

# 螺旋桨斜流效应横向力对船舶引航操纵的影响

陶杰锋

(深圳港引航站)

引航员在操纵船舶过程中对各种作用力的掌控程度,对引航安全来说至关重要。影响船舶操纵性的因素很多,有些至今尚未被人们所完全了解。螺旋桨斜流效应横向力在教科书上没有被提及,专业杂志上相关的文章也不多,极少有引航员知晓。然而根据笔者多年的引航经验,发现其对引航操纵影响颇大,值得同行们充分注意。

## 1 引航操纵案例

### 1.1 “APL LION CITY”轮离泊 YICT10

案例1:2022年3月10日2330时,笔者在盐田港引航“APL LION CITY”轮离泊 YICT10,该轮长397.88 m、宽51.06 m、吃水15.80 m、主机62 030 kW、右旋固定螺距螺旋桨(Fixed Pitch Propeller, FPP)、艏侧推3 600 kW。港池富余水深3.2 m,西南风2级,流水向西0.1 kn。离泊过程如图1所示。

图1中,在位置1时,拖船A(主机6 000 马力,1 马力=735 W)在大船右前带缆、拖船B(主机6 000 马力)在大船右后带缆,大船缆绳清爽后两拖船同时起拖,采用尾离方式,等待船尾离开码头一定距离以后,拖船C(主机4 000 马力)进入大船左后侧顶推。船尾打开约 $15^\circ$ 以后,大船开始倒车。当大船来到图1中位置2时,后退速度2 kn,大船停车,拖船A和拖船C移到左船首全速顶推,拖船B

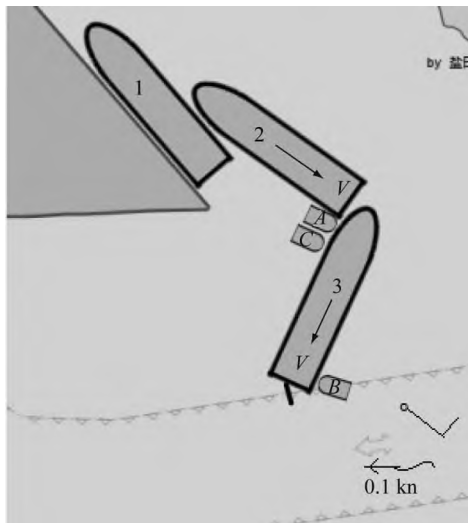


图1 “APL LION CITY”轮离泊 YICT10

移到右船尾全速顶推,大船艏侧推(3 600 kW)全速向右。当到位置3时,大船后退速度1.5 kn,船舶旋转速率(Rate of Turning, ROT)为向右旋转 $10.3^\circ/\text{min}$ ,速率稳定。此时,大船使用右满舵,然后微速进车(转速22 r/min,速度5.4 kn),ROT逐渐下降,1.5 min后稳定在 $9.3^\circ/\text{min}$ ,此时船舶后退速度仍然保持在1 kn。

按照正常思维,当大船在位置3时,拖船和艏侧推用车维持不变的情况下,使用右满舵微速进车,巨

存在“左右不对称、前后不一致”性,通常应将护航船艇设置在危险来临区或较易引发航行风险的区域,这样能最大程度防止他船侵入本船的船舶领域。

## 8 结束语

海港的健康发展和进出口贸易的繁荣离不开航运,离不开航行安全,通过护航船艇在诸如邮轮、LNG 船舶或其他有护航需求船舶上的合理使用,既可以给此类重点船舶的通航安全加一道保险,也能倡导航道上船舶间进行有效沟通和协调避让,由点带面,引导周边船舶共同形成良性交通流,保障在港口水域航行的重点船舶航行安全。

## 参考文献

- [1] 邓顺江,刘明俊. 船舶领域模型的对比研究[J]. 中国水运(下半月) 2009 9(6):7-9.
- [2] 周丹,郝中义. 能见度良好时影响船舶领域的因素的重要性分析[J]. 哈尔滨工程大学学报 2017 38(1):20-24.
- [3] 柴平平. 大型集装箱船在上海港的航行和避让[J]. 船舶物资与市场 2020(7):68-70.
- [4] 寿建伟. 吴淞口至浏河口水域通航安全管理的建议[J]. 航海技术 2015(6):6-8.

