

海军院校统编教材

舰船操纵与避碰

陆 儒 德 等编著



海 潮 出 版 社

海军院校统编教材

舰船操纵与避碰

主编：陆儒德

编者：（以姓氏笔划为序）

王振宗 王敬全 杨宝璋

陆儒德 都玉贵

主审：邓海明 朱永仁

海潮出版社

1993年10月·北京

内 容 提 要

本书分上下两篇，共十九章及六个附录。

上篇为舰船操纵，系统讲述了舰船操纵的基础理论和在各种条件下的操纵方法。下篇为舰船避碰，以《国际海上避碰规则》为主体，解释了海上和内河舰船避碰中的问题，并对雷达避碰作了专门介绍。

本书为海军院校水面舰船舱面指挥专业本科班《舰船操纵与避碰》课程的统编教材，也可作为水面舰船指挥员和航海干部的训练教材，对地方院校船舶驾驶专业学生和船舶驾驶员也是一本实用的参考书。

前 言

一、本书由海司院部下达任务，组织大连舰艇学院和广州舰艇学院共同编写，作为海军水面舰艇舱面指挥专业本科班的基准教材。各院校教学中，可根据教学大纲作适当调整。

二、本书以海军司令部1982年颁发的《舰艇操纵》为基础，根据海军军事科学的发展和海军舰艇部队的需要增加了“冰区中的舰艇操纵”、“舰艇与直升机海上协同操纵”、“登陆舰的登陆操纵”和“快速艇操纵”四章，其余各章内容也都作了较大幅度的增补和改写，以更加适应部队现代化的需要和反映军事航海的特色。

三、本书力求基本概念清楚，理论简明易懂，重点突出实用性，研究舰船操纵中的一些实际问题，以满足舰艇队广大指挥员和航海干部的需要。

四、本书由编写集体研究，分工执笔。

第一、六、七、七章由杨宝璋编写；二、三、四、五、八、九、十、十一、十四章由陆儒德、王敬全编写；十三章由都玉贵编写；十五、十六、十七、十八、十九由王振宗编写。全书经编写组讨论修改后，由陆儒德统稿，朱永仁审校，最后经海司院校部和军训部审定。

五、本书在编写过程中得到各水面舰艇支队、海航独立六团等单位首长和机关同志的关怀和大力支持；广州舰艇学院舰艇操纵教研室和大连舰艇学院船艺教研室在本书编写、审校、出版过程中做了大量工作；邹镜明、高文心、曹健为本书绘图，在此，我们一并表示衷心感谢。

由于此版增补多、修改大，限于作者水平与条件，书中差错欠漏在所难免，诚望读者和同行指正，以期再版修改。

编 著 者

一九九三年十月

目 录

上篇 舰 船 操 纵

第一章 舰船操纵的理论基础.....	(1)
第一节 概 述.....	(1)
第二节 舰船运动时所受水的作用力.....	(1)
第三节 螺旋桨的作用.....	(8)
第四节 舵的作用.....	(16)
第五节 舰船旋回过程.....	(20)
第六节 舰船运动惯性.....	(25)
第七节 风流的作用.....	(27)
第二章 保持航线与转向操纵.....	(30)
第一节 舵令与车钟令.....	(30)
第二节 保持航线操纵.....	(32)
第三节 转向操纵.....	(34)
第四节 掉头操纵.....	(36)
第三章 抛起锚操纵.....	(41)
第一节 锚的应用.....	(41)
第二节 抛起单锚.....	(45)
第三节 抛起双锚.....	(52)
第四章 系离浮筒操纵.....	(57)
第一节 浮筒设备.....	(57)
第二节 系离单浮筒.....	(59)
第三节 系离双浮筒.....	(62)
第五章 靠离码头操纵.....	(64)
第一节 系缆的作用及系带方法.....	(64)
第二节 靠离码头的准备工作.....	(66)
第三节 舰舷靠码头.....	(68)
第四节 舰舷离码头.....	(73)
第五节 舰尾靠离码头.....	(76)
第六章 大风浪中的舰船操纵.....	(78)
第一节 出航前的准备工作.....	(78)
第二节 海浪及其对舰船的影响.....	(79)
第三节 大风浪中的舰船操纵.....	(82)
第四节 有关热带风暴和台风的知识.....	(87)

第五节	热带风暴中的操纵操纵	(90)
第六节	热带风暴中的舰船系泊	(94)
第七章	受限水域的舰船操纵	(97)
第一节	浅水中的舰船操纵	(97)
第二节	窄水道中的舰船操纵	(102)
第三节	内河中的舰船操纵	(104)
第八章	冰区中的舰船操纵	(110)
第一节	海冰特征及对航行的影响	(110)
第二节	冰区航行的准备工作	(113)
第三节	冰区自力操纵	(114)
第四节	破冰船护航操纵	(116)
第九章	海上拖带操纵	(119)
第一节	拖带的准备工作	(119)
第二节	接近被拖舰和传递拖缆	(123)
第三节	拖带中的舰船操纵	(124)
第十章	海上航行补给操纵	(128)
第一节	航行补给的准备工作	(128)
第二节	航行横向补给操纵	(129)
第三节	航行纵向补给操纵	(134)
第四节	海上补给的其它形式	(136)
第十一章	舰艇与直升机海上协同操纵	(137)
第一节	舰载直升机简介	(137)
第二节	舰载直升机的保障设施	(140)
第三节	舰艇航空部门与海上飞行特点	(141)
第四节	舰艇与直升机的协同操纵	(143)
第十二章	登陆舰的登陆操纵	(148)
第一节	登陆舰的结构和操纵特点	(148)
第二节	登陆点的选择及登陆时机	(149)
第三节	登陆舰上滩操纵	(151)
第四节	登陆舰退滩操纵	(153)
第十三章	快速艇操纵	(155)
第一节	快速艇的航行特点	(155)
第二节	快速艇的操纵特点	(159)
第三节	快速艇的系泊特点	(161)
第十四章	海事处置与特殊操纵	(166)
第一节	海上搜寻遇险船筏	(166)
第二节	海上营救落水者	(169)
第三节	舰船碰撞后的处置	(172)
第四节	舰船搁浅、触礁时的处置	(174)

