



# 大功率绞刀换向装置设计

林森<sup>1,2</sup>, 苏召斌<sup>1,2</sup>, 刘荣振<sup>1,2</sup>, 孙守胜<sup>1,2</sup>, 李晓磊<sup>1,2</sup>

(1. 中交天津航道局有限公司, 天津 300461; 2. 天津市疏浚技术企业重点实验室, 天津 300457)

**摘要:** 针对大型绞刀换向操作难度大、风险高、效率低的问题, 利用三维软件建立绞刀换向装置的设计方案, 根据甲板空间的要求合理选取液压缸两端的铰接位置, 并依此选择了合适的液压缸外形参数, 并采用枚举法分析换向装置5个角度的受力状态, 核算液压缸参数满足受力要求, 利用有限分析软件校核绞刀托架和底座的结构强度和刚度。结果表明, 研发的绞刀换向装置可以提高绞刀换向效率, 降低船员劳动安全风险。

**关键词:** 疏浚工程; 绞吸挖泥船; 绞刀; 有限元分析

中图分类号: U616+.5; U615.31

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)04-0198-06

## Design of high-power cutterhead reversing device

LIN Sen<sup>1,2</sup>, SU Zhaobin<sup>1,2</sup>, LIU Rongzhen<sup>1,2</sup>, SUN Shousheng<sup>1,2</sup>, LI Xiaolei<sup>1,2</sup>

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

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

**Abstract:** In response to difficulties, high risks, and low efficiency of the extra large cutterhead reversing operation, a design scheme for the cutterhead reversing device is built by three-dimensional software. Hinge positions at both ends of the hydraulic cylinder are reasonably selected according to the requirements of the deck space, and appropriate hydraulic cylinder shape parameters are selected on the basis of this. Force states of the reversing device at five angles are analyzed by the enumeration method, and hydraulic cylinder parameters are calculated to meet the force requirements. The structural strength and stiffness of the cutterhead bracket and base are verified by finite analysis software. The results show that the developed cutterhead reversing device can improve the efficiency of cutterhead reversing and reduce labor safety risks of crew members.

**Keywords:** dredging engineering; cutter suction dredger; cutterhead; finite element analysis

近年来, 绞吸挖泥船呈现出大型化、重型化的发展趋势<sup>[1-2]</sup>。国际上出现了 Spartacus、Willem van Rubroeck 这种巨型绞吸挖泥船, 绞刀功率达到 9 000、8 500 kW<sup>[3-5]</sup>。我国的疏浚事业也得到蓬勃的发展, 已经逐渐成为世界疏浚大国<sup>[6]</sup>, 我国的疏浚船舶与装备也得到了长足的进步<sup>[7-8]</sup>, 国内也建造了绞刀功率超过 5 000 kW 的“天鲲号”和“新海鲨”<sup>[9-11]</sup>。随着绞刀功率的不断增加, 绞刀质量也越来越大, 拆装绞刀时, 绞刀需要处于侧立状

态, 以保证绞刀轮毂螺纹与绞刀轴螺纹同向, 而拆下的绞刀需要刀圈朝下平放维修, 国内一般使用钢丝绳改变绞刀上的不同吊点位置, 完成绞刀侧立和平放的转换。这种换向操作难度大、风险高、效率低。

为了解决上述绞刀换向问题, 本文结合绞吸挖泥船的维修甲板空间, 设计一套绞刀换向装置, 利用液压缸收放实现绞刀侧立与平放状态的切换, 安全快捷地完成大功率绞刀的换向工作。

收稿日期: 2024-05-31

作者简介: 林森 (1984—), 男, 硕士, 正高级工程师, 从事疏浚工程挖泥机具研究与设计。

### 1 绞刀换向装置初步方案

换向初步方案底座固定在船体上, 绞刀托架通过旋转销轴铰接在固定底座上, 使绞刀托架可绕旋转销轴旋转; 顶推液压缸的缸体端通过缸体销轴与固定底座铰接, 顶推液压缸的杆体端通过杆体销轴与绞刀托架铰接, 通过液压缸的顶推与收缩使绞刀托架可绕旋转销轴旋转, 见图 1。

