

舰船原理

编者 瞿守恒 郝亚平 范尚雍等



中国人民解放军海军工程学院

一九八〇年十一月

前 言

本书是根据水面舰艇机电管理专业的需要而编写的，全书包括舰船原理静力学（含浮性、初稳性、大角稳性、不沉性四章）及动力学（含舰船摇摆、舰船操纵、水对舰船运动之阻力、舰船推进器四章）两大部份，着重介绍静力学及动力学的基本概念以及必要的计算方法。

本课程实施时约需50小时，以静力学为重点，动力学中则以舰船推进器为重点。

本书是造船系瞿守恒、郝亚平、范尚雍等同志于60年合编，于61年出版，1965年2月再版，这次是在65年版本的基础上作了个别的文字修改第三次出版。

目 录

绪 言	(3)
§0—1 舰船原理的研究对象和学习目的	(3)
§0—2 舰体线型图	(3)
§0—3 主要尺寸及舰形系数	(5)
第一章 浮 性	(7)
§1—1 舰船的漂浮状态及其表示法	(7)
§1—2 舰船的平衡条件	(9)
§1—3 舰船重量和重心位置的计算	(11)
§1—4 舰船的排水量及浮心坐标计算	(15)
§1—5 线型图诸元曲线	(22)
§1—6 增减载荷时舰船吃水的改变	(22)
§1—7 伯扬曲线	(25)
第二章 初稳性	(29)
§2—1 一般概念	(29)
§2—2 等容倾斜及欧拉定理	(30)
§2—3 舰船平衡稳定的条件	(31)
§2—4 稳定中心高及其计算	(32)
§2—5 初稳度之扶正力矩公式	(36)
§2—6 舰船的初稳度	(38)
§2—7 移动小量载荷对舰船平衡状态及稳度之影响	(39)
§2—8 小量载荷的增减对舰船平衡状态及稳度之影响	(44)
§2—9 进出坞时的压力和稳度	(50)
§2—10 液体载荷对舰船稳性的影响	(51)
§2—11 用倾斜试验的方法确定舰船之稳定中心高及重心位置	(53)
§2—12 若干与计算浮力和初稳性有关的近似公式	(55)
第三章 大角稳性	(56)
§3—1 扶正力矩及力臂	(56)
§3—2 用稳度臂交叉曲线求任意一种载重状况时之静稳度曲线	(59)
§3—3 在静倾斜力矩作用下舰船的倾斜	(60)
§3—4 动倾斜力矩作用下舰船的倾斜	(62)
§3—5 舰船耐风浪性的计算	(70)
§3—6 诸因素对舰船大角稳性的影响	(75)

第四章 不沉性	(79)
§4—1 概说.....	(79)
§4—2 计算舱室进水影响的两种考虑方法.....	(79)
§4—3 单个小仓进水对漂浮状态及稳度之影响.....	(83)
§4—4 仓组之浸水.....	(90)
§4—5 破损舰船的大角稳度.....	(95)
第五章 舰船摇摆	(97)
§5—1 概说.....	(97)
§5—2 舰船在静水中的摇摆.....	(98)
§5—3 波浪简介.....	(103)
§5—4 舰船在波浪中的横摇运动.....	(104)
§5—5 对横摇摆幅的分析和减小摇摆的措施.....	(106)
§5—6 共振横摇摆幅的计算.....	(108)
§5—7 舰船航向航速对摇摆之影响.....	(111)
§5—8 防摇装置.....	(112)
第六章 舰船操纵	(117)
§6—1 概说.....	(117)
§6—2 舰船的回转.....	(117)
§6—3 计算舰船转向直径的方法.....	(119)
§6—4 舰船在转向时的倾斜.....	(120)
第七章 水对舰船运动之阻力	(123)
§7—1 概述.....	(123)
§7—2 舰船在静水表面航行时所受阻力的成因和规律.....	(125)
§7—3 舰船阻力之近似计算.....	(133)
§7—4 海区复杂条件对阻力之影响.....	(138)
第八章 舰船推进器	(142)
§8—1 舰船推进器的功用及种类.....	(142)
§8—2 螺旋桨的几何形状.....	(144)
§8—3 螺旋桨的构造和检验.....	(147)
§8—4 螺旋桨基本工作原理及特性.....	(151)
§8—5 螺旋桨性能检查图线计算.....	(158)
§8—6 应用螺旋桨的性能检查图线作舰艇的航速性分析.....	(173)
§8—7 在开车、加减速、倒车、舰艇转向时螺旋桨的工作情况.....	(180)
§8—8 螺旋桨的空泡现象.....	(184)
§8—9 螺旋桨设计概述.....	(192)

舰 船 原 理

绪 言

§0—1 舰船原理的研究对象

军舰是祖国的海上武装力量，负担着保卫祖国海防的神圣职责。军舰是活动战斗在海上的，因此必须具备良好的航海性能。

所谓航海性能通常是指：浮性，稳性，不沉性，快速性，适航性，操纵性以及坚固性。其中除去坚固性是舰船结构和结构力学的研究对象以外，其他各种性能都是舰船原理的研究对象。舰船原理之任务在于研究舰船的外形，（包括大小和形状）质量分布（重量、重心、转动惯量）与这些航海性能之间的基本关系，找出其客观规律。以使我们在舰艇的设计、建造、战斗和日常勤务中，能通过改变船形和重量分布来保证和改善军舰的航海性能。

上述各种航海性能，都是关于舰船在水中的平衡和运动的问题，研究这些问题都必须分析舰船在水中所受到的各种力。所以从力学的观点看来，也可以说，舰船原理是研究舰船在水中（水面和水下）的平衡和运动的科学。研究舰船平衡的部分称为舰船静力学。而研究舰船运动的部分则称为舰船动力学。

静力学包括浮性、初稳性、大角稳性、不沉性四个部分。动力学则包括阻力、推进器、摇摆、操纵四个部分，下面把每一部分的中心内容简要地介绍一下。

浮性：研究舰船怎样才能漂浮于水面？漂浮能力如何确定等问题。

稳性：研究有关舰船从平衡位置产生偏离时会不会翻的问题。

由于舰船小偏离的问题可以作一些简化假设而得到比较简便的规律，且在战斗和日常勤务中经常要用到。所以为了便于研究，又将稳性分为小偏离时的初稳性和大偏离时的大角稳性两部分。

