

环境规制趋紧阻碍中国制造业创新能力提升吗? ——基于“波特假说”的再检验

余东华 胡亚男

(山东大学经济学院, 山东 济南 250100)

摘要:近年来,为了扭转生态环境恶化的趋势,国家加大了环境规制强度和环境治理力度。环境规制趋紧是否会阻碍制造业创新能力的提升,削弱中国制造业的相对优势,引起了社会各界的关注。利用2004—2013年中国28个制造业行业的面板数据,采用综合指数法测度了我国环境规制强度,并从时间维度和强度维度分别研究了环境规制对不同污染程度的制造业行业技术创新能力的影响。研究结果显示,在即期和滞后各期内,环境规制对重度污染行业的技术创新能力始终是负向影响;对中度污染行业的创新能力提升起到了推动作用;环境规制与轻度污染行业的技术创新能力,在时间维度上呈现出U形关系,在强度维度上呈现出折线形关系。在规制强度维度上,不同污染程度行业的技术创新能力均存在显著的环境规制门槛效应和最优规制区间。政府应考虑到各行业的污染程度、行业产品特征以及行业创新能力,有针对性地制定相应的环境规制政策。

关键词:环境规制;技术创新能力;“波特假说”;门槛效应;最优规制区间

中图分类号:F426 文献标识码:A 文章编号:1671-9301(2016)02-0011-10

DOI:10.13269/j.cnki.ier.2016.02.002

一、引言

改革开放以来,中国加快了工业化进程,逐步发展为世界制造业第一大国,成为名副其实的“世界工厂”。然而,中国的工业污染问题也越来越严重,生态环境濒临崩溃边缘,大气污染、水污染、土地污染、生态系统恶化等环境问题日益受到社会各界的广泛关注。为了遏制生态环境恶化趋势,政府不断加大环境规制力度,强化环境治理。另一方面,中国制造业因技术创新能力不强而备受诟病,特别是中国经济进入新常态以后,提升中国制造业创新能力、实现创新驱动发展,成为打造中国经济升级版的重中之重。由此可见,正处于转型发展阶段的中国经济,既需要强化环境规制,保护好生态环境,处理好环境规制与工业经济发展、企业竞争力的关系,又需要降低环境规制可能给企业带来的不利影响,提升产业创新能力。强化环境规制与提升产业技术创新能力之间存在两难选择吗?

环境规制对技术创新能力的影响一直是学术界备受争议的问题。传统学派认为,环境保护有利于增加社会整体福利,但是以厂商的利益为代价,环境规制会增加企业成本支出,降低技术创新能力^[1-4]。与传统学派的观点针锋相对,Porter^[5]认为,合理的环境规制可以通过技术补偿效应和学习

收稿日期:2015-10-16;修回日期:2016-01-08

作者简介:余东华(1971—),男,安徽安庆人,山东大学经济学院教授、博士生导师,研究方向为产业组织与竞争政策;胡亚男(1992—),女,山东临沂人,山东大学经济学院硕士研究生,研究方向为环境规制与制造业转型升级。

基金项目:国家社科基金一般项目(14BJY081);山东省自然科学基金面上项目(ZR2014GM005);山东大学青年学术团队项目(IFYT12072)

效应改进环境质量、提高产出,适度的环境规制可以刺激企业技术创新,提高生产效率,抵消环境规制可能带来的成本,在长期内可以提高行业的技术创新能力和国际竞争力。波特的这一观点被称为“波特假说”。Porter and Linde^[6]进一步阐释了环境规制与技术创新能力之间内在作用机制,从理论上论证了“波特假说”。Lanjouw and Mody^[7]、Jaffe and Palmer^[8]、Berman and Bui^[9]、Hamamoto^[10]等学者通过实证分析,验证了“波特假说”,发现环境规制可以促进技术创新,并且对生产率有显著的正面影响。Conrad and Wast^[11]、Boyd and McClelland^[12]、Lanoie *et. al.*^[13]、Alpay *et. al.*^[14]等学者通过对欧美国家相关产业进行实证分析后发现,环境规制与技术创新之间的关系是不确定的,环境规制对产业生产率的促进作用和抑制作用并存,“波特假说”难以得到实证支撑。

近年来,中国学术界围绕“波特假说”在中国的存在性和适用性问题展开了研究,但是由于指标、数据或是模型不同,最终的结论也存在较大差异。赵红^[15]、李强和聂锐^[16]等学者对中国制造业环境规制与生产率之间的关系进行了实证研究。结果显示,环境规制可以促进企业提高工业生产率,对技术创新具有激励作用,验证了“波特假说”。沈能和刘凤朝^[17]研究了东中西部地区环境规制对技术创新的影响,发现在经济发展水平较高的东部地区“波特假说”是成立的,在中西部地区该假说却得不到支持。张成等^[18]、李斌等^[19]、李玲和陶峰^[20]、李平和慕绣如^[21]等学者的研究结果显示,环境规制与治污技术创新之间存在着U形关系或倒U形关系,环境规制对技术创新的作用方向是随着规制强度的变化而变化的。蒋伏心等^[22]、王杰和刘斌^[23]通过实证分析发现,环境规制与生产技术进步之间的关系是折线形的,虽然环境规制对技术创新的影响保持单向性,但是在每个阶段,影响系数有很大区别;并且,以不同污染物衡量的环境规制对技术创新的影响是不同的,研究结论只能部分支持“波特假说”。解垚^[24]、黄德春和刘志彪^[25]、王兵等^[26]学者基于各省数据对环境规制与技术创新能力之间的关系进行了实证分析。结果显示,环境规制与技术创新之间的关系是不确定的,“波特假说”难以成立。

