

船 舶 倾 斜 试 验

1 主题内容与适用范围

本标准规定了船舶倾斜试验的方法。

本标准适用于客船和按照国际载重线公约定义的船长不小于 24 m 的货船。其他船舶可参照使用。

2 试验目的、要求和计算方法

2.1 试验目的及要求

试验目的是确定空船重量及重心的实际位置。

试验应给出空船状态下的排水量、重心位置,并提交倾斜试验报告。

2.2 计算方法

2.2.1 初稳性高度按公式(1)计算:

$$GM = W \cdot l / (\Delta \cdot \operatorname{tg} \theta) \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中: GM ——初稳性高度, m;

W ——试验中移动重量, t;

l ——重量移动距离, m;

Δ ——试验状态船舶的排水量, t;

θ ——试验测得的横倾角, ($^{\circ}$)。

2.2.2 重心纵向坐标按公式(2)计算:

$$X_G = X_B - (Z_G - Z_B) \operatorname{tg} \psi \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中: X_G ——重心纵向坐标, m;

X_B ——试验状态船舶的浮心纵坐标, 舳前为正, m;

Z_G ——重心垂向坐标, m;

Z_B ——试验状态船舶的浮心垂向坐标, m;

ψ ——试验状态船舶的纵倾角, 艏倾为正, ($^{\circ}$)。

2.2.3 重心垂向坐标按公式(3)计算:

$$Z_G = KM - GM \cos \psi \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中: Z_G ——重心垂向坐标, m;

KM ——试验状态船舶的横稳心垂向坐标, m;

GM ——初稳性高度, m;

ψ ——试验状态船舶的纵倾角, 艏倾为正, ($^{\circ}$)。

3 试验环境

3.1 试验应在风力不大于蒲氏 2 级的条件下进行。如有困难, 经主管部门同意可不大于蒲氏 3 级。

3.2 试验应尽量安排在船坞内进行。如船舶主尺度与波浪尺度相比甚大, 也可在相对平静水域或遮蔽

水域进行,但应避开外来干扰。

若限于条件,只能在有潮流水域进行倾斜试验时,应尽量在平潮时进行。船首一般应正对风向或流向。

3.3 船舶四周(包括水下)应有充分的空间,以保证船舶在试验过程中处于自由浮动状态,不致触及任何障碍物。

3.4 船舶应以保证船舶摆动不受阻碍,并能保持一定船位的适当方式系泊。所有通行跳板,电缆、软管等接岸物件应全部拆除,使船舶在试验过程中始终能自由摆动。

4 试验前的准备

4.1 船舶须在建造或改装完成或接近完成条件下,处于或接近设计规定的空船状态下进行试验。试验时船上一切临时安置的物件及废料等均须清除。

4.2 如限于条件,难以达到设计空船状态时,可允许有少量多余重量或不足重量,但皆不得超过空船排水量的1%。试验所需移动重量及必要的压载不受上述多余重量的限制。

4.3 多余或不足重量及4.2条中不受限制的重量,应按附录A(补充件)的表A4~表A6填写。之后,须经各方会同校核。

4.4 船上一切可摇动、滚动或悬挂的装置、设备及物件等,均应加以固定。

4.5 所有与推进有关的机械、锅炉、管路及系统内的水或油的数量应与空船计算状态相符,并关好阀门,以防水的流动或流失。通海阀亦应关闭。

4.6 为保证试验的准确性,所有水舱及油舱应抽空,并清除残液,以尽量减少自由液面的影响。

水舱及油舱以外的船体空间内(包括空舱),如有积存的水或油,应予清除。

对试验需用的压载水舱及允许存在的个别油舱(柜)应灌满,并采取措消除空档间的气泡。个别舱(柜)确实无法灌满时,应进行自由液面修正。

4.7 船舶开始试验时应尽量呈正浮状态。当无纵倾或纵倾很小时,排水量、横稳心垂向坐标及浮心纵坐标等可按经过修正的平均吃水值 d_0 由静水力曲线查得;如有纵倾,应作排水量及浮心纵向位置的修正。当纵倾超过船长的1%时,以上参数均须按照实际纵倾状态进行计算。对于有原始设计纵倾的船舶,上述纵倾要求应以原设计水线为计量基准。

4.8 船舶在试验时若有初始横倾,则当移动重量放在初始位置时,横倾角应不大于 0.5° 。

4.9 试验所用移动重量应足以使船舶每舷产生 $2^\circ \sim 4^\circ$ 横倾角。对于大型船舶,每舷最小横倾角应不小于 1° 。

在难以采用固体重量块的情况下,经主管部门同意可使用压载水作为试验重量。

4.10 试验重量一般应布置成移动力矩相近的六组(见图1)。如限于条件,经主管部门同意可分为四组(见图2)。移动重量的分组及布置位置记入表A2中。用于试验的移动重量块在试验前应进行称重、标定,并应避免试验重量造成甲板过载。