作者简介:

周雪松,高级引航员,(E-mail) chris8023@163.com

大的舵力转船力矩应该会使船舶的 ROT 加大,然而事实是 ROT 变小,这种现象有待探究。

## 1.2 “APL SANTIAGO”轮靠泊 YICT4

案例 2:笔者于 2022 年 3 月 3 日 1230 时引领“APL SANTIAGO”轮靠泊 YICT4 泊位。该轮为右旋 FPP,船长 328.20 m、宽 45.20 m、吃水 9.70 m。港池水深 15.0 m,当日南风 3 级,港池内无流。靠泊过程如图 2 所示。

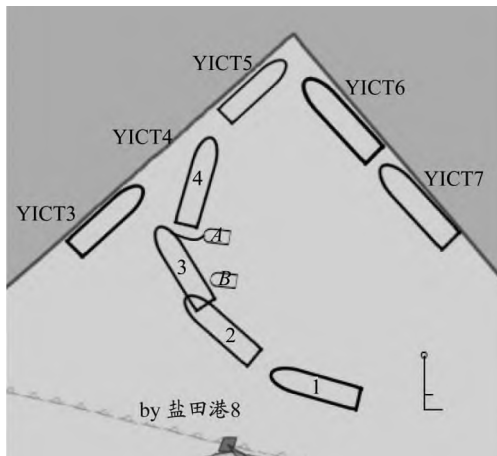


图 2 “APL SANTIAGO”轮靠泊 YICT4

笔者命令拖船 A(4 000 马力)在大船右前带缆,命令拖船 B(4 000 马力)在大船右后带缆,在图 2 中位置 1 时船速约 7 kn 停车,右满舵,船舶向右旋转  $5^\circ/\text{min}$ 。当到达位置 2 时,船速为 5.8 kn,ROT 为  $11^\circ/\text{min}$ ,因为拖船 A 还未带上拖缆,拖船 B 也未按要求跟上靠拢而无法顶推。此时,笔者只能命令大船开微速倒车,先让船减速,其次还希望借助螺旋桨倒车沉深横向力和倒车排出流横向力(推船尾向左)增加船舶向右旋转角速度。然而事与愿违,船舶不仅没有加速旋转,ROT 反而由倒车之前的  $11^\circ/\text{min}$  逐渐下降。笔者不得不将倒车速度加到慢车倒,再到中速倒。在倒车过程中,右前方的拖船 A 已经慢车拖上,右后方的拖船 B 已经全速顶上(因大船轻载,顶推位置偏前),大船的艏侧推也已经全速向右推。到位置 3 时,大船速度为 2.2 kn,ROT 仅为向右  $5^\circ/\text{min}$ ,此时命令大船停车,在拖船和艏侧推的作用下,旋转角速度又逐渐加大,最终实现平稳靠泊。

本案例虽然没有导致事故,但也让笔者内心产生紧张感。究其原因,首先是笔者大意,以为轻载加上船舶旋转会降速较快,导致大船速度没有控制好;其次,拖船来得太迟,没有及时就位,从而无法及时协助

大船操纵;最后,船舶倒车时没有出现预想中向右加速旋转,反而向右偏转越来越慢,这点出乎笔者意料。

## 2 螺旋桨斜流效应横向力

上述案例 1 是船舶在后退并向右旋转过程中右满舵进车,没有按常识认为的借助舵力转船力矩增加旋转角速度;案例 2 是船舶在前进并向右旋转过程中倒车,也没有按常识认为的借助螺旋桨沉深横向力和倒车排出流横向力增加旋转角速度。

