



# 大型耙吸式挖泥船在浅水区疏浚工艺的应用

魏汉辉<sup>1</sup>, 翟玉刚<sup>2</sup>, 黎汉庭<sup>2</sup>

(1. 中交湾区(广东)投资发展有限公司, 广东 广州 510290; 2. 中交广州航道局有限公司, 广东 广州 510221)

**摘要:** 针对大型耙吸式挖泥船大面积浅水区施工的问题, 基于船舶的施工特性及项目工况条件, 探讨在水深不满足船舶设计最小吃水的环境中, 利用抽舱旁通与打开前泥门装舱的方法结合疏浚集成控制系统形成的浅水区疏浚工艺进行疏浚作业的可行性。依托非洲东部某港池疏浚工程项目实践, 说明浅水区疏浚工艺可以优化船舶吃水, 提高大型耙吸式挖泥船大面积浅水条件下的疏浚能力。

**关键词:** 大型耙吸式挖泥船; 船舶吃水; 疏浚集成控制系统; 浅水区疏浚

中图分类号: U 616+.21

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)02-0195-04

## Dredging method of large trailing suction hopper dredger in shallow water

WEI Han-hui<sup>1</sup>, ZHAI Yu-gang<sup>2</sup>, LI Han-ting<sup>2</sup>

(1. CCCC Bay Area (Guangdong) Investment Development Co., Ltd., Guangzhou 510290, China;

2. CCCC Guangzhou Dredging Co., Ltd., Guangzhou 510221, China)

**Abstract:** Dredging in shallow water area has been a challenge for large trailing suction hopper dredger (TSHD). Based on project conditions, this article explores the feasibility of dredging operation in shallow water where the water depth does not meet the designed minimum draught of the ship by pumping, bypassing, and opening the front mud door for loading in combination with a dredging integrated control system. Based on the case study of a dredging project in a port basin in eastern Africa, it is proved that this new dredging method can optimize the draught and improve dredging ability in the shallow water of large TSHD.

**Keywords:** large trailing suction hopper dredger; draft; dredging control system; dredging in shallow water

超浅水域疏浚工程中, 在无条件使用绞吸船将疏浚物吹填上岸的情况下, 通常采用抓斗船组搭配中小型耙吸船组合进行疏浚施工。但是在国外, 相关船舶设备资源缺乏, 且船舶调遣成本高。受耙吸船边坡浅区施工相关研究的启发<sup>[1]</sup>, 本文介绍在船舶设备选择受限的情况下, 仅投入一艘大型耙吸式挖泥船, 并通过工艺创新, 减小船舶吃水, 提高其在浅水施工的适应性, 实现浅水深条件施工。

## 1 大型耙吸式挖泥船的特性及常规施工方法

### 1.1 大型耙吸式挖泥船的特性

耙吸式挖泥船技术参数主要有舱容、装机功率、航速、挖深等, 其最显著的特点是在挖泥作

业中各道工序包括自航、自挖、自载和自卸等都由挖泥船单独完成; 大型耙吸式挖泥船舱容在9 000 m<sup>3</sup>以上, 装载土方量大, 挖泥效率高。

耙吸式挖泥船在挖泥作业中处于船舶航行状态, 随着疏浚物装舱, 船舶的吃水将随装舱量快速增加, 为保证施工航行安全, 通常疏浚区的水深应大于耙吸式挖泥船的吃水, 所以在大面积的浅水区施工, 耙吸式挖泥船施工受到的影响较大。

### 1.2 常规疏浚施工方法

自航耙吸式挖泥船的常规疏浚施工方法<sup>[2]</sup>有2种: 装舱施工法和旁通施工法。

1) 装舱施工法是在挖泥船驶入指定的开挖段内, 将耙臂管放到水下设定位置后启动泵机, 并

将耙头下放至泥面，吸入耙管内的清水和低浓度泥浆排出舷外，待泥浆浓度达到正常水平再打开进舱闸阀装舱；当泥舱装满后通过继续泵吸使上层低浓度泥浆通过溢流筒溢出，增加疏浚物装载量。根据疏浚土质等条件控制溢流的时间，以尽可能使装舱效果最佳，然后停泵起耙，把疏浚物抛卸至抛泥区。

2)旁通施工法一般在 2 种情况下采用：①水流流速较大时，可将旁通的泥沙带至挖槽外，且疏浚增深的效果明显大于旁通泥沙对挖槽的回淤时；②在施工区水深较浅、不满足挖泥船装舱的吃水要求时，可先用旁通法施工，待挖到满足挖泥船装载吃水的水深后，再进行装舱施工。旁通施工方式可以较迅速地增加水深。

