

非开挖水平定向钻在海缆穿堤工程中的应用

宋 础

(上海勘测设计研究院有限公司, 上海 200335)

摘 要: 海底电缆作为海上风电场工程的主动脉, 敷设环境复杂, 非开挖水平定向钻被广泛应用于海缆登陆段穿堤工程。本文总结了非开挖水平定向钻的施工特点及施工工艺流程, 研究了非开挖水平定向钻设计关键点及穿堤防渗措施, 为后续海缆登陆穿堤设计和施工提供技术参考。

关键词: 海底电缆; 非开挖水平定向钻; 登陆穿堤; 防渗

中图分类号: U65 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2023) 03—0121—03

中国海上风电新增投产规模在 2021 年超过 16GW, 占到全球新增投产规模的 87%。截至 2021 年末, 中国海上风电累计投产装机规模达到 26.4GW, 为全球最大的海上风电市场。一个完整的海上风电场一般由一定规模数量的风电机组和输电系统构成。输电系统中的海底电缆作为海上风电场工程的主动脉, 联系着整个风电场的核心(海上升压站)与指挥中枢(陆上集控中心), 海缆敷设施工为海上风电场建设中的关键一环^[1]。

海缆敷设环境较为复杂, 海缆登陆段通常需要穿越海堤等构筑物。常用的穿堤方案有门架方案、破堤方案和非开挖水平定向钻工法方案。门架方案是指海缆通过架空式门架过堤, 该方案影响海岸线的外观, 地方政府批复难度较高; 破堤方案是指海缆敷设于堤面护坡结构下过堤, 该方案对堤防影响较大, 需要破坏堤面护坡和防浪墙, 海缆敷设完毕后还需要重新修复堤面结构和工期会影响大堤的防洪安全及交通; 非开挖水平定向钻是指海缆通过水平定向钻工法敷设于堤身以下一定深度范围内, 该方案对堤防基本没有扰动, 在做好防渗措施

后基本不会对堤防产生影响, 不影响堤防的防洪安全及正常运行^[2-4]。

非开挖水平定向钻方案在外观影响、施工便捷性及工程造价等方面具有显著的优势, 一般为海上风电场工程海缆敷设穿堤登陆的首选方案, 本文对该方案的施工工艺、设计要点及穿堤防渗措施开展研究, 为后续海缆登陆穿堤设计和施工提供技术参考。

1 施工工艺

穿堤使用水平定向钻机进行管线穿越施工, 一般分为二个阶段: 第一阶段是按照设计曲线尽可能准确的钻一个导向孔; 第二阶段是将导向孔进行扩孔, 并将管线沿着扩大的导向孔回拖到导向孔中, 完成管线穿越工作^[5]。主要工序为: 测量放线→开挖工作坑→导向孔施工→扩孔→管线回拖, 施工方案如下:

(1) 测量放线。测量前对全站仪、经纬仪、水准仪等测量仪器进行校定, 仪器必须经校验合格且在有效期内方可使用。测量放线, 确定穿越距离和设计穿越线

上图显示了每隔 3 分钟主吊臂架的总吊力。由图表可知, 在翻桩过程中, 吊力呈上升趋势, 受现场涌浪影响, 吊力存在上下浮动; 初始吊力较大可能是由于桩顶接触泥面而产生的吸附力所致。

4 结语

相较于以往学者提出的单浮吊翻桩方法, 本文提出的单浮吊四主钩翻桩方法, 充分利用了现有船舶特性, 通过单船各钩头配合并借助泥面即可完成独立翻桩, 无需单独设计、制造专用工装或桩底加焊吊耳, 有效地降

低了施工成本, 且施工效率有所保障, 为单浮吊船实现翻桩提供了新的思路和实践经验, 之于日后此类大型单桩的翻桩施工具有指导意义。

参考文献:

- [1] 杨亮, 张思恒. 单台双主钩浮吊翻转大型构件技术 [J]. 工程建设与设计, 2011(51):8-10.
- [2] 邵夕吾, 石素文. 海上风电桩基单浮吊吊装工装 [J]. 中国高新区, 2018(13):180-181.

