

Research on Risk Identification and Countermeasures for Offshore Photovoltaic Cable Laying

Liang Xu Jiaqing Wang

Zhejiang Huadong Engineering Consulting Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 311100, China

Abstract

To address the risk challenges in submarine cable installation for offshore photovoltaic (PV) projects, this paper systematically analyzes key issues and their root causes from three perspectives: marine environmental risks, personnel safety risks, and construction vessel risks. It proposes risk mitigation measures and provides emergency management solutions across three dimensions: establishing a comprehensive risk control system, developing systematic emergency plans, and constructing a full-lifecycle collaborative management mechanism. These approaches can significantly enhance the safety and reliability of submarine cable installation for offshore PV systems, providing robust support for the sustainable development of the offshore PV industry.

Keywords

offshore photovoltaic; cable installation; full lifecycle; risk identification; emergency management

海上光伏电缆敷设风险辨识及应对措施研究

许亮 王佳庆

浙江华东工程咨询有限公司, 中国·浙江 杭州 311100

摘要

为了应对海上光伏电缆敷设面临的风险挑战, 本文从环海洋环境风险、人身安全风险及施工船舶风险入手, 系统性提出了海上光伏电缆敷设存在的关键问题及其成因, 并提出降低风险的应对措施。本文从建立完善风险管控体系、制定系统性的应急预案、构建全生命周期协同管控机制三个维度提供应急管控思路, 可显著提升海上光伏电缆敷设的安全性与可靠性, 为海上光伏产业健康发展提供强有力的保障。

关键词

海上光伏; 电缆敷设; 全生命周期; 风险识别; 应急管控

1 引言

近十几年世界光伏发电发展迅猛, 截止到2024年底全球光伏发电总装机容量达到4448GW, 光伏发电发展战略重心由陆地稳中推进转至海上开拓探索, 海上光伏作为一种新兴产业, 目前正在多个沿海省份开展示范性创新项目, 具有发展前景大、综合效益高、资源利用率大等优点^[1]。海上光伏电缆敷设是光伏最终成功并网发电的最后一公里工作, 意义重大, 但海上光伏项目尚未有一个完整的参考案例, 并且海上施工条件复杂, 项目开发技术难度大, 给海上光伏电缆敷设工作带来巨大的风险和挑战。然后目前关于光伏电缆敷设的风险管控存在风险评估机制不健全、应急预案系统性缺失、协同管控机制不到位问题, 因此相关技术人员致力于海上光伏项目顺利推进, 针对全生命周期电缆敷设存在的潜在风险精准识别, 并制定行之有效的风险管控技术措施。

【作者简介】许亮(1986-), 男, 中国浙江杭州人, 本科, 高级工程师, 从事结构工程研究。

2 海上光伏电缆敷设风险辨识与分析

2.1 海洋环境风险分析

海上恶劣的海洋环境包括海洋气象环境、海底地质条件及腐蚀与生物附着, 海洋气象环境包括大风、雨雾、涌浪、潮汐及海流等恶劣对现场电缆敷设工作影响较大, 如大风及雨雾天气可能会导致登高作业人员失去平衡, 敷缆船舶失稳造成打击碰撞事件, 为确保电缆施工安全, 施工船作业应在6级风以下进行, 必须掌握施工海域的气象条件, 施工期间若遇6级以上大风, 且海况极端恶劣, 天气难以及时好转, 则采取及时撤离施工现场躲避风浪的措施。海底地质条件包括礁石、沙波、软泥等导致电缆磨损、悬空或掩埋不足。海水盐雾、微生物腐蚀会造成电缆护套破损, 降低海上电缆使用寿命。

2.2 人身安全风险分析

海上光伏电缆敷设涉及的工作种类较多, 主要涉及到高处作业、涉电作业、水下作业等特种作业。高处作业存在坠落风险, 由于作业高度较高, 一旦作业人员未采取正确的

安全防护措施或安全措施失效,极易发生坠落事故,同时存在物体打击风险,在高空作业时,作业人员可能因操作不当或疏忽大意,导致工具、材料等物品坠落对下方人员或设备造成打击伤害。电缆敷设过程中的涉电作业主要涉及到机械设备的临时用电及电缆终端头制作,其中机械设备临时用电主要涉及到施工用电,接地保护、配电箱、照明线路等,制作电缆终端头主要涉及到光伏组件到逆变器以及逆变器至箱变部分会存在涉电作业,涉电作业时须穿戴绝缘鞋、绝缘手套以及其他相关防护用品,作业时须两人以上进行。海缆敷设作业涉及水下作业,水下作业是一项在高气压环境中进行的特殊工作,它的特点是:低温、能见度差、水文气象条件复杂、劳动强度大、医疗条件有限的特殊情况下进行,而且,潜水事故一般都具有发生突然、病情进展迅速、后果严重、现场医疗条件有限等特点,因而与临床疾病相比有其明显的特殊性。水下作业过程中若存在潜水装备缺陷(包含在待作业期间不按规定穿戴防护用品)可能引起窒息、淹溺事故,并且水下不明物体(包含未知生物)可能引起缠绕、刺(割)、咬伤等事故,若断电造成的供气系统断电,气体供应不足会导致水下作业人员窒息,电线绝缘破损或操作不当会导致水下作业人员触电,然而水下作业事故是完全可以预防的,其中除了潜水业务部门及潜水员本身的因素外,潜水作业的医学保障工作是其重要的方面。

