

海上风电项目全生命周期风险耦合管理与应对策略

党浩然

华电科工股份有限公司 北京 100071

摘要：海上风电项目在能源转型中地位重要，但面临诸多风险。本文首先分析了各阶段风险耦合因素、作用机制，包括风险因素相互作用、传递路径及演化规律。接着提出了风险耦合管理策略，涵盖风险识别、评估、监控与预警。最后从组织、技术、经济、政策层面给出应对策略，如建立风险管理组织机构、采用先进技术设备、优化融资结构、争取政策支持等，为海上风电项目风险管控提供参考。

关键词：海上风电项目；全生命周期；风险耦合管理；应对策略

引言：海上风电项目对能源转型意义重大，但全生命周期长、环节复杂，面临多种风险。各阶段风险相互耦合，存在复杂作用机制，涵盖风险因素相互作用、传递路径及演化规律。这些风险若不有效管控，会影响项目审批、建设、运营及退役拆除，增加成本、降低收益甚至造成安全事故。本文将深入研究海上风电项目全生命周期风险耦合管理与应对策略，这对保障项目顺利实施、实现可持续发展十分必要。

1 海上风电项目全生命周期风险耦合因素分析

前期规划阶段，政策法规不稳定不确定影响项目审批、建设与运营，增加成本或减少收益；选址不当带来海洋地质复杂、生态敏感、通航干扰等问题，加大建设难度成本，影响运营安全与发电效率；技术不成熟不可行会使项目无法按时完成或达到预期发电目标。建设施工阶段，海洋自然灾害致施工设备损坏、进度延误甚至人员伤亡；工程质量问题影响项目安全可靠，增加后期运营维护成本；供应链不稳定，供应商违约、交货延迟等导致项目停工待料、成本增加^[1]。运营维护阶段，海上恶劣环境使设备易故障，影响发电效率，增加维修成本与停机时间；运营维护工作危险，安全措施不到位易致人员伤亡；电力市场价格波动、政策变化影响项目收益。退役拆除阶段，处理不当会造成海洋环境污染，破坏生态平衡且面临环保处罚；技术不成熟、设备不可靠增加拆除成本与安全风险；资金不足或成本控制不当影响退役拆除进度与质量。

2 海上风电项目全生命周期风险耦合作用机制

2.1 风险因素相互作用

前期规划政策法规、选址、技术可行性等风险相互关联，选址风险不仅关联自身建设条件，还会对后续建设施工阶段的自然环境风险产生影响，如复杂地质增加施工难度与受自然灾害侵袭可能，同时也会影响工程质

量风险，不良选址可能需特殊处理增加质量管控难度。建设施工阶段，自然环境、工程质量、供应链等风险相互作用，工程质量风险除受前期选址影响，还会进一步影响运营维护阶段，基础不牢固等质量问题会加大设备故障风险，给人员安全带来隐患。运营维护阶段，设备故障、人员安全、市场等风险也彼此关联，设备故障可能引发人员安全风险，市场变化影响收益进而影响设备维护投入。退役拆除阶段，环境、技术、经济风险相互交织，技术不成熟可能引发环境风险，经济风险又影响技术选择与环境处理能力。各阶段风险因素相互作用使风险影响范围扩大、程度加深，给项目带来更大挑战。

2.2 风险传递路径

前期规划政策法规变动形成的风险，会随着项目推进传递至后续各阶段，在建设施工阶段，可能因政策调整改变施工要求或增加成本；到运营维护阶段，影响电价补贴等收益因素；在退役拆除阶段，改变拆除标准与资金支持。自然环境风险在建设施工阶段受海洋灾害影响产生，若未有效控制，会传递到运营维护阶段，如恶劣地质条件导致的基础不稳，在运营中易引发设备故障、人员安全等问题^[2]。供应链风险在建设施工阶段因供应商问题出现，可能影响施工进度，若处理不当，在运营维护阶段会因设备配件供应不及时，增加停机维修时间。各阶段风险传递路径相互交织，明确这些路径，项目管理者能提前预判，在风险传递关键节点设置监测与防控措施，及时阻断传递链条，避免风险扩散与叠加，将风险影响控制在最小范围，保障项目顺利推进与稳定运营。