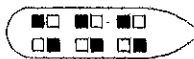


图 1

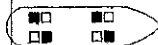


图 2

注: ■——试验移动重量位置; □——无试验移动重量的空白位置。

4.11 采用挂摆法进行测量时,设置挂摆的数量建议为三个,至少为两个。挂摆线的长度 λ ,量自挂锤的挂点至刻度标尺间的垂直距离,应有足够长度,至少为3 m,并确保每侧摆动幅度 a 不小于15 cm。挂摆示意图见图3。

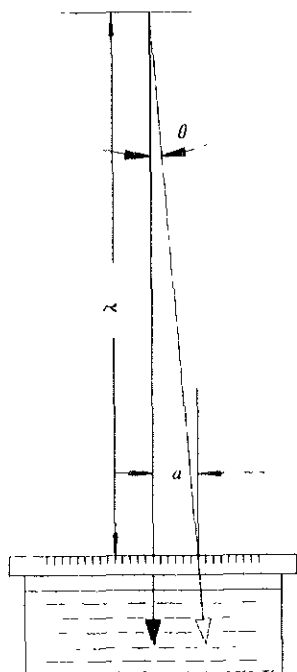


图 3

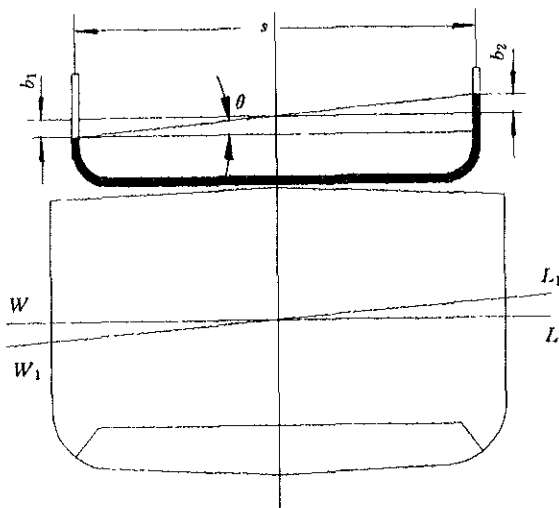


图 4

4.12 采用 U 形管测量装置(以下简称装置)时,应满足以下条件:

- 装置的两端应尽量布置在近舷边处,见图 4;
- 为便于读数 and 检查气泡,应全部采用透明管;
- 装置两端的横向距离足够大,使船舶由正浮到最大倾斜状态下每舷读数差不小于 15 cm;
- 如采用在一端读数的 U 形管,则另一端容器与读数端的液面面积比应不小于 900 : 1。

4.13 使用主管部门认可的倾斜仪或其他测量装置时,建议同时使用一个挂摆或 U 形管。

4.14 在控制中心、测量位置、重物移动位置之间应有有效的通讯手段。

5 试验步骤

5.1 试验之前,由试验主持人会同主管部门及参加试验的各方代表共同对船舶状态作全面检查,并确认船舶状态已符合试验的要求。

5.2 观察测量风向、风速、流速和周围水面的情况,并确认符合试验环境条件及系泊状态。

5.3 参加试验人员应位于规定的位置,记明他们的重量及重心位置,不属参加试验的人员均应离船。

5.4 准确测量船舶首、舯、尾两舷的吃水,以便精确计算试验时的排水量和浮心位置。同时,必须测定试验水域水的密度。测量吃水时,船上移动重量及人员应位于规定位置。

5.5 试验移动重量的移动采用六组按图 5,采用四组按图 6 所示顺序进行。

5.6 准备就绪后,应尽快开始试验。试验主持人发出“就位”和“松缆”的信号或口令后,参加试验人员应在各自规定的位置上就位,待船舶摇摆趋于稳定时,观测员即按主持人的信号或口令统一进行读数,并将读数记入表 A7 或表 A8 内。此后,每移动重量一次,进行一次读数记录,每次读数记录须往复记录五次,并计算出算术平均值及相邻两读数平均值之差。

