

船舶操纵与避碰

(上册：船舶操纵)

柴旭涛 主编

孙琦 屠群峰 主审



大连海事大学出版社

船舶操纵与避碰

(上册:船舶操纵)

柴旭涛 主编

孙琦 屠群锋 主审

大连海事大学出版社

© 柴旭涛 2014

图书在版编目(CIP)数据

船舶操纵与避碰:全2册/柴旭涛主编. —大连:大连海事大学出版社, 2014.3
ISBN 978-7-5632-2990-1

I. ①船… II. ①柴… III. ①船舶避让操纵 ②船舶航行—避碰规则
IV. ①U675.96 ②U692.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第052680号

大连海事大学出版社出版

地址:大连市凌海路1号 邮编:116026 电话:0411-84728394 传真:0411-84727996

<http://www.dmupress.com> E-mail: cbs@dmupress.com

大连永盛印业有限公司印装

大连海事大学出版社发行

2014年3月第1版

2014年3月第1次印刷

幅面尺寸:185 mm × 260 mm

印张:34.125

字数:845千

印数:1~1200册

出版人:徐华东

责任编辑:陆梅

责任校对:宋彩霞

封面设计:王艳

版式设计:解瑶瑶

ISBN 978-7-5632-2990-1 定价:87.00元(上、下册)

前 言

《船舶操纵与避碰》是根据《STCW 公约》马尼拉修正案和中华人民共和国海事局依此重新制定的履约版《中华人民共和国海船船员适任考试大纲》及《高职高专院校航海技术专业教学指导方案》中“船舶操纵与避碰”课程内容要求编写的。适用于航海技术专业学生的课堂教学,也可作为各航区、各等级船长、大副、二/三副适任证书考试培训参考书。

本教材编写的指导思想是用情境教学法,使学生通过对本课程的学习,掌握船舶操纵技术,确保航行安全。课程内容覆盖《中华人民共和国海船船员适任考试大纲》的全部内容,可帮助学生和学员顺利地通过适任考试,同时可以加强船舶驾引人员海上实际操纵能力的培养。

本教材分上下两册,共十九个情境。本册为《船舶操纵与避碰(上册:船舶操纵)》,共分八个情境:情境一是认识船舶操纵性能;情境二是使用船舶操纵设备;情境三是外界因素对船舶操纵的影响,包括风、流、受限水域等的影响;情境四是港内操船;情境五是特殊水域的船舶操纵;情境六介绍了如何在大风浪中操船;情境七介绍应急操船;情境八介绍了有关轮机方面的知识。

本册由浙江交通职业技术学院柴旭涛主编,上海海事职业技术学院孙琦和浙江交通职业技术学院屠群锋主审。其中情境一、三、六由浙江交通职业技术学院柴旭涛编写,情境二由浙江交通职业技术学院陈荣国编写,情境四由浙江海运集团公司何军编写,情境五由浙江安拓海运有限公司王安编写,情境七由浙江交通职业技术学院陈统销编写,情境八由浙江交通职业技术学院吴永华编写。屠群锋老师在审阅过程中提出了大量宝贵的修改意见,在此表示衷心感谢!

在本书的编写过程中力求概念清楚、理论正确、重点突出、条理清晰、语句通顺、理论结合实际。但由于编者水平有限,时间仓促,不足之处在所难免,竭诚希望前辈、同行和读者批评指正。

编者

2013年12月

目 录

情境一 认识船舶操纵性能	1
任务一 认识船舶变速运动性能	1
任务二 认识船舶旋回性能	6
任务三 认识船舶操纵运动方程及操纵性指数	13
任务四 认识船舶的航向稳定性与保向性	17
任务五 实船操纵性试验	20
任务六 掌握 IMO 船舶操纵性衡准的基本内容	24
情境二 使用船舶操纵设备	25
任务一 螺旋桨的应用	25
任务二 舵设备及其应用	36
任务三 锚设备及其运用	66
任务四 系泊设备及其应用	99
任务五 拖船的运用	117
情境三 外界因素对船舶操纵的影响	125
任务一 认识风对操船的影响	125
任务二 认识流对操船的影响	134
任务三 认识受限水域对操船的影响	135
任务四 认识船间效应	142
情境四 港内操船	146
任务一 港内掉头	146
任务二 靠离码头	149
任务三 系离浮筒	154
任务四 其他情况下的系离泊	158
任务五 超大型船舶的操纵	162
任务六 接近引航船时的操纵	165