不沉性：研究当舰体破损进水后的浮性及稳性。

摇摆性：研究舰船在波浪中摆动运动的规律性以及减小摇摆的方法，以保证舰船具有良好的适航性。

操纵性：研究舰船保持既定航向的能力和按需要迅速转向的能力。

阻力：研究水对舰船航行的阻力的形成、变化规律和计算方法。

推进器：研究推进器的构造，工作原理和特性以及计算方法。并进一步联系阻力和主机性能分析有关舰艇航速性的问题。

§0—2 舰体线型图

在讨论舰船航海性能问题时，离不了舰体外表的形状和尺寸。一般舰体外表面都是

一个两端较瘦的平顺光滑的复杂曲面，以便使流体顺畅地流过舰体。唯一能够完整的说明某艘舰船外表形状和尺寸的图就是线型图（见附录），舰船原理中的大部分计算都是以此图为依据的。

1° 舰体的三个主要平面：

1. 对称面：是自首至尾通过舰船正中的纵向平面，它将舰体分成左右两个相互对称的部分（图0—1）

2. 设计水线面：是舰船按设计吃水漂浮时的水平面和舰体表面交线所构成的面。它垂直于对称面。

通过舰船龙骨线并和设计水线面平行的平面，通常称为基本面。

3. 中船肋骨面：是通过舰长中间的并垂直于对称面和设计水线的平面。

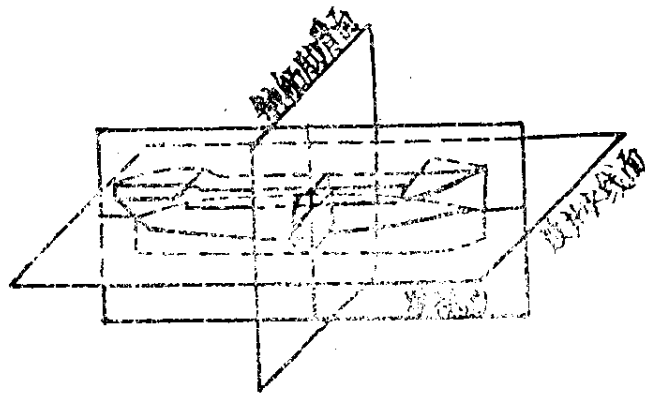


图 0 — 1

2° 三种剖线和三个图：

由以上三个平面和舰体表面的交线（图0—2）的形状，可以初步的表示出舰体外表的形状，但要完整的表示舰体外表的形状则需用更多的平面去截舰体。

1. 纵剖线，侧面图：平行于对称面的平面（纵剖面）和舰体外表面的交线称为纵剖线，把所有纵剖线重叠画在对称面上构成侧面图（见附录线型图）根据舰宽情况纵剖面常取2—4个。由对称面向两舷侧编号Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ……。

2. 水线，半宽图：平行于设计水线面的平面和舰体外表面的交线称为水线，把所有水线重叠画在设计水线面上即构成半宽图。因为舰体外表面左右对称，所以所有水线也对称于对称面，因此只要画半边即可。

视吃水情况设计水线以下常取水线面6—10个，而在设计水线上可少些。由基本面向上编号0、1、2……。

3. 肋骨线，船体图：

经过设计水线和首尾柱的交点作设计水线的垂线，分别称为首垂线、尾垂线（图0—2）。一般将首尾垂线之间的舰长分成20等分，得到21个理论肋骨面（平行于中船肋骨面的平面）。由首至尾编号0、1、2……20，第10号肋骨面称为中船肋骨面用专门符号“X”来表示，肋骨面和舰体外表面的交线称为肋骨线，重叠画在中船肋骨面上即构成船体图。因为舰体左右对称，为了避免船体图过于烦杂和节省时间，在船体图上所有肋骨线只画一半，首部肋骨线（0—10号）画在右半，尾部肋骨线（11—20号）画在左半。

以上三种剖线中的每一种，仅在一个图中保持其真实的形状（曲线），而在其余二图中均为直线（纵剖线在半宽图、船体图上为直线；水线在侧面图及船体图上是直线，肋骨线在侧面图上，半宽图上是直线）。

线型图上除画出以上三种剖线外尚应画出甲板线（表示上甲板和舰舷表面的交线），它在三个图中均为曲线。正确绘制的线型图上的任何点在三个图上应该相互配合。

以上三图，就能准确的表示出舰体的平滑外形。

一般线型图所表示的舰体外形是不包括外壳板和突出部分在内的舰体理论外形。木船的线型图一般是包括外壳板的。

3° 型值表：

型值表是用数字表格的形式来说明舰体的表面形状(见附录)，在舰船原理计算中是很有用处的。

表格上的横列从左到右表示水线 0、1、2……。表左边的行从上到下表示理论肋骨号数 0、1、2……20。表中间的数值表示其所在之行列相应水线和肋骨处的舰体表面半宽(实际尺寸)。

此外在表的右边还说明了甲板边线各理论肋骨处的高度和半宽。

§0—3 主要尺寸及船形系数

1° 主要尺寸：

1. 舰长：从舰首端到舰尾端(包括壳板)之间的长度，称为舰船之总长或最大长度，如图 0—2，用 L_{max} 表示。首尾垂线之间的长度称为设计水线长，或垂线间长，以后在舰船原理中所称的舰长就是指此长度，以 L 表示。

