

文章编号:1674-5949(2022)03-0025-07

# 安全拖带开普型无动力船靠泊仿真计算与实操

王光辉

(威海港引航站, 山东 威海 264200)

**摘要:**目前在拖带开普型无动力船等大型海上设施进出港的实践中,仍然存在很多仅凭经验操作的问题,缺乏科学论证,致使靠泊作业存在一定的安全隐患。为降低此类风险,提出2种拖船配置方案和操纵方法,通过经验公式对其进行仿真计算,论证这2种方案的可行性。在某靠泊实践中,结合实际作业情况优选其中一种方案,应用结果表明,该拖带靠泊方案是可行的,研究成果可供相关从业人员参考。

**关键词:**开普型船;力学论证;拖船配置;实船操纵;安全

中图分类号:U675.9 文献标志码:A

## Simulation and Practical Handling of Berthing a Non-Powered Capesize Ship by Towage

WANG Guanghui

(Weihai Harbour Pilotage Administration Station, Weihai 264200, China)

**Abstract:** The operation of berthing a non-powered capsize ship or the offshore platform of similar size by means of tugs is usually relied on operators' skill, which causes uncertainty of the process. An optimal tug allocation scheme and the corresponding operation procedure are proposed based on the author's experience. The dynamic analysis of the berthing process is conducted by empirical formula calculation to prove the feasibility of the scheme.

**Key words:** capsize ship; dynamic analysis; tugs' allocation; ship handling; safety

## 0 引言

开普型船又称好望角型船,泛指因尺寸较大而不能通过苏伊士运河,需绕行南非好望角的干货船,船长一般为250~300 m,载重量为15万~20万t。相比一般船舶,开普型船的方形系数较大,长宽比和舵面积比较小,直航性较差,旋回性较好,满载时吃水较大,受水流的影响比较明显,空载时吃水较小,干舷较高,受风的影响较大。对于无动力驳船和主机或舵机等关键设备存在故障的船舶而言,通常需要拖带航行。近年来,已有很多学者对船舶拖带航行进行理论研究和实践论证,通过建立数学模型、开展水池试验等方式,提出了很多船舶受力估算方法和经验公式,试图通过全面展现船舶的真实受力情况,更好地指导船舶航行。本文以拖带某空载开普型无动力船自锚地至船厂并靠泊的作业为例,结合以往的拖带作业经验,参照中国船级社的《海上拖航指南》(2011)相关内容,对安全拖带开普型无动力船靠泊方案进行力学分析。

## 1 船舶概况及环境和水文气象条件

以开普型无动力船“罗伯特”轮为例进行分析,该船长291.8 m,宽45.0 m,因其主机增压器发生了故

收稿日期:2022-02-07

作者简介:王光辉(1972—),男,山东荣成人,一级引航员,主要从事船舶港口引航方面的工作。

障,导致其主机无法启动,发电机和甲板设备能正常工作。拟拖带该船至山东荣成市鑫弘船厂并以右舷靠泊东2号泊位。该船厂的主航道长约3.3 n mile,宽500 m,主走向 $050^{\circ}\sim 230^{\circ}$ ,单向通航。该水域受潮流的影响显著,最大流速约为3.0 kn,出现在港池防波堤端部口门和主航道海上入口处,流与航道轴向交角约为 $45^{\circ}$ 。船厂港池中部水深较浅,最浅点的海图水深为4.5 m,大型船需整吃水乘潮进出船厂。根据船厂的要求,该船进港之前需调整艏吃水至4.3 m,调整艉吃水至6.1 m,乘最高潮通过港池中部浅水区。预报当天作业水域西北风4~5级,轻浪小涌,作业期间最大流速为1.0~1.2 kn。

## 2 拖船配置方案与拖航中航迹带宽度计算

### 2.1 拖船配置方案

考虑到该船的尺寸较大且以最小吃水状态进港,其艉部下缘距离水面较高,拖船无法顶推艉封板,因此其前进的动力只能以靠傍拖或主拖船吊拖船首获取,或将二者结合,该船船尾方向的拖力需由拖船吊拖船尾和/或该船舷侧的拖船提供。自锚位至泊位需经过加速、转向、减速、掉头、停船和靠泊等过程。根据以往的实践经验,提出2种拖船配置方案<sup>[1-2]</sup>,具体见图1。

