浮体的浮心在哪里

□ 徐 杰　赵德军

(沈阳市苏家屯区　辽宁·沈阳　110101)

摘要:淹没在流体(气体和液体)中的物体,受到流体静压力向上的合力称为浮力。浮力的作用点被称为浮心,依据《水力学》的基本原理,运用《理论力学》的研究方法,对在水中的几个典型物体进行受力分析,求出了浮心的正确位置,证明物体的浮心在排水体积形心所在的垂线上,但很少与排水体积的形心重合;这就是说,一般浮体排水体积的形心不是浮心。浮心的位置与浮体被淹没在水下部分的表面形状和几何尺寸有关,因此改变浮体浸水部分的表面形状和几何尺寸,可以改变浮心的位置,并可提高浮体的稳定性。

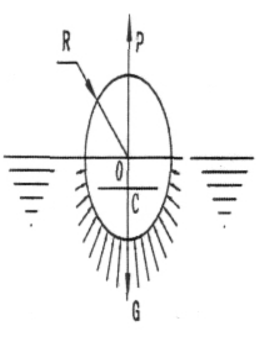
关键词:浮力　浮心　形心　浮体　静水压强

中图分类号:G804　　文献标识码:A　　文章编号:1007-3973(2007)11-047-3

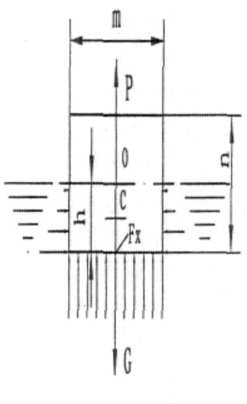
1 浮心在哪里

(1) 假设有一重度为水的重度之半的木质圆球漂浮在水面,如简图 1 所示。试求此木圆球的浮心在哪里?

根据《水力学》静水压强的特性,"静水压强的方向与受压面垂直并指向受压面",淹没在水下半个木圆球表面受到水的压力,所有各点所受的压力都垂直圆球的表面,指向球心 O 点,并在 O 点合成一个向上的合力(即浮力)P,所以球心 O 点就是浮心,O 点恰好在水的表面上,并不在水下排水体积的形心 C 点;但浮心 O 点在 C 点所在的垂线上。



简图 1



简图 2

(2)假设有一重度为水的重度之半的长方体木块,长度为 b(b=50cm)、断面宽为 m(m=30cm),高为 n(n=20cm)的矩形,平放在水中。试求此长方体木块的浮心在哪里?

这个木块一半在水面之上,另一半被淹没于水下,受力情况如简图 2 所示,其上表面和四个侧面没与水接触的部分不受水的压力;四个侧面都与水面垂直,所受的水平压力相互抵消;下底面受到向上均布的压力,下底面的中心 Fx 点是这些压力之合力(即静水总压力)P 的作用点,所以 Fx 点是这长方体木块的浮心。

当水的重度为 γ,下底面的深度为 h,下底面处的压强则为 $p=\gamma h$

下底面的面积为 A,木块所受的浮力为 P

$$P=pA=\gamma hA \qquad (1\text{-}1)$$

木块受到的浮力是水通过与木块底面接触作用给木块的,式(11)表明浮力的大小与接触面的面积成正比,所以浮力是表面力。而 hA 又是木块排水的体积,所以浮力与排水体积成正比。排水体积的形心 C 点在下底面之上 5cm 处,即 C 点在浮心 Fx 点之上,所以排水体积的形心不是浮心;但浮心在排水体积的形心所在的垂线上。

(3)假设有一个重度为水的重度之半,长度为(b=80cm),断面为菱形,菱形的底夹角为 $2\beta(\beta=60°)$,边长为 L(L=30cm)的木棱柱,平放在水中,其中部断面如简图 3 所示,试求这个木棱柱的浮心在哪里?

