

引用格式:李杨. 政府政策和市场竞争对欧盟国家可再生能源技术创新的影响[J]. 资源科学, 2019, 41(7): 1306-1316. [Li Y. Impact of government policy and market competition on renewable energy innovation in EU countries[J]. Resources Science, 2019, 41(7): 1306-1316.] DOI: 10.18402/resci.2019.07.11

# 政府政策和市场竞争对欧盟国家 可再生能源技术创新的影响

李 杨

(中共广州市委党校经济学教研部)

**摘 要:** 可再生能源技术创新在应对气候变化和推动能源转型中发挥着关键作用,党的十九大报告明确提出构建市场导向的绿色技术创新体系。与政府环境政策相比,市场力量是否能更有效地促进可再生能源技术创新? 本文以可再生能源技术世界领先、政府环境政策实施较早以及能源市场自由化程度较高的欧盟为研究对象,结合线性与非线性、静态与动态面板回归方法研究政府政策和市场竞争对欧盟可再生能源技术创新影响。研究发现: ①政府环境政策和市场竞争对可再生能源技术创新的影响均为正向,即两者能有效诱发可再生能源技术创新。②政府环境政策和市场竞争对可再生能源技术创新的正向影响存在显著的非线性门槛效应。随着政府环境政策强度加大,其对可再生能源技术创新的正向影响逐渐递减,即环境政策对创新的诱发作用是有限的。随着能源市场竞争程度加深,市场竞争对可再生能源技术创新的正向影响增加,即市场竞争对创新的诱发作用是有效且持续的。③通过将各成员国现状与门槛值进行比较,发现欧盟现阶段环境政策强度处于过高的门槛区间,市场竞争强度处于较为合适的门槛区间。④进一步研究更有针对性的可再生能源政策,发现不同政策对可再生能源技术创新的影响存在异质性。研究结果可为中国实现能源转型、深化电力体制改革以及建立全国可再生能源绿色证书交易机制提供政策依据。

**关键词:** 技术创新;政策;市场竞争;可再生能源;门槛效应;欧盟

DOI :10.18402/resci.2019.07.11

## 1 引言

基于气候变化与能源安全问题,发展可再生能源、实现能源转型成为现阶段各国重要的能源战略。90%以上的联合国气候变化《巴黎协定》签约国都设定了具体的可再生能源发展目标。作为国际气候治理与《巴黎协定》的积极推动者,中国提出2030年CO<sub>2</sub>排放达到峰值和非化石能源比例达到20%的政策目标,可再生能源发展较为领先的欧盟则提出可再生能源占比达35%的目标。目前可再生能源规模化发展面临的最大问题是成本高和消纳难,可再生能源技术创新可降低其利用成本,解

决部分可再生能源并网和消纳问题,提高可再生能源产业的国际竞争力,是实现可再生能源规模化发展的关键驱动力。

各国推进可再生能源技术创新通常有两种途径:一是运用政府这只“看得见的手”,制定严格的环境政策和有针对性的可再生能源政策<sup>①</sup>,矫正市场失灵,提供支持和优惠,使技术进步偏向于排放更少且可持续的可再生能源。二是运用市场这只“看不见的手”,加快能源市场自由化进程,打破垄断,降低进入壁垒,促进创新。与可再生能源发展较为领先的国家相比,目前中国环境政策强度和可

收稿日期:2018-10-12 修订日期:2019-01-16

基金项目:广州市委党校新型智库建设一般课题项目(DXZK1906C);欧盟让·莫内项目(564792-EPP-1-2015-1-CN-EPPJMO-CHAIR)。

作者简介:李杨,女,湖南岳阳人,博士,讲师,主要研究方向为气候变化与能源经济。E-mail: liyang\_gzswdx@126.com

① 与可再生能源技术创新相关的政府政策既包括广泛的环境政策,也包括具体的可再生能源政策。

2019年7月

再生能源研发补贴强度较低,上网电价机制起步较晚,绿色交易证书制度暂未实施,同时现有的电力运行机制和电力市场体制还主要基于化石能源,电力市场改革尚处于深化阶段。党的十九大会议提出“推进绿色发展,构建市场导向的绿色技术创新体系”,以市场力量促进可再生能源技术创新将是中国实现能源转型的重要措施。那么,与政府环境政策相比,市场力量是否能更加有效地促进可再生能源技术创新?随着环境政策强度和市场竞争程度增加,两者的技术创新诱发效果是否会呈现非线性特征?不同政策工具的技术创新诱发效果是否存在异质性?为了回答这些问题,本文以可再生能源技术世界领先、政府环境政策实施较早以及能源市场自由化程度较高的欧盟为研究对象,分析政府政策和市场竞争对可再生能源技术创新的影响,研究结果可为中国实现能源转型、深化电力体制改革以及建立全国可再生能源绿色证书交易机制提供理论指导和政策依据。

## 2 文献回顾

多数学者从总的技术创新角度出发,研究政府环境政策<sup>[1-4]</sup>和市场竞争<sup>[5-8]</sup>对创新的影响,即两者的创新诱发效果,但未形成统一结论。近年来部分学者以可再生能源技术创新为新的研究视角,从政府政策和市场竞争两方面分析两者对可再生能源技术创新的影响,具体作用机理可归纳如下(图1)。

### 2.1 市场竞争对可再生能源技术创新的作用机理

关于能源市场竞争对可再生能源技术创新的作用机理,可分为总的一般效应和具体的特殊效应。

(1)一般效应。即市场竞争对总的技术创新(包括可再生能源技术创新)的诱发效应。包括以下两种相反的作用效果:一是熊彼特效应<sup>[9]</sup>,也称为独占效应,即市场竞争和创新之间是反向关系,市场竞争不利于创新。因为激烈的竞争降低了创新的独占性,“搭便车”行为增加,减少了创新成功者的垄断利润,导致企业创新激励和研发投入减少,不利于创新<sup>[6,7]</sup>。只有当未来垄断利润的现值超过新产品的研发成本时才会出现创新,因此企业的垄断利润是激励企业从事未来研发的动力,需要受到保护<sup>[9]</sup>。二是逃避竞争效应,即市场竞争和创新之间是正向关系,市场竞争有利于创新。具体是指引入竞争后,潜在的新进入者对市场已进入者带来威胁,使企业创新前利润的减少大于创新后垄断利润的减少。因此企业为了逃避竞争加大创新投入,确保市场份额<sup>[8,10]</sup>。

