

适应新型电力系统的广东电力市场机制构建与应用实践

黄远明, 刘文昊, 王浩浩, 陈青, 刘祺, 舒康安, 谢楷俊

(广东电力交易中心有限责任公司, 广东省广州市 510699)

摘要: 随着双碳战略推进和新能源渗透率增加, 广东电力市场面临新的挑战, 亟须构建适应新型电力系统的市场机制。首先, 针对中长期交易品种少、组织频次低、现货市场价格与申报机制不完善等问题, 提出“多时间尺度中长期+现货双边”的新型电力系统市场机制基本框架。其次, 基于该框架, 针对新能源“电能量+环境属性”的双重价值, 设计新能源全面入市交易机制, 涵盖电能量和绿电交易品种。最后, 在此基础上考虑不同灵活性资源的特性, 进一步针对新型储能、抽水蓄能和虚拟电厂设计适应新型主体交易需求的交易机制。广东电力市场实际应用情况表明, 所提适应新型电力系统的市场机制推动了新型主体平稳入市, 能有效助力能源绿色转型、提升电力系统灵活性。

关键词: 新型电力系统; 电力市场; 现货市场; 市场机制; 新能源; 灵活性资源

0 引言

为实现双碳目标, 中国提出构建以新能源为主体的新型电力系统、加快规划建设新型能源体系^[1-2]。在此政策背景下, 广东新能源装机规模不断扩大, 新能源渗透率持续增加。截至2025年9月底, 广东风电装机规模为18.58 GW, 年发电量约为30 TW·h, 可供1 000万户家庭使用一年; 光伏装机规模达58.09 GW, 分布式光伏呈现爆发式增长趋势。随着广东电力市场改革步入深水区, 如何制定合理有效的市场机制, 实现高比例新能源安全、经济消纳, 成为亟待解决的重要问题^[3]。

在传统电力系统中, 电源结构以燃煤、燃气等火电机组为主, 其出力可随着负荷波动而调节, 系统电力电量平衡稳定可控^[4]。然而, 未来新型电力系统的电源结构将改变^[5], 新能源成为电能供应的主体, 系统运行的不确定性增加^[6]。火电的角色从电能供应者转变为系统调节者, 更多发挥调峰调频等功能^[7]。此外, 在储能侧和负荷侧涌现出一大批新型储能、抽水蓄能、虚拟电厂等新型主体, 电力系统的平衡模式由“源随荷动”转变为“源网荷储互动”^[8]。

电力系统的上述深刻变化不仅重塑了电网结构、平衡机理与用能方式, 更对电力市场机制体系提出了全新的、系统性的挑战, 主要包含以下3个方面。

一是需要设计不同时间尺度的市场交易品种, 实现新能源消纳。新能源出力虽然整体具有一定的规律性(如光伏在午间大发、风电在凌晨大发等), 但各场站出力的随机性与波动性增加了电力市场的不确定性, 市场出清价格也随之波动^[9]。这种不确定性与当前时刻至运行日的时间间隔呈正相关关系。换言之, 新能源场站对出力预测的准确性将随着运行日的临近不断提高^[10]。因此, 在时间尺度上需要通过更加精细的交易组织、更高频次的市场相互协同, 反映不同时间尺度下的电能量商品差异, 利用长周期市场规避价格波动风险, 通过短周期市场反映实际供需关系, 进而满足市场主体频繁调整交易合同的需求。

二是需要对新能源进行合理的价值评估, 实现对电能量与环境属性的双重定价。传统电力市场主要针对火电进行设计, 仅考虑了燃煤、燃气机组的电能量价值。火电具有高变动成本、低固定成本的特性, 其边际成本主要与一次能源燃料价格相关^[11]。而新能源具有低变动成本、高固定成本的特性, 其边际成本无限接近于零^[12]。当新能源与火电同台竞价时, 将影响整体出清价格, 导致火电的收益无法覆盖其成本。此外, 新能源还具有环境属性价值^[13], 如何协同新能源的两种价值属性、实现合理的价值评估仍有待研究。

三是需要设计适应新型主体交易需求的交易机制, 实现海量特性各异主体的同台竞价。在新型电力系统建设进程中涌现出大量新型主体, 例如, 在储能侧新建了大量分布式新型储能, 也存在少数集中

收稿日期: 2025-12-08; 修回日期: 2026-03-05。

上网日期: 2026-03-24。

广东电力交易中心科技项目(GDKJXM20231635)。

式抽水蓄能;在负荷侧拥有丰富的可调节负荷、分布式资源,可聚合形成虚拟电厂。随着市场建设的不断推进,上述新型主体将逐步参与市场化竞争。然而,不同市场主体之间有着差异化的物理特性与交易需求^[14-15],传统以火电为主的报价模式、出清模型以及结算分配方式难以适应新型市场主体的需求,亟须建立针对性的市场机制,促进新型市场主体发展。

面对上述挑战,广东电力市场积极探索、大胆创新,建立了一套适应新型电力系统的市场化交易体系,有效促进新能源消纳、推动能源绿色转型、提升电力系统灵活性。首先,建立“多时间尺度中长期+现货双边报价”的市场化交易基本框架,满足发、用两侧市场主体不同频次的交易需求。其次,围绕该框架,针对新能源电能量与环境属性双重价值设计新能源市场化交易机制,涵盖电能量、绿电等交易品种。同时,在此框架基础上,设计适应各类新型主体交易需求的市场化交易机制,充分发挥灵活性资源的调节潜力。接着,基于市场评价指标和实际运行数据对所提适应新型电力系统的市场机制进行实证分析,并总结广东电力市场的建设成效。最后,对广东电力市场的未来发展进行展望。

1 “多时间尺度中长期+现货双边”市场框架

在中国电力市场已启动运行的地区,“中长期+现货”的市场交易框架已较为成熟。市场主体通过中长期交易规避风险,参与现货交易发现价格,通过对中长期合约进行曲线分解实现中长期与现货的衔接^[16]。然而,现行框架大多存在中长期交易组织时间间隔长、现货交易价格机制与申报机制不完善、中长期与现货之间衔接脱节等不足,难以适应新型电力系统下的市场化交易需求。为此,广东构建“多时间尺度、多交易频次、多交易品种的中长期”+“发用双边报价全电量竞争的现货”市场框架,有效缩短中长期交易周期,实现灵活、连续的双向交易,满足发、用两侧参与现货竞争配置的需求,激发用户侧灵活调节潜力。

1.1 中长期市场机制

1.1.1 完善中长期交易品种

场内集中竞争交易是中长期市场的重要组成部分,有助于形成公开、透明的中长期价格信号。2021年11月,广东省在月度集中竞争交易的基础上开设了周集中竞争交易,次年又增设了年度集中竞争交易。然而,中长期市场仍存在交易品种少、组织频次低的问题,月度及以上时间尺度的中长期交易面临交易时间跨度大、交易方向单向性等困境,市场

主体难以对中长期合约进行灵活调整。在新型电力系统背景下,一方面,新能源难以准确预测未来远期的发电量,可能导致其签订的中长期合约承担巨额偏差惩罚损失^[17];另一方面,新型主体存在中长期交易的需求,但又不愿受中长期合约限制。因此,需要更高频次、更精细化、可双向买卖的中长期交易品种,以便新能源市场主体灵活调整对中长期合约的持仓,避免偏差惩罚及合约限制的风险。

为此,广东电力市场改进年度交易组织模式,实现常态化开市;首创发、用两侧双向交易的多月、多日集中竞争交易品种,构建完善的“年+多月+月+多日”的多时间尺度中长期交易体系,如图1所示。

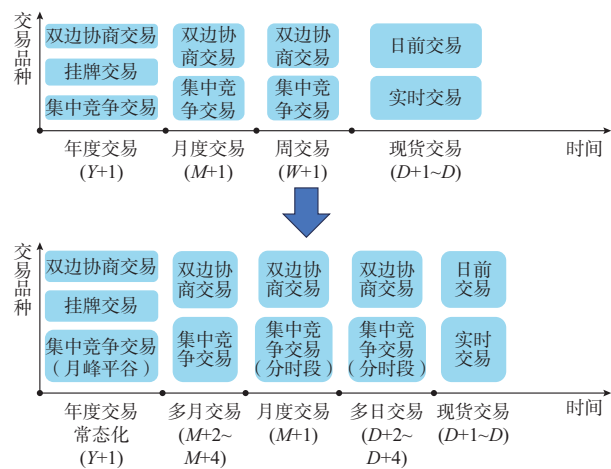


图1 广东电力市场交易品种变化图
Fig. 1 Changes of trading products in Guangdong electricity market of China

1) 年度交易常态化机制

年度交易是中长期交易的基础,约占中长期总交易规模的70%~80%。2025年10月前,广东的年度交易集中在11~12月开市,存在决策时间紧、压力大等问题,市场主体难以在较短时间内充分获取交易信息、选择合适的对手方,签约风险较高。为此,广东建立了年度交易常态化机制^[18],将年度交易从“阶段性集中签约”转变为“常态化开市、多轮次推进”。自2026年起,年度交易被分散到全年分阶段、多轮次开展,如图2所示。第1阶段,每年第二、三季度按照当年年度交易上限的一定比例设定交易上限,按周组织交易,市场主体自主调仓、控制风险。第2阶段,进入第四季度后,将根据最新的新投产机组情况、核电入市比例等边界,重新发布交易上限等参数,每日开展交易。这相当于为市场主体提供了一个连续、开放的交易窗口。

