

doi:10.3969/j.issn.1000-7695.2015.20.030

基于专利视角的中国可再生能源技术创新分析

王兰体^{1,2}, 蔡国田¹, 赵黛青¹

(1. 中国科学院广州能源研究所能源战略研究中//
可再生能源重点实验室, 广东广州 510640;
2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 以专利为视角分析中国在1985—2011年可再生能源技术创新的特点, 以定性和定量相结合分析其影响因素与作用机制。结论如下: 第一, 专利具有明显的阶段性、地域性、不同能源发展成熟度不同的特点, 总体水平偏低; 第二, 国家偏重于技术的推广与示范, 基础研究投入比重偏低; 第三, GDP和电价附加促进专利总数增长, 电价补贴和装机容量对专利总数影响甚小。基于以上分析, 提出进一步完善专利制度和电价补贴制度、增加科研投入等建议。

关键词: 技术创新; 专利; 面板负二项回归; 可再生能源

中图分类号: G306

文献标志码: A

文章编号: 1000-7695(2015)20-0161-05

Analysis of China's Renewable Energy Technology Innovation Based on Patents

WANG Lanti^{1,2}, CAI Guotian^{1,2}, ZHAO Daiqing^{1,2}

(1. Energy Strategy Research Center, Guangzhou Institute of Energy Conversion//
Renewable Energy Laboratory of Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China;
2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: This paper uses patents as a perspective to analyze the characteristics of renewable energy technology innovation in China during 1985–2011. The qualitative and quantitative methods are used to analyze the factors and mechanism of those characteristics. Conclusions are as follows: First, the patents appear to be obvious layered, regional orientation, different maturity of different energies and low-quality. Second, China emphasizes more on technology extension and demonstration rather than the basic research. Third, GDP and additional tariff promote the growth of patents, but subsidy and capacity of renewable energy have little impact on patents. Based on the analysis above, this paper proposes to further refine the patent system and the electricity subsidy system and to increase investment in scientific research.

Key words: technology innovation; patents; panel negative binomial regression; renewable energy

1 问题提出

近年来, 中国可再生能源产业发展迅猛, 主要体现在: (1) 市场规模迅速扩大, 风电在2012年的累计装机容量占全球26.7%, 位居世界第一; (2) 市场投资明显增加, 2012年中国的市场投资占全球38.2%, 成为可再生能源领域的最大投资国^[1]; (3) 制造业蓬勃发展, 截至2011年中国已连续5年成为全球光伏电池系统的第一大生产国^[2]。

然而, 中国可再生能源的技术创新能力相对薄弱。以光伏电池为例, 中国商业化晶体硅电池技术达到世界先进水平, 而在其他光伏电池技术方面仍然落后, 高效晶体硅电池技术空白; 商业化非晶硅薄膜电池效率为8%, 低于国际先进水平; 碲化镉

薄膜电池、铜铟镓硒薄膜电池、非晶硅/微晶硅叠层电池等国际已经商业化的太阳电池技术, 在中国没有商业化生产线^[3]。

因此, 产业高速发展不代表技术创新能力强大。那么, 中国的可再生能源技术创新有何特点? 有哪些影响因素以及如何影响? 本文从专利视角, 以定性和定量相结合的方法探索以上问题。专利作为评价技术创新的标准, 有以下优点: (1) 每项专利有详细的国际专利分类(IPC), 国家专利局(SIPO)统计1985年以来的专利信息, 数据来源充足可靠; (2) 专利有时效性, 其应用代表了技术的更新; (3) 专利的涵盖面广, 几乎所有的技术是先有专利再投入使用。

本文涉及到与可再生能源有关的IPC是F03D、

F03G6、F24J2、H02N6、E04D13/18、F03G4、F24J3、F03G7/04、E02B 9/08、F03B13/10 - 26、F03G7/05、C10L1/02、C10L5/40、C12P7、F02B43/08。本文选择的专利截止年份是2011年，这是因为发明专利的审核周期一般为2~3年，2011年后的专利有些仍在审核，数据不可信。另外，定量分析中的其他变量是当期值，为确保数据的准确性，本文采用专利申请数。本文图1主图3的数据来源于SIPO的专利检索与服务系统，图5和图6的数据来源于《中国科技统计年鉴》，数据出处在此说明，图中不再标出。

