

陆上风电超高混塔预制塔筒吊装施工技术

杨侃

中国电建集团河南工程有限公司, 河南 郑州 450000

摘 要 : 本文针对陆上风电 170 米超高预制混塔混凝土塔筒施工技术及质量控制问题, 通过对多环片混凝土塔筒吊装流程及质量控制方法进行深入分析, 寻求一种 170m 多环片超高混塔施工方法, 通过施工流程优化及施工技术应用证明该方法的科学性、可靠性、优势性, 完成了国内首批 170 米超高钢混塔施工, 取得了良好的经济效益及社会效益, 在超高钢混塔在陆上风电中的应用方面具有广泛推广应用价值, 对同类钢混塔施工起到借鉴的作用。

关 键 词 : 陆上风电; 超高预制混塔; 预制环片; 吊装

Overland Wind Power Prefabricated Tower Hoisting Construction Technology

Yang Kan

Power China Henan Engineering Co., LTD. Zhengzhou, Henan 450000

Abstract : Aiming at the construction technology and quality control of 170m super-high precast mixed concrete tower for onshore wind power, this paper analyzes the lifting process and quality control method of multi-ring concrete tower, and seeks a construction method of 170m super-high mixed tower with multi-ring. Through the optimization of construction process and the application of construction technology, the scientificity, reliability and superiority of the method have been proved, and the first batch of 170m ultra-high steel mixed tower construction in China has been completed, and good economic and social benefits have been achieved. It has a wide application value in the application of ultra-high steel mixed tower in onshore wind power, and plays a reference role in the construction of similar steel mixed tower.

Keywords : onshore wind power; ultra-high precast mixing tower; prefabricated ring plate; lifting

引言

随着高塔技术的创新与应用、风机叶轮直径的增大、风机智能化水平的提升, 低风速区域已成为陆上风电的新“蓝海”, 而钢混组合塔筒也凭借耐久、耐腐蚀、低维护成本低等特点成为陆上风电的优先选择。170 米超高钢混塔混凝土塔筒段采用“5+4”环片拼装的设计方案, 其中 1 至 16 段塔筒为 5 个均等预制环片, 17 到 51 段塔筒为 4 个均等预制环片。环片现场拼装成圆型塔段, 逐段吊装、错缝安装、环向拼缝, 通过预应力张拉系统形成风机稳固支撑塔架。为保证在现有施工条件下施工安全及施工工效, 形成具有实际指导意义的技术方案, 开展超高钢混塔混凝土塔筒施工技术研究并进行现场应用验证, 最终形成了超高钢混塔施工技术。

一、技术应用

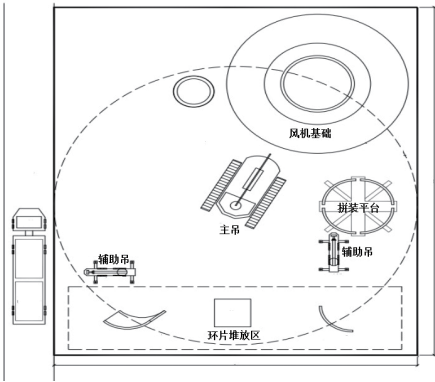
(一) 施工准备

1. 场地规划及地基处理

施工前根据每基塔位实际工况进行场地规划。利用无人机进行现场勘查, 并根据现场勘查情况进行场地规划, 规划场地应能保证主吊、辅助吊、拼装平台、物料等施工需求。合理规划进出场道路, 道路转弯处转弯半径 40m, 道路坡度小于 5 度, 横坡小于 2 度。

正式吊装前对吊装场地进行平整夯实, 同时适当做坡便于排水(坡度宜为 1%)。主吊站位及吊装平台需做换填处理, 分层夯实。换填地耐力特征值需符合本工程吊装需求, 经第三方单位检验且地基承载力必须满足要求值后方允许开展风机设备吊装作业。地基处理完毕后应做好施工区域围挡, 悬挂施工警示牌、标识牌^[1]。