年度交易常态化机制使得年度交易价格的形成不再过分依赖历史数据或经验判断。随着交割期临

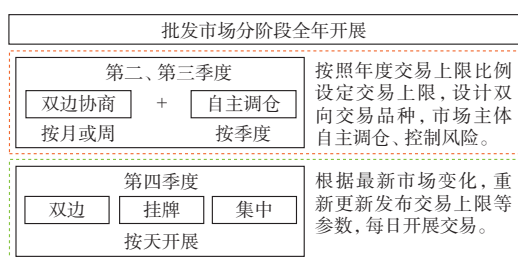


图2 广东电力市场交易全年开展示意图
Fig. 2 Schematic diagram of year-round trading operation in Guangdong electricity market of China

近,更多实时的负荷预测、燃料市场、来水情况等信息会融入市场,使得每一次交易都能更准确地反映未来的供需预期,形成连续、透明的中长期价格信号,有利于市场主体提前管理风险,形成稳定供求关系,更好地发挥“压舱石”作用。

2) 多月、多日双向集中竞争交易模式

截至2022年底,中长期集中竞争交易仅设有年、月、周3个品种,分别按每年、每月、每周一次的频率组织交易,市场主体的选择有限,难以根据市场变化及时、有效地调整中长期合约。在发电侧,月度集中竞争交易仅允许卖出电量,且交易上限受机组发电能力制约,市场主体无法基于最新的市场信息对合约电量进行双向、大额调整。为满足新型电力系统下市场主体高频次、连续性、大额度、双向调整的交易需求,广东电力市场于2022年10月将周交易拓展为多日集中竞争交易^[19],在2024年10月,首创多月集中竞争交易模式^[20]。其中,多月集中竞争交易每周一、三、五组织开展,分为远月和近月交易,其交易标的范围分别为未来2~4个月和未来1个月,交易上限较高;多日集中竞争交易每周二、四组织开展,其交易标的为未来2~4日。在上述交易模式中,各类市场主体可在长时间尺度(多月)和短时

间尺度(多日)下实现买卖双向交易,这为新能源提供了一个根据市场信息和价格预期动态调整中长期合约持仓量的工具,提升了其管理现货市场风险的能力。此外,上述交易品种填补了年度与月度交易、月度与现货交易之间的空白,有利于促进中长期各时间尺度交易品种、交易电量的有序衔接,形成连续的价格信号,进一步提高交易效率与流动性。

1.1.2 衔接现货分时价值的中长期灵活交易机制

目前,中国电力中长期交易普遍采用“电量交易+曲线分解”的模式,交易机构根据典型负荷曲线或平均分配等原则将合约电量分解到小时^[21],形成合约分解曲线,实现中长期与现货的衔接。传统电力系统中,火电机组的出力可以较好地跟踪合约分解曲线。然而,新型电力系统下新能源的随机波动可能导致其发电计划曲线与合约分解曲线之间存在较大偏差,使得中长期与现货难以有效衔接。此外,传统的曲线分解模式仅实现了电量的分解,而各个时段的电价是相同的,难以反映分时供需关系和电能量分时价值^[22]。为此,广东电力市场建立了“双边协商自定义曲线+集中竞争分时段交易”的中长期灵活交易机制,实现中长期与现货电能量分时价值的有效衔接。

在场外,市场主体通过双边协商自行约定电量曲线和分时价格,实现中长期合约电量分解到小时;在场内,对年、月、多日等不同时间跨度的中长期交易品种组织分时段交易,通过集中竞争自然形成量价曲线。广东电力市场的分时段交易主要分为3个类别:一是在年度集中竞争交易中进一步区分月的峰平谷交易;二是在月度集中竞争交易中区分24 h分时段交易;三是在多日集中竞争交易中开展 $D+2$ 至 $D+4$ 日共72个不同时段交易,如图3所示。

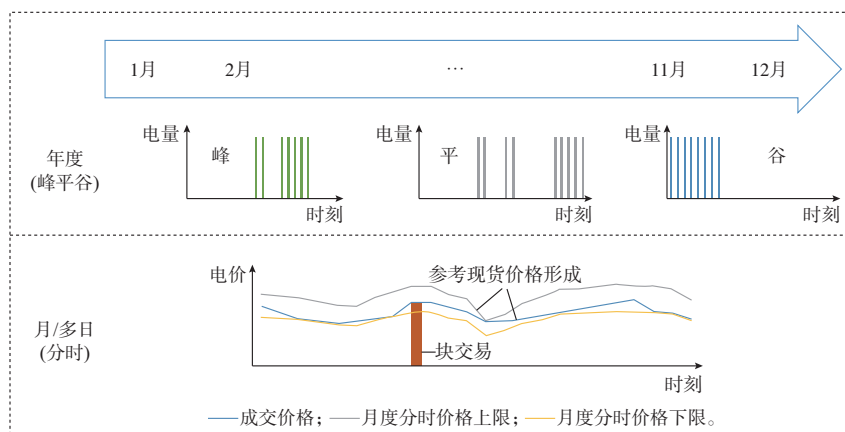


图3 广东电力市场分时段交易示意图
Fig. 3 Schematic diagram of time-of-use trading in Guangdong electricity market of China

分时段交易机制的实施,更好地反映了电能量的分时价值,体现实际的供需关系,使得中长期市场能够释放更加灵敏的价格信号,有利于与现货市场有序衔接。对于系统平衡而言,分时段交易机制更加能够激励市场主体根据价格信号做出发用电行为调整,在一定程度上能达到削峰填谷的效果,有利于系统电力电量平衡。对市场主体而言,分时段交易机制能够满足新能源、独立储能等新型主体的精细化交易需求。

1.2 现货市场机制

价格是反映供需关系的重要信号,随着越来越多新能源主体入市参与交易,其随机性与波动性增加了电力市场的不确定性,导致现货市场价格波动加剧,原来市场出清的价格上下限不足以反映极端情况下的供需关系,需要进一步放宽。此外,目前现货为发电侧单边竞价市场,用户侧未能有效参与市场互动、反映真实供需,亟须建立发、用两侧双边报价机制,完善现货市场结构。

1.2.1 现货市场价格机制

为响应《关于深化新能源上网电价市场化改革,促进新能源高质量发展的通知》(以下简称“136号文”)[23]的要求,通过价格信号更好地激励新能源消纳,引导市场用户优化用电行为、降低用能成本,广东电力市场自2025年11月起将出清价格上下限从0~1.5元/(kW·h)放宽至-0.05~1.8元/(kW·h),首次引入负电价[24]。

从短期来看,当新能源大发而负荷需求较低时,负电价可以提供关键的经济信号,激励储能、虚拟电厂等灵活性资源参与消纳,促使新能源机组主动削减出力,从而有效管理过剩的发电能力,并真实反映电力供过于求使系统产生的平衡成本。反之,当电力供应紧张时,更高的价格上限可以真实反映电力的稀缺性价值,引导市场用户削减需求,激励成本较高的峰值发电机组运行,进而有效保障电力供应。从长期来看,负电价信号揭示了当前地区、时段的新能源装机已趋于饱和,而高价信号为长期容量投资与灵活性资源的价值回收创造了明确的市场预期[25]。出清价格上下限的协同放宽,使短期边际成本信号能够更真实地反映电力在时空维度上的稀缺程度与平衡成本,有效推动电力系统向适应高比例新能源接入的安全、经济、清洁方向转型。

1.2.2 现货双边报量报价机制

在现货市场起步阶段,广东采用“发电侧报量报价、用电侧报量不报价”的单边竞价模式,日前出清基于机组申报信息和调度预测负荷进行计算,用户申报电量仅作为结算依据、不参与出清定价。市场

建设初期,该模式在保障系统安全稳定运行的前提下实现了资源优化配置。随着新型电力系统建设加速推进,单边竞价模式的弊端日益凸显:一方面,用户侧不参与出清定价导致市场需求弹性缺失,新能源出力波动加剧时难以通过市场化手段引导用户参与系统调节,谷段弃电与峰段缺电的现象并存;另一方面,日前出清与结算采用不同的用户负荷数据会形成不平衡电费,而发电侧出力的强随机性在缺乏用户侧响应缓冲的情况下,将进一步扩大不平衡电量与资金规模,影响市场长期稳定。因此,有必要构建发、用两侧共同竞争的现货双边市场,通过真实价格信号引导供需实时匹配、促进新能源高效消纳,并从根本上解决发用不平衡资金问题。

随着南方区域市场在2025年6月转入连续结算运行,广东作为区域市场的重要组成部分开始参与五省区市场主体的统一出清优化。为落实现货双边市场机制,采用“可靠性机组组合+市场化出清”的两步运作模式,具体流程如图4所示。第1步,以系统安全保障为首要目标,基于市场主体申报的量价信息与调度机构自身的负荷预测数据进行可靠性机组组合计算,得到可以执行的机组开机组合和日前出力计划,并确定非市场部分的边界。第2步,以社会福利最大化为目标,基于市场主体申报的量价、需求信息与上述步骤确定的非市场边界进行市场化出清,在发电侧形成机组开机组合和分时出力曲线,在用户侧形成中标用电曲线,并计算各个节点的分时节点价格,承担市场出清与定价功能。

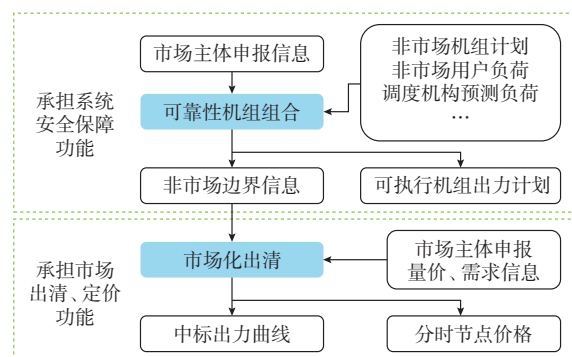


图4 “可靠性机组组合+市场化出清”两步运作模式
Fig. 4 Two-step operation mode of “reliability unit commitment + market clearing”

