

中国试点碳排放权交易体系对低碳技术创新的影响

——基于试点纳入企业的实证分析

张海军 段茂盛 李东雅*

摘要:促进企业进行低碳创新是碳排放权交易体系即ETS的政策目标之一,也是检验ETS效果的重要指标之一。本文通过对试点ETS纳入企业的调研,分析了企业对各类政策的感知与认识,并基于序次Probit回归模型分析了各类政策对纳入企业低碳技术创新的影响。研究发现,试点ETS、国家和省级中长期碳减排目标两类气候政策产生的政策压力居中,而大气污染防治政策和行政命令类节能政策对企业决策的影响更大;在低碳技术创新中,企业引入低碳技术的水平也高于自主研发的水平。计量模型分析表明,试点ETS并未能有效促进纳入企业的低碳技术创新,而中长期碳减排目标则产生了积极的影响;行政命令类节能政策表现为抑制了企业的低碳技术创新。另外,清洁能源价格与煤价、企业自身对科技创新投资的热衷程度等内外部因素也对企业的低碳技术创新有显著影响。因此,为促进企业的低碳技术创新,应加快推动ETS立法,增强市场参与者的长期稳定预期;同时,应加强节能减碳政策包的顶层设计,采取合并相近政策、终止部分冗余政策等手段,减少政策重叠和冲突,促进不同政策之间的协同。

关键词:碳排放权交易体系;低碳技术创新;节能减碳

一、研究背景

过量的人为的温室气体排放引起的气候变化问题成为全球关注的热点问题。为应对气候变化,很多国家和地区均启动了碳排放权交易体系(Emissions Trading Scheme, ETS)。2011年,中国国家发改委批准北京、天津、上海、重庆、湖北、广东和深圳七省市开展碳排放权交易

*张海军,清华大学中国碳市场研究中心,清华大学能源环境经济研究所,邮政编码:100084,电子信箱:han-sonzhj@163.com;段茂盛(通讯作者),清华大学中国碳市场研究中心,清华大学能源环境经济研究所,邮政编码:100084,电子信箱:duanmsh@tsinghua.edu.cn;李东雅,清华大学能源环境经济研究所,邮政编码:100084,电子信箱:lidongya14@mails.tsinghua.edu.cn。

本文系国家自然科学基金重大项目“我国碳排放权交易体系的评估与完善研究”(18ZDA107)和国家重点研发计划下课题“我国重点行业温室气体排放监测及质量控制关键技术”(2018YFC1509004)的阶段性成果。感谢匿名审稿专家提出的修改意见,文责自负。

试点工作,以期通过基于市场的手段,倒逼企业进行低碳技术创新,实现低碳发展。ETS的核心政策目标之一就是促进科技创新(OJ, 2003; Caparrós et al., 2013)。从短期来看,无论是实现减排目标,还是降低减排成本,都在很大程度上依赖于科技创新(Fischer & Newell, 2008; Kemp & Pontoglio, 2011);从长期看,对低碳技术创新的动态激励,可能是衡量气候政策成功与否的最重要的标准(Pizer & Popp, 2008)。因而,评估ETS对技术创新的影响一直是政策制定者和学术界关注的热点问题。

在国外研究中,关于欧盟碳排放权交易体系(EU ETS)对企业技术创新影响的研究较多。相关研究主要可以分为两类。第一类研究主要基于调研访谈、案例分析等定性研究方法,着重分析了EU ETS对企业创新决策行为的影响(Pontoglio, 2008; Anderson et al., 2011; Rogge et al., 2011)。这些研究的调研对象分布广泛,包括ETS纳入企业、非纳入企业、企业的供应商和顾客等,因而从多个视角审视了EU ETS带来的政策影响。例如,Pontoglio(2008)调研了EU ETS下38家意大利造纸企业,发现约一半的企业没有采取减排措施;与设备供应商的访谈发现,没有企业将能源或者碳效率的改善作为他们设备的卖点。Rogge和Hoffmann(2010)、Hoffmann(2007)、Rogge等(2011)通过一系列与德国电力生产企业和专家的访谈,认为EU ETS对于企业生产技术方面的创新活动有影响,对于化石燃料技术的效率改进、碳捕获和储存研究的开展同样非常重要;但是EU ETS与可再生能源的开发关联较小,上网电价补贴政策相较于较低的碳价格提供了更强的激励。

第二类研究则通过计量方法定量地评估EU ETS对科技创新的影响(Schmidt et al., 2012; Martin et al., 2013; Borghesi et al., 2015; Calé & Dechezleprêtre, 2016),研究的数据来源包括官方的大规模的创新情况调研,学者自主设计的调研问卷或专利局等权威机构。例如,Borghesi等(2015)应用2006-2008年意大利社区创新调研数据研究了EU ETS对于减排和能效提高创新的影响,他们发现,EU ETS纳入行业比非纳入行业更可能创新,但是行业的政策严格程度却与其创新负相关,作者认为这可能是由于一些公司提前采取了创新措施以及行业的特点所致。Schmidt等(2012)基于调研的七个EU国家电力企业的数据,建立多元回归模型分析EU ETS对于创新的影响,认为EU ETS对于企业创新有非常有限的甚至有争议的影响,长期减排目标是企业创新活动的重要决定因素。Calé和Dechezleprêtre(2016)从欧洲专利局获取了纳入企业与非纳入企业的低碳技术专利的申请数据,进而基于匹配的双重差分法,分析了EU ETS对低碳创新的影响。研究认为EU ETS引起了低碳专利8.1%的增长,同时EU ETS没有导致非低碳技术专利申请的挤出效应。总体来讲,关于EU ETS对企业技术创新的影响的研究分析手段多样,既包括定性的分析,也包含定量的评估,整体上认为EU ETS促进了企业的低碳技术创新,但是其他的诸如可再生能源政策、长期目标等政策在刺激创新方面可能发挥着更为关键的作用。

目前,关于中国试点ETS对纳入企业低碳技术创新影响的研究较少。这一方面可能是由于中国试点ETS启动时间较短,而且相关数据难以公开获得。另一方面,中国较为复杂的节能减排降碳政策环境也增加了分析的困难:当前,中国有多种节能减排降碳政策在同步实施,各类政策政出多门,管控主体重叠,协调困难,没有哪一项政策处于统筹或核心的地位(Duan et al., 2017)。因而,很难说明观察到的企业低碳技术创新水平的变化可以归因于试点ETS政策的影响。已有的少量研究主要是计量分析,依据数据来源可以分为两类。第一类研究依靠上市企业数据。刘晔和张训常(2017)应用2008–2015年1006家中国A股上市公司数据,采用三重差分法从微观层面实证检验了碳排放权交易制度对企业研发投资的影响,研究发现,试点ETS能够提高纳入企业的研发投资强度,并且可以通过增加企业现金流和提高资产净收益率对企业的研发投资产生直接效应和间接效应。蔡乌赶等(2018)基于2015年和2016年上海及其临近四个省份54家工业上市企业的横截面数据,采用倾向得分匹配法的分析认为,上海碳试点促进了企业的研发投入。Zhang等(2018)应用2013–2014年80家上市企业两年的横截面数据,认为中国的试点ETS与绿色创新(绿色专利)有显著的正相关关系,而市场竞争减弱了这种正相关关系。第二类研究依靠问卷调查开展。Liu和Wang(2017)基于问卷调查,研究了在六大重点耗能行业中,企业对不同类型气候政策的感知与企业节能减排技术创新之间的关系,该研究将气候政策区分为监管政策和市场型政策(ETS),特别关注了两类政策对企业节能减排技术研发和采纳的影响。

