

一种仿生易碎复合材料导流罩的设计与试验研究^{*}

魏凤春^{1,2} 张 晓³ 张 恒²

(1. 河南工业大学材料科学与工程学院, 郑州 450052; 2. 郑州大学材料科学与工程学院, 郑州 450052;
3. 河南中原高速公路股份有限公司, 郑州 450052)

摘要 考察并借鉴鸡蛋可承受较大的均布压力的生物力学性能, 根据短纤维增强易碎复合材料强度理论, 从仿生学角度出发, 设计并制备了一种短纤维增强 191 不饱和聚酯树脂易碎复合材料导流罩结构。通过对该结构试样的抗压性能和冲击性能模拟试验, 证明了所设计的仿生易碎复合材料导流罩能满足易碎复合材料工作机制的要求。

关键词 易碎复合材料 导流罩 仿生 强度

由舰艇在水中或水面发射, 再由火箭运载飞行到达预定点入水, 自动搜索、跟踪和攻击潜艇的鱼雷, 简称助飞鱼雷, 是反潜导弹之一。火箭助飞鱼雷从水中发射后出水在空中飞行, 其头部的声纳保护罩应具有足够的强度抵抗空气阻力以保护罩内的声纳导航装置; 当飞行到敌舰近空重新入水时, 要求声纳保护罩能瞬时碎裂, 露出声纳导航装置对重新入水的鱼雷再进行导航。以前的保护罩碎裂方式采用爆炸方式, 即在鱼雷入水前开启引爆装置而使保护罩碎裂。该方法存在电子元件和火工品因长期存放可能失效及爆炸时的冲击波可能会伤害保护罩内的电子元件的缺点^[1], 笔者参考鸡蛋壳的生物力学性能, 利用短纤维复合材料强度理论, 设计了一种非爆炸易碎复合材料声纳保护罩。

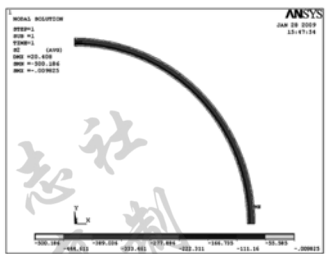
1 鸡蛋壳的生物力学结构分析

把一个鸡蛋放在手心里握紧, 尽管使出很大的力气, 薄薄的鸡蛋壳却并不破碎。小小的鸡蛋壳居然有如此大的强度。

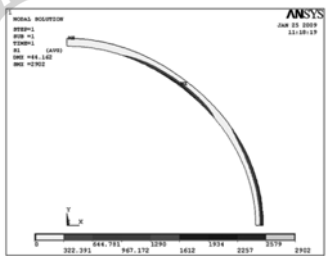
用 ANSYS 有限元程序分别计算出承受均布压力的蛋壳材料内部的应力场等值线和承受局部集中力的蛋壳内的应力场等值线, 如图 1 所示。由图 1a 可以看出, 在均布压力下蛋壳材料内只有压应力和很小的拉应力。于是很薄的鸡蛋壳就能承受很大的外界压力, 蛋壳材料只有当体内压应力超过其抗压强度极限时才会破坏。图 1b 中在集中力作用点的附近区域存在很大的拉应力。蛋壳材料的主要成分为碳酸钙, 是典型的脆性材料, 其抗拉能力较弱, 所以很容易开裂, 这就是为什么把鸡蛋在碗边轻轻一碰, 蛋就会裂开的原因。可以利用蛋壳的生物力学特性来设计易碎复合材料。

2 易碎复合材料导流罩的仿生设计

短切玻纤增强树脂易碎复合材料的强度(σ_{cu})



(a)



(b)

a—均布压力; b—局部集中力

图 1 蛋壳材料内部应力场等值线图

公式^[2]为:

$$\sigma_{cu} = 0.7794 \frac{\sigma_{fu}}{8} \left(\frac{1+v}{1+v} \right) \left(1 - \frac{l_c}{2l} \right) V_f + 0.8388 \sigma'_{mu} (1 - V_f) \quad (1)$$

