

碳市场中的执法与企业合规行为： 一项实验经济学研究

罗俊，吴丽倩，陈叶烽

[摘要] 当前中国碳市场具有不完全监测的特征，配额收缴在很大程度上依赖企业的自我排放报告，可能导致碳市场无法取得预期效果。本文利用实验经济学方法模拟中国碳市场情景，在不完全监测环境中考察配额分配方式和执法机制对企业合规水平的影响。研究发现，配额分配方式和企业配额消耗异质性会对企业的合规行为产生影响。具体而言，相比基准线法的分配方式，企业在拍卖法下具有更频繁的违规行为，且高配额消耗企业相较于低配额消耗企业具有更高的违规水平。违规报告高惩罚机制和后续概率监测机制在两种分配方式下都能减少企业的违规行为，配额短缺高惩罚机制与历史报告审查机制仅在基准线法中有效。因此，在碳市场监管实践中，政府可以针对性执法，加大对高配额消耗企业的监督力度。在当前的基准线法背景下，可通过历史报告审查机制和后续概率监测机制提高执法效率。在执法力度的设置方面，政府应重视对违规报告行为的处罚，对配额短缺行为的惩处力度不必过高。本文为理解和认识中国碳市场中执法机制的有效性和针对性提供了政策启示。

[关键词] 碳市场； 合规行为； 执法； 实验经济学

[中图分类号] F424 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1006-480X(2025)03-0135-19

一、引言

推进碳达峰碳中和(简称“双碳”)是推动经济结构转型升级、实现高质量发展的内在要求，也是中国主动担当大国责任、推动构建人类命运共同体的迫切需要。碳排放权交易市场(简称碳市场)是实现“双碳”目标的重要政策工具，对碳定价发挥基础性作用。“十二五”时期以来，中国从碳排放权交易试点开始，逐步建立全国碳市场。2021年，全国碳市场正式交易运行，碳排放权配额(简称碳配额)成为事实上的商品，在市场上被分配和交易。碳配额是一种可交易的污染许可证

[收稿日期] 2024-10-04

[基金项目] 国家自然科学基金面上项目“数字化时代下个人慈善捐赠行为特征与激励机制的理论和实验研究”(批准号72473125);浙江省哲学社会科学规划重大课题“信息干预、认知偏差与劳动力市场匹配的实验研究”(批准号23QNYC14ZD)。

[作者简介] 罗俊，浙江财经大学经济学院教授，博士生导师，经济学博士；吴丽倩，浙江财经大学—中国社会科学院大学浙江研究院硕士研究生；陈叶烽，浙江大学经济学院教授，博士生导师，经济学博士。通讯作者：吴丽倩，电子邮箱：liqian_193515@163.com。感谢Frans P. de Vries与John K. Stranlund的指导与帮助，感谢叶航、杜宁华、董志强的建议。感谢匿名评审专家和编辑部的宝贵意见，文责自负。

(Permits),^①由政府部门确定配额总量并将配额分配到各企业,企业需要在履约期末上缴和其排放量一致的配额量。碳市场作为一种市场手段,虽然可以最大限度地减少实现排放目标的总减排成本,优化配置减排资源(张希良等,2021),但如果碳市场存在执行问题(Stranlund,2017),即企业实际持有的配额量不能覆盖其应缴纳的配额量,碳市场就不能取得预期效果。

碳市场的执行逻辑在于企业要有充足的碳配额以覆盖其温室气体排放。由于使用连续监测方法获取碳排放量数据成本较高,中国当前的碳配额收缴并非基于企业的实际排放,而是以企业自行估算的碳排放量为配额扣除依据,这依托于监测、报告和核查(Monitoring, Reporting and Verification, MRV)体系。MRV体系通过技术管理措施对能源、物料等数据进行监测和记录,并由第三方机构通过文件审核和现场走访等方式对企业的排放报告进行核实。从技术角度看,由于核算对象非直观可见,通过核算方法计算出的碳排放数据与实际值相比存在偏差。此外,全国碳核算标准也不统一,存在数据造假的弹性空间。

从实践看,全国碳市场仍存在以下问题:一是排放数据质量有待提高。为提高数据质量,国务院于2024年发布《碳排放权交易管理暂行条例》(简称《条例》),首次以行政法规的形式对碳排放权交易市场做出了规定,严厉打击碳排放数据不实现象。二是配额价格较低。2023年中国碳市场的平均碳价约为68.15元/吨,远低于《巴黎协定》目标所要求的碳价。^②在碳价较低的情况下,企业购买配额的成本小于节能减排的成本,没有激励进行科技创新,碳排放的负外部性由整个社会承担。这与碳市场的构建目标相悖,因此需要采取措施提高碳价。免费发放配额的初始分配方式是碳价低的原因之一。根据《条例》,碳排放配额实行免费分配,并根据国家有关要求逐步推行免费和有偿相结合的分配方式。虽然配额分配从免费分配转变为有偿分配是政策走向,但在政策落实上,中国当前的配额分配还是以免费分配为主。从配额供给看,《2023、2024年度全国碳排放权交易发电行业配额总量和分配方案》表明,配额发放将按照行业配额基本盈亏平衡、略有缺口的原则设计。可见,碳配额的供给仍是充足的。免费分配足量配额会导致配额价格远低于目标要求价格。由此,碳市场的配额供给方式亟须调整。

对此,本文旨在从配额分配方式与执法机制两方面对影响企业合规行为的因素进行研究,并考察企业配额消耗异质性^③对企业合规表现的影响。具体而言,本文构建了违规报告高惩罚机制以及配额短缺高惩罚机制以考察执法力度对合规行为的影响;构建了历史报告审查机制和后续概率监测机制以利用企业的历史数据,在监管资源有限的情况下提高执法效率。实验结果表明,配额分配方式对被试者的违规行为存在显著影响,在配额总供给量相同的情况下,拍卖法中个体违规行为次数高于基准线法。^④此外,企业的配额消耗类型显著影响了其违规行为,高配额消耗企业的平均违规次数高于低配额消耗企业。由此,针对高配额消耗企业的监测工作亟须得到重视。

① 国外文献中一般将配额表述为许可证“Permit”。例如配额价格在外文文献中为许可证价格“Permit Price”,配额短缺在外文文献中为许可证短缺“Permit Shortfall”。为了与国内文献表述一致,后文将许可证统一表述为配额。

② 资料来源:中央财经大学绿色金融国际研究院(<https://iigf.cufe.edu.cn/info/1013/8404.htm>)。根据《巴黎协定》的标准,如果要满足在21世纪末地球气温上升不超过2℃的目标,碳价应在2020年前达到40—80美元/吨。

③ 配额消耗对应企业的单位产品碳排放量,即高配额消耗企业代表高污染企业,低配额消耗企业代表低污染企业。

④ 基准线法是选取行业中某个比例(平均值或先进值)的排放量为基准值计算配额量。

本文的边际贡献在于:①不同于已有文献对碳市场价格机制及效率问题的探讨,本文首次聚焦中国碳市场的不完全监测特征,在较低的监测概率下研究执法机制问题,并考察了执法机制对企业合规行为的影响;②利用实验经济学方法实证检验了企业配额消耗类型对其合规行为的影响,为监管部门根据企业特征针对性执法提供了有力支撑;③创新性地实验中设置了历史报告审查机制和后续概率监测机制,探讨如何有效利用企业的历史数据,在提高企业合规率的同时减轻执法压力。

二、文献回顾

本文的研究重点在于排放权交易市场中的执法机制与合规性。具体地,本文考察不同配额分配方式下各执法机制对企业合规行为的影响。由此,首先分析排放权的初始分配问题,然后围绕执法机制与执法成本进行文献梳理,重点关注如何设计机制以提高企业合规水平的相关理论与实验研究,最后对碳排放权交易机制相关文献进行总结。

排放权交易市场的实施首要解决的是排放权的初始分配问题。排放权的初始分配可能影响最终的分配效率(Grimm and Ilieva, 2013)、均衡的分配结果以及总监管成本(Stavins, 1995)。对于初始分配问题,以往文献主要聚焦以下两个方向:一是免费分配和有偿分配。免费分配是多数排放权交易计划初期采取的分配方式,可以减轻企业参加排放权交易市场的压力,但免费分配存在扭曲市场价格的可能性。相比之下,拍卖法可以提高配额价格和减排水平(Grimm and Ilieva, 2013),为R&D提供更强的投资动机(Cason and de Vries, 2019),带来更高的消费者剩余(Goeree et al., 2010)、促进企业全要素生产率的提升(胡珺等, 2023)。二是免费分配应采取何种分配原则,其中涉及效率原则、公平原则、产出原则及历史排放原则等(傅京燕和代玉婷, 2015;王文举和陈真玲, 2019;钱浩祺等, 2019)。

