



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 111776132 A

(43) 申请公布日 2020.10.16

(21) 申请号 202010484506.X

(22) 申请日 2020.06.01

(71) 申请人 中国科学院力学研究所

地址 100190 北京市海淀区北四环西路15号

(72) 发明人 王一伟 黄仁芳 支玉昌 杜特专  
王静竹 黄晨光

(74) 专利代理机构 北京和信华成知识产权代理  
事务所(普通合伙) 11390

代理人 胡剑辉

(51) Int. Cl.

B63B 1/24 (2020.01)

B63B 1/26 (2006.01)

B63B 1/38 (2006.01)

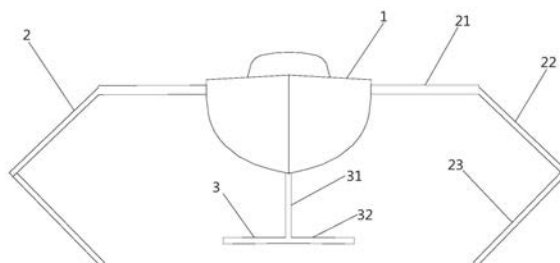
权利要求书3页 说明书8页 附图2页

(54) 发明名称

一种具备新型超空泡翼型的水翼船

(57) 摘要

本发明提供一种具备新型超空泡水翼的水翼船,包括船舶主体,安装在船舶主体前段的前水翼,及设置在船尾的尾水翼,前水翼包括依次连接的平翼,和新型超空泡翼型的斜翼、折翼;尾水翼包括垂直安装的NACA翼型的垂翼,以及水平固定在垂翼下端部的新型超空泡翼型的短翼;新型超空泡翼型,包括两块一端相接另一端张开的吸力面和受力面,以及与张开端连接的收缩端,吸力面、受力面和收缩分别利用数值模拟方法、约翰逊三阶设计方法和NACA设计方法确定轮廓。本发明的水翼船采用具备新型超空泡翼型的气水动一体化组合型前水翼和深浸式的尾翼,使该水翼船在高低速航行时都具有较好的快速性和稳定性,达到工作适应性强、结构简单、工作可靠、节约制造成本的效果。



1. 一种具备新型超空泡翼型的水翼船,包括船舶主体,安装在船舶主体前段的两个对称前水翼,及设置在船尾的一个尾水翼,其特征在于,

前水翼,包括依次连接的水平平翼、与平翼远离船舶主体一端连接且向下方倾斜的斜翼、与斜翼连接且向船舶主体方向倾斜的折翼,平翼为NACA翼型,斜翼和折翼为新型超空泡翼型;

尾水翼,整体位于船舶主体尾端的底部中线上,包括垂直安装且与船舶主体轴线平行的垂翼,以及水平固定在垂翼端部的短翼,垂翼采用对称的NACA翼型,短翼采用新型超空泡翼型;

新型超空泡翼型,包括两块一端相接另一端张开的吸力面和受力面,以及与吸力面和受力面的张开端连接并形成弧形收缩的收缩端,吸力面和受力面分别为由接触端向张开端方向弧形凸起的弧形面,其中吸力面通过数值模拟方法确定轮廓,受力面通过约翰逊三阶设计方法确定轮廓,收缩端利用NACA设计方法确定轮廓。

2. 根据权利要求1所述的水翼船,其特征在于,  
所述压力面的约翰逊三阶设计方法步骤如下:

将超空泡水翼复平面 $\{Z\}$ 内的流动转化为完全湿润的水翼复平面 $\{\bar{Z}\}$ 内的流动;

$$Z = -\sqrt{\bar{Z}} \quad (1)$$

再计算出完全浸湿翼型下的涡量分布 $\Omega(x)$ ,通过正弦系列表示:

$$\Omega(\theta) = 2V(A_0 \cot \frac{\theta}{2} + \sum_{i=1}^{\infty} A_n \sin n\theta) \quad (2)$$

其中 $V$ 表示前进速度, $A_0$ 和 $A_n$ 表示翼型涡度分布正弦级数展开系数;  
利用格劳厄特坐标变换对翼型弦长方向的坐标 $x$ 和角坐标 $\theta$ 进行转换:

$$x = \frac{1}{2}c(1 - \cos \theta), 0 \leq \theta \leq \pi \quad (3)$$

利用薄剖面理论确定一个表示未知涡量分布的系数 $A_n$ ,由于保角变换,新型超空泡翼型的升力系数结果 $C_L$ 等于完全浸湿的翼型的俯仰力矩系数 $\overline{C_m}$ ,计算公式如下:

$$C_L = \overline{C_m} = \frac{\pi}{2}(A_0 + A_1 - \frac{A_2}{2}) \quad (4)$$

$A_0$ 和 $A_1$ 、 $A_2$ 分别表示翼型涡度分布正弦级数展开系数;

新型超空泡翼型的阻力系数 $C_D$ 与完全浸湿的翼型的升力系数 $\overline{C_L}^2$ 对应,计算公式如下:

$$C_D = \frac{1}{8\pi} \overline{C_L}^2 = \frac{\pi}{2}(A_0 + \frac{A_1}{2})^2 \quad (5)$$

消除(2)、(4)、(5)中的 $A_0$ ,先在零度攻角和非弦线参考线的前提下,确定最优新型超空泡翼型的压力面,然后确定使新型超空泡翼型效率最大化的系数的值,新型超空泡翼型效率定义为升力系数与阻力之比,即:

$$\frac{C_L}{C_D} = \frac{L}{D} = 4(1 - \frac{1}{2} \frac{A_2}{A_1})^2 \frac{\pi}{2C_L} \quad (6)$$