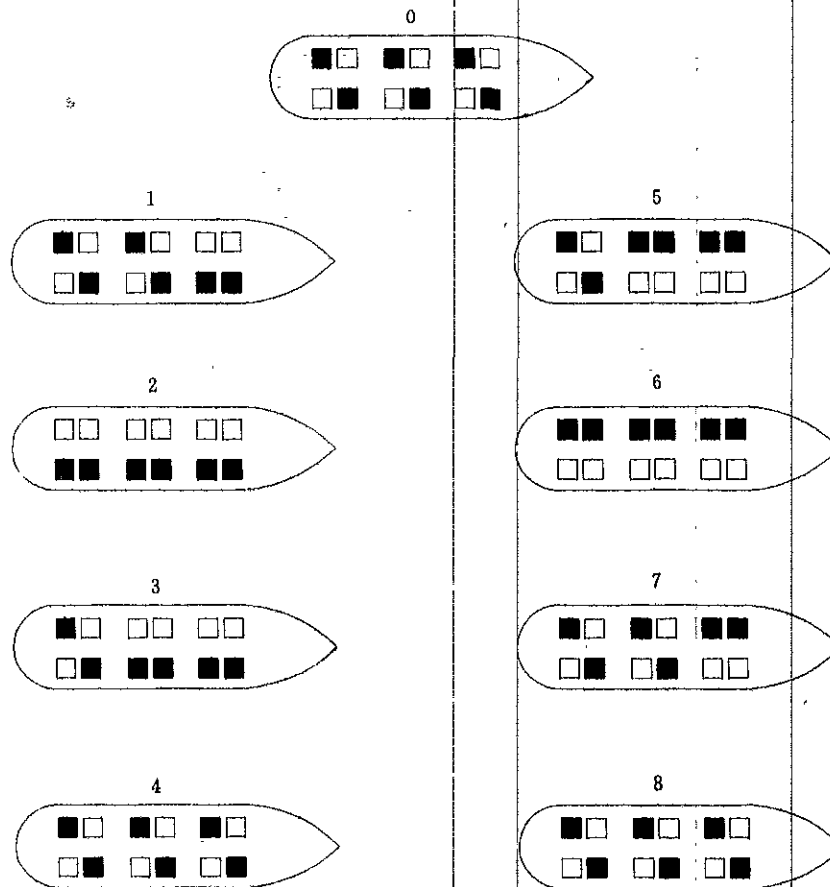


图 5

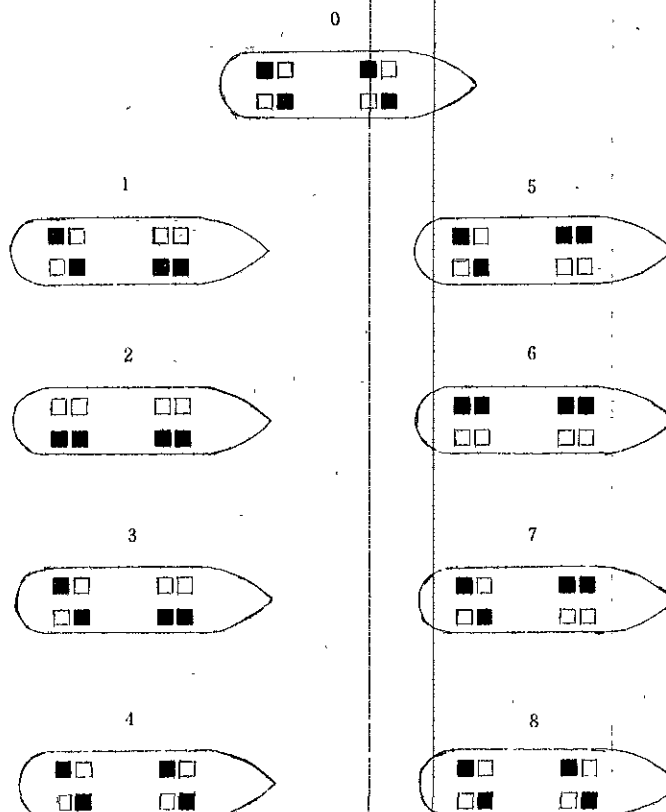


图 6

5.7 每次移动重量后,在读数前需检查:

- a. 系泊状态,应保证船舶处于自由浮动状态;
- b. 采用挂摆法测量时,船舶倾侧时摆线应保持垂直并避免与标尺相碰;
- c. 试验人员及重物应位于规定的位置。

5.8 试验倾角根据不同测量方法可按以下方法求得:

a. 挂摆测量法按公式(4)计算:

$$\operatorname{tg} \theta = a / \lambda \quad \cdots \cdots \cdots (4)$$

式中: a ——用挂摆测得的摆幅值的算术平均值, m ;
 λ ——量自挂摆的挂点至刻度标尺间的垂直距离, m 。

b. U 形管测量法按公式(5)计算:

$$\operatorname{tg} \theta = (b_1 + b_2) / s \quad \cdots \cdots \cdots (5)$$

式中: b_1, b_2 ——由 U 形管测得的左、右舷的摆幅值, m ;
 s ——U 形管中心线间的水平距离, m 。

6 试验误差检查和限值

6.1 为保证测量结果的正确性,应在试验过程中同时进行误差检查。以六组为例,误差检查图见图 7,即以横倾力矩为横坐标,横倾角正切值的平均值为纵坐标,作一根拟合直线,该直线不必通过原点或某个特定点。

