

气候变化情景下抽水蓄能电站安全风险评估与 市场应用研究

——以湖南攸县抽水蓄能电站为例

胡欣¹, 王道平^{2*}, 杨加艳², 彭琳², 周明薇³

¹湖南省气象灾害防御技术中心, 湖南 长沙

²湖南省气候中心, 湖南 长沙

³长沙气象雷达标校中心, 湖南 长沙

收稿日期: 2026年8月1日; 录用日期: 2026年8月27日; 发布日期: 2026年9月3日

摘 要

在全球气候变暖、极端气象事件频发的大背景下, 抽水蓄能电站作为新型电力系统中核心调峰储能载体, 其运行安全与发展布局受气候环境变化的深刻影响。本文以湖南攸县抽水蓄能电站为实证案例, 依托该电站气候可行性论证报告的实测数据、气象序列及灾害评估成果, 系统分析区域气候变化特征, 识别暴雨、干旱、雷电、高低温、冰雪冰冻等气象灾害带来的工程安全风险, 量化各类风险的影响机制与危害程度; 结合新能源发展趋势与电力市场需求, 探究气候变化情景下抽水蓄能电站的市场应用价值、发展机遇与现存挑战, 并针对性提出风险防控技术方案、运营优化策略及市场拓展路径, 为同类抽水蓄能电站在气候变化背景下的安全运维、规划建设与市场化发展提供参考。

关键词

气候变化, 抽水蓄能电站, 安全风险评估, 气象灾害, 市场应用, 储能调峰

Research on Safety Risk Assessment and Market Application of Pumped Storage Power Stations under Climate Change Scenarios

—A Case Study of Youxian Pumped Storage Power Station in Hunan Province

*通讯作者。

文章引用: 胡欣, 王道平, 杨加艳, 彭琳, 周明薇. 气候变化情景下抽水蓄能电站安全风险评估与市场应用研究[J]. 气候变化研究快报, 2026, 15(5): 906-915. DOI: 10.12677/ccrl.2026.155096

Xin Hu¹, Daoping Wang^{2*}, Jiayan Yang², Lin Peng², Mingwei Zhou³

¹Hunan Provincial Meteorological Disaster Prevention Technology Center, Changsha Hunan

²Hunan Provincial Climate Center, Changsha Hunan

³Changsha Meteorological Radar Calibration Center, Changsha Hunan

Received: August 1, 2026; accepted: August 27, 2026; published: September 2, 2026

Abstract

Against the backdrop of global warming and frequent extreme meteorological events, pumped storage power stations serve as core peak-shaving and energy storage carriers in the new power system, whose operational safety and development layout are profoundly affected by climatic and environmental changes. Taking the Youxian Pumped Storage Power Station in Hunan Province as an empirical case, this paper draws on measured data, meteorological time series and disaster assessment results from the climate feasibility demonstration report of the power station to systematically analyze regional climate change characteristics. It identifies engineering safety risks induced by meteorological disasters including heavy rain, drought, lightning, high and low temperatures, ice and snow freezing, and quantifies the impact mechanisms and hazard levels of various risks. Combined with the development trend of new energy and power market demands, this study explores the market application value, development opportunities and existing challenges of pumped storage power stations under climate change scenarios. Targeted technical schemes for risk prevention and control, operation optimization strategies and market expansion paths are proposed, providing references for the safe operation and maintenance, planning and construction, as well as market-oriented development of similar pumped storage power stations amid climate change.

Keywords

Climate Change, Pumped Storage Power Station, Safety Risk Assessment, Meteorological Disasters, Market Application, Energy Storage and Peak Regulation

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

1.1. 研究背景

全球气候变暖进程加快，区域极端高温、强降雨、持续性干旱、强对流天气等气象事件发生频次、强度显著提升，对水利、电力等重大基础设施的安全运行构成持续威胁。与此同时，我国大力推进“双碳”目标，风电、光伏等间歇性新能源装机规模快速扩张，电网调峰、调频、储能、事故备用的需求急剧增长。抽水蓄能凭借技术成熟、容量大、寿命长、响应速度快等优势，成为当前最主流的储能方式，是保障新型电力系统稳定运行的“压舱石”。

抽水蓄能电站依托水库、输水系统、发电机组等水工与电力综合体运行，气象条件是决定其工程安全、蓄水能力、发电效率的核心外部因素。湖南攸县抽水蓄能电站作为湘赣边区域重点清洁能源项目，总装机 180 万千瓦，兼具电网调节、产业带动、生态保护多重功能，地处亚热带季风性湿润气候区，四

