

# 海上风电项目风险研究

朱高明<sup>1,2</sup>

1. 中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司 浙江 杭州 311122

2. 浙江华东工程咨询有限公司 浙江 杭州 311122

**摘要:** 在全球能源转型的大背景下,海上风电作为一种清洁、可再生能源开发形式迅速崛起。本文聚焦海上风电项目风险展开研究,先是概述海上风电项目情况,接着深入剖析其涵盖的自然、技术、经济、管理等多方面风险因素,详细介绍如风险矩阵法、概率分析方法等定性与定量的风险评估方法,最后针对各类风险提出相应应对策略,包括抗灾设计、技术创新、成本控制以及管理优化等举措,旨在全面梳理海上风电项目风险相关要点,为提升海上风电项目应对风险能力、保障项目顺利实施与可持续发展提供有益参考。

**关键词:** 海上风电;项目;风险;研究

引言:随着能源需求增长与环保要求提升,海上风电项目日益受到重视。然而,其所处海洋环境复杂,涉及众多环节,面临诸多风险挑战。从自然环境的恶劣多变,到技术应用的复杂要求,再到经济与管理层面的诸多不确定因素,都可能影响项目的顺利推进与效益获取。因此,深入研究海上风电项目风险,分析其风险因素、评估方法及应对策略,对推动海上风电行业健康稳定发展意义重大。

## 1 海上风电项目概述

海上风电项目是开发利用海洋风能资源的重要能源工程。它通常在近海海域建设风力发电场,通过在海床上安装大型风力发电机组,将风能转化为电能。与陆地风电相比,海上风电具有风速稳定、风资源丰富且基本不存在占地问题等优势,其发电效率更高,能为大规模电力供应提供有力支持。海上风电项目建设涉及多个复杂环节,包括前期的海洋环境勘察、风电场选址与规划,中期的基础施工、风机安装与调试,以及后期的运营维护与电力输送等。基础施工需考虑海洋地质条件与海浪海流影响,采用如单桩基础、导管架基础等不同形式。风机选型与安装则要依据海上风能特性确定,同时要确保输电系统稳定高效,以将清洁的风电输送到陆地电网,满足社会日益增长的电力需求并助力能源结构优化<sup>[1]</sup>。

## 2 海上风电项目风险因素分析

### 2.1 自然风险

#### 2.1.1 台风风险

台风是海上风电项目面临的重大自然风险。其强劲风力远超风机设计承受极限时,可能致使叶片折断、塔架变形甚至倒塌,直接摧毁发电设备,台风引发的暴雨和风暴潮会使海平面上升,淹没风机基础及附属设施,

严重影响其稳定性与正常运行,造成长时间停机,不仅带来高额维修成本,还因电力供应中断产生巨大经济损失,对项目的安全性与经济效益构成严峻挑战。

#### 2.1.2 雷击风险

当雷电击中风机时,瞬间释放的巨大能量可能破坏风机内部精密的电气控制系统,导致线路短路、设备烧毁,进而引发火灾,危及整个风机结构安全。即使未引发火灾,雷击也可能使风机的传感器、通信设备等失灵,造成风机停机,影响电力输出稳定性,增加运维难度与成本,降低海上风电项目的运行可靠性与发电效率。

#### 2.1.3 海浪与海流风险

高强度海浪的反复冲击对风机基础产生强大的动水压力,长此以往会引发基础混凝土剥落、钢结构腐蚀,削弱基础承载能力,甚至导致基础失稳。复杂多变的海流会增加风机基础施工难度,如影响打桩精度与垂直度,同时在运营阶段,海流产生的侧向力也会对基础和海底电缆造成磨损与破坏,威胁海上风电项目的结构安全与电力传输稳定性。

#### 2.1.4 海洋地质风险

在地质条件复杂区域,如存在不稳定的淤泥质土层、断层或溶洞时,风机基础施工极为困难。软土地基可能无法提供足够的承载能力,致使基础沉降不均,影响风机的垂直度与稳定性,进而产生结构应力集中,加速设备磨损与疲劳破坏。海底地质灾害如地震引发的砂土液化、海底滑坡等,更会对风机基础造成毁灭性打击,严重危及海上风电项目的长期安全运行。

## 2.2 技术风险

### 2.2.1 施工技术风险

海上风电施工环境恶劣,施工技术难度大。如在深

海区域进行基础施工时,精准定位与打桩技术要求极高,若出现偏差,会影响基础稳定性。海上吊装作业受风浪影响,风机组件安装易发生碰撞损坏,且海上防腐技术若不完善,设备易受海水侵蚀,缩短使用寿命。施工技术不成熟或工艺不当,不仅可能导致施工周期延长、成本增加,还会给项目后续运营埋下安全隐患。

