

# 曹妃甸港40万吨矿石船满载靠泊引航技术探讨

史海波, 梅春蛟

唐山港引航站, 河北 唐山

收稿日期: 2024年2月20日; 录用日期: 2024年5月11日; 发布日期: 2024年5月24日

## 摘要

曹妃甸港具有渤海湾内优良的深水岸线, 是服务国家重大战略的能源原材料主枢纽港, 曹妃甸头区5#、6#泊位于2015年6月获批停靠40万吨矿石船。本文就曹妃甸水域气象、水文、通航环境、技术保障对航行及靠泊安全的影响, 探讨40万吨矿石船满载靠泊曹妃甸头区5#、6#泊位的引航方案, 并实现首艘满载40万吨矿石船“远津海”轮靠泊。

## 关键词

40万吨满载矿石船, 引航, 安全

# Disquisition on the Pilotage Technology of 400,000-Ton Ore Carrier Berthing with Full-Loaded in Caofeidian Port

Haibo Shi, Chunjiao Mei

Tangshan Pilot Station, Tangshan Hebei

Received: Feb. 20<sup>th</sup>, 2024; accepted: May 11<sup>th</sup>, 2024; published: May 24<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

Caofeidian Port has excellent deep water coastline in Bohai Bay, which is the main hub port of energy and raw materials and serves the national major strategy. The ore terminal 5# and 6# in Diantou area of Caofeidian were approved to dock 400,000-ton ore carrier in June 2015. Based on the influence of meteorology, hydrology, navigation environment and technical support on navigation and berthing safety in Caofeidian waters, Disquisition on the pilotage scheme for 400,000-ton ore carrier berthing at the ore terminal 5# and 6# in Diantou area of Caofeidian and the berthing case of the first full-loaded 400,000-ton ore carrier “Yuanjin Hai”.

## Keywords

### 400,000-Tonore Carrier with Full-Loaded, Pilotage, Safety

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

一艘 40 万吨满载船比一艘开普型船, 综合运输成本可降低 25%, 污染物排放量可减少 34%。截止至 2022 年 8 月, 曹妃甸头区 5#、6#号泊位共接靠了 51 艘 40 万吨矿石船, 均是在渤海湾外港口减载后靠港, 致航运企业的船期和港口使费增加, 影响了企业的经济效益。为充分释放 40 万吨专业铁矿石泊位能力, 降低铁矿石原料供应链总成本, 40 万吨船满载靠泊曹妃甸头区 5#、6#号泊的引航相关研究亟待解决。

## 2. 曹妃甸港区水文气象

### 2.1. 码头概况

曹妃甸头区 5#、6#号泊位为开敞式泊位, 泊位走向 090°/270°, 与岸线夹角 40°, 泊位总长度 796 m, 泊位前沿水深 25 m, 掉头区水深 25 m。

曹妃甸头区 5#、6#号泊位虽然获批可以靠泊 40 万吨船舶, 但作为相邻泊位不可同时靠泊两艘 40 万吨船舶。

### 2.2. 气象因素

#### 2.2.1. 风的影响

曹妃甸港区常风向为 SSW 向, 出现频率为 10.0%; 次常风向为 ENE 和 SSE 向, 出现频率为 9.0%; 强风向为 ENE 向, 最大风速为 25 m/s; 次强风向为 NE 向, 最大风速为 21 m/s。

风对船舶产生的风压力大小可以根据《港口工程荷载规范》(JTS144-1-2010) [1]进行计算, 依据该规范中的附录 E, 作用于船舶上的横向的风压力可以按照以下公式计算:

$$F_{xw} = 73.6 \times 10^{-5} A_{xw} V_x^2 \zeta_1 \zeta_2$$

式中:

$F_{xw}$ ——船舶横向风压力(kN);

$A_{xw}$ ——船体水面以上横向受风面积(m<sup>2</sup>), 参考船舶资料, 40 万吨矿石船满载, 横向受风面积取值 1505 m<sup>2</sup>;

$V_x$ ——风速的横向分量(m/s);

$\zeta_1$ ——风压不均匀折减系数, 船体水面以上轮廓尺度  $\geq 250$  m 时, 取 0.6;

