

教育部高职高专教育教学改革试点专业教材

船舶原理

张新光 主编

李文 主审



CHUANBO YUANLI

大连海事大学出版社

教育部高职高专教育教学改革试点专业教材

船舶原理

张新光 主编

李文 主审

大连海事大学出版社

©张新光 2007

图书在版编目 (CIP) 数据

船舶原理 / 张新光主编. —大连: 大连海事大学出版社, 2007. 12

(教育部高职高专教育教学改革试点专业教材)

ISBN 978-7-5632-2122-6

I. 船... II. 张... III. 船舶原理—高等学校: 技术学校—教材 IV. U661

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 201014 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

大连市东晟印刷有限公司印装

大连海事大学出版社发行

2007 年 12 月第 1 版

2007 年 12 月第 1 次印刷

幅面尺寸: 185 mm×260 mm 印张: 6.75

字数: 170 千 印数: 1~2000 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 978-7-5632-2122-6 定价: 11.00 元

内 容 简 介

全书共七章。内容包括船体几何要素及近似计算、浮性、稳性、抗沉性、船体强度、阻力与推进、船舶摇荡等，书后有附录。

本书为航海类船舶驾驶和航海技术等相关专业教材，是教育部高职高专教育教学改革试点专业教材。

前 言

船舶原理是研究船舶各种航海性能的一门学科，与船舶的使用效能和航行安全有着密切的联系。

本教材是根据航海技术（海洋船舶驾驶）专业《船舶原理》教学大纲编写的，符合国际和国内最新法规、公约的要求，从驾驶员应知应会和提高分析处理运输船舶实际问题的能力出发，对原教材各章节做了简化、归纳和整合，使之更好地与专业课衔接。

本教材由青岛远洋船员学院张新光主编，李文主审，刘臣校对，在编写过程中得到了很多同志的支持和帮助，在此表示由衷的感谢。

编 者。

2007年12月

目 录

第一章 船体几何要素及近似计算	(1)
第一节 船舶主尺度.....	(1)
第二节 船型系数.....	(6)
第三节 型线图.....	(7)
第四节 船体近似计算.....	(10)
第二章 浮性	(17)
第一节 船舶在静水中的平衡条件及浮态.....	(17)
第二节 船舶重量及重心计算.....	(19)
第三节 航区水密度对吃水的影响.....	(21)
第四节 储备浮力及载重线标志.....	(23)
第三章 稳性	(26)
第一节 概述.....	(26)
第二节 初稳性.....	(27)
第三节 静水力曲线图.....	(30)
第四节 载荷移动对稳性及浮态的影响.....	(33)
第五节 少量装卸对稳性及浮态的影响.....	(36)
第六节 大量装卸对稳性及浮态的影响.....	(38)
第七节 悬挂和自由液面对稳性的影响.....	(41)
第八节 大倾角横稳性及静稳性曲线.....	(45)
第九节 动稳性.....	(50)
第十节 稳性规范及稳性调整措施.....	(51)
第四章 抗沉性	(57)
第一节 概述.....	(57)
第二节 船舶分舱.....	(58)
第三节 船舶抗沉能力分析.....	(59)
第五章 船体强度	(61)
第一节 概述.....	(61)
第二节 计算总纵弯矩和剪力.....	(62)
第三节 计算弯应力及许用弯应力.....	(64)
第四节 运输船舶总纵强度的判别与控制.....	(66)
第六章 阻力与推进	(71)
第一节 阻力.....	(71)
第二节 推力.....	(75)

第七章 船舶摇荡.....	(82)
第一节 概述.....	(82)
第二节 横摇.....	(83)
第三节 船舶减摇措施和装置.....	(86)
附录 1 典型装载情况下的静稳性资料.....	(88)
附录 2 稳性报告书.....	(91)
附录 3 强度计算(经验公式计算法).....	(96)
参考文献.....	(100)

第一章 船体几何要素及近似计算

船体的几何形状对于船舶的航海性能和使用性能有很大的影响。近似计算方法是船舶静力学的计算基础。本章中所述的船体几何形状是指最上层连续甲板以下的船体表面形状，包括水上和水下部分。我们用主尺度、船型系数、船体型线图等要素全面表述船体几何形状的确切概念，然后介绍船体的近似计算方法。

