

海上风电导管架结构与桩基灌浆连接施工工艺研究

Research on the Construction Technology of Offshore Wind Power Jacket Structure and Pile Foundation Grouting Connection

李时现 封涛

Shixian Li Tao Feng

上海振华重工（集团）股份有限公司 中国·上海 200125

Shanghai Zhenhua Port Machinery Company Limited, Shanghai, 200125, China

摘要：灌浆技术是风电基础结构中导管架安装的重要关键技术。导管架在风机基础结构中起着承载导电缆、油管等重要设备的作用，因此其连接必须具有良好的结构性能，以保证风机基础结构的稳定性和安全性。灌浆连接是目前应用比较广泛的一种连接方式，其具有施工便利、造价低廉等优点。

Abstract: Grouting technology is an important and key technology for jacket installation in wind power infrastructure. The jacket plays a role of carrying the guide cable, oil pipe and other important equipment in the fan infrastructure, so its connection must have good structural performance to ensure the stability and safety of the fan infrastructure. Grouting connection is a widely used connection mode, which has the advantages of convenient construction and low cost.

关键词：海上风电；导管架结构；桩基灌浆连接施工

Keywords: offshore wind power; jacket structure; construction of pile foundation grouting connection

DOI: 10.12346/peti.v5i3.8422

1 引言

海上风电是指建设在离岸 10km、水深 10m 的外海的风力发电设施，需要搭建塔架结构并安装风机。海上风机塔架结构基础的受力特点是重心较高，需要承受水平力和弯矩较大。然而，塔架结构基础与诸多因素有关，如海床地质结构、海上风和浪的荷载、海流等。由于海上风电机组的基础造成成本较高，这成为海上风电建设的主要成本之一。因此，合理选择基础结构型式对结构安全、施工难度、工程造价具有重要影响。目前海上风电基础结构主要有浮式、半浮式和固定式三种。浮式结构适用于深海区域，可以通过锚链固定在海底，但是施工难度较大。半浮式结构则可以通过桥墩固定在海底，适用于较浅的海域。固定式结构则是通过基础桩固定在海底，适用于较浅的海域和基础条件较好的海域。在选择基础结构型式时，需要考虑海洋环境、气象条件、水深、地质条件、海洋动力学等因素，以确保基础结构的安全稳定。同时，也需要考虑施工难度和工程造价，以保证整个工程项

目的可行性和经济性。因此，合理选择基础结构型式是海上风电建设中至关重要的一步。

2 海上风电导管架结构与桩基灌浆连接施工工艺的应用价值

中国海上风力发电产业快速发展，大量的在建和拟建的海上风电场正在出现。振华重工积极参与承担粤电阳江青洲一二期导管架基础桩项目工程，在海上风电场的基础建设中，高桩承台基础、导管架基础和单桩基础是常见的基础结构，而导管架基础在欧洲海上风电场中得到了广泛应用。导管架灌浆连接段作为导管架基础结构的承上启下的关键部位，灌浆质量直接影响到导管架的整体稳定性和安全性。近海风电导管架基础受到复杂的力，因此灌浆连接尤为重要，要求在灌浆材料的选择和灌浆质量的控制等方面将更加严格。由于导管架灌浆施工难度大，需要特殊的搅拌工艺、泵送灌浆、水下灌浆、施工要求以及外海施工条件等因素，因

【作者简介】李时现（1977-），男，中国山东临沂人，本科，高级技师，从事海上风电及港口机械研究。

此灌浆施工是海上风电场建设中的难点之一，海上风电导管架制作如图 1 所示。在海上风电场建设中，导管架灌浆连接段的施工质量直接关系到整个海上风电场的安全稳定运行。相信随着中国海上风电产业的不断发展和技术的不断进步，导管架灌浆施工将不断提高，为中国海上风电产业的快速发展提供更加坚实的基础。