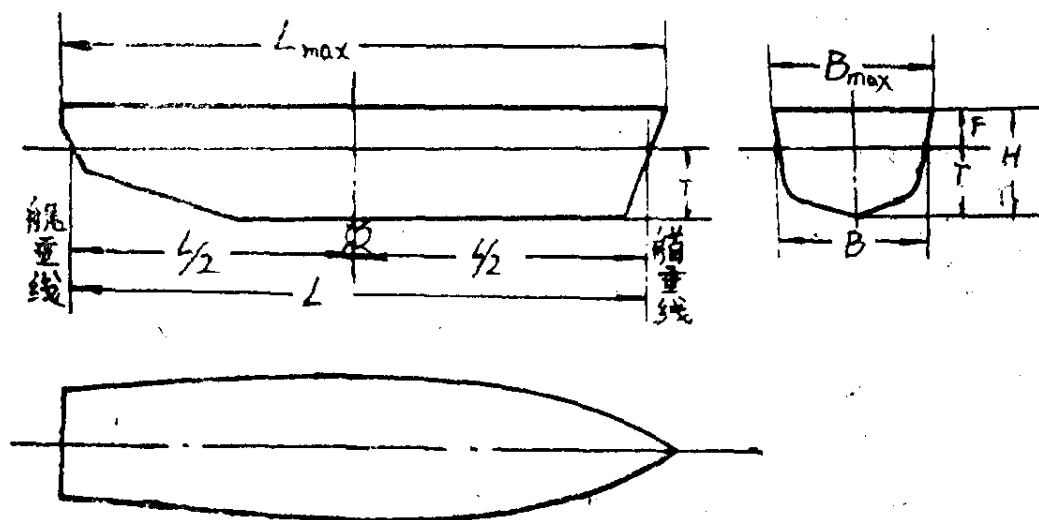


图 0—2

2. 舰宽：包括外壳在内的舰船最宽处的宽度称舰船最大宽度，以 B_{max} 表示。设计水线面的最大宽度称为设计水线宽或称为舰宽以 B 表示。

3. 舷高：在中船肋骨面处由龙骨到上甲板边线的铅垂高度称为舷高用 H 表示。在水线以上的舷高称为干舷高，用 F 表示。

4. 吃水：由龙骨到水线面的铅垂距离称为吃水，以 T 表示。

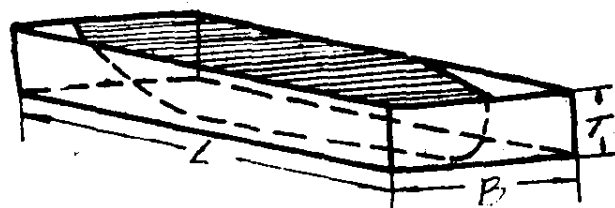


图 0—3

2° 船型系数

船型系数是用来概略表示舰船水下部分形状特征的一些比值，其中最重要的有：

1. 总肥满系数（方形系数） δ ：是舰船水下部分体积与该容积外切的平行六面体的体积之比，如图 0—3。

V——表示舰船水下部分体积；

L——舰长；

B——舰宽；

T——吃水，以 L、B、T、分别为该平行六面体的长、宽、高则总肥满系数 δ 为

$$\delta = \frac{V}{LBT}$$

δ 是一个小于 1 的系数，它的大小说明舰体水下部分的肥瘦。

2. 水线面面积系数 α ：是水线面面积 S 和该面积外切矩形面积之比，如图 0—4，用式子表示则

$$\alpha = \frac{S}{LB}$$

α 是一个小于 1 的系数，它的大小说明了舰船水线面的肥瘦情况。

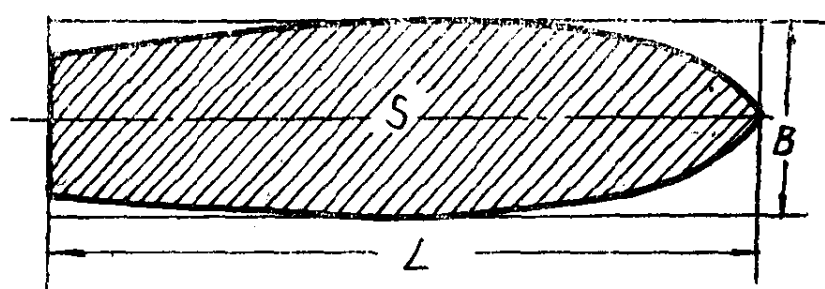


图 0—4

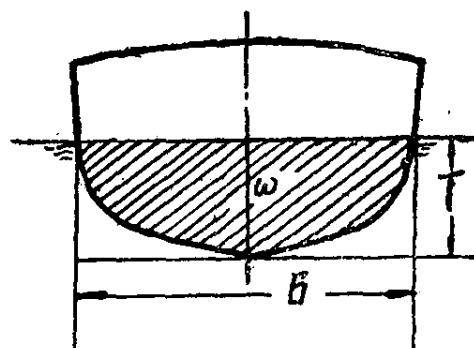


图 0—5

3. 肋骨面面积系数 β ：是中船肋骨面水下部分面积 ω 和以宽为 B 高为 T 所组成的矩形面积之比，如图 0—5，即

$$\beta = \frac{\omega}{BT}$$

β 的大小表示舰船中船肋骨面的肥瘦

4. 长宽比 L/B 是舰长与舰宽之比，它的大小说明舰船相对较长或较宽。

5. 宽吃水比 B/T 是舰宽与吃水之比，它的大小说明舰船相对较宽或较深。

所有以上系数的大小对舰船的各种航海性能有极为重要的影响。根据实践，对各种舰船较合适的系数范围如表所载：

舰 种	α	β	δ	B/T	L/T
巡 洋 舰	0.64—0.72	0.72—1.00	0.44—0.60	2.6—4.2	9.0—10.0
驱 逐 舰 护 卫 舰	0.66—0.78	0.70—0.80	0.40—0.52	2.5—4.1	9.0—10.0
扫 雷 舰	0.68—0.75	0.80—0.88	0.50—0.60	4 左 右	7.0—7.8
小 艇	0.7 —0.8	0.65—0.75	0.37—0.50	4 左 右	7.0—7.8

第一章 浮 性

舰船按一定状态漂浮于水面的这种性能称为浮性。浮性是军舰最基本最重要的海航性能，它是其它各种航海性能的基础。当军舰漂浮于不良的漂浮状态时（如过大的倾斜、倾差）它的战斗性能和航海性能都将大为恶化。

本章将研究：如何来表示舰船的漂浮状态？舰船为什么会以一定的姿态漂浮于水面？怎样计算舰船浮力（——排水量）的大小及其作用点（——浮心）的位置？以及与浮性有关的一些图线及其应用。