第一节 船舶主尺度

船体的外形是利用三个基本平面(中线面、中站面、基平面)作为确定依据的，如图 1-1 所示。

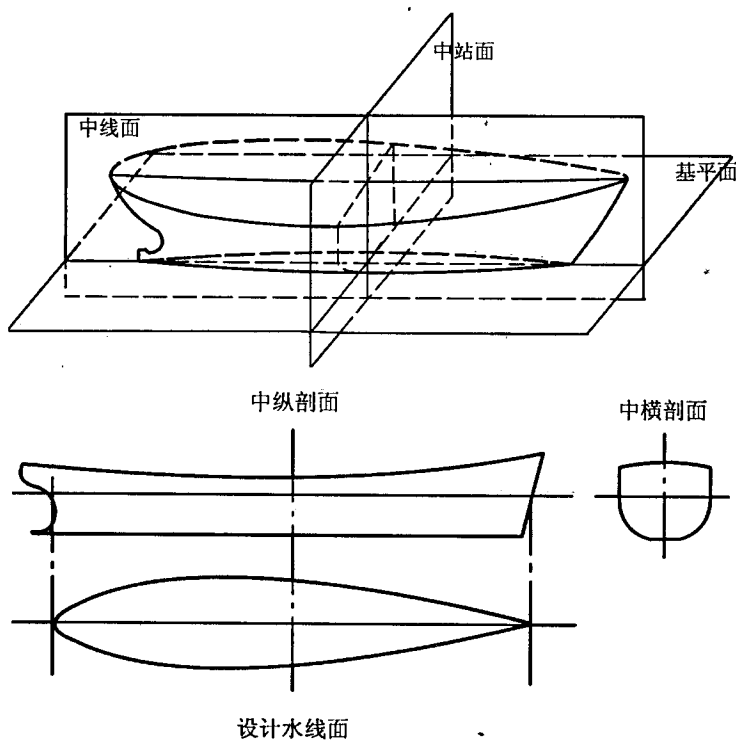


图 1-1 三个互相垂直的剖面

一、船体的三个互相垂直的平面

由三个基本平面与船体相交，得到三个互相垂直的剖面。中线面上的船体剖面称为中纵剖面。中纵剖面是通过船体上甲板中线的垂向平面，它把船体分为左右舷两个对称的部分。中站面上的船体剖面称为中横剖面，中横剖面是通过船长中点(垂线间长中点)的横向中垂剖面，它把船体分为前后两部分。基平面是通过船长中点龙骨上缘的水平面，上移到设计吃水高度时与船体的相交面称为设计水线面。设计水线面是船舶在规定的设计载荷下所漂浮的水

平面，它把船体分为水上和水下两部分。

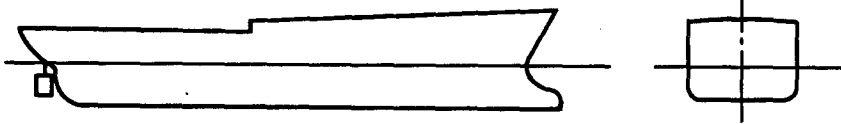
1. 中纵剖面(central longitudinal section)

中纵剖面反映了船体的侧面形状，表示出甲板线、龙骨线以及首、尾部的轮廓线。甲板线分直线型和舷弧型两种。舷弧(sheer)是沿船长各处的甲板边线高度与在船中部甲板边缘处作与水线面平行的水平切线间的高度的差值。海洋船舶的甲板线一般是一条自船中分别向首尾两端升高的曲线，在首垂线处的差值为首舷弧，尾垂线处的差值为尾舷弧。目前不少船舶常采用标准舷弧，其公式为：

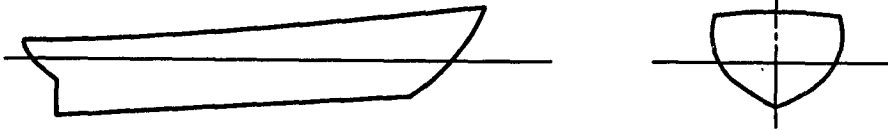
$$\text{首舷弧高度} = 1.666L + 50.8(\text{cm})$$

$$\text{尾舷弧高度} = 0.833L + 25.4(\text{cm})$$

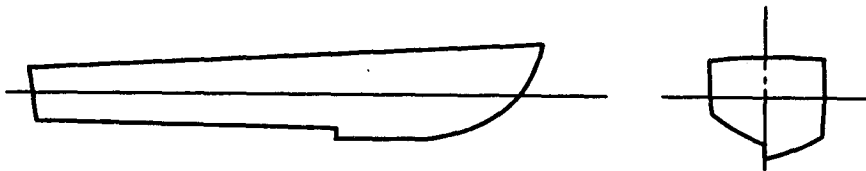
首部甲板抬高是因为要防止上浪，保持船首甲板干燥以便于水手操作和保证安全。现代大型船舶由于船体巨大，上层甲板高出水面甚多，已使舷弧不再必要，为了简化工艺，多采用平甲板。



