

引用格式:张晗,孟佶贤.激励约束视角下中国碳市场的碳减排效应[J].资源科学,2022,44(9):1759-1771.[Zhang H, Meng J X. Carbon emission abatement effect of China's carbon market from the perspective of incentives and constraints[J]. Resources Science, 2022, 44(9): 1759-1771.] DOI: 10.18402/resci.2022.09.02

激励约束视角下中国碳市场的碳减排效应

张 晗¹, 孟佶贤²

(1. 中共中央党校(国家行政学院)国际战略研究院, 北京 100091;

2. 北京林业大学经济管理学院, 北京 100083)

摘 要:碳排放权交易市场是中国实现碳达峰、碳中和的重要经济手段。为系统性探究碳市场的碳减排机制, 本文聚焦于“两省五市”试点碳市场的政策差异性, 利用2014—2020年市级数据, 分别从激励机制和约束机制视角进行实证检验。研究表明:①就碳市场的激励机制而言, 碳定价水平是影响碳市场碳减排效应的核心要素, 碳市场的交易活动总体而言则没有显著影响;②然而, 碳市场的交易活动对碳减排具有碳价格的门槛效应, 当碳价达到一定水平后, 碳价才会通过碳交易对碳减排发挥显著作用;③就碳市场的约束机制而言, 约束性政策主要集中在碳市场的非交易环节, 其中配额政策的碳减排效应显著, 而监督、报告、核查政策(MRV)和惩罚政策尚未显现出对于碳减排的约束力。因此, 为充分发挥碳市场的碳减排效应, 建议引导碳市场形成能够反应碳减排成本的碳定价水平、尽快建立碳市场的最低限价制度、采取相对严格的碳配额核定方法等约束性政策。

关键词:碳市场; 碳减排效应; 碳定价; 激励机制; 约束机制

DOI: 10.18402/resci.2022.09.02

1 引言

在气候变化问题日益紧迫的全球共识下, 为应对控制温室气体排放对经济社会转型的巨大挑战, 碳排放权交易市场(以下简称“碳市场”)作为一种具备金融属性的市场化经济手段, 成为各国政府激活市场主体碳减排动力的重要政策工具^[1]。与碳税相对, 碳市场属于一种定量不定价的数量政策: 在固定的排放总量下, 碳配额的价格可通过市场交易决定^[2]。在这种“总量-交易”的原则下, 通过设置覆盖控排主体碳排放总量的初始值, 并为控排主体分配可用于交易或履约的碳配额, 碳增排主体以购买碳配额的形式将资金注入碳减排主体, 最终实现控排目标下的碳资源配置。自2005年《京都议定书》生效以来, 各国已陆续建立起26个碳市场^①。与其

他碳减排方式相比, 有效制度设计下的碳市场不仅可以提高减排目标的政策经济性, 并且能够提高社会总福利水平^[3]。因此, 碳市场被视作是为最小化经济增长负面影响的情形下, 政府部门实现碳中和长远目标的一种必然政策选择^[4,5]。在上述背景下, 中共中央、国务院于2021年9月22日发布了《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》, 强调为实现碳中和、碳达峰目标要“发挥市场机制作用, 形成有效激励约束机制”。

中国早在2013年就已经在北京、上海、天津等7个区域设立了碳排放权交易试点, 又于2021年7月建立了全国性碳排放权交易市场。与欧盟碳市场^[6]、美国加州碳市场^[7]等类似, 中国碳市场的碳减排效应也逐渐得到证实^[8-10], 并在一定程度上验证了基于

收稿日期: 2022-06-07, 修订日期: 2022-08-31

基金项目: 国家自然科学基金青年项目(72101253)。

作者简介: 张晗, 女, 吉林长春人, 博士, 助理研究员, 研究方向为气候变化经济学。E-mail: zhanghan@nsd.pku.edu.cn

通讯作者: 孟佶贤, 男, 甘肃天水人, 博士, 讲师, 研究方向为数量经济学。E-mail: mengjx@bjfu.edu.cn

① 数据来源: 世界银行, 《碳市场定价机制的现状与未来趋势2021》。

产权理论的交易制度用于解决碳排放这一公地悲剧 (the Tragedy of the Commons) 问题^[11] 的有效性^②。然而,从欧盟碳价曾暴跌近零、澳大利亚碳市场一度终止运行等典型事实可以发现,有效发挥碳市场的碳减排效应仍有诸多待考量的因素。已有研究或关注碳市场的碳减排效应本身,或关注碳市场运行中的特定政策设计,但鲜有学者关注碳市场的碳减排机制。吴茵茵等^[12]对碳市场督促控排主体履约的渠道问题进行了探索,并从市场机制和行政干预的角度对这一问题进行了解释,认为碳市场的碳减排效应主要来自国有企业占比、财政依存度等政府行政干预。然而,这种解释忽略了碳市场政策设计中,从配额分配至到期履约等碳市场非交易环节中非市场化手段的突出作用。其实,碳市场政策设计中包含着对控排主体的多重约束机制,而这正是中国碳排放权交易市场迄今最应完善的政策要点。基于此,笔者对碳市场的碳减排机制进行了系统性地再思考,认为碳市场的碳减排效应同时来源于其对控排主体的激励和约束:一种是基于市场手段的激励机制,另一种是交易环节前后对企业从核查到履约等环节的约束机制。进一步而言,碳市场碳减排效应下的激励约束机制分别存在于碳市场的交易环节和非交易环节。

在交易环节的激励机制下,碳排放交易权作为一种明晰的产权在市场中自由交易,碳排放问题则通过市场化机制来引导资源配置、降低减排成本、优化能源结构、促进技术创新,释放市场主体的自主减排潜能^[10,13];在非交易环节的约束机制下,不同的碳排放总量约束条件设定、初始碳配额分配方案以及不同的行业覆盖率、年度递减系数、免费配额率等制度设计要素都会对减排效应产生影响^[14-16]。此外,碳市场的约束机制除了会直接影响减排效应,还可以通过影响碳市场的资产定价^[17]、市场参与者的交易意愿^[18]等激励机制下的市场要素对碳减排效应产生间接影响。可以看到,碳市场的政策设计既独立又联系紧密,对控排主体而言既严格又具备弹性。因此,有必要通过贯穿交易环节和非交易环节、市场化和非市场化手段的研究思路,来促进碳

市场最大化发挥其碳减排效应。

综上,本文将聚焦于“两省五市”碳排放权交易试点的碳减排效应及其作用机制,基于激励机制和约束机制视角来系统探究中国碳市场的碳减排效应,以期为全国碳市场初创阶段的政策体系设计提供政策建议。具体而言,研究贡献主要体现在以下方面:第一,在研究设计上,从激励机制和约束机制对碳市场的碳减排机制予以区别,系统性地考察了碳市场交易环节和非交易环节引发的碳减排效应,尤其是定量地区分了在非交易环节的制度设计层面发挥约束机制的差异化政策(包括MRV、配额与惩罚政策);第二,在研究样本上,以往研究大多聚焦在省级层面,关注加总效应,本文则将样本进一步拓展至城市层面,从而更准确地量化了碳市场的碳减排效应,并通过合理地替换被解释变量验证了结果的稳健性。此外,在政策设计上,还验证了最低限价制度对碳市场的重要性。

