



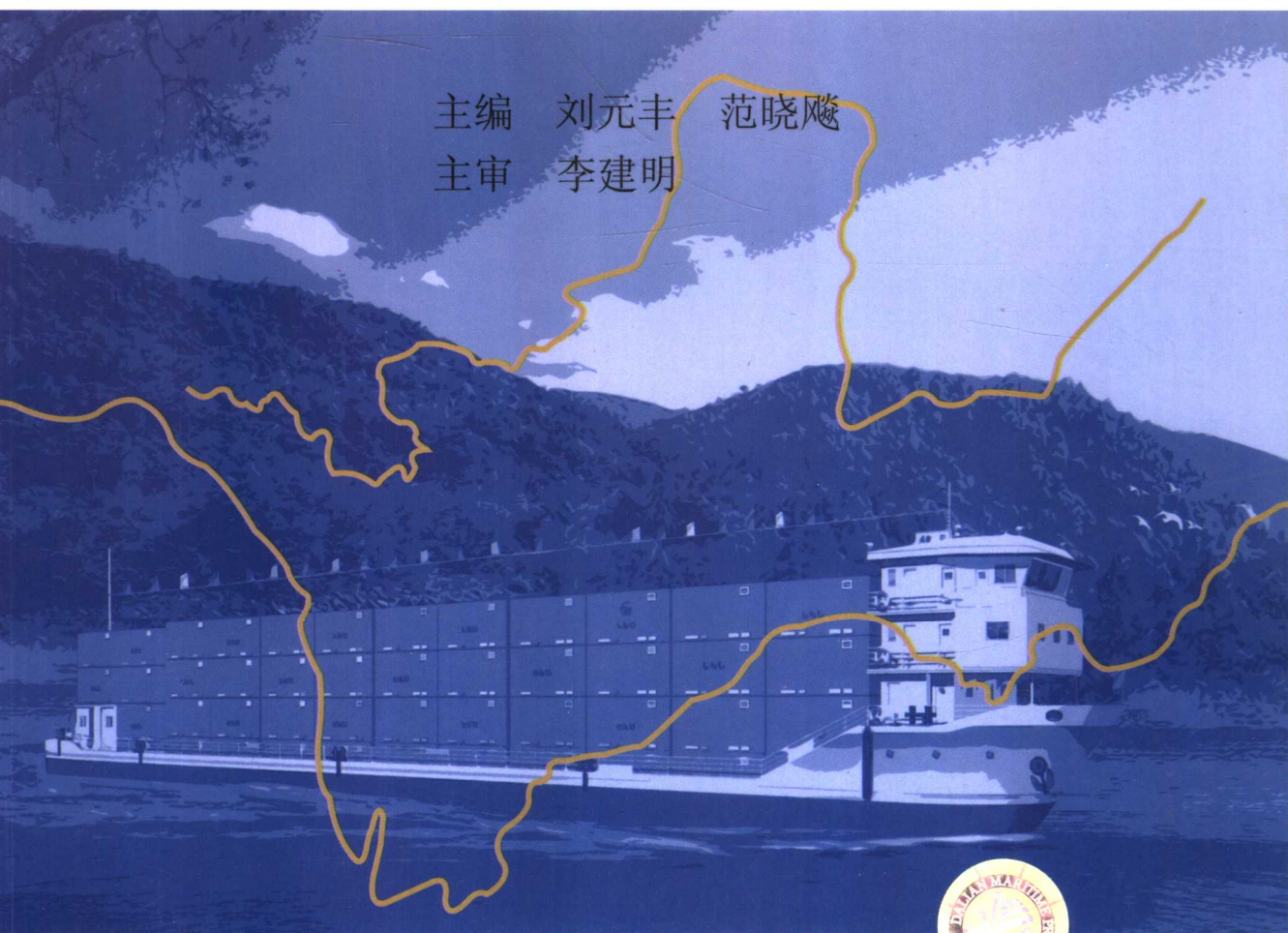
驾驶专业

中华人民共和国
内河船舶船员适任考试培训教材

船舶操纵

M 中国海事服务中心组织编审

主编 刘元丰 范晓飏
主审 李建明



 大连海事大学出版社

中华人民共和国
内河船舶船员适任考试培训教材
(驾驶专业)

船舶操纵

 中国海事服务中心组织编审

主编 刘元丰 范晓飏
主审 李建明

大连海事大学出版社

内容提要

本书根据《中华人民共和国内河船舶船员适任考试大纲》中“船舶操纵”科目要求编写,内容由船舶操纵基本原理、船舶系离泊操纵、船队操纵和特殊情况下船舶操纵四部分组成。

本书为内河不同航区、1 600 总吨及以上(一等)以及 600~1 600 总吨(二等)船舶的船长、驾驶员适任考试培训教材,也可作为内河船舶船员等效职业培训使用,本书还可作为大、中专院校内河船舶驾驶专业或同类专业的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

船舶操纵 / 刘元丰, 范晓飏主编. —大连: 大连海事大学出版社, 2005.8
(中华人民共和国内河船舶船员适任考试培训教材)

ISBN 7-5632-1652-9

I. 船… II. ①刘… ②范… III. 船舶操纵—技术培训—教材 IV. U675.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 087819 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

武汉中远印务有限公司印装

大连海事大学出版社发行

2006 年 2 月第 1 版

2006 年 2 月第 1 次印刷

幅面尺寸:185 mm×260 mm 字数:300 千字 印张:12.25

责任编辑:沈荣欣

封面设计:王 艳

定价:29.00 元

序

随着我国现代化建设的深入发展,内河航运已由干支贯通,走向江海直达,多形式、多层次、多渠道的航运网络已经形成,在国民经济发展中起到越来越大的作用。党的十六届五中全会站在历史的新高度,提出发展水运事业,以适应建设和和谐社会之需要,这充分体现了党中央对水运事业发展的高度重视。经过持续发展,我国目前已经建立了一个较为庞大的水路运输系统,内河航道通航里程超过12万公里,运输船舶达到近20万艘,净载重量达3800万吨,持证船员达一百余万人。

