

# 目 录

绪论	1
第一章 船体几何及近似计算	2
§1 船体的主要尺度和船型系数	2
§2 船体型线图	5
§3 船体近似算法	9
第二章 船舶静水力曲线计算	19
§1 浮性概述	19
§2 船舶重量和重心位置的计算	20
§3 排水量和浮心位置的计算	22
§4 储备浮力及载重标记	30
§5 稳性概述	31
§6 浮心的移动、稳心及稳心半径	32
§7 初稳心公式、稳心高度	35
§8 船舶静水力曲线图	39
§9 邦戎曲线	40
第三章 船舶在各种装载情况下浮态及初稳性的计算	46
§1 重量移动对船舶浮态及初稳性的影响	46
§2 装卸小量载荷对船舶浮态及初稳性的影响	50
§3 装卸大量载荷对船舶浮态及初稳性的影响	53
§4 自由液面对船舶初稳性的影响	54
§5 船舶在各种装载情况下浮态及初稳性的计算	56
§6 船舶倾斜试验	58
第四章 大倾角横稳性	65
§1 概述	65
§2 大倾角稳性的计算原理	66
§3 静稳性曲线的计算方法	70
§4 上层建筑及自由液面对静稳性曲线的影响	79
§5 静稳性曲线的特性	84
§6 动稳性	86
§7 船舶在各种装载情况下的稳性校核计算	92
§8 极限重心高度曲线	94
§9 船体几何要素对稳性的影响	96
第五章 抗沉性	99
§1 进水仓的分类及渗透率	99
§2 仓室进水后船舶浮态及稳性的计算	100
§3 可浸长度的计算	104
§4 分仓因数及许用仓长	108

首柱前缘的交点所作的垂线，尾垂线一般取为舵轴的中心线。军舰通常以通过尾轮廓线 and 设计水线交点的垂线作为尾垂线。

设计水线长  $L_{WL}(L_s)$ ：设计水线在首柱前缘和尾柱后缘之间的长度称为设计水线长。军舰一般均以设计水线长为垂线间长。

在船舶静水力性能计算中一般用垂线间长  $L_{BP}$ ，在分析阻力性能时常用水线长度  $L_{WL}$ ，而在船进坞、靠码头或通过船闸时应注意它的总长  $L_{OA}$ 。

(2) 船宽  $B$ ——设计水线处的最大宽度。

(3) 型深  $H$ ——甲板边线最低点至龙骨基线的垂直高度。一般说来，甲板边线的最低点在横舢剖面处。

吃水  $T$ ：设计水线至龙骨基线的垂直高度。在有设计纵倾的情况下，首尾吃水不同，则取其平均值，即

$$T = \frac{1}{2}(T_F + T_A)$$

式中： $T_F$  为首吃水， $T_A$  为尾吃水。平均吃水也就是横舢剖面处的吃水（图 1-4）。

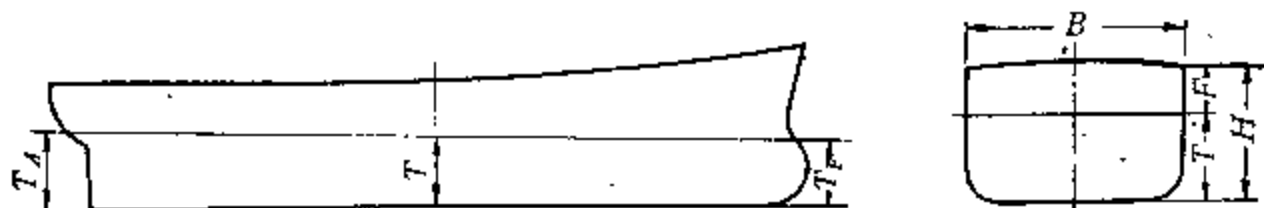


图 1-4

干舷  $F$ ：在船侧横舢剖面处，自设计水线至甲板边板顶面的垂直距离。因此，干舷  $F$  等于型深  $H$  与吃水  $T$  之差再加上甲板的厚度。

## 二、船型系数

船型系数是表达船体水下部分肥瘦程度的无因次系数，这些系数对分析船舶的航海性能有很大的用处。

(1) 水线面系数  $\alpha (C_{wp})$ ——通常是指设计水线面面积  $S$  与由船长  $L$ 、船宽  $B$  所构成的长方形面积之比（图 1-5），即

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

$\alpha$  的大小表示水线面的肥瘦程度。

(2) 横舢剖面系数  $\beta (C_M)$ ——横舢剖面在水线以下的面积  $A_{\Sigma}$  与由船宽  $B$ 、吃水  $T$  所构成的长方形面积之比（图 1-6），即



图 1-5

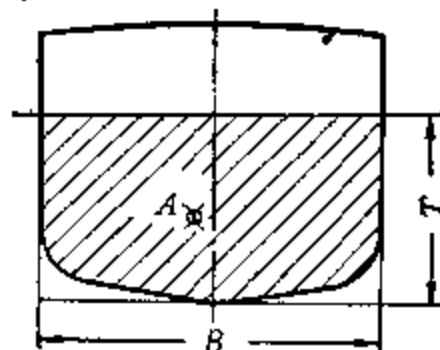


图 1-6

表 1-3

名 称	横 剖 线	水 线	纵 剖 线
横剖面图	曲线(真实形状)	水平的直线	垂直的直线
水线面图	垂直的直线	曲线(真实形状)	水平的直线
纵剖面图	垂直的直线	水平的直线	曲线(真实形状)

型线图的比例尺视船的大小而定,通常采用 1/100、1/50 及 1/25,万吨级船一般用 1/100,鱼雷快艇的比例尺有时采用 1/10。在船体型线图中一般都应给出型值表,作为性能计算和建造放样的主要依据,以免从图纸上量取数据(图纸往往伸缩变形,从上而直接量取数据不易正确)。表 1-4 b 为“风光”号的型值表。图 1-10 b 为某驱逐舰的型线图,其型值见表 1-4 a。

最后,顺便提一下关于模尺度(或称型尺度)的问题。在钢船上,钢板的厚度与船的主尺度相比是很小的,而且厚薄不一,习惯上都是在壳板的内侧量取它的大小和型线。至于木船和钢丝网水泥船,其壳板较厚,不容忽视,因此常按壳板的外表面来量取其主尺度和型线。

表 1-4 a 某驱逐舰型值表

站 号	基线	半 宽 (毫 米)										高 度 (毫米)				
		600 水线	1200 水线	1800 水线	2400 水线	3000 水线	3600 水线	4800 水线	6000 水线	7200 水线	8400 水线	上甲板	1500 纵剖线	3000 纵剖线	4500 纵剖线	上甲板
0		—	—	—	—	—	80	190	360	610	890	410	—	—	—	7250
1		260	450	550	700	840	960	1230	1500	1840	2210	1600	5950	—	—	7050
2		550	910	1205	1450	1685	1900	2260	2635	3000	3420	2740	2520	7200	—	6850
3		860	1440	1880	2220	2550	2820	3220	3630	4000	4330	3750	1270	4100	8950	6700
4		1200	2070	2620	3030	3400	3700	4080	4430	4720	4900	4540	800	2320	6160	6560
5		1590	2700	3330	3845	4180	4465	4785	5000	5195	5290	5060	580	1440	3720	6440
6		1910	3230	3910	4465	4780	4960	5215	5380	5490	5580	5420	410	1080	2420	6370
7		2200	3620	4340	4880	5130	5310	5520	5610	5720	5760	5660	360	880	1800	6300
8		2460	3940	4700	5200	5420	5600	5740	5820	—	—	5830	300	760	1550	6270
9		2635	4150	4950	5410	5610	5780	5890	5910	—	—	5920	285	700	1410	6250
10		2800	4300	5150	5550	5750	5900	6000	6000	—	—	6000	260	656	1300	6250
11		2650	4290	5080	5440	5690	5820	5920	5920	—	—	5920	280	710	1370	6250
12		2450	4060	4900	5320	5550	5700	5820	5820	—	—	5820	350	790	1500	6250
13		2200	3800	4700	5090	5380	5520	5660	5660	—	—	5660	380	880	1660	6250
14		1830	3450	4300	4820	5150	5340	5480	5480	—	—	5480	500	1050	1950	6250
15		1400	3000	3930	4520	4900	5080	5265	5275	—	—	5275	610	1220	2320	6270
16		950	2500	3480	4110	4540	4780	5000	5020	—	—	5025	820	1520	2950	6300
17		350	1610	2860	3630	4150	4430	4680	4720	—	—	4750	1200	1910	3800	6350
18		—	400	1600	3050	3720	4080	4390	4480	—	—	4500	1720	2350	6350	6410
19		—	—	300	1900	3220	3680	4000	4100	—	—	4125	2280	2850	—	6470
20		—	—	—	—	2580	3250	3640	3750	—	—	3790	3000	3600	—	6550

式中括号内各纵坐标前的系数 (1, 4, 1) 称为辛氏乘数, 括号内各辛氏乘数之和通常记作  $\Sigma S \cdot M$ 。

将 (1-3) 式用于船体计算, 便称为辛氏第一近似算法 (见图 1-11)。设  $CD$  为船体上的某一段水线, 在应用辛氏第一法求面积时, 认为  $CEF$  和  $FGD$  近似地用两段二次方抛物线来代替, 则:

$$\text{曲线 } CEF \text{ 所围的面积是: } -\frac{l}{3} (y_0 + 4y_1 + y_2)$$

$$\text{曲线 } FGD \text{ 所围的面积是: } -\frac{l}{3} (y_2 + 4y_3 + y_4)$$

$$\text{曲线 } CD \text{ 所围的总面积是: } S = -\frac{l}{3} (y_0 + 4y_1 + 2y_2 + 4y_3 + y_4)$$

令图 1-11 中面积底边的长度  $\overline{AB} = L = 4l$ , 则上式可写作:

$$\begin{aligned} S &= \frac{L}{12} (y_0 + 4y_1 + 2y_2 + 4y_3 + y_4) \\ &= \frac{L}{\Sigma S \cdot M} (y_0 + 4y_1 + 2y_2 + 4y_3 + y_4) \end{aligned}$$

式中,  $\Sigma S \cdot M = 12$ , 恰为括号内辛氏乘数之和。

推广说来, 如将底边分成  $n$  等分 (必须注意: 在应用辛氏第一法时,  $n$  必须为偶数), 则辛氏第一法的计算式可写作:

$$S = -\frac{l}{3} (y_0 + 4y_1 + 2y_2 + 4y_3 + \cdots + 2y_{n-2} + 4y_{n-1} + y_n) \quad (1-4)$$

或

$$S = \frac{L}{\Sigma S \cdot M} (y_0 + 4y_1 + 2y_2 + 4y_3 + \cdots + 2y_{n-2} + 4y_{n-1} + y_n) \quad (1-5)$$

式中  $l$  —— 座标间距 (或称站距);

$L$  —— 所求面积底边的总长度, 且  $L = nl$ ,

$\Sigma S \cdot M$  为括号内各纵坐标前辛氏乘数 (1, 4, 2, 4,  $\cdots$ , 2, 4, 1) 的总和。

在实际计算中, 也可将 (1-4) 式和 (1-5) 式写作:

$$S = \frac{2l}{3} \left[ \frac{y_0}{2} + 2y_1 + y_2 + 2y_3 + \cdots + y_{n-2} + 2y_{n-1} + \frac{y_n}{2} \right] \quad (1-6)$$

或

$$S = \frac{2L}{\Sigma S \cdot M} \left[ \frac{y_0}{2} + 2y_1 + y_2 + 2y_3 + \cdots + y_{n-2} + 2y_{n-1} + \frac{y_n}{2} \right] \quad (1-7)$$

关于三次方抛物线面积的计算公式, 也可用上述类似的方法求得 (见图 1-13), 设三次方抛物线  $CD$  的方程是:

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3$$

则  $CD$  所围的面积  $ABCD$  为:

$$\begin{aligned} S &= \int_{-h}^h y dx = \int_{-h}^h (a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3) dx \\ &= 2a_0h + \frac{2}{3} a_2h^3 \quad (1-a') \end{aligned}$$

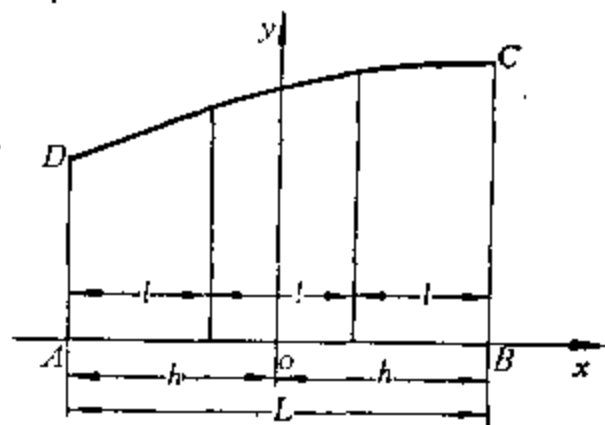


图 1-13

这里需要补充说明一下用近似算法求  $x_i$  的问题。如图 1-15 所示, 设  $LM$  为船体上某一水线段, 现在要计算  $LM$  所围的面积及其面积形心的位置  $(\bar{x}, \bar{y})$ 。显然:

面积

$$S = \int_0^{x_n} y dx$$

面积对  $oy$  轴的静矩

$$M_{oy} = \int_0^{x_n} xy dx$$

面积对  $ox$  轴的静矩

$$M_{ox} = \int_0^{x_n} \frac{1}{2} y^2 dx$$

面积形心的位置是:

$$\bar{x} = M_{oy}/S, \quad \bar{y} = M_{ox}/S_c$$

图 1-15

在用梯形法进行近似计算时,  $S$ 、 $M_{oy}$  及  $M_{ox}$  的表达式可写作:

$$S = l \left[ (y_0 + y_1 + y_2 + \cdots + y_n) - \frac{1}{2}(y_0 + y_n) \right]$$

$$M_{oy} = l \left[ (x_0 y_0 + x_1 y_1 + x_2 y_2 + \cdots + x_n y_n) - \frac{1}{2}(x_0 y_0 + x_n y_n) \right]$$

从图 1-15 中可知,  $x_0 = 0$ ,  $x_1 = l$ ,  $x_2 = 2l$ ,  $\cdots$ ,  $x_n = nl$ , 故

$$M_{oy} = l^2 \left[ (y_1 + 2y_2 + \cdots + ny_n) - \frac{1}{2}ny_n \right] \quad (1-13)$$

$$M_{ox} = \frac{1}{2} l \left[ (y_0^2 + y_1^2 + y_2^2 + \cdots + y_n^2) - \frac{1}{2}(y_0^2 + y_n^2) \right] \quad (1-14)$$

在用辛氏法进行近似计算时,  $S$ 、 $M_{oy}$  及  $M_{ox}$  的表达式可写作:

$$S = \frac{l}{3} [y_0 + 4y_1 + 2y_2 + \cdots + 4y_{n-1} + y_n]$$

$$\begin{aligned} M_{oy} &= \frac{l}{3} [x_0 y_0 + 4x_1 y_1 + 2x_2 y_2 + \cdots + 4x_{n-1} y_{n-1} + x_n y_n] \\ &= \frac{l^2}{3} [4y_1 + 4y_2 + \cdots + 4(n-1)y_{n-1} + ny_n] \end{aligned} \quad (1-15)$$

$$M_{ox} = \frac{l}{3} \times \frac{1}{2} [y_0^2 + 4y_1^2 + 2y_2^2 + \cdots + 4y_{n-1}^2 + y_n^2] \quad (1-16)$$

由此可知, 近似计算不仅可以用来计算面积, 而且还可以用来计算面积静矩及惯性矩等等。表 1-5 及表 1-6 中的  $x_i$  就是根据上述原理进行计算的。

## 2. 横剖面的计算

横剖面的计算一般包括面积  $A$  及面积形心高度  $z_A$ , 对于横舱剖面说来, 还需计算横舱剖面的面积系数  $\beta$ 。图 1-16 是某一横剖面曲线及其水线的划分, 在吃水  $T$  时的横剖面面积为:

$$A = 2 \int_0^T y dz$$

横剖面面积  $A$  对于基线的静矩为:

## 第二章 船舶静水力曲线计算

在第一章中，我们已经讨论了船体的几何形状和船体近似计算的一般原理，还没有涉及到船舶的性能问题。在本章中将着重讨论船舶静水力性能的计算。

在船舶设计过程中，当型线图绘制完毕以后，就应当进行静水力性能计算。所谓静水力性能计算是指：船舶在静止正浮状态下任何吃水时浮性和初稳性的计算，而且计算的结果都要绘制成综合的曲线图，即船舶静水力曲线图。

静水力曲线图综合了船舶在正浮状态下任何吃水时的浮性和初稳性资料，据此可以进一步探讨所设计的船在各种装载情况下是否具有足够的稳性和合理的浮态。

静水力曲线图也是供船员使用的重要技术资料，据此，船员可以全面了解本船的静水力性能，这无论对于合理装载货物或对于安全航海都是十分重要的。现对船舶静水力性能的有关问题详细讨论如下。

### §1 浮性概述

船舶在装载货物后漂浮于一定的水平位置，我们可以把它看作是在平衡状态下的浮体。这时，作用在船上的力有船舶本身的重力和静水压力。

当船舶浮于一定水平位置时，船体浸水表面的每一个部分都受到水的压力，如图 2-1 所示。这些压力都是垂直于船体表面的，其大小与深度成正比。从图中可以看出，水压力的水平分力互相抵消，垂向分力则形成一个垂直向上的合力，此合力就是支持船舶漂浮于一定水平位置的浮力。

根据阿基米德定律，物体在水中所受到的浮力等于物体所排开的水的重量。因此船舶所受到的浮力就等于船舶所排开的水的重量（通常称为排水量），或可写为：

$$D = \gamma V$$

式中  $D$ ——浮力或称为船的排水量，以吨计；

$V$ ——船的排水体积，以米<sup>3</sup>计；

$\gamma$ ——水的重度，对于淡水： $\gamma = 1$  吨/米<sup>3</sup>；对于海水： $\gamma = 1.025$  吨/米<sup>3</sup>。

浮力  $D$  作用于排水体积  $V$  的形心  $c$  点，故  $c$  点称为浮心。

作用在船上的重力是由船舶本身各部分的重量所组成，如船体构件、机器、武备、弹药、货物、船员及行李等等。这些重量形成一个垂直向下的合力  $P$ ，并作用于  $G$  点， $G$  点称为船舶的重心。

综上所述，船舶浮于一定水平位置时有两个作用力，即作用于重心  $G$  点并垂直向下的

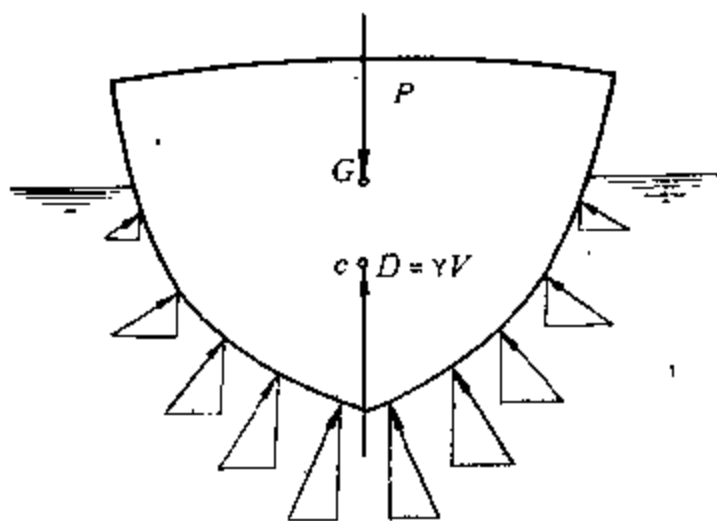


图 2-1

光”号为例列表计算在吃水  $T=4.8$  米时的排水体积和浮心位置。表 2-2 是梯形法的计算结果，表 2-3 是辛氏法的计算结果。

表 2-2 (梯形法,  $\Delta T=1.2$  米)

水 线 号	水 线 面 积 $S$ (米 <sup>2</sup> )	短 臂	对基线静矩乘积 (I) × (I)	漂 心 位 置 $x_f$ (米)	对 舫 静 矩 乘 (I) × (IV)
	I	I	II	IV	V
0	1258	0	0	2.25	2830.5
1	1760	1	1760	1.69	2474.4
2	1900	2	3800	1.37	2603
3	2030	3	6090	1.25	2537.5
4	2130	4	8520	1.10	2343
总 值	9078		20170		13288.4
修 正 值	1694		4260		2586.7
修正后 $\Sigma$	7384		15910		10701.7

$$\text{排水体积 } V = \Sigma(I) \times \Delta T = 7384 \times 1.2 = 8860 \text{ 米}^3$$

$$\text{浮心位置 } x_c = \frac{\Sigma(V)}{\Sigma(I)} = \frac{10701.7}{7384} = 1.449 \text{ 米}$$

$$z_c = \frac{\Sigma(II)}{\Sigma(I)} \times \Delta T = \frac{15910}{7384} \times 1.2 = 2.586 \text{ 米}$$

表 2-3 (辛氏法,  $\Delta T=1.2$  米)

水 线 号	水 线 面 积 $S$ (米 <sup>2</sup> )	辛氏乘数	体 积 乘 积 (I) × (I)	短 臂	对基线静矩乘积 (II) × (IV)	漂心位置 $x_f$ (米)	对 舫 静 矩 乘 (II) × (VI)
	I	I	II	IV	V	VI	VI
0	1258	1/2	629	0	0	2.25	1415.25
1	1760	2	3520	1	3520	1.69	5948.8
2	1900	1	1900	2	3800	1.37	2603
3	2030	2	4060	3	12180	1.25	5075
4	2130	1/2	1065	4	4260	1.10	1171.5
$\Sigma$			11174		23760		16213.55

$$\text{排水体积 } V = \frac{2}{3} \times \Sigma(II) \times \Delta T = \frac{2}{3} \times 11174 \times 1.2 = 8939 \text{ 米}^3$$

$$\text{浮心位置 } x_c = \frac{\Sigma(VI)}{\Sigma(II)} = \frac{16213.55}{11174} = 1.451 \text{ 米}$$

$$z_c = \frac{\Sigma(V)}{\Sigma(II)} \times \Delta T = \frac{23760}{11174} \times 1.2 = 2.552 \text{ 米}$$

## 二、根据横剖面计算排水体积和浮心位置

上面所讲的是按水线面沿吃水方向积分计算排水量及浮心位置。根据类似的原理，也可以按横剖面沿船长方向积分计算排水量及浮心位置。

如图 2-5 所示，当船的吃水为  $T$  时，设离船中央  $x$  处的横剖面面积为  $A$ ，其面积形心的高度为  $z_A$ ，在该处取  $dx$  一小段进行分析：

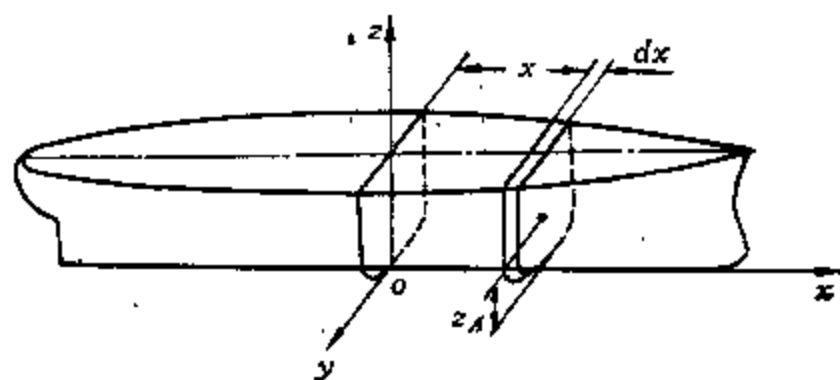


图 2-5

表在淡水中的排水重量) 以及排水量  $D$  曲线 ( $D = \gamma V_k$ ,  $\gamma = 1.025$  吨/米<sup>3</sup>)。

## 2. 浮心坐标曲线的计算

这里所说的浮心坐标曲线是指浮心纵向坐标  $x_c$  和垂向坐标  $z_c$  随吃水而变化的曲线。在某一固定吃水  $T$  时, 浮心位置可按 (2-5) 式进行计算。对于任意吃水  $z$  时浮心位置的计算公式可写作:

$$\left. \begin{aligned} x_c &= - \frac{\int_0^z x_f S dz}{\int_0^z S dz} \\ z_c &= - \frac{\int_0^z z S dz}{\int_0^z S dz} \end{aligned} \right\} \quad (2-9)$$

上式也是变上限积分式, 其计算办法和变吃水情况下排水体积的计算相类似。根据各水线面的面积  $S$  及漂心位置  $x_f$ , 便可用梯形法列表进行计算, 其表格形式如表 2-6 及表 2-7 所示。

表 2-6  $x_c$  计算表格

水线号	水线面积 $S$	漂心位置 $x_f$	(I) × (II)	第 IV 项之成对和	第 V 项的连续和	对基的体积静矩 $\frac{\Delta T}{2} \times (VI)$	排水体积 $V$	浮心位置 $x_c = \frac{(VII)}{(VIII)}$
I	I	II	IV	V	VI	VII	VIII	IX
0	$S_0$	$x_{f0}$	$S_0 x_{f0}$	—	—	—	—	—
1	$S_1$	$x_{f1}$	$S_1 x_{f1}$	$S_0 x_{f0} + S_1 x_{f1} = a$	$a$	$\frac{\Delta T}{2} \times a$	$V_1$	$x_{c1}$
2	$S_2$	$x_{f2}$	$S_2 x_{f2}$	$S_1 x_{f1} + S_2 x_{f2} = b$	$a + b$	$\frac{\Delta T}{2} \times (a + b)$	$V_2$	$x_{c2}$
3	$S_3$	$x_{f3}$	$S_3 x_{f3}$	$S_2 x_{f2} + S_3 x_{f3} = c$	$a + b + c$	$\frac{\Delta T}{2} \times (a + b + c)$	$V_3$	$x_{c3}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

