

抽蓄电站上下库闸门启闭机事故分析与处理

邹孔志 阳继晗 杜培超

成都威尔森科技发展有限责任公司 四川 成都 610052

摘要：本文分析了抽蓄电站上下库闸门启闭机钢丝绳断裂事故，通过案例研究指出事故主要原因包括升降限位装置失灵、操作人员经验不足及设备管理维护不善。文章详细阐述了事故经过，并提出了改进措施，如引入在线监测系统（推荐成都威尔森科技的VRS8000-HMT系列）、严格执行安全规程、加强设备定期检查与维护、提升操作人员培训等，以预防类似事故再次发生，确保电站安全稳定运行。

关键词：抽蓄电站；闸门启闭机；钢丝绳断裂；事故分析；在线监测系统

引言

抽蓄电站作为现代电力系统的重要组成部分，其上下库闸门启闭机的安全运行至关重要。然而，近期多起钢丝绳断裂事故频发，暴露了设备管理、操作规范及维护保养等方面的不足。本文旨在深入分析这些事故原因，并提出相应的处理措施。

1 概况

1.1 常规水轮发电机组进水口启闭机钢丝绳被拉断或损伤事故可以说是屡见不鲜的。

以某典型常规水电站为例^[1]，其事故根源在于设备升降限位、过载以及过电流保护装置均出现失灵状况，未能正常动作。在启闭机执行最后一次落门操作期间，现场操作人员未能保持严密监视。最终，检修闸门下落至既定位置后，钢丝绳在脱离受力状态后仍持续下落，下落幅度超过2米。在后续提门作业环节，操作人员由于缺乏足够经验，未能对异常状况作出有效辨识。具体表现为，未能察觉钢丝绳松动迹象、闸门充水开度未达规定标准以及电机在过载运行过程中产生的异常声响等。由此，多余的钢丝绳逐渐缠绕于一侧动滑轮组的保护罩之上。起初，钢丝绳仅在保护罩外表面产生摩擦滑动，使得闸门

得以实现少量提升，进而完成节间充水操作。然而，当操作人员再次尝试提升闸门时，钢丝绳遭遇卡阻。

该起事故深刻揭示了现场操作人员经验匮乏、现场检查流程不够严谨以及应急响应措施不够及时等突出问题。

1.2 早在2015年8月广东某抽蓄电站就曾发生下库进出水口闸门钢丝绳断裂事故，当时由于下限位已失灵，在调整过程中，将钢丝绳多下落了约10m。因此，造成动滑轮组钢丝绳在提升过程中缠绕在动滑轮与担梁之间的手动穿轴装置上，导致钢丝绳断裂。致使动滑轮外壳处明显被拉伤痕迹，损伤面长度约150mm，连轴器外壳也明显刮伤。