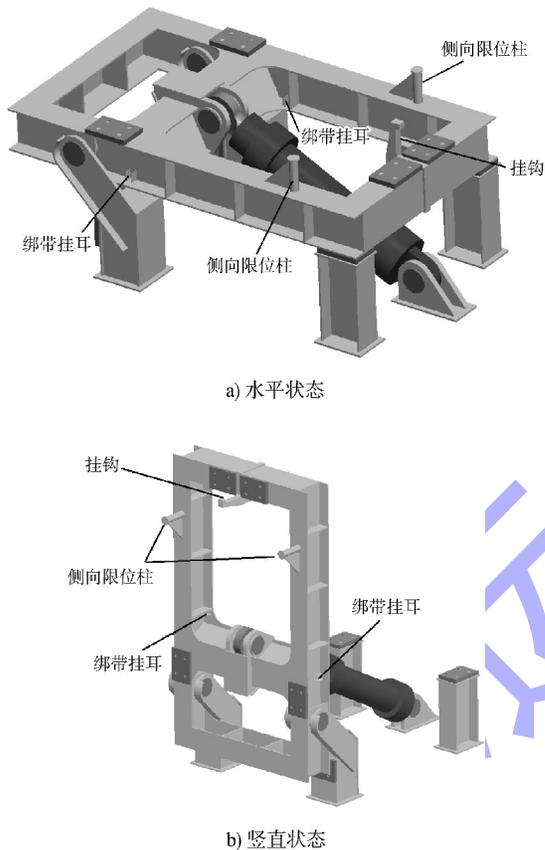


图 1 绞刀换向装置初步方案

Fig. 1 Preliminary plan for cutterhead reversing device

### 2 绞刀换向过程

水平→侧立: 顶推液压缸收回状态, 绞刀托架处于水平状态, 见图 1a), 将水平方向的绞刀放置在绞刀托架上, 绞刀圈内径尽可能与挂钩、侧向限位柱贴合, 将绑带穿过刀圈拉挂在绑带挂耳上, 利用拉紧器将绑带拉紧, 防止绞刀轴向摆动, 液压缸顶推绞刀托架绕销轴旋转, 直到绞刀托架旋转至竖直状态, 绞刀正好为侧立方向放置。

侧立→水平: 顶推液压缸伸出状态, 绞刀托架处于竖直状态, 见图 1b), 将侧立方向的绞刀放置在绞刀托架的绞刀挂钩上, 绞刀圈内侧自动

靠紧在侧向限位柱上, 将绑带穿过刀圈拉挂在绑带挂耳上, 利用拉紧器将绑带拉紧, 防止绞刀轴向摆动, 收缩顶推液压缸的液压杆, 带动绞刀托架绕销轴旋转, 绞刀托架与固定底座的夹角越来越小, 直到绞刀托架旋转至水平状态, 绞刀正好为水平方向放置。

### 3 液压缸初步选型

绞吸挖泥船维修甲板空间紧张, 为了减小空间占用, 顶推液压缸的底面铰接点尽量控制在底座范围内, 绞刀质量接近 50 t, 根据初步方案估算液压缸顶推力为 1 500~2 000 kN, 通过液压缸样本参数, 初步筛选 220、250、280 mm 共 3 种直径的液压缸, 工作压力 25 MPa。

### 4 铰接点位置确定

依据液压缸的外形尺寸, 利用三维模型及辅助线寻找合理的铰接点, 并与液压缸最大及最小安装距离匹配, 最终确定液压缸上下铰接位置及液压缸行程, 见图 2。

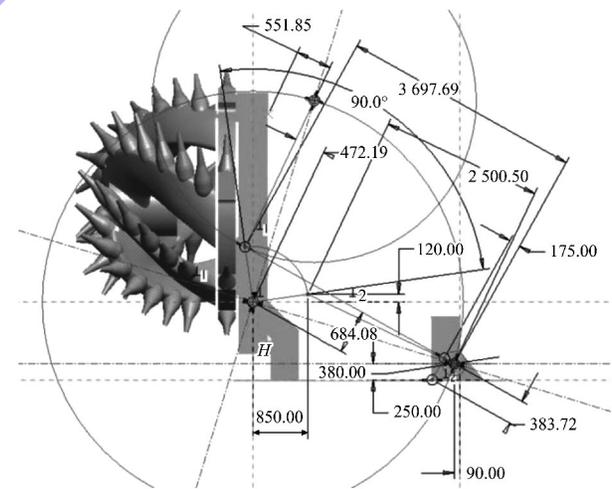


图 2 液压缸铰点位置及行程确定 (单位: mm)

