



# 耙吸挖泥船挖掘多杂物珊瑚胶结砂施工工艺

弓宝江，齐仲凯

(中交(天津)疏浚工程有限公司, 天津 300450)

**摘要:** 耙吸船是疏浚工程中应用最广泛的船型之一, 适合开挖淤泥、黏土甚至碎石等土质。坦桑尼亚某港口的土质主要是珊瑚胶结砂, 其标贯击数达 50 击, 挖掘易成块; 且表层存在大量轮胎、渔网及船锚等杂物, 堵塞耙头严重。耙吸船在施工过程中需要解决杂物及珊瑚胶结砂成块堵耙的问题, 两者堵耙工况完全不同, 无法单一处理。通过现场多方面技术参数分析, 采取制作专用清杂工具、耙吸船设备改造以及施工工艺改进等措施, 达到提升耙吸船施工效率的目的, 可为耙吸船疏浚多杂物、易成块土质提供参考。

**关键词:** 耙吸船; 杂物; 珊瑚胶结砂; 工艺

中图分类号: U615

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)06-0229-05

## Construction technology of dredging coral reefs with many debris by trailing suction hopper dredger

GONG Baojiang, QI Zhongkai

(Tianjin International Marine Engineering Co., Ltd., Tianjin 300450, China)

**Abstract:** Trailing suction hopper dredger (TSHD) is one of the most widely used ship types in dredging projects, which is suitable for excavation of soil such as mud, clay and even gravel. The soil quality of a port in Tanzania is mainly coral glue sand, its standard penetration number is up to 50 strikes, and it is easy to block, and the blocking head is serious. There are a large number of tires, fishing nets, and anchors on the surface, blocking the rake head seriously. In the process of construction, it is necessary to solve the problem that debris and coral cement sand block up the rake, the working conditions of the two are completely different, and can not be dealt with alone. Based on the analysis of various technical parameters on site, this paper takes measures such as making special cleaning tools, transforming TSHD equipment and improving construction technology to achieve the purpose of improving the construction efficiency of TSHD. It can provide a reference for dredging multi-debris and easy to block soil using TSHD.

**Keywords:** trailing suction hopper dredger; debris; coral reefs; technology

### 1 工程概况

坦桑尼亚达累斯萨拉姆港航道疏浚项目是坦桑尼亚国内最大的疏浚项目, 单体疏浚工程量约 1 000 万 m<sup>3</sup>。该港口位于坦桑尼亚东部沿海的达累斯萨拉姆湾内, 是坦桑尼亚最大的海港, 也是东非著名港口之一。该项目是达累斯萨拉姆港升

级扩建的重要组成部分, 也是我国“一带一路”在东部非洲的重要落脚点之一。

项目进港航道施工土质为珊瑚胶结砂, 由珊瑚碎块以及粉砂经多年沉积形成, 标贯击数大于 50 击, 密实度大、硬度高。由于内航道多年未进行维护性疏浚, 表层 1~2 m 内存在轮胎、渔网、

收稿日期: 2023-10-02

作者简介: 弓宝江 (1984—), 男, 高级工程师, 从事港口工程管理工作。

铁板等大量杂物。因此，耙吸船施工期间存在杂物堵耙、珊瑚胶结砂块堵耙、开挖效率低等问题。

进港航道主要土质为珊瑚胶结砂，施工破碎后易成块，堵耙严重，平均 15 min 堵耙，而内航道大量杂物平均 20 min 堵耙，两区域堵耙工况完全不同，解决珊瑚胶结砂堵耙问题常规措施是加大格栅孔径，而解决杂物堵耙问题常规措施是加密格栅孔径，如何确定合理的两区域施工方法尤为重要。

## 2 工艺研究内容

### 2.1 阶梯式耙网器制作

由于施工区存在大量的轮胎、渔网等杂物，需要制作一种清杂装置对施工区提前清理。特制做阶梯式耙网器。

1) 阶梯式原理。结合普通清杂装置<sup>[1]</sup>的优点，提出阶梯式板钩形式。如图 1 所示，耙网器由 3 排板钩组成，第 1 排(施工期间艏向端)探出横梁 200 mm，第 2 排探出横梁 250 mm，第 3 排探出横梁 300 mm。

