

以开放获取驱动知识共享 让治水智慧惠及全球

ISSN 3081-1392 (print)
ISSN 3081-1406 (online)

水利水电工程科技

Water Resources and Hydropower Engineering Technology

2025年8月 第1卷 第1期
(双月刊)

QUEST PRESS LIMITED



www.SciOnline.com



QUEST PRESS



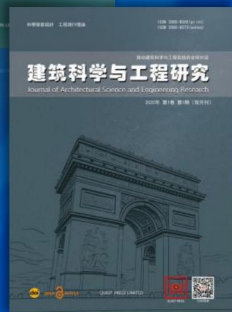
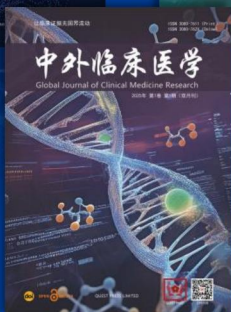
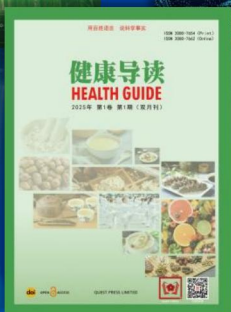
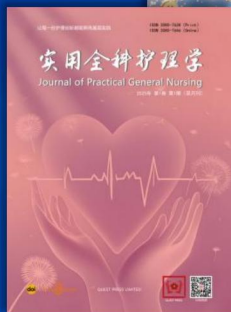
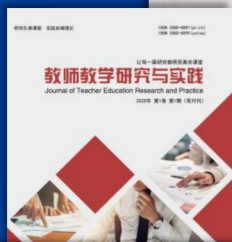
扫码阅读

深度求索 | 卓越创新 | 开源共享



QUEST
PRESS
LIMITED

QUEST PRESS



SciOnline

OPEN ACCESS



ISSN 3081-1392 (Print)
ISSN 3081-1406 (Online)

编委会

主办单位

求索出版社有限公司

主 编

孙东绣

副主编

姜 荣 沈秀红 马 巍

杨书义 常 颖 王宁丽

阳晓慧 党小文 李 丹

(以上排名不分先后顺序)

编委会助理

封红伟

编辑出版

求索出版社有限公司

地址

澳门巴掌围斜巷 19 号 7 楼 D

电话

00853-68819699

邮箱

QuestPress@hotmail.com

网站

slds.scionline2025.com

出版时间

2025 年 8 月

水利水电工程科技

Water Resources and Hydropower Engineering Technology

2025 年 8 月 第 1 卷 第 1 期 (双月刊)

目 次

◆ 工程技术

水利工程中水工建筑结构的抗震性能优化策略探究

Exploration of Seismic Performance Optimization Strategies
for Hydraulic Building Structures in Water Conservancy
Engineering

林远平 (1)

水电站灯泡贯流式机组泡头动力柜风机控制方式优化
改造

Optimization and transformation of fan control mode in
power cabinet of bulb tubular unit of hydropower station

张永胜 (5)

◆ 安全运维

基于燃气-蒸汽联合循环电站全厂失电状态下的应急处置
与实践

Emergency response and practice based on the power failure
of the entire gas-steam combined cycle power station

丁 镨 (10)

基于底线思维的住宅韧性提升——以北京市房山区周口
店镇北下寺村、葫芦棚村灾后重建研究为例

Improvement of housing resilience based on bottom line
thinking-- A case study on post-disaster reconstruction of
Beixiasi Village and Hulupeng Village in Zhoukoudian Town,

Fangshan District, Beijing

刘 强 (13)

高压电机绝缘劣化诊断与全寿命运维策略

Diagnosis of Insulation Degradation in High Voltage Motors and Life Cycle Maintenance Strategy

姚德才 (21)

◆ 运营管理

当前经济形势下水利施工企业困境及应对措施

Difficulties and Countermeasures of Water Conservancy Construction Enterprises under the Current Economic Situation

田春丹 (26)

基于“两级管理”体系的水电项目经营活动分析研究

Research on the Operational Activity Analysis of Hydropower Projects under the “Two-Level Management” System

袁 莉 (29)

◆ 智慧生态

连续排污监测控制系统在火力发电厂的实践应用

Continuous Blowdown Monitoring and Control System in Thermal Power Plants: Practical Application

杨海利 乔玉新 (33)

水利工程中水工建筑结构的抗震性能优化策略探究

林远平

北海康养职业学院, 广西北海, 536000

摘要: 本文系统分析水工建筑结构抗震性能的影响因素, 涵盖结构自身特性、外部环境条件及施工运维水平; 梳理静力与动力两类抗震性能分析方法的原理、适用场景及局限性; 从结构设计、抗震加固、施工运维维度, 提出针对性优化策略。研究表明, 合理的结构选型与刚度设计、科学的抗震加固技术应用及全生命周期的施工运维管控, 可有效提升水工建筑抗震性能。

关键词: 水利工程; 水工建筑结构; 抗震性能

Exploration of Seismic Performance Optimization Strategies for Hydraulic Building Structures in Water Conservancy Engineering

Yuanping Lin

Beihai Vocational College of Wellness, Beihai Guangxi, 536000, China

Abstract: This article systematically analyzes the influencing factors of seismic performance of hydraulic building structures, covering the characteristics of the structure itself, external environmental conditions, and construction and operation levels; Sort out the principles, applicable scenarios, and limitations of static and dynamic seismic performance analysis methods; Propose targeted optimization strategies from the dimensions of structural design, seismic reinforcement, and construction operation and maintenance. Research has shown that reasonable structural selection and stiffness design, scientific application of seismic reinforcement technology, and full lifecycle construction and operation control can effectively improve the seismic performance of hydraulic buildings.

Keywords: water conservancy engineering; Hydraulic building structure; seismic performance

1 引言

地震作为破坏力极强的地质灾害, 历史上多次对水利工程中的大坝、渡槽、水电站厂房等水工建筑造成毁灭性打击, 不仅导致水利工程功能瘫痪, 还引发洪水、供水中断等次生灾害, 严重威胁社会经济发展与生态安全。当前, 极端气候背景下极端地震事件频发, 老旧水工建筑因抗震标准滞后面临较大安全隐患, 复杂地质条件又进一步增加了新建水工建筑的抗震设计难度, 传统抗震体系已难以应对当前挑战。在此背景下, 深入探究水工建筑结构抗震性能的影响机制, 明确科学的抗震分析方法, 构建系统性优化策略, 具

有重要意义。

2 水利工程中水工建筑结构的抗震性能影响因素分析

2.1 结构自身特性

结构自身特性是决定水工建筑抗震性能的核心内在因素。从结构形式看, 不同类型水工建筑的抗震受力逻辑差异显著: 重力坝依赖自身重量抵抗地震荷载, 但刚度大、延性弱, 易在坝踵等应力集中部位开裂; 拱坝借助拱体传力优化受力, 抗震性能更优, 却对地基变形敏感, 地基不均变形易引发坝体损伤; 渡槽中, 梁式渡槽因槽身与支座刚度不协调, 地震时易出现支座脱空, 拱式



© The Author(s) 2025. Published by Quest Press Limited.
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted reuse, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited



渡槽则凭借拱体整体性提升抗震稳定性^[1]。

材料性能为抗震提供基础支撑，混凝土的强度与抗裂性直接影响抗地震裂缝能力，钢材需平衡强度与延性以避免脆性破坏。此外，结构尺寸与刚度分布合理性至关重要，不合理的尺寸设计或刚度突变，会使结构在地震中形成薄弱部位，大幅削弱整体抗震性能。

2.2 外部环境因素

外部环境通过改变水工建筑受力状态，间接影响其抗震性能。地震动参数是核心影响因素，地震强度决定对结构的破坏力度，强度越大破坏越显著；地震持时延长会加剧结构累积损伤；而当地震动频谱特性与结构自振特性接近时，易引发共振，放大地震响应。

地质条件同样关键，坚硬完整的地基能稳定传递地震荷载，减少附加应力；软弱地基或存在不良地质构造的场地，地震时易出现不均沉降、液化等问题，导致上部结构受力失衡。此外，水体与建筑的相互作用不可忽视，水库水位变化会改变坝体承受的动水压力，影响地震响应；长期水流冲刷还会侵蚀坝基，削弱基础稳定性，降低整体抗震能力。

2.3 施工与运维因素

施工质量是确保抗震性能落地的关键。混凝土施工中，浇筑密实度不足会产生蜂窝、麻面等缺陷，减小有效受力面积，降低抗裂与承载能力；钢筋安装质量不达标，如绑扎间距偏差过大，会破坏钢混协同工作效果，削弱抗剪抗拉能力。坝体分缝止水构造缺陷、装配式渡槽拼接缝处理不当，会在地震时加剧渗漏或传力失效，增加结构破坏风险。

运维水平决定抗震性能的长期保持。长期服役中，混凝土碳化会加速钢筋锈蚀，削弱抗拉强度；土石坝渗流问题会降低填土密实度与抗剪强度，减少抗震储备。此外，历次小震造成的累积损伤若未及时修复，会持续削弱结构抗大震能力，形成潜在安全隐患^[2]。

3 水工建筑结构抗震性能分析方法

3.1 静力抗震分析方法

静力抗震分析方法通过简化地震荷载开展分析，适用于体型简单的中小型水工建筑，核心包括拟静力法与静力弹塑性分析法。

拟静力法（等效静力法）是基础方法，原理是依据设计规范，结合工程场地地震烈度与结构特性，确定地震影响系数，将地震作用等效为静力荷载施加于结构，计算内力与位移。该方法操作简便、计算量小，能满足中小型水工建筑初步设计需求，如高度较小的土石坝、跨度不大的梁式渡槽及简单水电站厂房，在工程前期应用广泛。但该方法存在明显局限，忽略结构动力特性与地震动时程变化，无法反映地震荷载瞬时波动、结构动态响应及共振现象，对高度大、结构复杂的水工建筑，计算误差较大，难以满足精准设计要求^[3]。

静力弹塑性分析（Push-over 法）是拟静力法的进阶形式，通过建立结构弹塑性模型，沿高度施加单调递增水平荷载，模拟结构从弹性到屈服再到极限状态的全过程。该方法能清晰识别结构屈服顺序与薄弱部位，评估抗震承载力与变形能力，弥补了拟静力法忽略非线性的缺陷，适用于水电站厂房、中低高度坝体等结构的抗震性能评估。实际应用中，需结合结构受力特点选择荷载分布模式，准确设定材料弹塑性本构与屈服准则。不过，该方法仍未充分考虑地震动时程特性与随机性，对高度不规则、刚度突变的结构，分析结果存在偏差，需结合动力方法验证。

3.2 动力抗震分析方法

动力抗震分析方法基于结构动力学理论，考虑地震动时程特性，适用于复杂、重要水工建筑，主要包括反应谱法、动力时程分析法与随机振动分析法。

反应谱法是工程常用动力方法，原理是利用地震反应谱将地震动转化为不同振型的等效动力

作者简介：

林远平（1983-），男，汉族，工程师，经济师，工商管理硕士；研究方向：建筑结构。

荷载。分析时先计算结构各阶振型自振周期与参与系数，再结合场地类别、地震烈度选取反应谱曲线，确定各阶振型地震影响系数，最后通过振型组合得到总地震响应。该方法平衡精度与效率，适用于刚度均匀、质量集中的水工建筑，如高度适中的重力坝、规则水电站厂房，在施工图设计阶段广泛应用。但该方法基于线性弹性假设，忽略结构非线性损伤与地震波非平稳性，对高延性、大变形结构，计算结果偏于保守，可能造成材料浪费。

动力时程分析法是当前精度较高的方法，通过输入符合场地特性的实际或人工地震波，建立动力模型求解动力微分方程，得到结构全程时程响应。该方法能真实模拟地震过程，考虑结构非线性与水-结构-地基耦合作用，适用于高坝、大跨度渡槽、复杂地下洞室等重要结构。应用中需科学选取地震波，确保频谱特性与场地匹配，但该方法计算复杂、对软硬件要求高，且结果对模型参数敏感，需通过参数化分析与现场试验验证模型可靠性。

随机振动分析法是前沿方向，将地震动视为随机过程，基于随机振动理论，通过建立地震功率谱密度函数与结构频响函数，计算响应统计特性，评估抗震可靠性。该方法能考虑地震动参数不确定性，为风险评估提供科学依据，但理论复杂、计算要求高，目前在水利工程中多用于科研与重大工程补充分析。

4 水利工程中水工建筑结构的抗震性能优化策略

4.1 基于结构设计的优化策略

基于结构设计的优化是提升抗震性能的根本，需从选型、材料、构造三方面系统推进。

结构选型需结合地震烈度与场地条件，优先选择延性好、整体性强的形式。高烈度区域，土石坝凭借填土延性优势，比重力坝更能减少地震开裂；拱式渡槽通过拱体传力分散地震荷载，降低支座受力集中与脱空风险，优于梁式渡槽。同时，需保证刚度分布均匀，避免突变形成薄弱部

位；重力坝设计中，合理规划上下游坡度，实现刚度平缓过渡；水电站厂房框架结构控制柱截面与梁高变化幅度，确保刚度协调；大跨度地下洞室通过增设支撑或优化断面，改善刚度分布，提升抗震稳定性。

材料选择上，优先采用高性能、高延性材料。混凝土可添加纤维改性，提升抗裂性与延性，减少地震裂缝；研发应用自愈混凝土，利用自身修复能力处理早期微裂缝，延长寿命。钢材需兼顾强度与延性，厂房框架梁、柱选用抗震钢筋，确保地震时通过塑性变形耗能，避免脆性破坏；渡槽支座预埋件选用耐腐蚀钢材，防止锈蚀影响传力。土石坝填料优化颗粒级配，提高密实度，增强抗剪强度与整体性，为抗震奠定基础。

构造设计优化聚焦关键部位：坝体分缝中，重力坝合理设置横缝间距，采用复合止水体系，保证地震时缝间水密性；拱坝横缝设置键槽，增强缝面传力，减少错动。渡槽支座选用自适应调节形式，通过变形吸收地震能量，降低槽身响应；厂房柱脚采用刚接，配置加强箍筋与抗剪构件，提升节点抗剪承载力与延性。地下洞室采用喷锚支护与混凝土衬砌组合体系，增强围岩与衬砌协同工作，提升抗震防塌能力^[4]。

4.2 基于抗震加固的优化策略

基于抗震加固的优化需结合既有建筑缺陷，融合传统技术升级与新型技术创新，提升抗震能力。

针对老旧混凝土坝表面裂缝，传统单一灌浆加固效果有限，可采用“裂缝灌浆+粘贴补强材料”复合方案：先通过压力灌浆填充裂缝，恢复结构整体性，再在裂缝表面粘贴高强度补强材料，进一步提升抗拉与抗裂性能，比单一方法更能增强坝体抗震，减少地震裂缝复发。

土石坝加固重点解决坝基液化与坝坡稳定问题：对液化地基，采用振冲碎石桩等技术，通过置换与挤密改善地基力学性能，提高承载力，消除液化隐患；坝坡加固增设块石填筑的抗震棱体，棱体与坝体间设置土工合成材料，增强整体性，

提升抗滑稳定系数,确保地震时坝坡安全。同时,优化防渗体系,采用混凝土防渗墙与土工膜组合结构,提高坝基防渗效果,减少渗流侵蚀,避免渗流加剧地震损伤。

新型加固技术中,隔震与消能减震技术优势显著。隔震技术通过在结构与基础或关键部位设置隔震装置,改变动力特性,减少地震能量传递:水电站厂房柱脚安装隔震支座,利用支座材料变形耗能,大幅降低楼面地震加速度;渡槽采用摩擦摆隔震支座,通过滑动面摩擦耗能,结合弧形结构限制槽身位移,避免支座脱空,适用于高烈度区域。

消能减震技术通过消能装置主动耗能:金属阻尼器依靠材料屈服变形,安装于坝体分缝、厂房梁柱节点,通过塑性变形减少结构主体损伤;黏滞阻尼器利用黏滞液体流动产力耗能,具有线性阻尼特性,应用于大跨度渡槽槽身与支座间,减少槽身振动。应用新型技术时,需通过理论分析与数值模拟,优化装置参数与安装位置,确保与结构协同工作,充分发挥加固效果。

4.3 基于施工与运维的优化策略

基于施工与运维的优化需贯穿全生命周期,通过严格过程管控与科学管理,保障抗震性能实现与长期保持。

施工环节,技术交底是前提。针对抗震关键工序制定专项方案,明确技术要点与质量标准:混凝土浇筑前,详细交底振捣工艺,确保浇筑密实,避免漏振、过振产生内部缺陷;钢筋安装前,明确抗震钢筋连接方式与精度要求,保障钢混协同工作;渡槽拼接缝施工前,说明灌浆材料配比与工艺参数,保证传力与水密性。技术交底采用“书面+现场演示”形式,确保施工人员掌握要点,交底记录归档备查,实现质量追溯。

施工质量监测依托先进技术实现精细化管控:利用 BIM 技术构建三维模型,录入抗震关键参数,施工中通过移动终端采集实际参数,与设计值对比,偏差超限时及时预警整改。混凝土浇筑采用超声波检测实时监测密实度,发现缺陷立即处理;渡槽支座安装用高精度仪器监测高程与水平位置,

严控偏差,避免受力不均增加地震脱空风险。关键工序留存影像资料,关键部位经监理验收合格后方可进入下一工序,验收记录作为竣工验收依据,确保质量可控。

运维阶段构建“监测-评估-维护”闭环体系:长期监测根据结构特点布置设备,坝顶、厂房屋面安装加速度计监测动态响应,坝踵、拱端等薄弱部位粘贴应变计监测应力,坝体、槽身用高精度设备监测变形,数据通过物联网实时传输至平台,异常时报警核查。基于监测数据建立量化评估模型,用层次分析法确定影响因素权重,计算抗震性能指数并分级,针对不同等级制定维护策略,如对碳化严重部位采用表面涂层防护,对锈蚀钢筋除锈防锈,同时动态调整维护方案,确保结构长期保持良好抗震性能。

5 结论与展望

本文研究水工建筑结构抗震性能,明确结构自身特性、外部环境、施工运维是影响抗震性能的核心因素;梳理出静力与动力两类分析方法,动力时程分析法适用于复杂结构精准评估,静力弹塑性分析法便于薄弱部位识别;提出“设计-加固-运维”全流程优化策略,可有效提升抗震性能。当前研究对水利工程体系协同抗震考虑不足,材料非线性模拟精度有待提升。未来需重点研发 BIM 与物联网融合的智能监测系统、AI 震后损伤评估模型,推动绿色高延性材料应用,完善多灾害耦合下的抗震规范,为水利工程抗震提供更全面的理论与技术支撑。

参考文献

- [1] 冉慧敏,金花,李艳永.新疆中强地震矩震级的初步研究[J].内陆地震,2023,37(3):239-246.
- [2] 中国地震动参数区划图:GB18306—2015[S].北京:中国标准出版社,2015.
- [3] 水电工程水工建筑物抗震设计规范:NB35047—2015[S].北京:中国电力出版社,2015.
- [4] 杨树红,轧文倩.卡拉贝利水利枢纽大坝抗震加固技术研究[J].水利建设与管理.2024,44(05):25-30.

doi 10.12479/questpress-slsdgckj.20250102

水电站灯泡贯流式机组泡头动力柜风机控制方式优化改造

张永胜

青海省三江水电开发有限责任公司, 青海西宁, 810000

摘要: 水电站灯泡贯流式机组泡头动力柜风机控制方式一般为常压、强迫通风、闭路循环, 一次冷却。通风冷却系统主要由空气冷却器、风机、导风板、挡风板等组成。发电机的通风方式为强迫径向磁轭通风。发电机空气循环动力由安装在空冷器后风道内的 6 到 8 台风机产生, 多数均存在高耗能, 电机转速高, 连续对机械磨损大, 轴承易发损坏。

关键词: 变频器; 斜流式冷却风机; 灯泡贯流式机组

Optimization and transformation of fan control mode in power cabinet of bulb tubular unit of hydropower station

Yongsheng Zhang

Qinghai Sanjiang Hydropower Development Co., Ltd.810000, Xining, Qinghai Province China

Abstract: In hydropower station bulb-type tubular turbine units, the control method for the bulb head power cabinet fans typically employs atmospheric pressure forced ventilation with closed-loop circulation and primary cooling. The ventilation system primarily consists of air coolers, fans, guide vanes, and wind deflectors. The generator adopts a forced radial magnetic yoke ventilation system. Six to eight fans installed in the rear air duct of the air cooler generate the driving force for the generator's airflow. However, most systems suffer from high energy consumption, excessive mechanical wear due to high motor rotational speeds, and frequent bearing failures.

