



旋挖钻在海底管道沟槽疏浚工程中的应用

林治平，陆治周

(中交四航局第一工程有限公司，广东 广州 510420)

摘要：为解决东非某港新建离岸式油码头工程中海底管道沟槽开挖遇到硬岩层问题，进行了凿岩棒凿岩、反铲挖掘、水下炸礁等常规工艺的研究和比较，采用旋挖钻机辅助抓斗挖泥船进行硬岩挖除的处理方案，不需调遣绞吸船等专业船舶。结果表明：旋挖钻引孔后的硬岩层抓斗挖泥船可以顺利抓挖，工效及成本得到很好控制，可为类似工程提供参考。

关键词：旋挖钻；疏浚；泥岩；抓斗挖泥船；海底管道

中图分类号：U 616

文献标志码：A

文章编号：1002-4972(2023)03-0188-05

Application of rotary drilling rig in subsea pipeline trench dredging project

LIN Zhiping, LU Zhizhou

(The First Engineering Company of CCCC Fourth Harbor Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510420, China)

Abstract: During the subsea pipeline trench dredging for the newly-built offshore oil terminal at a port in East Africa, the hard rock layer is encountered. To solve this problem, this paper studies and contrasts the conventional processes such as rock hammer breaking, backhoe excavating, and underwater reef blasting. We apply a rotary drilling rig to assist the grab dredger in hard rock layer dredging, which does not need to deploy professional ships such as the cutter-suction dredger. The results show that the grab dredger can smoothly dredge the hard rock layer after the operation of the rotary drilling rig, and the working efficiency and cost are well controlled. The research can serve as a reference for similar projects.

Keywords: rotary drilling rig; dredging; mudstone; grab dredger; subsea pipeline

1 工程背景

1.1 工程概况

东非某港新建离岸式油码头工程通过埋入式海底管道接岸，将油品输送到陆上罐区。海底管道共5条，分别用于输送航空煤油、柴油、重油/原油、汽油和液化石油气，对应直径为32"、36"、32"、32"和26"(1"=2.54 cm)；采用管托架集束后进行整体拖拉入水、水下离底拖航就位。管束敷设前需要预挖沟槽。设计要求管槽从码头中央平

台北侧延伸至陆域，跨越新码头港池、港口航道、原有泊位护岸等，槽底宽12 m、疏浚总长1 197 m。管槽开挖边坡根据不同土质、槽顶高程进行设计，直线段浚深-27 m、边坡由1:8渐变至1:5；登陆段浚深由-27 m渐变至-8 m，边坡由1:5渐变至1:3。海管及其基槽平面布置见图1，设计疏浚量125万m³，原计划全部采用抓斗船+自航泥驳实施。

