



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116090104 A

(43) 申请公布日 2023.05.09

(21) 申请号 202310109478.7

G06F 111/10 (2020.01)

(22) 申请日 2023.02.14

G06F 111/04 (2020.01)

(71) 申请人 中国科学院力学研究所

G06F 113/08 (2020.01)

地址 100190 北京市海淀区北四环西路15号

G06F 119/14 (2020.01)

(72) 发明人 黄仁芳 王一伟 黄剑霖 支玉昌
陈永刚 黄晨光 杜特专 王静竹
岳杰顺

(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.

G06F 30/15 (2020.01)

G06F 30/27 (2020.01)

G06F 30/28 (2020.01)

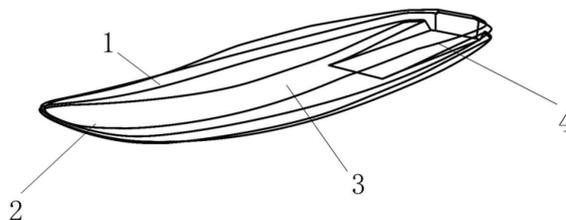
权利要求书3页 说明书11页 附图4页

(54) 发明名称

一种高速水面航行器的板体结构及设计方法

(57) 摘要

本发明公开了一种高速水面航行器的板体结构及设计方法,板体结构为流线型结构,板体中部为水平段,板体前端向上翘起,板体后端向上微翘起,其翘起幅度小于板体前端的翘起幅度;在板体结构的宽度方向上,板体前端和板体后端采用收缩状态的流线型,板体前端至板体中部沿板体长度方向逐渐变宽,中部至板体后端沿板体长度方向逐渐变窄。本发明还提供了板体结构的设计方法,根据板体结构的设计变量和优化目标建立基于交叉验证的替代模型,采用多目标优化设计方法缩短研发周期。本发明的板体结构可以降低水面航行器的水动力阻力,载人的同时提高航行速度,还能够提高水面航行器的稳定性,解决了现有技术中水面航行器无法兼顾载人和高速航行需求的问题。



1. 一种高速水面航行器的板体结构,其特征在于,

所述板体结构(1)为流线型结构,沿所述板体结构(1)的运动方向,所述板体结构(1)包括板体前端(2)、板体中部(3)和板体后端(4),所述板体中部(3)为水平段,所述板体前端(2)从所述板体中部(3)向上翘起,所述板体后端(4)从所述板体中部(3)向上微翘起,其翘起幅度小于所述板体前端(2)的翘起幅度,以在起滑过程中快速抬升所述板体结构(1);

在所述板体结构(1)的宽度方向上,所述板体前端(2)和所述板体后端(4)采用收缩状态的流线型,所述板体前端(2)至所述板体中部(3)沿板体长度方向逐渐变宽,所述板体中部(3)至所述板体后端(4)沿板体长度方向逐渐变窄,以减小起滑过程中的所述板体结构(1)受到的阻力。

2. 根据权利要求1所述的一种高速水面航行器的板体结构,其特征在于,

在所述板体后端(4)的尾部设有动力模块舱,用于安装喷水推进器,所述板体后端(4)的两侧围绕所述动力模块舱向上收缩,使得所述板体后端(4)的收缩幅度大于所述板体前端(2)的收缩幅度,以减小所述板体结构(1)的沾湿面积减小航行时的水动力阻力。

3. 根据权利要求1所述的一种高速水面航行器的板体结构,其特征在于,

所述板体结构(1)的长度大于三倍的所述板体结构(1)的宽度,所述板体结构(1)的宽度大于三倍的所述板体结构(1)的厚度,以减少所述板体结构在航行时的水动力阻力;

所述板体结构(1)的长度L为大于1.2m,宽度B为大于0.35m,以满足载人需求。

4. 根据权利要求1-3任一项所述的一种高速水面航行器的板体结构,其特征在于,

所述板体结构(1)的龙骨线(5)由三段直线光滑过渡组成,包括板体前端的直线部分(6)、板体中部的直线部分(7)和板体后端的直线部分(8),所述板体前端的直线部分(6)与所述板体中部的直线部分(7)的夹角 α_1 ,取值范围为 $0-30^\circ$,所述板体中部的直线部分(7)与所述板体后端的直线部分(8)的夹角 α_2 ,取值范围为 $0-10^\circ$ 。

5. 根据权利要求4所述的一种高速水面航行器的板体结构,其特征在于,

由所述板体前端(2)至所述板体后端(4),在分别距离板体前端端部 $0.2L$ 、 $0.4L$ 、 $0.55L$ 、 $0.7L$ 和 $0.9L$ 处,分别设置有垂直于水平面的所述板体结构(1)的第一横截面(9)、第二横截面(10)、第三横截面(11)、第四横截面(12)和第五横截面(13),在所述龙骨线(5)的基础上,由五个横截面扫略形成所述板体结构(1);

其中,L为所述板体结构(1)的长度。

6. 根据权利要求5所述的一种高速水面航行器的板体结构,其特征在于,

所述第一横截面(9)和第二横截面(10)为倒角矩形,上下两边平行,左右两边平行,顶点倒角用直线连接,以表示板体结构的收缩幅度;

所述第一横截面(9)中,倒角矩形的宽为 a_1B ,高为 a_2H ,其中B为所述板体结构(1)的宽度,H为所述板体结构(1)的厚度,沿顺时针方向以上边为起点,所述第一横截面(9)的倒角矩形中各边长分别为 a_3B 、 a_5H 、 a_4B 和 a_5H , $a_1 > a_4 > a_3$,使得上边的收缩幅度大于下边的收缩幅度,从而提高高速水面航行器的稳定性;

所述第二横截面(10)中,倒角矩形的宽为 b_1B ,高为 b_2H ,沿顺时针方向以上边为起点,所述第二横截面(10)的倒角矩形中各边长分别为 b_3B 、 b_5H 、 b_4B 和 b_5H , $b_1 > b_3 > b_4$,使得上边的收缩幅度小于下边的收缩幅度,从而减小了板体结构(1)底部的沾湿面积,减小水动力阻力。

7. 根据权利要求5所述的一种高速水面航行器的板体结构,其特征在于,

所述第三横截面(11)位于所述板体结构(1)的最宽位置处,是倒角矩形,倒角矩形的宽为B,高为H,沿顺时针方向以上边为起点,所述第三横截面(11)的倒角矩形中各边长分别为 c_1B 、 c_3H 、 c_2B 和 c_3H , $1 > c_1 > c_2$ 。

8. 根据权利要求5所述的一种高速水面航行器的板体结构,其特征在于,

所述第四横截面(12)和所述第五横截面(13)为在倒角矩形的下边中心处设凸台(18),所述凸台(18)和倒角矩形的底边之间采用直线段连接为倒角,使得所述板体后端(4)的两侧保持收缩状态,所述凸台(18)用于安装喷水推进器。

