

水轮发电机组常见故障特征分析与预防维护路径

李献坤

贵州黔源电力股份有限公司引子渡分公司 贵州安顺 561105

摘要：随着水电站运行规模的扩大及设备长期连续运行，机组在机械、电气及控制系统等方面逐渐显现出多样化的故障问题。本文围绕水轮发电机组运行过程中的典型故障现象与技术特征，对机组结构组成与运行特点进行梳理，并对机械系统、电气系统以及控制与辅助系统中常见故障类型进行分析。在此基础上，从运行环境、设备设计制造以及运行管理维护等方面探讨故障形成的主要原因，并进一步提出具有针对性的预防维护路径，以期水电站机组安全稳定运行提供参考依据。

关键词：水轮发电机组；故障特征；运行管理；预防维护

在能源结构不断调整的背景下，水电作为稳定而清洁的重要能源形式，长期承担着电力系统基础调节与保障功能。水轮发电机组作为水电站的核心装备，其运行可靠性不仅影响发电效率，也直接关系到电站整体安全与电网稳定。随着设备服役年限的增长以及运行负荷的变化，机组运行状态愈发复杂，潜在隐患逐渐累积。对设备运行规律与故障表现进行系统梳理，并探索更加科学的维护思路，已成为水电设备管理领域持续关注的重要问题。

一、水轮发电机组结构组成与运行特点

（一）水轮发电机组的基本结构组成

水轮发电机组主要由水轮机、发电机及相关辅助系统构成，是水能转化为电能的核心设备。水轮机部分通常包括转轮、导水机构、蜗壳及尾水管等结构，这些部件共同完成水流能量的吸收与转化。发电机部分由定子、转子、励磁系统以及轴系等组件组成，通过电磁感应实现机械能向电能的转换。同时，轴承系统、润滑系统与冷却系统在机组运行过程中承担着稳定支撑与散热保护的作用，各结构之间相互配合，使机组能够在较为复杂的工况条件下保持持续稳定运行。

（二）水轮发电机组运行特点

水轮发电机组的运行状态受到水力条件、电网负荷以及设备结构特性的共同影响，整体运行过程具有明显的连续性与稳定性要求。机组在运行过程中长期承受水流冲击与机械旋转带来的复合应力，转速、振动与温度等参数需要保持在合理范围内。水电站调峰运行模式也使机组频繁经历启停与负荷变化，这种工况变化会对机

械部件与电气系统产生一定影响。

二、水轮发电机组常见故障类型及特征分析

（一）机械系统故障及特征

水轮发电机组的机械系统在长期运行过程中容易受到水流冲击、结构振动以及部件磨损等因素的影响，从而出现多种类型的故障。转轮、主轴及轴承系统是机械部分的重要组成结构，这些部件在持续旋转和负荷变化条件下承受较大的机械应力，一旦润滑状态不良或部件间隙变化，振动幅值往往会逐渐增大。轴承温度异常升高、机组振动增强以及噪声变化通常成为机械故障较为明显的外在表现。部分机组在长期运行后还可能出现导水机构磨损、转轮气蚀或轴系对中偏差等问题，这些现象往往伴随着运行效率下降和设备稳定性减弱。机械系统故障具有发展过程相对缓慢、早期信号较为隐蔽的特点，因此需要通过持续监测振动、温度以及轴系运行状态进行识别与判断。

（二）电气系统故障及特征

水轮发电机组的电气系统主要包括发电机定子、转子绕组以及励磁系统等关键设备，这些部件在长期通电与负荷变化条件下容易产生绝缘老化、局部过热以及电磁不平衡等问题。定子绕组绝缘性能下降时，局部温升往往会逐渐升高，并可能伴随异常电流或电压波动现象。转子绕组故障容易引起励磁电流不稳定，机组输出功率出现波动，严重情况下还可能引发保护装置动作。电气系统故障的表现形式通常具有突发性和传播性，一处绝缘缺陷或接触不良往往会影响整个系统的运行稳定。设备运行过程中还可能出现电刷磨损、励磁装置异常或电

