《船舶静力学》习题解答

第一章　船体几何要素（第 9 页）

7、某拖船的船长 $L=21m$，船宽 $B=4.5m$，船首吃水 $T_F=1.11m$，船尾吃水 $T_A=1.09m$，方形系数 $C_B=0.448$。求排水体积 V。

解：平均吃水：$T=\frac{1}{2}\left(T_F+T_A\right)=1.10m$

则，排水体积：$V=C_B LBT=0.448\times21\times4.5\times1.1=46.570m^3$

9、某沿海客货船的排水体积 $V=9750m^3$，其主要尺度比为 $L/B=8$，$B/T=2.63$，各系数为 $C_M=0.90$，$C_P=0.66$，$C_{VP}=0.78$。求：（1）船长；（2）船宽；（3）吃水；（4）水线面系数 C_W；（5）方形系数 C_B；（6）满载水线面面积 S。

解：因为：$V=C_P C_M LBT=C_B L^3\frac{B^2}{L^2}\frac{T}{B}=\frac{0.594}{8^2\times2.63}L^3\Rightarrow L^3=9750\times64\times2.63/0.594$

所以：
$$L=\sqrt[3]{\frac{9750\times64\times2.63}{0.594}}=140.319m$$
$$B=L/8=17.540m$$
$$T=B/2.63=6.669m$$
$$C_W=\frac{C_B}{C_{VP}}=\frac{0.594}{0.78}=0.7615$$
$$C_B=C_M C_P=0.90\times0.66=0.594$$
$$S=C_W LB=0.7615\times140.319\times17.54=1874.295m^2$$

11、某内河客货船的排体积 $V=340m^3$，吃水 $T=1.85m$，长宽比 $L/B=5.4$，方形系数 $C_B=0.515$，水线面系数 $C_W=0.748$。求：（1）水线面面积；（2）船长；（3）船宽。

解：因为：$V=C_B LBT=C_B L^2\frac{B}{L}T\Rightarrow L^2=\frac{V(L/B)}{C_B T}=\frac{340\times5.4}{0.515\times1.85}=1927.053$

所以：
$$L=\sqrt{1927.053}=43.90m$$
$$B=L/5.4=8.129m$$
$$S=C_W LB=0.748\times43.90\times8.129=266.934m^2$$

第二章　船体近似计算方法（第 29 页）

4、某船的长度 L=70m，其设计水线的等间距坐标（半宽）如下表所列。

坐标号	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
半宽 $y_i(m)$	0	4.40	4.85	5.00	5.20	5.20	4.95	4.80	4.35	3.15	0

请按梯形法则计算水线面积、漂心 F 的纵坐标 x_f 和通过漂心的横轴的惯性矩 I_{M}。

解：纵向间距：$l=\Delta L=70/10=7.0m$。

列表计算：

站 号	半宽坐标 $y_i(m)$	面矩乘数 x_i	惯矩乘数 x_i^2	面矩函数 $(\mathrm{II})\times(\mathrm{III})$	惯矩函数 $(\mathrm{II})\times(\mathrm{IV})$	坐标立方 y_i^3
I	II	III	IV	V	VI	VII
0	0.000	-5	25	0.000	0.000	0.000
1	4.400	-4	16	-17.600	70.400	85.184
2	4.850	-3	9	-14.550	43.650	114.084
3	5.000	-2	4	-10.000	20.000	125.000
4	5.200	-1	1	-5.200	5.200	140.608
5	5.200	0	0	0.000	0.000	140.608
6	4.950	1	1	4.950	4.950	121.287
7	4.800	2	4	9.600	19.200	110.592
8	4.350	3	9	13.050	39.150	82.313
9	3.150	4	16	12.600	50.400	31.256
10	0.000	5	25	0.000	0.000	0.000
总和$\sum$	41.900	——	——	-7.150	252.950	950.932
数 值	586.60	——	——	-1.195	1.727E+5	1437.7
符 号	S	——	——	x_f	I_{yf}	I_x

