

# 转心在船舶操纵中的应用研究

严道伟, 黄 华, 柯冉绚

(集美大学航海学院, 福建 厦门 361021)

[摘要] 分析船舶转心的位置变化规律及其影响因素。通过不同情景下各种船舶的操纵实例分析, 提出要合理利用船舶转心位置变化规律, 提升船舶在靠离泊、过狭水弯道、抛锚等关键操纵过程中的安全性, 从而提高船舶操纵的效率。

[关键词] 转心; 船舶操纵; 横向分力; 靠离泊

[中图分类号] U 675.9

## Research on the Application of Pivot Point in the Maneuvering of Ship

YAN Daowei, HUANG Hua, KE Ranxuan

(Navigation College of Jimei University, Xiamen 361021, China)

**Abstract:** This paper studies the position of ship's pivot point, and its changing rules and influencing factors. By analyzing the practical application of various ships in different scenarios, reasonable utilization of the change rules of ship's pivot point can improve the safety of ships in critical maneuvering process such as berthing and unberthing, navigating in the narrow bend waterway and anchoring, and improve the efficiency of the ship's maneuvering.

**Keywords:** pivot point; ship maneuvering; transverse force; berthing and unberthing

## 0 引言

对船舶操纵影响因素的研究是学者们关注的重点。沈波<sup>[1]</sup>分析了风、流等水文气象情况或港口航道等外部环境因素对船舶操纵的影响; 王鹏等<sup>[2]</sup>指出船舶的操纵性与舵和船体形状等船内部情况相关; Cauvier<sup>[3]</sup>指出转心是影响船舶操纵的关键因素。船舶在航行中会受到内外各种横向力的影响, 其转心的位置也随之发生变化。掌控好转心位置, 将提升船舶操纵的安全性。对于转心位置的判断, Tzeng<sup>[4]</sup>提出基于稳态线性化摇摆偏航方程的船舶转心近似估计方法; 在此基础上, Seo<sup>[5]</sup>完善了转心的定义和计算方法; Lokukaluge<sup>[6]</sup>采用 Kalman filter 方法仿真船舶转心的变化姿态。

受制于技术的限制, 以往对船舶操纵的研究多采用船舶操纵性指数  $K$ 、 $T$  等模型进行理论研究<sup>[7-8]</sup>。随着虚拟仿真等技术在船舶操纵中逐步投入使用, Ma 等<sup>[9]</sup>在船舶操纵模拟终端上利用深度递归神经网络 (ALSTM) 方法, 构建船舶意图预测模型, 研究船舶在交叉口航道的动态。近年来, 对船舶操纵的研究逐渐转向理论与实践结合, 黄明等<sup>[10]</sup>将船舶操纵模拟终端上数学模型的计算结果运用于董家口港区的 LNG 船舶的实船检验, Carreño 等<sup>[11]</sup>利用实验船研究浅水效应对船舶转心变化的

[收稿日期] 2024-03-07

[基金项目] 国家重点研发课题“融合船岸多源传感信息的大型船舶辅助靠离泊技术”(2021YFB3901504)

[作者简介] 严道伟 (1981—), 船长, 讲师, 从事航海技术、航海文化等方向的研究。

影响。但目前的研究甚少结合船长等驾引人员的实际船舶操纵经验。

鉴于此,本文以船舶转心理论为切入点,结合船长的实船操纵经验,研究船舶转心在船舶操纵中的变化规律,从而提升船舶的操纵效率,保障船舶航行安全。

## 1 转心位置及相关规律

转心的位置实质上是由船首尾线上某一点回转切线速度与横移速度大小相等、方向相反相互抵消的结果决定的,与纵向速度无关。由于船舶操舵后受到水动力作用,舵横向分力、船体侧阻力等产生使船舶旋转的力矩和横向分力,影响了转心的位置。随着船舶旋回不断加快,横移速度加大,转心位置向前移动,最后在定常旋回阶段趋于稳定。文献 [12] 指出开始时转心约在船首柱后  $1/5L \sim 1/3L$  ( $L$  为船舶长度) 处,后退中旋回时转心约在船尾柱前  $1/5L \sim 1/3L$  处。

如图 1a 所示,转心  $P$  是船舶旋回运动前的首尾线①与回转和横移运动后任何时刻船舶首尾线③的交点。在转心  $P$  处,船舶的漂角为零,假若在  $P$  点上观察,船舶的首尾绕  $P$  点以某角速度  $\omega$  回转。当船舶在对岸横移时,在流水中处于顶流状态下,船首顺流转向,船舶由位置①操右舵转向到位置②(见图 1b); 由于流产生的水动力的横向分力  $R_Y$  大于舵压力  $P_\delta$  的横向分力,且方向相反,船舶向水动力的横向分力方向横移,抵达位置③,即实际转心  $P$  的位置后移。如图 1c 所示,船首逆流转向,船舶由位置①操左舵转向调顺船身,抵达位置②的过程中,由于水动力横向分力  $R_Y$  与舵压力  $P_\delta$  的横向分力方向相同,使得船舶转向的同时横移到位置③,即实际转心  $P$  的位置前移。实践中,驾引人员体验到“顺流转向转心后移,逆流转向转心前移”的现象,流水压力增加则转心移动更明显。

