

# 水电站水轮发电机组常见故障类型及检修策略分析

何 杰

湖南澧水流域水利水电开发有限责任公司江垭水电站 湖南 张家界 427221

**【摘要】**：水电站水轮发电机组在运行过程中常面临各种故障，影响机组的稳定性与发电效率。机械性故障、电气系统故障和液压系统故障是常见问题，导致停机时间和维修成本的增加。针对这些问题，提出了优化的检修策略，通过故障预警技术、智能诊断系统及定期维护等手段，提高了故障的检测精度与检修效率。合理安排零部件更换周期、提升设备故障容忍性，有效减少了机组停机频率。优化的检修策略不仅提高了机组的可靠性，也为水电站的高效运行提供了保障。

**【关键词】**：水轮发电机组；故障类型；检修策略；故障诊断；运行可靠性

DOI:10.12417/2811-0536.26.07.088

## 引言

水电站作为重要的可再生能源生产设施，其发电机组的运行效率直接影响到整体的发电能力。水轮发电机组作为水电站的核心设备之一，在其长期的运行过程中，往往面临各种机械、电气及液压故障。这些故障不仅影响机组的稳定运行，甚至会造成停机维修，降低水电站的发电效益。通过对水轮发电机组常见故障的深入分析，识别故障发生的原因，提出科学的检修策略，对于保障机组的长期稳定运行至关重要。科学的检修策略不仅能有效降低故障发生的频率，还能在故障发生时通过及时诊断与修复，最大限度地减少机组停机时间，确保水电站高效、安全地运转。

## 1 常见水轮发电机组故障类型分析

(1) 机械性故障：机械性故障通常指水轮发电机组内部各类运动部件出现损坏或失效的问题，主要表现为轴承磨损、转子变形、联轴器损坏等。这些故障多由长期运行中的机械磨损、润滑不良或操作不当造成。当机械部件发生故障时，可能导致机组震动增大、噪音增加、发电效率下降，严重时可能造成机组停运。水轮机的转子和叶片是最容易受到磨损和腐蚀的部件，长时间运行会导致其表面产生裂纹，降低结构强度。轴承磨损加剧会影响转子转动的平稳性，从而导致机械故障的进一步加剧。通过加强定期检查、润滑系统管理和部件更换，可以有效降低机械性故障的发生。

(2) 电气故障：电气故障是水轮发电机组中常见的另一类问题，主要表现为电气设备失效或运行异常，影响发电机组的正常发电。水轮发电机组的电气系统包括发电机、控制系统、变压器、开关设备等多个环节<sup>[1]</sup>。常见电气故障包括发电机绕组短路、接地故障、变压器故障及控制系统误动作等。这些故障可能由电

流过载、短路、电压波动或设备老化引起，进而影响机组的发电能力。电气故障通常需要借助监测与诊断系统进行实时监控，提前预警，减少因电气设备失效导致的停机时间。对电气设备的维护与保养，尤其是防护措施的有效性，也在降低电气故障发生率中起着至关重要的作用。

(3) 液压系统故障：液压系统在水轮发电机组中的主要功能是控制水轮机的调速和启动等关键环节。液压系统的故障通常表现为液压油泄漏、压力不足、液压组件故障等。由于液压系统的工作环境恶劣，易受温度、压力等因素的影响，导致系统出现故障。液压油的污染和系统内部的磨损是导致液压故障的主要原因。油品的污染可能会使得液压系统中的阀门、泵和执行器发生卡滞或失灵，从而影响机组的运行效率。液压系统的故障常常会导致调速失效或启停不正常，进而影响发电机组的稳定性。定期更换液压油、清洁过滤器、检查管路密封性以及优化液压组件的设计是确保液压系统稳定运行的关键。

## 2 故障成因分析与影响评估

(1) 机械性故障的成因：机械性故障的发生与水轮发电机组的工作环境密切相关。长期运行中的机械磨损是导致故障的主要原因之一。机组的各个旋转部件，如轴承、叶片和转子，承受着巨大的机械负荷和冲击力，随着时间推移，物理摩擦会导致材料疲劳，产生裂纹或磨损。润滑系统的不当管理或不足也加速了摩擦部件的损坏。机组振动的增加通常会加剧机械部件的磨损，尤其在负荷波动较大的情况下，震动效应更为显著。还有部分机械故障源自设计缺陷，部分部件在设计时没有考虑到长时间高负荷运行的要求，导致材料的性能无法满足实际需求，从而产生了早期故障。