2 政策背景与研究假设

2.1 中国碳市场建设的政策背景

碳市场作为一种解决环境污染问题的经济手段,其设立发展的理论依据最早可以追溯到1960年科斯提出的产权理论:明晰的产权可以将外部成本内部化,以解决社会中广泛存在的负外部性问题。以此为基础,Dales^[19]提出了排污权交易制度,即在排污总量不超过许可排污量的前提下,可以采用市场化交易手段对排污权进行交易以实现减排目标。对于环境保护、气候变化、可持续发展等诸多公地悲剧问题,这种“总量-交易”式的制度安排保障了企业在自利原则下可通过控排获利,使得控排主体的经营目标与政策目标相吻合,从而达到“激励相容”的状态^[20]。

2005年,欧盟为解决气候变化问题、控制温室气体排放,成立了全球第一个碳排放权交易市场(EU ETS)。随后,全球碳市场建设的脚步加快,中国也选择了这一工具作为碳减排的主要经济手段。2010年,《国务院关于加强培育和发展战略性新兴产业的决定》明确提出,建立和完善主要污染物和碳排放交易制度。为响应国务院关于碳减排

② 公地悲剧是个体以其自身利益最大化时,对公共资源过度消费而忽视社会福祉的情形。

2022年9月

的战略部署,国家发改委于2011年10月发布了《关于开展碳排放权交易试点工作的通知》,批准北京市、天津市、上海市、重庆市、湖北省、广东省及深圳市开展碳排放权交易试点。自2013年开始,“两省五市”的碳市场陆续开始运行,覆盖了电力、钢铁、水泥等20多个行业近3000家重点排放单位。然而,由于地方碳市场仅覆盖行政区域内的控排企业,可能造成污染避难所假说下碳密集型行业主体的排放区域转移,即存在碳泄漏风险^[21]。为了避免这种情形,全国性的碳市场应运而生。在首个地方试点碳市场运行4年后,国家发改委于2017年明确提出启动全国碳交易市场,并于2021年7月16日正式上线交易启动,纳入了发电行业重点排放单位2162家,覆盖了超45亿t二氧化碳排放量。

全国碳交易市场的制度设计,系汇集地方试点碳市场多年来的经验而成。在地方试点碳市场建设的初期,试点方案由各试点地区各自拟定,包括碳排放权交易的管理办法、基本规则、分配方案等,形成了政策制度多元化的局面。对于碳排放交易权市场政策设计的细节,详细包括确定覆盖范围、设定总量、分配配额、考虑使用抵消机制、确定灵活性措施等十项^③。在中国地方试点碳市场的政策设计中,出现了在覆盖行业、配额分配、企业履约、政策法规等方面的巨大差异^[22]。然而,对于政策设计多元化导致的碳减排结果差异,确有必要展开进一步的研究,以更好服务于全国碳排放权交易市场制度的完善。

2.2 碳市场的碳减排机制

碳市场设立的初衷是通过约束排放总量、激励减排主体的方式来实现碳市场覆盖区域及行业的碳减排目标。具体而言,由主管部门按某种规则确定总排放量和各排放源应得的配额,以有偿或无偿的方式发放给企业,企业在履约期内可以进行配额交易,在期末需要上缴与其排放量相当的配额,否则面临违约处罚^[2]。碳市场的运行方式说明,碳市场发挥激励机制主要存在于履约期内的交易环节,而对于配额的发放、履约、处罚等非交易环节的政策则可以被视作对控排主体的约束机制。

(1) 碳市场减排效应的激励机制

在碳市场的激励机制下,碳排放权交易制度的设立可以帮助参与主体按照供需原则解决碳资源的市场分配问题^[14,23],而参与主体会在这一制度下制定内部减排战略、调整长期投资战略决策^[24]。此时,控排主体在减(增)碳所得到(付出)的碳市场交易收入(成本)与减(增)碳战略所付出(得到)的生产运营成本(收入)之间进行比较。在这一过程中,碳价作为交易环节的核心要素,直接影响着控排主体的碳减排决策,进而使得碳价与减排效应呈现出正相关关系^[25,26]。据此,可以提出:

假设 H1a: 碳配额定价越高,碳减排效应越显著。

由于碳市场的交易主体由减排主体和增排主体两类构成,所以当高碳价对减排主体形成正向激励时,也会同时提高增排主体的生产经营成本。在成本压力的驱使下,增排主体也将采取减排举措。也就是说,高碳价产生碳减排效应可能有两种路径:一种路径是减排主体通过碳市场的交易行为来抵补减排转型中的成本;另一种路径是增排主体为了降低增排造成的潜在损失在生产经营采取低碳转型策略^[27]。这意味着,虽然碳市场设立的显性目的在于通过激活参与主体的减排行为来取得碳减排效应,但这并不意味着全部的碳减排效应都来源于碳市场本身。基于上述分析,可以提出:

假设 H1b: 碳定价产生的碳减排效应并非均源自碳市场的交易行为。

控排企业通过比较碳市场交易获利和生产经营中支付减排成本进行成本效益分析,而减排成本相对于碳价而言在一定时期内相对确定。当碳市场的实际价格或预期价格明显低于减排成本时,控排主体会更倾向于将碳配额直接用于到期履约,而缺乏将碳配额用于交易获利的动力,进而导致碳市场中的交易机制失效。相反,当碳市场的价格高企,即使对于未参与碳交易的控排主体以及暂时未纳入碳市场的潜在控排主体也会形成一种隐性成本,碳排放主体可能会以市场价格作为“内部碳定价”的主要依据进行减排转型^[28],继而诱发区域层面

③ 资料来源:ICAP,《碳排放交易实践手册:碳市场的设计与实施》。

更为明显的碳减排效应。据此,可以提出:

假设H1c:当碳价高于特定的临界值时,碳市场的交易行为才会产生碳减排效应。

(2)碳市场减排效应的约束机制

虽然已有研究指出碳市场显著降低了试点地区的碳排放,但同时也有研究指出了中国试点地区碳市场尚不成熟,碳市场的激励机制可能尚不足以成为碳市场发挥碳减排效应的主要因素。对此,吴茵茵等^[12]尝试将碳交易内生的激励机制与外生的政府行政管控相对应。然而,碳市场制度设立的本身就蕴含另一种减排机制,即约束机制。这种约束机制主要体现在:控排主体需要在履约周期结束后,足额上缴政府核发的碳排放配额,否则将面临处罚。如果将碳市场视作一个金融市场,按照金融抑制理论,政府应该尽量减少非市场化的行政干预行为,避免价格管制,并降低进入壁垒。但是,二者的主要区别在于:金融市场的设立并非以刺激经济增长为核心任务,构建碳市场的初衷则被赋予更多的约束性政策目标——碳市场并不以企业利润最大化为运营目标,而是考虑这种制度安排是否可以最大化控排主体的减排意愿和减排行为。对于控排主体而言,虽然碳配额存在激励机制,但总量控制原则下的碳配额也须被视作制约理论下对其生产经营活动的限制。那么,在长期利益最大化的原则下,控排主体应尽早完成减排任务,以突破经营限制、免遭市场淘汰。