确定该值后即确定了 $[-A_2/A_1]$ 的最大值,代入(2)式后得到最大理想效率为:

$$\frac{L}{D}\Big|_{TB} = \frac{25}{4} \frac{\pi}{2C_L} \quad (7)$$

经过转化为:

$$\frac{L}{D}\Big|_{J3T} = 9 \frac{\pi}{2C_L} \cong 1.44 \frac{L}{D}\Big|_{TB} \quad (8)$$

得到三项解对应的受力面形状计算公式如下:

$$\frac{y}{c} = \frac{A_1}{10} \left( 5 \frac{x}{c} - 20 \left( \frac{x}{c} \right)^{3/2} + 80 \left( \frac{x}{c} \right)^2 - 64 \left( \frac{x}{c} \right)^{5/2} \right) \quad (9)。$$

其中,y表示垂直翼型弦长方向的距离,c表示翼型弦长,x表示翼型弦长方向的距离。

3. 根据权利要求1所述的水翼船,其特征在于,

通过数值模拟方法确定所述吸力面的步骤如下:

步骤100,压力面和吸力面形成的开口端处为最大厚度,且开口端取值为压力面的0.1倍长,由此确定吸力面的前缘与后缘位置,通过软件建立前缘及后缘的参数化曲线,建立只包含压力面和吸力面的二维水翼模型;

步骤110,建立将新型超空泡翼型截面包围起来的长方体区域形状的二维流域,截面在二维流域内,其前缘、尾缘分别距离邻近的侧边5倍弦长和10倍弦长,而开口端的上下边分别距离二维流域的上下面为0.6倍弦长;

步骤120,采用切割体网格对二维流域内进行网格划分,并对水翼的前缘、尾缘和尾迹区域增加网格密度;

步骤130,在计算流体动力学求解器中,对计算参数进行初始化:流场入口给定流体来流速度,出口给定平均静压,水翼表面和流场区域边界均给定无滑移、光滑壁面边界条件;基于上述边界条件和初始条件,利用计算流体动力学求解器及空化求解器进行水翼空化数值计算,得到流场区域的速度、压力和空化分布情况以及水翼的气水动力性能;

步骤140,改变吸力面曲线参数,然后重复步骤100到130,确定曲线形状最优解下的吸力面轮廓。

4. 根据权利要求1所述的水翼船,其特征在于,

通过NACA设计方法设计所述收缩端的步骤如下:

步骤200,设收缩端的长度为压力面的0.36倍长,由此确定收缩端的前缘与后缘位置,通过软件建立前缘及后缘的参数化曲线,生成具有压力面、吸力面和收缩端的二维水翼模型;

步骤210,建立将新型超空泡翼型截面包围起来的长方体区域形状的二维流域,截面在二维流域内,其前缘、尾缘分别距离邻近的侧边5倍弦长和10倍弦长,而开口端的上下边分别距离二维流域的上下面为0.6倍弦长;

步骤220,采用切割体网格对二维流域内进行网格划分,并对截面的前缘、尾缘和尾迹区域增加网格密度;

步骤230,在计算流体动力学求解器中,对计算参数进行初始化:流场入口给定流体来流速度,出口给定平均静压,水翼表面和流场区域边界均给定无滑移、光滑壁面边界条件;基于上述边界条件和初始条件,利用计算流体动力学求解器及空化求解器进行水翼空化数

值计算,得到流场区域的速度、压力和空化分布情况以及水翼的气水动力性能;

步骤240,改变收缩端参数,然后重复步骤200到240,确定收缩端轮廓的最优解。

5. 根据权利要求1所述的水翼船,其特征在于,

设所述垂翼的宽度为弦长 $C$ ,则所述船舶主体的长度为22倍弦长,宽度为6倍弦长,高度为2.6倍弦长。

6. 根据权利要求5所述的水翼船,其特征在于,

所述垂翼的高度为1.8倍弦长,所述平翼、所述斜翼和所述折翼的宽度分别为2倍的弦长;所述平翼的长度为3.3倍弦长,所述折翼和所述斜翼的长度分别为3.6倍弦长。

7. 根据权利要求6所述的水翼船,其特征在于,

所述斜翼与所述折翼的夹角为90度;所述平翼与所述斜翼的夹角为135度。

8. 根据权利要求7所述的水翼船,其特征在于,

所述短翼的浸深为1.8倍弦长,长度为2.3倍弦长。

9. 根据权利要求5所述的水翼船,其特征在于,

两个所述前水翼的展开宽度为16倍弦长。

## 一种具备新型超空泡翼型的水翼船

### 技术领域

[0001] 本发明涉及船舶领域,特别是涉及一种采用新型超空泡翼型来减少航行时兴波阻力及粘性阻力的水翼船。

### 背景技术

[0002] 随着陆上资源的不断消耗,世界各国将海洋资源的利用和开发作为社会发展的重要战略,这对高性能船舶的发展提出了迫切的需求。船舶阻力与航速密切相关,传统船舶的船体大多沉浸在水面以下,湿表面积较大,这样就增加了航行的阻力,其中粘性阻力约正比于速度的二次方,而兴波阻力约正比于速度的六次方,所以传统船舶速度的提高受到了很大的限制。

