



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116588237 A

(43) 申请公布日 2023.08.15

(21) 申请号 202310109463.0

(22) 申请日 2023.02.14

(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 黄仁芳 王一伟 王永九 支玉昌 陈永刚 黄晨光 杜特专 王静竹 黄荐

(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

专利代理师 胡剑辉

(51) Int. Cl.

B63B 1/26 (2006.01)

B63B 71/10 (2020.01)

G06F 30/15 (2020.01)

权利要求书2页 说明书9页 附图5页

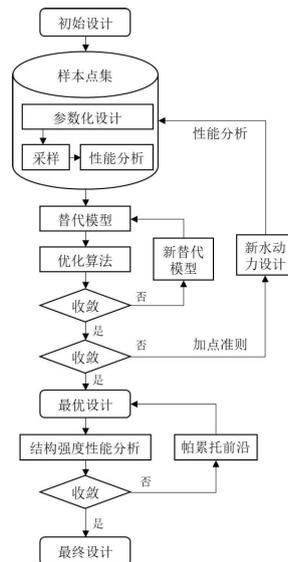
(54) 发明名称

一种用于高速水面航行器的水翼及设计方法

(57) 摘要

本发明公开了一种高速水面航行器的水翼及设计方法,前水翼和后水翼分别设有升力部件和支撑部件,升力部件的翼型形状相同,沿翼型的弦长方向,翼型的厚度先增大后减小;在翼展方向上,从翼展的一端到另一端,升力部件翼型的弦长先增大后减小,使得升力部件的前缘呈对称的弧形,同时翼型的最大厚度相同,形成具有光滑弧形的吸力面,以减小流动阻力;航行时,支撑部件始终处于切割自由面状态,升力部件完全浸没在水中且贴近自由面航行。本发明还提供了一种设计方法,通过参数化设计、替代模型和多目标优化算法,使得应用了该水翼的高速水面航行器,可大幅度提高升阻比与稳定性,解决了现有技术中高速水面航行器无法同时兼顾升力和航行稳定性的问题。

CN 116588237 A



1. 一种用于高速水面航行器的水翼,包括安装在高速水面航行器(1)前端的一个前水翼(2)和安装在高速水面航行器后端的两个对称后水翼(3),其特征在于,

所述前水翼(2)包括前升力部件(4)和前支撑部件(6),所述前支撑部件(6)垂直安装在所述高速水面航行器(1)前端的底部,所述前升力部件(4)安装在所述前支撑部件(6)的端部;

所述后水翼(3)包括后升力部件(8)和后支撑部件(10),所述后支撑部件(10)垂直安装在所述高速水面航行器(1)后端的底部,所述后升力部件(8)安装在所述后支撑部件(10)的端部;

其中,所述前升力部件(4)和所述后升力部件(8)的翼型形状相同,沿翼型的弦长方向,翼型的厚度先增大后减小,在翼展方向上,从翼展的一端到另一端,升力部件翼型的弦长先增大后减小,使得升力部件的前缘呈对称的弧形,尾缘为直线型,同时翼型的最大厚度相同,形成具有光滑弧形的吸力面,以减小流动阻力;

所述高速水面航行器航行时,所述前支撑部件(6)和所述后支撑部件(10)始终处于切割自由面状态,所述前升力部件(4)和所述后升力部件(8)完全浸没在水中且贴近自由面航行。

2. 根据权利要求1所述的一种用于高速水面航行器的水翼,其特征在于,

在所述前升力部件(4)和所述后升力部件(8)中,吸力面和受力面的端部分别相接形成前缘和尾缘,在翼展方向的端部,吸力面和受力面形成张开端。

3. 根据权利要求1所述的一种用于高速水面航行器的水翼,其特征在于,

在所述前升力部件(4)和所述后升力部件(8)中,翼型包括两端分别相接的上弧线和下弧线,上弧线为由前缘向尾缘外凸的弧形,下弧线为直线型;

在翼展方向上,以相同间距设置一组同族翼型,所有同族翼型的截面型线连接封闭的翼型截面扫略形成升力部件。

4. 根据权利要求1所述的一种用于高速水面航行器的水翼,其特征在于,

两个所述后水翼(3)以所述前水翼(2)为对称轴,对称安装在所述高速水面航行器后端,通过设计所述后水翼(3)之间的间距及所述前水翼(2)和所述后水翼(3)之间的距离,调整水翼对水面航行器的升力。

5. 根据权利要求4所述的一种用于高速水面航行器的水翼,其特征在于,

所述高速水面航行器(1)的前端向上翘起,所述前支撑部件(6)垂直安装在所述高速水面航行器(1)的底部,所述前支撑部件(6)为柱体结构,包括切割自由面的侧边和与切割自由面相对立的侧边,切割自由面的侧边高度大于相对立的侧边高度;

其中,在所述前支撑部件(6)的平行于水平面的截面中,切割自由面的侧边和其相对立的侧边的截面为对称结构。

6. 根据权利要求4所述的一种用于高速水面航行器的水翼,其特征在于,

在平行于水平面的截面中,所述后支撑部件(10)的横截面为月牙形状,所述后支撑部件(10)的切割自由面为弧形面,两个后支撑部件(10)安装后相邻的内侧面为平面型,以抵消横向力,外侧面为弧形面以减小航行阻力。

7. 根据权利要求3所述的一种用于高速水面航行器的水翼,其特征在于,

在翼展方向上,以0.5弦长的间距均匀设置7个同族翼型,中间翼型的厚度为0.5弦长,

两侧对称的翼型的厚度为0.1弦长、0.95弦长和0.8弦长,将7个同族翼型的截面型线连接封闭的翼型截面扫略形成升力部件。

8. 一种根据权利要求1-7任一项所述的一种用于高速水面航行器的水翼的设计方法,其特征在于,包括如下步骤:

S1. 两个后水翼之间的距离为 zB ,后水翼到高速水面航行器尾端的距离为 xL ,前水翼到高速水面航行器尾端的距离为 yL ,其中,高速水面航行器的长度为 L ,宽度为 B ,高度为 H ;

对水翼进行参数化设计,确定设计变量包括 x 、 y 、 z 以及前水翼的弦长 C_2 和后水翼的弦长 C_4 ;同时确定优化目标为高速水面航行器在速度20knot时的升阻比、升力值和瞬时升沉位移;