(a)具有巡洋舰式船尾和球鼻首的海洋运输船



(b)龙骨线纵倾和具有切削首的渔轮



(c)船底为阶梯形的快艇

图 1-2 船体轮廓的形状

一般运输船和军舰的龙骨线是水平的，这样便于制造和进坞修理。拖船和渔轮的龙骨线一般都做成向尾倾斜的，这样就可以装置较大直径的螺旋桨而增大船的推力，如图 1-2 (b) 所示。潜水艇是为了改善其回转性，因而减小首尾两端的侧面面积，把甲板和龙骨都做成弧形。有些快艇的船底则做成阶梯形，使船舶在高速航行时产生水动力将船舶升举而在水面滑行，如图 1-2 (c) 所示。

现代大多数船舶往往有向前倾斜的首柱，下端呈圆弧形。这种船首不仅外形美观，而且增大了船首甲板面积。近年来有不少船舶为了改进船舶的适航性，把首柱的下部做成球鼻形，这就是所谓球鼻首。也有些船舶为了减小船体水下外壳表面的面积和改善船首处的水流而把船首做成斜削形。破冰船的船首形状是显著的斜削形，那是为了使船首能冲上并压碎冰层。

军舰的首柱和龙骨相接处几乎没有圆弧，这是为了便于装设扫雷工具。

现代船舶多采用巡洋舰式船尾，这不仅是为了获得较好的尾部水流，改进船舶的速航性，而且对舵也起了较好的保护作用。巡洋舰式船尾的形式很多，军舰为了改善快速性和回转性，把船尾伸出较长且下部切削较多。方形尾也是巡洋舰尾的一种，使甲板尾端的形状便于布雷、撒网，因此为某些舰艇和渔轮所采用。同时方尾也简化了制造工艺，所以目前也为一些运输船舶所采用，如图 1-2 (a) 所示。

2. 中横剖面(midship section)

船舶的横剖面是左右对称的，它由横梁线、舷侧线和船底线组成，如图 1-3 所示。

为了迅速排除甲板积水，船舶的甲板从中线逐渐向两舷下降，下降度称为梁拱(camber)，幅度约为船宽的 2%。

船舶的舷部有垂直的，有向舷内倾斜的，内倾度称为内倾(tumble home)，也有向舷外展开的，称为外倾(flare)。

船底(ship bottom)有平底(flat bottom)和尖底(sharp bottom)两种。船底板从龙骨板向左右延伸，如果沿水平方向延伸，则整个船底是水平的，称为平底船。许多内河船为了在最小的吃水有最大载重量而造成平底的。如果沿一定坡度向两舷延伸，则船底是倾斜的，称为尖底。船底的倾斜程度用船底板延伸线与横向基线的夹角表示，该角称为升角(angle of rise)。

可用船底线与横向基线间在舷侧的距离来表示，该距离称为底部升高(Rise floor)，其大小根据船型而异。形状丰满的货船其值较小，这样可增大货舱的容积。形状削瘦的船舶一般有较大的升角以减少水阻力以及配合较大的艏半径、升角和底部升高。

舷侧和船底的连接处称为舭部(bilge)，货船舭部的形状多呈圆弧形。采用舭圆弧的目的是使舷侧板和船底板相接处可以有光顺而圆滑的表面。舭部具体形状由舭圆弧的半径决定。形状丰满的货船常用较小的半径，在两舷和船底间形成小圆角。

3. 设计水线面(designed waterline section)

设计水线面表示船舶设计水线的形状，其左右对称。低速运输船舶为了改善货舱的布置和简化制造工艺，把船长中部一段的横剖面的大小和形状保持不变，这段船体称为平行中体(parallel middle body)

