

# 反铲挖泥船联合破石器开挖水下薄层风化岩施工工艺

吴松华, 许根苗

(中交水利水电建设有限公司, 浙江 宁波 315200)

**摘要:** 针对工程量少、硬度较高的水下较薄风化岩层, 采用自主改造和研发的反铲挖泥船结合钩状破石器作为疏浚设备的施工工艺, 即利用钩状破石器对岩石进行预先破碎, 然后反铲挖泥船再进行岩石开挖。结果表明: 该施工方法既能有效开挖水下薄层风化岩、提高施工效率, 又能控制成本、保证施工工期, 取得了明显的经济效益和社会效益。适用于开挖岩层厚度薄, 工程量少, 岩体饱和抗压强度不超过 20 MPa 的水下强风化、中风化岩层。

**关键词:** 反铲挖泥船; 铲斗; 破石器; 齿套; 风化岩; 开挖; 疏浚

中图分类号: U616.21

文献标志码: B

文章编号: 2095-7874(2020)06-0047-04

doi: 10.7640/zggwjs202006011

## Construction technology of underwater thin weathered rock excavation by backhoe dredger combined with stone breaker

WU Song-hua, XU Gen-miao

(CCCC Water Resources and Hydropower Construction Co., Ltd., Ningbo, Zhejiang 315200, China)

**Abstract:** In view of the thin weathered rock stratum underwater with small quantities and high hardness, the independently reformed and developed backhoe dredger combined with hook shaped stone breaker is used as the construction technology of dredging equipment, that is, to pre-break the rock with the hook shaped stone breaker, and then the backhoe dredger is used for rock excavation. The results show that the construction method can effectively excavate the underwater thin weathered rock, improve the construction efficiency, and can control the cost and ensure the construction period, and obtain obvious economic and social benefits. It is suitable for excavating underwater strongly weathered and moderately weathered rock stratum with thin rock stratum thickness, small quantities and saturated compressive strength of rock mass not more than 20 MPa.

**Key words:** backhoe dredger; bucket; stone breaker; gear sleeve; weathered rock; excavation; dredging

### 0 引言

在港池和航道的疏浚过程中, 经常会遇到比较硬的土类甚至是风化岩, 对设备的破土能力要求较高, 常用的机械设备有: 耙吸船<sup>[1]</sup>、绞吸船<sup>[2]</sup>、爆破船结合大型抓斗船<sup>[3]</sup>等。

在某些特定疏浚工况下, 遇到非常硬的硬土层和风化岩石层(风化岩标贯击数最高达到 50 击),

岩层非常薄, 大部分层厚只有几十厘米, 工程量非常少。由于硬度太高, 使用耙吸船、抓斗船等设备均无法清除; 使用大型绞吸船的调遣费用太高, 接、拆管线耗费的人力、物力太大, 耗费时间太长; 使用水下炸礁工艺, 施工对周边环境的影响较大, 施工成本高。因此需要选择合适的施工设备, 确保疏浚过程中岩石的有效开挖, 达到高效率、低成本的目的。

反铲挖泥船具有经济、快捷、安全系数高、适用性广<sup>[4]</sup>等优点, 在底泥疏浚工程中发挥了一定的辅助作用<sup>[4]</sup>。通过优化施工工艺, 还可以在限制工况下开挖硬质岩石<sup>[5-7]</sup>。因此, 重点研究此类工

收稿日期: 2020-03-13 修回日期: 2020-04-15

基金项目: 中交上海航道局有限公司科技专项 (SHJKJ-2017-036)

作者简介: 吴松华 (1983—), 男, 安徽安庆人, 高级工程师, 硕士, 从事水利与港航、市政及软基处理工程施工技术管理、科技研发和河口海岸动力方面的研究工作。

E-mail: wusongh@163.com

况下反铲挖泥船开挖风化岩的情况。

钦州港三墩作业区通航水域(航道)整治工程场地内下伏基岩依次为粉砂泥质结构、泥质粉砂结构、砂状结构,厚度约20~30 cm。根据风化程度不同,可分为全风化、强风化及中风化3层:强风化岩岩石抗压强度0.5~2 MPa;中风化岩分为粉砂质泥岩层、泥质粉砂岩层、砂岩层,岩石平均饱和抗压强度分别为1.5 MPa、3 MPa、20 MPa。风化岩区域面积约8.2万 m<sup>2</sup>,平均厚度约26 cm,工程量约5.7万 m<sup>3</sup>,其中11级、12级强风化岩3万 m<sup>3</sup>,13级中风化岩2.7万 m<sup>3</sup>。由于岩层硬度较高、厚度薄、工程量少,为了有效开挖风化岩,避免产生较大废方,控制成本,同时还能有较高的施工效率,确保工程进度,在施工过程中开展了较薄层风化岩疏浚施工关键工艺研究,重点探讨反铲挖泥船开挖薄层风化岩的效果及适用性。

