

砂质地层海底管道后挖沟深开挖技术

王怀栋¹, 陈伟鹏¹, 张 捷¹, 张晓丹², 张 新¹

(1. 中交海洋建设开发有限公司, 天津 300457; 2. 香港海洋投资发展有限公司, 香港 999077)

摘 要: 海底管道铺设后为了避免发生船锚刚蹭等事故, 需要进行挖沟抛石保护, 其中在特定海域管道埋深可能达到 8m 以上。根据海底砂质地层回淤严重、边坡不稳、难以成型等特征, 对挖沟机装备进行适应性改造, 总结形成一套“吹扫+排砂+气举”施工工艺, 实现挖沟机破土能力和排砂效果的提升, 并通过某海底管道后挖沟工程验证了深开挖技术的可行性, 为以后类似海底管道后挖沟深开挖工程提供参考。

关键词: 砂质地层; 海底管道; 后挖沟; 深开挖

中图分类号: TE973

文献标识码: A

文章编号: 1006-7973 (2023) 01-0154-03

引言

随着海洋资源的不断开发利用, 海洋环境日益复杂, 在大多数海底管道建设过程中会不可避免的遇到跨越航道、穿越穿管线等问题。与此同时伴随着海上运输、海洋渔业的发展, 船锚刮蹭等原因导致的海底管道事故频发, 对海底管道的平稳运行造成巨大隐患。

为了避免发生船锚刮蹭等事故, 需要对海底管道进行挖沟抛石保护。海底管道埋深一般在 1.5~3.0m 左右^[1], 但在特定海域, 如在管道交叉铺设区域、航道区域或锚地附近, 管道埋深达到了 7m 以上。文中以某海底管道后挖沟工程为例, 针对海底砂质地层回淤严重、边坡不稳、难以成型等技术难题进行分析, 研究海底管沟深开挖施工工艺的可行性。

一、挖沟机工作原理

挖沟机主要包括喷射式、犁式、机械式三种类型, 针对砂土、泥土等非黏性土质及低粘度的黏性土质, 目前主要采用喷射式挖沟机^[2]。喷射式挖沟的施工原理是利用挖沟机产生的大流量喷射水流, 对海底管道周围海床进行冲刷, 使得海床土进行液化, 液化后的软土随水流冲走, 从而形成管沟, 管道在自重的作用下, 沉入沟底^[3]。



图 1 喷射式挖沟机

二、地质分析及沟型设计

由于工程施工海域位于管道交叉铺设区域, 海底管道设计沟深要求为 8m (管道直径 1m, 管道埋设 7m)。根据现场海况和地质勘查结果^[4], 进行沟型稳定性模拟分析, 结果

表明在静力作用下或波浪荷载作用下, 计算得到边坡安全系数均小于 1.0, 波流对边坡稳定性影响不大。为确保沟型边坡稳定, 通过扩大沟顶宽度的方式减少坡角, 当沟型宽度不小于 20m 时, 满足边坡安全系数要求。然而受到施工海域的地理位置限制和环保的要求, 最终确定设计沟顶宽度 20m、沟底宽度 2m、沟深 8m、边坡比 1: 1.125。

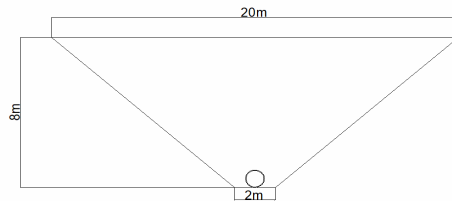


图 2 设计沟型

三、深开挖施工工艺

1. 设备参数

为有效降低风浪流荷载作用下对施工船舶的影响, 抢抓施工窗口期, 工程采用 DP 作业船进行施工; 挖沟机采用双喷嘴的喷射式挖沟机, 土体剪切强度 80KPa, 满足砂质软粘土施工要求, 具体参数如表 1 所示。

表 1 挖沟机参数

性能	参数
尺寸	8.2*6.7*6.5m
最大作业水深	200m
最大施工直径	1,500mm
空气重量	40t
水中重量	26t
轴流泵	流量 2*5,000m³/h 扬程 16m
高压水装置	流量 150m³/h 出口压力 18MPa