表 2-7  $z_c$  计算表格

水线号	水线面积 $S$	水线面积对基准面的静矩 (I) × (I)	第 III 项之成对和	第 IV 项的连续和	对基准面之体积静矩 $\frac{(\Delta T)^2}{2} \times (V)$	排水体积 $V$	浮心位置 $z_c = \frac{(VII)}{(VIII)}$
I	I	II	IV	V	VII	VIII	IX
0	$S_0$	0	—	—	—	—	—
1	$S_1$	$S_1$	$S_1 = a$	$a$	$\frac{(\Delta T)^2}{2} a$	$V_1$	$z_{c1}$
2	$S_2$	$2S_2$	$S_1 + 2S_2 = b$	$a + b$	$\frac{(\Delta T)^2}{2} (a + b)$	$V_2$	$z_{c2}$
3	$S_3$	$3S_3$	$2S_2 + 3S_3 = c$	$a + b + c$	$\frac{(\Delta T)^2}{2} (a + b + c)$	$V_3$	$z_{c3}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

根据所得的计算结果, 可绘制如图 2-9 所示的浮心坐标曲线。

实践证明, 照表 2-7 计算所得的  $z_c$  数值一般偏大, 因此, 在实际工作中常按排水体



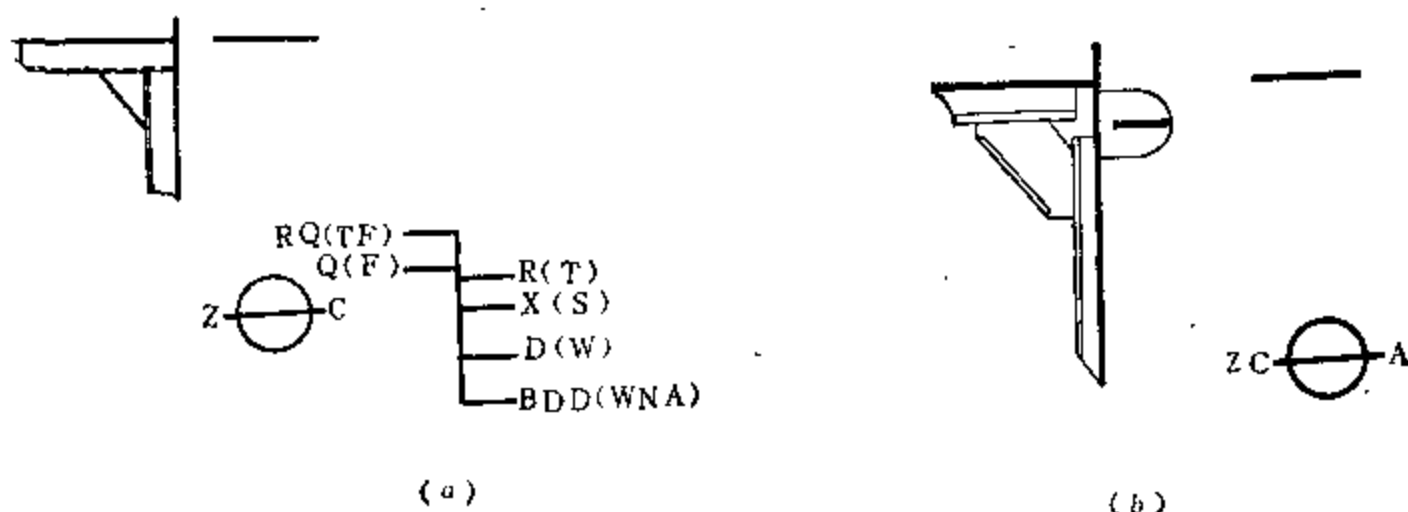


图 2-11

(6) RQ(TF)——热带淡水载重线。

圆盘两侧的字母 ZC 表示中华人民共和国船舶检验局。

图2-11中(b)为内河小船的载重标记,图中“ZC”表示中华人民共和国船舶检验局,符号“A”表示该船航行的区域是内河A级航区。

若船舶的实际吃水超过规定的载重线,则表明该船已处于超载情况,其结果使储备浮力减小,损害了航行的安全性,港务监督机构就不准其出港。

## §5 稳性概述

在本章§1中提到:船舶浮于某一水平位置时有两个作用力,即重力和浮力,其大小相等方向相反,而且两者的作用点在同一铅垂线上,这时船舶处于平衡状态。但是,事物总是运动的、变化的,因此平衡是暂时的、相对的,而不平衡则是绝对的。船在海上航行时经常受到风浪等各种外力的干扰使其产生倾斜,这样就破坏了原来正浮时的平衡状态。船在受到外力干扰产生倾斜后会不会翻掉?当外力消失后会不会回复到原来的平衡状态?这就是船舶的稳性问题。

船舶在外力(倾斜力矩)作用下产生倾侧后,其浮心和重心不再位于同一铅垂线上,因而浮力和重力形成一个力偶促使船回到原来的平衡位置如图2-12中(a)所示,这力偶称为回复力矩,通常以 $M_R$ 来表示。若回复力矩 $M_R$ 是负值,则该力矩将使船进一步倾斜如图2-12中(b)所示。

造成船舶离开原来平衡位置的是倾斜力矩,其大小取决于风浪等外界条件。促使船舶回复到原来平衡位置的是回复力矩,其大小取决于排水量、重心高度及浮心移动的距离等因素。因此,在倾斜力矩和回复力矩这一对矛盾中,前者是外因,后者是内因。因此,在讨论稳性问题时,应着重研究船舶倾斜后产生回复力矩以对抗倾斜力矩、阻止船舶倾复的能力。

在研究稳性时,一般只限于讨论船舶在横向平面内的倾侧(简称横倾)和纵向平面内的倾侧(简称纵倾)两种。同时又把稳性问题分为下列两部分进行讨论:

(1) 初稳性(或称小倾角稳性)——即倾角小于 $10^\circ \sim 15^\circ$ 或上甲板边缘开始入水前的稳性。

$$r = -\frac{I_x}{V} \quad (2-17)$$

船舶在等体积纵倾时的情况与上面所讨论的横倾情况基本相同，完全可以得出类似的结果，现将要点归纳如下（见图 2-19）：

（1）等体积倾斜水线面  $W_1L_1$  与  $WL$  相交于通过漂心  $F$  的横向轴线。

（2）浮心的移动距离为：

$$\overline{cc_1} = \frac{I_{yf}}{V} \psi \quad (2-18)$$

（3）纵稳心半径  $R$  为：

$$R = \frac{I_{yf}}{V} \quad (2-19)$$

式中  $\psi$  ——纵倾角；

$V$  ——排水体积；

$I_{yf}$  ——水线面面积对于通过漂心的横向轴的惯性矩。

从 (2-17) 式及 (2-19) 式可知，如能算出  $I_x$  及  $I_{yf}$ ，则便可求得稳心半径  $r$  及  $R$ 。实际上，水线面面积惯性矩可根据型线图或型值表用近似计算法求得，例如：

$$I_x = \frac{2}{3} \int_{-L/2}^{L/2} y^3 dx$$

用梯形法的近似计算式可写作：

$$I_x = \frac{2}{3} \Delta L \left[ (y_0^3 + y_1^3 + y_2^3 + \cdots + y_n^3) - \frac{1}{2} (y_0^3 + y_n^3) \right]$$

又如：

$$I_{yf} = I_{y0} - S x_f^2$$

式中  $I_{y0}$  ——水线面对于通过船舫的横轴的惯性矩， $I_{y0} = 2 \int_{-L/2}^{L/2} x^2 y dx$ ；

$S$  ——水线面面积；

$x_f$  ——水线面的漂心纵坐标。

用梯形法的近似计算式可写作：

$$I_{y0} = 2 \Delta L \left[ (x_0^2 y_0 + x_1^2 y_1 + \cdots + x_n^2 y_n) - \frac{1}{2} (x_0^2 y_0 + x_n^2 y_n) \right]$$

这里我们只给出了近似计算的表达式，在实际工作中应按表格形式进行计算，详见本章末尾的附表。

## §7 初稳心公式、稳心高度

船舶在横倾某一小角度  $\theta$  时，船上的货物并未移动，故其重心位置  $G$  保持不变，而浮

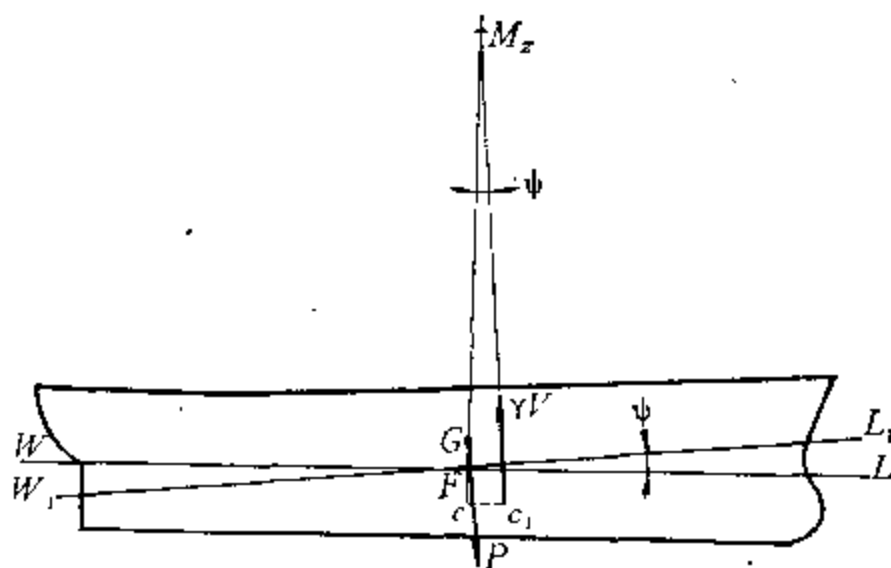


图 2-19

则

$$H = R + z_e - z_g$$

$$= R - a$$

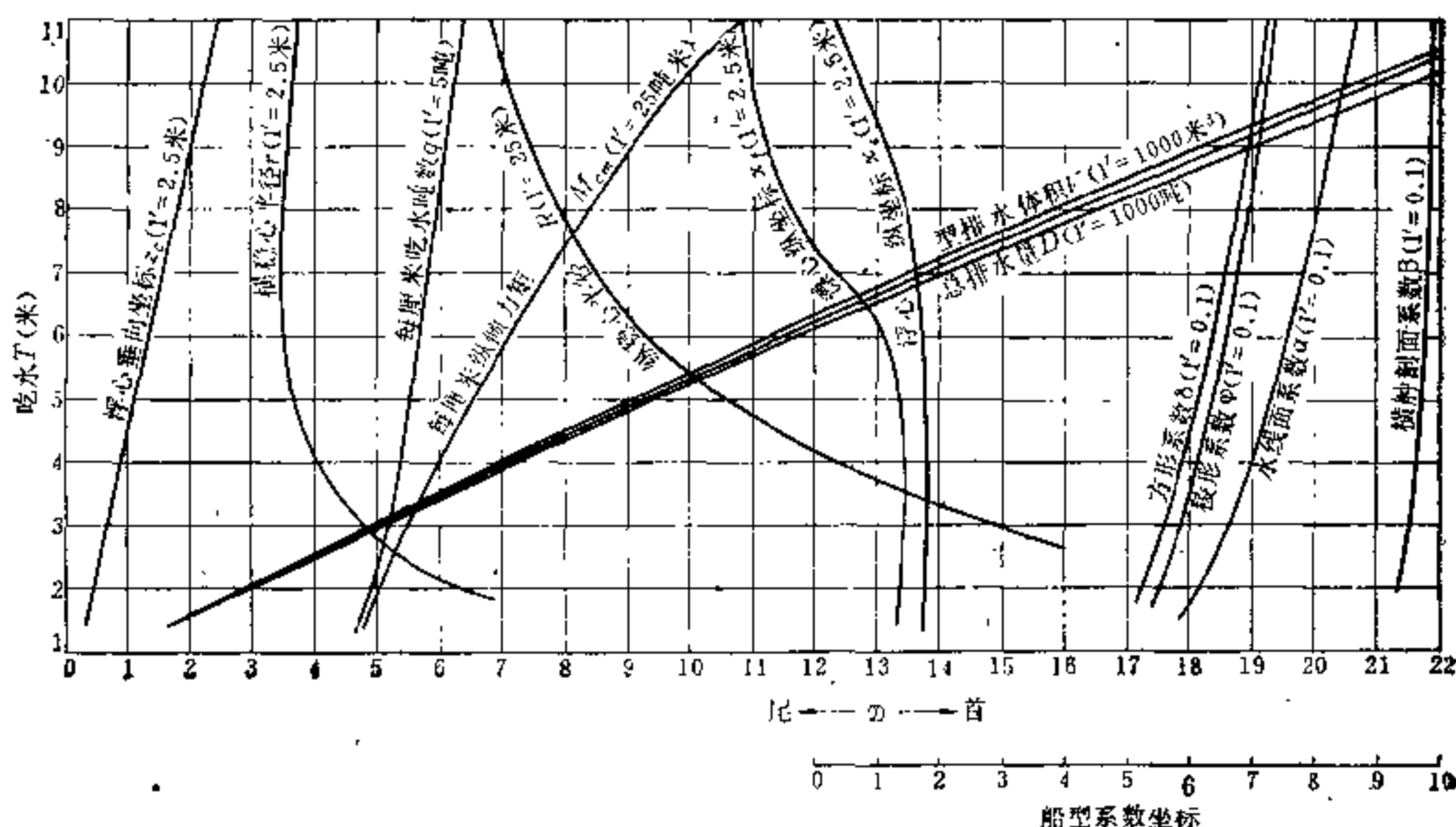
船舶在某一排水量时的浮心垂向位置  $z_e$  及稳心半径 ( $r, R$ ) 可以根据型线图和型值表用近似算法求得。至于重心高度  $z_g$ , 则应根据总布置图和结构图等资料进行估算, 或由倾斜试验测定。如已知重心的位置  $z_g$ , 即可求出稳心高度 ( $h, H$ )。

## § 8 船舶静水力曲线图

在上述各节中, 我们讨论了船舶在静止正浮状态下浮性和初稳性的基本原理及其计算问题。这些计算结果通常都要绘制成综合性的曲线图, 即船舶静水力曲线。

静水力曲线图全面表达了船舶在静止正浮状态下浮性和稳性要素随吃水而变化的规律。图中一般应包括下列曲线:

- (1) 型排水体积  $V$  曲线;
- (2) 总排水体积  $V_k$  曲线;
- (3) 总排水量  $D$  曲线;
- (4) 浮心纵座标  $x_e$  曲线;
- (5) 浮心垂向座标  $z_e$  曲线;
- (6) 水线面面积  $S$  曲线;
- (7) 漂心纵座标  $x_f$  曲线;
- (8) 每厘米吃水吨数  $q$  曲线;
- (9) 横稳心半径  $r$  曲线 (或横稳心垂向座标  $z_m$  曲线);
- (10) 纵稳心半径  $R$  曲线 (或纵稳心垂向座标  $z_{mz}$  曲线);
- (11) 每厘米纵倾力矩  $M_{cm}$  曲线;
- (12) 水线面系数  $\alpha$  曲线;



图中1'为横坐标的一格所对应的值

图 2-23



## 二、重量的横向移动

将船上重量为  $p$  的货物自  $A$  点 (横坐标  $y_1$ ) 沿横向水平移动至  $B$  点 (横坐标  $y_2$ ), 移动距离为  $(y_2 - y_1)$ , 如图 3-2 所示。船舶的重心自原来的  $G$  点横向移动至  $G_1$  点, 根据重心移动的原理可得:

$$\overline{GG_1} = -\frac{p(y_2 - y_1)}{D}$$

这时, 重力的作用线通过  $G_1$ , 不再与原来的浮心  $c$  在同一铅垂线上。因此, 船舶将发生横倾, 浮心自  $c$  点向横倾一侧移动。当倾斜到某一角度  $\theta$  时, 新的浮心  $c_1$  与  $G_1$  在同一铅垂线上, 船就保持新的平衡, 并浮于新的水线  $W_1L_1$ 。

船在横倾  $\theta$  角后的回复力矩为:

$$M_R = Dh \sin \theta$$

移动重量所形成的横倾力矩为:

$$M_Q = p(y_2 - y_1) \cos \theta$$

由于船舶横倾至  $\theta$  角时已处于平衡状态, 故  $M_R = M_Q$ , 即:

$$Dh \sin \theta = p(y_2 - y_1) \cos \theta$$

根据上式, 可以求得重量  $p$  横移后船舶的横倾角度为:

$$\tan \theta = \frac{p(y_2 - y_1)}{Dh} \quad (3-3)$$

此外, 在图 3-2 中也可直接得到相同的结果。从三角形  $GG_1M$  中可知:

$$\tan \theta = \frac{\overline{GG_1}}{GM}$$

而

$$\overline{GG_1} = -\frac{p(y_2 - y_1)}{D}$$

故

$$\tan \theta = -\frac{p(y_2 - y_1)}{Dh}$$

## 三、重量的纵向移动

将船上重量为  $p$  的货物自  $A$  点 (纵坐标  $x_1$ ) 沿纵向水平移动至  $B$  点 (纵坐标  $x_2$ ), 移动的距离为  $(x_2 - x_1)$ , 如图 3-3 所示。船舶的重心由  $G$  点移至  $G_1$  点, 因此船将产生纵倾

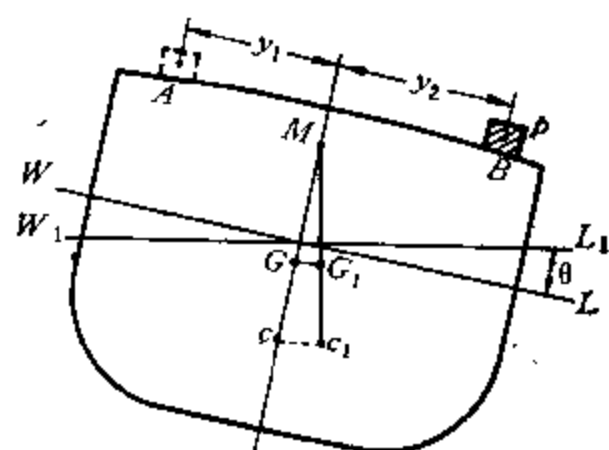


图 3-2

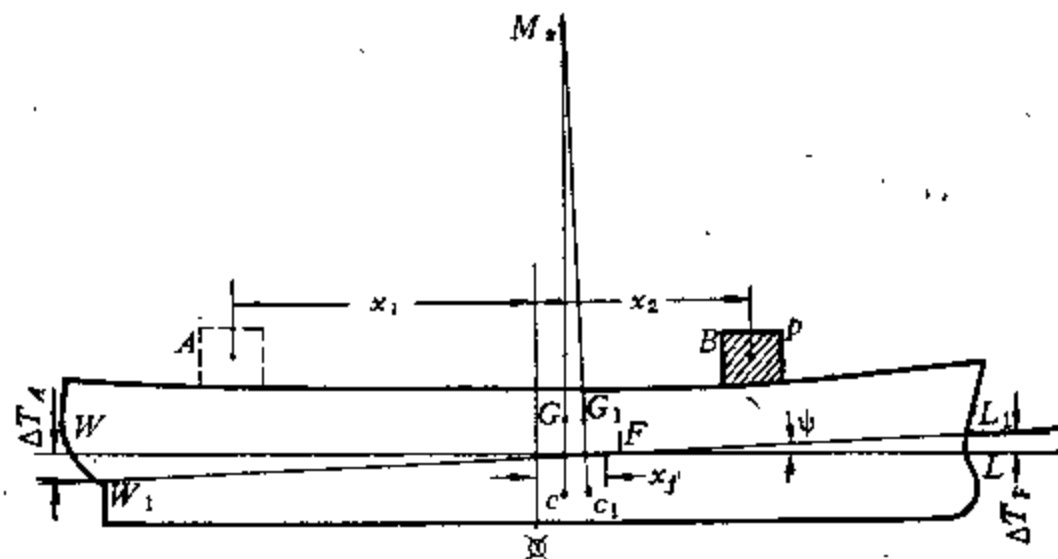


图 3-3

$$M_h = Dh \sin \theta - \overline{KA} p \sin \theta$$

式中,  $\overline{KA}$  为浮力增量  $\gamma dv$  的作用点至载荷  $p$  的作用点之间的垂向距离, 即  $\overline{KA} = z - \left(T + \frac{\Delta T}{2}\right)$ , 故

$$M_h = Dh \sin \theta - p \left[ z - \left(T + \frac{\Delta T}{2}\right) \right] \sin \theta \quad (3-10)$$

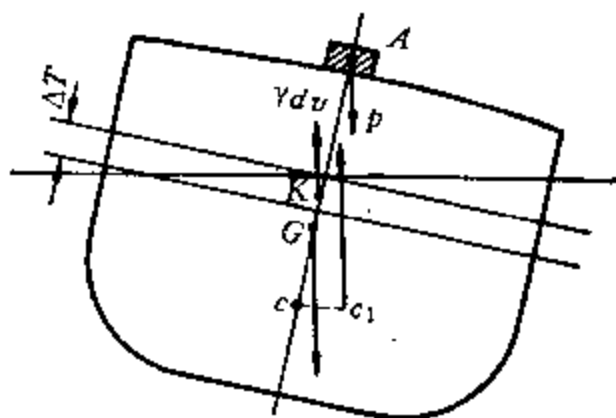


图 3-6

比较 (3-9) 及 (3-10) 两式, 可得:

$$(D + p)h_1 = Dh - p \left[ z - \left(T + \frac{\Delta T}{2}\right) \right]$$

由此可得新的初稳心高度为:

$$h_1 = h + \frac{p}{D + p} \left[ T + \frac{\Delta T}{2} - z - h \right] \quad (3-11)$$

根据上式, 可以判断载荷  $p$  的高度  $z$  对于初稳心高的影响。从 (3-11) 式中看出:

若  $z = T + \frac{\Delta T}{2} - h$ , 则  $h_1 = h$ ;

若  $z > T + \frac{\Delta T}{2} - h$ , 则  $h_1 < h$ ;

若  $z < T + \frac{\Delta T}{2} - h$ , 则  $h_1 > h$ 。

由此可以设想, 在船上有一高度为  $\left(T + \frac{\Delta T}{2} - h\right)$  的极限平面 (或称中和平面), 当载荷  $p$  的重心刚好位于此平面时, 则对于初稳心高度没有影响。若装载的货物高于此极限平面, 则减小初稳心高度。反之, 将增加初稳心高度。

至于装载货物  $p$  后对于纵稳性的影响, 与上述情况相似。参照 (3-11) 式, 可得新的纵稳心高度  $H_1$  为:

$$H_1 = H + \frac{p}{D + p} \left[ T + \frac{\Delta T}{2} - z - H \right]$$

由于  $\left[T + \frac{\Delta T}{2} - z\right]$  的数值和  $H$  相比较是小量, 可以忽略不计, 因此新的纵稳心高度可写作:

$$H_1 \approx H - \frac{p}{D + p} H \approx \frac{D}{D + p} H \quad (3-12)$$

在卸除小量载荷的情况下, 同样可以应用上述有关公式, 只需把载荷重量  $p$  改为  $-p$ , 并应注意到平均吃水的增量  $\Delta T$  是负值。

## 二、在任意位置装卸载荷对船舶浮态及稳性的影响

设重量为  $p$  的载荷装在船上  $A$  处, 其坐标为  $(x, y, z)$  如图 3-7 所示。

对于由此而引起船舶浮态及稳性的变化可按下列顺序求得。

(1) 先假定重量  $p$  装在  $A_1(x_1, 0, z)$  处, 则得:

$$\overline{am} = \frac{i_x}{v}$$

其中,  $i_x$  为液体自由表面的面积对其倾斜轴线的惯性矩,  $v$  为舱内液体的体积。

这样, 自由液面产生的横倾力矩可写作:

$$M_0 = \gamma_1 v \frac{i_x}{v} \sin \theta = \gamma_1 i_x \sin \theta$$

因此, 在船横倾  $\theta$  角后, 除了船舶本身的回复力矩  $M_s = Dh \sin \theta$  外, 还有一个自由液面所产生的横倾力矩。在这种情况下, 船舶的实际回复力矩是:

$$M_{s1} = Dh \sin \theta - \gamma_1 i_x \sin \theta = D \left( h - \frac{\gamma_1 i_x}{D} \right) \sin \theta \quad (3-13)$$

或船的实际初稳心高度为:

$$h_1 = h - \frac{\gamma_1 i_x}{D} \quad (3-14)$$

式中,  $-\frac{\gamma_1 i_x}{D}$  称为自由液面对初稳心高度的修正值。其数值只与自由液面的大小、船的排水量有关, 而与自由液体的体积无关。

用类似方法可以求得自由液面对于纵稳心高度的影响为:

$$H_1 = H - \frac{\gamma_1 i_y}{D} \quad (3-15)$$

式中,  $i_y$  为自由液面的面积对其倾斜轴线的惯性矩。

如船上有几个自由液面的舱柜, 则可先算出各自的  $\gamma_1 i_x$ , 然后把它们总加起来除以船的排水量, 即得所有自由液面对初稳心高度的修正值  $-\frac{\sum \gamma_1 i_x}{D}$ , 或

$$h_1 = h - \frac{\sum \gamma_1 i_x}{D} \quad (3-16)$$

同理, 对于纵倾情况有:

$$H_1 = H - \frac{\sum \gamma_1 i_y}{D} \quad (3-17)$$

从 (3-14) 式可以看出, 自由液面的影响是减小船的初稳心高度, 也就是降低了船舶的初稳性。如果自由液面的面积很大, 可能使船舶失掉初稳性。为了减小自由液面对初稳性的不利影响, 可在船内设置纵向舱壁。下面举一简单的例子说明设置纵向舱壁对减小自由液面影响的效果。

