

大型光伏电站电气设备的运行维护要点

王向龙

国能内蒙古电力蒙西新能源有限公司，内蒙古 呼和浩特 010000

摘要：大型光伏电站作为关键的绿色能源资产，其运维实践却普遍滞后于其技术复杂度，传统的管理模式正面临着人员能力、巡检效率与应急响应能力不足的重重挑战，严重制约了其应有的发电效能与运行可靠性。因此，探索提升其电气设备运行维护效能的综合策略，涉及对运维人员专业素养的系统性重塑，还关系到巡检模式向智能化、立体化的革新、应急响应机制向实战化、流程化的健全，以及前沿诊断技术的深度融合。本文的研究旨在深入探讨大型光伏电站电气设备的运行维护要点，为光伏电站实现从被动维修到主动预警的运维模式转型提供有益的参考，以促进其全生命周期内的资产价值最大化。

关键词：大型光伏电站；电气设备；运行维护；维护措施

引言

在“双碳”目标持续推进的背景下，大型光伏电站作为绿色能源体系的关键节点，其电气设备的运行维护水平直接影响电站全生命周期的发电效能与资产价值。并且，光伏电站电气设备的运行维护，是衡量系统能否从依赖个人经验的被动维修，成功蜕变为一个依靠标准化流程、数据驱动决策与强大组织韧性来主动管理风险的有机整体^[1]。它标志着运维工作从“事后补救”的粗放模式，向“事前预警、事中高效”的精细化管理的深层次跨越。因此，深入探索并系统性地构建这一成熟度体系的提升路径，剖析其中人员、巡检与应急响应三大支柱的强化策略，对于保障大型光伏电站资产的长期、稳定与高效运行，具有至关重要的理论与实践指导价值。

1 大型光伏电站电气设备的运行维护过程中面临的问题

1.1 运维人员技能参差不齐，专业综合能力有待提升

在大型光伏电站的运维体系中，人的因素是决定其成败的根本，而当前运维团队整体专业能力的短板正日益成为制约电站高效稳定运行的关键瓶颈。光伏电站常坐落于偏远地区，严苛的自然环境与相对匮乏的生活条件共同导致了专业人才“引不进、留不住”的困境^[2]。这就使得运维队伍的知识结构往往呈现出明显的不均衡性：部分人员或许精通传统电气一次设备，却对逆变器控制、通信协议、后台监控等数字化、智能化系统知之甚少；另一部分则可能熟悉软件操作，但对现场复杂的电气回路和故障排查缺乏实践经验。这种知识壁垒直接导致了在面对综合性、交叉性故障时，运维人员常常判断失准、效率低下，无法形成快速有效的解决方案。更深层次看，系统性培训的缺失与技能更新的滞后，使得许多运维工作仍停留在“凭经验、靠感觉”的粗放阶段，难以应对设备技术的快速迭代，更让安全生产规程的严格执行流于形式，为整个电站的安全运行埋下了深层隐患。可以说，一支专业综合素养不足的运维队伍，是所有运维难题的汇集点，直接

掣肘着电站精细化管理水平的提升。

1.2 传统巡检模式效率低下，隐患排查存在盲区与滞后

传统以人力为核心的巡检模式，在其固有的局限性与大型电站的运维需求之间，暴露出日益加深的矛盾。运维人员依靠经验应对庞大的设备体量时显得力不从心，巡检周期长、覆盖面窄，导致大量潜在问题在两次巡检的“空窗期”内滋生与恶化^[3]。更为致命的是，这种模式对于发现非显性故障存在天然的盲区。例如，深藏于汇流箱或开关柜内部的接线端子早期虚接、绝缘材料的渐进式劣化、逆变器功率模块的细微性能衰减，以及光伏组件上难以肉眼察觉的早期热斑，这些都是视觉巡检无法穿透的“迷雾”。巡检信息的高度滞后性，使得运维工作始终陷于被动的“亡羊补牢”。当问题通过跳闸、停机等极端方式暴露时，往往已造成了实质性的发电量损失甚至设备损伤。同时，手写纸质的记录方式形成了大量难以利用的“数据孤岛”，使得趋势分析和故障预判无从谈起，让整个电站的运维体系始终在低效、高风险的泥潭中徘徊。