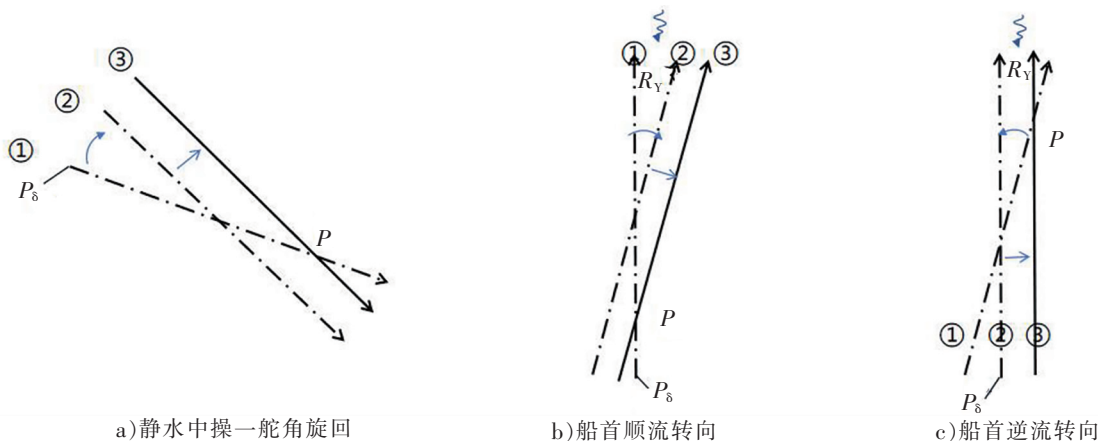


图 1 船舶转心移动的示意图

Fig.1 Ship's pivot point moving diagram

当船舶在对水前进中回转时,转心越靠近船首,船尾处向外的横向分速度越明显大于船首向内的横向分速度,导致外偏量明显大于内偏量,驾引人员会体验到“首动一尺,尾动一丈”的现象。船舶在后退中回转时则相反。驾引人员应该掌握上述的转心规律,避免反向移量大的一方碰上码头、他船等危险物。

## 2 影响船舶转心的因素

### 2.1 船型、船速和漂角等对转心的影响

不同的船型在船体面积、主机功率、排水量、舵面积等各方面都存在一定的差别。当旋回时因不同的舵横向分力、船侧阻力等产生船舶旋转力矩和横向分力,使得不同船型的转心位置各不相同。船型数据包括船舶的方形系数、长宽比  $L/B$  ( $B$  为船宽)、舵面积比及船体水线下侧面的形状和大小;装载状态包括船舶的吃水、前后吃水差及横倾等。

在图2中,由三角形 $OGP$ 中的几何关系,转心 $P$ 与重心 $G$ 的距离 $D$ 可用下列公式<sup>[13]</sup>表示:

$$D = R \sin \beta = \frac{V}{\omega} \times \sin \beta \approx \frac{V\beta}{\omega}, \omega = K\delta。 \tag{1}$$

其中: $R$ 为旋回半径; $\beta$ 为船舶漂角; $V$ 为旋回中船速(m/s); $\omega$ 为船舶旋回角速度; $\delta$ 为舵角(弧度); $K$ 为旋回性指数,和船型有关。从式(1)可知,船速 $V$ 和漂角 $\beta$ 与转心到重心的距离 $D$ 成正比。

在实际船舶操纵中,适当控制速度至关重要。如果船舶速度过快,其转心位置会向船首方向前移,掉头效果就越差。因此,通常采取“先降速,后逐步加车”的策略,提升掉头效果。根据船舶的方形系数,可将船舶大致分为消瘦型和肥胖型两类<sup>[14]</sup>。在旋回半径 $R$ 保持恒定的情况下,肥胖型船舶相较于消瘦型船舶在旋回过程中表现出更大的漂角,更好的旋回性。肥胖型船舶在旋回时,其转心与重心的距离 $D$ 更大。即船舶前进时,肥胖型船舶的转心相较于消瘦型船舶更靠近船首;船舶后退时,转心更靠近船尾。

