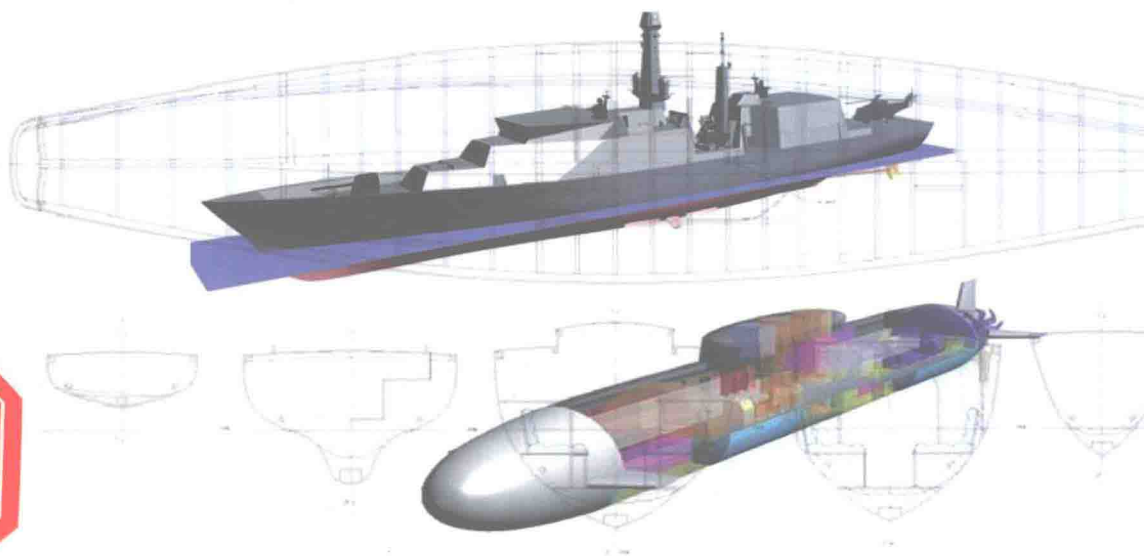


军队“2110工程”三期建设教材

舰艇静力学

JIANTING JINGLIXUE

高霄鹏 方斌 刘志华 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

舰艇静力学

高霄鹏 方 斌 刘志华 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

舰艇静力学/高霄鹏,方斌,刘志华编著. —北京:
国防工业出版社,2015. 12
ISBN 978-7-118-10681-7

I. ①舰… II. ①高… ②方… ③刘… III. ①军
用船—静力学 IV. ①U674.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 003261 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

三河市众誉天成印务有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 710 × 1000 1/16 印张 19¼ 字数 340 千字
2015 年 12 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 56.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777
发行传真:(010)88540755

发行邮购:(010)88540776
发行业务:(010)88540717

序

舰艇静力学是一门基于静力学的理论和方法研究舰艇浮性、稳性和不沉性的学科。浮性、稳性和不沉性统称为舰艇的静力性能,主要解决舰艇在不同装载状态、各种自然环境及战损条件下的生存能力,即“不沉和不翻”的问题,是舰艇最基本和最重要的航海性能。舰艇的静力性能贯穿于舰艇的设计、建造、使用和维修的整个过程。为了充分发挥舰艇的各种效能,并确保舰艇在各种条件下的安全,熟悉和掌握舰艇静力学的基本理论和方法,对于从事舰艇设计、建造、使用和维修的技术和管理人员来说是至关重要的。

本书以“舰艇”为主要对象,结合了作者多年从事舰艇静力学教学和相关科学研究经验,力求在体系结构和叙述方式上对现有相关教材进行完善和改进,使之更加适应于《舰艇静力学》课程教学的需要。另外,根据通科培养的要求,比较系统地介绍了潜艇静力学基本概念与工程处理方法,并通过水面舰船和潜艇的比较,使读者加深对相关概念的理解;针对目前舰艇静力性能计算大多采用计算机软件完成的情况,本书专门介绍了一种舰船静力学计算机软件的操作方法,增强了教材的实用性。这些方面的改进构成了本书的特色。

本书的出版,对于《舰艇静力学》教材的编写是一种尝试,将对《舰艇静力学》课程的教学质量和水平的提高发挥积极的作用。



2015年5月

前 言

船舶原理是研究船舶航行性能的一门科学,其中包括:

(1) 浮性——舰船在一定装载情况下浮于一定水面的能力。

(2) 稳性——在外力作用下,舰船发生倾斜而不致倾覆,当外力的作用消失后,仍能回复到原来平衡位置的能力。

(3) 不沉性——当船体破损,海水进入舱室时,舰船仍能保持一定的浮性和稳性而不致沉没或倾覆的能力。

(4) 快速性——舰艇在一定排水量和主机功率条件下,能达到较高的静水直线航速的能力。通常包括船舶阻力和船舶推进两个部分,前者研究舰船航行时所遭受的阻力,后者研究克服阻力的推进器及其与船体之间的相互协调一致。

(5) 适航性(耐波性)——舰船在风浪海况下航行时的运动性能。主要研究舰船的横摇、纵摇及升沉等习惯上统称为摇摆的运动。

(6) 操纵性——舰船在航行中按照驾驶者的意图保持既定航向的能力(航向稳定性)或是根据驾驶人员要求改变航行方向的能力(回转性)。船舶操纵性包括航向稳定性和回转性两部分内容。

船舶原理通常分为舰船静力学和舰船动力学两大部分:前者以流体静力学为基础,研究舰船在不同条件下的浮性、稳性及不沉性等;后者以流体动力学为基础,研究船舶的阻力、推进、摇摆及操纵等问题。舰船阻力和推进主要研究舰船在等速直线航行时的性能,属于流体动力学中的定常问题。在舰船静力学这门课程中,主要讨论舰船的浮性、初稳性、大倾角稳性及不沉性等,此外还包括舰船纵向下水问题的计算。舰船纵向下水问题本身是一个动力过程,动力过程分析处理要涉及舰船下水速度、加速度和水动力计算等复杂内容。对舰船下水做静力分析虽然不完善但简单,并且对下水的安全性在工程上已能够得到较准确的近似解答。

判断舰船是否具有合理的浮态和稳性,在舰船相应的规范中有一定的量化指标。了解规范中对舰船静力性能指标和计算方法也是静力学的重要内容之一。

需要指出的是国际海事组织(IMO)目前正在制定第二代完整稳性衡准,满足现代化大型船舶稳性设计的要求,体现船舶水动力学最新研究成果,建立对船舶不同稳性失效模式的衡准评估技术,更加有效地保证船舶在波浪中的航行安全。

随着计算机学科的发展,计算手段和方法也随之提高和发展,目前已有许多舰船静力性能计算程序与软件被开发出来,其界面更为友好,操作更为方便。

舰船静力性能的原理与计算方法依然是舰船的设计、建造、验收和维修的基础。因此,舰船静力学是舰船与海洋结构物设计制造专业的一门重要基础课程。

目 录

第 1 章 船体几何形状	1
1.1 三个基本投影面	1
1.2 主尺度	3
1.3 船形系数与主尺度比	5
1.3.1 船形系数	5
1.3.2 主尺度比	7
1.4 型线图	8
1.4.1 三组剖面和基本型线	8
1.4.2 型线图的组成	9
1.4.3 型值表	9
1.5 潜艇外形与主尺度	11
1.5.1 潜艇主尺度、艇型系数	11
1.5.2 潜艇型线图	14
思考题	18
第 2 章 浮性	19
2.1 舰船浮态	19
2.1.1 坐标系	20
2.1.2 舰船浮态表示法	20
2.2 舰船平衡条件及平衡方程式	22
2.2.1 舰船平衡条件	22
2.2.2 平衡方程	23
2.3 舰船重量和重心的计算	25
2.3.1 计算重量和重心坐标的一般公式	25
2.3.2 增减载荷时新的重量和重心计算公式	25
2.3.3 移动载荷时重心位置的改变	26
2.3.4 舰船载重状态的区分——排水量的分类	27
2.3.5 舰船重量和重心的计算	28

