

绿证—碳市场协同的系统动力学模型构建与模拟：以广东为例

李金莉¹ 杨旭³ 张恰恰² 杨雨瑶¹ 纪伊琳¹
冯磊¹ 祁舒喆¹ 傅愈⁴ 潘峰¹

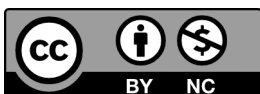
1. 广东电网有限责任公司计量中心，广州；
2. 中国科学院广州能源研究所，广州；
3. 沈阳化工大学机械与动力工程学院，沈阳；
4. 深圳市云天可持续科学研究中心，深圳

摘要 | 在“双碳”目标的推动下，实现绿证—碳市场的有效协同对于促进能源结构的转型具有重要意义。本研究旨在探讨绿证市场与碳市场的协同如何加速广东省电力行业的低碳转型。首先，分析了碳交易与绿证交易协同的基本原理，进而，探讨了绿证在碳减排中的作用，并提出了绿证核算对应的碳减排量等价交互机制，随后，利用系统动力学模型基于2020年广东省实际数据，评估了2020至2030年不同碳配额拍卖比例情景下对电力行业能源结构的影响。最后，仿真结果表明，绿证—碳市场的有效协同不仅促进了可再生能源的消纳及能源结构的低碳转型，同时为政策制定者提供了加强市场机制和政策支持的参考，旨在优化能源结构和推动清洁能源发展。

关键词 | 绿证市场；碳交易市场；系统动力学；电源结构；拍卖比例

Copyright © 2024 by author (s) and SciScan Publishing Limited

This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



基金项目：国家重点研发计划项目(2022YFF0606600)；中国南方电网有限责任公司软课题研究项目(035900RT24020142)。

通讯作者：潘峰，博士，教高，研究方向：电能计量和电碳计量。

文章引用：李金莉，杨旭，张恰恰，等. 绿证—碳市场协同的系统动力学模型构建与模拟：以广东为例[J].

社会科学进展, 2024, 6(2): 470–486.

<https://doi.org/10.35534/pss.0602037>

1 引言

随着全球气候变化日益加剧，国际社会越来越关注温室气体（GHG）排放控制问题^[1]。尤其是电力行业，作为全球能源消耗和温室气体排放的主要源头，其向低碳转型的重要性不言而喻。此转型不仅依赖于技术进步和政策支持，还需要市场机制的有效激励和引导，确保可再生能源生产和消纳。在此目标的引领下，2023年7月，中央全面深化改革委员会审议通过《关于推动能耗双控逐步转向碳排放双控的意见》进一步明确了这一战略方向，以期通过“能耗双控”向“碳排放双控”的转变来加速推动中国碳减排进程^[2]。在这一政策背景的引导下，绿证市场与碳交易市场的建立成为促进电力行业能源结构向低碳转型的关键机制。绿证市场通过验证并交易绿证，促进了可再生能源电力消纳比例的提高。碳市场则通过设定排放上限并允许排放权交易，有效控制和减少了温室气体排放。

目前，学者们已对发电行业的两类市场型碳减排政策：绿证市场与碳市场进行了广泛研究^[3-6]，对于碳市场而言，主要聚焦于如何设计一个高效公平的碳配额分配机制和设定合理的排放上限^[7-8]。绿证市场方面，研究重点则转向如何设计和实施有效的可再生能源配额制度及其对电力市场的影响，特别关注成本效益和减排贡献^[9-10]。这表明，尽管两个市场的目标均指向碳排放减少，但它们各自的实施机制和研究重点却存在显著差异，使得两者之间有效协同服务碳排放“双控”转型较为困难。

当前对于两者之间的协同，研究更多地侧重于定性分析，探讨如何建立协同机制（唐葆君等，2024；张显等，2024；田壁源等，2024；Yan Li et al., 2023）。这些研究指出，碳市场和电力市场的有效衔接对于实现碳减排目标具有重要意义，且能够通过政策和市场机制的搭配，促进新能源的竞争力。而对于两个市场协同作用下具体的定量影响分析较少。这主要因为目前研究往往面向国家层面，缺乏具体省份或地区层面深入的探讨，尤其是在定量数据支撑和实证方面。但随着绿证与碳市场协同作用的多维度视角和方法的提出，研究开始从宏观的政策设计和理论机制探讨，转向更加具体和实证分析。尤其是（张