情境五 特殊水域的船舶操纵	166
任务一 狭水道中的船舶操纵	166
任务二 岛礁区域的船舶操纵	170
任务三 冰区的船舶操纵	171
情境六 大风浪中操船	175
任务一 认识波浪对操船的影响	175
任务二 在大风浪中操船	183
任务三 避台操纵	186
情境七 应急操船	189
任务一 碰撞前后的应急处置和操船	189
任务二 搁浅前后的应急处置	192
任务三 火灾后的应急处置	198
任务四 救生与弃船	199
任务五 海上搜寻与救助	200
任务六 海上拖带	208
情境八 认识轮机的操作与管理	214
任务一 认识船舶动力装置	214
任务二 认识船舶辅机	223
任务三 柴油机运行管理	226
参考文献	236



情 境一

认识船舶操纵性能

任务一

认识船舶变速运动性能

船舶出于避碰、狭水道及港内航行或驶往泊地的需要而改变螺旋桨的转速和方向,进行启动、变速、停车、倒车操纵。转速和方向改变后直至达到新的定常运动状态之前,存在着一段加速或减速运动的过程,该段过程称为变速运动过程,也称船舶惯性。衡量船舶变速运动特性有两个重要指标,一个是船舶完成变速运动所航进的路程,称为冲程;另一个是完成变速运动所需的时间,称为冲时。

一、船舶起动性能

船舶在静止状态中开进车,直至达到与主机输出功率相应的稳定船速前的变速运动,称为船舶起动变速运动。

在起动变速过程中,螺旋桨推力 T 与船舶阻力 R 之差,是船舶产生加速运动的动因。由于起动后推力增加较快,而船速增加较为缓慢,因此要注意合理用车。即分段逐级加车,待达到相应转速的船速时,再提高用车的级别,以免主机超负荷工作。

完成起动变速运动所需的时间 t 和航进的路径 s 可用下列关系式估算。

$$t \approx 0.004 \frac{W \cdot v_0}{R_0} \quad (1-1-1)$$

$$s \approx 0.101 \frac{W \cdot v_0^2}{R_0} \quad (1-1-2)$$

式中, v_0 为最终定常速度, 单位为 kn; W 为船舶实际排水量, 单位为 t; R_0 为达到最终定常速度 v_0 时的船舶阻力; 计算出的 t 单位为 min; 计算出的 s 单位为 m。

根据经验, 从静止状态逐级动车, 直至达到海上速度, 满载船舶需航进 20 倍船长 (L) 左右的距离, 轻载时为满载的 $1/2 \sim 2/3$ 。

二、船舶减速性能

船舶以一定常速度(全速或半速)行驶中采取停车措施后, 直至降到某一余速 ($2 \sim 4$ kn) 前的变速运动称为船舶停车变速运动。

主机停车后, 推力急剧下降到零。开始时, 船速较高, 阻力也大, 速降很快; 但当速度减小后, 阻力也随之减小, 速降越来越慢, 船很难完全停止下来, 且在水中亦很难判断。所以, 通常以船速降至维持舵效的最小速度作为计算所需时间和船舶航进路程的标准。

主机停车后的时间、速度及航进路程存在如下关系。

达到速度 v 时所需的时间(停车冲时):

$$t = 0.001\ 05 \frac{W \cdot v_0^2}{R_0} \left(\frac{1}{v} - \frac{1}{v_0} \right) \quad (1-1-3)$$

达到速度 v 时所航进的路程(停车冲程):

$$s = 0.075 \frac{W \cdot v_0^2}{R_0} \ln \left(\frac{v_0}{v} \right) \quad (1-1-4)$$

式中: R_0 为速度 v_0 时船舶所受阻力 (t); W 为船舶实际排水量 (t); t 为达到速度 v 时所需时间 (min); s 为达到速度 v 时所航进的路程 (m)。

计算停车冲程还可采用 Topley 船长提出的经验估算式

$$s = 0.024 C \cdot v_0 \quad (1-1-5)$$

式中: C 为船速减半时间常数 (min), C 值随船舶排水量不同而不同; v_0 为船舶停车时初速 (kn)。

一般船舶在以常速航进中, 从主机停车到降至余速 2 kn 时, 其停车冲程为 8 ~ 20 倍船长 (L); 而 VLCC 满载时, 在以海上常速航进中停车至余速降至 3 kn, 则停车冲程约为 23 倍船长 (L), 冲时近 30 min。当然, 正常的进出港或接近泊地仍以逐级降速为妥, 以利于主机的养护。

三、倒车制动性能

船舶在全速前进中开后退三, 从发令开始至船舶对水停止移动所需的时间和航进的路程, 以及相应的偏航量和偏航角, 统称为倒车制动性能。倒车冲程又称为紧急停船距离 (crash

stopping distance)或最短停船距离(shortest stopping distance)。

全速前进的船舶在进行紧急制动时,为不致造成主机转动部件出现应力过大的情况,在关闭主机油门后,通常要等航速降至全速的60%~70%,转速降至额定转速的25%~35%时,方可将压缩空气持续充入气缸使主机停转,然后进行反向起动。