交通部为了发展内河船舶运输业,确保水上交通安全和畅通,建设一支思想道德素质高、业务技术能力强的船员队伍,根据《中华人民共和国内河交通安全管理条例》等法律法规,制定了《中华人民共和国内河船舶船员适任考试发证规则》。部海事局狠抓规则的实施工作,组织专家在充分调查研究的基础上,制定了我国《内河船舶船员适任考试大纲》。参照大纲,中国海事服务中心组织编写出版了此套《内河船舶船员适任考试培训教材》,以保障“十一五”期间全国内河船员统一考试的有效实施。

《内河船舶船员适任考试培训教材》的出版是全国内河船员管理工作的一件大事,为统一组织全国内河船员考试提供了一个有利条件,满足了广大船员备考之需,对提高教学、培训质量和内河船员整体素质有积极作用,同时也对船舶的安全管理、操作和维护提供了很好的指导。

在本套教材出版之际,我衷心希望广大船员刻苦学习,认真实践,立足船舶岗位,不断提高自己的文化和业务素质,为水上交通运输安全和防止内河水域污染作出更大贡献。



中华人民共和国海事局常务副局长

2005年12月

前言

为提高内河船员培训质量,根据交通部颁布的《中华人民共和国内河船舶船员适任考试发证规则》和海事局组织制定的《中华人民共和国内河船舶船员适任考试大纲》的要求,中国海事服务中心组织在内河船舶运输领域有着丰富教学和培训经验的专家、教授、高级讲师编写了此套《内河船舶船员适任考试培训教材》,并组织实践经验丰富的海事管理机构专家和船公司的指导船长、指导轮机长对教材进行了审定。

在编写教材前,对内河船舶运输现状进行了调研。在准确把握内河船员应具备的思想和业务素质的前提下,以应知应会知识技能训练为基础、理论与实际相结合为原则,并强调了船员对相关法律、法规的学习掌握。

本系列教材作为内河船员适任考试培训教材,能够满足内河船员考试培训的需要,为船员的业务学习提供帮助,提高内河船员整体业务素质。本教材还可供海事管理机构和船员培训机构人员学习参考,促进考前培训质量的提高。

本系列教材分驾驶专业和轮机专业两部分,驾驶专业包括《船舶操纵》、《船舶避碰与信号》、《职务与法规》、《航道与引航》、《船艺》、《造船轮机大意》、《船舶驾驶》、《船舶管理》八种教材,轮机专业包括《船舶动力装置》、《船舶辅机》、《机舱管理》、《船舶电气》、《轮机基础理论》、《造船大意》、《轮机管理》、《轮机基础》八种教材,另外还有一本适用于五等船舶船员培训用书《驾驶、轮机常识》。

《船舶操纵》由重庆交通学院副教授刘元丰、范晓飏任主编,武汉理工大学副教授郭国平、重庆地方海事局一等船船长陈晓翔、重庆交通学院无限航区船长毛学清等参加编写;李建明任主审。

教材在编写过程中得到了交通部海事局领导和专家的关心和指导,相关海事部门和船公司对教材编写也提供了热情的帮助和支持,在此一并表示感谢!由于编者水平有限,加上时间仓促,书中难免存在错误和疏漏,欢迎广大读者和专家批评指正。

中国海事服务中心

2005年12月

目 录

第一章 船舶操纵基本原理	(1)
第一节 舵的工作原理.....	(1)
第二节 船、桨、舵效应横向力	(14)
第三节 船舶操纵性能	(29)
第四节 影响船舶操纵性能的因素	(42)
复习题	(57)
第二章 船舶靠、离泊操纵	(69)
第一节 物标纵距、横距、方位的测算方法及船舶盲区的测算方法	(69)
第二节 船舶抛起锚操纵	(71)
第三节 船舶掉头操纵	(82)
第四节 系泊设施、系缆及拖船的运用.....	(90)
第五节 船舶靠泊操纵	(96)
第六节 船舶离泊操纵.....	(104)
第七节 船舶系、离浮筒操纵	(108)
第八节 其他情况下的系、离泊操纵	(115)
复习题.....	(121)
第三章 船队操纵	(128)
第一节 船队及其拖带方式.....	(128)
第二节 吊拖船队操纵.....	(130)
第三节 顶推船队操纵.....	(136)
复习题.....	(153)
第四章 特殊情况下船舶操纵	(158)
第一节 大风浪中船舶操纵.....	(158)
第二节 船舶应急操纵.....	(164)
复习题.....	(179)
附录 内河自航船舶船员适任考试科目表	(185)
参考文献	(187)

第一章 船舶操纵基本原理

第一节 舵的工作原理

舵是附设于船体外,利用航行时水流在其操纵面上的作用力而控制船舶航向的装置。舵是船舶的重要操纵设备,操舵者通过操舵可以使船舶保持或改变其航向或进行回转,达到控制船舶方向的目的。舵按其剖面形状可分为:平板舵、复板舵、流线形舵;按其舵杆轴线位置可分为:平衡舵、不平衡舵和半平衡舵;按其受支承的情况可分为:悬挂舵、半悬挂舵、双支承舵和多支承舵;按其侧面形状可分为:长方形舵、倒梯形舵和斜梯形舵等。舵通常用剖面形状、侧面形状、展弦比、舵面积系数和平衡系数等要素来描述。

一、舵压力

舵压力是指水流对舵叶有冲角时,舵叶迎流面与背流面的水动力压力差。冲角又称攻角,是指螺旋桨、舵叶或船体切面弦线与相对水流的夹角。舵角是指舵叶水平剖面中心线与艏艉线的夹角。

