

# 船艇操纵与避碰

虞锡宏 主编



大连海事大学出版社

# 船艇操纵与避碰

虞锡宏 主编

江苏工业学院图书馆  
藏书章

大连海事大学出版社

© 虞锡宏 2004

图书在版编目 (CIP) 数据

船艇操纵与避碰 / 虞锡宏主编 .—大连 : 大连海事大学出版社, 2004.8  
ISBN 7-5632-1782-7

I. 船… II. 虞… III. ①船艇操纵—高等学校—教材 ②船艇避让操纵—高等学校—教材 IV.U675.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 071168 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: 84727996

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

宁波新华印刷厂印装

大连海事大学出版社发行

2004 年 8 月第 1 版

2004 年 8 月第 1 次印刷

幅面尺寸: 185 mm×260 mm 印张: 12.75 字数: 318 千字

责任编辑: 樊铁成

版式设计: 张宏声

封面设计: 王 艳

责任校对: 樊铁成

定价: 20.00 元

## 内容提要

全书分上、下两篇，共 13 章。上篇为船艇操纵，其中包括第 1 章船、桨、舵的工作原理，第 2 章船艇操纵性能，第 3 章影响操纵性能的因素，第 4 章保持航线与转向操纵，第 5 章系泊操纵，第 6 章受限水域中的船艇操纵，第 7 章恶劣气象条件下的船艇操纵，第 8 章海上拖带，第 9 章海事处置与特殊操纵；下篇为船艇避碰，其中包括第 10 章国际海上避碰规则概述，第 11 章号灯、号型及声响和灯光信号，第 12 章驾驶和航行规则，第 13 章雷达在避碰中的应用。

## 前 言

本教材根据船艇指挥专业新的大专教学大纲、船艇操纵与避碰课教学大纲及实际需要而编写，适用于船艇指挥专业大专班教学，也可用于公安海警部队船艇指挥员自学使用。

本教材以学校大专教学为目标，“以应用为目的，以必需、够用为度”的原则，参照地方和军队同类院校的有关内容而编写。在内容的取材上，除保证必要的系统性外，尽量注意到本课程内容的应用性和针对性，突出“公、边、海”特色，贯彻理论为实践服务、教学为部队服务的基本宗旨。

全书分上下篇，共 13 章。上篇为船艇操纵，其中第 1 章至第 3 章由高伟良讲师编写，第 4 章至第 9 章由虞锡宏讲师编写；下篇为船艇避碰，由李加庆助理讲师编写。第 1 章至第 9 章由李加庆同志负责校对，第 10 章至第 13 章由虞锡宏同志负责校对。

本书由虞锡宏同志主编，李加庆同志负责统稿，朱永仁副教授主审。另外，在本书的编写过程中，教研室原副主任吴荣根同志也付出了许多辛勤的劳动，在此深表感谢。

为了便于读者学习，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、文字通顺、理论结合实际，并对较深的理论作了精简，注重本课程的实践性。但由于编者水平有限，加之时间仓促，教材中差错和疏漏在所难免，竭诚希望使用本书的同行、前辈和广大读者及时提出宝贵意见，以便再版时加以修改提高。

编 者

2004 年 3 月

# 目 录

上篇 船艇操纵.....	1
第 1 章 船、桨、舵的工作原理.....	1
1.1 船艇运动时的水作用力.....	1
1.2 螺旋桨的工作原理.....	4
1.3 舵的工作原理.....	10
第 2 章 船艇操纵性能.....	15
2.1 船艇启动、制动性能.....	15
2.2 航向稳定性与保向性.....	17
2.3 船艇旋回性能.....	19
第 3 章 影响操纵性能的因素.....	25
3.1 浮态对船艇操纵的影响.....	25
3.2 风对船艇操纵的影响.....	26
3.3 流对船艇操纵的影响.....	29
第 4 章 保持航线与转向操纵.....	32
4.1 舵令与车钟令.....	32
4.2 保持航线操纵.....	35
4.3 转向操纵.....	37
4.4 掉头操纵.....	39
第 5 章 系泊操纵.....	43
5.1 锚泊操纵.....	43
5.2 系离浮筒操纵.....	51
5.3 靠离码头操纵.....	54
5.4 船艇靠帮操纵.....	66
第 6 章 受限水域中的船艇操纵.....	70
6.1 浅水中的船艇操纵.....	70
6.2 狭水道中的船艇操纵.....	73
6.3 江河中的船艇操纵.....	76
第 7 章 恶劣气象条件下的船艇操纵.....	80
7.1 出航前的准备工作.....	80
7.2 海浪及其对船艇操纵的影响.....	81
7.3 大风浪中的船艇操纵.....	84
7.4 热带风暴中的船艇操纵.....	87