S2. 在设计变量的取值范围内,采用试验设计方法建立初始样本集;

S3. 采用数值模拟(CFD)方法评估每个样本点的性能,首先建立包含高速水面航行器及水翼的流体计算域,在20knot速度下释放六自由度后,获得升阻力比值、升力计算值和最大的升沉位移,形成样本集数据库;

S4. 将每个样本点的设计变量作为输入,其对应的性能即升阻力比值、升力计算值和最大的升沉位移作为输出,建立从输入到输出的映射关系,得到替代模型;

S5. 采用多目标优化算法在设计空间内进行全局寻优,三个优化目标的权重因子相等,获得帕累托(pareto)前沿;

S6. 从帕累托前沿选取 m 个帕累托前沿解进行数值模拟性能评估,判断得到的预测性能是否达到设计要求;如果未达到设计要求,则返回步骤S4,重新建立替代模型,继续运行;如果满足设计要求,则跳转到步骤S7;

S7. 对 m 个帕累托前沿解进行结构强度性能分析;

S8. 判断所选取的 m 个帕累托前沿解的结构强度是否满足实际工程应用要求;如果满足,则输出最终的设计方案,并进行样机制造、湖上试验验证;如果不满足,则返回步骤S6从帕累托前沿重新选取,依次执行步骤S7,并重新进行判断,直到从帕累托前沿选取的解满足结构强度设计的要求。

9. 根据权利要求8所述的设计方法,其特征在于,

步骤S6中,如果多次优化后的替代模型均不满足设计要求,则通过加点准则,将 m 个帕累托前沿解作为新样本添加到原来的样本集中,增加样本数量,返回步骤S4,继续执行S4、S5。

10. 根据权利要求8所述的设计方法,其特征在于,

通过上述优化设计方法, x 范围为 $[0.15, 0.18]$, y 范围为 $[0.55, 0.60]$, z 范围为 $[0.78, 0.82]$, C_2 为 $[0.75, 0.85]_m$, C_4 为 $[0.70, 0.78]_m$ 。

一种用于高速水面航行器的水翼及设计方法

技术领域

[0001] 本发明属于高速水面航行器技术领域,涉及一种用于高速水面航行器的水翼及设计方法。

背景技术

[0002] 而水翼作为高速水面航行器的关键支撑部件,其截面构型与机翼相似,能够将在水面高速行驶的航行器抬离水面,大大减少其沾湿面积,有效降低粘性阻力和兴波阻力,从而提高航行速度。但是航行器在航行过程中,容易受到自由面飞溅、波浪、风向等诸多因素的干扰,使得水翼的浸没深度动态变化,这对水翼升阻比的提高以及航行的稳定控制带来了很大的冲击与挑战。

[0003] 例如,中国专利CN216269751U、CN111776132A、CN110712722A等,公开了水面航行器的水翼采用浅浸式或者割划式的布局方式,增大了水翼升力的调整范围,但是耐波性能较差,且船体容易发生“海豚运动”“折角行走”“横摇振荡”等现象,不利于航行的稳定性。

[0004] 所以,现有的高速水面航行器中,由于水翼升力的增大调整,导致在实际航行过程中高速切割自由面,水面产生明显的飞溅,大量飞溅的液体影响水面航行器的快速性和稳定性。所以高速水面航行器无法同时兼顾升力和航行稳定性的需求。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供一种高速水面航行器的水翼及设计方法,以解决现有技术中高速水面航行器无法同时兼顾升力和航行稳定性问题。

[0006] 在本发明的第一个方面,提供了一种用于高速水面航行器的水翼,包括安装在高速水面航行器前端的一个前水翼和安装在高速水面航行器后端的两个对称后水翼,

[0007] 所述前水翼包括前升力部件和前支撑部件,所述前支撑部件垂直安装在所述高速水面航行器前端的底部,所述前升力部件安装在所述前支撑部件的端部;

[0008] 所述后水翼包括后升力部件和后支撑部件,所述后支撑部件垂直安装在所述高速水面航行器后端的底部,所述后升力部件安装在所述后支撑部件的端部;

[0009] 其中,所述前升力部件和所述后升力部件的翼型形状相同,沿翼型的弦长方向,翼型的厚度先增大后减小;在翼展方向上,从翼展的一端到另一端,升力部件翼型的弦长先增大后减小,使得升力部件的前缘呈对称的弧形,尾缘为直线型,同时翼型的最大厚度相同,形成具有光滑弧形的吸力面,以减小流动阻力;

[0010] 所述高速水面航行器航行时,所述前支撑部件和所述后支撑部件始终处于切割自由面状态,所述前升力部件和所述后升力部件完全浸没在水中且贴近自由面航行。

[0011] 进一步地,在所述前升力部件和所述后升力部件中,吸力面和受力面的端部分别相接形成前缘和尾缘,在翼展方向的端部,吸力面和受力面形成张开端。

[0012] 进一步地,在所述前升力部件和所述后升力部件中,翼型包括两端分别相接的上弧线和下弧线,上弧线为由前缘向尾缘外凸的弧形,下弧线为直线型;

[0013] 在翼展方向上,以相同间距设置一组同族翼型,所有同族翼型的截面型线连接封闭的翼型截面扫略形成升力部件。

[0014] 进一步地,两个所述后水翼以所述前水翼为对称轴,对称安装在所述高速水面航行器后端,通过设计所述后水翼之间的间距及所述前水翼和所述后水翼之间的距离,调整水翼对水面航行器的升力。

[0015] 进一步地,所述高速水面航行器的前端向上翘起,所述前支撑部件垂直安装在所述高速水面航行器的底部,所述前支撑部件为柱体结构,包括切割自由面的侧边和与切割自由面相对立的侧边,切割自由面的侧边高度大于相对立的侧边高度;

[0016] 其中,在所述前支撑部件的平行于水平面的截面中,切割自由面的侧边和其相对立的侧边的截面为对称结构。

[0017] 进一步地,在平行于水平面的截面中,所述后支撑部件的横截面为月牙形状,所述后支撑部件的切割自由面为弧形面,两个后支撑部件安装后相邻的内侧面为平面型,以抵消横向力,外侧面为弧形面以减小航行阻力。

