

三峡大水电交易策略技术工作体系研究

陈宇晨¹, 胡晓勇¹, 黄日福¹, 申建建^{2*}, 程春田²

¹中国长江三峡集团有限公司电能中心, 北京

²大连理工大学, 辽宁 大连

Email: *shenj@dlut.edu.cn

收稿日期: 2021年7月15日; 录用日期: 2021年8月18日; 发布日期: 2021年8月27日

摘要

电力市场化条件下, 水电作为我国装机规模最大的清洁能源如何参与交易是极具挑战性的问题。本文以金沙江下游和长江干流六座水电站(简称三峡大水电)为对象, 结合水电运行特点、跨省跨区送电关系和受电省份市场规则与品种, 构建了大水电交易策略技术框架, 阐述了交易前水电市场化边界和交易电量多维分配的主要技术工作, 分析了多时间尺度下水电参与中长期电能量集中竞价和双边协商、现货市场、辅助服务市场交易的重要问题与解决思路, 形成了水电参与电力市场交易的技术体系, 切实为大水电系统市场化工作提供参考。

关键词

大水电, 电力市场, 交易策略, 调度

Research on Technical Working System of Three Gorges Large Hydropower Trading Strategy

Yuchen Chen¹, Xiaoyong Hu¹, Rifu Huang¹, Jianjian Shen^{2*}, Chuntian Cheng²

¹China Three Gorges Corporation Power Center, Beijing

²Dalian University of Technology, Dalian Liaoning

Email: *shenj@dlut.edu.cn

Received: Jul. 15th, 2021; accepted: Aug. 18th, 2021; published: Aug. 27th, 2021

Abstract

Under the electricity marketization, hydropower, as the largest installed clean energy in China, how to

作者简介: 陈宇晨, 浙江人, 1995年2月出生, 硕士, 电力市场与水电交易策略专业。

*通讯作者。

文章引用: 陈宇晨, 胡晓勇, 黄日福, 申建建, 程春田. 三峡大水电交易策略技术工作体系研究[J]. 水资源研究, 2021, 10(4): 362-370. DOI: 10.12677/jwrr.2021.104039

participate in the transaction is a very challenging problem. Taking six hydropower plants in the lower reaches of the Jinsha River and the main stream of the Yangtze River (referred to as the Three Gorges large hydropower) as the research objects, this study constructs a technical framework of large hydropower trading strategy based on characteristics of hydropower operation, trans-provincial and trans-regional power transmission relationship, and market rules and varieties of the receiving provinces. The main technical work of hydropower market boundaries and multi-dimensional distribution of trading power energy before trading are expounded. With different time scales, the important problems and solutions of hydropower transaction in the medium- and long-term centralized bidding and bilateral negotiation, spot market and auxiliary service market are analyzed. Finally, a technical system of hydropower transaction is formed to provide reference for the marketization of large hydropower system.

Keywords

Large Hydropower, Electricity Market, Trading Strategy, Operation

Copyright © 2021 by author(s) and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

2015年开启的电力市场改革极大改变了我国电力系统调度管理和运行方式,经过六年电力市场化改革,已经进入“以市场化交易、市场化配置、市场化布局为重点的市场化改革”全面深化阶段,下一阶段的工作重点是如何加快中长期和现货交易的落实[1]。我国电力市场改革已经进入快速车道,电力市场改革已经不可逆转,水电逐步完全参与电力市场已经是必然趋势[2]。

在上述背景下,作为我国水电行业的领头羊和水电巨型航母,三峡大水电如何应对市场化问题,如何参与电力市场问题,如何制定电力市场交易策略,不仅事关企业的核心利益,更为重要的是关乎到水电在我国能源结构体系的功能定位[3][4]。三峡大水电市场化核心问题是如何在市场化过程平衡利益和风险?如何在市场化过程中体现水电绿色价值,实现水电高效消纳,避免市场过程中导致的弃水和电网缺电[5][6]?其中前一个问题是目前三峡大水电市场化交易亟待解决的核心问题,需要开展系统性的理论方法、交易策略、技术体系的研究;后一问题则需要国家能源战略层面,通过深入的水电绿色价值链发现,将其绿色价值体现在交易规则体系中,是未来需要高度重视的问题。