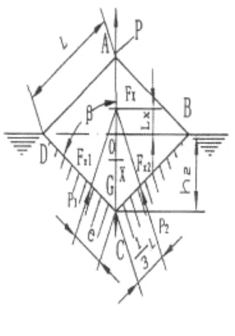
这个木棱柱上部没与水接触,不受到水的压力;两个端面与水面垂直,接触水的部分所受水的压力相互抵消;剩下底部两个斜面都是矩形平面,上部的棱线(B 和 D)在水面,水的深度为 0,下部棱线(C)的水深为 h $(h=L\cos\beta=15cm)$;这两个矩形平面上的压强为三角形分布,依据《水力学》作用在矩形平面上静水总压力的计算公式,两个矩形平面上的静水总压力 P_1 和 P_2 的作用点(即压力中心)离底部的距离均为

$$e=L/3=10cm \qquad (1\text{-}2)$$

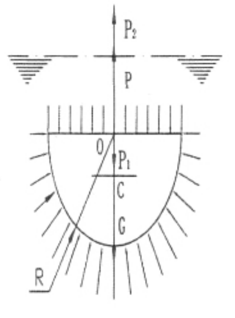
P_1 和 P_2 的作用线分别与其作用的矩形平面垂直,并相交于 Fx 点,所以 Fx 点是 P_1 和 P_2 的合力 P 的作用点,是这个木棱柱的浮心。浮心 Fx 点在水面之上,距水面的距离为 Lx

$$Lx=e/\cos\beta-L\cos\beta=5cm \qquad (1\text{-}3)$$

而木棱柱排水体积形心 X 点在水下,显然木棱柱排水体积的形心不是浮心;但浮心 Fx 点在排水体积形心 X 点所在的垂线上。由简图 3 中可以看出,当底部夹角改变时,浮心将随着改变,底部夹角增大,浮心提高;底部夹角减小,浮心降低。



简图 3



简图 4

(4)假设有个半圆球重度与水的重度相等，淹没在水下，半圆球的上平面与水面平行，其中部断面如简图 4 所示，试求这个半圆球的浮心在哪里？

这个半圆球的上平面是与水面平行的一个圆，受到向下均布的静水压力，其合力 P 的作用点在圆心（即球心）O 点，根据静水压强的特性，球的下部球表面上所有各点所受到的静水压力都垂直并指向球的表面，即指向球心 O 点，其合力 P2 的作用点也在球心 O 点；所以球心 O 点也是 P1 和 P2 的合力 P 的作用点，即球心 O 点是这个半圆球的浮心。这个全部淹没于水下的半圆球排水体积的形心 C 点不是浮心；但 C 点与浮心 O 点在同一条垂线上。

显然，如果重度与水重度相等的圆球形物体全部淹没于水下，球表面所受的静水压力都指向球心，其浮心在球心（即排水体积的形心）；如果圆球漂浮在水面，其浮心也在球心 O 点，而不在排水体积的形心 C 点。这就是说，圆球形物体不论漂浮在水面，还是淹没于水下，它的浮心都在球心。

上述几个实例证明，物体不论是漂浮在水面，还是完全淹没于水下，其浮心都在物体排水体积形心所在的垂线上，但浮心很少与排水体积的形心重合，所以一般物体排水体积的形心不是浮心。物体所受的浮力是表面力，物体浮心的位置与其淹没在水下部分的表面形状和几何尺寸有关，因此，改变物体浸水部分的几何形状，可以改变浮心的位置。

2 浮体的平衡及其稳定性

我们把漂浮在水面的物体称为浮体，而把完全淹没于水中的物体称为潜体。潜体的平衡及其稳定性《水力学》书中讲得很正确。下面，依据《水力学》的原理和《理论力学》的研究方法，仅对几个典型浮体的平衡和稳定性试验和分析如下：

(1) 把一个断面为正方形的长方体木块，平面朝上平放在水中。假设木块的重度为水的重度之半，试问：当这木块平衡时，是棱线朝上？还是平面朝上？

假设这木块的长度为 b(b=80cm)，正方形断面的边长为 m(m=30cm)，在外力作用下逆时针转 β(β=10°)角，其中部断面如简图 5 所示，左、右两边与水面交点分别为 E 和 K，这个木块淹没在水面以下的三个矩形平面上，所受到的静水总压力 P1、P2 和 P3 的大小、方向和作用点，可依据《水力学》作用在矩形平面上静水总压力的计算公式求出：