“波特假说”提出以来,学术界围绕假说的检验和假说成立条件开展了卓有成效的研究。然而,从已有文献看,还存在一些不足:一是关于环境规制与技术创新之间关系的研究,要么是从时间维度来验证“波特假说”是否成立,要么是通过含有二次项的模型从强度维度来研究环境规制对技术创新的影响,同时兼顾时间维度和强度维度的研究相对不足;二是环境规制强度的衡量指标大多是采用单一指标,不能全面地反应环境污染程度。本文利用2004—2013年我国28个制造业行业的面板数据,通过构建综合指数衡量环境规制强度,并将环境规制分为不同的强度区间,采用门槛模型对不同环境规制强度与技术创新能力之间的关系进行回归分析。考虑到各行业之间差距较大,我们将制造业行业按照污染排放量分为重度污染行业、中度污染行业和轻度污染行业三类,从时间维度和强度维度上分别对以上三类行业内部环境规制对技术创新的影响进行研究。

二、理论分析

(一) 环境规制对技术创新的抵消效应和补偿效应

传统学派从静态角度分析了环境规制与技术创新之间的关系,认为在技术、资源配置和消费者需求不变的情况下,环境规制与企业竞争力之间存在两难的选择,其中一项的实现要以另一项为代价。Porter^[5]从动态角度分析环境规制与技术创新之间的关系,认为合理的环境规制不仅可以通过技术的创新补偿效应和学习效应改进环境质量和提高产出,而且能够优化资源配置,减少浪费,促进企业技术创新并且提高生产率。赵红^[15]基于中国30个省份大中型企业的面板数据,研究了各省环境规制对制造业技术创新能力的影响,发现环境规制在中长期对技术创新存在一定的激励作用。李强和聂锐^[16]通过对36个工业行业环境规制与生产率关系的实证研究,发现环境规制能够促进企业工业生产率的提高。环境规制对企业既有正面的补偿效应,也有负面的抵消效应。面对环境规制,当企业采取治理末端污染的方式时,由于治污支出的增加,利润减少,会挤占部分研发投入支出。但

是利润的下降也可能会促使企业增加研发支出,刺激技术进步。正是因为这两种效应的相互作用使得环境规制对企业技术创新的影响具有不确定性。王国印、王动^[27]基于中国中东部地区的面板数据,对环境规制与技术创新影响研究,发现不同地区环境规制在即期及滞后各期的影响是不同的,各地的经济发展水平、环境规制强度及规制形式等因素对二者关系也存在一定的影响。环境规制对企业技术创新能力的抵消效应表现在:一方面,环境规制要求企业减少污染排放量,导致企业生产设备和生产工艺更加复杂,管理更加困难,生产效率降低,增加企业污染治理的负担;另一方面,由于治污支出的增加,利润减少,企业可能将原本应投资于研发项目的资金挪用于治污支出,从而挤占技术创新投资。技术创新作为一种新知识的生产过程,需要各种资源的投入。当企业利润降低时,企业投入到技术创新的人力物力就会减少,进而降低企业技术创新能力。

环境规制对于企业技术创新能力的补偿效应表现在:企业作为利润最大化的追求者,面对环境规制,可以通过技术创新,改进生产技术,提高生产率。在这种情况下企业的污染物排放虽然可能会增加,但是由于新的技术给企业带来更多利润,企业可以支付更多费用治理污染物;或是通过技术创新使用绿色生产技术,减少污染排放量。这也符合社会对企业提出的要求,有利于企业长远发展和保持竞争优势。随着经济的发展,创新会逐渐成为企业持续发展、保持竞争优势的一种重要方式,所以有远见的企业会考虑到环境对未来企业的要求,通过投资新设备、新工艺来提高企业的生产能力。环境规制导致企业生产成本增加,只有通过技术创新才能保持利润不变甚至增加,而且环境规制引致的技术创新,不仅能够提高生产效率和利润率,还可以降低污染物的排放量。

(二) “波特假说”与环境规制的门槛效应

“波特假说”是由抵消效应与补偿效应相互权衡后产生的结果。在不同时期和不同的规制强度下,发挥作用的主导效应因素不同,导致环境规制对技术创新的影响存在差异。环境规制对技术创新的正负两方面影响,并不是出现在同一时间,在短期内主要是抵消效应为主导,补偿效应在长期内才会逐渐显现,并成为主导效应。也就是说,在环境规制的当期,会挤占对技术创新的投资,但是在长期,企业逐渐意识到可以通过技术创新提高生产效率和利润率。张成等^[18]、李斌等^[19]、李玲和陶峰^[20]、李平和慕绣如^[21]等学者的研究结果均表明,环境规制与治污技术创新之间的关系并非简单的线性关系,而是存在着U形关系或倒U形关系,环境规制对技术创新的作用方向是随着规制强度的变化而变化的。

