

工业经济发展、环境规制强度与污染减排效果 ——基于“先污染,后治理”发展模式的理论分析与实证检验

徐志伟

(天津财经大学 商学院,天津 300222)

摘要:文章构建了“先污染,后治理”发展模式的理论模型,并以2001—2013年中国30个省区工业产出数据为样本,研究了工业经济发展、环境规制强度和污染物减排效果之间的关系。研究发现,工业污染物排放对于产出增长具有刺激作用,同时产出增长又会引起环境规制强度的增加,从而证明了中国工业存在“先污染,后治理”的发展模式。但由于环境规制投资依然不足,规制效率相对偏低,治理的整体效果仍不尽如人意。分阶段看,“先污染,后治理”发展模式在过去十余年没有发生本质变化,但2008年后环境规制的污染减排效果已经开始显现。分地区看,中国几乎所有地区都处于“先污染,后治理”的过程中,而环境规制的效果仅在东部地区较为显著。

关键词:工业经济;环境规制;污染减排

中图分类号:F424.7 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-9952(2016)03-0134-11

DOI:10.16538/j.cnki.jfe.2016.03.011

一、引言

长久以来,如何实现经济发展与环境保护的协调统一是经济学界研究的焦点问题。中国也一直在避免重走很多国家曾经经历的“先污染,后治理”的老路,但在工业化过程中很多地方仍长期存在通过牺牲环境换取经济发展的情况。虽然近年来环境规制投资力度不断加大,环保立法、执法也日趋严格,但整体治理效果仍有待进一步检验。

经济发展、环境规制和污染减排是“先污染,后治理”发展模式涉及的三个主要变量,现有研究对其中的“两两”关系进行了深入探析,但研究结论存在差异。对于经济发展与环境规制之间的关系,部分研究倾向于认为只有放松环境规制才有利于吸引投资,过高的规制强度将阻碍经济的聚集与增长(Antweiler, 2001; Copeland, 2012)。但也有学者认为,由于能够倒逼技术创新(Brunnermeier, 2003; 宋文飞, 2014),吸引更多的“清洁”投资(Leiter, 2011; 史青, 2014),环境规制不仅未必会对经济发展起到抑制作用(Eskeland, 2003; 原毅军, 2013),并且还能在一定程度上促进生产效率的提高(Managi, 2005; 李树, 2013)。还有部分学者发现,经济产出与环境规制之间呈现“U”形曲线关系(赵霄伟, 2014),并可能因地域的不同而有所差异。对于经济发展与污染减排的关系,部分学者认为在产能扩张和能源消费增加的双重作用下,经济发展与环境污染之间具有正向线性关系(Azomahou, 2006),因此经

收稿日期:2015-07-13

基金项目:国家社会科学基金项目(14CGLD32)

作者简介:徐志伟(1979—),男,天津市人,天津财经大学商学院副教授,经济学博士。

济发展不利于污染减排。但也有学者认为,由于经济发展的同时往往会伴有环保技术的扩散(Ricci,2004;沈能,2012)和产业结构调整(刘军,2010),经济发展有利于减少污染物排放。也有研究发现,经济发展与污染减排之间的关系可能是非线性的(杨仁发,2015),并可能存在一定的空间或污染类型异质性(Dijkgraaf,2005;李小胜,2013)。而对于环境规制与污染减排之间的关系,现有研究主要侧重于探究规制方式对治污效果的作用(Baumol,2004),还有学者对教育水平和财政制度等外生变量可能产生的影响进行了分析(李斌,2015)。既有文献从不同侧面对经济发展、环境规制和污染减排之间的关系进行了研究,但对于“先污染,后治理”发展模式本身的解释力仍存欠缺。主要原因在于:其一,未能将“先污染,后治理”发展模式涉及的相关变量纳入统一的分析框架;其二,忽略了经济发展可能会对环境规制产生反向作用的事实;其三,大多未能充分考虑变量间的内生性,也未能结合中国实际提供有效的实证检验。

考虑到工业产出约占中国 GDP 总量的 40%,且大多数情况下工业生产活动是污染物产生的主要来源,将工业领域作为研究对象对“先污染,后治理”发展模式进行理论分析和实证检验具有一定代表性。本文将首先给出“先污染,后治理”发展模式的理论模型,在此基础上运用 2001—2013 年中国(除西藏和港澳台地区之外)30 个省区的工业产出数据,实证分析工业经济发展、环境规制强度和污染减排效果三者之间的作用关系,对中国工业经济是否曾经或正在经历“先污染,后治理”发展模式及其实际效果进行实证检验。

二、理论模型

关于“先污染,后治理”发展模式的基本概念,现有研究未给出明确定义,但对其演进脉络已基本达成共识。在经济发展初期,通过牺牲一定的环境质量形成产出增长,之后再通过加大环境规制强度进行污染治理,改善环境质量。依据上述逻辑,对于一个特定地理空间 i 的工业经济而言,“先污染,后治理”发展模式大致可划分为以下三个发展阶段:

第一阶段,通过牺牲环境换取工业产出增长。我们将污染视作生产要素纳入生产函数。此时,对于地理空间 i 存在工业产出函数 $Y_i = Y(L_i, K_i, P_i)$ 。其中, Y_i 表示特定空间上的工业产出, L_i 表示劳动力, K_i 表示资本, P_i 表示污染物排放量。由于生产函数的凹性,一般存在 $Y_L > 0, Y_{LL} < 0, Y_K > 0, Y_{KK} < 0$ 。如果地理空间 i 采取“先污染,后治理”的发展模式,意味着最初的产出增长要依赖于污染物排放量的增加,因此存在 $Y_P > 0$ 。同时,根据函数的凹性,还存在 $Y_{PP} < 0$ 。

