



凿岩机在甲板驳轨道上滑移对船舶运动的影响

张芮¹, 左华楠²

(1. 中交四航局第三工程有限公司, 广东 湛江 524005; 2. 中交四航工程研究院有限公司, 广东 广州 510230)

摘要: 为了探索凿岩机在甲板驳轨道上滑移对船舶运动响应和系泊缆力的影响, 以3 850 DWT甲板驳船为研究对象, 应用水动力分析软件 ANSYS 的 AQWA 模块, 分析凿岩机在轨道前端、中部和后端3种凿岩工况, 并对驳船运动响应和系泊缆力的差异。分析结果表明: 凿岩机在船上不同位置凿岩会使驳船纵摇和横摇发生明显变化; 不同油水所导致排水量的不同, 对驳船横摇纵摇响应也有一定的影响, 不同工况下驳船系泊缆力的变化不大。研究结果可为大型设备在甲板驳船上作业的评估、选型和应对措施提供一定的借鉴和参考。

关键词: 凿岩机; 甲板驳; 滑移; 运动响应; 缆力

中图分类号: U661

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)03-0194-05

Effect of rock drill sliding on deck barge track on ship motion response

ZHANG Rui¹, ZUO Huanan²

(1. The Third Engineering Company of CCCC Fourth Harbor Engineering Co., Ltd., Zhanjiang 524005, China;
2. CCCC Fourth Harbor Engineering Institute Co., Ltd., Guangzhou 510230, China)

Abstract: To explore the ship motion response and mooring cable force of rock drill sliding on deck barge track, the 3 850 DWT deck barge is taken as the research object. AQWA module of hydrodynamic analysis software ANSYS is applied to analyze three drilling conditions of rock drill at the front, middle and back ends of track, and to compare the differences between barge motion response and mooring cable force. The results show that the pitch and roll of barge will change obviously when the rock drill is drilled at different positions on the ship. In addition, the different displacement caused by different oil and water has a certain effect on the barge's rolling and pitching response, and the mooring cable force of barge has little change under different working conditions. The research results can provide some reference and guidance for the evaluation, selection and countermeasures of large equipment operating on deck barges.

Keywords: rock drill; deck barge; sliding; motion response; cable force

甲板驳船因其通用性好、可选择性强以及保有量高等优点, 在港口工程水下开挖、抛石和强夯等施工作业中应用广泛。考虑船舶稳性、载质量和吃水等特性, 3 000~5 000 t的甲板驳船应用较多。在甲板驳船的施工过程中, 常常出现大型施工机械的工作引起船舶运动响应问题, 其对甲板驳船的稳定性、安全性和工作效率影响较大。

在研究甲板驳船运动响应影响的过程中, 需了解船上大型设备操作过程中对甲板驳船所造成的运动响应影响。研究对于保证作业人员的安全、优化设备操作和提高施工效率具有重要意义。

袁治巍等^[1]基于 MIKE 21 的 Mooring Analysis 系泊分析模块, 研究在不同周期和入射角度的不规则波作用下系泊船舶运动; 朱克强等^[2]对某生

