



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

交通职业教育教学指导委员会推荐教材

# 船舶操纵

主编 孙琦

主审 尤庆华

CHUANBO CAOZONG



大连海事大学出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
交通职业教育教学指导委员会推荐教材

# 船舶操纵

主编 孙琦  
主审 尤庆华

大连海事大学出版社

© 孙 琦 2008

图书在版编目(CIP)数据

船舶操纵 / 孙琦主编. —大连: 大连海事大学出版社, 2008. 6  
(交通职业教育教学指导委员会推荐教材 普通高等教育“十一五”国家级规划教材)

ISBN 978-7-5632-2181-3

I. 船… II. 孙… III. 船舶操纵—高等学校—教材 IV. U675.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 083458 号

大连海事大学出版社出版

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

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

大连华伟印刷有限公司印装 大连海事大学出版社发行

2008 年 6 月第 1 版 2008 年 6 月第 1 次印刷

幅面尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 12

字数: 295 千 印数: 1 ~ 3000 册

责任编辑: 史洪源 版式设计: 海 韵

封面设计: 王 艳 责任校对: 枫 叶

ISBN 978-7-5632-2181-3 定价: 20.00 元

## 内容简介

本书共八章,主要内容包括船舶操纵性能,车、舵、锚、缆、拖轮的作用及其在操船中的运用、外界因素(风、浪、流、受限水域)对船舶操纵的影响、港内操船、特殊水域中的船舶操纵、大风浪中的操船、应急操船和轮机知识等内容。

本书可作为高等职业技术学院海洋船舶驾驶专业(航海技术专业)的教材,也可作为中等职业教育的教材和海船驾驶员适任证书考试的培训教材及驾驶、引航专业人员的技术参考书。

# 前 言

高职高专航海类专业“十一五”规划教材(下称“系列教材”)是交通部科教司为了使高职航海类专业人才培养进一步符合《STCW 公约》和我国海事局颁布的《中华人民共和国海船船员适任考试、评估和发证规则》要求而组织编写的。首批系列教材共 22 种(航海技术专业 11 种,轮机工程技术专业 11 种)。编审人员是由交通职业教育教学指导委员会航海类专业指导委员会在全国航海高职院校范围内组织遴选并聘请的专业教师。参加编审的人员普遍具有较丰富的航海高职教学经验与生产实践经历,其中主编和主审均具有副教授以上专业技术职务。

本系列教材依据 2006 年 3 月新版《高职高专院校海洋船舶驾驶(航海技术)专业教学指导方案》和《高职高专院校轮机工程技术教学指导方案》中相应课程大纲编写,适用于三年制高职高专航海技术和轮机工程技术专业学生使用,也可作为上述专业中等职业教育和船员培训教材或教学参考书。

本系列教材具有如下特点:

1. 较好地体现了《STCW78/95 公约》和《中华人民共和国海船船员适任考试、评估和发证规则》,强调知识更新、突出技能,有利于培养适应现代化船舶的航海技术应用型人才。

2. 紧密结合航海类专业人才培养目标和岗位任职条件,及时充实了新颁布的《中华人民共和国海船船员适任考试大纲》(海船员[2005]412 号)内容,有利于增强高职航海类专业毕业生岗位就业能力。

3. 按照《高职高专院校海洋船舶驾驶(航海技术)专业教学指导方案》、《高职高专院校轮机工程技术教学指导方案》设计,使教材理论教学体系与实践教学体系在知识内容与职业技能之间做到相互交融。

4. 把培养合格海员所需的品格素质、知识素质、能力素质和身心素质贯彻教材当中,强化了高职航海类专业学生素质教育力度。

在本系列教材编写、统稿和审校过程中业经多方把关,力求做得更好。时逢教育部普通高等教育“十一五”国家级规划教材遴选,本系列教材中《船舶操纵》等 12 种教材入选其中。衷心感谢为本系列教材付梓而辛劳的海事局、行业协会、港航企业、航海院校各位专家的帮助和支持。

热切期待教材使用者对本系列教材存在的问题给予指正,欢迎大家积极建言献策,以利交通职业教育教学指导委员会航海类专业指导委员会适时组织人员对本系列教材内容进行修改、调整和充实。

交通职业教育教学指导委员会航海类专业指导委员会

2006 年 12 月

## 编者的话

本书是为适应《STCW78/95 公约》,依据中华人民共和国海事局 2005 年新颁布的《中华人民共和国海船船员适任考试大纲》及《高职高专院校海洋船舶驾驶(航海技术)教学指导方案》中“船舶操纵”课目的基本内容及要求而编写的。编写中作者注重操纵性理论与实践紧密结合,精简过深的操纵理论,注重实践的需求,力求做到概念清楚、理论正确、重点突出、文字通顺,内容能够覆盖船员适任考试大纲的要求,便于自学。