2. 施工工艺

根据此区域沟深要求及地质情况, 挖沟机施工工艺主要

收稿日期: 2022-09-01

作者简介: 王怀栋 (1990-), 男, 硕士, 中交海洋建设开发有限公司, 工程师, 研究方向为海洋工程。

分为以下三步，通过常规作业、拓沟作业、深挖沟作业，实现海底管沟深开挖的目的。

(1) 管道正上方常规作业，此过程在管沟顶宽一定范围内，沟深达到 4m 左右。

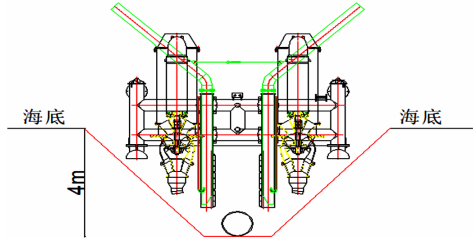


图 3 管道正上方施工

(2) 管道两侧拓沟作业，此过程将管沟顶宽拓展到 20m，可形成阶梯状沟型，有效防止边坡塌陷。

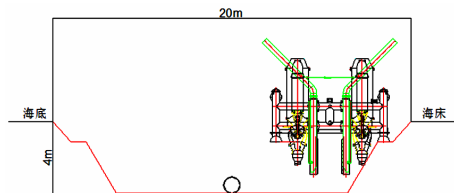


图 4 挖沟机拓沟作业

(3) 管沟深开挖作业，此过程中沿管道正上方施工，通过增加使用遍数，最终达到 8m 深开挖目标。

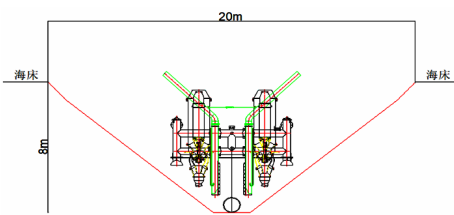


图 5 管沟深开挖施工

3. 施工流程

挖沟机施工流程^[5]主要包括：

- (1) 挖沟作业船根据管道路由图和预调查报告，达到施工区域后进行抛锚作业；
- (2) 挖沟作业前，做好挖沟机设备的布置和调试等准备工作，确保挖沟机系统正常运转；
- (3) 下放挖沟机，通过挖沟机自带声呐系统，搜索海底管道位置；
- (4) 根据前后声呐实时观察管道剖面相对护管器位置，通过调整船舶位置使管道位于护管器内侧，继续下放挖沟机，完成挖沟机骑管就位；
- (5) 根据施工工艺，按照不同施工阶段打开挖沟机轴流泵（或空压机、吸砂泵），通过绞锚使船舶带动挖沟机沿管道路由方向缓慢移动进行挖沟作业，整个过程中声呐系统进行实时监测，随时调整挖沟机的水下深度和姿态；
- (6) 挖沟作业完成后，挖沟机回收至主作业船甲板。

四、挖沟机适应性改造

砂质地层由于拓沟作业产生大量软土，在水流和自重的

作用下极易回淤，同时伴随着水流转向问题，导致管沟两侧已经排除的软土再次流进沟底。

表 2 海床流速情况

水深	工况	正向流速	正向持续时间	逆向流速	逆向持续时间
		/m/s	/h	/m/s	/h
12.5m	平均流速	0.378	4	0.479	8
	最大流速	0.472	4	0.619	8
14.5m	平均流速	0.359	4	0.410	8
	最大流速	0.442	4	0.564	8

施工区域水深 12.5~14.5m，软土的回淤一方面导致海管下沉受阻，另一方面由于软土回淤将管道掩埋，导致挖沟机轴流泵喷嘴无法直接作用的海管周围海床，挖沟机每次吹扫对海床的直接扰动有限，如何将管沟内的软土排出沟外是施工作业的关键因素。

