

# 某型飞行数据记录器防护壳体冲击强度优化

李寿安, 张恒喜, 李曙林, 王礼沅, 郭风  
(空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038)

**摘要:**用 ANSYS 软件动态分析模块对某型飞行数据记录器防护壳体的冲击载荷进行模拟仿真, 并分析了在规定冲击载荷作用下, 防护壳体对载荷的响应, 着重分析了其应力与变形的变化情况。然后以重量最轻为目的和最大应力为约束条件, 建立优化模型。采用 BP 网络预测方法对防护壳体的厚度与圆边半径进行了优化设计。

**关键词:**冲击强度; 优化设计; 飞行数据记录器; 冲击载荷

**中图分类号:** V414.19      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1009-3516(2006)01-0007-03

飞行数据记录器, 它的作用就是记录飞机飞行时的参数。当飞机遇到事故时, 它能够在一定的坠毁环境下, 保存所记录的参数, 为分析事故原因提供科学依据。其中飞行数据记录器的防护壳体部件就是保护飞行参数的关键部件。因此, 防护壳体的冲击强度性能是设计的关键因素。

当飞行器发生爆炸或坠毁时, 飞行数据记录器防护壳体在剧烈冲击载荷作用下, 能够保护好内部的记录介质, 即要求防护壳体的外壳不能够发生破坏内部记录介质的塑性变形和断裂破坏<sup>[1]</sup>。本文根据 ANSYS 软件动态分析模块对在规定冲击载荷作用下的防护壳体进行有限元分析, 计算了在冲击载荷作用下, 防护壳体的受力和变形情况; 通过有限元分析获得了壳体的薄弱之处, 并为优化设计提供了强有力的理论依据。

## 1 防护壳体模型的建立

某型飞行数据记录器的防护壳体是空心长方体结构。在进行冲击强度性能分析以之前, 要建立防护壳体受力模型, 防护壳体建模包括几何模型和有限元分析模型的建立。

### 1.1 几何模型的建立

模型建立仅考虑防护壳体的钢外壳组件, 内部的热防护组件没有加入模型中, 主要认为刚度很小, 对计算中的刚度矩阵贡献微乎其微。

由于防护壳体实体的对称性, 所建的几何模型为 1/2 的实体模型, 实体模型与实际结构比例为 1:1。

### 1.2 有限元分析模型的建立

对防护壳体进行有限元离散, 由于壳体壁厚与壳面尺寸相比来说是很小的, 用壳单元对模型离散并不影响其精度。因此, 对壳体模型采用了八节点四边形的壳单元划分。为了提高分析精度, 在几何尺寸突变处单元划分的密度较大<sup>[2]</sup>。

强冲击坠毁性能指标为: 最大冲击值为 3400 g; 载荷作用时间 6.5 ms; 载荷作用时间历程为正弦波。由强度性能指标可知, 作用在防护壳体上的冲击载荷为瞬态非线性载荷,  $Q = 3400mg\sin(2\pi ft)$ , ( $0 \leq t \leq 0.0065$ )。式中:  $Q$  为作用在防护壳体上的冲击载荷;  $m$  为防护壳体质量;  $g$  为重力加速度(这里取  $9.8 \text{ m/s}^2$ );  $f$  为载荷响应频率。

该冲击载荷作用在防护壳体的最薄弱面上, 载荷分布的范围依据试验中冲头与被撞击物的接触面大小

收稿日期: 2005-01-07

基金项目: 国防预研基金资助项目(98J19.3.2. JB 3201)

作者简介: 李寿安(1977-), 男, 江西萍乡人, 博士生, 主要从事飞行器设计;

张恒喜(1937-), 男, 江苏姜堰人, 教授, 博士生导师, 主要从事军用飞机型号发展工程研究。



而定。由于没有明确述说和定义强冲击试验时防护壳体位移约束,使防护壳体处于仅在载荷作用下的自由状态;另外,由于防护壳体和载荷均是对称的,在这里采用对称边界条件。

防护壳体所用材料是一种由  $C_r$ 、 $N_i$ 、 $M_n$ 、 $Al$  4 种元素组成的合金材料,材料强度  $\sigma_b \geq 1\ 180$  MPa,取其许可强度  $[\sigma_b]$  为 1 180 MPa,弹性模量  $E$  为 193 ~ 200 GPa,泊松比  $\mu$  为 0.28,密度  $\rho$  为  $7.8\text{g/cm}^3$ 。由于防护壳体不允许发生塑性变形,在此假设壳体在载荷作用下只发生线弹性范围内的变形。