9. 一种高速水面航行器的板体结构的设计方法,其特征在于,所述方法包括如下步骤:

S1. 对板体结构进行参数化设计,确定设计变量包括板体结构的长度L、宽度B、高度H,龙骨线中板体前端直线部分(6)与板体中部直线部分(7)的夹角 α_1 ,板体后端直线部分(8)与板体中部直线部分(7)的夹角 α_2 、龙骨线中板体直线部分(6)与板体中部直线部分(7)的导圆半径为 R_1 、板体中部直线部分(7)与板体后端直线部分(8)的导圆半径 R_2 ,同时确定优化目标为板体结构受到的阻力值和最大升沉位移;

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. 采用数值模拟方法评估初始样本集中每个样本点的性能,即每个样本点对应的阻力值和最大升沉位移;

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,得到基于交叉验证的替代模型;

S5. 采用优化算法在设计空间内进行全局寻优,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水动力设计要求;如果未达到水动力设计要求,则将m个帕累托前沿解添加到初始样本集,增加初始样本集的数量,返回步骤S4继续运行;如果满足水动力设计要求,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。

10. 根据权利要求9所述的设计方法,其特征在于,

步骤S3中基于交叉验证的替代模型的建立过程为:

a) 将初始样本集十等分为 $N_1 \sim N_{10}$,其中90%为训练集,而剩余的10%划分为测试集;

b) 用 $N_2 \sim N_{10}$ 的样本训练替代模型,用 N_1 的样本集作为测试集,直到当前的替代模型 $f_1(N_1)$ 满足精度要求;

c) 然后用 $N_1, N_3 \sim N_{10}$ 的样本作为训练集,用 N_2 的样本集作为测试集,直到当前的替代模型 $f_2(N_2)$ 满足精度要求;

d) 如此依次将 $N_3, N_4 \dots N_{10}$ 作为测试集,余下的9个样本集作为训练集,分别建立所对应的替代模型 $f_3(N_3), f_4(N_4) \dots f_{10}(N_{10})$,计算得到10个测试集对应的误差 $E_1 \sim E_{10}$;

e) 比较10个误差 $E_1 \sim E_{10}$,找出最小的误差 $\min.(E_i), i=1 \sim 10$,最小误差所对应的替代模型为最优的替代模型。

11. 根据权利要求9所述的设计方法,其特征在于,
经过所述方法优化设计后,板体结构(1)的长度L为1.55~2.0米,宽度B为0.45~0.70米,高度H为0.10~0.20米;

板体前端的直线部分(6)与板体中部的直线部分(7)的夹角 α_1 为6~12°,板体后端的直线部分(8)与板体中部的直线部分(7)的夹角 α_2 为1~4°。

一种高速水面航行器的板体结构及设计方法

技术领域

[0001] 本发明属于高速水面航行器技术领域,具体涉及一种高速水面航行器的板体结构及设计方法。

背景技术

[0002] 根据海洋中复杂的海况和特殊任务等要求,水面航行器需要大力发展快速性和载人需求。快速性要求航行器的板体结构水动力阻力足够小,能够在一定功率推进器推动下尽最大可能达到更高的航行速度,因此其板体结构要求在流线型设计的基础上尽可能的降低水动力阻力。而载人要求航行器的板体结构具有一定的抗风浪能力和较好的稳定性,以保证工作人员在航行器上能够保持舒适并具有稳定安全的工作环境,绝对不能出现海豚运动。因此其板体结构在高速航行过程中需要保持平稳的运动姿态、不会发生大幅度的升沉位移。

[0003] 由于水上作业的特殊性和复杂性,需要水面航行器搭载工作人员进入区域完成作业或任务。例如,中国专利文献CN 202210067232.3提供了一种无压载的水面水下载人航行器,通过板体结构的设计可以完成载人的功能,但其板体结构的阻力特性并不能满足高速航行的需求。

[0004] 而目前,现有的载人水面航行器航速一般不超过10knot,主要用于水上娱乐,比如冲浪板、摩托艇等,这些低速的载人水面航行器不能支持高速航行,难以完成特定的海洋巡航任务等。

[0005] 虽然,目前的高速水面航行器的航速能够达到100knot,但是其一般采用小水面线面的构型设计方案,这种类型的高速水面航行器往往抗风浪性很差,容易发生倾覆和海豚运动,因此,常用于无人作业任务,通常不具备载人功能,无人航行器可以完成一些简单的作业任务,而对于复杂的作业任务而言难以实现。例如,中国专利文献CN 201620156213.8提供了一种水面通气双气泡高速航行运动体结构,能够通过板体设计极大限度减少航行器阻力以达到高速航行的需求,但航行器并不能实现载人的功能。

[0006] 综上,现有技术的高速水面航行器的板体结构中,由于采用小水面线面的构型设计方案,抗风浪性差,导致无法载人。而载人航行器的板体结构中,由于需要满足载人的需求,所以板体结构往往要比无人式板体结构要大,板体结构的宽度和长度都比无人式要大,载人重量的存在导致板体结构的阻力增加、进而影响航速。所以水面航行器无法同时满足高速航行和载人的需求。

发明内容

[0007] 本发明公开了一种高速水面航行器的板体结构及设计方法,可以降低水面航行器的水动力阻力、提高水面航行器的航行稳定性,提高航行速度和载人的舒适度,以解决现有技术中水面航行器无法兼顾载人和高速航行需求的问题。

[0008] 在本发明的第一个方面,提供了一种高速水面航行器的板体结构,所述板体结构

为流线型结构,沿所述板体结构的运动方向,所述板体结构包括板体前端、板体中部和板体后端,所述板体中部为水平段,所述板体前端从所述板体中部向上翘起,所述板体后端从所述板体中部向上微翘起,其翘起幅度小于所述板体前端的翘起幅度,以在起滑过程中快速抬升所述板体结构;

[0009] 在所述板体结构的宽度方向上,所述板体前端和所述板体后端采用收缩状态的流线型,所述板体前端至所述板体中部沿板体长度方向逐渐变宽,所述板体中部至所述板体后端沿板体长度方向逐渐变窄,以减小起滑过程中的所述板体结构受到的阻力。

[0010] 进一步地,在所述板体后端的尾部设有动力模块舱,用于安装喷水推进器,所述板体后端的两侧围绕所述动力模块舱向上收缩,使得所述板体后端的收缩幅度大于所述板体前端的收缩幅度,以减小所述板体结构的沾湿面积减小航行时的水动力阻力。

[0011] 进一步地,所述板体结构的长度大于三倍的所述板体结构的宽度,所述板体结构的宽度大于三倍的所述板体结构的厚度,以减少所述板体结构在航行时的水动力阻力;