气连接松动等情况，这些问题虽然初期表现并不明显，但随着运行时间延长，故障特征会逐渐显现，并对机组安全运行形成潜在威胁。

（三）控制与辅助系统故障

水轮发电机组的控制与辅助系统承担着机组调节、监测和保护等重要功能，其运行状态直接影响机组整体运行的协调性与可靠性。调速系统、自动控制装置以及各类监测设备共同构成机组的控制网络，当系统参数采集出现偏差或控制逻辑发生异常时，机组调节过程往往会出现响应迟缓或稳定性下降的现象。调速器灵敏度降低、信号反馈失真以及传感器失效等问题都会对机组运行状态产生影响。辅助系统方面，润滑、冷却以及供油装置的运行状况同样十分关键，一旦油压下降或冷却效果减弱，设备温度与摩擦状态便可能发生变化。控制与辅助系统故障往往具有间歇性和隐蔽性特征，故障信号有时表现为参数波动或系统响应异常，需要借助综合监测与运行记录分析才能逐步识别。

三、水轮发电机组故障成因分析

（一）设备运行环境因素

水轮发电机组的运行环境对设备状态具有持续影响。水电站通常处于潮湿、水汽较重的环境之中，空气湿度与温度变化会对电气绝缘材料和金属部件产生长期作用。环境中若存在较多水雾、泥沙或腐蚀性物质，机组表面与内部结构容易出现磨损、锈蚀或沉积现象。水力条件的不稳定也会改变机组受力状态，水流冲击、含沙量变化以及水位波动都会影响机组结构负荷。这些环境因素在长期运行过程中逐渐累积，设备性能可能随之下降，部分潜在隐患也会在运行中逐步显现。

（二）设备设计与制造因素

设备设计与制造质量对水轮发电机组的可靠性具有基础性影响。机组结构设计若与实际水力条件或运行负荷存在差异，部分关键部件在运行中容易承受额外应力。材料选择不合理或制造工艺控制不稳定，也可能使部件强度、耐磨性能及绝缘性能出现差异。部分设备在制造阶段若存在装配偏差、尺寸误差或结构细节处理不足，运行过程中便可能逐渐表现出振动异常或温升变化等问题。设计与制造环节留下的隐患往往在设备长期运行后才逐渐显露。

（三）运行管理与维护因素

运行管理水平对机组状态具有直接影响。机组运行过程中若缺乏系统化的管理制度，设备状态信息可能难

以及时记录与分析，部分早期异常信号容易被忽视。设备巡检与维护工作若缺乏连续性，部分磨损部件与老化元件在运行中会逐渐积累问题。人员操作经验不足或技术认知存在偏差，也可能使设备运行方式出现不合理情况。维护计划安排不均衡、设备状态评估不足等情况，同样会使潜在故障逐渐发展，并对机组稳定运行形成影响。

四、水轮发电机组常见故障预防维护路径

（一）强化设备运行环境监测与参数动态调控

1. 建立水力条件变化实时监测与数据记录机制

水电站运行管理部门需要围绕水力条件变化建立连续性的监测体系，对水位、流量、水压及含沙量等关键参数进行长期记录与动态观察。监测设备应布置在进水口、压力管道以及尾水区域等重要位置，使水流状态能够被持续反映。运行人员需要定期整理监测数据，并形成稳定的数据档案，以便对不同季节及不同来水条件下的运行状态进行对比分析。数据平台可以结合机组振动、温度等运行信息进行关联记录，使水力条件变化与设备运行状态之间的关系逐渐清晰。管理部门还应建立异常数据标识与反馈流程，当水流波动或含沙量变化明显时及时记录运行情况，调整机组运行负荷与导叶开度，使机组在相对平稳的水力环境中运行。

2. 实施温湿度环境参数联动调节与运行优化

机组厂房环境对设备运行状态具有长期影响，运行单位需要对厂房内部温度与湿度状况进行持续监测与调节。监测装置可以布置在发电机定子区域、轴承附近以及电气控制室等关键部位，使环境参数变化能够被及时反映。管理人员需要根据季节变化与设备负荷情况调整通风系统与除湿设备的运行状态，使厂房空气保持适度流动。厂房内部若出现湿度升高或温度集中上升的现象，运行人员需要及时检查冷却水系统与通风设备运行情况，同时加强设备表面巡检，观察是否出现凝露或温升异常。运行管理部门还可以结合设备温度记录与环境数据进行综合分析，逐步形成适应机组特点的环境调节方案。

（二）完善设备设计质量评估与关键部件状态管理

1. 开展关键部件材料性能周期检测与评估

水轮发电机组运行维护部门需要对关键部件的材料性能进行持续关注，并建立具有周期性的检测制度。转轮、主轴、轴承以及定子铁芯等部件在长期水力冲击与机械负荷作用下容易产生疲劳、磨损或局部腐蚀现象，因此运行单位应安排定期停机检查，对材料表面状态、

