

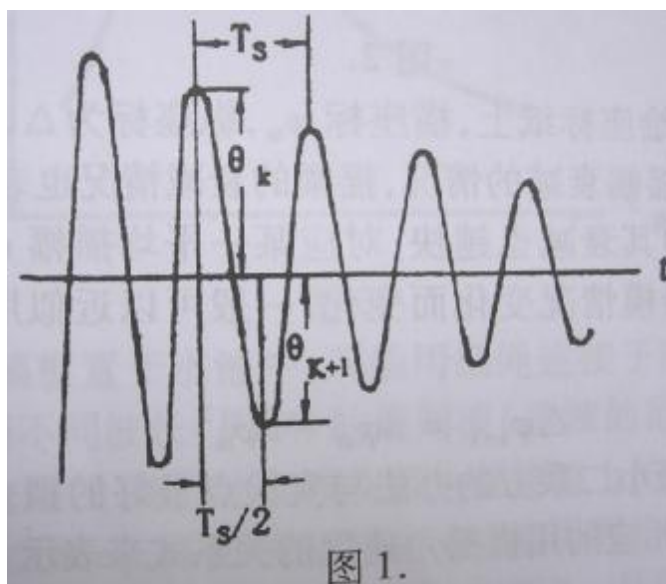
船模横摇试验说明

一、船模横摇试验的目的及 方法:

船舶在海上风浪中的横摇运动,对船舶的安全及使用性能有很大的影响。由于剧烈的横摇可能会引起船舱内货物的移动,造成船舶倾复。横摇运动还会降低船舶的动稳性储备,增加在风浪中的倾复的危险。此外,横摇还会使海上工作船舶,以及渔船等工作条件恶化,甚至无法工作。因此在设计阶段判断估计船在风浪中的摇摆情况,作为设计的参考是很重要的。船模横摇试验是估计船舶在风浪中横摇情况的一种很好的方法。

用船模试验确定船舶在海上的摇摆情况的方法,可以有两种:

1) 船模静水横摇试验:这是一种间接的方法。即根据船模在静水中的自由摇摆情况,主要是自摇周期及摇幅的衰减情况,求出一些决定船舶在波浪上摇摆幅度的参数,根据这些参数可以大致估计船舶在波浪上摇摆的情况。



静水横摇试验的方法是:将船模按要求调整好以后,横放在池中,给以一初始倾角(一般大于 20°)然后放开,应用装在船模内的自动记录装置,记录下摇摆的情况,记录装置一般是陀螺仪,也可以采用其他机械式装置,但装置本身的摩擦,阻尼必须很小,以免影响船模的运动情况造成误差,我们实验室是采用 TC-6 型航空陀螺仪,通过计算机采集记录,记录下的横摇曲线如图 1,图中曲线表示摇摆角度随时间的变化,可以看出此时船舶是作一等周期 T_j 的摇摆运动,并且其摇幅逐渐减少,摇摆周期 T_j 称为船模的静水自由摇摆周期。由摇摆理论知,船模自摇周期与船模的排水量 D ,初稳性高度 h ,及横摇惯性矩 A ,附加惯性矩 ΔA 有关,可用下式计算:

$$T_j = 2p \sqrt{\frac{A + \Delta A}{Dh}}$$

由于船模的排水量 D ,惯性矩 A 以及初稳性高在试验时皆为已知,故上式可以用来计算附加惯性矩 ΔA ,测量得到静水中自摇周期 T_j 则:

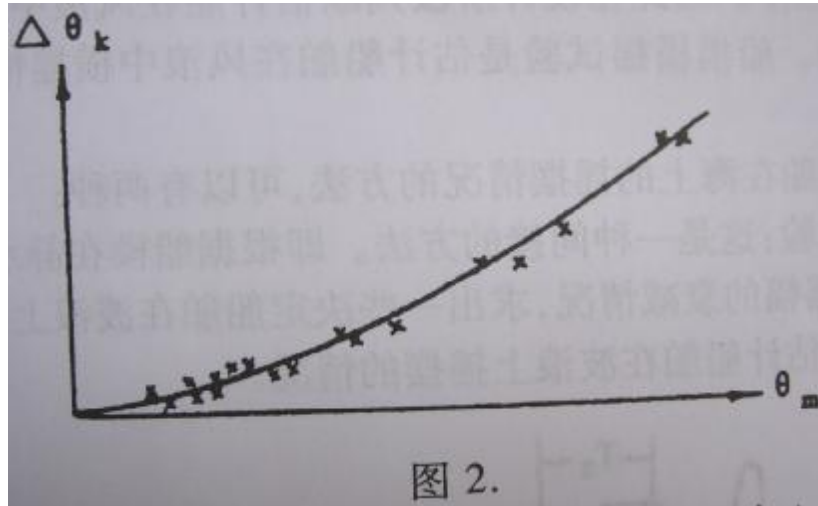
$$\Delta A = \frac{T_j^2}{2p} Dh - A$$

船模横摇的摇幅衰减情况可以这样来表示:将相邻的两个摇幅依次相减,求出每次摆动中的衰减角 Δj_k 摆至另一边的 Δj_{k+1} ,摇幅已减少即为:

$$\Delta j_k = j_k - j_{k+1}$$

再将一次摆动中的摇幅平均，得到代表这次摆动幅度大小的平均摇幅 j_m

$$j_m = \frac{j_k + j_{k+1}}{2}$$



将对应的 j_m 及 Δj_k 绘坐标纸上，横座标 j_m ，纵座标为 Δj_k ，得到如图 2 的横摇消灭曲线。这一曲线代表摇幅衰减的情况，摇幅的衰减情况也表示了阻尼的情况。船模横摇时阻尼力越大，相应的其衰减也越快，对应某一平均摇幅 j_m 衰减角 Δj_{k+1} 也越大。消灭曲线的形状，随船模情况变化而变化，一般可以近似用一二次方曲线代表，即：

$$\Delta j_{k+1} = a j_m + b j_m^2$$

其中， a 、 b 为系数，可以用最小二乘方的办法与实验点最好的拟合的办法来确定，如船模的横摇阻尼力矩也可以相应的用横摇角速度的关系式来表示，即：

$$M(j) = R \dot{j} \quad M(j) = \pm W \dot{j}^2$$

则： Δj_{k+1} 可相应表示为：

$$\Delta j_{k+1} = a j_m \quad \Delta j_{k+1} = C j_m^2$$

其中： $A_1 = A + \Delta A$

求得自摆周期 T_j ，以及相应的阻尼系数 R 、 W ，根据船舶摇摆理论可以计算船模在波浪上的摇摆情况。

如果船的横摇幅值很小，确论阻尼和角速度成线性关系，则可以直接应用线性横摇的理论结果，计算出它的无因次衰减阻尼系数 m

$$m = \frac{1}{p} \cdot \frac{\Delta j}{j_m} \quad \text{或} \quad m = \frac{1}{p} \ln \left| \frac{j_{k1}}{j_{k2}} \right|$$

若干模型试验资料表明，在线性范围内，无艏龙骨的船， $m = 0.035 \sim 0.05$ ；有艏龙骨船，

$m = 0.055 \sim 0.07$ 。

可以看到，这一办法很简便，即使在没有正规试验设备条件下，也可以做到，并且还可以测试出不同摇幅时的阻尼情况，所以对研究船模横摇运动是很重要的。但由于，它是在静水中进行的，对于船与波浪间的一些相互作用则不能包含，所以是有一定局限性的。

2) 船模波浪中横摇试验：也就是直接测量船模在横对某一规则波时的摇幅。这一试验方法比较直接，包含的因素全面，也较可靠。但是，由于横摇的情况与波浪的大小，有直接的关系，所以这一种试验方法，工作量大，要求试验设备条件也比静水横摇要求高。