[0012] 所述板体结构的长度 L 为大于 1.2m ,宽度 B 为大于 0.35m ,以满足载人需求。

[0013] 进一步地,所述板体结构的龙骨线由三段直线光滑过渡组成,包括板体前端的直线部分、板体中部的直线部分和板体后端的直线部分,所述板体前端的直线部分与所述板体中部的直线部分的夹角 α_1 ,取值范围为 $0-30^\circ$,所述板体中部的直线部分与所述板体后端的直线部分的夹角 α_2 ,取值范围为 $0-10^\circ$ 。

[0014] 进一步地,由所述板体前端至所述板体后端,在分别距离板体前端端部 $0.2L$ 、 $0.4L$ 、 $0.55L$ 、 $0.7L$ 和 $0.9L$ 处,分别设置有垂直于水平面的所述板体结构的第一横截面、第二横截面、第三横截面、第四横截面和第五横截面,在所述龙骨线的基础上,由五个横截面扫略形成所述板体结构;其中, L 为所述板体结构的长度。

[0015] 进一步地,所述第一横截面和第二横截面为倒角矩形,上下两边平行,左右两边平行,顶点倒角用直线连接,以表示板体结构的收缩幅度;

[0016] 所述第一横截面中,倒角矩形的宽为 a_1B ,高为 a_2H ,其中 B 为所述板体结构的宽度, H 为所述板体结构的厚度,沿顺时针方向以上边为起点,所述第一横截面的倒角矩形中各边长分别为 a_3B 、 a_5H 、 a_4B 和 a_5H , $a_1 > a_4 > a_3$;使得上边的收缩幅度大于下边的收缩幅度,从而提高高速水面航行器的稳定性;

[0017] 所述第二横截面中,倒角矩形的宽为 b_1B ,高为 b_2H ,沿顺时针方向以上边为起点,所述第二横截面的倒角矩形中各边长分别为 b_3B 、 b_5H 、 b_4B 和 b_5H , $b_1 > b_3 > b_4$,使得上边的收缩幅度小于下边的收缩幅度,从而减小了板体结构底部的沾湿面积,减小水动力阻力。

[0018] 进一步地,所述第三横截面位于所述板体结构的最宽位置处,是倒角矩形,倒角矩形的宽为 B ,高为 H ,沿顺时针方向以上边为起点,所述第三横截面的倒角矩形中各边长分别为 c_1B 、 c_3H 、 c_2B 和 c_3H , $1 > c_1 > c_2$ 。

[0019] 进一步地,所述第四横截面和所述第五横截面为在倒角矩形的下边中心处设凸台,所述凸台和倒角矩形的底边之间采用直线段连接为倒角,使得所述板体后端的两侧保持收缩状态,所述凸台用于安装喷水推进器。

[0020] 在本发明的第二个方面,提供了一种高速水面航行器的板体结构的设计方法,所述方法包括如下步骤:

[0021] S1.对板体结构进行参数化设计,确定设计变量包括板体结构的长度 L 、宽度 B 、高

度H,龙骨线中板体前端直线部分与板体中部直线部分的夹角 α_1 ,板体后端直线部分与板体中部直线部分的夹角 α_2 、龙骨线中板体直线部分与板体中部直线部分的导圆半径为 R_1 、板体中部直线部分与板体后端直线部分的导圆半径 R_2 ,同时确定优化目标为板体结构受到的阻力值和最大升沉位移;

[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.采用数值模拟方法评估初始样本集中每个样本点的性能,即每个样本点对应的阻力值和最大升沉位移;

[0024] 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,得到基于交叉验证的替代模型;

[0025] S5.采用优化算法在设计空间内进行全局寻优,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水动力设计要求;如果未达到水动力设计要求,则将m个帕累托前沿解添加到初始样本集,增加初始样本集的数量,返回步骤S4继续运行;如果满足水动力设计要求,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S3中基于交叉验证的替代模型的建立过程为:

[0030] a)将初始样本集十等分为 $N_1 \sim N_{10}$,其中90%为训练集,而剩余的10%划分为测试集;

[0031] b)用 $N_2 \sim N_{10}$ 的样本训练替代模型,用 N_1 的样本集作为测试集,直到当前的替代模型 $f_1(N_1)$ 满足精度要求;

[0032] c)然后用 $N_1, N_3 \sim N_{10}$ 的样本作为训练集,用 N_2 的样本集作为测试集,直到当前的替代模型 $f_2(N_2)$ 满足精度要求;

[0033] d)如此依次将 $N_3, N_4 \dots N_{10}$ 作为测试集,余下的9个样本集作为训练集,分别建立所对应的替代模型 $f_3(N_3), f_4(N_4) \dots f_{10}(N_{10})$,计算得到10个测试集对应的误差 $E_1 \sim E_{10}$;

[0034] e)比较10个误差 $E_1 \sim E_{10}$,找出最小的误差 $\min.(E_i), i=1 \sim 10$,最小误差所对应的替代模型为最优的替代模型。

[0035] 进一步地,经过所述方法优化设计后,板体结构的长度L为1.55~2.0米,宽度B为0.45~0.70米,高度H为0.10~0.20米;

[0036] 板体前端的直线部分与板体中部的直线部分的夹角 α_1 为6~12°,板体后端的直线部分与板体中部的直线部分的夹角 α_2 为1~4°。

[0037] 本发明和现有技术相比具有如下有益效果:

[0038] 1.本发明中,板体结构的宽度随板体长度方向先渐宽后稍变窄,一方面为了在板体中部留有足够的空间安装更大功率的电池舱,有助于将电池设计得更大功率,进而水面航行器可以获得更大的推力,从而达到更高的航速。另一方面,可以满足流线型设计,以减小起滑过程中板体的阻力;还可以便于载人,将人的重心与水面航行器整个装置的质心尽

可能地重合,有利于保持航行过程的稳定性,不会发生海豚运动。

[0039] 2.在板体高度方向,板体前端上翘,板体后端也稍微上翘,可以使得航行器在起滑过程中能够快速抬升板体,在减小起滑过程中板体的阻力的同时,还能够快速抬升板体,从而在一定功率喷水推进器的推动下,可以缩短提速的时间,进而提高航行器的航速。此外,板体的前端上翘的设计,能够提高板体的耐波性和抗浪性,改善水面航行器航行过程中的稳定性,同时还兼顾流线型设计的减阻效果,以达到高速稳定载人的要求。

[0040] 3.本发明针对上述板体结构还提出了一种设计方法,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。而本发明中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

[0041] 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。

[0042] 图1为本发明实施例中的板体结构示意图;

[0043] 图2为图1的正视图;

[0044] 图3为图1的俯视图;

[0045] 图4为本发明实施例中的板体结构龙骨线示意图;

[0046] 图5为本发明实施例中的板体结构的横截面示意图;

[0047] 图6为本发明实施例中的板体结构的第一横截面示意图;

