

doi: 10.7690/bgzd.2013.10.004

火箭炮新型穿透式密封盖设计与仿真

崔二巍, 于存贵, 王松超

(南京理工大学机械工程学院, 南京 210094)

摘要: 针对穿透式开盖将密封盖冲破后会产生碎片现象, 对火箭炮新型穿透式密封盖进行设计仿真。以火箭炮储运发射箱的前端密封盖为研究对象, 根据引信安全性、相邻管火箭弹燃气射流的冲击和密封盖撕裂过程, 得出新型穿透式密封盖的性能要求, 对密封盖进行材料选择和结构设计。基于复合材料的失效准则, 在 Abaqus 中仿真火箭弹冲破密封盖和燃气射流冲击密封盖的过程, 并分析其仿真结果。仿真结果表明: 设计的新型穿透式密封盖能按预定的撕裂方向破开且不产生碎片, 满足引信安全性要求。

关键词: 密封盖; 穿透; 性能要求; 失效准则; 仿真

中图分类号: TJ393 **文献标志码:** A

Design and Simulation of New Penetrative Sealing Cover for Rocket

Cui Erwei, Yu Cungui, Wang Songchao

(School of Mechanical Engineering, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: Aiming at the phenomenon that the sealing cover would produce debris after being penetrated, a new penetrative sealing cover is designed and simulated. The front sealing cover of multiple rocket launcher's storage box is studied in this paper. The performance requirements of the sealing cover are got according to the safety of the fuse, the impact of the combustion gas flow and the tear process. Select the sealing cover's material and design its structure. Based on the failure criteria, simulate the process of the sealing cover penetrated by rocket and impacted from combustion gas flow in Abaqus. The simulation results show that the new penetrative sealing cover can fracture along the tearing line, no fragment is produced and the safety requirement of the fuse is satisfied.

Key words: sealing cover; penetrate; performance requirements; failure criteria; simulate

0 引言

火箭炮采用储运发射箱技术可以大幅度提高快速反应能力, 而密封盖是储运发射箱研制中的一个关键项目^[1]。目前常用的密封盖开启方式有机械式开盖、爆炸式开盖和穿透式开盖 3 种^[2]。穿透式开盖是利用发射时弹头的冲击力将密封盖撞破, 不需要专门的开盖机构, 使用可靠, 具有突出的优势^[3]。

目前的穿透式开盖将密封盖冲破后会产生碎片, 由于火箭炮是多管连续发射, 无规则运动的碎片可能会对后续火箭弹的发射产生影响, 对地面人员、设备等都增加了危险性; 因此, 笔者研制一种不产生碎片的新型穿透式密封盖。

1 密封盖的性能要求

密封盖对火箭弹起密封保护作用, 发射时要求能被火箭弹头部冲破且不损伤引信, 冲破后不产生碎片, 不影响火箭弹正常飞行, 同时还要能承受相邻火箭弹的燃气射流冲击^[4]。

1.1 引信安全性

密封盖破裂过程中所承受的集中力, 是由弹头

部引信撞击产生。引信在碰撞结束后要依然安全可靠^[5], 因此了解引信安全性指标尤为重要。根据 GJB573A-98 引信环境与性能指标试验方法, 引信要进行 1.5 m 跌落试验, 因此在有限元软件 Abaqus 中进行引信跌落试验仿真。图 1 为跌落过程引信所受作用力曲线图。图 1 中作用力峰值为 1.64E+4N。为保证引信在冲破密封盖后仍能正常工作, 弹头引信所受撞击力必须要小于此最大撞击力。

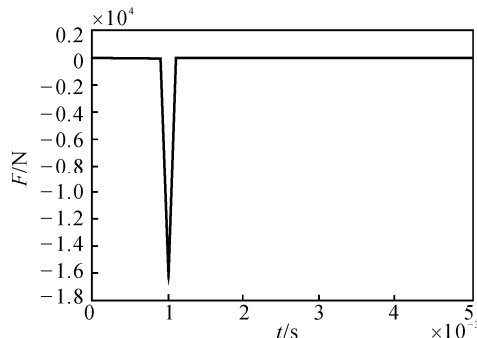


图 1 跌落过程引信受到作用力曲线

1.2 燃气射流对密封盖的冲击

火箭弹发射时的燃气射流对相邻密封盖有冲击作用, 为避免受冲击后破坏, 密封盖必须能承受较

收稿日期: 2013-04-25; 修回日期: 2013-05-15

作者简介: 崔二巍(1989—), 男, 山西人, 在读硕士, 从事火箭弹发射理论与技术研究。

强的分布力。根据火箭弹燃气射流数值计算资料^[6]，火箭弹发射后，其发动机产生的燃气射流对相邻管冲击力是不均匀的，冲击力随距离增加而减小。燃气射流对相邻管冲击力一般都在 0.5 MPa 以下，且只有小部分面积受到较大冲击力。火箭弹在飞离管口 0.15 s 后对密封盖不再有冲击作用。

