

海上风电单船十字钩翻桩工艺研究与应用

童彬¹ 张梦帝²

天津港航工程有限公司 天津 300457

摘要: 本文主要依托山东半岛南某海上风电项目进行单船翻桩工艺研究,单船翻桩是采用单台大型起重船通过同时连接主吊吊索具和溜尾吊索具将钢管桩进行翻桩的工艺,在单船翻桩施工工艺中,如何进行吊索具选型、控制抬桩角度是至关重要的。为了使单船翻桩工艺安全、高效地应用,需要对该工艺所涉及的吊索具、运输船装船布置、管桩锚防脱装置等进行深入研究。

关键词: 海上风电;单船作业;十字钩

引言: 随着国内海上风电施工技术的发展以及配套设施的完善,单船翻桩工艺也在不断的更新,工艺的先进性和安全性都将有更好地保证,在“平价风电”时代,减少船机投入可大大降低工程成本,单船翻桩工艺的研究必要性愈加凸显。

1 工艺简介

本工艺为海上风电单船十字钩翻桩基础沉桩施工工艺,主要包括:坐底式稳桩平台定位、稳桩平台施工、运输船靠泊、组拼吊索具、钢管桩到场检查、吊索具连接、翻身立桩、送桩喂桩、钢管桩自沉入泥、法兰水平度调整、起吊液压冲击锤、锤击沉桩、高应变检测、稳桩平台拆除、稳桩平台移场等内容。

2 施工前工艺准备

(1) 技术准备

① 编制风机单桩基础施工专项方案。

② 详细分析单桩基础施工图纸,根据每根钢管桩的重心和主吊耳位置,用CAD模拟抬桩钢管桩与甲板角度,确定溜尾吊索具长度,并进行主吊钢丝绳和溜尾吊索具受力计算。

③ 详细分析地勘资料,计算出钢管桩理论自沉入泥深度,预判溜桩位置,为沉桩施工提供参考依据。

(2) 船机设备准备

① 机具设备:全回转起重船、液压冲击锤、振动锤、坐底式稳桩平台等。

② 主要工具:吊梁、无接头钢丝绳圈、高分子吊带绳圈、管桩钳、卸扣、电气焊、缆风绳、圆钢、照明灯、对讲机、卷扬机、钢梯等。

(3) 作业条件准备

① 对船机设备、吊索具规格数量按吊索具清单进行检查,尤其是吊桩和吊锤的索具更要检查仔细,确认无断股、磨损严重等现象。

② 现场施工起重工、焊工、电工等特种人员需持证

上岗,核对无误后方可进入施工现场。

③ 沉桩施工前完成对所有施工人员进行安全技术交底,特别是起重班组,液压锤操作班组、测量班组等,沉桩施工主要负责人员需熟悉桩位的地质情况和操作注意事项。

④ 现场对讲机等通讯设备配备齐全,与各船舶及施工主要负责人沟通顺畅。

⑤ 夜间施工配备好足够的夜间照明设备。

⑥ 沉桩时,现场配备一艘应急船在附近待命,作为应急救援船只。

3 施工工艺

本项目投入一艘2400t全回转起重船作为主起重船,船长135m,船宽40m,型深8.5m,满载吃水5.5m。

采用单船十字钩施工的主要施工工艺如下:

(1) 机具准备

① 沉桩施工前对船机设备、吊索具规格数量按吊索具清单进行检查,保证机具设备齐全;

② 沉桩施工前对相关船机进行检查调试,保证正常运转。

(2) 坐底式稳桩架定位

全回转起重船侧面起吊稳桩平台进行拖航定位,由锚艇拖带至指定机位进行定位;钢管

桩平面位置定位精度取决于稳桩平台定位精度,设计要求误差在500mm之内。

① 由于采用单船十字钩翻桩,钢管桩可以进行360°旋转调整,因此对装船的方式和钢管桩主吊耳的方向没有特殊要求;