(一)舵压力产生的原理

船舶正舵航行时,舵叶两侧的流速对称相等,不产生舵压力。当操一舵角时,如图 1-1 所示,在舵叶周围,除有平行流外,还存在附加环流,在舵叶迎流面,平行流和附加环流两者间的流向相反,流速下降,压力增大,图中用(+)表示;而在舵叶背流面,两者流向相同,流速提高,压力减小,图仔用(-)表示,而且舵叶背流面的压力下降比舵叶迎流面的压力升高的绝对值大。这样,在舵叶两侧产生压力差,形成一个垂直于水流方向的舵升力和一个平行于水流方向的舵阻力,这两个力的合力为舵的水动力,即舵力。将舵力分解为舵叶弦线上的力和垂直于弦线的力,其垂直于弦线的力,即为舵压力。若不考虑水的黏性影响,舵力与舵压力近似相等。

(二)舵压力、舵压力作用点和转舵力矩的估算

舵压力的大小受舵的面积、形状、展弦比、剖面形状、舵角和舵叶对水相对速度的影响,可用公式进行估算。

1. 舵压力的估算

舵压力的表达式为

$$P_N = \frac{1}{2} \cdot g \cdot \rho_w \cdot C_N \cdot A_R \cdot v_R^2$$

式中: P_N ——舵压力(N); ρ_w ——水的密度(kg/m^3);
 C_N ——舵压力系数,由舵角 δ 和舵叶形状决定; A_R ——舵叶面积(m^2); v_R ——舵叶对水速度或称舵速(m/s)。

目前,常用舵压力的估算式还有:乔塞尔估算式、博福估算式、密登道尔估算式、滕井估算式等。

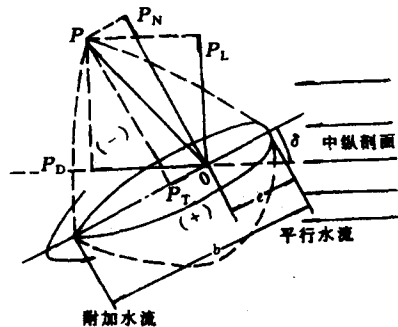


图 1-1 舵压力产生原理示意图

P_N —舵压力; δ —舵角; P_L —舵升力;
 P_D —舵阻力; P —舵力

2. 舵压力作用点的估算

舵压力作用点可采用下式估算:

$$e = (0.195 + 0.305 \cdot \sin \delta) \cdot b$$

式中: e ——舵压力作用点距舵叶前缘的距离(m); b ——舵叶的宽度(m); δ ——舵角(°)。

由上式可知,随着舵角的增大,舵压力作用点逐渐向舵叶的后缘方向移动。

3. 舵前缘的转舵力矩估算

转舵力矩是指舵机施给舵杆使舵叶转动的力矩。可用乔塞尔公式估算:

$$M_e = 41.35 \cdot g \cdot b \cdot A_R \cdot V_R^2 \cdot \sin \delta$$

式中: M_e ——转舵力矩(N·m)。

由上式可知,转舵力矩与舵叶宽度、舵叶面积成正比,与舵速的平方成正比,且随舵角增大而增大。

(三) 影响舵压力的因素

1. 减低舵压力的流体现象

(1) 失速现象

当舵叶处于某一冲角时,由于舵叶周围流线从舵叶背流面的边缘分离,如图 1-2 所示,在其附近产生涡流,造成升力下降,这一现象为失速现象。

如图 1-3 所示,随着舵角逐渐增大,升力系数也相应地逐渐增大,当舵角增加到某一数值时,舵叶的背流面就会出现涡流,反而使舵叶迎流面与背流面的压力差减小,升力系数急剧地减小,舵压力骤然下降,出现失速现象。出现失速现象时的舵角,称为失速舵角或临界舵角或极限舵角。

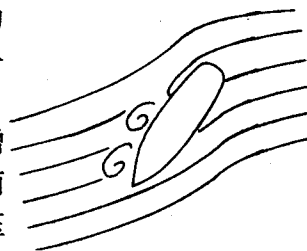


图 1-2 舵叶背流面涡流示意图

(2) 空泡现象

当舵的背流面压力下降到或接近于该温度下的汽化压力时,在舵的背面将产生气泡。这种现象出现在大舵角时或高速船上,尤其是剖面形状前端曲率大的舵更易发生。但它不像失速现象那样显著。

(3) 空气吸入现象

在舵的前面吸入空气,产生涡流,使舵压力下降的现象称为空气吸入现象。在舵接近水面或一部分露出水面且速度较大的情况下,容易发生此现象。

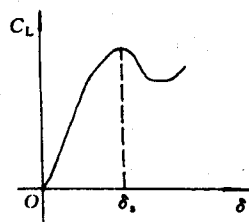


图 1-3 失速现象示意图
 C_L —升力系数; δ_s —失速舵角; δ —舵角

2. 舵的尺度、形状等因素的影响

(1) 舵叶展弦比的影响

对矩形舵而言,展弦比是指舵高(翼展)与舵宽(弦长)的比值;对非矩形舵而言,是指舵高的平方与舵面积的比值。展弦比小,从舵叶迎流面而来的水流就会从舵的上端和下端进入舵叶背流面,形成绕流(如图 1-4 所示),致使舵叶两侧压力差减小,舵压力降低。展弦比越大,小舵角时的升力越大,有利于运用小舵角操纵船舶。但是展弦比过大将引起过早失速,使极限舵角变小,而不利大舵角回转运动。其次,内河船舶的舵叶高度因受到船舶吃水限制,一般展弦比较小,舵的外形做得矮而宽,易产生绕流等,故舵压力也较小,特别在小舵角时的舵压力不大,因而应舵时间(即从操舵开始至船首开始转动时止的时间间隔,称为应舵时间)也较长。因此,