2.2 其他外力对船舶转心的影响

船舶受到风、流、侧推、拖轮等辅助力量的影响,产生船舶旋转力矩和横向分力,会改变转心 $P$ 的位置。若外力合力在船中以前,则转心位置后移;若外力合力在船中以后,则转心位置前移。在靠离泊实际操纵中,应考虑风、流的共同影响,充分利用侧推或者拖轮等的辅助,根据需要采取平衡稳定或者加速旋转策略。船舶利用前后拖轮形成的力偶实现以船中为转心原地掉头。在大型船舶靠离泊时若采用平行离靠操纵,船舶转心理论上应处于船舶之外的无穷远处。拖轮依靠自身大马力和特殊的动力构造,可实现以船中为转心的全旋回。

3 分析转心在船舶操纵中的应用

在船舶操纵领域,除正常航行与避碰外,船舶在工程作业、狭水道航行、抛锚作业、靠离泊作业、系浮筒作业、侧推器使用、单双拖轮协助等船舶操纵中都要考虑到船舶的转心。上述操纵具备一定的难度和风险,一旦操作不当容易造成船舶碰撞等事故。小型船舶依靠配备的车、舵、锚、缆绳等设备实现抛锚、自力离靠、横移运动等操纵;中大型船舶借助拖轮协助实现转向、掉头、平行靠泊等操纵。驾引人员需掌握船舶转心位置的变化规律并加以利用,提升船舶操纵的方便性和安全性。

3.1 船舶在横移运动中转心的应用

为满足船舶工程作业的需求,可利用车、舵等,并借助水流进行横移操作。以小型船舶“河海699”甲板驳工程船顶流靠近风电桩筑基作业区过程为例,定性分析其操纵方法。如图3a所示,船舶在顶流靠近风电桩基区的制动阶段的操作有:船舶抛外挡锚,保持锚链松弛,顶流借惯性滑行至图3a中位置①,保持微速进车顶流,控制船舶对地前进速度为0。如果与风电桩的横向距离过大,则需要继续横向靠拢,锚链保持松弛,操右舵开慢进车,使船首尾线与流速成一定角度(见图3a中位置②)。操右舵船首顺流右转,船舶由位置①行到位置②,转心 $P$ 后移。在一般流速下,转心位置可后移离船尾约1/4处,船首朝向风电桩一侧转进多,船尾转出少。再操左舵调直船身,船首逆流转向,由位置②行到位置③,转心前移,船尾转向风电桩较多,船首转出较少,导致整个船身向码头一侧横移一段距离 $L_G$ 。船舶每往复操作一次,船体就向风电桩靠近一段距离,直至船舶停在距离风电桩合适的位置卸货。在船舶靠泊作业中,至少带上首缆一根,采用慢车顶维持船身。在作业期间,因为受风、流影响,船舶位置偏离风电桩的距离过大,必须重新调整船位。如图3b所示,保持船首缆绳正常受力,此时转心在船首缆绳的作用点处,采用进慢车、左满舵的操纵方式,船舶由位置④转到位置⑤,靠近风电桩一侧卸石料或沙袋筑基。转流发生时,船

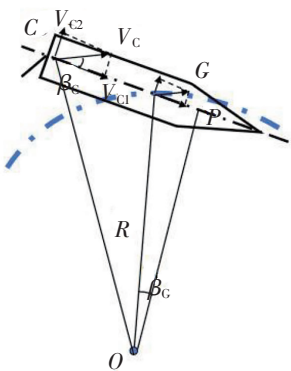


图2 速度分解示意图  
Fig.2 Ship speed decomposition diagram

船位置无法保持不变,应及时起锚、解收船首缆绳,掉头顶流再重复上述的操纵过程,靠近风电桩的另一侧进行作业(见图 3c)。上述往复操纵的方法,主要是利用转心前后移动的变化特点,逐步横移靠拢风电桩。

