



“新海马”轮高效泥泵性能及应用效果分析

石启正, 马海峰, 郑金龙, 朱时茂

(中港疏浚有限公司, 上海 200136)

摘要: 针对“新海马”轮实际施工中存在效率偏低、适应性较差等问题, 比选同类型船舶泥泵性能参数, 优化泥泵叶轮设计。采用叶轮直径更小、转速更高的泥泵方案, 其具有叶墙宽度大、球形通道截面为宽口等特点, 并对泥泵的工程应用效果进行分析。结果表明, 高效泥泵可拓展船舶的适用性, 在提高挖泥及艏吹效率的同时降低船舶能耗, 为耙吸式挖泥船泥泵选型提供参考。

关键词: 高效泥泵; 曲线叶轮; 节能; 经济效益

中图分类号: U 615. 35; U 616

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)11-0208-04

Analysis of performance and application effect of high efficiency dredge pump for “Xinhaima” ship

SHI Qi-zheng, MA Hai-feng, ZHENG Jin-long, ZHU Shi-mao

(CHEC Dredging Co., Ltd., Shanghai 200136, China)

Abstract: In view of the problems of low efficiency and poor adaptability in the actual construction of “Xinhaima” ship, we compare and select the performance parameters of dredge pumps of the same ship type, optimize the impeller design of dredge pump, apply the dredge pump scheme of smaller impeller diameter and higher rotation speed with the characteristics of wide blade wall width, wide spherical area and etc, and analyze the engineering application effect of dredge pump. The results show that the high efficiency dredge pump can expand the applicability of the ship, improve the efficiency of dredging and bow blowing, and reduce the energy consumption of the ship, which can provide the references for the dredge pump selection of trailing suction hopper dredger.

Keywords: high efficiency dredge pump; curved impeller; energy conservation; economic benefit

“新海马”轮原设计定位为长江口疏浚工程兼顾国内外沿海类似工程条件的航道疏浚、沿海港口维护工程, 但受当时的技术限制, 该轮在长江口的疏浚施工效率尚可, 但在挖掘密实中细沙、粗沙及珊瑚沙等土质时适应性比较差, 主要表现为施工效率偏低, 在挖掘珊瑚沙黏性块状土时, 与同类型船舶相比, 存在装舱密度低、施工效率差的问题。通过对参与同一工程的船舶施工效率统计分析, “新海马”轮的施工效率为 $565 \text{ m}^3/\text{h}$,

仅为“新海龙”轮的 32%, 为“万顷沙”轮的 69%。

为了使“新海马”轮能长期保持高效疏浚, 本文对其泥泵叶轮进行优化设计, 使用曲线叶轮, 并将高效泥泵与之前泥泵的性能进行对比。高效泥泵拓展该轮的适用性, 满足挖掘密实中细沙、粗沙、珊瑚礁沙等各种土质的需要, 在提高耙吸挖泥船挖掘效率的同时节约燃油能耗, 可为耙吸挖泥船改造提供借鉴。

1 国内同类型船舶选用泥泵的情况

通过对“万顷沙”“浚海 5”等同类型船舶的泥泵相关参数比对分析, 结合“新海马”轮泥泵

输入功率及转速条件, 确定选用方案, 泥泵对比分析见表 1。

表 1 泥泵对比分析评价

泥泵型号	挖泥工况					吹填工况					选择顺序
	流量/ (万 $m^3 \cdot h^{-1}$)	扬程/ m	转速/ ($r \cdot min^{-1}$)	效率/ %	功率/ kW	流量/ (万 $m^3 \cdot h^{-1}$)	扬程/ m	转速/ ($r \cdot min^{-1}$)	效率/ %	功率/ kW	
HRMD-222-47-110-4B-Curve (标准叶轮直径为 2.22 m)	1.60	20.7	183	88	1 139	1.35	50	262	82	2 526	4
HRMD-222-47-110-4B-Curve (选用加大叶轮直径为 2.32 m)	1.60	23.6	175	88	1 169	1.35	56	250	81	2 551	3
HRMD-182-38-90-4B-Curve	1.60	23.0	246	87	1 152	1.35	56	336	87	2 378	1
HRMD-202-43-110-4B-Curve	1.60	23.0	209	88	1 140	1.60	56	294	84	2 438	2

2 高效泥泵与原泥泵性能对比

2.1 高效泥泵与原泥泵性能参数对比

为拓展泥泵适应性, “新海马”轮选择高效曲线叶轮泥泵方案, 泥泵型号为 HRMD-182-38-90-4B-Curve, 其高效曲线叶轮泥泵与原泥泵性能参数对比见表 2。