## 2 疏浚区工况特点

以东非某新建离岸式码头港池疏浚项目为例，该疏浚项目设计底高程-15.1 m，具有疏浚深度大（最大疏浚深度约 13 m）、港池疏浚量大、工期紧、存在大面积浅水区的特点。疏浚区域东侧、南侧均为陆地，西侧为通航禁区，北侧为现有航道，疏浚区域长约 2 000 m，平均宽度 630 m，疏

浚面积约 120 万 m<sup>2</sup>。

### 2.1 土质条件

根据钻孔资料及土质分析报告可知：按照港池设计水深 15.1 m 的要求，码头港池及泊位疏浚范围内，疏浚区的土质主要为粉质黏土，标贯击数基本上为 0~5 击；港池疏浚区域南侧靠近岸边，存在密实度较高的粉质黏土混砂，标贯击数超 10 击。由土质分析报告的资料判断，港池设计水深范围内的疏浚物基本无硬土层，表层淤泥以下以粉质黏土为主，靠近岸边土质稍有变化，但对于大型耙吸式挖泥船而言疏浚难度不大。

### 2.2 水文及风浪条件

#### 2.2.1 水深条件

本工程疏浚区域水深较小，耙吸式挖泥船疏浚区域原始水深为 -21.7~-2.5 m 不等，水深集中在 2.5~6.5 m，其中水深小于 4.5 m 的区域占疏浚总面积的 48%，水深在 4.5~6.5 m 之间的区域占疏浚总面积的 34%，即水深小于 1 万 m<sup>3</sup> 耙吸式挖泥船空载吃水的区域占疏浚总面积的 82%，大于 6.5 m 的区域仅占疏浚总面积的 18%。

根据资料，当地为不规则半日潮<sup>[3]</sup>，疏浚区水位情况见表 1。

表 1 疏浚区水位情况

最高天文潮 (HAT)	平均大潮高潮面 (MHWS)	平均小潮高潮面 (MHWN)	平均海平面 (MSL)	平均小潮低潮面 (MLWN)	平均大潮低潮面 (MLWS)	最低天文潮 (LAT)
4.10	3.50	2.40	1.86	1.30	0.30	-0.10

#### 2.2.2 风浪条件及水流速度

施工区域距开阔海域约 8 km，掩护条件好，基本不受外海风浪影响。

码头入口处潮汐流的最大速度为 0.78 m/s，方向为 132°；计划新建码头正面处的潮流最大速度为 0.84 m/s，方向为 65° 和 250°。

综合分析以上条件认为，若采用传统的施工方式，须投入 1 个抓斗船组+2~3 艘中型耙吸式挖泥船才可能按期完成任务，设备成本高，且因疏浚区面积较小，相互干扰大，效率低。若能投入一艘大型耙吸式挖泥船完成港池疏浚，则可减少设备投入，节省船舶调遣成本，因此项目确定投

入大型耙吸式挖泥船进行施工的方案。

## 3 大型耙吸式挖泥船浅水疏浚工艺研究

### 3.1 施工方法

本疏浚工程项目投入一条舱容超过 1 万 m<sup>3</sup> 的大型耙吸式挖泥船，在存油存水约 50% 且泥舱未装载疏浚物的条件下，船尾吃水约 6.35 m；在存油存水低且泥舱未装载疏浚物的条件下，船尾吃水约 6.00 m。

为了解决大面积超浅水深施工船舶吃水深度大的难题，对大型耙吸式挖泥船的施工方法进行优化创新，提出 2 种浅区疏浚的施工方法及对应

的船舶。结合船舶操作总结出针对浅水疏浚作业的施工工艺。

1) 抽舱旁通施工。抽空船舶泥舱残留混合物,最大程度地降低船舶空载吃水,疏浚土经过泥泵吸入后不进舱而是直接排出舷外,并将浅层泥沙扩散至挖槽以外的较深水域,施工过程中船舶吃水保持不变,高潮期间船舶可进入相对更浅的水深区域施工。根据实测结果,耙吸船抽舱后可减少约0.5 m的船舶吃水,使得船舶能进入更浅的区域作业,但使用该方法须充分考虑泥泵效率的降低,适应疏浚土相对松散的区域。该方法主要在大潮日水深特别小的区域采用,利用大潮日的高潮时段集中进行超浅水深区域工作面拓宽。