综上所述,现有研究仍存在一定的缺陷。第一,有关基于上市企业数据的研究,上市企业只占试点ETS纳入企业的一小部分,且通常规模较大,因而,其样本代表性较差,样本选择存在一定的偏差。其次,上市公司的数据只包含企业研发投入的情况,因而不能分析试点ETS对企业引入先进技术的影响,而在试点ETS运行初期,引进先进技术可能是企业更为务实的策略选择。第三,有关基于问卷调查的研究,Liu和Wang(2017)的研究回收的215个有效问卷中,有109个样本位于非试点ETS省份,难以衡量这些未纳入企业感受到的试点ETS产生的政策压力;另外,该研究的因变量定义为在问卷调查时企业创新的程度,不能反映企业在试点ETS实施前后创新水平的变化,因而,该研究没有实证评估试点ETS的实施对企业技术创新水平变化的影响。第四,以上所有研究都没有详细分析企业面临的复杂的节能减排降碳的政策环境,鉴于各类政策管控主体的重叠性,有必要识别企业对于不同政策的认知,以辨析企业更可能针对哪些政策采取行动,而哪些政策更可能对企业的低碳技术创新行为产生实质性的影响。

针对以上现有研究的不足,本文通过对中国试点ETS纳入企业的调研,分析了企业对不同节能减排降碳政策的感知、态度和进行低碳投资决策时考虑的政策优先级,并在此基础上运用序次Probit模型实证检验了各类政策、特别是ETS对企业低碳技术创新水平变化的影

响。本文主要贡献如下:首先,本文所获调研数据全部为试点 ETS 纳入企业数据,因而可以全面地获取受调研企业对 ETS 政策的真实感知,也避免了只应用上市公司数据可能带来的样本偏差;其次,在变量的定义方法上,本研究将企业低碳技术创新行为定义为该行为在试点 ETS 实施前后的变化,而不是企业在某一时间点的既有行为,从而在一定程度上弥补了时间序列数据不足的缺陷,可以实证分析试点 ETS 的实施对该变化的影响。

本文其余部分安排如下:第二部分为理论分析框架,结合演化经济学和组织理论相关理论,从认知的视角,建立了本文的分析框架;第三部分介绍了本文的分析方法和数据获取;第四部分为分析结果,包括企业对于政策环境的认知,实证检验试点 ETS 对企业低碳技术创新的影响等;第五部分为结论和政策建议。

二、理论分析框架

首先,我们构建了一个以演化经济学为基础,辅以组织理论的分析框架,即从认知的视角,分析企业对其所处环境的感知以及这些因素对企业低碳技术创新的影响。演化经济学理论将技术变迁视为众多经济现象背后的根本力量,以技术创新和制度创新为核心研究对象,以动态的、演化的理念来分析和理解经济系统的运行与发展(郑燕等,2007;孙冰,2011),认为企业在技术创新过程中,其方案选择会受到外部环境和内部环境的影响(李长青、张术丹,2006)。演化经济学的优势在于它能够聚焦微观个体,更好地理解推动企业技术变革的动机和发生的过程。而组织理论的认知视角,则可以将企业采取的行为与企业所处的环境联系起来。与单纯的基于客观数据建立计量模型的分析相比,它可能更适合解释企业的微观行为(Kaplan & Tripsas, 2008; Rogge et al., 2011)。在本研究中,我们甄别了企业面临的外部环境和内部环境,包括政策要素、市场要素、公众关注、内部要素等,从企业对这些要素的认知的视角,分析我们关注的气候政策对企业低碳技术创新行为的影响,研究的分析框架如图 1 所示。

在这个框架中,我们将低碳技术创新区分为低碳技术自主研发和从其他单位引入低碳技术。演化经济学观点认为,企业的研究开发活动及市场开拓活动等都属于搜寻性行为。搜寻是在已知的技术和惯例中寻找自己需要的,创新则是通过研究和开发寻找原来没有的技术和惯例(纳尔逊、温特,1997)。本研究中,低碳技术自主研发是指低碳技术的研究、开发和示范(Research, Development and Demonstration, RD&D)。从其他单位引入低碳技术是指企业对已有技术的投资,既包括引进新的设施,也包括对现有设施的改造。自主研发有利于企业保护产权,构建企业核心竞争优势,但具有较长的投资回收周期,可视为企业的长期策略;而从其他单位引入低碳技术则有利于企业快速提高低碳技术水平,但是难以打造企业的核心竞争力,可视为企业的短期策略(Anderson et al., 2011)。

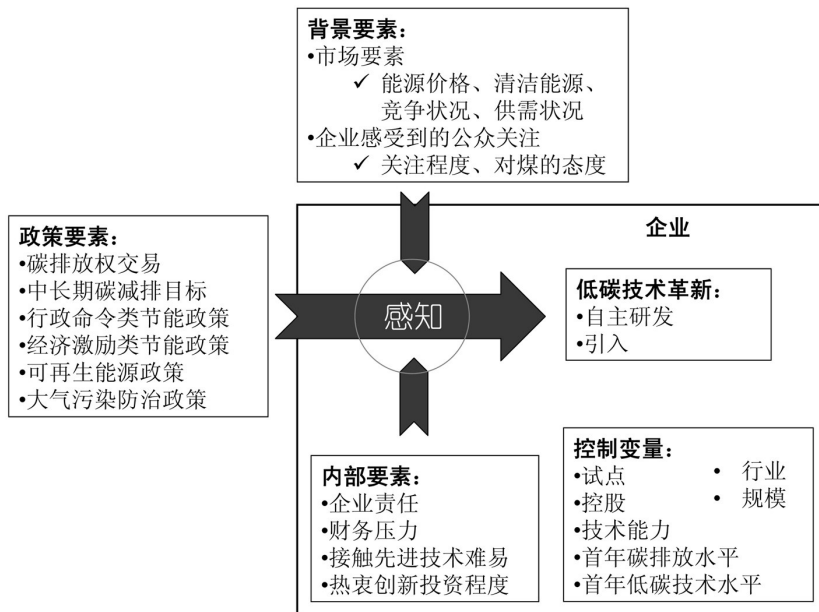


图1 分析框架

对于气候政策要素,除了试点 ETS 外,本研究还区分了国家和省级中长期碳减排目标。如“十二五”规划要求全国的单位 GDP 二氧化碳排放强度在“十二五”期间下降 17%,该目标又被分解为各省级区域的强制性目标;中国承诺二氧化碳排在 2030 年左右达到峰值并争取尽早达峰,2030 年的单位 GDP 二氧化碳排放强度比 2005 年下降 60%~65% 等。在 ETS 政策下,如果体系的配额分配方法足够严格,那么碳配额的价格能够很大程度上反映企业的减排成本,因此,为降低企业的减排成本,甚至追求在碳市场中盈利,企业有激励进行自主研发或引入低碳技术。演化经济学理论同时认为,中长期碳减排目标不仅能够改变不同低碳技术在当前阶段和未来时期被选择的可能性,而且能够传达出一种市场信号,为市场参与者的决策提供方向性的指引。中长期碳减排目标的持久性意味着企业面临的环境将具有长期的、趋势性的变化(Del Río González, 2009; Schmidt et al., 2012),这将为企业提供长期的激励。

