

# 马上抽水蓄能盈利模式和策略分析综述

张江涛<sup>1</sup> 宿华明<sup>1</sup> 冀栓梅<sup>1</sup> 胡德明<sup>2</sup> 李瑞<sup>1</sup> 王琳<sup>1</sup> 胡志超<sup>2</sup>

1 国网山西省电力有限公司忻州经济技术研究所，山西忻州，034000；

2 国网山西省电力有限公司忻州分公司，山西忻州，034000；

**摘要：**抽水蓄能是技术最成熟、经济性最优、最具大规模开发条件的储能方式，是电力系统绿色低碳清洁灵活调节电源。抽水蓄能电站作为一种特殊的电源，具有运行方式灵活和反应快速的特点，在电力系统中具有调峰填谷、调频、调相、紧急事故备用和黑启动等多种效能。与常规电源相比，抽水蓄能电站能够适应负荷的快速变化，对提高电力系统安全稳定运行水平、电网供电质量和可靠性起到重要作用。同时，抽水蓄能电站还可以优化电源结构，促进电力系统节能降耗，提高电力系统总体经济效益，并减少污染物排放，实现其生态效益。在促进社会经济协调发展源节约利用等方面，抽水蓄能电站发挥着巨大的作用。根据国家能源局发布的《抽水蓄能中长期发展规划（2021—2035年）》，要求在“十四五”期间我国新增投产的抽水蓄能电站的装机要超过以往50年的总量，同时要求在“十五五”期间装机总量再翻一番，这表示我国抽水蓄能将正式进入高质量发展阶段。本文着重介绍了抽水蓄能的效益和一些机制策略。

**关键词：**抽水蓄能

**DOI：**10.69979/3060-8767.26.01.011

## 1 抽水蓄能电站运行及其效益

抽水蓄能，一种储能技术。即利用水作为储能介质，通过电能与势能相互转化，实现电能的储存和管理。利用电力负荷低谷时的电能抽水至上水库，在电力负荷高峰期再放水至下水库发电。可将电网负荷低时的多余电能，转变为电网高峰时期的高价值电能。适用于调频、调相，稳定电力系统的周波和电压，还可提高系统中火电站和核电站的效率。

在现阶段及电力市场化过程中，抽水蓄能电站收益主要包含容量收益、电量收益和辅助服务收益三部分。电量电价通过竞争方式形成，现货市场通过价格信号引导抽水蓄能电站充分发挥调峰填谷作用，促进新能源消纳。

抽水蓄能各项静态作用、动态作用，给电网、电源以及用户都带来显著经济效益，但在现行财务制度下，如何计算其经济效益、并将其转化为财务收入进行成本回收仍是困扰抽水蓄能发展的关键问题。抽水蓄能电站的作用主要体现在电力系统中，按照经济学观点表现出强烈的外部经济性，即抽水蓄能电站对维持电力系统稳定运行的经济效益，受益对象是电力系统，而抽水蓄能电站自身未能因此获益，抽水蓄能电站提供的作用和服务相当于电力系统中的公共产品，而投资方建设抽水蓄能电站又是企业行为。为此，需要研究在抽水蓄能发

