

万家寨水利枢纽排沙系统运行风险分析与应对策略

薛楠 赵鹏亮

黄河万家寨水利枢纽有限公司 山西 太原 030000

摘要: 本文以黄河万家寨水利枢纽工程排沙工作闸门液压启闭系统为研究对象, 针对其在运行中出现的启闭机机架振动及存在的尾水倒灌潜在风险等问题, 通过分析原因, 针对性地提出机架孔口改造、安装防洪墙及清理河道堆渣等一系列改造方案。经实施, 该系统在保障启闭机安全运行、消除安全隐患、提升厂房环境等方面成效显著, 为同类水利枢纽工程改造提供了重要参考。

关键词: 排沙系统; 液压启闭机; 风险分析; 工程维修养护

1 引言

在水利工程领域, 排沙系统作为保障水利枢纽长期稳定运行的关键组成部分, 其运行状况直接关乎枢纽效益充分发挥和工程安全稳定运行。然而, 随着我国水利基础设施建设的大规模推进以及长时间运行, 众多水利枢纽的排沙系统面临一系列共性难题。以部分大型水利枢纽为例, 因水流条件复杂多变, 泥沙含量偏高, 且具有较大动能^[1], 排沙工作闸门的启闭系统频繁出现振动、磨损等不良状况。这些问题不仅缩短了设备的使用寿命, 增加了维护成本, 还可能引发严重的安全事故, 对水利枢纽的安全稳定运行构成严重威胁。

万家寨水利枢纽作为黄河流域重要的水利工程, 投入运行已达20年以上, 其排沙工作闸门液压启闭系统在长期运行过程中, 也逐渐暴露出一些影响系统安全与人员安全的风险隐患。在历年汛期排沙运用过程中检查发现, 排沙工作闸门液压启闭系统存在以下主要问题: 一是工作闸门在动水启闭操作过程中, 启闭机机架、液压缸等垂直振动幅度较大, 给液压启闭系统的安全稳定和操作人员的安全带来隐患; 二是排沙运用期间工作闸门启闭机室与尾水连通, 工作闸门孔口、进人孔均为敞开状态, 其活动钢盖板无封水性能, 存在尾水倒灌导致水淹厂房的风险。针对排沙系统运行风险展开深度分析, 并制定行之有效的应对策略, 已然刻不容缓。

2 工程概况

万家寨水利枢纽排沙系统布置在大坝12#~17#坝段, 主要用于排除机组坝段坝前淤积泥沙, 以减少机组进沙量。排沙系统共设5扇工作闸门, 均采用500kN/100kN液压启闭机进行启闭操作, 液压启闭机布置在905.00m高程启闭机室内。排沙工作闸门启闭机机架为钢制结构, 尺寸为2500×1400×600 (mm, 长×宽×高), 机架钢板厚度为10mm, 机架基础埋件布置在闸门孔口上下游两侧。

机架顶部观察孔呈现敞开状态, 机架两侧门槽孔口和进人孔各设置1块活动钢盖板对孔口进行遮挡。排沙运用期间, 该孔口与万家寨下游尾水连通。

3 运行风险分析

3.1 启闭机机架振动原因分析

在历年的排沙运行期间, 万家寨水库水位通常处于957.0m以下。当进行动水启闭操作时, 启闭机机架、液压缸等部件会产生较大幅度的垂直振动, 同时, 启闭机室地面也伴随高频振动。经全面观察, 5套启闭机机架均存在此类振动现象, 尤其在开度处于0.8~1.2m区间时, 振幅达到最大值, 并且振幅会随着库水位的升高而进一步增大。

3.1.1 机架结构因素

启闭机机架在上下游方向的跨度较大, 达到了2.5m。然而, 其基础埋件仅设置在上下游两端, 致使机架左右两侧缺乏刚性支撑。此外, 机架所采用的钢板厚度仅为10mm, 这种结构设计使得机架的整体刚度不足, 在动水启闭过程中, 难以维持良好的稳定性, 从而导致振动问题较为突出。

3.1.2 水流因素

排沙出口工作闸门采用的是平板闸门结构。在动水操作期间, 水流速度高达36.1m/s, 且水中含沙量较高。这种高含沙量与高流速相结合的水流, 会对闸门产生强大的冲击力^[2]。该冲击力会依次传递至启闭机的液压缸、机架以及地面, 最终引发高频振动。另外, 在排沙作业期间, 当库水位低于921.50m时, 由于水头过低, 排沙洞供水不足、流态不连续在此情况下, 5套排沙工作闸门会受到间歇性水流的撞击, 进而导致启闭机产生振动。