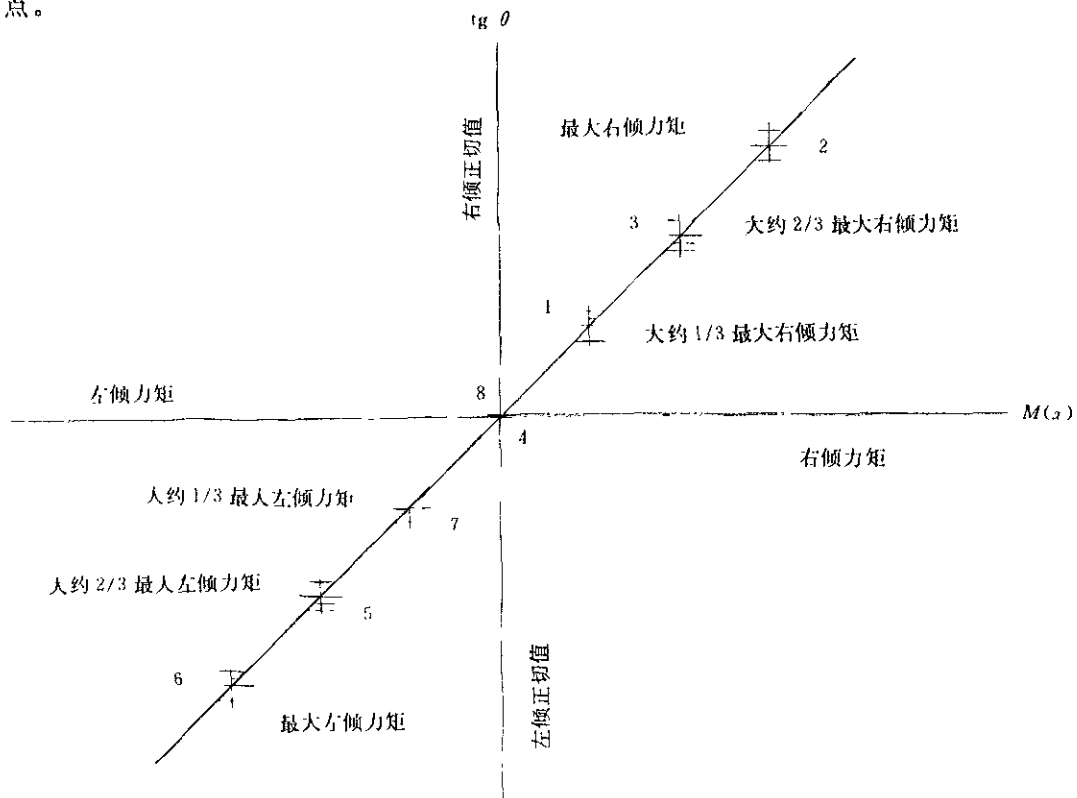


图 7

6.2 试验过程中,每次移动重量后将读数的平均值画到图上,以检查结果的正确性。如偏离上述直线超过 4% 时,应分析原因并判定是否需要部分或全部重做试验。以六组为例,判别几种影响试验结果的事例及解决方法如下:

a. 舱内剩水过多,引起自由液面太大,产生如图 8 所示情况。其解决方法为复查所有液舱及空舱,必要时将水排出,重做所有试验,复核吃水读数。

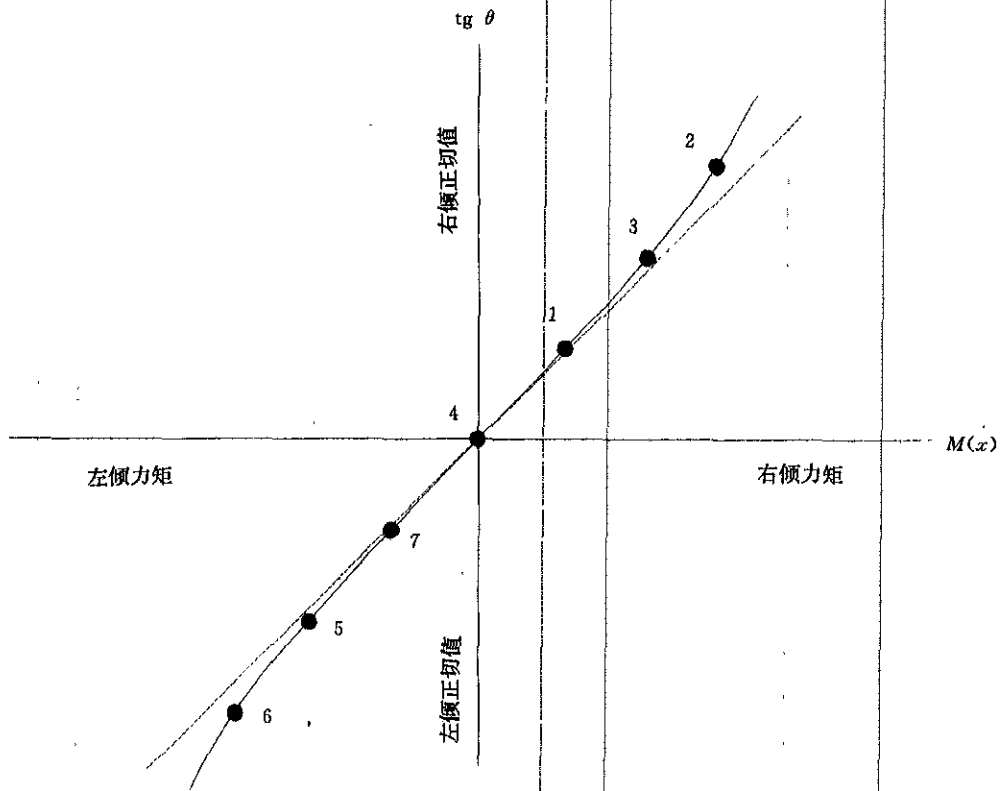


图 8

b. 船舶触底或被系缆阻碍,产生如图 9 所示情况。其解决方法为测量水深,检查缆绳,重做第 2、3 两点试验。

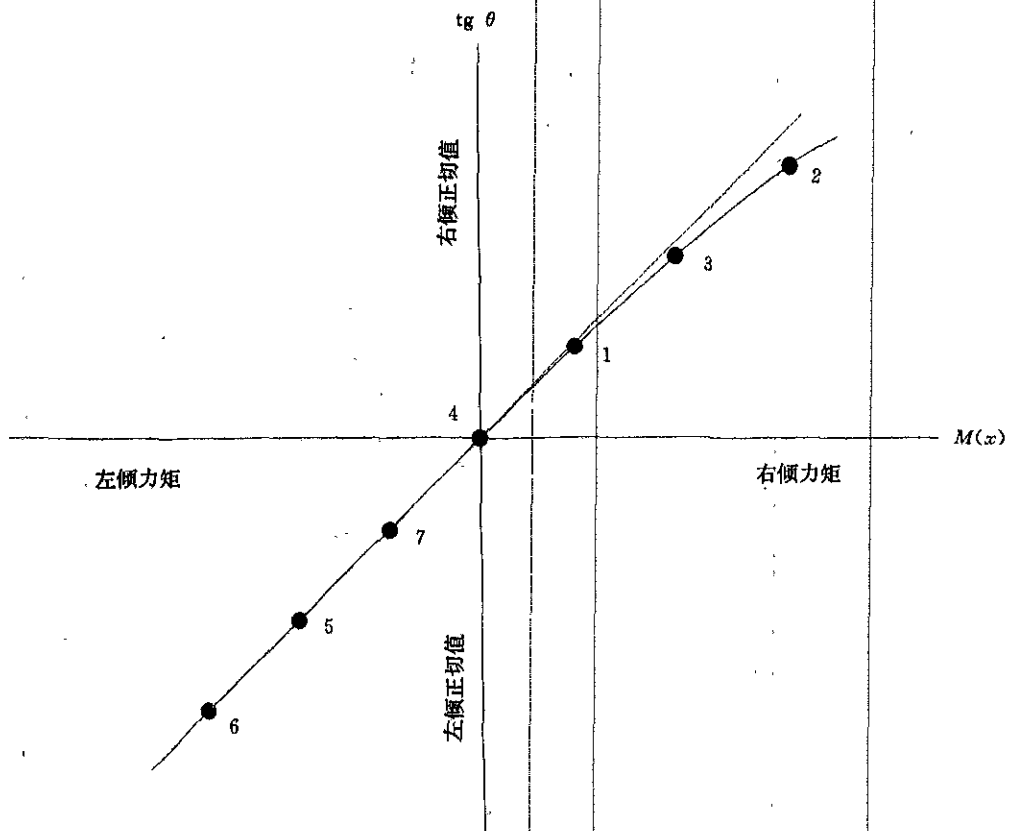


图 9

c. 试验时,左侧有定常风,产生如图 10 所示情况。此图形可用。

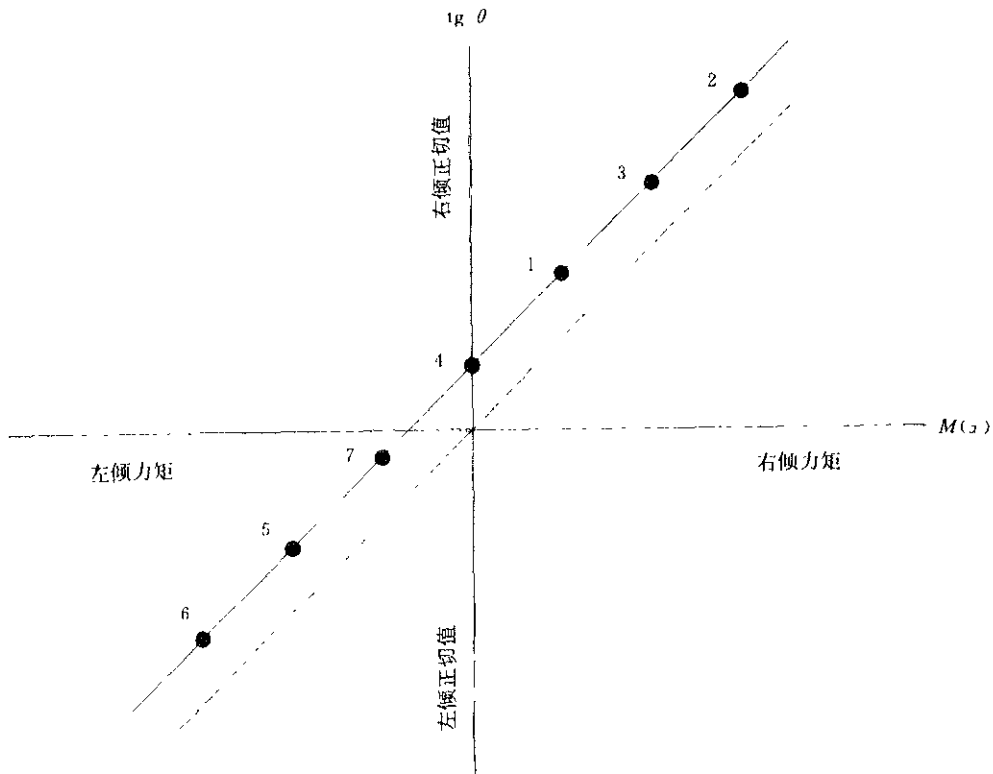


图 10

d. 试验时,左侧起阵风,产生如图 11 所示情况。其解决方法为重做第 1、5 两点试验。