环境规制的门槛效应有两种含义:(1)政府环境规制对企业技术创新能力的影响存在临界门槛值。也就是说,政府环境规制强度存在最优规制区间,只有在最优规制区间内“波特假说”才能够成立。在时间维度上,环境规制与技术创新的关系是呈U形的。然而环境规制创新效应的体现又取决于环境规制强度的选择,“波特假说”的前提条件是适度的环境规制,当环境规制强度较小时,对企业的成本负担较小,此时企业可能不会采取技术创新,而是通过治理末端污染的方式来满足政府环境规制要求;随着环境规制水平的提高,企业面临的成本压力不断增大,此时企业有足够的技术创新动力,会通过技术创新减少污染排放,提高生产效率的方式保持利润。但是,如果环境规制的强度超出了企业的承受能力,或是企业即使进行技术创新也无法达到环境规制的标准,那么此时企业会减少技术创新。另外,环境规制强度应与行业的特点相适应,要考虑到行业本身技术创新的难易程度。(2)环境规制对技术创新的影响过程存在若干关键点,与区域有关的经济变量只有跨越了关键点,环境规制才能促进技术创新。一般而言,经济发展水平越高,环境规制对技术创新的促进作用越显著。这是因为,经济发展到一定程度以后,企业通过技术创新既可以提高生产效率和利润率,补偿环境规制带来的成本上升,也可以通过技术创新降低污染排放量,降低治污成本。因此,环境规制的补偿效应逐渐取代替代效应,成为影响环境规制的主导效应,环境规制能够促进企业技术创新能力的提升。本文检验的是环境规制的第一种门槛效应,寻找政府环境规制的最优区间。

三、实证分析

(一) 变量界定

本文选取制造业 2004—2013 年的面板数据为样本,主要数据包括各制造业行业专利申请数量、工业总产值、工业固体废物产生量、工业 SO₂ 排放量、R&D 人员的全时当量、R&D 经费内部支出等,数据来源于《中国统计年鉴》、《中国环境统计年鉴》、《中国科技统计年鉴》、《中国工业经济统计年鉴》等,其中涉及的变量包括:

被解释变量:技术创新能力(I) 本文选用专利申请数量衡量技术创新能力,相比于专利批准数量、生产率或研发投入等,专利申请数量能够更加直接地反映一个行业技术创新能力的大小。虽然也有大量文献采用生产率来衡量技术创新能力,但是本文认为影响生产率的因素有很多,生产率的提升并不完全是技术创新带来的。

解释变量:环境规制强度(E) 目前由于环境规制强度没有确定的衡量指标,一般是采用代理变量的方法。在已有文献中,环境规制代理变量的选取主要分为四类:一是污染排放量,如李平和慕绣如^[21]采用单位工业增加值衡量环境规制,傅京燕和李丽莎^[28]、李玲和陶峰^[20]利用各污染物排放量构建综合指标衡量环境规制;二是污染治理投资支出,如张成等^[18]采用治理工业污染治理投资作为衡量环境规制发展水平,如陆旻^[29]采用人均收入水平作为环境规制变量;四是环境规制法规政策数量作为环境规制衡量指标。目前学术界多采用污染物排放量或者治理投资额来衡量环境规制强度,而较少采用经济发展水平和法规政策数量。这是因为,环境规制法规政策在执行过程中存在诸多问题,不能直接表示环境规制的效果;而经济发展水平在一定程度上决定环境规制强度,但并非完全决定因素,所以这两种方法作为环境规制代理变量具有一定弊端。又由于治理投资额的大小受到行业规模等因素的影响,规模较大的行业污染治理的投资会高于规制强度,但这并不能说明该行业的环境规制强度就高。本文参照朱平芳等^[30]提出的综合指标法,选取各行业工业总产值、工业固体废物产生量、工业 SO₂ 排放量三项指标,综合反映环境规制强度。本文参照朱平芳等^[30]提出的综合指标法,选取各行业工业总产值、工业固体废物产生量、工业 SO₂ 排放量三项指标,综合反映环境规制强度的综合衡量指标。其处理过程如下:

(1) 将各行业每年工业总产值、工业固体废物产生量、工业 SO₂ 排放量除以当年工业总产值,以解决各行业间污染排放量差异的问题。

(2) 将各污染排放量的标准值除以当年工业总产值,取值换算成 [0, 1] 的取值范围。

$$p_i = \frac{p_{ui}}{\sum_{j=1}^n p_{uj}}, i = 1, 2, 3$$

其中, p_i 为无量纲化的污染排放量, p_{ui} 为无量纲化的污染排放量, p_{uj} 为无量纲化的污染排放量, n 为污染排放指标数。由于各污染排放指标具有横向可比性,所以将各污染排放指标除以当年工业总产值,以消除行业间污染排放量的差异。该指标值越大,则说明环境规制强度越大。2004—2013 年环境规制强度测量结果如表 1 所示。

另外,解释变量包含科技创新的人力投入(L),即 R&D 人员的全时当量,用 R&D 经费内部支出来衡量。

由于不同行业之间的污染排放差距较大,本文借鉴朱平芳等^[30]的方法,根据总的污染物排放量将制造业各行业进行分类,污染排放强度较大的为重度污染行业,污染排放强度较小的为轻度污染行业,其余的行业为中度污染行业。本文根据行业大体划分为污染程度不同的

三类,与李玲和陶峰^[20]分类结果略有不同的是,根据文中计算结果,由于文教体育、塑料制品和纺织服装行业的污染物排放强度与一般轻度污染行业的排放强度相差不大,本文认为将其归入轻度污染行业更为合理。具体分类标准为:污染排放量强度大于0.1为重度污染,污染排放量强度在0.02~0.1之间为中度污染,污染排放量强度小于0.02为轻度污染。具体分类如表2所示。