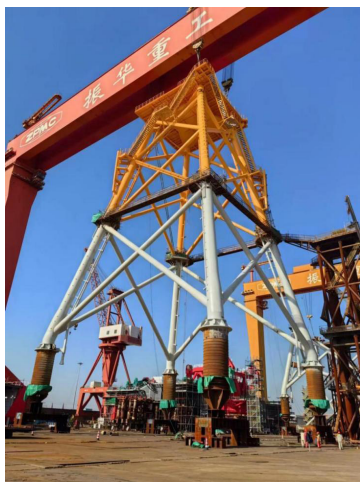


图 1 海上风电导管架制作全景图片

3 海上风电导管架灌浆施工难点

3.1 布置导管架灌浆管线

海上风电导管架灌浆管线布置对灌浆施工质量影响很大。在海上风电场中，风机的基础通常是通过灌浆来固定在海底的钢管桩上的。而灌浆的质量直接影响着风机的稳定性和安全性。因此，在灌浆施工中，管线布置是一个非常重要的环节。灌浆管线采用双管线系统，以防止堵塞，可以考虑增加备用灌浆管线。在灌浆过程中，如果管线堵塞，将会对施工进度和质量造成很大影响。因此，采用双管线系统可以有效避免这种情况的发生。同时，为了增加备用管线，可以在管线布置时考虑增加备用灌浆管线，以备不时之需。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上，并通过软管连接至灌浆泵。对于灌浆管线的布置方式，有两种常见的方案。一种是在水下预留快速接头，潜水员可以携带灌浆管进行水下对接。另一种是将灌浆管线沿导管架外壁向上延伸至水面上，并通过软管连接至灌浆泵。这两种方案各有优缺点，在实际施工中需要根据具体情况进行选择^[1]。

灌浆管线通常采用 50mm 以上无缝钢管或橡胶软管。灌浆管线的材料也是影响灌浆质量的一个重要因素。一般来说，灌浆管线通常采用 50mm 以上无缝钢管或橡胶软管，以保证管线的承压能力和耐腐蚀性。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。灌浆口的

设计也是影响灌浆质量的关键因素之一。一般来说，灌浆口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，可以保证灌浆均匀、充分。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。最后，灌浆软管的连接也需要注意一些细节。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，同时要求船机和待作业钢管桩之间保持一定安全距离，以保证施工的安全性和效率。

3.2 导管架封浆结构

在灌浆过程中，封隔器的作用至关重要。封隔器位于导管架底部，主要作用是防止导管架底部漏浆，确保灌浆成功。封隔器的种类有很多，目前常规采用的主要有两种形式：气囊式和机械式。气囊式封隔器的工作原理是利用橡胶气囊充气来封闭导管与桩之间的环形空间。在灌浆前，将气囊放置在导管架下部，通过注入空气充气，使气囊充满空隙，形成封闭状态。随着灌浆的进行，浆料从灌浆口注入，充满空隙，直到灌满为止。在灌浆完成后，将气囊放气，拆除封隔器。机械式封隔器的工作原理是桩体穿过爪形环形橡胶垫，产生摩擦力来抵抗灌浆液和海水对橡胶垫产生的压力。机械式封隔器通常由若干个爪形橡胶垫和钢环组成，钢环将橡胶垫夹紧在导管和桩之间，形成封闭状态。在灌浆前，将机械式封隔器安装在导管架下部，随着灌浆的进行，灌浆液通过灌浆口注入，充满空隙，直到灌满为止。在灌浆完成后，拆除封隔器。

3.3 灌浆问题与资源协调工作量大

灌浆料对于风电机组基础的稳定性和安全性具有重要的影响。因此，灌浆材料的性能和质量至关重要。灌浆材料的性能指标包括压缩强度、拉伸强度和弯曲强度。这些性能指标应根据桩机容量、环境条件、灌浆部位及基础结构等因素来确定。风电机组的质量和受力状态是决定灌浆料性能的关键因素。在海上进行灌浆操作时，需要提升船机、灌浆材料、施工设备的性能质量要求，以确保施工的安全性和质量。为了提高灌浆操作的效率和准确性，可以应用专用灌浆材料包装袋、优化配置多功能船舶、交通船只和吊机装置等设备。但是，受气温、风浪和潮位等因素影响，可作业窗口期及时间段受限。灌浆材料的性能和质量对于风电机组基础的稳定性和安全性至关重要。在进行海上灌浆操作时，必须提高设备的性能质量要求，并合理安排作业时间，以确保施工的安全性和质量^[2]。