收稿日期: 2023-07-18

作者简介: 张芮 (1989—), 男, 工程师, 从事海外项目设计技术管理工作。

产驳船系泊问题进行计算, 得到了随时间变化的船舶运动响应和系泊缆索动态张力, 考查缆索动力学对船舶运动和链张力的影响, 并与未计入缆索动力影响的准静态结果进行比较; 陈奇等^[3]通过开敞式码头系泊船物理模型试验, 在不同缆绳初张力下, 针对两种 LNG (液化天然气) 船型进行多种环境载荷下的缆绳张力和船舶运动量研究; 万学忠^[4]基于现场波浪监测结果, 研究东海长周期涌浪特性, 并针对某大型起重船无吊物系泊工况, 进行运动响应数值预报, 与现场监测结果进行对比分析, 研究长周期涌浪对船舶运动影响的机理及其特性; 周桐^[5]考虑船-吊物-锚链相互耦合影响以及外环境载荷, 建立起重船多系统耦合六自由度动力学模型, 对多系统耦合作用下的起重船运动响应进行数值分析并得出影响规律; 沈雨生等^[6]基于 10 万吨级散货船, 进行横向不规则波作用下的系泊模型试验, 在同一波高下变化入射波浪周期, 通过系列试验, 分析波浪周期对系泊船舶横移、横摇和升沉运动的影响; 宋伟华等^[7]分析长周期波浪作用下周期、波高、入射角度对船舶系泊稳定的影响, 认为波高和入射角度对船舶升沉的影响极为明显, 周期对船舶纵移的影响最为显著; 肖鑫等^[8]以某码头项目为例, 通过后报波浪要素分析, 得出工程区周期、波高的分布规律, 利用 MIKE21MA 软件系统分析长周期波浪作用下周期、波高对船舶系泊稳定的影响; 王连成^[9]对船舶在波浪上横摇、横荡运动进行计算分析, 考虑不同水深和不同系泊状态以及不同的海洋环境, 对作业工况下船舶的运动响应进行预报, 获得驳船不同海况下的运动响应幅值; 肖力旗等^[10]利用 AQWA 软件对系泊集装箱船进行频域水动力分析和时域耦合分析, 在不同装载状态下, 分析集装箱船运动响应的变化, 评估装卸作业下码头系泊安全; 史宪莹等^[11]采用物理模型试验方法, 对横向较大周期波浪作用下一艘大型系泊 (LNG) 船舶运动响应特性进行研究。综上所述, 目前对船舶运动响应的研究多集中在货船靠泊时的系泊运动响应分析, 对工程船舶上大型设备作

业时对船舶运动响应影响的研究较少。

研究拟以 3 850 DWT 甲板驳船为对象, 基于水动力分析软件 AQWA, 考虑缆绳动力特性, 应用时域分析模块建立系泊分析模型, 针对甲板驳船上导轨滑移凿岩机不同装载工况, 考虑 100% 油水和 10% 油水两种工况, 研究甲板驳船运动响应特性和缆绳力的变化规律。

1 工程概况

项目位于瑙鲁艾沃港区, 港池总面积约 1.47 万 m^2 , 港池设计底高程 -11.0 m, 总疏浚量 14.785 万 m^3 。港池土样多为未风化的珊瑚石灰岩和珊瑚砾石, 且大部分地层标贯值达到 50 击以上, 岩层较硬。因此, 港池开挖采用陆上开挖和水上开挖相结合。水上开挖利用自航甲板驳船搭载 180 t 挖机进行港池开挖, 甲板驳船上配备导轨滑移凿岩机, 港池疏浚总平面见图 1, 甲板驳船及凿岩机见图 2。

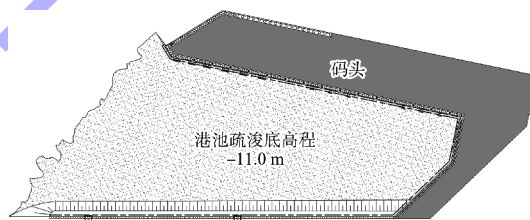


图1 瑙鲁项目港池疏浚平面



图2 甲板驳船及凿岩机

2 模型和工况分析

2.1 甲板驳船

甲板驳船的通用性好, 应用广泛。以瑙鲁项目的 3 850 DWT 甲板驳船为研究对象, 主要用于港池水下开挖, 船体主尺度见表 1。甲板驳舷侧安装 90 t 滑行导轨凿岩机, 在轨道上滑动凿岩。

表1 甲板驳船主尺度

船舶总长/m	垂线间长/m	型宽/m	型深/m	设计吃水/m	设计排水量/t
83.98	82.52	20.8	4.57	3.6	5 475.1

2.2 环境和系泊参数选取

项目区域常风向为东风、东北风及东北偏东风，风力小于4级，只有极少数的西风达到6级，典型风力为5级。港池开挖所处位置有掩护，典型浪高为1 m，周期8 s。典型水流流速0.25 m/s。

