

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

汪洪祥¹, 林朝霞¹, 李博名²

(1. 中国港湾工程有限责任公司, 北京 100027; 2. 中交第二航务工程勘察设计院有限公司, 湖北 武汉 430060)

摘要: 针对巴基斯坦某港口受中长周期波长影响下港口水域小范围超高硬度岩礁疏浚的技术难题, 结合当地可获取资源, 从技术和经济角度对绞吸船、大型抓斗船、凿岩棒、反铲挖泥船等疏浚方案进行了比选。结果表明, 简易自造反铲式挖泥船配备高频破碎锤的优化方案适应性好、疏浚效率高、综合费用低, 可为类似自然条件下的小范围硬质岩礁疏浚提供参考和借鉴。

关键词: 中长周期波; 反铲挖泥船; 硬质岩礁; 疏浚

中图分类号: U616 文献标志码: A 文章编号: 2095-7874(2020)06-0001-04

doi: 10.7640/zggwjs202006001

Comparison and selection of dredging schemes for high strength reef in harbor water area under the influence of medium and long period wave

WANG Hong-xiang¹, LIN Zhao-xia¹, LI Bo-ming²

(1. China Harbour Engineering Co., Ltd., Beijing 100027, China;

2. CCCC Second Harbor Consultants Co., Ltd., Wuhan, Hubei 430060, China)

Abstract: In view of the technical difficulties of high strength reef dredging in harbor water area under the influence of medium and long period waves in Pakistan, combined with local available resources, the dredging schemes such as cutter suction dredger, large grab dredger, rock drill rod and backhoe dredger are compared and selected from the technical and economic perspectives. The results show that the optimized scheme of the simple site-manufactured backhoe dredger equipped with high-frequency breaking hammer has good adaptability, high dredging efficiency and low comprehensive cost, which can provide reference for small-scale hard reef dredging under similar natural conditions.

Key words: medium and long period wave; backhoe dredger; hard reef; dredging

0 引言

国际工程承包多采用 EPC 模式, 合同总价固定, EPC 承包商在工程设计、进度控制、质量控制和成本方面承担着较大的责任和风险, 尤其是投标阶段获取的勘察测量资料存在很大不确定性, 一旦项目实施阶段的勘察测量成果与投标阶段存在较大差异, 由此带来的成本增加须由 EPC 承包

商承担。此外, 目前中资企业的大部分海外市场集中在经济基础和技术力量相对薄弱的国家, 专业的施工设备匮乏, 调遣费用高、周期长, 更放大了勘察测量偏差导致的成本增加效应。本文结合巴基斯坦某电厂配套码头项目岩礁疏浚始末, 浅谈海外总承包项目中勘察测量偏差的应对措施, 并为类似中长周期波影响水域的小范围硬质岩礁疏浚提供借鉴。

1 项目背景

本项目位于巴基斯坦 Baluchistan 省 Hub 河河口地区, 为专用煤炭进口码头, 停靠 10 000 t 驳

收稿日期: 2020-02-07 修回日期: 2020-04-12

作者简介: 汪洪祥 (1981—), 男, 江苏盐城人, 高级工程师, 主要从事港口、航道与海岸工程项目管理工作。

E-mail: hxwang@chec.bj.cn

船,码头的年煤炭进口量 440 万 t。建设内容主要包括引堤、引桥、码头、防波堤及配套的输煤工艺设备和公用工程设施。其中码头平台长 265 m,宽 28 m;引桥长 507 m,宽 12.5 m;引堤长 488 m,路面宽 12.5 m;防波堤长 727 m。总工期 27 个月。EPC 投标阶段,据业主提供的 1:5 000 工可深度测图,结合水文、波浪、地质等条件,考虑在不进行额外疏浚的前提下,将进港航道、回旋水域及码头平台布置于-6.8 m 等深线外,满足 10 000 t 驳船的航行及靠泊要求。据此平面布置方案,完成全部模型试验工作作为设计基础,并已经获得业主工程师的批准。

项目进入实施阶段后,立即开展 1:500 施工图深度详细测量。测量成果揭示进港航道、回旋水域各存在一处较大的岩礁分布区,如图 1。航道处岩礁分布区长约 370 m,宽约 80 m,最浅处海床标高为-3.80 m,回旋水域处岩礁分布区长约 100 m,宽约 80 m,最浅处海床标高为-5.40 m。为确认岩礁岩性,委托勘察测量单位对岩礁进行钻孔取样工作,取样结果揭示岩礁主要成分为中风化砂泥岩。砂泥岩完整性好,岩石质量指标 RQD 达 35%,强度高;其中,进港航道口门岩礁分布区岩样抗压强度大于 100 MPa,回旋水域岩礁分布区岩样抗压强度大于 25 MPa。经计算,岩礁总疏浚量约为 9 000 m^3 ,面积约 40 000 m^2 。