2 中国可再生能源技术创新的特点

2.1 总数增长分阶段

1985—2011年我国可再生能源专利数的曲线呈指数上升趋势（如图1）。专利数量从1985年的69件增加到2011年的6216件，增长了89倍，年均增长率为18.9%，最大增长率出现在2007—2008年间，达54.7%；同时，曲线呈现明显的阶段性，1985—1995年间技术无实质性的突破，为起步期；1996—2005年有抬头趋势，为缓慢期；2006—2010年迅速发展，为快速期。我们应注意到，曲线在2011年不增反减，减幅为1.2%。

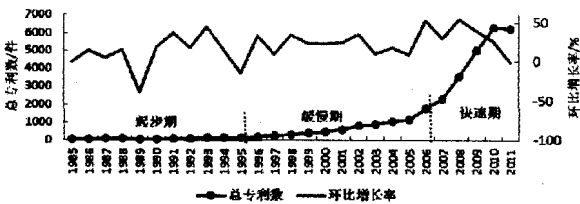


图1 中国可再生能源专利数及增长率

2.2 分能源走势各异

不同的可再生能源，专利数量各异（如图2）。太阳能与可再生能源专利总数的走势基本一致，数量从1985年的36件增加到2011年的3819件，增长了105倍，年均增长率为19.6%；同时，太阳能的专利数始终多于其他可再生能源，具有起步早、发展快的特点。2011年专利数减少，减幅为6.6%，导致可再生能源专利总数下降。这是因为2011年中国太阳能产业遭遇欧美“双反”与产能过剩，大批企业面临倒闭和重整，造成技术损失。未来中国太阳能热利用的研发重点是高温太阳能集热器、综合梯级利用等^[4]，光伏发电的研发重点是最大功率点跟踪技术、大规模并网技术、并网逆变器及控制方面^[5]。

风能的专利数仅次于太阳能，数量从1985年的19件增加到2011年的1824件，增长了95倍，年均增长率为19.2%。风力发电是风能利用的主要形式，已商业化开发，未来技术发展趋势是直驱式、全功率变流技术，智能变桨、中速双馈、深海漂浮式风电机组技术等^[6]。

生物质能在2007年后有抬头趋势，但仍处于平缓期，开发方式有沼气、秸秆热裂解制气、秸秆固化成型、燃料乙醇和生物柴油五大领域。沼气技术成熟且已大面积推广，生物质气化开始进入应用阶段，热转换技术中的生物质制油等液化技术仍处于试验阶段^[7]。沼气主要应用于农村，技术创新空间较小；而燃料乙醇和生物柴油是中国石油替代能源战略中的重要内容之一，有很大的创新空间。

海洋能和地热能仍处于起步阶段，两条曲线基本重合，其专利数落后于太阳能约15年，落后于风能约7年。海洋能的利用形式中，潮汐能发电技术最为成熟，波浪能和潮流能还处于技术攻关阶段，温差能处于原理试验阶段^[8]。中国地热能以建筑供暖的形式为主，利用量居世界第一，但利用技术水平不高，未来的技术突破方向主要是研发高效率中低温地热发电系统和热电联供技术，实现梯级利用^[9]。

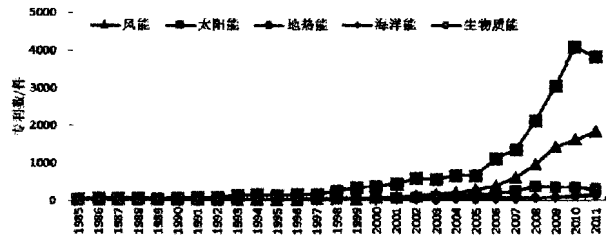


图2 中国分能源类型的专利数

2.3 各地区差异明显

分地区的可再生能源专利数量中，江苏最多，其次是山东和北京（如图3）。江苏和山东是中国太阳能光伏系统生产的两大省份，也是风能和生物质能开发较多的省份；辽宁、内蒙古和河北是风力发电的强省（区）。中国可再生能源的专利数主要集中在经济发达的东南沿海地区，太阳能、风能和生物质能开发情况好的东北和华东地区，以及科研创新优势较强的北京和上海。说明可再生能源的技术分布具有地域性，与地区的经济发展程度、资源开发情况和科研实力有关。

