

提升风电场输变电设备运行可靠性的策略探析

刘宇航

国能投（河南）清洁能源有限责任公司，河南洛阳，450000；

摘要：为切实保障风电场输变电设备的稳定运行状态，最大限度减少设备故障对风电并网流程与电能输送效率产生的负面影响，文章对影响风电场输变电设备运行可靠性的核心因素展开系统分析，详细阐述设备运行可靠性提升工作需遵循的关键方向，进而针对不同影响因素与提升方向，提出具有针对性与可操作性的具体策略。通过上述分析与探讨，为风电场开展输变电设备日常管理工作，提供科学且实用的参考依据。

关键词：风电场；输变电设备；运行可靠性；设备管理；故障防控

DOI：10.64216/3080-1508.26.02.052

引言

在风电场的整体运行体系中，输变电设备占据核心组成地位，其承担的职能具有不可替代性，具体涵盖风电能量的收集、电能的升压转换，以及升压后电能与电网的并网输送三大关键环节。输变电设备的运行可靠性，不仅直接决定风电场整体的发电效率，影响风电产能的有效转化，易导致设备部件出现老化现象，核心性能逐步衰减。除环境因素外，人为管理层面的问题也会进一步降低设备运行可靠性。例如，设备运维工作未能按照实际需求及时开展，导致潜在隐患长期积累；运维技术与检测手段与新型输变电设备的性能需求不相适配，无法有效应对设备故障。若输变电设备因上述因素频繁发生故障，将直接导致风电并网流程中断，不仅造成风电产能浪费，更会影响整体电能供应的稳定性，对电力系统的正常运转产生不利影响。因此，深入探索并制定提升风电场输变电设备运行可靠性的有效策略，对保障风电场高效、安全运转，具有至关重要的现实意义。

1 影响风电场输变电设备运行可靠性的核心因素

1.1 环境因素干扰

环境因素是影响风电场输变电设备运行可靠性的首要外部因素，其干扰作用贯穿设备运行全过程，且影响范围覆盖设备外部结构与内部核心部件，具体体现在强风、温差、杂质三类因素的作用上。风电场多选址于草原、戈壁等野外区域，这类区域常年风力较大，输变电设备需长期承受强风的持续冲击。强风会对设备的连接部位产生拉扯与震动，易导致设备部件出现松动现象，尤其会影响接线端子的连接状态，造成接线端子接触不良，进而引发设备供电不稳定等问题，直接降低运行可

靠性。同时，这类区域的昼夜温差普遍较大，白天高温与夜间低温的交替，会使设备金属部件频繁经历热胀冷缩的物理变化。长期反复的热胀冷缩，会破坏部件间的密封结构，加速密封件的老化速度，导致密封件失去原有密封效果，为后续杂质侵入埋下隐患。此外，野外环境中的沙尘、雨雪等自然杂质，易借助设备密封缝隙侵入内部。杂质进入设备后，会附着在核心部件表面，破坏部件的绝缘层，造成设备绝缘性能大幅下降，严重时会引起短路、漏电等故障，直接威胁设备运行安全与可靠性。

1.2 设备自身质量与老化

设备自身的质量水平与运行后的老化程度，是影响其运行可靠性的核心内在因素，二者共同决定设备的运行寿命与故障发生频率，具体体现在出厂质量瑕疵与长期运行老化两个层面。在设备出厂环节，若生产过程中质量管控不到位，部分输变电设备会存在先天质量瑕疵。例如，设备所用的绝缘材料性能未达到设计标准，无法承受长期运行中的电压负荷；部件装配过程中精度把控不足，导致部件间配合间隙不合理，这些瑕疵在设备初期运行中可能未直接显现，但随着运行时间增加，会逐步暴露并引发故障，降低设备可靠性。同时，无论设备初始质量如何，在长期运行过程中，核心部件都会经历自然老化过程。例如，变压器的绕组绝缘层会因长期承受电压与温度作用出现老化开裂，断路器的触点会因频繁通断产生磨损，这些部件的老化会导致设备整体性能逐步衰减。若未及时发现并更换老化部件，性能衰减会持续加剧，最终导致设备故障频发，大幅降低运行可靠性。

