



加装砂斗装置绞吸船吹填砂质土施工技术

王 朋¹, 吴 剑¹, 赵 健¹, 郑选斌²

(1. 中交天航南方交通建设有限公司, 广东 深圳 518000;

2. 天津市疏浚工程技术企业重点实验室, 天津 300457)

摘要: 为适应香港某吹填工程严格的环保要求, 创新改造普通绞吸船, 并提出一种加装砂斗装置的绞吸船吹填施工工艺。针对改造后船舶施工效率较低、吹填砂易外漏、砂斗易堵口等问题, 基于型号公称产量 2 000~3 000 m³/h 的加装砂斗装置绞吸船, 采用试验类比和现场数据采集论证的方法, 提出效率控制要点、环境保护措施以及格栅改造思路, 同时分析得出船舶施工不同砂质情况下的最优工况。结果表明: 施工机制砂平均效率可达 800 m³/h 以上、施工海砂平均效率可达 1 500 m³/h 以上, 同时降本环保。

关键词: 加装砂斗; 绞吸船; 环保; 效率

中图分类号: U 655.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)01-0224-05

Construction technology of filling sandy soil by cutter suction dredger with sand bucket device

WANG Peng¹, WU Jian¹, ZHAO Jian¹, ZHENG Xuan-bin²

(1. CCCC TDC Southern Communication Co., Ltd., Shenzhen 518000, China;

2. Tianjin Key Laboratory for Dredging Engineering Enterprises, Tianjin 300457, China)

Abstract: To meet the strict environmental requirements of a reclamation project in Hongkong, we transformed the common cutter suction dredger and put forward a construction technology of filling sandy soil by cutter suction dredger with sand bucket device. Given the problems such as low construction efficiency, sand filling leakage and sand bucket plugging, and based on cutter suction dredger with sand bucket device with nominal capacity 2, 000~3, 000 m³/h, we have adopted the methods of experiment analogy and field data collection and demonstration, and have put forward key points of efficiency control, environmental protection measures and the idea of grid reconstruction. We have figured out the optimal working conditions of the dredger under different sand conditions. The results show that the average efficiency of mechanical sand can reach more than 800 m³/h, and the average efficiency of sea sand can reach more than 1, 500 m³/h. At the same time, the cost is reduced and the environment is protected.

Keywords: with sand bucket device; cutter suction dredger; environmental protection; efficiency

吹填造地主要靠挖泥船完成^[1], 行业中以耙吸船和绞吸船为主。绞吸船利用绞刀挖掘水下土料, 利用泥泵、管线输送到陆地, 完成吹填过程^[2-3]。为适应工程的多样性、满足工程需要常对绞吸船进行适应性改造。受限于国家环保要求及资源开采控制, 使用海外砂源或者机制砂通过皮带船

运输到工程所在地成为新型填海造地供料方式。

2018 年 4 月, 改造“海洋英豪”(公称产量 2 300 m³/h)、“大地英豪”(公称产量 2 300 m³/h)、“天狮”(公称产量 3 000 m³/h)等 3 艘中、大型绞吸船^[4], 用于香港某项目吹填施工。主要改造内容为绞吸船绞刀系统, 将绞刀系统改为砂斗系统,

收稿日期: 2021-03-23

作者简介: 王朋(1981—), 男, 工程师, 从事港口航道与海岸工程施工技术管理工作。

在桥架水下泵前端连接特殊设计的砂斗装置, 完成收集砂并实现砂水混合的功能, 本项目吹填材料为机制砂+海砂, 吹距约(标岸)800~2 500 m, 采用了新设备、新工艺、新吹填料。

1 改造简介

加装砂斗装置绞吸船改造主要将绞吸船原来的绞刀及其驱动系统卸掉, 在桥架水下泵前端连接经特殊设计的砂斗装置, 完成收集砂并实现砂

水混合的功能。砂斗下端布置吸砂管及带调节阀的引水管, 在砂斗的内部设置高压冲水装置, 3 艘船舶均按统一结构尺寸改造, 作业时砂斗需要沉入水面下 6 m, 保持砂斗内始终有充足的水, 并在砂斗上部设置应急补水口, 此时水下泵全部没入水中。桥梁和门架间按此时桥梁下放角度需要的长度配置钢丝绳连接原船安全拉杆, 直接连接门架和桥架, 原船桥架吊点位置在桥架前端, 新设计砂斗装置参考原来位置重新布置和配备滑轮组(图 1)。

