

船舶纵向下水试验

· 论文集 ·

上海交通大学一系
沪东造船厂情报室 译

上海交通大学技术资料情报室

一九七九年三月

前 言

船舶下水，是一项极为重要的作业。在船舶纵向下水时，会遇到十分复杂的现象，下水前进行必要的计算、试验，采取适当的安全措施。

本译文集较为系统地介绍了主要造船国家在船舶纵向下水方面的研究，内容主要包括下水动力学，下水计算，下水试验及实测，下水过程中出现的主要现象及采取的预防措施，可供我国有关造船工程技术人员参考。

本译文集由上海交通大学一系、沪东造船厂技术情报室的有关同志翻译。在出版过程中，还得到上海交通大学王永华、洪占秋、王根录，沪东造船厂辛秋华，求新造船厂陈兴良、申桂英、张金城，六机部十一所袁兰室等同志的帮助，特此感谢。

由于时间仓促，错误之处在所难免，请读者批评指正。

编 者

一九七九年三月八日

目 录

一、下水动力学	1
二、纵向下水时能量关系的应用	22
三、下水计算和解析	32
四、一艘大型破冰船的下水	41
五、船舶纵向下水试验结果	63
六、下水时的船首跌落	68
七、船舶下水时前支架压力的一种测量方法	78
八、船体下水时作用在船底上的外力的调查研究	86
九、滑道和船台上的动态负荷	99
十、滑道压力	111
十一、关于15万吨阔幅油轮的下水	148
十二、“不莱梅城”号散装货轮下水	164

下水动力学

R.C.Gray

提 要

本文是关于一艘油轮下水资料的分析。该轮载重量为 32,000 吨, 于 1957 年在泰纳 (Tyne) 河下水。文章首先建立描写船舶下水的运动方程, 然后以此作图, 一图表示作用在船上的力, 另一图表示该受力系统的能量平衡。两图都是以船舶“滑程”为横坐标来表达的。

由这一分析作了关于作用在船上的水阻力和随船移动的“附连水”质量的估算, 并对船舶下水过程中附连水对滑程的影响和估算滑程的一些方法作了探讨。

引 言

一艘载重量为 32,000 吨的油轮于 1957 年在泰纳河下水。在下水过程中取得了一些通常的资料; 作了船舶起动后下滑的时间和滑程的细致记录; 另外, 每一根锚链在下水全过程中的张力也都作了测量, 因而为作用在船上的所有力中的一个力提供了资料, 而这个力通常是仅作估计的。本下水中应用了阻力锚, 锚置于河底而用锚链与船尾相连。阻力锚都系在船的同—舷, 以使船离开滑道后在河中旋转。

运动方程

(a) 船舶离开滑道之前

我们知道:

$$(W-B)\sin\theta - \mu(W-B)\cos\theta - R_p\cos\theta - D_p\cos\theta = W \cdot \frac{a}{g}$$

或: 船舶重量的滑道斜面分力 - 滑道与滑板间的摩擦阻力 - 水阻力 - 拖曳阻力分力 = 质量 × 船舶加速度 (图 1)。

(本例中 $\cos\theta = 0.991 \approx 1$)

