

光伏搭配蓄电池储能系统调试分析

高磊磊 关新伟

中国三峡新能源（集团）股份有限公司山西分公司 山西 太原 030027

摘要：光伏-蓄电池储能系统可有效弥补光伏发电间歇性、波动性短板，是提升新能源供电稳定性的核心技术方案。本文以光储联合系统为研究对象，阐述系统的工作原理与整体架构，梳理调试前期准备、方案设计要点，并从光伏单元、储能单元、核心变流设备及监控通讯系统开展分项调试，完成系统联动运行、MPPT追踪、储能充放电调控及并网离网切换测试。通过全流程调试试验，明确系统运行关键控制参数，解决设备匹配、功率波动、工况切换不稳等问题，可为分布式光储系统现场调试与稳定运行提供工程参考。

关键词：光伏储能系统；分项调试；联动测试；充放电策略；运行稳定性

引言：光伏发电凭借清洁、可再生的优势被广泛应用，但受光照环境影响，发电出力波动较大，单独运行难以保障负荷供电的连续性与稳定性。蓄电池储能具备灵活的双向充放电能力，可与光伏系统形成互补，实现电能削峰填谷、平抑功率波动，是改善光伏供电性能的有效手段。为保障光储系统安全高效投运，规范现场调试流程、把控设备运行参数尤为关键。本文系统开展光储设备分项调试与系统联动测试，探究系统最优运行方式，为同类光储项目调试运维提供实践依据。

1 光伏搭配蓄电池储能系统整体工作原理与系统架构

1.1 光伏发电系统工作原理与核心设备参数

光伏发电系统基于半导体光生伏特效应实现能量转换，光伏组件接收太阳辐射能后，内部PN结生成光生载流子，经电场作用形成定向电流，将太阳能转化为直流电。系统核心发电设备为单晶硅、多晶硅光伏组件，峰值功率、转换效率、开路电压、工作温度范围等核心参数，直接决定系统发电功率与运行稳定性。系统配套核心设备包括汇流箱、光伏逆变器及防雷保护装置，汇流箱可汇集多路组件电流、降低线路损耗，逆变器负责将直流电转换为适配负载及并网标准的工频交流电，设备参数匹配度是保障发电效率、前期调试核查的关键。

1.2 蓄电池储能系统类型、特性与工作机制

光储系统主流储能设备分为铅酸蓄电池与锂电池，适配不同应用场景。铅酸蓄电池成本低廉、稳定性好、维护简便，多用于中小型分布式光储系统，缺点是循环寿命短、能量密度低；锂电池能量密度高、充放电响应快、循环次数多，是大型并网光储项目的主流选型。储能系统核心工作机制为双向储放电调控，光伏出力充足、负载能耗较低时，多余电能储存至蓄电池；光照不足、夜间或光伏出力不足时，蓄电池释放电能补足供电

缺口。储能系统可平抑光伏功率波动，解决光伏发电间歇性、波动性问题，保障供电连续稳定。

1.3 光储联合系统整体架构与运行模式

光储联合系统由光伏发电单元、蓄电池储能单元、变流控制单元、负载及监控单元组成，各模块协同完成能量转换、存储与供给。系统包含并网、离网两种运行模式，并网模式下光伏电能优先供给本地负载，余量并网、缺口由电网和蓄电池联合补能；离网模式依靠光伏与储能系统削峰填谷，平衡日内电能供需。系统以PCS变流器、BMS电池管理系统为核心控制单元，实时调控光伏输出与蓄电池充放电功率，适配各类运行工况，保障系统安全、稳定、高效运行^[1]。

2 光伏储能系统调试前期准备与方案设计

光伏储能系统正式调试前，需完成现场核查、设备校准、方案编制及风险防控等前期工作，保障分项调试与联动调试有序推进，有效规避设备损坏、参数偏差、运行故障等问题，具体内容如下：（1）现场设备核查。全面检查光伏组件、蓄电池组、PCS变流器、汇流设备及监控终端的安装质量，核验设备接线工艺、线缆规格、接地装置是否符合施工规范，排查线路虚接、错接、绝缘破损等安全隐患。同时核对设备铭牌参数与型号配置，确保设备选型完全匹配系统设计方案。（2）调试仪器与安全配置准备。提前备好万用表、电能质量分析仪、绝缘电阻测试仪等专业调试仪器，并完成仪器校准工作，确保检测数据精准可靠。落实现场安全保障，配备绝缘作业工具、安全防护用品及应急断电装置，划定专属调试作业区域，杜绝违规作业风险。（3）调试方案编制与流程规划。依据系统设计标准及行业规范，制定分阶段标准化调试方案，明确单机、分项及系统联动调试的流程、检测项目与参数标准，细化各环节调试步