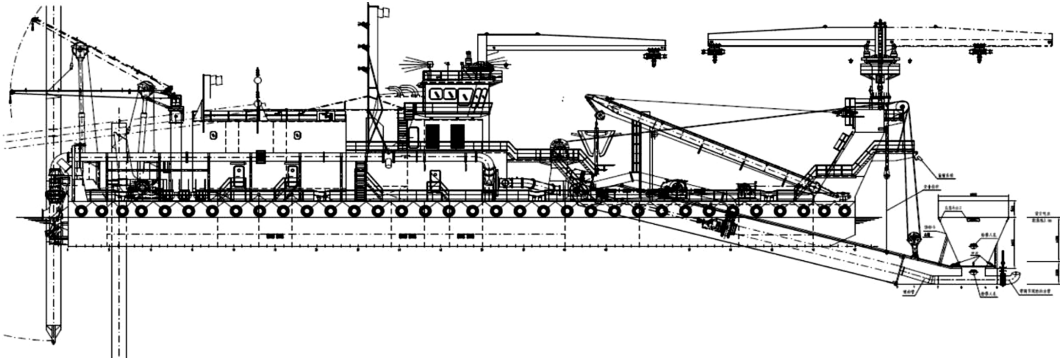


图 1 改造示意

砂斗顶部尺寸为 6 m×6 m, 底部下砂口尺寸为 1.4 m×2.0 m。施工期间靠调节皮带船供砂速度控制吹填浓度, 砂斗不是常满状态, 而是随时来料随时吸走(图 2)。

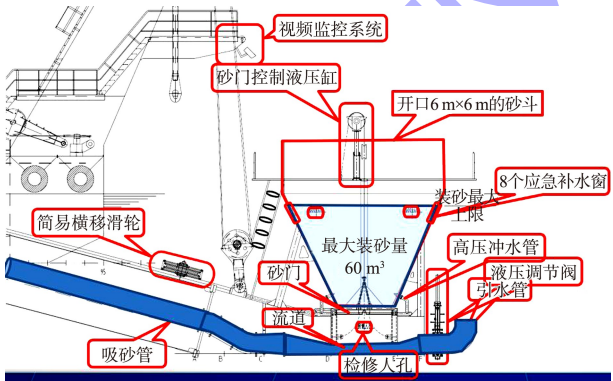


图 2 砂斗结构

2 施工工艺

2.1 施工流程

加装砂斗装置后的绞吸船施工方式较原绞吸船有较大差别, 由自挖掘疏浚土改为皮带船提供疏浚砂土。施工工艺流程(图 3)主要为: 1) 绞吸船下锚驻位, 船位保持固定; 2) 供砂船航行至绞吸船附近后, 抛背锚、微进车, 逐步靠近砂斗、对准砂斗; 3) 吹泥船吹水后供砂船开始供砂;

