zfeis</i>	0.8529							
<i>zfeiq</i>		0.9569						
<i>dfeiq1</i>			0.9925					
<i>dfeiq2</i>				0.7663				
<i>dfeiq3</i>					0.9264			
<i>dfeis1</i>						0.9324		
<i>dfeis2</i>							0.8903	
<i>dfeis3</i>								0.9867
<i>inv</i>	0.0011	0.0008	0.0030	0.1131	0.0321	0.0328	0.0735	0.0106
<i>qjsc</i>	0.1419	0.0413	0.0043	0.0830	0.0186	0.0232	0.0240	0.0018
<i>sts</i>	0.0041	0.0010	0.0002	0.0376	0.0229	0.0116	0.0122	0.0009

从方差分解的结果来看,三种污染治理方式对于废水排放强度降低的解释力为14.71%,而对废气排放强度降低的解释能力只有 4.31%,说明这三种污染治理虽然能够显著地影响行业内的绿色转型,但是对不同的污染物还是存在差异,现有的污染治理更加能够促使废水排放强度的降低,而对废气排放强度的影响较小,工业废气排放强度的治理需要进一步加强。

三种污染治理方式对中度污染行业比重的变化解释力最强,以废气和废水排放确定的中度污染行业比重的变化分别能够被解释 23.37%和 10.97%。而轻度污染行业和重度污染行业分别能够被解释 0.75%、6.76%和 7.36%、1.33%。由此可见,当前污染治理方式影响最大的是中度污染行业,对重污染行业的产值份额并没有产生太大的冲击,同样也说明重污染行业的污染治理仍然是未来工业结构绿色转型调整的关键。

五、结论及政策建议

通过本文的分析,我们主要得出以下结论:(1)中国的工业结构和行业内均呈现出了比较明显的绿色转型特征,低污染行业的产值比重逐渐提升,高污染行业污染排放强度迅速下降;(2)通过污染排放的完全分解发现,行业内的绿色转型是工业污染排放减少的主要推动力量,工业结构转型目前对于减少污染排放的贡献仍然较小;(3)1998-2012年,工业废气排放呈现了快速的上升趋势,而工业废水排放的上升趋势相对缓慢,因此,工业废气排放将是未来污染治理的关键内容,并且由于废气排放的集中性特征,工业结构转型对减少废气排放的作用将会更加明显;(4)三种不同的污染治理模式均会对工业绿色转变产生影响,但是总体来看,清洁生产投资和“三同时”政策更有助于行业内的绿色转型。三种污染治理方式促

进工业结构绿色转型的作用主要体现在中度污染行业上,重污染行业的治理,尤其是针对于工业废气排放的污染治理投入需要进一步加强。

基于以上研究结论,我们提出如下建议:一是加快工业结构的绿色化调整。在过去的一段时间里,中国工业的绿色转型主要由行业内污染排放强度的降低来推动,但是随着时间的累积,这一动力将逐渐减弱。一方面污染减排技术的进步和突破将更加困难;另一方面随着末端治理设施的逐渐完善,对于生产工艺、生产过程的绿色调整成本更高,阻碍也更大。因此,工业结构的清洁化调整势在必行。二是进一步推动工业污染治理模式由“事后治理”向“事中治理”和“事前治理”转变。应当逐渐引导企业进行“三同时”环保工程和清洁生产建设,加速淘汰落后技术和污染严重的过剩产能,避免新污染源的产生,在生产的过程中逐步削减污染物排放。三是加强对重点废气排放行业的监测和治理。废气排放是未来我国污染面临的主要问题,但同时废气排放又具有明显的行业集中性,通过对主要的废气排放行业安装相应的污染减排装置或者推行绿色的生产工艺,对于减少污染排放的作用将会比较明显。

参考文献:

- 1.陈诗一,2009:《能源消耗、二氧化碳排放与中国工业的可持续发展》,《经济研究》第4期。
- 2.陈诗一,2010:《中国工业的绿色革命:基于全要素生产率视角的解释》,《经济研究》第11期。
- 3.蔡昉、都阳、王美艳,2008:《经济发展方式转变与节能减排内在动力》,《经济研究》第6期。
- 4.蔡昉、王美艳、曲玥,2009:《中国工业重新配置与劳动力流动趋势》,《中国工业经济》第8期。
- 5.傅京燕、李丽莎,2010:《环境规制、要素禀赋与产业国际竞争力的实证研究》,《管理世界》第10期。
- 6.李玲、陶锋,2012:《中国制造业最优环境规制强度的选择——基于绿色全要素生产率的视角》,《中国工业经济》第5期。
- 7.谭娟、陈晓春,2011:《基于产业结构视角的政府环境规制对低碳经济影响分析》,《经济学家》第10期。
- 8.张晓,1998:《中国环境政策的总体评价》,《中国社会科学》第11期。
- 9.赵连阁、钟搏、王学渊,2014:《工业污染治理投资的地区就业效应研究》,《中国工业经济》第5期。
- 10.Sun, J.W.1998.“Changes in Energy Consumption and Energy Intensity: A Complete Decomposition Model.” *Energy Economics* 20(1): 85-100.
- 11.Jänicke, M., M. Binder, and H. Mönch. 1997. “Dirty Industries: Patterns of Change in Industrial Countries.” *Environmental and Resource Economics* 9(4): 467-491.
- 12.Greenstone, M.2002.“The Impacts of Environmental Regulations on Industrial Activity: Evidence from the 1970 & 1977 Clean Air Act Amendments and the Census of Manufactures.” *Journal of Political Economy* 110(6): 1175-1219.
- 13.OECD.2007.“Environmental Performance Reviews: China.” Paris, OECD. <http://www.keepeek.com/Digital-Asset-Management/oced/environment/oced-environmental-performance-reviews-china-2007-9789264031166-en>.
- 14.Walker, W.R.2011.“Environmental Regulation and Labor Reallocation: Evidence from the Clean Air Act.” *American Economic Review* 101(3): 442-447.

The Abatement Effect of China's Industrial Green Transformation and the Impact of Pollution Control Investment

Wang Yong and Liu Houlian

(School of Economics, Nankai University)

Abstract: Reducing pollution discharge is the key and basic purpose of China's (下转第44页)

Carbon Reduction Effect of Industrial Structure Change: Dynamic Accumulation and Spatial Differences

Zhang Wei¹ and Wang Shao-hua²

(1: Northeastern University at Qinhuangdao School of Economics; 2: Yanshan University
School of Economics and Management)

Abstract: A mathematical model, which can reflect the dynamic relationships between output changes of different industrial sectors in each area and carbon emissions of every area, is constructed in this paper. Using the model, global and local dynamic cumulative effects of industrial changes in regions on carbon emission are empirically studied. The results show that the role in reducing the carbon intensity of the first industry output increase is slightly larger than the third industry, while the second industry contribution to GDP is less than its effect on total CO₂ emissions. From the spot effect, industrial output increase of the first and second industry in the southwest area plays a larger role in carbon emissions reduction. Output changes of the third industry in the southern area have a larger carbon reduction effect. There is also a larger dynamically cumulative effect in this area on the achievement of national carbon reduction targets. Industrial restructure in Beijing-Tianjin area has the largest carbon emission reduction potential in a short period, but the southwest and southern areas have more significant cumulative effects in the long term because of their largest potential for carbon reduction in the industrial structure changes. Carbon emissions situations of the eastern area and the southern area are vulnerable to the adverse effects of industrial restructuring in other regions.

Keywords: Changes of Industry Output, Carbon Emissions, Dynamically Cumulative Effects, Inter-regional Input-output Relationships

JEL Classification: Q57, C67, D57

(责任编辑:孙永平、陈永清)

(上接第 30 页) industrial green transformation. The intrasectoral and intersectoral change of China's industrial green transformation are investigated in this paper. Using the complete decomposition method of Sun (1998), emission of industrial waste gas and water are decomposed into scale effect, intensity effect and structure effect. The results show that intrasectoral green change is the main driving force in reducing pollution discharge and the contribution of intersectoral change is smaller, but its effects on cutting down waste air are more obvious. Furthermore, through building a panel VAR model, the paper tests the impacts of industrial pollution treatment, clean production fees and pollution abatement through "3S" projects on China's industrial green transformation. The paper finds that clean production investment and "3S" projects are more helpful in driving intrasectoral change. However, the driving effects of three kinds of pollution control methods on intersectoral change are mainly reflected on the change of output value of medium pollution industry. And pollution control investment on high pollution industry, especially for industrial waste gas emission needs to be further strengthened.

Keywords: Industrial Green Transformation, Emission Reduction, Pollution Abatement, Panel VAR

JEL Classification: C3, Q5, L6

(责任编辑:彭爽)