

陆上风电大吨位塔筒吊装安全风险管控措施

任若兰

中国电建集团四川工程有限公司 四川 成都 610000

【摘要】：在双碳目标驱动下，陆上风电装机规模持续扩大，大吨位塔筒吊装作为施工核心环节，受野外环境复杂、工序管理难度大及人员配合不到位等影响，安全风险突出。围绕塔筒吊装已暴露的安全隐患，本文从作业环境、施工工序、协同管理三个维度梳理各自风险成因，配套实施场地优化、流程标准化及联动机制健全等管控手段，这些措施可有效规避倾覆、碰撞、触电等安全事故，强化现场作业安全防护，为陆上风电大吨位塔筒吊装安全管理提供实操参考。

【关键词】：陆上风电；大吨位塔筒；吊装作业；安全风险；管控措施

DOI:10.12417/2811-0528.26.19.019

引言

新能源转型背景下，大兆瓦风电机组逐步成为陆上风电建设的主流配置，大吨位塔筒吊装因荷载大、作业高度高、外部干扰多等特征，成为施工现场安全管控的重点领域。野外施工环境的复杂性、工序衔接漏洞、多方配合不足等问题持续加剧吊装作业的安全隐患，立足风电施工安全管理需求，结合现场作业实际，系统剖析塔筒吊装各类安全风险并制定相应管控方案，既能补齐现场安全管理短板，也可助力风电工程实现安全、高效与有序推进。

1 陆上风电大吨位塔筒吊装作业基础概况

在新能源快速发展背景下，大兆瓦风电机组已成为陆上风电建设主流，配套塔筒普遍体型庞大、自重偏高，单节塔筒重量可达 60t 以上，整体高度多超过 90m。塔筒作为承载机舱与叶轮的核心支撑结构，其吊装属于典型的大型高空重载作业，全程依靠主辅起重机协同完成抬吊、翻身、对位、紧固等多道工序^[1]。作业场地多位于山地、戈壁等野外区域，施工空间受限，加上风电场区域常年风力偏大，对吊装姿态控制及作业稳定性提出严苛要求。同时塔筒吊装工序与基础施工、电气安装等工作交叉开展，作业链条较长、技术标准较高，任何环节管控不到位都易引发安全事故，这也使其成为陆上风电施工中安全风险最为集中的关键环节。

2 陆上风电大吨位塔筒吊装现场作业安全隐患

2.1 作业环境存在不利因素

陆上风电塔筒吊装场地多地处郊外、山地或戈壁地带，自然环境复杂多变，风力条件便是一大难点，场区常年风速偏高，一旦超出安全范围会直接干扰大型构件姿态控制，大幅提升碰撞与倾覆风险。雨雪、大雾等恶劣天气进一步降低现场能见度，造成地面湿滑、地基承载力下降，进而影响起重设备稳定运行。吊装作业所需的平台和场内道路若压实度或平整度不达标，则

会改变起重设备的受力状态，同时塔筒整体高度普遍超过 90m，高空区域易遭遇雷电侵袭，现场电气设备及接地系统若因阴雨天气出现绝缘失效，极易引发触电事故，多重环境隐患相互叠加，持续威胁吊装作业安全。

2.2 吊装工序衔接存在疏漏

大吨位塔筒吊装工序连贯且环环相扣，从场地处理、设备进场、吊具安装，到塔筒翻身、对位对接、螺栓紧固及附件安装，各环节紧密衔接。实际作业中常出现前后工序脱节的问题，部分施工团队会简化吊装前的地基承载力核验、设备全面检查以及试吊流程，给后续作业埋下隐患。塔筒单节吊装耗时较长，若未能结合天气变化合理排布工序，中途遭遇降雨或大风便会被迫中断施工，反复启停容易打乱作业节奏。法兰清理、密封胶涂抹、三级扭矩紧固等精细化工序若穿插不合理，或是上下段塔筒吊装与爬梯、接地部件安装时序混乱，不仅会降低施工质量，还会让构件长时间处于悬空状态，持续放大安全风险。

2.3 现场协同配合存在不足

大吨位塔筒吊装需要主辅起重机、地面作业人员、高空操作人员及现场指挥人员多方联动，对配合默契度要求极高。现场作业中容易出现岗位职责划分模糊的情况，指挥信号传递不标准或不及时，两台起重设备动作节奏无法保持同步，双机抬吊过程中容易产生荷载分配失衡^[2]。高空作业人员与地面吊装团队沟通不畅，在塔筒对位、吊具拆卸等关键步骤中容易发生操作偏差。设备运维、安全监护、应急值守等岗位人员常出现配合缺位，部分作业人员未严格遵循统一技术要求开展操作，不同班组之间的作业步调难以协调一致，整体协同体系一旦松散会直接降低吊装作业的可控性，成为诱发安全事故的重要人为因素。