二、型尺度

型尺度(moulded dimensions)是制造用于船舶性能试验的船体模型及进行主要航海性能计算用的船舶尺度。型表面是指不包括附体的船体外形的设计表面。规定金属船舶的型尺度不包括底部、舷部的外板及甲板板的厚度，而木质船、水泥船、塑料船的型尺度为外板和甲板板外表面的尺度。主尺度以米为单位。下面是金属船舶型尺度的定义。

船长 L_{BP} (length between perpendiculars): 沿夏季载重水线，由首柱前缘量至舵杆中心线的水平距离称为船长，对于某些有尾柱的船舶，则量至尾柱中用于支持舵的舵柱的后缘。由夏季载重线与首柱前缘和舵杆中心线的交点作首垂线和尾垂线，则首垂线和尾垂线之间的水平距离即为船长。船长常称为垂线间长，有些资料中又称为两柱间长。通常将夏季载重水线作为设计满载水线。

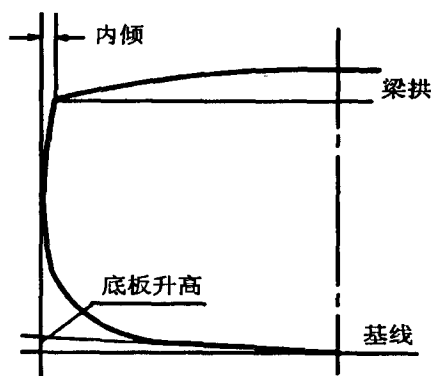


图 1-3 中横剖面

型宽 B (moulded breadth): 船体最宽处两舷外板内表面之间的水平距离称为型宽。一般船舶的船中(船长的中点)处就是最宽的部位。

型深 D (moulded depth): 船长中点处, 沿舷侧由平板龙骨上表面至甲板边板下表面的垂直距离称为型深。

型吃水 d (moulded draft): 船长中点处, 由平板龙骨上表面至夏季载重水线的垂直距离称为型吃水, 如图 1-4 所示。

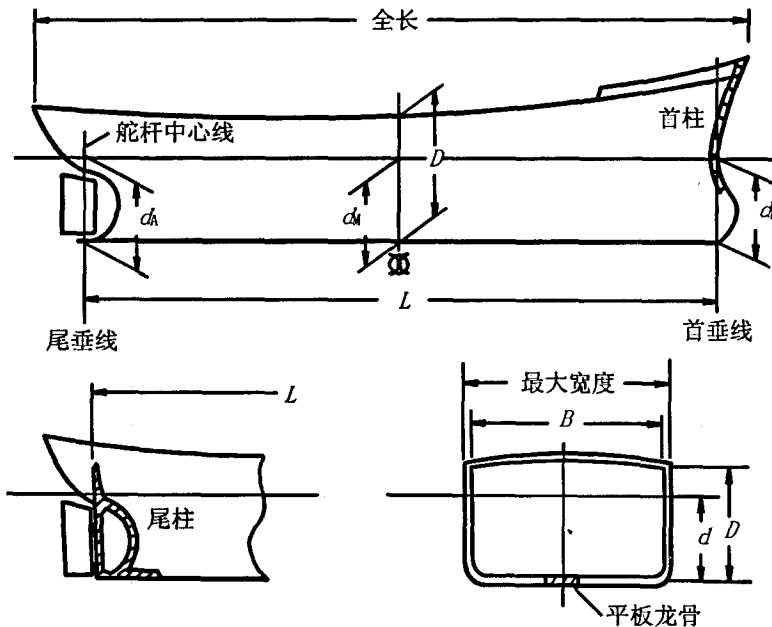


图 1-4 型尺度

大中型船舶的设计状态一般为首尾吃水相同, 而实际营运中首尾吃水常有差别。首尾吃水不同时, 则由首垂线上量取首吃水 d_F (fore draft), 由尾垂线上量取尾吃水 d_A (aft draft)。首尾吃水之差称为吃水差 t (trim)。通常用吃水差的大小表示船舶的纵倾程度。吃水差为正数表示船舶为首纵倾, 负数表示船舶为尾纵倾,

$$t = d_F - d_A \quad (\text{m}) \quad (1-1)$$

首尾吃水的平均值称为平均吃水 d_M (mean draft)。如船体不发生纵向弯曲, 船中处测量到的吃水即为平均吃水。

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

在船首、船中和船尾左右两舷的船体外面, 分别标绘有观测吃水的水尺标志, 以米或英尺为单位。在使用水尺标志观测吃水时, 应注意下面两点:

(1) 水尺标志表示的是实际吃水, 它包括了平板龙骨的厚度。船长越大平板龙骨的厚度越大。

(2) 水尺标志的位置距首尾垂线和船长中点有时有一个不大的距离, 作精确计算(如用水尺计算装货重量)时, 必须换算为规定位置的吃水, 而进行一般航行计算和配载计算时, 可将水尺标志观测到的吃水看作首尾垂线和船中的吃水。

三、量吨尺度

《1969年国际船舶吨位丈量公约》规定了丈量船舶吨位时使用的主要尺度的定义。

长度：是指量自平板龙骨上表面的最小型深85%处水线长度的96%，或沿该水线从首柱前缘量到舵杆中心线的长度，取两者中较大者，如图1-5所示。

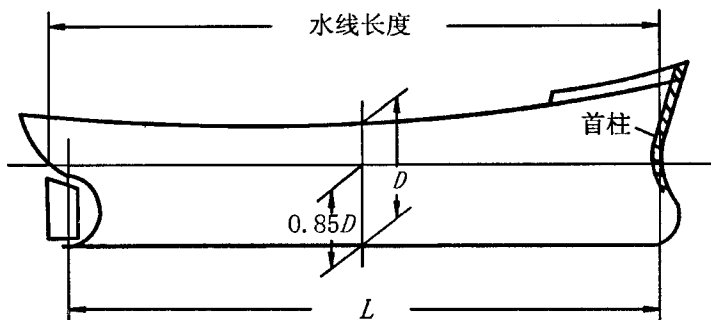


图 1-5 量吨尺度

宽度：是指船舶长度中点处的最大宽度，对于金属外板的船舶量到外板的内表面，其他材料外板的船舶量到外板的外表面。

型深：是指长度中点船舷处，从平板龙骨上表面量到上甲板下表面的垂直距离。

四、最大尺度

全长(length over all)：是指由船首最前端量到船尾最后端的水平距离。

最大宽度(extreme breadth)：是指包括外板和永久性突出物在内的两舷最大横向水平距离。

最大高度(maximum height off light water plane)：是指从空船水线面至固定桅顶最高点的垂直距离，又称桅顶高度。

安排船舶泊位时要考虑船舶的全长。船舶通过船闸及其他狭窄航道时，要考虑船舶最大宽度。船舶通过大桥时要考虑船舶的最大高度。

五、主尺度比

船舶的主尺度只表示船舶的大小，而为了研究船舶的性能，常用主尺度比来粗略地表示船舶几何形状特征，其大小与船舶的航海性能有密切关系。常用的主尺度比有长宽比 L/B 、宽度吃水比 B/d 、型深吃水比 D/d 、船长型深比 L/D 以及长度吃水比 L/d 等。

1. 长宽比 L/B

一般是指垂线间长与型宽的比值。该比值越大，船体越瘦长，其快速性和航向稳定性越好，但港内操纵不灵活。

2. 宽度吃水比 B/d

一般是指型宽与型吃水的比值。该比值越大，船体宽度大，船舶稳性好，但横摇周期小，耐波性变差，航行阻力增加。

3. 型深吃水比 D/d

是指型深与型吃水的比值。该比值越大，干舷越高，储备浮力大，抗沉性好，舱室容积增大，重心提高。

4. 船长型深比 L/D

是指垂线间长与型深的比值。该比值大对船舶强度不利。

5. 长度吃水比 L/d

一般是指垂线间长与型吃水的比值。该比值大，船舶的操纵回转性能变差。

第二节 船型系数

船型系数(coefficient of form)是表示船体水下部分形状与肥瘦程度的无因次系数，这些系数对分析船型和船舶航海性能有很大用处。

一、水线面系数 C_w (water plane coefficient)

