

关于大型光伏发电电气设备安装影响因素分析及解决措施

路士琪

中国水利水电第十一工程局有限公司 河南郑州市 450001

DOI: 10.12238/ems.v7i11.16052

[摘要] 大型光伏发电作为清洁能源体系的关键组成部分,其在全球范围内的规模化应用进程持续加快。项目长期稳定运行与高效发电能力,直接依赖于电气设备安装环节的质量保障,此环节的规范性,已然成为决定光伏电站经济效益与技术可靠性的前提基础。于现实的安装实践当中,存在诸多复杂因素对安装质量构成挑战,这可能致使设备性能下降、运行故障增多,甚至系统寿命缩短等不利后果出现。对安装过程涉及的关键制约因子展开深入探究,辨识其影响机理,进而提出系统性优化路径,对于提升光伏电站建设水平而言,具备现实且紧迫的研究价值。

[关键词] 大型光伏发电;电气设备安装;影响因素;安装技术优化

一、引言

作为大型光伏发电项目能量转换与输送核心的电气系统,涵盖光伏电池组件、逆变器、变压器、配电柜及电缆等关键设备。电能产出规模与并网质量水准,取决于这些设备的正常运行与高效协同。决定整个系统能否实现设计预期目标、保障全生命周期安全高效运行的根本环节,是设备安装过程的质量把控。科学优化安装实践的必备步骤,是分析实际安装过程中遭遇的挑战及干扰因素。由环境条件差异、设备自身状态、人员能力水平与技术应用细节共同构成的,是安装质量的核心制约要素网络。为高效可靠的安装活动提供理论支撑与实践指引,需全面把握这些因素的交互影响,并探索其背后深层次规律。

二、大型光伏发电电气设备安装影响因素分析

(一) 环境因素

1. 地理气候条件

在长期高温环境下,存在促使光伏组件表面温度显著升高的情况,且光电转换效率可预见的衰减趋势。处于极端低温时,面临着对设备材料机械耐受性能的考验。在空气湿度持续偏高的区域,存在可能诱发设备金属部件电化学腐蚀机理加速的状况;沿海盐雾沉降,有着进一步加剧端子与连接点氧化进程的情形。野外光照强度,直接关系到组件输出电流的稳定性;设备周边辐射水平,必须与设计参数精确匹配^[1]。

2. 地形地貌

山地光伏场址存在的坡度差异显著制约设备运输路径规划与吊装作业的机械操作空间,为抑制设备位移风险,陡坡区域需修筑阶梯化安装平台。利于设备快速排布的平坦地形,若排水沟渠设计不当,会引发雨后场地内涝。岩层出露区域的桩基钻孔深度,需依据地质勘探报告信息进行调整,断层带周边则要规避设备布置,防止形成结构性共振隐患。不同地貌类型下,安装平台建设成本与施工周期存在显著差异,平衡工期与经济性的关键环节,是合理选择基础形式。

(二) 设备因素

1. 设备质量

设备元器件的可靠性直接关联到光伏系统全生命周期的

运行稳定性,变压器铁芯硅钢片的材质等级决定了空载损耗的控制水平,逆变器内部功率模块的散热设计深度制约着满负荷持续运行时长。制造商在装配工艺层面的标准执行程度影响设备内部导体的螺栓压接紧实度,接触电阻的微小增量可能导致局部过热缺陷的形成。设备批次间的技术参数一致性决定集群部署后的协同效率,通信协议配置的统一性缺失会引发组串监控数据丢失。前期设计方案明确的电压电流适配范围与实际到场设备铭牌标注值的细微偏差可能干扰保护定值整定工作,为后续系统调试埋藏未知障碍。

2. 设备运输与存储

因卡车长途运输时持续的机械振动,精密仪表指针机构有偏移风险,电子元件焊点也可能隐裂。在颠簸路段行进所产生的冲击荷载,对设备外壳结构强度及内部支撑件的缓冲性能形成考验。装卸环节中,因不当的吊装索具布置,设备表面防腐涂层极易被刮伤;野蛮的搬运操作,可能引发设备内部结构件的塑性变形。临时露天堆场因缺乏有效防雨遮盖,致使设备接线盒内部凝露积聚;海滨区域空气中高盐分水汽的渗透,加速金属导电排的氧化进程。仓库湿度超出允许阈值,易使变压器绝缘纸板受潮膨胀;温度的剧烈变化,诱发塑胶密封件提前老化开裂。而这些隐患,往往在设备通电测试阶段才会显现^[2]。