(2) 电气系统故障的原因: 电气系统故障通常与设备老化、负载波动和外部电力环境变化有关。水轮发电机组中的发电机绕组及变压器在长时间高负载运行下容易发生热衰退, 导致绝缘材料的性能下降, 进而引发短路或接地故障<sup>[2]</sup>。电气设备的保护装置和监控系统若未能及时响应, 可能会导致设备受损。频繁的电网波动和电压不稳定也是电气系统故障的原因之一, 尤其在远离电力调度中心的水电站, 外部电网的异常变化可能会对机组造成损害。电气系统中的断路器、继电保护设备出现故障, 也会导致保护作用失效, 使得机组在出现问题时未能及时停机, 进一步加剧了设备损伤的程度。

(3) 液压系统故障的影响: 液压系统在水轮发电机组中负责控制机组的转速与启停。如果液压系统出现故障, 首先会导致水轮机的启动和调速受阻, 影响机组的负荷调整与运行稳定性。液压系统中的油品污染是常见故障原因之一, 污染物进入系统后会对阀门、泵及油路造成损害, 减少液压传递的效率。液压油压力的波动和泄漏问题会导致控制系统无法精确执行调节动作, 影响水轮机的正常运转。液压组件的磨损或设计不合理, 也会导致系统功能失效, 进而影响机组的调节能力, 造成发电功率的不稳定。在严重情况下, 液压故障可能直接导致机组停机, 严重时甚至会损坏重要设备, 影响整个电站的运行效率。

### 3 检修策略的现状与挑战

(1) 常规检修策略: 常规检修策略通常依赖定期检查和固定周期的维护程序, 以确保水轮发电机组各关键部件的正常运行。这一策略的实施依赖于经验丰富的操作人员, 通过检查机械部件、调整电气系统和更换液压组件等方式, 及时发现潜在问题并进行处理。在实际操作中, 常规检修往往采取定期停机进行检修, 通过对设备进行全面检查, 发现并更换已经磨损或存在故障风险的部件。这种策略存在一定的局限性, 尤其是在机械故障无法在短期内通过简单检查发现, 容易错过一些早期损伤的警告信号。常规检修的预见性较差, 缺乏动态监控, 无法适应设备运行过程中突发性故障的应对需求。

(2) 现代检修技术的应用: 智能化监测和故障诊断技术使得设备的故障发生和发展过程能够被实时追踪与分析<sup>[3]</sup>。通过振动监测、温度传感器和油品分析等技术, 可以对机组的运行状态进行精准评估, 及时发现潜在故障, 防止设备出现严重损坏。数字化建模和远程监控技术也为检修提供了新的手段, 操作人员可以通过远程监控系统查看设备的实时数据, 远程诊

断故障, 大大提高了检修效率和精准度。自动化检测技术也得到了进一步应用, 能够通过机器学习与大数据分析提供更加科学的预测和决策支持。

(3) 存在的问题与改进空间: 设备检测的精确度和实时性在某些情况下还不足, 尤其是对于复杂故障的识别仍需进一步优化。现有的监测系统多依赖于大量传感器数据的收集, 如何有效处理和分析这些海量数据, 依然是技术发展的瓶颈。现有的检修策略往往过于依赖数据和设备的智能化, 忽略了对操作人员经验的传承与应用, 导致部分操作人员对新技术的使用缺乏足够的信任与技能。进一步提升检修技术的集成度与人机互动的效率, 优化检修流程和数据处理能力, 将成为未来改进的方向。

### 4 优化检修策略的实施方法

(1) 故障预警与诊断技术: 故障预警与诊断技术是确保水轮发电机组高效运转的核心手段之一。通过引入先进的传感器、监测系统和数据分析技术, 能够在故障发生前识别出潜在的风险。设备的振动、温度、油品质量等关键参数的实时监控可以有效捕捉到微小的异常变化。智能化诊断系统依赖机器学习和大数据分析技术, 基于历史数据与实时监控信息的比对, 提前预测可能的故障类型与发生时间。这些系统通过设定合理的预警阈值, 能够在故障发生前发出警告, 避免设备因小故障未及时处理而演变成严重问题。通过精确的诊断技术, 维修人员可以精确确定故障部位和原因, 从而降低检修时间, 提高设备的运行效率和可靠性。及时的故障预警不仅能减少设备停机时间, 还能帮助调整运行负荷, 确保机组在最佳状态下运行。

(2) 定期维护与系统升级: 通过制定科学的检修计划和维护周期, 确保关键部件的检查与更换按时进行, 能够有效避免故障的发生。与传统检修不同, 现代的定期维护不仅注重机械部件的检查, 更侧重于电气系统和液压系统的保养。定期检查电气线路、调整保护装置、清洁和更换滤网等, 可以有效预防电气系统的老化与失效。与此同时, 随着技术的不断发展, 系统升级成为了提升机组运行效率的重要环节<sup>[4]</sup>。通过不断引入新型材料、优化设计和更新控制系统, 能够提高设备的工作稳定性与能效。现代化的变频器、自动化控制系统和数据监控系统的引入, 可以实现对水轮机运行状态的更精确调节和监控, 确保系统以最佳状态运行, 延长设备使用寿命。定期的技术升级和设备优化, 不仅提升了水轮发电机组的发电能力, 还提高了抗故障能力, 保证了发电效率。(3) 零部件管理与更换策略: 水轮发电机组的零部件是设备运行的关键,