内河船常设置 2 ~ 3 面舵, 每一舵面积相应减小, 以提高展弦比, 同时在上、下端设挡板, 减少舵上下端的绕流, 增加舵压力。

由图 1-5 可知, 当展弦比等于 1 时, 极限舵角约为 32° , 考虑舵叶的翼栅效应和回转时船尾漂角较大, 故机械极限舵角常达 35° , 内河船有的达 45° 。由于舵安装在船上, 其构造要受到实际吃水、船尾形状和舵机功率的限制, 故一般船舶舵的展弦比多在 1.4 ~ 1.9 范围之内。

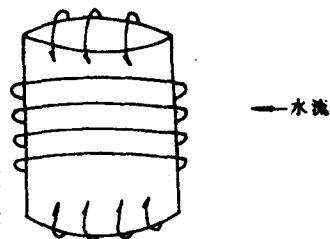


图 1-4 舵叶绕流现象示意图

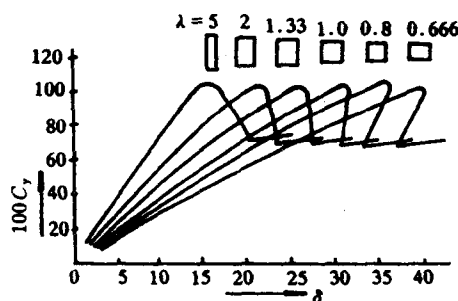


图 1-5 舵叶展弦比与极限舵角关系示意图

λ —展弦比; δ —舵角

(2) 舵叶外形的影响

一般舵叶外形对舵压力的影响并不显著。确切地说, 这种影响只有当舵安装在船尾, 且船尾与舵之间的间隙较大时, 才会造成一些不利的影响。

(3) 舵叶剖面形状的影响

舵叶的剖面形状一般有平板形和流线形两种。由于流线形舵的外形符合水流流线的运动规律, 在正常舵角下不致出现涡流, 因此, 它产生的舵压力大些, 而且在小舵角时便产生较大的舵压力, 应舵时间短, 水阻力也比平板舵小 20%。目前绝大多数船舶采用流线形舵。

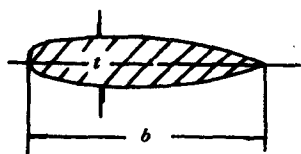


图 1-6 流线形舵厚宽比示意图

t —舵叶厚度; b —宽度

流线形舵是左右对称的机翼形状, 如图 1-6 所示, 它的最大厚度距前缘 30% 舵宽处。从阻力角度来看, 舵角小于 15° 时, 舵的厚度越厚则阻力增加越快, 舵角大于 15° 后, 厚度越薄, 阻力反而增加很快。舵叶厚度与宽度之比称为厚宽比, 舵的厚宽比在 18% ~ 20% 时, 舵产生的舵压力最大。所以, 在单螺旋桨船上, 舵的厚宽比一般取 15% ~ 18%; 在双螺旋桨船上, 具有下支承的中舵一般取 15%, 半平衡舵一般取 9%, 悬挂式舵弯矩较大,

厚宽比一般在 20% 左右。

(4) 舵面积的影响

船舶方向性能的优劣与舵面积的大小关系密切, 舵压力的大小与舵面积成正比, 旋回性能好的船舶均具有较大的舵面积。但过大地增加舵面积是不合理的, 一方面增加船舶航行阻力和舵机功率; 另一方面还将增加船舶吃水。在实践中, 合理的舵面积和形状通常用试验办法来确定, 主要以操纵性能良好的船舶的舵面积系数作为估计合理舵面积及其形状的依据。

舵面积系数是指舵叶中纵剖面面积与船体中纵剖面浸水面积的比值。内河一般民用船的

舵面积系数如表 1-1 所列。

表 1-1 内河船舶舵面积系数

船舶类型	舵面积系数 / %	船舶类型	舵面积系数 / %
双桨客货船(险航道)	4.6 ~ 8.0	双桨客货船(深宽航道)	2.1 ~ 5.0
机动驳船	3.0 ~ 8.0	拖船	4.0 ~ 8.5
驳船	3.0 ~ 6.0	推船	6.0 ~ 11.0
双桨油船(险航道)	4.9 ~ 6.5	双桨油船(深宽航道)	3.0 ~ 4.0
渡船	3.5 ~ 5.5		

由上表可知,舵面积系数随船舶类型、尺度和船速而异。内河船舶中舵舵面积系数最小的是双桨客货船(深宽航道)为 2.1% ~ 5.0%,其他船舶舵面积系数一般都在 3.0% 以上,舵面积系数最大的是内河推船,达 6.0% ~ 11.0%。

3. 船体、伴流和螺旋桨船尾流的影响

舵压力的大小除与上述因素有关外,还与螺旋桨尾流、船体伴流、船尾形状、船速及冲角等有关。

(1) 船体干扰及船尾形状的影响

当安装在船尾的舵操一舵角时,舵周围所产生的压力变化波及到船体尾部,使船尾两侧产生压力差,其方向与舵的升力方向相同,增加了转船力矩,同时,船尾的压力也增加了舵压力,提高了舵效。所以,船体和舵之间是相互干扰的。这种流体力学上相互干扰的结果,将使舵压力比单独舵时所产生的舵压力提高 20% ~ 30%,且船体和舵之间的间隙越小,这种效果就越显著,如图 1-7 所示。