### 1 工艺原理及施工设备

反铲挖泥船是一种在海上轮船或驳船基础上加装了大型反铲机和两根定位桩的疏浚工程船,施工时使用定位桩打入泥土进行船位固定。铲斗入水开挖时,船体会受到强大的向前的反作用力,此时依靠固定在土里的定位桩来抵消因铲斗开挖承受的反作用力,反铲挖泥船铲斗通常能够移动比陆用挖掘机大很多倍的物质。

对于强风化岩,反铲挖泥船将全部功率集中在铲斗上尚可开挖,但是面对强度较高的中风化岩,反铲挖泥船的岩石开挖能力也是有限的,应用于本工程中仍需要很大的改进。因此,对所选用的反铲挖泥船进行了自主改造<sup>[8]</sup>(图1),并研发了一种反铲挖泥船用的破石器<sup>[9]</sup>(图2),可以提高反铲挖泥船的挖掘能力。反铲挖泥船配备有2根定位钢桩和2只锚,钢桩长度19 m,设置在船体中部两侧,锚位于船体尾部两侧。破石器长190 cm,连接部位高110 cm。



图1 反铲挖泥船

Fig. 1 Backhoe dredger



图2 钩状破石器

Fig. 2 Hook shaped stone breaker

风化岩具有经过海水浸泡后会变得松散易碎的特性,采用自主研发的钩状破石器预先进行勾划破碎,破坏岩体的结构构造,增加岩石裂隙发育,使得岩石与海水充分接触浸泡,增大岩体含水率,岩石力学性质随之降低,便于反铲挖泥船开挖时获得较好的切入角,降低开挖难度,逐层对硬质风化岩进行剥离施工。

采用的主要疏浚设备为反铲挖泥船、泥驳、锚艇等(表1)。根据反铲挖泥船施工效率、泥驳仓容确定装驳时间,再根据泥驳在施工区和抛泥区往返时间确定泥驳数量,提高使用效率。

表1 主要施工设备情况表

Table 1 Main construction equipment

序号	设备名称	规格型号/m <sup>3</sup>	船长/m	船宽/m	型深/m	用途
1	反铲挖泥船	4	39.00	13.98	3.45	开挖风化岩
2	泥驳	1 200	69.2	14.8	5.3	运泥、抛泥
3	锚艇	—	—	—	—	移锚

### 2 施工工艺及操作要点

反铲挖泥船开挖作业时,通过控制机臂及斗柄将铲斗伸入水中,液压驱动斗柄推进,使铲斗处于开挖位置,接着将铲斗提升至水面适当高度后,将疏浚物卸入泥驳。在挖岩时,选择最佳的铲斗入土角度,保证切削角度小于45°,以防止损伤铲斗,充分利用反铲机的优势,将大臂、小臂和铲斗的液压缸压力全部集中到铲斗上,使挖掘力达到最大。

#### 2.1 施工准备

1) 根据设计图纸和测量基础资料,校核平面坐标系、平面控制点、深度/高程基准面、高程控制点成果资料等,确保所有测量资料完整无误,并以书面形式报监理,在得到监理工程师认可后

方可使用。

2) 在施工区附近设置潮位观测站,位置选在受潮流影响较小的位置,并在反铲挖泥船上安装自动潮位遥报仪,在使用过程中,定期对潮位站进行校核。

3) 在反铲挖泥船机械臂上标注深度标记,控制挖深。

## 2.2 反铲挖泥船定位

1) 采用 DGPS 进行施工船舶定位,在施工导航软件方面,使用目前疏浚行业较为成熟的中海达测量软件,在施工前设置好施工任务。

2) 反铲挖泥船采用钢桩和锚缆进行船位固定,定位钢桩可以保证船舶在水深 14 m 以内的水域进行施工作业,有效开挖深度 12.5 m。

3) 船位移动时,放下反铲机械臂固定位置,升起定位钢桩,绞车逐渐收锚缆,船位退约 2 m 到达位置后放下定位钢桩。移锚时需锚艇辅助作业,每次移锚可以满足 50 m 的作业距离。