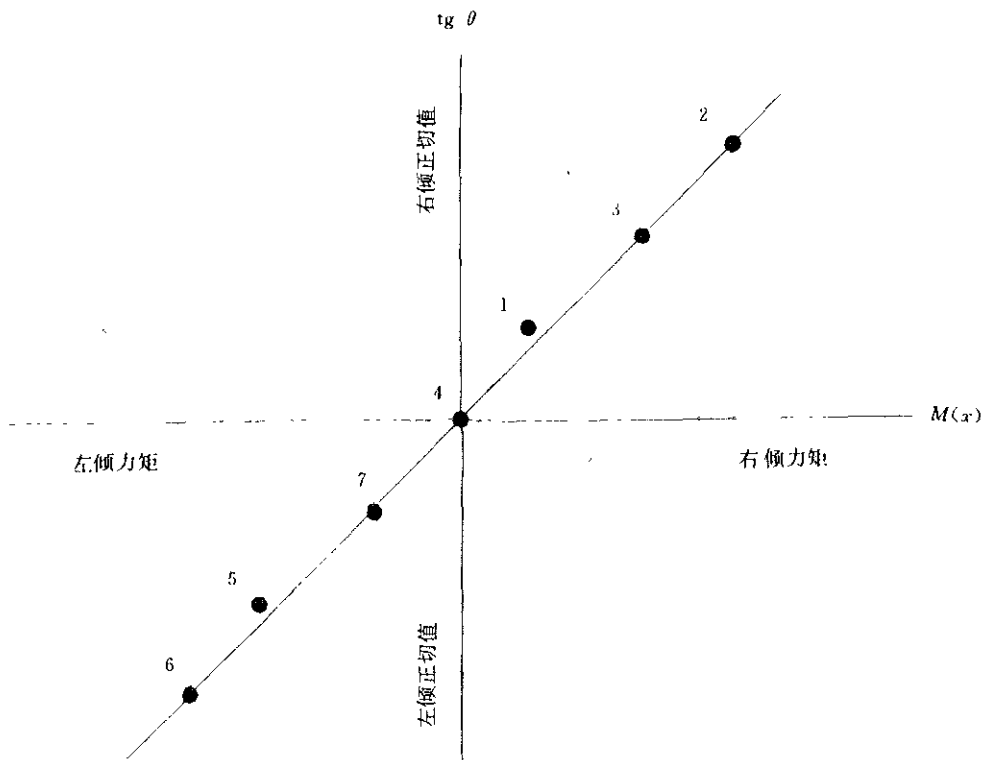


图 11

7 静水横摇试验

- 7.1 船长小于 70 m 的船舶,当其无法提供经过批准的装载情况或其他稳性资料时,经主管部门同意可用静水横摇周期试验方法近似确定船舶的初稳性高度。初稳性高度的近似计算见附录 B(参考件)。
- 7.2 试验的水域、环境、气象条件及试验方法均须经过主管部门认可。

8 数据整理,完成试验报告

- 8.1 应正确使用附录 A(补充件)中的倾斜试验表格,以保证数据完整、清晰、简要及格式统一。
- 8.2 离船前应由试验主持人、主管部门代表和船东代表在每页原始数据表上签署姓名和日期。

附录 A
倾斜试验报告格式
(补充件)