第五节	渔网区航行时的措施	(178)
第六节	操纵系统故障时的处置	(179)
附录一	各种舵、推进器和自动操纵装置	(181)
附录二	舰船的操纵性评估及试验	(187)

下篇 舰 船 避 碰

第十五章	《国际海上避碰规则》总则	(201)
第十六章	号灯、号型及声响和灯光信号	(206)
第一节	号灯和号型	(206)
第二节	声响和灯光信号	(228)
第十七章	驾驶航行规则	(233)
第一节	船舶在任何能见度情况下的行动规则	(233)
第二节	船舶在互见中的行动规则	(248)
第三节	船舶在能见度不良时的行动规则	(257)
第十八章	雷达在避碰中的应用	(260)
第一节	雷达用于避碰的特点	(260)
第二节	雷达标绘及与其相当的系统观察	(261)
第十九章	《中华人民共和国内河避碰规则》与海船内河避碰	(273)
第一节	《内规》简介	(273)
第二节	名词解释	(275)
第三节	《内规》与《规则》在驾驶航行规则上的异同点	(276)
第四节	《内规》与《规则》在号灯(型)上的主要区别	(280)
附录三	《1972年国际海上避碰规则》的四个附录	(283)
附录四	《中华人民共和国非机动船舶海上安全航行暂行规则》(1957年)	(290)
附录五	《中华人民共和国内河避碰规则》(1991年)	(292)
附录六	自动雷达绘标仪	(305)

上篇 舰船操纵

第一章

舰船操纵的理论基础

第一节 概述

舰船操纵是舰船进行战术机动和日常勤务活动的基础，是舰船长、舱面部门长、值更官必须掌握的知识和技能。舰船操纵要解决的基本问题，是在风、流、浪的影响下，在水域及周围舰船的限制下，指挥员如何运用车、舵、锚、缆，操纵舰船达到预期目的（位置、动态）。图1—1表达了其间的关系。

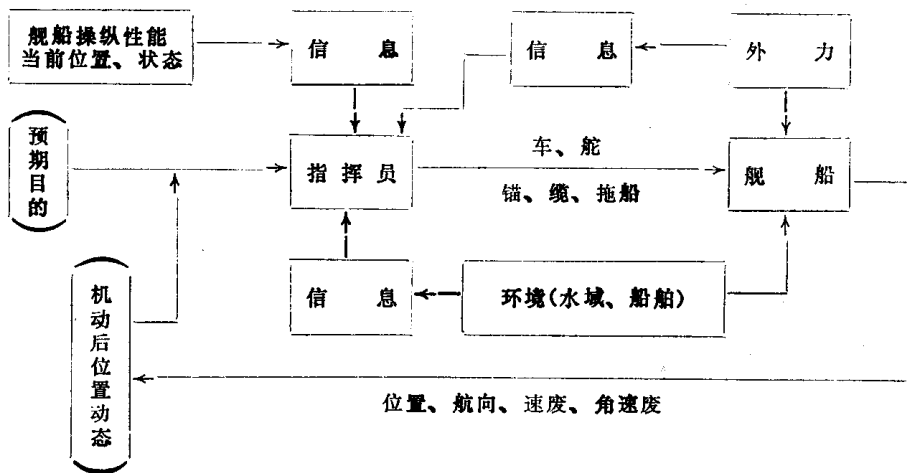


图1—1 舰船操纵过程框图

要顺利操纵舰船，最基本的，是掌握其操纵性。所谓舰船操纵性，是指舰船借助操纵装置（车、舵）保持或改变航向、速度和位置的性能。为此，要了解车、舵作用以及舰体是怎样响应的；要知道舰体、车、舵之间的相互影响；要懂得风、流、浪等外力对操纵舰船的影响；要明了从哪几方面去把握舰船操纵性能，如何评估舰船操纵性能的优劣。

有了上述知识和技能，就掌握了舰船操纵的一般规律，为实施各种复杂机动打下了基础。

舰船操纵是实践性很强的学科，从熟悉理论到顺利实践之间，有一个比较长的掌握操纵技巧、锻炼指挥素质的过程。需要指出的是，理论指导下的实践，自觉的实践，是掌握舰船操纵的合理途径。许多高水平的舰船操纵者，都是善于总结经验、勤于资料积累、勇于观摩学习的。

第二节 舰船运动时所受水的作用力

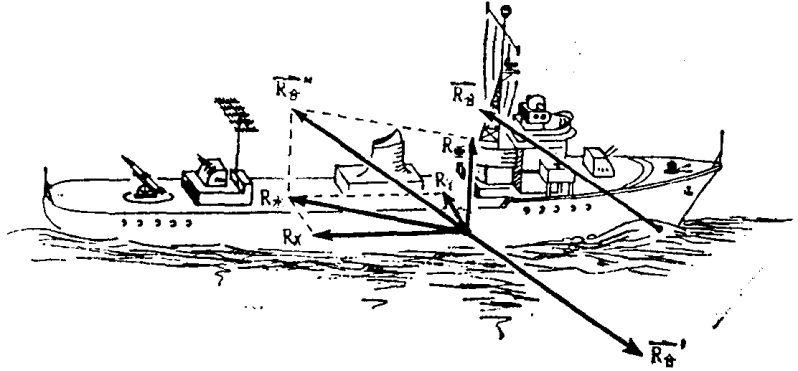
要说明舰船操纵的一般规律，需要分述船体、舵、螺旋桨和水之间的作用，阐明三者的

相互影响。

一、水动力合力

舰船在水中无论作何种运动，不论受到水的作用力如何复杂，通常可以合成一个不作用于质心（近似看成重心）的力，这个力称为水动力合力 $R_{\text{合}}$ ，其作用点 O 称为水动力合力作用点，简称水动力作用点。在一般情况下， $R_{\text{合}}$ 是空间矢量，如图 1—2 所示。