本书由上海海事职业技术学院孙琦副教授主编、上海海事大学尤庆华教授主审。其中,第一章、第三章、第四章、第五章由孙琦编写,第二章、第六章、第七章由朱金善编写,第八章由张兴芝编写,第一、二、四、五、七章中的近 50 幅插图由上海海事职业技术学院沈玉龙重新绘制。由于编者水平有限,时间仓促,书中不足和错误之处在所难免,望同行及读者批评指正。

编者

2008 年 2 月

# 目 录

绪论	(1)
第一章 船舶操纵性能	(2)
第一节 船速与主机功率	(2)
第二节 舵的性能	(8)
第三节 螺旋桨的致偏作用	(12)
第四节 船舶旋回性	(17)
第五节 船舶操纵性指数	(24)
第六节 船舶航向稳定性与保向性	(28)
第七节 舵效	(30)
第八节 船舶变速运动性能	(32)
第九节 实船操纵性试验	(37)
第十节 IMO 船舶操纵性衡准的基本内容	(40)
第二章 外界因素对操船的影响	(42)
第一节 风对操船的影响	(42)
第二节 流对操船的影响	(49)
第三节 受限水域对操船的影响	(51)
第四节 船间效应	(57)
第三章 锚泊操纵	(60)
第一节 锚的作用	(60)
第二节 锚抓力与出链长度	(60)
第三节 拖锚淌航	(64)
第四节 锚泊操纵	(64)
第四章 港内操纵	(75)
第一节 缆的运用	(75)
第二节 港作拖船的运用	(77)
第三节 港内掉头	(83)
第四节 靠离码头	(86)
第五节 系离浮筒	(96)
第六节 其他情况下的系离泊	(100)
第七节 特种船舶的操纵特点	(104)
第八节 接近引航站时的操纵	(108)
第五章 特殊水域中的船舶操纵	(109)
第一节 狭水道中的船舶操纵	(109)
第二节 岛礁区域的船舶操纵	(113)



第三节	冰区水域的船舶操纵 .....	(113)
第六章	大风浪中的船舶操纵 .....	(118)
第一节	海浪知识概述 .....	(118)
第二节	船舶在波浪中的运动 .....	(120)
第三节	大风浪中的船舶操纵 .....	(125)
第四节	避台船舶操纵 .....	(127)
第七章	应急操船 .....	(130)
第一节	碰撞前后的应急处置 .....	(130)
第二节	搁浅前后的应急处置 .....	(133)
第三节	火灾后的应急处置 .....	(139)
第四节	弃船 .....	(139)
第五节	海上搜寻与救助 .....	(140)
第六节	海上拖带 .....	(149)
第八章	轮机知识 .....	(154)
第一节	概述 .....	(154)
第二节	柴油机基本工作原理 .....	(156)
第三节	柴油机动力装置的运行管理 .....	(162)
第四节	推进装置的特性及各种工况下主机的操纵 .....	(163)
第五节	主机遥控 .....	(172)
第六节	船舶主要辅机 .....	(176)
参考文献	.....	(182)



# 绪 论

船舶从一港航行至另一港的整个航行过程中,为了实现保持或改变船舶运动状态这一目标,驾引人员常常需要根据一定的外界条件如风、浪、受限水域等条件的影响,根据本船的操纵性能,通过某些操纵设备或操纵手段,如推进器、侧推器、舵、锚、缆、拖船等的运用去控制船舶的运动,在这一过程中,驾引人员所进行的必要的观察、分析、判断、指挥以及实施控制的总过程称为船舶操纵,简称操船(shiphandling or ship manoeuvring). 根据不同的操船环境,船舶操纵的任务又可大致分成三个阶段,即港内系离泊及狭水道操船、沿岸水域操船和大洋中操船。船舶操纵系统指的是由船员、船舶和操船环境三个子系统组成的人—机—环境系统。

船舶操纵程序包括操船信息的处理和操船方案的制订与实施:

1. 设定操船目标,即具体的操船任务,如锚泊、靠离泊、系离浮筒、拖带他船、航行等;
2. 制订操船方案;
3. 广泛搜集信息,如本船的运动状态(当时的船位、航向、航速及其变化趋势等)、自然环境(风、流、浪等情况)、航行环境(包括交通环境如他船动态、大小、通航密度等;航道环境如航道的水深、可航宽度、碍航物以及助航设施、航行支援系统等)、操船手册(包括本船的操纵性能、有关法规等);
4. 方案的检验以及必要的修订;
5. 信息的检验以及必要的补充;
6. 措施的检验以及必要的调整;
7. 下达指令,实施操船,并根据船舶对操纵措施的响应运动信息,结合操船者多年的经验所得,进行方案、信息和措施的再检验,继续执行或修订原操船方案,直至安全、顺利地实现操纵目标,完成操船任务。