A1 倾斜试验船舶状态记录按表 A1。

表 A1

船 名									
总 长 $L_{OA}=$			m		型 深 $D=$			m	
垂线间长 $L_{bp}=$			m		满载吃水 $d=$			m	
型 宽 $B=$			m						
试验日期及时间				年 月 日 时 分起至 日 时 分完成					
试验地点									
天气情况				风向				风力	
试 验 主 持 人				主管部门代表				船东代表	
试 验 参 加 者									
船舶状况									
试 验 时 的 吃 水 计 算									
位置	在吃水标尺处, m			推算出艏、舦、及艉垂线处的吃水		减去龙骨高度或平板龙骨厚度的型吃水			
	右舷	左舷	平均	m		m			
艏						$d_F=$			
舦						$d_M=$			
艉						$d_A=$			
计算平均吃水 $d_p=\frac{1}{8}(d_F+6d_M+d_A)=$									
纵倾角 $\phi=\text{tg}^{-1}\left(\frac{d_F-d_A}{L_{bp}}\right)=$									
按纵倾水准线计算的船舶, 尚应按下表算出艏艉计算吃水									
艏艉型吃水 m		$\frac{d_F+d_A}{2}-d_p$ m	计算吃水 m	有原始纵倾船的计算吃水, m					
				$\frac{1}{2}$ 原始纵倾值 m			计算吃水 m		
(一)		(二)	(三)=(一)-(二)		(四)		(五)		
d_F			艏		艏		艏	(三)+(四)	
d_A			艉		艉		艉	(三)-(四)	
试验水域水的密度 $\rho=$ t/m ³									

A2 试验移动重量及测试设备布置按表 A2。

表 A2

试验 移动 重量 的 布置	移动重量块类型： 移动的总重量为 t		移动方法： 预期每舷最大横倾角为 (°)	
	右 舷		左 舷	
	第一组	重 量	t	
		重心纵向位置		
		重心距基线	m	
		重心距中纵线	m	
	第二组	重 量	t	
		重心纵向位置		
		重心距基线	m	
		重心距中纵线	m	
	第三组	重 量	t	
		重心纵向位置		
		重心距基线	m	
		重心距中纵线	m	
	第四组	重 量	t	
		重心纵向位置		
		重心距基线	m	
		重心距中纵线	m	
挂摆位置	第 1			$\lambda_1 =$ m
	第 2			$\lambda_2 =$ m
	第 3			$\lambda_3 =$ m
U 形管位置	第 1			$s_1 =$ m
	第 2			$s_2 =$ m
	第 3			$s_3 =$ m
测试仪器台数及设置位置				

A3 移动力矩按表 A3。

表 A3

序 号	试验移动重量位置		移动重量	移动力臂	移动力矩 M
	左舷	右舷	t	m	$t \cdot m$
一	二	三	四	五	六
0					
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					

A4 试验时船上多余重量按表 A4。

表 A4

[illegible]

表 A5

[illegible]

A6 需重新定位重量按表 A6。

表 A6

序号	物件名称	物件位置	重量 t	垂 向		纵 向		向	
				距基线		舳 前		舳 后	
				力臂 m	力矩 t • m	力臂 m	力矩 t • m	力臂 m	力矩 t • m
试验时物件所处状态									
小 计									
营运中物件应处状态									
小 计									
总计(营运中—试验时)			0						

A7 挂摆读数记录按表 A7。

表 A7										mm
挂摆编号：			挂摆线长度 $\lambda=$							m
设置位置：			观测员姓名：							
读 数 顺 序	移 动 重 量 顺 序									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	
左 1										
右 1										
左 2										
右 2										
左 3										
右 3										
左 4										
右 4										
左 5										
右 5										
读数平均值										
相邻两读数平均值之差										

A8 U 形管读数记录按表 A8。

A9 纵倾状态船舶主要参数计算按表 A9。

表 A8

mm

U形管编号:

左右液面形心间的水平距离 $s=$ m

设置位置:

观测员姓名:

右 舷										左 舷									
读 数 顺 序	移 动 重 量 顺 序									读 数 顺 序	移 动 重 量 顺 序								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8		0	1	2	3	4	5	6	7	8
上 1										上 1									
下 1										下 1									
上 2										上 2									
下 2										下 2									
上 3										上 3									
下 3										下 3									
上 4										上 4									
下 4										下 4									
上 5										上 5									
下 5										下 5									
读数平均值										读数平均值									
相邻两读数平均值之差										相邻两读数平均值之差									
右舷与左舷读数 平均值的差值																			

CB/T 3035—1996

表 A9

$d_F = \quad m; d_A = \quad m; \operatorname{tg} \phi = (d_F - d_A) / L_{bp} =$										
站号	截面积 A m^2	辛氏 系数	$f(V)$ (二) \times (三) m^2	面积力矩 M_y m^3	$f(M_y)$ (三) \times (五) m^3	水线半宽 y m	y^3 m^3	$f(I_x)$ (三) \times (八) m^3	距中 系数	$f(M_x)$ (四) \times (十) m^2
一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一
0										
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
Σ			$\Sigma(四)$		$\Sigma(六)$		$\Sigma(八)$	$\Sigma(九)$		$\Sigma(十一)$

