

风电场风机吊装技术要点分析

蒋子龙

中国核工业二三建设有限公司新疆分公司 北京 101300

摘要: 随着全球气候变暖和环保意识的日渐提高,可再生能源的发展已经成为了当前发展趋势。在低碳环保的大背景下,清洁能源长远发展目标更加明显。其中,风电资源价值很大、且技术相对成熟的新技术,被越来越多的国家所采用。而在风电场建设过程中,通过对项目施工技术要点提前进行分析,可以规避一些安全、质量方面的问题,优化施工进度安排。从3个要点分析:1.风电场施工环境要点分析;2.风机吊装吊车选型要点分析;3.风机吊装工序特殊化要点分析。本文对风电场风机吊装方法加以研究可对风电项目起到一定的借鉴作用。

关键词: 风电场; 风机吊装; 施工技术

1 风电场风机吊装技术概述

随着在“双碳”发展理念与能源转型驱动下,中国风电技术的迅速发展,风电装机容量飞速增长,而风机型号也必将更加复杂多变。施工工地中出现了不同的环境、机器配置及工艺条件不同和大风气候限制机器正常吊装等问题。这就要求施工单位应当在严格遵循风机厂家安装指导手册和电力建设安全工作规程有关要求的情况下,研发适于该风电场的风力发电机组吊装工序,以力图保证安全、减少困难、节省成本、适用性更广。

1.1 塔基平台安装技术

(1) 塔基平台安装前须提前确定塔筒门方向。

(2) 平台支架吊装时必须对准塔基中心点,以免后续装塔基平台其他花纹板时干涉。

(3) 柜体必须提前放置在塔基平台上,且柜体在吊装过程中,应防止磕碰,并不可损坏柜体外层的防护薄膜,落位完成后,柜体必须防护完好,如有破损,必须修补或更换防护薄膜。

(4) 底段塔筒与塔基平台必须在同一天内安装完成。

1.2 塔筒吊装技术

悬挂塔筒吊具: 在下塔筒法兰每隔90度位置架设上吊耳,上吊耳数量为4个两组,每组间先采用钢丝绳索具连接在2套滑车上,然后再彩用2条柔性吊带连接在吊车上。塔筒下吊具的吊耳也是2个,并采用2根柔性吊带直接连接在吊钩上。

起吊塔筒: 用辅吊配合主吊车逐步把塔筒竖起,辅吊慢慢脱钩,当塔筒重量全部由主吊车承受时,逐步放松辅吊,保持塔筒竖立在地面高度0.5m左右,拆除塔筒下部吊耳和吊带,拆卸塔筒下吊耳和吊带后,用抹布清理安装的法兰面,保证表面干净、无油污等杂物^[1]。

塔筒定位: 缓慢将塔筒吊至风机锚栓上方,施工人

员扶稳塔筒下部让其不晃动,塔筒不能碰到电气柜体,旋转塔筒使塔筒门与塔筒门标记位置对齐(若无标记一般塔筒门方向与主风向垂直),指挥主吊车缓缓将塔筒放下至基础法兰,吊车此时势必会承受塔筒大部分力,在下放对孔过程中若有需要可通过导杆销辅助固定。

机舱吊装技术

机舱总成吊具安装: 开启机舱顶端的吊孔,由主吊将机舱总成吊具的4根吊带,从机舱顶部吊装孔处落入机舱内。机舱前端吊具与轴承座两端的销轴连接,后端则通过卸扣与后机架两端的吊耳连接。

缆风绳捆绑: 机舱前端,将2根缆风绳从主轴安装孔内穿过,捆绑在主轴两侧。机舱尾端,将2根缆风绳从机舱下部的2个方孔内穿过,捆绑在后机架上。

拆卸运输工装螺栓: 起吊机舱总成约0.1m处,待机舱静止晃动后放下,以便于将主吊找准机舱重心。进入机舱,从下部松开机舱与运输支撑(前、后端)上的连接螺栓。

机舱吊装: 缓缓上升机舱,并通过缆风绳调节机舱的摆动。机舱升至塔筒法兰上部后,使用缆风绳调节机舱,改变机舱朝向,使之与主风向一致,缓慢地操纵吊车,使机舱螺栓与塔筒法兰孔对准,机舱慢慢下降,以保证机舱螺杆完全进入塔筒法兰,直到完全落位^[2]。在落位过程中若有必要可利用导杆销协助定位。将缆风绳松掉、放下,并将尾部的方孔用盖板封住,涂上密封胶使其密封完好。

1.3 叶轮吊装技术

(1) 叶轮起吊和调整: 缓慢起吊叶轮,通过两台吊车协同作业,通过起吊高度的不同,使叶轮从水平位置变成垂直竖立位置。此时辅吊将不再承受载荷,通过预留的绳子配合,取下吊带和叶片后缘保护罩,并将辅吊