1.3 2024年初，该电站工作人员在操作电站下库闸门启闭机时再次发生钢丝绳断裂的事故：

①操作过程中卷筒侧的钢丝绳弹起、跳槽。发生钢丝绳断裂事故的曾并。

②在动滑轮组保护罩处钢丝绳被切割多处断股，最终乃至断裂，见图1(a)。

③其中，动滑轮组保护罩有明显钢丝绳缠绕摩擦痕迹、保护罩一处加强筋焊点开裂、张开，其环板已变形，见图1(b、c)。



图1 动滑轮及钢丝绳损伤情况

2 广东某抽蓄电站事故原因分析

下库进出水口门叶启机传动机构见图2 (a) , 其连

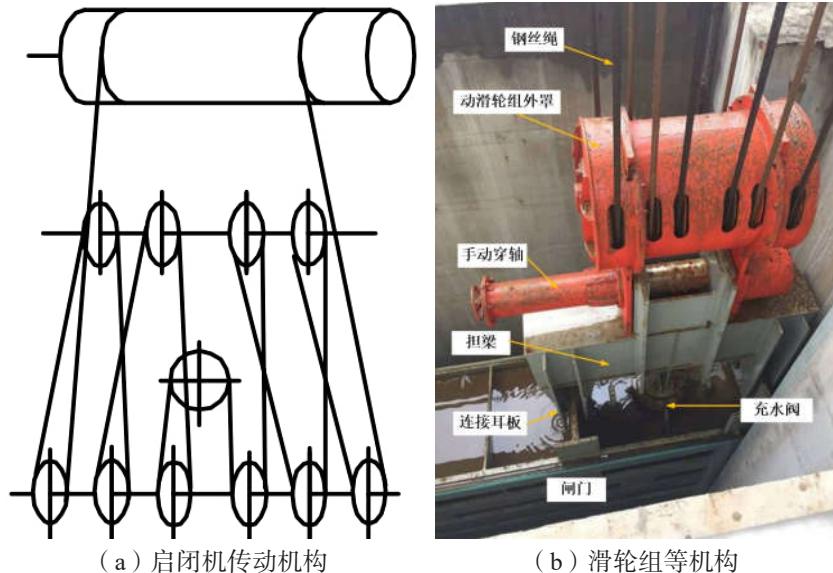


图2 下库进出水口启闭机

2.1 分析该电站启闭机钢丝绳断裂事故, 归纳其原因为:

升降限位装置失灵未动作, 启闭机在上1次落门过程中, 下降高度过大, 钢丝绳长度余量过多。

在起升闸门过程中, 由于现场操作人员场检查不够细致, 经验又不足, 未对异常状态进行有效识别, 如钢丝绳松动、闸门充水开度未到位、过载过程中的电机异常声音等, 未能及时应急措施。

在提门操作过程中, 部分冗余的钢丝绳会缠绕于动滑轮组的保护罩上。在此期间, 钢丝绳会在保护罩的外表面产生摩擦与滑动现象, 甚至可能出现被卡住的情况。伴随缠绕程度愈发紧密, 钢丝绳会与保护罩上的加强筋以及环板位置产生切割作用。鉴于设备处于过载状态, 且过电流保护装置未能正常发挥保护功能, 此时仍持续执行提升闸门的动作, 最终致使钢丝绳因受到切割而被拉断。

2.2 其他管理方面原因

闸门通常仅在开展设备检修以及引水隧洞检查作业时才会关闭, 以实现引水或检修目的, 其设备操作频次极为稀少, 使用率也处于较低水平。这一状况致使电厂在设备管理与检修投入等方面缺乏足够重视, 具体表现如下:

受设备操作频次极低、使用率不高的影响, 电厂(涵盖操作人员)对该设备的重视程度不足。员工缺乏针对卷扬式启闭机、桥式起重机、门式起重机等起重类

接门叶的滑轮机组等见构详图 (b) 。



(b) 滑轮组等机构

设备运行及维护方面的专业知识培训。特别是固定式卷扬式启闭机长期处于闲置状态, 员工对其维护知识的掌握程度极为有限。

在设备维护管理方面, 未能依据起重行业以及设备制造厂所制定的技术标准, 对设备开展定期检查、维护、检修以及运转试验等工作, 进而未能及时察觉保护装置失灵这一缺陷。

归根到底, 一个与时俱进现代化管理的抽水蓄能电站所短缺的恰是其本应必须具备的的在线监测系统。

3 建议采取的措施

3.1 由于目前的相关规范均已提高了验收标准, 如: SL74—2019《水利水电工程钢闸门设计规范》第9条: 重要闸门宜设置应力、变形、振动等在线监测装置。

NBT 10341.1-2019《水电工程启闭机设计规范》第1部分: 固定卷扬式启闭机设计规范》基本规定“3.0.4” : 对于重要的启闭机宜设置应力、变形、振动等在线监测装置。