需要说明的是,上述两步运作模式与国际典型机制(即先市场化出清、再计算可靠性机组组合)存在差异。这是因为,中国电力市场化改革处于计划向市场过渡阶段,非市场边界对市场运行的影响较大,若在不合理的非市场边界下先进行市场化出清,易将相关不合理因素引入出清结果,影响后续可靠

性机组组合安排。此外,由于南方区域市场求解规模极大,先进行可靠性机组组合计算可在市场出清求解困难时提供安全可行的备用方案,保障次日电网稳定运行。在现货双边市场起步阶段,由于用户侧暂不具备申报至节点的条件,因此,先以“报量不报价”的方式申报至统一结算点,由调度机构将其分解至节点开展出清计算。近期,按照南方区域电力现货市场建设及运行安排,用户侧将以“报量报价”的方式申报至节点,参与现货出清。

2 新能源全面入市交易机制设计

“136号文”提出,将推动新能源上网电量全面进入市场,通过市场交易确定上网电价,并构建新能源可持续发展的价格结算机制。在此背景下,广东针对新能源同时具有的电能属性与绿色属性双重价值,分别设计了新能源参与电能市场机制和参与绿电市场机制。

2.1 新能源参与电能市场机制

2.1.1 新能源参与中长期市场机制

1) 中长期交易机制

为稳定未来预期收益,部分大型新能源场站与火电机组一样可以参与各个品类的中长期交易。针对新能源出力随机性等特点,前文所设计的中长期交易体系,一方面通过分时段交易机制将“电量交易”转为“带时标电力交易”,使新能源能够根据自身需求精细调整中长期交易曲线,以应对新能源出力的随机性问题;另一方面,通过多时间尺度的交易品种实现各级市场有序衔接,满足新能源根据最新市场信息和预测结果灵活调整中长期交易合约的需求,实现电量的长期平衡。

2) 中长期阻塞管理机制

在新型电力系统背景下,新能源出力的随机性和反调峰特性,加重了部分时段电网阻塞情况。在现货市场节点电价体系下,电能在不同节点处具有不同的价值,中长期合约的签订和结算需考虑市场主体所在节点至结算参考点的“运费”,即阻塞电费。广东电力市场采用用户侧统一结算点作为中长期合约的结算参考点,默认由发电侧承担/分享相应的中长期合约阻塞电费,计算公式如式(1)所示。

$$R_i^{\text{cg}} = \sum_t Q_{i,t}^{\text{ct}} (P_{i,t}^{\text{DA}} - P_t^{\text{ref}}) \quad (1)$$

式中: R_i^{cg} 为机组*i*的中长期阻塞电费; $Q_{i,t}^{\text{ct}}$ 和 $P_{i,t}^{\text{DA}}$ 分别为机组*i*在时刻*t*的中长期净合约电量和日前节点电价; P_t^{ref} 为时刻*t*的结算参考点电价。

为管理市场风险、稳定收益预期,广东电力市场建立了从“风险共担”逐步过渡至“风险自理”的中长

期阻塞管理机制。

在市场建设初期,为保障市场平稳有序运行,防范经营主体利益波动过大,彼时采取了“年度、月度中长期阻塞费用不单独结算,月内(周、多日)中长期阻塞费用单独结算”的做法。

随着2021年11月广东电力现货市场转入连续结算运行,经营主体对现货市场节点电价规律的认识愈加深刻,同时,原风险共担做法也导致了节点电价较低的机组大量签订年月中长期合约,造成市场阻塞盈余长期亏空。其次,随着高比例新能源并网、交易,市场结构性阻塞加剧将成为新型电力系统的趋势之一,单独结算中长期阻塞电费是未来发展方向。为更好地帮助市场主体理解和规避节点价格差异带来的中长期签约风险,广东开始对中长期阻塞费用进行单独结算,引导项目方在投资时考虑合理的节点物理位置、在运营中自主管理阻塞风险。在过渡阶段,建立阻塞分配机制,根据机组类型、阻塞价区等因素,计算不同机组的阻塞分配电量,按统一结算点价格(或同类机组日前加权均价)与机组日前节点价格之差对阻塞费用进行返还,返还的总费用由机组上网电量共同分摊,从而实现阻塞风险由市场主体部分自担、部分共担。未来,广东电力市场将逐步下调阻塞分配电量、降低风险共担比例,并研究建立金融输电权机制,实现阻塞风险完全自理。

2.1.2 新能源参与现货市场机制

1) 新能源自愿参与日前市场机制

“136号文”提出,要加快实现新能源自愿参与日前市场。在“可靠性机组组合+市场化出清”的两步运作模式下,日前市场的物理属性和金融属性得以分离,各自承担安全保障和出清定价的作用。因此,新能源可以在不影响电力系统安全的前提下自愿参与日前市场化出清。当新能源主体认为通过日前市场竞价和偏差结算将带来更大收益时,可以选择参与日前市场;否则,可以选择直接在实时市场售电,不参与日前市场。

这一机制在短期内可能会影响日前市场的价格水平,但不会改变日前市场的出清与定价功能。长期来看,市场主体最终将形成稳定、均衡的日前市场出清结果。

2) 新能源现货市场申报机制

通常,当机组具备接收、执行调度发电指令的能力时,可通过申报量价曲线或出力曲线的方式参与现货市场。目前,具备条件的新能源场站及通过聚合形成的发电类虚拟电厂,采用“报量报价”方式参与日前电能市场;其余新能源(主要为海量分布式新能源)接收市场形成的价格,以所在节点的实时市

场分时电价结算。新能源交易单元在报量报价时需要申报最多10段的电能量报价曲线,曲线第1段出力区间的起点为0、报价下限为 -0.05 元/(kW·h),最后一段出力区间终点为交易单元的额定有功功率,其余要求与火电机组相同。

此外,报量报价的新能源交易单元需要在日前市场申报短期功率预测曲线,用于日前可靠性机组组合和市场化出清计算,作为对应出清模型的新能源出力上限参数。若新能源选择不参与日前市场,则该参数仅用于可靠性机组组合计算。在实时市场中,新能源采用日前市场封存的电能量报价曲线进行出清,且需要在 $T-15$ min之前申报未来4 h的超短期功率预测,作为新能源交易单元实时市场的出清电力上限。

3) 适应新型电力系统的特殊市场机制

新能源的成本特性与出力特性与火电不同,需要在现货市场交易、出清机制设计中予以考虑。在成本特性方面,新能源发电机组的边际成本几乎可以忽略不计,参与市场后将拉低现货电价,压缩常规机组的生存空间,故需设计合理的同台竞价机制。在出力特性方面,由于新能源出力具有随机性和波动性,在实际运行中将对电力系统的电力电量平衡造成影响,需要针对新能源的功率预测准确度与出力偏差设计合理的考核机制。此外,新能源具有反调峰特性,在市场出清过程中可能出现弃风、弃光等现象,不利于促进新能源消纳,亟须进一步完善现货出清模型,考虑新能源弃电成本。为此,广东设计了以下适应新型电力系统的特殊市场机制。

(1) 系统运行补偿机制

当新能源的渗透率和波动性较大时,现货市场的出清机制可能会导致部分节点的火电机组因约束达界等原因而无法参与现货市场定价,使得火电机组在现货市场中的收益不能覆盖机组产生的运行成本费用或机组的电能量报价费用及启动费用。在此情况下,广东以小时为周期,根据火电机组的运行成本费用、报价费用、现货电能量市场收益和该小时现货结算电量占比,计算发电机组系统运行补偿费用,如式(2)和式(3)所示。

$$R_i^{\text{op}} = \sum_{t \in T} \max \{ [\min (R_{i,t}^{\text{cost}}, R_{i,t}^{\text{offer}}) - R_{i,t}] m_{i,t}, 0 \} \quad (2)$$

$$m_{i,t} = \min \left[1, \max \left(1 - \frac{Q_{i,t}^{\text{agent}} + Q_{i,t}^{\text{mid-long}}}{Q_{i,t}^{\text{real}}}, 0 \right) \right] \quad (3)$$

式中: R_i^{op} 为机组*i*的系统运行补偿费用; T 为机组*i*纳入系统运行补偿计算时段的集合; $R_{i,t}^{\text{cost}}$ 、 $R_{i,t}^{\text{offer}}$ 和 $R_{i,t}$ 分别为机组*i*在时刻*t*的运行成本费用、报价费用和

现货电能量市场收益; $m_{i,t}$ 为机组*i*在时刻*t*的补偿系数,表示现货结算电量占比; $Q_{i,t}^{\text{agent}}$ 、 $Q_{i,t}^{\text{mid-long}}$ 和 $Q_{i,t}^{\text{real}}$ 分别为机组*i*在时刻*t*的代购及跨省外送电量、中长期合约电量和实际上网电量。

(2) 偏差考核机制

为合理疏导新能源机组消纳成本,对新能源采用偏差考核机制,率先将“两个细则”^[26]的偏差考核粒度由日细化到分钟级,以此激励新能源提高预测精度,并公平承担系统的调节成本。现阶段偏差考核主要包括短期、超短期功率预测偏差考核和新能源日前实时偏差收益回收,即对新能源的短期、超短期预测偏差进行考核,并对现货新能源交易单元因日前短期功率预测导致实时偏差电量超过允许范围之外的电量部分进行回收。

