

水电站 UPS 及直流系统精细化安装工艺与动态调试技术研究

王嘉豪

中国水利水电第一工程局有限公司 吉林 长春 130000

摘要：现下水电站 UPS、直流系统普遍存在安装标准执行不到位、调试仅依托静态工况、设备兼容匹配能力较差等突出行业短板。紧扣智能水电场站升级建设实际需求，本文针对精细安装工序、动态调试手段展开专项攻关。顺应电力二次装置智能管控、数字运维发展走向，梳理规范安装工序、布线走线、接地配套关键工艺，搭建涵盖常态、瞬时、故障切换多工况动态调试框架，强化站内供电可靠度、设备适配水平与运维实操效率，为智慧水电二次供电工程落地提供实操技术依据。

关键词：水电站；UPS；直流系统；精细化；安装工艺；动态调试

引言

当下水电行业正推进智慧数字化改造、搭建新型电力系统，站内 UPS 与直流电源是二次保护、测控装置不间断供电的核心载体，整套装置的施工、调试水准直接决定水电站整体运行可靠程度。过往沿用的粗放安装手段、固定参数静态调试手段已无法匹配新一代智能电源设备运行标准，极易埋下设备故障、供电中断隐患。本文立足行业数字化转型实际需求，细化现场安装操作流程，建立全过程动态调试方案，补齐传统施工调试技术缺陷，为电站供电设备长期平稳运转筑牢基础。

1 水电站 UPS 及直流系统整体架构与技术发展现状

当前国内智慧水电站的 UPS 及直流系统，已彻底摆脱传统分体式、固定式的老旧设备布局，行业整体朝着模块化、集成化、智能化的实用方向升级优化。现阶段多数投运及新建水电站，普遍采用一体化直流屏搭配高频在线式 UPS 的组合架构，将充电、逆变、电池组、智能监测等核心组件整合集成，依托数字化监测装置，实时采集、上传设备运行各项核心参数，保障系统运行可监测、可追溯。该系统主要承担水电站全站二次设备不间断供电、故障工况应急供电、母线电压稳定调节等核心任务，能够适配机组启停、负荷波动、电网扰动等各类复杂水电运行场景^[1]。目前行业施工调试环节仍存在诸多短板，传统作业模式较为粗放。安装施工缺乏统一精细化管控标准，线缆布设、设备固定、接地处理等关键工序施工随意性较强，大幅提升了设备后期运行故障概率。调试工作多采用传统通电静态检测方式，仅能完成空载、额定工况下的基础参数校验，无法模拟负荷突

变、市电断电、模块故障等动态工况，难以排查设备隐性缺陷。传统调试依靠人工记录、人工核验，数据误差大、留存规范性不足，无法适配智慧水电站数字化、精细化的运维需求。

2 水电站 UPS 及直流系统精细化安装工艺体系

2.1 设备基础与柜体精细化安装工艺

水电站 UPS 及直流柜体安装需依托场站土建基础条件，实施标准化精细化施工管控，适配集成化智能柜体设备特性。施工前期完成基础基座平整度、承重强度、水平度参数核验，校正基座安装偏差，保障柜体落地稳定性。柜体就位采用整体对位安装模式，调整柜体垂直度与水平度参数，控制设备安装偏差阈值，实现多柜体并列排布的对齐统一。柜体固定采用预埋螺栓加固方式，匹配柜体承重参数完成紧固处理，杜绝设备运行振动引发的位移问题。针对智能柜体散热、防尘、防潮需求，优化柜体间隙密封处理工艺，封堵柜体与基座、柜体之间的缝隙，适配水电站潮湿、多尘的现场环境。同步完成柜体接地基础预处理，预留标准化接地接口，保障后续接地系统施工的规范性与一致性。整套安装工序实现全流程标准化管控，规避传统柜体安装定位偏差、固定不牢、密封不足等常见问题，为设备长期稳定运行提供结构基础。

2.2 内部模块与接线精细化施工工艺

系统内部功能模块与线缆接线是精细化安装的核心环节，直接影响设备供电稳定性与信号传输精度。模块化充电单元、逆变单元、监测单元安装遵循分区定位原则，按照设备功能分区、散热需求、信号隔离要求完