Fig. 2 Determination of hinge point position and stroke of hydraulic cylinder (unit: mm)

### 5 液压缸受力分析

根据力矩平衡原理得出关系式:

$$F_p R_p = G_c R_c + G_b R_b \quad (1)$$

$$F_1 R_1 = G_c R_c + G_b R_b \quad (2)$$

式中:  $F_p$  为液压缸顶推力, N;  $R_p$  为顶推力臂, m;

$G_c$  为绞刀重力, N;  $R_c$  为绞刀重心力臂, m;  $G_b$  为托架重力, N;  $R_b$  为托架重心力臂, m;  $F_l$  为液压缸收缩拉力, N;  $R_l$  为收缩拉力力臂, m。

通过绞刀及换向装置的设计方案, 处于水平、侧立状态的位置关系, 得到最大顶推力约 1 694 kN, 最大拉力约 915 kN。考虑冲击荷载安全系数为 1.5, 选择缸径 400 mm、杆径 280 mm、液压工作压力 25 MPa 的液压缸, 其最大顶推力 3 141 kN、最大收缩拉力 1 602 kN, 能够满足工作要求, 液压缸最小、最大安装距离分别为 2 500、3 700 mm。

### 6 结构强度校核工况条件

设绞刀托架与水平面夹角为  $\alpha$ , 见图 3。本文对角度  $\alpha$  分别为 0.0°、22.5°、45.0°、67.5°、90.0°

的受力状态进行核算与结构强度校核, 根据力矩平衡原理计算出上述 5 个工况的受力情况, 包括绞刀托架与底座铰接销轴的剪切力, 见表 1。

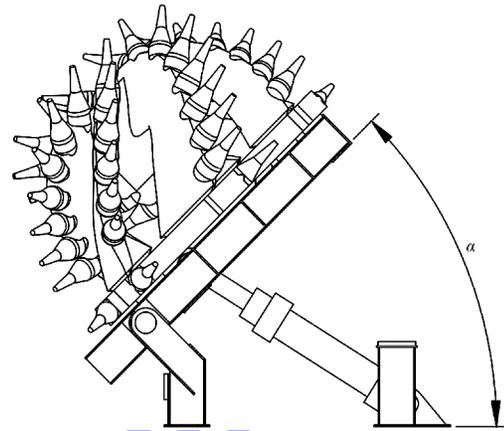


图 3 绞刀换向装置倾斜角度  
Fig. 3 Inclination angle of cutterhead reversing device

表 1 各状态受力分析结果  
Tab. 1 Results of forces in each state

工况	$\alpha/(\text{°})$	绞刀重力/kN	绞刀重心/mm	托架重力/kN	托架重心/mm	液压缸力臂/mm	推力/kN	托架旋转销轴剪切力/kN
1	0.0	500	1 500	46.2	1 059	472	1 693.3	1 209.0
2	22.5	500	907	46.2	972	750	665.0	474.9
3	45.0	500	177	46.2	737	856	143.3	102.4
4	67.5	500	-581	46.2	390	820	-331.7	237.6
5	90.0	500	-1 250	46.2	-20	684	-915.0	654.3

### 7 结构强度校核

将绞刀作为刚体进行计算, 主要计算绞刀重力对结构的影响, 另外液压缸为外购成型产品, 本文只对绞刀托架及底座的结构强度进行校核。将绞刀托架、底座三维模型导入有限元分析软件, 并把上述各状态受力分析结果分别加载到绞刀托架、底座对应的位置上, 分别计算绞刀托架、底座结构应力及应变情况, 绞刀托架计算结果见图 4、5, 底座计算结果见图 6、7。