[0048] 图7为本发明实施例中的板体结构的第二横截面示意图;

[0049] 图8为本发明实施例中的板体结构的第三横截面示意图;

[0050] 图9为本发明实施例中的板体结构的第四横截面示意图;

[0051] 图10为本发明实施例中的板体结构的第五横截面示意图;

[0052] 图11为本发明实施例中的板体结构的设计方法流程图;

[0053] 图12为本发明实施例中的样本点集十等分示意图;

[0054] 图中:1-板体结构,2-板体前端,3-板体中部,4-板体后端,5-龙骨线,6-板体前端的直线部分,7-板体中部的直线部分,8-板体后端的直线部分,9-第一横截面,10-第二横截面,11-第三横截面,12-第四横截面,13-第五横截面,14-横截面的上边,15-横截面的下边,16-横截面的左边,17-横截面的右边,18-凸台,19-连接凸台和下倒角的水平线。

具体实施方式

[0055] 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。

[0056] 如图1所示,本发明提供了一种高速水面航行器的板体结构,板体结构1为流线型结构,沿板体结构的运动方向,板体结构1包括板体前端2、板体中部3和板体后端4,板体中部3为水平段,板体前端2从板体中部3向上翘起,板体后端4从板体中部3向上微翘起,其翘起幅度小于板体前端2的翘起幅度,以在起滑过程中快速抬升板体结构1;在板体结构1的宽度方向上,板体前端2和板体后端4采用收缩状态的流线型,板体前端2至板体中部3沿板体长度方向逐渐变宽,板体中部3至板体后端4沿板体长度方向逐渐变窄,以减小起滑过程中的板体结构1受到的阻力。

[0057] 本发明中板体结构1的宽度随板体长度方向先渐宽后稍变窄,一方面为了留有足够的空间安装更大功率的电池舱,另一方面,可以满足流线型设计,以减小起滑过程中板体的阻力。在板体高度方向,板体前端2上翘,板体后端4也稍微上翘,可以使得航行器在起滑过程中能够快速抬升板体,所以本发明中板体结构1的设计,在减小起滑过程中板体的阻力的同时,还能够快速抬升板体,从而在一定功率喷水推进器的推动下,可以缩短提速的时间,进而提高航行器的航速。此外,板体的前端上翘的设计,能够提高板体的耐波性和抗浪性,改善水面航行器航行过程中的稳定性,同时还兼顾流线型设计的减阻效果,以达到高速稳定载人的要求。

[0058] 在一个可能的实施例中,在板体后端4的尾部设有动力模块舱,用于安装喷水推进器,板体后端4的两侧围绕动力模块舱向上收缩,使得板体后端4的收缩幅度大于板体前端2的收缩幅度,以减小板体结构1的沾湿面积减小航行时的水动力阻力。

[0059] 本实施例中,板体底面两侧型线向上收缩,中后部同样采用收缩状态的流线型,动力系统两侧的板体向上收缩,一方面可以减小重量,有利于提高航行速度,另一方面可以减小沾湿面积,减小航行时的水动力阻力。

[0060] 本发明中,板体结构1的长度L大于三倍的板体结构1的宽度B(即 $L > 3B$),板体结构1的宽度B大于三倍的板体结构1的厚度H(即 $B > 3H$),以减少板体结构1在航行时的水动力阻力。一般情况下,板体结构1为狭长形,长度L显著大于板体宽度尺寸B,板体宽度尺寸B又要显著大于板体高度尺寸H,即 $L \gg B \gg H$,以此保证板体的水动力阻力尽可能小。

[0061] 为保证载人需求,进一步明确板体结构1的尺寸,板体结构1的长度L为大于1.2m,宽度B为大于0.35m,以满足载人需求。

[0062] 板体中部3设有电池舱,高速水面航行器的工作原理为,通过电池驱动电机,从而带动喷水推进器;进而利用喷水推进器向后喷出水流的反作用力来推动水面航行器向前运动;通过趴在板体上的工作人员人为地向左倾斜、或者向右倾斜,给向前航行中的板体提供一个向心力,来实现人为地转弯。假设人的体重为50kg,航行速度20knot(约10.288m/s),向左倾斜20度,则根据 $F_{\text{向}} = mg \tan 20^\circ = mv^2/r$,转弯半径约为29m。

[0063] 在一个具体实施例中,如图2-3所示,5为板体1的龙骨线。板体前端2从板体中部3向上方翘起,板体中部3为水平段,板体后端4也稍微往上翘起。板体中部3在宽度方向上具有最大的宽度,一方面便于载人,将人的重心与水面航行器整个装置的质心尽可能地重合,有利于保持航行过程的稳定性,不会发生海豚运动;另一方面板体中部3内预先留有足够的空间来安放电池,有助于将电池设计得更大功率,进而水面航行器可以获得更大的推力,从而达到更高的航速。

[0064] 如图4所示,板体结构1的龙骨线5由三段直线光滑过渡组成,采用流线型设计,包

括板体前端的直线部分6、板体中部的直线部分7和板体后端的直线部分8,板体前端的直线部分6与板体中部的直线部分7的夹角 α_1 ,取值范围为 $0-30^\circ$,板体中部的直线部分7与板体后端的直线部分8的夹角 α_2 ,取值范围为 $0-10^\circ$ 。板体前端的直线部分6与板体中部的直线部分7通过半径为 R_1 的导圆光滑过渡,板体中部的直线部分7与板体后端的直线部分8通过半径为 R_2 的导圆光滑过渡。

[0065] 由板体前端2至板体后端4,在分别距离板体前端2端部 $0.2L$ 、 $0.4L$ 、 $0.55L$ 、 $0.7L$ 和 $0.9L$ 处,分别设置有垂直于水平面的板体结构1的第一横截面9、第二横截面10、第三横截面11、第四横截面12和第五横截面13,如图5所示,龙骨线5是板体结构1的形状控制线,在龙骨线5的基础上,由五个横截面扫略形成板体结构1。

[0066] 第一横截面9和第二横截面10为倒角矩形,上下两边平行,左右两边平行,顶点倒角用直线连接,以表示板体结构1的收缩幅度。倒角是为了板体前端2满足流线型设计要求,除了可以减重之外,还可以减小沾湿面积,从而降低水动力阻力。

[0067] 如图6所示,第一横截面9中,上边14和下边15平行、左边16和右边17平行,倒角矩形的宽为 a_1B ,高为 a_2H ,沿顺时针方向以上边为起点,第一横截面9的倒角矩形中各边长分别为 a_3B 、 a_5H 、 a_4B 和 a_5H 。由于板体结构1整体是沿龙骨线对称的,所以每个横截面的两端是对称的。其中, $a_1 > a_4 > a_3$,截面边长的设置使得上边的收缩幅度大于下边的收缩幅度,从而提高高速水面航行器的稳定性。

