

# 电力市场不同发展阶段下抽水蓄能电站电价机制研究

谢道清<sup>1</sup>, 张 茂<sup>1</sup>, 刘思佳<sup>2</sup>, 范长城<sup>1</sup>, 李文浩<sup>3</sup>, 王川陵<sup>4</sup>

(1. 国网安徽省电力有限公司, 合肥 230061; 2. 国网能源研究院有限公司, 北京 102209; 3. 国网安徽省电力有限公司 肥西县供电公司, 合肥 231200; 4. 国网安徽省电力有限公司 超高压分公司, 合肥 231131)

## Electricity price mechanism of pumped storage power station under different development stages of electricity market

XIE Daoqing<sup>1</sup>, ZHANG Mao<sup>1</sup>, LIU Sijia<sup>2</sup>, FAN Changcheng<sup>1</sup>, LI Wenhao<sup>3</sup>, WANG Chuanling<sup>4</sup>

(1. State Grid Anhui Electric Power Co., Ltd., Hefei 230061, China; 2. State Grid Energy Research Institute Co., Ltd., Beijing 102209, China; 3. Feixi Power Supply Company, State Grid Anhui Electric Power Co., Ltd., Hefei 231200, China; 4. Ultra High Voltage Company, State Grid Anhui Electric Power Co., Ltd., Hefei 231131, China)

**摘要:**抽水蓄能电站对电网调峰、新能源消纳、“双碳”目标的实现具有积极作用。针对电力市场进程中的抽水蓄能电站成本疏导问题,首先系统梳理国家政策对抽水蓄能价格机制规定的历史沿革,并调研国外抽水蓄能电站的成本回收方式,在了解现有政策和做法的前提下,结合我国电力市场建设进程,分初期阶段、过渡阶段、成熟阶段3个时期,根据各市场在不同阶段的建设情况,明确给出不同市场阶段下抽水蓄能电站价格机制,建立电价解析数学模型,将抽水蓄能电站发生的成本有效疏导。考虑经济发展、物价水平、承受能力等因素,确定抽水蓄能电站成本疏导的3个原则,提出成本分摊的6种单一方式和组合方式,对我国抽水蓄能电站的发展具有一定的理论和实践参考意义。

**关键词:**电力市场;价格机制;抽水蓄能电站;成本疏导;分摊方式

**Abstract:** Pumped storage power stations play a positive role in peak load regulation, new energy consumption and the realization of the “double carbon” goal. In order to study the cost diversion of pumped storage power stations in the process of power market, firstly the historical evolution of the provisions of national policies on the price mechanism of pumped storage power stations are combed systematically, and the cost recovery methods of foreign pumped storage power stations are investigated. On the premise of understanding the existing policies and practices, combined with the construction process of China’s power market, it is divided into three stages: the initial stage, the transition stage, and the mature stage. According to the construction situation of each market in different stages, the price mechanism of pumped storage power stations in different market stages is clearly given, and the analytical mathematical model of electricity price is established to effectively guide the costs incurred by pumped storage power stations. Considering economic development, price level, affordability and other factors, three principles for cost diversion of pumped storage power stations are determined, and six single and combined modes of cost allocation are proposed, which has certain theoretical and practical significance for the development of pumped storage power stations in China.

**Key words:** electricity market; price mechanism; pumped storage power station; cost alleviation; allocation method

## 0 引言

“双碳”目标下,新能源高比例接入将深刻改变系统电力平衡特性,使系统抗扰动能力下降、峰谷差拉大、电力电量平衡压力增大、灵活调节需求将刚性增长<sup>[1-2]</sup>,抽水蓄能作为系统级调节手段,将发挥重要作用<sup>[3-5]</sup>。但抽水蓄能电站运营需要成本,其抽水时同其他电力用户一样,需要消耗电能,是

抽水蓄能电站运营成本之一,此外由于当作备用容量机组,不像常规电源那样可以在市场上发电赚取利润,需要对其进行容量补偿。因此该项费用的分摊需在相应的省级电网之间进行。但目前没有明确的分摊机制,国家没有明确抽水蓄能电站的电价机制,制约了抽水蓄能行业的发展。我国各省市抽水蓄能资源及其规划容量与各省调节需求难以匹配,部分区域内抽水蓄能费用分摊机制有待进一步完善等问题,束缚了区域电网进一步发挥抽水蓄能电站集中调度规模效益的作用,制约了抽水蓄能在区域范围内的优化利用<sup>[6-7]</sup>。