1. 设备选型

为满足施工要求，挖沟机适应性改造主要包括两方面：

(1) 增加气举管作业功率和排泥距离，同时通过气举线路改造实现单侧排泥，将拓沟过程中产生的软泥有效排到沟外，降低管沟内软土含量。

(2) 增加吸砂泵装备，当挖沟机下放到一定深度，气举已无法将软泥排出沟外，可增加带有足够长度排泥管的吸砂泵，延长挖沟机的有效吹扫深度。

通过水泵功率计算公式，得到气举装置和吸砂泵设备选型分别为：

- (1) 气举装置采用的空压机功率为 302kW，排量为 29.7m³/min，气举管线直径 4in；
- (2) 吸砂泵的流量为 500m³/h，扬程为 25m，功率为 90kW。

2. 设备改造

(1) 优化气举排泥方式

通过增加 1 台空压机，由原来一台空压机控制 2 条气举管线，改造成每台空压机各控制 1 条气举管线，从而实现海底沟型两侧分别排泥的效果，如图 6 所示（红色线路为左侧排泥，绿色线路为右侧排泥）。

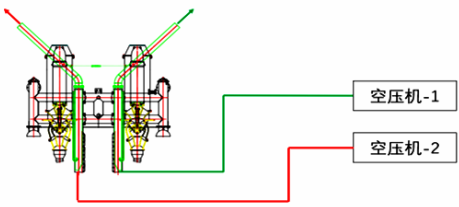


图 6 空压机线路改造示意图

当进行左侧挖沟机拓沟作业时，打开空压机-2，关闭空压机-1，保证左侧气举管线将软土更好的排出沟外，同时避免右侧排气举管线重新将软土吹扫管沟内，进而造成大量回淤导致管道被掩埋。同理，当进行右侧挖沟机拓沟作业时，打开空压机-1，关闭空压机-2，同样得到上述效果。此外，拓沟顺序还要结合水流方向进行调整，充分利用水流携带软泥远离管沟。

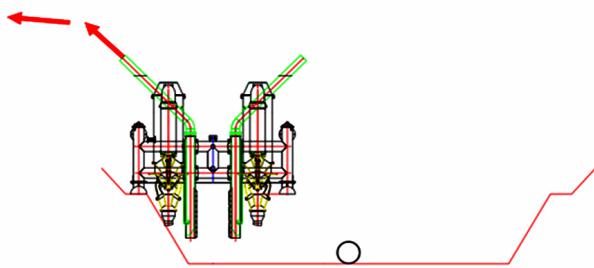


图7 单侧拓沟气举排泥示意图

(2) 增加气举排泥距离

在原有气举管线基础上,通过安装内嵌钢丝胶管向外延伸 1-2m,增加气举排泥距离,使得挖沟机吹扫出来的软泥更好的排出沟外,实现拓沟的目的。

(3) 吸砂泵集成安装

通过理论计算,挖沟机安装吸砂泵能够更好的将软泥排出沟底,同时解决了气举排泥距离短的问题。为了更好的观察吸砂泵施工效果,同时为了根据实际施工情况随时调整施工工艺,因此将吸砂泵集成安装到挖沟机护管器两侧,可实现吸砂泵和轴流泵的任意切换,并通过前后声呐探头观察吸砂效果。