设有一个长为  $l$ , 宽为  $b$  的矩形自由液面 (图 3-10 中 (a))。在横倾时, 该自由液面对于其倾斜轴的面积惯性矩是:

$$i_x = \frac{1}{12} lb^3$$

若采用纵向舱壁将其分成两个相同的部分 (参看图 3-10 中 (b)), 则自由液面  $S_1$  及  $S_2$  对于其倾

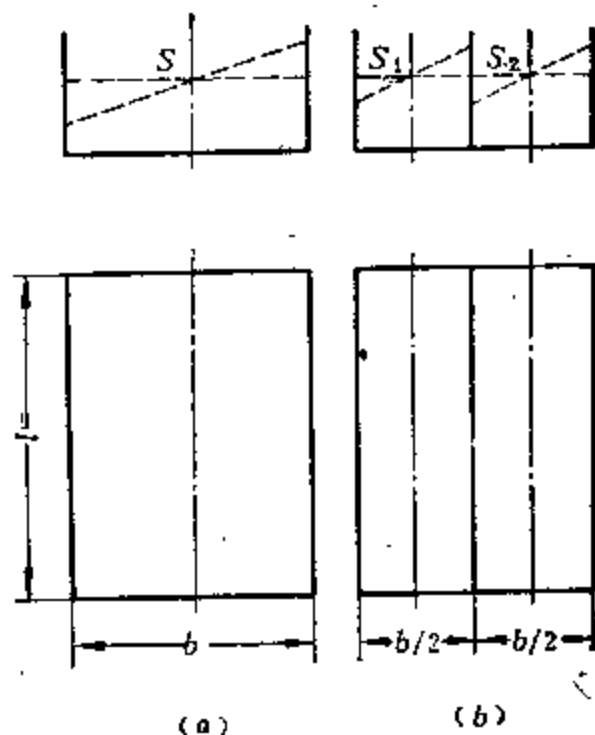


图 3-10

往有一定差异。故在船舶建成以后都要进行倾斜试验,以便正确地求得重量和重心的位置。这不仅可以检验设计时重量、重心计算的正确程度,而且为以后设计同类型船舶提供了可靠的参考资料。因此,倾斜试验的目的是确定船舶的重量和重心位置。对于试验的结果要求正确可靠。

### 一、倾斜试验的原理

当船舶正浮于水线  $WL$  时,其排水量为  $D$ 。若将船上  $A$  点处的重物  $P$  横向移动某一距离  $l$  至  $A_1$  点,则船将产生横倾并浮于新水线  $W_1L_1$ ,如图 3-12 所示。

从 §1 中公式 (3-3) 可知,船舶的横倾角  $\theta$  为:

$$\tan \theta = \frac{pl}{Dh}$$

或初稳心高度  $h$  可写作:

$$h = \frac{pl}{D \tan \theta} \quad (3-20)$$

若已知船舶的排水量  $D$ , 移动重量  $p$ , 横向移动距离  $l$  并量出横倾角  $\theta$ , 代入公式 (3-20) 即得船的初稳心高度  $h$  值。

船的重心高度  $z_g$  可写作:

$$z_g = (z_c + r) - h \quad (3-21)$$

式中,浮心垂向坐标  $z_c$ 、横稳心半径  $r$  可以根据排水量  $D$  (或吃水  $T$ ) 从静水力曲线图中查得。这样,我们便可从 (3-21) 式求出重心高度  $z_g$ 。

### 二、试验方法

在试验前应先测量首尾吃水和水的比重,以便正确地算出排水量。

倾斜试验所用的移动重物一般是生铁块,并分成四组  $p_1$ 、 $p_2$ 、 $p_3$ 、 $p_4$  堆放于甲板上指定的位置 (参阅图 3-13), 每组重物的重量相等,即

$$p_1 = p_2 = p_3 = p_4$$

为了形成足够的倾斜力矩使船能产生  $2^\circ \sim 4^\circ$  的横倾角,移动重物的总重量约为船舶排水量的  $1 \sim 2\%$ , 移动的距离  $l$  约为船宽的  $3/4$ 。

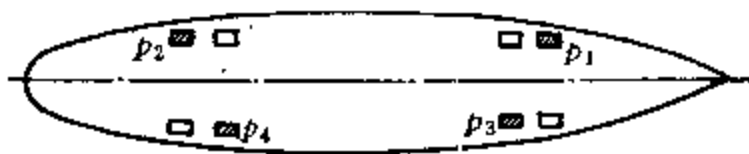


图 3-13

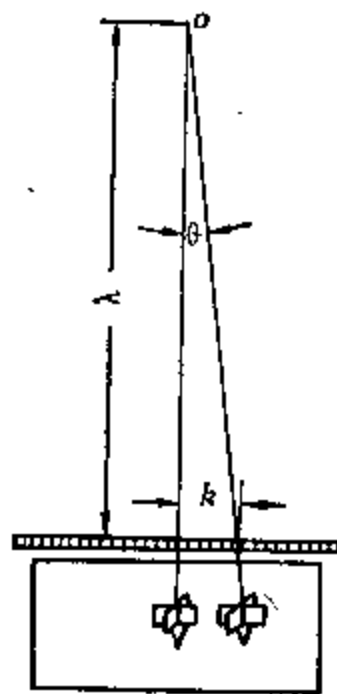


图 3-14

横倾角  $\theta$  一般用图 3-14 所示的摆锤进行测量。摆锤用细绳悬挂在船上的  $O$  点,下端装有水平标尺。当船横倾时,可在标尺上读出摆锤的移动距离  $k$ , 则船的横倾角为:

$$\tan \theta = \frac{k}{\lambda}$$

其中,  $\lambda$  为悬挂点  $O$  至标尺的垂直距离。为了减少测量误差,  $\lambda$  应尽可能取得大些。



## (4) 试验数据分析计算:

1) 根据  $T = 3.75$  米, 在静水力曲线上查得:排水量:  $D = 6694$  吨●而  $(z_0 + r) = 10.237$  米

2) 初稳心高度计算:

序 号	倾 斜 力 矩 $M$	倾 角 正 切 $\tan \theta$	$M \times \tan \theta$ (I) × (I)	$\tan^2 \theta$ (I) <sup>2</sup>	$M / \tan \theta$ (I) / (I)	初 稳 心 高 $h = \frac{1}{D} (\text{V})$
	I	I	II	IV	V	VI
1	—	—	—	—	—	—
2	238	0.01415	3.370	$2.00 \times 10^{-4}$	16850	2.52
3	476	0.02792	13.280	$7.79 \times 10^{-4}$	17050	2.54
4	238	0.01435	3.410	$2.06 \times 10^{-4}$	16600	2.48
5	—	—	—	—	—	—
6	238	0.01438	3.410	$2.065 \times 10^{-4}$	16550	2.47
7	476	0.02817	13.400	$7.91 \times 10^{-4}$	16900	2.52
8	238	0.01429	3.400	$2.04 \times 10^{-4}$	16650	2.49
9	—	—	—	—	—	—
$\Sigma$			40.280	$23.865 \times 10^{-4}$		15.02

$$h_{(\text{算术平均})} = \frac{1}{6} \times 15.02 = 2.503 \text{ 米}$$

$$h_{(\text{二乘方法})} = \frac{1}{D} \times \frac{\Sigma \text{II}}{\Sigma \text{IV}} = \frac{1}{6694} \times \frac{40.28}{23.865 \times 10^{-4}} = 2.52 \text{ 米}$$

3) 试验时船的重心高度:

$$z_g = (z_0 + r) - h = 10.237 - 2.52 = 7.717 \text{ 米}$$

(5) 将试验结果修正至空载状态:

1) 船在空载时的重量重心计算:

载 重 名 称	重 量 (吨)	力 臂 (米)		力 矩 (吨·米)	
		基 线 以 上	距 舳	对 基 准 面	对 舳 剖 面
		$z_g$	$x_g$		
试验时船重量	6694	7.717	-0.47	51657	-3146.2
多余的载重	1026.98	2.67	1.86	2742	1910.2
不足的载重	—	—	—	—	—
空载时船重量	5667	8.632	-0.892	48915	-5055.4

● 为了得到更正确的结果, 最好根据首尾吃水, 利用邦戎曲线计算船在试验状态时的排水量。

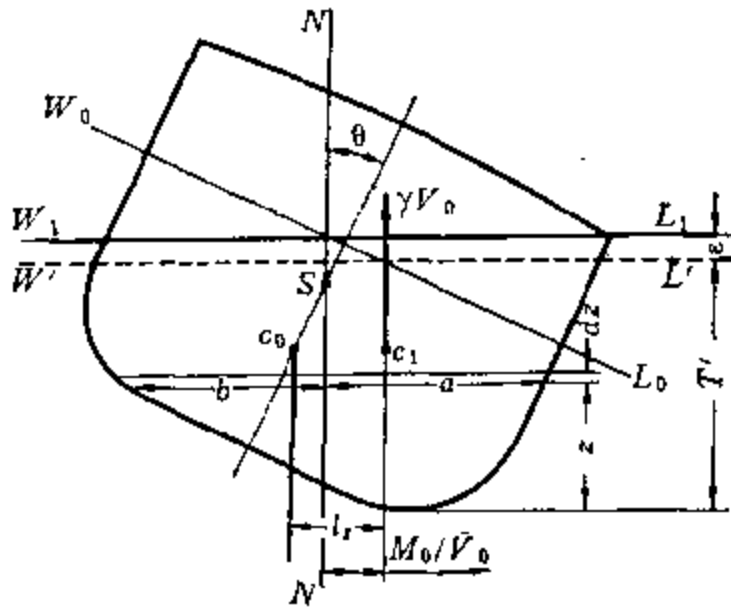


图 4-3

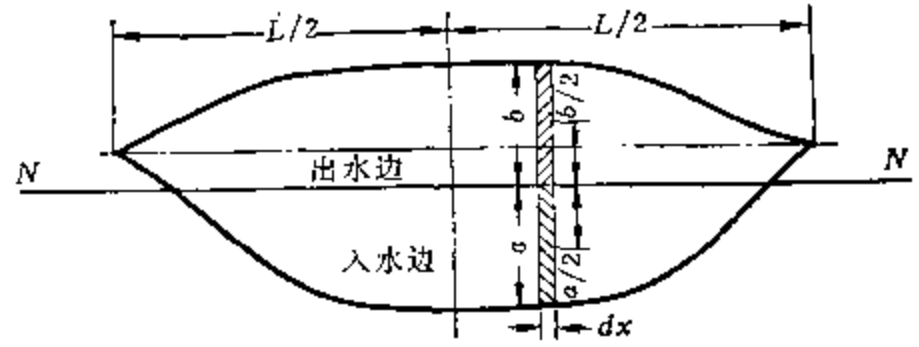


图 4-4

$$S = \int_{-L/2}^{+L/2} (a + b) dx \quad (4-2)$$

对于  $NN$  的面积静矩为:

$$m_x = \int_{-L/2}^{+L/2} \frac{1}{2} (a^2 - b^2) dx \quad (4-3)$$

然后, 在垂向坐标  $z$  处取  $dz$  一薄层, 则该薄层的体积为:

$$dV = S dz = \int_{-L/2}^{+L/2} (a + b) dx dz$$

对于  $NN$  的体积静矩为:

$$dM = m_x dz = \int_{-L/2}^{+L/2} \frac{1}{2} (a^2 - b^2) dx dz$$

沿吃水方向积分, 便可求出倾斜水线  $W'L'$  以下的排水体积  $V$  及其对于  $NN$  的静矩  $M$  为:

$$V = \int_0^{T'} S dz = \int_0^{T'} \int_{-L/2}^{+L/2} (a + b) dx dz \quad (4-4)$$

$$M = \int_0^{T'} m_x dz = \int_0^{T'} \int_{-L/2}^{+L/2} \frac{1}{2} (a^2 - b^2) dx dz \quad (4-5)$$

船舶浮于倾斜水线  $W'L'$  时浮力作用线至  $NN$  的距离为:

$$l' = \frac{M}{V} \quad (4-6)$$

若 (4-4) 式所得出的排水体积  $V$  与原排水体积  $V_0$  不符, 则可用下列方法求得等体积倾斜水线的位置。

当  $V_0 > V$  时, 等体积倾斜水线  $W_1L_1$  必然在辅助水线  $W'L'$  之上。而当  $V_0 < V$  时, 则  $W_1L_1$  必然在  $W'L'$  之下。  $W_1L_1$  与  $W'L'$  之间的距离  $e$  称为修正水层厚度。

在辅助水线  $W'L'$  的面积  $S'$  及面积形心至  $NN$  的距离  $\eta_0$  已知时, 修正水层的厚度  $e$  可由下式算得:

$$e = \frac{V_0 - V}{S'} \quad (4-7)$$

因此, 从  $W'L'$  垂直量取距离  $e$  后即可得等体积倾斜水线  $W_1L_1$ 。船舶浮于  $W_1L_1$  时的排水体积  $V_0$  对于  $NN$  的静矩为:

表 4-1

分 站 数 $n$	坐标位置 (距底边中点的距离, 以底边半长 $l$ 的分数表示)					
	$x_1/l$	$x_2/l$	$x_3/l$	$x_4/l$	$x_5/l$	$x_6/l$
2	0.5773					
3	0	0.7071				
4	0.1876	0.7947				
5	0	0.3745	0.8325			
6	0.2666	0.4225	0.8662			
7	0	0.3239	0.5297	0.8839		
8	0.1026	0.4062	0.5938	0.8974		
9	0	0.1679	0.5288	0.6010	0.9116	
10	0.0838	0.3127	0.500	0.6873	0.9162	
12	0.0669	0.2888	0.3667	0.6333	0.7112	0.9331

下面介绍两种常用方法的具体计算步骤。

### 一、直接法的计算步骤

(1) 绘制乞氏横剖面图 (一般取 9~12 个站号即可) 如图 4-9 所示。为了避免混淆, 应把船中央以前的剖面用实线画出, 船中央以后的剖面用虚线画出。为了提高计算的正确性, 比例应适当取得大些 (大体为型线图比例的一倍)。

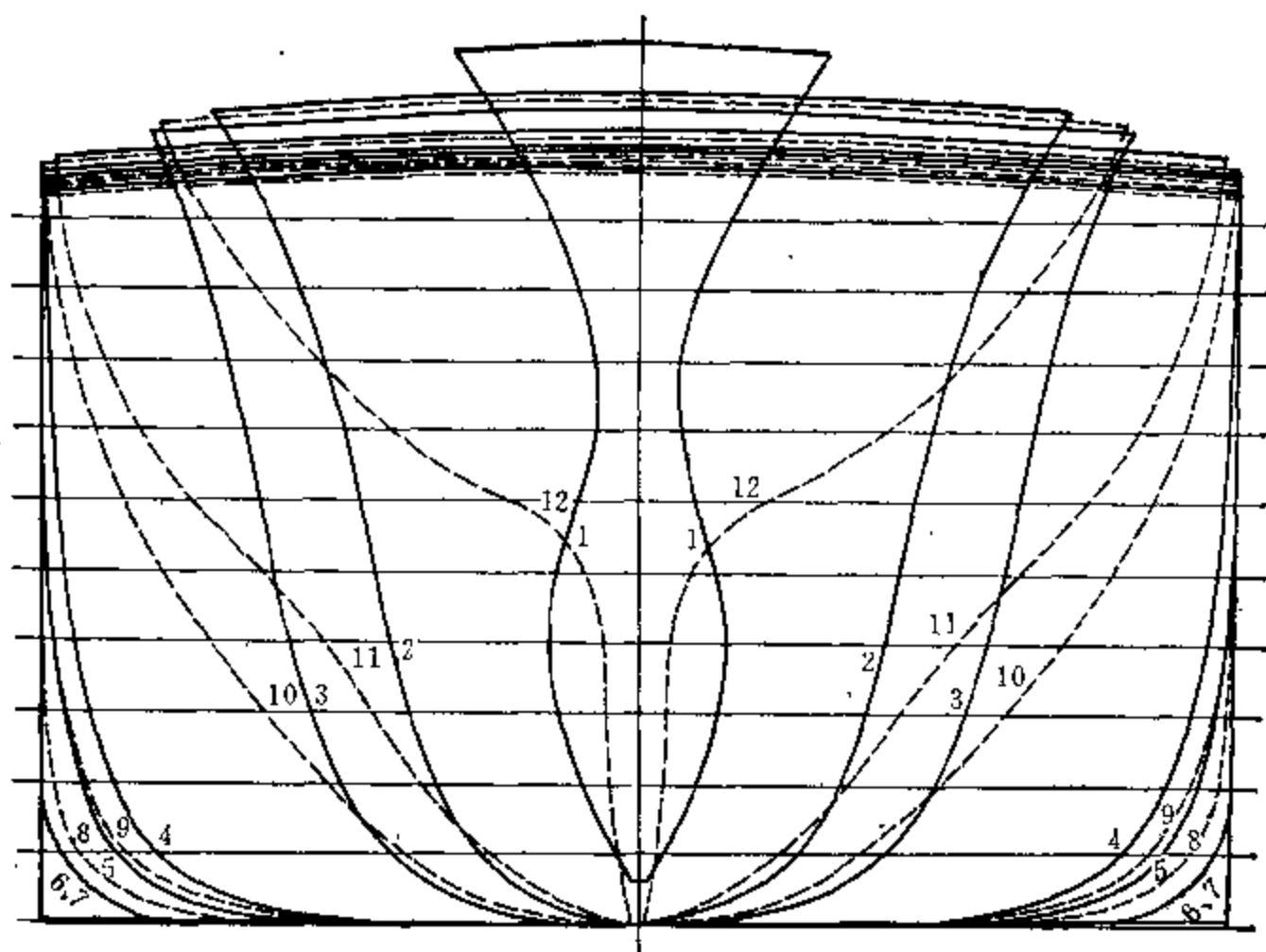


图 4-9

(2) 在透明纸上画 8~12 根等间距的水线以及轴线  $NN$ , 最上面的一根水线应高于满载水线。

(3) 将透明纸覆盖在乞氏剖面图上, 并凑至所要求的位置: 轴线  $NN$  应通过假定重心  $s$  点, 且与中心线间的夹角  $\theta$  恰为所需要计算的角度 (例如  $10^\circ$ 、 $20^\circ$ 、 $30^\circ$  等等), 0 号水线应和乞氏剖面图上最外边的轮廓线相切, 如图 4-10 所示。

25°…, 其对应的倾斜水线分别为  $\theta = 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ \dots$ 。

(4) 将透明纸覆盖在乞氏剖面图上某一计算水线处 (例如: 最高水线)。量取每一等分角线 ( $5^\circ, 15^\circ, 25^\circ \dots$ ) 处各横剖面入水和出水部分的坐标值  $a$  和  $b$ , 并填入表 4-4 a 及表 4-4 b 中, 然后计算各等分角线相应的  $\Sigma a^2, \Sigma a^3, \Sigma b^2, \Sigma b^3$  及  $\Sigma(a^2 - b^2), \Sigma(a^3 + b^3)$ 。采用等分角线的坐标进行计算, 可以得到较为正确的结果, 因为这个坐标代表了整个小楔形的坐标平均值。

(5) 根据表 4-4 a 中所得的  $\Sigma(a^2 - b^2)$  及  $\Sigma(a^3 + b^3)$  数值, 在表 4-5 中计算各倾斜水线下入水和出水楔形体积之差  $\Delta V_0$  及两者体积静矩之和  $M_0$ :

$$\begin{aligned}\Delta V_0 &= \int_{-L/2}^{+L/2} \int_0^\theta \frac{1}{2} (a^2 - b^2) d\varphi dx \\ &\approx \frac{1}{2} \frac{L}{n} \Delta\theta \Sigma(a^2 - b^2) \\ M_0 &= \int_{-L/2}^{+L/2} \int_0^\theta \frac{1}{3} (a^3 + b^3) \cos(\theta - \varphi) d\varphi dx \\ &\approx \frac{1}{3} \frac{L}{n} \Delta\theta \Sigma(a^3 + b^3) \cos(\theta - \varphi)\end{aligned}$$

(6) 根据表 4-5 中所得的  $\Delta V_0$  及  $M_0$  值, 在表 4-6 中计算各倾斜水线下的排水体积  $V, l_0$  及  $V'$ 。

至此, 某一水线 (例如最高水线) 的稳性计算已经完毕。接下去应对另一水线进行类似的计算。

当所有计算完成以后, 即可绘制稳性插值曲线, 其方法与前面所介绍的完全一样, 这里不再重复。

上面所介绍的两种具体方法, 都可用于静稳性曲线的计算。第一种方法比较直接了当, 表格计算的步骤也比较清晰和容易理解。但这种方法的缺点是准确性不高, 其原因是: 下边的水线 (例如图 4-10 中的 1、2、3 号水线) 所能截到的乞氏剖面数较少。因此, 大多数单位采用第二种计算方法。

这里顺便提一下关于用等排水量法来计算静稳性臂的问题。这种计算方法的基本原理和变排水量法大体相同, 不过前者需要进行修正水层的计算, 这无非是根据 § 2 中 (4-7)、(4-8)、(4-9) 诸式多进行一些计算罢了。在船舶设计手册和有些船舶静力学书籍中, 都详细介绍了有关这方面的内容, 但这种计算方法在实际工作中应用不多, 这是因为: 1) 船舶在使用中的装载情况是变化的, 故在设计阶段需要校核各种装载情况下的稳性, 只有某一面定排水量的静稳性臂曲线显然是不够的。2) 稳性插值曲线全面地表达了船舶在各种装载情况下的静稳性变化规律, 当然也包括了某一面定排水量时静稳性臂曲线。3) 在用等排水量法进行计算时, 由于事先无法确定等体积倾斜水线的位置, 因此只能根据辅助水线进行计算, 面后再修正水线层的厚度, 这样不仅费时费工, 而且往往容易引起误差。鉴于上述种种原因, 本书中删除有关这方面的内容。

最后, 对于水线坐标值的量取问题作一简要的说明。在大倾角稳性计算中, 必须正确量取倾斜水线处各横剖面入水一舷和出水一舷的坐标值  $a$  及  $b$ , 否则会造成计算错误。为此, 把正确量取  $a, b$  的方法简要说明如下 (见图 4-15)。

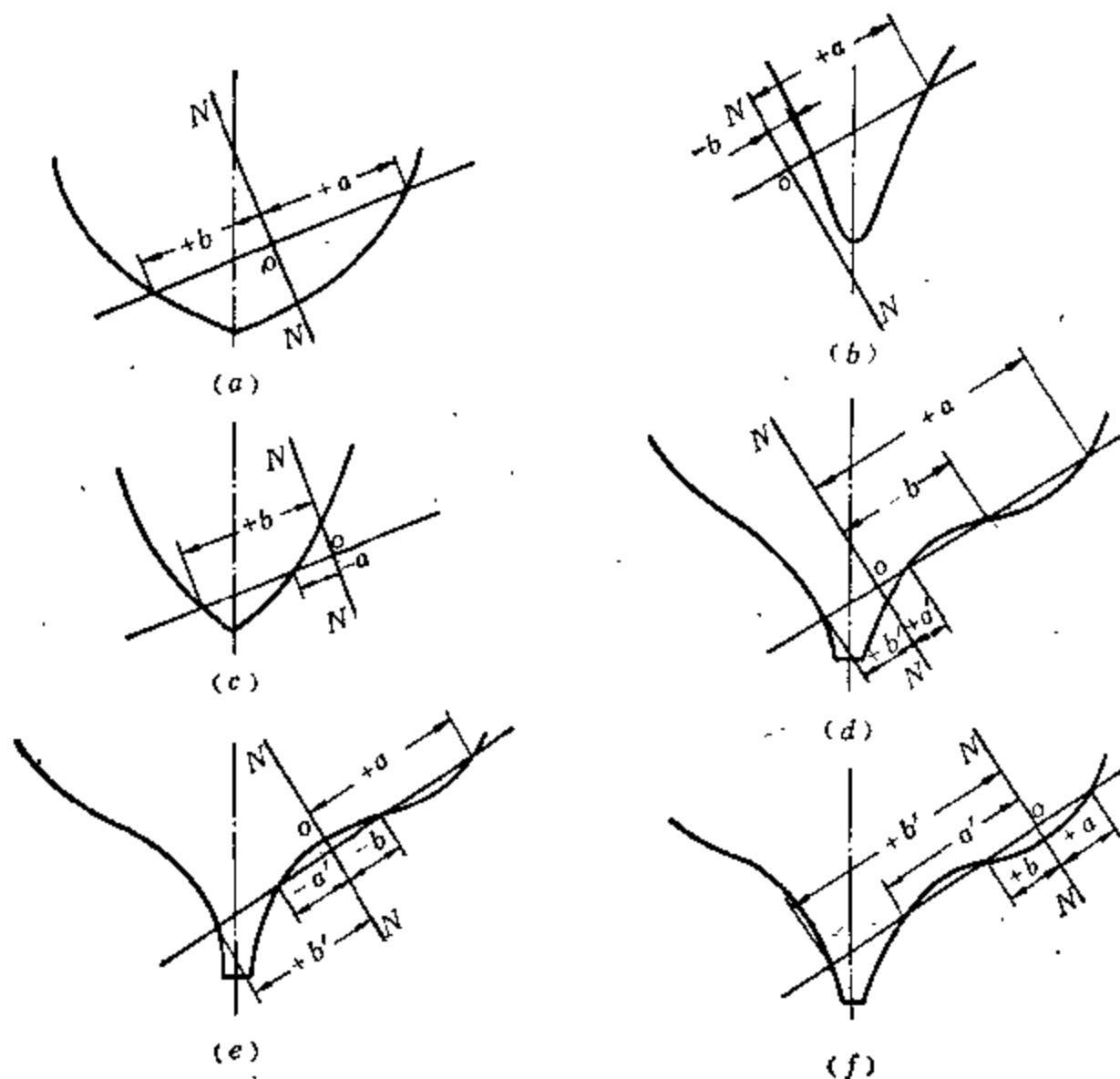


图 4-15

图中 (a) 为大多数情况,  $o$  点位于横剖面型线之内。自  $o$  点向入水一舷方向量得之  $a$  为正值, 自  $o$  点向出水一舷方向量得之  $b$  为正值。