作者简介: 杨侃, 大学本科, 工程师, 电网(运维)公司党委书记。



> 图 1 施工场地规划示意图

2. 物料运输

混凝土塔筒环片分为两次运输, 第一次是从预制工厂运输到

机位附近临时堆场，第二次是从临时堆场运输到机位吊装现场。在两次运输中，都应使用运输专用工装。根据现场场地布置运输混凝土环片、施工工具、施工材料等工程物料。

3. 拼装平台搭建

拼装平台运抵现场后，在规划场地进行平台拼装。将中心定位盘放置在混塔吊装现场，承载路基板和8个分支组装平台安装固定在一起，8个分支组装平台通过中心盘上面的铰接轴连接起来。将剩余附件按照图纸和安装指导书全部安装到相应位置，最后检查各个活动构件的动作灵活性和可靠性。

4. 混凝土塔筒拼装

利用辅助吊在拼装平台进行混凝土塔筒拼装。170米超高钢混塔塔筒共52节，1至16段分为5片预制环片，17到51段为4片预制环片，52节为钢塔筒。拼装过程根据环片直径调整拼装平台并顺序进行环片吊装就位与临时固定。拼装过程中，相邻两环片用防水密封胶将竖向拼缝进行填补，使用弧形螺栓进行连接。每次调节完成后使用激光水平仪等检测工具进行检验，保证拼装尺寸^[2]。

5. 混凝土塔筒附件安装

混凝土塔筒拼装后进行爬梯、电缆夹板、平台等附件安装，内附件的安装应严格按照图纸设计的位置、型号进行。

（二）首段塔筒吊装

1. 对基础顶部塔筒安装槽进行凿毛湿润处理，并确保槽内无杂物、无积水。把两个定位销和基础预埋的两个定位销安装孔连接固定。

2. 将首节塔筒按照定位销位置用吊车放置在5处垫片上，安放时应注意塔筒门角度和方向，确保塔筒门中心线与基础标志塔筒门中心线方向一致。

3. 将激光水平仪放置在塔筒安装槽内任意一点，使其自然安平。利用激光水平仪和拐尺对5个点位环形垫片上表面进行水平高差测量，通过调整垫片的数量使5个点位处于同一水平位置。

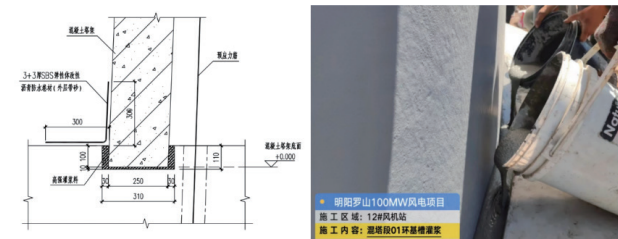
4. 再次复测首节塔筒上口水平度，根据测量数据结果确定是否需要用垫片继续微调，确保其上口水平度控制在3mm以内，详细记录其测量点位的角度方、向和水平度数据。



> 图2首节塔筒吊装

5. 用专用灌浆料进行灌浆作业，将灌浆料和水加入搅拌桶内，用搅拌机进行充分搅拌。将搅拌均匀的灌浆料从记录好的最高点处倒入，时刻注意导流。浆液应从一侧灌入，直至浆液从另一侧溢出为止，不得从相对两侧同时灌浆。搅拌完一桶后立即开始下一桶灌浆料的搅拌，按此过程循环（中间不得间断），直至灌浆料从最低点溢出、灌浆槽完全灌满，结束灌浆。然后清理灌浆面并收光，在

喷洒养护剂或覆盖塑料薄膜后，即开始灌浆料的养护工作^[3]。



> 图3首节塔筒吊装

6. 首节塔筒吊装完成后，应在塔筒和基础接触面外侧一周粘贴沥青防水卷材，水平和上翻边宽度均为300mm。

7. 首节塔筒吊装完成后，将吊具旋转吊点从塔筒上口预埋套筒中取出，吊具拆掉。把4个定位销安装固定到塔筒顶面对齐标志处的直螺纹套筒中。

（三）第二节塔筒吊装

1. 用主吊将塔筒吊至首节塔筒上方，利用定位销固定与首节塔筒的相对位置，进行预拼装，特别要注意塔筒爬梯和门洞位置，要保证其上下准确对位。

2. 塔筒完全回落到第一节上面后，利用激光水平仪和拐尺测量其上表面的水平度。根据测量数据结果确定是否需要用垫片继续微调，确保其上口水平度控制在3mm以内（测量6点中的最大差值）^[4]。

