

· 疏浚装备 ·



大型绞吸挖泥船性能提升研究

李晓磊^{1,2}, 柴桂军¹, 张润喜^{1,2}, 孟杰^{2,3}, 陈刘明^{1,2}

(1. 中交天津航道局有限公司, 天津 300461;

2. 天津市疏浚工程技术企业重点实验室, 天津 300457; 3. 中交(天津)疏浚工程有限公司, 天津 300451)

摘要: 在中长周期波浪海况条件下, 针对我国早期研制的大型绞吸挖泥船施工适应性差、长排距工程排距受限等难题。本文以“天杉”船为研究对象, 通过理论分析、数值模拟、有限元分析计算、实船验证等方法, 开展了大型绞吸挖泥船定位系统性能提升、输送系统性能提升、船舶动力系统升级研究, 形成了一系列大型绞吸挖泥船性能提升的技术, 并成功应用。为我国早期研制的大型绞吸挖泥船的性能改善提供参考。

关键词: 绞吸挖泥船; 三缆定位系统; 钢桩定位系统; 泥泵

中图分类号: U 615.35+1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)S2-0032-06

Performance improvement of large cutter suction dredger

LI Xiao-lei^{1,2}, CHAI Gui-jun¹, ZHANG Run-xi^{1,2}, MENG Jie^{2,3}, CHEN Liu-ming^{1,2}

(1.CCCC Tianjin Dredging Co., Ltd., Tianjin 300461, China;

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

3.Tianjin International Marine Engineering Co., Ltd., Tianjin 300451, China)

Abstract: Regarding the problems such as poor construction adaptability of the large cutter suction dredgers developed in China under medium and long-term wave sea conditions, and limited row spacing in long row spacing projects. In this study, taking the “Tianshan” ship as a research object, through the theoretical analysis, numerical simulation, finite element analysis and calculation, real ship verification and other methods, we upgrade a series of the performance improvement, including the positioning system, the conveying system, and the power system. The technologies for large cutter suction dredgers, which has been successfully applied. It provides a reference for the performance improvement and transformation of the large cutter suction dredger developed at the early stage in China.

Keywords: cutter suction dredger; the “Christmas tree” system; steel pile positioning system; mud pump

我国“十一五”期间研制了大量绞吸式挖泥船, 这些船舶目前仍然是疏浚市场的主力船舶。然而, 随着技术的进步及疏浚事业的发展, 这些船舶对疏浚工程的适应性逐步降低。一是中长周期波浪海况^[1]条件下的疏浚工程越来越多, 采用钢桩定位系统^[2-4]进行施工作业的适应性差; 二是长排距工程越来越多, 早期的绞吸式挖泥船^[5]适应大流量短排距工程, 对长排距工程适应性差。本文以“天杉”号非自航大型绞吸挖泥船为研究对象, 船总长 113.4 m, 型宽 19.6 m, 型深 6.00 m,

吃水 4.2 m, 配员 27 人, 最小挖深为 6 m, 最大挖深为 28 m, 可挖掘黏土和砂土等, 标准疏浚能力 3 500 m³/h, 船舶总装机功率为 12.612 MW, 船舶配置 1 台 1 800 kW 水下泥泵、2 台 3 310 kW 舱内泥泵, 还配备有钢桩台车、辅钢桩、绞刀、起升绞车、横移绞车、抛锚杆、艏锚机等疏浚专用设备。通过对船舶定位系统、输送系统、配套动力系统的研究, 形成了切实可行的船舶性能提升改造技术方案, 大幅提升了船舶中长周期波浪及长排距疏浚工程的适应性。

收稿日期: 2022-07-11

作者简介: 李晓磊(1983—), 男, 高级工程师, 从事疏浚工程技术研究及疏浚工程船舶研发工作。

1 “天杉”号定位系统的性能提升

“天杉”号原船配置钢桩定位系统, 具有定位精度高、前移横摆灵活的特点, 但对中长周期波浪海况工程适应性较差, 为了提升该性能, 拟在钢桩定位系统的基础上增加三缆定位系统, 该系统由 3 台三缆绞车和三缆柱组成, 3 台绞车收放 3 根锚缆, 以三缆柱为中心固定船舶位置, 三缆定位系统与横移锚系统相互配合, 实现船舶的摆动和向前移动。

