

水力发电与抽水蓄能技术对水利工程可持续发展的贡献研究

张东进

安能集团第一工程局贵州建设发展有限公司 贵州贵阳 54000

DOI:10.32629/ems.v8i3.18688

[摘要] 随着全球能源体系向清洁、低碳、高效方向转型, 水利水电工程已从单一能源供应, 拓展为新能源调节、区域经济发展支撑和生态保护的重要枢纽。水力发电与抽水蓄能技术作为水利工程体系的重要组成部分, 在推动水利工程多功能价值释放、实现生态-经济-社会协同发展中发挥着关键作用。本文基于可持续发展和能源系统优化等理论基础, 深入探讨抽水蓄能技术在储能调峰、水利工程功能拓展及综合效益提升中的核心价值, 系统分析水力发电技术在新能源供给、水资源调控及生态环境层面的多元贡献, 进而剖析二者协同发展的内在逻辑、典型模式与综合效益。研究表明, 水力发电与抽水蓄能技术的合理应用与协同发展, 能有效提升水利工程的综合利用效率, 助力能源结构转型升级与水资源优化配置, 为水利工程可持续发展提供核心技术支撑。最后结合研究结论, 明确技术应用的核心方向, 为水利工程可持续发展实践提供理论参考。

[关键词] 能源体系; 水力发电; 抽水蓄能; 水利工程; 可持续发展

一、绪论

随着全球气候变化加剧与能源危机凸显, 发展清洁可再生能源、推动能源系统转型已成为世界各国的共识。我国提出“碳达峰、碳中和”目标, 进一步明确了绿色低碳发展的核心方向, 而水利工程作为连接能源与水资源的关键载体, 其可持续发展水平直接关乎“双碳”目标的实现与区域协调发展大局。水力发电作为技术成熟、应用广泛的可再生能源利用方式, 不仅能为社会提供稳定的清洁能源, 更能依托水库工程实现防洪、灌溉、供水等多元功能; 抽水蓄能技术则凭借其调峰填谷、储能备用的核心优势, 成为破解新能源消纳难题、优化电力系统运行的关键支撑, 二者共同构成水利工程可持续发展的核心技术体系。

二、水力发电技术对水利工程可持续发展的贡献分析

(一) 能源供给层面

水力发电即是典型的清洁可再生能源, 又是我国能源革命电力转型的重要保障。我国水力资源丰富, 截至2023年底, 全国水电装机容量达到4.25亿千瓦, 年发电量超过1.1万亿千瓦时, 相当于每年减少近10亿吨二氧化碳排放, 为我国“双碳”目标的实现提供了坚实保障。大型水利工程如三峡水电站, 年均发电量可达1000亿千瓦时以上, 不仅能满足长江经济带沿线多个省份的电力需求, 更能通过跨区域输电网络,

优化全国电力资源配置。水力发电具有运行稳定、调节性能好的特点, 能有效提升电力系统的稳定性与可靠性。在极端天气或能源供应紧张时期, 水电站可通过灵活调整发电量, 保障电力系统的安全运行, 弥补风电、光伏等新能源的间歇性与波动性缺陷。

(二) 水资源调控层面

水力发电工程多以水库为核心载体, 而水库本身就是水资源调控的关键设施, 这使得水力发电技术与水利工程的水资源调控功能深度融合, 显著提升了水资源的综合利用效率。我国水资源时空分布不均, 南方水多、北方水少, 汛期水多、枯期水少, 而水力发电工程的水库可通过科学调度, 实现防洪、灌溉、供水、生态补水等多元功能的协同发挥^[1]。

在防洪方面, 水库可在汛期拦蓄洪水, 削减洪峰流量, 降低下游地区的洪涝灾害风险。如长江三峡水库, 通过合理的汛期调度, 可将下游荆江河段的防洪标准从十年一遇提高到百年一遇, 有效保障了江汉平原与洞庭湖地区的安全。在灌溉与供水方面, 水库可储存枯水期水资源, 为周边农田灌溉及城乡居民生活用水提供稳定保障。以黄河小浪底水利枢纽工程为例, 其不仅承担着发电任务, 更通过精准调度, 为黄河下游地区的农业灌溉、城市供水提供了充足水源, 保障了区域水资源安全。