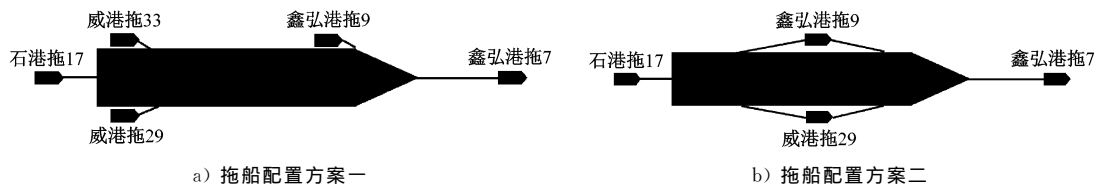


图1 拖船配置方案

### 2.2 拖航中航迹带宽度计算

进出该船厂的主航道宽500 m,单向通航,自海产养殖区穿过,航道两侧的界限用灯浮标识。当拖带船队以4~5 kn的速度在航道内航行时,由于速度较低,更易受风和流的影响,因此需确定其在预配风流压角情况下的航迹带宽度。

目前我国尚无针对此类航迹带宽度计算的标准,《海港总体设计规范》中的计算公式是否适用于此类计算尚存在争议。除了《海港总体设计规范》以外,国内还有一个针对此类计算的公式<sup>[3-4]</sup>,即

$$W = B + L + 2C \quad (1)$$

式(1)中: $W$ 为航迹带宽度,m; $B$ 为被拖物宽度,取45.0 m; $L$ 为傍靠拖船的长度,取40.0 m; $C$ 为船舶与航道底边之间的富余宽度。考虑到船舶两舷均有拖船协助,取 $B=45.0$  m。

通过计算可得出该拖航船队的航迹带宽度为175 m。该数值与按照美国陆军工程兵团《Hydraulic Design of Deep-draft Navigation Project》中关于航道宽度的确定方法计算出的结果(180 m)基本相同,故认为该航道宽度能满足拖航船队的安全通航要求。

## 3 拖航过程中的力学论证

根据中国船级社《海上拖航指南》(2011)附录2,正常船舶(包括非运输驳船、箱型船和水上结构)海上拖航的总阻力 $R_T$ 可根据经验公式<sup>[5]</sup>计算,即

$$R_T = 1.15[R_f + R_B + (R_{ft} + R_{Bt})] \quad (2)$$

式(2)中: $R_f$ 为被拖船的摩擦阻力,kN; $R_B$ 为被拖船的剩余阻力,kN; $R_{ft}$ 为拖船的摩擦阻力,kN; $R_{Bt}$ 为拖船的剩余阻力,kN。

尽管对于水中拖航来说,来自于水的阻力是主要的,但也不能忽视空气阻力的影响,尤其是在被拖船受风面积较大且风力较强的情况下。因此,为使拖航作业具有较大的安全余量,在根据经验公式计算出水阻力的基础上,根据Hughes风力公式计算出空气阻力,并将二者叠加。空气阻力的计算公式为

$$F_a = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot C_a \cdot (A_a \cos^2 \theta + B_a \sin^2 \theta) \cdot v_a^2 \cdot 10^{-3} \cdot 9.8 \quad (3)$$

式(3)中: $\rho_a$ 为空气密度,取 $0.125 \text{ kg} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$ ; $C_a$ 为风力系数; $A_a$ 为水线上船体正面投影面积, $\text{m}^2$ ; $\theta$ 为相对风舷角; $B_a$ 为水线上船体侧面投影面积, $\text{m}^2$ ; $v_a$ 为相对风速,m/s。

