

水利水电工程中的电气安全保护措施

万泽辉

乐山电力股份有限公司 四川 乐山 614000

摘要：水利水电工程电气安全受潮湿环境、设备老化、雷电过电压等因素威胁。本文分析电气安全风险，包括绝缘失效、过载运行、雷电威胁等。阐述电气安全保护技术体系，涵盖接地防雷、绝缘漏电、过电压短路保护。探讨特殊环境防护措施，如潮湿、爆炸性气体、电磁干扰环境。提出电气安全管理与维护策略，包括标准化管理、人员培训、数字化管理平台，以保障工程电气系统安全稳定运行。

关键词：水利水电工程；电气安全；保护措施

引言：水利水电工程在防洪、发电、供水等方面作用重大，其电气系统安全至关重要。然而，工程多处于潮湿等复杂环境，电气设备面临诸多安全风险，如绝缘失效、设备老化、雷电过电压等，这些风险可能引发设备故障、人员伤亡，影响工程核心功能。因此，深入研究电气安全保护措施，构建完善的保护技术体系与管理策略，对保障水利水电工程安全稳定运行具有迫切的现实意义。

1 水利水电工程电气安全风险分析

1.1 潮湿环境导致的绝缘失效

水利水电工程多处于江河、库区等潮湿环境，水汽易渗透至电气设备内部，引发绝缘性能下降甚至失效，是核心安全隐患之一。潮湿环境会破坏设备绝缘层的分子结构，使绝缘材料老化、开裂，导致绝缘电阻降低，进而引发漏电、短路等故障。对于水下电机、电缆、开关柜等关键设备，长期浸泡或高湿度侵蚀会加速绝缘劣化，若绝缘层出现破损，还可能导致设备金属外壳带电，威胁作业人员人身安全。潮湿环境易滋生霉菌，霉菌分泌物会进一步腐蚀绝缘材料，形成恶性循环^[1]。同时，水利水电工程的电气设备多露天或半露天布置，受雨雪、凝露影响明显，绝缘失效风险随季节变化波动，雨季、汛期风险显著升高，需针对性采取防护措施，避免因绝缘问题引发设备停运或安全事故。

1.2 设备老化与过载运行

水利水电工程电气设备使用寿命受运行环境、负荷强度等因素影响，设备老化与过载运行易叠加引发安全风险。部分老旧工程的变压器、断路器、电缆等设备超期服役，内部元器件磨损、腐蚀严重，核心部件性能衰退，如变压器绝缘油劣化、断路器灭弧室损耗，会导致设备动作可靠性下降，故障概率大幅上升。水利水电工程运行负荷波动较大，汛期、灌溉期需满负荷甚至超负

荷运行，设备长期处于过载状态，会使导体温度升高，加速绝缘老化，还可能引发接头松动、接触电阻增大，进而产生局部过热、打火现象。过载运行还会超出设备额定承受能力，导致保护装置误动或拒动，扩大故障影响范围。

1.3 雷电与过电压威胁

水利水电工程多建于高山、库区等开阔区域，地理位置特殊，易遭受雷电袭击，同时运行过程中易产生内部过电压，双重威胁电气系统安全。雷电直击或感应会在电气线路和设备上产生瞬时高电压，远超设备额定耐受电压，击穿绝缘层，烧毁核心部件，甚至引发火灾、爆炸。外部雷电过电压可通过架空线路、金属构架传导至室内设备，造成系统性故障。内部过电压则源于设备操作、故障切换等过程，如断路器合闸、线路短路切除时产生的操作过电压，以及谐波叠加引发的谐振过电压。过电压不仅会损坏变压器、互感器等精密设备，还可能导致保护系统紊乱，影响设备正常启停与调控。对于水利水电工程而言，电气系统故障直接关联防洪、发电、供水等核心功能，雷电与过电压引发的事故可能造成重大经济损失与社会影响。

2 电气安全保护技术体系

2.1 接地与防雷系统

接地与防雷系统是水利水电工程电气安全保护技术体系的核心组成，为电气设备与人员安全提供基础保障。接地系统通过将设备金属外壳、构架等与大地可靠连接，形成电流泄放通道，当设备发生漏电时，可快速将故障电流导入大地，降低设备外壳对地电压，避免人员触电。水利水电工程中需设置工作接地、保护接地、防雷接地等多重接地装置，确保接地电阻满足规范要求，且各接地系统协同工作，避免相互干扰^[2]。防雷系统则针对雷电威胁，通过避雷针、避雷线、避雷器等设