第二阶段,随着空间内部工业经济的发展,企业和政府有更多的资金投入环境规制,进行污染的“后治理”。与此同时,由污染物排放量增加带来的环境质量恶化也可能会倒逼“后治理”力度的加大,进而与工业产出一起形成对环境规制方向相同的“叠加影响”。此时,存在环境规制函数 $G_i = G(Y_i, P_i)$ 。其中, G_i 表示环境规制强度,一般存在 $G_Y > 0, G_{YY} < 0, G_P > 0, G_{PP} < 0$ 。其中, $G_Y > 0$ 和 $G_P > 0$ 表示工业产出增加和环境污染加重对于环境规制强度产生的“叠加影响”, $G_{YY} < 0$ 和 $G_{PP} < 0$ 表示规制函数具有凹性。通过全微分,可得到 $dG = \partial G / \partial Y dY + \partial G / \partial P dP$ 。由于一般存在 $\partial G / \partial Y > 0$ 和 $\partial G / \partial P > 0$,因此 $dG > 0$ 。

第三阶段,在生产技术和产业结构不变的情况下,空间内部污染物排放水平将受到工业产出和环境规制的双重作用。此时,存在污染物排放函数 $P_i = P(Y_i, G_i)$ 。并且,理论上存在 $P_Y > 0, P_{YY} < 0, P_G < 0, P_{GG} < 0$ 。其中, $P_Y > 0$ 表示污染物排放水平与工业产出水平正相关, $P_G < 0$ 表示污染物排放水平与环境规制强度负相关, $P_{YY} < 0$ 和 $P_{GG} < 0$ 表示污染函数

存在凹性。如果污染物排放函数满足可加性,则可将 $P_i = P(Y_i, G_i)$ 分解为 $P_i = P_1(Y_i) + P_2(G_i)$ 。其中, $P_1(Y_i)$ 表示工业产出作用于污染排放的效应, $P_2(G_i)$ 表示环境规制作用于污染排放的效应。通过全微分,可得到 $dP = \partial P / \partial Y dY + \partial P / \partial G dG$ 。由于一般存在 $\partial P / \partial Y > 0$ 和 $\partial P / \partial G < 0$, 因此 dP 的正负方向是不确定的。仅就污染排放函数而言,当 $\partial P / \partial Y > -\partial P / \partial G$ 时,工业产出的增长空间内部污染物排放量仍然增加,“后治理”没有取得实际效果,此时存在 $dP > 0$; 当 $\partial P / \partial Y < -\partial P / \partial G$ 时,工业产出的增长空间内部污染物排放量开始逐步减少,“后治理”效果开始显现,此时存在 $dP < 0$; 一种特殊的情况是,当 $\partial P / \partial Y = -\partial P / \partial G$ 时,工业产出增长的刺激作用和环境规制强度增加的抑制作用相互抵消,污染物排放总量维持不变,此时存在 $dP = 0$ 。进一步地,如果将环境规制函数考虑进来,根据 $\partial P / \partial Y$ 、 $\partial P / \partial G$ 、 $\partial G / \partial Y$ 三者之间的比例关系,如图 1 所示,可将“后治理”的最终效果划分为以下五种情形:

情形 1(图 1a): $\partial P / \partial Y = -\partial P / \partial G$ 意味着工业产出和环境规制对污染排放的边际影响大小相同,方向相反; $dG > 1$ 意味着环境规制强度的增加超过了工业产出增长幅度。此时 $|\Delta P^G| > |\Delta P^Y|$, 污染物排放总量开始减少,“后治理”效果开始显现。

情形 2(图 1b): $\partial P / \partial Y = -\partial P / \partial G$ 意味着工业产出和环境规制对污染排放的边际影响仍然大小相同,方向相反; $dG < 1$ 意味着环境规制强度的增加低于工业产出增长幅度。此时 $|\Delta P^G| < |\Delta P^Y|$, 污染物排放总量依然增长,“后治理”效果未能显现。

情形 3(图 1c): $dG = 1$ 意味着环境规制强度和工业产出增长同单位变化; $\partial P / \partial Y > -\partial P / \partial G$ 意味着环境规制对污染排放的边际影响小于工业产出的影响。此时 $|\Delta P^G| < |\Delta P^Y|$, 污染物排放总量依然增长,“后治理”效果未能显现。

情形 4(图 1d): $dG = 1$ 意味着环境规制强度和工业产出增长仍然同单位变化; $\partial P / \partial Y < -\partial P / \partial G$ 意味着环境规制对污染排放的边际影响大于工业产出的影响。此时 $|\Delta P^G| > |\Delta P^Y|$, 污染物排放总量开始减少,“后治理”效果开始显现。

情形 5(图 1e): $\partial P / \partial Y = -\partial P / \partial G$, 且 $dG = 1$ 。不仅工业产出和环境规制对于污染物排放具有相同的边际影响,且工业产出增长引致环境规制强度的同单位变化。此时 $|\Delta P^G| = |\Delta P^Y|$, 污染物排放总量维持不变。

