

36819

滑行艇的強度計算

Ю.А. ШИМАНСКИЙ 著

任 祥 年 譯

趙 聯 乡 校



中国人民解放军军事工程学院

一九五七年五月

目 录

緒 言	3
第 一 章 艇体总强度的計算	7
§ 1 計算的一般根据	7
§ 2 波浪冲击力的計算	9
1. 基本前提和假設	9
2. 冲击速度的計算	10
3. 波浪冲击力的計算公式	12
4. 确定波浪冲击力的一般步驟	16
5. 冲击力在艇体长度上的分佈	18
§ 3 計算波浪冲击力的例題	19
1. 原始数据	19
2. 首冲击时波浪冲击力的确定	19
3. 断級冲击时波浪冲击力的确定	24
§ 4 艇体断面的計算弯矩和剪力的計算	27
1. 慣性力的公式	28
2. 重力及水的支持力的考虑	29
3. 艇体断面中的計算力	30
§ 5 有断級滑行艇艇体断面中計算力的計算例題	33
1. 首冲击的情况	33
2. 断級冲击的情况	36
§ 6 无断級滑行艇艇体断面中計算力的計算例題	36
1. 首冲击的情况	36
2. 中断面处冲击的情况	39
§ 7 艇体断面中极限弯矩及极限剪力的計算	39
1. 极限应力 (危險应力) 规范	40

2. 縱構件的材料剛度的考慮	41
3. 間斷縱構件的考慮	43
4. 縱構件中開口的影響	47
5. 壓縮應力作用下的縱構件穩定的計算	48
6. 承受剪力的構件的穩定及其材料剛度的計算	51
7. 承受剪力的木艇體結構的極限剪切力的計算	52
8. 計算極限彎矩和剪力的一般步驟	55
§ 8 計算金屬艇體断面內之極限力的例題	59
§ 9 計算木艇體断面內之極限力的例題	63
§ 10 艇體總橫強度的審核	68

第二章 艇體局部強度的計算

§ 11 計算載荷的數值和性質	70
§ 12 許用應力規範	74
§ 13 艇體構架的強度計算	75
§ 14 艇體殼板的強度計算	80

第三章 附錄

§ 1 計算水衝擊力的公式	84
§ 2 計算艇體總橫強度的根據	88
§ 3 木艇體縱構件之對接的影響的考慮	91
§ 4 承受縱向壓力或拉力的殼板	92
§ 5 底部橫向斜升的影響	102
§ 6 木殼板在剪力作用下的工作情況	105
§ 7 釘子的剪切強度	112
§ 8 邊為自由支持的混合殼板的彎曲	115
§ 9 邊為固定拘束的混合殼板的彎曲	120
§ 10 作用于艇體殼板和肋骨上的動水壓力的計算公式	128
§ 11 艇體表面上任一點的角度關係式的推导	130

目 录

緒 言.....	3
第 一 章 艇体总强度的計算.....	7
§ 1 計算的一般根据.....	7
§ 2 波浪冲击力的計算.....	9
1. 基本前提和假設	9
2. 冲击速度的計算	10
3. 波浪冲击力的計算公式	12
4. 确定波浪冲击力的一般步驟	16
5. 冲击力在艇体长度上的分佈	18
§ 3 計算波浪冲击力的例題.....	19
1. 原始数据	19
2. 首冲击时波浪冲击力的确定	19
3. 断級冲击时波浪冲击力的确定	24
§ 4 艇体断面的計算弯矩和剪力的計算.....	27
1. 慣性力的公式	28
2. 重力及水的支持力的考虑	29
3. 艇体断面中的計算力	30
§ 5 有断級滑行艇艇体断面中計算力的計算例題.....	33
1. 首冲击的情况	33
2. 断級冲击的情况	36
§ 6 无断級滑行艇艇体断面中計算力的計算例題.....	36
1. 首冲击的情况	36
2. 中断面处冲击的情况	39
§ 7 艇体断面中极限弯矩及极限剪力的計算.....	39
1. 极限应力(危險应力)规范	40

