

VLCC 靠系泊青岛海业油码头的风险和对策

吕锡宝, 宋学斌, 窦佩军

(青岛引航站, 山东 青岛 266106)

摘要: 青岛海业油码头水域是不均匀流场。为提高 VLCC 靠泊和系泊该码头的安全性, 使其靠泊和系泊过程所受外力皆在可控范围之内, 减少不必要的航行、靠泊和系泊风险, 有必要对船舶航行、靠拢和系泊过程中船舶所受的水流力进行量化。根据流体力学的原理, 得出船舶在海业油码头水域不均匀流场的不同位置、不同时段所受的水流力, 以及由此导致的船舶运动变化, 进而推导出船舶在相应的拖轮、系缆配置下最佳的靠泊窗口期。运算量化结果表明, 大潮汛期间, 船舶入泊的窗口期为高潮前 1 小时和高潮后 40 分钟之间; 系缆和系泊期间, 6 条拖轮中的 5 条应置于船首外档, 全力顶推, 防范船首受内开流的作用离开码头。

关键词: VLCC; 青岛海业油码头; 不均匀流场; 水流力; 入泊窗口

中图分类号: U675 **文献标识码:** A

引言

受不均匀流场的作用, 船舶靠泊和系泊青岛海业油码头期间, 有着若干风险记录。如大潮汛期间入泊较早, 受较强顺向流的作用, 船速难以制动; 入泊较晚, 左舷船首受开流的作用, 船舶无法靠拢, 导致靠泊失败; 系泊期间, 如果没有及时调整各缆绳的拉力, 并辅以拖轮协助, 船头也有被水流力推开码头并断缆的风险。

因此, 如何选择船舶入泊操纵窗口期, 使船舶速度易于控制, 又能给船舶系缆作业留有足够的作业时间, 同时, 合理布置拖轮, 使其顶推力较集中地作用于水流力作用点附近, 避免拖轮顶推产生较大的力矩, 引起功率损失, 是保障船舶靠泊安全的关键。蔡泓研究了 VLCC 油轮在青岛港的安全靠泊^[1], 对 VLCC 靠泊青岛水域二期油码头提出了建议; 贾小堂阐述了 30 万吨级油船靠泊曹妃甸的操纵要点^[2], 介绍了 VLCC 靠泊操纵的要点; 姚波研究了龙口港超大型船舶的操纵^[3], 解释了超大型船舶操纵的特点; 郭永江研究了 VLCC 靠泊烟台西港区 601 码头的技术^[4], 对

VLCC 靠泊该码头提出观点; 王晓海等研究了日照感潮港口大油船一潮双靠引航技术^[5], 张波等研究了大型油船引航安全问题^[6]。

本文用受力分析的方法, 探讨了在不同潮时 VLCC 入泊期间所受的水流力, 并且根据计算结果, 制定出合理的拖轮配置方案, 使船舶动态完全可控 (包括船舶应急局面), 从而可以降低船舶的操纵难度, 保证安全顺利靠泊和系泊。

1 青岛海业油泊位的不均匀流场

青岛港的潮流, 以规则半日潮为主; 潮流的运动形式, 以往复流为主。受局部地形的影响, 一些水域的流速和流向分布变化较大, 形成不均匀流场, 对大型船舶的操作产生复杂的影响。

海业油码头附近水域, 即是如此的不均匀流场。该泊位方向为 355°。大潮汛高潮前 1 小时, 泊位南侧流向与航道航向基本一致, 大致在 345° ~ 355° 流速较大; 而泊位北侧已经平潮。高潮时, 由于受到内锚地和油港回旋流的影响, 泊位南侧潮流依然微涨, 北侧则已经明显落潮。

随着时间推延,落潮流速逐渐加大,对 VLCC 产生较大的水流力,使其安全靠泊、系泊码头有较大的困难,甚至船首无法靠拢,或者系泊期间船首被推开,导致靠泊失败。

1.1 海业油泊位大潮汛时的测流数据

由于海业油码头没有在泊位两端安装测流设备,根据青岛港水文测验报告,选取大潮汛期间距离泊位最近的一个测流点的测流资料作为依据,获取该泊位的靠泊潮流数据。现取 2019 年 6 月 18 日所测数据。

