

抽水蓄能电站能耗管理机制研究及政策建议

周旭健, 马攀, 陈丽君*, 吴洁珍, 韩刚, 何恒, 冯赫

(浙江省发展规划研究院 能源与环境研究所, 浙江 杭州 310030)

摘要: 随着碳达峰、碳中和战略的深入实施, 光伏、风电等新能源呈现出超常规、跨越式的发展态势。储能可以提升新能源的并网和消纳能力, 成为支撑光伏和风电大规模发展的重要技术手段。在各种储能技术中, 抽水蓄能是一种技术成熟、经济性优越、具有大规模开发条件的储能技术, 已成为构建新型电力系统的关键要素。近年来, 我国抽水蓄能电站加快了发展速度, 无论是已建成的还是在建的电站规模均居世界首位。由于抽水蓄能电站运行过程中存在能量损失, 按照现行统计考核制度, 这部分能耗主要计入项目所在地, 将对地方的能耗双控工作产生不利影响。本研究在分析抽水蓄能电站能耗来源基础上, 详细分析了当前典型容量抽水蓄能电站的能耗强度和总量, 以及统计考核机制的情况及存在的问题, 并对不同考核方案进行利弊分析。最终, 基于抽水蓄能电站的功能定位和服务对象, 按照“谁受益, 谁承担”原则, 提出了优化抽水蓄能电站能耗考核机制的政策建议, 对促进抽水蓄能电站可持续发展具有现实意义, 同时也为新型储能电站规模化发展中面临的能耗管理问题提供借鉴参考。

关键词: 抽水蓄能; 能耗管理; 考核机制; 政策建议

中图分类号: X24

文献标识码: A

Research and policy recommendations on energy consumption management mechanism of pumped storage power station

ZHOU Xujian, MA Pan, CHEN Lijun*, WU Jiezheng, HAN Gang, HE Heng, FENG He
(Research Department of Energy and Eco-Environment, Zhejiang Development & Planning Institute, Hangzhou 310030, China)

Abstract: With the deep implementation of the carbon peak and carbon neutral strategy, photovoltaic, wind power, and other new energy sources have experienced an extraordinary and rapid development trend. Energy storage technology, which enhances the grid integration and absorption capacity of new energy, plays a crucial role in supporting the large-scale development of photovoltaic and wind power. Pumped storage, as a mature and economically viable energy storage technology with favorable conditions for large-scale deployment, has become a key alternative in constructing a new power system. In recent years, China has accelerated the development of pumped storage power stations, ranking first worldwide in both completed and under-construction projects. However, operating pumped storage power stations includes energy losses. Under the current statistical assessment system, this energy consumption is primarily attributed to the project location, impeding local efforts in energy consumption control. Building upon an analysis of the sources of energy consumption in pumped storage power stations, this study provides a detailed examination of the energy consumption intensity and overall amount of typical capacity pumped storage power stations, as well as the existing statistical assessment mecha-

收稿日期: 2023-12-21

DOI: 10.20078/j.eep.20240112

基金项目: 浙江省重点研发计划资助项目 (2022C03154)

作者简介: 周旭健 (1988—), 男, 浙江兰溪人, 高级工程师, 主要从事能源领域工程咨询、课题研究和规划编制等咨询工作。

E-mail: 476611979@qq.com

通讯作者: 陈丽君 (1984—), 女, 山东高密人, 高级工程师, 主要从事能源及应对气候变化相关政策研究、规划编制及项目咨询等工作。

E-mail: 270551231@qq.com

nisms and associated issues. Various assessment schemes are analyzed for their pros and cons. Finally, considering the functional positioning and beneficiaries of pumped storage power stations, this paper proposes policy recommendations to optimize the evaluation mechanism for energy consumption in pumped storage power stations, adhering to the principle of "who benefits, who bears the burden". These suggestions hold practical significance in promoting the sustainable development of pumped storage power stations and can also serve as a reference for managing energy consumption in the large-scale development of novel energy storage power stations.

