



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116093520 A

(43) 申请公布日 2023. 05. 09

(21) 申请号 202310109461.1

(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 陈永刚 支玉昌
孙振旭 黄晨光 杜特专 王静竹
阚兴玉

(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.

H01M 50/244 (2021.01)

G06F 30/23 (2020.01)

G06F 30/28 (2020.01)

G06F 30/27 (2020.01)

B63B 11/00 (2006.01)

H01M 50/289 (2021.01)

H01M 50/291 (2021.01)

H01M 10/613 (2014.01)

H01M 10/6568 (2014.01)

H01M 10/6556 (2014.01)

G06F 111/10 (2020.01)

G06F 113/08 (2020.01)

G06F 119/14 (2020.01)

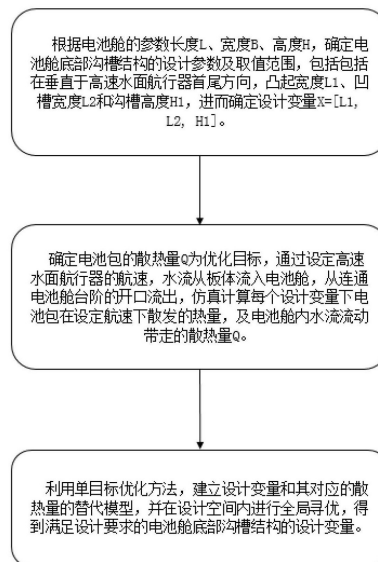
权利要求书3页 说明书10页 附图4页

(54) 发明名称

一种电池舱、高速水面航行器及电池舱底部结构设计方法

(57) 摘要

本发明公开了一种高速水面航行器的电池舱底部结构及设计方法,高速水面航行器包括板体、电池包和推进器,板体内部设有电池舱和连通电池舱的台阶,电池舱的底部结构为沟槽结构,电池包放置在电池舱内,以减小电池包底部和电池舱底部之间的吸附力,台阶的顶端和板体的交接处设有开口,用于连通推进器;高速水面航行器工作时,水流流入电池舱的沟槽结构内,随高速水面航行器的运动惯性,从台阶的开口处流出,带走电池包的热量。针对该电池舱底部结构,本发明还提供相应的设计方法,以结合高速水面航行器电池舱的尺寸参数设计符合其散热要求的沟槽结构,解决了80℃高温环境下高速水面航行器电池包散热的难题。



1. 一种电池舱,其特征在于,所述电池舱为直平行六面体,用于放置电池包;

在所述电池舱的底部设有凸起和凹槽组成的规律性沟槽结构,放置所述电池包后,电池舱的底部和放置的所述电池包的底部之间形成间隙性空隙。

2. 根据权利要求1所述的电池舱,其特征在于,

所述电池舱的开口边缘和所述电池包的开口边缘,结构互补,使得放置电池包后的电池舱的上表面为水平面;

进一步地,所述电池舱的开口边缘低于电池舱的上表面,以在所述电池舱的开口边缘形成下陷,用于安装并固定电池包。

3. 根据权利要求1所述的电池舱,其特征在于,

所述电池舱底部沟槽结构的设计参数的取值范围为:凸起和凹槽的高度相同是沟槽高度为 $0.02-0.13H$,在垂直于沟槽方向上,凸起宽度为 $0.02-0.15B$,凹槽宽度为 $0.05-0.2B$,其中 B 为电池舱的宽度, H 为电池舱的高度。

4. 一种具有权利要求1-3任一项所述的电池舱的高速水面航行器,其特征在于,

高速水面航行器包括板体、安装在所述板体底部的前水翼和后水翼,以及安装在所述后水翼后端的推进器,底部具有沟槽结构的电池舱设置在所述板体的水平段,在所述板体的首尾长度方向上,设有连通所述电池舱的台阶,台阶的顶端和板体的交接处设有开口,使得安装在所述电池舱内的电池包连接推进器;

高速水面航行器工作时,水流流入电池舱的沟槽结构内,随高速水面航行器的运动惯性,水流从台阶的开口处流出,带走电池包的热量。

5. 根据权利要求4所述的高速水面航行器,其特征在于,

电池舱底部的沟槽结构中,相邻的凸起和凹槽之间形成沟槽,沟槽的方向与高速水面航行器的首尾方向平行。

6. 根据权利要求5所述的高速水面航行器,其特征在于,

在所述电池舱底部的所述沟槽结构中,凸起和凹槽在高速水面航行器首尾方向上的长度相同,但小于电池舱的长度;

凸起和凹槽远离台阶的一端位于电池舱底部的边缘,靠近台阶的另一端与电池舱底部形成连通台阶底部的孔道。

7. 一种根据权利要求1-6任一项所述的电池舱的底部结构设计方法,其特征在于,所述设计方法包括如下内容:

步骤一、根据电池舱的参数长度 L 、宽度 B 、高度 H ,电池舱底部结构为沟槽结构,确定沟槽结构的设计参数及取值范围,包括在垂直于高速水面航行器首尾方向,凸起宽度 L_1 、凹槽宽度 L_2 和沟槽高度 H_1 ,进而确定设计变量 $X=[L_1, L_2, H_1]$;

步骤二、确定电池包的散热量 Q 为优化目标,通过设定高速水面航行器的航速,水流从板体流入电池舱,从连通电池舱台阶的开口流出,仿真计算每个设计变量下电池包在设定航速下散发的热量,及电池舱内水流流动带走的散热量 Q ;

步骤三、利用单目标优化方法,建立设计变量和其对应的散热量的替代模型,并在设计空间内进行全局寻优,得到满足设计要求的电池舱底部沟槽结构的设计变量。

8. 根据权利要求7所述的设计方法,其特征在于,

所述步骤二中散热量 Q 的仿真计算方法为:

S201. 采用流体求解器fluent或者CFX来计算高速水面航行器航行过程中的外流场和内流场,以确定内流场的进口和出口的边界条件;

S202. 对电池舱底部的微通道流体域进行网格划分,并进行网格无关性验证;