由此可见,对于操船者而言,首先必须了解和掌握船舶的操纵性能及操纵设备的性能;其次还应掌握外界环境条件对船舶操纵的影响;同时还应掌握在特定条件下如大风浪中、狭水道中、冰区中及应急情况下的操船方法;只有这样才能顺利完成操船任务,确保船舶的安全。

# 第一章 船舶操纵性能

## 第一节 船速与主机功率

### 一、阻力和推力

#### 1. 船舶阻力

船舶以某一速度在水面上航行时,将受到空气和水的阻碍作用,这种与船体运动方向相反的流体作用力称为船舶阻力(resistance),用 $R$ 表示。船舶阻力按其形成的性质可分为空气阻力和水阻力,按其特征又可分为基本阻力 $R_0$ 和附加阻力 $\Delta R$ 两部分,即 $R = R_0 + \Delta R$ 。

基本阻力 $R_0$ (main resistance)是新出坞的裸体船(不包括附属体)在平静水面行驶时水对船体产生的阻力。基本阻力由摩擦阻力 $R_f$ (frictional resistance)、涡流阻力(形状阻力) $R_e$ (eddy-making resistance)和兴波阻力 $R_w$ (wave-making resistance)组成,后两者通常也称为剩余阻力 $R_r$ (residual resistance),即压差阻力。

**摩擦阻力:**当船体对水运动时,由于水的黏性,在船体周围水和船体湿表面之间产生的阻力。它的大小取决于船体的湿水面积、船体的粗糙度和船速,与船体湿表面面积成正比,与船速的1.825次方成正比。

**兴波阻力:**船舶在对水运动时产生船行波,沿船体周围的水的流速和压力将发生变化,在船首出现高波峰、船尾出现低波峰,水位上升,压力增高;船中出现波谷,水位下降,压力降低,这种沿船体首尾方向由于兴波而构成压力差所产生的阻力称为兴波阻力。兴波阻力约与船速的4~6次方成正比。

**涡流阻力:**船舶以一定速度对水运动时,在船体表面形状急剧变化处产生涡流,这种涡流形成的阻力称为涡流阻力。因为该阻力与船体的形状和对水流的位置有关,所以又称为形状阻力。它的大小与船速的平方成正比。

附加阻力由污底阻力 $R_f$ (fouling resistance)、附体阻力 $R_A$ (appendage resistance)、空气阻力 $A_x$ (air resistance)和汹涛阻力 $R_R$ (rough water resistance)组成。

**附体阻力:**由于舵、艏龙骨及轴包架等附体对水运动而增加的一部分阻力。

**空气阻力:**空气作用于水面上的船体及上层建筑而产生的阻力。

**污底阻力:**由于水下船体生锈及海洋生物附着其上,使得该部分湿表面变得粗糙,导致阻力增加,这部分增加的阻力称污底阻力。

**汹涛阻力:**船舶在风浪中航行,由于风浪的作用及船身的剧烈摇摆运动而产生的阻力。

对于给定的船舶,其基本阻力(含3级风以下的空气阻力)的大小取决于该船的吃水和船速。当船速 $v_s$ 一定时,基本阻力随吃水的增加而增加;当吃水 $d$ 一定时,基本阻力随船速的提高而增加,在船速较低时,基本阻力与船速的关系近似于线性变化关系,而船速较高时,基本阻力随船速的增大急剧增大,约与船速的平方成正比。其原因在于,船速较低时,摩擦阻力占基本阻力的比重较高;而船速较高时,则剩余阻力,尤其是兴波阻力所占的比重将越来越大。虽

然摩擦阻力在数值上也有增大,但其所占的比例却大大下降。基本阻力中各阻力占总阻力的比重随船速而变,在一般商船速度范围内,摩擦阻力所占比重最大,占总阻力的70%~80%,低速时所占比重更大,随着船速的提高,兴波阻力所占比重将增大;涡流阻力一般不足10%,船型优良的船可在5%以下,而短宽肥大型船该阻力所占比重较大。