$$P=\gamma(h1+h2)bL/2 \qquad (2-1)$$

式中：γ为水的重度，γ=9.8KN ?m3

h1 和 h2 分别为矩形平面上棱线和下棱线的水深，

B 棱线的水深 $h1=(m/2)\cos\beta-(m/2)\sin\beta=12.2cm$

C 棱线的水深 $h2=(m/2)\cos\beta+(m/2)\sin\beta=17.4cm$

b 为矩形平面的长度，b=80cm

L 为矩形平面的宽度：

EB 矩形平面的宽度 $L_1=m/2-(m/2)\tan\beta=12.4cm$

BC 矩形平面的宽度 $L_2=m=30cm$

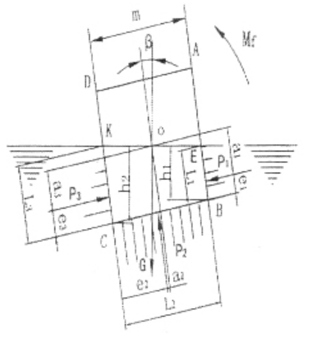
Ck 矩形平面的宽度 $L_3=m/2+(m/2)\tan\beta=17.6cm$

通过计算，这三个矩形平面上的静水总压力分别为：

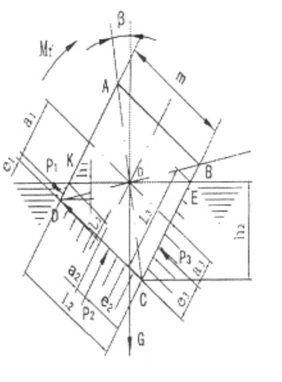
$P_1=0.06KN$

$P_2=0.35KN$

$P_3=0.12KN$



简图 5



简图 6

E 点和 K 点都在水的表面上，水深为 0，所以 EB 和 CK 这两个矩形平面上的压强为三角形分布，平面的宽度分别为 L_1 和 L_3，这两个平面上的静水总压力 P_1 和 P_2 的作用点（即压力中心）到其底部棱线的距离分别为：

$$e_1=L_1/3 \qquad (2-2)$$

$$e_3=L_3/3 \qquad (2-3)$$

BC 这个矩形平面上的压强为梯形分布，平面的宽度为 L_2，静水总压力 P_2 的作用点到其底部棱线的距离的计算公式为：

$$e_2=L_2(2h_1+h_2)/[3(h_1+h_2)] \qquad (2-4)$$

将有关数据代入后整理得：

$e_1=4.1cm$

$e_2=14.1cm$

$e_3=5.9cm$

P_1, P_2 和 P_3 的作用线到木块的中心线 O 的距离分别为：

$a_1=L_1-e_1=10.9cm$

$a_2=L_2-e_2=0.9cm$

$a_3=L_3-e_3=9.1cm$

P_1、P_2 和 P_3 对木块中心线 O 的力矩分别为 M_1、M_2 和 M_3，

$M_1=P_1a_1=6.54Nm$

$M_2=P_2a_2=3.15Nm$

$M_3=P_3a_3=10.92Nm$

这三个力矩的合力矩：$Mf=(M_1+M_2)-M_3=-12..3\ Nm$ (2-5)

这个合力矩 Mf<0，说明力矩 Mf 与外力矩方向相同，使木块顺着外力矩作用的方向继续转动，将使 A 棱线朝上。

通过实验和计算，当这个长方体木块的 A 棱线朝上，再将这木块绕其中心线 O 逆时针转 β角（β=10°），如简图 6 所示。同理(计算过从略)计算结果为：Mf=2.15Nm

Mf>0，这表明力矩 Mf 与外力矩的方向相反，当外力矩消除时，木块将在力矩 Mf 的作用下，恢复 A 棱线朝上的稳定平衡状态。因此，把这个力矩 Mf 称为扶正力矩。

(2)假设长方体木块的断面为矩形，边长分别为 m×n=30cm×20cm，长度为 b(b=100cm)重度为水的重度之半，平面朝上平放在水面。在稳定平衡时是棱线朝上？还是平面朝上？

根据静水压强的特性，运用《水力学》作用在矩形平面上静水总压力的计算公式，将木块顺时针转动 β角（β=10°）如简图 7 所示。求木块淹没在水中的 EB、BC 和 CK 三个矩形平面所受的静水总压力 P_1，P_2 和 P_3（计算过程简略）及其对木块的合力矩 Mf