水线面系数是水线面面积 A_w 与船长、型宽组成的长方形面积之比，如图 1-6 (a) 所示。

$$C_w = \frac{A_w}{LB} \quad (1-3)$$

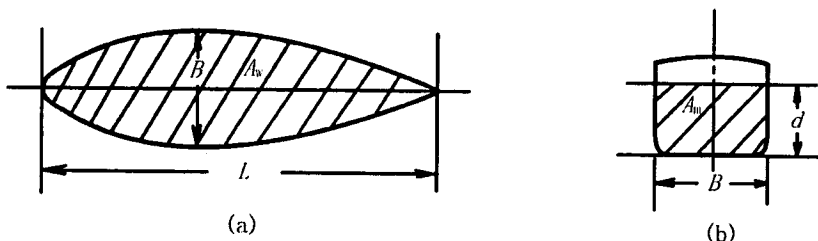


图 1-6

二、中横剖面系数 C_m (midship section coefficient)

中横剖面系数是船体水面以下中横剖面面积 A_m 与边长为型宽 B 及吃水 d 的长方形面积之比，如图 1-6 (b) 所示。

$$C_m = \frac{A_m}{Bd} \quad (1-4)$$

三、方形系数 C_b (block coefficient)

方形系数是船体水下体积 V 与边长为船长 L 、型宽 B 和吃水 d 的长方体的体积之比，如图 1-7 所示。

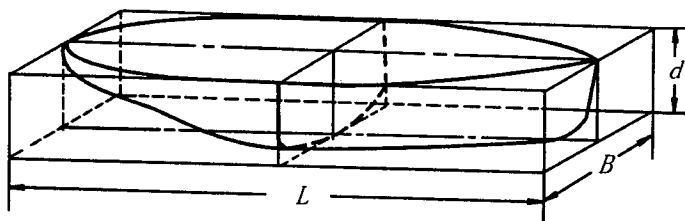


图 1-7

$$C_b = \frac{V}{LBd} \quad (1-5)$$

四、棱形系数 C_p (prismatic coefficient)

棱形系数是船体水下体积 V 与边长为船长 L 乘以中横剖面面积 A_m 的柱体体积之比，如

图 1-8 所示。

$$C_p = \frac{V}{LA_m} \quad (1-6)$$

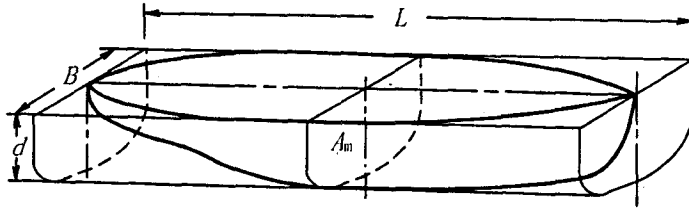


图 1-8

C_p 的大小表示了排水体积沿船长方向的分布情况。

快速船船体比较尖瘦，船型系数较小；低速船船体比较丰满，船型系数较大。不同吃水时的船型系数的变化曲线，列于船舶静水力曲线图中。表 1-1 是我国建造的几艘船舶的主尺度及船型系数。

表 1-1 部分船舶主尺度及船型系数

		12 000 t 货船	7 500 t 远洋 客货船	25 000 t 散装货船	24 000 t 油船	16 000 t 煤矿船
主 尺 度	$L(m)$	147.0	124.0	172.0	170.0	153.0
	$B(m)$	20.4	17.6	23.2	25.0	22.0
	$D(m)$	12.4	10.9	14.2	12.6	13.0
	$d(m)$	8.2	6.0	9.8	9.5	8.8
船 型 系 数	C_b	0.678	0.571	0.809	0.776	0.765
	C_m	0.984	0.948	0.994	0.992	0.993
	C_p	0.689	0.603	0.814	0.782	0.770