Keywords: Pumped storage; Energy consumption management; Evaluation mechanism; Policy recommendations

0 引言

我国围绕碳达峰、碳中和目标,正积极构建新能源占比逐渐提高的新型电力系统,加快推进风电、光伏等可再生能源规模化开发。为达到“十四五”末可再生能源发电装机占比超过 50%,2030 年风电和太阳能发电总装机容量达到 12 亿 kW 以上的目标,新能源将呈现超常规、跨越式发展。随着新能源占比的不断提升,新能源对系统调节资源的需求越来越大,尤其是大规模“靠天吃饭”的风电、光电并网后,电力系统将呈现高电力电子化的特征,风电、光电在高峰时段难以发挥顶峰作用,在极端天气条件下,新能源出力受限,电力系统安全面临严峻挑战^[1-2]。

储能是未来电网的重要组成环节,是可再生能源大规模发展和并网的重要支撑,能够有效解决电网运行安全、新能源消纳、电力电量平衡等方面的突出问题。在目前诸多储能技术中,抽水蓄能是技术最成熟、全生命周期碳减排效益最显著、经济性最优且具最大规模开发条件的电力系统灵活调节电源^[3]。加快发展抽水蓄能,是构建以新能源为主体的新型电力系统的迫切要求,是保障电力系统安全稳定运行的重要支撑,是可再生能源大规模发展的重要保障^[4-7]。

截至 2021 年底,我国已投产抽水蓄能电站总规模 3 639 万 kW, 占我国储能总规模的 90% 以上,但在我国电力系统中的比例仅为 1.5%, 远低于美、德、法、意、日等国家(>10%)^[8-9], 如图 1 所示。根据《抽水蓄能中长期发展规划(2021—2035 年)》,我国在建和规划规模分别为 5 513 万 kW、30 544 万 kW, 抽水蓄能电站发展进入快车道^[9]。

抽水蓄能电站单体投资大,能有效带动地方投资和经济发展,项目建设受地方政府欢迎,但是抽水蓄能电站在实现能量转换时存在能量损失,

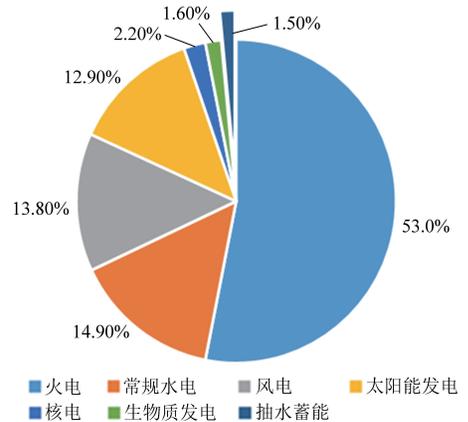


图 1 2021 年我国各类电源装机占比^[8]

Fig. 1 Percentage of installed capacity of various power sources in China in 2021^[8]

即抽水所耗电量大于放水所发电量,通常大型抽水蓄能电站综合效率约为 75%~80%。目前,在能源统计报表制度中,抽水蓄能电站能耗(综合能源消费量)明确按“购网电量”与“上网电量”差额乘以电力等价折标系数计算得到^[10]。抽水蓄能电站的年能耗总量大、能耗强度高,对地方的能耗双控工作产生不利影响。

1 抽水蓄能电站能耗产生来源

抽水蓄能发电技术和水力发电技术是一脉相承的,底层技术都是水的势能和电能的相互转换。与常规水力发电站不同的是,抽水蓄能电站多了一道“抽水”流程,即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,实现电能的储存和释放。通常一座抽水蓄能电站由两座海拔高度不同的水库、水轮机、水泵以及配套的输水系统等组成。

抽水蓄能电站在电力系统中既是电力用户,也是水力发电站,具备“双重”身份。在电网负荷低谷时段,抽水蓄能电站利用电能抽水,及时存储系统内多余电能;在电网用电高峰时段,抽水蓄能