3 陆上风电大吨位塔筒吊装现场安全管控措施

3.1 优化作业环境布设条件

针对风电塔筒吊装复杂的野外作业环境,需提前完成场地规划与硬件改造,从源头消除环境附带的安全隐患。正式施工前全面修整吊装平台与场内通行道路,严格把控地面平整度、压实度与承载力指标,必要时铺设路基板以分散起重设备的接地压力,杜绝地基不均匀沉降问题^[1]。安排专人全天候监测气象要素,明确不同吊装作业对应的风速管控标准——风速超过8m/s时停止叶轮吊装,超过10m/s时停止塔筒与机舱吊装,雷雨天气则全面叫停所有高空及吊装作业。现场做好排水设施布置,避免雨雪天气造成场地积水或地面湿滑,同时强化电气安全防护,定期对配电柜、电缆、漏电保护装置以及机组接地系统开展检查维护,保证绝缘性能稳定可靠。针对高塔筒易受雷击的特点完善全域防雷布设,雨后第一时间复查电路与接地状态,以此全面提升作业环境的安全稳定性,为吊装作业筑牢基础保障。

3.2 规范吊装全流程作业环节

建立标准化作业体系,对塔筒吊装从前期准备到收尾验收的全部工序实施严格管控。作业开始前落实起重设备的全面检修与专项检查,结合吊装荷载完成受力验算并严格执行试吊流程,确认设备运行状态正常后方可开展正式吊装。细化吊具安装、塔筒翻身、空中对位等关键工序的操作标准,全程使用缆风绳控制构件姿态,避免塔筒或叶片与起重设备发生碰撞。法兰对接前彻底清理接触面,按工艺要求均匀涂抹密封胶,高强螺栓依照50%、75%、100%三级扭矩分阶段对称紧固并做好防松标记。合理规划各工序的施工时序,将塔筒吊装与爬梯、接地电缆、柔性连接器等附件安装有序衔接,杜绝工序交叉混乱或构件长时间悬空等问题。所有作业人员严格遵循专项施工方案操作,不随意简化施工步骤或更改作业流程,以标准化管控约束每一处操作细节,降低因工序疏漏而引发的安全风险。

3.3 完善现场协同作业机制

搭建权责清晰、衔接顺畅的现场协同体系,以此保障多岗

位与多设备的高效联动作业。明确指挥、起重、高空操作、安全监护等所有岗位的工作职责,划定作业区域,杜绝岗位交叉混乱及责任缺位的问题。统一全场指挥手势、通讯用语与信号传递方式,保证指令传递清晰、及时且无偏差,双机抬吊作业时保持两台起重机动作同步,将单台设备负荷率控制在额定起重量的80%以内。常态化开展岗前技术交底与联合演练,提升不同班组及岗位人员的配合默契度,设置专职现场总指挥统筹协调起重设备操作人员、地面辅助人员与高空作业人员的工作节奏,在塔筒对位、吊具拆装等关键节点强化沟通配合。配齐应急值守人员,明确突发状况下各方的处置分工,一旦出现异常能够快速响应并协同处置,通过健全管理制度与强化实操配合,让现场所有作业环节形成合力,依靠高效协同减少人为失误,全面提升吊装作业的安全管控水平。如图1。

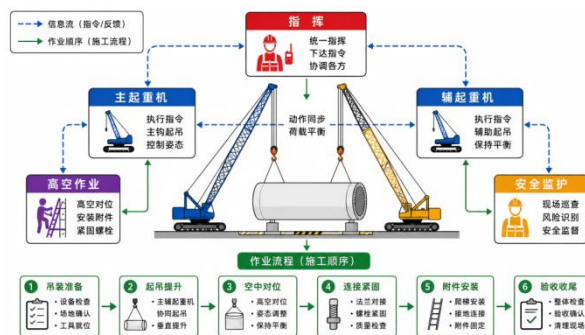


图1 陆上风电塔筒双机抬吊作业协同与施工流程示意图

4 结语

大吨位塔筒吊装构成陆上风电施工安全管控的重中之重,复杂野外环境、工序疏漏及协同不畅正是诱发安全问题的主要因素。针对各类安全隐患落实环境优化、流程规范与机制完善等管控手段,可从硬件条件、作业标准、人员管理多个层面共同筑牢安全防线。严格执行标准化作业要求并强化全过程风险防控,能够有效降低倾覆、碰撞、雷击等事故的发生率,相关管控思路与实操方法可适配陆上风电现场施工需求,持续推动塔筒吊装作业朝着安全、规范、高效的方向发展。

参考文献:

- [1] 李刚.陆上风电机组塔筒吊装施工监测技术[J].施工技术(中英文),2025,54(18):130-135.
- [2] 张春生.陆上风电机组混合塔筒施工技术及其质量控制要点研究[J].电力设备管理,2025,(9):212-214.
- [3] 张彪,朱勇,李俊难,等.陆上风电建设项目安全高效施工的关键问题[J].建筑施工,2022,44(5):1109-1111.