当 t/h 趋于零时,舵效系数可以增加近 1 倍。因此,在生产实践中,常常将舵的上缘做成与船尾底部线形相吻合,以便使间隙尽可能小。

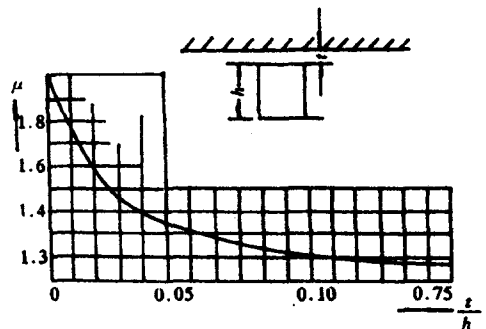


图 1-7 舵与船体的安装间隙 t 与舵效系数 μ 的关系示意图

(2) 伴流对舵压力的影响由于伴流的存在,使得舵叶对水速度比船速小,这时舵叶的对水速度为

$$v_R = v_s(1 - \omega)$$

式中: v_s ——船速(m/s); ω ——平均伴流系数。

船尾舵附近的伴流系数在 0.4 左右,可见,船尾的舵压力要比敞水舵小得多。表 1-2 和表 1-3 表示船尾舵舵压力与敞水舵的舵压力之比值。从表 1-2 和表 1-3 中可以看出,受伴流影响后的舵压力只有敞水舵压力的 0.35 ~ 0.46 倍(单桨单舵船)或 0.39 ~ 0.60 倍(双桨单舵船)。船舶在驶向泊位的过程中下令停车,在螺旋桨停转的瞬间,船舶虽然还有相当大的速度,却因伴流影响而很快失去舵效。特别是肥大型船舶,因其伴流大,该现象更为显著。

表 1-2 单桨舵船的伴流、螺旋桨的影响

船速 /kn	舵角 /°	伴流影响	螺旋桨尾流影响	综合影响
8	15	0.35	2.58	0.90
8	30	0.43	2.58	1.09
10	15	0.40	2.40	0.97
10	30	0.46	2.40	1.14

表 1-3 双桨单舵船的伴流、螺旋桨尾流的影响

船速 /kn	舵角 /°	伴流影响	螺旋桨尾流影响	综合影响
8	15	0.39	0.93	0.37
8	30	0.51	1.11	0.56
10	15	0.44	0.93	0.42
10	30	0.60	1.09	0.65

(3) 螺旋桨尾流的影响

舵叶安装在螺旋桨后方,受到螺旋桨尾流的影响,舵的水动力特性主要由螺旋桨尾流速度场来决定。这与舵在船尾的位置及其数目有关,尤其是正对螺旋桨尾流的舵所受到的影响更为显著。

螺旋桨尾流中的诱导速度可分解为轴向分速、切向分速和径向分速。其中轴向诱导分速使舵叶对水速度进一步增加。如船舶进车前进时,舵叶对水速度为

$$v_R = v_s(1 - \omega) + v_a$$

式中: v_a ——螺旋桨尾流轴向分速; v_s ——船速(m/s)。

船舶和螺旋桨在各种运动状态和工况下,舵叶对水相对速度见表 1-4 所示。

表 1-4 船舶和螺旋桨在各种运动状态和工况下的舵速

船舶运动状态	螺旋桨工况	舵叶对水相对速度	轴向诱导速度
船舶前进	正转	$v_R = v_s(1 - \omega) + v_a$	v_a 为尾流轴向诱导速度
	停转	$v_R = v_s(1 - \omega) + 0$	
	反转	$v_R = v_s(1 - \omega) + v_a$	v_a 为来流轴向诱导速度
船舶后退	正转	$v_R = -v_s(1 - \omega) + v_a$	v_a 为尾流轴向诱导速度
	停转	$v_R = -v_s(1 - \omega) + 0$	
	反转	$v_R = -v_s(1 - \omega) + v_a$	v_a 为来流轴向诱导速度

(4) 滑失的影响

滑失是指螺旋桨旋转一周的理论推进距离与其在水中旋转一周的实际推进距离之差。螺旋桨旋转运动产生诱导速度,是随滑失的增加而增加的。滑失速度越大,进速越小,诱导速度越大,舵压力越大,舵效也越好。例如,在向泊位航行中的船舶减速操纵,或在过浅滩,或靠、离泊操纵中,使用主机停车—进车交替操作法,既能尽量抑制船速,又能有效发挥舵力。该操纵方法就是利用螺旋桨的滑失,增加诱导速度,从而增加舵效的一种操纵措施。

(5) 斜流的影响

船舶在直航状态下回转时,或船舶驶经局部横流区时,或船舶在横风中航行时,水流与螺

旋桨、舵及艏艉线存在一定的夹角,使有效舵角降低。如船舶操满舵 35° 作旋回运动时,而有效舵角仅为 25° 。因此,为了增加船舶操舵后的有效舵角,增大舵压力,船舶操舵时应先用小舵角,待船舶回转后再操大舵角,这样效果较好。

二、舵效

(一) 舵压力转船力矩

舵压力转船力矩是指舵压力与舵压力转船力臂的乘积,产生使船舶回转运动的力矩。根据船舶所处状态不同,而将转船力矩分为船舶航行时舵压力转船力矩和系泊时舵压力转船力矩。

1. 船舶航行时舵压力转船力矩

航行中的船舶操舵后,舵叶上将产生舵压力,其支点是船舶重心,根据静力学平移原理,则形成舵压力转船力矩,使船首向操舵一侧偏转。船舶航行中,以重心为支点的舵压力转船力矩,称为初始转船力矩,如图 1-8 所示。

初始转船力矩为

$$M_P = P_N \cdot l$$

式中: M_P ——初始转船力矩($N \cdot m$); l ——重心至舵压力作用线的垂直距离,重心近似取于船中(m)。

航行船舶操一个舵角进入回转运动后,实际舵压力转船力矩的支点应是在转心,则

$$M_P = P_N \cdot l_P$$

式中: l_P ——转心点至舵压力作用线垂直距离(m)。

2. 船舶系泊时舵压力转船力矩

船舶系泊时,船速为零,但对螺旋桨后的舵,当螺旋桨正转时产生尾流作用在舵叶上,将产生舵压力。而系泊时舵压力转船力矩的计算则要根据具体情况确定支点。如果船舶利用艏倒缆进车甩艉离泊,如图 1-9 所示,则支点位于艏倒缆在船首的系结点,此时舵压力转船力矩为

$$M_P = P_N \cdot l_a$$

式中: l_a ——开艉时舵压力转船力矩之力臂长度, $l_a = L \cdot \cos \delta$ 。

(二) 舵效

1. 舵效的概念

船舶在各种不同的状态下,用舵设备操纵船舶所表现的综合效果称为舵效。船舶进车时,舵效应主要表现为:转舵产生的回转力矩,使船首向转舵同侧方向偏转;使船舶向回转外侧横向移动;使船舶产生横倾以及增加航行阻力。船舶倒车后退时,舵效应主要表现为:转舵产生的回转力矩,使船首向转舵反方向偏转;使船舶向回转内侧横向移动;使船产生横倾以及增加后退阻力等。通常对转向性来言,舵效是指当操一舵角后,船舶因之回转某一角度所需的时间和纵、横距。

