

# 插桩式风电安装平台双动环梁液压升降系统 操作风险分析及对策研究

刘祥吉<sup>1</sup>, 郭佃生<sup>2</sup>

(1. 交通运输部烟台打捞局, 2. 烟台港引航站, 山东 烟台 264001)

**摘 要:** 本文针对插桩式风电安装平台在实际工作过程中, 双动环梁液压升降系统作业存在的安全风险, 进行分析研究, 提出具体的解决思路与举措。

**关键词:** 双动环梁; 升降系统; 风险分析; 风险对策

**中图分类号:** U664

**文献标识码:** A

## 引言

在“双碳”目标的推动下, 各国都在寻求能源转型, 作为绿色能源的海上风电需求得到释放, 为海工市场带来了活力。风电安装船租金暴涨, 吸引了众多海工企业加入到风电装备的投入中来。据统计, 2021 年全球新增海上风电装机容量约 13.4GW, 中国约占四分之三。海上风电安装船型式多样, 海上风电装备正向着大型化、专业化、智能化、多功能化的方向, 由浅海走向深海, 寻求更高质量的发展。

## 1 风电安装船及升降系统概况

海上风机安装船主要分为坐底式风电安装船、非自航自升平台、自航自升式安装船等三大类。随着风机安装大型化, 并逐步向深水区推进, 大型自升式风电安装平台在风电安装船中得到大量应用。风电安装船的升降系统大致分为缆索式、齿轮齿条系统、销孔式。随着升降系统的逐步改进, 实现了动作平稳、节约时间、节约能源, 一种更快、更可靠的升降系统——液压插销式双动环梁升降系统(如图 1)被广泛应用。双动环梁液压系统为连续式升降, 可平稳地实现升降平台、升降桩腿、平台预压、拔桩和静态自持等功能, 特别适用于升降速度要求高, 且需频繁升降的各

类自升式平台, 在驱动桩腿及确保安装作业期间平台稳定性方面, 发挥了极其重要的作用。

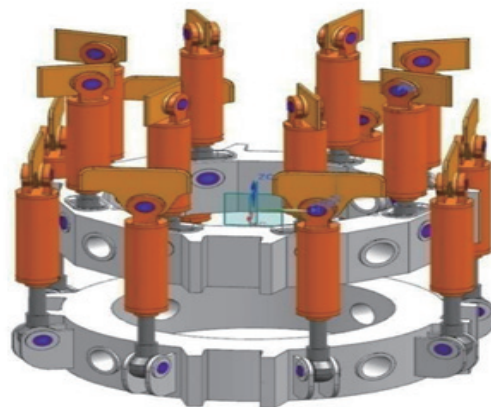


图 1 液压插销式双动环梁升降系统

## 2 风电安装平台升降系统作业过程及风险分析

海上风电的安装主要依靠升降系统与桩腿的配合将平台抬升到一定间隙高度, 再由吊机完成不同形式的安装任务。升降机构动作过程如下:

第 1 步: 上动环梁插销保持插入, 上动环梁上的升降油缸无杆腔建压工作;

第 2 步: 下动环梁上的插销拔出;

第 3 步: 上动环梁上的油缸顶升平台, 带动

下动环梁一起上升一个节距；

第4步：下动环梁上的插销插入桩腿销孔；

第5步：上动环梁插销拔出；

第6步：下动环梁升降油缸顶升平台上升一个节距，上动环梁跟随平台一起上升，且在其升降油缸作用下回程，上动环梁相对桩腿上升2个节距；

第7步：上插拔销油缸动作，插销插入桩腿销孔；

第8步：下动环梁拔销；

第9步：上动环梁升降油缸顶升平台上升一个节距，下动环梁跟随平台一起上升，且在其升降油缸作用下回程，下动环梁相对桩腿上升2个节距；

第10步：下动环梁上的插销油缸动作，插销插入桩腿销孔。

重复上述第5~10步，平台连续上升。

升平台流程示意图如图2：

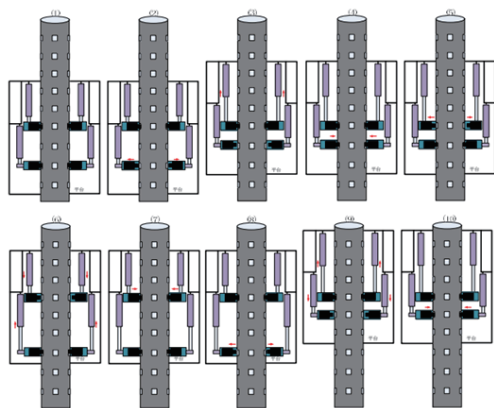


图2 升平台流程示意图

反过来，重复步骤第10步至第5步，即可实现平台下降，原理相同。

然而在不同的水深及地质条件下，加上复杂的作业海况，船舶平台在航行、就位、预压、升平台、降平台、拔桩、安装作业及风暴自存等作业过程中会遇到诸多的突发状况，给升降作业带来风险。常见的升降作业风险有以下几种：

