

复杂山地大型风电工程施工关键技术

张泽华

(中国安能集团第二工程局有限公司厦门分公司,福建 厦门 361021)

摘要:为强化复杂地形条件下大型风电工程的施工技术研究,在保障风电场高效建设的同时实现经济效益、社会效益与生态效益的协同提升,基于全过程施工管理经验总结,通过实际工程案例,系统分析复杂山地环境中的风电工程施工关键技术。针对恶劣气候条件下的工程实施难题,提出了涵盖材料运输优化路径、大体积混凝土冬季浇筑工艺、高空风机吊装方案、山地通信网络构建及生态保护措施等五大关键环节的技术解决方案。通过解析复杂山地风电工程的施工重点与难点,系统阐述了核心施工技术体系,所提出的技术方法可为同类型山地风电项目建设提供实践参考。

关键词:风电工程;视讯通信;混凝土浇筑;风机吊装

中图分类号:TV1 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-9235(2025)S2-0043-03

在中国社会经济突飞猛进发展的背景下,各领域对清洁能源的重视程度不断上涨,促使清洁能源逐渐成为未来能源发展的重要组成部分。经过业内人士的专业与研究分析可知,到2030年,中国风电和太阳能发电总装机容量至少为12亿kW。针对一些复杂山地的大型风电工程,因为人员较为分散,再加上此类地形的风能资源良好,有利于进一步开发利用风能。但值得注意的是,受到工程建设在恶劣环境下进行的影响,如何将一些关键技术落实在实处是业内亟需解决的问题之一。杨铭^[1]针对山地风机基础施工过程中存在的技术问题展开分析,并对适配的施工技术进行探讨。朱叶沁^[2]重点围绕山地风电风机基础土建设施流程及质量管理要点展开研究。王耀武等^[3]虽以海上风机基础施工工艺为研究对象,但其关于基础施工工艺优化及稳定性保障的思路与方法,对山地风机基础施工技术研究具有一定参考价值。破解山地风电施工难题,能够有效开发山地风能资源,大幅提升清洁能源供应比例,为“双碳”目标达成提供助力。同时,能够缩短项目建设周期、降低成本,保障风力发电设备长期安全稳定运行,推动风电行业可持续发展进程;并带动山区经济发展,促进基础设施完善,兼具显著经济、环境及社会效益。

1 工程案例

本文以云南巨龙梁项目为例,该工程位于云南昆明市寻甸县,海拔高度约3 300 m,人烟稀少,通行条件差,属于高原寒冷气候,在材料运输和大件运输方面存在较大的难度,同时每年下半年为森林防火期,在野外施工时存在难度,在施工建设中需要做好防火的同时,避免对周边生态环境和水资源等造成污染。2023年6月,云南巨龙梁风电项目一期工程完成吊装。项目总装机容量100 MW,主要为13台6.7 MW和2台6.45 MW的风电机组、15台箱式变压器与35 kV集电线路及升压站扩建,以及15个风机安装平台、场内施工道路及改扩建道路、渣场施工。该项目建成后,减少二氧化碳排放约24万t,不仅有效利用风能资源,保证供电能力,在很大程度上降低了大气污染,经济效益和社会效益得以明显提升。

2 复杂山地大型风电工程施工重点及施工难点

2.1 大件及材料运输困难

巨龙梁风电项目场址属于复杂山地地形,运输线路较长,再加上频繁下雨,道路两侧山体一旦出现塌方则会直接对大件及材料运输造成影响。除

除此之外,由于构件单件尺寸76 m,质量84 t,在运输构件时需利用特殊车辆进行,这也是增加运输难度的重要因素之一。

2.2 混凝土浇筑质量控制要求严格

针对风机基础混凝土结构来讲,其为八爪异性结构,单个基础浇筑方量每立方米374~485,由于工程建设在高原、高寒地区,从而增加了风机基础混凝土浇筑难度及强度,对施工组织要求严格^[2]。为了进一步提升混凝土浇筑质量,确保混凝土外观尺寸达标,需结合实际情况科学合理的设计施工方案,做好模板的配置工作。