Keywords: frequency converter; inclined flow cooling fan; bulb tubular unit

1 项目概述

对水电站灯泡贯流式机组泡头动力柜 6 台 11KW 斜流式冷却风机、6 台 1KW 加热器、1 台 1.5KW 除湿机、1 台 1.5KW 除尘机及照明设备控制方式采用 PLC 控制, 由变频器控制 6 台风机的转速来调节风机的风压, 通过定子线圈温度实现风机随温度变化调整转速改变风量, 同时将机组冷却风机各状态上送 LCU, 便于运行人员监视。风机采用一拖一方式用变频器进行控制, 加热器在开机时退出运行。除湿机、除尘装置、照明由动力柜提供动力电源。拟计划对 6 台 11KW 斜流式冷却风机、6 台 1KW 加热器、1 台 1.5KW 除湿机、1 台 1.5KW 除尘机及照明设备。采用 PLC 控制, 由变频器控制 6 台风机的转速来调节风机的

风压, 通过定子线圈温度实现风机随温度变化调整转速改变风量, 同时将机组冷却风机各状态上送 LCU, 便于运行人员监视。风机采用一拖一方式用变频器进行控制。加热器在开机时退出运行。除湿机、除尘装置、照明由动力柜提供动力电源。

2 选题依据

水电站灯泡贯流式机组安装有 7 台单机容量 40.5MW 灯泡贯流式机组, 机组发电机为三相交流同步、卧轴灯泡贯流式水轮发电机。冷却方式为常压、强迫通风、闭路循环, 一次冷却。每套机组设置一套冷却控制系统, 全厂共 7 套。通风冷却系统主要由空冷器、风机、导风板、挡风板等组成。发电机的通风方式为强迫径向磁轭通风。每台机组泡头内有 6 台 11kW 轴流式冷却风机,



© The Author(s) 2025. Published by Quest Press Limited.
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted reuse, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited



用于机组正常运行时对发电机内部降温, 开机时冷却风机全部投入运行, 停机后全部退出。但在实际运行中, 温度并不恒定, 尤其在气温低、出力少时风机并不需要全部投入运行, 所以这样的设计缺乏灵活性, 同时又会产生不合理的能耗, 造成机械的磨损, 缩短设备寿命等一系列的问题。针对这些问题, 特此成立项目通过改造达到节能降耗、降本增效的目的。通过发电机定子 12 组线圈测温信号(pt100)作为变频器 PID 调节的依据。

2.1 现状调查

2.1.1 收集机组正常运行时空冷器热风、冷风及定子线圈报警温度定值

| 序号 | 名称 | 报警温度 |
|----|------|------|
| 1 | 热风 | 60℃ |
| 2 | 冷风 | 60℃ |
| 3 | 定子线圈 | 110℃ |

2.1.2 调查夏季机组热风、冷风、线圈实际温度区间

选取了全年中气温最高的月份、机组正常运行时间较长的时段, 通过不同负荷下对机组空冷器热风、冷风及定子线圈温度分析, 定子线圈温度最高值与报警值 80℃有较大差值, 6 台风机同时运行均可减少风量并且满足运行要求, 有较大的节能降耗节能空间。

| 日期 | 名称 | 时间 | 温度/功率 | | | | | | | | | | |
|----|----------|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | | 10:00 | 11:00 | 12:00 | 13:00 | 14:00 | 15:00 | 16:00 | 17:00 | 18:00 | 19:00 | 20:00 |
| 5 | 有功功率(MW) | | 33 | 33.3 | 21.3 | 20.1 | 33.9 | 34.5 | 37.8 | 34.5 | 31.5 | 34.5 | 36 |
| | 热风 | | 49.2 | 48.1 | 47.4 | 42.2 | 44 | 42.5 | 46.3 | 48.1 | 47.1 | 47.9 | 48.8 |
| | 冷风 | | 31.4 | 30.8 | 29.4 | 26.7 | 28.4 | 27.3 | 30.2 | 30.8 | 29.9 | 30.8 | 31.6 |
| | 线圈 | | 50.4 | 49.2 | 48.3 | 43.4 | 44.8 | 43.8 | 47.8 | 49.3 | 47.9 | 48.8 | 49.9 |
| 13 | 有功功率(MW) | | 33.3 | 36.6 | 33.9 | 38.7 | 38.7 | 36.6 | 36.9 | 34.5 | 35.7 | 33.3 | 34.5 |
| | 热风 | | 48.8 | 48.8 | 50 | 47.9 | 49.6 | 51.6 | 51.5 | 49.8 | 49.8 | 49.4 | 49 |
| | 冷风 | | 30.2 | 30.4 | 31.3 | 29.9 | 31.8 | 33 | 33.3 | 32 | 32.4 | 32.2 | 31.9 |
| | 线圈 | | 50.2 | 50.2 | 51.7 | 49.4 | 51.3 | 53 | 53 | 51.6 | 51.5 | 51.1 | 50.5 |
| 25 | 有功功率(MW) | | 37.5 | 34.2 | 36.3 | 34.5 | 33 | 32.7 | 36 | 34.8 | 34.5 | 34.2 | 35.7 |
| | 热风 | | 49.8 | 48.9 | 48.9 | 49.5 | 48.5 | 48 | 47.9 | 48.3 | 48.2 | 48 | 48.3 |
| | 冷风 | | 29.6 | 28.8 | 29 | 29.1 | 28.5 | 28 | 28.3 | 28.6 | 28.5 | 28.3 | 28.6 |
| | 线圈 | | 51.6 | 51.4 | 50.4 | 51.1 | 50 | 49.1 | 49 | 49.7 | 49.6 | 49.4 | 49.7 |

2.1.3 分析风机能耗影响因素

风机频率降低, 风机转数也就降低, 风机转数提高, 风机频率也就提高, 因风机是通过电机的驱动实现转数的变化, 在风机壳体、风叶尺寸一定的情况下, 风机的电机转数越高, 风机的风量就越大, 反之则相反。

风机频率 (Hz)与风量成一定的正比, 要实现风机的频率变化调整, 则必须使用风机类的变频器。一般风机可变频的范围是 35~80Hz, 若要想更高的转数、则视风机驱动电机的承受能力、风叶、涡壳的强度均要有同等配套的情况下才可实现。

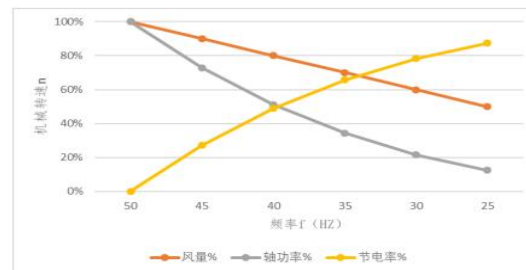
2.1.4 分析风机能耗影响因素

随着转速的降低, 风机的轴功率逐步减少, 节电率逐步提高。

不同转速下风量、轴功率、节电率关系

| 频率 f (HZ) | 机械转速 n | 风量% | 轴功率% | 节电率% |
|-----------|--------|------|-------|-------|
| 50 | 100% | 100% | 100% | 0.0% |
| 45 | 90% | 90% | 72.9% | 27.1% |
| 40 | 80% | 80% | 51.2% | 48.8% |
| 35 | 70% | 70% | 34.3% | 65.7% |
| 30 | 60% | 60% | 21.6% | 78.4% |
| 25 | 50% | 50% | 12.5% | 87.5% |

不同转速下风量、轴功率、节电率关系图



2.1.5 分析不同温度下对厂用电的影响

作者简介:

张永胜: (1988-)男, 青海, 青海省三江水电开发有限责任公司生产技术部 技术监督主管, 中级工程师, 研究方向: 电气检修工作。

机组自用电负荷

| 序号 | 名称 | 功率 (kw) | 单位 | 数量 | 总功率 (kw) | 所占比例 (%) |
|----|---------|---------|----|----|----------|----------|
| 1 | 压油泵电机 | 55 | 台 | 1 | 55 | 28.57 |
| 2 | 漏油泵电机 | 1.5 | 台 | 1 | 1.5 | 0.78 |
| 3 | 润滑油泵电机 | 15 | 台 | 1 | 15 | 7.8 |
| 4 | 冷却风机电机 | 11 | 台 | 6 | 66 | 34.28 |
| 5 | 技术供水泵电机 | 55 | 台 | 1 | 55 | 28.57 |
| 合计 | | | | | 192.5 | 100 |

由上表可以得出，冷却风机功率占机组自用电负荷功率 34.28%，降低冷却风机的功率全厂厂用电率也会有大的降幅。

3 改造前后对比

3.1 改造前工况

水电站灯泡贯流式机组冷却方式为常压、强迫通风、闭路循环，一次冷却。通风冷却系统主要由空气冷却器、风机、导风板、挡风板等组成。发电机的通风方式为强迫径向磁轭通风。发电机空气循环动力由安装在空冷器后风道内的 6 台风机产生，风的主要循环路径如下所示：

风机①转子中心体②磁轭通风沟、气隙③定子通风沟④定子机座通风孔⑤空气冷却器⑥U 形风道⑦风机。

水电站灯泡贯流式机组泡头动力控制系统采用哈尔滨电机厂有限责任公司动力盘柜，每台机组配有 1 面控制柜，主要控制每套机组 6 台 11KW 斜流式冷却风机（详细参数见下表）、6 台 1KW 加热器、1 台 1.5KW 除湿机、1 台 1.5KW 除尘机及照明设备。冷却风机采用 AC380V 双电源供电方式。柜内设置双电源控制器 FAST3，6 台风机公用一个手动/自动把手。交流电源均取自机旁 0.4kV 动力盘。

| 类别 | 型号 | 风量 (m ³ /h) | 全压 (Pa) | 转速 (r/min) | 电机容量 (kw) |
|----|-------|------------------------|---------|------------|-----------|
| 风机 | SXF-C | 19400 | 990 | 2900 | 11 |

存在的主要问题

(1) 采用常规接触器控制，无 PLC，采用硬接点送至机组 LCU，无法满足智慧化电站要求。

(2) 设备投运时间已达 15 年之久，电气设备老化，控制装置老化，无相应备品备件。

(3) 电机采用直接启动，启动电流大，对厂用电系统冲击大。

(4) 电机无控制设备，无法实现节能目的，电机转速高，连续对机械磨损大，轴承易发损坏。

3.2 改造后工况

通过更改风机控制方式，从常规控制改为变频控制。

(1) 自动控制，减小劳动强度，降低系统维护时间，提供效率，减少运行成本。

(2) 控制电机的启动电流，增加风机寿命。

(3) 降低电力线路电压波动，避免故障发生。

(4) 低速运行可减少磨损、降低噪音，延长风机和电机寿命。

(5) 变频风机的风量与转速的二次方成正比，功耗与转速的三次方成正比，因此更节能。

3.3 技改方法

3.3.1 原动力控制柜系统简介

水电站机组泡头原动力控制系统采用哈尔滨电机厂有限责任公司动力盘柜，每套机组配有 1 面柜，主要控制每套机组 6 台 11KW 斜流式冷却风机、6 台 1KW 加热器、1 台 1.5KW 除湿机、1 台 1.5KW 除尘机及照明设备。

3.3.2 当前控制柜设备清单及功能

(1) 控制柜：1 面动力盘柜。实现信号的输入输出。

(2) 控制柜手动/切除/自动把手 1 个。现地/远方控制把手，把手手动位置，现地可控制设备，把手自动位置，远方中控室控制设备，把手切除位置，现地远方均不能控制设备。

(3) 双电源控制屏 1 台。现地监视控制功能。

(4) 智能温湿度控制器 1 个。环境温度、湿度监视。

(5) 风机手动启动按钮 1 个。把手手动位置，启动风机。

(6) 风机手动停止按钮 1 个。把手手动位置，停止风机。

(7) 加热器手动启动按钮 1 个。把手手动位置, 启动加热器。

(8) 加热器手动停止按钮 1 个。把手手动位置, 停止加热器。

(9) 除湿机手动启动按钮 1 个。把手手动位置, 启动除湿机。

(10) 除湿机手动停止按钮 1 个。把手手动位置, 停止除湿机。

(11) 工作电源电流监视仪表 1 个。

(12) 工作电源电压监视仪表 1 个。

(13) 主电源 1 电压监视仪表 1 个。

(14) 主电源 2 电压监视仪表 1 个。

3.3.3 控制现状

目前风机为常规风机控制, 其缺点有:

(1) 控制方法简单, 人为增加阻力达到调节目的, 噪音大。

(2) 启动时会产生数倍的电机额定电流, 从而产生热量, 降低寿命。

(3) 启动时电流剧增, 电压大幅波动, 将引起其它同一网络设备异常。

3.3.4 改造目标

更改风机控制方式, 从常规控制改为变频控制。变频风机控制优点:

(1) 自动控制, 减小劳动强度, 降低系统维护时间, 提供效率, 减少运行成本。

(2) 控制电机的启动电流, 增加风机寿命。

(3) 降低电力线路电压波动, 避免故障发生。

(4) 低速运行可减少磨损、降低噪音, 延长风机和电机寿命。

(5) 变频风机的风量与转速的二次方成正比, 功耗与转速的三次方成正比, 因此更节能。

3.3.5 电气部分

保留原冷却风机工频直接启动系统, 变频器一拖一模式出线分别接三台热过载继电器后接到 6 台冷却风机, 软启动软停止, 减少对电网及机械设备的冲击, 同时能根据工艺生产需求, 通过变频器上的调速按键给定(或计算机 PLC 给定)变频器不同的频率, 实现工艺生产需要的不同冷却风量即根据现场工艺需求调节变频器的频率, 实

现需要的冷却风量, 保持泡头温度的相对恒定, 实现节电效果。

3.3.6 控制部分

增加一台可编程序控制器(PLC), 接收水轮发电机泡头两路温度传感器信号, 根据环境温度等参数, 由可编程序控制器(PLC)接收数据、分析数据、决定控制方案、输出控制。使用可编程序控制器(PLC)内置的PID算法, 输出 4~20mA 信号自动调节变频器的运行频率, 进而控制冷却风机的转速, 系统自动完成对多台风机的启动、停止、变频的全部操作过程, 达到基本恒温控制。

4 成果优越性

项目实施后, 不同负荷下各线圈温度均在正常范围内。当负荷在 20MW, 改造后线圈温度平均值近 40℃, 略高于改造前; 当负荷在 30MW, 改造后线圈温度平均值近 49℃, 较改造前降低 7℃左右; 当负荷在 40MW, 改造后线圈温度平均值近 52℃, 较改造前降低 14℃左右。水电站 2 号机组冷却风机变频控制改造项目顺利实施, 使贯流式机组冷却风机运方式更加完善, 在保证发电机温度得到有效控制的前提下更加节能, 特别是枯水期机组在低负荷运行情况下效果尤为明显, 不仅保证机组有效散热, 同时降低风机本身能耗的情况下降低厂用电负荷, 对电站节能降耗方面带来良好的改善和促进, 该项目改造达到预期目的。

整个工艺和技术设备先进且经济适用, 根据该项目实施后产生的经济效益和达到的改造效果, 水电站剩余 6 台机组泡头动力柜冷却风机变频控制改造项目可以继续推广实施。

5 经济效益

5.1 线圈温度对比

项目实施后, 不同负荷下各线圈温度均在正常范围内。当负荷在 20MW, 改造后线圈温度平均值近 40℃, 略高于改造前; 当负荷在 30MW, 改造后线圈温度平均值近 49℃, 较改造前降低 7℃左右; 当负荷在 40MW, 改造后线圈温度平均值近 52℃, 较改造前降低 14℃左右。

| 改造前 | | | | | | 改造后 | | | | | |
|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|-------|
| 20MW | | | | | | | | | | | |
| #1线圈 | #3线圈 | #5线圈 | #7线圈 | #9线圈 | #11线圈 | #1线圈 | #3线圈 | #5线圈 | #7线圈 | #9线圈 | #11线圈 |
| 32.8 | 35 | 32.4 | 33.1 | 34.3 | 33.6 | 39.1 | 40.8 | 39.2 | 37.8 | 38.9 | 40.1 |
| 32.9 | 33.1 | 34.3 | 32.9 | 32.7 | 33.1 | 38.4 | 40.4 | 39.4 | 38.4 | 39.5 | 46.3 |
| 43.3 | 42.9 | 41.9 | 43.1 | 42.8 | 44 | 40.8 | 43.1 | 41.8 | 40.8 | 42.2 | 47.7 |
| 40.7 | 40.4 | 39.6 | 40.5 | 40.4 | 41.5 | 50.1 | 58.5 | 51.8 | 49.9 | 51 | 46.4 |
| 40 | 39.8 | 39.1 | 39.7 | 39.6 | 40.6 | 45.9 | 48.7 | 47.2 | 45.6 | 47.1 | 48.7 |
| 43.2 | 43 | 42.5 | 42.9 | 42.8 | 43.7 | 40.1 | 42.6 | 41.4 | 40.4 | 41.7 | 46.2 |
| 改造前 | | | | | | 改造后 | | | | | |
| 30MW | | | | | | | | | | | |
| #1线圈 | #3线圈 | #5线圈 | #7线圈 | #9线圈 | #11线圈 | #1线圈 | #3线圈 | #5线圈 | #7线圈 | #9线圈 | #11线圈 |
| 58 | 57.8 | 58.9 | 57.5 | 58.1 | 59 | 46.1 | 49.1 | 47.8 | 46.4 | 47.9 | 52.7 |
| 56.9 | 56.6 | 57.9 | 56.4 | 56.9 | 57.9 | 48 | 51 | 49.6 | 47.9 | 49.8 | 48.7 |
| 55.9 | 55.6 | 57 | 55.3 | 56 | 56.9 | 50.2 | 53.8 | 52.8 | 50.3 | 52.4 | 47.8 |
| 60.9 | 60.9 | 62.5 | 60.4 | 60.8 | 62.3 | 38.1 | 39.8 | 39.1 | 38.2 | 37.6 | 46.8 |
| 57.9 | 57.7 | 58.8 | 57.4 | 58 | 58.9 | 50.7 | 53.9 | 52.7 | 50.9 | 52.8 | 48.5 |
| 53.7 | 53.4 | 54.3 | 53.2 | 53.9 | 54.5 | 48 | 51 | 49.5 | 48.0 | 49.9 | 46.8 |
| 改造前 | | | | | | 改造后 | | | | | |
| 40MW | | | | | | | | | | | |
| #1线圈 | #3线圈 | #5线圈 | #7线圈 | #9线圈 | #11线圈 | #1线圈 | #3线圈 | #5线圈 | #7线圈 | #9线圈 | #11线圈 |
| 66.1 | 65.6 | 67.5 | 65.4 | 64.8 | 64.6 | 48.7 | 51.7 | 50.6 | 49.3 | 51.1 | 52.8 |
| 66.8 | 66.5 | 68.2 | 66.1 | 65.5 | 67.4 | 53.4 | 56.8 | 55.5 | 53.7 | 55.8 | 52.5 |
| 66.6 | 66.2 | 68 | 66 | 65.6 | 68.2 | 41.7 | 43.9 | 42.9 | 41.8 | 48.1 | 52.5 |
| 65.7 | 65.4 | 66.8 | 65 | 64.4 | 68 | 48.8 | 43.9 | 42.9 | 41.8 | 48.1 | 52.5 |
| 63.7 | 65.6 | 65.3 | 63.2 | 62.7 | 64.9 | 50.7 | 53.8 | 52.7 | 50.9 | 52.8 | 50.9 |
| 65.9 | 63.5 | 67.3 | 65.4 | 64.8 | 67.1 | 51.1 | 54.5 | 53.2 | 51.2 | 53.4 | 52.0 |

