

# 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

宋文飞<sup>1</sup>, 李国平<sup>1</sup>, 韩先锋<sup>2</sup>

(1. 西安交通大学 经济与金融学院, 陕西 西安 710061;

2. 西北大学 经济管理学院, 陕西 西安 710127)

**摘要:** 文章采用中国工业 33 个细分行业 2004—2011 年的面板数据, 运用门槛回归技术, 实证研究了环境规制对 R&D 双环节效率的门槛效应。实证结论表明, 环境规制对 R&D 双环节效率的门槛效应具有明显的异质性。在外商直接投资、贸易自由化和市场化水平门槛条件下, 环境规制对 R&D 转换效率的影响呈“U”形特征, 即环境规制对 R&D 转换效率的影响经历先负后正的过程, 在一定程度上验证了“波特假说”; 在行业获利能力、规模化水平门槛条件下, 环境规制对 R&D 转换效率存在倒“U”形作用机制, 揭示了环境规制对 R&D 转换效率的促进也有一定程度的限制。而环境规制对 R&D 转化效率的门槛效应实证结果表明: 在外商直接投资、市场化水平门槛条件下, 环境规制对 R&D 转化效率的影响具有倒“U”形特征; 而在贸易自由化水平、行业获利能力及工资门槛条件下, 总体上呈正的线性特征。

**关键词:** R&D 双环节效率; 门槛效应; 环境规制

**中图分类号:** F426; F424. 6   **文献标识码:** A   **文章编号:** 1001-9952(2014)01-0093-12

## 一、引言与文献回顾

改革开放以来, 工业的快速增长也带来日益严重的环境污染问题。因此, 减少环境污染, 提高工业发展质量是实现工业可持续发展的重点。其中, 加强环境规制是减少环境污染必须实行的关键步骤, 但是, 环境规制强度的提高也会给企业带来成本上升的压力。摆在面前的现实问题是如何在加强环境规制的同时促进工业的高质量增长, 这需要探究环境规制与工业经济增长的内在关联。而技术创新是工业经济增长的动力和源泉。吴敬琏(2005)指出, 提高自主创新能力是中国工业发展面临的最迫切问题之一。因此, 研究环境规制与技术创新的关系对于实现环境规制与工业经济增长的“共赢”具有重要意义。

学术界关于环境规制与技术创新的关系并未达成一致的意見。总体上可以归纳为三种观点: 一是环境规制对技术创新具有正向溢出效应, 代表观点为迈克尔·波特(1991, 1995)提出的“波特假

**收稿日期:** 2013-10-28

**基金项目:** 国家社会科学基金重大项目“完善生态补偿机制研究”(12&ZD072); 陕西省教育厅专项科研计划项目“陕西省低碳城市发展模式研究”(12JK0141); 国家自然科学基金项目“西部区域创新环境质量评价、监测与空间差异研究”(71273209); 国家社会科学基金项目“基于包容性和可持续性双重视角的矿产资源出让收益分享机制研究”(BCJY041)

**作者简介:** 宋文飞(1983—), 男, 山东烟台人, 西安交通大学经济与金融学院博士研究生;

李国平(1955—), 女, 四川宜宾人, 西安交通大学经济与金融学院教授, 博士生导师;

韩先锋(1984—), 男, 陕西商洛人, 西北大学经济管理学院管理学硕士研究生。

说”。“波特假说”认为环境规制能够激发企业技术创新的积极性,使得创新效应大于其带来的损失,产生“创新补偿”作用。二是环境规制抑制了技术创新。主要观点是环境规制带来的成本上升不利于技术创新(Gray,1987;Robert,1983;RJorgenson 和 Wilcoxon,1990;Barbera 和 McConnell,1990 等)。三是环境规制对技术创新的影响效应不确定(Conrad 和 Wast,1995;Boyd 和 McClelland,1999;Lanoie 等,2001;Alpay 等,2002 等)。产生以上分歧的原因主要是研究视角、样本和方法的差异,而环境规制与技术创新关系随着环境条件的迥异会呈现不同的结果。

我们认为要研究环境规制与技术创新的关系,首先需要对技术创新的本质进行探究。从行业研发的阶段特点来看,研发创新要经历开发、产业化运用和市场运作三个阶段(Drucker,1970,1994),即研发要经历从资源投入到产生经济效益的过程,而在此过程中又可以分为两个环节:资源投入到技术成果的转换环节与技术成果进一步市场化运用的转化环节,而现有文献鲜有关于环境规制与研发双环节创新的研究。其次,环境规制在不同约束条件下对技术创新的影响不同,说明环境规制与研发创新之间可能存在非线性关系,而现有文献研究环境规制与研发创新的非线性关系较少。少数学者如沈能(2011)的研究成果表明,环境规制与技术创新有非线性关系,认为环境规制对企业技术创新产生先降低后提高的影响,即呈现“U”形特征,但是其并未从价值链视角讨论环境规制与研发创新效率之间的关系,且未就其他重要门槛条件展开分析,研究具有一定的局限性;李勃昕等(2013)的研究表明,环境规制强度对创新效率的影响呈倒“U”形特征,但是,其对非线性关系的研究仅限于运用二次曲线模型讨论二者的倒“U”形关系,并未考虑到环境规制对研发创新双环节效率在不同节点下的非线性影响可能存在多重特征。

综合以上两点,本文采用门槛回归技术对二者的非线性关系进行研究。门槛回归技术可以有效抓住经济事物重要转折点前后的变化特征,相对于限定的二次曲线模型更能客观反映变量间非线性变动关系。然而,采用门槛回归技术研究环境规制对研发双环节效率的非线性影响的文献基本空白,因此,本文采用门槛回归技术从价值链视角探究环境规制与研发效率的非线性关系。这对于揭示工业实现环境规制与研发创新共同推进的阶段性和条件特征具有重要意义。

## 二、模型设计

### (一)计量模型设计

从价值链视角将 R&D 效率分为两个环节,即转换效率和转化效率。R&D 转换效率,即反映行业内的企业组织技术创新从 R&D 资源投入到实现技术成果的有效程度,它反映了行业利用技术资源的创新能力;R&D 转化效率,指从技术成果到实现社会经济价值的能力,该阶段效率反映了工业行业技术成果的转化水平。