收稿日期：2022-06-30

作者简介：林治平（1979—），男，高级工程师，从事路桥、港口施工与管理工作。

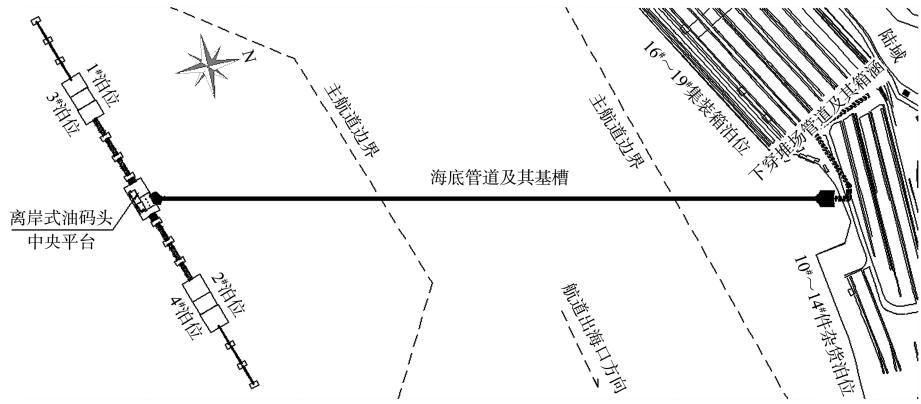


图1 海管及其沟槽平面布置

1.2 地质情况

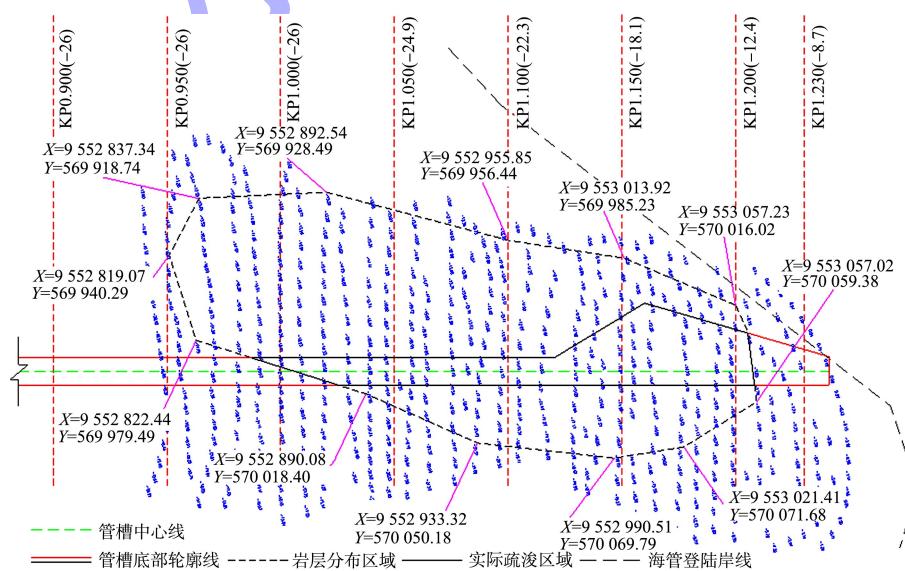
根据地质勘探报告, 在海管沟槽直线段和登陆段设计范围内理论上不存在硬岩, 疏浚土质由上到下依次为淤泥、柔软的粉质黏土、中等硬度的砾质黏土、坚硬与非常坚硬的砾质黏土、强风化与中风化泥岩($N>50$ 击); 结合槽底高程, 其土质标贯击数 $N=19\sim50$ 击, 抓斗船所配抓斗可抓挖疏浚。

实施过程中调整原计划, 由负责港池及航道疏浚的耙吸船先开挖管槽上层淤泥质土, 再由抓斗船进行管槽下层开挖及刷坡成形, 以提高整体工效。抓斗船疏浚管槽直线段时非常顺利, 但在登陆段下层土疏浚过程中遇到了成片的硬岩层, 岩样见图2a)。抓斗船反复下斗抓挖, 抓出的基本

是清水、少量土渣、硬岩碎块, 部分斗齿还因为反复的“硬碰硬”而断裂、丢失。经过反复抓探, 确认成片硬岩层位于里程区间KP0+951—KP1+241, 涉及面积约1.98万m²、厚度2~4 m, 测算方量21.67万m³; 硬岩层分布见图2b), 黑色虚线为探明的分布区域(含原设计边坡), 黑色实线为实际引孔、抓挖区域(可确保海底管道集束入槽的最小空间)。



a) 泥岩岩样



b) 硬岩分布

图2 泥岩岩样及区域分布

2 工艺方案选择

目前业内常用的硬岩疏浚处理工艺主要有 4 种^[1-9]: 水下炸礁、凿岩棒劈裂、高频破碎锤破碎、反铲挖掘和大型绞吸船绞削, 其优缺点对比见表 1。结合硬质地层、现场可用船机情况, 本工程决定选用不同于常规工艺的先“钻”后“抓”

处理方案。钻抓结合指采用旋挖钻先大面积引孔形成岩层创面、抓斗船再下斗分层开挖的工艺, 类似煤球“掏蜂窝”, 简称“钻抓”结合法。其工艺要点是根据硬岩特性、抓斗参数和钻机性能确定最佳引孔布点间距及形式, 以形成便于抓斗下斗咬入的岩层创面, 提高工效、节约成本。