5.2 能耗对比

通过对比水电站 1 号机组冷却风机（工频控制）耗电量和 2 号机组冷却风机（变频控制）耗电量（详见附表一），工频控制下风机功率为 42KW,变频控制下风机功率为平均为 25KW,按照 2 号机组冷却风机变频控制改造投入运行时间 883.20h 计算，工频模式下耗电量为 37094kWh,变频模式下耗电量为 22413kWh,风机变频运行较工频模式节省电量为 14681kWh,节约电费 3397 元（按 2022 年平均结算电价 0.2315 元/kWh 计算）。

根据统计水电站 2022 年全年机组运行小时数为 27743h,工频运行模式下机组风机用电量为 117 万kWh,占全年直接厂用电量 476 万kWh的 24.58%,若 7 台机组冷却风机全部改为变频控制后可节省电量 42 万kWh,年节省电费 10 万元。

| 机组负荷 (MW) | 电量 (KW/h) | |
|-----------|------------|------------|
| | #1 机组 (工频) | #2 机组 (变频) |
| 10 | 42 | 21 |
| 26 | 42 | 25 |
| 31 | 42 | 31.8 |
| 38 | 42 | 31.5 |

5.3 厂用电率影响分析

康扬水电站厂用电负荷主要包括机组自用电

及全厂公用电，机组自用电负荷主要有调速系统压油泵、机组漏油泵、高压油顶起泵、轴承冷却润滑油泵、冷却风机，技术供水泵各设备电机功率如下表所示：

| 序号 | 名称 | 功率 (kw) | 单位 | 数量 | 总功率 (kw) |
|----|---------|---------|----|----|----------|
| 1 | 压油泵电机 | 55 | 台 | 1 | 55 |
| 2 | 漏油泵电机 | 1.5 | 台 | 1 | 1.5 |
| 3 | 润滑油泵电机 | 15 | 台 | 1 | 15 |
| 4 | 冷却风机电机 | 11 | 台 | 6 | 66 |
| 5 | 技术供水泵电机 | 55 | 台 | 1 | 55 |
| 合计 | | | | | 192.5 |

冷却风机功率约占机组自用电负荷功率 34.2%，降低冷却风机的功率的同时，全厂厂用电率也会有大的降幅。

水电站 2 号机组冷却风机变频控制改造项目顺利实施，使贯流式机组冷却风机运方式更加完善，在保证发电机温度得到有效控制的前提下更加节能，特别是枯水期机组在低负荷运行情况下效果尤为明显，不仅保证机组有效散热，同时降低风机本身能耗的情况下降低厂用电负荷，对电站节能降耗方面带来良好的改善和促进，该项目改造达到预期目的。

（下转第 20 页）

基于燃气-蒸汽 联合循环电站全厂失电状态下的应急处置与实践

丁 镨

中国电建集团海外投资有限公司, 北京, 100048

摘要: 燃气-蒸汽联合循环电站全厂失电将严重影响电站设备安全, 通过示例电站两个阶段的故障及处理, 有效应对电站外网失电、柴发自启不成功造成全厂失电, 失电后有序组织柴发手动启动, 恢复厂用电, 恢复关键设备运行; 待外网恢复后组织倒送厂用电, 厂用电切换至正常供电模式, 机组满足启动条件。这一合理有效的技术处理方案, 经过实践检验, 能够有效解决该类型电站全厂失电问题, 保障设备安全。
关键词: 燃气电站; 全厂失电; 应急处置

Emergency response and practice based on the power failure of the entire gas-steam combined cycle power station

Kai Ding

Power China Overseas Investment Co., LTD., Beijing 100048, China

Abstract: A power loss across the entire gas-steam combined cycle power plant will seriously affect the safety of the plant's equipment. By illustrating the failures and their handling in two stages of the power plant, this article effectively addresses the power loss caused by the external grid failure and unsuccessful automatic start of diesel generators, which leads to a plant-wide power loss. After the power loss, orderly organize the manual start of diesel generators to restore plant power and resume the operation of key equipment. Once the external grid is restored, organize the transfer of plant power and switch it to the normal power supply mode, ensuring that the unit meets the start-up conditions. This reasonable and effective technical solution, tested in practice, can effectively solve the problem of power loss across the entire gas-steam combined cycle power plant of this type and ensure equipment safety.

Keywords: Gas power station The entire factory lost power. Emergency response

1 引言

随着世界经济的快速高质量发展, 燃气-蒸汽联合循环电站(以下简称: 燃气电站或电站)凭借着清洁高效的特点应用越来越广泛, 在工业和发电领域担负着发电、供热、制冷等任务。近年来, 随着我国“一带一路”倡议的不断发展, 中国在东南亚、大洋洲、非洲、西亚、拉丁美洲等区域投资建设和运营了大量的燃气电站, 电站的投产运营为属地国经济带来了源源不断的动力。但在一些政局不稳定国家、小国家、小岛屿等区

域因电网与外界连接不紧密, 异常脆弱, 经常面临外电网联络中断或电网频繁故障引发电站对外送出中断, 同时电站内因为备用柴发启动不成功导致全厂失电。全厂失电后电站必须采取有效的措施来保障设备的安全, 否则将会造成转动设备断油、化瓦, 热力设备变形、泄漏等一系列不可挽回的损失。本文通过特定的案例对相关问题进行研究, 通过合理的操作和应急处置, 环环相扣、步步为营, 最终实现安全停机和机组启动。该处置过程经过反复实践后总结形成完善的处置方案, 现将方案加以论述, 供有类似问题的电站参考。



© The Author(s) 2025. Published by Quest Press Limited.

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted reuse, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited

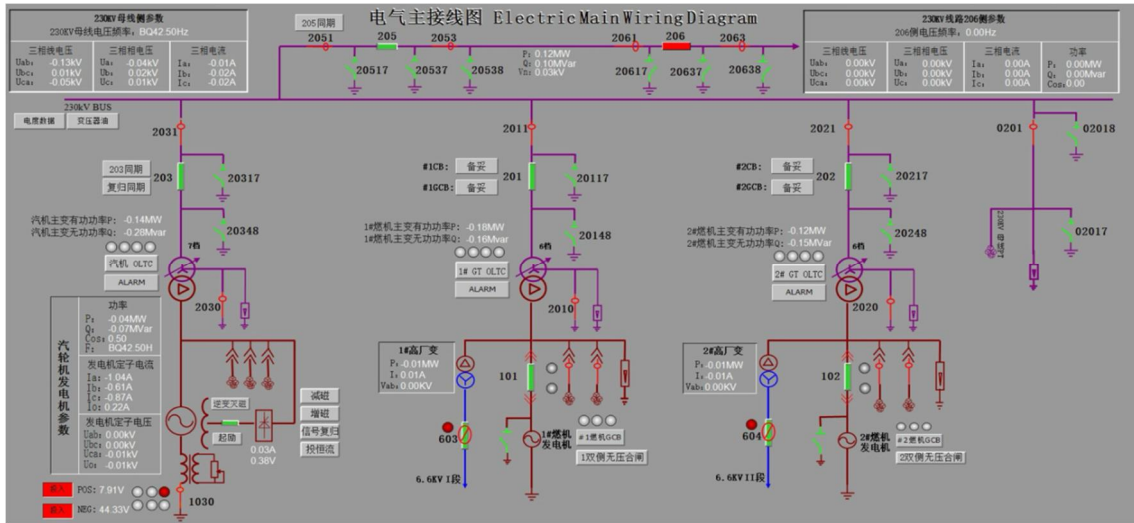


2 燃气电站全厂失电故障及处理

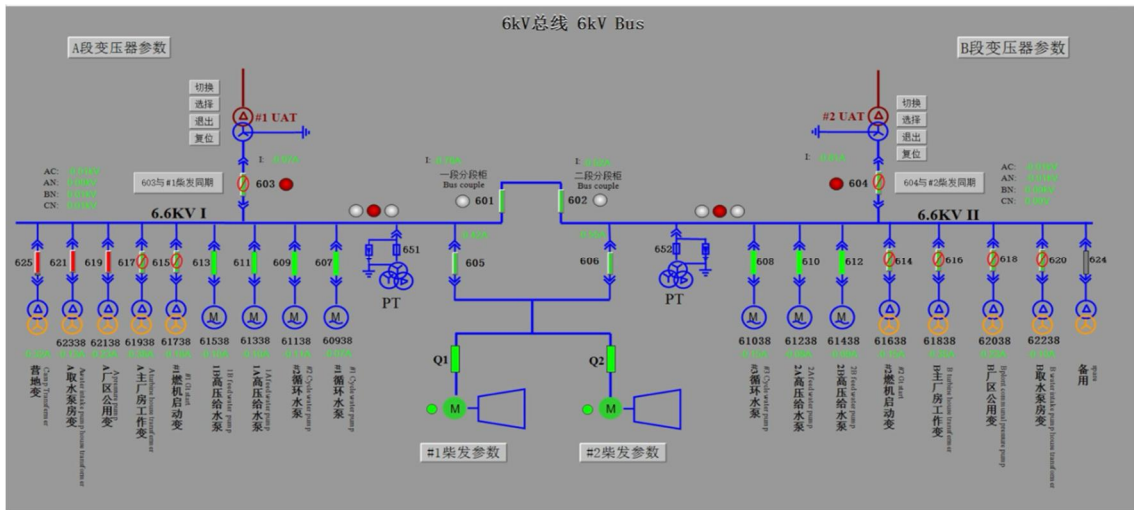
2.1 示例电站简介

某燃气-蒸汽联合循环电站是中国“一带一路”某国某地区的一个重要能源支点项目。电站采用多轴联合循环机组，配置2台燃机+2台燃气发电机+2台余热锅炉+1台纯凝式汽轮发电机组（即二拖一模式），联合循环出力约135MW。电站具有黑启动和孤岛运行功能。电站采用230kV电缆

接入紧邻的230kV的对端变电站(如图一所示)。对端变电站通过两条230KV主出线与该国家主电网相连接。厂用电系统为高压6.6kV系统和低压400V系统，每台燃机发电机设一台高压厂用变，电源引自燃机主变低压侧，每台燃机设一段6.6kV厂用母线，全厂高压负荷电源分接在这两段6.6KV母线上。两段6.6KV母线间有联络开关，另有两台6.6KV黑启动柴油发电机作为两段6.6KV母线的备用和黑启动电源。(如图二所示)



图一 电气主接线图



图二 6.6kV 厂用电总线图

2.2 故障前电站运行方式

电站机组二拖一联合循环运行，出线为

230kV 单母线运行，230kV GIS 出口断路器 205、AIS 出口断路器 206 在合位，230kV 母线与#1 燃

作者简介:

丁镡, 42岁, 本科学历, 高级工程师, 现为中国电建集团海外投资有限公司项保处经理, 长期从事电力建设和运营管理工作, 具备丰富的国际电力项目管理经验, 参加过多个大中型电站的设计、建造及运营管理工作, 熟悉电力行业设备制造、技术改造和运营管理。

机、#2 燃机、汽机发电机组和对应主变运行；6.6kV I 段由#1 燃机高厂变接带，6.6kV II 段由#2 燃机高厂变接带，厂用 400V 正常方式运行；机组总负荷 135MW；主要辅机和黑启动柴油发电机在运行和备用状态。

2.3 故障现象及处理

第一阶段：电站外网失电、全厂失电，恢复厂用电过程

现象：DCS 显示电站 230kV 母线全部失电，GIS 出口断路器 205、AIS 出口断路器 206 跳闸，201/202/203（#1 燃机主变高压侧断路器/#2 燃机主变高压侧断路器/汽机主变高压侧断路器）跳闸。两台燃机跳闸后进入孤岛失败，汽机保护联跳，燃机和汽机转速快速下降。#1/#2 燃机及汽机直流油泵启动，润滑油系统压力正常，#1/#2 炉三通挡板关闭走旁路烟囱，汽机高、低压旁路在关闭状态，真空开始下降，轴封压力自动调节维持 20kpa。其他辅机全部跳闸。

处置：值长向调度汇报，机组已经跳闸。值班人员检查黑启动柴发自启动是否成功，如失败，盘前硬启动按钮启动柴发，若仍不成功，就地检查并复位柴发报警，检查柴油油位正常，拉开 6.6KV 母线母联开关，将柴发切至手动并启动柴发正常。手动合柴发出口断路器 Q1（或 Q2）开关、605（或 606）开关。合 6.6KV 母联 601、602 开关，检查并复归 6.6KV 配电室各高压断路器报警，检查两台燃机启动变供电正常。通过检查两台燃机 MCC 进线开关运行电流示数是否低于 100A 判断各燃机 MCC 负荷是否恢复，若没恢复则就地检查并复归燃机 MCC 母线进线电源、罩壳风机电源、润滑油泵交流电源及直流充电机电源等负荷的报警并送上相关电源。启动汽机交流润滑油泵以及排烟风机，检查#1/#2 燃机交流润滑油泵自切换正常，油压恢复正常。检查并逐一恢复闭式水泵、凝结水泵、盘车电机以及空压机电源。检查并启动 A 闭式水泵、辅机循环水泵，恢复各冷却水系统正常。复位#1/#2 燃机保护报警并投盘车。启动仪用空气空压机和干燥器，投入仪用气正常。将凝结水再循环开度调整在 50%，启动 A 凝结水泵，B 泵备用。汽机转速降到 550 转时，顶轴油泵自启。汽机盘车转速到

0rpm 后，盘车齿轮自啮合，若不成功，则就地手动投入盘车。电站恢复热备用，等待外网恢复和机组启动指令。

第二阶段：外网恢复，电站倒送厂用电，机组启动

现象：206 开关后 230KV 线路电压显示正常、频率正常；得到调度和对侧变电站通知，电网恢复正常。

处置：对侧变电站 230kV 系统电源（外网）恢复，根据调度指令，电站开始倒送厂用电操作。合上 206 电源开关，DCS 显示 205 开关后 230kV 联络线电压正常，频率正常。检查复归 230KV GIS 盘柜报警，远方合闸 GIS 205 断路器，电站 230KV 母线带电正常。远方合闸#1 燃机主变高压侧 201 断路器，对#1 燃机主变及#1 高厂变充电，DCS 和就地仪表显示正常。启动#1 黑启动柴发与高厂变同期并网操作，#1 燃机高厂变进线 603 开关自动检同期合闸，#1 黑启动柴发与系统并网成功。分闸#1 黑启动柴发进线 605（或 606）开关、Q1（或 Q2）开关（此处注意操作要迅速或通过自动延时跳闸方式，防止柴发逆功率），检查 6.6kV 电压正常。逐步恢复各 PC 段及 400V 厂用变锅炉 MCC、工业废水 MCC、化验楼 MCC、制氯 MCC、原水预处理 MCC、综合楼 MCC A/B 段等电源，厂用电系统恢复机组正常启动前运行模式，机组具备启动条件。按照正常步序启动机组。

3 结语

在国内全厂失电极少发生，往往引不起重视，但在国外特定地区会经常出现电厂全厂失电问题，本论文结合实际案例，从燃气电站全厂失电出发，结合实际工作经验，总结形成有针对性的全厂失电应急处置和厂用系统恢复方案，达到电站在全厂失电时满足机组设备安全稳定和系统恢复的目的。此方法对具有经常面临外网失电引发全厂失电的燃气-蒸汽联合循环电站的事故处理有一定的指导和借鉴意义。

参考文献

- [1] 缅甸皎漂发电有限公司企业标准 Q/KPEPC OM OD202—2023.

doi 10.12479/questpress-slsdgckj.20250104

基于底线思维的住宅韧性提升——以北京市房山区 周口店镇北下寺村、葫芦棚村灾后重建研究为例

刘 强

中科建（北京）建筑规划设计有限公司，北京，100080

摘要：在2023年7月末至8月初，台风“杜苏芮”的残余环流给北京市带来了前所未有的挑战，尤其是房山区周口店镇北下寺与葫芦棚村，遭受了“23·7”特大暴雨及流域性洪水的重创，暴露了传统住宅体系在极端天气下的脆弱性。面对自然灾害的严峻考验，基于底线思维的住宅韧性提升成为迫切需求。本文旨在以周口店镇北下寺、葫芦棚村的灾后重建为研究对象，探讨如何利用GIS等现代技术手段，对两村进行全面的风险识别与评估，确定关键风险点和潜在威胁，构建更加安全、可持续的居住环境。

关键词：底线思维；住宅韧性；特大暴雨；房山区；灾后重建

Improvement of housing resilience based on bottom line thinking -- A case study on post-disaster reconstruction of Beixiasi Village and Hulupeng Village in Zhoukoudian Town, Fangshan District, Beijing

Qiang Liu

Zhongke Construction (Beijing) Architectural Planning and Design Co., LTD., Beijing 100080, China

Abstract: From late July to early August 2023, the remnant circulation of Typhoon "Doksuri" posed unprecedented challenges to Beijing, particularly to Beixiasi and Hulupeng villages in Zhoukoudian town, Fangshan District, which were severely impacted by the "23.7" extreme rainstorm and basin-wide floods, exposing the vulnerability of traditional residential systems under extreme weather conditions. Faced with the severe test of natural disasters, there is an urgent need to enhance residential resilience based on a bottom-line mindset. This paper aims to focus on the post-disaster reconstruction of Beixiasi and Hulupeng villages in Zhoukoudian town, exploring how to utilize modern technological means such as GIS to conduct comprehensive risk identification and assessment for the two villages, identify key risk points and potential threats, and build a safer and more sustainable living environment.