采用易碎复合材料最大应力理论^[2], 取工作安全系数 $n = 1.5$, 触发碎裂安全系数 $n' = 1.2$, 将式 (1) 代入得:

$$1.5 \sigma_1 \leq 0.7794 \frac{\sigma_{fu}}{8} \left(\frac{1+v}{1+v} \right) \left(1 - \frac{l_c}{2l} \right) V_f + 0.8388 \sigma'_{mu} (1 - V_f) \leq \frac{\sigma_1'}{1.2} \quad (2)$$

式中: σ_1 ——火箭鱼雷在水中运动和在空中飞行时流体阻力作用下产生的最大应力;

^{*} 国家自然科学基金项目 (10472106)
收稿日期: 2010-01-14

σ'_1 ——入水时水面反击力引起的最大应力;
 σ'_{fu} ——纤维的拉伸强度;
 σ'_{mu} ——基体的拉伸强度。

根据流体动力学理论^[3],所受的流体阻力 F 与运行速度的平方成正比,表达式为:

$$F = \frac{1}{16} \rho A v^2 \tag{3}$$

式中: ρ ——流体密度;
 A ——迎风或迎水面积;
 v ——运行速度。

根据所设计的导流罩外形尺寸可得出迎风(水)面积,对于不同的运行速度,需要克服不同的流体阻力。由于适度的差异,火箭鱼雷在水中运行时所受阻力比在空气中飞行时所受阻力要小,此处分别按在水中和在空中运行来计算工作载荷。

结合导流罩的工作机制,所设计的短纤维易碎复合材料火箭鱼雷导流罩结构如图 2 所示。导流罩头部为椭圆形,下部为以椭圆短轴为半径的圆柱形,便于安装导航装置。考虑在实验室内进行模拟试验的方便,缩小所设计的导流罩尺寸,取 $a = 70\text{ mm}$, $b = 85\text{ mm}$, $H = 70\text{ mm}$,壳体厚度 $h = 3\text{ mm}$ 。

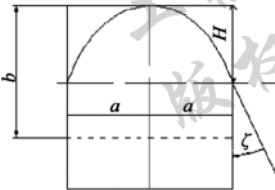


图 2 导流罩结构示意图

表 1 给出由式(3)计算出的空气($\rho_{\text{空气}} = 1.21\text{ kg/m}^3$)中运行速度分别为 150、200、300、400 m/s 时以及在水($\rho_{\text{水}} = 1000\text{ kg/m}^3$)中以 11、14 m/s 的速度运行时的流体阻力。显然最大阻力为 $F_{\text{max}} = 303.95\text{ N}$ 。

表 1 模拟试验运行速度及所受流体阻力

速度 / $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	迎风(水)面积 / cm^2	流体阻力 / N
150	251.2	42.74
200	251.2	75.99
300	251.2	170.93
400	251.2	303.95
11	251.2	189.82
13	251.2	265.12

火箭鱼雷在流体中运行时所受到的阻力并非均匀分布在导流罩的表面。图 3 为从文献[4]中得到的导弹头部的流体压力等值线图 and 压力系数分布规律。图中 s 为头部截面从中心开始计算的弧长, d

为导弹直径, σ 为压力系数。按照文献所给出压力分布规律,把最大流体阻力 $F_{\text{max}} = 303.95\text{ N}$ 施加于导流罩头部(分布压力的轴向投影积分应等于 F_{max}),采用 ANSYS 有限元软件计算其体内的应力场。