[0018] 进一步地,在翼展方向上,以0.5弦长的间距均匀设置7个同族翼型,中间翼型的厚度为0.5弦长,两侧对称的翼型的厚度为0.1弦长、0.95弦长和0.8弦长,将7个同族翼型的截面型线连接封闭的翼型截面扫略形成升力部件。

[0019] 在本发明的第二个方面,提供了一种针对上述用于高速水面航行器的水翼的设计方法,包括如下步骤:

[0020] S1.两个后水翼之间的距离为 zB ,后水翼到高速水面航行器尾端的距离为 xL ,前水翼到高速水面航行器尾端的距离为 yL ,其中,高速水面航行器的长度为 L ,宽度为 B ,高度为 H ;

[0021] 对水翼进行参数化设计,确定设计变量包括 x 、 y 、 z 以及前水翼的弦长 $C2$ 和后水翼的弦长 $C4$;同时确定优化目标为高速水面航行器在速度20knot时的升阻比、升力值和瞬时升沉位移;

[0022] S2.在设计变量的取值范围内,采用试验设计方法建立初始样本集;

[0023] S3.采用数值模拟(CFD)方法评估每个样本点的性能,首先建立包含高速水面航行器及水翼的流体计算域,在20knot速度下释放六自由度后,获得升阻力比值、升力计算值和最大的升沉位移,形成样本集数据库;

[0024] S4.将每个样本点的设计变量作为输入,其对应的性能即升阻力比值、升力计算值和最大的升沉位移作为输出,建立从输入到输出的映射关系,得到替代模型;

[0025] S5.采用多目标优化算法在设计空间内进行全局寻优,三个优化目标的权重因子相等,获得帕累托(pareto)前沿;

[0026] S6.从帕累托前沿选取 m 个帕累托前沿解进行数值模拟性能评估,判断得到的预测性能是否达到设计要求;如果未达到设计要求,则返回步骤S4,重新建立替代模型,继续运行;如果满足设计要求,则跳转到步骤S7;

[0027] S7.对 m 个帕累托前沿解进行结构强度性能分析;

[0028] S8.判断所选取的 m 个帕累托前沿解的结构强度是否满足实际工程应用要求;如果满足,则输出最终的设计方案,并进行样机制造、湖上试验验证;如果不满足,则返回步骤S6从帕累托前沿重新选取,依次执行步骤S7,并重新进行判断,直到从帕累托前沿选取的解满

足结构强度设计的要求。

[0029] 进一步地,步骤S6中,如果多次优化后的替代模型均不满足设计要求,则通过加点准则,将m个帕累托前沿解作为新样本添加到原来的样本集中,增加样本数量,返回步骤S4,继续执行S4、S5。

[0030] 进一步地,通过上述优化设计方法,x范围为[0.15,0.18],y范围为[0.55,0.60],z范围为[0.78,0.82],C2为[0.75,0.85]m,C4为[0.70,0.78]m。

[0031] 本发明和现有技术相比具有如下有益效果:

[0032] 1.本发明提供一种用于高速水面航行器的水翼,通过设置水翼的构型,采用鸭式布局,使得前水翼和后水翼的载荷大致相同,有助于通过利用前缘分离的集中涡来改善流场特性并提高高速水面航行器的总升力,使得高速水面航行器抬出水面,减小高速水面航行器的沾湿面积,从而大大减小粘性阻力。

[0033] 2.本发明针对水翼提供了一种设计方法,通过参数化设计、替代模型和优化算法,能够优化设计出一种实际应用到高速水面航行器的水翼几何结构,实现多水翼的布局与构型优化,协同减阻增升,提高水面航行器的工作效率,使得高速水面航行器具有更好的耐波性,大幅度提高其升阻比与稳定性。

[0034] 3.此外,传统的设计方法需要针对每一种设计变量的组合方式(即一个样本点)进行数值模拟方法并评估其性能,耗费的时间较长。而本发明提供的设计方法仅需要针对初始样本集中的样本点进行数值模拟,而后建立基于交叉验证的替代模型,从而在全局寻优过程中新生成的样本点无需通过数值模拟进行性能评估,可以通过替代模型进行快速评估,进而缩短优化设计的周期。

附图说明

[0035] 为了更清楚地说明本发明的实施方式或现有技术中的技术方案,下面将对实施方式或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍。显而易见地,下面描述中的附图仅仅是示例性的,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据提供的附图引申获得其它的实施附图。

[0036] 图1为本发明实施例中高速水面航行器的示意图;

[0037] 图2为图1的仰视图;

[0038] 图3为图1的正视图;

[0039] 图4为本发明实施例中前水翼的结构示意图;

[0040] 图5为本发明实施例中前升力部件的翼型截面示意图;

[0041] 图6为图5的截面5-1、截面5-2、截面5-3、截面5-4的形状与尺寸示意图;

[0042] 图7为本发明实施例中前支撑部件的尺寸示意图;

[0043] 图8为本发明实施例中后水翼的结构示意图;

[0044] 图9为本发明实施例中后升力部件的翼型截面示意图;

[0045] 图10为图9中截面9-1、截面9-2、截面9-3、截面9-4的形状与尺寸示意图;

[0046] 图11为本发明实施例中后支撑部件10的尺寸示意图;

[0047] 图12为本发明实施例中水翼的设计方法流程图;

[0048] 图中:1为高速水面航行器;2为前水翼;3为后水翼;4为前升力部件;5、5-1、5-2、5-

3、5-4为前升力部件的翼型截面;6为前支撑部件;7为前支撑部件的截面;8为后升力部件;9、9-1、9-2、9-3、9-4为后升力部件的翼型截面;10-后支撑部件;11-后支撑部件的截面。

具体实施方式

[0049] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0050] 如图1-3所示,本发明公开了一种用于高速水面航行器1的水翼,包括安装在高速水面航行器1前端的一个前水翼2和安装在高速水面航行器1后端的两个对称后水翼3,前水翼2和后水翼3分别设有升力部件和支撑部件。

