



符合 STCW 公约要求
航海类专业教学指导委员会推荐
交通部科技教育司审定
中华人民共和国海事局认可

船舶操纵

孟祥武 主编

高等
专科学校
统编教材



大连海事大学出版社

高等专科学校统编教材

船舶操纵

主编 孟祥武

主审 吕江海

大连海事大学出版社

内容简介

本书是根据航海专业专科教学计划及中华人民共和国海事局《海船船员适任考试和评估大纲》中“船舶操纵”考试科目的内容与要求而编写的。本书注重知识的实用性及可操作性。

全书分为六章。它包括了船舶操纵基础知识、风、流、受限水域等外界因素对操船的影响、进出港靠离码头及系离浮筒等的操纵、大风浪和特殊水域内的船舶操纵及海难时的应急操纵等内容。

本书可作为航海专业专科教材及船长、驾驶员培训考证用书。

图书在版编目(CIP)数据

船舶操纵/孟祥武主编. —大连:大连海事大学出版社, 1999
ISBN 7-5632-1276-0

I.船… II.孟… III.船舶操纵—高等学校—教材 IV.U675

中国版本图书馆CIP数据核字(1999)第26041号

大连海事大学出版社出版

(大连市凌水桥 邮政编码 116026 电话 4728394)

大连理工大学印刷厂印刷

大连海事大学出版社发行

1999年9月第1版

1999年9月第1次印刷

开本: 787×1092 1/16

印张: 7

字数: 175千

印数: 0001~2000册

责任编辑: 樊铁成 史洪源

封面设计: 王艳

定价: 11.00元

前 言

《航海学》、《船舶货运》、《船舶操纵》、《航海专业英语阅读》、《航海专业口语》是为全面履行 STCW78/95 公约和国家海事局的九七规则,经全国高校航海类专业教学委员会推荐,交通部科技司批准、国家海事局认可的航海技术专业专科(三年制)五本通用教材。它是根据全国高校航海类专业教学指导委员会所审定的《航海技术专业专科(三年制)教学指导计划》及国家海事局下发的《海船船员适任考试和评估大纲》的内容要求而编写的。

这套教材在编写中注重了理论知识的应用和实践动手能力的培养,理论知识以应用为目的,实践动手能力强调实用性和针对性,深广度适宜,具有较好的适用性和系统性,并注意了教学方法和内容的改革与更新。其内容包括了《海船船员适任考试和评估大纲》中操作级和管理级的要求。

本套教材适用于航海技术专业的专科教材。还适用于船员的考证与培训。既可作为自学读本,又可作为考试发证机关的命题参考依据。

《船舶操纵》一书由孟祥武主编,吕江海主审。其中第二章和第六章由李勇编写。

我们在编写本书的过程中,力求概念清楚,理论与实际应用相结合,文字通顺。但由于水平有限,有不足或错误之处,欢迎专家和读者批评指正。

编者

1999年3月

目 录

| | | |
|-----|-----------------|-------|
| 第一章 | 船舶操纵基础知识 | (1) |
| 第一节 | 螺旋桨的作用和特性 | (1) |
| 第二节 | 船舶操纵性能试验 | (17) |
| 第三节 | IMO 船舶操纵性能暂行标准 | (25) |
| 第二章 | 外界环境因素对船舶操纵性的影响 | (28) |
| 第一节 | 风对船舶操纵性的影响 | (28) |
| 第二节 | 流对船舶操纵性的影响 | (37) |
| 第三节 | 受限水域对船舶操纵性的影响 | (39) |
| 第三章 | 港内操纵 | (43) |
| 第一节 | 锚泊操纵 | (43) |
| 第二节 | 掉头操纵 | (51) |
| 第三节 | 靠、离泊操纵 | (52) |
| 第四节 | 系离浮筒的操纵 | (60) |
| 第五节 | 船与船间的靠离要点 | (61) |
| 第六节 | 超大型船舶的系泊特点 | (61) |
| 第七节 | 接近引航船时的操纵 | (63) |
| 第八节 | 进出船坞的操纵 | (64) |
| 第九节 | 进出船闸的操纵 | (64) |
| 第四章 | 大风浪中的操纵 | (65) |
| 第一节 | 海浪概念 | (65) |
| 第二节 | 风浪中的船舶摇荡运动 | (67) |
| 第五章 | 特殊水域内的船舶操纵 | (81) |
| 第一节 | 狭水道操纵 | (81) |
| 第二节 | 运河操纵 | (82) |
| 第三节 | 冰区航行 | (84) |
| 第六章 | 应急操纵 | (91) |
| 第一节 | 碰撞 | (91) |
| 第二节 | 搁浅与触礁 | (94) |
| 第三节 | 火灾、救生与弃船 | (100) |
| 第四节 | 海上搜寻与救助 | (104) |

第一章 船舶操纵基础知识

(Elementary Knowledge of Ship Handling)