1.1 船舶受力分析

利用有限元软件建立船舶静态模型见图 1, 选用 PM 谱(Pierson-Moscowitz)作为波浪谱模型, 对船舶风浪流受力进行分析。经计算, 船舶施工所在海域波浪小于等于周期 5 s 有义波高 1.2 m 时, 船舶原有钢桩定位系统可实现正常施工与移船, 但如果超过这个限值, 钢桩极易产生断裂和损坏。

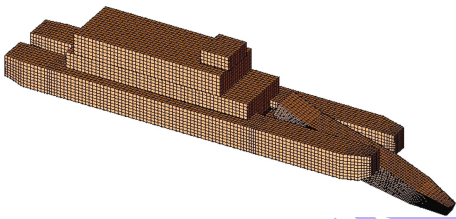


图 1 “天杉”号绞吸挖泥船风浪流计算模型

在船舶风浪流计算模型中引入三缆定位系统, 采用“PM 谱”作为波浪载荷进行加载, 当“天杉”船的摆动角度为 $\pm 30^{\circ}$, 根据设定的风浪流条件分析、计算船舶在周期 8~16 s, 有义波高 1.0~3.0 m 条件下, 船舶在 0° 、 30° 、 60° 、 90° 不同风浪角度下的三缆绞车缆绳的受力情况, 重点考虑 T 为 13~16s 之间的三缆受力, 见表 1。

表 1 不同风浪条件下三缆受力情况

周期/s	风浪角度/($^{\circ}$)	$F_{右}$ /kN	$F_{左}$ /kN	$F_{尾}$ /kN
13	0	1 423.7	1 428.8	2.6
	30	1 334.7	3 030.0	847.2
	60	800.8	4 088.8	1642.9
	90	62.3	4 172.1	2053.6
14	0	1 334.7	1 336.5	1.1
	30	1 201.2	2 691.1	744.5
	60	783.0	3 711.3	1 463.3
	90	57.8	3 756.7	1 848.3
15	0	1 290.2	1 293.3	1.5
	30	1 067.7	2 454.8	693.1
	60	738.5	3 512.7	1 386.2
	90	53.4	3 341.3	1 642.9
16	0	1 245.7	1 249.8	2.0
	30	978.8	2 317.2	667.4
	60	711.8	3 434.6	1 360.6
	90	48.9	3 131.3	1 540.2

从表 1 计算结果可知, 随着风浪角度的增加, 右舷绞车缆绳的受力逐渐减小, 左舷绞车缆绳的受力逐渐增大, 尾绞车缆绳的受力也逐渐增大。随着波浪周期的增大, 各绞车缆绳的受力呈下降趋势。根据船舶在中长周期条件下受力计算, 设定绞车拉力为 600 kN, 容绳量为 600 m。

1.2 三缆系统布置

根据绞车参数选取三缆定位绞车, 根据“天杉”号的实际情况布置三缆定位系统, 见图 2, 三缆定位筒体布置在船尾左舷区域, 绞车布置在船舶起居和船长甲板处, 对新增的三缆绞车底部结构和三缆柱强度进行有限元分析, 最终完成了增加三缆定位系统的设计改造。

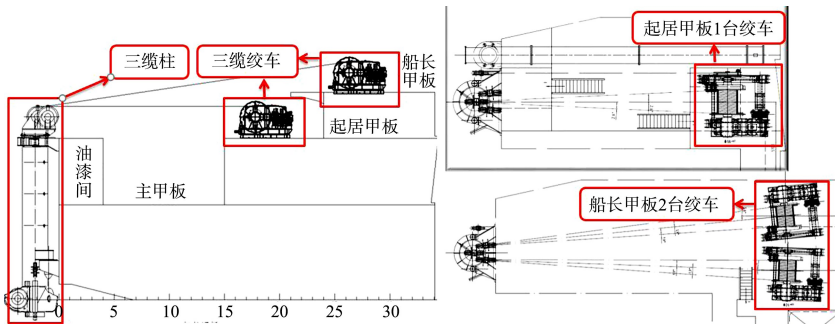


图 2 三缆定位系统布置

2 输送系统的性能提升

疏浚作业区域距离岸线越来越远，造成了疏浚船舶的长距离输送。“天杉”号原船泥泵型号 800 WN，适用于大流量短排距工程，不适应长排距工程，应对“天杉”船的输送系统进行性能提升。