除了初始分配问题外,不完全监测的市场还需要设计执法机制以提高企业合规水平。在研究惩罚的不确定性如何影响合规行为时, Luengo et al. (2020)表明,随机性处罚的效果不佳而且会增加企业的违规程度,因此要设置确定性处罚。排放权交易计划的参数主要包括监测与惩罚力度,惩罚可分为对配额短缺行为的惩罚和对违规报告行为的惩罚。在研究对违规行为的惩罚机制时, Stranlund et al. (2005)指出,配额短缺和违规报告是两种违规行为,应分别设置惩罚。其中,在设置这两种违规行为的惩罚时,排放权交易计划中常使用固定罚款,少部分排放权交易计划把违规罚款与配额价格挂钩。在权衡对违规行为的处罚力度时,需要考虑依托于配额价格变化的间接效应(Murphy and Stranlund, 2006),这是因为执法力度的变化会改变配额价格,而配额价格的变化会影响企业的违规激励。在两种对违规行为的处罚中, Stranlund et al. (2005)认为配额短缺高惩罚制度增加了企业低报排放量的激励,强调对报告偏离行为的高惩罚,认为将这一惩罚设置在合理水平可以降低监测成本。为了验证违规报告的高惩罚比配额短缺的高惩罚更能促进合规行为的假设, Stranlund et al. (2011)在实验中发现,配额短缺的高惩罚在动态排放权交易市场中的震慑价值较小。由此,在不完全监测的排放权交易市场中,对配额短缺行为的高惩罚可能是不可取的。此外,一种罕见的规制方式是将监测概率与配额均价挂钩。Stranlund et al. (2019)利用实验方法检验了该机制的有效性,结果表明这种干预可以有效减少违规行为。因此,在设计执法机制时,可以通过修改监测概率以提高企业合规率。

在设计执法机制时,由于监管部门执行排放权交易计划需要成本,政策评估应纳入对执行成本的考量(Malik, 1992)。根据Stranlund(2007),在设计环境政策时,一个重要问题是是否追求完全合规,即允许一定程度的不合规是否可以降低实现环境目标的成本。该成本由企业减排成本、监管部

门的监测成本以及实施制裁的预期成本构成。由此,当减排成本具有不确定性时,可以将处罚和配额价格挂钩,使执法成本免受减排成本风险的影响(Stranlund and Moffitt, 2014),稳定执法努力。从监管部门的选择看,当监管资源有限时,减排成本较高的公司会获得更多的监管资源份额(Garvie and Keeler, 1994)。然而,根据Murphy and Stranlund(2007)的结论,竞争性风险中性企业的违规行为独立于减排成本差异,监管机构无法根据企业层面的特征进行针对性执法。然而,从经济直觉以及本文理论模型看,企业配额消耗类型会影响其合规行为。因此,本文在企业特征层面设置了配额消耗异质性,观察高污染企业和低污染企业是否在合规选择上存在显著差异,为针对性执法提供实证证据。

国内学者围绕碳排放权交易机制进行了诸多探讨。例如,吴洁等(2015)研究了不同配额分配方式下碳市场对区域宏观经济的影响,研究表明,免费与拍卖相结合的混合分配方式能更好地兼顾宏观经济成本与产业结构的调整。魏立佳等(2018)采用实验经济学方法研究了中国碳配额的市场波动风险和稳定机制问题。胡玉凤和丁友强(2020)提出,碳交易既降低了碳排放总量,也增加了企业利润,但对企业全要素生产率具有负面影响。He and Chen(2021)比较了各种拍卖机制在分配减排补贴上的作用效果。国外学者也对碳排放权交易机制进行了研究。Taschini et al.(2014)对动态排放权交易市场进行了研究,关注合规企业在面临不可逆减排技术时的投资策略。结果表明,对超额排放施加高额的单位罚款时,企业有动力尽早投资减排技术。Friesen et al.(2022)使用实验方法研究了美国区域温室气体倡议(RGGI)的制度设计问题,指出通过配额储备调节配额供应可以帮助企业降低减排成本,并推动减排技术的创新。然而,未有文献聚焦于中国碳市场的不完全监测特征,也未对碳市场的执法问题进行细致地探讨。在不完全监测的碳市场中,如果执行不当,碳市场的效率会大打折扣。

经验数据对于研究碳市场的执法机制与合规行为可能存在以下不足:①企业的合规数据可能难以收集。企业的排放数据属于私人信息,当前技术及设备条件下无法获得充足数据判断企业的合规性。②难以考察碳市场执法机制与合规行为的关系,由于中国碳市场采用统一的执法机制,地方碳试点之间的执法机制没有明显差异。相较经验数据,实验数据可以通过机制设计识别执法机制和合规性的因果关系。例如,Caffera and Chávez(2016)通过实验室实验研究了规制下的违规行为,认为通过允许与理论模型一致的不合规水平,规制可以带来排放量的下降和配额价格的上升。Vidal-Meliá et al.(2022)在实验中对比了排放税和排放权交易两种工具,并尝试惩罚概率与违规处罚的不同组合设计,以研究这两种工具对采用清洁减排技术的激励效果。

虽然中国碳市场的效率和机制设计是学术界关注的重要问题,但不同碳市场机制的作用缺乏实证证据支撑。国内没有针对碳市场执法问题的实证研究,而国外的碳市场研究与中国碳市场的现实情况有较大差别。因此,本文在实验室中构建了碳市场情景,以提升企业在碳市场中的合规率为出发点,在不完全监测的背景下研究配额分配方式和执法机制对企业合规水平的影响,以期为中国碳市场的执法机制提供可行的政策建议。

三、实验设计

本文的研究目标是比较拍卖法和基准线法^①下不同机制对企业碳排放合规表现的作用。在实

① 在拍卖法和基准线法中,配额的总供给量相同,该数值略低于所有企业在合规情况下生产最大产量所需的对应配额量,参见本文的实验设计部分。

验中,本文注意对其他相关变量的控制,如被试者的招募和实验环境设置等。实验采取被试间设计,即每名被试者只能参加一场实验。整个实验中的信息显示和被试者决策都在计算机上进行,实验程序使用z-Tree程序编写(Fischbacher,2007)。

本实验于2023年4月24日至5月19日在浙江财经大学经济行为与决策研究中心(CEBD)面向全体学生^①公开招募400名被试者,实验对象通过微信公众号招募。在实验正式开始前,被试者签到并随机抽取座位号,按照座位号入座。待所有被试者入座后,实验员发放实验说明,让所有被试者阅读实验说明,在阅读过程当中被试者若有任何问题均可举手示意。在实验人员讲解实验流程后,被试者需正确回答3道测试性问题方可进入正式实验部分。具体而言,本实验包含10个实验局,各实验局的总人数为40人,每个实验局进行两场实验。每场实验平均持续时间为70分钟左右,平均报酬为61.6元。

本实验的设计部分参考Murphy and Stranlund(2007)的设置。^②每8名被试者组成一个市场,其中,每名被试者代表1家企业,单个市场中有4家高配额消耗企业和4家低配额消耗企业。正式实验共进行16轮,本实验分为五个阶段(如图1),分别是配额发放、配额交易、生产决策、报告阶段和结果显示。其中,低配额消耗企业的生产边际成本为20个、23个、26个、29个、32个实验币;高配额消耗企业的生产边际成本为18个、20个、22个、24个、26个实验币。这样设置模拟了产品生产边际成本递增。本实验中设置企业在生产阶段生产的产品是无差异的同质商品。生产阶段结束后,系统将以55个实验币的价格自动回收企业在生产阶段生产的产品,即生产阶段结束后,被试者的账户中自动增加了企业生产的产品收益。

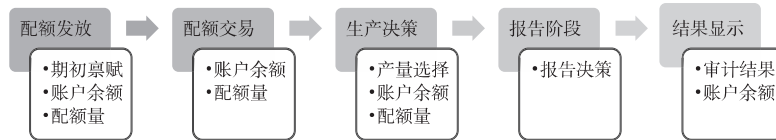


图1 实验流程

实验模拟了拍卖法和基准线法两种不同的配额分配方法。在拍卖法中,配额是有偿发放的,出价更高的被试者更有可能获得配额。^③每家企业的初始禀赋为100个实验币和6单位配额。在每期的配额发放阶段,市场中的8名参与者将竞拍45单位排污配额,每一期的配额拍卖量保持不变。各个企业针对配额出价,提交自己的意向购买价格及对应的数量。这些配额可用于当期生产,也可保存以备后用。如果被试者认为在未来拍卖中可用的配额较少时配额会更有价值,可以持有配额

- ① 招募学生作为被试者开展碳市场执法与合规行为实验研究的合理性和必要性说明:一是在排放权交易市场的合规研究中,现有的实验经济学文献普遍以学生为被试样本(Murphy and Stranlund,2006;Caffera and Chávez,2016;Taschini et al.,2014;Vidal-Meliá et al.,2022)。二是本实验研究的是合规问题,所做的决策实际上是风险选择,并不涉及特定人群的特征。根据价值诱导理论,被试者有经济动机做出真实选择。三是选取学生作为被试者有利于控制其他变量不变(例如性别、年龄、受教育水平等),从而更好地识别不同类型的执法机制对企业在碳市场中合规率的因果影响,检验相关政策效果。
- ② 为最大程度贴合中国当前的碳市场流程,并与文献保持一致性,本文最终采用Murphy and Stranlund(2007)的部分实验参数。
- ③ 拍卖机制为统一价格密封拍卖。如果当期配额竞拍总量大于配额供给量,成交价格等于所有未成交价格中的最高价;如果当期配额竞拍总量小于等于配额供给量,则成交价格为所有竞拍价的最低价格。