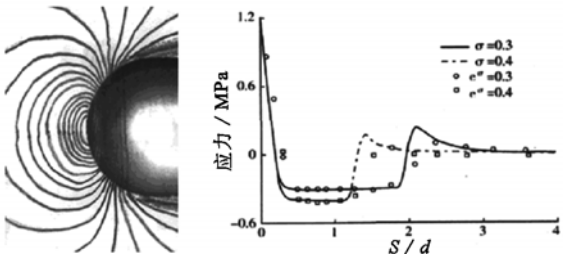
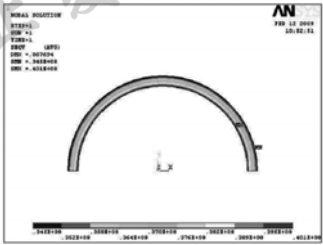
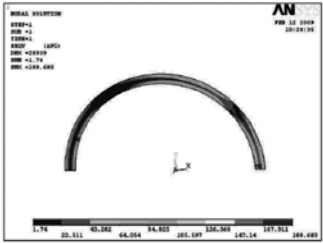


图 3 火箭头部的压力分布情况

图 4 为导流罩在流体阻力和水面反击力下的等效力场等值线图。根据导流罩在运行时体内应力场的计算结果(图 4a),工作状态体内危险点的主应力为: $\sigma_1 = 51.5048\text{ MPa}$, $\sigma_2 = 0$, $\sigma_3 = -106.327\text{ MPa}$ 。



(a)



(b)

a—流体阻力作用下; b—水面反击力作用下

图 4 导流罩的等效力场等值线图

设此火箭鱼雷入水时碰撞水面的速度为 100 m/s,水面对导流罩反击力为 4.5 kN,反击力分布在导流罩肩部一个有限大小的面积内(10 cm^2),采用有限单元法可以计算出导流罩再入水时体内应力场(图 4b)。危险点的主应力为: $\sigma'_1 = 92.7087\text{ MPa}$, $\sigma'_2 = 0$, $\sigma'_3 = -3.6173\text{ MPa}$ 。

把上述计算结果中的 σ_1 和 σ'_1 代入式(1),可求得 $V_f = 20.87\%$, $l = 8.2\text{ mm}$ 。

根据所计算出来的导流罩短纤维复合材料的纤

维体积比和纤维长度就可以制备出导流罩所用的纤维树脂混合料。

3 试验部分

采用南京玻纤院生产的长度为 8 mm 玻璃纤维丝,常州 253 厂生产的 191 不饱和聚酯树脂,按 21% 纤维体积比配制模压用物料。引发剂分别选用过氧化甲乙酮和环烷酸钴。模压时加温至 125℃。

3.1 导流罩抗压模拟试验

采用通过试验机对导流罩头部施加和计算流体阻力相等的均布力的方法来模拟验证导流罩在导弹运行时是否能安全工作。

在试验中要将导流罩试样固定在夹具上,试样上面覆盖与其形状吻合的压头,并在中间夹以软硬不同的泡沫材料薄层来调节施力时导流罩头部的压力分布,使其近似地符合文献[4]给出的分布规律。然后放在电子拉力实验机工作台上施加压力。试验中采用外置压力传感器测定压力,逐渐增大压力并记录,观察试样抗压情况。抗压试验装置见图 5。

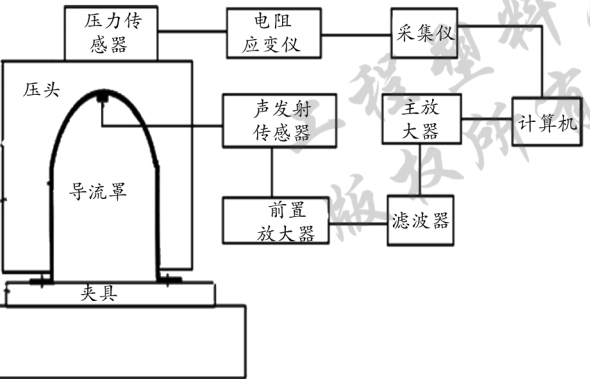


图 5 抗压试验装置示意图

3.2 冲击试验

要求所设计的导流罩重新入水时可在水面的反冲击力下碎裂,露出声纳导航装置对入水后的鱼雷实施导航。试验中特制了一活塞筒,活塞筒内放有装满水的皮囊,通过对活塞杆施加冲击力,带动活塞挤压皮囊,模拟导流罩试样受到水面的冲击力。活塞杆端部装有加速度传感器,通过电荷放大器、采集仪将数据输入计算机,最后通过数据转换可得使试样碎裂的冲击力。试验装置如图 6 所示。

