

水力发电厂电气设备维护和安全运行措施

张聪

盈江县多源水电开发有限公司，云南省德宏傣族景颇族自治州，678400；

摘要：水力发电依赖电气设备对能量的有效转换，这些设备的运行状态在很大程度上决定了电厂的发电效率与供电安全。既有研究普遍认识到，维护工作与运行管控构成了电厂稳定运营的重要基础；本文则倾向于从设备运行的具体特性出发，对维护要点与安全管控这两个方面进行进一步探讨。研究尝试集中现有典型系统框架提出具有一定可操作性的策略，以期借此与行业就水电设备管理的实践路径展开更多对话。

关键词：水力发电厂；电气；设备；维护；安全

DOI：10.69979/3060-8767.26.04.003

引言

水力发电依托水资源势能转化产出电能，具有清洁无污染、可持续供应、调节能力强等优势。狭义的电气设备涵盖发电机、变压器、开关设备、配电装置及辅助电气系统等部分，有结构复杂、运行环境特殊等运作特征。电气设备长期处于高负荷、潮湿的工况下，易出现部件损耗、性能衰减、故障隐患等问题，因此需立足设备运行规律构建科学完善的维护体系，配套严谨的安全运行措施，让电气设备始终处于稳定可靠的运行状态。

1 水力发电厂电气设备维护要点

1.1 日常巡检维护

1.1.1 巡检内容与频次

巡检内容围绕设备运行参数、外观状态、部件完整性及环境影响展开。发电机作为核心动力设备，重点查看定子、转子的运行状态，监测绕组温度、振动幅度及异响情况，检查碳刷磨损程度与接触稳定性，排查引线接头有无发热、松动现象。变压器需监测油温、油位及油质变化，查看油箱有无渗漏，检查绝缘套管清洁度与破损情况，核实分接开关位置准确性。开关设备重点巡检断路器、隔离开关的分合闸状态，确认触头接触良好，排查操作机构有无卡涩、锈蚀，监测绝缘性能是否达标^[1]。辅助电气系统包括冷却系统、润滑系统、控制系统，需检查冷却风机运行正常与否，核实润滑油液位及品质，确保控制系统信号传输顺畅、指令执行准确。

关于巡检频次，常见做法是依据设备的关键程度与实时运行负荷进行调整。每日巡查核心设备，在高负荷或恶劣环境条件下适当增加巡检密度，以提升发现潜在异常的机率，不过其最优频率仍需结合具体电厂的运行数据进一步推敲。

1.1.2 巡检记录与反馈

巡检工作需建立规范的记录制度，巡检人员详细记录设备运行参数、外观状态、异常情况及处置初步情况，要求记录真实、准确、完整。记录内容需明确设备名称、巡检时间、巡检部位、发现问题及处理建议，避免模糊表述与遗漏信息^[2]。巡检结束后，及时将记录提交至设备管理部门，由专业人员梳理分析记录内容，判断设备运行状态，针对异常情况制定后续处置计划。同时建立巡检记录追溯机制，定期复盘历史记录，总结设备运行规律与故障高发点。

1.2 定期检修维护

1.2.1 不同设备检修重点

发电机定期检修需拆解检查定子绕组绝缘层，清除表面灰尘、油污，修复轻微破损部位，对老化绝缘层进行更换处理；检查转子绕组回路通断情况，紧固接线螺栓，更换磨损严重的碳刷与刷架；检测轴承间隙，更换老化润滑油，对轴承进行除锈、润滑处理，确保转动灵活。变压器定期检修需过滤、净化处理油质，更换变质绝缘油，检查油箱密封性能，修复渗漏部位；拆解检查铁芯、绕组，清除表面杂质，紧固松动部件，检测绝缘性能，更换绝缘老化部件；校准温度监测装置，确保数值反馈准确。开关设备定期检修需拆解断路器，检查灭弧室气密性与灭弧性能，更换老化灭弧介质，清洁触头表面氧化层，调整触头压力；检查隔离开关操作机构，添加润滑油，修复卡涩部位，确保分合闸动作顺畅；检测接地装置完整性，紧固接地螺栓，排查接地回路故障。

1.2.2 检修质量管控

检修前需做好充分准备，制定详细检修方案，明确检修流程、技术标准与安全注意事项，准备好所需工具、备件及防护用品。检修过程中严格按照技术标准操作，

规范拆解、检查、装配流程,避免违规操作对设备造成二次损伤。更换并修复关键部件,并进行严格检验,以要求备件质量符合设备要求,修复部位性能达标^[3]。检修结束后,对设备采取空载试运行与负载测试,监测运行参数、振动幅度、异响及温度变化等指标,确认设备运行正常后方可投入正式运行。同时建立检修档案,记录检修时间、内容、更换部件、测试数据及检修人员等信息。