## 2 有限元计算分析

对壳体强度进行有限元分析的目的在于检验壳体是否能承受强冲击载荷,即计算的应力应小于材料的许可强度  $[\sigma_b]$ ,变形在弹性范围内。对应力数值进行分析时,将各应力分量按第四强度理论折算成当量应力  $\sigma$  [2-3],其表达式为  $\sigma = \sqrt{1/2((\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2)}$ 。其中,  $\sigma_1$ 、 $\sigma_2$ 、 $\sigma_3$  为第一、第二、第三主应力。按第四强度理论进行校核,壳体要不被破坏或者发生塑性变形,其最大当量应力为  $\sigma \leq [\sigma_b]$ 。

冲击载荷的时间历程曲线为正弦曲线,用 ANSYS 软件动态分析模块计算得到防护壳体的应力、变形也随时间按正弦曲线变化,见图 1、图 2。并且在 3.25 ms 时防护壳体应力、变形最大(此时载荷最大)。通过 ANSYS 软件计算和绘出的 3.25 ms 时防护壳体应力、变形分布图形,见图 3、图 4。最大应力分布在面边缘的倒圆边处,最大变形发生在力作用面的中心。

## 3 基于 BP 网络的优化设计

通过有限元分析获得了防护壳体结构承受载荷的最薄弱面,并且面的边缘倒圆边处发生了最严重的应力集中。为了防止防护壳体在冲击载荷作用下的应力和变形过大,在防护壳体内部空间长、宽、高尺寸不变的基础上(保证防护壳体内部储存空间),必须对圆边半径  $r$  和壁厚  $t$  进行合理的设计,以减少应力集中,避免防护壳体塑性变形。

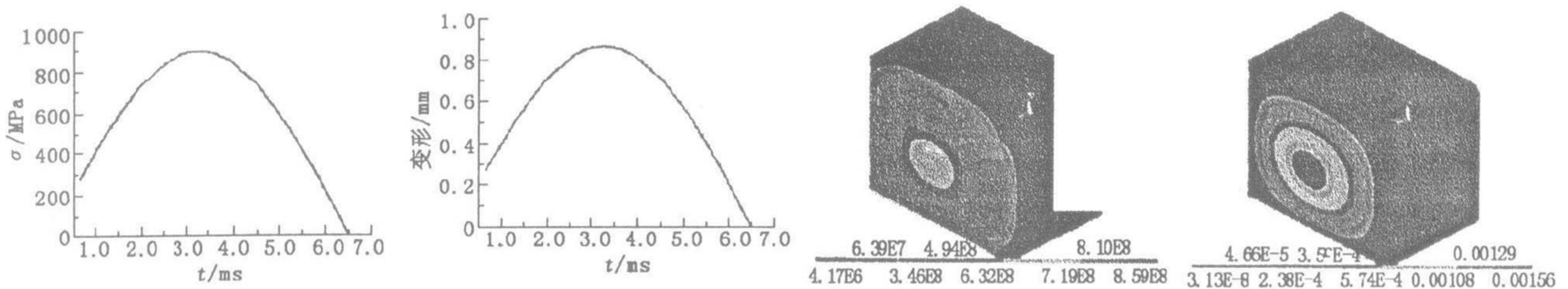


图 1 应力-时间变化关系 图 2 变形-时间变化关系 图 3 3.25 ms 时应力分布 图 4 3.25 ms 时变形

用 ANSYS 有限元软件对 3 400 g 冲击载荷作用下防护壳体的强度性能进行分析,计算了一系列在不同圆边半径  $r$  及不同壁厚  $t$  下防护壳体薄弱面的最大应力(如表 1)。

由于防护壳体结构受整个飞行数据记录器结构的限制,因此圆边半径  $r$  有一个范围;并且在飞行器上还必须遵守重量最轻原则 [2,4],因此壁厚  $t$  也有限制。本文综合考虑了重量与应力因素,建立优化模型如下

$$\begin{aligned} \min G &= g(t, r) \\ \text{s. t. } &\begin{cases} \sigma = f(t, r) \leq [\sigma_b] \\ 2 \leq r \leq 8 \\ 1 \leq t \leq 6 \end{cases} \end{aligned} \quad (1)$$