[0068] 如图7所示,第二横截面10中,倒角矩形的宽为 b_1B ,高为 b_2H ,沿顺时针方向以上边为起点,第二横截面10的倒角矩形中各边长分别为 b_3B 、 b_5H 、 b_4B 和 b_5H ,第二横截面10的宽度需要满足 $b_1 > b_3 > b_4$,使得上边的收缩幅度小于下边的收缩幅度,从而减小了板体结构1底部的沾湿面积,减小水动力阻力。

[0069] 如图8所示,第三横截面11位于板体结构1的最宽位置处,是倒角矩形,倒角矩形的宽为 B ,高为 H ,沿顺时针方向以上边为起点,第三横截面11的倒角矩形中各边长分别为 c_1B 、 c_3H 、 c_2B 和 c_3H 。第三横截面11是板体最宽的位置,处于板体中部3,既是安装电池舱的位置,也是人体趴在板体上的主要受力面,其中,虚线表示电池舱,因此,从电池舱容量最大化和人趴着的舒适性的两方面考虑,第三横截面的宽度需要满足 $1 > c_1 > c_2$ 。

[0070] 第四横截面12和第五横截面13为在倒角矩形的下边中心处设凸台18,凸台18和倒角矩形的底边之间采用直线段连接为倒角,使得板体后端的两侧保持收缩状态,凸台18用于安装喷水推进器。

[0071] 如图9所示,第四横截面12中,左边16和右边17平行竖直线、间距为 B ,上边14和下边15水平平行,间距为 d_1H ,上边两端对称倒角,倒角后上边的宽度为 d_2B ,下部倒角两次并用短水平线连接,形成一个向下的凸台18,倒角后下边15的宽度为 d_3B ,倒角后左边16和右边17的高度为 d_4H ,凸台18的高度为 d_6H ,凸台18相邻的水平线19的宽度为 d_5B 。第四横截面的宽度需要满足 $1 > d_2 > d_5 > d_3$ 。

[0072] 如图10所示,第五横截面13中,左边16和右边17竖直线、间距为 e_1B ,上边14和下边15为水平线、间距为 e_2H ,上边14两端对称倒角,倒角后上边14的宽度为 e_3B ,下部倒角两次并用短水平线连接,形成一个向下的凸台18,倒角后下边15的宽度为 e_4B ,倒角后左边16和右边17的高度为 e_5H 。凸台18的高度为 e_7H ,凸台18相邻的水平线19的宽度为 e_6B 。第五横截面的宽度需要满足 $e_1 > e_3 \approx e_6 > e_4$ 。其中,凸台18的高度与推进器的选型有关系。从第四横截面至

第五横截面,凸台18的高度 e_7H 逐渐增加,也越靠近板体后端4,凸台18的高度越大。

[0073] 本发明中,设置板体结构的长度、宽度、厚度后,以龙骨线为基础,建立五个横截面,就可以形成板体结构1,制备得到的板体结构1,板体中部3在宽度方向上具有最大的宽度,可以用于载人,将人的重心与水面航行器整个装置的质心尽可能地重合,有利于保持航行过程的稳定性。结合板体结构的端部翘起和收缩设置,实现减阻效果,有利于提高航速。

[0074] 在板体结构1的内部预留有配套安装电源系统、推进系统、控制系统的线路系统,板体结构1上还可以预留螺栓孔位,例如操作手柄连接孔、防护板连接孔等,可扩展性、可延展性很强。在实际使用过程中可以视应用需求而配置相应的连接部件,常用在投放使用以及拖拽牵引等使用场景中。

[0075] 实际应用中,在板体结构1的表面可涂层,以躲避雷达等侦察设备,具有很强的隐蔽性能。

[0076] 本发明虽然提供了上述针对高速水面航行器的板体结构,但是其具体设计过程中,传统的方法是通过反复的计算或实验来确定板体1的尺寸大小和龙骨线的对应尺寸,这样所需要的设计周期太长、投入的人力和物力也多。因此,本发明针对上述板体结构还提出了一种设计方法,可以大大缩短研发周期,并且保证板体1的阻力特性和稳定性都满足设计要求。

[0077] 如图11所示,方法包括如下步骤:

[0078] S1.对板体结构进行参数化设计,确定设计变量包括板体结构的长度L、宽度B、高度H,龙骨线中板体前端直线部分6与板体中部直线部分7的夹角 α_1 ,板体后端直线部分8与板体中部直线部分7的夹角 α_2 、龙骨线中板体直线部分6与板体中部直线部分7的导圆半径为 R_1 、板体中部直线部分7与板体后端直线部分8的导圆半径 R_2 ,同时确定优化目标为板体结构受到的阻力值和最大升沉位移。

[0079] 设计变量的变化范围参考水面航行器结构尺寸与工程经验,如表1设计变量及取值范围所示。

[0080] 表1设计变量及取值范围

设计变量		取值范围	
含义	符号		
	板体的长度, 单位/mm	L	[1000,3000]
	板体的宽度, 单位/mm	B	[400,1000]
	板体的高度, 单位/mm	H	[20,300]
[0081]	龙骨线直线部分 6 与直线部分 7 的夹角	α_1	[0,30]°
	龙骨线直线部分 8 与直线部分 7 的夹角	α_2	[0,10]°
	龙骨线直线部分 6 与直线部分 7 的导圆半径, 单位/mm	R_1	[1000,3000]
	龙骨线直线部分 7 与直线部分 8 的导圆半径, 单位/mm	R_2	[3000,5000]

[0082] 优化目标中,要求板体所受的阻力尽可能的小,包括水动力阻力和兴波阻力;同时要求板体运行的稳定性要好,数学表达如下,

$$\begin{aligned}
 & \text{优化目标:} \begin{cases} \min.C_d \\ \min.\max(\Delta_y(t)) \end{cases} \\
 & \text{约束条件:} \begin{cases} \Delta_y(t) < 0.05H \\ C_1 / C_d > 6 \end{cases}
 \end{aligned} \quad (1)$$

[0084] 式中 C_d 为阻力值, $\Delta_y(t)$ 为t时刻水面航行器板体结构的升沉位移, $\max(\Delta_y(t))$ 为在一段时间内水面航行器板体结构的最大升沉位移, C_1 为水面航行器板体结构所受的升力值。

[0085] 约束条件的物理含义:1、 $\Delta_y(t) < 0.05H$ 是为了保证新设计的板体结构在航行过程中的升沉位移要小于 $0.05H$,从而能够保证水面航行器航行过程中的稳定性,这样不至于在纵向发生大幅度的位移,即可以确保不发生剧烈的海豚运动。2、 $C_1/C_d > 6$ 是说明水面航行器的升阻比大于6,这就要水面航行器所受的升力要大、阻力要小,从升力和阻力两个方面努力实现快速性的性能指标。

[0086] S2. 在设计变量的取值范围内,采用试验设计(DOE)方法建立初始样本集,可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。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。