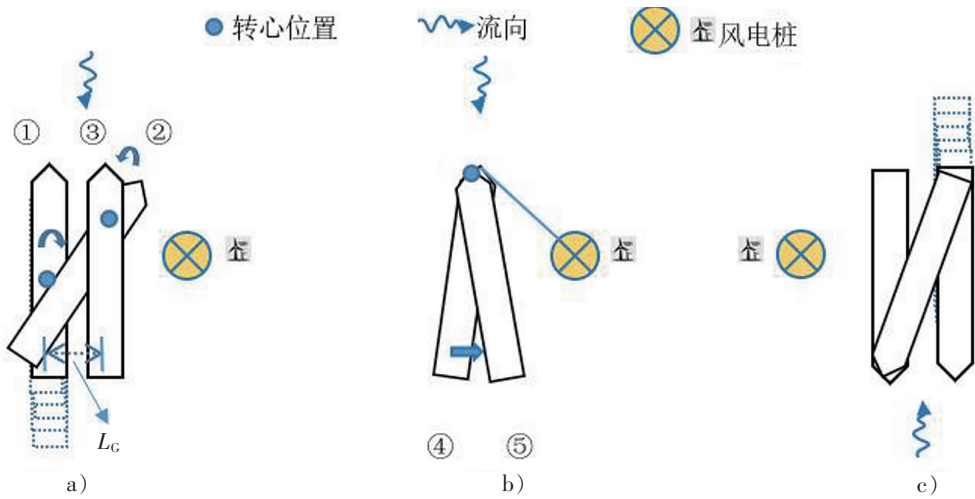


图 3 风电桩抛石筑基船舶操纵作业  
Fig.3 Wind power pile riprap foundation ship operation

3.2 在狭水道中弯头处转心的应用

狭水道因其自然形态,形成多个弯头,弯头区域两侧呈现凹、凸形。在近凹处流速较大,水深较深;在近凸处水深骤减且有回流,船舶的岸壁效应和浅水效应明显。

当船舶顶流过弯道时,如图 4 船舶位置①,船首左舷受流,转心在前,船尾容易大幅度向左横移。由于左边水浅,船位应该保持在水道中央略偏凹岸一侧更安全。顶流过弯道时,船首左舷受流因而右偏,应及时用舵纠正,必要时加车提高舵效。

当船舶顺流过弯道时,如图 4 中船舶位置②,船舶对水存在前进速度,转心在前,船右后受流,船尾向左横移幅度大,船首向右边横移小。倘若船位偏在凹岸,船尾左移幅度大且过于靠近凹岸边,加上船岸效应,使得船产生转头打横;倘若船位偏在凸岸,凸岸水深较浅,加上船首回流压,使船冲向凸岸。为避免船位偏向两岸而造成危险,应提前停车淌航,并保持船位在水道中线附近。在到达弯段前约 1 倍的船长时可突然加车以提高舵效,并逐步操舵随着弯道中线转向,尽量减小船尾与流向成较大夹角,使船尾坐着流,保持船身与岸线平行。

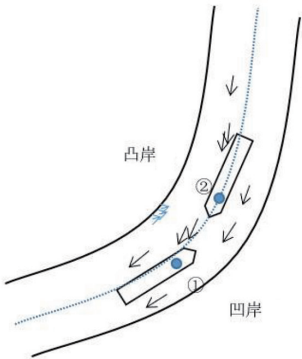


图 4 船舶过弯头  
Fig.4 The ship passed the bend

3.3 在顶流中抛锚、靠泊、系浮筒作业中转心的应用

以右旋固定螺距的螺旋桨(FPP)单桨船为例,在船舶顶流抛锚、靠泊、系浮筒作业过程中,驾引人员适时逐步减速,停车淌航,倒车停船。在停车淌航的过程,螺旋桨转速降低归零,伴流、沉深和排出流横向力基本消失,船舶偏转不大。开出倒车时,船速降低,沉深横向力和伴流横向力的影响逐渐增强,出现明显船尾左偏,船首右偏。

从转心的角度分析,在船舶顶流抛锚、靠泊、系浮筒航行过程中,船速降到对地速度为 0 前,都保持一定的前进航速。转心在重心前,流速越大,转心越靠前移动。随着船速逐渐降低,沉深横向力和排出流横向力的影响逐渐增大,导致偏转越明显,推尾向左,因转心在船中前,船尾出现的左偏量大于船首右偏量。由于大多数船舶驾驶台在船尾,当船舶倒车时,受船舶首尾偏转的叠加现象的影响,驾引人员错误感觉船首大幅度右偏。实际上,因为转心在船中前,船首偏转量幅度小于船尾偏转量。驾引人员应该掌握转心的变化规律,注意偏转时前后偏移量不等,预防倒车时所产生的大幅度“甩尾”现



象, 确保船尾横移的方向有充足的水域。

在顶流抛锚中, 为控制船首右转, 只有在倒车开出之前先操左舵, 使船先具备左转趋势, 上述右偏现象才会有所缓解。如图 5 所示, 在顶流靠泊中, 左舷靠码头自力靠泊, 应使船舶对码头线的靠拢角为  $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$ , 以备在适当时间倒车时, 将船拉在码头边, 使船外转, 正好平行或近乎平行停于码头泊位处。如图 6 所示, 在系浮筒作业时, 因为船首存在小幅度的右偏量, 应将浮筒置于右旋恰当的距离, 约  $1 \sim 1.5$  倍的船宽处。当船舶满航距浮筒纵向距离 1 倍船长时, 适当拉倒车将船停止, 在船首右偏近乎靠近浮筒时, 送出系浮缆。