[0003] 水翼船通过高航速时水翼上下表面压力差产生向上的升力而使船舶主体抬出水面,从而使其湿表面积减小,进而降低了其粘性阻力和兴波阻力,是实现船舶快速性的一种有效途径。

[0004] 水翼作为水翼船的关键部件,当航速达到50节时,水翼不可避免地发生空化,这将影响水翼的气水动力性能。另一方面,如果发生超空泡现象,即水翼吸力面完全被空泡包围,此时水翼的阻力大幅度下降,能够大大提高航速。

[0005] 专利文献CN 201210319158.6提供了一种超高速超空泡双体水翼船,用通气装置向水翼和两船底面的前横缘充气,使水翼的升力面和两船体的底面形成很薄的气膜覆盖,即使水翼和两船底形成超空泡,从而达到降低粘性阻力的目的。但是,该方案应用于现有的普通NACA水翼结构时,在高航速时增加的空泡反而会影晌水翼的气水动力性能,而应用于现有的超空泡水翼时,其在低航速时的工作效率也会降低,不能满足船舶低速航行时的工作要求。

[0006] 此外,通过人工通气形成超空泡的技术,需要增加额外的通气装置,进而增加机构的复杂性。为了满足水翼船在低速和高速航行时都具有良好的工作效率要求,亟需研发先进的能同时在低速和高速航速时具有良好性能的新型翼型,以取得更好的社会效益和经济效益。

### 发明内容

[0007] 本文发明的目的是提供一种采用新型超空泡翼型来减少航行时兴波阻力及粘性阻力的水翼船。

[0008] 具体地,本发明提供一种具备新型超空泡翼型的水翼船,包括船舶主体,安装在船舶主体前段的两个对称前水翼,及设置在船尾的一个尾水翼,

[0009] 前水翼,包括依次连接的水平平翼、与平翼远离船舶主体一端连接且向下方倾斜的斜翼、与斜翼连接且向船舶主体方向倾斜的折翼,平翼为NACA翼型,斜翼和折翼为新型超空泡翼型;

[0010] 尾水翼,整体位于船舶主体尾端的底部中线上,包括垂直安装且与船舶主体轴线

平行的垂翼,以及水平固定在垂翼端部的短翼,垂翼采用对称的NACA翼型,短翼采用新型超空泡翼型;

[0011] 新型超空泡翼型,包括两块一端相接另一端张开的吸力面和受力面,以及与吸力面和受力面的张开端连接并形成弧形收缩的收缩端,吸力面和受力面分别为由接触端向张开端方向弧形凸起的弧形面,其中吸力面通过数值模拟方法确定轮廓,受力面通过约翰逊三阶设计方法确定轮廓,收缩端利用NACA设计方法确定轮廓。

[0012] 在本发明的一个实施方式中,所述压力面的约翰逊三阶设计方法步骤如下:

[0013] 将超空泡水翼复平面 $\{Z\}$ 内的流动转化为完全湿润的水翼复平面 $\{\bar{Z}\}$ 内的流动;

$$[0014] \quad Z = -\sqrt{\bar{Z}} \quad (1)$$

[0015] 再计算出完全浸湿翼型下的涡量分布 $\Omega(x)$ ,通过正弦系列表示:

$$[0016] \quad \Omega(\theta) = 2V(A_0 \cot \frac{\theta}{2} + \sum_{i=1}^{\infty} A_n \sin n\theta) \quad (2)$$

[0017] 其中 $V$ 表示前进速度, $A_0$ 和 $A_n$ 表示翼型涡度分布正弦级数展开系数;

[0018] 利用格劳厄特坐标变换对翼型弦长方向的坐标 $x$ 和角坐标 $\theta$ 进行转换:

$$[0019] \quad x = \frac{1}{2}c(1 - \cos \theta), 0 \leq \theta \leq \pi \quad (3)$$

[0020] 利用薄剖面理论确定一个表示未知涡量分布的系数 $A_n$ ,由于保角变换,新型超空泡翼型的升力系数结果 $C_L$ 等于完全浸湿的翼型的俯仰力矩系数 $\overline{C_M}$ ,计算公式如下:

$$[0021] \quad C_L = \overline{C_M} = \frac{\pi}{2}(A_0 + A_1 - \frac{A_2}{2}) \quad (4)$$

[0022]  $A_0$ 和 $A_1$ 、 $A_2$ 分别表示翼型涡度分布正弦级数展开系数;

[0023] 新型超空泡翼型的阻力系数 $C_D$ 与完全浸湿的翼型的升力系数 $\overline{C_L}^2$ 对应,计算公式如下:

$$[0024] \quad C_D = \frac{1}{8\pi} \overline{C_L}^2 = \frac{\pi}{2}(A_0 + \frac{A_1}{2})^2 \quad (5)$$

[0025] 消除(2)、(4)、(5)中的 $A_0$ ,先在零度攻角和非弦线参考线的前提下,确定最优新型超空泡翼型的压力面,然后确定使新型超空泡翼型效率最大化的系数的值,新型超空泡翼型效率定义为升力系数与阻力之比,即:

$$[0026] \quad \frac{C_L}{C_D} = \frac{L}{D} = 4(1 - \frac{1}{2} \frac{A_2}{A_1})^2 \frac{\pi}{2C_L} \quad (6)$$

[0027] 确定该值后即确定了 $[-A_2/A_1]$ 的最大值,代入(2)式后得到最大理想效率为:

$$[0028] \quad \left. \frac{L}{D} \right|_{TB} = \frac{25}{4} \frac{\pi}{2C_L} \quad (7)$$

