

混塔吊装作业的安全风险评估与控制措施

张任越

中国电建集团河南省电力勘测设计院有限公司 河南 郑州 450000

摘要: 随着风力发电技术的快速发展,装配式混凝土钢混合塔筒(以下简称“混塔”)在风电项目中的应用日益广泛。然而,混塔吊装作业由于其复杂性和高风险性,对安全管理提出了极高要求。本文系统分析了混塔吊装作业中的主要安全风险,并提出了相应的控制措施,旨在为混塔吊装作业的安全管理提供理论支持和实践指导。

关键词: 混塔吊装作业; 安全风险评估; 控制措施; 装配式混凝土钢混合塔筒

引言

混塔吊装作业是风电项目建设中的关键环节,涉及高空作业、大型机械操作、材料运输与拼装等多个方面。由于作业环境复杂多变,施工过程中存在诸多安全风险。因此,对混塔吊装作业进行系统的安全风险评估,并制定相应的控制措施,对于保障施工安全、提高施工质量具有重要意义。

1 混塔吊装作业的主要安全风险

1.1 结构安全风险

混凝土-钢混合塔筒吊装面临多重结构安全风险。一是基础稳定性风险,需详细地质勘探和严格检测验收。二是混凝土环片存放与拼装风险,拼装平台要稳定调平,确保安装精度。三是吊装过程中的应力集中与变形风险,需制定详细吊装方案,实时监控操作。四是钢-混凝土转换段结合面处理风险,要确保结合紧密。五是自然环境因素风险,应制定应急预案。六是临时施工平台设计及使用风险,设计要合理,使用要规范,并严格监管。

1.2 施工机械故障风险

混凝土-钢混合塔筒吊装施工中,施工机械故障风险需重点管控。风险主要源于机械设备老化、维护不当,操作人员技能不足或疏忽,地基承载力不足及恶劣施工环境影响。为有效管控风险,应采取以下措施:加强机械设备日常维护和保养,建立健全管理制度;提升操作人员专业技能和安全意识,定期培训和考核;针对恶劣天气等不利因素,制定吊装作业管理规定,加强预报预警,制定应急预案。确保机械设备处于良好状态,操作人员熟练掌握规程,及时采取防护措施,保障吊装施工安全顺利进行。

1.3 气象条件影响风险

混凝土-钢混合塔筒吊装施工受气象条件影响大,极端天气如大风、暴雨、雷电及极端温度均对施工构成威胁。大风易致设备失稳,暴雨影响视线和地基稳定性,

雷电威胁人员设备安全,极端温度影响材料性能和人员效率^[1]。需实时关注作业人员身体状态,错峰施工,材料存放需按说明书要求。寒冷气候下需关注坐浆料强度变化,调整配方。短时多变微气候如高空突发大风需实时监测,按防风预案操作。施工前需密切关注天气预报,建立联防联动机制,制定应急预案,必要时暂停施工,确保安全。

1.4 人员操作失误风险

混凝土-钢混合塔筒吊装施工中,人员操作失误风险需高度重视。风险源于操作人员技能不足、安全意识淡薄、疲劳状态及现场沟通协调不畅。技能不足和实践经验缺乏导致判断失误、操作不熟练;安全意识淡薄忽视规程,增加事故概率;长时间高强度作业引发疲劳,尤其在恶劣条件下更易失误;沟通协调不畅导致操作偏差和冲突。为管控风险,应从人员资格审查、提高素质、加强安全教育、合理安排作业时间、优化沟通协调机制等方面入手,通过培训、演练、疲劳监测及清晰指挥通讯体系等措施,提升安全性和效率。

2 混塔吊装作业的安全风险控制措施

2.1 设计阶段

在设计阶段,混凝土-钢混合塔筒面临着诸多危险因素,如设计参数选择不当、结构设计缺乏合理性、材料选择与实际需求不匹配、载荷计算出现偏差以及功能设计不够全面等。这些问题一旦忽视,将直接对混合塔筒的整体结构安全和正常运行构成严重威胁。为了有效控制这些设计风险,必须采取一系列切实可行的措施。首先,要加强设计审查力度,邀请行业内的资深专家对设计方案进行全面、细致的评估,或者委托能研院进行独立的设计复核,确保设计方案既符合相关行业标准,又满足业主的实际使用需求。审查范围应涵盖主体结构、内附件以及施工工艺相关的配套设计,如临时施工平台的搭建、施工平台与安全带(绳)挂点的设置等。

其次,要优化设计流程,合理控制安全裕度,积极采用先进的设计软件和技术手段,提高设计的精度和效率。同时,加强设计与施工单位、设备供应商之间的沟通协作,确保设计意图能够准确传达,现场实施具备可行性。此外,塔架设计应与市场主流机型相匹配,并具备整机(含塔筒)的型式试验报告或认证报告。风机塔型的设计、荷载计算等应经过充分验证,确保满足相关标准规定和工程现场条件。