根据 Hansen(1999,2000)的研究结果,针对 R&D 双环节效率,建立门槛回归模型如下:

$$PT_{it} = c + \beta_1 \text{control} + \alpha_1 ER_{it} \times I(q_{it} \leq \gamma_1) + \alpha_2 ER_{it} \times I(q_{it} > \gamma_1) + \dots + \alpha_n ER_{it} \times I(q_{it} \leq \gamma_n) + \alpha_{n+1} ER_{it} \times I(q_{it} > \gamma_n) + e_{it} \quad (1)$$

$$ST_{it} = c + \beta_1 \text{control} + \alpha_1 ER_{it} \times I(q_{it} \leq \gamma_1) + \alpha_2 ER_{it} \times I(q_{it} > \gamma_1) + \dots + \alpha_n ER_{it} \times I(q_{it} \leq \gamma_n) + \alpha_{n+1} ER_{it} \times I(q_{it} > \gamma_n) + e_{it} \quad (2)$$

其中,  $PT_{it}$ 、 $ST_{it}$  分别表示  $i$  行业在  $t$  时期的 R&D 转换效率和转化效率。这涉及  $ST_{it}$ 、 $PT_{it}$  的测算。我们基于 Battese 和 Coelli (1995)的随机前沿(SFA)技术对  $ST_{it}$ 、 $PT_{it}$  进行测算。

$PT_{it}$  测算模型:

$$\ln Y_{1it} = \beta_0 + \beta_1 \ln K_{it} + \beta_2 \ln L_{it} + (1/2\beta_3)(\ln K_{it})^2 + (1/2\beta_4)(\ln L_{it})^2 + \beta_5 \ln K_{it} \times \ln L_{it} + v_{it1} - u_{it1}$$

$ST_{it}$  测算模型:

$$\ln Y_{2it} = \beta_{02} + \beta_6 \ln Y_{1it} + v_{it2} - u_{it2}$$

$$\epsilon_{it} = v_{it} - u_{it} \quad i=1,2,\dots,33 \quad t=1,2,\dots,9 \quad (3)-(4)$$

PT<sub>it</sub>、ST<sub>it</sub> 的标示方式为：

$$PT_{it} = \exp(-u_{it1}), ST_{it} = \exp(-u_{it2}) \quad (5)$$

式(3)一式(4)中, Y<sub>1it</sub>、Y<sub>2it</sub> 分别为行业 R&D 双环节产出变量; L<sub>it</sub> 表示行业 R&D 劳动力投入变量, K<sub>it</sub> 表示行业 R&D 资本投入变量。i 为行业序号, t 表示时间; β<sub>01</sub>、β<sub>02</sub> 均为截距项, β<sub>1</sub>、β<sub>2</sub>、β<sub>6</sub> 为待估参数。误差项 ε<sub>it</sub> 由两部分组成, 第一部分 v<sub>it</sub> ∈ iid 并服从 N(0, σ<sub>v</sub><sup>2</sup>), 第二部分 u<sub>it</sub> ∈ iid 并服从截尾正态分布 N(m<sub>it</sub>, σ<sub>u</sub><sup>2</sup>), 反映那些在第 t 年作用于 i 行业的随机因素。v<sub>it</sub> 和 u<sub>it</sub> 之间是相互独立的。

式(5)中, ST<sub>it</sub>、PT<sub>it</sub> 表示样本中 i 行业 t 年度 R&D 转换环节和转化环节的技术水平, 当 u<sub>it</sub> = 0, ST<sub>it</sub> = 1, PT<sub>it</sub> = 1, 说明该行业处于技术有效状态, 此时该行业的生产点位于生产前沿面上; 当 u<sub>it</sub> > 0, 0 ≤ ST<sub>it</sub> < 1, 0 ≤ PT<sub>it</sub> < 1, 这种状态为技术非效率, 此时该行业的生产点位于生产前沿之下。

## (二) 数据和变量

本文研究的样本区间是 2004—2011 年。由于考虑数据的可得性及连贯性, 在 39 个工业行业中剔除部分行业, 选取的研究对象包括: H1 煤炭开采和洗选业, H2 石油和天然气开采业, H3 黑色金属矿采选业, H4 有色金属矿采选业, H5 非金属矿采选业, H6 食品制造业, H7 饮料制造业, H8 烟草制品业, H9 纺织业, H10 纺织服装、鞋帽制造业, H11 皮革、毛皮、羽毛(绒)及其制品业, H12 木材加工及木、竹、藤、棕、草制品业, H13 家具制造业, H14 造纸及纸制品业, H15 印刷业和记录媒介的复制, H16 文教体育用品制造业, H17 石油加工、炼焦及核燃料, H18 化学原料及化学制品制造业, H19 医药制造业, H20 化学纤维制造业, H21 橡胶制品业, H22 塑料制品业, H23 非金属矿物制品业, H24 黑色金属冶炼及压延加工业, H25 有色金属冶炼及压延加工业, H26 金属制品业, H27 通用设备制造业, H28 专用设备制造业, H29 交通运输设备制造业, H30 电气机械及器材制造业, H31 通信设备、计算机及其他电子设备制造业, H32 仪器仪表及文化、办公用机械制造业, H33 电力、热力的生产和供应业等共 33 个细分行业。

其中, R&D 研究数据来源于《中国科技统计年鉴》、《中国统计年鉴》。另外, 为得到行业的进出口数据, 根据盛斌(2002)所整理的“国际贸易商品标准分类”(SITC), 从联合国贸易统计数据库(UN Commodity Trade Statistics Database)网站整理相关贸易数据, 然后根据每一标准分类数据加总计算得出行业总的进出口数据。其他指标数据来源于《中国统计年鉴》、《中国工业经济统计年鉴》。具体变量做如下设定:

1. R&D 双环节效率测算。Y<sub>1it</sub> 和 Y<sub>2it</sub> 分别为各行业专利申请数和新产品销售收入。专利是体现从 R&D 资源投入到实现技术成果转换的重要指标, 新产品销售收入能充分反映专利转化为经济效益的效果。因此, 本文选取专利申请数作为工业 R&D 转换环节的产出指标和转化环节的投入指标, 选取新产品销售收入作为工业 R&D 转化环节的产出指标。根据工业创新活动的特征及我国统计指标的特点, 本文选取行业 R&D 人员全时当量和 R&D 经费作为衡量工业 R&D 转换效率的人员和经费投入指标。