[0029] 经过转化为:

$$[0030] \quad \left. \frac{L}{D} \right|_{J3T} = 9 \frac{\pi}{2C_L} \cong 1.44 \left. \frac{L}{D} \right|_{TB} \quad (8)$$

[0031] 得到三项解对应的受力面形状计算公式如下：

$$[0032] \quad \frac{y}{c} = \frac{A}{10} \left( 5 \frac{x}{c} - 20 \left( \frac{x}{c} \right)^{3/2} + 80 \left( \frac{x}{c} \right)^2 - 64 \left( \frac{x}{c} \right)^{5/2} \right) \quad (9)。$$

[0033] 其中， $y$ 表示垂直翼型弦长方向的距离， $c$ 表示翼型弦长， $x$ 表示翼型弦长方向的距离。

[0034] 在本发明的一个实施方式中，通过数值模拟方法确定所述吸力面的步骤如下：

[0035] 步骤100，压力面和吸力面形成的开口端处为最大厚度，且开口端取值为压力面的0.1倍长，由此确定吸力面的前缘与后缘位置，通过软件建立前缘及后缘的参数化曲线，建立只包含压力面和吸力面的二维水翼模型；

[0036] 步骤110，建立将新型超空泡翼型截面包围起来的长方体区域形状的二维流域，截面在二维流域内，其前缘、尾缘分别距离邻近的侧边5倍弦长和10倍弦长，而开口端的上下边分别距离二维流域的上下面为0.6倍弦长；

[0037] 步骤120，采用切割体网格对二维流域内进行网格划分，并对水翼的前缘、尾缘和尾迹区域增加网格密度；

[0038] 步骤130，在计算流体动力学求解器中，对计算参数进行初始化：流场入口给定流体来流速度，出口给定平均静压，水翼表面和流场区域边界均给定无滑移、光滑壁面边界条件；基于上述边界条件和初始条件，利用计算流体动力学求解器及空化求解器进行水翼空化数值计算，得到流场区域的速度、压力和空化分布情况以及水翼的气水动力性能；

[0039] 步骤140，改变吸力面曲线参数，然后重复步骤100到130，确定曲线形状最优解下的吸力面轮廓。

[0040] 在本发明的一个实施方式中，通过NACA设计方法设计所述收缩端的步骤如下：

[0041] 步骤200，设收缩端的长度为压力面的0.36倍长，由此确定收缩端的前缘与后缘位置，通过软件建立前缘及后缘的参数化曲线，生成具有压力面、吸力面和收缩端的二维水翼模型；

[0042] 步骤210，建立将新型超空泡翼型截面包围起来的长方体区域形状的二维流域，截面在二维流域内，其前缘、尾缘分别距离邻近的侧边5倍弦长和10倍弦长，而开口端的上下边分别距离二维流域的上下面为0.6倍弦长；

[0043] 步骤220，采用切割体网格对二维流域内进行网格划分，并对截面的前缘、尾缘和尾迹区域增加网格密度；

[0044] 步骤230，在计算流体动力学求解器中，对计算参数进行初始化：流场入口给定流体来流速度，出口给定平均静压，水翼表面和流场区域边界均给定无滑移、光滑壁面边界条件；基于上述边界条件和初始条件，利用计算流体动力学求解器及空化求解器进行水翼空化数值计算，得到流场区域的速度、压力和空化分布情况以及水翼的气水动力性能；

[0045] 步骤240，改变收缩端参数，然后重复步骤200到240，确定收缩端轮廓的最优解。

[0046] 在本发明的一个实施方式中，设所述垂翼的宽度为弦长 $C$ ，则所述船舶主体的长度为22倍弦长，宽度为6倍弦长，高度为2.6倍弦长。

[0047] 在本发明的一个实施方式中，所述垂翼的高度为1.8倍弦长，所述平翼、所述斜翼和所述折翼的宽度分别为2倍的弦长；所述平翼的长度为3.3倍弦长，所述折翼和所述斜翼的长度分别为3.6倍弦长。

[0048] 在本发明的一个实施方式中,所述斜翼与所述折翼的夹角为90度;所述平翼与所述斜翼的夹角为135度。

[0049] 在本发明的一个实施方式中,所述短翼的浸深为1.8倍弦长,长度为2.3倍弦长。

[0050] 在本发明的一个实施方式中,两个所述前水翼的展开宽度为16倍弦长。

[0051] 本发明的水翼船采用具备新型超空泡翼型的气水动一体化组合型前水翼和深浸式的尾翼,使该水翼船在高低速航行时都具有较好的快速性和稳定性,增加水翼船的工作范围,使该水翼船达到工作适应性强、结构简单、工作可靠、节约制造成本的效果。完全解决了相对现有技术中的水翼船采用普通NACA水翼时只能适应较低航速工况,而采用传统的超空泡水翼时又只能适应高速工况的问题。

[0052] 新型超空泡翼型设计方法结合了传统超空泡翼型和普通NACA翼型设计方法,使设计条件下主体吸力面轮廓被超空泡包围,且能够保证足够的结构强度。收缩端一方面通过增加水翼的截面积和惯性模量来增加水翼的强度;另一方面通过有效的曲面和攻角能减少压差阻力,减少尾缘涡流,降低能量损失,在全湿状态为水翼提供额外的升力。

## 附图说明

[0053] 图1是本发明一个实施方式的水翼船结构示意图;

[0054] 图2是图1所示水翼船的右视图;