图中 (b),  $o$  点位于出水一舷的舷外, 自  $o$  点向入水一舷方向量得之  $a$  为正值, 但  $b$  系从  $o$  点向入水一舷的方向量得, 因此取为负值。

图中 (c),  $o$  点位于入水一舷的舷外,  $a$  系从  $o$  点向出水一舷方向量得, 因此取为负值。  $b$  也系从  $o$  点向出水一舷的方向量得, 因此为正值。

有时, 水线与横剖面型线相交于四点, 如图中 (d)、(e)、(f) 所示, 则在计算表格内的相当栏内应填写两个入水坐标  $a$ 、 $a'$  和两个出水坐标  $b$ 、 $b'$ 。至于坐标的符号仍按上述原则确定。例如: 图中 (d) 中量得的坐标为:  $+a$ ;  $+a'$ ;  $-b$ ;  $+b'$ 。图中 (e) 中量得的坐标为:  $+a$ ;  $-a'$ ;  $-b$ ;  $+b'$ 。图中 (f) 中量得的坐标为:  $+a$ ;  $-a'$ ;  $+b$ ;  $+b'$ 。

从上面的具体例子中可以看出: 从  $o$  点量起, 凡是到横剖线内侧的坐标都取正值, 到横剖线外侧的坐标则都为负值。因此, 这个规律可通俗地称为“内正、外负”。

根据上述原则确定的正负符号应在计算表格内填于坐标  $a$  和  $b$  的前面, 在具体计算时要以此符号为准 (例如: 负号坐标的立方也是负值, 而平方则为正值等)。

#### §4 上层建筑及自由液面对静稳性曲线的影响

上节中得到的静稳性曲线只计算到上甲板为止。在一般情况下, 稳性曲线算到上甲板即可。但在稳性不能满足《规范》要求时, 还可计入上层建筑的影响, 因为水密的上层建筑在入水后也产生相应的浮力和回复力矩。此外, 船内的燃油仓、淡水仓和压载水仓等具

(图 4-20), 然后画出各倾角的液面线, 并把各液面线下的面积形心也相应的标记在图上。

为了减少计算和制图工作, 有时采用下列更为简化的办法:

(1) 只画出液体室的某一平均剖面。

(2) 用作图法求出各等面积倾斜液面线下的面积形心位置。

(3) 分别量出各倾斜液面线下面积形心的横向移动距离  $d$ 。

(4) 假定上述  $d$  值即为该仓液体在各倾角时体积形心的横向移动距离。若仓内的液体体积为  $v$ , 则即可算出各倾角下的倾斜力矩  $M_o = \gamma_1 v d$  及自由液面对静稳性臂的影响数值  $\Delta l = M_o / D$ 。

“风光”号就是用上述简化办法进行计算的, 表 4-8 是尾尖仓的计算实例, 液体重量为 88 吨 (该仓容量的 50%)。

表 4-8 尾尖仓自由液面对稳性臂影响的计算

( $D=18200$  吨)

横 倾 角 $\theta$	$10^\circ$	$20^\circ$	$30^\circ$	$40^\circ$	$50^\circ$	$60^\circ$	$70^\circ$
液体重心横向移动距离 $d$	0.35	0.60	0.80	0.90	0.85	0.80	0.78
倾斜力矩 $M_o = \gamma_1 v d$	30.80	52.80	70.40	79.20	74.80	70.40	68.64
静稳性臂修正 $\Delta l = \frac{M_o}{D}$	0.0017	0.0029	0.0039	0.0044	0.0041	0.0039	0.0038

图 4-21 表示自由液面修正后的静稳性臂曲线。

船舶在航行过程中, 仓内的燃油或淡水数量是变化的, 因而对静稳性臂曲线的影响也是变化的。图 4-22 中: (a) 表示液体仓室接近装满的情况, (b) 表示接近空仓的情况, (c) 表示液体约为半仓的情况。

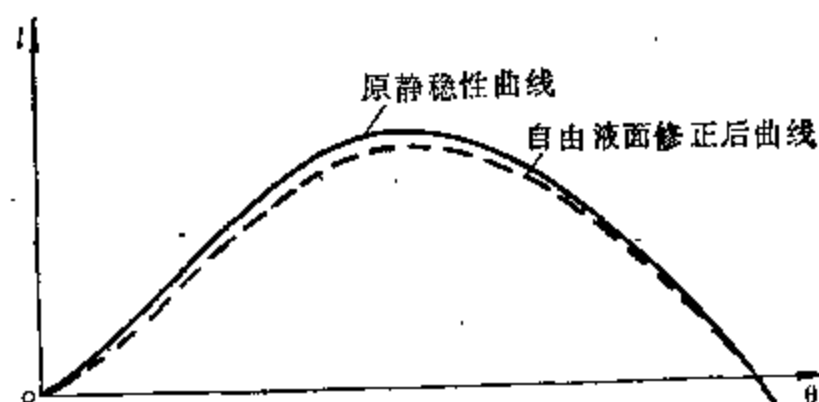


图 4-21

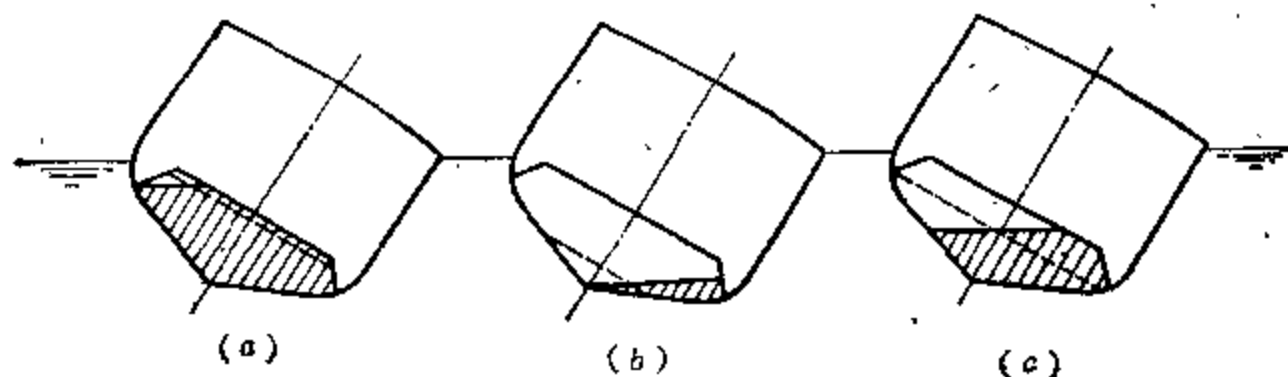


图 4-22

从图中可以看出, 在接近满仓或空仓时, 自由液体对稳性的影响很小, 但在半仓时其影响较大。在稳性计算中, 应该把影响最大的情况作为进行修正的依据。因此, 我国《海船稳性规范》中规定:

(2) 当  $\theta = \theta_1$  时,  $M_R = M_O$ , 回复力矩已不能再使船舶回复, 但由于船舶具有角速度, 故将继续回复。

(3) 在倾角  $\theta = \theta_1$  至 0 之间,  $M_O > M_R$ , 船的回复速度减小。

(4) 在倾角  $\theta = 0$  时, 船的回复速度等于零而停止回复。但这时  $M_R = 0$ , 外力矩  $M_O$  又使船产生倾斜。

这样, 船舶将在倾角 0 与  $\theta_1$  之间往复摆动, 但由于水及空气阻力的作用, 船的摆动角度逐渐减小, 最后将平衡于  $\theta_1$  处如图 4-27 所示。船在动力作用下的最大横倾角  $\theta_d$  称为动倾角。

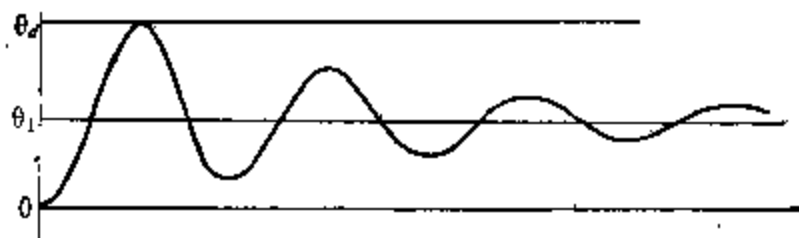


图 4-27

从上述分析可知, 船舶在外力矩  $M_O$  的动力作用下, 即使已经达到了  $M_R = M_O$ , 船舶仍将继续倾斜, 直至  $\theta_d$  时才开始回复运动。而动倾角  $\theta_d$  较静倾角  $\theta_1$  大很多, 这当然是比较危险的情况, 故在讨论船舶稳性时必须研究动稳性问题。

在外力矩的动力作用下, 船舶倾斜时具有一定的角速度, 只有当外力矩  $M_O$  所作的功完全由回复力矩  $M_R$  的功抵消时, 船的角速度才变为零而停止倾斜。根据这个原理, 我们可以决定动力作用下的动倾角  $\theta_d$ 。

当船舶由  $\theta = 0$  倾斜至  $\theta_d$  时, 外力矩  $M_O$  所做的功是:

$$T_O = M_O \theta_d$$

回复力矩  $M_R$  随横倾角而变化, 故所作的功应以下列积分式来表达:

$$T_R = \int_0^{\theta_d} M_R d\theta$$

从图 4-26 中可以看出:  $T_O$  为直线  $M_O$  所围的面积  $oEDC$ ,  $T_R$  为  $M_R$  曲线所围的面积  $oABC$ 。因此, 面积  $oEDC = \text{面积 } oABC$  表示倾斜力矩所作的功等于回复力矩的功, 由于面积  $oADC$  为两者所共有, 故面积  $oEA = \text{面积 } ABD$  (图中阴影线部分),  $D$  点对应的倾角即为动倾角  $\theta_d$ 。

综上所述, 关于静稳性和动稳性的主要特点可概括如下:

船舶在外力矩的静力作用下, 横倾时的角速度很小, 可以认为等于零。而当回复力矩  $M_R$  和倾斜力矩  $M_O$  相等时即达到平衡状态。因此, 船舶的静稳性是以回复力矩来表达的。

船舶在外力矩的动力作用下, 横倾时具有角速度。只有当外力矩所做的功  $T_O$  完全由回复力矩的功  $T_R$  所抵消时, 船的角速度才变为零而停止倾斜。因此, 船舶的动稳性是以回复力矩所作的功来表达的。

## 二、动稳性曲线

当船舶横倾至  $\theta$  时, 回复力矩  $M_R$  所作的功  $T_R$  是:

$$T_R = \int_0^{\theta} M_R d\theta$$

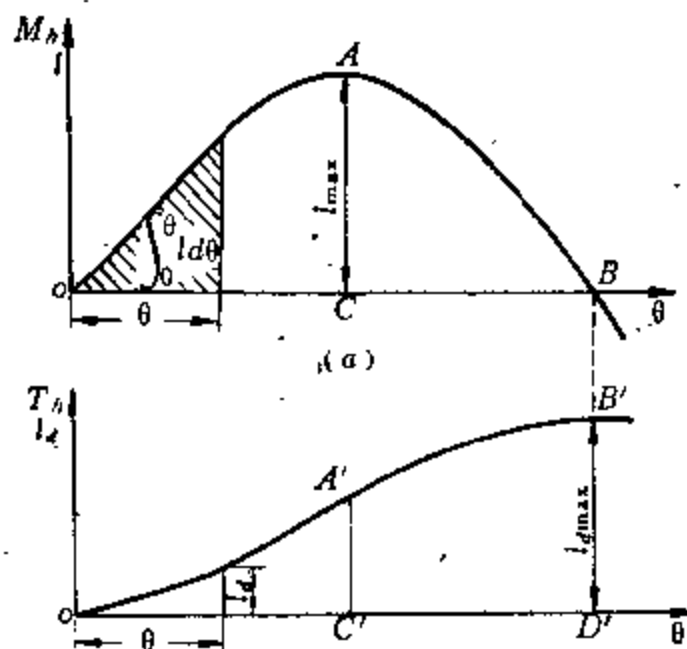


图 4-28

幅 $\theta_0$ 时能抵抗动力作用下外力矩的极限能力最小。因此,  $M_0$ 称为最小倾复力矩(通常以符号 $M_q$ 来表示,  $l_q = M_q/D$ 称为最小倾复力臂), 对于船舶稳性说来, 这是最危险的情况。

为了保证航海安全, 我国《海船稳性规范》规定, 应把最危险的情况作为衡量海船稳性的标准, 亦即以最小倾复力矩 $M_q$ 来判断船舶是否具有足够的稳性。关于具体的校核方法将在下节中进行讨论。

### 五、稳性曲线的有效范围

当船舶倾斜时, 如果水面到达某一开口, 海水将灌入船身主体内部, 使船舶处于危险状态。因此, 当倾斜水线到达该开口处即认为船舶丧失稳性。故在稳性校核时, 还要计算水线到达最先进水的那个非水密处的倾斜角度 $\theta_j$ ,  $\theta_j$ 称为进水角。

船舶的进水角曲线可按下述方法十分简便地求得。参阅图4-33, 设A点为船上最先进

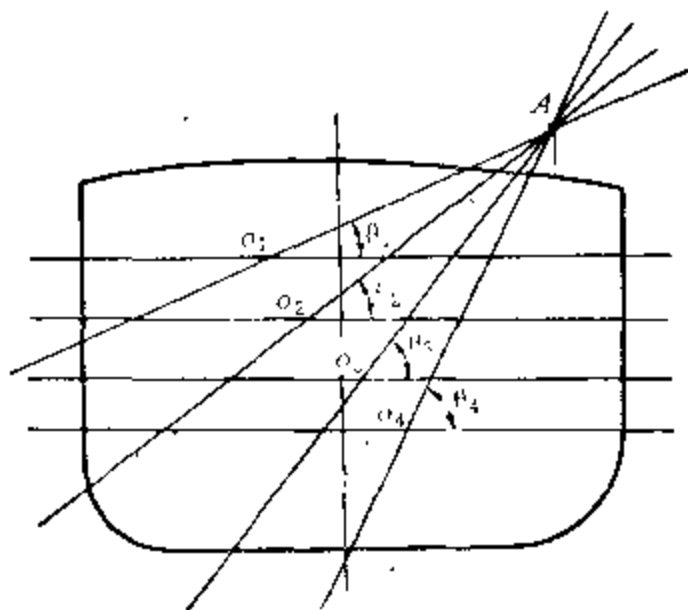


图 4-33

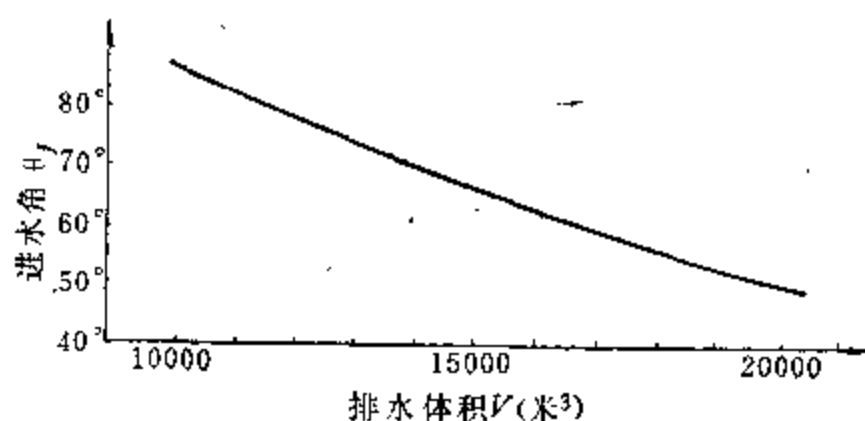


图 4-34

水的非水密开口下缘, 把A点画在乞氏剖面图上, 从A点作与各旋转点 $O_1, O_2, O_3, O_4 \dots$ 的连线, 量出夹角 $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4 \dots$ , 这些夹角必然在本章§3中已计算过的某两条倾斜水线之间, 而这两条倾斜水线下的排水体积可从类似于表4-6的那种计算表格中查得。这样, 便可用内插法求得对应于进水角为 $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4 \dots$ 的各倾斜水线下的排水体积 $V_1, V_2, V_3, V_4 \dots$ 。然后以进水角为纵坐标, 排水体积为横坐标绘制 $\theta_j-V$ 曲线, 如图4-34所示。至于内插法的具体应用可说明如下: 例如“风光”号在 $T_0=8.4$ 米时, 非水密开口下缘与旋转点连线的进水角为 $44^\circ$ , 从表4-6中查得: 当倾角为 $40^\circ$ 及 $50^\circ$ 时的排水体积分别为 $V_{40}=21864$ 米<sup>3</sup>,  $V_{50}=21959$ 米<sup>3</sup>。因此, 进水角 $44^\circ$ 时的排水体积为:

$$V = 21864 + (21959 - 21864) \times \frac{4}{10} \\ = 21902 \text{ 米}^3$$

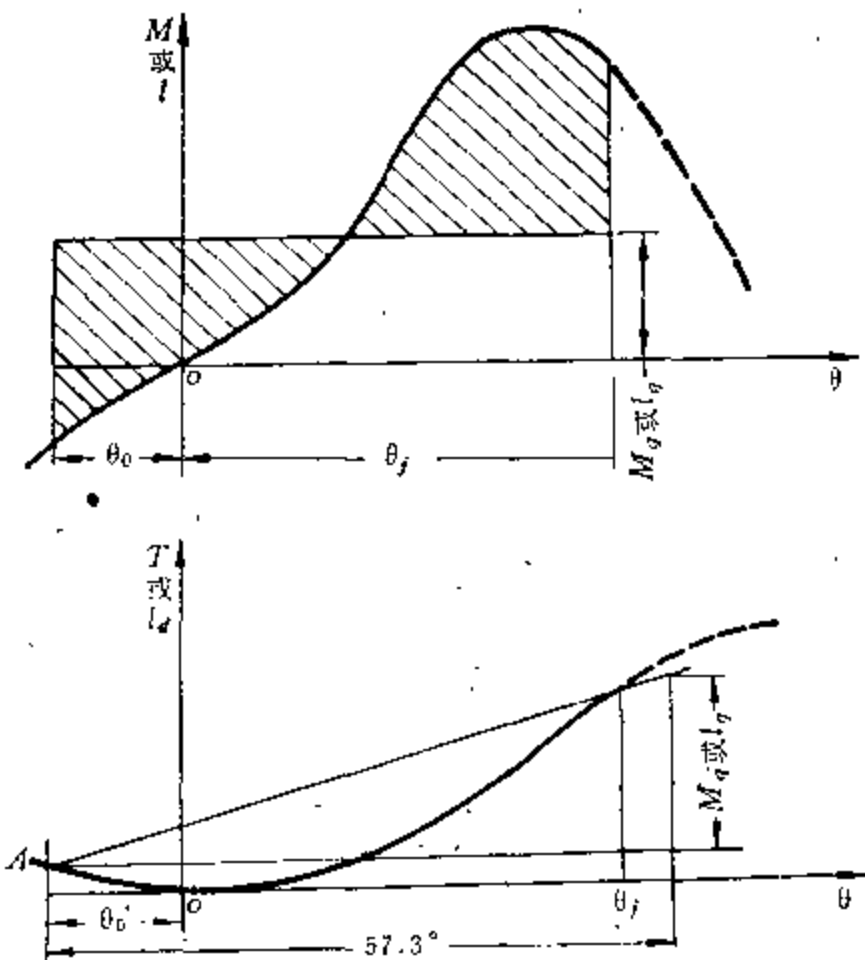


图 4-35



重心高度曲线就是表示这种关系的简便形式。图中的横坐标为排水量 $D$ (吨), 纵坐标为极限重心高度 $z_{gM}$ (米)。从图中可以看出, 船舶在排水量 $D_1$ 时的极限重心高度为 $z_{gM1}$ 。若船舶在该排水量时的实际重心高度 $z_g$ 较 $z_{gM1}$ 为低(即 $z_g < z_{gM1}$ ), 则船舶的稳性是足够的。如果此时船的实际重心在极限重心高度之上(即 $z_g > z_{gM1}$ ), 则船舶的稳性不足。

由于《规范》对船舶稳性有下列几项要求, 即: 经过自由液面修正后的 $h$ 不小于0.15米;  $l_{max}$ 不小于0.2米; 极限静倾角 $\theta_{max}$ 不小于 $30^\circ$ ; 消失角不小于 $55^\circ$ ; 稳性基本衡准数 $k = l_q/l_f \geq 1$ 等等。因此, 对于各项要求都有其相应的极限重心高度。下面简要介绍船舶在某一排水量时极限重心高度的计算方法。

### 1. 满足初稳性要求的极限重心高度

由于 $h = z_c + r - z_g$ , 故

$$z_g = z_c + r - h$$

式中,  $z_c$ 及 $r$ 可据排水量在静水力曲线上查得。《规范》要求经过自由液面修正后的 $h$ 不小于0.15米, 因此, 极限重心高度为:

$$z_{gM} = z_c + r - \left(0.15 + \frac{\sum \gamma i_x}{D}\right)$$

其中,  $\frac{\sum \gamma i_x}{D}$ 为自由液面对初稳心高的修正值。

### 2. 满足 $l_{max}$ 、 $\theta_{max}$ 及消失角等要求的极限重心高度

先假定几个重心高度, 然后根据假定的重心高度, 排水量及稳性插值曲线绘制静稳性臂曲线(每一假定重心高度有一根静稳性臂曲线)。从而可以得到相应于各个假定重心高度的 $l_{max}$ 、 $\theta_{max}$ 及消失角等数值。

以 $l_{max}$ 、 $\theta_{max}$ 及消失角为纵坐标, 假定重心高度为横坐标, 绘制如图4-39所示之曲线。 $l_{max}$ 曲线与 $l=0.2$ 米直线交点所对应的重心高度即为满足 $l_{max}$ 要求的极限重心高度。 $\theta_{max}$ 曲线与 $\theta=30^\circ$ 直线交点所对应的重心高度即为满足 $\theta_{max}$ 要求的极限重心高度。而消失角曲线与 $\theta=55^\circ$ 直线交点所对应的重心高度即为满足消失角要求的极限重心高度。

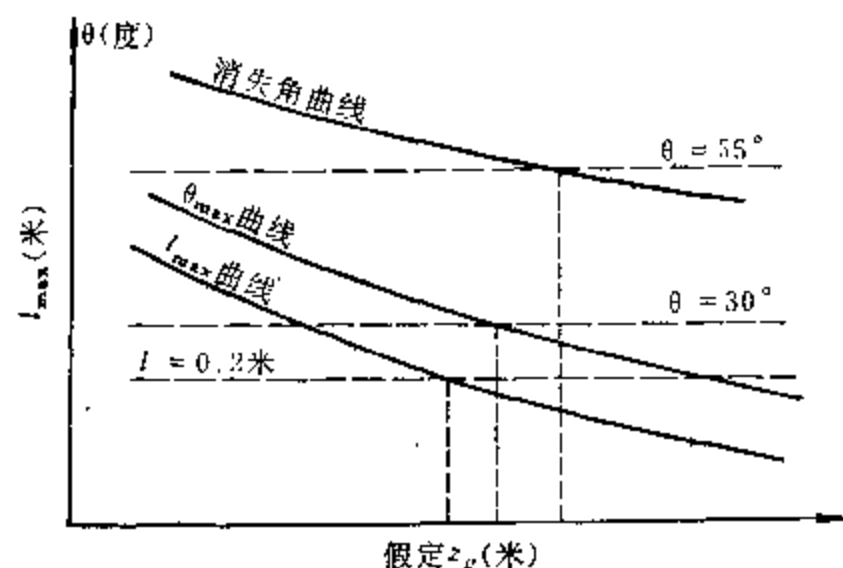


图 4-39

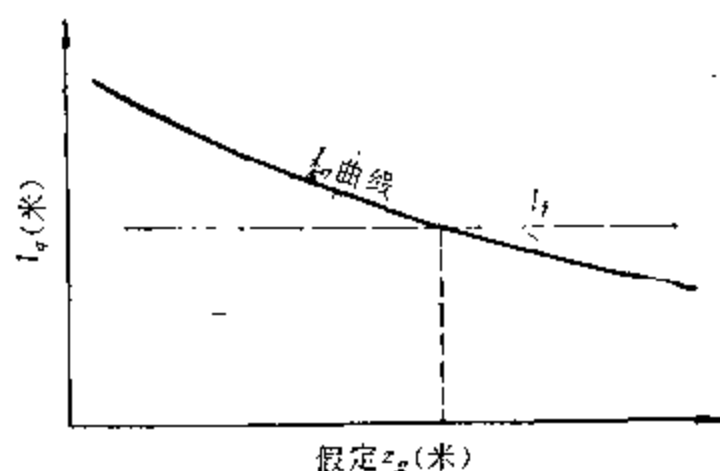


图 4-40

### 3. 满足 $k = l_q/l_f$ 要求的极限重心高度

根据上述假定的几个重心高度算出相应的初稳心高度、船舶自摇周期及横摇角 $\theta_0$ , 然后在相应的静稳性曲线上确定最小倾复力臂 $l_q$ 。

以 $l_q$ 为纵坐标, 假定重心高度为横坐标绘制如图4-40所示之曲线。 $l_q$ 曲线与风压倾侧

## 第五章 抗 沉 性

船舶在使用过程中有可能发生海损事故，以致船体破损，海水进入船体内。这种海损事故虽然是偶然性事件，但它将造成严重的后果，甚至会使人命财产遭到重大损失。因此，在船舶设计阶段，就需要考虑抗沉性问题。