表2 海况环境和系泊参数

风荷载/级	流速/(m·s ⁻¹)	有效波高/m	谱峰周期/s	荷载角度/(°)	系泊缆	系泊形式
5	0.25	1	8	45	φ40 mm 钢丝绳	4点八字式

2.3 工况分析

甲板驳舷侧安装90 t 滑行导轨凿岩机，在轨道上滑动凿岩。按照凿岩机工作情况，可分为6种典型装载工况：

- 1) LC01，凿岩机距船尾18 m(轨道前端)工作，100%油水，挖掘机在船首；
- 2) LC02，凿岩机距船尾18 m(轨道前端)工作，10%油水，挖掘机在船首；
- 3) LC03，凿岩机距船尾54 m(轨道后端)工作，100%油水，挖掘机在船首；
- 4) LC04，凿岩机距船尾54 m(轨道后端)工作，10%油水，挖掘机在船首；
- 5) LC05，凿岩机距船尾36 m(轨道中间)工作，100%油水，挖掘机在船首；
- 6) LC06，凿岩机距船尾36 m(轨道中间)工作，10%油水，挖掘机在船首。

不同的装载工况对甲板驳船的排水量、重心坐标及吃水均有影响，不同装载工况见表3。

表3 不同装载的工况

工况	排水量/t	质心纵向坐标/m	质心横向坐标/m	质心高度/m	平均吃水/m
LC01	4 802	-1.187	-0.666	5.312	3.207
LC02	4 257	-0.638	-0.755	5.638	2.891
LC03	4 802	-0.543	-0.666	5.312	3.211
LC04	4 257	0.088	-0.755	5.638	2.894
LC05	4 802	-0.788	-0.666	5.320	3.213
LC06	4 257	-0.189	0.755	5.646	2.897

运动响应分析时选取典型风浪流为环境参数。

风荷载基于NPD风速谱，考虑5级风速；波浪荷载基于随机波浪JONSWAP波浪谱，选取1 m有效波高、8 s谱峰；流荷载基于均匀流，考虑典型流速0.25 m/s，风浪流荷载角度统一，均考虑与驳船45°夹角。采用典型的4点系泊、八字缆，系泊缆采用φ40 mm 钢丝绳。系泊系统的物理参数和各工况参数见表2。

船舶的运动分为纵荡、横荡、垂荡、横摇、纵摇和艏摇，即为船舶6自由度运动响应，对工程船舶施工影响最大的有横摇、纵摇和垂荡，是工程船舶运动响应分析的主要参数。

2.4 水动力建模

利用海洋工程势流分析软件AQWA进行水动力建模和分析，依据船舶的型线图，生成不同断面的横断面结构，通过蒙皮生成船舶三维面模型，以水线面为界面划分水上和水下两部分，模型按网格单元最大长度2 m、特征容差1 m的规格划分网格，生成9 352个面网格，并设置对应的船舶排水量、重心坐标和转动惯量，获得船舶的水动力模型，见图3。



图3 甲板驳船的水动力建模

3 运动响应及影响分析

3.1 幅值响应算子和时域响应分析

为了获得该船运动的RAO(幅值响应算子，含义是浮体对应自由度运动幅值与波幅的比)对该船开展频域分析，表征线性波浪作用下浮体的运动响应特征；其本质描述的是线性条件下入射波幅与浮体运动幅值(图4)的关系，频域分析是后续时域分析的必要条件。在AQWA中添加环境参数、

船体重心坐标和转动惯量, 频域分析取波浪周期为 2~30 s(57 个波浪周期), 波浪方向取 -180°~180°(25 个波浪方向), 进行频域分析。

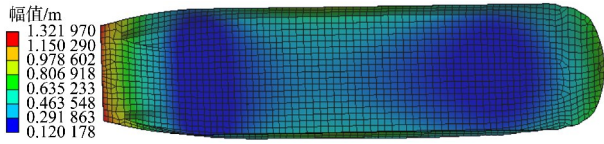
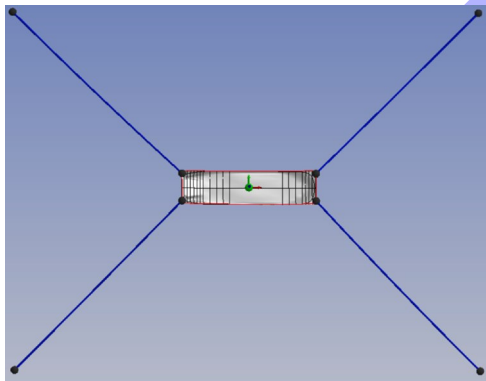
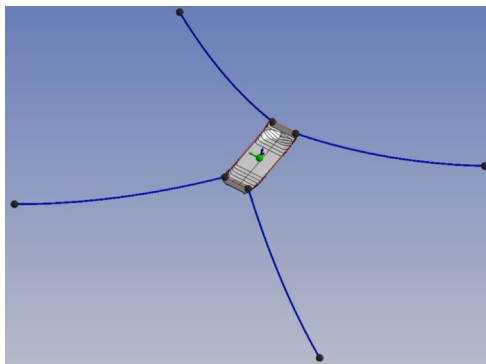


