

# 联合运行式抽水蓄能电站的建设运行现状及发展探究

李庆<sup>1</sup> 康森<sup>2</sup>

中国水利水电第三工程局有限公司

**摘要:**抽水蓄能,为一类蓄能技术,此项技术将水当作储能介质,在电能和势能相互转化的基础上,可使电能储存与管理目标得到有效实现。而对于抽水蓄能电站来说,指的是能向上水库抽水蓄能的水电站,通常在电网调峰、调频、调相、事故备用等方面使用。值得注意的是,联合运行式抽水蓄能电站的建设,有助于电能综合转换效率的提升,且有助于提升流域内水资源的利用效率等。因此,本文以联合运行式抽水蓄能电站的概念及优势为切入点,在分析联合运行式抽水蓄能电站的建设运行现状及相关问题原因的基础上,进一步结合联合运行式抽水蓄能电站建设发展困境,提出相关发展建议,希望以此为联合运行式抽水蓄能电站建设运行可持续发展提供一些有效的参考建议。

**关键词:**抽水蓄能电站;联合运行;优势;现状问题;原因;发展困境;建议

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.20.079

近些年来,在社会经济稳步发展的大背景下,我国电站建设事业呈现了较为快速的发展态势。其中,对于抽水蓄能电站来说,在安全可靠运行的基础上,可将电网负荷低的多余电能转化为电网高峰时期的高价值电能,同时在调频、调相方面适用性高,可确保电力系统周波与电压的稳定性,进而有助于系统中火电站与核电站运行效率的提升<sup>[1]</sup>。值得注意的是,从实践工作层面来看,联合运行式抽水蓄能电站建设优势突出,比如有助于提升电能综合转换效率,又比如在所处流域水资源利用效率提升的基础上,有助于社会效益的提升。但需注意的是,从建设发展层面分析,因我国抽水蓄能电站建设起步较晚,目前仍面临一些发展困境问题,如谷峰差价未实现完全市场化、运行体制及机制有待完善等<sup>[2]</sup>。鉴于此,为解决发展现状问题,提升联合运行式抽水蓄能电站建设运行效率及质量,本文围绕“联合运行式抽水蓄能电站的建设运行现状及发展”展开分析探究价值意义深远。

## 一、联合运行式抽水蓄能电站的概念及优势分析

### (一) 概念

联合运行式抽水蓄能电站,主要以现已建的常规梯级水电站为基础,然后在扩建的条件下,将常规梯级电站两个相邻梯级水库分别当作上库与下库,并于两岸山体选取适合的地质条件,对输水系统、地下厂房进行开挖,进一步进行大型水泵或可逆式蓄能机组安装的综合电站。基于联合运行式抽水蓄能电站内部,具备常规水机组,其发电主要利用江河径流,同时进行了抽

水蓄能泵/机组的安装,基于电网负荷处于低谷的情况下,利用大型水泵或抽水蓄能机组的泵工况抽水,将下梯级水库的水抽至上梯级水库当中;基于电网负荷处于高峰状态情况下,利用上梯级电站现有常规水发电机组进行发电<sup>[3-4]</sup>。由此可见,联合运行式抽水蓄能电站,由抽水蓄能电站泵工况抽水,并由常规水发电机组发电,在不同机组联合运行的基础上,使抽水、发电目标得到有效实现。

### (二) 优势

在清洁能源开发建设规模持续扩大背景下,对巨型电网安全稳定经济运行的要求持续提升,考虑到清洁能源能够得到有效消纳,同时保证电网运行的稳定性及安全性,则有必要重视联合运行式抽水蓄能电站的建设。从实践层面分析,联合运行式抽水蓄能电站优势较多,具体优势包括:

(1) 有助于电能综合转换效率的提升。在可逆式水泵水轮机实现国产化之后,设计制造水平冲洗提升,抽水及发电的电能转换效率可达到大概80%,换而言之纯抽水蓄能电站可从之前的4kW·h到5kW·h。基于联合运行式抽水蓄能电站运行过程中,其泵工况属于常用工况,基于设计制造环节,将本工况效率最优化作为基本原则,能够确保运行效率>95%。例如,对于容量>100MW的常规水发电机组,其发电效率可>95%。在两种工况效率值均>95%的条件下进行联合运行,将各类效率损失纳入其中,其整体转换效率也能够>90%。此外,对于联合运行式抽水蓄能电站,其电网负荷处于低谷状态情况下,用泵工况抽水;当电网负荷处于高峰状态情况下,利用常规水发电机组发电。结合实践运行发现,当泵工况抽水之后,水库天然来水产生的径流量越多,且仅常规机组增加的发电量也越多;若增加的发电量比抽水用电量高的情况下,则抽水与发电的总体转换效率>1<sup>[5]</sup>。在联合运行式抽水蓄能电站运行的基础上,经电能转换,可引发年径流量,使发电水头的叠加效应提高,并使叠加溢出电量产生,最终使总体电能转换效率比纯抽水蓄能电站显著更高。

(2) 可缩短建设周期,节约投资成本。对于联合运行式抽水蓄能电站,因对现已构建的常规梯级水电站当作上库及下库,只展开了输水系统、地下厂房等洞室开挖作业与安装泵作业,或者利用可逆式水泵水轮机,因此与纯抽水蓄能电站相比,在建设周期上明显更短。结合相关调查数据显示,常规抽水蓄能电站建设周期大概为6年到7年,联合运行式抽水蓄能电站扩建及投产时间大概3年到4年。并且,因上库与下库已经建成,

在泵/电站建设不会对原梯级水库的水位特征参数改变的情况下,无新的淹没用地及移民,因此可以使土地及林业资源得到有效节省。除此之外,应无须进行上库及永久进场交通运输道路的建设,可结合现场具体情况,对下一级库尾直接应用,或经改造处理形成下库,在缺少库区淹没补偿的情况下,除了建设期临时征地外及部分永久征地之外,征地移民费用相对比较少,可以使大量的工程投资成本有效节约。

(3)有效提升所处流域水资源利用率,产生可观的社会经济效益。基于常规水电机组调峰发电可知,上库流入下一级水库水量,下一级水库需将部分水量保存,作用于夜间泵工况将水再抽回部分存于上库,使入库水量完全发电再流入更下一级水库的情况避免出现。在此基础上,全流域水资源便可以延滞下泄,从年调节或者多年调节水库来说,可以使所处于1年或者多年周期内水资源下泄的流失速度降低<sup>[6-7]</sup>。在此情况下,便使水资源的利用量增加,利用时长增加,在提升水资源利用率的基础上,进一步有助于产生可观的社会经济效益。此外,由于泵工况循环抽水方式,能够使河大下泄流量的峰值减小,在提升河道流量均衡度的基础上,能够使河道运行环境得到优化,减少环境污染问题的发生。

## 二、联合运行式抽水蓄能电站的建设运行现状及相关问题原因分析

### (一)建设运行现状问题

虽然联合运行式抽水蓄能电站的建设运行优势突出,但从现状来看,在实际建设运行过程中,仍存在一些问题。具体而言,主要现状及问题如下:

(1)起步比较早,但发展较为缓慢。对于混合式抽水蓄能电站,在我国建设起步较早,早期的抽水蓄能机组为11WM,并随后投产。但我国混合式抽水蓄能电站发展速度较为缓慢,且数量有限。且由于早期制造大型水泵的技术储备不够充足,在采取可逆式水泵水轮机的泵工况取代的基础上,便需进行二次核准变更<sup>[8]</sup>。总体而言,在联合运行式抽水蓄能电站建设方面,虽然我国起步比较早,但与西方发达国家相比,发展仍较为缓慢,因此有待注重科学技术高的革新,带动我国联合运行式抽水蓄能电站建设事业可持续发展。

(2)机组普遍比较小。从国内联合运行式抽水蓄能电站的建设运行现状来看,机组普遍比较小,比如白山抽水蓄能电站最大容量配置了可逆式水泵水轮机组,数量为2台,容量为150MW。

### (二)相关问题原因

从国内联合运行式抽水蓄能电站建设滞后问题的原因层面分析,主要体现在以下方面,即:

(1)建设条件不足。并非全部常规梯级水电站均拥有构建联合运行式抽水蓄能泵/电站的条件,与纯抽水蓄能电站相比,联合运行式抽水蓄能电站选址受限范

围大,难以结合自身用电负荷实现灵活选址目标。

(2)相关工作人员认识不足。对于相关工作人员,在混合式抽水蓄能电站电能转换效率、社会综合效益认识方面存在不足,特别是联合运行抽水蓄能电站综合电能转换率要比纯抽水蓄能电站高的原理,目前尚未完全认识到,在此情况下相关专业技术工作人员则会以为常规水电站发电水头比较低,认为比高水头的纯抽水蓄能电站相比存在劣势,在认识存在误区的情况下,便难以确保联合运行式抽水蓄能电站建设运行工作的顺利开展<sup>[9]</sup>。