“天杉”船水下泥泵以 1 800 kW 电机驱动，舱内泥泵以 3 310 kW 柴油机驱动，拟在不改变船舶动力配置的基础上更换水下和舱内泥泵。假设输送细砂排距 12 km、产量为 4 000 m³/h，更换的舱内泥泵转速为 312 r/min，吸排管径 800 mm，功率 3 150 kW，扬程 75 m；更换的水下泥泵转速 315 r/min，吸排管径 800 mm，功率 1 710 kW，扬程 39 m。

2.1 泥泵性能分析

为了分析更换后泥泵的性能变化，对新旧水下泥泵和舱内泥泵分别在 100%、90% 和 85% 转速下的流量-扬程、流量-功率、流量-效率曲线进行对比，见图 3~8。

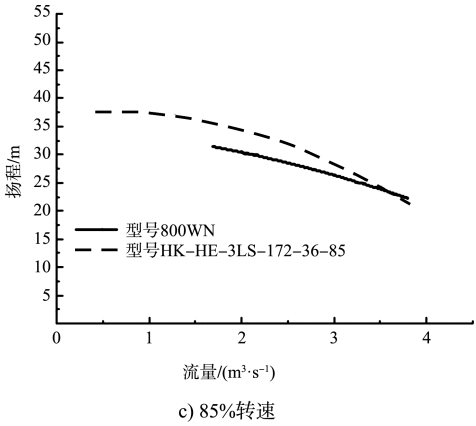
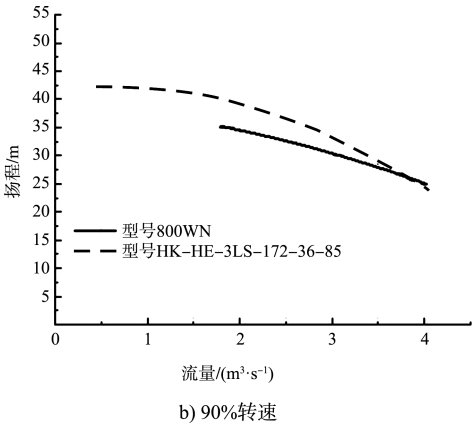
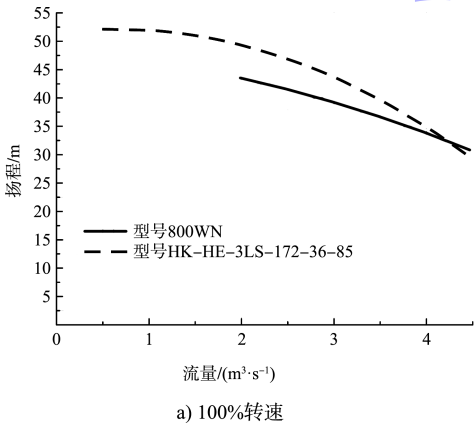