[0055] 图3是本发明一个实施方式的新型超空泡翼型剖面示图;

[0056] 图4是本发明一个实施方式的新型超空泡翼型升力和阻力随着空化数的变化的示意图;

[0057] 图5是本发明一个实施方式的新型超空泡翼型升阻比随着空化数的变化的示意图。

## 具体实施方式

[0058] 以下通过具体实施例和附图对本方案的具体结构和实施过程进行详细说明。

[0059] 如图1所示,在本发明的一个实施方式中公开一种具备新型超空泡翼型的水翼船100,其包括船舶主体1,安装在船舶主体1中前段的两个对称前水翼2,及设置在船尾的一个尾水翼3。

[0060] 如图2所示,该前水翼2包括依次连接的水平平翼21、与平翼21远离船舶主体1一端连接且向下方倾斜的斜翼22、与斜翼22连接且向船舶主体1方向倾斜的折翼23,平翼21为NACA翼型,斜翼22和折翼23为新型超空泡翼型;斜翼22与折翼23之间的夹角为90度,平翼21与斜翼22之间的夹角为135度。

[0061] 尾水翼3整体位于船舶主体1尾端的底部中线上,包括垂直安装且与船舶主体1轴线平行的垂翼31,以及水平固定在垂翼31端部的短翼32,垂翼31采用对称的NACA翼型,短翼32采用新型超空泡翼型。

[0062] 如图3所示,新型超空泡翼型包括两块一端相接另一端张开的吸力面221和受力面222,以及与吸力面221和受力面222的张开端225连接并形成弧形收缩的收缩端(尾缘)223,吸力面221和受力面222分别为由接触端224(前缘)向张开端225方向弧形凸起的弧形面,其中吸力面221通过数值模拟方法确定轮廓,受力面222通过约翰逊三阶设计方法确定轮廓,



收缩端223利用NACA设计方法确定轮廓。收缩端223的长度大约为吸力面221长度的三分之一左右。

[0063] 本实施方式的水翼船采用具备新型超空泡翼型的气水动一体化组合型前水翼和深浸式的尾翼,使该水翼船在高低速航行时都具有较好的快速性和稳定性,增加水翼船的工作范围,使该水翼船达到工作适应性强、结构简单、工作可靠、节约制造成本的效果。完全解决了现有技术中的水翼船采用普通NACA水翼时只能适应较低航速工况,而采用传统超空泡水翼时又只能适应高速工况的问题。

[0064] 新型超空泡翼型设计方法结合了传统超空泡翼型和普通NACA翼型设计方法,压力面222轮廓通过约翰逊三阶方法来确定,通过数值模拟方法来确定吸力面221轮廓,使设计条件下的吸力面221轮廓被超空泡包围,且能够保证足够的结构强度。收缩端223设计方法采用普通NACA翼型设计方法。收缩端223一方面通过增加水翼的截面积和惯性模量来增加水翼的强度;另一方面通过有效的曲面和攻角减少压差阻力和尾缘涡流,降低能量损失,在全湿状态为水翼提供额外的升力。

[0065] 由上述特征构成的新型超空泡翼型的整体气水动力性能可由数值计算验证并优化。

[0066] 新型超空泡翼型在高速时可产生超空泡,较全湿水翼的粘性阻力约减少90%,低速时收缩端223可提供额外的升力,从而可提高水翼的整体工作效率,既能在低速时具有较高的气水动力性能,又能在高速时具有较高的气水动力性能。弥补了普通水翼高速航行的局限性和传统超空泡水翼低速航行的局限性,增加的传统水翼船的工作范围;

[0067] 前水翼2采用气水动一体化构型,由平翼21、斜翼22和折翼23组成,平翼21采用传统NACA翼型以在高航速时提供额外的升力,而斜翼22和折翼23则采用新型超空泡翼型,在高航速时产生自然通气超空泡的同时提供有效的升力,进而抬升船舶主铰1,大幅度降低粘性阻力,从而实现高速航行的目的。前水翼2无需附加繁杂的调节驱动机构,具有结构简单、工作可靠、稳定性高等优点。

[0068] 尾水翼3采用深浸式结构,在波浪中高速航行时,船舶主体1被抬出水面,只有垂翼31和短翼32在水面以下,水和空气的交界面在垂翼31上,由于垂翼31的横截面积较小,受到波浪的影响较小,从而大幅度减小了水翼船100所受到的波浪力和波浪力矩,进而提高了水翼船100的耐波性。

[0069] 在本发明的一个实施方式中,设尾水翼3的垂翼31宽度等于弦长C,则船舶主体1的长度为22倍弦长,宽度为6倍弦长,高度为2.6倍弦长,两个前水翼2的展开宽度为16倍弦长。

[0070] 垂翼31的高度为1.8倍弦长,短翼32的浸深为1.8倍弦长,长度为2.3倍弦长。水翼船100航行时,水和空气的交界面在垂翼31上,垂翼31的横截面呈流线型,整个尾水翼3可通过调节短翼32的攻角来改变升力。

[0071] 平翼21、斜翼22和折翼23的宽度分别为2倍的弦长;平翼21的长度为3.3倍弦长,折翼23和斜翼22的长度分别为3.6倍弦长。斜翼22与折翼23的夹角为90度;平翼21与斜翼22的夹角为135度。

[0072] 在本发明的一个实施方式中,压力面222的约翰逊三阶设计方法步骤如下:

[0073] 新型超空泡翼型的压力面222轮廓设计采用Johnson理论,此理论基于保角映射方法,第一次被Tulin和Burkart线性化并推广,将新型超空泡翼型复平面 $\{Z\}$ 内的流动转化为

完全湿润的水翼复平面 $\{\bar{z}\}$ 内的流动;

$$[0074] \quad z = -\sqrt{z} \quad (1)$$

[0075] 根据薄剖面理论,完全浸湿剖面周围的势流用连续涡度分布表示,对于完全浸湿水翼一般的涡量分布 $\Omega(x)$ 通过正弦系列表示:

$$[0076] \quad \Omega(\theta) = 2V(A_0 \cot \frac{\theta}{2} + \sum_{i=1}^{\infty} A_n \sin n\theta) \quad (2)$$

[0077] 其中 $V$ 表示前进速度, $A_0$ 和 $A_n$ 表示翼型涡度分布正弦级数展开系数; $\theta$ 是与翼型弦长方向的坐标 $x$ 有关的变量,参见下述公式(3);

[0078] 利用格劳厄特坐标变换对翼型弦长方向的坐标 $x$ (沿翼型弦长方向)和角坐标 $\theta$ 进行转换:

$$[0079] \quad x = \frac{1}{2}c(1 - \cos \theta), 0 \leq \theta \leq \pi \quad (3)$$

[0080] 薄剖面理论用于解决全浸湿水翼周围的流动,确定一个表示未知涡量分布的系数 $A_n$ ,由于保角变换,新型超空泡翼型的升力系数结果 $C_L$ 等于完全浸湿的翼型的俯仰力矩系数 $\overline{C_m}$ ,计算公式如下:

$$[0081] \quad C_L = \overline{C_m} = \frac{\pi}{2}(A_0 + A_1 - \frac{A_2}{2}) \quad (4)$$

[0082]  $A_0$ 和 $A_1$ 、 $A_2$ 分别表示翼型涡度分布正弦级数展开系数;

[0083] 新型超空泡翼型的阻力系数 $C_D$ 与完全浸湿的翼型的升力系数 $\overline{C_L}^2$ 对应,计算公式如下:

$$[0084] \quad C_D = \frac{1}{8\pi} \overline{C_L}^2 = \frac{\pi}{2}(A_0 + \frac{A_1}{2})^2 \quad (5)$$

[0085] 消除(2)、(4)、(5)中的 $A_0$ ,先在零度攻角和非弦线参考线的前提下,确定最优超空泡翼型的压力面,然后确定使超空泡翼型效率最大化的系数的值,新型超空泡翼型效率定义为升力系数与(无粘性)阻力之比,即:

$$[0086] \quad \frac{C_L}{C_D} = \frac{L}{D} = 4(1 - \frac{1}{2} \frac{A_2}{A_1})^2 \frac{\pi}{2C_L} \quad (6)$$

[0087] 因此,找到最大效率等于找到 $[-A_2/A_1]$ 的最大值。寻找最大值需要满足翼型叶面(面)任意点处的涡度为正的物理条件,以避免在面上产生空泡。实际上,在这种渐近的方法中,表面的动压与环流成正比,空化指数为零。

[0088] 因此,根据涡度分布表达式中保留的项数在公式(2),可以找到不同的最高效率值。

[0089] Tulin-Burkart仅保留了该系列的前两项。对于这个剖面图族,最大理想效率(在0攻角处),代入(2)式后得到最大理想效率为:

$$[0090] \quad \frac{L}{D} \Big|_{TB} = \frac{25}{4} \frac{\pi}{2C_L} \quad (7)$$

[0091] 所谓的约翰逊的三项是保留在 $A_3$ 在公式(2),这导致1.44倍的效率(在理想的攻角

等于0),事实上:

$$[0092] \quad \left. \frac{L}{D} \right|_{J3T} = 9 \frac{\pi}{2C_L} \cong 1.44 \left. \frac{L}{D} \right|_{TB} \quad (8)$$

[0093] 得到三项解对应的受力面形状计算公式如下:

$$[0094] \quad \frac{y}{c} = \frac{A_1}{10} \left( 5 \frac{x}{c} - 20 \left( \frac{x}{c} \right)^{3/2} + 80 \left( \frac{x}{c} \right)^2 - 64 \left( \frac{x}{c} \right)^{5/2} \right) \quad (9)。$$

[0095] 其中,y表示垂直翼型弦长方向的距离,c表示翼型弦长,x表示翼型弦长方向的距离。

[0096] 本实施方式中,新型超空泡翼型采用了传统超空泡翼型和普通NACA翼型组合的方式,在高速时新型超空泡翼型主体与传统超空泡翼型一样产生超空泡,低速时新型超空泡翼型的尖锐尾翼与NACA翼型一样为水翼提供额外的升力,从而提高水翼的工作效率,所以本实施方式中的新型超空泡翼型综合了普通水翼和传统超空泡水翼的优点,能够在低速和高速时都具有较高的气水动力性能。

[0097] 在本发明的一个实施方式中,利用数值模拟方法确定吸力面221的步骤如下:

[0098] 步骤100,压力面和吸力面形成的开口端处为最大厚度,且开口端取值为压力面的0.1倍长,由此确定吸力面的前缘与后缘位置,通过软件建立前缘及后缘的参数化曲线,建立只包含压力面和吸力面的二维水翼模型;

[0099] 这里的软件可以是CAD软件。

[0100] 步骤110:建立将新型超空泡翼型截面包围起来的长方体区域形状的二维流域,截面在二维流域内,其前缘、尾缘分别距离邻近的侧边5倍弦长和10倍弦长,而开口端的上下边分别距离二维流域的上下面为0.6倍弦长;

