

# 绿电 / 绿证抵扣碳排放机制分析及方案设计研究

欧阳琰, 王建明\*

(中国海油集团能源经济研究院, 北京市 东城区 100013)

## Mechanism and Program Study of Green Power/Green Certificate for Carbon Emission Offset

OUYANG Yan, WANG Jianming\*

(CNOOC Energy Economics Institute, Dongcheng District, Beijing 100013, China)

**Abstract:** In the context of carbon peaking and neutrality, China has formed three market mechanisms, namely green power trading, green certificate trading and carbon emission trading. Realization of a better convergence of the three types of markets will play an important role in promoting the consumption of renewable energy. However, the emission reduction effectiveness of renewable power is counted in the average emission factor of the national power grid. The purchase of green power/green certificate by enterprise is not recognized as carbon emission offset. This paper analyzes the main problems currently faced by China's green power/green certificate carbon emission offset mechanism by sorting out the development of green power policies at home and abroad, and sorting out four feasible options for green power/green certificate carbon emission offset mechanism. By building a two-region power trading model and conducting an arithmetic example analysis, the differences between 4 green power/green certificate carbon emission offset mechanisms has been study, and the impact on industrial development, people's livelihood and economy and the development of renewable energy has been explored. The conclusions will provide a useful reference for the introduction of the green power/green certificate carbon emission offset policy in China.

**Keywords:** green power; green certificate; carbon emission; grid carbon emission factors

**摘要:** “双碳”背景下, 中国已形成绿电交易、绿证交易和碳排放权交易3种市场机制, 实现3类市场更好衔接将更好促进可再生能源电力消纳。然而, 目前可再生能源电力的减排效力计入全国电网平均排放因子中, 企业购买绿电/绿证无法抵扣碳排放。通过梳理国内外绿电政策发展情况, 分析中国目前绿电/绿证抵扣碳排放机制面临的主要问题, 梳理出绿电/绿证抵扣碳排放机制4种可行的方案。通过搭建两区域电力交易模型, 进行算例分析, 研究不同绿电/绿证抵扣碳排放机制方案差异, 探讨对产业发展、经济民生、可再生能源发展等方面影响。相关结论将为中国绿电/绿证抵扣碳排放政策的

出台提供有益参考。

**关键词:** 绿电; 绿证; 碳排放; 电网碳排放因子

## 0 引言

中国“双碳”目标提出以来, 支撑降碳的相关机制不断完善<sup>[1]</sup>。2017年2月绿证核发和自愿认购制度开始试行。2021年7月全国碳市场正式启动。2021年9月中国绿电交易试点正式实施。中国电力市场化进程起步较晚, 碳市场施加于化石能源发电企业的成本难以通过电力市场有效传导, 因此中国地方碳市场纳入了电力间接排放<sup>[2]</sup>。然而, 中国碳市场和绿电/绿证交易间尚未实现核算方面的衔接<sup>[3]</sup>。首先, 中国最新的全国电网平均排放因子<sup>[4]</sup>和中国区域电网平均二氧化碳排放因子<sup>[5]</sup>在计算时未将绿电/绿证交易量排除, 导致中国绿电/绿证环境价值重复计算。其次, 中国企业购买绿电/绿证核算碳减排的政策尚未正式出台, 企业购买绿电/绿证无法在碳市场中抵扣碳排放量, 相当于企业重复支付了环境费用<sup>[6]</sup>, 不利于提升中国用电企业购买绿电/绿证的积极性<sup>[7]</sup>。再次, 欧盟碳边境调节机制 (Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM) 将水泥、电力和化肥三类产品间接排放纳入管控, 中国绿电/绿证环境价值重复计算可能导致出口企业在出口产品碳排放核算时面临不利局面<sup>[8]</sup>。

“双碳”背景下, 电碳联动是亟须解决的关键问题。整体电碳交互影响机理方面, 文献[9]提出了一种环境权益产品的衔接互认体系。文献[10]分析了绿色证书交易和碳排放权交易对电力市场的影响机理及政策效果。文献[11]从市场供需、价格等方面揭示了碳市场、电力市场、绿证市场间的关联关系。文献[12]

总结了电碳融合业务推进存在的难点。电碳市场交易方面,出清模型构建是研究热点。文献[13]通过构建电碳协同交易模型,验证了电碳协同交易对激励负荷主体参与调控的有效性。文献[14]构建了考虑碳交易的电力现货市场出清多阶段优化模型。文献[15]基于碳减排相关技术和市场等因素,提出电碳模型可能应用的不同场景及可发挥的作用。文献[16]构建了计及碳市场成本的全国电力系统模拟模型,验证了中国碳市场对降低火电行业碳排放的有效性。