$\zeta_2$ ——风压高度变化修正系数, 船体水面以上高度为 20 m 时取 1.39, 船体水面以上高度为 30 m 时取 1.54。

当风力 6 级(10.8~13.8 m/s), 计算值取风力上限 13.8 m/s, 风向为正横来风时, 船舶所受的横向风压力为:

$$F_{xw} = 73.6 \times 10^{-5} \times 1505 \times 13.8^2 \times 0.6 \times 1.54 \approx 194.9 \text{ kN}$$

风对运动中的船舶造成的影响主要表现为失速、向下风飘移和偏转等, 不利于船舶保持航向, 有时也不利于船舶转向, 受风面积越大, 影响越大。

曹妃甸港所配备辅助拖轮为全旋回型拖轮, 根据《港作拖轮使用指南》, 考虑倒车功率的减弱和适当的安全余量, 拖轮系柱拉力和拖轮主机功率的关系: 按每 100 马力主机功率提供约 1.0 吨系柱拉力计算。不考虑其它因素影响, 40 万吨矿石船满载靠泊时, 为抵消船舶的横向风压力, 在配备辅助拖轮时在原有拖轮配置基础上应额外增加拖轮的总功率约为 2000 马力。

### 2.2.2. 雾的影响

根据曹妃甸气象站资料统计, 能见度小于 1000 m 的雾日数年平均出现 22 d, 雾延时多为 1~3 h。大雾多出现于每年的 11 月至翌年的 2 月。

能见度小于 1000 m 的雾对 40 万吨满载船的安全航行形成很大威胁, 因此 40 万吨船满载直航靠泊时间在 11 月至翌年的 2 月时, 要充分考虑能见度可能带来的不利影响, 合理安排进港时间。

## 2.3. 水文

### 2.3.1. 流的影响

流是影响 40 万吨满载船靠泊的重要因素。曹妃甸海域涨潮西流, 落潮东流。曹妃甸甸头区 5#、6# 号泊位和距离浅滩较远海域, 潮流基本呈现东西向的往复流运动; 在靠近浅滩海区, 由于受地形变化影响和漫滩水流作用, 主流流向有顺岸或沿等深线方向流动的趋势。

为了研究流对 40 万吨满载船靠泊的影响, 选择曹妃甸水域距离 5#、6# 泊位较近的 5# 和 6# 测站数据, 观测所得数据: 涨潮最大流速为 1.23 m/s, 流向为 284°, 通常流向变化区间 284°~324°; 落潮最大流速 0.98 m/s, 流向 088°, 通常流向变化区间 088°~156°。

船舶在流水中的受流作用力[2], 计算公式为:

$$F = \frac{1}{2} \rho_w C_w (A \cos^2 \alpha + B \sin^2 \alpha) v^2$$

式中:

$F$ ——船舶的受流作用力(kN);

$\rho_w$ ——海水密度(kg/m<sup>3</sup>), 取值 1.022 kg/m<sup>3</sup>;

$C_w$ ——流压因数, 取 0.6;

$A$ ——为船舶正面水线以下受流面积(m<sup>2</sup>);

$B$ ——为船舶侧面水线以下受流面积(m<sup>2</sup>);

$\alpha$ ——为流舷角(°);

$v$ ——为流速(m/s)。

船舶侧面水线受流面积按  $B = L_{BP} \times D$  计算, 其中  $L_{BP}$  为两柱间长度,  $D$  为船舶平均吃水, 40 万吨满载矿石船取值  $L_{BP} = 353$  m,  $D = 23.1$  m。

40 万吨矿石船满载靠泊, 横流影响最为显著, 需要使用拖轮协助来克服横向力。先分别代入不同流速时计算船舶的受流横向作用力(详见表 1):

**Table 1.** Transverse forces (kN) on ships under transverse current at different speeds

**表 1.** 不同速度横流下船舶所受横向力(kN)

横向流速(m/s)	0.25	0.5	0.75
所受横向力(kN)	156.3	625.0	1406.3

因此, 结合曹妃甸拖轮的使用配备情况(后文说明), 40 万吨满载船应选择落潮时右舷靠泊, 适当调整受流角, 入泊时横向流速不宜超过 0.25 m/s。

### 2.3.2. 波浪的影响

曹妃甸甸头区 5#、6#号泊位, 常浪向为 S 向, 出现频率为 10.87%, 次常浪向为 SW 向, 出现频率为 7.48%。强浪向 ENE 向, 该向  $H4\% \geq 1.5$  m 出现频率为 1.63%, 次强浪向 NE 向,  $H4\% \geq 1.5$  m 出现频率为 0.97%, 观测期间未出现平均周期大于 7.0s 的波浪。