[0051] 如图4所示,前水翼2包括前升力部件4和前支撑部件6,前支撑部件6垂直安装在高速水面航行器1的底部,前升力部件4安装在前支撑部件6的端部,前升力部件4与前支撑部件6的夹角为90度。如图8所示,后水翼3包括后升力部件8和后支撑部件10,后支撑部件10垂直安装在高速水面航行器1的底部,后升力部件8安装在后支撑部件10的端部,后升力部件8与后支撑部件10的夹角为90度。

[0052] 其中,前升力部件4和后升力部件8的翼型形状相同,沿翼型的弦长方向,翼型的厚度先增大后减小;在翼展方向上,从翼展的一端到另一端,升力部件翼型的弦长先增大后减小,在中间位置的弦长最大,如此使得升力部件的前缘呈对称的光滑弧形,尾缘为直线型,同时翼型的最大厚度相同,形成具有光滑弧形的吸力面,以减小流动阻力。水面航行器航行时,前支撑部件6和后支撑部件10始终处于切割自由面状态,前升力部件4和后升力部件8完全浸没在水中且贴近自由面航行。

[0053] 本发明中,升力部件可以在高速航行过程中提供足够大的升力,通过支撑部件将升力传递给高速水面航行器的板体,抬升高速水面航行器的板体结构,减小沾湿面积,进而减小粘性阻力,从而提高航行中的快速性。另一方面,以支撑部件为中心的对称结构,可以使得升力部件两端受到的升力是对称的,从而不会发生倾覆力矩,升力部件受到的升力正好从支撑部件传递到板体,而不产生额外的附加力矩。

[0054] 其中,升力部件的前缘为对称弧形,吸力面为光滑弧形面,受力面为平面,水流冲击到前缘及吸力面时,不容易发生流动分离,从而减小了流动阻力。此外,吸力面为外凸弧形的设计,即前、后升力部件翼型的最大厚度相同,沿翼型弦长方向厚度先增大后减小形成了外凸弧形面,该外凸弧形的吸力面设计能够为水面航行器提供足够的升力,以保证将高速水面航行器抬出水面,进而减小沾湿面积,减小高速水面航行器的流动阻力。而且,翼型为具有一定厚度的弧形吸力面,能抗住较大的水流冲击,具有足够的结构强度。

[0055] 所以,通过设置水翼的构型,采用鸭式布局,使得前水翼2和后水翼3的载荷大致相同,有助于通过利用前缘分离的集中涡来改善流场特性并提高高速水面航行器1的总升力,使得高速水面航行器1抬出水面,减小高速水面航行器1的沾湿面积,从而大大减小粘性阻力。

[0056] 在前升力部件4和后升力部件8中,吸力面和受力面的端部分别相接形成前缘和尾缘,在翼展方向的端部,吸力面和受力面形成张开端,即前升力部件4在翼展方向的两端,是

有厚度的,如此能够保证在高速航行过程中,前升力部件4具有足够的结构强度,尤其是前升力部件4的端部能够抗住高速水流的冲击力而不发生折断。如果吸力面和受力面为收缩端,会使得端部的翼型截面的最大厚度非常小,在20knot速度下高速航行时,端部翼型截面无法承受水流的高速冲击力而可能发生折断。

[0057] 此外,在前升力部件4和后升力部件8中,翼型包括两端分别相接的上弧线和下弧线,上弧线为由前缘向后缘外凸的弧形,下弧线为直线型;在翼展方向上,以相同间距设置一组同族翼型,所有同族翼型的截面型线连接封闭的翼型截面扫略形成升力部件。本实施方式,给出了一种针对上述升力部件的快速生成方法,可以快捷的设计出符合尺寸需求的升力部件。

[0058] 本发明中,两个后水翼3以前水翼2为对称轴,对称安装在高速水面航行器1后端,通过设计后水翼3之间的间距及前水翼2和后水翼3之间的距离,能够调整水翼对水面航行器的升力。本实施方式中,前水翼2和后水翼3中的支撑部件的结构分别为:

[0059] 高速水面航行器1的前端向上翘起,前支撑部件6垂直安装在高速水面航行器1的底部,前支撑部件6为柱体结构,包括切割自由面的侧边和与切割自由面相对立的侧边,切割自由面的侧边高度大于相对立的侧边高度;其中,在前支撑部件6的平行于水平面的截面中,切割自由面的侧边和其相对立的侧边的截面为对称结构。对于前支撑部件6,设计为对称结构,一般优选短边导圆的设计结构,可以保证结构强度的基础,前支撑部件6所受的横向力是对称的,短边导圆的结构能保证前支撑部件6的稳定性。

[0060] 如图7所示,前支撑部件6的横截面为细长的矩形,其中短边倒圆角。因为前水翼2的前支撑部件6只有一个,并且安装在高速水面航行器1的前方,所以,将前支撑部件6的横截面设计成对称结构,可以避免发生横向倾覆力矩,从而使得高速水面航行器1航行过程中能维持很好的稳定性。此外,将前支撑部件6的横截面短边导圆,可以减小航行中流动分离,从而降低航行阻力。

[0061] 如图11所示,在平行于水平面的截面中,后支撑部件10的横截面为月牙形状,切割自由面为弧形面,两个后支撑部件10安装后相邻的内侧面为平面型,以抵消横向力,外侧面为弧形面以减小航行阻力。支撑部件的主要作用是在高速航行中,一方面提供足够的结构强度,起到将升力部件产生的升力传递给高速水面航行器的板体的作用,另一方面,对于后支撑部件,其横截面设计成月牙形状,是为了有利于诱导形成全通气空泡,从而降低后支撑部件所受的阻力,进一步提高航行速度。

[0062] 针对上述用于高速水面航行器的水翼,本发明还提供了一种设计方法,以根据设计需求,快速完成水翼的参数设计,包括水翼的定位尺寸和关键几何参数。

[0063] 该设计方法包括如下步骤:

[0064] S1. 两个后水翼之间的距离为 zB ,后水翼到高速水面航行器尾端的距离为 xL ,前水翼到高速水面航行器尾端的距离为 yL ,其中,高速水面航行器的长度为 L ,宽度为 B ,高度为 H 。

