

海上风电导管架结构与桩基灌浆连接施工工艺

王大鹏,许卫士,李鸿运

(中交港湾(上海)科技有限公司 上海 200032)

摘要:灌浆技术作为导管架安装的重要关键技术,越来越受到业界的关注。灌浆连接具有良好的结构性能,以及施工便利、造价低廉等优点,被广泛应用于海上风电场。导管架灌浆是整个风电基础结构施工的一项关键技术,灌浆的成功与否直接关系到风机基础结构抵抗环境载荷的能力和寿命。文章针对导管架结构灌浆工艺进行研究,并结合江苏滨海项目分析了导管架灌浆工艺及其施工过程中的难点,为我国海上风电基础建设提供参考。

关键词:海上风电;导管架基础;灌浆工艺

0 引言

随着我国风力发电行业的迅速发展,海上风力发电开始快速起步,近几年涌现了大批在建、拟建的海上风电场。海上风电场的风电机组基础、海上升压站基础一般有高桩承台基础、导管架基础、单桩基础等^[1]。导管架基础作为一种重量轻、海床地质条件适应性好、稳定性好、适合较深海域的海上风电基础,在欧洲海上风电场得到了广泛应用^[2]。导管架灌浆连接段是整个海上风电导管架基础结构承上启下的关键部位^[3]。风电机组、波浪和洋流等载荷主要通过导管架结构经混凝土传递至钢管桩,钢管桩再把载荷传递到海床。而导管架基础和桩基连接主要通过灌浆方式进行,灌浆质量直接影响到导管架的整体稳定性和安全性^[4-6]。

海上风机结构所受到的力极为复杂,包括:风机叶片和风机自身旋转以及塔桶造成的风机载荷、波浪力、潮流力、船舶的撞击力等,这就决定了近海风电导管架基础的灌浆连接尤其重要,尤其是在灌浆材料的选择和灌浆质量的控制等方面的要求将更加严格。此外,特殊的搅拌工艺、特殊的泵送灌浆、水下灌浆、特殊的施工要求以及特殊的外海施工条件等因素决定了导管架灌浆施工难度大。

目前,笔者所在单位成功完成了桂山、响水、东台、滨海等多个导管架灌浆项目,多个施工案例的

成功实施,都证明了合理设计灌浆工艺的必要性和有效性。本文针对导管架结构灌浆工艺进行研究,分析了导管架灌浆工艺及其施工过程中的难点,为我国海上风电基础建设提供参考。

1 导管架基础

导管架基础有两种结构形式:先打桩导管架和后打桩导管架。两种导管架形式主体结构相同,先打桩导管架支撑腿末端不用设置桩靴,而后打桩导管架基础支撑腿末端设置桩靴。导管架基础主体为框架对称结构,均为钢制材料。导管架结构主要分过渡段、导管架基础主体两部分,过渡段包括主筒体、主斜撑、平台甲板等结构。

1.1 导管架灌浆区域

导管架灌浆施工作业在专业灌浆船上进行,在打桩、下部导管架施工等工序完成后进行。灌浆施工范围为导管架与钢管桩之间的环形空间(图1)。

1.2 导管架灌浆流程

导管架安装完成后,灌浆工作船驶入→抛锚使船停靠在有灌浆终端面板的导管架一侧→连接灌浆管→向环形空间压注淡水,检查密封性→灌浆前向灌浆管压注润管料,湿润灌浆管道→灌浆料拌制→泵送灌浆材料→当溢浆口有浓浆溢出,即完成单桩灌浆→连接导管架同侧另一根桩灌浆管线,进行灌浆→同侧导管架灌浆完成后,移动灌浆管至另一

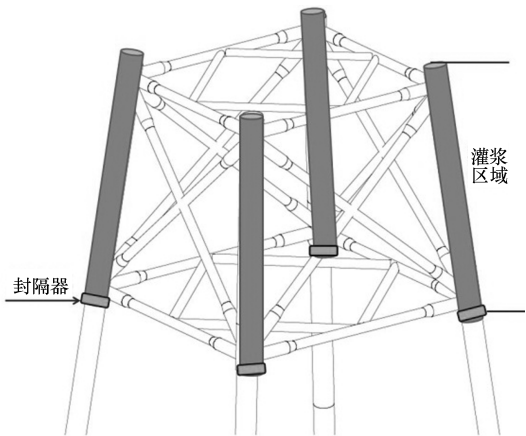


图 1 导管架灌浆施工区域示意图

侧,对另外两根桩进行灌浆。

2 导管架灌浆施工难点

导管架灌浆是整个风电基础结构施工的一项关键技术,灌浆的成功与否直接关系到风机基础结构抵抗环境载荷的能力和寿命。灌浆管线布置、封浆结构和灌浆料的性能等因素都决定灌浆能否成功。

