

常规机组混流式水轮发电机组的振动特性与减振措施

李乾勇

华能澜沧江水电股份有限公司 云南 昆明 650214

摘要: 本文深入分析了常规机组混流式水轮发电机组的振动特性,包括水力振动、机械振动和电磁振动等。针对这些振动特性,提出了相应的减振措施,旨在提高机组的运行稳定性和安全性。通过优化水力设计、调整运行工况、加强设备维护和检修等方式,有效降低了机组的振动水平,为水电站的安全高效运行提供了有力保障。

关键词: 混流式水轮发电机组; 振动特性; 振动危害; 减振措施

引言: 混流式水轮发电机组作为水电站的重要设备,其运行稳定性和安全性直接关系到水电站的整体性能和效益。然而,在实际运行过程中,机组常常会受到各种振动的影响,导致性能下降、设备损坏甚至安全事故。因此,研究混流式水轮发电机组的振动特性与减振措施具有重要意义。本文将从振动特性和减振措施两个方面进行深入探讨。

1 研究混流式水轮发电机组振动特性与减振措施的重要性

1.1 提升机组运行稳定性

混流式水轮发电机组作为水电站的核心设备,其运行稳定性直接关系到整个水电站的发电效率和运行质量。振动是影响机组稳定性的重要因素之一。当机组受到水力、机械或电磁等外部激励时,会产生不同程度的振动。这些振动不仅会影响机组的正常运行,还可能导致机组性能下降,发电效率降低。因此,深入研究机组的振动特性,了解振动的来源和传播规律,对于提高机组的运行稳定性至关重要。

1.2 延长机组使用寿命

振动对机组的使用寿命有着直接的影响。长期的振动会导致机组零部件的磨损、疲劳和松动,进而引发设备故障和损坏^[1]。这不仅会增加维修成本,还会影响机组的可靠性和耐久性。通过深入研究机组的振动特性,并采取有效的减振措施,可以显著降低振动对机组零部件的损害,延长机组的使用寿命,提高设备的经济性和可靠性。

1.3 保障水电站安全运行

研究混流式水轮发电机组的振动特性与减振措施,对于保障水电站的安全运行具有重要意义。振动不仅会影响机组的正常运行,还可能引发安全事故。振动可能导致机组紧固件的松动和脱落,引发设备损坏和人员伤亡。此外,振动还可能引发共振现象,对水电站的结构

安全构成威胁。因此,深入研究机组的振动特性,并采取有效的减振措施,是确保水电站安全运行的重要措施之一。

2 混流式水轮发电机组振动特性分析

混流式水轮发电机组作为水电站的关键设备,其振动问题一直是业界关注的焦点。振动不仅影响机组的运行稳定性和安全性,还可能引发设备损坏和安全事故。

2.1 水力振动

水力振动是混流式水轮发电机组振动的主要来源之一,主要由以下原因造成:(1)尾水管内低频涡带:尾水管内低频涡带是混流式水轮机和轴流定桨式水轮机在部分负荷时尾水管中出现的一种不稳定流动现象。当机组偏离最优工况运行时,尾水管内的水流速度分布不均,形成涡带。涡带的低频振动会传递至机组,引起整个机组的振动。涡带的频率与机组的结构固有频率接近时,还可能引发共振,加剧机组的振动。为了减小涡带引起的振动,可以采取优化尾水管设计、调整机组运行工况等措施。(2)卡门涡列:卡门涡列是水流流经非流线型障碍物(如叶片、导叶等)时形成的旋转方向相反、有规则交错排列的漩涡。当漩涡的频率与叶片的固有频率接近时,会引起共振,导致叶片和机组其他部分的振动。卡门涡列引起的振动通常具有较高的频率和振幅,对机组的稳定性和安全性构成威胁。为了减小卡门涡列引起的振动,可以采取优化叶片形状、增加叶片数量或改变叶片排列方式等措施。(3)叶道涡:叶道涡是混流式水轮机在偏离最优工况时,叶片头部脱流形成的涡流。涡流在叶片间传播,可能产生中频或高频的水压脉动。这些脉动会传递至机组,引起振动。叶道涡引起的振动通常具有复杂的频率成分和较高的振幅,对机组的稳定运行构成挑战。为了减小叶道涡引起的振动,可以采取优化叶片头部形状、调整导叶开度等措施。