第一节 螺旋桨的作用和特性

(The Functions and Characteristics of the Propeller)

一、船速与功率

1. 船速 (Ship speed)

船舶在水中行驶时, 必须克服船舶本身所受到的各种阻力。静水中, 当推进器产生的推力与阻力相等处于平衡状态时, 船舶将作定速运动, 此时船舶的运动速度称为某一转速下的船速。当推力与阻力不相等出现不平衡状态时, 船舶将做变速运动。我们称某一时刻的船舶运动速度为即时速度。

船舶在风、流、浪的作用下每小时相对海底所行驶的距离称为航速。

船速的单位以“节”来表示。“节”表示“每小时海里”(1 n mile=1852 m)。

航行中船舶受到的阻力:

船舶航行时受到的总阻力定义为 R , R 主要分为基本阻力 R_0 与附加阻力 ΔR 两个部分。

基本阻力是船舶在航行中, 船体表面与水之间的摩擦所形成的摩擦阻力。在商船的普通速度范围内 R_0 约占总阻力的 70%~80%。 R_0 主要是由船舶吃水、速度和船体形状等所决定的。吃水越深, 船舶航行阻力越大; 船速较低时基本阻力的变化近似于线性变化; 而航速较高时, 基本阻力的变化率明显地加快, 几乎与船速的平方成正比; 基本阻力还包括 3 级风以下的空气阻力。

附加阻力是船舶外界条件的变化所造成的。主要有兴波阻力、涡流阻力、附属体阻力及空气阻力等。附加阻力的大小由风浪、船体污底、航道宽度及船速等因素决定的。

2. 主机功率与推进效率

船舶主机所发出的功率, 除了驱动螺旋桨产生推力为前进运动提供有效功率之外, 还必须提供驱动螺旋桨产生相应转矩所需要的功率以及克服主机和传动轴系摩擦所需要的功率。

主机功率主要有以下几种。如图 1-1-1 所示。

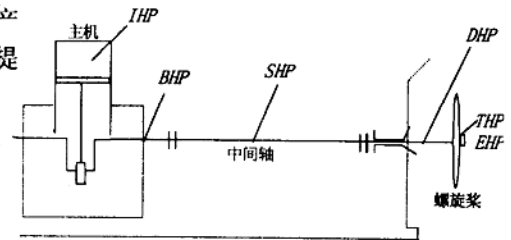


图 1-1-1

1) 机器功率 (machinery horse power) MHP

主机发出的功率。根据主机种类的不同, 测定机器功率的部位不同, 机器功率在不同类型主机中就有不同表示方法。

(1) 指示功率 (indicated horse power) IHP

IHP 是表示往复式发动机气缸内活塞所做的指示功。

(2) 制动功率 (brake horse power) *BHP*

主机实际能输出于外部时的功率, 叫制动功率。内燃机 (diesel engine) 中的机器功率常以 *BHP* 来表示。

(3) 轴功率 (shaft horse power) *SHP*

轴功率是传递到直接联结推进器上的功率, 可根据主轴所受到的转距来确定。对于汽轮机 (turbine engine) 一类机器, 无法求出其主机内部发出的 *IHP*, 就用轴功率 *SHP* 来表示其机器功率。

2) 收到功率 (delivered horse power) *DHP*

机器功率经过减速装置、活塞、轴承和其它机件的摩擦损失, 传至主轴尾端与推进器连接处的功率, 称为推进器收到功率。

3) 推进功率 (thrust horse power) *THP*

推进器获得收到功率后, 产生推船行进的功率称为推进功率。*THP* 可表达如下:

$$THP = \frac{T \cdot V_p}{1000} \quad (\text{kW})$$

式中: T ——推进器发出的推力 (N);

V_p ——推进器与水的相对速度 (m/s)

4) 有效功率 (effective horse power) *EHP*

使船能以某一速度行进时所必需的功率称为有效功率。*EHP* 可表达如下:

$$EHP = \frac{R \cdot V_s}{1000} \quad (\text{kW})$$

式中: R ——船体总阻力 (N);

V_s ——船与水的相对速度 (m/s)

3. 各功率之间的关系

推进器的效率的表示方法主要有:

1) 机械效率: 制动功率与指示功率的比值, 称为机械效率。在全负荷状态下, 机械效率为 80%~90%。

2) 传递效率: 收到功率与机器功率之比, 称为传递效率。螺旋桨的传递效率一般为 0.95~0.98。

3) 推进器效率: 有效功率与机器功率之比, 称为推进器效率。螺旋桨的推进器效率一般为 0.60~0.75。

4) 推进系数: 有效功率与机器功率之比, 称为推进系数。螺旋桨的推进系数一般为 0.50~0.70, 由此可见, 当使用螺旋桨作为推进工具时, 其机器功率变为有效功率后损失将近一半。