(3)投资方积极性不足。因联合运行式抽水蓄能电站需与现已建成的水电站常规水电机组联合运行,这样才可获取增发发电量效益,但新扩建联合运行式抽水蓄能电站不能独立进行投入产出效益的核算,在此情况下投资方参与开发的积极性便会大大降低。为解决此类问题,国家相关部门需尽早出台相关政策,对联合运行式抽水蓄能电站建设发展起到促进作用。

(4)开发使用力度有待增强。对于联合运行式抽水蓄能电站来说,其一大优势体现在可以使风光等清洁能源获得大规模消纳。但是,在清洁能源开发使用力度不足,消纳清洁能源需求薄弱等情况下,联合运行式抽水蓄能电站建设优势便难以体现出来,进而出现建设滞后的现象。

## 三、联合运行式抽水蓄能电站建设发展困境及相关发展建议分析

### (一)发展困境

基于目前来看,联合运行式抽水蓄能电站建设发展仍面临一些困境。具体而言,主要发展困境如下:

(1)峰谷差电价未实现完全市场化。从现状来看,国家在峰时与谷时电价方面未实行。对于抽水蓄能电站来说,其实质是利用储能转换为电网负荷峰谷电能,以此保证电网运行的稳定性及安全性。当峰谷电价差缺少的情况下,便难以对投入产出效益进行核算,进而影响联合运行式抽水蓄能电站建设价值作用的体现。

(2)运行体制及机制有待完善。在联合运行式抽水蓄能电站开发过程中,其核心重点在于确保抽水蓄能电站的抽水工况能够与常规水电机组的发电工况之间实现联合运行。但在此情况下,抽水工况产生的效益包含于常规水电机组综合增发发电量当中。从现状来看,国内常规水电站管辖权、产权属性较为多样,在常规水电相邻2个梯级资产属于一家权属的情况下,联合运行式抽水蓄能电站开发建设才允许采取统一核算方式。若难以满足上述条件,别的投资方开发建设的难度便会大大增加,并且投入产出效益核算工作难以正常展开。

(3)发电功能缺失。目前,对于联合运行式抽水蓄能泵站来说,缺少发电功能。即根据目前实行的规程范本,于可研报告当中,由于经济评价环节在项目缺少发电属性的情况下,进而找不到相对应的规范及规定,

最终导致无法编写。

## （二）发展建议

为促进联合运行式抽水蓄能电站建设发展，则需结合发展困境问题，给出相应的发展建议措施。具体而言，主要发展建议如下：

（1）明确联合运行式抽水蓄能电站建设条件。在联合运行式抽水蓄能电站建设具备相应条件的基础上，才能够确保此项建设工作顺利有序开展，进而带动建设发展。因此，可将常规梯级水电站作为上库条件。对于水库来说，其主要特点优势即多年调节，或者不完全多年调节，且年调节水库为其底线，在经专业论证的基础上，才能执行不完全年调节水库计划。在联合运行式抽水蓄能电站建设过程中，径流式水电站不适合作为上库<sup>[10]</sup>。库容需确保足够大，且从趋势来看，越大优势越高，即库容越大，储能转换叠加溢出效益越高。如果库容非常小，其效益需进行专业分析论证。年径流量大为优，且趋势越大越具备优势；当年径流量不够高的情况下，需开展效益分析论证，明确是否具备开发的必要。年径流量是否均匀均可，但是如果年径流量呈现出非均匀的特点，可通过联合运行时抽水蓄能电站建设模式，使其不均匀性得到有效优化改进，在提升河道流量平衡度的基础上，进一步促进水资源利用效率的提升。并且，对于上库坝后尾水位，需和下一梯级的正常运行水平维持良好的衔接关系，如果未能保持良好的衔接性，则需确保和下库正常运行水位回水距离控制在合理范围内，不可距离过远；如果距离过远，则在上库坝建设的基础上，将新构建的小型水库当作下库。此外，如果将常规梯级水电站作为下库，则需确保下库正常运行水位和上库发电尾水之间维持良好的衔接关系，保证下库调节库容裕量充足。