电站等同常规水电站,放水发电为电网提供顶峰的高价值电能。由于在实现能量转换时存在能量损失,抽水蓄能电站的抽水电量(“购网电量”)将大于所发电量(“上网电量”)^[11-12]。据《抽水蓄能产业发展报告 2021》统计,全国主要已投运抽水蓄能电站平均综合利用小时数为 2 640.7 h,电站抽水启动次数 42 540 台次,发电启动次数 40 006 台次,抽水发电次数同比增加超约 15%^[8]。目前,我国大型抽水蓄能电站综合效率约为 75%~80%,即抽用 4~5 度电、发出 3~4 度电。抽水蓄

能电站每一个“抽水-放水”的循环中都要损失 20%~25%左右的能量,循环越多(调度越频繁),能量损失越大。

2 抽蓄蓄能电站能耗分析

选取 5 座分布于不同省份、投运多年的典型抽水蓄能电站。具有代表性的目前常见的抽水蓄能电站配置容量分别为 100、200、150 和 180 万 kW。对其 2016—2021 年的运行数据进行统计分析,见表 1。

表 1 5 座大型抽水蓄能电站能耗情况表(2016—2021)

Table 1 Energy consumption of five large-scale pumped storage power stations(2016—2021)

抽水蓄能电站	装机容量/万 kW	发电小时数/h	能耗总量/万 tce	万元增加值能耗/(tce/万元)	单位发电量能耗/(tce/万 kW·h)	综合效率/%
A	180	948~1 681 (1 410)	12.96~22.96 (19.21)	1.72~2.34 (2.03)	0.742~0.773 (0.757)	78.7~79.4
B	150	1 272~1 551 (1 336)	13.42~16.60 (14.18)	2.88~3.54 (3.24)	0.699~0.714 (0.708)	80.0~80.2
C	120	1 345~1 768 (1 454)	11.12~14.46 (12.13)	3.03~4.13 (3.50)	0.681~0.710 (0.695)	81.2~81.7
D	100	430~1 367 (770)	3.34~9.51 (5.77)	1.07~3.13 (1.64)	0.696~0.797 (0.749)	80.4~81.8
E	100	488~1 575 (835)	3.96~11.38 (6.37)	0.99~3.74 (1.66)	0.717~0.828 (0.763)	79.1~81.4

注:1.电站 B 在 2016 年底全部机组投运,其年平均值的计算取值范围为 2017—2021 年;

2.能耗=(购网电量-上网电量)×电力等价折标系数,本表电力等价折标系数统一采用 2.87 吨 tce/万元;

3.括号中的数值为平均值

2.1 能耗强度

万元工业增加值能耗是反映企业能源经济效益高低的综合指标。在上述统计期间,万元工业增加值能耗不同年份间波动较大,主要受到工业增加值受项目收益方式(租赁、单一电价或两部制电价)、电价水平等影响^[13-14]。但总体看,万元工业增加值能耗普遍较高。以东部某省为例,该省在“十三五”和“十四五”期间工业项目的能效准入标准分别为 0.60 tce/万元和 0.52 tce/万元,抽水蓄能电站的能耗强度要远高于该标准。

综合效率、单位发电量能耗是反映电站物理能效的指标。一般情况下,综合效率高,则单位发电量能耗低。5 座抽水蓄能电站的综合效率在 78.7%~81.8% 以上,高于行业平均水平。单位发电量能耗在 0.681~0.828 tce/万 kW·h,平均为 0.732 tce/万 kW·h,整体波动相对不大,如图 2 所示。