7.5	夜、雾中的船艇操纵.....	93
<b>第 8 章</b>	<b>海上拖带.....</b>	<b>96</b>
8.1	拖带前的准备工作.....	96
8.2	接近被拖船艇和传递拖缆.....	99
8.3	拖带中的船艇操纵.....	100
<b>第 9 章</b>	<b>海事处置与特殊操纵.....</b>	<b>103</b>
9.1	海上搜寻与救助.....	103
9.2	海上营救落水者.....	106
9.3	与他船碰撞时的处置.....	110
9.4	搁浅(触礁)时的处置.....	111
9.5	操纵系统故障时的处置.....	116
9.6	渔网区航行时的措施.....	117
<b>下篇</b>	<b>船艇避碰.....</b>	<b>120</b>
<b>第 10 章</b>	<b>国际海上避碰规则概述.....</b>	<b>120</b>
10.1	国际海上避碰规则的历史沿革和内容.....	120
10.2	《国际海上避碰规则》的适用范围.....	124
10.3	《国际海上避碰规则》的一般定义.....	125
<b>第 11 章</b>	<b>号灯、号型及声响和灯光信号.....</b>	<b>129</b>
11.1	船舶的号灯和号型.....	129
11.2	声响和灯光信号.....	148
<b>第 12 章</b>	<b>驾驶和航行规则.....</b>	<b>153</b>
12.1	船舶在任何能见度情况下的行动规则.....	153
12.2	船舶在互见中的行动规则.....	168
12.3	船舶在能见度不良时的行动规则.....	183
12.4	责任.....	185
<b>第 13 章</b>	<b>雷达在避碰中的应用.....</b>	<b>188</b>
13.1	《规则》中的雷达避碰.....	188
13.2	雷达标绘及与其相当的系统观察.....	189

# 上篇 船艇操纵

## 第1章 船、桨、舵的工作原理

### 1.1 船艇运动时的水作用力

#### 1.1.1 水动力合力

船艇运动时，将受到各运动方向上水的作用力。将这些力合成得到水动力合力  $R_0$ 。通常  $R_0$  为空间矢量，如图 1.1 所示，其作用点  $O$  称为水动力合力作用点，简称水动力作用点。

根据力平移原理，在船艇重心  $G$  处引入与  $R_0$  平行、等值且方向相反的一对力  $R_0$  和  $R_0'$ 。将  $R_0$  投影到船艇附近的坐标系中，则得到  $R_x$ 、 $R_y$ 、 $R_z$ 。水动力合力  $R_0$  对船艇状态的影响如下：

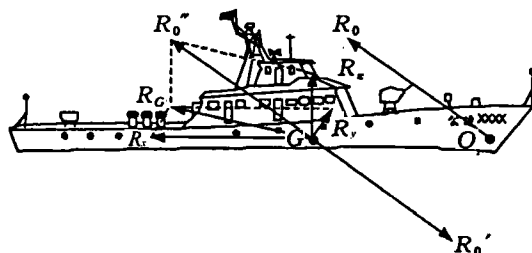


图 1.1 船艇运动时作用于艇体的水动力

(1) 力偶  $R_0$ 、 $R_0'$  对  $x$  轴的力矩使船艇绕  $x$  轴转动，当与横倾复原力矩平衡时，船艇便保持固定的横倾。

(2) 力偶  $R_0$ 、 $R_0'$  对  $y$  轴的力矩使船艇绕  $y$  轴转动，当与纵倾复原力矩平衡时，船艇便保持固定的纵倾。

(3) 力偶  $R_0$ 、 $R_0'$  对  $z$  轴的力矩使船艇绕  $z$  轴转动，船艇偏离原航向。

(4) 分力  $R_x$  与运动方向相反，当船艇作匀速直线运动时， $R_x$  为阻力；当船艇作变速直线运动时， $R_x$  由水阻力和惯性力组成。

(5) 分力  $R_y$  使船艇产生横移运动。

(6) 分力  $R_z$  与运动方向垂直，称为动浮力，它与静浮力之和等于船艇的重量。

由于船艇操纵运动主要是考虑平面运动情况，一般不考虑  $R_z$ ，把空间矢量  $R_0$  视为平面矢量  $R_G$ 。因此，通常水动力合力是指  $R_G$  力。 $R_G$  由  $R_x$  和  $R_y$  合成，当船艇没有横移运动时， $R_G$  即为  $R_x$ 。

#### 1.1.2 船艇匀速运动时水的作用力

船艇作匀速直线运动时，使附近的水质点获得加速度，而在艇体微湿面积  $dS$  上受到微水动力  $\Delta R_G$ ， $\Delta R_G$  可分解为法向压力  $\Delta R_p$  和切向应力  $\Delta R_t$  (如图 1.2)，作用在整个艇体湿表面积上的切向应力的合力称为摩擦阻力  $R_f$ ，法向压力的合力称为压差阻力  $R_r$  (又称剩余阻力)，压差阻力中包括涡流阻力  $R_v$  和兴波阻力  $R_w$ 。因此，艇体阻力  $R_b = R_f + R_r = R_f + R_e + R_w$ 。