以短期功率预测为例,其对新能源交易单元不满足预测允许偏差率的上一个整点时刻至重新满足预测允许偏差率的下一个整点时刻进行考核,如式(4)和式(5)所示。

$$R_j^s = \sum_t \sum_{\tau=1}^4 \left[\frac{\max(\Delta_{j,t,\tau} - \Delta_s, 0) P_{j,t,\tau}^{\text{ky}}}{4} \right] L_{j,t} \beta \quad (4)$$

$$\Delta_{j,t,\tau} = \begin{cases} \frac{|P_{j,t,\tau}^{\text{dq}} - P_{j,t,\tau}^{\text{ky}}|}{P_{j,t,\tau}^{\text{ky}}} & P_{j,t,\tau}^{\text{ky}} \geq 0.2P_j^{\text{cap}} \\ \frac{|P_{j,t,\tau}^{\text{dq}} - P_{j,t,\tau}^{\text{ky}}|}{0.2P_j^{\text{cap}}} & P_{j,t,\tau}^{\text{ky}} < 0.2P_j^{\text{cap}} \end{cases} \quad (5)$$

式中: R_j^s 为新能源交易单元*j*的短期功率预测考核电费; $\Delta_{j,t,\tau}$ 、 $P_{j,t,\tau}^{\text{dq}}$ 和 $P_{j,t,\tau}^{\text{ky}}$ 分别为新能源交易单元*j*在时刻*t*内第*τ*个15 min的短期功率预测偏差率、短期功率预测值和可用功率参考值; Δ_s 为短期功率预测偏差率允许值; P_j^{cap} 为新能源交易单元*j*的装机容量; $L_{j,t}$ 为新能源交易单元*j*在时刻*t*的日前节点价格; β 为比例系数。

(3) 弃电惩罚机制

为减少市场环境下的新能源弃电,在日前、实时市场出清模型的目标函数中引入新能源弃电惩罚项,并增加新能源交易单元弃电约束,分别如式(6)和式(7)所示。在模型中考虑弃电成本,从而尽可能降低弃电出清结果产生的可能性。

$$\min \sum_j \sum_t M_{\text{ac}} P_{j,t}^{\text{SL}} + C^{\text{else}} \quad (6)$$

$$P_{j,t}^{\text{F}} = P_{j,t} + P_{j,t}^{\text{SL}} \quad (7)$$

式中: M_{ac} 为新能源交易单元弃电量的罚因子; $P_{j,t}^{\text{SL}}$ 为新能源交易单元*j*在时刻*t*的弃电量; C^{else} 为除新能源弃电惩罚项之外的总成本; $P_{j,t}^{\text{F}}$ 和 $P_{j,t}$ 分别为新能源交易单元*j*在时刻*t*的短期功率预测值和日前

出清出力值。

2.2 新能源参与绿电市场机制

为响应国家能源绿色转型战略号召,实现新能源“电能量+环境属性”双重价值交易,广东开始探索绿电交易机制。然而,新能源的出力特性导致这两种价值属性难以兼容。一方面,绿电交易强调环境权益的长期锁定,而现货市场要求灵活响应实时

供需变化;另一方面,绿电交易要求“电能量与绿证一一对应”,而现货波动使实际发电量与合同电量出现偏差,导致环境权益归属不明。为此,广东创新地提出了“事前+事后”与“场内+场外”时空协调的绿电交易体系,破解强随机波动下新能源环境价值与电能量价值“强耦合”导致的价值扭曲问题,如图5所示。其中, M 为交易标的月。

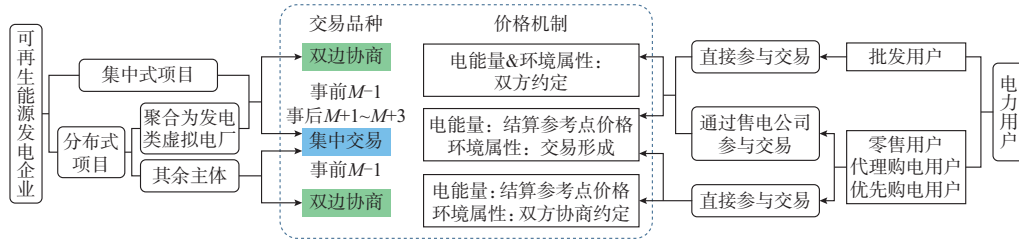


图5 广东绿电交易体系
Fig. 5 Green electricity trading system of Guangdong Province, China

从时间尺度上来看,在每月绿电双边协商交易开展后将组织绿电集中交易,交易标的为可再生发电主体过去月份已上网可再生电量,用户可在用电前锁定大部分绿电电量,并在用电后对因发用电偏差导致的电量进行补充,形成“事前+事后”的绿电交易模式。通过“事前+事后”的偏差管控,可有效破解新能源随机波动性与环境价值的显性化难题,保证合约内的环境价值与能量价值能够100%兑现。

从交易品种上来看,绿电交易能够通过双边协商与集中交易的方式进行。双边协商由可再生发电企业与售电公司、电力用户自主协商交易电量、电价;而集中交易则根据交易双方申报出售、购买的电量、价格等信息,以滚动撮合的方式成交,形成“场内+场外”的绿电交易模式。通过“场内+场外”市场协同,可为绿电交易提供多样化选择,有效促进绿色消费潜力释放。

为进一步保障绿电交易的规范性与透明度,2024年7月,广东正式上线绿电溯源存证模块。该模块基于区块链技术,将绿电交易的档案信息、生产信息、交易信息、结算信息等数据上链,实现“证随电走、证电合一”,对绿电进行全周期管控,保障了绿电绿证的权威性、唯一性与通用性,提高了国际认可度,有利于出口外向型企业突破碳贸易壁垒,为能源产业的绿色转型贡献了强劲动力。

3 适应新型主体交易需求的交易机制

新型电力系统背景下,电网的平衡方式从“源随荷动”转变为“源网荷储互动”,在传统发电主体之外涌现出很多具有调节能力、兼具发用电特性的新型

主体。

在储能侧,以电化学储能为主的独立储能规模迅速发展、入市迫切,传统抽水蓄能也在探索逐步入市、增厚收益。两类主体充放电特性和价格机制并不相同,需要在交易机制设计时予以考虑。一方面,独立储能可以用任何不超过额定值的功率进行充放电,出力调节速度较快;而抽水蓄能则必须以额定功率抽水充电,放电时存在最小技术出力、最小连续开机时间等限制,出力调节速度相对较慢。另一方面,抽水蓄能的容量电费已单独核定,其在电能量市场的收益仅需考虑覆盖充放电损耗即可;而独立储能参与电能量市场时,需要考虑收益能否覆盖投资成本和充放电损耗。

在负荷侧,分布式新能源的渗透率逐渐增加,亟须就近消纳;大量负荷调节潜能被不断挖掘,有待释放利用。这些分布式资源具有数量多、单体规模小、位置分散的特点,难以适应现有的市场机制^[27]。虚拟电厂作为一种新型主体,可以实现上述分布式资源的聚合优化,并作为一类特殊主体参与电力市场交易。然而,国内虚拟电厂大多聚焦于理论研究,相关实践鲜有报道。

为充分利用这些新型主体的调节能力,满足其市场化交易的需求,广东针对新型储能、抽水蓄能和虚拟电厂分别设计了相应的交易机制。

3.1 独立储能的市场化交易机制

在建设新型电力系统背景下,广东持续发力构建新型储能产业体系,具备良好的政策基础,亟须研究适应新型储能的市场化交易机制,促进其产业可持续发展。目前,广东电力市场已针对独立储能建立“中长期+现货+辅助服务”的完整市场交易体

系,按“自选+指定、报量报价+报量不报价”模式参与现货市场,自愿参与中长期交易,分时选择参与电能量和辅助服务市场,如图6所示。

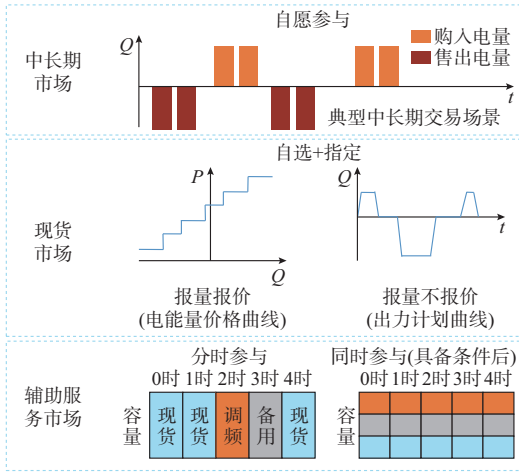


图6 储能市场参与方式

Fig. 6 Market participation modes of energy storage

3.1.1 中长期电能量市场交易机制

独立储能可自愿参与中长期市场,与其他市场主体公平交易,在充电时段购买电量,在放电时段出售电量,以锁定电能量峰谷收益、规避现货价格波动风险。储能可参与年度、月度、多日等周期的双边协商、挂牌和集中竞争等中长期电能量交易。在交易上限的设置方面,依据考虑深度充放电后的独立储能额定容量,按照月内独立储能日均充放电循环次数设置月度净合约量上限。为满足充放电曲线调整需求,储能在中长期市场中同时拥有发电、用电双重身份,在中长期市场分时段交易的基础上,能够分时卖出和买入电量。

3.1.2 现货电能量市场交易机制

独立储能按照“自选+指定”模式参与现货市场。在“自选”模式下,独立储能可按照“报量报价”或“报量不报价”的方式参与现货电能量交易。“指定”模式是指在电力供应紧张、调峰或断面调控困难等时段,电力调度机构可根据系统运行需要,要求独立储能按照“报量报价”方式参与,并于竞价日($D-1$ 日)12:00前以私有信息方式披露。“自选+指定”的模式既保障了电力系统的安全稳定运行,又赋予了独立储能自主选择权。