三峡大水电参与电力市场面临的困难也是主要任务就是如何根据未来径流预测、电价分析和市场情况,通过中长期交易及现货市场合理配置水电资源,以获取稳定利益和减少市场风险给自己带来的损失[7];另一个困难是对于已经签订的中长期合约,如何把合约电量分解到月、日,把日电量分解到小时、96点曲线,以完成履约和为日前市场提供合理发电计划曲线[8]。考虑到径流、电价不确定性,水电站在不同时期面临的综合利用要求不同,进行水电中长期合约曲线分解并不是简单事情,除了与水能高效利用有关外,还与市场规则密切相关,是非常复杂的过程。上述两个方面突出困难,是水电市场化竞价的主要挑战。因此,顶层思考三峡大水电市场化问题,开展大水电交易策略工作技术体系研究意义重大。

2. 三峡大水电特点

开展三峡大水电交易策略技术体系工作,必须首先搞清楚三峡大水电的特点。本文关注的三峡大水电主要由金沙江下游4个巨型水电站及其长江中下游两座巨型水电站构成(见图1),6座梯级水电站总装机容量7031.5万kW,多年平均发电量接近3000亿kWh。目前为止,已经投产装机容量4921.5万kW,占全国水电装机容量

约 13.8%，2020 年发电量 2403.6 亿 kW，占全国水电发电量的 17.7% [9]。无论是装机容量还是发电量都位居全国水电之首，在我国水电及全国能源结构体系中具有非常重要的地位[10]。三峡大水电有如下几个特点：

- **水电装机规模和发电量大** 6 座梯级水电站，有 4 座位居世界水电 TOP10，分别是排名第一的三峡，排名第 2 的白鹤滩，排名第 4 的溪洛渡，排名第 5 的乌东德。
- **水电输送范围广** 6 座电站分别通过葛南、龙政、宜华、林枫、宾金、复奉、牛从、三广、昆柳龙等特高压直流和多条交流送电至上海、江苏、浙江、广东、云南、四川、江西、安徽、湖南、湖北等省市(见图 2)。
- **梯级水电间水力、电力联系紧密** 梯级水电上下游、水电站时段间存在紧密的水力联系，溪洛渡和向家坝还存在回水顶托等。
- **复杂机组振动区安全运行限制** 这些电站均是高坝大库，且普遍存在不同程度的机组振动区，限制了梯级水电的运行
- **复杂的联络线安全运行限制** 三峡大水电外送过程中存在潮流转移比和电网频率等安全限制要求，客观上造成了外送通道的动态变化。
- **综合利用要求** 三峡大水电肩负着防洪、发电、供水、生态、通航等综合利用要求，形成了相互制约因素。

3. 水电交易策略的技术框架

三峡大水电交易策略的市场技术体系可以从时间维、品种维、标的维、对象维以及空间维进行概括说明，框架结构见图 3。

对象维度(交易对象)：发电侧涉及各类电源，用户侧涉及批发用户、零售用户(被售电公司代理)、售电公司等。三峡大水电可同批发用户、售电公司以及电网公司签订区域或者跨区域交易合同，此外还可以同其他发电主体进行事前、事后合约转让交易。