(2)特殊效应。即市场竞争对可再生能源技术创新的诱发效应。已有文献普遍认为,市场竞争对可再生能源技术创新有正向激励的作用<sup>[11]</sup>。其原因:一是技术锁定效应。基于规模经济和学习效应,能源市场中大型化石能源企业常锁定于已具有规模报酬的传统化石能源技术<sup>[12]</sup>,导致新的技术创新通常由新进入的企业提供<sup>[13,14]</sup>。并且能源市场存在许多小型的、分散的可再生能源自用者<sup>[15]</sup>,即潜在的市场进入者。因此市场自由化有利于打破垄断,降低进入壁垒,使小型可再生能源自用者进入市场,诱发技术创新。二是分配效应。以上机制都没有考虑市场竞争对上下游企业的影响,而可再生能

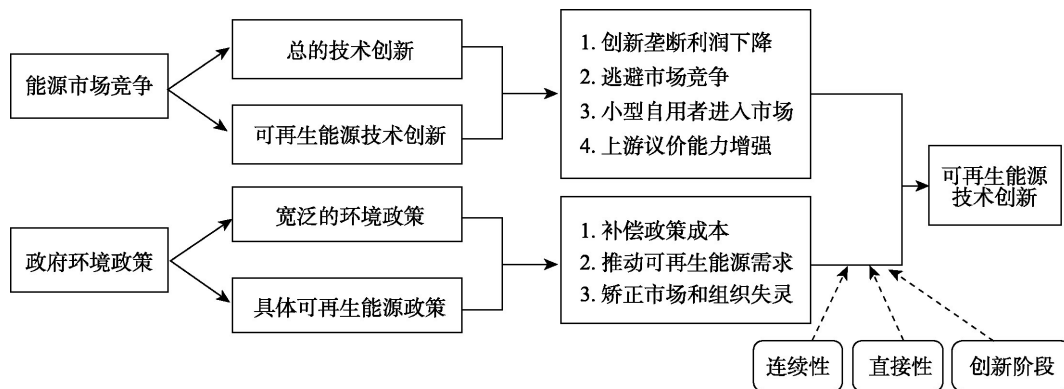


图1 政府环境政策和市场竞争影响可再生能源技术创新的作用机理

Figure 1 Mechanism of impact of government environmental policy and market competition on renewable energy technological innovation

源创新更多地是由上游设备生产商提供<sup>[16]</sup>。市场自由化使下游电力批发市场竞争增强,促使上游设备生产商的议价能力增强,有利于创新<sup>[16,17]</sup>。

## 2.2 政府环境政策对可再生能源技术创新的作用机理

政府环境政策能激励可再生能源技术创新,作用机理包括以下3点:

(1)波特假说。虽然环境政策会增加企业成本,挤出部分研发投入资金,从而阻碍技术创新<sup>[1,2]</sup>,某些情形下还会牺牲一定的经济增长<sup>[18]</sup>。然而,波特假说主张积极的环境政策,认为严格而恰当的环境政策能提高企业的环保意识,激励企业的技术创新行为,最终减缓或补偿环境政策给企业带来的环境成本<sup>[3,4,19]</sup>,通过“创新补偿”取得“先动优势”,动态地诱导技术创新,提高企业竞争力<sup>[20,21]</sup>。波特假说在逻辑上包含“弱”波特假说(分析环境政策与技术创新的关系)和“强”波特假说(分析环境政策、技术创新与企业竞争优势的关系)2个层面,本文主要考察“弱”波特假说的理论机制。

(2)需求拉动创新。气候变化使政府和企业承担了碳减排的压力<sup>[22]</sup>,严格的环境政策和优惠的可再生能源政策使传统能源需求减少,进而转向排放更少且可持续的替代能源<sup>[23,24]</sup>,有利于可再生能源技术创新。

(3)矫正市场失灵和组织失灵。环境与知识的双重外部性、不完全竞争、环境质量的信息不对称和创新过程中的不确定性等原因造成市场失灵,使可再生能源技术创新没有达到最优状态<sup>[25]</sup>;同时,企业管理层因规避风险或有限理性,倾向于具有相对成本优势的非清洁技术研发,使可再生能源技术研发不足,造成组织失灵。政府环境政策能矫正失灵,弥补市场机制不足,且合理的可再生能源政策有利于增加研发和投资高收益预期<sup>[26]</sup>,缓解企业研发成本压力,减少创新活动的不确定性,有利于可再生能源创新<sup>[27,28]</sup>;也会形成强制约束,诱发技术创新。

## 2.3 不同可再生能源政策影响的异质性

可再生能源政策工具常分为技术推动和需求拉动两种类型<sup>[29,30]</sup>。技术推动型工具以公共研发资金投入为主要形式,减少创新成本,推动技术创新。需求拉动型工具则从需求侧角度通过诱导市

场需求,提高创新收益,加快技术扩散速度,拉动技术创新。不同可再生能源政策对技术创新的诱发作用存在异质性,由多种因素共同影响。

(1)政策的连续性。由于可再生能源研发投资的预期收益具有较大的不确定性,且前期投资固定投资成本高,创新回报通常需要数年才能收到,政策能否连续影响着政策的创新诱发效果,政策的不确定性不利于诱发创新<sup>[30]</sup>。Montgomery等<sup>[31]</sup>持类似观点,提出环境政策的连续性和确定性影响政策创新诱发效果的大小,若不能让公众相信环境政策会连续,那么该政策对技术创新的诱发效果有限。

(2)政策的直接性,即政策是否直接作用于创新研发。技术推动型工具从供给侧角度在技术早期的研发阶段直接给予支持和激励,减少企业研发成本压力。而需求拉动型工具则通过拉动可再生能源需求后,再间接诱发技术创新,其诱发作用的实现受到其他条件的约束(如政策的时滞性、企业不愿意将市场盈利转换成技术研发资金等),可能削弱需求拉动型政策工具的效应<sup>[32]</sup>,使其对可再生能源技术创新的诱发效应具有一定的不确定性。

(3)产业创新阶段。产业创新阶段不同,政策工具的创新诱发效果也存在差异。相对于传统化石能源,可再生能源技术属于颠覆式创新,并且还处于产业发展初期,关键技术扩散缓慢,更容易对技术推动型政策工具作出响应<sup>[33]</sup>。

