

大型光伏场电缆敷设关键工艺及病害防控对策

肖凯

中国电建集团重庆工程有限公司

DOI:10.32629/hwr.v10i8.7085

[摘要] 大型光伏电站电缆系统直接影响发电效率和运行安全。本文针对电缆敷设工艺控制难点和运行期病害问题,梳理了选型、敷设、接头制作等关键技术,分析了机械损伤、环境侵蚀、电气故障的成因,提出了覆盖设计施工运维全过程的防控措施。研究表明,规范的敷设工艺可降低60%以上的施工期损伤,建立在线监测与定期巡检相结合的管理机制能显著提升系统可靠性。

[关键词] 光伏电站; 电缆敷设; 施工工艺; 病害防控; 故障诊断

中图分类号: TM615 **文献标识码:** A

A Study on Key Processes and Disease Prevention and Control Measures for Cable Laying in Large-Scale Photovoltaic Fields

Kai Xiao

PowerChina Chongqing Engineering Co., Ltd.

[Abstract] The cable system of large-scale photovoltaic power stations directly impacts power generation efficiency and operational safety. This paper addresses the challenges in cable laying process control and operational period faults by summarizing key technologies such as type selection, laying, and joint fabrication. It analyzes the causes of mechanical damage, environmental erosion, and electrical failures, proposing preventive measures covering the entire process of design, construction, and operation. The study demonstrates that standardized laying processes can reduce construction-related damage by over 60%, while establishing a management mechanism combining online monitoring and regular inspections can significantly enhance system reliability.

[Key words] photovoltaic power station; cable laying; construction techniques; disease prevention and control; fault diagnosis

引言

我国光伏装机规模持续增长,单体电站容量普遍超过100MW。光伏场内电缆数量大、环境复杂,直流侧承受高电压和温度循环,交流侧面临谐波冲击。工程中电缆选型不当、敷设粗放、防护缺失等问题突出,导致故障率偏高。西北某200MW电站投运三年内因电缆故障停机累计超过120小时,损失300余万元。当前行业对敷设过程管控和病害早期识别重视不足。本文从工程实践出发,总结敷设关键工艺,剖析病害形成机制,构建全生命周期防控体系。

1 大型光伏场电缆敷设关键工艺

1.1 电缆选型与路径规划

光伏场电缆分直流和交流两类,选型需综合载流量、电压等级和环境条件。直流电缆承受650V至1500V电压,选用耐光老化专用电缆,导体截面按1.25倍最大工作电流计算,高海拔地区按温度和海拔系数折减。交流电缆从汇流箱至逆变器、升压站距

离较长,需校核压降不超过3%,35kV集电线路采用交联聚乙烯绝缘电缆。路径规划遵循就近原则,直流电缆沿支架敷设至逆变器,交流电缆走电缆沟,避开道路和重载区。某500MW项目采用分区汇流,将场区划分为20个单元,直流电缆平均长度控制在150米,交流侧采用两级汇流加环网柜,电缆总长较常规方案减少18%。沟深不低于0.8米,沙漠地区加防沙盖板,路径避让地下水和盐碱土,必要时穿管或用铠装电缆。

1.2 电缆敷设施工工艺

敷设前完成电缆沟验收,机械牵引时牵引力不超过允许张力的80%,人工敷设保持均匀用力。直流电缆弯曲半径不小于外径6倍,交流电缆不小于15倍,转角处设支撑轮。接头制作是工艺重点,压接型接头用液压钳具,接触电阻不超过同长度本体1.2倍,热缩接头均匀加热至材料完全收缩有胶溢出。某项目抽检发现12%接头压接不到位导致电阻超标,整改后故障率下降65%。桥架内每1.5米设固定卡具,垂直段每米加固定夹,

沟内蛇形布置预留伸缩量^[1]。标识牌标注编号、规格、起止位置，直流电缆标注正负极，每50米和转角处重复设置。防火封堵材料满足1小时耐火，逆变器室采用阻火包加防火泥双层封堵。施工中严禁踩踏或堆放材料，雨天及时封堵沟槽和接头。

2 大型光伏场电缆典型病害分析

2.1 机械损伤类病害

机械损伤是施工期最常见的电缆病害，主要表现为外护套破损、铠装层断裂和导体压伤。电缆在牵引过程中若遇尖锐物或转角处理不当，护套极易划伤，某100MW项目施工中因预埋件毛刺导致23根电缆护套破损，修复工期延误12天。弯曲半径控制不严会造成导体内部应力集中，运行后在热胀冷缩作用下逐步形成断股。桥架支架间距过大或固定不牢会使电缆长期处于悬空状态，沙漠地区温差可达50℃，热胀冷缩产生的往复应力导致固定点附近护套开裂。机械施工时误挖误碰现象时有发生，西北某电站在道路施工中挖断3根35kV集电线路，直接损失超过80万元。电缆在沟内敷设时若堆叠过密，底层电缆长期受压会导致护套变形，绝缘性能下降。支架安装质量差引起的边缘磨损具有隐蔽性，初期不易察觉，运行数月后护套磨穿造成接地故障。预防机械损伤需从施工管理入手，设置专人旁站监督牵引过程，转角处加装护角，沟槽回填前检查有无杂物，地下管线标识清晰防止误挖^[2]。