总体看来,目前绿电/绿证抵扣碳排放机制研究普遍聚焦在市场联动和机制间交互影响等方面,对于企业碳排放因子随绿电/绿证购入量联动调整相应方案研究相对较少。本研究通过梳理国内外绿电/绿证机制发展情况,分析中国绿电/绿证抵扣碳排放机制目前面临的主要问题,设计绿电/绿证抵扣碳排放机制4种方案。通过构建两区域电力交易模型并进行算例分析,研究不同绿电/绿证抵扣碳排放机制方案差异,探讨对产业政策、经济民生、可再生能源发展等方面影响。

## 1 国内外绿电/绿证抵扣碳排放机制分析

本研究中,绿电/绿证抵扣碳排放机制是指在目前电力市场和碳排放权交易市场并存背景下,企业通过绿电交易、绿证交易等方式获取的可再生能源电力环境权益与企业碳排放核算之间相互衔接的方法。具体而言,绿电/绿证抵扣碳排放机制主要包含两部分核算方法:一是将环境权益已通过交易转移至购买端的可再生能源电力排除在电网排放因子的计算之外;二是在核算用电企业碳排放时将用电企业获取的可再生能源电力环境权益用于电力间接排放抵扣。

### 1.1 国外机制分析

各国低碳转型加速,推升可再生能源电力使用需求。近年来,欧美密集发布《欧洲绿色协议》《欧洲气候法案》《通胀削减法案》等重要低碳战略、法案及支持政策,日韩先后出台《2050年碳中和绿色增长战略》《碳中和与绿色增长基本法》等重要低碳战略及法案,明确自身减排路径和目标。在相关政策文件规划下,可再生能源电力替代在各国降碳路径中的重要性不断提升。发电端,各国提高自身可再生能源电力替代和可再生能源电力装机等目标;用电端,各国持续推进可再生能源配额制、出台绿电/绿证抵扣碳排放政策等以支持可再生能源电力消纳,供需两端协同

发力支撑可再生能源发展和长期减排目标的实现。

#### 1.1.1 欧美机制分析

由于欧美化石能源发电企业碳成本可通过电力市场直接有效传导至用户端,因此欧美碳市场不纳入企业电力间接排放。根据北欧电力交易所(Nord Pool)数据,欧盟碳价到电价的传递率为75%~95%,即1%碳价变动将使得电价变动0.75%~0.95%<sup>[17]</sup>;美国加州碳市场通过对售电公司采用碳配额“委托拍卖”的方式(介于免费分配和拍卖之间的分配方式),在保障电力用户用电成本相对稳定的同时,也实现了碳价向电价的较好传递<sup>[18-19]</sup>。欧美企业购买绿色电力主要出于满足合规要求和改善企业形象目的。在满足合规要求方面,美国企业主要为满足配额制要求,欧洲企业主要遵照可再生能源指令,二者要求电力供应商的绿电供应量在规定期限内必须达到一定比例,不能按时履约的责任主体会受到相应惩罚<sup>[20]</sup>。另外在绿色电力自愿交易市场,企业可通过竞价市场、自愿购电协议等采购绿电或绿证。在改善企业形象方面,欧美政府机构、非政府组织发起的倡议促进了企业采购绿电。

#### 1.1.2 韩国机制分析

韩国与中国类似,电力市场化水平导致化石能源发电碳成本难以有效传导至用户端。韩国电力由单一买家购买(韩国电力公司KEPCO),以强制型电力库的方式运营,批发零售价格由政府设定,电价受到全面管制<sup>[21]</sup>。其中,2013—2016年韩国零售电价始终保持不变<sup>[22]</sup>。因此韩国碳市场将企业电力间接排放纳入管控。韩国企业使用绿电抵扣碳排放手段有限。2015年1月,韩国启动了全国碳排放权交易市场,按时间分为阶段一(2015—2017年)、阶段二(2018—2020年)和阶段三(2021—2025年)。韩国政府允许运用抵消信用,类似中国国家核证自愿减排量(CCER)抵扣企业排放。在第一阶段,抵消比例上限是企业全年排放量10%;在第二和第三阶段,韩国碳市场接受来自国际减排项目产生的减排量,但来自国外项目的减排量不能高于企业总排放量5%<sup>[23]</sup>。此外,韩国于2012年起实施可再生能源配额制,设定要求与欧美机制类似,电力供应商通过获得足够比例的绿证来完成履约。

#### 1.1.3 日本机制分析

日本碳市场纳入电力间接排放,但初衷与中国、韩国不同。尽管日本电力市场化程度较高,但日本仍出于自身国情将电力间接排放纳入管控。例如,

东京电力消费占能源消费的40%，而90%电力来自城市地理边界外。因此，通过将市内电力消费的间接排放纳入管控可实现对市外火电企业碳排放的间接管控。

日本已出台绿电/绿证抵扣碳排放机制。2021年，日本明确非化石能源证书（non-fossil certificate, NFC）可用于企业碳排放抵扣，并就抵扣方式出台了三种方案，如表1所示，日本采用方案二作为最终计算方案。NFC类似中国绿证，但将核电纳入核发范围。

