

DOI:10.3969/j.issn.2097-0706.2023.10.010

面向综合能源系统的辅助服务市场与多类型 市场耦合关系分析

Analysis on the coupling between the auxiliary service market and multiple types of
markets for integrated energy systems

王家豪¹, 马恒瑞^{1,2,3*}, 王波^{2,3}, 李笑竹^{4a,4b}, 秦立栋¹, 王港飞¹, 武世东¹
WANG Jiahao¹, MA Hengrui^{1,2,3*}, WANG Bo^{2,3}, LI Xiaozhu^{4a,4b}, QIN Lidong¹,
WANG Gangfei¹, WU Shidong¹

(1. 青海大学 新能源光伏产业研究中心, 西宁 810016; 2. 交直流智能配电网湖北省工程中心, 武汉 430072;
3. 武汉大学 电气与自动化学院, 武汉 430072; 4. 新疆大学, a. 可再生能源发电与并网技术教育部工程
研究中心; b. 电气工程学院, 乌鲁木齐 830047)

(1. New Energy (Photovoltaic) Industry Research Center, Qinghai University, Xining 810016, China; 2. Hubei Engineering
and Technology Research Center for AC/DC Intelligent Distribution Network, Wuhan 430072, China; 3. School of
Electrical and Automation, Wuhan University, Wuhan 430072, China; 4. a. Engineering Research Center
of Ministry of Education for Renewable Energy Generation and Grid Connection Technology;
b. School of Electrical and Automation, Xinjiang University, Urumqi 830047, China)

摘 要: 综合能源系统对我国“双碳”目标下的能源产业发展有重要作用。随着电力市场改革的推进, 研究辅助服务市场与碳市场、绿证市场和绿电市场的耦合机制可以帮助综合能源系统更好地参与能源市场体系建设, 推动新能源的消纳和规模化开发。总结了以美国、欧洲能源市场为代表的能源市场建设和发展经验, 梳理了国内能源市场发展的现状, 并结合我国能源相关市场特点分析了辅助服务市场进行市场耦合的可行性。通过市场价格、发展、作用以及政策背景等重叠部分分析了辅助服务市场与各能源市场协同运作的机理, 在此基础上对辅助服务市场与不同市场之间耦合机制设计中的交易、规则和目标提出了要点分析和建议。

关键词: 综合能源系统; 新能源消纳; 辅助服务市场; 碳市场; 绿证市场; 绿电市场; 市场耦合机制; 新型电力系统

中图分类号: TK 01'9; F 7 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-0706(2023)10-0082-11

Abstract: The integrated energy system has a significant impact on the green transformation of energy industry in China under the dual carbon target. With the progress of power market reforms, studying the coupling mechanisms between the auxiliary services market, carbon market, green certificate market, and green electricity market can facilitate the integrated energy systems' participating in new energy market construction, while promoting large-scale new energy consumption and development. Based on the experience from foreign energy markets on behalf of those in the U.S. and Europe, the development status and feasibility of auxiliary service market coupling with other markets are analyzed in combination with the characteristics of the domestic energy market. By examining the overlapping of the auxiliary services market and various energy market in terms of trading prices, development, roles, and policy backgrounds, their coordinated operation mechanism is analyzed. Furthermore, key points and recommendations are proposed regarding to transactions, rules, and objectives of the market coupling.

Keywords: integrated energy system; new energy consumption; auxiliary service market; carbon market; green certificate market; green electricity market; market coupling mechanism; new power system

0 引言

“碳达峰, 碳中和”是我国产业绿色转型的关键

目标。我国正处于新型电力系统加速转型的窗口期, 需要全面推进清洁能源的高效利用和技术研发, 加快建设新型能源体系, 完善支持绿色发展的政策, 推动重点领域节能降碳^[1]。截至 2021 年, 我国可再生能源发电装机容量超 1.1 TW, 水电、风电、

基金项目: 国家自然科学基金项目(52207134)
National Natural Science Foundation of China(52207134)

太阳能发电、生物质发电装机容量均居世界第一,已建成全球规模最大的清洁发电体系^[2]。

在新型电力系统和“双碳”背景下,综合能源服务应更注重服务所能带来的衍生价值以及能效提升。而综合能源系统能够通过优化能源的生产、转换和储存提高能源利用效率、促进可再生能源消纳,其核心是实现能源间的转换利用、协同优化、耦合互补,以服务平台的形式促进能源的优化配置^[3-4]。同时,随着以风电、光电为主的新能源不断接入电网,其间歇性、不稳定性对电力系统运行产生影响,辅助服务对维持含高比例可再生能源电力系统的安全稳定运行至关重要^[5]。通过辅助服务市场,电力市场可以调配备用容量和频率调节等服务,以应对供需波动和突发事件,保障电力系统的稳定性。

电力行业是碳排放的主要来源之一。通过碳市场,政府可以设定碳排放配额,鼓励电力企业减少碳排放,推动电力行业向低碳方向转型。电力企业可以在碳市场购买或销售碳排放配额,以实现减排目标。绿证市场与电力市场相互促进。购买绿证的企业或个人可以证明其使用的电力来自可再生能源,从而推动电力市场中可再生能源的发展;电力市场中增加可再生能源的供应,又为绿证市场提供更多的绿证供应来源。

随着我国电力市场化改革进程的推进,分析和研究面向综合能源系统的辅助服务市场与多类型市场耦合关系,可使得综合能源系统更好地参与多类型市场,促进新能源的消纳和发展,推进新型电力系统的建设。并且,辅助服务市场作为电力市场的重要组成部分,其服务价格和成本可根据市场供需关系进行流转,为研究辅助服务市场与碳市场、绿证市场的耦合关系提供了新思路 and 可能性。

1 国内外多类型能源相关市场发展现状

1.1 美国各能源相关市场现状

1.1.1 美国碳市场建设

国际碳市场分为跨界联盟型、国家型、地区型和行业型 4 类。美国的碳市场与电力市场紧密耦合,各州通过碳交易来推动减排,其中具代表性的加州碳市场为地区型碳市场,与我国已经运行的各试点碳市场属同类。美国也有跨界联盟型碳市场,如西部行动倡议(Western Climate Initiative, WCI),以及行业型碳市场,如区域温室气体减排计划(Regional Greenhouse Gas Initiative, RGGI)等^[6]。加利福尼亚州、蒙大拿州、俄勒冈州等 10 个州加入了 WCI;康涅狄格州、缅因州、马萨诸塞州等 7 个州加

入了 RGGI。

加州碳市场设定了排放总量的限额,允许电站等排放实体衡量选择减排还是交易^[7]。对分配给电力部门的大部分碳配额使用委托拍卖方式:政府首先向企业发放免费配额并强制企业上缴;然后把上缴的配额进行拍卖;最后拍卖收入再返还给企业,且规定不增加用户成本,即成本不转嫁给消费者^[8]。

RGGI 区域碳市场同样采用委托拍卖的方式,但 RGGI 碳排放配额分为 2 个层次:第 1 层将整个区域的配额分配到各州;第 2 层将各州的配额分配到各电厂^[9]。碳排放配额影响电力现货市场交易和发电商的中长期投资,改变电力市场的电源结构,进而改变 RGGI 区域与非 RGGI 区域间的电力市场交易,碳排放会从 RGGI 区域向非 RGGI 区域转移^[10]。RGGI 碳市场的建立使成员州在国内生产总值(GDP)增长 8% 的情况下,电力行业碳排放削减了 40% 以上^[11]。