移开。（注意：在这个过程中必须确保辅吊悬挂的叶片叶尖距离地面约1m，以使叶片叶尖不与地面发生碰撞和刮擦）

（2）叶轮起吊：继续起吊叶轮，使得叶轮与机舱高度基本保持一致。通过调整捆绑在叶尖的缆风绳调整叶轮，直到叶轮与主轴对接法兰面的倾角相同。

叶轮对接：移动叶轮并缓慢接近主轴法兰面间距约50mm，启动叶轮锁和制动器，转动制动盘，使叶轮锁瞄准装置与叶轮锁盘标记对准，接着再缓缓调节叶轮与主轴，将螺栓穿入，等到两者的法兰面整个贴合。要求在连接完毕后，叶轮锁瞄准装置和叶轮锁盘标记对准，叶轮当中一个叶片必须垂直地面，机舱前面轮毂二端的进入通道均保持水平，且不得向一侧偏斜^[3]。

螺母安装：将已经预处理的六角螺母、高强度垫块拧进螺杆，并手动预紧螺母，尽可能使主轴与轮毂的配合面基本贴合，将可紧固到的螺栓按顺时针、对称紧固方式分两次拧紧，此时严禁吊车松钩。与叶轮锁等处于干涉的少部分螺栓，可吊具摘下后，通过盘车转动主轴，再进行依次进行两次力矩紧固。

吊具拆卸：主轴螺栓完成两次紧固后，将吊钩向机舱一端慢慢落下至离机舱前顶约1m处，作业人员戴好安全装备，先取下吊带，后移开主吊，并转动叶轮，扯掉缆风绳和叶尖护套。

2 风机吊装施工技术要点

2.1 风电场施工环境要点分析

2.1.1 入场道路与吊车组装

风电项目主吊多选用履带吊，其安全性和稳定性高于汽车吊，但是履带吊臂节较长，在组装过程中臂节安装场地也较长（一般需要臂节长度+10m）。正常的吊装平台无法满足履带吊臂节的组装，因此合理的规划和利用进场道路对臂节组装尤为重要，同时也能减少临时用地的占用。

进场道路布置原则：

（1）当道路为贯穿路时，道路宜作为吊装平台的一部分。

（2）当道路为尽头路时，平台面积和布局应满足运输车辆退出平台的空间。

（3）原则上道路可以布置在除道路入口处平台的任何位置。

（4）平台与道路的过渡段应平缓，坡度应合理，且过渡段宽度满足车辆转弯要求^[4]。

（5）道路与平台的位置关系以及道路的长度和坡度应满足履带吊组臂的空间和坡度。

（6）履带吊可借助道路组装。

2.1.2 主吊站位处地基处理

风电项目地处环境多样，有山地风电、平原风电、丘陵风电等，工程地质复杂，每个风机吊装平台的地基承载力也不经相同，所以必须对吊车站位处进行地基承载力试验，以保证吊车吊装施工时的稳定性和安全性。

平台地基承载力须大于履带吊吊装时的最大地耐力（计算时要履带不均系数1.4），当地基承载力符合要求时，可正常进行吊装。

当地基承载力不满足时，须对吊车站位地基进行处理。地基处理常用处理方法有：碾压法、换填法、强夯法、桩基法。根据风电项目的地质环境和吊装平台等因素综合考虑，在地基处理时宜优先采用换填法。

2.1.3 设备堆放与吊车站位

2.1.3.1 风机设备摆放

风机设备摆放原则：

（1）机舱、发电机、轮毂、电控柜柜体等部件宜摆放于基础周围，且位于主吊回转半径范围内。

（2）塔筒和叶片宜摆放于主吊两侧，且位于主吊回转半径范围内。

（3）工具、吊具和相关设备宜摆放于平台边缘，易取易放的位置。

（4）其它附件和辅、耗材宜摆放于平台边缘，靠近基础，易取易放的位置。

（5）大型零部件之间至少保持1m的间距，作为消防和应急通道。

（6）底段塔筒电控柜、塔筒、机舱、发电机吊装应满足部件翻身的空间位置要求。

2.1.3.2 叶轮吊装布置

（1）缆风绳拉绳位置应在平台周围条件允许的前提下尽量远离机位的位置。

（2）叶轮组对时，一支叶片宜就位于主吊与基础之间，溜尾叶片宜靠近路就位。

（3）叶轮组对时，三支叶片伸出空间的宽度应满足叶片变桨区域要求，叶片预弯到叶尖区域空间应预留充分，目前陆上风机叶片尺寸长度在70~90米左右。

（4）叶轮组对时，三只叶片伸出空间的障碍物高度应满足叶片变桨不同区域高度要求。当叶片角度为0°时，叶尖与地面距离最远；当叶片角度为90°时，叶片后缘与地面距离较近。叶尖和叶片后缘区域高度应预留充分。

2.1.3.3 主吊站位

主吊在风机设备吊装过程中起到至关重要的地位，合理的安排主吊站位，不仅能让施工更加的安全，而且

能提高主吊的工作效率。

吊车站位要求:

- (1) 主吊最好正对基础站位。
- (2) 主吊不得位于回填土上。
- (3) 主吊与边坡应留有安全距离, 一般为基坑深度的1.1倍以上。
- (4) 主吊最大回转半径范围内无其它障碍物。
- (5) 辅吊宜借路站位。
- (6) 辅吊与边坡应留有安全距离, 一般为基坑深度的1.1倍以上。
- (7) 辅吊工作半径内无其它障碍物。