[0065] 对水翼进行参数化设计,确定设计变量包括 x 、 y 、 z 以及前水翼的弦长 $C2$ 和后水翼的弦长 $C4$;同时确定优化目标为高速水面航行器在速度20knot时的升阻比、升力值和瞬时升沉位移。

[0066] 其中,设计变量的取值范围如表1设计变量及取值范围所示。

[0067] 表1设计变量及取值范围

设计变量		取值范围
含义	符号	
后水翼 3 到高速水面航行器 1 尾端的定位尺寸参数	x	[0.1,0.25]
前水翼 2 到高速水面航行器 1 尾端的定位尺寸参数	y	[0.35,0.85]
两个后水翼 3 的距离参数	z	[0.3,0.85]
前水翼 2 的弦长, 单位/m	C2	[0.7,1.0]
后水翼 3 的弦长, 单位/m	C4	[0.7,1.0]

[0069] 优化目标可表示为:

$$\begin{aligned}
 & \text{优化目标:} \begin{cases} \max. (F_l / F_d) \\ \max. F_l \\ \min. \Delta(t) \end{cases} \\
 & \text{约束条件:} \begin{cases} F_l / F_d > 6 \\ F_l > 10\text{kg} \\ \max. \Delta(t) < 0.05H \end{cases} \quad (1)
 \end{aligned}$$

[0071] 式中, F_l 表示高速水面航行器在速度20knot时所受的升力, F_d 表示高速水面航行器在速度20knot时所受的阻力, $\Delta(t)$ 表示高速水面航行器在速度20knot时航行过程中的瞬时升沉位移。

[0072] 优化目标的物理含义为: 高速水面航行器在速度20knot时升阻比尽可能大、升力要可能大、同时最小化升沉位移。约束条件的物理含义: 为确保水面航行器航行时的稳定性, 本发明中要求高速水面航行器在速度20knot时升阻比大于6、至少提供10公斤的升力, 同时瞬时升沉位移小于0.05H。

[0073] S2. 在设计变量的取值范围内, 采用试验设计方法建立初始样本集, 以减小设计和计算的工作量, 使样本点尽量均匀地分布在设计空间内。

[0074] 试验设计方法可以考虑选用部分因子设计、正交数组、中心组合设计、拉丁超立方设计、优拉丁超立方设计等方法。在一个优选的实施例中: 为了保证能以较少的样本点均匀地布满整个设计空间, 减小误差, 选用具有均匀性良好、采样次数较少、空间填充能力强等优点的最优拉丁超立方试验设计方法。

[0075] S3. 采用数值模拟(CFD)方法评估每个样本点的性能, 首先建立包含高速水面航行器及水翼的流体计算域, 在20knot速度下释放六自由度后, 获得升阻比计算结果、升力计算值和最大的升沉位移, 形成样本集数据库。

[0076] 数值模拟过程中,进口边界条件为基于水气体积分数的平坦VOF波、进口来流速度设为20knot。出口边界条件为基于水气体积分数的平坦VOF波、在水域设置为静水压力分布。其他侧面的边界条件与进口的设置相同。对于高速水面航行器的固体壁面设置为无滑移壁面。

[0077] S4.将每个样本点的设计变量作为输入,其对应的性能作为输出,建立从输入到输出的映射关系,得到替代模型。

[0078] 本实施例中,建立映射关系可选的方法包括响应面模型(Response Surface Methodology,RSM)、径向基神经网络模型(RBF)、椭圆神经网络模型(EBF)、正交多项式模型、克里金(Kriging)模型。

[0079] 在一个优选的实施例中:采用四阶响应面模型建立输入与输出之间精度足够高的替代模型,要求样本数量至少 $(p+1)*(p+2)/2+2p$, p 为设计变量的数量,此时 $p=5$,故要求样本数量至少为31,原始样本集的样本数量为70。

[0080] S5.采用多目标优化算法在设计空间内进行全局寻优,三个优化目标的权重因子相等,获得帕累托(pareto)前沿。

[0081] 可考虑采用的多目标优化方法包括,基于梯度的快速Pareto探索算法(Multi-Gradient Pareto Explorer)、基于遗传和梯度算法的全局Pareto探索算法(Hybrid Multi-Gradient Pareto Explorer)、第二代非劣排序遗传算法NSGA-II(Non-dominated Sorting Genetic Algorithm)、多目标粒子群算法及其变种。在全局寻优的过程中,新生成的样本点无需通过数值模拟进行性能评估,而是采用步骤四的替代模型进行快速评估,这样可以大大缩短优化设计的周期。

[0082] 在一个优选的实施例中,选择优化算法NSGA-II,具体的参数设置为,种群数量为200,遗传代数为100,交叉概率设为0.8,交叉分布指数为10,变异分布指数为10。

[0083] S6.从帕累托前沿选取 m 个帕累托前沿解进行数值模拟性能评估,判断得到的预测性能是否达到设计要求;如果未达到设计要求,则返回步骤S4,重新建立替代模型,继续运行。可以通过更换替代模型方法、或者更换训练集与测试集,重新建立满足精度要求的替代模型,然后依次执行步骤S5,并再次判断。如果多次优化替代模型仍然不满足要求,此时通过加点准则,将 m 个帕累托前沿解作为新样本添加到原来的样本集中,增加样本数量,返回步骤S4,继续执行S4、S5。

[0084] 如果满足设计要求,则跳转到步骤S7。

[0085] S7.对 m 个帕累托前沿解进行结构强度性能分析。

[0086] S8.判断所选取的 m 个帕累托前沿解的结构强度是否满足实际工程应用要求;如果满足,则输出最终的设计方案,并进行样机制造、湖上试验验证。如果不满足,则返回步骤S6从帕累托前沿重新选取,依次执行步骤S7,并重新进行判断,直到从帕累托前沿选取的解满足结构强度设计的要求。

[0087] 本发明中,通过上述优化设计方法,发现两个后水翼到高速水面航行器尾端的距离为 $0.15L-0.18L$,两个后水翼之间的距离在 $0.55B-0.60B$,即 x 范围为 $[0.15,0.18]$, z 范围为 $[0.55,0.60]$ 。

[0088] 前水翼主要用来克服高速水面航行器的低头力矩,避免艇体出现大幅度的垂荡现象。前水翼到高速水面航行器尾端的距离为 $0.78L-0.82L$,即 y 范围为 $[0.78,0.82]$ 。

