

# 户外光伏施工极端天气安全风险防控体系

陈文涛 曾鑫 蒋涛 陈景皓 闫开  
中建八局西南建设工程有限公司 四川 成都 610041

**摘要:** 随着全球能源转型深入推进,光伏发电项目规模持续扩大,其建设多集中于光照资源优越但极端天气频发的区域,如戈壁、荒漠、山地及沿海地带。户外光伏施工具有露天作业广、高空作业多、电气交叉密集等特点,在强风、暴雨、雷电、高温、沙尘暴等极端天气面前尤为脆弱。本文系统分析各类极端天气对光伏施工各环节的危害机制,提出构建以“组织管理—技术保障—应急响应—安全文化”为四大支柱的综合防控体系,并通过“事前预防—事中监控—事后改进”的全周期路径予以实施。该体系强调以气象预警为核心驱动力,融合现代信息技术,实现风险动态感知与精准防控,为保障人员生命安全、工程资产完整及项目高质量交付提供系统性解决方案。

**关键词:** 光伏施工; 极端天气; 安全风险; 防控体系; 气象预警; 应急管理

## 引言

中国作为全球最大的光伏市场,近年来光伏装机容量屡创新高,大型地面电站、分布式屋顶项目遍地开花。然而,光伏产业的高速发展也伴随着不容忽视的安全挑战,尤其是在户外施工阶段。光伏电站的选址逻辑决定了其与极端天气的“亲密接触”。为了最大化发电效率,项目往往优先布局在年均日照时数长、太阳辐射强的地区,如西北地区的戈壁荒漠(面临强风、沙尘暴、高温)、西南山区(面临暴雨、山洪、地质灾害)、东南沿海(面临台风、雷暴、强降水)。这些自然条件优越的区域,同时也是气象灾害的频发地。户外光伏施工是一个高度依赖良好天气条件的复杂系统工程,涉及大量露天、高空及带电作业。一旦遭遇突发性或持续性的极端天气,极易引发高处坠落、物体打击、触电、设备倾覆、火灾甚至群死群伤等重大安全事故。当前,部分光伏施工企业在极端天气风险管理上仍存在明显短板:风险意识淡薄,过度依赖经验判断;应急预案流于形式,缺乏针对性和可操作性;预警信息接收滞后,响应机制僵化;现场防护措施简陋,难以抵御强对流天气的冲击。因此,亟需构建一套系统化、标准化、智能化的户外光伏施工极端天气安全风险防控体系,将被动应对转变为主动防御,从根本上提升行业安全生产水平。

### 1 户外光伏施工面临的极端天气类型及其危害机制

光伏电站的选址逻辑决定了其天然暴露于多种极端气象环境之中。为了最大化发电效率,项目往往优先布局在年均太阳辐射强度高、云量少的地区,而这些区域恰恰也是气象灾害的高发区。不同类型的极端天气对施工过程构成差异化但同样严峻的威胁,其危害机制需从物理破坏、作业干扰与健康损害三个维度进行深入剖析。

#### 1.1 强风与台风的结构性破坏风险

强风,尤其是瞬时风速超过17.2米/秒(8级风)的阵风或区域性台风,对尚未完全固结的光伏阵列构成直接且剧烈的物理冲击。在支架安装与组件铺设阶段,大量金属构件和玻璃面板处于临时固定状态,抗风能力极为有限。强风作用下,未压紧的组件极易被掀翻、位移甚至形成高速抛射物,不仅造成设备损毁,更对现场作业人员构成致命威胁。同时,吊装作业中的起重机、升降平台等大型设备在强风中稳定性急剧下降,极易发生倾覆事故。更为隐蔽的风险在于,强风会扰动施工人员的平衡感,尤其在高支架顶部作业时,微小的失稳即可导致高处坠落。某西北大型光伏项目曾因忽视短临大风预警,导致数百块组件被吹落,造成多人受伤及重大经济损失,充分暴露了强风防控的紧迫性。

#### 1.2 暴雨、洪水与雷电的复合型安全威胁

暴雨及其衍生的洪水、雷电构成了典型的复合型灾害链。短时强降雨首先导致施工现场泥泞湿滑,显著增加人员滑倒、车辆打滑的风险;在低洼或山地项目中,暴雨更可能诱发山洪、泥石流等地质灾害,直接冲毁临时道路、营地及基础结构。积水浸泡还会严重削弱电气设备的绝缘性能,使临时配电箱、电缆接头等成为潜在的触电源头。而雷电则以其高能量、突发性强的特点,对施工中的金属结构形成直接威胁<sup>[1]</sup>。未完成接地系统的支架阵列、高耸的吊车臂乃至手持金属工具,都可能成为引雷通道。雷击不仅会造成设备瞬间烧毁,其强大的电磁脉冲还可能干扰甚至损坏精密的调试仪器。因此,防雨、防洪与防雷必须协同部署,形成系统性防护。