与其它推进工具相比, 螺旋桨的推进系数最大, 重量最轻, 推进性能好, 所以, 现在商船大都采用它作为推进工具。

4. 船速分类

在一定的条件下, 船速是随螺旋桨转速的提高而增加的。为方便操纵和保证主机的安全, 每条船对船速及相对应的转速都做了规定。

1) 额定船速

主机在海上可以长期连续运转使用的最大功率即为该主机的额定功率 N_n , 额定功率下

的转速称为额定转速 n_H 。此种情况下主机发出的转矩称为额定转矩 (N_H 和 n_H 均标注在主机的铭牌上)。

在额定功率与额定转速的条件下, 船速所能达到的静水速度, 即为该船的额定船速。额定船速在新船试航时, 可以通过测速测得。但随着投入营运时间的延长, 由于主机的磨损以及船体附加阻力和空船重量的增加, 特别是在修船之后, 额定船速就会降低。额定船速是船舶在深水中可供使用的最高船速。

2) 海上船速

为确保长期安全航行, 在海上航行中取航行试验时全负荷或可以连续安全使用的最大额定功率的 80%~90%作为海上航行时常用功率。其所对应的速度叫做海上速度(full speed 前进三所对应的海上速度)。

3) 港内船速

在海湾或港内航行时, 因为要频繁地改变速度, 或出于保持航行安全以及水域环境等原因而要限制使用速度, 所以从操船的角度上要求所使用的速度要比海上速度小。一般情况下, 柴油机船港内最高转速定为海上常用转速的 70%~80%。

港内船速划分为下列几挡: 将全速(前进三)航行时常用功率的 3/4 所对应的速度称为半速(half speed, 前进二); 将全速航行时常用功率的 1/2 所对应的速度称为慢速(slow ahead, 前进一)。除按主机发出功率的比例划分为“前进三”、“前进二”、“前进一”之外, 尚有“微速前进”(dead slow ahead)一挡。港内微速前进时的功率与转速, 是主机能发出的最低功率与转速。

如同进车一样, 倒车也分为“后退三”、“后退二”、“后退一”三级, 但多无“微速后退”。通常柴油机船港内“后退三”时的转速约为海上常用转速的 60%~70%。

应该指出, 某些港口和地区有最高限速的规定。对于一些高速船而言, 如本船所用港内船速高于该限速时, 应遵照各港口或地区的有关规定。

4) 标准车钟令

- | | |
|--------------------------|--------------------------------|
| (1) 备车 (Stand by engine) | (2) 前进三 (Full ahead) |
| (3) 前进二 (Half ahead) | (4) 前进一 (Slow ahead) |
| (5) 微进 (Dead slow ahead) | (6) 后退三 (Full astern) |
| (7) 后退二 (Half astern) | (8) 后退一 (Slow astern) |
| (9) 定速 (Ring off engine) | (10) 完车 (Finished with engine) |

5. 测速 (speed trial)

速度测定时应选无风、流影响的广阔水域进行。为不增加船舶的外界阻力, 一般要求水深不低于 $3\sqrt{Bd}$ (B 为船宽, d 为吃水), 要有良好的物标定位条件。

一般情况下需测定满载、空船压载情况下的前进一、前进二、前进三及额定转速时对应的稳定船速。

某些港口或近岸水域没有专用测速场, 其资料在相应水域的海图或航路指南中。测速时应挂信号旗 SM 表示“我船正在测速试验”。利用测速场中的物标测定船速的方法如图 1-1-2 所示。

利用在沿岸设有的立标, 使船在立标间的海面上直航, 然后根据航行过的立标间距(标

准为 1 n mile) 所需要的时间来算出速度。

单次观测的速度值 V_i (kn) 为:

$$V_i = \frac{S_i \times 3600}{t_i}$$

式中: S_i ——两对测标间距 (n mile);

t_i ——经过两对测标方位线所用的时间 (s)

