

文章编号:1006-2467(2023)S1-0185-05

DOI: 10.16183/j.cnki.jsjtu.2023.S1.14

复杂条件下的特殊船舶进出坞工艺

周东荣¹, 朱小东¹, 陈世海¹, 蒋哲¹, 魏良孟¹

蒋志同², 居惠红², 唐勇², 郭殿禹²

(1. 交通运输部上海打捞局, 上海 200090; 2. 中船第九设计研究院工程有限公司, 上海 200063)

摘要: 为保护“长江口二号”古船内有机质文物和脆弱文物, 拟将古船遗址整体打捞后转运至干船坞内, 进行长期的考古研究和展示。打捞出水的古船整体船况差, 船内文物保护要求高, 利用的干船坞为废置干坞, 船坞条件也较差。通过对废置船坞现状、工程河段的水文资料、进出坞时机和古船搬运方案等方面的综合分析, 总结出复杂工况下特殊船型进出老旧船坞的工艺流程, 也为后续相似工程提供新的工艺思路。

关键词: 古船; 干船坞; 进出坞工艺; 工艺流程

中图分类号: U 672 **文献标志码:** A

Docking Process of Special Ships in Complex Conditions

ZHOU Dongrong¹, ZHU Xiaodong¹, CHEN Shihai¹, JIANG Zhe¹, WEI Liangmeng¹

JIANG Zhitong², JU Huihong², TANG Yong², GUO Dianyu²

(1. Shanghai Salvage of the Ministry of Transport, Shanghai 200090, China;

2. China Shipbuilding NDRI Engineering Co., Ltd., Shanghai 200063, China)

Abstract: In order to protect the organic relics and fragile relics inside “Yangtze River Estuary II” ancient ship, the ancient ship will be salvaged and transferred to a dry dock. The condition of the salvaged ancient ships is poor, and the requirements for the protection of cultural relics inside the ship are high. The dry dock used is the former abandoned dock which is not in good condition. Based on the analysis of the current situation of the abandoned dock, hydrological data, the timing of docking and comprehensive analysis of ancient ship handling scheme, the process flow of docking under complex conditions is summarized, which also provides a new process idea for subsequent similar projects.

Key words: ancient ship; dry dock; docking process; process flow

“长江口二号”古船整体迁移项目包括古沉船船体本身、船载文物以及沉船遗址处的原生堆积。三者在考古学上为密切相关的整体, 尤其是遗址的原生堆积中保存了大量历史和自然环境信息, 必须妥善

保存和处理。经文保单位研究, 决定采用整体迁移方式, 利用专用浮箱和液压提升等专用特种设备, 将古船及其附近的原生堆积泥层整体起浮, 再把专用浮箱整体运输至上海船厂浦西厂区旧址 1# 船坞内。

收稿日期: 2022-07-07 修回日期: 2022-07-25 录用日期: 2022-08-22

作者简介: 周东荣(1978-), 教授级高级工程师, 从事打捞及海洋工程研究。

通信作者: 蒋志同, 工程师, 电话(Tel.): 021-62549700; E-mail: jiangzhitong@ndri.sh.cn.

1 船坞及进出坞工艺概述

1.1 船坞概况

上海船厂浦西厂区旧址位于杨树浦路近大连路的黄浦江边,厂区 1# 船坞原设计为 35 000 t 级修船坞,2007 年根据生产需求改造成最大可建造 57 000 t 散货船的船坞,但允许进出坞船型的实际排水量不超过 12 000 t.

1# 船坞坞顶两侧原设计布置有 250 kN 系船柱、引船系统(轨道上配置 340 kN 拖曳小车)和 150 kN 绞盘,坞壁布置 DA300×1.5 m 拱形橡胶护舷和Φ1 200 滚动橡胶护舷. 船坞现已经废置多年,重新启用前需要对坞身结构、坞门和附属设施进行检修和更换. 干船坞长度 205 m,宽度 36 m,原坞顶标高 +4.7 m(吴淞零点,下同),坞底标高 -5.7 m,坞深 11 m.