2.2 机械振动

(1) 转子质量不平衡: 转子质量不平衡是混流式水轮发电机组常见的机械振动问题之一。当转子的重心与轴心产生偏心距时, 主轴在旋转过程中会产生弯曲变形, 引起振动。这种振动通常具有较低的频率和较大的振幅, 对机组的稳定性和寿命产生不良影响。为了减小转子质量不平衡引起的振动, 可以采取动平衡试验、调整转子质量分布等措施。(2) 机组轴线不正: 机组轴线不正是另一个常见的机械振动问题。当机组中心、旋转中心与轴线不重合时, 会产生偏心力矩, 引起振动^[2]。这种振动通常表现为机组各部位的晃动和摆动, 对机组的稳定性和安全性构成威胁。为了减小机组轴线不正引起的振动, 可以采取调整机组安装位置、校正轴线等措施。(3) 轴承缺陷: 轴承缺陷也是引起机械振动的重要因素之一。当轴承松动、间隙过大或过小时, 会引起摩擦和振动。这种振动通常具有较高的频率和振幅, 对轴承和机组其他部分的寿命产生不良影响。为了减小轴承缺陷引起的振动, 可以采取定期检查轴承状态、调整轴承间隙、更换磨损严重的轴承等措施。

2.3 电磁振动

电磁振动主要由发电机转动部分受不平衡磁拉力分量、定转子不均匀气隙等电磁因素引起。当发电机的磁场分布不均或气隙不均匀时, 会产生不平衡的磁拉力, 引起机组振动。这种振动通常表现为发电机转子和定子的相对晃动和摆动, 对机组的稳定性和发电效率产生不良影响。为了减小电磁振动, 可以采取优化发电机设计、调整磁场分布、校正气隙等措施。

3 混流式水轮发电机组振动危害分析

混流式水轮发电机组作为水电站的核心设备, 其稳定运行对于保障电力供应、提高能源利用效率至关重要。然而机组在运行过程中难免会产生振动, 尤其是当振动超出允许范围时, 将会带来一系列严重的危害。

3.1 对机组零部件的损害

振动是导致混流式水轮发电机组零部件损坏的主要因素之一。长期的高频振动会在金属材料和焊缝之间产生交变应力, 这种应力的持续作用会导致金属疲劳破坏区的形成并逐渐扩大。疲劳破坏是一个渐进的过程, 初期可能表现为微小的裂纹, 但随着时间的推移, 这些裂纹会逐渐扩展, 最终导致零部件的断裂或严重变形。这种破坏不仅影响机组的正常运行, 还可能引发更严重的安全事故。因此, 定期检查和维修机组零部件, 及时发现并处理潜在的裂纹和疲劳区, 是确保机组安全运行的关键。

3.2 对机组紧固部件的影响

振动还会对机组的紧固部件产生不利影响。紧固部件如螺栓、螺母等, 在振动的作用下容易发生松动, 这会导致其连接部分的振动加剧, 形成恶性循环^[3]。松动的紧固部件不仅会降低机组的整体刚度, 还可能因连接部位的间隙增大而导致额外的振动和噪音。此外, 松动还可能导致密封性能下降, 引起油、水等介质的泄漏, 进一步加剧机组的磨损和故障。因此, 定期对紧固部件进行检查和紧固, 确保其处于良好的工作状态, 是减少振动危害的有效措施。

3.3 对机组转动部分的磨损

混流式水轮发电机组的转动部分, 如大轴、轴瓦等, 在振动的作用下会受到额外的磨损。特别是当大轴发生剧烈摆动时, 轴与轴瓦之间的摩擦力和温度会急剧上升, 这不仅会加速轴瓦的磨损, 还可能导致轴瓦烧毁的严重后果。轴瓦烧毁不仅会导致机组停机, 还可能引发更广泛的损坏, 如轴承座的变形、轴的弯曲等。因此, 保持轴系的稳定运行, 及时监测和调整轴瓦的间隙和润滑状态, 对于减少转动部分的磨损和故障至关重要。

3.4 对尾水管及过水系统的危害

振动对混流式水轮发电机组的尾水管及过水系统同样构成威胁。涡流脉动压力是尾水管内振动的主要来源之一, 它会在尾水管壁产生交变动压, 导致管壁材料产生疲劳破坏。当这种破坏累积到一定程度时, 尾水管壁会出现裂缝, 严重时甚至可能破坏整个尾水设施。此外, 振动还可能影响过水系统的稳定性和效率, 如导致水流紊乱、能量损失增加等。因此, 优化尾水管的设计, 采用抗震材料, 以及加强尾水管及过水系统的监测和维护, 是减少振动危害的有效手段。

3.5 共振的危害

共振是混流式水轮发电机组振动危害中的另一种重要形式。当机组的固有频率与外界激励频率相近或相等时, 会发生共振现象, 导致机组设备和厂房结构的振幅急剧增大。这种大幅度的振动不仅会使机组设备本身受到严重损坏, 还可能引发厂房结构的开裂、变形甚至倒塌。共振还可能产生强烈的噪音和振动波, 对周围环境和人员造成不良影响。因此, 在设计 and 运行过程中, 应充分考虑机组的固有频率和外界激励频率, 采取措施避免共振现象的发生。

4 混流式水轮发电机组减振措施

混流式水轮发电机组作为水电站的重要设备, 其振动问题直接关系到机组的稳定运行和长期效益。为了减少机组的振动, 提高运行效率和安全性, 需要采取一系列有效的减振措施。