[0087] S3. 采用数值模拟(CFD)方法评估初始样本集中每个样本点的性能,即每个样本点对应的阻力值、升力值和最大升沉位移。

[0088] 首先,建立包含高速水面航行器的流体计算域。其次,在20knot速度下释放六自由度后,获得阻力值 C_d 、升力值 C_l 、最大的升沉位移 $\max(\Delta_y(t))$ 。最终形成完整试验设计表格的样本点集数据库。

[0089] 数值模拟的边界条件设置如下: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。

[0090] 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,得到基于交叉验证的替代模型。

[0091] 这里可选的映射关系建立方法包括响应面模型(Response Surface Methodology,RSM)、径向基神经网络模型(RBF)、椭圆机神经网络模型(EBF)、正交多项式模型、克里金(Kriging)模型。

[0092] 基于交叉验证的替代模型的建立过程为:

[0093] a)将初始样本集十等分为 $N_1 \sim N_{10}$,其中90%为训练集,而剩余的10%划分为测试集。

[0094] b)用 $N_2 \sim N_{10}$ 的样本训练替代模型,用 N_1 的样本集作为测试集,直到当前的替代模型 $f_1(N_1)$ 满足精度要求。

[0095] c)然后用 $N_1, N_3 \sim N_{10}$ 的样本作为训练集,用 N_2 的样本集作为测试集,直到当前的替代模型 $f_2(N_2)$ 满足精度要求。

[0096] d)如此依次将 N_3, N_4, \dots, N_{10} 作为测试集,余下的9个样本集作为训练集,分别建立所对应的替代模型 $f_3(N_3), f_4(N_4), \dots, f_{10}(N_{10})$,计算得到10个测试集对应的误差 $E_1 \sim E_{10}$ 。

[0097] 误差公式如下:

$$E_i = \sum_{j=1}^{\text{count}(N_i)} \left| \text{error}_j \right| / \text{count}(N_i), \quad i = 1 \sim 10, j = 1 \sim \text{count}(N_i) \quad (2)$$

$$= \sum_{j=1}^{\text{count}(N_i)} \left| Y_j^{\text{真值}} - Y_j^{\text{预测值}} \right| / \text{count}(N_i),$$

[0099] 式中, E_i 表示第*i*个测试集的误差, $\text{count}(N_i)$ 表示第*i*个测试集的样本个数(经过交叉验证,初始样本的数量会发生改变,所以测试集的样本数量也会发生改变), j 表示第*i*个测试集中的第*j*个样本, error_j 表示第*j*个测试样本的误差, $Y_j^{\text{真值}}$ 表示第*j*个测试样本的真实值(即,计算值), $Y_j^{\text{预测值}}$ 表示第*j*个测试样本的预测值(即,用当前的替代模型 $f_i(N_i)$ 对测试样本 X_j 预测得到的值)。

[0100] e)比较10个误差 $E_1 \sim E_{10}$,找出最小的误差 $\min.(E_i), i = 1 \sim 10$,最小误差所对应的替代模型为最优的替代模型。

[0101] 与传统替代模型相比,基于交叉验证的替代模型可以充分利用样本点信息,在有限样本点数量基础上可以构建出精度更高的替代模型。

[0102] 在一个优选的实施例中,采用四阶响应面模型建立替代模型,为了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,本发明中 $p=7$,故要求样本数量至少为50,原始样本集的样本数量为100。

[0103] S5.采用优化算法在设计空间内进行全局寻优,获得帕累托(pareto)前沿。

[0104] 由于本发明中优化目标有两个,附加两个约束条件,需要采用多目标优化算法,两个优化目标的权重因子相等。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。

[0105] 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S4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。在一个优选的实施例中,优化算法选为NSGA-II,具体的参数设置为,种群数量为190,遗传代数为110,交叉概率设为0.8,交叉分布指数为10,变异分布指数为10。

[0106] 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水动力设计要求;如果未达到水动力设计要求,则将 m 个帕累托前沿解添加到初始样本集,增加初始样本集的数量,返回步骤S4继续运行;如果满足水动力设计要求,则跳转到步骤S7。

[0107] S7.对 m 个帕累托前沿解进行结构强度性能分析;

[0108] 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。

[0109] 经过本发明的设计方法,最终发现,高速水面航行器的板体结构的长度 L 为1.55~2.0米、宽度 B 为0.45~0.70米、高度 H 为0.10~0.20米。

[0110] 龙骨线直线部分6与水平线的夹角 α_1 为 $6\sim 12^\circ$,龙骨线直线部分8与水平线的夹角 α_2 为 $1\sim 4^\circ$ 。

[0111] 板体结构的整体三维形状是根据五个横截面通过三维扫掠而成型的。五个横截面的倒角矩形的宽度和高度设计要保证板体结构整体呈流线型,最大限度降低了高速航行时的水动力阻力和兴波阻力,保证了高速水面航行器能够尽可能达到更高的航速。同时,板体结构的长度 L 和宽度 B 的设计保证了板体结构拥有充足的甲板面积,以达到载人要求,可以同时满足站立姿势和平趴姿势。

[0112] 板体前端的上翘结构设计可以提高板体结构的耐波性和稳定性,保证高速水面航行器载人过程中的平稳运行。

[0113] 板体中部设有电池舱,板体后端安装喷水推进器,可以使板体结构质心后移,增加稳定性,同时小巧且满足流水线的舱位设计可以减少板体结构的形状阻力。

[0114] 综合设计后的板体结构能够保证高速水面航行器的板体结构具有小阻力、宽甲板面积和高稳定性的特点,以满足航行器在水面上载人高速航行的要求。人可以跟传统高速水面航行器一样站在板体上,也可以趴在板体上。即使趴着,具有很好的舒适性和稳定性,不存在海豚运动的颠簸。