2.4 储备浮力及载重标志	30
2.4.1 储备浮力	30
2.4.2 载重标志	30
2.4.3 潜艇的吃水标志	31
思考题	32
第3章 初稳性	33
3.1 概述	34
3.1.1 稳性的定义	34
3.1.2 稳性的几点说明	35
3.2 等体积倾斜与等体积倾斜轴	36
3.2.1 等体积倾斜水线	36
3.2.2 浮心的移动	38
3.2.3 稳心及稳心半径	39
3.3 初稳性公式	40
3.3.1 舰船平衡位置稳定性判断	40
3.3.2 初稳性公式	41
3.3.3 关于初稳性公式的说明	42
3.4 舰船浮性与初稳性曲线图谱介绍	46
3.4.1 舰船静水力曲线图	46
3.4.2 舰船邦戎曲线和费尔索夫图谱	48
3.4.3 费尔索夫图谱	50
3.5 纵倾状态下舰船初稳性高的计算	51
思考题	53
第4章 舰艇浮性、初稳性曲线与图谱(计算)	54
4.1 船体近似计算方法	55
4.1.1 梯形法	55
4.1.2 辛浦生法	56
4.1.3 切比雪夫法	60
4.1.4 样条函数法	62
4.1.5 提高计算精度措施	65
4.2 舰船静水力曲线的计算	68
4.2.1 水线元计算	68
4.2.2 体积元计算	71

4.2.3 静水力曲线绘制及有关问题	72
4.3 邦戎曲线的计算	73
4.3.1 邦戎曲线的计算	73
4.3.2 邦戎曲线绘制	74
4.4 费尔索夫图谱计算	75
思考题	77
第5章 初稳性应用	78
5.1 小量载荷的移动对舰船浮态及初稳性的影响	79
5.1.1 载荷的铅垂移动	79
5.1.2 载荷的水平横向移动	80
5.1.3 载荷的水平纵向移动	82
5.1.4 载荷的任意移动	84
5.2 装卸载荷对舰船浮态及初稳性的影响	86
5.2.1 装卸小量载荷对舰船浮态和初稳性的影响	86
5.2.2 装卸大量载荷对舰船浮态和初稳性的影响	90
5.3 悬挂载荷对舰船浮态及初稳性的影响	92
5.4 自由液面对舰船初稳性的影响	93
5.5 进出坞与搁浅	96
5.5.1 进坞时舰船承受的最大反作用力和初稳性	96
5.5.2 搁浅时舰船承受的最大反作用力和初稳性	97
5.6 倾斜试验	99
5.6.1 倾斜试验的原理	99
5.6.2 试验方法	100
5.6.3 试验注意事项	101
5.6.4 倾斜试验实例	101
5.7 船舶在各种装载情况下浮态及初稳性的计算	106
思考题	108
第6章 大角稳性	109
6.1 静稳性曲线	110
6.1.1 静稳性曲线	110
6.1.2 船形稳性臂插值曲线	112
6.2 外力作用下舰船的倾斜	114
6.2.1 静倾斜力矩作用下舰船倾斜角确定	114

6.2.2	动倾力矩作用下舰船倾斜角确定	115
6.2.3	动稳性曲线及其应用	117
6.3	静稳性曲线的特征	122
6.3.1	静稳性曲线特征	122
6.3.2	初稳性与大角稳性的关系	124
6.4	载荷情况对大角稳性的影响	125
6.4.1	载荷的移动	125
6.4.2	载荷的增减	126
6.4.3	自由液面的影响	127
6.5	船型要素对大角稳性的影响	129
6.5.1	干舷高度对稳性的影响	129
6.5.2	船宽对稳性的影响	129
6.5.3	进水角对稳性的影响	130
6.5.4	其他船型要素对稳性的影响	131
6.6	提高舰船稳性的措施和方法	131
6.6.1	改善舰船稳性的措施	131
6.6.2	保证舰船稳性的方法	132
6.7	舰船抗风浪性计算	134
6.7.1	风对舰船的作用	135
6.7.2	风浪联合作用	138
6.7.3	舰船稳性规范的稳性校核方法	139
6.8	舰船静稳性曲线的计算法	143
6.8.1	舰船等排水量稳性计算法	143
6.8.2	舰船变排水量稳性计算法	149
	思考题	154

第7章 不沉性 155

7.1	浸水舱的分类及渗透系数	156
7.1.1	浸水舱的分类	156
7.1.2	渗透系数	157
7.1.3	计算不沉性的两种基本方法	157
7.2	舱室浸水后舰船浮态与稳性的计算	158
7.2.1	第一类舱室浮性与初稳性计算	158
7.2.2	第二类舱室浮性与初稳性计算	161

