

大型散货船舶操纵与管理注意事项

中远散货运输有限公司 陈建锋 郑睿

内容提要:归纳了大型散货船舶的操纵特性,分析了影响其操纵的外界因素,并对大型散货船舶的操纵进行了探讨,提出了大型散货船舶在操纵中应注意的要点。文章还就该类型船舶的结构特点进行了分析,对相关管理提出了建议。

关键词:大型散货船舶 操纵特性 外界因素影响 富余水深 锚泊操纵 船体结构

1 大型散货船舶的操纵特性

(1)船舶尺度大,船体所受的风流作用力明显增大,尤其在船舶低速时受风流影响极其明显;而且,瞭望盲区较小型船舶增大很多。

(2)船舶排水量大、惯性大,单位排水量分摊的主机功率小,船舶冲程增大,变速、变向时间较小型船舶显著延长,停车和倒车制动性能差。

(3)船体肥大,船舶方形系数大($C_b > 0.8$);舵面积比小,舵效差,应舵迟钝,淌航时丧失舵效的余速较高。总体操纵性能表现为船舶旋回性好,航向稳定性差。

(4)船舶斜航阻力大,在旋回时船舶降速明显。

表 1 大型散货船舶参考数据

船舶数据	灵便型(46 000 t)	巴拿马型(73 000 t)	好望角型(180 000 t)
主机功率	7 556 kW	8 860 kW	12 970 kW
尺度	189.7×32.2×16.25	225×32.26×19.2	290×47.25×24.8
C_b	0.804	0.852	0.830
满载瞭望盲区	140 m	132 m	195 m
重载停车冲程/时间	3 407 m/13 ^m 59 ^s	3 722 m/19 ^m 87 ^s	4 651 m/21 ^m 44 ^s
重载海速满舵旋回进距/横距	556 m/222 m	815 m/389 m	P:790 m/430 m S:770 m/370 m
旋回初始速度/转向 180°后速度	15.1 kn/7.4 kn	14.1 kn/7.2 kn	12.4 kn/5.1 kn

2 外界因素对大型船舶操纵的影响

2.1 风对大型船舶操纵的影响

(1)船舶静止或船速接近零时,正横前来风船首顺风偏转,正横后来风船尾顺风偏转,最终船身将趋于与风向垂直。

(2)船舶前进中正横前来风,空载、慢速、艏倾以及艏受风面积大的船,船首顺风偏转;满载、艏倾以及艏受风面积大的船,船首逆风偏转;正横附近来风,船首逆风偏转,当风速很大时,往往造成船舶保向困难;正横后来风,船首转向迎风一舷。

(3)当船舶后退并有一定退速时,船尾迎风;退速较低,船舶偏转基本与静止时相同,但同时应考虑倒车横向力(右旋桨推船首向右)的影响。

(4)受风压影响,船舶除上述偏转外还将以一定速度向下风漂移(风致漂移)。当横向受风、船速近似为零时,浅水中风致漂移速度的表达式为:

$$V_y = C_s \cdot \sqrt{(\rho_a/\rho_w) \cdot (Ca/C_w) \cdot (Ba/(Ld))} \cdot Va$$

式中: ρ_a/ρ_w 为空气与水的密度之比; Ca/C_w 为匀速漂移时风力系数与水动力系数比; $Ba/(Ld)$ 为水线上下船舶侧面积比; Va 为风速, C_s 为浅水修正系数。

取 $\rho_a=1.226, \rho_w=1 025, Ca=1.3, C_w=0.95\sim 1.0$,则

$$V_y = 0.04 C_s \sqrt{Ba/(Ld)} \cdot Va$$

大型散装船舶的浅水修正系数 C_s 参考表 2 取值:

表 2

水深吃水比 H/D	1.1	1.5	2.0
C_s	0.5	0.6	0.7

以某 18 万吨级船舶为例:当船舶空载, $H/D = 2.0$ 时,在 6 级风力(10 m/s)下,风致漂移速度 $V_y \approx 0.4$ m/s。作为船长,如能掌握风致漂移的大致计算,对于掌控船舶靠离泊位和锚泊操纵都是大有裨益的。