所谓抗沉性，是指船舶在一仓或数仓进水后保证不沉不翻的能力，也就是说，船在破损后仍有一定的浮性和稳性。各类船舶对于抗沉性的要求是不同的：军舰在战斗中受损伤的机会较多，同时又要求它在遭到某种程度损伤后仍能保持一定的作战能力或返回基地的能力，所以对军舰的抗沉性要求要比民用船舶高得多。在民用船舶中，对客船的要求又要比货船高些。为了保证安全航海，我国船舶检验局颁发了《抗沉性规范》，对各类民用船舶的抗沉性要求提出了明确的规定。

船舶的抗沉性是由水密舱壁将船体分隔成适当数量的舱室来保证的，当一仓或数仓进水后，船舶的下沉不超过规定的极限位置并应有一定的稳性。因此，在船舶静力学中讨论抗沉性问题时包括下列两方面内容：

- (1) 船舶在一仓或数仓进水后浮态及稳性的计算。
- (2) 从保证船舶抗沉性的要求出发，计算分仓的极限长度，即可浸长度的计算。

### §1 进水仓的分类及渗透率

#### 一、进水仓的分类

在抗沉性计算中，根据船仓进水情况，可分为下列三类。

第一类仓：仓的顶部位于水线之下，船体破损后海水灌满整个舱室但仓顶未破损，因此舱内没有自由液面。双层底仓和顶盖在水线以下的深仓柜等属于这种情况。

第二类仓：进水仓未被灌满，舱内的水与船外的海水不相联通，有自由液面。为调整船舶浮态而灌水的仓以及船体破洞已被堵塞但水还没有抽干的舱室都属于这类情况。

第三类仓：仓的顶盖在水线以上，舱内的水与舷外海水相通，因此舱内水面与海水保持同一水平面。这是破仓中最普遍的典型情况。

#### 二、计算抗沉性的两种基本方法

船仓破损进水后，如进水量不超过排水量的10~15%，则可以应用初稳心公式来计算船舶进水后的浮态和稳性。计算船仓进水后船舶浮态及稳性的基本方法有两种：

- (1) 增加重量法——把破仓后进入船内的水看成是增加的液体载荷。
- (2) 损失浮力法——把破仓后的进水区域看成是不属于船的，即该部分的浮力已经损失。损失的浮力借增加吃水来补偿。这样，对于整个船舶说来，其排水量保持不变。

应该指出：用上述两种方法计算所得的最后结果（如回复力矩、横倾及纵倾角度、船舶的首尾吃水等）是完全一致的。

式中,  $(S_0 - s)$  称为有效水线面积。

(2) 有效水线面积的漂心位置  $F'(x'_f, y'_f)$  为:

$$x'_f = \frac{S_0 x_f - s x_f}{S_0 - s}$$

$$y'_f = \frac{-s y_f}{S_0 - s}$$

(3) 有效水线面积  $(S_0 - s)$  对通过其漂心  $F'$  的纵横惯性矩为:

$$I'_x = I_x - (i_x + s y_f^2) - (S_0 - s) y_f'^2$$

$$I'_{yf} = I_{yf} - [i_y + s(x_f - x_f')^2] - (S_0 - s)(x'_f - x_f)^2$$

式中,  $I_x, I_{yf}$  为原水线面积  $S_0$  对通过其漂心  $F$  的纵横惯性矩。  $i_x, i_y$  为损失的水线面积  $s$  对通过其本身形心  $f$  的纵横惯性矩。

(4) 浮心位置的变化: 损失浮力  $\gamma v$  的作用点在  $A(x, y, z)$  处, 而补偿浮力  $\gamma \Delta T \cdot (S_0 - s)$  的作用点在  $(x'_f, y'_f, T + \frac{\Delta T}{2})$  处。可以认为: 由于  $\gamma v$  自  $(x, y, z)$  处移至  $(x'_f, y'_f, T + \frac{\Delta T}{2})$  处而引起了船舶浮心位置的移动。根据重心移动原理可知, 破仓以后船舶浮心位置的变化为:

$$\Delta x_c = \frac{v(x - x'_f)}{V}$$

$$\Delta y_c = \frac{v(y - y'_f)}{V}$$

$$\Delta z_c = \frac{v \left[ z - \left( T + \frac{\Delta T}{2} \right) \right]}{V}$$

(5) 纵横稳心半径的变化为:

$$\Delta R = \frac{I'_{yf}}{V} - \frac{I_{yf}}{V}$$

$$\Delta r = \frac{I'_x}{V} - \frac{I_x}{V}$$

(6) 纵横稳心高的变化: 由于船的重心位置保持不变, 故

$$\Delta H = \Delta z_c + \Delta R$$

$$\Delta h = \Delta z_c + \Delta r$$

(7) 新的稳心高为:

$$h_1 = h + \Delta h$$

$$H_1 = H + \Delta H$$

(8) 横倾角为:


$$\tan \theta = \frac{v(y - y'_f)}{V h_1}$$

(9) 纵倾角为:

$$\tan \psi = \frac{v(x - x'_f)}{V H_1}$$

(10) 由于纵倾引起的吃水变化为:

表5-2 极限海损水线下 $V_1$ 、 $M_1$ 、 $v_w$ 及 $x_w$ 计算表

$L = \dots\dots\dots$ 米 $\Delta L = \dots\dots\dots$ 米 $(\Delta L)^2 = \dots\dots\dots$ 米 <sup>2</sup> $V = \dots\dots\dots$ 米 <sup>3</sup> $x_c = \dots\dots\dots$ 米 $M = \dots\dots\dots$ 米 <sup>4</sup>			力臂乘数 $K_i$	极 限 海 损 水 线 号									
$P$		$1A$		$2A$		$3A$		$4F$		.....			
$A_i$ (米 <sup>2</sup> )	$A_i K_i$	$A_i$ (米 <sup>2</sup> )		$A_i K_i$	$A_i$ (米 <sup>2</sup> )	$A_i K_i$	$A_i$ (米 <sup>2</sup> )	$A_i K_i$	$A_i$ (米 <sup>2</sup> )	$A_i K_i$	$A_{i2}$ (米 <sup>2</sup> )	$A_i K_i$	.....
横 剖 面 站 号		0	-10										
		1	-9										
		2	-8										
		3	-7										
		4	-6										
		5	-5										
		6	-4										
		7	-3										
		8	-2										
		9	-1										
		10	0										
		11	1										
		12	2										
		13	3										
		14	4										
		15	5										
		16	6										
		17	7										
		18	8										
		19	9										
		20	10										
总 和 $\Sigma'$													
修正值 $\varepsilon$													
修正后总值 $\Sigma$													
$V_1 = \frac{L}{20} \Sigma A_i$			米 <sup>3</sup>										
$v_w = V_1 - V$			米 <sup>3</sup>										
$M_1 = (\Delta L)^2 \Sigma A_i K_i$			米 <sup>4</sup>										
$m = M_1 - M$			米 <sup>4</sup>										
$x_w = m/v_w$			米										

水体积为  $v_w$  而形心在  $x_w$  处的条件。这可以说明如下：在图 5-8 中，仓长  $l$  ( $A$  与  $B$  点间的水平距离) 一段的体积为  $CD = v_w$ ，而面积  $A_0C$  = 面积  $B_0D$  则表示该仓对于通过  $CoD$  的横剖面的体积静矩等于零，亦即该仓的体积形心在  $x_w$  处。

应用同样方法，可以求出各极限海损水线的仓室可浸长度及其位置，但这种方法需要绘制每一海损水线的横剖面积曲线及其积分曲线，因而计算和制图工作过于繁杂。实践表明：进水仓的位置通常总是在其相应海损水线与界限线相切的切点附近，故海损水线下的横剖面积曲线与界限线下的横剖面积曲线在进水仓附近几乎相同。因此在实际计算中，常用界限线的横剖面积曲线及其积分曲线来代替所有海损水线的横剖面积曲线及积分曲线如

向下水分为四个阶段进行分析研究, 现分述如下。

### 一、第一阶段

自船舶开始下滑至船体尾端接触水面为止。在这一阶段中, 船的运动平行于滑道。

如图 6-2 所示, 设滑道的坡度为  $\beta$ , 下水重量为  $D_e$ , 重心在  $G$  点。在这一阶段中的作用力有:

(1) 下水重量  $D_e$ , 其中包括船体重量及下水架的重量。重力  $D_e$  沿滑道方向的分力  $T = D_e \sin \beta$  即为下滑力, 垂直于滑道的分力为  $N = D_e \cos \beta$ 。



图 6-2

(2) 滑道的反作用力  $R$ ,  $R$  与  $D_e$  在同一作用线上, 大小相等方向相反。

(3) 阻止船体下滑的摩擦力  $F = f D_e \cos \beta$ 。  $f$  为摩擦系数, 其数值与润滑油脂的性质及温度有关。  $f$  又可分为静摩擦系数  $f_s$  (船在开始滑动时) 和动摩擦系数  $f_d$  (船在滑道上运动时), 通常  $f$  的数值为:

$$f_s = 0.03 \sim 0.07$$

$$f_d = 0.02 \sim 0.05$$

根据上述分析, 船舶在本身重力作用下沿滑道滑动的条件是:

$$D_e \sin \beta > f_s D_e \cos \beta$$

$$\text{或} \quad \tan \beta > f_s \quad (6-1)$$

由 (6-1) 式可见, 船舶沿滑道向下运动的必要条件是: 滑道坡度  $\tan \beta$  必须大于静摩擦系数  $f_s$ 。

在第一阶段中, 可能出现的问题是船舶能否滑动。其中的关键是润滑油脂的摩擦系数和承压能力, 若润滑剂的摩擦系数过大或承压能力过低, 则船舶不能自动下滑, 使下水工作遇到故障。

### 二、第二阶段

自船体尾端接触水面至船尾开始上浮为止。在这一阶段中, 船的运动仍平行于滑道, 作用力有:

(1) 船体下水重量  $D_e$ 。

(2) 浮力  $\gamma V$  (其中  $V$  为船舶入水部分的排水体积)。

(3) 滑道的反作用力  $R$ 。

设下水重量  $D_e$ 、浮力  $\gamma V$  及反力  $R$  的作用点至前支架端点的距离分别为  $l_G$ 、 $l_e$  及  $l_R$  (图 6-3), 则在该阶段中力及力矩的平衡方程式为:

$$\left. \begin{aligned} D_e &= \gamma V + R \\ D_e \times l_G &= \gamma V \times l_e + R \times l_R \end{aligned} \right\} \quad (6-2)$$

在计算浮力  $\gamma V$  及浮心位置时, 通常认为下水架的重量、重心与其本身的浮力、浮心相当, 因而只须计算船体部分的浮力及浮心位置。

在下水的第二阶段中, 必须注意是否会发生尾下落现象。当船的重心  $G$  已在底滑道末

$\beta$  为底滑道坡度 (以弧度计);

$h$  为船在未滑动时首垂线处龙骨基线在水面以上的高度。

则当船沿滑道向下滑行距离  $x$  以后, 首尾吃水为:

$$\left. \begin{aligned} T_p &= -h + x\beta \\ T_d &= -h + x\beta + L\alpha \end{aligned} \right\} \quad (6-4)$$

据 (6-4) 式可以把船在各不同行程  $x$  (例如:  $x=60$  米、80 米、100 米等等) 时的首尾吃水算出。

(4) 在邦戎曲线图上画出相当于上述不同行程  $x$  时的水线如图 6-10 所示。然后用近似计算法算出每一水线下的浮力  $\gamma V$  及浮心纵向位置, 据此可进一步求出浮力对于前支点及底滑道末端的力矩  $M'_v$  及  $M'_d$ 。这样, 便可得出不同行程  $x$  时的  $\gamma V$ 、 $M'_v$  及  $M'_d$  数值。同时根据下水重量  $D_0$  及重心  $G$  点的位置, 可以算出  $M_D$  及  $M'_D$ 。

(5) 既知下水重量  $D_0$  及各不同行程  $x$  时之  $\gamma V$ 、 $M'_v$ 、 $M'_d$ 、 $M_D$ 、 $M'_D$  等数值, 便可绘制如图 6-8 所示的下水曲线图。由  $M'_v$  及  $M'_D$  的交点 (图中  $A$  点) 可知船尾开始上浮的位置  $x_1$ 。

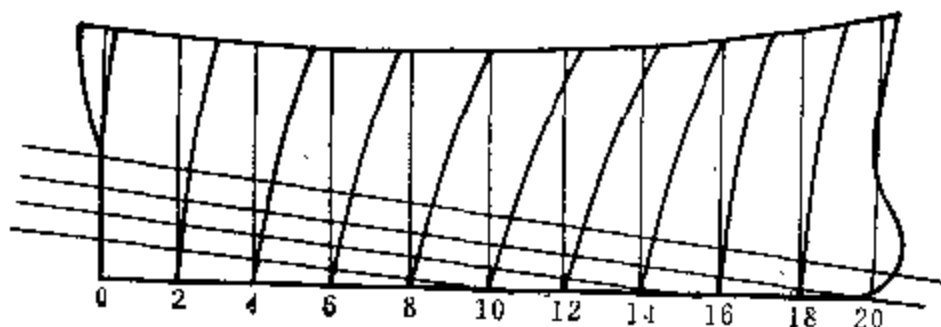


图 6-10

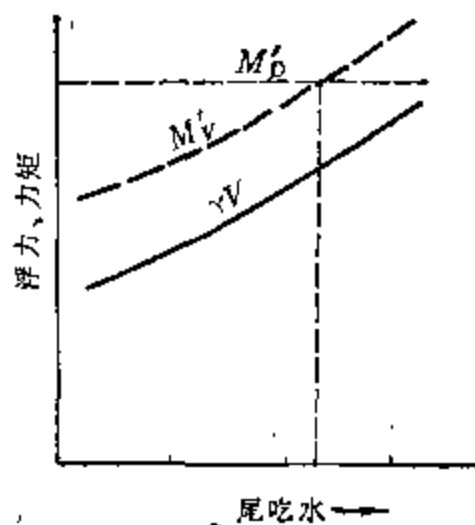


图 6-11

(6) 计算船尾上浮以后的浮力。

船尾上浮以后, 浮力对前支点的力矩  $M'_v$  必等于下水重量对前支点的力矩  $M'_D$ , 据此可以求出船尾上浮以后的浮力, 具体的计算方法如下: 先选定某一  $x$  值 (应大于  $x_1$ ), 计算船舶在前支点处的吃水。然后假定若干个尾吃水, 在邦戎曲线图上画出这些水线, 并量出各横剖面面积, 应用近似计算法算出每一尾吃水时的浮力、浮心位置及浮力对于前支点的力矩  $M'_v$ 。最后以尾吃水为横坐标, 绘制浮力  $\gamma V$  曲线,  $M'_v$  曲线及  $M'_D$  直线如图 6-11 所示。 $M'_v$  及  $M'_D$  的交点即表示  $M'_v = M'_D$ , 相当于这一交点的尾吃水即为船尾上浮以后在行程  $x$  处的船舶实际情况, 其正确的浮力也可在  $\gamma V$  曲线上查得。

另外再假定几个  $x$  值, 同样可以算出在各  $x$  值时船舶的尾吃水和实际浮力, 这样就可在水下曲线图上画出船尾上浮以后的浮力曲线, 如图 6-8 中的  $B$  曲线。在行程  $x_2$  (相当于前支点离开滑道末端) 处, 若浮力小于下水重量, 则将发生船首下落现象。

(7) 为了估计船在入水后的浮态及稳性, 尚需根据第三章 § 5 中的基本原理计算船舶下水后的首尾吃水及初稳心高度。

表6-1 浮力,  $x'_c$  计算表  
(行程  $x=110$  米,  $T_F=-2.131$ ,  $T_A=4.701$ )

站 号	横剖面积 (米 <sup>2</sup> )	辛氏乘数	$f(V)$ (I) × (II)	矩 臂	$f(M)$ (II) × (V)
(I)	(I)	(II)	(III)	(V)	(VI)
0	0	1/2	0	0	0
1	7.5	2	15.00	1	15.00
2	13.75	1	13.75	2	27.50
3	24.00	2	48.00	3	144.00
4	32.50	1	32.50	4	130.00
5	40.00	2	80.00	5	400.00
6	42.50	1	42.50	6	255.00
7	44.50	2	89.00	7	623.00
8	37.50	1	37.50	8	300.00
9	32.50	2	65.00	9	585.00
10	26.75	1	26.75	10	267.50
11	20.00	2	40.00	11	440.00
12	12.50	1	12.50	12	150.00
13	5.00	2	10.00	13	130.00
14	0	1/2	0	14	0
15	—				
...					
...					
		$\Sigma f(V)$	512.5	$\Sigma f(M)$	3467

注: (1) 计算结果:

$$\begin{aligned}\text{浮力: } \gamma V &= 1.006 \times \frac{2}{3} \times \Delta L \times \Sigma f(V) \\ &= 1.006 \times \frac{2}{3} \times 7.515 \times 512.5 = 2583 \text{ 吨}\end{aligned}$$

$$\text{浮心至尾垂线距离: } x'_c = \frac{\Sigma f(M)}{\Sigma f(V)} \times \Delta L = \frac{3467}{512.5} \times 7.515 = 50.84 \text{ 米}$$

(2) 每一行程都有一张计算表格, 为节省篇幅起见, 这里只给出一张计算表格。

表6-2 下水第二阶段计算表

滑行距离 $x$ (米)	80	90	100	110	120	130
下水重量 $D_c$ (吨)		4335				
$l_G$ (米)		63.45				
$s_G$ (米)	-52.4	-42.4	-32.4	-22.4	-12.4	-2.4
浮力 $\gamma V$ (吨)	910	1370	1920	2583	3320	4100
$x'_c$ (米)	40	43.8	47.2	50.84	53.90	57.1
$l_c$ (米)	92.85	89.05	85.65	82.01	78.95	75.75
$s_c$ (米)	-23	-16.8	-10.2	-3.84	3.1	10.1
$M_D = D_c \times l_G$ (吨·米)		275000				
$M_V = \gamma V \times l_c$ (吨·米)	84500	122000	164500	212000	262000	310000
$M_D = D_c \times s_G$ (吨·米)	-227000	-184000	-140500	-97100	-53600	-10400
$M_V = \gamma V \times s_c$ (吨·米)	-20900	-23000	-19600	-9930	10300	41400

(2) 船尾上浮时前支架受力  $R=820$  吨。

在第二阶段中  $M_V > M_D$ , 而且船尾上浮时重心仍在滑道末端以前, 故不可能发生尾下落现象。

### 一、船舶下水的运动方程

根据牛顿第二定律, 船体在下水过程中所受到的合力  $F$  等于其质量乘以加速度。因此, 船舶下水的运动方程为:

$$F = \frac{D_c}{g} \cdot a$$

式中,  $F$  是沿运动方向作用在船体上各种力的总和。在下水的各个阶段中,  $F$  的组成成分如下表所示。

	合力	重力的分力	浮力的分力	摩擦力	水阻力	制动力
第一阶段	$F =$	$D_c \sin \theta$	0	$-f D_c \cos \theta$	0	0
第二阶段	$F =$	$D_c \sin \theta$	$-\gamma V \sin \theta$	$-f(D_c - \gamma V) \cos \theta$	$-R$	0
第三阶段	$F =$	$D_c \sin \theta$	$-\gamma V \sin \theta$	$-f(D_c - \gamma V) \cos \theta$	$-R$	0
第四阶段	$F =$	0	0	0	$-R$	$-f_c d$

表中  $\theta$  为船舶运动方向与水平线之间的夹角, 在第一、第二阶段中,  $\theta$  等于滑道坡度  $\beta$ 。在第三阶段中, 船尾已经上浮,  $\theta$  逐渐减小。在第四阶段中,  $\theta = 0$ 。

浮力  $\gamma V$  与船舶的滑行距离有关, 可从下水曲线中查得。

水阻力  $R$  与船体入水的体积和下滑速度等因素有关。由于船体下滑是变速运动, 情况比较复杂, 目前尚无可靠正确的计算方法。通常可将水阻力写作:

$$R = K(\gamma V)^{2/3} v^2 \quad (6-13)$$

式中  $K$  —— 水阻力系数;

$\gamma V$  —— 船舶在某一瞬间的浮力;

$v$  —— 船舶在该瞬间的下滑速度。

根据 H. B. 安德鲁斯 (Andrews) 及 A. M. 尼克森 (Nickerson) 发表的经验资料<sup>●</sup>, 得出估算水阻力系数的平均统计公式:

$$K = \frac{D_c(\gamma V)^{1/2}}{12000} \quad (6-14)$$

制动力  $f_c d$  一般在前支架脱离滑道时才起作用, 其中  $d$  为已经被曳动的制动重量,  $f_c$  为制动重量在地面上拖曳的摩擦系数, 其数值与地面情况有关。制动锚链沿地面拖曳的摩擦系数大致范围是  $f_c = 0.4 \sim 1.0$ 。

对于下水各个阶段中船体的受力情况进行分析以后, 便可具体讨论下滑速度及加速度的计算问题。

在下水的第一阶段中,  $F = D_c(\sin \beta - f \cos \beta)$ , 通常  $\beta$  的数值较小, 故  $F = D_c(\beta - f)$ 。因此, 船体的下滑加速度为:

$$a = g(\beta - f) \quad (6-15)$$

船体在任一行程  $x$  处的下滑速度为:

$$v^2 = 2gx(\beta - f) \quad (6-16)$$

● 参阅1963年杨楫主编《船舶静力学》。



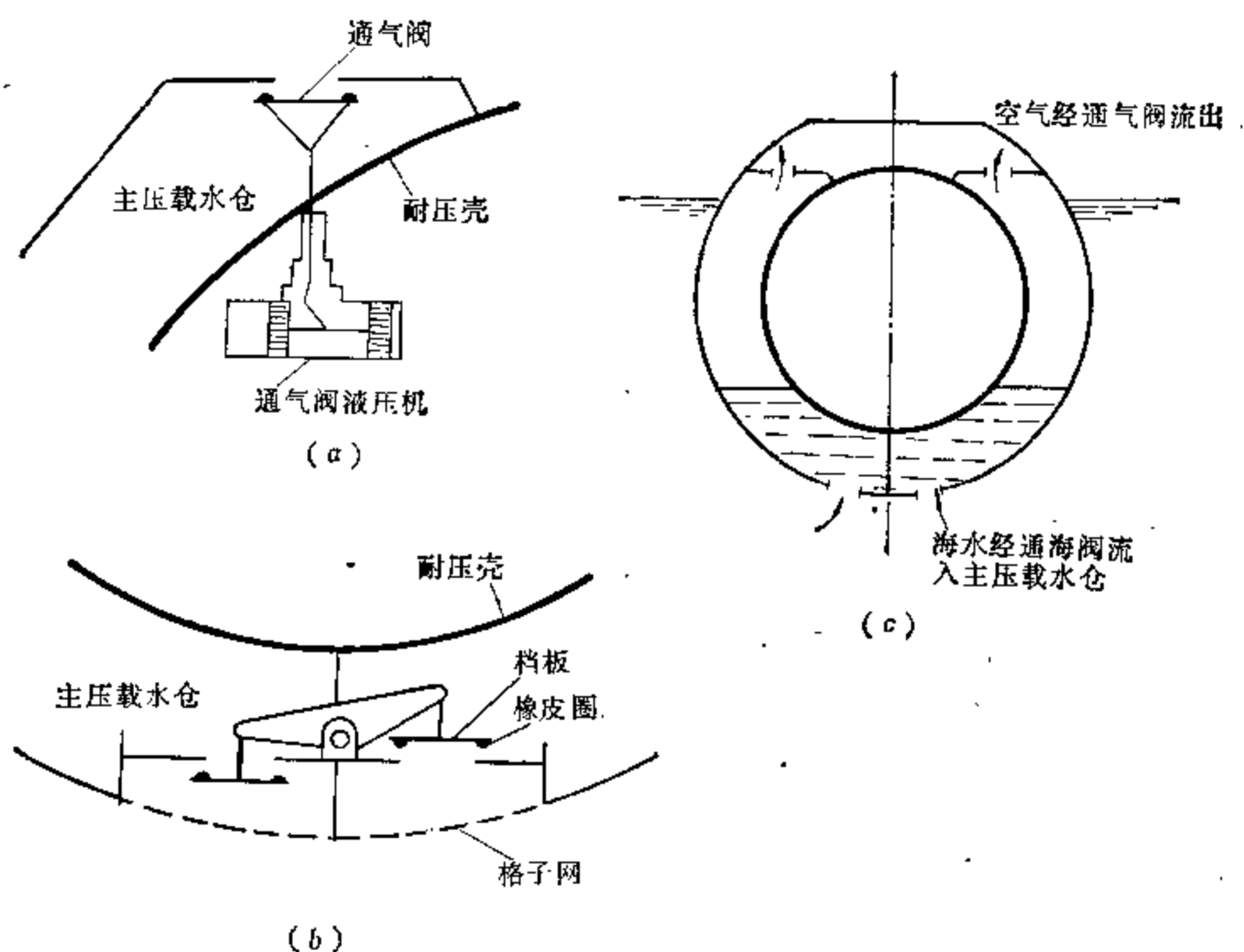


图 7-2

(a) 通气阀结构示意图; (b) 平衡式通海阀结构示意图; (c) 主压载水仓进水, 潜艇下潜情况。

除主压载水仓外, 在耐压艇体和非耐压艇体之间还布置了速潜水仓和浮力调整水仓(图7-1)。这二个水仓布置在中部靠近浮心处。速潜水仓的作用是使潜艇能快速下潜, 若在该水仓中注满水, 则当潜艇由水上潜入水下后, 艇的重量将大于浮力, 并产生首纵倾, 以便潜艇在紧急情况下能够迅速地从水上潜入水下, 或在水下状态时迅速地改变艇的下潜深度。浮力调整水仓的作用是调整重量和浮力之间的平衡, 当艇的重力或浮力变化时, 在浮力调整水仓中注水(或排水)能使水下状态的潜艇始终保持重量等于浮力。在正常情况下, 速潜水仓中不注水, 浮力调整水仓中部分注水。当潜艇在水下状态时, 这二个水仓都要承受深水压力, 因此它们的外壳也是耐压的, 通常称为“耐压舷仓”。