7.2.3	第三类舱室	162
7.2.4	舱组浸水	164
7.2.5	逐步近似法	165
7.2.6	舰船不沉性规范简介	168
7.3	可浸长度与许用舱长	170
7.3.1	计算可浸长度的基本原理	171
7.3.2	可浸长度曲线的计算	171
7.3.3	许用舱长	175
7.4	舰船破损后应采取的措施	176
7.4.1	限制水的漫延——抗沉原则之一	177
7.4.2	破损舰船的扶正——抗沉原则之二	177
7.4.3	舰船负初稳性的处理——抗沉原则之三	182
	思考题	183
第8章	舰船下水计算	184
8.1	舰船纵向下水装置	185
8.2	下水阶段的划分与分析	186
8.2.1	第一阶段	186
8.2.2	第二阶段	187
8.2.3	第三阶段	189
8.2.4	第四阶段	190
8.3	下水曲线计算	191
8.3.1	舰船规范中下水计算内容简介	191
8.3.2	舰船下水曲线图	192
8.3.3	下水曲线计算	193
8.4	下水后舰船浮态的确定和稳性校核	195
8.4.1	下水后舰船浮态的确定	196
8.4.2	下水后舰船稳性校核	198
	思考题	199
第9章	潜艇的浮性	200
9.1	潜艇上浮和下潜原理	201
9.1.1	潜艇的有关基本知识	201
9.1.2	作用在潜艇上的力	202
9.1.3	潜艇上的上浮和下潜	204

9.2	潜艇的浮态及其表示法	205
9.2.1	坐标系	205
9.2.2	浮态及其表示法	206
9.3	潜艇的平衡方程	208
9.3.1	潜艇的平衡条件	208
9.3.2	水上状态平衡方程式	209
9.3.3	水下状态平衡方程式	209
9.4	排水量分类与静水力曲线	211
9.4.1	潜艇排水量的分类	211
9.4.2	潜艇静水力曲线	212
9.4.3	排水量和浮心坐标的计算——查静水力曲线法	213
9.5	潜艇固定浮容积及容积中心位置的计算	214
9.5.1	耐压艇体容积及容积形心计算	214
9.5.2	耐压附属体	216
9.5.3	非耐压附属体	216
9.6	储备浮力和下潜条件	217
9.6.1	储备浮力	217
9.6.2	潜艇的潜浮和下潜条件	219
9.7	剩余浮力及载荷补偿	221
9.7.1	潜艇的剩余浮力和剩余力矩	221
9.7.2	影响剩余浮力变化的因素	222
9.7.3	载荷补偿和艇内载荷变化	224
9.8	均衡计算	227
9.8.1	均衡计算原理、目的和时机	227
9.8.2	均衡计算的具体方法	227
9.8.3	均衡计算表中附注栏的意义	232
9.9	潜艇定重试验	232
9.9.1	定重目的	232
9.9.2	定重试验的一般方法	233
9.9.3	定重试验实例	234
9.10	邦戎曲线和浮心稳心函数曲线	237
9.10.1	邦戎曲线及用法	238
9.10.2	浮心函数曲线及其用法	239
9.10.3	稳心函数曲线及其应用	240

思考题	241
第 10 章 潜艇的初稳性	242
10.1 潜艇稳性的基本概念	243
10.1.1 横稳性与纵稳性	243
10.1.2 初稳性与大角稳性	243
10.2 潜艇稳定中心高及其计算	244
10.2.1 潜艇稳定中心高及其表示式	244
10.2.2 计算稳定中心半径的公式	245
10.2.3 关于潜艇稳定中心高的说明	246
10.3 潜艇水下状态的稳性	247
10.3.1 潜艇水下稳定平衡条件	247
10.3.2 水下稳度的计算	248
10.4 潜艇潜坐海底与增加液体载荷时的稳性	250
10.4.1 潜艇潜坐海底时的稳性	250
10.4.2 增加液体载荷时潜艇稳定中心高的计算	251
10.5 潜艇下潜和上浮时的稳度	254
10.5.1 潜浮稳度曲线图	254
10.5.2 潜浮稳度的颈区	256
思考题	256
第 11 章 潜艇的大角稳性	257
11.1 复原力矩及其力臂的表示式	258
11.2 静稳性曲线及其应用	259
11.2.1 潜艇静稳性曲线的特性	259
11.2.2 水下状态静稳性曲线	261
11.2.3 两种力矩作用下潜艇的倾斜	261
11.2.4 潜艇动稳度(臂)曲线及应用	262
11.3 表示潜艇稳性的特征值	266
11.3.1 稳度臂 l_{φ} 曲线的初切线的斜率	266
11.3.2 最大稳度臂 $l_{\varphi\max}$ (最大复原力矩 $m_{\varphi\max}$)	266
11.3.3 最大稳度角 $\varphi_{m_{\max}}$	266
11.3.4 稳度消失角 φ_x	267
11.3.5 静稳度曲线包围的面积	267