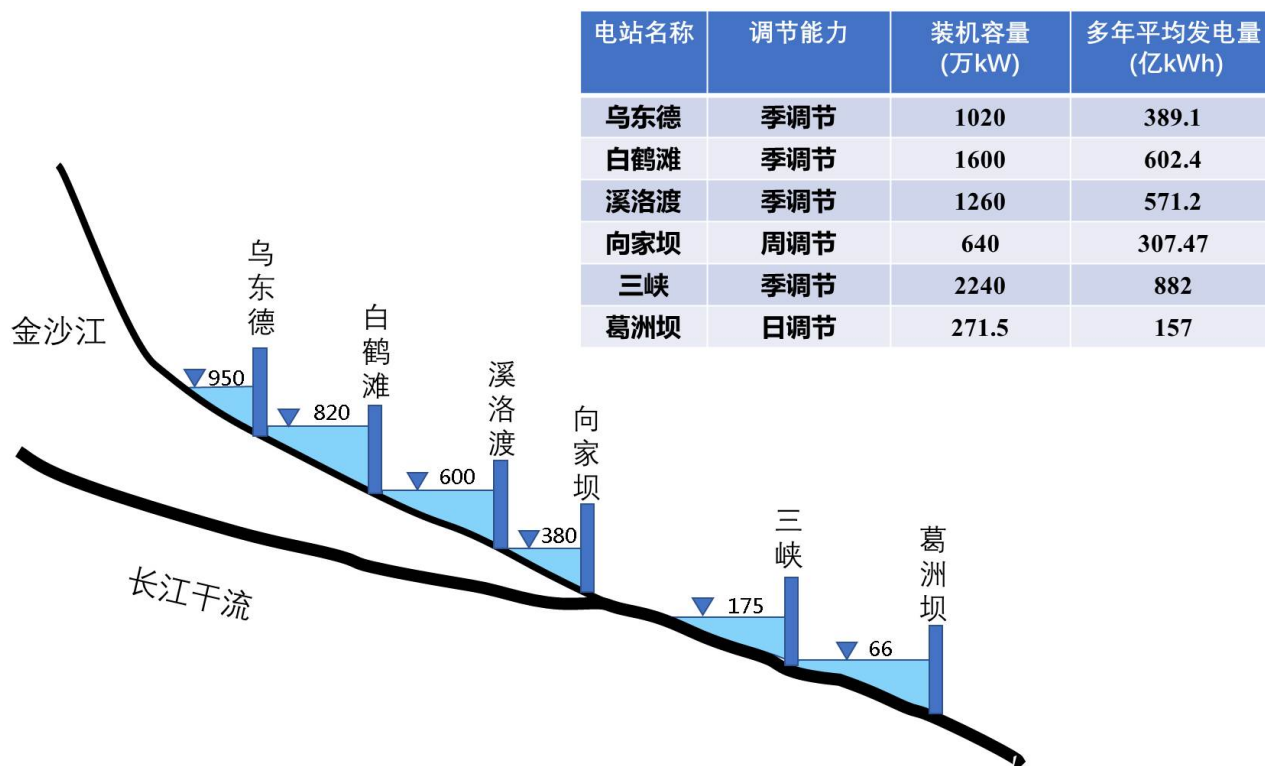


Figure 1. Three Gorges large hydropower system
图 1. 三峡大水电系统

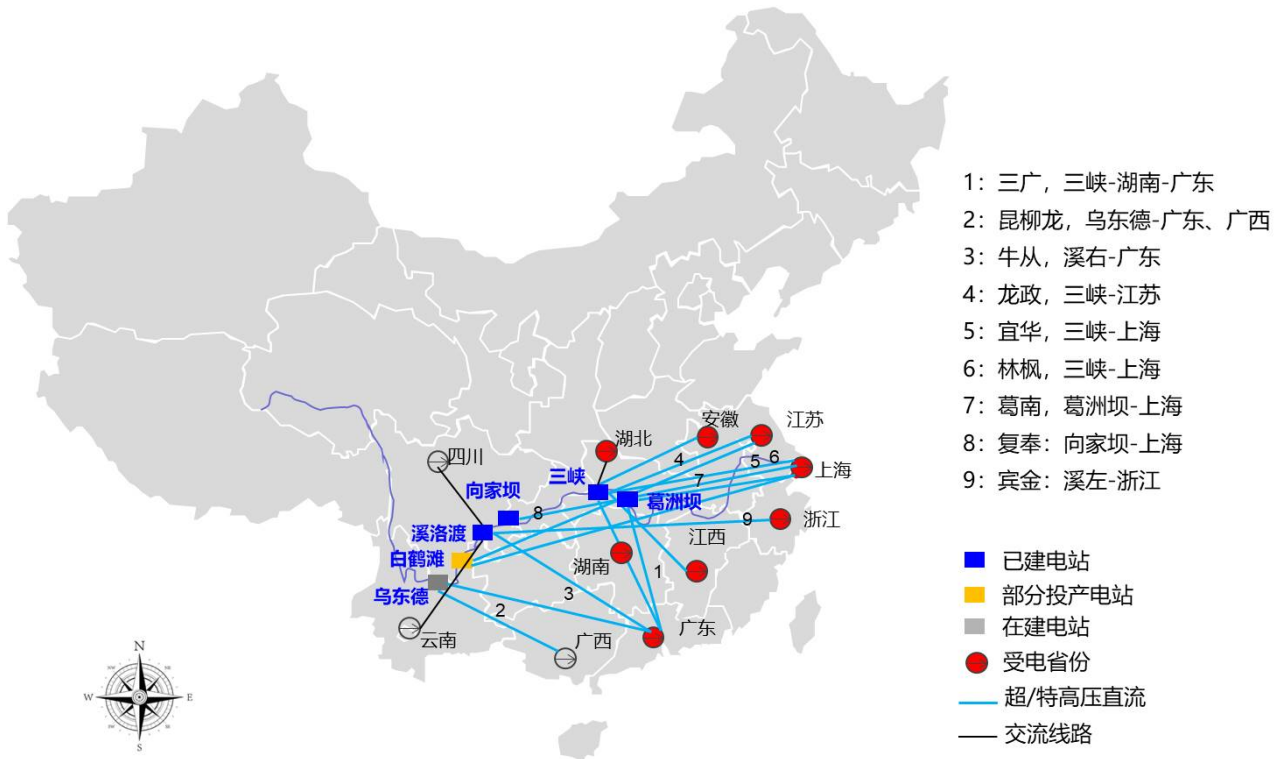


Figure 2. Power transmission of Three Gorges large hydropower system
 图 2. 三峡大水电系统送电示意图