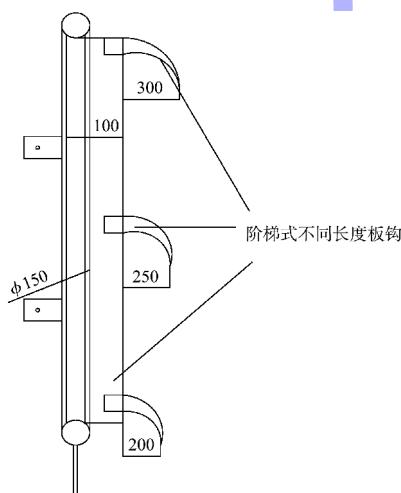
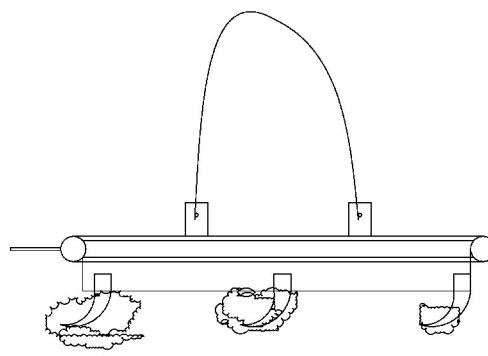
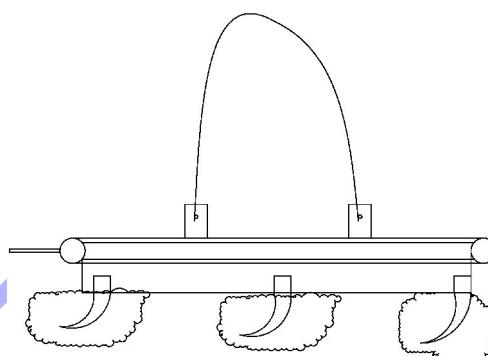


图 1 阶梯式板钩耙网器结构 (单位: mm)

传统耙网器的多排钩长度均等，施工期间前排杂物聚集后导致后排钩无法发挥作用。阶梯式板钩后排的钩长大于前排，在前排杂物聚集后将继续钩挂杂物，不会受到前排杂物多的影响而失去作用，从而提升耙网效果 20%~30% (图 2)。



a) 传统等钩长耙网器



b) 阶梯式耙网器

图 2 两种耙网器钩挂杂物状态

2) 板钩原理。传统耙网器的挂钩一般采用粗钢筋等铁质材料制作，其优点是造价低、维护方便；缺点是强度差、施工期间易损坏。板钩使用厚 20 mm 钢板，经气割形成挂钩形状，钩前段稍向上钩起，可以方便钩挂住杂物(图 3)。板钩的优点是强度高、使用时间长、维护成本低；缺点是造价稍高。

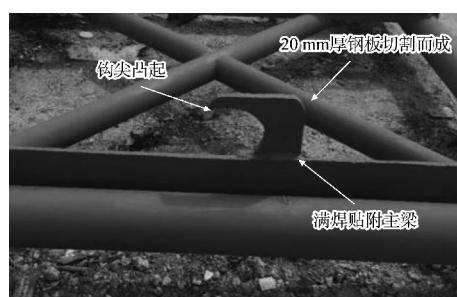


图 3 板钩结构

根据杂物分布情况，通过均匀布线的方式对整个施工区进行 3~5 遍清理，基本能够清除表层 80% 以上的杂物，通过耙网器清理出来的杂物由专门的船只收集处理。完成前期清杂施工后，在工程后期可将耙网器改造成耙平器，用于工程后续扫浅施工。

## 2.2 船舶设备改进

### 2.2.1 耙头下加焊趾板破土

传统耙头下加焊立板的高度和角度均相同, 经常出现挖硬土期间耙头无法入土的现象。如图4所示, 趾板长短不一且有趾尖, 在耙头下方加焊3条高40 cm、2条高20 cm的趾板, 耙头质量30 t, 克服了传统耙头下立板过多造成耙头无法入土的缺点。针对施工区域土质硬的特性, 施工时首先依靠耙头的自重力作用将3条带尖角的高趾板压入土, 进行第1次破碎, 并为短趾板进行第2道破碎创造条件。



图4 趾板安装

### 2.2.2 更换叶轮

施工过程中, 耙吸船破碎珊瑚礁产生大量的20~40 cm块体, 原泥泵叶轮为五叶泵, 流道在22 cm左右, 而格栅的孔径为20 cm, 导致珊瑚胶结砂块体经常堵耙。为此, 将五叶泵叶轮拆除更换为三叶泵叶轮, 流道增加至40 cm, 同时将原200 mm格栅换成380 mm格栅, 大大减少了堵耙现象的发生<sup>[2-3]</sup>, 见图5。



a) 五叶泵



b) 三叶泵

图5 两种叶轮流道测量

### 2.2.3 耙头改进

1) 格栅改进。由于施工区的复杂性, 进港航道以珊瑚礁块体为主要堵耙物质, 而内航道区域则是以轮胎、钢轨、木桩、渔网等杂物为主要堵耙物质。更换泥泵后, 耙头格栅的孔径随即由原来的220 mm扩大到380 mm<sup>[4]</sup>, 可以有效减少破碎珊瑚礁的堵耙概率, 但在施工区转换至内航道施工时, 大量杂物通过格栅进入泥泵, 频繁堵泵, 造成掏泵时间大幅增加, 影响施工。