(b) 船舶离开滑道之后

这里有两个不同的问题：(1) 船舶平行于船台中心线*的直线运动；(2) 船舶绕铅垂轴的转动。

(1) 船舶平行于船台中心线的直线运动

这时：

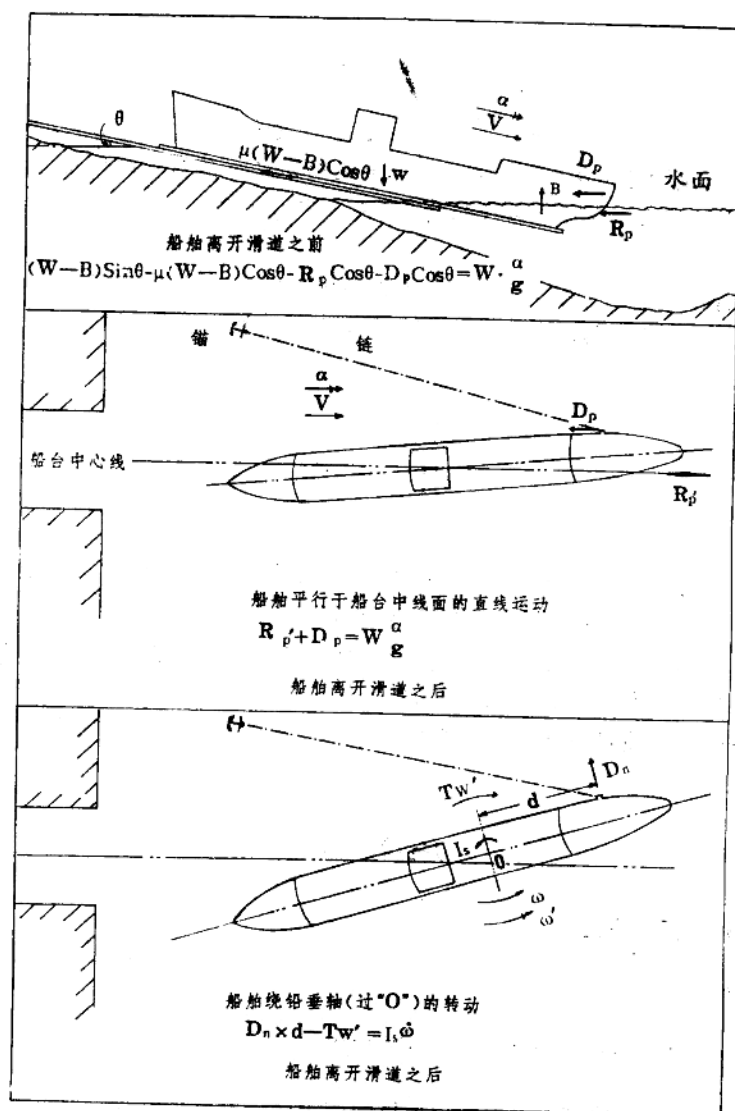


图 1. 运动方程

* 译注：这里实为船台中线面，下同。

$$R_{p'} + D_p = W \cdot \frac{a}{g}$$

或：水阻力 + 拖曳力分力 = 质量 × 船舶加速度。

(2) 船舶绕铅垂轴的转动

这时：

$$D_n \cdot d - T_{w'} = I_n \cdot \omega$$

或：拖曳力偶 - 旋转阻力偶 = 船舶极惯性矩 × 角加速度。

受力图

我们可以用图示的方式来表示描绘船上作用力的直线运动方程（图2）。y轴表示作用力的合力的大小，单位是吨力；x轴表示滑程，单位是呎。黑实线表示船舶在各个滑行位置时的质量和加速度的乘积。 α 是由引言中所提到的时间—滑程记录经两次微分而得到的。使船舶灯止的拖曳力分力是由附录Ⅱ所给出的方法计算得到的。这个图清楚地给出了整个下水过程中作用在船上的直线运动力以及它们的大小。

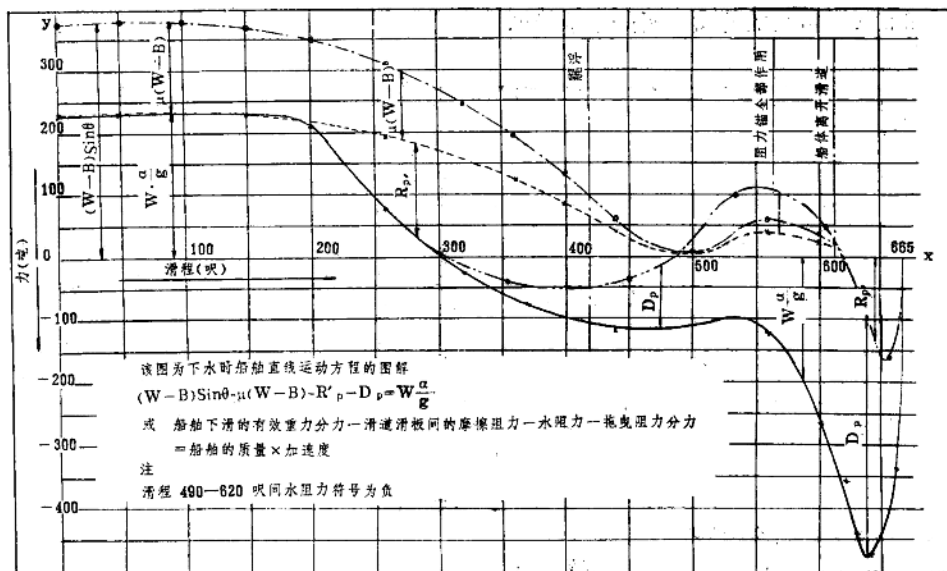


图 2. 受力图 I

下水过程中的能量平衡

还有一种资料来源能帮助这一分析，即船舶在滑道上下滑时，其在任一移动距离内所

释放的位能都可以精确地计算，它等于船舶和下水架的重量乘上已下降的垂直距离。而且，受力图（图2）中所示各力所吸收的能量，可以由力对滑程积分后得到，也即在受力图上用面积仪量取代表这些力的线条间的面积。

能量图

这一系统的能量平衡也可以用图来表示， y 轴表示系统的能量，单位是吨呎， x 轴表示滑程。重要的是要注意这个图综合了所有涉及“这一系统”的能量，而不管这些消耗能量的力的作用方向如何，因为能量没有方向性。“这一系统”的边界定义为包围船舶和下水架的水面以及紧裹着的水。这一定义似乎引起了拖曳力吸收能量的难以估计，但众所周知，根据功的定义，力仅仅在作用力方向上移动时才做功。因此，拖曳力在每一运动方向上的分量必须加以考虑，这些方向是：

- (1) 平行于船台中线面的水平方向；
- (2) 垂直于船台中线面的水平方向；
- (3) 船舶在滑道上下滑时拖曳力在尾部作用点下降的垂直方向。

分量1可以通过拖曳力对受力图所示的对应滑程直接积分得到；分量2可由附录I所给出的方法估算得到；分量3与分量1、2比较，可以忽略。

图3表示常规的能量分析是不准确的，因为滑程中段的一部分能量没有加以考虑。

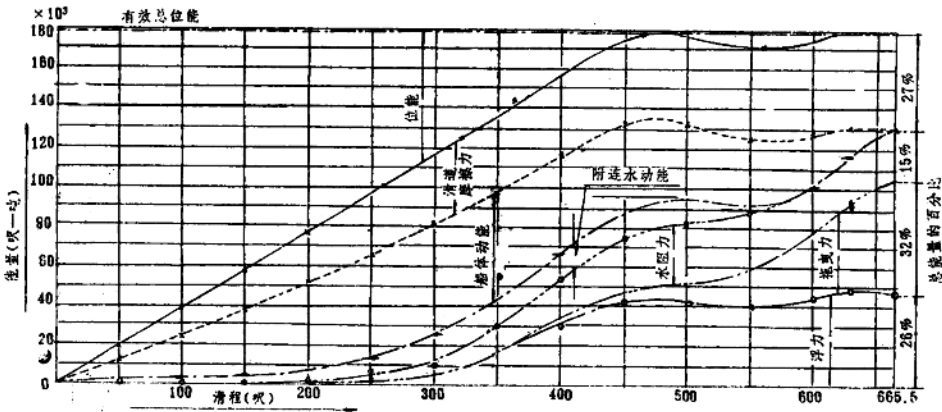


图 3. 能量图 I

该图为下水时能量平衡的图解

$$E = W \cdot h = \int \mu (W - B) ds + \frac{WV^2}{2g} + \int R_p' ds + \int D_p ds + \int D_R dp + \int B dh$$