为了消除在测速之间航行时风流的影响, 应在立标之间以大体等时间间隔连续往复航行 3~4 次, 求出其平均值作为速度。

均匀水流影响时测 3 次, 所测船速为: $V = \frac{V_1 + 2V_2 + V_3}{4}$

不均匀水流影响时测 4 次, 所测船速为: $V = \frac{V_1 + 3V_2 + 3V_3 + V_4}{8}$

式中: V_1, V_2, V_3 以及 V_4 为连续在立标之间航行所得的各次速度。

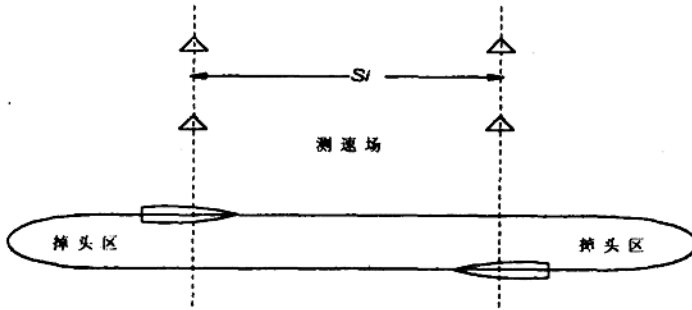


图 1-1-2

通过准确的定位仪器随时定位也能测出船速, 目前多采用高精度的 GPS 定位仪器进行定位测速。

6. 船速与燃料耗量的关系

船舶的摩擦阻力 R_f 与船体浸水表面积 S 和船速的平方 V^2 成正比, 而 S 又与排水量的 $2/3$ 次方成正比, 所以, 摩擦阻力与 $W^{2/3}$ 和 V^2 成正比; 而船舶总阻力减去摩擦阻力后的剩余阻力 (residual resistance) 在高速时也与 $W^{2/3}$ 和 V^2 成正比, 因此, 船体总阻力与 $W^{2/3}$ 和 V^2 成正比。

此外, 已知有效功率 $EHP = \frac{R \cdot V}{1000}$, 而推进系数是一个常数, 所以主机机器功率 MHP 也正比于 R 和 V , 即

$$MHP \propto R \cdot V \propto W^{2/3} \cdot V^3$$

而单位时间内的燃料消耗量

$$F_0 \propto MHP \propto W^{\frac{2}{3}} V^3$$

$$\text{即: } F_0 = kW^{\frac{2}{3}} V^3$$

式中: k ——系数;

W ——排水量;

V ——船舶对水速度

如果排水量 W 不变, 则单位时间内的燃料消耗量与船速的三次方成正比。

如考虑航行一定距离 D 内的总的燃料消耗量 F_t , 则:

$$F_t = F_0 \cdot \text{航行时间} = F_0 \cdot \frac{D}{V} = kW^{\frac{2}{3}} V^2 \cdot D$$

即: 如排水量 W 不变, 则航行一定距离 D 内的总的燃料消耗量与船速 V 的平方和航行距离 D 成正比。

设一种航行状态与另一种带撇点记号的航行状态相比较, 则获得它们的燃料消耗量与航行距离的相互关系式如下:

$$\frac{F_t}{F_t'} = \left(\frac{W}{W'}\right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{V}{V'}\right)^2 \cdot \left(\frac{D}{D'}\right)$$

若排水量不变, 即 $W = W'$, 则

$$\frac{F_t}{F_t'} = \left(\frac{V}{V'}\right)^2 \cdot \left(\frac{D}{D'}\right)$$

若两种状态对水航行距离相同即 $D = D'$; 且 $W = W'$, 则:

$$\frac{F_t}{F_t'} = \left(\frac{V}{V'}\right)^2$$

即航行一定距离内的燃料消耗量与船速平方成正比。

若消耗的燃料相同, 即 $F_t = F_t'$, 且 $W = W'$, 则:

$$\frac{D}{D'} = \left(\frac{V}{V'}\right)^2$$

即航行距离与船速平方成反比。

值得注意的是, 上述的 D 和 V 均是对水的航行距离和船速, 所以, 若是存在流的影响, 则必须把实际对地的航行距离和船速消除流速影响换算成对水的船速和航行距离后才能代入上述各式进行运算。

船舶在营运过程中, 一方面是运费和租费等营运收入, 一方面是燃料费和船费等支出。其中船费是指船舶折旧费、保险费、船员费、修理费、船舶用品消耗费、港口使费、润滑油费等费用支出。

船速越高, 燃料消耗越多, 燃料费 G_b 就大, 但船费 G_b 却能得到节约。能使船费与燃料费之和即总经费 G_t 为最低的相对于水的海上船速, 就是经济船速。

设每航行一小时的船费为 b , 则总船费 $G_b = b \cdot \text{航行时间} = b \cdot \frac{D}{V}$; 设每吨燃料费用

为 a ，而排水量不变时一定距离内的燃料消耗量 $F_t = kV^2D$ ，所以，总燃料费 $G_a = a \cdot kV^2D$ ，其总经费为：

$$G_t = G_a + G_b = akV^2D + b\frac{D}{V}$$

欲求使 G_t 为最小的船速，即求 G_t 对 V 的微分为零时的船速：

$$\frac{dG_t}{dV} = 2akVD - b\frac{D}{V^2} = 0$$

能使 $\frac{dG_t}{dV} = 0$ 的船速，即为经济船速 (economical velocity) V_E ，则：

$$V_E = \sqrt[3]{\frac{b}{2ak}}$$

此外，还可知当采用经济船速时，燃料费 G_a 恰好为船费 G_b 的 1/2。

在平时营运过程中，一经常总结船舶在各种载况下的 K 值和各种航次的 b 值，以便随时能概算出船舶的经济船速。

二、启动性能与惯性冲程

1. 船舶启动

船舶由静止状态开进车，转速需视船速的逐渐加快而增加，因而主机启动与船舶加速中应有一个逐渐增加主机转速的过程。一般情况下，驾驶员应避免在由静止状态开进车时立即使用高转速，甚至全速（前进三）的车速，这样做将会使主机转矩突然增大，甚至超过额定转矩，使主机超负荷工作，损伤主机及传输装置。航行中应尽量按船速等级逐渐由低速升至高速。