表 1: 海业油码头附近 0.4H 潮流数据值

时间	高潮前 1 小时	高潮后 1 小时
流速	1.20m/s	0.99m/s
流向	351°	139°

1.2 海业油泊位大潮汛时的潮流示意图

图 1 是青岛港区海业油码头附近水域高潮前 1 小时的潮流图,显示出码头南侧仍然以超过 2 节的流速涨水,北侧潮水却已经开始回落。

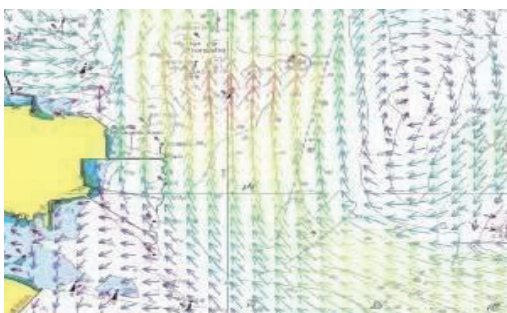


图 1 高潮前 1 小时潮流示意图

图 2 是青岛港区海业油码头附近水域高潮后 0.5 小时的潮流图,显示出码头南侧仍然潮流微涨,北侧潮水却已经以较强的流速回落。

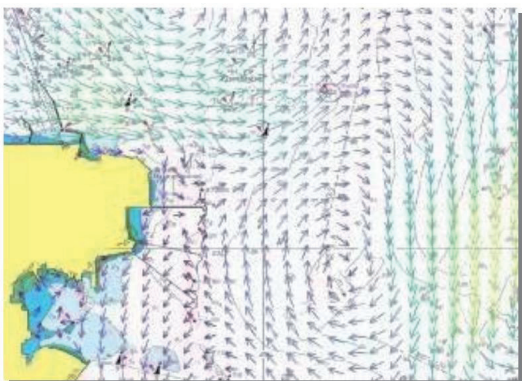


图 2 高潮后 0.5 小时潮流示意图

2 VLCC 在青岛海业油泊位附近水域的受力分析

取 VLCC 船舶的船型数据: L 330m; B 55m; d 20.5m

2.1 高潮前 1 小时的水流力计算及示意图

2.1.1 水流对船舶产生的横向力计算

潮流对船舶产生的横向力采用下列公式进行计算:

水流横向力的大小

$$F = C_1 \frac{\rho}{2} V^2 A_1$$

式中: C_1 — 水流横向分力系数; ρ — 海水密度,取 1.025 t/m^3 ;

V — 水流速度 (m/s); A — 船舶吃水线以下部分的横向投影面积 (m^2);

水流方向与船舶纵轴线的夹角为 $165^\circ \sim 180^\circ$, $T/d=1.2$ (水深吃水比), $C_1=0.05$, 则

$$F = C_1 \frac{\rho}{2} V^2 A$$

$$=24.5 \text{ (t)}$$

2.1.2 水流对船舶产生的纵向力计算

潮流对船舶产生的纵向力采用下列公式进行计算:

(1) 水流纵向力的大小

$$F = C_2 \frac{\rho}{2} V^2 S$$

式中: C_2 — 水流纵向分力系数;

S — 船舶吃水线以下部分的表面积 (m^2)

水流方向与船舶纵轴线的夹角为 $165^\circ \sim 180^\circ$, $T/d=1.2$ (水深吃水比),

$$C_2=0.046\text{Re}^{-0.134}+b$$

式中: Re — 水流对船作用的雷诺数;

b — 系数; (与方形系数, B/D , 流压角有关)