1. 紧急停船距离和停船时间的估算

(1) Lovett 式估算法

$$t \approx 0.00089 \frac{W \cdot v_0}{R_0} \quad (1-1-6)$$

$$s \approx 0.0121 \frac{W \cdot v_0^2}{R_0} \quad (1-1-7)$$

式中: s ——最短停船距离(m);

t ——所需时间(min);

W ——船舶实际排水量(t);

R_0 ——船速为 v_0 时的船舶阻力(t);

v_0 ——倒车前的船舶速度(kn)。

(2) 紧急停船距离经验估算法

从主机倒车后的船速随时间变化关系看,可近似认为是一个匀减速过程,如图1-1-1所示。紧急停船距离的大小就是速度曲线与时间轴围成的面积。即

$$s = \int_0^{t_s} v dt = C v_k \cdot t_s \quad (1-1-8)$$

式中: v_k ——倒车时船速(kn);

t_s ——倒车使用时间(s);

C ——紧急停船距离系数,一般货船取0.25~0.27,大型油船取0.27~0.29;

s ——紧急停船距离(m)。

大型油船如时间按分(min)计算,也可按下式求取紧急停船距离

$$s = 16 v_k \cdot t_m \quad (1-1-9)$$

使用上述两公式时,可不考虑船舶主机种类和吃水状态。

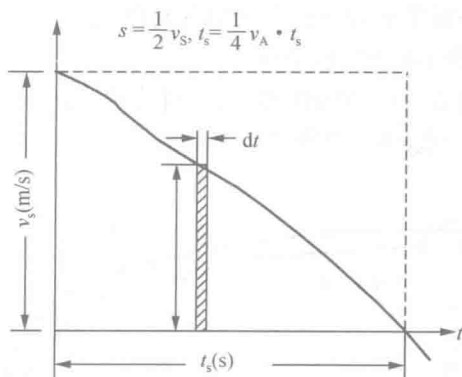


图 1-1-1 紧急停船过程中船速的变化过程

(3) 低速航进时倒车冲程及冲时的估算

$$s = \frac{1}{2} \cdot \frac{W k_x}{g T_p} v_0^2 \quad (1-1-10)$$

$$t_s = \frac{W k_x}{g T_p} v_0 \quad (1-1-11)$$

式中: s ——倒车冲程(m);

t_s ——所需时间(s);

g ——重力加速度(9.8 m/s^2);

W ——船舶排水量(t);

k_x ——船舶前进方向虚质量系数,可经实验取得,像 VLCC 或肥大型船舶可取 1.07;

T_p ——螺旋桨倒车拉力(t),估算时可用 $T_p = 0.01 N_{拉}$ (后退倒车功率)来估算;

v_0 ——船舶倒车时船速(m/s)。

当船舶驶向泊地并要求船舶能在一倍船长的距离内用倒车把船停住,则船舶所用余速为

$$v_0 = \sqrt{\frac{2gLT_p}{Wk_x}} \quad (1-1-12)$$

(4) 经验数据

根据统计,一般情况下各类船舶的紧急停船距离如表 1-1-1 所示。

表 1-1-1 各类船舶紧急停船距离

载重量	船种	主机种类	紧急停船距离
1 万吨	普通货船	内燃机	(6~8) L
1 万吨	高速货船 集装箱船 滚装船	内燃机	(7~8) L
5 万吨	油船	内燃机	(8~11) L
5 万吨	货船	内燃机	(8~10) L
10 万吨	油船	汽轮机	(10~13) L
15 万~20 万吨	油船	汽轮机	(13~16) L

2. 船舶停船性能

船舶的停船性能是指在标准状态下以海上船速行驶的船舶,经自力制动操纵后,可在允许偏航范围内(偏航量和偏航角)迅速停船的性能。

由于沉深横向力和排出流横向力的作用,倒车制动时,船舶在减速的同时船首将发生剧烈的偏转运动,其运动轨迹是一条曲线,如图 1-1-2 所示。

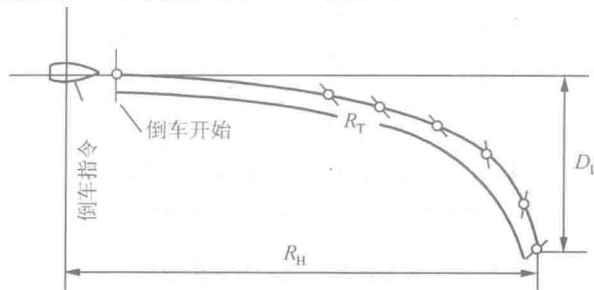


图 1-1-2 船舶倒车制动轨迹



在图中曲线的长度即最短停船距离,也称之为制动行程 R_T (track reach)。船舶重心沿原航向方向移动的距离称为制动纵距 R_H (head reach),它是用车紧急停船能让开前方物标的最短距离。倒车制动时,船首向偏离原航向的角度,称为偏航角。而船舶重心偏离原航向的横向距离,称为偏航量 D_L 。压载时,停船距离短,偏航角和偏航量较小;满载时,停船时间长,偏航角和偏航量大,有时竟高达 200° 左右。