2.2 流对大型船舶操纵的影响

(1)流将船舶压向下方推移,尤其在船舶低速航行时影响更大。在河流弯道等容易产生不均匀水流的区域,水流会形成转船力矩,流速差较大时,往往会对船舶操纵造成极大风险。

(2)流将影响船舶的对地速度和舵效,顶流时船舶能在较短距离上转过较大角度。

(3)船舶进出港旋回掉头时,根据流向不同,顺流掉头要提前施舵,顶流掉头要延迟施舵,才能使船舶在掉头后保持在预定位置。

2.3 浅水效应

船舶驶入浅水水域后,由于船底以下的自由水体体积减小,水流受阻,并逐渐由深水中的三元流转变为二元流,当水深吃水比小于 2.5 时,即出现明显的浅水效应。它使船首兴波形状发生变化、船体振动加剧、船速下降且加速困难,导致船舶舵力下降舵效变差、旋回性变差、船体下沉、船舶纵倾改变。浅水效应对大型船舶的影响,主要表现在:

(1)当水深吃水比 < 2.0 时,船舶旋回直径将较深水中急剧增大,所以大型船舶在浅水区域操纵,要留有更多的余地。

(2)当水深吃水比 < 2.0 时,船舶冲程将减少约 10%以上,同时倒车产生的偏离原航线距离将较深水中显著增大。

(3)由于船体周围的水流由三元流转变为二元流,

相对流速增大,导致兴波阻力和摩擦阻力显著增加,主机负荷迅速增大,船速明显下降。

(4)在浅水域中航行,由于船底水流速度相对增大,水压力相对变小,导致船体下沉;对于中低速大型船舶来说,吃水差还出现艏倾趋势(即艏吃水增大)。

下沉量估算:对于大型船舶,下沉量的最大值出现在船首,因此船首下沉量即可代表船体下沉量。对于下沉量的估算有多种方法,其中比较安全的是美国 Army Corps of Engineers 推荐的公式:

$$SQUAT = C_b \times V^2/50,$$

以 $C_b > 0.8$ 的肥大型船舶为例,当船速为 5~10 kn 时,据该公式计算出对应三种船型散货船的船体下沉量见表 3。可见在浅水、在水深受限航道中,船体下沉量是不容忽视的。由于多数时候大型重载散货船到港状态为平吃水,因此在浅水中船舶将会呈现艏倾状态,如果船速较高,可能会因此导致富余水深不足而触底或搁浅。图 1 是 15 万吨级散货船船体下沉量曲线。

表 3 船舶下沉量数值表

$C_b \backslash V$	5 kn	6 kn	7 kn	8 kn	9 kn	10 kn
0.804	0.40	0.58	0.79	1.03	1.30	1.61
0.83	0.42	0.60	0.81	1.06	1.34	1.66
0.852	0.43	0.61	0.83	1.09	1.38	1.70

2.4 岸壁效应

在狭窄水道中航行,当船舶未在航道中央时,将受到吸船体向岸、推船首向航道中央的岸壁效应。岸壁效应产生的

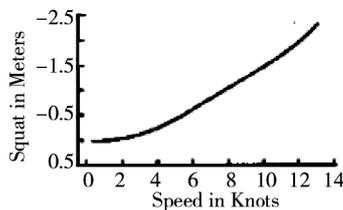


图 1 15 万吨级散货船下沉量曲线

转船力矩将使船首向航道中心侧偏转;另外,船舶在浅水区域中航行,若两舷水深不同,也会产生推船首向深水侧,吸船体向浅水侧的作用,这也是岸壁效应的一种表现。岸吸力估算公式:

$$Y = \rho L d U^2 \times C_{yw} \times \alpha / 2$$

式中: ρ 为水密度, L 为水线间长, d 为船舶吃水, U 为船速, C_{yw} 为 $H/D = 1.4$ 时的横向力系数, α 为水深修正系数。

岸壁效应需要用舵加以克服,由上式可见其主要与下列因素有关:①船型越肥大岸壁效应越显著,所以超大型船舶使用的保向舵角较一般船大;②船速越快岸壁效应越显著(与船速的平方成正比);③水道宽度越小岸壁效应越明显;④航道水深越浅、船舶吃水越大越显著;⑤船舶偏离航道中心越多、越偏近岸壁越显著,甚至导致船舶无法保向。