或，船舶的能量 = 船舶和支架重量 × 船舶重心的高度差 = 滑道滑板间摩擦消耗的热能 + 船体动能 + 旋涡阻力吸收的能量 + 拖曳力平行于船台中线的分量吸收的能量 + 拖曳力垂直于船台中线面的分量吸收的能量 + 浮力吸收的能量

每呎滑程能量图

对能量图每隔 50 呎滑程作一次计算。如果两个连续点间的各种力所吸收的能量差额在滑程上分别表示，那么我们可以得到每呎滑程能量的增加率和减少率。这些值也可以以滑程为横坐标进行图示，该图称为“每呎滑程能量图”。很明显，船在滑道上每下滑一

吸所释放的能量必定同时地转化成其他形式的能量，这样位能的损失就完全考虑了（图4）。图3中的不平衡至此就变得明显了。

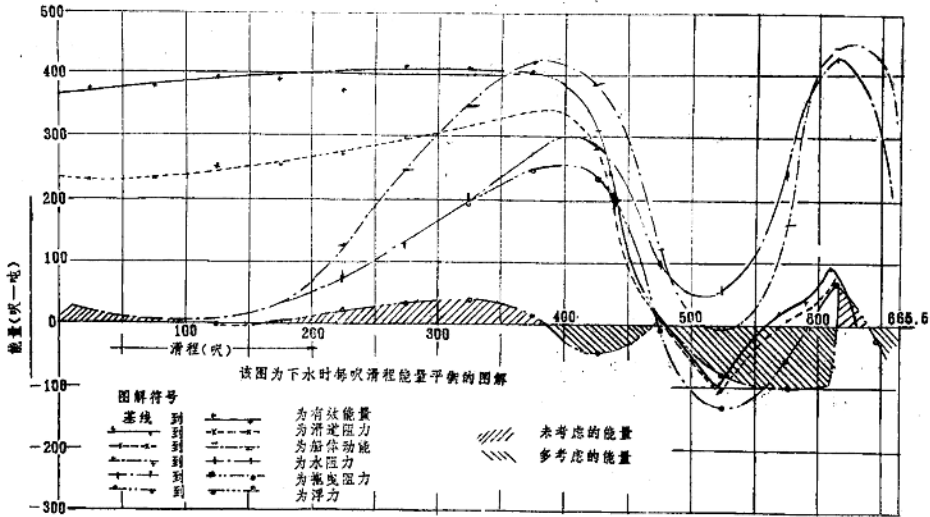


图 4. 每吸滑程能量图

水阻力估算和船舶直线运动中附连水概念

很明显，没有考虑的能量完全不是由于水阻力的估算错误，因为水阻力消耗的能量是累积的，而这个“漏掉”的能量分布在滑程的中部。

威廉·傅汝德(William Froude)从他在“猎狗”号上的试验出发，为了能进行能量和加速度计算，假定了有相当于船体排水量百分之二十的水质量随船一起移动。另外，很明显，船舶下水时总会有一些水随船移动，而且，由于带有锁住的螺旋桨，下水支架和水力制动器，看来这一水质量很可能超过百分之二十。计算时可以假定等于该滑程处船体浮力的百分之百的水质量随船移动，其结果可以用来作更详细的分析。

对于从位置1到位置2的任一给定50呎的位移，没有考虑的能量 E_L 是知道的，它该由水阻力吸收的能量 $(\int R, ds)$ 和附连水动能的增量所组成。附连水动能的增量为：

$$\frac{Z_2 \cdot B_2 \cdot V_2^2}{2g} - \frac{Z_1 \cdot B_1 \cdot V_1^2}{2g}$$

这里， Z 是浮力的分数，它给出附连水的所需量，以满足在受力图和能量平衡图位置1和2的运用条件。

如果水质量 $Z \cdot B$ 吨加给船体以平衡能量图，那么在受力图上也必须加 $Z \cdot B$ 吨以给予一个增加的质量乘加速度。这样，在任一滑程处的质量乘加速度为 $(W + ZB) \alpha$ 。计算时假定 $Z=1$ ，并量出水阻力所吸收的能量的最终值。推导的下面的公式能计算出每移动

50 呎的 Z 值, 以给出该段滑程上的确切的能量平衡:

$$E_L = E_{LW}' + Z_2(E_{LW} - E_{LW}') + \frac{Z_2 B_2 V_2^2}{2g} - \frac{Z_1 B_1 V_1^2}{2g}.$$

或: 位置 1、2 间没有考虑的能量 = 假定没有附连水时水阻力吸收的能量 + $Z_2 \times$ (假定有 B 吨附连水时水阻力吸收的附加能量) + 附连水在位置 2 时的动能 * - 附连水在位置 1 时的动能。或整理得:

$$Z_2 = \frac{E_L - E_{LW}' + \frac{Z_1 B_1 V_1^2}{2g}}{E_{LW} - E_{LW}' + \frac{B_2 V_2^2}{2g}}$$