3.3 试验结果

图 7 为导流罩试样的压力历程图。通过计算可知,导流罩试样所能承受的压力大于 312.5 N。图 8 为试样冲击响应历程图。将所测得的数据经过转换,可得试样冲击破坏的冲击力为 3.1 kN。

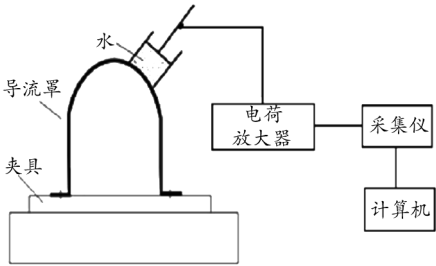


图 6 冲击试验示意图

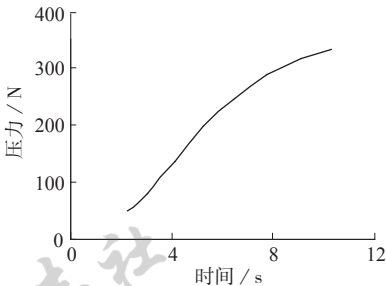


图 7 试样压力历程图

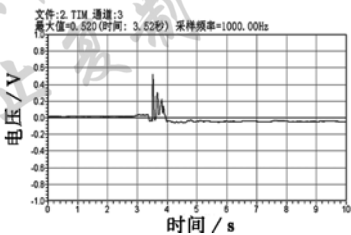


图 8 试样冲击响应历程图

比较试验结果与不同速度下导流罩所承受的流体阻力(表 1)可知,导流罩试样能满足在水中运行速度为 13 m/s、在空中运行速度为低于 400 m/s 时所受到的流体阻力。

4 结论

通过对鸡蛋可承受较大的均布压力的生物力学性能分析,根据短纤维增强易碎复合材料强度理论,从仿生学角度出发,设计了一种短纤维增强 191 树脂易碎复合材料导流罩结构。在实验室制备了所设计导流罩的模拟试样,对其进行了抗压性能试验和冲击试验。试验结果表明,所设计的仿生易碎复合材料导流罩可以安全地承受在水中以 13 m/s 的速度以及在空气中以 400 m/s 的速度运行时的流体阻力,当以 100 m/s 的速度撞击水面时即可断裂,满足易碎复合材料工作机制的要求。

参考文献

[1] 孙甫. MY-9 易碎材料在武器系统上的应用[J]. 宇航材料工艺, 2002 (2): 25-28.
[2] 魏凤春. 易碎复合材料的设计、制备工艺与性能试验研究[D]. 郑州: 郑州大学出版社, 2009: 50-52.

[3] 普朗特. 流体力学概论[M]. 郭永怀, 陆士嘉译. 北京: 科学出版社, 1981.

[4] 熊永亮, 郜治, 杨丹. 不同攻角运动的水下导弹表面空泡流场数值研究[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2007, 28(7): 738-741.

DESIGN AND EXPERIMENT FOR BIOMIMETIC FRAGILE COMPOSITE DOME

Wei Fengchun^{1,2}, Zhang Xiao³, Zhang Heng²

(1. School of Materials Science and Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou 450052, China;

2. School of Materials Science and Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450052, China;

3. Henan Zhongyuan Expressway Company Limited, Zhengzhou 450052, China)

ABSTRACT The biomechanical property of eggs which could bear large uniform pressure was studied, and based on the failure criteria of short fiber fragile composites a short fiber/191 resin composite dome was designed. The results of the compressive test and the impact test showed that the fragile composite dome could meet the requirements of its working mechanism.

