

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.07.009

ANSYS 在发射药力学性能仿真模拟中的应用

赵晓梅, 闫光虎, 严文荣, 张玉成, 李强, 杜江媛, 刘强

(西安近代化学研究所, 西安 710065)

摘要: 为了研究发射药在使用中存在的力学性能问题, 针对几种典型的药型, 利用工程力学仿真模拟软件 ANSYS, 在静态载荷条件下对发射药颗粒进行应力应变分析, 以期对发射药的力学性能进行较科学的预估。分析知, 发射药颗粒在轴向静载条件下, 受力变形情况不明显; 在径向静载条件下, 发射药颗粒均可认为裂纹产生从药体内部开始, 药体断裂方式从中心向四周的方向传播; 同时, 发射药颗粒的破碎方式与外围药型和孔的位置均有直接的关系。分析结果证明, 利用 ANSYS 进行发射药受力情况仿真分析, 对发射药的生产、使用都具有一定的实际意义。

关键词: ANSYS; 发射药; 力学性能

中图分类号: TJ55 **文献标志码:** A

Application of ANSYS in Mechanical Properties Simulation of Propellant

Zhao Xiaomei, Yan Guanghu, Yan Wenrong, Zhang Yucheng, Li Qiang, Du Jiangyuan, Liu Qiang

(Xi'an Modern Chemistry Research Institute, Xi'an 710065, China)

Abstract: In order to study the mechanical properties of propellant, the static stress-loading simulation of several kinds of typical gun propellants was carried out with the professional software ANSYS. The results indicate that when the static stress is loaded along with the axes of propellant grain, the transfiguration of the grain is inconspicuous. When the static stress is loaded along with the radial direction of gun propellant grain, the flaws in the gun propellant starts form from interior of the grain, then transmit to the exterior of the grain. And the fragmentation of gun propellant grain concerns with the shape of the grain and the position of the holes in the grain. The result of stress-loading simulation of gun propellant can be used in the production and application of propellant.

Key words: ANSYS; propellant; mechanical properties

0 引言

近年来, 结构力学仿真方面的研究工作和工程应用都取得了迅速的发展, 其中 ANSYS 程序在工程中解决力学问题具有多种有限元分析的能力, 包括从简单现行静态分析到复杂非线性动态分析^[1]。在结构静力分析问题中, ANSYS 用来求解外载荷引起的位移、应力和力。完成计算中, ANSYS 程序通过后处理器获得求解的计算结果, 结构文件以图像或数据的形式输出^[2]。

然而, 在火炸药研究领域, 将工程力学仿真模拟软件应用于发射药力学性能研究的还为数不多。发射过程中, 发射药颗粒在膛内受到挤压破碎而导致燃面突然增加是引起膛炸事故的主要原因^[3]。而药粒破碎情况与发射药力学性能有着直接的关系, 国内关于发射药力学性能的研究多为试验性的规律研究, 如果能够将 ANSYS 软件的力学仿真模拟功能应用于发射药力学性能的研究并有所发现, 必将极大节省试验性研究开支, 并对发射药的生产、使用都具有较大的实际意义; 因此, 笔者通过对发

