

DOI:10.14026/j.cnki.0253-9705.2022.10.012

以碳市场引导能源行业转型： 欧盟经验与借鉴

Carbon Market Driving Energy Transition: EU Experiences and Implications

摘要 碳市场机制是实现碳达峰、碳中和目标的一项重要政策工具，实现了碳排放外部成本的内部化。欧盟碳市场是全球最早的碳市场，其实践经验表明，碳市场的定价机制反映了减排目标下的边际减排成本，对能源行业低碳转型具有积极作用。全国碳市场的启动和逐步完善将推动中国能源行业转型升级。建议未来加大力度研究能源行业边际减排成本曲线、提升政策协同能力、建立碳市场科创板、开展内部碳定价、加强数字化技术应用，建立规范、透明、高效的碳市场，引导能源行业高质量发展。

关键词 碳市场；绿色能源；碳定价；减排成本；国际经验；欧盟

■文/梁希 吴怡 董白桦 肖倩

2020年9月22日，国家主席习近平在第七十五届联合国大会一般性辩论上正式提出：“中国二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和”。此后，习近平主席先后多次在国内外重要讲话中强调实现碳达峰、碳中和目标（以下简称“双碳”目标）的意义，并就中国实现“双碳”目标的原则和路径作出了一系列重要论述。实现碳达峰、碳中和是一场广泛而深刻的经济社会系统性变革，是生态文明建设的必然要求，是推动构建人类命运共同体的迫切需要。能源行业是碳排放最大的来源，实现“双碳”目标需要借助政策力量，引导能源行业稳步实现低碳转型。

碳排放权交易市场（以下简称“碳市场”）是实现碳减排目标的一项重要政策工具。从2011年10月起，中国相继在北京、天津、上海、重庆、湖北、广东、深圳、福建开展了碳排放权交易地方试点。2021年7月16日，全国碳市场正式启动上线交易，发电行业成为首个纳入全国碳市场的行业。第一个履约周期共纳入发电行业重点排放单位2162家，覆盖年二氧化碳排放量超过45亿t。中国碳市场成为全球覆盖温室气体排放量规模最大的市场。国际经验表明，碳市场能推进能源行业结构调整和碳减排，为中国碳市场建设提供了借鉴。

欧盟碳市场引导能源行业碳减排的主要做法

欧盟碳排放交易体系（EU ETS）是全球规模最大、流动性最强的碳交易市场之一，覆盖了30个国家（包括27个欧盟成员国，以及冰岛、挪威和列支敦士登），并在2020

年和瑞士碳市场链接，纳入了11000个固定排放设施以及上述国家的航空公司，覆盖了欧盟45%的温室气体排放，占全球碳交易总量的90%左右。

《巴黎协定》1.5℃的温升目标，以及欧盟雄心勃勃的碳减排计划使得碳市场的重要性越发凸显。欧盟碳排放交易体系推动欧盟将更多资源集中在能源行业的绿色转型上。2009—2020年，欧盟碳市场已筹集了807.37亿美元的资金用于能效管理、新能源投资及工业去碳化等项目。2010年，欧盟委员会发起了NER300计划。该计划将欧盟碳排放交易系统新进入者储备的3亿t碳排放配额拍卖所得的资金，用于支持创新碳捕集与封存（CCS）和可再生能源技术的示范。作为NER300的后续行动，气候行动总局（Directorate-General for Climate Action）正在研究2021—2030年的未来创新基金（也称NER400）。NER400预计将筹集超过3000亿欧元用于低碳技术创新。此外，欧盟为2030年制定了气候与能源政策一揽子计划，并实施“欧洲绿色协议”，以支持到2050年实现气候中性目标。欧洲碳市场以及欧洲气候与能源政策的实施，加大了欧盟低碳转型力度，总体碳排放量逐年递减，能源结构向清洁能源转型。2020年，欧盟温室气体排放量较1990年下降了31%，其中，电力和热力部门、制造业和建筑业碳排放强度大幅下降。2020年，欧盟可再生能源发电量占总发电量的38%，化石能源发电量占比为37%、核能发电量占比为25%^[1]，可再生能源发电量首次超过化石能源发电量。