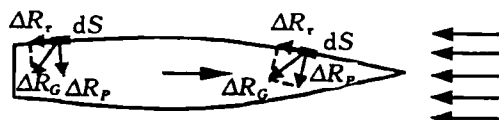


图 1.2 作用于微面积上水动力的分解



### (1) 摩擦阻力

船艇运动时，由于水的黏度，产生紧贴艇体运动、具有一定厚度的摩擦伴流，其速度由紧贴艇体为零逐渐向外增大，直到边界层与来流速度一致，则边界层内形成速度梯度。由于速度梯度的存在，船艇受到作用力中沿运动方向的分力，这就是摩擦阻力。

影响摩擦阻力的因素有：航速、艇体湿表面积、艇体表面的光洁程度、流体密度和黏性。表面光洁艇体的摩擦阻力  $R_f$  可按式估算：

$$R_f = \rho_w g C_f [1 + 0.0043(15 - t)] S V^{1.825}$$

式中： $\rho_w$ ——水的密度， $\text{kg}/\text{m}^3$ ；

$$C_f \text{——摩擦阻力系数， } C_f = 0.1392 + \frac{0.258}{2.68 + L} ;$$

$$S \text{——艇体湿表面积， } \text{m}^2, S = 2.5\sqrt{\nabla \cdot L} ;$$

$t$ ——水温， $^{\circ}\text{C}$ ；

$L$ ——船长， $\text{m}$ ；

$V$ ——船速， $\text{m}/\text{s}$ ；

$\nabla$ ——排水量， $\text{m}^3$ 。

在低速时，摩擦阻力占总阻力的 70%~80%，是总阻力的主要成分。

### (2) 涡流阻力

由于水流具有黏性，造成艇体曲度骤变处(如艇尾部)常产生涡流；而涡流处的水压力下降，改变了沿艇体表面的压力分布情况，导致船艇首尾形成压力差而产生的阻力，称为涡流阻力。

涡流阻力  $R_e$  可用下式表示：

$$R_e = \frac{1}{2} \rho_w \cdot S \cdot C_e \cdot V^2$$

式中： $C_e$ ——涡流阻力系数。

涡流阻力大小与流体水质点在船后部的速度变化，即速度梯度有很大关系。船艇中横剖面之后尾部急剧收缩，涡流阻力大。对于航速、湿表面积相同的船艇来说，黏压阻力的大小取决于艇型。长宽比大、艇体后半部分狭长的船艇，边界层较薄，涡流区不大，黏压阻力小。公边船艇水下部分呈流线型，因此，涡流阻力在总阻力中所占百分比较小。

### (3) 兴波阻力

船艇在水中运动，艇体周围的水形成兴波。由于兴波产生，改变了艇体周围的压力分布情况，出现艇首高波峰，压力增加；艇中波谷、艇尾低波峰压力降低，形成了首尾压力差，如图 1.3 所示。由兴波引起的压力分布改变所产生的阻力称为兴波阻力。

兴波阻力  $R_w$  可用下式表述：

$$R_w = \frac{1}{2} \rho_w \cdot S \cdot C_w \cdot V^2$$

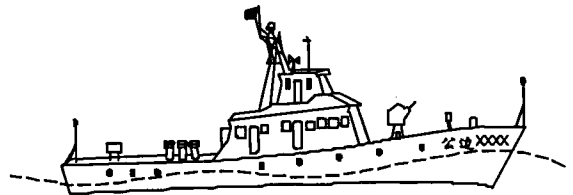


图 1.3 兴波改变艇体压力分布

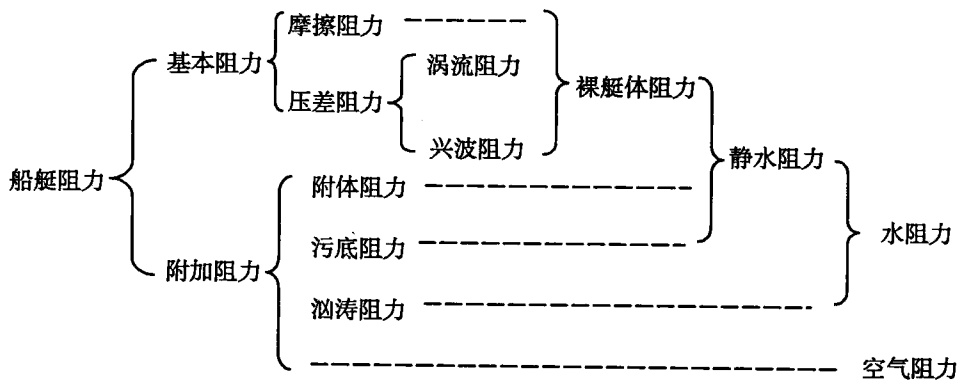
式中： $C_w$ ——兴波阻力系数， $C_w \propto F_r^4 = \left(\frac{V}{\sqrt{gL}}\right)^4$ 。