硕等, 2023)研究的基于区块链技术构建的电—碳—绿证市场协同运行体系的提出, 不仅为市场交易的透明性、可靠性和可追溯性提供了新的保障, 也为电力数据的准确性提供了有效的支撑。此外, (骆钊等, 2023)针对不同国家间的能源市场机制差异, 提出了一种考虑碳—绿证联合交易的跨境综合能源系统协同运行优化方法。在模型方面, (詹博淳等, 2023)提出了一个基于合作博弈的双层优化模型, 通过信息间隙决策理论(IGDT)构建的发电联盟鲁棒优化模型, 可有效提高发电主体的收益, 同时促进碳减排。(陈荃等, 2024)则研究了电—碳—绿证市场耦合下发电商报价与出清的双层优化问题, 通过构造最优值函数近似的双层模型求解算法, 提高了发电商竞争获益的能力。从上述综述可得, 现有研究多采用优化模型、一般均衡模型和定性分析等为主, 在定量分析政策间相互影响时存在一定的局限性。而系统动力学方法, 由于其能够揭示复杂系统间的因果关系并分析长期动态变化趋势, 可以定性与定量结合分析为多市场协同效应等问题提供了新的视角(邹鑫、韦雨晨, 2023; Xin Chang et al., 2023; Yuan-ying Chi et al., 2022; 杨立兵等, 2020)。

鉴于此, 本文通过构建系统动力学模型, 通过设置不同碳配额拍卖比例情景下, 以广东省为界限, 探索绿证市场和碳市场机制协同下对广东电力行业能源结构长短期动态的影响。同时, 为市场参与者提供可行的决策行为, 从而促进电力行业的能源结构转型。

2 理论框架与研究方法

2.1 绿证—碳市场协同原理

绿证市场与碳市场协同是推动电力行业能源结构转型的重要机制之一, 绿证市场通过证明使用的是可再生能源电力, 促进可再生能源消纳, 碳市场则通过碳配额履约惩罚措施促进减排。两者可以通过碳信用市场作为中介衔接, 将可再生能源电力作为碳信用市场的标的物, 依据不同市场的标准, 签发一定量的碳减排量, 并用于碳市场的抵消^[23], 如图1所示。

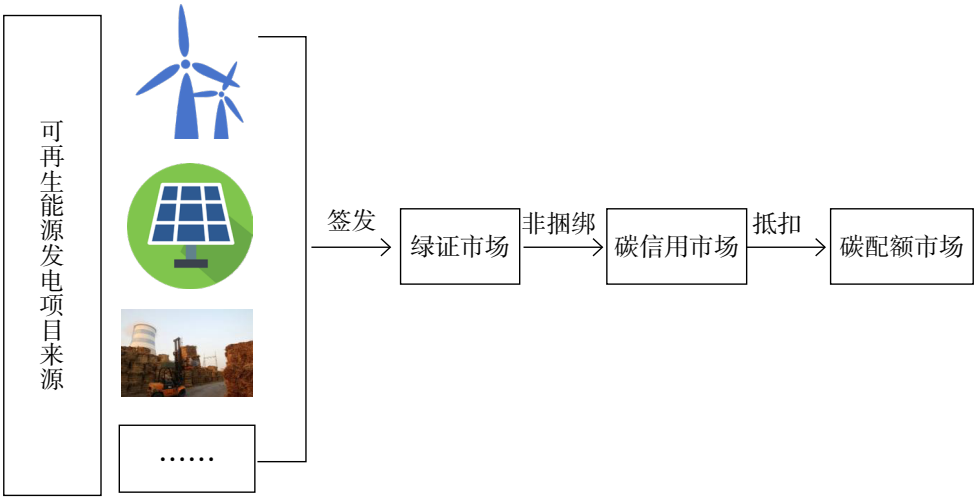


图 1 绿证与碳市场衔接

Figure 1 Linkage between green certificates and carbon market

2.2 绿证—碳市场协同机制框架构建

在推动电力行业从“能耗”双控向“碳排放”双控转型的进程中，可再生能源发电企业扮演了重要角色。其通过生产可再生能源电力可以参与绿色电力市场，用户侧通过绿色电力消费，获得绿色电力消费证明与绿电力证书，从而促进可再生能源的消纳。而在绿证与碳市场协同机制构建中，可再生能源发电企业通过获得相应的绿色证书成为评价其减排效益的一种工具，在核算电力排放中，其企业通过外购总电量乘以区域电网排放因子，以及对应的绿证核算相应的碳减排量用于碳抵消。协同机制的建立不仅可以提高可再生能源供应和消纳的正向循环，也会不断推动电力行业能源结构转变。本文构建的协同机制框架如图 2 所示。