### 2.2.2 风电机组技术风险

设计上若对海上特殊环境适应性不足,如抗腐蚀、抗台风能力弱,可能频繁故障。制造工艺缺陷会使零部件质量不稳定,影响机组整体性能与可靠性。此外,随着技术发展,若不能及时升级控制系统,难以实现高效智能运行与精准功率调节,导致发电效率降低,无法充分利用海上风能资源,影响项目经济效益与投资回报。

### 2.2.3 输电技术风险

海上风电输电距离远,输电技术面临挑战。海底电缆铺设难度大,易受海底地形、地质活动及海洋生物破坏,引发电缆破损、漏电故障,影响电力传输可靠性。海上风电输出功率不稳定,需先进的电力变换与传输技术来保障电能质量,否则会造成电网电压波动、谐波污染等问题,干扰陆地电网正常运行,甚至可能导致电网故障,对电力系统安全稳定运行构成威胁,制约海上风电大规模并网与消纳。

## 2.3 经济风险

### 2.3.1 投资风险

海上风电项目投资规模庞大,涉及多环节与长周期,投资风险显著。前期勘探、设备购置、基础建设等需大量资金投入,若项目规划不合理,导致预算超支,或因政策变动、资金链断裂使投资中断,项目将面临困境。且海上风电投资回收慢,收益受多种因素制约,如发电量不及预期、电价波动等,都可能使投资难以达到预期回报率,甚至造成投资亏损,给投资者带来巨大经济压力。

### 2.3.2 运营成本风险

风机日常维护需专业船舶与设备,恶劣海况下运维难度与成本剧增。设备老化、故障维修费用高昂,且零部件更换因运输不便成本更高。此外,海上风电需持续投入资金用于海洋生态监测与保护,以满足环保要求。若运营成本控制不力,将压缩利润空间,当运营成本长期高于发电收益时,项目可持续性将受到严重威胁,影响企业长期运营效益。

### 2.3.3 市场风险

电力市场竞争激烈,海上风电面临其他能源形式竞争,若不能在成本与稳定性方面保持优势,市场份额难以保障。且风电上网电价受政策调控与市场供需变化影

响大,电价波动直接影响项目收益。长期来看,随着新能源技术发展,若海上风电不能持续创新,满足市场对高效、智能、清洁电力的需求,可能被新兴能源替代,导致市场需求萎缩,项目面临淘汰风险。

## 2.4 管理风险

### 2.4.1 项目管理风险

海上风电项目管理复杂,涉及多部门、多专业协同。若项目管理流程不清晰,各环节衔接不畅,易导致施工进度延误、质量把控不严。例如,在工程建设中,设计变更管理不善可能引发返工,增加成本与工期,对项目整体把控不足,无法有效协调资源分配,在面对突发情况时难以及时调整策略,影响项目整体效益与顺利交付,甚至可能使项目陷入困境,无法达成预期目标。

### 2.4.2 人员管理风险

海上风电项目对人员要求较高,人员管理风险突出。专业技术人员短缺可能导致施工与运维环节技术难题无法及时解决,影响项目推进。人员培训体系不完善,员工技能与知识更新不及时,难以适应新技术、新设备要求。此外,海上工作环境艰苦,若缺乏有效的激励机制与人文关怀,易造成人员流失,影响团队稳定性与项目连续性,增加人力成本与管理难度,对项目长期稳定运行带来不利影响。

### 2.4.3 风险管理体系不完善风险

风险识别不全面,可能遗漏如新型海洋灾害、政策变动等重要风险因素,使项目在无防备情况下遭受损失。风险评估方法不准确,无法量化风险程度,导致应对措施缺乏针对性。且风险监控与预警机制缺失,不能及时发现风险变化趋势,难以及时启动应急预案,在风险发生时易造成慌乱与无序,无法有效降低风险危害,威胁项目安全与效益<sup>[2]</sup>。

## 3 海上风电项目风险评估方法

### 3.1 定性风险评估方法

#### 3.1.1 风险矩阵法

对于海上风电项目,考虑台风、雷击等风险。将其发生可能性分为低、中、高,影响程度按轻微、中等、严重划分。如强台风发生可能性低但影响严重,在矩阵中对应高风险区域。借此可直观确定风险等级,帮助管理者聚焦关键风险,如对高风险的风机倒塌风险优先制定应对策略,合理调配资源,保障项目平稳推进。

#### 3.1.2 专家调查法

在海上风电项目里,召集气象、工程等多领域专家。针对海洋地质风险,专家依据过往项目情况、地质研究成果等评估。通过多轮问卷或会议交流,综合专家

意见。例如判断某海域软土地基对风机基础稳定性影响程度，专家们各抒己见后达成共识，为项目决策提供定性参考，助力提前规划预防措施，降低风险不确定性。

### 3.2 定量风险评估方法

#### 3.2.1 概率分析方法

它基于大量历史数据与科学模型，对各类风险发生概率予以精确量化。如针对台风风险，收集多年台风路径、强度等数据，运用统计模型计算特定海域台风在项目周期内侵袭概率。对于风机故障风险，依据设备可靠性数据确定其故障率。