表 1 常用凿岩工艺优缺点对比

工艺	优点	缺点
水下炸礁	施工效率高、大范围作业优势突出	1) 对周边建筑物安全、港作等影响非常大; 2) 对水体环境影响较大; 3) 需调集专用船机, 成本较高、风险大; 4) 需对港池、航道全封航或部分封航; 5) 不适合禁爆项目
凿岩棒(锤)落体劈裂	工艺成熟, 改造简便、经济	1) 施工效率较低; 2) 要求抓斗船自动松钩系统完好; 3) 主钢丝绳、卷扬机离合器等配件损耗较大; 4) 有掉棒(锤)、卡棒(锤)的风险
高频破碎锤振动破碎	改造简便、施作灵活	1) 需匹配长臂挖掘机, 作业水深局限性较大; 2) 需另调配或改造驳船作为挖掘机载体; 3) 破碎深度不易控制和量测; 4) 可破碎较高强度岩礁
大型绞吸船绞削	施工效率高、大范围作业优势突出	1) 船机资源通常较少、调遣成本极高; 2) 需吹填区或配备泥驳; 3) 需对港池、航道全封航或部分封航; 4) 可清除高强度岩礁

3 钻抓结合法施工工艺

3.1 工艺流程

钻抓结合法疏浚海管沟槽硬岩: 把吸船或抓斗船清浚上层软质土→抓斗船疏浚下层硬质土、刷坡成形→抓探硬岩层区域→量测、测算硬岩疏浚量→绘制引孔布点平面图、核算钻深→选配旋挖钻并上驳、履带锁固→RTK-GPS (载波相位动态实时差分) 辅助驳船+旋挖钻定位→下钻引孔、检查岩样及孔深→硬岩分区引孔完成、移船腾出水域→抓斗船就位、录入硬岩区数据→下斗分层

抓挖、装载泥驳→泥驳外抛疏浚料。

完成抓斗船抓探硬岩区域后, 对整条管槽进行扫海, 形成硬岩疏浚的浚前测图; 钻抓完成后对硬岩区域进行扫海, 形成浚后计量测图。

3.2 工艺措施

3.2.1 钻孔布点

根据硬岩层分布, 先后选 3 处 $12 \text{ m} \times 12 \text{ m}$ 区域, 分别采用等间距排孔、宽间距排孔、窄间距排孔 3 种不同方式进行试钻挖, 布孔方式见图 3。

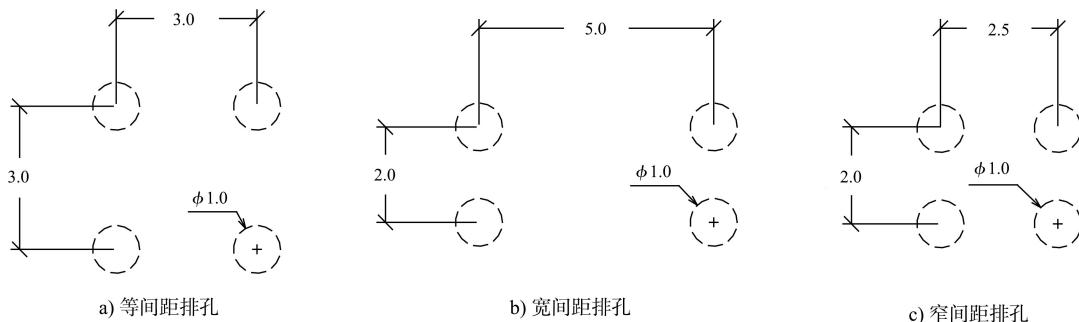


图 3 旋挖钻引孔布点方式 (单位: m)

试钻挖效果见表 2; 经对比, 采用图 3c) 窄间距排孔布点方式进行大面积引孔效果最好。总体来看, 硬岩区沟槽不需严格放坡, 满足海管管束

登陆段顺利入槽、就位即可, 见图 2b) 黑色实线区域为引孔区, 约 3.691 m^2 。

表2 试钻试挖效果

布孔	孔距/(m×m)	孔数/个	总孔深/m	引孔时长/h	引孔工效/(m·h ⁻¹)	抓挖效果	备注
等间距排孔	3.0×3.0	16	56	9.5	5.9	抓斗可抓挖	
宽间距排孔	5.0×2.0	14	42	8.0	5.3	抓斗常偏斜	每一孔均需绞缆移船
窄间距排孔	2.5×2.0	28	84	11.0	7.6	抓斗易咬合	