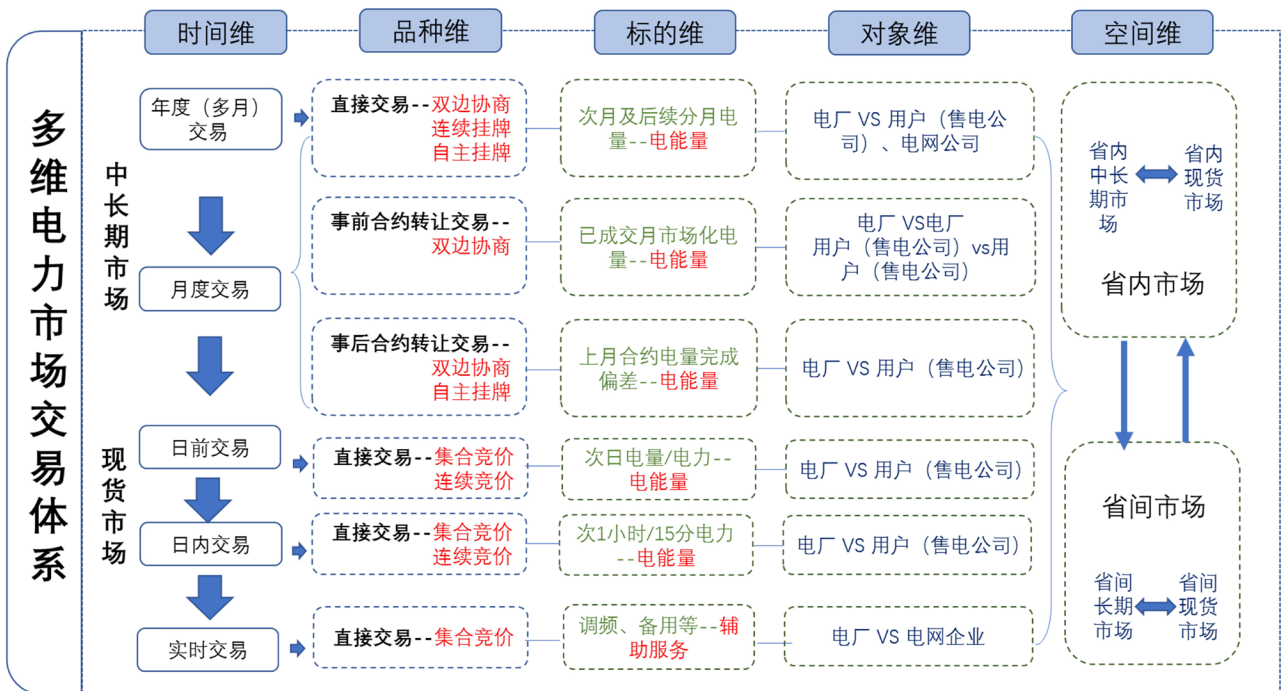


Figure 3. Technical framework of trading strategy for Three Gorges large hydropower system
 图 3. 三峡大水电交易策略的技术框架

品种维度(交易品种): 大水电可参与直接交易和合约转让交易, 其中电力直接交易是指符合准入条件的电力

用户、售电公司与发电企业，按照自愿参与、自主协商的原则直接进行的购售电交易，电网企业按规定提供输配电服务。按照市场机制形成的电量均纳入电力直接交易统计范围；合约转让交易是指在发电企业之间、电力用户(售电公司)之间，对双方持有的电力合约互相进行转让的交易方式，来调整发用电之前的合同电量及发用电之后的偏差电量。

标的维度(交易标的)：随着现货市场的逐步建立，目前的市场体系包括电能量以及辅助服务，大水电均可参加各类标的竞价，发挥自身优势。

时间维度(交易周期)：在目前所形成中长期市场 + 现货市场的市场格局下，大水电可参与的市场维度从年度(多年)、到月度以及可逐步细化至日前、日内市场。

空间维度(交易范围)：基于目前所采用“统一市场，两级运作”方式，三峡大水电可发挥自身优势，参与云南、广东、浙江、四川等十余个省份的省内或省间市场。省间交易定位为实现国家能源战略，促进清洁能源消纳和大规模资源优化配置；省内交易定位于实现省内资源优化配置，保障电力供需平衡。