(三) 人员因素

1. 安装人员

人员对光伏系统电气原理的深度理解直接关系到电缆桥架走向规划的合理性,光伏专用直流连接器的压接工艺精度直接影响接触点长期载流能力。新型拓扑结构逆变器的逻辑配置步骤需要操作者准确辨识通讯协议版本号,设备内部保护参数的门槛值设定失误将延迟故障切除响应速度。缺乏组件热斑效应识别经验可能忽略电池板隐裂缺陷的存在,变压器有载调压分接开关的档位操作错误易引发输出电压波动。技术文档交叉验证能力的不足会延长系统联调周期,这些细节操作的疏漏往往成为后期运维频发故障的诱因根源。

2. 人员管理与协调

施工队伍内部,电气组和结构组信息的脱节,或许会导致逆变器室通风百叶窗位置跟设备散热孔出现错位布置的状

况；电缆敷设班组对管廊通道的先行占用，将会阻碍后续变压器油池防水施工的进度。土建预埋件尺寸标注存在的偏差，若未被及时反馈，可能会迫使电气柜基础进行二次返工；在混凝土养护周期不足时就强行安装设备支架，会引发基础沉降失衡的问题。多承包商作业面重叠区域，工程界面管理的真空带，容易出现防护围栏被重复拆除的现象；作业计划衔接上的疏漏，则会造成调试期间备用电源切换测试被迫中断。建立图纸会审的跨专业协同平台，是弥补管理短板的务实选择。

（四）技术因素

1. 安装工艺与标准

未彻底去除铜排搭接面氧化层就进行螺栓紧固，会造成接触电阻异常升高的状况；柜体内部导体相序标识的缺失，可能引发后续并网相位错误的问题。设备接地扁钢焊接部位药皮清除不净的情况，会削弱泄流通道导通性能；电缆终端头制作环节加热温度超出材料耐受阈值的情形，导致绝缘介质碳化变质（见图1）。光伏阵列支架倾斜角度调节偏差超过

允许范围，会减少有效光照吸收时长；逆变器散热风扇进风口朝向与设计气流组织相反时，会加剧内部积尘。规范要求的直流侧安全隔离间隙若被施工间距压缩，可能出现丧失电弧故障快速熄灭条件的问题。施工记录表单的实时同步签字制度，是回溯工艺执行节点的关键依据。

2. 设计方案合理性

场地阴影模拟软件未精确计入冬季低角度日照轨迹，导致阵列后排行距设计不足引发电量时段性损失^[3]。箱变容量选型过度保守造成轻载时段铁损占比偏高，逆变器超配系数过大又可能频繁触发限功率运行。场内集电线路的阻抗匹配计算忽略地形起伏因素，末端电压抬升现象迫使降压变压器分接头频繁动作。防雷分区划分未衔接设备绝缘配合等级，浪涌保护器残压水平与设备耐压值的匹配余量不足。三维激光扫描技术辅助的碰撞检测能提前发现电缆桥架与消防管道的空间冲突，动态电气仿真模型则能预演不同天气工况下的谐波分布形态。

