

# 灯泡贯流式水轮发电机组检修的安全关键技术探讨

邓永贵

广西广投桥巩能源发展有限公司

**摘要:** 在水力发电系统中, 一般会根据河道水头的高低利用率来设计安装灯泡贯流式水轮发电机组, 它的造价相对立式机组会低一些, 并且能充分利用低水头河流的水力资源, 优化改善电网负荷调峰调频的需要。不过从实际生产运行角度来看, 灯泡贯流式水轮发电机组独特的卧倒发电方式也是存在诸多缺陷, 容易发生技术故障问题的, 需要相应配备安全关键技术加以维护处理。在本文中, 主要围绕广西桥巩水电站天津阿尔斯通(旧称, 现为美国通用电气公司)灯泡贯流式水轮发电机组为例, 结合现场实际生产情况对机组设备可能发生的各种故障问题成因进行了剖析, 并提出了相应的维修改造安全技术内容, 显著改善电厂中水轮发电机组的安全稳定运行能力。

**关键词:** 灯泡贯流式水轮发电机组; 主轴密封; 发电机热风温度; 导叶轴套漏水; 故障与维修技术改造策略

【DOI】10.12252/j.issn.2096-627X.2022.12.049

## 引言

在水力发电机组生产系统中, 灯泡贯流式水轮发电机组的检修工作质量的高低, 关系着机组是否能在一个检修期中始终处于安全运行状态中。通常情况下, 灯泡贯流式水轮发电机组设计理论上已十分成熟, 运用也十分广泛, 国内的生产技术水平也不断提高, 但是, 在实际水电站的建设中, 多为时间紧, 任务重, 照搬照套旧式, 没有及时整合国内同类型机组运行中反复出现的问题, 加以优化, 所以在生产运行过程中发生设备缺陷故障问题在所难免, 例如隔离河水的主轴密封、热风冷却结构、技术供水泵、导叶轴套等部分都容易发生缺陷故障, 必须加以注意, 做好安全性优化检修改造工作, 确保发电机组始终都能安全稳定生产运行<sup>[1]</sup>。

## 一、广西桥巩水电站的灯泡贯流式水轮发电机组生产运行概况与参数指标

### (一) 生产运行概况

广西桥巩水电站属于红水河规划开发的第9个梯级水电站。在电站左岸位置设计了8台单机容量达到57MW的、右岸设计了1台单机容量达到24MW的灯泡贯流式水轮发电机组, 总装机达到48MW, 保证出力达到195MW, 多年平均发电量达到24.01亿kW·h。总体来讲, 该水电站属于以发电为主、兼顾通航等综合利用效益的大型枢纽工程。该电站属于国内第二大型灯泡贯流式机组电站, 机组运行至今已经达到14年, 其中做过大量的升级改造工作, 切实解决了其中所存在的诸多技术缺陷问题。现如今, 针对这些问题再展开技改工作, 目的就是为提升桥巩水电站天津阿尔斯通灯泡贯流式水轮发电机组整体生产能力、积累生产技术经验、为同行提供有价值参考借鉴创造条件。

### (二) 生产参数指标

针对桥巩水电站水轮发电机组的水轮机以及发电机

两大主体设备, 设备的运行过程安全稳定性与可靠性要求较高。因此, 需要对两大主体设备的相关技术参数展开分析, 对系统加以全面理解。其中, 发电机组、水轮机组的额定容量达到61.96MVA, 额定功率为57MW, 额定电压为10.5kV<sup>[2]</sup>, 为目前全国单机第二大机组。

## 二、广西桥巩水电站的灯泡贯流式水轮发电机组生产运行的故障检修与关键维修技术

桥巩水电站在针对灯泡贯流式水轮发电机组生产运行方面发现了一些生产运行问题, 这导致整个水电站的正常生产运行都遭受威胁。为确保设备正常稳定运行, 需要结合具体问题具体分析, 提出相应的维修技术改造措施。因此, 下文结合多点来谈:

