

汽轮机轴系检修与振动控制技术实践研究

李 越

内蒙古大唐国际托克托发电有限责任公司 内蒙古 010206

摘 要：随着电力行业的快速发展，汽轮机在电力系统中的作用愈加重要，轴系的稳定性直接关系到机组的运行效率和安全性。轴系振动是影响汽轮机运行性能的关键因素之一，其检测和控制是保障机组安全稳定运行的核心技术。本文结合实际工作经验，分析了汽轮机轴系检修的关键技术和振动控制方法，重点探讨了轴系振动的产生机理、常见问题及解决方案。通过对轴系振动监测技术的应用与发展，提出了有效的振动控制技术路径，并对未来汽轮机轴系的检修与振动控制技术的发展趋势进行了展望。

关键词：汽轮机；轴系；振动控制；检修；技术研究

1. 引言

汽轮机作为电力生产中重要的动力设备，其轴系的健康状态直接影响着电力机组的运行效率和安全性。轴系振动作为影响汽轮机稳定性的重要因素之一，常常导致机组的运行异常，甚至引发严重事故。因此，汽轮机轴系的振动控制与检修技术显得尤为重要。本文将重点探讨汽轮机轴系振动的检测技术、振动问题的原因分析、检修策略及振动控制技术的应用，以期为汽轮机的安全稳定运行提供技术参考。

2. 汽轮机轴系振动的检测与分析

2.1 轴系振动的产生机理

汽轮机轴系振动的产生通常与机械不平衡、轴承故障、齿轮啮合不良等因素密切相关。最常见的振动源之一是转子的机械不平衡，尤其在高速运转时，转子质量分布不均或安装不准确都会引起振动。轴系不平衡会导致周期性不稳定的离心力，从而产生振动。轴承的磨损也是主要的振动原因，磨损或润滑不良会导致摩擦力增大，进一步加剧振动。尤其在设备长时间运行后，轴承可能因过热或材料老化而发生损坏。齿轮箱中的齿轮啮合不良或者齿面损伤会导致啮合力的不稳定，形成周期性的冲击，从而引起振动。了解这些振动源的机理，有助于后续的振动诊断与故障预防。

2.2 振动监测技术的应用

振动监测技术通过实时采集轴系振动数据，帮助识别潜在的故障。常用的振动监测技术包括加速度传感器、位移传感器和温度传感器等。加速度传感器可以监测低频和中频振动，适用于检测轴承故障和转子不平衡。位移传感器则能精

确测量轴系的微小位移变化，特别适用于高频振动的监测。

温度传感器通过实时监测轴承温度，帮助诊断因摩擦或润滑问题导致的温升异常，从而间接反映振动问题。现代振动监测系统越来越倾向于集成化与智能化，可以通过数据采集、传输、存储及分析等功能提供综合的故障诊断，甚至通过大数据与云计算实现远程监控和预警功能。通过这些先进的技术，能够提高振动监测的准确性和及时性，减少设备故障发生的风险。

2.3 振动问题的诊断与分析方法

振动问题的诊断主要依赖于频域分析、时域分析和模态分析等技术。频域分析通过傅里叶变换将振动信号转换为频率成分，帮助识别周期性振动和特定频率的故障信号，如不平衡和轴承损坏引起的振动。时域分析则着重于振动信号的时间波形，能揭示振动幅度变化趋势，有助于初步判断故障的发生时段与特性。模态分析则通过分析振动模式和固有频率，能够揭示设备在不同工况下的振动行为，帮助诊断可能存在的结构性问题。不同的分析方法能够互补，综合使用可以有效地提高诊断的准确度。借助这些分析方法，能够精确确定振动源，为设备的维护与检修提供科学依据，降低非计划停机时间，提升设备运行的可靠性。

3. 汽轮机轴系的检修技术

3.1 轴系检修的准备工作

在进行汽轮机轴系检修之前，必须开展充分的准备工作，确保检修过程高效且精准。首先，需要对汽轮机的运行状态进行全面评估，包括检查历史运行数据、故障记录以及

振动监测数据。这些数据能帮助检修人员分析轴系当前的健康状况,判断是否存在异常振动、过度磨损或其他潜在的故障风险。通过与设备的运行工况对比,检修团队可以准确识别出哪些部件需要重点关注。其次,检修前必须进行详细的机械检查。重点检查轴承的磨损程度、润滑系统的工作状态,以及密封系统的完整性。任何一点小的磨损或异常都可能引发更大的故障,因此,检查工作至关重要。在此过程中,还要特别注意轴系的平衡状态,确保没有明显的动平衡或静平衡问题,这通常是造成振动异常的主要原因之一。在所有检查完成后,还需要制定详细的检修计划,包括具体的维修时间、所需工具、备件、人员分工等,确保在检修过程中避免意外问题的发生。通过充分的准备工作,能够有效减少检修中的风险,提升检修效率,保证机组尽快恢复到最佳状态。