季气象差异大，暴雨、干旱、雷电、冰雪、高低温等灾害多发。在气候变化驱动下，当地原有气候规律被打破，极端气象灾害风险加剧，不仅威胁大坝、输水管道、电气设备等设施安全，也会影响水库蓄水效率与电站出力，制约其市场化运营。因此，开展气候变化情景下抽水蓄能电站安全风险评估与市场应用研究，具备重要的工程价值与行业意义。

1.2. 研究意义

1.2.1. 理论意义

丰富气候变化对水利电力复合工程的影响研究体系，细化区域极端气象灾害与抽水蓄能工程风险的耦合分析方法，完善气候可行性论证与电站风险评估、市场研判相结合的研究范式，为南方丘陵山区抽水蓄能项目的气候适应性研究提供理论支撑。

1.2.2. 实践意义

以湖南攸县抽水蓄能电站为实例，精准识别气候变化下各类安全风险并提出防控措施，提升工程建设、运维阶段的防灾减灾能力；结合气候特征与电力市场格局，挖掘电站多元化应用场景，助力项目充分发挥储能价值、提升经济效益，同时为全国同类型抽水蓄能电站提供可借鉴的实践经验。

1.3. 研究内容与方法

本文以湖南攸县抽水蓄能电站气象观测数据、灾害评估结果、工程参数为基础，采用数据统计法、风险分级法、情景分析法开展研究：一是梳理项目区域气候演变趋势与主要气象灾害特征；二是评估气候变化引发的工程结构、设备、运维等多维度安全风险；三是分析气候变化背景下抽水蓄能电站的市场需求、应用场景与发展挑战；四是提出风险防控、运营优化及市场发展综合对策。

2. 研究区域与基础概况

2.1. 项目概况

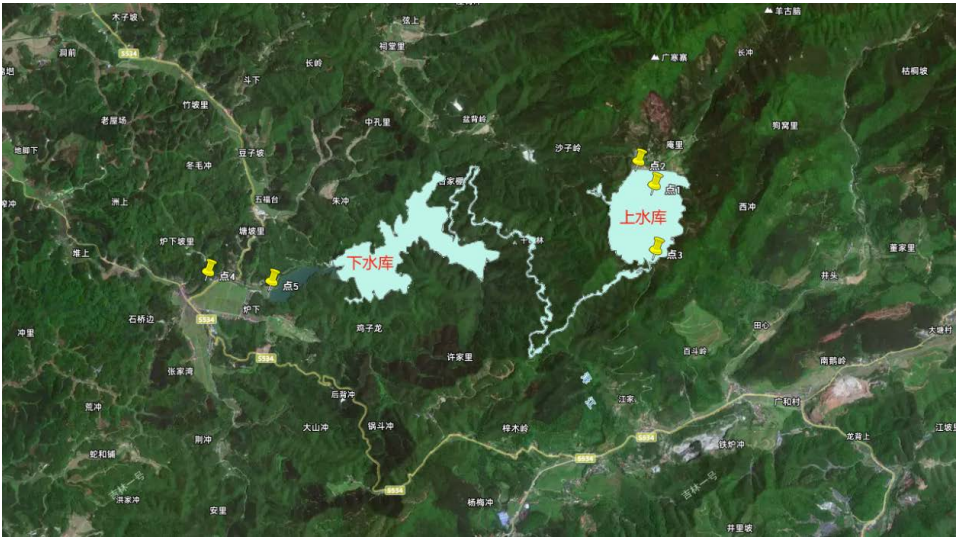
湖南攸县抽水蓄能电站为一等大(1)型工程，总装机 180 万千瓦，安装 6 台单机 30 万千瓦可逆式水泵水轮发电机组，年发峰荷电量 19.14 亿 kWh，年抽水耗用低谷电量 25.52 亿 kWh。工程由上水库、下水库、输水系统、地下厂房、500 kV 开关站等组成，上水库集雨面积 0.8 km²，下水库集雨面积 11.43 km²，总调节库容 2302 万 m³。(见表 1)项目地处罗霄山脉中段北西侧中低山地貌，是长株潭负荷中心重要的调峰储能枢纽，兼具减排、就业、产业转型等综合效益(见图 1)。

Table 1. Core engineering parameters table of the you county pumped storage power station in Hunan province