欧盟的气候目标使得欧洲碳排放企业更加意识到配额的稀缺，同时激励机构投资者更加积极参与碳市场，这也

是欧盟碳市场价格上升的主要原因。欧盟碳市场通过碳价影响能源行业的发展趋势。截至2022年5月13日, 欧盟碳价收盘价为88.5欧元/tCO₂。碳价是将市场新增投资引向清洁能源技术的重要价格信号。在减少能源消费、调整能源消费结构方面, 碳价提供了一种全面的激励机制。碳价有助于推动国家能源重心从化石能源向绿色能源转变。碳市场遵循“污染者付费原则”, 通过具体的碳价, 将能源行业碳排放的一部分社会成本内部化。碳价的提升会提高高碳排放的化石燃料的使用成本, 从而增加低碳替代产品、清洁能源和相关技术的价格吸引力, 改变能源消费模式, 助推绿色能源和减排技术的发展。欧盟在2014年制定的《2030年气候与能源政策框架》确定了以碳市场为中心的策略, 减少其他政策对碳市场价格的干预, 进一步提升碳市场的配额价格。2021年6月, 欧盟提出多项提案, 如扩大碳市场覆盖行业, 进一步改革碳市场, 预计将对欧洲碳市场的交易活跃度和产业碳价格传导信号产生积极影响。随着能源行业碳中和时间节点的临近(欧盟成员国电力行业普遍承诺在2030—2040年实现温室气体净零排放), 欧盟碳市场正在积极研究纳入负碳技术^[2]。

欧盟碳市场引导能源行业碳减排的经验分析

通过欧盟碳市场引导能源行业碳减排的具体实践, 可以看出, 影响碳市场效益和减排效果的因素繁多, 其中, 边际减排成本(Marginal Abatement Cost, MAC)是碳市场交易的底层逻辑之一, 即碳交易机制的核心功能之一是为控排企业和全社会提供公允合理的综合减排成本的价格信号^[3]。综合减排成本需结合边际减排成本与外部性成本。理论上, 当碳市场的配额价格水平高于减排活动的边际减排成本时, 碳市场会促使减排活动的实施。实际上, 碳市场还受其他并行能源政策的影响^[4]。根据欧盟开展的气候与能源政策框架研究结果^[5], 同样是2030年实现比1990年减排40%的目标, 受能源效率法案和可再生能源法案的影响, 碳价会降到13欧元/tCO₂, 远低于理论价格55欧元/tCO₂的水平。

要有效地形成公允的价格信号, 还需要碳市场从控排企业单一主体转向控排企业、非控排企业、金融机构、个人参与并重的多元化市场发展, 需要包括更多的主体、不同的风险偏好、不同的减排预期等多元化信息, 充分反映不同的边际减排成本预期。

边际减排成本同时也可能通过其他市场或政策因素为碳市场带来间接影响, 比如影响行业覆盖规则和整体减排

目标的设定、导致跨地区的碳泄漏等。特别地, 如果实施以边际减排成本为导向的行业覆盖方法, 即将边际减排成本较低的行业纳入碳市场且控制覆盖范围在部分高排放行业如电力、冶金、运输和仓储、石油、天然气、非金属矿行业六部门, 可以显著降低减排成本并有效避免因快速纳入更大范围的行业企业而增加大额碳交易商数量所造成的碳价大幅波动^[6]。

碳市场价格对中国能源行业碳减排的影响分析

当前, 不同研究和方法测算得出的中国社会边际减排成本差异很大, 但不同行业、不同地区间广泛存在成本差异几乎是研究共识。《中国2060年前碳中和研究报告》提出, 通过构建中国能源互联网^[7], 全社会碳减排边际成本约为260元/tCO₂, 远低于全球其他地区约700元/tCO₂的边际减排成本。从区域差异来看, 截至2011年, 中国东部地区的边际减排成本为300~400元/tCO₂, 部分西部地区的边际减排成本约为100元/tCO₂。通过考虑减排技术异质性这一因素, 可知减排成本在不同地区的分布呈现“双峰”形态, 即边际减排成本在东西部地区之间存在明显的水平差异, 这为碳交易带来了可观的潜力。

目前, 中国碳市场的碳配额价格稳定在58元/tCO₂, 不足以反映满足长期自主贡献目标的边际减排成本^[8], 与欧盟碳市场高达90欧元/tCO₂的碳价存在较大的差距。究其原因, 是全国碳市场处于发展早期, 市场、政策、主体的各类异质性特征并未纳入碳交易体系中, 同时碳市场承担的全社会减排任务仅占一小部分, 无法充分反映社会边际减排成本的全部内容。但需要明确的是, 随着制度间的协同和优化, 以及累计减排量的增加, 从长期来看, 预计碳市场价格将逐步向综合的边际减排成本靠拢。

根据电力行业边际减排成本预测结果, 对于一台百万千瓦的煤电机组, 当碳市场预期碳价上升到100元/t时, 每年碳排放的机会成本约为4亿元, 电力行业企业将会加大对节能技术的投入, 减排手段以节能技术应用为主, 同时替换高能耗机组设备; 当碳市场预期碳价上升到200元/t时, 碳排放成本的提高将推动能源行业步入转型期, 可再生能源替代化石能源, 能源使用效率低的机组将被关停, 部分燃煤电厂将由电网支柱地位转为调峰角色; 当碳市场预期碳价上升到400元/t时, 受高额的碳排放成本制约, 部分燃煤电厂将步入退役阶段, 电力行业将以可再生能源发电为主, 仍在电力市场中的燃煤电厂也将配套碳捕集、利用与封存(CCUS)设施; 当碳市场预期碳价上升至