Keywords: bottom-line thinking; residential resilience; extreme rainstorm; Fangshan District; post-disaster reconstruction

1 特大暴雨受灾情况

1.1 房山区受灾情况

台风“杜苏芮”影响，2023年7月29日至8月2日，北京市遭遇特大暴雨，引发流域性特大洪水，房山区是本次“23·7”特大暴雨灾害受灾最严重的地区之一。房山区遭遇了历史罕见特大

暴雨灾害，平均降水量627.1毫米，单点最大降水量1025毫米，是房山区有气象历史记录以来的最强降雨。大石河漫水桥站最大洪峰流量5300立方米/秒，是有实测资料以来的最高纪录；拒马河张坊站最大洪峰流量7330立方米/秒，是有实测资料以来的第二高纪录；断面洪量分别相当于2012年“7·21”强降雨的9倍和4倍，发生严



© The Author(s) 2025. Published by Quest Press Limited.
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted reuse, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited



重洪涝灾害。“23·7”特大暴雨灾害给全区人民群众生命财产造成重大损失，全区25个乡镇（街道）、528个村（社区）均不同程度受灾，受灾户数累计31.9万户，受灾群众达90.53万人，直接经济损失608亿元。

1.2 周口店镇北下寺村、葫芦棚村灾后初步评估

周口店镇位于房山区中部，为浅山乡镇，在本次灾情中，共3个村受灾严重，其中位于东部平原地区的良各庄村受山洪影响房屋倒塌较多；位于西部浅山地区的北下寺村、葫芦棚村受山洪冲刷较重。北下寺村此次灾害中房屋受灾户共17户，其中D级5户。葫芦棚村房屋大多为院子大门及围墙处部分损坏。经过现场调研发现，村庄依山而建，道路坡度大，在遇到山洪时，可以迅速把洪水排走，住宅整体高于道路，采用缓坡入

户和台阶入户的方式，都在为抵抗水患采取积极措施，但方式较为机械。通过建筑材质可大致判断建筑年限，可分为近10年，10年至30年与30年以上的住宅。夯土材料与砖瓦材料建造的房子缺乏坚固性，难以承受洪涝灾害侵袭。



部分道路挡墙基础掏空、山体滑坡导致道路堵塞



部分房屋受灾情况

1.3 灾后重建的重要性和紧迫性

房山区周口店镇北下寺与葫芦棚村遭受“23·7”特大暴雨及流域性洪水的重创，凸显了传统住宅体系在应对极端天气时的严重不足，居民生命财产安全面临巨大威胁。灾后重建工作因此显得尤为重要且紧迫，它不仅关乎受灾群众的基本生活恢复，更是对未来灾害风险的未雨绸缪。特别是提升住宅韧性的必要性，灾后重建采用更加坚固耐用的建筑材料、设计防洪排水系统、加强地基处理等措施，构建能够抵御自然灾害的新型住宅体系，从根本上保障人民

群众的生命安全和财产安全，为乡村的可持续发展奠定坚实基础。

1.4 底线思维引领住宅韧性提升

为深入贯彻落实习近平总书记关于防汛救灾工作的重要指示精神及北京市委书记尹力同志批示精神，房山区委区政府迅速组织开展灾后政策性安置地块选址工作。工作坚持人民至上、生命至上，精心谋划受灾房屋的重建方案，确保一批安置项目顺利实施，让受灾村民温暖过冬。选址工作从群众生活需求出发，着力优化提升规划设计，注重功能的合理性和布局的科学性，让农村

作者简介：

刘强（1987.02-），男，汉，黑龙江双鸭山人，本科，高级工程师，研究方向：城乡规划、农业区域发展与规划、产业规划、城市更新方向等。

住宅更加安全、经济、宜居，打造房山区的安全发展样板、高质量发展样板、宜居生活样板。

住宅韧性提升以底线思维出发，那么如何实现从“底线思维”到“底线规划”的转变，将底线思维融入灾后韧性住宅成为现实诉求。因此，应用底线思维指导灾后韧性住宅提升，有助于“找到底线”“守住底线”并“优于底线”，最终实现基于底线促进乡村发展。

2 底线思维在灾后重建中的理论基础

2.1 底线思维的定义与内涵

底线思维，作为一种深邃的战略考量与前瞻性的风险管理方法，其核心在于预先设定并坚守不可逾越的边界或最低限度，以应对可能遭遇的最不利情况。这一思维模式在风险防控与灾害应对中扮演着至关重要的角色，它要求我们在规划与决策时，不仅要追求最佳效果，更要确保在任何挑战面前都能守住安全与发展的底线。

习近平总书记多次作出重要指示，坚持底线思维是国土空间规划与空间治理的根本遵循。他强调，国土空间规划必须基于国土资源的实际承载能力与发展适宜性，科学划定生态保护红线、永久基本农田保护红线及城镇开发边界，作为调整经济结构、引导产业发展和推进城镇化的刚性约束。这一系列底线的确立，不仅是对自然生态的敬畏与保护，更是对经济社会可持续发展的长远布局。

在底线思维的指导下坚持保护优先、集约节约的原则，通过深入评估资源环境承载能力，优先明确并严格保护那些不能进行开发建设的区域。这一举措，不仅是对上级规划管控性要求和约束性指标的坚决落实，更是对生态安全底线的坚决捍卫。它促使我们在风险防控与灾害应对中，能够提前布局、主动作为，有效减少灾害损失，保护人民群众生命财产安全。

2.2 习近平总书记关于风险防控的重要论述和指示精神，对灾后重建工作的指导意义

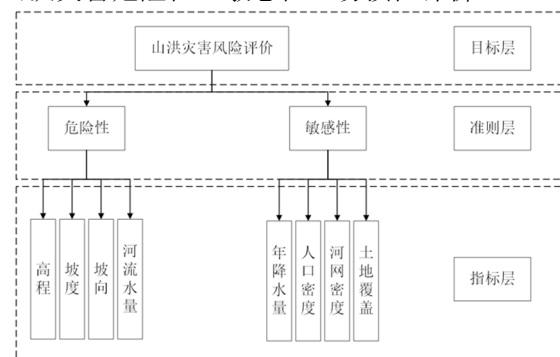
在防汛抗洪救灾与灾后恢复重建的艰巨任务

中，习近平总书记亲自挂帅，多次作出重要指示，高瞻远瞩地研究部署相关工作，展现了国家领导层对民生福祉的深切关怀与对自然灾害的坚定应对决心。李强总理在国务院常务会议上，就防汛抢险救灾工作进行了周密部署，确保各项措施有力有效。张国清副总理亲临一线，在北京、天津、河北等地实地指导，展现了领导干部的责任担当与靠前指挥的坚定态度。刘国中副总理亦对防汛抗洪工作提出了明确要求，进一步细化了工作重点与方向。国家、市级层面作出灾后恢复重建工作战略部署，强调“一年基本恢复”，完成损毁房屋修缮加固和农村居民自建住房原址重建；“三年全面提升”，全面完成灾后恢复重建工作，受灾地区发展能力明显改善，为群众营造出舒适的居住环境。

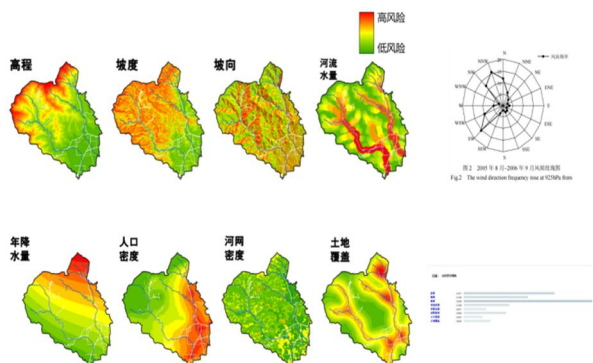
3 基于底线思维的住宅韧性提升策略

3.1 风险识别与评估

通过实地走访、现场调查，全面梳理和评估受灾情况，利用 ArcGIS等现代技术手段，对周口店镇北下寺村、葫芦棚村进行全面的风险识别与评估，确定关键风险点和潜在威胁。基于自然灾害风险理论，利用指标体系法，从致灾因子危险性与受灾环境敏感性两个方面共选取 8 个评价指标，构建了周口店镇山洪灾害风险评估模型。运用AHP方法对各指标进行组合赋权，并利用GIS技术对各因子图层进行叠加分析，得到周口店镇山洪灾害危险性、敏感性、易损性评价。



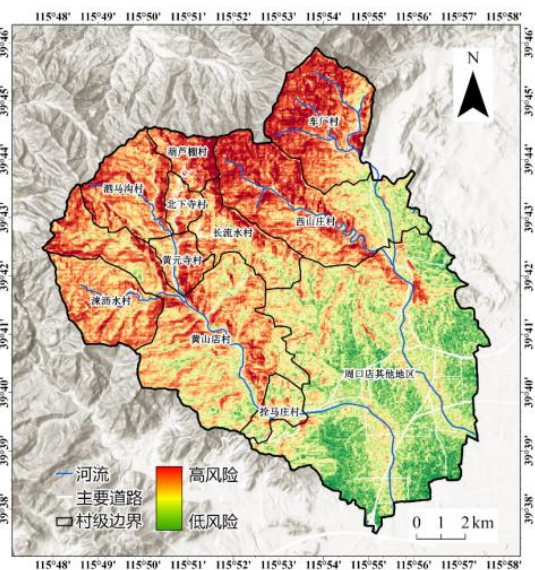
周口店镇山洪灾害风险评估指标体系



周口店镇指标层单因子风险评估图

3.2 进行灾害模拟分析，建立住宅预警模式

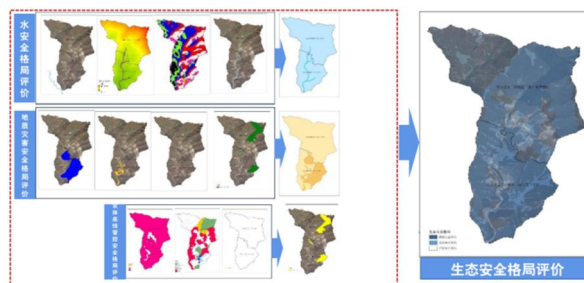
考虑到高程、坡度、坡向、河流水量以及年降水量、人口密度、河网密度、土地覆盖程度的因素，得出周口店镇受到灾害的潜在风险模拟。通过风险识别得出葫芦棚村与北下寺村的潜在受灾风险总体受坡向、坡度与高程影响较大。在复建过程中，建议减少海拔较高的地区建设，控制道路建筑坡度，减少在夏季易受灾风向（西南）建设重要节点。栓马庄村的潜在受灾风险较低，总体受坡向与河流水量影响较大。在日常建设过程中，建议完善河道、桥梁等基础设施，减少迎风坡建设^[1]。



周口店镇潜在山洪灾害风险评价图

3.2.1 制定风险清单，明确各类风险的性质、规模和影响范围。通过识别洪水淹没线、河道蓝线、地灾隐患点、地表水系、地表径流等地灾影响因

素，结合水安全评价、地质灾害评价，构建生态综合安全格局。



周口店镇生态综合安全格局评价图

评价结果：底线安全格局占 60%以上，不适宜村庄建设和发展，主要分布在村庄的山区地带、地质隐患区和灾害高风险区域，理想安全格局主要涉及村庄沟域等地形平坦的地带，也是居民点分布较为密集的区域。

3.2.2 根据本次受灾情况叠加风险评价分析，对现状建筑进行风险预警，红色建筑为需预防警惕的建筑，受灾风险程度依次递减。

红色建筑：高度预警区（葫芦棚约 10 处；北下寺约 12 处）
 橙色建筑：加固修缮区（葫芦棚约 10 处；北下寺约 17 处）

黄色建筑：安全检修区（葫芦棚约 25 处；北下寺约 27 处）

绿色建筑：日常维护区（葫芦棚约 15 处；北下寺约 8 处）

不仅需要在此次山洪灾害受灾房屋进行修缮，还应该对处于高风险区的房屋设施进行预警防护，以防再次受灾。风险评估结果表明，暂定选址总体上处于低风险地区，可进行房屋搬迁与建设，选址结果合理。



周口店镇北下寺村、葫芦棚村受灾情况叠加风险评价分析图

4 结合受灾特征，开展建筑受灾和风险评估

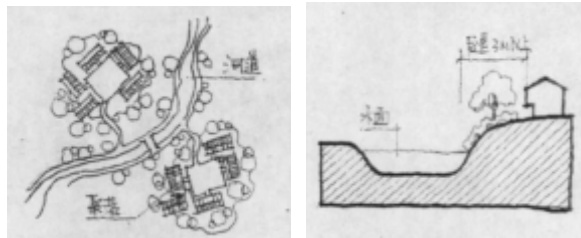
4.1 灾后重建建议

建筑应退让河道，错落布局，不应夹河道布置，利于河道环境保护与建设，保护河水环境。

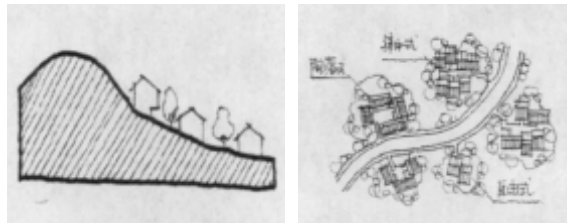
临河道建筑应按照规划要求后退河道蓝线，后退空间应绿化处理，河堤宜采用自然河堤。

山地建设应考虑地形地势合理利用，避免开挖浪费和泥石流次生灾害影响。

村庄布局应因地制宜，结合地形采用多样化的组团模式布局，组团规模不宜过大，以不超过20户为宜^[2]。



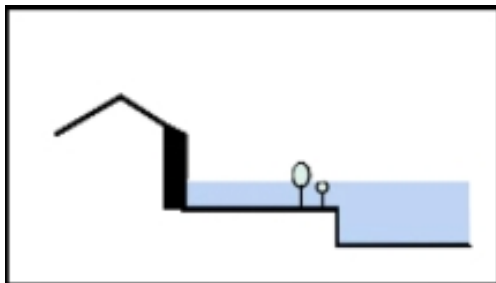
建筑应退让河道 后退空间应绿化处理



顺应地形地势 丰富居住空间形式

4.2 对质量较好的建筑增加防洪系统部件

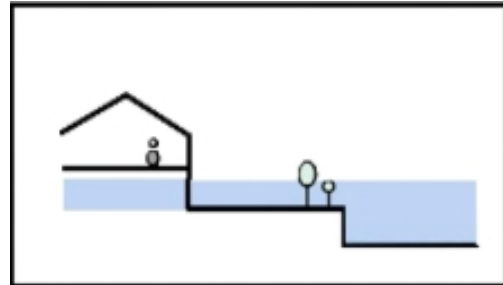
干式防洪：对建筑质量较好的建筑，增加由护罩、屏障、密封墙、密封剂和防洪门等多个部件组成的防洪系统。



防洪系统部件示意图

4.3 新建建筑多采取湿式防洪，增加架空层或地下空间，提高防洪能力

湿式防洪：湿式防洪允许洪水进入建筑空间内，但是指不经常使用的非生活区域即地下室底层、地下管道空间等不用作居住的空间，并将其作为“蓄洪仓”，至少设有两个导洪口，保持内外水平面平衡，避免洪水对墙壁和结构造成破坏。

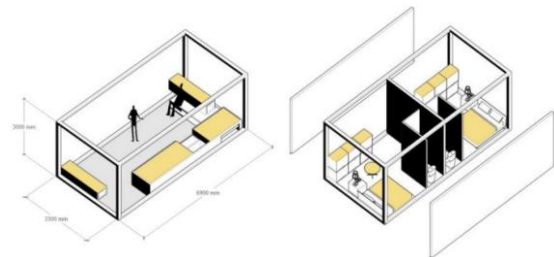


湿式防洪构建示意图

4.4 过渡性住房设计要点

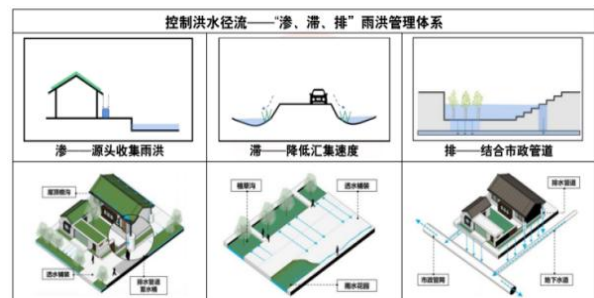
4.4.1 可结合公共空间形成模块化单元框架

灾后重建阶段，尚需过渡性住房，可结合公共空间形成模块化单元框架，平时可供居民休憩娱乐，灾后则可置入基本生活家具，作为临时住宿之所^[3]。



增强适应性——临时防洪居所

4.4.2 过渡性住房，可结合公共空间形成模块化单元框架打造景观绿地系统，增强冗余性。鼓励“绿色屋顶”，能够过滤和吸收雨水，形成“渗、滞、排”的雨洪管理体系，起到减缓、过滤和再利用雨水的作用。



住宅雨洪管理体系示意图

4.4.3 过渡性住房, 应急避难场所的配置, 以 500m 为服务半径, 结合广场, 公共开敞空间, 因地制宜地兴建多个分散的, 小规模紧急避难场所。

避难场所设计选址以公园、绿地、停车场、学校等公共建筑作为应急避难场所, 其适用性、安全性和可通达性还应满足《防灾避难场所设计规范》GB51143-2015 中提出的具体要求, 其场地有效避难面积应不小于 2000 m², 人均避难居住面积应大于 1.5 m²[4]。

5 基础设施韧性提升

5.1 不同受灾区域, 路基和边坡采取相应措施加固

路基挡墙: 依据不同的高度采用不同结构形式。

1.3m以下采用浆砌片石结构; 2、3~8m采用片石混凝土结构; 3、8m以上采用钢筋混凝土结构。

道路边坡: 依据山体裸露情况和坡度情况。

1、地质坚硬无植被: 防护网; 2、无植被陡坡: 浆砌片石结构。



路基挡墙、河流拐弯处冲击大路基冲毁, 双层基础加强底部抗冲刷能力



道路边坡、山体滑坡掩埋路旁建筑物采取多种形式加固边坡, 减少灾害损失

5.2 加固挡墙基础, 路面结构错台恢复

路面措施: 根据实际情况进行处理。

1.及早恢复路基挡墙, 封闭路基结构, 减少路基流失; 2、加固挡墙基础, 修复墙身结构, 填充墙背空洞; 3、采取注浆措施, 加固路基结构层, 使路面结构错台恢复; 4、对破损路面破除, 翻新路面结构。



挡墙及时恢复, 消除安全隐患, 保障道路畅通

5.3 疏浚河渠、修复水体生态、打造高质量的河道大排水系统

排水措施: 1、对河道内非水利设施, 阻碍河水排放的构筑物及时清理恢复自然河道; 2、根据实际情况, 开发利用; 3、坚持人与自然相协调的原则, 和保护环境相协调, 坚持水利服务于社会, 建成高质量的河道安全体系[5]。



加强河道治理, 修复自然生态

5.4 优化供水结构、提升蓄净水能力、保障供水安全

水源井选址及修复: 对自备井选址进行评估, 评估位置是否合理, 若不合理, 需要重新选址, 提高供水水源的可靠性。根据受灾情况选择加固措施或者选址新建取水井。需在取水井采取封闭措施, 防止外界环境对其污染。同时建议对现状地下水进行水质检测, 确定能否满足水质标准。若不满足需要根据超标情况采取相应处理措施。

供水结构与应急保障措施: 建议在两个村之地势较高且受自然灾害影响较小处新建高位蓄水池, 供水设备建设在高位, 可以增强供水稳定性, 同时可以最大限度保障供水可靠性。