骤、数据记录规范及人员分工。(4) 调试风险预判与处置。针对光伏高压带电、蓄电池充放电、设备并网等高危作业环节, 梳理短路、过压、通讯异常等潜在故障风险, 配套完善应急处置方案, 明确异常停机、故障隔离操作流程, 实现调试全过程安全可控^[2]。

3 光伏储能系统分项调试实施过程

3.1 光伏发电单元单机调试与性能校验

光伏发电单元单机调试针对光伏组件、汇流箱等设备开展静态与动态检测, 重点核查设备安装质量、电气参数及运行一致性。(1) 静态绝缘调试。在系统断电状态下, 采用绝缘电阻测试仪对光伏组件阵列、直流线缆开展绝缘检测, 测量正负极对地绝缘电阻值, 对比工程设计标准排查线路绝缘破损、线缆接地、护套老化等问题, 确保直流回路绝缘性能满足安全运行要求。同时检查组件接线端子压接牢固度, 排查虚接、错接、漏接等施工缺陷。(2) 开路参数校验。在光照稳定时段, 逐组测量光伏阵列开路电压、空载电流, 将实测数据与组件铭牌参数、设计理论参数进行比对, 记录参数偏差值。针对参数偏差超标的阵列, 逐一排查组件遮挡、组件损坏、串并联接线错误等问题, 保证各组光伏阵列输出参数一致性。(3) 带载性能测试。配合逆变器开展组件带载试验, 检测光伏阵列在不同光照工况下的输出稳定性, 核对阵列实际输出功率, 校验组件发电性能是否达标, 完成光伏发电单元单机调试验收。

3.2 蓄电池储能单元单体及成组调试

蓄电池储能单元调试分为单体电池调试与电池成组调试, 重点检测电池单体状态、成组一致性及基础充放电性能, 是保障储能系统稳定运行的关键。(1) 单体电池参数检测。调试人员逐块测量蓄电池单体电压、内阻、温度等核心参数, 筛选电压异常、内阻超标、温度异常的故障单体电池。对所有单体参数进行记录归档, 建立电池基础数据台账, 作为后续成组调试与故障分析的依据。(2) 电池成组一致性校验。将单体电池按设计方案串联成组后, 检测整组电池静态电压偏差, 控制单体电压差值在规范允许范围内。若电池组一致性偏差超标, 需对单体电池进行重新配组, 消除因电池参数差异导致的充放电不平衡问题。(3) 基础充放电调试。设置固定充放电电流, 开展小电流预充、恒流放电试验, 监测电池组电压变化、温度变化及BMS基础采集数据, 校验电池组充放电响应性能, 排查电池组虚接、单体失效、温控异常等隐患^[3]。

3.3 逆变器、PCS变流器核心设备调试

逆变器与PCS变流器是光储系统能量转换的核心设

备, 分项调试主要针对设备通电状态、参数整定、电能变换性能及保护功能开展测试。(1) 设备通电自检调试。完成设备接线核查后, 执行空载通电试验, 观察设备开机自检流程, 查看设备显示屏、故障指示灯状态, 确认变流器无开机报错、硬件故障提示。同时校验设备内部电压、电流采样模块采集精度, 修正采样偏差。

(2) 运行参数整定调试。依据系统设计要求, 设置逆变器MPPT工作区间、启停电压、保护阈值, 整定PCS变流器充放电功率上限、交直流电压参数、频率保护参数, 确保设备运行参数匹配光伏阵列与储能电池的工作特性。(3) 保护功能试验。模拟过压、欠压、过流、过载等常见故障工况, 测试设备保护动作灵敏度, 核查故障跳闸、声光报警、数据记录等功能是否正常, 保证设备具备完善的故障防护能力。

3.4 监控系统、通讯系统功能调试

监控与通讯系统负责全系统数据采集、参数调控与状态传输, 分项调试重点验证通讯连通性、数据采集准确性与控制指令有效性。(1) 通讯链路调试。检查RS485、以太网等通讯线路接线状态, 逐一建立监控平台与逆变器、PCS、BMS的通讯连接, 排查通讯中断、信号干扰、链路掉线等问题, 确保所有设备通讯链路稳定连通。(2) 数据采集校验。调试监控后台数据采集功能, 实时采集光伏出力、电池电压电流、变流器运行参数、设备温度等数据, 对比现场实测数据与后台显示数据, 修正数据采集误差, 保证后台数据真实反映设备运行状态。(3) 远程控制功能调试。在监控后台下发设备启停、功率调节、充放电切换等控制指令, 校验现场设备执行精度, 排查指令延迟、指令失效、误动作等问题, 完成监控系统基础功能验收^[4]。