(三) 经济与社会层面

水力发电技术对水利工程经济与社会效益的提升具有显著推动作用,成为带动区域发展、改善民生福祉的重要引擎。从经济效益来看,水力发电工程的建设阶段能带动建筑、建材、机械等相关产业的发展,创造大量的投资需求与就业岗位;运行阶段则能通过发电收益、供水收费等方式,为工程运营与维护提供资金支持,同时为地方政府带来税收收入,增强区域经济实力。以金沙江白鹤滩水电站为例,工程建设期间直接带动就业人数超过10万人,带动上下游相关产业产值增长超过千亿元,极大地推动了周边区域的经济发展。从社会效益来看,水力发电工程的建设能完善区域基础设施,改善交通、通讯等条件,为区域发展奠定基础。同时,工程运行过程中需要大量的专业技术人员与运维人员,能为当地居民提供稳定的就业岗位,提升居民收入水平。

(四) 生态环境层面

水力发电技术在生态环境层面对水利工程可持续发展的影响具有双重性,既存在积极贡献,也面临一定挑战,需通过科学的技术与管理手段实现优化。积极方面,水力发电替代化石能源的使用,能显著减少温室气体与污染物排放,缓解气候变化与环境污染问题;水库的建设能调节局部气候,改善区域生态环境,如增加空气湿度、减少极端气温波动等。

水力发电工程也可能对生态环境产生一定负面影响。水库的建设会改变河流的天然径流过程,影响水生生物的洄游与繁殖,尤其是对珍稀濒危鱼类的生存造成威胁;水库蓄水可能导致库区周边地质环境变化,增加滑坡、泥石流等地质灾害的风险;水库泥沙淤积还可能影响工程的长期运行效率与生态功能。

三、抽水蓄能技术对水利工程可持续发展的贡献分析

(一) 破解新能源消纳难题,优化电力系统运行

抽水蓄能电站的调峰填谷能力,能有效平衡电力系统的供需关系,提升电网的供电可靠性与经济性。同时,其快速启停与调节性能好的特点,能为风电、光伏等新能源的并网运行提供支撑,提升电网对新能源的消纳能力。例如,我国河北丰宁抽水蓄能电站,总装机容量达360万千瓦,是目前全球最大的抽水蓄能电站,其建成后能有效承接京津冀地区的新能源电力,提升区域能源系统的稳定性与绿色化水平。

基于时序生产模拟法与电力平衡仿真模型的测算,一座百万千瓦级的抽水蓄能电站,每年可提升区域新能源消纳率约5-10个百分点,减少弃风弃光电量数百万千瓦时,为能源系统转型提供核心支撑。

(二) 提升工程灵活性与综合价值

抽水蓄能技术与传统水利工程的结合,能有效拓展水利工程的功能边界,实现从“单一功能”向“多功能协同”的转型,显著提升工程的运行灵活性与综合价值。传统水利工程多以防洪、灌溉、供水或单一发电为核心功能,运行模式相对固定,难以适应多元需求的变化。而抽水蓄能技术的融入,能让水利工程同时具备“发电、储能、调峰”等多重功能,实现水资源与电能的协同优化配置。例如,在常规水电站的基础上配套建设抽水蓄能机组,可将水电站改造为“常规发电+抽水蓄能”的复合型工程,既能在丰水期利用天然径流发电,又能在枯水期通过抽水蓄能调节电能供需,提升工程的全年运行效益。抽水蓄能电站的上、下库可作为水资源调控的重要载体,在枯水期为下游地区提供生态补水或生产生活用水,在汛期拦蓄洪水,进一步强化水利工程的水资源调控功能^[2]。

(三) 延长工程寿命,推动绿色发展

在经济效益层面,抽水蓄能技术能有效延长水利工程的生命周期,提升资产利用率与经济效益。传统水利工程在运行后期,可能因设备老化、功能单一等问题导致效益下降,而抽水蓄能技术的改造与应用,能为老旧水利工程注入新的功能与活力。

在生态效益层面,抽水蓄能技术的应用能推动水利工程实现绿色发展。其提升新能源消纳能力的作用,能间接减少化石能源的消耗与污染物排放,助力生态环境改善;抽水蓄能电站的建设与运行严格遵循生态保护原则,通过优化选址、开展生态修复等措施,可将对环境的影响降至最低。

四、水力发电与抽水蓄能技术协同发展的模式与效益

水力发电与抽水蓄能技术协同发展的核心逻辑在于技术互补性与功能协同性。从技术互补性来看,水力发电技术的核心优势是提供稳定的清洁电能,但受天然径流变化影响较大,发电量存在一定的波动性;而抽水蓄能技术的核心优势是储能与调峰,能有效平抑电能波动,提升电能供应的稳定