同时新建供水管网, 各个村供水管道应该接通, 同时村与村之间供水设施互为备用。确保发

生特殊情况可以不间断供水，提高系统韧性。

远期建议采用集中供水，建议建立应急备用供水系统，如备用水井、备用水车或存水容器，同时储备净水药物，以应对紧急情况。

5.5 安全优先，“多源+应急”保障电信通畅

考虑到防患于未然，如再次遭遇类似本次自然灾害，北下寺、葫芦棚两个村境内电力及通信设施可能潜在受灾风险：1、针对设施处在低位或基础强度不够的措施：电力、通信设施选址应避免开灾害易发区，尽可能设置于村庄高处；加强设施基础的抗震，抗洪等自然灾害的措施^[9]。2、针对架空线路遭到破坏的措施：提高电力及通信线路高度，减少损坏风险；采用高强度架空线缆；根据实际情况，建立多条供电及通信路径，增强可靠性；日常清理主要线路附近的影响物。

6 提升

6.1 流域综合治理，受损护坡和泄洪沟修复，提升灾害的防御能力

河流生态修复：改造直型挡墙护岸为近自然块石驳岸，水系由直线型变成珍珠链型，确保横向通透性；改造浆砌石跌水为自然石散水坝，确保纵向通透性；河岸边栽植鸢尾、菖蒲、芦苇、千屈菜等水生植物，改善生境条件，促进生物多样性发展；休憩旅游修复：利用河滩地，设置景观小品、木桥、汀步。

生态护坡技术包括驳石、松木桩、铁丝石笼等生态护坡技术。

主要技术：近自然式水体修复技术。包括河道防洪修复技术、河流生态修复技术和休憩旅游修复技术。



受损护坡和泄洪沟修复现场施工图

房山区作为首都西南门户，是服务保障首都城市安全运行与生态文明建设的重点地区，同时

也是京保石发展轴的重要节点。在灾后产业规划中，房山区充分利用其独特的自然资源，与原有景区相融合，并注重全业态运营。以北京市房山区周口店镇的北下寺村和葫芦棚村为例，深入探讨了基于底线思维的住宅韧性提升策略。在经历自然灾害的重创后，两村迅速响应，通过科学规划、多方协作与技术创新，不仅实现了灾后快速恢复，更在重建过程中显著提升了住宅及整个社区的韧性^[7]。

7 总结

7.1 底线思维在灾后重建中的应用

底线思维强调在规划和管理中，充分考虑并预防最坏情况的发生，确保在任何逆境下都能保持基本功能和安全。在房山区周口店镇北下寺村、葫芦棚村的灾后重建中，这种思维贯穿始终。从选址到设计，再到施工，每一步都遵循了“把困难估计得更充分一些，把风险思考得更深入一些”的原则，确保了重建工作的科学性和可持续性。

7.2 科学规划与多方协作

面对灾后复杂的重建任务，房山区政府迅速组建由规划师、建筑师、地质专家等组成的责任双师团队，深入一线实地勘察，精准对接乡镇需求。在“三原两不”原则的指导下，团队完成了安置用地的选址，并制定了详细的重建规划。同时，政府还联合高校、研究机构和公益组织，形成了强大的技术支撑和智力支持，确保了重建工作的顺利进行。

7.3 住宅韧性的提升策略

选址安全：在安置用地的选址过程中，充分考虑了地质条件、自然灾害风险等因素，确保了用地的安全性和适宜性。

设计创新：责任建筑师在设计中充分融入了韧性理念，通过优化住宅布局、提高建筑材料质量、增强抗震防灾能力等措施，显著提升了住宅的韧性。同时，还注重保留原村落的空间肌理和文化特色，使新建住宅既安全又宜居。

基础设施完善：在重建过程中，不仅重视住宅本身的建设，还注重完善基础设施。包括供水、供电、交通、通信等系统的建设，都按照高标准进行，确保了灾后居民生活的正常进行。

社区治理与居民参与：政府积极引导居民参与重建工作，通过召开座谈会、听取居民意见等方式，确保重建方案符合群众需求。同时，加强社区治理，提高居民的安全意识和自我防护能力，为社区的长期稳定发展奠定了坚实基础。

7.4 成效与展望

通过一系列科学规划和有效实施，房山区周口店镇的北下寺村和葫芦棚村在灾后迅速恢复了生产生活秩序，住宅韧性显著提升。这一成功案例不仅为其他地区的灾后重建提供了宝贵经验，也为我国城市韧性建设提供了有益借鉴。

展望未来，随着城市化进程的加快和自然灾害的频发，提升住宅韧性已成为城市发展的重要课题。我们应继续坚持底线思维，科学规划、多方协作、技术创新，不断提升城市抵御自然灾害和抗击各种风险的能力，为人民群众创造更加安全、宜居的生活环境。

参考文献


- [1] 习近平:把确保人民群众生命安全放在首位[J].中国防汛抗旱,2016,26(05):1.
- [2] 魏思佳.习近平对防汛抗旱工作作出重要指示要求全力应对灾情做好防汛抗旱抢险救灾各项工作切实保障人民群众生命财产安全和社会大局稳定[J].中国应急管理,2024,(06):4.
- [3] 习近平总书记在北京市考察灾后恢复重建工作引发全市水务系统热烈反响——牢记总书记嘱托切实提高防汛抗洪能力[J].北京水务,2023,(06):2.
- [4] 《房山区灾后恢复重建整体规划（2023年—2035年）》北京市规划和自然资源委员会.
- [5] 张帅,王成新,姚士谋.未来中国推进韧性城市规划与建设的几点思考[J].资源开发与市场,2023,39(9):1155-1160.
- [6] 贺山峰,梁爽,吴绍洪,等.长三角地区城市洪涝灾害韧性时空演变及其关联性分析[J].长江流域资源与环境,2022,31(9):1988-1999.
- [7] 刘明.海城经济开发区建设对区域洪水影响分析[J].陕西水利,2024(2):63-64,67.

（上接第9页）

目前已改造的风机变频控制系统已经和现地控制 LCU 柜建立了通讯，项目中采用的核心设备如变频器和 PLC 控制器，其型号和性能也是目前市场上运用较为广泛的主流设备，与其它控制系统可以配套使用，项目所采用的工艺技术设备完全可以满足目前现场技术要求并且没有过量冗余配置造成资源浪费，整个工艺技术设备先进且经济适用，根据该项目实施后产生的经济效益和达到的改造效果，康扬水电站剩余 6 台机组泡头动力柜冷却风机变频控制改造项目可以继续推广实施。

参考文献

- [1] 韩伟.变频器在油泵节能改造中的应用[J].中国科技博览,2013(31):1.
- [2] 张永红.变频器应用中的干扰问题及其抑制对策[J].电力建设,2006,27(1):3.
- [3] 郑云钟.变频控制在潜水电泵中的应用[J].化学工程与装备,2021,(08):173-174.
- [4] 邱明.变频调速电机的运行效率及节能控制策略[J].电子元器件与信息技术,2021,5(06):99-100.
- [5] 魏鑫.变频调速技术在电气自动化控制中的运用[J].电子技术与软件工程,2021,(08):142-143.
- [6] 李永刚.基于 PLC 控制的变频调速通风机系统[D].太原理工大学,2012.

 10.12479/questpress-slsdgckj.20250105

高压电机绝缘劣化诊断与全寿命运维策略

姚德才

衢州杭氧深蓝气体有限公司, 浙江衢州, 324000

摘要: 高压电机作为工业生产和电力系统的重要设备, 其绝缘性能直接关联到电机及电气系统的稳定性和安全性。随着使用年限的增加, 高压电机的绝缘性能逐渐劣化, 极大地增加了大型事故发生的概率。因此, 对高压电机绝缘劣化进行准确的诊断, 以及制定有效的全寿命运维策略显得尤为重要。本研究首先基于电机绝缘特性的变化, 探讨了高压电机绝缘劣化的内在机理及其影响因素, 并提出了一套综合的绝缘劣化诊断技术框架, 该框架利用电气测试、化学分析和物理检测等手段, 综合评估电机绝缘状态。在此基础上, 研究还构建了针对高压电机的全寿命运维策略。该策略包括绝缘状态监测、劣化预警、健康评估和维护修复等环节, 旨在通过科学的数据分析和决策, 延长电机的使用寿命, 提高运行效率和可靠性。通过实际案例的应用验证, 该诊断技术和运维策略能够显著提高高压电机的故障预防能力和维护效率, 为高压电机的运行提供了有力的保障。研究对促进高压电机绝缘性能的提升、保障电力系统的稳定运行具有重要的实用价值和理论意义。

关键词: 高压电机; 绝缘劣化; 诊断技术; 全寿命运维; 策略

Diagnosis of Insulation Degradation in High Voltage Motors and Life Cycle Maintenance Strategy

Decai Yao

Quzhou Hang Oxygen Deep Blue Gas Co., LTD., Quzhou 324000, China

Abstract: As an important equipment in industrial production and power systems, the insulation performance of high-voltage motors is directly related to the stability and safety of motors and electrical systems. As the service life increases, the insulation performance of high-voltage motors gradually deteriorates, greatly increasing the probability of large-scale accidents. Therefore, accurate diagnosis of insulation degradation in high-voltage motors and the development of effective life cycle maintenance strategies are particularly important. This study first explores the internal mechanism and influencing factors of insulation degradation in high-voltage motors based on changes in motor insulation characteristics, and proposes a comprehensive insulation degradation diagnosis technology framework that uses electrical testing, chemical analysis, and physical detection to comprehensively evaluate the insulation status of motors. On this basis, the study also developed a life cycle maintenance strategy for high-voltage motors. This strategy includes insulation status monitoring, degradation warning, health assessment, and maintenance repair, aiming to extend the service life of the motor, improve operational efficiency and reliability through scientific data analysis and decision-making. Through the application verification of practical cases, this diagnostic technology and operation and maintenance strategy can significantly improve the fault prevention ability and maintenance efficiency of high-voltage motors, providing strong guarantees for the operation of high-voltage motors. The research has important practical value and theoretical significance in promoting the improvement of insulation performance of high-voltage motors and ensuring the stable operation of power systems.

Keywords: High voltage motor; Insulation degradation; Diagnostic techniques; Lifetime destiny maintenance; Strategy



© The Author(s) 2025. Published by Quest Press Limited.
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted reuse, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited



引言

高压电机在许多行业中都发挥着重要作用,如电力、石化、冶金等领域,对其运行稳定性及绝缘性能的要求极高。一旦绝缘劣化,可能会导致电机故障,甚至引发严重事故,严重威胁到工业生产和电力系统的稳定性和安全性。随着高压电机的使用年限增加,其绝缘性能势必会出现一定程度的劣化,这是一个不可避免的物理过程。然而,如何有效诊断绝缘性能的变化、减轻和延缓绝缘劣化的过程,并制定有效的全寿命运维策略,是当前亟待解决的重大课题。过去的研究虽然对高压电机的绝缘劣化进行了一些基础研究,但在绝缘劣化诊断技术和全寿命运维策略方面仍存在不少困难和问题。因此,本文的主要研究目标是深入探讨和研究高压电机绝缘劣化的内在机理,以便更好地理解 and 预测高压电机的绝缘状态变化。同时,立足于实际,提出并验证一套新的、全面的高压电机绝缘劣化诊断技术框架和全寿命运维策略,以期更好地服务于高压电机的安全和稳定运行。

1 高压电机的运行机理与绝缘特性

1.1 高压电机的基本结构和运行原理

高压电机作为重要的电力设备,其基本结构主要由定子、转子、轴承、风扇和绝缘系统等组成^[1]。定子是高压电机的固定部分,包含绕组和铁心;转子则是安装在转轴上的可动部分,与定子共同作用产生电磁感应。轴承支撑转轴,并确保其平稳旋转,而风扇则用于散热,保证电机在运行时维持适宜的温度。

高压电机的运行原理基于电磁感应,通过向定子绕组通入三相交流电,产生旋转磁场。此磁场在转子中感应出电流,使转子绕组产生磁场,最终促使转子旋转,将电能转换为机械能。高压电机的绝缘系统是关键部分,起到隔离电流、保护设备安全运行的作用,是高压电机性能和寿命的重要保障。该绝缘系统需要承受电应力、热应力、机械应力等多重负荷,是确保电机正常运

作的核心。

1.2 高压电机的绝缘特性

高压电机的绝缘特性是保证其稳定运行和长寿命的关键因素。高压电机通常采用复合绝缘材料,这些材料的工作机制涵盖电气和热散特性,其目的是在高压条件下提供强大的绝缘防护。绝缘系统的设计考虑了电气强度、耐热性、耐化学腐蚀性和机械强度等方面,以确保在苛刻环境下能有效隔离和保护。绝缘材料需要具有优异的电介质性能,以减少电能损耗,并防止由于局部放电、热应力和电化学反应、机械应力等引起的击穿现象。随着运行时间的增加及外界环境的变化,绝缘特性的维持和强化成为高压电机安全性和可靠性的基础。有效的绝缘有助于降低设备故障的概率,提高系统运行的整体稳定性。

1.3 高压电机绝缘的劣化机理

高压电机绝缘的劣化机理主要包括绝缘材料的热老化、电气老化、环境老化和机械应力老化。热老化是由于持续的高温导致绝缘材料性能下降,引发裂纹和疲劳。电气老化则源于电场作用下的局部放电现象,导致绝缘结构逐渐损伤。环境老化涉及湿度、污染物等外部因素对绝缘性能的侵蚀,促使材料内部形成导电路径。机械应力老化涉及到导体线棒在运行过程中,因为电磁力以及机械振动所产生的绝缘材料的裂纹、磨损。以上过程会导致高压电机绝缘层的稳定性降低,增加电流泄漏和短路风险,影响电机的安全运行^[2]。通过理解这些机理,可以为绝缘劣化的预防和诊断提供科学依据。

2 高压电机绝缘劣化的影响因素

2.1 电机工作环境对绝缘劣化的影响

电机工作环境对高压电机绝缘劣化有显著影响。温度是影响绝缘寿命的关键因素,过高的工作温度会加速绝缘材料的热老化,使绝缘材料中的有机物质加速挥发和结构劣化,从而引起导体绝缘层间产生分层、空腔甚至裂纹。研究证明,电机绕组运行温度每升高10度,绕组绝缘寿命降低一半。湿度的增加容易导致绝缘介质吸湿和导

电性增加,从而引发局部放电,侵蚀绝缘结构。在工业环境中,污染物如灰尘、化学气体和油脂等,也会附着在电机表面,形成导电路径或腐蚀绝缘材料,导致绝缘性能下降。振动和机械应力的存在会促使绝缘层出现细微裂缝,从而进一步加剧电机绝缘劣化的进程。这些环境因素的叠加效应,使得对电机工作环境的监控和管理成为保障高压电机绝缘性能的重要环节。通过优化工作环境条件,可以有效延缓绝缘劣化的进程,降低故障风险。

2.2 电机运行参数对绝缘劣化的影响

电机运行参数对高压电机绝缘劣化具有显著影响。过高的运行电压会导致绝缘材料的电场强度增加,引发局部放电现象,使绝缘材料加速老化。过高的负荷电流同样会导致发热,提升绝缘温度,从而加速绝缘材料的热老化,缩短其寿命^[3]。频繁启动和停止操作引起的机械应力与电磁应力的反复施加,可能导致绝缘结构的机械损伤比如导体线棒与贴心的松动,槽楔的松动等。供电电源的谐波含量对绝缘的劣化也有影响。谐波增加电机的损耗和发热,继而影响绝缘的热稳定性。合理设置电机的运行参数,避免长期过载运行与不必要的开关操作,能够减缓绝缘的劣化进程,提高电机的运行可靠性^[4]。

2.3 电机本身固有因素对绝缘劣化的影响

电机本身固有因素是高压电机绝缘劣化的重要因素之一。其中,电机的结构设计、材料选择和制造工艺直接影响绝缘性能。绕组的排布密度、线圈紧密性以及绝缘材料的热稳定性和抗湿性均是影响因素。任何微小的材料缺陷或制造不当都可能成为绝缘劣化的起点^[5]。绝缘材料在长期运行中不可避免地产生微观结构变化,如气泡或裂纹,这些变化可能导致绝缘强度下降,加速绝缘劣化。定子绕组的振动与噪声也可能引发机械应力,从而对绝缘系统造成损伤。对这些固有因素的深入了解有助于优化电机设计和制造工艺,从而提高绝缘系统的可靠性。

3 高压电机的绝缘劣化诊断技术

3.1 电气测试在绝缘劣化诊断中的应用

电气测试是高压电机绝缘劣化诊断的重要手段,通过检测电气参数变化来揭示绝缘状态。常用的电气测试方法包括电容及增量测量、介质损耗因数测量和局部放电检测、匝间浪涌测试、直流阶梯波、极化去极化分析等。电容测量结合电机绝缘的几何尺寸和材料特性,能够反映绝缘厚度和完整性的变化。介质损耗因数测量通过评估绝缘材料的损耗特性来判断其绝缘整体老化程度,损耗因数升高通常表明绝缘材料内部可能发生劣化。局部放电检测同样是关键技术,通过识别局部放电活动来发现绝缘系统中的潜在缺陷。传统的局部放电测试主要以检测电机局部放电总值,作为判断电机绕组绝缘的劣化程度以及运行风险的依据,因为不同品牌、不同功率、不同类型的电机,绕组的绝缘结构以及机械框架结构都会存在差异,导致电机初始局放总值会存在巨大的差异,并且不同类型的局部放电所产生的绝缘击穿风险也存在巨大差异,所以单纯的依托于局放总值的采集,来评估判断绕组老化所产生的绝缘击穿风险,是很片面性的。借助与专业绝缘老化研究厂家的联合研究,借助先进的局部放电分析仪,对局部放电的图谱采集分析,分析放电类型、幅度和频率的有助于定位绝缘劣化源。匝间浪涌测试,通过降低测试脉冲电压波前时间,可以发现更早期的匝间绝缘损伤。直流阶梯波测试,在试验电压由低至高逐步升压的同时,检测泄露电流的变化,从而评估绕组对地绝缘承压的能力。极化去极化测试,通过施加不同频率的测试电信号,检测绕组的极化变化量,从而评估绕组的绝缘老化以及脏污情况。这些技术的综合应用能够提供高精度、可重复的诊断数据,为全面评估电机绝缘状况提供基础支持,进而形成系统的劣化趋势分析,为运维策略的制定提供重要依据。

3.2 化学分析在绝缘劣化诊断中的应用

化学分析技术在高压电机绝缘劣化诊断中具有重要应用价值。通过对电机内部绝缘材料的化学性质进行分析,能够识别绝缘材料的降解产物和劣化程度。常用方法包括气相色谱质谱联用技

术(GCMS)、红外光谱分析(IR)以及热重分析(TGA),这些技术能够检测绝缘材料热老化和氧化的特征产物。GCMS技术能够分离并鉴定出绝缘材料在劣化过程中产生的微量气体和挥发性化合物,为诊断提供确凿的化学证据。IR红外光谱分析则通过检测绝缘材料分子中的化学键振动情况,揭示其化学结构的变化,从而判断绝缘材料的劣化状态。TGA可用于评估绝缘材料的热稳定性和分解特性。这些化学分析手段能够在微观层面揭示绝缘材料化学劣化的本质,为高压电机的绝缘状况评估提供了可靠数据支持。

3.3 物理检测在绝缘劣化诊断中的应用

物理检测在高压电机绝缘劣化诊断中起着至关重要的作用。热成像技术能够快速识别绝缘层的热点区域,检测潜在故障点;紫外成像技术可以准确定位可视范围内的局部放电位置;在抽出转子的情况下,利用超声波发射技术通过监测微小的声信号变化,评估导体在铁芯内部放点位置;频谱分析用于识别机械振动与电磁干扰对绝缘系统的影响。通过多种物理检测手段的结合,可以实现对电机绝缘状态的全面评估,有效提升诊断的准确性和可靠性,为后续维护提供依据。