由此,水中拖航总阻力 $R_G$ 为

$$R_G = R_T + F_a \quad (4)$$

### 3.1 被拖船阻力计算

1) 被拖船“罗伯特”轮的摩擦阻力的计算公式为

$$R_f = 1.67L(1.7d + C_b B)v^{1.83} \times 10^{-3} \quad (5)$$

式(5)中: $L$ 为垂线间长,取285.7 m; $d$ 为平均吃水,取5.2 m; $C_b$ 为船舶方形系数,取0.75; $B$ 为船舶型宽,取45.0 m; $v$ 为被拖船对水航速,m/s。由此可得,被拖船的摩擦阻力  $R_f = 20.3v^{1.83}$ 。

2) 被拖船“罗伯特”轮的剩余阻力的计算公式为

$$R_B = 0.147C_m(C_m \times B \times d)v^{1.74+0.15v} \quad (6)$$

式(6)中: $C_m$ 为船中横剖面系数,取0.98。由此可得,被拖船剩余阻力  $R_B = 25.3v^{1.74+0.15v}$ 。

3) 被拖船“罗伯特”轮的空气阻力的计算公式为

$$F_{a1} = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot C_a \cdot (A_a \cos^2 \theta + B_a \sin^2 \theta) \cdot v_a^2 \cdot 10^{-3} \cdot 9.8 \quad (7)$$

式(7)中: $\rho_a$ 为空气密度,取0.125 kg·s<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>; $C_a$ 为风力系数,取1.1; $A_a$ 为水线上船体正面投影面积,取846 m<sup>2</sup>; $\theta$ 为相对风舷角,取最大值0°; $B_a$ 为水线上船体侧面投影面积,取5500 m<sup>2</sup>; $v_a$ 为相对风速,取被拖船对水航速  $v$  与当日阵风最大值(11 m/s)之和。由此可得,空气阻力  $F_{a1} = 0.57(v+11)^2$ 。

被拖船总阻力  $R_{G1} = R_f + R_B + F_{a1} = 20.3v^{1.83} + 25.3v^{1.74+0.15v} + 0.57(v+11)^2$ 。被拖船在不同对水航速下的总阻力见表1。

表1 被拖船在不同对水航速下的总阻力

被拖船对水航速/kn	4	5	6	7
摩擦阻力 $R_f$ /kN	76.1	114.3	159.2	211.5
剩余阻力 $R_B$ /kN	108.3	189.0	300.6	469.3
空气阻力 $F_{a1}$ /kN	97.8	105.0	113.3	121.5
总阻力 $R_{G1}$ /kN	282.2	408.3	573.1	802.3

### 3.2 拖船阻力计算

参与此次拖带作业的拖船均为功率、外形尺寸和船体线型相近的全回转拖船,下面以其中最大的拖船“鑫弘港拖7”轮为代表,计算其阻力大小。

1) 单艘拖船的摩擦阻力的计算公式为

$$R_{ft} = 1.67L(1.7d + C_b B)v^{1.83} \times 10^{-3} \quad (8)$$

式(8)中: $L$ 为垂线间长,取35.8 m; $d$ 为平均吃水,取4.2 m; $C_b$ 为拖船方形系数,取0.49; $B$ 为拖船型宽,取10.2 m; $v$ 为拖船对水航速,m/s。由此可得,单艘拖船的摩擦阻力  $R_{ft} = 0.73v^{1.83}$ 。

2) 单艘拖船的剩余阻力的计算公式为

$$R_{Bt} = 0.147C_m(C_m \times B \times d)v^{1.74+0.15v} \quad (9)$$

式(9)中: $C_m$ 为拖船船中横剖面系数,取0.85。由此可得,单艘拖船的剩余阻力  $R_{Bt} = 2.62v^{1.74+0.15v}$ 。

3) 单艘拖船的空气阻力的计算公式为

$$F_{at} = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot C_a \cdot (A_a \cos^2 \theta + B_a \sin^2 \theta) \cdot v_a^2 \cdot 10^{-3} \cdot 9.8 \quad (10)$$