[0089] 前水翼和后水翼的弦长 C_2 、 C_4 分别为 $[0.75, 0.85]$ m和 $[0.70, 0.78]$ m,该范围下高速水面航行器的升阻比和稳定性较好,即兼具快速性和稳定性的性能要求。

[0090] 实施例1

[0091] 为详细介绍本发明中水翼的结构,本实施例具体介绍如下:

[0092] 如图5所示,前水翼2的前升力部件4采用左右对称式分布。如图6所示,前升力部件4的翼型截面5为一系列同族的翼型,水翼的前缘为对称弧形,尾缘为直线型,翼型截面5-1的弦长为 C_2 ,前升力部件4的展长为 $3C_2$,翼型截面5-1的最大厚度是 s_1C_2 , $0.05 < s_1 < 0.15$ 。将中间截面记为翼型截面5-1,其他六个翼型截面与翼型截面5-1分别呈对称式分布,分别为翼型截面5-2(2个)、翼型截面5-3(2个)和翼型截面5-4(2个),如图5所示。其中每个翼型截面之间的距离均为 $0.5C_2$ 。对于翼型截面5-1、翼型截面5-2、翼型截面5-3、翼型截面5-4的几何形状,分别通过图6给出,截面5-2、截面5-3、截面5-4的弦长分别为 s_2C_2 、 s_3C_2 以及 s_4C_2 , $1 \geq s_2 \geq s_3 \geq s_4$,使得前升力部件4的前缘为光滑对称弧线,从而减小水流撞击前缘所致的流动分离、进而减小流动阻力。

[0093] 其中,所有水翼截面的最大厚度为 s_1C_2 ,一方面,之所以将水翼截面的最大厚度设计为相同的值,是为了保证在高速航行过程中,前升力部件4具有足够的结构强度,尤其是前升力部件4的端部能够抗住高速水流的冲击力而不发生折断(如果翼型截面5-2、翼型截面5-3、翼型截面5-4相对于翼型截面5-1按照弦长等比例缩放的话,那么会使得翼型截面的最大厚度逐渐减小,使得翼型截面5-4的最大厚度非常小,在20knot速度高速航行时,翼型截面5-4无法承受水流的高速冲击力而发生折断)。另一方面,水翼截面的最大厚度,不宜过大,也不宜过小。如果最大厚度过大的话,上弧线向外过于凸,使得水流易发生流动分离、增加流动阻力;如果最大厚度过小的话,则无法提供足够的升力。因此,最大厚度的参数设置对于减小流动阻力、增加水翼截面的升力,至关重要。推荐一种优选的最大厚度为0.1倍翼型截面5-1的弦长。

[0094] 每个翼型截面的上弧线为外凸的弧形,下弧线为直线型。

[0095] 一种前升力部件4优选的实施例: $s_1=0.1$, $s_2=0.95$, $s_3=0.8$, $s_4=0.5$,将7个同族翼型的截面型线连接封闭的翼型截面扫略,即能够形成升力部件。

[0096] 如图7所示,前水翼2的前支撑部件6的主视图为四边形,起到连接高速水面航行器1的板体和前水翼升力部件4的作用,切割自由面的柱面高度为 m_2C_1 ,其相对立的柱面高度为 m_1C_1 ,其中 $2.0 < m_1 \leq m_2 < 3.0$ 。

[0097] 一个前支撑部件6优选的实施例为:逆时针方向,左侧边的高度为 $2.5C_1$ 、上侧边水平方向的长度为 $1.1C_1$ 、右侧边的高度为 $2.75C_1$ 、下侧边水平方向的长度 $0.85C_1$ 。前水翼2的支撑部件6的A-A截面:长度为 C_1 、两端导半圆。

[0098] 后水翼3的后升力部件8,如图9所示,前缘为对称弧形,尾缘为直线型,最大弦长为 C_4 ,展长为 $3C_4$,通过七个截面型线连接封闭的翼型截面扫略而成。将中间截面记为截面9-1,其他六个截面与截面9-1分别呈对称式分布,分别为截面9-2(2个)、截面9-3(2个)和截面9-4(2个),如图9所示。其中,每个截面之间的距离均为 $0.5C_4$ 。截面9-1、截面9-2、截面9-3、截面9-4的形状与尺寸分别通过图10给出。截面9-1的弦长为 C_4 ,厚度为是 s_1C_4 , $0.05 < s_1 < 0.15$ 。截面9-2、截面9-3、截面9-4的弦长分别为 s_2C_4 、 s_3C_4 以及 s_4C_4 , $1 \geq s_2 \geq s_3 \geq s_4$ 。所有截面的最大厚度为 s_1C_4 。每个翼型截面的上弧线为外凸的弧形,下弧线为直线型。

[0099] 一种后升力部件8优选的实施例： $s_1=0.1, s_2=0.95, s_3=0.8, s_4=0.5$ 。

[0100] 后水翼3的后支撑部件10,如图11所示,主视图为四边形,上边和下边为直线,两条侧边为弧线。其中,上边的水平方向长度为 n_1C3 ,下边的水平方向长度为 n_2C3 ,左侧边的垂直方向长度为 n_3C3 ,右侧边的垂直方向长度为 $n_4C3, n_1 \geq n_2, n_3 \approx n_4$ 。后支撑部件10的截面B-B的上边为水平直线,下边为月牙形,厚度为 s_1C3 。这种流线型的设计可以有效减小航行阻力;另一方面,因为后水翼3有两个,成对称式,故将截面B-B上边设计成直线,如此后支撑部件10安装后所产生的横向力可以相互抵消,如此可以增加高速水面航行器的稳定性。

[0101] 后升力部件8的厚度为 s_1C4 ,后支撑部件10的厚度为 s_1C3 。其中的厚度参数 s_1 相同,是因为支撑部件的厚度主要是能够承受结构强度,而升力部件的厚度既要能够承受足够的结构强度、又要提供足够大的升力和较小的阻力,因此,将升力部件的厚度直接应用到支撑部件,支撑部件的厚度自然也是满足结构强度要求的,同时使用相同的参数 s_1 ,在满足设计效果的基础上,也减少了参数设置,提高了设计效率。