所以,对于大型船舶来说,在驶过运河、河道等狭窄水道时,要注意尽量使船舶保持在航道中央航行,控

制船速不能过高,随时注意船舶偏转情况,及时用舵纠正,而且吃水越大的船舶越应频繁地使用较大舵角。

当船舶航行于航道中心线附近时,一般不必用舵或只用很小的舵角即可把定航向;而一旦船舶偏离航道中心线,很快就能通过舵角反应出来——此时要施与船舶偏转方向相反的舵角,以实现保向的目的。也就是说,在狭窄水道中航行,一旦发现舵工长时间施一固定舵角而船首未发生明显的偏转,就说明本船已经偏离航道中心线,需要及时调整。

2.5 船吸作用

两船并行时,如横向距离小于两船船长之和,将会由于周围水压分布发生变化,引起两船受向内或向外的回转力矩作用,产生转头现象,发生船吸(或船推)。如果船舶舵力不足以克服回转力矩,就可能无法控制船舶偏转,而发生碰撞。船吸力估算公式:

$$F_s = (0.03 \sim 0.0315)(L/f)^2 R,$$

式中: L 为船长, f 为两船横向间距, R 为船舶阻力。

回转力矩估算公式:

$$M_s = C_m - \rho V_s L A,$$

式中: C_m 为回转力矩系数, ρ 为水密度, V_s 为船速, L 为船长, A 为船体水下侧面积。

由上述估算公式可以看出,船吸作用大小与以下因素相关:①两船间距离越小,船吸作用越大,当间距小于两船船长之和一半时,船吸现象已经极为明显;②船速越高、两船船速差越小,船吸作用越显著;③大小悬殊的两船,小船受的影响大;④两船追越比对遇时,互相受的船吸作用更大;⑤越是大型船,水压分布越明显、压力差更大,越易产生船吸现象;⑥水深越浅,船吸现象越明显。

因此,当大型散货船近距离驶过他船,尤其是追越他船时,要充分考虑到船吸作用,采取留足安全余量、适当控制船速、合理压舵等措施,并注意以下几点:

(1)尽量给被追越船较大的横距,至少应保证两船并航时横距大于两船船宽之和。

(2)当追越至正横前后时,是最为危险和关键阶段,应予以特别警惕,准备好应急措施,防止诸如主机停车之类的意外。

(3)当受回转力矩作用航向发生偏转时,若两船船速相差很大,可以转舵以克服回转力矩;若两船船速相差较小,应尽量不转舵,避免因转舵降速,导致两船并航时间长,增加危险。

3 大型散货船舶操纵注意事项

3.1 合理确定船舶富余水深,选择安全的航线

满载大型散货船吃水通常在 13 m 以上,因此在设计航线,特别是近岸和进出港时,应充分考虑船舶的富余水深,保证航行中有足够的安全余量。例如:吃水超

过 15 m 的船舶在马六甲海峡中, 富余水深应至少有 3.5 m。确定富余水深时应注意以下因素:

- (1) 当地水域的地方规定;
- (2) 预计使用航速和浅水船体下沉量;
- (3) 当地盛行风浪, 当前气象海况条件, 船舶摇摆可能造成的吃水增加;
- (4) 当地潮汐资料以及预报误差, 尤其是可能出现的异常低潮汐情况;
- (5) 海水密度变化;
- (6) 海图水深精度(20 m 以内允许误差)和碍航物分布情况;
- (7) 船舶在浅水状态下的较差的操纵性能可能需要稍大的富余水深。

以上述第 3 项为例, 在遮蔽不好的开敞港口和航道, 要充分考虑风浪和摇摆因素, 留足余量。海面的涌浪势必造成船体的上下起伏(垂荡)和摇摆。而因船体的摇摆(以横摇为例), 船舶实际吃水增加值 $\Delta d = (B \cdot \sin \theta) / 2$ 。对于船宽为 32.2 m 的巴拿马型散货船来说, 仅 1° 的横摇, 就将增加约 28 cm 的吃水; 船宽更大的 CAPE 型船舶的吃水增加值将达到 40 cm 以上。再加上可能存在的幅度更大的船舶垂荡、纵摇, 以及涌浪波峰波谷的波形变化, 相对于平静水面, 船舶将需要更多的安全余量。这也正是在多佛尔海峡, 英国当局推荐深吃水船舶的富余水深应在 7 m 以上的原因。为此, 船长要对上述提及的因素周密考虑, 确定出本船足够安全的富余水深。不少船舶在海图水深足够的浅水区域, 因受风浪影响, 曾经发生过拍底事故, 应引以为戒。