图 3 水下泥泵流量-扬程曲线

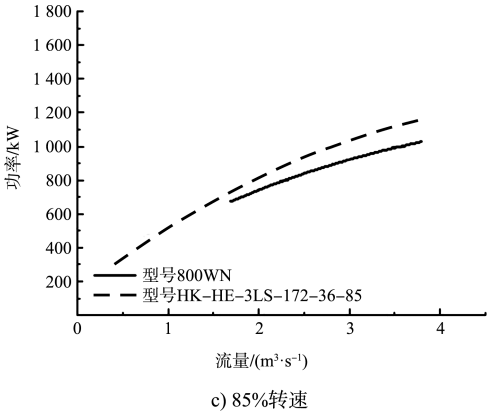
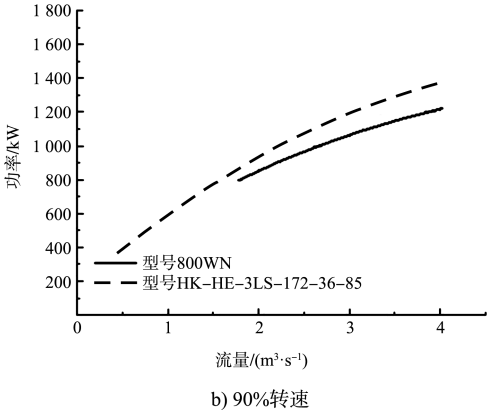
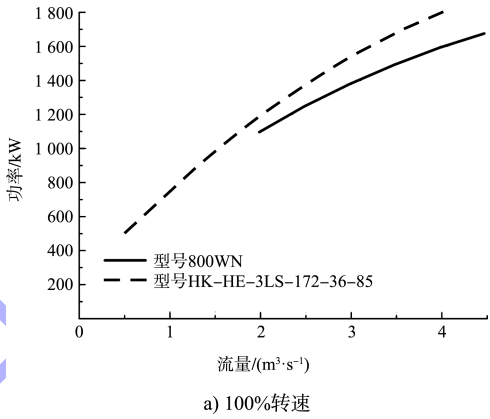
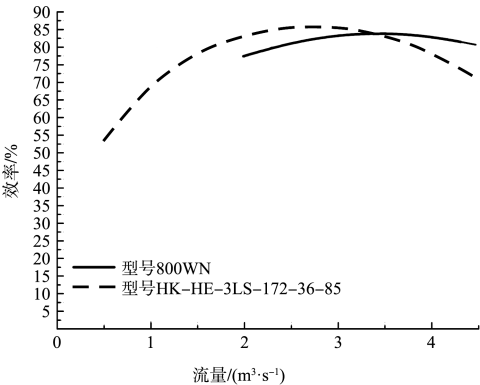
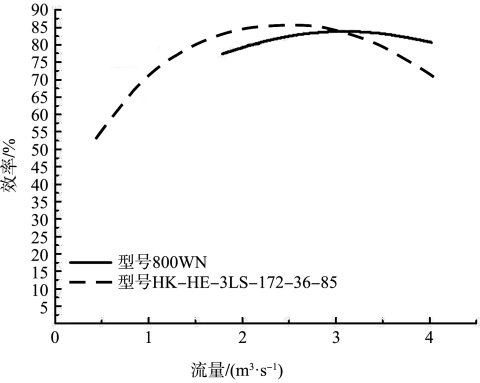