表 1. 湖南攸县抽水蓄能电站核心工程参数表

工程部位	关键参数	数值/规格
总装机容量	单机容量 × 机组台数	30 万 kW × 6 台，合计 180 万 kW
上水库	集雨面积/调节库容	0.8 km ² /1139 万 m ³
下水库	集雨面积/调节库容	11.43 km ² /1163 万 m ³
主坝(上库)	结构形式/最大坝高	沥青混凝土面板堆石坝/67 m
主坝(下库)	结构形式/最大坝高	沥青混凝土心墙堆石坝/78 m
500 kV 出线	回路数量/线路长度	2 回/约 42 km

数据来源：《湖南攸县抽水蓄能电站气候可行性论证报告》(2025) [1]。



注：蓝底为淹没区。

Figure 1. Location of the Huanan Youxian pumped storage power station
图 1. 湖南攸县抽水蓄能电站位置

项目地处罗霄山脉中段北西侧中低山地貌，位于长株潭电力负荷中心，是区域核心调峰储能枢纽。

2.2. 区域气候及气候变化特征

项目所在攸县属于亚热带季风性湿润气候，整体特征为四季分明、热量充足、降水集中、春温多变、夏秋多旱、严寒与酷暑并存。基于 1960~2024 年长序列气象数据，结合气候变化趋势总结如下：

气温变化：近数十年区域平均气温呈上升趋势，高温日数以 1.8 天/10 年的速率递增，极端最高气温达 40.7℃；低温日数以 1.6 天/10 年持续减少，极端最低气温-11.9℃，冬寒强度减弱但低温雨雪冰冻事件时有发生。

降水变化：多年平均降水量 1530.5 mm，降水集中在 3~7 月，占全年降水量 61.1%；暴雨日数呈增加趋势，短时强降雨、局地极端暴雨频发，同时夏秋阶段性干旱频次走高。

风与对流天气：年平均风速 1.67 m/s，平均风速呈逐年上升态势；区域属于多雷区，年均雷暴日 40.87 天，地闪密度 2.33 次·km⁻²·a⁻¹，春夏季雷电活动尤为频繁。

冰雪与雾霾：年均积雪日 3.1 天、结冰日 9.7 天、雨淞日 2.5 天，高海拔区域冰雪覆冰风险突出；年均雾日 16.7 天、霾日 5.5 天，霾日以 3.2 天/10 年增速上升，低能见度天气影响运维作业(见表 2)。

Table 2. Statistical characteristics of major meteorological disasters in the region (1975~2024)

表 2. 区域主要气象灾害统计特征(1975~2024)

灾害类型	年均发生频次/日数	灾害占比	风险特征
暴雨	3.8 天	49.02%	频次最高，局地强降雨多发
干旱	81.5 天	18.95%	夏秋高发，持续时间长
雷暴	40.87 天	-	多雷区，春夏季集中暴发
大风	2.7 天	-	春夏季阵风显著
积雪结冰	积雪 3.1 天/结冰 9.7 天	-	高海拔重冰区
雾/霾	雾 16.7 天/霾 5.5 天	-	霾增速 3.2 天/10 年

数据来源：1975~2024 年攸县气象灾害统计数据[1]。

整体来看,受全球气候变化影响,攸县区域极端气象事件强度、频次双增,气象灾害的不确定性显著提升,对抽水蓄能电站全生命周期运行形成持续挑战[2]。

结合表 2 可见,当地气象灾害以暴雨、干旱为主,雷电、冰雪为区域性高影响灾害;受气候变化影响,极端气象事件强度、频次双增,对电站运行威胁持续加大。

2.3. 气象灾害整体分布

统计 1975~2024 年历史灾情,当地气象灾害占比排序为:暴雨(49.02%)> 干旱(18.95%)> 雷电 > 大风 > 高温 > 低温 > 冰雹 > 积雪结冰 > 雾霾,其中暴雨、干旱为主导灾害,雷电、大风、冰雪为区域性高影响灾害,各类灾害在气候变化情景下的致灾风险进一步放大[1]。

3. 气候变化情景下电站安全风险评估

结合气候变化趋势、区域气象灾害特征与抽水蓄能电站工程结构、运行特点,从水工建筑物、机电设备、运维作业、生态环境四大维度,对暴雨、干旱、雷电、高低温、大风、冰雪冰冻、雾霾七类核心风险进行分级评估(见表 3),评估依据参照《抽水蓄能电站设计规范》[3]、电力过电压防护标准[4]、防雷设计规范[5]。