3.2 发生尾水倒灌的潜在风险分析

依据万家寨水利枢纽在不同时期的水位-流量关系实测数据对比及相关推算可知: 当六台机组满负荷

发电时,尾水位为900.83m,相较于设计正常尾水位900.45m,壅高了0.38m;在设计洪水下泄时,尾水位达到904.98m,较设计洪水尾水位904.24m壅高0.74m;而在校核洪水下泄时,尾水位高达905.39m,比设计洪水尾水位904.45m壅高0.94m,此水位已超过排沙工作闸门启闭机室地面标高905.00m。然而,机架顶部观察孔呈现敞开状态,机架两侧门槽孔口和进人孔的活动钢盖板只有遮挡孔口的功能,并无封水功能,这就使得尾水存在倒灌进而水淹厂房的安全隐患。

除此之外,历经多年的泄洪排沙运用,万家寨水利枢纽下游河道内逐渐堆积了大量石渣,这些堆积物导致尾水位不断壅高,进一步增加了尾水倒灌厂房的风险。

4 关键性技术问题

经全面分析影响排沙工作闸门液压启闭系统安全的诸多风险因素,明确实施改造工作存在两个关键的技术要点:其一,鉴于启闭机机架在运行过程中存在振动问题,拟定对启闭机机架开展加固工作。通过合理的加固措施,增强机架在动水启闭过程中的稳定性,从而确保启闭机设备设施能够安全运行,同时充分保障操作人员的人身安全。其二,针对尾水倒灌这一潜在风险,规划在不影响启闭机原有功能的前提下,对启闭机机架的開啟式孔口进行妥善封堵。以此有效阻止尾水倒灌情况的发生。此外,还需积极探寻并采用其他切实可行的工程手段,进一步降低甚至彻底消除水淹厂房的风险隐患。

5 应对策略实施

经过现场勘查与深入分析,发现启闭机机架顶部观察孔、机架两侧门槽孔口以及地面进人孔等部位均呈现为敞开式孔口状态,为提升整体密封性能,需针对各孔口分别实施封堵处理,同时在启闭机室进出口安装装配式移动防洪墙增加厂房内的防水安全储备。此外,为进一步降低启闭机室面临的尾水倒灌风险,有必要对万家寨下游河道内的河床堆渣予以清理,以此降低下游河道水位的壅高程度。另外,启闭机机架左右两侧存在缺少刚性支撑的状况,可通过将机架左右两侧分别与止水钢盖板埋件进行焊接固定的方式,增强其结构稳定性。

5.1 启闭机室孔口改造

机架顶部观察孔、机架两侧门槽孔口、进人孔等盖板均安装止水钢盖板封堵,盖板底部密封橡胶板压紧。

5.1.1 机架顶部观察孔改造

原启闭机机架顶部孔口为敞开状态,汛期排沙运用期间作为观察孔,操作人员可观察排沙钢管内水流流态变化;排沙钢管出口段汛后检修期间亦可兼作吊物孔吊运施工材料、工器具、设备等进出排沙钢管流道。考

虑到孔口封堵后仍要兼顾上述功能,考虑可将机架顶部观察孔改造为活动式止水盖板,可由侧面抽出及插入安装。汛期排沙运用及检修期间拆卸,作为观察孔及吊物孔,待排沙钢管出口段检修完成后安装盖板封堵。