表1 各行业2004—2013年环境规制强度

行业	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
农副加工	0.096 8	0.092 8	0.085 6	0.100 1	0.095 6	0.084 4	0.081 6	0.076 7	0.078 5	0.054 0
食品制造	0.100 1	0.106 6	0.099 6	0.102 6	0.109 6	0.098 8	0.105 8	0.098 6	0.102 2	0.079 2
饮料制造	0.146 9	0.152 4	0.172 0	0.170 4	0.178 8	0.159 3	0.164 0	0.150 2	0.144 9	0.110 2
烟草加工	0.013 8	0.018 2	0.014 7	0.015 4	0.017 6	0.014 9	0.013 1	0.013 0	0.014 0	0.020 1
纺织业	0.099 1	0.095 0	0.106 1	0.109 5	0.121 5	0.124 1	0.124 1	0.127 3	0.143 0	0.096 1
纺织服装	0.015 2	0.012 2	0.019 0	0.016 4	0.017 2	0.016 0	0.014 5	0.024 2	0.017 4	0.013 1
皮革毛羽	0.034 7	0.034 8	0.034 8	0.037 0	0.043 2	0.042 7	0.044 7	0.048 1	0.043 2	0.027 5
木材加工	0.076 3	0.054 1	0.054 4	0.045 8	0.038 9	0.035 0	0.033 3	0.039 6	0.032 7	0.028 6
家具制造	0.006 3	0.010 4	0.009 5	0.010 0	0.008 4	0.008 1	0.008 1	0.004 8	0.004 6	0.003 8
造纸业	0.526 8	0.528 3	0.583 9	0.631 2	0.602 1	0.612 7	0.624 4	0.629 5	0.598 8	0.531 6
印刷媒介	0.007 7	0.006 0	0.006 5	0.009 1	0.009 5	0.009 2	0.008 7	0.010 3	0.010 3	0.006 4
文教加工	0.006 7	0.005 6	0.004 0	0.004 0	0.005 1	0.005 3	0.005 0	0.010 6	0.003 7	0.002 2
石油加工	0.142 0	0.154 2	0.119 8	0.137 8	0.166 2	0.156 2	0.146 8	0.148 4	0.152 7	0.145 1
化学工业	0.307 1	0.316 5	0.296 3	0.292 7	0.273 7	0.265 4	0.261 4	0.323 7	0.319 5	0.313 8
医药工业	0.091 3	0.080 1	0.078 3	0.078 9	0.084 6	0.080 2	0.080 8	0.072 5	0.077 2	0.052 1
化学纤维	0.180 7	0.188 9	0.170 2	0.153 6	0.192 6	0.209 3	0.194 8	0.161 8	0.150 5	0.126 4
橡胶制品	0.042 6	0.044 1	0.045 5	0.046 1	0.043 9	0.044 1	0.044 1	0.022 6	0.025 7	0.022 7
塑料制品	0.007 4	0.005 9	0.009 3	0.011 8	0.012 8	0.011 3	0.012 9	0.022 5	0.025 3	0.022 0
非金制造	0.346 5	0.279 1	0.352 6	0.327 0	0.286 0	0.256 2	0.258 0	0.244 3	0.252 7	0.244 4
黑金加工	0.341 1	0.406 3	0.425 4	0.406 0	0.378 0	0.435 0	0.444 1	0.451 3	0.449 6	0.740 0
有金加工	0.290 3	0.300 8	0.207 4	0.196 4	0.219 7	0.230 7	0.238 0	0.247 8	0.249 7	0.277 4
金属制品	0.021 2	0.020 7	0.027 3	0.037 0	0.028 5	0.033 7	0.028 0	0.033 1	0.033 9	0.040 8
通用设备	0.020 7	0.021 2	0.014 4	0.011 8	0.015 0	0.015 3	0.015 3	0.008 1	0.008 3	0.005 9
专用设备	0.019 1	0.019 3	0.016 2	0.013 7	0.012 0	0.015 7	0.014 6	0.007 7	0.009 8	0.007 2
交通设备	0.019 5	0.014 2	0.016 7	0.012 3	0.015 1	0.012 2	0.010 9	0.005 8	0.029 4	0.016 3
电气机械	0.004 6	0.005 7	0.003 7	0.003 9	0.004 3	0.003 9	0.004 4	0.003 5	0.003 7	0.002 9
通信设备	0.003 8	0.004 8	0.005 4	0.006 2	0.007 2	0.008 0	0.008 0	0.009 7	0.012 0	0.007 7
仪器仪表	0.030 2	0.021 9	0.021 3	0.013 0	0.012 2	0.011 6	0.010 3	0.004 3	0.006 3	0.002 8

资料来源:作者计算整理。

表2 行业污染程度划分

污染排放值	分类	行业
$ER > 0.1$	重度污染行业	造纸业、石油加工、非金制造、化学工业、化学纤维、黑金加工、饮料制造、纺织业、有金加工
$0.1 > ER > 0.02$	中度污染行业	食品制造、医药制造、农副加工、皮革毛羽、橡胶制品、金属制品、木材加工
$ER < 0.02$	轻度污染行业	烟草加工、专用设备、仪器仪表、交通设备、通用设备、家具制造、印刷媒介、通信设备、电器设备、文教体育、塑料制品、纺织服装