[0102] 一种后支撑部件10优选的实施例： $n_1=1.25, n_2=0.75, n_3=1.45, n_4=1.5$ 。

[0103] 本实施例提供的用于高速水面航行器的水翼,通过支撑部件和升力部件的构型设计,可以在航行时提供稳定升力,使得高速水面航行器抬出水面,减小高速水面航行器的沾湿面积,从而大大减小粘性阻力。此外,该水翼还能够快速达到全通气空泡的稳定区间,大大减小了兴波阻力,并能够在机动转弯时提供转向附加力矩。

[0104] 高速水面航行器航行时,前支撑部件和后支撑部件始终处于切割自由面状态,前升力部件和后升力部件完全浸没在水中且贴近自由面航行。

[0105] 因此,对于后支撑部件来说,切割自由面的后支撑部件,在高速航行过程中,首先在后支撑部件的尾部形成水气混合的基础通气空腔,并且非常容易受到外界扰动,例如在泰勒不稳定性的诱导下,自由液面会发生扰动,将自由面上侧的空气带入后支撑部件的切割自由面侧,并且在水气巨大压力差的作用下,空气会沿着后支撑部件的切割自由面侧不断向下侵入,直至完全占据后支撑部件的吸力面,从而形成全通气空泡的稳定区间,以使得后支撑部件所受的力是稳定的。正是由于后支撑部件的吸力面侧完全被空气覆盖,这样使得后支撑部件所受的进一步阻力减小。

[0106] 以上实施例仅为本申请的示例性实施例,不用于限制本申请,本申请的保护范围由权利要求书限定。本领域技术人员可以在本申请的实质和保护范围内,对本申请做出各种修改或等同替换,这种修改或等同替换也应视为落在本申请的保护范围内。