与目前欧盟碳市场碳价齐平，即约600元/t时，CCUS技术将在火电行业成为必要配置，部分燃煤电厂加速退役。同时，如果未来中国碳市场能够借鉴欧盟NER300和NER400方案，用配额拍卖收入支持技术创新，将有利于降低边际减排成本，提升产业竞争力。

综上所述，提升中国碳市场的有效性和效率、优化碳交易制度设计，要用好边际减排成本这一关键指标。充分理解、准确测算不同行业、不同地区、不同技术条件下的企业面临的边际减排成本差异是制定合理的市场减排目标、行业覆盖规则以及配额分配制度的重要基础。中国碳市场需要继续优化减排总量、配额分配方式、核查机制、交易产品属性、交易规则等制度的设定，以充分反映边际减排成本。随着边际减排成本的不断上升，仅仅依靠碳交易市场可能无法充分发挥其预期作用，特别是行业覆盖范围的扩大产生的影响具有较强的不确定性，其他政策工具（如碳税）也是依据边际减排成本实现部分行业有效减排的重要手段，但需要注意的是，利用不同政策工具实现能源行业碳减排需要做好政策间的协调，避免对同一行业的政策叠加造成碳配额价格信号被低估。同时，还可利用边际减排成本的地区差异实现跨区域的协同治理等。

中国碳市场引导能源行业碳减排的政策建议

碳市场机制是实现“双碳”目标的关键政策工具，也是中国向国际社会展示气候雄心的重要指标。过去15年，欧美碳市场通过大量改革举措逐步得到完善。中国碳市场建设需要遵循先立后破的原则，坚持全国一盘棋，带动引

碳交易机制能带动和引导企业自发开展有效的碳减排活动



导能源行业高质量转型。具体的政策建议如下。

一是建立科学的边际减排成本曲线。边际减排成本曲线是一条向右上方倾斜的曲线，是帮助锚定碳定价机制底层价格的重要因素。随着全社会减排行动的深入（累计减排量的增加），边际减排成本将逐渐上升。考虑不同技术、不同行业间广泛存在的异质性，边际减排成本曲线可能呈现出显著的差异，因此在预测和选取边际减排成本曲线时更需要考虑其科学性。建议在“双碳”目标的引导下，鼓励出台更多与节能技术相关的支持政策，充分评估不同技术的减排潜力、成本、成熟度和市场风险，尽可能详尽地采集技术相关特征信息，为行业企业提供丰富的技术选择和参考，特别是为高碳行业筛选潜在的关键减排技术。同时，在测算边际减排成本时应充分考虑国情和地区差异，例如分析不同政策目标约束下的各地区动态边际减排成本曲线，为区域间协同减排和分配碳预算提供科学依据^[9]；在测算工具的选择上，应当充分考虑专家评估法、概率预测法、经济模型测算的差异，并综合考虑不同模型可能产生的不确定性^[10]。

二是以碳市场为中心促进碳减排政策协同。碳交易机制能带动和引导企业自发开展有效的碳减排活动，是一种成本有效的市场化机制。通过碳市场促进碳减排政策的协同，一方面，要避免碳减排政策重复实施影响碳市场配额价格。建议明确地方碳市场和全国碳市场的互补关系，厘清不同政策对碳市场配额价格的影响，明确其他类型碳减排政策覆盖行业及其实施路径和预期效果，以降低其对碳市场定价机制的影响。另一方面，要鼓励碳市场与其他政策高效协同。利用碳市场支持能源政策、产业政策、绿色金融政策，特别是气候投融资政策的实施，加快模式创新和试点实践。鼓励气候投融资试点地区围绕碳市场开展碳金融创新，如结合碳市场监测、报告、核查（MRV）机制提高控排企业气候投融资效率，形成多主体、多层次的协同机制。建议充分肯定碳市场在减排工作中的地位和作用，确定全国碳市场需要纳入的其他高耗能、高排放行业，分类施策、协同增效，并在此基础上进一步优化碳市场配额分配机制、减排目标设定、企业减排量纳入碳市场等具体规则。

三是积极利用碳市场促进技术创新和产业发展。碳市场的核心功能之一是利用市场机制引导企业通过科技创新等手段促进减排并通过出售盈余的配额收取额外收益。基于鼓励科技创新这一核心逻辑，建议可结合实际条件为碳市场增设高科技板块，纳入具备关键减排技术的企业，通