3.2 轴系检修中的常见问题及应对措施

轴系检修过程中常见的问题主要包括轴承损坏、轴系不平衡、密封系统故障等,这些问题不仅会影响机组的运行效率,还可能引发严重的安全事故。因此,针对不同问题采取有效的应对措施至关重要。轴承损坏是最为常见的问题之一,通常由于润滑不足、载荷过大或长期运行导致磨损引起。为了解决这一问题,通常需要根据轴承的损坏程度选择不同的修复方案。例如,对于轻度磨损的轴承,可以进行重新加油、清洁和检查,确保润滑效果;对于严重磨损的轴承,则需要更换新的轴承。此外,还要检查润滑油的质量,确保油品符合要求,并排除由于油品劣质引起的磨损问题。轴系不平衡是另一个常见的故障原因。转子的动平衡不良会导致运行中的振动增大,甚至引发机组损坏。解决这一问题需要进行精确的动平衡调整。通常,检修团队会通过专业设备对转子进行动平衡检测,找到振动源并进行修复。常见的修复方法包括加装平衡块或更换损坏的部件,以确保轴系的平衡状态达到设计标准。密封系统的失效也是导致轴系故障的一个重要原因。密封的作用是防止气体、液体泄漏及外界污染物进入机组。在检修过程中,检修人员要特别关注密封件的老化、磨损情况,及时更换老化或破损的密封件,避免密封失效带来的后续问题。此外,还应检查密封装置的安装是否正确,避免因安装不当导致的泄漏问题。

3.3 高难度轴系检修技术

一些复杂的汽轮机轴系问题,往往涉及到高级技术手段,尤其是当出现严重不平衡、大规模磨损或特殊材质的轴

系部件时,普通的检修手段可能无法有效解决。此时,高难度的轴系检修技术就显得尤为重要。其中,动态平衡调整是一项常见的高难度检修技术。通过精确的振动监测和传感器分析,检测出轴系不平衡的具体位置和程度。然后,通过在转子上加装平衡块或调整现有部件的质量分布,使得轴系恢复到最佳的平衡状态。对于高速运转的汽轮机,动态平衡技术能够显著减小运行过程中的振动,提高机组的运行稳定性。对于轴系磨损严重或轴体存在变形的情况,再制造技术成为一种重要的修复方法。轴系部件的再制造技术通常包括喷涂、激光修复、热处理等工艺,能够有效修复表面损伤并恢复原有的机械性能。例如,采用激光熔覆技术,可以将金属粉末精确喷涂到损坏表面,通过激光加热使其熔化并与原有材料结合,恢复部件的强度和硬度。这种技术具有高精度、低热影响的特点,能够最大程度保证轴系部件的精度和耐用性。对于特殊材质的轴系部件,传统的检修方法可能无法达到理想效果。此时,可以采用非接触式测量技术,如激光对准技术,对轴系进行精确对准,确保各部件之间的间隙和角度符合设计要求。激光对准技术能够在高精度下进行调整,避免了传统机械对准方法的误差,特别适用于高速、高精度要求的汽轮机轴系检修。

4. 汽轮机轴系振动的控制技术

4.1 主动控制技术

主动控制技术是一种利用外部控制力实时调节振动源的技术,目的是在振动问题发生之前或发生过程中采取措施将振动减到最低。其核心原理是通过控制系统实时感知振动情况,并根据反馈信号进行动态调整。常见的主动控制技术包括磁悬浮技术、主动减振器和电磁控制系统等。磁悬浮技术在汽轮机轴系的应用中逐渐获得关注。该技术利用磁场将转子悬浮于轴承上,消除了接触摩擦,从而有效减少轴承摩擦引起的振动和损耗。磁悬浮技术的应用可以实现高效、低磨损的运行,同时降低轴系的振动水平,提高汽轮机的工作效率和使用寿命。通过对转子状态的实时监测,系统能够根据振动数据实时调整磁场强度,从而将振动抑制到最低。主动减振器是一种通过改变其阻尼特性来减少振动的设备。通常,主动减振器可以根据振动频率和幅度自动调整阻尼力,最大限度地抑制振动。主动减振器的应用能够有效提高汽轮机运行的稳定性,特别是在负载波动较大的情况下,可以显著降低振动峰值。此外,主动减振器还可以与振动监测系