资料来源:作者计算整理。

(二) 波特假说的再验证

(1) 模型设定 根据内生增长理论,技术创新作为一种新知识的产出,需要的投入包括劳动、资金和其他因素。可以用生产函数表示为:

$$I = f(K, L, A)$$

上式中 I 表示技术创新产出 L 表示技术创新过程中的劳动力投入 K 表示技术创新过程中的资金投入 A 表示影响技术创新的其他因素。由于本文主要研究环境规制对技术创新的影响,故将环境规制强度纳入生产函数模型中。因此,技术创新的生产函数如下:

$$I = f(K, L, ER)$$

其中 ER 表示环境规制强度。本文假设技术创新与传统的物质生产领域的产出函数具有相似的形式,技术创新的 C-D 函数形式如下:

$$I = \lambda K^\alpha L^\beta ER^\eta$$

为便于比较,消除异常项和异方差对数据的影响,各个变量采用去对数的形式进行估计,其中因为环境规制强度 ER 已经是百分比数,不再采用对数形式。方程如下:

$$\ln I_{it} = \lambda + \alpha \ln K_{it} + \beta \ln L_{it} + \eta ER_{it-j} + \varepsilon_{it}, \quad j = 0, 1, 2, 3$$

方程中的下标 i 表示各个行业 t 表示各个时期 j 为滞后期数 $\alpha, \beta, \eta, \lambda$ 为待估系数 ε 表示其它没有考虑在模型中的变量对技术创新的影响因素。

(2) 实证结果分析 本文利用 stata12.0,分别对不同污染程度行业进行实证分析。经过 Hausman 检验,采用固定效应模型进行回归,并且为考察环境规制在时间维度上对技术创新的影响,验证波特假说是否成立,分别对环境规制强度即期、滞后 1、2、3 期进行回归,实证结果如表 3 所示。

从表 3 可以看出,对于重度污染行业,在即期和滞后各期环境规制的系数都是显著为正的。由于本文以污染物排放量为代理变量衡量环境规制强度,这意味着环境规制对重度污染行业的技术创新有抑制作用,而且这种负面影响不仅在短期,在滞后的三期中一直都会产生负面影响。这说明在现阶段“波特假说”不适合于我国重度污染行业。由于重度污染行业生产时将产生大量污染物的行业特点,环境规制必然会对这些行业的发展起到严重的限制作用,从而大幅度降低行业利润,挤占行业技术创新的投资。出现这一结果,还有一种可能是,由于滞后三期对重度污染行业来说期限不够长,需要更长的时间才能体现出环境规制对重度污染行业技术创新的正向作用。

与重度污染行业不同,环境规制对中度污染行业的技术创新影响在不同时期均是正面的。这说明目前中度污染行业的环境规制强度是适度的,不仅可以限制行业污染物排放,而且可以对企业产生激励作用,促使企业进行技术创新。

环境规制对轻度污染行业的影响随着时间推移经过了从负面到正面的转变,在环境规制当期会抑制行业技术创新,但是在滞后 1、2、3 期中环境规制却能够促进行业技术创新,环境规制的“创新补偿”存在滞后性,在一定程度上验证了“波特假说”。对于以高技术行业为主的轻度污染行业来说,当期的环境规制可能会降低行业利润,挤占技术创新投资;但是从长久来看,企业会渐渐意识到被动的治理末端污染效果并不理想,并非长久之计,于是企业就会通过绿色技术降低污染排放量,维持企业利润,或者通过技术创新改善企业生产率,增加利润。

(三) 环境规制的门槛效应

上文在时间维度上分析了环境规制对不同污染程度的制造业行业的技术创新能力的影响,而在

表 3 环境规制对技术创新影响的回归分析结果

分类	ER 系数估计值			
	$j=0$	$j=1$	$j=2$	$j=3$
重度污染行业	1.793 ^{***} (2.94)	2.917 ^{**} (2.61)	2.294 ^{**} (2.23)	2.235 ^{**} (1.076)
中度污染行业	-9.880 [*] (-1.88)	-9.60 ^{**} (-1.61)	-1.925 [*] (-0.4)	-7.419 ^{**} (-1.12)
轻度污染行业	7.745 (1.21)	-10.432 (-1.48)	-20.244 ^{**} (-2.61)	-20.061 ^{**} (-2.34)

注:***、**和* 分别表示在 1%、5%和 10%的水平上变量显著。

资料来源:作者计算整理。

强度维度上是否环境规制越高越好,最优的环境规制强度是多少,政府应该将环境规制强度制定在一个什么水平呢?下面,本文通过门槛模型对环境规制最优区间进行研究。

(1) 模型设定 本文采用 Hansen^[31]提出的门槛回归方法,即在不同的门槛变量区间上,将关注变量的系数设为不同的值:

$$y_{it} = u_i + \beta_1 x_{it}(q_{it} \leq \gamma) + \beta_2 x_{it}(q_{it} > \gamma) + \varepsilon_{it}$$