§1—1 舰船的漂浮状态及其表示法

舰船的漂浮状态是指舰船浮于水面时所取的姿态，严格的说是指舰船与水面的相对位置。漂浮状态归纳起来不外乎下列四种。每一种有个专门的称呼和一定的表示方法。

1° 正直状态：是指舰船没有左右倾斜，也没有首尾倾差的浮态，如图1—1所示。

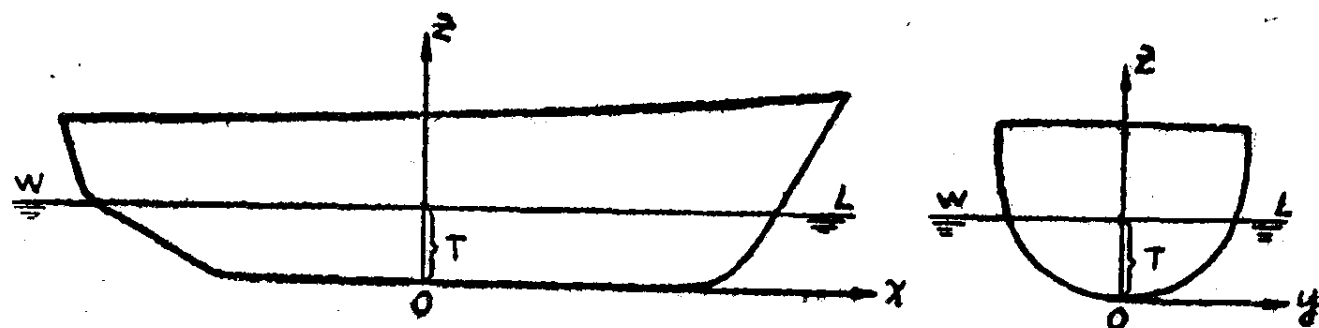


图 1—1

这时水线面和基本面平行，且只要用一个数值——吃水 T 就能说明。这是舰船通常的浮态。

2° 倾斜状态：是指舰船有左右倾斜，但没有首尾倾差的浮态，这时表示起来要用图1—2的形式

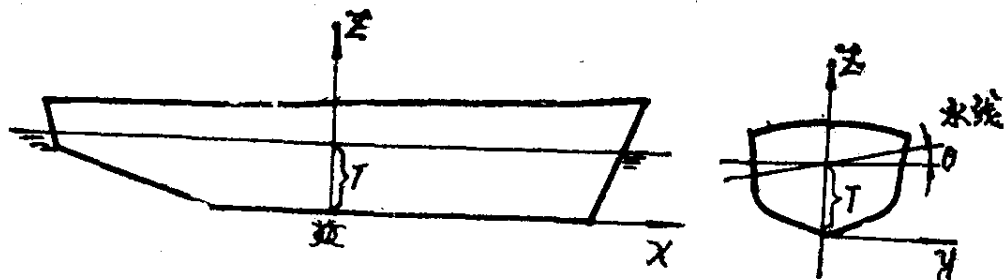


图 1—2

θ ——表示水线和正直水线之间的夹角（如图 1—2）叫做倾斜角， θ 有正负，当舰船向右舷倾斜时 θ 为正，反之为负。

由上不难看出，要说明这种浮态必须用两个数字才行，即要用吃水 T ，和倾斜角 θ 来表示。

注：实际上水线是水平的，倾斜是舰体相对于水平面倾斜，所以按实际情况这种状态应画成如图 1—2 a 所示的样子，但为作图方便起见，今后我们采用图 1—2 的表示方法（舰体不歪相对地把水线歪一个角度）。

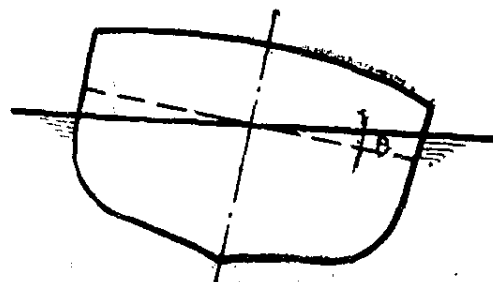


图 1—2a

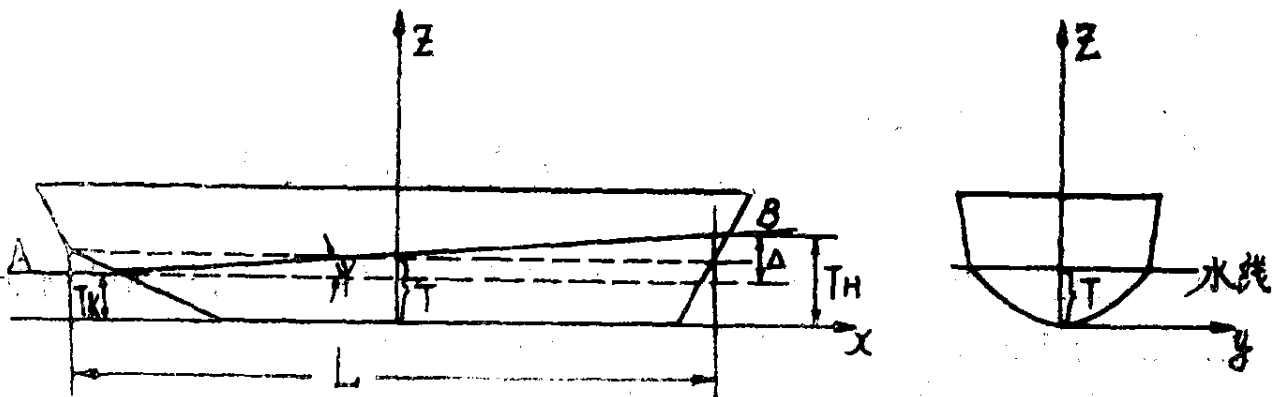


图 1—3

3° 倾差状态：是舰船没有左右倾斜，只有首尾吃水差，表示起来如图 1—3。

ψ ——表示水线和正直水线之间的夹角，称为倾差角，我们也用 ψ 的正负来表示舰船是向首（ ψ 为正）或向尾（ ψ 为负）倾差。

由图 1—3 可知这种状态我们可以用吃水 T 和倾差角 ψ 二个数值来说明。此外，也可以用首吃水 T_H 和尾吃水 T_K 二个数值来说明。所谓首、尾吃水（如图所示），即它们分别是在首垂线、尾垂线处的吃水。