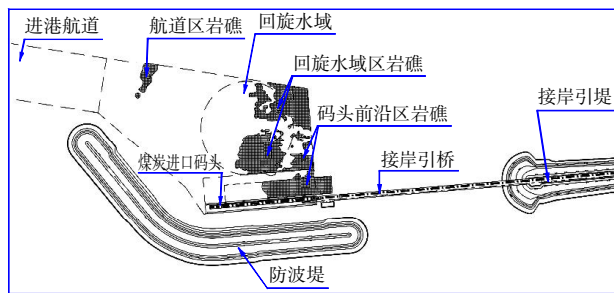


图 1 岩礁分布范围示意图

Fig. 1 Schematic diagram of reef distribution

此时正值非季风施工关键期,如调整总平面布置避开岩礁,将导致作为设计输入条件的模型试验成果及已接近完成的施工图设计工作推倒重来,进而造成 6 个月以上的工期延误及约 4 000 万美元的高额罚款,项目进度目标及盈利目标无法完成。因此,项目团队决策维持原总平面布置方案不变,按原定计划推进主体工程的施工,同步开展岩礁疏浚的前期准备工作,并根据主体工

程实施的进度要求,反推岩礁疏浚进度节点,避免工期延误。

2 疏浚难点分析

2.1 水下爆破受限

本项目位于巴基斯坦 Baluchistan 省,恐怖袭击猖獗,安全形势严峻,地方政府严禁使用炸药,硬质岩礁疏浚常采用的水下爆破法不可行。

2.2 季风期海况恶劣

疏浚区域直面阿拉伯海,长周期涌浪海况特征明显,对施工船锚泊稳定性要求高。外海波浪实测揭示有效波高(H_s)平均值为 3.13 m,有效波高最大值为 5.38 m,周期平均值为 9.61 s,周期最大值为 12.7 s。依据国家海洋局提供的该区域 2006—2015 年波浪预报数据,对分级波高每月累积频率和分级周期每月累积频率进行分析。受限于作业波高及波浪周期,疏浚船舶可作业时间仅为每年 10 月至第二年 4 月的非季风期。

2.3 疏浚设备匮乏、依托条件差

巴基斯坦当地几乎没有专业的疏浚设备和施工队伍,岩礁疏浚所需的船机设备及人员需由国内或邻近国家调遣,周期长、费用高。

2.4 岩礁分布差异性大

取样结果揭示航道口门区域岩礁强度高达 100 MPa,属 15 级稍强岩石类^[1],破碎难度大,且疏浚厚度超过 4 m;回旋水域岩礁强度约 30 MPa,属 14 级弱岩石类^[1],可控性稍好,疏浚厚度约为 0.1~1.5 m,零星分布于约 30 000 m^2 的广阔区域。疏浚总量小、岩礁强度高、分布广,均不同程度限制了疏浚设备的选择。

3 疏浚方案比选

结合可获取资源,从技术和经济角度对采用绞吸船、抓斗船、凿岩棒、反铲挖泥船等设备的疏浚方案进行比选^[2-9]。考虑疏浚量只有约 9 000 m^3 ,采用单一疏浚工艺,不考虑多种工艺结合的方案。

3.1 绞吸船疏浚方案

项目附近巴基斯坦 Qasim 港某航道局属绞吸船可供调遣,但该船的最大挖岩强度不超过 30 MPa;进一步研究国内外工程实例,应用绞吸船可挖岩礁的最高单轴抗压强度约为 60~70 MPa,不能满足航道区域 100 MPa 硬质岩礁的疏浚需求,采用绞吸船方案技术上不可行。

3.2 重型抓斗挖泥船疏浚方案

香港某公司一艘用于外海沉船打捞工作的

500 t 抓斗挖泥船可供调遣, 该挖泥船总吨位为 8 246 t, 抓斗尺寸为 5 m×7 m, 水下冲击能力强, 斗齿可穿透 5 cm 厚的钢板, 每次抓深 1 m, 通过分层多次开挖, 可满足航道区域厚 4 m 且强度达 100 MPa 硬质岩礁的疏浚需求, 且船体特征可满足非季风期在本工程海域完成疏浚作业的锚泊稳定性要求, 技术可行性较高。但对于疏浚厚度约 0.1~1.5 m, 零星分布于回旋水域的浅点, 疏浚超深过大, 经济性较差。

由进一步询价得知, 该挖泥船调遣费用约为 350 万美元, 抓斗船、拖轮、自航泥驳的日租金约 6 万美元, 施工期总租金约 720 万美元; 总费用约 1 070 万美元, 不具有经济可行性。