2.3 风机吊装难度高

该工程位于云南昆明市寻甸县高原山区,山区气候多变,频繁降雨、起雾、刮风,天气恶劣时难以有效开展施工,难以有效把控吊装进度及质量。此外,因为该项目的风机类型丰富,再加上不同机位的作业条件也存在明显差异,因此,在风机吊装时存在较大的难度。

2.4 视讯通信困难

该工程选址偏远,地广人稀,大部分施工区域信号较差,甚至有的区域几乎无网络信号,视讯通信困难,给该工程项目的持续性开展带来不利影响。对此,如何解决施工区域信号盲区内视讯通信不佳问题尤为重要。

2.5 环境保护、水资源保护、防火要求严格

巨龙梁风电项目处于生态环境较为脆弱的地区,再加上该地区有持续半年左右的森林防火期,当地环境保护、水保、以及森林防火问题受到相关部门的高度关注,如何妥善处理此类问题成为风电工程按期竣工的重要因素之一^[3]。

3 复杂山地大型风电工程施工关键技术

3.1 道路保通技术

因为该工程所处区域常年频繁下雨,增加道路两侧山体出现塌方的概率,从而导致材料运输存在较大的难度。为了解决此类问题,避免交通中断,要结合实际情况,利用一系列切实可行的措施为交通通畅提供保障。比如:道路两侧山体塌方的情况下,要及时安排专人进行清理,并修筑挡墙;大坡度区域可通过牵引保通;遇路段泥泞的情况下,可通过

浇筑混凝土的措施保证道路畅通。除此之外,为了尽可能减少或避免因为道路因素而对施工造成的不利影响,要以实际情况为基础,合理选择设备堆场。

如何有效解决风场超长叶片运输问题是目前风电设备运输的重难点之一。因为风机叶片长度为93 m,要利用特种叶片运输车辆完成运输,即叶片举升-旋转-液压后轮转向。特种叶片运输车辆在运输途中遇到障碍的情况下,可通过液压控制举升叶片,叶片可进行360°旋转,以此顺利避让各种障碍物,完成运输。

3.2 风机基础混凝土施工技术

综上,该风电工程项目位于复杂山地,属于高原、高寒、高海拔地区,常年气温较低,低温则增加了混凝土初凝时间。以斜面混凝土浇筑为例,斜面混凝土浇筑时下层混凝土成型时间长,在振捣上层混凝土时流浆难以正常浇筑。除此之外,风电场机位分布分散,最远机位混凝土运输距离长达80 km,时间4~6 h,在受到路况差、大雾天气的影响,对混凝土性能要求极其严格。为了达成风机基础混凝土一次性浇筑的要求,可从以下几点入手:①加强完善配合比^[4],为了保证混凝土的抗冻性和抗裂性,要科学合理的添加聚丙烯抗裂纤维和减水剂,在结合实际情况适当添加缓凝剂,以此减少混凝土成型时间,保证混凝土运输品质,缓凝剂掺入比要控制在0.1%~0.5%;②风机基础混凝土结构为八爪型。为了保证混凝土浇筑的持续性开展,要配备2台型号为HZS90的搅拌机,一台留为备用。同时,配备40辆混凝土罐车,5辆备用,以此保证混凝土运输顺畅,避免出现运输中断问题。

在风机基础底板和核心筒浇筑的过程中,为了提升混凝土入仓效率,利用2台搅拌机同时开展混凝土搅拌工作,并通过“天泵、布料机、溜槽”的组合方式入仓,如此以来,不仅能高效完成混凝土浇筑作业,而且也有利于防止因为昼夜温差大导致混凝土质量不达标。值得注意的是,如果混凝土浇筑高度与底板顶面高度平齐后,需要撤除一台搅拌机、溜槽以及布料机,这主要是为了避免混凝土过快的入仓,当底板混凝土能够完全支撑起环梁和肋梁混凝土时便可正式浇筑肋梁混凝土。

如果混凝土浇筑季节为冬季,因为夜晚温度较低,为了防止气温对混凝土带来不利影响,要搭建封闭的空间,采用蒸汽养护的方式。混凝土初凝后、终凝前,在混凝土表面覆盖一层塑料薄膜,降低水分流失速度,对其进行保温处理,养护 7 d^[5]。