由此可见， $R_w$ 与船速的6次方成正比。因此，随着船速的增高， $R_w$ 将急剧增大。

#### (4)总阻力分析

上面分析了艇体阻力，即基本阻力。另外，还有附加阻力 $\Delta R$ ，它包括污底阻力 $\Delta R_f$ ，附体阻力 $\Delta R_e$ ，空气阻力 $A_x$ ，汹涛阻力 $\Delta R_t$ ，浅水附加阻力 $\Delta R_s$ 。因此，船艇总阻力组成如下：

摩擦阻力、涡流阻力、兴波阻力都随航速增大而增大，但增长的快慢是各异的，因此，



在不同的航速下各力在总阻力中所占的比例也不同，如表 1.1 所示。

表 1.1 船艇阻力中各种阻力所占比例

阻力		速度	低速	中速	高速
		$F_r$	<0.2	0.2~0.4	0.4~0.6
各种阻力 百分比	$R_f$		70%	50%	35%
	$R_e$		20%	15%	10%
	$R_w$		10%	35%	55%

船艇作匀速直线运动受到水作用力主要是裸艇体阻力。船艇设计主要考虑的是前进状态，因此，船艇用相同速度前进或后退，后退时的阻力大于前进时的阻力。

#### 1.1.3 船艇变速运动时水的作用力

船艇变速运动包括加速运动和减速运动。我们以加速运动为例来说明船艇变速运动时的水的作用力。

船艇变速运动时，除水阻力 $R_x$ 之外，还受到惯性力作用。后者的产生是由于船艇在水中作加速运动时，除克服艇体惯性外，还带动其周围一部分水作加速运动，这一部分可视为艇体增加了部分质量。

船艇在水中加速运动受到的惯性力为：

$$F = (m + m') \cdot \frac{dV}{dt}$$

式中： $m$  为艇体质量， $m \cdot \frac{dV}{dt}$  为艇体质量惯性力， $m'$  为附加质量， $m' \cdot \frac{dV}{dt}$  为惯性水动力。

惯性水动力具有方向性，艇体横向运动的附加质量就比纵向运动的附加质量大得多。

由于艇体开始回转运动时存在角加速度，因此船艇会受到惯性力矩  $M_r$  的作用：

$$M_r = (J + \Delta J) \cdot \dot{\omega}$$

式中： $\dot{\omega}$  ——艇体回转时的角加速度；

$J$  ——艇体回转惯量；

$\Delta J$  ——附加水回转惯量。

如果不考虑外界因素，舰艇所受的惯性水动力、惯性水动力矩的大小，主要取决于舰艇排水量、艇体线型、浮态和船艇运动状态。

## 1.2 螺旋桨的工作原理

推进器是指把主机发出的功率转换为推船运动功率的专用装置或系统。推进器种类很多，有明轮、平旋推进器、Z型推进器、喷水推进器、超导推进系统和螺旋桨等。目前船艇应用最为广泛的推进器是螺旋桨。

### 1.2.1 螺旋桨概述

#### (1) 螺旋桨的结构

螺旋桨安装在艇尾水下部分，通过尾轴与主机相连接，其结构如图 1.4 所示。

①叶背：船艇前进时产生吸力的面，通常为朝艇首方面的一面。

②叶面：船艇前进时产生压力的面，通常为朝艇尾方面的一面。

③叶梢：距轴线最远的桨叶端部。

④螺旋桨半径：叶梢至螺旋桨轴线间的垂直距离。

⑤螺旋桨盘面：以螺旋桨中点为圆心，螺旋桨半径所构成的圆面。

⑥螺距：螺旋桨绕轴旋转一圈，沿轴向前进的几何距离。

⑦螺距  $P$  与螺旋桨直径  $D$  之比称螺距比。一般负荷大、速度慢的船，螺距比小；负荷小、速度快的船螺距比大。

#### (2) 螺旋桨的配置

螺旋桨根据其工作时旋转方向的不同，可分为左旋螺旋桨和右旋螺旋桨两种。由艇尾

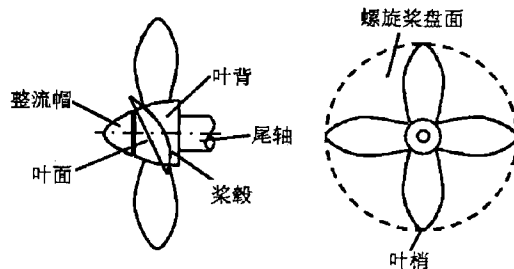


图 1.4 螺旋桨的结构

向前看，螺旋桨推艇前进时，其桨叶为顺时针旋向的称为右旋螺旋桨；反时针旋向的称为左旋螺旋桨。若将螺旋桨置于地面，右旋桨的叶片向右上方倾斜；左旋桨的叶片向左上方倾斜。