具有良好停船性能的船舶应满足:在开阔水域具有相应其船长的最小停船距离,而在水深、航道宽度受限制的水域不仅要具有最小停船距离,而且要具有较小的偏航量和偏航角。

3. 影响紧急停船距离的主要因素

(1) 主机倒车功率、换向时间

主机倒车功率越小,紧急停船距离越大。此外,单位排水量功率(MCR/DWT)越小,紧急停船距离越大,这就是大型船倒车功率较小型船舶大,但紧急停船距离一般较大的原因所在。

主机换向时间越短,紧急停船距离越小。主机换向时间因主机类型不同而不同,一般从前进三到后退三换向,蒸汽机船所需时间为 $60 \sim 90$ s,内燃机船需 $90 \sim 120$ s,汽轮机船需 $120 \sim 180$ s。另外,内燃机倒车功率占常用功率的比例也较汽轮机为高。

(2) 推进器种类

与固定螺距螺旋桨(FPP)相比,可调螺距螺旋桨(CPP)只需改变桨叶方向便可达到换向目的。因其操作时间短,在调整螺距的同时即可产生较大乃至最大的倒车拉力,故紧急停船距离较短。若其他条件相同,一般 CPP 船的紧急停船距离约为 FPP 船的 $60\% \sim 80\%$ 。

(3) 排水量和船型

在船速和倒车拉力相同时,排水量越大,紧急停船距离越长。通常压载时的停船冲程约为满载时的 80% ,而倒车冲程为满载时的 $40\% \sim 50\%$ 。此外, C_b 大的肥大型船舶的附加质量大,故其停船距离较瘦型船舶为长。

(4) 船速

若其他条件相同,船速越大,冲程越大。

(5) 外界条件

顺风流时冲程增大,反之则减小。浅水中船舶阻力增加,冲程略有减小。

(6) 船体污底

船体污底严重,则阻力增加,船舶紧急停船距离将相应减小。

4. 各种制动方法及其运用

(1) 倒车制动法

通过螺旋桨倒转或改变螺距,使之产生强大拉力进行制动的方法称为倒车制动。该法因其制动拉力大,操纵方便而被各类船舶广泛采用。但因存在控向困难,不利于船舶保位的缺陷,因而大型船舶在港内应谨慎使用。

(2) 蛇航制动法(zig zag stop manoeuvre)

这是英国造船研究协会(BSRA)提出的紧急停船制动方法。该法通过船舶自身操舵、换车,不仅可利用主机倒车拉力、船舶斜航阻力和舵阻力使船舶快速停住,而且能保证船舶偏航方向明确、偏航距离较少。此外,由于采用分阶段逐级平稳降速,避免了主机超负荷工作等情况的出现。该法适用较开阔水域,对于大型船舶、方形系数 C_b 较大的船舶在深水域中初速度较高时尤为有效。其缺点是在较窄水域或航道内不宜使用,操纵较复杂。

(3) 满舵旋回制动法

船舶满舵旋回一周,当航向复原时,可使船速减为原来速度的 70% 左右,大型油船甚至降至原船速的 50% 左右。该法操作简便,无须机舱动车,大型船舶抵港前常用此法减速。

(4) 拖锚制动法

该法仅适用于万吨及万吨以下船舶,而且抛锚时的船舶对地速度仅限于 2~3 kn 以下。大型船舶由于其锚机的刹车力不足,拖锚制动将会损坏锚设备或使制动失败,故不宜采用此法。

(5) 拖船制动法

当本船船速低于 6~7 kn 时,根据当时的吃水情况使用相应数量的拖船,利用拖船的推力作用,有效地控制本船航速。该法多用于大型船舶在港内航道中的制动。

(6) 辅助装置制动法

该法是通过在船体上增设一些辅助装置,在需要时予以启动,以增加船舶运动阻力,消耗船舶动能,使船舶尽快减速。该法在船速较高时制动效果明显。

任务二

认识船舶旋回性能

在船舶操纵中,就舵的使用而言,大致可分为小舵角的保向操纵、一般舵角的转向操纵及大舵角的旋回操纵三种,船舶旋回性是船舶操纵中极为重要的一种性能。

一、船舶旋回运动的过程

船舶以一定航速直线航行中,操某一舵角并保持之,船舶将做旋回运动。根据船舶在旋回运动过程中的受力特点及运动状态的不同,可将船舶的旋回运动分为三个阶段,如图 1-2-1 所示。