附加阻力的大小取决于风浪大小、船体污底轻重、船型、载况以及航道浅窄情况。对商船而言,由于其速度不高,空气阻力仅占总阻力的2%~4%。

## 2. 推力

### (1) 推进器

推动船舶运动(前进或后退)的工具总称为推进器(propeller)。目前,机动船舶应用最广泛的推进器是螺旋桨(screw propeller),且大多为固定螺距螺旋桨 FPP(fixed pitch propeller)。可变螺距螺旋桨 CPP(controllable pitch propeller)虽然结构较为复杂,维修保养较为困难,但是由于它是通过调节桨叶的螺距角来进行停车、正车、倒车操纵的,无需改变螺旋桨的旋转方向和转速即可达到换向或改变推力大小的目的,因此具有实施操纵快捷方便、停车性能良好的优点,现已越来越多地用于一些现代化船舶上。其他种类的推进器还有明轮(paddle wheel)、平旋式推进器(cycloidal propeller)、喷水推进器(jet propulsion)、Z型推进器(schottel propeller)和悬挂式推进装置(POD)等。其中近几年刚引入运输船舶的悬挂式推进装置(POD)因其独特的设计,而使其具有环保和节能的优点,被认为代表着推进器未来的发展方向。

船舶大多装有一只螺旋桨,称为单桨(或单车)船。单桨船的螺旋桨按其旋转方向又可分为右旋式和左旋式两种。从船尾往船首看,正车时,螺旋桨作顺时针旋转,倒车时作逆时针旋转,这种螺旋桨称为右旋式螺旋桨;反之,称为左旋式。目前,大多数商船均采用右旋式。

有些船舶出于操纵上的特殊需要装有两只螺旋桨,左右各一,称为双桨(或双车)船。双桨船的螺旋桨按其旋转方向可分为外旋式和内旋式两种。进车时,左舷螺旋桨逆时针转,右舷螺旋桨顺时针转,则称为外旋式;反之,称为内旋式。一般 FPP 双桨船多采用外旋式,而 CPP 双桨船则多采用内旋式。

### (2) 推力

在主机驱动下,螺旋桨正车旋转时推水向后运动,水对螺旋桨的反作用力在船首方向的分量就是推船前进的推力  $T$ (thrust),倒车时则产生指向船尾的拉力。流向螺旋桨盘面的水流称为吸入流(suction current);离开螺旋桨盘面的水流称为排出流(discharge current)。吸入流的特点是流速较慢,范围较广,流线几乎相互平行;排出流的特点是流速较快,范围较小,水流旋转激烈,如图 1-1 所示。

螺旋桨在产生推力的同时,受到水的旋转阻力矩的作用,为此主机必须给螺旋桨提供一个与旋转阻力矩大小相等、方向相反的力矩,螺旋桨才能稳定保持某一转速  $n$ ,螺旋桨工作时受到的阻力矩称为转矩  $Q$ 。

对于给定的船舶,其螺旋桨推力和转矩的大小与转速  $n$ 、船速  $v_s$  以及螺旋桨桨轴在水中的沉深  $h$  有关。当船速一定时,转速越高,推力越大,且推力与转速的平方成正比,转矩也与转速的平方成正比;当转速一定时,船速越低推力越大,随着船速的提高,推力逐渐下降;当船速为零(相当于系泊状态)时,推力最大。我们已经知道,船体的阻

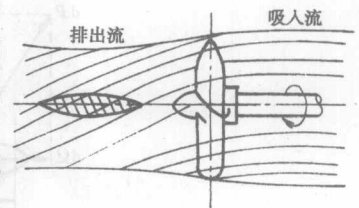


图 1-1 吸入流与排出流

力是随船速的提高而增加的,由此可以看出推力和阻力之间的关系:当推力大于阻力时,船舶做加速行驶运动;当推力等于阻力时,船舶做匀速行驶运动;当推力小于阻力时,船舶做减速行驶运动。

螺旋桨桨轴在水中的沉深,即螺旋桨没入水中的深度对螺旋桨的推力也有较大影响。当螺旋桨没入水中的深度不足,则螺旋桨转动时会造成空气吸入现象,有时甚至会有部分桨叶露出水面,这些都会使螺旋桨的推进效率大大降低,螺旋桨的推力和转矩也将相应大大降低。

由于螺旋桨及主机结构方面的原因,在相同的转速、船速条件下,一般船舶倒车拉力只有进车推力的60%~70%,大型船舶仅有30%~40%。

### (3) 滑失(slip)与滑失比(slip ratio)

因为螺旋桨是在水中运动而非刚性介质中运动,所以常会发生滑失现象,即螺旋桨旋转一周后前进的距离  $h_p$  较螺距  $P$  小。同样,当螺旋桨转速为每秒  $n$  转时,则其前进速度  $v_p$  比理论上应能前进的速度  $nP$  小。