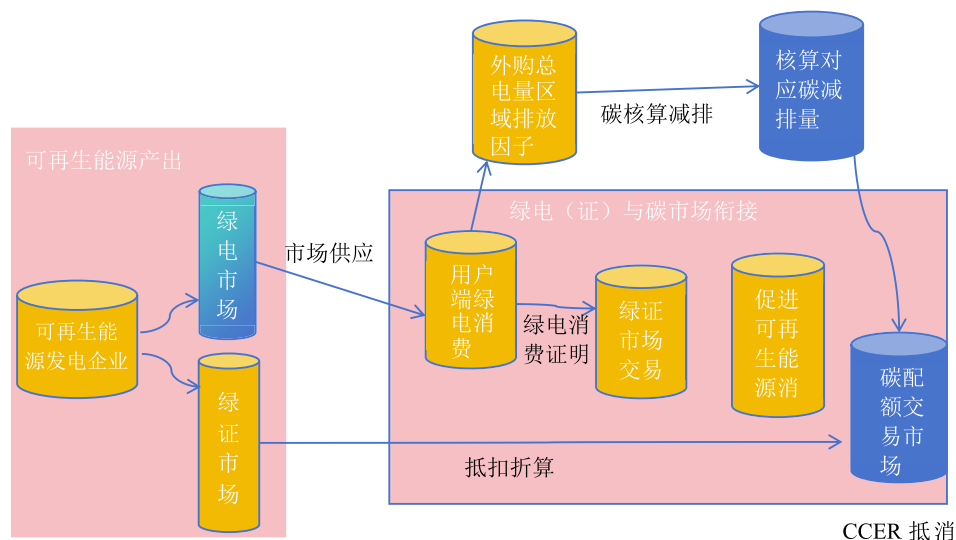


图2 绿证—碳市场协同机制框架

Figure 2 Green certificate-carbon market synergy mechanism framework

3 多市场交互的系统动力学模型构建

3.1 系统边界及基本假设

3.1.1 系统边界

本研究构建省级绿证—碳市场协同效应体系的系统动力学模型，分析不同碳配额拍卖情景下发电侧能源结构的影响情况，将系统空间边界限定为广东省，系统的时间边界限定为 2020—2030 年，以 2020 年为基准年，仿真步长设定为 1 年。

3.1.2 基本假设

本研究拟从碳市场与绿证市场协同下对电力市场能源结构的影响，作出基本假设：

为了简化模型，发电企业分为两种类型，火电企业与可再生能源企业；本文构建的系统中仅考虑火电、风电和光伏机组的发电和建设情况。

根据广东省碳市场实际运营情况，CET 的基准价格设定为 50 元/吨；参考全国碳市场以及欧盟碳市场，设置 CET 价格上限为 300 元/吨，下限设置为 10 元/吨。

根据广东实际情况下的建设周期,假设新增火电与可再生机组的建设周期为12个月,电力需求以一定比例增长。

假设1张绿色证书等价于1MWh电量,同时绿证与电力交易不存在捆绑交易。基于边际成本定价法,本文设定绿色证书的基准价格=可再生能源发电成本—燃煤上网标准电价。

假定广东省的单位GDP二氧化碳排放量会随着GDP的增长按照固定的比例变化。TGC市场中的配额比例按照广东省可再生能源电力消纳责任权重计算得出的比例增长。GDP以平均比例增长。

根据广东省碳市场配额发放情况,95%基于免费分配,5%基于拍卖分配,之后以一定比例增加。

3.2 多市场交互的因果环路图搭建

本文构建了碳—证—电多市场交互的因果回路图如图3所示。在绿证交易市场中,随着可再生能源企业利润增加以及碳配额拍卖比例的提升,促进了可再生能源新增装机容量的增加,进一步直接影响了可再生能源发电量。可再生能源发电企业的绿证供给量与其装机容量成正比,绿证价格的上涨最终又会增加可再生能源发电企业的利润,促使投资比例提高,进而推动其能源结构转型。

在碳交易市场中,火电企业的总碳排放配额与其排放量有直接的相关性。配额总量的确定决定了其碳排放配额的拍卖比例,而该比例的增加会对碳价产生重大影响。碳价的上涨将直接增加了火电的成本,进而影响火电企业的利润和发电量。火电发电量与火电企业的利润呈正比关系,其利润水平将决定新增装机容量比例。