为了更清楚地了解 $R_{\text{合}}$ 的作用结果，根据力平移原理，可在舰船重心 G 处引入与 $R_{\text{合}}$ 平行、等值且方向相反的一对力 $R_{\text{合}}'$ 和 $R_{\text{合}}''$ ，再将 $R_{\text{合}}''$ 投影到通常采用的和舰船附连的坐标系中，则得在 Z 轴上的分力为 R_z ，在 Y 轴上的分力为 R_y ，在 X 轴上的分力为 R_x 。这样就很容易看出水动力 $R_{\text{合}}$ 对舰船作用的结果：



$\vec{R}_{\text{合}}$ —水动力合力 \vec{R}_z —水动力垂直分力 \vec{R}_x —水动力在 X 方向分力
 $\vec{R}_{\text{水}}$ —水动力水平分力
 \vec{R}_y —水动力在 Y 方向分力，即横向分力

图 1—2 舰船运动时作用于船体的水动力

(一) 力偶 $R_{\text{合}}$ 、 $R_{\text{合}}'$

对 Y 轴和 X 轴的力矩使舰船绕 Y 轴和 X 轴转动，当与纵向复原力矩和横向复原力矩平衡后，舰船便保持固定的纵倾和横倾。

(二) 力偶 $R_{\text{合}}$ 、 $R_{\text{合}}'$ 对 Z 轴的力矩使舰船绕 Z 轴转动，偏离了原来的航向。

(三) 再看作用于重心 G 的各力作用。与运动方向垂直的分力 R_z ，称动浮力，它与静浮力之和等于舰船的重力。

(四) 沿 Y 轴的分力 R_y 使舰船产生横移运动。

(五) 沿 X 轴与舰船运动方向相反的分力 R_x ，当舰船作匀速直线运动时，它就是阻力。如果舰船作变速直线运动， R_x 由水阻力和惯性力组成。

为了简化问题的讨论，一般不考虑 R_z ，把空间矢量 $R_{\text{合}}$ 视为平面矢量 $R_{\text{水}}$ ，通常所说水动力合力，就是指 $R_{\text{水}}$ 力。

不同的舰船，水动力作用点 O 的位置是不同的；同一舰船，运动状态不同， O 点也会变化。图 1—3 船体外的箭头，表示由于舰船作不同方向不同速度运动而产生的相对水流，从图可以看出，相对水流变化了， $R_{\text{水}}$ 及 O 点的位置也随之变化。

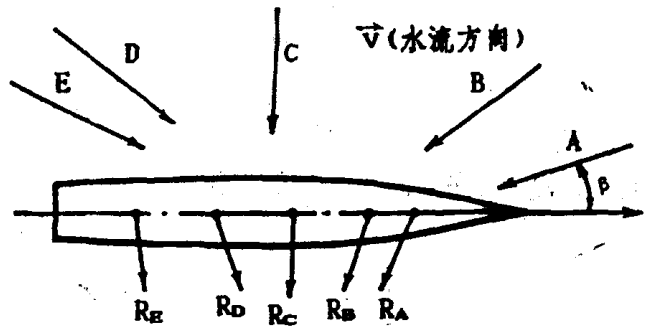


图 1—3 水动力合力作用点随漂角变化而变化

通常，知道了一艘舰船的 O 点、重心和风力合力作用点（风压中心）及其它条件，就可以对舰船机动作出定性的预测和分析。

当舰船没有横移运动时，水动力合力

$R_{水}$ 等于 R_x 。下面就分舰船作匀速直线运动和变速直线运动两种情况来讨论 R_x 力。

二、舰船匀速运动时水的作用力

为了便于分析水阻力 R_x 的组成，我们把作用在舰体水下部份微面积 d_s 上的水动力在水平面上分量 ΔR_x (即 $\Delta R_{水}$)，分解为切向力 $\Delta R_{切}$ 和法向力 $\Delta R_{法}$ (图1—4)。所有微面积上切向力的合力称为摩擦阻力 $R_{摩}$ 。所有微面积上法向力的合力，称为压阻力 $R_{差}$ 。

压阻力中包括涡流阻力 $R_{涡}$ 和兴波阻力 $R_{兴}$ 。通常认为，舰船阻力主要由上述三种阻力组成，即：

$$R_x = R_{摩} + R_{涡} + R_{兴}$$

(一) 摩擦阻力 ($R_{摩}$)

舰船在水中运动时，由于水有粘性，紧挨船体的水

层被带着跟着船体一起运动，这层水又带动相邻的水层，以较小一些的速度运动。这样，一层带动一层，便在船体两侧形成一部分被带动的水层，称边界层，这部分水流称摩擦伴流。摩擦伴流的厚度称边界层厚度，以 δ 表示。如果把这种情况看成是船体不动，而是水以船速从前方流来，则紧挨船体的水流速为零，越离开船体越远的水流流速越快，到边界层以外，流速不受船体影响，其速度等于来流速度，边界层内则形成速度梯度。速度梯度的存在，使舰船受到作用力，其沿船体运动方向的分力，就是摩擦阻力。

从能量角度来说，水本来是静止的，由于舰船的运动被带着运动，水流动所需的动能，来自主机为克服摩擦阻力所作的功。

边界层厚度在舰船首端为零，往后逐渐增大，到船尾处最大，其值可达舰长的1—2%。

实验证明，摩擦阻力的大小取决于舰船的长度、船体的湿表面积、船体表面的光洁程度和液体的密度。对于一个在海水中运动的表面光滑的船体来说，摩擦阻力可按下式计算：

$$R_{摩} = \tau_{水} \cdot \lambda [1 + 0.0043(15 - t)] \cdot s \cdot v^{1.825} \quad (1.1)$$

式中：

$R_{摩}$ ——摩擦阻力 (公斤)

$\tau_{水}$ ——海水比重 (标准值可取1.025)

λ ——摩擦阻力系数 = $0.1392 + \frac{0.258}{2.68 + L}$

L ——船长 (米)

t ——海水温度 (°C)

s ——船体湿面积 (米)

v ——航速 (米/秒)

