

陆上风电项目施工阶段工程建设管理风险识别与应对机制研究

王一程

国家电投集团贵州金元威宁能源股份有限公司 贵州省贵阳市观山湖区 550081

摘要：本文聚焦于陆上风电项目施工阶段的工程建设管理风险，对自然环境、技术实施、经济成本、管理协调以及环境与社会等多维度的风险进行了系统性梳理。深入剖析了各类风险的形成机理及其对项目进度、质量、成本及安全等方面的影响。基于风险识别成果，本文创新性地提出了一套涵盖风险规避、风险转移、风险减轻及风险接受在内的动态应对策略体系。同时，构建了包含组织架构保障、技术手段支撑以及监督评估机制在内的全方位保障体系。本研究致力于为提升陆上风电项目施工管理的整体效能提供坚实的理论支撑与切实可行的实践指南，进而推动整个行业风险管理向标准化、精细化方向迈进。

关键词：陆上风电；施工管理；风险识别；应对机制

在全球能源转型与“双碳”目标驱动下，陆上风电作为可再生能源的核心领域，其装机规模持续扩张。截至2025年，中国陆上风电累计装机容量已突破4.5亿千瓦，占全球总量的42%，成为能源结构优化的关键支撑。然而，陆上风电项目施工阶段面临地理环境复杂、技术迭代迅速、成本管控严格等挑战，导致工期延误、质量缺陷及安全事故频发。据统计，近五年国内陆上风电项目因管理风险引发的经济损失年均达12亿元，暴露出传统风险管理模式在动态适应性与系统性防控方面的不足。因此，构建科学的风险识别框架与动态应对机制，成为提升项目全周期管理效能的核心命题。本文从风险识别维度划分、应对策略设计及保障体系构建三方面展开研究，以期为行业风险管控提供理论依据与实践参考。

1. 陆上风电项目施工管理风险识别维度

1.1 自然环境风险

陆上风电场多选址于风能资源富集的偏远地区，其地理气候条件对施工安全与进度构成直接威胁。在极端天气方面，暴雨、雷暴、低温及大风天气是常见风险源。暴雨易引发山体滑坡、泥石流等地质灾害，导致施工道路中断、设备运输受阻；雷暴天气下，高空作业人员面临雷击风险，需暂停作业并采取防雷措施；低温环境会影响混凝土凝固质量，需通过加热养护技术确保基础强度，但会增加施工成本与周期；大风天气则对塔筒吊装、叶片安装等高空作业造成安全隐患，需严格控制风速阈值^[1]。

地质条件方面，岩溶、滑坡及软土地基等不良地质现象增加基础处理难度。岩溶地貌区需进行地质勘探与桩基加固，防止基础沉降；滑坡区域需采取边坡支护与排水措施，确保施工安全；软土地基则需进行换填或桩基处理，提升地基承载力。此外，生态敏感区（如自然保护区、水源地）的环保要求限制施工范围，需通过优化路径规划减少植被破坏，但可能延长前期手续办理周期，增加时间成本。

1.2 技术风险

技术风险贯穿于设备选型、施工工艺及系统调试全链条。设备兼容性方面，风机机型与塔架高度、基础形式的匹配度直接影响发电效率。大叶片与高轮毂的组合对吊装平台面积及起重机性能提出更高要求，若设计阶段未充分考虑地形限制，可能导致吊装作业受阻。施工工艺方面，基础浇筑、塔筒安装及电气连接等环节的技术缺陷可能引发质量隐患。基础浇筑过程中，模板支撑不牢、混凝土配比不当等问题会导致结构开裂；塔筒安装时，螺栓紧固力矩不足、垂直度偏差过大影响结构稳定性；电气连接环节，电缆敷设不规范、接地电阻超标会引发电气故障。

系统调试阶段，变流器、传感器等关键部件的参数校准误差可能导致机组运行不稳定。变流器控制策略不当会引发功率波动，影响电网接入质量；传感器测量误差会导致机组保护装置误动作，增加停机风险^[2]。此外，新技术应用初期可能存在可靠性问题，如直驱式风电机组的变流器故障率较高，需通过长期运行验证其稳定性。

1.3 经济风险

经济风险主要源于成本超支与收益波动。成本超支方面，设备采购价格受供应链波动影响显著。全球钢材价格波动、运输费用上涨及关税调整等因素会导致塔筒、机舱等设备成本增加。人工成本方面，偏远地区劳动力短缺推高用工费用，且施工季节性集中导致短期用工成本上升。此外，设计变更、施工返工及工期延误等管理因素也会增加额外成本。

收益波动方面，电价政策调整与发电量不及预期是主要诱因。部分省份取消风电补贴后，项目内部收益率(IRR)下降，投资回收期延长。风速预测偏差、设备故障率及电网接入限制等因素会导致实际发电量低于设计值，影响投资回报。