往往我们把首尾吃水差称为倾差，用 Δ 表示，即：

$$\Delta = T_H - T_K$$

倾差角（ ψ ）与倾差（ Δ ）之间关系为（从三角形 ABC 可以看出）

$$\tan \psi = \frac{\Delta}{L}$$

上式 L 为舰长

注：所有舰船建造完毕后，都要在首、中、尾三处按一定的方法画出吃水标志，这时应注意如下两点：

（1）首、尾吃水标志在长度上的位置一般并不是在首尾垂线处，而是在靠中部一些的某处。

（2）对军舰来说一般可能用某种密码来作为吃水标志。

4. 任意状态：是指舰船有倾斜也有倾差的浮态如图 1—4，这种状态必须用吃水（ T ）倾斜角（ θ ），倾差角（ ψ ）三个数值才能说明。

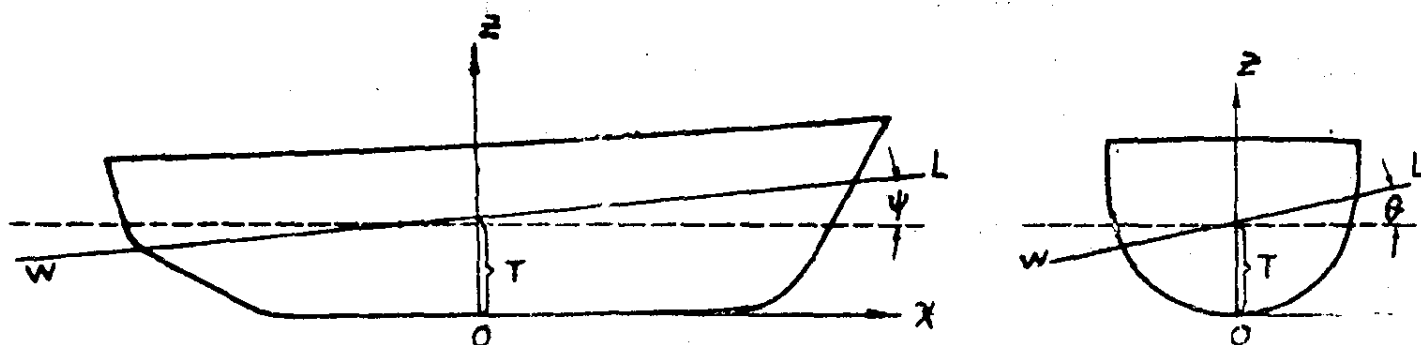


图 1—4

通常舰船是处在正直状态的，而稍带倾差的倾差状态也是较多的情况。至于很大的倾差或倾斜及任意状态，在实际上对舰船航海和战斗性能都是不利的，是不允许的。这种状态往往只在破损情况下出现。

§1—2 舰船的平衡条件

舰船为什么会以一定的姿态漂浮于（平衡于）水面？这是由于作用在舰船上的诸力互相平衡所致。所以要研究舰船的平衡条件必须先来分析作用于静浮于水面的舰船上的力。

1° 作用于静止舰船上的力

舰船静止平衡于水面时，受到重力和浮力二个力的作用。

1. 舰船的重量 P ，作用于舰船重心 G ，方向铅垂向下。

舰船重量（重力）是指由所有舰体构件、机器、武器、弹药、各种仪器设备、人员供应品等等的重量总合起来所组成的合重量，舰船重量用 P 表示，以吨为单位。舰船重量 P 的作用点即称为舰船的重心在图上用 G 表示，不论在什么情况下，舰的重量 P 的方向总是铅垂（铅垂于水面）向下（图 1—5）。

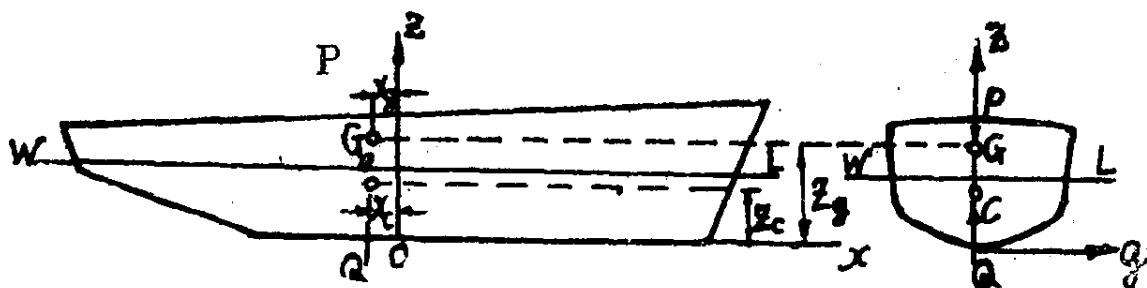


图 1—5

在静力学中常用的坐标系是这样的：原点 O 取在基本面、中船肋骨面 and 对称面的交点上。对称面和基本面的交线为 X 轴，向首为正；基本面和中船肋骨面的交线为 Y 轴，向右舷为正，对称面和中船肋骨面的交线为 Z 轴，向上为正。（图 1—6）

重心 G 在舰上的位置，常用 X_g 、 y_g 、 Z_g 三个座标来表示：

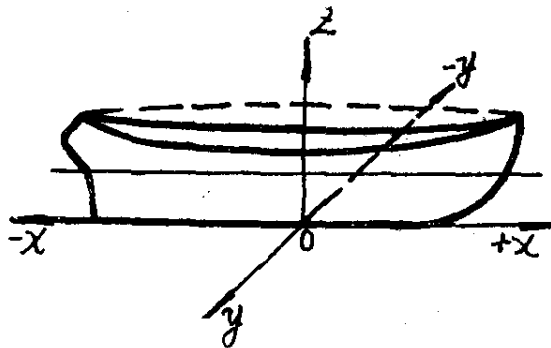


图 1—6

X_g ——表示G距离中船肋骨面的距离。(G在首尾长度上的位置)

y_g ——表示G距离对称面的距离(G在左右舷方向上的位置)

Z_g ——表示G距离基本面的距离(G在高度上的位置)

舰船重心G不一定在中船肋骨面上,可能在其稍前或稍后。

重心G在高度上的位置,一般在水线以上,上甲板以下。若以舷高的几分之几来表示,即:

$$Z_g = \mu H$$

其中 μ 是小于1的数值,对各类舰船,其值大致如下表:

舰 种	战 列 舰	巡 洋 舰	驱 逐 舰	巡 逻 艇	快 艇	猎 艇 潜	扫 雷 艇
μ 值	0.55—0.60	0.70—0.74	0.65—0.75	0.75—0.80	~0.72	~0.71	~0.9

通常,在设计建造时,要求舰上所有物品的布置尽量对称于对称面,所以最后重心G是在对称面上的,即:

$$y_g = 0$$

2. 浮力Q作用于浮心C,方向铅垂向上。

根据阿基米德原理可知,舰船所受浮力之大小就等于它所排开的水的重量,若知舰船排开水的容积是V,那么浮力Q的大小就可以知道了。

$$Q = \gamma V$$

式中:

Q——表示浮力,单位是吨

γ ——表示水之比重,单位是吨/米³, (淡水 $\gamma = 1.00$ 吨/米³; 海水 $\gamma = 1.03$ 吨/米³左右)

浮力Q的作用点即称浮心,也即舰船所排开水的容积中心(或称形心)。

浮心C在舰上的位置,相应的用 X_c 、 y_c 、 Z_c 三个座标来表示。当舰船正直漂浮时,由于舰体水下部分的形状是左右对称的,因此浮心C必然在对称面上亦即 $y_c = 0$,至于座标 X_c 可以为正(即在中船肋骨面前面)也可以为负(在中船肋骨面后面)这就要看首尾部分容积的肥瘦情况了,但通常 $X_c \approx 0$ 因为舰船并不对称于中船。

2° 舰船的平衡条件

既然已知舰船浮于水面时,只受到重力和浮力作用,那么根据理论力学中关于作用在一个刚体上二力平衡的条件,就很容易得到舰船的平衡条件,那就是:

(1) 重力和浮力大小相等,方向相反(合力为零——没有移动)。

(2) 二力在同一直线上,换句话说要求重心和浮心在同一条铅垂线上。(合力矩为零——没有转动)。(见图1—5)