主 要 参 数

序 号	名 称	公 式	数 值	单 位
1	站距	$\Delta L = L / 20$		m
2	型排水体积	$V = 1/3 \cdot \Delta L \cdot \Sigma(四)$		m^3
3	浮心垂向坐标	$Z_n = \Sigma(六) / \Sigma(四)$		m
4	水线面惯性矩	$I_x = 2/9 \cdot \Delta L \cdot \Sigma(九)$		m^4
5	横稳心半径	$BM = I_x / V$		m
6	横稳心垂向坐标	$KM = Z_n + BM$		m
7	浮心纵向坐标	$X_n = \Delta L \cdot \Sigma(十一) / \Sigma(四)$		m
8	排水量	$\Delta = K_s \cdot V \cdot \rho$		t

注：K_s 为船壳系数，一般取 K_s = 1.006。

A10 由静水力曲线查得的船舶正浮状态主要参数及修正按表 A10。

表 A10

序号	名 称	符号	公 式	数值	单位
1	排水量	Δ_0			t
2	横稳心垂向坐标	KM_0			m
3	浮心垂向坐标	Z_{B0}			
4	浮心纵向坐标	X_{B0}			
5	每米尾倾排水量增量	$\delta\Delta/m$			t/m
6	每厘米纵倾力矩	M_{cm}			t • m/cm
7	排水量	Δ	$\Delta = \Delta_0 - \frac{d_F - d_A}{\delta\Delta/m}$		t
8	横稳心垂向坐标	KM	$KM = KM_0$		m
9	浮心垂向坐标	Z_B	$Z_B = Z_{B0}$		
10	浮心纵向坐标	X_B	$X_B = X_{B0} + \frac{(d_F - d_A)M_{cm}}{0.01\Delta_0}$		

A12 倾角和初稳性计算按表 A12。

表 A12

重量移动顺序	摆幅值及倾角								初稳性高 (GM_0) _i m
	第 一 $\lambda =$ mm ($s =$ mm)		第 二 $\lambda =$ mm ($s =$ mm)		第 三 $\lambda =$ mm ($s =$ mm)		倾角合计	倾角平均	
	a_1 ($b_{11}+b_{12}$)	$\text{tg}\theta_1$	a_2 ($b_{21}+b_{22}$)	$\text{tg}\theta_2$	a_3 ($b_{31}+b_{32}$)	$\text{tg}\theta_3$	$\Sigma \text{tg}\theta$	$\text{tg}\theta$	$\frac{M}{\Delta \cdot \text{tg}\theta}$
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
总 计									
$GM_0 = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 (GM_0)_i$									

A13 试验状态船舶有关参数按表 A13。

表 A13

序 号	项 目	单 位	数 值
1	艏吃水 d_F	m	
2	艉吃水 d_A		
3	纵倾角的正切值 $\text{tg}\phi = (d_F - d_A) / L_{bp}$	—	
4	排水量 Δ	t	
5	横稳心垂向坐标 KM	m	
6	浮心垂向坐标 Z_B		
7	浮心纵向坐标 X_B		
8	实测初稳性高度 GM_0		
9	经自由液面修正的初稳性高度 $GM = GM_0 + \delta GM$		
10	重心垂向坐标 $Z_G = KM - GM \cos\phi$		
11	重心纵向坐标 $X_G = X_B - (Z_G - Z_B) \text{tg}\phi$		

A14 空船重量及重心位置计算按表 A14。

表 A14

序 号	项 目	重 量 t	垂 向		纵 向			
			距 基 线		舦 前		舦 后	
			力 臂 m	力 矩 t · m	力 臂 m	力 矩 t · m	力 臂 m	力 矩 t · m
1	试验状态下船舶							
2	多余重量							
3	不足重量							
4	需重新定位重量	0						
5	空船							

附录 B
静水横摇试验
(参考件)

B1 通过横摇周期试验得出平均横摇周期后可用公式(B1)计算初稳性高度 GM 。

$$GM = \left(f \frac{B}{T} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (B1)$$

式中: B ——船宽, m;

T ——横摇周期, s;

f ——横摇周期系数, 对正常尺度的沿海船舶(不包括油船)和渔船可按表 B1 选取。

表 B1

横 摇 周 期 系 数		f
空船或加压载		0.88
船舶满载	舱柜中液体占总载重量的 20%	0.78
	舱柜中液体占总载重量的 10%	0.75
	舱柜中液体占总载重量的 5%	0.73
双吊杆捕虾渔船		0.95
远洋渔船		0.80
具有活养鱼舱的渔船		0.60

上表所列数值是平均值。一般来说, 观察到的 f 值在上表数值的 ± 0.05 范围内。表中 f 值是在一系列有限制的试验基础上确定的, 应用到具体船上时应根据各种不同情况由主管部门重新审定。

附加说明:

本标准由全国海洋船标准化技术委员会提出。

本标准由上海船舶研究设计院归口。

本标准由上海船舶研究设计院负责起草。

本标准起草人: 乐庄、石家宏、陈彰德、刘正友。