在报量报价模式下,独立储能需要申报电能量价格曲线和日末荷电状态期望值。其中,电能量价格曲线与常规机组报价曲线保持形式统一,其横轴为储能出力,充电功率以负值表示、放电功率以正值表示;其纵轴为对应出力的报价,是一条横跨第一、二象限单调非递减的曲线,体现储能的充放电价差

意愿。曲线的第1段出力区间起点为储能额定充电功率,最后一段出力区间终点为储能额定放电功率。日末荷电状态期望值表明了独立储能在运行日结束时刻期望达到的荷电状态,若申报,将期望值作为现货市场出清的边界条件;若不申报,日末荷电状态由现货市场出清确定。

此外,独立储能的寿命与充放电循环次数强相关,为保证其在设计年限内充分参与现货市场、回收相关投资成本,需要在现货市场出清模型中考虑充放电循环次数约束,如式(8)所示。

$$\frac{\sum_t (P_{es,t}^{\text{dis}}/\eta_{es}^{\text{dis}} - P_{es,t}^{\text{ch}}\eta_{es}^{\text{ch}})\Delta t}{2E_{es}} \leq N_{es,\text{circle}} \quad (8)$$

式中: $P_{es,t}^{\text{dis}}$ 和 $P_{es,t}^{\text{ch}}$ 分别为独立储能在时刻 t 的放电功率和充电功率; η_{es}^{dis} 和 η_{es}^{ch} 分别为独立储能放电效率和充电效率; Δt 为计算周期; E_{es} 为独立储能的额定容量; $N_{es,\text{circle}}$ 为独立储能申报每日充放电循环次数上限。

在“报量不报价”模式下,独立储能仅需申报运行日96点充放电出力计划曲线,自行决定充放电循环次数,确保充电功率(以负值表示)、放电功率(以正值表示)在额定值范围内。调度机构经安全校核后予以出清,或结合系统安全、清洁能源消纳等因素对充放电计划曲线进行调整后参与出清,并在结果发布时向主体披露调整原因。

3.1.3 辅助服务市场交易机制

辅助服务市场可充分发挥储能的灵活调节性能,帮助储能利用自身价值获取利润。现阶段,独立储能可分时参与电能量与辅助服务市场,于日前申报运行日参与区域调频市场、跨省备用市场的时段,剔除区域调频市场日前预出清中标或跨省备用市场日前出清中标时段后,运行日剩余全部时段参与日前电能量市场,实时市场沿用日前市场时段划分。在参与电能量市场的时段,独立储能根据现货出清结果形成充放电曲线;而在参与辅助服务市场的时段,独立储能充放电按电能量市场规则结算,其日前出清电量视为0。在调频辅助服务市场中,独立储能预留二次调频容量应对新能源出力随机性,通过自动发电控制装置响应区域控制偏差,获取调频容量、调频里程收益。后续,储能将同时参与电能量与各种类型的辅助服务市场。

3.2 抽水蓄能的市场化交易机制

在未来的新型电力系统中,抽水蓄能电站将是保障电网安全、促进新能源消纳的重要支撑。截至2025年10月,广东在运抽水蓄能规模达到10.28 GW,接近全国在运总量的1/6,约占广东夏季

最高负荷的7%,具有巨大的调节潜能^[28]。如何设计适应抽水蓄能电站参与的市场机制,以发挥其最佳效用是亟待解决的问题。目前,广东已推动抽水蓄能试点参与电力市场。

在市场参与层面,抽水蓄能可自主选择参与年度、月度、多日等周期的中长期交易,出售或购入电量;“报量报价”全电量参与现货市场,以单机或全厂为最小单位参与优化出清。

在现货出清层面,抽水蓄能需要申报额定抽水功率下的报价和发电状态的电能量价格曲线,以社会福利最大化为目标,结合抽水蓄能相关约束,优化出清形成抽水蓄能抽水、发电日前计划曲线及分时电价。需要注意的是,抽水蓄能机组不仅需要与常规机组类似的爬坡、备用容量、功率上下限等约束,还需增加库容约束以确保水库结构安全和保障应急调节能力,如式(9)一式(12)所示。

$$C_{p,t}^{up} = C_{p,t-1}^{up} - (\eta_p^{Pump} P_{p,t}^{Pump} + \eta_p^{Drain} P_{p,t}^{Drain}) \Delta t \quad (9)$$

$$C_{p,t}^{dn} = C_{p,t-1}^{dn} + (\eta_p^{Pump} P_{p,t}^{Pump} + \eta_p^{Drain} P_{p,t}^{Drain}) \Delta t \quad (10)$$

$$C_{p,t}^{up, min} \leq C_{p,t}^{up} \leq C_{p,t}^{up, max} \quad (11)$$

$$C_{p,t}^{dn, min} \leq C_{p,t}^{dn} \leq C_{p,t}^{dn, max} \quad (12)$$

式中: $C_{p,t}^{up}$ 和 $C_{p,t}^{dn}$ 分别为抽水蓄能电站 p 在时刻 t 的上、下库容; η_p^{Pump} 和 η_p^{Drain} 分别为抽水、发电库容电力转换效率; $P_{p,t}^{Pump}$ 和 $P_{p,t}^{Drain}$ 分别为电站在时刻 t 的抽水、发电功率; $C_{p,t}^{up, min}$ 、 $C_{p,t}^{up, max}$ 和 $C_{p,t}^{dn, min}$ 、 $C_{p,t}^{dn, max}$ 分别为电站在时刻 t 的最小、最大上库容和下库容,取值分别为上、下库容的上、下限。

在交易结算层面,抽水蓄能电能量交易电费按“日清月结”模式结算,由中长期合约电费、中长期阻塞电费、日前偏差电费、实时偏差电费和考核电费等组成,其中,考核电费计入发电交易结算单元。抽水

蓄能现货市场抽水、发电价格均采用所在节点的分时电价。

3.3 虚拟电厂的市场化交易机制

2025年3月,国家发改委、能源局发布《关于加快推进虚拟电厂发展的指导意见》,提出要推动虚拟电厂因地制宜发展,完善其参与电力市场等机制,实现到2027年全国虚拟电厂调节能力达到20 GW以上、到2030年超50 GW的目标^[29]。在虚拟电厂的发展进程中,广东积极探索并建立了一套行之有效的市场化交易机制。

3.3.1 虚拟电厂分类方式

广东电力市场根据资源禀赋条件,区分负荷类、发电类虚拟电厂,按照“报量报价”方式参与现货市场交易,通过市场价格信号引导虚拟电厂主动参与系统调节,有序衔接需求响应、辅助服务等交易品种,提升电力市场资源配置效率,促进新型电力系统发展。

广东电力市场将虚拟电厂分为发电类虚拟电厂和负荷类虚拟电厂。发电类虚拟电厂包含分布式光伏、分散式风电、分布式独立储能等,对外整体呈发电特性;负荷类虚拟电厂可包含分布式电源、用户侧储能、电动汽车、充换电站等,对外整体呈用电特性,并按照其响应调节负荷的速度来进一步细分成日前响应型、小时响应型、直控型3类。

3.3.2 虚拟电厂参与市场交易的方式

虚拟电厂作为聚合性独立主体,具备与火电、新能源等电源同等的市场地位,可参与电能量市场。在此基础上,负荷类虚拟电厂因其具备调节能力且对外呈现用电特性,还可额外参与辅助服务市场和需求响应交易。虚拟电厂的市场化交易机制如图7所示。

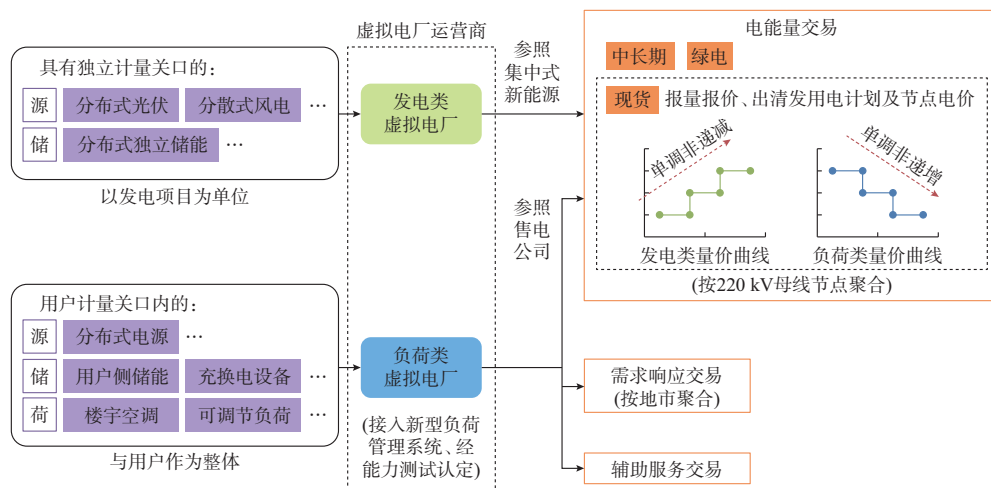


图7 虚拟电厂市场化交易机制
Fig. 7 Market-based trading mechanism of virtual power plants

1) 虚拟电厂参与电能量市场

各类虚拟电厂均可参与电力中长期、现货市场交易,负荷类虚拟电厂参照售电公司、作为用电侧主体参与市场交易,发电类虚拟电厂参照新能源机组、作为发电侧主体参与市场交易。参与电力现货市场时,各类虚拟电厂按所在节点报量报价、全电量优化出清,偏差电量按所在节点的现货价格结算,其中,日前响应型、小时响应型虚拟电厂仅参与日前市场优化出清,直控型虚拟电厂、发电类虚拟电厂需参与日前和实时两个市场的优化出清。