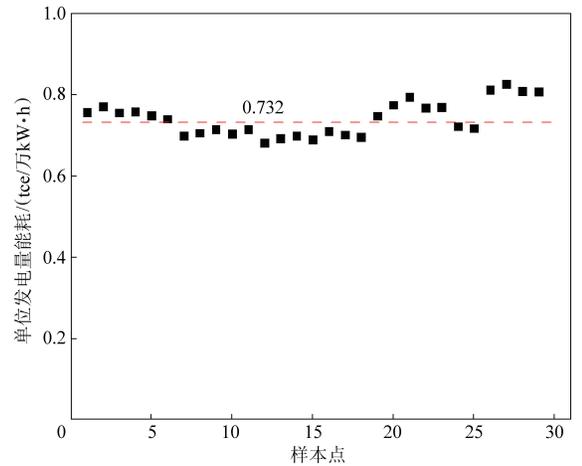


图 2 单位发电量能耗数据分布图

Fig. 2 Distribution of energy consumption per unit power generation

2.2 能耗总量

根据抽水蓄能电站能耗本质,电站能耗总量与其装机容量和调度频次有关,装机越大、调动越

频繁,能耗量则越大。一座 120 万 kW 装机容量的抽水蓄能电站,年运行 1 400 h 左右,其能耗量超过 10 万 tce,180 万 kW 抽水蓄能电站同等条件能耗量可达近 20 万 tce,堪比水泥、化工等大型高耗能的工业项目。

3 抽水蓄能能耗考核机制

3.1 机制现状

根据国家发展改革委《不单独进行节能审查的行业目录》(发改环资规〔2017〕1975号),抽水蓄能电站项目建设时,建设单位可不编制单独的节能报告,只需在项目可行性研究报告或项目申报报告中对项目能源利用情况、节能措施情况和能效水平进行分析^[15]。节能审查机关对抽水蓄能电站不再单独进行节能审查,不再出具节能审查意见。因此,抽水蓄能电站的建设并不受地方能耗指标的制约,能耗的影响主要体现在电站建成投运后。

3.1.1 对属地政府的考核

在抽水蓄能电站建成投运后,类同一般工业耗能项目,国家将抽水蓄能电站能耗统计在项目所在省(自治区、直辖市)并进行能耗考核,各地区则按“省-市-县”进行逐级考核。以浙江省为例,目前省内已建成投运的抽水蓄能电站年能耗量基本统计在项目所在的县(市、区),并相应进行考核。

3.1.2 对电站的考核

基于抽水蓄能电站“能耗总量高、能耗强度高”的特点,项目所在地为完成能耗双控目标,会对抽水蓄能电站的运行进行一定的约束,并相应进行考核。部分地方采用将抽水蓄能电站归类为“高耗能”工业项目的方法,对其设置年度最高用能和能耗强度下降率目标;部分地方以抽水蓄能电站的综合效率代替能耗强度指标进行考核,电站达到上述两个指标即完成考核。

3.2 存在问题

目前的统计考核机制存在如下三点问题:

(1)抽水蓄能电站调度运行完全服从于整个区域电力系统的安全稳定、清洁低碳和高效经济运行需求,电站的节能效益体现在优化区域内燃煤机组运行工况、减少调峰燃煤/燃气电源建设、促进新能源消纳和保持核电稳定运行等环节^[16]。以华东电网为例,华东区域用电负荷高、峰谷差大,对调节性的需求高;增量电力主要来自于新增可再生能源和特高压外来电,调峰缺口大。

华东电网四省一市中,江苏和上海抽水蓄能站点资源少,浙江和安徽站点资源相对丰富且建设条件好,两省在满足自身需求的基础上,同时承担支援江苏和上海调峰需求^[17]。抽水蓄能电站发挥“单体耗电,全网节能”作用,其能耗指标仅由项目所在地单独承担的方式有待进一步优化。

(2)在碳达峰、碳中和要求下构建新型电力系统,电网积极消纳风电、光伏等新能源,峰谷变化进一步加大。《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》(发改价格〔2021〕633号)强调“抽水蓄能电站要着眼保障电力供应、确保电网安全、促进新能源消纳等”“对抽水蓄能电站作用发挥不充分的,及时责令整改,并依法进行处置”^[18]。提高抽水蓄能电站利用率是电力系统安全经济运行的现实需求,符合我国加快构建清洁低碳安全高效的能源体系要求。抽水蓄能的工作原理决定了电站的利用率越高,能耗也相应越高,若限制抽水蓄能电站的能耗相当于限制了其作用和功能的发挥,则与建设初衷相矛盾。