从式1.1可以看出，摩擦阻力与航速 $v^{1.825}$ 成正比，也与湿面积 s 成正比。舰船的湿面积与船型有关，在同样排水量条件下，长而窄的船型比短而宽的船型的湿面积要大一些。摩

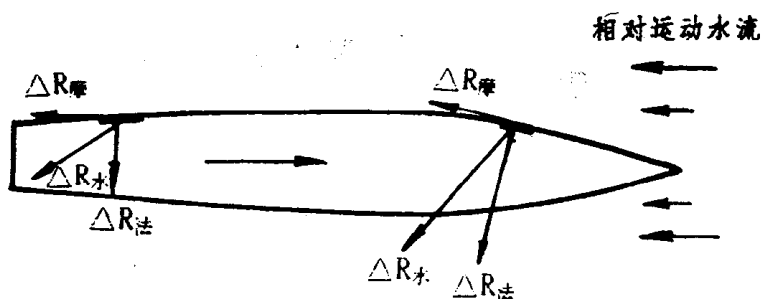


图1—4 作用在微面积上水动力 $\Delta R_{水}$ 力的分解

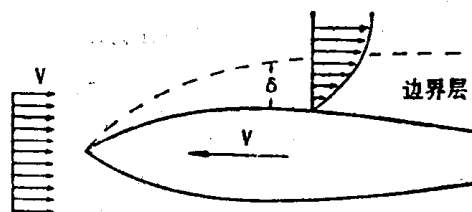


图1—5 边界层及摩擦阻力

摩擦阻力在低速时占总阻力的百分比最大，是总阻力的主要成分，所以运输船（大部分属于低速船）的船型多是短而宽，其目的在于减小湿面积。战斗舰船（多数属于高速船）则不同，船型一般长而窄，目的是减小兴波阻力，因为对高速船来说，常速航行时摩擦阻力占总阻力的百分比较小。

摩擦阻力的大小还与船体表面的光洁度有关。保持船底清洁以减小摩擦阻力，是指挥员必须关心的问题。舰船出厂一段时间后，船壳表面会附着海生物，如海藻、藤壶等，这种现象称为污底。减轻污底程度即可减小摩擦阻力。海上舰船进入淡水港内停泊数日再出海，船底的不少附着物便会因死亡而自行脱落，这是减轻污底的简便方法。

（二）涡流阻力（ $R_{\text{涡}}$ ）

舰船航行时，在尾部周围会产生涡流。涡流使尾部周围压力降低，导致船首尾形成压力差，阻碍舰船前进，这就是涡流阻力。

从能量角度上说，涡流中水质点具有较大的旋转动能，它是靠消耗主机功率得来的。涡流阻力与摩擦阻力性质不同，但都是由于水的粘性引起的。

为了说明涡流阻力的成因，首先介绍一下理想流体流过舰体时速度与压力的变化情况。当理想流体的水质点流至舰体首端时，速度为零，压力最大。水质点向舰体中部流动时，由于流管变窄，流速逐渐增高，压力逐渐降低，当水质点到达舰体中部时，速度达到最大，压力最小。水质点继续由船中部向船尾流动时，是由低压区流向高压区。由于理想流体中没有摩擦损失，质点的动能，恰好能全部用来克服流向尾部过程中逐渐增大的压力所作的功。当水质点达到尾端时，速度为零，压力又达到最大。因此，在理想流体中运动的舰体，首尾端的水压力是相等的，没有压力差，即没有涡流阻力，其压力变化过程如图 1—6 中曲线 I 所示。

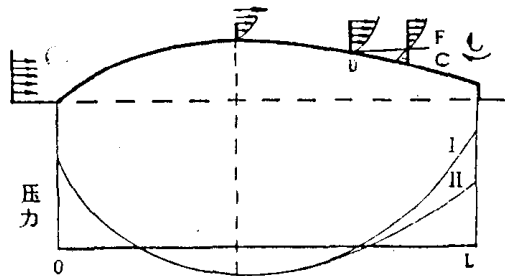


图1—6 涡流及涡流阻力

当实际流体流经舰体时，由于边界层的存在，水质点在边界层中会因为摩擦而消耗部分能量，故水质点到达船中部时所具有的速度比理想流体水质点的速度小。因此当水质点继续向尾部流动时，在未达到尾端之前，便在某一点（图1—3中的D点）耗尽了它的动能，速度为零，停止运动。而离开船体表面稍远的水质点，停止的位置便稍后一些。把所有停止运动即速度为零的点连接起来，便在边界层内得到一条速度为零的线，即图1—6中的DF线（从整体看，应是一速度为零的曲面）。显然，DF线从D点起便开始离开船体表面，也就是边界层脱离了船体表面，这种现象叫边界层分离。边界分离线与船体表面之间的水流质点在船尾高压作用下反向流动，而边界分离线外侧的水质点仍向后流动，水流交错的结果，便产生了旋涡，旋涡使船尾部压力下降，形成涡流阻力。实际流体流经舰体时水质点压力变化过程如图1—6中曲线 II 所示。

涡流阻力 $R_{\text{涡}}$ 可以表述如下式

$$R_{\text{涡}} = \frac{1}{2} \rho S C_{\text{涡}} V^2 \quad (1.2)$$

ρ —— 水的密度

$C_{\text{涡}}$ —— 涡流阻力系数

S —— 船体湿面积

涡流阻力的大小，与流体质点在船体后部的速度变化——速度梯度有很大关系。速度梯度大，边界层分离早，涡流阻力就大，反之则小。而速度梯度取决于船体最宽部分以后的长度，这部分的长度愈长，速度梯度愈小，涡流阻力也就愈小。所以中横剖面之后尾部急剧收缩的舰船，比中横剖面后线型变化平缓的船涡流阻力大。舰船水下部分通常呈流线型，所以，涡流阻力在总阻力中所占百分比较小，不是主要成分。

(三) 兴波阻力 ($R_{兴}$)