备,构建全方位防雷防护网络,拦截直击雷、疏导感应雷,将雷电能量快速泄放至大地。对于露天布置的输电线路、发电机组、开关柜等关键设备,需针对性配置防雷装置,同时优化接地网布局,提升雷电能量泄放效率。接地与防雷系统需定期检测维护,及时修复破损、锈蚀部件,确保其在汛期、雷雨季节等恶劣工况下稳定运行。

2.2 绝缘与漏电保护

绝缘与漏电保护是防范潮湿环境及设备故障引发安全事故的关键技术,为水利水电工程电气系统筑牢安全防线。绝缘保护通过选用耐潮湿、耐腐蚀、耐高温的绝缘材料,优化设备绝缘结构,提升设备抵御环境侵蚀的能力,同时定期对绝缘性能进行检测,及时更换老化、破损的绝缘部件,从源头减少绝缘失效风险。对于水下、潮湿区域的电气设备,需采用加强型绝缘设计,配备绝缘护套、密封件等防护部件,防止水汽渗透。漏电保护则通过安装漏电保护器、漏电继电器等设备,实时监测线路与设备的漏电电流,当漏电电流超过设定阈值时,快速触发跳闸、报警等动作,切断故障电源,避免漏电引发人员触电或设备损坏。漏电保护装置需根据设备工况精准设定参数,兼顾保护灵敏度与运行稳定性,同时与接地系统协同工作,形成双重防护,确保在绝缘破损、漏电等故障发生时快速响应。

2.3 过电压与短路保护

过电压与短路保护技术可有效抵御电气系统中的瞬态高压与短路故障,保障设备与线路安全稳定运行。过电压保护通过配置避雷器、浪涌保护器、阻尼电阻等设备,抑制外部雷电过电压与内部操作过电压,将电压限制在设备额定耐受范围内,避免绝缘击穿。针对水利水电工程的特殊工况,过电压保护设备需具备耐潮湿、抗干扰、响应迅速等特性,可根据不同区域、不同设备的电压等级精准配置。短路保护则通过熔断器、断路器、继电保护装置等协同工作,当线路或设备发生短路故障时,快速检测故障信号,立即切断故障回路,防止短路电流过大烧毁设备、引发火灾,同时避免故障扩散至整个电气系统。短路保护装置需合理设定动作时限与电流阈值,实现选择性跳闸,确保非故障区域正常运行,减少故障对水利水电工程发电、供水等核心功能的影响,提升系统运行可靠性。

3 特殊环境下的电气安全强化措施

3.1 潮湿环境防护

针对水利水电工程潮湿环境的特殊性,需采取综合性防护措施,降低水汽对电气设备的侵蚀,保障设备正

常运行。设备选型阶段,优先选用防水、防潮等级符合规范的产品,如IP65及以上防护等级的开关柜、水下密封电机等,同时选用耐潮湿、耐腐蚀的金属材料与绝缘部件。设备安装过程中,优化布置位置,避免设备长期处于低洼积水区域,露天设备需加装防雨、防凝露装置,如防雨罩、除湿机等,确保设备运行环境湿度控制在合理范围。对于电缆、接头等关键部位,采用密封式连接,缠绕防水胶带、加装防水接头,防止水汽渗透^[3]。日常运行中,定期开展湿度监测与设备巡检,及时清理设备表面凝露与污渍,检查密封件完整性,对老化密封件及时更换。

3.2 爆炸性气体环境防护

水利水电工程部分区域如泵站油箱区、污水处理池、电缆沟等,易积聚爆炸性气体,需采取针对性防护措施,防范爆炸事故发生。首先需优化区域通风设计,通过自然通风与强制通风相结合的方式,及时排出爆炸性气体,降低气体浓度至安全范围,同时安装气体浓度监测装置,实时监测气体含量,超标时立即触发报警与通风联动机制。设备选型需选用符合防爆等级要求的防爆电气设备,如隔爆型、增安型、本质安全型设备,避免设备运行过程中产生的电火花、高温引燃爆炸性气体。设备安装与维护过程中,严格遵循防爆规范,确保设备密封完好、接线牢固,避免因安装不当导致气体渗入设备内部。另外,需划定防爆危险区域,悬挂明显警示标识,严禁携带火种、违规动火作业,作业人员需配备防爆工具与防护用品。同时建立定期检测机制,排查气体泄漏点与设备防爆性能,及时消除安全隐患。