原厂区 1# 船坞位于黄浦江北侧,所处江段最高潮位为 +5.72 m,平均大汛高潮位 +3.30 m,平均小汛低潮位 +1.70 m,通用最低水位 +0.52 m,设计进出坞水位 +2.60 m,持续时间 2 h,进出坞水位全年保证率为 78.8%.

1.2 进出坞工艺概述

一般情况下,船舶进出坞操作需要拖轮、船坞两侧的引船系统和绞盘协同完成. 引船系统和绞盘不仅可以提高船舶进出坞效率,还可以保证作业的安全性、可靠性.

引船系统主要由绞车、主引船小车、副引船小车、小车轨道、导向滑轮和钢丝绳等设备组成^[1]. 绞车一般有两台,布置在坞尾的位置,轨道布置在船坞的两侧,绞车通过钢丝绳和导向滑轮驱动主引船小车和副引船小车在轨道上做前后运动,主引船小车主要起到牵引船坞的功能. 副引船小车主要起横向定位的功能,保持船坞在进出坞过程中尽量不偏离船坞中心线.

当船坞进坞时,首先船舶在拖轮的帮助下部分船体先进入船坞,由主引船小车的缆绳带上船舶带缆桩,主引船小车在坞尾绞车的牵引下慢慢拖带船舶进入船坞;待船舶约一半船身进入船坞内时,副引船小车的缆绳再带上船舶带缆桩,然后船舶慢慢完成进入船坞的动作. 绞盘一般设置在船坞两侧和坞尾中间,在船舶进出坞过程中发生偏航时,由绞盘纠正船位^[2]. 同理,船舶出坞时也由引船系统和绞盘协同完成. 船坞进出坞的整个流程经实践证明安全、有序、可靠. 船舶进坞过程示意图如图 1 所示.

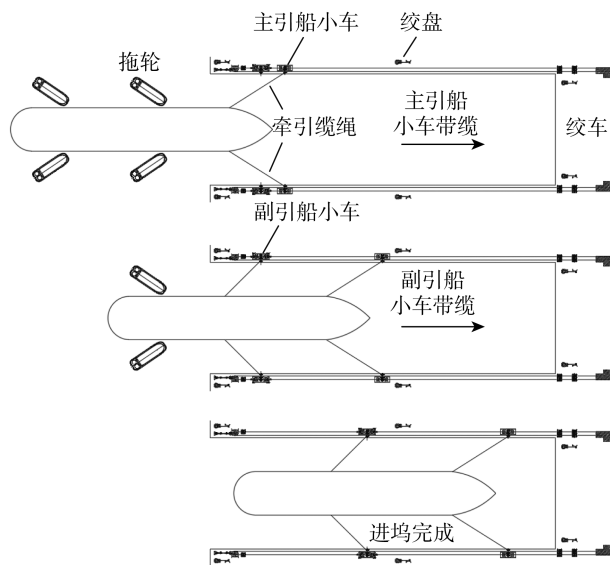


图 1 船舶进坞示意图

Fig.1 Diagram of ship docking

2 技术难点分析

2.1 进出坞船型分析

进出坞船型为运输“长江口二号”古船的特制船型,此船型船体较宽,方形系数较大,且中部留有中空的月池,月池尺度为 56 m×20 m,用于容纳出水的古船和古船遗址处的原生堆积. 此船型为专用浮箱“奋力”轮,船本身无动力,需要靠拖轮拖带航行,专用浮箱“奋力”轮长度 130 m,型宽 34 m,型深 9.0 m,设计吃水 5.5~6.0 m.

2.2 进出坞技术难点

常规情况下,船舶进出坞的操作离不开引船系统和绞盘的配合. 由于上海船厂浦西厂已停产多年,船坞坞顶两侧的引船系统和绞盘已废弃,无法利用,给船舶进出坞的工艺设计带来一定难度. 另外,坞壁橡胶护舷存在老化、破损等现象,船坞整体状况较差.