收稿日期:2023-04-06;修回日期:2023-05-20

基金项目:国网安徽省电力有限公司管理咨询项目(811200200081)

本文系统梳理了我国抽水蓄能电站电价政策与价格机制,并研究最近价格政策情况,调研国外抽水蓄能电站的实践经验,分析在深化燃煤发电上网电价市场化改革背景下对抽水蓄能电站的影响,按照市场化进展的不同,阐述逐步推进抽水蓄能电站电价市场化的3个进程,即初期阶段、过渡阶段、成熟阶段参与市场机制,建立初期阶段、过渡阶段、成熟阶段相应的成本与收入模型,提出抽水蓄能电站成本疏导原则和若干分摊原则。

## 1 国内外现状研究

### 1.1 国内抽水蓄能电站电价政策

2004年,国家发展改革委印发了《关于抽水蓄能电站建设管理有关问题的通知》(发改能源〔2004〕71号),规定抽水蓄能电站主要由电网经营企业进行建设和管理。2014年,国家发展改革委发布《关于完善抽水蓄能电站价格形成机制有关问题的通知》(发改价格〔2014〕1763号),规定了抽水蓄能电站价格机制:电力市场形成前,抽水蓄能电站实行两部制电价。电价按照合理成本加准许收益的原则核定。2016年,国家发展改革委印发了《省级电网输配电价定价办法(试行)》(发改价格〔2016〕2711号),明确提出抽水蓄能电站相关费用不纳入电网企业准许收益。2019年,国家发展改革委出台《输配电定价成本监审办法》(发改价格规〔2019〕897号)修订稿,再次将抽水蓄能电站列为与输配电业务无关的费用,规定不得计入输配电定价成本。2021年5月,国家发展改革委印发了《关于进一步完善抽水蓄能价格形成机制的意见》(发改价格〔2021〕633号文),坚持以两部制电价政策为主体,进一步完善抽水蓄能价格形成机制,以竞争性方式形成电量电价,将容量电价纳入输配电价回收,同时强化与电力市场建设发展的衔接,逐步推动抽水蓄能电站进入市场,加快确立抽水蓄能电站独立市场主体地位,推动电站平等参与电力中长期交易、现货市场交易、辅助服务市场或辅助服务补偿机制。

2021年10月,《国家发展改革委办公厅关于组织开展电网企业代理购电工作有关事项的通知》(发改办价格〔2021〕809号)中指出,各地执行保量保价的优先发电(不含燃煤发电,下同)电量继续按现行价格机制由电网企业收购,用于保障居民、农业用户用电,有剩余电量且暂时无法放开的地方,可将剩余电量暂作为电网企业代理工商业用户购电量来源。

目前,国家政策对于抽水蓄能电站的定位不属

于竞争性的常规电源,也不纳入电网企业的准许收益,不属于输配电业务相关的费用,原则上允许抽水蓄能电站通过市场化方式疏导其成本。但在实践中,由于抽水蓄能电站的特殊地位,其受调度控制中心的约束极强,不能像其他常规电源那样自由参与市场交易,因此抽水蓄能电站的成本疏导和电价机制亟待解决。

### 1.2 国外抽水蓄能电站现状梳理

英国电力市场专门制定了抽水蓄能机组的竞价模式和电价机制,明确抽水蓄能电站收入由两部分组成(类似于我国的两部制电价):年度交易中的固定收入(固定部分)与竞价交易中的电量销售收入(变动部分)。抽水蓄能电站采取独立运营模式,通过提供长期备用容量获取大部分收益,同时参加实时平衡市场通过价格波动获取电量收益<sup>[8]</sup>。

日本抽水蓄能电站的补偿机制主要有两种:内部核算制、租赁制。独立电源开发商的抽水蓄能电站全部采用了租赁模式,即把营业费加上事业报酬全部作为基本费用,用来计算总费用。日本电力公司已按总资产核定了总收入,电站作为电力公司内部下属单位,实行的是内部核算模式,如东京电力公司<sup>[8]</sup>。