在政策背景要素中,我们甄别了其他可能对企业技术创新决策产生影响的节能减排政策。首先,在节能政策方面,我国在“十二五”期间出台了許多政策,有必要对影响企业技术创新的政策工具进行分类。在政策分类领域,一般认为加拿大学者霍莱特(Howlett)和拉梅什(Ramesh)在《公共政策研究:政策循环与政策子系统》中提出的分类方法具有代表性(薛澜, 2006)。他们依据政府权力直接介入的程度,提出了强制型工具、自愿型工具、混合型工具三类政策工具,本文在该分类方法的基础上考虑政府与企业之间的互动关系,依据政策发挥作用的动力机制不同,将考察的节能政策工具分为行政命令类和经济激励类。(1)行政命令类节能政策是指通过政府的行政命令及制定的法律法规对当事人的行为施加影响的政策措施,如制定能效标准、淘汰落后产能等。这类政策通常具有明确的、甚至强制的规划目标,依靠核

查、监管的行政手段保证实施,能够对企业形成较大的政策压力,因而,企业有动力提升技术水平和优化产品结构。(2)经济激励类节能政策是指通过经济刺激的方式来影响当事人行为的政策措施,如对节能家电补贴,通过贷款支持企业开展节能技术改造,降低能源密集型产品的出口退税率等,该类政策通过经济利益的驱动引导企业采取技术创新措施,开发节能降耗的产品或生产技术,提高能源效率,减少能源消耗。其次,可再生能源政策,包括可再生能源发电补贴等,以推动可再生能源的应用为导向。技术创新是开发可再生能源的一个重要手段,该类政策可以弥补碳交易在技术创新上的市场失灵。可以说在促进企业技术创新方面,碳交易与可再生能源政策是互补的。最后,在大气污染防治政策方面,中国的大气污染物排放总量居高不下,与公众的健康直接相关,得到了广泛的社会关注,大气污染防治产业是环保产业最核心的内容之一。鉴于大气污染物与温室气体排放同根同源,大气污染控制特别是生产端减排的技术创新势必同时对温室气体排放产生影响。

企业面临的市场环境,包括需求、供给和价格均会影响企业的低碳技术创新决策,本研究衡量了企业感知到的变化情况,具体包括:能源价格水平(王班班、齐绍洲,2016)、相对清洁能源(如天然气)的价格与煤的价格的比值变动情况、面临的市场竞争程度以及主要产品的需求状况等。

公众关注同样会对企业的创新投资选择产生影响。公众在生产、生活、消费等活动中践行低碳的理念,无疑会对企业的生产形成监督和引导(Rogge & Hoffmann, 2010)。本研究包含了企业感受到的公众对企业温室气体排放的关注程度、公众对于煤的使用的态度^①。

企业自身的内部要素,如企业对于节能减排的重视程度、面临的财务压力、触到先进的低碳技术的难易程度、热衷科技创新投资的程度等,均可能对企业的低碳技术创新产生影响。

除此之外,我们通过问卷调查获取企业所在试点、所属行业、控股、规模、技术能力、纳入ETS之初的碳排放水平和低碳技术水平等企业特征作为控制变量,以控制企业的异质性可能对其低碳技术投资行为的潜在影响。

三、分析方法和模型

(一)问卷调查

我们应用问卷调查法分析企业对ETS及相关节能减排降碳政策的认知。在运行实践中,不同政策给予企业的压力或激励程度存在差异,因而在进行生产和投资决策,企业对不同政策给予的优先级必定存在差异。政策产生的压力或激励程度越大,优先级越高,意味着企业越有可能针对该政策采取低碳技术创新行动。因此,在问卷中,我们首先采用李克特量表衡量企业感受到的上文列出的六类节能减排降碳政策所带来的压力或激励程度,其中,“1”代表

^①鉴于研究普遍认为煤的使用是造成雾霾等环境问题的“元凶”。

非常小、不重要,“2”代表比较小、不太重要,“3”代表中等,“4”代表比较大、重要,“5”代表非常大、非常重要。基于此,本文调研了企业在进行低碳投资决策过程中所考虑的政策优先级顺序,请受调研企业至少列出三项并进行排序。

(二)计量模型

在充分分析企业对于各类节能减排降碳政策认知的基础上,结合第二部分建立的分析框架,本研究建立如下分析模型:

$$LCI = \beta_0 + \beta_1 plcETS + \beta_2 plcMLCT + \beta_3 plcADM + \beta_4 plcINCTV + \beta_5 plcREN + \beta_6 plcAIR + \beta_7 EP + \beta_8 CEP + \beta_9 COMPT + \beta_{10} DEMAND + \beta_{11} ATTEN + \beta_{12} ACOAL + \beta_{13} FR + \beta_{14} FP + \beta_{15} ATN + \beta_{16} INLVL + \beta_{17} CONTROLS + \varepsilon \quad (1)$$

模型中各变量的定义将在下文中介绍。注意到本研究的因变量是离散变量,均有明确的从低到高的排序,而两个取值之间的差距未知。如果使用多元选择模型,将导致数据内在的排序信息缺失;如果使用普通最小二乘法估计,则又把排序变量视为基数来处理,导致人为的信息膨胀(陈强,2014)。因此,本研究采用序次 Probit 模型来估计结果。

(三)变量定义

在模型(1)中, LCI 是企业的低碳技术创新变化情况,本研究将低碳技术投资区分为自主进行低碳技术研发投资($lciRDD$)和引入低碳技术投资($lciADP$),并以二者的加权平均值衡量企业整体的低碳技术创新情况(LCI)。在各试点启动之前,均针对各自体系最近3~4年的企业碳排放情况等相关信息进行了摸底。因而,基于数据可获得性,我们以企业在ETS启动后四年间平均低碳创新投资相较于ETS启动之前三年间平均低碳创新投资的变化情况衡量企业低碳技术创新投资的变化情况。相较于调研企业当前低碳技术创新现状的变量定义方法,本研究的变量设计可以反应因变量在时间尺度上的变化情况。此处采用李克特量表衡量其变化的程度,1-5分别代表变化水平从“大幅下降”至“大幅上升”。