表1 日本绿电/绿证抵扣碳排放机制方案

Table 1 Green power/green certificate carbon emission offset mechanism in Japan

方案	排放量类型	计算方法
方案一	企业外购电排放量	(购电量-购入NFC量) × 电力零售商排放因子
方案二	企业外购电排放量	购电量 × 电力零售商排放因子 - 购入NFC量 × 全国电网平均排放因子
方案三	企业排放量	总排放量 - 购入NFC量 × 全国电网平均排放因子

根据是否含有可再生能源环境价值，日本发布两种类型的电力排放因子，即基础排放因子和调整排放因子，每种因子均涵盖电力零售商排放因子和全国电网平均排放因子。其中，基础排放因子未将NFC排除在电网排放因子计算外，调整排放因子计算则不含已售出环境价值的非化石能源电量。

日本碳抵扣体系除了NFC，还包括J-Credit自愿减排机制。J-Credit机制鼓励企业采取措施减少排放量，并将减排量价值显性化，可用于企业碳排放权不足时的碳抵消等<sup>[24]</sup>。日本J-Credit认证范围主要包括节能提效、清洁燃料替代、生态碳汇等。同时，目前约有20个国家与日本签订联合信用制度协议（Joint Crediting Mechanism, JCM），日本企业购买联合减排信用可用于完成RE100（100%可再生能源倡议）等国际减排目标，但无法用于碳市场中排放量的抵扣。总体来看，日本已构建起NFC机制和J-Credit机制相结合的碳抵扣体系，且环境权益不重复认证和抵扣。

## 1.2 中国机制分析

在中国碳达峰碳中和“1+N”政策体系总体规划下，能源绿色低碳转型行动持续开展。为促进用户端消纳更多可再生能源电力，中国提出完善绿证与碳核

算和碳市场管理衔接机制等。目前，部分地方碳市场已经在控排企业碳排放核算中将绿电/绿证交易量扣除，核算不同应用场景中扣除绿证的修正电网排放因子的研究也正开展。此外，随着CBAM等国际贸易相关低碳政策的出台，部分出口产品生产过程使用的电力间接排放也可能被纳入管控范围。中国在完善自身绿电抵扣碳排放机制的同时也需要加强跟国际相关标准、机制间的衔接。

### 1.2.1 中国机制发展现状

中国碳市场纳入电力间接排放管控，但全国范围的绿电/绿证抵扣碳排放机制尚未出台。目前，中国全国碳市场和大多数地方碳市场在核算企业外购电力碳排放时，直接用购电量与电网排放因子相乘<sup>[25-28]</sup>：

$$E_c^m = A^D \times E^F \quad (1)$$

式中： $E_c^m$ 为企业外购电力排放，t； $A^D$ 为购入使用电量，MWh； $E^F$ 为电网排放因子，t/MWh。

中国用电企业存在可再生能源电力环境权益重复支付的情况，绿电使用成本较高。中国绿电交易启动以来，绿电交易成交电价总体高于当地中长期市场均价。截至2022年底，各地绿电交易溢价幅度为20.53~105.52元/MWh，绿证交易平均28.1元/MWh<sup>[29]</sup>。同时，全国碳市场碳价稳步上升。截至2023年9月，全国碳市场价格已升至70元/t以上<sup>[30]</sup>。相比于火电，绿电不仅需要在碳市场中支付购买碳配额的成本，还需要相对火电支付绿色溢价。若绿色溢价按20.53~105.52元/MWh计，电力排放因子取全国电网平均排放因子0.570 3 t/MWh<sup>[31]</sup>，则购买绿电相对火电需多支付36~185元/MWh。

### 1.2.2 部分地方试点机制情况

京、津、沪三地已出台地方碳市场绿电/绿证抵扣碳排放试点机制。其中，北京碳市场明确，重点碳排放单位通过市场化手段购买使用的绿电碳排放量核算为0<sup>[32]</sup>。上海碳市场明确，外购绿电排放因子调整为0，其他外购电力排放因子仍统一为0.42 t/MWh<sup>[33]</sup>。天津碳市场明确，各重点排放单位在核算净购入使用电量时，可申请扣除购入电网中绿色电力电量<sup>[34]</sup>。

地方碳市场绿电/绿证抵扣碳排放试点机制存在绿电环境价值重复计算的问题。京、津、沪三地在提出绿电对应零排放的同时，均未提出排放因子的对应调整方案。尤其是上海碳市场，明确提出绿电以外的电力排放因子仍统一为0.42 t/MWh。而这一数值是上海在2022年初提出的，意味着将绿电纳入碳减排后，上海市电力排放因子并未相应调整<sup>[35]</sup>。

## 2 绿电/绿证抵扣碳排放原理和方案研究

### 2.1 机制原理研究和考虑区域电力交易公式推导

绿电/绿证抵扣碳排放机制的原理主要包含两方面。一是在企业碳排放计算方面, 企业外购绿电和外购火电区分开。其中, 外购绿电对应可再生能源电力减排量, 而火电对应排放按电网排放因子计算。二是在电网排放因子计算方面, 将绿电交易对应的电量排除在总电量之外。设计原理示意图如图1所示。