3.2.2 旋挖钻选配及上驳锁固

根据现场既有资源或可临时就近租赁的资源条件, 选配引孔用旋挖钻。本工程选用三一重机 SR200C 型全液压排渣成孔旋挖钻, 最大钻深 45 m; 配备岩层双底直筒捞砂钻斗和不带斗门的嵌岩筒钻, 直径均为 1.0 m。

平板驳(3 448 DWT)顶靠出运码头前沿并系缆, 涨潮过程旋挖钻机适时开上平板驳并布置在驳船端部正中, 以使钻机具备尽可能多的摆臂和旋转空间, 且不影响驳船锚机锚绳正常操控。钻机防倾覆措施是采用双侧履带前、后端 I32c 工字钢三角撑焊接于驳船甲板, 形成前后限位挡块; 履带前、后部采用 I25a 工字钢门形撑焊接于驳船甲板上, 形成上下限位架。

3.2.3 驳船定位及旋挖钻引孔

根据岩层分布区域进行驳船八字缆粗抛定位, 在钻机正前方持 GPS 移动站确认孔位信息, 根据坐标和方位讯息、通过收放缆绳进行驳船精准定位。每个船位钻机可引孔 2 个, 孔位、钻机及驳船定位相对位置见图 4。根据岩层厚度, 引孔平均孔深约 3 m, 每一孔下钻 3~4 次; 结合潮位变化核算钻杆下放长度, 确保引孔深度。

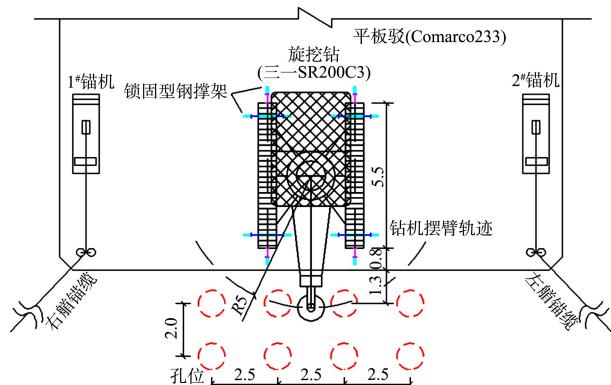


图4 驳船、钻机、孔位平面相对位置 (单位: m)

3.2.4 抓斗船分层抓挖及装载

完成引孔后, 抓斗船(斗容 18 m³)从先钻区块到后钻区块进行分层抓挖。抓斗船参照引孔坐标和方位进行抛锚定位和下斗, 保证抓斗齿尽可能一次插入钻孔内, 然后正常进行抓取和起斗, 最后经由海口外抛到指定卸泥水域。

3.3 应用效果

旋挖钻先导引孔及抓斗船分层抓挖过程总体顺畅, 直筒钻斗和双底捞砂钻斗配备合理, 抓斗齿仅加焊一次、实际抓取容积 10%~35%, 硬岩抓挖工效由“两天一驳”提高到了“一天两驳”, 达到预期效果。大部分引孔下钻 3~4 次即可达到计算孔深, 个别引孔需要下钻 5~6 次, 期间偶有出现抓斗船下斗偏斜再次下斗的情形, 主要原因是抓斗船定位偏差、下斗过程中扒杆还在旋转、下斗时抓斗摆动过大等。

本工程海管沟槽硬岩实际开挖面积约 3 691 m²、疏浚方量约 5.0 万 m³, 共有引孔点 738 个。单次下钻 5~6 min, 除去移船定位、放缆避让等时间, 引孔钻进速度 8.3 m/h, 单孔完成时间 20~45 min 不等; 实际引孔时间为 42 d, 旋挖钻引孔工效为 88 m²/d(有效钻进工效 6.6 m/h); 引孔后实际抓挖时间为 37 d, 抓斗船疏浚工效为 1 620 m³/d(即 2 驳/d)。不仅确保了海管沟槽疏浚分项工程工期, 还节约人工费、燃油费等施工成本逾 150 万元。