2) 打开前泥门装舱施工。本项目投入的大型耙吸式挖泥船的泥门结构为锥形<sup>[4]</sup>,在船尾吃水大于船首吃水的情况下,小幅度(10%)打开距离船首最近的一组泥门,选择后进舱单元装舱施工,减缓船尾吃水的增加速度,疏浚土经泥泵进入尾部泥舱沉淀装舱后,液态的淤泥水混合物将从最前组泥门排出,塑态和固态的疏浚土沉淀在泥舱中。该方法主要在疏浚区域水深达到4.5 m以上采用,在潮水较小的情况下仍可以采用。

施工过程中船舶在采用以上2种浅水区施工方法的基础上,通过调整船头压载水舱的压载水储量,优先清空靠船尾的油舱的方式来调整船舶配重,减小艉倾角度,从而达到进一步减少船舶吃水的目的。

### 3.2 疏浚船舶走线控制

针对大面积的浅区疏浚施工工艺,除了采用以上方法控制船舶吃水,另一个重要的方面是在疏浚集成控制系统和DPDT(动力定位和动态航迹)的协助下制定严谨的船舶走线规则。根据疏浚区的水深图和船舶每趟次疏浚所处的潮位高度确定施工方法、船舶疏浚走线及挖泥时长。

在浅区施工过程中,利用耙吸式挖泥船疏浚制造的挖槽形成高度差造成疏浚土自然塌落,同时利用大型耙吸式挖泥船先进的疏浚集成控制系统和DPDT系统沿着最小安全施工水深等深线疏

浚施工,根据潮水及船舶航行方向,利用耙臂伸出舷外的距离(3~4 m)将耙头下放在相对较浅的水深区域进行疏浚施工。航行过程中密切观察风、流压造成的船舶运动矢线与船舶航向的夹角,避免造成压耙、搁浅等事故。

通过以上浅水区施工工艺的运用,大型耙吸式挖泥船可以在测量水深7 m以上的区域全天候进行疏浚施工;结合潮位利用,采用打开前泥门装舱施工时,船舶可以实现在水深4.5 m以上的水域疏浚作业;采用抽舱旁通施工时,船舶可以在最浅2.5 m的水域实现疏浚作业。利用每个月大潮及表层淤泥被扰动后的塌方和流动效果,大型耙吸式挖泥船在港池疏浚范围水深最浅的区域也可以实现疏浚作业。

## 4 工艺的运用与效果

工艺的运用须结合疏浚区域原始水深的分布情况、疏浚土质、潮流潮汐的演变特征、耙吸式挖泥船吃水等条件进行分析。本工程根据疏浚区水深分布情况和潮汐演变特征,结合浅区施工工艺进行浅水疏浚施工区域划分。潮位大于3 m时,在水深-4.5~-2.5 m区域采用旁通施工;潮位介于2.0~3.0 m之间时,在水深-6.5~-4.5 m区域采用打开前泥门装舱施工;潮位介于1.0~2.0 m之间时,在水深-8.5~-6.5 m区域采用装舱溢流施工;潮位<1 m时,施工-8.5 m以下水深区域。施工仍以常规装舱施工为主,浅区施工工艺辅助开拓工作面,保证施工效率。

随着工程从北往南推进,水深逐渐变小,适合常规装舱施工的范围剩余工程量不足,即浅水区工作面拓宽进度无法满足船舶连续施工的要求。为了加快拓宽工作面,船舶采用抽舱旁通施工法在每月大潮进行2 d的集中工作面拓宽,实际可向南拓宽约100 m,使该区域具备打开前泥门装舱施工的条件,保证船舶连续施工。