笔者认为,应该是螺旋桨旋转导致产生了一个与船尾旋转方向相反的力,阻碍了船舶的旋转。为此,笔者仔细查找这方面的资料。经查询发现,张品生<sup>[1]</sup>于 1998 年 5 月发表在《中国水运》杂志的《螺旋桨斜流效应横向力对内河船舶操纵的影响》、武汉交通科技大学邱振良<sup>[2]</sup>于 1999 年 12 月在《中国航海》杂志发表的《螺旋桨斜流效应横向力对船舶操纵影响探析》、集美大学航海学院孙洪波<sup>[3]</sup>于 2008 年在《天津航海》发表的《螺旋桨斜流横向力的计算方法探析》这三篇文章对螺旋桨在斜流中产生的斜流效应横向力有比较细致的研究。

### 2.1 螺旋桨斜流效应横向力定义

当船舶旋转或因为风流的作用产生对水斜航时,船尾螺旋桨的来流方向将不再是沿着船舶艏艉线的方向,该来流有一个垂直于船舶艏艉线的分量,我们称该流为螺旋桨斜流。当螺旋桨在斜流中工作时,将产生与螺旋桨斜流横向分速方向相同的横向力,称为螺旋桨斜流效应横向力,其使船尾顺斜流横向分速方向偏转。

### 2.2 螺旋桨斜流效应横向力产生原理

以上述“APL SANTIAGO”轮靠泊 YICT4 倒车时产生的斜流效应横向力为例,分析该力产生的原理。假设螺旋桨在均匀的斜流中工作,并将螺旋桨斜流速度  $v_c$  分解成纵向分速  $v_L$  和横向分速  $v_T$ ,如图 3 所示。其中纵向分速  $v_L$  仅对螺旋桨的进速  $v_A$  有影响,横向分速  $v_T$  则不同,其对船舶操纵有明显的影

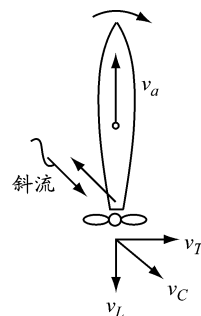
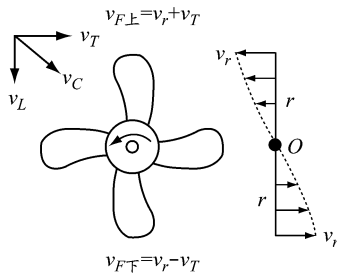


图 3 斜流分解图示

当螺旋桨在均匀斜流中工作时,上、下半圆所遇到的螺旋桨斜流横向分速  $v_T$  是大小相等、方向相同的,而螺旋桨旋转时,在相同半径处的叶切面上其切线速度  $v_r$  是上、下大小相等但方向相反的,所以必然有一叶片的  $v_T$  与  $v_r$  方向相反,而另一叶片则是方向相同的。如图4所示,根据相对运动,水流相对于桨叶的运动方向与螺旋桨运动方向相反,因此在图4中,上半圆  $v_T$  和  $v_r$  方向相反,流水相对于螺旋桨叶面的合速度  $v_{F上} = v_r + v_T$ ; 下半圆  $v_T$  和  $v_r$  方向相同的,流水相对于螺旋桨叶的合速度  $v_{F下} = v_r - v_T$ 。



$v_r$ —螺旋桨半径  $r$  处切面的切线速度;  $v_T$ —螺旋桨斜流横向分速度;  
 $v_{F上}$ —螺旋桨上切面处的切线合速度;  $v_{F下}$ —螺旋桨下切面处的切线合速度

图4 螺旋桨上下桨叶迎流速度

显然,在斜流中工作的螺旋桨,其上、下桨叶的旋转阻力不同,其差额即是斜流效应横向力。无论螺旋桨正转或反转,横向力方向始终与斜流横向分速方向相一致,使船尾顺着该方向偏转。