所得结果的大概情况由图 5 表示。所得浮力的分数 Z 以滑程为横座标用百分数进行图示。图中的几个 ZB 值表示了附连水量的大小。图中还加上了船舶转动时的附连水量的几个浮力的百分数, 以资比较。这些百分数的计算如下。

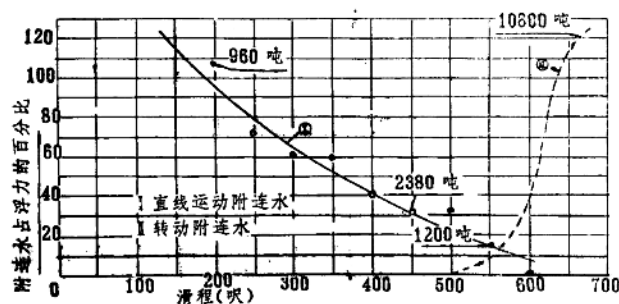


图 5. 直线运动附连水占浮力的百分比

水阻力估算和船舶绕铅垂轴转动时的附连水概念

船舶的旋转运动可按类似的方法进行分析。转动方程为:

$$D_n \cdot d - T_w' = I_s \cdot \dot{\omega} \quad (\text{图 1})$$

I_s 是船舶绕过转动中心的铅垂轴的极惯性矩, 其值由附录 IV 所给出的方法进行估算。旋转轴假定通过在水下条件下的船舶重心的纵向位置 (因为观察船舶运动的平面图就是如此)。

船舶转过的角度 β 也是从观察船舶运动的平面图上量取的, 角速度 ω 和角加速度 $\dot{\omega}$ 很容易由 β -时间图经微分而得到。这样我们知道 $D_n \cdot d$ 和 $I_s \cdot \dot{\omega}$ 并且它们的值都可以以 β 为横座标来图示 (β 角从 1° 到 26.9° 取六个值进行计算)。差值 $D_n \cdot d - I_s \cdot \dot{\omega}$ 应该是

* 译注: 原文说明有误。

周围的水所施加的旋转阻力矩。旋转能量仅由拖曳力提供给系统，所以任一 β 值时的旋转总能量是 $\int_0^\beta D_n \cdot d d\beta$ ，而水阻力吸收的能量为 $\int_0^\beta T_w' d\beta$ 。当这些能量值以“转角”为横坐标图示时，可以发现有些能量未经考虑，这与直线运动时能量的不平衡相类似。假定具有100%船舶极惯性矩的水质量随船一起转动，则可作出由 $D_n d - T_w = 2I_s \cdot \dot{\omega}$ 所表示的转矩图，并可用面积仪量出 $\int_0^\beta T_w d\beta$ 的值。

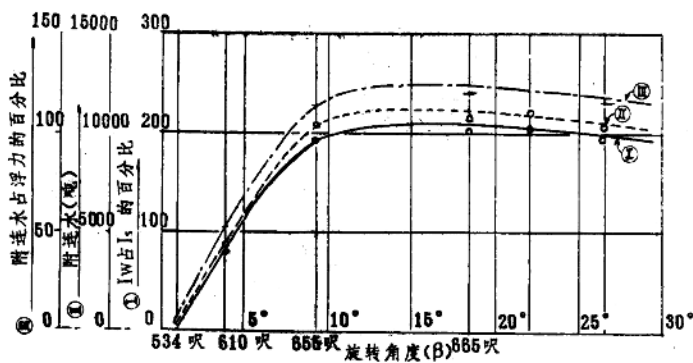
用和直线运动能量平衡相同的方法可导出下面的公式：

$$E_R = E_{TW}' + Z_2'(E_{TW} - E_{TW}') + (I_s + Z_2' \cdot I_s) \frac{\omega_2^2}{2g} - (I_s + Z_1' \cdot I_s) \frac{\omega_1^2}{2g}$$

或： β_1 、 β_2 间有效的能量=假定没有附连水时水阻力吸收的能量+ $Z_2' \times$ （假定有极惯性矩 $=I_s$ 的附连水时水阻力吸收的附加能量）+转角为 β_2 时船舶及附连水的旋转动能—转角为 β_1 时船舶及附连水的旋转动能。这样，整理可得：

$$Z_2' = \frac{E_R - E_{TW}' - \frac{I_s \cdot \omega_2^2}{2g} + \frac{I_s \cdot \omega_1^2}{2g} + \frac{Z_1' \cdot I_s \cdot \omega_1^2}{2g}}{E_{TW} - E_{TW}' + \frac{I_s \cdot \omega_2^2}{2g}}$$

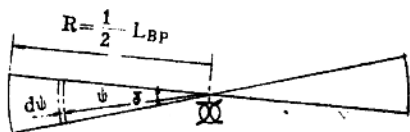
图6表示了 Z' 的计算值，以 I_s 的百分比来表示。对 Z' 假定一系列值，船舶转动的转矩图可由图7表示，转动能量的平衡可由图8表示。