波浪对运动中的船舶造成的影响主要表现为吃水增加和摇摆等。其影响程度与船舶尺度大小有关, 对 40 万吨满载船影响较小。但由于曹妃甸甸头区 5#、6#号泊位为开敞式泊位, 波浪对辅助拖轮影响很大, 如果浪高超过 1.5 m, 辅助拖轮将无法正常工作, 会严重影响 40 万吨满载船的安全靠泊。因此, 40 万吨满载船靠泊时浪高不宜超过 1.5 m。

## 2.4. 通航环境的影响

曹妃甸甸头区 5#、6#号泊位附近的通航船舶密度较大。除第一分道、曹妃甸一港池和二港池的交通流外, 还包括近岸航行的小船(工作船、拖轮、渔船等)交通流, 均对 40 万吨满载船靠泊构成影响, 妨碍其正常航行, 导致存在碰撞的风险。

因此, 40 万吨满载船靠泊时应密切关注所经过水域的船舶动态, 安排护航船在航路上和本船周围警戒, 加强瞭望, 使用安全航速, 制定应急预案。

## 3. 引航方案确定

### 3.1. 进港航路选择

进港航路应尽量避免密集交通流, 关键路段是从锚位到东锚地西南角, 建议选择曹妃甸东锚地南边线和曹妃甸第一分道北边线之间水域, 详见图 1。

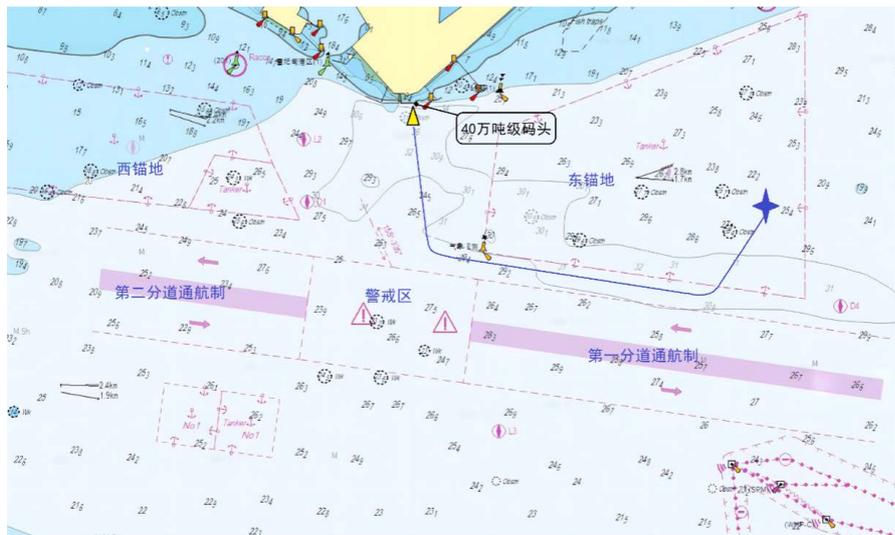


Figure 1. Schematic diagram of sailing route

图 1. 航路示意图

### 3.2. 潮水选择

40 万吨船惯性大, 旋回半径大, 顺流舵效差。曹妃甸甸头区 5#、6#号泊位位置落潮流流速低于涨潮

流, 进港过程建议尽量选择落潮时段, 入泊过程顶缓流操作, 增强船舶的操纵性, 即低平潮前 1~1.5 h 完成入泊操作为宜。

### 3.3. 入泊横距及入泊角

受泊位水下建筑和海底地形影响, 同一时间在接近岸线的位置流速会明显增大, 故建议入泊横距不宜小于 0.3 nmile。

入泊时入泊角过大会导致辅助拖轮不能完全克服流的轧拢, 从而造成大船拢速过快撞损码头, 因此建议初始入泊过程中入泊角不宜大于  $10^\circ$ , 在接近码头的过程中, 逐渐调整入泊角, 在横向距离约 1 倍船宽时, 入泊角调整为接近  $0^\circ$ , 即平行靠泊。