绞刀托架及底座在 5 种工况的强度校核分析的最大应力、最大位移见表 2。绞刀托架在工况 5 时应力最大为 215.2 MPa, 底座在工况 1 时应力最大为 174.8 MPa。换向装置采用屈服强度 345 MPa 的型钢焊接而成, 取安全系数为 1.5, 则许用应力为 230 MPa, 绞刀托架及底座最大应力均小于材料许用应力, 故结构强度满足设计要求。

表 2 各工况最大应力、最大位移结果  
Tab. 2 Results of maximum stress and maximum displacement under various conditions

工况	$\alpha/(\text{°})$	托架最大应力/MPa	托架最大位移/mm	底座最大应力/MPa	底座最大位移/mm
1	0.0	209.6	2.3	174.8	1.15
2	22.5	153.6	1.4	48.6	0.35
3	45.0	123.9	1.3	72.0	0.40
4	67.5	188.4	2.1	50.3	0.25
5	90.0	215.2	5.0	43.3	0.21

液压缸两端销轴及托架旋转销轴直径均为 180 mm, 材质为 40Cr 钢, 材料屈服强度  $\geq 785$  MPa, 取安全系数为 1.5, 则许用应力为 523 MPa。根据表 1 的计算结果, 最大推力(液压缸两端销轴剪切力)1 694 kN、托架旋转销轴剪切力 1 209 kN, 对应的剪切应力分别为 66.6、47.5 MPa, 远小于材料许用应力, 故销轴强度满足设计要求。