2.1 导管架灌浆管线布置

海上风电导管架灌浆管线布置对灌浆施工质量影响很大。灌浆管线通常采用双管线系统(一主一备),以防止灌浆管线的堵塞。如,导管架灌浆高度比较大,可以适当考虑增加备用灌浆管线。管线布置方式,可以在水下预留快速接头派潜水员携带灌浆管进行水下对接;也可以将灌浆管线沿导管架外壁向上延伸至水面以上,并通过软管连接至灌浆泵。

灌浆管线通常采用 50 mm 以上无缝钢管或橡胶软管。灌浆口的设计采用圆形外包管形式,设置在所需灌浆空间的底部,焊接在导管架套筒外壁上,内部沿圆周方向开 6 或者 8 只灌浆嘴。这种设计方式,可以使灌浆从底部开始,并且均匀进行,确保灌浆的质量。

导管架灌浆作业在船上进行,但船机无法完全贴近待作业钢管桩,且导管架桩腿相对距离较大。灌浆软管应保持一定长度的弯曲段才能接入预制灌浆管线,也要求船机和待作业钢管桩之间有一定距离。

2.2 导管架封浆结构

灌浆料由灌浆口注入,一般灌浆口在导管架的下部,由下往上进行顶浆作业。此时,位于导管架底部的封隔器的作用就是在灌浆过程中,防止导管架底部漏浆,确保灌浆成功。因此,封隔器是导管架平台中一个非常重要且必不可少的部件。目前国内外常规采用的封隔器主要有两种形式:气囊式(Inflatable Grout Packers)和机械式(Mechanical Grout Seal)。

2.2.1 气囊式封隔器

气囊式封隔器安装于桩套筒底部,主要包括 Paker Can、Paker Element、Retaining Ring 等。气囊式封隔器的工作原理是先将封隔器橡胶囊安装在导管架导管的底部,同时安装气压传输管路。然后在导管架海上就位及打桩完成后,准备灌浆前,采用气压设备使橡胶气囊充气来封闭导管与桩之间的环形空间。

2.2.2 机械式封隔器

机械式封隔器的工作原理和结构形式相对简单,主要是依靠打桩作业时,桩体穿过爪形环形橡胶垫,桩体与橡胶垫之间相互挤压,紧密接触,产生摩擦力来抵抗灌浆时灌浆液和海水对橡胶垫产生的压力。

2.3 灌浆料的性能

灌浆料的性能可靠性决定了导管架灌浆部位的安全性和稳定性,风电机组的质量及受力情况决定灌浆料的性能要求。灌浆料对风电基础不仅起受力缓冲作用,同时也起提高结构安全性和稳定性的作用。因此,灌浆料的压缩强度、拉伸强度、弯曲强度等指标是考察材料性能的灌浆因素。具体性能指标需要根据装机容量、基础结构特点、灌浆部位、环境条件等因素综合考虑。表 1 为常用的国内外海上风电导管架灌浆材料性能指标。

2.4 资源协调工作量

海上灌浆作业对灌浆设备、材料、船机等均有较高要求,需要调配灌浆专用设备,采用加工定制的灌浆材料包装袋,同时配备交通船、多功能驳船、吊机等资源。施工现场所用的设备资源包括:灌浆专用设备、专用管线、配套小设施、灌浆料、淡水等,

均要求状态良好,随时可用,确保紧急情况下不影响后续作业。此外,受风浪、气温、潮位等天气因素影响,直接影响可作业窗口期及每天可作业时间段。

表 1 国内外海上风电导管架灌浆材料性能指标

材料厂家		BASF	Densit	Densit	Nautic	Nautic	三航科研究院
型号		MF9500	S5W	S1W	Na ^x ™Q110	Na ^x ™Q140	UHPG-120
表观密度/(kg·m ⁻³)		2 440	2 250	2 250	2 360	2 450	2 374
流动度/mm	初始	—	—	—	300	280	≥290
	30min	—	—	—	—	—	≥260
	60min	—	—	—	—	—	≥230
抗压强度/MPa	1 d	≥60	≥65	≥55	50	65	≥55
	3 d	≥95	—	—	73	85	≥85
	7 d	≥120	—	—	90	105	≥100
	28 d	≥135	130	110	110	140	≥120
抗折强度/MPa	28 d	≥15	18	13.5	19	21	≥15
弹性模量/GPa	28 d	50.0	50	35	36	48	≥45