### 3.4. 入泊过程中的速度控制

40 万吨矿石船配备右旋螺旋桨, 倒车时螺旋桨的沉深横向力造成船首右偏, 为降低风险, 建议入泊过程中船位在距离泊位 1000 m 时, 纵向速度不宜超过 2.5 kn; 船位在距离泊位 1 倍船长时, 纵向速度不宜超过 1.5 kn。同时, 触碰码头碰垫时的法向速度不宜过快, 在距离泊位 1 倍船宽时, 将拢速控制在 10 cm/s 以下, 并逐步降速, 靠拢时拢速降到 5 cm/s 以下[3]。

### 3.5. PPU 的使用

便携式引航员终端(Portable Pilot Unit, 简称 PPU)在如今的引航操作中作用越发重要。随着科技的发展, PPU 逐渐发展为高精度、功能丰富的导航与辅助决策工具。PPU 不仅能对本船和目标船船位进行监控, 还能提供潮汐等与引航相关的各种信息, 大幅降低引航员的工作强度, 提高引航员对航行局面的感知能力, 改善在受限水域、恶劣天气等环境下的引航操作安全性。

### 3.6. 系缆安排

曹妃甸甸头区 5#、6#号泊位位于甸头区东侧, 涨潮时受开流影响较大, 系缆安排增加横缆数量, 参考舟山港 40 万吨矿船带缆经验[4], 结合本港实际情况带缆布置确定为首尾均为 6-4-3, 即船首 6 根首缆、4 根首横缆、3 根首倒缆; 船尾 6 根尾缆、4 根尾横缆、3 根尾倒缆, 共计 26 根缆绳。带缆顺序为先带首尾倒缆, 再带首尾横缆, 最后带首尾缆。

## 4. 引航方案实施

“远津海”轮于 2022 年 9 月 21 日 19:00, 抵达曹妃甸锚地抛锚, 锚位位于曹妃甸东锚地东边线中间附近, 与泊位间直线距离为 12 nmile。

“远津海”轮, 船长 361.9 m、宽 64.99 m、平吃水 23.1 m, 载重吨 398,316 t, 载铁矿石 390,222 t, 2019 年建造。

### 4.1. 水文气象要素

风力六级, 风力预期减弱, 风向 NW。曹妃甸港区为规则半日潮, 当日潮汐信息: 高潮潮时 1245、潮高 202 cm, 低潮潮时 1741、潮高 182 cm。预计潮流在低潮前 1.5 h 后减弱至 0.25 m/s 以下。

### 4.2. 登轮

22 日 10:00, 风力减弱至 6 级, 交通管制解除, 考虑到该船及时靠泊的重要影响, 以及涌浪的预期减小, 决定引领船舶进港靠泊。

因为海况恶劣, 送引航员登轮难度加大且时间增长, 按照设计进港航路进港比预计时长延长约 1 h, 曹妃甸登轮点设置不同于其他港口, 整个东锚地范围均为登轮区, 为尽早登轮抢占先机, 引航团队主动承担风险, 提前 1.5 h 于 11:40 出发实施远距离登轮接船, 13:55 登轮。

### 4.3. 驾驶台资源应用

登轮后, 向船方获取引航卡(Pilot Card), 充分了解助航设备、船舶状态等情况; 同时向船长介绍此次引航方案[5]。向船长阐述航行中存在的风险, 包括: 分道通航附近交通流的影响, 禁渔期内不法捕鱼船所带来的风险, 听取船长关于引航方案的意见和建议。虽然预期风浪减小, 但不排除由于外部条件不及预期无法安全引航而中断引航作业的可能。

#### 4.3.1. 应急预案

对于突发紧急情况的应急预案, 是船舶安全的最后保障, 主要包括能见度不良、主机故障、舵机失灵、船舶跳电等的应对。引航站及船方均有针对各种突发情况的应急预案, 引航员与船长交流沟通求同存异。航行中除了要求有护航拖轮外, 船上双锚要求处于应急备妥状态。