必须指出,这两个条件缺一不可,必须同时满足,才能保证舰船处于平衡状态。如图1—7所示的情况,即使重力P等于浮力Q,舰船也不能在WL水线正直漂浮。

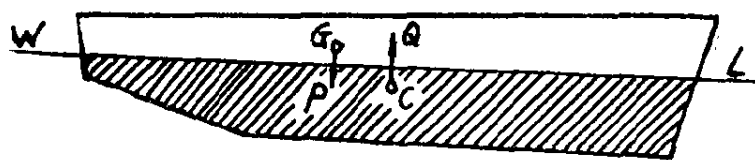


图 1—7

上述平衡条件若以数学式子表达出来即称为平衡方程式。对于正直状态的平衡条件可表示为：

$$\begin{cases} P = \gamma V \\ X_c = X_g \\ y_c = y_g = 0 \end{cases}$$

对于倾差状态的平衡方程式，从图 1—8 不难看出为：

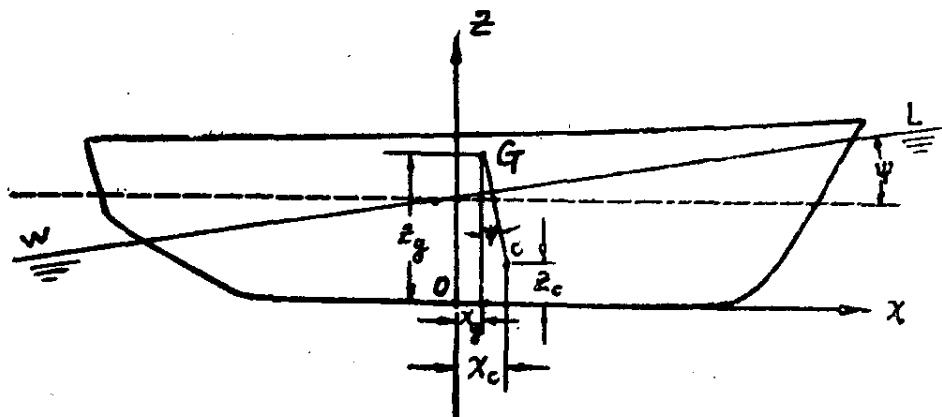


图 1—8

$$\begin{cases} P = \gamma V \\ X_c - X_g = (Z_g - Z_c) \tan \psi \\ y_c = y_g = 0 \end{cases}$$

至于倾斜状态和任意状态的平衡方程式由于实际上很少用到，我们这里就不去把它写出来了。

利用平衡条件可以检查已知水线是否为平衡水线，并可用来解决某些实用问题。

从以上的分析中我们看到，作用在静止舰船上的力只有重力和浮力，而舰船的浮性和稳度就是取决于这二个力的作用，所以在整个舰船静力学问题的研究中，我们都是与重量、重心，浮力、浮心这四个量打交道。为此，我们必须熟练地掌握重量、重心和浮力、浮心的变化规律。

§1—3 舰船重量和重心位置的计算

1° 一般公式

由于地心引力的作用，舰船上的一切构件、装备……上皆受到一铅垂向下的重力作用。这些力组成一个平行力系。所谓整个舰船的重力就是这些力的合力，重心就是这个合力的作用点。（也就是此平行力系的中心）。

舰船重量 P 的大小，就等于各项重量的总和。

$$P = \sum p_i \quad (1)$$

欲求合力作用点——重心的位置，可用力矩定理（合力对于任一轴的力矩等于各分力对于此轴的力矩的代数和）。例如，图 1—9 所绘出之力系的各个力为 p_i ，其作用点的坐标为 (X_i, y_i, Z_i) ，力系的合力为 P ，其作用点的座标为 $G(X_g, y_g, Z_g)$ 。将合力 P 和各分力 $p_1, p_2, \dots, p_3, \dots$ 对 Y 轴取力矩，按力矩定理可得：

$$PX_g = p_1 X_1 + p_2 X_2 + \cdots + p_i X_i + \cdots = \sum p_i X_i$$

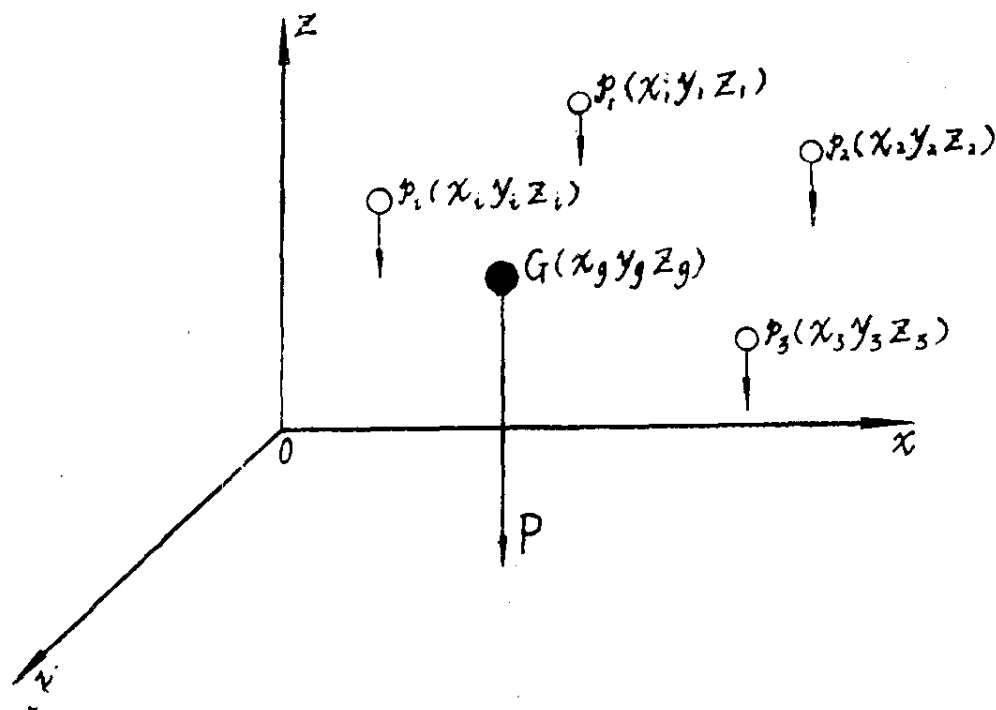


图 1-9

所以可得重心的座标 X_g

$$X_g = \frac{\sum p_i X_i}{P} = \frac{\sum p_i X_i}{\sum p_i}$$

同理，可得 y_g ， z_g 的表示式。但在求 z_g 时，由于诸力平行于 Z 轴不便于应用力矩定理，这只要将整个力系中的每一个力都转 90 度方向，然后对 X 轴或 Y 轴应用力矩定理即可。因为当平行力系中每个力的方向都平行地改变一个角度时，其合力的作用点的位置是不变的。