I 为船体极惯矩 百分比的附连水极惯矩 由下述公式计算

II 附连水量 (吨) 假定船体周围的水为扇形分布而进行计算

$$\text{其极惯矩} = I_w = z' I_s = 2 \int_0^R \psi^2 \delta d\psi = \frac{2R^4 \delta}{4} = \frac{R^4 \delta}{2} \text{ (吨-呎}^2\text{)} \quad \dots\dots (V)$$



$$\text{且, 此时的水质量} = 2 \int_0^R \psi \delta d\psi = \frac{2R^2 \delta}{2} = R^2 \delta \text{ (吨)} \quad \dots\dots (V)$$

$$\text{又, 由 (V) 得 } \delta = \frac{2z' I_s}{R^4}, \text{ 代入 (V):}$$

图 6 转动附连水的计算

$$(V) \text{式} = \frac{R^2 \times 2z' I_g}{R^4} = \frac{2z' I_g}{R^2} \text{ (吨)}$$

$$[I_g = 275 \times 10^6 \text{ 吨} \cdot \text{呎}^2]$$

$$(II) \text{ 附连水占浮力的百分比} = \frac{2z' I_g \times 100\%}{R^2 B}$$

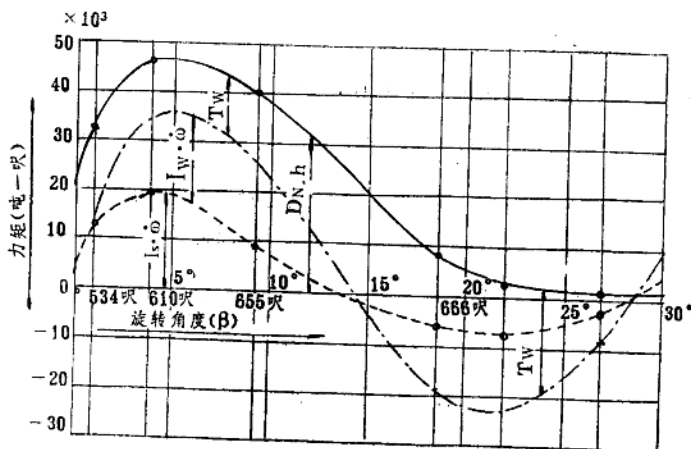


图 7 力矩图

该图为船舶绕铅垂轴转动方程的图解

$$D_R \times c - T_W = I_g \times \ddot{\omega} + I_w \times \ddot{\omega}$$

或，拖曳力垂直于船体中线面分量的力矩 - 旋转阻力矩 = 船舶极惯矩 × 角加速度 + 附连水极惯矩 × 角加速度

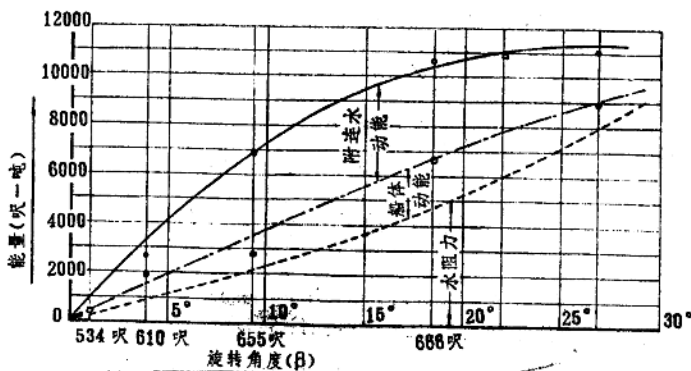


图 8 转动能量图

该图为下水时转动能量平衡的图解

$$E = - \int (D_R \times c) d\beta = \int T_W d\beta + \frac{I_g \omega^2}{2g} + \frac{I_w \omega^2}{2g}$$

或，‘系统’的转动能量 = 拖曳力垂直于船体中心线分量对转角（弧度）力矩的积分 = 旋涡阻力吸收的能量 + 船体旋转动能 + 附连水旋转动能

计入附连水的修正图和其他一些改进

当船舶刚离开滑道时，由于右舷受着拖曳力而引起的侧向力的作用，左滑道就被推压。拖曳力垂直于船台中线面的分量(D_N)，引起了滑道的反作用力(图9)。计算在四个滑程位置上进行，从而得出对应的反作用力 P 和 Q 的值如表：

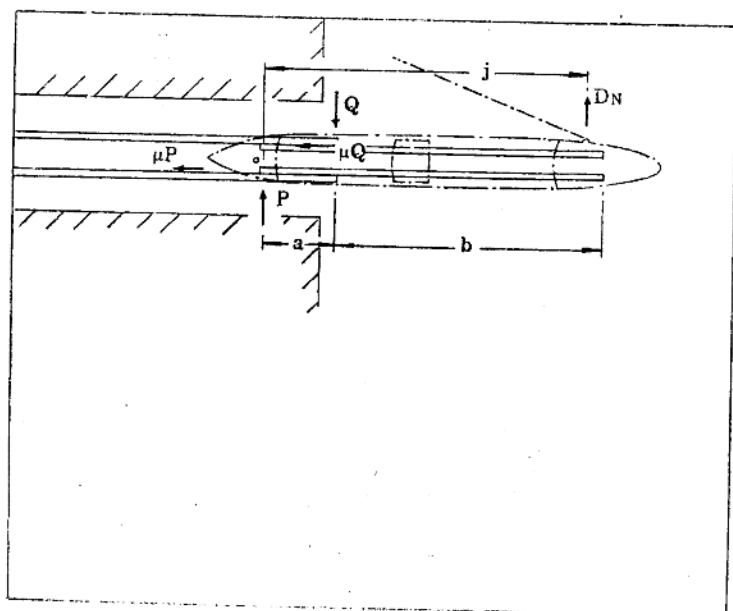


图9 垂直面内滑道滑板间摩擦力的计算

滑程 (呎)	358	452	534	610
P (吨)	24	137	625	(7478)
Q (吨)	46	198	743	(7630)
$\mu(P+Q)$ (吨)	0.7	5.4	22.1	(245)

