

# 爆炸载荷下舱板与加强筋抗爆性能分析

梅宗书,石成英,蔡星会,王 争

(第二炮兵工程大学,西安 710025)

**摘要:**以救生舱壳体的抗爆性能为研究对象,通过控制变量法,分别研究了壳体中舱板与加强筋两部分的抗爆性能。通过有限元分析软件 LS-DYNA,对舱板厚度一定,加强筋厚度不同和加强筋厚度一定,舱板厚度不同两种组合进行数值仿真计算,得出了整体救生舱壳体的塑性变形与舱板和加强筋厚度之间的关系曲线。研究结论表明:在一定载荷范围内,加强筋在厚度与整体壳体塑性变形上成双段线性曲线规律;舱板在厚度与整体壳体塑性变形上成抛物线曲线规律。研究成果为救生舱舱板与加强筋厚度设计提供有益借鉴。

**关键词:**冲击;LS-DYNA;舱板;加强筋;塑性变形

**本文引用格式:**梅宗书,石成英,蔡星会,等.爆炸载荷下舱板与加强筋抗爆性能分析[J].兵器装备工程学报,2016(1):55-58.

**Citation format:**MEI Zong-shu, SHI Cheng-ying, CAI Xing-hui, et al. Antiknock Performance Analysis of Tank Plate and Stiffener Under Explosion Loading[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2016(1):55-58.

中图分类号:TD774

文献标识码:A

文章编号:1006-0707(2016)01-0055-04

## Antiknock Performance Analysis of Tank Plate and Stiffener Under Explosion Loading

MEI Zong-shu, SHI Cheng-ying, CAI Xing-hui, WANG Zheng

(The Second Artillery Engineering University, Xi'an 710025, China)

**Abstract:** With the capsule shell antiknock performance as the research object, two parts of the capsule shell, plate and stiffener, whose antiknock performance were researched through the control variable method. Through finite element analysis software LS-DYNA, two kinds of operating condition, that the thickness of the stiffener is different with a certain thickness of plate and that the thickness of the plate is different with a certain thickness of stiffener, were under numerical simulation calculation, which discovered the relationship between the plastic deformation of the whole capsule shell and the thickness of the plate and the stiffener. The result show that, within a certain range of load, the plastic deformation of the overall shell and the thickness of stiffener forms into double linear curve law; the plastic deformation of the overall shell and the thickness of plate forms into a parabolic curve. This research provides beneficial reference for the thickness design of capsule plate and stiffener.

**Key words:** impact; LS-DYNA; deck stiffener; plastic deformation

作为煤矿、军事等领域的人员防护装备,救生舱的抗爆性能是研究设计其需要考虑的最重要的性能之一。救生舱根据功能有诸多分类,但在壳体结构上大体相同,均为在救生舱舱板上焊接加强筋。以往在救生舱舱板和加强筋研究

领域中,大多数为对复合材料加强筋的抗爆性能和不同材质、夹层结构的舱板抗爆性能的研究<sup>[1,2]</sup>。我国学者丁晓红、李国杰等通过对自然界分支系统形态的最优性研究<sup>[3]</sup>,提出一种能使加强筋沿结构整体刚度最大方向生长的自适应成

收稿日期:2015-06-03;修回日期:2015-06-25

作者简介:梅宗书(1991—),男,硕士研究生,主要从事兵器科学与技术研究;  
石成英(1964—),男,教授,博士生导师,主要从事战斗部工程研究。

长法。但是将舱壁与加强筋放在一起,对其在厚度维度上的抗爆性能进行研究分析,公开文献还比较少。

目前,在救生舱的抗爆性能研究方面,对于舱板和加强筋厚度的设计,通常做法是舱板厚度由材质和抗爆性能指标确定,加强筋厚度参照相关行业标准,一般不考虑舱板厚度与加强筋尺寸方面的相互联系。本研究则分别探究两者厚度与救生舱壳体抗爆性能之间的关系,从而为舱板与加强筋厚度的确定提供依据。