第二章 船舶浮性（第 52 页）

16、某货船在 A 港内吃水 $T=5.35m$，要进入 B 港，要求吃水不能超过 $T_1=4.60m$，已知船在 $T_2=5.50m$ 时，每厘米吃水顿数为 $q_2=18.6t/cm$；在 $T_3=4.50m$ 时，每厘米吃水顿数为 $q_3=14.8t/cm$；假定每厘米吃水顿数对于吃水的变化为一直线，求该船进入 B 港前应卸下货物重量为多少？

解：每厘米吃水顿数的直线方程为

$$q=14.8+(18.6-14.8)\times(T-4.5)$$
$$=3.8T-2.3$$

解法一：则应卸下货物重量为

$$p=100\int_{4.6}^{5.35}qdT=100\int_{4.6}^{5.35}(3.8T-2.3)dT=100\left[1.9T^2-2.3T\right]_{4.6}^{5.35}$$
$$=100\left[1.9\left(5.35^2-4.6^2\right)-2.3(5.35-4.6)\right]$$
$$=100(5.35-4.6)\left[1.9(5.35+4.6)-2.3\right]$$
$$=75\left[18.905-2.3\right]=1245.375t$$

解法二：$\Delta T=5.35-4.6=0.75m$，平均吃水时的 $q=3.8(5.35+4.6)/2-2.3=16.605t/cm$

则：$q=100\times0.75\times16.605=1245.375t$

18、某船的船长 $L=164m$，船宽 $B=19.7m$，方形系数 $C_B=0.50$，满载水线面系数 $C_W=0.73$，在海水中 $\left(\gamma=1.025t/m^3\right)$ 的平均吃水 $T=8.20m$，求船进到淡水中 $\left(\gamma=1.00t/m^3\right)$ 的平均吃水。

解：因为：$dT=-\dfrac{C_B}{C_W}\dfrac{d\gamma}{\gamma}T=-\dfrac{0.50}{0.73}\times\dfrac{(1-1.025)}{1.025}\times 8.20=0.1370m$

所以进入淡水的平均吃水为：$T_2=T+dT=8.337m$

20、内河客货船的要素为 $T=2.40m$，$C_B=0.654$，$C_W=0.785$。假如卸下货物重量等于8%的排水量，求船舶的平均吃水。假设在吃水变化的范围船侧是直壁式的，

解：因为：

$$p=0.08\gamma C_B LBT=\gamma C_W LBdT$$

$$dT=\frac{0.08C_BT}{C_W}=\frac{0.08\times0.654\times2.4}{0.785}=0.160m$$

所以船舶的平均吃水为：$T_2=T-dT=2.4-0.16=2.24m$

第四章　船舶初稳性（第 71 页）

17、试比较吃水 $T=2.0m$ 的单体船和双体船的初稳性（包括横稳性及纵稳性）。已知船型为方形船，船长均为 L，重心高度均为 $z_g=2.0m$，其他尺寸如图 4－17 所示。

解：已知两者的浮心高均为 $z_c=1.0m$，而 $h=z_c+r-z_g$；$H=z_c+R-z_g$；$V=12L$。

单体船：$I_x=\dfrac{LB^3}{12}=\dfrac{36\times6\times L}{12}=18L$，$r=\dfrac{I_x}{V}=\dfrac{18L}{12L}=1.5m$

$$I_{yf}=\frac{L^3B}{12}=\frac{6\times L^3}{12}=0.5L^3,\quad R=\frac{I_{yf}}{V}=\frac{0.5L^3}{12L}=\frac{1}{24}L^2$$

双体船：$I_x=\dfrac{2}{3}\displaystyle\int_{-L/2}^{L/2}\left(y^3-y_1^3\right)dx=\dfrac{2}{3}\left(4.5^3-1.5^3\right)L=\dfrac{117L}{2}=58.5L$

$$r=\frac{I_x}{V}=\frac{117L}{24L}=\frac{39}{8}m=4.875m$$

$$I_{yf}=2\times\frac{L^3B}{12}=2\times\frac{3\times L^3}{12}=0.5L^3,\quad R=\frac{I_{yf}}{V}=\frac{0.5L^3}{12L}=\frac{1}{24}L^2$$