2.1.4 障碍物

吊车在靠近架空电缆线工作时, 臂架、吊具、辅具、钢丝绳、缆风绳等与输电线的最小间距应满足有关标准。若无法保证该间距, 则需断电或设置好隔断设施后, 方可进行施工。若在气候湿润状态下施工时, 间距还应增大。根据GB 6067.1《起重机械安全规程》吊车与输电线的最小距离, 见下表:

表1 起重机与输电线的最小距离

输电线路电压V/KV	<1	1~20	35~110	154	220	350
最小距离/m	1.5	2	4	5	6	7

当起重机械进入到架空电线和电缆的预定距离之内时, 安装在起重机械上的防触电安全装置可发出有效的警报。但不能因为配有这种装置而忽视起重机的安全工作制度。

2.1.5 风载荷影响

风机架设高度达到110m, 由于施工环境对大型设备的吊装影响很大, 特别是吊装过程中风力对被吊物的稳定性和安全性影响极大, 为保证设备吊装过程的安全, 在吊装载荷计算中应充分考虑风载的影响(其中为保证计算的可靠性, 我们假设风向与被吊物的纵轴线表面垂直)。

主吊吊装风机设备时, 吊装叶轮时迎风面积最大, 故此处以叶轮迎风面积计算, 叶轮重120t。

选用公式: $W = C \times P \times A$

式中: W —计算风载荷, 单位t;

C —风力系数, 取1.20;

P —基本风压, $P = 0.625v^2 = 0.625 \times 8^2 = 40N/m^2$ (其中 v 取值8m/s);

A —迎风面积(叶轮为最大迎风面积)。

$A = \text{叶片迎风面积} + \text{轮毂迎风面积} = (3 \times 93 \times 3.2) + (4.746 \times 4.233)$ 约等于912.89m²。(此处计算以叶片最大直径进行计算)。

即: $W = 1.2 \times 40 \times 912.89 = 43818.72N \approx 4.38t$

风载荷引起叶轮的倾角 $\tan\theta = 4.38/120 = 0.0365$

$\theta = 2.09^\circ < 3^\circ$ 故叶轮吊装只要做好常规揽风措施, 风载荷对吊装叶轮所造成的垂直力即可忽略不计。

2.2 风机吊装吊车选型要点分析

2.2.1 主吊选用履带吊还是汽车吊

2.2.1.1 履带吊优缺点

优点:

(1) 良好的通过性。履带起重机是搭载在履带上的, 这使得它在各种地形上的通过性非常好, 常常可以在复杂的地形条件下完成搬运和堆垛等任务。

(2) 较高的稳定性。由于履带起重机有着较大的重量和底盘支撑, 因此在操作时比轮式起重机更为稳定, 可以减小起重物体在运输过程中的颠簸, 提高安全保障。

(3) 较好的承重能力。履带起重机在设计上往往具有较强的承重能力, 可以完成较大的起重任务。尤其对于需要进行跨越沟壑或其他地形障碍的建筑工程, 使用履带起重机可以大大简化施工流程, 提升其效率。

缺点:

(1) 应用范围受限。履带起重机由于其过大的体积和重量, 需要较大的组装场地, 山地风电项目地理环境有限, 坡度较大, 及其限制履带吊的组装施工, 吊车选型时应提前进行实地考察。

起重臂固定。拆装较麻烦, 因起重臂无法自由伸缩, 局限性极强。

汽车吊优缺点

优点:

(1) 方便灵活、工作效率高。

(2) 转场快、提高工作效率。

缺点:

(1) 受地形限制、大型设备不能完成。

(2) 风机设备重量过大时易出现折臂情况。

2.2.1.2 吊装形式综合分析

总的来说, 履带起重机具有的优点更有利于风机吊装。尽管存在缺点, 但相比于汽车吊更加的安全。若场地限制无法满足履带吊起重臂的组装, 此时应该考虑使用汽车吊。所以在选择起重设备时, 可优先考虑履带吊, 而后是汽车吊, 但还需充分考虑到工程的具体情况, 选择最为适合的设备, 以提高施工的效率并确保安全。

2.2.2 主吊与辅吊配备方式

主吊的选择因素主要受到两个因素的限制:

(1) 风机设备重量及高度;

(2) 现场吊装平台场地限制。

结语

风电场风机吊装施工技术是风电场建设过程中最为重要的一个环节。从设备的选择和布局、吊装前准备工作、吊装过程中的注意事项以及风机固定等方面入手,综合考虑,可以有效地避免各种安全事故的发生,提高工作效率,保证风电项目的安全、有效、高效实施。

参考文献

[1]张璐.山地风电场风力发电机组吊装技术控制研究

[J].电力系统装备,2021,(06):3-4.

[2]雷云波.风电场风机吊装施工技术的研究与探讨[J].中国新技术新产品.2015.01.

[3]吕小光.风电场风机吊装施工技术的分析与探讨[J].科技创新导报,2017,(33):25,29.

[4]马赛雄.风电工程风电吊装技术要点分析[J].科技与创新.2015.16.