11.4 潜艇耐风性计算	267
11.4.1 潜艇的抗风能力	267
11.4.2 实例	269
11.5 大纵倾概述	270
11.5.1 形成纵倾的一般方法	270
11.5.2 纵倾状态下的平衡方程和初稳定中心高公式	271
思考题	272
第 12 章 潜艇的不沉性	273
12.1 潜艇水面不沉性	273
12.1.1 失事潜艇的浮态和稳性的计算	273
12.1.2 失事潜艇的扶正	276
12.2 潜艇水下不沉性	277
12.2.1 潜艇水下抗沉的基本措施	277
12.2.2 潜艇从水下自行上浮的条件	278
思考题	279
第 13 章 船舶静力学性能计算软件及应用方法介绍	280
13.1 MAXSURF 软件简介	280
13.1.1 MAXSURF PRO 模块(动态三维船体模型生成模块)	281
13.1.2 HULLSPEED 模块(船舶阻力及有效马力计算模块)	281
13.1.3 HYDROMAX 模块(船舶静力学性能计算分析模块)	282
13.1.4 WORKSHOP 模块(船体结构生产放样及 CAD 图形生成模块)	282
13.1.5 SEAKEEPER 模块(船舶耐波性能分析模块)	283
13.1.6 PREFIT 模块(空间实体自动拟合模块)	283
13.1.7 SPAN 模块(帆船性能分析模块)	284
13.1.8 HYDROLINK 模块(数据转换模块)	284
13.2 MAXSURF 建模基本流程	284
13.2.1 概述	284
13.2.2 建模的准备	284
13.2.3 建模操作	287
13.3 Hydromax 使用方法演示	290
13.3.1 静水力曲线计算	290
13.3.2 大角稳性计算	292
思考题	294

第1章 船体几何形状

船体形状整体上是一个具有双重曲度的复杂流线型体,它对舰船航海性能具有很大的影响。在研究舰船性能之前,首先需了解船体形状的表达方法,即如何去描述其外形,主要包括主尺度、船形系数和图形表达方法。

【本章目的】

舰艇即为航海性能的研究对象,在正式进入静力学的学习之前,必须对研究对象予以专业的外形描述,而船体形状对舰船航海性能亦有决定性的影响。

【本章学习思路】

船体几何形状的描述,可归结以下三类思路:

1. 主尺度

以长、宽、高三个方向的主要特征尺度来度量船体几何外形。

2. 船形系数

以无因次系数描述船体外形。

3. 型线图

对船体真实外形进行详尽描述的三维投影图,其实质是船体表面的三组剖线的三视图,是针对船体外形特征设计的专用的船舶制图。

【本章难点】

(1) 船形系数及其物理意义;

(2) 潜艇外形与主尺度。

【本章关键词】

型线图;船型参数;船形系数;船舶主尺度等。

1.1 三个基本投影面

船体外形(图1-1)整体上是一个具有双重曲度的复杂流线型体,数学描述是该曲面上各点连续、但局部有导数不连续。由于船体外形的复杂性,除特殊形状(如数学船形)外,一般不能用简单的解析方法表达。船体外形的描述一般针对的是舰船的型表面,船体型表面为不包括附体在内的船体外形设计表面,对于金属船体,系指通过船体骨架外缘的表面。