[0115] 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。

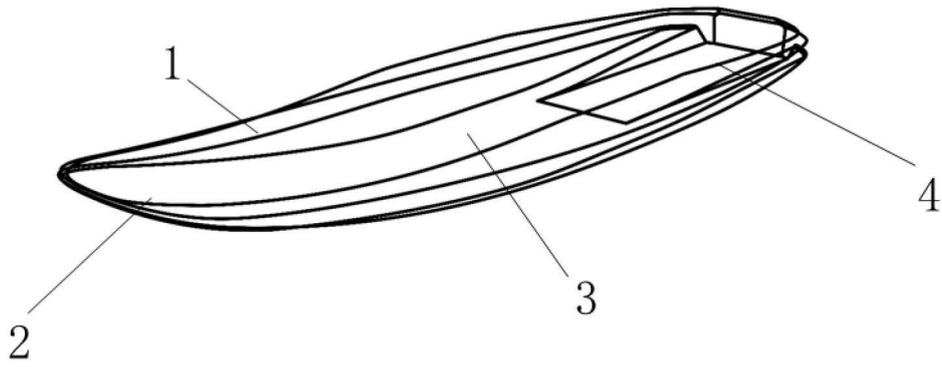


图1

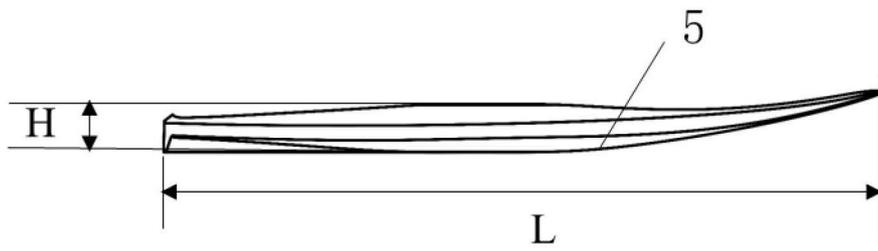


图2

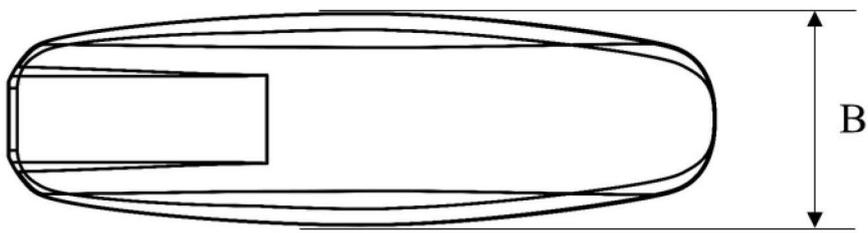


图3

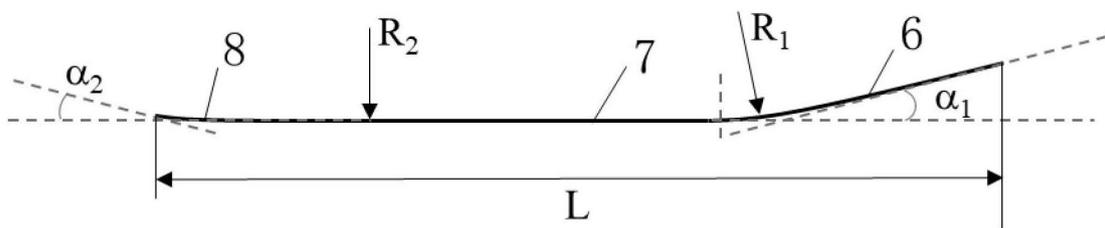


图4

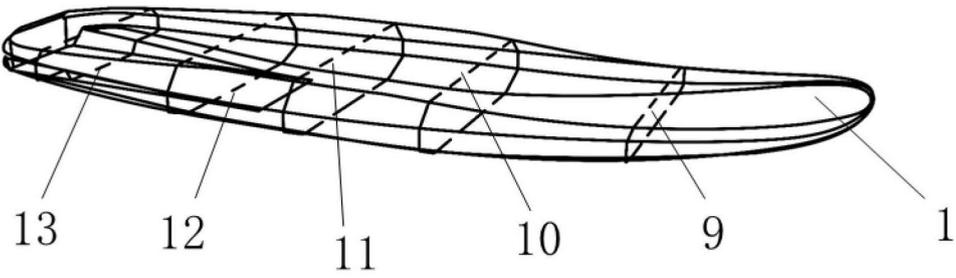


图5