## 2.3 覆盖层清理

利用反铲挖泥船先清除表面的淤泥覆盖层,对于表层岩石抗压强度在 0.5~2 MPa 之间的全风化和强风化岩层,反铲挖泥船也可直接清除。

## 2.4 破石器碎石

1) 遇到较硬的土质时,比如中风化岩,岩石抗压强度达到 20 MPa,反铲挖泥船直接开挖较为困难。此时,先使用自主研发的钩状破石器进行勾划破碎,勾划时采用十字交叉的方式进行。

2) 破石器上有一个与反铲动臂的连接部位,使用耐磨钢焊接一个用于破石的弯钩,弯钩一端粗实一端尖细,尖细端套一个高强度钢焊成的齿套(见图 2),用插销进行牢固,卸下反铲铲斗,将破石器直接安装在反铲铲斗位置使用。

3) 施工过程中可以提前预制好若干齿套,一旦有破损,可以快速更换新的齿套,以此保护弯钩,节约成本,提高船舶时间利用率。

4) 破石器对风化岩区域进行勾划破碎后,需相隔数天待岩层经过海水充分浸泡后再进行反铲挖泥船开挖。

## 2.5 反铲挖泥船开挖风化岩

1) 合理确定分条宽度和分段长度。分条宽度应该满足反铲挖泥船和泥驳停靠所需要的水域要求,考虑泥驳靠泊后的影响及开挖过程中受风浪等影响船位小幅变化,同时为了保证条与条之间

的搭接,一般小于船舶宽度,实际施工过程中采用 11 m 的分条宽度,条与条之间重叠 2 m,避免出现漏挖。因为风化岩岩层整体较薄,在施工过程中未进行分层开挖。

2) 挖深控制。施工作业时,操作人员应严格掌握水位变化,根据机械臂标记及时调整下斗深度,防止出现浅点或深坑。

3) 后退法开挖。施工过程中,反铲挖泥船下桩位置无论是在大面积的岩床或硬质土层,还是小范围的岩石浅点,驻点原则都是将反铲挖泥船定在水深较深、坡度较陡的铲斗能够开挖的位置,以便由深到浅倒退开挖,这样更加符合反铲挖泥船的动力机理。

## 2.6 扫浅施工

风化岩疏浚完成后,进行水深测量,对不足挖深的岩石区域进行扫浅施工。

## 3 经济效益分析

施工效率和船舶租金是影响成本的重要因素,从表 2 可以看出,反铲挖泥船结合破石器的施工效率是重型抓斗船的 1.6 倍,油耗减少 3 t/d;相比于钻孔船水下清礁效率提高了 500 m<sup>3</sup>/d,缩短了施工时间,施工成本减少了 123 万元/月。

表 2 经济效益对比

Table 2 Comparison of economic benefits

类别	租金/ (万元·月 <sup>-1</sup> )	油耗/(t·d <sup>-1</sup> )	施工效率/ (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )
重型抓斗船	150	5	900
反铲船联合破石器	80	2	1 500
钻孔船	203	包干	1 000

在类似工况下,相比于使用炸礁工艺,反铲挖泥船联合破石器的施工工艺具有很大的竞争优势,适用于开挖岩层厚度薄,工程量少,岩体饱和抗压强度不超过 20 MPa 的水下强风化、中风化岩层。

## 4 结语

针对硬度较高、厚度薄、工程量少的水下风化岩层,采用自主改造和研发的反铲挖泥船结合钩状破石器作为疏浚设备,利用破石器对岩石进行预先破碎,然后再进行反铲挖泥船开挖施工,效率高,成本低,施工效果优良。