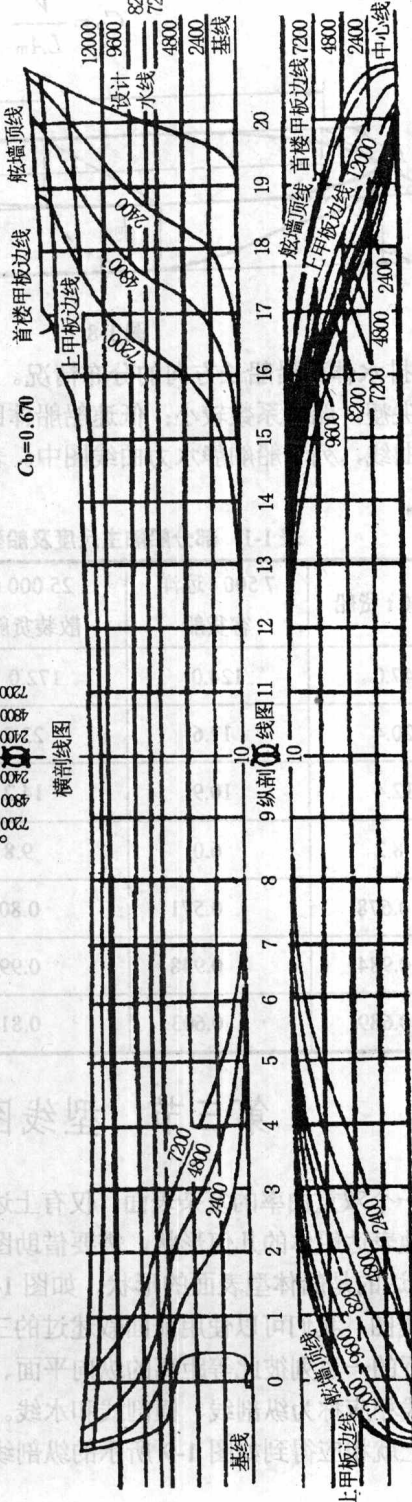
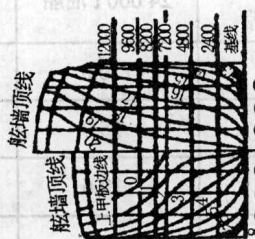
第三节 型线图

船体外形表面是一个双重曲率的复杂表面，仅有上述船舶的主尺度、主尺度比和船型系数仍不能准确而完全地表达船体的几何形状，需要借助图形来表达，这种图称为船体型线图 (lines plan)。型线图表达的是船体型表面的形状，如图 1-9 所示。

为了做出船体型线图，我们可以使用前面叙述过的三个主要相互垂直平面作为基准，分别做出与三个平面平行的一系列彼此等距离的纵向平面、横向平面和水线面，则这些平面与船体型表面相交的曲线相应称为纵剖线、横剖线和水线。这三组曲线分别投影到纵剖面、中横剖面 and 设计水线面上就相应得到如图 1-9 所示的纵剖线图、横剖线图和半宽水线图，它们组成船体型线图。

(0-1)

主尺度
 $L=147\text{ m}$
 $B=20.4\text{ m}$
 $D=12.4\text{ m}$
 $d=8.2\text{ m}$
 $C_w=0.794$
 $C_m=0.984$
 $C_b=0.670$



半宽水线图

图 1-9 型线图

表 1-2 型值表

(mm)

站号	半										宽					高					度	
	1200 水线	2400 水线	3600 水线	4800 水线	6000 水线	7200 水线	8400 水线	9600 水线	10800 水线	上 甲板	舷墙	首楼	首楼 舷墙	1200 纵剖线	3600 纵剖线	6000 纵剖线	8400 纵剖线	上 甲板	舷墙	首楼	首楼 舷墙	
0						496	2305	3980	4983	6592	6939			7555	9226	12525		13880	14980			
1	275	573	801	954	1097	1583	3320	4865	6386	7238	8432	8707		5291	7370	9186	13490	13586	14686			
2	410	1434	2054	2553	3210	4238	5804	6974	8098	8708	9495	9690		865	5343	7350	10142	13325	14425			
3	680	2691	3724	4638	5632	6745	7844	8568	9261	9827	10040	10160		208	2242	5218	7940	13103	14203			
4	4449	5804	6860	7743	8517	6150	9559	9905	10070	10200	10200		13	680	2606	5804	12919	14019				
5	6412	7691	8477	9063	9496	9825	10011	10152	10196	10200	10200		2	136	942	3463	12766	13866				
6	8188	9101	9555	9830	10016	10133	10183	10200	10200	10200	10200		2	29	226	1398	12640	13740				
7	9378	9892	10088	10175	10200	10200	10200	10200	10200	10200	10200		2	28	54	461	12540	13640				
8	9809	10171	10200	10200	10200	10200	10200	10200	10200	10200	10200		2	28	54	169	12462	13562				
9	9958	10200	10200	10200	10200	10200	10200	10200	10200	10200	10200		2	28	54	99	12407	13507				
10	9958	10200	10200	10200	10200	10200	10200	10200	10200	10200	10200		2	28	54	99	12400	13500				
11	9877	10190	10200	10200	10200	10200	10200	10200	10200	10200	10200		2	28	54	114	12452	13552				
12	9610	10066	10179	10200	10200	10200	10200	10200	10200	10200	10200		2	28	54	263	12451	13645				
13	9148	9722	9958	10075	10135	10182	10200	10200	10200	10200	10200		2	28	54	552	12671	13772				
14	8384	9049	9418	9669	9847	9967	10040	10106	10148	10200	10200		2	28	79	12222	12837	13935				
15	7239	7976	8429	8775	9005	9267	9416	9600	9731	9959	10061		2	28	340	3510	13054	14154				
16	5634	6438	6930	7296	7582	7823	8015	8281	8533	9169			2	179	1640	10181	13342	14454				
17	3764	4520	4984	5333	5598	5859	6083	6441	6821	8027			20	1020	7840	14445	13687		16005			
18	2000	2650	3040	3320	3540	3730	3960	4350	4920	6560			530	6250	12800		13900		16240	16330		
19	950	1520	1920	2140	2220	1950	1850	2290	2810	4850			1650	12200	15850		14250		16600	17720		
20	130	720	1230	1480	1408	840	390	420	570	2570			4220	5340	3450	16250	14780		17130	18220		