1.1.2 美国可再生能源证书与配额制

因美国的可再生能源证书(Renewable Energy Certificate, REC)制度由各州分别制定和实施,可分为强制型和自愿型。一些州采取了强制性的可再生能源标准(Renewable Portfolio Standard, RPS)或可再生能源目标,要求电力供应商在供能中必须包括一定比例的可再生能源。强制性 RPS 制度的实施促进了 REC 市场的发展,增加了可再生能源在电力市场中的份额^[12]。与我国的绿色证书交易机制不同,美国联邦政府没有出台全国性证书交易政策,大部分实行碳配额制度的州都建立了 REC 交易系统,系统包括绿证认证、交易以及监管机构,电厂生产的可再生能源电力可凭借可再生能源证书在全州范围内进行交易^[13],不同州的标准不同,但有些州的证书允许交易跨州。美国 REC 市场与电力市场联系紧密,在配额制下,不同州设定可再生能源的消纳目标,要求电厂在能源组合中包含一定比例的可再生能源,而电厂需要证明他们使用了足够的可再生能源以获得 REC。

目前,加州的可再生能源配额制存在管理机构职能冲突、处罚实施不足等问题。尽管得州取得了显著的碳减排效果,但依然面临着可再生能源波动性、间歇性所带来的挑战^[14]。

1.2 欧洲各能源相关市场现状

1.2.1 欧洲碳市场建设

2005 年,欧盟碳市场(European Union Emissions Trade System, EU ETS)正式启动。作为世界上首个以及发展至今最成熟的碳市场,EU ETS 为各国碳市场的设计筹建提供了宝贵经验:它采用

“基于总量”的调控方式,衍生出碳金融产品——欧盟碳配额(European Union Allowance, EUA)、欧洲航空碳排放配额、各种合作机制下的核证减排量、减排单位等,以及相关的期权、期货等衍生品。2022年11月,EUA现货总成交量63.70万t,总成交金额4814.37万欧元,现货成交均价75.58欧元/t;期货总成交量7.34亿t,总成交金额557.70亿欧元,期货成交均价76.02欧元/t^[15]。

目前,EU ETS覆盖了欧洲8757家能源生产和能源密集型的企业和固定碳排放设施,与2005年相比,EU ETS范围内的排放量降低了34.6%^[16]。

在EU ETS中,电力行业是主要的碳排放源。电力公司通过在碳市场购买和销售碳配额,管理和控制其碳排放,并确保符合排放限额。此机制激励电力公司采取更清洁和低碳的发电方式,以减少碳排放。碳市场的价格波动也会对电力市场的价格和能源供应产生影响,碳成本一定程度上会转嫁到电价中。

1.2.2 欧洲来源担保证书

德国、法国、西班牙等欧洲国家采用了比较典型的基于价格的扶持政策,如固定上网价格补贴(Feed-in Tariff, FIT)。采用这种政策的优点是政策实施和成本核算简单;但由于缺乏竞争,实行效率相对较低。

瑞典、挪威、意大利、波兰等国家采用了基于数量的扶持政策,如典型的绿色电力证书交易制度(Tradable Green Certificate, TGC)。其优点是引入市场竞争机制,效率相对较高。我国固定上网价格补贴政策在新能源产业初期也发挥了重要作用,但同时导致了巨大的财政补贴缺口,不利于风电、光伏等新能源产业的可持续发展^[17]。

欧洲的绿色证书为来源担保证书(Guarantees of Origins, GO)。自2002年,GO得到所有欧盟成员国及挪威和瑞士的认可并开始实施,依据技术类和发电项目信息等,可再生能源发电企业和电力购买企业间进行双边交易。GO交易可跨境进行,与电力销售相互独立,并且市场高度一体化,受限制较少。同时,GO机制属绿色证书自愿市场,与强制市场是独立的,一些国家的绿色证书强制市场设有配额义务,但与GO系统无关;已享受固定电价政策的电量不包括在GO机制中,价格由发电企业确定,市场长期处于供大于求的关系中,价格较低,各国之间差异较大;欧洲GO市场在2015年交易量达550TW·h,约占可再生能源发电总量的一半^[18]。

1.2.3 国外能源相关市场建设思考总结

国外能源相关市场的发展现状显示了能源市

场在全球范围内的重要性和复杂性。美国和欧洲能源市场是发展较为成熟和充满活力的市场。从美国的碳市场建设来看,不同类型的碳市场形成了多层次的碳交易体系,并与电力市场紧密耦合。加州碳市场和RGGI区域碳市场通过委托拍卖方式管理碳排放配额,对电力现货市场交易和电能结构产生重要影响。这些碳市场的建立一定程度上促进了碳减排,为我国碳市场的运行和发展提供了宝贵经验。

美国采用REC与配额制度推动可再生能源参与电力市场。各州制定了RPS或可再生能源目标,要求能源供应商购买相应数量的REC,以证明其在碳排放以及绿色供应标准上符合要求。该制度的实施既促进了可再生能源市场的发展,又加强了可再生能源与电力市场的紧密联系。

EU ETS作为世界上最成熟的碳市场,通过碳配额的购买和销售可鼓励电力公司减少碳排放以符合环境法规。碳市场的价格波动也会对电力市场的价格和能源供应产生影响。欧洲引入了来源GO机制,鼓励可再生能源发电企业和购电企业之间交易GO,促进可再生能源的发展,对我国发展尚未成熟的绿证市场有较好的参考意义。

国外能源相关市场建设经验丰富,多种类型的市场机制相互配合,形成了复杂而有效的能源交易体系。学习和借鉴国外能源市场的经验和做法,顺应我国电力市场改革的趋势,提高市场透明度和效率,可以促进可再生能源的普及和利用,为我国的绿色能源转型和可持续发展作出贡献。

我国电力市场在大量实行市场化改革的同时,提出实施的计划性和组织性。这就使我国相比国外在市场与政策的结合中能更好地选择与调整权重。EU ETS对成员国的政策联系表现较弱,若能保持能源市场协调运行政策的正确性,在耦合2个或者多个市场时,我国在政策强制性、落实力度上更有优势,也是我国研究和发展能源市场耦合关系研究的充分条件。

1.3 我国能源相关市场发展现状

1.3.1 辅助服务市场

2002年以前,我国电力辅助服务处于初期,与电量捆绑结算并且没有单独的辅助服务补偿机制;2006年开始进入计划补偿阶段,由并网发电厂提供辅助服务并由监管机构监管;直到2014年,我国电力辅助服务系统正式进入市场化的探索阶段^[19]。我国辅助服务市场发展如图1所示。《东北电力调峰辅助服务市场监管办法(试行)》的实施标志着我国首个调峰辅助服务市场正式启动,电网、省级电力

公司和发电企业应按照该办法,科学利用调峰资源,有效执行调峰考核、补偿、结算和信息公开工作^[20]。随着《中共中央国务院关于进一步深化电力体制改革的若干意见》(中发[2015]9号)等文件的发布,我国电力市场市场化的浪潮正推动辅助服务市场机制更好地面向市场,以进行更高效的资源配置利用^[21-22]。