模型中的自变量均为理论框架中涉及的变量,其中 $plcETS$ 、 $plcMLCT$ 、 $plcADM$ 、 $plcINCTV$ 、 $plcREN$ 、 $plcAIR$ 分别代表六类政策, EP 、 CEP 、 $COMPT$ 、 $DEMAND$ 衡量企业面临的市场环境, $ATTEN$ 和 $ACOAL$ 衡量企业感受到的公众关注, FR 、 FP 、 ATN 、 $INLVL$ 衡量企业内部状况,所有变量仍采用李克特量表进行衡量,各变量的具体定义如表1所示。

除此之外,本研究进一步控制了企业的特征($CONTROLS$),包括企业所在试点、所属行业、控股、规模、技术能力、纳入ETS之初的碳排放水平和低碳技术水平等。在具体模型估计中,为避免模型的过度拟合,保证模型的简洁性,根据赤池信息准则和贝叶斯信息准则的数值(李子奈、潘文卿,2015),我们的最终估计模型中不再包括企业所在的试点和所属行业。因而,在最终模型中共包含32个变量。

表 1 变量名称和定义

	变量名称	变量定义
因变量	低碳技术创新 (<i>LCI</i>)	低碳技术自主研发与从其他单位引入低碳技术的加权平均值(大幅下降-大幅上升)
	低碳技术自主研发 (<i>lciRDD</i>)	低碳技术自主研发的平均投资额变化情况(大幅下降-大幅上升)
	从其他单位引入低碳技术 (<i>lciADP</i>)	从其他单位引入低碳技术的平均投资额变化情况(大幅下降-大幅上升)
气候政策	ETS 政策压力 (<i>plcETS</i>)	/
	中长期碳减排目标政策压力 (<i>plcMLCT</i>)	/
其他节能减排政策	行政命令类节能政策压力 (<i>plcADM</i>)	/
	经济激励类节能政策激励 (<i>plcINCTV</i>)	/
	可再生能源政策激励 (<i>plcREN</i>)	/
	大气污染防治政策压力 (<i>plcAIR</i>)	/
市场因素	能源价格 (<i>EP</i>)	企业感受到的国内能源价格水平(非常低-非常高)
	清洁能源价格变动 (<i>CEP</i>)	企业感受到的相对清洁能源的价格与煤的价格的比值变动(大幅下降-大幅上升)
	市场竞争 (<i>COMPT</i>)	企业面临的市场竞争程度(大幅下降-大幅上升)
	需求状况 (<i>DEMAND</i>)	企业的主要产品的需求状况(大幅下降-大幅上升)
公众关注	公众关注程度 (<i>ATTEN</i>)	企业感受到的公众对企业温室气体排放的关注程度(几乎不关注-非常关注)
	公众对煤的态度 (<i>ACOAL</i>)	企业感受到的公众对于煤的使用的态度(非常抵制-非常支持)
内部因素	企业责任 (<i>FR</i>)	企业对节能减碳的重视程度(不重视-非常重视)
	财务压力 (<i>FP</i>)	企业的财务压力状况(非常差-非常好)
	接触先进技术难易 (<i>ATN</i>)	企业接触到先进的低碳技术的难易程度(非常困难-非常容易)
	热衷科技创新投资程度 (<i>INLVL</i>)	企业投资科技创新的热衷程度(不热衷-非常热衷)

注:表 1 中所有变量的取值均为 1-5。

(四)数据获取

本研究的调研问卷主要包含四大部分内容:企业基本信息、企业的低碳技术创新水平变化、企业对政策要素的感知、企业面临的内外部背景要素。考虑到工业行业企业是我国试点 ETS 的主要管控单位,因而,我们将调研样本限定在工业行业企业。本次问卷调研于 2018 年 7-9 月间发放回收。

调研数据的获取分两个阶段,我们首先对相关专家进行访谈以询问他们对于该问卷的相关意见并评估问卷的可行性。然后,我们在每个试点各选择两家企业进行试填以检测问卷题目是否合适以及是否易于理解。根据专家和企业反馈的意见,我们对初始问卷进行了内容和格式上的修改。之后进入正式调研阶段,研究团队委托各试点的相关管理机构代为发放。我们的调研对象为企业碳交易管理部门。为此,我们在问卷中要求问卷填写者提供职位名称和

联系方式,以便对问卷填写中出现的问题或其他情况进行核实。我们同时在问卷中详细列出调研团队的联系方式,并随时接受咨询。为保证调研样本的代表性,我们尽可能保证调研企业的行业、所有制、规模、技术水平等企业特征上具有较广的分布。最终回收了183份问卷,其中有效问卷173份,有效样本的基本信息分布如表2所示。

表2 样本基本特征分布情况

特征		数量	百分比	累积百分比	特征		数量	百分比	累积百分比
试点	北京	12	6.94%	6.94%	控股	国有和集体	74	42.77%	42.77%
	天津	14	8.09%	15.03%		私有	53	30.64%	73.41%
	上海	10	5.78%	20.81%		港澳台	22	12.72%	86.13%
	重庆	23	13.29%	34.10%		外商	24	13.87%	100.00%
	湖北	44	25.43%	59.54%					
	广东	21	12.14%	71.68%					
	深圳	49	28.32%	100.00%					
职工人数(人)	<300	51	29.48%	29.48%	大专及以上学历员工占比	<25%	57	32.95%	32.95%
	300~1000	66	38.15%	67.63%		25%~50%	71	41.04%	73.99%
	>1000	21	12.14%	100.00%		50%~75%	16	9.25%	83.24%
						75%以上	29	16.76%	100.00%
首年碳排放(万吨CO ₂ 当量)	<2	40	23.12%	23.12%	首年低碳技术水平	不大清楚	34	19.65%	19.65%
	2~10	43	24.86%	47.98%		国内落后	6	3.47%	23.12%
	10~20	20	11.56%	59.54%		国内中等	98	56.65%	79.77%
	20~50	19	10.98%	70.52%		国内先进	30	17.34%	97.11%
	50~100	17	9.83%	80.35%		国际先进	5	2.89%	100.00%
	>100	34	19.65%	100.00%					

注:因样本企业涉及行业较多且分散,此处未列出。

四、结果及分析

(一)企业对于节能减排降碳政策包的认识

1.政策压力或激励程度

根据我们的问卷调查,企业感受到的各类政策的压力或激励程度如图2所示。可以看出,企业感受到的各项政策的平均压力或激励程度相差不大,施加的压力或激励程度适中。除了可再生能源政策外(平均激励程度为2.26),其他政策均产生了中等偏上的压力或激励作用。大气污染防治政策和行政命令类节能政策相对产生了较高的政策压力,这可能是由中国的大气污染治理和重点耗能行业去产能的形势较为严峻所致。大气污染严重影响了人民的健康,造成了国家和社会的经济损失,引起了广泛的社会关注,大气污染治理具有高度的紧迫性;以淘汰落后产能为代表的行政命令类节能政策是在国家供给侧结构性改革的背景下化解行业产能过剩、加快转型升级的重要手段,这类政策实施过程简单直接,通常以“关停并转”为主要实