路,根据施工图纸和有关资料,结合施工现场和钻机的实际情况,确定拉管的距离,描绘出导向管的路线图,图中反映敷设管线的进、出土点位置、长度、深度和管线的形状。

(2) 开挖工作坑。根据管线入土点位置开挖工作坑,堤内外工作坑附近各开挖一座泥浆处理池,使废弃的泥浆流入处理池中,以保证处理结果达到环保要求。工作坑及泥浆池开挖土方就近堆在空地上,后期进行回填。

(3) 设备就位。在工作井的前 2m 处架机,安装在管道轴线位置上,就位后将钻机锚固好,调整机头以达到一定的入土角度,以便导向开钻。

(4) 导向孔施工。开钻前将探测仪的探头置于导向钻头上,并测试探头反射信号是否正常。将导向杆以设计入土角度入土开钻,钻孔过程中采用泥浆护壁工艺进行保护。入土深度达到设计管位中心高程时,导向杆沿管道轴线直走,直到接收井。在导向钻孔过程中技术人员根据所测获得钻头的角度、深度等数据,判断钻孔位置与钻进路线图的偏差,再向钻机操作人员进行调整,及时记录好导向数据。

(5) 扩孔。导向钻孔由工作井钻入接收井后,卸下导向钻头,换上回扩头进行回拉扩孔。扩孔宜采用分级、多次扩孔方式进行。

(6) 回拖。保护管接上回扩头,将保护管拖入孔中,保护管回拖就位后,由预先穿在管内的钢丝牵引海缆穿管,海缆敷设完成。海缆保护管回拖与最后一级扩孔同步进行,以减少因钻孔暴露时间过长而引起孔壁坍塌的风险。

2 设计要点

穿越路线的设计需要综合考虑地质条件、水文条件以及区域环境等因素。非开挖水平定向钻适用于中硬-硬质黏土和淤泥、硬黏土和强风化泥页岩、中-致密砂层及风化岩层或强胶结地层。

穿越曲线由斜直线段、曲线段、水平直线段构成,首末端斜直线段要求不小于 10m。穿越曲线设计时根据入、出土点的位置以及入、出土角画斜直线,以最小曲率半径作相切圆,与斜直线、水平直线相切连接。

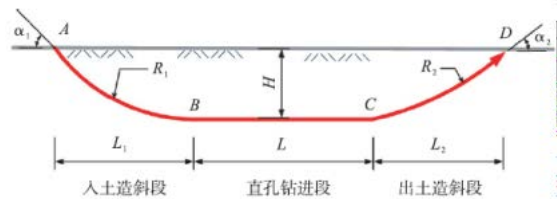


图 1 敷设管线时导向孔轨迹示意图

图中, A——钻进入土点; D——钻进出土点; B——管线水平段起点; C——管线水平段终点; α_1/α_2 ——管线入/出土角($^\circ$); H——管线埋深(m); R_1/R_2 ——管线入/出土时的弯曲半径(m); L_1/L_2 ——管线入/出土斜段投影的长度(m); L——管线水平直线段长度(m)。

表 1 出入土角、曲率半径规范取值

规范	入土角	出土角	曲率半径
《管线定向钻进技术规范》 ^[6]	8~20°	0~8°	$R_{\min} = 206D \frac{S}{K_2}$
《水平定向钻法管道穿越工程技术规范》 ^[7]	8~18°	4~12°	1200~1500D
《油气输送管道工程水平定向钻穿越设计规范》 ^[8]	8~20°	4~12°	1200~1500D

具体设计时需与施工单位沟通并综合上述规范建议出、入土角按照 8~12° 设计。

管道直径大于 250mm,或地质为中砂、粗砂、砂砾土时,宜多级扩孔。扩孔施工应根据敷设管线的管径、地层条件、设备能力,分一次或几次逐级扩孔。当敷设管线的直径为 200mm ~ 800mm 时,根据现场地质条件、管线种类及入土角度,扩孔的直径应控制在设计管线直径的 1.2~1.5 倍。其它管径应根据现场因素,将扩孔直径控制在合理范围内。对管道运行沉降控制要求较高时,扩孔倍数宜取低值。

管道回拖力计算应按照《管线定向钻进技术规范》DG/T J08-2075-2010 和《油气输送管道工程水平定向钻穿越设计规范》SY/T 6968-2021 相关规定,并应满足设备安全回拉力小于 70% 设备额定回拉力。