式(10)中: $\rho_a$ 为空气密度,取0.125 kg·s<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>; $C_a$ 为风力系数,取1.1; $A_a$ 为水线上船体正面投影面积,取73 m<sup>2</sup>; $\theta$ 为相对风舷角,取最大值0°; $B_a$ 为水线上船体侧面投影面积,取236 m<sup>2</sup>; $v_a$ 为相对风速,取单艘拖船的对水航速  $v$  与当日阵风最大值(11 m/s)之和。由此可得,单艘拖船的空气阻力  $F_{at} = 0.05(v+11)^2$ 。

因此,单艘拖船的总阻力  $R_G = R_{ft} + R_{Bt} + F_{at} = 0.73v^{1.83} + 2.62v^{1.74+0.15v} + 0.05(v+11)^2$ 。拖船“鑫弘港拖7”轮在不同对水航速下的总阻力见表2。

### 3.3 需要的拖船功率分析

根据试验结果,每艘1000 kW全回转拖船能提供的拖力为199.92 kN<sup>[1]</sup>。在吊拖方式下,主拖船需克服被拖船的重力及其自身阻力,根据以上计算结果,在不同对水航速下需要的拖船功率见表3。

表2 拖船“鑫弘港拖7”轮在不同对水航速下的总阻力

拖船对水航速/kn	4	5	6	7
摩擦阻力 $R_f$ /kN	2.7	4.1	5.7	10.4
剩余阻力 $R_B$ /kN	11.5	19.6	31.1	48.6
空气阻力 $F_{at}$ /kN	8.6	9.2	9.9	10.7
总阻力 $R_{Gt}$ /kN	22.8	32.9	46.7	69.7

表3 在不同对水航速下需要的拖船功率

被拖船对水航速/kn	4	5	6	7
被拖船总阻力 $R_{Gt}$ /kN	282.2	408.3	573.1	802.3
单拖船总阻力 $R_{Gt}$ /kN	22.8	32.9	46.7	69.7
总阻力 $R_G$ /kN	305.0	441.2	619.8	872.0
需要的拖船功率/kW	1 526	2 207	3 100	4 362

此次拖带作业拟担任主拖船的“鑫弘港拖7”轮的主机额定总功率为3 824 kW,假定其在作业时能长时间发挥作用的功率为额定功率的80%,则其能提供的功率为3 059 kW,能满足拖航船队在对水速度接近6.0 kn时对拖船功率的需要。

### 3.4 拖航速度的确定

通过上述计算可知,拖航船队对水速度为6 kn时的总阻力和需要的拖船功率都约为对水速度为4 kn时的2.0倍,而当对水速度为7 kn时该值将增加到对水速度为4 kn时的近3倍。理论上,拖船协助前进中的大型船舶转向时的极限船速一般为5~6 kn。在实践中,当大型船舶的航速超过4 kn时,拖船的助操效果开始下降;当大型船舶的航速超过5 kn时,拖船很难起到助操作用。因此,拖航船队的航速宜控制在5 kn以下。

## 4 靠泊过程中的力学论证

### 4.1 风对船舶的作用力

根据Hughes公式,船舶靠泊时正横吹开风作用力的大小为

$$F_{a2} = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot C_a \cdot (A_a \cos^2 \theta + B_a \sin^2 \theta) \cdot v_a^2 \cdot 10^{-3} \cdot 9.8 \quad (11)$$

式(11)中: $\rho_a$ 为空气密度,取 $0.125 \text{ kg} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$ ;  $C_a$ 为风力系数,取1.1;  $A_a$ 为水线上船体正面投影面积,取 $846 \text{ m}^2$ ;  $\theta$ 为相对风舷角,取最大值 $90^\circ$ ;  $B_a$ 为水线上船体侧面投影面积,取 $5 500 \text{ m}^2$ ;  $v_a$ 为相对风速,取当日阵风最大值 $11 \text{ m/s}$ 。由此可得,正横吹开风作用力 $F_{a2}=448.4 \text{ kN}$ 。