船艇的类型、性能和主机数量不同，螺旋桨安装的数量也不一样。不同数量螺旋桨船的配置如图 1.5 所示。

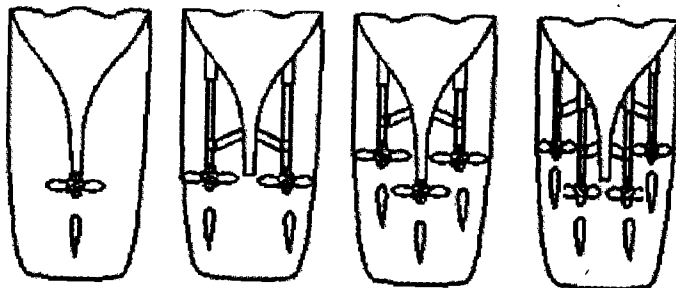


图 1.5 螺旋桨和舵的配置

①单车船艇。只有一个螺旋桨，安装在艇尾水下部分龙骨线上，多数采用右旋螺旋桨。

②双车船艇。有两个螺旋桨，对称地安装在艇尾水下部分中央龙骨两侧。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，如图 1.6 所示。外旋式两桨正转时，左舷螺旋桨左转，右舷螺旋桨右转；反之为内旋式。一般固定螺距的双车船采用外旋式，可调螺距的双车船采用内旋式。

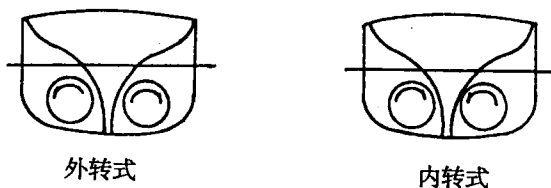


图 1.6 外旋式和内旋式螺旋桨

③三车船艇。有三个螺旋桨，中间的螺旋桨与单车船艇安装位置相同，两舷两个安装在龙骨两侧，其位置较中间螺旋桨稍前一些。

④四车船艇。海警部队装备的 218、318 型艇有四个螺旋桨，其配置方法与双车船艇基本相同，内侧两个螺旋桨较外侧两个的位置稍靠后一些。

### (3)螺旋桨工作时产生的水流

船艇运动、螺旋桨工作时产生的水流如图 1.7 所示。

①顶流——是由于船艇运动而产生的，与船艇作相对运动的水流。前进时顶流流向艇尾方向，摆舵时它作用于舵叶的前面(朝艇首的一面)；船艇后退时顶流流向艇首方向，摆舵时作用于舵叶的背面(朝艇尾的一面)。顶流的大小与航速有关，航速大，顶流大，航速小，顶流小。

②排出流——螺旋桨转动时所排出的螺旋状水流。其特点是：范围较窄，流速较快，流线具有螺旋性，且旋转激烈。螺旋桨进车转动时，排出流向艇尾方向，如果摆舵，它便作用于舵叶的背面；倒车时，排出流被排向艇首方向，打不到舵叶上。排出流的大小随轮转速而变。转速越高排出流越大，螺旋桨停止转动时，便没有排出流。

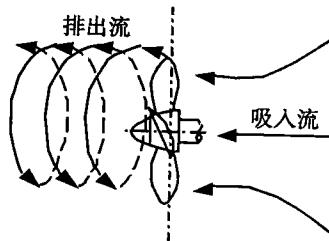


图 1.7 螺旋桨工作时的水流

③吸入流——螺旋桨排水时，在桨叶的另一面产生空隙，从周围流来填补空隙的水流，称为吸入流。其特点是：范围较宽，流速较慢，流线几乎相互平行。螺旋桨进车转动时，吸入流在螺旋桨之前，方向是从艇首流向艇尾，和排出流一起作用到舵叶上；倒车时它位于螺旋桨之后，从艇尾流向艇首，当摆舵时，便作用于舵叶的背面。吸入流的大小与轮转密切相关，转速高，吸入流大；转速低，吸入流小；转速为零时无吸入流。

④伴流——船艇前进时，艇体周围有一股水流也随船艇前进，这股水流即称为伴流。伴流主要由摩擦伴流和势伴流组成。在船艇前进时，其大小与厚度从艇首到艇尾逐渐扩大，艇首处为零，最大值位于艇尾附近；船艇后退时，则艇尾处为零，最大值位于艇首附近。

### 1.2.2 螺旋桨的工作原理

#### (1)螺旋桨的推力和转矩

在主机的驱动处，螺旋桨正车旋转时推水向后，而被推动的水给桨叶一个反作用力，这个反作用力在艇首方向的分量就是推船前进的推力；倒车时则水对桨叶产生一个指向艇尾的反作用力，称为倒车推力或拉力。

下面通过分析螺旋桨工作时一个桨叶切面的受力情况来说明产生螺旋桨推力和转矩的基本原理。图 1.8 所示为一距离螺旋桨轴心半径为  $r$  处的叶切面。在船艇航行时，叶切面一方面跟随船艇作前进运动，另一方面又作旋转运动。若螺旋桨进速为  $V_p$ ，转速为  $n$ ，则叶切面相对于水的运动速度  $u_r$  就是进速  $V_p$  与旋转切线速度  $2\pi nr$  的矢量合成。