滑道末端到滑板后端的距离=76呎

故，若船舶下滑距离为' s '呎，则 $b = (s - 76)$ 呎

滑板长度=545呎，故 $a = (545 - b)$ 呎

对'0'点取矩，

$$j \cdot D_N - aQ = 0$$

$$Q = \frac{j \cdot D_N}{a} \text{ (吨)}$$

$$\text{且, } P = (Q - D_N) \text{ (吨)}$$

$$\text{这样, 侧面摩擦力} = \mu(P + Q) \text{ (吨)}$$

在船舶下滑了575呎时，左滑道的最后几节被推压。假定与滑板滑道间的斜面摩擦系数相同，还有一个附加的摩擦力(译注：滑板、滑道侧面摩擦力)需要考虑。计算结果表明这一附加摩擦力消耗了2500吨呎的能量。修正后的受力图如图10现示。力在滑程0到215呎间的交错可归因于滑程时间记录的不正确。或者，假定滑动摩擦系数减小，取

$\mu=0.0114$ (常规计算取 $\mu=0.0162$)，这一交错可获矫正。滑程 550 呎处的相对较大的水阻力的“负值”(-130 吨)应该注意(水阻力符号变负是因为它已成为产生加速度的

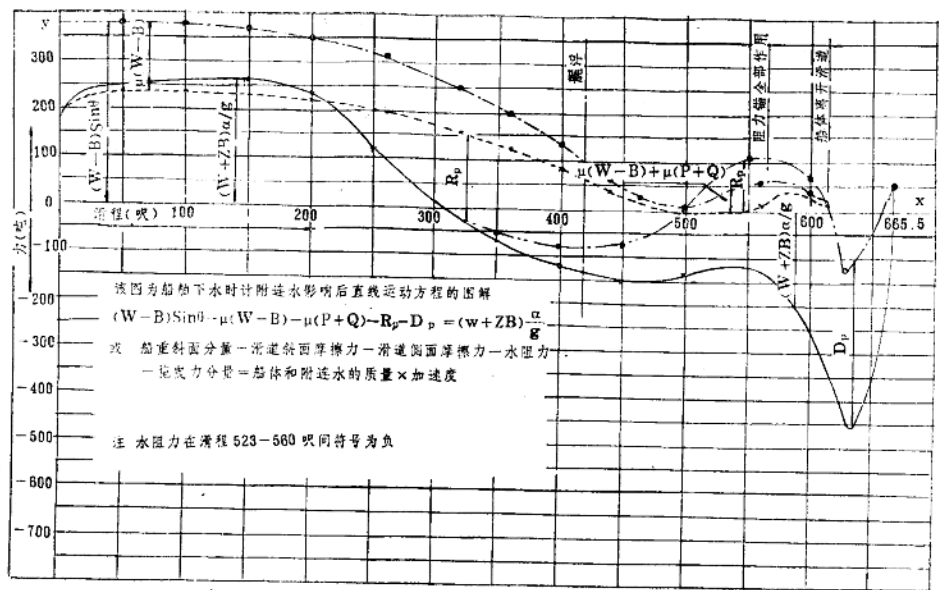


图 10 受力图 I

力)；这是因为船体被阻力锚猛烈地减速，附连水正在脱离船体，因而倾向于“将船体推向前去”。水阻力的最大值约为 130 吨，发生在滑程的 640 呎处。这未必可靠，因为那时船舶速度很低(7.6呎/秒)，并且，或许由于时间滑程记录不准确或拖曳力的估算错误。修正后的能量图如图 11 所示。必须承认，用以计算附连水的公式仅能得到 Z 值，因为没

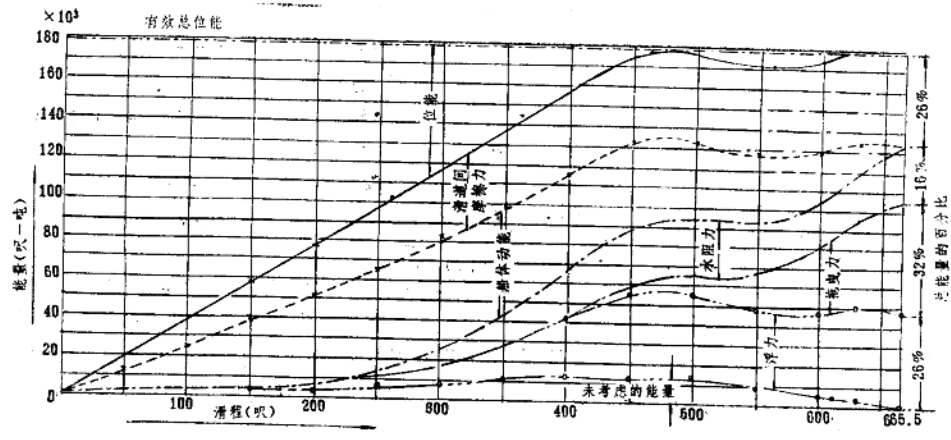


图 11 能量图 I

该图为下水时能量平衡的图解

$$E=W \cdot h=\int \mu(W-B) ds+\int \mu(P+Q) ds+\frac{WV^2}{2g}+\frac{ZBV^2}{2g}+\int R_p ds+\int D_p ds+\int D_N ds+\int Bdh$$

或, 船舶的能量=船舶和支架重量×船舶重心的高度差

=滑道斜面和侧面摩擦消耗的热能+船体动能+附连水动能+旋涡阻力吸收的能量+拖曳平行于船台中线面分量吸收的能量+拖曳力垂直于船台中心线的分量吸收能量+浮力吸收的能量