2. 核心解释变量环境规制程度(ER)的测算。Kheder(2008)用 GDP/Energy 度量环境规制的严格程度, 他认为使用这个变量的好处在于其可以度量政府针对环境的一系列规则和条款的真正影响效果。鉴于该指标的优越性, 我们选用 GDP/Energy 来衡量 33 个工业行业的环境规制严格程度。

3. 门槛变量。(1)行业贸易自由化(trade)。关于贸易自由度的度量, 学术界并未形成统一观点。有学者认为应根据贸易壁垒程度反映贸易自由化程度, 持此类观点的学者认为贸易壁垒是阻碍贸易自由化的主要因素, 贸易壁垒程度也反映了贸易自由化程度。但这种思路却忽略了对外贸易中付出

的贸易成本。<sup>①</sup>鉴于现有文献的普遍做法以及数据的可得性,我们主要从贸易总量上去衡量贸易自由化程度,这种思路较为简单,数据容易获得。因此,贸易自由化指标采用行业进出口与行业工业总产值的比值表示。(2)工资水平(W)。根据 Roberts 和 Tybout(1997)、Bernard 和 Jensen(2004)等的研究成果,平均工资是衡量工资水平的重要指标。本文采用行业平均工资作为衡量工资水平的指标。参考毛其淋、盛斌(2013)的做法,以 1998 为基期,用居民消费价格指数进行平减,得到实际的工资水平。(3)其他门槛变量,包括:获利能力(cp)采用细分行业工业成本费用利润率来反映;规模化水平(scale)用工业各细分行业平均销售收入来衡量;市场化水平(market)为各细分行业非国有经济单位职工人数与职工总数的比值;外商直接投资水平(fdi)用各细分行业大中型工业企业中的三资企业工业总产值占比来反映。

### 三、实证分析

#### (一)环境规制与 R&D 双环节效率的行业分布特征

由图 1 可以看出,行业环境规制水平集中分布在 0 到 10 之间,个别行业接近于 0 或超过 20。行业环境规制水平在 10 之前集聚度最高,并随着环境规制水平的提高而逐步递减。说明大多行业环境规制水平位于 10 以下。因此,行业环境规制水平分布密度以 10 为线并非对称的,而是向左偏移,表明行业环境规制水平存在上升空间,且具有行业差异性。其中,环境规制水平均值小于 3 的行业有:H1(1.606)、H2(2.308)、H3(2.748)、H5(2.479)、H14(2.140)、H17(1.524)、H18(1.267)、H20(2.918)、H23(0.899)、H24(0.791)、H25(1.839)、H33(1.520)等 12 个行业,这些行业大多属于高耗能产业,而这些行业环境规制水平处于平均水平以下,说明行业发展仍然存在着“低规制、高能耗”的特点。环境规制水平在 10 以上的行业主要有:H8(20.002)、H10(13.450)、H11(16.567)、H13(17.621)、H16(12.220)、H29(12.022)、H30(17.137)、H31(20.541)、H32(17.036),这些行业大多非高耗能产业,具有“低能耗、高规制”的特点。

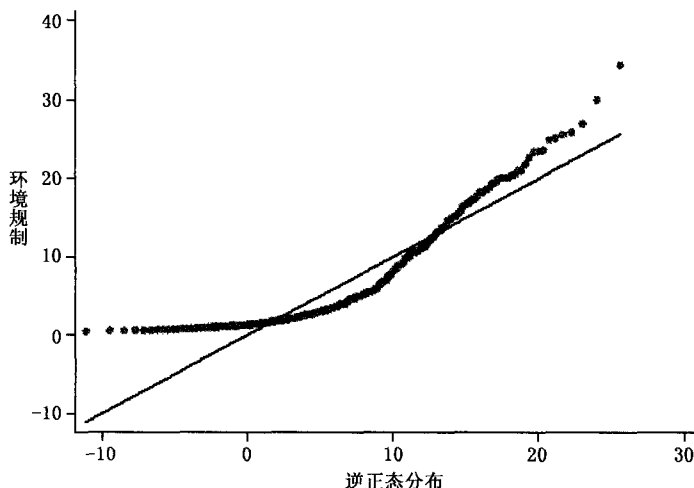


图 1 环境规制逆正态分布

从 R&D 双环节效率的行业分布特点来看,转换效率与转化效率密度分布具有差异性。行业转换效率值以 0.5 为线,呈右偏非对称倒“U”形逆正态分布,说明行业转换效率大多在 0.5 以上。而行业转化效率以 0.5 为线则呈左偏的逆正态分布特征,说明行业转化效率普遍低于 0.5。因此,可以得到行业转换效率普遍高于转化效率的基本结论,行业转化效率还有待提高。从行业转换效率分布的

差异性探究,可以发现行业转换效率低于 0.5 的行业有: H1(0.401)、H2(0.120)、H3(0.344)、H4(0.487)、H5(0.400)和 H33(0.164)等 6 个行业,同时可以看出这些行业环境规制水平同样较低,呈“低规制、低效率”特征;而其他 27 个行业的转换效率都高于 0.5,尤其是 H29(0.885)、H11(0.842)、H8(0.935)、H13(0.881)等行业,同时可以发现这些行业环境规制水平较高,呈“高规制、高效率”特征。从行业转化效率差异性分布特征来看,转化效率高于 0.5 的行业有: H1(0.521)、H8(0.742)、H14(0.673)、H17(0.817)、H18(0.708)、H20(0.643)、H21(0.582)、H24(0.913)、H25(0.644)、H27(0.628)、H29(0.906)、H30(0.616)、H31(0.768)等 13 个行业,其他 20 个行业转化效率水平低于 0.5。