以备后用。配额在最后一个时期结束时将没有价值。在基准线法中,配额是免费分配的,每个企业初始账户中有100个实验币,每期的配额发放阶段给每家高配额消耗企业和低配额消耗企业发放6单位配额。^①

配额交易阶段后进入生产决策阶段,被试者在这里作出当期的产量决策。被试者的每期产量受到5单位的产能约束,即产量不能超过5单位。同时,被试者受到配额量约束,按照规定,每家企业生产时的配额存量应大于等于当期产量对应的配额量,否则可能面临配额短缺惩罚。

在报告阶段,企业对当期的产量进行自主报告,报告的产量可以等于或小于当期的实际产量。但如果企业报告的产量低于实际产量,其谎报行为被审计发现时,该企业将面临违规报告的惩罚。

结果显示阶段将按照已知的审计规则对企业的生产报告进行审计并显示审计结果。若本期企业被审计且少报,系统将认定其报告违规,对每个少上报的配额罚款 φ 实验币。若本期企业不被审计,则以报告的数量作为本期的排放量依据,并扣除相应的配额。若账户内拥有的配额小于需要扣除的配额数量,则视为配额违规,对每单位的配额违规扣除 k 倍当期处罚价格^②的现金处罚,并在下一期中扣除1单位配额,在第4、8、12、16期项目自动检查依从情况。若在第4、8、12、16期的期末,被试者的配额存量不能覆盖近四期的配额赤字,则被试者将因每个缺少的配额而被处以2倍当期处罚价格的罚款。结果显示阶段的最后一个界面会显示本期和近四期的配额赤字、账户余额、生产收益(=产品收益-生产成本)和本期净利润(=生产收益-配额竞价成本+出售配额收益-买入配额成本)。

在本实验中,记企业配额存量为 Q_0 ,系统记录的当期需要扣除的配额量记为 Q ,企业报告的对应配额量记为 Q_1 ($Q_1 = \text{企业报告的产量} \times \text{企业单位产品配额消耗量}$),企业当期真实产量的对应配额量记为 Q_2 ($Q_2 = \text{企业真实产量} \times \text{企业单位产品配额消耗量}$)。在企业不被审计的情况下, $Q = Q_1$;在企业被审计的情况下, $Q = Q_2$ 。配额短缺惩罚是针对系统识别到的每个配额赤字($Q - Q_0$)的现金处罚(当且仅当存在配额赤字时),数值为 k 倍的当期处罚价格,也即现金处罚= $(Q - Q_0) \times k \times \text{处罚价格}$ 。违规报告惩罚是企业被审计时针对违规报告($Q_2 - Q_1$)的每个配额单位进行的现金处罚,现金处罚的数值为 φ 实验币/单位,即现金处罚= $(Q_2 - Q_1) \times \varphi$ 。

完成正式实验任务之后,被试者还需要完成风险偏好测试表和个体信息问卷。^③风险偏好测试表采用Holt and Laury(2002)的设计,让被试者做出10个决策,被试者需要在A和B选项之间进行选择,选择A选项的次数越多代表被试者的风险厌恶系数更高。个体信息问卷包含了性别、年龄等问题,用以观察被试者的统计特征。在被试者完成个体信息问卷后,电脑屏幕上将显示被试者的最终实验收益。本实验根据配额的不同发放方式分为拍卖法和基准线法两种情景,每种情景下有一个基准组、一个违规报告高惩罚组、一个配额短缺高惩罚组、一个历史报告审查组和一

① 设置配额参数的基本原则是将拍卖法中竞拍的“排污配额”数量和基准线法的配额数量保持一致。根据基准线法的分配特点,一部分企业在碳市场中有配额剩余,其余企业则由于不够“先进”而处于配额赤字境地。由此,在给定产能为5单位时,基准线法每期发放48单位配额,即平均每企业每期发放6单位配额;拍卖法中平均的配额供给也为每期48单位。

② 在拍卖法中,处罚价格等于当期的配额竞拍成交价;在基准线法中,处罚价格等于价格7与当期交易均价的较大值。在价格7和当期交易均价中选取较大值,是为了避免当期配额交易均价过低以至于无惩罚作用。价格7采用的是拍卖法中的实验基准组中间4期(第7—10期)配额成交价的均价。

③ 风险偏好的测试问卷和个体信息问卷参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。

个后续概率监测组,一共10(=2×5)个实验局。拍卖法和基准线法实验局的区别在于配额发放方式不同,即拍卖法中采用竞拍的方式有偿发放配额,基准线法中统一发放配额。具体实验局设置见表1。

表1 实验局设置

实验局名称	审计概率	违规报告惩罚系数	配额短缺惩罚系数
基准组	$p=0.35$	$\varphi=9$	$k=1.1$
违规报告高惩罚组	$p=0.35$	$\varphi=21$	$k=1.1$
配额短缺高惩罚组	$p=0.35$	$\varphi=9$	$k=1.86$
历史报告审查组	报告量低于 $t-1$ 期的 t 期 $p=0.7$	$\varphi=9$	$k=1.1$
后续概率监测组	判定违规行为的 $t+1$ 期 $p=0.7$	$\varphi=9$	$k=1.1$

(1)基准组 Baseline^A/Baseline^B:使用0.35的审计概率,采用较低的违规报告惩罚和配额短缺惩罚。Baseline^A和Baseline^B的区别在于前者使用拍卖法发放配额,后者使用基准线法发放配额。

(2)违规报告高惩罚(Reporting Violation Penalty)组 RVP^A/RVP^B:对违规报告行为采取高惩罚措施,违规报告惩罚为21个实验币。

(3)配额短缺高惩罚(Permit Shortfall Penalty)组 PSP^A/PSP^B:对配额短缺行为采取高惩罚措施,配额短缺惩罚为1.86倍处罚价格。

(4)历史报告审查(Previous Report Audit)组 PRA^A/PRA^B:如果被试者在 t 期上报的产量低于 $t-1$ 期,则将 t 期的审计概率上调至0.7。

(5)后续概率监测(Subsequent Probability Monitoring)组 SPM^A/SPM^B:若被试者在 t 期被判定存在任一种违规行为,则在 $t+1$ 期审计概率调整为0.7。

四、理论模型

本文在Malik(1990)的基础上纳入自我报告这一变量,设计了基于企业效用最大化的合规模型。碳市场由 n 家企业构成,配额通过拍卖或免费分配的方式在企业之间分配,企业可以在配额市场中进行配额交易。假定市场中有两种类型的企业,根据配额消耗类型 θ_i 划分, $\theta_i=1$ 表示企业 i 是低配额消耗企业, $\theta_i=2$ 表示企业 i 是高配额消耗企业。

企业 i 在市场中从事生产活动,对应的利润函数为 $B_i(x_i)$ 。其中, x_i 代表企业的产量,产品在市场上具有统一价格 a ,企业 i 的生产成本由 $c_i(x_i, \theta_i)$ 表示。由此, $B_i(x_i) = ax_i - c_i(x_i, \theta_i)$ 。记 e_i 为企业的排放量,由于设定 θ_i 为企业单位生产的配额消耗量,则 $e_i = \theta_i x_i$ 。

为简化计算,这些企业被假定为配额市场的价格接受者,配额的价格记为 b 。用 s_i^0 表示企业 i 在 t 期初持有的配额量,该部分配额量等于企业上一期留存的配额量 s_i 与企业期初免费获得的配额量 α_i (在拍卖法中, $\alpha_i = 0$;在基准线法中, $\alpha_i > 0$)之和,即 $s_i^0 = s_i + \alpha_i$ 。用 l_i 表示企业 i 在时期 t 购入的配额数量,则 bl_i 为企业在配额购买上的总支出。

在本实验中,企业的真实排放量属于私人信息,监管部门只能通过审计活动获取这一数值。假定政府的审计概率为常数 p ,当企业受到审计时,配额收缴依据为企业真实排放量;当企业不受审计时,配额收缴依据为企业自我报告的排放量。用 r_i 表示企业自我报告的排放量, φ 表示违规报告的

边际罚款, k 为配额短缺边际罚款系数, 则 γ 为配额短缺的边际罚款, 即 $\gamma = kb$ 。由此, 如果企业合规, 则 $e_i \leq s_i^0 + l_i$, 且 $r_i = e_i$; 如果企业违规, 则配额短缺水平用 v_i^1 表示 ($v_i^1 = e_i - s_i^0 - l_i$), 违规报告水平用 v_i^2 表示 ($v_i^2 = e_i - r_i$)。如果企业被审计且存在违规行为, 企业需要为此缴纳罚款, 惩罚函数用 $f(v_i^1, v_i^2, \gamma, \varphi)$ 表示, $f(v_i^1, v_i^2, \gamma, \varphi) = \gamma v_i^1 + \varphi v_i^2$ 。令 π^0 为企业不被审计时的利润, π^1 为企业被审计的利润, 则 $\pi^1 = \pi^0 - f(v_i^1, v_i^2, \gamma, \varphi) - bv_i^2$ 。