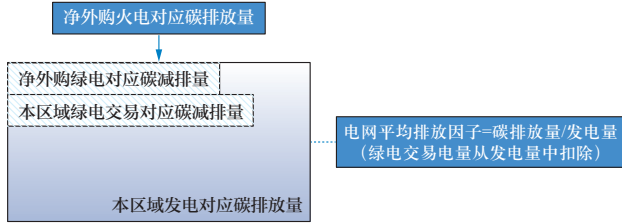


图1 中国绿电/绿证抵扣碳排放机制设计原理

Fig. 1 Design principles of China's green electricity/green certificate carbon emission offset mechanism

首先, 绿电/绿证抵扣碳排放机制需在计算企业外购电排放时将绿电/绿证交易量排除。根据全国和地方碳市场关于企业购入使用电力产生二氧化碳排放的计算公式, 将绿电/绿证交易量排除后得到修正的企业外购电碳排放计算公式。

$$E_c^m = e_{all} \times E_1^F - e_g \times E_2^F \quad (2)$$

式中:  $e_{all}$  为企业外购电量, MWh;  $e_g$  为企业绿电/绿证购买量, MWh;  $E_1^F$  及  $E_2^F$  为全国电网平均排放因子或中国区域电网平均二氧化碳排放因子, t/MWh。

其次, 在企业外购电计算扣减绿电/绿证交易量后, 电网排放因子需要相应调整。根据生态环境部发布的中国区域电网平均二氧化碳排放因子计算方法, 电网排放因子的计算需要同时考虑区域内发电和区域间电力交换, 如式(3)所示。

$$E_{grid,i}^F = \frac{E_{grid,i}^m + \sum_j (E_{grid,j}^F \times E_{imp,j,i})}{E_{grid,i} + \sum_j E_{imp,j,i}} \quad (3)$$

式中:  $E_{grid,i}^F$  为区域电网*i*的平均二氧化碳排放因子, t/MWh;  $E_{grid,i}^m$  为区域电网*i*发电产生的二氧化碳直接排放量, t;  $E_{grid,j}^F$  为向区域电网*i*送电的区域电网*j*平均二氧化碳排放因子, t/MWh;  $E_{grid,i}^F$  为区域电网*i*发电量, MWh;  $E_{imp,j,i}^F$  为区域电网*j*向区域电网*i*净送出的电量, MWh。各变量对应的时间段一致。

在式(3)基础上, 将绿电/绿证交易量排除, 在仅

考虑两区域*i*和*j*情况下, 得到修正的区域电网平均二氧化碳排放因子计算公式(4), 本公式不考虑网损。

$$E_{grid,i}^F = \frac{\sum E_i^m + \sum E_{j,i}^m}{\sum e_i + \sum e_{j,i} - \sum e_{i(g)} - \sum e_{j,i(g)}} \quad (4)$$

式中:  $\sum E_i^m$  为区域*i*企业购买区域*i*电力对应碳排放之和, t;  $\sum E_{j,i}^m$  为区域*i*企业购买区域*j*电力对应碳排放之和, t;  $\sum e_i$  为区域*i*企业购买区域*i*电力之和, MWh;  $\sum e_{j,i}$  为区域*i*企业购买区域*j*电力之和, MWh;  $\sum e_{i(g)}$  为区域*i*企业购买区域*i*绿电/绿证之和, MWh;  $\sum e_{j,i(g)}$  为区域*i*企业购买区域*j*绿电/绿证之和, MWh。

在公式(4)基础上, 同时考虑区域*i*和区域*j*两个区域的电力交易和排放量, 得到区域*i*和*j*的整体电网平均二氧化碳排放因子计算公式(5), 本公式不考虑网损。

$$E_{grid,ij}^F = \frac{\sum E_i^m + \sum E_{j,i}^m + \sum E_j^m + \sum E_{i,j}^m}{\sum e_i + \sum e_{j,i} - \sum e_{i(g)} - \sum e_{j,i(g)} + \sum e_j + \sum e_{i,j} - \sum e_{j(g)} - \sum e_{i,j(g)}} \quad (5)$$

式中:  $\sum E_j^m$  为区域*j*企业购买区域*j*电力对应碳排放之和, t;  $\sum E_{i,j}^m$  为区域*j*企业购买区域*i*电力对应碳排放之和, t;  $\sum e_j$  为区域*j*企业购买区域*j*电力之和, MWh;  $\sum e_{i,j}$  为区域*j*企业购买区域*i*电力之和, MWh;  $\sum e_{j(g)}$  为区域*j*企业购买区域*j*绿电/绿证之和, MWh;  $\sum e_{i,j(g)}$  为区域*j*企业购买区域*i*绿电/绿证之和, MWh。

