

山地风电项目风机吊装施工安全管控措施研究

李永亮

天津红泰扬新能源有限公司, 天津 300000

[摘要]山地风电项目风机吊装施工面临地形复杂、气候多变、作业空间受限等多重安全挑战,是风电工程建设中风险最为集中的环节。文中在系统分析山地风电项目风机吊装施工特点的基础上,从主要风险因素识别、山地环境特殊风险、安全管理问题、技术手段不足四个维度深入剖析了吊装施工安全风险,并据此提出了强化全过程安全控制、加强山地环境安全保障、提升人员安全管理水平、推进数字化技术赋能等系统化管控措施。研究表明,构建“人防+技防+管理防”三位一体的安全管控体系,是实现山地风电吊装施工本质安全的关键路径。

[关键词]山地风电; 风机吊装; 安全风险; 管控措施; 数字化赋能

DOI: 10.33142/sca.v9i9.20361

中图分类号: TK89

文献标识码: A

Research on Safety Control Measures for Wind Turbine Lifting Construction in Mountain Wind Power Projects

LI Yongliang

Tianjin Hongtaiyang New Energy Co., Ltd., Tianjin, 300000, China

Abstract: The hoisting construction of wind turbines in mountainous wind power projects faces multiple safety challenges such as complex terrain, variable climate, and limited working space, making it the most risk concentrated link in wind power engineering construction. Based on the systematic analysis of the characteristics of wind turbine hoisting construction in mountainous wind power projects, this article deeply analyzes the safety risks of hoisting construction from four dimensions: identification of main risk factors, special risks in mountainous environments, safety management issues, and insufficient technical means. Based on this, systematic control measures such as strengthening the safety control of the entire process, enhancing the safety guarantee of mountainous environments, improving personnel safety management level, and promoting digital technology empowerment are proposed. Research has shown that building a three in one safety control system of "human defense + technical defense + management defense" is the key path to achieving essential safety in mountain wind power hoisting construction.

Keywords: mountain wind power; fan hoisting; safety risks; control measures; digital empowerment

引言

风力发电属于清洁能源的重要组成,近些年来在我国得到了迅猛的发展。随着陆上风资源开发的不断深入,风电项目也由平原、戈壁向地形更加复杂的山地、高原地区发展。山地风电风机吊装属于危大工程作业,怎样保证吊装过程的安全和质量,是行业一直关注的问题。与平原项目相比,山地风电受地形起伏、气候多变、运输条件差等因素的影响,施工风险明显增大。风轮是风机体积最大的旋转部件,组装和吊装作业程序繁杂、耗时长,而且山地吊装场地狭小、大风天气多发,风轮的组装和吊装过程风险较高。在此背景下,对山地风电项目风机吊装施工安全风险及控制措施进行系统的研究,对保证施工安全、提高

工程质量、促进风电行业健康有序发展有着十分重要的意义。本文从风险识别和管控两个角度出发,对山地风电吊装施工安全管控路径进行研究。

1 山地风电项目风机吊装施工特点分析

山地风电项目风机吊装施工有明显的工程特点,主要有以下几点。第一地形条件复杂。山地风电场大多处于海拔较高、地势起伏较大的山区,进场道路狭窄陡峭、吊装平台狭小且坡度大。风机机位大多分散在不同的山脊或者山头上,各个机位之间交通不便,大型起重设备的进场、转场以及站位都面临着极大的困难。气候条件恶劣。山地气候的“晨雾锁山、午后风急”特点,造成每天的有效作业时间一般只有 2h 左右。山地风速大、风向变化无常,

恶劣天气频繁发生,对吊装作业的窗口期造成很大影响。第三吊装困难。随着风电机组单机容量越来越大,最大吊装重量达到165t,塔筒高度几十米到上百米,叶轮直径超过200m。狭小的山地平台完成大型设备的精准吊装,对起重设备选型、站位、工况组合、操作精度等都有很高的要求。其四就是安全风险高发。山地风电吊装属于高空作业、大件设备起重、多工种协作等众多高危环节的综合工作,风机吊装作业是整个工程项目中重要的一个环节。因此,山地风电吊装施工要创建起一套系统的、细致化的安全控制体系。