② 钢管桩沉桩平面位置施工定位系统采用星站差分(RTX)技术,以两台固定GPS位置作为已知参照点,利用抱桩器中心沉桩位置与GPS平面的相对位置,对桩位进行测定,从而达到利用GPS对钢管桩沉桩施工定位的控制目的^[1];

③ 在稳桩平台定位前,根据船舶驻位图、抛锚角度和抛锚长度计算出起重船的锚点全回转起重船起吊稳桩平台到达设计桩中心约100m范围内,锚艇根据锚点进行抛锚。

(3) 稳桩平台施工^[2]

稳桩平台定位完成后,准备起吊振动锤打设定位桩;利用全回转起重船的1个主钩钩起吊振动锤施打稳桩平台定位桩,打设完成后进行稳桩平台加固。

① 稳桩平台定位完成后,准备起吊振动锤打设定位桩;

② 利用全回转起重船的一个主钩起吊振动锤施打稳桩平台定位桩,打设完成后进行稳桩平台加固。

(4) 运输船靠泊

① 定位桩打设完成后,全回转起重船向远离稳桩平台方向绞船约200m;

② 运输船靠泊在全回转起重船一侧,通过不断更换缆绳系挂系揽柱位置,将运输船缓缓靠泊至船尾碰触锚缆位置。

(5) 钢管桩到场检查

① 对桩号及桩身防腐涂层进行检查,观察是否因运输出现破损,一旦出现破损立刻组织施工队伍用随桩油漆进行修补;

② 根据设计图纸及发货清单,由项目部技术人员检查内平台散件类型及数量,当类型或数量不满足要求时,项目部人员及时联系加工厂进行补发;

③ 检查钢管桩和内平台的产品合格检测验收资料是否完整,确定无误后方可验收。

(6) 组拼吊索具

① 用CAD模拟钢管桩抬桩过程时,钢管桩与甲板初始抬桩角度为 $2^{\circ}\sim 5^{\circ}$,此时十字钩和主吊吊索具与主吊耳在同一垂直面,溜尾吊索具不受力;溜尾吊索具受力时,钢管桩与甲板最终抬桩角度为 $10^{\circ}\sim 15^{\circ}$,此时十字钩与重心在同一垂直面;

② 主吊吊索具连接主要为起重船双主钩连接十字钩吊梁→十字钩吊梁连接平衡梁→平衡梁连接主吊钢丝绳;溜尾吊索具连接主要为十字钩钩头→配套钢丝绳圈→卸扣→配套钢丝绳圈→管桩钳;

③ 连接吊索具时,主吊吊索具挂在十字钩对称两个钩牙上,溜尾吊索具挂在与之垂直的钩牙上;

④ 利用副钩连接溜尾脱钩钢丝绳,在抬桩过程中溜尾脱钩钢丝绳始终保持不受力状态。

(7) 连接吊索具

① 连接吊索具时,首先连接溜尾吊索具,管桩钳与钢管桩固定完成后再系挂主吊钢丝绳;

② 为保证管桩钳不会脱落,在钢管桩底部焊接倒L型工装,用另外的缆风绳与管桩钳进行连接,穿过倒L型工

装(类似一个支点),将缆风绳牵引至全回转起重船,施工人员通过牵引缆风绳保证管桩钳处于受力状态,在管桩钳两侧焊接挡板,保证管桩钳不会脱落。

(8) 抬桩、立桩^[1]

① 连接吊索具时,在桩顶和桩顶分别设置两根缆风绳,翻桩过程中受水流等因素影响,钢管桩会不停抖动,为避免钢管桩与全回转起重船发生碰撞,实时调整收松缆风绳调整桩身姿态;

② 通过旋转大臂,保证十字钩与主吊耳在同一垂直面时进行抬桩,不断提升双主钩,待溜尾吊索具受力前旋转大臂,保证十字钩与重心在同一垂直面,不断提升双主钩,直至钢管桩与运输船完全脱离;