(3)抽水蓄能电站能耗受电网调度影响,对地方能耗双控的影响具有不可控性,部分地区采取的能耗考核方式缺乏科学性和操作性。抽水蓄能电站服务于区域电网,其运行调度由电网系统控制,当区域峰谷差大、电力保供压力大的时候,抽水蓄能电站调度频繁、运行强度大,能耗总量和强度也相应提高。项目所在地政府通过设置年度能耗总量和强度下降等目标来对抽水蓄能电站进行约束,这种方式既不具备操作性,也不科学。随着未来大量新增抽蓄项目的建设投运,抽水蓄能电站对地方能耗双控的影响将逐渐放大,在现行的考核制度下,地方政府,特别是项目所在地区县一级政府基本无法完成能耗双控目标。

3.3 优化方案对比分析

基于上述分析,对抽水蓄能电站的能耗统计和考核给出如下方案,并对其优劣性进行分析。

3.3.1 存量抽水蓄能电站

“存量抽水蓄能电站”是指“十四五”前就已经建成投运的电站项目。该类项目的能耗已在“十三五”期间释放,纳入各地的能耗总量基数中,对各省份“十四五”能耗双控考核的影响小。针对存量抽水蓄能项目,国家对地方的统计和考核方式可以维持不变,即其能耗列入项目所在地的省(直辖市、自治区)的能耗统计和考核中。

3.3.2 增量抽水蓄能电站

“增量抽水蓄能电站”是指“十四五”及之后建成投运的电站项目。这一类的抽水蓄能电站项目数量多,装机容量大。有如下几种方案可供考虑选择。

(1) 区域共担方案

由于优质的抽水蓄能电站站址分布不均匀,一些省份缺乏足够的调峰电源,严重影响了电力运行安全和可再生能源作用的发挥,需要对区域电网内其他省份的抽水蓄能电站进行调用。据相关数据,浙江省到 2035 年抽水蓄能规模总需求约 4 000 万 kW,其中 2 300 万 kW 满足省内需求,1 700 万 kW 满足同为华东电网的江苏和上海的需求。针对服务于多个省份的抽水蓄能电站(容量),能耗和工业增加值统计在当地,但在“双控”考核时,按照“谁受益,谁承担”原则,将抽水蓄能电站的能耗和增加值进行省间分配。分配比例参照项目核准文件明确的机组容量比例。

该方案的优点是能耗量在跨省间共担,可以一定程度减轻抽水蓄能电站所在省份的双控考核压力,同时可以促进抽水蓄能电站更合理地规划布局,按需建设,避免盲目投资;缺点是抽水蓄能电站能耗的统计和考核存在两个口径,一定程度增加了能耗双控考核工作的复杂性。

(2) 沿用当前方案

沿用当前方案,即其能耗由所在省份独自承担,省内统筹解决。该方案的优点是不需要对现行的统计考核方式做调整,简单易行;缺点是并未解决抽水蓄能电站建设运营中能耗约束问题,且随着未来抽水蓄能电站的快速增多,其能耗的约束性会进一步放大。

根据《抽水蓄能中长期发展规划(2021—2035年)》,“十四五”抽水蓄能项目投运最多的省份分别为 Z 省(530 万 kW)、F 省(380 万 kW)、H 省(360 万 kW)、S 省(300 万 kW)、G(240 万 kW);“十五五”运装机量分别为 Z 省(2 669.5 万 kW)、F 省(589.8 万 kW)、H 省(1 080 万 kW)、S 省(820 万 kW)、G 省(980 万 kW)。

以单位发电量能耗 0.7 tce/万 kW·h,年发电小时 1 400 h 估算,测算抽水蓄能电站能耗增量;并根据《固定资产投资节能审查系列工作指南(2018 年本)》中方法^[19],测算项目增加值能耗影响各省万元 GDP 能耗的比例($n\%$),见表 2 和表 3。其新增能耗量将对各省“十五五”的能耗强

度指标产生较大影响。

表 2 “十四五”新增抽蓄能耗对主要省份的影响

Table 2 Impact of the new pumped storage energy consumption in the 14th Five-Year Plan on the main provinces