### 2.2 考虑不同电网平均排放因子的多方案设计

参考日本绿电/绿证抵扣碳排放机制设计原理, 企业外购电量对应电网平均排放因子和企业购绿电/绿证量对应电网平均排放因子可以不同, 在式(2)基础上得到式(6)~(9)所示计算企业外购电碳排放的拓展公式。

$$E_i^m = e_{all} \times E_{grid,i}^F - e_g \times E_{grid,i}^F \quad (6)$$

$$E_i^m = e_{all} \times E_{grid,ij}^F - e_g \times E_{grid,ij}^F \quad (7)$$

$$E_i^m = e_{all} \times E_{grid,i}^F - e_g \times E_{grid,ij}^F \quad (8)$$

$$E_i^m = e_{all} \times E_{grid,ij}^F - e_g \times E_{grid,i}^F \quad (9)$$

通过比较包含所有企业的区域碳排放总量, 验证拓展公式的正确性。若用式(6)~(9)分别计算得到的区域碳排放总量, 与式(2)计算值相等, 则拓展公式是正确的。经验证, 式(6)和(7)正确。式(8)和(9)中企业购电量和企业购绿电/绿证量采用的排放因子不同, 需乘以校正系数才能得到正确数值。

校正系数 $\beta$ 计算公式如(10)所示。

$$\beta = \frac{E_{\text{grid},i}^{m'}}{\sum E_i^m} \quad (10)$$

式中： $\beta$ 为区域*i*碳排放计算使用的校正系数； $E_{\text{grid},i}^{m'}$ 为区域*i*企业购电量对应碳排放实际值，t； $\sum E_i^m$ 为使用式（8）或（9）计算的区域*i*企业购电量对应碳排放之和，t。

$$E_{\text{grid},i}^{m'} = \sum E_i^{m'} + \sum E_{j,i}^{m'} \quad (11)$$

$$\sum E_i^{m'} = \sum e_i \times \alpha_i \quad (12)$$

$$\sum E_{j,i}^{m'} = \sum e_{j,i} \times \alpha_j \quad (13)$$

式中： $\sum E_i^{m'}$ 为区域*i*企业购买区域*i*电力对应碳排放之和实际值，t； $\sum E_{j,i}^{m'}$ 为区域*i*企业购买区域*j*电力对应碳排放之和实际值，t； $\alpha_i$ 为区域*i*单位火电对应碳排放，t/MWh； $\alpha_j$ 为区域*j*单位火电对应碳排放，t/MWh。

需要说明的是，式（4）—（13）中*i*和*j*可以互换，不影响计算的正确性。

在本模型中，按企业购电量和企业绿电/绿证购买量对应排放因子不同，将式（6）—（9）分别排序为方案一至方案四。对应实际电网， $E_{\text{grid},i}^F$ 模拟的是区域电网平均排放因子， $E_{\text{grid},ij}^F$ 模拟的是全国电网平均排放因子。研究构建的两区域模型可以扩展到多区域，计算原理相同。

### 3 算例分析

本文利用两区域电力交易算例示范分析不同绿电/绿证抵扣碳排放方案对企业碳排放核算的影响，多区域情况的分析思路与之相同。两区域间电力交易对应碳排放变化原理如图2所示。

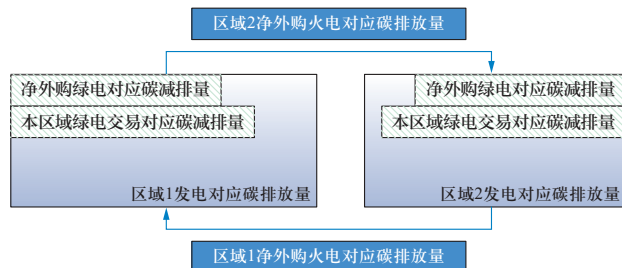


图2 两区域间电力交易对应碳排放变化原理

Fig. 2 Principle of carbon emission changes corresponding to electricity trading between two regions

区域发电基础数据如表2所示，电煤消费量、煤电发电量、绿电发电量均为年度值。

表2 区域发电基础数据  
Table 2 Basic data of regional power generation

区域1		区域2	
电煤消费量	0.5×108 t	电煤消费量	0.4×108 t
电煤排放因子	2.65	电煤排放因子	2.6
吨煤发电量	3000 kWh	吨煤发电量	3100 kWh
煤电排放强度	0.883 3 t/MWh	煤电排放强度	0.838 7 t/MWh
煤电发电量	150 TWh	煤电发电量	124 TWh
绿电发电量	50 TWh	绿电发电量	40 TWh

本模型中，每个区域均有一个煤电发电企业、一个绿电发电企业和一个用电企业，模型交易数据如表3所示，购买量均为年度值。其中，区域1煤电发电企业为A，绿电发电企业为B，电力企业为C；区域2煤电发电企业为D，绿电发电企业为E，电力企业为F。区域间既有煤电交易，也有绿电/绿证交易。