P_1=0.026 KN

P_2=0.29KN

P_3=0.077KN

再求这三个静水总压力 P_1、P_2 和 P_3 对木块中心线 O 的力矩 M_1，M_2 和 M_3：

M_1=1.95Nm

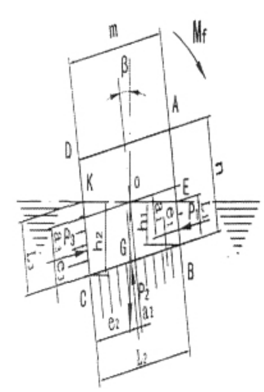
M_2=3.77Nm

M_3=4.47Nm

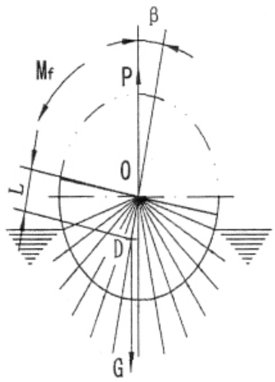
这三个力矩的合力矩为 Mf：

$Mf=(M_1+M_2)-M_3=1.3Nm$

Mf>0，说明这个合力矩 Mf 与外力矩的方向相反，抵抗外力矩；当外力矩消除时，使木块恢复平面朝上的稳定平衡状态。故称力矩 Mf 为扶正力矩。



简图 7



简图 8

通过试验、分析和计算，发现当长方体木块断面浸水部分的宽度与深度之比大于 2.5 时，其扶正力矩大于零。宽深比越大，扶正力矩也越大；宽深比小，扶正力矩也小；当宽深比小于 2.4 时，扶正力矩为负值。这就是说，当木块宽度与深度之比小于 2.4 时，扶正力矩 Mf 同外力矩作用的方向相同，共同使浮体侧倾。这是有些船舶触礁受损后，进水下沉使宽深比减小，然后倾倒沉没的一个重要原因。

(3)有一个断面半径为 R（R=20cm），长度为 L(L=80cm)，重度为水的重度之半的木质半圆柱平放在水中。试求当其侧倾 β角（β=10°）时（如简图 8 所示）的扶正力矩？

这个半圆柱漂浮在水面，两个端面与水面垂直，所受的静水压力相互抵消；浸水部分的圆柱表面所受的静水压力的作用线都相交于圆柱的中心线，该中心线的中点 O 是这个半圆柱所受静水压力之合力（即静水总压力）P 的作用点，即 O 点是浮心。静水总压力 P

P.=G

这个静水总压力 P 的作用点（即浮心）O 到这个半圆柱的重心 D 点的距离为 L

$$L=3R/8 \qquad (2-6)$$

当这半圆柱顺时针侧倾 β（β=10°）角时，其中部断面受力情况如简图 8 所示，浮心 O 点向右移，重心 D 点向左移，这时作用在浮心 O 点的浮力 P 与作用在 D 点的重力 G 分别作用在通过 D 点和 O 点的两条垂线上，对这个半圆柱形成一个力矩 Mf

$$Mf=GL\sin\beta \qquad (2-7)$$

由简图 8 可知，力矩 Mf 与外力矩方向相反，抵抗外力矩，减少倾斜；当外力矩消除时，使半圆柱回正。因此称其为扶正力矩。由式（2-7）可知，扶正力矩 Mf 与物体的重力 G、重心到浮心的距离 L 以及侧倾角度的正弦(sinβ)成正比。由此可见，改变浮体浸水部分的几何形状和尺寸，降低重心，提高浮心，是提高浮体稳定性的途径。

3 结论

上述几个典型实例已充分证明：物体的浮心在排水体积形心所在的垂线上。一般物体的浮心不与其排水体积的形心重合；这就是说，一般物体排水体积的形心不是浮心。球形物体不论淹没于水下，还是漂浮在水面，浮心都在其球心；浮力是表面力，浮体浮心的位置与浮体被淹没于水下部分的表面形状和几何尺寸有关。因此，改变浮体浸水部分的表面形状和几何尺寸，可以改变浮体浮心的位置，并可提高浮体的稳定性。这对于设计和建造现代新型船舶等，具有重要意义。

参考文献：

[1] 郭维东，裴国霞，韩会玲. 水力学[M]. 北京：中国水利水电出版社，2005 年 9 月版.

[2] 冯维明. 理论力学[M]. 北京：国防工业出版社，2005 年 8 月版.

[3] 盛振邦，刘应中. 船舶原理[M]. 上海交通大学出版社，2003 年 9 月版.