答：双体船的横稳性比单体船好；纵稳性两者一样。

18、正方形剖面的均质柱体如图 4－18 所示，正漂浮于水面，问该柱体的比重应等于多少才能使它的正浮状态保持稳定平衡。

解：设柱体的比重为 γ，水比重 $\gamma_0=1.0t/m^3$，V_1 为柱体体积，V_0 为排水体积；

因为：$h=z_c+r-z_g$，正浮稳定平衡条件为 $h>0$ 及 $T<B$；

$z_c=T/2$；$z_g=B/2$；$V_0=LBT$；排水量 $\Delta=\gamma LB^2=\gamma_0 LBT$；

稳心半径：$r=\dfrac{I_x}{V_0}=\dfrac{LB^3}{12LBT}=\dfrac{B^2}{12T}$

则：$h=z_c+r-z_g=\dfrac{T}{2}+\dfrac{B^2}{12T}-\dfrac{B}{2}-\dfrac{T}{12}\left(6+\dfrac{B^2}{T^2}-6\dfrac{B}{T}\right)>0$

因为：$\dfrac{B}{T}=\dfrac{\gamma_0}{\gamma}=\dfrac{1}{\gamma}$

则：$h=\dfrac{T}{12}\left(6+\dfrac{B^2}{T^2}-6\dfrac{B}{T}\right)=\dfrac{T}{12}\left(6+\dfrac{1}{\gamma^2}-6\dfrac{1}{\gamma}\right)>0$

有　$6\gamma^2+1-6\gamma>0$

解此方程的零点：$\gamma=\dfrac{6\pm\sqrt{36-24}}{12}=\dfrac{6\pm\sqrt{12}}{12}=\dfrac{3\pm\sqrt{3}}{6}=(0.2113,\ 0.7886)$

结论：（1）当$\gamma=0$时，满足方程，但无意义，

（2）当$\gamma=0.5$时，方程有极小值，此时$h=-T/6$，不满足稳定条件；

（3）当$\gamma=1.0$时，满足稳定条件；

实际情况应为：

$$0<\gamma<\frac{3-\sqrt{3}}{6}=0.2113\text{，或 }\frac{3+\sqrt{3}}{6}=0.7887<\gamma<1.0$$

19、某长方形起重船的主尺度为$L\times B\times H=15m\times 9m\times 2m$，该船主体重量$p_1=56t$，其重心坐标$z_1=0.85m$，上层建筑重量$p_2=78t$，重心$z_2=7.50m$。求横向和纵向的初稳性高度及稳心竖坐标。

解：排水量 $\Delta=p_1+p_2=56+78=134t$

$$z_g=\frac{p_1z_{g1}+p_2z_{g2}}{\Delta}=4.721m$$

$$\Delta=\gamma LBT\Rightarrow T=\frac{\Delta}{\gamma LB}=0.9926m\Rightarrow z_c=0.5T=0.4963m$$

$$I_x=\frac{LB^3}{12}=\frac{15\times 9^3}{12}=911.25m^4,\qquad I_{yf}=\frac{BL^3}{12}=\frac{9\times 15^3}{12}=2531.25m^4$$

所以稳心竖坐标初稳性高度为：

横向：

$$z_m=r+z_c=\frac{I_x}{V}+z_c=6.8004+0.4963=7.297m$$

$$h=z_m-z_g=2.576m$$

纵向：

$$Z_M=R+z_c=\frac{I_{yf}}{V}+z_c=18.89+0.4963=19.386m$$

$$H=Z_M-z_g=14.665m$$

第五章　初稳性公式的应用（第 100～103 页）

21、某长方形船，$L=91.2m$，$B=9.2m$，浮于海水中，首吃水 $T_F=4.6m$，尾吃水 $T_A=6.1m$，重心在浮心以上的高度 $a=2.9m$。求船进入内河时的首尾吃水。若内河吃水受限制，其最大允许吃水不超过 $5.8m$，且船上货物允许移动的最大距离为 $90\%L$，求使其吃水不超过上述限制所需移动的船内最小重量。