1.3 应急响应机制不健全，故障处理能力薄弱

在光伏电站的长期运行中，除了日常的巡检与维护，其应急响应与故障处理能力更是衡量其运维体系成熟度的“试金石”。当前许多电站在此方面存在显著的风险管理短板，其应急机制往往停留在纸面预案的浅层阶段，缺乏实战化演练与动态优化。这导致一旦遭遇非预期的重大电气故障，整个运维团队便会瞬间从有序的日常工作的有序状态滑入无序的“应激反应”状态，暴露出组织性、流程性与技术性的多重失灵，形成危险的应急“真空期”^[4]。

这种能力的薄弱在全站失压的极端场景中暴露无遗。假设某 35kV 升压站主变压器因内部突发短路而保护跳闸，导致全站黑屏。此时，一个应急机制不健全的场站，其现场往往会陷入一片混乱。运维人员可能因缺乏清晰的故障处理流程指引，在初期诊断时手足无措，无法在第一时间对事故性质、影响范围和隔离措

施做出快速、准确的判断。

紧接着，技术能力的短板开始凸显，团队可能缺少必要的测试设备，如介质损耗测试仪或变压器绕组变形测试仪，来对关键设备进行深度诊断，导致故障点的定位工作停滞不前。更为致命的是物资保障的滞后，即便最终确定了故障原因，例如需要更换一套高压电缆终端头或一个关键继电器，却发现备品备件库中并无储备，或者调用流程繁琐漫长。宝贵的时间就在这种低效的协调、无助的等待和盲目的尝试中一分一秒地流逝，将一个本可能在数小时内解决的技术问题，演变成一场持续数天的停产灾难。

2 大型光伏电站电气设备的运行维护要点分析

2.1 做好人员前期培训，提高技术人员的综合水平

为应对运维人员技能不均的挑战，构建一套系统化、深层次的前期培训体系是提升电站运维质量的根本前提。这种培训应着力于为技术人员塑造一个完整、立体的知识框架，打通电气工程、电力电子、自动化控制与信息技术之间的壁垒，使运维人员能够站在整个发电系统的宏观视角去理解每一个局部环节的功能与关联。通过这样的培训，技术人员将从被动的“设备修理工”转变为主动的“系统诊断师”，具备由表及里、举一反三的故障分析能力，从而为电站的安全、高效运行奠定最坚实的人才基石。

理想的培训体系构建，应围绕着“全局－局部－实践”的逻辑闭环展开。首先，培训必须始于对电站电气系统全局的认知，技术人员需熟练掌握从光伏组串、汇流箱到逆变器、箱变、升压站的完整一次、二次接线图，深刻理解能量流与信息流在系统中的走向和逻辑。在此基础上，培训内容应深入到核心电气设备的运维要点。对于逆变器，培训不应停留在表面操作，而要剖析其内部的功率模块、控制板卡与通信协议，重点讲授如何利用后台诊断软件解读深层故障代码与历史数据，以精准定位问题根源^[9]。对于箱变及开关柜等高压设备，培训重点在于预防性维护技术的应用，如系统性地讲授如何使用红外热成像技术排查连接点过热隐患，如何判读局部放电检测数据以评估绝缘状态，以及如何通过油中溶解气体分析（DGA）结果来预判变压器的潜伏性故障。此外，还需强化 SCADA 监控系统的应用培训，教会技术人员如何进行数据挖掘与横向对比分析，从海量的运行参数中识别设备性能的微小衰减与异常趋势。整个培训过程应贯穿大量的模拟场景和实操演练，培养技术人员遵循“观察－分析－假设－验证”的科学诊断流程，将理论知识真正内化为解决现场复杂问题的实战能力。

2.2 建立完善的巡检制度，确保设备状态实时可控

为彻底破解传统巡检模式的固有困境，需要建立一套由“人巡、机巡、智巡”有机融合的多维立体巡检新体系。该体系的核心思想是变被动的、离散的、滞后的人工巡查，为主动的、连续的、实时的数据感知，将整个电站的电气设备纳入一个精密的健

康状态监测网络中。这要求巡检不再是简单的“查漏补缺”，而是升级为一种数据驱动的系统工程，穿透传统模式无法企及的“迷雾”，实现从故障发生后的被动响应到故障发生前的精准预警的根本性转变。