3 穿堤防渗措施

非开挖水平定向钻工法在海上风电场海缆穿越应用中存在诸多渗漏风险点^[9]。海缆本身与海缆保护管内壁存在空隙,若封堵不及时,海水进入保护管内在堤内外形成一个连通器,直接将海水沿着保护管内壁倒灌入

堤内。此外，回拖完毕泥浆固结后与保护管若存在接触间隙，海水沿着保护管外壁的接触间隙有可能发生渗漏。因此，防渗措施是非开挖水平定向钻穿堤施工设计需考虑的关键环节。结合前期施工设计经验，常用的穿堤施工防渗措施有：

(1) 施工时钻进泥浆通过泥浆泵泵入扩孔内，其泵送压力大于堤身水头差，渗透风险小。

(2) 在电缆保护管敷设时同时附带二根高压注浆管，敷设前在注浆管中间段每隔一定距离开小孔，并在防渗墙交越段增开小孔，控制注浆压力在 0.2~0.5MPa，进行高压注浆。高压注浆浆液可增加管道之间由于管道施工扰动土体的防渗性能，是沿管外壁防渗措施的加强。

(3) 作为沿电缆保护管外壁防渗的双重保护措施，为加大渗径，垂直穿堤保护管在堤防内侧坡脚设置高压旋喷桩防渗墙，防渗墙在保护管两侧各向外延伸一段距离。

(4) 在电缆保护管两端出、入口处填充相应的止水材料进行防水。

(5) 电缆穿堤后进入电缆转换井，电缆转换井内设置一道隔墙，作为沿保护管内壁防渗的双重保护措施。

(6) 拖管结束后，钻孔及管线外壁间隙必须采取注浆加固措施。

(7) 非定向钻海缆穿堤施工完毕后，海缆穿管前，需对海缆保护管的出入口进行完全焊接封堵，确保使用前完全密封，待敷缆时在切割至设计泥面进行穿管。

4 总结

非开挖水平定向钻工法在海缆穿堤工程中具有显著优势，本文从非开挖水平定向钻工法施工工艺流程、设计要点及穿堤防渗措施入手，全面研究总结该工法的关键技术，凝练如下结论，供从业人员参考：

(1) 海缆穿堤使用水平定向钻机进行管线穿越时可分导向孔施工和扩孔及回拖两阶段实施。

(2) 穿越路线的设计需要综合考虑地质条件、水文条件以及区域环境等因素。出入土角、曲率半径及管道回拖力计算可参照《管线定向钻进技术规范》DG/T J08-2075-2010 和《油气输送管道工程水平定向钻穿越设计规范》SY/T 6968-2021 相关规定。

(3) 非开挖水平定向钻工法在海上风电场海缆穿越应用中存在诸多渗漏风险点。可通过控制泵送压力、

设置高压旋喷桩防渗墙电缆端口填充止水材料及焊接封堵等措施降低海缆穿堤渗漏风险点。

参考文献：

[1] 刘兵. 海上风电场工程 220KV 海底电缆敷设施工简介 [J]. 中国工程咨询, 2016(05):60-62.

[2] 陈佳志, 徐斌. 海缆敷设施工问题分析及改进 [J]. 中国新技术新产品, 2020(17):2.

[3] 陶安. 海上风电场海缆登陆过堤技术方案 [J]. 中国水运: 下半月, 2022, 22(7):3.

[4] 林瑞润, 杜年夫. 浅谈海上定向钻牵引管在海底管道中穿越海缆的应用 [J]. 中国水运: 下半月, 2018, 18(5):2.

[5] 韩鑫. 定向钻施工在海上风电工程中的应用 [J]. 水电与新能源, 2020, 34(08):75-78.

[6] DG/T J08-2075-2010, 管线定向钻进技术规范 [S]. 上海: 上海市建筑建材业市场管理总站, 2010.

[7] CECS 382-2014, 水平定向钻法管道穿越工程技术规程 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2014.

[8] SY/T 6968-2021 油气输送管道工程水平定向钻穿越设计规范 [S]. 北京: 石油工业出版社, 2013.

[9] 侯斯嘉, 徐政峰. 如东海上风电场穿堤海缆管线对堤身沉降及渗流的影响 [J]. 实验室研究与探索, 2022(003):041.