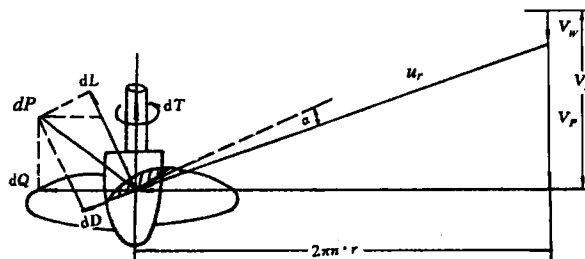


图 1.8 螺旋桨的工作原理

根据流体力学知识，当叶切面以速度  $u_r$ 、冲角  $\alpha$  与水流作相对运动时，将会产生与水流相对运动方向垂直的微升力  $dL$  和平行于水流相对运动方向的微阻力  $dD$ 。 $dL$  和  $dD$  的大小与  $u_r^2$  成正比；此外，还与冲角  $\alpha$  有关。在一定范围内，冲角  $\alpha$  越大， $dL$  和  $dD$  值越大。

$dL$  和  $dD$  的矢量和为叶切面的微水动力  $dP$ 。将  $dP$  分解为沿螺旋桨轴向上的微推力  $dT$  和垂直于轴向上的微旋转阻力  $dQ$  (相应的微转矩  $dM_Q = dQ \cdot r$ )。

对  $dT$  和  $dQ$  沿螺旋桨半径  $r$  积分，得到一个桨叶的推力和旋转阻力。综合每个桨叶的影响，即得到整个螺旋桨的推力  $T$  和旋转阻力  $Q$  (相应的螺旋桨旋转阻力矩  $M_Q$ )。对于整个螺旋桨工作情况而言，由于安装在毂上各桨叶的推力方向相同，各桨叶推力合力就是整个螺旋桨的推力。但每个桨叶上的阻力大小和方向是不同的，其水平分力的合力是造成螺

旋桨侧力的因素之一，使船艇产生偏转。由于旋转阻力产生相应的旋转阻力矩，因此，欲使螺旋桨产生推力，必须消耗主机功率以克服旋转阻力矩。

显然， $T$  和  $Q$  的大小决定于水流的速度及冲角的大小。通常螺旋桨转速越高、航速越低， $T$  和  $Q$  越大。船艇在静止中如以较高转速进车，由于冲角很大，虽然可以产生较大的推力，但旋转阻力矩也随之急增，对主机工作不利。

## (2) 滑失和滑失比

如果螺旋桨不是在水中运动，而是像螺杆在螺母中运动一样，那么旋转一周后，它在轴线方向上移动的距离  $h_p$  等于它的螺距  $P$ 。但因为螺旋桨是在水中工作的，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  $n$ ，则其前进速度  $V_p$  比理论上应能前进的速度  $nP$  小。

螺旋桨旋转一周在轴向所前进的实际距离  $h_p$  称为进程， $h_p = \frac{V_p}{n}$ 。螺距  $P$  与进程  $h_p$  之差称为滑失  $S$ ， $S = P - h_p$ 。滑失  $S$  与螺距  $P$  之比为滑失比  $S_r$ ， $S_r = 1 - \frac{V_p}{n \cdot P}$ 。

如果用船速  $V_s$  代替  $V_p$ ，则成为虚滑失  $S'$  和虚滑失比  $S'_r$ ， $S'_r = 1 - \frac{V_s}{n \cdot P}$ 。

滑失比  $S_r$  值与船艇运动状态、桨的转速及方向有密切关系。如果船艇前进时，螺旋桨正转，或船艇后退时，螺旋桨反转， $S_r < 1$ ；如果船艇进(退)速度越低，而螺旋桨正(反)转的转速又很高，使  $V_p/nP$  值很小，则  $S_r \rightarrow 1$ ；如果船艇前进，螺旋桨反转，或船艇后退，螺旋桨正转， $S_r > 1$ ；如果船艇进(退)速度越高，而螺旋桨反(正)转的转速越高，则  $S_r \gg 1$ 。当船艇速度、伴流速度与桨的进速为零时， $S_r = 1$ 。

由图 1.9 可知，螺旋桨是否能产生推力取决于螺旋桨的滑失比  $S_r$ 。当  $V_p = nP$  时， $S_r = 0$ ，则在该转速  $n$  时螺旋桨产生推力趋于零，而当  $S_r$  越高，螺旋桨产生的推力就越大。

匀速前进船艇具有  $V_p = V_s - V_w$  的关系，则  $S_r > S'_r$ ；但船艇后退中或船速极低时，螺旋桨正转或反转，由于  $V_w \approx 0$  (艇尾处)，则  $S_r \approx S'_r$ 。

### 1.2.3 单螺旋桨船艇的致偏效应

螺旋桨工作时，主要为船艇提供推力或拉力，但螺旋桨转动时，即使操正舵，艇首也会出现向左或向右的偏转现象，这就是螺旋桨的致偏作用。这是由于桨叶所受的作用力、螺旋桨流对艇体以及舵叶的作用力左右不对称等原因而产生横向力的结果。下面以右旋螺旋桨为例，分析螺旋桨的致偏作用。