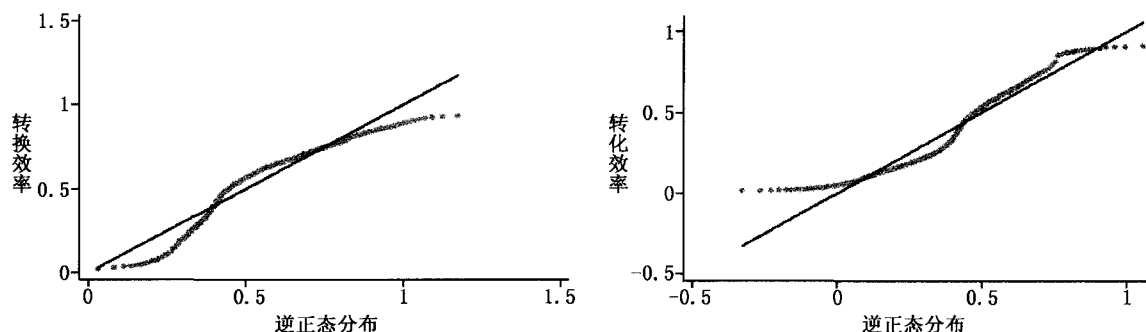


图 2 R&D 双环节效率逆正态分布

可以看出,转化效率较高的行业中,大多为环境规制水平较低的行业,呈“低规制、高效率”的分布特征,而在低转化效率的行业中,大多数行业环境规制水平较高,呈“高规制、低效率”的分布特征,说明环境规制与转化效率的关系具有行业差异性。部分行业如 H<sub>27</sub>、H<sub>31</sub>、H<sub>27</sub>则实现了环境规制与转化效率的“共赢”。

总之,环境规制与 R&D 双环节效率具有明显的行业差异性分布特征,且不同行业的环境规制与 R&D 双环节效率的作用关系具有差异性。

## (二)环境规制对 R&D 双环节效率的门槛效应分析

要进一步探究环境规制对 R&D 双环节效率影响的行业异质性特征及内在规律,我们采用门槛回归技术作深入分析。

### 1. 面板单位根检验及内生性问题处理

由于本文采用的是面板数据,在进行门槛检验之前,首先需要进行面板单位根检验,以检验数据的平稳性。在面板单位根的检验方法中,采用 Levin, Lin 和 Chut(LLC)检验、Fisher-ADF 检验和 Fisher-PP 检验进行单位根检验。<sup>②</sup> 检验结果表明,所有变量均在 LLC 检验、ADF-Fisher 检验、PP-Fisher 检验中通过了显著性检验,表明面板数据是平稳的。

同时,文章也考虑了变量之间的内生性问题。环境规制与贸易自由化变量之间可能存在一定的双向因果关系。文献的普遍做法是寻找工具变量以解决内生性问题,一般而言,工具变量的选择需要满足两个基本条件:一是工具变量须与解释变量显著相关;二是工具变量引入不会引起内生性问题,即工具变量与相应被解释内生变量不存在相关关系。按照文献的做法,引入内生变量滞后项可以有效避免因遗漏变量带来的内生性问题。因此,本文采用贸易自由化滞后一期(trade-IV)作为工具变量。为了避免环境规制与其他变量<sup>③</sup>之间的共线性问题,在门槛回归模拟中,采用逐步回归方法,删除不显著或可能存在共线性的变量,以得到最优的结果。由于历次模拟共同变量有差异,因此本文仅列出在不同门槛区间下,环境规制对 R&D 双环节效率的门槛回归结果。

## 2. 门槛回归结果

## (1) 环境规制对转换效率的门槛效应分析

Hansen(2000)提出了通过“自举法”(Bootstrap)来获得渐进分布的想法,进而得出相应的概率 $p$ 值,也称为 Bootstrap  $P$ 值。为了确定门槛值及个数,本文运用 Bootstrap 法重叠模拟似然比检验统计量 2000 次,估计出 Bootstrap  $P$ 值。表 1 列出了各变量的门槛检验结果。由检验结果可知,各门槛变量都在 1% 的显著性水平上通过了单门槛、双门槛、三门槛检验,表明应该用三门槛回归模型进行分析。其中,fdi、er、cp、scale、w、market 三门槛检验的 95% 置信区间分别为 $[0.016 \quad 0.020]$ 、 $[0.869 \quad 0.917]$ 、 $[0.958 \quad 0.960]$ 、 $[0.179 \quad 0.205]$ 、 $[0.829 \quad 0.848]$ 、 $[4.066 \quad 4.651]$ ,因此,选取三门槛回归模型来分析环境规制对被 R&D 转换效率影响的门槛特征及其内在规律是较为可信的。

表 1 各变量门槛检验

变量	fdi	trade-IV	market	cp	scale	w
检验结果	F	F	F	F	F	F
	P	P	P	P	P	P
单门槛	29.76***	25.47***	29.68***	32.15***	16.37***	18.18***
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
双门槛	19.35***	26.66***	20.62***	27.19***	13.95***	2.16***
	0.000	0.000	0.0005	0.000	0.0005	0.130
三门槛	43.56***	12.15***	15.34***	23.10	17.72***	5.26***
	0.000	0.0005	0.000	0.000	0.0005	0.021