有附连水时和有 100% 附连水时被水阻力所吸收的能量的差值仅在前面一个区间(滑程 0 到 50 呎)是真实的, 到下一个区间(滑程 50 到 100 呎), 所吸收的能量的差值将受前一区间 ZB^* 吨附连水的影响。

作者对于应变仪或用以产生原始资料的方法没有经验, 因此对数据精度的局限性没有加以考虑。

作为这一分析的结果, 建议采用下列较为精确地表达下水的公式:

运动方程

(1) 船舶离开滑道之前

$$(W-B)\sin\theta-\mu(W-B)-\mu(P+Q)-R_p-D_p=(W+Z \cdot B) \frac{a}{g}$$

(这里假定 $\cos\theta=1$)

(2) 船舶离开滑道之后

(a) 船舶平行于船台中心线的直线运动

$$R_p+D_p=(W+Z \cdot B) \frac{a}{g}$$

(b) 船舶绕铅垂轴的转动

$$D_n \cdot d - T_w = (I_s + I_w) \dot{\omega}$$

能量平衡

$$W \cdot \Delta h = \int_1^2 Bdh + \int_1^2 \mu(W-B)ds + \int_1^2 \mu(P+Q)ds + (W+Z_2 \cdot B_2) \frac{V_2^2}{2g} - (W+Z_1 \cdot B_1) \frac{V_1^2}{2g} + \int_1^2 R_p ds + \int_1^2 D_p ds + \int_1^2 D_N dp$$

式中, Δh 是船舶重心在位置 1、2 间的落差, dh 是船舶浮心在位置 1、2 间的垂直增量。

转动的能量平衡:

$$\int_1^2 (D_n \cdot d) d\beta = \int_1^2 T_w d\beta + (I_s + Z_2' \cdot I_s) \frac{\omega_2^2}{2g} - (I_s + Z_1' \cdot I_s) \frac{\omega_1^2}{2g}$$

* 译注: 原文为 $^0/0B$ 。

历来估算下水滑程的一些方法

船舶下水过程中可以移动的距离受船台外水面宽度的支配,因此估算滑程时必须反过来进行,也就是“拖曳力的大小应取得使船舶行止在所允许的移动距离内”。每一船厂都对这一估算积累了自己的资料,并从很早时候起就已认识到所用阻力锚的重量应为船舶下水重量的一个已知分数,这是迄今还在许多厂中运用的一种方法。只要有适当的安全系数,这一方法是可行的;但是有些易变的因素人们不能控制,诸如用在滑道滑板间的油脂的摩擦系数,阻力锚和水底之间的摩擦系数以及滑道末端的水深等。目前所造的船舶越来越大,越来越长,这一安全系数被减小了,因此要求作进一步的考虑,以保证船舶顺利下水。

下一步将更科学地讨论下水过程。希尔豪斯¹(Hillhouse)教授描述了一个能量法。如果阻力锚重量和移动距离的乘积 $D \cdot m$ 以船舶重量和垂直下降距离的乘积 $W \cdot h$ 为横座标进行图示,则可得到如下的关系式:

$$D \cdot m = 1.5 \frac{(W \cdot h)^{1.2}}{40} \quad \pm 25\% \quad \text{对于商船。}$$

他总结指出,由于潮位高度、空气温度、水底条件等因素的变化,除非允许有 33 % 左右的可能变化,否则就不能安全地预示拖曳运动。

在特殊的下水过程中,模型试验对控制下水有重要的指导作用。^{2,3}

J.M. 麦克尼尔³(McNeill)推导了一个表达下水过程中能量平衡的一般方程,以便估算“玛丽皇后”号的下水运动(用锚链球作阻力锚):

$$\frac{W+D}{g} \cdot \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} = \frac{W-B}{g} \cdot g(\sin \theta - \mu \cos \theta) \cdot S - K \cdot B^{\frac{2}{3}} \cdot \frac{V_1^2 + V_2^2}{2} \cdot S - F \cdot D \cdot S - \frac{1}{2} \frac{d}{g} \cdot V_1^2$$

式中: D = 给定滑程上起作用的阻力锚重量;

d = 一对独立的阻力锚的重量;

s = 移动的间距或阻力锚之间的间距;

V_1 = 间距开始时的速度;

V_2 = 间距结束时的速度;

F = 阻力锚与水底的摩擦系数。

托平⁴(Tobin)推导了一个“观测速度—滑程”记录的数学表达式:

$$2\alpha + P \cdot V^2 = Q$$

式中,常量 P 是水阻力的大小, Q 是摩擦阻力的函数,从相应的曲线图中可得到它们与滑程对应的值。

本研究对估算水阻力的影响

没有一种方法能测量船舶下水时的水阻力。本研究中的水阻力是船舶在任一给定位置上平衡作用力时所需的一个差数。事实上，有两个不能测量的未知数，即水阻力和附连水的质量，也就是说要有两个方程来解这两个未知数——力的平衡和能量的平衡。

