

关于降低大型混流式水轮机过流部件作业风险的措施探索

张晶 隼军峰

雅砻江流域水电开发有限公司

DOI:10.12238/hwr.v9i6.6420

[摘要] 过流部件是水轮发电机组的重要功能部件,为了保证机组的安全稳定运行,需定期对水轮机过流部件开展检修维护作业,以保证或提高相关设备的性能。大型混流式水轮机过流部件检修维护作业涉及大量有限空间、高处坠落、淹溺等高风险作业环境,很大程度上影响作业安全。文章主要结合工作实践,介绍了降低大型混流式水轮机过流部件检修维护作业风险的手段措施,供参考。

[关键词] 水轮机; 过流部件; 风险; 措施

中图分类号: TK73 **文献标识码:** A

Exploration of measures to reduce the risk of overhaul and maintenance of overflow parts of large-scale francis turbines

Jing Zhang Junfeng Juan

Yalong River Hydropower Development Company Ltd.

[Abstract] The Water-flowing parts are important functional component of the hydro-generator set. In order to ensure the safe and stable operation of the unit, it is necessary to regularly carry out maintenance operations on the Water-flowing parts of the turbine to ensure or improve the performance of related equipment. The overhaul and maintenance of the Water-flowing parts of a large Francis turbine involves a large number of high-risk operating environments such as limited space, falling from height, and drowning. To a large extent, it affects the safety of the operation. Combined with the work practice, This paper mainly introduces the means and measures to reduce the risk of overhaul and maintenance of Water-flowing parts of large francis turbines, for reference.

[Key words] Water Turbine; Water-flowing parts; Risks; Measures

前言

过流部件是水轮发电机组的重要功能部件,直接影响水轮发电机组运行的安全稳定。由于其日常运行过程中不可视性,且运行过程中受水体中异物砸击、卡阻、老化疲劳规律和水力振动等工况和状态的影响,不可避免的造成相关设备及结构部件运行损伤,导致设备安全稳定性能下降出现安全隐患,甚至直接引发水淹厂房等电力生产事故。因此,需定期或不定期地开展过流部件的检修维护工作,以恢复、保证或提高相关结构或设备的性能^{[1][2]}。

大型水轮机过流部件自引水管道至尾水管相关设备涉及较多有限空间、较大坠落高度的作业环境及场所,同时,在作业期间流道上下游均需通过闸门进行挡水隔离,一旦闸门失效可能出现严重的淹溺事故。

据此,通过系统的分析评估大型混流式水轮机过流部件检修维护作业存在的安全风险,并结合相关项目在工作过程中采取的可行手段和措施,总结保证水轮机过流部件作业安全可行

且有效的手段措施,降低作业过程安全风险,保证检修维护工作的有效开展。

1 过流部件检修维护主要风险分析

1.1 有限空间

水轮机过流部件自上游引水闸门、引水管道,经蜗壳、座环等埋入部件联通尾水管及尾水闸门,形成一个大尺寸的封闭空间,常规情况下仅有蜗壳进人门和尾水管进人门两处具备狭小且不连贯的过人通道,是典型的有限空间,其作业场所整体具备有限空间作业中可能存在的中毒、窒息等风险,借鉴近几年典型的有限空间事故案例及发生规律特点,一旦发生事故将产生严重后果,这是过流部件作业过程中的重要风险之一^[3]。

1.2 高处坠落

大型混流式水轮机过流部件具有高引水管、高尾水管、过流部件结构尺寸大等结构特点,检修维护作业过程中需开展引水管道、尾水管道、座环、转轮等各部结构及相关附件的状态检查维护,部分工作开展需搭设专用检修平台或施工脚手架,涉

及较大坠落高度的作业场合,特别是尾水管检修平台搭设,各支撑梁宽度较窄,且需根据需要进行位置调整,坠落风险很大程度上增加。同时,由于水流的长期冲刷,过流部件设备表面光滑,这在一定程度上进一步增加高处作业风险,高处坠落过流部件检修维护作业过程中的另一个重要风险。

1.3 淹溺

为了便于过流部件检修维护工作的开展,同时不影响电站其他机组正常运行,通常采用封闭闸门、阀门等方式对检修机组流道进行单独隔离。闸门、阀门状态及性能尤为重要,一旦发生设备误动或挡水密封结构部件失效等漏水量超过封闭区域排水能力的情况时,可能对流道造成淹溺,严重情况下可能造成水淹厂房等重大事故。因此,淹溺也是过流部件检修维护作业过程中的一个重要风险^{[3][4]}。

1.4 触电

大型混流式水轮机过流部件多采用金属结构,检修维护工作过程中不可避免的存在切割、打磨、焊接、加热、通风等涉及用电器具的过流部件检修维护工作需要保证充足的照明,均涉及用电作业,甚至大部分区域涉及潮湿金属容器环境下的用电作业,存在作业过程中漏电、触电风险。

