

风电运维安全管理模式探讨

徐 建

中核汇能（山东）能源有限公司 山东 济南 250000

摘 要：风电运维安全管理面临高空作业、电气隐患、机械运动部件及恶劣气象等多重风险叠加的现实困境。本文围绕运维安全风险的特征与来源展开分析，从组织架构与职责分工、运行机制、持续改进路径三个维度搭建管理模式框架。现场作业层级、远程监控层级与管理层级构成三级管控体系，作业前预控、作业中动态监护与作业后复盘形成闭环运行逻辑。安全数据积累、分层培训、装备升级与管理流程优化构成持续改进的支撑路径，安全文化渗透则为长效管控提供内在驱动力。

关键词：风电运维；安全管理模式；风险管控；闭环机制；安全文化

引言：风电机组运行环境特殊，运维作业长期暴露于高空、带电、机械运动等高危场景之中，安全管控难度持续攀升。传统管理模式在面对多源风险交叉叠加时，暴露出职责模糊、流程断裂、改进滞后等结构性短板。运维安全管理并非单一环节的问题，而是组织、技术、人员与制度协同运作的系统工程。唯有从风险特征出发，重构管理架构与运行机制，方能破解当前运维安全管理中深层次的矛盾。

1 运维安全风险的特征与来源

1.1 高空作业风险

风电运维作业大多依托风机塔筒与机舱开展，作业所处垂直高度普遍超过 80m，作业空间呈现狭小且封闭的状态。作业开展过程中，人员需要完成攀爬移动与设备操作等多项动作，作业姿态难以保持长期稳定^[1]。高空作业场景脱离地面有效防护支撑，外部环境的细微变动都会干扰作业状态。作业过程中产生的微小位移失误或作业状态偏差，都会提升安全隐患的发生概率，整体作业场景具备较高的危险属性。

1.2 电气安全风险

风电机组包含大量电力传输与控制设备，整体电气系统结构繁杂且线路布局密集。设备长期处于持续运行状态，内部电气构件会出现老化磨损、绝缘性能衰减等常态问题。运维作业涉及带电检测、线路调试与设备检修等多项操作，作业过程中对操作规范的精细度要求较高。电气系统潜藏的不稳定状态，会持续对现场作业环境形成安全威胁，各类电气隐患具备隐蔽性强、突发程度高的典型特点。

1.3 机械运动部件风险

风电机组配备叶片、齿轮箱、传动系统等各类机械运动构件，构件运转过程中保持高速且持续的运动状态，叶片尖端线速度可超过 80m/s。机械构件长期往复运转会积累疲劳损耗，部件卡顿、运转异常等各类异常状态频繁出现。运维作业开展期间，部分机械构件无法完全停止运动，残留的机械动能会对现场操作形成干扰。构件运转产生的挤压与撞击隐患，贯穿设备检修与日常维护的全过程。

1.4 恶劣气象环境风险

风电场大多选址于山地、旷野等开阔区域，区域气候条件复杂多变，自然环境对运维作业的制约性较强。大风、强降雨、低温霜冻等各类不良天气，会直接改变作业现场的环境状态。恶劣天气会降低作业接触面的摩擦系数，弱化设备运行稳定性，干扰作业人员的正常操作节奏。自然环境的不确定性，让户外运维作业始终处于动态的风险场景之中。

1.5 人员行为与管理风险

风电运维工作内容繁杂且作业频次较高，长期重复性的作业模式会弱化人员的安全警惕意识。作业人员的操作熟练度、安全认知水平、作业专注程度，都会直接影响现场作业的安全状态。日常运维管控过程中，作业流程落实不到位、安全管控细节疏漏、人员岗前培育不足等各类问题，都会逐步积累安全隐患。人为操作偏差与管理环节的疏漏，是运维场景中较为普遍的风险诱因。

2 运维安全管理的组织架构与职责分工

2.1 现场作业层级的安全管控

现场作业层级构成风电运维安全管理的执行根基，

承担场内各类设备维护与检修工作的落地实施^[2]。一线岗位人员直接接触机组设备与作业环境,需要对作业全过程实施细致的安全把控。作业开展前完成场地环境清理与防护措施布设,逐项核验作业条件的完备程度。作业推进阶段严格遵从安全作业标准,规范各类操作行为,主动识别现场环境与设备状态的异常变化。针对作业过程中出现的不规范操作及时进行纠正,把控每一项操作的安全合规性,守住运维作业的基础安全底线。

