

海上风电单桩基础风机整体安装工艺涉及的半分套笼施工研究

童 彬

天津港航工程有限公司 天津 300457

摘要：随着国家“30·60”双碳目标的推进，海上风电已取得了飞速发展。现已向大兆瓦风机和深远海方向发展，目前国内相继打造了一批先进的船机设备。风机安装主要采用了平台船或坐底式半潜船安装工艺。随着技术创新，大兆瓦海上风电单桩基础整体吊装风机安装工艺在海上风电项目中成功实践，为海上风电项目风机安装提供了新的解决方案，其中在工艺执行中半分套笼的安装也为施工重点，本文主要对半分套笼安装进行分析，以期对后续类似项目提供参考经验。

关键词：海上风电；整体吊装；半分套笼

引言

套笼作为海上风电单桩基础的附属设施，主要是提供运用船舶靠泊和作业人员进入风机

内部的通道。所以在套笼结构设计中，其顶部与风机单桩基础的高差较小。因此，在风机整体吊装过程中，上部的塔筒及其工装需要避免磕碰到单桩基础法兰和套笼外平台。为了解决这一关键问题，风机整体吊装工艺设计增加了缓冲系统。这套缓冲系统分为上下两个部分，其中下部分需要安装在单桩基础上部。这样导致与套笼的上部产生施工干扰，见下图。本文通过改进施工工艺，设计吊梁，海上浮态拼装等全过程进行了施工总结。



1 吊梁设计

1.1 吊梁设计背景

为了解决该问题，将套笼整体式设计改成了上下两部分设计。下部分为环形整体结构，在整机吊装前设计塔筒门方向安装到位，并做好四周紧固件的安装加固。上部分需要在整机吊装完成并且缓冲系统工装拆除完成后再进行安装，此时风机已成整体，上部分套笼结构需要一分为二设计成两个半分结构，安装这个进行再合拢成整体。此半分结构套笼的安装是难点，结构重心偏心且在凹面内，常规安装方法起重设备吊机钩头会碰到风机上部塔筒，因此需要重新设计安装吊梁。

1.2 吊梁设计要求

半分套笼的安装需要考虑两个问题。一是吊物只能挂在吊梁的一端，为了达到平稳起吊另一端则需要增加配重形式才能达到平衡。二是还需要考虑解决吊钩在安装时不能磕碰到塔筒壁问题^[1]。综合这两个问题，在吊梁设计中，为了实现吊物在安装过程中平衡稳定性，需要在吊梁的一端设计配重支撑平台或配重吊点。考虑到操作便利性，选择配重支撑平台更容易实现绑扎稳固，因此吊梁设计需要达到一定的宽度。其宽度基本达到半分套笼结构中间两个主要受力吊点的宽度。

综上分析结合项目实际情况，吊梁上吊点设计4个呈对称分布的吊点，4个吊点吊索具等长汇到一个吊钩上；便于力的传递，下吊点设置2个吊点，位置与上吊点一端平面位置一致。吊梁结构形式如下图。



2 半分套笼安装姿态调整

(1) 吊梁的设计运用给半分套笼安装带来了很大便利, 但实际安装过程中还需要解决套笼的偏心无法直接对接问题, 以及还需要解决套笼连接点的问题。解决安装时半分套笼结构的姿态调整是关键。结合项目的施工不断探索总结了相应的技术方法, 具体办法如下:

(2) 调整半分套笼姿态, 合理设置半分套笼吊点, 重心对称分布两个主吊点, 并在套笼的开口端部设置两个吊点, 用于姿态调整。通过调节端部吊点吊具长度, 比如使用手动葫芦, 使半分套笼外平台实现基本水平状态;

(3) 合理设置连接点, 使半分套笼能与风机底座外法兰螺栓孔有效连接。半分套笼与塔筒相对独立, 没有设计任何连接点。为了克服这个困难, 巧妙的利用了底座外法兰螺栓孔作为连接点, 从而解决了该问题。连接点设计按照间距基本相等设置四个, 在每个连接点配置手动葫芦, 逐步收紧法兰螺栓连接点, 控制好对应的高差和间距。实现了上端临时固定, 下端与下部套笼支撑立柱螺栓紧固的目的;