4 光储联合系统联动调试与运行测试

4.1 系统空载、带载联动调试

为检验光储系统整体连通性、设备协同状态及带载运行稳定性, 联动调试严格遵循先空载、后带载的试验顺序, 可有效避免直接带载调试对设备造成电气冲击。空载调试阶段, 在全面复核各单元接线无误后, 闭合系统总开关, 使系统处于空载待机状态, 观测逆变器、PCS变流器及BMS电池管理系统的上电自检情况, 记录各支路空载电压、电流及后台通讯数据。重点监测交直流母线电压稳定性, 排查电压漂移、隐性漏电、设备报错等隐性故障, 确保系统待机状态安全可靠。空载调试合格后开展分级带载试验, 依次完成25%、50%、75%、100%额定负载工况测试, 各级负载稳定运行15至20分钟。试验过程中实时监测光伏、储能及系统总输出功率的匹配

特性,记录设备温升、线路电压、电流波动数据,核查负载投切过程中是否存在瞬时压降、功率震荡、设备脱网等问题,全面验证系统带载运行的稳定性与工况承受能力。

4.2 光伏最大功率追踪(MPPT)运行调试

MPPT是提升光伏发电利用率的核心控制技术,调试主要校验不同光照条件下系统的功率追踪精度与动态响应性能,解决追踪滞后、功率震荡、发电浪费等问题。稳态工况下,选取晴天、多云等典型光照环境,开启逆变器MPPT追踪模式,持续采集光伏阵列输出电压、电流与实时功率,将实测最大功率与理论极值对比,核算系统追踪效率,排查电压偏移、追踪停滞、功率波动等故障问题。动态工况下,通过人工遮挡组件、利用早晚自然光强弱变化,模拟光照突变场景,监测逆变器工作点的动态调节过程,检验系统功率追踪的响应速度与调节精度。针对光照波动下出现的调节滞后、频繁震荡、追踪失效等缺陷,微调MPPT控制算法参数,保证系统可快速精准锁定最大功率点,有效提升光伏发电能量利用效率。

4.3 蓄电池充放电策略调试与参数优化

蓄电池充放电策略直接决定光储系统能量分配逻辑,兼顾系统供电稳定性与电池使用寿命,是系统调试的核心内容。充电工况下,依托光伏富余电能,测试系统启动充电、恒流充电、恒压浮充及满电截止的全流程运行状态,校验BMS与PCS设备的协同控制精度,修正充电过流、电压过冲、提前停充等参数异常问题,保障充电过程平稳可控。放电工况下,模拟光伏出力不足、负载缺口较大的运行场景,检测储能系统放电响应速度与持续功率稳定性,核查低压限放、过放保护、温度联动保护等功能的动作逻辑,解决电池组放电不均、功率抖动等问题。结合日间发电、夜间用电的负荷规律,优化系统峰谷充放电控制逻辑,校准电压阈值、功率限制、温度闭锁等关键参数,规避电池过充过放、频繁启停、不良浅充浅放等工况,优化系统整体运行策略^[5]。

4.4 系统并网/离网模式切换调试测试

并网与离网切换是光储系统的重要功能,调试主要考核切换逻辑、响应速度及运行过渡效果。系统并网后,检测电压、频率同步性能,监测谐波、功率因数等电能指标,检验储能平抑功率波动的作用,排查并网不同步、电压闪变、功率倒送等故障。通过手动操作与模拟电网故障两种方式完成离网切换试验,观察供电连续性,排查电压突变、断电、设备跳闸等情况,验证系统独立带载能力。经多次双向切换测试,记录运行数据并修正切换延时、逻辑误判等问题,提升控制系统稳定性,让系统可正常应对电网启停、故障脱网等复杂工况。

结束语

本文通过对光伏储能系统全流程调试分析,完成了各设备单元分项校验与系统联动工况测试,验证了光储联合系统的运行可靠性。通过调试优化,有效解决了光伏功率追踪偏差、电池充放电不均、模式切换波动等常见问题,精准整定了系统核心运行与保护参数。实践证明,规范的前期准备、分项调试与联动优化,可显著提升系统发电利用率与供电稳定性,能够为光储系统安全运维、性能优化及工程落地提供可靠的技术支撑。

参考文献

- [1]赵泽渊,王川,常晓慧,王立国,张蕾.面向光伏电站的储能电池设计与系统电压控制研究[J].电子元件与材料,2026,45(2):180-190.
- [2]邢子涯,刘玮,耿俊成,周兴华,夏越.融合储能的光伏发电系统优化[J].储能科学与技术,2026,15(2):591-593.
- [3]谭景辉,康智慧.光伏发电锂离子电池储能系统能量均衡综述[J].电池,2025,55(5):1193-1199.
- [4]王红全,路赵,郑晶晶,李阳,郝奕景,宁海波,赵将博.基于混合储能系统的光伏微电网协调控制研究[J].电力大数据,2026,29(1):39-46.
- [5]吴松.电池储能在光伏电站功率波动平抑中的控制策略研究[J].电池工业,2026,30(2):192-195.