

高等学校试用教材

---

# 船舶原理

(海洋船舶驾驶专业用)

大连海运学院 蒋维清等编



人民交通出版社

高等学校试用教材

# 船舶原理

(海洋船舶驾驶专业用)

大连海运学院 蒋维清等编

人民交通出版社

高等学校试用教材

**船舶原理**

(海洋船舶驾驶专业用)

大连海运学院 蒋维清等编

人民交通出版社出版

(北京市安定门外和平里)

北京市书刊出版业营业许可证出字第 006 号

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本: 787×1092<sub>1/16</sub> 印张: 10.75 插页: 1 字数: 237 千

1979年11月 第1版

1979年11月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—7,400册 定价: 1.10元

## 内 容 提 要

本书包括船舶原理和船体强度两部分，共分十一章，船体的形状；船体的近似计算；浮性；稳性；吃水差；抗沉性；船体强度；阻力；推力；摇荡性；操纵性。

本书第七章由韩寿家编写，第八章由吴文栖编写，其余各章由蒋维清编写，最后由蒋维清统稿。

本书是为海洋船舶驾驶专业编写的教材，并可供海船驾驶员参考。

# 目 录

概论.....	1
第一章 船体的形状.....	5
第一节 型线图.....	5
第二节 主尺度.....	7
第三节 主尺度比和船体系数.....	9
第二章 船体的近似计算.....	13
第一节 船体近似计算的坐标系.....	13
第二节 船体近似计算法则.....	14
第三章 浮性.....	20
第一节 浮体的平衡条件和漂浮状态.....	20
第二节 船舶的重量和重心.....	23
第三节 船舶的排水量.....	32
第四节 船舶的浮心.....	37
第五节 邦戎曲线图.....	40
第六节 费尔索夫图谱.....	42
第七节 每厘米吃水吨数.....	44
第八节 漂心纵向座标.....	47
第九节 舷外水密度改变对吃水的影响.....	48
第十节 储备浮力.....	50
第四章 稳性.....	53
第一节 稳定平衡的条件.....	53
第二节 稳性的定义.....	55
第三节 初稳心高度.....	57

第四节	初稳性方程式的应用	68
第五节	静稳性图	90
第六节	静平衡角和动平衡角	110
第七节	动稳性图	116
第八节	横倾力矩	118
第九节	稳性规范	127
<b>第五章</b>	<b>吃水差</b>	<b>140</b>
第一节	纵稳性方程式	141
第二节	纵稳心高度	142
第三节	纵稳性方程式的应用	144
第四节	纵倾水线下的排水量	159
第五节	拱垂情况下的排水量	161
第六节	静水力曲线图	164
<b>第六章</b>	<b>抗沉性</b>	<b>165</b>
第一节	破舱浮性和稳性计算	166
第二节	船舶的分舱	173
<b>第七章</b>	<b>船体强度</b>	<b>180</b>
第一节	船体强度概述	180
第二节	总纵弯曲力矩和剪力计算	182
第三节	中横剖面模数和应力计算	194
第四节	局部强度	197
<b>第八章</b>	<b>阻力</b>	<b>198</b>
第一节	概述	198
第二节	基本阻力	204
第三节	相似定律	209
第四节	基本阻力的估算	216
第五节	基本阻力的百分数	220
第六节	附加阻力	224

第七节	浅水对阻力的影响	237
第八节	浅水对吃水的影响	240
第九节	船吸现象	245
<b>第九章</b>	<b>推力</b>	<b>247</b>
第一节	螺旋桨的形状和结构	247
第二节	机翼的升力和阻力	251
第三节	螺旋桨的推力特性	253
第四节	船体和螺旋桨的相互影响	259
第五节	利用螺旋桨转速估算船速	264
<b>第十章</b>	<b>摇荡性</b>	<b>266</b>
第一节	船在静水中的横摇	267
第二节	纵摇和垂荡运动的周期公式	270
第三节	船在波浪中的横摇	271
第四节	减摇装置	282
<b>第十一章</b>	<b>操纵性</b>	<b>286</b>
第一节	回转圈	287
第二节	Z形操纵	303
第三节	冲程	305
第四节	舵力	310
第五节	系泊时推力	322
第六节	系泊时水阻力	323
第七节	系泊时风力	327
第八节	螺旋桨横向力	329