S203. 结合公式求解该状态下电池舱内水流流动所带走的热量 Q ,

$$Q=q_m c (T_{in} - T_{out})$$

式中, q_m 是质量流量, c 是水的比热容, T_{in} 是电池包的初始温度, T_{out} 为水流出口时的温度。

9. 根据权利要求8所述的设计方法,其特征在于,

所述网格划分的方法为:采用四面体网格方法生成网格,并对壁面添加5层边界层以提高壁面附近流动的准确性,同时保证第一层网格 $y^+ < 1$ 以满足SST $k-\omega$ 模型要求。

10. 根据权利要求7所述的设计方法,其特征在于,

所述步骤三中单目标优化方法的过程为:

S301. 从设计变量电池舱底部沟槽结构的凸起宽度 L_1 、凹槽宽度 L_2 、沟槽高度 H_1 的取值范围中,采用试验设计方法建立初始样本集;

S302. 对试验设计方法建立的初始样本集,采用数值模拟方法评估每个样本点 $X_i = [L_1^i, L_2^i, H_1^i]$ 对应的散热性能 $Y_i = [Q_i]$,其中 i 表示第 i 个样本;

S303. 将样本点的设计变量作为输入 $X = [X_1, X_2, \dots, X_n]$,将其对应的散热性能作为输出 $Y = [Y_1, Y_2, \dots, Y_n]$,建立从输入到输出的映射关系,进而建立基于交叉验证的替代模型 $f: X \rightarrow Y$;

S304. 采用单目标优化算法在设计空间内进行全局寻优,获得最优解;

S305. 经过全局寻优后,判断步骤S304获得的最优解的散热性能是否达到设计要求;如果没有达到设计要求,则根据加点准则,将最优解加入初始样本集,返回步骤S303,重新依次执行S303、S304、进行S305的判断;如果满足设计要求,则跳转到步骤S306;

S306. 输出设计变量的设计方案,首先采用数值仿真方法对比优化前后的电池包散热情况,然后进行样机制造、开展实验性原理样机实验。

11. 根据权利要求10所述的设计方法,其特征在于,

步骤S303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) 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。

12. 根据权利要求7所述的设计方法,其特征在于,

电池舱底部沟槽结构的设计参数的取值范围为:凸起和凹槽的高度相同是沟槽高度为 $0.02-0.13H$,在垂直于高速水面航行器首尾方向,凸起宽度为 $0.02-0.15B$,凹槽宽度为

0.05-0.2B,其中B为电池舱的宽度,H为电池舱的高度

进一步地,凸起宽度为0.03B,凹槽宽度为0.12B,沟槽高度为0.03H。

一种电池舱、高速水面航行器及电池舱底部结构设计方法

技术领域

[0001] 本发明涉及高速水面航行器技术领域,具体涉及一种电池舱、高速水面航行器及电池舱底部结构设计方法。

背景技术

[0002] 水面航行器作为连接空中、水下的中继节点,由于在水面附近不易被声纳和雷达发现,可以作为隐蔽突防的有效手段。水面航行器的灵活机动,能够满足不同作战任务需求,例如反潜、反水雷、支持特种部队作战等。

[0003] 而高速水面航行器与传统载人的水面航行器不一样的是,为了进一步增加隐蔽性,使用人员期望可以趴在高速水面航行器上,而不是像传统的水面航行器采用站立或蹲坐方式。但是,趴在高速水面航行器上必然要增加水面航行器甲板的承重面积,板体和水面接触的压力面增大,飞溅的液体增多从而增大阻力,影响高速水面航行器的速度和续航能力。

[0004] 现有技术中,为了保证航行器的快速性和续航能力,通常通过增加电池包容量的方法。一般情况下,电池包与电池舱是严丝合缝地装配在一起,以使得电池包固定在电池舱内减少晃动,从而提高电池包的安全强度。但是电池舱和电池包之间留有加工误差所致的气腔,在维护航行器需要提取电池包时,电池包和电池舱之间会形成一层薄薄的气体吸附力。

[0005] 当电池包重量小时可能提取出来,但是高速载人水面航行器所需的大容量电池包,对应的重量大,由于气体吸附力的存在,会导致电池包很难从电池舱中提取出来进行检修、充电和维护。

[0006] 此外,高速载人水面航行器,多面向特殊和极端的应用环境,工作环境温度在0-80摄氏度区间范围内。在高温环境下,航行器正常运行时,密闭于电池舱的电池包自身也在持续发热,在外界温度和自身发热的双重影响下,电池包发生损坏、故障的可能性增大,缩短使用寿命,从而影响航行器的安全运行。

[0007] 所以,现有技术中高速水面航行器的电池舱结构维护不便利同时不能满足电池包的高温工作条件,如果想要通过改进电池舱的结构降低温度对航行器的影响,需要重新设计电池舱结构,并对电池舱的结构进行性能评估。传统设计方法是通过反复的计算或实验来确定电池舱的结构尺寸,即针对每一种电池舱结构的尺寸组合方式进行设计、计算并评估其性能,但是所需周期长。

发明内容

[0008] 本发明公开了一种电池舱、高速水面航行器及电池舱底部结构设计方法,以解决电池舱底部和电池包之间具有气体吸附力的问题。

[0009] 在本发明的第一个方面,提供了一种电池舱,所述电池舱为直平行六面体,用于放置电池包;

[0010] 在所述电池舱的底部设有凸起和凹槽组成的规律性沟槽结构,放置所述电池包后,电池舱的底部和放置的所述电池包的底部之间形成间隙性空隙。

[0011] 进一步地,所述电池舱的开口边缘和所述电池包的开口边缘,结构互补,使得放置电池包后的电池舱的上表面为水平面;

[0012] 进一步地,所述电池舱的开口边缘低于电池舱的上表面,以在所述电池舱的开口边缘形成下陷,用于安装并固定电池包。

[0013] 进一步地,所述电池舱底部沟槽结构的设计参数的取值范围为:凸起和凹槽的高度相同是沟槽高度为 $0.02-0.13H$,在垂直于沟槽方向上,凸起宽度为 $0.02-0.15B$,凹槽宽度为 $0.05-0.2B$,其中 B 为电池舱的宽度, H 为电池舱的高度。

[0014] 在本发明的第二个方面,提供了一种具有上述电池舱的高速水面航行器,高速水面航行器包括板体、安装在所述板体底部的前水翼和后水翼,以及安装在所述后水翼后端的推进器,底部具有沟槽结构的电池舱设置在所述板体的水平段,在所述板体的首尾长度方向上,设有连通所述电池舱的台阶,台阶的顶端和板体的交接处设有开口,使得安装在所述电池舱内的电池包连接推进器;