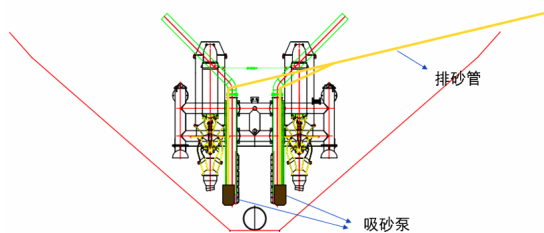


图8 吸砂泵集成安装示意图

五、深开挖施工效果

在常规作业阶段,经过挖沟机 3-4 遍吹扫,沟型基本形成,沟深 4~5m 左右,顶宽可以达到 6m 以上。

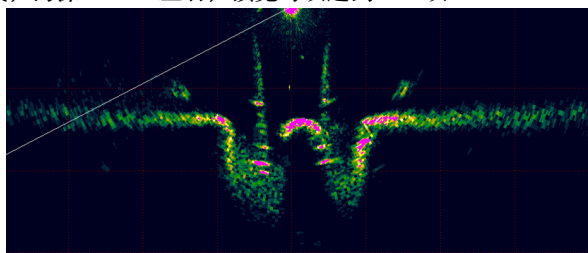


图9 常规作业声呐截面图

在拓沟作业阶段,由于挖沟机拓沟吹扫,原始海床结构遭到破坏,使得液化后的软土出现大规模回淤,此时,顶宽达到了 20m,沟深在 1~2m 范围内。

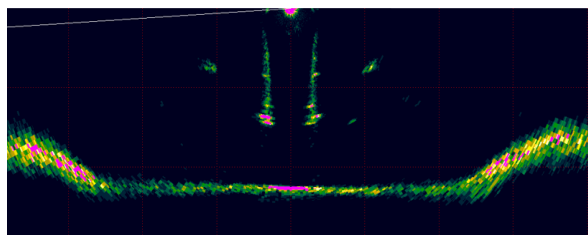


图10 拓沟作业声呐截面图

在深挖沟作业阶段,由于海床地质属于砂质软粘土,通过气举将液化后的软土排出时,砂粒在重力作用下迅速下落,下落的砂粒沿沟坡下滑,无法充分排出沟外,此时气举已不能达到良好的排砂效果。根据回淤情况,采用“挖沟+吸砂+气举”的多重任意组合,经过连续施工,综合施工遍数达到七十余遍(包括挖沟、拓沟、气举、吸砂)时,深开挖实测最大管线沟深达到了 9.43m。通过浅剖和多波束调查数据,结果表明实际管沟满足设计要求,同时管道上部没有出现明显的回淤覆盖。

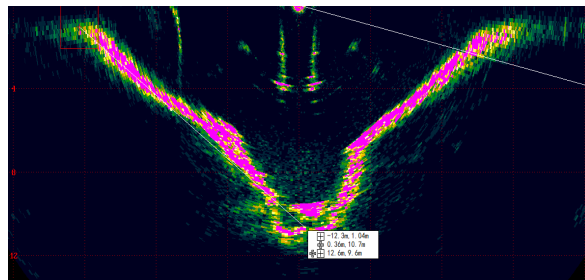


图11 声呐沟型监测

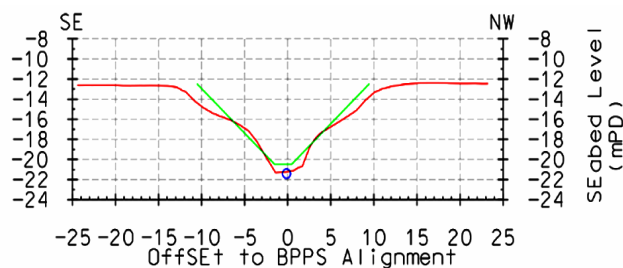


图12 浅剖和多波束调查结果

六、结论

根据海底砂质地层特征和海底管沟深开挖要求,对挖沟机设备进行适应性改造,通过优化气举排泥方式、增加气举排泥距离、集成安装吸砂泵,增强了挖沟机的适用性,提高了挖沟机排砂效果,形成一套“挖沟+吸砂+气举”施工工艺,经过挖沟机常规作业、拓沟作业和深挖沟作业,成功解决了砂质海床特有的回淤严重、边坡不稳、超大沟深难以成型等诸多难题,最终实现海底管沟深开挖的目的,满足海底管沟设计和施工要求。

参考文献

- [1] 赵冬岩,王琮,罗超等.社会环境因素对海底管道埋设深度的影响[J].中国海上油气,2010,22(4):275-278.
- [2] 杜喜军.水力喷射式挖沟机在海底管道后挖沟中的应用[J].中国造船,2016,57(Z1):257-263.
- [3] 杜喜军,赵杰.跨航道海底管道的深挖沟保护[J].港工技术,2015,52(6):80-83.
- [4] 李孟国,辛文杰,徐群等.港珠澳大桥对珠江口伶仃洋水沙环境和港口航道的影响[J].水运工程,2017,(10):67-72+79.
- [5] 蒲玉成.深挖沟铺管技术在渤西南联网供气项目上的应用[J].中国造船,2012,53(Z1):200-205.