2.3 施工船舶风险分析

海上光伏电缆敷设很大程度上依靠各类施工船舶来实现,其中最主要的施工船舶包括海缆敷设船,直流及交流电缆敷设船等。在充满诸多不确定性的复杂海洋环境当中,船舶所可能面临的绝非仅仅是能否平稳行驶这般简单,更多的是如何在各种不利条件的交织下实现安全作业。因为一旦船员在操作过程出现失误,那么极有可能就会引发一系列不可挽回的严重后果,其带来的损失和影响往往是难以估量的。敷设船舶在进点抛锚过程中,应对施工范围海域进行扫海,严格按照就抛锚制度进行定位进点,应定期对缆绳进行第三方检测,以防缆绳断裂,施工期间定期观察抛锚状态,以防走锚。鉴于此,我们应针对施工船舶存在的风险深入剖析,精准识别,并制定行之有效的防范措施,保证海上光伏电缆敷设工作平稳安全的进行。

3 现阶段海上光伏电缆敷设存在的风险管控问题

3.1 风险管理体系不完善

风险管理体系主要包含三个方面,其一是风险辨识系统,精准识别海上光伏电缆敷设存在的潜在风险,并针对风险源进行分级辨析是风险管理体系建立的关键环节,目前海上光伏电缆敷设采取的风险辨识技术手段不足,并且目前大多数风险辨识系统过于关注单一维度,如天气状况与机械设备,而忽视了多维度风险的耦合效应,往往会造成风险辨

识及评估结果与实际产生很大偏差。其二是风险责任体系,清晰明确的风险责任体系是风险管理体系的重要基础,针对海上光伏电缆敷设存在的风险点,相关人员要明确各参与方的职责与角色,从海上光伏电缆敷设前期可研、设计、施工及检修运维全生命周期需要有明确的责任人。这样的分工可以确保在出现问题时能够迅速定位到责任人,从而及时采取措施并进行纠正^[1]。其三是针对已辨识的危险源制定针对性的技术措施,如针对风险辨识中的低风险可以采取预防的措施,针对风险辨识中的高风险可以采取制定应急预案及应急演练的技术措施。

3.2 应急预案缺乏系统性

现行的海上光伏电缆敷设应急预案普遍存在覆盖面不全、响应机制不完善、预案演练不充分等问题^[2]。为了有效应对海上光伏电缆敷设可能出现的各类风险事件、保障人员和财产的绝对安全,推进电缆敷设工作的顺利进行,制订一份详细且完备的应急预案至关重要。这份预案必须全面覆盖海上光伏电缆敷设过程中可能遇到的各种突发情况并积极响应,预案中应明确应急响应的具体流程和措施^[3]。目前海上光伏电缆敷设应急预案存在的问题具体表现在三个方面:第一,应急预案的模拟场景覆盖不全面,特别是对各种恶劣天气、船机故障、施工人员发生意外等多维度风险叠加的复杂场景考虑不全面。第二,应急响应机制不够完善,各参与方应急响应流于形式,沟通协调机制欠缺,响应时机与响应动作不及时。第三应急演练准备不充分,应急演练中未邀请专业应急救援队伍参与,应急物资的调配未提前规划准备充分,现场的指挥则流于表面^[4]。应急预案缺乏系统性导致海上光伏电缆敷设施工过程中面临风险,无法沉着冷静应对,造成大量人员及经济财产损失。

3.3 风险协同管控机制缺失

海上光伏电缆敷设风险管控涉及到多个相关方,包括海上光伏工程建设单位,电缆供应商,海上光伏总承包单位,海上光伏电缆敷设施工单位及相关监管部分,现阶段风险协同管控机制尚未完全建立,海上光伏电缆敷设全生命周期各方职责模糊不清,风险承担界面不明确及沟通协同管控机制缺失。

在海上光伏电缆敷设过程中,如因供应电缆质量问题造成施工人员存在意外风险,现有的风险协同管控机制很难处理及应对该风险的发生。又如由于光伏钢桁架设备制造单位施工误差造成海上光伏电缆敷设无法按照设计要求进行,造成的潜在风险将在运维阶段暴露出来。