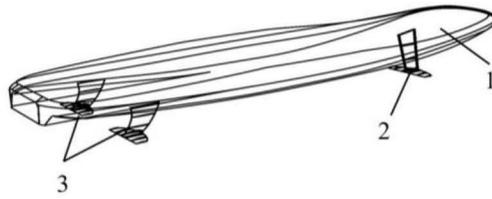


图1

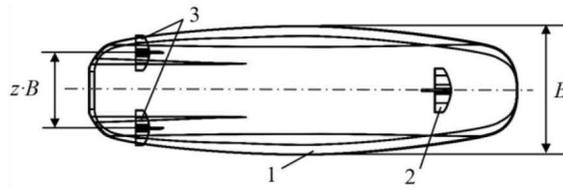


图2

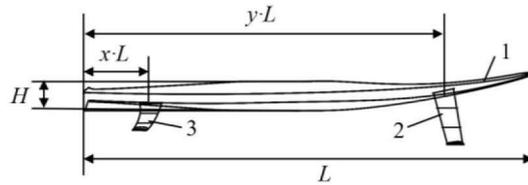


图3

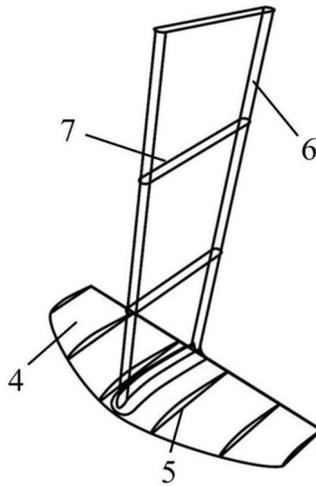


图4

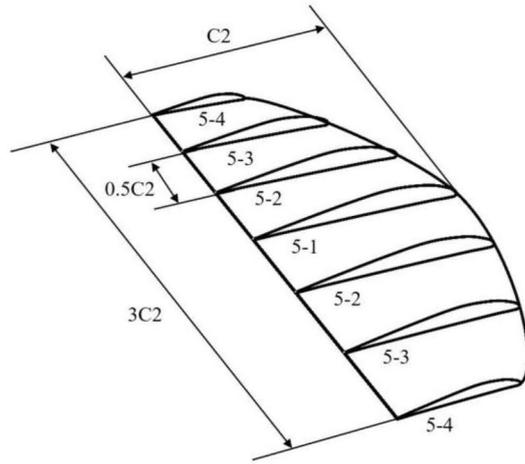


图5

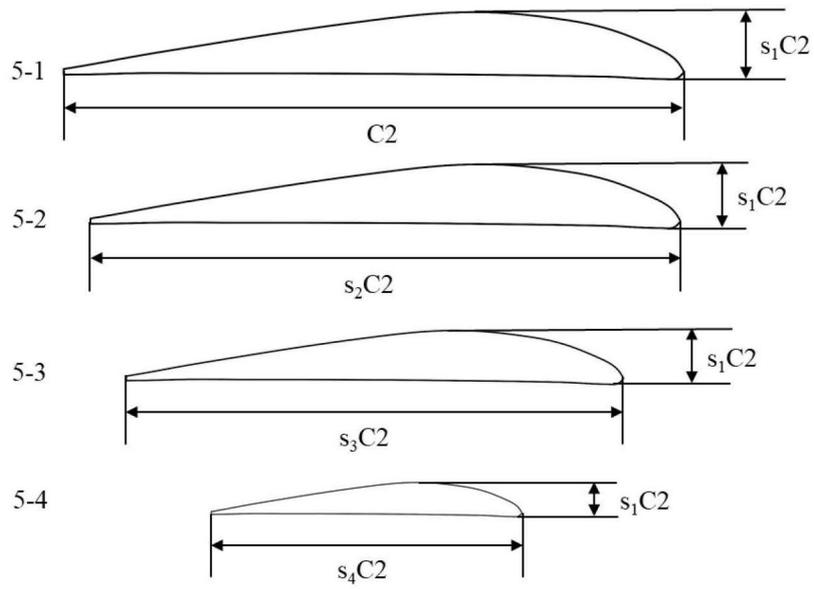


图6

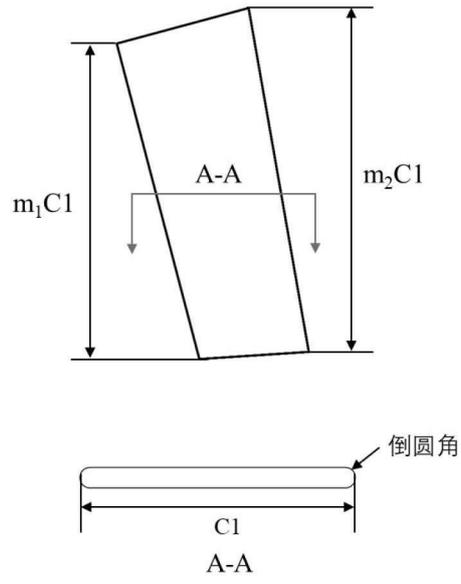


图7

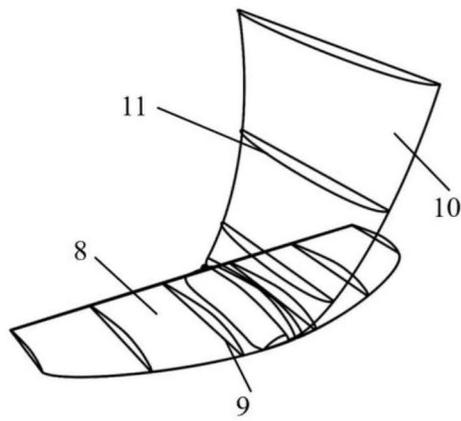


图8

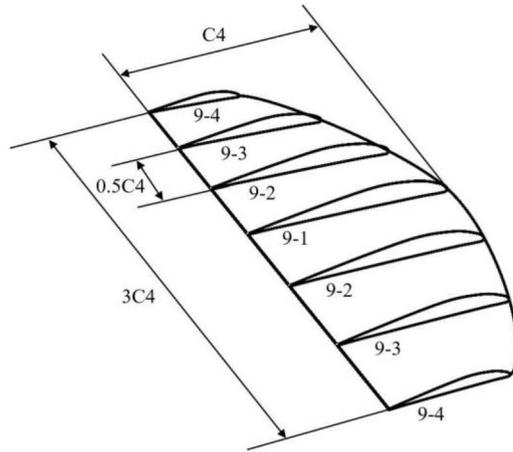


图9

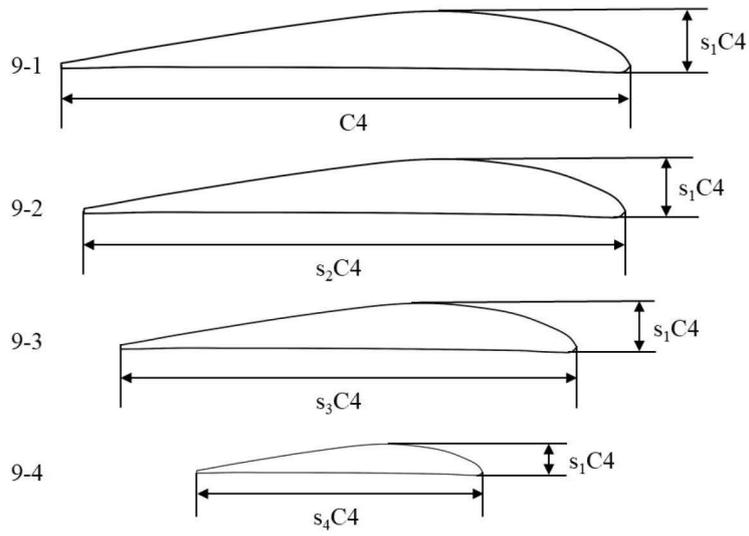


图10

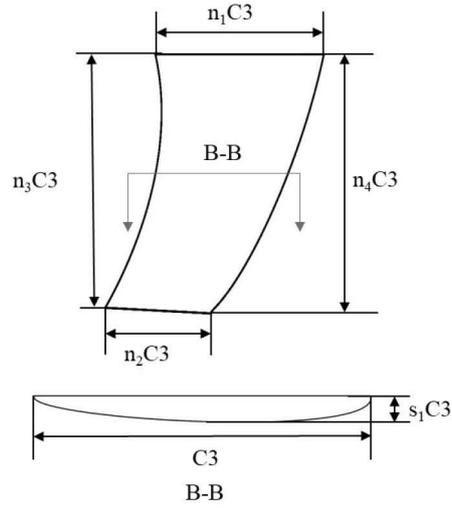


图11

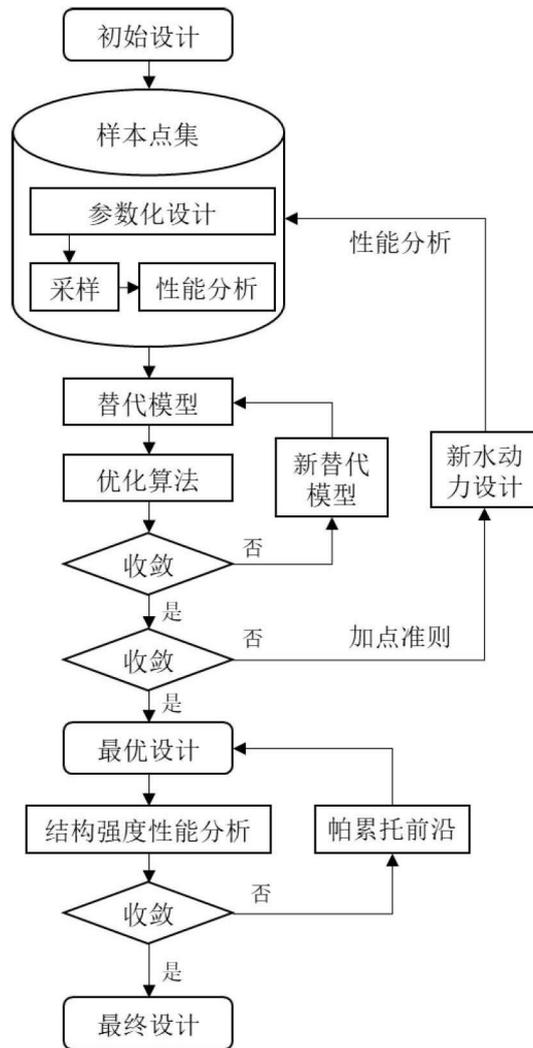


图12