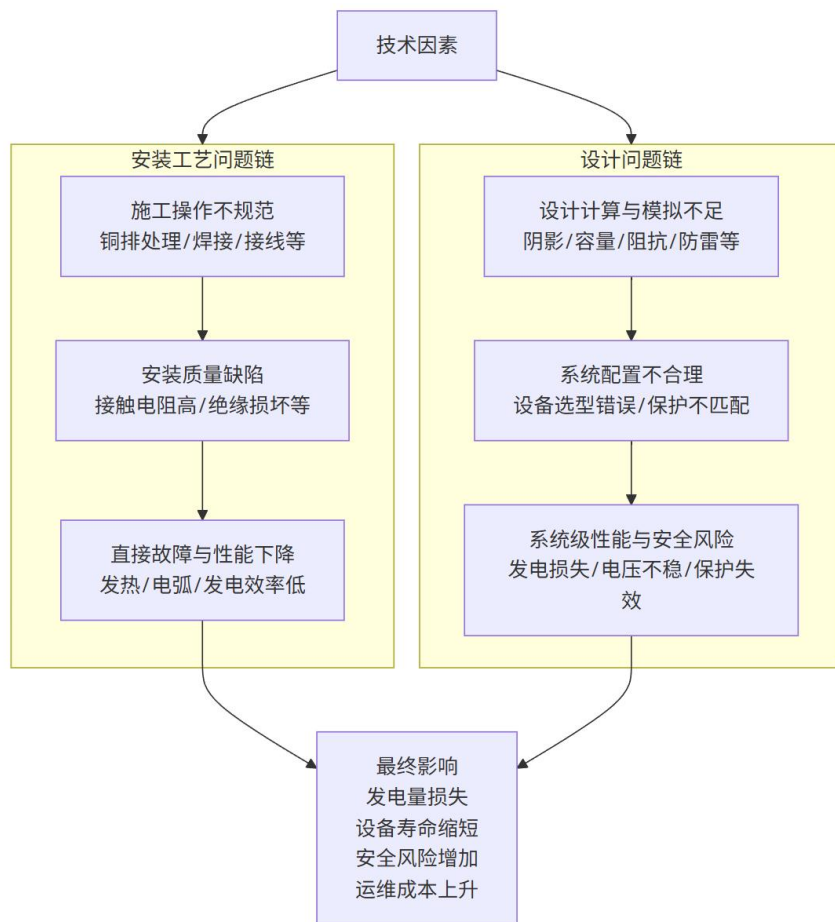


图1 光伏电站技术因素影响路径图

三、大型光伏发电电气设备安装问题解决措施

（一）针对环境因素的解决措施

1. 环境评估与适应性设计

开展场址全生命周期气象数据采集分析工作，整合三十年期极端天气事件统计特征修正设计边界条件。针对高海拔紫外线辐射异常区域优先采用抗老化性能优越的光伏背板材

料，湿热气候区逆变器柜体则须具备 IP65 防护等级的壳体和内部自动除湿模块部署。基于三维激光扫描构建的数字高程模型辅助阵列排布方案，精确规避山体投影区与洪泛风险区交界带。

2. 防护措施与应急预案

沙漠区域组件支架轴承位加装迷宫式密封结构阻断沙尘

入侵传动部件,沿海滩涂设备外壳选用 316L 不锈钢材质抵抗盐雾腐蚀环境。暴雨高发区设置梯度式排水沟渠网络配合地下渗水井构筑双重导流体系,雪灾风险区域通过增大组件支架纵向间距避免积雪覆盖连带效应。动态雷电定位系统引导场内防雷分区差异化配置,110kV 升压站设备采用三级浪涌保护层设计使残压值始终低于设备绝缘耐受阈值。建立气象预警联动响应预案,当监测到强对流天气前兆时,场站运维人员立即执行组串断开操作与箱变档位调整程序,灾后专项检查清单覆盖所有关键电气连接节点。

(二) 针对设备因素的解决措施

1. 设备质量控制

构建从关键元器件溯源到整机出厂的全流程跟踪机制,制造商须出具硅钢片磁导率参数的全尺寸检测报告与 IGBT 模块高温循环老化试验数据。建立到货设备的开箱三方联检流程,重点验证逆变器散热风道风压测试曲线与出厂记录的吻合度,采用红外热成像仪扫描变压器套管连接部位排除工艺虚接隐患。光伏组件 EL 隐裂检测在安装前二次复测,组串式逆变器直流输入端防反二极管功能校验纳入标准验收项目。设备技术协议附件明确核心参数容差带边界,通信管理单元版本兼容性在联调前完成四十八小时不间断压力测试,第三方实验室对断路器分闸速度进行波形图谱比对分析,质量追溯档案电子化覆盖设备全生命周期^[4]。

2. 优化设备运输与存储管理

采用三维减震托盘配合气囊缓冲装置的精密仪表运输,其运输路径规划软件提前识别特殊路段绕行方案,且车载终端实时显示机械振动强度数值。内壁粘贴温湿度记录仪并定期回传数据到云平台的集装箱,用于光伏背板材料存储时严格执行离地二十厘米堆高限制并设置防潮隔离层。运用 BIM 模型预演重心调整方案的重型设备吊装,借助激光定位装置辅助校正设备底座水平定位精度至零点二毫米误差范围。部署物联网传感器网络实时感知环境变化的库区,其除湿机组自动启停以维持变压器绝缘纸板含水率始终低于百分之零点五临界值,成套开关柜存储区配置正压防尘系统阻断金属部件氧化进程。

