

doi: 10.7690/bgzdh.2014.07.018

炸药等静压工艺安全性的数值模拟研究

贾宪振, 王晓峰, 陈松, 王建灵

(西安近代化学研究所第二研究部, 西安 710065)

摘要: 针对静压药工艺过程中炸药的安全问题, 对等静压工艺和普通压装工艺进行数值模拟。建立了等静压和普通压装 2 种计算模型, 采用有限元方法进行了炸药等静压工艺的数值模拟, 计算了等静压作用下炸药内部的压力和温度的变化趋势, 同时进行普通压装工艺的数值模拟, 并将等静压工艺和普通压装工艺进行了对比。研究结果表明: 在相同的比压下, 等静压工艺中炸药的最大温升和塑性应变均比普通压装工艺小, 炸药等静压工艺比普通压装工艺更安全。

关键词: 炸药; 等静压; 安全性; 数值模拟

中图分类号: TJ410.6 **文献标志码:** A

Numerical Study of Safety of Explosive Isostatic Pressing

Jia Xianzhen, Wang Xiaofeng, Chen Song, Wang Jianling

(No. 2 Department, Xi'an Modern Chemistry Research Institute, Xi'an 710065, China)

Abstract: In order to study the safety of explosive isostatic pressing, finite element method was used to calculate pressure and temperature of the explosive during the process of isostatic pressing, and the calculation results of temperature rise accorded with experimental results. Numerical simulation of normal pressing was also conducted, and from the comparison of isostatic pressing and normal pressing it can be inferred that both maximum temperature rise and effective strain in the isostatic pressing are less than that in normal pressing, which means explosive isostatic pressing is safer than normal pressing.

Keywords: explosive; isostatic pressing; safety; numerical simulation

0 引言

等静压工艺是炸药成型工艺领域的先进技术, 是将待压试样药粉置于高压容器中, 利用液体介质不可压缩和均匀传递压力的性质从各个方向对试样进行均匀加压, 将药粉压制具有固定形状的密实炸药元件。等静压工艺可以满足特殊炸药元件的需求, 在国内外炸药领域都已获得了一定的应用, 国内张德三开展了等静压 JB-9014E 的工艺研究^[1], 国外 Verma Mm 等人运用等静压技术将生产的 PBX 药粉压缩成各种尺寸的装药^[2], Ms. Leslie Ben'Ous 等人也开展了药粉等静压研究^[3-4]。

炸药是一种亚稳态材料, 在外界压力作用下可能发生分解、燃烧甚至爆轰。由于等静压工艺中炸药受到持续的高压作用, 所以炸药的安全性问题是等静压药工艺的关键问题。同时, 作为普通压装工艺的有益补充, 等静压工艺中的安全性与普通压装工艺相比是否具有优势, 也是重要问题。鉴于此, 笔者采用有限元方法对等静压工艺和普通压装工艺进行了数值模拟, 针对同一种炸药, 计算了其在 2

种工艺中的压力、温度和应变, 在此基础上对比了 2 种工艺的安全性。

1 数值模拟建模

对于等静压和普通压装这 2 种工艺而言, 都是先压缩药粉, 药粉压缩成型之后再行保压。在药粉压缩成型过程中, 炸药还不能承受压力, 其内部的应力和温度变化都很小, 因此这一过程中的炸药安全性不是最重要的问题。当药粉压缩成型之后, 炸药开始抵抗外界施加的压力, 造成内部应力水平的增大, 从而引起塑性变形和温升, 此时炸药的安全性问题就必须引起重视; 因此, 数值模拟主要针对药粉压装成型之后在保压阶段的响应。

选取文献[5]中的炸药模型, 炸药为圆柱形, 尺寸为 $\phi 70 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$, 分别建立图 1 的等静压计算模型和图 2 的普通压装计算模型。根据模型的对称性, 都建立了四分之一模型以节省计算时间。等静压计算模型中, 药柱为等静压加载, 药柱表面均匀受力, 压力大小为 140 MPa, 而普通压装是从药柱顶端采用压杆加压, 压力也为 140 MPa。

收稿日期: 2014-01-26; 修回日期: 2014-03-26

作者简介: 贾宪振(1982—), 男, 山东人, 博士, 高级工程师, 从事混合炸药性能预估与仿真设计。

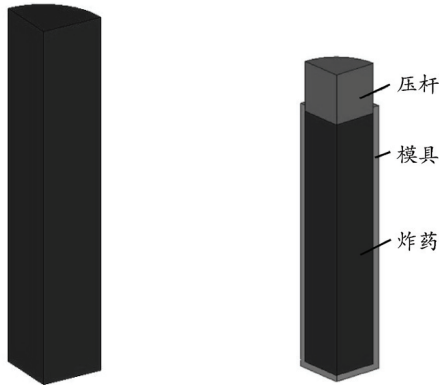


图 1 等静压计算模型 图 2 普通压装计算模型

炸药的本构模型采用弹塑性材料模型，在该模型中，炸药受到外力作用后首先保持弹性，当应力大于炸药的屈服应力后，炸药进入塑性阶段，产生塑性应变。判断炸药是否进入塑性的强度准则采用 Von-Mises 准则。模拟中考虑热效应，炸药在外界做功下内部产生热量，导致温度升高，计算中设置炸药和周围环境的初始温度均为 300 K。