### (一) 主轴密封缺陷故障与维修技术改造策略

在桥巩水电站中, 水轮发电机组最初主要采用双层密封U150-X1装置, 理论上密封效果非常理想, 不过在生产实践中却发现密封形式效果并不理想。具体来讲, 其中存在两种情况, 其中一种是机组运行过程中的主轴密封环与抗磨板运行过程中发生磨损状况, 直接导致主轴密封进水孔被严重堵塞, 导致主轴密封水流量无法满足中断现象。在这一过程中, 也会导致机组主轴密封环磨损, 严重时被烧坏; 另外一种就是密封座中调整弹簧容易发生松动情况, 主轴密封座调整弹簧严重失效, 这就容易导致主轴中密封座无法正常运动, 在负荷变化影响下发生不同程度的轴向移动现象, 导致主轴密封位置却发生大量漏水现象。在这一环境下, 机组事故所导致的停机或者强迫停机状况就在所难免, 严重影响机组的安全经济性运行。

在维修技术改造策略中, 主要选择为机组更换材料, 采用一套密封环, 它的价格为7.2万/套, 另外也要替换抗磨板(3.8万/套), 配合每日发电量为136.8万/kW·h, 直接计算维修技术改造策略实施成本, 有效解

决上述故障问题。在这一过程中，也要配合调查历史数据来了解水轮发电机组运行过程中的主轴密封漏水故障，做好下闸抽水处理，避免缺陷问题严重化导致机组经济效益运行水平降低。结合到具体的技改方案，则需要充分考量发电机组的实际生产运行状况，确保设备生产厂家协商并借鉴同类机组的成功维修技改经验，最终确定维修技改方案如下：

将轴向式密封形式改造为径向式密封，采用新主轴密封型号，例如D型3HS353-M密封，L型3HS355密封材料，这些密封材料均为耐磨弹性材料。材料的优点表现在高水压情况下能够自动与转环进行贴合密封，改变传统弹簧补偿的方式，在水压、人工调节方面表现十分出色。不过材料同样存在缺陷，即材料的弹性无法完全与水压力完美结合，让其随动性能更佳；密封面材料太小易磨损，在洪水期遭遇含有大量泥沙时，则缩短了使用寿命。在改造以后，全新的D型密封检修机制就能顺利形成，检修过程更加方便便捷，检修工作时间也能正常控制在8小时以内，大幅度缩短整体处理时间40小时以上，减少了大量的时间与人力物力，同时做到了有效预防密封过快所导致的磨损漏水问题，经济效益水平较高<sup>[3]</sup>。

### （二）发电机热风温度过高缺陷故障与维修技术改造策略

桥巩水电站的发电机组在运行过程中容易报错，主要报错内容就是发电机冷却风机出现故障，无法正常运行。经过机组检查后发现，发电机组冷却风机轴承损坏并直接导致风机无法正常运行，严重时甚至导致风机电动机被烧毁，轴承损坏，寿命有所缩短，同时对于定子以及转子的稳定性影响最大。在深入检查原因后发现设备中热风温度过高，多数达到65℃以上，设备在运行过程中被迫调低负荷运行，严重影响了机组有效的工作效率和公司的经济效益。

结合桥巩水电站实际生产情况，主要对所存在问题进行分析，了解热风温度散发不利形成的主要原因就是风扇设计配置缺乏合理性，风扇叶自重过重，另外还存在电机安装错误问题，这些都是容易导致运行过程中电机轴承超载运行损坏的因素。在风洞内作业过程中，还发现发电机冷却风机的运行套管内过于狭窄，再加之处于高空位置，日常检修处理难度过大，可能需要较长的检修时间，不利于正常抢修工作的顺利开展<sup>[4]</sup>。