## 3 研究方法与变量说明

### 3.1 研究方法

本文实证分为3个部分:

(1)从总体上分析政府环境政策与市场竞争对可再生能源技术创新的影响。以可再生能源专利申请数量作为因变量,面板数据模型设定如下:

$$PAT_{it} = \beta_0 + \beta_1 POL_{it} + \beta_2 PMS_{it} + \beta_3 X_{it} + \mu_t + \eta_i + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

式中: $i$ 表示国家; $t$ 表示时间; $PAT_{it}$ 是可再生能源专利申请数量; $POL_{it}$ 为环境政策强度; $PMS_{it}$ 为能源市场竞争程度; $X_{it}$ 为一组其他控制变量。此外, $\mu_t$ 和 $\eta_i$ 分别表示时间和国家非观测效应; $\varepsilon_{it}$ 是随机误差项; $\beta_0 \sim \beta_3$ 为相应的系数向量。由于因变量具有计数特征,需使用计数模型进行回归,而可再生能源专利概率密度函数与正态分布差异较大,且方



2019年7月

差远大于均值,因此使用负二项模型(Nbreg)进行回归。

由于技术进步常依赖于过去知识的积累,可再生能源创新可能存在路径依赖<sup>[34,35]</sup>,即上一期可再生能源专利申请数量影响本期可再生能源专利申请数量。并且可再生能源政策与技术创新之间可能存在相互因果关系,导致政策的内生性问题<sup>[28]</sup>,使参数估计结果有偏。因此,在等式(1)的右边加入因变量的一阶滞后项( $PAT_{it-1}$ ),反映前期可再生能源技术创新积累对当期的影响,建立动态面板数据模型,使用系统GMM(sys-GMM)方法控制模型中可能出现的内生性和异方差问题。即,

$$PAT_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 PAT_{it-1} + \alpha_2 POL_{it} + \alpha_3 PMS_{it} + \alpha_4 X_{it} + \mu_i + \eta_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

式中: $\alpha_0 \sim \alpha_4$ 表示相应的系数向量;其他变量含义同公式(1)。

(2)根据前文的文献回顾,由于存在多种影响机制,政府环境政策与市场竞争对可再生能源技术创新的影响可能是非线性的。Hansen提出的面板门槛回归模型<sup>[36]</sup>是一种非线性计量经济学模型,指当门槛变量达到某一特定的值之后,解释变量对被解释变量的影响会发生数量上或方向上的变化。面板门槛模型能弥补分组回归方法分组标准任意选择以及不同样本回归系数差异的显著性问题,能较好地检验随着政府环境政策强度和市场竞争程度增加,两者对可再生能源技术创新的诱发作用是否会出现门槛效应。以政府环境政策为例,其对可再生能源技术创新影响的非线性分析,可构建单一门槛回归模型:

$$PAT_{it} = \mu_i + \beta_0 Z_{it} + \beta_1 POL_{it} I(POL_{it} \leq \gamma) + \beta_2 POL_{it} I(POL_{it} > \gamma) + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

式中:环境政策强度  $POL_{it}$  为门槛变量和核心解释变量; $Z_{it}$ 为一组除  $POL_{it}$  以外对被解释变量有显著影响的变量; $\beta_0$ 、 $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 为相应的系数向量; $\gamma$ 为特定的门槛值; $I(\cdot)$ 为一个指示性函数,相应的括号内条件成立时取值为1,条件不成立时则取值为0; $\mu_i$ 反映国家非观测个体效应; $\varepsilon_{it}$ 为随机扰动项。实际

中可能会出现多个门槛,将会对此进行验证。

(3)鉴于不同政策对可再生能源技术创新的影响可能出现异质性,进而由政府环境政策转向更具有针对性的可再生能源政策,模型设定如下:

$$PAT_{it} = \beta_0 + \beta_1 POL_{it} + \beta_2 PMS_{it} + \beta_3 X_{it} + \mu_i + \eta_t + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

式中: $POL_{it}$ 为一组可再生能源政策;其他变量含义同式(1)。

### 3.2 变量说明

鉴于数据可得性与实际政策背景,本文以可再生能源技术创新领先、可再生能源政策较为全面、面板数据完整的欧盟为研究对象,选取欧盟19个成员国<sup>②</sup>1990—2012年<sup>③</sup>的年度数据作为面板数据样本,这些国家可再生能源专利占欧盟比例约为99%。数据分别来源于欧盟统计局、OECD数据库和BP的能源统计数据。

使用可再生能源专利( $PAT$ )衡量可再生能源技术创新<sup>[10,16]</sup>,为被解释变量。由于专利申请到授权存在一定时间差,专利申请是企业对外部干预最直接的技术创新反映,为尽量减少模型中解释变量对被解释变量的滞后效应<sup>[11]</sup>,选取专利申请数量而非授权数量<sup>[17,27,28]</sup>。欧盟专利局专利授权的门槛较高,所申请的专利普遍质量较高,经济价值更为同质,能减少偏误<sup>[17]</sup>。

模型构建和解释变量选取基于已有可再生能源技术创新 IEE 三维框架<sup>[18,37]</sup>,包括创新(Innovation)、环境(Environment)和能源(Energy)系统3个方面。①创新系统。使用人均专利( $PAT_{pc}$ ,单位:项/千万人数),既反映各国研发创新水平,也可反映各国专利申请倾向,其对可再生能源技术创新有正向影响。②环境系统。一是《京都议定书》的签订( $KYOTO$ )<sup>[17,28]</sup>,使各国承担碳减排的压力,并且为未来能源结构转型提供了政策预期,设定为虚拟变量。二是政府环境政策。首先从总体上分析政府环境政策( $POL$ )对可再生能源技术创新的影响,跨国环境政策研究由于缺乏可靠的、具有可比性的量化衡量指标而受到限制,多数学者使用虚拟变量进行衡量。然而最理想的情况是使用连续变量来衡