[0015] 高速水面航行器工作时,水流流入电池舱的沟槽结构内,随高速水面航行器的运动惯性,水流从台阶的开口处流出,带走电池包的热量。

[0016] 进一步地,电池舱底部的沟槽结构中,相邻的凸起和凹槽之间形成沟槽,沟槽的方向与高速水面航行器的首尾方向平行。

[0017] 进一步地,在所述电池舱底部的所述沟槽结构中,凸起和凹槽在高速水面航行器首尾方向上的长度相同,但小于电池舱的长度;

[0018] 凸起和凹槽远离台阶的一端位于电池舱底部的边缘,靠近台阶的另一端与电池舱底部形成连通台阶底部的孔道。

[0019] 在本发明的第三个方面,提供了一种电池舱底部结构设计方法,所述设计方法包括如下内容:

[0020] 步骤一、根据电池舱的参数长度 L 、宽度 B 、高度 H ,电池舱底部结构为沟槽结构,确定沟槽结构的设计参数及取值范围,包括在垂直于高速水面航行器首尾方向,凸起宽度 L_1 、凹槽宽度 L_2 和沟槽高度 H_1 ,进而确定设计变量 $X=[L_1, L_2, H_1]$;

[0021] 步骤二、确定电池包的散热量 Q 为优化目标,通过设定高速水面航行器的航速,水流从板体流入电池舱,从连通电池舱台阶的开口流出,仿真计算每个设计变量下电池包在设定航速下散发的热量,及电池舱内水流流动带走的散热量 Q ;

[0022] 步骤三、利用单目标优化方法,建立设计变量和其对应的散热量的替代模型,并在设计空间内进行全局寻优,得到满足设计要求的电池舱底部沟槽结构的设计变量。

[0023] 进一步地,所述步骤二中散热量 Q 的仿真计算方法为:

[0024] S201.采用流体求解器fluent或者CFX来计算高速水面航行器航行过程中的外流场和内流场,以确定内流场的进口和出口的边界条件;

[0025] S202.对电池舱底部的微通道流体域进行网格划分,并进行网格无关性验证;

[0026] S203.结合公式求解该状态下电池舱内水流流动所带走的热量 Q ,

$$[0027] Q=q_m c (T_{in} - T_{out})$$

[0028] 式中, q_m 是质量流量, c 是水的比热容, T_{in} 是电池包的初始温度, T_{out} 为水流出口时

的温度。

[0029] 进一步地,所述网格划分的方法为:采用四面体网格方法生成网格,并对壁面添加5层边界层以提高壁面附近流动的准确性,同时保证第一层网格 $y^+ < 1$ 以满足SST k- ω 模型要求。

[0030] 进一步地,所述步骤三中单目标优化方法的过程为:

[0031] S301.从设计变量电池舱底部沟槽结构的凸起宽度 L_1 、凹槽宽度 L_2 、沟槽高度 H_1 的取值范围中,采用试验设计方法建立初始样本集;

[0032] S302.对试验设计方法建立的初始样本集,采用数值模拟方法评估每个样本点 $X_i = [L_1^i, L_2^i, H_1^i]$ 对应的散热性能 $Y_i = [Q_i]$,其中 i 表示第 i 个样本;

[0033] S303.将样本点的设计变量作为输入 $X = [X_1, X_2, \dots, X_n]$,将其对应的散热性能作为输出 $Y = [Y_1, Y_2, \dots, Y_n]$,建立从输入到输出的映射关系,进而建立基于交叉验证的替代模型 $f: X \rightarrow Y$;

[0034] S304.采用单目标优化算法在设计空间内进行全局寻优,获得最优解;

[0035] S305.经过全局寻优后,判断步骤S304获得的最优解的散热性能是否达到设计要求;如果没有达到设计要求,则根据加点准则,将最优解加入初始样本集,返回步骤S303,重新依次执行S303、S304、进行S305的判断;如果满足设计要求,则跳转到步骤S306;

[0036] S306.输出设计变量的设计方案,首先采用数值仿真方法对比优化前后的电池包散热情况,然后进行样机制造、开展实验性原理样机实验。

[0037] 进一步地,步骤S303中基于交叉验证的替代模型的建立过程为:

[0038] 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;

[0039] 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;

[0040] c)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;

[0041] 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 $E_1 \sim E_{10}$;

[0042] 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。

[0043] 进一步地,电池舱底部沟槽结构的设计参数的取值范围为:凸起和凹槽的高度相同是沟槽高度为 $0.02 \sim 0.13H$,在垂直于高速水面航行器首尾方向,凸起宽度为 $0.02 \sim 0.15B$,凹槽宽度为 $0.05 \sim 0.2B$,其中 B 为电池舱的宽度, H 为电池舱的高度

[0044] 进一步地,凸起宽度为 $0.03B$,凹槽宽度为 $0.12B$,沟槽高度为 $0.03H$ 。

[0045] 本发明和现有技术相比具有如下有益效果:

[0046] 1、本发明提供的电池舱,在电池舱的底部设置了沟槽结构,放置电池包后,电池舱的底部和放置的电池包的底部之间,由沟槽结构形成间隙性空隙,空隙的形成避免了电池包和电池舱直接大面积接触,使得电池舱底部原来连续的狭缝腔体不再连续,降低了电池包底部原来所受的吸附力,使得电池包更容易提取出来。

[0047] 2、本发明中的高速水面航行器,采用了具有沟槽结构的电池舱,在航行器的工作

状态下通过流动的水流就能够带走电池包的散热量。而且本发明通过引入流动的水流,利用不同介质物质属性的差异性,降低了单一介质造成的吸附力大的问题,解决了原有技术方案中由于缝隙憋气造成的电池包难以提取的难题,便于电池包从板体电池舱中提取出来充电、维护、检修等,也间接地提高了电池包的使用寿命。

[0048] 3、本发明还提供了一种针对电池舱底部结构的设计方法,经过优化设计,最终优化得到的电池舱底部沟槽结构可以最大可能地疏散电池包散发的热量,通过降低电池包所处的环境温度提高了极端高温环境下(80摄氏度)电池包的使用寿命,通过降低电池包的故障风险提高了航行器运行的安全性。

