

水电站机组主轴密封损坏原因分析与防范策略

蒲清阳

河北华电混合蓄能水电有限公司

DOI:10.12238/hwr.v8i10.5791

[摘要] 水电站机组主轴密封的损坏问题对设备运行效率及安全性影响重大。通过理论分析,文章剖析了影响主轴密封性能的诸多因素,涵盖材料选取、设计合理性、运行状况及维护管理等方面。结果显示,密封材料的耐磨与抗腐蚀性能对其使用寿命意义非凡,不合理的设计易致密封部件受力不均,加大损坏风险。此外,运行环境变化与不当维护措施会加速密封老化与故障。因此,提出了针对性防范策略,包括优化密封材料选择、改良密封设计、强化运行监测以及健全维护管理等。这些举措有助于提升水电站机组运行效率,减少设备故障发生,为水电站安全稳定运行提供有力支撑。

[关键词] 水电站; 机组; 主轴; 密封; 损坏原因; 防范策略

中图分类号: TV547.3 文献标识码: A

Analysis and prevention strategy of seal damage of hydropower unit

Qingyang Pu

Hebei Huadian Hybrid Energy Storage and Hydropower Co., LTD

[Abstract] The damage of the spindle seal of the hydropower station unit has a great impact on the operation efficiency and safety of the equipment. Through theoretical analysis, this paper analyzes many factors affecting the spindle seal performance, including material selection, design rationality, operation condition and maintenance management. The results show that the wear resistance and corrosion resistance of sealing materials are of great significance to their service life, and the unreasonable design is prone to the uneven force of sealing parts, which increases the risk of damage. In addition, operating environment changes and improper maintenance measures will accelerate sealing aging and failure. Therefore, targeted prevention strategies are put forward, including optimizing the selection of sealing materials, improved sealing design, strengthened operation monitoring and sound maintenance management. These measures will help improve the operation efficiency of hydropower station units, reduce the occurrence of equipment failures, and provide strong support for the safe and stable operation of hydropower stations.

[Key words] hydropower station; unit; spindle; seal; damage cause; prevention strategy

引言

水电站在全球能源格局中占据关键地位,因其清洁、可再生的特性备受瞩目。然而,水电站机组的运行安全与经济效益常受多种因素制约,其中主轴密封损坏问题尤为突出。主轴密封作为机组的核心组成部分,主要负责防止水、油等介质泄漏,确保设备正常运转。随着运行时间延长,主轴密封受温度、压力及介质特性影响,易出现老化、磨损及损坏等问题,这不仅增加了设备维护成本,还可能致使机组停机,进而影响发电效率。

1 主轴密封的工作原理与重要性

1.1 主轴密封的工作原理

主轴密封的工作原理主要依托密封材料的物理特性与密封结构设计。密封件通常由弹性材料制成,在受压后可产生一定形

变,从而在主轴与外壳间形成有效密封界面。工作时,主轴旋转产生的离心力与流体压力促使密封材料紧密贴合主轴表面,有效阻止流体泄漏。常见的主轴密封结构有机械密封和填料密封等。机械密封由动环、静环和弹簧等多个组件构成,能在高压、高速旋转环境下保持稳定密封性能。填料密封则通过填料环压紧实现密封效果。密封效果好坏取决于材料选择、密封面配合精度及运行条件控制。随着机组运行时间增长,密封件会因磨损、温度变化、介质腐蚀等原因逐渐丧失密封能力,因此定期监测与更换密封件至关重要。

1.2 主轴密封在水电站中的重要性

主轴密封在水电站中起着至关重要的作用,它不仅直接影响机组运行效率,还关乎设备安全性与经济性。作为机组关键组

成部分, 主轴密封负责阻止水、油等介质泄漏, 确保水轮发电机组正常运行。若密封性能不足, 可能导致油水混合或流体泄漏, 既影响机组输出功率, 又带来环境污染与安全隐患。此外, 密封损坏会导致设备频繁维修与更换, 增加运维成本, 甚至可能引发机组停机, 影响整体发电效益。因此, 保障主轴密封良好状态是水电站管理的核心任务之一。同时, 随着水电站设备不断更新换代, 密封技术也在持续进步, 新的密封材料与设计理念不断涌现, 提升了密封的可靠性与耐用性。通过优化主轴密封设计与材料选择, 不仅能延长设备使用寿命, 还能提高机组整体运行效率, 为水电站可持续发展提供强大支持。