在电力市场中,火电和可再生能源机组的实际发电量决定了电力的供给量,同时,上网电价决定了电力的需求。电力供给和需求共同影响上网电价的变化。较高的电价会增加可再生能源发电企业的利润,进而促进了机组的建设。

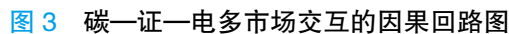


Figure 3 Causal loop diagram of multi-market interaction among carbon, certificates, and electricity

3.3 碳市场—绿证—电力市场的 SD 模型

利用 Vensim PLE 软件, 本文根据变量之间的相互关系构建了两种减排市场政策对电力行业能源结构影响模型, 该流量存量图如图 4 所示。本文建立了相应变量关系和函数方程, 以对模型进行检验与评估。模型包括若干状态变量: 如火电企业 CO₂ 排放强度、可再生能源新增及现有装机容量、碳价变动、火电新增装机容量等。速率变量包括: 碳排放强度变化, 碳配额供给与需求, 可再生能源及火电装机的建设开工等。状态变量与速率变量之间用函数关系相连, 而模型中的其他变量为外生变量与辅助变量。该系统中, 碳市场的拍卖配额直接影响各机组的发电成本, 并影响其利润状况, 促使发电企业调整各类型能源的装机容量, 优化能源结构。同时, 各类能源发电量的变动会导致其碳排放量

的变化，从而改变电力供给情况。

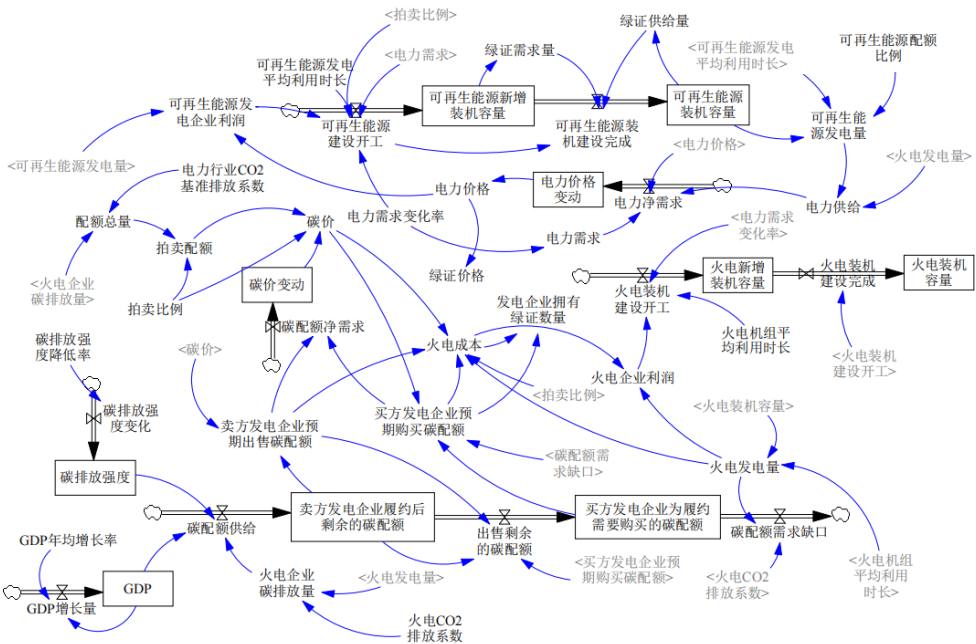


图 4 碳—证—电多市场交互的流量存量图

Figure 4 Stock and flow diagram of multi-market interaction among carbon, certificates, and electricity

4 情景分析与模拟仿真

本文基于碳配额拍卖比例、碳价的不同组合，对比分析可再生能源新增装机容量、火电新增装机容量与火电成本的变化趋势。参考当前广东碳市场和碳减排政策，将配额拍卖比例设置为 5%、30%、50%、70%、90%、100%。根据广东省 2020 年碳交易平均价格，将配额基准价格设置为 50 元 / 吨。根据《广东省碳达峰实施方案》，到 2030 年，非化石能源消费比重将达到 35% 左右。以此为基础开展情景分析。

