

doi: 10.7690/bgzd.2013.12.011

带泡沫缓冲的导弹跌落仿真

陈马旭, 乐贵高

(南京理工大学机械学院, 南京 210094)

摘要: 为了防止在运输、维护、使用过程中导弹因发生跌落而受到损坏, 在导弹周围使用泡沫对其进行保护, 对里面装有泡沫和导弹的包装箱跌落冲击地面的过程进行仿真, 查看导弹发动机受到的加速度和弹体上的应力是否安全, 为导弹跌落试验提供一定的参考, 节约它的试验成本。分析了导弹的结构组成及常用缓冲包装材料的优缺点。将导弹用聚氨酯泡沫进行包裹, 使用有限元软件进行显式非线性动态仿真分析。模拟结果表明: 在跌落过程中, 聚氨酯泡沫对导弹起到了良好的缓冲作用。使用泡沫来保护导弹, 这种方法是可行的。

关键词: 导弹; 泡沫; 缓冲; 显式非线性动态法; 应变率相关性

中图分类号: TJ765.4 **文献标志码:** A

Simulation of Missile Drop with Foam Cushions

Chen Maxu, Le Guigao

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

Abstract: In the process of transport, maintaining, and operation, in order to preventing the missile from damaging because of drop, foam is used to protect the missile around it. There are foam and a missile inside the box. Do simulation about the process of the box drops to the ground. Examine whether the acceleration of the missile engine and the stress on the missile shell are safe or not. The simulation provides a reference to missile drop test. It also saves a lot of money about the cost of the missile test. The paper analyses the structure components of a missile and the advantages and disadvantages of common cushioning materials. The missile is wrapped in polyurethane foam. Use finite element software to analyze the process with explicit non-linear dynamic method. The result of the simulation shows that polyurethane foam works a good cushioning effect to the missile in the drop process. It is feasible to use foam to protect the missile.

Keywords: missile; foam; buff; explicit non-linear dynamic method; correlation of strain rate

0 引言

导弹是现代战争的重要作战装备, 其战斗性能优越, 但相对一般弹药来讲, 勤务处理比较娇气。为了增大储运过程中的安全可靠, 在导弹外包装箱内、内包装上增加缓冲包装是十分重要和必要的^[1]。

国内外导弹包装箱的种类和式样很多, 主要有木质、金属和复合材料 3 类^[2]。金属包装箱强度高, 目前应用广泛。该次设计的包装箱使用金属材料。

导弹缓冲包装材料可以选用聚氨酯泡沫塑料、聚苯乙烯泡沫塑料、聚丙烯泡沫塑料、聚乙烯泡沫塑料、成型硬橡胶垫^[3]。聚氨酯泡沫有复原性好的优点, 可以提供良好的缓冲性能。采用聚氨酯泡沫对导弹进行包装, 使其在跌落地面的过程中受到缓冲, 进而降低它的加速度大小。

防振缓冲包装的主要方法包括全面防振缓冲包装方法、部分防振缓冲包装方法、悬浮式防振缓冲包装方法^[4]。全面防振包装方法是在内装物和外包装之间全部用缓冲材料填满的包装方法。此次模拟采用全面防振缓冲包装方法。

由于对带缓冲的导弹跌落进行软件仿真的文章较少。笔者通过仿真, 为导弹 0.5 m 跌落试验提供

一定的参考依据, 对弹体的结构优化也有指导意义。

1 导弹结构组成

如图 1 所示, 导弹弹体分成头部、仪器舱、发动机 1、级间段、发动机 2 和尾段。

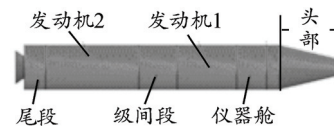


图 1 导弹弹体结构

导弹结构包括蒙皮、桁条、隔框。蒙皮是由金属薄板弯曲而成, 处在导弹的外表面。桁条是纵向受力构件。隔框是环状横向受力构件^[5]。级间段和尾段大多是采用薄壁加筋圆筒壳。导弹头部分为端头帽和主壳体。仪器舱大多采用轻合金加筋薄壳结构, 仪器舱基本上采用硬壳式结构。有翼战术导弹尾段主要承受翼面传递的横向集中载荷和气动载荷。

2 碰撞分析的基本方程

包装箱与地面的碰撞是非线性动态接触变形问题。采用拉格朗日描述增量法, 根据连续介质力学的质量、动量和能量守恒方程, 碰撞体系的基本方程^[6]可以分别写成:

收稿日期: 2013-11-13; 修回日期: 2013-11-28

作者简介: 陈马旭(1988—), 男, 浙江人, 在读硕士, 从事结构建模与有限元分析、机械设计研究。

质量守恒方程： $\rho = J\rho_0$ 。

式中： ρ 为当前质量密度； ρ_0 为初始质量密度；

$J = \left| \frac{\partial x_i}{\partial x_j} \right|$ 为变形梯度行列式。

动量方程： $\rho \ddot{x}_{ij} = \sigma_{ij} + \rho f_i$ 。

式中： σ_{ij} 为柯西应力张量； f_i 为单位质量体积力； \ddot{x}_{ij} 为加速度。

能量守恒方程^[7]： $\dot{E} = v s_{ij} \dot{\epsilon}_{ij} - (p+q)\dot{v}$ 。

式中： v 为现时构形的体积； s_{ij} 为应力偏量； $\dot{\epsilon}_{ij}$ 为应变率张量； p 为压力； q 为体积黏性阻力。

3 软件仿真分析

3.1 建模过程

1) 部件和材料：导弹弹管分成前后两部分建模,用壳单元模拟,直径是 120 mm,长度是 858 mm。导弹壳体使用分割形成头部、仪器舱、发动机 1、级间段、发动机 2 和尾段六部分。泡沫用实体单元模拟,并且分成上下两块,利于实际安装和拆卸。发动机不具体建模,只是在发动机 1 和发动机 2 两段弹管内用点质量代替。包装箱用壳单元模拟。地面用壳单元模拟。地面的长宽都是 4 m,地面的厚度是 500 mm。LC4 铝合金适用于弹体承载较大的元件,导弹壳体的材料使用 LC4 铝合金。导弹的壳单元厚度是 4 m。泡沫使用 ABAQUS 里的 Crushable Foam 模型,并且输入硬化数据,考虑其应变率相关性。包装箱的材料使用铝,厚度是 3.5 mm。分别在发动机 1 和发动机 2 两段弹管质心位置配上实际的质量。部件材料参数如表 1 所示。泡沫的应变率相关性数据如表 2 所示。

表 1 部件材料参数

部件	密度 $\rho/(t/mm^3)$	弹性模量 E/MPa	泊松比 μ
导弹	2.7e-9	74 000	0.33
泡沫	7.5e-11	0.129 47	0
箱体	2.7e-9	70 000	0.3
地面	1.5e-9	8	0.3

表 2 泡沫应变率相关数据^[8]

屈服应力比	1	1.29	1.34	1.38	1.66
应变率	0	10.5	20.6	30.9	54

2) 接触：使用显示通用接触,以防止各个部件之间以及部件自身发生穿透。

3) 约束和初始条件：导弹弹管与泡沫之间、导弹的前后两段之间、上下两块泡沫之间、泡沫和包装箱之间、端部泡沫和上下泡沫之间使用绑定约束。2 个发动机参考点和导弹弹管表面之间使用运动耦合约束,并且约束所有的自由度。除了地面以外的

部件都被赋予初始预定义速度场,大小是 3.162 m/s,方向是垂直于地面向下。地面的四周创建一个集合,使用完全固定的边界条件。

导弹跌落地面整个过程用 ABAQUS 进行仿真。整体装配图、整体剖视图分别如图 2、如图 3 所示。

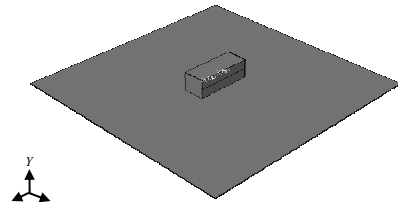


图 2 整体装配图

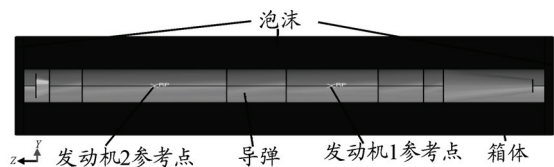


图 3 整体剖视图

3.2 仿真结果分析

如图 4 所示,发动机 1 参考点在 22 ms 时存在最大的垂直加速度 16.2g,在 18 ms 时,有第二大的垂直加速度 16g。它的垂直加速度在 2 ms 时开始急剧增大,到 5 ms 时有加速度值是 12.8g。在 80 ms 以后,它的加速度值在 0 附近变化,变化幅度很小。

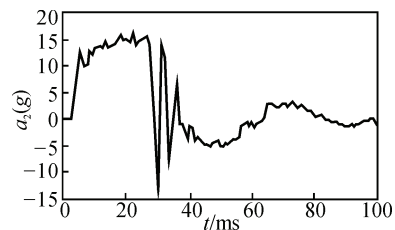


图 4 发动机 1 参考点垂直加速度曲线

如图 5 所示,发动机 2 参考点在 31 ms 时存在最大的垂直加速度是 22.8g。它的垂直加速度在 35 ms 时开始变小,到 43 ms 时为 0,然后反方向变大。2 个参考点加速度峰值做比较,发动机 2 参考点的加速度最大值大一些。

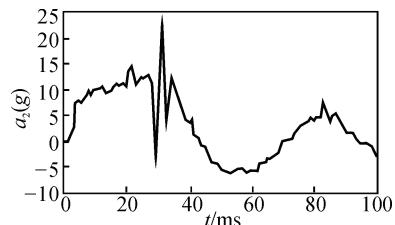


图 5 发动机 2 参考点垂直加速度曲线

如图 6,在 100 ms 时,靠近导弹的前端部位有最大的应力值是 175.6 kPa。相对于弹体前端来说,导弹弹管处的应力值是较小的。在 100 ms 时,导弹最小的应力是 5.045 kPa。