“新海马”轮原泥泵是叶轮外径大、叶墙宽度窄、转速低、球形通道截面为窄口的设计理念,

而目前泥泵普遍采用叶轮外径小、叶墙宽度宽、转速高、球形通道截面为宽口的设计理念, 两种不同的泥泵性能参数对比见表 3。

表 2 泥泵改造前后挖泥、吹岸工况参数对比

工况	阶段	泥泵轴功率/kW	转速/($r \cdot min^{-1}$)
挖泥工况	泥泵改造前	1 558	175
	泥泵改造后	1 152	246
吹填工况	泥泵改造前	3 215	250
	泥泵改造后	2 378	336

表 3 高效泥泵与原泥泵性能参数对比

泥泵型号	吸口直径/mm	排出口直径/mm	叶轮直径/mm	叶轮宽度/mm	球形通道二叶片间最小间距/mm
IHC HRMD182-38-90-4B-Curve	900	800	1 816	385	351
强大 ZB200-1000	1 000	900	2 450	375	220

主机(额定转速为 600 r/min)通过泥泵齿轮箱驱动泥泵, 泥泵的停止和运转通过泥泵齿轮箱高、低速离合器的方式实现, 泥泵齿轮箱内对应两套

啮合齿轮, 新、旧泥泵两种不同驱动方式减速比参数见表 4。

表 4 齿轮箱减速比对比

齿轮箱	转速/($r \cdot min^{-1}$)		减速比	
	输入轴	输出轴	输入转速与低转速之比	输入转速与高转速之比
原齿轮箱	600	175(低转速), 250(高转速)	3.430	2.400
新齿轮箱	600	246(低转速), 336(高转速)	2.439	1.786

2.2 泥泵清水测试性能对比分析

“新海马”轮泥泵改造前后清水测试性能曲线见图 1。

“新海马”轮泥泵改造前后清水测试性能曲线具有以下特点: 1)由图 1a)可以看出, 高效区流量范围基本一致, 改造后的泥泵理论最高效率约

为 88.0%; 在常用施工流量 4.0~5.0 m^3/s 范围, 泥泵改造后清水测试效率比之前泥泵效率提高了约 15%; 2)由图 1b) 可看出, 在转速及功率改变条件下, 基本满足原来挖泥所需的扬程条件; 3)由图 1c) 可以看出, 同流量下所需的轴功率明显小于改造前, 在常用施工流量 4.0~5.0 m^3/s , 改造

