

# 水电站机械设备常见故障检修技术

陶建祝

渝能（集团）有限责任公司 重庆 409100

**摘要：**随着全球能源需求的持续增长与能源结构的转型优化，水电作为清洁、可再生的基础能源，其安全稳定运行对保障电力供应至关重要。本文围绕水电站机械设备常见故障及检修技术展开研究，首先将故障划分为水轮机、发电机、调速器及其他设备四大类，详细分析了空蚀磨损、绕组故障、油压装置异常等具体问题；随后针对性阐述了各类故障的检修技术，包括空蚀修复、绕组检修、密封更换等；最后探讨了该领域智能化、数字化、无损检测及绿色可持续的发展趋势。研究为水电站机械设备的故障诊断与维修提供了系统参考，助力提升设备运行可靠性与电站经济效益。

**关键词：**水电站；机械设备；故障；检修技术

引言：水电站作为清洁能源供应的核心设施，其机械设备的稳定运行直接关系到电力系统的安全与效率。然而，受水流冲击、机械磨损、环境因素及长期运行等影响，水轮机、发电机、调速器等关键设备易出现空蚀、裂纹、绕组故障等问题，不仅降低设备寿命，还可能引发停机事故。因此，深入分析常见故障类型，掌握科学有效的检修技术，对保障水电站安全稳定运行具有重要意义。

## 1 水电站机械设备常见故障分类

### 1.1 水轮机故障

#### 1.1.1 空蚀与磨损

水轮机运行时，水流在低压区易形成气泡，气泡溃灭产生冲击压力，导致过流部件表面出现麻点、凹坑，即空蚀。同时，水流中含有的泥沙、杂物会对转轮、导叶等部件持续冲刷，造成表面材料逐渐流失，形成磨损。空蚀与磨损常同时存在，使部件表面粗糙度增加，水流阻力变大，影响水轮机效率和运行稳定性。

#### 1.1.2 裂纹与断裂

水轮机在启停过程中，因温度变化产生热应力，长期运行中承受交变水流冲击力和自身重力等，易在转轮叶片、轮毂等应力集中部位出现微观裂纹。若裂纹未及时发现，会逐渐扩展，当应力超过材料强度极限时，可能引发部件断裂。断裂会导致水轮机运行失衡，产生剧烈振动，严重时可能造成机组停运甚至更严重的设备损坏。

#### 1.1.3 密封故障

水轮机的密封部位包括主轴密封、导叶密封等。主轴密封因长期摩擦、老化或安装偏差，会出现密封件磨损、变形，导致漏水。导叶密封若存在间隙过大或密封件损坏，会使水流在导叶关闭时仍有泄漏，造成能量损

失。密封故障不仅增加水资源浪费，还可能使水渗入轴承等部件，影响其润滑和冷却，引发其他故障。

### 1.2 发电机故障

#### 1.2.1 定子绕组故障

定子绕组是发电机电磁能量转换的核心部件，易因绝缘老化、过热或机械振动出现故障。如绝缘层开裂导致匝间短路，长期过负荷使绕组过热变色，线棒固定松动引发振动磨损，甚至出现接地故障，表现为机组异响、电流异常，严重时触发保护装置停机。

#### 1.2.2 转子故障

转子在高速旋转中承受巨大离心力，可能出现励磁绕组匝间短路，导致磁场分布不均；集电环表面磨损或氧化，造成电刷接触不良，产生火花；转子铁芯松动或变形，引发机械振动加剧，影响发电机动态平衡，降低运行稳定性。

#### 1.2.3 轴承故障

轴承承担发电机转子的径向和轴向载荷，长期运行易因润滑不良出现干摩擦，导致滚道与滚动体磨损、剥落；安装偏差或振动使轴承游隙异常，引发过热；此外，轴承座松动会加剧振动噪声，严重时造成轴颈磨损，威胁机组安全运行。

### 1.3 调速器故障

#### 1.3.1 油压装置故障

油压装置是调速器动力源，常见问题包括油箱油位异常下降，可能因油管泄漏或密封失效导致；油泵频繁启停，多由压力继电器失灵或油路堵塞引起；油压波动过大，表现为压力忽高忽低，这会使调速器动作不稳定，还可能因压力不足无法正常调节，严重影响机组运行状态。

### 1.3.2 调速器控制故障

调速器控制故障常表现为转速调节迟缓或失控，指令发出后机组转速无法按预期快速响应，甚至出现转速大幅波动。此外，接力器卡涩现象也较常见，导致导叶开度调节受阻，无法精准控制流量。这些问题多由控制信号传输异常、伺服阀故障或机械传动部件卡阻引起，会破坏机组运行的稳定性，增加事故风险。

### 1.4 其他机械设备故障

#### 1.4.1 阀门故障

阀门作为水电站水流控制的关键部件，常见故障有阀瓣与阀座密封面泄漏，多因介质冲刷导致密封面磨损或异物卡滞；阀门启闭失灵，可能是传动机构锈蚀、卡涩，或电动执行器故障；此外，阀体因长期承受水压冲击，易出现裂纹，影响水流调控精度，甚至引发安全隐患。