施手段,对企业形成的压力较大。对于本研究关注的气候政策,ETS的平均政策压力为3.08,中长期碳减排目标的平均政策压力为3.21,在六类政策中分别排名第四和第三,政策压力小于前面两种典型的节能减排政策,这可能是由中国的气候政策实施历程较短、法律基础不健全所致。尽管中国在应对气候变化的顶层设计方面已经具备良好基础,但在国家层面还没有形成立法,中国企业在气候变化认知水平和管理能力方面还有待加强。相较于以上几种具有较为明确目标约束的政策,经济激励类节能政策和可再生能源政策的政策压力或激励程度较低,这反映出相较于获取政策优惠、融资优惠等,企业更为注重完成责任目标以避免受到处罚。

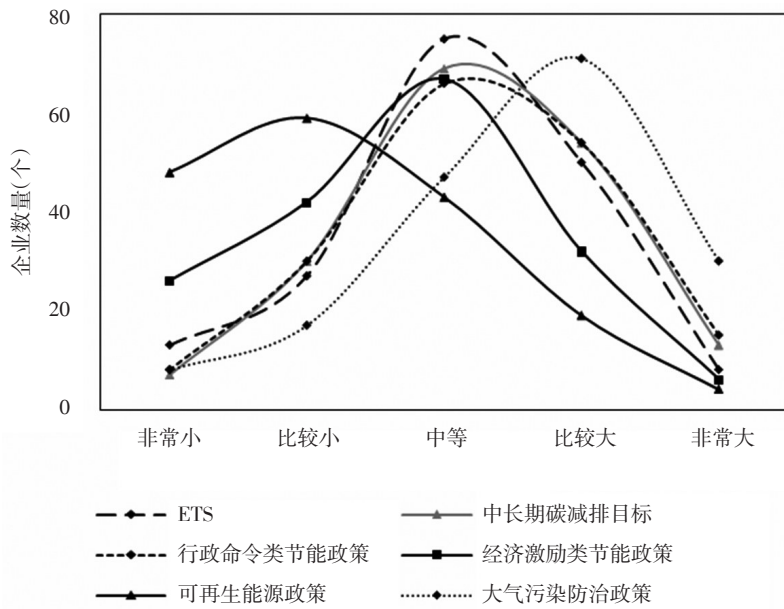


图2 企业感受到的政策压力或激励程度

2.政策优先级

图3展示了将每类政策作为第一优先考虑和第二优先考虑的企业占比。在政策优先级方面,27.2%的企业将大气污染防治政策视为最优先考虑的政策,22.5%的企业将行政命令类节能政策视为最优先考虑的政策,将两类政策置于前二优先级考虑的企业占比分别达到42.2%和46.2%,远高于其他几类政策,这也与图2中企业感受到的政策压力较大保持一致。对于本研究最为关注的气候政策,将ETS和中长期碳减排目标作为最优先考虑的政策的企业比例分别为8.1%和11%,置于前二优先考虑的企业比例分别为24.9%和20.2%,在六类政策中排名靠后,这表明对于企业来说,控制温室气体排放并不是企业当前阶段最需要面对的问题。

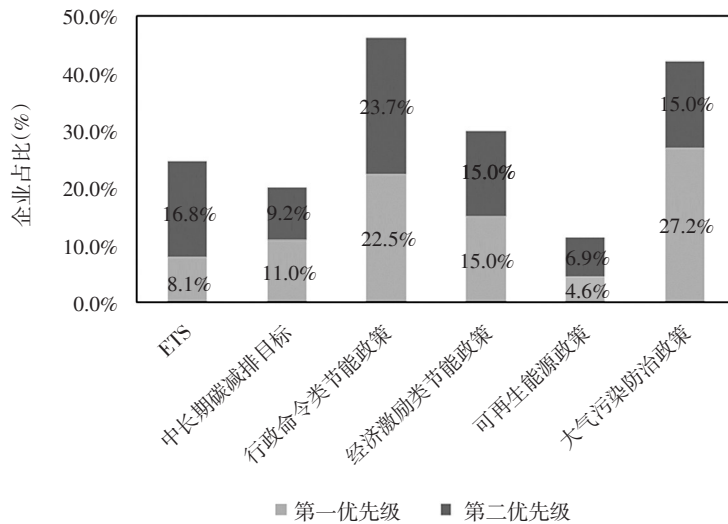


图3 第一和第二优先考虑政策占比

对企业感受到的政策压力、政策优先级联合进行相关性分析,各变量之间的相关系数及其统计显著性见表3。在不同政策影响的相关性方面,除了可再生能源政策激励与大气污染防治政策压力间的相关系数为0.083且不统计显著外,其它各政策影响程度之间都具有显著的正相关性,这说明各政策目标之间具有较好的协同性。在同一政策的政策影响程度与政策优先级之间,除行政命令类节能政策外,其它各政策的优先级都与该项政策本身的压力正相关,这显示更大政策压力会促使企业更优先考虑该政策。

表3 企业感受到的政策压力与政策优先级相关性

	ETS政策压力	中长期碳减排目标政策压力	行政命令类节能政策压力	经济激励类节能政策激励	可再生能源政策激励	大气污染防治政策压力	优先ETS政策	优先中长期碳减排目标政策	优先行政命令类节能政策	优先经济激励类节能政策	优先可再生能源政策	优先大气污染防治政策
ETS政策压力	1											
中长期碳减排目标政策压力	0.792***	1										
行政命令类节能政策压力	0.514***	0.587***	1									
经济激励类节能政策激励	0.345***	0.271***	0.288***	1								
可再生能源政策激励	0.215***	0.212***	0.241***	0.597***	1							
大气污染防治政策压力	0.510***	0.527***	0.480***	0.238***	0.083	1						
优先ETS政策	0.211***	0.07	0.044	0.031	0.051	0.08	1					
优先中长期碳减排目标政策	0.131*	0.187**	0.112	-0.096	-0.171**	0.107	-0.021	1				
优先行政命令类节能政策	-0.032	0.065	0.087	-0.007	-0.013	0.109	-0.191**	-0.03	1			
优先经济激励类节能政策	-0.1	-0.1	-0.048	0.142*	0.098	-0.135*	-0.288***	-0.263***	0.025	1		
优先可再生能源政策	-0.059	-0.104	-0.072	0.112	0.199***	-0.157**	-0.136*	-0.290***	-0.278***	0.193**	1	
优先大气污染防治政策	-0.002	0.084	0.034	-0.08	-0.088	0.247***	-0.143*	-0.018	-0.121	-0.311***	-0.274***	1

注:***代表 $p < 0.01$, **代表 $p < 0.05$, *代表 $p < 0.1$ 。

(二)企业的低碳技术创新情况

企业开展低碳技术创新的情况如图4所示。整体上大多数企业均增加了低碳技术创新的投资,无论是自主研发还是从其他单位引进。对比两者,可以发现企业从其他单位引入低碳技术的投资变化程度略高于自主研发投资的变化程度。这说明,相较于自主研发,企业更倾向于从其他单位引进低碳技术。在中国试点ETS的起始阶段,整体来看,试点的法律基础不够坚实,配额分配较为宽松,惩罚力度不够严厉;另外,在试点期间,全国统一ETS的建设也使得试点ETS的前景不够明确。因而,面对气候政策等带来的压力,企业可能采取观望态度。而采取从其他单位引入低碳技术的投资策略,不但能够在短时间内起到明显的减排效果,也避免了进行自主研发的投资回收周期较长可能对企业产生的不利影响,是企业更为务实的选择。