#### 3.2.2 模拟分析方法

模拟分析方法借助计算机模拟技术对海上风电项目风险进行评估。它可构建复杂模型模拟多种风险因素综合作用场景。例如，通过蒙特卡罗模拟，考虑海浪高度、海流速度、风机性能等多变量不确定性，模拟海上风电项目在不同工况下的运行状况，得出诸如发电量波动范围、项目收益概率分布等结果<sup>[3]</sup>。

## 4 海上风电项目风险应对策略

### 4.1 抗灾设计与建设

在抗灾设计方面，依据海上风电项目所在海域的历史灾害数据，优化风机结构设计，提高其抗台风、抗雷击能力，如采用高强度材料与稳固的塔架结构。建设时，根据海洋地质状况选择合适基础形式，如针对软土地基采用桩基础并增加入土深度以增强稳定性，对输电线路进行深埋或防护处理，防止海浪与海流破坏，全方位提升项目抵御自然灾害的能力，保障项目长期稳定运行。

### 4.2 灾害监测与预警

建立多维度的灾害监测系统，利用气象卫星、海洋浮标、雷达等设备实时监测台风路径、强度，海浪高度、周期，以及雷电活动等信息。通过数据传输与分析平台，及时将灾害预警信息传递给海上风电运维人员与陆地监控中心。预警系统设定不同等级阈值，当风险指标临近阈值时自动触发警报，以便提前做好风机停机、设备防护等应对准备，最大程度减少灾害对海上风电项目的损害。

### 4.3 技术研发与创新

加大对海上风电技术研发投入，重点攻克关键技术难题。在施工技术上，研发高效精准的海上打桩、吊装设备与工艺，提高施工效率与质量。针对风电机组技术，开发适应海上复杂环境的新型风机，提高其发电效率、可靠性与智能控制水平。在输电技术领域，创新海底电缆制造与铺设技术，增强电缆抗腐蚀、抗外力破坏能力，同时研发先进的电力储能与传输调节技术，保障海上风电稳定并网与高效消纳。

### 4.4 成本控制与效益提升

成本控制上，优化项目前期规划，精准测算投资预算，避免不必要开支。在设备采购环节，通过集中采购、长期合作等方式降低成本。运营中，采用智能运维系统，合理安排运维任务，减少运维船舶出海次数，降低运维成本。效益提升方面，积极参与电力市场交易，争取合理电价与电量份额。

### 4.5 项目管理优化

优化项目管理流程，明确各阶段任务与责任部门，确保工作高效衔接。建立标准化项目管理体系，涵盖工程进度管理、质量管理、安全管理等方面，提高管理的规范性与透明度。运用先进项目管理软件，实时监控项目进展，及时发现并解决问题。加强项目沟通协调机制，促进设计、施工、运维等各方信息共享与协同工作，保障项目按计划顺利推进，实现质量、进度与成本目标的平衡达成。

### 4.6 人员管理提升

加强人员招聘与选拔，引进具有海上风电专业知识与丰富经验的人才。构建完善的培训体系，定期开展技术培训、安全培训与应急演练，提升员工专业技能与应对风险能力。建立合理的薪酬福利与激励机制，根据员工绩效给予奖励，激发员工工作积极性与创造力。注重员工职业发展规划，提供晋升通道与岗位轮换机会，增强员工归属感与忠诚度，打造一支高素质、稳定的海上风电项目团队<sup>[4]</sup>。

## 结束语

海上风电项目作为清洁能源领域的重要发展方向，虽前景广阔，但风险重重。通过对自然、技术、经济和管理等多方面风险因素的剖析，以及定性定量风险评估方法的运用，我们构建起了较为全面的风险认知体系。相应的抗灾设计、技术创新、成本管控、管理优化等应对策略，为项目的稳定推进提供了保障。未来，随着科技进步与行业经验积累，海上风电项目风险管理将更加精准高效，助力其在能源转型浪潮中稳健发展，为全球可持续能源供应贡献更大力量。

## 参考文献

- [1]代鹏.风电工程建设中的管理模式及风险因素探究[J].装备维修技术,2019(01):13-14+6.
- [2]周志伟.高山风电项目建设风险因素分析及措施[J].成功营销,2018(10):127-128.
- [3]宋国政.风电建设项目质量控制的措施分析[J].居舍,2018(24):219+82.
- [4]赵春生.大型风电工程建设中的风险管控[J].科技风,2018(26):194.