3 案例分析

江苏滨海 300 MW 海上风电项目为中交港湾(上海)科技有限公司既江苏响水升压站灌浆项目(灌浆高度 3.7 m)和江苏东台升压站灌浆项目(灌浆高度 19 m)之后的第三个海上升压站灌浆项目。相比于前两个项目,江苏滨海风电灌浆难度更大,施工条件更加苛刻,单根桩灌浆连接水下连接段 18.3 m,水上连接段 8.5 m,总长 26.8 m,是目前国内已经实施的最大灌浆高度、最大单桩体量、最长水下段灌浆项目。该项目采用了中交港湾(上海)科技有限公司生产的优固特 TM UHPG—120 海上风电导管架灌浆材料,并由我公司采用自主研发的设备和工艺,成功完成该海上升压站导管架水下灌浆施工。

3.1 导管架连接施工技术参数

(1)灌浆设环形空间尺寸

导管架为 Φ2 438×36 mm 和 Φ2438×50 mm 规格,钢管桩外径为 Φ2 200×45 mm,环形空间尺寸为 138 mm 和 166 mm 两种。

(2)灌浆高度

标高为-18.30 m~+8.50 m 范围内的 26.8 m,考虑到钢管桩的倾斜角度,实际灌浆高度为 27 m。

(3)灌浆范围

水下高度 18.3 m,水上高度 8.5 m。

(4)灌浆方量

单个环形空间灌浆放量为 14.5 m³,约 32 t;4 个环形空间总计 58 m³,约 128 t。

3.2 导管架基础灌浆管线布置

江苏滨海项目导管架内设有灌浆管线,结合本项目灌浆高度较高的实际情况,预制灌浆口应设置 5 个,依次从下向上,高度上均匀分布:灌浆管线 1 底高程-15.15 m;灌浆管线 2 底高程-8.5 m;灌浆管线 3 顶、底高程 1.30 m;灌浆管线 4 顶、底高程 8.50 m。灌浆施工时由最下面的灌浆口开始逐步实施灌浆作业,直至顶部溢浆。灌浆口由预制灌浆管线连接并引出至水面以上,灌浆施工时,将灌浆料通过泵送压浆经由低位灌浆管路顶推灌注入环形空间,将环形空间内海水和润管料挤出。

3.3 导管架封堵技术

该导管架封堵技术采用自封闭式封隔器,自封闭式封隔器充分考虑海上安装操作的不同阶段,在结构设计上分成两个密封阶段。首先,下落钢桩,由于橡胶筒部直径比钢桩直径小,钢桩穿过橡胶筒部分,引起橡胶筒部分变形,同时橡胶变形产生的内应力对钢桩产生抱紧力,从而形成第一层密封功能;打桩时,在橡胶筒与钢桩的接触面上,设置了低摩擦系数的涂层,对于打桩操作不造成影响。自封

闭式封隔器的主要优点有以下几点:①工作原理简单,密封能力优异和抗破损性能强。②安装和调试工艺简单,无需海上操作。③节省钢材、降低施工成本和提高钢桩的在位工作效率。

3.4 灌浆料性能

该工程选用的 TM UHPG-120 海上风电导管架灌浆材料,该灌浆料具有大流动性、可泵送性好、高早强、超高强、高耐久性、无收缩和高抗疲劳等特点,适用于海上风电导管架与钢管桩基础之间的灌浆连接。设计要求的高性能灌浆材料满足以下要求:

(1)3 d 后抗压强度达 50 MPa,28 d 后抗压强度达 80 MPa。

(2)流动度适合灌浆工艺,初始流动度不小于 290 mm,30 min 流动度不小于 260 mm。

4 总结

结合笔者单位参与国内海上风电机组基础导管架灌浆施工经验,分析了导管架灌浆工艺及其施

工过程中的难点,并结合江苏滨海项目介绍了导管架水下灌浆施工技术。江苏滨海导管架灌浆项目是目前国内已经实施的最大灌浆高度、最大单桩体量、最长水下段灌浆项目,该项目一次性完成超高水下外海灌浆作业,为我国海上风电场走向更蓝深海提供有力保障。

参考文献

[1] 鲁进亮,张羿,任敏.海上风电重力式基础结构灌浆工艺[J].电力建设,2012,33(7):95—98.
 [2] 文锋.我国海上风电现状及分析[J].新能源进展,2016,4(2):152—158.
 [3] 马兆荣,刘晋超,元国凯.珠海桂山海上风电场风电机组基础设计[J].南方能源建设,2015,2(3):72—75.
 [4] 黄立维,杨锋,张金接.海上风机桩基础与导管架的灌浆连接[J].水利水电技术,2009,40(9):39—42.
 [5] 林晓强.海上风机桩基础与导管架的灌浆连接[J].城市建筑,2015(21):121—121.
 [6] 朱荣华,田振亚,龙正如,等.海上风电机组导管架基础水下灌浆技术分析[J].风能,2013(12).