结合上述问题展开分析，发现冷却风机温度过分升高的缺陷主要是传统技术改造对策缺乏针对性，目前采用全新的技术改造对策。首先，要解决电机风扇叶自身

过重问题，将原本的铁质叶片更换为纤维叶片，大幅度减轻风机轴承所承受的转动惯量和重量，为风机长期运行“减负”，避免发生因负载过重损坏故障；其次，维修过程中将原有的轴向安装方式更改为常规底座安装方式，大幅度减轻风机悬挂支架风险发生情况，避免过产生振动；再次，有效解决冷却风机作业空间过于狭窄情况。上文提到，水电站过往将风机安置于高空位置，检修技改工作难以正常实施，所以目前将其改造为空冷风管位置，能够快速退出风机，配合电机地脚连接，保证螺栓稳固固定，减小振动情况。冷却风机通过技改改造后生产运行表现更加稳定化。例如在相同负荷曲线影响下，定子线圈以及铁芯温度都能做到向好改善，总体温度水平有所下降，线圈部分温度下降至少3℃，从本质上解决了冷却风机运行过程中温度过高这一风险问题<sup>[5]</sup>。

另外，在水电站水轮发电机组运行过程中，设备温度会有所升高，因此机组内部通常会安装相应的冷却设备。工作人员需要对冷却水的水位进行检查，并对进水口和出水口是否存在堵塞问题进行安全排查，以此合理控制发电机组运行过程中的机身温度，避免由于温度过高而导致各个设备出现运行故障。同时，发电机组中还涉及对轴承润滑油系统油压、油量大小的控制，关系到相关润滑装置及系统参数的设置问题。金属设备之间的相互摩擦会影响发电机组运行的安全，而合理控制油压、油流量是可以减少设备摩擦。基于我国科学技术的稳步发展，新时期的发电机组故障检修工作将开始朝着智能化、自动化方向发展，必将会引领检修工作的效率革命<sup>[6]</sup>。

### （三）技术供水泵漏水缺陷故障与维修技术改造策略

在水电站中，技术供水泵漏水缺陷故障问题也是存在的，最初本厂内的技术供水加压泵采用卧式双向吸泵倒立安装形式，一年内需要三到四次更换机械密封，更换前后发生漏水现象严重影响周围设备正常生产运行。如果突发同时停泵检修则必须承担机组停止生产的经济损失，维护更换成本相对较大，对于水电机组的正常稳定运行状态也有较大影响。

桥巩水电站的具体做法就是结合灯泡贯流式水轮发电机组设计做法，在技术供水泵设备端面位置安装滚珠轴承，在叶轮中间两环位置辅助设计固定支点，分析其中间隙较大问题。一般来说，选择在两端轴套位置设置固定支点，分析泵的运行故障增加情况与轴套磨损严重情况，保证轴套间隙密封度有保证，同时保护机械密封

不会受到不平衡力影响。具体到维修技改措施方面，还需要做好以下两点：

第一，始终维持泵的现有结构以及密封方式，确保机械密封形式与结构优化到位，同时确保材料机械密封轴承也能更换到位。例如，水电站就将泵的底部滑动轴承更换为免维护式的滚动轴承，基本上可以做到在检修周期内一劳永逸<sup>[7]</sup>。

第二，将原有的垂直式离心泵改为卧式双吸离心泵，确保两轴承同时径向工作面受力，提高生产运行稳定性。即最大限度保护机械密封受力不均匀磨损加速情况，保证减少故障，提高维护水平。改造后的设备能够平稳运行一个周期左右<sup>[8]</sup>。

#### （四）导叶轴套漏水故障与维修技术改造策略

考虑到桥巩水电站中水轮发电机组在各种水头与负荷情况下存在拐臂轴套密封位置漏水现象问题，在过去检修后依然发生漏水现象，整体处理难度较大，处理效果不甚理想。临时采用措施，设置专门篷布挡水，缺乏美观性，治标不治本，而且在漏水的情况下，机组机构配件受到水的侵蚀，使用寿命依然有所缩短，严重影响电厂安全经济稳定运行。