挥巨大经济效益的同时，如何将电力系统中经济效益转换为企业的财务收入并取得合理收益。

在国内，北京勘测设计院于上世纪80年代末期提出的《抽水蓄能电站经济效益分析方法研究》当中，较系统地论述了抽水蓄能电站的节煤效益，并编制了相应的软件，对于抽水蓄能电站静态效益的分析提出了比较成熟的建议。其计算方法是在同等满足电力系统要求的前提下，经电力电量平衡，得出有、无抽水蓄能电站两个系统的燃料费用之差，即为节煤效益；有、无抽水蓄能电站的两个等效组合方案的基建投资之差，即为容量效益；最后提出十三陵抽水蓄能电站各项效益的估算值。抽水蓄能作用体现在电力系统中，其效益具体表现在与抽水蓄能相关的电网、用电户、其他电源等利益相关者。目前已有一些学者针对抽水蓄能电价设计、经营模式、财务评价等方面开展了一些研究。如王科等<sup>[2]</sup>从不核算电价、固定电价、市场电价以及固定收入和变动竞价等方面总结了国内外抽水蓄能电站的电价机制及其效益，解析了在电力市场中抽水蓄能机组的获益方式与竞价策略；王海政等<sup>[3]</sup>通过研究抽水蓄能电站电价制度，设计了抽水蓄能站两部制电价测算方法，并以BQ抽水蓄能电站为例，测算了其两部制上网电价；李培栋等<sup>[4]</sup>通过划分抽水蓄能电站容量效益和电量效益，提出了电网公司和若干大机组发电企业的共同租赁模式，构建了共同租赁模型，探索了抽水蓄能电站在电力

市场环境下的经营模式;刘玉玲等<sup>[5]</sup>针对龙潭抽水蓄能电站,通过测算其投资、税金、利息等相关成本,基于两部制上网电价,采用电力系统可避免成本定价方法,分析计算了龙潭抽水蓄能电站的效益,判别其在财务上的可行性;高瑾瑾等<sup>[6]</sup>通过构建财务评价、国民经济评价及辅助服务效益等方面的经济效益指标体系,采用改进序关系分析法,综合量化评价了抽水蓄能电站的经济效益,并以某抽水蓄能电站为例,验证了算法的适用性。上述研究主要集中在抽水蓄能电站经济上的“替代作用”,进而为抽水蓄能电站“设计电价”,分析其经济合理性与财务可行性。

对于抽水蓄能电站的经济效益分析及相关领域,国外也有比较成熟的研究成果。IEEE 高级成员 P.J.Donalek 分析了抽水蓄能电站在电力系统中所起的重要作用,在比较各个不同国家与地区不同水文条件的基础上,计算了在区域电力市场中特定节点电能与辅助服务的成本与效益,并以东南欧巴尔干地区为例进行了深入分析。

## 2 抽水蓄能电站机制策略

### 2.1 基于灰狼算法的风-光-抽水蓄能联合系统多目标优化策略研究

风、光是两种不稳定的能源,通常情况下,我国大部分地区都是夜间风速较大而白天尤其是中午光照强度较强,在这段时间内,将会出现较为严重的弃电情况。而相反,在其他时段,风、光出力将会大大降低,无法维持电力用户正常的用电需求。抽水蓄能作为一种特殊的储能装置,其具有的时空转移特性能够将风、光发电高峰时段的发电量存储起来并转移到低谷时段发出,从而实现将不稳定的电源转变成可调控的稳定电源发电供电,达到能源高效利用的目的<sup>[12]</sup>。然而,风电场、光伏电站、抽水蓄能电站本身不归属于同一发电公司管理,三方均作为独立主体参与电力市场交易。为了对其进行统一的能量调度,采取“联合”经营模式,将风、光发电机组以及抽水蓄能机组组成运行联合体,并使其由同一法人企业所管理<sup>[13]</sup>。法人企业建立协调控制中心收集风、光发电计划以及抽水蓄能的功率和库容信息,并获取到电网的负荷预测信息,从而制定各个发电单元的发电或用电计划。为此,建立了风-光-抽水蓄能联合系统。因此张良等人提出了优化的灰狼算法,综合考虑了风-光-抽水蓄能联合系统经济收益最大化、并网有功功率平均波动率最小化以及碳减排量最大化三个目标,建立了风-光-抽水蓄能联合系统优化模型,文所提出的风-

光-抽水蓄能联合系统优化调度模型综合考虑了联合系统经济收益、碳减排量以及系统并网有功功率波动三个目标,在与风、光发电系统对比中表明,联合系统每年可增加的收益为 416100 万元,每年可以额外减少的碳排放量为 182.50 万吨,并且可以大大降低电网有功功率的波动性。