解：因为对于长方形船有：$C_B=1.0$，　$C_W=1.0$，　$x_F=0.0$

$$V=\Delta/\gamma;\quad dV=-\Delta d\gamma/\gamma^2=-Vd\gamma/\gamma$$

吃水增量为：$\Delta T=-\dfrac{\Delta}{S}\dfrac{d\gamma}{\gamma^2}=-\dfrac{d\gamma}{\gamma}T=-\dfrac{-0.025}{1.025}(4.6+6.1)/2=0.1305m$。

则进入内河后的首尾吃水分别为：

$$T_F=4.6+0.13=4.73m,\quad T_A=6.1+0.13=6.23m。$$

方形船的纵稳性半径为：$R=\dfrac{I_{yf}}{V}=\dfrac{BL^3}{12}\dfrac{1}{LBT}=\dfrac{L^2}{12T}=\dfrac{91.2\times91.2}{12\times5.48}=126.48m$

$$H=R-a=126.48-2.9=123.58m$$

稳性系数$=\Delta H=1.025LBT\times H=4601H$

$$T_A^*=T_A-(0.5L+x_F)\frac{p\times0.9L}{\Delta H}<5.8\Rightarrow p>0.43\frac{2\Delta H}{0.9L^2}=65.32t$$

26、某内河客船的主尺度和要素为；$L\times B\times T=28m\times5m\times0.9m$，$C_B=0.54$，$C_W=0.73$，$h=1.15m$，求使船的横稳性高度不小于 $0.8m$ 时允许装载旅客的重量 P，旅客的重心取为 $z=2.5m$ 处的甲板上。

解：因为：

$$\Delta=\gamma V=68.04t$$

吃水增量为：$\Delta T=\dfrac{P}{\gamma S}=\dfrac{P}{102.2}m$。

$$h_1=h+\frac{p}{\Delta+p}\left(T+\frac{\Delta T}{2}-z-h\right)=h+\frac{p}{\Delta+p}\left(0.9+\frac{p}{204.4}-2.5-1.15\right)$$

$$h_1=1.15+\frac{p}{68.4+p}\left(\frac{p}{204.4}-2.75\right)\ge0.8m\Rightarrow p=10.13t$$

28、某长方形起重船的排水量 $\Delta=156t$，平均吃水 $T=1.10m$，初稳性高度 $h=3.4m$，悬吊载荷的位置如图 5－22 所示。求：（1）起吊重量 $p=5t$ 时的横倾角；（2）若不吊货时起重船向另一侧已经横倾 2°，求起吊 $5t$ 重物时的横倾角；（3）若舱内有 $5t$ 柴油 $(\gamma=0.85t/m^3)$，其自由液面为：宽 $b=3m$，长 $l=4m$ 的长方形，求起吊 $5t$ 重物时的横倾角。

解：（1）起吊重物，把重心放在吊点处。

因为：$\Delta T=\dfrac{p}{\gamma S}=\dfrac{5}{\Delta}T=0.03526m$

则有：$h_1=h+\dfrac{p}{\Delta+p}\left(T+\dfrac{1}{2}\Delta T-z-h\right)$

$$h_1=3.4+\frac{5}{161}(1.1+0.01763-21.5-3.4)=3.4-0.7386=2.6614m$$

所以：$tg\theta = \frac{5\times10}{\Delta h_1} = \frac{50}{161\times2.6614} = 0.1167 \Rightarrow \theta = 6.66°$

（2）假想有一力矩使船左倾2°：

$$M_Q = pl\cos\theta = \Delta h\sin\theta$$

所以：$tg\theta = \frac{5\times10-\Delta htg2°}{\Delta h_1} = 0.0735 \Rightarrow \theta = 4.20°$