针对这一导叶轴套漏水故障缺陷问题，水电站通过走访考察，深入分析，最后所采用的维修技术改造措施具体包含以下两点：

第一，将外部原来铸铁轴套材料替换为不锈钢材料，并在新套筒下部位置内外圈额外增加一道密封槽，增加排水孔的直径，对轴套受力进行重新校核，选择更好的轴套摩擦材料，确保满足轴套比压情况，将轴套长度从原有的240mm改变为233mm<sup>[9]</sup>。

第二，要解决密封老化问题，水电站专门设计了额外增加O圈密封的一道套筒，有效延长不漏水的间隔周期。在新结构中，套筒的最大优点表现在材质上切实规避了生锈所产生的密封面损耗硬伤问题，同时磨损硬度也能够得以增强。另外，也节约了由于拐臂漏水处理所产生的大量检修费用以及检修周期，解决了抗磨性较差问题。例如，水电站就更更换了耐磨弹性材料并进行试验，试验合格后参与到密封套筒设计与生产当中，顺利解决密封老化问题<sup>[10]</sup>。

就整体而言，桥巩水电站在对灯泡贯流式水轮发电机组运行过程中，注重对问题分析研究，做好发电机组的高质量维修保护，确保各项安全检修技改技术都能有效应用。其中的故障维修主要围绕定期检修、优化性检修以及状态检修展开，缺陷的技术改造属于设备性能局部优化技术，在检修维护工作中均属于重要手段。从

某种程度来讲，水电站将某些价值偏小但利益水平较高的技术应用进来，优化提出了各种维修技改方案，提高了企业的整体经济效益水平，满足了水电站内部的设备系统更新升级要求，最大限度将故障问题扼杀在摇篮之中。在针对某些不可预见的技术故障事件问题，水电站也积累了大量的技术改造经验，切实培养了大量高水平实用型技术人才，为水电站机组不断安全稳定发展提供了强有力的技术支持<sup>[11]</sup>。

#### 总结

在当前，社会经济发展快速，水电站的发电量以及社会高质发展的需求水平不断提高。例如在水电站电力系统中采用灯泡贯流式水轮发电机组可以改善电力生产结构调控，提高送电质量。因此，如何确保水电机组长期安全稳定可靠运行，在提升用电安全方面就具有重大价值意义。在本文中，主要针对桥巩水电站中水电机组的运行过程存在缺陷问题进行汇总，希望充分考量机组的实际生产运行状况，并在这一技术生产基础上分析缺陷问题及其产生成因，最后确保提出具有针对性的维修技改方案措施。在后续桥巩水电站电力系统生产过程中，还需要进一步深入研究灯泡贯流式水轮发电机组的新技术应用，有效提升设备技术运行安全性以及稳定性，减少周期性维护运行成本，降低技术维修人员与运行人员的工作劳动强度，改善工作环境，提高水电站的整体经济效益。

#### 参考文献

- [1] 丘有为. 浅谈灯泡贯流式水轮发电机组的优化运行[J]. 电力系统装备, 2019(1): 68-69.
- [2] 聂令晓, 李芬. 灯泡贯流式水轮发电机组运行与检修[J]. 建筑工程技术与设计, 2021(7): 1749.
- [3] 夏汉鹏. 研究灯泡贯流式水轮发电机组的安装与检修方法[J]. 空中美语, 2021(12): 3619-3620.
- [4] 申子川. 灯泡贯流式水轮发电机组调试问题分析及处理措施[J]. 电脑校园, 2020(2): 1996-1997.
- [5] 张伟. 灯泡贯流式水轮发电机组主轴密封漏水的处理措施[J]. 低碳世界, 2020, 10(1): 70-71.
- [6] 秦磊. 灯泡贯流式水轮发电机组转子机械部分装配方法综述[J]. 机电信息, 2020(9): 21-22.
- [7] 国电大渡河检修安装有限公司. 灯泡贯流式水轮发电机组轮毂油箱供油系统: CN202020562706.8 [P]. 2020-11-24.
- [8] 丛熙航. 灯泡贯流式机组关键部位安装质量控制技术[J]. 工程管理, 2021, 2(4): 14-17.