

水上光伏建设施工过程中的危险源分析及预防措施研究

王邱峰

国华（赤城）风电有限公司，河北省沧州市，061100；

摘要：在全球能源转型不断加速的背景下，水上光伏发电作为可再生能源利用的创新形式，凭借节约土地资源、提高发电效率、减少水体蒸发等突出优势，在全球范围内获得了广泛应用。但水上光伏项目建设施工环境复杂特殊，存在诸多与陆上光伏项目不同的危险源，给施工安全带来了严峻挑战。本文对水上光伏建设施工过程中的各类危险源展开系统分析，这些危险源主要涉及水文气象、作业环境、施工技术与工艺、设备设施及人员管理等方面，同时针对性地提出了综合性预防措施与安全管理建议，期望能为提升水上光伏项目建设施工安全管理水平、保障从业人员生命安全以及推动项目顺利实施，提供理论参考与实践指导。

关键词：水上光伏；施工安全；危险源辨识；风险防控；预防措施

DOI：10.69979/3060-8767.25.11.018

引言

在“双碳”目标的推动下，中国光伏产业保持着持续高速发展的态势。随着优质陆地资源愈发紧张，丰富的水域资源为光伏产业的进一步发展开辟了新空间。水上光伏电站通过在水库、湖泊、池塘、沉陷区等水域表面安装光伏组件进行发电，成功实现了国土空间资源集约利用与清洁能源生产的有机结合。不过，机遇与挑战并存。水上施工环境具有不确定性、动态性和复杂性，施工过程中会遭遇风浪、水深、水下障碍物、恶劣天气等多种不稳定因素，很容易引发淹溺、倾覆、碰撞、触电等安全事故，其安全风险远高于传统陆地施工。因此，系统识别施工过程中的潜在危险源，并制定科学有效的预防和控制措施，对于保障水上光伏项目安全、高效建设具有十分重要的现实意义。本文致力于构建一个全面的水上光伏施工危险源分析框架，并提出相应的风险化解策略。

1 水上光伏施工主要危险源分析

1.1 水文气象类危险源

开阔水域的风力、波浪和水流速度通常比陆地大。风浪会使施工船舶、浮体平台、临时栈桥等产生摇晃和颠簸，这不仅会影响施工精度和设备稳定性，还容易导致人员站立不稳落水、设备器材滑落水中，甚至引发船舶倾覆事故。其中，突发性大风（如阵风、龙卷风）的威胁极大。

水库、湖泊的水位会因降雨、泄洪、调水等因素发生剧烈变动。水位突然上涨可能会淹没施工场地和设备，

冲走物料；而水位骤降则可能导致船舶搁浅，或者使已安装的浮体阵列搁浅在淤泥或岸坡上，造成结构损坏。

雷电、暴雨、大雾、冰雹等极端天气都属于此类危险源。雷电可能直接击中水面作业人员或设备，引发雷击事故；暴雨会影响视线，同时加剧水位变化；大雾会严重降低能见度，导致船舶航行和起重作业视线受阻，容易发生碰撞事故。

水下地形起伏、淤泥层厚度、水下暗桩、废弃渔网、岩石等障碍物，会对打桩、抛锚等作业造成阻碍，可能导致设备损坏或作业失败^[1]。

1.2 作业环境类危险源

落水淹溺风险，这是水上施工中最直接、最常见的安全风险。所有在临水区域作业的人员，无论是在船上、浮台上还是栈桥上，都有可能因滑倒、失衡、碰撞等原因落水。如果未正确穿戴救生衣，或者因低温、惊慌导致体力快速流失，就极易发生溺亡事故^[2]。

水体污染与生物危害，部分水域可能受到污染，含有有害化学物质或病原体，人员落水后可能会受到健康损害。在南方水域，还可能存在水蛇、水母等具有攻击性或毒性的生物，对作业人员的安全构成威胁。

湿滑与有限空间，甲板、浮体、通道表面由于积水、结露或藻类附着，会变得异常湿滑，增加人员滑倒的风险。此外，船舶舱室、浮体内部等属于有限空间，可能存在缺氧、有毒有害气体积聚（如焊接烟尘、蓄电池产生的氢气）的情况，对作业人员的健康和安全不利。

1.3 施工技术与工艺类危险源

水上运输与吊装作业风险，组件、浮体、支架等大

型材料和设备需要通过船舶运输和水上吊装。在运输过程中,如果船舶超载、货物绑扎不牢,可能会导致船舶倾覆。在吊装作业时,起重机位于船上,其稳定性会受到船体晃动的极大影响,容易出现起重臂摆动、负载摇摆、碰撞甚至侧翻等情况。同时,信号指挥失误、索具断裂、吊点选择不当等问题,都可能导致重物坠落,砸伤人员或设备,甚至击沉船舶^[3]。