#### 4.3.2. 拖轮的配置与护航

结合曹妃甸港拖轮现状及配置的相关规定、前文关于风和流作用力的计算, 以及 40 万吨满载船舶进港海事护航要求, 最终配备 9 艘拖轮协助: 6900 HP 拖轮 2 艘于距泊位 1 nmile 时分别于左舷首楼和左舷船尾带缆; 5200 HP 拖轮 4 艘, 其中 2 艘于距泊位 1 nmile 时分别于左舷 1 舱和左舷驾驶台前带缆, 剩余 2 艘只用于顶推不带缆; 4400 HP 拖轮 2 艘, 航行中警戒护航, 1 艘大船前方 1 nmile 护航, 1 艘大船左侧伴航; 3600 HP 拖轮 1 艘, 由于曹妃甸甸头区 5#、6#号泊位码头前沿经常有捕鱼作业的渔船, 此拖轮一直于就位于码头泊位前沿看护。

### 4.4. 靠泊过程简述

登轮后, 由于航速较低, 流压差较大, 充分利用 PPU 设备, 正确使用雷达, 密切关注船舶对地运动的矢量线变化, 尽快驶离锚地。船舶在分道通航和锚地之间航行时: 注意守听甚高频无线电话, 由于航速慢, 使用分道通航的船舶联系我船时及时回应, 密切关注 VTS 频道收集的他船动态; 对于进出锚地的船舶, 提前联系, 降低会遇时的风险。

航行至锚地西南角后, 转向靠近码头的过程中潮流变强, 流向发生明显变化, 随着航速逐渐降低, 船舶被明显压向右舷侧, 此时要逐渐调整航向, 将 PPU 设备调整至靠离泊模式, 利用岸上物标综合判断船舶运动状态, 避免船舶过快拢向泊位。

船舶于低平潮时前 1.5 h, 即 16:10 抵达泊位前沿水域, 在纵向距离泊位 1 倍船长时, 控制进速 1.2 kn, 船尾拖轮开始调整位置至垂直备妥。入泊角度 10°, 即船首向 280°, 横距 0.3 nmile, 开始入泊操纵。

入泊过程中, 随时关注大船纵向速度和拢速, 及时调整应对措施, 配合使用辅助拖轮, 横距 1 倍船宽时拢速控制为 5 cm/s, 16:40 “远津海” 轮平行靠拢码头, 开始带缆, 17:40 结束带缆作业。

### 4.5. 经验总结

40 万吨船满载矿石船靠泊开敞码头, 风力的影响主要表现对辅助拖轮功率损失的影响, 流场对靠泊的影响尤为显著, 且越接近泊位越明显。在变化流场中且为压拢流时, 密切关注船舶的运动状态, 通过调整航向和航速, 控制船舶向码头压拢的速度, 在靠拢过程中, 由于船首尾受流影响拢速不同, 靠泊过程中提前将船尾最后一艘拖轮调整至垂直备拖位置, 配合大船车舵控制船尾压拢速度, 即对潮流影响较大一端要提前干预以保障安全。本次靠泊操纵中潮时的选择, 横距及入泊角的控制, 靠泊时速度的控制,

拖轮的配备与使用等对曹妃甸甸头区 5#、6#号泊位接靠 40 万吨船满载矿石船积累了宝贵经验, 也希望能对其它有流港口 40 万吨船满载靠泊提供一定的参考。

## 5. 结束语

通过分析曹妃甸港区水文、气象和通航环境对超大型货船的影响, 根据理论计算和积累的经验确定引航方案, 用理论指导实际实施引航方案, 最终确保引航的安全。40 万吨船满载矿石船“远津海”轮安全靠泊曹妃甸港, 对渤海湾港口群及京津冀地区经济发展都具有显著的战略、经济、环保意义。2023 年 7 月 28 日唐山港引航团队再次以此方案为蓝本安全靠泊 40 万吨满载矿石船“远谷海”轮。自此, 曹妃甸港实现 40 万吨矿石船满载靠泊常态化, 为促进河北沿海经济高质量发展再添新动力。

## 参考文献

- [1] 中华人民共和国交通运输部. 海港总体设计规范: JTS 165-2013 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2010.
- [2] 鲁颢, 唐元清. Valemax 型船舶简介及操纵[J]. 航海技术, 2019(2): 35-39.
- [3] 庄盛发, 朱建平, 张映锡. 40 万吨级散货船进出湛江港安全及操纵技术探讨[J]. 航海技术, 2022(4): 4-6.
- [4] 张文太. 舟山港 40 万吨级矿船进出港通航安全保障措施研究[J]. 中国水运, 2022(10): 25-27.
- [5] 陆悦铭, 胡建国. 引航员与船长间信息交流方式研究[J]. 中国航海, 2006(4): 46-50.