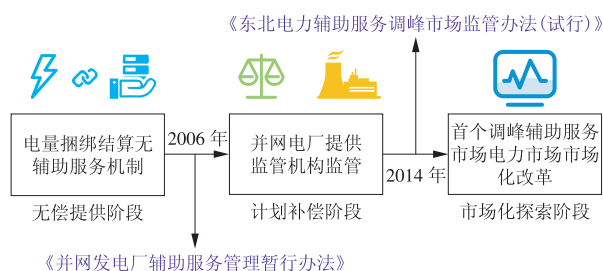


图1 我国辅助服务市场发展

Fig. 1 Development of China's auxiliary services market

随着“十四五”规划中“双碳”目标的提出,电力市场对辅助服务的需求日趋上升,因而对辅助服务市场规则的设计也需要在原有基础上进行优化及创新^[23]。辅助服务市场研究热点之一是针对电力系统的运行优化,该市场通过提供辅助服务对能源市场价格、决策行为以及市场均衡产生影响。文献[24]结合碳交易机制提出了一种发电集团调峰辅助服务需求测算方法,通过对初始碳配额和碳成本的计算,构建基于多场景随机规划方法的调峰需求优化模型,分析得出,以发电集团为主体的竞价策略能够有效减少交易成本和发电集团调峰费用。文献[25]结合辅助服务市场和电网平衡需求设计弹性电价,最终得出所设计的电价模型可以跟踪电网需求变化,调整实际结算电价,激励负荷侧电力用户参与市场交易。文献[26]通过采用实际运行中的美国宾夕法尼亚州-泽西州-马里兰州(PJM)市场的调频市场模型和参数来指导区域综合能源系统中调频资源的优化配置,在电能与调频服务市场收益之间进行权衡,可以实现利润的最大化。文献[27-28]研究了美国 PJM、加州独立系统运营商(CAISO)和得州电力可靠性委员会(ERCOT)电力系统的调频市场定价机制,对比分析其交易标的、里程定价、市场组织时序、机会成本计算方法的主要环节、具体做法及适用情况。

1.3.2 碳交易市场

1.3.2.1 碳排放权交易市场

2023年3月,生态环境部发布了《2021、2022年度全国碳排放权交易配额总量设定与分配实施方案(发电行业)》,明确了碳排放权交易配额总量和分配方案。我国碳配额交易如图2所示。2021年全

国碳排放权交易市场发电行业的CO₂配额总量为5.60亿t,其中煤电和燃气发电分别占据了3.86亿t和1.74亿t^[29]。

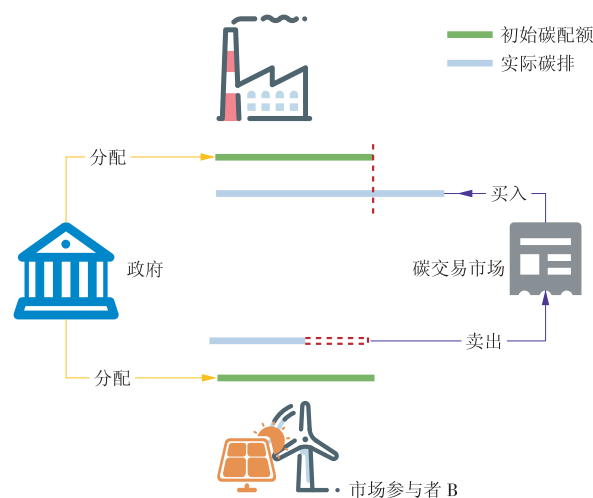


图2 碳配额交易

Fig. 2 Carbon quota trading

目前,燃煤机组必须严格遵守CO₂排放限值要求,强制履行碳减排任务,并在碳市场购买配额;燃气机组按照CO₂排放限值进行生产,暂不需要强制履约,并可在市场上出售多余的碳配额,如图3所示。

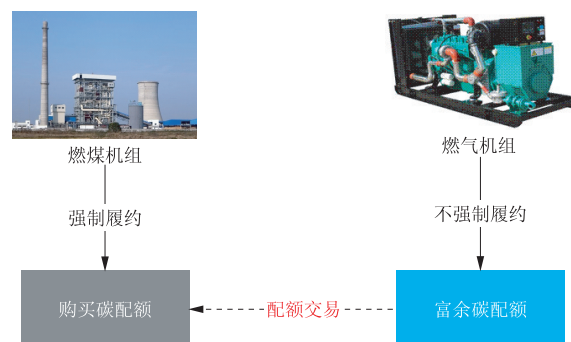


图3 不同机组履约管理

Fig. 3 Management on compliance of different units

强制履约是碳市场运行和发展的重要政策特点。当市场中缺乏积极的碳减排意识时,强制履约可以推动市场正常运行,促进减排工作,推动能源结构向供给侧绿色转型。

原先北京、上海、广州等8个地方试点市场将逐步过渡到全国碳市场,且2021年3月《碳排放权交易管理暂行条例(草案修改稿)》表示目前8个试点仍然存在,但不再建设新的地方试点市场^[30]。目前我国碳市场已在全国范围内开始试点,并在发电行业实行碳排放权交易制度,采取免费分配碳排放配额的措施,推动企业减排,实现全社会减排目标。交易方式之一是协议,包括挂牌协议交易以及大宗协议交易;另一种是单向竞价,由市场主体向交易

机构提出一个买卖申请,交易机构发布竞价的公告,多个意向的受让方或者出让方按照规定进行相应报价,在约定时间内通过碳排放权交易系统正式成交^[31-32]。

截至 2023 年 2 月,全国碳排放权交易市场碳排放配额成交量 185.43 万 t,总成交额 1.04 亿元,成交均价 55.87 元/t,其中挂牌协议成交 25.43 万 t,成交额 1 429.58 万元,最高成交价 57.50 元/t,最低成交价 55.00 元/t;大宗协议成交 160 万 t,成交额 8 930 万元,最高成交价 57.50 元/t,最低成交价 55.00 元/t^[33]。

整体而言,碳市场作为一种减排机制,具有重要的环境和经济价值,随着对全球气候变化问题认识的不断深化,碳市场的发展前景将更加广阔。碳市场运作机制主要基于碳排放强度,鼓励企业通过技术升级和能源结构转型来减少碳排放。强制履约是碳市场的重要特点和必要的实施手段,对于缺乏积极碳减排意识的企业,可以推动市场正常运行和促进减排工作。

随着碳排放权交易市场的不断成熟和经济属性更加明确,可能引入更多的金融交易产品,如碳期货和期权,帮助市场主体规避风险。碳排放权交易的交易方式的多样化为市场参与者提供更灵活的交易机制。对于市场参与者而言,政府、企业和投资者应积极参与和建设碳市场,共同推动碳排放减少,实现可持续发展的目标。

1.3.2.2 国家核证自愿减排量

国家核证自愿减排量(China Certified Emission Reduction, CCER)是我国碳市场中除碳配额以外的一个交易品种。CCER将通过清洁能源、节能减排、森林碳汇等项目减少的碳排放量在碳交易市场上进行交易,或用于抵消相应的碳配额^[34]。该交易方式价格较低,可以满足不同类型的企业和机构的碳减排需求,促进全社会的低碳发展,CCER参与市场的形式如图 4 所示。