3.4 EMI检测在绝缘劣化诊断中的应用

EMI是表示电磁干扰检查的英文缩写。当绝缘绕组劣化逐渐加深后,绝缘体的局部放电越来越强,当每一个局部放电发生时,同时就会在绕组连接线上,机壳接地线上,中心点对地连接线上产生比较强的电磁干扰信号。这些电磁干扰信号的频率范围从10KHZ到1GHZ,将这频率范围分成4个频段,分别代表绝缘体内部、绝缘体与铁心、铜导体与绝缘体以及绕组端部放电。

EMI检测时,用高频CT卡接在进线电缆或机座接地线上,可以在线检测也可以离线检测。通过对比两次以上的检测信号,我们可以发现在某个频段上EMI信号是否出现增长,从而判断绕组是否出现了异常的劣化情况

EMI检测技术是一个非常方便和灵敏绝缘状态检测技术,可以非常有效地监测绕组不同部位的劣化产生及其整个的发展变化过程,是进行

绕组劣化分析、运行可靠性分析、状态监测的可靠工具

4 全寿命运维策略的构建

4.1 绝缘状态的监测与预警

绝缘状态的监测与预警是高压电机全寿命运维策略中的关键环节。可靠的绝缘状态监测能够及时识别绝缘材料的劣化状况,从而避免设备故障的发生。监测方法主要包括温度监测、电压监测和局部放电检测等技术,通过这些监测手段可以获取电机运行中的关键参数数据。为了实现预警功能,利用先进的算法进行数据分析与处理,建立绝缘状态的预警模型。此模型能够根据实时监测数据,结合电机绝缘劣化的机理与指标,预测绝缘系统未来的变化趋势。当出现异常趋势时,预警信息会及时发送给运维人员,以便进行快速响应和维护调整。通过这样的监测与预警机制,可以有效降低突发故障率,提升电机的使用安全性与可靠性。

4.2 高压电机的健康评估与维护修复

高压电机的健康评估与维护修复是全寿命运维策略中的关键环节,旨在提升设备可靠性和使用寿命。健康评估通过采用先进的监测技术与数据分析方法,对电机的运行状态进行全面评测。利用传感器收集设备的电气、热力和机械参数,结合智能算法判别设备劣化程度。维护修复流程则基于健康评估结果,有针对性地对高压电机进行必要的校准、调试和部件更换,确保其运行状态处于最佳。修复过程中,通过引入新材料与优化技术对电机部件进行强化处理,从而降低因绝缘劣化导致的突发故障风险。该策略的科学实施大大提高了电机维护效率和安全性能,为工业应用提供了坚实保障。

4.3 全寿命运维策略的构建与执行

在全寿命运维策略的构建与执行中,需明确策略的核心目标和关键环节,以确保高压电机的长期可靠运行。应制定详细的监测计划,包括定期检测与数据分析,确保准确评估绝缘状态。针对诊断结果,设计差异化的维护方案,实现针对

性的预防和修复措施。依托先进的数据管理系统,实时更新电机的健康信息,为决策提供数据支持。同时,需要建立完善的反馈机制,根据现场应用效果不断优化策略。通过系统的策略实施,提升电机运行效率并有效延长其使用寿命。

5 全寿命运维策略的效果评价

5.1 全寿命运维策略运行效果的定量评价

全寿命运维策略的定量评价是确保其有效性和可靠性的关键。通过对实施策略前后的高压电机运行数据进行分析,能够量化策略的实际效果。比较故障发生频率和维修次数的变化,可反映策略在故障预防和维护效率方面的贡献。采用绝缘损耗因子和局部放电水平的变化来评估绝缘状态的改善情况。运用统计分析方法,对实施策略后电机使用寿命的延长情况进行评估,可显著提高电机的平均无故障运行时间。运行效率的提升评价可通过能耗减少和电机输出效率的变化来实现。这些定量指标的综合分析,能够全面展现全寿命运维策略在优化高压电机性能方面的实际效果,有助于进一步完善该策略。

5.2 全寿命运维策略对电机使用寿命和运行效率的影响

全寿命运维策略对高压电机的使用寿命和运行效率产生了显著的积极影响。该策略通过对绝缘状态进行实时监测和及时预警,有效降低了突发故障的发生率,减少了因故障导致的停机时间。借助健康评估与维护修复措施,电机的部件能够得到精确诊断和及时修复处理,延缓了设备的老化进程,进而延长了设备的使用寿命。通过数据分析与科学决策,全寿命运维策略提高了电机的运行效率,使电机在更优的状态下运行。实际应用结果表明,高压电机的整体性能得到有效提升,确保了生产过程的稳定性和经济性。

5.3 全寿命运维策略在现场的应用与反馈

全寿命运维策略在实际工程中的应用取得了显著的积极反馈。通过对多座电力站高压电机进行监测与修复,相关故障率明显下降,运行稳定性显著提升。在现场,操作人员通过实时数据获

取与分析,能够准确预测电机的健康状况,从而及时制定维护计划,减少了非计划停机时间。运维策略有效控制了使用单位的运营成本,提高了设备的整体寿命周期管理水平。现场反馈表明,该策略不仅增强了故障预防能力,还提高了系统的运行效率,得到了广泛认可与好评。

6 结束语

本论文针对高压电机的绝缘劣化问题,从理论层面提出了新的诊断方法和全寿命运维策略。通过深入分析高压电机绝缘劣化的内在机理和影响因素,建立了一套综合电气测试、化学分析、物理检测等多手段的绝缘劣化诊断技术框架。同时,针对高压电机制定了全寿命运维策略,实现了绝缘状态的实时监测、劣化预警、健康评估和维护修复,大大延长了电机的使用寿命,提高了运行效率和可靠性。通过实际案例的应用验证,本研究所提出的诊断技术和运维策略显著提高了高压电机的故障预防能力和维护效率,为高压电机的安全稳定运行提供了有力保障,具有重要的理论应用价值。然而,如何实现高精度的绝缘劣化预测,进一步提升电机的运维效率,仍是未来研究的重要方向。总的来说,本研究的成果对于电力系统和电力设备的稳定运行、电机维护和绝缘性能的提升具有极大的推动作用,为电机绝缘劣化的诊断和全寿命运维研究开辟了新的路径,期待未来能有更多相关领域的深入研究。

参考文献

- [1] 杨正刚,杨勇,尹亮.高压电机绝缘劣化分析及改进措施[J].装备维修技术,2021,(04):0119-0119.
- [2] 陈香敏.高压电机绝缘故障原因分析与对策[J].电子乐园,2021,(05):0344-0344.
- [3] 汪劲涛.煤矿高压电缆绝缘状态监测与寿命评估[J].江西煤炭科技,2022,(03):212-214.
- [4] 支青云,孙继星.动车组高压电缆终端的绝缘劣化机理研究[J].电气化铁道,2020,31(S2):58-61.
- [5] 刘红彬.探讨高压电机绕组真空浸渍绝缘技术[J].中国科技期刊数据库 工业 A,2023,(03):0048-0051.

当前经济形势下水利施工企业困境及应对措施

田春丹

广州市庆和源建设工程有限公司, 广东广州, 511328

摘要: 当前全球经济环境复杂多变, 国内经济面临需求收缩、供给冲击和预期转弱三重压力。水利施工企业作为基础设施建设的重要力量, 在迎来国家加大水利投资政策机遇的同时, 也面临诸多挑战。本文深入分析了当前形势下企业面临的主要困境, 包括市场竞争加剧导致利润压缩、成本持续上升、融资难度加大、管理模式落后以及科技创新与人才储备不足等问题, 并提出了一系列系统性应对策略: 加强战略管理与市场开拓, 聚焦新基建与绿色项目; 实施精细化成本管控; 创新融资模式与资金结构优化; 推动数字化转型与技术升级; 加强人才队伍建设与核心能力培育。本研究旨在为水利施工企业克服困难、实现高质量发展提供理论与实践参考。

关键词: 经济形势; 水利施工企业; 经营困境; 成本控制; 数字化转型; 应对措施

Difficulties and Countermeasures of Water Conservancy Construction Enterprises under the Current Economic Situation

Chundan Tian

Guangzhou Qingheyuan Construction Engineering Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 511328, China

Abstract: Amid a complex global economy and domestic pressures of demand contraction, supply shock, and weakened expectations, water conservancy construction enterprises face both opportunities from increased national investment and significant challenges. This paper analyzes key difficulties such as squeezed profits due to fierce competition, rising costs, financing difficulties, outdated management, and gaps in innovation and talent. Proposed strategies include enhancing strategic market development—particularly in new infrastructure and green projects—implementing refined cost control, innovating financing models, advancing digital and technological transformation, and strengthening talent development. The study offers theoretical and practical guidance for these enterprises to overcome challenges and achieve high-quality growth.

Keywords: economic situation; water conservancy construction enterprises; business predicament; cost control; digital transformation; countermeasures

1 引言

水利工程作为重要基础设施, 在防洪抗旱、水资源配置等多方面作用关键, 水利施工企业的健康发展关乎国家水安全战略与现代化经济体系构建。近年国家加大逆周期调节, 水利领域投资高位运行, “十四五”水安全保障规划等战略为行业带来广阔市场^[1], 但利好政策下其面临的外部经济环境与行业生态已生深刻变化。后疫情时代, 全球经济复苏乏力、国内经济增速放缓等宏

观因素, 与行业内部问题交织, 使不少水利施工企业陷入“项目好找、利润难求”“营收增长、效益下滑”的困境^[2], 传统粗放式增长模式难以为继, 转型升级迫在眉睫。因此, 系统性地研究当前经济形势下水利施工企业的现实困境, 并探索行之有效的应对之道, 不仅具有重要的理论价值, 更对企业的生存与可持续发展具有紧迫的现实意义。本文将从困境分析和应对措施两个维度展开论述, 以期对相关企业和政策制定者提供决策支持。



© The Author(s) 2025. Published by Quest Press Limited.

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted reuse, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited



2 当前经济形势下水利施工企业面临的主要困境

2.1 市场竞争加剧，利润空间被严重挤压

随着水利建设市场的逐步开放和完善，进入壁垒相对降低，市场竞争主体日益多元化。除了传统的国有大型水利工程局，大量的地方国企、民营企业乃至央企的其他工程局也纷纷涌入水利市场，导致“僧多粥少”的局面愈发严重^[3]。为获取项目，企业往往被迫采取低价中标策略，投标报价无限接近甚至低于成本线。这种恶性竞争环境极大地压缩了企业的利润空间，使得行业平均利润率持续走低。许多企业为了维持运营和队伍稳定，不得不承接一些微利甚至潜亏的项目，陷入“不接项目等死，接了项目亏死”的两难困境。

2.2 成本持续攀升，项目盈利能力堪忧

项目的低中标价与持续上涨的成本构成了企业盈利的主要矛盾。成本压力主要来源于以下几个方面：原材料价格波动剧烈：钢材、水泥、砂石料、柴油等是水利工程的主要原材料和能源，其价格受国际大宗商品市场、环保政策、去产能行动等因素影响，波动频繁且幅度巨大^[4]。尤其在当前全球通胀背景下，输入性成本压力显著增加，给项目的成本预算和控制带来了极大挑战。人工成本刚性上涨：随着人口红利逐渐消退，建筑业劳动力供给呈现短缺态势，熟练技术工人的工资水平逐年攀升。同时，国家对农民工权益保障的政策要求不断提高，“五险一金”等合规性支出持续增加，进一步推高了人工成本。合规性与环保成本增加：国家对安全生产、环境保护、水土保持的要求日益严格。企业必须投入大量资金用于购置环保设备、实施降尘降噪措施、进行生态修复等，这些均构成了项目的新型刚性成本。

2.3 融资环境趋紧，企业资金压力巨大

水利工程通常具有投资规模大、建设周期长、资金回收慢的特点。企业的健康发展高度依赖于稳定、低成本的资金流。然而，当前经济形势下，企业融资面临多重困难：融资渠道受限：受金融监管趋严和房地产等行业风险事件影响，金融机构对建筑业放贷更为谨慎，信贷门槛提高。民营企业、中小企业融资难问题尤为突出。融资成本

高企：即使能够获得贷款，利率也往往处于较高水平，侵蚀了本就不丰厚的利润。企业为维持现金流，有时不得不求助于融资成本更高的非银渠道，增加了财务风险。工程款拖欠问题依旧存在：虽然国家三令五申要求清理拖欠民营企业账款，但在部分项目和地区，业主（特别是地方政府平台公司）支付进度款不及时、竣工结算拖延、质量保证金返还周期长等问题仍未根本解决^[5]。这导致施工企业大量流动资金被占用，形成了“三角债”，加剧了企业的资金周转压力。

2.4 传统管理模式滞后，管理效能有待提升

许多水利施工企业脱胎于计划经济体制，管理思维和模式仍带有浓厚的传统色彩，难以适应现代工程管理的需要。项目管理粗放：对项目的成本、进度、质量、安全控制主要依赖经验，缺乏科学、精细化的管理工具和方法。材料浪费、设备闲置、工期延误、返工等现象时有发生，造成不必要的损失。组织架构臃肿：部分大型企业集团层级过多，决策链条长，市场反应速度慢。职能部门与项目部之间权责不清，协同效率低下。信息化水平低：未能充分利用大数据、物联网、BIM等信息技术赋能管理全过程。信息传递滞后、数据孤岛现象严重，无法为管理层提供实时、准确的决策支持。

2.5 科技创新能力不足，高端人才储备匮乏

科技创新是驱动企业发展的核心动力，但水利施工行业整体上仍属于劳动密集型和技术应用型行业，自主创新能力较弱。研发投入不足：由于利润率低，企业用于科技研发的资金投入普遍有限，缺乏长期持续的创新机制。技术成果转化率低：产学研结合不够紧密，许多新技术、新工艺、新材料未能及时有效地应用到实际工程项目中。人才结构不合理：企业队伍中，普通施工人员占比高，而既懂水利工程技术又精通项目管理、金融法律、信息技术、BIM应用的复合型高端人才严重短缺^[6]。同时，行业工作环境艰苦、薪酬竞争力不强，导致对优秀年轻人才的吸引力不足，人才流失现象较为严重。

3 水利施工企业摆脱困境的应对措施

面对上述严峻挑战,水利施工企业必须摒弃旧有思维,主动求变,通过一系列组合拳,实现破局与发展。

3.1 强化战略引领,开拓新兴市场

企业应从战略高度重新审视市场定位,实现从“被动投标”到“主动谋市”的转变。聚焦国家战略:紧密围绕“国家水网”、“十四五”水安全保障规划、流域综合治理、乡村振兴等领域,提前布局,抢占市场先机。重点关注重大引调水、骨干防洪减灾、河湖生态修复、智慧水利等高端项目。开拓“水利+”新市场:积极探索“水利+新能源”(如抽水蓄能、水上光伏)、“水利+生态旅游”、“水利+EOD(生态环境导向的开发模式)”等融合发展新业态,创造新的业务增长点^[7]。实施差异化竞争:避免在传统红海市场中血拼。企业应培育自身的核心专长,如在深埋长隧洞、高坝筑坝、BIM全生命周期应用等领域形成独特优势,打造不可替代的竞争力。

3.2 推行精细化管理,严控成本费用

利润来自于开源,更来自于节流。向管理要效益是企业永恒的主题。实施全生命周期成本管理:从项目投标报价、施工组织设计、物资采购、现场施工到竣工结算,进行全过程、全方位的成本预测、计划、控制和核算。建立科学的成本数据库和定额体系。加强供应链管理:通过集中采购、战略联盟、长期协议等方式,与上游供应商建立稳定合作关系,锁定资源,平抑价格波动风险。利用电商平台进行线上采购,降低采购成本。优化施工组织设计:应用网络计划技术、BIM技术等,科学安排施工工序,提高机械设备和人员的利用效率,减少窝工和浪费。大力推广标准化、模块化施工,提升工效。

3.3 创新融资模式,保障资金安全

健康的现金流是企业的生命线,必须多措并举破解资金难题。拓展多元化融资渠道:除了传统的银行贷款,积极探索运用项目融资、融资租赁、供应链金融、资产证券化(ABS)、基础设施领域不动产投资信托基金(REITs)等新型融资工具^[8]。加强“两金”压控:将应收账款和存货(“两金”)压降作为重中之重。成立清欠专项小组,

加大工程款催收力度。完善合同管理,明确支付条款和违约责任。利用保理等金融工具加速应收账款变现。强化资金集中管理:推行集团资金池模式,实现内部资金的统一调度和高效使用,减少资金沉淀,提高整体资金使用效益。

3.4 推动数字化转型与技术创新,赋能产业升级

科技是破解发展难题、塑造未来优势的关键抓手。大力发展数字建造:全面推进BIM技术在项目规划、设计、施工、运维全过程的集成应用。推广智慧工地建设,利用物联网、无人机、5G等技术,实现对人员、机械、材料、环境的实时感知和智能调度,提升项目管理效率和安全性^[9]。研发应用新技术新工艺:加大对装配式建筑、生态友好型材料、智能碾压、水下机器人等新技术、新装备的研发和应用投入,通过技术进步降低成本、提高质量、缩短工期。构建企业大数据平台:整合企业内部经营、生产、财务等数据,通过数据分析为市场经营、成本控制、风险预警提供决策支持,实现数据驱动的精益管理。

3.5 加强人才队伍建设,培育核心能力

企业的竞争归根到底是人才的竞争。创新人才引进机制:打破地域、身份限制,以多种方式吸引复合型高端人才、专业技术领军人才。与高校、科研院所建立联合培养基地。完善人才培养与激励体系:建立覆盖全员、全职业生涯的培训体系。推行“师带徒”制度,传承技艺。建立以价值创造为导向的绩效考核和薪酬分配机制,探索项目超额利润分享、股权激励等中长期激励手段,充分调动员工积极性^[10]。培育优秀企业文化:塑造以工匠精神、诚信经营、艰苦奋斗为核心的企业文化,增强员工的归属感、认同感和凝聚力,为企业可持续发展提供软实力支撑。

4 结论

综上所述,当前复杂严峻的经济形势如同一场压力测试,将水利施工企业长期存在的深层次矛盾和问题暴露无遗。市场竞争、成本压力、资金困境、管理滞后、创新不足等挑战相互叠加,构成了企业生存与发展道路上必须逾越的关隘。

(下转第38页)

doi 10.12479/questpress-slsdgckj.20250107

基于“两级管理”体系的水电项目经营活动分析研究

袁 莉

中国电建集团海外投资有限公司，北京，100048

摘要：本研究聚焦于水电项目这一资金密集型与技术复杂的重大基础设施领域，系统构建了覆盖全周期、多维度、动态调整的经营经营活动分析管理体系。通过“总部-项目现场”两级管理架构设计，整合工程技术、财务经济、环境社会等多专业分析要素，应用BIM+GIS+IoT融合技术，提出水电项目特色分析指标体系与典型分析方法，有效应对水电项目数据采集难、预测精度低、专业协同差等挑战，推动水电项目管理向数字化、实时化、智能化转型。

关键词：水电项目；经营活动分析；全周期管控；多维度协同

Research on the Operational Activity Analysis of Hydropower Projects under the “Two-Level Management” System

Yuan Li

Powerchina Resources Limited, Beijing 100048, China

Abstract: This study focuses on the field of hydropower projects, which are capital-intensive and technically complex major infrastructure endeavors. It systematically constructs a comprehensive operational activity analysis and management system that covers the entire lifecycle, incorporates multidimensional perspectives, and allows for dynamic adjustments. Through a two-tiered management architecture design of "headquarters-project site," it integrates multidisciplinary analytical elements such as engineering technology, financial economics, and environmental-social aspects. By applying integrated BIM+GIS+IoT technologies, it proposes a characteristic analytical indicator system and typical analytical methods tailored for hydropower projects. This approach effectively addresses challenges such as difficult data acquisition, low prediction accuracy, and poor professional collaboration in hydropower projects, promoting the transformation of hydropower project management towards digitization, real-time control, and intelligence.