2. 縱構件的材料剛度的考慮	41
3. 間斷縱構件的考慮	43
4. 縱構件中開口的影響	47
5. 壓縮應力作用下的縱構件穩定的計算	48
6. 承受剪力的構件的穩定及其材料剛度的計算	51
7. 承受剪力的木製結構的極限剪切力的計算	52
8. 計算極限彎矩和剪力的一般步驟	55
§ 8 計算金屬艇體断面內之極限力的例題	59
§ 9 計算木艇體断面內之極限力的例題	63
§ 10 艇體總橫強度的審核	68
第二章 艇體局部強度的計算	
§ 11 計算載荷的數值和性質	70
§ 12 許用應力規範	74
§ 13 艇體構架的強度計算	75
§ 14 艇體殼板的強度計算	80
第三章 附錄	
§ 1 計算水衝擊力的公式	84
§ 2 計算艇體總橫強度的根據	88
§ 3 木艇體縱構件之對接的影響的考慮	91
§ 4 承受縱向壓力或拉力的殼板	92
§ 5 底部橫向斜升的影響	102
§ 6 木殼板在剪力作用下的工作情況	105
§ 7 釘子的剪切強度	112
§ 8 邊為自由支持的混合殼板的彎曲	115
§ 9 邊為固定拘束的混合殼板的彎曲	120
§ 10 作用于艇體殼板和肋骨上的動水压力的計算公式	128
§ 11 艇體表面上任一點的角度關係式的推导	130

緒 言

滑行式艇，它不同于一般形式的排水艇，其特殊的特征是在它的底部作用着，由于較大的航速和艇体的特殊形狀所引起的动水力。这样，就使得滑行艇在全速航行时，可以大大的改变其吃水和傾差；这种艇体的特有形狀的特点，是在舳艫以下的底部区域，有很大的向外傾斜外形，該区域上的縱剖綫也有很大的傾斜形狀。

由于上面这种原因，作用在艇底的动水压力的方向，將接近于艇底的法綫方向。因此，艇在减少其吃水和增加尾傾差的同时，就从水中突出。这样，相应的减少了滑行艇的运动阻力，因而能增加艇的速度。

但是，上面所提到的滑行艇艇底的特殊形狀，从艇的运动阻力观点来看是有利的，而从艇体的强度观点来看，是非常不利的。

艇底的首部区域，它由于具有上述的傾差形狀；所以在航行时，是在水面以上；因此，这个艇底区域遭受巨大的波浪冲击力的作用，因为这些力的方向，是接近于艇底的法綫方向，所以这些力不仅对于滑行艇的局部强度是危险的，而且对于其总縱强度也是危险的。波浪对艇底的冲击，或更确切的說，艇底与波浪的相互冲击，是如此的巨大和严重，以至于在某些情形下，它能限制滑行艇在一定海面情况下的可能达到的最大速度；为了緩和这种冲击力的作用，有时不得不降低艇的速度；因这种冲击不仅对于艇上的人员是不能忍受的，而且对于艇体的局部强度，总强度以及设备的完整性都是危险的。

滑行艇艇底的这种外形，从其純航行性能的观点（即在靜水中获得更大的航速）来看，是最有利的。而从艇的航海性能（即在波浪中發揮滑行艇的全速）的观点来看，可能不太有利。因此，滑行艇的航速可能是被对于艇体的局部強度或总強度；以及其對设备有危險的巨大波浪冲击力和与其相应的慣性力限制着。

因之，在确定最合适的滑行艇体外形时，不仅要适当地考虑这些外形的性質对經常的航行性能的影響，而且还要考虑对航海性能的影響。这正如以上所指出的，航海性能在很大的程度上是取决于艇体的強度，以及艇在逆浪全速航行时所获得的最大加速度及与其相应的慣性力的數值。

由以上所述，滑行艇体与一般排水艇体的工作条件的原則差別以及各种形狀的艇体应滿足的要求間的原則差別已显得非常明显。因此，滑行艇艇体的強度，除了滿足排水艇艇体強度的一般要求外，还必需考虑到当滑行艇逆浪全速航行时所承受最大波浪冲击力的作用。