### 2.3 影响螺旋桨斜流横向力大小的因素

根据机翼水动力理论可知,当桨叶切面与来流以相对流速  $v$  和攻角  $\alpha$  作相对运动时,将产生水动力  $dF$  ( $dF = C_F \cdot 1/2\rho v^2 ds$ ),其可以分解在轴向分力即微推力  $dT$  ( $dT = C_T \cdot 1/2\rho v^2 ds$ ) 和旋转阻力  $dQ$  ( $dQ = C_Q \cdot 1/2\rho v^2 ds$ )。式中  $C_F$ 、 $C_T$  和  $C_Q$  分别为水动力、推力和旋转阻力的系数,和螺旋桨结构有关; $\rho$  为水密度; $s$  为螺旋桨面积。由以上公式可知,旋转阻力  $Q$  的大小是与来流速度  $v$  的平方成正比的,且随攻角  $\alpha$  的增加而增大(在极限攻角范围内)。在图4中,如果进一步作图,会发现上桨叶水流攻角大于下桨叶水流攻角,螺旋桨上桨叶旋转横向阻力远大于下桨叶的旋转阻力。

螺旋桨斜流横向力为上下桨叶的旋转阻力差,因此斜流效应横向力的大小与旋转阻力系数及上下桨叶流速的平方的差值有关。对同一船舶而言,水流从接近正横方向而来,斜流效应横向力越大;横向

水流流速越大,斜流效应横向力越大;螺旋桨转速越快,斜流效应横向力越大。

本文讨论的是螺旋桨斜流效应横向力对引航操纵的影响,引航操纵一般在受限水域,船舶在旋转过程中导致船舶舷侧受挤压的水会加速从船首和船尾方向流过。因此笔者认为,船舶越长、吃水越大、船底富余水深越小,对斜流效应横向力影响会越大;对于肥大型船舶,水流受船体线型的导向作用影响,在螺旋桨同等转速的情况下,较瘦削型船舶斜流效应横向力影响会大一些。

## 3 常见的斜流效应横向力影响船舶操纵的情形及应对方法

由于斜流效应横向力未在航海教材中出现,所以绝大多数航海者不了解,偶尔会导致紧迫局面。笔者在多年引航实践中,发现经常出现斜流效应横向力影响船舶操纵的情形及应对方法如下。

### 3.1 船舶旋转过程中倒车,斜流效应横向力阻碍偏转

这又有多种情形,最常见的是上述案例2,船舶在右转过程中倒车,本来想利用螺旋桨倒车沉深横向力和倒车排出流横向力加速船舶右转,结果事与愿违,螺旋桨斜流效应横向力使船舶出现偏转速度减慢甚至反转的情形。克服不利影响的办法就是大船控制速度,充分发挥拖船的作用,尽量避免倒车速度过大,从而导致产生过大的螺旋桨斜流效应横向力。

还有一种情形是采用尾离泊的船舶(右旋FPP),一旦船尾打开一定的角度,船舶在旋转中倒车,结果船舶旋转速度会立即变慢。尤其对左舷靠泊的船舶,在螺旋桨倒车沉深横向力、倒车排出流横向力及斜流效应横向力的三重作用下,原来艏向左旋转的趋势会明显减弱,甚至出现右转的情形,这点引航员必须有所防范,船尾打开的角度要比右舷靠泊的船舶大些。对大型船舶来说,右舷靠泊的船舶采取艏离泊方式时,一旦开始倒车,基本上不要期望螺旋桨沉深横向力和倒车排出流横向力会使船舶偏转加快,因为该力和螺旋桨斜流效应横向力会相互抵消一部分,往往偏转会变慢。

### 3.2 船舶旋转过程中进车增加舵效问题

在靠离泊操纵时,往往会碰到一边停车淌航一边旋转,结果发现旋转速度不够,希望通过满舵进车

增加舵效的情况。这又要看具体情况,如果本来旋转速度比较高,即船尾螺旋桨斜流流速比较大,这时满舵进车会因为螺旋桨斜流效应横向力转船力矩跟舵力转船力矩抵消绝大部分,所以虽然船速有所提升,但船舶旋转没有加快,甚至还会出现旋转变慢的情况,导致非常不利的局面。