船坞地处黄浦江北外滩,靠近黄浦江陆家嘴 S 型弯,涨落潮时流速较大,过往船舶较多,安全风险相对较高,给“奋力”轮进出船坞操作带来一定难度.

进坞船型“奋力”轮宽度 34 m,而上海船厂旧址 1# 船坞宽度只有 36 m,考虑到两侧护舷的宽度,净间距总共不足 2 m,不满足《干船坞设计规范》中的进出船坞安全宽度要求. 如何保证船型安全、平稳进出船坞对古船的保护至关重要.

进坞船型“奋力”轮预估吃水 5.5~6.0 m,比原船坞代表船型吃水要大,这就要求“奋力”轮必须乘潮进出坞,选择合适的时间是本次工艺设计考虑的

关键技术问题.

3 进坞前措施及时间分析

3.1 进坞前措施

“奋力”轮运载“长江口二号”古船进船坞之前,预先根据“奋力”轮吃水情况对坞口附近水域进行清淤,确保水深条件满足古船运输航道通畅.同时对船坞坞门进行检修和整改,并检查船坞进排水系统,以保证浮箱携带古船进坞过程中坞门开关、密封及排水等功能正常,并提前一天召开进坞会,向船长说明进坞程序和需船方配合的程度^[3].

考虑到船坞所在黄浦江水域,来往船只较多,提前把进出坞事项提前告知海事部门,在“奋力”轮进入船坞前,在附近水域布置工作船,提醒过往船只注意避让.

船舶进坞前,要按照要求进行纵倾、横倾调整,一般纵倾首尾吃水不应超过船长的 1%,横倾调平^[4].考虑到进坞船型和船坞的净间距不足 2 m,进出坞时存在磕碰坞壁的风险,而原有老化的护舷、绞

盘和引船系统因时间关系来不及更换.根据现有条件,利用“奋力”轮上的绞盘、船坞两侧的系船柱和拖轮进行进出坞操作,并制定详细、安全、可靠的进出坞方法和流程,保证“奋力”轮顺利进出船坞.

3.2 进坞时间分析

在“奋力”轮进坞前,必须根据潮位信息提前规划进坞时间.由于打捞出水的古船及原址泥沙具有不确定性,打捞局预估浮箱吃水 5.5~6.0 m,上海船厂 1# 船坞底高程为-5.7 m.

若“奋力”轮吃水 6.0 m,马鞍梁高 1.3 m,考虑船底 0.4 m 的安全富裕量,最低进坞水位-5.7+6.0+1.3+0.4=+2.0 m.若控制“奋力”轮吃水 5.5 m,则最低进坞水位为-5.7+5.5+1.3+0.4=+1.5 m.

根据古船打捞整体计划,古沉船计划于 2022 年 10 月~11 月期间打捞出水,估计进坞时间在 11 月下旬前后,上海船厂 1# 船坞位于吴淞站和黄浦公园站之间,查 2022 年潮汐表可知相关潮位的时间段,如表 1 和表 2 所示.

表 1 大于等于 2.0 m 的潮位时间段统计表
Tab. 1 Statistics of time period of tide level greater or equaling to 2.0 m

潮位站	日期						
	11 月 22 日	11 月 23 日	11 月 24 日	11 月 25 日	11 月 26 日	11 月 27 日	11 月 28 日
吴淞	0:00—2:00,	0:00—2:00,	0:00—3:00,	0:00—3:00,	0:00—4:00,	1:00—5:00,	1:00—5:00,
	9:00—14:00	10:00—15:00	10:00—16:00	11:00—17:00	12:00—18:00	12:00—18:00	13:00—19:00
黄浦公园	0:00—1:00,	0:00—3:00,	0:00—3:00,	0:00—3:00,	0:00—4:00,	1:00—4:00,	2:00—5:00,
	10:00—14:00	11:00—15:00	11:00—16:00	12:00—17:00	12:00—18:00	13:00—18:00	14:00—19:00