#### 1.3 高温、沙尘暴与冰雹的特殊环境挑战

除上述常见灾害外,特定地理环境下的极端天气亦

带来独特挑战。在西北干旱区,持续高温(日最高气温 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ )环境下长时间户外作业,极易引发中暑、热衰竭乃至热射病,严重威胁工人生命健康。高温还会加速体力消耗,导致注意力涣散、操作失误率上升。与此同时,沙尘暴不仅大幅降低能见度,影响吊装、运输等精密作业的安全性,其携带的磨蚀性颗粒还会侵入机械设备内部,加速齿轮、轴承磨损,并污染电气触点,埋下短路隐患。而在部分高纬度或高原地区,突发性冰雹则对已安装的光伏组件构成毁灭性打击,高速冰粒可直接击碎玻璃盖板,导致组件报废。这些特殊风险虽具地域性,但在相应项目中必须予以高度重视。

## 2 户外光伏施工极端天气安全风险防控体系的核心架构

面对多元复杂的极端天气风险,单一的防护手段难以奏效,必须构建一个层次分明、协同联动的综合防控体系。该体系应以系统思维为指导,整合组织、技术、应急与文化四大核心要素,形成全方位、立体化的安全屏障。

### 2.1 组织管理体系:明确权责,夯实制度根基

健全的组织管理体系是风险防控有效运行的前提。首先,项目层面应成立由项目经理牵头,涵盖安全、技术、施工及分包单位负责人的极端天气风险防控领导小组,统筹决策与资源调配。其次,必须严格落实全员安全生产责任制,将风险防控职责细化分解至每一个岗位、每一位员工,尤其要强化分包单位的安全主体责任,杜绝“以包代管”的管理真空。在此基础上,应建立科学的风险分级管控机制,依据项目所在地历史气象数据、施工阶段特征及现场环境条件,对各类极端天气风险进行动态辨识与评估,并划分为红、橙、黄、蓝四个风险等级,针对不同等级制定差异化的管控策略与响应阈值,确保管理措施有的放矢、精准高效。

### 2.2 技术保障体系:科技赋能,实现精准防控

现代信息技术的深度融入是提升防控效能的关键。首要任务是建立精细化的气象预警联动机制。项目应主动对接国家及地方气象部门,订阅专业化的短临(0-2小时)和短期(1-3天)气象预报服务,并鼓励在大型项目现场自建微型气象站,实时采集风速、降雨量、雷电活动等关键参数。更重要的是,必须打通预警信息直达一线的“最后一公里”,通过短信、专用APP、现场广播等多通道,确保预警指令能在数分钟内传达到每位作业人员。其次,应广泛应用物联网(IoT)与智能监控技术,在高风险区域部署传感器网络,实现对环境风险因子的24小时自动监测与智能报警。当监测数据超过预设安全阈

值时,系统可自动触发联动措施,如切断非必要电源、启动强排泵等<sup>[2]</sup>。最后,工程防护措施必须同步升级,例如优化支架临时固定方案、先行完成可靠接地网、修筑防洪排水设施、设置遮阳降温棚等,从物理层面构筑坚实防线。

### 2.3 应急响应体系:快速反应,筑牢最后防线

完善的应急预案与高效的执行能力是应对突发状况的最后保障。项目必须针对不同类型的极端天气,编制具有高度针对性和可操作性的专项应急预案,明确启动条件、指挥架构、疏散路线、避险场所及救援流程。预案的生命力在于演练,应定期组织实战化应急演练,模拟真实场景下的人员疏散、设备保护、伤员救治等环节,检验预案有效性,磨合团队协同能力,并在演练后进行深度复盘,持续优化流程。此外,必须建立可靠的应急通讯与指挥系统,配备卫星电话、防爆对讲机等备用通讯设备,确保在常规通讯中断的极端情况下,指挥指令依然畅通无阻,从而在关键时刻实现统一、高效的应急处置。

### 2.4 安全文化体系:意识引领,培育内生动力

再完善的制度与技术,若缺乏深入人心的安全文化支撑,也难以持久。因此,必须将安全文化建设贯穿始终。一方面,要强化常态化安全教育培训,将极端天气风险识别、预警信号解读、应急避险技能等内容纳入新员工入场教育和日常安全交底,通过案例教学、VR沉浸式体验等方式,让风险意识入脑入心。另一方面,要积极倡导“人人都是安全员”的“吹哨人”文化,鼓励一线员工主动报告安全隐患和异常天气征兆,并对有效预警行为给予正向激励<sup>[3]</sup>。尤为重要的是,项目管理层必须以身作则,在预警发布后坚决执行停工撤离指令,杜绝任何形式的违章指挥和冒险作业,用实际行动诠释“安全第一、生命至上”的核心价值观,从而在项目内部营造出自觉、自律、互助的安全氛围。