取水温 20° , 则

$$\text{Re}=1.2 \times 330 / 1 = 396$$

$$b=0.013 \text{ (查表获取)}$$

$$S=1.7LD+0.825LB=26474.3$$

$$F = C_2 \frac{\rho}{2} V^2 S$$

$$=67.1 \text{ (t)}$$

2.1.3 高潮前 1 小时的水流力的作用点

因流压角基本为 176° , 所以作用点在船尾微偏右端。

2.1.4 高潮前 1 小时的水流力示意图

图 3 是船舶在青岛港区海业油码头附近水域高潮前 1 小时航行时的受力图, 显示其大小、方向、作业点。

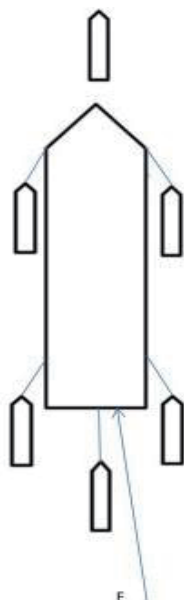


图 3 高潮前 1 小时船舶受水流力示意图

2.2 高潮后 1 小时的水流力计算及示意图

2.2.1 流对船舶产生的横向力计算

潮流对船舶产生的横向力采用下列公式进行计算:

$$F = C_1 \frac{\rho}{2} V^2 A_1$$

$$C_1 = a_1 \theta + b_1$$

θ — 水流方向与船舶纵轴线的夹角; ($15^\circ \sim 165^\circ$)

A_1 — 船舶吃水线以下部分在垂直于水流方向上的投影面积 (m^2);

表 2: a_1, b_1 系数的查取

T/d (水深 / 吃水)	C_1	
	a_1	b_1
1.1	0.029	0.31
1.2	0.027	0.25
1.5	0.020	0.05

在海业油泊位附近其 T/d 为 1.2,

$$C_1 = a_1 \theta + b_1 = 0.027 \times 36 + 0.25 = 1.222$$

$$F = C_1 \frac{\rho}{2} V^2 A_1$$

$$= 249.2(t)$$

2.2.2 流对船舶产生的纵向力计算

潮流对船舶产生的纵向力采用下列公式进行计算:

$$F = C_2 \frac{\rho}{2} V^2 A_2$$

式中: C_2 — 水流纵向分力系数;

A_2 — 船舶吃水线以下部分在平行于水流方向上的投影面积 (m^2);

$$C_2 = a_2 \theta + b_2$$

表 3: a_2, b_2 系数的查取

T/d (水深 / 吃水)	C_2	
	a_2	b_2
1.1	0.029	0.47
1.2	0.027	0.38
1.5	0.020	0.10

$$C_2 = a_2 \theta + b_2$$

$$= 0.027 \times 36 + 0.38 = 1.352$$

$$F = C_2 \frac{\rho}{2} V^2 A_2$$

$$= 379.4(t)$$

2.2.3 高潮后 1 小时的水流力的作用点

因流压角 θ 基本为 036° , 作用点在船首左 1/4 船长处。

2.2.4 高潮后 1 小时的水流力示意图

图 4 是船舶在青岛港区海业油码头水域高潮后 1 小时后所受的水流力示意图, 显示其大小、方向、作用点。

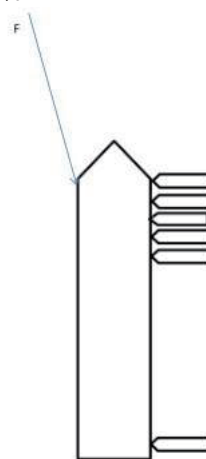


图 4 高潮后 1 小时船舶受水流力示意图

2.3 VLCC 船用钢丝绳的受力

2.3.1 VLCC 船用钢丝绳的规格

VLCC 常用的系泊用缆, 通常为直径 42mm 的钢丝(纤维芯), 其最小破断负荷 MBL 为 113 吨。缆车的刹车负荷为 80%MBL, 即 90.4 吨, 安全刹

车负荷为 60%MBL, 即 67.8 吨。当缆车刹车受力超过 90.4 吨时, 就会出现溜缆, 以避免断缆。值班人员应及时调整缆绳, 使其均匀受力, 避免单缆受力。