② 包括比利时、捷克、丹麦、德国、爱尔兰、希腊、西班牙、法国、意大利、匈牙利、荷兰、奥地利、波兰、葡萄牙、斯洛文尼亚、斯洛伐克、芬兰、瑞典、英国。

③ 1990年是欧盟大多数气候行动目标的基准年,如2020年、2030年和2050年气候政策目标。

量政策强度<sup>[27]</sup>,因此有学者构建了环境政策强度指数<sup>[28]</sup>,但由于数据可得性和构建指数复杂性,考虑的环境政策不够全面。经济合作与发展组织(OECD)一直在广泛开展可再生能源和环境政策指数研究,因此本文使用OECD基于14种环境政策工具<sup>④</sup>所构建的环境政策强度指数<sup>[38]</sup>,指数值在0.00(强度最低)~6.00(强度最高)之间。再进一步研究更具有针对性的可再生能源政策,与可再生能源直接相关的政策主要包括可再生能源研发补贴(*RD*)、上网电价(*FEED*)和基于强制配额的绿色证书交易制度(*CERT*)<sup>[17]</sup>,变量的数值在0.00(强度最低)~6.00(强度最高)之间。③能源系统。一是能源市场竞争程度(*PMR*),使用OECD的Product Market Regulation指数衡量<sup>[17,28]</sup>,该指数的值在0.00(程度最高)~6.00(程度最低)之间。*PMR*数值越高,表示市场国有化程度越高、进入壁垒越高以及一体化程度越高等,亦即能源市场自由化程度越低<sup>[39-41]</sup>。二是原油实际价格(*OIL*,单位:美元/桶)<sup>[33,42]</sup>,可再生能源作为化石能源的替代品,原油价格上升会刺激可再生能源创新,使用Brent市场原油实际价格。三是电力装机容量(*CAP*,单位:GW),表示可再生能源的潜在规模,代表市场规模效应<sup>[17,33,43]</sup>。经检验模型中各变量之间相关系数较小且 $VIF$ 值均小于3,表明不存在严重多重共线性。上述指标的描述性统计结果见表1。

## 4 结果分析

### 4.1 线性回归分析

对比静态和动态面板数据回归结果可发现,各

变量的系数和显著性大致相同(见表2),说明线性回归结果的稳健性。由于内生性问题,静态面板数据回归模型中政府环境政策和能源市场竞争程度的创新诱发效应被高估<sup>[44]</sup>。控制部分内生性后,系统GMM回归结果的各政策变量系数值均减小,一阶差分的二阶序列相关接受原假设,不存在序列相关,且Sargan检验接受原假设,不存在过度识别,动态面板回归模型设置合理。

结果表明,总体上政府环境政策和市场竞争对可再生能源技术创新的影响均为正向,即两者能有效诱发可再生能源技术创新。

(1)环境政策(*POL*)系数为正,即政府环境政策对可再生能源专利的影响为正向且显著。因为合理的环境政策能激励企业更加绿色和低碳的技术创新行为,以弥补环境政策带来的成本负担;也会促使企业和消费者转向排放更少且可持续的可再生能源,实现以需求拉动创新;还可以矫正可再生能源的市场和组织失灵,缓解企业研发活动经费不足压力,诱发可再生能源技术创新。

(2)市场竞争(*PMR*)系数为负且显著,即能源市场自由化对可再生能源专利的影响为正向。因为引入竞争后,企业为规避竞争会加大创新投入,诱发可再生能源创新;同时市场自由化使小型分散的可再生能源自用者进入市场,促进新进入者可再生能源创新。也使上游设备生产商的议价能力增强,促进上游设备供应商的技术创新。

模型拟合效果较好,其他解释变量的系数与预

表1 主要变量描述统计

Table 1 Descriptive statistics of variables

变量及符号	样本数	均值	标准差	最小值	最大值	数据来源
可再生能源专利( <i>PAT</i> )	437	33.96	88.19	0.00	755.76	欧盟统计局
政府环境政策( <i>POL</i> )	437	1.78	0.88	0.35	4.13	OECD Statistics
可再生能源研发补贴( <i>RD</i> )	437	2.04	1.28	0.00	6.00	OECD Statistics
上网电价( <i>FEED</i> )	437	1.50	1.82	0.00	6.00	OECD Statistics
绿色证书交易制度( <i>CERT</i> )	437	0.50	1.37	0.00	6.00	OECD Statistics
市场竞争( <i>PMR</i> )	437	3.90	1.55	1.13	6.00	OECD Statistics
《京都议定书》签订( <i>KYOTO</i> )	437	0.70	0.46	0	1	欧盟统计局
人均专利( <i>PAT<sub>pc</sub></i> )	437	8.93	8.93	0.00	32.54	欧盟统计局
电力装机容量( <i>CAP</i> )	437	35.83	38.48	0.00	177.29	BP世界能源统计
原油实际价格( <i>OIL</i> )	437	56.05	38.18	15.55	368.91	BP世界能源统计

④ 这14种环境政策工具包括,碳税、柴油税、氮氧化物税、硫氧化物税、绿色证书交易、碳排放权交易、白色证书交易、风能上网电价、太阳能上网电价、氮氧化物排放标准、硫氧化物排放标准、颗粒物排放标准、柴油含硫量标准、可再生能源研发补贴。

2019年7月

表2 政府政策和市场竞争对可再生能源技术创新的线性影响

Table 2 Linear impacts of government policy and market competition on renewable energy technological innovation

变量	模型1(Nbreg)				模型2(FE)		模型3(sys-GMM)		
<i>L.PAT</i>	—	—	—	—	—	—	0.766*** (0.040)	0.466*** (0.050)	0.451*** (0.051)
<i>POL</i>	0.739*** (0.052)	0.662*** (0.048)	0.517*** (0.051)	0.641*** (0.068)	0.561*** (0.059)	0.482*** (0.060)	0.179** (0.072)	0.369*** (0.068)	0.343*** (0.073)
<i>PMR</i>	-0.403*** (0.042)	-0.325*** (0.045)	-0.284*** (0.053)	-0.318*** (0.040)	-0.101*** (0.039)	-0.102** (0.043)	-0.103*** (0.035)	-0.083*** (0.028)	-0.083*** (0.031)
<i>PAT<sub>pc</sub></i>	—	0.025*** (0.009)	0.030*** (0.009)	—	0.076*** (0.010)	-0.069*** (0.010)	—	0.032*** (0.005)	0.034*** (0.005)
<i>CAP</i>	—	0.012*** (0.002)	-0.008*** (0.002)	—	0.035*** (0.004)	0.032*** (0.004)	—	0.010*** (0.001)	0.010*** (0.001)
<i>OIL</i>	—	—	0.007*** (0.001)	—	—	0.004*** (0.001)	—	—	0.002 (0.001)
<i>KYOTO</i>	—	—	-0.094 (0.142)	—	—	0.036 (0.098)	—	—	-0.016 (0.084)
常数项	1.079*** (0.257)	0.248 (0.307)	0.280 (0.361)	2.194*** (0.264)	-0.448 (0.315)	-0.365 (0.325)	0.652*** (0.234)	-0.207 (0.190)	-0.180 (0.219)
obs	437	437	437	437	437	437	418	418	418
<i>R</i> <sup>2</sup> -within	—	—	—	0.676	0.760	0.773	—	—	—
Sargan	—	—	—	—	—	—	0.180	0.219	0.181
AR(1)	—	—	—	—	—	—	0.000	0.000	0.000
AR(2)	—	—	—	—	—	—	0.348	0.628	0.642