3. 测量水平度误差应保证在误差允许范围内，将塔筒上口吊具摘钩后进行下一步作业。如水平度误差超过允许误差，则需要对塔筒进行垂直度测量。垂直度偏差超过H/2000与50mm最小值，则需进行坐浆处理，坐浆材料选用环氧树脂结构胶^[5]。

4. 吊装完成后填写混凝土塔筒吊装灌浆/坐浆记录表并记录每个位置垫片和灌浆/坐浆的厚度。用爬梯连接板将上下塔筒爬梯微调后连接。用接地铜导线将上下两节塔筒预埋的接地埋件连接。

5. 用防水密封胶将上下两节塔筒环向拼缝进行密封，防止下雨时雨水进入塔筒内侧。

（四）电气柜、检修门安装

使用辅吊将变频器、塔底控制柜等电气设备吊装至电气柜平台上并固定牢固。检修门先使用辅吊在地面组装完毕后，再整体吊装至门洞进行安装，通过螺栓与门洞预埋套筒连接固定。检修门安装时要特别注意门框与筒壁之间的缝隙需用发泡胶进行填补密封，完成后用壁纸刀将检修门内外溢出的发泡胶切除干净，再用防水密封胶沿门框将检修门内外侧进行密封。



> 图4电气柜及检修门示意图

（五）第三、四节塔筒吊装

第三、四节塔筒吊装过程和步骤同第二节一样，重复第二节吊装过程即可。防护平台应先使用辅吊在地面组装完毕后，在塔

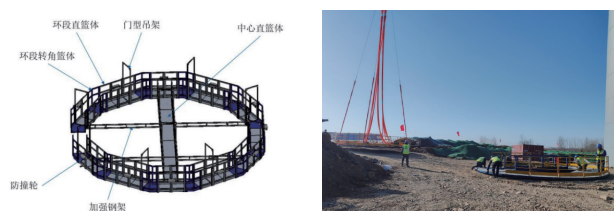
筒吊装前整体吊装至混凝土塔筒内部,通过螺栓与塔筒预埋平台支撑连接固定。



> 图5防护平台安装

(六) 高空施工平台拼装

自第五节塔筒开始,使用高空施工平台为高空作业提供施工场地。高空施工平台施工前进行平台拼装。将环段转角栏体、环段直栏体、中心直栏体的护栏焊件与底板焊件拼装在一起,所有门型吊架、环段转角篮体与环段直栏体连接起来,中心直篮体与加强钢架连接在环段篮体上,防撞轮安装在篮体上,伸缩爬梯放置到平台上^[6]。

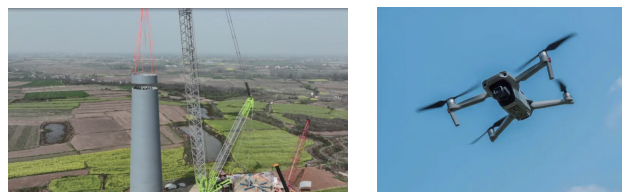


> 图6高空作业平台吊装

(七) 中间段塔筒吊装

1.高空作业平台先使用辅吊在地面组装完毕后,再整体吊装至混凝土塔架内部,将中间塔段依次按照第2节吊装方式进行吊装。

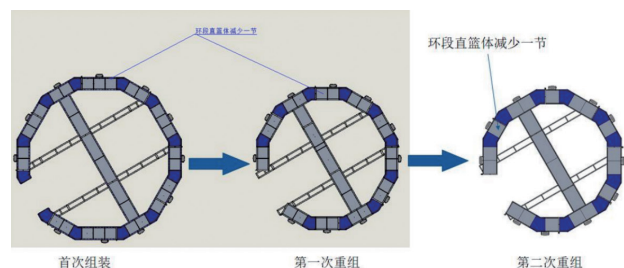
2.超高混塔吊装过程中,采用具备红外线安全距离监控预警功能设备进行现场安全地面监控,对施工风险进行预警。同时,利用无人机对施工过程进行监控,保证施工安全^[7]。