### 4.2 横向水阻力

假设船舶在靠泊时的法向速度为0.6 kn,则此时其受到的横向水阻力 $F_w$ 为

$$F_w = \frac{1}{2} \cdot \rho_w \cdot C_w \cdot v_m \cdot L \cdot d \cdot 10^{-3} \cdot 9.8 \quad (12)$$

式(12)中: $\rho_w$ 为海水密度,取 $104.5 \text{ kg} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$ ;  $C_w$ 为水动力横向分力系数,取2.6;  $v_m$ 为靠泊时对水速度,取 $0.31 \text{ m/s}$ ;  $L$ 为船舶垂线间长,取 $285.7 \text{ m}$ ;  $d$ 为平均吃水,取 $5.2 \text{ m}$ 。由此可得,横向水阻力 $F_w=190.1 \text{ kN}$ 。

### 4.3 拖船推力分析

根据上述计算结果,“罗伯特”轮靠泊时的最大阻力为正横吹开风作用力与横向水阻力之和,即

$$F_R = F_{a2} + F_w = 638.5 \text{ kN} \quad (13)$$

在参与此次作业的拖船中,除了担任主拖船的“鑫弘港拖7”轮的额定功率为3 824 kW,其余几艘全回转拖船的额定功率均为2 940 kW。根据经验公式,全回转拖船每73.5 kW功率约可提供12.74 kN的顶推力,取其额定功率的85%提供工作时的顶推力,则2艘拖船的顶推力之和 $F_T=866.3 \text{ kN}$ 。该值大于靠泊时的最大阻力值638.5 kN。因此,采用2艘2 940 kW的全回转拖船即可满足该船的靠泊需求。

## 5 靠泊实操分析

此次拖带作业于2020年4月18日执行,天气和水文气象条件为:西北风5级;能见度约4 n mile;最大潮流流速约1.1 kn;最大潮高2.48 m(1200时)。根据潮汐情况,2名引航员于0930时在港外锚地登船,与“罗伯特”轮的船长充分交换拖带航行和靠泊作业信息之后,向其详细介绍了引航方案和应急预案。特别介绍了该船厂港池掉头区的直径约为680 m,“罗伯特”轮右舷靠泊时,需先向左掉头,再倒退入泊。经过充分讨论,引航员与船长都认为若按前述2.1节中的“拖船配置方案一”配置拖船,则在船首主拖船和船尾吊拖船解除对“罗伯特”轮船艏线方向的控制之后,对该船前进速度和后退速度的控制明显不如“拖船配置方案二”方便,且采用“拖船配置方案二”还能在保证安全的情况下节省1艘拖船,因此最终决定采用“拖船配置方案二”。

主拖船“鑫弘港7”轮在“罗伯特”轮船首以吊拖的方式带缆该船,用以提供该船前进的动力及改变其航向;“石港拖17”轮在船尾正中以吊拖的方式带缆,用以减速和协助“罗伯特”轮转向;“鑫弘港拖9”轮在左舷、“威港拖29”轮在右舷,二者以傍拖的方式带缆(均不带掬缆),用以协助提供“罗伯特”轮前进的动力或使其减速,这2艘拖船的艏缆均采用拖船的缆绳,艏缆均采用“罗伯特”轮的缆绳。各拖船带缆完毕之后开始起锚,锚离底之后主拖船开始起拖,待船首双锚收妥之后做好应急准备,使其处于随时可抛状态。靠泊操纵过程可分为以下4个阶段:

### 1) 由锚地进入主航道。

当锚离底,主拖船开始起拖时,大船的速度较低,指挥两舷的“鑫弘港拖9”轮和“威港拖29”轮沿“罗伯特”轮前进的方向进车,使其艏缆分别得力,以协助主拖船尽快提高“罗伯特”轮的航速。随后,指挥4艘拖船协调动作,避让锚地中的其他船舶。在航向和航速稳定之后,准确估计风流压差,指挥船队抢占上风、上流位,通过航道口进入主航道。