### 2.1 穿刺、滑移风险

穿刺是由于桩靴站立位置的地质出现上硬下软的层状地层，站立硬层出现突然的沉降，导致桩靴快速下沉而穿过地质层的现象。滑移一般是由于重复就位站桩，旧桩穴的存在导致在升降作业过程中桩靴受力不均，出现偏移的滑移现象。

穿刺现象往往发生在预压过程中。出于安全系数的考虑，预压载荷一般要达到安装作业时桩腿载荷的1.5倍左右。如果桩基位置地质复杂，中间存在硬质土层且地质层比较薄，桩靴在经过此地质层时载荷暂时可能稳定，而由于下层软土层的影响，桩靴有可能会突然快速穿过此地质层，导致桩腿快速下沉，发生穿刺风险。

### 2.2 拔桩困难风险

在平台风机完成安装作业后，进入下个机位之前，需要进行拔桩及桩腿收回工作。虽然在作业前对该地质条件下的承载力及入泥深度都进行了测量计算，但在实际作业中同一桩基的最终入泥深度都存在很大差距，个别桩腿可能出现入泥深度过大导致桩腿摩擦力比较大。而各个作业地点的海基特性也不一样，有些地域海底地质疏松，但淤泥层较厚、粘性强，在拔桩初期拔桩力过大，存在拔桩困难风险。

### 2.3 平台倾斜风险

在拔桩过程中，由于某一桩腿突然松动，载荷迅速下降，导致此桩腿的承载力比其它桩腿小很多，尤其与对角桩腿的载荷相比，受力严重不平衡，这样就会导致平台向受力大的桩腿倾斜。

在平台拔桩后期，桩腿都已经松动。此时可以自动升桩腿操作。但在进行升桩腿操作时，当某一桩腿到达硬质土层时，由于桩靴受力环境发生变化，可能会导致此桩腿拔桩力突然增大，由于对角桩腿受力不平衡导致平台突然发生倾斜风险。

### 2.4 设备故障风险

液压插销式双动环梁升降系统主要由升降机构、液压系统和电控系统组成。每一个升降动作的完成，都离不开设备的稳定运转，但在作业过程中设备故障的发生，将严重影响升降作业进展。诸如环梁倾斜导致插销无法插入或拔出、液压油管及油缸泄漏、液压阀件动作异常或不动作、监测系统异常、程序错误等诸多设备故障的发生，会导致升降作业中止，对平台造成很大的安全隐患，尤其在恶劣海况条件下。

## 3 风电安装平台升降系统作业风险对策

### 3.1 穿刺、滑移风险对策

为防止此类风险的发生，船舶平台在升降作

业前,应对机位进行地质勘探,由专业勘测公司勘测出具《插拔桩计算书》,包括“工程地质剖面图”“钻孔柱状图”“双桥静力触探柱状图”“桩基设计参数”和“桩基设计参数计算结果分析”等资料,以确定土层的深度范围、土质类型、物理特性等;对平台插桩深度分析讨论,理论上确定插桩深度,评估升降作业中桩腿穿刺及滑移的可能性,并告知其它作业人员,明确相应的责任任务,确认桩腿自身长度是否满足支撑平台的安全作业。

对于存在穿刺及滑移风险较大的区域,操作人员应有针对性地制定相应的操作方案及应急预案,包括作业前设计时应尽可能规避重复就位,桩靴入泥深度留一定余量,插桩作业过程中注意对角压桩,作业过程中的压载程序应逐步压载,并静载观察一段时间等内容,保证预压过程中的连续性、平稳性。在分析“双桥静力触探柱状图”时,若发现桩腿站立的土层较薄,有贯穿的风险时,要加大预压载力,穿过此土层,让桩靴站在较厚的地质层上,减少穿刺风险。

若发生穿刺现象,应根据应急预案立即采取相应的措施,包括评估现场情况、桩腿承载、压载水调整等,调节平台倾斜状态,让桩腿再次达到承载状态。

### 3.2 拔桩困难风险对策

拔桩作业是升降作业的最关键一步,受潮水、海况、地质等的影响比较大。如果拔桩困难,将影响整个平台的安全,甚至导致平台事故的发生。遇到拔桩困难现象时,应首先分析当前的气象海况,然后决定是否可以继续冲桩,应尽量避免在低潮位进行此项拔桩任务。在拔桩初期由于吸附力较大,可以采用间歇性拔桩方式,避免拔桩过快导致拔桩力过大的现象。若拔桩不顺,在中潮位退潮还没有拔松迹象,应判断是否需要升平台,避免在低潮位还无法拔出桩腿。否则升降装置此时由于拔桩力过大不能倒销,船体无法抬升,会造成涨潮时平台甲板上浪,甚至发生平台舱室浸水的风险。