注 括号内为标准误,\*\*\*、\*\*、\*分别表示1%、5%、10%水平上显著 静态面板数据根据Hausman检验结果采用固定效应模型进行估计。

期较为一致。人均专利代表一国创新水平,人均专利越大,越有利于可再生能源技术创新。电力装机容量代表可再生能源潜在规模,对可再生能源技术创新有正向推动作用。可再生能源作为化石能源的替代品,当原油价格上升时,可再生能源创新会增加。《京都议定书》的签订对可再生能源创新的影响却不显著,可能的原因是《京都议定书》签订后,多数国家着力推动提高能效的节能创新,可再生能源创新起步较晚。3类模型逐步回归结果中解释变量的系数较为一致,结论稳健。

#### 4.2 面板门槛回归分析

面板门槛回归结果表明,政府环境政策和市场竞争对可再生能源技术创新的正向影响存在显著的非线性门槛效应。与线性回归相比,各变量系数值和显著性大致相同,估计结果较为稳健。从拟合优度来看,门槛回归模型高于线性回归模型。

(1)政府环境政策对可再生能源技术创新影响的非线性分析。经过500次重复抽样得到具体*F*值和*P*值,基于显著性水平选择双重门槛模型(表3),双重门槛值为0.730和1.350,较小的置信区间说明估计的门槛值基本准确。随着环境政策强度增加,环境政策对可再生能源技术创新的影响始终为正,

表3 政府环境政策对可再生能源技术创新的门槛模型回归结果

Table 3 Threshold model regression results of government environmental policy on renewable energy technological innovation

门槛检验	门槛变量: <i>POL</i>	
	<i>F</i> 值:23.06***	<i>P</i> 值:0.008
<i>POL</i>	1.945***( <i>POL</i> ≤ 0.730) (0.231) 1.096*** (0.730 < <i>POL</i> ≤ 1.350) (0.129) 0.691*** ( <i>POL</i> > 1.350) (0.066)	
<i>PMR</i>	-0.146*** (0.041)	
<i>PAT<sub>pc</sub></i>	0.056*** (0.010)	
<i>CAP</i>	0.026*** (0.004)	
<i>OIL</i>	0.004*** (0.001)	
<i>KYOTO</i>	0.148 (0.096)	
常数项	-0.505 (0.313)	
obs	437	
<i>R</i> <sup>2</sup> -within	0.795	

注 右边括号内为门槛区间;下边括号内为标准误,\*\*\*、\*\*、\*分别表示1%、5%、10%水平上显著。



但系数大小逐渐递减。当跨越门槛值 0.730 时,系数由 1.945 减少为 1.096;当环境政策强度跨越第二个门槛值 1.350 时,系数继续减少为 0.691,且均在统计上显著。可见,政府环境政策的创新诱发作用是有限的,随着政府环境政策强度增加,其对可再生能源技术创新的正向影响逐渐递减。因此,构建合适的政策体系、精准施策更能有效地诱发可再生能源技术创新。

(2)市场竞争对可再生能源技术创新影响的非线性分析。结果如表 4 所示,随着能源市场竞争程度增加(即随着 *PMR* 指数的减小),当跨越门槛值 4.550 时,系数由 -0.308 变为 -0.418;当 *PMR* 指数跨越第二个门槛值 2.930 时,系数变为 -0.603,且在统计上显著。可见,随着能源市场竞争程度加深,市场竞争对可再生能源技术创新的正向影响增加,表明市场竞争对可再生能源创新的诱发作用是有效且持续的;市场自由化程度越深,越能诱发可再生能源技术创新。因此,逐渐深化的电力市场改革,能有效地诱发可再生能源技术创新。

(3)门槛区间内国家数量变化。根据政府环境政策强度和能源市场竞争程度的门槛值将样本划分为不同区间,观察各门槛区间内国家数量变化(表 5)。一方面对于环境政策强度,1990 年只有 1 个国家处于高强度区间,但 2005 年以来,所有国家都处于高强度区间。由于随着政府环境政策强度增加,其对可再生能源技术创新的诱发作用逐渐减少,可以认为现阶段欧盟各成员国环境政策强度处于过高的门槛区间;另一方面对于市场竞争程度,1990 年欧盟成员国都处于中低强度区间,随后有越来越多的国家市场竞争程度增加,目前成员国都处于中高强度区间。由于市场自由化程度越深,越能

表 4 市场自由化对可再生能源技术创新的门槛模型回归结果

Table 4 Threshold model regression results of market liberalization on renewable energy technological innovation

门槛检验	门槛变量: <i>PMR</i>	
	<i>F</i> 值: 16.83**	<i>P</i> 值: 0.028
<i>POL</i>	0.480*** (0.059)	
<i>PMR</i>	-0.308*** ( <i>PMR</i> > 4.550) (0.056)	
	-0.418*** (2.930 < <i>PMR</i> ≤ 4.550) (0.076)	
	-0.603*** ( <i>PMR</i> ≤ 2.930) (0.100)	
<i>PAT<sub>pc</sub></i>	0.074*** (0.010)	
<i>CAP</i>	0.025*** (0.004)	
<i>OIL</i>	0.004*** (0.001)	
<i>KYOTO</i>	-0.003 (0.096)	
常数项	1.008** (0.410)	
obs	437	
<i>R</i> <sup>2</sup> -within	0.789	