表 4: VLCC 常用钢丝 (纤维芯) 缆强度规格

直径 (mm) \ 负荷	破断负荷 (t)	刹车负荷 (t)
40	112	89.6
42	113	90.4
44	134	107.2

2.3.2 青岛海业油码头的系缆受力

VLCC 靠泊青岛港海业油码头, 船的系缆模式为 4+4+2, 即首尾各 4 根头缆 (尾缆), 4 根横缆, 2 根倒缆。头缆与泊位走向夹角大约 30° , 估算缆绳可以提供的纵向力:

$$90.4 \times 4 \times \cos 30^\circ + 90.4 \times 2 = 494 \text{ (t)}$$

考虑到水流力的作用点, 在尽量减小产生力矩的情况下, 估算缆绳可以提供的横向力:

$$90.4 \times 4 \times \sin 30^\circ + 90.4 \times 4 = 542.4 \text{ (t)}$$

3 VLCC 在青岛海业油泊位的引航作业

3.1 引航作业的时间窗口期

根据上述计算, 可以得出, 大潮流期间, VLCC 靠泊海业油码头, 需要选择最佳的窗口期。高潮前 1 小时入泊, 如图 3 所示, 船舶纵向受力 67.1t, 两条拖力 50t 的拖轮左右两舷保向或改向, 两条拖力 50t 和 1 条 80t 的拖轮制动, 可以控制停车淌航的 VLCC 保持其安全船位。

同时, 船舶距离码头适当的横距, 以便控制靠泊时间, 为船岸系缆操作留出足够的时间。鉴于高潮后 1 小时水流横向力超过 249.2t, 纵向分力 379.4t, 必须由缆绳和拖轮共同作用, 才能使船舶牢固系于码头。如果未及时系妥横缆和头缆, 那么船首很容易被水流力推离码头, 造成流压角增大, 水流横向分力随之加大, 导致靠泊失败。因此, 高潮后 40 分钟前, 务必全部缆绳系妥。海业油专用拖轮 1 条备妥船尾, 其余 5 条全部在船首外档顶推, 以便协助缆绳克服水流力。

3.2 VLCC 的入泊角度

由于泊位北端和南端潮流差异明显, 为了减小水流力的影响, 在涨流期间采取小角度入泊, 以便在船首和船尾形成尽可能小的流压角。具体来说, 以 $340^\circ \sim 345^\circ$ 的船首向入泊, 首尾的

水流横向力较为均匀, 易于控制船舶的运动。

在船舶靠拢码头的过程中, 逐步调整船首向, 使其以平行的姿态贴妥码头。

3.3 VLCC 拖轮的配置和使用

3.3.1 VLCC 拖轮马力的配置

VLCC 排水量超过 30 万吨, 拖轮马力配置要超过 30000 马力。因此, 可以选择 6 条拖轮, 即 5000 (马力) \times 5, 和 8000 (马力) \times 1; 也可以选择 7 条拖轮, 即 5000 (马力) \times 5, 和 4000 (马力) \times 2, 具体按港内拖轮工作状况进行安排。

3.3.2 拖轮的使用

如图 3 所示, 选择 6 条拖轮的方式。系带方式有多种, 根据泊位特点, 较常采取的方式是在船舶 4 个端点系带 4 条大功率拖轮, 其中的一条 8000 马力拖轮置于右首, 第 5 条大功率拖轮系于船尾中部, 另外 1 条拖轮为船舶巡航。根据计算的数据, 如果船舶在航行中失去动力, 船首和船尾三条拖轮制动的马力足够, 船尾两条拖轮用以船舶的保向或转向, 使船舶驶向安全水域。

在靠泊过程中, 巡航拖轮协助右首系缆大拖轮垂直船舶顶推, 右尾系缆的大拖轮垂直顶推, 内档的两条拖轮, 同样垂直顶推控制船舶的拢速。在船舶失去动力的情况下, 1 条 5000 马力拖轮足以控制接近平潮时的船舶纵向船位; 内舷拖轮和外舷放出缆绳的拖轮, 互相配合, 控制船舶横向船位。