2.2 远程监控层级的安全支撑

远程监控层级依托风电场智能化监控系统完成机组运行状态的持续监测,为现场安全管理提供前置化保障。监控岗位人员持续跟踪机组运行数据的动态变化,捕捉设备运行过程中的参数波动与异常信号。对采集获取的运行信息开展细致甄别与梳理,筛选具备安全风险的异常信息并完成有效传递。借助远端监测手段拓宽安全管控范围,弥补现场人工巡查存在的局限,为现场作业调整与隐患处置提供有效信息支撑,提升安全管控的前置预判能力。

2.3 管理层级的安全决策与资源调配

管理层级负责风电运维安全体系的整体统筹与顶层规划,主导场内安全管理工作的整体推进节奏。结合风电场运维运行的实际状态,规划阶段性安全管理重点内容,完善场内安全管理的制度体系。统筹调度运维工作所需的人力物资与技术条件,保障各类安全作业条件可以充分落实。针对运维推进过程中出现的各类管理难题制定科学处置方案,统筹推进安全管理体系的迭代完善,保障整体安全管理工作稳定有序开展。

2.4 外部协作单位的安全接口管理

风电运维体系包含多项专业化专项作业,大量技术施工与设备整改工作需要依托外部协作力量完成。场内管理体系需要建立完善的外委单位准入标准,统一各类外协作业的安全执行标准。细化外协团队与场内管理体系的对接流程,明确双方对应的安全管理责任边界。规范外协作业全过程的安全对接流程,落实作业前期审核、作业过程监管与作业收尾核验等管理内容,消除外委作业环节存在的管理空白区域。

2.5 跨专业协同的安全衔接机制

风电运维体系涵盖电气控制、机械检修、场站运维等多个专业领域,不同专业作业内容存在交叉重叠的特征。搭建成熟的跨专业安全衔接机制,能够打破专业划分带来的管理壁垒。明确交叉作业场景下各专业的管控重点与工作责任,梳理作业衔接过程中的关键安全控制点。统一交叉作业的安全管理标准与执行流程,强化各

专业岗位之间的工作配合,消除多专业交叉作业产生的管控盲区,实现运维安全场景的全方位覆盖。

3 运维安全管理的运行机制

3.1 作业前安全交底与风险预控

风电运维正式作业开展前需要完成系统化的安全交底工作,梳理当期作业涉及的全部操作内容与管控重点。作业人员需要全面熟悉作业场地环境、设备运行状态以及安全管控标准,明确作业过程中需要重点规避的安全隐患^[3]。结合风电作业场景的独有特点,对作业环境、设备状态及操作流程开展全方位排查,提前识别作业环节中潜藏的各类安全隐患。依托标准化预控手段制定针对性的防控举措,完善现场安全防护布置,从源头缩减不安全作业行为的出现概率,夯实现场作业的安全基础。

3.2 作业中动态监护与异常处置

现场运维作业推进的全过程需要落实常态化安全监护工作,紧盯各类操作流程的落地状态。监护人员专注把控现场作业节奏,持续观察人员操作行为与设备运行状态,及时捕捉作业过程中出现的不规范操作与异常情况。针对作业期间突发的设备异动、环境变化以及操作偏差,快速落实科学的处置方式,及时制止各类违规操作行为。动态化的监护模式能够及时干预各类不安全作业行为,压缩隐患扩散范围,维持作业现场的安全稳定状态。

3.3 作业后复盘与隐患闭环

单次运维作业结束后需要开展全面的作业复盘工作,梳理整场作业的开展流程与管控细节。工作人员逐项核查作业现场遗留的安全问题,整理作业过程中暴露的管控短板与操作漏洞。针对排查发现的各类安全隐患,建立完整的整改流程,细化整改标准与落实方式。推进隐患整改的全流程跟踪,确保各类问题能够彻底整改到位,依托闭环管理模式杜绝同类隐患反复出现,持续优化现场作业的安全管控水平。

3.4 定期巡检与状态监测的安全联动

常态化巡检是风电运维安全管控的基础手段,配合设备状态监测能够构建全方位的安全防护体系。单台机组的定期巡检周期通常为15~30天,全覆盖巡检每年不少于4次。人工巡检聚焦现场设备外观、运行工况及作业环境的细节核查,弥补智能监测的覆盖短板。设备状态监测依托数据采集与分析技术,持续捕捉机组运行的细微变化,筛选常规巡检难以发现的隐性问题。两类管控方式相互配合,打通静态核查与动态监测的管控链路,提升设备安全状态把控的全面性与精准度。

3.5 应急响应的分级启动与执行流程

风电运维场景的各类突发安全问题具备不同层级的危险程度,需要搭建分级化的应急响应体系。依据现场安全事件的影响范围、危险程度划分响应等级,匹配对应的处置流程与工作标准。一般将应急响应划分为三级,每级响应的启动时间要求控制在5~15分钟以内。各级应急流程对应专属的处置举措与人员分工,明确不同场景下的处置优先级与工作重点。严格按照标准化流程推进应急处置工作,规范现场处置步骤与资源调配方式,提升各类突发安全事件的处置效率,弱化安全事故带来的不良影响。