1) 采用反铲挖泥船进行薄层风化岩开挖可降低施工成本,能够最大程度减少爆破施工对周围

环境的影响。

2) 采用自主研发的钩状破石器对岩体进行处理,能够明显提高反铲挖泥船的挖掘能力,提高施工效率。

### 参考文献:

- [1] 韩政. 大型耙吸挖泥船岩石疏浚方案优化[J]. 水运工程, 2016(5): 167-169, 174.  
HAN Zheng. Optimization of rock dredging scheme by large trailing suction hopper dredger [J]. Port & Waterway Engineering, 2016(5): 167-169, 174.
- [2] 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.
- [3] 潘雪成, 刘洛会. 浅析水下炸礁在硬土质疏浚施工中的运用[J]. 中国水运(下半月), 2018, 18(6): 140-141.  
PAN Xue-cheng, LIU Luo-hui. Application of underwater reef blasting in dredging construction of hard soil[J]. China Water Transport, 2018, 18(6): 140-141.
- [4] 张小兵. 城市河道底泥疏浚工程施工方式分析[J]. 黑龙江水利科技, 2014, 42(8): 171-172.  
ZHANG Xiao-bing. Analysis on the construction method of dredging project of urban river sediment[J]. Heilongjiang Science and

Technology of Water Conservancy, 2014, 42(8): 171-172.

- [5] 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 in hard rock reef dredging[J]. Pearl River Water Transport, 2016(19): 12-13.
- [6] 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.
- [7] 黄炜纲. 谈西江航道扩能升级工程进度管理经验[J]. 珠江水运, 2018(15): 17-18.  
HUANG Wei-gang. On the progress management experience of Xijiang waterway expansion and upgrading project[J]. Pearl River Water Transport, 2018(15): 17-18.
- [8] 中交上海航道局有限公司. 一种反铲挖泥船: 中国, 201821306961.5[P]. 2019-05-14.  
CCCC Shanghai Dredging Co., Ltd. A backhoe dredger: China, 201821306961.5[P]. 2019-05-14.
- [9] 中交水利水电建设有限公司. 一种反铲挖泥船用的破石器: 中国, 201720580769.4[P]. 2017-12-05.  
CCCC Water Resources and Hydropower Construction Co., Ltd. A kind of broken stone for backhoe dredger: China, 201720580769.4 [P]. 2017-12-05.

(上接第8页)

- 学报: 自然科学版, 2016, 29(2): 17-21.  
SHEN Chang-guo. Seismic analysis of double cable plane curved pylon wide box girder cable-stayed bridge[J]. Journal of Shijia-zhuang Tiedao University: Natural Science Edition, 2016, 29(2): 17-21.
- [6] 赵爽. 独塔斜拉桥抗震性能分析[J]. 四川建筑, 2015, 35(2): 133-136.  
ZHAO Shuang. Seismic performance analysis of single tower cable-stayed bridge[J]. Sichuan Architecture, 2015, 35(2): 133-136.
- [7] 陈兴冲, 张永亮, 李子奇. 矮塔斜拉桥的减震方案对比研究[J]. 世界地震工程, 2010, 26(3): 16-21.  
CHEN Xing-chong, ZHANG Yong-liang, LI Zi-qi. Research on seismic response reduction of cable-stayed bridge with low towers [J]. World Earthquake Engineering, 2010, 26(3): 16-21.
- [8] CJJ 166—2011, 城市桥梁抗震设计规范[S].  
CJJ 166—2011, Code for seismic design of urban bridge[S].
- [9] 莫海洪, 吴振涛. 西水三桥独塔斜拉桥静力分析[J]. 中国港湾建设, 2020, 40(3): 39-42.  
MO Hai-hong, WU Zhen-tao. Static analysis of the single tower

cable-stayed bridge of Youshui Third Bridge[J]. China Harbour Engineering, 2020, 40(3): 39-42.

- [10] GB 18306—2015, 中国地震动参数区划图[S].  
GB 18306—2015, Seismic ground motion parameters zonation map of China[S].
- [11] JTG B02—2013, 公路工程抗震规范[S].  
JTG B02—2013, Specification of seismic design for highway engineering[S].
- [12] 邓小伟. 基于两水平设防的连续梁桥抗震性能分析[J]. 石家庄铁道大学学报: 自然科学版, 2012, 25(4): 39-42.  
DENG Xiao-wei. Seismic performance analysis of continuous girder bridge based on two-level design approach [J]. Journal of Shijia-zhuang Tiedao University: Natural Science Edition, 2012, 25(4): 39-42.
- [13] 刘昊苏, 董军, 杨响. 不同设计参数下矮塔斜拉桥的抗震动力学分析[J]. 工程力学, 2013, 30(S1): 137-141.  
LIU Hao-su, DONG Jun, YANG Yun. Seismic response for an extradosed cable-stayed curved bridge with different design parameters[J]. Engineering Mechanics, 2013, 30(S1): 137-141.