后的泥泵轴功率与改造前相比降低了 240~330 kW (按实测功率特性曲线计算), 节能效果显著。

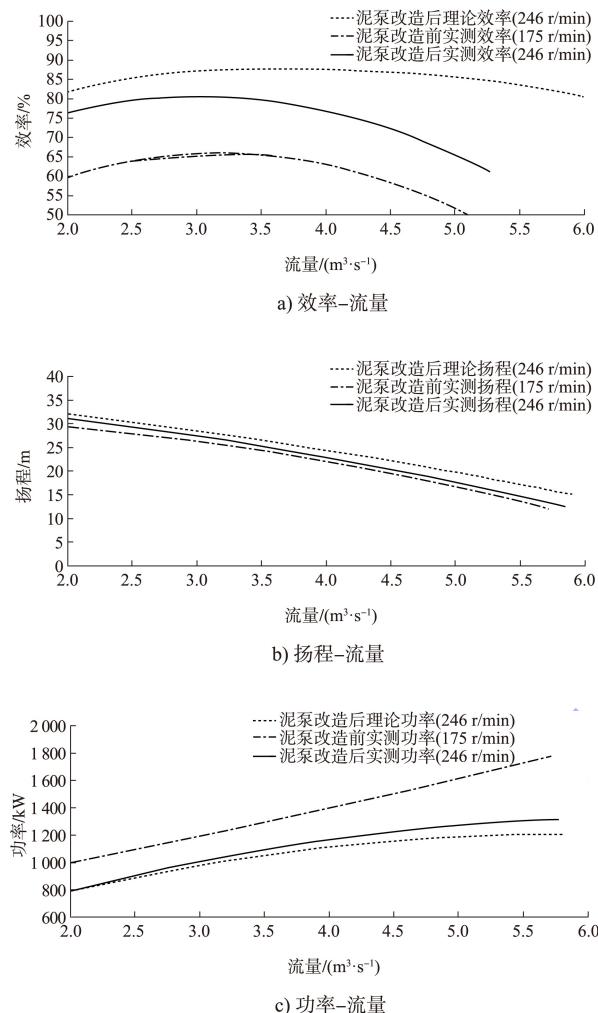


图 1 “新海马”轮泥泵改造前后清水测试性能曲线

2.3 叶轮优化设计

泥泵发生汽蚀, 主要发生在叶轮吸口、排口等压力突变较大的区域, 流体在进入叶轮吸口流道离开叶轮出口时, 在低压作用下发生汽化形成空泡, 在叶轮金属表面遇到高压时发生破裂, 对叶轮表面形成破坏, 这与传统泥泵叶轮叶片进口角度、进口宽度等有关。

在分析传统叶轮发生气蚀时受影响的区域及叶片结构后, 重点对叶轮叶片进口区域的结构形式优化改进, 在保证原有泥泵扬程、效率的情况下, 选择最优组合的叶片参数, 提高必需汽蚀余量, 采用叶片边缘具有一定曲率的新叶轮, 即曲线叶轮, 曲线叶轮与常规叶轮如图 2 所示。经同

一工程验证, 曲线叶轮泥泵比常规叶轮泥泵效率提高 8.6%。

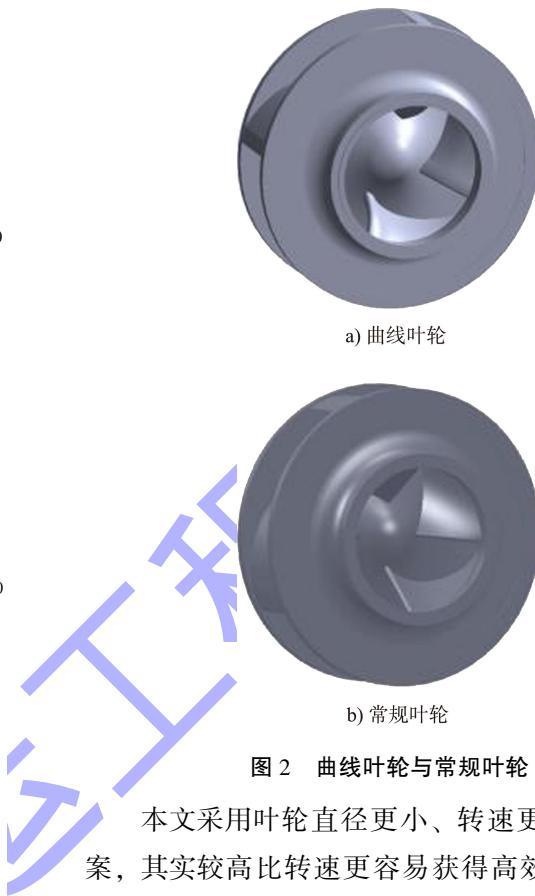


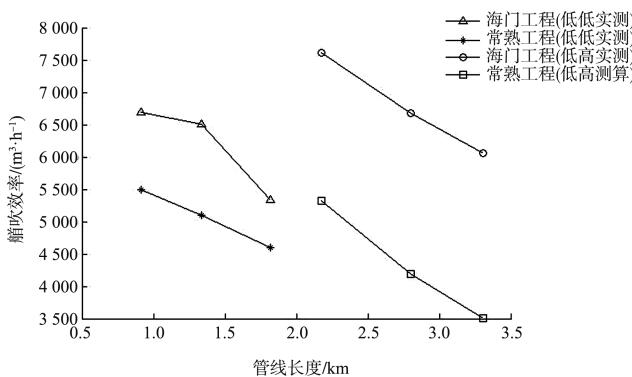
图 2 曲线叶轮与常规叶轮

本文采用叶轮直径更小、转速更高的泥泵方案, 其实较高比转速更容易获得高效率, 但是会降低泥泵的汽蚀性能(相同流量下必需汽蚀余量会变大)^[1-2], 对于耙吸船来说, 汽蚀性能是非常关键的参数, 将直接影响大挖深工况下挖泥浓度, 同时高比转速泥泵的磨损性能一般也会变差, 但是本叶轮制造选择耐磨材料, 从而达到高效挖掘泥沙的目的^[3-4]。