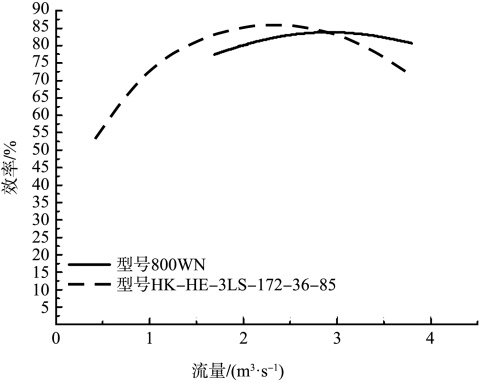
图 4 水下泥泵流量-功率曲线



a) 100%转速

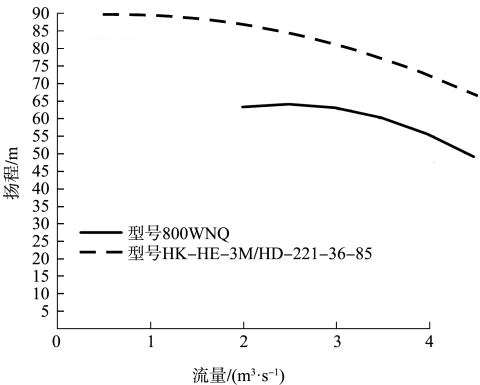


b) 90%转速

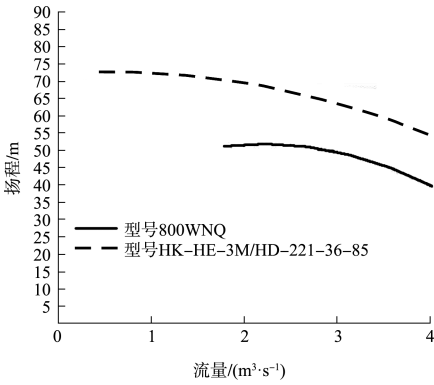


c) 85%转速

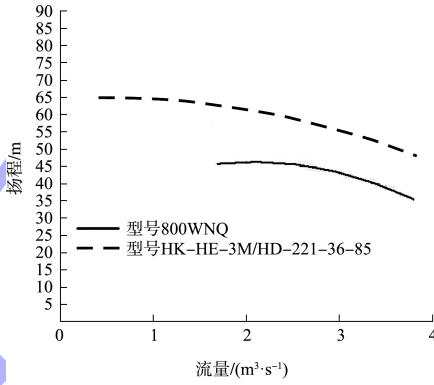
图 5 水下泥泵流量-效率曲线



a) 100%转速

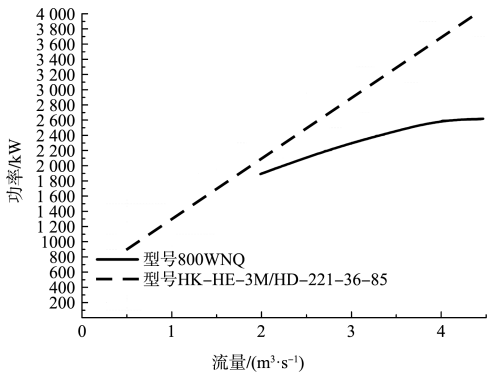


b) 95%转速

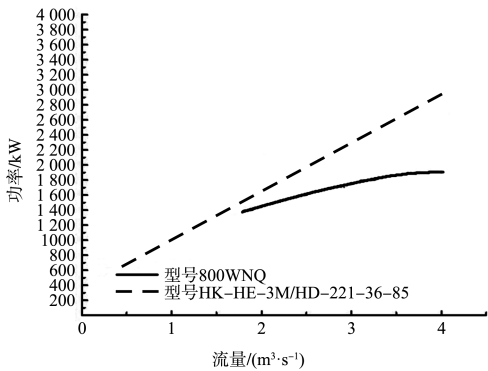


c) 85%转速

图 6 舱内泥泵流量-扬程曲线



a) 100%转速