螺距  $P$  与进程  $h_p$  之差,称为真滑失  $S$ ,即  $S = P - h_p$ ,如图 1-2 所示,理论上螺旋桨应能前进的速度  $nP$  与螺旋桨实际对水速度  $v_p$  之差,称为滑失速度,也可称为真滑失  $S$ ,即  $S = nP - v_p$ 。

真滑失与螺距之比,称为真滑失比  $S_r$ ,或定义为滑失速度与理论上可以前进的速度  $nP$  之比,即

$$S_r = \frac{P - h_p}{P} = 1 - \frac{h_p}{P} \quad (1-1)$$

或

$$S_r = \frac{nP - v_p}{nP} = 1 - \frac{v_p}{nP} \quad (1-2)$$

若不考虑螺旋桨盘面处的伴流速度  $\omega_p$ ,而以船速  $v_s$  代替上述各式中的  $v_p$ ,则分别称为虚滑失  $S'$  和虚滑失比  $S'_r$ ,即

$$S' = nP - v_s \quad (1-3)$$

或

$$S'_r = \frac{nP - v_s}{nP} = 1 - \frac{v_s}{nP} \quad (1-4)$$

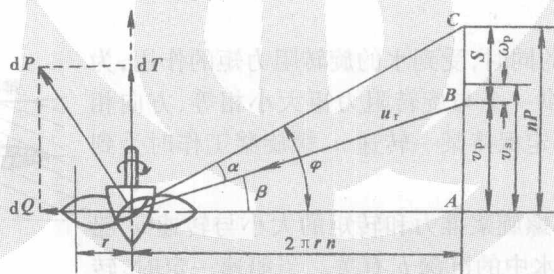


图 1-2 进速、伴流速度、船速与滑失速度

从图 1-2 可知,螺旋桨所能给出的推力大小取决于螺旋桨的转速和螺旋桨的滑失(比)。

当转速一定时,滑失越大,滑失比越高,则冲角  $\alpha$  越大,所得到的推力就越大。由此可见,对于给定的船舶,当转速一定时,船速越低,滑失比越大,推力越大。当船速不变时,提高转速,滑失比增大,推力也将增大。在受限水域内操纵船舶,为提高舵效,往往采取先降速,即降低了螺旋桨进速  $v_p$ ,然后再加大转速  $n$  的方法,尽可能地提高滑失比  $S_p$ ,其理由也正在于此。

滑失比的大小与船舶运动状态和螺旋桨的转速有关。对一艘给定的船舶而言,船体污底越重,海面状况越差、相同转速下船速越低或相同船速下转速越高或伴流速度越大,滑失也就越大。此外,若船舶航行于浅窄航道中,或船舶浮态发生变化(如吃水增加、过大的首倾),则同样转速下,船速越低,滑失比就越大。在操纵中,我们可借助提高滑失比增加舵效。但滑失比长期较高或短时间过高的状态,对主机安全运转是极其不利的。这是由于当滑失比增加时,在增加螺旋桨推力的同时,也增加了螺旋桨的转矩,即需要主机克服更大的转矩,容易使主机超负荷运转。因此,船舶在高速前进中突然高速倒车,后退中突然高速进车,或者静止中突然高速进车或倒车,往往会使主机超负荷运转,容易引起主机损坏,应予避免。

另外,从图 1-2 可看出,当螺旋桨处的伴流增加时,螺旋桨的滑失比也增加,推力随之增加,从而提高了螺旋桨的推进效率。但与此同时,舵叶处的来流速度却因此而降低,因而降低了舵效。

## 二、主机功率

### 1. 主机功率的称谓

(1) 最大持续输出功率(Max. continuous out put)

主机在平台试验时由测功器在飞轮端测得的最大有效功率,又称铭牌功率或额定功率。用 MCR(Max. continuous rating)表示。

(2) 约定最大持续输出功率(specified MCR)

船上实际使用的最大持续功率,它是配桨的功率,该功率和转速均低于额定功率,一般用 SMCR 或 CMCR 表示。SMCR 是 90% MCR ;CMCR 是 85% MCR,通常称为服务功率。

(3) 过载输出功率(over load out put)

指可供短时间使用的超过约定最大持续功率的输出功率。

(4) 倒车输出功率(astern out put)

指倒车时的最大输出功率。

上述输出功率的相互比例,将因主机的种类和新旧程度不同而不同,一般情况下如表 1-1 所示。

表 1-1 主机输出功率的相互比较

种 类	输出功率比(%)	种 类	输出功率比(%)
最大持续输出功率	100	过载(应急)输出功率	105 ~ 110
约定最大持续输出功率	85 ~ 90	倒车输出功率	40 ~ 70