从静止状态开进车时，螺旋桨产生的推力 T 增加较快，在短时间内就能达到最大值。但此时船速增加则较为缓慢，必须经过相当长的时间 t_0 后，推力 T 和阻力 R 才能达到平衡。在此期间，船舶航进的距离也是随船速的增大而增加的。当达到 t_0 时，船舶的航行距离为 S_0 ，此后船舶将以 V_0 的速度做匀速运动。

根据理论推导，船速达到定常速度 V_0 时所需时间

$$t_0 \approx 0.004 \frac{D \cdot V_0}{R}$$

主机进车后，达到定常速度 V_0 时的航进距离

$$S_0 \approx 0.101 \frac{D \cdot V_0^2}{R}$$

式中： t_0 ——时间 (min)； S_0 ——距离 (m)；

D ——排水量 (t)； V_0 ——速度 (kn)；

R ——阻力 (kn)。

船在静止状态中开动主机，至船舶达到相应速度时的航行的距离，称为启动惯性距离。

根据经验：从静止状态到主机前进直至达到常速，满载船的航进距离约为船长的 20 倍左右，轻载时约为满载时的 1/2~2/3。

随着船舶逐渐向大型化发展，每排水吨所分摊到的主机功率数越来越小。船舶启动时达到相应船速的时间与距离都相应增加，在港内或锚地有时不得不借助拖轮来协助进出。

2. 惯性冲程

接近港口、锚地及避让物标都需要驾驶员了解掌握本船的惯性冲程，以便能够及时有效的在安全距离之内将船停住。

1) 停车惯性冲程

船以某一速度航进中，从主机停车到船停住为止的惯性距离称为停车惯性冲程（停车冲程）。

主机停车后由于船速较高，所受阻力大，因此船速下降较快。随船速下降，所受阻力减小，船速下降的速度逐渐变缓。因为阻力的迅速降低，需经较长时间才能使船停住。所以，通常以船速降至保持舵效的最低船速（万吨船约 2 kn，VLCC 船约 4 kn）为界限计算和测试停车惯性冲程。

经推导，停车后减速到能维持舵效的速度 V (2 kn) 时所需的时间 t_s 和 S_s 的关系为：

$$t_s = 0.00105 \frac{WV_0}{R_0} \left(\frac{1}{V} - \frac{1}{V_0} \right)$$

$$S_s = 0.075 \frac{WV_0^2}{R_0} \ln \left(\frac{V_0}{V} \right)$$

式中： t_s ——时间 (min)；

W ——排水量 (t)；

V_0 ——发令停车时的初速度 (kn)；

V ——船停止时刻的任意速度，一般为能保持舵效的速度（万吨船为 2 kn）

R_0 ——速度 V_0 时，船受到的总阻力 (t)

在以常速航进中，一般情况下的停车惯性冲程，一般货船为船长的 8~20 倍，VLCC 船则要超过 20 倍。船越大，停止惯性冲程越大。

2) 倒车惯性冲程

前进中的船舶，利用主机倒车将船停止下来所航行的惯性距离叫倒车惯性冲程（倒车冲程）。

使用全速倒车后船航进的距离称为全速倒车冲程，也称为最短停船距离（short stopping distance），这是为紧急避开前方障碍物和与他船的碰撞或接近触礁时在操船上的一个估算判断标准。

根据统计：一般货船的倒车冲程可达 6~8 倍船长，载重量 5 万吨的船约为 8~10 倍船长，10 万吨的船可达 10~13 倍船长，15~20 万吨的船达 13~16 倍船长。

前进中的船舶由进车改为倒车，通称主机换向。由低速进车变为低速倒车，虽然中间也经过停车，但一般来说还可较快地完成。而在高速航进中，由前进三或前进二突然改为倒车甚至高速倒车时，无论何种情况，主机都是办不到的。为不致造成主机转动部分出现过应力或损伤，在停车关闭油门后通常要等船速降至全速的 60%~70%，转速降至额定转速的 25%~35% 时，将压缩空气通入气缸，迫使主机停转后再进行倒车启动。倒车启动

后转速也应逐渐加快。驾驶员应了解所在船舶主机的换向性能，以便合理地使用主机。一般情况下，从前进三到后退三所需时间为：内燃机船约需 90~120s；汽轮机船约需 120~180s；蒸汽机船约需 60~90s。