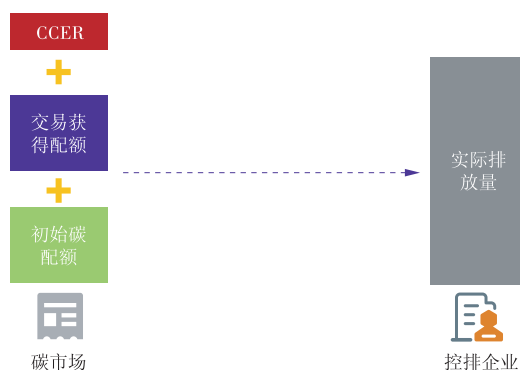


图 4 CCER 参与市场

Fig. 4 Participation of CCER in the market

从 2013 年开始,我国在北京、上海等 7 个试点碳市场开展 CCER 交易,但是不同试点抵消比例不同,如北京、上海要求 CCER 抵消比例小于当年免费初始碳配额的 5%;天津、深圳、广东、湖北为 10%;重庆为 8%。然而,抵消比例不高会导致市场积极性降低。2017 年发改委暂停了 CCER 的交易。2022 年 2 月 4 日,国家级绿色交易所——北京绿色交易所落户北京市通州区,这意味着 CCER 交易的重启。虽经历 5 年市场停滞,但期间我国能源市场的快速发展以及“双碳”目标的提出,为形成一个有效的 CCER 交易市场提供了充分的准备。将北京绿色交易所打造成为国家级绿色交易所,主要是让其承担 CCER 交易任务,为全国碳市场扩容提供支持^[35]。全国碳排放权交易市场与天津、湖北、上海、深圳等试点市场一道为我国碳减排构筑坚实的交易平台,加强强制碳排放权交易和自愿减排交易的衔接。截至 2023 年 2 月,国内碳市场 CCER 累计成交量 31.79 万 t,仅天津、四川、上海、深圳有成交,其中天津较为活跃,成交量 19.93 万 t。截至 2023 年 2 月 28 日,国内区域碳市场 CCER 累计成交量 4.52 亿 t;其中,天津 CCER 累计成交量 6 667 万 t,居全国第三^[33]。

未来 CCER 交易有望成为实现减排目标的重要手段之一。国家级绿色交易所的建立将进一步加强市场的运作和监管,有望为全国碳市场扩容提供支持。然而,要实现 CCER 市场的稳健发展,还需要不断完善相关政策和机制。

1.3.3 绿证市场

面对庞大的可再生能源缺口以及超过全生命周期发电补贴等问题,2017 年 1 月,国家发展和改革委员会、财政部、国家能源局联合发布《关于试行可再生能源绿色电力证书核发及自愿认购交易制度的通知》,开始实施可再生能源绿色电力证书,交易流程如图 5 所示。

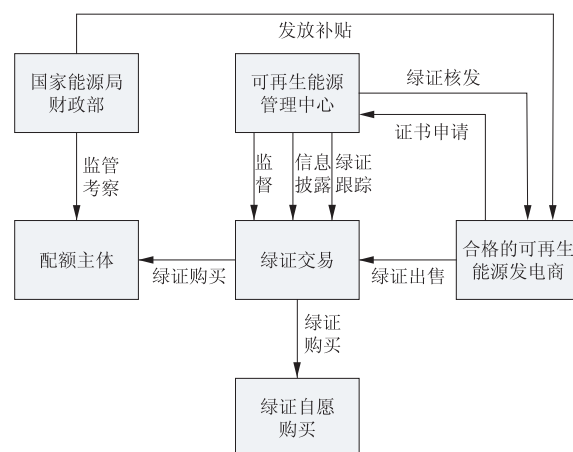


图 5 绿证市场交易流程

Fig. 5 Green certificate market transaction process

可再生能源发电具有电能和环境双重价值,后者可以由绿证来具体表征。绿证是可再生能源环境价值的货币化,是一种随着可再生能源生产而产生的、可以转让和交易的有价证券^[36]。绿证是非水可再生能源发电量的确认和属性证明,以及消费绿色电力的唯一凭证。根据市场认购情况,自 2018 年起适时启动可再生能源电力配额考核和绿色电力证书强制约束交易^[37]。

2022 年,我国补贴项目中风电绿证成交 186 个,单价为 201.1 元,而光伏绿证仅成交 1 个,单价为 622.8 元。在非补贴项目中,风电绿证和光伏绿证的平均成交价格分别为 44.5,48.5 元/个。需要注意的是,补贴项目中的绿证价格远高于非补贴项目,但非补贴项目的绿证成交数量远多于补贴项目。

同时,从自愿认购市场来看,以国际绿证(International Renewable Energy Certificate, I-REC)为例,2021 年—2022 年 7 月,我国共完成 13.82 TW·h 的 I-REC 认购交易,占其全球认购量的 24%。相同时间、区间内,国内的平价绿证采购和绿电交易试点规模约为 3.1 TW·h,不足 I-REC 交易规模的 23%。2021 年,合规的市场交易和自愿采购绿电规模不足全国全年发电量的 1%;从价格来看,绿电的环境价值也尚未得到合理体现,总体价格偏低^[38]。

1.3.4 绿电市场

每生产 1 kW·h 绿色电力,可减少 1 kW·h 火电生产过程中产生的 CO₂ 和 SO₂ 等污染物,使整个地区都从中受益,这正是绿色电力区别于普通电力的关键,也是其独特的价值^[39]。

绿电市场不完全等同于绿证市场,主要原因在于绿电市场将绿电的环境价值与其自身电能商品价值分割开来,使得 2 种价值间的界限更加清晰;其次,绿电市场可以弥补绿证交易的局限性,认购绿证只是拥有了绿电的声明权,即宣称自己使用了绿电,并不意味着企业实际消纳了对应的绿电,这不利于对企业消纳情况进行追踪记录,而在绿电交易中,绿色电力消费凭证直接向终端用户颁发,实现了绿电消费和绿证的统一;同时,绿电市场可作为新型电力系统发展的支撑,为新能源发电企业和终

端用户直接交易搭建桥梁,拓宽了交易渠道,有利于推动新型电力市场的发展;全国绿电交易市场的建立,可以为新能源电力消纳提供更便捷的渠道,同时可以缓解绿电供大于求的市场局面,有效促进新能源消纳^[40]。

国家发改委、国家能源局于 2021 年 9 月正式批复国家电网公司、南方电网公司制定的《绿色电力交易试点工作方案》,开启了绿色电力交易的试点;此前,仅有京、津、冀、浙、滇、粤等地开展了零星的试点,本次试点启动后全国有 17 个省(自治区,直辖市)、259 家市场主体参与其中;绿电交易是在现有中长期交易框架下设立的独立交易品种,绿电交易可以引导有绿电需求的企业直接与绿电发电企业进行交易^[41]。相应地,绿电也能够 在电力市场、电网调度中获得组织、安排、执行和结算方面的优先权。2022 年 2 月,南方电网开始实施《南方区域绿色电力交易规则(试行)》;5 月,《北京电力交易中心绿色电力交易实施细则》正式发布。在首次绿电交易中,有 6.898 TW·h 在北京电力交易中心完成,剩余 1.037 TW·h 交易量在广州电力交易中心完成,初步核算,此次交易可减少标煤燃烧 243.6 万 t,减排二氧化碳 607.18 万 t。经过几个月的试点,截至 2022 年 3 月,参与绿电交易的市场主体超过 1 600 家^[42-43]。截至 2022 年 9 月,绿电交易成交电量已超 20 TW·h,核发绿证超 5 000 万张,折合电量超 50 TW·h^[44]。