③ 钢管桩抬离甲板过程中,由于钢管桩溜尾处受力不断增大,运输船与全回转起重船之间缆绳会不断绷紧,甲板人员需全部就位,时刻关注缆绳状态,待溜尾受力时及时慢慢松缆绳,保证缆绳不断裂。

④ 吊索具连接完成后,及时通知运输船备车;待钢管桩与甲板为初始角度时,及时通知运输船调压舱水。

(9) 送桩喂桩

① 当桩成竖向状态时,项目部测量人员再次用GPS-RTX复验稳桩平台周围的三个固定的坐标点位置,验证桩中心是否满足设计要求;

② 桩进抱桩器的时机选择在水流平缓时进行;

③ 桩处于稳桩平台抱桩器中间区域时开始下放单桩,测量桩身姿态,调整各千斤顶完成预抱紧操作;

④ 桩吊入稳桩平台时应确保桩身吊耳与稳桩平台的液压油缸不在同一竖直线上,防止发生溜桩时吊耳对稳桩平台造成冲击损坏。

(10) 自沉入泥及法兰水平度调整^[4]

① 钢管桩自沉入泥阶段为垂直度控制的关键阶段,测量人员采用2台经纬仪进行钢管桩垂直度控制,确保桩身垂直度始终保持小于 1‰ ,如发现偏差大于 1‰ 时,及时进行纠偏,不断调整钢管桩的垂直度;

② 全回转起重船不断缓慢下放钩头并趴大臂,待钢管桩不再自沉且稳定后,解除主吊钢丝绳。

③ 钢管桩自沉稳定后,全回转起重船主钩钩起吊测量吊篮至桩顶,法兰水平度调整主要目的是测量出桩身偏差量,并作为后期沉桩观测基准。

(11) 起吊液压冲击锤

① 套锤过程必须保证锤、桩的中轴线相吻合,当桩与锤接触后,逐步下放吊钩,使压桩重量逐步增加;

② 液压冲击锤吊起过程中全回转起重船另一个主钩和克令吊全程辅助起吊液压冲击锤液压管路;

③ 压桩时严格控制吊机上的承载力,每次加载10t的

力，直至将液压冲击锤完全加载于桩顶之上，此状态保持10分钟左右，桩体不发生变化后再降钩；

④ 采用尾部吊打的方式进行锤击沉桩。

(12) 锤击沉桩

① 压桩完成后观察桩身20分钟，确定单桩无下沉变化后，在保证单桩垂直度的情况下，开动液压冲击锤，先以最小能量启动液压冲击锤点打沉桩，点动1锤，暂停一段时间，无异常后继续点动1锤，再次暂停一段时间，如此3~4次，并安排测量人员观测桩身垂直度、每锤贯入度，调整桩身姿态，观测是否有溜桩现象。

② 完成桩身调整后观测15分钟，桩身无变化后继续沉桩，前一半桩长逐渐增加锤击能量。每下沉1m观测、调整一次，当桩继续入土10m时，改为每下沉2m观测、调整一次，当桩继续入土10m时，增加锤击能量，控制每锤贯入度在5mm左右，连续沉桩。

③ 单桩入泥深度超过30m，扶正、导向装置失去作用。收回扶正、导向装置，完成沉桩。

(13) 稳桩平台拆除

将定位桩与稳住架连接处的钢板割除，全回转起重船起吊液压振动锤夹桩，将定位桩拔出提升，当桩底端与稳桩平台防沉板底面高度一致或高于防沉板底面位置后，用钢插销将定位桩与稳桩平台进行固定。