射药领域中几种典型的药型, 利用 ANSYS 程序进行静态力学分析, 模拟出各种药型发射药在一定载荷下的应力应变情况。

1 ANSYS 静态力学分析步骤

ANSYS 的分析过程主要分为以下 4 个步骤, 如图 1。

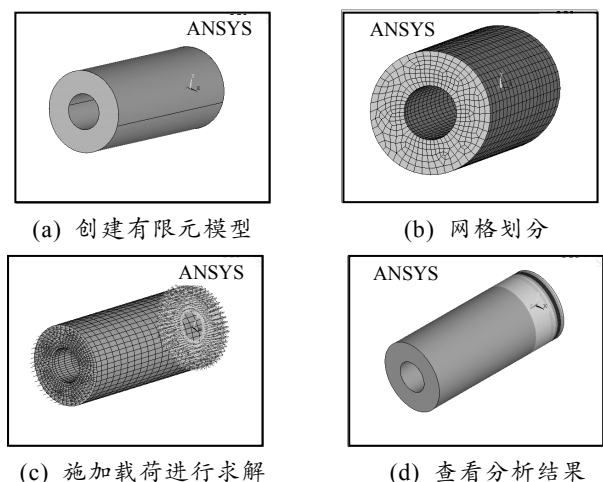


图 1 ANSYS 静态力学分析步骤

收稿日期: 2012-02-24; 修回日期: 2012-03-26

作者简介: 赵晓梅(1978—), 女, 陕西人, 硕士, 工程师, 从事发射药及内弹道技术研究。

2 模型建立及结果分析

表 1 发射药药型尺寸及材料性质

| 药型 | 孔径/ mm | 平均燃烧层 厚度/mm | 药长/ mm | 弹性 模量 | 泊松比 |
|------|-----------|----------------|-----------|----------|-----------|