美国抽水蓄能电站运营模式及其成本回收机制主要分3种,即电网统一经营、独立运营、租赁制。电网统一经营方式,抽水蓄能电站由电网公司建设运营,运行成本以及合理回报等一并纳入电网公司销售电价;独立运营方式,通过低价时抽水储能,高价时发电释能,赚取利润,可在辅助服务市场和电能量市场中获得收益;租赁制方式,电力公司与电站投资方签订合同,投资方通过租赁费回收固定投资成本和合理利润。

法国的抽水蓄能电站由法国电力集团(electricity de drance group, EDF)统一建设、经营和管理,按照EDF的调度要求进行抽水、发电运行,没有独立的经营权。EDF负责电站的运行成本、还本付息、利润和税收开支以及对电站的运行进行考核<sup>[9]</sup>。

从世界范围看,在发、输、配、售一体化的电力体系结构中,或未建立竞争性电力市场的国家和地区,抽水蓄能电站多采用由电网企业统一运营和租赁的模式;对于发、输、配分离的电力体系结构并已经部分或完全建立竞争性电力市场的国家和地区,抽水蓄能电站多可以采用由发电商经营、电站所有者经营或第三方运营商经营的模式。从抽水蓄能电站成本回收方面看,日本、法国、部分美国地区通过成本核定方式回收,不通过市场化交易回收;英国通过市场化方式回收抽水蓄能电站的成本,包括固定成本和变动成本两种方式,对我国抽水蓄能电

站市场化改革有一定的借鉴意义。

## 2 不同市场阶段下抽水蓄能电站价格机制

文献[9]对抽水蓄能电站参与市场交易开展研究,但电力市场发展存在渐进过程,根据我国电力市场建设情况,按照电力市场初期阶段、过渡阶段、成熟阶段3个阶段分析抽水蓄能电站进入市场方式的价格机制,作为可供选择的方案。

### 2.1 初期阶段抽水蓄能电站价格机制

初级阶段是指电力市场主要以中长期交易为主,尚未开展现货市场,发电机组和电力用户的价格由价格主管部门根据有关政策要求核定。初期阶段,机组的发电价格不能实时传导到用户,价格信号无法及时指导用户生产经营。该阶段的抽水蓄能电站提供调峰服务,委托电网企业进行调度。初期阶段的电力市场下,抽水蓄能电站可采用价格机制如图1所示。

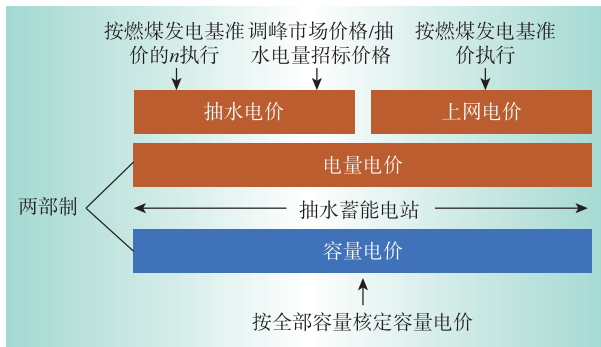


图1 初期阶段抽水蓄能电站价格机制

Fig. 1 Price mechanism of pumped-storage hydroelectricity in initial stage

初级阶段抽水蓄能电站成本为

$$R_{\text{initial}} = R_{\text{fixed}} + \eta \cdot P_{\text{standard}} \cdot Q_{\text{pump}} \quad (1)$$

式中： $R_{\text{initial}}$ 为初级阶段抽水蓄能电站的成本； $R_{\text{fixed}}$ 为抽水蓄能电站建设、运行、维护等固定投入； $\eta$ 为抽水蓄能电站的效率； $P_{\text{standard}}$ 为抽水蓄能电站所在地区的燃煤基准价，由政府主管部门定期公布； $Q_{\text{pump}}$ 为抽水蓄能电站抽水时消耗的电量。

初级阶段抽水蓄能电站收入

$$C_{\text{initial}} = C_{\text{capacity}} + P_{\text{standard}} \cdot Q_{\text{grid}} \quad (2)$$