可以肯定的說，到目前为止在实际造船中，还没有制定出經過充分研究的和有严整根据的方法来計算滑行艇艇体的強度。在我們的和外国的技术書籍里有一系列的研究水上飞机浮筒的著作，其中也含有理論或实验性質的材料，以及在这些材料的基础上綜合起来的某些实践的結論。有人建議在計算滑行艇体強度时可以部分的使用这些材料和結論。因为滑行艇体的工作条件与水上飞机浮筒体在起飞和降落时的工作条件是类似的。但是所有这些材料和建議还不能完全可靠地滿足滑行艇制造上的实际要求；今后必須以适合使用的理論研究結果，实验的結果对这些材料繼續补充和修正。

由于現在缺少为制定可靠的理論和計算各种型式的滑行艇所必須詳尽的理論和实验資料，还不得不用純近似的計算方法。与此相同，在实际造船中的許多其他类似的情形，也是这样作的。

在本書中要敘述的是断級式或无断級式的金屬艇体和木質艇

体強度計算的近似方法。这个方法的實質如下：

根据所討論的結構的工作条件的分析，可以很可靠地确定出决定此結構变形的所有主要因素的影嚮的性質和程度，由此，定出必須的計算公式，以便以一定的可靠程度来考虑这些因素对結構变形的相对影嚮，然后将这样的近似計算公式用于已造好的和在实际中考驗过的結構上去，并对所获得結果作出适当的綜合对比，这样，就可以对这些近似計算公式选择出在实际中經過审查的可靠的数值系数。为了使上述的強度近似計算法繼續发展，应当逐步地积累这方面的理論和实际材料，以便根据这些材料来更完滿，更正确和更准确的估計决定結構变形的全部因素对結構变形的影嚮。并且在此基础上对近似計算公式引入相应的修正。

与任何其他形式的船相比，滑行艇体的強度，在更大程度上，不仅是决定于可能經過适当計算的承载構件的尺寸，而且还取决于構件設計的正确性和艇体建造时各構件完成的准确性。

实际證明，所发现的滑行艇艇体总強度或局部強度的破坏的首要原因，正是由于純設計和生产性質的錯誤。所以在設計滑行艇艇体时，特別是木艇体时，不应过高地估計強度計算的作用和意义。对其多余的重視，在艇体施工設計中，会妨碍对重要的結点在生产上和結構上的周密考虑。在設計滑行艇体时，強度計算的作用和意义，只限于在有經驗的設計師对重要的構件进行适当的結構鑑定以后对上述各重要構件的主要尺寸近似进行逐步的檢查。

以上的敘述对木艇体的滑行艇來說，适当地設計鑑定和在生产上正确的完成木艇体結構構件的各种连接具有重要的意义。同时不仅要考虑到作用在这些結構上的力的交变性質，而且还要考虑到在艇的使用条件下所能产生的木材湿度变化的不利影嚮。

在解决設計木艇体过程中所产生的設計問題时，要应用在这方面已有的实际經驗，和飞机制造以及其他应用木結構的技术中木結構的設計經驗。

本書中所引的数值計算值題，以及在第Ⅲ章 § 11 中的艇体表面角的关系式的結論，是由科学研究员Л.Г.馬尔果娃姪和П.С.索尔沃科完成的。

第一章

艇体总強度的計算

§ 1. 計算的一般根据

1. 应用艇在逆浪全速航行时，作用在艇体上的最大力，来計算艇的总強度。这些力在艇体的某些部分上，是作为波浪与艇底相互冲击的集中力的形式，和波浪在艇体上的作用而产生的加速度所引起的艇的分布的質量慣性力的形式出現的。

如果已知了波浪冲击力的数值和位置，那么就可以計算与这些力相对应的艇的質量慣性力，以及艇体断面的弯矩和剪力对計算所要求的可靠程度和精确度，是和計算一般排水船之船体強度所要求的一样。因此在計算滑行艇之总強度的基本困难，是在于确定波浪与艇底的冲击力。