兴波阻力和摩擦阻力及涡流阻力不同，就是在理想流体界面行进的物体，也会产生兴波阻力。试以舰船在理想流体中航行，说明兴波阻力产生的原因。

舰船在水面航行时，舰体附近的水面将随同压力的变化而升降，中部压力低，水面便下降，首、尾端压力高，水面便上升。脱离了原来平衡位置的水质点，在重力作用下便产生振荡，并且向外传播振荡，于是形成了舰波。舰波的出现导致舰体周围压力分布的改变，其结果如图1-7所示：舰首部附近形成波峰，压力升高；舰尾附近出现了波谷，压力下降，由于这种原因形成的舰首、尾压力差，就是兴波阻力。舰船在海水中航行，兴波阻力产生的原因和量值的大小，与在理想流体中行进差不多。

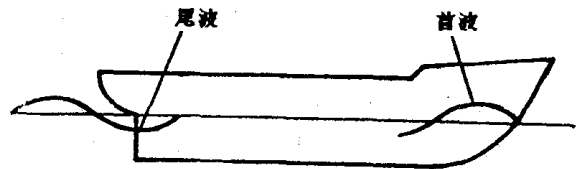


图1-7 兴波改变舰体压力分布

从能量角度说，由于舰船航行接连不断兴起的波浪，具有一定的能量，这一部分能量是舰船提供的，是靠消耗主机功率得来的，所以兴波导致阻力的产生。

舰波有两个波系，首波系和尾波系：首波系在首柱稍后产生，第一个波以波峰的形式开始，以后发展为首散波与首横波；尾波系在尾柱稍前产生，第一个波以波谷的形式开始，同样，也发展为尾散波和尾横波。

散波由许多单独的短波组成，各短波波峰中点近似在一条直线上，如图1-8所示，该直线与舰船运动方向成 $18^\circ \sim 20^\circ$ 的角度，称散波扩散角 $\alpha_{波}$ （各短波峰与舰船运动方向的交角约等于 $2\alpha_{波}$ ）。散波的高度从前往后逐渐减低。首尾散波互不相混。

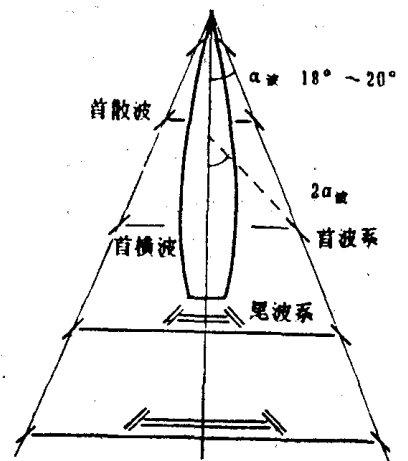


图1-8 舰波系

横波的波峰线与舰船运动方向垂直。首横波向后传播时宽度增加，波高减小，但波长不变，并与尾横波发生干扰。在舰尾部所见到的横波，实际上是首横波与尾横波的合成波。起始于尾柱之前的尾横波总是波谷开始，而首横波传播到舰尾附近时可能是波峰，也可能是波谷。若为波谷，则尾部合成波加强，首尾压力差加大，兴波阻力增强，这种干扰称为不利干扰（图1-9-a）。如首横波传播到舰尾附近为波峰，则结果与上述相反，称为有利干扰（图1-9-b）。横波干扰情况决定于舰速与舰长，当舰长一定而舰速改变时，干扰情况即随之改变。舰船设计时，应避免在常用速度段出现不利干扰。一般地说，舰体越长，横波干扰越弱。

兴波阻力 $R_{兴}$ 可以下式表述：

$$R_{兴} = \frac{1}{2} \rho S C_{兴} v^2 \quad (1.3)$$

$C_{兴}$ ——无因次兴波阻力系数

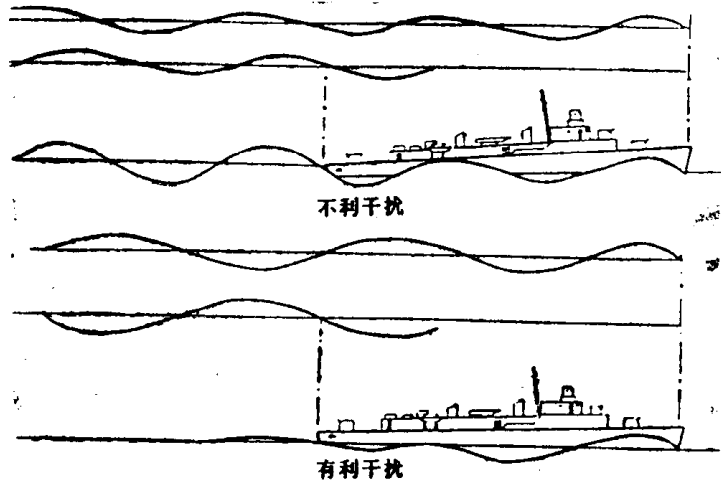
$C_{兴}$ 是变量，不是常量，它大致和傅汝德数* ($F_N = \frac{v}{\sqrt{gL}}$) 的4次方成正比例：

$C_{兴} \propto F_N^4$ 。图1—10是 $C_{兴}$ 随傅汝德数 ($F_N = \frac{v}{\sqrt{gL}}$) 的变化

曲线。兴波阻力曲线之所以出现若干“峰”与“谷”，是由于不利干扰和有利干扰所致。从上式不难推出， $R_{兴}$ 和航速的6次方 (v^6) 成正比例，所以尽管舰船低速航行时兴波阻力所占的比重很小，但随着航速的增加， $R_{兴}$ 将急剧增大，成为阻力的主要成分。从这里还可以看出，高速舰船航速略增，主机功率随即要大幅度增加的原因所在。

船型对兴波阻力有很大影响。为减小兴波阻力，舰首应造得尖瘦一些，长宽比 (L/B) 大一些。战斗舰船速度较高，所以其船型多为首部尖瘦、船体窄长。采用球鼻首也是减小兴波阻力的一种措施。球鼻首实际上就是在舰首下加一个向前伸出的球形体。在舰船常用速度范围，球鼻首兴起的波浪的波谷与首波的波峰处于同一位置，两者合成的结果，使首波的波高降低，达到减小兴波阻力的目的，如图1—11所示。球鼻首的缺点是给船舶的使用带来不便，例如在抛锚或靠离码头时易被碰坏，此外建造工艺也较为复杂。