根据对中国主要7个地方性碳排放权交易市场2013—2020年间制度文件的整理,中国碳市场的非交易环节相关政策可以归纳为6类:①MRV政策,包括监测(Monitoring)、报告(Reporting)、核查(Verification),是一套用于测量企业碳排放的认证认可制度^[29],由第三方核查机构完成,不同地区可分为政府委托和控排主体委托两种模式^[30,31];②配额政策,包括配额的核定和分配两个环节,配额核定主要有历史法(包括历史总量法或历史强度法)和基准法(或称标杆法)^[32],不同行业、不同地区均有所差异,而配额分配主要包括免费配发、竞价拍卖和定价出售,目前中国尚处于以免费配发为主的阶段^[33];③储备政策,即在配额总量中留存一定的储备配额来调控碳市场以防碳配额价格的过度波动,目前仅个

别地区执行;④限价政策,除利用储备配额进行市场调控外,还可以制定最高限价、最低限价等价格稳定机制,目前仅个别地区执行^[34];⑤抵消政策,利用国家核证自愿减排量(CCER)等来抵消控排主体的超额碳排放,且各市场抵消比例在5%~10%之间不等;⑥惩罚政策,即行政机构在控排主体无法足额履约时对其做出的经济性或非经济性处罚,相对严格的政策为根据碳配额市场价格的倍率设定罚金。从约束视角来看,MRV政策、配额政策与惩罚政策为主要约束性政策,而储备政策、限价政策与抵消政策为市场价格或履约调节政策。故选择MRV政策、配额政策与惩罚政策的3项政策来检验碳市场碳减排效应中的约束机制,并基于政策的地区性差异设置虚拟变量以区分政策约束力度。

明确控排主体的实际碳排放量是确保其获得合理碳配额的前提条件,也是确保碳市场良好运转的关键^[35]。对于企业层面的碳排放核算,各国政府均执行“可测量、可报告、可核实”的MRV制度,以保证碳排放量的量化测度与数据质量。在中国碳市场的实际运行中,这一过程的执行一般会委托给第三方核查机构,而委托人既有可能是政府管理机构也有可能是控排主体自身。在不同制度安排下,控排企业可能自主选择核查机构,也可能由政府机构通过政府购买的形式为控排企业指定核查机构。虽然两种方式下的委托代理关系下都可能存在道德风险问题,但是在发展完善的MRV体系中,相较于控排主体自身作为委托人的情况,由政府管理机构作为委托人时第三方核查机构的独立性更强,也意味着MRV政策的约束力度更强^[30,35]。为此,可以提出:

假设H2a:MRV政策设计的约束力度越强,碳市场的碳减排效应越显著。

MRV环节后,政府管理机构将向控排主体分配温室气体排放指标,即碳配额。由于碳配额核定值对控排企业而言意味着准许排放的上限值,故而是碳市场碳减排效应发挥约束机制的核心。配额机制的公平与效率主要体现在配额核定方法的选择上^[36]。当前中国试点碳市场主要采用的配额核定方法有两种:一是历史法,包括历史总量法和历史强度法,即根据控排主体在特定历史阶段的碳排放总

2022年9月

量或碳排放强度来确定碳配额;二是基准法,根据行业或产品的碳排放基准值(即平均值或先进值)和产量来确定碳配额^[33]。由于历史法下对仍使用落后且高碳技术的控排主体按其历史水平设置配额,导致历史法下分配的碳排放总量一般要大于以行业或企业基准值来确定的排放量,对控排主体而言所得配额也相对更为宽松。进一步而言,历史法对于早期已实施减排的企业有失公允,存在“鞭打快牛”效应,且不利于技术创新;基准法虽可能存在“拔苗助长”效应,但总体而言更加有利于激励企业提升减排技术和管理水平^[37]。有鉴于此,可以提出:

假设 H2b: 配额分配政策设计的约束力度越强,碳市场的碳减排效应越显著。

MRV 政策和配额政策均位于履约周期开始前,在履约周期结束后则存在惩罚政策,即未能足额履约的控排主体将面临行政处罚^[38]。仅从会计成本的角度来看,履约支付的交易成本与不履约支付的罚金之间的高低,是决定控排主体是否履约的关键。从实践来看,惩罚政策在不同试点市场主要有两种制度安排:一是定额法,惩罚金额仅与是否完成履约有关,而与配额、清缴之间的差值无关;二是倍率法,惩罚金额倍数于配额、清缴之间的差值。当然,除经济性处罚外,还可能存在限期整改、取消税收优惠等非直接经济性处罚措施。仅就经济性处罚措施而言,对于超排情形严重的控排企业,当碳价达到一定水平时,由于倍率法下控排主体不履约成本相对较高,故倍率法的规制成本要大于定额法^[39]。为此,可以提出:

假设 H2c: 惩罚政策设计的约束力度越强,碳市场的碳减排效应越显著。

3 数据与模型

3.1 样本选择与变量描述

自“十二五”规划提出逐步建立国内碳排放权交易市场的目标以来,中国碳市场开始了从地方到全国的逐级构建。由于全国性碳市场于2021年7月刚刚成立,相关数据指标较为有限,故以北京、天津、上海、重庆、湖北、广东及深圳“两省五市”碳排放权交易试点为研究对象。囿于省级层面数据样

本量的限制,进一步选择上述碳市场覆盖的全部地级及以上城市作为样本。此外,由于这些区域碳市场先后于2013或2014年开始正式运行,故选择2014—2020年作为样本区间。

被解释变量为用于衡量碳减排效应的碳排放相关数据,由于市级层面为碳排放管理的直接行政管理单位,故利用城市层面数据进行估计。对于碳减排效应的度量,常用指标主要有:一是碳排放总量,是由人类生产生活带来的非自然碳排放的总和,主要来源于对化石能源的燃烧和利用,是联合国气候变化框架公约(UNFCCC)下温室气体减排的限制目标,也是碳达峰、碳中和目标下的主要控制变量;二是碳排放强度,即碳排放活动下相对特定活动的单位碳排放,也可以被理解为一个国家或一个地区碳排放总量的平均排放率;三是人均碳排放,计算方法与碳排放强度类似,是碳排放总量相对于辖区人口数量的单位碳排放。具体地,选取由IPE(公众环境研究中心)和中国城市温室气体工作组编制的城市碳排放统计数据。其中,中国城市温室气体工作组基于中国高空间分辨率排放网格数据CHRED 3.0建立了中国城市2015年温室气体排放数据集,IPE又结合2005—2020年各省产业结构、GDP等因素,建立综合数值模型补齐缺失年份。在稳健性检验部分,两次替换被解释变量的数据来源分别为:首先,采用中国碳核算数据库(CEADs)中1997—2017年的县级碳排放数据汇总至城市层面得出碳排放总量,县级数据基于灯光数据采用粒子群优化-反向传播(PSO-BP)算法得出,并减去陆地植被的固碳量计算出实际碳排放总量,再利用中国城市统计年鉴中的人口规模,以及经过平减后的实际人均地区生产总值,计算出碳排放强度和人均碳排放;其次,由于全球能源消耗和二氧化碳排放无论从绝对值增长还是相对运动趋势来看都有非常强的相关性^[22],且中国能源活动排放量占总排放量(不包括土地利用变更和森林)的77.7%^④,根据2014—2020年中国能源统计年鉴和北京、上海、广东等地方统计年鉴,整理得出能源消费总量和单位GDP能耗数据,以替换碳排放总量和碳排放强度作