3.1. 暴雨灾害风险(高风险)

在气候变化驱动下,区域暴雨日数增多、短时雨强加大,成为电站首要安全威胁[2]。

水工结构风险:汛期强降雨导致上下水库入库流量激增,库水位快速抬升,超出设计水位将威胁大坝结构安全;雨水浸泡库区边坡,易诱发滑坡、泥石流,堵塞输水通道、冲击坝体。同时暴雨裹挟大量泥沙入库,缩减水库有效库容,降低蓄水与调峰能力。

泄洪与设施风险:强降雨带来的漂浮物易堵塞泄洪设施,影响泄洪安全;短时强降雨还会造成厂区内涝,威胁地下厂房、配电室等低洼区域设备。

Table 3. Summary table of risk classification for various types of meteorological disasters
表 3. 各类气象灾害风险分级汇总表

灾害类型	风险等级	核心危害	风险成因
暴雨	高风险	库水位暴涨、边坡滑坡、库区淤积、厂区内	暴雨频次增加、短时雨强偏大,汛期集中
干旱	中高风险	水库水位不足、机组停运、生态破坏	夏秋干旱频发,降水年际波动大
雷电	高风险	电气设备损坏、控制系统失灵、人员雷击	多雷区,地闪密度 2.33 次·km ⁻² ·a ⁻¹
大风	中风险	线路摆动、杆塔受损、高空作业受限	年均风速逐年上升,春夏季大风集中
高低温	中风险	设备老化、管道冻裂、人员作业受限	极端气温事件增多,冬夏温差大
积雪/雨凇/结冰	中高风险	线路覆冰断线、闸门卡滞、建筑承压	项目地处重冰区, 30~100 年一遇覆冰 ≥ 40 mm
雾、霾	低风险	能见度下降、设备污闪	低能见度天气影响有限

风险分级:项目虽处于暴雨综合低风险区,但极端局地暴雨风险突出,结合气候变化下暴雨增强趋势,判定为高风险。

3.2. 干旱灾害风险(中高风险)

气候变暖加剧区域夏秋干旱发生概率,直接影响抽水蓄能核心功能[2]。

蓄水能力风险：持续性干旱导致上下水库来水锐减，水位低于机组运行死水位时，水泵、水轮机无法正常启停，电站丧失抽水、发电能力，无法承担电网调峰任务。

设备与生态风险：低水位导致库区泥沙淤积加重，磨损水轮机组；同时水位下降破坏库区水生生态，水体富营养化风险上升。

风险分级：项目横跨干旱低、中风险区，干旱持续时间延长将严重制约电站出力，判定为中高风险。

3.3. 雷电灾害风险(高风险)

区域为多雷区，春夏季午后雷暴频发，叠加山区地形与大面积水域的引雷效应，雷电危害突出[1]。

电气设备风险：直击雷、感应雷易损坏 500 kV 输电线路、开关站、中控楼等电力设备，造成线路跳闸、机组停机；强雷电流还会干扰自动化控制系统，引发设备误动作、永久性损坏，防护设计遵循《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合设计规范》[4]、《建筑物防雷设计规范》[5]。

施工运维风险：雷电天气下，高空作业、库区巡检、线路检修人员存在触电风险，临时塔吊、脚手架等设施易成为引雷点。

风险分级：项目雷电综合风险为Ⅲ级(中等)，但雷电流幅值大、地闪密度高，气候变化使强对流雷暴增多，判定为高风险。

3.4. 高低温灾害风险(中风险)

气温升高、极端高温频发，叠加阶段性低温冰冻，形成双向威胁[2]。

高温风险：夏季极端高温(极值 40.7℃)会降低发电机组、变压器散热效率，加速设备老化；高温天气也会导致施工、运维人员中暑，降低作业效率。同时高温加剧水库蒸发，造成水资源损耗。

低温风险：冬季极端低温(极值-11.9℃)易造成输水管道、阀门冻裂，水工建筑材料抗冻性能下降；低温环境下机械润滑油黏度上升，机组启动受阻，水工结构防冻标准参照抽水蓄能设计规范执行[3]。

风险分级：项目处于高温中等风险、低温低风险区域，极端气温事件增多后风险上升，判定为中风险。

3.5. 大风灾害风险(中风险)