2 山地风电项目风机吊装施工安全风险分析

2.1 风机吊装施工主要风险因素识别

风机吊装施工风险因素可以从人、机、环、管四个方面进行系统的识别。最大限度消除“人、机、环、管”等各个环节中存在的安全隐患,这是风险管控的基本出发点。人的方面作业人员的安全意识不强、操作技能不高、违章作业等都是主要的风险源。起重指挥、司索、司机等特种作业人员如果未持证上岗或者操作不规范,很容易造成安全事故。起重设备选型不当、安全装置失效、吊索具磨损或者超负荷使用等都会成为重大危险源。吊装前要对叶片、风机塔筒、轮毂等大型设备,吊钩、钢丝绳、起重机构、安全限位装置、吊索具等工器具进行全过程的安全检查。在环境上,山地风力发电项目吊装场地狭小、地基承载能力不够、突发大风等都是重要的风险因素。吊装方案编制不合理、安全技术交底不到位、现场监管缺位等管理上的疏漏也成了造成事故的原因。

2.2 山地环境特殊风险分析

山地环境给风机吊装施工带来了一系列特殊的风险,在平原地区并不明显,但是在山地条件下却大大增加。地势地形影响设备的运输安装,复杂的环境提高线路的设计要求,山地增加了吊装的风险。首先就是道路运输风险。山地进场道路弯多坡陡、路面狭窄,大型风机部件(叶片、塔筒)运输车辆难以通行,运输过程中很容易发生倾覆、碰撞等事故。其次就是吊装平台的风险。山地机位吊装平台一般依山而建,平台面积小、地基条件差,大型起重设备在平台上站位、回转、起吊时,对地基承载力、平台稳定性要求很高。地基处理不好或者平台排水不畅,都会造成起重机倾覆的严重后果^[1]。根据高远山地施工的特点,各个在建项目要重点模拟地震造成滑坡、暴雨造成吊装平台塌陷等复合险情。第二就是风况风险。山地风速大、湍流强、风向变,安装队伍根据天气原因制定吊装方案、进度,保证安全施工。叶轮整体吊装时迎风面积大,突然的

大风会造成吊物剧烈摆动或者失控。最后就是高海拔的风险。高海拔地区空气密度小,起重设备功率下降,人员容易发生高原反应,作业效率和安全系数都下降。

2.3 施工安全管理存在问题

目前山地风电吊装施工安全管理工作还存在着很多问题。风机吊装施工技术属于高山风电场工程施工的重要技术。从制度执行角度来说,一些项目的安全管理制度虽然已经建立起来,但是执行不到位,安全管理制度同实际状况相脱离,缺少有效的监督和考核体系。吊装方案编制大多形式化,没有考虑到山地特殊工况,方案的可操作性、针对性不强。安全生产责任制有明显的一层层衰减的现象,即从项目部到施工班组再到一线作业人员,安全责任越来越小。部分项目的管理人员没有按照规定到岗履职,安全管理人员数量不足或者专业能力欠缺。在现场管理上吊装作业的旁站监督、过程管控不到位,隐患排查治理不系统、不深入,隐患排查陷入发现问题、整改问题、重复发生的怪圈。施工人员流动性大、安全意识薄弱,安全教育培训质量不高,部分项目没有严格执行新进场人员三级安全教育的要求,一线作业人员对吊装操作规程的了解和掌握程度不一。