船舶靠妥码头后, 内舷和船尾的三条拖轮解掉, 驶向右舷船首协助顶推, 船尾保留一条拖轮顶推即可。

4 实船验证

由于船舶引航的严谨性, 对于有风险的操作, 只能从引航的经验中总结教训, 借助相关理论, 找出解决问题的对策。

青岛港海业油码头大潮流期间, 因船舶主机原因延误入泊时间, 码头北侧开流加强而导致船首无法靠拢码头的事例 2 次; 系泊期间, 因落流水加大等导致船首离开泊位有 3 起。这都说明了落流水对船首的不利影响, 也验证了大潮流期间, 高潮 1 小时后, 需配置值守拖轮, 与系缆共同克服水流力对船首的作用。

同理, 大潮流期间选择较早入泊 (高潮前 1 小时), 在平潮前 20 分钟靠妥码头, 有足够的

时间（60 分钟左右）系带缆绳；同时，大部分拖轮置于船首外档协助顶推，则成功确保船舶靠泊和系泊。

5 总结

上述计算是基于青岛 2019 年 6 月 17 至 18 日的测流数据。当潮流强度高于该数据时，其参考性需有所保留。对较大的潮流变化，有必要收集数据，重新核算。根据青岛港多年的引航经验，大潮汛期间，海业油码头因受不均匀流场的影响，存在以下风险：

1) 船舶入泊较早，船舶受较强顺流的作用，船舶失控时难以制动和保证安全船位。

2) 船舶入泊较晚，未能及时系妥船首缆绳，因泊位北侧落流较早，导致船首无法靠拢码头。

3) 系泊期间，落流水较强时，船首受开流作用被推离码头。

根据上述运算，大致估算大潮汛期间高潮前后 1 小时的水流力，对上述风险，可以采取以下对策：

1) 大潮汛期间，选择高潮前 1 小时入泊，高潮前 20 分钟靠妥，为船岸在高潮后 40 分钟系妥缆绳留出足够的时间。

2) 船舶靠妥后，船尾留一条拖轮顶推，其余拖轮全部置于船首。高度注意船首的动态，必要时船尾拖轮减车，减小对船舶产生的顺时针力矩。

3) 吃水较大时，根据水流力数据，落流水期间船首系缆及时调整，使其受力均匀，贴紧码头，并注意缆绳受力值数据。保持足够拖轮顶推值守，船舶保持主机备车。

参考文献：

- [1] 蔡泓. 30 万吨级油轮安全靠泊青岛港 [J]. 航海技术, 2007,(06): 11-13.
- [2] 贾小堂. 30 万吨级油船靠泊曹妃甸操纵要点 [J]. 天津航海, 2013, (04): 17-19.
- [3] 姚波. 龙口港超大型船舶操作要领 [J]. 中国水运, 2013, (5): 54-55.
- [4] 郭永江. VLCC 靠泊烟台港西区 601 号码头引航技术探讨 [J]. 世界海运, 2020, 43(6): 32-37.
- [5] 王晓海, 刘良柱, 王发根. 日照感潮港口大油船一潮双靠引航技术 [J]. 水运管理, 2021, 43(10): 33-38.
- [6] 张波, 徐建豪. 大型油船引航安全探析 [J]. 中国水运, 2019, 13(06): 310-31.

Risks and Countermeasures of VLCC Berthing and Mooring at Qingdao Haiye Oil Terminal

LV Xi-bao, SONG Xue-bin, DOU Pei-jun

(Qingdao Maritime Pilots, Qingdao 266106, China)

Abstract: In order to improve the safety of VLCC berthing and mooring at Qingdao Haiye oil terminal, ensure the external forces during berthing and mooring are all under control, reduce the risk of unnecessary navigation, berthing and mooring, it is necessary to quantify the flow forces on the ship during berthing, and mooring. Based on the principle of fluid mechanics, the different positions of the uneven flow field, the flow forces at different time periods, and the resulting changes in the motion of the ship in the waters of the marine oil terminal are obtained. Furthermore, the optimal berthing window period of the ship under the corresponding tugboat and mooring line configuration is derived. The numerical results show that the window period for ships to berth is between 1 hour before and 40 minutes after the high tide, and 5 of the 6 tugs are placed in the outermost berth during berthing and mooring, push hard to prevent the bow from leaving the dock under the action of open current.

Key words: VLCC; Qingdao Haiye oil terminal; uneven flow field; water flow force; mooring window period.