[0049] 4、而且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

[0050] 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。

[0051] 图1为本发明实施例中的高速水面航行器的示意图;

[0052] 图2为本发明实施例中的高速水面航行器板体电池舱的局部放大示意图;

[0053] 图3为本发明实施例中的高速水面航行器电池舱的结构示意图;

[0054] 图4为图3的C-C截面尺寸图;

[0055] 图5为本发明实施例中高速水面航行器的电池舱底部结构的设计方法的流程图;

[0056] 图6为本发明实施例中的单目标优化方法的流程图;

[0057] 图7为本发明实施例中的样本集十等分示意图;

[0058] 图中标号:

[0059] 1-高速水面航行器,2-板体,3-电池包,4-前水翼,5-后水翼,6-推进器,7-电池舱,8-电池舱的台阶,9-沟槽结构,10-水流的进口路线,11-水流的出口路线。

具体实施方式

[0060] 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。

[0061] 在本发明的第一个方面,如图3所示,本发明公开了一种电池舱,所述电池舱为直平行六面体,用于放置电池包;在所述电池舱的底部设有凸起和凹槽组成的规律性沟槽结构,放置所述电池包后,电池舱的底部和放置的所述电池包的底部之间形成间隙性空隙。

[0062] 本发明提供的电池舱,在电池舱的底部设置了沟槽结构,放置电池包后,电池舱的底部和放置的电池包的底部之间,由沟槽结构形成间隙性空隙,空隙的形成避免了电池包和电池舱直接大面积接触,使得电池舱底部原来连续的狭缝腔体不再连续,降低了电池包

底部原来所受的吸附力,使得电池包更容易提取出来。

[0063] 进一步地,所述电池舱的开口边缘和所述电池包的开口边缘,结构互补,使得放置电池包后的电池舱的上表面为水平面,便于在电池包的上表面进行其他设置。一般优选,所述电池舱的开口边缘低于电池舱的上表面,以在所述电池舱的开口边缘形成下陷,用于安装并固定电池包。

[0064] 进一步地,所述电池舱底部沟槽结构的设计参数的取值范围为:凸起和凹槽的高度相同是沟槽高度为 $0.02-0.13H$,在垂直于沟槽方向上,凸起宽度为 $0.02-0.15B$,凹槽宽度为 $0.05-0.2B$,其中 B 为电池舱的宽度, H 为电池舱的高度。

[0065] 沟槽结构虽然能够使电池舱底部和电池包底部形成空隙,规避了大面积直接接触薄层气体吸附力的生成,但是如果凸起和凹槽的宽度过大或过小,即沟槽过于分散或密集,使得电池舱类似于平面,仍可能会和电池包底部形成薄层连续性气腔,不易于提取电池包。所以,本实施例中,结合电池舱的尺寸对沟槽结构的尺寸进行了设置,以确保沟槽结构能够发挥其作用。

[0066] 在本发明的第二个方面,如图1-3所示,提供了一种具有上述电池舱的高速水面航行器,高速水面航行器包括板体、安装在所述板体底部的前水翼和后水翼,以及安装在所述后水翼后端的推进器,底部具有沟槽结构的电池舱设置在所述板体的水平段,在所述板体的首尾长度方向上,设有连通所述电池舱的台阶,台阶的顶端和板体的交接处设有开口,使得安装在所述电池舱内的电池包连接推进器;高速水面航行器工作时,水流流入电池舱的沟槽结构内,随高速水面航行器的运动惯性,水流从台阶的开口处流出,带走电池包的热量。

[0067] 本发明提供的高速水面航行器,适用于大容量需求的载人航行工作,在电池舱的设置沟槽结构,没有改变电池包和航行器的其他结构,方便后期电池包维护工作的同时,还能够借助水流散热,降低了电池包的工作环境温度,增大了电池包的工作安全性,同时也增大了航行器航行的安全性。

[0068] 而且本发明通过引入流动的水流,利用不同介质物质属性的差异性,降低了单一介质造成的吸附力大的问题,便于电池包从板体电池舱中提取出来进行充电、维护、检修等,间接提高了电池包的使用寿命。

[0069] 进一步地,电池舱底部的沟槽结构中,相邻的凸起和凹槽之间形成沟槽,沟槽的方向与高速水面航行器的首尾方向平行,即沟槽的方向和航行器的运动方向相同,形成的水流通道,使得水流更容易沿平行的沟槽结构随惯性流出。

[0070] 在一个可能的实施例中,在所述电池舱底部的所述沟槽结构中,凸起和凹槽在高速水面航行器首尾方向上的长度相同,但小于电池舱的长度;凸起和凹槽远离台阶的一端位于电池舱底部的边缘,靠近台阶的另一端与电池舱底部形成连通台阶底部的孔道。如图2所示(图3中没有画出孔道这一结构),在沟槽结构的一端和电池舱底部之间设有孔道,水流沿沟槽结构流出在沟通结构端部的孔道汇集,更易于汇集后从台阶流出。

[0071] 本发明提供的高速水面航行器,工作状态时,电池包安装在板体的电池舱内,通过接口与推进器的电机连接,电机供电后带动推进器的转子运动,从而将海水吸入并从喷口喷出,利用推进器喷出水流的反作用力来推动航行器前进。而且在工作状态时,航行器的上表面浸没在水面以下,海水进入到电池舱,并充满板体电池舱底部的沟槽,甚至漫过台阶,

在航行器运动惯性的作用下,水流会被带出电池舱的缝隙,从而源源不断地带走电池运作所产生的热量。本发明提供的电池舱底部结构适用于使用人员趴在航行器上高速航行,当然使用人员选择站立等方式亦可,使用过程中保证板体上表面浸没在水面以下即可。

[0072] 由于电池舱底部结构需要根据电池舱的参数进行设计得到,其底部的沟槽结构会影响水流带走的散热量,在电池舱底部结构的设计过程中,可以利用传统方法中针对每一种电池包结构尺寸的组合方式进行设计、计算并评估其性能,但是这样所需要的设计周期太长、相对投入的人力和物力也多。