2.4 安全管控技术手段不足

技术手段的欠缺,成为限制山地风电吊装施工安全控制水平提高的主要障碍。目前大多数山地风电项目的安全控制仍然采用传统的“人盯人”方式,对于先进的监测预警技术的使用较少。在环境监测方面,风速、风向等气象要素的监测手段单一、精度不够,不能实现精准的吊装窗口预判和动态风险预警。山地风速大、风向变化快,传统的手持式风速仪和简单的气象预报已经不能满足精细化管理的要求了。吊装作业过程监控不到位,视频监控覆盖面小、画面不清,关键环节及盲区无监控。设备监测上,对起重设备运行状态的实时监测不到位,超载、超速、异常振动等风险不能及时发现和预警^[2]。人员管理上,人员定位和行为管控缺少有效的技术支持,不能对作业人员的在岗状态、操作行为进行准确的掌握。信息协同上各个参建单位间信息传递不畅,没有建立统一的数字化管理平台,施工进度、安全风险、隐患整改等重要信息不能及时共享、高效流转。

3 山地风电项目风机吊装施工安全管控措施

3.1 强化吊装全过程安全控制

强化吊装全过程安全控制,是保证施工安全的根本保证。首先要落实吊装前的安全准备工作。吊装作业前项目部要对核心工序、高危环节进行多次推演,改善吊装平面布置。全面开展起重设备、吊索具、安全装置等各方面的

检查,形成风险隐患排查清单并做好闭环管理。应编制风机吊装危大作业方案、应急预案、施工方案、安全技术措施、应急处置措施、安全管理制度、安全考核制度。吊装方案必须经过专家评审通过之后才能实施。其次要加大吊装过程中动态控制的力度。吊装作业前应上报工作计划,实行全过程旁站、视频监控全程监督,严格遵守十不吊作业标准。现场应合理调配施工人员和大型起重机械,建立主机供货、吊装施工、设备运输三者之间的联动机制,从施工安全、工程质量、建设进度三个环节进行全过程的闭环控制。应建立设备进场、吊装、验收全过程闭环管理。吊装时应随时观察风速的变化,当风速超过安全限值时应立即停止作业。对大风等恶劣天气,规定4级风速禁吊叶片、5级禁吊塔筒和机舱。

3.2 加强复杂山地环境安全保障

由于山地环境的复杂性,所以必须采取相应的安全保障措施。首先应该加强道路运输安全。项目要实行超前谋划、源头控制,多次到现场踏勘排查施工风险,全部完成进场道路拓宽、加固和优化工作,打通大件设备运输的瓶颈。对运输路线中急转弯、陡坡、窄桥等危险路段做专项评价并采取加固措施。其次应该保证吊装平台的安全。吊装平台应做专项地基承载力检测及加固处理,保证大型起重设备站位要求。平台要设完善的排水系统,防止雨水浸泡造成地基软化。暴雨造成吊装平台塌陷等危险时,必须制订专项应急预案。再次应该加强气象监测和预警工作。施工现场要设置高精度气象监测装置,实时获取风速、风向、温度、湿度等数据^[3]。应当创建依靠精确气象预报来做出吊装窗口决定的机制,充分地利用有效的作业时间,杜绝恶劣天气状况下冒险进行作业的情况发生。全过程要实行风速预警制度,风速接近安全限值时发出预警,给吊装决策留出足够的时间。

3.3 提升施工人员安全管理水平

人员是安全管理的重要因素,提高施工人员安全管理水平及操作能力十分重要。首先要加强安全教育与培训工作。吊装开始前,应对所有管理人员和施工作业人员进行全覆盖的安全技术交底,保证所有的人员知道自己的职责。

应建立入职培训、岗前考核、日常教育的全周期培训体系,严格实行新进场人员三级安全教育制度。其次要严格人员资质管理。起重指挥、司索、起重机司机等特种作业人员必须持证上岗,应建立特种作业人员管理台账,定期核查证件的有效性。对关键岗位人员实行到岗履职考核,保证人员到位、责任到位。应当组织场景化应急演练,重点演练吊具锁定、人员疏散、设备加固等标准动作,进行全过程应急演练。再次,应该健全安全责任体系。应当创建起“业主-总包-分包”三级联保体系,明晰各方的安全责任。实行安全责任网格化管理,把吊装作业区域划分成若干责任网格,指定每个网格的安全责任人。应建立违章熔断机制,对严重违章或者多次违章人员予以清退,并纳入不良行为记录。