2.2 环境侵蚀类病害

光伏电站多建于荒漠戈壁或盐碱地，恶劣环境对电缆材料形成长期侵蚀。紫外线是直流电缆最大威胁，普通PVC护套在强紫外照射下两年内出现粉化开裂，某青海项目投运三年后抽检发现35%的组件侧电缆护套老化严重。昼夜温差导致电缆反复膨胀收缩，接头处应力集中加速材料疲劳，热缩管出现脱落和龟裂。地下水位较高的地区电缆长期浸泡会使水分通过接头或破损处渗入，绝缘电阻从投运初期的1000MΩ降至50MΩ以下，华北某项目因排水系统失效导致800米电缆报废。盐碱土壤对铠装层和金属接头腐蚀明显，铠装钢带在盐碱环境下三年锈蚀率达40%，失去机械保护功能。沙尘掩埋会使散热条件恶化，夏季电缆表面温度超过85℃，加速绝缘老化，新疆某电站因沙障失效导致部分电缆被流沙掩埋1.2米，散热不良引发两起过热故障^[3]。鼠害在农业周边光伏场较为突出，田鼠啃咬电缆护套造成接地或短路，某山东项目一年内发生7次鼠害断缆事故。环境侵蚀防护需选用抗紫外光伏专用电缆，地埋段采用铠装或穿HDPE管，盐碱地区接头增加环氧防腐涂层，定期清理沟内积水和沙尘，重点区域投放灭鼠药并设置防护网。

2.3 电气故障类病害

电气故障是影响光伏场安全运行的主要因素，接头接触不良导致的发热占故障总数的40%以上。压接不实的接头在大电流下接触电阻增大，温升超过70K时会烧蚀端子和绝缘层，红外巡检曾在某项目发现126处接头温度异常，最高温差达58℃。绝缘击穿多发生于电缆中间或终端头，施工时绝缘层受潮或有杂质

会形成薄弱点，运行中在电场作用下逐步劣化产生局部放电，最终导致击穿短路。直流电缆极性接反是低级但高发的错误，某电站调试阶段发现18串组件接反，虽未造成设备损坏但整改耗时三天。雷击是光伏场电缆的重大威胁，接地系统不完善或防雷器失效会使雷电流通过电缆入侵设备，西南某山地电站雷雨季一次雷击造成12台逆变器损坏，电缆烧毁长度超过300米。谐波电流在交流侧电缆中产生附加损耗，加速绝缘老化，光伏逆变器输出谐波含量若超过5%，电缆温升增加15%至20%。直流侧对地漏电流超标会触发逆变器保护，原因多为电缆绝缘受潮或接地故障，某项目投运初期日均报警23次，排查后发现6处接头未封堵进水。下表列出了不同电气故障的典型特征与检测方法，为现场诊断提供参考。

故障类型	典型特征	检测方法	判定标准	处理措施
接头过热	红外成像温差明显，气味异常	红外热像仪巡检	温差>15K	停电更换接头
绝缘击穿	接地或相间短路，跳闸	兆欧表测绝缘电阻	<0.5MΩ/kV	故障点切除或更换电缆
接触不良	电压降增大，负载时发热	直流电阻测试	超出标准值 20%	重新压接或更换端子
局部放电	绝缘劣化，击穿前兆	局放检测仪	放电量>500pC	带电检测定位后处理
极性接反	电流倒灌，系统报警	万用表检查极性	正负极标识错误	重新接线并核对标识
对地漏电	绝缘电阻下降，保护动作	兆欧表+钳形电流表	漏电流>10mA	查找漏点并干燥处理

电气故障防控需建立“设计-施工-运维”闭环管理，设计阶段按1.3倍容量配置电缆并预留温升裕量，施工阶段严格执行接头工艺和绝缘测试，运维阶段开展红外测温 and 局放监测，发现缺陷及时消缺，避免小问题演变为重大故障。