(4) 同样方法吊装另一半套笼, 实现两个部分结构对接。对接时还是需要先与塔筒外法兰螺栓孔作连接, 连接好四个支持柱螺栓。然后再逐渐放松两边的连接点吊具, 实现上圈梁对接。从而实现整改套笼安装。

3 安装起重船的选用

半分套笼的安装是在风机整体吊装完成后进行的, 所以在起重船选择方面, 要控制好起重船扒杆高度的选择。起重船需要能提供稳定抗风浪能力, 相应的型长、型宽、型深均需要考虑, 需要配备4锚定位。安装时需要时时调整位置, 需要操作反应更快更灵敏的全回转起重船。

本次选用的起重船, 船长78.3m, 船宽29.3m, 型深5.5m, 空载吃水2.07m, 满载吃水3.2m。主钩固定吊800t, 主钩全回转吊重500t, 主钩间距3.5m, 主钩吊重2×400t, 主钩钩速重载0.55m/min, 空载0.72m/min, 副钩钩速1.45m/min。技术参数表显示, 主钩(360°全回转)在吊杆前倾角度65°~45°状态下, 此时起重能力为400t~170t, 起吊跨距为34.35m~54.4m, 吊钩至水面起吊高度为51.98~45m; 带4口锚, 锚钢丝绳长度600米, 直径42mm, 锚为大爪力锚。各项指标均满足使用需求。

4 套笼安装流程

4.1 风机偏航

为了防止作业过程中发生碰撞, 需将风机机舱偏航至叶轮背向起重船侧, 并锁紧风机偏航系统, 以免撤点过程中叶片与起重船大臂发生碰撞。此项工作需在船舶驻位前完成。

4.2 船舶驻位

根据套笼塔筒门方向确定起重船驻位方式和方向, 方便安装, 船艏与船艉抛下八字锚, 长度300m。

4.3 套笼构件及散件验收清点

附属构件及散件到场后, 施工相关相关人员根据运输清单对其进行验收、数量清点并签字确认。主要验收内容包括:

(1) 套笼构件是否有刮伤、磕碰。

(2) 散件的质量检查及数量清点。

验收完成后施工班组设专人负责散件的点收、保管及领用, 并将使用情况实时汇报现场施工人员。

4.4 套笼安装

4.4.1 下部分整体套笼安装

起重船用主钩起吊四根钢丝绳至套笼顶部, 通过4个卸扣与套笼上四个吊耳进行连接。甲板施工人员在爬梯相向位置上布置2根缆风绳, 每根缆风绳由四名施工人员控制。解除套笼加固设施, 起重船缓缓起吊套笼至桩顶, 内平台上的起重指挥与吊机手进行沟通, 确保套笼能稳定套在桩体上, 缓缓落钩直至套笼外平台高程在桩顶法兰下80cm。

调整套笼方位, 待套笼稳定后, 施工人员从内平台过至外平台, 观测套笼上的塔筒门方向是否与桩体上塔筒门方向的相对位置对应, 通过缆风绳将套笼旋转, 直至燕尾槽的轴线对应牛腿标记线。缓缓落钩将燕尾槽卡在牛腿之上, 摘钩。

安装紧固件, 套笼整体安装调整完毕后分别在各圈梁的相应位置安装紧固件, 安装过程中应尽量保持对角线两组结构对称施工。

此项工作在风机整体安装前完成。

4.4.2 上部分半分套笼的安装

为了减小作业晃动, 需要选过驳半分套笼到起重船上。起重船挂好吊梁后, 旋转到运输船上半分套笼存放位置, 吊点悬挂注意开口端的方向, 要与安装方向一致。绑好2根缆风绳后, 再解除相应加固措施, 过驳到起重船甲板。

在设置好的半分套笼吊点上挂好吊具, 两边调整姿态的吊点是通过手动葫芦连接的, 调整姿态时需要将半分套笼调离甲板20cm。然后同时逐步收紧开口短的手动葫芦合理设置半分套笼吊点, 慢慢将半分套笼姿态调整到套笼外平台大致水平状态^[2]。