(三) 针对人员因素的解决措施

1. 人员培训与技能提升

建立电气安装人员能力矩阵评价体系,设置电缆压接截面检测与保护定值计算等十二项实操考核模块。开发三维模拟仿真平台重现光伏阵列接地故障场景,操作人员需独立完成从故障定位到安全隔离全流程处置。引入逆变器逻辑配置动态捕捉系统,作业人员每一次参数修改行为自动生成学习轨迹图谱。高原型设备特殊施工工艺制作标准作业视频库,关键工序如直流开关柜母排绝缘处理配备微距摄像实时指导。建立特种作业证书与现场授权绑定机制,变压器耐压试验操作权限仅对通过仿真平台进阶考核者开放。

2. 完善人员管理与协调机制

应用 BIM 协同平台构建数字孪生现场,土建预埋件坐标与电气柜定位尺寸差异自动触发预警提示。开发移动端电子工单系统,电缆敷设进度热力图实时推送至支架安装班组终端机。创建多承包商界面管理清单,变压器油务处理与消防管道施工交叉区域生成电子围栏警示区。建立三维扫描逆向

还原技术,对已完成结构进行点云建模检测实际施工偏差,自动生成管线碰撞修正方案。推行跨专业晨会影像记录制度,当天技术交底视频片段关联对应施工坐标点坐标存储至云端系统资源库。实施质量追踪二维码系统,每个组串支架螺栓紧固扭矩数值扫码即时上传区块链存证链数据库,工程监理可跨区域调取任意节点安装影像记录。

(四) 针对技术因素的解决措施

1. 严格遵循安装工艺与标准

部署高精度传感器网络实时采集铜排搭界面处理数据,焊接电流波动状态自动关联工艺知识库阈值触发预警提示。接地网施工运用脉冲电流检测法连续监测导通电阻值,扁钢交叉点温度变化趋势生成动态分析图谱。支架安装角度校准采用北斗差分定位系统补偿地形起伏偏差,设备水平度数据每秒匹配设计坐标精度范围。流体仿真软件优化逆变器散热风道布局避免局部涡流效应,隐蔽工程验收阶段融合三维激光扫描点云与 BIM 模型生成毫米级拟合报告。

2. 优化设计方案

构建场站数字孪生体导入历史辐照数据,阴影区智能识别算法驱动组串布局自适应优化模块。光纤温度传感网监测电缆沟热场分布特征,结合季度土壤墒情变化动态修正集电线路载流量参数。设备接口三维扫描匹配系统自动生成异型母线补偿方案,箱变基础标高差异超出二十五毫米阈值时触发空间重组机制。雷电定位历史数据包络分析优化接闪器布置逻辑,沙尘沉积速度监测值实时反馈至组件清洗策略模型。施工阶段预留方案弹性调整窗口,汇流箱定位允许基于实际岩层走向进行十五米范围内的径向偏移^[5]。

结语

基于综合分析,大型光伏发电项目电气设备安装质量的优化提升,依赖于对多重制约因素的协同治理这一方式。应对环境风险方案的有效性,体现于项目前期深入的环境评估以及适应性设计能力,再结合针对性防护策略的应用。强化设备管理,覆盖从严谨的供应商筛选、运输存储规范的执行,到现场验收调试的完整流程。作为质量保障重要支柱的人员能力提升,依赖于持续的专业培训体系以及技术交流活动的开展,且辅以科学的人员组织管理机制,来确保职责落实与协同顺畅。技术层面提升的重点,在于设计方案优化需紧密契合实际工况要求,同时要求安装执行过程严格遵守标准规范,并实施全过程的质量监测。建议未来项目实践中综合考量上述建议,将有力推动光伏项目实现更优的经济与社会效益。

[参考文献]

- [1]张峰.大型光伏发电电气设备安装影响因素及解决措施[J].电力设备管理,2021,(02):179-180+204.
- [2]王军辉.大型光伏电站的设备安装与调试分析[J].集成电路应用,2023,40(02):106-107.
- [3]明辉富.大型光伏电站电气设备安装与调试研究[J].居舍,2019,(07):184.
- [4]高治学.大型光伏电站电气设备安装与调试研究[J].科技创新导报,2017,14(20):51+53.
- [5]陈海龙.新能源光伏电站电气设备安装与调试技术探讨[J].电力设备管理,2024,(17):90-92.