3.3 凿岩棒水下碎岩疏浚方案

国内有多家公司可提供凿岩系统挖泥船供调遣, 由挖泥船配泥驳进行碎岩和清礁, 配置简便。对于疏浚厚度约 0.1~1.5 m, 零星分布于回旋水域的浅点适应性较好, 但对于航道区域厚 4 m 且强度达 100 MPa 硬质岩礁的疏浚, 碎岩难度大、效率低。

凿岩棒水下碎岩疏浚方案的调遣费用约 400 万美元, 抓斗船、拖轮、自航泥驳的日租金约 5 万美元, 施工期总租金约 600 万美元; 总费用达到 1 000 万美元, 不具有经济可行性。

3.4 反铲式挖泥船疏浚方案

经调研, 提出一种采用简易自造反铲式挖泥船配备高频破碎锤的优化方案, 进行技术及经济可行性论证, 最终选取该方案作为实施方案。

3.4.1 锚泊稳定性

走访多家具有反铲式挖泥船设计、建造业绩和经验的造船厂了解到, 适当加大船体尺度、配备定位方桩及大抓力锚等措施可解决挖机船在水下碎岩作业条件下的锚泊稳定性问题。

3.4.2 疏浚能力

陆上碎岩, 通常采用中小型挖掘机配备破碎锤形成破碎单元, 能有效破解坚硬的岩礁, 多用于石料开采、钢筋混凝土构筑物的拆除等; 破碎锤的定制、挖掘机的改装技术非常成熟, 应用非常广泛。受此启发, 考虑挖机配置破碎锤, 以满足 100 MPa 硬质岩礁的疏浚需求。

3.4.3 经济可行性

广东省某船厂水上工程施工经验丰富, 并且有抛泥船和辅助船舶在项目附近可随时调遣进场。

方案计划在项目现场制造一艘简易方驳, 所需设备材料均由中国进口海运到场, 船舶建造和设备配置费用总计约 150 万美元; 锚艇、自航泥驳的日租金约 0.3 万美元, 施工期总租金约 54 万美元; 人员调遣、人工工资和燃料费用总计约 100 万美元, 预计成本约 304 万美元, 此方案经济性优势突出。

4 疏浚方案实施及效果

4.1 疏浚方驳设计和制造

为满足反铲设备的施工需求, 新建 1 艘简易钢质方驳。方驳长 35 m, 宽 12 m, 型深 2.6 m。方驳上配备 3 根边长 1 m 的定位方桩、4 台锚机及 4 口 3 t 的大抓力锚, 可确保中长周期波影响下碎岩作业时的锚泊稳定性。方驳自 2017 年 8 月开始建造, 至 2017 年 11 月建造完成, 总计历时约 100 d, 建造消耗钢材约 700 t。

4.2 疏浚设备采购、安装及调试

岩礁破碎及清礁作业设备采用日立 870 反铲式挖掘机, 配备 18 m 加长臂, 见图 2。额定铲斗挖掘力为 472 kN, 斗杆挖掘力为 394 kN, 铲斗容量 4 m³, 定制液压抓斗容量 2 m³, 最大设计挖深 8 m。为增强适应性, 破碎系统采用 2 套设备, 互为备用: 1) 定制 WS-D10 型高频破碎锤; 2) DKO-165 破碎锤配备 2 m³/min 空压机, 可进行水下破碎作业。



图 2 简易疏浚方驳

Fig. 2 Simple dredging barge

泥驳租用当地 2 艘仓容 120 m³ 的开体泥驳, 并配备 1 艘锚艇。

4.3 施工方案及实施效果

对岩礁厚度大于 1 m 的区域, 采用分层破碎、逐层清除的施工方案。液压振动破碎锤破碎点间

距控制在 0.3 m 以内, 根据破碎锤锤头尺度, 每次破碎深度约 0.6 m。为了避免出现遗漏的浅点, 超挖深度按照 0.4 m 控制。完成指定区域网格内岩礁的破碎工作后, 换装铲斗, 进行清礁作业。疏浚铲斗作业点间距控制在 1 m 以内。岩礁碎屑卸至紧靠在方驳侧舷的抛泥船内, 待所有破碎区疏浚完成后, 进行海床地形复测。如复测结果不满足设计, 进行二次破碎及清礁^[10]。

依据地质情况及施工进度需求, 划分为航道区、码头前沿区和回旋水域区等 3 个区域, 施工工效等见表 1。

表 1 疏浚方案及工效一览表

Table 1 List of dredging scheme and work efficiency

岩礁分布区域	岩礁强度/MPa	岩礁厚度/m	施工方案	工效/($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	工期/d	实际疏浚总量/ m^3
航道区	≥ 100	3~4	分多层破碎清除	55	60	3 000
回旋水域区	20~30	≤ 1	一次破碎清除	250	30	7 000
码头前沿区	≥ 50	≤ 1.5	分 2 层破碎清除	100	50	5 000