在解决这个問題时，我們尽可能正确和完滿的来考虑决定这个力的一些因素对此力的影響，这些因素是艇的速度及艇的尺寸和重量，以及艇体外型的特殊性；致于其他的对这个力的数值有很大影響因素，如在波浪冲击时艇的傾差角和波浪冲击力作用的長度和波浪元素，都是未知的，那末我們根据某些接近的，但是純屬近似的假設可以給出这些因素。

用这种方法所获得艇体断面中的計算力，自然与最不利条件下艇在波浪中航行时，所获得这种力的实际最大值有很大的差別。

可是，这里对同一型式的(断級或无断級)各种艇的計算誤差是保持着同样或极相近，因为在确定計算力时，是用同一方法

来考虑影响这些数值的上述各基本因素。根据这些，我们可以写出下列两个对比艇之断面弯矩的最大计算值 M_p 和最大实际值 M_d 间的关系式：

$$\left. \begin{aligned} M_{1d} &= kM_{1p} \\ M_{2d} &= kM_{2p} \end{aligned} \right\} \quad (a)$$

其中 k ——决定艇体断面之计算弯矩值和实际弯矩值间之差别的未知系数。

为了使对比艇是等强度的艇，显然，必须使实际弯矩 $M_{1,2d}$ 和极限弯矩 $M_{1,2np}$ 间有相同的比例，即在此种弯矩的情形下，艇体断面内产生的应力，能够破坏艇体构件的完整性和引起不允许变形，刚才所说的应力应做为所讨论的艇体结构和材料的危险应力，这个等强度条件可变为如下形式：

$$\left. \begin{aligned} M_{1d} &= KM_{1np} \\ M_{2d} &= KM_{2np} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

其中 K ——是一个未知系数，它表示艇体对极限应力的强度贮量。

比较(a)和(6)可以得到

$$\frac{M_{1np}}{M_{1p}} = \frac{M_{2np}}{M_{2p}} = n$$

用同法，根据对比艇的等强度条件，应有

$$\frac{Q_{1np}}{Q_{1p}} = \frac{Q_{2np}}{Q_{2p}} = m$$

其中 $Q_{1,2np}$ 和 $Q_{1,2p}$ → 艇体断面剪力相应的极限值和计算值，

2. 根据上面所获得的两个等强度条件同时利用在艇体强度方面表现很好的，且在型式上接近的母型艇。可进行新设计的滑行艇的总纵强度的计算。

这些条件使得有可能对一些已造好的和已经经过实际实验的各种型式的滑行艇艇体的强度进行比较，并且根据这个比较结果选择合适的 n 和 m 的数值以作为经常遵守的实际标准。

根据这方面的研究，我们对上述标准提出下列的 n 和 m 值其

中与确定 n 及 m 数值有关的計算弯矩及計算剪力和极限弯矩及极限剪力的全部計算，是根据后面的例题中所闡明的方法来完成的。

艇的型式	艇体材料.....	n	m
断級式的	金屬材料.....	4	3
	木質材料.....	3	2
无断級式的	金屬材料.....	4	3
	木質材料.....	3	2

§ 2. 波浪冲击力的計算

1. 基本前提和假設

由已有的楔形投入体（落体）与水之冲击現象的理論研究而導出的計算公式，經過实验檢查，證明是充分精确地符合于实际情况。由物体与靜水面垂直冲击的情形所導出的公式，也可用来計算波浪与高速航行在波浪海面上的艇底之冲击力。同时，在应用这些公式来計算波浪在艇底的冲击力时，必須採取一系列的假設，採取这些假設以后，用此法所得到的計算公式具有条件性：这些公式还可以做为計算冲击因素（如航速、艇体外形，艇的尺寸和艇重量在量度上的分布）对波浪与艇底的相互冲击力之影響的充分可靠的工具。