1.3 运维管理不到位

运维管理是保障设备运行可靠性的关键人为因素，若运维管理工作存在不到位之处，将无法及时发现设备隐患、有效处理故障，进而加剧设备性能衰减，具体体现在运维计划、人员能力、工具设备三个维度的不足。在运维计划制定层面，部分风电场的运维计划缺乏针对性，未结合设备的风险等级与运行状态差异化设定。对主变压器、开关柜等故障后果严重的高风险设备，巡检频次与巡检深度不足，无法及时发现设备运行中的潜在隐患，导致隐患长期积累，最终引发故障。在运维人员能力层面，随着输变电设备技术不断升级，新型设备的结构与故障特性愈发复杂，而部分运维人员未及时更新知识体系，技术能力无法适配新型设备需求。对新型设备的内部结构、故障产生机理认知有限，导致故障排查时难以精准定位问题，处理故障的效率也大幅降低，影响运维效果。在运维工具与检测设备层面，部分风电场仍沿用传统的运维工具与检测设备，这类设备的检测精度与范围有限，难以精准识别设备内部隐藏的隐患，如无法检测出绕组绝缘层的微小开裂，只能发现已显现的故障，无法实现隐患提前预判，导致运维工作陷入“事后处理”的被动局面，运维效果不佳。

2 风电场输变电设备运行可靠性提升的关键方向

2.1 抵御环境影响

抵御环境影响是提升风电场输变电设备运行可靠性的核心外部优化方向，其核心目标是增强设备对野外复杂环境的适应能力与耐受能力，减少环境因素对设备的损害，确保设备在恶劣环境下仍能维持稳定运行状态。实现这一方向的核心思路，是从设备自身防护能力提升入手，通过两个关键举措落实。一方面，优化设备的防护结构设计，针对强风、沙尘、雨雪等环境因素的作用特点，对设备易受损部位的结构进行强化，如增加设备外壳的抗风强度、优化密封缝隙的结构形式；另一方面，选用耐候性优异的材料制造设备部件，确保材料在温差、腐蚀、杂质侵蚀等环境下，仍能保持稳定的物理性能与机械性能，通过结构与材料的双重优化，构建设备抵御环境影响的防护体系。

2.2 延缓设备老化与保障质量

延缓设备老化与保障质量，是提升风电场输变电设备运行可靠性的核心内在优化方向，其核心目标是从源头把控设备质量，同时减缓设备运行中的老化速度，避免因设备自身性能衰减引发故障，维持设备长期稳定的

运行状态。这一方向的推进需贯穿设备“采购—运行”全周期，分为两个关键阶段。第一个阶段是设备采购与入场阶段，需从源头严格把控设备出厂质量，通过明确质量标准、开展专项检测，杜绝质量不合格的设备进入风电场；第二个阶段是设备运行阶段，需通过科学的运维措施减缓部件老化速度，同时实时监测核心部件的老化程度，及时更换老化、损坏部件，避免部件性能衰减对设备整体可靠性产生影响，实现“源头控质、运行缓衰”的双重保障。

2.3 优化运维管理模式

优化运维管理模式，是提升风电场输变电设备运行可靠性的核心人为优化方向，其核心目标是改变传统粗放的运维方式，建立精准化、高效化的运维管理体系，通过提升运维工作的质量与效率，实现设备隐患早发现、故障早处理，从管理层面降低故障发生率。这一方向的推进需聚焦运维工作的三个核心要素，实现全方位优化。一是提升运维计划的针对性，结合设备的运行状态、风险等级，制定差异化的运维方案，避免“一刀切”；二是提升运维人员的专业性，通过培训让人员掌握新型设备的运维技术与故障排查方法，增强处理复杂问题的能力；三是提升运维工具的先进性，引入精准检测设备，突破传统工具的检测局限，实现隐患精准识别，通过三要素优化，构建高效的运维管理模式。

3 提升风电场输变电设备运行可靠性的具体策略

3.1 强化设备环境防护能力

强化设备环境防护能力，需从材料选用、防护装置加装、定期清理维护三个维度入手，构建全流程的环境防护体系，减少环境因素对设备的损害，具体措施如下。在材料选用层面，需优先选用耐候性强的材料制造设备核心部件与外部结构。例如，变压器外壳选用防腐蚀、抗风强度高的钢材，避免外壳因长期暴露出现锈蚀与变形；设备绝缘材料选用耐高低温、抗老化的类型，确保绝缘性能在温差变化中保持稳定，从材料源头提升设备抗环境干扰能力。在防护装置加装层面，需针对设备不同部位的易受损特点，加装专属防护装置。例如，接线端子易受沙尘侵蚀与强风冲击，需加装防尘罩与防风保护套；户外开关柜易受雨雪浸泡，需加装防雨棚并做好棚体排水设计；主变压器散热器易受强风冲击导致散热效率下降，需加装防风挡板并预留合理散热间隙，通过针对性防护减少环境损害。在定期清理维护层面，需制