1.3 故障排查与修复

1.3.1 故障排查方法

故障排查应结合感官判断与专业仪器精准检测,采取“先外部后内部、先电气后机械、先公用后专用”的顺序。针对设备异响、异味、发热等直观现象,通过感官初步研判:低沉嗡鸣多是绕组松动,尖锐异响可能指向轴承卡滞,表面温度较环境温度超出 40°C 即判定为异常发热,以此锁定大致故障范围。专业仪器检测是核心手段,选用示波器捕捉电压电流波形畸变,用万用表直流电压档、交流电流档量程检测回路参数,通过绝缘电阻测试仪在常温下测量绕组与外壳绝缘值,确保数据 $\geq 1\text{M}\Omega$ 以排查绝缘缺陷,并规避盲目拆解对设备绝缘层及精密部件的损伤。复杂故障需组建专业团队联合研判,对照设备运行历史、检修记录及额定参数阈值,以剖析故障产生的深层机理。

1.3.2 故障修复与复盘

选择故障修复方案需参考故障类型及严重程度等差异化情境特征。针对轻微故障,现场处置措施通常倾向于选择部件紧固、表面清洁或易损件更换等手段;若故障较为严重,则需考虑停运设备,对核心部件进行拆解检查,后续更换受损件并进行校准,修复后还须经过严格测试,以确认恢复设备功能。整个修复过程应有完整记录,涵盖故障现象、排查流程、所采用的修复方法与更换部件、测试数据等信息。在处置结束后,修复工作并未完全终止,还需引入复盘环节,通过回溯故障成因识别维护流程与运行管控中的潜在薄弱点,以减少同类故障重现的可能。

2 水力发电厂电气设备安全运行措施

2.1 设备安全管控

2.1.1 运行参数管控

严格管控运行参数的目的在于让各项参数持续符合额定标准或既定规范。以发电机为例,需持续监测定子电压、电流、频率及功率因数等参数,以避免出现超额定负荷工况。对于变压器,管控重点需集中于油温与

油位的合理区间控制,油温过高可能加速绝缘材料的老化进程;同时,需监测绕组温度与负荷变化,以防止过载运行带来风险。开关设备上,则要关注触头温度、操作机构状态等,要确保分合闸参数符合要求,从而降低因参数异常诱发故障的可能性^[4]。

为实现上述管控目标,当前普遍依赖自动化监测系统采集数据,并依据经验或理论设定预警阈值。一旦参数超出预警范围,系统可发出警报,以便工作人员及时介入处置。

2.1.2 绝缘与防护强化

在绝缘性能上,应定期检测设备绝缘性能,及时处理绝缘老化、破损问题。针对发电机、变压器、开关设备等核心设备,进行绝缘电阻测试、介损测试,以评估绝缘状态,维护并更换绝缘性能不达标的设备。加强设备防护措施,针对水力发电厂潮湿环境,为电气设备配备防潮、防凝露装置,检查设备密封性能,防止水汽侵入导致绝缘性能下降。对户外电气设备加装防雨、防尘、防腐蚀装置,定期清洁表面杂质,修复腐蚀部位,延长设备使用寿命。同时加强接地系统与防雷装置维护,接地电阻达标,防雷装置运行正常,抵御雷电冲击与静电干扰。

2.2 人员安全管理

2.2.1 专业培训与考核

建立常态化培训机制。设计培训内容,需涵盖电气设备结构、运行原理、维护方法及安全操作规程等,并依据人员岗位与经验的差异实施。对于新入职人员,现行的普遍做法是要求其完成系统性培训与考核,在确认具备独立操作能力后方可获准上岗。而在职人员培训则应侧重于技能提升,例如学习新型设备技术、更新的故障处置方法以及安全管控要求这有助于其知识体系的更新与专业技能的延续性发展。

培训后的考核环节,一般需包含理论知识、实操技能与安全意识等层面;若未能通过考核,相关人员需暂停岗位工作,直至通过补考。此外,也可参与行业技能竞赛与技术交流活动,以补充提升能力,从而在一定程度上提升综合素养。

2.2.2 操作规范与管控

制定完善的设备操作规程,明确设备启停、检修、故障处置等环节的操作流程与安全注意事项,工作人员严格按照规程操作,杜绝违规操作。设备操作实行专人负责制,明确操作人、监护人职责,重要操作需执行双人监护制度,操作前核对设备名称、编号、状态,操作

