

海上大直径单桩基础沉桩施工关键技术研究

刘晋超

引用本文:

刘晋超. 海上大直径单桩基础沉桩施工关键技术研究[J]. 南方能源建设, 2022, 9(1): 47-51.

LIU Jinchao. Research on Key Technologies of Pile Driving Construction for Monopile[J]. Southern Energy Construction, 2022, 9(1): 47-51.

相似文章推荐 (请使用火狐或IE浏览器查看文章)

Similar articles recommended (Please use Firefox or IE to view the article)

海上风电大直径单桩自沉深度分析

Self-weight Penetration Prediction Methods for Large Diameter Monopiles in Offshore Wind Farm
南方能源建设. 2020, 7(1): 40-46 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.01.006>

海上风机单桩基础选型设计方法

Design Flow of Monopile Foundation for Offshore Wind Turbine
南方能源建设. 2017, 4(z1): 56-61,72 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2017.S1.011>

一种新技术在海上风机基础冲刷防护的应用研究

A New Technology Research for Scour Protection of Offshore Wind Turbine Foundation
南方能源建设. 2020, 7(2): 112-121 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.02.017>

海上风电超长钢管桩试桩关键技术浅析

Analysis on Key Technology of Pile Test of Super Long Steel Pipe Pile in Offshore Wind Farm
南方能源建设. 2018, 5(2): 86-92 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2018.02.012>

砂质海岸单桩基础的冲刷特征与防护措施试验研究

Experimental Study on Scour Characteristics and Protection Measures for Monopile on Sandy Coast
南方能源建设. 2020, 7(2): 103-111 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.02.016>

海上大直径单桩基础沉桩施工关键技术研究

刘晋超[✉]

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广东 广州 510663)

摘要: [目的] 随着我国海上风电开发的迅速发展, 近海风电场常采用无过渡段大直径钢管桩结构作为风机基础, 该基础形式的应用避免了有过渡段单桩的不利因素, 但主要难点在于施工装备要求高、单桩垂直度控制难度大。[方法] 文章以采用了大直径单桩基础的广东某海上风电工程项目为例, 重点阐述了海上风电大直径无过渡段风机单桩基础沉桩的施工方法和要点。[结果] 该施工方案具有高效率、高质量、低成本等特点。[结论] 海上大直径单桩基础沉桩施工关键技术对相关工程具有指导借鉴意义。

关键词: 海上风电; 风机基础; 大直径单桩; 无过渡段; 沉桩施工

中图分类号: TK89; TM614

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2022)01-0047-05

开放科学(资源服务)二维码:



Research on Key Technologies of Pile Driving Construction for Monopile

LIU Jinchao[✉]

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, Guangdong, China)

Abstract: [Introduction] With the rapid development of offshore wind power in China, large diameter pile without transition piece has been widely used. This foundation avoids the disadvantage of monopile with transition piece, but result in high demand of construction equipment and the verticality is difficult to control. [Method] Taking a offshore wind power project in Guangdong as an example, the key technologies of pile driving construction for monopile without transition piece were comprehensively expounded in this paper. [Result] The construction plan of monopile driving is being proven high efficiency, safety, reliability, and cost-effectiveness. [Conclusion] Key technologie of pile driving construction for monopile has certain guiding significance for similar projects.

Key words: offshore wind power; wind turbine foundation; large diameter monopile; without transition piece; pile driving

2095-8676 © 2022 Energy China GEDI. Publishing services by Energy Observer Magazine Co., Ltd. on behalf of Energy China GEDI. This is an open access article under the CC BY-NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

0 引言

风能是一种清洁的可再生能源, 没有燃料风险, 发电成本相对稳定, 也没有碳排放等环境成本, 对改善能源结构和环境有重要的意义。风电已成为许多国家可持续发展战略的重要组成部分, 发展迅速^[1-3]。目前, 海上风电场最常见的基础形式包括单桩式^[4]、高桩承台^[5]和导管架式基础^[6], 其中单桩式基础由于结构简单和安装方便, 为当今海上风电场普遍采用的基础形式。单桩式基础由钢