2.2 混凝土环(管)片预制阶段

在混凝土环(管)片预制阶段,存在多重危险因素。原材料如预埋件、混凝土、钢筋等若强度、韧性、耐腐蚀性不达标,或辅材质量低劣,将直接影响产品质量。生产工艺不达标、质量控制不严,会导致混凝土强度不足、尺寸超差等问题,危及塔筒的整体质量和安全。此外,混凝土浇筑、脱模、养护不当也会引发裂纹、孔洞等质量问题,影响长期稳定性和使用寿命。为控制这些风险,建设单位需采取一系列措施。首先,要对生产单位的质量保证体系进行全面检查,确保生产车间符合质量管理要求。其次,派专业技术人员进行监造,对关键工艺进行旁站监督,确保原材料复检合格后方可使用,并严格控制混凝土的生产工艺。在混凝土浇筑时,要确保振捣到位,无浮浆。脱模强度达到设计要求的50%后,需覆盖潮湿养护不少于10天,避免温差裂缝。同时,建设单位还需不定期抽查生产基地,确保产品质量符合合同要求。养护完成后,对成品构件进行全面质量检测,并建立混凝土试块和出厂合格塔片台账进行跟踪管理。此外,还需严格控制焊接质量和尺寸精度,加强生产人员教育培训,提高操作技能和质量安全意识。

2.3 混凝土环(管)片运输与卸装阶段

在混凝土环(管)片运输与卸装阶段,存在诸多危险因素,如运输路途勘察不足、车辆故障、绑扎不牢、警示标志缺失、卸车操作不当、非法大件运输、塔片直接与地面接触、堆放不规范以及运输遗撒等。为有效控制这些风险,应采取以下措施:首先,根据构件特点和运输距离,制定合理运输方案,严禁超载,减少损坏风险。加强车辆检查与维护,配备专业驾驶员和押运人员。运输过程中,采用专用工装绑扎牢固,张贴警示标识,并设置减震缓冲措施。其次,选择平整、坚实的卸车地点,使用专业吊装和辅助工具,确保平稳放置。大件运输应委托具有资质的道路运输单位,依法办理许可手续,按指定时间、路线、速度行驶,并购买大件运输保险^[2]。最后,卸车后对混凝土环(管)片进行无损检

测,合格后方可使用。做好成品防护措施,堆放场地应平整、坚实,有排水措施,管片宜单片侧立存放。重叠堆放时,应设置垫块,最多堆放两节。运输过程中进行全面苫盖或密闭运输,施工车辆出入口设置冲洗设施,确保车辆清洁上路,减少遗撒和扬尘。

2.4 风机基础施工阶段

在风机基础施工阶段,存在多重危险因素,如高边坡开挖、护栏不牢固、土石方未按设计坡度放坡、人工清理不遵守安全规程、基坑监测不及时、基础浇筑后孔洞未防护、边坡坡顶堆放不当、未设挡水坡、冬雨季施工养护不当以及固体废物随意处置等。为有效控制这些风险,应采取以下措施:基础施工前进行详细评估,陡峭边坡处设置安全警示标识;对基础边缘地带检查夯实,禁止基坑边缘堆放土方及机械;基坑开挖及坑内作业过程中必须巡视,发现异常及时采取措施,复杂地质条件需监测并及时报告处理;浇筑后的风机基础洞口要覆盖或设置防护措施,盖板安装后及时安装护栏和爬梯;基础边坡应按设计坡度放坡;编制切实可行的冬雨季施工混凝土养护方案,并严格落实;建立健全工业固体废物全过程污染防治责任制度,实现可追溯、可查询;规范设置施工现场临时排水系统,对汇流排泄点及地下管渗漏点采取排水或堵漏措施,对基坑采取保护措施。

2.5 混凝土环(管)片拼装作业阶段

在混凝土环(管)片拼装作业阶段,存在多重危险因素,如操作不当导致部件坠落、碰撞,现场地基不稳导致倾覆,高空作业坠落风险,工器具高空掉落等。为确保安全,需采取以下控制措施:拼装前,建设单位应制定质量控制现场监督验收表,明确关键工序要点。对拼装平台进行24小时预压,确保其平整度不大于3mm,结构稳固无晃动。对进场的混凝土环(管)片进行严格检验和验收,合格后方可拼装。拼装过程中,强化关键工序和部位的质量控制,如拼接、螺栓紧固等。管理单位及监理单位应配置激光水平仪与施工单位校核,保证拼装后的水平度偏差符合规范。采用插筋连接的,灌浆后应进行密实度检测;采用高强螺栓连接的,应严格控制力矩扳手力矩^[3]。加强安全教育培训和技术交底,提升作业人员安全意识,持证上岗并正确佩戴防护用具。加强起重机械安全管理,指挥信号要清晰,操作要小心,控制吊物起降速度。施工工器具应设置安全尾绳,起重设备定期检查维护。现场设置安全警戒隔离区和警示标志,配备防护设施,严禁吊装重物下站人或通行。涉及高空作业等危险作业的,应办理许可审批手续,落实安