本疏浚作业自 2017 年 12 月 10 日起, 至 2018 年 5 月 4 日完成, 扣除设备故障、天气影响等非作业工况 42 d, 总有效作业天数为 103 d, 综合疏浚效率为 $150 \text{ m}^3/\text{d}$ 。浚后测量揭示反铲式挖泥船平均疏浚超深 0.4 m, 超宽 1 m, 疏浚区域未发现浅点。2018 年 5 月 8 日, 30 000 DWT 级卸船机运输专用船乘潮进港靠泊, 5 月 12 日完成卸船机滚装上岸作业并安全离港, 证明疏浚方案实施效果良好, 满足工程进度和质量要求^[11]。实际综合疏浚费用仅 310 万美元。

5 结语

加装了定位桩的反铲式挖泥船船体小巧, 可在相对受限的水域内灵活作业, 配置的大功率破碎锤及挖斗能有效清除强度高达 100 MPa 的岩礁, 可为类似中长周期波影响水域的小范围硬质岩礁疏浚提供参考和借鉴。该设备的应用不仅规避了海外工程专业施工设备匮乏, 调遣费用高、周期长的问题, 有效控制了勘察测量偏差导致的成本增加, 而且保证了整个项目的进度目标和盈利目标的实现。

参考文献:

- [1] JTS 181-5—2012, 疏浚与吹填工程设计规范[S]. JTS 181-5—2012, Design code for dredging and reclamation works[S].
- [2] 唐承源. 反铲挖泥船在硬质岩礁疏浚中的应用[J]. 珠江水运, 2016(19):12-13.
TANG Cheng-yuan. Application of backhoe dredger on hard rock dredging[J]. Pearl River Water Transport, 2016(19): 12-13.
- [3] 冯晨, 弓宝江. 大型反铲挖泥船开挖硬质岩石施工工艺[J]. 中国港湾建设, 2015, 35(10):57-59.
FENG Chen, GONG Bao-jiang. Construction technology of hard rock excavation by large backhoe dredger[J]. China Harbour Engineering, 2015, 35(10): 57-59.
- [4] 张更生. 疏浚珊瑚礁岩特性及相互关系分析[J]. 中国港湾建设, 2018, 38(6):14-16, 29.
ZHANG Geng-sheng. Characteristics and correlation analysis of dredging coral reef[J]. China Harbour Engineering, 2018, 38(6): 14-16, 29.
- [5] 王健, 孔凡震. “天鲲号”自航绞吸船核心技术应用研究[J]. 中国港湾建设, 2017, 37(1):58-62, 67.
WANG Jian, KONG Fan-zhen. Applied research on key technology of Tiankun self-propelled cutter suction dredger[J]. China Harbour Engineering, 2017, 37(1): 58-62, 67.
- [6] 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.
CHEN Kai-di, SHI Quan-gui, LIN Wen-dian. Application of rock-chiseling hammer in explosive-forbidden project[J]. China Harbour Engineering, 2016, 36(9): 31-33.
- [7] 钟贵, 弓宝江, 何敬云, 等. 大型绞吸船开挖岩石基槽施工技术[J]. 中国港湾建设, 2016, 36(4):59-61.
ZHONG Gui, GONG Bao-jiang, HE Jing-yun, et al. Construction technology for excavation of rock foundation by large cutter suction dredger[J]. China Harbour Engineering, 2016, 36(4): 59-61.
- [8] 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.
TAN Yong-xiang. Application of rock breaking hummer and cutter suction dredger combination technology in dredging project[J]. China Harbour Engineering, 2015, 35(12): 50-52.
- [9] 高伟. 国内外疏浚挖泥设备的对比与分析[J]. 中国港湾建设, 2009, 29(2):63-67.
GAO Wei. Comparison and analysis of dredging equipment at home and abroad[J]. China Harbour Engineering, 2009, 29(2): 63-67.
- [10] 李博名. 港池及航道疏浚施工组织设计[R]. 北京: 中国港湾工程有限责任公司, 2018.
LI Bo-ming. Organization design for dredging construction of harbour basin and channel[R]. Beijing: China Harbour Engineering Co., Ltd., 2018.
- [11] 梁鸿赏. 港池及航道疏浚测量成果报告[R]. 北京: 中国港湾工程有限责任公司, 2018.
LIANG Hong-shang. Survey results report for dredging works of harbour basin and channel[R]. Beijing: China Harbour Engineering Co., Ltd., 2018.