2 主轴密封损坏的主要原因

2.1 材料因素

主轴密封的性能与所选用材料的性质有着紧密联系, 材料因素乃是密封损坏的主要缘由之一。密封材料的挑选通常依据其弹性、耐磨性、耐温性以及耐腐蚀性等性能来进行。倘若密封材料的弹性欠佳, 难以适应主轴的微小位移或变形, 便会致使密封效果不尽如人意, 进而引发泄漏问题。与此同时, 材料的耐磨性也是影响密封寿命的关键要素, 特别是在高转速、高压力的工况下, 密封件的表面容易出现磨损, 密封性能也会随之下降。此外, 不同介质对材料的腐蚀性存在差异, 这也需要加以考虑。若材料无法抵御所接触流体的化学腐蚀, 密封件就有可能提前老化或者失效。例如, 某些油品和水中的杂质会促使材料发生劣化, 从而影响密封效果。为了确保密封件能够长期保持稳定可靠, 选择合适的密封材料至关重要。现代密封技术研发出了多种高性能材料, 诸如聚氨酯、氟橡胶等, 这些材料不但具有优良的弹性和耐磨性, 还能够在多种工况下维持良好的化学稳定性^[1]。因此, 在设计和维护水电站机组时, 应当根据实际工况条件, 挑选符合需求的高性能密封材料, 以降低因材料因素引发的密封损坏风险。

2.2 设计因素

密封结构的设计同样是影响主轴密封性能的重要因素。不合理的设计可能会导致密封件在运行过程中无法有效地保持密封效果, 进而引发泄漏或者损坏。例如, 密封件与主轴的配合精度不足, 可能会造成密封面间隙过大, 从而导致流体泄漏。再者, 密封结构的形状、尺寸以及配合方式直接影响着密封的密闭性能。如果密封件的压紧力不足或者设计的密封角度不合理, 密封面就有可能无法完全贴合, 密封效果也会因此降低。此外, 过度复杂的密封设计会增加安装和维护的难度, 导致在操作过程中产生误差, 进一步影响密封性能。所以, 在密封设计阶段, 工程师需要充分考虑运行工况、材料特性以及装配工艺等因素, 对密封结构设计进行优化。在一些先进的水电站中, 会采用计算机辅助设计等现代设计工具, 对密封件进行优化和仿真测试。

2.3 运行条件

运行条件是影响主轴密封性能的另一重要因素。在水电站机组运行过程中, 会受到多种环境因素的影响, 包括温度、压力、转速以及流体性质等。首先, 温度的变化会直接影响密封材料的

物理性能。高温环境可能会导致材料软化、膨胀或者老化, 而低温则可能使材料变脆, 失去弹性。这些温度变化可能会使密封件在动态运行中无法保持良好的密封效果。其次, 压力的波动也是密封性能的重要影响因素。过高的工作压力会使密封面承受过大的应力, 增加磨损甚至造成密封失效。同时, 主轴的转速与密封性能密切相关。高速运转会产生离心力, 可能导致密封材料偏移或者磨损加剧, 从而引起密封失效。此外, 流体的性质, 如粘度、腐蚀性和含固体颗粒的程度等, 也会对密封性能产生影响。流体中的杂质可能会加速密封件的磨损。

2.4 维护管理

有效的维护管理是延长主轴密封使用寿命、降低损坏风险的关键环节。定期进行检查和维修能够及时发现并解决潜在问题, 避免密封损坏带来的严重后果。在实际操作中, 工作人员需要定期对密封件进行视觉检查, 关注磨损情况、表面裂纹和变形等问题, 以确保密封系统正常运行^[2]。此外, 合理的维护计划应当包括对密封材料更换周期的评估, 以便在密封件失效之前及时更换, 避免因密封失效导致设备故障或停机。同时, 维护管理还应当关注密封系统的清洁度, 确保在更换密封件时避免外部污染物进入, 提升新密封件的密封效果。此外, 针对特定的运行条件, 可以制定更为细致的维护策略, 比如在高温或高压环境下, 增加密封检查的频率或者采用更为耐用的密封材料。

3 防范策略

3.1 优化材料选择

优化材料选择乃是提升主轴密封性能的关键策略之一。首先, 密封材料的选定需依据具体的工作环境与介质特性展开系统评估。例如, 在高温或者高压的工况之下, 选取具备卓越耐热性与耐压性能的高性能材料, 像氟橡胶或者聚氨酯等, 能够切实有效地延长密封的使用寿命。与此同时, 密封材料还应当拥有良好的弹性与回弹性, 以便适应主轴运行过程中的细微变动, 维持稳定的密封效果。此外, 密封材料的耐磨性极为重要, 特别是在高速旋转或者振动的条件下, 选用耐磨性较强的材料可以显著降低磨损速率, 延长密封件的使用时间^[3]。在流体介质方面, 针对不同的化学介质, 应选用具有相应抗腐蚀性能的材料, 以防密封件因化学腐蚀而提前失效。故而, 建立一套科学合理的材料选择标准, 并结合实际工况进行实验与验证, 能够确保所选材料在特定环境中的稳定性与可靠性。