表 2 大于等于 1.5 m 的潮位时间段统计表
Tab. 2 Statistics of time period of tide level greater or equaling to 1.5 m

潮位站	日期						
	11 月 22 日	11 月 23 日	11 月 24 日	11 月 25 日	11 月 26 日	11 月 27 日	11 月 28 日
吴淞	0:00—3:00,	0:00—3:00,	0:00—3:00,	0:00—4:00,	0:00—5:00,	0:00—6:00,	1:00—6:00,
	9:00—16:00	9:00—16:00	10:00—17:00	11:00—18:00	11:00—19:00	12:00—20:00	13:00—20:00
黄浦公园	0:00—2:00,	0:00—3:00,	0:00—3:00,	0:00—5:00,	1:00—5:00,	1:00—5:00,	2:00—6:00,
	11:00—15:00	10:00—16:00	11:00—17:00	12:00—19:00	13:00—19:00	13:00—19:00	13:00—20:00

由表 1 可见,11 月 22 日~24 日潮位≥2.0 m 的时间段约为 4 h,11 月 25 日~28 日潮位≥2.0 m 的时间段为 5~6 h.11 月 22 日~24 日的进坞时间在上午,11 月 25 日~28 日的进坞时间在中午或下午.

由表 2 可见,11 月 22 日~28 日潮位大于等于 1.5 m 的可作业时间在 4~8 h 之间,其中月 22 日作业时间最少.

综合分析,按照进坞水位+2.0 m 考虑时,11 月 25 日~28 日的可作业时间均较长,可选择此段时间的某一天.若将船型吃水调整到 5.50 m,进坞水位降低为+1.5 m,11 月 22 日~28 日都可以满足进坞需求.另外,进坞时间还需要根据天气状况、调度安排等因素确定具体某一时间.最终,专用浮箱“奋力”轮于 2022 年 11 月 25 日 12:30 左右开始进坞,约 2 h 完成进坞动作.

4 进出坞操作工艺

4.1 进坞操作工艺

(1) 调整拖轮编队。“奋力”轮抵达上海船厂旧址 1# 船坞外水域后,调整拖轮位置重新编队,按要求逐项检查设备工况、人员情况、安全保障措施、应急及各拖轮的工况等,初步判断风流压情况,经研判现场符合进坞要求时,慢慢将船队调整至船坞岸线外侧位置。

(2) “奋力”轮由航道调整到坞口。“奋力”轮船队进坞编队完成后,先将船坞调整到图 2 位置,根据现场风流压情况控制船位向顺时针方向旋转,控制往船坞方向的分量速度。船队行进过程中,保持船尾后方一艘拖轮向后带缆,防止“奋力”轮转弯过程中碰撞到护岸或坞壁的情况。根据现场风流情况将“奋力”轮调整到图 3 位置。

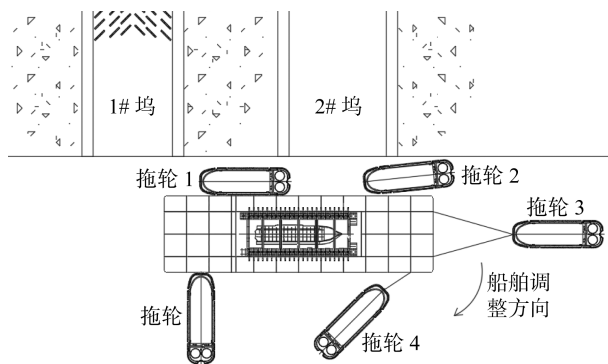


图 2 “奋力”轮调整位置示意图 1

Fig. 2 Schematic diagram 1 for adjusting the position of barge “Endeavor”