$$X_g = \frac{\sum p_i X_i}{\sum p_i} \quad (2)$$

$$Y_g = \frac{\sum p_i y_i}{\sum p_i} \quad (3)$$

$$Z_g = \frac{\sum p_i Z_i}{\sum p_i} \quad (4)$$

在应用上述公式来计算重量、重心时，如何来划分各个组成部分，可根据计算方便灵活掌握。

2° 增减载荷时重量、重心的变化

通常对于造好的舰船，对于某几种载重情况时的重量和重心坐标是已经求得，并且记载在舰船的有关资料上。所以在一般情况下，舰船的重量、重心是已知的而不必重新去计算。但是舰上有一部分重量如油水、弹药，粮食、人员……等是经常在变动的。所以常常需要计算由于增减和移动载荷时舰船重量和重心的变化。

如图1—10所示；设舰船原来的重量为 P ，重心为 $G(X_g, y_g, Z_g)$ ，增加载荷 q 于 $k(X_q, y_q, Z_q)$ 之后，舰船的重量变为 P_1 ，重心变为 $G_1(X_{g1}, y_{g1}, Z_{g1})$ 。显然， P_1 即为 P 和 q 这二个平行力的合力。按公式 (1), (2), (3), (4) 即可求得舰船新的重量和重心坐标。

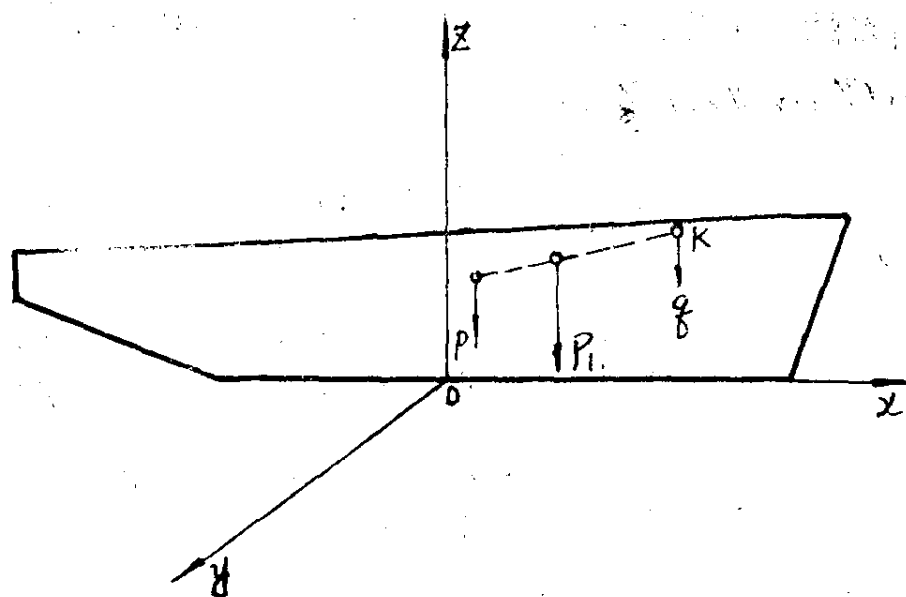


图 1—10

$$P_1 = P + q \quad (5)$$

$$X_{g1} = \frac{PX_g + qX_q}{P + q} \quad (6)$$

$$y_{g1} = \frac{Py_g + qy_q}{P + q} \quad (7)$$

$$Z_{g1} = \frac{PZ_g + qZ_q}{P + q} \quad (8)$$

若要计算由于在 $k(X_q, y_q, Z_q)$ 点增加载荷 q 后，舰船重心坐标的变化 $\delta X_g, \delta y_g, \delta Z_g$ 。最简便的方法，是对经过 G 点而平行于 $OXYZ$ 的轴运用力矩定理，立即可得：

$$\delta X_g = \frac{q(X_q - X_g)}{P + q} \quad (9)$$

$$\delta y_g = \frac{q(y_q - y_g)}{P + q} \quad (10)$$

$$\delta Z_g = \frac{q(Z_q - Z_g)}{P + q} \quad (11)$$

对于减少载荷，可看为增加一个负的载荷，上述计算公式仍然适用，只是公式中 q 的数值本身应为负的。

3° 移动载荷时重心位置的变化

设舰船原来的重量为 P ，重心为 $G(X_g, y_g, Z_g)$ ，载荷 q 自 $k_1(X_1, y_1, Z_1)$ 移动至 $k_2(X_2, y_2, Z_2)$ 后，舰船的重心移至 $G_1(X_{g1}, y_{g1}, Z_{g1})$

载荷 q 的移动，可看作是在 $k_1(X_1, y_1, Z_1)$ 点减去一个载荷 q ，而在 $k_2(X_2, y_2, Z_2)$ 增加一个载荷 q ，这样， P_1 就是 P ，

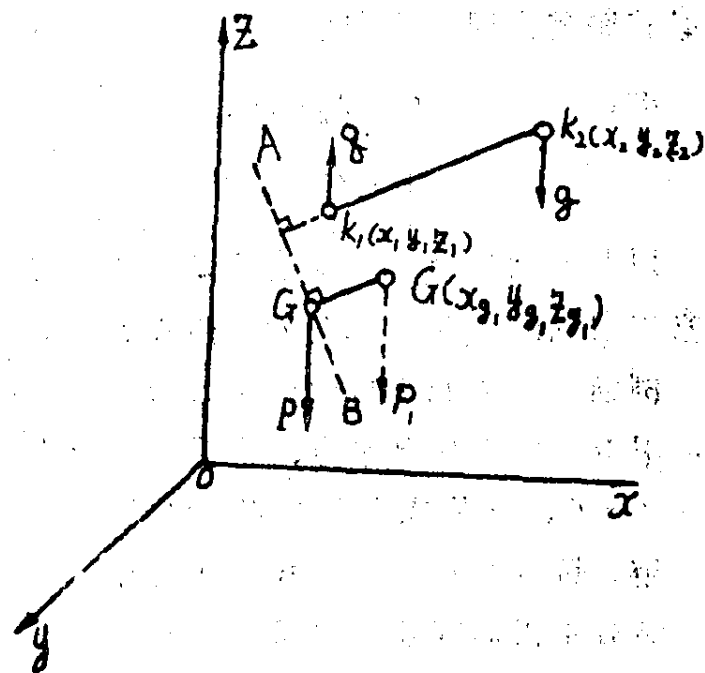


图 1—11

$q(k_1 \text{点的})$ 、 $q(k_2 \text{点的})$ 三个力的合力，可按 (2)、(3)、(4) 来求舰船的新重心 $G_1(X_{g1}, y_{g1}, Z_{g1})$ 。

$$X_{g1} = \frac{PX_g + qX_2 - qX_1}{P + q - q} = \frac{PX_g + q(X_2 - X_1)}{P} \quad (12)$$

$$y_{g1} = \frac{Py_g + qy_2 - qy_1}{P + q - q} = \frac{Py_g + q(y_2 - y_1)}{P} \quad (13)$$

$$Z_{g1} = \frac{PZ + qZ_2 - qZ_1}{P + q - q} = \frac{PZ_g + q(Z_2 - Z_1)}{P} \quad (14)$$