为了避免内航道杂物对泥泵的影响, 又兼顾进港航道挖掘珊瑚礁堵耙的情况, 制作了可拆卸格栅(图6), 由紧张器及钢丝绳、卡环固定在耙头格栅外侧。在施工进港航道珊瑚礁区域时, 将其拆卸以增大格栅孔径, 有利于开挖块石; 在施工内航道期间, 为避免杂物进泥泵造成停工, 将该格栅组装, 从而加密格栅孔径, 减少堵泵。



a) 施工杂物



b) 可拆卸格栅

图 6 内航道施工加装可拆卸格栅

2) 耙头吸口留石板。在吸口外侧下端处加装留石板，在珊瑚礁堵耙后，将耙管提到水面位置后脱泵，此时大量石块自格栅脱落，可被留石板挡在耙头吸口处(图 7)，从而将每次堵耙的大量石块掏出，留在船舶处理，避免同一石块反复堵耙。经过一段时间施工，施工区内的石块被清理干净，提高船舶施工效率。



a) 加装前



b) 加装后

图 7 加装留石板前后耙头留石块对比

### 2.3 抓斗船联合耙吸船施工

结砂珊瑚胶的标贯击数大于 50 击，密实度大、整体性好，局部区域采用硬盖耙吸船反复开挖均无效果。使用抓斗船(60 t 斗)对硬盖区域进行集中破碎，可破坏硬盖的整体性(图 8)，再通过一段时间的海水浸泡，硬盖区域整体性大大降低<sup>[5]</sup>。经统计，经抓斗船破坏整体性后，硬盖区域的平均密度由  $1.04 \text{ t/m}^3$  提升至  $1.08 \text{ t/m}^3$ 。

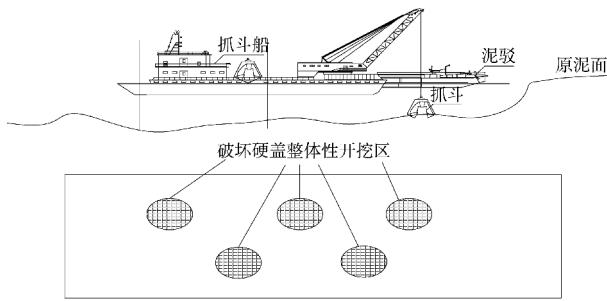


图 8 抓斗船破坏硬盖区域

### 2.4 工艺操作要点

#### 2.4.1 耙网器制作

1) 耙网器的主骨架结构可选用厚  $8\sim10 \text{ mm}$ 、直径  $200 \text{ mm}$  的钢管。施工期间会遇到硬质障碍物，钢管的壁厚需满足要求，以保证耙网器的强度。

2) A 字架吊装耙网器的滑轮质量需为耙网器的 2 倍。耙网器起升出水后将携带大量杂物，需保证滑轮和 A 字架的稳定。

3) 耙网器配套拖轮需根据耙网器质量确定， $5 \text{ t}$  耙网器可使用  $1000\sim1500 \text{ kW}$  拖轮， $10 \text{ t}$  以上耙网器需  $3000 \text{ kW}$  左右拖轮。拖拽缆的直径根据耙网器质量确定，在  $28 \text{ mm}$  左右。起升钢丝缆的直径也需根据耙网器质量确定，本次采用  $18 \text{ mm}$  钢丝缆。

#### 2.4.2 施工设备改造以及工艺改进

耙头趾板需焊立在耙头本体下侧、耐磨块前端，高  $40 \text{ cm}$  左右、数量 5 块为宜。在水下施工期间，耙头刀板首先入土进行切削，其材质应为锰钢板或者硬度更高的钢板，以保证破碎强度。三块高趾板端部切削呈尖形。

留石板制作需使用高  $10\sim15 \text{ cm}$ 、厚  $2 \text{ cm}$  的钢板，留石板间距根据堵耙石块设定， $30\sim40 \text{ cm}$  为宜，且端头应留有  $50 \text{ cm}$  的空档(图 9)，方便大石块取出。