式中： $C_{\text{initial}}$ 为初期阶段抽水蓄能电站的收入； $C_{\text{capacity}}$ 为抽水蓄能电站的容量电费，由政府部门根据规则定期核定； $Q_{\text{grid}}$ 为抽水蓄能电站发电时实际上网电量。

### 2.2 过渡阶段抽水蓄能电站价格机制

过渡阶段是指电力现货市场运行,并与中长期

市场有效衔接,但尚未开展容量市场、输电权交易,机组的发电成本能够实时传导到用户侧。该阶段的抽水蓄能电站一部分容量委托电网企业调度,剩余容量参与现货市场。过渡阶段的电力市场下,抽水蓄能电站可采用价格机制如图2所示。

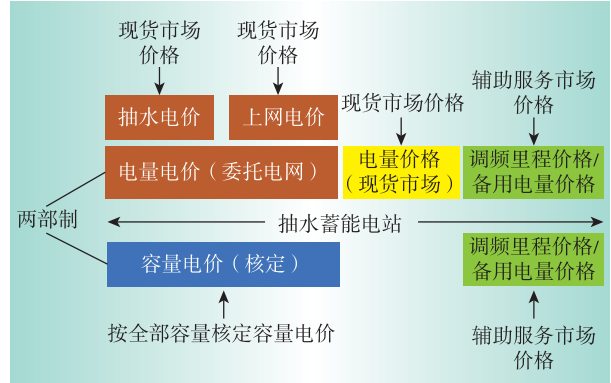


图2 过渡阶段抽水蓄能电站价格机制

Fig. 2 Price mechanism of pumped-storage hydroelectricity in transition period

过渡阶段抽水蓄能电站成本

$$R_{\text{transition}} = R_{\text{fixed}} + \sum P_{\text{market},t} \cdot Q_{\text{pump},t} + R_{\text{opportunity}} \quad (3)$$

式中： $R_{\text{transition}}$ 为过渡阶段抽水蓄能电站的成本； $R_{\text{fixed}}$ 为抽水蓄能电站建设、运行、维护等固定投入； $P_{\text{market},t}$ 为 $t$ 时刻抽水蓄能电站在现货市场的节点出清电价，由市场形成； $Q_{\text{pump},t}$ 为 $t$ 时刻抽水蓄能电站在现货市场购入的电量，根据市场供需形势自主购电； $R_{\text{opportunity}}$ 为抽水蓄能电站参与辅助服务市场而在现货市场上损失的收益。

过渡阶段抽水蓄能电站收入

$$C_{\text{transition}} = C_{\text{capacity,transition}} + \sum P_{\text{market},t} \cdot Q_{\text{grid},t} + C_{\text{service}} \quad (4)$$

式中： $C_{\text{transition}}$ 为过渡阶段抽水蓄能电站的收入； $C_{\text{capacity,transition}}$ 为抽水蓄能电站的容量电费，由政府部门根据规则定期核定，扣除参与辅助服务市场的容量； $P_{\text{market},t}$ 为 $t$ 时刻抽水蓄能电站在现货市场的电价，由市场形成； $Q_{\text{grid},t}$ 为 $t$ 时刻抽水蓄能电站在现货市场的上网电量，根据市场电价情况自主发电； $C_{\text{service}}$ 为抽水蓄能电站在辅助服务市场上的收益。

### 2.3 成熟阶段抽水蓄能电站价格机制

成熟阶段是指电力现货市场、中长期市场、容量市场、输电权交易等均有效运行,发电侧与用户侧建立高效互动机制。该阶段的抽水蓄能电站自主运营,不再委托电网企业运营,既可以参与电力现货市场,又可以参与容量市场。成熟阶段的电力市场下,抽水蓄能电站可采用价格机制如图3所示。

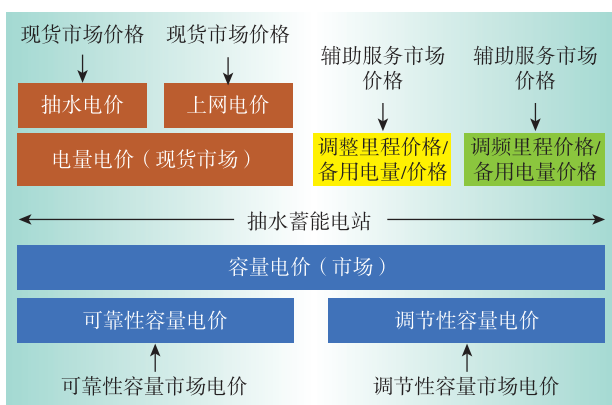


图3 成熟阶段抽水蓄能电站价格机制  
Fig. 3 Price mechanism of pumped-storage hydroelectricity in mature stage