## 概 论

船舶在风浪中航行时，其运动情况比较复杂。通常将船舶的复杂运动简化分解为如下六个自由度的运动（图0-1）：

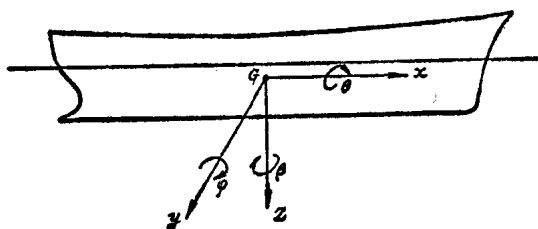


图0-1 船舶的运动

{	纵荡（行驶）运动	$F_x = m_x a_x$	(0-1)
	横荡（横移）运动	$F_y = m_y a_y$	
	垂荡	运动 $F_z = m_z a_z$	
	横摇	运动 $M_x = J_x \theta''$	
	纵摇	运动 $M_y = J_y \varphi''$	
	首摇（回转）运动	$M_z = J_z \beta''$	

图0-1中， $G$ 为船舶的重心， $x$ 为过重心 $G$ 的首尾向轴（纵向轴）， $y$ 为过重心 $G$ 的左右向轴（横向轴）， $z$ 为过重心 $G$ 的上下向轴（垂向轴）， $\theta$ 为绕 $x$ 轴转动时的横倾角， $\varphi$ 为绕 $y$ 轴转动时的纵倾角， $\beta$ 为绕 $z$ 轴转动时的转向角。

式0-1中，上面三项是船舶的平移运动，下面三项是船舶的转动运动。 $F_x$ 、 $F_y$ 或 $F_z$ 分别是各作用力在 $x$ 、 $y$ 或 $z$ 方向分力的合力。 $m_x$ 、 $m_y$ 或 $m_z$ 分别是船舶及其沿 $x$ 、 $y$ 或 $z$ 方向



附连水的质量。 $a_x$ 、 $a_y$ 或 $a_z$ 分别是船舶沿 $x$ 、 $y$ 或 $z$ 方向平动时的加速度。 $M_x$ 、 $M_y$ 或 $M_z$ 分别是各作用力对 $x$ 、 $y$ 或 $z$ 轴的合力矩。 $J_x$ 、 $J_y$ 或 $J_z$ 分别是船舶及其附连水对 $x$ 、 $y$ 或 $z$ 轴的质量惯性矩。 $\theta''$ 、 $\varphi''$ 或 $\beta''$ 分别是船舶对 $x$ 、 $y$ 或 $z$ 轴转动的角加速度。

式 0-1 中，船舶的三项平动是根据牛顿第二定律列出的船体平移运动方程式，船舶的三项转动是根据理论力学中刚体绕定轴转动定理列出的船体转动运动方程式。

当船舶运动时，使船体周围的一部分水随船运动，这部分水的质量称为附连水质量。

以行驶运动为例，则式 0-1 右边第一项可表示为

$$m_x = W + \Delta m_x \quad (0-2)$$

式中： $W$ ——船舶的质量；

$\Delta m_x$ ——沿 $x$ 向附连水质量的平均值。

通常，船舶单纯沿 $x$ 轴平动时其附连水质量平均值约为船舶质量的20%。

同理有

$$\begin{cases} m_y = W + \Delta m_y \\ m_z = W + \Delta m_z \end{cases} \quad (0-3)$$

对转动时船舶及其附连水质量惯性矩，则有

$$\begin{cases} J_x = J_{x_0} + \Delta J_x \\ J_y = J_{y_0} + \Delta J_y \\ J_z = J_{z_0} + \Delta J_z \end{cases} \quad (0-4)$$

式中： $J_{x_0}$ 、 $J_{y_0}$ 或 $J_{z_0}$ 分别是船舶对 $x$ 、 $y$ 或 $z$ 轴的质量惯性矩； $\Delta J_x$ 、 $\Delta J_y$ 或 $\Delta J_z$ 分别是附连水对 $x$ 、 $y$ 或 $z$ 轴的质量惯性矩。