省份	新增抽蓄 装机/万 kW	能耗/ 万 tce	能耗影响万元 GDP 能耗比例/ $n\%$	影响程度
Z	530	51.9	0.18	存在一定影响
F	380	37.2	0.24	存在一定影响
H	360	35.3	0.08	影响较小
S	300	29.4	0.06	影响较小
G	240	23.5	0.06	影响较小

表 3 “十五五”主要省份新增抽水蓄能电站能耗预测情况

Table 3 Impact of the new pumped storage energy consumption in the 15th Five-Year Plan on the main provinces

省份	新增抽蓄 装机/万 kW	能耗/ 万 tce	能耗影响万元 GDP 能耗比例/ $n\%$	影响程度
Z	2 669.5	262	0.85	存在较大影响
F	589.8	58	0.33	存在较大影响
H	1 080.0	106	0.22	存在一定影响
S	820.0	80	0.15	存在一定影响
G	980.0	96	0.23	存在一定影响

(3) 国家单列方案

根据《抽水蓄能中长期发展规划(2021—2035年)》现状数据和目标,“十四五”新增投运抽水蓄能电站装机 2 951 万 kW,“十五五”新增装机 13 800 万 kW。按照单位发电量能耗为 0.7 tce/万 kW·h 测算,在不同发电小时数情况下,“十四五”时期全国新增抽水蓄能电站能耗为 248~372 万 tce,“十五五”时期全国新增抽水蓄能电站能耗为 1 159~1 739 万 tce,如图 3 所示。

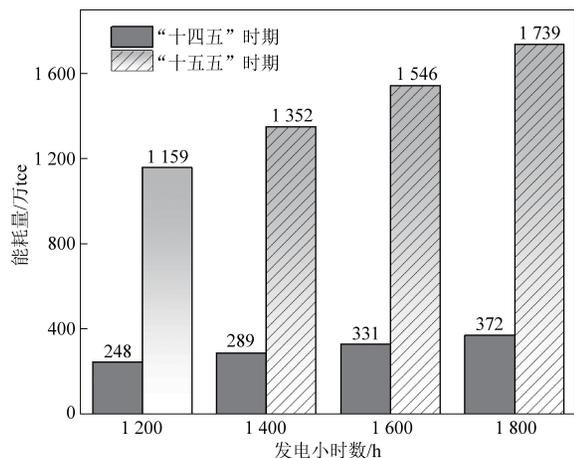


图 3 全国新增抽水蓄能电站能耗预测

Fig. 3 Forecast of energy consumption of newly-built pumped storage power stations in the country

4 政策建议

在国家不对抽水蓄能电站能耗进行单列的情况下,对抽水蓄能电站进行能耗考核时,可基于抽水蓄能电站的功能定位和服务对象,按照“谁受益,谁承担”的原则,对抽水蓄能电站能耗的考核机制进行优化。

(1)服务于多个省份的抽水蓄能电站(容量),其产生的能耗按容量比例进行省间共担,分担比例可以参照项目核准文件明确机组容量分摊比例。以浙江省湖州市安吉县长龙山抽水蓄能电站(210万kW)为例,按相关协议,2023年前该电站210万kW容量全部归属浙江省使用;2023年之后,该电站105万kW容量归属浙江省使用,105万kW容量归属江苏省使用。因此,在国家对地方进行能耗强度考核时,可以按照使用容量的比例对抽水蓄能电站的能耗和工业增加值分配,谁使用相应容量,谁承担对应能耗。

(2)由区域电网统一调度的抽水蓄能电站(容量),其产生的能耗建议由电网系统进行承担和统筹。目前已建和在建的抽水蓄能电站基本都是服务于区域电网,由电网公司进行统一调度。其发挥的功能与电力的变压、输配性质是一样的。因此,该种抽水蓄能电站(容量),其产生的能耗建议由电网系统进行承担和统筹,可参照电网变压和输配损耗进行统计和考核。省内电网损耗计入全省能耗,跨省电网损耗由全国统筹。