3. 船舶惯性冲程在操纵中的应用

控制船舶航行的速度和航向是船舶操纵的基础，驾驶员必须充分了解本船的惯性能才能安全而有效地进行船舶操纵。

在港内或狭水道，航行船只密度增大，受水域、航道宽度的限制，使船舶机动余地减少，因此应根据船舶惯性谨慎操纵。掌握惯性冲程以决定用车时机。

在保持最低的速度航进时，一方面应当考虑维持舵效保持航向，一方面又应考虑必要时使用主机变速来调整船舶的位置和惯性距离。

对于超大型船舶来说，因为其惯性大，所以在距离泊位相当大的距离就要控制船速，一般经验为：

泊位前约 2 n mile 处余速 4 kn

泊位前 1 n mile 处余速 2 kn

4. 影响船舶惯性冲程的因素

除本船的排水量，主机倒车功率是船舶惯性距离的决定因素外，浅水、航道宽度、船舶污底、风流等是影响船舶惯性距离的外界因素，在操纵中应充分注意。

1) 主机倒车功率、转速和换向时间：汽轮机船倒车换向时间长，倒车功率与排水量之比往往小，其倒车惯性冲程一般要比柴油机船大 10%。此外，在其它因素相同时，倒车转速越高，即发出的倒车功率越大，倒车惯性冲程越短。

2) 推进器种类：CPP 船与 FPP 船相比，换向操作只需改变桨叶方向，换向时间短，螺旋桨之推力功能可以很好发挥，其倒车惯性冲程距离短。若其它条件相同，则是 FPP 船的 60%~80%。

3) 排水量和船型：其它因素一定，则排水量越大，倒车惯性冲程距离越长。压载时一般约为满载时的 80%左右。此外， C_b 大的肥大船舶的质量大，阻力就大，其倒车惯性冲程较 C_b 小的瘦长型船小。

4) 船速：若其它因素一定，船速越大，冲程越大。

5) 外界条件：顺风、顺流冲程大；顶风、顶流冲程小；浅水中船舶阻力增加，其倒车惯性冲程较深水短。

6) 船体污底：污底增厚，阻力增加，倒车惯性冲程变短。

5. 惯性冲程的测定

各类估算船舶停船惯性的公式往往与实际出入很大，因此船舶停止惯性的数据应根据实际情况测定。

1) 测定条件：选择无风、流影响的水域，水深不小于 $3\sqrt{Bd}$ (m) (B —船宽， d —吃水)。

2) 测定方法：通常采用掷木块法，但也可用岸标的方位、距离或 GPS 定位仪器连续定位，在大比例尺海图上作图求得。

3) 试验内容：船舶满载和空载，主机转速为前进一、二、三时，使用停车和倒车后所对应的惯性冲程。

4) 掷木块法的测定方法：船舶稳速直进，两观测组分别在船首和船尾固定处。当

驾驶台发令停车（或倒车）时，首观测组即沿垂直于船舶首尾方向掷出第一号木块，并启动秒表；当第一号木块通过船尾观测组时，尾观测组即发出信号，通知船首观测组掷下第二号木块。如此依次掷下木块，直到船舶完全停止前进或达到设定的速度为止，按停秒表，秒表上记录的时间即为惯性时间。惯性距离测定值可按下式算出：

$$S = nL - l_2 \quad (\text{m})$$

式中： n ——掷下木块总数；

L ——首尾观测组间的距离（m）；

l_2 ——船停止对水移动时最后一木块距尾观测组的距离（m）。

测试情况如图 1-1-3 所示。

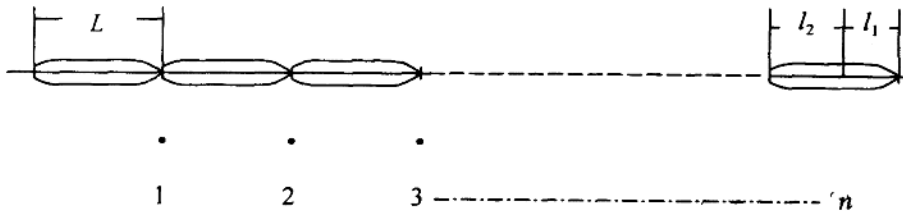


图 1-1-3

5) 注意事项：

①每个单元测完后，应加速到规定速度后才能进行次项测定。

②每次测定前先将航向稳定，发令后舵应放在正中，不可再用舵校正航向。

③如使用倒车，测定倒车惯性冲程时，所测冲程虽确系船舶在下令倒车后航经的距离，但由于其它原因的影响，却并非是船舶沿原航向直进的距离，因而测定值较沿原航向直进的距离为大。利用定位法测定惯性冲程时，尚应绘图求取冲程的纵距和横距。