区域平均风速逐年上升，春季、夏季大风频发，高海拔区域风险更高[1]。

设施结构风险：大风造成输电线路摆动、杆塔受力过载，引发断线倒塔；库区风浪冲击坝体与岸坡，加剧坝体侵蚀。

作业风险：4 级以上大风会影响焊接、砌筑等施工质量，6 级以上大风需停止高空、吊装作业，延误工期。

风险分级：项目位于大风中、较高风险区，阵风强度提升后影响加剧，判定为中风险。

3.6. 积雪、结冰与雨凇灾害(中高风险)

项目地处重冰区，气候变化下低温雨雪冰冻天气局地增强，对户外电力线路、水工设施威胁显著[2]。

覆冰风险：30~100 年一遇覆冰厚度普遍达 40 mm 以上，导线覆冰会大幅增加荷载，引发断线、倒塔；绝缘子冰凌桥接，造成线路闪络跳闸，线路抗冰设计满足抽水蓄能规范要求[3]。

积雪与结冰风险：厚重积雪压垮厂房屋顶、临时设施；闸门、轨道结冰导致启闭设备卡滞，影响水库调度。

风险分级：项目整体为重冰区，山区局地雪冰风险升级，判定为中高风险。

3.7. 雾、霾灾害(低风险)

雾、霾天气呈增多趋势，主要影响可视范围与设备工况。大雾降低厂区、道路能见度，引发交通安全隐患；霾天颗粒物附着在电气设备表面，造成绝缘性能下降、设备污闪。该类灾害未直接威胁主体结构，判定为低风险。

3.8. 综合风险总结

综合来看，暴雨、雷电为一级核心高风险，干旱、冰雪冻雨为二级中高风险，大风、高低温为三级中风险，雾霾为四级低风险。气候变化整体放大了各类气象灾害的致灾强度与发生概率，风险传导链条变长(如暴雨诱发地质灾害、冰雪引发电气故障)，对电站设计标准、运维体系、应急能力提出了更高要求，工程设防标准需结合长期气候预测成果动态调整[2] [3]。

4. 气候变化情景下抽水蓄能电站市场应用分析

4.1. 行业发展宏观背景

新能源并网催生刚性调峰需求：我国风电、光伏装机持续高速增长，新能源发电具有间歇性、波动性，大规模并网易造成电网电压、频率波动。抽水蓄能是目前技术最成熟、容量最大的储能方式，可实现“低谷抽水、高峰发电”，承担调峰、调频、调相、事故备用等功能，是新型电力系统的核心支撑，发展定位契合《抽水蓄能中长期发展规划（2021-2035 年）》[6]。

“双碳”政策驱动产业扩容：抽水蓄能属于零碳清洁能源，可助力电力行业降碳。湖南攸县抽水蓄能电站年减排二氧化碳 140 万吨，契合区域绿色发展目标，政策层面持续给予项目审批、电价、用地等支持[6]。

气候变化倒逼储能布局优化：极端气象灾害导致风光电站出力波动加剧，电网稳定性下降，市场对大容量、高可靠性抽水蓄能电站的需求进一步提升[2]。

4.2. 项目多元化市场应用场景

结合气候特征、工程能力与区域电力市场，在气候变化情景下，该电站可拓展六大应用场景。

4.2.1. 电网基础调峰服务(核心场景)

长株潭为湖南负荷中心，用电峰谷差大。常规模式下，夜间用电低谷时，电站利用富余电力抽水储能；白天用电高峰时放水发电，平抑电网负荷。面对气候变化导致的风光出力异常波动，电站可快速响应，动态调节出力，保障电网基础稳定[6]。

4.2.2. 新能源配套储能(重点拓展场景)

项目区域风能、太阳能资源条件较好，属于风能较好区、太阳能丰富区。可形成“风光 + 抽水蓄能”联合发电模式：风光电站发电过剩时，由抽水蓄能储存能量；风光出力不足时，抽水蓄能补供电量，有效平抑新能源波动，提升区域新能源消纳能力，这也是气候变化下最具潜力的应用方向[2]。

4.2.3. 电网应急备用(灾害适配场景)

气候变化下极端气象灾害易造成线路故障、机组停运。该电站机组响应速度快，可作为区域电网事故备用电源，在暴雨、雷电、冰雪等灾害导致电网瘫痪时，快速启动供电，保障重要负荷运转。