[0073] 因此,在本发明的第三个方面,提供了一种电池舱底部结构设计方法,可以缩短研发周期,并且可以保证板体的电池舱底部沟槽能同时满足散热、方便提取的要求,设计方法包括如下内容:

[0074] 如图5所示,步骤一、根据电池舱的参数长度L、宽度B、高度H,确定电池舱底部沟槽结构的设计参数及取值范围,包括在垂直于高速水面航行器首尾方向,凸起宽度 L_1 、凹槽宽度 L_2 和沟槽高度 H_1 ,进而确定设计变量 $X=[L_1, L_2, H_1]$ 。

[0075] 设计变量的取值范围参考水面高速航行器结构尺寸与工程经验,如表1所示。

[0076] 表1设计变量及取值范围

设计变量, 单位/mm		取值范围
含义	符号	
[0077] 凸起宽度	L_1	0.02~0.15B
凹槽宽度	L_2	0.05~0.2B
沟槽高度	H_1	0.02~0.13H

[0078] 步骤二、确定电池包的散热量Q为优化目标,通过设定高速水面航行器的航速,水流从板体流入电池舱,从连通电池舱台阶的开口流出,仿真计算每个设计变量下电池包在设定航速下散发的热量,及电池舱内水流流动带走的散热量Q。

[0079] 要求电池包的散热量Q尽可能地大,首先假定板体与电池包装配后,在二者的缝隙内灌满水,水刚刚好漫过电池舱的台阶。假定高速水面航行器在设计航速20knot下运行,水流从板体的上面进入,水流从电池舱的台阶流出。所以,在仿真计算时,涉及到流体力学、热力学、结构动力学等多学科交叉的问题。本发明中采用ansys workbench平台来实现多物理场耦合问题的求解。

[0080] 然后,采用流体求解器fluent或者CFX来计算高速水面航行器航行过程中的外流场和内流场。这里有两种动网格解决方案。第一种,采用动网格方法,模拟高速水面航行器实际在平静的水面上航行的运动过程。第二种方案是,采用相对运动的原理,假定高速水面航行器在计算域内不动,然后水流在运动。

[0081] 最后,仿真计算电池包在该航速下散发的热量,求解该状态下电池舱内水流流动所带走的热量Q。

[0082] 步骤三、利用单目标优化方法,建立设计变量和其对应的散热量的替代模型,并在设计空间内进行全局寻优,得到满足设计要求的电池舱底部沟槽结构的设计变量。

[0083] 其中,如图6所示,单目标优化方法的过程为:

[0084] S301.从设计变量电池舱底部沟槽结构的凸起宽度 L_1 、凹槽宽度 L_2 、沟槽高度 H_1 的取值范围中,采用试验设计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。

[0085] 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。

[0086] S302.对试验设计方法建立的初始样本集,采用数值模拟方法评估每个样本点 $X_i = [L_1^i, L_2^i, H_1^i]$ 对应的散热性能 $Y_i = [Q_i]$,其中 i 表示第 i 个样本。

[0087] S303.将样本点的设计变量作为输入 $X = [X_1, X_2, \dots, X_n]$,将其对应的散热性能作为输出 $Y = [Y_1, Y_2, \dots, Y_n]$,建立从输入到输出的映射关系,进而建立基于交叉验证的替代模型 $f: X \rightarrow Y$ 。

[0088] 本方法中建立输入到输出映射关系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)、正交多项式模型和克里金(Kriging)模型等。

[0089] 本发明中,基于交叉验证的替代模型的建立过程为:

[0090] 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。

[0091] 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,如图7所示,直到当前的替代模型 $f_1(N_1)$ 满足精度要求。

[0092] c)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。

[0093] 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 $E_1 \sim E_{10}$ 。

[0094] 误差函数的计算公式为:

$$E_i = \sum_{j=1}^{\text{count}(N_i)} |error_j| / \text{count}(N_i), \quad i = 1 \sim 10, j = 1 \sim \text{count}(N_i)$$

[0095]

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

[0096] 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, 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, $Y_j^{\text{预测值}}$ 表示第 j 个测试样本的预测值。

[0097] 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,然后执行下一步操作。

[0098] 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。

[0099] S304.采用单目标优化算法在设计空间内进行全局寻优,获得最优解。采用单目标优化算法如遗传算法、粒子群算法等。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S303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。

[0100] S305.经过全局寻优后,判断步骤S304获得的最优解的散热性能是否达到设计要求;如果没有达到设计要求,则根据加点准则,将最优解加入初始样本集,返回步骤S303,重新依次执行S303、S304、进行S305的判断;如果满足设计要求,则跳转到步骤S306。

[0101] S306.输出设计变量的设计方案,首先采用数值仿真方法对比优化前后的电池包散热情况,然后进行样机制造、开展实验性原理样机实验。

[0102] 本发明提供的优化设计方法,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,从而可以相对减少人力、物力和财力的投入,并且可以推广运用到同类产品的研发中。

[0103] 而且根据本发明提出的优化设计方法设计的电池舱底部沟槽结构,保持了高速水面航行器电池包的技术状态,包括电池包的容量、质量以及结构强度等技术指标保持不变。也就是在载人高速水面航行器的电池容量、安全性、续航能力等要求不变的基础上,经过优化设计,最终优化得到的电池舱底部沟槽结构可以最大可能地疏散电池包散发的热量,降低电池包所处的环境温度,也进一步提高了极端高温环境下(80摄氏度)电池包的使用寿命、安全性、可靠性,通过降低电池包的故障风险提高了航行器运行的安全性。

[0104] 实施例1

[0105] 在上述电池舱底部结构的优化设计方法基础上,本发明特提供了一个实施例以进行进一步说明。

[0106] 如图1所示,高速水面航行器1包括由板体2、电池包3、前水翼4、后水翼5和推进器6,工作状态时,航行器的上表面浸没在水面以下,海水进入到电池舱,即水流的进口路线10,如图2所示,并充满板体电池舱7底部,甚至漫过台阶8。在航行器1运动惯性的作用下,水流会被带出电池舱7的缝隙,并从台阶8流出,即图2的水流出口路线11,从而源源不断地带走电池运作所产生的热量。