4.1 主要参数设定

表 1 主要参数设定

Table 1 Main parameter settings

序号	变量	数据出处 / 运算公式
1	发电企业拥有绿证数量	$DELAY1(0.0015 \times \text{买方发电企业预期购买碳配额}, 1) + \text{火电成本} \times 4.8$
2	绿证需求量	$\text{可再生能源新增装机容量} \times 0.43$
3	绿证供给量	$\text{可再生能源装机容量} \times 0.7$
4	可再生能源配额比例	外生，数据来源：国家减排政策及相关文献
5	可再生能源发电量	$\text{可再生能源装机容量} \times \text{可再生能源发电平均利用时长} \times \text{可再生能源配额比例}$
6	电力需求	$50581.5 \times \text{电力需求变化率}$
7	电力需求变化率	外生，数据来源：参考文献
8	可再生能源发电平均利用时长	外生，数据来源：广东省能源规划及相关文献
9	可再生能源建设开工	$\text{电力需求} \times \text{电力需求变化率} / 12 \times \text{可再生能源发电企业利润} / \text{可再生能源发电平均利用时长} \times (1 + 4 \times \text{拍卖比例})$
10	火电成本	$(\text{MAX}(0.03 \times \text{碳价} \times \text{MAX}(\text{买方发电企业预期购买碳配额} - \text{卖方发电企业预期出售碳配额}), 0) / \text{火电发电量}, 40) + \text{碳价} \times 0.2) \times (1 + \text{拍卖比例})$
11	火电发电量	$\text{火电装机容量} \times \text{火电机组平均利用时长} / 90000$
12	火电二氧化碳排放系数	外生，数据来源：参考文献
13	碳价	$\text{IF THEN ELSE}(\text{SMOOTH}(\text{碳价变动}, \text{拍卖配额}, 50) > 300, 300, \text{IF THEN ELSE}(\text{SMOOTH}(\text{碳价变动}, \text{拍卖配额}, 50) < 10, 10, \text{SMOOTH}(\text{碳价变动}, \text{拍卖配额}, 50) \times (1 + \text{拍卖比例} \times 2))$
14	配额拍卖比例	外生，数据来源：广东省相关减排政策
15	火电机组平均利用小时数	外生，数据来源：广东省能源局
16	碳配额供给	$\text{GDP} \times \text{火电企业碳排放量} \times \text{碳排放强度}$
17	GDP	外生，数据来源：广东省统计年鉴
18	碳排放强度降低率	外生，数据来源：《强化应对气候变化行动——中国国家自主贡献》
19	电力行业 CO ₂ 基准排放系数	外生，数据来源：《中国区域电网二氧化碳因子研究》
20	火电新增装机容量	水平，数据来源：《电力工业统计年鉴》

4.2 模拟仿真结果

通过利用系统动力学模型仿真，本研究基于 2020 至 2030 年时间跨度，评估分析了不同碳配额拍卖比例对广东火电成本、火电新增装机容量和可再生新增装机容量的变化影响，分析覆盖了碳配额拍卖比例（5%）至完全拍卖（100%）

的 6 种情景，旨在探究广东省碳市场配额比例调整对 3 者之间的影响差异，结果如图 5、图 6、图 7 所示。



图 5 火电成本随年份变化趋势

Figure 5 Trend of thermal power generation costs over the years

根据火电成本在不同配额拍卖比例下随年份变化趋势热力图仿真结果显示，颜色深浅表示成本的高低。随着碳配额的拍卖比例的增加，火电成本呈现明显上升趋势。在配额拍卖比例为 5% 的情况下，2020 年火电成本为 66.76 元 / 吨到 2030 年逐渐上升到 69.67 元 / 吨。相反，在配额拍卖比例为 100% 的情景下，火电成本从 2020 年的 140 元 / 吨持续增长到 2030 年的 142.22 元 / 吨。对比 5% 与 100% 配额拍卖比例的火电成本增加情况来看，可以发现配额拍卖比例的调整对火电行业的成本影响具有显著影响，表明了在设计碳市场配额拍卖政策时，适度的调整配额拍卖比例可以有效平衡排放与火电成本负担之间的关系，从而促进火电行业的平稳低碳转型。