本研究通过有限元分析软件 LS-DYNA,对舱板厚度一定,加强筋厚度不同和加强筋厚度一定,舱板厚度不同两种组合下,救生舱壳体的最大塑性变形进行研究,得到相关线性曲线,为舱板与加强筋的厚度设计提供有益参考。

## 1 模型与参数设置

本研究对救生舱壳体进行建模,壳体由高强度钢质大板和内附加强筋组成,舱板与加强筋材质相同,材料模型采用塑性随动模型 \* MAT\_PLASTIC\_KINEMATIC,单位制为 cm - g - us,参数设置如表 1 所示。

表 1 参数设置

材料		* MAT_PLASTIC_KINEMATIC						
1018	RO	E	PR	SIGY	ETAN	BETA	FS	
钢	7.865	2.0	0.27	0.003 1	0.007 63	0.5	0.75	

模型采用 Shell163 薄壳单元,加强筋截面形状设计为半圆形<sup>[4]</sup>,圆面半径为 6 cm,通过在 \* SECTION\_SHELL 中输入厚度参数设置加强筋与舱板厚度。由关键字 \* LOBD\_BLAST 施加爆炸载荷,爆炸点设置在相对舱板对称的位置,冲击载

荷大小为 0.8 MPa,模型尺寸如图 1 所示。

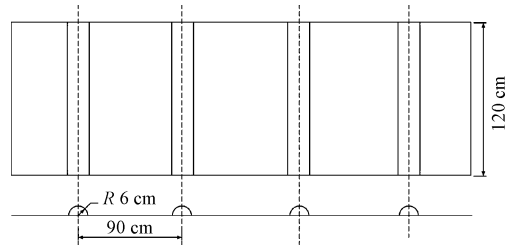


图 1 舱板示意图

舱板在某一时刻的应力云图如图 2 所示。

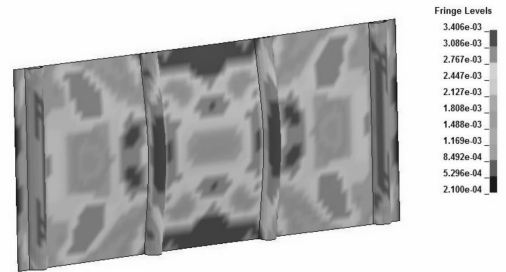


图 2 舱板应力原图

由图 2 可知,在救生舱壳体的中间位置,加强筋承受的应力值最大,塑性变形也最为严重,为研究壳体最大形变量,本研究选取舱板中心位置的节点进行壳体法线方向的位移取样<sup>[5]</sup>,并进行数据分析。

本研究采用控制变量法,将实验工况分为两组,具体参数设置如表 2 所示。通过对表 2 中两种组合进行计算,得到舱板与加强筋各自的抗爆性能。

表 2 实验工况参数

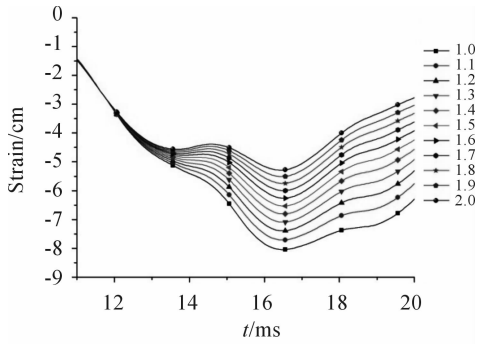
序号		厚度/cm										
组合 1	舱板	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	加强筋	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
组合 2	舱板	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
	加强筋	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

## 2 结果分析

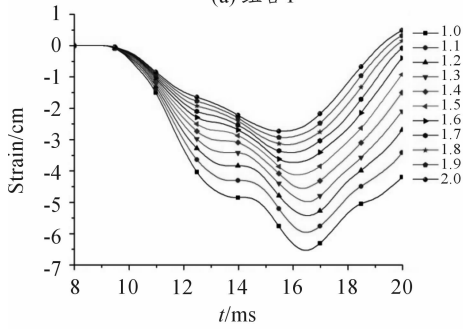
通过计算,并在后处理器 LS-PREPOST 中选取舱板中心位置节点为研究对象,输出两种组合下该节点随时间的位移变化曲线,如图 3 所示。