结构完整性以及磨损程度进行细致记录。检测工作可以结合无损检测技术、金属表面探伤以及材料硬度测试等方法,对关键受力部位进行逐点排查,使材料变化趋势得到真实反映。设备管理人员还需要整理历年检测数据,对不同运行阶段的材料状态进行对比分析,判断部件性能变化情况。当某些部件出现明显磨损、裂纹扩展或结构变形时,维护部门应及时安排修复或更换工作,并将检测结果纳入设备技术档案。

2. 推进设备结构设计运行适应性评估优化

设备管理单位需要对机组结构设计与实际运行环境之间的适应性进行持续评估,并结合运行经验不断进行优化调整。水轮发电机组在不同水力条件、负荷变化以及启停频率下呈现出不同的运行特征,部分结构设计在长期运行后可能表现出振动增大或局部受力集中的情况。技术人员需要结合运行数据、振动监测记录以及设备检修结果,对机组轴系结构、支撑结构以及导水机构等部位进行系统分析。评估工作可以围绕结构受力状态、振动分布情况以及部件配合精度展开,对可能存在不合理之处进行逐项梳理。在机组检修或技术改造阶段,技术部门可以根据评估结论对局部结构进行适当调整,例如优化支撑结构布置、改善导叶机构间隙或调整部分连接结构形式,使设备结构更加符合实际运行需求。

(三) 构建规范化运行管理体系与人员能力提升机制

1. 制定标准化运行巡检流程与数据记录制度

水电站运行管理部门需要围绕机组日常运行建立清晰而稳定的巡检流程,使设备状态能够被持续掌握。运行班组应按照既定时间对机组关键部位进行巡查,巡检范围应覆盖轴承温度、机组振动、润滑系统油压以及冷却水运行情况等重要环节。巡检人员在检查过程中需要观察设备声音、气味及振动变化,并将现场情况逐项记录在巡检日志中。管理部门还应建立统一的数据记录表格,使不同班组之间的数据格式保持一致,方便后续整理与分析。运行数据应定期汇总至设备管理平台,由技术人员进行比对与趋势分析。当某些参数出现持续偏离或异常波动时,运行值班人员需要及时报告并安排复查,必要时对机组负荷或运行方式进行适当调整。

2. 开展运维人员技术培训与操作能力提升计划

水轮发电机组的安全运行离不开专业化的运维队伍,因此运行单位需要持续组织技术培训活动,使人员知识

结构保持更新。技术管理部门可以结合机组实际运行情况制定年度培训计划,培训内容应包括设备结构原理、常见故障识别以及运行操作规范等方面。培训形式可以采用现场讲解、设备实操演示以及案例分析等方式,使运维人员能够在真实环境中理解设备运行特性。技术部门还应安排经验丰富的技术人员参与培训交流,对机组运行中出现过的典型问题进行讲解,让运维人员逐渐形成系统化的判断能力。运行单位在培训结束后可以组织操作考核与技术交流活动,对人员操作规范性与故障识别能力进行评估,有助于提高运维人员对设备异常信号的敏感度,也能够使日常操作更加稳健。

结语

综上所述,水轮发电机组在长期运行过程中容易受到水力条件变化、机械负荷以及环境因素的共同作用,机械系统、电气系统与控制系统均可能出现不同形式的故障表现。对机组结构组成、运行特点以及典型故障特征进行系统梳理,有助于更加清晰地认识设备运行规律。围绕故障成因展开分析,并结合运行环境管理、设备状态评估以及规范化维护思路进行研究,可以为水电站设备管理提供较为系统的技术参考,也为机组稳定运行奠定基础。未来,水电设备管理将更加注重数据化与智能化发展,水电设备运行体系也将朝着更加安全、稳定与高效的方向发展。

参考文献

- [1] 孙书萍, 黄梦婧. 水轮发电机组故障分析与处理关键技术研究[J]. 设备管理与维修, 2026, (02): 96-99.
- [2] 刘鑫. 基于多源数据融合的水轮发电机组振动故障智能预警模型研究[J]. 信息化研究, 2025, 51(06): 26-29.
- [3] 罗建锋, 周小晓, 祝童童. 水轮发电机组多分支绕组接地故障快速定位方法及其装置研究[J]. 大电机技术, 2025, (06): 81-85.
- [4] 赵维健. 水轮发电机转子匝间短路故障检测及处理技术研究[J]. 电工技术, 2025, (19): 120-121+126.
- [5] 于辉, 韩毅, 陈磊, 等. 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.