3.4 在拖轮协助下靠离泊中转心的应用

3.4.1 在拖轮协助下船舶转心在离泊中的应用

图 7 展示静水状态下, 在中大型船舶“Vessel”的船首附近配置单拖轮“Tug”协助离泊操纵。以垂直船舶首尾线的方向施加拖力, 船舶在拖力作用下离泊的过程是横移运动和转头运动的叠加过程。其回转运动的转心与拖力作用点  $T$  的位置密切相关。转心与重心间的距离  $D$  可通过经验公式<sup>[13]</sup>  $D = (0.35L)^2 / D_T$  估算。其中  $D_T$  为拖力作用点距重心的距离。根据经验公式<sup>[13]</sup>, 当  $D_T$  分别为  $0.1L$ 、 $0.2L$ 、 $0.3L$ 、 $0.4L$ 、 $0.5L$  时, 对应的转心到重心的距离  $D$  分别为  $1.23L$ 、 $0.61L$ 、 $0.50L$ 、 $0.41L$ 、 $0.31L$ 、 $0.25L$ 。

当拖轮作用点  $T$  靠近船中  $G$  点, 转心  $P$  往船尾方向移动, 驾引人员通过调整拖轮作用点  $T$  的位置从而控制转心  $P$  的位置。当  $D_T \leq 0.25L$  时,  $D \geq 0.51L$ , 即驾引人员需将拖轮作用点  $T$  设置在船中的前方, 同时满足  $D_T$  小于  $0.25L$ , 才能在无风无流情况下确保船首先离, 船尾不碰码头。随着大船转速增加, 水动力也增加, 因此, 实际操作中要保持  $D_T$  小于  $0.2L$ , 让拖轮作用点尽量接近重心, 才能确保转心向船尾延长线方向移动, 在整个离泊过程中避免船尾碰擦码头。

万吨级以上的船舶离泊通常需要双拖轮协助, 应考虑首尾双拖轮作用力的合成, 合力作用点位置等效于单拖轮作用点位置。即合力作用点到重心的距离  $D_T$  应小于  $0.2L$ , 才能确保大船的转心在船首尾及其延长线上, 保持大船平行或小角度驶离码头, 避免船体与码头相撞。

3.4.2 在拖轮协助下船舶转心在靠泊中的应用

以散货船“育德轮”两次靠泊内贸港为例, 对船长巧用转心的动态变化最后安全靠泊的操纵进行分析。案例一为空载进防波堤后左转  $90^{\circ}$  靠左舷水域曹妃甸煤炭码头, 案例二为空载掉头顶流左舷靠钦州天盛矿石码头。相关“育德轮”资料和港口靠泊信息见表 2。

表 2 “育德轮”的基本资料

Tab.2 Basic data of “M. V. YUDE”

| 长度/m   | 型宽/m   | 型深/m    | 总吨位/t   | 空载排水量/t                     | 满载排水量/t                   | 载重/t      |
|--------|--------|---------|---------|-----------------------------|---------------------------|-----------|
| 199.9  | 18     | 32.26   | 38 198  | 12 375.98                   | 70 095.6                  | 57 719.62 |
| 空载吃水/m | 满载吃水/m | 空载船速/kn | 满载船速/kn | 转速/(r · min <sup>-1</sup> ) | 主机型号                      | 主机功率/kW   |
| 6.01   | 12.50  | 12      | 11.5    | 89                          | 柴油 (Diesel)<br>5S60MEC8.2 | 8050      |

注: 数据由“育德轮”船长提供。

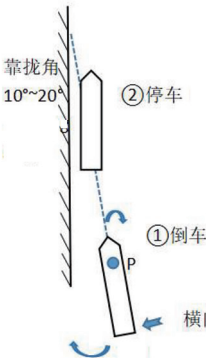


图 5 自力靠泊操纵  
Fig.5 Self-berthing operation

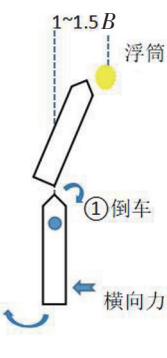


图 6 系靠单浮筒  
Fig.6 Single mooring bouy

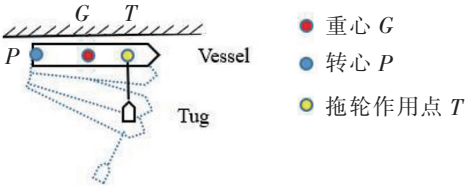


图 7 单拖轮协助离泊  
Fig.7 Single tug assisted for unmooring

### 1) 合理配制拖轮协助过防波堤转向直靠泊曹妃甸实例分析

案例一的靠泊基本情况: 2023 年 10 月 17 日, 涨潮、南风 3 级, 先采用单拖轮协助过防波堤, 后双拖轮协助左转 90°左舷顺靠曹妃甸煤炭码头泊位位置  $c$ , 过防波堤航道有涨潮 (流速 1.4 kn)。根据“育德轮”实际的靠泊过程, 本研究将此过程分为初始过堤阶段、中间转向阶段和入泊阶段三个部分 (如图 8 所示)。