4. 交易策略主要技术工作

4.1. 水电市场化交易边界研究

水电系统调度的关键在于通过大水电站群联合调度实现水电长中短时间尺度的协同优化，以充分发挥各种调节性能水电站的作用。三峡大水电由于巨大的调节库容和装机容量，在梯级及电网中占有非常重要位置，市场环境下水电交易边界具有重要影响与现实意义。一方面，需要从长远角度出发，考虑大水电的独特优势，分析大水电真正价值，为其参与市场化交易提供重要基础；另一方面，如何发挥和利用好大水电库容补偿调节作用，进行梯级水电站群的年初、汛前、汛后和年末水位的合理调控，有助于实现对整体发电能力和市场交易规模的全局把控，提高市场竞争力，促进水电有效消纳。

为此，需要结合三峡大水电长系列数据，针对三峡大水电市场化交易边界开展以下研究：

1) **需要开展大水电水库群水电价值研究**。一方面考虑梯级水电消纳要求，避免弃水和缺电，另一方面考虑市场化因素，基于梯级水电长期优化调度，挖掘三峡大水电在市场环境下的水电价值，为流域梯级水电站何时、以何种规模、采用何种方式参与市场提供决策基础。

2) **需要开展梯级水电站水库群关键节点水位(蓄能)控制研究**。水电系统不同于传统火电为主系统，其“燃料”的随机性和时空耦合性，决定了水电参与市场交易需要从长期进行协调控制，以避免发生结构性弃水和缺电。为此，以梯级水电高效消纳、尽可能避免弃水和缺电为目标，以梯级龙头水电站群为抓手，考虑市场化因素条件，通过优化汛初、汛后、年末等关键时间节点水位(蓄能)控制范围，确定三峡大水电市场化交易的整体规模。

4.2. 水电市场化交易电量多维分配策略研究

三峡大水电需要大规模、远距离输送至华中、华东以及华南沿海地区，不同受端省份之间的电力市场机制和规则差异较大，各电网的电源结构、负荷需求、网架通道特点也明显不同，如此复杂的差异化市场和系统特点，使得三峡大水电系统现货交易面临跨省多市场联合竞价问题，较单一市场竞争交易的复杂度和难度更大、问题更突出，涉及以下几方面技术研究工作：

1) **跨省多市场中长期电量协调分配策略**。从确定性和不确定性径流、电价两个方面出发，综合考虑总交易电量、水电站调度边界(如水位限制、出力限制等)、电网输电断面和安全控制要求，以及不同受电市场的规则和消纳比例限制，研究流域梯级水电站在跨省多市场的年、月等中长期交易电量协调分配模型及其求解算法，通过长系列径流、电价等数据模拟计算与统计分析，构建跨省多市场中长期电量协调分配策略。

2) **跨省多市场竞争水电日前电量协调分配策略**。三峡大水电系统既存在单一水电站如溪右送电多个省份，

也存在梯级上下游送电不同省份,所以无论单一水电站还是梯级电站,均需要首先确定参与各省级现货市场的日电量规模,本质是复杂水力和电力约束条件下的多电网、多电价、多电站(机组)的电量协调分配问题,需要从目标函数构建、跨省分配限制条件和水力电力耦合约束处理、优化求解算法开展系统研究,作为确定性优化问题,可以采用解析式规划、启发式规划等理论方法构建优化求解框架。

3) **跨省多市场竞价的单一水电站电力协调分配策略**。主要适用于送电多个电网的单一水电站如溪洛渡,在各市场电量规模确定条件下,研究复杂水力和电力约束条件下电站在各差异电价市场的申报策略,以及电站的最优开停机和负荷分配。考虑到该问题涉及机组启停状态、最小运行持续时段个数等整数变量,可以研究构建混合整数规划求解方法,但需要注意与集中调度模式下通常采用的调峰目标不同,在市场条件下可以从水电站的耗水、收益等角度研究构建适合目标。

4) **跨省多市场竞价的梯级水电站电力协调分配策略**。主要适用于送电多个电网的梯级水电站如金沙江下游梯级或金沙江下游与三峡-葛洲坝梯级,在各市场电量规模确定条件下,研究如何利用梯级电站库容和水文补偿,考虑复杂输电断面限制和调度约束条件,协调各差异电价市场的申报出力过程。该问题较上述单一水电站协调分配的复杂性更高,需要在前述基础上重点构建梯级上下游匹配运行方法,当计算规模较大时,可以引入拉格朗日松弛或者分组迭代设计求解方法。