某轮(长 320.37 m,宽 46.00 m,吃水 6.06 m)从深圳友联孖洲岛 2 号位对开锚地离泊,经孖洲岛北端角转向出港,就曾经发生紧迫局面。

如图 5 所示,退水东南流约 0.5 kn,当船舶淌航至图中位置 2 时,船速 5.5 kn,ROT 12°/min,此时,引航员认为该 ROT 不能保障安全转入出港航道,于是命令右满舵微速进车,见船舶 ROT 还没有增加,又命令加车到慢车进,随后加到中速进,可是船舶 ROT 依然没有增加,船速反而增加到 6.5 kn,导致更加危险的局面。当到达位置 3 时,ROT 只剩下 9°/min,船舶即将进入危险境地,引航员命令停车,微速倒车然后很快加到全速倒车,并抛下双锚,同时,命令左前的拖船 A 及右后的拖船 B 全速顶推,最终船舶没有搁浅。满舵进车过程中,因为螺旋桨斜流效应横向力使船舶没有加速旋转;倒车的过程中因为主机转速很高,螺旋桨斜流横向力阻碍船舶偏转;船速快,拖船效果有限,船舶前进过程中转心偏前,左前方拖船基本上没起到作用,因此,船舶 ROT 非但没有增大,反而减小。从这个实例可以看出,特别是大型船舶,螺旋桨斜流较大时,螺旋桨斜流效应横向力转船力矩是一个不可忽视的量,这也是案例 1 中船舶右满舵微速进车,ROT 反而变小的原因。因此,碰到类似情况,引航员最保险的做法还是提前减速,不要贸然用满舵加车协助旋转。出现

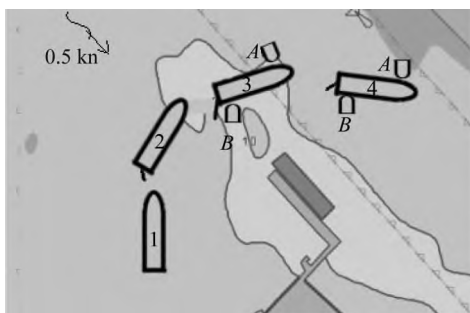


图 5 某轮在孖洲岛东北角转向过程

特殊情况时应毫不犹豫地倒车停住,然后全凭拖船协助旋转。

当然,如果原来船舶旋转速率不大,或者说在螺旋桨斜流不大的情况下,船舶满舵进车,偏转还是服从舵力转船力矩。

### 3.3 大型空载船舶受较大横风时的航向稳定性问题

船舶引航过程中,偶尔会碰到大型空载船舶进港修理,此时船舶吃水很小,螺旋桨往往有一半在水面,舵效非常差。譬如某 40 万吨级空载矿砂船(右旋 FPP),吃水 6.5 m,航速 5 kn,右正横受风,风力 5 级,此时就很可能出现不能保向的局面。因为船舶向左漂移较快,螺旋桨斜流效应横向力推船尾向右,螺旋桨沉深横向力也推船尾向右。也有可能因为首找风现象,出现船首右转的情况。因为舵效较差,引航员有必要时刻注意操舵情况,不要轻易叫正舵,并且让拖船随时准备好协助大船操纵。

笔者也曾听说过某轮,载重量 2 700 t,长 74 m,空载,前吃水 1.5 m,后吃水 1.8 m,从琼州海峡驶向防城港,在北部湾遇东北风 8 级,船舶无法向右改向,顶风滞航,也是螺旋桨斜流效应横向力及风压力叠加作用的结果。

## 4 结束语

随着大型化船舶越来越多,同等的船舶旋转速率,大型船舶因为船长较长,船尾螺旋桨斜流会远大于小型船舶,因此,斜流横向力对船舶操纵性的影响也会较大。引航员作为船舶操纵专家,了解斜流效应横向力对船舶操纵的影响,合理利用资源、及早防范险情,才能习得更好的船艺,使引航更安全。

### 参考文献

- [1] 张品生. 螺旋桨斜流效应横向力对内河船舶操纵的影响[J]. 中国水运, 1998(5): 23-24.
- [2] 邱振良. 螺旋桨斜流效应横向力对船舶操纵影响探析[J]. 中国航海, 1999(2): 36-40.
- [3] 孙洪波. 螺旋桨斜流横向力的计算方法探析[J]. 天津航海, 2008(4): 12-13.

### 作者简介:

陶杰锋,高级引航员 (E-mail) tjf1973@163.com