注:\*\*\* 表示在 1% 的显著性水平上通过检验。

为了消除异方差的影响,本文进行了稳健标准差检验,检验结果如表 2 所示。根据门槛值依次分为四个门槛区间。可以看出,在不同的门槛条件下,环境规制对 R&D 转换效率的影响是有差异的。(1)环境规制对被 R&D 转换效率影响的外商直接投资水平门槛值分别为 0.0159、0.0665、0.4612。当外商直接投资水平低于 0.0159 时,影响系数为-0.001,且在 10% 的显著性水平上通过了检验,表明环境规制对 R&D 转换效率的影响在第一门槛区间表现出显著的负效应;外商直接投资水平介于 0.0159 与 0.0665 之间时,影响系数为 0.043,且通过 1% 的显著性检验,表明环境规制对 R&D 转换效率的影响在第二门槛区间开始显现正向溢出效应。当外商直接投资水平在 0.0665 与 0.4612 之间时,影响力度为 0.017,且影响显著。外商直接投资水平高于 0.4612 时,亦表现出显著的正向溢出效应,影响力度为 0.011。因此,随着外商直接投资水平门槛区间的变化,环境规制对 R&D 转换效率的影响有一个由负到正的“U”形影响过程。(2)环境规制对被 R&D 转换效率影响的贸易自由化水平门槛值分别为 0.1964、0.9167、1.0594。环境规制对 R&D 转换效率的影响在第一门槛区间呈负向,影响系数为-0.005,且在 1% 的显著性水平上通过了检验。而在第二、第三、第四门槛区间,环境规制对 R&D 转换效率的影响则转为正向影响,影响系数分别为 0.017、0.011、0.014,且都在 1% 的显著性水平上通过了检验。表明在贸易自由化水平门槛条件下,环境规制对 R&D 转换效率的影响有一个显著的“U”形过程。(3)环境规制对被 R&D 转换效率影响的市场化水平门槛值分别为 0.7520、0.9579、0.9798。影响系数在第一门槛区间为-0.005,在第二至第四门槛区间分别为 0.012、0.017、0.014,且都通过了 5% 或 1% 的显著性检验,表明环境规制对 R&D 转换效率的影响呈先负后正的“U”形特征。(4)环境规制对被 R&D 转换效率影响的获利能力门槛值分别为 0.0624、0.1088、0.2054。影响系数由第一至第三门槛区间的 0.013、0.020、0.036 转为第四门槛区间的-0.003,经历由正到负的过程,且都通过了 1% 的显著性检验,表明在获利能力门槛条件下,环境规制对 R&D 转换效率的影响存在倒“U”形特征。(5)环境规制对被 R&D 转换效率影响的规模化水平门槛值分别为 0.5517、0.8420、

2.6575。与获利能力门槛下的影响过程相似,都经历由正到负的转变过程,呈倒“U”形作用特征,不再赘述。(6)环境规制对 R&D 转换效率影响的工资水平门槛值分别为 4.1017、4.1451、4.7057,且影响系数都为正值,表明随着工资增长,环境规制对 R&D 转换效率具有正向溢出效应。

总之,在外商直接投资水平、贸易自由化水平、市场化水平门槛条件下,环境规制对 R&D 转换效率的影响存在“U”形过程,这与沈能(2012)的研究结论在一定程度上是类似的,即开始阶段随着环境规制水平的提高,加大了研发部门相应的生产成本,进而对 R&D 转换效率产生一定的抑制效应,不过随着环境规制水平的继续提高,生产成本上升反而对 R&D 转换效率产生“倒逼效应”,在一定程度上验证了“波特假说”。而本文的研究结论同样表明,在获利能力、规模化水平门槛条件下,环境规制对 R&D 转换效率的影响存在倒“U”形作用机制,这与李勃昕等(2013)等的研究结论具有一定类似性,即在一定门槛条件下,环境规制对 R&D 转换效率的促进也有一定度的限制,当超过一定的度时,环境规制上升对 R&D 转换效率转而产生抑制效应。不过,与以上学者不同的是,本文的研究结论揭示了环境规制对转换效率的“U”形或倒“U”形作用机制的存在有一定条件性,而在不同的门槛条件下,环境规制对 R&D 转换效率的影响也存在异质性特征。

表 2 转换效率门槛下稳健标准差门槛检验

fdi		trade-IV		market	
门槛区间	估计系数	门槛区间	估计系数	门槛区间	估计系数
$q_{it} \leq 0.0159$	-0.001* (0.079) [0.0005]	$q_{it} \leq 0.1964$	-0.005** (0.048) [0.0024]	$q_{it} \leq 0.7520$	-0.005*** (0.000) [0.0003]
$0.0159 < q_{it} \leq 0.0665$	0.043*** (0.000) [0.001]	$0.1964 < q_{it} \leq 0.9167$	0.017*** (0.000) [0.0009]	$0.7520 < q_{it} \leq 0.9579$	0.012** (0.043) [0.0004]
$0.0665 < q_{it} \leq 0.4612$	0.017*** (0.000) [0.001]	$0.9167 < q_{it} \leq 1.0594$	0.011*** (0.000) [0.0009]	$0.9579 < q_{it} \leq 0.9798$	0.017*** (0.000) [0.001]
$q_{it} > 0.4612$	0.011*** (0.000) [0.001]	$q_{it} > 1.0594$	0.014*** (0.000) [0.0010]	$q_{it} > 0.9798$	0.014*** (0.000) [0.001]
cp		scale		w	
门槛区间	估计系数	门槛区间	估计系数	门槛区间	估计系数
$q_{it} \leq 0.0624$	0.013** (0.000) [0.001]	$q_{it} \leq 0.5517$	0.002*** (0.031) [0.001]	$q_{it} \leq 4.1017$	0.0033** (0.022) [0.001]
$0.0624 < q_{it} \leq 0.1088$	0.020*** (0.000) [0.001]	$0.5517 < q_{it} \leq 0.8420$	0.001*** (0.000) [0.0005]	$4.1017 < q_{it} \leq 4.1451$	0.007*** (0.000) [0.001]
$0.1088 < q_{it} \leq 0.2054$	0.036*** (0.001) [0.001]	$0.8420 < q_{it} \leq 2.6575$	0.014*** (0.0009) [0.0004]	$4.1451 < q_{it} \leq 4.7057$	0.004*** (0.000) [0.001]
$q_{it} > 0.2054$	-0.003*** (0.0003) [0.001]	$q_{it} > 2.6575$	-0.004*** (0.000) [0.0003]	$q_{it} > 4.7057$	0.0007 (0.331) [0.001]

注：“( )”里数据表示 p 检验值,“[ ]”里数据表示稳健性标准差,\*、\*\*和\*\*\* 分别表示在 10%、5%和 1%的显著水平上拒绝原假设。表 3 同。

由于在工资水平门槛条件下,环境规制对 R&D 转换效率影响的系数符号没有差异性,因此从其他门槛条件去探析环境规制对 R&D 转换效率影响的行业特征。为了便于分析,采用均值作为与门槛值对比的指标,原因是均值能够反映行业在一定时期的总体水平。根据门槛值,将行业进行分类。