> 图7无人机现场安全监控

3.中间段每节塔筒就位后将高空作业平台与塔筒吊具相连接,把高空作业平台与塔筒连接固定预埋件松开,使其脱离塔筒,利用主吊将高空作业平台整体向上移,到达塔筒平台固定预埋件时将高空作业平台与塔架连接固定,然后将高空作业平台与主吊脱钩。重复上面上述两个步骤,进行混塔段吊装。

4.根据设计塔筒直径变化情况在涉及塔筒位置进行高空作业平台重组。重组前将高空作业平台从塔架内吊出放在地面上,根



> 图8高空施工作业平台重组示意图

据塔筒直径进行标准件的拆除重组。

(八) 钢过渡段吊装

1.钢过渡段在安装前用密封胶枪在混塔顶部钢垫板内、外圈各连续设置一圈密封胶,锚栓孔处呈“8”字形设置。将钢过渡段置于混塔顶部,通过预应力钢绞线将钢过渡段与底部基础一并进行锚固张拉^[8]。



> 图9钢过渡吊装

2.将高空作业平台从塔筒内吊出,进行过渡平台的安装。过渡平台应先使用辅吊在地面组装完毕后,再整体吊装至混凝土塔筒内部,通过螺栓与塔筒预埋平台支撑连接固定^[9]。

二、结束语

超高混塔预制塔筒采用多环片拼装方案进行塔筒预制,避免环片过大造成运输困难、运输过程受力不均破损等问题,降低施工成本及施工难度。吊装施工前通过场地规划及人员机械配置,形成集物料运输、塔筒拼装、吊装、密封处理为一体的线性流水化作业模式,提高施工工效,降低施工成本^[10]。塔筒衔接施工过程使用便捷式高空施工平台,为高空作业人员提供作业平台,降低施工风险及施工难度。同时利用具备监控预警功能的红外线距离感应设备及无人机监控设备进行施工现场安全监控,提高施工安全性。作为国内首批170m陆上风电超高混塔应用项目,本技术对同类多环片超高混塔吊装施工具有一定的借鉴意义。

参考文献

- [1]杨文卓,蔡春燕. 风电场风机吊装场地平面布置设计研究[J]. 东方汽轮机, 2012(3):4.D01:CNKI:SUN:DFQL.0.2012-03-005.
- [2]李向姚. 分片预制塔筒干式螺栓连接拼装施工质量控制[J]. 智能城市, 2020, 6(18):2.
- [3]袁忠奇. 如何做好3MW机组基础高强灌浆料的施工工作[C]//中国农业机械工业协会风能设备分会2012年度论文集(上).2012.
- [4]何澄,张光毅. 140米钢混塔架装配式混凝土段吊装工艺研究[J]. 中国电力企业管理, 2022(3):2.
- [5]王宇航,王镜深,谭继可,等. 钢-混凝土组合塔筒中竖向灌浆接缝的受剪承载性能研究[J]. 工业建筑, 2023(107-117).DOI:10.13204/j.gyjzG23030119.
- [6]夏辉. 大跨度型钢混凝土高空连廊架体平台施工技术[J]. 建筑施工, 2023, 45(11):2254-2256.
- [7]傅炜,郑心城. 采用无人机定位跟踪监控技术提升现场作业安全管理[J]. 消费导刊, 2018.D01:10.3969/j.issn.1672-5719.2018.36.150.
- [8]高日吨,阳荣昌,彭文兵. 组合式风力发电塔架过渡段有限元分析[J]. 特种结构, 2015(4):5.D01:CNKI:SUN:TZJG.0.2015-04-010.
- [9]梁峰,陶铎. 140m高四边形构架式预应力抗疲劳风力发电塔过渡段结构设计[J]. 建筑结构, 2019, 49(14):6.D01:10.19701/j.jzjg.2019.14.005.
- [10]刘昕冲,于红刚,张迪,等. 钢混塔筒型风电机组安装技术的研究与应用[J]. 中国电力企业管理, 2021.D01:10.3969/j.issn.1007-3361.2021.18.036.