NBT 10341.2-2019《水电工程启闭机设计规范》第2部分: 移动式启闭机设计规范》的基本规定“3.0.7”亦为“启闭机宜设置在线监测系统”。在此, 经过分析对比, 建议、推荐使用成都威尔森科技发展有限责任公司设计制造的《VRS8000-HMT系列闸门和启闭机在线监测系统》^[2]。

国内外已有超过200个水电站使用该设备系统, 现已广泛应用于金属结构: 弧形闸门、船闸、平面闸门、卷

扬启闭机、液压启闭机等进行在线振动监测、分析、诊断，对闸门、启闭机、钢丝绳的应变、振动、损伤进行全方位24H实时监测。

VRS8000HMT系统具有极强地可扩充性和可维护性，可以组成一个强大的、综合的闸门和启闭机在线监测及故障分析系统。

该系统可自动连续地采集与设备安全有关地主要状态参数：金属结构的闸门动静应力、激振、声发射、运行姿态、倾角等数据采集；启闭机应力监测、钢丝绳探伤监测、电机/齿轮箱、油缸振动、油压脉动、温度监测等，并自动形成各种数据库。

利用工业机理和AI融合算法构建闸门、启闭机、钢丝绳等金属结构的故障模型库，实现边缘数据实时分析和决策，对闸门、启闭机、钢丝绳等金属结构故障进行预警和告警，并智能生成综合报告，为金属结构安全运行提出预防性维保建议。

提供可视化展示和分析的云平台软件，为水电站或枢纽工程金属结构在线监测和故障预警提供更完善高效的解决方案。

系统采用模块化设计，可根据不同需求灵活配置，系统的强扩展性提供丰富的接口与其他系统进行深度融合。

其中，钢丝绳检测传感器：检测绳径范围达到 $\phi 6\text{-}50\text{mm}$ 、监测速度为0-20m/s、传感器灵敏度为1.5V/mT、使用寿命达到20000小时以上。

同时，仍应按照《水利工程卷扬式启闭机检修技术规程》(DB32/T 2948—2016)^[3]规定的检修周期要求，每6个月进行1次定期检查，每年进行1次小修。根据设备质量情况，宜在5~10年内安排1次大修。

3.2 建议定期检查工作重点主要如下^[4]:

对各电机的绝缘性能展开测量工作，借助闸门起落试验来检测三相电流的不平衡程度，并完成电流值的测量。

利用闸门起落试验对高度指示仪的精度进行检验，确保其精度偏差满足行业相关标准规定，同时保证升降限位装置的保护动作精准无误。

通过闸门起落试验对负荷控制器的精度加以核查，要求其精度偏差符合行业既定标准。当负荷超出既定限值时，负荷控制器应能够自动停止运行并发出警报。

在闸门起落试验过程中，需密切留意设备运转时是否出现异常声响，以及制动器的动作是否符合要求。

在小修环节，还需对双吊点的吊距和高程差进行检查，将其控制在行业标准所允许的范围内。依据润滑油的化验结果，判定是否需要更换润滑油，并对钢丝绳的质量状况进行检查。

应强化设备操作人员和维护人员的培训工作，推动操作过程实现标准化。制定现场操作手册，并将其悬挂在作业现场，以便操作人员随时查阅。

结束语

通过深入分析抽蓄电站上下库闸门启闭机事故，我们认识到设备管理、人员培训及在线监测系统的重要性。建议电站加强设备维护，提升操作人员技能，并引入先进的在线监测系统，以预防类似事故，确保电站安全稳定运行。

参考文献

- [1]史恩泽,谭诚,赵志.水电站卷扬式启闭机钢丝绳断裂事故的分析[J].电力安全技术,2020,22(03):35-37.
- [2]丁亚.《江苏省水利工程卷扬式启闭机检修技术规程》[J].江苏水利,2017,(06):74.
- [3]水工钢阀门和启闭机安全检测技术规程:DL/T 835-2003[S],2003.
- [4]水工钢闸门和启闭机安全检测.技术规程:SL 101-1994[S],1995.