企业的决策目标为效用最大化, 省略下标。假定企业 i 不存在过度存储配额的行为, 即 $v^1 \geq 0$, 其面对的决策可表述如下:

$$\max_{x, l, r} [(1-p)U(\pi^0) + pU(\pi^1)] \quad (1)$$

$$\text{s.t. } x \geq 0, l \geq 0, r \geq 0, v^1 \geq 0, v^2 \geq 0 \quad (2)$$

这里先对拍卖法的情景进行分析。以上最大化问题的库恩—塔克条件如下:

$$\frac{\partial L}{\partial x} = (1-p)U'(\pi^0)B' + pU'(\pi^1)(B' - \gamma\theta - b\theta - \varphi\theta) + \lambda_1\theta + \lambda_2\theta \leq 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial L}{\partial l} = p\gamma U'(\pi^1) - \lambda_1 \leq 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial L}{\partial r} = -b(1-p)U'(\pi^0) + p\varphi U'(\pi^1) - \lambda_2 \leq 0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial L}{\partial x} x = 0, \frac{\partial L}{\partial l} l = 0, \frac{\partial L}{\partial r} r = 0, \lambda_1 v^1 = 0, \lambda_2 v^2 = 0, \lambda_1 \geq 0, \lambda_2 \geq 0 \quad (6)$$

考虑企业合规的情况, 也就是企业无配额短缺问题且诚实报告, 此时 $v^1 = v^2 = 0$, 且 $\pi^0 = \pi^1 = \bar{\pi}$ 。这里设定企业的效用随利润的增加而增加, 这是因为利润对于企业而言是多多益善的, 即 $U'(\pi) > 0$ 。设定 $x > 0$, 这是因为企业需要从事生产活动获得产品收益。在完全合规的条件下, 根据式(3), 有:

$$(1-p)U'(\bar{\pi})B' + pU'(\bar{\pi})(B' - \gamma\theta - b\theta - \varphi\theta) + \lambda_1\theta + \lambda_2\theta = 0 \quad (7)$$

当企业诚实报告时, $r > 0$, 根据式(5), 有:

$$\lambda_2 = (pb + p\varphi - b)U'(\bar{\pi}) \quad (8)$$

由于 $\lambda_2 \geq 0$, 可得 $p\varphi \geq (1-p)b$ 。该不等式的左右两侧分别为违规报告的期望成本和期望收益。该式表明, 当企业诚实报告时, 谎报的期望成本大于等于期望收益。

在拍卖法中, 合规企业需要通过竞拍或者交易的方式在市场中买入配额, $l > 0$ 。根据式(4), 有:

$$\lambda_1 = p\gamma U'(\bar{\pi}) \quad (9)$$

将式(8)、式(9)代入式(7), 得:

$$U'(\bar{\pi})(B' - b\theta) = 0 \quad (10)$$

$$B' = b\theta \quad (11)$$

式(11)表明, 如果企业是合规的, 他们会选择其产量使生产的边际收益等于购买配额的边际成本。这意味着高配额消耗企业的边际合规成本是低配额消耗企业的两倍。基于以上分析, 本文提出:

H1: 企业的单位产品配额消耗量越高, 企业维系合规性所需成本越高, 其违规次数也越多。

接下来考虑企业违规的情况。违规行为可分为配额短缺问题和违规报告问题两种。由于配额短缺问题在被系统记录后, 配额赤字部分需在后面以 1:1 的比例补缴, 在本文中不做讨论。这里抽

取两期履约期($t-1$ 期和 t 期)违规报告行为进行分析,用上标表示企业在 $t-1$ 期的决策。由于理性的企业不会过度存储配额,不妨假定 $e^{-1} \geq s^{-1} + l^{-1}$ 。如果企业在 $t-1$ 期违规报告,则分为两种情况:有 p 的概率企业被审计,配额赤字部分被记录下来在后面的期数补缴,此时 $s_i = 0$;有 $1 - p$ 的概率企业不被审计,用 r_i^{-1} 表示企业在 $t-1$ 期上缴的配额量,此时 $s_i = s_i^{-1} + l_i^{-1} - r_i^{-1}$ 。为了便于求解,不妨把 $s_i^{-1} + l_i^{-1}$ 记为常数,并假设 $r_i^{-1} = r_i + \mu_i, \mu_i$ 服从均值为0,方差为常数 σ^2 的正态分布。对于在时期 t 的企业 i ,上述库恩—塔克条件的式(5)变为:

$$\frac{\partial L}{\partial r} = -b(1-p)U'(\pi^0) + pU'(\pi^1)[\varphi - (1-p)\gamma] + \lambda_1(1-p) - \lambda_2 \leq 0 \quad (12)$$

如果企业 i 在 $t-1$ 期违规报告,而在 t 期选择完全合规,即 $v^1 = v^2 = 0$,可得:

$$\lambda_2 = (pb + p\varphi - b)U'(\bar{\pi}) \quad (13)$$

$$B' = b\theta \quad (14)$$

式(14)与式(11)一致,说明企业在 $t-1$ 期违规报告而在 t 期完全合规时,企业生产的边际收益等于购买配额的边际成本。

如果企业 i 在 $t-1$ 期违规报告,在 t 期继续选择违规报告,即 $v^2 > 0$ 。根据式(6), $\lambda_2 = 0$;根据式(12),结合 $\lambda_1 \geq 0$ 的约束条件,可得:

$$p\varphi \leq (1-p)b \quad (15)$$

式(15)是企业连续两期违规报告的必要条件。由此式可以推导出, $p\varphi > (1-p)b$ 是企业在这两期中至少一期合规报告的充分条件。由此,在设计执法机制时要注重对违规报告惩罚的设置。

下面对基准线法进行分析。基准线法的初始分配方式与拍卖法有所不同。在基准线法中,所有企业可以在期初免费获得 α_i 单位的配额($\alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_n$)。记企业的产能为 ω_i ,则基准线法的分配方式决定了以下事实:高配额消耗企业最大产量所需配额量大于初始配额分配量, $\theta_i \omega_i > \alpha_i$;低配额消耗企业最大产量所需配额量小于初始配额分配量, $\theta_i \omega_i < \alpha_i$ 。因此,高配额消耗企业在配额交易市场中购入配额($l_i > 0$),而低配额消耗企业在配额交易市场中售出配额($l_i < 0$)。

由于基准线法中低配额消耗企业具有充足的配额且在配额交易市场中售出配额,低配额消耗企业在基准线法中的违规激励较低。这里主要对高配额消耗企业的合规行为进行分析。由于 $v_i^1 = e_i - s_i - \alpha_i - l_i$,高配额消耗企业在基准线法($\alpha_i > 0$)中的配额短缺水平 v_i^1 可能低于拍卖法($\alpha_i = 0$)中的配额短缺水平。

根据以上分析,企业合规所需购入的配额量 l_i 为 $\theta x_i - s_i^0$,而 $s_i^0 = s_i + \alpha_i$ 。在拍卖法中, $\alpha_i = 0$;在基准线法中, $\alpha_i > 0$ 。也就是说,企业在拍卖法中为了合规性需要买入的配额量大于企业在基准线法中为了合规需要买入的配额量,即拍卖法中企业在配额购买上的平均支出大于基准线法中企业在配额购买上的平均支出。据此,本文提出:

H2:在不同的配额发放方式下,企业的合规行为表现不同,拍卖法相较于基准线法具有更频繁的违规行为。

为更好地分析审计概率的变化对企业合规行为的影响,这里对历史报告审查机制和后续概率监测机制进行分析。在满足对应条件时,审计概率将从 p 上升为 p' 。

在历史报告审查机制中,当企业在 t 期的报告量低于 $t-1$ 期时, t 期的审计概率将从 p 上升为 p' 。此时,完全合规的企业会如实报告真实排放量;而违规企业则可以通过维持报告量不变规避该机制生效,其最优的报告量为所有时期的平均配额持有量。对于企业 i ,在拍卖法中,其平均配额持有量

为 l_i^a ; 在基准线法中, 其平均配额持有量为 $\alpha_i + l_i^b$ 。对于相同的产量 x_i , 企业在拍卖法中需购入 l_i^a 单位配额, 在基准线法中需购入 l_i^b 单位配额 ($l_i^a > l_i^b$)。因此, 企业在拍卖法中购买配额的成本高于基准线法。在拍卖法中, 违规意愿较强的企业在竞拍中购入的配额较少, 其持有的配额量一定低于生产所需的配额量, 更有可能违规报告。在基准线法中, 低配额消耗企业违规激励小; 高配额消耗企业因其免费配额量可以合规生产 α_i/θ_i 单位产品, 可以通过购入少量配额或者减少生产以避免违规, 其持有的配额量不一定低于生产所需的配额量。因此, PRA 机制在基准线法中可能更有效。由此, 本文提出:

H3: 历史报告审查机制的效果受到配额分配方式的影响, 该机制在基准线法中更加有效。

在后续概率监测机制中, 当在 $t-1$ 期企业被监测到违规行为时, t 期的审计概率将从 p 上升为 p' 。若企业在 $t-1$ 期仅存在配额短缺问题, 那么, 在 t 期企业违规报告的期望收益将下降。企业的合规激励上升。若企业在 $t-1$ 期存在违规报告问题, 那么, 式(12)变为:

$$\frac{\partial L}{\partial r} = -b(1-p')U'(\pi^0) + p'U'(\pi^1)[\varphi - (1-p)\gamma] + \lambda_1(1-p') - \lambda_2 \leq 0 \quad (16)$$

此时, 如果企业 i 在 t 期继续选择违规报告, 即 $v^2 > 0, \lambda_2 = 0$ 。根据式(16), 结合 $\lambda_1 \geq 0$ 的约束条件, 得:

$$p'(\varphi + p\gamma - p'\gamma) \leq (1-p')b \quad (17)$$

此时, 式(17)相较于式(15)右式变小, 左式变大, 满足式(17)的可能性降低, 企业在 t 期继续违规报告的可能性降低, 其合规率可能上升。由此, 本文提出:

H4: 后续概率监测机制针对上一期被检测出违规行为的企业增加本期的监测概率, 企业的违规成本将增加, 合规率上升。

五、实验数据分析

这一部分内容展示实验结果。这里先对实验数据进行描述性统计和非参数检验, 然后用随机效应模型分析了个体的合规行为、生产行为及排放行为, 并分析市场中的配额交易均价, 模拟计算了不同干预机制的社会福利值, 最后根据企业的风险异质性和不同分配背景下干预机制的效果进行了分析。

1. 描述性统计和非参数检验

表2报告了各实验局被试者违规行为及风险偏好的描述性统计信息, 包括各实验局中被试者总违规次数、总配额短缺次数、总报告违规次数和风险偏好。从表2可以看出, 在拍卖法中, 和基准组对比, 除了PSP组的违规次数从均值看略有上升外, 其他干预组的总违规次数均有所下降, 表明RVP、PRA和SPM机制的干预措施有效减少了拍卖法中被试者的违规行为。而在基准线法的实验局中, 各个实验局的总违规次数相较于基准组均有所下降, 表明RVP、PSP、PRA和SPM机制在基准线法中有效降低了被试者的违规行为。此外, 从总配额短缺次数和总报告违规次数的均值看, 被试者的违规行为中大多数是违规报告行为, 配额短缺行为占比很小。^①这验证了Stranlund (2017)的推断, 执行监测不完善的跨期排放权交易计划的关键是激励真实的自我报告, 也就是说,

① 由于违规行为多数为违规报告行为, 配额短缺行为占比很小, 因此, 在研究企业违规行为时, 单独分析违规报告行为或配额短缺行为的意义不大, 在数据分析中使用“总违规次数”这一变量代表企业的违规行为。

减少被试者违规行为的关键在于减少其违规报告行为。从表2可以看出,同一机制下,基准线法的产量和报告量水平略微高于拍卖法。同时,基准线法中的配额交易均价在数值上相较于拍卖法大幅提升。

表2 各实验局被试者决策的描述性统计

实验局名称	总违规次数	总配额短缺次数	总报告违规次数	产量	排放量	配额交易均价
Baseline ^A	6.6250 (5.0823)	0.3750 (1.9039)	6.5750 (5.0984)	4.4063 (1.0994)	6.4188 (2.4950)	9.2132 (4.2935)
RVP ^A	3.6250 (4.3951)	0.2250 (0.8316)	3.5750 (4.3435)	4.3000 (1.1804)	6.2563 (2.5521)	9.4763 (6.3601)
PSP ^A	7.0750 (5.0707)	0.3750 (1.0300)	7.0750 (5.0707)	4.4203 (1.0526)	6.5781 (2.7236)	9.1347 (8.4984)
PRA ^A	5.8500 (4.4523)	0.2250 (0.6975)	5.8000 (4.4272)	4.2609 (1.1851)	6.2547 (2.6630)	10.4081 (6.0653)
SPM ^A	3.5750 (3.2885)	0.3750 (1.2129)	3.3250 (3.0834)	4.0891 (1.3612)	6.0266 (2.8064)	10.6033 (5.5870)
Baseline ^C	6.3750 (5.1425)	0.6750 (1.4569)	6.2500 (5.2072)	4.5234 (0.8555)	6.5969 (2.2266)	15.2802 (6.4339)
RVP ^C	4.3000 (3.5532)	0.5750 (1.4480)	4.1000 (3.4104)	4.4141 (0.9305)	6.4344 (2.2598)	16.1924 (11.9072)
PSP ^C	4.9000 (4.8875)	0.1750 (0.5495)	4.8000 (4.9313)	4.3563 (0.9712)	6.3688 (2.3239)	16.6681 (11.7862)
PRA ^C	3.2500 (3.3874)	0.6750 (1.6233)	3.1750 (3.3504)	4.3391 (0.9893)	6.2781 (2.1575)	14.6481 (7.8018)
SPM ^C	4.8000 (4.0900)	0.5750 (2.2970)	4.4250 (3.6647)	4.3906 (0.9948)	6.4375 (2.3800)	10.3666 (6.0915)

注:括号内为标准差。

本文对被试者的违规行为进行了 Mann-Whitney U 检验。^①从检验结果看,在不施加干预措施的情况下,两种分配机制的初始违规情况不存在显著差异;而进行干预后,同一干预机制在拍卖法和基准线法下对企业合规行为的影响不同。

图2展示了两种分配方式下各个干预机制的配额交易均价走势。图2(a)、(c)是基准组与RVP机制、PSP机制的比较,图2(b)、(d)是基准组和PRA机制、SPM机制的比较。由图2可以看到,在拍卖法中,配额的交易均价呈上下震荡趋势,整体看,配额价格变动规律为前半段时期上下震荡,后半段时期转变为递减趋势。最高均价在前半段时期出现,数值为16个实验币左右;最低均价在最后几期出现,数值为5个实验币左右。在基准线法中,配额的交易均价在前几期内短暂上升,后呈现出平滑的缓慢下降趋势。从数值看,基准线法的配额交易均价前后变化幅度比拍卖法更大:基准线法中的最高均价在前几期出现,数值一般在22个实验币以上;最低均价在最后几期出现,数值一般在8个实验币左右且高于5个实验币。

^① Mann-Whitney U 检验结果参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。

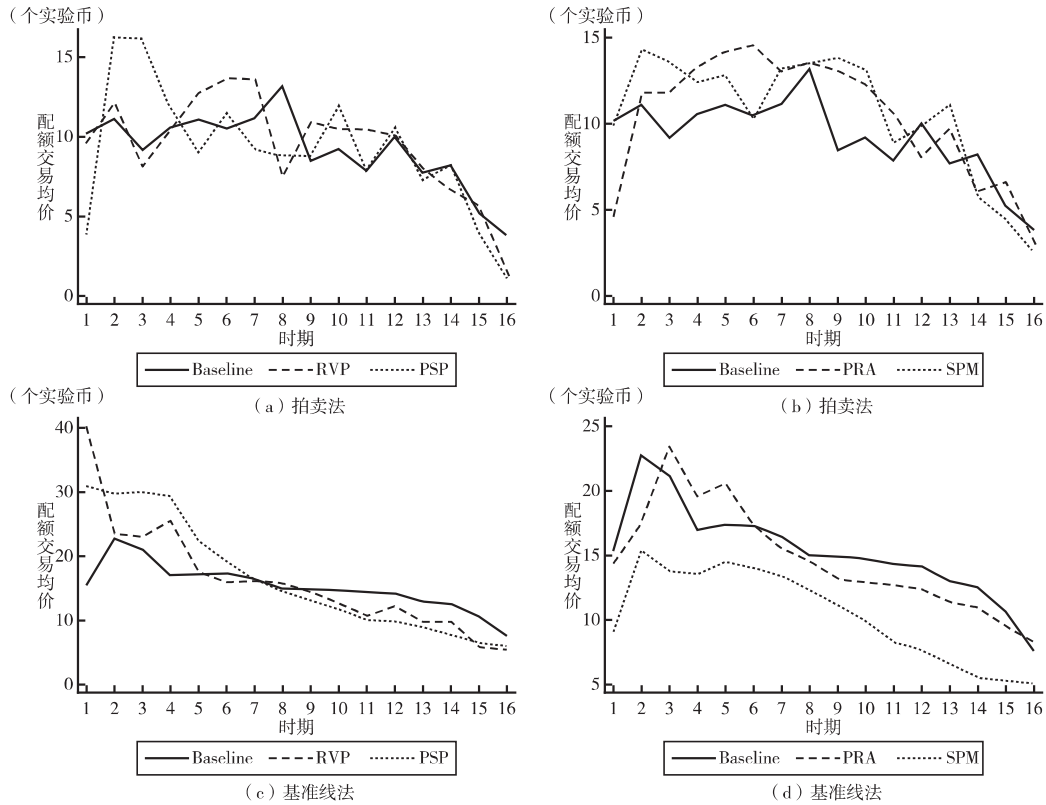


图2 拍卖法和基准线法各干预机制下的配额交易均价

2. 个体的合规行为

为了分析本实验中的个体合规行为,表3展示了模型 $y_{it} = \beta_0 + \beta x_{it} + \eta_i + \varepsilon_{it}$ 的回归结果。其中,被解释变量 y_{it} 是被试者的总违规次数,解释变量 x_{it} 是一个向量,里面包含了个体 i 在时期 t 的若干独立变量。 η_i 是被试者 i 的个体特征变量,包括被试者的风险偏好、性别、专业(是否经管)、年龄、学历、收入和支出。 ε_{it} 是误差项。