(3)服务于特定主体的抽水蓄能电站(容量),其产生的能耗由特定主体承担,记入被服务主体所在地的统计和考核。如由中核集团承建华安抽水蓄能电站项目(福建省漳州市),该项目是“核蓄一体化”项目,其核电站和抽水蓄能电站由同一家运营公司统一管理。抽水蓄能电站作为核电站的配套设施,承担调峰任务,完成电网下达的调峰、填谷、调频、调相要求,确保核电机组稳定在额定功率运行^[20]。抽水蓄能电站的抽水电量来自核电,发电量与核电捆绑,运营公司统筹调度抽水蓄能与核电机组的发电量,并负责统一核发抽水蓄能与核电站的各种成本、利润及还本付息。该类型项目抽水蓄能电站的能耗由核蓄一体运营主体承担,根据现有核电站能耗考核方式统筹解决,能耗纳入核电站项目所在地统计和考核。

(4)进入电力市场开展辅助服务的抽水蓄能电站(容量),其产生的能耗由抽水蓄能电站承担,

即采用现行的能耗统计和考核方式。《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)中明确,适应电力市场建设发展进程和产业发展实际需要,适时降低或根据抽水蓄能电站主动要求降低政府核定容量电价覆盖电站机组设计容量的比例,以推动电站自主运用剩余机组容量参与电力市场,逐步实现电站主要通过参与市场回收成本、获得收益,促进抽水蓄能电站健康有序发展。因此,对于进入市场开展辅助服务的抽水蓄能电站(容量),其受益主体为抽水蓄能电站,其产生的能耗由抽水蓄能电站承担,记入地方能耗统计和考核。

5 结论与展望

抽水蓄能电站具有调峰、调频、调压、系统备用和黑启动等多种功能,是电力系统的重要安全稳定调节电源之一。同时,随着电力市场化改革的加快推进,抽水蓄能电站将逐步进入电力辅助服务市场,强化与电力市场建设发展的衔接,由单一的系统调节电源向系统调节、市场辅助服务等多功能电源转变。因此,为了更好地发挥抽水蓄能电站在新型电力系统中的作用,体现其在区域电力系统中节能降碳价值,应基于其功能定位和服务对象,按照“谁受益,谁承担”的原则,对抽水蓄能电站能耗的考核机制进行优化。

此外,国家正有序推进能耗双控向碳排放双控转变,抽水蓄能电站支撑风电、光伏等新能源发展的价值将愈发凸显。为鼓励各省积极开展碳排放双控试点建设,对纳入国家碳排放双控试点的省份,可考虑将抽水蓄能电站纳入碳排放双控的考核,而不纳入能耗双控考核,更能科学地体现和发挥抽水蓄能电站促进可能生能源、核电等零碳能源发展,促进区域节能降碳的功能作用。

参考文献(References):

- [1] 国家发展改革委,国家能源局,财政部,等.关于印发“十四五”可再生能源发展规划的通知(发改能源[2021]1445号)[EB/OL].(2021-10-21)[2023-11-12].https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/tzgg/202206/t20220601_1326720.html.
- [2] 丁怡婷. 清洁低碳,能源结构这样转型[N].人民日报,2021-03-31(7).
- [3] 靳亚东,唐修波,赵杰君,等.我国抽水蓄能电站的现状与发展前景分析[A].抽水蓄能电站工程建设文集,2019:11-15.
- [4] 张宗亮,刘彪,王富强,等.中国常规水电与抽水蓄能技术创新与发展[J].水利发电,2023,49(11):1-6+114.