[0107] 步骤一、确定设计参数。电池舱的长度为 L ,电池舱的宽度为 B ,电池舱的高度为 H 。对于电池舱底部沟槽的设计参数包括:电池舱沟槽凸起宽度 L_1 ,沟槽凹槽宽度 L_2 ,沟槽高度 H_1 。因此,设计变量 $X=[L_1, L_2, H_1]$,设计变量的取值范围如表1所示。

[0108] 步骤二、确定优化目标。要求电池包的散热量 Q 尽可能地大,具体做法如下:

[0109] 假定板体2与电池包3装配后,在二者的缝隙内灌满水,水刚刚好漫过电池舱7的台阶8。假定高速水面航行器在设计航速20knot下运行,水流从板体2的上面进入(即水流的进口路线10),水流从电池舱7的台阶8流出,形成水流的出口路线11。本实施例中,采用ansys workbench平台来实现多物理场耦合问题的求解。

[0110] S201.采用流体求解器fluent或者CFX来计算高速水面航行器航行过程中的外流场和内流场,以确定内流场的进口和出口的边界条件,控制方程只包括连续性方程和动量方程。

[0111] S202.在微通道换热进行传热性能仿真常采用的模型有RNG $k-\epsilon$ 型、Realizable $k-\epsilon$ 模型和SST $k-\omega$ 模型。鉴于SST $k-\omega$ 模型对壁面附近低Reynolds数流动有更高的解析度,因而采用SST $k-\omega$ 模型开展计算与分析。电池舱内微通道的流场求解的控制方程包括

连续性方程、动量方程、能量方程以及湍流动能和耗散率方程。

[0112] 对电池舱内微通道流体域进行网格划分,并进行网格无关性验证。由于流道结构长宽比很大,为一薄层结构,且流道结构复杂多变,因此,本实施例中,采用四面体网格方法生成网格,并对壁面添加5层边界层以提高壁面附近流动的准确性,同时保证第一层网格 $y^+ < 1$ 以满足SST $k-\omega$ 模型要求。

[0113] 数值算法方面采用SIMPLE算法求解速度-压力耦合方程,采用二阶迎风格式计算连续性方程、动量方程、能量方程以及湍流动能和耗散率方程。

[0114] S203.结合公式求解该状态下电池舱内水流流动所带走的热量 Q ,

$$[0115] \quad Q = q_m c (T_{in} - T_{out})$$

[0116] 式中, q_m 是质量流量, c 是水的比热容, T_{in} 是电池包的初始温度, T_{out} 为水流出口时的温度。

[0117] 步骤三、利用单目标优化方法,得到满足设计要求的电池舱底部沟槽结构的设计变量。

[0118] 板体电池舱底部的沟槽结构9的初始设计方案,沟槽凸起宽度 $L_1 = 0.03B$,沟槽凹槽宽度 $L_2 = 0.12B$,沟槽高度为 $H_1 = 0.03H$ 。

[0119] S301.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建立初始样本集。

[0120] 鉴于后续采用四阶响应面模型,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 $(q+1) * (q+2) / 2 + 2q$, q 为设计变量的数量,此时 $q = 3$,故要求样本数量至少为18,原始样本集的样本数量为 $N = 50$ 。

[0121] S302.对试验设计的初始样本集,采用数值模拟(CFD)方法评估每个样本点 $X_i = [L_1^i, L_2^i, H_1^i]$ 对应的散热性能 $Y_i = [Q_i]$, $i = 1 \sim 50$ 。

[0122] S303.将样本点的设计变量作为输入 $X = [X_1, X_2, \dots, X_n]$,将其对应的性能作为输出 $Y = [Y_1, Y_2, \dots, Y_n]$,选用四阶响应面模型建立从输入到输出的映射关系,即得到了满足一定精度的替代模型 $f: X \rightarrow Y$ 。四阶响应面模型表达式如下,其中,初始样本集数量 $N = 50$ 。

$$[0123] \quad f(X) = a_0 + \sum_{i=1}^N b_i X_i + \sum_{i=1}^N c_i X_i^2 + \sum_{i=1}^N d_i X_i^3 + \sum_{i=1}^N e_i X_i^4 + \sum_{i \neq j} \beta_{ij} X_i X_j$$

[0124] 本实施例中基于交叉验证的替代模型的具体做法是:

[0125] a) 将50个初始样本集十等分,分别命名为 $N_1 \sim N_{10}$,每等份5个样本,其中90%为训练集,而剩余的10%划分为测试集。也就是说,训练集有45个样本,测试集有5个样本。

[0126] b) 先用 $N_2 \sim N_{10}$ 的样本来训练,用 N_1 的样本集作为测试集,建立当前的四阶响应面模型 $f_1(N_1)$,以残差平方和RSS最小作为目标,进行项的最佳选择。残差平方和公式表达如下, Y_i 是实际值, \tilde{Y}_i 是响应近似值, n 是构造四阶响应面模型的样本点数。

$$[0127] \quad RSS = \sum_{i=1}^n (Y_i - \tilde{Y}_i)^2$$

[0128] c) 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,建立当前的四阶响

应面模型 $f_2(N_2)$,以残差平方和RSS最小作为模型是否满足规定的精度要求的判据。

[0129] d) 如此依次将 N_3 、 N_4 …… N_{10} 作为测试集,分别建立所对应的四阶响应面模型 $f_3(N_3)$ 、 $f_4(N_4)$ …… $f_{10}(N_{10})$,通过上述误差函数分别计算得到10个测试集对应的误差 $E_1 \sim E_{10}$ 。

[0130] e) 比较这10个误差 $E_1 \sim E_{10}$,找出最小的误差 $\min.(E_i) i=1 \sim 10$,最小误差所对应的四阶响应面模型,为最优的替代模型,执行下一步操作。

[0131] S304.本实施例中采用单目标优化的遗传算法在设计空间内进行全局寻优,获得最优解。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S303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。

[0132] S305.经过全局寻优后,判断得到的新样本(即步骤S304获得的最优解)预测性能是否达到设计要求。如果没有达到设计要求,则根据加点准则,将若干新样本加入初始样本集,返回步骤S303,重新依次执行S303、S304、进行S305的判断;如果满足了设计要求,则跳转到步骤S306。