1.4 管理风险

管理风险涉及组织协调、进度控制及质量监管等环节。组织协调方面，EPC 总承包模式下设计、采购与施工的界面划分不清易引发责任推诿。设计变更未及时通知施工方，会导致已完工部分返工；采购计划与施工进度不匹配，会造成设备滞港或现场闲置。进度控制方面，设备供货延迟、施工队伍技术能力不足及审批手续繁琐是主要制约因素。设备供货延迟会打乱吊装计划，导致工期压缩；施工队伍技术能力不足会引发质量事故，增加返工成本；审批手续繁琐会延长前期准备时间，影响项目开工。

质量监管方面，分包商资质审核不严、监理单位履职不到位等问题可能引发质量缺陷。分包商技术能力不足会导致施工工艺不规范，影响工程质量；监理单位未严格执行检验程序，会掩盖质量隐患^[3]。

1.5 环境与社会风险

环境风险包括施工期污染控制与生态修复压力。噪声、扬尘及废水排放需符合环保标准，否则可能面临停工整改。施工机械噪声超标会影响周边居民生活，引发投诉；扬尘污染会破坏区域空气质量，需采取洒水降尘措施；废水排放未达标会污染地表水或地下水，需建设污水处理设施。

社会风险方面，土地征用补偿、村民阻工及舆论压力是主要矛盾。土地征用补偿标准未达成一致，会引发村民阻工，导致工期延误；项目施工对周边居民生活造成影响（如噪声、交通阻塞），会引发负面舆情，影响企业品牌形象。此外，部分地区对风电项目的认知偏差可能导致社会阻力，增加项目推进难度。

2. 陆上风电项目施工管理风险应对机制

2.1 风险规避策略

风险规避通过主动调整项目计划或放弃高风险环节以消除风险源。在选址阶段，利用 GIS 技术模拟风速、地质及生态数据，避开地震断裂带、洪涝区及生态红线区域。通过优化路径规划，减少基本农田占用面积，降低政策合规风险，同时避免后期土地纠纷。在设备选型阶段，优先选择经过市场验证的成熟机型，避免新技术应用初期的不确定性。采用双馈式风电机组替代直驱式，可降低变流器故障率，减少后期运维成本。

在合同条款中明确分包商资质要求及违约责任，规避因分包商能力不足引发的质量风险。要求分包商具备类似项目经验，并缴纳履约保证金，确保其按合同要求完成施工任务。此外，对于政策风险较高的地区，可考虑调整项目布局，选择政策支持力度大、审批流程简便的区域实施项目^[4]。

2.2 风险转移策略

风险转移通过合同约定或保险机制将风险损失转嫁给第三方。在设备采购环节，要求供应商提供质量保证保险，覆盖设备运输、安装及调试阶段的质量缺陷损失。通过购买综合险，将台风、地震等不可抗力导致的设备损坏损失转移至保险公司，减少直接经济损失。

在施工合同中约定不可抗力条款，明确工期顺延及费用分担规则。因极端天气导致的停工，由业主承担额外费用，降低承包商经营压力，确保项目顺利推进。此外，通过 EPC 总承包模式将设计、采购与施工风险整体转移至总承包商，利用其专业能力实现风险内部化，业主方仅需关注最终交付成果。

2.3 风险减轻策略

风险减轻通过技术优化与管理改进降低风险发生概率或影响程度。在施工工艺方面，采用 BIM 技术进行三维建模，提前识别碰撞冲突，减少设计变更。通过 BIM 模拟发现电缆敷设路径与基础结构冲突，调整后节省返工成本，且避免工期延误。

在进度控制方面，应用关键路径法(CPM)制定动态进度计划，实时监控设备到货、施工进度及资源投入，及时调整资源配置。通过增加吊装设备数量，缩短吊装周期，提前并网发电。在质量管理方面，建立“三级检验”制度（班组自检、项目部复检、监理终检），确保每道工序符合标准。

强化钢筋绑扎过程监控，将基础裂缝发生率降低，提升结构安全性。

2.4 风险接受策略

风险接受适用于发生概率低且损失可控的风险。对于小额经济损失风险，如施工材料价格波动，可通过设置风险准备金予以覆盖。预留总造价一定比例的风险准备金，用于应对突发费用支出，确保项目资金链稳定。

对于非关键路径上的工期延误风险，可通过调整后续工序时间予以消化。因设备调试延迟导致并网时间推迟，但通过优化电气连接工序，最终未影响整体工期，且未产生额外成本。此外，建立应急响应机制，针对火灾、人员伤亡等突发事件制定应急预案，定期组织演练，提升风险处置能力，降低事故损失。