4) 供砂完毕, 供砂船退出, 吹泥船吹水停车, 等待下一艘供砂船就位。其中供砂船为有皮带卸砂装置的运砂船, 主要为皮带船。

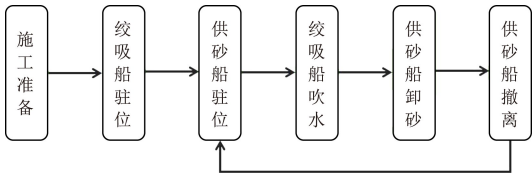


图 3 施工简易流程

2.2 工艺优化

吹填施工效率主要通过输送浓度和流速控制, 改造后船舶的整体工艺和操作方式与原来的绞吸船有较大的差别(图 4)。

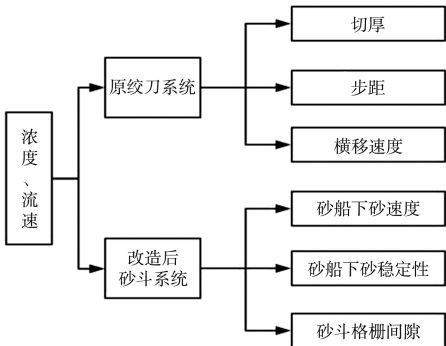


图 4 改造前后船舶操作对比

2.3 吹填砂料

吹填砂料分为机制砂和海砂，机制砂 $D_{50} \leq$

8 mm，海砂 $D_{50} \leq 1\text{ mm}$ ，其中机制砂典型级配曲线见图 5。

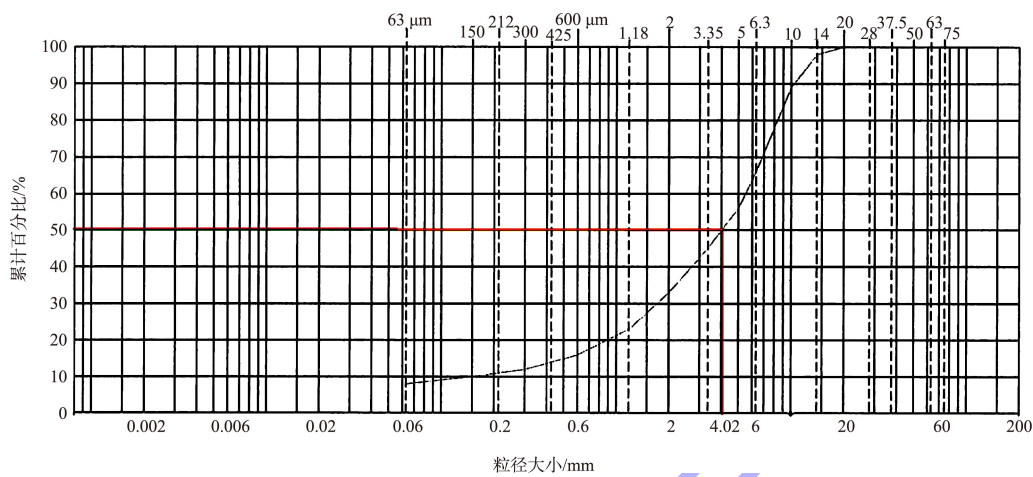


图 5 机制砂典型级配曲线

3 施工关键技术

3.1 施工效率控制

3.1.1 施工操作和配合

在吹砂施工作业过程中，指挥员指挥供砂船或过砂驳下砂作业的开始、结束、暂停及速度变化。实际操作过程中，从指令下达到行为实施有 5~10 s 的延迟时间，因此要求指挥员具有前瞻性、经验性，且熟悉绞吸船砂斗、泥泵及管线等设备情况，及时做出判断，保障施工流畅及效率。

3.1.2 流速、浓度控制

在管线较短时，船舶改用小叶轮及管线增设消能装置的方法，控制清水最大流速不超过 6.2 m/s，避免泥泵超负荷运转；通过控制砂船下砂速率，控制泥浆流速不低于 3.8 m/s，避免出现砂料堵管情况。施工过程中流速和浓度成反比关系，流速越低则浓度及施工效率越高，通过流速控制可以在保障船机设备安全运行的情况下充分发挥设备性能，达到高效施工。

3.1.3 供砂控制

砂船供砂速度的快慢和供砂量的大小对加装砂斗装置绞吸船施工效率影响极大，供砂速度过快(供砂量大)会导致主船砂斗内砂料堆积、真空增大、不能及时吸入、发生堵口现象，供砂速度过慢(供砂量小)会使施工效率过低。

供砂速度主要靠砂船皮带机的速度控制，供砂

量主要靠舱底砂门开启数量控制。常规砂船皮带宽 1.3 m、长 200 m、供砂速度 500~2 200 m³/h，分 4 档控制皮带速度；舱底砂门 15 个，由液压顶杆控制砂门的开关，砂门开启越多供砂量越大。

施工开始时，皮带机开 1 档，砂门开启 3 个，可到达 500 m³/h；2 min 后，运转平稳，皮带机开 2 档，砂门开启 5 个，此时供砂速度最大可达到 1 000 m³/h；根据流速、真空、排压数据，再逐步加到 3 档，供砂速度最大可达到 1 500 m³/h；对于海砂施工可提高到 4 档，可达到最大 2 200 m³/h 以上的供砂速度。

3.2 环境保护装置

为满足有效利用能源、减少环境污染、防止突发环境事件、确保生命安全的要求，通过在加装砂斗装置绞吸船砂斗上方加装环保帷布及供砂船下砂口加装导砂管两项措施(图 6)，形成相对封闭的卸砂环境，可有效防止砂料掉落至砂斗外，防止海洋水体污染。



图 6 加装环保帷幕及导管

3.3 效率改造

加装砂斗装置后的绞吸船的施工效率受格栅间距影响较大。格栅间距过大, 砂水得不到充分混合, 影响施工效率且容易堵塞底部吸入口; 格栅间距过小, 砂料于格栅上层堆积下落缓慢, 导致效率低下。