导弹艇之类的高速艇，由于首波峰会随航速增加而明显后移，不宜用球鼻首而宜用消波水翼减小兴波阻力。水翼安装在首柱后面靠近高速航行时的首波峰处，高速航行时，其后部形成的低压区抑制了船首波波高，使兴波阻力减小 (图1—12)。



a. 不利干扰 b. 有利干扰
图1—9 舰首尾横波的干扰

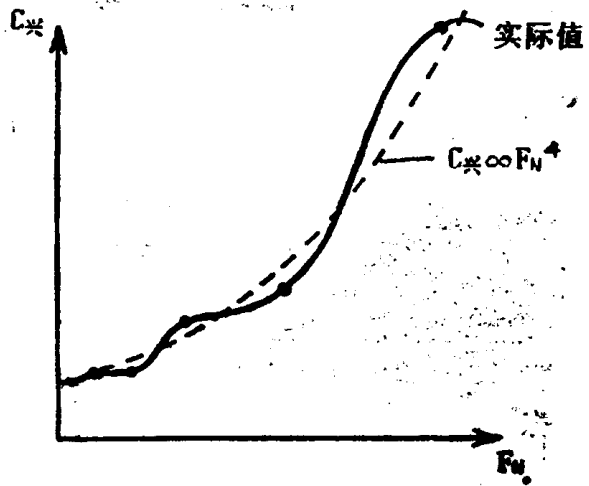


图1—10 兴波阻力系数曲线

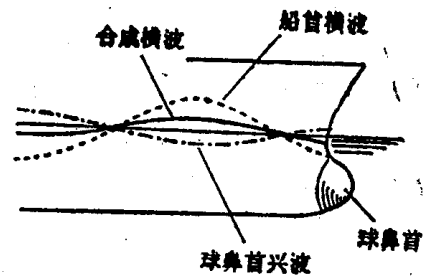


图1—11 球鼻首的作用

* 傅汝德 (Froude) 数：为无因次系数，以 F_N 表示，定义为 $F_N = \frac{v}{\sqrt{gL}}$ ， g ——重力加速度。理论证明，船模和实船的 F_N 相等，兴波阻力系数亦相等。因此 F_N 可用于船模、实船兴波阻力换算。

摩擦阻力、涡流阻力和兴波阻力在一般舰船不同速度段中占总阻力的百分比，大致如下表所示：

速度段		低速	中速	高速
F _N 的范围		<0.2	0.2—0.4	0.4—0.6
各种阻力百分比	R _摩	70%	50%	35%
	R _涡	20%	15%	10%
	R _兴	10%	35%	55%

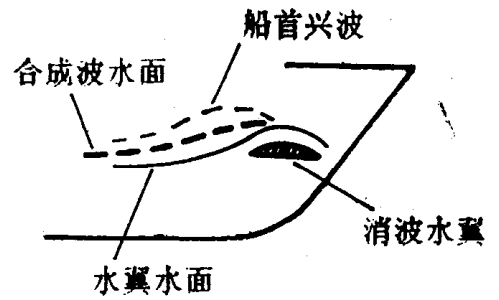


图1-12 消波水翼原理

以上所述为水对裸船体阻力，称裸船体阻力，此外还有附体阻力R_附和空气阻力R_风。附体阻力包括尾轴、尾轴支架、舵及舳龙骨等附件的阻力；空气阻力是舰体水上部分受到的包括自然风在内的空气阻力。这些阻力相对于裸船体阻力来说较小。这样，船的总阻力可写为：

$$R_x = R_{摩} + R_{涡} + R_{兴} + R_{附} + R_{风}$$

舰船总阻力（不含R_风）可以看成是F_N的函数，图1-13是总阻力和F_N关系的示意图。

上面分析的是舰船作匀速直线运动时所受到的水的作用力——水阻力。舰船设计主要考虑的是前进状态，所以用同样速度前进或后退，两相比较，舰船后退时的阻力大于前进时的阻力。

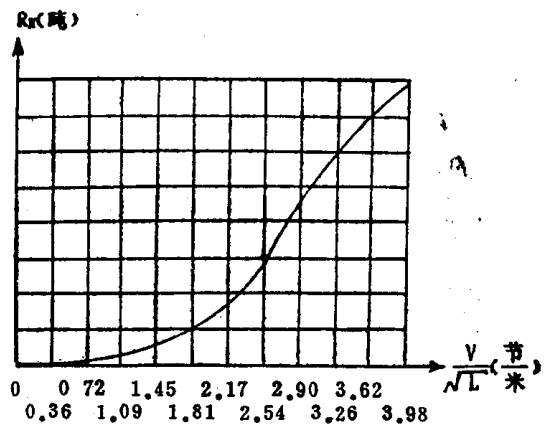


图1-13 总阻力和F_N关系曲线

三、舰船变速运动时水的作用力

舰船作变速运动时，除了水阻力之外，还要受到水的惯性力作用。这里以加速运动为例进行说明。

舰船在水中作加速运动，除了要克服质量惯性力外，还会带动周围一部分水作加速运动，其结果就好像船体增加了部分质量一样，所以舰船在水中作加速运动所受到的惯性力为：

$$F = (m + m') \frac{dv}{dt} \quad (1.4)$$

m'称为附加质量，F_惯 = m' $\frac{dv}{dt}$ 称为惯性水动力。惯性水动力是有方向性的，舰船横移的附加质量就比纵向运动的附加质量大得多。

舰船作有角加速度的旋回运动时，会受到惯性力矩的作用：

$$M = (J + \Delta J) \dot{r} \quad (1.5)$$

\dot{r} ——舰船旋回时的角加速度

J——船体转动惯量

ΔJ ——附加转动惯量

$M_{惯} = \Delta J r$ 称为惯性水动力矩。惯性水动力（矩）只和舰船作变速运动有关，当舰船作匀速运动时，一般说来这些力（矩）并不存在。

舰船的机动靠车舵作用，但车、舵作用的效果怎样，不仅仅取决于车舵本身，还要看舰体“响应”如何，也就是要看船体所受到的水阻力（矩）、惯性力（矩）的大小。而这些力和力矩的大小，如不考虑外来因素，取决于舰船吨位、船体线型、浮态和动态。一艘轻型舰船，易于旋回，易于加减速，然而一艘大型舰船，尤其是超大型舰船，旋回、加减速时惯性就大得多了，启动不易，停止也难。十几万吨的舰船从启动到处于常用速度，需要几个小时的时间。显而易见，大型舰船和小型舰船对车舵的“响应”是不同的。即使吨位相同，一艘细长而吃水深的舰船，和一艘丰满而吃水浅的舰船，对车舵响应的差异也很大，这就是研究舰船操纵性能，首先要分析船体所受水的作用力的原因所在。