制圆管构成, 壁厚一般为45~80 mm, 直径一般为4.5~8.0 m, 通过打桩设备将钢管桩打入设计持力层。

国内外针对海上动力沉桩过程的研究主要围绕桩基承载力评价方法^[7]、桩的可打入性分析^[8]、打桩动态监测技术^[9-10]等方面。风电场单桩式基础施工, 由于打桩垂直度精度要求高, 必须控制在3%以内, 施工精度往往难以满足设计要求。因此, 通常的做法是采用过渡钢套管调整打桩误差, 再在过

收稿日期: 2021-08-01 修回日期: 2022-02-11

基金项目: 中国能建广东院科技项目“基于大数据的海上风电场支撑结构强度与疲劳实时评估研究”(ER04881W)

渡钢套管与钢管桩之间,通过高强灌浆料进行连接。但这种工艺不仅消耗了额外的钢材和灌浆料,增加了成本,增加了海上施工环节及工期,同时也增加了安全风险,并易出现灌浆料连接部位发生微裂纹,导致过渡段滑移等质量问题。因此,采用大直径无过渡段单桩基础十分必要。

本文以采用了大直径单桩基础的广东某海上风电项目实际施工情况为例,该项目施工水深5~11 m,离岸平均15 km。

1 自然条件

本风电场以硃洲岛潮位站以往资料和本次全潮观测所设临时潮位站资料为参考。风电场所处海域潮汐现象主要是太平洋潮波经巴士海峡和巴林塘海峡进入南海后形成的。工程附近海域潮性系数在0.88~1.04之间,属于不正规半日潮,其特征是一太阴日有两次高潮和两次低潮。受地形的影响,外海潮波从湾口进入湾内后发生变形,高潮位逐渐增高,低潮位逐渐降低,潮差也逐渐增大。本项目工程区理论最低潮面在1985年国家高程基准下1.488 m,风电场所处海域面向开阔的南中国海,全年波浪以风浪为主,年风浪频率达90%,受季风的影响,最多风浪向为ENE和E,频率分别为22%和17%。风电场区域无长期测波资料,硃洲岛海洋站位于硃洲岛东部约-10 m水深处,该站所处位置相对较为开敞,对工程海域具有较好的代表性。根据硃洲岛海洋站1960年至1979年实测波浪资料统计,工程海域年平均波高 $H_{1/10}=0.9$ m,平均波高的年变化受季风影响。年最大波高一般出现于热带气旋影响较多的月份,以10月居多,占30%,7月至9月次之,占15%~20%。

通过全潮水文测验和数值模型计算分析,工程海域潮位和潮流之间存在一定的相位差,工程海域潮波属以前进波为主的混合潮波。工程区全潮平均流速在0.6~0.8 m/s之间,最大流速大多在0.8~1.5 m/s之间,个别位置最大流速甚至可达2.1 m/s。工程附近海域潮流,深槽内潮流具有明显的往复性,浅滩上潮流具有明显逆时针旋转流特性。涨潮时间要略大于落潮时间,且涨潮流速要大于落潮。

场址距离西侧徐闻县陆域的最近距离约6.8 km,最远距离约17.5 km,海底地貌属于水下浅

滩、水下岸坡地貌单元,有部分砂洲,水下地形较平坦,海底泥面标高一般为-1~-10 m,范围变化较广。

2 沉桩施工技术

本风电场设计采用大直径无过渡段单桩基础,钢管桩直径为6.5~7.0 m,长度为73~81 m,基础材质为DH36钢板,板厚为65~80 mm,钢管桩重量为900~950 t。

依据潮汐表(85高程数据)和海面高程,可计算出施工现场海域各机位水深,并依水深及打桩船满载吃水深等资料选择打桩船作业方式。计算出,每日两次潮汐,平均潮差为3.5 m左右,由于大部分工程施工作业船舶吃水深在4.0 m左右,故施工中低潮水深 ≥ 5 m时,采用全浮态方式进行钢管桩沉桩施工,低潮水深 < 5 m时采用坐滩方式进行钢管桩沉桩施工。