[0133] 加点准则是为了将当前全局寻优得到的新样本添加到初始样本集中,通过不断增加样本集的数量,从而增加代理模型的精度。加点准则又称为“优化加点准则”,包括改善期望准则、最大均方差准则、改善概率准则、最小化代理模型预测准则、置信下界准则等。值得注意的是,加点准则,在单目标优化设计中,可以只选择一个加点准则,也可以同时使用几个加点准则。如果只选择一个加点准则,那么只能往原来的初始样本集中添加一个新样本点。如果选择几个加点准则,那么能够往原来的初始样本集中添加几个新样本点。

[0134] 本实施例中,选择了基于最优解的加点准则。即经过全局寻优后,判断S304.得到的最优解的预测性能是否达到设计要求。如果没有达到设计要求,则将当前的最优解添加到原来的初始样本集,然后,返回步骤S303,重新依次执行S303、S304、进行S305的判断;如果满足了设计要求,则跳转到步骤S306。

[0135] S306.输出最终的设计方案,首先采用数值仿真方法对比优化前后的电池包散热情况,其次,进行样机制造、并开展实验性原理样机实验。

[0136] 经过单目标优化设计之后,本实施例提供一种优选的板体电池舱的沟槽结构9的尺寸如下:凸起宽度 $L_1=0.07B$,凹槽宽度 $L_2=0.1B$,沟槽高度为 $H_1=0.05H$ 。