潜艇的首部(1号主压载水仓之前)、尾部(10号主压载水仓之后)、上层建筑(主压载水仓和耐压艇体的上部)及指挥台围壳的外板上开有很多流水孔, 潜艇在上浮下潜时海水可自由地出入, 故这些部分是非水密艇体。至于耐压艇体和主压载水仓, 则都是水密艇体。1号主压载水仓前仓壁与最后一个主压载水仓后仓壁之间的水平距离(图7-1)称为水密艇体的长度 $L$ , 它相当于水面船舶的垂线间长度, 潜艇分站及浮性、稳性的计算都采用这个长度, 它的中点就是横剖面的位置。

潜艇的主要航行状态有下列五种(参阅图7-3):

(1) 水上正常状态(即设计状态)——所有载荷都按设计规定的重量装到艇上, 主压载水仓内无水, 这时潜艇所处的状态称为水上正常状态。通常所说的水上状态就是指这种状态。

(2) 燃油过载状态——为了使潜艇能远离基地执行任务, 部分主压载水仓可用来装燃

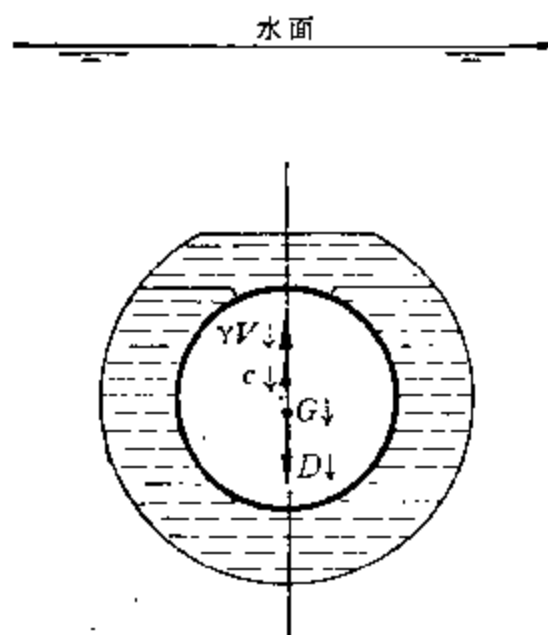


图 7-7

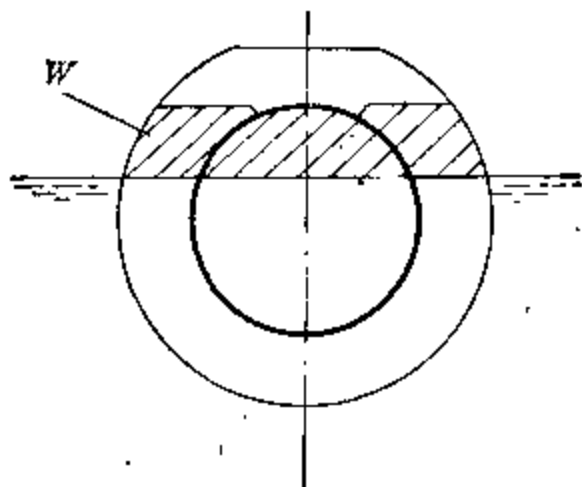


图 7-8

其中,  $\gamma W$  称为储备浮力,  $W$  称为储备浮容积。

从上述分析中可以看出, 原来处于水下平衡状态的潜艇, 当它上浮到水面正常状态时, 其储备浮容积必然等于主压载水仓的总容积。如果潜艇在上浮后仍要求保持正浮状态 ( $\psi = 0$ ,  $\theta = 0$ ), 则必须使  $W$  和  $\Sigma v$  的几何形心 (或称容积中心) 在同一铅垂线上。

综上所述, 可以得出如下几点重要结论:

(1) 对于潜艇说来, 须满足水下平衡条件  $P = \gamma V_0$ , 其水上平衡总是能满足的。主压载水仓虽然用来实现潜艇的上浮下潜, 但它的大小对水下平衡没有影响。

(2) 主压载水仓的大小对水下平衡虽然没有影响, 但据公式(7-2 a)可知, 它将直接影响到潜艇水下排水量的大小。此外, 还直接决定了储备浮力的大小。

(3) 水下平衡且处于正浮状态 ( $\psi = 0$ ,  $\theta = 0$ ) 的潜艇, 必须同时满足  $P = \gamma V_0$  及  $x_g \uparrow = x_{c_0}$ ,  $y_g \uparrow = y_{c_0} = 0$ 。如果上浮后仍要求保持正浮状态, 则  $W$  和  $\Sigma v$  的容积中心必须在同一铅垂线上。

根据上述结论, 在设计潜艇时, 应首先确定艇的重量  $P$  (亦即确定水上排水量  $D \uparrow$ ), 并使固定浮容积  $V_0$  与  $P$  的关系满足公式(7-2 b), 以便保证潜艇的水下平衡并处于正浮状态。然后画出非耐压艇体、布置主压载水仓、确定主压载水仓总容积  $\Sigma v$  (通常为水上排水量  $D \uparrow$  的 15~30%), 由此即可决定储备浮力的大小和水上正常状态时的水线位置。在布置主压载水仓位置时还应考虑  $\Sigma v$  和  $W$  容积中心在同一铅垂线上, 以便保证潜艇在水上时也能处于正浮状态。

最后, 顺便对潜艇的各种排水量作一简要介绍:

(1) 水上正常排水量  $D \uparrow$  —— 潜艇在水上正常状态时水密艇体的排水重量, 其数值等于艇的重量  $P$ , 即  $D \uparrow = P = \gamma V \uparrow$ 。通常所说的水上排水量就是指这种排水量。

(2) 水下排水量  $D \downarrow$  —— 潜艇整个水密艇体的排水重量, 其数值等于水上排水量加上全部主压载水重量, 即  $D \downarrow = D \uparrow + \gamma \Sigma v$ 。

(3) 水上航行排水量 —— 水上正常状态时, 水线以下全部艇体排水重量 (包括非水密艇体), 其数值等于水上正常排水量加上非水密艇体的进水重量。

(4) 水下航行排水量 —— 潜艇整个艇体的排水重量 (包括非水密艇体), 其数值等于

的，引起这种变化的原因是：（1） $\gamma$  与水的盐度、温度和压力有关，不同海区、不同深度处水的  $\gamma$  是不同的；（2） $V_0$  与水的温度和压力有关，随着下潜深度的变化， $V_0$  也将发生变化。由于上述原因，本来已经满足水下平衡条件的潜艇，在航行过程中，因重量和浮力的变化，使原来的平衡遭到破坏。为了确保潜艇的安全航行，必须进行一定的计算和采取相应的措施，使艇仍能满足水下平衡条件，这就是潜艇的均衡。潜艇的均衡包括：（1）均衡重量，使艇的重量等于浮力；（2）均衡纵倾力矩，使艇保持正浮状态。

在潜艇上，有三个专门水仓用于艇的均衡，即浮力调整水仓、首均衡水仓和尾均衡水仓如图7-12所示。浮力调整水仓位于浮心附近，增减该水仓中的水量，可以调整潜艇的重量，由此而产生的纵倾力矩是很小的。首、尾均衡水仓又称首、尾纵倾水仓，位于耐压艇体首尾两端并有专门管路相连通，从首（尾）均衡水仓向尾（首）均衡水仓调水，则将产生纵倾力矩，借以调整艇的纵倾。因此，潜艇重量与浮力之间的平衡是由均衡水仓中增减水量来实现的，而浮态的调整则由首尾纵倾水仓之间进行调水来实现的。

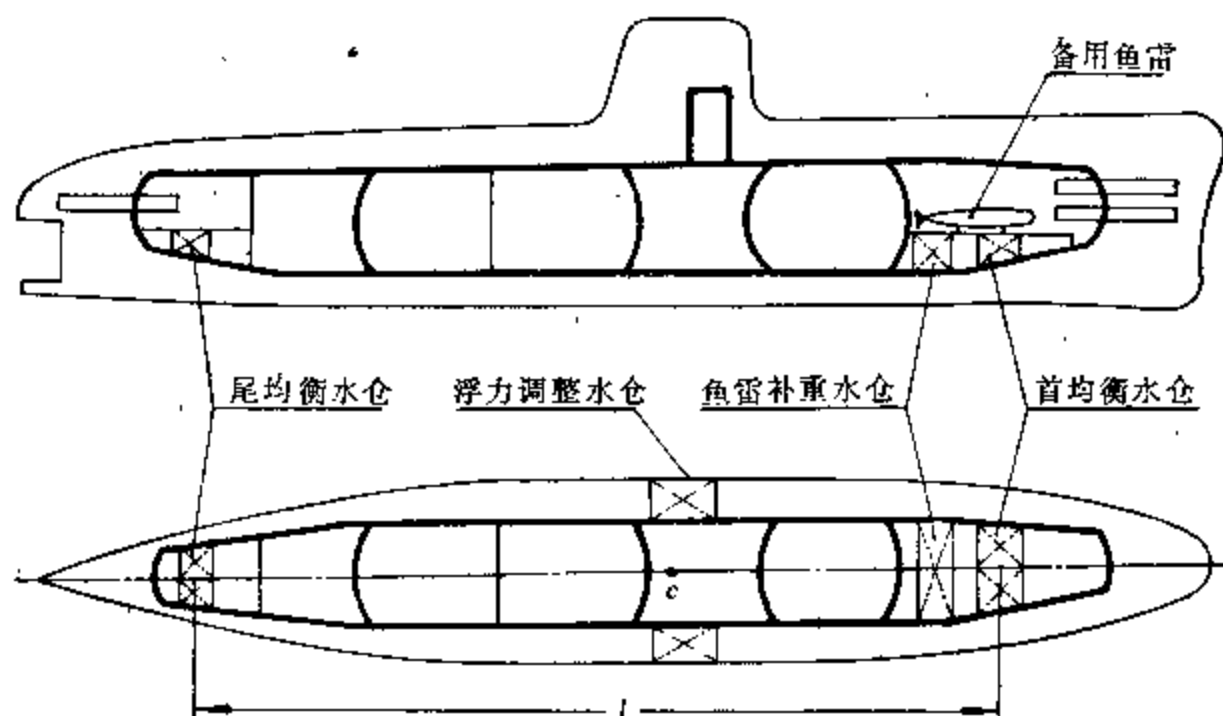


图 7-12

## 一、重量、浮力的变化及均衡

### 1. 鱼雷和水雷

鱼雷的重量较大，每枚约重1800公斤。对于备用鱼雷，设有专门的鱼雷补重水仓（图7-12）进行代换，当鱼雷消耗后可在该水仓内注水以达到均衡。发射管中的鱼雷发射后，直接在发射管内注水进行代换。注水后尚有少量的重量差额和纵倾力矩，可用调整水仓和首、尾纵倾水仓进行均衡。水雷的代换和鱼雷一样，设置专门的补重水仓。

### 2. 燃油

潜艇上采用的燃油与海水不起作用，可直接用海水注入燃油仓进行代换。但海水的比重和燃油的比重不同，代换后的重量差额和纵倾力矩可用调整水仓和首、尾纵倾水仓进行均衡。

### 3. 粮食、淡水、蒸馏水和润滑油

粮食、淡水、蒸馏水和润滑油消耗以后，用调整水仓和首、尾纵倾水仓进行均衡。

### 4. 浮力

## §5 稳性及潜浮稳度图

潜艇在水上状态时的稳性与普通水面船舶类同, 这里主要介绍潜艇在水下状态及上浮下潜过程中的稳性问题。

### 一、水下稳性

潜艇在水下状态时, 浮心和重心的位置是固定的。当艇体横倾某一  $\theta$  角度时(图 7-13), 复原力矩为:

$$M_h = D \downarrow (z_c \downarrow - z_g \downarrow) \sin \theta = D \downarrow a \sin \theta \quad (7-11)$$

式中,  $a = z_c \downarrow - z_g \downarrow$ 。

同理, 当艇体纵倾某一  $\psi$  角度时, 复原力矩为:

$$M_H = D \downarrow (z_c \downarrow - z_g \downarrow) \sin \psi = D \downarrow a \sin \psi \quad (7-12)$$

潜艇在水下状态时没有水线面, 故水线面的纵横惯性矩及稳心半径等于零, 即  $I_x = I_{yt} = 0$ ,  $r = R = 0$ 。由此可见, 潜艇在水下状态时的横稳心、纵稳心都与浮心相重合。因此, 重心与浮心之间的距离  $a$  就是水下横稳心高  $h \downarrow$  和纵稳心高  $H \downarrow$ , 即

$$h \downarrow = H \downarrow = a \quad (7-13)$$

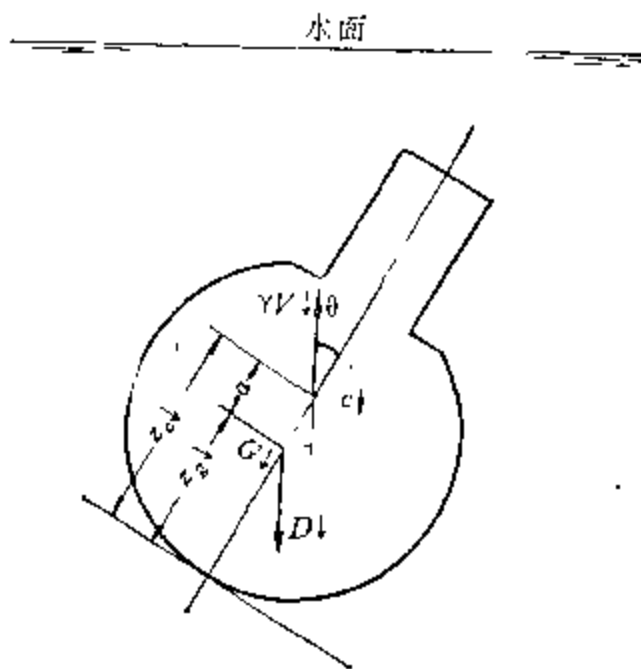


图 7-13

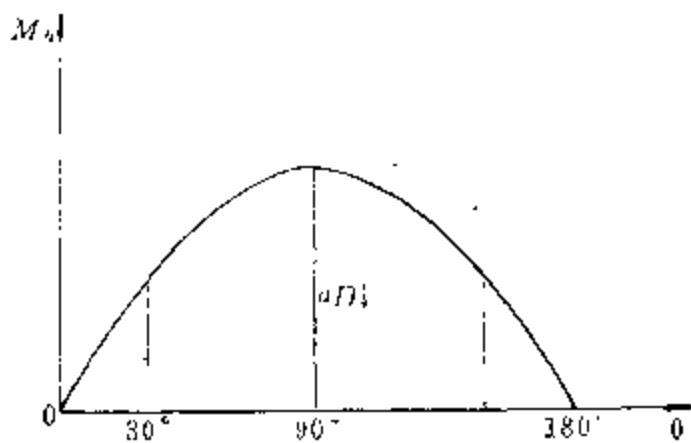


图 7-14

现对潜艇的水下稳性问题作几点必要的说明:

(1) 水下稳心公式(包括纵稳心公式)不受角度的限制, 亦即可以适用于大倾角。它的静稳性曲线是正弦曲线, 如图 7-14 所示。

(2) 根据横稳心高公式  $h \downarrow = a = z_c \downarrow - z_g \downarrow$ , 可以判断潜艇的水下平衡性质。当  $a > 0$  时, 潜艇处于稳定平衡; 当  $a < 0$  时, 潜艇处于不稳定平衡; 当  $a = 0$  时, 潜艇处于中性平衡, 如图 7-15 所示。因此, 要使潜艇在水下处于稳定平衡, 其重心必须位于浮心之下。

(3) 潜艇在水上状态时的纵稳心高很大, 但在水下时的纵稳心高却很小。例如, 某艇的水上纵稳心高  $H \uparrow = 82$  米, 而水下纵稳心高  $H \downarrow = a = 0.27$  米, 相差三百倍左右。因此潜艇的水下纵稳性很差, 极易产生纵倾, 所以在均衡计算中, 必须对纵倾力矩进行均衡。

(4) 在讨论平衡问题时, 我们曾应用增加重量法和损失浮力法得出了各自的平衡方

$$p_1 + (z_1 - \Delta z) \gamma = p_a + T \gamma$$

根据上述两式, 可得:

$$p_2 - p_1 = (z_1 - z_2 - 2\Delta z) \gamma$$

由图 7-18 可知,  $(z_1 - z_2) = 2l \sin \theta$ , 代入上式得:

$$(p_2 - p_1) = (2l \sin \theta - 2\Delta z) \gamma \quad (7-21)$$

比较(7-20)式和(7-21)式, 即可求得水层的厚度为:

$$\Delta z = \frac{l \sin \theta}{\left(\frac{p_0 S}{\gamma v_0} - 1\right)}$$

将上式代入(7-19)式, 并考虑到自由液面的影响是使初稳心高度减小, 因此采用负号, 故:

$$\Delta h_1 = \frac{-2lS}{V \sin \theta} \times \frac{l \sin \theta}{\left(\frac{p_0 S}{\gamma v_0} - 1\right)} = \frac{-2Sl^2}{V} \times \frac{1}{\left(\frac{p_0 S}{\gamma v_0} - 1\right)}$$

这样, 第三种情况主压载水仓自由液面对初稳性的修正值为:

$$\Delta h_3 = \Delta h_1 + \Delta h_2 = \frac{-\left[2i_x + 2Sl^2 / \left(\frac{p_0 S}{\gamma v_0} - 1\right)\right]}{V} \quad (7-22)$$

设  $\beta = 1 / \left(\frac{p_0 S}{\gamma v_0} - 1\right)$ , 则上式可改写为:

$$\Delta h_3 = \frac{-(2i_x + 2\beta Sl^2)}{V} \quad (7-23)$$

综上所述, 主压载水仓三种自由液面情况对初稳性的影响可归结为:

$$\begin{aligned} \Delta h_1 &= \frac{-2i_x}{V} \\ \Delta h_2 &= \frac{-(2i_x - 2Sl^2)}{V} \\ \Delta h_3 &= \frac{-(2i_x + 2\beta Sl^2)}{V} \end{aligned}$$

第一种情况对初稳性的影响较小, 由于通海阀关闭, 压载水只能在仓内作横向流动, 不能从一舷流向另外一舷, 故只有  $i_x$ ; 第二种情况对初稳性的影响较大, 由于通气阀和通海阀都打开, 主压载水除在仓内横向流动外, 还可从一舷流向另外一舷, 因此产生较大的横倾力矩; 第三种情况对初稳性的影响介乎两者之间, 主压载水虽然可以从一舷流向另外一舷, 但要受到空气压力的阻碍, 故在  $Sl^2$  前乘以系数  $\beta$ 。 $\beta$  是介于 0 与 1 之间的一个数值。若  $\beta = 0$ , 就是第一种情况, 左右两舷完全不通; 若  $\beta = 1$ , 就是第二种情况, 左右两舷相通。因此,  $\Delta h_2 > \Delta h_3 > \Delta h_1$ 。

### 三、潜浮稳度图

潜艇在上浮下潜过程中, 重心  $G$ 、浮心  $c$  和稳心  $M$  都在不断地变化, 同时主压载水仓中大量的自由液面对初稳性产生不利影响。因此, 讨论潜艇在潜浮过程中的初稳性问题就非常必要。为了考察潜艇潜浮过程中初稳性的变化, 通常绘制随吃水而变化的  $z_g$ 、 $z_c$ 、 $z_m$ 、

$$\Delta h = \frac{-\gamma v h \downarrow}{D_1} + \frac{(\gamma v - p)(z_p - z_1)}{D_1} \quad (7-32b)$$

装卸载荷对潜艇水上状态初稳性的影响与第三章 §2、§3 中所述的原理相同。水上状态初稳心高度的变化为：

$$\Delta h = (z_{m_1} - z_m) - (z_{g_1} - z_g \uparrow)$$

式中， $z_{g_1}$ 可按(7-29)式求得；潜艇原来的横稳心坐标  $z_m$  及装载后的  $z_{m_1}$  可据排水量  $D \uparrow$  及  $D_1$  在静水力曲线上查得。因此，

$$\Delta h = (z_{m_1} - z_m) - \frac{p(z_p - z_1) - \gamma v(z_g \uparrow - z_1) + p_2 \Delta z}{D_1} \quad (7-33a)$$

若所装的载荷较小，排水量变化不大，则  $z_{m_1} \approx z_m$ 。当  $p_2$  的高度不变，即  $\Delta z = 0$  时，则(7-33a)式可简化为：

$$\Delta h = \frac{\gamma v(z_g \uparrow - z_1) - p(z_p - z_1)}{D_1} \quad (7-33b)$$

下面举一实际计算例题，以供参考。

某潜艇在上层建筑内需要增加两个高压气瓶，计算初稳性的变化。已知条件为：

水上排水量	$D \uparrow = 700$ 吨
舷外水的比重	$\gamma = 1.00$ 吨/米 <sup>3</sup>
两个气瓶的重量	$p = 1.2$ 吨
两个气瓶的容积	$v = 0.8$ 米 <sup>3</sup>
气瓶重心垂向位置	$z_p = 5.5$ 米
水下初稳心高度	$h \downarrow = 0.2$ 米
潜艇重心的垂向位置	$z_g \uparrow = 2.6$ 米
固体压载重心的垂向位置	$z_1 = 0.5$ 米

水下状态初稳心高度的变化按公式(7-32b)确定：

$$\begin{aligned} \Delta h &= \frac{-\gamma v h \downarrow}{D \uparrow + \gamma v} + \frac{(\gamma v - p)(z_p - z_1)}{D \uparrow + \gamma v} = \frac{-0.8 \times 0.2}{700.8} + \frac{(0.8 - 1.2)(5.5 - 0.5)}{700.8} \\ &= -0.003 \text{ 米} = -0.3 \text{ 厘米} \end{aligned}$$

水上状态初稳心高度的变化按公式(7-33b)确定：

$$\begin{aligned} \Delta h &= \frac{\gamma v(z_g \uparrow - z_1) - p(z_p - z_1)}{D \uparrow + \gamma v} = \frac{0.8(2.6 - 0.5) - 1.2(5.5 - 0.5)}{700.8} \\ &= -0.006 \text{ 米} = -0.6 \text{ 厘米} \end{aligned}$$

式中  $h$  —— 梯形高;  
 $a$  —— 梯形下底宽;  
 $b$  —— 梯形上底宽。

切点  $B$  以上的部分则按辛氏法进行数值积分, 将两者叠加起来便是整个所需的计算数值。

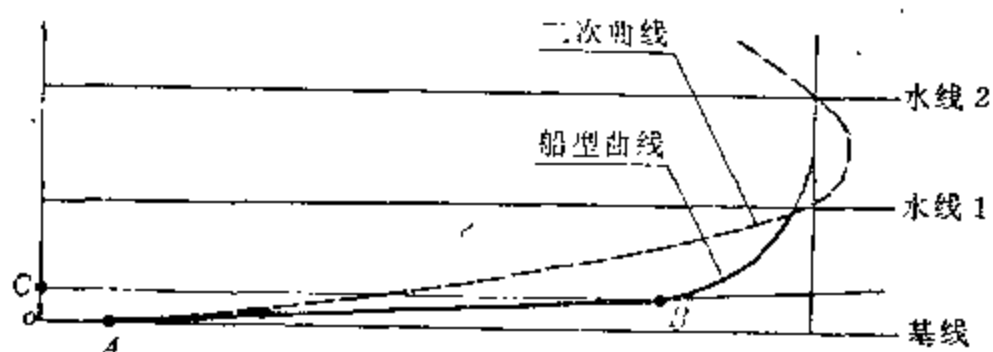


图 8-6

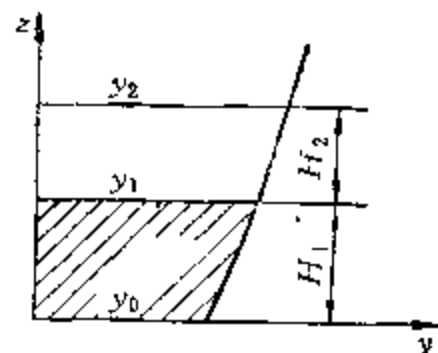


图 8-7

2) 在计算邦戎曲线时需要算出 1 号水线下的面积及面积矩 (图 8-7)。计算面积及面积对  $z$  轴静矩时采用公式 (8-3), 但在计算面积对  $y$  轴静矩时应采用下列公式:

$$M_y = H_1^2 (c_0 y_0 + c_1 y_1 + c_2 y_2) / 12 \quad (8-5)$$

式中

$$c_0 = (2H_2 + H_1) / (H_1 + H_2)$$

$$c_1 = (4H_2 + H_1) / H_2$$

$$c_2 = 6 - c_0 - c_1$$

当  $H_1 = H_2$  时公式 (8-5) 与辛氏 (3, 10, -1) 法则相一致。

(5) 关于特殊船型计算:

1) 球鼻首船型: 计算方法与一般船型基本相同, 但需作以下处理:

a. 球鼻部分的横剖面在首垂线以前会分离成二块, 在积分计算时仍将横剖面看作是连续的, 分离部分的半宽为零。

b. 在计算各水线下的排水体积时, 对于球鼻端点以上的水线需作如下处理: 若水线首端点的距舭坐标小于球鼻端点的距舭坐标, 则由尾向首进行纵向积分时, 其积分终限应取至球鼻端点, 以便计入球首的水下体积。

2) 隧道船型: 对包含隧道的横剖面, 首先以虚线将船底连成光滑曲线, 使隧道部分成为封闭图形 (图 8-8)。然后对包含隧道在内的整个横剖面进行邦戎曲线计算。再根据隧道型值, 对隧道部分进行邦戎曲线计算。将前者的计算结果减去后者, 即得隧道型船的邦戎曲线结果。

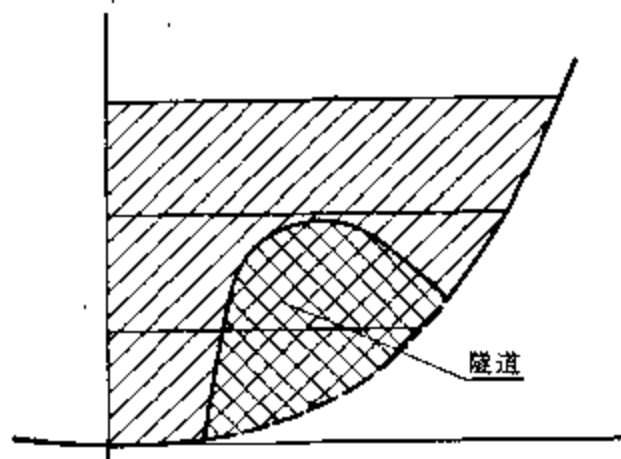


图 8-8

对水线面进行面积、静矩、惯矩等项计算时采用同样方法。

3) 折角船型: 折角船型的特点是横剖面曲线及水线面曲线上具有折角点。若用二次曲线代替具有折角点一段的船型曲线, 势必会有较大的误差。为此, 在积分计算时应进行分段积分, 例如: 具有一条折角线船的横剖面, 折角点将曲线分为上下二部分, 从船底到折角点为第一部分,

$$Z_{c0} = \frac{1}{V_0} \int_{x_1}^{x_2} MY_0 dx$$

$$V_0 = \int_{x_1}^{x_2} A_0 dx$$

其中  $A_0$ —— $\theta$  横倾角下横剖面水下面积;

$V_0$ —— $\theta$  横倾角下排水体积;

$MY_0$ —— $\theta$  横倾角下横剖面水下面积对  $Y$  轴的静矩;

$MZ_0$ —— $\theta$  横倾角下横剖面水下面积对  $Z$  轴的静矩。

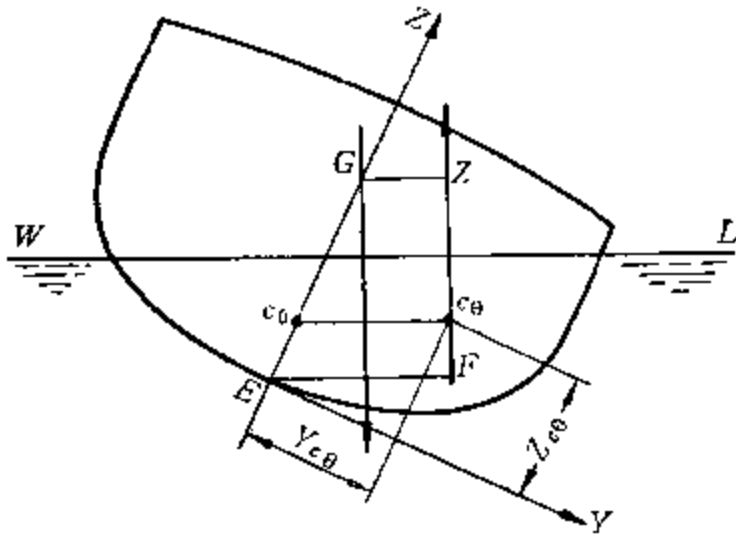


图 8-11

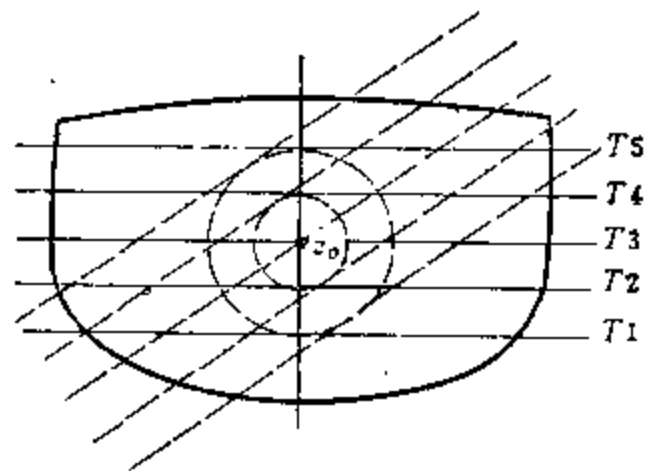


图 8-12

复原力臂为:

$$GZ = EF - Z_g \sin \theta$$

式中  $Z_g$ ——重心  $G$  距基线高度。

(1) 旋转水线的选取:

选取五条水线  $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$ 、 $T_4$ 、 $T_5$  (图 8-12)。  $T_1$  较空载水线略低,  $T_5$  较满载水线略高, 以第三条水线  $T_3$  与转轴的交点  $Z_0$  为旋转中心, 五条水线同时按逆时针方向旋转, 旋转后各水线间的垂直距离仍保持不变。

(2)  $\theta$  横倾角下各剖面上的面积  $A_0$ , 面积矩  $MY_0$ 、 $MZ_0$  计算:

1) 横倾水线与剖面型线交点的确定: 首先确定在哪二条相邻水线之间含有交点, 然后在此区间中以某插补函数代替原来的型线, 求出插补函数与横倾水线交点, 将由此求得的交点作为所求交点的近似值。

2) 交点所在区间的确定: 设在所求剖面上有  $m$  条水线, 它们的高和半宽分别为  $Z_1$ 、 $Z_2 \dots Z_m$  和  $\pm Y_1$ 、 $\pm Y_2 \dots \pm Y_m$  (见图 8-13)。

首先求出横倾水线  $WL$  与  $m$  条水线的交点  $Y'_1 Z'_1$ 、 $Y'_2 Z'_2 \dots Y'_m Z'_m$ , 即

$$Y'_i = (Z_i - Z_0) / \tan \theta$$

$$Z'_i = Z_0 + Y'_i \cdot \tan \theta$$

对应每一水线区间可以算出特征数  $K$  为:

$$K = (Y'_i - Y_i) \times (Y'_{i+1} - Y_{i+1})$$

当在某一区间上不等式  $K \leq 0$  成立, 则在该区间内含有一个交点。

3) 插补函数的选取: 作为求近似交点用的插补函数有多种形式, 现选取直线作为插



h. 球首情况的处理: 由于球首形状比较特殊, 其交点除可能遇到上述情况外, 还补充下述三种情况:

第一种情况: 三个交点 (见图 8-23) 时, 舍去  $E$  点按情况 e. 类似处理。

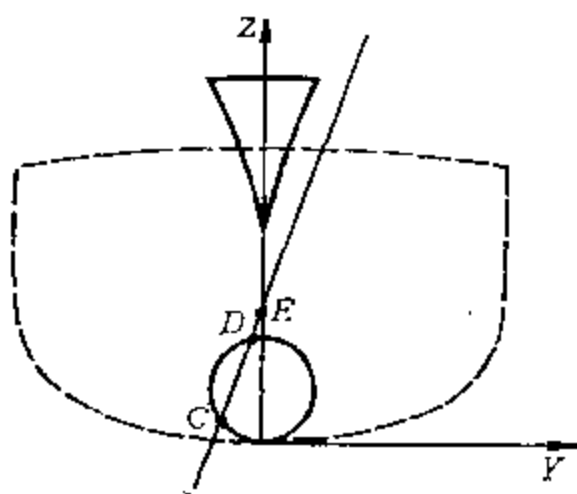


图 8-23

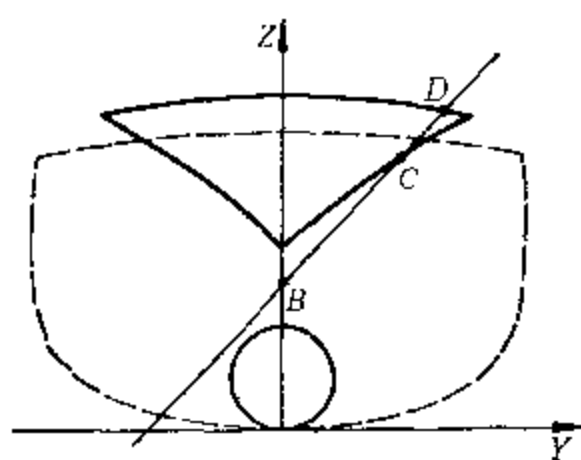


图 8-24

第二种情况: 三个交点 (见图 8-24) 时, 则

$$A_0 = 2A_B + A_D - A_C - \tan \theta (Y_D^2 - Y_C^2) / 2$$

$$MY_0 = 2MY_B + MY_D - MY_C - \tan \theta [Y_D^2(2Z_D + Z_B) - Y_C^2(2Z_C + Z_B)] / 6$$

$$MZ_0 = MZ_D - MZ_C - \tan \theta (Y_D^3 - Y_C^3) / 6$$

第三种情况: 五个交点 (见图 8-25) 时, 舍去  $E$  点, 按上述第一种情况和 d. 的组成来处理。

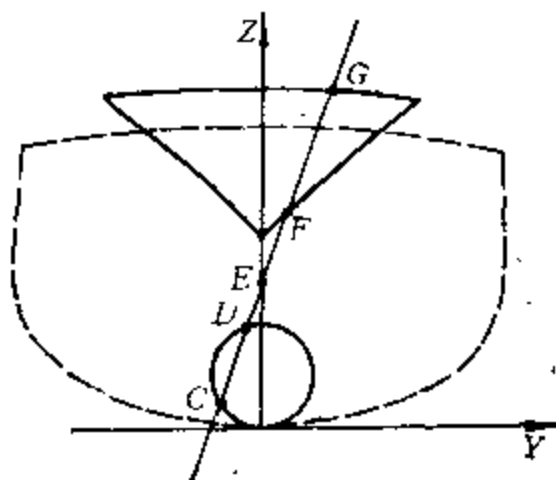


图 8-25

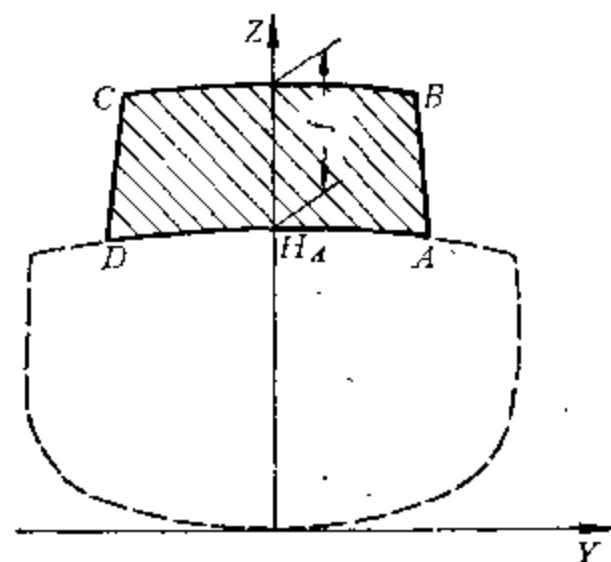


图 8-26

### (3) 上层建筑计算:

船舶上层建筑或甲板室 (以下统称上层建筑) 有时也参加稳性计算。上层建筑的每一段视为单独的小船体, 它具有自己的计算剖面。把上层建筑的排水量与静矩分别累加到主体的排水量和对应的静矩中去, 所求之稳性力臂, 即为计入上层建筑的船舶稳性力臂。

1) 上层建筑边界线的假设: 如图 8-26 所示的上层建筑剖面, 其中四边形  $ABCD$  为上层建筑剖面, 它对称于  $Z$  轴,  $AB$  和  $CD$  为直线,  $\widehat{AD}$  即主体甲板梁拱, 其表达方程为:

$$Z = Z_A + H_A [1 - (Y/Y_A)^2]$$

$\widehat{BC}$  是  $\widehat{AD}$  在  $Z$  轴方向平移  $f$  所形成, 其方程为:

$$Z = Z_A + H_A [1 - (Y/Y_A)^2] + f$$

$$MY_d' = [A_m(5Z_m + 2H_m) - A_n(5Z_n + 2H_n)]/5$$

$$- (Z_n - Z_m)[Y_n(2Z_n + Z_m) + Y_m(2Z_m + Z_n)]/6$$

$$MZ_d = \frac{3}{8}(A_m Y_m - A_n Y_n) - (Z_n - Z_m)(Y_m^2 + Y_m Y_n + Y_n^2)/6$$

式中  $H_m = H(Y_m/B)^2$

$$H_n = H(Y_n/B)^2$$

$$A_m = \frac{2}{3}H_m Y_m$$

$$A_n = \frac{2}{3}H_n Y_n$$

(4) 关于特殊船型计算:

1) 双体船型: 对于双体船旋转水线的选取与一般船型相同。但是其旋转中心应定在两片体之间对称轴上(见图 8-35), 各片体计算公式与一般船型相同。

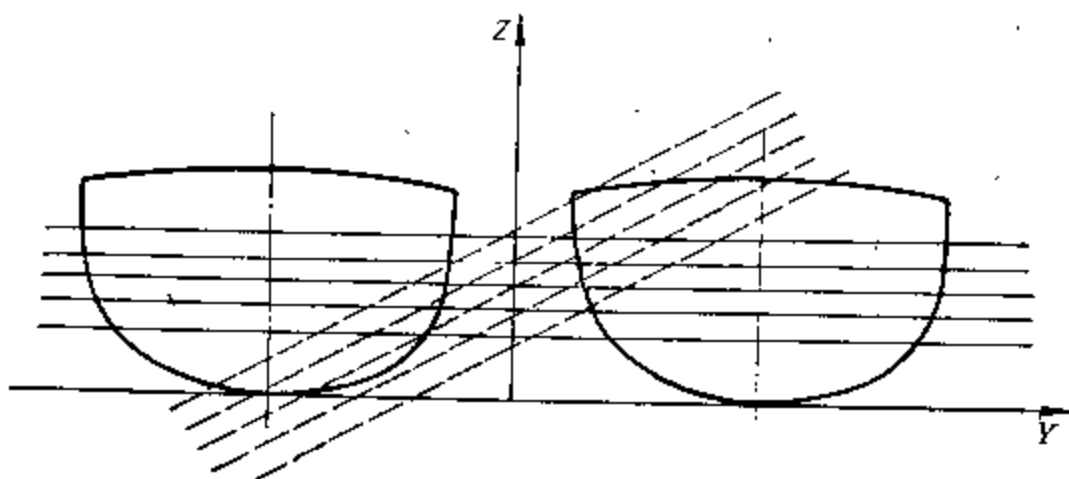


图 8-35

2) 隧道船型: 隧道船型计算各横剖面面积及静矩时应扣除隧道部分的面积及矩, 隧道的边界线视作若干段直线所组成(见图 8-36)。

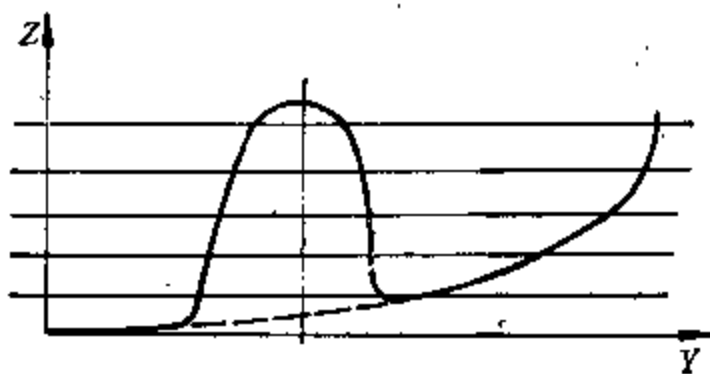


图 8-36

## 2. 程序处理

(1) QM 过程(见图 8-37);

功能: 当已知旋转水线  $WL$  与横剖面型线之交点坐标值  $Y_0$ 、 $Z_0$  后, 套用本过程可求得对应高度  $Z_0$  的面积和静矩之插值数据。

处理方法(如图 8-38):

1) 当  $Z_0$  低于甲板边线点的高度  $Z_k$ , 则直接以  $Z_0$  高度在邦戎曲线或符拉索夫曲线上以 SPLINE 函数插值。

$$DMY = 2(Y_i \cdot H_i(2H_i + 5Z_i) - Y_j H_j(2H_j + 5Z_j))/15 \\ - (Z_i - Z_j)(Y_i(2Z_i + Z_j) + (2Z_j + Z_i))/6$$

式中  $M1$  是表示弓形面积对  $Y$  轴之静矩值。

(6) DMZ 函数过程:

功能: 与 DMY 类似。套用本过程, 即可得到由 DA 函数过程中得到的面积对  $Z$  轴之静矩值。

语句形式:  $M2 := DMZ(YI, YJ)$

形参:  $YI, YJ$ ——分别是梁拱曲线上两个点  $i, j$  的宽度值。

计算公式:

$$H_i = H(Y_i/B)^2 \quad H_j = H(Y_j/B)^2$$

$$Z_i = H_i - H_j$$

$$DMZ = (H_i Y_i^2 - H_j Y_j^2)/4 \\ - Z_i(Y_i^2 + Y_i Y_j + Y_j^2)/6$$

式中  $M2$  是表示弓形面积对  $Z$  轴之静矩值。

(7) SPL 函数过程 (见图 8-42):

功能: 当提供一组离散点的横坐标和纵坐标的数据时, 对于在该区间内的某一横坐标值  $u$ , 套用本过程, 即可得到对应于  $u$  的 SPLINE 函数值。

处理方法: 当离散点只有二个时作直线插值, 当离散点少于二个时作出错处理。

语句形式:

$$YU := SPL(K, XI, YI, U)$$

形参:  $K$ ——离散点数;

$XI, YI$ ——存放  $K$  个离散点的横坐标值和纵坐标值;

$U$ ——存放需要插值的横坐标值。

式中  $YU$  是表示对应于  $U$  的 SPLINE 函数值。

(8) 标识符号说明:

TZ——存放旋转水线离度;

VT——存放各种角度下对应各旋转水线的排水量;

LO——存放各种角度下对应各旋转水线的复原力臂;

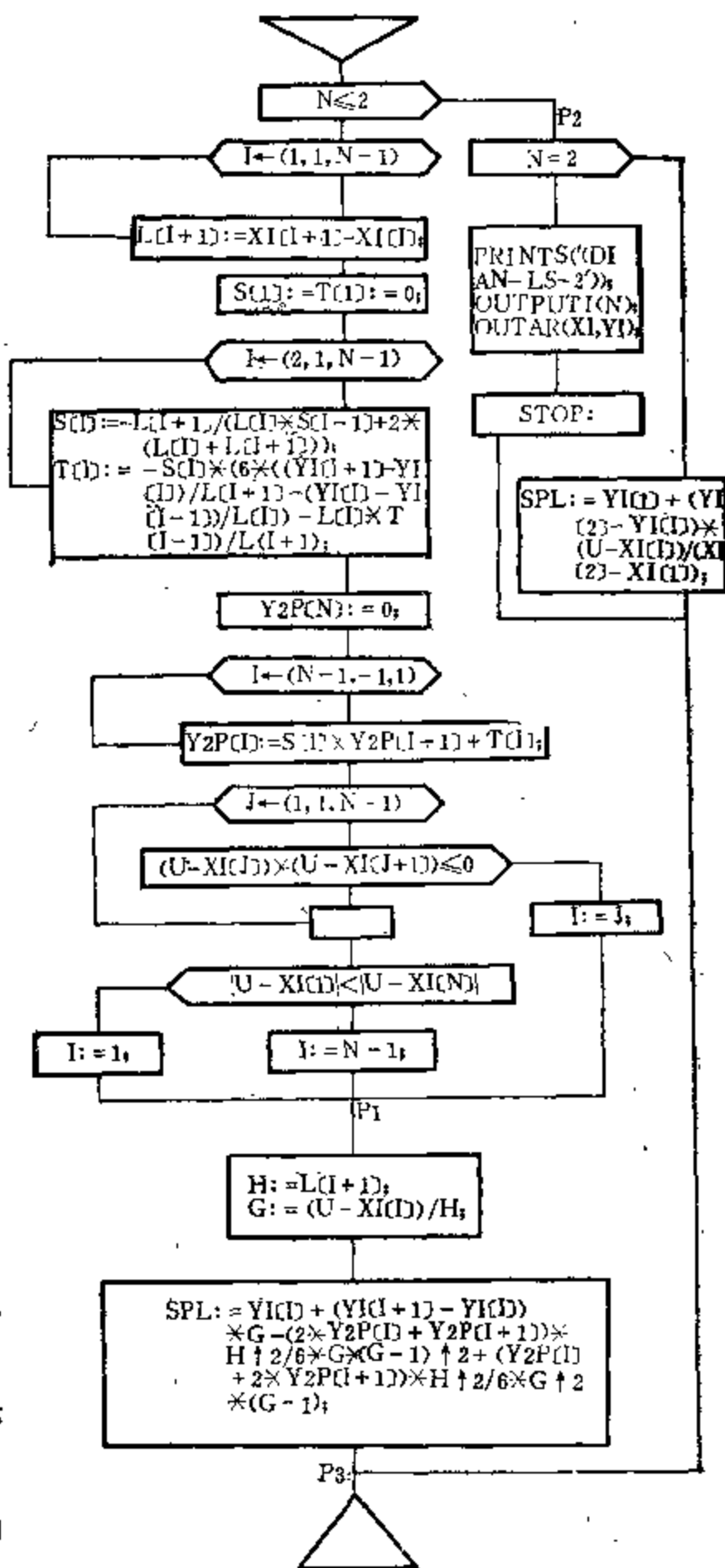


图8-42 SPLINE函数过程框图

(4) 稳性插值曲线计算上层建筑的型值表 (表 8-4);

表 8-4 共有 5 行:

- 1)  $Y_1$  为上层建筑与甲板交点的半宽;
- 2)  $Z_1$  为上层建筑与甲板交点距基线的高度;
- 3)  $Y_2$  为上层建筑顶点的半宽;
- 4)  $Z_2$  为上层建筑顶点距基线的高度;
- 5)  $X$  为上层建筑剖面各站距舭值, 舭后为负, 舭前为正。

上层建筑有数段时应分段填写。每段上层建筑型值填完后以一行“-1”结束。总列数填入表 8-1 第 22 项中, 每段上层建筑的取站一律由尾向首。

上述各表中, 凡是填写判别信息“-1”的地方, 也可填写“-10”表示无数据。

## 二、输入原始数据的穿孔

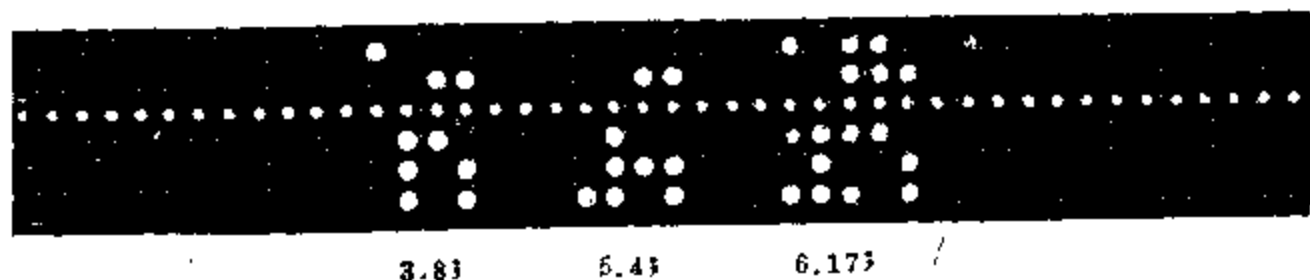
当有关计算表格的数据填好后, 将输入的原始数据按书写的要求进行穿孔, 制成数据纸带。

### 1. 数符在纸带上的表示



每一张表的数据制作均自左至右和自上而下, 每一个数据后穿一个“;”号隔开, 每一张表格结束时要穿<≡×××表示结束, 并留空纸带 1.5 米以上, 继续制作下表。

例如数据 3.8; 5.4; 6.17; 穿成纸带为:



### 2. 计算静水力曲线、邦戎曲线与稳性插值曲线

制作这些曲线时需制作表 8-1、表 8-2 (或表 8-3) 和表 8-4。若稳性计算时不包括上层建筑, 则表 8-4 不必填写。

## 三、上机操作步骤

在上机前, 应对填写的原始数据及穿孔纸带进行认真仔细的检查, 有错误的地方要改正。切忌仓促上机, 以免造成计算失败。

上机操作的大体步骤是:

(1) 从 04 启动, 磁鼓内读出编译程序, 电传打字机上打印“OK”表示结束, 并停机于 57402, 机器处于等待命令状态, 然后将地址码按键按至 53100 (即 15, 13, 11, 10, 7 五个按键按下), 以后只需从 53100 启动, 使机器能于 57402 待命。