- ZHANG Zongliang, LIU Biao, WANG Fuqiang, et al. Innovation and development of conventional hydropower and pumped-storage technology in China [J]. Water Power, 2023, 49(11): 1-6+114.
- [5] 余贤华. 加强新形势下抽水蓄能发展研究, 高质量服务新型电力系统建设[J]. 水电与抽水蓄能, 2021, 7(6): 11-14.
YU Xianhua. Push forward the research on pumped storage development for high-quality contribution to the formation of new electric power system [J]. Hydropower and Pumped Storage, 2021, 7(6): 11-14.
- [6] 肖广磊, 王振明, 李晓雯, 等. “双碳”目标下抽水蓄能电站建设分析[J]. 水科学与工程, 2023, 2: 93-96.
XIAO Guanglei, WANG Zhenming, LI Xiaowen, et al. Analysis of pumped storage power station construction under the goal of double carbon [J]. Water Sciences and Engineering Technology, 2023, 2: 93-96.
- [7] 倪晋兵, 张云飞. 抽水蓄能在新型电力系统中发展的思考[J]. 水电与抽水蓄能, 2022, 8(6): 5-7.
NI Jinbin, ZHANG Yunfei. Consideration on the development of pumped storage in new power system [J]. Hydropower and Pumped Storage, 2022, 8(6): 5-7.
- [8] 水利水电规划总院, 中国水力发电工程学会抽水蓄能行业分会. 抽水蓄能产业发展报告(2021)[R]. 北京: 中国社会科学出版社, 2022.
- [9] 国家能源局. 抽水蓄能中长期发展规划(2021—2035)[EB/OL]. (2021-08) [2023-11-12]. http://zfxxgk.nea.gov.cn/1310193456_16318589869941n.pdf.
- [10] 国家发展改革委. 对十三届全国人大四次会议第3336号建议的答复[EB/OL]. (2021-10-17) [2023-11-12]. https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/jianyitianfuwen/qgrddbajyfwgk/202112/t20211217_1308373.html?state=123&state=123&state=123&state=123.
- [11] 李国强, 辛晟. 抽水蓄能电站能效分析[A]. 抽水蓄能电站工程建设文集, 2015: 27-31.
- [12] 张李, 孙帆. 抽水蓄能电站节能评估问题探讨[J]. 西北水电, 2018, 2: 5-8.
- ZHANG Li, SUN Fan. Study on energy conservation assessment of pumped storage power plant [J]. Northwest Hydropower, 2018, 2: 5-8.
- [13] 王科, 李泽文, 别朝红等. 抽水蓄能电站的电价机制及市场竞争模式研究[J]. 智慧电力, 2019, 47(6): 47-55.
WANG Ke, LI Zewen, BIE Zhaohong, et al. Price mechanism of pumped storage hydro plants and its participation model in power market [J]. Smart Power, 2019, 47(6): 47-55.
- [14] 王妍月. 利益相关者视角的抽水蓄能电站定价机制[J]. 水利经济, 2023, 41(2): 52-57.
WANG Yanyue. Research on pricing mechanism of pumped storage power station from stakeholder perspective [J]. Journal of Economics of Water Resources, 2023, 41(2): 52-57.
- [15] 国家发展改革委. 关于印发《不单独进行节能审查的行业目录》的通知(发改环资规〔2017〕1975号)[EB/OL]. (2017-11-15) [2023-11-12]. https://www.gov.cn/xinwen/2017-11/24/content_5242033.htm.
- [16] 王建军, 黄阮明, 杨增辉. 华东地区抽水蓄能电站的节能效益分析[J]. 华东电力, 2012, 40(4): 0613-0615.
WANG Jianjun, HUANG Ruanming, YANG Zenghui. Energy-saving benefits of pumped storage power station in east China [J]. East China Electric Power, 2012, 40(4): 613-615.
- [17] 赵佩兴, 吴世东. 抽水蓄能电站工程建设文集-华东电网抽水蓄能电站规划及布局分析[A]. 北京: 中国电力出版社, 2010: 21-24.
- [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(发改价格〔2021〕633号)[EB/OL]. (2021-4-30) [2023-11-12]. https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202105/t20210507_1279341_ext.html.
- [19] 国家发展改革委节约资源和环境保护司, 国家节能中心. 固定资产投资项目节能审查系列工作指南(2018年本)[G]. 北京: 中国市场出版社, 2018.
- [20] 新华网. 中核集团“核蓄一体化”抽蓄项目主体工程开工[EB/OL]. (2022-11-25) [2023-11-13]. https://www.nea.gov.cn/2022-11/25/c_1310679710.htm.