(14) 稳桩平台移场

① 起吊稳桩平台前检查四个轴销式吊点和吊索具，确定无破损后再进行挂钩起吊；

② 提升坐底式稳桩平台时，全回转起重船通过不断调整双主钩吨位，交替提升，减少防尘板的吸附力；

③ 全回转起重船使坐底式稳桩平台离开泥面，随后主钩同时起吊，离开泥面5m位置后整体采用侧吊的方式拖运到下一个机位。

4 质量控制要点

(1) 沉桩停锤标准以标高控制为主，贯入度进行校核，所有的桩均应沉至设计高程。

(2) 单桩基础用钢管桩沉桩允许偏差：

① 绝对位置（CGCS2000 坐标系）允许偏差 < 500mm。

② 高程允许偏差 0~+50mm。

③ 沉桩完成后应测量基础顶法兰面水平度（桩轴线倾斜度），基础顶法兰水平度（桩轴线倾斜度）偏差应 ≤ 3‰；当水平度偏差大于3‰时，应第一时间上报，共同协商解决方案。

④ 在沉桩前做好沉桩分析和预判，并在沉桩期间严格控制沉桩工艺和液压打桩锤的锤击能量，确保沉桩质量和沉桩精度满足设计要求；

1) 尽量减少或避免溜桩等不利现象；

2) 桩体应力应不超过250Mpa；

3) 沉桩贯入度满足设计要求。

⑤ 当桩顶达到设计标高，且最后6个连续25cm的沉桩平均贯入度 ≤ 20mm时，终止沉桩，并做好沉桩记录（附初打高应变检测速报），报送监理单位、总包单位。

5 后续施工改进建议

(1) 采用单船十字钩施工工艺，吊索具选型尤为重要，施工前根据钢管桩参数绘制CAD图，模拟抬桩过程，根据主吊钢丝绳长度确定溜尾吊索具长度。

(2) 连接吊索具时，需要在桩顶和桩底分别设置多根缆风绳，翻桩过程中受水流等因素影响，钢管桩会不停摆动，为避免钢管桩与全回转起重船发生碰撞，实时调整收松缆风绳调整桩身姿态。

(3) 钢管桩抬离甲板过程中，要加强与指挥人员和船员的沟通，由于钢管桩溜尾处受力不断增大，运输船与全回转起重船之间缆绳会不断绷紧，时刻关注缆绳状态，待溜尾受力时及时慢慢松缆绳，保证缆绳不断裂。

(4) 针对大直径钢管桩施工，采用“一桩一议”的方法，根据静力触探测试成果图，充分认识每层土质的性能指标，分析可能溜桩的区段，在沉桩时着重注意该土层，以最小能量点击为主。

结束语：本文主要对采用单船十字钩沉桩施工的工艺流程进行论述，该工艺仅用一艘全回转起重船，不采用传统双机抬吊，减少船机投入，节约成本，除此之外，该工艺对钢管桩桩重及主吊耳设置位置适应能力强，在主吊耳距离桩顶距离过远时，传统双机抬吊不能进行翻桩时，依然可以采用单船翻桩施工工艺。该工艺通过在山东半岛南某海上风电项目中运用，经过充分的前期准备和精心的现场管理，沉桩效果良好，施工效率较传统双机抬吊有明显提高，各项技术指标均达到设计要求。通过研究单船翻桩施工工艺，可以有效解决沉桩受主吊耳位置限制导致跨距太大问题，更大程度发挥了起重船吊重性能，不需额外考虑跨距问题，有效解决了后续深水区风场超大直径、超重超长钢管桩翻桩难题。

参考文献

[1]田欣.Trimble RTX技术在远海风电项目中的应用[J].科技创新与应用,2021,11(19):141-144.

[2]顾世初.坐底式辅助桩稳桩平台在风电工程中的应用[J].珠江水运,2020(05):13-15.

[3]彭剑.海上超大直径钢管桩吊装的新翻桩工艺应用[J].中国港湾建设,2023,43(08):94-99.

[4]郑洪刚.CORS网测量技术在桩基及风电项目施工中的应用[J].科技创新与生产力,2022(07):69-71.