3. 陆上风电项目施工管理风险应对保障体系

3.1 组织保障

构建“业主主导、总包负责、监理监督、分包实施”的四级联动管理体系，形成权责明晰、协同高效的风险管控网络。业主方应设立风险管理委员会，作为项目风险统筹的核心机构，全面协调设计、采购与施工三大界面的风险管控工作，通过定期组织风险评估专题会议，对风险应对方案进行系统性审议与优化，确保决策科学性与前瞻性。

总承包商需设立专职风险管理部门，配置具备专业资质的风险控制人员，构建覆盖项目全周期的风险识别、评估与应对机制。通过建立详细的风险台账，实现风险的动态跟踪与整改闭环管理，确保每一项风险都能得到及时有效的处置。

监理单位应加大现场巡查频次与深度，建立灵敏的风险预警体系，针对高风险作业环节实施全程旁站监理，确保风险处于可控状态。

分包商则需配备专职安全员与质检员，严格落实各项风险防控措施，并定期向总承包商提交风险状况报告，形成上下联动、信息互通的风险管理链条。通过明确各方职责边界与协作机制，可有效压缩风险响应时间，大幅提升风险处置效率，为项目顺利实施提供坚实保^[5]。

3.2 技术支撑

引入数字化管理工具提升风险管控效率。利用项目管理软件（如 Primavera P6）实现进度、成本与质量的实时监控，通过数据看板直观展示风险指标，如进度滞后率、成本超支率等，为决策提供数据支持。应用无人机巡检技术定期检查

设备安装质量，减少人工巡检盲区，提升巡检效率。

建立风险数据库，汇总历史项目风险事件及应对经验，为新项目提供决策支持。通过分析已完工项目数据，识别出高频风险点，制定针对性防控措施，降低新项目风险发生率。此外，推广智能化监测技术，如振动监测、温度监测等，实时掌握设备运行状态，提前发现潜在故障。

3.3 监督评估

构建“内部自查+外部审计”的双重监督机制。内部自查方面，总承包商每月开展风险管控专项检查，重点核查高风险环节执行情况，如设备安装质量、施工安全措施等，形成检查报告并整改闭环。外部审计方面，聘请第三方机构每年进行风险管理审计，评估制度有效性及措施落实情况，提出改进建议。

将风险管控成效纳入绩效考核体系，对表现优秀的团队给予奖励，对失职人员追责。将风险管控指标权重提升，倒逼管理人员提升风险意识，形成全员参与的风险管理文化。通过持续监督与评估，推动风险管理水平的持续提升。

4. 结论与展望

陆上风电项目施工管理中的风险识别与有效应对，无疑是确保项目顺利推进并达成预期目标的关键所在。本文通过系统而细致地划分风险维度，精准设计了动态化的应对策略，并构建了全面而严密的保障体系，为行业提供了一套切实可行、操作性强的风险管控整体框架。

展望未来，相关研究可进一步深耕以下几个方向：其一，深化风险量化评估模型的研究，巧妙融合蒙特卡洛模拟等先进技术，显著提升风险预测的精准度，为项目决策提供更加坚实、科学的依据；其二，积极探索人工智能在风险识别领域的创新应用，借助机器学习算法自动捕捉施工过程中的潜在隐患，实现风险预警的智能化与高效化；其三，大力推动风险管理标准的制定与完善，构建覆盖项目全生命周期的标准化管理体系，全面提升行业整体的风险管理水平。

随着技术的持续进步与管理模式的不断创新，陆上风电项目施工风险管控必将朝着更加智能化、精细化的方向稳步迈进，为能源结构的优化转型提供更为强劲的支撑，助力“双碳”目标早日、高质量实现。

参考文献：

- [1] 曹越. 风电企业风险识别与应对策略研究 [J]. 商业2.0, 2025, (12): 127-129.

[2] 黄继勇, 戚建功, 张祺, 等. 基于风险分解结构和荟萃分析的海上风电生态环境风险识别和评价研究 [J]. 环境工程, 2023, 41(S2):724–728.

[3] 李备, 蔡铁华. 风电项目施工安全风险及应对措施 [J]. 湖南安全与防灾, 2021,(10):50–51.

[4] 杜乐. 陆上风电项目度电成本风险管理研究 [D]. 华

北电力大学(北京), 2021.

[5] 刘坤杰, 雷牛伟. 基于需求风险的风电场运维体系的构建 [J]. 企业管理, 2016,(S2):140–141.

作者简介: 姓名: 王一程 出生年月日: 1993-10-28 性别: 男 民族: 汉 籍贯: 贵州六盘水 学历: 大学本科 职称: 助理工程师 从事的研究方向: 光伏风能工程建设