通过基于抽舱旁通和打开前泥门装舱施工法形成的浅水区施工工艺,大型耙吸式挖泥船克服了本项目大面积浅水施工的难题,在完成工程产

量计划的同时，在施工 10 个月后，港池疏浚区完成了全部浅水区的拓展，为工程的顺利完成提供保证，如图 1 所示。

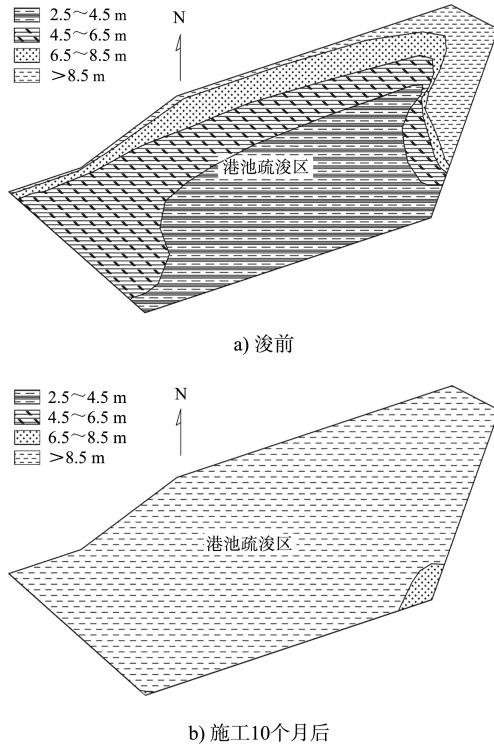


图 1 施工前后水深对比

## 5 结论

1) 大型耙吸式挖泥船浅水疏浚工艺是针对项目疏浚区水深较浅、大型耙吸式挖泥船吃水较大的情况，通过对疏浚区域原始水深的分布情况、疏浚土

(上接第 187 页)

4) 建议针对基于 GIS 空间分析的施工质量评价，制定相应的规范标准，更好发挥 GIS 技术与多波束测深技术的优势。

## 参考文献：

- [1] 陶亦寿, 谭界雄, 董建军, 等. 中国地方工程施工丛书 3: 抛石法 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006: 3-6.
- [2] 管刚强. 水下抛石护岸施工质量控制 [J]. 中国新技术新产品, 2012(23): 66.
- [3] 李家彪. 多波束勘测原理技术与方法 [M]. 北京: 海洋出版社, 1999: 6.
- [4] 李明益. GIS 技术在长江扬中河段护岸抛石效果分析中的应用 [J]. 水运工程, 2016(6): 7-11.

质、潮流潮汐的演变特征、船舶吃水等进行综合分析，利用大型耙吸式挖泥船先进的疏浚集成控制系统和 DPDT 系统，通过准确地控制船位、船速、航向和航迹，结合抽舱旁通和打开前泥门装舱施工法的运用，总结得出的一套疏浚工艺。

2) 在疏浚土质为较疏松的粉质黏土的情况下，利用浅水疏浚工艺可以有效地减小大型耙吸式挖泥船的疏浚吃水，提高船舶面对大面积浅水疏浚的施工能力。

3) 本文是对耙吸式挖泥船大面积浅区施工工艺的探讨，对工效影响或船舶安全保障等的研究尚不足。通过研究中外疏浚工程领域相关资料，可以进一步评估该浅水疏浚工艺的适用范围及对生产效率的影响，以期更好地为工程实践服务。

## 参考文献：

- [1] 刘文盘. 耙吸挖泥船黄骅港边坡浅区施工工艺探究 [J]. 中国水运 ( 下半月 ), 2012, 12( 12 ): 165-166, 168.
- [2] 程志东. 浅谈耙吸挖泥船施工工艺 [J]. 中国水运 ( 下半月 ), 2012, 12( 7 ): 142-143.
- [3] National Ocean Service. Tides and water levels [EB/OL]. ( 2017-08-13 ) [ 2017-10-05 ]. [https://oceanservice.noaa.gov/education/tutorial\\_tides/media/supp\\_tide07b.html](https://oceanservice.noaa.gov/education/tutorial_tides/media/supp_tide07b.html).
- [4] 戴菁, 刘厚恕. 耙吸挖泥船泥舱泥门设置 [J]. 船舶, 2008(2): 35-38, 54. ( 本文编辑 郭雪珍 )
- [5] 黄杏元, 马劲松. 地理信息系统概论 [M]. 3 版. 北京: 高等教育出版社, 2008: 4.
- [6] 汤国安, 杨昕. ArcGIS 地理信息系统空间分析实验教程 [M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [7] 杨存建, 张增祥. 矢量数据在多尺度栅格化中的精度损失模型探讨 [J]. 地理研究, 2001, 20( 4 ): 416-422.
- [8] 江苏省水利工程质量监督中心站. 水利工程施工质量检验与评定规范: DB32/T 2334.2—2013[S]. 南京: 江苏人民出版社, 2013.
- [9] 韩文霆, 姚小敏, 朱冰钦, 等. 变量喷洒喷头组合喷灌试验 [J]. 农业机械学报, 2013, 44( 7 ): 121-126, 112. ( 本文编辑 武亚庆 )