### 2. 有关推进的功率名称和推进效率

从功率的传递情况看,主机发出的功率,除了驱动螺旋桨转动产生推力为船舶运动提供有效功率外,还必须提供驱动螺旋桨产生相应转矩所需要的功率。此外,主机所发出的功率传至螺旋桨之前始终存在着摩擦等各类机械性损耗。因此,主机发出的功率比最终推动船舶运动所需的功率来得大。



### (1) 推进功率名称

主机发出的功率称为机器功率 MHP (machinery horse power)。根据主机种类的不同,其测定机器功率的部位和方法也不同,机器功率在不同类型的主机中就有不同表示。柴油机用 BHP 表示,汽轮机用 SHP 表示,蒸汽机则用 IHP 表示。

#### ①指示功率 IHP (indicated horse power)

指示功率是主机在气(汽)缸内产生的功率。

#### ②轴功率 SHP (shaft horse power) 或制动功率 BHP (brake horse power)

轴功率是指由曲轴输出端测得的功率,也就是主机有效功率 MHP。由于轴上的负荷有使主机制动的趋势,故轴功率又称制动功率。

#### ③推进器收到功率 DHP (delivered horse power)

收到功率是指主机传递至主轴尾端,通过船尾轴管 (stern tube) 提供给螺旋桨的功率。

#### ④推力功率 THP (thrust horse power)

推力功率是指推进器获得收到功率后,产生推船行进的功率。它等于推进器发出的推力  $T$  和推进器的进速  $v_p$  的乘积,即

$$THP = T \cdot v_p \quad (1-5)$$

#### ⑤船舶有效功率 EHP (effective horse power)

船舶有效功率是指船舶克服阻力  $R$  而保持一定船速  $v_s$  所消耗的功率,它等于船舶阻力与船速的积,即

$$EHP = R \cdot v_s \quad (1-6)$$

### (2) 各功率之间的关系

①传递效率  $\eta_c$ : 收到功率 DHP 与机器功率 MHP 之比  $DHP / MHP$ , 称为传送功率。该值通常为 0.95 ~ 0.98。中机型船该值约为 0.95 ~ 0.97; 尾机型船该值约为 0.97 ~ 0.98。

②推进系数  $C_t$ : 船舶有效功率 EHP 与主机输出功率 MHP 之比  $EHP / MHP$ , 称为推进系数, 也称推进效率。该值一般为 0.50 ~ 0.70。也就是说, 主机发出的功率变为船舶推进有效功率后损失将近一半。

③推进器效率  $\eta_p$ : 有效功率 EHP 与收到功率 DHP 之比  $EHP / DHP$ , 称为推进器效率, 该值约为 0.60 ~ 0.75。

## 三、船速的分类及测速

### 1. 船速的分类

#### (1) 额定船速

根据一定标准验收后的主机, 其标称输出功率, 也就是可供海上长期安全使用的最大功率, 即为该主机的额定功率。在可以忽略浅水影响的平静深水域中, 在主机功率为额定功率稳定输出的条件下, 所得到的主机稳定的转速称为主机的额定转速。

在可以忽略水深影响的深水中, 在额定功率和额定转速的条件下, 船舶所能达到的静水中航速, 即为该船的额定船速。它是船舶在深水中可供使用的最高船速。该船速并非一直不变的, 新船投入营运后, 由于主机的磨损和船体的陈旧, 额定船速会降低。

#### (2) 海上船速

为适应海上和船舶本身各种情况的变化, 确保长期安全航行, 在配桨时需留有适当的主机功率储备, 因此, 主机的海上常用功率通常为额定功率的 85% ~ 90%; 相应的海上常用转速则

为额定转速的 93% ~ 97%。

主机在海上常用输出功率和海上常用转速运转时,在深水中航行所得到的静水船速即为海上船速(sea speed)。

### (3) 港内船速

港内航行时,船舶密集,水浅弯多,航行阻力增大,用舵频繁。为保护主机以及便于操纵和避让,港内航行的最高船速应比海上船速为低。通常所说的备车船速、操纵船速和港内船速(harbour speed)都是将主机输出功率降为常用功率的一半左右所得到的船速,此时的转速最高为海上常用转速的 70% ~ 80%。

主机以港内功率和转速在深水中航行的静水船速即为港内船速。港内船速除按主机输出功率的比例不同划分为“前进三”、“前进二”、“前进一”,尚有“微速前进”一档。微速前进时的功率和转速,是主机可以输出的最低功率和最低转速。同样,倒车一般也分为“后退三”、“后退二”、“后退一”,但多无“微速后退”一档。通常港内“后退三”时的转速约为海上常用转速的 60% ~ 70%。

应当指出的是,在港内或是某些内海航区或水道内,为保证安全,往往规定有最高限速。对高速船舶而言,如本船所用的港内船速高于该限速时,则应遵照相应水域内的限速规定行驶。