| 单孔管状 | 4.74 | 2.72 | 24.4 | | |
| 7孔管状 | 0.20 | 0.50 | 3.0 | 2 000 | 0.15~0.20 |
| 7孔梅花 | 0.65 | 1.60 | 16.0 | | |

发射药颗粒在膛内运动过程中，发生碰撞、挤压，可能经历多种承载方式^[4]，为了分析不同药型

在静载条件下的力学行为，根据发射药应用实际，选择几种具有代表性的药型，通过有限元软件 ANSYS 对几种典型发射药药型进行了数值仿真。模型的几何尺寸和材料性质见表 1。

分别在轴向和径向施加 10 MPa 的静力载荷(参照一般情况点火压力)，针对所选药型进行了数值仿真，其应力应变情况见图 2~图 4。

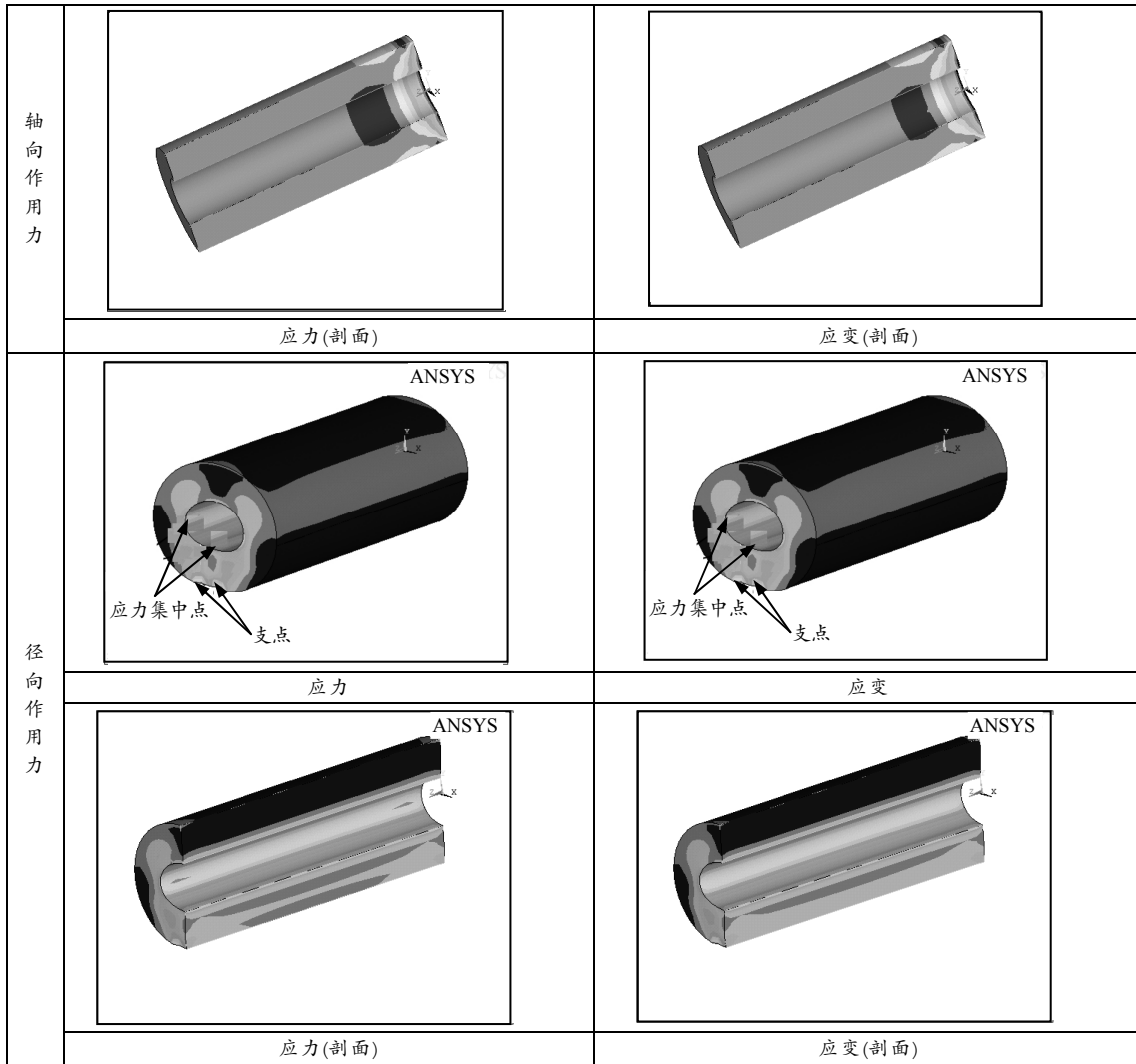
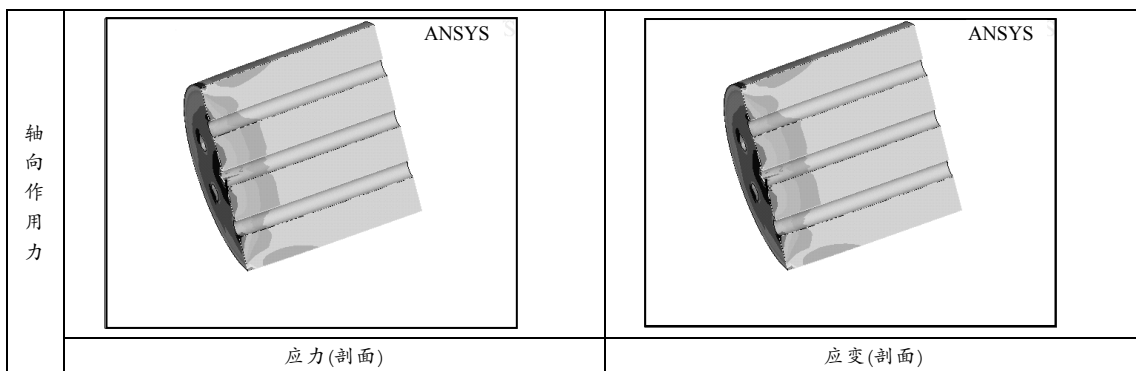