4.3. 水电参与中长期电能量市场化交易策略研究

4.3.1. 双边交易

在电力市场中参加双边交易的发电商和购电商常常并不唯一,且有时数量较多。这种情况下,电力双边合约交易可根据交易对象的数量分成一对一、一对多和多对多的双边合约交易。对于一对多和多对多的双边合约交易若逐一谈判,则谈判时间特别长,谈判破裂和交易成本较大,增加了双边合约签订的难度,这种情况下可通过适合的博弈理论方法进行合作伙伴的选择和电价的决策。

在实际电力交易中,发电商与售电商的自身信息通常是保密的,双方并不能由此推断出一个纳什均衡策略。这种情况下,可使用贝叶斯等学习模型模拟不完全信息下的博弈过程。三峡大水电与购电商在谈判交易电价时,需考虑对方的利益情况来进行报价,一是为了避免报价超出对方可接受范围时出现的谈判破裂,二是尽可能地让己方获得较大利益。所以进行谈判时,须对彼此的利益水平进行动态学习。根据购电商的报价序列,通过适合的学习公式修正先验信息,以便更准确地测算售电商的价格底线。

4.3.2. 集中交易

集中交易涉及年度、月度集中竞价、连续挂牌等品种。从三峡大水电系统送电省份中长期电能量市场的建设情况来看,对于集中竞价,首先进行交易申报,买方与卖方先申报电量与电价,申报阶段结束再进入集中竞价交易出清,按照高低匹配价格形成机制确定成交对象、成交电量、成交价格,当价格相同时按照申报电量比例成交。连续挂牌交易与集中竞价交易相似,不同之处在于出清时间,连续挂牌交易成交与申报同时进行,当买卖任何一方申报数据发生变动时,按“价格优先、时间优先”原则即时成交匹配。连续挂牌交易一般在集中竞价交易结果发布后开展,也可单独开展,如果在集中竞价交易之后,则集中撮合阶段未成交申报数据自动进入连续挂牌竞价交易阶段,视为同一时间申报。考虑到三峡大水电系统梯级水电站在不同省份市场中所占市场份额不同,有必要针对不同场景开展月度集中竞价交易策略研究。

1) 确定性条件下梯级水电站月度集中交易策略

三峡大水电系统梯级上下游之间、不同时段之间具有紧密的水力耦合关系,因此在月度集中交易中需要考虑上下游协调问题。在已知预测电价与中长期竞价边界条件下,利用上下游库容补偿并考虑相应的约束条件,建立梯级水电站效益最大化模型,确定水电竞价策略以及梯级中长期调度计划。

2) 不确定性条件下多市场主体月度集中交易博弈方法

三峡大水电参与月度集中竞价交易面临与其他流域水电主体、其他电源发电主体以及用电侧市场主体竞价博弈，由于成交价格以及成交量与发电侧以及用电侧各市场主体的申报价格以及申报电量直接相关，所以该问题本质是具有多重不确定性的多市场主体竞价博弈问题，需要研究三峡大水电在不同申报模式下的竞价博弈方法。当申报规模较小时，需要研究作为价格接受者的竞价博弈方法；当申报规模较大时，需要研究作为价格制定者的竞价博弈方法。

4.4. 水电参与现货市场交易策略研究

对于大型水电系统而言，现货市场交易通常作为中长期交易的补充。水电系统不同于火电为主系统，其“燃料”的随机性和时空耦合性，决定了水电参与现货市场交易需要进行多时空协调，一方面需要考虑流域梯级水电站水库群的中长期水位(蓄能)控制要求，以研究确定水电参与现货市场交易的合理边界条件，避免产生结构性弃水和缺电；另一方面，需要结合面临现货市场的不同组成，从日前市场、日内市场、实时市场等不同时序开展相适应的交易策略研究。

三峡大水电系统涉及十余个送电省(市)，其中第一批现货试点广东、浙江、四川等省份已经开展了现货市场的模拟运行，结合这些省份的现货市场组成和水电跨省跨区送电特点，其现货市场水电竞价策略技术工作将主要包括以下两个主要方面。

4.4.1. 梯级水电参与现货市场交易的电量范围

水电参与现货市场，突出的问题之一就是如何避免市场化竞争下的弃水和缺电，交易结果难以执行。市场化过程中，中长期电量控制不合理导致的结构弃水和缺电，难以在现货市场中得到有效解决，需要考虑梯级水电站水库群中长期电量协调控制才能避免或者减少弃水和缺电情况发生，所以需要进一步开展日前竞价电量空间研究，确保交易竞争可行。