上式中 q_{it} 为门槛变量, γ 为待估门槛值, x_{it} 为解释变量。门槛效应的检验主要是在两个方面:一是检验门槛效应是否存在,模型原假设为 $\beta_1 = \beta_2$,即门槛效应是不存在的,当原假设被显著拒绝时,就是存在门槛效应;二是对门槛值的估计是否准确。对于门槛效应的检验, Hansen^[31]提出了似然比检验 LR 统计量:

$$LR = [SSR^* - SSR(\hat{\gamma})] / \hat{\sigma}^2$$

其中 $\hat{\sigma}^2 = \frac{SSR(\hat{\lambda})}{n(T-1)}$ 为扰动项方差的一致估计。利用自抽样法 Bootstrap 模拟出似然比统计量的渐近分布以及 P 值,判断是否拒绝原假设。如果拒绝原假设,则认为存在门槛效应,然后进一步对门槛值进行检验,定义对应似然比检验统计量为:

$$LR(\gamma) = [SSR(\gamma) - SSR(\hat{\gamma})] / \hat{\sigma}^2$$

LR 的渐近分布虽然是非标准的,但其累积分布函数为 $(1 - e^{-x/2})^2$,可以计算出 γ 的置信区间。当存在多门槛值时,如两个门槛值,门槛模型设定为:

$$y_{it} = u_i + \beta_1 x_{it}(q_{it} \leq \gamma_1) + \beta_2 x_{it}(\gamma_1 < q_{it} \leq \gamma_2) + \beta_3 x_{it}(q_{it} > \gamma_2) + \varepsilon_{it}$$

其中 $\gamma_1 < \gamma_2$ 。多重门槛值模型也是同样的原理。

(2) 实证结果分析 基于环境规制对技术创新影响的模型,本文建立门槛模型如下:

$$\ln I_{it} = \delta + \alpha_1 ER_{it} \cdot I(ER \leq \gamma_1) + \alpha_2 ER \cdot I(\gamma_1 < ER \leq \gamma_2) + \dots + \alpha_{n+1} ER \cdot I(ER > \gamma_n) + \beta K_{it} + \eta L_{it} + \varepsilon_{it}$$

上式中,相应的变量含义不变, γ 表示门槛值,以环境规制强度为门槛变量。 $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{n+1}$ 表示不同环境规制强度下,其对技术创新的影响系数。本文利用 stata10.0 统计软件,分别对不同污染程度的行业进行门槛分析,得出回归结果如表 4 所示。

表 4 不同污染程度行业的门槛效应回归分析结果

门槛数	重度污染行业			中度污染行业			轻度污染行业		
	P	F	门槛值	P	F	门槛值	P	F	门槛值
单一门槛	0.001 0	8.833 5	0.164 0***	0.009 0	7.520 4	0.023 1***	0.018 0	6.293 1	0.010 0**
双重门槛	0.033 5	4.465 8	0.584 8**	0.055 0	3.884 8	0.044 7*	0.037 0	4.354 6	0.013 2**
三重门槛	0.005 0	7.738 6	0.453 6***	0.028 0	5.219 6	0.039 1**	0.025 5	4.468 9	0.010 9**

注:***、**和* 分别表示在 1%、5%和 10%的水平上变量显著。

从表 4 中的回归结果可以看出,不同污染程度行业的单一门槛、双重门槛、三重门槛效应均是显著的,即在不同的强度区间上,环境规制对各类行业的技术创新的影响有显著差异。重度污染行业的三个门槛值分别为:0.164 0、0.453 6、0.584 8,将环境规制强度划分为 4 个区间,在其中 3 个区间内,环境规制的系数显著为正,而只有在一个区间中环境规制的系数为负,且是不显著的,所以可以看作环境规制对重度污染行业在不同环境规制强度区间上的系数基本上都是正的。中度污染行业的三个门槛值分别为 0.023 1、0.039 1、0.044 7,但是其中只有在第一个区间,环境规制的系数通过了显著性检验,说明对于中度污染行业,不同强度的环境规制对企业技术创新的影响是不明确的;轻度污染行业的三个门槛值分别为 0.010 0、0.010 9、0.013 2,将环境规制分为四个区间,在不同区间上,环境规制的系数基本显著为正。表 5 中列出不同环境规制强度区间对技术创新影响变化的详细情况。

由于本文以污染排放量衡量环境规制强度,其值越大,则环境规制强度越小,故在四个区间中环境规制强度是越来越小的,而且正的系数表示环境规制对技术创新的抑制作用。从表5可以看出,重度污染行业在不同环境规制强度区间上系数都是正值,表明在不同规制强度区间上环境规制对重度污染行业的影响始终是负面的,且环境规制对技术的影响是呈折线形,环境规制越强,对技术创新的抑制作用就越大。这可能是由于重度污染行业的特性决定的,由于重度污染行业是以技术密集程度较低的行业为主,如石油加工业、黑色金属加工业、有色金属加工业等,行业本身就不易进行技术创新,或者技术创新的投资非常高,环境规制只会增加企业生产成本,并不会促使企业提供技术创新改变现状,对其技术创新的驱动作用很小。

表5 不同环境规制强度区间对技术创新影响变化

重度污染行业		中度污染行业		轻度污染行业	
区间	估计值	区间	估计值	区间	估计值
ER ≤ 0.164 0	5.493 8***	ER ≤ 0.023 1	23.303 8*	ER ≤ 0.010 0	59.210 6***
0.164 0 < ER ≤ 0.453 6	2.679 1***	0.023 1 < ER ≤ 0.039 1	-8.161 6	0.010 0 < ER ≤ 0.010 9	10.492 6
0.453 6 < ER ≤ 0.584 8	-1.234 0	0.039 1 < ER ≤ 0.044 7	3.121 7	0.010 9 < ER ≤ 0.013 2	75.138 9***
ER > 0.584 8	2.159 0***	ER > 0.044 7	-7.310 9	ER > 0.013 2	20.858 5***