4 运维安全管理的持续改进路径

4.1 安全数据的积累与分析应用

风电运维工作开展过程中会产生大量与安全管控相关的有效信息,各类作业记录、设备运行参数、隐患排查记录都可纳入数据积累范畴。系统归集运维作业全过程产生的安全信息,搭建完整的数据储备体系,为安全管理升级提供数据支撑^[4]。对归集的安全数据开展深度梳理与分类研判,挖掘作业行为、设备状态与安全隐患之间的内在关联。通过数据研判结果梳理运维安全管控的薄弱环节,为管理模式优化、作业标准调整提供科学依据,推动安全管理工作从被动处置向主动预判的方向转变。

4.2 人员安全技能的分层培训体系

风电运维岗位涵盖不同作业内容与技术层级,人员的从业基础与实操能力存在明显差异。标准化的分层培训体系能够适配不同岗位人员的成长需求,针对性补齐各类人员的安全能力短板。结合一线运维岗位的作业难度与安全要求,划分梯度化的培训内容,聚焦实操安全规范、隐患识别能力、异常处置技能等核心内容开展专项培育。依托差异化的培训模式提升培育工作的针对性,帮助不同层级从业人员稳固安全作业思维,夯实现场安全操作能力,全面提升运维队伍的整体安全素养。

4.3 工具与装备的安全升级迭代

运维作业所用工具与防护装备的性能状态,直接影响现场安全管控的整体质量。结合风电运维作业的场景特性与作业需求,持续推进作业器具与防护装备的更新升级。淘汰性能落后、防护能力不足的老旧设备,引入适配高空、电气、野外复杂场景的新型安全装备。定期对各类作业工具开展性能检测与维护保养,保障器具运行状态的稳定性。依托装备性能的持续优化,降低器具故障引发的安全隐患,为一线运维作业搭建坚实的硬件安全保障。

4.4 管理流程的定期审视与优化

风电运维作业场景与运行状态会随外部环境和设备服役周期产生动态变化,固定的管理流程无法长期适配现场管控需求。建议每半年开展一次管理流程的全面审视,每年度完成一次流程体系的系统优化。定期对现有安全管理流程开展全面复盘审视,核查各管控环节的落地适配性,排查流程中存在的冗余环节与管控盲区。结合现场运维工作的实际变化,精简繁琐的管理步骤,补齐流程管控的缺失环节。动态调整安全管理流程与作业规范,让管理制度与作业模式始终适配现场运维场景,维持安全管理体系的适配性与有效性。

4.5 安全文化在一线的渗透与固化

安全文化建设能够从思想层面约束一线人员的作业行为,是运维安全长效管理的核心抓手。将安全理念融入日常运维作业的各个环节,弱化硬性管控带来的被动作业心态,培育人员主动守安的作业意识。通过常态化的安全氛围营造、作业行为引导、安全理念普及,让规范作业、主动避险的意识融入日常工作习惯^[5]。持续推进安全文化的深度渗透,逐步固化全员自觉遵守安全规范的作业氛围,从思想根源减少人为安全隐患,构建长效稳定的运维安全管理氛围。

结束语

风电运维安全管理是一项需要持续打磨的系统工程。风险特征决定了管控手段必须具备多层次、全流程的覆盖能力,组织架构与运行机制的协同程度直接左右着现场安全状态。安全数据的深度挖掘、人员技能的梯度培育、装备的迭代升级以及管理流程的动态调整,共同构成改进闭环。安全文化从思想层面约束作业行为,为技术与制度管控提供长效支撑。唯有将刚性制度与柔性文化有机融合,才能真正筑牢风电运维安全管理的根基。

参考文献

- [1] 任维珍. 风电运维安全管理模式探讨[J]. 中国科技纵横, 2026(2): 105-107.
- [2] 赵哲. 运检分离模式下风电机组深度维护策略的优化实践与效果分析[J]. 现代职业安全, 2025(7): 94-97.
- [3] 时洪波. 海上风电运维人员安全管理难点和相应对策探讨[J]. 电脑爱好者(校园版), 2022(15): 181-183.
- [4] 周爱清, 翟亚兵. 海上风电运维过程中的安全管理规范与实践探讨[J]. 消费电子, 2025(22): 146-148.
- [5] 解涛. 海上风电运维人员安全管理难点和相应对策探讨[J]. 水上安全, 2024(5): 10-12.