（3）$h_1 = 2.6614m$

$$h_2 = h_1 - \frac{\gamma_1 i_x}{161} = h_1 - \frac{0.85\times4\times3^3}{161\times12} = 2.6614-0.0475 = 2.6139m$$

所以：$tg\theta = \frac{5\times10}{161h_2} = 0.1188 \Rightarrow \theta = 6.776°$

32、某船的船长 $L=100m$，首吃水 $T_F = 4.2m$，尾吃水 $T_A = 4.8m$，每厘米吃水吨数 $q = 8t/cm$，每厘米纵倾力矩 $M_{cm} = 75t\cdot m$，漂心在纵向坐标 $x_f = 4.0m$。若在船上增加重为 $P = 120t$ 的载荷。问应将载荷置于何处才能使首尾吃水相等。

解：因为吃水增量为：$\Delta T = \frac{P}{q} = \frac{120}{8}cm = 15cm = 0.15m$。

为使 $T_F' = T_A'$，有

$$T_F + \Delta T + \Delta T_F = T_A + \Delta T + \Delta T_A$$

则首尾吃水差：$T_F - T_A = \Delta T_A - \Delta T_F$

$$\Delta T_F = \left(\frac{L}{2}-x_f\right)tg\psi, \qquad \Delta T_A = -\left(\frac{L}{2}+x_f\right)tg\psi$$

$$\Delta T_F - \Delta T_A = Ltg\psi = 0.6m, \qquad tg\psi = 0.6/100 \Rightarrow \psi = 0.3438°$$

$$\frac{p(x-x_f)\cos\psi}{M_{cm}} = tcm = 60cm; \quad x = x_f + \frac{60M_{cm}}{p\cos\psi} = x_f + 37.5m = 41.5m$$

$$\Delta T_F = (0.50-0.04)Ltg\psi = 0.276m; \qquad \Delta T_A = -(0.5+0.04)Ltg\psi = -0.324m$$

$$T_F' = T_F + \Delta T + \Delta T_F = 4.2+0.15+0.276 = 4.626m$$

$$T_A' = T_A + \Delta T + \Delta T_A = 4.8+0.15-0.324 = 4.626m$$

第六章　船舶大倾角稳性（第 173 页）

24、某内河船的排水量 $\Delta = 580t$ ，$a = z_G - z_C = 2.5m - 1.56m = 0.94m$ ，由稳性插值曲线量得各横倾角的形状稳性力臂如下表：