表3 电力企业交易数据  
Table 3 Electricity company transaction data

电力企业C		电力企业F	
购买A	135 TWh	购买D	99 TWh
购买B	45 TWh	购买E	35 TWh
购买D	25 TWh	购买A	15 TWh
购买E	5 TWh	购买B	5 TWh
购买B电量中绿电/绿证量	10 TWh	购买E电量中绿电/绿证量	5 TWh
购买E电量中绿电/绿证量	5 TWh	购买B电量中绿电/绿证量	5 TWh

由于方案一购电量和购绿电/绿证量均采用本区域电网排放因子，最符合本地碳排放情况。所以，选择方案一作为基准方案。

计算发现，对于区域之间碳排放量差值（ $\sum E_1^m - \sum E_2^m$ ），与基准方案相比，方案三放大了差值，方案二和方案四缩小了差值。对于区域间绿电减排量差值（ $\sum E_{1(g)}^m - \sum E_{2(g)}^m$ ），方案四计算结果与方案一一致，方案二和方案三缩小了差值。不同方案计算结果对比详见表4和表5。

表 4 不同方案的区域间碳排放量差值对比

Table 4 Comparison of interregional carbon emission differentials for different scenarios

基准方案	区域1与区域2的碳排放差值	对比方案	区域间的碳排放差值变化
方案一	0.44亿t	方案三	放大0.1亿t
		方案二	缩小0.8亿t
		方案四	缩小0.9亿t

表 5 不同方案的绿电减排量差值对比

Table 5 Comparison of the difference in green electricity emission reductions between different scenarios

基准方案	区域1与区域2的绿电减排量差值	对比方案	区域间绿电减排量差值变化
方案一	409.97万t	方案三	缩小约61万t
		方案二	缩小约61万t
		方案四	0

## 4 不同方案下的政策影响研究

不同方案下的政策对产业发展、经济民生、可再生能源发展产生不同影响。以日本政策为例进行分析说明。日本最终采用方案三, 最大程度放大区域间排放强度差距, 并最小化区域间绿电减排量差距。通过分析可判断, 日本采用方案三有以下几点考虑: 一是日本用电集中在东京、关西、中部地区, 既是经济发达地区, 也是日本排放强度较高的地区, 让高排放强度、经济发达的区域多支付降碳成本, 从降碳责任和承受能力的角度看较为合理; 二是由于日本经济发达地区高排放产业较多, 若高排放产业在发达地区发展需支付更高碳费则会引导其向其他次发达地区转移, 将给日本经济发达地区产业升级腾出更大空间; 三是日本森林和多山的条件限制了陆上风、光的发展, 日本可再生能源发展重点为海上风电和氢能, 所以平均化各地区的可再生能源减排效力, 可以使日本的可再生能源(尤其是海上风电)在全国得到更均衡发展。然而, 目前欧盟碳关税针对进口欧盟的部分高排放行业产品征税, 电力间接排放被纳入管控, 日本的计算方案可能导致其相关出口企业缴纳更多碳税。日本非化石能源证书政策为中国设计完善绿电/绿证抵扣碳排放机制提供了一定借鉴。如何结合国情提出相关备选方案和评价方法, 是本文后续深化研究的方向。

## 5 结论

本文分析了国内外绿电/绿证抵扣碳排放机制情况, 考虑不同的电网平均排放因子, 设计了多个方案。通过构建两区域模型, 进行算例分析, 研究了不同方案下政策对产业发展、经济民生、可再生能源发展产生的不同影响。在碳排放抵扣机制方面, 需在计算企业外购电排放时将绿电/绿证交易量排除, 同时电网排放因子需要相应调整。在设计相关方案方面, 根据企业外购电量和企业购绿电/绿证量对应电网平均排放因子的不同, 可以依据多种方案出台对产业发展、经济民生、可再生能源发展产生不同影响的政策。不同国家在制定本国相关政策机制时, 需要综合考虑本国国情和顶层设计, 提出适应当前阶段特点的方案, 并根据实施情况和国内外环境进行调整。