分类结果表明:(1)行业在外商直接投资水平门槛条件下集中分布在第三门槛区间。这些行业主要有 H2、H9、H6、H7、H10、H12、H13、H14、H15、H17、H18、H19、H20、H21、H22、H23、H24、H25、H26、H27、H28、H29、H30。说明大多数行业环境规制对 R&D 转换效率影响力度为 0.017 水平,且在外商直接投资水平有上升空间的情形下,继续加大环境规制力度有利于 R&D 转换效率的提升。(2)行业在贸易自由化水平门槛条件下集中分布在第一和第二门槛区间。其中位于第一门槛区间的行业有 H1、H6、H7、H8、H12、H15、H17、H19、H20、H23、H24、H33,位于第二门槛区间的行业有 H2、H5、H9、H11、H13、H14、H18、H21、H22、H25、H26、H27、H28、H29、H31。即环境规制对 R&D 转换效率的影响力度集中在-0.005 与 0.017 之间,表明行业环境规制对 R&D 转换效率影响的整体贸易自由化水平约束条件接近于“U”形曲线的“拐点”。因此,需要进一步释放贸易自由化水平条件约束,增强环境规制对 R&D 转换效率的“倒逼效应”。(3)行业在获利能力门槛条件下亦集中分布在第一和第二门槛区间。其中,位于第一门槛区间的行业有 H14、H16、H17、H20、H21、H24、H25、H30、H31、H33,位于第二门槛区间的行业有 H3、H5、H6、H9、H10、H11、H12、H13、H18、H22、H23、H26、H27、H28、H29、H32。且这些行业环境规制对 R&D 转换效率的影响显著为正,表明在获利能力没有达到一定“度”之前,环境规制对 R&D 转换效率的正向溢出效应还会持续一段时间。部分行业如 H4 和 H8 获利能力已经超过“度”的限制,继续加大环境规制带来的经营成本上升会超过研发带来的经济效益,进而对 R&D 转换效率带来一定的抑制效应。(4)行业在规模化水平门槛条件下,集中分布在第二、第三、第四门槛区间。其中,位于第二门槛区间的行业有 H10、H11、H16、H22、H23、H26、H27、H32,位于第三门槛区间的行业有 H1、H3、H4、H6、H7、H9、H13、H14、H18、H19、H20、H21、H28、H30,位于第四门槛区间的行业有 H2、H8、H17、H24、H25、H29、H31、H33。虽然环境规制对 R&D 转换效率的影响体现为倒“U”形特征,但是,行业环境规制对 R&D 转换效率的影响力度集中在 0.001 到 0.014 之间,说明总体上行业规模化水平能够激发环境规制对 R&D 转换效率的正向溢出效应。(5)行业在市场化水平门槛条件下集中分布在第一和第二门槛区间。其中,位于第一门槛区间的行业有 H1、H2、H4、H8、H17、H18、H20、H24、H25、H28、H29、H33,位于第二门槛区间的行业有 H3、H5、H6、H7、H9、H12、H14、H15、H19、H21、H23、H26、H27、H30、H31、H32。而在此区间,环境规制对 R&D 转换效率的影响力度分别为-0.005、0.012,表明行业环境规制对 R&D 转换效率影响的整体市场化水平约束条件也接近于“U”形曲线的“拐点”,需要进一步释放市场化水平带来的约束,进而提高环境规制对 R&D 转换效率的促进作用。

#### (2)环境规制对转化效率的门槛效应分析

与上文所述相同,运用 Bootstrap 法重叠模拟似然比检验统计量 2000 次。与环境规制对转换效率影响的门槛条件类似,各门槛变量都在 1% 的显著性水平上通过了单门槛、双门槛、三门槛检验,表明应该用三门槛回归模型进行分析,且检验结果表明用三门槛回归模型去分析环境规制对 R&D 转化效率的影响具有一定可信性。由于篇幅的限制,不再赘述。

如表 3 所示,环境规制对 R&D 转化效率的影响与 R&D 转换效率相比有以下几个特征:(1)环境规制对 R&D 转化效率影响的外商直接投资水平的门槛值分别为 0.2905、0.3623、0.5100,与转换效率是显著不同的,且二者影响系数经历相反的过程,其影响系数经历由正到负的倒“U”形过程。主要原因是在外商直接投资水平门槛条件下,环境规制对二者的作用机理不同:即环境规制对 R&D 转换效率的影响主要源于环境规制带来的研发成本上升,随着外商直接投资水平约束条件的释放,环境规制



对其的成本“倒逼”效应显现出来,所以呈现“U”型特征;而环境规制对 R&D 转化效率的影响主要源于环境规制带来的研发产品质量上升,虽然环境规制带来的研发产品质量上升有利于 R&D 转化效率提升,但是外商直接投资水平上升有一定程度的限制,当外商直接投资水平过高时将破坏环境规制利于 R&D 转化效率提升的作用机制,如过高的外商直接投资水平将恶化竞争环境,进而给技术成果向生产力的转化带来不利冲击。(2)环境规制对 R&D 转化效率影响的贸易自由化水平的门槛值分别为 0.0242、0.2697、0.3812,与转换效率相比,其值较低,且影响系数均为正值,并未呈现“U”形特征,说明随着贸易自由化水平的提高,环境规制对 R&D 转化效率具有正向溢出效应。与转换效率表现出不同特征的原因是,环境规制的提升促进 R&D 转化效率不是成本上升带来的“倒逼效应”,而是其促进了研发产品质量的同时,有利于其社会经济价值的实现。而行业贸易自由化进程促进了 R&D 转化效率提升的相关经济及制度环境的成熟,使得环境规制对 R&D 转化效率的促进作用进一步释放。(3)环境规制对 R&D 转化效率的市场化水平门槛效应与转换效率相比,也表现出异质性特征。其对应的市场化水平门槛值分别为 0.5712、0.7520、0.9825,与 R&D 转换效率相比是有差异的。其影响系数开始不显著到经历由负到正的“U”形过程,说明随着市场化水平的提高,环境规制达到一定的度时才开始显现促进转化效率提升的作用,也进一步说明经济条件的进一步改善有利于释放环境规制对 R&D 转换效率的正向溢出效应。这与 R&D 转换效率类似。(4)环境规制对 R&D 转化效率的获利能力门槛效应与转换效率相比并未呈现倒“U”形特征,而是在获利能力超过 0.0331 时,开始显现正的线性特征。从门槛值来看,获利能力门槛值分别为 0.0331、0.1093、0.2054,与转换效率并无明显差异。不过,二者的作用机理是不同的。当行业获利能力低于第一门槛值时,环境规制对 R&D 转化效率的门槛效应不显著,说明行业获利能力低到一定程度时,不利于释放环境规制对 R&D 转化效率的促进作用。当行业获利能力继续提升,达到一定程度时才开始不断释放环境规制对 R&D 转化效率带来的正向溢出效应。(5)与转换效率相同,环境规制对 R&D 转化效率的规模化水平门槛效应呈倒“U”形特征,说明环境规制对 R&D 转化效率的正向溢出效应有着规模化水平度的限制。不过,二者门槛值差异明显。(6)在工资化水平门槛条件下,环境规制对 R&D 转化效率的影响系数显著为正,表明随着工资上升有利于激发环境规制对技术转化的促进作用,其门槛值分别为 4.1189、4.1566、4.7099,与转换效率相比差别不大。