在模型的设定中,各干预机制、配额分配方式和被试者配额消耗类型是虚拟变量: $RVP=1$ 表示违规报告高惩罚机制, $PSP=1$ 表示干预机制是配额短缺高惩罚机制, $PRA=1$ 表示干预机制是历史报告审查机制, $SPM=1$ 表示干预机制是后续概率监测机制; $auc=1$ 表示使用拍卖法进行配额分配; $type=1$ 表示被试者是高配额消耗类型。

表3显示了个体的合规行为模型的回归结果。其中,第(1)列是OLS模型的回归结果,第(2)列是总体样本基于线性随机效应模型的回归结果,第(3)列是拍卖法样本的随机效应回归结果,第(4)列是基准线法样本的随机效应回归结果。从表3可以看出,OLS模型和随机效应模型的回归系数基本一致,但显著性存在差异,这里选择随机效应模型展开进一步分析。

根据表3第(2)列,在控制个体特征的情况下,四种干预机制对应的回归系数都是负数,这说明这些干预机制对个体的违规行为都有规制作用。其中,RVP机制、PRA机制和SPM机制都显著降低了被试者的总违规次数。在这三种机制中,又以RVP机制的回归系数绝对值最大,SPM机制的回归系数次之。PSP机制对违规行为的规制作用并不显著,可能是因为配额短缺处罚存在双重作用:一方面,设置较高的配额短缺处罚对违规行为有一定规制作用;另一方面,把配额短缺处罚设定在高

表3 个体的合规行为模型

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	OLS	RE	拍卖法	基准线法
<i>RVP</i>	-1.3534*** (0.0000)	-1.3534*** (0.0006)	-1.5100*** (0.0063)	-0.8472 (0.1297)
<i>PSP</i>	-0.2431** (0.0354)	-0.2431 (0.5457)	0.3078 (0.5889)	-0.7882 (0.1559)
<i>PRA</i>	-0.8002*** (0.0000)	-0.8002** (0.0445)	-0.0082 (0.9882)	-1.6942*** (0.0023)
<i>SPM</i>	-1.2542*** (0.0000)	-1.2542*** (0.0017)	-1.6490*** (0.0035)	-0.8475 (0.1251)
<i>auc</i>	0.2418*** (0.0008)	0.2418 (0.3358)		
<i>type</i>	0.5631*** (0.0000)	0.5631** (0.0255)	0.3861 (0.2805)	0.6966** (0.0455)
轮次	0.3276*** (0.0000)	0.3276*** (0.0000)	0.3489*** (0.0000)	0.3062*** (0.0000)
个体特征	√	√	√	√
样本量	6400	6400	3200	3200

水平可能会激励公司谎报排放量以规避配额短缺处罚(Stranlund et al., 2005)。根据损失厌恶理论,当面临损失时,人们具有风险寻求的倾向。当增加对配额短缺行为的处罚力度时,利润损失的量级增大,企业更有可能采取风险寻求行为,即谎报。因此,在面对高水平的配额短缺惩罚时,企业更有可能违规报告。此外,配额分配方式对被试者的违规行为存在显著影响,在拍卖法中,个体的违规次数相较基准线法略有提升,虽然这一提升在统计上并不显著。回归结果显示,企业的配额消耗类型显著影响其违规行为,高配额消耗企业的平均违规次数高于低配额消耗企业。这一发现支持了H1。

RVP机制在两种分配体系下都减少了违规行为次数,但RVP机制仅在拍卖法中显著,且其在拍卖法中的效果强于基准线法。PSP机制在拍卖法中的回归系数为正值,说明对配额短缺进行高处罚这一干预措施在拍卖法中对违规行为起了促进作用,虽然这一结果并不显著。由此推断,在拍卖法中,配额短缺高惩罚机制对于促使公司谎报排放量的激励作用强于对违规行为的规制作用。此外,PRA机制在基准线法中显著减少了被试者的违规行为,而PRA机制在拍卖法中的规制作用接近零且不显著,这支持了H3。从回归结果看,SPM机制在拍卖法和基准线法中都减少了违规行为,这支持了H4。

从表3第(3)、(4)列看,无论是拍卖法还是基准线法,配额消耗类型的回归系数都是正数,说明在两种分配方式下,高配额消耗企业的违规次数都高于低配额消耗企业。在拍卖法中配额消耗类型的回归系数不显著且数值较小,基准线法中配额消耗类型的回归系数通过了5%的显著性检验且数值较大。由此,配额消耗类型对合规行为的影响在拍卖法中不显著而在基准线法中显著。出现该现象的可能原因如下:在拍卖法中,两种类型的企业都需在竞拍中购入配额以维持合规性,二者都具有一定的违规激励。而在基准线法中,低配额消耗企业由于持有足量的免费配额而违规激励较低;高配额消耗企业需要从低配额消耗企业手中购入配额,从而违规激励较高。因此,虽然在两

种分配背景下高配额消耗企业的违规行为都更为频繁,但是这一现象在基准线法中是统计显著的。

为了进一步分析企业的合规行为,本文进行了事实违规行为概率的Logit分析。^①事实违规行为是指企业在事实层面上发生的配额短缺行为或违规报告行为。结果表明,这四种干预机制显著降低了企业事实违规行为的概率,其中,RVP机制的效果最优,SPM机制次之,PSP机制效果最弱,各干预机制的效果排名和表3的结果一致。在Logit模型中,拍卖法显著增加了企业的事实违规概率,这一结果支持了H2。在拍卖法中,PSP机制略微增加了被试者的违规行为概率,RVP机制、PRA机制和SPM机制都降低了被试者事实违规行为的概率;在基准线法中,四种干预机制都降低了被试者事实违规行为的概率。此外,高配额消耗类型的企业比低配额消耗类型的企业具有更高的违规概率,这一发现支持了H1。

3. 个体的生产行为及排放量

本文用线性随机效应模型对企业生产行为及排放行为进行研究。^②相较于基准组,四种干预机制都减少了个体的生产。这一结论和直觉一致,即更强的执法力度导致更少的生产。配额交易均价的提升也会降低企业的产量,但是影响不大。此外,拍卖法的产量和基准线法相比略低,这一点也是合乎逻辑的。基准线法免费发放配额,即便是高配额消耗企业,每期也至少可以合规生产3单位产品;而拍卖法中的企业需要竞拍获得配额,竞拍带来成本增加,因此,拍卖法中的产量相对基准线法有所降低。从回归结果看,被试者的配额消耗类型显著影响了生产行为,高配额消耗企业的产量相比低配额消耗企业更低。

分析企业的排放行为可以发现,四种干预机制都降低了企业的排放量,其中,SPM机制对企业排放量的抑制作用最明显。从总体样本看,配额交易均价上升会带来企业排放量的降低。这可能是因为配额交易均价上升会抑制企业生产,促使企业排放量降低。

4. 市场中的配额交易均价

本文构建了配额价格的线性随机效应模型,^③该模型框架和表3类似,但存在两点差异:一是被解释变量是配额交易均价;二是解释变量舍去了被试者配额消耗类型,因为市场中的配额交易均价是按小组计算的,同一组内高配额消耗企业和低配额消耗企业在同一期的配额交易均价赋值相同。从总体样本的回归结果看,实施RVP机制、PSP机制和PRA机制会增加配额价格,这一结果是在预期之内的,因为强度更大的执法机制从直觉上看会增加人们对配额的需求。预期之外的是,SPM机制显著降低了配额价格。施加干预措施后配额价格下降存在两种可能性:一是从供需角度看,对配额的需求下降导致配额价格下降;二是在配额短缺惩罚和配额价格挂钩的情况下,一些被试者可能通过操纵配额价格来降低处罚(Stranlund et al., 2019)。

5. 社会福利模拟计算

污染物的排放会恶化自然环境,给社会福利带来负面影响。在不完全监测的背景下,政府可以通过执法手段减少排污量。然而,执法在改变排污量的同时,也改变了执法成本、企业利润及政府财政收入。由此,社会福利发生了变化。为衡量不同执法机制对社会福利的影响,本文模拟计算了社会福利。用 D 表示排污的社会福利损失函数,且 $D' > 0, D'' > 0$ (乔晓楠和段小刚, 2012)。本文假定 $D(d) = zd^2$,其中, d 为超出配额发放量的排放量,即假定环境自身净化能力以外的污染物排放