在应用由投入体与水的垂直冲击情形所導出的理論公式时所必須採取的基本假設、在于任意的選擇公式中所含的冲击長度，即在冲击时艇底与水相接触部份的長度。

这个冲击長度，自然是作为艇的某一部份長度来确定；我們將这个計算冲击長度，無論是在首部冲击时，或在艇的中部区域冲击时，均取为等 $\frac{1}{10}$ 艇長。即 $l_{\text{冲击}} = \frac{1}{10} L$ 。

在应用投入体与水的冲击理論的結論时，所必須採取的第二假設，是与确定滑行艇在波浪冲击时的傾差角有关。这个傾差角自然应認為大于滑行艇在靜水中全速航行时的正常傾差角，并且

以求考虑到滑行艇在波浪中航行时产生不可避免的縱搖，故取艇的計算傾差角，为艇在靜水中全速航行的正常傾差角的三倍。

2. 冲击速度的計算

在計算投入体与水之冲击力的公式中，含有物体与水接触时的垂直速度的平方，在此种情形，此速度应取最大航速在垂直于滑行艇之龙骨綫方向的分速，或更确切的說，是在冲击时最大航速在艇体与水相接触部份(图 1)之中剖綫的垂直方向的分速度，即



图 1

$$v_{\perp} = v_{max} \sin \psi$$

其中 v_{max} ——艇的最大航速；

ψ ——中剖綫与水平方向的夾角。

同时，为了周密的考虑艇的速度对波浪冲击力的影响，甚至必須考虑波浪运动中水本身的速度。虽然这个速度比起艇的最大速度是不大的，但可能由于水的运动方向是接近于垂直方向，因此这个影响是很重要的。

在图 2 上表示出水波运动时水质点的速度在水波各个位置的方向。这个速度等于

$$v = \omega r = \sqrt{\frac{2\pi g}{l}} \frac{h}{2} = \sqrt{\frac{\pi g}{2}} \frac{h}{\sqrt{l}} \approx 3.9 \frac{h}{\sqrt{l}}$$

其中 $h = 2r$ ——波高；

l ——波長；

ω ——水質点的运动角速度。

在波的最大斜面点3上，这个速度的方向是垂直向上的，而在波峯点1上，是沿与艇的航速相反的水平方向，中点2上的速

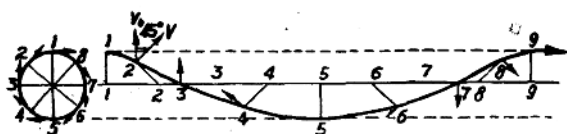


图 2

度的垂直分速度等于

$$v_n = v \sin 45^\circ = 0.707v.$$

取波長約等于艇長的一半 ($l \approx \frac{1}{2}L$)，取波高約等于波

長的1/6 ($h \approx \frac{1}{6}l = \frac{1}{12}L$)，我們將获得水之垂直分速度，等于

$$v_n = 0.707 \times 3.9 \frac{h}{\sqrt{l}} = 0.707 \times 3.9 \frac{L}{12} \sqrt{\frac{1}{2}} = 0.3 \sqrt{L} \text{ 公尺/秒}$$

垂直等于中剖綫方向的水的速度等于

$$v_1 = v_n \cos \psi$$

因此，水冲击的計算速度將取其等于

$$v_p = v_{\max} \sin \psi + 0.3 \sqrt{L} \cos \psi \quad (1)$$

式中 $v_{\max}$ ——艇的全速；

L ——艇的全長；

ψ ——中剖綫的切綫与水平綫的夾角。

若考虑到在縱搖时艇的傾差角为艇在靜水中的正常傾差角的三倍，在計算中， ψ 角的值应取为 (看图 1)

$$\psi = 3\theta + \delta, \quad (2)$$

其中 θ ——艇在靜水中航行时的傾差角，等于艇的縱軸与水平綫間的夾角；

δ ——中剖綫之切綫与艇的縱軸間的夾角。

3. 波浪冲击力的計算公式

应用由上述資料中对水上飞机降落时所导出之水的冲击理論之結論，来計算在波浪冲击区域垂直于艇体中剖綫方向作用于滑行艇底的最大波浪冲击力，可以应用如下的公式：

$$N_{\max} = 2.1 \varphi \sqrt{\left(1 - \frac{\beta}{\pi}\right)} l p_{np} \frac{f(u)}{u} v_p^2, \quad (3) \text{ (註)}$$