图 4 甲板驳船在单位波幅中的典型结构运动幅值云图

为获得船舶的运动响应和系泊缆力随时间的变化, 需要对船舶进行时域分析。在水下开挖作业时, 通常缆绳处于张紧状态, 设定张紧式系泊与海底呈一定角度, 系泊缆保持张紧状态, 刚度来源于缆绳的轴向刚度。基于随机波浪 JONSWAP 波浪谱、NPD 风谱、均匀流, 分析不同装载工况对船舶运动响应及系泊缆力的影响。采用非线性悬链线法进行系泊分析, 考虑缆绳动力学, 分别输入导缆孔坐标和锚点坐标, 连接并设置系泊缆, 进行时域分析, 时间为 3 600 s, 系泊系统设置见图 5。



a) 俯视



b) 侧视

图 5 系泊系统设置

3.2 凿岩机不同工作位置

为获得凿岩机在不同位置工作时甲板驳船运动响应的影响, 在相同排水量下, 对比凿岩机在滑轨前端、中部和后端的运动响应, 结果见图 6。

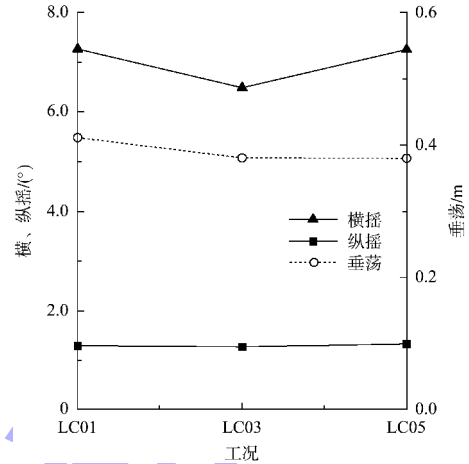


图 6 相同排水量下凿岩机不同位置船舶运动响应

图 6 中运动响应变化结果表明: 相同排水量下, 当凿岩机在轨道上前后工作时, 纵摇幅值变化 4.4%, 垂荡幅值变化 8.2%; 当凿岩机位于轨道后端横摇达到最小 6.5°, 凿岩机位于轨道前端横摇达到最大 7.3°, 横摇幅值变化 12.6%; 凿岩机在不同工作位置时对驳船的横摇有一定影响, 由于船舶纵向稳性较高, 90 t 凿岩机对驳船的纵摇影响较小。

3.3 不同排水量

不同的油水导致排水量不同, 为了获得不同排水量工况下, 甲板驳船运动响应的影响在相同凿岩机位置下, 对比 6 种工况不同油水的运动响应, 结果见图 7。

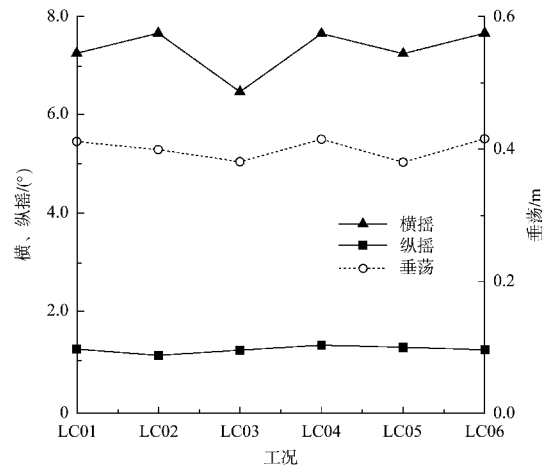


图 7 不同排水量下船舶运动响应

图7中运动响应变化结果表明：船上凿岩机位置相同时，不同排水量(油水)下，6种工况船舶的垂荡幅值最大变化3.1%，垂荡变化较小；横摇幅值最大变化15.5%，10%油水工况(LC02、LC04、LC06)下横摇相应大于100%油水工况(LC01、LC03、LC05)，这是由于10%油水工况下，驳船的重心高度变大，导致横摇响应变大；纵摇幅值最大变化7.8%，由于驳船的纵向稳性较高，排水量的变化对驳船的纵摇影响较小。