### (4) 经济船速

在海上航行中,以节约燃料消耗、降低营运成本、提高营运效率为目的,根据航线条件等特点而采用的船速称为经济船速(economic speed),有最低耗油率船速,最低营运费用船速,最大盈利船速三种。

①最低耗油率船速。动力装置每小时燃油消耗最低时的静水船速称最低耗油率船速。柴油机在推进特性下工作,当功率与转速变化时,一般在 85% 负荷时耗油率最小,所以燃油消耗率最低时的船速是经济船速。若柴油机在航行时经常处于较高负荷工作,应尽量使用最低耗油率船速。该船速仅考虑了柴油机本身的经济性。

②最低燃油费用船速。每海里航程燃油消耗量最低所对应的船速即为节油的经济船速,对一定的航程其燃油费用最少。最低燃油费用船速不仅考虑了柴油机本身的经济性,也考虑了航行条件的影响。在船舶经常停航待命和降速航行时,才可能使用最低燃油费用船速。但长期降速航行对机器保养是不利的。

③最高盈利船速。最高盈利船速,即在营运期内盈利最大的船速。上述两种经济船速因其考虑经济性的局限,所以不一定就是船舶最高的盈利船速,欲获得船舶最大的盈利船速,尚须考虑船舶的折旧费、客货的周转量、运输成本及利润等因素。不同的航区和船舶种类将有其相应的最大盈利船速,需要通过调研、统计及分析来加以确定。

营运船舶的最佳经济船速,应是单位运输成本最低的船速。利用经济船速运行,一般不需要增加投资,只要求具有严格的科学管理和熟练的操作技术,就能获得显著的经济效果。

## 2. 测速

船舶新出厂或经修理出厂后都要做测速(speed trial)试验,其目的在于求出转速和船速间的相互关系,也可用于验证船舶在一定主机输出功率下所能开出的船速与燃料消耗量的关系。

### (1) 测定条件

①测速时的主机输出功率分别定为额定功率的 2/4、3/4、4/4、11/10(过载);海面状况良



好时可追加 1/4 额定功率的条件。

②船舶吃水以满载状态最为理想。通常油船应为满载状态,不能以满载状态试验的货船应为压载状态,螺旋桨的桨毂所处的水深应超过 0.45 倍的螺旋桨直径。

③测试水域应足够广阔、平静、风流影响小,来往船舶较少。水深以不影响船舶阻力为准,例如 VLCC 应在  $4d$  以上的水深中进行,而高速货船则必须在  $10d$  以上的水深中进行测速( $d$  为船舶实际吃水)。

## (2) 测定方法

### ①叠标法

利用专用测速水域中设置的具有一定距离  $s$  ( $1 \sim 3$  n mile) 的两组平行叠标,测定船舶以垂直于叠标方位的航向驶过两组叠标线所用的时间来求出船速的方法,即叠标法,如图 1-3 所示。

在无风流影响时,通常测两次(一个往返)求其平均值即可;当有流水影响时,如属均匀流影响通常需要测三次,并用下式求取其值

$$v_s = \frac{(v_1 + 2v_2 + v_3)}{4} \quad (1-7)$$

当有不均匀流影响时,则应测四次,并用下式求取其值

$$v_s = \frac{(v_1 + 3v_2 + 3v_3 + v_4)}{8} \quad (1-8)$$

式中: $v_1, v_2, v_3, v_4$ ——各单次观测按次序算出的速度。

### ②抛板法

船舶以稳定的航向、转速作直线航进,两观测组分别设置在船首、尾处。自船首端将预先制作好的十字形小木架尽可能远地沿垂直于首尾线的方向抛出,当小木架快要接近船尾端的横向方位时,通知船首迅速抛出下一个小木架。如船首尾抛板位置间的距离为  $D$ ,小木架移动所用时间为  $t$ ,则可根据抛出的小木架数和时间,求出其平均值即为船速  $v_s$ 。

该测试方法简单,且不受潮流影响。但当有风时会受到表层流的影响,此时抛板应向下风舷抛出,并尽可能远投以减小航行波的影响。

### ③定位法

通过无线电波定位或 GPS(包括 DGPS)定位,利用所得到的精确船位来求取船速。以往,中型以下船舶可采用叠标法和抛板法测试船速,而超大型船舶则多在外海沿岸的深水域中采用定位法来测定。然而,目前叠标法和抛板法测速都已基本不用,这里仅作为一种基本手段介绍给大家。现在不论是小型船舶还是大型船舶普遍都利用 GPS(包括 DGPS)定位求取船速。