成模块排布,区分强电模块与弱电模块安装区域,规避电磁干扰问题。模块插接采用对位锁紧工艺,确保模块接口完全贴合、接触紧实,完成安装后进行松动核验,保障模块长期运行的稳定性。线缆施工实施分类布设管控,功率线缆、信号线缆、控制线缆分区走向,采用分层固定、有序排布模式,杜绝线缆交叉缠绕、杂乱堆叠。线缆端子压接采用标准化工艺,匹配线缆线径适配对应端子,完成压接后核验端子紧实度与导通性^[2]。不同功能线缆采用差异化标识处理,统一标识规格与粘贴位置,实现线缆溯源管理。接线完成后开展绝缘检测、导通核验、端子紧固复检,排查虚接、错接、绝缘破损等隐患,适配智能化设备高精度运行要求,提升系统电气连接可靠性。

2.3 电池组精细化安装与防护工艺

蓄电池组是 UPS 及直流系统储能核心,其安装质量决定系统应急供电能力与设备使用寿命。电池组安装前完成单体电池参数筛查,筛选电压、内阻、容量参数匹配的电池单体,保障电池组整体均衡性。电池架安装实施水平校准与加固处理,按照标准化间距完成电池单体排布,预留散热空间与检修通道,适配电池充放电散热特性。电池线缆连接遵循统一走向、对称布设原则,线缆长度、线径保持一致,降低线路压降差异对电池均衡性的影响。连接端子完成防氧化、防松动处理,通过紧固加固、绝缘包裹工艺,规避端子氧化、接触不良引发的故障。结合水电站现场环境特性,优化电池组防潮、防尘、防振动防护工艺,针对性提升设备环境适配能力。安装完成后开展电池组整体绝缘、连通性检测,记录单体电池初始运行参数,为后续调试、运维、故障排查提供基础数据支撑。

3 水电站 UPS 及直流系统动态调试关键技术

3.1 数字化空载稳态动态调试技术

数字化空载稳态动态调试技术,突破传统电力设备静态单点检测的局限,依托场站智能监测终端与数字化运维平台,开展设备空载工况下的全时段动态检测与参数分析。该技术摒弃人工定时抄表的粗放检测模式,全程接入 UPS 及直流系统核心运行数据,不间断采集母线电压、模块输出电流、设备温升、运行频率等关键指标,实现运行数据的连续记录、精准管控与全程溯源。本次调试覆盖设备通电启动、模块自主自检、长期稳态运行的完整流程,全程追踪设备启动阶段的参数波动规律,逐一核查各功能模块的启动响应效率与空载长效运行稳定性^[3]。针对智能电力设备运行精度高、参数变化细微的特点,该调试方式可精准识别系统空载状态下的

小幅参数漂移,捕捉短时微量的参数异常波动,有效解决传统静态调试无法检测瞬时运行隐患的短板。调试过程同步校验本地监测模块与远程数据传输单元的工作状态,确保设备本地运行数据与后台监控平台实时同步、数值统一,保障场站数字化运维体系可靠运行。现场建立标准化电子台账,分类归档各类运行数据,通过参数一致性、运行稳定性专项核验,精准排查设备安装缺陷与参数适配问题,判定设备空载运行工况是否达标,为后续带负荷调试及设备长期安全稳定运行筑牢基础。

3.2 分级带载动态适配调试技术

分级带载动态适配调试技术以阶梯式提升设备运行负荷为核心手段,精准复刻水电站机组启停、负荷频繁波动等真实运行工况,全方位校验电力控制系统的带载能力与动态参数匹配性能。本次调试遵循循序渐进的作业原则,依次完成轻载、半载、额定负载及临界过载等多工况测试,逐步抬高系统运行负荷,全程不间断监测各负荷等级下母线电压稳定状态、输出电流均衡程度及所有功能模块的实际运行工况。结合水电站工况切换频繁、负荷动态波动大的现场运行特点,调试重点考核系统在负荷连续渐变过程中的自主参数调节性能,精准检测充电、逆变核心模块的响应速率与调节精准度。在各档位负荷稳定运行时段,持续采集、留存设备运行动态数据,深度剖析负荷波动幅度与设备参数变化的对应规律,精准排查参数调节滞后、输出精度偏差、负荷适配性不足等隐蔽性运行隐患。调试全程同步监测设备本体温升、模块运行状态、线路导通及接触性能,提前规避设备过热、短时过载、线路导通异常等故障。针对模块化并联设备的结构特点,分别开展单模块独立带载与多模块并联协同带载测试,验证并联模块的运行协同性与负荷分配均衡性。该标准化调试方式可精准适配水电站不同生产阶段的负荷需求,有效保障系统稳定运行。