3 工程应用效果分析

3.1 泥泵改造前后的效率对比

“新海马”轮泥泵改造前于 2014 年 3—6 月参与长江南京以下 12.5 m 深水航道建设工程疏浚工程(简称“常熟工程”)的艏吹施工, 泥泵改造后于 2020 年 4—6 月参与海门港新区中天绿色精钢铁产业基地地块整理项目施工二标段 0000-4684 区段(简称“海门工程”)的艏吹施工, 艄吹土质均为细沙, 常熟工程、海门工程土质中值粒径分别为 0.14、0.18 mm, 经过统计相关施工数据, 艄吹效率曲线见图 3。



注: 低低(低高)代表两台泥泵齿轮箱输出轴转速的低、低(低、高)。

图 3 船吹效率曲线

由图 3 可看出, “新海马” 轮在常熟工程船吹施工, 排距在 2 km 以内, 均采用低低模式, 而采用低高模式船吹 2 km 以上排距的相关数据是通过计算软件测算得到。采用低低模式船吹 2 km 以内排距的细沙, 海门工程较常熟工程具有流速低、吹填密度高等特点, 整体船吹效率提高 18% 左右, 而在采用低高模式船吹 2 km 以上排距的细沙, 海门工程比常熟工程中的船吹效率提高更加明显。

3.2 海门工程取沙施工的效率分析

结合“新海马” 轮在 2020 年 5 月 1—8 日在海门工程疏浚取沙的 15 船次施工数据, 土质中值粒径为 0.18 mm, 分析结果见图 4。

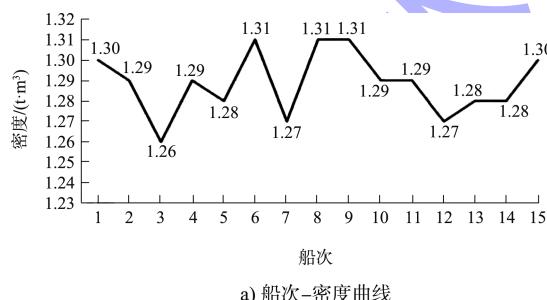


表 5 泥泵改造前日耗燃油质量

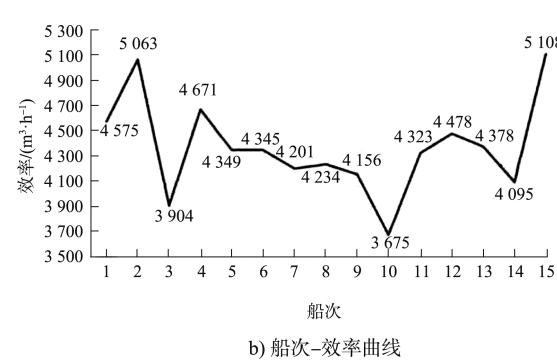


图 4 船舶施工数据

由图 4a) 可知, “新海马” 轮 15 船次疏浚取沙施工, 平均进舱密度为 $1.26 \sim 1.31 t/m^3$, 整体进舱密度较高, 取沙效果较好; 由图 5b) 可知, “新海马” 轮 15 船次的疏浚取沙施工, 施工效率为 $3675 \sim 5108 m^3/h$, 平均施工效率为 $4370 m^3/h$, 保持较高疏浚取沙效率, 说明高效泥泵挖沙效率高, 适用于深海取沙工程^[5]。

3.3 长江口 12.5 m 深水航道施工能耗分析

正常挖泥时流量控制在 $4 m^3/s$, 改造前泥泵理论功率需要 $1400 kW$, 改造后理论泥泵功率仅需要 $1120 kW$, 理论上功率减小 $280 kW$ 。根据 WARTSILA 12V38B 型柴油机说明书上的负荷特性曲线, 平均每小时节约燃油质量约 $65 kg$, 则理论上每台泥泵每天节省燃油质量 $1.56 t$ 。

“新海马” 轮泥泵改造前于 2014-12-08—2014-12-17 在长江口施工(忽略长江口施工时旧泥泵磨损、自然条件等不可控因素影响)与泥泵改造后于 2019-10-25—2019-11-03 在长江口施工的日耗燃油质量对比见表 5。

可以看出, 泥泵改造后同样在长江口施工, “新海马” 轮日耗燃油质量减少 $1.8 t$, 节省燃油的理论值与实际值几乎相等, 经济效益显著。

4 结论

1) “新海马” 轮的高效泥泵具有叶轮外径

小、叶墙宽度宽、转速高, 球形通道截面为宽口的特点, 能够拓展该轮的适用性, 满足挖掘密实中细沙、粗沙、珊瑚礁沙等各种土质的需要。

(下转第 217 页)