2. 舵效的判别

如果船舶能在较短的纵、横距和时间内完成较大的转向角,则认为该船的舵效好;反之亦

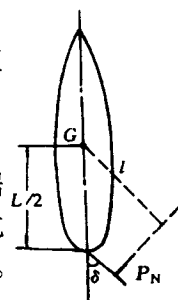


图 1-8 船舶航行时初始转船力矩示意图

G—重心; L—船长; δ —舵角; P_N —舵压力; l —力臂

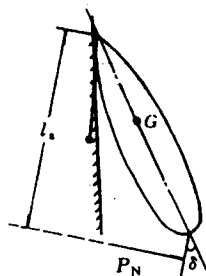


图 1-9 船舶系泊时舵压力转船力矩示意图

G—重心; δ —舵角; P_N —舵压力; l_a —力臂

然。判别舵效的优劣可以用舵效指数和诺宾指数。

(1) 舵效指数

舵效指数又称应舵指数,通常用下式表示:

$$\dot{\omega} = \frac{K}{T} \cdot \delta$$

式中: $\dot{\omega}$ ——船舶回转角加速度(rad/s^2); δ ——舵角($^\circ$); K ——船舶旋回性指数; T ——船舶追随性指数。

由上式可知,在舵角一定时,角加速度主要取决于 K/T 值。 K/T 值大,角加速度就大,舵效就好; K/T 值小,角加速度就小,舵效也差。 K/T 在数量上表征了每改变 1° 舵角所能给出的角加速度量。因此,把 K/T 称为舵效指数,也称应舵指数。

(2) 诺宾指数

诺宾指数又称转首指数,通常用下式表示:

$$P \approx \frac{1}{2} \cdot \frac{K}{T}$$

式中: P ——诺宾指数。

诺宾指数代表操舵后船舶移动一个船长时,每单位舵角引起船首的变化值。诺宾指数反映了船舶初始回转性。诺宾指数值越大,船舶初始旋回性就越好,舵效就越好;诺宾指数值越小,船舶初始回转性就越小,舵效也差。

(三) 影响舵效的因素

1. 舵角

在极限舵角范围内,舵角越大,舵压力就越大,因而舵效也应越好。

2. 舵面积系数

舵面积系数大,舵效好,舵面积系数小,舵效变差。内河顶推船队航行要有较好舵效,其水上船队的舵面积系数应不小于 1.35%;下水船队的舵面积系数应不小于 1.60%。

3. 舵叶对水速度

舵压力与舵叶对水速度(或称舵速)平方成正比。由螺旋桨先停转或慢转,然后突然转动螺旋桨或加大转速,能增大螺旋桨的轴向诱导速度,使舵速增加,提高舵效,船员俗称“以车助舵”。

4. 舵性

舵性是指船舶在各种运动状态下,主机在不同工况下,操舵设备的轻便、灵活、准确和可靠的性能。从实际使用来看,电动液压舵机性能较好舵,来得快,回得也快;蒸汽舵机来得慢,回得快,易稳舵;而电动舵机来得快,回得慢,不易稳舵;人力舵来得慢,回得慢,稳向也慢。

5. 转舵时间

船长大于 30 m 的船舶满载、全速航行时,操舵从一舷 35° 至另一舷 30° 所需时间,称为转舵时间或操舵时间。它反映了船舶操纵的灵活性,是舵机系统的重要指标之一。转舵时间越短,船舶舵效越好。内河船舶转舵时间应满足表 1-5 的规定。

表 1-5 内河船舶转舵时间

舵机种类	船长 /m	操舵时间 /s	
		急流航区船舶	其他航区船舶
机动舵机	> 30	12	20
	≤ 30	15	20
人力舵机(舵轮手柄力不大于 147 N)		15	20
辅助人力舵机(舵轮手柄力不大于 294 N, 从一舷 35° 至另一舷 30°)			40

6. 船体水下侧面积

船首水下侧面积分布多或艏纵倾的船舶,舵效变差;而船尾水下侧面积分布多或适量艏纵倾的船舶,舵效变好。

7. 吃水

船舶满载时的舵效较轻载时差。

8. 横倾

船舶低速航行时,向低舷侧操舵转向,舵效较好;船舶快速航行时,向高舷侧操舵转向,舵效较好。

9. 风、流、污底及浅水

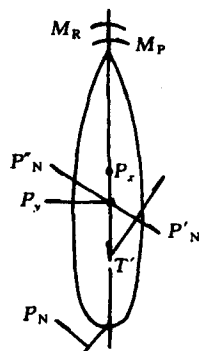
船舶在风中航行,满载舵效比轻载好;船舶在有流航道中航行,逆流船的舵效比顺流船好,常流舵效比乱流好;船舶污底严重舵效变差;船舶在浅水中航行,舵效较深水中变差。

10. 螺旋桨正转前进、反转后退

螺旋桨正转且船舶前进时舵效好;螺旋桨反转且船舶后退时舵效差。

(四) 船舶后退时的舵效

船舶后退时的舵效较前进时差的主要原因是:



1. 螺旋桨反转船舶后退时,舵压力横向分力使船舶向操舵一侧移动,如图 1-10 所示。船舶水动力转船力矩阻碍船舶回转。

2. 船舶后退时,由于后退速度低、舵叶工作在螺旋桨的来流中。因此,舵叶对水速度小,舵压力下降,舵压力转船力矩也就减小。

3. 船舶倒航时,舵叶线形不符合流线,易产生涡流,水动力性能变差,使舵压力下降。

4. 螺旋桨反转时产生吸力时间短,吸力对船体尚未起作用时,便产生吸流,使吸力下降,舵压力仍较小。

5. 如果船舶由进车突然改开倒车,舵叶周围流场紊乱,产生大量涡流,使舵压力迅速下降。

6. 船舶后退时,由于舵叶导流作用,产生螺旋斜流效应横向力,该力阻碍了船舶回转运动。

图 1-10 螺旋桨反转时舵压力转船力矩示意图

三、特种舵

改善舵效可以提高船舶的操纵能力,因此设计者们不断研究、开发高效能舵。目前提高舵

效的方法主要有：一是增加拱度比，提高舵压力，如奥尔滋舵、反应舵、整流舵或襟翼舵等；二是改变尾流方向，提高舵效，如基背舵、主动舵、转动导流管螺旋桨、异步转动导流管螺旋桨、Z形旋转螺旋桨、平旋推进器、横向喷流舵等；三是增加舵升力，提高舵效，如鱼尾舵、整流帽舵、组合舵、旋转圆柱舵、转子舵、新型船用高效舵等；四是利用倒车舵，提高舵效。下面介绍几种常用的特种舵。

（一）襟翼舵

襟翼舵又称福列特奈舵，如图 1-11 所示。襟翼舵主要由以下几个部分组成：舵柱，与一般舵柱的作用相同；主舵，为舵叶的主动部分，起一般舵叶的转向作用；艭舵，为舵叶的可变部分，约为主舵的 1/3，它由于导杆的作用，转向较主舵角度大；铰接轴与轴套，为连接主、艭舵的轴向结构，作用与舵钮相似，使艭舵固定在其轴线上转动；导杆轴套，装置在艭舵上部，固定导杆于轴套中滑动；导杆，为控制艭舵转动的特殊装置，由于其旋转轴心小于舵叶的旋转轴心，且轴心不在同一位置，通过艭舵上的导杆轴套使艭舵转角大于主舵；定位轴，固定在舵杆后部的一定位置，使导杆固定于其轴线上转动，以限制导杆随舵叶转动的角度。

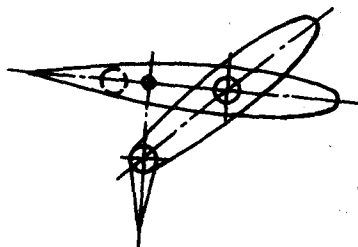


图 1-11 襟翼舵示意图

襟翼舵的形状与流线形平衡舵基本相同，只是其舵叶分为两部分——主舵和艭舵，犹如一个大舵带一个小舵，主舵转动时，艭舵也随着转动，但由于导杆的作用，艭舵转角较大，当主舵转至 35° 时，艭舵与主舵中心线交角为 $40^\circ 10'$ ，增加了舵叶剖面的拱度，能产生更大的舵压力，提高了舵效和船舶的操纵性能。襟翼舵宜用于大型推船，目前大型客货船也有配用。

（二）转动导流管螺旋桨

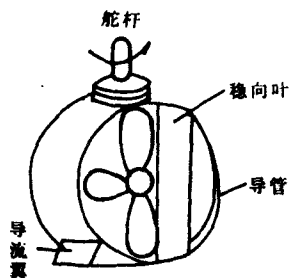


图 1-12 转动导管螺旋桨示意图

导流管螺旋桨在重负荷的拖船、推船上使用。它可增加螺旋桨推进效率，但有增大旋回直径和倒车时舵效极差等缺点。若将导流管装在舵杆上并随舵杆转动，则构成转动导流管螺旋桨，如图 1-12 所示。

当导流管向一舷转动后，螺旋桨的尾流也向同舷喷射，产生相反方向的推力，使船尾沿力的方向转动，起动舵的作用，改善了船舶的操纵性。转动导流管后装有稳向叶，以提高小舵角时的舵效，减小旋回直径，而且还有整流作用，从而提高了推进效率。

为了克服船舶滑行时舵效差的缺陷，可在导流管上装置导流翼来改善。在转动导流管的双螺旋桨船上，采用一进车一倒车操纵船舶回转运动时，两转动导流管螺旋桨所形成的转船力矩互相抵消，船舶回转角速度较小，甚至为零。所以，最好先使船舶的航速降低，再采用外舷主机快进车、内舷主机慢进车并操回转一舷的舵，视航道情况再开内舷快倒车、外舷慢倒车并操回转另一舷的舵，船可顺利地完掉头操纵。

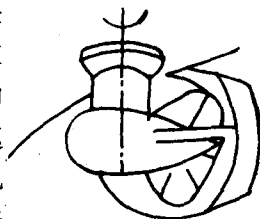


图 1-13 Z形旋转螺旋桨示意图

（三）Z形旋转螺旋桨

Z形旋转螺旋桨又称全回转Z形导流管螺旋桨，它是转动导流管螺旋桨进一步发展的结果，是应用伞形齿轮和垂直轴来带动装有螺旋桨的导流管，如图

1-13 所示。



在驾驶台上操舵,能使Z形旋转螺旋桨作 360° 的旋回运动,并在任意方向上发出推力,因而能使船舶非常迅速地左右回转,改变航速或制动船舶甚至后退。在装有双Z形回转螺旋桨的船上,正确调整两螺旋桨的角度和转速,能使船舶作横移运动或任意方向的运动,如图1-14所示。

但是,Z形旋转螺旋桨因受其结构的限制,不适宜于长途航行及浅水区航行的船舶。另外,因其结构复杂、重量大、费用高等原因,到目前为止,还仅应用于中小功率的港作船上。

图 1-14

船舶作横

移运动示 它常装在来往于拥挤港口水域的一些辅助船上,如拖船、起重船等。平旋推进器为一带旋转竖轴的圆盘,圆盘与船体外板平齐安装,且有若干竖立的转动翼片。圆盘的旋转机构和翼片的转动(转向)机构都安装在船体内部。