过特殊市场机制和高于市场的价格提高企业投资关键减排技术获取收益的预期,为企业加大力度投入科技研发和投资前沿低碳技术赋能。

四是开展内部碳定价管理气候转型风险。碳定价机制是构成碳市场机制有效性的理论基础。企业通过对碳排放长期成本进行内部定价,能够识别气候转型的长期风险,因此建议从高碳行业开始,鼓励试点内部碳定价管理,帮助工业企业和金融机构识别长期碳价信号和气候转型风险。关键的实施步骤包括:(1)对金融机构投资组合开展碳排放核算工作,并基于核算结果进行压力测试,识别潜在的碳成本,为探索开发长期气候转型风险管理的金融工具夯实工作基础;(2)为不同高碳行业提供内部碳定价参考指南,通过统一碳价形式、碳价水平、数据口径、测试方法等,形成可比的内部碳定价测试结果,并逐步推动隐性碳定价向显性碳定价过渡,在内部碳定价和碳市场价格之间建立科学合理的映射关系。

五是应用数字化技术提升市场效率。世界经济论坛分析,到2030年,5G、物联网、人工智能、云技术等数字化技术将为全球带来15%的碳减排^[11]。未来中国在完善碳市场机制建设的过程中将面临严峻的大数据管理挑战。利用数字化技术实施绿色低碳转型的相关举措已经被业界和学界广泛接受^[12]。在提升碳市场效率方面,数字化技术可以协助解决碳市场面临的运行效率低、管理成本高、数据安全性差、数据造假、虚假交易等问题,例如,采用区块链技术对碳排放数据采集、核查、报告以及交易过程存证上链,形成可追溯、可信的数字化数据体系。此外,数字化技术可以潜在提高绿色金融、气候投融资与碳市场的融资效率。

参考文献

- [1]European Commission. Report from The Commission to the European Parliament, The Council, The European Economic and Social Committee and The Committee of the Regions[R/OL]. (2021-10-26). https://energy.ec.europa.eu/system/files/2021-10/state_of_the_energy_union_report_2021.pdf.
 - [2]RICKELS W, PROEL A, GEDRN O, et al. The future of (negative) emissions trading in the European Union[R]. Kiel Working Paper, 2020.
 - [3]STEPHANE D C, JAYET P A. Marginal abatement costs of greenhouse gas emissions from European agriculture, cost effectiveness, and the EU non-ETS burden sharing agreement[J]. Ecological Economics, 2011, 70(9): 1680-1690.
 - [4]DELARUE E D, ELLERMAN A D, DHAESELEER W D. Robust MACCs? The topography of abatement by fuel switching in the European power sector[J]. Energy, 2010, 35(3): 1465-1475.
 - [5]European Commission. A policy framework for climate and energy in the period from 2020 up to 2030[R/OL]. (2014-10-08). <https://edz.bib.uni-mannheim.de/edz/doku/adr/2014/cdr-2014-2691-en.pdf>.
 - [6]ZHANG Q F, FANG K, CHEN J, et al. The role of sectoral coverage in emission abatement costs: evidence from marginal cost savings[J]. Environmental Research Letters, 2022(17): 045002.
 - [7]全球能源互联网发展合作组织. 中国2060年前碳中和研究报告[R/OL]. (2021-03-23). <http://www.szguanxia.cn/article/1514>.
 - [8]CHEN L J, FANG Z H, XIE F, et al. Technology-side carbon abatement cost curves for China's power generation sector[J]. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 2020, 25(7): 1305-1323.
 - [9]吴力波, 钱浩祺, 汤维祺. 基于动态边际减排成本模拟的碳排放权交易与碳税选择机制[J]. 经济研究, 2014(9): 48-61.
 - [10]MENG J, WAY R, VERDOLINI E, et al. Comparing expert elicitation and model-based probabilistic technology cost forecasts for the energy transition[J]. PNAS, 2021, 118(27), e1917165118.
 - [11]World Economic Forum Annual Meeting. Digital technology can cut global emissions by 15%. Here's how[EB/OL]. [2022-05-10]. <https://www.weforum.org/agenda/2019/01/why-digitalization-is-the-key-to-exponential-climate-action/>.
 - [12]范英, 衣博文. 能源转型的规律、驱动机制与中国路径[J]. 管理世界, 2021(8): 95-104.
- (梁希系中国环境科学学会气候投融资专业委员会常务委员、华润环保碳中和首席科学家; 吴怡系华润环保研究院碳市场研究员; 董白桦系华润环保研究院碳减排方法学研究员; 肖倩系华润环保研究院碳减排技术工程师)