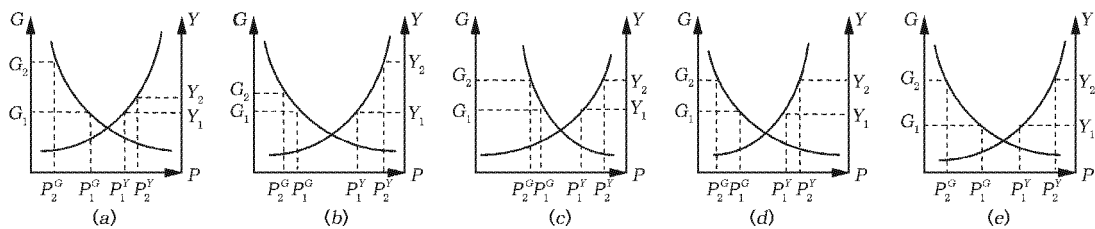


图 1 “先污染,后治理”发展模式及其最终结果示意图

现将模型拓展到空间面积大小不等的 n 个地区。假设所有地理空间的工业经济均具有 C-D 生产函数,则地理空间 i 存在 $Y_i = AL_i^{\alpha_1} K_i^{\alpha_2} P_i^{\alpha_3}$ 。为保证区际间的可比性,对地理空间 i 两边同时除以其空间面积 S_i ,可以得到 $y_i = Al_i^{\alpha_1} k_i^{\alpha_2} p_i^{\alpha_3} S_i^{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 - 1}$ 。其中,对于地理空间 i 而言,空间面积 S_i 为常数; $y_i = Y_i / S_i$, 表示单位面积工业产出,反映工业的聚集程度; $l_i = L_i / S_i$, 表示单位面积上劳动力的投入,反映劳动力的聚集程度; $k_i = K_i / S_i$, 表示单位面积上资本的投入,反映资本的聚集程度; $p_i = P_i / S_i$, 表示单位面积上工业污染物的排放量。两边取对数可以得到 $\lg y_i = \alpha_0 + \alpha_1 \lg l_i + \alpha_2 \lg k_i + \alpha_3 \lg p_i + (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 - 1) \lg S_i$ 。如果采取

“先污染,后治理”发展模式,则应存在 $\alpha_3 > 0$ 。

将环境规制函数简化为 $G_i = BY_i^{\beta_1} P_i^{\beta_2}$, 两边同时除以 S_i , 可以得到 $g_i = By_i^{\beta_1} p_i^{\beta_2} S_i^{\beta_1 + \beta_2 - 1}$ 。其中, $g_i = G_i/S_i$ 表示单位面积上的环境规制投入, 反映环境规制强度。两边取对数可以得到 $\lg g_i = \beta_0 + \beta_1 \lg y_i + \beta_2 \lg p_i + (\beta_1 + \beta_2 - 1) \lg S_i$ 。如采取“先污染,后治理”发展模式, 则应存在 $\beta_1 > 0$ 和 $\beta_2 > 0$ 。

同理, 将污染物排放函数简化为 $P_i = DY_i^{\gamma_1} G_i^{\gamma_2}$, 两边同时除以 S_i , 可以得到 $p_i = Dy_i^{\gamma_1} g_i^{\gamma_2} S_i^{\gamma_1 + \gamma_2 - 1}$ 。两边取对数可以得到 $\lg p_i = \gamma_0 + \gamma_1 \lg y_i + \gamma_2 \lg g_i + (\gamma_1 + \gamma_2 - 1) \lg S_i$ 。如果“后治理”取得实际效果, 则应该存在 $\gamma_1 + \gamma_2 < 0$; 反之, 则应该存在 $\gamma_1 + \gamma_2 \geq 0$ 。

三、实证模型与变量选取

综合理论模型, “先污染,后治理”模式本身就是一个包含工业经济发展、环境规制强度和环境污染治理在内的经济系统, 变量之间具有相互依存的关系。因此, 有必要通过联立方程解决内生性问题。具体模型如下所示:

$$\begin{cases} \lg y_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 \lg l_{it} + \alpha_2 \lg k_{it} + \alpha_3 \lg p_{it} + (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 - 1) \lg S_i + \alpha \sum \lg X_{it} + \mu_i + \epsilon_{it} \\ \lg g_{it} = \beta_0 + \beta_1 \lg y_{it} + \beta_2 \lg p_{it} + (\beta_1 + \beta_2 - 1) \lg S_i + \beta \sum \lg Z_{it} + \eta_i + \nu_{it} \\ \lg p_{it} = \gamma_0 + \gamma_1 \lg y_{it} + \gamma_2 \lg g_{it} + (\gamma_1 + \gamma_2 - 1) \lg S_i + \gamma \sum \lg U_{it} + \tau_i + \upsilon_{it} \end{cases} \quad (1)$$

(一) 模型内生变量的指标选取。对于式(1), 工业产出水平 y 、环境规制强度 g 和环境污染程度 p 为模型的内生变量, 以三者为被解释变量的方程分别被称为产出方程、规制方程和污染方程。内生变量的指标选取上, 用各省规模以上工业企业总产值与土地面积比值度量工业产出水平 y , 并采用工业生产者价格指数进行平减。^① 用各省治理工业废气投资完成金额与土地面积比值度量环境规制强度 g , 并使用固定资产投资价格指数进行平减。最后, 考虑到在全部的污染类型中, 大气环境污染与工业生产的关系最为密切, 用各省工业废气排放量与土地面积比值度量环境污染程度 p 。^②