这种清洁、低碳、可靠、高效的系统运行方式,为新型电力系统的建立与发展提供了有力的参考。实现了并行经济效益的最大化。

### 2.2 抽水蓄能电站两部制电价机制研究

对抽水蓄能电站面临着开发难度提高、投资造价上升等问题,分析造价变化趋势并找出主要影响指标,计算各项指标引起明细成本增量的占比,对于电站投资成本管控具有重要意义。针对电站与市场衔接不足的问题,结合国家发展改革委新电价机制,分别构建电量电价盈利测算模型和容量电价定价测算模型。实证分析表明:在现货市场中以竞争方式形成电量电价,收益与风险并存,电站需要根据现货市场交易情况做出合理决策。算例模拟了容量电价核定过程,容量电价随输配电价监管周期同步动态调整,能够实时反映真实成本,在经营期内保证稳定电价水平。结合研究结论,得出以下几条启示:

科学规划抽水蓄能电站建设,多方面控制制造价水平。2021 年 9 月,国家能源局发布《抽水蓄能中长期发展规划(2021-2035 年)》,提出抽水蓄能投产总规模 2025 年达到 6200 万千瓦以上,2030 年达到 1.2 亿千瓦左右。在快速发展过程中,抽水蓄能电站在调研阶段应充分分析环境因素的影响,如土地征购费、移民安置费、环境评价等,在招标阶段应做好造价管控,在施工阶段优化施工组织方案,必须尽可能控制成本、节约投资。

严格落实两部制电价政策,加强抽水蓄能电站与电力市场衔接机制。现阶段,我国抽水蓄能电站还不具备完全推向市场的条件,仅有部分试点启动了电力现货市场,电量部分可逐步进入,但可能面临中标电量低、峰谷价差空间小、尖峰持续时间短的问题。因此,抽水蓄能电站应加强识别现货市场的风险,探索和把握现货市场运行规律,将发电和抽水的价格与市场接轨,以发电和用户的双重市场主体身份进入电力市场。

容量电价要随着输配电价监管周期滚动调整核价,及时、准确、客观地反映上一监管周期核价中面临的问题。例如,存在争议的资产在核价中如何处置、实际运维费率与核价运维费率偏差较大等,为价格机制的不断优化完善建言献策。同时,根据情况适当减少容量电价

覆盖电站容量的比例，部分机组沿用容量电价，剩余机组通过辅助服务市场回收固定成本，从而形成从政府定价向市场竞价过渡的有效。

### 2.3 抽水蓄能电站 AGC 控制策略优化与应用

2019 年 9 月国家能源局福建监管办公室和 2022 年国家能源局华东监管局对福建省内的电厂 AGC 做出详细的考核指标，其中：AGC 调节速率为 50%额定负荷/min，AGC 响应时间为 8~10s。永泰抽水蓄能电站首台机组于 2022 年 8 月开展了 AGC 功能试验，AGC 调节速率及响应时间不满足调度的考核要求，为此，需要分析研究电站 AGC 控制原理和影响因素，调整和优化电站 AGC 控制策略，提高机组 AGC 调节速率及响应时间，更好地满足电网负荷调节需求。

AGC 控制是抽水蓄能电站全面提高自动化水平，提升电站响应电网负荷调节需求的重要手段，同时也是电网优质、高效运行的重要保障<sup>[14]</sup>。卢建文等<sup>[15]</sup>针对永泰抽水蓄能电站 AGC 调节速率和 AGC 响应时间不满足调度考核要求的问题，分析研究了电站 AGC 控制原理和影响因素，优化和改进了电站 AGC 控制策略和调速器控制策略，提高了 AGC 调节速率及 AGC 响应时间，并开展了现场 AGC 功能试验验证，现场试验结果表明：优化后的电站 AGC 控制功能正常，性能良好，AGC 调节速率在 153.6~213.4MW/min 之间，AGC 响应时间在 8~10s 之间，满足了调度的 AGC 考核要求。