性。从功能协同性来看,水力发电与抽水蓄能技术的协同应用,能显著提升水利工程的综合利用效率。水力发电工程的水库可作为抽水蓄能电站的上库或下库,实现水资源的共享与优化配置,避免重复建设,降低工程综合成本

(一) 典型协同发展模式

结合我国水利工程建设与运行实践,水力发电与抽水蓄能技术协同发展的典型模式主要包括以下三类:一是常规水电站配套抽水蓄能机组模式。该模式是在现有或新建常规水电站的基础上,配套建设抽水蓄能机组,将水电站改造为复合型电站。二是流域梯级电站与抽水蓄能电站联合调度模式。在水资源丰富的流域,通过构建梯级水电站群,并配套建设抽水蓄能电站,实现全流域的水资源与电能协同调度。梯级水电站群可根据径流变化,合理分配各电站的发电量;抽水蓄能电站则可利用梯级电站的低谷电能抽水储能,在用电高峰时放水发电,提升全流域的电能优化配置水平。三是新能源基地+抽水蓄能+水利工程一体化模式。该模式结合新能源产业发展需求,将风电、光伏等新能源基地与抽水蓄能电站、水利工程有机融合,实现多能源互补与水资源优化利用。新能源基地的电能可优先用于当地消费,多余电能用于抽水蓄能电站储能;抽水蓄能电站的电能可在新能源发电不足时补充供电,同时水利工程可为新能源基地的建设与运行提供水资源保障。

(二) 协同发展的综合效益评估

水力发电与抽水蓄能技术协同发展能带来显著的综合效益,涵盖能源、经济、社会与生态多个层面。在能源效益方面,二者协同运行能提升电力系统的整体能效,平抑新能源波动,提升新能源消纳率,推动能源结构向绿色低碳转型。据测算,采用协同发展模式的水利工程,其区域新能源消纳率可提升10-15个百分点,电力系统的供电可靠性可提升5-8个百分点,显著增强能源系统的稳定性与绿色化水平。

在经济社会效益方面,协同发展能降低工程综合成本,扩大收益渠道。通过共享水库、输电线路等基础设施,可减少重复建设投资,降低工程建设成本;同时,工程运行能获得发电收益、调峰辅助服务收益、供水收益等多重收益,提升工程的经济盈利能力。协同发展模式能带动更多的就业岗

位,完善区域基础设施,推动相关产业发展,进一步带动区域经济发展与民生改善,助力乡村振兴与区域协调发展。

在生态效益方面,协同发展能减少单一工程开发对环境的扰动,实现生态保护与工程开发的协同。通过科学的水库调度与生态修复措施,能保障河流生态流量,保护水生生物栖息地,减少工程建设对生态环境的负面影响;新能源消纳率的提升能间接减少化石能源消耗与污染物排放,缓解气候变化与环境污染问题,推动区域生态环境质量的持续改善。

五、结论

本文系统研究了水力发电与抽水蓄能技术对水利工程可持续发展的贡献,得出以下核心结论:其一,水力发电技术从多个层面推动水利工程可持续发展,在能源供给层面,为社会提供清洁可再生能源,助力能源结构转型与安全保障;在水资源调控层面,依托水库实现防洪、灌溉、供水等多元功能,提升水资源综合利用效率;在经济社会层面,带动区域产业发展与就业增长,改善民生福祉;在生态环境层面,虽存在一定负面影响,但通过生态友好型技术与设计可实现协同发展。其二,抽水蓄能技术为水利工程可持续发展注入新动能,在储能调峰层面,破解新能源消纳难题,优化电力系统运行;在功能拓展层面,推动传统水利工程向“多功能协同”转型,提升工程运行灵活性;在经济生态层面,延长工程生命周期,推动绿色发展与生态保护。其三,水力发电与抽水蓄能技术的协同发展具有显著的互补性与协同性,通过常规水电站配套抽水蓄能机组、流域梯级电站联合调度、新能源基地一体化等模式,能实现能源、经济、社会与生态效益的最大化,是推动水利工程可持续发展的核心路径。

基于上述结论,未来应进一步强化水力发电与抽水蓄能技术的协同应用,加大生态友好型技术的研发与推广力度,优化工程规划布局与运行调度模式;同时,完善相关政策体系,为技术应用提供政策支持与保障。

[参考文献]

- [1] 米子阳, 陈贝. 水力发电与抽水蓄能技术对水利工程可持续发展的贡献研究[J]. 水上安全, 2025 (16): 61-63.
- [2] 李兵初. 水利工程建设与保护生态环境可持续发展[J]. 模型世界, 2020 (16): 176-178.