3.2 合理预估风流影响

大型船舶在低速航行时, 风流压差往往达到 10° 以上。由于低速航行中舵效较差, 因此操纵中必须掌握本船在风流中漂移和偏转的规律, 注意定位、注意车舵正确使用。例如港内操船, 在狭窄的操纵水域内尽量抢占上风流水域, 是克服船舶受风流影响漂移的好方法。船舶在准确估计风流压差进行保向操纵之际, 应结合本船速度预估可能需要的安全漂移距离。又如拢风靠泊时, 要充分估计风致漂移产生的对岸移动速度, 为靠泊留有充分的操纵空间并充分使用拖轮配合, 抑制横移速度; 在驶入受限航道前应注意提早上线, 以提前掌握风流压差情况。

3.3 船舶速度的合理控制

大型散货船的运动惯性大, 停车后降速缓慢, 淌航距离长, 停船时间也长, 因此在进港以及锚地作业时, 速度控制是极为重要的环节。根据周围环境, 以下降速控制可供参考: 提前 15 ~ 20 n mile 备车, 经 20 ~ 30 min 车备好后即换为港速; 距离泊位、锚地 7 ~ 8 n mile, 半速, 逐渐使船速降为 8 ~ 9 kn; 距离 4 n mile, 慢速, 逐渐

使船速降到 5 ~ 6 kn; 距离 2 n mile, 微速, 使船速逐渐降到 4 kn 以下, 并试验主机倒车; 距离 1 n mile, 停车, 控制船舶余速 1 ~ 2 kn, 然后微进、停车交替以保持舵效驶抵预定地点。

另外, 如果周围水域宽阔, 也可以先保持较高速度, 距离目的位置 2 n mile 左右时, 利用大型船舶旋回降速明显的特点, 以 Z 型操纵快速降低船速到 2 ~ 3 kn; 在宽敞锚地还可以采用满舵旋回降速的方法。

3.4 锚泊操纵

(1) 进入锚地的路线选择及船首向控制

在抵达锚地前, 应根据资料中查得的锚地当时潮流情况、观测的风向风速、锚地船舶密度、其他类似船舶的艏向等客观条件, 确定本船驶入锚地的航线(航向), 并注意以下几点: ①尽可能顺着与锚泊船艏向相近的航向, 即顶着风流驶入; ②进锚地尽量从他船船尾过, 以免被风流压向他船造成事故; ③尽量不从两船之间穿过; ④抵达预定锚位前, 尽早摆好船位, 为顶流抛锚创造条件; ⑤留心锚地中起锚航行的船舶动态, 做好避让准备; ⑥在抛起锚作业中, 由于船舶速度极慢, 要警惕风流将本船压向下风流的他船, 留足余量。

(2) 抛锚方法的选择

一般情况下, 船舶抛单锚锚泊, 根据出锚时机有后退抛锚、前进抛锚两种操纵方式。由于退抛法对船速的控制比较容易, 因此若水域足够, 且船舶受风流影响小, 后退抛锚是较好的选择。

各类教材和刊物上, 对于抛锚出链方式, 根据不同的水深提出了相关的建议: 一般水深在 25 m 以内, 采用松刹车的方法抛锚; 水深在 25 ~ 50 m 之间, 在抵达预定抛锚点前先把锚松至离海底大约 5 ~ 10 m 左右备妥, 再采用松刹车的方法抛锚; 水深在 50 m 以上时, 用锚机松锚链直至预定的链长抛妥。

锚抓力基本公式为:

$$P = Pa + Pc = \lambda a Wa + \lambda c Wc l,$$

式中: Wa 为锚在水中重量 (0.865 倍锚重), Wc 为锚链在水中重量 (0.865 倍链重)。在砂底、铺底 6 节锚链状态下, 分别计算两种类型锚的锚抓力如表 4:

表 4

	锚重	链径	λa	λc	每米链重	锚总抓力	锚力所占比例
7.3 万吨船舶 (霍尔锚)	10 t	78 mm	3.5	2.0	133.2 kg	68.3 t	44.3%
18 万吨船舶 (AC-14)	13.2 t	100 mm	7	2.0	219 kg	143.6 t	55.7%

由表列数据可知, 在大型船舶上单凭锚产生的抓力只有全部抓力的一半, 另有将近一半的抓力来自平铺海底的锚链。由此可见: 锚链(出链长度以及锚链铺底状态)对于提升锚抓力来说至关重要。

上述两种抛锚出链方式的比较:

完全使用锚机出链的操作方法,优点在于:出链长度容易控制和观测,锚链能够均匀平铺海底,锚泊作业结束即已获得接近最大的锚抓力;对卧链轮、锚机基座、刹车带的冲击小、磨损小;锚抓底容易观测,船舶不易发生走锚。其难点在于:对于船速的控制要求较高,一旦退速较高,容易对锚机造成伤害。

刹车松链方法,优点在于:操作简单,不会对锚机造成损坏,相对而言控制船速的难度比较小。但缺点在于:初始阶段对链长的估计和控制难度较大,锚链经常成堆落在海底,需要一定时间后方能拉开平铺;抛锚时,大型船舶下落的巨大链环对于船锚各部位的撞击可能造成锚的损伤;对卧链轮、锚机基座、刹车带的冲击大、磨损大,一旦水深较深,锚链下落速度过快,易发生刹车带烧毁、断链、失链等危险情况。

笔者认为,锚抓底的好坏,并不以砸入海底深浅为标志,锚抛下后最终都要在链张力的作用下以锚爪向斜下的姿态横卧海底,因此建议大型船舶在风流较为和缓的环境中锚泊,在控制好船舶速度(对地退速0.5 kn以下)的基础上,应使用锚机送出锚链到海底,直到预定出链长度的方法。经笔者在多艘大型船舶实践,一般港口都可以如此操作,船速控制并不困难;而且,使用此种抛锚方法尚未发生过走锚的意外。

(3)合理选定锚地水深及出链长度

锚地水深的选择至少应考虑船舶吃水、海图水深、波高、潮高、船舶摇摆,以及锚机负荷等因素。对于大型散货船来说,在开敞水域,安全的锚地低潮时水深应至少为:1.5倍船舶吃水+2/3锚地最大浪高。

根据锚地水深、船舶载况以及天气海况,合理确定出链长度。在正常天气、一般风流情况下,CAPE型船舶空船时出链长6~7节,满载时出链长7~8节左右,必要时再适当多出链长。另外,有出链经验公式:

$$\text{链长(节)}=1.25 \cdot \sqrt{\text{海图水深}}$$

可供大型船舶参考使用。

选择锚位时,应注意选择软泥、泥沙等抓力较好的底质,尽可能不在沙、贝、砾石等底质下锚;还应注意最好不选在他船下风流位置,并避开航道或船舶过往频繁的地点;同时,要根据锚地拥挤程度合理确定与他船之间距离,为本船留出至少大于出链长度加两倍船长的安全旋回半径(大型散货船舶距离他船至少0.5 n mile)。

(4)抵达锚地前要试验倒车,一旦发现问题可及时处理。在进入锚地前对锚地情况要进行充分了解和观察,做好应付各种可能出现的应急情况的技术和思想准备(尤其是对主机、舵机故障等情况的防备)。

4 大型散货船舶结构的特点和注意事项

4.1 散货船舶的结构特点和船体强度

大型散装船舶的船体结构,大多为横骨架式,纵向强度差。由于常年遭受恶劣天气海况、货物装卸的冲击和局部应力变化,加之船体钢材的逐年腐蚀老化和金属疲劳,所以必须高度关注船体结构强度。

(1)船舶剪力集中区

巴拿马型船舶的剪力集中区域有两处:一个在驾驶室前沿,另一个在大约2、3舱之间;好望角型船舶剪力集中区域有三处,分别处在No.3舱附近、船艏和驾驶室前沿。无论何种装载状态,船舶纵强度上受剪力损伤的程度,在这几处附近最大。

船体局部强度超负荷,会使船舶所受的应力和扭力急剧增大,进而造成船舶结构和船体强度的损伤。对于大型散货船,当装载高密度货时(特别是密度超过1.78的重货),要注意货物在货舱内的合理分布,保持合理的局部负荷,确保应力在允许范围内。