由图 3 可知,冲击载荷作用下,在舱板的动力响应初始

阶段,不同厚度的舱板与加强筋,救生舱壳体在法线方向的变形同步性较好。通过比较曲线最低点对应形变值可知,组合 2 比组合 1 在变形幅度上要小;又由曲线之间的疏密程度可知,在增加相同厚度时,组合 2 比组合 1 应变值增加幅度大。随着曲线波动区域平缓,最后围绕一条中心线上下波动,如图 4 所示。

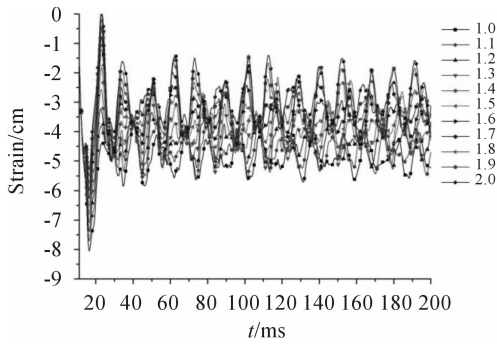


(a) 组合1

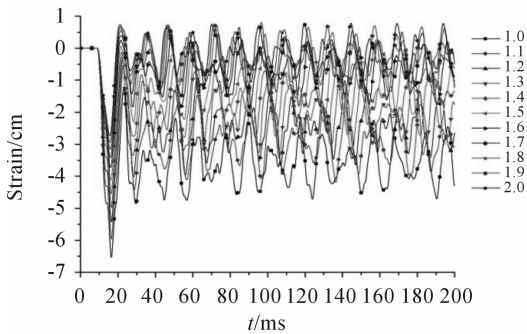


(b) 组合2

图3 舱板中心节点初始位移时程曲线



(a) 组合1



(b) 组合2

图4 舱板中心点完整位移时程曲线

由图4中曲线的变化规律可以预测,假定时间足够长,则所有曲线都将趋于一条纵坐标不等的水平线,称该水平线为塑性变形线<sup>[6]</sup>,如图5所示。本研究以塑性变形线所对应的纵坐标大小作为救生舱壳体抗爆性能的指标,将计算出的中心节点位移的平均值作为壳体塑性变形量的大小。

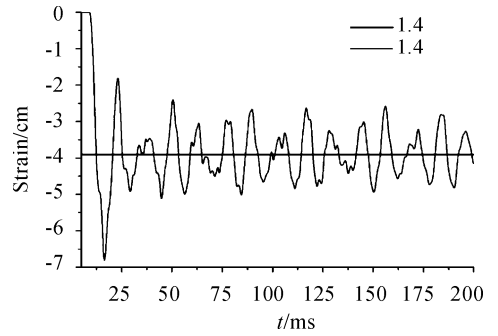
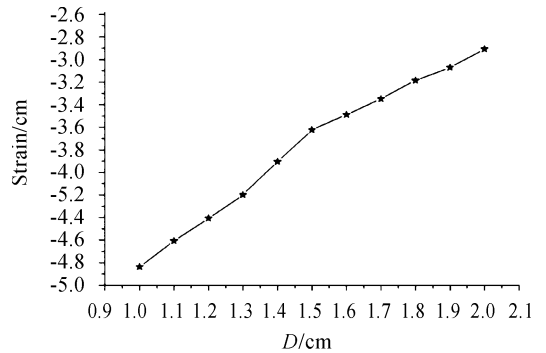
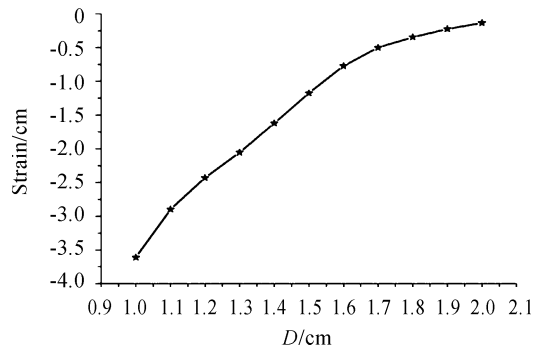