总之,环境规制对 R&D 转化效率的影响随着门槛条件的变化呈现差异性特征,且与转换效率相比,有一定的区别,其根源是二者的作用机理不同。从环境规制对 R&D 转化效率的非线性影响特征来看,某些门槛变量下呈“U”形,说明“波特假说”的存在有一定的条件性,而个别门槛变量下呈倒“U”形,说明环境规制即使对 R&D 转化效率有促进作用,但是也面临“度”的限制。

由于贸易自由化水平、工资水平门槛条件下,环境规制对 R&D 转化效率的影响系数符号不变,因此排除这两个变量,根据其他门槛条件对行业进行分类。分类结果表明:(1)行业在外商直接投资水平门槛条件下集中分布在第一门槛区间,主要行业有 H1、H2、H3、H4、H5、H8、H9、H12、H15、H17、H18、H19、H23、H24、H25、H27、H28、H33。在此区间,行业环境规制对 R&D 转化效率的影响力度为 0.001,说明大部分行业环境规制对 R&D 转化效率具有正向溢出效应,但是总体上要小于其对 R&D 转换效率的正向溢出效应。(2)行业在市场化水平门槛条件下,集中分布在第三门槛区间,主要行业有 H5、H6、H7、H9、H10、H12、H14、H15、H19、H21、H22、H23、H26、H27、H30、H31、H32。表明大多数行业环境规制对 R&D 转化效率的影响力度在 0.002 水平,行业环境规制对 R&D 转化效率影响的规模化水平约束条件在“U”形曲线拐点右侧,说明继续加强环境规制有利于强化对 R&D 转化效率的正向溢出效应。(3)行业在获利能力门槛条件下集中分布在第二门槛区间,主要行业有 H5、H6、H7、H9、H10、H11、H12、H13、H14、H15、H16、H18、H20、H21、H22、H23、H24、H25、H26、H27、

表3 转化效率门槛下稳健标准差门槛检验

fdi		trade-IV		market	
门槛区间	估计系数	门槛区间	估计系数	门槛区间	估计系数
$q_{it} \leq 0.2905$	0.001*** (0.000) [0.0004]	$q_{it} \leq 0.0242$	0.005*** (0.000) [0.0004]	$q_{it} \leq 0.5712$	0.0002 (0.511) [0.0006]
$0.2905 < q_{it} \leq 0.3623$	0.0004 (0.4733) [0.0005]	$0.0242 < q_{it} \leq 0.2697$	0.011*** (0.000) [0.0007]	$0.5712 < q_{it} \leq 0.7520$	-0.001** (0.013) [0.0007]
$0.3623 < q_{it} \leq 0.5100$	-0.0004 (0.5076) [0.0006]	$0.2697 < q_{it} \leq 0.3812$	0.002 (0.131) [0.000]	$0.7520 < q_{it} \leq 0.9825$	0.002*** (0.0002) [0.0004]
$q_{it} > 0.5100$	-0.001** (0.0201) [0.0006]	$q_{it} > 0.3812$	0.009*** (0.000) [0.0004]	$q_{it} > 0.9825$	0.0007* (0.072) [0.0004]
cp		scale		w	
门槛区间	估计系数	门槛区间	估计系数	门槛区间	估计系数
$q_{it} \leq 0.0331$	0.0002 (0.810) [0.0018]	$q_{it} \leq 0.9771$	0.0003 (0.5615) [0.0005]	$q_{it} \leq 4.1189$	0.010*** (0.000) [0.0013]
$0.0331 < q_{it} \leq 0.1093$	0.0009** (0.047) [0.0006]	$0.9771 < q_{it} \leq 2.5162$	0.001** (0.0147) [0.0004]	$4.1189 < q_{it} \leq 4.1566$	0.006*** (0.0008) [0.0018]
$0.1093 < q_{it} \leq 0.2054$	0.003*** (0.000) [0.0004]	$2.5162 < q_{it} \leq 17.733$	0.002** (0.0144) [0.0006]	$4.1566 < q_{it} \leq 4.7099$	0.012*** (0.000) [0.0007]
$q_{it} > 0.2054$	0.0006** (0.044) [0.0005]	$q_{it} > 17.733$	-0.0004 (0.1418) [0.0003]	$q_{it} > 4.7099$	0.005*** (0.000) [0.0012]

H28、H29、H30、H31、H32、H33。表明大多数行业环境规制对 R&D 转化效率的影响力度在 0.0009 水平,说明行业环境规制对 R&D 转化效率正向溢出效应的正向作用机制开始显现,要继续强化环境规制对 R&D 转化效率的正向溢出效应。(4)行业在规模化水平门槛条件下集中分布在第一和第二门槛区间,其中,位于第一门槛区间的行业有 H5、H9、H10、H11、H12、H13、H14、H15、H16、H22、H23、H26、H27、H28,位于第二门槛区间的行业有 H1、H3、H4、H6、H7、H18、H19、H20、H21、H29、H30、H32。行业环境规制对 R&D 转化效率的影响力度分别为 0.0003、0.001。行业环境规制对 R&D 转化效率的正向促进作用介于显著与不显著之间,说明行业规模化水平还有足够的上升空间才能达到倒“U”形曲线“拐点”。