成熟阶段抽水蓄能电站成本

$$R_{\text{mature}} = R_{\text{fixed}} + \sum P_{\text{market},t} \cdot Q_{\text{pump},t} + R_{\text{opportunity}} \quad (5)$$

式中： $P_{\text{market},t}$  为  $t$  时刻抽水蓄能电站在现货市场的节点出清电价，由市场形成； $Q_{\text{pump},t}$  为  $t$  时刻抽水蓄能电站在现货市场购入的电量，根据市场供需形势自主购电； $R_{\text{mature}}$  为成熟阶段抽水蓄能电站的成本。

成熟阶段抽水蓄能电站收入

$$C_{\text{mature}} = C_{\text{capacity,mature}} + \sum P_{\text{market},t} \cdot Q_{\text{grid},t} + C_{\text{service}} \quad (6)$$

式中： $C_{\text{mature}}$  为成熟阶段抽水蓄能电站的收入； $C_{\text{capacity,mature}}$  为抽水蓄能电站参与容量市场获得的收益； $P_{\text{market},t}$  为  $t$  时刻抽水蓄能电站在现货市场的电价，由市场形成； $Q_{\text{grid},t}$  为  $t$  时刻抽水蓄能电站在现货市场的上网电量，根据市场电价情况自主发电； $C_{\text{service}}$  为抽水蓄能电站在辅助服务市场上的收益。

### 3 抽水蓄能电站成本疏导及分摊机制

#### 3.1 抽水蓄能电站成本疏导原则

抽水蓄能电站的功能是保安全、促清洁、提性能等，主要服务于电力系统的公共管理<sup>[10-12]</sup>。从这个角度看，在电力市场初期阶段、过渡阶段、成熟阶段中，抽水蓄能电站的从市场中获得的收入不一定能够覆盖其成本，剩余部分仍然需要疏导，但在不同阶段疏导的金额大小不同。抽水蓄能电站有电量成本和容量成本两个维度，一般以容量成本为主<sup>[13-16]</sup>。考虑经济发展、承受能力、物价水平等因素，抽水蓄能电站成本疏导应遵循以下几个原则。

① 抽水蓄能电站的容量电费分摊应以抽水蓄能电站容量分配为依据；② 抽水蓄能电站的容量电费分摊不影响对抽水蓄能电站在其服务区域内的整体优化经济调度；③ 抽水蓄能电站的容量电费分摊应考虑各地区的物价水平、经济发展、承受能力。