b) 90%转速

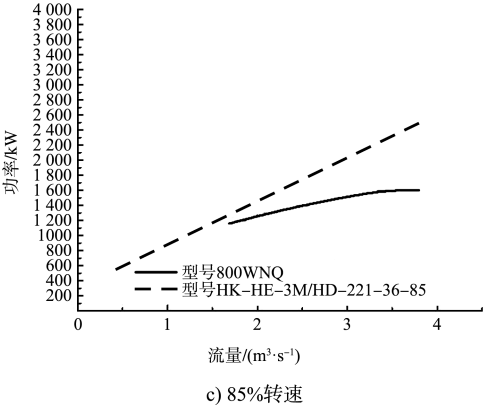


图 7 舱内泥泵流量-功率曲线

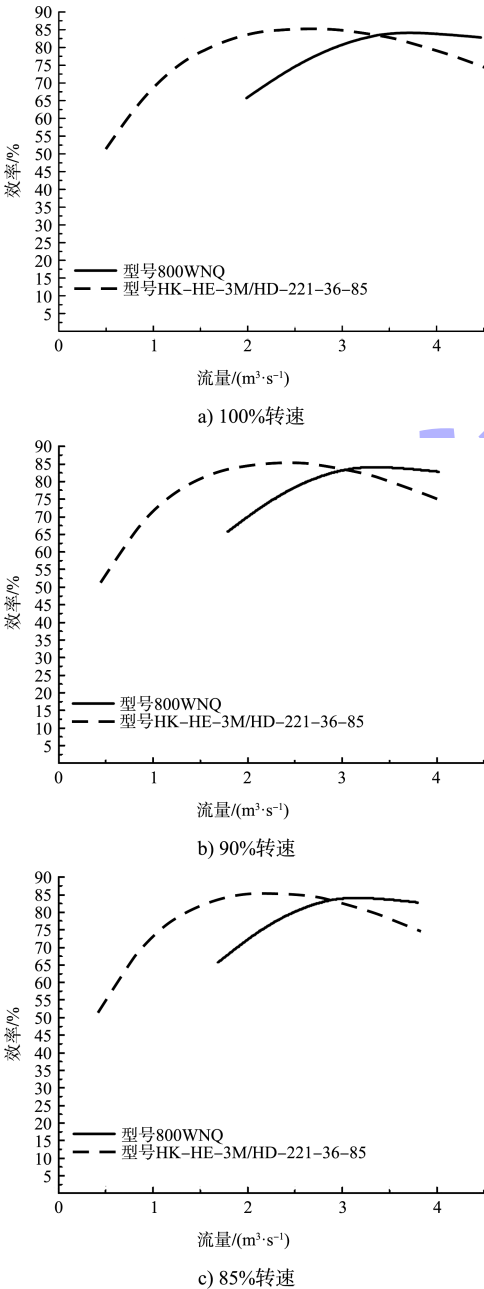


图 8 舱内泥泵流量-效率曲线

从图 3~8 可知，舱内和水下泥泵的扬程均有不同程度的提高，其中舱内泥泵的扬程在常用的施工转速范围内提高了 20% 以上；更换泥泵后的最高效率点均有所提高，特别是泥泵效率最高点均向小流量区域移动，最高效率点均在常用施工流量附近。

2.2 输送系统性能分析

分析了细砂、中砂、粗砂 3 种土质在不同排距下的产量，见图 9。如图 9 所示，原船输送中砂产量 3 500 m³/h、排距 4 000 m，更换新泥泵后船舶输送中砂产量为 3 500 m³/h、排距 4 860 m，船舶排距提高 20% 以上。

