

江垭水电站主轴密封水系统故障分析与综合优化改造技术研究

李磊 张春磊 谌岚

湖南澧水流域水利水电开发有限责任公司江垭水电站 湖南 张家界 427221

【摘要】：本文聚焦江垭水电站主轴密封水系统管路长期锈蚀、锈渣堵塞滤网、压力波动大等问题，严重威胁机组安全运行。针对系统存在的压力不稳、易水淹水车室、密封易烧毁等隐患，开展系统故障机理分析与整体优化改造。通过更换不锈钢管路、优化双母管供水架构、增设减压阀与过滤装置、配置压力变送器与电磁阀并接入计算机监控系统，实现主轴密封水压力自动控制与稳定供水。工程应用表明：改造后系统压力稳定在 0.2~0.3 MPa，无锈蚀堵塞、降低压力波动范围，自动化水平与运行可靠性显著提升，彻底消除重大安全隐患，可为同类型水电站主轴密封水系统改造提供工程参考。

【关键词】：水电站；主轴密封水；管路锈蚀；压力波动；不锈钢管路；自动控制；优化改造

DOI:10.12417/2811-0528.26.19.086

引言

主轴密封水系统是水轮发电机组关键辅助系统，主要为机组主轴密封提供清洁、稳定的润滑与冷却水，直接决定主轴密封寿命与机组运行安全。江垭水电站主轴密封水系统采用双母管联络供水方式，长期运行后出现管路内壁锈蚀、滤网易堵、压力波动大、人工调节滞后等突出问题，极易引发顶盖漏水、密封过热烧毁等故障。

为保障机组安全稳定运行，电站于 2025 年实施主轴密封水系统全面改造，以材质升级、管路优化、自动控制为核心，彻底解决老旧系统缺陷。本文系统阐述改造背景、故障机理、技术方案、施工工艺及应用效果，形成完整工程技术成果。

1 系统概况与故障机理分析

江垭水电站主轴密封水系统采用双母管联络供水，I 母管由坝前取水与#1 机组蜗壳取水经减压后供水，II 母管由#3 机组蜗壳取水减压后集中供水。系统全部采用碳钢管路，无在线监测与自动调节设备，依靠人工巡检与手动阀门控制压力。长期运行暴露出明显缺陷：一是碳钢管道内壁锈蚀严重，锈渣频繁堵塞滤网，导致供水不畅；二是压力波动范围大，压力偏低易造成顶盖漏水、水淹水车室，压力偏高易导致密封干磨烧毁；三是无自动控制功能，人工调节精度差、响应滞后；四是管路、阀门老化卡涩，运维空间小、检修难度大、备件难以采购。上述问题相互叠加，形成系统性安全隐患，实施全面改造迫在眉睫。

2 主轴密封水系统优化改造方案

本次改造以根除锈蚀、稳定压力、自动调控、冗余可靠、便于运维为目标，采用管路升级、供水优化、自动控制一体化技术路线。

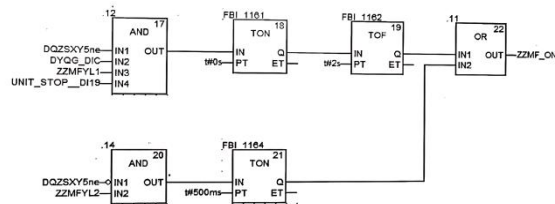
管路系统改造方面，将双母管改为单母管，管径由 DN80

改为 DN50 依提高管内水流流速，材质由碳钢更换为 304 不锈钢，水源依然采用坝前与机蜗壳双路取水，加装 DN50 PN16 不锈钢球阀及减压阀，将阀后压力稳定在 0.2~0.3MPa。同时增加一路机组蜗壳自身独立取水，采用 DN30*3 不锈钢管，实现分散供水、互为备用，提高系统冗余度，为了防止串压导致母管压力上升影响其他机组运行安全，在母管与机组主轴密封系统单元增加单向阀。同时还实现了机组运行时即便母管压力高也会通过机组技术供水泄压而稳定主轴密封水系统压力。