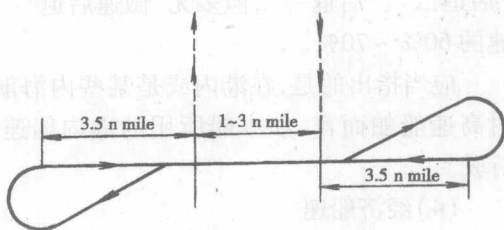


图 1-3 叠标法测速示意图

## 第二节 舵的性能

### 一、舵力及舵力转船力矩

舵是船舶操纵的重要设备之一,操舵是船舶控制方向的主要手段。舵的作用是利用水流对舵的作用力使船舶保持或改变航向或进行旋回。

## 1. 舵力(单独舵)

若将舵单独置于水中并使之前进,或将舵放在有均匀流的水中使之与水流成某一角度,即保持某一舵角时(如图1-4所示),舵叶上将受到水动力作用,通常将作用于舵上的水动力称为舵力  $P_R$  (rudder force)。

对水运动的舵叶相当于一个机翼,正舵时,流经舵叶两侧的水流是对称的,不会产生横向作用力,此时,理论上船舶应做直线运动。转了某一舵角  $\delta$  之后,在舵的周围除了有平行于运动方向的水流外,还附加有由于操舵而产生的环绕舵的附加水流,因此在舵的迎流面,平行流与附加流向相反,流速减慢,流压增加;在舵的背流面,两者流向相同,流速增大,流压下降。这样,在舵叶的两侧出现了

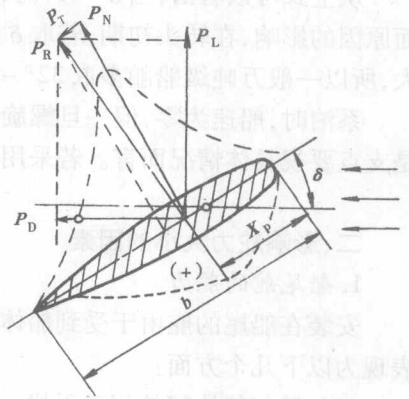


图1-4 舵力及其分解

压力差,形成了一个垂直于流体方向的升力  $P_L$  与一个平行于流体方向的阻力  $P_D$ ,这两个力的合力称为舵力  $P_R$ 。就舵的性能而言,最好是升力大,阻力小。升力与阻力之比称为升阻比。升力  $P_L$  的作用是使舵产生舵力转船力矩;阻力  $P_D$  的作用是降低运动速度。

舵力  $P_R$  又可分解为垂直于舵叶纵剖面的正压力  $P_N$  和平行于舵叶纵剖面的切向分力  $P_T$  (摩擦力)。因为摩擦力  $P_T$  极小,所以舵力与舵的正压力几乎相等,并与舵的纵剖面近似垂直。因此,在实际估算时,可用舵的正压力  $P_N$  代替舵力  $P_R$  的大小和方向。

表示平板舵上所受的的正压力  $P_N$  和压力中心位置  $X_p$  的估算式

$$P_N = 576.2 A_R \cdot v_R^2 \cdot \sin\delta \quad (1-9)$$

$$X_p = (0.195 + 0.305 \sin\delta) \cdot b \quad (1-10)$$

式中:  $P_N$ ——平板舵正压力(N);

$A_R$ ——舵叶浸水面积( $m^2$ );

$v_R$ ——舵速(舵相对于水的相对运动速度在船舶首尾方向上的分量)(m/s);

$\delta$ ——水对舵的冲角或舵角( $^\circ$ );

$b$ ——平板舵的宽度(m);

$X_p$ ——从平板舵的前缘至舵的正压力中心之间的距离(m)。

实际上,因为现代船舶大多采用流线型舵,形状和截面多种多样,而且安装于船尾螺旋桨之后,受到船体以及螺旋桨流的影响,所以要准确地估算船尾的舵力并非易事。但舵力中心位置的表达式给出的值却是较为可信的。

## 2. 舵力转船力矩

船舶在航行中,操某一舵角  $\delta$  后,舵叶上将产生正压力  $P_N$ ,其支点为船舶重心  $G$ ,所以  $P_N$  产生的转船力矩为

$$M = P_N \cdot l \quad (1-11)$$

式中:  $l$  为重心  $G$  至舵正压力作用线的垂直距离,近似地取船舶重心位于船中,则

$$l = L/2 \cos\delta \quad (1-12)$$

式中:  $L$  为船长。因此,船舶在航行中的舵力转船力矩为

$$M = k A_R v_R^2 \sin\delta \cdot L/2 \cos\delta = 1/4 k L A_R v_R^2 \sin 2\delta \quad (1-13)$$

式中:  $k$  为系数。