$\theta°$	10	20	30	40	50	60
$l_S(m)$	0.390	0.715	0.970	1.110	1.150	1.130

列表计算与精确绘制静稳性曲线和动稳性曲线。求解下列问题：

（1）求极限动倾力矩和极限动倾角。

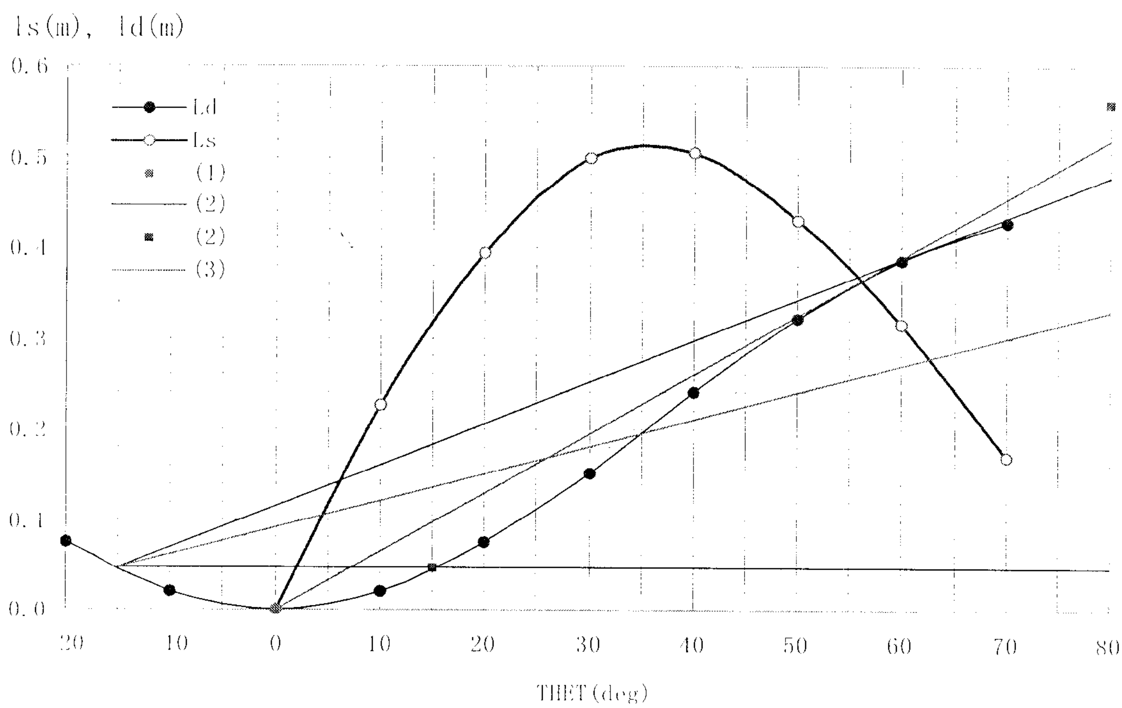
（2）当横摇角 $\theta = -15°$ 和 $\theta = +15°$ 时，分别求极限动倾力矩和极限动倾角，并说明哪种情况较危险。

（3）当横摇角 $\theta = -15°$ 和舱室进水角 $\theta_j = 35°$ 时，求极限动倾力矩和极限动倾角。

（4）当横摇角 $\theta = -15°$ 和舱室进水角 $\theta_j = 35°$ 时，该船受突风吹袭，其风压动倾力矩 $M_f = 80t \cdot m$ 求该状态的稳性基本衡准值。

解：首先列表计算静稳性曲线和动稳性曲线：

横倾角	形状稳性力臂	$a \cdot sin\theta$	静稳性力臂	自上而下之和	动稳性力臂
$\theta°$	l_S		$l = l_S - a \cdot sin\theta$	$\sum_{\theta_i}$	$l_d = \frac{1}{2}\Delta\theta \cdot \sum_{\theta_i}$
度	m	m	m	m	m
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10	0.3900	0.1632	0.2268	0.2268	0.0198
20	0.7150	0.3215	0.3935	0.8470	0.0739
30	0.9700	0.4700	0.5000	1.7405	0.1519
40	1.1100	0.6042	0.5058	2.7463	0.2397
50	1.1500	0.7201	0.4299	3.6820	0.3213
60	1.1300	0.8141	0.3159	4.4279	0.3864



由图可得：

（1） $M_{Q\,max}=l_d\times\varDelta=0.376\times580t=218.08t\cdot m$， $\theta_{d\,max}=55°$

（2） $\theta_1=-15°$ 时， $\theta_d=63°$， $l_d=0.267m$， $M_{Q\,max}=l_d\times\varDelta=154.86t\cdot m$；

$\theta_1=+15°$ 时， $\theta_d=47.5°$， $l_d=0.452m$， $M_{Q\,max}=l_d\times\varDelta=262.16t\cdot m$；

（3） $\theta_1=-15°$ 时， $\theta_j=\theta_d=35°$， $l_d=0.169m$， $M_{Q\,max}=l_d\times\varDelta=98.02t\cdot m$；

（4） $\theta_1=-15°$ 时， $\theta_j=\theta_d=35°$， $M_j=98.02t\cdot m$； $M_f=80.0t\cdot m$； 则稳性衡准数为：

$$K=\frac{M_j}{M_f}=\frac{98.02}{80.0}=1.2275$$

满足稳性基本衡准要求。