合理的零部件管理和更换策略直接影响到机组的稳定性与运行成本。在零部件管理方面,采用先进的库存管理系统和预测性维护手段,能够根据零部件的磨损情况与使用寿命及时调整更换计划,避免因部件故障导致的停机。通过对零部件的运行状态进行实时监测,结合设备的使用历史数据,精确预测哪些部件接近使用寿命或需要更换。对易损件如轴承、密封件、传动带等,设置合理的更换周期,以减少停机维护的频率。在实际操作中,采用高质量的替换部件,严格控制零部件的质量标准,能有效减少更换后的二次故障。合理的备件管理不仅可以降低库存成本,还能确保设备在故障时迅速恢复。通过整合零部件的管理与维护流程,水轮发电机组的运营效率能够得到显著提升,从而延长设备的使用寿命。

### 5 提升机组运行可靠性的综合措施

(1) 故障早期检测与预防:故障的早期检测是提高水轮发电机组运行可靠性的关键。通过精密的监测系统,设备运行过程中产生的微小异常能及时捕捉并加以分析。这些监测系统包括振动传感器、温度传感器和压力传感器等,它们能够实时跟踪机组各个部件的工作状态,及时发现设备运行中的潜在风险。数据通过远程监控系统传输至维护中心,利用数据分析工具对设备运行状态进行综合评估,从而进行精准的故障预警。提前发现潜在的机械磨损、电气异常或液压故障,不仅能避免严重故障的发生,还能为检修提供充足的准备时间,从而减少机组停机时间,提升其整体可靠性。(2) 优化检修周期与管理:检修周期的优化是提升机组运行可靠性的重要举措。过长或过短的检修周期都会影响机组的正常运行和维修效果<sup>[5]</sup>。通过引入智能化管理系统,基于设备的实际运行数据,

结合历史故障记录和设备的使用情况,可以合理安排检修时间,避免不必要的频繁停机,也可以减少因过度磨损而产生的重大故障。根据设备的健康状况,采取按需维护或预测性维护的方式,将传统的时间驱动检修转变为状态驱动检修,确保检修工作既不影响生产,又能有效保障机组的正常运行。建立健全的检修管理体系,明确检修流程和责任分工,提升维护人员的技术水平,也能有效提高机组的可靠性,确保检修工作的顺利进行。(3) 提高设备的故障容忍性:提高水轮发电机组的故障容忍性,是增强其运行稳定性和可靠性的有效措施。故障容忍性指的是设备在出现部分故障时,能够继续运行并保持一定的工作性能。为了提升机组的容错能力,可以在设计阶段采用冗余技术和容错设计,如双重传动系统、备用电源和自动调节系统等,这些措施能确保即使在部分系统出现故障时,机组仍能维持较高的运行能力。定期对设备进行故障模式分析,评估可能发生的故障类型及其影响,提前采取应对措施。通过加固关键部件的结构,使用高强度材料和可靠的紧固技术,能够有效提升机组的耐久性和故障承载能力。当出现小范围故障时,机组能够自动调整运行方式或进行限速运行,从而减少对整体发电能力的影响,确保水电站的长期稳定发电。

### 6 结语

检修策略的优化对水轮发电机组的运行可靠性至关重要。通过故障预警、智能化诊断及科学的检修周期安排,能够有效提高机组的稳定性与发电效率。同时,加强零部件管理与提高故障容忍性,能进一步减少停机时间并延长设备寿命。未来的检修技术将更加依赖于智能化和精确化,为水电行业提供更为可靠的设备保障。

### 参考文献:

- [1] 肖发厚,钟波,张彬桥,邹霖.基于优化堆叠降噪自编码器的水轮发电机组故障诊断[J].中国农村水利水电,2025(8):119-125.
- [2] 于辉,韩毅,陈磊,孙永鑫,王运昌,王润鹏,王冠峰.基于大数据的水轮发电机组故障诊断系统设计[J].中国设备工程,2025(10):203-205.
- [3] 廖茂,刘令东.混流式水轮发电机组导水机构故障模式模糊风险评价[J].水电与抽水蓄能,2025,11(2):42-45.
- [4] 黄海珍.水轮发电机组转子一点接地故障分析与处理研究[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2025(7):048-051.
- [5] 陈成,蔡伟,胡德昌.基于光纤侦听三峡电站水轮发电机组故障声纹诊断系统[J].微型电脑应用,2025,41(7):199-201+224.