(2)高强度钢的影响

为了减轻船舶自重、降低造船费用,上世纪80~90年代曾大量使用高强度钢造船。由于在相同强度下,高强度钢构件的厚度明显薄于普通钢,所以在同样的海上环境中,高强度钢的相对腐蚀程度较普通钢快,其船体结构将比普通钢更早达到允许腐蚀的极限值,导致使用这类材质的船舶,在一定船龄后强度普遍较差。因此,对此类船舶,特别是老龄船,必须注意对其船体结构进行经常性检查,及早发现结构上的缺陷,并采取措施弥补。

(3)装卸货的影响

在巴西PDM、TUBARAO等港口,装货速度可达16000 t/h,远大于船舶压载泵的排水速度,使得船体在十几小时内持续受到巨大冲力的作用;而卸货时常常使用的重达20 t以上的巨型抓斗、铲车,易对货舱各部位造成不同程度的损伤。这些都会对船体结构,包括构件的保护涂层构成严重损坏,使相应构件产生疲劳损伤和一定程度的永久变形。

(4)压载水对船体结构的影响

压载是散货船空载航行时保证航行安全的必要措施。但如果压载不当,压载水不仅会破坏压载舱内构件的涂层、加快船体结构腐蚀程度,其自由液面的摩擦和冲击还会对船体结构直接造成严重损坏。

4.2 注意事项

(1)合理制定装卸货计划,力求使船体应力最小、船体强度保持在最佳状态。在合理可行的情况下,尽可能安排多个轮次装卸货,避免某个货舱一次装完的极端情况,尽量避免隔舱装载。同时压载水操作应与装卸货同步,避免由于不协调导致船体异常变形,造成对船体结构的永久伤害。

(2)在实际装货过程中,还应充分考虑到由于每轮

次装货量和期间船舶压载水排量较预计数值产生的误差,可能会造成剪力和弯矩的异常增大。

(3)大型散货船满载时船体呈现一定数值的中垂变形,空载时船体呈现一定数值的中拱变形,这种变形是正常的、合理的,也是安全的(只要在安全范围内)。在营运过程中既要防止变形值超过安全极限,还要防止船体异常变形——即应为中垂时反而呈现中拱,即使此时的变形数值在安全范围以内。

(4)装卸货过程中,由于货物在舱内以及相邻货舱之间不可能做到真正的平均装载,所以相对船舶中纵剖面,左右不平衡的重量形成了使船舶绕中线发生扭转的力矩——扭矩。由于大型散货船的船型和结构特点,扭矩对船体结构和强度损伤极大,一定要使货物在舱内尽量均匀分布,以减小扭矩。对于经常装运高密度货物的大型散货船,特别要杜绝的是:当一个货舱装偏后,使用另一个货舱调整平衡的情况,这样将使船舶特定部位承受的扭矩过大,严重破坏船体结构、影响船体强度,在大风浪中可能给船舶带来灾难。

(5)大风浪是导致船舶受损的主要外因。航线选择

要认真研究航区季节、气象海况资料,结合本船结构、货载等状况,正确使用“气象导航”,合理确定航线。航行中应多渠道搜集气象海况资料和技术指导信息,尽可能避开恶劣海况,以免对船舶结构造成严重破坏。大风浪中航行时,必须保持船舶动力、保持通风水密设施完好水密;压载水舱要保持满舱或空舱,减少自由液面,避免因船舶横摇或纵摇受舱内压载水冲击引起附加的结构负荷而导致船体受损;视情调整航向航速,规避大涌浪对船体的拍击;加强对船体、货物的检查,对油水舱、货舱污水井的监测,必要时应增加测量次数。发现异常及早查明原因,采取有效措施。

(6)海上压载水更换,要经过严格的强度、稳性核算后,在航区气象海况允许的前提下进行操作。同时要注意正确操作,防止因操作不当导致船体结构受损。

(7)对船体结构应进行定期检查。重点检查剪力集中区域以及曾经发生过结构损伤的区域,并使这些维持船舶强度的关键部位和结构始终处于完好状态。使船舶的安全强度、营运效果和营运寿命得到保证。

* 作者:陈建锋、郑睿,中远散货运输有限公司 船长