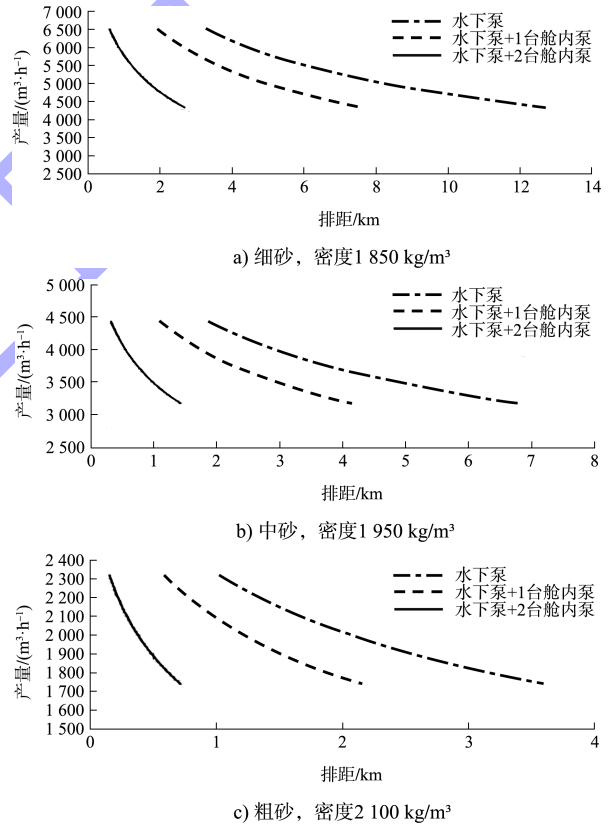


图 9 不同土质的产量-排距曲线

2.3 输送系统的设计

根据新泥泵的封水需求，为每台泥泵配置了 3 台封水泵。通过调整齿轮副改变传动比，满足了新泥泵的驱动要求，重新设计了传动轴。

2.4 实船测试产量分析

泥泵改造完成后，通过实船测试，分别对转速为 100%、90% 和 85% 的泥泵进行流量-产量分析，见图 10。在变转速中认为泥泵按相似定律变

化, 驱动功率按恒扭矩变化, 即可用功率和转速呈正比。

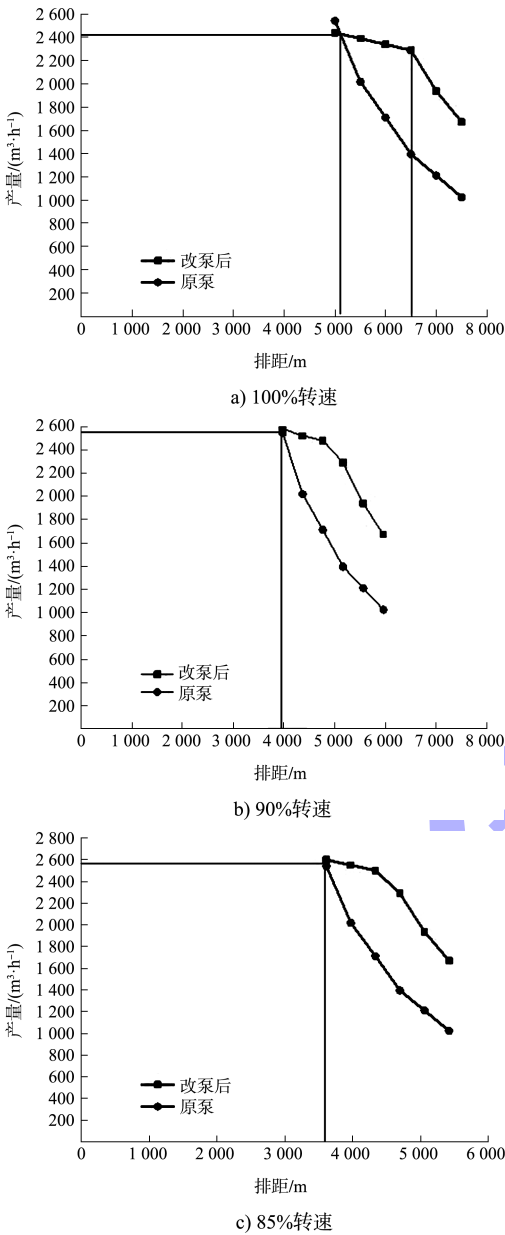


图 10 泥泵改造前后的排距-产量曲线

在常用工况流速 4~5 m/s、对应流量 2.0~2.5 m³/s 的条件下, 新泥泵的泵送效率平均提升 8%, 在相同能耗下产量增加约 8%。船舶更加适应长排距工况, 三泵串联输送中粗砂的排距大于 5 100 m, 改造后的疏浚产量更高。

3 配套动力系统

“天杉”船增加三缆定位系统和更换泥泵后, 根据定位系统及泥泵配套封水的要求, 需要提高

船舶主发电机组容量, 以满足船舶正常运转。电力负荷计算确定主柴油发电机组功率为 2 800 kW, 结合机舱空间确定机组选择日本洋马 6EY33LW, 其功率 2 890 kW, 转速 750 r/min, 电制为 690 V、50 Hz, 并对相应配套功力系统进行了设计及安装。

4 船舶性能提升总体方案优化

船舶增加三缆定位系统、更换新型泥泵, 更换主柴油发电机组后增重较大, 采用调整吃水、优化总体布置等方法可提供船舶增重所需的浮力。进行船舶稳性、浮态等相关计算, 改造后的船舶满足浮态、稳性、干舷的规范要求。

5 结语

1) “天杉”船加装三缆定位系统后, 船舶由钢桩定位系统提升为钢桩与三缆的组合双定位系统, 船舶抗风浪能力由周期 5 s 有义波高 1.2 m 提升到周期 16 s 有义波高 1.3 m, 增强了船舶中长周期波浪海况下的施工适应性。

2) “天杉”船输送系统性能提升后最大排距达到 10 km, 经过不同土质工程检验, 泥泵效率提升 8%, 船舶排距提高 30%。此次船舶性能提升改造的顺利完成, 为老旧疏浚船舶的改造提供了参考。

参考文献:

[1] 竺艳蓉.海洋工程波浪力学[M].天津:天津大学出版社,1991.

[2] 王健,孔凡震.“天鲲号”自航绞吸船核心技术应用研究[J].中国港湾建设,2017,37(1):58-62,67.

[3] 张红升、缪袁泉、闻晓,等.绞吸式挖泥船三缆定位控制系统设计[J].机电设备,2014,31(3):56-58.

[4] 薛丁源,邵昌浩,杨婷.长周期涌浪作用下码头船舶系缆稳定性研究[J],水运工程,2017(3):80-83.

[5] 刘明明,庄海飞,郑琳珠,等.3 500 m³/h 绞吸挖泥船专用高效高耐磨泥泵研制与应用[J].港口科技,2018(2):15-22.