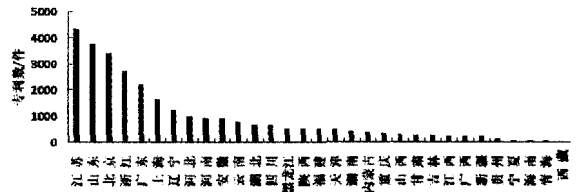


图3 中国分地区可再生能源专利数

2.4 发明专利比重低

1985—2011年，发明专利数量从42件增加到979件，增长了22倍，年均增长率是12.9%；实用新型专利数量从27件增加到5237件，增长了193倍，年均增长率是22.5%。实用新型专利增长速率明显快于发明专利，发明专利率仅为24.6%，低于

中国总体专利的平均发明专利率 35.3%，可再生能源专利质量有待提高。

3 技术创新的影响因素及作用机制

3.1 影响因素

总体而言，中国可再生能源专利具有明显的阶段差异性、地区差异性、不同能源发展成熟度的差异性等特点，总体水平偏低。这些特点是由多种因素共同作用导致的。

技术创新是从研发到市场的整个过程，影响因素主要有 3 个部分^[10]：技术创新的投入、产出和环境支持，投入是产出的内部因素，环境支持是外部因素。衡量技术创新产出的指标有专利、论文和新产品，本文选择专利。选择衡量技术创新投入的指标有政府 R&D 经费、R&D 课题数与投入人员、专利制度等。衡量技术创新环境支持的指标有技术国际化合作程度、国内市场产业竞争情况、经济规模、保护性政策等，鉴于可行与客观的原则，本文选择 GDP、电价附加、电价补贴和装机容量 4 个指标，其中 GDP 衡量经济规模，电价附加和补贴是中国政府出台的保护可再生能源产业的政策。

2006 年后我国专利快速增长，所以研究短期的影响因素与作用机制是有必要的。各影响因素的综合分析如图 4 所示。

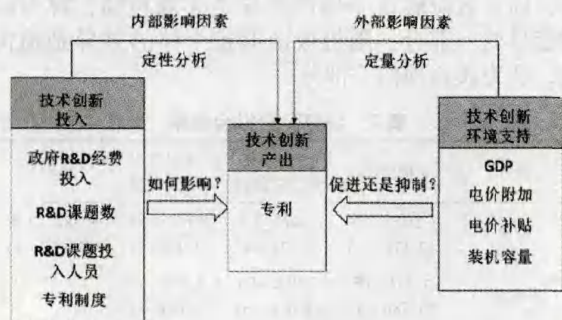


图 4 中国可再生能源技术创新影响因素

3.2 创新投入的影响机制

3.2.1 R&D 课题情况

由于可再生能源的统计信息不完善，本文假设可再生能源与能源科技学科的 R&D 课题情况有强相关性。图 5 描述了我国高等院校和研发机构在能源科技学科的 R&D 课题情况。能源科技学科的课题投入人员的年均增长率为 15%，每千名参与课题的人员中，能源科技的投入人员从每年 5 人增加到 8 人；能源科技学科的 R&D 课题数的年均增长率为 20.3%，每千项 R&D 课题中，关于能源科技的课题由每年 4.79 项增加到 7.3 项。一方面，以 2011 年为例，能源科技学科的人均承担课题数为 1.06 项，人力资本潜力大，可以承担更多的课题；另一方面，R&D 课题数的增长率快于参与人员，说明能源科技学科的发展潜力大。