对工业产出水平 y 、环境规制强度 g 和环境污染程度 p 的内生性进行检验, 结果发现, 将 g 作为被解释变量, 当期的 p 作为解释变量, 选择财政状况 fin_a 和居民受教育程度 $educ$ 作为工具变量(过度识别检验结果为 $p = 0.8614$), $Hausman$ 检验结果为 $p = 0.6967$ 。由此说明, 现实经济中环境污染程度对于当期的环境规制强度不是内生的。这可能是由于从污染发生到环境规制政策出台往往存在一定的滞后期。除此之外的其他内生变量均通过了检验($Hausman$ 检验结果为 $p = 0$)。基于上述考虑, 本文在规制方程中剔除了原有的内生变量 p , 同时加入了污染物排放的滞后一期项 p_{t-1} 。此时, 实证模型修正为:

$$\begin{cases} \lg y_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 \lg l_{it} + \alpha_2 \lg k_{it} + \alpha_3 \lg p_{it} + (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 - 1) \lg S_i + \alpha \sum \lg X_{it} + \mu_i + \epsilon_{it} \\ \lg g_{it} = \beta_0 + \beta_1 \lg y_{it} + (\beta_1 - 1) \lg S_i + \beta_2 p_{t-1} + \beta \sum \lg Z_{it} + \eta_i + \nu_{it} \\ \lg p_{it} = \gamma_0 + \gamma_1 \lg y_{it} + \gamma_2 \lg g_{it} + (\gamma_1 + \gamma_2 - 1) \lg S_i + \gamma \sum \lg U_{it} + \tau_i + \upsilon_{it} \end{cases} \quad (2)$$

(二) 模型外生变量的指标选取。模型重点研究“先污染,后治理”模式下工业经济发展、环境规制强度和污染减排效果三者间的相互作用关系, 而非工业产出本身的决定因素, 因此

^①2012年开始,《中国统计年鉴》和《中国工业经济统计年鉴》不再公布“分地区规模以上工业企业总产值”数据。但通过计算发现, 2001—2011年规模以上工业企业总产值与主营业务收入的相关系数达到1, 因此采用2012年和2013年的“规模以上工业企业主营业务收入”数据代替总产值数据。

^②大气污染物排放中, 工业生产排放占到全部二氧化硫排放的90%, 烟粉尘排放的85%, 氮氧化物排放的70%。而废水排放更多源于城镇生活污水, 工业生产排放仅占全部废水排放量的1/3左右。

将劳动力和资本投入视作外生变量。其中,劳动力投入用劳动力聚集程度 l 表示,具体用各省规模以上工业企业从业人员年平均数与土地面积比值度量;资本投入用资本聚集程度 k 表示,具体用各省规模以上工业企业固定资产净值与土地面积比值度量,并采用固定资产投资价格指数进行平减。对于地理空间 i 而言空间面积 S_i 为给定的,因此也为外生变量。此外, ΣX 、 ΣZ 和 ΣU 分别代表产出方程、规制方程和污染方程的其他外生变量。综合既有研究, ΣX 包括对外开放程度 $open$ 、技术水平 $tech$ 、交通便利程度 $traf$ 和所有制结构 $mark$; ΣZ 包括对外开放程度 $open$ 、财政状况 $fina$ 和居民受教育程度 $educ$; ΣU 包括对外开放程度 $open$ 、技术水平 $tech$ 、工业内部结构 $stru$ 和能源强度 $ener$ 。

对外开放程度 $open$ 用 FDI 与 GDP 比值度量。对外开放程度与工业经济发展之间存在长期且稳定的均衡关系,同时对外开放程度的增加还会引起当地环境规制强度的变化,并可能产生“污染避难所”和“污染光环”的双重效应,因此将对外开放程度作为控制变量同时引入产出方程、规制方程和污染方程。技术水平 $tech$ 用劳均专利授权数量度量。技术进步既是经济持续增长的主要动力,同时也会对污染物排放产生方向不确定的影响,因此将技术水平作为控制变量引入产出方程和污染方程。交通便利程度 $traf$ 用单位面积公路里程度量。便利的交通有利于区域间要素的流通,进而吸引更多的投资,影响工业聚集水平和产出效率,因此将交通便利程度作为控制变量引入产出方程。所有制结构 $mark$ 用非国有企业就业人数占比度量。所有制结构与经济发展之间具有密切关系,但作用方向和程度又可能因地区的不同而有所差异,因此将所有制结构作为控制变量引入产出方程。工业内部结构 $stru$ 用轻重工业产值比度量。工业结构调整的方式一定程度上决定着地区工业经济发展的速度,并会对环境绩效产生重要作用,因此将工业内部结构作为控制变量引入产出方程和污染方程。财政状况 $fina$ 用财政收入与 GDP 比值度量。政府投资占环境治理投资的相当比重,因此将地方政府的财政状况作为控制变量引入规制方程,检验财政收入变动对于地区环境规制强度的影响。居民受教育程度 $educ$ 用每十万人在校大学生人数度量。一般而言,随着人口素质的提升,人们对于环境质量的要求也会越来越高,进而可能会“倒逼”环境规制强度的提高,因此将居民受教育程度作为控制变量引入规制方程。能源消耗 $ener$ 用万元 GDP 的电力消耗量度量。能源消耗是产生环境污染的主要驱动力,因此将能源消耗作为控制变量引入污染方程。

本文数据主要来源于《中国统计年鉴》、《中国环境统计年鉴》、《中国工业经济统计年鉴》和《中国科技统计年鉴》。^①

四、实证结果与分类讨论

(一)实证结果。由于三阶段最小二乘法(3SLS)考虑了联立方程系统各方程之间的相关关系,往往能够比两阶段最小二乘法得到更有效的参数估计量,因此选择 3SLS 对模型进行估计。在工具变量的选择上,本文首先剔除模型设定中影响两个及以上内生变量的外生变量:对外开放程度 $open$ 和技术水平 $tech$ 。此外,考虑到劳动力聚集程度 l 和资本聚集程度 k 不仅作用于工业产出水平,而且环境规制程度的变化显然也会影响就业和投资,因此在保证模型能够过度识别的前提下将劳动力聚集程度 l 和资本聚集程度 k 剔除。在剩余的外生变量中,空间面积 S 显然不会受到模型内生变量的影响,因此适合作为工具变量。交通便利程度 $traf$ 只会对当期工业产出水平产生影响,不会受到环境规制强度和工业污染物排