① 事实违规行为概率的Logit模型回归结果参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。

② 生产行为及排放量的随机效应模型回归结果参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。

③ 配额交易均价的线性随机效应模型回归结果参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。

量带来了环境污染,将可净化的污染量用配额发放总量表示,其中, $z > 0$ 。这里的执法成本主要指监测企业违规行为的成本,即监测成本。根据Stranlund(2007),政府监测成本用 S 表示,令 S 为监测概率的线性函数,即 $S = \sum \mu p_i$ 。由于本实验设定在MRV体系下的基础监测概率为0.35,这里设定 p_i 为政府对企业 i 的监测中大于基础监测概率的部分,以此衡量政府为增强执法付出的监测努力。

基于以上思路,本文设定社会福利函数为:

$$W = \pi + T - D - S \quad (18)$$

其中, π 为市场中所有企业的利润之和, T 为政府的财政收入(包含对违规行为收取的罚款及政府出售配额获得的收入), D 为环境损失函数, S 表示政府的额外监测成本。

在碳市场实践中,《条例》大幅度增加了对企业违规行为的惩罚力度,旨在通过严厉罚款打击违规行为。基于这一事实,这里计算了罚款力度极高以至于被试者的最优选择为完全合规的结果(记为完全合规),并比较该完全合规情景与以上执法机制的社会福利值。^①

本文得到以下结论:在拍卖法中,RVP机制的福利状况优于基准组,且随环境损失系数的增大,这一福利差值逐渐增加,说明超额排放对环境的负外部性越强,RVP机制相较于基准组的优势越明显。RVP机制福利优于完全合规,这一差值随环境损失系数的增大而减小。在拍卖法的PSP机制中,社会福利低于基准组,随环境损失系数的增大,这一福利差值越大,说明超额排放对环境的负外部性越强,PSP机制相较于基准组的劣势越明显。这是因为PSP机制中排放量相较于基准组增加。由此,PSP机制的福利劣于完全合规,这一差值随环境损失系数的增大而增大。在拍卖法的PRA机制中,当环境损失系数较大、监察成本系数较小时,PRA机制的社会福利优于基准组。当排放损失系数与监察成本系数较小时,PRA机制优于完全合规情况。在拍卖法的SPM机制中,在环境损失系数较大,监察成本系数较小时,SPM机制的社会福利将优于基准组。只有当监察成本系数较大时,SPM机制才劣于完全合规情况。

在基准线法中,PSP机制、RVP机制、PRA机制和SPM机制的社会福利值均优于基准组,说明这些干预机制都增加了社会福利。对于基准线法,基准组与干预组中都是部分参数的社会福利优于完全合规。具体来说,当环境损失系数与监察成本系数较低时,基准组与干预组的福利值高于完全合规。由此,在基准线法中,当超额排放对环境的外部性较低以及监察成本较低时,这些干预机制的福利水平优于完全合规情况。

综上,通过高惩罚来实现高合规这种执法制度,可能会导致社会福利降低。从这个角度看,一味提高执法力度是不可取的。

6. 对企业的风险偏好异质性分析

为研究个体偏好对合规行为的影响,本文根据测得的风险偏好数值将被试者划分为风险偏好者和风险厌恶者。具体而言,风险偏好数值较低的个体被定义为风险厌恶者,风险偏好数值较高的个体被定义为风险偏好者。本文对企业风险偏好异质性进行了分析,^②得到以下结论:四种干预机制都抑制了风险偏好者的违规行为,而且在多数情况下,这一规制作用是显著的。需要注意的是,如果干预机制对风险偏好者和风险厌恶者的违规行为都有抑制作用,干预机制对风险偏好者的抑制作用普遍强于风险厌恶者。这一现象的可能原因是:在不完全监测的情况下,风险厌恶者在基准组中的违规次数均值为4.76,低于基准组的平均违规次数;而风险偏好者在基准组中违规次数均值

① 社会福利数值及对应模拟结果参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。

② 风险偏好的回归结果参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。

为8.00,高于基准组的平均违规次数。由此,在相同的干预机制下,风险偏好者的规制空间更大。对于风险厌恶者而言,RVP机制和SPM机制都能在两种分配方式中减少其违规行为,PSP机制则增加了其违规行为。这一结果表明,对于风险厌恶者而言,配额短缺高惩罚机制对企业的谎报激励强于对违规行为的规制作用。由此,对PSP机制在拍卖法中增加违规行为的原因解释如下:PSP机制使风险厌恶者的违规行为增加,这一增加幅度超过了PSP机制对风险偏好者的规制作用,因此,PSP机制增加了拍卖法中的违规行为。而PRA机制在两种分配方式中作用不一致。该机制在基准线法减少了企业的违规行为;在拍卖法中增加了风险厌恶者的违规行为,减少了风险偏好者的违规行为。

整体而言,对于风险偏好者,PSP机制与PRA机制在基准线法背景中的规制效果较好,RVP机制与SPM机制在拍卖法背景中的表现更佳;对于风险厌恶者,PRA机制在基准线法中的表现更佳,SPM机制与RVP机制在拍卖法背景中的表现更佳。

六、结论与启示

碳排放权交易机制既是中国实现“双碳”目标的重要政策保障,也是加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系的重要手段,但如果碳市场在执行中存在问题,碳市场作为市场手段的优势或被削弱。由此,碳市场的执法与合规问题亟须得到重视。本文使用可控的实验方法考察了拍卖法和基准线法两种配额分配背景下不同执法机制对企业合规行为的影响,对于碳市场的执法机制设计具有参考意义。

研究表明:①配额分配方式影响了企业的合规行为。具体表现为拍卖法中企业违规行为更频繁,而基准线法中企业的违规行为较少。基准线法的初始分配决定了市场中的净买家和净卖家。高配额消耗企业在基准线法中处于净买家身份,表现出更频繁的违规行为。②和数理推导相一致,企业的违规行为受其配额消耗类型影响,高配额消耗企业相较于低配额消耗企业具有更高的违规水平。这为政府根据企业特征针对性执法提供了实验证据。③违规报告高惩罚机制以及后续概率监测机制在两种分配背景中都可以有效减少违规行为。配额短缺高惩罚机制在拍卖法中会增加被试者的违规行为,历史报告审查机制在基准线法中可以有效减少被试者的违规行为。④从社会福利的角度考量各干预机制发现,完全合规情况的社会福利值并非优于所有干预组。当环境损失系数与监察成本系数较低时,干预组的福利值高于完全合规情况。

根据上述结论,本文提出以下政策启示:①中国碳市场的配额分配方式应逐步从免费分配转变为有偿分配。中国当前实施的基准线法的分配方式会导致高配额消耗型企业处于买家地位,从而增加其违规行为。在《碳排放权交易管理暂行条例》颁布实施后,高污染企业若还保持高违规率,则将缴纳比低污染企业更多的罚款,从而导致利润减少;高污染企业若通过购入配额或减少生产的方式避免违规罚款,其利润同样会减少。由此,高污染企业会形成高污染—高合规成本—低利润的闭环,难以实现绿色转型。从这一角度看,配额初始分配方式亟须调整。②从监管资源有限这一角度出发,政府可以采取更具有针对性的执法举措,根据企业的配额消耗特征以及排放量特征对不同企业采取不同的执法措施。一是加大对高配额消耗企业的监督力度。二是根据企业的碳排放特征将其分为大型企业和中小型企业,并设立不同监管等级,实施分级别的监管措施:大型企业排放体量较大,需要承担更严格的监管,政府可通过高频检查和区块链溯源的方式加强监管;中小型企业排放体量相对较小,政府可通过每季度提交排放报告和抽查式核查的方式加强监管。由此,在监管

资源的约束下,提高全国碳市场监管方式的操作性和针对性。③现实的处罚条例中通常会对配额短缺行为采取高惩罚措施,但这可能增加企业违规行为。因此,政府在设置处罚时,配额短缺处罚不宜过高,应重视对违规报告行为的处罚。④政府在落实执法机制时,考虑到政策执行能力以及企业合规水平,应构建更具有操作性的渐进性执法体系,以及通过优先监管高风险偏好型企业 and 分步实施执法措施等手段有效利用执法资源。一是通过大数据手段精准识别高风险偏好型企业并优先监管该类企业,通过加大常规检查力度和开展不定期检查的方式,增强执法的针对性。同时,考虑到后续概率监测机制与历史报告审查机制均是通过分析历史数据增加执法效率的机制,且在基准线法中具有良好的效果。由此,在现实的基准线法背景下,政府可以在企业出现违规行为的下一个年度增加对其的监测力度,增加对报告量相较上一年度降低的企业的监察力度。二是分步实施执法措施。从集中执法资源监管高风险偏好型企业,到监管设施与技术的提升,再到动态调整执法机制以适应市场和企业的阶段性变化,从而提高碳市场的政府执法效率。