①在初始阶段, 船舶从位置  $a$  停车淌航到  $b$ 。因右舷船尾来急流 (1.4 kn) 作用于船尾右舷, 导致船首向右转, 左满舵不能把定船首。为避免船舶压向防波堤, 需保持较高船舶余速 (约 5 ~ 7 kn)。如果使用船首拖轮右顶推, 大船余速较高, 拖轮无法有效发挥; 同时, 转心在船舶重心前, 导致船首拖轮作用力臂较短, 难以防止船首右偏。但若是采取从左舷船尾带上拖轮, 令其靠上顶, 此时, 因转心靠前, 船尾拖轮作用力臂变长, 拖轮在船尾顶推产生较大的转船力矩, 可有效控制船首的航向, 并保持船舶在航道中心线安全航行。在尾拖轮的协助下, 船舶安全通过狭窄的入口并抵达位置  $b$ , 此时, 船舶距离泊位约为 5L, 速度已下降到 4 ~ 5 kn。

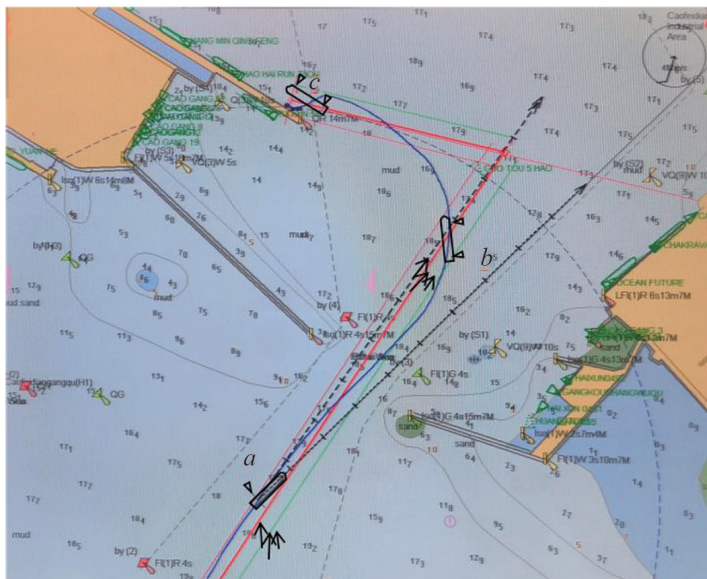


图 8 “育德轮”靠泊曹妃甸煤炭码头过程

Fig.8 The process of “M.V. YUDE” berthing Caofeidian coal port

②船舶在位置  $b$  处进入中间转向阶段。令右首拖轮顶推、左满舵开始转向。此时, 流来自左后方, 流速为 1.4 kn, 有利于加速船舶的转向过程。随着斜航阻力增加, 航速继续降低 (约为 2 kn), 舵效变差, 沉深横向力影响逐渐增强, 以及左后尾有流存在, 船首出现更明显的左偏转。在这一转向阶段, 应充分利用尾拖轮, 配之首拖轮, 抵消不利的横向力, 精准调整船位、船首向和抵泊角度, 使转心向重心前移动。

③船舶由位置  $b$  行至泊区  $c$  为入泊阶段。有时需要倒车以更好地控制船舶速度, 但在船舶倒车过程中, 排出流横向力会降低舵处的来流速度, 导致舵效变差。若让船舶仍然保持前进状态, 且转心位于船首, 导致右船尾拖轮的作用力臂较长, 增加船舶的转向力矩, 相当于提高舵效。因此, 利用右船尾拖轮的顶推作用, 可抵消左舷水动力力矩和风动力力矩, 稳定船舶的航向。同时, 右船尾拖轮可进行垂直拖带外拉操作, 防止船首出现右偏。灵活使用右尾拖轮作用臂长的优势, 有助于调整并保持船首向抵泊区  $c$  靠近, 使得船舶更准确地到达泊位, 避免频繁进车增大船舶余速。

通过对“育德轮”过防波堤转向直靠泊曹妃甸过程的分析发现, 虽然“育德轮”停车淌航舵效差并受到尾流急的影响, 但由于前进中的船舶转心在前, 可利用船尾拖轮力臂较长, 产生的转船力矩较大的特点, 有效调整船首向, 相当于把尾拖轮当舵用。