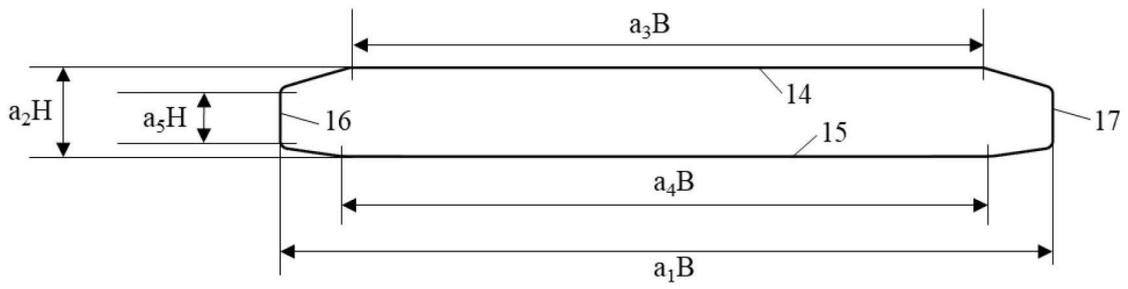


图6

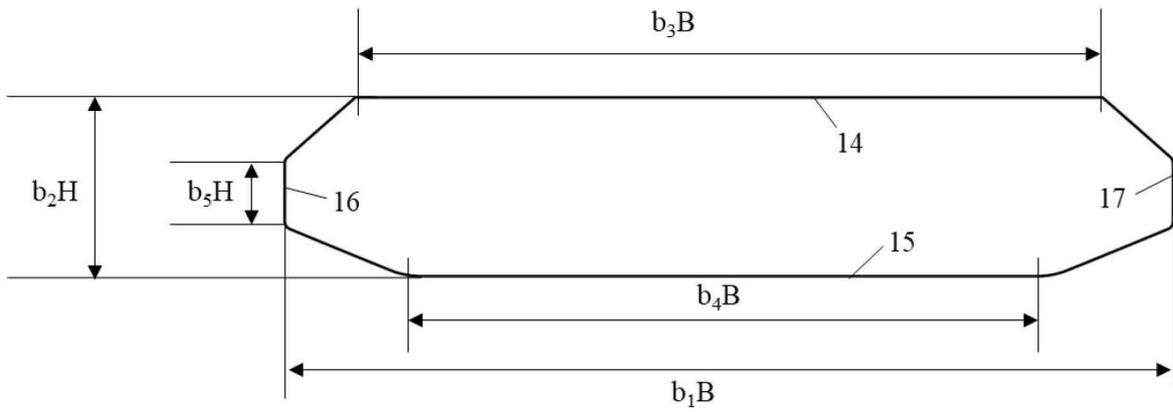


图7

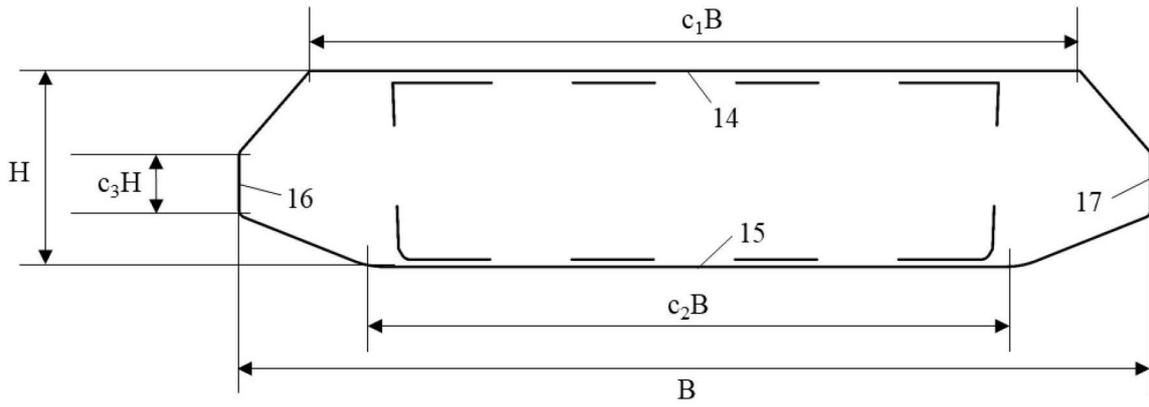


图8

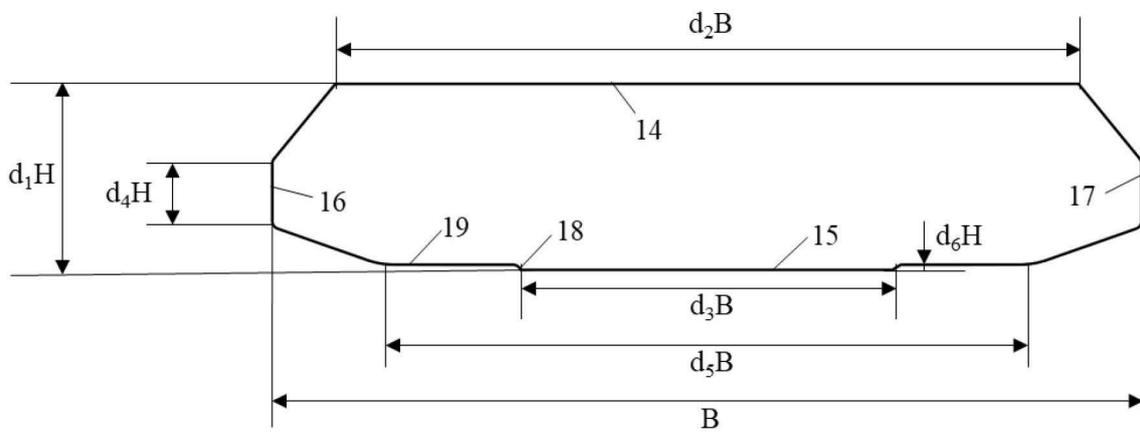


图9

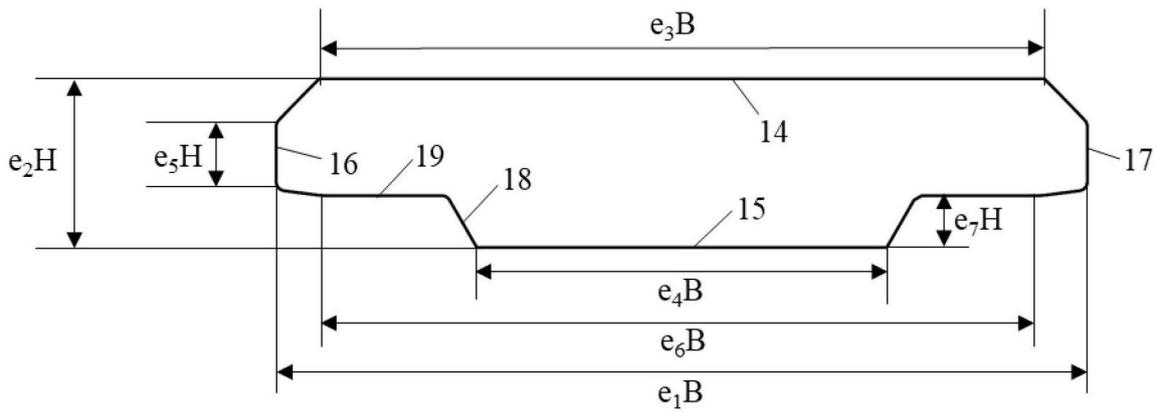


图10

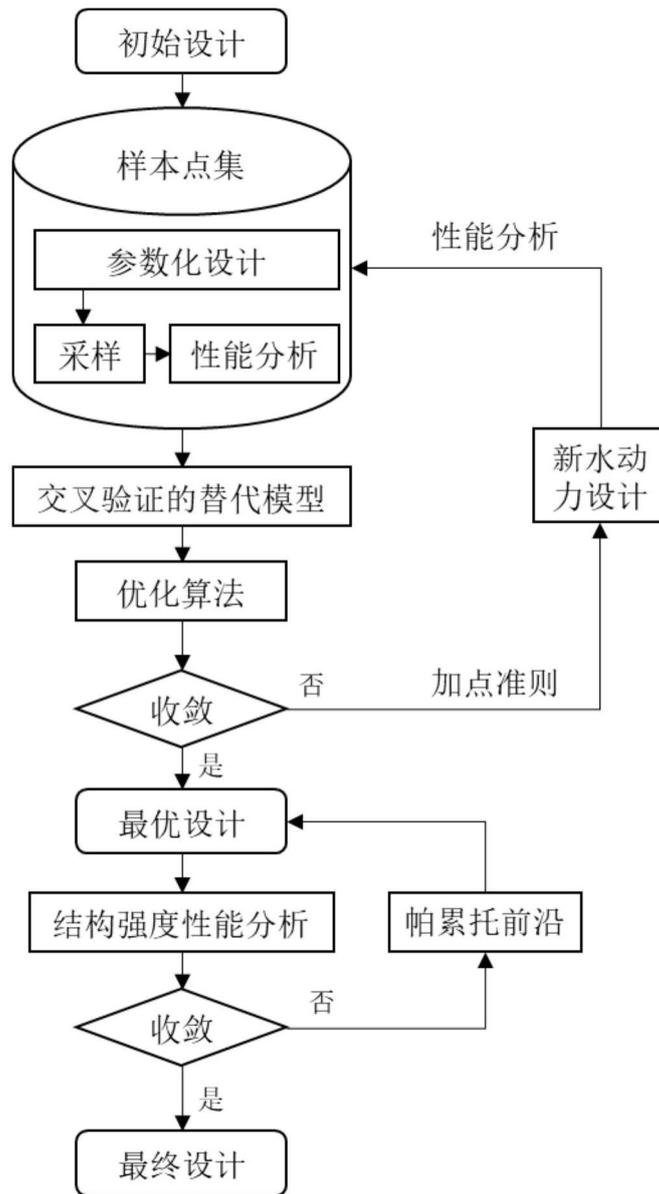


图11

N1	N2	N3	N4	N5
N6	N7	N8	N9	N10

图12