当然,本文还存在进一步改进的空间。本文的基准线法实验组中形成了卖方市场,从而大幅度提高了交易价格,这可能与实验中设置的市场规模较小有关,未来的实验还可以考虑扩大市场规模,做进一步检验。同时,未来的研究可以在本实验基础上考察无配额跨期存储的情况,以检验存储机制在企业合规决策中所起的作用。

〔参考文献〕

- [1]傅京燕,代玉婷.碳交易市场链接的成本与福利分析——基于MAC曲线的实证研究[J].中国工业经济,2015,(9): 84-98.
- [2]胡珺,方祺,龙文滨.碳排放规制、企业减排激励与全要素生产率——基于中国碳排放权交易机制的自然实验[J].经济研究,2023,(4): 77-94.
- [3]胡玉凤,丁友强.碳排放权交易机制能否兼顾企业效益与绿色效率[J].中国人口·资源与环境,2020,(3): 56-64.
- [4]钱浩祺,吴力波,任飞州.从“鞭打快牛”到效率驱动:中国区域间碳排放权分配机制研究[J].经济研究,2019,(3): 86-102.
- [5]乔晓楠,段小刚.总量控制、区际排污指标分配与经济绩效[J].经济研究,2012,(10): 121-133.
- [6]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,(3): 81-98.
- [7]魏立佳,彭妍,刘潇.碳市场的稳定机制:一项实验经济学研究[J].中国工业经济,2018,(4): 174-192.
- [8]吴洁,夏炎,范英,刘婧宇.全国碳市场与区域经济协调发展[J].中国人口·资源与环境,2015,(10): 11-17.
- [9]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,(8): 80-95.
- [10]Caffera, M., and C. Chávez. The Regulatory Choice of Noncompliance in the Lab: Effect on Quantities, Prices, and Implications for the Design of a Cost-Effective Policy[J]. B. E. Journal of Economic Analysis and Policy, 2016, 16(2): 727-753.
- [11]Cason, T. N., and F. P. de Vries. Dynamic Efficiency in Experimental Emissions Trading Markets with Investment Uncertainty[J]. Environmental and Resource Economics, 2019, 73(1): 1-31.
- [12]Fischbacher, U. z-Tree: Zurich Toolbox for Ready-made Economic Experiments[J]. Experimental Economics, 2007, 10(2): 171-178.
- [13]Friesen, L., L. Gangadharan, P. Khezr, and I. A. MacKenzie. Mind Your Ps and Qs! Variable Allowance Supply in the US Regional Greenhouse Gas Initiative[J]. Journal of Environmental Economics and Management, <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2022.102620>, 2022.

- [14] Garvie, D., and A. Keeler. Incomplete Enforcement with Endogenous Regulatory Choice [J]. *Journal of Public Economics*, 1994, 55(1): 141–162.
- [15] Goeree, J. K., K. Palmer, C. A. Holt, W. Shobe, and D. Burtraw. An Experimental Study of Auctions versus Grandfathering to Assign Pollution Permits[J]. *Journal of the European Economic Association*, 2010, 8(2–3): 514–525.
- [16] Grimm, V., and L. Ilieva. An Experiment on Emissions Trading: The effect of Different Allocation Mechanisms [J]. *Journal of Regulatory Economics*, 2013, 44(3): 308–338.
- [17] He, H., and Y. Chen. Auction Mechanisms for Allocating Subsidies for Carbon Emissions Reduction: An Experimental Investigation [J]. *Social Choice and Welfare*, 2021, 57(2): 387–430.
- [18] Holt, C. A., and S. K. Laury. Risk Aversion and Incentive Effects [J]. *American Economic Review*, 2002, 92 (5): 1644–1655.
- [19] Luengo, C., M. Cafferá, and C. Chávez. Uncertain Penalties and Compliance: Experimental Evidence [J]. *Environmental Economics and Policy Studies*, 2020, 22(2): 197–216.
- [20] Malik, A. S. Markets for Pollution Control When Firms are Noncompliant [J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 1990, 18(2): 97–106.
- [21] Malik, A. S. Enforcement Costs and the Choice of Policy Instruments for Controlling Pollution [J]. *Economic Inquiry*, 1992, 30(4): 714–721.
- [22] Murphy, J. J., and J. K. Stranlund. Direct and Market Effects of Enforcing Emissions Trading Programs: An Experimental Analysis [J]. *Journal of Economic Behavior and Organization*, 2006, 61(2): 217–233.
- [23] Murphy, J. J., and J. K. Stranlund. A laboratory Investigation of Compliance Behavior under Tradable Emissions Rights: Implications for Targeted Enforcement [J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2007, 53 (2): 196–212.
- [24] Stavins, R. N. Transaction Costs and Tradeable Permits [J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 1995, 29(2): 133–148.
- [25] Stranlund, J. K. The Regulatory Choice of Noncompliance in Emissions Trading Programs [J]. *Environmental and Resource Economics*, 2007, 38(1): 99–117.
- [26] Stranlund, J. K., C. Costello, and C. A. Chávez. Enforcing Emissions Trading When Emissions Permits are Bankable [J]. *Journal of Regulatory Economics*, 2005, 28(2): 181–204.
- [27] Stranlund, J. K., J. J. Murphy, and J. M. Spraggon. An Experimental Analysis of Compliance in Dynamic Emissions Markets [J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2011, 62(3): 414–429.
- [28] Stranlund, J. K., and L. J. Moffitt. Enforcement and Price Controls in Emissions Trading [J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2014, 67(1): 20–38.
- [29] Stranlund, J. K. The Economics of Enforcing Emissions Markets: A Review of the Literature [J]. *Review of Environmental Economics and Policy*, 2017, 11(2): 227–246.
- [30] Stranlund, J. K., J. J. Murphy, J. M. Spraggon, and N. Zirogiannis. Tying Enforcement to Prices in Emissions Markets: An Experimental Evaluation [J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2019.07.001>, 2019.
- [31] Taschini, L., M. Chesney, and M. Wang. Experimental Comparison between Markets on Dynamic Permit Trading and Investment in Irreversible Abatement with and without Non-regulated Companies [J]. *Journal of Regulatory Economics*, 2014, 46(1): 23–50.
- [32] Vidal-Meliá, L., C. Arguedas, E. Camacho-Cuena, and J. L. Zoffo. An Experimental Analysis of the Effects of Imperfect Compliance on Technology Adoption [J]. *Environmental and Resource Economics*, 2022, 81(3): 425–451.

Enforcement Mechanisms and Compliance Behavior in the Carbon Market: A Study of Experimental Economics

LUO Jun¹, WU Li-qian², CHEN Ye-feng³

(1. School of Economics, Zhejiang University of Finance and Economics;

2. Zhejiang Research Institute of ZUFE-UCASS, Zhejiang University of Finance and Economics;

3. School of Economics, Zhejiang University)

Abstract: China's national emissions trading market plays an important role in reaching the goals of carbon peaking and carbon neutrality. China's carbon market has the feature of imperfect monitoring, which means that the government cannot obtain sufficient data to tell whether firms report honestly. This can lead to enforcement problems and affect the efficiency of carbon markets. China's national emissions trading market has problems such as the poor quality of emissions data and low carbon prices.

This paper simulates the carbon markets in laboratory to study the impact of the initial quotas allocation mechanism and enforcement on compliance performance. There are two scenarios in the experiment: the auction scenario and the benchmarking scenario. Each scenario includes a control group and four mechanism intervention groups. The intervention mechanisms contain the reporting violation penalty mechanism, permit shortfall penalty mechanism, previous report audit mechanism, and subsequent probability monitoring mechanism.

Empirical data may have the following shortcomings when used to study the enforcement mechanism and compliance behavior in the carbon market. Firstly, the compliance data of firms is private information and researchers cannot obtain sufficient data to tell whether firms report honestly under current technical and equipment conditions. Secondly, it is difficult to get enough data to study the relationship between enforcement mechanisms and compliance behavior. As China's carbon market adopts a unified law enforcement mechanism, there is no obvious difference in law enforcement mechanisms between local carbon pilot projects. Compared with empirical data, experimental data can identify the causal relationship between law enforcement mechanisms and compliance through mechanism designs.

The results show that the initial allocation mechanism and the heterogeneity of quota consumption impact compliance choices. Firms tend to have higher violations in the auction scenario and firms with high quota consumption are more likely to be non-compliant compared to firms with low quota consumption. Furthermore, the reporting violation penalty mechanism and subsequent probability monitoring mechanism can effectively decrease the extent of violations in two allocation rules, while the permit shortfall penalty mechanism and previous report audit mechanism only make sense in benchmarking markets. To summarize, the supervision of firms with high quota consumption can be increased. In benchmarking markets, the previous report audit mechanism and subsequent probability monitoring mechanism can be used to increase enforcement efficiency. Furthermore, the penalty for reporting violations should be valued while the penalty for quota shortages is not necessarily too high.

Keywords: carbon markets; compliance behavior; enforcement; experimental economics

JEL Classification: C91 L51 Q58

[责任编辑:李鹏]