④求得的惯性距离为对水的距离，实际应用时，还应考虑风、流等因素的影响。

三、螺旋桨的特性

1. 滑失(slip)与滑失比

我们知道，螺钉旋转一周，理论上前进的距离为一个螺距，而螺旋桨的叶面也是螺旋面，但它必须具有以下条件：

1) 不在船后，独立地处于水中；

2) 水没有粘性（无阻尼，即理想流体）；

3) 具有吸收外来功率的能力。

如此，当螺旋桨获得一个旋转功率从而产生推力并全部用来推自己前进时，它旋转一周所前进的距离即为一个螺距 P ，或它前进的速度为 nP ， n 为转速，我们称 nP 为结构速度。显然，实际的船后桨将不可能达到这样的速度，一方面，桨在船后，所产生的推力将用来克服庞大的船体阻力；另一方面，水有粘性（或有阻尼，滑动性），使桨前进的速度大大降低，而实际上的桨是和船固定在一起的，速度同为 V_s （船速），则速度滑失为：

$$U_s = nP - V_s$$

我们称 U_s 为速度表观滑失，滑失比 S 为：

$$S = \frac{nP - V_A}{nP} = 1 - \frac{V_A}{nP}$$

考虑到船对桨的伴流影响，桨与船后水的相对速度为 V_A （进速），桨是真实地工作在该水流中，因此速度滑失又可以写为：

$$U_A = nP - V_A \quad U_A \text{ 为实效速度滑失}$$

$$V_A = V_s(1-W) \quad W \text{ 为伴流分数}$$

滑失比为：

$$S_A = \frac{nP - V_A}{nP} = 1 - \frac{V_s(1-W)}{nP}$$

另外，桨在船后旋转一周所前进的距离为： V_s/n 或 V_A/n 。
因此，关于滑失，我们可以换一种形式，即螺距滑失：

$$P_s = P - \frac{V_s}{n} \quad \text{或} \quad P_A = P - \frac{V_A}{n}$$

相应的滑失比为：

$$S = \frac{P - \frac{V_s}{n}}{P} = 1 - \frac{V_s}{nP}$$

$$S_A = \frac{P - \frac{V_A}{n}}{P} = 1 - \frac{V_A}{nP}$$

一般运输船船速较低，而在船的吃水、污底、海上风浪相同条件下，船舶的船速与转速在船速升高一定程度后可近似认为成正比关系，即 $V_s \propto n$ ， V_s/n 可以认为是一常量，则滑失比 S 可近似认为是不随桨的转速而变化的常量，这样，滑失比公式可改写为：

$$V_s = nP(1-S)$$

利用已知的滑失比，即可求出某海况下，不同转速时的船速。

例：螺旋桨直径 $D=5.5\text{m}$ ，螺距比 $P/D=0.85$ ，滑失比 $S=8\%$ ，若螺旋桨转速为 $n=125\text{ n/min}$ ，求船速等于多少节？伴流分数 $W=0.34$ ，求实效滑失比等于多少？

解： $V_s = nP(1-S)$

$$= n/60 \times p/D \times D \times (1-S)$$

$$= 125/60 \times 0.85 \times 5.5 \times (1-0.08)$$

$$= 8.96(\text{m/s})$$

$$= 17.42(\text{kn})$$

若 $W = 0.34$ 则实效滑失比为：

$$S_A = (nP - V_A)/nP$$

$$= 1 - V_s(1-W)/nP$$

$$= 1 - 17.42 \times (1-0.34)/125 \div 60 \times 0.85 \times 5.5$$

$$= 0.393$$

驾驶员应清楚：船体污底越重、海况越差、同样转速下船速越低，螺旋桨的滑失越大，所以操纵中在船速较低时，可借助主机短时快速进车以增加舵效。此时，因为滑失较大，所以船速增加较小，舵效大增，但应注意此时螺旋桨发出的推力和主机所受负荷也较大。

2. 右旋螺旋桨的致偏横向力(side force)

螺旋桨是船舶的推进工具。除在转动中产生推力或拉力使船前进和后退外，还使船首向左或向右偏转。这种偏转现象，是螺旋桨转动时所产生的各种横向力作用的结果。在操

纵中应正确运用。

1) 沉深横向力 (transverse force of propeller submergence)

螺旋桨在转动中，绝大部分的水流是排向船首尾线的方向而产生推船前进或后退的反作用力，但总是有一部分水流是因螺旋的作用而排向与首尾线不一致接近垂直的方向而产生横向的反作用力，因上下桨叶所受到的反作用力正好相反，所以可以部分互相抵消，但这种反作用力的大小与桨叶离水面的距离有关，靠近水面的桨叶比在深水处的桨叶所受到的反作用力小，因此两者的合力不为零，如图 1-1-4 所示。

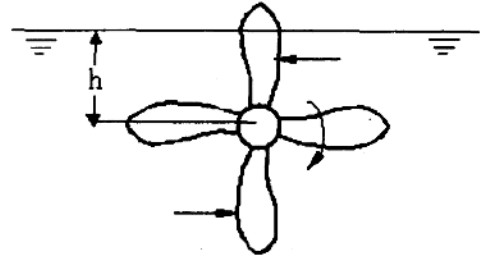


图 1-1-4

螺旋桨桨轴中心线距水面的垂直距离称为螺旋桨的沉深 h ，沉深 h 与螺旋桨直径的比称为沉深比。

当 $h/D < 0.5$ 时，这种横向力最明显。

当 $h/D > 0.65 \sim 0.75$ 时，横向力将明显减小。

当 h 一定时，横向力的大小还随船舶进速的降低，转速 n 的提高而增大；相同的转速下，倒车时的沉深横向力比正车时大。

横向力的方向取决于螺旋桨的转动方向。右旋单车船正车时，沉深横向力推船尾向右，倒车时推船尾向左。

2) 伴流横向力 (transverse force of wake effect)