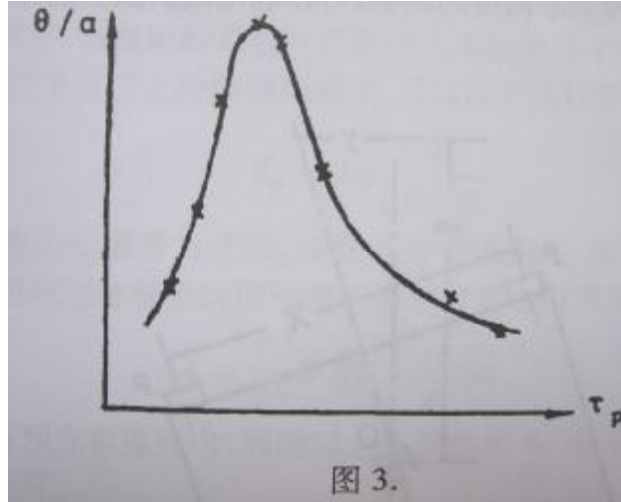


图 3.

试验的方法是将船模横置于水池中，两端用细绳连接于池壁上，然后按一定的方案，在水池内产生一系列不同波长（周期）的规则波（造波的范围必须包含船模自摇周期）。用装于船模内的陀螺仪，测量出船模在每一规则波上的摇摆幅度，同时根据造波机频率和冲程计算出波倾角 a_0 ，算出相应于这一波浪周期的横摇放大因数 j/a_0 ，最后，对不同的波浪频率绘成放大因数 j/a_0 曲线，如图 3。从图中可以看到，放大因数 j/a_0 一般呈一尖峰形，峰点在船模自摇周期附近，这就是所谓的共振现象，对船模横摇来说是十分重要的。阻尼系数越小，则共振的峰值越高，由于横摇的共振现象特征显著，曲线在共振点附近变化很大。所以试验时在共振点附近必须特别注意，不然可能会得出不正确的结论。图中， w_s 为实船波浪频率， $w_s = 2p / \sqrt{l/l_p}$ ， l 为实船与模型的缩尺比。

二、试验的准备工作

船模试验前必须首先对试验船模进行准备，将船模的压载调整至所需要的状态。进行摇摆试验的船模，除与快速性试验一样，必须保持几何相似以外，由于摇摆运动不是匀速运动，因此还必须保证其惯性矩，重心高度等相似，即：