### 2) 在双拖轮协助下掉头靠泊钦州港实例分析

案例二的基本靠泊情况: 2023 年 9 月 29 日, 涨潮、微风, 双拖轮协助, 船舶从东航道前往码头掉头左舷靠泊; 靠泊航道区域流有来自东航道的 WNW 流和南边青菜头航道的 NNE 流, 流速皆为 1.2 kn 左右。根据“育德轮”实际的靠泊过程, 本研究将此过程分为初始阶段、掉头阶段和横移入泊阶段三个部分 (如图 9 所示)。船舶从东航道前往码头靠泊, 航道内有频繁往来的船只, 掉头操纵的水域限于在航道与码头前沿之间。



根据在码头调度安排的靠泊时段,船长需要考虑东航道和南边青菜头航道的潮流影响。两个航道有急流,不考虑微风影响。船长需要在有限的空间内克服急流的影响,精确控制船舶的运动。

①在初始阶段,船舶沿东航道顺流航行,离泊位前1 n mile处停车淌航。此时,船舶过青菜头岛后,受到来自左舷青菜头航道的横流影响,船舶会向右飘移并向岸边靠近。为控制飘移,使用右舷双拖轮顶住。由于船舶前进速度较快且转心在前,为避免船首偏转,而前拖轮力臂又短,需要更大马力拖轮顶住以保持船舶的航迹向。同时,淌航到位置a处,控制船速在5 kn左右。随着船舶继续淌航到距离泊位3L~5L(约0.5 n mile)位置b处,东航道顺流与青菜头航道流会合,形成合成流,合成流的流向约345°。此时航速降到3 kn,舵效较差,但船舶对水仍然有向前运动,故转心在前,合成流压在船舶的左后方,可令拖轮适当顶住以抑制船尾右偏。

②船舶在位置b处进入掉头阶段,可令后拖轮前速顶而前拖轮后退拉,组合操纵克服流压促进船舶掉头。当旋回到船首向超过345°时,船尾右舷受合成流作用,此时转心在前,拖轮力臂较长,后拖轮的推力加上流压,使掉头的力矩增大,提升了掉头操作的效率。随着航向转向北、东北、东,不断变化,船舶速度下降到2 kn以内,漂移的矢量指向左后方,此时,转心已后移,导致前拖轮力臂更长,应及时停止前拖轮拉力,让船舶稳健旋转到位置c。在位置c处,流向与船身几乎垂直,在流的助推下,双拖轮同时缓缓顶推,逐步稳住航向继续漂移,并慢慢右转至位置d。在位置d处,由于船舶的转心在后,船首拖轮的力臂大于尾拖轮,为保持船舶的平衡和转向效果,船尾拖轮使用的马力应该大于船首拖轮。船舶继续向入泊区漂移到位置e,横距约2.5倍的船宽。

③在横移入泊的最后阶段,此时船舶适时进车,控制对地纵向速度为0。由于来流在船首偏右,相当于船舶对水有前进的移动,导致转心再次前移。由于转心位置的变化且尾拖轮作用力臂较长,船尾拖轮需要使用的马力应该小于船首拖轮。为抑制右船首的来流,船首先开较小的靠拢角度,双拖轮再首尾同时缓缓顶推实现平行靠拢。

通过对“育德轮”靠泊钦州天盛矿石码头过程的分析发现,船舶在完成顺流掉头、顶流靠泊的过程中,船舶姿态受水流动力、车舵力、船体阻力等横向作用力的影响,转心发生前移、后移、前移3次明显的变化。船长灵活利用转心动态变化,掌握风流压差,合理使用双拖轮,保障操纵安全。

3) 两个案例分析对比结果

“育德轮”两次成功的靠泊操纵,说明船舶操纵技巧的重要性。巧妙利用转心位置及其动态变化的特点,调整拖轮的作用力和位置,实现安全、准确地靠泊。案例一“育德轮”在靠泊曹妃甸码头过程中,操纵重点在于保持航向,既要防止偏移后压向防波,又要在转向后稳定航向确保合适的入泊角;其次在于利用转心在靠前的位置,配置尾拖轮护航。案例二“育德轮”在掉头靠泊钦州天盛矿石码头过程中,操纵侧重于改变航向,做到更稳更精准地掉头旋转。船长需要综合考虑船舶的速度、航向、转头率、流压、船位等船舶动态,掌握转心位置的前后移动变化特点。了解转心位置的变化规律,有助于船长合理用车、舵、拖轮等辅助设施配合船舶顺利掉头和顶流靠泊作业。