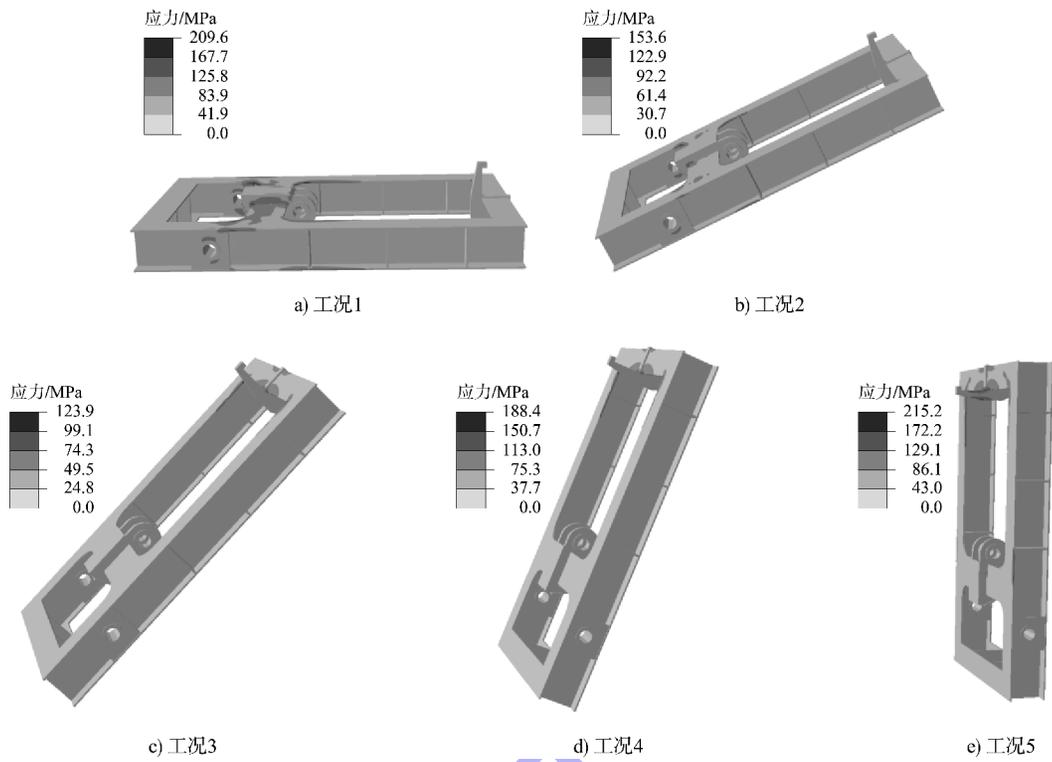


图 4 绞刀托架应力云图

Fig. 4 Stress cloud diagrams of cutterhead holder

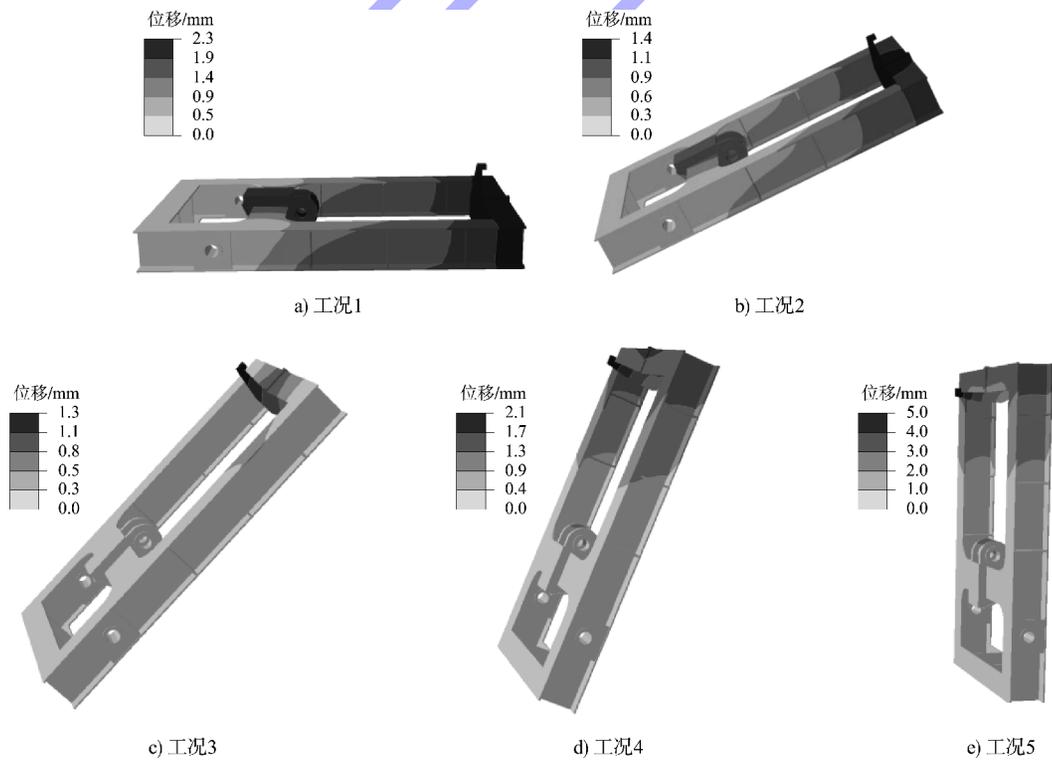


图 5 绞刀托架位移云图

Fig. 5 Displacement cloud diagrams of cutterhead holder

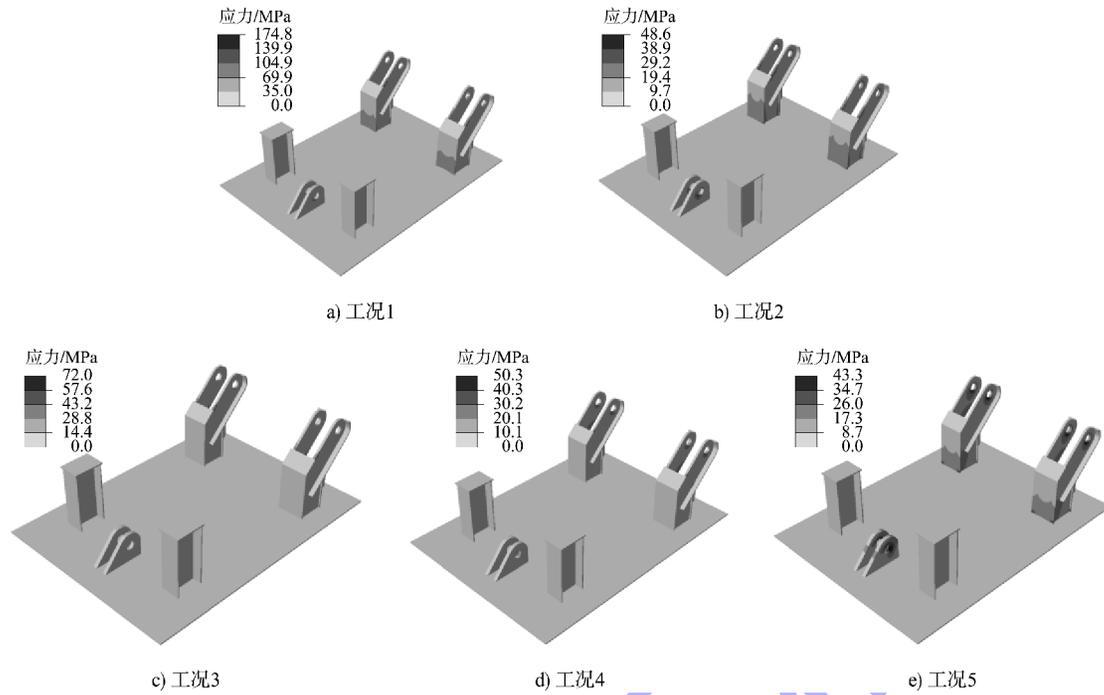


图 6 底座应力云图  
Fig. 6 Stress cloud diagrams of pedestal

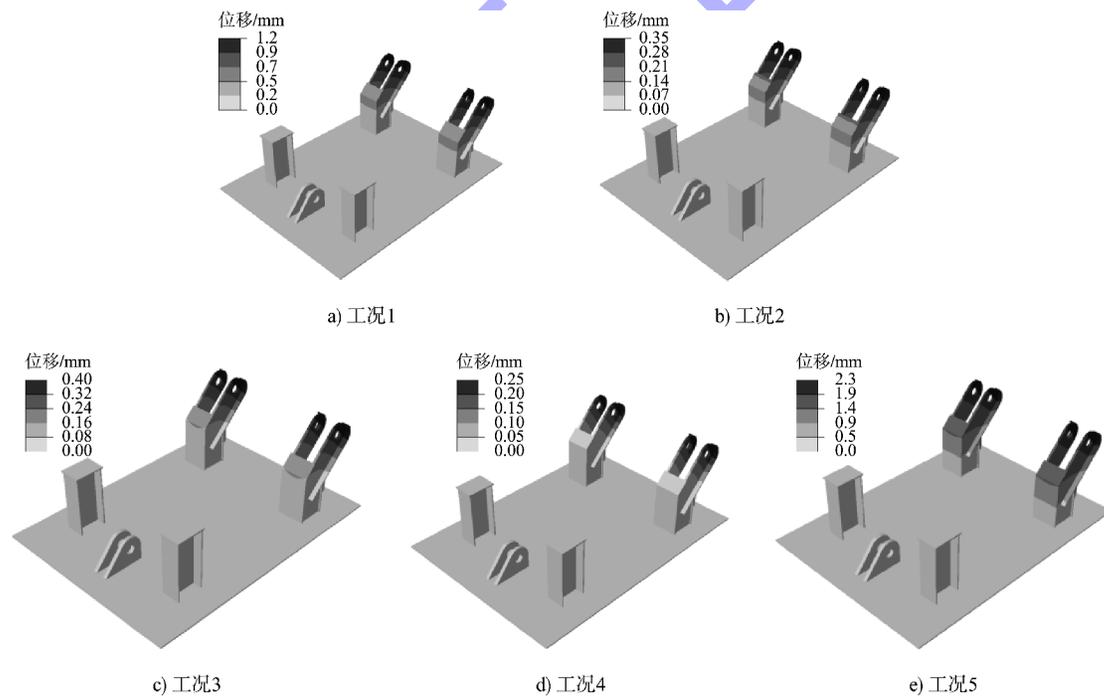


图 7 底座位移云图  
Fig. 7 Displacement cloud diagrams of pedestal

### 8 结论

1) 本文设计的绞刀换向装置利用液压缸收放实现绞刀侧立与平放状态的切换, 解决了大功率绞刀换向难度大、风险高、效率低的问题。该绞

刀换向装置可以推广应用到其他大功率绞吸挖泥船上, 提高绞刀换向效率、降低劳动安全风险。

2) 本文运用有限元分析方法对绞刀换向装置的结构强度和刚度进行分析, 确保了结构使用安

全性。采用的有限元分析方法可为同类装置提供借鉴。

#### 参考文献:

- [1] 蒋如宏,何炎平,余龙,等.大型绞吸式挖泥船台车系统的设计研究[J].船舶工程,2007,29(3):41-43.  
JIANG R H, HE Y P, YU L, et al. Design study on large car-type system of cutter suction dredger [J]. Ship engineering, 2007, 29(3): 41-43.
- [2] 刘海民,姜兴良.绞吸挖泥船施工经济性选型分析[J].水运工程,2023(4):191-195.  
LIU H M, JIANG X L. Economy selection of cutter suction dredger construction [J]. Port & waterway engineering, 2023(4): 191-195.
- [3] Spartacus does justice to her name [J]. Shipbuilding industry, 2021, 15(3): 28-29.