四、船体、车、舵的相互作用

前面说的摩擦阻力、涡流阻力、兴波阻力、惯性水动力等等，是水给船体的作用力，船体则给水以大小相等、方向相反的作用力。在这些力的作用下，船体周围的水作复杂的流动，并伴随船体前进，所以称为伴流。伴流的产生，使车、舵不是在静水中而是在流向、流速复杂的水体中工作，从而产生一系列效应。舰体还遮蔽了车、舵的工作区域，造成遮蔽影响。下面结合螺旋桨和舵的作用详述这些效应和影响。

第三节 螺旋桨的作用

舰车的车、舵及其操纵设备、通讯系统的布置，大致如图 1—14 所示。舵系统由舵轮、操舵装置、舵原机、转舵（传动）装置组成。车由主机、轴系、推进器组成。指挥员通过车钟等通讯设备（应急车钟、蜂鸣器、电话、话筒、电铃）向机舱下达主机变速、换向的命令和接受机舱报告执行情况。车舵的实际工作状态，可以通过舵角复示器、主机转速表等得

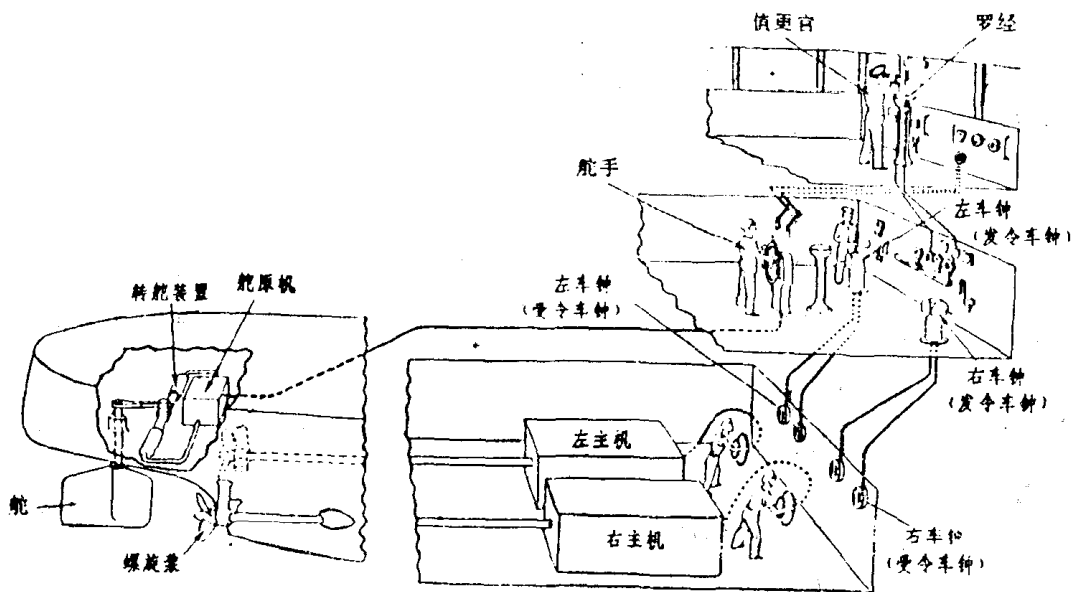


图1—14 舰船操纵设备布置图

知。随着舰船自动化的迅速发展，一些船舶已实现“驾机合一”，从而给舰船车、舵的操纵、通讯系统带来巨大变化。这里要说明一下“车”字。习惯上“车”既可单指推进器，又可单指主机，又是主机——推进器系统的总称，它的含意是宽泛的。

舰船的主机通过轴系驱动推进器，推进器和水作用，才能获得舰船所需的推力。由于运动部件、轴系、推进器的损耗和运动转换（把主机的旋转运动变为驱动舰船作直线运动的），其功率损失很大，对螺旋桨而言达40%左右。

推进器的种类很多，舰船中使用最广泛的推进器是螺旋桨。

一、螺旋桨的结构、几何特征和配置

螺旋桨的特点是推速效率较高，结构简单，工作可靠。螺旋桨由3—5个桨叶安装于桨毂上而成。当主机带着它在水中旋转时，便产生推力，使船前进或后退。

（一）结构

螺旋桨由黄铜（铜锌等的合金）或不锈钢、炭素钢、铸铁等材料制成。黄铜具有好的铸造性和加工性，抗海水腐蚀性和坚固性好，军舰采用较多。螺旋桨一般桨叶和桨毂整体铸造在一起。少数螺旋桨桨叶和桨毂分别铸造，然后再用螺栓固连起来。

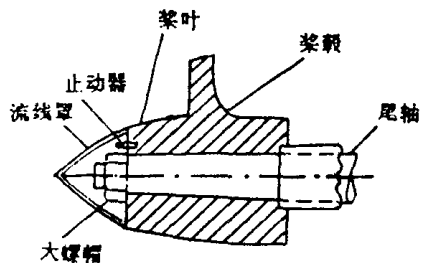


图1-15 螺旋桨的安装

螺旋桨固定于尾轴的方法如下：桨毂中心是圆锥形孔，桨毂与尾轴都开有键槽，桨毂套入尾轴后加键固连，尾轴最后端有螺纹，螺纹方向与螺旋桨进车旋转方向相反，螺旋桨固定于尾轴后，再旋上一个大螺帽，螺帽上还加上插销或别的止动器。在大螺帽外面罩上一个整流罩，以减小涡流阻力（图1-15），小艇螺旋桨的大螺帽与整流罩往往合二而一，以简化结构。