#### 1.4.2 起重机故障

水电站起重机常出现起升机构故障，如钢丝绳磨损、断丝，卷筒变形，或制动器失灵导致重物坠落风险；运行机构故障表现为车轮卡阻、轨道偏移，使起重机行走不稳；电气控制系统故障，如接触器粘连、限位开关失灵，会造成操作失控，威胁设备吊装安全和检修工作进度<sup>[1]</sup>。

## 2 水电站机械设备常见故障检修技术

### 2.1 水轮机故障检修技术

#### 2.1.1 空蚀与磨损修复技术

对于空蚀产生的麻点和凹坑，可采用堆焊技术，选用耐蚀耐磨焊条对受损区域进行填补，焊后通过砂轮打磨至与原表面平齐。针对磨损严重的部件，可采用热喷涂技术，将陶瓷或合金材料均匀喷涂在表面，形成保护层，增强抗磨性能。对于轻微磨损，可使用高分子复合材料进行涂抹修复，材料固化后具有良好的耐磨性和密封性。修复后需进行表面光滑度检测，确保水流通过时阻力符合设计标准。

#### 2.1.2 裂纹与断裂修复技术

发现裂纹后，先进行无损检测确定裂纹深度和范围。对于浅层裂纹，采用打磨消除法，用角磨机将裂纹打磨至消失，再进行抛光处理。深层裂纹或断裂部位，需采用补焊修复，先在裂纹两端钻止裂孔防止扩展，然后分层堆焊，每焊一层进行温度控制和探伤，避免产生新的应力。修复完成后进行热处理消除内应力，并通过超声检测验证修复质量。

#### 2.1.3 密封修复与更换技术

对于密封件老化或轻微损坏，可采用密封胶涂抹修复，填补密封面的微小缝隙。若密封件磨损严重或变

形，需进行更换，选择与原型号匹配的密封件，安装时确保密封面清洁无杂物，均匀涂抹润滑剂。对于密封槽损坏，可采用堆焊后铣削加工的方式修复，恢复密封槽的尺寸精度，保证密封件安装后的密封效果。

### 2.2 发电机故障检修技术

#### 2.2.1 定子绕组故障检修技术

定子绕组故障检修先通过绝缘电阻测试和介损试验定位故障点。对于匝间短路，可采用局部烘烤后重新浸漆固化，或更换受损线棒；绝缘老化时，需整体进行真空浸漆处理，增强绝缘性能。若出现接地故障，先排查是否因异物导致，清除后重新测试，若为绕组本身损坏，需拆解绕组更换受损部分，修复后进行耐压试验，确保绝缘强度符合标准。

#### 2.2.2 转子故障检修技术

转子故障检修需先进行动态平衡测试和绕组绝缘检测。励磁绕组匝间短路时，可采用短路点定位仪找到故障点，进行局部修复或重绕绕组；集电环表面磨损时，用车床精车加工恢复光洁度，更换磨损电刷并调整压力。转子铁芯松动需重新紧固，必要时加装定位销，修复后进行超速试验，验证转子运行稳定性。

#### 2.2.3 轴承故障检修技术

轴承故障检修先拆卸轴承进行外观检查和间隙测量。若为滚动体磨损或滚道剥落，需整体更换轴承，更换前清洗轴承座并涂抹润滑脂；轴承过热导致的卡涩，需检查润滑系统，补充或更换润滑油，调整轴承游隙至规定范围。安装时采用热装法，确保配合精度，修复后进行温升测试和振动检测，保证轴承运行正常。

### 2.3 调速器故障检修技术

#### 2.3.1 油压装置故障检修技术

油压装置故障检修先通过压力传感器监测和油路巡检定位问题。若油箱油位异常，检查油管接头密封性，更换破损密封圈，对裂缝油管进行补焊或整体更换；油泵频繁启停时，校准压力继电器设定值，清理滤油器堵塞物，必要时更换磨损的油泵柱塞。油压波动过大需排查蓄能器气囊漏气情况，更换失效气囊并重新充氮，检修后进行压力保压试验，确保系统压力稳定在设计范围。

#### 2.3.2 调速器控制故障检修技术

调速器控制故障检修从电气信号和机械传动两方面排查。转速调节迟缓时，检测伺服阀动作精度，清洗阀芯或更换磨损部件；接力器卡涩需拆解传动机构，清除锈蚀和异物，涂抹专用润滑剂，调整连杆间隙。控制信号异常时，检查PLC程序和传感器接线，修复松动接点或更换故障模块。检修后进行模拟负载试验，验证调速器在不