2.3 风险演化规律

前期规划项目处于筹备与决策期，政策法规风险较为突出，此时政策走向、审批要求等不确定因素对项目能否顺利开展影响重大。进入建设施工阶段，项目进入

实质建设环节,自然环境风险凸显,海洋的复杂气象、地质条件等给施工带来诸多挑战;同时,工程质量风险也愈发关键,施工质量直接决定项目基础稳固程度与后续运营安全。到了运营维护阶段,项目已建成并投入发电,设备长期处于恶劣海洋环境,设备故障风险成为重点,故障频发会影响发电效率与收益;市场风险也日益重要,电力市场价格波动、政策补贴变化等都会对项目经济性产生直接影响。把握风险演化规律,项目管理者能精准识别不同阶段的核心风险,提前规划应对措施,合理分配资源,在风险萌芽或弱小时加以控制,在风险增强前做好防范,制定出贴合项目实际需求的风险管理策略。

3 海上风电项目全生命周期风险耦合管理策略

3.1 风险识别

(1) 构建完备体系,依据项目全生命周期特性,打造覆盖前期规划、建设施工、运营维护及退役拆除各阶段的风险识别框架,清晰界定识别目标、范围、方法与流程,保障风险识别无遗漏且精准。(2) 采用多种识别方法,识别风险时,要综合施策,将头脑风暴法的开放思维、德尔菲法的专业集智、检查表法的细致排查、流程图法的系统梳理等多种方法有机结合,从政策法规、自然环境、技术工艺、市场供需等不同角度与层面,全方位挖掘项目潜在风险。(3) 定期更新风险清单,鉴于项目推进中内部作业情况与外部政策、市场等环境持续变动,风险状态并非一成不变,原有风险可能消除,新风险也会不断涌现。所以要建立动态管理机制,定期对风险清单进行更新,通过持续监测项目进展与环境变化,及时捕捉新风险因素,将其纳入清单管理,确保风险识别与实际情况紧密贴合,为后续风险评估、应对等环节提供可靠依据。

3.2 风险评估

要选择适配方法,依据风险特性与评估目标,从层次分析法、模糊综合评价法、蒙特卡罗模拟法等方法中挑选。层次分析法能将复杂风险分解,通过对比确定各因素权重;模糊综合评价法可处理风险的不确定性,给出综合评价结果;蒙特卡罗模拟法借助随机抽样,模拟风险发生情况,评估其影响^[3]。选好方法后,要构建科学指标体系,综合考虑风险发生可能性与影响程度等因素,对各指标量化处理,如将可能性按高、中、低赋值,影响程度按严重、一般、轻微赋值,使风险评估有量化标准。最后开展评估分析,运用选定方法与指标体系,对识别出的风险全面评估,确定风险等级与优先级,明确哪些是高风险需优先应对,哪些是低风险可后

续处理,为制定风险应对策略提供有力依据,保障项目在复杂环境中稳健推进,降低风险带来的损失与影响。

3.3 风险监控与预警

(1) 构建实时动态的风险监控机制,对项目从前期规划到退役拆除全生命周期的风险展开全程跟踪,密切留意风险变化态势,一旦发现风险有扩大、转移等异动,立即采取针对性措施调整,将风险控制在萌芽状态。(2) 依据风险评估结果设置合理的风险预警指标,综合考虑风险发生可能性和影响程度等因素,确定不同风险的预警阈值,当风险指标触及预警值时,迅速发出预警信号,为项目管理人员争取应对时间,使其能提前谋划防范措施。(3) 针对可能出现的重大风险制定应急预案,详细明确应急处置的流程、具体措施以及各参与方的责任分工,确保在风险突发时,各环节能紧密配合、迅速响应,按照预定方案有序开展应对工作,最大程度降低风险造成的损失,保障项目的人员安全、资产完整以及运营稳定。

4 海上风电项目全生命周期风险耦合应对策略

4.1 组织层面应对策略

其一是建立风险管理组织机构,通过成立专门的风险管理部门或委员会,明确界定各部门及岗位在风险识别、评估、监控与应对中的具体职责,形成纵向统一领导、横向分级管理、跨部门分工协作的立体化风险管理体系,确保风险管理工作全覆盖、无死角。其二是强化风险管理培训机制,将风险意识教育纳入员工常态化培训体系,针对不同层级设计差异化课程,重点提升项目管理人员对风险规律的认知能力、一线员工对风险信号的敏感度以及全员风险应对技能,通过案例分析、模拟演练等方式确保培训成果转化为实际工作能力^[4]。其三是建立风险管理激励机制,构建以风险管控成效为核心的考核指标体系,将风险应对效果与部门绩效、个人薪酬晋升直接挂钩,对主动识别重大风险隐患、提出有效防控措施或成功化解危机的团队及个人给予物质奖励与荣誉表彰,对因风险失职造成损失的严格追责,通过正向激励与反向约束相结合的方式,激发全员参与风险管理的内生动力,推动风险管理从被动应对向主动防控转变,最终形成“组织保障、能力支撑、激励驱动”三位一体的风险治理闭环,为组织稳健运营提供坚实保障。