## 参考文献

- [1] 国家发改委发布“双碳”三年成果 [N/OL]. 光明日报. 2023-08-16. [https://epaper.gmw.cn/gmrb/html/2023-08/16/nw.D110000gmrb\\_20230816\\_2-03.htm](https://epaper.gmw.cn/gmrb/html/2023-08/16/nw.D110000gmrb_20230816_2-03.htm).
- [2] 白文浩. 如何正确计算电力间接排放[EB/OL]. [2022-06-06]. <https://news.bjx.com.cn/html/20220606/1230476.shtml>.
- [3] 杨晓冉, 林水静. 电力市场和碳市场如何有效联动? [N]. 中国能源报, 2023-04-17.
- [4] 生态环境部. 关于做好2023—2025年发电行业企业温室气体排放报告管理有关工作的通知[EB/OL]. [2023-02-07]. [https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk06/202302/t20230207\\_1015569.html](https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk06/202302/t20230207_1015569.html).
- [5] 国家发展和改革委员会应对气候变化司, 国家应对气候变化战略研究和国际合作中心. 2011年和2012年中国区域电网平均二氧化碳排放因子[EB/OL]. [2014-09-25]. <https://www.ccchina.org.cn/archiver/ccchina.cn/UpFile/Files/Default/20140923163205362312.pdf>.
- [6] 周琪, 包晨, 朱一木. 我国绿电交易发展情况、问题及建议[EB/OL]. [2022-04-10]. <https://iigf.cufe.edu.cn/info/1012/5050.htm>.
- [7] 李明明. 绿电交易一周年: 价格尚未充分反映环境溢价 外企和出口型企业购电积极[EB/OL]. [2022-12-01]. <https://jg-static.eeo.com.cn/article/info?id=da181edc4c3148a2a4dc801336d84278>.
- [8] 吴必轩, 钱国强. 揭秘: 欧盟“碳关税”将如何处理间接排放与绿电使用[EB/OL]. [2022-12-23]. <http://www.eeo.com.cn/2022/1223/572134.shtml>.
- [9] 尚楠, 陈政, 冷媛. 电碳市场背景下典型环境权益产品衔接互认机制及关键技术[J]. 中国电机工程学报, 2024, 44(7):2558-2578.

- CSEE, 2024, 44(7): 2558-2578 (in Chinese).
- [10] 刘文君, 张莉芳. 绿色证书交易市场、碳排放权交易市场对电力市场影响机理研究[J]. 生态经济, 2021, 37(10): 21-31.  
LIU Wenjun, ZHANG Lifang. Research on the impact mechanism of green certificate trading market, carbon emission trading market on electricity market[J]. Ecological Economy, 2021, 37(10): 21-31 (in Chinese).
- [11] 尚楠, 陈政, 卢治霖, 等. 电力市场、碳市场及绿证市场互动机理及协调机制[J]. 电网技术, 2023, 47(1): 142-154.  
SHANG Nan, CHEN Zheng, LU Zhilin, et al. Interaction principle and cohesive mechanism between electricity market, carbon market and green power certificate market[J]. Power System Technology, 2023, 47(1): 142-154 (in Chinese).
- [12] 邓淑斌. 开展电碳融合业务的难点及建议[J]. 中国电力企业管理, 2022(16): 78-79.  
DENG Shubin. Difficulties and suggestions on developing electric carbon integration business[J]. China Power Enterprise Management, 2022(16): 78-79 (in Chinese).
- [13] 庞腊成, 吉斌, 徐帆, 等. 面向电-碳市场协同的负荷响应机制与效益分析初探[J]. 电力系统自动化, 2022, 46(22): 62-71.  
PANG Lacheng, JI Bin, XU Fan, et al. Preliminary study on mechanism and benefit analysis of load response for electricity-carbon market collaboration[J]. Automation of Electric Power Systems, 2022, 46(22): 62-71 (in Chinese).
- [14] 董福贵, 郗来昊, 孟子航. 考虑碳交易的电力现货市场出清多阶段优化模型研究[J]. 电网技术, 2024, 48(1): 79-96.  
DONG Fugui, CHI Laihao, MENG Zihang. Multi-stage optimization model for electricity spot market clearing considering carbon trading[J]. Power System Technology, 2024, 48(1): 79-96 (in Chinese).
- [15] 叶蓁芳, 曾振坤. 双碳目标下电碳模型应用场景研究[J]. 能源与环保, 2023, 45(7): 161-168.  
YE Liufang, ZENG Zhenkun. Research on application scenarios of electricity-carbon model under "dual carbon" goals[J]. China Energy and Environmental Protection, 2023, 45(7): 161-168 (in Chinese).
- [16] 赵宏兴, 肖建平, 乔中鹏, 等. 电碳耦合市场环境下的电力系统运行模拟方法[J]. 电力建设, 2023, 44(7): 50-56.  
ZHAO Hongxing, XIAO Jianping, QIAO Zhongpeng, et al. Study on power system operation simulation method in electric-carbon coupling market environment[J]. Electric Power Construction, 2023, 44(7): 50-56 (in Chinese).
- [17] 赵盟, 姜克隽, 徐华清, 等. EU ETS对欧洲电力行业的影响及对我国的建议[J]. 气候变化研究进展, 2012, 8(6): 462-468.  
ZHAO Meng, JIANG Kejun, XU Huaqing, et al. Impacts of EU ETS on European power industry and its implications[J]. Progressus Inquisitiones DE Mutatione Climatis, 2012, 8(6): 462-468 (in Chinese).
- [18] 吴易桦. 美国加州碳交易制度介绍[Z].
- [19] 陈美安, 胡敏. 委托拍卖可资中国碳市场借鉴之处 [EB/OL]. [2019-11-01]. <http://www.tanjiaoyi.com/article-25120-1.html>.
- [20] 袁敏, 苗红, 时璟丽, 彭澎. 美国绿色电力市场综述[EB/OL]. [2019-11-01]. <https://wri.org.cn/research/green-power-market-us-experience>.
- [21] 中华人民共和国商务部. IEA: 韩国应开放电力市场 [EB/OL]. [2020-11-27]. <http://kr.mofcom.gov.cn/article/jmxw/202011/20201103018762.shtml>.
- [22] IEA. Implementing Effective Emissions Trading Systems: Lessons from international experiences[EB/OL]. [2020-11-27]. [https://iea.blob.core.windows.net/assets/2551e81a-a401-43a4-bebd-a52e5a8fc853/Implementing\\_Effective\\_Emissions\\_Trading\\_Systems.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/2551e81a-a401-43a4-bebd-a52e5a8fc853/Implementing_Effective_Emissions_Trading_Systems.pdf).
- [23] 中央财经大学绿色金融国际研究院. 韩国碳市场特征分析及其对我国的借鉴意义[EB/OL]. [2018-12-04]. <https://www.huanbao-world.com/a/zixun/2018/1204/65074.html>.
- [24] 李清如. 碳中和目标下日本碳定价机制发展动向分析[J]. 现代日本经济, 2022, 41(3): 81-94.  
LI Qingru. An analysis on the development trends of Japan's carbon pricing mechanism to achieve carbon neutrality[J]. Contemporary Economy of Japan, 2022, 41(3): 81-94 (in Chinese).
- [25] 生态环境部. 企业温室气体排放核算与报告指南 发电设施 [EB/OL]. [2022-12-21]. <https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk06/202212/W020221221671986519778.pdf>.
- [26] 广东省生态环境厅. 广东省企业(单位)二氧化碳排放信息报告指南(2022年修订) [EB/OL]. [2022-02-23]. <http://gdee.gd.gov.cn/attachment/0/483/483550/3836469.pdf>.
- [27] 重庆市生态环境局. 重庆市工业企业碳排放核算和报告指南(试行) [EB/OL]. [2014-06-26]. <http://www.carbonmanager.net/media/carbonbutler/images/chongqing07.pdf>.
- [28] 福建省生态环境厅. 关于做好2022年温室气体排放报告管理相关重点工作的通知[EB/OL]. [2022-04-01]. [http://sthjt.fujian.gov.cn/zwgk/zfxxgkzl/zfxxgkml/mlstbh/202204/t20220401\\_5872763.htm](http://sthjt.fujian.gov.cn/zwgk/zfxxgkzl/zfxxgkml/mlstbh/202204/t20220401_5872763.htm).
- [29] 北京电力交易中心. 我国绿色电力市场建设实践及有关思考[EB/OL]. [2023-03-28]. <https://guangfu.bjx.com.cn/news/20230328/1297368.shtml>.
- [30] 全国碳市场行情[EB/OL]. [2023-9-20]. <https://carbonmarket.cn/>.
- [31] 生态环境部办公厅. 关于做好2023—2025年发电行业企业温室气体排放报告管理有关工作的通知[EB/OL]. [2023-02-07]. [https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk06/202302/t20230207\\_1015569.html](https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk06/202302/t20230207_1015569.html).
- [32] 北京市生态环境局. 关于做好2023年本市碳排放单位管理和碳排放权交易试点工作的通知[EB/OL]. [2023-04-19]. <https://sthjj.beijing.gov.cn/bjhrb/index/xxgk69/zfxxgk43/fdzdgnr2/zcfb/hbjfw/326071951/326091327/index.html>.
- [33] 上海市生态环境局. 关于调整本市碳交易企业外购电力中