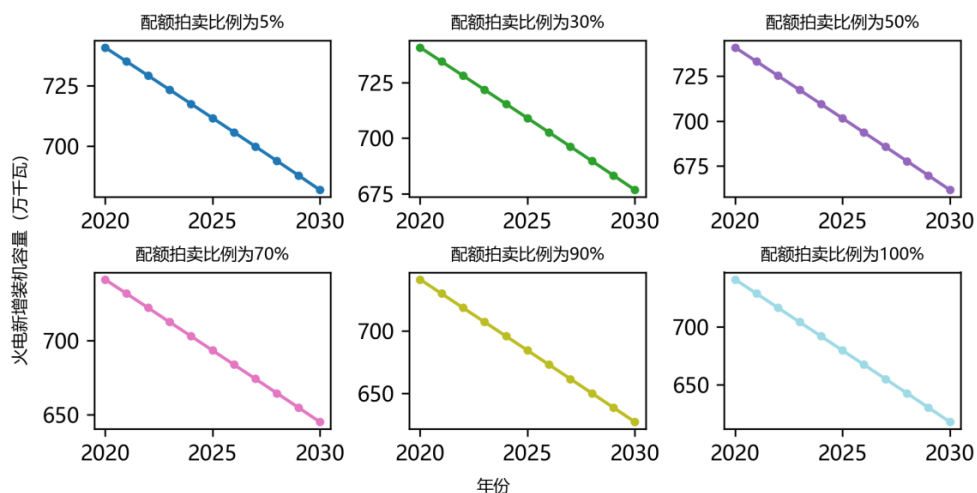


图 6 火电新增装机容量随时间变化趋势

Figure 6 Trend of new installed capacity of thermal power over time

根据火电新增装机容量随时间变化趋势结果表明,即便在推动碳减排的政策环境下,调整不同的配额拍卖比例,火电新增装机容量的下降幅度相对有限。在 5% 与 100% 配额拍卖比例的对比分析中,可以得出,尽管配额拍卖比例的提高导致了火电成本增加,从理论上应减少火电新增装机容量,但实际上这种减少的幅度较小。这反映出在中短期内,考虑到一些政策因素,如新能源发电尚不具备与火电相同的保障能力,火电在电力系统中仍继续发挥着不可替代的支撑作用。这一发现与中国面临的能源国情“富煤、贫油、少气”紧密相关,虽然碳市场通过配额比例调整激励促进能源结构的转型,但实际政策执行中必须充分考虑我国的能源国情和电力系统的稳定性保障。特别是对于我国这样一个巨大的能源消费国来说,能源转型策略需要平衡减排与经济需求,确保在推进碳减排的同时,不会危及电力供应的稳定性。

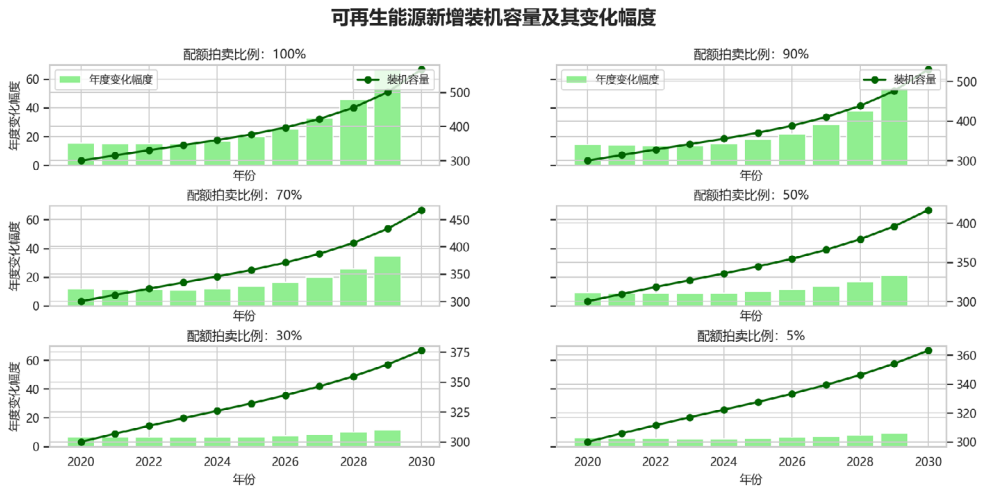


图 7 可再生能源新增装机装机容量及其变化幅度

Figure 7 new installed capacity of renewable energy and its variability

根据可再生能源新增装机装机容量随时间变化幅度仿真结果表明，在碳配额拍卖比例为 100% 的情况下，可再生能源新增装机容量从 300 万千瓦增长至 566.826 万千瓦。相反，在碳配额拍卖比例为 5% 时，2030 年的可再生能源新增装机容量从 2020 年的 300 万千瓦增长至 363.182 万千瓦。这表明，较低的碳配额拍卖比例虽然减轻了火电的成本压力，但同时也削弱了可再生能源装机建设的投资比例。在考虑政策因素，《广东省碳达峰实施方案》设定的 2030 目标非化石能源消费比重达到 35% 左右以及随着可再生能源消纳权重提高，可以分析得出，高碳配额拍卖比例的政策设置对加速可再生能源建设发展，特别是在增加其能源结构中的比重，具有积极推动作用。这不仅有助于广东省实现碳达峰目标，同时也为广东省乃至全国的能源转型提供有力证据。