起重船将调整好姿态的半分套笼首半分套笼选择吊到塔筒相应的大致位置, 通过调整缆风绳, 让吊架一端紧靠在塔筒壁上, 减少晃动为作业人员提供操作平台。

作业人员再乘坐吊笼到达套笼外平台。利用预先设置好的连接外置将首半分套笼上端与塔筒外平台法兰做好临时紧固连接,下端与支撑柱螺栓对接。同样方法安装另一半,最后实现整体对接。



5 安装安全技术措施

5.1 安装前准备工作

作业前,组织技术交底和安全技术交底,明确作业工序和作业方法,了解被吊物的尺寸、重量、起吊高度及其周围环境,合理选用起重设备及索具。对所用一切工具、索具、安全防护装置等是否安全可靠齐全必须全部检查检查。吊装现场作业人员必须戴好安全帽,戴好安全带,穿好防滑鞋,检查登高作业人员必须持有相关作业证书。吊装人员分工明确,站在吊装物外侧安全区域,专人指挥,信号准确无误,配备专业的对讲机,清晰收听指挥信号。

实现轻型结构浮态海上拼接安装,对海况的选择要求较高。综合项目的实际总结,海况条件选择在风速在4级以内,浪高小于0.6m,涌浪周期在5s内。同时考虑到作业时长,需要制定好相应的窗口期计划,留好富裕时间应当突发情况。还要做好相应的应急预案。

5.2 安装过程中安全技术措施

必须有专人指挥,应站在明显的安全部位,按规定的手势、哨声或信号进行起重指挥,严禁多人指挥。在调整套笼姿态时,需要操作人员爬上对应连接点,此时应拉紧缆风绳,保持套笼在稳定的状态;人员上去后及时挂好安全带,保持“高挂低用”。调整手动葫芦时,指挥人员和操作人员密切沟通,指挥人员要时刻关注连

接吊索具的受力状态,保持基本均匀受力,稳步调整到套笼套笼外平台水平状态。

首个半分套笼大致吊装到位后,需要操作人员乘坐吊笼到套笼外平台。起重机械操驾人员精神集中、准确无误操驾,以防伤害他人事故发生。缆风绳随着吊笼的前移适度放松。整个过程需要紧密配合防止颠簸、骤停、晃动等情况发生^[1]。

半分套笼还没有稳固前,整体受力还是起重船吊钩,整体还是处于晃动状态。在靠近塔筒部门易形成快口,所以在对应位置应包裹缓冲垫。操作人员时刻关注晃动情况,相对稳定时才进行连接相关动作,同时指挥人员还应关注4个连接点的受力状态,循序渐进逐步达到稳固状态。

5.3 其他注意事项

密切关注气象信息,确保构件吊装作业符合安全规定;作业过程中保持通讯畅通,统一协调指挥;严格按照操作规程进行作业。严格按照操作规程进行吊装,严格执行“十不吊”原则。

吊运的构件应按技术要求码放,避免偏斜,防止压坏或倒塌伤人。在装、卸船时,要使船舶驻好位,吊物停稳后,方可进行。装、卸时严禁超载、偏载。卸异形构件必须加固垫稳,防止倾倒。已吊起的构件不应在高处久留,如需暂停作业时,应将构件放置妥当。

构件起吊前,应将构件上的杂物清理干净,防止落物伤人。起吊构件时,应先将绳扣慢慢拉紧,复查绳扣是否绑牢,吊点平衡后,方可起吊,严禁用人体的平衡重量。

6 结束语

本文是对海上风电项目半分套笼3个机位的成功安装经验的详细总结,克服了大部件海上浮态拼装困难,形成了相应技术方法的总结,后续在类似工艺的的施工将持续改进提高。

参考文献

- [1]郭建.海上风电套笼受力性能分析[J].宁夏大学学报(自然科学版) 2022,43(04): 353-357.
- [2]李鹏.海上风电桩基套笼施工工艺研究[J].中国水运(下半月).2023,23(01):157-158.
- [3]佟永录.海上风电机组安装工艺优化.铁道建筑技术.2022(11):193-196.