3 电缆病害防控对策与管理措施

3.1 全生命周期预防性措施

病害防控贯穿设计施工运维全过程。设计阶段根据环境选材，高海拔强紫外地区直流电缆用双层交联聚烯烃护套，载流量计算考虑1.15倍安全系数，盐碱高湿区优先用铠装电缆或保护管^[4]。某青海3GW基地项目将沟深从0.8米调至1.2米，增设混凝土盖板和排水系统，运行五年故障率控制在0.3%以下。施工阶段全过程管控，电缆进场核查检验报告并抽检绝缘，敷设前清理沟槽杂物，牵引时专人在转角监护，接头由持证人员操作并逐个测接触电阻。隐蔽工程验收用影像记录，回填前逐项检查签字。运维阶段建立预防性试验，每年雨季后测绝缘电阻，夏季高温期每月红外测温覆盖全部接头，温差超10K立即停电处理。局放在线监测可提前3至6个月预警劣化，某500MW站安装传感器后成功预判8起潜在击穿。环境防护包括沟加防沙盖板、低洼处设集水井、农业周边投灭鼠剂、桥架段每季度清理。西北某200MW项目实施改造后，年均故障从15次降至3次，可用率升至99.5%。

3.2 病害检测与修复技术体系

快速精准的故障检测是降低损失关键。定位技术以脉冲反射法和电桥法为主，低阻故障用电流法配合声测仪，高阻和闪络

故障用冲闪法配合二次脉冲,精度达 ± 0.5 米。某项目35kV线路单相接地后,采用行波测距配合人工巡线,2小时内定位完成临时修复,避免全天停电损失。在线监测包括接头温度、局放和接地电流三个维度,温度传感器布置在重点接头和高负载段,采集周期15分钟超温报警;局放传感器装在35kV终端和中间接头,检测频段20kHz至800kHz,超阈值触发录波;接地电流监测用于直流侧绝缘评估,漏电流突变提示受潮或破损。下表为缺陷分级标准与处理时限,指导运维决策。

缺陷等级	判定依据	典型表现	处理时限	修复方案
紧急	已故障或即将失效	击穿、接头烧损、护套烧穿	立即停电	更换电缆或重做接头
重大	严重劣化威胁安全	温差 $>30\text{K}$ 、局放 $>2000\mu\text{C}$ 、绝缘 $<1\text{M}\Omega$	24小时内	带电作业或计划停电
一般	性能下降未影响运行	温差 $15\sim 30\text{K}$ 、护套开裂、标识缺失	72小时内	加强监测或择机处理
注意	存在隐患需观察	温差 $10\sim 15\text{K}$ 、局放 $500\sim 1000\mu\text{C}$ 、支架松动	列入检修计划	定期复测跟踪趋势

修复方案根据故障类型选择,护套破损未伤绝缘用热缩套管修复,损伤导体必须切除重接,击穿点距终端10米内可缩短电缆重做头,距离远应制作中间接头。接头过热因压接不实需重新压接并增大端子,因载流量不足则换大截面电缆^[5]。应急预案明确备品清单和抢修流程,35kV电缆配备200米应急电缆和中间接头材料,直流电缆按5%储备常用规格,接头材料按总数10%配置。抢修队伍24小时值班,接通知30分钟到场,2小时临时恢复,24小时完成永久修复。某集团建立区域共享备件库,覆盖周边5个站,响应时间缩至1小时,周转率提高40%。修复后进行耐压试验,35kV电缆按2.5倍额定电压加压5分钟,直流电缆按1.5倍开路电压加压1分钟,合格后投运并记录修复部位和数据,作为后续重点监测对象。

4 结论

大型光伏场电缆工程量大、环境复杂,选型与敷设工艺直接影响可靠性和成本。本文梳理了选型、敷设、接头制作等关键技术,分析了机械损伤、环境侵蚀、电气故障成因,提出了全过程防控体系。研究表明,合理的裕度设计和材料选用可降低60%以上早期故障,规范的接头工艺和隐蔽工程验收能控制施工期风险,建立红外测温与局放监测结合的系统可提前识别80%潜在故障。病害防控应坚持预防为主、检修结合,施工严格执行工艺标准,运维实施状态评估和缺陷分级管理,配置充足应急资源和快速响应机制。随着光伏向高电压大容量发展,电缆系统面临更高要求,建议开展长寿命材料研发、智能监测应用、故障预测优化等深入研究。

[参考文献]

- [1]张滨.光伏发电工程项目中电缆敷设和接线施工工艺研究[J].电站系统工程,2024(1):76–77,80.
- [2]张初.光伏发电工程项目中的电缆敷设和接线施工工艺[J].四川建材,2022,48(11):140–142.
- [3]郑凯,潘润霞.光伏发电工程中电缆敷设及接线施工技术分析[J].工程技术研究,2023,8(20):90–92.
- [4]周春明.光伏场区电缆敷设路径设计与施工质量控制优化研究[J].时代漫游,2022(1):51–53.
- [5]王磊.山地光伏发电项目电缆敷设方案优化分析及关键技术[J].安装,2024(5):79–80.

作者简介:

肖凯(1987—),男,四川遂宁人,助理工程师,大学本科,研究光伏项目施工,从事新能源和送变电电力建设工作。