### 2) 由主航道至防波堤端部水域。

由于该船厂的主航道穿越海产养殖区,航道内的水流因受航道外养殖设施的影响而发生改变,需不断对风流压差进行调整,以修正船队的航迹向,保证“罗伯特”轮始终航行在航道中间偏上风、上流一侧。由于主航道段没有转向点,因此船队的速度可在保证船舶安全航行的情况下尽可能最大。保持尽可能大的拖航速度也有利于减小风流压差。需注意的是,受风和流的影响,主拖船的艏向、主拖缆的方向和被拖船“罗伯特”轮的艏向并不一定相同。前述2.2节中对拖带船队航迹带宽度的计算只起到参考作用,在实操中需注意风和流的影响造成的航迹带宽度增大。实践证明,尽量保持被拖船艏向与主拖缆方向一致是减小被拖船偏荡比较有效的方法。为实现这一目的,需根据操纵需要协调使用主拖船以外的另外3艘辅助拖船,利用这些拖船辅助控制被拖船的速度和艏向,防止其在拖航过程中发生偏荡或将其偏荡幅度抑制到最小。图2为“罗伯特”轮自主航道(1号红浮到3号红浮)至泊位轨迹图。

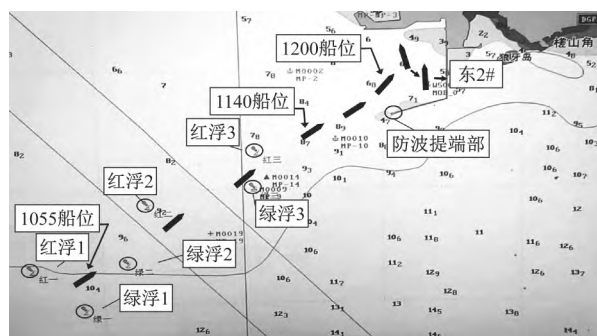


图2 “罗伯特”轮自主航道至泊位轨迹图

### 3) 接近防波堤端部至码头前沿水域。

自主航道通过防波堤端部进入港池是一个关键航段。这是因为船厂防波堤的修建改变了原来的流场,潮流在防波堤处分流,小部分进入港池之后在口门处改为相反的方向,因此大型船舶在通过防波堤时,其艏部与艉部可能会遭遇方向相反的水流的作用。大部分水流被迫沿防波堤外侧改向,且流速提高,在大潮日4级风的情况下,有时出港航速为7 kn时风流压差可达40°以上。拖航船队选择在小潮日进港,在接近最高潮

时通过防波堤端部进入港池,就是为了降低此处强流的影响。

根据以往的经验,在相对狭窄的水域指挥主拖缆较长的拖航船队进行 $10^{\circ}$ 以上的转向时,需配合适当的航速,将其分解为多次、连续的小角度转向。这是因为对于被拖船来说,其艏向的改变主要通过改变主拖缆的方向实现,而主拖缆方向的改变需通过改变主拖船的位移实现。粗略估算主拖船的位移量,是以被拖船的艏部为圆心,以该圆心到主拖船主拖钩的距离为半径的一段圆弧的长度。半径越大,弧长就越长,主拖船完成所需位移量的时间就越长。同时,当被拖船尺寸和/或重量较大时,其转向惯性通常也较大,若一次性转向太多,可能造成被拖船的艏向超过计划航向过多,从而造成不利局面。因此,将大角度转向分解为多次小角度转向可有效避免该情况。

在此次作业中,自主航道需转向约 $20^{\circ}$ 进入港池口门,转向前指挥主拖船和3艘辅助拖船协调操纵,在将船队的速度降到 $3\sim 4$  kn的同时,使“罗伯特”轮始终处在与防波堤端部和其对侧养殖区均有足够大的间距的计划航线上。指挥主拖船“鑫弘港拖7”轮以小角度分多次渐次完成转向,艏拖船“石港拖17”轮协助修正“罗伯特”轮的艏向。两舷傍拖拖船“鑫弘港拖9”轮和“威港拖29”轮协助控制“罗伯特”轮的航速,使船队安全进入港池。