1) 需要以长期水位(蓄能)控制为基础研究水电参与日前现货市场的电量范围。考虑流域水情、电力、综合利用等实际调度需求和约束条件，根据三峡大水电梯级构成关系，研究适应性建模策略以合理分解逐日基础电量，通过梯级联合优化调度精细化水力和电力匹配计算，探寻枯期不弃水、不缺电，以及汛期水电消纳最大化的日电量竞价空间，获得单一电站、梯级电站参与单一或多个现货市场的可行范围。

2) 需要以日前出清电量为基础研究水电参与实时现货市场的电量范围。结合已执行电量结果，并考虑实时来水变化、机组开停机、安全控制与综合利用等各方面因素，从单一水电站、梯级水电站不同对象，从单一和多个现货市场不同市场环境，从日前出清电量不同执行进度等多个维度，研究水电参与实时现货市场的电量范围。

4.4.2. 水电参与日前现货市场交易策略

水电参与日前现货市场交易是决定水电站每日调度计划和实施中长期水位(蓄能)合理控制的重要环节。从三峡大水电系统相关受电省份的现货市场建设来看，现货市场大多采用集中式市场模式，即买卖双方的报价与物理交易均需要通过电力库进行，进而根据发用双方的报价情况采用全电量集中优化出清并统一安排调度计划。考虑到三峡大水电系统单一水电站和梯级电站均具有较大规模，且可能面临不同的市场环境，所以有必要针对不同对象、不同场景开展日前现货市场的竞价交易策略研究。

1) 考虑已知预测电价的单一水电站竞价交易策略

在已知预测电价和日电量竞价边界的条件下，水电站参与现货交易需要综合考虑日初水位、预测来水、日控制电量、水库水位和流量运行边界、出力限制、机组限制运行区等条件与约束，研究构建适合的效益模型以确定水电站日前出力申报过程，同时需要研究与之适应的最优机组开停机方式和机组间负荷分配方法。

2) 考虑已知预测电价的梯级水电站竞价交易策略

三峡大水电系统既面临梯级上下游间、不同时段间的一般性水力紧耦合关系，也具有回水顶托、通航、巨型水电机组高水头非线性多振动区等复杂时空关联特性，使得上下游电站在现货市场竞价过程中存在极强的耦合关系，容易导致梯级水电站电量、水量不匹配的现货出清结果，影响市场化交易结果的实际执行。所以将重点开展以下研究：

梯级水电站日前现货竞价的发电出力协调方法，目的是利用上下游库容、水文补偿，提高梯级水电系统竞价合理性和效益，同时避免不合理弃水。

梯级水电站整体竞价的电站间负荷分配方法，主要适用于梯级作为一个整体参与市场竞价时，如何在梯级水电站进行水力与电力优化协调，以满足整体的竞价交易结果。

3) 不确定性条件下多发电主体竞价博弈方法。

三峡大水电参与现货交易面临与其他流域水电主体或其他能源形式发电主体的竞价博弈，由于出清价格与市场各参与主体的申报量、价密切相关，所以该问题实质是多重不确定性条件下多发电主体竞价博弈问题，需要研究不确定性条件的量化与简化方法，以及三峡集团在不同申报规模下的竞价博弈方法。前者可以利用市场需求、实际成交结果等长系列数据，开展合理的需求预测和对手申报预测，将不确定性转换为确定性，也可以研究采用概率分布或场景分析方法对申报量、价进行准确描述。后者可以从两个角度开展研究：当申报规模较小时，研究作为价格接受者的竞价博弈方法，此时重点关注价格预测；另一方面，当申报规模较大时，需要研究作为价格制定者的竞价博弈方法，需要基于前述不确定性处理方法研究如何有效简化竞价博弈模型。

4.5. 水电参与辅助服务市场交易策略研究

1) 三峡大水电调频性能指标分析与提高技术研究

在我国已经投入运行和试运行的调频市场规则中，调频性能指标是决定水电站竞争力的重要因素，具体包括调频响应时间、调频速率、调节精度三个方面。三峡水电站机组容量巨大，但调频性能指标往往不占优势，需要结合各送电区域调频市场的容量需求、竞争对手情况、市场规则等确定市场竞争策略。同时，对于调频效益巨大的市场，可研究建设调频性能优良的储能装置，与水电联合运行投入调频市场。

2) 单一调频辅助服务市场交易模型研究

进行负荷峰谷时段调频市场出清里程价格与水电申报价格的相关性分析，明确调频市场中的价格接受者或制定者地位。在价格接受者情况下，建立以调频里程收益和调频容量收益总和期望值最大的优化模型；在价格制定者情况下，建立收益最大的非合作、合作博弈模型，并研究模型高效的、可集成的求解方法。