④ 数据来源:2018年12月,《中华人民共和国气候变化第二次两年更新报告》。

为被解释变量。

核心解释变量为碳市场相关数据。其中,碳配额的价格数据来自 Wind 数据库,并选择各碳市场的年均成交价格作为代理变量;碳配额的交易数据(即年成交量)由于仅能获取至碳市场层面,故对于湖北省与广东省(除深圳市)的碳交易数据以地方碳排放占比为权重对所在碳市场的交易量数据进行处理。针对发挥约束机制的政策,则基于地方发改委(2017年前地方碳市场主管机构)、生态环境厅(2017年后地方碳市场主管机构)和各碳交易所官方网站披露的试点碳市场制度文件来收集政策信息,并利用不同碳市场在 MRV、配额和惩罚政策的差异性约束力度构建虚拟变量。需要指出的是,对于碳配额的分配方法而言,由于不同行业之间生产设施的差异化和产品的多元化,其配额分配方法各异、难以比较。2018 年火电碳排放量占全国总排放量 43%,是碳市场参与主体的重要组成部分,其政策设计的差异在一定程度上可以代表碳市场的约束力度,故选择燃煤电力行业的配额分配政策代表试点碳市场政策设置变量。综上,代表地方碳市场约束力度的虚拟变量取值如下:MRV 政策系由政府管理机构作为委托人时取值为 1,由控排主体自身作为委托人时取值为 0;配额政策系燃煤电力行业选择基准法时取值为 1,选择历史法时取值为 0;惩罚政策系选择倍率法时取值为 1,选择定额法时取值为 0。

对于控制变量,综合考虑影响地区发展的关键

变量,选择:①经济发展水平,以平减后的实际人均地区生产总值作为代理变量;②产业结构,以第二产业增加值与地区生产总值的比值作为代理变量;③科技发展水平,以发明专利授权量为代理变量;④人口因素,以人口规模为代理变量。以上数据来自历年《中国城市统计年鉴》和 CSMAR 数据库。主要变量的描述性统计结果见表 1。

3.2 模型构建

(1)激励机制下碳减排效应的实证设计

由于本文选择以碳价作为碳市场的核心变量,为了验证假设 H1a,构建激励机制下碳价用于解释碳市场覆盖区域碳排放变化的基准面板模型:

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 PRI_{it} + \delta X_{it} + \mu_i + v_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

式中:下标 i 表示碳市场所在区域, t 表示不同年份;被解释变量 $Y_{it} \in \{TC_{it}, CI_{it}, CP_{it}\}$ 分别代表碳排放总量、碳排放强度和人均碳排放,用来反映不同层次的碳减排目标; PRI_{it} 代表碳市场中碳配额的成交价格,也是核心解释变量; X_{it} 是一系列对区域碳排放存在可能影响的控制变量,包括经济发展水平、产业结构、科技发展水平和人口规模。此外, β_1 、 δ 为对应变量的待估计系数; μ_i 、 v_t 分别为区域和时间固定效应; β_0 为常数项; ε_{it} 表示随机扰动项。

为了检验这种碳减排效应的发生是否通过碳市场的交易行为来实现,即假设 H1b,需要在公式(1)的基础上进一步纳入碳市场的交易信息 VOL_{it} ,并构建其与碳价格的交互项:

表 1 主要变量描述性统计结果

Table 1 Descriptive statistics for the main variables

变量类别	变量名称	变量单位	平均值	中位数	标准差	最小值	最大值
被解释变量	碳排放总量	百万 t	45.288	22.795	51.061	4.710	237.900
	碳排放强度	t/万元	1.404	1.310	0.715	0.180	4.380
	人均碳排放	t/人	6.521	6.065	3.321	1.920	20.960
解释变量	碳价	元/t	24.140	21.919	12.322	4.495	87.125
	相对碳交易量	万 t	127.275	82.551	159.043	2.326	1265.750
控制变量	实际人均 GDP	万元/人	6.717	6.056	3.568	2.192	38.411
	产业结构	%	48.979	48.685	13.119	15.570	83.430
	人口规模	万人	599.876	415.405	568.130	110.200	3416.000
	授权专利数量	件	3835.647	245.500	9142.087	6.000	63266.000

注:表中数据为原始数据,但后文实证中将对变量进行对数处理。

2022年9月

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 VOL_{it} \cdot PRI_{it} + \beta_2 PRI_{it} + \beta_3 VOL_{it} + \delta X_{it} + \mu_i + v_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

式中: β_1 为碳交易量与碳价的交互项系数, β_2 、 β_3 分别对应碳价、碳交易量各自的待估计系数。

进一步来说,考虑到碳价高低所发挥碳减排效应的异质性,为验证假设 H1c,可引入一个门限值 γ ,构建计量模型如下:

$$Y_{it} = \begin{cases} \beta_0 + \beta_1 VOL_{it} \cdot PRI_{it} + \beta_2 PRI_{it} + \beta_3 VOL_{it} + \delta X_{it} + \mu_i + v_t + \varepsilon_{it}, & PRI_{it} \geq \gamma \\ \theta_0 + \theta_1 VOL_{it} \cdot PRI_{it} + \theta_2 PRI_{it} + \theta_3 VOL_{it} + \eta X_{it} + \mu_i + v_t + \varepsilon_{it}, & PRI_{it} < \gamma \end{cases} \quad (3)$$

式中:门槛变量 γ 即为某一碳价水平。实际上,上述模型相当于一个分段函数模型,当 $PRI_{it} \geq \gamma$,核心解释变量的系数分别为 β_1 、 β_2 、 β_3 ;当 $PRI_{it} < \gamma$ 时,核心解释变量的系数分别为 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 。如果对应的估计系数 β_1 和 θ_1 存在显著差异,则说明碳价高低对碳减排效应具有异质性影响。

(2) 约束机制下碳减排效应的实证设计

实际上,无论是针对交易环节还是非交易环节、市场化还是非市场化手段,激励机制与约束机制都密不可分。约束性政策作为碳市场运行的前置与后置环节,约束机制也需要通过碳市场来发挥对控排企业的影响。因此,在探讨约束机制时,有必要纳入碳市场的核心解释变量,并通过与约束机制代理变量进行交互来判断碳减排效应。为了检验这种碳市场碳减排效应可能存在的约束机制,结合关于 MRV、配额、惩罚政策的研究假设 H2a-H2c,可以构造碳价与约束政策虚拟变量的交互项,来考察约束机制对碳减排效应的影响。具体做法是,依据约束力强弱设置虚拟变量 $Constraint_{it}$,与 PRI_{it} 一同构造交互项,并将其纳入公式(1)中:

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 PRI_{it} \times Constraint_{it} + \beta_2 PRI_{it} + \beta_3 Constraint_{it} + \delta X_{it} + \mu_i + v_t + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

式中: $Constraint_{it} \in \{MRV_{it}, ALO_{it}, PUN_{it}\}$, MRV_{it} 、 ALO_{it} 、 PUN_{it} 分别表示 MRV 机制、配额机制和惩罚机制的虚拟变量,变量设置根据约束力度的强弱分别赋值为 1 和 0。