5 小结与建议

广东省作为中国的经济、能源消费大省，尽管广东省能源资源总体上较为匮乏，主要依靠外地调入和进口的化石能源，如煤炭、石油和天然气，但该省正积极推进可再生能源的开发利用，特别是在太阳能和风能方面。其能源结构

调整和碳市场配额比例调整实施对实现我国碳达峰碳中和目标具有重要参考意义。通过系统动力学模型的仿真分析显示，构建有效的协同机制、合理的调整碳配额拍卖比例等，优化火电与可再生能源的发展比例和能源消费结构，是促进广东省能源结构转型和低碳发展的关键。实现这一目标需要政府和发电企业等共同努力，通过科学的政策设计和有效执行，建议从以下几方面开展工作。

首先，建立绿证与碳交易有效衔接机制。允许企业通过购买绿证抵扣碳配额需求，增加绿证市场的流动性，同时促进减排。抵扣比例可以参考广东省自愿碳市场减排要求（10% 左右），在核算电力碳排放部分可以参考深圳市场，将企业外购总电量乘以区域电网排放因子，企业购买的绿证核算对应的碳减排量用于碳抵消。

其次，合理有效提高碳配额拍卖比例。逐渐增加碳配额拍卖比例，但应通过预设的阶梯机制进行，初期设定较低的拍卖比例，以避免对火电企业造成突然的成本压力。其收入可以用于可再生能源的投资，同时为火电企业的逐渐转型给予财政补贴。

最后，建立直观、精细的电网碳排放动态因子计量体系。广东省电力行业是能源消费和碳排放主要部门，从消费侧计，电力碳排放占全省排放总量 80% 左右，而现行电网排放因子仍需追溯到 2012 年，难以适应新形势需要，继续沿用传统的年度平均碳排放因子已经无法满足精准计量电力消费侧碳排放的需求。采用精准、透明、动态实时监测的排放因子，不仅有利于政府“碳评”考核，也可以引导电力用户主动消纳绿电，提高发电侧能源结构的低碳转型。

参考文献

- [1] 陈巍, 江岳文. 耦合碳-绿证-消纳量市场的日前电量市场交易交互式优化 [EB/OL]. [2024-03-12]. <https://doi.org/10.13335/j.1000-3673.pst.2023.0754>.
- [2] 孙金鹏, 刘红玉, 孙心, 等. 关于能耗双控转向碳排放双控制度的思考与建议 [J]. 中国工程咨询, 2024 (3): 80-85.
- [3] 崔茗莉, 冯天天, 刘利利. 双碳目标下区块链与可再生能源的融合发展研

- 究[J]. 智慧电力, 2024, 52(2): 17–24.
- [4] 曹束, 陈锦义, 邵勤. 可再生能源配额制下能源企业技术投入与合作研究[EB/OL]. [2024-03-29]. <https://doi.org/10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2022.2450>.
- [5] 齐绍洲, 程师瀚. 中国碳市场建设的经验、成效、挑战与政策思考[EB/OL]. [2024-03-29]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3799.F.20240201.1430.002.html>.
- [6] 方德斌, 谢钱姣. 碳市场如何影响火电行业碳减排——碳价格视角[EB/OL]. [2024-03-29]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2267.N.20231102.1503.014.html>.
- [7] 吴鸿亮, 程耀华, 张宁, 等. 跨省区碳交易机制下发电碳排放配额分配方法[J]. 电网技术, 2016, 40(11): 3440–3445.
- [8] Zhanglr, Liyk, Jiazj. Impact of carbon allowance allocation on power industry in China's carbon trading market: Computable general equilibrium based analysis[J]. Applied Energy, 2018(229): 814–827.
- [9] 张宁, 庞军, 王琦瑶, 等. 基于CGE模型的可再生能源绿证交易机制模拟及其经济影响[J]. 中国人口·资源与环境, 2023, 33(2): 51–62.
- [10] 商波, 黄涛珍. 可再生能源配额制下异质权力发电商的绿色生产决策研究[J]. 运筹与管理, 2021, 30(11): 6–13.
- [11] 唐葆君, 李茹, 王翔宇, 等. 中国碳市场与电力市场联动机制与协同效应[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2023, 25(6): 25–33.
- [12] 张显, 王彩霞, 谢开, 等. “双碳”目标下中国绿色电力市场建设关键问题[J]. 电力系统自动化, 2024, 48(4): 25–33.
- [13] 田壁源, 刘倩汝, 常喜强, 等. 基于区块链碳通证的碳排放权与绿证联合交易市场机制设计[J]. 电力需求侧管理, 2024, 26(2): 87–94.
- [14] Li Y, Feng T, Liu L, et al. How do the electricity market and carbon market interact and achieve integrated development?—A bibliometric-based review[J]. Energy, 2023(265): 126308.