注: 右边括号内为门槛区间; 下边括号内为标准误; \*\*、\*、\* 分别表示 1%、5%、10% 水平上显著。

诱发可再生能源技术创新, 可以认为现阶段欧盟多数成员国市场竞争程度处于合适的门槛区间。

#### 4.3 不同可再生能源政策影响的异质性分析

不同可再生能源政策对可再生能源技术创新的影响存在异质性, 可再生能源研发补贴(*RD*)和绿色证书交易制度(*CERT*)对可再生能源技术创新的影响显著为正, 而上网电价(*FEED*)对可再生能源技术创新的影响不显著(表 6)。控制部分内生性后, 系统 GMM 回归结果的各政策变量系数值均减小, 显著性降低, 不存在二阶序列相关和过度识别,

表 5 不同门槛区间内成员国数量变化统计结果

Table 5 Number of EU countries in different threshold intervals

(个)

门槛区间	1990 年	1993 年	1996 年	1999 年	2002 年	2005 年	2008 年	2011 年	2012 年
环境政策强度区间									
低 ( <i>POL</i> ≤ 0.730)	9	5	5	4	0	0	0	0	0
中 (0.730 < <i>POL</i> ≤ 1.350)	9	10	7	7	6	0	0	0	0
高 ( <i>POL</i> > 1.350)	1	4	7	8	13	19	19	19	19
市场竞争程度区间									
低 ( <i>PMR</i> > 4.550)	17	17	15	9	2	1	0	0	0
中 (2.930 < <i>PMR</i> ≤ 4.550)	2	2	3	7	10	6	7	7	7
高 ( <i>PMR</i> ≤ 2.930)	0	0	1	3	7	12	12	12	12

2019年7月

表6 不同政策对可再生能源技术创新的异质性影响

Table 6 Heterogeneous impacts of different policies on renewable energy technological innovation

变量	模型1(Nbreg)	模型2(FE)	模型3(sys-GMM)
<i>L.PAT</i>	—	—	0.542*** (0.051)
<i>RD</i>	0.144*** (0.031)	0.122*** (0.035)	0.098** (0.040)
<i>FEED</i>	0.017 (0.018)	0.021 (0.022)	0.036 (0.023)
<i>CERT</i>	0.111*** (0.022)	0.122*** (0.025)	0.045* (0.025)
<i>PMR</i>	-0.426*** (0.050)	-0.254*** (0.039)	-0.110*** (0.033)
<i>PAT_pc</i>	0.027*** (0.010)	0.064*** (0.011)	0.028*** (0.006)
<i>CAP</i>	-0.007*** (0.002)	-0.031*** (0.004)	0.009*** (0.001)
<i>OIL</i>	0.008*** (0.001)	0.005*** (0.001)	0.003** (0.001)
<i>KYOTO</i>	-0.169 (0.151)	-0.071 (0.103)	-0.052 (0.089)
常数项	1.183*** (0.342)	0.741** (0.307)	0.431** (0.216)
obs	437	437	418
<i>R</i> <sup>2</sup> -within	—	0.758	—
Sargan	—	—	0.465
AR(1)	—	—	0.000
AR(2)	—	—	0.475

注: 括号内为标准误; \*\*、\*、\*分别表示1%、5%、10%水平上显著, 静态面板数据根据 Hausman 检验结果采用固定效应模型进行估计。

动态面板回归模型设置较为合理。

(1) 技术推动型政策工具——可再生能源研发补贴(*RD*)对可再生能源技术创新的影响为正, 且至少在5%水平下显著。从可再生能源产业发展阶段角度分析, 可再生能源技术属于颠覆式创新, 且处于产业发展初期, 关键技术扩散缓慢, 更容易对技术推动型政策工具作出响应。从政策的直接性角度分析, 研发补贴政策从供给侧角度在技术早期的研发阶段直接给予支持和激励, 减少企业研发成本压力, 而不是通过拉动需求间接促进创新, 没有政策时滞, 或企业不愿意将市场盈利转换成技术研发资金等问题, 因此对技术创新的诱发效应较为显著。

(2) 需求拉动型政策工具对可再生能源技术创新的影响为正, 其中绿色证书交易制度(*CERT*)至少

在10%水平显著, 而上网电价(*FEED*)政策的诱发作用在统计上不显著。虽然两者都是需求拉动型政策工具, 上网电价(*FEED*)政策与绿色证书交易制度(*CERT*)的连续性存在显著差异, 可影响政策对创新的诱发效果。可再生能源研发投资的预期收益具有较大不确定性, 且前期投资中固定投资成本高, 创新回报通常需要数年才能收回, 若不能让公众相信政策会连续, 那么该政策对技术创新的诱发效果有限。欧债危机后, 政府补贴政策常因其经济代价而备受争议, 陷于财政困境的欧盟正逐步放开固定上网电价, 减少可再生能源电价附加补贴资金支持。因此上网电价政策是否连续具有不确定性, 对可再生能源创新的诱发作用在统计上不显著。相反, 基于可再生能源强制配额的绿色证书交易制度逐渐被更多的国家所接受, 该政策基于市场机制、能以最低成本达到规定的可再生能源比例, 有效地完成定量的可再生能源政策目标, 并且没有增加政府财政负担, 将被广泛使用。因此, 现阶段绿色证书交易制度不确定性较小, 能在一定程度上促进技术创新, 这为中国正在推行的、由自愿认购向强制约束交易过渡的绿色证书交易制度提供了政策依据。

## 5 结论与政策建议

### 5.1 结论

本文基于欧盟可再生能源专利跨国面板数据, 结合线性与非线性、静态与动态面板回归方法检验政府环境政策和能源市场竞争对可再生能源技术创新的影响, 得出以下结论:

(1) 政府环境政策与市场竞争对可再生能源技术创新具有显著的正向影响, 且该结论较为稳健。

(2) 政府环境政策与市场竞争对可再生能源技术创新的正向影响存在非线性特征。环境政策的创新诱发作用是有限的, 随着政府环境政策强度增加, 其对可再生能源技术创新的正向影响逐渐递减。市场竞争对诱发可再生能源技术创新是有效且持续的, 市场自由化程度越深, 越能诱发可再生能源技术创新。