3.4 注意事项

- 1) 引孔时的平板驳抛锚及分层抓挖时的抓斗船抛锚需尽可能抛长锚绳并避开已引孔水域, 避免船锚落入或钩挂孔壁, 造成移船起锚困难, 影响定位作业效率。

2) 旋挖钻引孔作业时不必每次下钻完成后都提起钻渣，一般提起前两斗，确保最后下钻可达计算孔深即可，其余钻渣由抓斗船一并抓取，提高引孔工效。

3) 旋挖钻机一般钻架高、质量大，采用小型平板驳或自制浮排作为作业平台时，应进行严格的抗倾覆验算，采取可靠的移动方法和抗倾覆措施。

4 结论

1) 采用旋挖钻引孔辅助抓斗船抓除泥岩的方案可行，工效和成本都得到了很好的控制，可作为港池、航道、基槽等类似疏浚工程中硬岩处理的一种参考。

2) 结合抓斗张开尺寸和钻斗直径大小，采用窄间距排孔的方式引孔更有利于抓斗船抓除硬岩层，相同作业面积情形下旋挖钻会增加一定的引孔作业耗时。

3) 钻抓结合工艺的突出优势是可利用商船靠泊窗口期作业，无需航道封航。但有一定的局限性，不适用于引孔后抓斗船仍不能抓挖的高强度硬岩工程项目，应及时考虑专业绞吸船疏浚等其它方法或调整管道路由。

参考文献：

- [1] 王艳锋, 刘建卫. 机械凿岩在疏浚工程中的应用[J]. 水运工程, 2019(6): 207-211.
- [2] 邓元广, 丁晓峰, 夏元斌. 凿岩棒工艺在疏浚工程中的应用[J]. 中国水运, 2007(7): 51.
- [3] 张亚萍. 凿岩棒施工技术实践应用案例分析[J]. 中国水运(下半月), 2014, 14(6): 378-379.
- [4] 谭永想. 凿岩棒与绞吸船组合施工工艺在疏浚工程中的应用[J]. 中国港湾建设, 2015, 35(12): 50-52.
- [5] 陈开堤, 石全贵, 林文电. 凿岩棒在禁爆项目中的应用[J]. 中国港湾建设, 2016, 36(9): 31-33.
- [6] 李军. 中风化泥岩两种非爆破疏浚方案的成本对比: 以巴基斯坦某燃煤电厂工程项目为例[J]. 水运管理, 2020, 42(5): 21-24.
- [7] 许俊海, 曹羽. 凿岩棒凿岩工艺在友谊港疏浚工程中的应用[J]. 中国水运(下半月), 2013, 13(7): 235-236.
- [8] 汪洪祥, 林朝霞, 李博名. 中长周期波影响下港口水域高强度礁盘疏浚方案比选研究[J]. 中国港湾建设, 2020, 40(6): 1-4.
- [9] 许国瑞, 刘展雄, 段向明. 砂岩疏浚技术实践: 绞吸船与凿岩棒的组合施工试验[J]. 中国高新区, 2019(7): 169-170.

(本文编辑 赵娟)

(上接第 137 页)

- [15] 中交水运规划设计院有限公司. 湘桂运河线路及梯级布置方案研究报告[R]. 北京: 中交水运规划设计院有限公司, 2022.
- [16] 华设设计集团股份有限公司. 赣粤运河线路及梯级布置方案研究报告[R]. 南京: 华设设计集团股份有限公司, 2022.
- [17] 中交水运规划设计院有限公司. 湘桂运河线路与梯级布置方案研究报告[R]. 北京: 中交水运规划设计院有限公司, 2022.

- [18] 交通运输部规划研究院. 湘桂运河沿线生态环境敏感区调查和环境影响分析对策专题研究[R]. 北京: 交通运输部规划研究院, 2022.
- [19] 湖南省水利水电勘测设计规划研究总院有限公司. 湘桂运河水资源综合利用及航运用水保障研究报告[R]. 长沙: 湖南省水利水电勘测设计规划研究总院有限公司, 2022.

(本文编辑 王璁)