图9 留石板端头预留出石口

#### 2.4.3 抓斗船联合耙吸船施工

施工区土质的标贯击数为 50 击及以上, 存在范围不均的硬质区域, 耙吸船施工期间需要对硬盖区域进行鉴别和记录。在耙吸船进行维护保养的航修期间, 采用抓斗船进行破坏硬盖整体性施工。抓斗船的斗质量为 65 t, 挖掘能力大于耙吸船, 待驳时进行翻土联合施工, 一方面减少抓斗的闲置, 一方面为耙吸船恢复施工提供便利。

通过耙吸船的施工参数在施工背景图中标绘硬质区域, 包括中心点坐标、里程、深度、直径范围等。抓斗船开挖深度需根据耙吸船提供的参数确定, 现场珊瑚胶结砂土质在 -13.5 m 以下, 取抓斗船开挖深度为 -13.5 m。

### 3 结语

1) 制作阶梯式板钩耙网器进行清杂施工, 在耙

(上接第 203 页)

#### 参考文献:

- [1] 中共中央国务院. 国家综合立体交通网规划纲要 [R/OL]. (2021-02-24) [2023-04-10]. [http://www.gov.cn/zhengce/2021-02/24/content\\_5588654.htm](http://www.gov.cn/zhengce/2021-02/24/content_5588654.htm).
- [2] 中国水运报. 交通智库之声 | 加快数字化建设让内河航道更“智慧” [R/OL]. (2023-03-19) [2023-04-10]. <http://www.zgsyb.com/news.html?aid=647949>.
- [3] 梁华, 杜静波, 王大成. 《智慧港口等级评价指南集装箱码头》(T/CPHA 9—2022)团体标准解读 [J]. 港口科技, 2022(3): 2-5, 15.
- [4] 朱利, 李涛. 《绿色港口等级评价指南》(JTS/T105-4—2020)解析 [J]. 交通节能与环保, 2022, 18(3): 11-12, 37.

吸船施工前完成表层清杂施工, 清理效果显著, 可减少表层 70%~80% 杂物, 减少耙吸船杂物堵耙影响。

2) 施工过程中, 通过耙头加装高低趾板、更换大流道叶轮、改进可拆卸格栅及留石板等, 基本解决了进港航道以及内航道两区域工况不同导致的堵泵等施工难题。

3) 使用抓斗船联合耙吸船施工, 船舶优势互补, 利用抓斗船破坏硬盖区域整体性, 浸泡后珊瑚胶结砂的整体性变差, 可提高耙吸船挖掘密度约 10%。

#### 参考文献:

- [1] 中交天津航道局有限公司. 疏浚技术 [M]. 天津: 中交天津航道局有限公司, 1997.
- [2] 吴永彬, 冯晨, 李金峰, 等. 多石底质下耙吸船小流道泥泵的性能调整 [J]. 水运工程, 2019(2): 22-27.
- [3] 弓宝江, 吴永彬, 赵丽娜. 耙吸船挖掘夹杂块石土质施工工艺研究 [C]//中国交通建设股份有限公司. 中国交通建设股份有限公司 2017 年技术交流会论文集. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2017: 361-366.
- [4] 赵丽娜, 李军, 郑选斌, 等. 耙吸船各类防石格栅在多石区域的应用 [J]. 水运工程, 2017(6): 191-196.
- [5] 李金峰, 吴永彬, 啜景信, 等. 俄罗斯布朗克工程多种船型在扫浅施工中的联合应用 [C]//中国交通建设股份有限公司. 中国交通建设股份有限公司 2016 年技术交流会论文集. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2016: 125-131.

(本文编辑 王传瑜)

- [5] 徐秀梅, 桑凌志, 李怡, 等. 长江航道现代化指标体系研究 [J]. 水运工程, 2016(1): 15-20, 42.
- [6] 胡仲达. 内河航道现代化水平测度及评价研究 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2020.
- [7] 张娇凤, 周云鹏. 航道养护管理现代化及其评价指标体系 [J]. 水运管理, 2022, 44(2): 17-19.
- [8] 交通运输部. 交通运输部关于推动交通运输领域新型基础设施建设的指导意见 [R/OL]. (2020-08-03) [2023-04-15]. [http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-08/06/content\\_5532842.htm](http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-08/06/content_5532842.htm).
- [9] 房新楠, 秦尧, 李建彬, 等. 智能船舶分级分类方法 [J]. 船舶设计通讯, 2020(2): 1-6.

(本文编辑 赵娟)