1.5 挤压碰撞

过流部件检修维护同时包括筒阀(进水阀)、转轮、导叶、底环等运动部件的检查维护工作和进入门开关操作等,作业位置设备紧凑、空间狭小,存在较大人员挤压、碰撞的风险,设备动作检查过程中可能造成挤压等人身伤害、设备损伤等问题。

1.6 其他风险

过流部件检修维护作业过程中还存在滑倒受伤、交叉作业物体打击、打磨飞溅、潮湿环境风寒、空气对流影响等其他风险,但相对而言,该类型风险后果相对较小,采取防滑、保暖等管控措施可有效降低风险。

2 降低过流部件检修维护作业风险的手段措施

2.1 程序性管理

基于双重预防机制的安全风险管理理念,开展风险管理工作,结合过流部件检修维护工作项目内容,各项工作实施过程中存在的风险,并针对性的制定管控措施,形成标准的书面程序性文件,指导作业过程安全管理,提高风险管控针对性,降低作业安全风险。

2.2 有限空间作业风险管理

有限空间作业风险管控重点提前做好作业条件检查及审批,作业期间重点管控通风等防中毒、窒息等管控措施,作业期间蜗壳及尾水管进入门保持畅通并设专人监护,采用登记核销的方式记录进入人员,同时按要求定时对有限空间内空气质量进行检测,与作业人员保持通信畅通,作业完成后采用可靠的方式对有限空间通道进行闭锁管理,防止人员误入。

2.3 高处坠落风险管理

结合水轮机设备运行历史情况及检查履历,客观评估过流部件各设备状态及变化规律特点,优化引水管道、尾水管道连接

结构部件、转轮检查等检修维护项目内容及周期,减少高处坠落风险作业工作量。

结合设备结构特点,采用控制尾水位+浮动平台、尾水管挂防护网等方式进行转轮、底环及尾水管等过流部件检查,代替搭设尾水检修平台开展检查的工作方式;采用专项设计的轻便快装脚手架、平台或专用工装,进行流道附件检查,降低平台搭设坠落风险,同时提高平台与设备结构的适配性及使用稳定性。

高处作业人员按要求使用合格的防坠落防护用品并规范挂装,对转轮进口采用加装围栏式防坠钢丝绳并挂装尼龙网的方式进行隔离防护,为座环上作业人员提供防护的同时,提供可靠的安全带挂点。

2.4 淹溺风险管理

检修前对水轮机流道排水系统装置进行专项检查维护,保证排水系统功能正常;对参与流道进水口、尾水隔离的阀门/闸门封闭前需对其挡水结构及密封进行专项检查维护,确认各结构部件及密封完好无损,具备可靠的挡水功能条件;结合流道排水过程,检查确认蜗壳及尾水排水阀等排水装置及相关监测装置工作状态正常。

过流部件检查作业期间,及时跟踪系统漏水及排水变化情况,掌握设备状态;进入尾水管内开展检查作业期间,避免开展挡水阀门/闸门系统的相关工作,的人员穿救生衣并携带对讲机,并专人持续监视水位变化情况;涉及挡水及排水设施调整、试验等相关工作,应对作业面进行告知,并采取封门等防止设备误动导致水淹厂房及设备区域的安全措施,必要时可加装挡水坎及漏水监测装置,封门前检查确认流道内作业已完成,人员已撤离,充水前检查确认流道的进入门、附件管路开放接口等均已可靠关闭或封堵。

2.5 触电风险管理

严格遵守作业环境用电电压要求,保证水轮机流道内工作使用的照明设施电压不大于24V,有条件的情况下尽可能使用低压充电式移动照明灯具。

检查确认进入流道内工作的电动工具、电缆等绝缘完好,设备无裸露的导电部件;设备与金属部件接触部位使用绝缘胶皮等进行隔离防护,必要时可架空敷设;电气工具使用时,按“一机一闸一保护”的要求规范使用合格的漏电保护装置;焊机等大型电气工具外壳还应采取可靠的接地措施,防止漏电。

2.6 挤压碰撞风险管理

根据水轮机尾水进入门、蜗壳进入门的结构特点,设计制作并使用专用的开门/闭门工装,简化开门/闭门作业操作方式,同时加强作业过程的监护,保证作业过程安全。

在座环上、活动导叶区域开展工作时,应保证调速器及筒阀液压系统处于卸压并加装防误动锁定装置状态,避免作业过程中设备误动造成挤压;涉及机组盘车检查、调速器及筒阀系统动作试验等相关工作,应提前告知相关作业面负责人组织撤离,并检查确认设备动作区域无人员及物品遗留后对相关区域进行隔离,并设专人监护。