[0101] 步骤120,采用切割体网格对二维流域内进行网格划分,并对截面的前缘、尾缘和尾迹区域增加网格密度;

[0102] 步骤130,在计算流体动力学求解器中,对计算参数进行初始化:流场入口给定流体来流速度,出口给定平均静压,水翼表面和流场区域边界均给定无滑移、光滑壁面边界条件;基于上述边界条件和初始条件,利用计算流体动力学求解器及空化求解器进行水翼空化数值计算,得到流场区域的速度、压力和空化分布情况以及水翼的气水动力性能;

[0103] 步骤140,改变吸力面曲线参数,然后重复步骤100到130,确定曲线形状最优解下的吸力面轮廓。

[0104] 在本发明的一个实施方式中,通过NACA设计方法设计收缩端223的步骤如下:

[0105] 步骤200,设收缩端的长度为压力面的0.36倍长,由此确定尖锐尾翼的前缘与后缘位置,通过软件建立前缘及后缘的参数化曲线,生成具有压力面、吸力面和尖锐尾翼的二维水翼模型;

[0106] 步骤210,建立将新型超空泡翼型截面包围起来的长方体区域形状的二维流域,截面在二维流域内,其前缘、尾缘分别距离邻近的侧边5倍弦长和10倍弦长,而开口端的上下边分别距离二维流域的上下面为0.6倍弦长;

[0107] 步骤220,采用切割体网格对二维流域内进行网格划分,并对截面的前缘、尾缘和尾迹区域增加网格密度;

[0108] 步骤230,在计算流体动力学求解器中,对计算参数进行初始化:流场入口给定流

体来流速度,出口给定平均静压,水翼表面和流场区域边界均给定无滑移、光滑壁面边界条件;基于上述边界条件和初始条件,利用计算流体动力学求解器及空化求解器进行水翼空化数值计算,得到流场区域的速度、压力和空化分布情况以及水翼的气水动力性能;

[0109] 步骤240,改变收缩端参数,然后重复步骤200到230,找到收缩端的最优解。

[0110] 在上述实施方式中,所设计的新型超空泡翼型为SCSB-25-5水翼,在完全超空泡状态下设计升力系数为0.25,设计攻角为5度。从图4、5可以看出,随着空化数的增加,新型超空泡翼型的升力甚至整体效率不断增加,当发生超空泡时,即空化数小于0.3,水翼的升阻比变化不大,新型超空泡翼型与普通水翼、传统超空化水翼相比在高中低航速时都能够提供足够的升力,这意味着水翼船100可在较大航速范围内实现较高的工作效率。

[0111] 在本发明的一个实施方式中,具体的水翼船100长度可以为1.2米,船宽0.35米,设计航速50节,数值计算姿态与自航试验姿态一致,结果表明,水翼船100在航行时,只有斜翼22、折翼23和垂翼31在水面以下,受到波浪的干扰较小,大大减小了船舶所受到的波浪力和波浪力矩,此外水翼引起的波浪兴波较小,对周围的辐射减小,航迹不明显,且消失较快。

[0112] 至此,本领域技术人员应认识到,虽然本文已详尽示出和描述了本发明的多个示例性实施例,但是,在不脱离本发明精神和范围的情况下,仍可根据本发明公开的内容直接确定或推导出符合本发明原理的许多其他变型或修改。因此,本发明的范围应被理解和认定为覆盖了所有这些其他变型或修改。