3 地质条件

根据区域地质资料及钻探揭示,场区内大部分机位自上而下地层为第四系全新统海陆交互相和冲洪积相的砂土及粘性土层(A层)、第四系中更新统石卯岭组玄武岩层(B层)、第四系中更新统一早更新统北海组的粘性土及砂土层(C层)、第四系早更新统湛江组的粘土和砂土层(D层),各层根据工程性质的差异分为若干个亚层。

1) 当风电场区为玄武岩,有覆盖层地质时,单桩基础施工宜采用“打一钻一打”法沉桩施工。

2) 当风电场区为玄武岩,无覆盖层地质时,单桩基础施工宜采用“钻一打”法(或交替)沉桩施工工艺。

3) 当风电场区为强风化玄武岩、沙土及沙粘土地质时,单桩基础施工宜采用“打入法”沉桩施工工艺,本项目采用此方法进行单桩沉桩施工。

4 沉桩施工前期准备

4.1 钢管桩沉桩施工主要船机设备选择

大直径无过渡段单桩沉桩施工,选择合适的打桩船舶和打桩锤是关键。依据工程需要,该项目选择了大国重器大型起重打桩船“顺一1600”,该船具有全浮态及坐滩施工的双功能,且具备单机双钩

翻桩立桩能力,立桩时不需其他浮吊配合。施工前依据工程地质地勘资料、钢管桩尺寸等,采用波动方程理论进行了模拟计算及可打性分析,并结合打桩经验,依据计算沉桩需要的最大能量及总锤击数等指标,确定采用MENCK-S2400液压打桩锤(IHC-S3000液压打桩锤备用)进行钢管桩沉桩施工。

4.2 施工测量和定位技术

该项目在陆地设置GPS基站及高增益天线,并在测量控制点符合规定要求后才能使用,GPS测量基站辐射范围能有效覆盖整个风电场区域,满足施工测量和船舶定位要求;采用1台全站仪、2台经纬仪和一台水准仪进行坐标、垂直度及高程测量,并标定合格后才能使用;顺一1600浮吊上配备GPS定位系统,能实时自动显示船舶坐标,并有8个16 t大吨位锚进行船舶的精确定位。

顺一1600起重打桩船拖航至机位附近进行初步定位后,将8个锚通过锚艇抛锚定至预定位置,配合GPS定位系统进行船舶自身的初步定位,定位偏差建议在0.5 m以内。

顺一1600起重打桩船初步定位后进行导向架稳桩平台安装及精确定位,其安装流程:(1)调整导向架稳桩平台中心坐标测量精确定位;(2)采用APE600振拔锤对角打入4根 $\text{Ø}2\ 200\ \text{mm}$ 定位钢桩;(3)采用单机3钩提升导向架稳桩平台至预定标高(一般为高潮水位3~5 m);(4)采用12根 $\text{Ø}38$ 精轧螺纹钢吊挂系统进行调整导向架平台标高、水平度并固定导向架稳桩平台;(5)复测导向架稳桩平台中心坐标;(6)顺一1600起重打桩船退出导向架平台。

该项目采用顺一1600起重打桩船,施工中采用全浮态施工时,依托其船体与运输船系缆进行靠泊施工;施工中采用坐滩施工时,依托其竖向箱体结构及大直径橡胶球型气囊(不需要靠船方驳)和5条软缆风绳,进行运输船的靠泊施工,若水流向或风浪大靠驳困难时,采用抛锚及锚艇辅助靠泊。

5 “打入法”沉桩施工关键技术

关键技术一:施工中钢管桩翻身立桩。该项目打破常规两浮吊船抬吊钢管桩翻身立桩的传统方法,采用单机双钩进行抬吊钢管桩翻身立桩工艺,

大大减少了两浮吊船台吊作业的施工工序,节省了时间,提高了工效,同时也节省了一艘浮吊船费用,突破了海上风电场大直径、大吨位、桩体长的单机双钩进行抬吊翻身立桩作业的新工法。