浮体安装与阵列连接风险,浮体的拼装、锚固和连接作业大多在晃动的水面上进行。作业人员进行螺栓紧固、焊接等操作时,工具和设备很容易掉落。如果锚固系统安装不当,比如锚重不足、锚链强度不够、布局不合理,在风浪的作用下,可能会导致整个光伏阵列漂移、散架,甚至发生碰撞损坏。

水上用电与焊接作业风险,水上环境潮湿,会使电气设备的绝缘性能下降,大大增加触电风险。在电缆敷设过程中,电缆可能会出现破损,接口处理不当也可能进水。进行电焊作业时,若焊机接地不良、电缆绝缘破损,或者火花飞溅到易燃物上,都可能引发触电或火灾事故。尤其是直流侧一旦发生漏电,电流会通过水体传导,影响范围广,危害程度大。

水下作业风险,当需要进行锚固、桩基检测、电缆敷设等水下作业时,作业人员会面临溺水、被水下物体缠绕、工具备损坏等风险,这对作业人员的专业性和装备水平要求极高^[4]。

1.4 设备设施类危险源

施工船舶与浮具缺陷,部分船舶本身可能不适航,通信导航设备存在故障,救生消防设施缺失或失效。临时搭设的浮台、栈桥,其结构强度、稳定性或可靠性可能不足,承载能力无法满足施工需求。

机械设备故障,水上起重机、运输车辆、打桩机、焊机等设备,由于长期处于潮湿环境,容易受到腐蚀,再加上维护不当等原因,可能会出现故障,如刹车失灵、液压系统泄漏、钢丝绳断裂等,影响施工安全和进度。

安全防护设施缺失,在临水边、通道口等关键位置,可能缺乏足够的防护栏杆、安全网;作业区域也未设置必要的安全警示标志和夜间警示灯,无法对作业人员起到有效的警示作用^[5]。

1.5 人员与管理类危险源

人员安全意识与技能不足,部分作业人员对水上作业的特点和风险不熟悉,没有掌握必要的安全知识和自救互救技能。一些特种作业人员(如起重、电焊、驾驶

人员)可能无证上岗,或者技能不够熟练,难以应对复杂的水上施工情况。此外,还有部分人员不按规定正确穿戴个人防护装备(PPE),如救生衣、安全帽、防滑鞋、安全带等。

违章指挥与违章作业,在施工过程中,有些指挥人员为了赶工期、图省事,会下达冒险作业指令。而作业人员也可能心存侥幸,违反安全操作规程(SOP),比如在恶劣天气下强行出船、超载运输、不执行停电验电程序等,这些行为都极大地增加了安全事故发生的概率。

安全管理体系缺失,部分项目的安全管理组织不健全,安全生产责任制没有得到有效落实。缺乏针对水上施工的安全专项方案和应急预案,或者方案只是流于形式,没有进行有效的交底,无法在实际施工中发挥作用。同时,现场安全监督检查不到位,对发现的风险隐患整改不及时、不彻底。

应急响应能力不足,应急救援预案没有定期进行演练,救援设备(如快艇、救生圈、捞钩、通讯设备)配备不足,或者作业人员对救援设备的操作不熟练,导致事故发生后无法进行有效、快速的响应和救援,延误最佳救援时机。

2 水上光伏施工危险源预防与控制措施

2.1 强化前期策划与风险评估(事前预防)

在施工前,要对作业水域进行全面、详细的勘察,充分了解水深、水下地形、地质状况、障碍物分布以及水文规律(如流速、水位变化历史数据)等信息。同时,与当地气象、水文部门建立密切的沟通联系,及时获取中短期和实时天气预报,并在施工现场设立气象监测站,实时监测天气变化情况。

对所有进入施工现场的船舶、浮具、起重机械等设备的证书和性能进行严格审查,确保设备符合相关标准和要求,处于良好的运行状态。同时,审查所有作业人员,尤其是特种作业人员的资格证书,保证人员与证书相符,具备相应的作业能力。

2.2 落实过程控制与现场管理(事中控制)

建立大风、大雨、大雾、雷电等恶劣天气预警和应急响应机制,根据施工实际设定作业风速、波高等安全阈值,超阈值立即停止水上作业,组织人员设备撤离至安全区域;明确划定安全作业区域,加强船舶调度避免无序航行,吊装作业需持证专人指挥,确保起重机支腿稳定、严禁超载,吊装前检查索具完好性,重物起吊下落时下方禁留人;临水边缘设牢固防护栏杆与安全网,