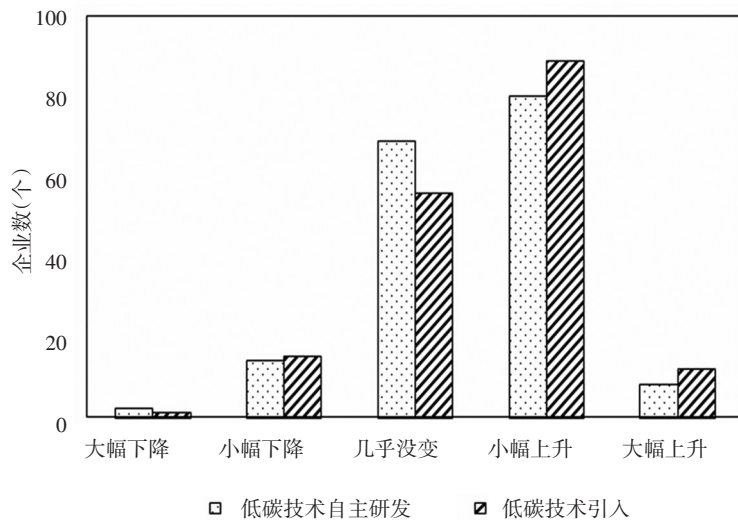


图4 企业低碳技术创新情况

(三)气候政策对于企业低碳科技创新的影响

表5展示了三个模型的估计结果,其因变量分别为整体低碳技术创新水平变化、低碳技术自主研发水平变化和从其他单位引入低碳技术水平变化,采用的估计方法为序次Probit回归。自变量为上文介绍的变量,同时控制了企业的异质性特征。

对于两类气候政策,估计结果显示试点ETS的政策压力与企业的低碳技术创新行为没有显著的相关关系,而中长期碳减排目标的政策压力与企业的低碳技术创新行为在10%的水平上正相关,意味着ETS并未对企业的低碳技术创新情况产生影响,但是中长期碳减排目标对低碳技术创新有显著的正向影响,并且发现中长期碳减排目标对企业自主研发低碳技术有更为显著的促进作用。这说明在整体上,中国的气候政策对于促进企业的低碳技术创新是有效的,但是相较于ETS,中长期规划能够提供长久的、持续的、稳定的政策导向,因而对企业的

低碳投资决策有更为稳定的影响。

表 5 序次 Probit 回归结果

解释变量	(1)		(2)		(3)	
	整体		自主研发		引入	
ETS 政策压力	-0.139	(0.161)	-0.209	(0.166)	-0.114	(0.165)
中长期碳减排目标政策压力	0.298*	(0.173)	0.310*	(0.178)	0.279	(0.179)
行政命令类节能政策压力	-0.347**	(0.137)	-0.262*	(0.140)	-0.386***	(0.140)
经济激励类节能政策激励	0.101	(0.118)	0.104	(0.123)	0.0888	(0.123)
可再生能源政策激励	0.113	(0.109)	0.153	(0.115)	0.0719	(0.114)
大气污染防治政策压力	0.107	(0.113)	0.0468	(0.117)	0.151	(0.118)
能源价格	0.0213	(0.139)	0.0541	(0.144)	-0.0107	(0.146)
清洁能源价格变动	-0.190*	(0.100)	-0.128	(0.103)	-0.246**	(0.105)
市场竞争	0.0496	(0.139)	-0.0890	(0.142)	0.204	(0.144)
需求状况	0.0851	(0.0857)	0.0472	(0.0879)	0.144	(0.0892)
公众关注程度	0.217**	(0.0907)	0.164*	(0.0935)	0.243**	(0.0944)
公众对煤的态度	0.0105	(0.0857)	0.0365	(0.0886)	0.00171	(0.0890)
企业责任	0.0588	(0.133)	0.0309	(0.138)	0.0575	(0.138)
财务压力	0.0492	(0.121)	0.0956	(0.125)	-0.0329	(0.125)
接触先进技术难易	0.0508	(0.154)	0.00990	(0.158)	0.0995	(0.160)
热衷科技创新投资程度	0.227**	(0.104)	0.166	(0.107)	0.274**	(0.109)
观测值	173		173		173	
Pseudo R ²	0.118		0.137		0.156	

注:①括号中为稳健性标准误;②***代表 $p < 0.01$, **代表 $p < 0.05$, *代表 $p < 0.1$ 。下表同。

对于其他政策,企业感受到的行政命令类节能政策的政策压力与其低碳技术创新行为为负相关,意味着该类政策表现为抑制了企业的低碳技术投资。对于行政命令类节能政策,该类政策实施过程简单直接,通常以“关停并转”为主要实施手段,因此有利于在短期内降低能耗;但是,完成任务目标的急迫性导致企业不能够有效地开展技术创新活动,因而从效果上看,该类政策长期效力有限。对于本研究所甄别的其他政策,则并未显著促进企业的低碳技术创新,尽管各估计结果似乎显示对低碳技术创新有正向的影响,然而,结果并不显著。

对于其它因素,清洁能源相对价格的上升对企业低碳技术创新有显著的负向影响,这可能是由于清洁能源价格的上升,在一定程度上抑制了企业进行能源替代。进一步分析发现,该抑制效果主要体现在对企业从其他单位引入低碳技术的方面,对低碳技术自主研发则没有显著影响。公众对企业温室气体排放的关注对企业的低碳技术创新有显著的正向影响,这显示了公众监督对于促进企业低碳发展的重要作用。企业自身对技术创新投资的热衷程度对低碳技术创新有显著的正向影响,然而该要素表现为对低碳技术创新的引入有显著的正向影响,对自主低碳技术创新则没有。这再次印证了前文的分析,即在 ETS

实施初级阶段,低碳技术自主研发不具有较强的经济性,而引入先进的低碳技术是企业更为务实的选择。

(四)稳健性检验

为验证本文结果的可靠性,本文从如下几个方面进行稳健性检验。首先,针对模型可能出现的遗漏变量或错误的模型设定带来的内生性问题,本文进行RESET检验,三个模型的F值和p值分别为 $F(3, 135) = 2.05, Prob > F = 0.111$; $F(3, 135) = 0.65, Prob > F = 0.587$; $F(3, 135) = 1.34, Prob > F = 0.264$,均显著高于拒绝域($Prob > F = 0.05$),因此认为本研究不存在遗漏变量等模型设定问题。其次,我们通过计算模型自变量的方差膨胀因子(VIF)来检验模型的共线性,模型的最大VIF和平均VIF分别为3.88和1.86,均显著小于临界值10,因此认为本研究中的上述模型不存在多重共线性问题。第三,考虑到本研究中的部分样本自身排放量较小,进行低碳技术创新的动力和潜力有限,因而本文剔除纳入体系首年碳排放量在2万吨CO₂当量以下的企业样本,对剩余样本重新估计结果,如表6所示,可以看出,本文的核心结论仍成立。第四,本文进一步采用普通最小二乘法(OLS)重新估计结果,如表7所示,除中长期碳减排目标的估计结果不再显著外(p值为0.12),其他核心结论均成立。

