

水电及抽水蓄能助力区域电力系统低碳转型策略研究

王志武

华电（宁夏）能源有限公司新能源分公司，宁夏 银川 750011

DOI: 10.61369/SSSD.2025070023

摘 要： 低碳转型是全球能源领域的重要议题之一，也是我国推进“双碳”目标的重要途径。水电是一种清洁、可再生资源，在区域电力系统中发挥着重要作用，而抽水蓄能则为电力系统储能、稳定运行奠定了良好基础。本文分析了水电及抽水蓄能在区域电力系统中的重要性，提出从优化水电开发布局、促进抽水蓄能发展、推动水电与抽水蓄能协同发展三个方面进行论述，旨在为区域电力系统低碳转型提供参考。

关 键 词： 水电；抽水蓄能；区域电力系统；低碳转型

Research on Strategies of Hydropower and Pumped Storage to Promote Low-Carbon Transformation of Regional Power Systems

Wang Zhiwu

Huadian (Ningxia) Energy Co., Ltd. New Energy Branch, Yinchuan, Ningxia 750011

Abstract： Low-carbon transformation is one of the important issues in the global energy field and an important way for China to promote the "dual-carbon" goals. Hydropower is a clean and renewable resource, playing an important role in regional power systems, while pumped storage lays a good foundation for energy storage and stable operation of power systems. This paper analyzes the importance of hydropower and pumped storage in regional power systems, and proposes to discuss from three aspects: optimizing the layout of hydropower development, promoting the development of pumped storage, and promoting the coordinated development of hydropower and pumped storage, aiming to provide reference for the low-carbon transformation of regional power systems.

Keywords： hydropower; pumped storage; regional power system; low-carbon transformation

引言

电力行业是碳排放的主要来源之一，其中火力发电对环境造成了严重破坏，电力行业低碳转型迫在眉睫。水电作为清洁能源，具有碳排放量低、发电量大等优点，是电力系统的重要分支。抽水蓄能是水力发电的一种储能技术，能够在电力负荷低谷时储蓄能量，便于在用电高峰期释放能量，有利于平衡电力供需、提高电力系统稳定性，将水电与抽水蓄能技术相结合，是助力区域电力系统低碳转型的重要途径。因此，水电站要不断推进技术创新，确保发电机组输出效率、提高水库调峰能力，促进水电与抽水蓄能的深度结合，从而确保电力供应，为促进区域电力系统可持续发展、低碳转型奠定良好基础。

一、水电及抽水蓄能在区域电力系统中的重要性

（一）水电在区域电力系统中的重要性

1. 提供清洁电力

水电站在发电过程中不会产生温室气体，碳排放量非常低，对环境也不会产生破坏，有利于缓解全球气候变化、实现低碳发展目标^[1]。例如我国的三峡水电站年发电量约为1000亿千瓦时，每年可以减少数千万吨的二氧化碳排放，提供了更多清洁电力，实现了节能减排目标。水电站在区域电力系统中扮演重要角色，不仅可以稳定供应清洁电力，还可以满足工业生产、居民生活用电需求，实现可持续发展目标，加快区域电力系统低碳转型步伐。

2. 灵活调节发电量

水电站机组可以根据电力系统的负荷量来灵活调整发电出力，实现动态化调整，避免资源浪费，满足区域内电力需求。在电力负荷高峰时段，水电站机组可以增加发电出力，并通过智能电网输送电力，满足电力需求；在电力负荷低谷时段，发电站可以减少发电，避免电力过剩。例如水电站在夏季用电高峰期可以增加机组发电量，确保电网系统稳定运行，还可以根据用电负荷波动调整发电量，实现智能化管理，确保水电站稳定运行^[2]。

（二）抽水蓄能的重要性

1. 储能调节

抽水蓄能电站具有储能、调节发电出力的作用。当电力负荷处于低谷时，抽水蓄能电站可以利用多余的电能把水从下水库抽

到上水库，把电能转化为势能；当电力负荷高峰时，再把上水库的水放到下水库中，借助水流推动水轮发电机，把储存的势能转化为电能，避免资源浪费，确保电网的电压和频率稳定^[3]。因此，水电站要积极建设配套的抽水蓄能电站，利用其满足用电负荷高峰期电力需求，利用其储存多余电能，灵活调度电亮，促进水力发电行业发展。

2. 提高电力系统稳定性

抽水蓄能电站可以在大型水电站发生故障时，快速提供备用电源，保障发电机组、水轮机等发电设备的顺利运转，从而保证电力系统正常发电、供电。例如当水电站发电机组突发故障无法运转时，抽水蓄能电站可以快速启动，自动释放上游水库的水，向电网输送电力，避免出现大面积停电^[4]。此外，抽水蓄能电站还可以参与电网系统的调频、调组，智能化调配电力资源，调节电网电压相位、电网功率因素，降低整个电网电能损耗，从而满足区域用电需求。