每一条曲线在一组主要剖面上的投影表现了它的真正形状，而在其他两个主要剖面上的投影则为直线。例如纵剖线在纵剖线图上了表现了它真正的形状，而在横剖线图和半宽水线图上是直线。由于船体的左右两舷是对称的，因此横剖线只要画出任一舷侧即可，在横剖线图的右边画船中到首端的横剖线，而左边画船中到尾端的横剖线。水线图也只要画出一半即可，即半宽水线图。纵剖线则是左右两舷的纵剖面与型表面的一系列交线。

船体型线图上还绘有上甲板和船体型表面的交线，称为上甲板边线。

船体型线图是船体计算的主要原始资料之一，因此图上纵剖线、横剖线和水线的数目以及采用的比例尺应与计算所要求的准确度相适应。例如技术设计的型线图一般绘有 2~4 根纵剖线，20 根横剖线(或称站号)和 7~9 根水线。根据船舶的大小而采用 1/100、1/50 和 1/25 的比例尺。

纵剖线、横剖线和水线虽然分别画在三个投影面上，但它们的位置却都是互相对应的，也就是在任何投影面上的任何一点都应能在另两个投影面找到它的相对对应点。

型线图是船舶设计、计算、建造和放样的基准图，它完整而准确地反映出船体真实形状。它是设计、计算、建造和放样的依据，所以要求高度精确，绘制时必须仔细校核，必须使图纸清晰、线条光滑、准确，才能符合要求。

型线图所表示的只是船舶型表面，不包括船舶的外板厚度，所以它表示的尺寸都是型尺度尺寸，例如船长、型宽、型深和型吃水等，型线图数据见表 1-2。

第四节 船体近似计算

在船舶性能计算中，经常需要计算某一剖面的面积、面积矩或计算船体水下部分的体积、体积矩等，这些计算习惯上称为船体计算。由于船体曲面复杂，只能根据型值表提供的数据进行近似计算。本节主要介绍常用的船体计算方法，首先建立坐标。

一、船体坐标

船体表面是复杂的曲面体，必须建立空间三维直角坐标系。坐标原点一般取在船中基线处，如图 1-10 所示。

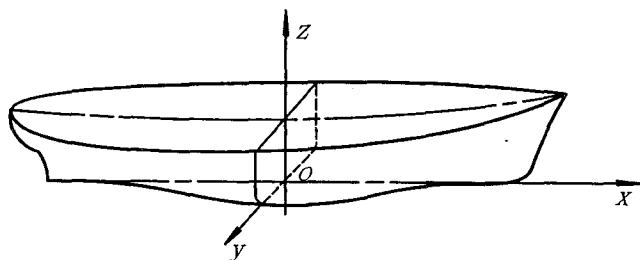


图 1-10 船体坐标

在以船中基线处为原点的坐标系统中，将中线面与基平面的交线(即基线)作为纵向的 x 轴，船中前为正，中后为负。将中站面与基平面的交线定为横向的 y 轴，右舷为正，左舷为负。将中站面与中线面的交线定为垂向的 z 轴，基线以上为正，基线以下为负。在这个空间直角坐标系中某一点的坐标可用 (x, y, z) 一组数值表示，如船舶重心点 G 的坐标为 $G(x_g, y_g, z_g)$ 。