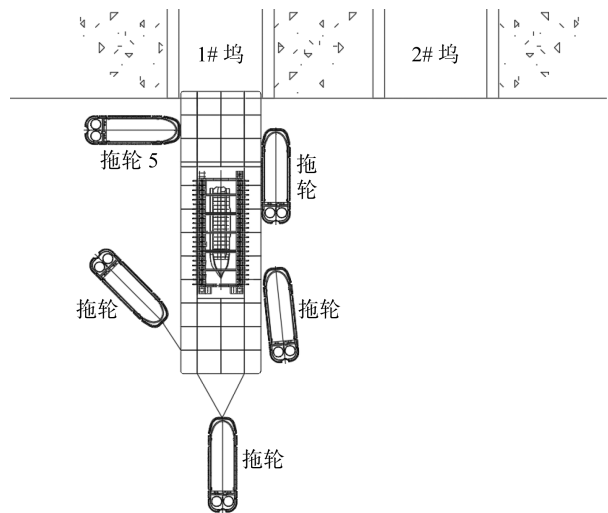


图 3 “奋力”轮调整位置示意图 2

Fig. 3 Schematic diagram 2 for adjusting the position of barge “Endeavor”

(3) “奋力”轮坞内移动到指定位置。将“奋力”轮船尾送入船坞 1~2 m 后控制好船位,将船坞中心线的缆绳绞上“奋力”轮船尾绞车,并将“奋力”轮船尾左右绞车上的缆绳各一个带至船坞中间坞墙外侧的缆桩(见图 4)。利用“奋力”轮 3 根牵引缆和编队的拖轮慢慢将“奋力”轮送入船坞。进坞过程中由坞长统一指挥“奋力”轮的前进速度,“奋力”轮指挥船长密切观测各牵引缆绳的受力情况,当达到或接近缆绳受力极限时,及时报告给坞长。“奋力”轮 1/2 船身进入船坞后停止继续进坞,解掉绑拖的缆绳,将船尾左右牵引缆调整至船坞最前方的左右缆桩,并将“奋力”轮船艏左右缆绳带到坞门口附近坞墙外侧的缆桩上(见图 5)。调整好拖轮的位置,继续同时绞“奋力”轮船尾的 3 根牵引缆,并用“奋力”轮船艏缆绳控制调整左右位置,“奋力”轮船头拖轮控制进坞速度。利用定位设备确认古沉船在马鞍底座正上方时,拆除“奋力”轮与古船遗址的连接缆绳,启动液压提升系统,缓慢下放古船遗址整体,直至弧形梁底部坐落在船坞底座上(见图 6)。

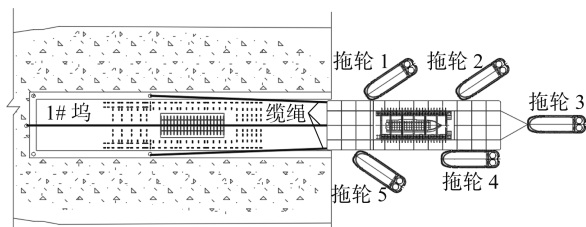


图 4 “奋力”轮进坞过程 1

Fig. 4 Docking process 1 of barge “Endeavor”

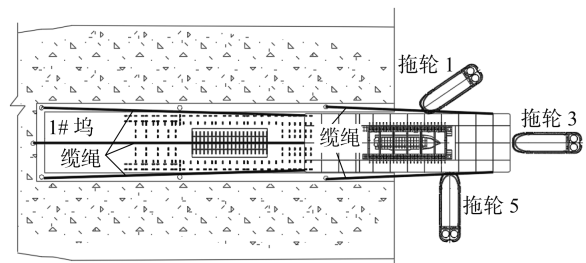


图 5 “奋力”轮进坞过程 2

Fig. 5 Docking process 2 of barge “Endeavor”