图5 加强筋为1.4 cm时变形曲线

根据理论推导可知,变形曲线中的直线即为舱体最大塑性变形曲线,纵坐标值即为塑性变形值——即挠度的大小,不同厚度下,舱板最大挠度值如图6所示。



(a) 组合1



(b) 组合2

图6 舱体塑性变形随结构厚度的变化曲线

由图6可知,在厚度越大,舱板塑性变形量越小的同时,厚度与塑性变形并不满足一阶线性关系。两条曲线中组合1中的曲线可看成分段双直线,组合2表现为抛物线的左支。进一步计算每一段的斜率可得表3所示的参数。

由表3可知,加强筋在厚度递增时,救生舱壳体挠度呈现分段式递减规律,即对于加强筋而言其抗爆性能呈现分段式递减规律,而对于舱板而言,当厚度增加到一定厚度时,继续增加其厚度,对抗爆性能的提高效果并不明显。同时,从1.7 cm厚度开始组合2中的斜率下降幅度较大,基本和组合1中的斜率在一个区间,因此,此时通过增加加强筋厚度来提高救生舱壳体的抗爆性能是比较合适的。依据本文中的模型与材料设置,本文中舱板与加强筋的最佳的厚度组合为

1.6 + 1.5 cm。

表3 分段斜率参数

序号	斜率			
	组合1	趋势	组合2	趋势
1	2.294 1		7.129 0	
2	1.987 4	↓	4.687 2	↓
3	2.094 9	↑	3.743 3	↓
4	2.931 8	↑	4.322 6	↑
5	2.812 5	↓	4.459 1	↑
6	1.353 8	↓	4.020 6	↓
7	1.399 6	↑	2.736 0	↓
8	1.634 7	↑	1.547 2	↓
9	1.142 8	↓	1.216 0	↓
10	1.627 7	↑	0.890 9	↓

### 3 结论

本研究通过分别对救生舱壳体中的舱体大板和加强筋的抗爆性能进行模拟实验和数据分析,以曲线图的方式给出了加强筋和舱板在抗爆性能上的不同。

当舱板厚度达到一定值时,继续增加其厚度并不能较有效地提高救生舱的抗爆性能,同时,增加舱板厚度会大幅增

加舱体的总重和制造成本,此时因结合救生舱抗爆性能指标,选择舱板与加强筋的塑性应变与厚度之比较大时各自对应的厚度,这样才能最大程度缩减材料整体厚度和自重,有效节约生产成本。

### 参考文献:

- [1] 项晨,陈浩然,郭兆璞.复合材料加筋结构的流固耦合振动及动力响应分析[J].复合材料学报,1996,13(3):100-110.
- [2] 肖锋,湛勇,章振华,等.夹层结构冲击动力学研究综述[J].振动与冲击,2013,32(18):1-7.
- [3] 丁晓红,李国杰,蔡戈坚,等.薄板结构的加强筋自适应成长设计法[J].中国机械工程,2005,16(12):1057-1060.
- [4] 平玉城,金龙哲,栗婧,等.不同加强筋对救生舱舱体抗爆性能影响的研究[J].煤,2014,23(10):4-7.
- [5] MAIN J A,GAZONAS G A. Uniaxial crushing of sandwich plates under air blast; Influence of mass distribution[J]. International Journal of Solids and Structures,2008,45(7/8):2297-2321.
- [6] 张旭红,王志华,赵隆茂.爆炸载荷作用下铝蜂窝夹芯板的动力响应[J].爆炸与冲击,2009,29(4):356-360.

(责任编辑 周江川)