表 1  $r$  和  $t$  不同时壳体最大应力  $\sigma$

$r/\text{mm}$	$t/\text{mm}$						MPa
	1	2	3	4	5	6	
4	2 640	1 815	1 247	972	821		
5	2 110	1 595	1 125	711	642		
6	1 775	1 320	819	678	498	414	
7	1 428	1 204	782	609	408	342	
8	1 532	1 289	911	669	469	357	

式中:  $G$  为防护壳体的重量,其表达式为

$$G = 2\rho[(l-2r)(b-2r) + (l-2r)(h-2r) + (b-2r)(h-2r) + \pi r(l+b+h-6r) + 2\pi r^2]t \quad (2)$$

式中:  $l$ 、 $b$ 、 $h$  分别为防护壳体的长、宽、高。



从表1数据可以看出,最大应力 $\sigma$ 与圆边半径 $r$ 和壁厚 $t$ 的关系是非线性的,很难用数学式描述它们之间函数关系。本文采用BP网络来建立它们的函数关系式<sup>[5]</sup>。

在BP网络模型中,以 $r$ 和 $t$ 作为BP网络的输入向量, $\sigma$ 作为输出向量,采用tan-sigmoid为隐层传递函数,线性传递函数purelin为输出层传递函数,隐层单元数取8。

以表1中数据作样本,对BP网络进行训练。达到满意精度后,以各种不同的 $r$ 和 $t$ 作为输入向量,预测在此情况下的最大应力 $\sigma$ ,并将 $\sigma$ 代入优化模型式(1)、式(2)中进行计算和选择。通过计算,得到了当 $r$ 为6.9 mm、 $t$ 为2.1 mm时,最大应力为1 178 MPa,同时满足了重量最轻、应力在许可强度 $[\sigma_b]$ 以内两个条件。因此,在式(1)的约束下, $r$ 为6.9 mm、 $t$ 为2.1 mm的防护壳体是最优的。

## 4 结论

1)在冲击载荷作用下,防护壳体的应力及变形随时间的变化关系与载荷随时间的变化关系一致,因此当冲击载荷最大时,防护壳体的应力和变形最严重。

2)随着壁厚的增大,防护壳体薄弱面最大应力减小;在壁厚一定情况下,随着圆弧边半径的增大,防护壳体薄弱面最大应力先减小,然后增大。根据上述情况和重量最轻原则,建立优化模型采用BP网络结构对防护壳体的壁厚和圆弧边半径进行优化设计,使得防护壳体满足冲击强度性能和重量最轻的两个要求。

### 参考文献:

- [1] 吴显吉,李寿安,李曙林. 某型飞行数据记录器防护壳体强度性能分析[J]. 沈阳航空工业学院学报,2003,(1):12-14.
- [2] 何卫锋,何宇廷,吴显吉,等. 某机翼结构细节抗疲劳优化设计[J]. 机械强度,2003,25(3):343-346.
- [3] 李曙林,朱家元. 多孔腹板在谱载下的疲劳寿命分析[J]. 空军工程大学学报(自然科学版),2002,3(3):20-23.
- [4] 何宇廷,何卫锋,吴显吉. 某飞机地面压力加油接头舱的优化设计[J]. 机械科学与设计,2002,21(1):50-51.
- [5] 黄 隽,曲东才. 基于人工神经网络的现代军机研制费用估算模型[J]. 海军航空工程学院学报,2004,(2):283-285.

(编辑:姚树峰)

## Impact Strength Optimization on the Shield of a Certain Flight Data Recorder

LI Shou-an, ZHANG Heng-xi, LI Shu-lin, WANG Li-yuan, GUO Feng

(The Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710038, China)

**Abstract:** The impact loads on the shield of a certain flight data recorder are simulated by dynamic analysis module of ANSYS software, the responses to the stress and the distortion of the shield under the stated impact loads are analyzed. For the aim of the lightest shield, under the restriction of the maximum stress, an optimization model is built. A design for optimizing the wall thick and the arc radius of the shield by BP network is made.

**Key words:** impact strength; optimization; flight data recorder; impact load