^①由于篇幅限制,省略了原始数据及其描述性统计分析结果,如有需要可向作者索要。

放水平的作用。财政状况 *fina* 和居民受教育程度 *educ* 也只会对当期环境规制强度产生影响,与污染物排放量无关。因此,选择空间面积 *S* 和当期交通便利程度 *traf*、财政状况 *fina* 和居民受教育程度 *educ* 作为工具变量。根据一般的经济规律,所有制结构 *mark* 会作用于工业产出,但又不能排除与污染物排放水平的关系。与之相似,工业内部结构 *stru* 和能源强度 *ener* 既会作用于当期的污染物排放,也可能与工业产出水平有关。因此,本文选择 *mark*、*stru* 和 *ener* 的滞后一期项作为工具变量。连同模型中本就设定的内生变量污染物排放 *p* 的滞后一期项,本文共设定 *S*、*traf*、*fina*、*educ* 和滞后一期的 *mark*(-1)、*stru*(-1)、*ener*(-1)和 *p*(-1)作为工具变量。进一步运用 *Sargan* 检验对工具变量进行分析,具体结果如表 1 所示,可以看出工具变量选择具有一定的合理性。

表 1 工具变量检验结果

模型	工具变量	<i>Sargan</i> 检验结果	结果说明
产出方程	<i>stru</i> (-1)、 <i>ener</i> (-1)、 <i>S</i>	0.1728	接受原假设,工具变量设定有效
规制方程	<i>traf</i> 、 <i>mark</i> (-1)、 <i>S</i>	0.1215	接受原假设,工具变量设定有效
污染方程	<i>traf</i> 、 <i>mark</i> (-1)、 <i>fina</i> 、 <i>educ</i> 、 <i>p</i> (-1)、 <i>S</i>	0.3192	接受原假设,工具变量设定有效

通过三阶段最小二乘法(3SLS)对式(2)进行估计,具体结果如表 2 所示。首先,对于产出方程,工业废气排放强度对工业产出增长具有显著正向影响,工业废气排放强度每增加 1%,可以使工业产出水平增加 0.18%。结果意味着过去十余年间,中国工业经济的增长在一定程度上仍然是通过牺牲环境质量而获得的“肮脏增长”,采取的依然是“先污染”的发展模式。同时,资本聚集对工业经济发展的作用更大,资本聚集程度每增长 1%,工业产出将增长 1.02%,但劳动力聚集对于工业经济发展的影响并不显著。此外,经济外向型程度和交通便利程度提升对于工业经济发展也都具有一定的正面影响。但技术水平对于工业产出增长的作用并不显著,说明中国工业化过程中的技术驱动特征并不明显。最后,虽然国有工业在全部工业产出中所占比重由 2001 年的 18%提高到了 2013 年的 25%,但所有制结构的变动没有对工业产出产生显著影响。

表 2 模型整体估计结果

产出方程		规制方程		污染方程	
变量	估计值	变量	估计值	变量	估计值
常数项	-2.375*** (-5.953)	常数项	-7.957*** (-7.013)	常数项	-2.338 (-1.389)
<i>lgp</i>	0.180*** (2.704)	<i>lgy</i>	0.551*** (8.173)	<i>lgg</i>	-0.292* (-1.825)
<i>lgl</i>	0.100 (1.167)	<i>lgp</i> (-1)	0.062 (0.813)	<i>lgy</i>	0.563*** (3.726)
<i>lgk</i>	1.018*** (6.706)	<i>lgopen</i>	-0.290** (-2.552)	<i>lgopen</i>	-0.405*** (-8.370)
<i>lgopen</i>	0.070* (1.907)	<i>lgfina</i>	-0.415** (-2.013)	<i>lgtech</i>	-0.177*** (-3.127)
<i>lgtech</i>	0.099 (1.404)	<i>lgeduc</i>	0.264* (1.810)	<i>lgstru</i>	0.134*** (2.590)
<i>lgtraf</i>	0.081* (1.948)			<i>lgener</i>	0.386*** (3.535)
<i>lgmark</i>	-0.113(-2.362)				
<i>R</i> ²	0.988	<i>R</i> ²	0.748	<i>R</i> ²	0.932

注:表中***、**和*分别表示在 1%、5%和 10%的水平上通过显著性检验,下表同。

其次,对于规制方程,实证结果显示工业产出水平的上升确实会引起环境规制强度的增加,但同时也应注意到,工业产出水平每增长1%,环境规制强度仅能够增长0.55%左右,其幅度仍然落后于工业产出增长幅度。此外,上一期污染程度增加对于当期环境规制投资的影响并不显著,也就是说,“环境质量的恶化在一定程度上会‘倒逼’环境规制强度提升”的猜测并未得到证实。同时,FDI占GDP比重每增长1%,环境规制强度将下降0.29%。也就是说,通过放松环境规制吸引外资的情况在中国确实是存在的,该结果从侧面支持了“污染避难所”假说。但需要特别关注的是,财政收入占GDP比重的上升不仅未能刺激环境规制程度的增加,反而产生相反的效果,说明地方政府在环境规制投入方面仍然不足。居民受教育程度educ的回归系数显著为正表明,伴随着居民整体素质的提高,人们对于环境质量的关注度也会相应增加,进而间接促使了环境规制强度的提升。