3 相关手段措施的应用案例及效果

3.1 不搭尾水平台进行转轮等过流部件检查方式实施

鉴于锦屏一级水电站转轮、底环、尾水管及附件等运行稳定,历次检查较少出现转轮裂纹及气蚀等需搭设尾水检修平台进行处理的缺陷问题,研究不搭设检修平台,采用转轮底部挂防护网防护的转轮检查装置;锦屏二级水电站结合转轮叶片狭长、流道窄、常规挂网无法全面防护特点,设计制作龙骨支撑+气垫结构的转轮检查维护装置。作业人员穿戴安全带通过转轮叶片流道上下进行转轮及尾水管等设备结构检查的方式,发现必须搭设尾水检修平台处理的设备问题时,再行组织尾水检修平台搭设,大大降低了尾水检修平台搭设的坠落、起重等作业风险,减少平台搭设所需的工期时间,缩短了过流部件检查时间,降低检修资源成本。该两种转轮检查装置经多台机组检修验证可行,取得较好效果。

3.2 尾水管专项检查平台及升降装置设计及应用

每年机组检修需对水轮机尾水管及排水装置等附件、尾水闸门等进行检查,涉及较大坠落高度的高处作业及淹溺风险。锦屏一级水电站针对设备结构特点,设计制作尾水管检查作业平台,平台通过螺栓与尾水门可靠连接,使用电动升降器进行人员上下尾水管操作,降低传统使用软梯进行尾水管检查人员攀爬的疲劳度及坠落风险,缩短进出尾水管时间,提高工作效率,该装置已在结合机组检修在各台水轮机使用,取得较好效果。

3.3 专用蜗壳开门装置设计及应用

为避免水淹厂房事故发生,大型水轮机蜗壳门多设计为具备自动关闭的内开式门,若开门及闭门装置设计不合理,作业过程中极易发生人员挤伤事件。锦屏一级水电站结合蜗壳门结构特点,设计制作蜗杆式蜗壳门启闭工装,经各台机组检修验证,该装置使用安全、操作方便,大大提高了作业安全性和便利性^[5]。

3.4 有限空间内LED照明灯带及低压灯具的应用

为降低过流部件内部作业期间传统方式照明电缆布置复杂、漏触电风险较高等问题,锦屏一级、二级水电站采用在作业空间内敷设LED灯带的方式进行照明,局部照明薄弱位置使用低压充电式照明灯具进行补充,经实际验证,使用效果较好。

3.5 转轮全面防护

水轮机过流部件检修维护作业期间,座环上工作涉及高处

坠落风险,特别是尾水检修平台未搭设的情况下,一旦发生坠落,人员可能直接通过转轮叶片流道落入尾水管底部。锦屏一级、二级水电站通过在固定导叶捆绑安全绳、在转轮捆绑钢丝绳并挂装防护网的方式进行隔离防护,同时安全绳和钢丝绳作为安全带挂点,能够有效保证座环区域作业安全。

3.6 蜗壳门及尾水门隔离闭锁及防护装置

为妥善做好有限空间及防坠落作业管理,无作业期间需对蜗壳及尾水进入门进行防误入隔离,同时隔离装置作为临时封堵,避免水轮机流道内外温差产生的空气对流对作业环境的影响。

4 结束语

综上所述,大型混流式水轮机过流部件检修维护作业风险管理是一个系统性工程,根据其作业过程中可能存在的安全风险,采取有效的管控措施及更优的工法工艺和设计工装,能够很大程度上降低风险,减少相关作业暴露在危险环境中的时间,保证作业安全的同时提高检修维护工作效率。

不同项目的水轮机过流部件设备存在结构上的差异性,相关风险管控措施的适用性也会存在一定差异,借鉴使用时需结合设备实际情况进行优化调整,确保管控措施可行、可靠,能够切实发挥降低作业风险、保障作业安全的作用。

[参考文献]

- [1]张诚,陈国庆.水轮发电机组检修[M].北京:中国电力出版社,2012.
- [2]国家能源局,水力发电厂水轮机技术监督导则[S].DL/T 2570—2022.
- [3]国家市场监督管理总局,国家标准化管理委员会,水轮机基本技术条件[S].GB/T 15468—2020.
- [4]祁广福.混流式水轮机顶盖水位上升原因分析及处理[J].水电站机电技术,2024,47(8):103—107.
- [5]何晨阳,魏付生,梁小飞,等.某大型水电站纯机械式蜗壳门启闭操作工装设计及应用[J].大电机技术,2024(8):47—50.

作者简介:

张晶(1984—),男,汉族,江苏新沂人,2008年毕业于西安理工大学热能与动力工程专业,工学学士学位,高级工程师,从事水电站机械设备检修维护及管理工作。