统进行联动,根据实时监测到的振动信号动态调节减振器的工作状态,增强控制效果。电磁控制系统则通过电磁力调节转子与定子之间的间隙,进而控制轴系的振动。这类系统不仅能精确控制振动的频率和幅度,还能适应不同工况下的变化,为汽轮机提供精确的振动控制。这些主动控制技术的实施能够在源头上减少或消除轴系振动,提升机组的可靠性和使用寿命。

4.2 被动控制技术

被动控制技术通过优化设计和增加阻尼材料等手段,减少振动传播和能量积聚,从而减轻系统的振动幅度。与主动控制技术相比,被动控制技术通常不依赖实时反馈调节,而是通过设计和材料的选择,增强结构的自然振动抑制能力。一种常见的被动控制方法是通过优化轴系的结构设计,增加振动吸收器或增强轴系的阻尼性能。这些材料和装置能够吸收一定频率范围内的振动能量,并有效降低振动幅度。例如,采用高阻尼合金材料或橡胶垫片作为轴承的衬垫,可以有效隔离振动源与机体的连接,减少振动的传递。此外,增加轴系的刚度和强度也是一种常见的被动控制策略。通过合理设计轴系部件的结构,增加支撑点和加固部件的连接强度,可以使振动能量在结构中迅速耗散,减少振动的传播。特别是在高转速的汽轮机中,通过强化支撑结构和增加局部阻尼,能够显著提升机组的振动抑制能力。被动控制技术的优势在于其成本较低、结构简单、可靠性高。尽管它不能像主动控制技术那样实现精确调节,但在许多情况下,通过优化设计和材料选择,能够有效减少振动的影响,保障机组的稳定运行。

4.3 振动隔离技术

振动隔离技术是一种通过物理手段将振动源与敏感设备隔离开来,避免振动的传递,常见的技术包括弹簧支撑、橡胶垫和隔振器等。这些隔离技术能够有效减少振动对设备的影响,尤其在高频振动和低频振动的环境下,有助于降低设备的故障率,延长设备的使用寿命。弹簧支撑技术是最常见的一种隔振方法,通过弹簧的弹性将振动源与其他结构隔离开来,减少振动的传播。弹簧支撑在许多汽轮机轴系中得到了广泛应用,尤其适用于需要吸收较大振动能量的情况。

通过合理选择弹簧的刚度和安装位置,可以有效调节隔振效果,避免振动对机组产生过大的影响。橡胶垫也是一种常见的隔振材料,其主要通过材料本身的弹性变形来吸收振动能量。橡胶垫具有优良的耐磨性和弹性,能够在振动环境中提供稳定的隔离效果,通常用于轴系的支撑和连接部位。通过在合适的位置安装橡胶垫,可以有效减少振动的传递,尤其在低频振动的控制中具有显著效果。振动隔离技术的另一种重要应用是隔振器的使用。隔振器通过将振动源和敏感设备之间的振动传递路径切断,达到隔离振动的效果。隔振器广泛应用于大型工业设备、机械系统中,能够大大降低振动带来的损害,保护设备和操作人员的安全。

5. 结论

汽轮机轴系的振动问题是影响机组安全稳定运行的重要因素之一。通过科学的振动检测、精确的故障诊断以及有效的检修技术,可以有效预防和解决振动问题,从而提高机组的运行效率和安全性。现代振动控制技术的不断发展,为解决轴系振动问题提供了新的思路和手段,主动控制、被动控制以及振动隔离技术的结合使用,可以显著降低振动的影响。未来,随着技术的进步和数据分析能力的提高,汽轮机轴系振动控制技术将趋于智能化和精细化,推动电力行业的可持续发展。

参考文献:

- [1] 郭顺青. 三门核电汽轮机轴振动跳机保护逻辑分析与优化分析[J]. 仪器仪表用户, 2025, 32(10): 64-66.
- [2] 黄幸. 基于通流改造后汽轮机轴向推力引起的推力轴承超温分析及措施[J]. 现代机械, 2025, (04): 25-29+46.
- [3] 郑去非, 刘腾洋, 孙海龙. 某 300MW 汽轮机停机过程碾瓦原因分析及处理[C]// 浙江省电力学会 2024 年度优秀论文集. 浙江浙能绍兴滨海热电有限责任公司, 2025: 219-224.
- [4] 何新有, 许海根, 韩亮. 检修调试状态下超超临界汽轮机轴向位移超差分析[J]. 能源工程, 2025, 45(03): 47-51.
- [5] 高殿阳. 汽轮机轴振、给水泵汽轮机轴位移、轴振技术改进及应用[J]. 企业管理, 2024, (S2): 248-249.