Keywords: Hydropower Project; Operational Activity Analysis; Entire Lifecycle Control; Multidimensional Collaboration

1 研究背景与行业意义

1.1 水电项目特性

水电项目作为典型的资金密集型与技术复杂工程，具有建设周期长（5-8年）、投资规模大（数十亿至百亿级）、参与主体多（设计、施工、监理等多方参与）及环境影响因素复杂（涉及水文地质、移民安置、生态保护）等显著特征。这些特性要求水电项目管理必须实施全周期、多维

度、动态化的管控策略。

1.2 经营活动分析的特殊价值

水电项目经营活动分析的特殊价值体现在四个方面：一是全周期管控需求，覆盖前期勘测、建设实施、运营维护三个阶段；二是多维度协同要求，整合工程技术、财务经济、环境社会等多专业分析；三是动态调整特性，受水文气象、地质条件等自然因素影响显著；四是利益相关方管理，涉及政府、社区、金融机构等多方诉求平衡。



© The Author(s) 2025. Published by Quest Press Limited.
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted reuse, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited



2 水电项目经营活动分析体系构建

2.1 分级管理架构设计

2.1.1 企业总部层面分析重点

战略符合性分析：评估项目在可再生能源配额、碳减排目标等政策要求方面的符合程度，考察项目在电源结构优化、区域电网配套等方面的协同效应，并从环境、社会、治理（ESG）维度评估项目的长期价值。

投资效益分析：建立动态监控体系，监控财务指标（如IRR、NPV）、全生命周期成本（涵盖建设期与运营期成本）及机会成本，对比其他能源投资方案的潜在收益差异。

资源统筹分析：优化资金管理，建立资金池制度；分析设备物资采购周期与工程进度的匹配度；评估人力资源配置效率，建立专家库共享机制。

风险预警分析：建立分级预警机制，针对移民安置、环境风险、地质风险等关键环节实施监控与预警。

2.1.2 项目现场层面分析重点

工程进度分析：识别关键路径，采用进度分析软件进行进度偏差分析；评估季节性影响，建立气象水文预报响应机制；协调接口管理，确保土建与机电、主体与辅助工程的衔接。

成本构成分析：细分成本科目，区分量价变化对成本的影响，评估设计变更对工程造价的影响。

合同执行分析：分析主体施工合同（或EPC总承包合同）、设备采购合同、监理服务合同的执行情况，建立变更索赔量化评估机制。

质量安全分析：监控大坝混凝土质量、边坡稳定、施工安全风险等关键指标，建立基于物联网的实时监控体系。

2.2 水电特色分析指标体系

2.2.1 时间维度分析体系

长期分析：以整个建设周期为视角，分析投

资回收期、财务内部收益率等战略性指标。

中期分析：按年度评估工程形象进度、投资完成率等关键指标。

短期分析：季度/月度监控混凝土浇筑强度、开挖进度等施工效率指标。

关键节点分析：针对截流、下闸蓄水等里程碑事件，开展专项评估。

2.2.2 空间维度分析体系

坝区分析：重点关注大坝应力变形、防渗系统等核心指标。

库区分析：监控移民安置进度、库岸稳定等关键因素。

输变电系统分析：评估送出工程的进度与主体工程的匹配度。

生态保护区分析：跟踪鱼类增殖站、生态泄流设施等环保工程的运行效果。

2.2.3 专业维度分析体系

工程技术分析：包括水工分析（坝体应力、渗流控制）、机电分析（机组效率、设备可靠性）、施工分析（浇筑强度、开挖工效）。

投资财务分析：涵盖资本结构（资本金比例、融资成本）、现金流（年度资金需求与供给匹配度）、成本控制（设计变更率、签证索赔金额）。

移民环保分析：包括移民进度（安置房建设、生产安置实施）、环保达标（水质监测、生态流量保障）。

2.2.4 主体维度分析体系

业主单位分析：评估项目管理效能（决策效率、协调能力）与风险管控能力（预警机制、应急响应）。

设计单位分析：评估设计优化（方案比选、工程量控制）与现场服务（设代履职、变更处理）。

施工单位分析：评估资源配置（设备投入、劳动力组织）与履约能力（进度控制、质量管理）。

监理单位分析：评估监督效能（验收通过率、质量问题发现率）与协调作用（参建各方关系协调效果）。

3 水电项目分析实施要点

3.1 典型分析方法应用

3.1.1 进度分析方法体系

关键路径法 (CPM) 深化应用: 建立多层次网络计划, 动态识别关键路径, 优化资源约束。典型应用场景包括导流工程进度规划与机组安装调试。

BIM 技术融合应用: 实现 4D 施工模拟、进度偏差预警与协同管理平台集成。实施要点包括建立 BIM 标准体系、开发特殊结构建模方法及实现数据互通。

3.1.2 成本分析方法体系

挣值管理 (EVM) 深化应用: 按物理部位分解 WBS, 设置动态基准管理机制, 监控 CPI 与 SPI 指标。关键分析点包括地质条件变化导致的成本偏差分析与重大设计变更对绩效基准的影响评估。

全要素成本分析: 从时间维度 (年度投资强度分析与现金流平衡)、空间维度 (分标段成本对比与资源调配分析) 及专业维度 (土建、机电、金属结构等专业成本构成) 进行综合分析。

3.1.3 风险分析方法体系

蒙特卡洛模拟技术: 考虑水文序列、地质参数的概率分布特征, 模拟极端气候、地质灾害等小概率事件, 生成投资总额、完工时间的概率分布曲线。典型应用案例包括导流标准风险分析与地质不确定性分析。

综合风险评估矩阵: 构建包含发生概率、影响程度、可监测性、应对准备四个维度的评估体系。

3.2 特殊问题处理机制

3.2.1 水文不确定性应对

概率分析模型体系: 采用 P-III 型曲线等统计方法进行水文频率分析, 构建流域水文模型预测来水情况, 基于风险率制定导流标准。

动态调整机制: 建立“监测-预警-响应”的闭

环管理, 包括实时监测、预警发布与预案启动。

3.2.2 地质条件变化应对

专项预备费用管理: 按工程投资 3-5% 计提专项预备费, 建立分级授权机制, 定期评估使用效益。管理创新包括与工程保险相结合的风险转移机制及基于地质预报的预备金动态调整。

地质预警系统: 构建“超前预报、过程监控、应急处置”三位一体的防控体系。

3.2.3 移民安置问题处理

社会影响评估 (SIA) 方法: 评估范围包含直接受影响人口和间接影响区域, 建立多维指标体系, 确保受影响群体的全过程参与。创新实践包括建立移民安置跟踪评估制度与开发移民生计恢复指数评估工具。

冲突化解机制: 构建项目现场调解、地方政府协调、专业机构调解、司法救济途径四级调解体系。

3.2.4 生态补偿措施优化

环境成本效益分析: 分析生态流量保障、鱼类保护措施、植被恢复计划等特有的分析内容, 采用生境适宜性指数模型与生态系统服务价值评估技术方法。

生态补偿创新机制: 探索工程措施、生物措施、经济补偿与社区共建等多元化实施路径。

4 行业挑战与优化路径

4.1 现存主要问题

数据采集困难: 面临环境制约 (野外作业网络通信不畅)、标准缺失 (数据格式与采集标准不统一) 及人工依赖 (数据时效性差) 等挑战。

预测准确性不足: 自然因素复杂、模型局限及数据质量不高影响预测精度。

专业协同障碍: 语言壁垒、流程割裂及工具差异导致跨专业协作困难。

动态响应滞后: 层级过多、预案不足及权责不清导致响应机制存在缺陷。

4.2 系统性改进对策

4.2.1 数据治理体系构建

建立水电专业数据库：制定统一的数据标准和编码体系，集成历史项目全周期数据资源，开发专业数据清洗和校验工具。

完善数据采集网络：部署物联网智能传感设备，建设现场无线传输网络，开发移动端数据采集APP。

4.2.2 智能分析系统开发

数字孪生技术应用：构建虚实映射的工程数字镜像，开发预测性分析算法模块，实现多源数据融合分析。

人工智能辅助决策：训练专业领域知识图谱，开发风险预警预测模型，建立智能推荐解决方案库。

4.2.3 人才队伍建设方案

复合型人才培养：建立工程经济双学位教育体系，开展跨专业岗位轮训，组织联合分析实战演练。

专家智库建设：组建跨领域专家委员会，建立知识共享平台，开展定期技术交流活动。

4.2.4 应急机制优化设计

快速响应流程：建立三级应急响应权限体系，制定标准化处置预案库，开发应急指挥信息系统。

动态调整机制：设置指标预警阈值，建立定期复盘制度，完善经验反馈系统。

5 发展趋势与展望

5.1 数字化转型深化

智能感知网络构建：实现大坝表面、库区边坡的自动化巡检，实时采集关键参数，利用 InSAR 技术进行毫米级变形监测。

工程数据中心建设：建立统一数据中台，开发专业数据治理工具，构建知识图谱。

5.2 实时化管控升级

智慧指挥中心建设：开发三维可视化管控平台，建立预警预测系统，实现移动端实时监控。

动态优化机制：开发自适应调度算法，建立资源动态调配模型，实施滚动预测机制。

5.3 智能化决策发展

人工智能深度应用：训练风险预测算法，构建决策支持知识库，应用遗传算法等进行施工方案比选。

数字孪生系统：建立“物理-数字”双向映射机制，开发虚拟调试功能，实现故障模拟与处置演练。

5.4 可持续评估体系完善

ESG 指标系统：量化评估环境维度（碳足迹、生态流量保障率）、社会维度（移民满意度、社区共建项目）及治理维度（合规管理、利益相关方参与）。

全生命周期评估：开发 LCSA 模型，量化环境外部性成本，评估社会效益贡献度。

5.5 技术集成方向

重点打造 BIM+GIS+IoT 融合的时空分析平台，实现自然灾害模拟与应急推演、工程进度与资源的时空优化、环境影响的动态评估及利益相关方的协同决策。

5.6 行业变革展望

分析维度从传统“成本-进度-质量”铁三角向“自然-工程-经济-社会”四维体系演进，决策模式由经验驱动转向数据驱动、由被动响应转向主动预测，价值创造从工程效益最大化转向综合价值最优化。

结论

本研究通过系统构建水电项目经营活动分析管理体系，有效应对水电项目管理的复杂性与系统性挑战，推动水电项目管理向数字化、实时化、智能化转型。未来研究可进一步探索新技术在水电项目管理中的应用，持续提升水电项目经营分析的实时感知能力、智能预测能力和协同决策能力。

连续排污监测控制在火力发电厂的实践应用

杨海利¹ 乔玉新²

1. 山东南山铝业股份有限公司, 山东烟台, 265713

2. 烟台南山学院, 山东龙口, 265713

摘要: 作为锅炉运行的核心工质, 水在循环过程中会因蒸发浓缩导致炉水浓度上升, 进而形成水垢与水渣。维持锅炉给水及炉水的水质达标, 是保障锅炉安全节能运行的基础条件。排污作为降低炉水浓度的关键手段, 其科学性与精准性直接影响工业锅炉的安全经济运行。本文从应用需求、技术实现及实际效能三个维度, 系统论证了连续排污监测控制在火力发电厂的应用价值。

关键词: 连续排污控制系统; 锅炉安全运行; 节能调控

Continuous Blowdown Monitoring and Control System in Thermal Power Plants: Practical Application

Haili Yang¹, Yuxin Qiao²

1. Shandong Nanshan Aluminum Industry Co., LTD., Yantai Shandong 265713, China

2. Yantai Nanshan University, Longkou Shandong 265713, China

Abstract: Water, the core working medium in boiler operation, undergoes evaporation and concentration during circulation, leading to increased furnace water concentration and the formation of scale and water slag. Maintaining the water quality of boiler feedwater and furnace water within standard limits is fundamental to ensuring safe and energy-efficient boiler operation. As a key measure to reduce furnace water concentration, the scientificity and accuracy of blowdown directly affect the safe and economic operation of industrial boilers. This paper systematically demonstrates the application value of the Continuous Blowdown Monitoring and Control System in thermal power plants from three dimensions: application requirements, technical implementation, and practical effectiveness.

Keywords: Continuous Blowdown Control System; Boiler Safe Operation; Energy-saving Regulation.

1 引言

火力发电厂的锅炉给水经化学处理后仍残留部分离子杂质, 这些杂质在炉水加热过程中会发生热分解、浓缩等化学反应, 可能引发结垢、设备腐蚀及蒸汽品质下降等问题, 严重时甚至导致炉水共沸、受热面爆管等恶性事故, 威胁锅炉安全并缩短设备寿命。

排污是控制炉水浓度的主要方式, 其核心目

标是根据给水杂质成分合理调控炉水浓缩度, 将高浓度炉水的危害降至最低。然而, 锅炉排污水既含有高浓度溶解固形物, 又携带大量热能, 这种双重属性构成了显著矛盾: 不排污会引发安全隐患, 过度排污则造成热能与水资源的浪费, 影响电厂经济性。

解决这一矛盾的路径主要有两条: 一是研发新型水处理技术以降低给水含盐量, 从源头减少杂质输入; 二是优化排污技术以实现精准调控。



© The Author(s) 2025. Published by Quest Press Limited.
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted reuse, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited



本文聚焦后者，深入探讨连续排污监测控制系统在提升排污科学性方面的应用。

2 火力发电厂应用连排测控系统的必要性

当锅炉排污率处于 20%~30% 区间时，其排污热损失可达 3%~11%，成为不容忽视的能耗点。降低这一损失的关键在于强化水质监管，在确保炉水达标的前提下最大限度减少连续排污量。

传统火力发电厂采用人工监测与间断排污模式，该方式存在明显缺陷：一方面，人工判断易受经验、责任心等主观因素影响，导致排污时机与排量控制精度不足；另一方面，间断排污难以适应炉水浓度的动态变化，易出现“欠排”或“过排”现象。

相比之下，自动连续排污系统可通过实时监测与动态调控实现科学排污：既能有效减少炉水内水渣与水垢生成，又能避免过度排污造成的资源浪费。因此，引入在线监测与自动控制技术，消除人为操作误差，是提升锅炉运行管理水平的必然选择。

3 连排测控系统的应用可行性分析

3.1 系统工作原理

自动排污系统通过在线监测炉水浓度，当指标超过 GB 1576 规定限值时自动排放高浓度炉水，从而保障锅炉安全节能运行。连排测控系统的稳定运行依赖于两大核心模块的协同配合，分别承担流量计量与排污调控功能，具体运行机制如下：