4.2.4. 调频、调压辅助服务

针对气象灾害引发的电网频率、电压异常，电站可提供短时调频、调压服务，提升电网电能质量，

该服务在极端天气工况下价值凸显。

4.2.5. 水资源联合调度(气候适配场景)

依托水库库容，结合区域降水、干旱变化规律，开展水资源综合利用。汛期配合防洪调度，削减洪峰；干旱期向下游补水，兼顾农业、生活用水，实现“发电 + 防洪 + 供水”一体化运营，提升综合收益[1]。

4.2.6. 生态与文旅附加场景

库区形成人工水域，改善局地小气候，可结合清洁能源示范、库区生态景观，发展工业旅游、科普教育，打造绿色能源品牌。

4.3. 市场发展优势

- 区位优势：地处长株潭负荷中心，电力消纳市场广阔，距离负荷中心近，输电损耗小。
- 资源优势：区域降水充沛、云水资源丰富，水库蓄水保障能力强；风光资源优良，便于打造多能互补系统[1]。
- 政策优势：享受储能、新能源、乡村振兴多重政策扶持，电价机制、补贴政策完善[6]。
- 工程优势：装机规模大、技术成熟，抗风险能力优于小型储能设备，适配气候变化下复杂的电力工况[3] (见表 4)。

Table 4. Project market development SWOT analysis table
表 4. 项目市场发展 SWOT 分析表

类别	具体内容
优势(S)	区位优势，紧邻长株潭负荷中心；水土、风光资源充沛；装机规模大，运行稳定
劣势(W)	气象灾害多，运维与防灾成本偏高
机遇(O)	双碳政策扶持、新能源并网需求激增、辅助服务市场扩容[6]
挑战(T)	新型储能竞争、电价机制不完善、极端天气影响供电稳定性[2]

4.4. 市场现存挑战

- 气候风险制约稳定运营：暴雨、干旱、雷电等灾害易造成机组停机、输电中断，影响发电时长与供电稳定性，进而影响电费收入[3]。
- 电价机制有待完善：当前抽水蓄能电价以两部制为主，极端天气下应急服务、辅助服务的定价与补偿机制尚不健全[6]。
- 运营成本上升：气候变化下防灾、设备检修、运维投入增加，叠加高温、冰雪导致的能耗上升，推高运营成本。
- 同业竞争加剧：电化学储能、氢能等新型储能快速发展，分流部分市场份额。

5. 风险防控与市场发展综合对策

5.1. 气象安全风险防控体系

5.1.1. 工程设计优化(源头防控)

参照不同重现期气象参数(50 年一遇风速 18.5 m/s、极端高温 44.1℃、极端低温-12.7℃、重冰区标准)优化大坝、输电线路、厂房等设计，提升结构抗风、抗冰、抗极端气温能力，设计标准严格遵循《抽水蓄

能电站设计规范》[3]。

强化库区边坡防护,采用锚杆、喷护等工艺加固岩体,增设截排水系统,防范暴雨引发滑坡泥石流;优化泄洪通道与漂浮物拦截设施。

按照第三类及以上防雷标准建设防雷系统,重点强化下库区、高引雷区域的接地与浪涌保护,提升雷电防护等级,执行 GB 50057-2010、DL/T 620—2017 相关要求[4] [5]。

5.1.2. 监测预警建设(过程管控)

搭建多要素气象综合监测平台,整合雨量、风速、气温、雷电、覆冰、能见度监测设备,接入省级气象预警系统,实现暴雨、雷电、冰雪等灾害提前预警,数据对接地方气候论证监测体系[1]。

建立“气象预警-工程响应-人员撤离”三级联动机制,根据预警等级启动差异化防控措施。

5.1.3. 运维与应急管理(末端处置)

分季节制定运维方案:汛期重点巡查大坝、排水系统;夏季落实高温防暑、设备降温措施;冬季做好管道、设备防冻融冰;雷暴天气暂停高空、库区作业。

编制专项应急预案,定期开展暴雨、干旱、雷电、冰雪等灾害应急演练,储备应急物资与抢险设备。

定期开展设备巡检,重点检修电气设备绝缘、管道密封性、防雷接地装置,降低灾害故障概率。

5.1.4. 水资源优化调度(适配气候波动)

结合降水、干旱演变规律,制定动态水库调度方案:汛期科学预留防洪库容,汛末抢抓降水蓄水;干旱期统筹发电与生态、供水需求,必要时利用人工增雨开发云水资源,补充水库水量,调度方案依托区域长序列气象观测数据编制[1]。