船体的外形是用投影到三个相互垂直的基本平面表示的,这三个基本平面也

称为主坐标平面(图1-2)。

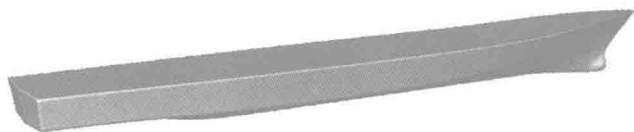


图1-1 船体外形

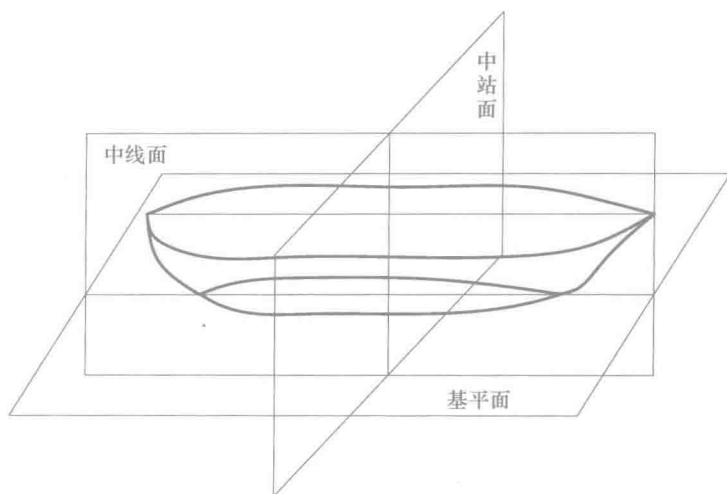


图1-2 船体三个基本平面

(1) 对称面(中线面)——通过船宽中央的纵向垂直平面,它把船体分为相互对称的左右两部分(图1-3)。

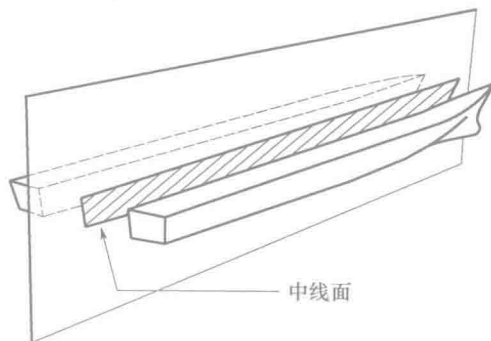


图1-3 中线面

(2) 中船横剖面(中站面)——通过船长(垂线间长或设计水线长)中点(常用符号 Δ 表示)的横向垂直平面,它把船体分为艏艉两部分(图1-4)。

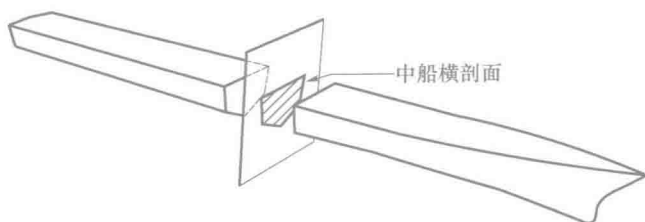


图 1-4 中站面

(3) 设计水线面——通过舰船设计水线(设计状态下船体型表面与水平面的交线)处的水平面,它将船体分为水上和水下两部分(有时采用基平面,即通过船长中点龙骨板上缘的平行于设计水线面的平面)。它与中线面、中站面相互垂直(图 1-5)。

船体外形曲面与中线面的截面称为中纵剖面,与中站面的截面称为中横剖面。

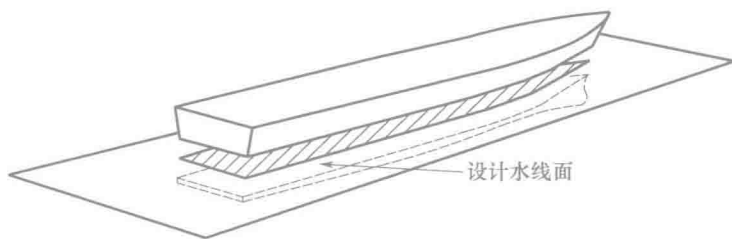


图 1-5 设计水线面

1.2 主尺度

舰船的大小通常是由船长、船宽、型深、吃水等主要特征尺寸来度量,这些特征尺寸定义如下(图 1-6):

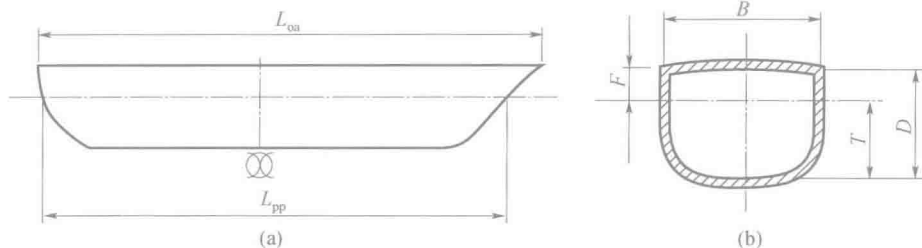


图 1-6 船体主尺度

1. 船长 L

通常选用的船长有三种,即总长、垂线间长和设计水线长。