表6 稳健性检验(部分样本)

解释变量	(1)	(2)	(3)
	整体	自主研发	引入
ETS政策压力	-0.185 (0.190)	-0.215 (0.197)	-0.209 (0.196)
中长期碳减排目标政策压力	0.481** (0.200)	0.427** (0.208)	0.528** (0.208)
行政命令类节能政策压力	-0.329** (0.163)	-0.223 (0.168)	-0.420** (0.167)
经济激励类节能政策激励	0.0161 (0.134)	0.0395 (0.141)	-0.0245 (0.139)
可再生能源政策激励	0.107 (0.123)	0.104 (0.129)	0.127 (0.128)
大气污染防治政策压力	0.103 (0.135)	0.0655 (0.141)	0.133 (0.138)
能源价格	0.189 (0.167)	0.236 (0.175)	0.125 (0.175)
清洁能源价格变动	-0.150 (0.115)	-0.0476 (0.119)	-0.251** (0.121)
市场竞争	-0.0979 (0.180)	-0.248 (0.189)	0.0484 (0.187)
需求状况	0.0423 (0.103)	0.0387 (0.107)	0.0558 (0.107)
公众关注程度	-0.0265 (0.102)	-0.00378 (0.106)	-0.0262 (0.106)
公众对煤的态度	0.156 (0.103)	0.127 (0.107)	0.147 (0.107)
企业责任	0.0248 (0.152)	0.0231 (0.160)	-0.000638 (0.159)
财务压力	0.0243 (0.138)	0.0246 (0.144)	0.00223 (0.143)
接触先进技术难易	0.199 (0.188)	0.218 (0.196)	0.181 (0.195)
热衷科技创新投资程度	0.251** (0.122)	0.211* (0.128)	0.267** (0.127)
观测值	133	133	133
Pseudo R ²	0.139	0.176	0.183

表 7

稳健性检验(OLS)

解释变量	(1)		(2)		(3)	
	整体		自主研发		引入	
ETS 政策压力	-0.0996	(0.0993)	-0.114	(0.108)	-0.0848	(0.108)
中长期碳减排目标政策压力	0.164	(0.106)	0.165	(0.116)	0.163	(0.115)
行政命令类节能政策压力	-0.197**	(0.0828)	-0.162*	(0.0902)	-0.232**	(0.0897)
经济激励类节能政策激励	0.0614	(0.0736)	0.0743	(0.0802)	0.0486	(0.0797)
可再生能源政策激励	0.0650	(0.0670)	0.0787	(0.0730)	0.0512	(0.0726)
大气污染防治政策压力	0.0635	(0.0692)	0.0404	(0.0754)	0.0865	(0.0750)
能源价格	0.0203	(0.0863)	0.0250	(0.0940)	0.0157	(0.0934)
清洁能源价格变动	-0.0936	(0.0608)	-0.0626	(0.0662)	-0.125*	(0.0659)
市场竞争	0.0413	(0.0845)	-0.0262	(0.0921)	0.109	(0.0915)
需求状况	0.0632	(0.0523)	0.0459	(0.0570)	0.0804	(0.0567)
公众关注程度	0.0159	(0.0526)	0.0275	(0.0573)	0.00438	(0.0570)
公众对煤的态度	0.118**	(0.0546)	0.107*	(0.0595)	0.129**	(0.0591)
企业责任	0.0206	(0.0825)	0.0103	(0.0899)	0.0309	(0.0894)
财务压力	0.0201	(0.0736)	0.0386	(0.0802)	0.00167	(0.0797)
接触先进技术难易	0.0259	(0.0937)	0.0261	(0.102)	0.0257	(0.102)
热衷科技创新投资程度	0.114*	(0.0630)	0.0858	(0.0686)	0.142**	(0.0682)
观测值	173		173		173	
Adjust R ²	0.097		0.072		0.119	

五、结论和建议

本文通过问卷调研,分析了中国七个试点 ETS 纳入企业对于主要节能减排降碳政策的感知与认识,并基于序次 Probit 模型估计了试点 ETS 对于纳入企业低碳技术创新的影响。主要研究结论如下:

第一,就企业感受到的影响程度而言,本研究关注的 ETS 和中长期碳减排目标产生的政策压力均处于中游位置,并不是企业在低碳投资决策中优先考虑的政策;而大气污染防治政策和行政命令类节能政策产生了相对较高的政策压力,在企业决策中也具有较高的政策优先级。这表明,控制温室气体排放并不是企业当前阶段优先考虑的问题。而在低碳技术创新方面,企业引入低碳技术的水平高于自主研发的水平,表明目前阶段,由于试点 ETS 体系法律基础不坚实、机制设计不够合理、体系前景不够明朗,企业倾向于采取更为保守的低碳技术创新策略。

第二,在各类政策的效果方面,试点 ETS 并未能有效促进企业进行低碳技术创新,但是中长期规划却因能够提供长久稳定的政策导向,对企业的低碳投资决策有积极正向的影响。另外,行政命令类节能政策表现为抑制了企业的低碳技术创新,表明这一类政策手段在促进技

术创新方面的局限性。整体上,各类政策在促进企业低碳技术创新方面的协调仍有待加强。

第三,其它因素中,清洁能源价格与煤价格的比值变动、企业感受到的公众对其碳排放的关注、企业自身对科技创新的热衷程度等也对企业的低碳技术创新有显著影响,并且主要体现在对企业引入低碳技术的影响,而对低碳技术自主研发的影响则不显著。

因此,应加快推动碳排放权交易立法,完善体系机制设计,就体系的碳减排目标、运行年限等中长期规划给出明确的信息,增强市场参与者的长期稳定预期。其次,应当优化节能减排降碳政策包的顶层设计,促进各政策的协同作用,减少政策重叠甚至冲突,考虑合并政策目标和实施进程相近的政策,取消或终止部分冗余政策。

本文全篇考虑了七个试点 ETS 对企业低碳技术创新的影响,然而,各省份可能在经济水平、体系机制设计、政策执行力度等方面存在一定差异,其影响水平可能不同。这也是将来的研究方向,通过对比检验,分析各个试点对企业低碳技术创新影响水平与其机制设计的联系,为各试点提出更加具有针对性的建议。

参考文献:

- [1] 蔡乌赶,张瑞清,林杰. 碳交易对企业生态创新的影响研究——以上海市为例[J]. 电子科技大学学报(社会科学版),2018,20(06):74-78.
- [2] 陈强. 高级计量经济学及 stata 应用[M]. 北京:高等教育出版社,2014.
- [3] 理查德·R·纳尔逊,悉尼·G·温特. 经济变迁的演化理论[M]. 北京:商务印书馆出版社,1997.
- [4] 李长青,张术丹. 演化经济学的演化与企业技术创新分析的新思路[J]. 经济问题探索,2006,(10):84-87.
- [5] 李子奈,潘文卿. 计量经济学(第四版)[M]. 北京:高等教育出版社,2015.
- [6] 刘晔,张训常. 碳排放交易制度与企业研发创新——基于三重差分模型的实证研究[J]. 经济科学,2017,(03):104-116.
- [7] 孙冰. 基于演化经济学的技术创新相关研究综述[J]. 管理评论,2011,23(12):56-62.
- [8] 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.
- [9] 薛澜. 公共政策研究:政策循环与政策子系统[M]. 北京:生活·读书·新知三联书店,2006.
- [10] 郑燕,张术丹,魏哲研,李长青. 企业技术创新的演化分析框架[J]. 科技管理研究,2007,27(8):18-21.
- [11] Anderson, B., F. Convery, and C. Di Maria. Technological Change and the EU ETS: The Case of Ireland[R]. 2011.
- [12] Borghesi, S., G. Cainelli, and M. Mazzanti. Linking Emission Trading to Environmental Innovation: Evidence from the Italian Manufacturing Industry[J]. Research Policy, 2015, 44(3): 669-683.
- [13] Calel, R. and A. Dechezleprêtre. Environmental Policy and Directed Technological Change: Evidence from the European Carbon Market[J]. Review of Economics and Statistics, 2016, 98: 173-191.
- [14] Caparrós, A., J. Péreau, and T. Tazdaït. Emission Trading and International Competition: The Impact of Labor Market Rigidity on Technology Adoption and Output[J]. Energy Policy, 2013, 55: 36-43.
- [15] Del Río González, P. The Empirical Analysis of the Determinants for Environmental Technological Change:

A Research Agenda[J]. *Ecological Economics*, 2009, 68: 861–878.

[16] Duan, M., Z. Tian, Y. Zhao, and M. Li. Interactions and Coordination Between Carbon Emissions Trading and Other Direct Carbon Mitigation Policies in China[J]. *Energy Research and Social Science*, 2017, 33: 59–69.

[17] Fischer, C. and R. G. Newell. Environmental and Technology Policies for Climate Mitigation[J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2008, 55(2): 142–162.

[18] Hoffmann, V. H. EU ETS and Investment Decisions: The Case of the German Electricity Industry[J]. *European Management Journal*, 2007, 25(6): 464–474.

[19] Kaplan, S. and M. Tripsas. Thinking about Technology: Applying a Cognitive Lens to Technical Change[J]. *Research Policy*, 2008, 37(5): 790–805.

[20] Kemp, R. and S. Pontoglio. The Innovation Effects of Environmental Policy Instruments — A Typical Case of the Blind Men and the Elephant? [J]. *Ecological Economics*, 2011, 72: 28–36.

[21] Liu, W. and Z. Wang. The Effects of Climate Policy on Corporate Technological Upgrading in Energy Intensive Industries: Evidence from China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 142: 3748–3758.

[22] Martin, R., M. Muûls, and U. Wagner. Carbon Markets, Carbon Prices and Innovation: Evidence from Interviews with Managers[R]. 2013.

[23] Official Journal of the European Union(OJ). Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council of 13 October 2003 Establishing a Scheme for Greenhouse Gas Emission Allowance Trading within the Community and Amending Council Directive 96/61/EC[R]. 2003.

[24] Pizer, W. A. and D. Popp. Endogenizing Technological Change: Matching Empirical Evidence to Modeling Needs[J]. *Energy Economics*, 2008, 30(6): 2754–2770.

[25] Pontoglio, S. The Role of Environmental Policies in the Eco–innovation Process: Evidences from the European Union Emission Trading Scheme[C]/DIME International Conference “Innovation, Sustainability and Policy”, 2008.

[26] Rogge, K. S. and V. H. Hoffmann. The Impact of the EU ETS on the Sectoral Innovation System for Power Generation Technologies—Findings for Germany[J]. *Energy Policy*, 2010, 38(12): 7639–7652.

[27] Rogge, K. S., M. Schneider, and V. H. Hoffmann. The Innovation Impact of the EU Emission Trading System — Findings of Company Case Studies in the German Power Sector[J]. *Ecological Economics*, 2011, 70(3): 513–523.

[28] Schmidt, T. S., M. Schneider, K. S. Rogge, M. J. A. Schuetz, and V. H. Hoffmann. The Effects of Climate Policy on the Rate and Direction of Innovation[J]. *Environmental Innovation & Societal Transitions*, 2012, 2(2): 23–48.

[29] Zhang, L., C. Cao, F. Tang, J. He, and D. Li. Does China’s Emissions Trading System Foster Corporate Green Innovation? Evidence from Regulating Listed Companies[J]. *Technology Analysis & Strategic Management*, 2018, 31(2): 1–14.

The Impact of China's Pilot Carbon Emissions Trading Systems on Low-carbon Technology Innovation: An Empirical Analysis of Pilot-covered Enterprises

Zhang Haijun^{a,b}, Duan Maosheng^{a,b} and Li Dongya^b

(a: China Carbon Market Research Center of Tsinghua University;

b: Institute of Energy, Environment and Economy of Tsinghua University)

Abstract: Promoting low-carbon innovation is one of the core objectives of carbon emissions trading systems, it is therefore one of the vital criteria to assess the effectiveness of the pilot ETS. By conducting a survey on ETS-covered enterprises, this paper analyzes the perception and cognition of enterprises on various policies and the impacts of various policies on the low-carbon technology innovation of enterprises based on ordered Probit regressions. We find that the perceived pressures from the two types of climate policies, namely, pilot ETS, national and provincial medium-term and long-term carbon emission reduction targets, lie in the middle, while air pollution control policies and regulatory energy-saving policies have greater influence on enterprise decision-making. With regard to low-carbon technology innovation, the level of low-carbon technology adoption is higher than that of independent research and development. Econometric evidence suggests that pilot ETS have not effectively promoted low-carbon technology innovations of ETS-covered enterprises, while medium-term and long-term carbon emission reduction targets have had a positive impact. The regulatory energy-saving policies have suppressed the low-carbon technology innovation of enterprises. In addition, other factors such as changes in the ratio of clean energy prices to coal prices, perceived attention of the public on carbon emissions, and enterprise's enthusiasm for investment in science and technology innovation have a significant impact on enterprise's low-carbon technology innovations. Therefore, in order to promote low-carbon technological innovation of enterprises, the ETS legislation process should be accelerated in order to enhance the long-term stable expectations of market participants. The top-level design of energy-saving and carbon reduction policy packages should be optimized, including merging similar policies and terminating some redundant policies, so as to reduce overlaps and conflicts and to promote coordination among various policies.

Keywords: Carbon Emissions Trading System; Low-carbon Innovation; Energy-saving and Carbon Reduction

JEL Classification: P21, O32, Q56

(责任编辑:朱静静)