4 结果与分析

4.1 激励机制下碳价与碳交易量的影响

根据前文构建的公式(1)进行实证估计,表2报告了激励机制下碳价对碳排放总量、碳排放强度和人均碳排放的回归结果^⑤。实证结果表明,无论对于碳总量、碳强度还是人均碳排放,总体上而言中国试点碳市场的碳定价均具有显著的碳减排效应,即碳价和所处城市碳排放情况呈现显著的负相关关系,碳价越高碳减排效应越明显,假设 H1a 成立。碳价每提高 1%,区域碳排放总量会相应下降 5%,且在 10%的水平上显著。此外,碳市场中的碳减排效应还体现在碳定价对碳强度、人均碳排放的影响上,碳价每增加 1%,区域内碳强度与人均碳排放分别显著下降 3.7 和 7.5 个百分点。

表3中的实证结果为对假设 H1b 和假设 H1c 进行的检验^⑥。根据列(1)、(2)对假设 H1b 予以检验的结果,在纳入碳交易量后,碳交易量与碳价的交互项几乎对碳排放总量不存在影响。这说明假设 H1b 成立,碳定价产生的碳减排效应并非均源自碳市场的交易行为,而有可能是企业通过碳定价内部化等其他路径来实现。总体而言,碳市场交易导向的激励机制尚未显现。当然,综合考虑碳市场价格差异较大的现实情况,需要进一步来判断这种碳市

表2 激励机制下碳价对碳排放的影响

变量	(1) 碳总量	(2) 碳强度	(3) 人均碳排放
碳价	-0.050*(0.025)	-0.037*(0.016)	-0.075**(0.028)
控制变量	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制
地区固定效应	控制	控制	控制
常数项	6.342*** (0.488)	1.692** (0.524)	9.054*** (1.237)
R^2	0.035	0.025	0.214
样本量	252	252	252

注: *、**、*** 分别表示在 10%、5% 和 1% 水平上显著;括号内为估计量的聚类标准误差(聚类在城市层面);除作为工业占比的比例数据外,全部数据作对数化处理。下同。

⑤ 虽然面板随机效应模型可能更具有估计效率,但考虑到其假设过强,同时为控制模型中的内生性,在此仍选择固定效应模型进行估计。需要说明的是, Hausman 检验结果同样支持选择固定效应。

⑥ 由于篇幅限制,此处仅展示碳价与碳交易量对碳排放总量的回归结果,但对碳排放强度和人均碳排放的实证结论与上述一致。

表3 激励机制下碳价与碳交易量对碳排放总量的影响

Table 3 Incentive mechanism of carbon price and trading on total carbon emissions

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	碳总量	碳总量	碳总量	碳总量	碳总量	碳总量
			碳价≥ 24.14 元		碳价< 24.14 元	
碳价×相对碳交易量	0.004 (0.005)	-0.001 (0.011)	-0.043 (0.079)	-0.157* (0.093)	0.091** (0.035)	0.102*** (0.033)
碳价	0.019 (0.029)	-0.013 (0.050)	0.475** (0.209)	0.345* (0.204)	0.068 (0.068)	0.064 (0.064)
相对碳交易量	0.026 (0.017)	0.026 (0.019)	0.170** (0.080)	0.268*** (0.087)	0.117*** (0.028)	0.123*** (0.027)
控制变量	未控制	控制	未控制	控制	未控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
地区固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
常数项	3.442*** (0.001)	5.958*** (1.243)	3.321*** (0.089)	9.221*** (2.738)	3.413*** (0.018)	9.708*** (1.773)
R ²	0.023	0.054	0.145	0.313	0.139	0.278
样本量	252	252	94	94	158	158

场激励机制失效的情况是否由碳市场的定价不足所引起,对假设H1c进行检验。

考虑样本区间内碳价的分布情况,选取碳价的市场均值作为碳定价的临界值,检验是否存在市场激励不足的情形。表3列(3)–(6)的结果表明,仅当碳市场价格不低于24.14元时,交互项的系数为-0.157且在10%的统计水平上显著,即碳价能够通过碳交易来给区域碳减排带来显著影响。当碳市场价格低于24.14元时,交互项的系数为0.102且在1%的统计水平上显著,反而产生了与预期相悖的显著增碳效应。因此,假设H1c成立。这一结论预示着一种可能的碳泄漏情形:如果定价不足长期存在于某一区域碳市场,很可能造成高碳价市场覆盖的控排主体向低碳价市场区域转移,进而造成碳市场政策的局部有效、整体失效。因此,只有当碳市场价格达到一定水平时,碳市场理论存在的价格激励机制才能发挥预期的碳减排效应^[40]。

4.2 约束机制下碳市场政策的影响

表4汇报了约束机制下MRV政策、配额政策和惩罚政策对碳排放的影响。从实证结果可以看到,当被解释变量为碳排放总量时,仅配额政策与碳价的交互项系数显著为负,惩罚政策、MRV政策与碳价的交互项系数则显著为正。在激励机制部分笔者验证了碳价在平均水平上能够发挥的碳减排效

应,经实证检验后约束机制的代理变量与碳价交互后的回归系数意味着:假定碳价不变,不同的约束性政策设计带来的碳减排效应各不相同。结合前文H2a–H2c的假设我们看到,H2a和H2c假设未通过检验,仅H2b假设得到验证。也就是说,地方试点碳市场在统计意义上来说仅配额分配政策的设计体现出约束力度:配额分配政策的约束力度越强,碳市场的碳减排效应越显著。相反,MRV政策与惩罚政策尚未显现出本应具备的约束性。

结合地方试点碳市场的政策实践,上述实证研究结论可能源于以下原因:首先,对于MRV政策,由于中国第三方核查制度尚有待建立健全,核查机构从数量、质量和人员等方面均有不足,导致理论上而言第三方核查机构存在的独立性问题尚未凸显,核查力度暂不因委托主体的差异而受到影响。其次,对于配额政策,由于企业生产经营成本直接受到配额核定严格程度的影响,导致这不仅成为地方政府和控排企业最为敏感的政策设计环节,也成为碳市场政策发挥碳减排效应的关键所在。本文也进一步证实了,中国配额核定的严格程度能够显著影响碳减排效应。最后,对于惩罚政策,由于中国目前的碳价水平与国际碳价水平相比偏低,即使使用倍率法,惩罚金额相较于控排企业的生产经营成本也不会构成太大影响,导致是否使用倍率法暂

2022年9月

表4 约束机制下碳市场政策对碳排放总量的影响

Table 4 Constraint mechanism of emission trading policies on total carbon emissions

变量	(1) 碳总量	(2) 碳总量	(3) 碳总量	(4) 碳总量	(5) 碳总量	(6) 碳总量
配额政策×碳价	-0.018**(0.007)	-0.021*(0.010)				
惩罚政策×碳价			0.102*** (0.019)	0.075*** (0.010)		
MRV 政策×碳价					0.121*** (0.022)	0.099*** (0.019)
碳价	-0.005(0.026)	-0.031(0.028)	-0.043(0.024)	-0.061**(0.023)	-0.049*(0.022)	-0.066**(0.021)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
地区固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
常数项	3.470*** (0.069)	6.357*** (0.452)	3.441*** (0.065)	5.828*** (0.535)	3.437*** (0.066)	5.706*** (0.600)
R ²	0.004	0.038	0.027	0.047	0.039	0.057
样本量	252	252	252	252	252	252