### 3.3 平台倾斜风险对策

平台倾斜是拔桩作业时必然出现的,关键要控制平台倾斜角度在安全范围内,保证平台不发生浸水事故。这就需要操作人员熟练操作流程,严格落实拔桩作业操作规范。在每次拔桩作业前

应检查确认主甲板所有水密门、机舱所有通道、隔舱水密门等关闭,在平台出现倾斜时要及时验证平台的倾斜角度、平台吃水及潮差的影响。

在预压及拔桩状态下,升降作业都应保持平台在安全倾斜角度内,以保证摩擦力及拔桩力相对平衡。由于各个桩腿地质条件的差异,在拔桩作业过程中会出现某一桩腿突然松动的现象,导致平台倾角过大。此时如果继续拔桩会因摩擦力及拔桩力的不平衡,造成平台倾角继续增大,极易造成平台事故的发生。为了调整平台倾斜角度,应往已拔松桩腿附近的压载舱驳入压载水,待平台倾斜角度正常后,再对拔桩力较大的桩腿进行拔桩作业,并通过调整拔桩力来控制平台倾角,预防平台倾角过大。

如在拔松之后升桩过程中遇某一桩腿拔桩力突然增大,平台出现倾斜,不要立即往对角桩腿附近压载舱驳入压载水。由于此时拔桩力较小,应先降低对角拔桩力,恢复平台倾斜状态,再继续对角拔桩,以验证拔桩力不是由于平台倾斜使桩腿与导板的摩擦力过大造成的。如果对角拔桩力依然相差很大,则可通过对角桩腿附近压载舱驳入压载水调整平台状态后,继续拔桩。

### 3.4 设备故障风险对策

在应对设备故障风险方面,首要问题是尽量减少设备故障的发生。这就要求对升降系统要加强检查。在每次升降作业前,对升降机构、泵站等系统现场勘察,排查安全风险因素。确认环境安全后,对设备进行试验,保证升降系统稳定可靠运行后再进行作业。但设备故障亦无法避免,在作业过程中遇到设备故障问题,应当积极采取各种应对措施,按照应急操作方案,采取相应的措施,缩短故障时间,降低升降作业风险。

若在拔桩过程中,出现桩腿某一插销卡住,无法拔出情况,应停止桩腿操作,到固桩室查看插销插入状态,根据现场情况判断是环梁还是船体倾斜导致插销无法插拔。及时调整船舶倾斜度,使插销中心线与桩腿销孔中心线尽量在同一轴线上。调整上下环梁油缸受力,把需要拔销的那一环梁载荷全部转到另一环梁上。配合拔销操作,对卡销油缸小范围升降活塞杆,直到把插销拔出为止。在拔销操作过程中,桩腿操作人员应检查各桩腿受力情况,保证各桩腿油缸不超过许用压力。在升降作业中若升降油缸、油管、阀门密封

件出现漏油故障,需立即停止升降作业,把故障活动环梁负载转移到另一活动环梁上,对漏油的阀门、油管密封件换新,试验正常后再进行升降作业。升降设备的电控系统是保证其安全稳定作业的基础。在设备作业前,应组织工作人员对其电气元件进行安全检查,对系统出现的报警需现场确认并消除。作业过程中出现的系统报警不能忽视,及时排查原因并消除,避免设备发生更大的故障。

设备故障的发生存在诸多不可预见性,会严重影响升降作业及船舶安全,因此应建立完善的设备检查维保制度,对设备故障做相应的故障报告,并建立设备故障应急操作预案,有针对性地

建立相应设备故障处理程序,降低设备故障风险对升降作业的影响。

升降作业作为海上风电安装过程中的关键一步,在作业中受海流、潮汐、海浪、强风等恶劣环境的影响,属于高风险作业。近年来我国相继出现如“振江”号海水漫浸、“升平 001”施工平台倾斜、辽宁大连庄河半潜驳坐底式风电船倾斜等多起事故,给我们的作业安全敲响了警钟。尤其在海上风电“抢装潮”下,风电安装正走向更远、更深的海域,面临的气候条件将更加恶劣,如何做好风电安装平台升降作业风险分析,规范作业流程,制定应急预案,保证风电安装作业安全可靠进行,值得深入研究探讨。

## Hydraulic Jacking System of Double-acting Ring Beam for Pile Type Wind Power Installation Platform Operation Risk Analysis and Countermeasure Research

LIU Xiang—ji<sup>1</sup>, GUO Dian—sheng<sup>2</sup>

(1. Yantai Salvage Bureau of the Ministry of Transport, 2. Yantai Port Pilot Station, Yantai 264001, China)

**Abstract:** This paper analyzes and studies the safety risks existing in the operation of the double-acting ring beam hydraulic jacking system in the actual working process, and puts forward specific solutions and measures.

**Key words:** double-acting ring beam, jacking system, risk analysis, risk countermeasures