平旋推进器的工作原理,如图1-15所示。有推进圆盘,盘上装有翼片的水平截面。每个翼片绕各自的竖轴转动,同时随圆盘以一定角速度绕O轴旋转。各翼片产生水动力,水动力在船舶运动方向上的分力称推力,在切线方向上的分力称为旋转阻力。

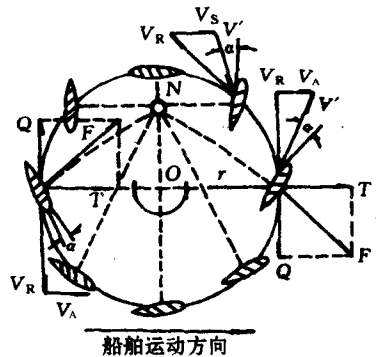


图 1-15 平旋推进器工作原理示意图

船舶使用平旋推进器的优点是:

(1) 平旋推进器兼有螺旋桨和舵两者的功能,因此不必再安装一套舵设备。

(2) 船舶倒航时,主机不必换向。

(3) 船舶的操纵灵活性好。

(4) 船舶的制动距离小。

平旋推进器的操纵原理如图1-16所示。

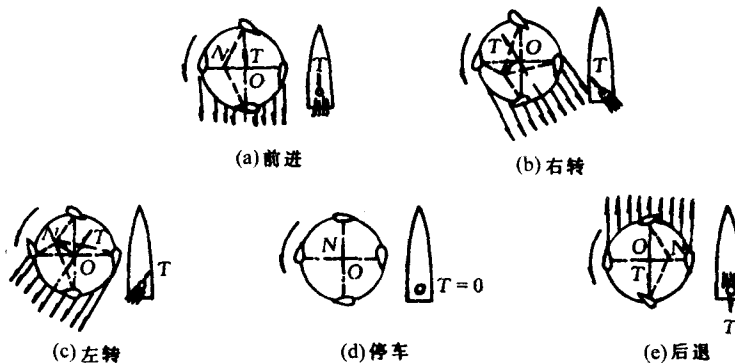


图 1-16 平旋推进器的操纵原理示意图

(五) 横向喷流舵

横向喷流舵又称侧推器,装在船舶的艏部或艉部或艏、艉部,一般多安装在艏部。侧推器是将水自一舷吸入,经另一舷喷出,从而产生横向推力。侧推器通常由管内安装可调螺距螺旋桨组成,如图 1-17 所示,操作灵活,左右方向和推力大小的改变只需改变桨叶的螺距角,其产生的横向力与艏艉线成直角,力臂大,转船力矩也大,能促使船舶有效地横移和转船。

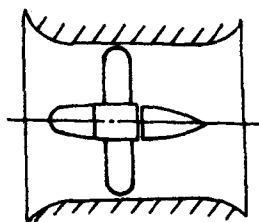


图 1-17 横向喷流舵示意图

艏侧推器在船舶处于低速时才能发挥较大的效率。随着船速增加,前进斜航时阻碍回转和横移的水阻力明显增大,艏侧推器的效率相应降低。艏侧推器使用时的船速应低于 7 km/h。

(六) 倒车舵

倒车舵又称侧舵系统。利用倒车舵改变螺旋桨正转时的来流方向或反转时的尾流方向,增加横向分力,增大转舵力矩,提高舵效。

1. 倒车舵的安装及结构

螺旋桨安装在闭式隧道的固定导流管中,如图 1-18(a) 所示。它有两个主舵,两对倒车舵,均为流线形平衡舵,且前缘均插入导流管内,如图 1-18(b)、(c) 所示。

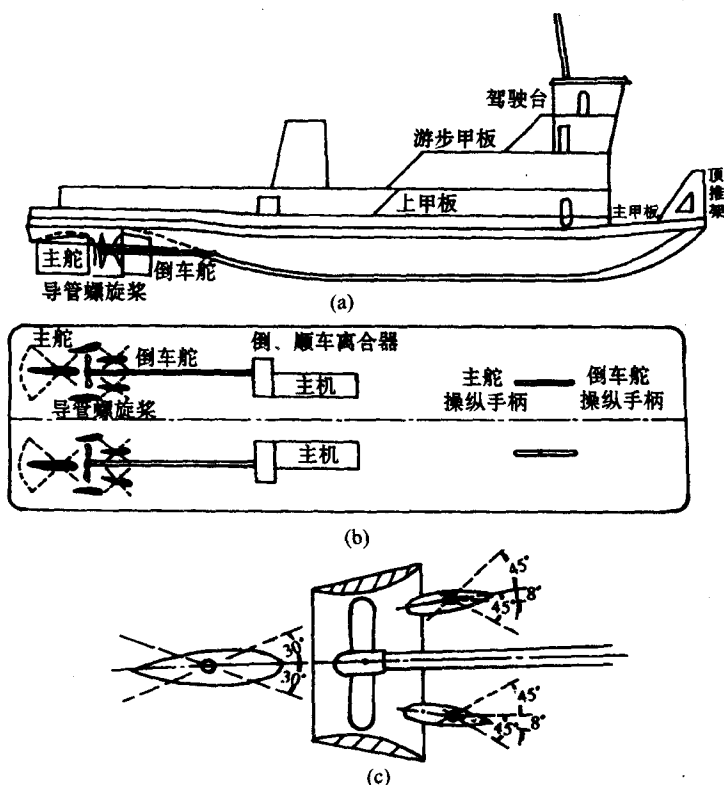


图 1-18 倒车舵的安装及结构示意图

2. 倒车舵的特点

倒车舵广泛地应用在操纵性能要求高的推船上。它在船速快、慢时均有较好的舵效,螺旋