（2）充分展现“举国体制办大事”的优势作用，完善建设运行规范机制。一方面，因联合运行式抽水蓄能电站开发建设关系的内容、事项多样，其跨行业点多面广，因此有必要发挥国家相关部门及机构的职能作用，做好组织协调工作，充分展现“举国体制办大事”的优势作用，自上而下实施，为联合运行式抽水蓄能电站建设发展起到保驾护航的作用。另一方面，从联合运行式抽水蓄能电站建设发展层面分析，国家相关部门需注重相关政策及法规的制定，并完善行业编制规范及规定，按需对符合市场顾虑的峰谷电价等运行机制进行制定，为联合运行式抽水蓄能电站建设发展奠定扎实的基础。

（3）做好联合运行式抽水蓄能电站可开发站址普查工作。在各类因素影响下，使联合运行式抽水蓄能电站的建设条件较为薄弱，对此有必要做好联合运行式抽水蓄能电站可开发站址普查工作，从而保证对可开发容量的现存规模清晰了解。在明确存量规模的基础上，可为未来蓄能电站发展规划的站址补充来源提供有效保障

支持。在条件充足的情况下，可以按照计划开展联合运行式抽水蓄能电站建设工作，使“双碳”目标得到有效实现，并使水资源利用率得到全面提升。

## 四、结语

综上所述，联合运行式抽水蓄能电站建设的优势突出，比如能够提高电能综合转换效率，使建设周期缩短，并使投资成本有效节约等。但是，联合运行式抽水蓄能电站的建设运行现状潜在一些不足问题，比如发展较为缓慢，且机组普遍较小。在阐明原因的基础上，需明确联合运行式抽水蓄能电站建设发展困境，然后给出相关发展建议措施，比如充分展现“举国体制办大事”的优势作用，对建设运行规范机制加以完善，并做好联合运行式抽水蓄能电站可开发站址普查工作等。总之，相信从以上方面做好，联合运行式抽水蓄能电站的建设运行效率及质量将能够得到全面提升，进一步为联合运行式抽水蓄能电站建设事业稳步、可持续发展奠定坚实的基础。

## 参考文献

- [1] 刘军, 李凌阳, 吴梦凯, 等. 分布式抽水蓄能电站与新能源发电联合参与现货市场的两阶段优化运行策略[J]. 浙江电力, 2023, 42(2): 50-58.
- [2] 陈月莹, 王德刚, 靳晓栋. 抽水蓄能机组热管功率柜研究及应用[J]. 水电与抽水蓄能, 2019, 5(3): 18-21.
- [3] 鹿优, 鹿存鹏, 徐伟, 等. 含抽水蓄能电站的多能互补微网系统设计与研究[J]. 山东电力技术, 2023, 50(5): 34-40.
- [4] 李华, 郑洪纬, 周博文, 等. 综合智慧能源系统中抽水蓄能电站两部制电价研究[J]. 综合智慧能源, 2022, 44(7): 10-18.
- [5] 孙勇, 魏敏, 王磊, 等. 基于华北电网典型特征, 利用仿真模型分析抽水蓄能机组服务新能源消纳的研究与应用[J]. 电力大数据, 2022, 25(9): 84-92.
- [6] 肖康乐, 崔石. 沙河抽水蓄能电站主变中性点的保护及运行分析[J]. 水电站机电技术, 2022, 45(3): 82-84.
- [7] 王珏, 廖溢文, 韩文福, 等. 碳达峰背景下抽水蓄能-风电联合系统建模及有功功率控制特性研究[J]. 水利水电技术, 2021, 52(9): 172-181.
- [8] 毛李帆, 龚若飞, 陈煌, 等. 基于鲁棒控制的光伏并网系统中抽水蓄能参与电网调频控制策略[J]. 科学技术与工程, 2020, 20(32): 13235-13239.
- [9] 王超, 罗茜, 董占飞. 核电站与抽水蓄能电站联合运行必要性研究[J]. 中国战略新兴产业, 2019(40): 168-169.
- [10] 钟文, 张志浩, 管鑫, 等. 基于斑点鬣狗算法的风/光/抽水蓄能联合运行系统优化调度研究[J]. 电力学报, 2020, 35(2): 113-122.