时不能成为影响碳减排效应的关键政策。

结合上述实证检验结果可以看出:①不同约束政策发挥的约束机制具有较强的异质性,并非越严格的碳市场政策设计体系产生的碳减排效应越显著;②配额政策是碳市场发挥约束机制的核心政策,只有当配额核定方法足够严格时,具备碳配额稀缺性条件下的碳市场价格才能够发挥碳减排效应;③地方试点碳市场的MRV政策和惩罚政策的约束力度尚有待发挥。

4.3 稳健性检验

(1)以CEADs碳排放数据作为被解释变量的稳健性检验

由于中国城市层面碳排放相关数据的披露有限,且尚未有官方公布的权威数据,故选择另一较为具有公信力的中国碳核算数据库(CEADs)进行稳健性检验^[12,41]。CEADs中包括了国家级、省级、城市级和县级等多个层次的碳排放清单。虽然本文的研究对象为城市层面,但是CEADs中城市级清单2017年的样本严重缺失,故选取CEADs中1997—2017年的县级数据汇总至城市层面得出碳排放总量,再利用中国城市统计年鉴提供的经济与人口数据计算出碳排放强度和人均碳排放。其中,由于直接碳排放总量统计数据不可得,县级排放数据计算采用粒子群优化-反向传播算法将卫星数据进行匹配和统一后得出^[42]。根据表5,以CEADs碳排放数据作为被解释变量时的基准模型实证检验结果与前文一致,即碳价能够在碳排放总量、碳

排放强度和人均碳排放这3个维度上取得碳减排效应。

(2)以能源消费总量和单位GDP能耗作为被解释变量的稳健性检验

由于中国城市温室气体工作组和CEADs的碳排放数据均非直接测量数据,这里进一步利用替换代理变量法来验证实证结果的稳健性,选择能源消费总量和单位GDP能耗替换上述模型中的被解释变量进行重新估计。其中,能源消费总量是一个国家(地区)内各行业和居民生活在一定时间内消费的各种能源的总和,是计算碳排放总量时的主要数据来源;单位GDP能耗是指一定时期内一个国家(地区)每生产一个单位的国内(地区)生产总值所消费的能源,是能源消费总量与国内(地区)生产总值的比值,其计算依赖于地区的能源消费总量,与碳排放强度的计算方法高度重合。另外需要指出的是,2015年开始中国实施了针对能源消费总量和能耗强度的双控制(即“能耗双控”)政策,但由于该政策是一种全国性政策并不具备地区差异性,故可以利用时间固定效应予以控制。

根据表6可以发现,以能源消费总量和单位GDP能耗作为被解释变量,与以碳总量和碳强度作为被解释变量时的实证检验结果一致。无论对于能源消费总量还是单位GDP能耗而言,碳价均对二者产生显著的负向影响,且对于能源消费总量的影响力度强于对单位GDP能耗的影响力度,再一次验证了前文估计结果的稳健性。

表5 以CEADs碳排放数据作为被解释变量的稳健性检验

Table 5 Robustness tests using carbon emission data from Carbon Emission Accounts and Datasets (CEADs) as independent variables

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	碳总量	碳总量	碳强度	碳强度	人均碳排放	人均碳排放
碳价	-0.054*** (0.005)	-0.057*** (0.005)	-0.033*** (0.005)	-0.037*** (0.005)	-0.036** (0.010)	-0.051*** (0.005)
控制变量	未控制	控制	未控制	控制	未控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
地区固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
常数项	3.464*** (0.014)	5.222*** (1.027)	0.836*** (0.016)	1.868 (1.168)	2.030*** (0.032)	9.238*** (0.930)
R ²	0.293	0.388	0.162	0.293	0.083	0.692
样本量	144	144	144	144	144	144

表6 以能源消费总量和单位GDP能耗作为被解释变量的稳健性检验

Table 6 Robustness tests using total energy consumption and energy consumption per unit GDP as independent variables

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	能源消费总量	能源消费总量	单位GDP能耗	单位GDP能耗
碳价	-0.042** (0.021)	-0.049*** (0.018)	-0.023** (0.009)	-0.020** (0.009)
控制变量	未控制	控制	未控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制	控制
地区固定效应	控制	控制	控制	控制
常数项	7.460*** (0.065)	8.576*** (0.630)	0.562*** (0.028)	0.464 (0.285)
R ²	0.022	0.055	0.039	0.058
样本量	252	252	252	252

5 结论与政策建议

5.1 结论

碳市场设立的意义在于将企业碳排放所产生的外部性予以内部化、成本化,并对减排主体予以一定的市场化激励。但对于增排主体,碳市场的设立则更多体现为一种约束,且这种约束并不只来源于碳配额到期后的强制履约本身。具体而言,碳市场碳减排效应中的激励机制主要存在于市场端的交易环节,而约束机制则主要存在于非市场端的非交易环节,包括核查、配额分配、惩罚等环节。与以往针对不同环节独立进行的研究不同,本文力图贯穿交易环节和非交易环节、市场化和非市场化手段进行一种系统性思考。主要研究结论如下:

(1)碳市场能够发挥碳减排效应,且碳定价是促使碳市场发挥碳减排效应的核心要素。中国试点碳市场的碳定价水平总体而言对区域碳减排发挥了显著的碳减排效应,这一点对于碳总量、碳强度和人均碳排放作为碳减排效应的衡量标准时均成立。但是,碳市场碳减排效应的发挥并不一定是

通过碳市场的交易行为实现。也就是说,虽然碳定价水平能够影响碳减排效应,但这并不是完全通过市场机制来实现的。

(2)只有当碳价高于一定的临界值时,碳市场才能通过交易行为发挥激励机制。中国试点碳市场分布广泛,政策设计、定价水平等市场要素各异,导致碳市场以市场机制引导企业碳减排的目标出现局部失效。然而,当碳价达到一定水平时,碳市场中的交易行为即会发挥理论上的碳减排效应。这既说明了部分试点碳市场存在的碳定价不足,也对政策上引导碳市场形成合理的碳定价水平提出迫切需求。

(3)碳市场的约束机制主要体现在前置和后置于交易环节的非交易环节,且现阶段核心的约束政策在于碳配额的政策设计。根据碳市场的政策设计体系,在碳市场的非交易环节,存在MRV政策、配额政策与惩罚政策等主要约束性政策。然而,从目前地方试点碳市场的实践经验来看,并非所有约束性政策都能够充分发挥碳减排效应。具体而言,

2022年9月

仅配额分配政策的设计体现出约束力度,而MRV政策与惩罚政策尚未显现出本应具备的约束性。

5.2 政策建议

在中国2030碳达峰、2060碳中和的战略目标下,碳市场的发展繁荣与碳减排目标的实现密切相关。结合中国碳市场的主要现状,可以针对性地提出以下三方面的政策建议:

(1)明确碳定价与企业碳减排成本的关联关系。碳市场作为实现碳减排目标的重要经济手段,碳定价水平对于碳排放主体的影响愈发凸显。然而,地方碳市场的碳定价水平参差各异,导致不同碳市场所发挥的碳减排效应不尽相同。因此,在碳达峰、碳中和的长远目标下,为了尽快推进企业主体对碳减排工作的积极参与,亟待引导碳市场尽快形成能够充分反映参与主体逐步升高的减排成本的碳价,切实推动对碳减排主体的有效激励。