二、水电及抽水蓄能助力区域电力系统低碳转型策略

（一）优化水电站开发布局

首先，我国水电资源分布并不平均，水电资源主要集中在西南地区。因此，西南地区要发挥地域优势，因地制宜发展水电站，科学评估区域水电资源，选定水电站位置、抽水蓄能水电站，更要科学规划发电机组方案、输电线路，为水利发电产业可持续发展奠定良好基础。甘肃省水电资源丰富，于2022年全面启动黄河流域水电站清理整改工作，对黄河流域水资源分布、储量、开发条件等进行重新普查和评估，重新规划大型水电站位置，合理利用水资源、风能和太阳能等资源，促进水电与风能、太阳能等新能源开发的结合，实现能源资源的优化配置^[5]。此外，水电站还要根据地势落差、水流量等安装发电机、水轮机等相关设备，积极搭建智能监测系统，实时监测电网负荷，根据用电量峰值启动发电机组，并监测发电机组、抽水蓄能电站运行情况，及时排除故障，确保发电站顺利运转。其次，水电站建设过程中要注重生态环境保护，尤其要做好河流鱼类保护，减少对鱼类洄游的影响，并定期开展鱼类增殖放流活动，保护河流生态链。例如水电站可以建设鱼类洄游通道，为鱼类生存和繁殖营造良好环境，确保河流中鱼类的多样性；还要对水库周边植被进行养护，提高堤坝稳定性，避免出现水土流失，从而保障水库安全，确保水电站顺利运转^[6]。总之，水电站与抽水蓄能电站在发展过程中要落实科学发展观，既要优化水力资源配置，又要保护好电站周边自然环境、河流生态环境，做好河流鱼类、生态环境监测，避免破坏生物多样性。

（二）促进抽水蓄能电站发展

政府部门要积极扶持抽水蓄能电站，设立专项资金，给予一定的财政补贴和税收优惠，吸引更多企业投资抽水蓄能电站项目，促进抽水蓄能电站健康发展。第一，政府部门可以制定合理的电价政策，给予抽水蓄能电站一定补贴，鼓励其做好水电储能和供电调节服务，从而保证抽水蓄能电站正常运转，提高其收入

水平，促进水电站与抽水蓄能电站协调发展^[7]。此外，政府还要完善抽水蓄能电站市场机制，对其储能容量和调节服务进行补偿，增加抽水蓄能电站经济收入，从而吸引更多投资，增加抽水蓄能电站数量，将其当地满足用电需求，降低电力系统对火力发电厂的依赖，减少二氧化碳排放量，为区域电力系统低碳转型奠定良好基础。第二，企业要推进抽水蓄能电站智能化管理转型，引进人工智能、大数据、物联网等新技术，24小时监测发电机组、水轮机和水库堤坝，及时发现设备故障，并借助电子诊断技术明确故障原因，缩短维修时间，避免由于设备停机造成停电^[8]。例如发电企业可以对比同时期电力系统用电高峰期各地区用电量，科学规划电力调度方案，一旦监测到用电负荷量过高，及时启动抽水蓄能电站，缓解电力不足的问题，保证工业和居民用电。此外，企业还可以利用大数据技术开展抽水蓄能电站运行与调度过程，参照区域电网用电量历史负荷数据，科学预测用电高峰期、用电低谷期，灵活调整电网调度方案，合理安排抽水和发电时间，提高抽水蓄能电站储能和调度服务质量，落实区域电力系统节能减排、低碳转型目标。

（三）促进水电站与抽水蓄能电站协同发展

发电企业要以低碳转型为目标，积极与抽水蓄能电站合作，建立协同发展机制，深化在电力调度、水电站运行管理等方面的合作，充分发挥水电站发电能力、抽水蓄能电站储能调节能力，优化电力资源配置，提高发电量，满足区域工业、居民用电需求，为区域经济高质量发展奠定良好基础^[9]。例如在水电站大发期间，可以把多余的电能储存在抽水蓄能电站中；在用电高峰期时，利用抽水蓄能电站储能来发电，及时缓解水电站电力供应紧张的状况，保证整个电网系统的顺利运行，减少对火力发电厂的依赖，逐步降低发电企业二氧化碳排放量、减少对环境的破坏，落实低碳转型发展目标。此外，发电企业之间要积极合作，联合开展水电站、抽水蓄能电站项目建设，合作出资购买先进发电机组、智能检测设备和电气自动化设备，为水电开发和抽水蓄能电站建设有机结合，提高区域电力系统运行和服务质量。例如发电企业可以在当地大型水电站附近修建抽水蓄能电站，把水电站的水库作为抽水蓄能电站的上水库或下水库，减少工程建设成本，并实现数据共享，便于及时了解区域电网用电负荷数据，合理调度电力、调节抽水蓄能电站储能和调度实践，提高电力系统稳定性，加快区域电力系统低碳转型步伐^[10]。发电企业要立足地域优势，合理布局抽水蓄能电站，不仅可以积极应对用电负荷高峰挑战，还可以科学调度电力资源，避免电力资源浪费，加快区域电力系统转型。