(3) 通过比较各国现状与门槛值, 发现绝大多数国家已经跨越门槛值, 即现阶段环境政策强度处于过高的门槛区间, 而市场竞争强度处于较为合适



的门槛区间。

(4)不同的可再生能源政策对可再生能源技术创新的影响存在异质性。与上网电价相比,可再生能源研发补贴和绿色证书交易制更加有效。

## 5.2 政策建议

2019年1月1日起,中国正式进行可再生能源配额考核,继续加大可再生能源技术创新力度是关键。借鉴欧盟实证结果,本文提出两点建议:

(1)用好“看得见的手”,合理构建政策工具体系,精准施策。一是强化技术推动型政策工具,加大对关键技术研发初期的支持,增加可再生能源研发补贴投入开展核心技术攻关。二是随着可再生能源技术和产业逐渐成熟,有效发挥需求拉动型政策工具的作用,推动更加竞争和透明的绿色证书交易制度。三是有序地减少和退出对太阳能、风能、生物能等各种类型可再生能源的上网电价补贴。

(2)放开“看不见的手”,进一步推动能源市场自由化。一是供给侧角度,通过加强可再生能源输送基础设施建设,促进可再生能源上网和消纳。现国内电网主要是根据化石能源的特征而设计的,需要更加智能和灵活的电网来整合可变的、不确定的、分散的和小型的可再生能源电力来源,最终实现全国各省市地区的电力互联和可再生能源跨区域输送和消纳,在更大范围内优化可再生能源的利用以满足可再生能源占比不断增长的需求。二是需求侧角度,建立以消费者为中心的能源市场。使消费者更清楚地了解能源账单,包括能源的价格与排放;给予消费者更多选择电力和燃气供应商的自由权;使消费者能自己生产和销售电力。这样既有利于消费者更为积极主动地选择更加绿色和可持续的可再生能源,也有利于将竞争引入能源市场。

## 参考文献(References):

- [1] Gray W B. The cost of regulation: OSHA, EPA and the productivity slowdown[J]. *American Economic Review*, 1987, 77(5): 998-1006.
- [2] Palmer K, Oates W E, Portney P R. Tightening environmental standards: The benefit-cost or the no-cost paradigm[J]. *Journal of Economic Perspectives*, 1995, 9(4): 119-132.
- [3] Lanjouw J O, Mody A. Stimulating innovation and the international diffusion of environmentally responsive technology[J]. *Research Policy*, 1996, 25(4): 549-571.
- [4] 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.
- [5] Schumpeter J A. *Capitalism, Socialism and Democracy*[M]. New York: Harper & Row Publishers, 1942.
- [6] Sanyal P. The effect of deregulation on environmental research by electric utilities[J]. *Journal of Regulatory Economics*, 2007, 31(3): 335-353.
- [7] Sterlacchini A. Energy R&D in private and state-owned utilities: Analysis of the major world electric companies[J]. *Energy Policy*, 2012, 41: 494-506.
- [8] Aghion P, Harris C, Howitt P, et al. Competition, imitation and growth with step-by-step innovation[J]. *Review of Economic Studies*, 2001, 68(3): 467-492.
- [9] Grossman G M, Helpman E. Endogenous product cycles[J]. *The Economic Journal*, 1991, 101(408): 1214-1229.
- [10] Aghion P, Bloom N, Blundell R, et al. Competition and innovation: An inverted U relationship[J]. *Quarterly Journal of Economics*, 2005, 120(2): 701-728.
- [11] Jamasb T, Pollitt M G. Electricity sector liberalisation and innovation: An analysis of the UK's patenting activities[J]. *Research Policy*, 2011, 40(2): 309-324.
- [12] Unruh G C. Understanding carbon lock-in[J]. *Energy Policy*, 2000, 28(12): 817-830.
- [13] Winter S G. Schumpeterian competition in alternative technological regimes[J]. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 1984, 5(3-4): 287-320.
- [14] Klepper S. Entry, exit, growth, and innovation over the product life cycle[J]. *American Economic Review*, 1996, 86(3): 562-583.
- [15] Jacobsson S, Bergek A. Transforming the energy sector: The evolution of technological systems in renewable energy technology[J]. *Industrial and Corporate Change*, 2004, 13(5): 815-849.
- [16] Sanyal P, Ghosh S. Product market competition and upstream innovation: Evidence from the U.S. electricity market deregulation[J]. *Review of Economics and Statistics*, 2013, 95(1): 237-254.
- [17] Nicolli F, Vona F. Heterogeneous policies, heterogeneous technologies: The case of renewable energy[J]. *Energy Economics*, 2016, 56(35): 190-204.
- [18] 程时雄, 柳剑平. 中国节能政策的经济增长效应与最优节能路径选择[J]. *资源科学*, 2014, 36(12): 2549-2559. [Cheng S X, Liu J P. Growth effects and optimal path for China's energy-saving policy with energy constraints[J]. *Resources Science*, 2014, 36(12): 2549-2559.]
- [19] 张成, 陆旸, 郭路, 等. 环境规制强度和生产技术进步[J]. *经济研究*, 2011, (2): 113-124. [Zhang C, Lu Y, Guo L, et al. The intensity of environmental regulation and technological progress of pro-