#### (1) 沉深横向力

沉深横向力又称侧压力、侧推力或水面效应横向力。螺旋桨盘面中心距水面的垂直距离为螺旋桨的沉深  $h$ ，它与螺旋桨直径之比  $h/D$  称为沉深比。

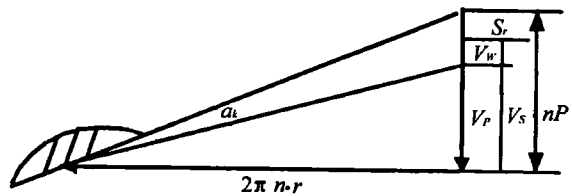


图 1.9 螺旋桨的滑失比

实验表明，即使桨叶不露出水面，当  $h/D < 0.65 \sim 0.75$  时，由于螺旋桨在其旋转过程中会出现空气吸入和产生空泡现象，将使其推力和转距下降，并出现上部桨叶所受的阻力较下部桨叶为小的现象，如图 1.10 所示。上下螺旋桨阻力的差值，构成了沉深横向力。右旋单车船进车时，该作用力推尾向右，使艇首向左偏转；倒车时使艇首向右偏转。

沉深横向力随着沉深比的减小明显增大。此外，沉深横向力在船艇起动或低速过程中加速时影响明显。

### (2) 伴流横向力

船艇前进时，艇尾螺旋桨盘面处的伴流速度分布具有左右对称、上大下小的特点，如图 1.11 所示。因此，螺旋桨工作时，受伴流的影响，上部桨叶比下部桨叶进速较低，冲角较大，旋转阻力则增大。这种因伴流的影响而出现的上下桨叶的旋转阻力之差而构成的横向力称为伴流横向力。

右旋单车船，前进中进车，伴流横向力推尾向左，使艇首向右偏转。但总体而言，这种偏转不明显。船艇静止和后退时，艇尾处不存在伴流，所以没有该横向力。

### (3) 排出流横向力

船艇正车前进时，如图 1.12a)所示，舵叶左上部与右下部分别受到排出流的有力冲击。如无伴流影响，则舵叶左右两侧所受排出流水力相等，不存在排出流横向力。但若存在伴流时，由于伴流上大下小并与排出流反向，致使右下部排出流的冲角明显大于左上部，使右侧的水动力高于左侧，因此，舵叶两侧水动力产生差异，构成排出流横向力。

右旋单车船艇前进中进车，该力推尾向左，使艇首右偏，而且船速越高，伴流越大，该力越大。船艇后退中进车，舵叶处伴流极弱，该力可忽略不计。

船艇进速较低或静止中或后退中倒车，如图 1.12b)所示，排出流冲向尾部艇体两侧。因为艇尾线型上肥下瘦，所以打在艇尾右上方的排出流对艇体的冲角和作用面积均大于艇尾左下部，因此使艇首向右偏转。

倒车后退中，沉深横向力和排出流横向力方向一致，使艇首出现明显向右偏转，有时用舵也难以克服。

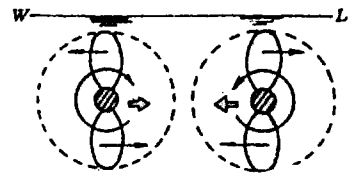


图 1.10 螺旋桨的沉深横向力

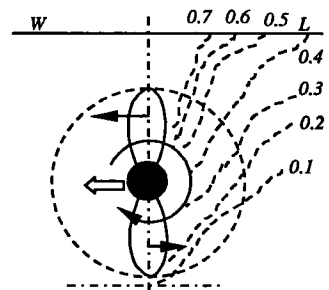
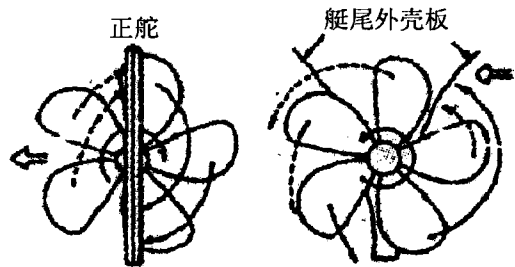


图 1.11 进车伴流横向力



a) 进车排出流横向力 b) 倒车排出流横向力

图 1.12 右旋式螺旋桨的排出流横向力

表 1.2 右旋式单螺旋桨船的致偏影响

运动状态 影响效应		静止中进车	前进中进车	静止中倒车 后退中倒车
		单	艇首左偏	艇首左偏
影	沉深横向力	艇首左偏	艇首左偏	艇首右偏
响	排出流横向力	艇首右偏	艇首右偏	艇首右偏
	伴流横向力	—	艇首右偏	—
综合影响		艇首微左偏 (或艇尾微右偏)	艇首右偏	艇首剧烈右偏 (或尾剧烈左偏)