4.2 技术层面应对策略

(1) 采用先进可靠的技术设备,在项目规划、建设、运营全生命周期中优先选用技术成熟度高、稳定性强且经过实践验证的装备与系统,通过技术迭代升级增强项目本质安全水平,重点在风机基础结构、电气系

统、运维监控等关键领域部署智能化、数字化解决方案,提升设备可靠性及环境适应性。(2)强化技术研发创新投入,建立以企业为主体、产学研协同的技术攻关机制,针对海上风电特殊环境下的基础施工、防腐防污、故障诊断等共性难题开展集中突破,通过自主创新掌握核心专利技术,逐步减少对进口技术及设备的依赖,形成具有自主知识产权的技术体系。(3)构建覆盖全产业链的技术标准体系,依据国际通行规范结合国内实际制定涵盖设计、施工、验收、运维等环节的标准化文件,明确技术参数、工艺流程、质量要求等关键指标,建立标准动态更新机制以适应技术快速发展,通过标准化建设统一行业技术基准,确保项目各阶段技术方案的科学性、规范性及可追溯性,最终形成技术装备升级、创新能力提升、标准体系完善三位一体的技术风险控制体系,为海上风电项目安全高效运行提供技术保障。

4.3 经济层面应对策略

合理安排项目资金,依据项目进度与资金需求,精准规划资金投放节奏,确保项目建设、运营及维护等各阶段资金充足,避免因资金短缺引发项目停滞、工期延误或风险失控等问题,保障项目顺利推进。其次要进行风险成本分析,在项目决策阶段,深入评估风险因素对项目成本和收益的潜在影响,综合考虑技术、市场、政策等多方面风险,合理确定项目投资规模和电价水平,使项目在经济上具有可行性与竞争力^[5]。最后要采用多元化融资方式,积极拓展融资渠道,综合运用银行贷款、股权融资、债券融资等多种方式,根据项目特点和不同融资方式的优缺点,合理搭配融资结构,降低对单一融资渠道的依赖,有效分散融资风险,同时通过优化融资组合降低项目整体融资成本,提高资金使用效率,为项目全生命周期的稳定运营提供坚实的经济保障。

4.4 政策层面应对策略

(1)积极争取政策支持,主动与政府部门沟通协调,全力争取补贴政策以缓解资金压力、税收优惠政策降低运营成本、土地政策保障项目用地,通过多政策协

同降低项目建设和运营成本,提升项目整体经济性与市场竞争力。(2)主动参与政策制定,行业主体应积极投身政府相关政策制定流程,凭借专业视角与实践经验,精准反映海上风电行业在技术、市场、环境等方面的诉求与意见,推动政策朝着更贴合行业实际、更具科学性与前瞻性的方向完善优化,为项目发展营造良好政策生态。(3)加强政策研究,组建专业政策研究团队,密切跟踪政策法规动态,深入分析政策变化趋势,依据政策调整及时优化项目风险管理策略,确保项目在政策波动中始终保持合规运营,有效规避政策风险,实现可持续发展。

结束语

综上所述,通过分析各阶段风险耦合因素、作用机制,提出涵盖风险识别、评估、监控与预警的管理策略,以及组织、技术、经济、政策层面的应对策略。这些策略相互配合,能有效降低风险影响,提高项目经济性与安全性。未来,随着技术发展与管理经验积累,需持续优化策略,以适应不断变化的内外部环境,推动海上风电行业可持续发展。

参考文献

- [1] 聂党辉.海上风电EPC项目施工成本分析及造价管理探究[J].中文科技期刊数据库(全文版)经济管理,2025(6):061-064.
- [2] 陈心洋.动态规划下海上风电项目投资资金优化配置策略[J].中国科技投资,2025(32):19-21.
- [3] 张铭,张波,赵民,刘庭,李广海,冯乐,刘鑫,周国栋.海上风电安全风险管理与实践[J].工业安全与环保,2024,50(10):55-60.
- [4] 李家才.海上风电投资项目风险评价及应对研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)经济管理,2024(10):0039-0042.
- [5] 林超峰.海上风电工程建设风险分析与防控[J].福建水力发电,2022(2):85-88.