4.1 优化水力设计

水力设计是减少混流式水轮发电机组振动的关键。

(1) 通过采用负倾角转轮翼型,可以优化水流在转轮叶片上的流动状态,减少水力不稳定现象,从而降低振动。(2) 合理设计叶片出口环量分布规律,使水流在转轮出口处更加均匀,也有助于减少振动。(3) 还可以对转轮上冠处的型线和叶片头部的叶型进行优化,以避免高水头叶道涡,进一步降低水力振动。(4) 对转轮叶片的型线进行精细调整,使其更加符合水流的动力学特性;对导水机构的布置进行优化,减少水流在导水机构中的撞击和涡旋;对尾水管的设计进行改进,提高水流的稳定性和效率等。这些措施都可以有效降低机组的振动水平。

4.2 避开振动工况区运行

混流式水轮发电机组在某些工况下可能会产生强烈的振动。为了避免这些振动工况,可以通过改变水流的流动和旋转状况来调整机组的运行状态^[4]。加长泄水锥和尾水管锥段,可以控制涡带的偏心距,减少涡带引起的振动。同时通过调整机组负荷、转速等参数,也可以避开振动工况区,确保机组在稳定的工况下运行。

4.3 机组运行中对涡带区进行适当补气

涡带是混流式水轮发电机组振动的重要来源之一。为了减少涡带引起的振动,可以在机组运行中对涡带区进行适当补气。补气可以通过自然补气或强迫补气的方式实现。自然补气通常利用机组内部的压力差,使空气自然进入涡带区;而强迫补气则需要通过外部设备将空气强制注入涡带区。补气可以破坏涡带的稳定性,从而减少振动。

4.4 削减转轮叶片或固定导叶出水边的厚度

削减转轮叶片或固定导叶出水边的厚度,可以提高卡门涡的频率,使其避开机组的共振频率。卡门涡是水流在叶片或导叶出水边形成的涡旋,当涡旋频率与机组固有频率相近时,会引发共振现象。通过削减出水边厚度,可以改变涡旋的频率,从而避免共振的发生。

4.5 提高安装和检修质量

提高混流式水轮发电机组的安装和检修质量,是降低振动、确保机组稳定运行的关键。(1) 在安装阶段,必须确保机组轴线准确无误,轴承间隙调整适宜,转动部件达到高质量平衡,这些基础工作的严谨执行,能有效减少因安装不当引发的机械振动,为机组的长久稳定

运行奠定坚实基础。(2) 进入检修环节,定期且全面地检查与维护不可或缺。这包括对轴承的适时润滑与清洗,确保转动灵活、减少摩擦;对紧固件的细致检查与紧固,防止松动导致的振动加剧;以及对磨损部件的及时更换,避免其成为振动的源头。通过这些细致入微的检修工作,能够及时发现并妥善处理潜在的振动隐患,保障机组始终处于最佳运行状态,为水电站的安全高效运行贡献力量。

4.6 加强电磁监测和维护

电磁不平衡作为混流式水轮发电机组振动的一个关键因素,其监测与维护至关重要。为确保电磁系统的稳定运行,必须定期对发电机定转子气隙进行精确测量,确保其均匀性,以避免因气隙不均导致的电磁力不平衡。同时对磁极线圈的绝缘电阻和温升情况进行细致检查,及时发现并处理潜在的绝缘老化或过热问题,防止电磁故障的发生。另外引入先进的电磁监测技术,如在线监测系统 and 数据分析软件,能够实时监测机组的电磁状态,包括电流、电压、功率因数等关键参数,从而及时发现电磁不平衡的征兆。这些技术不仅提高了监测的准确性和效率,还为故障预警和快速响应提供了有力支持。通过持续的电磁监测与维护,可以有效降低因电磁不平衡引起的振动,保障机组的长期稳定运行。

结语

通过对常规机组混流式水轮发电机组的振动特性与减振措施的研究,我们深入了解了机组振动的成因和危害,并提出了有效的减振措施。这些措施的实施不仅可以提高机组的运行稳定性和安全性,还可以延长设备寿命、降低维修成本,为水电站的安全高效运行提供有力保障。未来,我们将继续深化相关研究,探索更加有效的减振技术和方法,为水电站的发展作出更大的贡献。

参考文献

- [1]陈立.水轮发电机组桨叶故障原因分析及处理[J].水电站机电技术,2021,44(03):44-46.
- [2]冯国柱.灯泡贯流式水轮发电机组的振动与振动区的界定[J].水电站机电技术,2023,46(02):5-8.
- [3]梁德帅.水利工程水轮发电机组运行异常问题及处理措施探析[J].地下水,2020,42(03):235-236.
- [4]姚怀礼.水利工程水轮发电机组运行异常原因和处理对策[J].电力装备.2019(4):95-97.