#### 3.2 抽水蓄能电站成本疏导方式

##### 3.2.1 成本疏导的单一方式

根据现有的抽水蓄能电站情况，提出以下6种成本疏导方式。

(1) 按既有分电比例分摊，即按往年一致延续的分电比例分摊抽水蓄能电站成本，这种分配方式与电网调度运行方式不存在关联模型为

$$K_1 = S_i / \sum S_i \quad (7)$$

式中： $S_i$  为  $i$  省分电量。

(2) 按实际售电量比例分摊，即按照区域内各省实际售电量比例分摊成本，可将电站成本均衡疏导至各省，费用传导压力较小模型为

$$K_2 = Q_i / \sum Q_i \quad (8)$$

式中： $Q_i$  为  $i$  省售电量。

(3) 按投资比例分摊，即按各省投资关系的固定比例享受抽水蓄能电站容量权益，并分摊运行成本，该方式无法使用区域外单位兴建的电站模型为

$$K_3 = M_i / \sum M_i \quad (9)$$

式中： $M_i$  为  $i$  省投资金额。

(4) 按调峰缺口比例分配，即按照前一年区域内各省级电网的调峰缺口比例进行容量分配，运行成本按该容量分摊至相应省份模型为

$$K_4 = P_i / \sum P_i \quad (10)$$

式中： $P_i$  为  $i$  省调峰缺口电量。

(5) 由省级电网独立承担，主要适用于省级电网与区域电网弱连接，抽水蓄能电站的容量适宜在所在省内消纳，相关运行成本也由该省承担。

(6) 以自担自用为基础并配合省间交易，即区域内各省均有抽水蓄能电站，优先服务于本省调度需求，在遵循有关规则下，剩余容量纳入省间交易。

上述的6种分摊方式具有一定的实践基础和理论基础，针对某一具体的抽水蓄能电站成本疏导方式，需要按照有关政策，结合当地经济发展水平和电力市场发展情况协商确定。由于方式(1)、方式(3)未考虑电量和容量因素，适用于市场化初期阶段；方式(2)、方式(4)、方式(5)考虑电量和容量因素，适用于市场过渡时期和成熟时期；方式(6)是将满足省内需求后的剩余容量进入市场交易，适用于市场成熟阶段。

##### 3.2.2 成本疏导的组合方式

我国电网分华北、东北、华中、华东、西北、西南、华南等区域，各区域存在源网荷储特性的差异，对于某些区域电网，对抽水蓄能电站的需求较多，影响的因素相对较多。考虑到承担能力、峰谷差、促消纳、保安全等因素，将全社会用电量  $Q$ 、投资比例  $M$ 、负荷最大峰谷差  $P$ 、新能源装机规模  $N$ 、保

安全电量  $R$  等方面进行量化,并按照相应的系数计算得出相应的分摊比例。结合式(7)一式(10),区域电网内各省级电网公司分摊的比例计算公式如下

$$K = k_1 Q_i / \sum Q_i + k_2 M_i / \sum M_i + k_3 P_i / \sum P_i + k_4 N_i / \sum N_i + k_5 R_i / \sum R_i \quad (11)$$

式中:  $k_1, k_2, k_3, k_4, k_5$  为系数,取值范围为  $0 < k_i < 1$  ( $i = 1, 2, 3, 4, 5$ )。上述系数反映了在该区域内抽水蓄能电站在全社会用电量  $Q$ 、投资比例  $M$ 、负荷最大峰谷差  $P$ 、新能源装机规模  $N$ 、保安全电量  $R$  等方面的优先级,针对某个具体的抽水蓄能电站,需综合考虑各受益的主体之间的投资比例、负荷峰谷差、新能源装机规模、保安全电量等因素,由专家研讨确定。

#### 4 算例分析

假设某抽水蓄能电站总装机容量为 1 800 MW,年发电量 31.6 亿 kWh,年抽水用电量 42.86 亿 kWh,燃煤基准价是 0.4 元/kWh,效率为 80%,人工费和运维费相对固定,一般不随市场化而波动变化,假设为 0.5 亿元。

在初期阶段,根据式(1)可知,抽水蓄能电站成本计算为 14.22 亿元。由式(2)可知,抽水蓄能电站的收入包括容量电费和电量电费,电量电费为 12.64,容量电费由政府核定,通常考虑抽水支出与发电收入之间的差额,再加上人工成本和运维费等,由于为弥补抽水蓄能电站的亏损,则容量电费为 1.58 亿元。此时总收支保持平衡。

在过渡阶段,抽水蓄能电站参与电力现货市场,假设 60% 的容量仍由政府核定,其余参与市场化,由于抽水蓄能电站具有比火电机组更高的调节能力,可在现货价格高时发电,现货价格低时抽水,假设上网电价比基准价高 20%,抽水电价比基准价低 20%,则电量收入为 13.651 2 亿元,支出为 13.715 2 亿元,容量电费由政府核定,参考前面的方式,容量电费为 0.57 亿元。该阶段的抽水蓄能电站还能参与调频、备用等辅助服务市场,假设辅助服务价格为 60 元/MW,机会成本 10 元/MW,则辅助服务收入为 3.6 万元。此时收入比支出多 603.6 万元,比初期阶段获得相对更多的收益,大大提高抽水蓄能电站行业发展的积极性。

在成熟阶段,抽水蓄能电站全部容量进入市场,此处仍假设上网电价比基准价高 20%,抽水电价比基准价低 20%,根据式(6),电量收入 15.17 亿元,支出为 13.72 亿元,此时光电量部分即可做到略有盈余 1.45 亿元。辅助服务收入为 9 万元,此时总收入比总支出多 0.950 9 亿元,极大地提高抽水蓄能电