图 2 单孔管状发射药应力应变仿真图



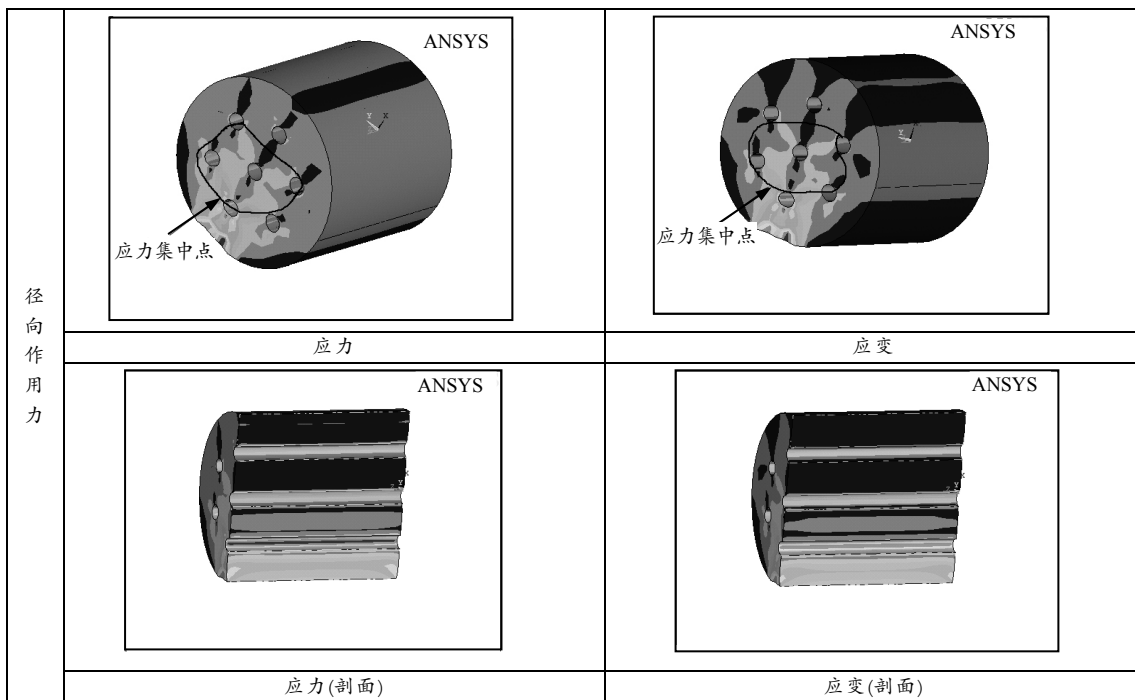


图 3 7 孔管状发射药应力应变仿真图

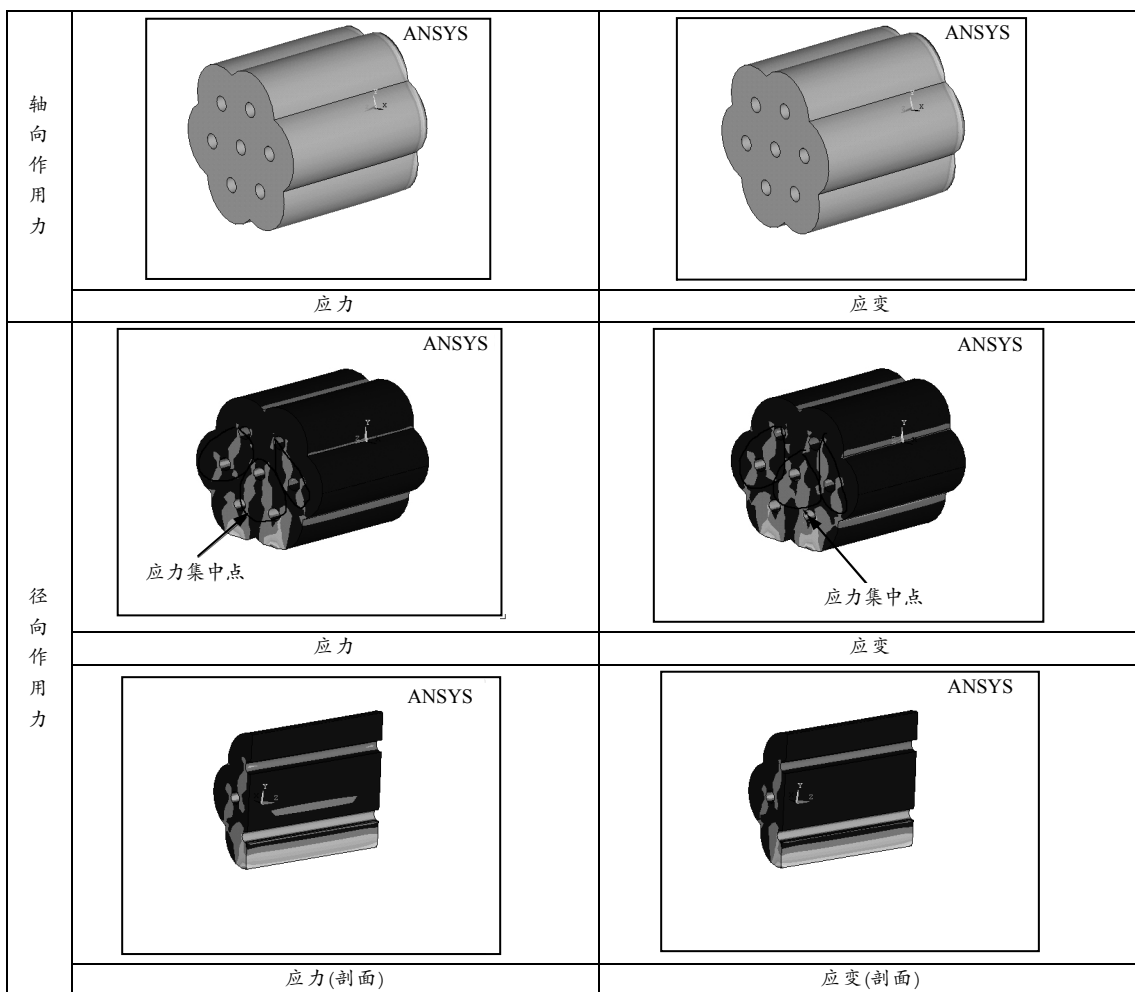


图 4 7 孔梅花型发射药应力应变仿真图

2.1 单孔管状发射药静载条件下应力应变情况

模拟单孔管状发射药受力情况, 在对其创建有限元模型后, 在轴向施加 10 MPa 的载荷进行求解, 在静载情况下, 仿真结果中可以观察到粒子径向位移在整个截面内几乎均匀分布, 由分析结果可看到在轴向上发射药模型没有明显的变化。而对发射药一侧施加径向载荷, 另一侧为支点, 由分析结果可看出, 无论是径向位移还是轴向位移都发生了的变化, 发射药发生较明显变形, 并在药体孔心两侧出现 2 个应力集中点(图 2 指示处), 说明该药型发射药在受到径向载荷时, 易在药体孔心两侧出现断裂。