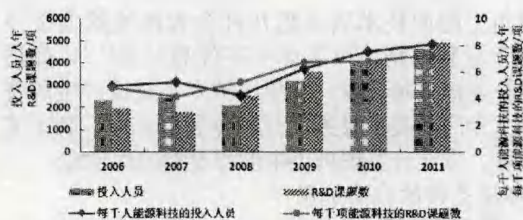


图 5 中国能源科技学科的 R&D 课题情况

3.2.2 研究经费投入

国家主体性计划分为 973 计划、863 计划和国家科技支撑计划。973 计划旨在解决基础技术问题，863 计划和国家科技支撑计划旨在解决技术集成和产业化示范问题。可再生能源的资金投入方面，973 计划最少，863 计划最多（如图 6），说明中国政府偏重于可再生能源技术的推广和示范，基础研究投入比重偏低；863 计划和支撑计划的投入资金在 2011 年明显下降，这是因为 2011 年是“十二五”的起始年，各类科技计划尚未部署，落实资金少。

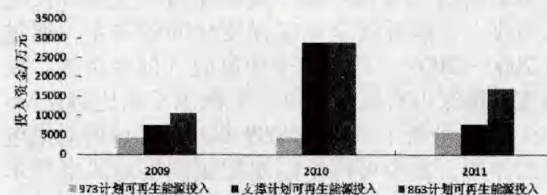


图 6 中国科技领域三大计划对可再生能源投入情况

“十一五”期间，我国科技领域三大计划对可再生能源的研发项目中，863 计划有两大主题：MW 级并网光伏电站系统和太阳能热发电技术及系统示范；科技支撑计划有大功率风电机组研制与示范、可再生能源与建筑集成技术研究与示范、3 MW 海上风电设备开发、生物质液体燃料产业化关键技术研究等，其中前两项是重大项目；973 计划重点支持大规模发展风能、生物质能等基础研究，新型高效、低成本光伏电池，规模化太阳能热发电等。

可以看出“十一五”期间，三大计划重点支持光伏发电、大型风电机组研制、可再生能源与建筑集成技术，这是太阳能和风能的专利数在 2006 年后快速增长，而生物质、海洋能和地热能的专利数量增长缓慢的重要原因。

3.2.3 专利制度

中国的《专利法》于 1985 年实施，至 2011 年经过 3 次修订，经历了从政策定向（经济改革所需要的激励制度）向司法导向的演进，也是从粗线条向精确化方向发展^[11]。1992 年和 2000 年的修订主要为我国加入 WTO 做准备，2008 年的修订版与 2000 年相比，有 4 点改进^[12]：扩大保护范围、强化执法力度、完善对侵权行为的赔偿规定、诉前临时措施与诉前证据保全之规定。中国专利制度逐步完善，保障专利权人的利益，是促进可再生能源专利总数逐年增加的不可或缺的因素。

可再生能源技术属于惠及社会和民生的低碳技术，对于专利申请，可考虑一些优惠政策^[13]，如适当予以快速审查和授权、减免维护专利权而产生的费用、建立专门的技术服务平台和专利信息库、制定奖励措施等，以充分发挥可再生能源专利的优越性。

3.3 环境支持的影响机制

3.3.1 被解释变量

专利数据作为一种系统、丰富、便利的信息来源，常用于作为知识的计量工具，与经济学、统计学、数学等领域知识结合^[14-15]。对于以专利数为衡量标准，分析可再生能源技术发展的影响因素，国外学者们做了相关研究。Nick 等^[16]对 25 个国家在 1978—2003 年的专利数进行建模，考虑了电价、耗电增长率、R&D 投入、强制上网电价和税收优惠等因素的影响，发现公共政策对可再生能源新技术创新有显著作用；Patrick 等^[17]研究了 74 个国家在 1990—2009 年间可再生能源技术创新的经济和政策因素，发现高油价和可再生能源装机容量能显著地促进技术创新；Patrick 等^[18]研究了可再生能源发电技术与收入、能源安全和气候变化间的关系，通过分析 2007—2009 年的 107 个中高收入的经济体，发现高收入国家占有更多的可再生能源发电比例；Nathaniel 等^[19]分析了 1974—2009 年间美国政府对风电发展的作用，发现可再生能源配额制度对风电技术进步有促进作用，而税收激励机制未如预期的有效。