1.3.5 关于我国能源相关市场现状总结

我国各能源相关市场交易机制见表 1。

目前国内实行绿证与绿电“证电合一”的交易模式,使市场主体对绿电交易的需求更高。绿电认可程度高于绿证。欧盟启动碳关税以来,出口到欧盟的产品需要标识相应的含碳量,拥有绿证并不能够抵扣对应的碳排放量,如果生产企业实际使用的是绿电,可以对碳排放量进行抵扣。出口型企业也能够减轻欧盟碳关税的压力,绿电交易是先交易后交付,可以链接到实体的可再生能源电厂,更符合实际电力生产规律,可以直接激励新能源项目的投资和建设。

但“证电合一”的交易模式一定程度上限制了交易的灵活性。(1)为保证绿色电力产品的可追踪

表 1 各类能源相关市场交易机制
Table 1 Various market trading mechanisms

市场类型	建设意义	市场发展	运行平台	交易周期	标的物
辅助服务市场	提高电能质量	需求驱动	电力交易平台	现货	调频、调峰、备用、无功调节及黑启动等服务
碳市场	减排、控排	履约	碳交易系统	配额可无限期存续	碳排放配额
绿证市场	无补贴平价上网	政策驱动	绿证认购平台	RPS 履约有效时间	绿色电力证书
绿电市场	优化电力消费结构	需求政策	电力市场统一服务平台	中长期	绿色电力

溯源,绿电交易只能以长周期双边协商交易为主。(2)绿电交易为物理合同,需要保障其优先执行,而可再生能源出力具备不确定性,难以保证绿电合约分解曲线每个时段都能物理执行。现货交易与电网安全校核紧密耦合,复杂的电网运行约束可能限制绿电交易规模。(3)绿色电力交易偏差处理方式更加复杂,涉及电能量偏差处理和环境权益偏差处理,复杂的偏差处理机制可能会降低市场主体绿电交易的积极性。

提倡“证电分离”的学者认为,可再生能源报价应拆分为电能量价格和绿色环境溢价2部分,电能量市场交易不含绿色环境溢价,可再生能源与其余常规电源同台竞价、公平参与,市场申报、出清、结算原则均按照统一的电能量交易规则开展,电能量市场交易环节不应引入环境属性,避免现货价格畸变,避免绿电物理执行增加对电网安全校核的复杂性,回归“电能商品属性”本质,简化电能量市场组织。

2 辅助服务市场与各能源相关市场耦合机理

2.1 辅助服务市场与碳市场的交互

辅助服务市场的价格对碳市场的价格传导通常是双向的。当化石能源的装机容量比较高,化石能源将有更大的机会参与辅助服务的竞标,此时辅助服务市场价格可能会较低,这也意味着化石能源的污染物排放量会增加,从而影响碳市场的价格。新能源发电边际成本较化石燃料低,在竞标辅助服务时,新能源可降低辅助服务市场价格,具有一定的竞争优势,并且由于新能源的碳排放较低,会对碳市场价格产生正向影响。

辅助服务市场是市场需求驱动型,以辅助服务为交易标的物;而碳市场是政策要求强制或非强制履约型,以碳排放配额为交易标的物。但参与辅助服务市场的发电企业很可能也是碳市场的参与者。随着新能源在市场中的份额增加,辅助服务市场的需求增多,2个市场的参与主体可能存在进一步重叠从而实现更好的耦合。

尽管辅助服务的价格也会影响电力生产成本,但通常影响要比碳价格小得多。辅助服务的价格主要是确保电力系统的稳定性和可靠性而设立的,而碳价格涉及电力生产的排放成本,旨在鼓励发电商采用更环保的技术减少碳排放。当碳价格上涨时,发电企业需要支付更高的费用来排放相同量的二氧化碳,增加了电力的生产成本。随着清洁能源技术的发展和成熟,发电企业可以采用更环保的技术降低二氧化碳的碳排放,减少碳价格对成本的影响。

国内也积极推出各项政策和绿色交易市场,如绿电和绿证市场,但在国内仍处于试点或初级阶段。

2.2 辅助服务市场与绿证市场的交互

可再生能源发电企业通过绿证市场和辅助服务获取收益,绿证价格直接影响收益,而辅助服务的价格和需求影响运营成本和收益2个市场在能源绿色转型中相互影响,对电力市场稳定和可再生能源产业发展至关重要。

可再生能源绿电产量和装机容量是绿证市场供给的关键因素,产量过大无法消纳,可能导致供给过剩和价格下跌。电力市场价格和负荷波动影响辅助服务和绿证市场的供需关系^[45]。价格和负荷波动大时,辅助服务需求增加,发电成本变化影响绿证市场需求,从而影响电能供给。同时,政策环境对辅助服务和绿证市场发展也有影响,我国绿证市场的非强制性导致企业积极性不高。若绿证市场能带来收益,发电企业将优先选择出清绿电以获取绿证,促进产业绿色转型并巩固辅助服务、电力市场和绿证市场的耦合。

2.3 辅助服务市场与绿电市场的交互

绿电企业为满足可再生能源消纳需求,需要购买辅助服务来保证电网的安全稳定运行。随着绿电市场的不断发展,辅助服务市场的需求也会相应增加,有必要从宏观角度展现二者耦合的必要性。同时,提供辅助服务的收入是绿电企业的重要收入来源之一,该收益可促进绿电企业的发展。

相关政策同样是影响2个市场协同发展的重要因素。通过政策可以鼓励绿电企业参与辅助服务市场,例如绿电获得电力调度中的优先出清权、辅助服务市场中的优先。绿证价格的制定和绿电出清的顺序都会影响绿电市场的发展,进而影响辅助服务市场。

3 辅助服务市场耦合各能源相关市场要点

3.1 辅助服务市场与碳市场耦合要点

辅助服务市场和碳市场的耦合机制设计要考虑碳价格、辅助服务的碳排放、市场交互方式、参与者角色和政策目标等。

(1)确定合理的碳价格水平。碳价格是衡量碳减排成本的重要指标,它既需要确保能够激励企业减排,又不可过度增加企业的运营成本。通过合理定价,可以促使电力企业采取更多低碳措施,推动电力生产向绿色低碳方向转型。

(2)提高低碳电力产量。为耦合辅助服务市场和碳市场,应当增加低碳电力产量。通过在辅助服

务市场中考虑碳排放因素,可以提高低碳电力生产的竞争力,鼓励电力企业减少碳排放。同时,在碳市场中引入辅助服务市场的碳减排量,增加碳排放成本,可促进低碳电力的消纳。

(3)提升辅助服务的经济效益。辅助服务市场的经济效益对于推动市场耦合发展至关重要。设计合理的辅助服务机制,确保供应商能够获得合理的收益,同时让需求方能够以较低的成本获得所需的辅助服务。这将吸引更多的参与者进入辅助服务市场,提高市场的活跃度。