### 参考文献

- [1] 马良, 翟海燕, 杨文婷, 等. 现货市场下抽水蓄能电站电量收益及综合效益分析[J]. 水利水电技术(中英文), 2023, 54(S1): 283~289.
- [2] 王科, 李泽文, 别朝红, 等. 抽水蓄能电站的电价机制及市场竞价模式研究[J]. 智慧电力, 2019, 47(6): 47~55.
- [3] 王海政, 谭浩瑜, 全允桓. 基于电源优化选择的抽水蓄能电价设计与计算[J]. 水利经济, 2006, 24(6): 15~17.
- [4] 李培栋, 孙薇, 孟亚敏. 电力市场环境下抽水蓄能电站经营模式的探索[J]. 水利经济, 2005(4): 13~14.
- [5] 刘玉玲, 苗宗伟. 龙潭抽水蓄能电站财务评价[J]. 中国水能及电气化, 2018(2): 46~49.
- [6] 高瑾瑾, 郑源, 李润鸣. 基于改进序关系分析法的抽水蓄能电站经济效益综合评价[J]. 长江科学院院报, 2018, 35(4): 137~142.
- [7] 曹雪丽. 和谐理念下抽水蓄能电站建设项目综合评价研究[F]. 北京: 华北电力大学(河北), 2010.
- [8] P. J. Donalek. Role and value of hydro and pumped storage generation in a proposed regional electricity market in southeast Europe. IEEE Transactions on Power Systems, 2003.
- [9] 国家能源局. 《抽水蓄能中长期发展规划(2021~2035 年)》[EB/OL]. [2021-04-30]. [2023-3-10]. [http://www.nea.gov.cn/2021-09/09/c\\_1310177087.htm](http://www.nea.gov.cn/2021-09/09/c_1310177087.htm).
- [10] 刘天宝. 电力市场条件下抽水蓄能电站经济效益的评价研究[F]. 北京: 华北电力大学(河北), 2007.
- [11] 张良, 郑丽冬, 冷祥彪, 吕玲, 蔡国伟. 基于灰狼算法的风-光-抽水蓄能联合系统多目标优化策略研究[J/OL]. 上海交通大学学报.
- [12] 刘天, 蒋成成, 魏云冰. 风-光-抽水蓄能联合发电系统模型的优化研究[J]. 电工技术, 2021(18): 63~65.
- [13] 周脉玉, 邵春峰, 隋秀春. “新能源+抽蓄”模式下抽水蓄能电站的价格形成机制研究[J]. 中国市场, 2018(6): 125~127.
- [14] 项捷, 高伏英, 周毅, 秦俊. 华东抽水蓄能电站侧紧急支援系统的实施和应用[J]. 水电与抽水蓄能, 2016, 2(1): 6~8, 21.
- [15] 卢建文, 杨文平, 姜海军, 谢晓润. 永泰抽水蓄能电站 AGC 控制策略优化与应用[J]. 水电与抽水蓄能, 2023: 130~134.
- [16] 潘文霞, 范永威, 朱莉, 等. 风电场中抽水蓄能系统容量的优化选择[J]. 电工技术学报, 2008, (03): 120~124.
- [17] 杨宏基, 周明, 张茗洋, 等. 电力市场下抽水蓄能电站运营策略及效益分析[J]. 华北电力大学学报(自然科学版), 2021(6): 71~80.
- [18] 国家发展改革委. 关于进一步完善抽水蓄能价格形成机制的意见[EB/OL]. [2021-04-30]. [https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202105/t20210507\\_1279341.html](https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202105/t20210507_1279341.html).
- [19] 陆佑楣, 潘家铮. 抽水蓄能电站[M]. 北京: 水利电力出版社, 1992.
- [20] 王昊婧. 新形势下我国抽水蓄能电站运营效益评价方法研究[D]. 北京: 华北电力大学(北京), 2016.
- [21] 王睿, 罗开颜, 张会娟, 等. 国外典型电力市场抽水蓄能电价机制及启示[J]. 中国电力企业管理, 2021(13): 74~75.

作者简介：张江涛（1978.08-），男，国网山西省电力有限公司忻州经济技术研究所，主要从事电网工程规划及技术经济研究管理工作。