需要设计一款同时满足施工机制砂、海砂的砂斗格栅, 在原 15 cm 间隙垂直设置的格栅基础上, 采用厚 16 mm、宽 100 mm 的钢条, 选取 4 种范围(5.0 m×4.0 m、4.0 m×3.0 m、3.0 m×2.0 m、2.0 m×1.5 m)、3 种钢条间距(5、10、15 cm)进行两两组合, 试验了 12 种不同组合, 得出以下结果: 1)在相同间距时, 皆为 5.0 m×4.0 m 范围大小效率最高; 2)在 2.0 m×1.5 m 范围时, 钢条间距 5 cm 效率最高; 3)在其他范围时, 钢条间距 10 cm效率最高。

综合 3 项结果进行组合, 最终确定的格栅(图 7)为: 在原 15 cm 间隙格栅基础上, 采用厚16 mm、宽 100 mm 的钢条于中心处加 1 层 2.0 m×1.5 m 的网格, 钢条间距 5 cm; 再于中心处加 1 层扩大至 5.0 m×4.0 m 的网格, 钢条间距 10 cm。对该格栅进行试验, 结果表明整体试验平均效率最高。

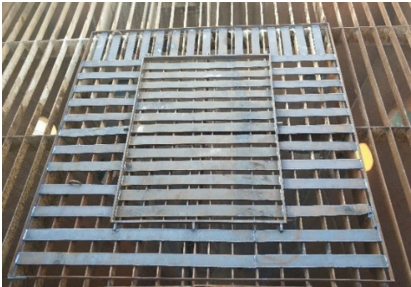


图 7 改造后格栅

4 最优工况确定

通过提取、分析船舶辅助决策系统保存的施工数据, 结合管线距离等参数的研究, 在管径不变、不同排距的工况下确定施工船舶的最优施工参数^[5]。因施工现场部分供砂船舶性能不佳, 卸载砂料过慢及现场条件制约导致效率低下, 最终以部分数据剔除后的平均高生产率为确定指标。

4.1 海砂最优工况

吹填海砂最优参数: 排距 2 km 以内、水下泵转速 410~415 r/min、甲板泵转速 409~413 r/min、水下泵真空 33~39 kPa、水下泵排压 317~341 kPa、甲板泵排压 701~762 kPa、流速 4.0 m/s、设备负荷 93%~97%、排距 1 400~1 500 m 时, 生产率平均效率 1 500 m³/h, 最高可达 2 200 m³/h(图 8)。

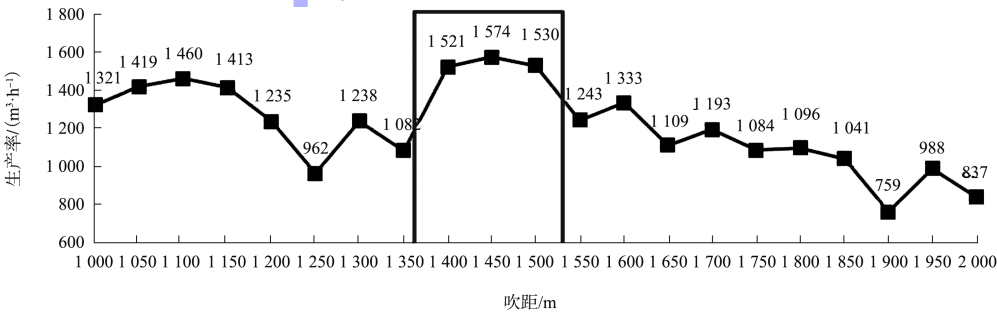


图 8 海砂不同吹距下平均高生产率

4.2 机制砂最优工况

吹填机制砂最优参数: 排距 1.2 km 以内、水下泵转速 410~420 r/min、甲板泵转速, 405~415 r/min、水下泵真空 34~41 kPa、水下泵排压

335~396 kPa、甲板泵排压 711~798 kPa、流速 4.0 m/s、设备负荷 93%~97%、排距 1 350~1 500 m时, 生产平均效率 800 m³/h, 最高可达 1 300 m³/h(图 9)。