定常态化的清理维护计划,定期对设备表面与内部进行沙尘、杂物清理,避免杂质堆积影响设备性能;同时,重点检查设备密封件的完好性,查看密封件是否存在老化、开裂、变形等问题,一旦发现异常,及时更换老化密封件,防止杂质通过密封缝隙侵入设备内部,保障设备内部环境洁净。

3.2 严控设备质量与减缓老化

严控设备质量与减缓老化,需覆盖设备“采购—运行—更换”全周期,通过源头控质、运行缓衰、提前更换,保障设备性能稳定,具体措施如下。在设备采购阶段,需建立严格的质量管控流程,首先明确设备的质量标准,将绝缘性能、装配精度、部件耐用性等核心指标纳入标准体系;其次,在设备出厂前,联合专业检测机构对设备开展专项检测,逐一核查各项质量指标是否达标,只有检测合格的设备,才允许入场,杜绝不合格设备进入风电场,从源头规避质量隐患。在设备运行阶段,需制定核心部件性能检测计划,定期对变压器绕组、断路器触点、绝缘件等核心部件开展性能检测,通过检测数据掌握部件的老化程度与性能衰减情况,为后续维护与更换提供依据;同时,通过定期润滑部件连接部位、清理部件表面杂质等基础维护工作,减少部件磨损与腐蚀,减缓部件老化速度,延长部件使用寿命。在部件更换阶段,需根据核心部件的老化寿命与检测结果,制定科学的部件更换计划,对接近老化寿命、性能衰减至临界值的部件,提前安排更换,避免部件在运行中突然失效引发设备故障;更换时需选用与原部件型号、性能完全匹配的产品,确保更换后设备整体性能不受影响,维持稳定运行状态。

3.3 优化运维管理体系

优化运维管理体系,需围绕“精准、高效”核心,从运维计划、人员能力、工具设备三个维度推进,提升运维工作质量与效率,具体措施如下。在运维计划制定层面,需摒弃传统统一的运维模式,结合设备的实际运行状态与风险等级,制定差异化巡检计划。对主变压器、并网断路器等高风险设备,增加巡检频次,缩短两次巡检的间隔时间;巡检过程中,重点检查设备温度、电压、电流等核心运行参数,对比参数与设计标准的差异,及

时发现参数异常背后的潜在隐患,提升运维计划的针对性。在运维人员能力提升层面,需建立常态化培训机制,定期组织运维人员开展专项培训。培训内容需兼顾理论与实践,既涵盖新型输变电设备的内部结构、工作原理,也包括设备常见故障的排查方法、处理流程,同时加入新型检测技术的应用教学,让人员掌握先进检测工具的操作方法,通过系统培训全面提升运维人员的专业能力。在运维工具与检测设备配置层面,需逐步淘汰落后的传统工具,配备精准度高、功能全面的检测设备。例如,引入绝缘电阻测试仪,精准检测设备绝缘性能;配备红外热像仪,通过 thermal imaging 技术识别设备内部的温度异常,精准定位隐藏的故障点,实现对设备内部隐患的精准识别,大幅提高故障排查效率,确保发现的隐患能够及时整改,避免隐患积累引发故障。

4 结语

风电场输变电设备运行可靠性,受环境因素干扰、设备自身质量与老化、运维管理不到位三大核心因素综合影响,这些因素相互作用,共同决定设备的故障发生率与运行稳定性,是提升可靠性需突破的关键问题。提升设备运行可靠性,需明确三大关键方向,即通过结构与材料优化抵御环境影响,通过全周期管控延缓设备老化与保障质量,通过多维度完善优化运维管理模式,三个方向相互支撑,形成提升可靠性的整体框架。在此基础上,落实强化设备环境防护、严控设备质量与减缓老化、优化运维管理体系等具体策略,可有效减少环境损害、降低部件老化影响、提升运维效率,进而大幅减少设备故障,显著提升运行可靠性。做好这些工作,能切实保障风电场输变电设备稳定运转,提高风电并网的连续性与电能输送效率,为风电场的高效、安全发展提供坚实支撑。

参考文献

- [1] 乔希德. 大型风电场输变电设备运行分析及检修策略研究[J]. 科技风, 2020, (07): 189.
- [2] 许嘉雯. 新能源风力发电系统中储能技术的实践应用[J]. 应用能源技术, 2023, (11): 43-47.
- [3] 薛靖, 刘磊. 对大型风电场输变电设备运行分析及检修策略的探讨[J]. 电子测试, 2021, (22): 111-112+100.