全措施及现场监护要求。

2.6 混凝土塔段吊装作业阶段

混凝土塔段吊装作业存在多重危险因素，包括吊装设备故障、地基承载力不足、违反吊装原则、方案不合理、高空作业风险、人员安全意识淡薄、质量监督不到位及吊装区域管理不善等。为有效控制这些风险，应采取以下措施：首先，加强吊装方案的审查和技术交底，明确质量控制要点和关键工序。通过施工总结会不断完善吊装工艺，确保质量安全。其次，强化验收环节，配备专业仪器进行相互校核，实现三级管控。对关键工序进行全程录像，及时调整偏差，确保施工质量。同时，加强安全培训，提升作业人员安全意识，确保持证上岗、正确佩戴防护用具。严格设备维护和检查，排除故障，遵守操作规程，严禁违反“十不吊”原则。此外，对吊装平台地基和吊装设备进行复核和维护，办理高风险作业票，定期组织隐患排查。设置安全警戒区域，确保塔筒内施工平台安全可靠，经多方确认后方可使用。最后，禁止在恶劣天气下进行起重作业，严格遵守风力限制，确保起重机械安全工作。

2.7 预应力施工作业阶段

预应力施工作业阶段存在多重风险，需采取有效措施加以控制。首先，未张拉预应力时混塔段可能因风速振动，作业平台上人员存在跌落风险，因此应现场监测风速，确保在安全条件下作业。其次，有限空间作业前必须通风、检测，配备防护装备，至少两人同行，并设置警示标识和警戒区域，保证照明良好。塔筒内孔洞需设置防护，防止跌落。座浆料强度需达标，否则严禁进行预应力系统施工。吊篮作业单位需具备资质，编制专项方案，验收合格后方可使用，并严格管理高空作业。张拉设备需定期检定检测，使用过程中落实防护隔离措施，环境温度不适宜时不宜张拉。体内张拉混凝土-钢混合塔筒灌浆前进行试水试验，优化灌浆参数，避免漏浆^[4]。环境温度极端时，不宜灌浆，必要时采取质量保证措施。同时，应优化设计，从技术上规避漏水风险，施工过程中严格控制接缝质量，执行四级管控及100%验收，留存影像资料。定期检查预应力系统钢绞线的完好程度和强度，

确保施工安全。

2.8 机舱及叶轮吊装阶段

机舱及叶轮吊装阶段存在诸多危险因素，为确保安全，需采取以下控制措施：首先，对所有吊装设备进行定期检查和维修，确保其状态良好，无隐患。同时，选用符合标准的吊具和索具，并定期进行检测和更换，以确保其可靠性和安全性。在吊装作业前，必须进行试吊，以确认吊装设备的稳定性和可靠性。此外，要密切关注天气变化，合理安排吊装时间，避免在大风、强对流天气下进行吊装作业。吊装机械站位平台使用前，应进行地基承载力复核，确保其满足吊装要求。若受水浸泡，还需进行承载力检测，以确保安全。通过计算明确起吊机械、吊装设备、机位点平面布置，防止安全距离不足和空中对接困难。正确安装扰流条，确保缆风绳固定措施可靠，起吊过程中人员沟通保持及时通畅。叶轮就位后，需及时调整至抗涡激状态，以确保其稳定性。同时，严格遵守风速限制，超过四级风时禁止吊装叶片和叶轮，超过五级风时禁止吊装机舱，以确保吊装作业的安全顺利进行。

结语

混塔吊装作业的安全风险评估与控制是保障施工安全、提高施工质量的重要环节。通过系统分析混塔吊装作业中的主要安全风险并制定相应的控制措施，可以有效降低施工过程中的安全风险，确保混塔吊装作业的安全顺利进行。未来应继续加强混塔吊装作业的安全管理和技术研究工作，为风电项目的建设提供更加坚实的安全保障。

参考文献

- [1]肖厚全,高汇川,裴绍军.风电机组混塔施工技术与管理[J].风能,2024,(01):84-89.
- [2]张后禅.风电混塔行业技术发展现状及标准体系分析[J].能源,2023,(07):61-67.
- [3]胡小坚.混塔风电项目安全技术管理探讨[J].中国电力企业管理,2022,(15):93.
- [4]刘伯罡.风电预制混塔项目的施工质量风险管理研究[D].北京建筑大学,2023.