KEYWORDS fragile composites, dome, bionics, intensity

Eastman 化学公司新推出新型吹塑级聚酯

Eastman 化学公司推出一种新型聚酯树脂, 并冠以新的商品名 Aspira, 用于高透明性的饮料、酒类和乳类的多用途包装。Aspira 聚酯家族针对 handleware 瓶和其它 1.36 kg 或更大容积的瓶子的吹塑成型。

该家族成员包括早前推出的 Eastar EB062 共聚酯, 该产品 5 年前已成功应用于梭式吹塑; 随后推出了新品级 Aspira

EN177, 其流变性能拓展了其加工范围, 可在轮式和往复螺杆以及梭式等高输出加工机械上加工。新品级改性 PET 与 EB062 相同。

Aspira 树脂具有比聚烯烃更高的透明度, 以及比拉伸吹塑级 PET 更大的设计自由度。这两个品级的物理性能相近, 但 EN177 与 PET 回收流的相容性更好, 更少引起凝胶和黑点。
(全球塑胶网)

优惠销售 2000 ~2010 年中国工程塑料加工应用技术研讨会《论文集》及论文集光盘

中国工程塑料工业协会加工应用专委会为了配合 2000 ~2010 年先后召开的中国工程塑料加工应用技术研讨会共编辑、出版了 11 本《论文集》。其内容涉及工程塑料及通用塑料的合成与改性、加工、应用、测试、模具、设备新技术, 以及文献综述、评论等, 尤其突出了我国工程塑料行业发展规划、热点分析, 应对 REACH、RoHS 的对策等行业规则、政策。现尚有部分《论文集》, 以及应广大读者要求加工制作的论文集光盘, 以优惠价格(含邮费)销售, 欢迎订阅。

1. 《论文集》, 优惠价 280 元/套, 单册价格如下:

《2010 年中国工程塑料复合材料技术研讨会论文集》, 论文 100 篇, 正文 371 页, 50 元/册;

《2009 年中国工程塑料复合材料技术研讨会论文集》, 论文 100 篇, 正文 351 页, 45 元/册;

《2008 年中国工程塑料复合材料技术研讨会论文集》, 论文 100 篇, 正文 351 页, 40 元/册;

《2007 年中国工程塑料复合材料技术研讨会论文集》, 论文 100 篇, 正文 343 页, 35 元/册;

《2006 年中国工程塑料加工应用技术研讨会论文集》, 论文 100 篇, 正文 346 页, 含中国工程塑料工业“十一五”发展规划, 30 元/册;

《2005 年中国工程塑料复合材料技术研讨会论文集》, 论文 100 篇, 正文 338 页, 25 元/册;

《2004 年中国工程塑料加工应用技术研讨会论文集》,

论文 100 篇, 正文 337 页, 20 元/册;

《2003 年塑料助剂和塑料加工应用技术研讨会论文集》, 论文 105 篇, 正文 373 页, 20 元/册;

《2002 年中国工程塑料加工应用技术研讨会论文集》, 论文 100 篇, 正文 351 页, 20 元/册;

《2001 年中国工程塑料加工及模具技术研讨会论文集》, 论文 80 篇, 正文 270 页, 20 元/册;

《2000 年中国工程塑料加工应用技术研讨会论文集》, 论文 100 篇, 正文 339 页, 20 元/册。

2. 论文集光盘, 优惠价 190 元/盘。

本光盘除收录上述 11 本《论文集》的全部内容外, 还包括约 2200 人次的会议代表通讯录。

凡需购买《论文集》或论文集光盘的读者, 请尽快办理邮购手续。汇款时请注明“论文集”或“论文集光盘”。

邮局汇款

收款单位: 山东济南市 108 信箱杂志社 邮编: 250031

电话: (0531) 85878057 85878223 85878278

传真: (0531) 85947355 85878057

银行汇款

户 名: 中国兵器工业集团第五三研究所

开户银行: 济南市工商银行经十一路支行

帐 号: 1602001229014425546

网上订购 <http://www.epa1973.com>