- [4] Cutter suction dredger Spartacus launched [J]. Maritime by Holland magazine, 2018, 67(7): 46-49.
- [5] Jan de Nul Group launches new cutter dredger Willem van Rubroek [J]. International dredging review, 2017, 36(6): 20.
- [6] 陈云.疏浚业将大有可为[J].施工企业管理,2010(12):32-33.  
CHEN Y. The dredging industry will have great potential [J]. Construction enterprise management, 2010 (12): 32-33.
- [7] 童孟侯.大国重器:疏浚船[J].航海,2022(1):14-17.  
TONG M H. National heavy equipment: dredging ship [J]. Navigation, 2022(1): 14-17.
- [8] 林森,苏召斌,孙守胜,等.基于黏土挖掘的绞刀模型试验研究[J].水运工程,2023(S2):38-42.  
LIN S, SU Z B, SUN S S, et al. Cutter model experiment based on clay excavation [J]. Port & waterway engineering, 2023(S2): 38-42.
- [9] 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.  
WANG J, KONG F Z. Applied research on key technology of Tiankun self-propelled cutter suction dredger [J]. China harbour engineering, 2017, 37(1): 58-62, 67.
- [10] 孙守胜,张润喜,杨建华.“天鲲号”绞刀齿拆装起吊装置技术方案[J].水运工程,2019(S2):30-33.  
SUN S S, ZHANG R X, YANG J H. Technical scheme of dismounting and hoisting device of “Tiankun” cutter teeth [J]. Port & waterway engineering, 2019 (S2): 30-33.
- [11] 费龙,张晓枫,单铁兵.“昊海龙”超大型自航绞吸挖泥船开发[J].船舶,2022,33(6):10-19.  