站的积极性。成熟阶段抽水蓄能电站价格机制如图 4 所示。

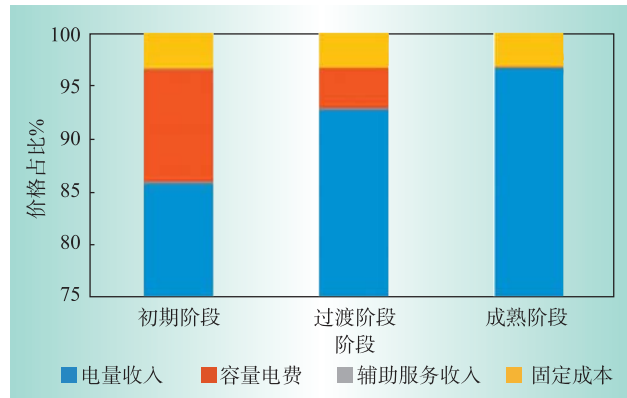


图 4 成熟阶段抽水蓄能电站价格机制

Fig. 4 Price mechanism of pumped-storage hydroelectricity in different stages

从上面的算例可以看出,随着抽水蓄能电站逐步参与市场,其运营费用由政府核定转为通过市场方式,抽水蓄能电站依靠自身良好的调节性能,在市场价格相对较高时发电,在价格相对较低时抽水,能够弥补电站损耗带来的亏损,再加上辅助服务市场和容量市场,完全可以独立运营,不需要依靠政府核定容量费用,以市场方式实现自负盈亏,这种价格机制对整个行业而言无疑具有积极意义。

#### 5 结束语

抽水蓄能电站对保障电网安全稳定运行、促进清洁能源消纳具有积极作用,但其成本分摊方式一直是各方关注焦点。本文主要分析了在电力市场不同发展阶段下,抽水蓄能电站能够参与市场的方式,并据此建立抽水蓄能电站的成本和收入模型,收入不能覆盖成本的部分纳入疏导范围。根据有关政策和国内外典型做法,建议成本疏导需坚持的 3 个原则,考虑电网调度、受益方利益的情况下,提出分摊的单一式和组合式两类方式,为各地抽水蓄能成本疏导提供思路,对促进我国抽水蓄能电站的健康发展提供参考。D

#### 参考文献:

- [1] 夏天. 促进新能源消纳的电力市场机制及政策优化模型研究[D]. 北京:华北电力大学, 2020.  
XIA Tian. Electric power market mechanism and policies optimization model to promote new energy consumption[D]. Beijing:North China Electric Power University, 2020.
- [2] 赵文天. 适应新能源高占比电网的频率稳定策略研究[D].