(2)建立碳市场的最低限价制度。在认识到碳市场的定价功能大于交易功能的基础上,也要看到价格信号不仅对于控排主体具有即期影响,也会对潜在控排主体产生长效影响。而这种影响的强弱往往来自于价格预期。最低限价制度是一种能够对抗市场价格不确定性的政策方案,可以稳定控排主体(包含潜在控排主体)对配额出售盈利与减排成本差值的预期,从而促使其做出当期的碳减排决策。从另一个角度来说,考虑到欧盟碳边境调节税(CBAM)可能对中国生产制造业的巨大影响,对出口企业在中国境内征收碳税成为一种可能。碳市场的最低限价制度其实相当于一种定价的碳税政策,但并不会对已纳入碳市场的控排主体带来直接的成本冲击。因此,碳市场的最低限价制度可以被视作碳税征收的过渡性政策,且限价标准又有利于其他潜在控排主体形成成本预期。

(3)采取相对严格的约束性政策。一方面,适时普及以“基准法”为主的碳配额核定方法。碳配额核定方法是碳市场发挥约束机制的核心政策,碳配额是否具备稀缺性是碳市场能否产生合理碳价的制度基础。当碳配额的市场供给远大于市场需求时,碳配额在无效碳价下不仅难以在当期发挥碳减排效应,而且会在履约周期结束后结转至下一期,从而严重影响碳市场碳减排效应的长效机制。另一方面,对于MRV政策、惩罚政策等其他发挥碳

市场约束机制的政策,虽然其碳减排效应的影响程度尚未凸显,但预期随着碳市场的建立健全也将有所表现。因此,在碳达峰、碳中和的既定目标下,也应保持从严设计的政策取向。

参考文献(References):

- [1] Lopez J M R, Engels A, Knoll L. Understanding carbon trading: Effects of delegating CO₂ responsibility on organizations' trading behavior[J]. *Climate Policy*, 2017, 17(3): 346-360.
- [2] 张希良, 张达, 余润心. 中国特色全国碳市场设计理论与实践[J]. *管理世界*, 2021, 37(8): 80-95. [Zhang X L, Zhang D, Yu R X. Theory and practice of China's national carbon emissions trading system[J]. *Journal of Management World*, 2021, 37(8): 80-95.]
- [3] Fowlie M, Reguant M, Ryan S P. Market-based emissions regulation and industry dynamics[J]. *Journal of Political Economy*, 2016, 124(1): 249-302.
- [4] 汤维祺, 钱浩祺, 吴力波. 内生增长下排放权分配及增长效应[J]. *中国社会科学*, 2016, (1): 60-81, 204-205. [Tang W Q, Qian H Q, Wu L B. The mechanism and effects of allocation of emission rights on the condition of endogenous growth[J]. *Social Sciences in China*, 2016, (1): 60-81, 204-205.]
- [5] 杨博文. 习近平新发展理念下碳达峰、碳中和目标战略实现的系统思维、经济理路与科学路径[J]. *经济学家*, 2021, (9): 5-12. [Yang B W. The systematic thinking, economic logic and scientific path for the realization of carbon summit and carbon neutral target strategy under Xi Jinping's new development concept[J]. *Economist*, 2021, (9): 5-12.]
- [6] Clo S. The effectiveness of the EU emissions trading scheme[J]. *Climate Policy*, 2009, 9(3): 227-241.
- [7] Hu K, Chen Y. Equilibrium fuel supply and carbon credit pricing under market competition and environmental regulations: A California case study[J]. *Applied Energy*, 2019, 236: 815-824.
- [8] Xuan D, Ma X W, Shang Y P. Can China's policy of carbon emission trading promote carbon emission reduction?[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.122383.
- [9] Zhang J, Wang Z, Du X. Lessons learned from China's regional carbon market pilots[J]. *Economics of Energy & Environmental Policy*, 2017, 6(2): 19-38.
- [10] 李治国, 王杰. 中国碳排放权交易的空间减排效应: 准自然实验与政策溢出[J]. *中国人口·资源与环境*, 2021, 31(1): 26-36. [Li Z G, Wang J. Spatial emission reduction effects of China's carbon emissions trading: Quasi-natural experiments and policy spillovers[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2021, 31(1): 26-36.]
- [11] Hardin G. The tragedy of the commons[J]. *Science*, 1968, 162(3859): 1243-1248.
- [12] 吴茵茵, 齐杰, 鲜琴, 等. 中国碳市场的碳减排效应研究: 基于市