3.3 工况切换瞬态动态调试技术

工况切换瞬态动态调试技术主要针对水电站供电系统市电与电池切换、负荷剧烈波动、功能模块投退等高频瞬态场景研发,有效弥补传统静态调试方式无法检测瞬时运行性能的缺陷。结合电站电网扰动、市电瞬时中断、机组频繁启停、负荷骤升骤降等真实现场工况,搭建标准化瞬态仿真调试环境,完整还原各类极端工况的切换全过程。调试工作依托高精度高速采集设备,精准捕获毫秒级切换时段的电压跌落数值、相位偏移状态、系统响应耗时等关键动态参数,以此研判整套供电系统的动态切换水平与应急处置能力。本次调试重点核查市电突发断电时,电池逆变模块的投入响应

速度,以及市电恢复后,整流充电模式无缝切换的平稳性,重点排查切换过程中易出现的短时供电中断、运行参数异常波动、保护装置误动作等常见故障^[4]。同时针对系统智能自动切换控制单元,全面测试自控程序的精准度、时效性与运行稳定性,核验系统故障识别、工况自动切换、状态自主复位的全流程自动化性能。调试全程记录各功能模块的实时运行数据,比对分析各模块响应的同步性,排查模块响应滞后、控制逻辑不匹配等隐性运行隐患。

3.4 电池组动态充放电均衡调试技术

电池组动态充放电均衡调试针对电池组长期运行参数失衡问题,构建全流程动态调试体系,适配智能储能运维需求。调试摒弃传统单次充放电检测模式,开展多周期连续充放电动态监测,采集不同充放电阶段单体电池电压、内阻、温度等参数,分析电池单体性能差异。充电阶段动态监测均充、浮充切换过程,核验充电模块电压、电流调节精度,排查过充、充电不足、单体充电不均等问题。放电阶段模拟水电站应急供电工况,分级释放电池组容量,监测单体电池放电一致性,识别性能衰减、容量不足的异常单体。依托数字化监测手段,实时对比电池组整体参数与单体参数差异,精准定位电池均衡性缺陷。针对调试发现的参数失衡问题,开展动态均衡校准调试,调整充电参数与单体适配状态,优化电池组协同运行性能。同时记录电池组充放电温度变化规律,排查局部过热、散热不均等安全隐患,提升电池组整体使用寿命与应急供电可靠性。

3.5 系统故障模拟与联动调试技术

系统故障模拟与联动调试是保障水电站 UPS 及直流系统故障容错能力的核心技术,通过主动仿真各类故障场景,核验系统保护逻辑与联动运行性能。调试覆盖市电异常、模块故障、线路短路、电池故障、绝缘异常等常见故障场景,依托仿真设备搭建标准化故障测试环境,实现故障工况的可控模拟。故障触发后,动态监

测系统保护装置动作状态、告警信号输出、故障隔离效率、备用模块投入情况,核验系统故障识别、告警、隔离、自愈全流程能力^[5]。同步测试系统与水电站二次保护、通讯、监控设备的联动性能,验证故障状态下核心设备供电连续性与信号传输稳定性。针对智能化运维需求,重点核验系统故障数据记录、故障溯源、状态复位功能,保障故障后运维排查与系统恢复效率。调试过程分类梳理各类故障的系统响应特性,排查保护逻辑失效、联动滞后、告警异常等问题,针对性完成参数优化与逻辑校准,全面提升系统故障抵御能力与安全运行冗余度,适配智慧水电站高可靠运行要求。

结语

顺应智慧水电站数字化、智能化建设方向,从柜体装配、线路接驳、蓄电池排布等工序细化现场施工标准,建立覆盖常态、变工况、冲击与故障工况的完整调试方案。这套方案摒弃过往粗加工、静态校验模式,贴合新式模块化供电装置工作特点,化解参数不匹配、工况兼容不足、隐蔽故障不易检出等难题,提高水电二次供电施工规范度与运行可靠度,适配新型电力系统运维改造。

参考文献

- [1] 范金波,朱连全.直流 UPS 系统在水电站运行中应用分析[J].新潮电子,2025(19):97-99.
- [2] 张远鸿,曹继鹏.积石峡水电站 UPS 系统换型改造技术研究与应用[J].水电站机电技术,2025,48(9):22-23.
- [3] 黄浪.基于智能化平台的水电站直流系统运行可靠性优化研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2026(1):156-159.
- [4] 张勇,王梦芝,张淦锋.变电站监控系统专用 UPS 故障分析[J].科技资讯,2026,24(8):80-82.
- [5] 任政,刘晓杰.基于混合储能与智能管理的直流 UPS 系统优化研究与设计[J].电子制作,2026,34(1):13-20.