2) 虚拟电厂参与辅助服务市场

电力用户可以虚拟电厂聚合方式参与辅助服务市场,直控型虚拟电厂参与时需按照有关辅助服务交易规则参与交易结算、费用分摊。

3) 虚拟电厂参与市场化需求响应

针对负荷类虚拟电厂,开发日内可中断负荷、日前邀约型、灵活避峰等多时间尺度配合的市场化需求响应品种,如表1所示。负荷类虚拟电厂可通过用户侧储能、分布式电源、楼宇空调等调整负荷曲线,释放负荷侧调节潜力。

表1 虚拟电厂市场化需求响应品种
Table 1 Market-based demand response products of virtual power plants

交易品种	成交调用机制
日前邀约需求响应	按日出清,主动减负应对短期的新能源波动和负荷缺口
灵活避峰需求响应	按需调用,响应应对日内临时新能源波动和负荷缺口
日内可中断负荷交易	按需调用,应对日内实时新能源波动和负荷缺口

4 广东电力市场机制实证分析及建设成效

4.1 广东电力市场机制实证分析

为论证本文所提适应新型电力系统的市场机制的有效性和先进性,采用常见的电力市场评估指标,并基于脱敏后的广东电力市场实际运行数据进行实证比较分析。

4.1.1 新能源中长期交易换手率

换手率是衡量电力交易频率、电力商品流通性的重要指标之一^[30],其计算公式为一段时间内的总交易量与净交易量的比值。

图8展示了广东电力市场2025年1~10月的新能源中长期交易换手率。从图中可见,换手率从1.2提升至1.7左右,整体呈现上升趋势,中长期市场交易活跃、换手频繁。多时间尺度中长期交易体系有效缩短了交易周期,丰富了交易品种,有利于新能源

主体通过灵活、连续交易,快速调整中长期合约,有效管理市场风险。

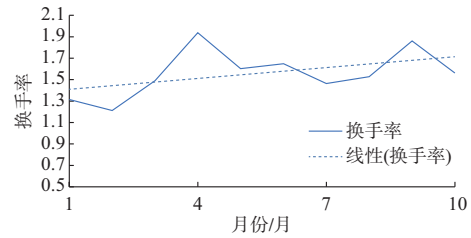


图8 新能源中长期交易换手率
Fig. 8 Mid-long-term trading turnover rate of renewable energy

4.1.2 中长期交易价格波动率

历史波动率 σ 可用于描述一段时间内电力商品价格变化的幅度或速度^[31],其计算公式如下。

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{d=1}^N (r_d - \bar{r})^2} \quad (13)$$

式中: $r_d = \ln(P_d/P_{d-1})$,其中, P_d 为第 d 日的交易价格; \bar{r} 为 r_d 的均值; N 为观测期内的总天数。

图9展示了广东电力市场2025年1~10月的中长期交易价格波动率。从图中可见,波动率整体呈现下降趋势,从2.5%下降至1%以下。在“年+多月+月+多日”的交易品种下,中长期市场形成连续、稳定的价格信号,为市场主体提供稳定的收益预期。

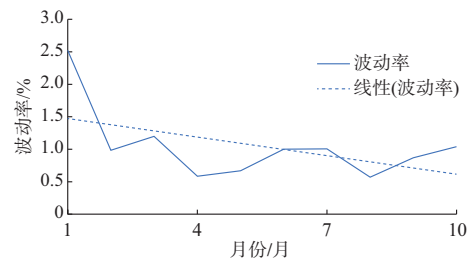


图9 中长期交易价格波动率
Fig. 9 Medium- and long-term trading price volatility

4.1.3 中长期与现货交易价格偏差程度

价格偏离度与价差均可用于量化不同价格间的偏差程度,前者侧重某一价格相较于基准价格的相对变化程度,其计算公式为该价格与基准价格之差除以基准价格;后者侧重两个价格之间的绝对差额大小。以实时市场交易均价为基准价格,则中长期与现货交易价格偏离度如图10所示。中长期与现货交易价格日偏差的平均值如图11所示。

由图10可见,中长期价格与现货价格的偏离度从60%下降至约10%,虽具有一定波动性,但整体呈现下降趋势,图11也展现相同的变化趋势,这体

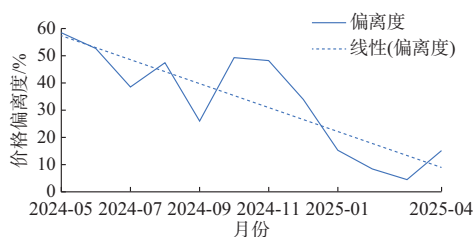


图 10 中长期与现货交易价格偏离度
Fig. 10 Medium- and long-term and spot trading price deviation

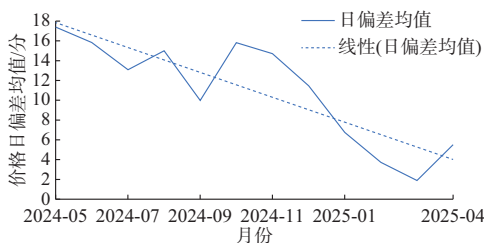


图 11 中长期与现货交易价格日偏差平均值
Fig. 11 Mean daily deviation value of medium- and long-term and spot trading price

现了中长期与现货市场的有序衔接。

4.2 广东电力市场建设成效

作为第一批“电改”试点,广东电力市场已经建立健全了“计划+市场”双轨运行、“批发+零售”一体化设计、“中长期+现货”全电量集中竞争、“全覆盖、全电量、全流程、全穿透”运作的电力市场体系架构,如图 12 所示。目前,新能源、储能、虚拟电厂等新型主体入市平稳,市场建设成效显著。

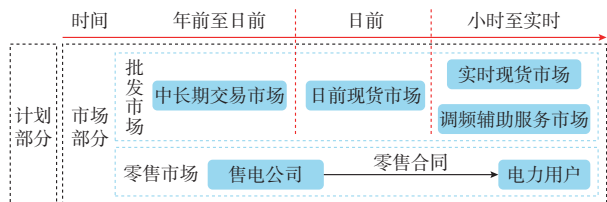


图 12 广东电力市场体系
Fig. 12 Guangdong electricity market system

4.2.1 新能源市场化交易成效

1) 新能源参与与电能量交易成效

从入市进程与结算机制革新双维度来看,广东新能源参与电力市场成效显著。2022年起,新能源入市节奏加快,从试点探索逐步迈向全面覆盖,2024年实现 220 kV 及以上新能源全部入市,“136 号文”后更是推动全域新能源深度融入市场。结算机制层面同步优化,实现从“基数电量+现货偏差”的结算模式到“全电量市场价格结算+场外机制电量差价结算”体系的过渡,显著提升市场适配性。

此外,根据新能源参与现货交易的数据,2025

年 1~6 月,新能源机组申报均价仅 2.739 分/(kW·h),绝大多数申报 0 价,凭借低价优势优先出清;同期日前、实时成交均价分别为 31.56 分/(kW·h)、31.14 分/(kW·h),低于全市场均价的 3.6%~6.4%;2025 年 1~6 月累计结算电量达 15.58 TW·h,均价 39.2 分/(kW·h),在低成本消纳与规模化交易中实现双重突破,广东电力市场在适应高比例新能源的道路上逐步趋于稳定、成熟、高效。

2) 新能源参与绿电交易成效

2021—2025 年,广东绿电交易规模实现 5 年 5 个台阶的增长,参与主体数量不断增加,成交电量大幅攀升,总成交电量突破 20 TW·h,总体呈现量升价低态势,如图 13 所示。2025 年,共有 183 家可再生能源企业、125 家售电公司和 4 家电力用户直接参与绿电交易,电能量与环境属性均价分别为 0.38 元/(kW·h)和 1.11 分/(kW·h),成交电量为 11.49 TW·h,较 2024 年增长 58.3%;910 家电力用户通过售电公司参与绿电交易,签约电量为 10.81 TW·h。

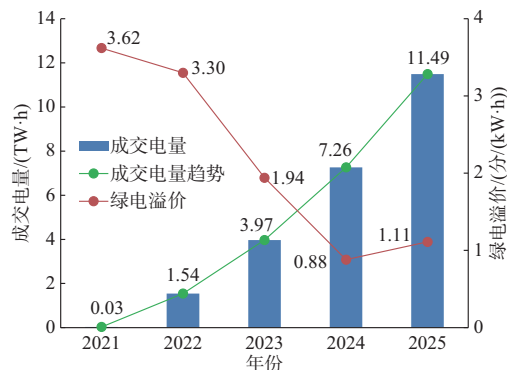


图 13 广东绿电交易成效
Fig. 13 Achievements of Guangdong green electricity trading of China

在广东绿电交易机制创新完善下,发电企业和电力用户之间实现了新能源“电能量+环境属性”价值的自由匹配交易,提高了国内绿电绿证的国际认可度,有力促进了粤港澳大湾区能源绿色低碳转型。

4.2.2 独立储能与抽水蓄能参与市场成效

在完备的政策与规则指引下,2023 年 10 月 1 日,梅州宝湖储能电站入市交易,开创中国独立储能以“报量报价”方式参与电力现货市场交易的先河。2025 年,广东独立储能电站入市数量增至 13 家,累计充电电量为 1.04 TW·h,放电电量为 0.91 TW·h,通过现货峰谷价差收益达 14.6 分/(kW·h),凸显其市场调节价值。广东省成功搭建“电能量市场+辅助服务市场”的新型储能交易框架,创新储能“一体多用、分时复用”的市场交易机制,为新型储能产业