关键技术二:施工中钢管桩入导向架中心坐标测量、精确定位。在这个过程中需注意:(1)钢管桩插入导向架前,保持上下层千斤顶原始状态,抱箍打开,便于钢桩快速下插下层千斤顶架下直至水面,以防止钢桩摆动碰撞导向架;(2)钢管桩到达水面后,顶紧上下千斤顶,调整钢管桩中心坐标和垂直度。钢管桩中心坐标和垂直度的调整如图1所示。



图1 调整钢管桩中心坐标和垂直度

Fig. 1 Adjustment of center coordinates and perpendicularity of steel-pipe pile

关键技术三:钢管桩分级自重沉桩过程。该过程需注意:(1)钢管桩分级自沉,按钢管桩重量的10%、20%、50%、80%、100%逐级下沉;(2)每级下沉时,每当钢管桩沉桩入泥量达到25 cm时必须停止下沉,进行钢管桩垂直度测量,一般控制在1‰以内,调整合格后再继续进行沉桩作业;(3)钢管桩垂直度测量控制方法:在导向架平台上配备上下两层共8个液压千斤顶调整垂直度,导向架平台上架设2台成90°角布置的经纬仪,在打桩时全程实时测量监控钢管桩倾斜度,确保钢管桩沉桩垂直度在设计要求范围内,施工过程中垂直度一般控制在1‰以内;(4)逐级加载直至钢管桩不再下沉自沉结束,钢管桩垂直度一般控制在1‰以内,顶紧上下层千斤顶,松钩20 cm观察5分钟后,确认无下沉时,才能摘除吊具,确保不发生溜桩;(5)

吊装测量平台至钢管桩顶部,采用8点法测量法兰水平度,如图2所示,确认钢管桩垂直度及坐标位置偏差符合要求。



图2 测量法兰水平度

Fig. 2 Levelness measurement of variable-thickness flange

关键技术四:钢管桩沉桩垂直度测量控制。为了增加测量标识,由于钢管桩上的刻度线长度相差不大,读数较慢且不清晰,故施工前在钢管桩上加贴加长加宽的纸质读数标尺线,每5 m贴一个;待施工船舶就位后(或在导向架稳桩平台上加宽处),架设2台激光电子经纬仪,2台经纬仪相互90°架设;上下扫测钢管桩上的纸质读数标尺线,根据测量数据计算桩体垂直度及倾斜方向,从而进行垂直度调整纠偏。用GPS和激光电子经纬仪进行桩顶高程控制,先用GPS测出导向架稳桩平台上高程,再通过激光电子经纬仪反算至钢管桩上从而进行桩顶高程控制。

6 结论

本文提到的示例项目中,大直径无过渡段无定位驳大功率风机基础单桩沉桩施工属国内首创;本项目中的沉桩速度较快、施工效率较高,最小垂直度为0.3‰,远小于设计3‰的规定要求,采用了新工艺,取得了安全零事故,质量零缺陷,工期零延误的好成绩。

本文重点介绍了海上风机大直径无过渡段单桩基础沉桩施工的关键技术,通过实例项目的顺利实施,证实了海上风电场采用大直径无过渡段无定位驳单桩施工是安全可靠的、也是合理有效的、更是经济适用的,为相关海上工程提供了借鉴实例。

参考文献:

- [1] 张新宇,卜京. 清洁能源利用最大化的电力系统优化调度[J]. 山东科学, 2021, 34(6): 83-90. DOI: 10.3976/j.issn.1002-4026.2021.06.011.
ZHANG X Y, BU J. Optimal power system dispatch to maximize clean energy utilization [J]. Shandong Science, 2021, 34 (6): 83-90. DOI: 10.3976/j.issn.1002-4026.2021.06.011.
- [2] 徐凯. 国内外风力发电现状及发展趋势[J]. 中国高新技术企业, 2007(13): 77-81. DOI: 10.3969/j.issn.1009-2374.2007.13.040.
XU K. Current situation and development trend of wind power generation at home and abroad [J]. China High-Tech Enterprises, 2021, 34(6): 83-90. DOI: 10.3976/j.issn.1002-4026.2021.06.011.
- [3] 钟伟强. 国内外风力发电的概况[J]. 风机技术, 2005(5): 44-46. DOI: 10.3969/j.issn.1006-8155.2005.05.017.
ZHONG W Q. General of wind power generation at home and abroad [J]. Compressor, Blower & Fan Technology, 2005(5): 44-46. DOI: 10.3969/j.issn.1006-8155.2005.05.017.
- [4] 王森,吴云青,苏萌,等. 单桩式基础应用于我国海上风电的可行性探讨[J]. 电力建设, 2013, 34(4): 63-66. DOI: 10.3969/j.issn.1000-7229.2013.04.013.
WANG M, WU Y Q, SU M, et al. Application of single pile foundation in offshore wind power in China [J]. Electric Power Construction, 2013, 34(4): 63-66. DOI: 10.3969/j.issn.1000-7229.2013.04.013.
- [5] 林毅峰,陆忠民,黄俊,等. 海上风电机组高承台群桩基础设计特点及关键力学问题[J]. 海洋技术学报, 2016, 35(5): 29-36. DOI: 10.3969/j.issn.1003-2029.2016.05.006.
LIN Y F, LU Z M, HUANG J, et al. Design features and essential mechanical issues of high-rise cap with multiple pile foundation for offshore wind turbine generator [J]. Journal Of Ocean Technology, 2016, 35(5): 29-36. DOI: 10.3969/j.issn.1003-2029.2016.05.006.
- [6] 崇高. 海上风电多桩导管架式基础导管架优化[J]. 科技风, 2017(1): 128-129, 147. DOI: 10.19392/j.cnki.1671-7341.201701109.
CHONG G. Optimization of multi-pile jacket foundation for offshore wind power [J]. Technology Wind, 2017(1): 128-129, 147. DOI: 10.19392/j.cnki.1671-7341.201701109.
- [7] 周建华,张金接,邢占清. 超静孔隙水压力影响的海上风机桩基承载力高应变检测方法研究[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2012, 10(1): 17-22. DOI: 10.3969/j.issn.1672-3031.2012.01.003.
ZHOU J H, ZHANG J J, XING Z Q. Study on the high strain technology for the bearing capacity of the offshore wind turbine pile foundations considering the effect of excess pore water pressure [J]. Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2012, 10(1): 17-22. DOI: 10.3969/j.

issn. 1672-3031. 2012. 01. 003.

- [8] 熊根, 尚进, 和庆冬, 等. 海上风机单桩基础沉桩可打性及疲劳损伤分析 [J]. 水力发电, 2020, 46(11): 104-110. DOI: 10.3969/j.issn.0559-9342.2020.11.022.

XIONG G, SHANG J, HE Q D, et al. Drivability and fatigue damage analysis of offshore wind turbine monopile [J]. Water Power, 2020, 46(11): 104-110. DOI: 10.3969/j.issn.0559-9342.2020.11.022.

- [9] 李春. 海上打桩过程动态监测与分析 [D]. 天津: 天津大学, 2013. DOI: 10.7666/d.D440412.

LI C. Dynamic monitoring and analysis of offshore piling process [D]. Tianjin: Tianjin University, 2013. DOI: 10.7666/d.D440412.

- [10] 李春, 刘振纹, 祁磊. 渤海湾海上动力沉桩监测及分析 [J]. 天津科技, 2011(5): 106-109. DOI: 10.3969/j.issn.1006-8945.2011.05.043.

LI C, LIU Z W, QI L. Monitoring and analysis of offshore dynamic pile sinking in Bohai Bay [J]. Tianjin Science & Technology, 2011(5): 106-109. DOI: 10.3969/j.issn.1006-8945.2011.05.043.

作者简介:



刘晋超 (通信作者)

1984-, 男, 宁夏吴忠人, 正高级工程师, 硕士, 主要从事海上风电项目建设管理和海洋工程结构研究工作 (e-mail) liujinchao@gedi.com.cn。

刘晋超

(责任编辑 叶筠英)



入稳桩平台