其中 v_p ——公式①确定的冲击計算速度；

p_{np} ——屬於水冲击区域的艇之重量，等于

$$p_{np} = p \frac{1}{1 + \frac{r^2}{\rho^2}} \quad (4)$$

r ——对于艇重心的冲击力臂（見圖 1）；

ρ ——对于通过艇重心的橫軸之慣性半徑；

l ——冲击長度，即底受水冲击的一段長度；長度 l 取为艇

長的 $\frac{1}{10}$ ($l = \frac{1}{10} L$)；

φ ——考虑冲击長度 l 与在形成最大冲击力 $N_{\max}$ 时入水部份的底寬度 B_1 間之比值影響的系数（圖 3）。

寬度 B_1 由如下公式确定：

$$B_1 = 0.0225 \sqrt{\frac{p_{np}}{\left(1 - \frac{\beta}{\pi}\right) l}} = 0.070 \sqrt{\frac{p_{np}}{\left(1 - \frac{\beta}{\pi}\right) l}} \quad (5)$$

（註）艇的縱軸認為是極接近于艇体橫断面面积重心位置的直綫。

見附录第 I 章 § 1。

系数 φ 之数值

表 1

$\frac{B_1}{l}$	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
φ	1	0.90	0.83	0.77	0.72	0.68	0.65	0.62

$\frac{B_2}{l}$	0.8	0.9	1.00	1.20	1.40	1.60	1.80	2.00
φ	0.58	0.55	0.52	0.50	0.44	0.41	0.39	0.36

表 1 中之系数 φ 值，与 $\frac{B_1}{l}$ 之比值有关，公式 (3) 中包含用来考虑波浪冲击区域上艇底的构造形状的其他数值 $B, f(u), u$ 可由下列关系式决定：

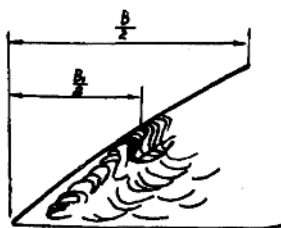


图 3

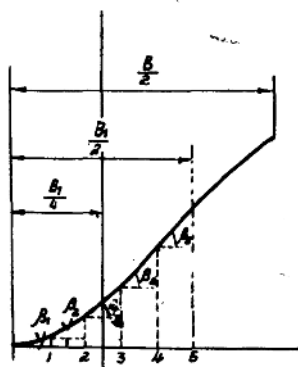


图 4

$$\beta = \arctg \frac{\pi}{2} u \quad (6)$$

$$f(u) = 1 - \frac{\beta}{\pi} - \sqrt{0.06 u}; \quad (7)$$

$$u = \frac{2}{\pi} (\alpha_1 \operatorname{tg} \beta_1 + \alpha_2 \operatorname{tg} \beta_2 + \dots + \alpha_n \operatorname{tg} \beta_n), \quad (8)$$

其中 $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ ——图4中由半宽 $\left(-\frac{1}{2} - \beta_1\right)$ 所分成的各段艇底的倾斜角；选择段数 n 时，应使它充分地考虑到底的外形特征

$\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ ——数值系数，对于所选择的不同的 n 值时的系数值，已附于表2

附表 2

Π	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
β_1	1.0	0.135	0.135	0.135	0.135	0.135	0.135	0.135	0.135	0.135
β_2		0.865	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120
β_3			0.745	0.084	0.084	0.084	0.084	0.084	0.084	0.084
β_4				0.661	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061
β_5					0.600	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047
β_6						0.553	0.036	0.036	0.036	0.036
β_7							0.517	0.032	0.032	0.032
β_8								0.485	0.025	0.025
β_9									0.460	0.024
β_{10}										0.436