5.2. 市场运营与拓展策略

5.2.1. 深耕核心电力服务

稳固电网调峰基本业务,依托机组快速响应优势,加大应急备用、调频调压等辅助服务供给,争取专项服务补偿,提升营收结构多元化[6]。

5.2.2. 打造多能互补模式

深度结合区域风光资源,共建“风光蓄”一体化项目,签订长期购售电协议,依托储能优势提升新能源消纳能力,形成稳定收益,对冲气候波动带来的出力损失[2]。

5.2.3. 争取政策与电价支持

积极对接地方发改、能源部门,推动极端天气应急服务、气候防灾相关补偿政策落地;探索分时电价、现货市场交易,利用峰谷价差放大盈利空间,依托国家抽水蓄能产业政策完善收益机制[6]。

5.2.4. 降本增效管控

优化运维排班,根据气象规律错峰开展检修;依托智能化运维系统减少人工成本;通过气候风险预判提前规避停机损失,压缩灾害带来的经济损耗。

5.2.5. 拓展跨界业态

依托库区生态与清洁能源品牌,发展科普旅游、生态旅游;结合水资源优势,拓展农业灌溉、生态补水等增值服务,拓宽收入渠道。

5.3. 行业发展建议

统一气候适应性设计标准:针对气候变化趋势,更新抽水蓄能电站设计规范,提高极端气象灾害设

防标准, 结合《中国气候变化蓝皮书》长期气候预测成果修订工程指标[2] [3]。

建立跨区域气象-电力联动机制: 推动气象部门与电力企业数据共享, 实现气象预警、电力调度深度融合, 依托气候可行性论证成果常态化更新风险评估结论[1]。

完善储能价格体系: 细化抽水蓄能辅助服务、应急服务定价, 体现气候风险下的服务价值, 配套中长期储能发展规划落地价格配套政策[6]。

6. 结论与展望

6.1. 主要结论

受全球气候变化影响, 湖南攸县区域气温升高、极端暴雨、干旱、雷电、冰雪等气象事件频发, 抽水蓄能电站面临暴雨、雷电两大高风险, 干旱、冰雪冻雨为中高风险, 大风、高低温为中风险, 雾霾为低风险, 各类风险存在叠加、传导效应, 风险评估依托本地多年气象观测与气候论证数据完成[1]。

抽水蓄能电站在新型电力系统中地位关键, 契合国家抽水蓄能中长期发展布局[6]; 结合区域风光资源与气候特征, 可开展电网调峰、新能源配套、应急备用、水资源调度等多元化应用, 市场需求旺盛, 但气候风险、电价机制、运营成本等问题制约发展。

从工程设计、监测预警、应急运维、水资源调度四方面构建气象风险防控体系, 同步对标现行水工、电力、防雷规范[3]-[5]; 同时依托多能互补、业态拓展、政策争取等方式优化市场运营, 可有效实现电站安全与效益双赢。

6.2. 研究展望

未来气候变化的不确定性仍将持续影响抽水蓄能行业。后续可进一步开展长期气候情景模拟, 预测未来 30~50 年区域气象灾害演变趋势, 动态更新电站风险评估结果; 同时结合数字孪生、人工智能技术, 打造智慧电站, 实现气象风险智能研判、机组智能调度, 进一步提升气候变化背景下电站的安全运行能力与市场化竞争力。随着新型电力系统建设持续推进, 抽水蓄能与新能源、新型储能的融合将不断加深, 其综合价值也将得到进一步释放。

参考文献

- [1] 湖南省气候中心. 攸县抽水蓄能电站气候可行性论证报告[R]. 长沙: 湖南省气候中心, 2024.
- [2] 中国气象局. 中国气候变化蓝皮书[R]. 北京: 中国气象局, 2024.
- [3] NBT 10072-2018 抽水蓄能电站设计规范[EB/OL].
<https://max.book118.com/html/2025/1226/8066121102010026.shtml>, 2025-12-30.
- [4] 交流电气装置的过电压保护和绝缘配合设计规范[EB/OL].
<https://www.doc88.com/p-5721607364467.html>, 2019-08-07.
- [5] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 50057-2010 建筑物防雷设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2010.
- [6] 《抽水蓄能中长期发展规划(2021-2035 年)》印发实施[EB/OL].
http://www.nea.gov.cn/2021-09/09/c_1310177087.htm, 2021-09-09.