流量计量模块：该模块承担排污流量的精准测量任务，由异形节流件、差压变送设备及专用

流量计算程序组成，其工作过程为：

a) 当锅炉排污水流经节流部件时，会在部件两侧形成压力差值 (ΔP)；

b) 差压变送器将这一压力差转化为 4-20mA 的标准电信号，实时传送至控制主机；

c) 同时，系统同步采集管道来流压力与汽包内部压力参数，依据多相流体计量原理，通过内置算法实时计算出排污的瞬时流量与累计流量值，为后续调控提供数据支撑。

排污调控模块：该模块负责根据炉水质量动态调整排污阀门状态，由在线水质监测仪表、电动排污调节阀及智能控制程序构成，其调控逻辑为：

a) 在线监测仪表持续采集炉水的电导率、pH 值、二氧化硅含量、磷酸根浓度等指标，并将数据实时反馈至控制单元；

b) 控制程序采用约束 PID 控制算法，以排污量作为反馈参数调节阀门开度；

常规运行时，以二氧化硅、pH 值、磷酸根为主要调控依据，在保证炉水达标前提下尽可能减少排放量；

若二氧化硅或磷酸根监测仪表出现信号中断或故障，自动切换为以电导率作为控制指标；

当所有在线监测仪表均无法正常工作时，系统自动切换至人工操作模式，确保基本排污功能不受影响^[1]。

通过上述两个模块的联动，系统可实现排污过程的实时监测与智能调控，既解决了人工操作的精度不足问题，又能在保证锅炉水质达标的同时降低能源损耗。

系统原理框架如图 1 所示：

作者简介：

杨海利（1980-），女，汉族，山西晋城人，学士，高级工程师，研究方向：能源高效转化、系统可靠性提升。

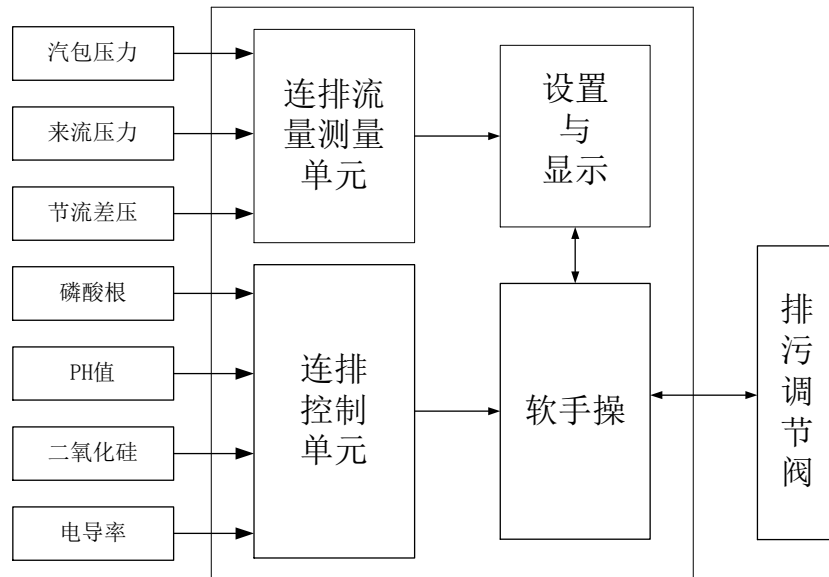


图1 系统原理框架图

3.2 系统配置与安装规范

锅炉连排测控装置的系统配置如图2所示，

3.2.1 硬件配置

主要部件见表1。

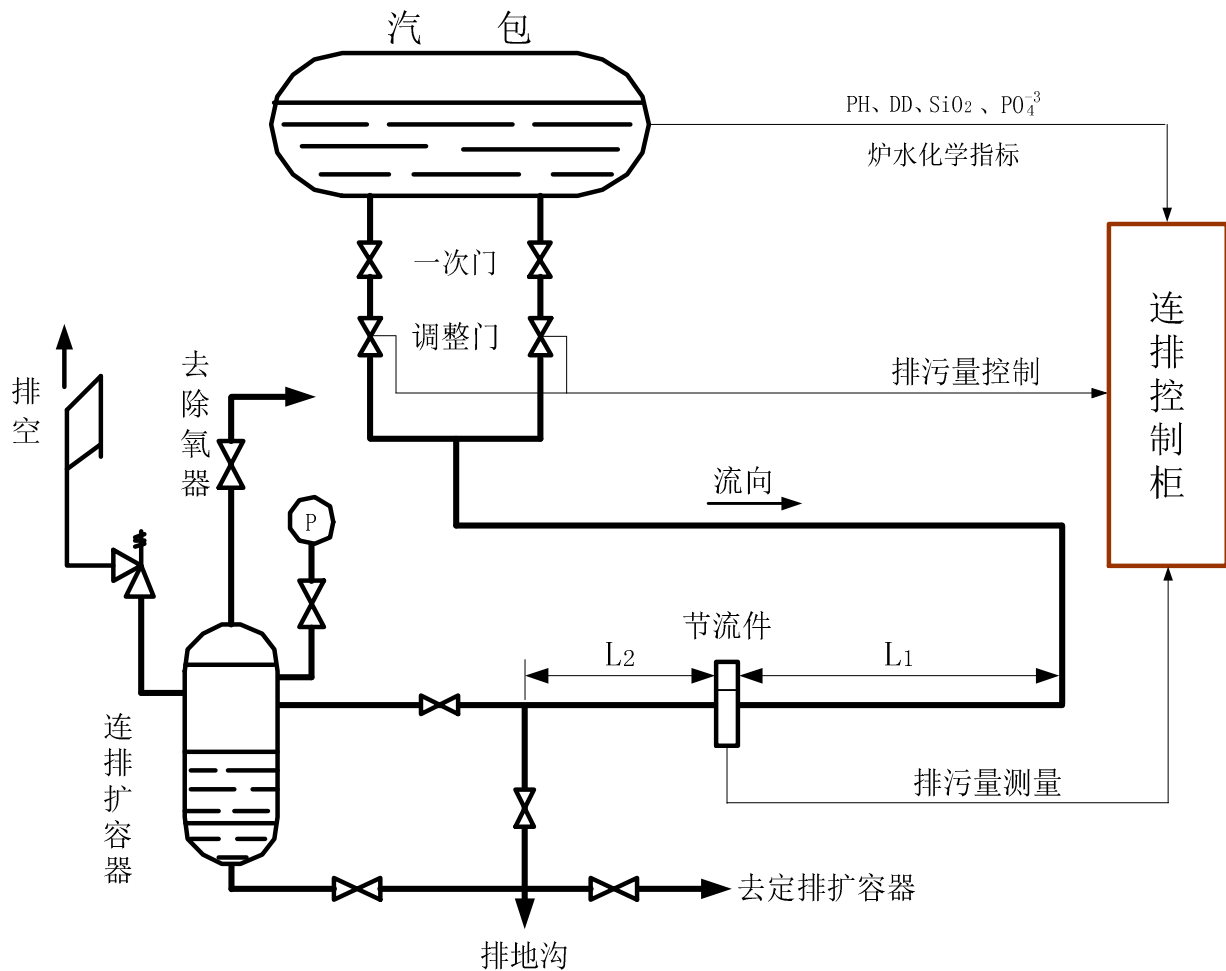


图2 连排系统配置

表1 锅炉连排测控系统主要部件清单

| 序号 | 部件名称 | 单位 | 数量 | 备注 |
|----|-------|----|----|--------------|
| 1 | 异形节流件 | 套 | 1 | |
| 2 | 测控主机柜 | 台 | 1 | |
| 3 | 差压变送器 | 台 | 1 | |
| 4 | 压力变送器 | 台 | 1 | |
| 5 | 排污调整门 | 台 | 1 | |
| 6 | 辅助配件 | 套 | 1 | 含三阀组、导压管、电缆等 |

3.2.2 安装技术要求

节流装置安装：必须水平安装于管道，圆缺孔板的弦(或延长线)需与管道水平中心线平行，引压管垂直向下连接；节流件前后直管段长度需满足 GB/T 2624-93 及 ISO 5167 标准（前 $\geq 30D_n$ ，后 $\geq 10D_n$ ），且内壁需光滑无缺陷；安装方向需与介质流向一致。

取压管路与变送器安装：节流装置与变送器的连接方式如图 3 所示。管路焊接后需通气检测畅通性；变送器与节流装置需设置固定支架以防震动；取压系统需加装冷凝器或水封以保护变送器；变送器应安装于节流件下方，避免气体进入导压管；导压管选用管径 $\geq 14\text{mm}$ 规格，长度超 30m 时需分段倾斜敷设，弯曲半径不小于管径 10 倍，且外部需做保温处理；整个测量系统应确保良好的密封，需符合 DL 5007-92《电力建设施工及验收技术规范》。

测控主机安装：

连排测控系统的主机为柜式标准化设备，其安装步骤及相关规范如下：

安装基座规格：需配备 600×600mm 的安装底盘，作为主机柜的承载基础。

安装固定方式：将主机柜安放于底盘上后，通过紧固柜体两侧的固定螺钉完成安装，确保设备稳固无位移。

经现场勘查，上述安装条件均能满足，因此该系统具备在本厂应用的技术可行性。

4 系统运行效果验证

系统安装完成后，通过加装变送器、硅表、磷表、电导表、pH 表及主机柜等设备，进行了全

面调试。调试内容包括：验证输入信号（与排污量相关的汽包压力、来流压力、差压；与阀门相关的调控信号、阀位反馈；与炉水指标相关的电导率、PH 值、 SiO_2 、磷酸根）的准确性；校准系统参数设置，确保测量精准、运行可靠^[2]。

4.1 静态调试结果

4.1.1 变送器与主机数据对比

表 2 汽包压力信号对比（0~14.0MPa）

| 电流值 | 理论值 | 显示值 |
|----------|------|------|
| 4.00 mA | 0.0 | 0.0 |
| 8.00 mA | 5.0 | 5.0 |
| 12.00 mA | 10.0 | 10.0 |
| 16.00 mA | 15.0 | 15.0 |
| 20.00 mA | 20.0 | 20.0 |

表 3 来流压力信号对比（0~20.0MPa）

| 电流值 | 理论值 | 显示值 |
|----------|------|------|
| 4.00 mA | 0.0 | 0.0 |
| 8.00 mA | 5.0 | 5.0 |
| 12.00 mA | 10.0 | 10.0 |
| 16.00 mA | 15.0 | 15.0 |
| 20.00 mA | 20.0 | 20.0 |

表 4 差压信号对比（0~500.0KPa）

| 电流值 | 理论值 | 显示值 |
|----------|-------|-------|
| 4.00 mA | 0.0 | 0.0 |
| 8.00 mA | 125.0 | 125.0 |
| 12.00 mA | 250.0 | 250.0 |
| 16.00 mA | 275.0 | 275.0 |
| 20.00 mA | 500.0 | 500.0 |

4.1.2 化学仪表与测控仪数据对比

表 5 磷酸根信号对比（0~10.00mg/L）

| 化学仪表 | 连排测控仪 |
|-------|-------|
| 0.00 | 0.00 |
| 5.00 | 4.99 |
| 10.00 | 10.00 |
| 15.00 | 14.99 |
| 20.00 | 19.98 |

表 6 PH 值信号对比（0~14.00）

| 化学仪表 | 连排测控仪 |
|-------|-------|
| 0.00 | 0.00 |
| 3.50 | 3.49 |
| 7.00 | 6.99 |
| 10.50 | 10.49 |
| 14.00 | 13.98 |

表 7 电导率信号对比 (0~200.00us/cm)

| 化学仪表 | 连排测控仪 |
|-------|-------|
| 0.0 | 0.0 |
| 50.0 | 50.0 |
| 100.0 | 100.0 |
| 150.0 | 149.9 |
| 200.0 | 199.9 |

表 8 二氧化硅信号对比 (0~2000.00ug/L)

| 化学仪表 | 连排测控仪 |
|--------|--------|
| 0.0 | 0.0 |
| 500.0 | 500.0 |
| 1000.0 | 1000.0 |
| 1500.0 | 1499.9 |
| 2000.0 | 1999.8 |

上述数据表明,连排测控主机的参数测量精度较高,数据可信度良好。

4.2 系统功能验证

表 9 排污测控主机功能测试结果

| 功能 | 运行状态 | 备注 |
|---------|------|----|
| 数据显示功能 | 正常 | |
| 参数设置功能 | 正常 | |
| 控制与输出功能 | 正常 | |

4.3 排污流量测量结果

表 10 不同工况下排污流量数据

| 工况 | 甲侧阀位开度 (%) | 乙侧阀位开度 (%) | 汽包压力 (MPa) | 来流压力 (MPa) | 差压 (KPa) | 瞬时流量 (t/h) |
|----|------------|------------|------------|------------|----------|------------|
| 1 | 0 | 0 | 13 | 1 | 14 | 1 |
| 2 | 5 | 5 | 13 | 2 | 40 | 5 |
| 3 | 10 | 10 | 13 | 3 | 52 | 6 |
| 4 | 20 | 20 | 13 | 5 | 75 | 9 |
| 5 | 30 | 30 | 14 | 6 | 91 | 12 |
| 6 | 50 | 50 | 14 | 10 | 143 | 20 |
| 7 | 80 | 80 | 14 | 12 | 166 | 27 |
| 8 | 100 | 100 | - | - | - | - |

注:阀门全关时存在轻微漏流现象

4.4 动态调试结果

将系统切换至自动运行模式,通过调整炉水化学指标设定值验证控制逻辑:

当主控信号 SiO₂保持 460.0ug/L, PO₄³⁻测量值 5.04mg/L 时,将 PO₄³⁻控制上限调至 4.00mg/L,阀位自动开大;恢复上限至 7.50mg/L 时,阀位关闭,控制正常。

当 SiO₂保持 460.0ug/L,电导率 (DD)测量值 28.1us/cm 时,将 DD 上限调至 25.0us/cm,阀位开大;恢复至 50.0us/cm 时,阀位关闭,控制正常。

当 SiO₂保持 460.0ug/L,PH 测量值 9.65 时,将 PH 上限调至 9.50,阀位开大;恢复至 9.90 时,阀位关闭;将 PH 下限调至 9.80 时,阀位关闭,控制均正常。

当各辅助参数上限不变,SiO₂测量值 450.0ug/L 时,将其期望值调至 420.0ug/L,经 PID 运算后阀位开大;恢复至 460.0ug/L 时,阀位关闭,控制正常。

调试结果表明,系统部件安装与连接符合要求,输入信号准确,测量及控制功能均能稳定实现。#5 炉试投该系统后,在自动控制模式下运行良好。

5 提升连排测控系统效能的建议

为充分发挥连排测控系统的作用,针对实际运行中可能出现的问题,提出以下优化措施:

5.1 保障样水流通稳定性

样水的持续稳定供应是确保测量准确性的前提:样水断流会导致电位式分析仪表的电极敏感膜干燥老化,从而缩短使用寿命;流量不足则易使样水携带气泡进入测量池,造成数据的波动,降低测量的精度。因此,需确保流经仪表测量池的样水流量充足且稳定。

5.2 严格控制样水温度

过高的样水温度会损坏在线分析仪表的电极,增加温度补偿的难度,同时影响被测物活度,导致测量偏差。实际运行中,样水温度达 40℃ 以上,建议在测量池前增设制冷恒温装置,将水温控制在 20~30℃ 的适宜范围。

5.3 强化设备维护管理

与热工仪表不同,在线分析仪表的传感器(电极)参数会随使用时间漂移,需每月进行标定以保证测量精度;电极老化后应及时更换,避免数据失真。此外,需定期检查仪表试剂余量并及时补充,确保设备持续正常运行。

5.4 完善管理制度体系

建立健全维护规程、标定流程及故障应急处理预案,规范设备档案与备件台账管理,保持合理的备件库存。完善的制度体系可确保系统及时准确调节排污流量,减少运行故障,并在故障发生时得到快速有效处理。

结论

工业锅炉的节能降耗需从系统层面综合施策,排污热损失控制是重要切入点。实现科学合理排污需关注以下要点:

排污系统设计是锅炉整体设计的重要组成部分,其核心作用包括减少腐蚀、延长设备寿命、防止汽水共沸及保障蒸汽品质。排污点的位置、数量、管径及结构设计需根据锅炉类型与水质特点个性化定制。

如今的工业锅炉,在设计上愈发注重轻量化

(以此降低金属耗材量)和提高受热面热负荷。但与此同时,必须充分考量管壁表面盐碱浓度与锅水整体平均浓度的偏差——这种局部与整体的浓度差异,若控制不当极易引发局部结垢或腐蚀。因此,需通过精准手段调控给水及锅水的含盐量与碱度:既要确保各项指标符合安全运行标准,避免因浓度超标导致的设备损伤;又要避免过度处理造成的资源浪费,最终实现锅炉安全稳定运行与经济效能的最优平衡。这一目标的达成,也正是连排测控系统在实际应用中需要重点支撑的核心方向。

参考文献

(上接第 28 页)

然而,危机中育新机,变局中开新局。国家宏观政策对水利建设的大力支持为行业提供了稳定的基本盘。能否化危为机,关键在于企业自身的抉择与行动。水利施工企业必须保持战略定力,增强危机意识,以改革创新为根本动力,果断地从规模扩张导向转向质量效益导向。未来的出路在于:其一,向战略要空间,通过深耕细分市场、开拓新兴领域实现差异化竞争;其二,向管理要效益,通过全过程的精细化管理抠出利润;其三,向资本要活力,通过创新融资模式保障血脉通畅;其四,向科技要未来,通过数字化转型和技术创新重塑竞争力;其五,向人才要动力,通过构建高素质专业化队伍筑牢发展根基。唯有如此,水利施工企业才能在当前的经济浪潮中站稳脚跟、突出重围,不仅实现自身的可持续发展,更能为保障国家水安全、推动经济社会高质量发展做出新的更大贡献^[11-12]。

参考文献

[1] 雒望余.新形势下水利施工企业经营管理策略研究[J].水利经济,2023,41(2):65-68.

[1] 张志萍,潘晓慧.热力发电厂[M].化学工业出版社:202402:156.

[2] 孙国强.火力发电厂节水措施与技术研究[J].科技风,2016,(15):169.

[2] 李宏伟.关于水利施工企业成本控制与管理的研究[J].财经界,2022(15):88-90.

[3] 张勇,王丽.建筑企业低价中标后的项目成本管理策略探析[J].建筑经济,2021,42(S1):102-105.

[4] 刘建华.建筑材料价格波动对施工企业成本的影响及应对[J].工程管理学报,2020,34(4):120-124.

[5] 赵志刚.清理拖欠民营企业账款面临的困境及对策研究[J].宏观经济管理,2019(11):56-61.

[6] 陈涛.水利行业高层次人才队伍建设存在的问题与对策[J].中国水利,2022(10):45-47.

[7] 王建国.EOD 模式在流域综合治理中的应用与探索[J].环境保护,2023,51(5):32-36.

[8] 龚晓菊.基础设施 REITs 对建筑企业的融资效应分析[J].投资研究,2021,40(8):150-160.

[9] 马智亮.智能建造引领建筑产业变革[J].土木工程信息技术,2020,12(1):1-8.

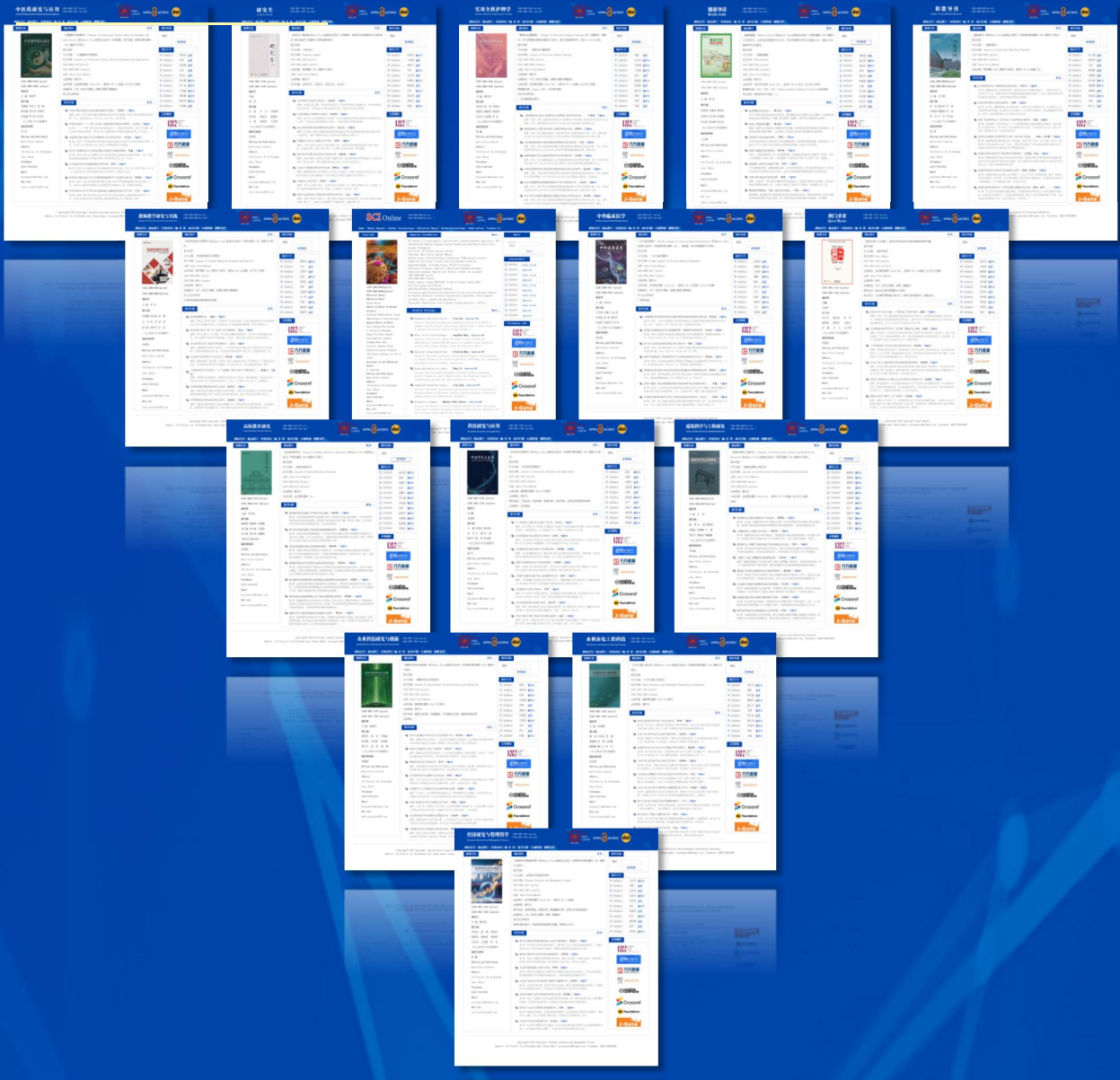
[10] 黄健,李萍.基于价值创造的工程项目经理激励体系设计[J].建筑经济,2019,40(9):75-79.

[11] 傅志寰,陈建国.中国工程管理前沿与展望[J].管理世界,2020,36(2):2-15.

[12] 中华人民共和国水利部.“十四五”水安全保障规划[Z].2021.

SciOnline

OPEN ACCESS



QUEST PRESS





Water Resources and Hydropower Engineering Technology

Editorial Committee

Editor-in-Chief

Dongxiu Sun

Deputy Editor-in-Chief

Rong Jiang, Xiuhong Shen, Wei Ma

Shuyi Yang, Ying Chang, Ningli Wang

Xiaohui Yang, Xiaowen Dang, Dan Li

(The above list is in no particular order)

Editorial Assistant

Hongwei Feng

Editing and Publishing

Quest Press Limited

Address

7th Floor, D, No.19, Palawak Lane, Macau

Telephone

00853-68819699

Email

QuestPress@hotmail.com

Web site

slsd.scionline2025.com