过滤与阀门系统全面升级，将原有滤网更换为不锈钢滤水器，旁通加装不锈钢球阀，提升抗堵与清洗便利性。系统所有阀门统一更换为 DN25 不锈钢球阀，改善密封性能与操作灵活性。

自动控制系统方面，每台机组主轴密封水系统增设压力变送器，机组供水系统增设 24 VDC 常开电磁阀，敷设控制电缆将信号接入计算机监控系统，实现压力实时监测、自动调节、越限报警与故障闭锁。同时配置就地压力表、压力开关，形成就地与远方双重监测，提升运行可靠性。

3 控制逻辑



停机条件下，AL1H 起作用，当主轴密封水压力高于 0.32Mpa，电磁阀得电闭合，使主轴密封水压力降低；当主轴密封水压力低于 0.05Mpa 时，电磁阀打开，使主轴密封水压力升高。开机条件下，AL2H 起作用，当主轴密封水高于 0.24MPa 时，电磁阀得电闭合，使主轴密封水压力降低；当主轴密封水

低于 0.15MPa 时, 电磁阀掉电打开, 使主轴密封水压力升高。

4 施工工艺与质量安全控制

改造工程严格遵循国家规范与电站安全管理要求, 实施全过程管控。施工采用单台机组隔离作业, 确保其他机组正常运行。管道布置遵循横平竖直、少拐弯、大圆弧过渡原则, 安装执行小管让大管、低压管让高压管规则, 管道交叉间距不小于 20 mm, 平行管路接头错开布置, 预留充足运维空间。

施工按安全隔离、旧管拆除、现场配管、设备安装、接线组态、打压试验标准化流程推进, 各工序验收合格后方可进入下一环节。所有材料具备合格证明, 严格执行 GB 20801、GB 50184、GB 50236 等标准, 特种作业人员持证上岗, 落实防火、通风、防滑等安全措施。

安全管理严格执行“两票三制”, 作业前开展危险点分析与安全交底。施工用电执行一机一闸一漏一箱, 动火作业办理工作票并配备消防器材与专人监护, 全面防范触电、物体打击、火灾等风险, 保障施工全过程安全可控。

5 改造效果与效益分析

系统投运后运行数据表明, 主轴密封水压力稳定在 0.2~

0.3 MPa, 波动 $\leq \pm 0.02$ MPa, 彻底消除压力不稳带来的安全隐患。304 不锈钢管路从源头杜绝锈蚀, 滤网未再发生堵塞, 供水持续稳定。自动控制系统投运良好, 实现压力在线监测、自动调节与远程监控, 大幅降低人工操作强度。不锈钢阀门与过滤器拆装便捷, 运维条件显著改善, 系统故障率大幅下降。

改造工程取得显著综合效益: 安全上彻底消除水淹水车室、主轴密封烧毁等重大风险, 保障机组连续可靠运行; 经济上延长设备寿命, 减少检修频次、备件消耗与停机损失, 降低运维成本; 管理上提升电站自动化、智能化水平, 符合“少人值守、无人值班”发展方向, 支撑电站标准化、规范化运行。

6 结论

江垭水电站主轴密封水系统故障是管路材质、结构设计与控制方式共同导致的系统性缺陷。采用不锈钢管路升级、双母管供水优化、压力自动控制集成的综合改造方案, 可从根本上解决锈蚀、堵塞、压力波动等问题。改造后系统压力稳定、防腐防堵、自动运行、维护便捷, 各项指标满足机组安全运行要求。本方案技术成熟、经济合理、施工可控、效果显著, 可为国内同类型老旧水电站主轴密封水系统改造提供可靠的工程示范与技术参考。

参考文献:

- [1] GB 20801.1~6-2006, 压力管道规范工业管道[S].
- [2] GB 50184-2011, 工业金属管道工程施工质量验收规范[S].
- [3] GB 50236-2011, 现场设备、工业管道焊接工程施工规范[S].