中严格遵循流程，操作后进行复查。加强作业现场管控，作业前开展安全技术交底，明确作业范围、风险点与防控措施；作业过程中落实安全防护措施，工作人员佩戴好防护用品，严禁违规作业、冒险作业；作业结束后清理现场，复查设备状态。

2.3 环境与应急管控

2.3.1 运行环境优化

针对水力发电厂潮湿、多粉尘、温差大的环境特点，应进行针对性防控。厂房内安装通风、除湿设备，控制环境湿度在合理范围，避免水汽侵入设备内部；定期清理厂房内粉尘、杂物，减少对设备散热与绝缘性能的影响。

从设备布局的视角来看，需留有足够的散热与操作空间，以避免因设备过于密集而导致的局部温度过高问题。同时，在厂房的防水与防渗处理上，特别是需要排查与修复屋顶、墙面等潜在渗漏部位，其目的是防止雨水侵入干扰正常运行。对于户外电气设备，其所面临的环境挑战则更为复杂，需充分根据当时季节采用不同的防冻、防晒措施，确保设备在相对恶劣条件下的运行稳定。

2.3.2 应急处置体系构建

完善应急处置预案，涵盖设备故障、火灾、触电等各类突发情况，明确应急组织机构、职责分工、处置流程与救援措施。预案需结合电厂实际情况定期组织应急演练，检验预案可行性，优化处置流程，提升工作人员应急响应能力。

应急物资的配备，逻辑上应遵循与风险评估相匹配的原则，涵盖灭火、急救、备用部件及应急电源等类别。但物资的“充足”是一个相对概念，其具体构成与数量需结合电厂实际地理位置、风险类型及外部救援可达性等因素综合判断。同时，以周期性检查与更新制度维持物资完好可用，否则其应急功能可能大打折扣^[9]。此外，建立应急通讯机制，确保在紧急状态下信息传递的畅通，以支持快速的内部协调联动。不过，需要注意的是，这一机制在实际中能否发挥预期作用，也受到通讯设备可靠性、电力供应状况乃至现场复杂环境的多重制约，仍是一个需要持续调整与改进的过程。

2.4 制度与技术保障

2.4.1 规章制度完善

构建覆盖设备全生命周期的管理制度，包括设备采购验收制度、运行管理制度、维护检修制度、安全管理

制度、故障处置制度等，明确各项工作的流程、标准与责任主体。制度内容需贴合电厂实际运行情况，具备可操作性，定期结合设备更新、技术升级与行业标准变化，修订完善制度。加强制度执行力度，建立监督考核机制，对违反制度的行为严肃追责，确保各项制度落到实处。同时建立责任追溯机制，将设备管理、维护、运行等工作责任落实到个人，出现问题能够快速追溯责任，倒逼工作人员规范履职。

2.4.2 智能化技术应用

引入智能化监测与管控技术，提升设备安全运行管理水平。搭建自动化监测系统，实时采集设备运行参数、环境参数，通过数据分析实现故障预警，提前发现设备潜在隐患，为指引维护工作。应用状态检修技术，制定个性化检修计划，替代传统定期检修模式，减少不必要的检修作业。引入远程控制技术，远程启停、调节与监控部分设备，减少工作人员现场操作，降低作业风险。同时搭建设备管理信息系统，整合设备采购、运行、维护、故障等各类数据，以达到信息化管理设备全生命周期，提升管理效率与精细化水平。

3 结语

本文明晰了水力发电厂电气设备稳定运行依赖于系统性维护与综合性安全管控。研究围绕维护要点与安全措施两大核心，构建了一个包含日常巡检、定期检修、故障处置的设备维护体系，以及涵盖设备、人员、环境、制度的全方位安全运行框架。结论表明，必须将精细化的预防性维护与动态化的实时管控相结合，并将技术措施与管理规范深度融合，才能构建起长效、可靠的安全运行保障体系，从而为水力发电的持续稳定供电奠定坚实基础。

参考文献

- [1] 王建强, 王建杰. 水力发电厂电气设备安全运行与维护管理的研究[J]. 水上安全, 2024, (20): 58-60.
- [2] 朱大才. 水力发电厂电气设备维护及安全运行研究[J]. 设备监理, 2023, (05): 62-65.
- [3] 李梓琿, 闭真珍. 水力发电厂电气设备维护与安全运行策略分析[J]. 中国设备工程, 2023, (14): 55-57.
- [4] 周毅, 刘若松. 大型水力发电厂基层班组管理的创新与实践[J]. 水电与新能源, 2025, 39(04): 58-61.
- [5] 林雪峰. 水电站电气设备安装的安全技术分析[J]. 现代制造技术与装备, 2023, 59(11): 144-146.