1. 第一阶段——转舵阶段

船舶从开始转舵起至转至规定舵角止(一般 8~15 s),称为转舵阶段或初始旋回阶段。

如图 1-2-1 所示,该阶段中,船速开始下降但幅度甚微;漂角也已出现但量较小;旋回角速度不大,但旋回角加速度最大。由于船舶运动惯性的原因,船舶重心 G 基本上沿原航向滑进,在舵力转舵力矩 M_0 的作用下,船首有向操舵一侧回转的趋势,重心则有向操舵相反方向的微量横移,与此同时,船舶因舵力位置比重心位置低而出现少量内倾。因此,该阶段也称为横移内倾阶段。

2. 第二阶段——过渡阶段

操舵后,船舶出现向操舵相反一侧横移而使其运动方向发生改变,形成了漂角 β 。越来越明显的斜航运动将使船舶进入加速旋回阶段,同时伴有明显的降速。

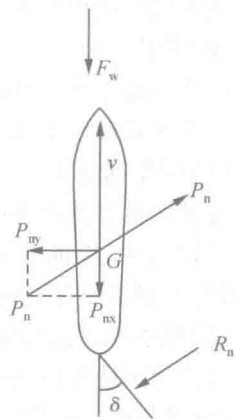


图 1-2-1 旋回转舵阶段受力情况

如图 1-2-2(a) 所示, 该阶段中, 船舶的旋回角速度、横移速度和漂角均逐步增大, 水动力 F_w 的作用方向由第一阶段来自正前方, 逐渐改变为来自船首外舷方向。由于水动力 F_w 作用点较重心更靠近船首, 因而产生水动力转船力矩 M_δ , 方向与舵力转船力矩 M_j 一致, 使船舶加速旋回; 与此同时, 随着旋回角速度的不断提高, 又会产生不断增大的船舶旋回阻力矩, 从而使旋回角速度不断降低, 角速度的增加受到限制。

该阶段中船舶的运动特点是:

(1) 船舶降速明显。其首要因素是船舶斜航时水动力 F_w 的纵向分力 F_{wx} 的增加, 其次是舵力 P_n 的纵向分力 P_{nx} , 旋回运动产生的离心力 Q 的纵向分力 Q_x 以及旋回中推进效率的下降。

(2) 由反向横移变成向操舵一侧正向横移。原因是船舶在旋回中, 随着漂角 β 的增大, 水动力 F_w 不断增大, 而舵力却有所下降, 以致 F_w 的横向分力大于 P_n 的横向分力。

(3) 船舶出现外倾并逐渐增大。其原因是舵力横向分力 P_{ny} 、水动力横向分力 F_{wy} 以及旋回中产生的离心力的横向分力 Q_y 作用于船舶垂直方向的不同位置, 构成了力矩, 从而使船舶由初始阶段的内倾变为外倾, 如图 1-2-2(b) 所示。

(4) 船舶加速旋回。

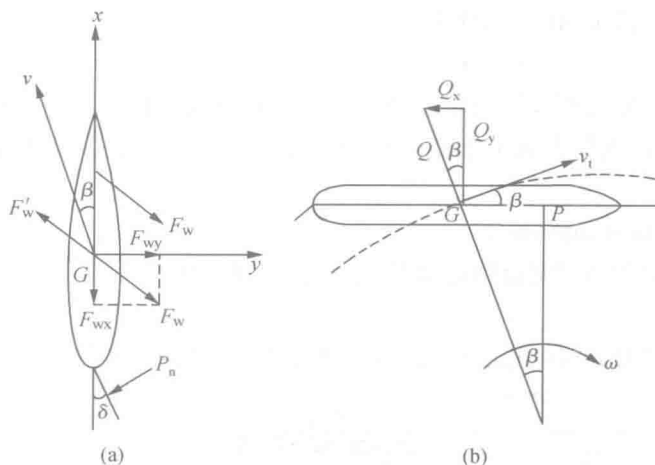


图 1-2-2 旋回过渡阶段受力情况

3. 第三阶段——定常旋回阶段

随着旋回运动的不断发展, 一方面, 舵力的下降使舵力转船力矩 M_δ 减小, 水动力 F_w 的作用点 W 随着漂角的增大不断后移, 水动力转船力矩 M_β 减小; 另一方面, 随着船舶旋回角速度的增加, 由阻止船舶回转的阻力 R_r, R_n 所构成的水阻力转船力矩 M_r, M_n 也同时增大。如图 1-2-3 所示, 当漂角 β 增加到一定值时, 作用于船体的诸力及其力矩达到平衡, 即船舶进入定常旋回。该阶段中, 船体所受合力矩为零, 船舶旋回角加速度为零, 转头角速度达到最大并稳定于该值, 船舶降速达到最大值, 外倾角、横移速度也趋于稳定。船舶以稳定的线速度、角速度做旋回运动, 故又称第三阶段为稳定旋回运动阶段。不同载况的船舶进入定常旋回状态的时间也各不相同。空载船