$$z_{gs} = Z_{gm} \cdot l \quad A_s = I^5 A_m$$

Z_{gs} —— 实船重心高度；

Z_{gm} —— 船模重心高度；

A_s —— 实船横摇惯性矩；

A_m ——船模横摇惯性矩；

I ——比例= L_s/L_m

此外，为保证试验时流体动力部分相似（Froude 数相等），要求船模与实船的摇摆周期保持如下关系。

$$T_s = \sqrt{I} T_m$$

T_m ——船模摇摆周期

- 1) 重心的调整：对船模重心高度的调整，可以利用倾斜试验的原理，将船模利用刀口刀架悬于空中，如图 4。

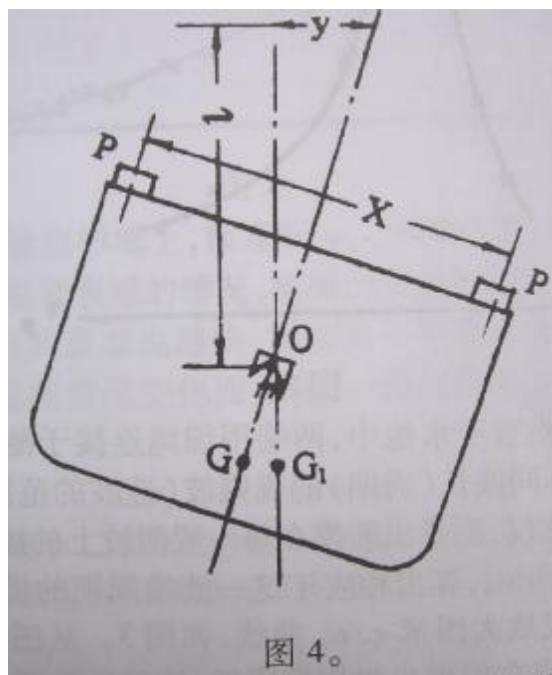


图 4。

在船模内横向水平移动一重量 P ，移动距离 X ，此时船模将发生一倾斜角 q ，可以看出：

D ——船模排水量

$\overline{GG_1}$ ——船模重心移动距离

由于

$$\overline{GG_1} = \overline{OG} \sin q$$

\overline{OG} ——船模重心至支点 O 的距离

故：

$$PX \cos q = D \overline{OG} \sin q$$

这样：

$$\overline{OG} = \frac{PX}{D} \cot q$$

利用这一关系，由测量得到的倾斜角 q ，即可求出重心位置。为了测量方便起见，在支点 O 以上高度 l 处，水平放一标尺，沿船横纵向剖面装一轻质的长指针则

$$\cot q = \frac{l}{g}$$

g ——指针在标尺上指出的由于倾斜角 q 引起的偏移距离。

y ——也可以表示为 \overline{OG} 的关系式

$$y = \frac{PX}{D} \frac{l}{\overline{OG}}$$

利用此一关系式，可以预先根据要求的重心位置 \overline{OG} 算出相应的 y 值调整船模压载，使 y 值符合即可，但注意调整压载时，重物 P 不可移动。

2) 惯性矩的调整：惯性矩的调整同样利用上面的悬挂于空气中的刀口刀架。根据复摆公式，船模悬挂于刀口上的摆动周期 T_0 可以用下式计算：

$$T_0 = 2p \sqrt{\frac{A_0}{D \overline{OG}}}$$

由于排水量，重心位置皆为已知，故测出摆动周期 T_0 即可解出相应的，船模对刀口的惯性矩 A_0 ，再利用称轴原理即可得到船模对重心的惯性矩。

$$A = \frac{T_0^2}{2p} D \overline{OG} - \frac{D}{g} \overline{OG}^2$$

具体进行时可预先根据要求，利用以上关系算出 A_0 ，再求出相应要求的 T_0 ，调整压载使 T_0 符合，即可。

在安装刀口刀架系统时，应注意，刀架必须安装在纵中剖面内，并与试验时要求的横摇旋转轴平行。还应注意，试验中装于船模内的记录装置，如陀螺仪等，应在调整前全部装上，参加调整。模型还应注意防止试验中水溅入船模中，预先加高舷墙，或其他放水装置。

三、试验结果的分析：

静水横摇试验结果的分析整理：静水横摇试验的结果是计算机记录下的摇幅随时间的衰减曲线。根据记录曲线上的时标，以及相邻的峰值间的距离，可以测量出自由摇摆周期。计算时尽可能多取几个周期平均，以提高精确度。

由于在试验中一般确定零线比较困难，所以在计算中采用近似的方法，即量取全摇幅 j'_K 然后依次相减求得：

$$2\Delta j_K = j'_K - j'_{K+1}$$

$$q_m = \frac{j'_K + j'_{K+1}}{4}$$

计算时可列表如下：

序号	j_K	$2\Delta j_K = j'_K - j'_{K+1}$	$j_m = (j'_K + j'_{K+1})/4$
1			
2			
3			

4			
.			
.			

在计算 Δj_K ， j_m 后，将计算所得的结果，点于座标纸上，绘出 $\Delta j_K \sim j_m$ 曲线。

根据消灭曲线，可以采用两种方法进行分析。一是将表中的 $\Delta j_K \sim j_m$ 数值，采用二次方曲线逼近，用最小二乘方决定 a，b 数值。或者近似用平方关系，阻尼系数 N 表示即根据

$$N = \frac{\Delta j_K}{j_m^2}$$

公式，对各个不同 j_m 时之 Δj_K 计算出 $N \sim j_m$ 曲线如图 5。如 $\Delta j_K \sim j_m$ 曲线在一定范围内接近直线，也可以简单用直接逼近，计算出线性阻尼系数。

波浪中试验结果：首先由计算机采集记录曲线上量出波浪中横摇幅值，并依照记录的静校系数，换算成摇幅 j_m 此时为全摇幅 $2j_m$ 。同时根据造波周期 t_p ，依据冲程算出波浪的倾角 a_0 ，计算出放大因数 j_m/a_0 。将对应于波浪频率 w_s 的放大因数 j/a_0 绘成 $j/a_0 \sim w_s$ 曲线，计算可依表格进行。