在协同机制方面,各相关方在施工过程中的信息沟通和协作尚不充分,特别是对于施工进度、风险预警和应急响应等环节的实时信息共享缺乏系统支持。这种信息流的不畅可能导致风险响应不及时。此外,关于海上光伏电缆敷设不同相关方之间的协调机制尚未形成统一的行业规范,特别是应急情况下的指挥权界定方面,可能出现推诿或延误现象。

4 降低海上光伏电缆敷设风险的应对措施

4.1 构建完善的风险管控体系

构建完善的风险管控体系,顶层设计是关键抓手,针对海上光伏电缆敷设的风险管控体系建立,应成立专门风险管控专项小组,设立安全、质量、环保等风险专岗,对海上光伏电缆敷设全生命周期进行风险识别,如前期策划阶段存在可研偏差、土地合规、融资风险,可通过PEST分析、SWOT、专家评审等措施进行辨识,施工阶段存在安全事故、进度延误、成本超支等风险,可采取4M1E分析法进行风险辨识。风险辨识评估应根据LEC法、模糊综合评价法进行分析,并对风险进行分级,风险评估引入概率学理论,结合蒙特卡洛概率分析法进行评估,利用神经网络进行多维度风险考虑,同时建立风险辨识评估动态化机制,结合数字化软件及应用,根据外界环境、施工阶段及安全监管等因素进行实时更新,评估报告应包含详细的风险地图,明确标注各阶段的潜在风险点,并提供相应的预防措施和控制方案,为后续海上光伏电缆敷设作业提供适用性强的指导建议。

4.2 制定系统性的应急预案

系统化的应急预案应当基于“预防为主、应急为辅”的原则,构建多维度、多协同应急响应体系。预案的编制因结合实际,邀请一线员工参与编制,充分考虑天气状况,船机设备、人员意外对海上光伏电缆敷设工作的影响,确保步骤可执行。应建立三级响应机制^[5]:对于可能造成10人以上死亡或1亿元以上的直接经济损失的重大风险事件,应启动一级响应,成立现场联合指挥部,启动跨区域救援(如国家应急救援队),实施交通管制和物资统配;对于较大风险事件,启动项目应急指挥中心统筹协调;一般风险事件,由现场工作组直接处置。预案中应详细规定每个步骤的责任人与执行者,建立清晰的指挥链条和信息报送渠道,确保应急响应的高效性。预案还应包含详细的应急资源配置方案,明确救援设备、专业人员和应急物资的储备要求。定期开展实战化应急演练是提高预案可操作性的关键,演练应模拟不同天气条件和海况下的各类突发情况,通过实操检验预案的可行性,并根据演练反馈持续优化完善预案内容。同时可以引入先进数字化手段,如成立应急指挥平台进行集成监控、人员定位、资源调度。

4.3 建立全生命周期的协同管控机制

针对海上光伏电缆敷设的特殊性(海洋环境复杂、作业空间受限、电缆故障影响链长),需建立覆盖“设计-施工-运维”全生命周期的立体化应急协同管控机制。建设单位、施工单位、海事局、海洋环境监测中心加强协同管控联动,如每月召开风险研判会。同时,可以从制度、技术、经济对协同管控进行保障,制度保障可以将应急协同纳入《海上光伏电站安全管理规定》强制性条款,技术保障可以通过开发电缆敷设数字孪生系统,经济激励可以通过建立应急互助基金。同时构建统一的信息共享平台,实现电缆敷设进度、风险预警、应急处置等信息的实时共享,各方按照预设的响应机制快速协同行动[6]。

5 结论

海上光伏电缆敷设的风险管控是保证项目成功落地的重要因素。相关人员针对环境风险、技术风险和安全风险进行深入分析,并从构建完善的风险管控体系,制定系统化的应急预案,建立全生命周期的协同管控机制着手,从而提高电缆敷设工作的安全性和可靠性。未来,相关人员还需要不断加强应急海上光伏电缆敷设理论、制度及技术创新,以更加从容的姿态应对未来各种风险挑战,推动光伏产业稳健发展。

参考文献

- [1] 封志贤.光伏并网发电项目风险分析及评价研究[D].保定:华北电力大学,2019
- [2] 冯乐,张波,赵民,等.LEC法划分海上风电作业风险等级[J].劳动保护,2024(09):65-68.
- [3] 李剑,杨文思,谢明.新建光伏电站涉网安全防护常见风险隐患及整改措施[C]//江西省电机工程学会.2018年江西省电机工程学会年会论文集.南昌:江西省电机工程学会,2018:137-138.
- [4] 尹同山.海上光伏安装风险识别与管控要点分析[J].科技视界,2024,14(35):57-60.
- [5] 孙木哲.低空突发事件分级响应研究[D].中国人民公安大学,2023.DOI:10.27634/d.cnki.gzrgu.2023.000148.
- [6] 张硕.光伏发电平台海上运输的风险与应对策略浅析[J].中国科技投资,2025,(01):24-26.