[0137] 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。

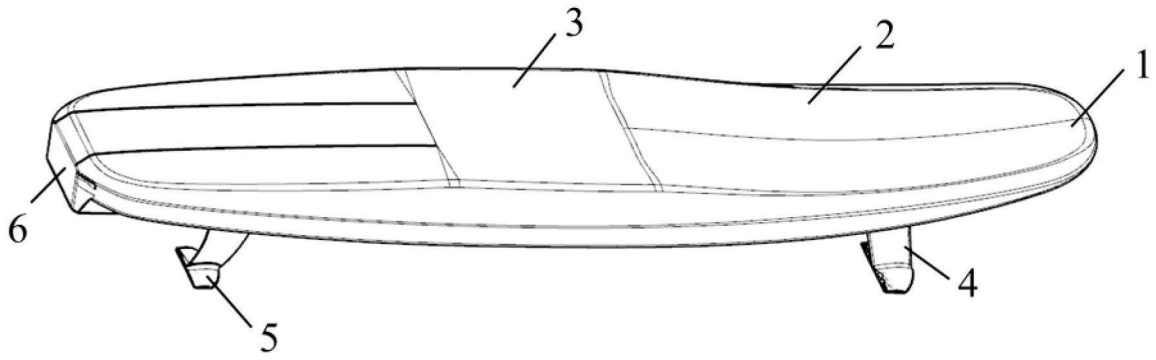


图1

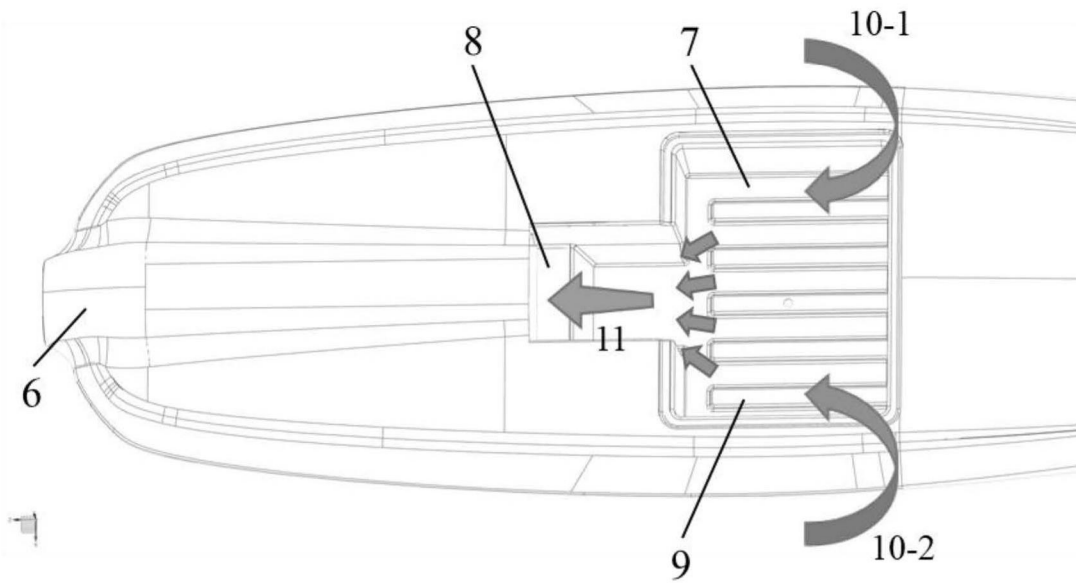


图2

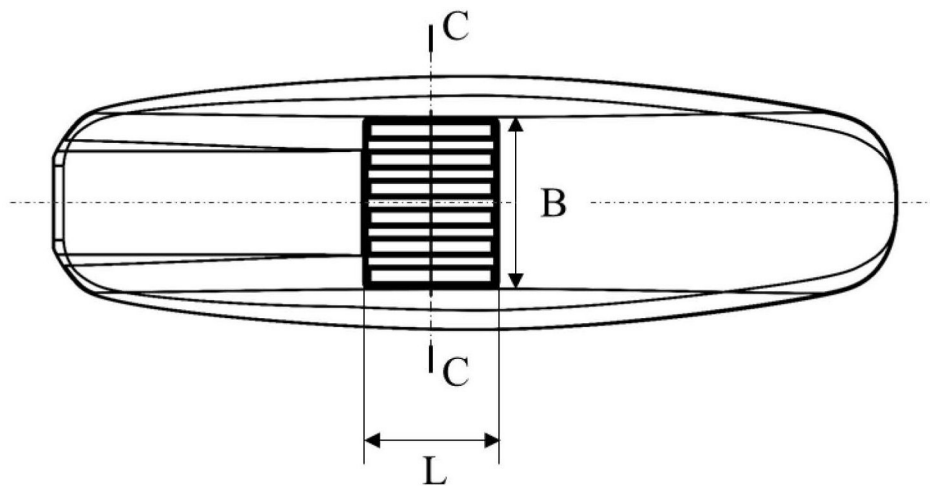


图3

C - C

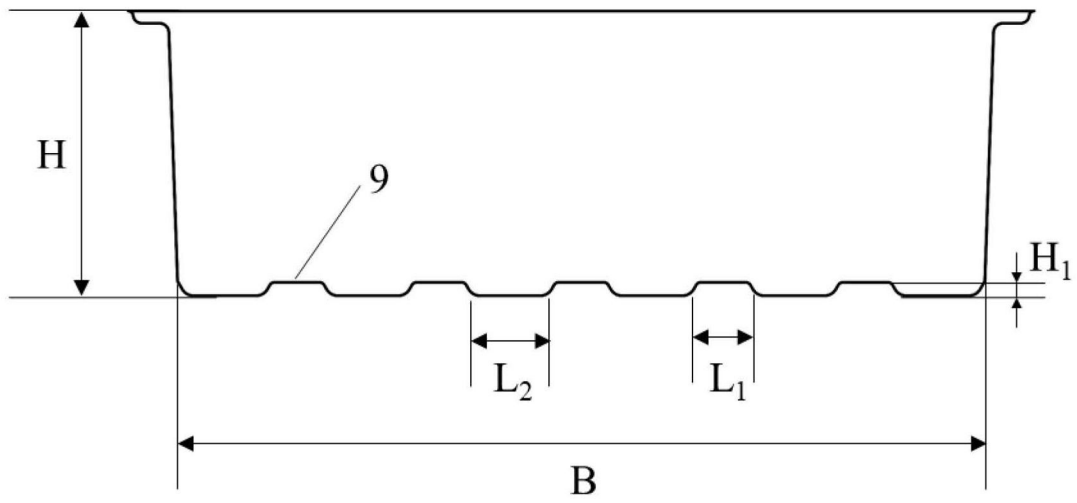


图4

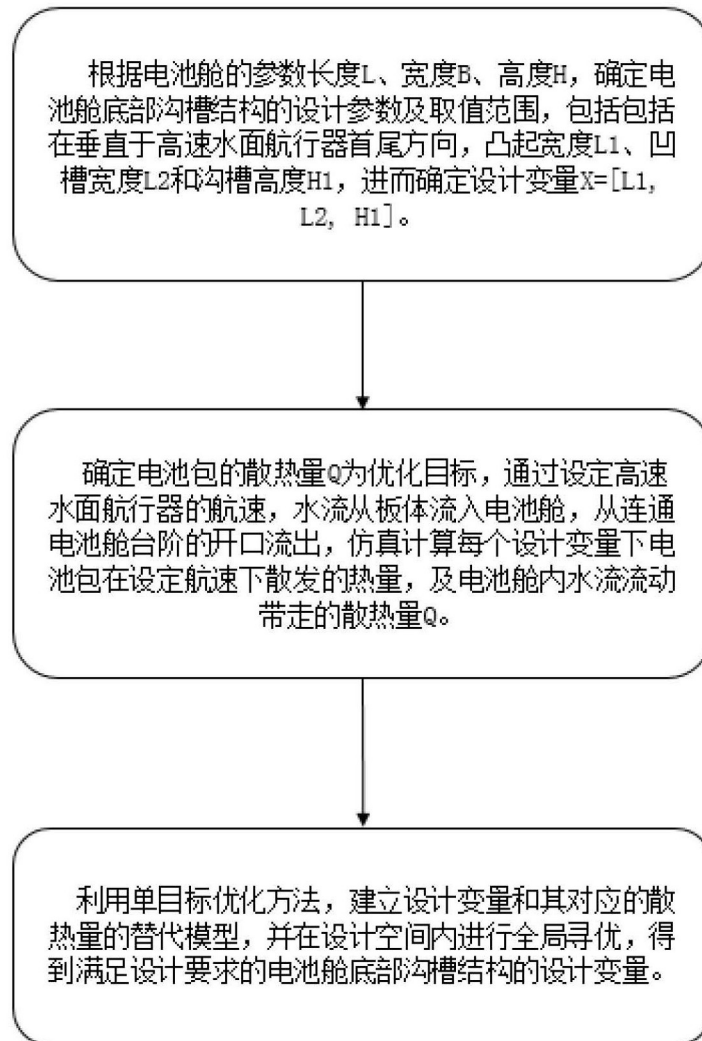


图5

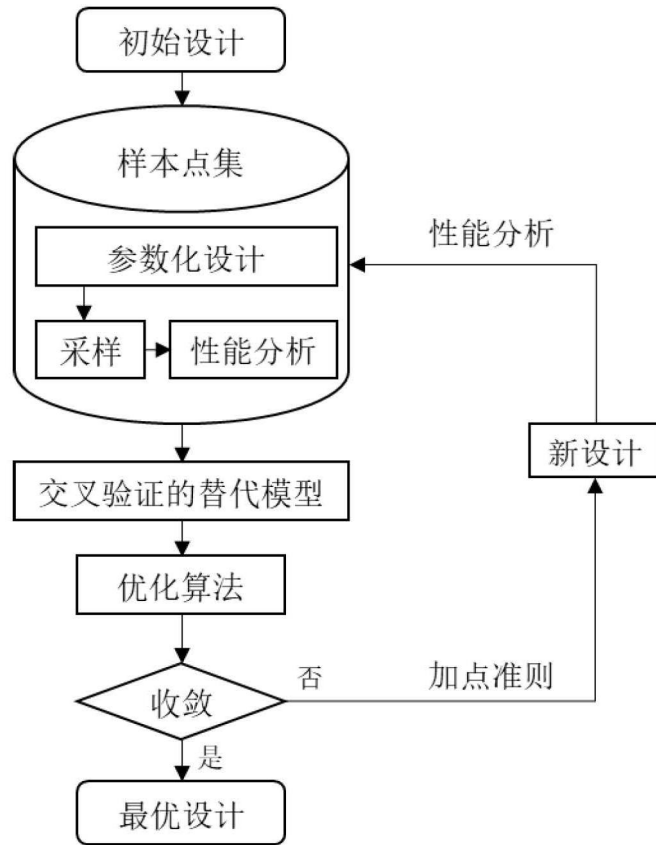


图6

N1	N2	N3	N4	N5
N6	N7	N8	N9	N10

图7