

# 水电站水轮发电机组检修维护技术要点分析

阮福明

理县星河电力有限责任公司 四川 阿坝州 623100

**摘要:** 本文聚焦水电站水轮发电机组检修维护技术,分析了其结构与常见故障,涵盖机械、电气、液压与气动及环境因素导致的故障。阐述了检修维护技术分类与选择原则,详细介绍机械、电气、液压与气动系统及状态监测与故障诊断等检修技术要点。最后提出优化策略,包括制定科学检修计划、引入智能化监测设备、加强人员培训与标准化作业流程、建立全生命周期管理数据库,旨在提升机组运行可靠性与检修效率。

**关键词:** 水电站;水轮发电机组;检修维护;技术要点

引言:水电站水轮发电机组作为能量转换核心设备,其稳定运行对水电站至关重要。然而,受多种因素影响,机组运行中易出现各类故障,影响发电效率与安全。检修维护是保障机组正常运行的关键环节,但当前检修维护工作存在诸多问题,如检修计划不合理、技术手段落后等。因此,深入分析水轮发电机组检修维护技术要点,探索优化策略,对提升机组运行可靠性、降低运维成本、保障水电站稳定发电具有重要意义。

## 1 水轮发电机组结构与常见故障分析

### 1.1 水轮发电机组基本结构

水轮发电机组是水电站能量转换的核心设备,其基本结构围绕“水能-机械能-电能”的转换流程构建,主要由水轮机、发电机、传动机构及辅助系统组成。水轮机作为动力核心,包含转轮、蜗壳、导水机构等关键部件,负责将水流的势能与动能转化为机械能;发电机与水轮机通过主轴连接,核心部件包括定子、转子、励磁系统,实现机械能向电能的转换<sup>[1]</sup>。传动机构主要保障主轴稳定传动,辅助系统则涵盖润滑、冷却、制动等子系统,为机组稳定运行提供支撑。各结构协同工作,其设计与装配精度直接决定机组运行效率与稳定性。

### 1.2 常见故障类型

#### 1.2.1 机械故障

机械故障是水轮发电机组最常见的故障类型,多与部件磨损、疲劳、装配偏差等因素相关。常见表现包括主轴振动超标,多由转子不平衡、轴承磨损或轴线偏差导致,严重时会引起机组共振;轴承温度异常升高,源于润滑系统失效、轴承间隙不当或冷却不足,长期高温会加剧轴承磨损甚至烧毁;转轮损坏,如叶片气蚀、冲刷或裂纹,多由水流含沙量过高、水流冲击不均或材料疲劳导致,直接影响水轮机能量转换效率。

#### 1.2.2 电气故障

电气故障主要集中在发电机电气回路及辅助电气系统,直接影响电能输出质量与机组安全。常见类型有定子绕组故障,如绝缘老化、短路、接地等,多由长期高温运行、湿度超标或绝缘层磨损导致,可能引发绕组烧毁甚至发电机损坏;转子励磁故障,包括励磁绕组短路、励磁装置失效等,会导致发电机输出电压不稳定,影响电网供电质量;电缆接头过热、配电柜元件故障、保护装置误动作等也较为常见。电气故障具有隐蔽性强的特点,若未及时发现处理,可能引发触电、火灾或电网波动等连锁事故,对电站安全运行威胁较大。

#### 1.2.3 液压与气动故障

液压与气动故障主要发生在机组的液压控制系统和气动制动系统中,核心诱因包括油液品质下降、管路堵塞、密封失效及压力调节异常等。液压系统常见故障有液压泵损坏、溢流阀失灵,导致系统压力不足或不稳定,进而引发导水机构动作迟缓、调速器失控等问题,影响机组负荷调节能力;液压油污染或泄漏会加剧管路腐蚀和部件磨损,进一步恶化系统性能。气动系统故障多表现为空压机失效、储气罐压力不足、制动闸片密封不严等,导致机组停机时制动效果不佳,延长停机时间,甚至引发转子滑行过久的安全隐患,尤其在紧急停机场景下风险较高。

#### 1.2.4 环境因素导致的故障

环境因素对水轮发电机组运行影响显著,易诱发各类关联性故障。高温环境会导致机组冷却系统负荷激增,若散热不及时,会引发定子绕组、轴承等部件温度超标,降低绝缘性能和部件寿命;高湿度或多雨环境易造成电气设备受潮,诱发绝缘下降、短路等电气故障,同时加速金属部件锈蚀<sup>[2]</sup>。粉尘、风沙较多的环境会导致设备散热片堵塞、密封件磨损,还可能进入轴承、导轨等精密部位,加剧磨损并影响传动精度;此外,地震、