麦克尼尔³采用了下面的公式计算下水时的水阻力，

$$R_p = K \cdot B^{\frac{2}{3}} \cdot V^2 \quad (\text{符号与本文中所用的相同})$$

式中， K 对于特定的船是一个常量（玛丽皇后号 $K=0.001$ ）。

基思⁵ (Keith) 假定 $R_p = K' V^2$ ，当船在滑道上时，系数 K' 可由下式近似地定出：

$$K' = \frac{B^{2/3}}{C}$$

式中， C 是另一个随浮力而变的系数，其值可以以漂浮重量的百分比为横座标进行图示。

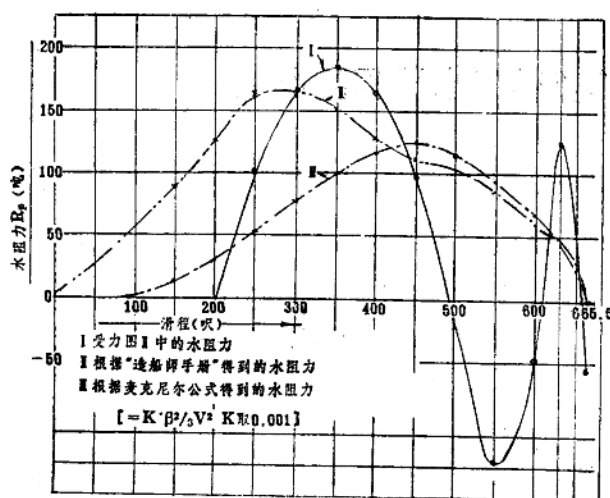


图 12 水阻力的估算

时候，即当船舶起动后 12 秒时，对滑道摩擦系数作了计算，必须注意，这一系数假定是一个常量，并且被用于滑道上整个滑行过程的计算之中——尽管这一假定是可疑的。图 10 也表明这一系数的值是较小的。水阻力也可能受船舶旋转的影响，但在船舶行止以前，转角是难以估计的（转角见附录 I）。

瑞杰力-纳维特 (Ridgely-Nevitt) 和安德森⁶ (Anderson) 给出了水阻力的估算值，与麦克尼尔和基思所提供的公式一样，这些值有类似的偏差。这些研究中没有有一个考虑了附

麦克尼尔公式和基思公式的水阻力如图 12 所示。与图 10 的水阻力相比，受力图 I（译注：即图 10）在计算中有一个明显的弱点。因为只有当船尾或下水架入水时，水阻力才开始作用（本下水在滑程为 0 呎，当 $R_p = -130$ 吨时，滑程为 550 呎，当 $R_p = 126$ 吨时，滑程为 630 呎，这些值同样未必可靠，下水完工资料所给的最大加速度是 170 呎/秒²，在滑程 640 呎处，这个值可能太大了些，而在滑程 550 呎处的计算值又太小了些）。

当加速度表明达到最大值的时候，

连水的影响。

麦克尼尔的模型试验³表明,表达式 $R_p = K \cdot B^{2/3} \cdot V^2$ 对于自由下水是有效的。当船舶滑入水中时,锁住的螺旋桨、水力制动器和下水架聚集了一“潭”水,这“潭”水然后随船移动。在船舶处于加速状态时,这一影响增加了水阻力。当阻力锚拖住船舶时,它们不能马上拖住这“潭”附连水,因此附连水脱离船舶。这样,当阻力锚使船舶减速时,附连水的影响使水阻力减小甚至变“负”。

影响与水有关的船舶速度的因素,似乎是附连水质量的改变和速度梯度的改变率。由于水阻力的明显的误差,没有一次尝试能推导一个以速度值 V 为变量的水阻力经验公式,但这个公式应具有这种形式:

$$R_p = K \cdot B^{2/3} \cdot [f(z, \alpha) \cdot V]^2 \quad \text{这里 } f \text{ 是函数符号。}$$

即使水阻力经验公式已经得出,如果用上面的形式表达,那么在估算滑程这方面,它的用途将受到限制。更实用的表达应该是基思采用的那种方法,即以漂浮重量的百分比为横座标对下列表达式中的系数 N 进行图解取值:

$$R_p = \frac{B^{2/3} \cdot V^2}{N}$$

必须看到,由于在船舶下水处的水流约束条件的不同,一个船厂与另一个船厂的水阻力将不相同,并且,同一个船厂中的两个船台的水阻力也可能不同。

本研究对估算船舶下水滑程的影响

乍看起来,对于忽视了附连水后的滑程的估算,在其加入了附连水后的总影响似乎由于更大的重量(船和水)被阻止而比原来的滑程要有增加,因为船舶在减速时(滑程为 303 呎后)所卷入的水质量要比船舶加速时的水质量大得多(图 13)。但是,能量守恒定理——水中没有加入能量,也不能取出能量——将能纠正这一模糊的想法。

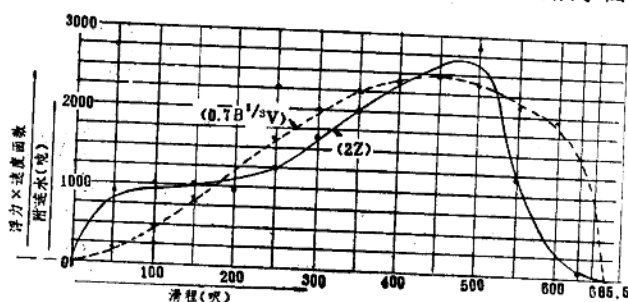


图 13 附连水的估算

看上去这种假设是合理的,即附连水的质量将是船舶在水中的总重量和船舶与未扰动水间的速度梯度的函数,也即附连水质量 $= f(B, V)$ 。这一函数 ($f = 0.7 B^{1/3} \cdot V$, 吨) 和 $Z \cdot B$ 吨都以滑程为横座标表示在图 13 中。

必须承认,下水是一个复杂的过程,并且为了精确估算滑程,应该找到一个尽可能接近准确表达下水的公式;精确的分析能够产生经验资料,这些资料可以充实这些公式。如