(4)碳市场和辅助服务市场的交互。耦合辅助服务市场和碳市场需要明确 2 个市场的交互方式。碳市场的价格会对辅助服务的定价产生影响,因此辅助服务市场的运作应该考虑碳排放量的因素。引入碳交易和碳履约机制,关联辅助服务市场的交易与碳排放量,增强 2 个市场之间的价格关联性。

(5)区分不同市场参与者的角色和行为。市场参与者在辅助服务市场和碳市场中扮演不同的角色,需要针对电力生产商、辅助服务供应商和碳交易参与者等不同角色制定不同的政策和激励机制,以促进各方积极参与市场。

(6)明确政策目标。在耦合机制的设计中,政策目标是至关重要的。政策目标包括减少碳排放、提高能源效率和促进可再生能源发展等方面。确保耦合机制符合政策导向,有助于实现政府制定的能源和环境政策目标,并推动市场的稳健发展。

3.2 辅助服务市场与绿证市场耦合要点

辅助服务市场和绿证市场之间存在相互影响,并且有越来越多的可能性发展耦合。

(1)创新绿电辅助服务。在耦合辅助服务市场和绿证市场时,创新绿电辅助服务是一个重点。它将研究如何利用绿色电力提供新型的辅助服务,例如使用可再生能源来提供备用容量和频率调节等服务。与传统的辅助服务进行比较,该服务可以确保绿电辅助服务的稳定性和可靠性。

(2)明确绿电来源和绿证转换方式。耦合辅助服务市场和绿证市场需要明确绿电的来源和绿证的转换方式。确保绿证对应的电力来源是真实的可再生能源发电,并明确如何将绿证与实际的辅助服务交易关联,从而实现辅助服务市场与绿证市场的有效耦合。

(3)制定新的交易规则和政策环境。绿证市场的发展受到政策环境的直接影响。目前,我国绿证市场尚未充分活跃,需要制定新的交易规则和政策促进绿证市场的发展。在新能源无补贴平价上网和能源绿色转型的背景下,加快绿证市场的发展对

辅助服务市场和绿证市场的耦合至关重要。

(4)提高绿证的国际认可度和解决重复计算问题。为增强绿证市场的主体参与积极性,需要提高绿证的国际认可度。同时,解决与碳市场重复计算的问题,确保绿证的价值得到充分体现,为辅助服务市场与绿证市场的耦合提供前提条件。

(5)考虑市场监管和合规性。在设计辅助服务市场和绿证市场的耦合机制时,需要关注市场的监管和合规性。定期评估市场的发展状况,并进行必要的调整和改进,确保市场的稳健运行。

通过关注上述要点,可推动辅助服务市场和绿证市场的良性互动。

3.3 辅助服务市场与绿电市场耦合要点

辅助服务市场与绿电市场的耦合机制设计需要考虑以下要点。通过合理的设计和 policy 激励,可以促进绿电产业的发展,实现能源的高效利用和绿色转型。

确定绿电企业参与辅助服务市场的方式和标准。在设计耦合机制时,需要明确绿电发电企业如何参与辅助服务市场,包括确定参与门槛和标准,以确保参与企业具备必要的技术和能力,提供可靠的辅助服务。

赋予绿电企业竞争优势,并提供政策激励。根据国家的“双碳”目标,可以在保证绿电提供辅助服务质量的前提下,给予绿电企业一定的竞争优先权或政策激励机制,激励更多绿电企业参与辅助服务市场,促进市场的发展和成熟。

建立完备的负荷和价格预测体系。由于绿色电力的特性,耦合机制需要建立更完备的负荷和价格预测体系,以更好地预测和评估绿电供应和辅助服务需求。绿电企业可以根据可靠的绿电认证和发电数据更精确地做出辅助服务出清决策。

充分考虑绿电的特性和优缺点。绿电的供应可能受到天气和季节等因素的影响,在辅助服务的调度和出清决策时,需要确认决策的灵活和适应性,以确保辅助服务的质量和收益。

实现多能源市场的协同运作。考虑到绿证市场和绿电市场的重叠部分较多,耦合机制可以充分结合绿证市场与辅助服务市场协同机制的特点,实现多能源市场的协同运作。通过合理的市场规则和交易机制,使得绿电和绿证在辅助服务市场中发挥协同作用,实现市场的高效运作和资源优化配置。

4 结束语

为促进新能源接入电力系统,碳市场、绿证市

场及绿电市场受到越来越多的关注。碳市场通过增加碳排放成本和将价格传导至用户侧实现减排目的;绿证市场与绿电市场通过负荷侧主动消费绿色电力和体现环境溢价的方式推动低碳转型;而新型电力市场的发电主体为风电与光电,具有强波动性和随机性,此时辅助服务市场作为电力市场的重要部分,可通过调峰、调频、备用等服务帮助微电网安全稳定运行。

结合辅助服务在电力市场中的作用,做好辅助服务市场与各类能源市场机制的有效衔接以及综合调控,可以促进电力资源的优化配置及可再生能源的规模化发展。研究辅助服务市场与碳市场、绿证市场、绿电市场的耦合关系和协同效应,可以有效帮助综合能源系统更好参与能源市场建设、助力新能源消纳以及市场的发展,同时,辅助服务市场在新型电力市场中的作用也越发明显。

参考文献:

- [1] 李克强作政府工作报告(文字摘要)[EB/OL]. (2023-03-05) [2023-06-05]. http://www.gov.cn/premier/2023-03/05/content_5744736.htm.
- [2] 碳达峰碳中和“1+N”政策体系已构建“双碳”工作取得良好开局[EB/OL]. (2022-09-23) [2023-06-05]. https://www.gov.cn/xinwen/2022-09/23/content_5711246.htm.
- [3] 陈柏森, 廖清芬, 刘涤尘, 等. 区域综合能源系统的综合评估指标与方法[J]. 电力系统自动化, 2018, 42(4): 174-182.
CHEN Baisen, LIAO Qingfen, LIU Dichen, et al. Comprehensive evaluation indices and methods for regional integrated energy system [J]. Automation of Electric Power Systems, 2018, 42(4): 174-182.
- [4] 贾宏杰, 王丹, 徐宪东, 等. 区域综合能源系统若干问题研究[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(7): 198-207.
JIA Hongjie, WANG Dan, XU Xiandong, et al. Research on some key problems related to integrated energy systems [J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(7): 198-207.
- [5] 马恒瑞, 王波, 高文忠, 等. 考虑调频补偿效果的区域综合能源系统调频服务优化策略[J]. 电力系统自动化, 2018, 42(13): 127-135.
MA Hengrui, WANG Bo, GAO Wenzhong, et al. Optimization strategy for frequency regulation service of regional integrated energy systems considering compensation effect of frequency regulation [J]. Automation of Electric Power Systems, 2018, 42(13): 127-135.
- [6] 易兰, 贺倩, 李朝鹏, 等. 碳市场建设路径研究: 国际经验及对中国的启示[J]. 气候变化研究进展, 2019, 15(3): 232-245.
- [7] 张磊, 王燕, 杨解君. 中国碳交易的立法思路: 基于欧美碳交易的立法检讨及其启示[J]. 南京工业大学学报(社会科学版), 2013, 12(3): 12-22.
ZHANG Lei, WANG Yan, YANG Jiejun. Looking into legislative direction of China's carbon emission trading system: An analysis based on EU-ETS and US RGGI [J]. Journal of Nanjing Tech University (Social Science Edition), 2013, 12(3): 12-22.
- [8] 王白雪, 方虹. 碳市场中委托拍卖机制研究进展及展望[J]. 生态经济, 2020, 36(10): 34-40.
WANG Baixue, FANG Hong. Consignment auction mechanism in carbon markets: A review and prospects [J]. Ecological Economy, 2020, 36(10): 34-40.
- [9] 庄彦, 蒋莉萍, 马莉. 美国区域温室气体减排行动的运作机制及其对电力市场的影响[J]. 能源技术经济, 2010, 22(8): 31-36.
ZHUANG Yan, JIANG Liping, MA Li. Mechanism of regional greenhouse gas initiative in the U.S. and its impact on electricity markets [J]. Energy Technology and Economics, 2010, 22(8): 31-36.
- [10] 帅云峰, 周春蕾, 李梦, 等. 美国碳市场与电力市场耦合机制研究——以区域温室气体减排行动(RGGI)为例[J]. 电力建设, 2018, 39(7): 41-47.
SHUAI Yunfeng, ZHOU Chunlei, LI Meng, et al. Coupling mechanism of U.S. carbon market and electricity market: A case study of regional greenhouse gas initiative [J]. Electric Power Construction, 2018, 39(7): 41-47.
- [11] 吴大磊, 赵细康, 王丽娟. 美国区域碳市场的运行绩效——以区域温室气体减排行动(RGGI)为例[J]. 生态经济, 2017, 33(2): 49-53.
WU Dalei, ZHAO Xikang, WANG Lijuan. Operating performance of U.S. regional carbon market: A case study of regional greenhouse gas initiative [J]. Ecological Economy, 2017, 33(2): 49-53.
- [12] 绿色电力证书: 三大市场比较与发展趋势(中国、美国、欧洲)[EB/OL]. (2023-03-09) [2023-06-05]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1759870427465260869&wfr=spider&for=pc>.
- [13] 任东明, 谢旭轩. 构建可再生能源绿色证书交易系统的国际经验[J]. 中国能源, 2013, 35(9): 12-15, 21.
REN Dongming, XIE Xuxuan. International experience in building a renewable energy green certificate trading system [J]. Energy of China, 2013, 35(9): 12-15, 21.
- [14] 丁峰, 李晓刚, 梁泽琪, 等. 国外可再生能源发展经验及其对我国相关扶持政策的启示[J]. 电力建设, 2022,

- 43(9): 1-11.
- DING Feng, LI Xiaogang, LIANG Zeqi, et al. Review of foreign experience in promoting renewable energy development and inspiration to China [J]. Electric Power Construction, 2022, 43 (9): 1-11.
- [15] 张晓燕, 殷子涵, 李志勇. 欧盟碳排放权交易市场的发展经验与启示[J]. 清华金融评论, 2023(2): 28-31.
- ZHANG Xiaoyan, YIN Zihan, LI Zhiyong. Development experience and enlightenment of EU carbon emissions trading market [J]. Tsinghua Financial Review, 2023(2): 28-31.
- [16] 张铮. 从欧盟最新绿色转型政策看能源脱碳布局[J]. 中国电力企业管理, 2023(10): 90-93.
- ZHANG Zheng. Looking at the layout of energy decarbonization from the latest green transformation policy of the European Union [J]. China Power Enterprise Management, 2023 (10): 90-93.
- [17] 刘培德. 基于绿色电力证书的负荷优化调度[D]. 北京: 华北电力大学, 2019.
- LIU Peide. Optimal load dispatching based on tradable green certificate [D]. Beijing: North China Electric Power University, 2019.
- [18] 时璟丽. 对比和启示: 欧洲、美国和中国三国绿证机制的优劣[J]. 能源, 2019 (11): 37-40.
- SHI Jingli. Comparison and inspiration: The advantages and disadvantages of green certificate mechanisms in Europe, the United States, and China [J]. Energy, 2019 (11): 37-40.
- [19] 袁家海, 席星璇. 我国电力辅助服务市场建设的现状与问题[J]. 中国电力企业管理, 2020 (7): 34-38.
- YUAN Jiahai, XI Xingxuan. The current situation and problems in the construction of China's electricity auxiliary service market [J]. China Power Enterprise Management, 2020 (7): 34-38.
- [20] 国家能源局. 东北能源监管局下发关于做好今冬明春东北电力低谷调峰有关工作的通知[EB/OL]. (2015-12-04) [2023-06-05]. http://www.nea.gov.cn/2015-12/04/c_134885816.htm.
- [21] 国家发展和改革委员会. 《中共中央国务院关于进一步深化电力体制改革的若干意见》印发[EB/OL]. (2015-04-09) [2023-06-05]. https://www.ndrc.gov.cn/fggz/tzgg/ggkx/201504/t20150409_1077736.html.
- [22] 张家瑞, 余朋军, 许忠义, 等. 基于绿证-碳交易机制的含风电电力系统动态环境经济调度[J]. 华电技术, 2021, 43(9): 69-77.
- ZHANG Jiarui, YU Pengjun, XU Zhongyi, et al. Environmental economic dispatch considering wind power systems based on green certificate-carbon trading mechanism [J]. Huadian Technology, 2021, 43(9): 69-77.
- [23] 魏靖晓, 叶鹏, 杨宏宇, 等. 电力市场环境辅助服务问题研究综述[J]. 沈阳工程学院学报(自然科学版), 2023, 19(1): 63-70.
- WEI Jingxiao, YE Peng, YANG Hongyu, et al. Summary of research on ancillary services in electricity market [J]. Journal of Shenyang Institute of Engineering (Natural Science), 2023, 19 (1): 63-70.
- [24] 李昭. 以发电集团为主体的调峰辅助服务竞价模式研究[D]. 吉林: 东北电力大学, 2020.
- LI Zhao. Research on bidding mode of peak regulation auxiliary service with power generation group as the principal part [D]. Jilin: Northeast Electric Power University, 2020.
- [25] 白昕, 薛晨, 张力, 等. 响应调控需求的辅助服务市场激励电价与效益分析方法设计[J/OL]. 现代电力: 1-11 [2023-06-05]. <https://doi.org/10.19725/j.cnki.1007-2322.2022.0220>.
- BAI Xin, XUE Chen, ZHANG Li, et al. Design of power price and revenue analysis for ancillary service market incentive in response to dispatching control demand [J/OL]. Modern Electric Power: 1-11 [2023-06-05]. <https://doi.org/10.19725/j.cnki.1007-2322.2022.0220>.
- [26] 马恒瑞, 王波, 高文忠, 等. 区域综合能源系统中储能设备参与辅助服务的运行优化[J]. 电力系统自动化, 2019, 43(8): 34-40, 68.
- MA Hengrui, WANG Bo, GAO Wenzhong, et al. Operation optimization of energy storage equipment participating in auxiliary service in regional integrated energy system [J]. Automation of Electric Power Systems, 2019, 43 (8): 34-40, 68.
- [27] 陈中飞, 荆朝霞, 陈达鹏, 等. 美国调频辅助服务市场的定价机制分析[J]. 电力系统自动化, 2018, 42(12): 1-10.
- CHEN Zhongfei, JING Zhaoxia, CHEN Dapeng, et al. Analysis on pricing mechanism in frequency regulation ancillary service market of United States [J]. Automation of Electric Power Systems, 2018, 42 (12): 1-10.
- [28] 代江, 姜有泉, 田年杰, 等. “双碳”目标下贵州电力调峰辅助服务市场设计与实践[J]. 华电技术, 2021, 43 (9): 85-90.
- DAI Jiang, JIANG Youquan, TIAN Nianjie, et al. Design and practice of peak regulation ancillary service market in Guizhou for achieving carbon neutrality and carbon peaking [J]. Huadian Technology, 2021, 43(9): 85-90.
- [29] 生态环境部有关负责同志就《2021、2022年全国碳排放权交易配额总量设定与分配实施方案(征求意见稿)》答记者问[EB/OL]. (2022-11-03) [2023-06-05]. https://www.mee.gov.cn/ywdt/zbft/202211/t20221103_1000246.shtml.
- [30] 关于公开征求《碳排放权交易管理暂行条例(草案修改稿)》意见的通知[EB/OL]. (2021-03-10) [2023-06-05].