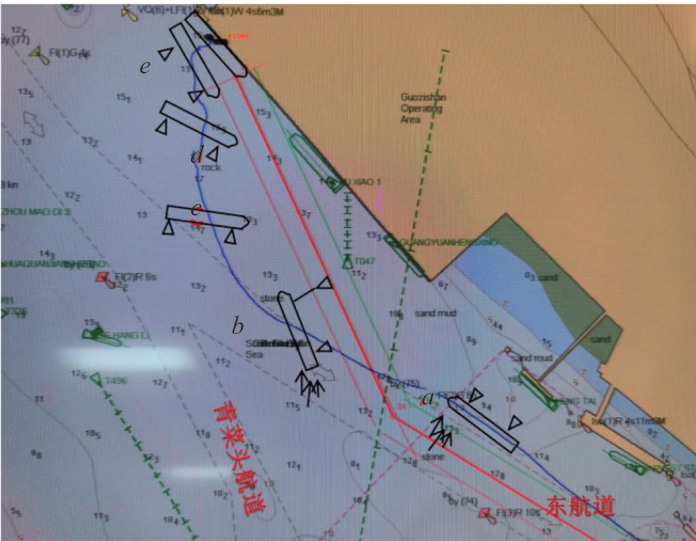


图9 “育德轮”在涨潮期间掉头靠泊钦州码头的过程  
Fig.9 The process “M.V. YUDE” turning round and berthing  
Qinzhou Port during high tide

## 4 结论

本文从转心理论研究出发,指出转心的位置本质是由船首尾线上某一点回转切线速度与横移速度大小相等、方向相反相互抵消的结果决定的;从力学分析的角度看,由于受到各种横向分力的影响,导致船舶产生旋转的同时发生横移,决定了转心的位置。转心的位置变化呈现出定性的规律:对水前进中的船舶,转心在重心前;对水后退中的船舶,转心在重心后;对岸横移的船舶,顺流转向时转心后移,逆流转向时转心前移。此外,影响船舶转心变化的内外各种因素有船型、船速、漂角、风流以及其他外力等。

通过掌握船舶转心变化的规律性,结合船长的实践应用经验,总结出一些操纵技巧,可供驾引人员参考,以便在船舶操纵中做出正确的判断和决策:

1) 灵活操纵顶流船舶,利用转心的前后移动,实现船舶的横移运动。如船舶横移靠近风电桩的操纵。

2) 当转心位置在重心前,操纵中应充分利用或预防倒车引起的首尾横移量。如顶流中抛锚、靠泊、系浮筒、过狭水道弯道等的操纵。

3) 在单拖轮协助离泊、尾拖轮当舵用、双拖轮协助中大型靠离泊作业操纵中,要掌握转心的位置及其变化规律,合理配置拖轮位置,以获得更大的转船力矩,提高操纵安全。

## [ 参 考 文 献 ]

- [1] 沈波. 大型集装箱船舶在恶劣海况中航行的风险和对策[J]. 航海技术,2010(3):2-4.
- [2] 王鹏,谢敏. 常规海运船型开发中舵面积的预选研究与验证[J]. 船舶与海洋工程,2014(4):38-42.
- [3] CAUVIER H. The pivot point[J]. The Pilot,2008,295:1-7.
- [4] TZENG C Y. Analysis of the pivot point for a turning ship[J]. National Taiwan Ocean University,1998,6(1):39-44.
- [5] SEO S G. Safer and more efficient ship handling with the pivot point concept[J]. TransNav:International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation,2016(4):605-612.
- [6] LOKUKALUGEE P P. Ship maneuvering prediction under navigation vector multiplication based pivot point estimation[J]. IF-AC-Papers OnLine,2015,48(12):1-6.
- [7] 洪碧光,于洋. 船舶操纵性指数  $K/T$  的统计分析[J]. 大连海事大学学报,2000,26(4):29-33.
- [8] 刘佳仑,杨帆,马枫,等. 智能船舶航行功能测试验证的方法体系[J]. 中国舰船研究,2021,16(1):45-50.
- [9] MA J, JIA C F, SHU Y Q, et al. Intent prediction of vessels in intersection waterway based on learning vessel motion patterns with early observations[J]. Ocean Engineering,2021,232(3):109154.
- [10] 黄明,窦佩军,王裕平,等. 基于虚拟仿真和实船验证的恶劣天气下 LNG 船舶靠离泊操作分析[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2022,46(4):743-748.
- [11] CARREÑOM J, MORA J D, PÉREZ A, et al. A study on the shallow water effect on a ship's pivot point[J]. Ingeniería e Investigación,2012,32(3):27-31.
- [12] 中国海事服务中心. 船舶结构与避碰[M]. 北京:人民教育出版社,2020:8-9.
- [13] 詹海东,陆珏. 船舶转心在实际操船中的应用[J]. 航海技术,2005(4):22-24.
- [14] 张剑. 基于船舶转心概念的船舶操纵研究[J]. 中国水运(下半月),2019,19(3):18-20.

(责任编辑 朱雪莲 英文审校 周云龙)