3.3 风机吊装技术

众所周知,不同类型风机的作业条件及机位平台也存在明显的差异,因此,要以风机的机位平台和作业条件为基础,每台风机要用针对性的吊装方案,保证吊装作业的有序进行。如机位无法满足吊装要求时,要结合实际情况,科学合理地布置主吊与辅吊站位、以及塔筒和风机叶片摆放位置等。如果平台面积不足,可扩大平台或开挖叶片槽进行解决,这样也能有效减少吊装时间。

风机吊装流程如下:①利用 260 t 汽车吊和 75 t 履带吊装前两节塔筒,后三节塔筒用 800 t 的履带进行吊装,这种吊装方式能够避免履带吊转场对前两节塔筒吊装带来不利影响。值得注意的是,要先拧紧第一节塔筒的螺栓后方可吊装第二节塔筒;②利用 800 t 履带吊装机舱和发电机,主臂(96 m)和副臂(12 m)夹角 10°,作业半径应控制在 22 m,额定载荷 153 t;③为了提升叶轮吊装效率,在叶轮组装和吊装时,要注意在地面提前组装好轮廓和叶片,然后再起吊叶轮^[6]。这种吊装方式受风速影响较小,可在吊装施工窗口期吊装叶轮。如风速为 8 m/s 的情况下,不可吊装叶轮。

3.4 视讯通信技术

利用塔建风光互补联合自主供电通信系统能有效解决复杂山地区域存在的信号盲区问题,通过“接受微弱通信信号和二次放大接力传播的方式”,有效避免了视讯通信困难问题,实现施工现场视讯通信信号的全覆盖。该系统的创新价值不仅在于解决了山区“最后一公里”通信难题,其更大的工程意义在于构建了新型基建场景下的能源-通信耦合范式。相比传统柴油发电方案,全生命周期碳排放极大降低,运维成本部分下降,且完全规避了燃料运输的安全风险。特别在应对滑坡、泥石流等地质灾害时,系统自组网特性可快速构建应急通信网络,使救援响应效率显著提升。

3.5 生态环境保护和防火技术

为了满足复杂山地的生态环境保护和防火要求,要结合实际情况,采取一系列切实可行的措施减少风电场建设对生态环境带来的不利影响。在实际施工阶段,可通过覆盖裸土、移植稀有树木等方式改善生态环境脆弱的问题,促使当地环境保护指标满足相关标准及规定。为了进一步提升植被存活率,要就近堆放开挖后的浅层腐殖土。

对于森林防火,首先,要保证消防水井内水资源的充足,在施工现场设立禁止烟火等相关警示牌;其次,加大森林防火知识的普及力度,促使所有施工人员具备强烈的防火意识,掌握更多的灭火技能;最后,定期开展防火应急演练,以便于在发生火灾时能够及时避险,防止火灾涉及范围的继续扩大。

4 结语

综上所述,由于复杂山地大型风电工程施工环境复杂,再加上气候环境恶劣,为了保证大型风电工程按期且保质保量的竣工,要求施工人员以施工区域实际地形为基础,围绕生态环保及森林防火要求,科学合理设计场内道路,做好施工组织设计,尽可能避免在极端气候下开展施工,同时,结合实际情况适当添加转运平台,保证风电工程所需设备、材料的及时供应,合理安排人力、材料以及机械设备等资源,保证复杂山地大型风电工程按期竣工。

参考文献:

- [1] 杨铭. 山地风力发电项目风机基础施工技术研究[J]. 工程技术研究, 2024, 9(18): 94-96.
- [2] 朱叶沁. 山地风电风机基础土建施工与质量管理研究[J]. 工程技术研究, 2024, 9(16): 145-147.
- [3] 王耀武, 郑康胜, 张吉海, 等. 海上风机单桩基础沉桩施工工艺与应用[J]. 南方能源建设, 2024, 11(4): 180-189.
- [4] 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(S2): 217-218, 220.
- [5] 郑文魁, 李涛, 高山, 等. 高原寒冷地区大型山地风电工程施工关键技术浅析[J]. 人民珠江, 2022, 43(S2): 1-5.
- [6] 张博峰, 孙怀平, 秦保仁, 等. 大型复杂山地风电场工程施工关键技术研究与应用[Z]. 上海宝冶集团有限公司, 2019.

(责任编辑:高天扬)