（二）几何特征

螺旋桨分左旋和右旋两种，从舰尾向前看，进车时顺时针旋转的称右旋螺旋桨；反时针旋转的称左旋螺旋桨（图1-16）。

螺旋桨的几何特征如下：

1. 叶面和叶背

舰船前进时，桨叶推水的一面称叶面，相反的一面称叶背。桨叶具有一定厚度，且叶背呈圆弧形，而叶面却比较平直。

2. 叶根与叶梢

桨叶与桨毂连接的部分称叶根，桨叶的末端称叶梢，叶根处剖面最厚，叶梢处最薄。螺旋桨正转时，桨叶击水的边缘称为导边，相反的一边称为随边。

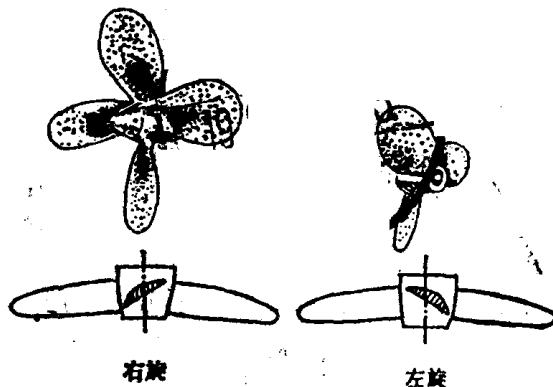


图1-16 左旋和右旋螺旋桨

3. 螺旋桨直径

螺旋桨旋转时，叶梢绕尾轴中心线的轨迹圆的直径为螺旋桨直径，以符号D表示。

4. 盘面积

上述叶梢所画的圆称盘，盘所包围的面积，称盘面积，以符号A表示。

盘面积的表达式为：

$$A = \frac{\pi}{4} D^2 \quad (1.6)$$

5. 叶片后倾角

桨叶正面与通过叶根中心的垂线之间的夹角称叶片后倾角。当需要加大推进器而受到船尾推进器上下空间限制时，通常把桨叶向后倾斜以增大其直径。一般叶片后倾角限制在 15° 以下（图1—17）。

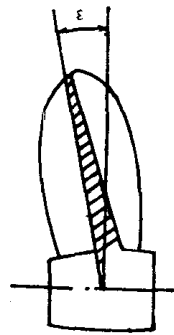


图1—17 桨叶后倾角

6. 螺旋线、螺旋面、螺距

螺旋桨在水中运动相似于螺杆在螺母内运动，如图1—18所示。设直线ab与轴线 OO_1 成固定角度并使ab直线以匀角速度绕 OO_1 轴旋转，同时沿 OO_1 轴匀速移动，则直线ab绕轴运动在空间所描绘的曲面称为螺旋面，直线ab称为母线。母线绕轴运动一周前进的距离为螺距，以符号H表示。

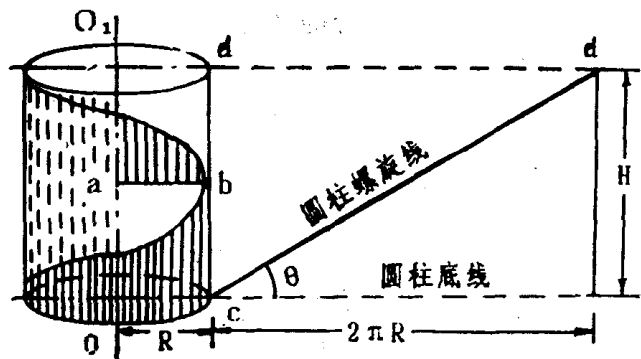


图1—18 螺旋线、螺旋面、螺距

螺距H与螺旋桨直径D之比称螺距比，即 H/D 。螺距比要和舰船工作状况性匹配，一般负荷大、速度慢的船， H/D 较小，负荷小速度快的船， H/D 值较大。主机转速高的船，其 H/D 也较小。

7. 叶片面积

指桨叶推水的面积，以 A_d 表示。

8. 盘面比

叶面积与盘面积的比称盘面比，即 A_d/A 。盘面比大说明桨叶的叶面宽。

(三) 螺旋桨的配置

在这里把舰船螺旋桨和舵的配置结合起来叙述。

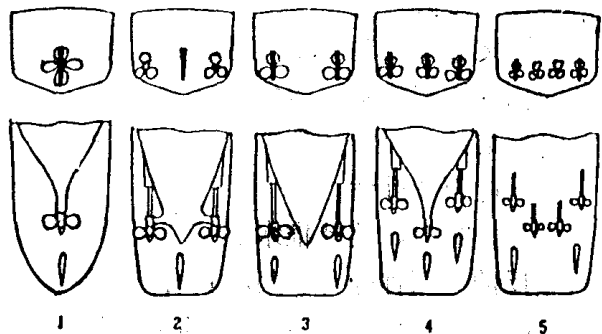


图1—19 螺旋桨和舵的配置

舰船配置螺旋桨和舵的数目根据舰种的使命而定：拖船、补给船等勤务船一般只有一部主机，一个螺旋桨，并且多采用右旋螺旋桨，舵配置在螺旋桨的正后方桨叶工作水流的区域里，为单舵，如图1—19—1。战斗舰船一般配有两部主机，两个螺旋桨，并且多采用外旋式安装，即在右舷安装右旋螺旋桨，在左舷安装左旋螺旋桨，两个舵配置在螺旋桨的正后方，如图1—19—3。少数双螺旋桨舰船只配一个舵，位于首尾线上，如图1—19—2。我军21型导弹艇装三部主机，三个螺旋桨，三个舵，配置如图1—19—4。部分高速艇上装有四部主机、四个螺旋桨，通常右舷安装两个右旋螺旋桨，左旋安装两个左旋螺旋桨，舵的配置有双舵（图1—19—5）和四个舵两种形式。