2019年7月

- duction[J]. *Economic Research Journal*, 2011, (2): 113-124.]
- [20] Porter M E. America's green strategy[J]. *Scientific American*, 1991, DOI: 10.1038/scientificamerican0491-168.
- [21] Porter M E, Claas V D L. Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship[J]. *The Journal of Economic Perspectives*, 1995, 9(4): 97-118.
- [22] 兰雪婷. 我国碳减排交易制度初探[D]. 杭州: 浙江大学, 2012. [Lan X T. Preliminary Study of China's Carbon Emissions Trade System[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2012.]
- [23] 毕清华, 范英, 蔡圣华, 等. 基于CDECGE模型的中国能源需求情景分析[J]. *中国人口·资源与环境*, 2013, 23(1): 41-48. [Bi Q H, Fan Y, Cai S H, et al. Analysis of China's primary energy demand scenarios based on the CDECGE model[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2013, 23(1): 41-48.]
- [24] 毕超. 中国能源CO<sub>2</sub>排放峰值方案及政策建议[J]. *中国人口·资源与环境*, 2015, 25(5): 20-27. [Bi C. Scheme and policies for peaking energy carbon emissions in China[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2015, 25(5): 20-27.]
- [25] Popp D. Innovation and climate policy[J]. *Annual Review of Resource Economics*, 2010, 2: 275-298.
- [26] Popp D, Newell R G, Jaffe A B. Chapter 21-Energy, the Environment, and Technological Change[A]. Hall B H, Rosenberg N. *Handbook of the Economics of Innovation*[C]. Amsterdam: North-Holland Publishing Co., 2010.
- [27] Johnstone N, Haščić I, Popp D. Renewable energy policies and technological innovation: Evidence based on patent counts[J]. *Environmental and Resource Economics*, 2010, 45(1): 133-155.
- [28] Nesta L, Vona F, Nicolli F. Environmental policies, competition and innovation in renewable energy[J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2014, 67(3): 396-411.
- [29] Dosi G. Technological paradigms and technological trajectories: A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change[J]. *Research Policy*, 1982, 11(3): 147-162.
- [30] Nemet G F. Demand-pull, technology-push, and government-led incentives for non-incremental technical change[J]. *Research Policy*, 2009, 38(5): 700-709.
- [31] Montgomery D W, Smith A E. Price, Quantity and Technology Strategies for Climate Change Policy[A]. Schlessinger M E. *Human-Induced Climate Change: An Interdisciplinary Assessment* [C]. New York: Cambridge University Press, 2007.
- [32] 苏竣, 张芳. 政策组合和清洁能源创新模式: 基于光伏产业的跨国比较研究[J]. *国际经济评论*, 2015, (5): 132-142. [Su J, Zhang F. Policy mix and renewable energy innovation mode: A cross-national comparative analysis of the PV industry[J]. *International Economic Review*, 2015, (5): 132-142.]
- [33] Peters M, Schneider M, Griesshaber T, et al. The impact of technology-push and demand-pull policies on technical change: Does the locus of policies matter?[J]. *Research Policy*, 2012, 41(8): 1296-1308.
- [34] Popp D. Induced innovation and energy prices[J]. *American Economic Review*, 2002, 92(1): 160-180.
- [35] Aghion P, Dechezleprêtre A, Hemous D, et al. Carbon taxes, path dependency and directed technical change: Evidence from the auto industry[J]. *Journal of Political Economy*, 2016, 124(1): 1-51.
- [36] Hansen B E. Threshold effects in non-dynamic panels: Estimation, testing, and inference[J]. *Journal of Econometrics*, 1999, 93(2): 345-368.
- [37] 李凡, 李娜, 许昕. 基于政策工具的可再生能源技术创新能力影响因素研究[J]. *科学学与科学技术管理*, 2016, 37(10): 3-13. [Li F, Li N, Xu X. Renewable energy technology innovation capabilities research based on policy instruments aspect[J]. *Science of Science and Management of S.&T.*, 2016, 37(10): 3-13.]
- [38] Botta E, Koźluk T. Measuring Environmental Policy Stringency in OECD Countries: A Composite Index Approach[R]. Paris: OECD Economics Department Working Papers No. 1177, 2014.
- [39] Conway P, Janod V, Nicoletti G. Product Market Regulation in OECD Countries: 1998 to 2003[R]. Paris: OECD Economics Department Working Papers No. 419, 2005.
- [40] Conway P, Nicoletti G. Product Market Regulation in the Non-Manufacturing Sectors of OECD Countries: Measurement and Highlights[R]. OECD Economics Department Working Papers No. 530, 2006.
- [41] Nicoletti G, Pryor F L. Subjective and objective measures of governmental regulations in OECD nations[J]. *Journal of Economic Behavior and Organization*, 2006, 59(3): 433-449.
- [42] 邵庆龙, 饶蕾. 可再生能源创新的影响因素分析: 基于OECD国家的实证检验[J]. *软科学*, 2016, 30(1): 71-75. [Shao Q L, Rao L. Impact factors of renewable energy innovation: Empirical evidences from OECD countries[J]. *Soft Science*, 2016, 30(1): 71-75.]
- [43] 王兰体, 蔡国田, 赵黛青. 基于专利视角的中国可再生能源技术创新分析[J]. *科技管理研究*, 2015, (20): 161-165. [Wang L T, Cai G T, Zhao D Q. Analysis of China's renewable energy technology innovation based on patents[J]. *Science and Technology Management Research*, 2015, (20): 161-165.]
- [44] 王班班, 齐绍洲. 市场型和命令型政策工具的节能减排技术创新效应: 基于中国工业行业专利数据的实证[J]. *中国工业经济*, 2016, (6): 91-108. [Wang B B, Qi S Z. The effect of market-oriented and command-and-control policy tools on emissions reduction innovation: An empirical analysis based on China's industrial patents data[J]. *China Industrial Economics*, 2016, (6): 91-108.]

## Impact of government policy and market competition on renewable energy innovation in EU countries

LI Yang

(Department of Economics, Party School of Guangzhou Municipal Committee of the Communist Party of China,  
Guangzhou 510070, China)

**Abstract:** Renewable energy technological innovation plays a key role in coping with climate change and promoting energy transformation. The report of the 19th National Congress of China proposes to build a market-oriented green technology innovation system. To examine whether market force can promote renewable energy technological innovation more effectively than government policy, we made an empirical analysis by linear and nonlinear, static and dynamic panel empirical methods based on transnational panel data of the European Union, which is the world leader in renewable energy technology, environmental policy implementation, and energy market liberation. The results show that: (1) On the whole, both government environmental policy and market competition have a positive impact on renewable energy patents, that is, they have significant inducing effects on renewable energy technological innovation. (2) Both government environmental policy and market competition have significant non-linear threshold effect on renewable energy patents. With the increasing intensity of the government's environmental policy, its positive impact on renewable energy technological innovation gradually decreases, that is, the inducing effect of policy is limited. With the deepening of energy market competition, the positive impact of market competition on renewable energy technological innovation increases, that is, market competition is effective and continuous in inducing renewable energy technological innovation. (3) By comparing the current situation and threshold values, we found that the majority of countries have crossed the threshold. That is, environmental policy intensity is too high, but market competition is in the appropriate threshold regime. (4) By examining renewable energy policy, we found that the impacts of different renewable energy policies on renewable energy technological innovation are heterogeneous. The results can provide some policy basis for China to achieve energy transformation, deepen the reform of electric power system, and establish a unified green certificate trading system of renewable energy.

**Key words:** technological innovation; policy; market competition; renewable energy; threshold effect; European Union