### 1.2.4 双车船艇的运动特点

#### (1) 双车船艇的致偏作用

为了充分发挥螺旋桨横向力在操纵中的效用，有助于船艇旋回，双车船艇通常采用外旋式配置。下面以外旋式配置为例说明双车船艇螺旋桨的致偏作用。

①当双车船艇的两车以同样转速同时进车或倒车时，左、右两舷的螺旋桨所产生的横向力互相抵消，船艇基本不发生偏转。

②当双车船艇两车的转速或旋转方向不同时(称为分车)，一方面由于两车推力大小、方向不同，形成转船力矩  $M_T$ ，如图 1.13 所示。

$$M_T = \Delta T \cdot \Delta d$$

式中： $\Delta T$ ——两螺旋桨推力的代数和，转动方向一致时相减，转动方向相反时相加；

$\Delta d$ ——螺旋桨轴线与船艇首尾线的距离。

另一方面，两个螺旋桨的综合致偏作用方向也与上述转船力矩方向一致，有助于操纵。

如当船艇右转时，采用左进右退，一方面，进车与倒车产生的推力和拉力构成转船力矩使艇首右转；另一方面，两螺旋桨的沉深横向力、左车吸入流的减压作用、右车排出流的增压作用(相当于倒车排出流横向力)三者共同作用使艇首右转，如图 1.14 所示。

因此，只要双车配合得当，再加上舵的转船作用，几乎可以使船艇在原地掉头。边防船艇由于排水量小，错车操纵(即一舷正车、一舷倒车且推力相等)时对艇体及装备有一定影响，所以旋回时一般不采用错车。

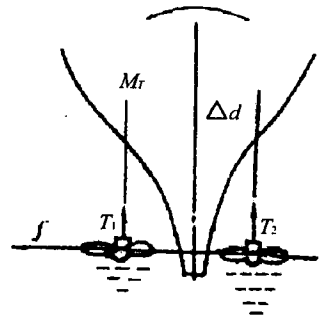


图 1.13 分车操纵时的力矩

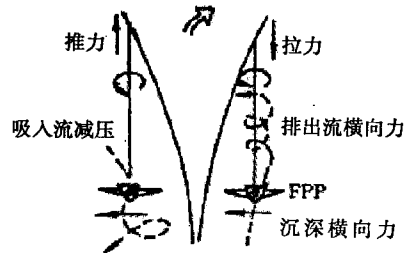


图 1.14 双车船艇的致偏作用



## (2)双螺旋桨船艇的操纵特点

①由于左右舷螺旋桨的旋向相反，两个螺旋桨所产生的偏向力互相抵消，因此正车前进和倒车后退都不发生偏向。

②两个螺旋桨中损坏一个仍可继续航行，并且能保持 2/3 的航速。

③舵损坏甚至被卡住(舵角不大)时，调节左右主机的转速仍可能保持预定航向和转向。

④旋回性能好。用舵旋回时，左右旋回直径相等；而调整左右车的转速，可以改变回转力矩，调整旋回直径。

## 1.3 舵的工作原理

舵是用来承受水作用力以产生船艇转动力矩的装置，它是操纵船艇的重要设备。船艇航行中保持或改变航向，主要通过舵来实现的。在船艇各种运动状态、主机不同工况的情况下，舵设备应具备轻便、灵活、准确和可靠的性能。

### 1.3.1 舵力产生

#### (1)舵压力

船艇正舵航行时，舵叶两侧的流速对称相等，不产生舵压力。当摆过一个舵角后，如图 1.15，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，使流速下降，压力增大，图中用(+)表示；而在舵叶背流面，两者流向相同，使流速提高，压力减小，图中用(-)表示，而且舵叶背流面的压力下降比舵叶迎流面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  $P_L$  和一个平行于水流方向的舵阻力  $P_D$ ，这两个力的合力为舵的水动力，即舵力  $P$ 。

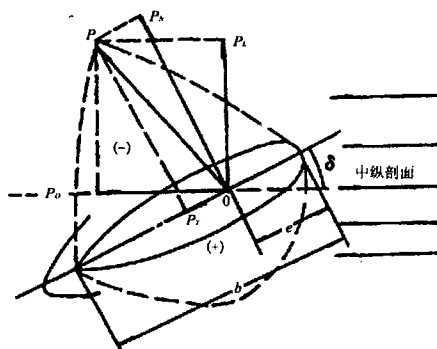


图 1.15 舵力的产生

舵力  $P$  可分解为垂直于舵叶剖面弦线的分力  $P_N$  和平行于舵叶剖面弦线的分力  $P_T$ 。分力  $P_N$  为舵压力，分力为  $P_f$  舵叶表面的摩擦力。若不考虑水粘性的影响，舵力  $P$  与舵压力  $P_N$  近似相等。

舵压力  $P_N$  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(舵速)的影响，可用下式进行估算：

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

式中： $\rho_w$ ——水的密度， $\text{kg}/\text{m}^3$ ；

$C_N$ ——舵压力系数，由舵角  $\delta$  和舵叶形状决定；