同工况下的响应速度和调节精度，确保符合运行要求。

#### 2.4 其他机械设备故障检修技术

##### 2.4.1 阀门故障检修技术

阀门故障检修先通过压力测试定位泄漏点。密封面泄漏时，若为轻微磨损，用研磨膏手工研磨或机械研磨修复；磨损严重则堆焊耐磨材料后重新加工密封面。启闭失灵需拆解传动机构，清除锈蚀部位并涂抹防锈润滑剂，电动执行器故障时更换损坏的电机或控制模块。阀体裂纹可采用无损检测确定范围，小型裂纹进行补焊修复，大型裂纹则整体更换阀体，修复后进行耐压试验，确保无泄漏且启闭灵活。

##### 2.4.2 起重机故障检修技术

起重机故障检修从机械结构和电气系统双方面入手。起升机构中，钢丝绳断丝超标或磨损严重需立即更换，卷筒变形进行校直或更换，制动器失灵需调整制动间隙或更换刹车片。运行机构卡阻时，清理轨道杂物并调整车轮平行度，轨道偏移则重新定位固定。电气系统故障需检测接触器触点，更换粘连部件，限位开关失灵及时换新，检修后进行空载和负载试运行，验证各机构运行可靠性<sup>[2]</sup>。

### 3 水电站机械设备常见故障检修技术的发展趋势

#### 3.1 智能化发展趋势

智能化技术正深刻改变水电站故障检修模式，核心体现在智能诊断与预测性维护的融合应用。通过在设备关键部位部署振动、温度、压力等传感器，实时采集运行数据，结合机器学习算法构建故障预测模型，可提前识别潜在隐患。例如，水轮机振动信号分析系统能通过频谱特征识别早期空蚀趋势，发电机定子温度监测可预警绝缘老化风险。智能机器人的应用进一步突破传统检修限制，搭载高清摄像头和无损检测模块的水下机器人可深入水轮机流道检查，爬壁机器人能对阀体外部进行全方位扫描。

#### 3.2 数字化与信息化融合趋势

数字化与信息化融合推动检修技术向精准化、协同发展。通过三维建模技术构建设备数字孪生体，将实体设备的几何参数、运行状态、历史故障等信息映射至虚拟模型，实现全生命周期数字化管理。检修人员可在虚拟环境中模拟故障场景，预演修复流程，优化操作步骤。信息化平台的搭建打破数据孤岛，整合设备台账、实时监测数据、检修记录等信息，形成统一数据库，支持多部门协同检修。例如，当调速器出现油压异常时，系统自动调取历史检修案例、相关部件图纸及库存信息，辅助检修团队快速制定方案。区块链技术的引入则

确保数据不可篡改，为故障溯源和责任认定提供可靠依据，同时数字化文档管理替代传统纸质记录，提升信息检索效率，为远程技术支持和经验传承奠定基础。

#### 3.3 无损检测技术拓展趋势

无损检测技术正朝着多手段融合、高精度、高效率方向拓展。传统超声检测、射线检测与新兴技术结合，形成互补优势。相控阵超声检测通过电子扫描实现多角度探伤，可精准定位水轮机叶片内部微裂纹；红外热成像技术与无人机结合，能快速检测发电机绕组热点，识别绝缘缺陷；激光全息检测利用干涉条纹变化，可非接触式监测阀体微小变形。此外，检测设备向便携化、智能化升级，手持超声检测仪集成AI分析功能，现场即可生成检测报告；移动式CT扫描系统可对大型部件进行内部结构三维成像，无需拆解即可判断内部损伤。

#### 3.4 绿色环保与可持续发展趋势

绿色环保理念推动检修技术向低能耗、低污染、资源循环利用转型。在材料选择上，环保型修复材料逐步替代传统有害物质，例如水轮机空蚀修复采用水溶性高分子复合材料，减少挥发性有机化合物排放；生物降解润滑剂在轴承检修中的应用，降低对水环境的污染。检修工艺优化注重节能减排，激光熔覆技术相比传统堆焊，能耗降低30%以上，且热影响区小，减少材料浪费。旧部件回收利用体系不断完善，发电机废旧绕组铜材可通过无污染工艺提炼再利用，阀门密封件采用可降解材料，报废后自然降解。此外，检修过程中引入碳排放监测，通过优化运输路线、采用电动检修设备等措施减少碳足迹，同时结合水电站生态保护要求，制定环保检修规范，确保检修活动与周边环境协调，实现经济效益与生态效益的统一<sup>[3]</sup>。

#### 结束语

综上所述，水电站机械设备故障检修技术是保障电站安全高效运行的关键支撑。从水轮机、发电机到调速器等设备的故障分类与针对性检修，再到智能化、数字化等技术趋势的演进，构建了一套系统的检修体系。随着技术不断发展，检修模式正从被动修复向主动预防、从经验判断向数据驱动转变。

#### 参考文献

- [1]辛晓.水电站机械设备常见故障检修技术[J].设备管理与维修,2020,No.482(20):71-73.
- [2]高健.探析水电站机械常见故障检修技术的应用[J].企业技术开发:下旬刊,2021,034(001):96-97.
- [3]谭涛.水电站机械常见故障检修技术的应用研究[J].建材发展导向(下),2020,018(003):89.