- https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk06/202103/t20210330_826642.html.
- [31] 生态环境部. 关于发布《碳排放权登记管理规则(试行)》《碳排放权交易管理规则(试行)》和《碳排放权结算管理规则(试行)》的公告[EB/OL]. (2021-05-17) [2023-06-05]. https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk01/202105/t20210519_833574.html?ivk_sa=1024320u.
- [32] 中国碳市场效果将逐步显现未来年交易有望超千亿[EB/OL]. (2021-07-19) [2023-06-05]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1705672340663854019&wfr=spider&for=pc>.
- [33] 2023年2月碳排放权交易市场动态[J]. 造纸信息, 2023(3): 29-31.
Dynamics of carbon emissions trading market in February 2023 [J]. China Paper Newsletters, 2023(3): 29-31.
- [34] 王科, 陈沫. 中国碳交易市场回顾与展望[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2018, 20(2): 24-31.
WANG Ke, CHEN Mo. Review and prospect of China's carbon trading system [J]. Journal of Beijing Institute of Technology (Social Sciences Edition), 2018, 20(2): 24-31.
- [35] 王秀丽, 王秀艳. 国家级绿色交易所正式启动[J]. 生态经济, 2023, 39(4): 9-12.
WANG Xiuli, WANG Xiuyan. The national green exchange has officially launched [J]. Ecological Economy, 2023, 39(4): 9-12.
- [36] 张翔, 陈政, 马子明等. 适应可再生能源配额制的电力市场交易体系研究[J]. 电网技术, 2019, 43(8): 2682-2690.
ZHANG Xiang, CHEN Zheng, MA Ziming, et al. Study on electricity market trading system adapting to renewable portfolio standard [J]. Power System Technology, 2019, 43(8): 2682-2690.
- [37] 国家发展和改革委员会. 《关于试行可再生能源绿色电力证书核发及自愿认购交易制度的通知(发改能源[2017]132号)》[EB/OL]. (2017-01-18) [2023-06-05]. https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/201702/t20170203_962895_ext.html.
- [38] 韩雪, 高世楫. 低碳转型背景下绿电市场化机制设计的思考[J]. 财经智库, 2022, 7(5): 35-48, 145-146.
HAN Xue, GAO Shiji. Reflections on the design of green electricity marketization mechanism under the background of low-carbon transition [J]. Financial Minds, 2022, 7(5): 35-48, 145-146.
- [39] 陈运辉, 谷志红, 牛东晓. 发达国家绿色电力推广的部分措施及启示[J]. 电力需求侧管理, 2008(5): 68-71.
CHEN Yunhui, GU Zhihong, NIU Dongxiao. Measures and inspiration to promote green power in developed countries [J]. Power Demand Side Management, 2008(5): 68-71.
- [40] 由希江. 国内绿证发展趋势与发电企业应对策略[J]. 能源, 2022(11): 34-36.
YOU Xijiang. The development trend of green certificates in China and the countermeasures for power generation enterprises [J]. Energy, 2022(11): 34-36.
- [41] 国家发展和改革委员会. 锚定“双碳”目标, 绿色电力交易方案蓄势出台——《绿色电力交易试点工作方案》解读[EB/OL]. (2021-09-28) [2023-06-05]. https://www.ndrc.gov.cn/fggz/fgzy/xmtjd/202109/t20210928_1298058.html.
- [42] 我国绿色电力交易试点正式启动——绿电消费有了“中国方案”[EB/OL]. (2021-09-09) [2023-06-05]. https://www.gov.cn/xinwen/2021-09/09/content_5636363.htm.
- [43] 刘梦飞. 绿色电力市场体系建设现状及存在问题[J]. 有色冶金节能, 2022, 38(6): 1-4.
LIU Mengfei. Current situation and existing problems of green power market system construction [J]. Sustainable Mining and Metallurgy, 2022, 38(6): 1-4.
- [44] 国家发展和改革委员会. 介绍深化改革开放有关工作情况[EB/OL]. (2022-09-28) [2023-06-05]. <https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/wszb/jsshgkfyggzqk/>.
- [45] 刘曾慧, 杜源, 李涛, 等. 考虑碳交易与绿证交易的电-热耦合园区低碳规划[J]. 综合智慧能源, 2023, 45(2): 22-29.
LZENG Hui, DU Yuan, LI Tao, et al. Low-carbon planning of a park-level integrated electric and heating system considering carbon trading and green certificate trading [J]. Integrated Intelligent Energy, 2023, 45(2): 22-29.

(本文责编: 陆华)

收稿日期: 2023-06-25; 修回日期: 2023-07-22
 上网日期: 2023-10-25; 附录网址: www.iienenergy.cn

作者简介:

王家豪(1998), 男, 在读硕士研究生, 从事综合能源系统及智能电网领域的建模、优化、分析及控制等领域的研究, wangjiahao9812@163.com;

马恒瑞*(1987), 男, 副教授, 硕士生导师, 博士, 从事综合能源系统运行与市场交易、电力系统灵活性资源规划与运行等方面的研究, henry3764@foxmail.com;

王波(1978), 男, 教授, 博士生导师, 博士, 从事电力大数据方面的研究, whwdwb@whu.edu.cn;

李笑竹(1990), 女, 讲师, 博士, 从事新型电力系统规划运行调控方面的研究, lixiaozhu0504@foxmail.com;

秦立栋(1998), 男, 在读硕士研究生, 从事综合能源系统及智能电网领域的建模、优化、分析及控制等领域的研究, qldong0607@163.com;

王港飞(1995), 男, 读硕士研究生, 从事综合能源系统及智能电网的建模、优化、分析及控制等领域的研究, wgangfei@163.com;

武世东(1993), 男, 读硕士研究生, 从事人工智能在电力系统的应用的研究, wushidong66@126.com.

*为通信作者。