3.2 改善设计方案

改善设计方案是保障主轴密封性能的重要举措之一。合理的设计不但能够提升密封效果, 还能降低密封系统的故障率。在设计阶段, 首先需要对密封结构进行深入分析, 确保密封件与主轴之间的配合精度符合要求, 避免因间隙过大而导致流体泄漏。此外, 密封件的压紧力也是影响密封性能的关键因素, 在设计时应考虑材料的弹性变形能力, 确保在运行过程中能够有效保持足够的压紧力, 实现良好的密封效果。对于密封结构的形状和几何参数, 应结合流体流动特性进行优化设计, 以减少流体对密封面的冲刷和磨损。采用先进的计算机辅助设计和有限元分析技

术,可以对密封结构进行多种工况的模拟与评估,从而找到最佳设计方案。此外,在设计过程中还应考虑密封件的安装与维护便利性,设计出易于安装和更换的密封系统,降低维护难度和成本。

3.3 加强运行监测

加强运行监测是确保主轴密封性能以及延长使用寿命的重要环节。在水电站机组实际运行过程中,各种环境因素和工况变化可能对密封系统产生直接影响,因此建立一套完善的运行监测体系显得尤为重要。首先,可以在机组关键部位安装传感器,实时监测密封件的温度、压力和振动等参数,通过数据采集和分析,及时发现潜在的异常情况,如温度异常升高、压力波动等。这些监测数据能够为运行管理提供有力支持,帮助工程师快速定位问题,减少因密封失效导致的停机时间^[4]。此外,定期进行视觉检查和功能测试也是监测的重要组成部分,通过对密封件的外观、磨损程度和变形情况进行评估,可以及时发现密封件的劣化趋势,并采取相应的维护措施。除了技术监测外,工作人员的培训与意识提升也不可忽视,加强对运行人员的技术培训,使其具备识别和处理密封问题的能力,将有助于提升整体监测效果。

3.4 完善维护管理

完善维护管理是确保主轴密封系统可靠性和延长使用寿命的基础保障。为了有效降低密封损坏风险,水电站需要建立科学、系统的维护管理体系,定期对密封件进行检查和维护,确保其在最佳状态下运行。首先,应制定详细的维护计划,包括定期检查、润滑和更换密封件的时间表,确保各项维护工作按时进行。在维护过程中,工作人员需要仔细检查密封件的磨损情况、裂纹和变形等,记录并分析密封件的使用数据,及时发现潜在问题,采取相应的预防措施。同时,应对密封材料的存储和使用进行规范管理,避免因材料老化或受潮而影响密封性能。此外,完

善的维护管理还包括对运行条件的监控,如流体的温度、压力和化学成分等,确保密封件在合适的环境下工作。在人员培训方面,加强对操作和维护人员的培训,提高其对密封系统的认识和故障处理能力,也是提升维护管理水平的重要环节。

4 结论

综上所述,文章分析了水电站机组主轴密封损坏的主要原因,包括材料选择、设计缺陷、运行条件及维护管理等方面。研究表明,密封材料的耐磨性和抗腐蚀性直接影响密封的可靠性,不合理的设计和不当的运行条件会加剧密封损坏风险。此外,维护管理的缺失也可能导致密封部件加速老化。为有效防范密封损坏,提出了一系列针对性的防范策略,如优化材料选择、改进设计方案、加强运行监测以及完善维护管理。这些措施不仅能提升主轴密封的性能,延长其使用寿命,还能显著提高水电站的整体运行效率和安全性。研究结果为水电站的维护与管理提供了理论指导和参考,为保障清洁能源的可持续发展贡献了重要价值。

[参考文献]

- [1]梁雪涛,高福林.盐锅峡水电站机组顶盖上水严重原因分析与处理[J].水电站机电技术,2024,47(03):80-81+111.
- [2]严登宏,张敏,次旺旦增,等.一种水电站机组主轴密封滤水器反冲洗清洗的方法[J].云南水力发电,2023,39(09):251-253.
- [3]高海玉,王明明,张彩霞,等.灯泡贯流式机组主轴密封运行分析及挡水装置的应用[J].小水电,2023,(02):49-51.
- [4]王鹏飞,王好锋,马永征.三门峡水电站轴流转浆式机组主轴密封的优化改造[J].人民黄河,2022,44(S2):266-267.

作者简介:

蒲清阳(1989--),男,汉族,河南省杞县人,大学本科,工程师,水利水电动力工程。