绿色电力碳排放核算方法的通知[EB/OL]. [2023-06-08].  
<https://sthj.sh.gov.cn/hbzhywpt2025/20230608/ea3db4610e294b5480934b31a6d5e645.html>.

- [34] 天津市生态环境局. 关于做好天津市2022年度碳排放报告核查与履约等工作的通知[EB/OL].[2023-03-28].[https://sthj.tj.gov.cn/ZWGK4828/ZCWJ6738/sthjwwj/202304/t20230404\\_6159503.html](https://sthj.tj.gov.cn/ZWGK4828/ZCWJ6738/sthjwwj/202304/t20230404_6159503.html).
- [35] 上海市生态环境局. 关于调整本市温室气体排放核算指南相关排放因子数值的通知[EB/OL].[2022-02-14].<https://sthj.sh.gov.cn/hbzhywpt2025/20220214/ec12e83686d2441b979fb1ec838bcbb7.html>.

收稿日期: 2023-12-20; 修回日期: 2024-03-12。



欧阳琰

作者简介:

欧阳琰(1995), 男, 硕士, 经济师, 研究方向为低碳政策分析、电碳协同机制、氢能技术, E-mail: [ouyy4@cneei.com.cn](mailto:ouyy4@cneei.com.cn)。

王建明(1981), 男, 博士, 教授级高级工程师, 研究方向为新能源、电力系统、电碳协同。通信作者, E-mail: [wangjm46@cneei.com.cn](mailto:wangjm46@cneei.com.cn)。

(责任编辑 王彦博)