三、案例分析

（一）某区域水电及抽水蓄能协同运行案例

某区域水电资源丰富，建设了一座大型水电站、一座抽水蓄能电站，二者协同发展，实现了优势互补，充分利用当地水电资源，提高发电量，减少了碳排放量。在水电充沛季节、用电负荷比较小时，调度部门把部分水电站发电量分配给抽水蓄能电站，

让其把水抽到上水库储存起来；在电力负荷高峰时段、水电站设备故障时，抽水蓄能电站快速启动发电，利用储存的上水库水发电，及时补充电力供应。这种协同运行方式不仅提高了该地区电力系统稳定性，也降低了碳排放量，加快了电力系统低碳转型。

（二）某水电与抽水蓄能联合项目建设案例

某水电企业在开发一座大型水电站时，配套建设了一座抽水蓄能电站。该联合项目充分利用了水电站的水库资源，将水电站的下水库作为抽水蓄能电站的下水库，减少了抽水蓄能电站的建设成本。在运行过程中，水电站和抽水蓄能电站实现了协同调度。当水电站发电能力过剩时，将多余的电能用于抽水蓄能；当电力系统需要调峰或备用电源时，抽水蓄能电站迅速投入运行。该联合项目的建成，不仅提高了水电资源的利用效率，还为区域电力系统提供了强大的调节能力。

四、结语

总之，水电及抽水蓄能在区域电力系统协同发展是必然趋势，二者在低碳转型中具有不可替代的重要作用。水电站提供了清洁电力，电力调度灵活性比较强，是保障电力系统供电平衡的重要保障；抽水蓄能电站具有很强的储能调节作用，可以在用电高峰期、水电站无法运行时提供补充电力，有效保证了区域供电，从而逐步减少火力发电量，落实节能减排、低碳环保的发展目标。未来，发电企业要积极构建水电与抽水蓄能协同发展模式，并促进二者与风能、太阳能等新能源之间的融合，构建清洁、低碳、安全、高效的区域电力系统，为区域经济发展奠定良好基础。

参考文献

[1] 查荣瑞, 郝发刚, 燕翔, 等. 水电及抽水蓄能助力区域电力系统低碳转型策略研究 [J]. 水资源与水工程学报, 2024, 35(06): 121–130.

[2] 岳蕾, 王丹迪. 以新能源为主体的新型电力系统背景下抽水蓄能标准体系建设的思考 [J]. 西北水电, 2022, (01): 78–81.

[3] 刘德旭, 杨迎, 黄宏旭, 等. 新型电力系统大规模抽水蓄能调度运行与控制综述及展望 [J]. 中国电机工程学报, 2025, 45(01): 80–98.

[4] 张鑫, 马清, 张娟. 抽水蓄能电站容量电价疏导方式研究分析——以某抽水蓄能电站为例 [J]. 建筑经济, 2024, 45(S1): 738–741.

[5] 胡浩, 张苏, 赵剑喆, 等. 高比例水电系统抽水蓄能电站发展空间及趋势研究 [J]. 水电与抽水蓄能, 2024, 10(01): 115–120.

[6] 刘泳, 陈帝伊, 张猛, 等. 水电煤电协同发展促进电力系统低碳转型方案评价 [J]. 人民长江, 2024, 55(05): 226–233+240.

[7] 谭晶, 何川, 陈保瑞, 等. 考虑水光蓄互补和直流外送的电力系统分布鲁棒优化调度方法 [J]. 中国电机工程学报, 2024, 44(15): 5947–5960.

[8] 郑晶星, 陈健华, 黄文锋, 等. 抽水蓄能电站水道竖井建设关键技术优化 (英文) [J]. 水利水电技术 (中英文), 2024, 55(S2): 329–339.

[9] 叶发勇. 广西抽水蓄能电站建设征地实物指标及征地移民补偿费用研究分析 [J]. 红水河, 2024, 43(05): 100–104.

[10] 范国福, 安莉娜, 杨莹. 利用已建大变幅库水位水电梯级建设混合式抽水蓄能的可行性研究 [J]. 水力发电, 2023, 49(01): 1–5.