的稳健发展注入了强大动力。

2024年10月,广东引入梅州抽水蓄能电站(4×300 MW)试点参与现货市场,实现国内抽水蓄能入市“零”的突破。2025年,梅蓄电站的抽发平均价差约15分/(kW·h),相较于入市前大幅增加,发挥了以市场化手段充分挖掘灵活性资源调节能力的作用。总体来看,抽水蓄能参与市场交易达到了预期效果,通过现货市场价格信号引导抽蓄低价抽水、高价发电,实现按需调用,为抽水蓄能电站健康发展、充分发挥综合效益创造了有利条件。

4.2.3 虚拟电厂参与市场成效

自2021年5月启动市场化需求响应交易以来,广东积极引导具备调节能力的用户参与削峰填谷,培育形成约占年最大用电负荷5%的系统响应能力。2021年,广东组织了77次需求响应交易,日最大削峰负荷为1.49 GW;2022年,组织了9次需求响应交易,日最大削峰负荷为2.77 GW。在需求响应组织过程中,负荷类虚拟电厂初具雏形。

2025年6月27日,广东发布了虚拟电厂的电能交易实施细则和运营管理实施细则,明确其市场化参与路径。截至11月5日,共有19家虚拟电厂运营商完成注册。2025年12月,首批发电类虚拟电厂正式入市交易,涵盖广东佛山、中山2家虚拟电厂运营商,共聚合2家可再生能源电厂。虚拟电厂的入市完善了市场主体结构,构建起“源网荷储”全要素市场生态。

5 广东电力市场未来的发展与展望

在构建新型电力系统的时代背景下,电力市场作为资源优化配置核心的作用日益凸显,广东未来电力市场建设将重点解决以下关键问题:

1) 新能源市场化机制

目前在广东新能源参与市场的机制中,更多从新能源的发电特性出发,设计适应新能源随机性、波动性的交易机制。在此基础上,未来需充分考虑新能源的成本特性以及对当前电力市场带来的冲击,继续完善“136号文”机制电价背景下的新能源市场化参与方式,持续推动新能源健康发展。

在绿电交易方面,目前绿电市场与碳市场的衔接尚不明确,需进一步探索绿电、绿证交易与碳足迹核算、碳认证的衔接机制,推动企业开展绿色低碳生产,应对碳贸易壁垒。

2) 系统安全平衡问题

为应对高比例新能源并网带来的挑战,平衡安全与经济,如何更好地通过市场机制激发灵活性资

源的调节潜力,保障系统安全稳定运行是未来广东电力市场建设面临的关键问题之一。为此,广东将继续完善新型储能、抽水蓄能参与现货市场的机制,推动储能电站参与调峰、调频、备用等辅助服务市场,增强系统的灵活调节能力;搭建虚拟电厂运营管理平台,聚合分布式光伏、分散式风电和海量用户资源,增加虚拟电厂调节能力;进一步优化需求响应机制,通过阶梯补贴、积分奖励等手段,激励负荷侧虚拟电厂主动参与“削峰填谷”。

3) 扩大市场规模

更大规模的市场能够实现更大范围的资源优化配置,引入充分竞争、促进可再生能源高效消纳。因此,广东将进一步扩大市场规模。在市场机制建设上,广东将对标欧美成熟电力市场经验,探索面向全体工商业用户的普适简易交易模式,开发标准化交易合约,降低市场参与门槛;建立容量补偿长效机制,结合电力系统的可靠性需求,合理确定补偿标准;探索输电权交易机制,明确输电权分配原则和交易规则,提升输电资源的配置效率,打造更具活力与公平性的大规模电力市场。

6 结语

本文针对新型电力系统建设背景下广东电力市场面临的挑战,研究建立了相应的市场化交易机制,实现新能源高效消纳和新型主体平稳入市。

首先,提出了“多时间尺度中长期+现货双边”的交易框架,实现中长期灵活连续交易和现货全电量竞争配置,满足发、用两侧不同市场主体从年度到分钟级的电力交易需求。

接着,围绕该框架并考虑新能源的成本特性与出力特性等因素,设计了新能源参与电能量市场和绿电市场机制,实现新能源电能量+环境属性双重价值的协调交易。

最后,在此基础上计及新型储能、抽水蓄能和虚拟电厂在物理特性、价格机制上的区别,设计了适应新型主体交易需求的机制,充分发挥了灵活性资源的调节潜力。

广东电力市场的应用实践表明,所提市场化交易机制能够有效推动能源绿色转型、提升电力系统灵活性,为新型电力系统建设提供有力支撑,是深化电力改革的重要省级实践,为推进新型电力系统建设和全国统一市场建设提供了经验参考。

参考文献

- [1] 舒印彪,陈国平,贺静波,等. 构建以新能源为主体的新型电力系统框架研究[J]. 中国工程科学, 2021, 23(6): 61-69.

- SHU Yinbiao, CHEN Guoping, HE Jingbo, et al. Building a new electric power system based on new energy sources [J]. Strategic Study of CAE, 2021, 23(6): 61-69.
- [2] 别朝红,王则凯,肖遥,等.双碳目标下新型电力系统发展展望[J].新型电力系统,2023,1(2):116-131.
- BIE Zhaohong, WANG Zekai, XIAO Yao, et al. Outlook on the development of new power system under dual-carbon target [J]. New Type Power Systems, 2023, 1(2): 116-131.
- [3] 辛保安,单葆国,李琼慧,等.双碳目标下“能源三要素”再思考[J].中国电机工程学报,2022,42(9):3117-3125.
- XIN Baoan, SHAN Baoguo, LI Qionghui, et al. Rethinking of the “three elements of energy” toward carbon peak and carbon neutrality [J]. Proceedings of the CSEE, 2022, 42(9): 3117-3125.
- [4] 张智刚,康重庆.碳中和目标下构建新型电力系统的挑战与展望[J].中国电机工程学报,2022,42(8):2806-2818.
- ZHANG Zhigang, KANG Chongqing. Challenges and prospects for constructing the new-type power system towards a carbon neutrality future [J]. Proceedings of the CSEE, 2022, 42(8): 2806-2818.
- [5] 卓振宇,张宁,谢小荣,等.高比例可再生能源电力系统关键技术及发展挑战[J].电力系统自动化,2021,45(9):171-191.
- ZHUO Zhenyu, ZHANG Ning, XIE Xiaorong, et al. Key technologies and developing challenges of power system with high proportion of renewable energy [J]. Automation of Electric Power Systems, 2021, 45(9): 171-191.
- [6] 肖先勇,郑子萱.双碳目标下新能源为主体的新型电力系统:贡献、关键技术与挑战[J].工程科学与技术,2022,54(1):47-59.
- XIAO Xianyong, ZHENG Zixuan. New power systems dominated by renewable energy towards the goal of emission peak & carbon neutrality: contribution, key techniques, and challenges [J]. Advanced Engineering Sciences, 2022, 54(1): 47-59.
- [7] 黄河,王建学,肖云鹏,等.新型电力系统电力电量平衡分析关键技术与研究框架[J].电力建设,2024,45(9):1-12.
- HUANG He, WANG Jianxue, XIAO Yunpeng, et al. Key technologies and research framework for the power and energy balance analysis in new-type power systems [J]. Electric Power Construction, 2024, 45(9): 1-12.
- [8] 李建林,郭兆东,马速良,等.新型电力系统下“源网荷储”架构与评估体系综述[J].高电压技术,2022,48(11):4330-4341.
- LI Jianlin, GUO Zhaodong, MA Suliang, et al. Overview of the “source-grid-load-storage” architecture and evaluation system under the new power system [J]. High Voltage Engineering, 2022, 48(11): 4330-4341.
- [9] RINTAMÄKI T, SIDDIQUI A S, SALO A. Does renewable energy generation decrease the volatility of electricity prices? An analysis of Denmark and Germany [J]. Energy Economics, 2017, 62: 270-282.
- [10] 雷霞,杨健,蔡长林.基于新能源品质量化的电力现货市场模式设计[J].工程科学与技术,2023,55(1):14-25.
- LEI Xia, YANG Jian, CAI Changlin. Design of the electricity spot market model based on renewable energy quality quantification [J]. Advanced Engineering Sciences, 2023, 55(1): 14-25.
- [11] 尚静怡,姜欣,肖东亮,等.基于边际成本比较型竞价模式的电力现货市场机制设计[J].电力系统自动化,2024,48(9):67-74.
- SHANG Jingyi, JIANG Xin, XIAO Dongliang, et al. Design of electricity spot market mechanism based on marginal cost comparison bidding mode [J]. Automation of Electric Power Systems, 2024, 48(9): 67-74.
- [12] 孟繁林,钟海旺,夏清.基于非凸报价的高比例新能源现货市场机制[J].电网技术,2023,47(1):120-128.
- MENG Fanlin, ZHONG Haiwang, XIA Qing. Non-convex bidding-based spot market mechanism of high penetration renewable energy [J]. Power System Technology, 2023, 47(1): 120-128.
- [13] 梁志飞,李梓仟,贾旭东,等.考虑新能源全生命周期的南方区域绿色电力市场体系[J].现代电力,2024,41(5):955-962.
- LIANG Zhifei, LI Ziqian, JIA Xudong, et al. A green power market system in southern region considering entire life cycle of new energy [J]. Modern Electric Power, 2024, 41(5): 955-962.
- [14] 昌力,曹荣章,吉斌,等.电力现货市场交易运营的未来重大需求与关键技术[J].电力系统自动化,2024,48(4):34-48.
- CHANG Li, CAO Rongzhang, JI Bin, et al. Future major demands and key technologies in trading operation of electricity spot market [J]. Automation of Electric Power Systems, 2024, 48(4): 34-48.
- [15] 陈启鑫,房曦晨,郭鸿业,等.储能参与电力市场机制:现状与展望[J].电力系统自动化,2021,45(16):14-28.
- CHEN Qixin, FANG Xichen, GUO Hongye, et al. Participation mechanism of energy storage in electricity market: status quo and prospect [J]. Automation of Electric Power Systems, 2021, 45(16): 14-28.
- [16] 国家发展和改革委员会,国家能源局.电力中长期交易基本规则 [EB/OL]. [2025-11-18]. https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfc/ghxwj/202007/t20200701_1232843.html.
- National Development and Reform Commission, National Energy Administration. Basic rules for medium- and long-term electricity trading [EB/OL]. [2025-11-18]. https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfc/ghxwj/202007/t20200701_1232843.html.
- [17] 包铭磊,万一心,侯验秋,等.支撑新型电力系统建设的电力市场发展分析与思考[J/OL].电力系统自动化:1-15[2025-11-18]. <https://link-cnki-net-s.webvpn.scut.edu.cn/urlid/32.1180.TP.20251011.0926.002>.
- BAO Minglei, WAN Yixin, HOU Yanqiu, et al. Analysis and reflection on development of electricity markets supporting construction of new power system [J/OL]. Automation of Electric Power Systems: 1-15[2025-11-18]. <https://link-cnki-net-s.webvpn.scut.edu.cn/urlid/32.1180.TP.20251011.0926.002>.
- [18] 广东省能源局,国家能源局南方监管局.关于印发《广东电力市场常态化开展年度交易实施方案》的通知[EB/OL]. [2025-12-01]. <https://pm.gd.csg.cn/portal/#/home/informationNotice/detail?id=16959¬iceTypeId=31>.
- Guangdong Provincial Energy Bureau, Southern China Office of the National Energy Administration. Notice on issuing the “Implementation Plan for the Regular Conduct of Annual Trading in the Guangdong Electricity Market” [EB/OL]. [2025-12-01]. <https://pm.gd.csg.cn/portal/#/home/>