- 场机制与行政干预的协同作用视角[J]. 中国工业经济, 2021, (8): 114–132. [Wu Y Y, Qi J, Xian Q, et al. The carbon emission reduction effect of China's carbon market: From the perspective of the coordination between market mechanism and administrative intervention[J]. China Industrial Economics, 2021, (8): 114–132.]
- [13] 任亚运, 傅京燕. 碳交易的减排及绿色发展效应研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(5): 11–20. [Ren Y Y, Fu J Y. Research on the effect of carbon emissions trading on emission reduction and green development[J]. China Population, Resources and Environment, 2019, 29(5): 11–20.]
- [14] Wang P, Dai H C, Ren S Y, et al. Achieving Copenhagen target through carbon emission trading: Economic impacts assessment in Guangdong Province of China[J]. Energy, 2015, 79: 212–227.
- [15] Lin B Q, Jia Z J. What are the main factors affecting carbon price in emission trading scheme? A case study in China[J]. Science of The Total Environment, 2019, 654: 525–534.
- [16] 王文举, 陈真玲. 中国省级区域初始碳配额分配方案研究: 基于责任与目标、公平与效率的视角[J]. 管理世界, 2019, 35(3): 81–98. [Wang W J, Chen Z L. Study on the allocation plan of initial carbon allowances in China's province-level regions: Based on the perspective of responsibility and goals, fairness and efficiency [J]. Journal of Management World, 2019, 35(3): 81–98.]
- [17] Alberola E, Chevallier J, Cheze B. Price drivers and structural breaks in European carbon prices 2005–2007[J]. Energy Policy, 2008, 36(2): 787–797.
- [18] Mackenzie I A, Hanley N, Kornienko T. The optimal initial allocation of pollution permits: A relative performance approach[J]. Environmental & Resource Economics, 2008, 39(3): 265–282.
- [19] Dales J. Pollution, Property and Prices[M]. Toronto: University of Toronto Press, 1968.
- [20] Hurwicz L. The design of mechanisms for resource allocation[J]. The American Economic Review, 1973, 63(2): 1–30.
- [21] Zhou B, Zhang C, Wang Q W, et al. Does emission trading lead to carbon leakage in China? Direction and channel identifications[J]. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2020, DOI: 10.1016/j.rser.2020.110090.
- [22] 陈诗一. 能源消耗、二氧化碳排放与中国工业的可持续发展[J]. 经济研究, 2009, 44(4): 41–55. [Chen S Y. Energy consumption, CO₂ emission and sustainable development in Chinese industry[J]. Economic Research Journal, 2009, 44(4): 41–55.]
- [23] Hua G W, Cheng T C E, Wang S Y. Managing carbon footprints in inventory management[J]. International Journal of Production Economics, 2011, 132(2): 178–185.
- [24] 朱帮助, 徐陈欣, 王平, 等. 内部碳定价机制是否实现了减排与增收双赢?[J]. 会计研究, 2021, (4): 178–192. [Zhu B Z, Xu C X, Wang P, et al. Does internal carbon pricing scheme achieve a win-win of carbon emission reduction and revenue increase?[J]. Accounting Research, 2021, (4): 178–192.]
- [25] Zakeri A, Dehghanian F, Fahimnia B, et al. Carbon pricing versus emissions trading: A supply chain planning perspective[J]. International Journal of Production Economics, 2015, 164: 197–205.
- [26] Green J F. Does carbon pricing reduce emissions? A review of ex-post analyses[J]. Environmental Research Letters, 2021, DOI: 10.1088/1748-9326/abdae9.
- [27] Leroutier M. Carbon pricing and power sector decarbonization: Evidence from the UK[J]. Journal of Environmental Economics and Management, 2022, DOI: 10.1016/j.jeem.2021.102580.
- [28] Bento N, Gianfrate G. Determinants of internal carbon pricing[J]. Energy Policy, 2020, DOI: 10.1016/j.enpol.2020.111499.
- [29] 孙天晴, 刘克, 杨泽慧, 等. 国外碳排放MRV体系分析及对我国的借鉴研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(S1): 17–21. [Sun T Q, Liu K, Yang Z H, et al. Analysis and reference of foreign carbon emissions MRV system to China[J]. China Population, Resources and Environment, 2016, 26(S1): 17–21.]
- [30] 彭峰, 闫立东. 地方碳交易试点之“可测量、可报告、可核实制度”比较研究[J]. 中国地质大学学报(社会科学版), 2015, 15(4): 26–35, 138. [Peng F, Yan L D. Comparative study of “measurable, reportable, verifiable system” in local pilot sites of carbon emissions trading system[J]. Journal of China University of Geosciences (Social Sciences Edition), 2015, 15(4): 26–35, 138.]
- [31] 潘晓滨, 朱旭. 碳排放权交易中第三方核查机构独立性探究[J]. 资源节约与环保, 2021, (2): 113–114. [Pan X B, Zhu X. Exploring the independence of third-party verifiers in carbon emissions trading[J]. Resources Economization & Environmental Protection, 2021, (2): 113–114.]
- [32] 宋德勇, 朱文博, 王班班. 中国碳交易试点覆盖企业的微观实证: 碳排放权交易、配额分配方法与企业绿色创新[J]. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(1): 37–47. [Song D Y, Zhu W B, Wang B B. Micro-empirical evidence based on China's carbon trading companies: Carbon emissions trading, quota allocation methods and corporate green innovation[J]. China Population, Resources and Environment, 2021, 31(1): 37–47.]
- [33] 熊灵, 齐绍洲, 沈波. 中国碳交易试点配额分配的机制特征、设计问题与改进对策[J]. 武汉大学学报(哲学社会科学版), 2016, 69(3): 56–64. [Xiong L, Qi S Z, Shen B. The comparative features, problems and improvement measures of allowance mechanism of China's carbon trading pilots[J]. Wuhan University Journal (Philosophy & Social Sciences), 2016, 69(3): 56–64.]
- [34] 莫建雷, 朱磊, 范英. 碳市场价格稳定机制探索及对对中国碳市场建设的建议[J]. 气候变化研究进展, 2013, 9(5): 368–375. [Mo J L, Zhu L, Fan Y. Carbon price stabilization mechanism and its implication for China[J]. Climate Change Research, 2013, 9(5): 368–375.]
- [35] Tang R, Guo W, Oudenes M, et al. Key challenges for the establishment of the monitoring, reporting and verification (MRV) system in China's national carbon emissions trading market[J]. Climate Policy, 2018, 18(S1): 106–121.
- [36] 朱卫未, 缪子阳, 淦贵生. 基于 Context-dependent DEA 方法的

2022年9月

- 碳排放减额分配策略[J]. 资源科学, 2020, 42(11): 2170–2183.
- [Zhu W W, Miao Z Y, Gan G S. Carbon emission reduction allocation strategy based on the context-dependent DEA method[J]. Resources Science, 2020, 42(11): 2170–2183.]
- [37] 赵永斌, 丛建辉, 杨军, 等. 中国碳市场配额分配方法探索[J]. 资源科学, 2019, 41(5): 872–883. [Zhao Y B, Cong J H, Yang J, et al. An innovative allowance allocation method in China's unified national emissions trading scheme[J]. Resources Science, 2019, 41(5): 872–883.]
- [38] 史学瀛, 杨博文. 我国碳排放权交易处罚规则与履约风险规制路径[J]. 吉首大学学报(社会科学版), 2020, 41(1): 39–47. [Shi X Y, Yang B W. The penalty rules of carbon emissions trading and the path of performance risk regulation in China[J]. Journal of Jishou University (Social Sciences), 2020, 41(1): 39–47.]
- [39] 吴伟光, 祝雅璐, 顾光同. 中国试点碳市场有效性的决定因素[J]. 资源科学, 2021, 43(10): 2119–2129. [Wu W G, Zhu Y L, Gu G T. Determinants of the effectiveness of China's pilot carbon market[J]. Resources Science, 2021, 43(10): 2119–2129.]
- [40] 宋亚植, 刘天森, 梁大鹏, 等. 碳市场合理初始价格区间测算[J]. 资源科学, 2019, 41(8): 1438–1449. [Song Y Z, Liu T S, Liang D P, et al. Reasonable initial price interval calculation of carbon market[J]. Resources Science, 2019, 41(8): 1438–1449.]
- [41] 李敬, 刘洋. 中国国民经济循环: 结构与区域网络关系透视[J]. 经济研究, 2022, 57(2): 27–42. [Li J, Liu Y. China's national economic circulation: A perspective of the structural and regional network relations[J]. Economic Research Journal, 2022, 57(2): 27–42.]
- [42] Chen J D, Gao M, Cheng S L, et al. County-level CO₂ emissions and sequestration in China during 1997–2017[J]. Scientific Data, 2020, 7(1): 1–12.

Carbon emission abatement effect of China's carbon market from the perspective of incentives and constraints

ZHANG Han¹, MENG Jixian²

(1. Institute for International Strategic Studies, Party School of the Central Committee of C.P.C, Beijing 100091, China;

2. School of Economics and Management, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: The carbon emissions trading market is an important economic tool for China to achieve its carbon peaking and neutrality goals. To systematically explore the carbon market's emission reduction mechanism, this study focused on the system differences between seven carbon markets located in two provinces and five cities in China. Using municipal data from 2014 to 2020, we empirically examined the incentive and constraint mechanisms of the carbon market. The results show that: (1) In terms of the incentives for emission trading systems, carbon price is the core element that affects the carbon abatement effect, while such effect does not mainly come from carbon allowance trading; (2) Carbon allowance trading has a carbon price threshold effect on carbon abatement; only when the carbon price reaches a certain level, it will reduce carbon emission through trading; (3) In terms of constraints, the binding policies mainly stay in the non-trading stages; quota allocation is the core policy in the process of decarbonization, while the constraints of measurement, reporting, and verification (MRV) and punishment policy are not apparent yet. In conclusion, we recommend that: First, carbon emission trading should be encouraged to form a reasonable carbon price that can reflect the gradually increasing reduction costs of participating parties; Second, a floor price for the carbon allowance needs to be taken into consideration; Third, a relatively strict carbon quota allocation policy needs to be formulated.

Key words: emission trading system; carbon abatement effect; carbon pricing; incentive mechanism; constraint mechanism