最后,工业废气排放受到工业产出与环境规制的双重影响。工业产出水平每增长1%,将致使工业废气排放强度增加0.56%;与之对应,环境规制强度每增长1%,工业废气排放强度将下降0.29%。通过比较可以发现,虽然规制强度的增加在一定程度上抑制了污染物的排放,但仍不足以抵消工业产出增长所带来的污染效应。再加上规制方程结果已显示环境规制强度增长幅度落后于工业产出提升速度,因此在“低投入”与“低效率”的双重作用之下,中国环境质量持续恶化的局面依然没有扭转。此外,FDI占GDP比重每增加1%,工业废气排放强度将下降0.41%。也就是说,一些地方可能会通过放松环境规制、技术进步和降低重工业比重来减少污染物排放。能源强度依然是影响工业废气排放的重要因素,万元GDP电力消耗每增加1%,工业废气排放强度将增长0.35%左右。

综上所述,过去十余年中国发展的实践证明,工业经济发展、环境规制强度和污染减排效果三者之间确实存在显著的相互作用关系。同时,整体上“先污染,后治理”的发展模式也是存在的,但由于环境规制投资力度不足,规制效率偏低,环境污染加重的局面仍未得到有效控制,环境规制的实际效果仍有待进一步显现。

(二)分期比较。本文以2008年为界,分期比较工业经济发展、环境规制强度和污染减排效果三者在不同时期的作用关系。首先,如表3所示,比较2008年前后两个阶段,工业废气排放都对工业产出增长形成了显著的正向影响,但影响幅度和显著程度都出现了一定程度的下降。结果说明,中国工业经济“肮脏增长”的基本态势虽未根本扭转,但对于高排污的依赖性已有所减弱。其次,2008—2013年工业产出水平每增长1%,环境规制强度将提升0.75%,较2001—2007年明显上升,说明工业经济增长产生的“财富效应”明显刺激了环境规制强度的增加。最后,随着环境规制强度的提升,工业废气排放强度在2001—2007年依然是增加的。但2008—2013年,治理工业废气投资每增加1%,工业废气排放强度下降0.35%,说明2008年之后环境规制的投资效率相较以前产生了明显的改进。

表3 模型分期估计结果

第一阶段:2001—2007年					
产出方程		规制方程		污染方程	
变量	估计值	变量	估计值	变量	估计值
常数项	-2.917*** (-6.821)	常数项	-8.112** (-5.192)	常数项	6.415*** (3.294)
lgp	0.368*** (5.595)	lgy	0.481*** (9.171)	lgg	0.469*** (4.986)
lgl	0.048(0.492)	lgp(-1)	0.141(1.377)	lgy	0.313*** (2.965)
lgk	0.864*** (5.849)	lgopen	-0.415** (-2.371)	lgopen	-0.187*** (-2.468)
lgopen	0.080* (1.907)	lgfina	0.067(0.246)	lgtech	-0.329*** (-2.913)
lgtech	0.196*** (2.647)	lgeduc	0.065(0.389)	lgstru	-0.005(-0.085)

续表3 模型分期估计结果

第一阶段:2001—2007年					
产出方程		规制方程		污染方程	
变量	估计值	变量	估计值	变量	估计值
lgtraf	0.088*** (2.623)			lgener	-0.052(-0.375)
lgmark	-0.129*** (-2.708)				
R ²	0.989	R ²	0.821	R ²	0.893
第二阶段:2008—2013年					
产出方程		规制方程		污染方程	
变量	估计值	变量	估计值	变量	估计值
常数项	-1.646** (-1.458)	常数项	-8.610*** (-4.308)	常数项	-5.175** (-2.201)
lgp	0.157* (1.742)	lgy	0.749*** (7.462)	lgg	-0.353*** (-2.978)
lgl	-0.203(-1.210)	lgp(-1)	0.132*** (2.603)	lgy	0.501*** (3.277)
lgk	1.407*** (6.772)	lgopen	-0.880*** (-4.895)	lgopen	-0.528*** (-3.885)
lgopen	0.272*** (3.384)	lgfina	-0.376(-1.306)	lgtech	-0.268*** (-4.550)
lgtech	-0.126(-1.517)	lgeduc	0.064(0.312)	lgstru	-0.101(-1.120)
lgtraf	0.131** (2.227)			lgener	0.389** (3.050)
lgmark	0.230*** (2.608)				
R ²	0.984	R ²	0.735	R ²	0.902

此外,2008—2013年,经济外向型程度对于工业产出增长的作用更加明显。2008年之后非国有经济占比提升对产出的影响由负转正,与此同时,技术水平的影响开始变得不再显著,说明2008年之后,中国工业经济发展更多地受到了其自身结构调整的影响,其中的技术效应并不明显。同时,经济外向型程度对于环境规制强度的影响继续增强,但财政收入占GDP比重对于环境规制强度的影响依然不显著。最后,外向型经济发展对污染减排的积极作用进一步得到了强化,技术进步的减排作用依然存在,能源消耗强度增加引起的污染效应也开始逐步显现。

(三)分区讨论。如表4所示,分区比较结果说明,东、中、西部地区工业废气排放对于工业产出都具有显著正向影响,意味着中国几乎所有地区的工业经济仍然属于依赖环境而污染形成的“肮脏增长”,但在具体强度上有所差异。其中,污染物排放量每提升1%,东部地区的工业产出大约能够增长0.16%,中部地区约为0.34%,西部地区约为0.45%。显然,西部地区工业经济对于高排污的依赖性更强。工业产出增长在东、中、西部地区都会对环境规制强度产生正向影响,但实际的作用强度也存在一定差异。其中,东部地区的正向作用最为明显。东部地区工业产出水平每增长1%,环境规制投资将增长0.82%,比中西部地区分别高出0.4和0.2个百分点。同时,环境规制强度每增加1%,东部地区的工业废气排放量将减少0.83%;而环境规制强度增加对中部地区排污虽然会产生一定的抑制作用,但其影响并不显著;在西部地区,环境规制基本是无效的。由此可以判断,东部地区虽然仍处于“先污染,后治理”过程中,但其“后治理”实施效果最为明显。中、西部地区不仅仍采取了“先污染,后治理”的发展模式,且实际治理效果并不显著,这一点在西部地区的表现尤为突出。