- informationNoti-ce/detail? id=16959&-noticeTypeId=31.
- [19] 广东电力交易中心. 关于印发《广东新能源试点参与电力现货市场交易方案》和《广东电力中长期分时段交易实施方案》的通知 [EB/OL]. [2025-12-01]. <https://mp.weixin.qq.com/s/gZGCaBe7ORF07BsZXFdy4w>.
Guangdong Power Exchange Center. Notice on issuing the “Pilot Plan for New Energy Participation in the Guangdong Electricity Spot Market Trading” and the “Implementation Plan for Medium- and Long-term Segmented Time Trading in the Guangdong Electricity Market” [EB/OL]. [2025-12-01]. <https://mp.weixin.qq.com/s/gZGCaBe7ORF07BsZXFdy4w>.
- [20] 广东电力交易中心. 广东电力市场中长期多月连续集中竞争交易实施方案(试行) [EB/OL]. [2025-12-01]. https://mp.weixin.qq.com/s/1_4iaPWEdrvpR-5xUm0WA.
Guangdong Power Exchange Center. Implementation plan for medium- and long-term multi-month continuous centralized competitive trading in the Guangdong electricity market (Trial) [EB/OL]. [2025-12-01]. https://mp.weixin.qq.com/s/1_4iaPWEdrvpR-5xUm0WA.
- [21] 许彦平, 黄越辉, 李湃, 等. 计及优先级及电力平衡的新能源中长期交易电量分解方法 [J]. 电力系统自动化, 2021, 45(17): 117-125.
XU Yanping, HUANG Yuehui, LI Pai, et al. Decomposition method for medium- and long-term trading electricity of renewable energy considering priority and power balance [J]. Automation of Electric Power Systems, 2021, 45 (17) : 117-125.
- [22] 孙瑜歌, 丁涛, 黄雨涵, 等. 高比例新能源电力市场不同发展阶段划分及形态结构演进 [J]. 高电压技术, 2023, 49(7): 2725-2743.
SUN Yuge, DING Tao, HUANG Yuhuan, et al. Development stage division and morphological evolution of power market with high proportion of renewable energy [J]. High Voltage Engineering, 2023, 49(7): 2725-2743.
- [23] 国家发展和改革委员会, 国家能源局. 关于深化新能源上网电价市场化改革促进新能源高质量发展的通知 [EB/OL]. [2025-11-18]. https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202502/t20250209_1396066.html.
National Development and Reform Commission, National Energy Administration. Notice on deepening the market-oriented reform of new energy feed-in tariffs to promote high-quality development of new energy [EB/OL]. [2025-11-18]. https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202502/t20250209_1396066.html.
- [24] 广东省发展和改革委员会, 广东省能源局. 关于印发《关于深化新能源上网电价市场化改革促进新能源高质量发展的实施方案》的通知 [EB/OL]. [2025-12-01]. https://drc.gd.gov.cn/ywtz/content/post_4775501.html.
Guangdong Provincial Development and Reform Commission, Guangdong Provincial Energy Bureau. Notice on issuing the “Implementation Plan for Deepening the Market-oriented Reform of New Energy Feed-in Tariffs to Promote High-quality Development of New Energy” [EB/OL]. [2025-12-01]. https://drc.gd.gov.cn/ywtz/content/post_4775501.html.
- [25] 王蓓蓓, 徐文欣, 张珺, 等. 高比例新能源电力市场定价和产品 设计探索以及对我国的启示思考 [J]. 电网技术, 2025, 49(12): 4979-4996.
WANG Beibei, XU Wenxin, ZHANG Jun, et al. Investigation into pricing mechanisms and product design in high penetration renewable energy markets: implications for China’s energy transition [J]. Power System Technology, 2025, 49(12): 4979-4996.
- [26] 国家能源局南方能监局. 南方区域“两个细则”(修订版) [EB/OL]. [2025-12-01]. https://nfj.nea.gov.cn/xwzx/tzgg/202502/t20250214_276632.html.
Southern China Office of the National Energy Administration. “Two rules” of southern region (revised edition) [EB/OL]. [2025-12-01]. https://nfj.nea.gov.cn/xwzx/tzgg/202502/t20250214_276632.htm.
- [27] ZAFAR R, MAHMOOD A, RAZZAQ S, et al. Prosumer based energy management and sharing in smart grid [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2018, 82: 1675-1684.
- [28] 人民网. 广东在运抽水蓄能规模超 1 000 万千瓦 [EB/OL]. [2025-11-18]. <http://gd.people.com.cn/n2/2025/1009/c123932-41374452.html>.
People’s Daily Online. Pumped storage capacity in operation in Guangdong exceeds 10 GW [EB/OL]. [2025-11-18]. <http://gd.people.com.cn/n2/2025/1009/c123932-41374452.html>.
- [29] 国家发展和改革委员会, 国家能源局. 关于加快推进虚拟电厂发展的指导意见 [EB/OL]. [2025-11-18]. https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202504/t20250411_1397162.html.
National Development and Reform Commission, National Energy Administration. Guiding opinions on accelerating the development of virtual power plants [EB/OL]. [2025-11-18]. https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202504/t20250411_1397162.html.
- [30] 吉斌, 李永刚, 昌力, 等. 面向发电主体的超额收益监测及分析方法 [J]. 电力系统自动化, 2025, 49(13): 145-155.
JI Bin, LI Yonggang, CHANG Li, et al. Monitoring and analysis methods for excess revenue of power generation entities [J]. Automation of Electric Power Systems, 2025, 49 (13) : 145-155.
- [31] 王志诚, 周春生. 金融风险管理研究进展: 国际文献综述 [J]. 管理世界, 2006, 22(4): 53-60.
WANG Zhicheng, ZHOU Chunsheng. Concept and risk management of supply chain finance: a literature review and prospects [J]. Management World, 2006, 22(4): 53-60.

黄远明(1969—), 男, 硕士, 正高级工程师, 主要研究方向: 电力市场。E-mail:gdpec2016@126.com

刘文昊(2000—), 男, 硕士, 主要研究方向: 电力市场。E-mail:867086614@qq.com

王浩浩(1986—), 男, 通信作者, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向: 电力市场。E-mail:gddljyzx@163.com

(编辑 陈燕)

Construction and Application Practice of Guangdong Electricity Market Mechanism in China for New Power System

HUANG Yuanming, LIU Wenhao, WANG Haohao, CHEN Qing, LIU Qi, SHU Kang'an, XIE Kaijun
(Guangdong Power Exchange Center Co., Ltd., Guangzhou 510699, China)

Abstract: With the advancement of the carbon emission peak and carbon neutrality strategy and the increasing penetration of renewable energy, Guangdong electricity market of China faces new challenges and urgently requires the establishment of market mechanisms adapted to the new power system. First, to address the problems of limited variety and low trading frequency in medium- and long-term markets, as well as imperfect pricing and bidding mechanisms in the spot market, a basic framework of the “multi-time scale medium- and long-term + bilateral spot” market mechanism for the new power system is proposed. Second, based on this framework, a comprehensive market trading system is proposed for renewable energy. This system is designed to realize the dual value of its electric energy and environmental attributes, and consists of both electricity and green power trading products. Finally, on this basis, considering the characteristics of different flexibility resources a trading mechanism is further designed for new energy storage, pumped storage, and virtual power plants to meet the trading demands of these new entities. Practical application in Guangdong electricity market shows that the proposed market mechanism adapted to the new power system facilitates the smooth market entry of new entities, effectively contributing to the green energy transition and enhancing the flexibility of the power system.

This work is supported by Guangdong Power Exchange Center Co., Ltd. (No. GDKJXM20231635).

Key words: new power system; electricity market; spot market; market mechanism; renewable energy; flexibility resource