根据密封盖的受力情况^[7]，应用 Abaqus 有限元软件按最大工况仿真密封盖受燃气射流冲击的过程，检验其受冲击后能否保持原有的结构和功能。

1.3 密封盖的破裂

易碎式密封盖冲破后会产生碎片，无规则运动的碎片可能会对后续火箭弹发射产生影响，对地面人员、设备等造成危害。

新型穿透式密封盖冲破后，要能沿预设撕裂方向有规律破开，不产生碎片，不产生额外的初始扰动，不影响火箭弹正常飞行。

2 密封盖的方案设计

密封盖的选材对其性能有重要影响。复合材料具有比强度大、比刚度高、抗疲劳性能好、各向异性以及材料性能可设计的特点^[8]。玻璃纤维复合材料质量轻、强度高、电绝缘性能好、耐腐蚀性强、热性能良好、可设计性好，因此笔者选用玻璃纤维复合材料作为密封盖的材料。

密封盖在冲破时要求按照预定方向撕开，依据材料不连续造成应力集中设计，在密封盖上预留薄弱区；当弹头部撞击密封盖时，薄弱区最先受到破坏，这样就达到按预定方向撕裂的效果。由于密封盖边缘固定于发射管前端，所以撕裂后破片仍与发射管前端相连，不会产生碎片。玻璃纤维沿着纤维方向容易撕裂，其他方向不易撕裂，因此在玻璃纤维布上预设刻痕。经过处理的玻璃纤维布，每层被切割成对称的两部分，在垂直于切割线方向划轻微刻痕。铺设时，一层玻璃纤维布的切割线与另一层的刻痕重合，如图 2 所示，其中实线表示分割线，虚线表示刻痕。每层纤维布之间用环氧树脂粘结。

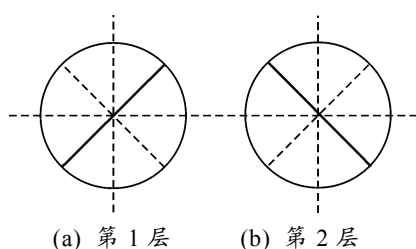


图 2 经处理的玻璃纤维布铺层示意图

笔者所设计密封盖采用经切割和刻痕处理的纤维布连续铺设 5 层，两侧最外层再铺设未处理过的玻璃纤维布，共铺设 7 层。为提高密封盖耐腐蚀、防潮和隔热性能，在其外表面涂一层 2.5 mm 厚的泡沫橡胶；为防止电磁辐射影响，内表面用聚酯粘结一层 0.08 mm 的铝箔，并在聚酯层上按玻璃纤维切割线和刻痕方向划轻微刻痕。

3 密封盖的有限元建模与分析

3.1 Abaqus 中复合材料的处理

Abaqus 中复合材料的模型示意图^[9]如图 3 所示。利用 Abaqus 中专门的复合材料设计模块，为多层玻璃纤维布粘结而成的密封盖赋予属性，包括每层材料的纤维铺设角度、厚度等。

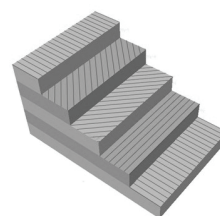


图 3 Abaqus 中复合材料的模型示意图

Abaqus 软件中包括多种复合材料失效准则。其中 Hashin 准则提出复合材料的失效是一种渐进损伤退化，通过数值分析计算和试验结果比较，该失效准则适合复合材料破坏机理。笔者采用该准则作为密封盖破坏失效准则。Hashin 准则表示^[10]如下：

1) x 方向纤维断裂：

当 $\delta_1 \geq 0$ 时，

$$\left(\frac{\delta_1}{X_t}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{12}}{S_{12}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{23}}{S_{23}}\right)^2 \geq 1 \quad (1)$$

当 $\delta_1 < 0$ 时，

$$\left(\frac{\delta_1}{X_c}\right)^2 \geq 1 \quad (2)$$

2) y 方向纤维断裂：

当 $\delta_2 \geq 0$ 时，

$$\left(\frac{\delta_2}{Y_t}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{12}}{S_{12}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{23}}{S_{23}}\right)^2 \geq 1 \quad (3)$$

当 $\delta_2 < 0$ 时，

$$\left(\frac{\delta_2}{Y_c}\right)^2 \geq 1 \quad (4)$$

3) 基纤剪切：

当 $\delta_1 < 0$ 时，

$$\left(\frac{\delta_1}{X_c}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{12}}{S_{12}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{23}}{S_{23}}\right)^2 \geq 1 \quad (5)$$

当 $\delta_2 < 0$ 时,

$$\left(\frac{\delta_2}{Y_c}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{12}}{S_{12}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{23}}{S_{23}}\right)^2 \geq 1 \quad (6)$$

4) 分层:

当 $\delta_3 \geq 0$ 时,

$$\left(\frac{\delta_3}{Z_t}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{13}}{S_{12}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{23}}{S_{23}}\right)^2 \geq 1 \quad (7)$$