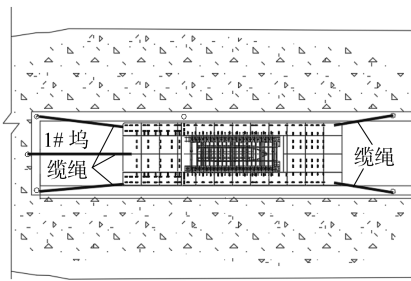


图 6 “奋力”轮进坞过程 3

Fig. 6 Docking process 3 of barge “Endeavor”

4.2 出坞操作工艺

“奋力”轮进坞落墩后,月池内的弧形梁承载古船及原生堆积保留在坞内,由文保单位进行后续考古发掘,浮箱其余部分切割后再进行出坞操作。

首先坞内注水,打开坞门放水,调整“奋力”轮的平衡,在“奋力”轮船艏布置一条拖轮作为出坞牵引,同时利用船艏左右 2 根牵引缆使“奋力”轮慢慢出坞。当“奋力”轮船艏左右缆绳方向与船体成 90° 时,该 2 根缆绳控制船体左右方向,利用拖轮的拖力继续出坞。“奋力”轮前后 1/2 船体出坞门口时,解掉船艏左右牵引缆,安排一条拖轮在“奋力”轮右前方倒绑缆绳,以便控制“奋力”轮出坞时的位置和速度。

当“奋力”轮船体尾部左右接近坞门口时,在“奋力”轮船尾右侧安排 1 条拖轮带一拖缆,利用 3 条拖轮控制好“奋力”轮的位置,解掉船尾 2 根牵引缆,同时,坞长将“奋力”轮出坞指挥权移交给指挥船长。“奋力”轮出坞至船坞外侧水域后,按拖带要求重新编队,符合出港要求后将“奋力”轮拖至指定码头。

5 结论

船舶进出坞操作通常借助船坞两侧的引船系统和绞盘来完成,若在引船系统和绞盘年久失修,不能利用的情况下,可以借助拖轮、船上绞盘和缆绳完成进出坞操作。本文介绍专用浮箱“奋力”轮进出闲置船坞的分析过程,提出安全进出坞的操作工艺方法。同时要注意以下事项:

(1) 船舶进坞前必须进行制定详细的计划和进出坞流程,并保证现场工作人员按照计划和进出坞流程进行操作。

(2) 对于需要乘潮进坞的船型,要提前计算好

进坞的具体时间,并提前进入靠近工程位置的待泊区域进行待泊。

(3) 在船坞的引船系统和绞盘已废弃或因其他原因不能使用的情况下,需要依靠拖轮和进坞船舶上的绞盘进行进出坞操作,拖轮和陆域人员之间要加强信息交流。

参考文献:

[1] 高原,余培金. 简析船舶进出坞及引船系统关键工艺技术[J]. 港工技术, 2022, 59(6): 5-8.
GAO Yuan, YU Peijin. Key technologies involving in ship docking, undocking and pilot system[J]. Port Engineering Technology, 2022, 59(6): 5-8.

[2] 李文岩. 大型船舶进坞牵引力及横向定位力研究[D]. 北京:华北电力大学, 2016.
LI Wenyao. Study on traction and lateral positioning force of large ships docking[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2016.

[3] 青岛北海船舶重工有限责任公司. 船舶进出干船坞技术要求 CB/T3677-2015[S]. 北京:中华人民共和国工业和信息化部, 2015.
CSSC Qingdao Beihai Shipbuilding Co., Ltd.. Requirement for ship in and out of dry dock CB/T3677-2015[S]. Beijing: Ministry of Industry and Information Technology of the People's Republic of China, 2015.

[4] 陈钢,秦晓宇,闻鸣. 特种船舶进出坞工艺分析[J]. 舰船科学技术, 2017, 39(3): 97-100.
CHEN Gang, QIN Xiaoyu, WEN Ming. Special vessels docking process analysis [J]. Ship Science & Technology, 2017, 39(3): 97-100.