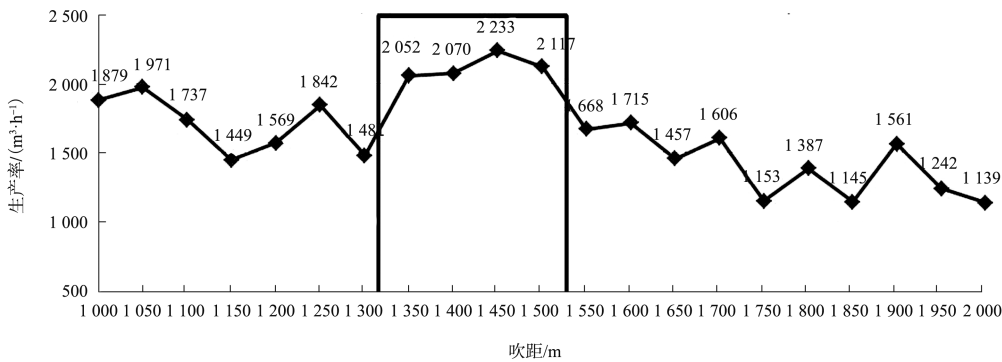


图 9 机制砂不同吹距下平均高生产率

5 结论

1) 加装砂斗装置绞吸船在继承原绞吸船济性好、工程成本较低、泵距远等优点的基础上，满足了异地供砂回填施工的要求，同时为疏浚船舶在不同工况下的多样化改造提供借鉴。此外，加装砂斗装置绞吸船充分考虑施工环保性，通过加装导砂管及环保帷幕，大大减少了对海洋水体的污染。

2) 加装砂斗装置绞吸船适用于能够提供砂料卸载至砂斗的供砂设备的工况，供砂船应配备可控制供砂速度和砂量的装置。适用土质为砂土类（海砂、机制砂），其中机制砂中值粒径 $\leq 8\text{ mm}$ 、含泥量 $\leq 20\%$ ，施工机制砂平均效率可达 $800\text{ m}^3/\text{h}$

以上，海砂平均效率可达 $1\,500\text{ m}^3/\text{h}$ 以上。

参考文献：

[1] 冯耀青, 韦冬. 超大型自航绞吸船的经济性分析及发展趋势[J]. 天津航海, 2013(3): 41-43.

[2] 罗鹏达. 吹砂技术在填海造地工程中的应用[J]. 水利建设与管理, 2018, 38(8): 22-25.

[3] 汪锋. 浅谈港口疏浚吹填施工技术[J]. 珠江水运, 2019(15): 58-59.

[4] 王力威, 陈刘明, 张润喜, 等. 绞吸式挖泥船加装砂水混合装置改装与应用[J]. 水运工程, 2020(S1): 77-80.

[5] 李竹. 新海鳄轮在曹妃甸三港池施工效率的分析[J]. 水运工程, 2014(3): 173-176.

(本文编辑 武亚庆)

(上接第 208 页)

4 结论

1) 在进行单耙齿切削时，水下切削相较于无水切削，耙齿水平切削力会增大 1.1 到 1.2 倍；在进行不同切削速度切削时，耙齿水平切削力会增大约 1.1 倍；单耙齿的水平切削力随着切削角度和切削深度的增加而增加。

2) 在进行三耙齿切削时，耙齿的水平切削力会因为相邻刀齿间的相互作用比单耙齿切削力有所减小。在进行高压冲水切削时，开启高压冲水后，耙齿切削力明显减小，单耙齿的水平切削力是原来的 77% 左右。

3) 影响耙头等挖泥机具切削力的主要参数包括刀具的宽度、切削深度、切削角度、切削速度以及土质参数等，根据密实粉土水下切削试验建

立了耙齿切削阻力经验公式。

参考文献：

[1] WISMER R D, LUTH H J. Performance of plane soil cutting blades in clay[J]. Transactions of the ASAE, 1972, 15(2): 211-216.

[2] 暨智勇. 盾构掘进机切刀切削软岩和土壤受力模型研究及实验验证[D]. 长沙: 中南大学, 2009.

[3] 刘功勋, 洪国军, 张晴波, 等. 疏浚饱和密实粉土剪胀特性及其对耙齿切削阻力的影响[J]. 水运工程, 2017(3): 16-21, 57.

[4] 李章超, 张更生, 肖博. 单耙齿切削黏土机理试验研究[J]. 水运工程, 2020(S1): 85-90.

[5] 张更生, 徐继涛, 尹崧宇. 疏浚吹填粉土固化室内试验[J]. 水运工程, 2018(9): 54-58.

(本文编辑 武亚庆)