当 $\delta_3 < 0$ 时,

$$\left(\frac{\delta_3}{Z_c}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{13}}{S_{12}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{23}}{S_{23}}\right)^2 \geq 1 \quad (8)$$

式 (1) ~ 式 (8) 中, δ_i 、 τ_{ij} 分别表示各正轴方向的应力分量及相应面内的剪切应力分量; X_t 、 X_c 、 Y_t 、 Y_c 、 Z_t 、 Z_c 分别表示各正轴方向拉伸强度和压缩强度; S_{ij} 为相应剪切强度, 只要某单元的应力分量满足上述方程之一, 该单元就发生与之相对应的失效。

3.2 火箭弹冲破密封盖仿真与分析

为使冲破过程的撞击力与引信跌落试验中的撞击力具有可比性, 以验证引信安全性, 采用与 1.1 节中相同的弹头部。弹的几何形状分为锥形头部和圆柱体弹身 2 部分。弹的圆锥部分和圆柱部分分别赋予材料, 圆锥部分为铝材料, 圆柱部分为钢材料。由于发射前火箭弹头部距密封盖距离仅为 3 mm, 因此火箭弹与密封盖接触时速度很小, 查阅相关资料, 仿真时赋予火箭弹 3 m/s 的初速度。

在 Abaqus 有限元软件中建立火箭弹冲破密封盖的仿真模型。火箭弹冲破密封盖过程如图 4 所示。仿真结果显示, 弹头部引信首先与密封盖接触, 密封盖在火箭弹的冲击下, 中间区域首先破坏, 随着弹向前运动, 穿过密封盖的弹头锥形截面直径不断变大, 密封盖逐渐撕裂, 按照预设的薄弱区撕裂成 4 部分, 当相互接触到达弹体圆柱部分时撕裂结束。密封盖冲破后不产生碎片, 因此不会影响后续火箭弹的发射。

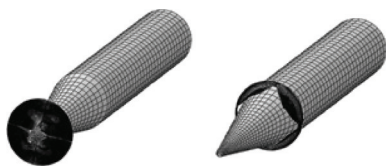


图 4 火箭弹冲破密封盖过程

火箭弹撞击密封盖过程作用力和速度曲线如图 5 和图 6 所示。

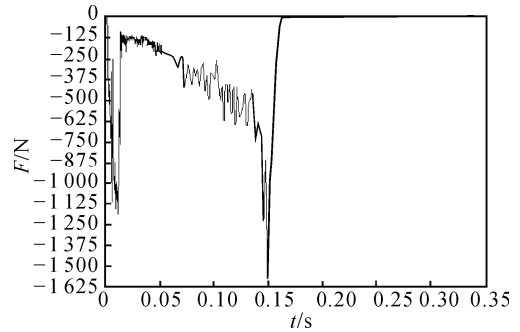


图 5 弹撞击密封盖过程作用力曲线

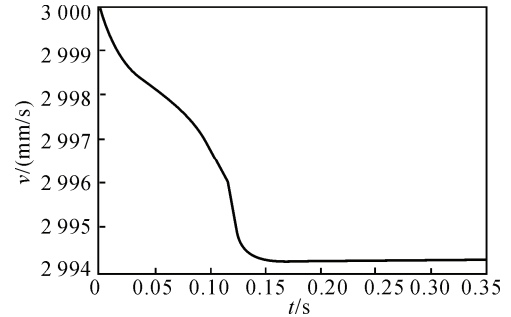


图 6 弹撞击密封盖过程速度曲线

从图 5、图 6 中看出, 弹头接触密封盖后作用力瞬时增大, 密封盖中心被冲破, 之后极短时间内, 弹虽然与密封盖接触, 但几乎没有力的作用, 因此作用力下降; 弹继续向前运动撕裂密封盖, 作用力也随着增大, 当穿透至弹体圆柱部分时, 撕裂结束, 作用力消失。仿真中只赋予弹初速度, 所以整个碰撞过程速度始终是下降的。当穿透至弹体圆柱部分时, 速度将保持不变, 这与图 5 中作用力变为零的时刻相对应。因此密封盖完全撕裂后火箭弹飞行不会受到影响。

图 5 中最大作用力为 1 117.4 N, 远小于引信跌落试验中的最大撞击力, 因此符合引信安全性要求。

3.3 密封盖受燃气流冲击仿真与分析

在 Abaqus 有限元软件中对密封盖进行燃气射流冲击仿真, 根据 1.2 节所述, 按 0.5 MPa 压力作用 0.15 s 的最大工况进行仿真。

图 7 和图 8 分别为密封盖位移云图和应力云图。

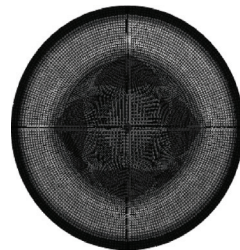


图 7 密封盖位移云图



图 8 密封盖应力云图