#### 4) 码头前沿水域掉头和靠泊。

船队进入港池之后,主拖船主要用于调整“罗伯特”轮的艏向,“罗伯特”轮依靠剩余惯性前进。指挥4艘拖船协同动作,待“罗伯特”轮接近掉头区,其船首距码头约800 m时,将其前进航速控制在1.5 kn左右,并使其船首开始有向左转向的趋势。指挥主拖船“鑫弘港拖7”,将其带缆方式由正拖改为倒拖(在拖船内部操作完成,不用解缆和重新带缆),并缩短缆绳的长度,协助“罗伯特”轮向左掉头;指挥船尾吊拖船“石港拖17”轮和两舷傍拖拖船“鑫弘港拖9”及“威港拖29”轮协同动作,在刹减船速的同时,协助“罗伯特”轮向左掉头。待“罗伯特”轮掉头完成且艏向稳定之后,指挥4艘拖船协同操纵,使“罗伯特”轮后退,最终使其平行置于泊位对开位置,并将其对地速度控制为0。

由于靠泊之前需重新安排拖船,因此靠泊横距需比同尺度的有动力船大一些。接着解掉右舷傍拖船“威港拖29”轮,令其到“罗伯特”轮左舷平行中体后端负责顶推(不带缆);“石港拖17”轮调整缆绳的长度,在船尾转至9点拖位负责拖拽“罗伯特”轮的艏部;“鑫弘港拖7”轮在船头转至垂直“罗伯特”轮,负责顶推/拖拽以控制其船首;“鑫弘港拖9”轮保持在原位,负责调整“罗伯特”轮前后位置(具体配置见图3)。最终,在4艘拖船的协同作业下,顺利将“罗伯特”轮靠在东2号泊位。

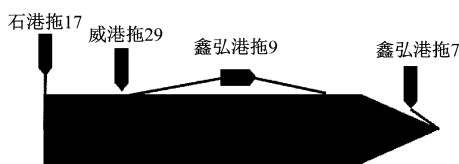


图3 泊位对开位置拖轮配置图

## 6 拖带大型船舶注意事项

1) 制订应急预案。根据世界近海事故数据库的无动力船舶近海事故详细报告<sup>[6]</sup>,拖航事故约占风险总量的10%,属于高频事故。因此,驾引人员在制订拖航作业方案的同时,必须制订切实可行的应急预案。具体到此次作业,在制订应急预案时主要考虑以下内容。

(1) 主拖缆断裂导致被拖船操纵失控。当主拖缆因受某种因素的影响而断裂时:首先,令主拖船采取正确的措施,防止其螺旋桨被断缆缠绕;其次,令另外3艘拖船协同操纵,在将被拖船对地速度刹减为零的同时,尽量保持其船位在航道中线偏上风流一侧,视需要让被拖船抛单锚或双锚,以协助保位、保向;最后,引导主拖船重新带妥备用主拖缆,一切完备之后,将被拖船的锚绞起备妥,恢复拖航。

(2) 被拖船过度偏荡导致拖带失控。当被拖船出现过度偏荡的情况时,需立即指挥4艘拖船协同操纵,尽快把定航向,随后调整拖航速度,视需要调整主拖缆的长度。在作业过程中,应始终保持合适的船速,使用小角度转向,避免主拖船突然高速大角度转向。

(3) 主拖船因主拖缆缠绕螺旋桨或机械故障而失控。当出现这种情形时,应立即指挥3艘协作拖船协同操纵,配合被拖船锚的使用,将被拖船对地速度减为零,并保证船位安全。待主拖船恢复正常或新的主拖

船到来之后,重新带妥主拖缆,绞起备妥被拖船锚之后,恢复拖航。

(4) 当任一协作拖船因故不能正常执行任务时,应立即用应急拖船替代。

(5) 告知被拖船的船长及各拖船的船长按各自的应急部署要求做好火灾应急预案、机损应急预案、搁浅与触礁应急预案和人员落水应急预案等。

2) 拖带航行是较为复杂的海上活动,拖带力与风浪条件、拖航时间和装具的新旧等都有一定的关系。尽管近年来国内外相关学者已从经验公式、统计图谱、拖曳水池试验、耐波性水池试验、三维势流理论和时域非线性方法等方面着手,开展了大量研究工作,但这些公式和研究方法在现阶段仍很难准确给出上述参数的变化对拖带力的影响。因此,根据本文所述经验公式计算出的结果只能作为实际作业的参考,不能成为作业安全的保证。