本书包括船舶原理和船体强度两部分。船舶原理是研究船舶平衡和运动规律的一门科学，其理论基础是理论力学和流体力学。船舶原理是流体力学的一个分支，因此也称为船

船流体力学。本书系统介绍了船舶的浮性、稳性、抗沉性、快速性、摇荡性和操纵性的基本原理和计算方法，为船舶配载和船舶航行及操纵提供必要的理论基础和估算方法。

**浮性**——船舶在各种载重情况下，保持一定浮态的性能。浮态：船舶在静水中的平衡状态。主要指船的吃水、纵倾角和横倾角。本书将浮性分为正浮条件下的浮性和纵倾条件下的浮性，并简称为浮性和吃水差。

**稳性**——船舶受外力作用离开平衡位置而倾斜，当外力消除后能自行恢复到平衡位置的性能。

**抗沉性**——船舱进水后船舶仍能保持一定浮态和稳性的性能。

**快速性**——表征船舶在静水中沿前进方向直线航行速度的性能。它包括船舶阻力和推进器推力两个组成部分。

**摇荡性**——船舶作周期性的摇摆和偏荡运动的性能。本书介绍横摇、纵摇和垂荡。横摇 (Rolling)：船舶绕  $x$  轴 (图0-1) 所作周期性的角位移运动。纵摇 (Pitching)：船舶绕  $y$  轴所作周期性的角位移运动。垂荡 (Heaving)：船舶沿  $z$  轴所作周期性的上下升沉运动。横摇、纵摇和垂荡运动具有共同的基本规律。由于横摇运动直接影响船舶安全，为此本书以横摇为例，介绍横摇运动的规律，并给出纵摇和垂荡的周期估算公式。

**操纵性**——船舶能保持或改变航速、航向和位置的性能。本书介绍回转性、 $z$  形操纵和冲程，以及螺旋桨、舵、风和流单独作用于船舶时的力。回转性 (Turning Quality)：船舶应舵绕瞬时回转中心作圆弧运动的性能。 $z$  形操纵试验 (Zig-zag maneuver test)：操舵后，在船首向改变量达到舵角等值时换操反舵以确定船舶操纵性响应特征的试验。停船冲程 (Headreach)：停车或倒车后，船舶沿原航向惯性

前移的最大距离。

船体强度是研究船体结构抵抗内外作用力能力的一门科学，其理论基础是材料力学和结构力学。船体强度是结构力学的一个分支，因此也称为船舶结构力学。本书简要介绍计算船体总纵强度的基本概念。

本书在编写过程中得到上海海运局吴灏船长，上海海运学院刘百庸付教授、俞颖生船长、吴长仲等，大连海运学院陈桂卿、王逢辰、胡玉琦等的热情支持，并对本书初稿提出许多宝贵意见，特此致谢。

# 第一章 船体的形状

## 第一节 型线图

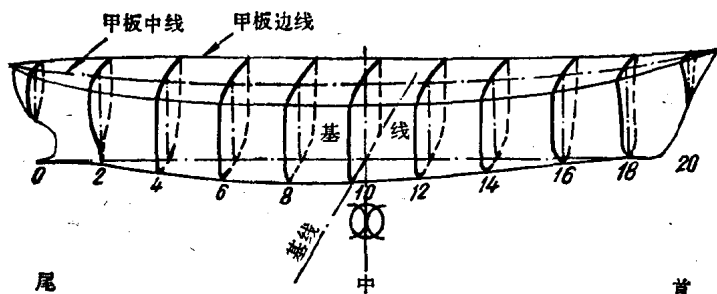


图1-1 船体形状

船舶航海性能的好坏和船体几何形状密切相关。

船体几何形状通常是指船体的外形、大小、肥瘦和表面光滑程度。如图1-1所示，船体形状在船中（Midship）（船中为船长的中点，用符号 $\text{中}$ 表示）附近比较肥胖，而向首和尾逐渐瘦削。船体表面应尽可能光滑，以减少航行时的船体阻力。船舶的甲板边线自船中向首和尾逐渐升高，甲板的这种升高称为“舷弧”（Sheer），首垂线处的甲板升高称为“首舷弧”，首舷弧值约为船长的2%，而尾舷弧约为首舷弧的一半。甲板中线比其左右两舷的甲板边线高，其高度差称为“梁拱”（Camber），梁拱约为船宽的2%。甲板的舷弧和梁拱，有利于减少甲板上浪，使甲板水自首尾流向船中，且自甲板中线流向两舷，排出舷外。