3.3 电磁干扰抑制

水利水电工程电气系统复杂,发电机组、变频器、输电线路等设备运行时易产生电磁干扰,影响精密仪器、控制系统正常工作,需采取有效抑制措施保障系统稳定性。电磁干扰抑制可从源头控制、传播路径阻断、敏感设备防护三方面入手,源头控制需优化设备设计与运行参数,选用低电磁辐射设备,合理布置变频器、电抗器等强干扰设备,降低电磁辐射强度。传播路径阻断可采用屏蔽、接地、滤波等技术,如对电缆采用金属屏蔽层包裹,将干扰源与敏感设备隔离,优化接地网设计,减少电磁干扰通过接地回路传播,在线路中安装滤波器,滤除干扰信号。敏感设备防护需选用抗干扰能力强的产品,同时对控制模块、检测仪器等进行单独屏蔽与接地,避免受电磁干扰影响。合理规划电气系统布局,将强电设备与弱电设备分区布置,增大两者间距,减少交叉干扰,定期对系统电磁环境进行检测,针对性

优化干扰抑制措施,确保控制信号传输准确、设备运行稳定。

4 电气安全管理与维护策略

4.1 标准化管理制度

标准化管理制度是水利水电工程电气安全管理的核心,通过建立完善的制度体系,规范各项作业流程,实现电气安全的常态化、规范化管控。需结合工程实际与行业规范,制定设备操作规程、检修维护制度、安全巡查制度、隐患排查治理制度等一系列专项制度,明确各岗位人员职责,细化操作流程与安全要求,确保各项工作有章可循。制度执行过程中,需强化监督考核机制,成立专项督查小组,定期对制度落实情况进行检查,对违规操作、制度执行不到位的行为严肃追责,倒逼责任落实。同时结合工程技术更新、设备升级及法律法规变化,定期修订完善管理制度,确保制度的适用性与时效性。建立健全安全档案管理制度,记录设备采购、安装、检修、故障处理等全生命周期信息,以及安全培训、应急演练、隐患排查等管理资料,为电气安全管理提供数据支撑,通过标准化降低人为失误与管理漏洞引发的安全风险。

4.2 人员培训与应急演练

人员培训与应急演练是提升水利水电工程电气安全管理水平的关键,可增强作业人员专业能力与应急处置能力,减少安全事故发生及损失。人员培训需针对性开展,结合不同岗位工作需求,设置设备操作、安全规程、故障排查、应急处置等专项培训内容,采用理论教学与实操演练相结合的方式,提升培训效果。定期组织全员安全培训,对新入职人员开展岗前培训,对在岗人员开展常态化继续教育,确保人员熟练掌握设备操作技能与安全知识,具备识别、防范安全风险的能力。应急演练需结合电气安全常见事故类型,如漏电、短路、雷电袭击等,制定详细的应急演练方案,明确应急组织机构、职责分工、处置流程与救援措施。定期组织实战化应急演练,模拟真实事故场景,检验应急预案的可行性与应急队伍的处置能力,演练后及时总结复盘,优化应急预案与处置流程,提升应对

突发电气安全事故的能力。

4.3 数字化管理平台

数字化管理平台为水利水电工程电气安全管理提供智能化支撑,通过整合设备运行数据、监测数据、管理数据,实现电气安全的精准化、高效化管控。平台可接入电气设备在线监测系统,实时采集设备运行参数、绝缘性能、接地电阻、气体浓度等数据,通过大数据分析技术,识别设备运行异常趋势,提前预警安全隐患,实现从被动维修向预知性维护转变。平台具备设备全生命周期管理功能,记录设备采购、安装、检修、更换等信息,自动生成维护计划,提醒工作人员按时开展维护作业,避免因维护不及时导致设备老化加速^[4]。同时,平台可实现安全巡查、隐患排查、应急处置等工作的数字化管控,巡查人员通过移动端上传巡查结果,隐患整改全程可追溯,应急处置时可快速调取设备数据与应急预案,提升处置效率。另外,平台支持多终端访问与数据共享,方便管理人员实时掌握电气系统运行状态,统筹协调各项管理工作,提升整体管理效率与决策科学性。

结束语

水利水电工程电气安全保护意义深远,关乎工程整体运行与社会效益。通过构建涵盖接地防雷、绝缘漏电、过电压短路保护的技术体系,采取针对特殊环境的防护措施,以及实施标准化、人员培训与数字化管理策略,可有效降低电气安全风险。未来,随着技术发展,需持续优化保护措施,提升电气安全管理水平,为水利水电工程安全运行提供坚实保障。

参考文献

- [1]廖宗迪.水利水电工程中的电气安全保护措施[J].广西水利水电,2025(3):106-108.
- [2]柳毅.水利水电工程电气安全管理探索[J].现代工程技术,2024,3(4):5-8.
- [3]李能.DTS系统在水利水电工程电气系统监测中的应用研究[J].水电站机电技术,2025,48(5):56-58.
- [4]高晓明,唐国平,肖权,等.电气自动化在水利水电工程中的应用分析[J].仪器仪表用户,2025,32(2):57-59.