- [15] 张硕, 肖阳明, 李英姿, 等. 新型电力系统电-碳-绿证市场协同运行的区块链关键技术 [J]. 电力建设, 2023, 44 (11): 1-12.
- [16] 骆钊, 刘泓志, 赵伟杰, 等. 考虑碳-绿证联合交易的跨境综合能源系统协同运行优化 [J]. 电力自动化设备, 2023, 43 (11): 1-8, 25.
- [17] 詹博淳, 冯昌森, 尚楠, 等. 发电联盟参与电-碳-绿证市场的协同优化策略 [J]. 电力系统及其自动化学报, 2023, 35 (11): 84-94.
- [18] 陈荃, 张丹宏, 郑淇源, 等. 电-碳-绿证市场耦合下发电商报价与出清双层优化 [J]. 南方电网技术, 2024, 18 (1): 121-133.
- [19] 邹鑫, 韦雨晨. 基于系统动力学的电-碳-绿证多尺度市场耦合交易研究 [J]. 电力科学与工程, 2023, 39 (11): 32-44.
- [20] Chang X, Wu Z, Wang J, et al. The coupling effect of carbon emission trading and tradable green certificates under electricity marketization in China [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2023 (187): 113750.
- [21] Chi Y, Zhao H, Hu Y, et al. The impact of allocation methods on carbon emission trading under electricity marketization reform in China: A system dynamics analysis [J]. Energy, 2022 (259): 125034.
- [22] 杨立兵, 张汀荟, 李雅超, 等. 基于配额制的可再生能源电力交易系统动力学仿真 [J]. 全球能源互联网, 2020, 3 (5): 497-507.
- [23] 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 [EB/OL]. [2024-04-02]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2107.TM.20230316.1116.006.html>.

Construction and Simulation of System Dynamics Model of Green Certificate-carbon Market Synergy: A Case Study of Guangdong

Li Jinli¹ Yang Xu³ Zhang Qiaqia² Yang Yuyao¹ Ji Yilin¹
Feng Lei¹ Qi Shuzhe¹ Fu Yu⁴ Pan Feng¹

1. Metrology Center, Guangdong Power Grid Co., Ltd., Guangzhou;

2. Guangzhou Institute of Energy Conversion, Chinese Academy of Sciences,
Guangzhou;

3. School of Mechanical and Power Engineering, Shenyang University of Chemical
Technology, Shenyang;

4. Shenzhen Yuntian Sustainable Science Research Center, Shenzhen

Abstract: Driven by the “dual carbon” goal, it is of great significance to realize the effective synergy between green certificates and carbon markets to promote the transformation of the energy structure. This study aims to explore how the synergy between the green certificate market and the carbon market can accelerate the low-carbon transition of the power sector in Guangdong Province. Firstly, the basic principle of synergy between carbon trading and green certificate trading is analyzed, and then the role of green certificates in carbon emission reduction is discussed, and the equivalent interaction mechanism of carbon emission reductions corresponding to green certificate accounting is proposed, and then the system dynamics model is used to evaluate the impact of different carbon quota auction proportions on the energy structure of the power

industry from 2020 to 2030 based on the actual data of Guangdong Province in 2020. Finally, the simulation results show that the effective synergy between green certificate and carbon market not only promotes the consumption of renewable energy and the low-carbon transformation of the energy structure, but also provides a reference for policymakers to strengthen the market mechanism and policy support, aiming to optimize the energy structure and promote the development of clean energy.

Key words: Green certificate market; Carbon trading market; System dynamics; Power supply structure; Auction ratio