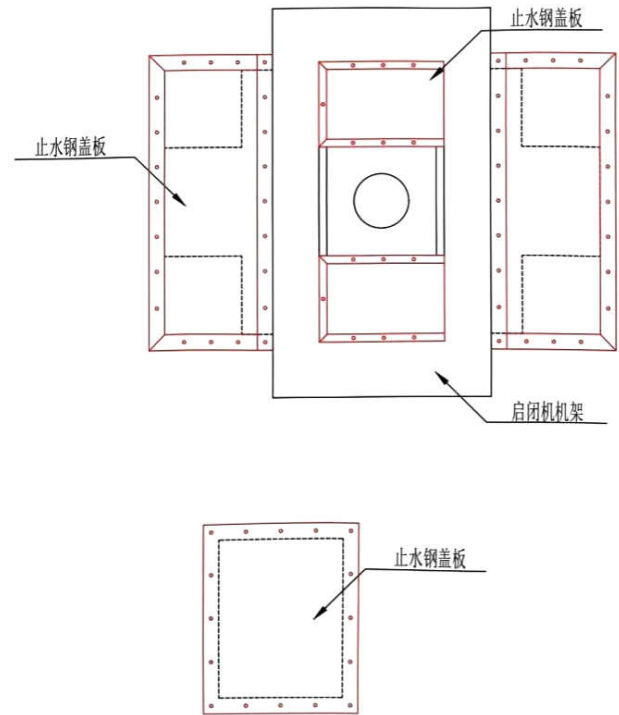


图1 启闭机室孔口改造示意图

5.1.2 机架两侧门槽孔口盖板改造

原启闭机机架两侧门槽孔口各安装有1块活动钢盖板,每块盖板与启闭机机架仅通过启闭机架上焊接的两处角钢搭接,盖板稳定性较差,孔口处有高处坠落风险。活动钢盖板需在工作闸门检修防腐期间开启,待工作闸门检修防腐完毕后回装封闭,日常运行过程中通常保持封闭状态。

5.1.3 进人孔盖板改造

进人孔是运行维护人员进入排沙钢管流道开展检修维护工作的通道。同样将其出入口盖板改造为活动式止水盖板。汛后检修期间拆卸,待排沙钢管出口段检修完成后安装盖板封堵。

改造项目实施后,机架顶部观察孔、机架两侧门槽孔口、进人孔等盖板均安装止水钢盖板封堵,盖板底部密封橡胶板压紧。除汛后排沙钢管出口段检查期间开启外,其余时间均处于封闭状态,有效消除了排沙启闭机室内尾水倒灌风险,保证了水轮发电机组及厂房内其他设备设施的安全稳定运行。

5.2 启闭机机架基础加固

采用角钢对启闭机机架基础进行加固,将机架两侧

与止水钢盖板埋件焊接成为整体结构，增加启闭机机架稳定性。改造项目实施后，启闭机机架两侧活动钢盖板更换为更为牢固的止水钢盖板，与基础埋件采用高强度螺栓连接固定，基础埋件与启闭机架焊接固定，增加了机架整体刚度和稳定性，可有效减轻启闭机振动，同时消除了孔口高处坠落风险。

5.3 安装装配式移动防洪墙

在▽905.00m高程的排沙工作闸门启闭机室的两处出入口，分别安装了高度为60cm的装配式移动防洪墙。此防洪墙于枢纽汛期排沙运用期间安装，非汛期则予以拆除。通过这一举措，进一步降低了尾水倒灌对发电厂房构成的威胁，进一步降低了尾水倒灌发电厂房的风险，



增加了枢纽工程平稳运行安全储备。

5.4 开展万家寨下游河道堆渣清理

万家寨水利枢纽左岸泄水建筑物经过历年泄洪排沙运行，下游冲坑内石渣与块石不断被冲出，在下游区域逐渐堆积，并顺着下游河床缓慢推移，致使河床空间被侵占，进而造成万家寨尾水位显著抬高。

为应对这一状况，开展了万家寨下游河道的堆渣清理工作，旨在降低下游河道水位的壅高程度。自该清渣工作实施以来成效显著，在机组满负荷发电时，尾水水位降低了0.78m，有力地降低了尾水倒灌厂房的风险，保障了水利枢纽相关设施的安全运行。



图2 启闭机室孔口改造完成效果

6 结语

本次排沙系统改造工程，聚焦运行中出现的启闭机机架振动及存在的尾水倒灌潜在风险等问题，深入开展原因剖析，并依此精准制定了机架孔口改造、安装防洪墙及清理河道堆渣等一系列针对性改造方案。自工程实施完毕投入实际运行以来取得了显著成效，排沙工作闸门启闭机机架的振动现象得到了显著缓解，彻底消除了长期威胁闸门现场操作人员的安全隐患；同时，排沙启闭机室内尾水倒灌的风险也被有效化解，设备设施的安

全运行水平得到切实提升，顺利达成预期目标。其成功经验对于同类水利枢纽工程在应对类似问题时的改造工作，具有重要的参考价值。

参考文献

[1]李浩平,李峰.挟沙水流对混凝土的冲磨机理研究及冲磨试验机研发[J].机械研究与应用,2011,24(02):37-40.
[2]倪国胜.水闸运行管理及其日常维护分析[J].水上安全,2024,(24):178-180.