洪水等自然灾害可能直接损坏机组结构，而电网电压波动、雷击等外部电力环境因素，也会诱发电气系统故障，影响机组稳定运行。

## 2 水电站水轮发电机组检修维护技术分类与选择原则

### 2.1 检修维护技术分类

水电站水轮发电机组检修维护技术可按检修时机、范围及技术手段分为四类核心类型。一是事后维修技术，指机组发生故障停机后开展的修复性维护，重点针对故障部件进行更换、修复，具有被动性特点，适用于非核心部件或故障影响较小的场景；二是定期预防性检修技术，依据机组运行时长、设计寿命等预设周期，开展全面拆解检查与部件维护，能提前排除潜在隐患，但可能存在过度检修问题；三是状态检修技术，基于实时监测数据判断设备运行状态，针对性开展维护，实现“按需检修”，可降低维护成本并减少非计划停机；四是改进性检修技术，结合检修过程发现的问题，对设备结构或参数进行优化改进，提升机组运行可靠性与效率，多应用于老旧机组升级改造场景。

### 2.2 检修维护技术选择原则

水轮发电机组检修维护技术选择需遵循安全性、经济性、针对性及前瞻性四大核心原则。安全性原则为首要原则，需优先选择能保障机组检修过程安全、避免诱发二次故障的技术，确保检修人员安全与设备核心部件不受损伤；经济性原则要求综合考量检修成本、停机损失与维护效益，避免过度检修导致成本浪费，同时杜绝因维护不足引发更大故障损失；针对性原则强调结合故障类型、设备运行状态及结构特点选择技术，如机械磨损类故障优先采用精准修复技术，电气绝缘问题侧重绝缘检测与强化技术；前瞻性原则要求兼顾技术先进性与兼容性，优先选择适配智能化监测系统、可融入全生命周期管理的维护技术，为后续机组智能化升级奠定基础。

## 3 水轮发电机组检修维护技术要点

### 3.1 机械部分检修技术

机械部分检修技术要点聚焦核心部件的检测、修复与精度校准。对于主轴与轴承系统，需采用振动检测技术精准定位磨损部位，通过刮研、磨削等工艺修复轴承间隙，同时对主轴轴线进行精准校直，确保传动平稳；转轮检修需重点排查叶片气蚀、裂纹等缺陷，采用堆焊、补焊等技术修复损伤部位，必要时进行叶片表面耐磨、抗气蚀涂层处理，同时清理流道内杂物与结垢；导水机构检修需检查导叶开度一致性，修复卡阻部位，更换老化密封件，确保调速动作灵活精准；另外，需定期

对润滑系统进行油液检测与更换，清理油路堵塞，保障润滑充分，同时对制动系统进行制动间隙校准与闸片磨损检测，确保制动性能可靠。

### 3.2 电气部分检修技术

电气部分检修技术要点围绕绝缘检测、回路排查与精度校准展开。定子绕组检修需采用绝缘电阻测试、介损测试等技术检测绝缘性能，对绝缘老化部位进行浸漆、包扎等强化处理，排查绕组短路、接地故障并精准修复，同时清理绕组表面粉尘，保障散热良好；转子励磁系统检修需检测励磁绕组绝缘状态与直流电阻，修复绕组接头松动部位，对励磁装置进行参数校准，确保励磁电流稳定；还需定期检查电缆接头温度，采用红外测温技术排查过热隐患，紧固松动接头并进行绝缘包裹；对配电柜、保护装置等电气设备进行功能测试与参数校准，确保保护装置动作精准，避免误动作或拒动，保障电气系统稳定运行<sup>[3]</sup>。

### 3.3 液压与气动系统检修技术

液压与气动系统检修技术要点集中在油液/气体品质管控、管路维护与部件性能检测。液压系统检修需先对液压油进行取样检测，判断油液污染度、粘度是否达标，及时更换变质油液并清洗油箱、滤芯；排查管路堵塞与泄漏部位，更换老化管路与密封件，采用压力测试技术校准溢流阀、减压阀等压力元件，确保系统压力稳定；对液压泵、液压马达等核心部件进行性能检测，修复磨损部件，保障动力输出稳定。气动系统检修需检查空压机运行状态，清理空气滤清器，确保气源纯净；检测储气罐压力与密封性，排查管路泄漏，校准压力开关；对制动闸片进行磨损检测与更换，确保制动压力充足、制动平稳可靠。

### 3.4 状态监测与故障诊断技术

状态监测与故障诊断技术是实现精准维护的核心支撑，其要点在于监测点合理布局、数据精准采集与故障精准定位。监测系统需覆盖机组核心部件，在主轴、轴承、定子、转子等关键部位布设振动传感器、温度传感器、压力传感器等设备，实时采集运行参数；采用数据采集与分析系统对监测数据进行实时处理，通过趋势分析、阈值预警等方式及时发现参数异常；故障诊断需结合历史数据与故障特征库，采用振动频谱分析、油液铁谱分析、红外热成像等技术，精准定位故障类型、部位及严重程度，为检修方案制定提供数据支撑；同时需保障监测系统自身稳定运行，定期校准传感器精度，维护数据传输链路，确保诊断结果可靠。