3) 参与调频市场的交易策略研究

通过调频市场发布的模拟运行数据、实际运行数据，采用优化、博弈模型进行全时段模拟，得到历史上各时段最优调频里程价格和调频容量申报决策，总结最优容量和价格在不同季节、不同时段分布规律，建立简便且易于操作的调频市场参与策略。

5. 结论

三峡大水电系统在我国水电及电力系统中具有非常重要的关键地位，如何参与市场化交易关系到水电在我国能源结构体系的功能定位。本文结合三峡大水电系统特点、市场化特点、参与市场交易的核心问题及主要任务，从时间维、品种维、标的维、对象维以及空间维多个维度，系统梳理了三峡大水电交易策略的技术框架，并以此为基础，详细阐述了三峡大水电市场化交易边界、市场化交易电量多维分配策略、参与中长期电能量市场交易策略、参与现货市场交易策略、参与辅助服务市场交易策略的主要技术工作，形成了三峡大水电市场化交易策略的顶层技术工作体系，切实服务于我国水电市场化实际生产运行。

基金项目

国家自然科学基金项目(52039002, 52079014)。

参考文献

- [1] 邓玉敏, 石峰, 夏清, 等. 跨省区水电参与现货市场的机制和交易策略[J]. 电网技术, 2021, 45(8): 3190-3199.
DENG Yumin, SHI Feng, XIA Qing, et al. Mechanism design and trading strategy of trans-provincial hydropower participating in spot market. Power System Technology, 2021, 45(8): 3190-3199. (in Chinese)
- [2] 宋永华, 包铭磊, 丁一, 等. 新电改下我国电力现货市场建设关键要点综述及相关建议[J]. 中国电机工程学报, 2020, 40(10): 3172-3186.
SONG Yonghua, BAO Minglei, DING Yi, et al. Review of Chinese electricity spot market key issues and its suggestions under the new round of Chinese power system reform. Proceedings of the CSEE, 2020, 40(10): 3172-3186. (in Chinese)
- [3] CHENG, C. T., YAN, L. Z., MIRCHI, A. and MADANI, K. China's booming hydropower: systems modeling challenges and opportunities. Journal of Water Resources Planning and Management, 2017, 143(1): 02516002.
- [4] 贾泽斌, 申建建, 程春田, 等. 基于梯级电量联动控制的高比例水电电力市场日前现货出清方法[J]. 中国电机工程学报, 1-13.
JIA Zebin, SHEN Jianjian, CHENG Chuntian, et al. Day-ahead clearing method for high proportion hydropower electricity market based on cascade energy linkage control. Proceedings of the CSEE, 1-13. (in Chinese)
- [5] ZHAO, X. G., LI, P. L. and ZHOU, Y. Which policy can promote renewable energy to achieve grid parity? Feed-in tariff vs. renewable portfolio standards. Renew Energy, 2020, 162: 322-333.
- [6] CHENG, C. T., CHEN, F., LI, G., et al. Reform and renewables in China: The architecture of Yunnan's hydropower dominated electricity market. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2018, 94: 682-693.
- [7] STEEGER, G., BARROSO, L. A. and REBENNACK, S. Optimal bidding strategies for hydro-electric producers: A literature survey. IEEE Transactions on Power Systems, 2014, 29(4): 1758-1764.
- [8] 程雄, 唐应玲, 申建建, 等. 电力市场环境大下大规模水电站群月度交易电量分解与校核方法[J]. 中国电机工程学报, 2020, 40(8): 2514-2524.
CHENG Xiong, TANG Yingling, SHEN Jianjian, et al. Decomposition and checking method for large-scale hydropower plants monthly trading energy in electricity market. Proceedings of the CSEE, 2020, 40(8): 2514-2524. (in Chinese)
- [9] 中国电力企业联合会. 2020-2021 年度全国电力供需形势分析预测报告[EB/OL]. <https://www.cec.org.cn/detail/index.html>, 2021-06-22.
China Electricity Council. Analysis and forecast report of national power supply and demand situation in 2020-2021. <https://www.cec.org.cn/detail/index.html>, 2021-06-22. (in Chinese)
- [10] 何绍坤, 郭生练, 刘攀, 等. 金沙江梯级与三峡水库群联合蓄水优化调度[J]. 水力发电学报, 2019, 38(8): 27-36.
HE Shaokun, GUO Shenglian, LIU Pan, et al. Joint and optimal impoundment operation of Jinsha River's cascade reservoirs and Three Gorges Reservoir. Journal of Hydroelectric Engineering, 2019, 38(8): 27-36. (in Chinese)