此外,对于产出方程,技术水平对于中西部地区的工业经济发展具有正向影响,交通基础设施的改善有利于中部地区工业产出水平的提高,而国有工业占比上升会对中东部地区的工业产出产生积极影响。对于规制方程,中东部地区环境规制强度不依赖于上一期污染程度的变化,而西部地区的环境规制在一定程度上依然是因前期排污增长而“被动”增加的。FDI占GDP比重的增加会降低中西部地区的环境规制强度,财政收入占GDP比重的增加会提升中部地区的环境规制强度,而在东部地区则会产生截然相反的作用。同时,只有在东

部地区,居民受教育程度的增加才会引起更高的环境规制强度。对于污染方程,外向型经济发展的增加不论在任何地区都会对工业污染产生抑制作用,技术水平提升和重工业比重下降在一定程度上也有助于东部地区污染减排效果的显现。最后,能源强度的增加会导致所有地区工业污染物排放数量的上升,其中中部地区的上升幅度最大。

表 4 模型分区估计结果

	产出方程		规制方程		污染方程	
	变量	估计值	变量	估计值	变量	估计值
东部地区	常数项	-2.573** (-5.219)	常数项	-12.498*** (-6.183)	常数项	-9.827** (-3.636)
	lgp	0.163** (2.153)	lgy	0.815*** (10.351)	lgg	-0.833*** (-7.709)
	lgl	-0.172* (-1.811)	lgp(-1)	-0.016(-0.171)	lgy	1.551*** (13.730)
	lgk	1.128** * (5.398)	lgopen	-0.460** (-2.756)	lgopen	-0.744*** (-8.315)
	lgopen	-0.037(-0.885)	lgfina	-0.623* (-1.829)	lgtech	-0.497*** (-4.474)
	lgtech	0.054(1.016)	lgeduc	0.477** (2.077)	lgstru	-0.618*** (-8.029)
	lgtraf	0.143(1.450)			lgener	0.745*** (2.667)
	lgmark	-0.272*** (-8.262)				
	R ²	0.989	R ²	0.707	R ²	0.621
	中部地区	产出方程		规制方程		污染方程
变量		估计值	变量	估计值	变量	估计值
常数项		3.237* (1.884)	常数项	-3.174(-0.839)	常数项	-7.217*** (-4.120)
lgp		0.341*** (2.670)	lgy	0.416*** (3.350)	lgg	-0.105(-0.918)
lgl		0.442** (2.392)	lgp(-1)	0.218(1.421)	lgy	0.882*** (4.157)
lgk		0.703*** (3.952)	lgopen	-0.603(-1.158)	lgopen	-0.903* (-1.764)
lgopen		0.894* (1.878)	lgfina	1.168*** (3.043)	lgtech	0.072(0.325)
lgtech		0.438*** (3.145)	lgeduc	0.093(-0.214)	lgstru	-0.159(-0.836)
lgtraf		0.472* (1.831)			lgener	0.981*** (3.040)
lgmark		-1.175* (-1.800)				
R ²	0.923	R ²	0.598	R ²	0.893	
西部地区	产出方程		规制方程		污染方程	
	变量	估计值	变量	估计值	变量	估计值
	常数项	-0.589(-1.440)	常数项	-5.058*** (-2.836)	常数项	-0.737(-0.351)
	lgp	0.446*** (4.318)	lgy	0.606*** (6.227)	lgg	0.322*** (2.989)
	lgl	0.422*** (5.589)	lgp(-1)	0.160* (1.658)	lgy	0.429*** (2.639)
	lgk	0.334** (2.406)	lgopen	-0.367** (-2.025)	lgopen	-0.202*** (-2.757)
	lgopen	0.066(1.143)	lgfina	-0.052(-0.120)	lgtech	0.364*** (3.558)
	lgtech	0.286*** (4.076)	lgeduc	-0.165(-0.667)	lgstru	0.009(0.161)
	lgtraf	0.057(-1.359)			lgener	0.515*** (3.709)
	lgmark	-0.125(-1.193)				
R ²	0.984	R ²	0.761	R ²	0.942	

五、研究结论与拓展方向

本文以 2001—2013 年中国 30 个省份工业产出数据为样本,研究了工业经济发展、环境规制强度和污染减排效果之间的关系,以验证中国工业经济是否经历了“先污染,后治理”的发展模式,并对其实际效果进行了检验。本文的主要研究结论如下:从整体维度来看,工业废气排放对于工业产出增长具有显著的正向作用,产出增长反过来也会在一定程度上提高环境规制强度。由此推断,中国工业经济在样本期间内确实采取了“先污染,后治理”的发展模式。但由于环境规制投资力度依然不足,规制效率也相对偏低,污染减排效果仍然不尽如人意。就时间维度而言,虽然“先污染,后治理”发展模式在过去的十余年时间里没有产生本质变化,但 2008 年之后环境规制的效果已经开始显现。从地区角度而言,几乎所有地区都

没有走出“先污染”的发展模式,工业经济依然更多的是通过牺牲环境换取的“肮脏增长”。同时,工业产出增长虽然会引起所有地区环境规制强度的提升,但也只有东部地区的环境规制能够真正起到一定的减排作用,中、西部地区的规制效果还有待进一步显现。