4 海上风电导管架结构与桩基灌浆连接施工工艺研究

4.1 清桩作业

海洋工程施工中，海生物清除是必不可少的一步。在安装海洋结构物之前，需要清除桩内径的海生物。这需要潜

水员下水作业,利用高压水枪将桩内径的海生物清除干净。如果高压水枪清理不彻底,还需要采用机械清除的方法来确保清洁彻底。除了清理桩内径的海生物,还需要清理钢管柱的外侧和桩套管的内侧。这些部位常常长满了锈迹和其他污渍,需要使用刷子等工具进行清理。清理后,还需要对灌浆接触表面进行清洁,确保表面干净无杂质。在清理过程中,需要确保表面清洁度等级不低于GB8923标准规定的St1.5级。这意味着表面必须干净无杂质,否则可能会影响海洋结构物的稳定性和使用寿命。

4.2 导管架安装与预封堵防漏施工

海上导管架安装如图2所示,导管架的海上吊运安装要求达到精度要求,这就需要保证灌浆钢管线的清洁和完整性。在进行导管架的安装时,一定要注意钢管柱的质量,必须有检测合格证明。另外,导管架上的灌浆软管连接也是非常重要的。连接要完好无损、干净无污染,以避免影响灌浆施工质量。灌浆软管连接处如果出现漏洞或者污染,就会影响到灌浆效果,从而导致工程质量下降。在清淤和清理海生物之后,还需要进行预堵漏施工。预堵漏施工是为了防止灌浆密封圈失效,导致灌浆材料流失,从而造成浪费。在预堵漏施工之后,才能进行灌浆施工,以保证工程质量。最后,在项目现场情况下,需要制定相关的防漏施工措施。防漏施工措施是根据现场实际情况而制定的,可以有效地防止灌浆材料流失,从而保证灌浆施工的质量和效果。



图2 海上导管架安装现场照片

4.3 灌浆搅拌

①实现两台搅拌机同时操作,循环工作。这可以提高工作效率和生产能力,减少等待时间,同时也要确保搅拌机的质量和混合效果。②浮式起重机操作人员必须随时与相关人员保持目光接触,任何人不允许停留在起重机载荷下面。这是为了确保人员安全,因为起重机搬运重物时存在着极大的

危险性。③大袋材料在降到破袋器之前必须保持自由状态,破袋器会刺破袋子,促使灌浆料进入到搅拌机内。这要求操作人员需要仔细操作,避免大袋材料被卡住或挂在搅拌机内。④建议拒绝使用破损的大袋材料。这是为了确保使用的材料质量,以及避免破损的袋子在运输和搅拌过程中造成的延误和损失。⑤在雨水天气下搅拌时需遮盖搅拌机,控制总水量。这可以避免水分进入搅拌机内部,影响混合效果和工作质量。⑥保持甲板处于整洁干净的状态,时刻打扫可能漏出的粉尘。这有助于保持工作环境的整洁和安全,避免灰尘对搅拌机和其他设备的损坏和污染^[3]。

4.4 导管架封堵技术

该导管架封堵技术采用了一种先进的自封闭式封隔器,这种封隔器的结构设计分成了两个密封阶段。在第一层密封阶段,橡胶变形产生的内应力会抱紧钢桩,从而形成密封。而在第二层密封阶段,橡胶筒与钢桩的接触面上设置了低摩擦系数的涂层,这样可以避免打桩操作对密封效果造成影响。自封闭式封隔器具有许多优点,比如工作原理简单、密封能力优异、抗破损性能强等。此外,它的安装和调试工艺也非常简单,不需要进行海上操作。这种封隔器还可以节省钢材,降低施工成本,并提高钢桩的在位工作效率。该导管架封堵技术采用的自封闭式封隔器是一种高效、可靠的技术,可以在海上工程中起到重要的作用。它的出现不仅可以提高工作效率,还可以降低施工成本,是一项非常有前途的技术。

5 结语

海上风电机组工程是未来发展趋势之一,振华重工参与导管架制作及吊运安装工作,特别是海上吊运安装过程中涉及的导管架灌浆施工技术则是其关键技术之一。导管架灌浆工艺是海上风电机组工程中的重要环节,其施工难度较大。在灌浆过程中,需要考虑多种因素,如灌浆材料的选择、灌浆过程中容易出现的问题等,这些都需要施工人员具备一定的专业知识和技能。此外,灌浆连接施工也是一个难点,必须确保连接处的密封性和稳固性。

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.