表示船体几何形状的图称为“型线图”(Lines plan)。它是根据画法几何的基本原理,并按照一定的比例尺绘制。除了木船之外,所有船舶的型线图均采用不包括船壳板厚度在内的船体表面(即肋骨以外、船壳板以内的船体表面)来表示船体的几何形状。这种船体表面称为“型表面”,从型表面上量下来的尺度称为“型尺度”。

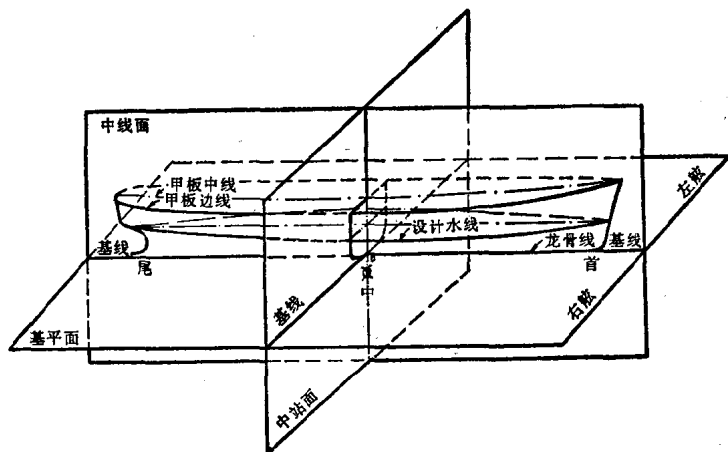


图1-2 三个互相垂直的基准面

在型线图上取三个互相垂直的基准面(图1-2),它们是中纵面(Central longitudinal plane)、中站面(Midstation plane)和基平面(Base plane)。

中纵面——将船体分为左右舷两个对称部分的纵向垂直平面。中纵面上的船体剖面称为中纵剖面。

基平面——过龙骨线和中站面的交点O,并平行于设计水准面的平面。

中站面——在船长中点处垂直于中纵面和基面的横向平面。

基线——指基平面和中纵面(或基平面和横向垂直平

面) 相交的直线。

如图1-1所示, 平行于上述三个基准面, 等间距截取若干个剖面, 并把这些剖面各自投影于相应的基准面上, 组成型线图(图1-3)的三个组成部分, 即横剖线图(Body plan)、纵剖线图(Sheer plan)和半宽水线图(Half breadth plan)。在横剖线图上, 表示出船体型表面自首至尾各横剖面的形状, 而纵剖面和水线面在横剖线图上的投影则均为直线。由于船体形状左右对称, 故各横剖面只须画出一半, 左半边表示自船尾至船中(0至10)各横剖面的形状, 右半边则表示自船中至船首(10至20)各横剖面的形状。在纵剖线图上, 表示出各纵剖面的形状, 而横剖面和水线面在纵剖线图上的投影则均为直线。在半宽水线图上, 表示出各水线面的形状, 而横剖面和纵剖面在半宽水线图上的投影则均为直线。根据画法几何的基本原理, 在上述图中某一投影面上的一点, 都能在其他两个投影面上找到对应点。通常, 在绘制型线图时, 利用这种关系来校验型线图是否正确无误。

在船中前后有一段横剖面形状和中横剖面(船中处的船体横剖面)相同的船体, 称为平行中体(Parallel middle body)。中横剖面之前称为前体, 之后称为后体。

船厂或设计单位根据型线图量得的型尺度, 利用近似计算法则, 进行浮性、稳性、抗沉性和船体强度等问题的数值计算, 并将计算结果提供给船员使用。

## 第二节 主 尺 度

船舶的主尺度(Principal dimensions)指船长、型宽、型深和吃水。海船主尺度的数值根据《钢质海船建造规范》规定的定义量取。其定义要点及符号如下(图1-4)。