总之,可以得到行业主要集中分布于环境规制对 R&D 转化效率具有正向影响的门槛区间的基本结论,可以看出大多数行业环境规制对提升 R&D 转化效率的作用。相比于转换效率不同门槛区间下的行业分布特点,转化效率的行业分布规律性明显,进一步说明由于环境规制对 R&D 双环节效率作用机理不同,行业分布也显现出不同的规律。

#### 四、结论及政策启示

如何实现保护环境与工业经济增长的“双赢”是学术界关注的焦点问题。本文从价值链视角探究环境规制对 R&D 双环节效率的门槛效应对于理解环境规制对研发创新的内在作用规律具有启迪意义。运用中国工业 33 个细分行业 2004—2011 年的面板数据,采用门槛回归技术,实证研究了环境规制对 R&D 双环节效率的门槛效应,发现环境规制对 R&D 双环节效率的影响,无论是门槛条件还是影响过程都具有异质性。环境规制对 R&D 转换效率的门槛效应研究结果表明:在外商直接投资与贸易自由化水平门槛条件下,环境规制对 R&D 转换效率的影响呈“U”形特征;在行业获利能力、规模化水平门槛条件下,环境规制对 R&D 转换效率的影响存在倒“U”形作用机制。而环境规制对 R&D 转化效率的门槛效应与其相比表现出一定的异质性,在外商直接投资水平、市场化水平门槛条件下,环境规制对 R&D 转化效率的影响具有倒“U”形特征;而在行业贸易自由化水平门槛条件下,具有显著的正向溢出效应。

本文的研究结论具有以下政策含义:一是要根据研发创新过程、研发创新的阶段性特点来制定环境规制政策。由于环境规制在不同约束下对研发效率的影响具有差异性,因此须要清醒认识到环境规制与研发创新关系的共同性与特殊性,有针对性地实施环境规制才能使得环境规制水平达到最优。二是要注意区分环境规制对 R&D 转换效率与 R&D 转化效率的作用机理。在行业吸纳外商直接和加大开放力度时要注意合理引导投资渠道,促进 R&D 资源到技术成果的转换。在加强环境规制的同时,促进环境成本上升带来的压力到生产积极性的转换机制的建立和完善,并且创建有利于 R&D 技术成果转化的制度条件,使环境规制带来的正向溢出效应充分释放。同时环境规制可以采取灵活的处理手段,注意利用市场手段,如碳排放交易。三是要注意行业发展的异质性特征,在“高规制、低效率”行业应注重环境规制水平的“度”,在“低规制、低效率”行业应注重提升环境规制的合理幅度,使得行业发展环境规制与研发效率齐头并进。四是要注意 R&D 转化效率低的现实,在科学实施环境规制的同时,疏通 R&D 技术成果转化渠道,尤其是培育企业技术成果转化能力,保护企业研发的积极性。

#### 注释:

①Novy(2006)认为虽然世界经济日益紧密,但是贸易成本依然是阻碍经济全球化的主要障碍。

②由于篇幅限制,本文仅说明检验结果。

③门槛变量也可以作为控制变量使用。

#### 主要参考文献:

- [1]李勃昕,韩先锋,宋文飞.环境规制强度是否影响了中国工业行业的 R&D 创新效率[J].科学学研究,2013,(7):1032—1040.
- [2]毛其淋,盛斌.贸易自由化、企业异质性与出口动态——来自中国微观企业数据的证据[J].管理世界,2013,(3):48—68.
- [3]沈能.环境效率、行业异质性与最优规制强度——中国工业行业面板数据的非线性检验[J].中国工业经济,2012,(3):56—68.
- [4]盛斌.中国工业贸易保护结构政治经济学的实证分析[J].经济学季刊,2002,(2):603—624.
- [5]吴敬琏.中国增长模式选择[M].上海:上海远东出版社,2005.
- [6]Alpay E, Buccola S, Kerkvliet J. Productivity growth and environmental regulation in Mexican and U.S. food manufacturing[J]. American Journal of Agricultural Economics, 2002, 84(4): 887—901.
- [7]Barbera A J, McConnel V D. The impact of environmental regulations on industry productivity: Direct and in-

- direct effects[J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 1990, 18(1): 50—65.
- [8] Bernard A, Jensen J. Why Some firms export? [J]. *Review of Economics and Statistics*, 2004, 86(2): 561—569.
- [9] Boyd G A, Mc Clelland J D. The impact of environmental constraints on productivity improvement in integrated paper plants[J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 1999, 38(2): 121—142.

## Heterogeneous Threshold Effect of Environmental Regulation on R & D Innovation Efficiency from the Value Chain Perspective: Analysis Based on the Panel Data of 33 Industrial Sub-sectors from 2004 to 2011

SONG Wen-fei<sup>1</sup>, LI Guo-ping<sup>1</sup>, HAN Xian-feng<sup>2</sup>

(1. School of Economics and Finance, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710061, China;

2. School of Economics and Management, Northwest University, Xi'an 710127, China)

**Abstract:** Based on the panel data of 33 industrial sub-sectors from 2004 to 2011, this paper employs threshold regression method to empirically study the threshold effect of environmental regulation on R&D dual-link efficiency. Empirical results show that the threshold effect of environmental regulation on R&D dual-link efficiency is obviously featured by heterogeneity. Under threshold conditions such as foreign direct investment, trade liberalization and marketization level, the effect of environmental regulation on R&D conversion efficiency shows a U-shape feature, namely the effect of environmental regulation on R&D conversion efficiency experiences a first negative and then positive process, confirming Porter hypothesis to a certain extent. Under threshold conditions such as industry profitability and scale level, environmental regulation has an inverted U-shape effect on R&D conversion efficiency, revealing the limited positive effect of environmental regulation on R&D conversion efficiency. The empirical results of threshold effect of environmental regulation on R&D conversion efficiency show that under threshold conditions such as foreign direct investment and marketization level, the effect of environmental regulation on R&D conversion efficiency shows an inverted U-shape feature and under threshold conditions such as trade liberalization, industry profitability and wages, the effect of environmental regulation on R&D conversion efficiency is featured by positive linearity overall.

**Key words:** R&D dual-link efficiency; threshold effect; environmental regulation

(责任编辑 周一叶)