(2) 将源程序纸带装在光电机输入机上, 从电传打字机上打入命令“IN”, 机器即自



```

48 S:=H1*(Y0+4*Y1+Y2)/3.0,
49 A:=A+S*END*ELSE.
50 IF H1/L*GQ.0.3*AND H1/L*LQ.0.7
51 THEN BEGIN.
52 C0:=3-L/H1, C2:=3-L/H2, C1:=6-C0-C2,
53 S:=L*(C0*Y0+C1*Y1+C2*Y2)/6.0,
54 A:=A+S*END*ELSE.
55 IF H1/L*LS*U.3 THEN BEGIN.
56 C0:=(2*H1+3*H2)/L, C1:=3+H1/H2, C2:=6-C0-C1,
57 S:=H1*(C0*Y0+C1*Y1+C2*Y2)/6.0,
58 A:=A+S, I:=I-1*END*ELSE.
59 BEGIN, I:=I-3, J:=1*END,
60 I:=I+2, GOTO L1,
61 L2: IF N=2 THEN.
62 A:=(Y[1]+Y[2])*X[2]/2.0*ELSE A:=0.0,
63 L3: INT:=A*END,
    PAGE.      3
1 INPUT(XZ),
2 IF TYPE=4 OR TYPE=6 THEN INPUT(XZC),
3 BEGIN.
4 INTEGER R0, R1, R2, R3,
5 REAL KD, U, UY, UZ, S, SY, SZ, D1, D2, D3, D4,
6 ARRAY F1, F2, X, Y, W, Z(1:M-4),
7 SWITCH SW:=L0, L1, L2, L3,
8 PROCEDURE SF,
9 BEGIN.
10 REAL H1, H2, C1, C2, C3, Y1, Y2, Y3,
11 Y1:=Y[1], Y2:=Y[2], Y3:=Y[3],
12 H1:=X[2]-X[1], H2:=X[3]-X[2],
13 C1:=(2*H1+3*H2)/(H1+H2),
14 C2:=3+H1/H2,

```

```

7  IF TYPE·GQ·5·THEN··BEGIN·
8  FOR J:=3·STEP·1·UNTIL·N2·DO·
9  BEGIN·F1 [J-2] :=XZ [M+1, J], F2 [J-2] :=XZ [M+2, J]·END·,
10 K:=N2-2, QS (0·0, K, F1, F2, Z, Y),
11 E1:=Z [1], E2:=Z [K], T2:=I3:=MAX (E1, E2),
12 FOR J:=1·STEP·1·UNTIL·K·DO·
13 IF Z [J]·LS·T1·THEN·T1:=Z [J],
14 IF ABS (E1-T1)·GR·10-3·THEN·
15 FOR J:=3·STEP·1·UNTIL·N2·DO·
16 IF ABS (XZ [M+1, J]-T1)·LS·10-4·THEN·R0:=J·END·,
17 FOR I:=3·STEP·1·UNTIL·M6·DO·
18 BEGIN·D1:=3, D2:-N2, C:-1·0, T1:=XZ [I, 0],
19 IF R0·GR·0·AND·T1·GR·T1·AND·T1·LS·T3·THEN·
20 BEGIN·T2:=E1, D2:=R0·END·,
21 D3:=D2-D1, F1 [1] :=XZ [I, 1], F2 [1] :=XZ [I, 2],
22 S1:=SY:=IX:=1Y:=0·0,
23 L0:R1:=R2:=0,
24 IF T1·GR·T1·AND·T1·LS·T2·THEN·
25 BEGIN·FOR J:=D1·STEP·1·UNTIL·D2·DO·
26 BEGIN·U [J-D1+1] :=XZ [M, J], W [J-D1+1] :=XZ [M+1, J],
27 F3 [J-D1+1] :=XZ [M+2, J]·END·,
28 K:=D3+1, QS (0·0, K, U, F3, X, Y),
29 K:=D3+1, QS (0·0, K, W, F3, Z, Y),
30 X1:=SPL (K, Z, X, T1), Y1:=SPL (K, X, Y, X1),
31 FOR J:=D1·STEP·1·UNTIL·D2·DO·
32 IF XZ [M, J]·GR·X1·THEN··BEGIN·
33 R2:=J, GOTO·L1·END·,
34 L1:R2:=D2-R2+1·END·,
35 L2:K:=D3-R1-R2+3,
36 F1 [K] :=·IF·R2·GR·0·THEN·X1·ELSE··IF·D2=N2·THEN·XZ [I, N]·ELSE·XZ [M, D2],
37 F2 [K] :=·IF·R2·GR·0·THEN·Y1·ELSE·XZ [1, D2+1],

```

```

25  •FOR•J:=J1•STEP•1•UNTIL•J2•DO•
26  •IF••IF•I•LS•Q1•THEN•A[I+2,J]•LS•10-10•ELSE•A[M4+1-Q1+1,J]•LS•-10-10•
27  •THEN•PS(PN-5,4,1,•(-•))•ELSE••IF•I•LS•Q1•THEN•
28  PUTVR(CXA[I+2,J],PN,3)•ELSE•PUTVR(CXA[M4+1-Q1+1,J],PN,3),
29  LINE•END•,
30  •IF•J2-P1+2•IHEN••GO10•L2,
31  RL(Q2),J1:=J2+1,J2:=P1+2,•GOTO•L1,
32  L2:PAGE•END•,
•PAGE•
8
1  RL(12);PS(48,64,48,•(•)),
2  •FOR•I:=1•STEP•1•UNTIL•5•DO•
3  •IF•I=3•THEN••BEGIN•PS(48,1,4,•(•));PS(1,1,1,•(CALCULATION•)),
4  PS(1,1,1,•(OF•)),PS(1,1,1,•(HYDROSTATIC•)),
5  PS(1,1,1,•(PROPERTIES•)),PS(1,1,1,•(OF•)),
6  PS(1,1,1,•(SHIP•));PS(4,1,48,•(•))•END••ELSE•
7  •BEGIN•PS(48,1,31,•(•));PS(31,1,48,•(•))•END•,
8  PS(48,64,48,•(•)),RL(7),
9  •FOR•I:=1•STEP•1•UNTIL•3•DO•
10 •BEGIN•RL(6),
11 •IF•I=1•THEN••BEGIN•PS(58,1,1,•(NAME•)),
12 PS(1,1,1,•(OF•)),PS(1,1,0,•(SHIP•))•END••ELSE•
13 •IF•I=2•THEN••BEGIN•PS(58,1,1,•(CALCULATED•)),
14 PS(1,1,0,•(BY•))•END••ELSE•
15 •IF•I=3•THEN••BEGIN•PS(63,1,5,•(DATE•))•END•,
16 PS(0,30,0,•(-•))•END•,
17 PAGE,
18 •BEGIN•
19 •INTEGER•Q1,Q2,P1,P2,P3,PN,J1,J2,
20 •SWITCH•SW:=L1,L2,
21 •PROCEDURE•NS(ST,R,N1,N2),
22 •VALUE•N1,N2,•INTEGER•N1,N2,R,•STRING•ST,

```



```

25 - (Z1-ZJ) * (YJ * (2 * ZJ + Z1) + Y1 * (2 * Z1 + ZJ)) / 6
26 . END.,
27 . REAL . . PROCEDURE . DMZ (YI, YJ),
28 . VALUE . YI, YJ, . REAL . YI, YJ,
29 . BEGIN . . REAL . ZI, HI, HJ,
30 HI := H * (YI / B) + 2, HJ := H * (YJ / B) + 2,
. PAGE .      11
1  ZI := HJ * (1 - (YI / YJ) + 2),
2  DMZ := (HJ * YJ + 2 - HI * YI + 2) / 4 - ZI * (YI + 2 + YI * YJ + YJ + 2) / 6
3  . END.,
4  . REAL . . PROCEDURE . TRI (XI, YI, XJ, YJ, XM, YM),
5  . VALUE . XI, YI, XJ, YJ, XM, YM,
6  . REAL . XI, YI, XJ, YJ, XM, YM,
7  TRI := (XI * YJ + XJ * YM + XM * YI - XJ * YI - XM * YJ - XI * YM) / 2,
8  . PROCEDURE . QM (Y0, Z0, A, MY, MZ),
9  . REAL . Y0, Z0, A, MY, MZ,
10 . BEGIN . . REAL . H0, HK; . SWITCH SW := L,
11 . IF . Z0 . GQ . X [K] . THEN .
12 . BEGIN . H0 := H * (Y0 / B) + 2, HK := H * (Y [K] / B) + 2,
13 A := 2 * (HK * Y [K] - H0 * Y0) / 3 + Y1 [E],
14 MY := 2 * (HK * Y [K] * (5 * X [K] + 2 * HK) - H0 * Y0 * (5 * Z0 + 2 * H0)) / 15
15 + Y2 [E],
16 MZ := (HK * Y [K] + 2 - H0 * Y0 + 2) / 4 + Y3 [E],
17 . GOTO . L . END.,
18 . IF . TYPE . GQ . 5 . THEN .
19 . BEGIN . . INTEGER . S, W, G,
20 . ARRAY . X10, Y10, Y20, Y30 [1:K],
21 . SWITCH . SW := P3,
22 . FOR . S := 1 . STEP . 1 . UNTIL . Q . DO .
23 . IF . Z0 . LS . X [JD [S] + 1] . THEN . . GOTO . P3,
24 P3:G := 0,

```

```

39  •FOR•T:=1•STEP•1•UNTIL•K•DO•
40  •BEGIN•
41  •IF•T=K•AND•Y(K)•CQ•JOY(K)•THEN•COTO•L2•ELSE•
42  •IF•T=K•THEN•GOTO•L3•
43  •IF•T=1•AND•Y(1)•GR•JOY(1)•THEN•
44  •BEGIN•DS:=DS+1•
45  JY(DS):=(X(1)-Z0)/SL•
46  JZ(DS):=X(1)•END••
47  •IF•JOY(T)=Y(T)•THEN•
48  •BEGIN•DS:=DS+1•
49  JY(DS):=•IF•X(T)•GR•Z0•THEN•Y(T)•ELSE•-Y(T)•
50  JZ(DS):=X(T)•GOTO•L3•END••
51  •IF•(JOY(T)-Y(T))*(JOY(T+1)-Y(T+1))•LS•0•THEN•
52  •BEGIN•DS:=DS+1•
53  K1:=•IF•X(T+1)•LQ•Z0•THEN•-1•0•ELSE•1•0•
54  •IF•(Z0-X(T))*(Z0-X(T+1))•LS•0•AND•JOY(T)-Y(T)•GR•0
55  •THEN•K1:=-1•0•GOTO•L1•END••
56  •IF•(Z0-X(T))*(Z0-X(T+1))•LS•0•AND•JOY(T)-Y(T)•GR•0
57  •THEN•BEGIN•DS:=DS+1•C:=-1•0•K1:=-1•0•GOTO•L1•END•
58  •ELSE•GOTO•L3•
59  L1:JZ(DS):=(X(T+1)-X(T))*(Y(T)+Z0*K1/SL)
60  -X(T)*(Y(T+1)-Y(T))/(K1*(X(T+1)-X(T))/SL
61  -(Y(T+1)-Y(T))),
62  JY(DS):=(JZ(DS)-Z0)/SL•
63  •IF•C•GR•0•THEN•BEGIN•DS:=DS+1•K1:=1•0•
64  C:=0•GOTO•L1•END••
65  •GOTO•L3•
66  L2:DS:=DS+1•
•PAGE•      14
1  K1:=•IF•Z0•LS•X(K)+HK•THEN•1•0•ELSE•-1•0•
-2 D:=K1*SL*Y(K)+2/HK•

```

```

7  • BEGIN • U := TRI (YS [1], XS [1], YS [P], XS [P], YS [P-1], XS [P-1]),
8  ASZ := ASZ + U,
9  MYSZ := MYSZ + U * (XS [1] + XS [P] + XS [P-1]) / 3.0,
10 MZSZ := MZSZ + U * (YS [1] + YS [P] + YS [P-1]) / 3.0, • END •,
11 • FOR • P := 1 • STEP 1 • UNTIL 0 • DO •
12 YDS [P] := K1 * (XS [P] - Z0) / SL,
13 • FOR • P := 2 • STEP 1 • UNTIL 0 • DO •
14 • IF • (YS [P] - YDS [P]) * (YS [P-1] - YDS [P-1]) • LS • 0 • THEN •
15 • BEGIN • DS := DS + 1,
16 • IF • XS [P] = XS [P-1] • THEN • JZS [DS] := XS [P] • ELSE • • BEGIN •
17 U := (YS [P] - YS [P-1]) / (XS [P] - XS [P-1]),
18 JZS [DS] := (Z0 + K1 * SL * YS [P-1] - K1 * SL * U * XS [P-1]) / (1 - K1 * SL * U), • END •,
19 JYS [DS] := K1 * (JZS [DS] - Z0) / SL, DP [DS] := P • END •,

```

• PAGE • 17

```

1  L1 := IF • DS • LS • 2 • THEN •
2  • BEGIN • YP := K1 * (X1 [T1] - Z0) / SL,
3  • IF • YP • GQ • Y1 [T1] • THEN • • BEGIN •
4  AS := ASZ, MYS := MYSZ, MZS := MZSZ • END •,
5  • GOTO • L5 • END •,
6  • IF • DS • GR • 2 • THEN •
7  • BEGIN • PRINTS (• (SHUI - DAO - JIAO - DIAN - GR - 2 - CUO •)),
8  OUTPUT1 (DS, L), OUTAR (JZS, JYS, XS, YS), STOP • END •,
9  I := DP [2] - DP [1], P := DP [1],
10 • IF • I = 1 • THEN • • GOTO • L3, J := DP [2] - 1,
11 • FOR • I := P + 1 • STEP 1 • UNTIL 1 • DO •
12 • BEGIN • U := TRI (JYS [1], JZS [1], YS [1], XS [1], YS [1-1], XS [1-1]),
13 AS := AS + U,
14 MYS := MYS + U * (JZS [1] + XS [1] + XS [1-1]) / 3.0,
15 MZS := MZS + U * (JYS [1] + YS [1] + YS [1-1]) / 3.0 • END •,
16 L2: P := J,

```

• PAGE • 18

```

1 2 MZZ: = (Z2 - Z1) * (Y1 + 2 + Y1 * Y2 + Y2 + 2) / 6 + (H2 * Y2 + 2 - H1 * Y1 + 2) / 4,
1 3 . IF . YD [2] . GR . Y2 . THEN .
1 4 . BEGIN . U: = (Y2 - Y1) / (Z2 - Z1),
1 5 ZP: = (Y1 * SL + Z0 - Z1 * U * SL) / (1 - U * SL),
1 6 YP: = (ZP - Z0) / SL,
1 7 U: = TRI (YD [1], ZD [1], Y1, Z1, YP, ZP),
1 8 SJ [1, J, I]: = U - DA (YD [1], Y1),
1 9 SJ [2, J, I]: = U * (ZD [1] + Z1 + ZP) / 3 - DMY (YD [1], ZD [1], Y1, Z1),
2 0 SJ [3, J, I]: = U * (YD [1] + Y1 + YP) / 3 - DMZ (YD [1], Y1),
2 1 . GOTO . L13 . END .,
2 2 . IF . YD [2] . LQ . Y2 . AND . YD [1] . GQ . - Y1 . THEN .
2 3 . BEGIN . YP: = YD [2],
2 4 ZP: = Z1 + H1 * (1 - (YP / Y1) + 2),
2 5 F: = (Z2 - Z1) - H1 * (1 - (Y2 / Y1) + 2),
2 6 U: = TRI (YD [1], ZD [1], YP, ZP, YD [2], ZD [2]),
2 7 SJ [1, J, I]: = AZ - F * YP + U - DA (YD [1], YP),
2 8 SJ [2, J, I]: = MYZ - F * (F / 2 + Z1 + H1) - H1 * YP + 3 / Y1 + 2 / 8,
2 9 + U * (ZD [1] + ZD [2] + ZP) / 3 - DMY (YD [1], ZD [1], YP, ZP),
3 0 SJ [3, J, I]: = MZZ - F * YP + 2 / 2 + U * (YD [1] + YP + YD [2]) / 3,
3 1 - DMZ (YD [1], YP),
3 2 . GOTO . L13 . END .,
3 3 . IF . YD [2] . GR . - Y2 . THEN .
3 4 . BEGIN . U: = (Y1 - Y2) / (Z2 - Z1),

```

• PAGE. 22

```

1 ZP: = (-Y1 * SL + Z0 - Z1 * U * SL) / (1 - U * SL),
2 YP: = (ZP - Z0) / SL,
3 U: = TRI (YP, ZP, YD [2], ZD [2], -Y2, Z2),
4 SJ [1, J, I]: = 2 * AZ - U - DA (-YD [2], Y2),
5 SJ [2, J, I]: = 2 * MYZ - U * (ZP + ZD [2] + Z2) / 3 - DMY (-YD [2], ZD [2], Y2, Z2),
6 SJ [3, J, I]: = U * (Y2 - YD [2] - YP) / 3 + DMZ (-YD [2], Y2),
7 . GOTO . L13 . END .,

```

附录二 输出格式

CALCULATION OF HYDROSTATICAL PROPERTIES OF SHIP  
(船舶静水力性能计算)

NAME OF SHIP 5000吨沿海散货船  
(船名)

CALCULATED BY 上海交通大学船舶制造系  
(计算者)

DATE 1977. 6. 8  
(日期)

# BONJEAM CURVES

(邦成曲线)

MOMENT ABOUT Y-AXIS (M ↑ 3)

(对 y 轴矩 米<sup>3</sup>)

ST	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
WL 0	—	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1	—	0.008	0.014	0.024	0.037	0.066	0.105	0.152	0.202	0.236	0.246	0.246	0.246
2	—	0.049	0.119	0.211	0.316	0.541	0.808	1.126	1.420	1.601	1.657	1.657	1.657
3	—	0.185	0.598	1.063	1.569	2.634	3.822	5.141	6.244	6.849	7.023	7.023	7.023
4	—	0.683	2.872	5.217	7.707	12.991	18.366	23.566	27.400	29.258	29.717	29.717	29.717
5	—	1.505	7.140	13.104	19.493	33.057	46.025	57.072	64.357	67.587	68.252	68.252	68.252
6	—	2.883	13.952	25.724	38.227	64.324	88.206	106.466	117.120	121.464	122.105	122.105	122.105
7	—	6.093	25.045	45.158	66.031	108.349	145.458	171.889	185.711	190.769	191.405	191.405	191.405
8	0.512	15.423	44.898	75.457	106.460	167.424	218.506	253.392	270.066	275.464	276.105	276.105	276.105
9	13.941	41.670	83.173	124.846	165.806	244.325	308.210	351.062	370.019	375.564	376.205	376.205	376.205
10	48.611	92.896	146.765	198.844	248.307	340.724	415.139	464.839	485.493	491.064	491.705	491.705	491.705
DL 1	141.880	198.320	258.876	313.657	363.002	451.052	517.075	567.904	588.984	594.552	595.193	595.193	595.193
2	446.958	534.209	617.585	690.556	751.822	857.161	932.080	—	—	—	—	—	—

(续)

ST	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	17.0	18.0	18.5	19.0	19.5	20.0
WL 0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	—	—	—
1	0.246	0.246	0.242	0.225	0.185	0.133	0.078	0.031	0.015	—	—	—
2	1.657	1.657	1.643	1.559	1.354	1.054	0.695	0.329	0.169	0.046	—	—
3	7.023	7.023	6.977	6.713	6.038	4.930	3.466	1.831	1.048	0.410	—	—
4	29.717	29.717	29.577	28.841	26.794	22.947	17.142	10.053	6.435	3.117	0.205	—
5	68.252	68.252	68.049	66.903	63.309	55.771	43.178	26.940	18.292	9.943	2.011	—
6	122.105	122.105	121.930	120.594	115.701	103.907	82.556	53.686	37.822	21.972	6.066	—
7	191.405	191.405	191.230	189.839	183.663	167.175	135.418	90.620	65.407	39.967	13.400	—
8	276.105	276.105	275.930	274.554	267.174	245.613	201.816	138.020	101.462	63.853	24.639	—
9	376.205	376.205	376.030	374.654	366.210	339.186	282.147	196.574	146.688	94.737	40.423	0.000
10	491.705	491.705	491.530	490.154	480.821	447.813	376.929	267.393	202.342	133.867	61.946	3.130
DL 1	595.193	595.193	595.018	593.642	586.574	574.561	516.817	400.514	320.773	229.296	125.450	26.629
2	—	—	—	—	—	—	—	669.536	552.882	417.926	262.425	103.071

## 附录三 习 题

### 第一章

1. 某军舰的船长  $L = 92.0$  米, 宽  $B = 9.7$  米, 吃水  $T = 2.9$  米, 横剖面积系数  $\beta = 0.814$ , 方形系数  $\delta = 0.468$ 。求: (a) 排水体积; (b) 横剖面积; (c) 纵向棱形系数。

2. 某海洋客货轮的船长  $L = 155$  米, 宽  $B = 18$  米, 吃水  $T = 7.1$  米, 排水体积  $V = 10900$  米<sup>3</sup>, 横剖面积  $A_{\text{横}} = 115$  米<sup>2</sup>, 水线面积  $S = 1980$  米<sup>2</sup>。求: (a) 方形系数; (b) 纵向棱形系数; (c) 水线面积系数; (d) 横剖面积系数; (e) 垂向棱形系数。

3. 某沿海客货轮的排水体积  $V = 9750$  米<sup>3</sup>, 它的主尺度比值为  $\frac{L}{B} = 8.0$ ,  $\frac{B}{T} = 2.63$ , 船型系数为  $\beta = 0.9$ ,  $\varphi = 0.66$ ,  $\chi = 0.78$ 。求: (a) 船长; (b) 船宽; (c) 吃水; (d) 水线面积系数; (e) 方形系数; (f) 水线面积。

4. 已知某巡逻艇的平均吃水  $T = 2.05$  米, 长宽比  $\frac{L}{B} = 6.7$ , 船宽吃水比  $\frac{B}{T} = 2.46$ , 方形系数  $\delta = 0.53$ 。求其排水体积。

5. 某内河驳船的排水体积  $V = 4400$  米<sup>3</sup>, 吃水  $T = 2.6$  米, 方形系数  $\delta = 0.815$ , 水线面积系数  $\alpha = 0.882$ 。求其水线面积。

6. 某游艇的排水体积  $V = 25$  米<sup>3</sup>, 长宽比  $\frac{L}{B} = 5.0$ , 吃水船宽比  $\frac{T}{B} = 0.37$ , 方形系数  $\delta = 0.52$ , 求该艇的主尺度  $L$ 、 $B$  及  $T$ 。

7. 设船的某一水线面方程是

$$y = \pm \frac{B}{2} \left[ 1 - \frac{x^2}{(0.5L)^2} \right],$$

其中, 船宽  $B = 8.4$  米, 船长  $L = 60$  米, 用下列不同方法计算水线面积: (a) 定积分; (b) 梯形法(十等分); (c) 辛氏第一法(十等分)。并以定积分计算的数值为标准, 求其它两种方法的相对误差。

8. 某挖泥船的水线面如图 1 所示。该水线面的几何要素为:  $L = 30$  米,  $B = 8.2$  米,  $l = 12$  米,  $b = 1.5$  米,  $l_1 = 2$  米,  $l_2 = 1.5$  米,  $b_1 = 1.2$  米,  $b_2 = 1.5$  米。求该水线面的面积及其形心位置的坐标值。

9. 图 2 为两个横剖面的半宽和水线间距(米), 先修正坐标, 后用梯形法计算面积。

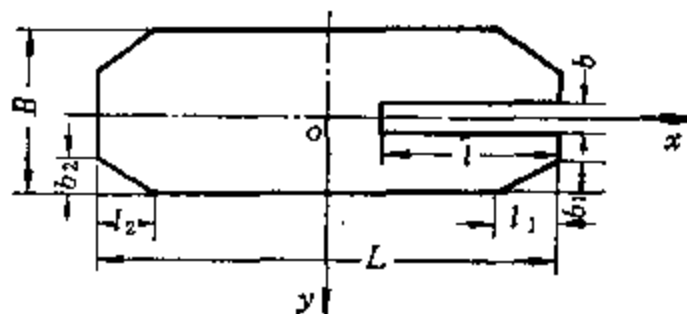


图 1

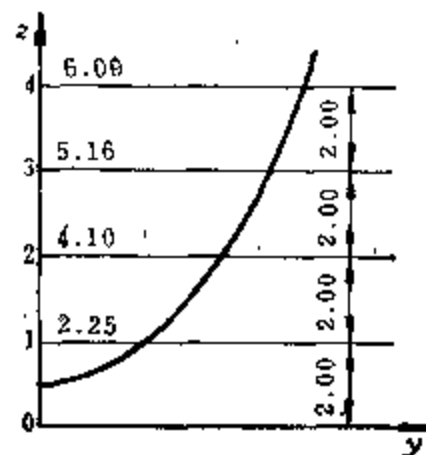
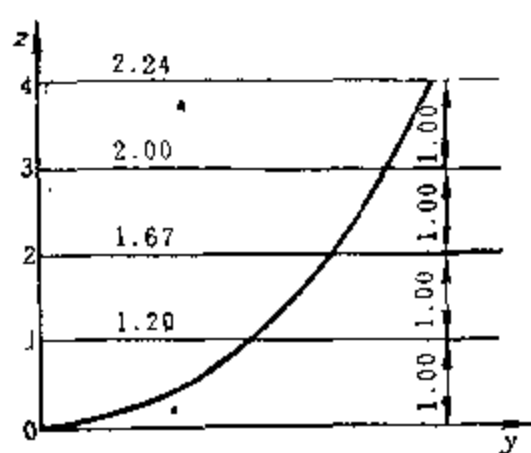


图 2

[ G e n e r a l   I n f o r m a t i o n ]

书名= 船舶静力学

作者=

页数= 2 1 7

S S 号= 0

出版日期=



目录  
正文