后续研究可在以下方向上尝试拓展:(1)关于中国工业经济“先污染,后治理”发展模式的探讨遵循的是“工业经济增长、环境规制强度、污染减排效果”的逻辑,但是否能够按照“环境规制增强、污染排放减少、工业经济增长”的逻辑实现“先治理,后增长”,现有研究没有给出清晰的回答;(2)根据“地理学第一定律”,空间上距离相近的地区之间的经济行为往往是相互关联的,那么空间因素对于“先污染,后治理”发展模式可能产生的影响,这仍需在实证研究中加以体现;(3)在“先污染,后治理”发展模式下,污染要素投入和环境规制等变量对不同行业的边际影响应该是有所差异的,今后研究可进一步基于细分行业进行比较分析。

主要参考文献:

- [1]李斌,李拓.环境规制、土地财政与环境污染——基于中国式分权的博弈分析与实证检验[J].财经论丛,2015,(1):99-106.
- [2]李树,陈刚.环境管制与生产率增长——以 APPCL 2000 的修订为例[J].经济研究,2013,(1):17-31.
- [3]李小红,宋马林,安庆贤.中国经济增长对环境污染影响的异质性研究[J].南开经济研究,2013,(5):96-114.
- [4]刘军,徐康宁.产业聚集、经济增长与地区差距——基于中国省级面板数据的实证研究[J].中国软科学,2010,(7):91-102.
- [5]彭可茂,席利卿,雷玉桃.中国工业的污染避难所区域效应——基于 2002-2012 年工业总体与特定产业的测度与验证[J].中国工业经济,2013,(10):44-56.
- [6]沈能,刘凤朝.高强度的环境规制真能促进技术创新吗?——基于“波特假说”的再检验[J].中国软科学,2012,(4):49-59.
- [7]宋文飞,李国平,韩先锋.价值链视角下环境规制对 R&D 创新效率的异质门槛效应——基于工业 33 个行业 2004-2011 年的面板数据分析[J].财经研究,2014,(1):93-104.
- [8]史青.外商直接投资、环境规制与环境污染——基于政府廉洁度的视角[J].财贸经济,2013,(1):93-103.
- [9]原毅军,刘柳.环境规制与经济增长:基于经济型规制分类的研究[J].经济评论,2013,(1):27-33.
- [10]杨仁发.产业集聚能否改善中国环境污染[J].中国人口·资源与环境,2015,(2):23-29.
- [11]赵霄伟.环境规制、环境规制竞争与地区工业经济增长——基于空间 Durbin 面板模型的实证研究[J].国际贸易问题,2014,(7):82-92.
- [12]Antweiler W, Copeland B, Taylor S. Is free trade good for the environment? [J]. American Economic Review, 2001, 91(4): 877-908.
- [13]Azomahou T, Laisney F, Van P N. Economic development and CO₂ emissions: A nonparametric panel approach[J]. Journal of Public Economics, 2006, 90(6-7): 1347-1363.
- [14]Baumol W J, Oates W E. The theory of environmental policy[M]. Cambridge, England: Cambridge University Press, 2004.
- [15]Brunnermeier S B, Cohen M A. Determinants of environmental innovation in US manufacturing industries [J]. Journal of Environmental Economics and Management, 2003, 45(2): 278-293.
- [16]Copeland R. Tourism and welfare-enhancing export subsidies[J]. Japanese Economic Review, 2012, 63(2): 232-243.
- [17]Dijkgraaf E, Vollebergh H R J. A test for parameter homogeneity in CO₂ panel EKC estimations[J]. Environmental and Resource Economics, 2005, 32(2): 229-239.
- [18]Ellison G, Glaeser E L, Kerr W R. What causes industry agglomeration? Evidence from coagglomeration-

- patterns[J]. *American Economic Review*, 2010, 100(3): 1195—1213.
- [19] Eskeland G S, Harrison A E. Moving to greener pastures? Multinationals and the pollution haven hypothesis[J]. *Journal of Development Economics*, 2003, 70(1): 1—23.
- [20] Leiter A M, Parolini A, Winner H. Environmental regulation and investment: Evidence from European industry data[J]. *Ecological Economics*, 2011, 70(4): 759—770.
- [21] Managi S, Opaluch J J, Jin D, et al. Environmental regulations and technological change in the offshore oil and gas industry[J]. *Land Economics*, 2005, 81(2): 303—319.
- [22] Ricci F. Channels of transmission of environmental policy to economic growth: A survey of the theory[J]. *Ecological Economics*, 2007, 60(4): 688—699.

Industrial Economic Development, Environmental Regulation Intensity and Emissions Reduction Effect: Theoretical Analysis and Empirical Test Based on Development Pattern of Treatment after Pollution

Xu Zhiwei

(*Business School, Tianjin University of Finance and Economics, Tianjin 300222, China*)

Abstract: This paper builds a theoretical model about development pattern of treatment after pollution, and takes industrial output data of 30 provinces from 2001 to 2013 as the sample to explore the relationship among industrial economic development, environmental regulation intensity and emissions reduction effect. The results show that the industrial pollutant emissions play a positive stimulation role in output growth, and the output growth also results in the increase in environmental regulation intensity, thereby proving the existence of development pattern of treatment after pollution in China. But the emissions reduction effect is still unsatisfactory as a whole owing to the insufficient environmental regulation investment and relatively low regulation efficiency. From a perspective of stage comparison, the development pattern of treatment after pollution does not change in essence in the past ten years, but the emissions reduction effect of environmental regulation has appeared gradually after 2008. From a perspective of regional comparison, almost the whole China is still in a process of “treatment after pollution”, and the effect of environmental regulation is also significant only in East China.

Key words: industrial economy; environmental regulation; emissions reduction

(责任编辑 石头)