本文选择中国 31 个省（区、市）（不包括港、澳、台）在 2006—2011 年的专利总数，作为模型的被解释变量，所以本模型只解释了专利总量增长的影响机制，未涉及到专利的结构变化和地区差异等。

3.3.2 解释变量

依据中国的发展情况，选择以下解释变量：各地区的 GDP、电价附加、电价补贴和装机容量。

专利数与地区经济发展正相关（如图 3），所以 GDP 对专利数有影响。电价补贴制度于 2006 年实施，补贴力度和范围逐步加大。2006 年国家发放补贴 2.6 亿元，补贴的装机容量为 1 715 MW；而仅在 2010 年 10—2011 年 4 月，发放补贴达 113.4 亿元，补贴的装机容量达 73 292 MW。电价附加于 2006 年出台，属于费用分摊制度，暂定收取 10—3 元/kWh，2008 年 6 月调至 2×10^{-3} 元/kWh，2009 年 11 月调至 4×10^{-3} 元/kWh，2011 年 11 月调至 8×10^{-3} 元/kWh。所有变量的基本描述情况如表 1 所示。

表 1 2006—2011 年研究变量情况

变量	代称	单位	观测数	平均值	标准差	最小值	最大值
专利数	IPC	份	186	123.747 3	178.130 3	1	953
GDP	GDP	百亿元	186	114.634 7	100.750 7	2.907 6	532.102 8
补贴额	BTE	百万元	186	251.747 3	639.801 4	0	5 881.301
装机容量	ZJRL	MW	186	1 513.627 3	826.516	0	35 217.3
电价附加	DLFJ	10 ⁻³ 元/kWh	186	1.935 5	1.547 8	0	4

可再生能源的政策由中央颁布，各地区统一执

行，所以政策不存在地区差异，可供模型考虑的因素较少。未来若实行地区可再生能源配额制（RPS）、强制上网（FIL）、绿色证书交易（TGC）、清洁发展机制（CDM）、地区总量目标等制度，这些因素可以加入到模型中予以考虑。

3.3.3 建立模型

对上述变量，建立如下简化形式^[16]：

$$(IPC_{i,t}) = \beta_0 + \beta_1 (GDP_{i,t}) + \beta_2 (DLFJ_{i,t}) + \beta_3 (BTE_{i,t}) + \beta_4 (ZJRL_{i,t}) \quad (1)$$

矩阵式： $IPC_{i,t} = \beta^T \cdot X$ ，其中 $i = 1, 2, \dots, 31$ ， $t = 2006, 2007, \dots, 2011$ 。

假定每年的专利申请数相互独立，同时专利具有不确定性，属于计数变量。对于描述事件发生的计数变量，常用 Poisson 和负二项模型，Poisson 分布要求均值与方差相等，但实际数据往往存在方差大于均值的过离散现象。建立的负二项回归模型如下：

$$IPC_{i,t} \sim NB(\Phi, \sigma)$$

其中：

$$\Phi = \varphi \cdot \mu = \exp(\beta^T X), \mu \sim \Gamma(1/\sigma, 1/\sigma) \quad (2)$$

式中， $E(IPC_{i,t} | X) = \Phi$ ， $Var(IPC_{i,t} | X) = \Phi(1 + \sigma^2 \cdot \Phi)$ 。对式（1）分别进行面板泊松和负二项回归，对比发现负二项回归的 AIC 小，似然函数值大（如表 2），说明负二项模型比泊松模型的拟合效果更好。同时分固定和随机效应的负二项回归，区别为，固定效应假设个体的差异是非随机的，视为解释变量的一部分；随机效应假定个体的差异是随机的，视为误差项的一部分。