3.4 不同系泊缆力

为了获得不同装载工况下，甲板驳船系泊缆力的变化幅值，提取LC01~LC06的工况，分析结果中的系泊缆力，对比结果见图8。

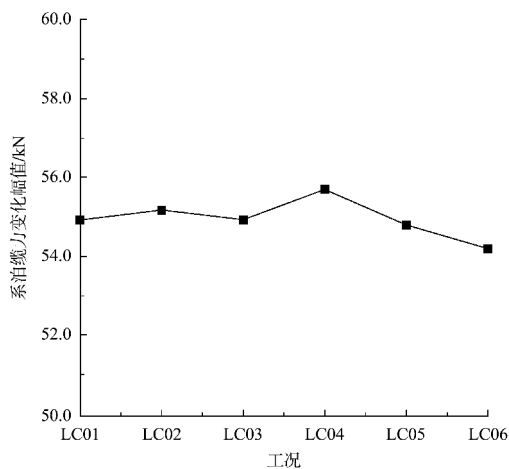


图8 不同装载工况下船舶系泊缆力幅值

由图8可知：6种装载工况下，最大系泊缆力为55.7 kN，系泊缆力变化2.8%，主要原因是100%油水和10%油水的排水量相差约540 t，排水量减小11%，排水量和重心的变化对驳船系泊刚度的影响较小，导致不同工况下系泊缆力的变化较小。

4 结语

1) 相同排水量下，当凿岩机在轨道上前后工作时，由于驳船纵向稳性较高，驳船的纵摇变化4.4%，凿岩机对纵摇的影响较小。驳船的横摇变化12.6%，由于重心的变化，凿岩机在不同工作

位置时对驳船的横摇有一定影响。

2) 不同排水量(油水)下，驳船的横摇幅值变化15.5%，纵摇幅值变化7.8%，由于10%油水工况下，驳船的重心高度变大，导致横摇和纵摇响应变大。

3) 不同装载工况下，系泊缆力变化2.8%，最大系泊缆力为55.7 kN，由于排水量相差不明显，排水量和重心的变化对驳船系泊刚度的影响较小，不同工况的系泊缆力变化较小。

参考文献：

- [1] 袁治巍, 柳淑学, 李金宣, 等. 波浪入射角度和周期对系泊船舶运动影响的数值模拟研究[J]. 水运工程, 2022(1): 13-18, 26.
- [2] 朱克强, 郑道昌, 周江华, 等. 生产驳船多点系泊定位系统动态响应[J]. 中国航海, 2007(2): 6-9.
- [3] 陈奇, 郑宝友, 唐志波. 缆绳初张力对系泊船舶的影响[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2015, 34(4): 354-357.
- [4] 万学忠. 海洋工程施工船舶系泊运动响应现场监测与数值模拟研究[D]. 天津: 天津大学, 2016.
- [5] 周桐. 全回转起重船多系统耦合动力学特性研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2018.
- [6] 沈雨生, 刘堃, 杜齐鲁, 等. 波浪周期对系泊船舶运动影响试验研究[J]. 水动力学研究与进展(A辑), 2016, 31(2): 220-224.
- [7] 宋伟华, 谷文强, 周惊慧. 长周期波浪对船舶系泊稳定性的影响[J]. 水运工程, 2019(5): 21-26.
- [8] 肖鑫, 卢昭. 采用 MIKE21MA 软件分析长周期波对系泊的影响[J]. 中国港湾建设, 2022, 42(1): 21-24.
- [9] 王连成. 工程驳船自存及作业工况下的运动分析[D]. 天津: 天津大学, 2008.
- [10] 肖力旗, 曹民, 张柳明. 基于 AQWA 的集装箱船舶装卸作业系泊响应分析[J]. 水运工程, 2021(11): 26-31.
- [11] 史宪莹, 张宁川, 杨扬. 较大周期波浪作用下大型系泊(LNG)船舶运动响应试验研究[J]. 船舶力学, 2012, 16(9): 980-989.

(本文编辑 赵娟)