## 4 检修维护优化策略

#### 4.1 制定科学检修计划（基于RCM分析）

基于以可靠性为中心的维修（RCM）分析制定科学检修计划，是优化检修维护工作的核心策略。首先需全面梳理水轮发电机组各部件功能、故障模式及故障影响程度，通过RCM分析明确关键部件的重要度等级与失效风险；结合设备运行数据、历史故障记录及设计寿命，确定不同部件的检修周期与检修方式，避免传统定期检修的盲目性；针对高风险核心部件（如主轴、定子绕组），优先采用状态检修模式，结合实时监测数据动态调整检修时机；对低风险非核心部件，可采用事后维修或延长检修周期的方式降低成本；同时需将检修计划与电站生产调度相结合，避开用电高峰期安排检修工作，减少停机损失，确保检修计划的可行性与经济性。

#### 4.2 引入智能化监测设备（如在线监测系统）

引入智能化监测设备是提升检修维护精准性与效率的关键策略，核心在于构建全维度在线监测体系。优先引入覆盖机械、电气、液压等系统的在线监测系统，整合振动、温度、压力、绝缘电阻等多维度监测数据，实现机组运行状态的实时可视化监控；配备高精度传感器与智能数据采集终端，提升数据采集精度与实时性，减少人工检测误差；引入大数据分析与人机智能诊断算法，构建故障特征库，实现故障的自动识别、预警与精准定位，提前预判潜在故障，将被动维修转化为主动预防；同时确保智能化监测设备与现有检修系统兼容，实现监测数据与检修计划的联动，为状态检修提供精准数据支撑，大幅提升检修效率与机组运行可靠性。

#### 4.3 加强人员培训与标准化作业流程

加强人员培训与规范标准化作业流程，是切实保障检修维护质量的核心基础策略。在人员培训方面，要兼顾专业技能与安全意识双重提升。一方面，定期开展机械检修、电气检测、智能设备操作等专项培训，邀请行业权威专家进行技术指导，通过理论讲解与案例分析，让检修人员掌握前沿技术与实用技巧；组织检修人员参与实操演练，模拟复杂故障场景，提升其对各类复杂故障的精准判断与高效处理能力。另一方面，建立健全人员考核机制，将技能水平与检修质量紧密挂钩，设立明确的奖惩标准，对表现优秀的人员给予奖励，对不达标的人员进行再培训或相应处罚，激励人员主动提升专业

素养<sup>[4]</sup>。同时，需制定完善且细致的标准化作业流程，明确各检修环节的操作规范、技术要求、安全注意事项以及质量验收标准，涵盖检修前准备、核心部件检修、术后调试等全流程。制作直观清晰的作业指导书与流程图，规范检修记录填写，确保检修过程每个环节都有迹可循，避免因操作不规范引发故障或安全问题。

#### 4.4 建立全生命周期管理数据库

建立水轮发电机组全生命周期管理数据库，是实现检修维护长效优化的重要策略。数据库需整合机组设计参数、制造信息、安装记录、运行数据、故障历史、检修记录、部件更换记录等全维度信息，形成完整的设备档案；采用数据库管理系统实现信息的分类存储、快速查询与动态更新，方便工作人员全面掌握设备运行状态与历史情况；通过对数据库数据的统计分析，挖掘部件失效规律、检修周期与故障发生率的关联，为优化检修计划、调整维护策略提供数据支撑；同时将数据库与智能化监测系统、检修管理系统联动，实现监测数据自动录入、检修计划自动生成与执行跟踪，提升检修维护的信息化、精细化水平，保障机组全生命周期内的稳定、高效运行。

#### 结束语

水电站水轮发电机组检修维护工作复杂且关键。通过对其结构与常见故障的剖析，明确了检修维护的重点方向。详细阐述的检修技术要点为实际工作提供了具体指导，而提出的优化策略，如科学制定检修计划、引入智能化设备等，有助于提升检修维护的精准性与效率。未来，随着技术发展，应持续优化检修维护策略，不断完善管理体系，保障机组全生命周期稳定运行，为水电事业发展提供坚实支撑。

#### 参考文献

- [1]唐粒钧.加强大型水电站水轮发电机组检修现场管理的对策分析[J].科学与信息化,2023(4):10-12.
- [2]欧平.水电站水轮发电机组检修的现状与发展趋势研究[J].文渊(高中版),2023(11):226-228.
- [3]陈嵩,赵栋栋,张玺,等.水轮发电机组状态检修策略分析[J].水电站机电技术,2024,47(7):24-25,55.
- [4]张彬桥,张松甲,李述喻.水轮发电机组虚拟检修平台设计与应用[J].中国农村水利水电,2023(7):236-242.