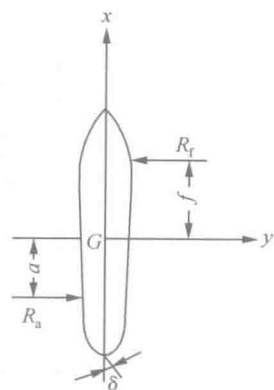


图 1-2-3 旋回定常阶段的受力情况

在转首 60° 左右,满载船在转首 $100^\circ \sim 120^\circ$ 进入定常旋回阶段。

二、旋回圈及其要素

定速直航(一般为全速)的船舶操一定舵角(一般为满舵)后,船舶将做旋回运动,其重心所描绘的轨迹叫作旋回圈。在《船舶操纵性标准》(海安全 MSC. 137(76)决议)中,将旋回圈定义中的试验速度规定为至少达到主机最大输出功率 85% 时所对应的速度的 90%。旋回圈及其要素如图 1-2-4 所示。

1. 进距 A_d (advance)

进距是指开始操舵到航向转过任一角度时重心所移动的纵向距离。进距又称纵距,通常所说的进距是指航向转过 90° 时的进距。在此基础上,如再转过相当于漂角的度数,则船舶在原航向上将达到最大纵移距离,称为最大进距(max advance)。

2. 横距 T_r (transfer)

横距是指开始操舵到航向转过任一角度时船舶重心向操舵一侧移动的横向距离。通常所说的横距是指当航向转过 90° 时的横距。

3. 旋回初径 D_T (tactical diameter)

旋回初径是指开始操舵到航向转过 180° 时重心所移动的横向距离。在此基础上,如再转过相当于漂角的度数,则将出现船舶重心偏离原航向线达到最大的横移距离,称为最大横距(max transfer)。

4. 旋回直径 D (final diameter)

旋回直径是指船舶做定常旋回运动时,重心轨迹圆的直径。

5. 滞距 R_e (reach)

滞距是指从操舵开始时的重心位置至定常旋回曲率中心的纵向距离,又称心距。

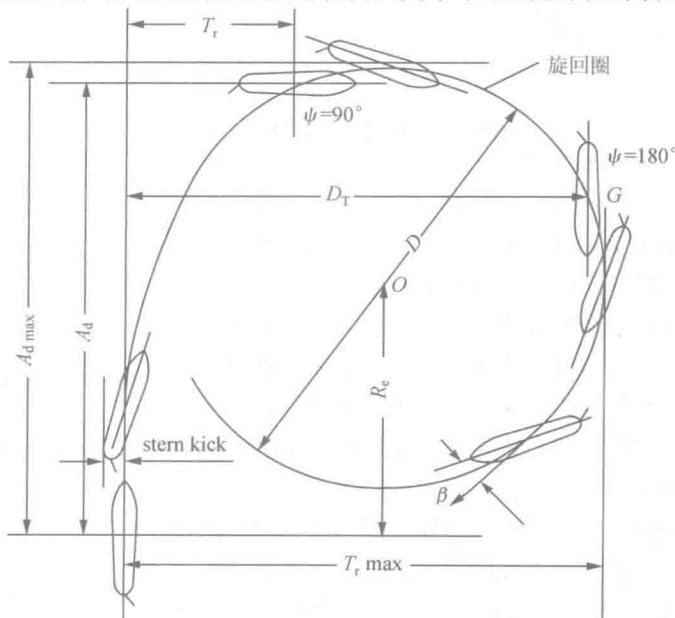


图 1-2-4 旋回圈及其要素



上述五个尺度从不同的角度规定了旋回圈的形状和大小,因而被称为船舶旋回圈要素。旋回圈的大小一般用旋回初径 D_T 或旋回初径与其船长之比 D_T/L (即相对旋回初径) 表示。