若要计算由于载荷 q 自 $k_1(X_1, y_1, Z_1)$ 移动至 $k_2(X_2, y_2, Z_2)$ 后，舰船重心座标的变化： δX ， δy ， δZ 最简便的方法，是对经过 G 点而平行于 $OXYZ$ 的轴运用力矩定理。

$$P \cdot \delta X_g = q(X_2 - X_1) \quad (15)$$

$$P \cdot \delta y_g = q(y_2 - y_1) \quad (16)$$

$$P \cdot \delta Z_g = q(Z_2 - Z_1) \quad (17)$$

重心位置的移动为：

$$\delta X_g = \frac{q(X_2 - X_1)}{P} \quad (18)$$

$$\delta y = \frac{q(y_2 - y_1)}{P} \quad (19)$$

$$\delta Z_g = \frac{q(Z_2 - Z_1)}{P} \quad (20)$$

若把图 1—11 中诸力对于垂直于直线 k_1k_2 的轴 AB 取力矩，即可得著名的重心移动定理。

重心移动定理：某物体系中有一个物体向某方向移动一段距离，则整个物体系的重心必将跟着向同一方向移动，且二者移动之距离与重量成反比。

即： $GG_1 \parallel \overline{k_1k_2}$

$$P \overline{GG_1} = q \overline{k_1k_2}$$

以上所列的由于增减或移动载荷引起重心座标变化的式子，在整个舰船静力学中是经常要用到的，所以大家须要彻底搞清楚，并能熟练运用。

例题：驱逐舰之重量排水量为 $P = 2318$ 吨，重心座标为： $X_g = -2.10$ 米， $Z_g = 4.65$ 米在后甲板上装上 40 颗水雷，水雷之总重为 40 吨，重心座标为 $X_q = -43.5$ 米， $y_q = 0$ ， $Z_q = 7.8$ 米，求装载水雷后舰船之重量和重心座标。

解：按 (5) —— (8) 式可知：

装载水雷后舰船之重量为：

$$P_1 = P + q = 2318 + 40 = 2358 \text{ 吨。}$$

重心坐标为：

$$X_{g1} = \frac{PX_g + qX_q}{P + q} = \frac{2318 \times (-2.10) + 40 \times (-43.5)}{2358} = -2.80 \text{ 米。}$$

$$y_{g1} = 0,$$

$$Z_{g1} = \frac{PZ_g + qZ_q}{P + q} = \frac{2318 \times 4.65 + 40 \times 7.8}{2358} = 4.71 \text{ 米。}$$

§1—4 舰船排水量及浮心坐标计算

1° 关于舰船排水量的概念：

若舰船浮于WL水线则水下部分的容积V（就是排开水的容积），叫做容积排水量，单位是立方公尺。而相当于这部分容积的水的重量，叫做重量排水量，单位是吨。

根据平衡条件可知重量排水量就等于舰船的重量，这两种排水量分别地从容积方面及重量方面表示舰船的大小。通常我们所说某舰排水量多大就是指的重量排水量而言的。

为了明确地表示舰船的载重状况，通常将排水量分为空载、标准、正常，满载及超载五种类别，它们的含意如下：

（1）空船排水量——包括舰体、机器、武器装备等，也就是装备齐全的舰船之重量。但不包括人员、燃料、油类、军火、给养、淡水、备用锅炉水等。

（2）标准排水量——包括装备齐全的舰船及全额的人员、军火、给养、淡水，机器处于航行状态（如锅炉内有一定高度的水）。但不包括燃料，油类和备用锅炉水。

（3）满载排水量——等于标准排水量再加上燃料、油类和备用锅炉水（其数量须能保证既定的全速或经济航速下的续航力）。

（4）正常排水量——这是在正式的接船试验时应具有的排水量，它等于标准排水量再加上半数的燃料、油类和备用锅炉水。

（5）最大排水量——它等于满载排水量加上补加的军火、再加上额外的燃料、油类和备用锅炉水，其数量应装满所有的贮放仓柜。

而对商船来说，一般只分为压载与满载排水量两类。

2° 排水量的计算：

舰船正常的漂浮状态是接近于正直状态的，所以在本节中我们只限于研究正直状态的排水量的计算方法。

计算舰船的容积排水量，也就是要计算舰船在WL水线下的容积，这对于大家并不是什么新问题，只是把数学上用定积分计算体积的方法具体运用到舰船上。

如1—12图所示，在某水线处取一极薄层的由二距离极

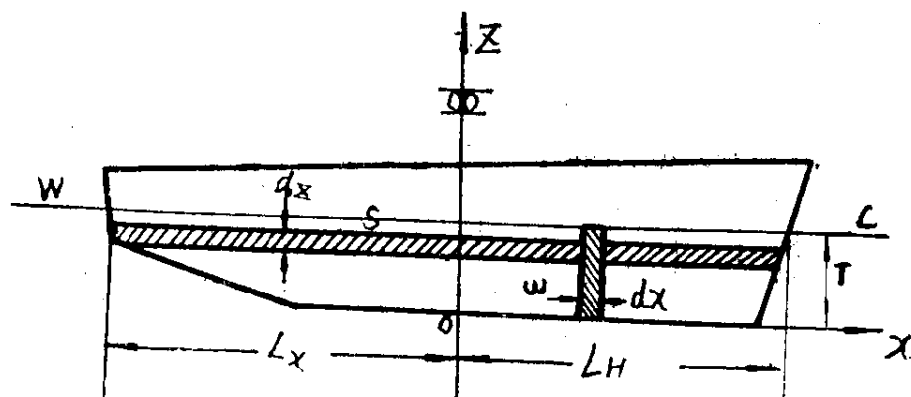


图 1—12