注:***、**和* 分别表示在1%、5%和10%的水平上变量显著。

中度污染行业在不同环境规制强度区间上经历了较大的转变,但没有通过显著性检验,说明环境规制在不同强度区间上对技术创新的影响是不确定的。总的来看,环境规制存在一个最优区间,即当环境规制强度较小时,环境规制对技术创新产生负面影响,随着规制强度逐渐增大,环境规制逐渐促进企业的技术创新,但是当规制强度超越一定门槛值后,对企业的负担过重,阻碍技术创新。

环境规制对轻度污染行业的技术创新的影响并非简单的线性关系,也不是U型,而是呈折线形,但是与重度污染不同的是,随着环境规制的增强,其对技术创新的负面影响先变大,跨过一定门槛值后抑制作用减弱。其原因可能在于轻度污染行业的特点是以高技术行业为主体,例如仪器仪表制造业、通信设备制造业等。在环境规制的初期,由于环境规制强度较小,企业并没有足够的动力进行治污技术的创新,反而由于污染治理成本的增加挤占了技术创新投资;当进一步加大环境规制强度后,企业的治污成本占生产总成本比重上升,由此形成倒逼机制,企业会寻求通过技术创新的方式来提高污染治理技术或是生产工艺,节能减排,保持利润率。

四、结论与政策含义

本文将28个制造业行业分为重度污染、中度污染、轻度污染三类行业,分别在时间维度和强度维度上研究了环境规制与行业技术创新能力的关系。本文的研究结论如下:(1)对于重度污染行业,环境规制在当期和滞后各期内对行业的技术创新均产生负面影响,并且随着环境规制强度的增加,其对重度污染行业的技术创新能力负面影响越严重;(2)对于中度污染行业,环境规制在各期对其影响均是正面的,环境规制能够促进企业技术创新,但是在门槛效应检验中不同环境规制强度对企业技术创新能力的影响是不明确的,存在一个最优规制区间;(3)对于以高技术行业为主的轻度污染行业,环境规制对其影响在即期和滞后各期经历了从负面到正面的转变,总的来说在时间维度上是符合波特假说的U形关系,但在强度维度上,环境规制与行业的技术创新的关系是呈折线形的,虽然环境规制对技术创新一直是负面的影响,但是随着环境规制强度的增加,负面影响会先增大后减弱,进而产生显著的补偿效应,促进企业技术创新能力的提升。因此,从总体上说,环境规制趋紧不会明显阻碍中国制造业技术创新能力的提升,尤其是在长期内,环境规制强度上升能够推动企业加大研发投入,使用先进的绿色制造技术,从而提升企业技术创新能力和国际竞争力。

本文研究结论的政策含义包括:(1)由于重度污染行业整体的技术密集程度比较低,行业本身的技术创新能力有限,即使在环境规制使得企业成本大量增加的情形下,短期内企业也难以通过技术

创新来提高生产率或减少污染排放。所以,针对重度污染行业,要么环境规制强度不宜过重,避免对企业造成难以承受的负担,制约其发展;要么政府为达到保护环境的目的,在制定较高强度环境规制的同时,给企业一定的治污补偿,以弥补企业的利益损失,达到既能维持重度污染行业正常发展、又能降低污染的双赢结果。在长期内,政府可以财政补贴、低息贷款等方式引导重度污染行业增加治污研发投入,提高绿色制造能力。(2)对于中度污染行业,目前的环境规制强度是适宜的,不论在当期还是长期都可以对企业的技术创新能力产生正面促进作用。而且从门槛效应模型的实证分析结果看,适度增强环境规制可能更有利于企业技术创新能力提升。(3)对于以高技术为主体的轻度污染行业,目前的环境规制水平可以在中长期对其技术创新起到促进作用,而且门槛效应显著表明更强的环境规制可以加大技术创新的驱动力,同时减少污染产出。所以,政府应当加强对轻度污染行业的环境规制强度。总而言之,不同污染程度的行业对环境规制的反应是有差异的,有的甚至相反,政府应当针对不同行业的特点,制定相应的环境规制政策和规制水平,有些行业需要进一步加强规制强度,有些行业在规制的同时应予以补偿,最终实现环境规制与经济发展双赢的结局。另外,环境规制对制造业创新能力的影响不仅取决于环境规制强度本身,还取决于环境规制工具的选择,以及经济发展水平、吸引外资能力、出口竞争力等等因素,这些问题还有待于进一步研究。

参考文献:

- [1] GOLLOP F M, ROBERT M J. Environmental regulations and productivity growth: the case of fossil-fueled electric power generation [J]. *Journal of political economy*, 1983, 91(4): 654-655.
- [2] BARBERA A J, MCCONNEL V D. The impact of environmental regulations on industry productivity: direct and indirect effects [J]. *Journal of environmental economics and management*, 1990, 18(1): 50-65.
- [3] JORGENSON D J, WILCOXEN P J. Environmental regulation and U. S. economic growth [J]. *The Rand journal of economics*, 1990, 21(2): 313-340.
- [4] BRANNLUND R, CHUNG Y, FÄRE R, et al. Y. Emissions trading and profitability: the Swedish pulp and paper industry [J]. *Environmental and resource economics*, 1998, 12(3): 345-356.
- [5] PORTER M E. American's green strategy [J]. *Scientific American*, 1991, 4: 168-189.
- [6] PORTER M E, LINDE V D. Toward a new conception of the environment competitiveness relationship [J]. *Journal of economic perspectives*, 1995, 9(4): 97-118.
- [7] LANJOUW J O, MODY A. Innovation and the international diffusion of environmentally responsive technology [J]. *Research policy*, 1996, 25(4): 549-571.
- [8] JAFFE A B, PALMER J K. Environmental regulation and innovation: a panel data study [J]. *Review of economics and statistics*, 1997, 79(4): 610-619.
- [9] BERMAN E, BUI L T. Environmental regulation and productivity: evidence from oil refineries [J]. *Review of economics and statistics*, 2001, 88(3): 498-510.
- [10] HAMAMOTO M. Environmental regulation and the productivity of Japanese manufacturing industries [J]. *Resource and energy economics*, 2006, 28: 299-312.
- [11] CONRAD K, WASTEL D. The impact of environmental regulation on productivity in German industries [J]. *Empirical economics*, 1995, 20(4): 615-633.
- [12] BOYD G A, MCCLELLAND J D. The Impact of environmental regulation constraints on productivity improvement in integrated paper plants [J]. *Journal of environmental economics and management*, 1999, 38(2): 121-142.
- [13] LANOIE P, PATRY M, LAJEUNESSE R. Environmental regulation and productivity: new findings on the Porter hypothesis [Z]. Working paper 2001.
- [14] ALPAY E, BUCCOLA S, KERKDIE J. Productivity growth and environmental regulation in Mexican and U. S. food manufacturing [J]. *American journal of agricultural economics*, 2002, 84(4): 887-901.

- [15]赵红. 环境规制对企业技术创新影响的实证研究: 以中国 30 个省份大中型工业企业为例[J]. 软科学 2008(6): 121-125.
- [16]李强, 聂锐. 环境规制与中国大中型企业工业生产率[J]. 中国地质大学学报 2010(4): 55-59.
- [17]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.
- [18]张成, 陆旸, 郭路, 等. 环境规制强度和和生产技术进步[J]. 经济研究 2011(2): 113-124.
- [19]李斌, 彭星, 欧阳铭珂. 环境规制绿色全要素生产率与中国工业发展方式转变: 基于 36 个工业行业数据的实证分析[J]. 中国工业经济 2013(4): 56-68.
- [20]李玲, 陶峰. 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[J]. 中国工业经济 2012(5): 70-82.
- [21]李平, 慕绣如. 波特假说的滞后性和最优环境规制强度分析: 基于系统 GMM 及门槛效果的检验[J]. 产业经济研究 2013(4): 21-29.
- [22]蒋伏心, 王竹君, 白俊红. 环境规制对技术创新影响的双重效应: 基于江苏省制造业动态面板数据的实证研究[J]. 中国工业经济 2013(7): 44-55.
- [23]王杰, 刘斌. 环境规制与企业全要素生产率——基于中国工业企业数据的检验分析[J]. 中国工业经济, 2014(3): 44-56.
- [24]解垚. 环境规制与中国工业生产率增长[J]. 产业经济研究 2008(1): 19-25.
- [25]黄德春, 刘志彪. 环境规制与企业自主创新——基于波特假说的企业竞争优势构建[J]. 中国工业经济 2006(5): 100-106.
- [26]王兵, 吴廷瑞, 颜鹏飞. 环境管制与全要素生产率增长: APEC 的实证研究[J]. 经济研究 2008(5): 19-32.
- [27]王国印, 王动. 波特假说、环境规制与企业技术创新——对中东部地区的比较分析[J]. 中国软科学 2011(1): 100-112.
- [28]傅京燕, 李丽莎. 环境规制、要素禀赋与行业国际竞争力的实证研究——基于中国制造业的面板数据[J]. 管理世界 2010(10): 87-98.
- [29]陆旸. 环境规制影响了污染密集型商品的贸易比较优势吗? [J]. 经济研究 2009(4): 28-40.
- [30]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.
- [31]HANSEN B E. Sample splitting and threshold estimation[J]. Econometrica 2000 68: 575-603.

(责任编辑: 禾 日)

Does Tightening Environmental Regulation Impede Technological Innovation Upgrading of Manufacturing Industries in China? —— An Empirical Re-Examination on Porter Hypothesis

YU Donghua, HU Yanan

(School of Economics, Shandong University, Jinan 250100, China)

Abstract: In order to reverse the trend of ecological environment deterioration, the administration has strengthened the intensity of the environmental regulation and management in recent years. It is worth attention whether the tightening environmental regulation impedes promotion in technological innovation and weakens the comparative advantage of manufacturing industry in China. Based on panel data of 28 manufacturing industries in China between 2004—2013, this paper researches the impacts of environmental regulation on technological innovation of manufacturing industries in different pollution degrees both from the angles of time and intensity, combined with the synthetically index method to measure the strength of environmental regulation. The results show that environmental regulation remains harmful to the creativity of heavy pollution industry during the current and lagging periods, but it is beneficial for the moderate pollution industry. The relationship between the environmental regulation and mild pollution industry appears U-shaped from time dimension, and ‘broken line’ from intensity dimension. There exists significant threshold effect of environmental regulation strength and optimal regulation interval for different pollution industries. The conclusion is that administration should formulate environmental regulation measures according to pollution degrees, product characteristics and creativity of various industries.

Key words: environmental regulation; technological innovation; Porter hypothesis; threshold effect; optimal regulation interval