3) 引航方案需精心制订,保证切实可行,并在作业之前确保所有参与作业的拖船和被拖船都了解引航方案及应急预案。每名参与作业的工作人员和每艘参与作业的拖船都是影响作业安全的重要因素,均应严格执行作业总指挥下达的每个指令。当遇到问题时,应立即上报给上一级指挥人员,不得擅自行动。

4) 无动力船受风、流的作用比有动力船显著,需充分考虑当地水文气象条件的影响,若有可能,应选择在水文气象条件影响较小的时间作业。

5) 作业准备阶段应加强对拖带索具的养护和检查,使其保持良好的适应状态。特别要注意仔细检查琵琶头等关键部位,当发现磨损超过规定时应及时更换,以防在作业过程中出现断缆的情况。主拖船应至少准备2条主拖缆,其中一条备用。

6) 主拖缆的长度应在综合考虑被拖船的受风面积、排水量和航道情况之后确定,并在拖航过程中根据拖缆受力情况和主拖船的拖带经验进行调整。起拖时主拖船应逐渐加车,避免快速加车,尽量使主拖缆和索具逐渐带力,直至船舶定速、匀速航行。拖航过程中相关人员应在保证安全的前提下适时检查拖缆受力点的磨损情况,严防发生意外。

7) 拖航过程中主拖船应注意定位,采用合理的风流压差,保证拖航船队航行在计划航线上。转向之前根据情况提前减速,以小角度渐次完成转向,防止被拖船因惯性较大而大幅漂移,离开计划航线区域。

8) 根据港口作业特点采取合理的拖船配置方案。若方案中有拖船采用傍拖式带缆,则建议拖船的艉缆采用被拖船的缆绳,以便拖船的艉缆在解缆阶段能被被拖船绞收,从而以最短的时间收清水中的缆绳,避免妨碍拖船的下一步动作。

9) 确保通信畅通,参与作业的人员之间的交流没有障碍。

10) 充分获得当地海事主管机关对交通流的协调指挥支持,尽可能地保持航道清爽。保持正规瞭望,对于妨碍拖航的情况,早发现、早联系、早协调避让,避免近距离大角度转向和/或大幅度加/减速。

11) 加强船岸沟通,并留有至少1艘拖船作为应急拖船,并执行护航任务。

## 7 结 语

本文以拖带一艘开普型无动力船靠泊船厂码头为例,提出了一种典型的拖带作业方法和操作流程。操作之前拟定了作业方案,并对各关键操作进行了计算论证。由于对计算结果保留了较大的安全余量,为后续在操作过程中根据风、流和浅水效应等客观条件的变化采取临时调整措施提供了安全保障。随着类似操作事件数量的增加,今后可进一步优化大型船舶操纵指数的选取,使仿真模型更接近于操纵实践,从而为提高此类作业的安全性提供更可靠的支撑。

参考文献:

- [1] 陆悦铭,陆珺,詹海东.安全引航的可行性论证和实际操纵[J].航海技术,2006(4):18-20.
- [2] 王岩松.大型重载无动力船舶进秦皇岛港的论证和实操[C]//2015年中国航海日论坛暨2015中国引航发展论坛论文集.北京:中国航海学会,2015:107-112.
- [3] 李永焯,郑书禧,包兴先.海洋平台拖带航道宽度计算[J].船海工程,2016,45(5):142-145.
- [4] 沈建云.拖带钻井平台“勘探三号”出口深圳港引航方案[J].航海技术,2015(2):22-25.
- [5] 中国船级社.海上拖航指南[M].北京:人民交通出版社,2011.
- [6] 刘艳敏,邢福,周佳.船舶水面拖航系统运动性能研究进展[J].船舶与海洋工程,2018,34(4):1-6.