船在航进时，船体周围有一股水流也随船前进，这股水流即称为伴流。伴流主要由摩擦伴流和势伴流两部分组成。前者系由水与船体湿表面之间的摩擦而产生。后者则由于前进中的船将水向两舷挤开，从而使外围的水自尾部和两舷挤入而造成。特别是在船舶航行速度由快减慢中更容易造成后一种伴流处于船尾处。

因为伴流在运动中所受的阻力不同，所以靠近水面附近的流速快，往下逐渐变缓，转动中的螺旋桨在遇到流速快的水流时所受到的反作用力大于流速慢的水流。因此产生一个非对称的横向力。其合力的方向，右旋单车船正车时推尾向左，倒车时推尾向右。因此，右旋单车船，伴流横向力在正车船前进时推尾向左，倒车时推尾向右，船速较低或船后退中其力很小。

3) 排出流横向力 (transverse force of discharge current)

正车时螺旋桨在转动中，旋转着的水流向后打在舵及船尾材上这样上下桨叶在转动中打在舵及船尾材上的水流形成左不对称的横向压力。如图 1-1-5 所示：右旋单车船在进车时打在右边的水流多于左边，其合力会产生使船尾向左的横向力。

倒车时，排出流流向船尾，其桨叶右侧的水流打在船尾右上方（图 1-1-6），而其左侧水流打在船尾左下方。由于船尾形状上肥下瘦，造成上部受到的冲击力大于下部，因而产生推尾向左的排出流横向力。右旋单车船，无论正车还是倒车，排出流横向力总是推尾向左，左旋单车船总是推尾向右。倒车排出流横向力随船前进速度越低越明显，用舵难以克服。

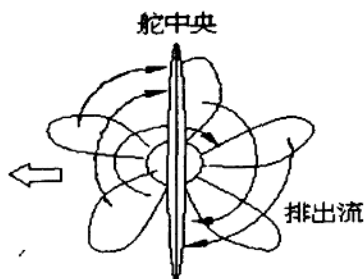


图 1-1-5

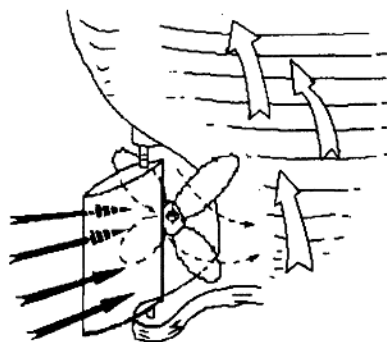


图 1-1-6

4) 右旋单车船正舵动车时产生的偏转

三种主要的使船舶偏转大的横向力在螺旋桨的转动中将影响船舶的运动状态。

(1) 静止中进车

当船速较低时，伴流横向力和排出流横向力的影响不大，船舶偏转力主要是沉深横向力的作用。如属空船船首将偏左（如图 1-1-7 所示），而重载船几乎不会出现偏转现象。随船速的增加，排出流和伴流横向力逐渐增大并将超过沉深横向力而使船首偏右，但此时用舵马上可以克服。

(2) 静止中倒车

船舶后退时，在尾部伴流和上升斜流很小，几乎不存在伴流和上升斜流横向力。船舶在沉深横向力和倒车排出流横向力作用下尾向左偏，即首向右偏。

在船未得到后退速度之前，吸入流流速很慢，尽管使用右满舵也不能制止船尾偏左现象。直至船具有相当退速后，舵与水的相对速度增长，才能产生足够的舵垂直压力矩以削弱船尾偏左，实船经验表明，后退时的舵力，一般仍无法制止首右偏。应充分注意并加以利用。

倒车左满舵，因为舵力、沉深横向力、排出流横向力均推尾向左，所以偏转不能纠正，而使船首很快地右偏，退速越大，右偏越烈。

(3) 前进中倒车

在倒车开出后，由于伴流横向力与沉深和排出流横向力的方向相反，综合作用视实际情况而定。但随着船速的降低，伴流横向力逐渐消失，这时船尾向左偏转较显著。因此右旋单车船，一般情况下正车时船首向左偏转，倒车时船首向右偏转。左旋车相反。



图 1-1-7

5) 左旋螺旋桨的致偏横向力的规律

左旋螺旋桨正车时，沉深横向力推船尾向左，倒车时推船尾向右。排出流横向力总是推尾向左。伴流横向力在正车船前进时推尾向右，倒车时推尾向左，船速较低或船后退中其力很小。

3. 双螺旋桨船(twin screw ship)的致偏横向力