表 2 研究变量拟合结果

项目	泊松回归	固定效应 负二项回归	随机效应 负二项回归	模型 1
GDP	1.50E-3 *** (2.17E-4)	1.48E-3 *** (5.97E-4)	2.11E-3 *** (5.53E-4)	1.38E-3 *** (5.92E-4)
补贴额	4.14E-05 (3.58E-5)	2.96E-05 (9.62E-5)	2.77E-05 (9.63E-5)	
装机容量	-2.41E-05 *** (6.63E-6)	-1.37E-05 (1.72E-5)	-1.49E-05 (1.73E-5)	
电价附加	0.255 *** (0.079)	0.254 *** (0.021)	0.239 *** (0.021)	0.248 *** (0.020)
常数	3.940 *** (0.174)	2.072 *** (0.159)	2.023 *** (0.162)	2.071 *** (0.159)
AIC	2 529.41	1 270.17	1 736.59	1 267.42
对数似然值	-1258.71	-630.09	-861.30	-630.71
χ^2	4 334.98	481.64	516.92	473.84
$(p > \chi^2)$	0	0	0	0

注：1)括号里为标准差；2) *表示 $p < 0.05$ ；**表示 $p < 0.01$ ；***表示 $p < 0.001$ ；3)E-表示 10 的负次幂，例 E-5 表示 10^{-5}

进行 Hausman 检验， $\chi^2(4) < 0$ ，一般认为原假设失效，选择固定效应，即各个地区间的差异包含在不同的截距项中（表中未给出）。地区存在可再生能源资源等差异，无法用数据衡量，可以用不同的截距来捕捉。固定效应模型通过了整体显著性检验，而补贴额和装机容量两个变量系数不显著，

剔除不显著变量，得到新的回归见表 2 中的模型 1。与固定效应的结果对比发现，模型 1 的 AIC 和似然函数变化很小，GDP、电价附加的系数值和标准差变化也很小，说明补贴额和装机容量对模型影响甚小。

3.3.4 影响分析

GDP 与电价附加的系数显著且为正，符合经济意义。加快经济建设，实行电价附加，促进可再生能源专利总数增长。中国在许多新兴能源的发展初期采取费用分摊制度，如 1994 年原电力部对风力发电实行费用分摊，在一定程度上促进了风力发电的发展^[20]。因此，费用分摊制度对可再生能源的发展有重要作用，应该在未来几年内继续执行。

值得注意的是，补贴额和装机容量对专利影响很小，分析其原因有两点：补贴额严重拖欠，补贴制度不完善。目前中国可再生能源电价制度面临电价附加无法足额征收、补贴资金拖欠滞后、征收与需求存在较大缺口的尴尬。国家的补贴极大地推动了可再生能源发电市场的发展，但把资金落到实处、提高补贴绩效、利用有限的补贴额尽可能多地激励可再生能源技术进步才是重要的。补贴规模过大过泛，申报企业一拥而上，导致产能过剩，反而阻碍了技术进步。所以国家应完善项目审批程序，提高资金发放效率，明确补贴范围，控制补贴规模。

2010 年国家主体性计划对可再生能源研发资金投入约有 6.18 亿元，当年发放的电价补贴资金约为 110.4 亿元，研发投入相对补贴额的比重仅有 5.6%，国家对可再生能源研发的投入严重不足。

4 结论

本文以专利衡量技术创新，用定性和定量相结合的方法分析中国可再生能源技术创新的影响因素和作用机制，得出以下结论：

(1) 技术创新具有明显的阶段差异性、地区差异性、不同能源发展成熟度的差异等特点，总体水平偏低。

(2) 创新投入方面，能源科技学科的发展潜力和人力资本潜力大，专利制度逐步改进，太阳能和风能是“十一五”期间的科研投入重点；国家总体偏重于可再生能源的推广和示范，基础研究投入比重偏低。环境支持方面，本文构建了一个多因素影响分析模型，考察了 GDP、电价附加、补贴额和装机容量对专利总数的影响；结果表明，GDP 和电价附加促进可再生能源专利总数增长，电价补贴和装机容量对专利总数影响甚小。