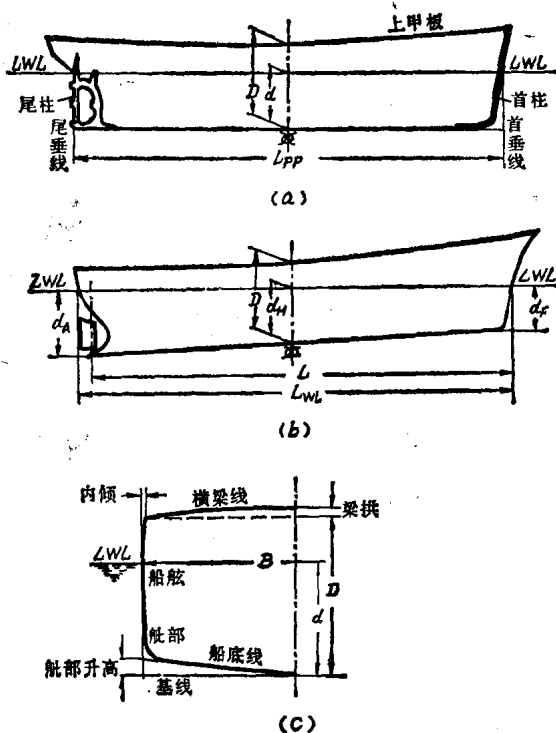


图1-4 主尺度

$L$ ——船长 (Length)：沿设计夏季载重水线，由首柱前缘量至舵柱(尾柱)后缘的长度；对无舵柱的船舶，由首柱前缘量至舵杆中心线的长度；但均不得小于夏季载重水线长  $L_{WL}$  (Length on summer load waterline) 的 96%。由首柱前缘量至舵柱后缘的长度，称为两柱间长  $L_{BP}$  (Length between perpendiculars)。

$B$ ——型宽 (Moulded breadth)：在船舶最宽处，由一舷的肋骨外缘量至另一舷的肋骨外缘之间的水平距离。

$D$ ——型深 (Moulded depth)：在船长中点处，沿船

舷由平板龙骨上缘量至上层连续甲板横梁上缘的垂直距离。

$d$ ——型吃水 (Moulded draft)：在船长中点处，由平板龙骨上缘量至夏季载重水线的垂直距离。

对具有设计纵倾的船舶，则其吃水是指首尾吃水的平均值，即

$$d_M = \frac{d_F + d_A}{2} \quad (1-1)$$

式中： $d_M$ ——平均吃水 (Mean draft)；

$d_F$ ——首吃水 (Fore draft)；

$d_A$ ——尾吃水 (Aft draft)。

首尾吃水的差值称为吃水差  $t$  (Trim)，即

$$t = d_F - d_A \quad (1-2)$$

当  $t$  为正值时，船舶首纵倾；为负值时，船舶尾纵倾；为零时，则船舶没有纵倾。

船舶既无纵倾又无横倾的状态称为正浮状态。

现代船舶在正浮时，其型吃水和实际吃水仅相差平板龙骨的厚度。平板龙骨厚度： $L=100$ 米时，约18毫米； $L=150$ 米时，约25毫米； $L=200$ 米时，约31毫米。

型深与吃水的差值称为干舷高度  $F$  (Free board)，即

$$F = D - d \quad (1-3)$$

注：在确定干舷高度时，其主尺度定义见《海船载重线规范》。

### 第三节 主尺度比和船体系数

#### 一、主尺度比

船舶的主尺度只表示船舶的大小，而为了研究船舶的各种性能，常用主尺度比来粗略地表示船体形状的特征。主尺度比如下：



$\frac{L}{B}$ ——长宽比，其大小与速航性的好坏有关；

$\frac{B}{d}$ ——宽吃水比，与稳性、摇荡性、速航性和操纵性有关；

$\frac{D}{d}$ ——深吃水比，与稳性、抗沉性和船体强度有关；

$\frac{B}{D}$ ——宽深比，与船体强度和稳性有关；

$\frac{L}{D}$ ——长深比，与船体强度和稳性有关。

## 二、船体系数

船体系数也是粗略地表示船体形状的特征数，常见的船体系数如下：

### 1. 水线面系数

水线面系数 $C_w$  (Waterplane coefficient) 是水线面积 $A_w$ 与船长 $L$ 乘型宽 $B$ 的矩形面积之比 (图1-5)，即

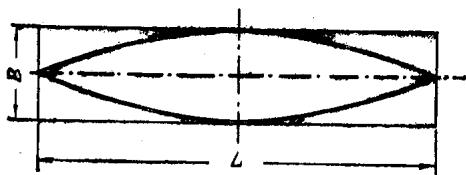


图1-5 水线面

$$C_w = \frac{A_w}{L \times B} \quad (1-4)$$

$C_w$ 值的大小表示水线面形状的肥瘦程度。