这一新体系的落地实践，首先在于运用“机巡”解决覆盖面与效率的矛盾。通过规划固定航线，搭载高清可见光与红外热成像双光云台的无人机，可定期对全场光伏组件及汇流箱进行地毯式扫描，在数小时内完成人工数周的工作量。无人机采集的热成像图谱能将肉眼无法察觉的早期热斑、二极管失效等问题以可视化的方式清晰呈现，率先攻克了巡检的“盲区”难题。而对于深藏于开关柜、箱变内部的电气连接点虚接、绝缘劣化等深层隐患，则由“人巡”进行靶向的、精细化的诊断。运维人员不再是“压马路”式的普查，而是手持高精度红外热像仪、局部放电检测仪等专业设备，根据预定计划或“机巡”发现的线索，对关键设备进行“微创体检”^[6]。所有通过“人巡”与“机巡”采集到的图像、数据，将连同 SCADA 系统实时运行参数，一同汇入电站的智能化运维平台——这便是“智巡”的核心。该平台利用图像识别算法自动标注热斑位置与等级，建立每一个关键设备的数字化健康档案，并进行纵向的时间趋势分析，从而预判出某个端子温度的渐进式升高或某段绝缘介质的劣化趋势，将“数据孤岛”转变为预见风险的决策依据，最终实现从“亡羊补牢”到“防患未然”的跨越。

2.3 强化应急预案与故障处理，缩短电站停运时间

在光伏电站的长期运行中，除了日常的巡检与维护，其应急响应与故障处理能力更是衡量其运维体系成熟度的“试金石”。当前许多电站在此方面存在显著的风险管理短板，其应急机制往往停留在纸面预案的浅层阶段，缺乏实战化演练与动态优化。这导致一旦遭遇非预期的重大电气故障，整个运维团队便会瞬间从有序的日常工作滑入无序的“应激反应”状态，暴露出组织性、流程性与技术性的多重失灵，形成危险的应急“真空期”。

为根治应急响应的组织性失灵，需要将应急管理从一份静态的文件提升为一个动态的、可循环优化的实战体系。通过“预案－演练－复盘－优化”的闭环管理，为运维团队在面对突发故障时注入“确定性”，用事先的充分准备对冲临场的混乱与不确定。一个真正有效的应急体系，其起点在于预案的场景化与流程化设计。针对“全站失压”这类重大突发事件，预案的核心不再是冗长的文字，而是一张清晰、直观的故障处理流程图。这张图会明确定义应急指挥结构中每个角色的首要职责与行动顺序：谁负责第一时间进行安全隔离与验电操作，谁负责联络电网调度确认外部情况，谁负责启动备用电源维持关键通信与监控。紧接着，预案需要针对故障定位提供模块化的技术指引，并配套一份详尽的应急工具及专家支持清单，确保在需要时，高压绝缘电阻测试仪、

电缆故障定位仪等关键设备能够被迅速找到并投入使用，避免因技术能力短板导致诊断工作停滞。

3 结束语

本文通过对大型光伏电站电气设备运维现状的深入剖析，系统性地揭示了当前在运维人员能力建设、传统巡检模式以及应急响应机制方面存在的瓶颈与短板。针对这些问题，文章从构建系统化培训体系、建立“人-机-智”融合的多维巡检制度，以及强化实战化应急预案三个维度，提出了一系列具有可操作性的能力提升要点。研究表明，这三者并非孤立存在，而是相互支撑，共同作用于运维体系的整体成熟度。通过实施这些策略，能够有效推动光伏电站的运维管理从依赖经验的被动模式，向数据驱动、精准预警的主动模式转型，最终形成一个高效、可靠、具备韧性的闭环管理体系，为提升电站的资产效益与长期稳定运行提供了坚实保障。

参考文献：

- [1] 倪杰杰. 光伏电站电气设备的运行维护研究 [J]. 新潮电子, 2025(3):154-156.
- [2] 鄢志标. 大型光伏电站电气设备的运行维护检修 [J]. 电脑爱好者（普及版）（电子刊）, 2023(5):2175-2176.
- [3] 窦征, 李惠. 光伏电站施工中的电气设备选型与安装技术研究 [J]. 电气技术与经济, 2025(6).
- [4] 韦刚生. 分布式光伏电站设计中的电气设计技术分析 [J]. 消费电子, 2024(12):174-176.
- [5] 王军辉. 大型光伏发电站的设备安装与调试分析 [J]. 集成电路应用, 2023, 40(2):106-107.
- [6] 姜成龙, 郑斌, 吴刚. 基于分布式光伏电站箱逆变一体机安装技术的应用研究 [J]. 电气技术与经济, 2024(12):106-109.

作者简介：王向龙（1987—），男，汉族，内蒙古自治区赤峰市松山区初头朗镇人，本科，研究方向为新能源光伏行业。