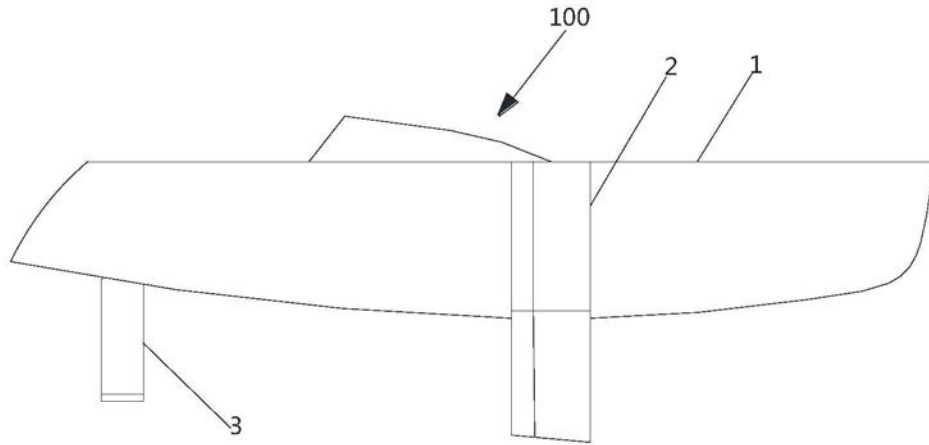


图1

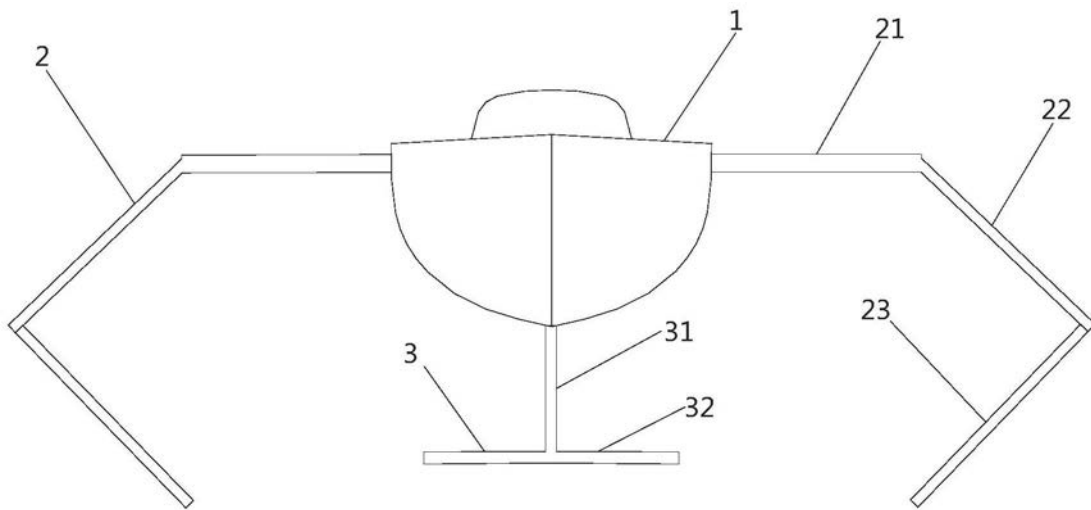


图2

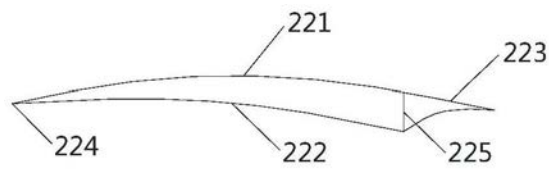


图3

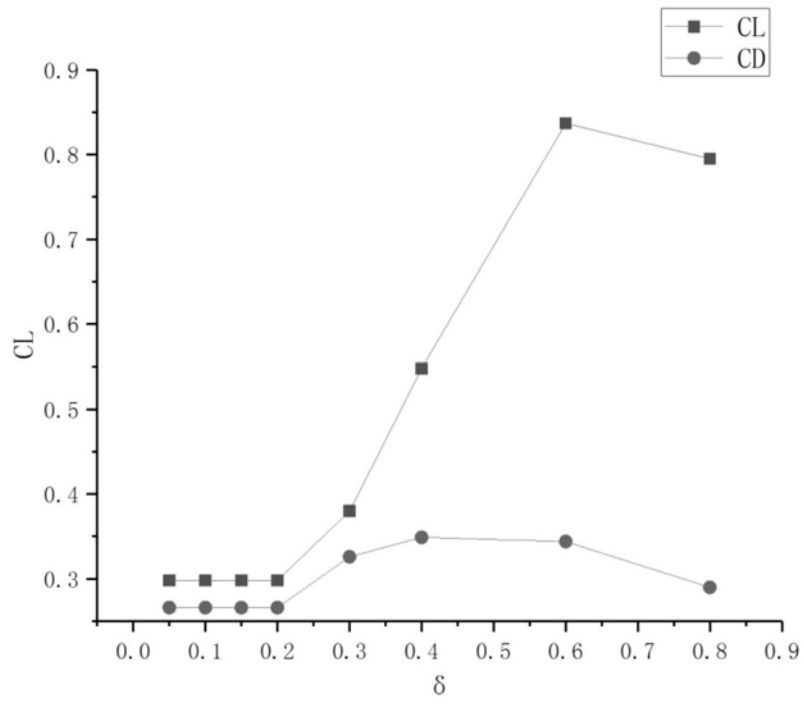


图4

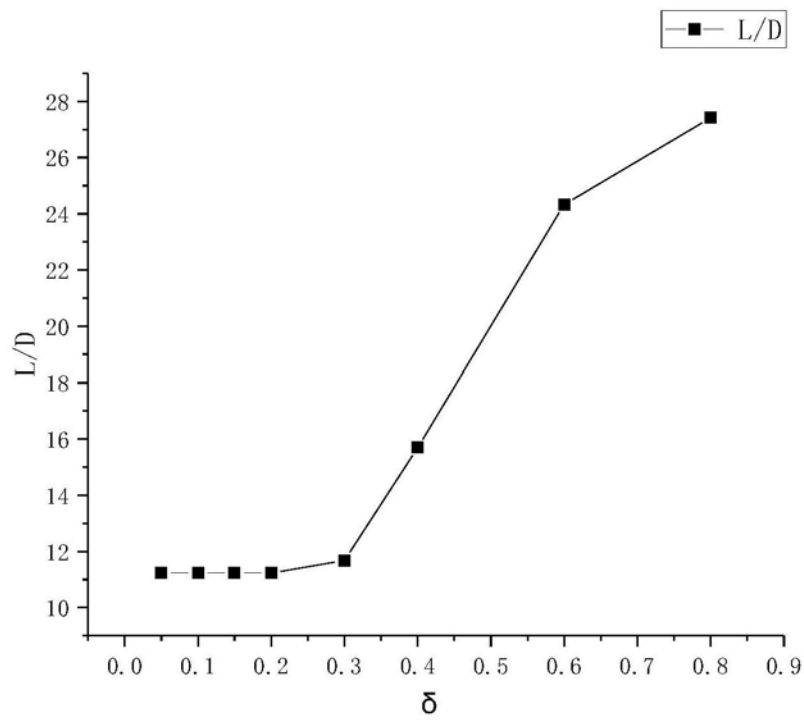


图5