人员上下船舶、浮台设稳固跳板并专人扶持，高处作业必须系挂安全带。

严格执行“一机一闸一漏保”制度，定期检查电气设备、电缆线绝缘性能确保安全运行；电焊作业前需办理动火审批，清理周围可燃物、设接火盆且保证焊机接地良好，推广使用绝缘平台降低触电风险；强制临水作业人员全程正确穿戴救生衣、防滑鞋、安全帽，按需配备防护眼镜、绝缘手套等用品，现场设足量救生圈、救生绳等应急设备并放在醒目易取处；每日开工前开“班前会”告知危险点并做安全交底，定期开展水上作业安全、应急知识培训及高处作业、触电急救实操演练，提升员工风险意识与自救互救能力。

2.3 完善应急准备与响应（事后应急）

在施工现场必须配备足够数量的应急救援船舶（如快艇）、通讯设备（如对讲机、卫星电话）、医疗急救箱和担架等应急物资和设备，确保在事故发生时能够及时投入使用。

定期模拟落水、船舶火灾、触电等各类事故场景，组织全体作业人员进行实战化应急演练。通过演练，检验应急预案的有效性，发现预案中存在的问题并及时进行完善，同时锻炼应急队伍的响应速度和处置能力。

与附近的医院、海事部门、消防部门等外部救援力量建立密切的应急联动机制，明确在事故发生时的沟通协调方式和救援流程，确保在发生重大事故时能够及时获得外部支援，提高事故救援效率。

2.4 构建长效安全管理机制

建立从项目负责人到班组作业人员的全员安全生产责任制，明确每个岗位在安全生产工作中的职责和义务，将安全责任层层落实到个人，形成一级抓一级、层层抓落实的安全管理格局。

设立专职安全管理人员，负责对施工现场进行不间断的安全巡查，及时发现和消除安全隐患。同时，利用视频监控等信息化手段加强对施工现场的实时监控，提高安全监管的效率和覆盖面。对检查中发现的安全隐患实行“零容忍”态度，要求立即进行整改，并对整改情况进行跟踪检查，实行闭环管理，确保隐患整改到位。

积极引进和采用新技术、新设备，不断改进施工工

艺，降低施工过程中的安全风险。例如，利用无人机进行巡检和地形测绘，提高巡检效率和精度；采用大型浮吊船进行吊装作业，提高吊装稳定性；使用自动化安装工具，减少人工操作环节，降低人工作业风险等。

3 结论

综上，水上光伏项目建设施工是一项高风险的系统工程，其安全管理工作具有复杂性和艰巨性。但施工安全风险并非不可控制，关键在于能否全面、系统地识别施工过程中的危险源，并采取技术和管理相结合的综合措施对其进行有效预防和化解。项目参建各方必须高度重视水上作业的特殊性，牢固树立安全红线意识和底线思维，从精细化的前期策划、严格的过程控制、充分的应急准备和长效的管理机制四个方面共同发力，构建起一道坚实可靠的安全防护网。只有这样，才能有效遏制生产安全事故的发生，保障施工人员的生命安全与身体健康，确保水上光伏项目这一绿色工程能够安全、平稳、高效地建设完成，为我国能源结构的绿色转型贡献积极力量。

参考文献

- [1]陈璐. 智能电网融合背景下电力计量机械自动化控制技术的多模态优化及精准负荷调控应用[J]. 信息系统工程, 2025, (07): 80-82.
- [2]刘学成, 李涛. 含多电源电力系统负荷频率自动化控制方法[J]. 自动化博览, 2025, 42(04): 90-93.
- [3]李继龙, 杜军. 电力自动化系统中的智能控制策略分析[J]. 集成电路应用, 2024, 41(07): 192-193. DOI: 10.19339/j.issn.1674-2583.2024.07.085.
- [4]陈识微, 蒋鲁军, 沈莹. 基于智能算法的大型电力系统动态访问自动化控制优化研究[J]. 电子设计工程, 2025, 33(12): 115-119. DOI: 10.14022/j.issn1674-6236.2025.12.024.
- [5]张国庆. 人工智能技术在自动化控制系统中的应用[J]. 造纸装备及材料, 2023, 52(09): 44-46.

作者简介：王郅崢，1990.03.15，男，汉族，河北怀安县人，大学本科，工程师，研究方向：新能源工程建设。