3.4 推进数字化技术赋能安全管控

数字化技术是提高山地风电吊装施工安全控制能力的主要驱动力。数字化转型对风电场建设的智能化管理起到促进作用。研发出风电场全空间信息可视化系统以后,可以达到环境态势感知、视频监控管理、施工进度管理、危大工程管理、现场人员安全管理等目的。智能监测部分应该安装基于AI视频识别技术的风机吊装安全管理系统,把目标检测、风速建模和多因素风险评估结合起来,创建综合风险评分模型。无人机可以携带高清摄像头和红外传感设备,对吊机操作半径、吊具受力情况、作业人员站位等重要部位实施实时航拍监测^[4]。起重机械应安装智能监测系统,对设备运行状态实施动态控制,由原来的“设备靠人盯”变为现在的“数据自动报”。在人员管理上可以采用佩戴带有人脸识别、实时定位等功能的智能安全帽,从而达到人员管理的数字化。视频监控系统要依靠5G网络,把风机吊装作业的每一个细节,人员移动的每一条轨迹,及时传送到智能分析平台。AI图像识别和机器学习算法应该像经验丰富的安全员一样,迅速发现不规范穿戴、违规操作等风险点。信息平台要创建起覆盖吊装施工全部链条的数字化监管平台,消除人、机、料、法、环等各方面的数据壁垒,达成由“跑现场”到“看屏幕”的转变。各类数字化技术应用的场景和效果可以归纳为表1。

表1 分析数字化技术在风电吊装安全控制中的应用及效果

技术类型	应用场景	关键成效
AI 视频智能识别	人员安全防护、违规操作、危险区域闯入实时监测	实现智能识别与自动预警
无人机巡查	吊装作业全景监控、吊具受力状态航拍监测	无死角覆盖关键环节
起重机械智能监测	超载、超速、异常振动实时监测与预警	从“人盯”转向“数据报”
智能安全帽与人员定位	人员考勤、实时定位、行为轨迹追溯	实现人员管理数字化
5G+AI 智慧安防体系	作业细节实时回传、风险点智能识别	全天候“智慧监护”
全空间信息可视化系统	环境感知、进度管理、危大工程管理	全要素数据集成共享

数字化技术的深入应用,正促使山地风电吊装施工安全控制由原来的“人防”向现在的“技防”迈进,给吊装作业搭建起一张全方位、无盲区的安全防护网。

4 结语

山地风电项目风机吊装施工存在地形复杂、气候多变、场地狭小等诸多安全难题,风险控制难度比平原风电项目大得多。本文从主要风险因素识别、山地环境特殊风险、安全管理问题、技术手段不足四个方面对山地风电吊装施工的安全风险进行了分析,并提出了一系列的系统化管控措施,即加强全过程安全控制、加强山地环境安全保障、提高人员安全管理水平、推进数字化技术赋能等。研究表明,山地风电吊装施工安全管控要贯彻“预防为主、综合治理”思想,创建起“人防+技防+管理防”三者并重的安全管控体系。未来应该继续推进数字化、智能化技术在山地风电吊装安全控制方面的应

用,促使安全控制由依靠经验来完成转变为依靠数据进行控制,由被动应对变为主动预防,从而给山地风电项目提供强有力的保障。

[参考文献]

- [1]贺亮平,肖罗斌.山地风电项目工程建设管理与实践[J].大众用电,2025,40(5):62-63.
- [2]肖欣,王志强,刘嘉晨.复杂山地风电工程建设管控要点与关键技术[J].水电与新能源,2024,38(10):1-4.
- [3]齐建飞.复杂山地大型风电工程施工关键技术[J].人民黄河,2022,44(2):217-218.
- [4]谢磊,魏学升.山地风电风机设备吊装组织管理[J].中国电力企业管理,2020(18):88-89.

作者简介:李永亮(1983—),男,汉族,天津人,工程师,沈阳理工大学毕业,现就职于天津红泰扬新能源有限公司,从事工程管理工作。