FEI L, ZHANG X F, SHAN T B. On development of ultra-large self-propelled cutter suction dredger “Haohailong” [J]. Ship & boat, 2022, 33(6): 10-19.
- (本文编辑 王璁)
- 
- (上接第183页)
- [18] 程树范,叶阳,曾亚武,等.干缩、湿胀作用下黏土岩崩解的FDEM模拟[J].岩石力学与工程学报,2023,42(8):2068-2080.  
CHENG S F, YE Y, ZENG Y W, et al. Numerical simulation research on the slake of clay rocks caused by drying-shrinkage and wetting-expansion based on FDEM [J]. Chinese journal of rock mechanics and engineering, 2023, 42(8): 2068-2080.
- [19] YU H T, LIU Z B, ZHANG Y, et al. The disintegration mechanism analysis of soft rock due to water intrusion based on discrete element method [J]. Computers & geosciences, 2023, 171: 105289.
- [20] 工程岩体试验方法标准:GB/T 50266—2013[S].北京:中国计划出版社,2013.  
Standard for test methods of engineering rock mass: GB/T 50266—2013[S]. Beijing: China Planning Press, 2013.
- [21] 刘春,乐天呈,施斌,等.颗粒离散元法工程应用的三大问题探讨[J].岩石力学与工程学报,2020,39(6):1142-1152.  
LIU C, LE T C, SHI B. Discussion on three major problems of engineering application of the particle discrete element method [J]. Chinese journal of rock mechanics and engineering, 2020, 39(6): 1142-1152.
- (本文编辑 赵娟)