承受静载的药体断裂裂纹产生在药体中心附近并朝接触点方向传播, 这种裂纹产生在粒子内部, 一般称为体积断裂模式; 在冲击载荷作用下裂纹首先出现在冲击点附近, 并且从冲击点向粒子体积内传播, 导致粒子的断裂, 这种断裂模式称为接触断裂模式^[5-6]。图 2 中也可看出, 应力集中点有从内部向外围传播的趋势, 符合静载条件下的裂纹产生模式。而在支点区域可观察到药体有小范围破裂趋势, 因此加载为静态载荷而非冲击载荷, 支点部位附近由于压力超过材料强度而发生直接断裂, 在体积断裂模式中也可能在局部区域伴有接触断裂模式, 该情况有待进一步分析。

2.2 7 孔管状发射药静载条件下应力应变情况

对 7 孔药型发射药进行仿真模拟时, 其在轴向载荷条件下受力变形情况与单孔药类似, 发射药变形不明显。而径向载荷作用下, 发射药内孔两侧出现应力集中点, 而且孔与孔之间的应力相互有一定影响, 外围的孔与中心孔之间的连线上出现应力集中, 应力有沿外围的孔向中心孔汇聚的趋势。并且除支点附近外, 在发射药外围没有观察到明显的应力集中, 可以认为药体断裂方式符合从中心向四周的方向传播, 亦可以认为裂纹产生应从药体内部开始, 符合体积断裂模式。支点受力断裂情况与单孔药型一致。

2.3 7 孔梅花型发射药

在对 7 孔梅花状药型发射药模型施加载荷后, 虽均为 7 孔药, 其应力应变结果与 7 孔管状药存在异同, 如图 4, 相同的是该药型在受到径向载荷后也在内孔附近首先出现应力集中, 然而由于外围药

型的差异, 受到静载后力在药体上的分布不同, 该药型这些孔之间的应力没有直接的联系, 应力的分布只出现在单个孔的附近, 孔与孔之间没有观察到直接的影响, 也未见应力有沿外围孔向中心孔汇聚的趋势。而药体的裂纹首先产生于内部, 再向四周方向传播的断裂方式与管状药一致; 因此, 该药型在静载条件下断裂方式也属于体积断裂方式。支点处的应力集中分析结果同上。

发射药在膛内的实际运动情况复杂, 且与装填密度相关, 药体颗粒在运动过程中的破碎原因也是多方面的, 药体受到的载荷有静载也有冲击载荷。膛内空间较大时, 药体受到点火药气体的冲击而发生高速运动, 在运动过程中颗粒之间以及颗粒与膛壁产生撞击, 此时发射药受到的是冲击载荷; 而当装填密度较高时, 膛内空间小, 药体受到点火药气体冲击没有空间产生明显的位移, 此时可认为发射药颗粒受到的是静态载荷, 笔者就发射药在静载条件下受力变形情况进行了较系统的分析, 对发射药颗粒在冲击载荷条件下的受力变形情况将在以后的研究中做进一步的探讨。

3 结论

- 1) 几种典型药型的发射药颗粒, 在轴向静载条件下, 受力变形情况不明显。
- 2) 在径向静态载荷条件下, 3 种药型的发射药均可认为裂纹产生应从药体内部开始, 药体断裂方式从中心向四周的方向传播, 符合体积断裂模式。
- 3) 发射药颗粒的破碎方式与药型外围和孔的位置均有直接的关系。

参考文献:

- [1] 刘涛, 杨凤鹏, 等. 精通 ANSYS[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.
- [2] 尚晓江, 苏建宇, 等. ANSYS/S-DYNA 动力分析方法与工程实例[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008.
- [3] 杨均匀, 袁亚雄, 等. 发射药破碎对火炮射击安全性影响的研究综述[J]. 弹道学报, 1999, 11(4): 92-96.
- [4] 陈涛, 芮筱亭, 等. 发射药床动态挤压破碎模拟研究[J]. 南京理工大学学报, 2006, 30(4): 467-471.
- [5] 芮筱亭, 贡来峰, 等. 弹药发射药安全性导论[M]. 北京: 国防工业出版社, 2009.
- [6] 芮筱亭, 刘军, 等. 发射药挤压破碎动力学[J]. 弹道学报, 2004, 25(6): 679-682.