根据 IMO 提出的《操纵性标准》规定, D_T 必须满足不应大于 $5L$ 。实船在深水中满舵旋回时,像油船之类的肥大型船舶, $D_T/L \approx 3$; 高速货船之类的瘦削型船, $D_T/L \approx 4$ 。在上述比值为 3~4 的范围内,进距、横距与旋回初径之比,旋回直径与旋回初径的比值一般为:

$$A_d/D_T = 0.85 \sim 1.0; \quad T_r/D_T = 0.55; \quad D/D_T = 0.9$$

为了更完整地表述旋回运动的特性,通常还应考虑以下几个参数。

6. 反移量 L_k (kick)

指操舵后,船舶重心从原航向向操舵相反一侧横移的距离,又称偏距。

在满舵旋回时,当船舶回转达到一个罗经点时,反移量达到最大值,约为船长的 1%,而船尾反移量的最大值可达船长的 $1/10 \sim 1/5$ 。

7. 漂角 β (drift angle)

船舶旋回时,船舶首尾线与首尾线上某一点的旋回圈的切线速度方向之间的夹角,称为该点的漂角。一般所说的漂角是指重心处的漂角,如图 1-2-5 所示。

船舶首尾线不同点处的漂角值各不相同,船尾处的漂角最大。随着回转的加剧,重心处的漂角由小到大,最后在定常旋回阶段趋于稳定。旋回中船舶所具有的漂角与舵角有关,一般船舶不同舵角时重心处的漂角在定常旋回阶段在 $3^\circ \sim 15^\circ$ 之间。

如果把船体视为一个大面积的舵的话,则漂角越大,流向船体的水对船体产生的升力就越大,即水动力 F_w 越大,水动力转船力矩越大,使船舶加速旋回。因此,漂角越大,其旋回性越好,旋回直径也越小。大型油船较一般货船的回转性好,因此它在定常旋回中的漂角也较大。浅水中船舶的回转性较深水中差,故漂角也较深水中小。

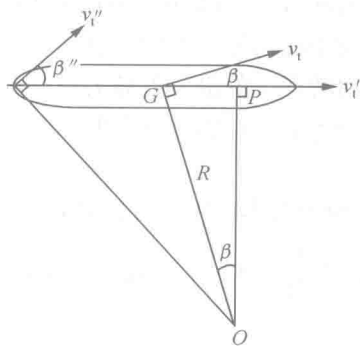


图 1-2-5 船舶首尾面上各点的漂角

8. 转心 (pivoting point)

由船舶旋回曲率中心 O 点作船舶首尾线的垂线,垂足点 P 即为转心,如图 1-2-5 所示。 P 点处的线速度方向与首尾线一致,故该点的漂角为零;同时由于船舶绕该点的竖轴做自转,故该点的横移速度为零。

一般商船在定常旋回时,转心 P 在船首柱后 $1/3 \sim 1/5$ 船长处,漂角越大的船,转心距首柱越近。而后退中旋回的船舶,其转心位于重心之后,与前进旋回时的转心位置几乎对称。

9. 旋回中的降速

船舶旋回中,由于斜航而使阻力增加,此外,舵力的纵向分力、惯性离心力的纵向分力引起

的阻力增加以及推进器效率降低等原因都将引起船速下降。进入定常旋回后,船速稳定在一个定值上。

定常旋回时的船速 v_1 与操舵前的船速 v_0 的比值 v_1/v_0 (速降系数) 与 D_T/L (相对旋回初径) 的关系如图 1-2-6 所示。 D_T/L 越小, v_1/v_0 越小, 即速降剧烈。也就是说, 旋回性越好, 速降越明显。肥大型船的 D_T/L 较瘦削型小得多, 故旋回中的速度下降便要明显得多。同样, 由于船舶在浅水中的旋回性变差, 所以浅水中的旋回速降就小一些。

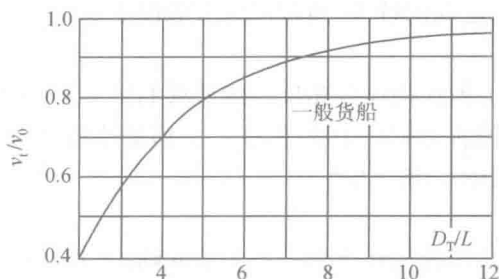


图 1-2-6 船舶旋回中的降速情况

10. 旋回中的横倾

旋回中船舶出现的横倾是一个应予注意的不安全因素。一般货船满舵旋回时的外倾在静水中可达 $3^\circ \sim 5^\circ$ 。超大型油船因恢复力矩很大, 所以满载满舵旋回时几乎不发生横倾。然而恢复力矩较小的船舶高速航进中操大舵角时, 将会产生较大横倾, 若再加上船内自由液面影响或出现货物移动以及强横风或横浪的影响, 则船舶将有倾覆的危险。

为防止这种危险, 可采取如下措施:

- (1) 在适当增大初稳性高度的同时, 采取措施减小自由液面影响, 防止货物移动;
- (2) 降低船速, 缓慢操舵, 用较小舵角进行旋回, 以增大旋回半径;
- (3) 选择使风浪作用力矩与回转产生的最大外倾力矩错开的时机操舵;
- (4) 旋回中若已出现较大外倾角而危及船舶安全时, 切忌急速回舵或急操反舵, 而应逐渐降速, 同时逐渐减小所用舵角。

船舶以一定航速旋回中的外倾角大小可用下式估算:

$$\tan\theta_c \approx \frac{v_1^2}{g \cdot R} \cdot \left(\frac{BM}{GM} - 1\right) \quad \text{或} \quad \tan\theta_c \approx \frac{v_1 \cdot r \cdot GB}{g \cdot GM} \quad (1-2-1)$$

式中: v_1 ——定常旋回切线速度(m/s);

R ——定常旋回半径(m);

g ——重力加速度(m/s^2);

BM ——浮心至稳心的高度(m);

GM ——初稳性高度(m);

GB ——重心浮心间距(m)。

11. 旋回时间

旋回时间是指船舶旋回 360° 所需的时间。它与船舶的排水量、旋回初始船速有密切关系, 排水量大, 旋回时间增加; 船速提高, 旋回时间缩短。万吨级船舶快速满舵旋回一周约需 6 min, 而超大型船舶的旋回时间则几乎要增加一倍。



三、影响旋回圈大小的因素

船舶旋回圈的大小主要受水下船型、船舶吃水状态、操船、外界环境(水深、风流)等方面因素的影响。

1. 水线下的船型因素

(1) 方形系数 C_b

方形系数较小的瘦形高速船($C_b \approx 0.6$)较方形系数较大的肥大型船($C_b \approx 0.8$)旋回性差得多。即 C_b 越大,旋回性越好,旋回圈也越小。

(2) 水线下侧面积

船首水线下侧面积分布较多者有利于减小旋回圈,船尾水线下侧面积分布较多者有利于提高航向稳定性,而不利减小旋回圈。例如船首有球鼻首或船尾比较削尖的船,旋回时阻矩较小,旋回圈较小,但航向稳定性变差。

(3) 舵面积比($A_R/L_{pp} \times d$)

舵面积比(rudder area ratio)是指舵面积(A_R)与船体浸水侧面积($L_{pp} \times d$)的比值。增加舵面积将会使舵的转船力矩增大,使旋回性变好,旋回圈减小。但同时也增加了旋回阻矩,超过了一定值后,旋回圈不能减小。因而一定类型的船舶都有一个最佳的舵面积比值。

各类船舶因其实际使用目的不同,对其应具备的旋回性在要求上也各不相同,同时还需综合考虑舵机功率、船舶阻力、与船尾形状的配合、便于安全操船等多方面因素。比如大型油船由于具有易于旋回的肥胖船型,不用很大的舵面积比;而旋回困难但又要求具有较高的机动性的高速货船则需要配备较大面积的舵;由于拖船和渔船需要优良的操纵性,所以舵面积比也较大。

2. 船舶吃水状态

(1) 吃水

在船舶其他条件(吃水差、主机转速和船速)不变的情况下,一般船舶均有舵面积比随吃水变深而降低的趋势,舵力转船力矩减小,而且随着吃水的增加,船舶绕重心 G 的垂直轴的转动惯量也将增加,所以船舶初始旋回缓慢。因此,若其他条件相同,吃水大的满载船的进距将有较大增长。此外,随着吃水的增大,斜航时转船力矩较旋回阻矩增加得明显,从而导致旋回初径和横距某种程度的降低。

(2) 纵倾

船舶的纵倾变化,相当于较大程度地改变了船舶水线下船体侧面积的形状分布,尾倾增大,重心后移,水动力作用点后移,使转船力矩减小,旋回圈增大;相反首倾增大时则回转加快,旋回圈减小。首倾量每增加 1% 船长,旋回初径便可减小 10% 左右;尾倾量每增加 1% 船长,旋回初径则增加 10% 左右。

通常,满载时尾倾不大,但吃水增加了,舵面积比减小了;而空载时尾倾相当大,但吃水减小了,舵面积比增加了。所以总的看来,空船与满载时的旋回圈大小相差不多。

(3) 横倾

总的来说,横倾对旋回圈影响不大。船舶在前进时如存在横倾,船首受其影响会发生偏转。低速时,推力-阻力转矩起主要作用,推首向低舷侧偏转,若向低舷侧旋回,旋回圈小;高速时,首波峰压力转矩起主要作用,推首向高舷侧偏转,若向高舷一侧旋回,旋回圈小。