## 3 户外光伏施工极端天气安全风险防控体系的实施路径

防控体系的价值最终体现在其动态、闭环的实施过程中。必须将体系要求转化为贯穿项目全生命周期的具体行动,形成“事前预防—事中监控—事后改进”的完整管理链条。

### 3.1 事前预防:前瞻布局,未雨绸缪

事前预防是成本最低、效果最好的风险管理策略。在项目前期策划阶段,就应将气候风险评估作为重要输入,深入研究项目所在地的历史气象资料和极端天气发生规律,并将其融入施工组织设计和安全专项方案中。开工

前,必须向所有参建方进行详尽的风险交底,清晰告知本项目可能遭遇的极端天气类型、具体风险点及相应的防范要求,确保各方心中有数。同时,应提前储备充足的应急物资,如沙袋、抽水泵、应急照明、防暑药品、急救包等,并建立定期检查与维护机制,确保这些“救命物资”在关键时刻能够立即投入使用,为后续的应急响应奠定坚实的物质基础。

### 3.2 事中监控:动态响应,精准施策

事中监控是体系运行的核心环节,强调对风险的实时感知与快速响应。项目应建立每日甚至每班次的动态风险评估机制,结合最新的气象预报和现场物联网监测数据,对当日施工计划进行滚动调整。一旦气象预警达到预设的停工阈值(如台风黄色预警、雷电红色预警或现场风速持续超过8级),必须由项目经理或授权安全负责人果断下达停工指令,并有序组织所有人员撤离至预先指定的安全避险场所<sup>[4]</sup>。在此期间,安全管理人员需加强巡查,重点核查各项防护措施是否落实到位,严防个别人员因侥幸心理而擅自返岗作业。整个过程应确保指令清晰、执行坚决、监督有力,将风险控制在萌芽状态。

### 3.3 事后处置与持续改进:复盘总结,螺旋上升

极端天气事件过后,并非风险防控工作的终点,而是新一轮改进的起点。首要任务是进行严格的灾后安全评估。在任何情况下,都严禁盲目复工。必须由专业技术人员对施工现场进行全面排查,重点检查支架基础是否有沉降或位移、光伏组件是否有隐裂或破损、电气设备绝缘性能是否达标、边坡及排水系统是否稳定等,只有在确认所有安全隐患均已消除后,方可批准恢复施工。随后,无论事件是否造成实际损失,都必须组织全体相关方进行复盘会议,深入分析本次应对过程中的成功经验与暴露短板,特别是要审视预警接收是否及时、响应措施是否得当、应急预案是否有效。最后,将复盘结论切

实转化为管理行动,用于修订完善应急预案、优化管理制度、升级技术装备,从而推动整个风险防控体系实现螺旋式上升和持续进化。

## 4 结语

户外光伏施工与极端天气的对抗,本质上是一场对项目管理体系韧性与智慧的全面考验。本文所构建的“户外光伏施工极端天气安全风险防控体系”,通过系统整合组织管理、技术保障、应急响应与安全文化四大支柱,并依托“事前—事中—事后”的全周期实施路径,旨在将被动、碎片化的传统安全管理,转变为一种主动、智能、闭环的现代化治理模式。该体系的成功运行,不仅依赖于先进的技术装备和严密的制度设计,更根植于对“生命至上”理念的深刻认同与践行。未来,随着人工智能、大数据预测模型等前沿技术的深度融合,该体系有望实现更高水平的智能化与前瞻性,为全球光伏产业的高质量、可持续发展筑牢安全基石。唯有如此,我们才能真正驾驭自然之力,让清洁的阳光安全、高效地惠及千家万户。

## 参考文献

- [1]曹佳,刁元,胡春,等.论山地光伏施工全过程安全管理要点[J].生态与资源,2024,(11):120-122.
- [2]郭小庆.光伏发电设备施工质量控制与安全管理探讨[J].中国设备工程,2025,(21):218-220.
- [3]毕大成.光伏电站工程施工危险源辨识及施工安全管理探讨[J].光源与照明,2024,(08):114-116.
- [4]杨有,刘华斌,张琦,等.光伏电站施工中的安全管理与事故防范研究[C]//《施工技术(中英文)》杂志社,亚太建设科技信息研究院有限公司.2024年全国工程建设行业施工技术交流会论文集(中册).中建二局一公司基础设施建设分公司,2024:188-190.