- 北京:华北电力大学,2021.
- ZHAO Wentian. Research on frequency stability strategy of power grid under high new energy proportion[D]. Beijing:North China Electric Power University, 2021.
- [3] 李东辉,时玉莹,李扬. 储能系统在能源互联网中的商业模式研究[J]. 电力需求侧管理,2020,22(2):77-82.
- LI Donghui, SHI Yuying, LI Yang. Research on business model of energy storage system in energy Internet [J]. Power Demand Side Management, 2020, 22(2):77-82.
- [4] 张经纬,黄宁馨,陈柏柯,等. 电力市场环境下抽水蓄能参与电能市场的优化运行策略[J]. 电力建设,2020,41(4):45-52.
- ZHANG Jingwei, HUANG Ningxin, CHEN Baike, et al. Optimal operation strategy for pumped-storage power station in energy market under power market environment[J]. Electric Power Construction, 2020, 41(4):45-52.
- [5] 宋自飞. 抽水蓄能电站在电力系统和电力市场中的功能定位研究[J]. 大众用电,2018,32(8):22-23.
- SONG Zifei. Functional positioning of pumped storage power stations in power systems and electricity markets[J]. Popular Utilization of Electricity. 2018, 32(8):22-23.
- [6] 阳婷婷,李晓刚,邹斌,等. 促进灵活性资源的辅助服务市场分析[J]. 电力系统保护与控制,2023,51(7):73-83.
- YANG Tingting, LI Xiaogang, ZOU Bin, et al. A analysis of an ancillary service to promote flexible resources [J]. Power System Protection and Control, 2023, 51(7):73-83.
- [7] 陈远扬,李光辉,路建明,等. 抽水蓄能机组参与湖南电网低谷调峰特性的研究分析[J]. 湖南电力,2015(4):31-35.
- CHEN Yuanyang, LI Guanghui, LU Jianming, et al. Research on characteristics of peak regulation in valley time with the participation of pumped storage units in Hunan power grid[J]. Hunan Electric Power, 2015(4):31-35.
- [8] 罗开颜,王睿,刘庆,等. 国外抽水蓄能电站盈利模式探析[J]. 中国能源,2022,44(7):16-23.
- LUO Kaiyan, WANG Rui, LIU Qing. The analysis of the business models of foreign pumped storage hydro plants[J]. Energy of China, 2022, 44(7):16-23.
- [9] 钟桦,应志玮,吕征宇,等. 抽水蓄能电量认购交易机制研究[J]. 电力需求侧管理,2017,19(5):1-7.
- ZHONG Hua, YING Zhiwei, LYU Zhengyu, et al. Research on centralized bidding mechanisms for pumped storage capacity [J]. Power Demand Side Management, 2017, 19(5):1-7.
- [10] 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),2021,48(6):71-80.
- YANG Hongji, ZHOU Ming, ZHANG Mingyang, Operational mechanism and cost-benefit analysis of pumped storage plant in power market environment [J]. Journal of North China Electric Power University, 2021, 48(6):71-80.
- [11] 黄庶,林舜江,刘明波. 含风电场和抽水蓄能电站的多目标安全约束动态优化调度[J]. 中国电机工程学报,2016,36(1):112-121.
- HUANG Shu, LIN Shunjiang, LIU Mingbo. Multi-objective security constrained dynamic optimal dispatch with wind farms and pumped storage stations [J]. Proceedings of the CSEE, 2016, 36(1):112-121.
- [12] 梁亮,李普明,刘嘉宁,等. 抽水蓄能电站自主调频控制策略研究[J]. 高电压技术,2015,41(10):3288-3295.
- LIANG Liang, LI Puming, LIU Jianing, et al. Study on the control strategy of pumped storage power station for frequency regulation [J]. High Voltage Engineering, 2015, 41(10):3288-3295.
- [13] 张钰. “双碳”目标下抽水蓄能电价政策研究——以沂蒙抽水蓄能电站项目为例[J]. 价格理论与实践,2021,450(12):35-37,158.
- ZHANG Yu. Research on the price policy of pumping storage power under the target of “double carbon”—lake Yimeng pumping water storage power station project as an example[J]. Price:Theory & Practice, 2021, 450(12):35-37, 158.
- [14] 周祥赋. 电力市场化形势下抽水蓄能电站成本回收机制研究[J]. 价格月刊,2018,(4):92-94.
- ZHOU Xiangfu. Research on cost recovery mechanism of pumped storage power station under the situation of power marketization [J]. Prices Monthly, 2018, (4):92-94.
- [15] 柳洋,何永秀,李谟兴,等. 市场环境下抽水蓄能电站的价格市场衔接机制设计与效益评估[J]. 现代电力,2023,40(1):42-49.
- LIU Yang, HE Yongxiu, LI Moxing, et al. Design of price market linkage mechanism and economic benefit evaluation of pumped storage power station under the power market environment [J]. Modern Electric Power, 2023, 40(1):42-49.
- [16] 刘树杰,杨娟. 抽水蓄能电力产品的分类、社会属性与成本分摊[J]. 电力技术经济,2009,21(4):1-3,15.
- LIU Shujie, YANG Juan. Category, social attributes and cost allocation of electric power products of the pumped-storage power plant [J]. Electric Power Technologic Economics, 2009, 21(4):1-3, 15.

#### 作者简介:

谢道清(1980),男,安徽合肥人,学士,高级会计师,主要从事财务管理等工作;

张茂(1984),男,安徽六安人,硕士,高级会计师,主要从事电价管理和政策研究等工作;

刘思佳(1985),男,北京人,硕士,高级工程师,主要从事电力和能源价格研究等工作。

(责任编辑 于丽芳)