模型的不足之处在于，政策的地区灵活性小，可供模型考虑的因素少；模型只能判断因素有无影响，不能比较因素的影响大小和作用范围。

基于以上研究，为不断提高我国可再生能源技

术创新能力，一方面，需要制定对于可再生能源专利的优惠政策，进一步完善电价补贴制度；另一方面，应该对可再生能源的技术研发投入更多的资金，这才是目前和未来最有回报的投资。

参考文献：

- [1] FS - UNEP COLLABORATING CENTRE. Global trends in sustainable energy investment 2013 [EB/OL]. (2013 - 06 - 30) [2014 - 06 - 18]. <http://fs-unep-centre.org/sites/default/files/attachments/gtr2013keyfindings.pdf>.
- [2] 李雷, 杨春. 我国光伏产业现状与可持续发展策略研究 [J]. 中外能源, 2012, 17 (4): 28 - 37
- [3] 许洪华. 太阳能光伏发展形式报告 [EB/OL]. (2012 - 03 - 30) [2014 - 06 - 19]. <http://www.csrc.gov.cn/pub/newsite/cyb/cybzxyjbg/201203/P020120330323432656651.pdf>
- [4] 闫云飞, 张智恩, 张力, 等. 太阳能利用技术及其应用 [J]. 太阳能学报, 2012, 33: 47 - 56
- [5] 艾欣, 韩晓男, 孙英云. 光伏发电并网及其相关技术发展现状与展望 [J]. 现代电力, 2013, 30 (1): 1 - 7
- [6] 罗如意, 林晔, 钱野. 世界风电产业发展综述 [J]. 可再生能源, 2010, 28 (2): 14 - 17
- [7] 丛璐, 徐有宁, 韩作斌. 生物质能及应用技术 [J]. 沈阳工程学院学报: 自然科学版, 2009, 5 (1): 9 - 13
- [8] 史丹, 刘佳骏. 我国海洋能源开发现状与政策建议 [J]. 中国能源, 2013, 35 (9): 6 - 11
- [9] 马重芳, 王景甫, 吴玉庭, 等. 提升地热能开发利用技术水平 [J]. 建设科技, 2010 (18): 46 - 48
- [10] 史历仙. 我国能源产业技术创新影响因素及作用机理的实证研究 [D]. 徐州: 中国矿业大学, 2009
- [11] 牟文富. 中国专利法演进的动因及其知识供给 [J]. 国际商务研究, 2008 (4): 50 - 55
- [12] 冯晓青. 《专利法》第三次修改的特点——以提升创新能力与加强专利权保护为视角 [J]. 电子知识产权, 2009 (3): 16 - 19
- [13] 朱雪忠. 论低碳发展与我国专利法的完善 [J]. 知识产权, 2011 (6): 3 - 8
- [14] 林岩. 基于专利数据的知识计量研究评述 [J]. 科技管理研究, 2008 (9): 91 - 93
- [15] 张韵君. 国内专利战略研究文献综述: 2000—2009 年 [J]. 科技管理研究, 2011 (2): 174 - 182
- [16] NICK J, IVAN H, DAVID P. Renewable energy policies and technological innovation: evidence based on patent counts [J]. Environmental Resource Economics, 2010 (45): 133 - 155
- [17] Patrick B, Lindsay D, Johannes U. Global patterns of renewable energy innovation, 1990—2009 [J]. Energy for Sustainable Development, 2013 (17): 288 - 295
- [18] PATRICK A N. What is really behind the adoption of new renewable electricity generating technologies? [J]. Energy for Sustainable Development, 2013 (17): 386 - 390
- [19] NATHANIEL H, LNES A, DAVID H. Effects of government incentives on wind innovation in the United States [J]. Environmental Research Letters, 2013 (8): 1 - 7
- [20] 任东明, 王仲颖, 高虎, 等. 可再生能源政策法规知识读本 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2009

作者简介：王兰体（1992—），女，湖北咸宁人，硕士研究生，主要研究方向为能源战略。蔡国田（1975—），通信作者，男，湖南郴州人，博士，副研究员，主要研究方向为经济地理和能源战略。赵黛青（1958—）女，江苏南京人，博士研究生导师，研究员，主要研究方向为可再生能源发展战略、低污染燃烧技术。