2 仿真结果和讨论

图 3 是等静压工艺药柱中心温度的计算结果，中心温度升高约 7 °C，与文献[5]的试验结果一致。

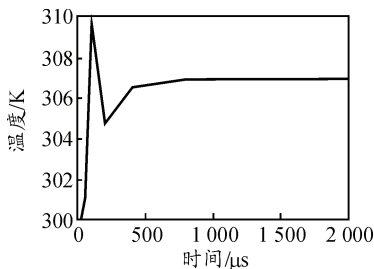
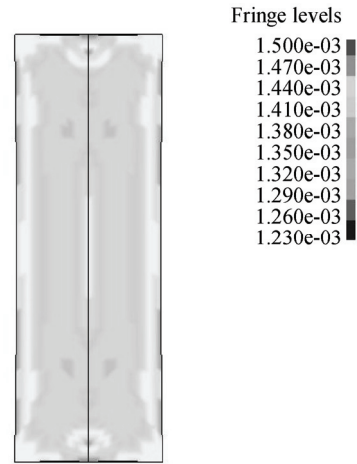


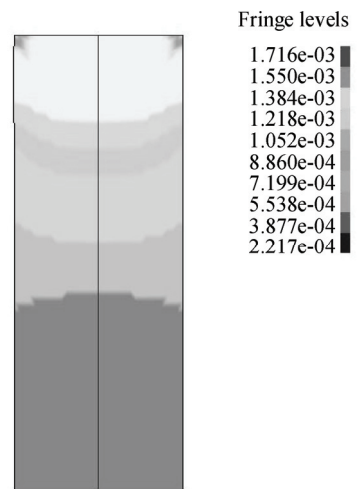
图 3 等静压工艺炸药中心点温度曲线

图 4、图 5 和图 6 分别给出了 2 种工艺条件下，当药柱的压力和温度稳定之后药柱横截面的压力、塑性应变和温度的分布图。从图中可以看出，等静压工艺中药柱表面的压力较高，压力分布比较均匀，而普通压装工艺中炸药的压力分布则是不均匀的，与压杆接触的药柱顶端的压力较高；等静压工艺中药柱的塑性应变主要集中在药柱端面中心，而普通压装工艺中药柱的塑性应变主要集中在压杆挤压的区域，尤其是药柱顶端和侧面相交的部位，这一区域既受到压杆的挤压作用，又受到模具内壁的摩擦作用，所以塑性应变最大，由于同样的原因，该位置处的温度也是最高的。根据图 5，等静压工艺中药柱的最大塑性应变为 0.137，而普通压装工艺中药柱的最大塑性应变为 0.4。根据图 6，等静压工艺中

药柱内部最大温升为 7 °C，而普通压装工艺中药柱内部最大温升为 29 °C。由此可见，无论是炸药内部的塑性应变还是温度的升高，等静压工艺都比普通压装小得多。

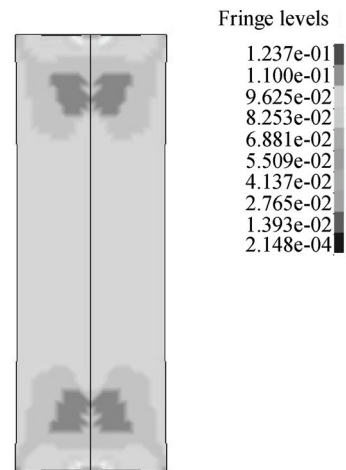


(a) 等静压

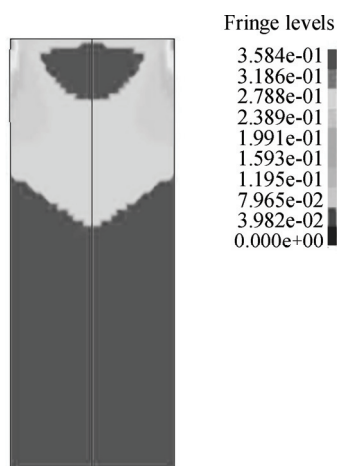


(b) 普通压装

图 4 2 种工艺条件下炸药横截面压力对比

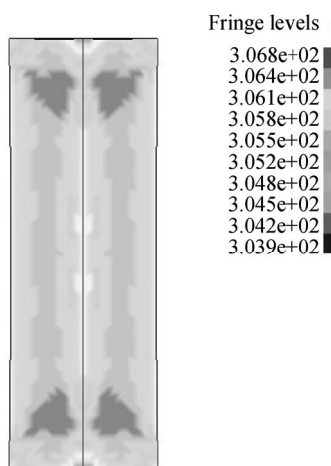


(a) 等静压

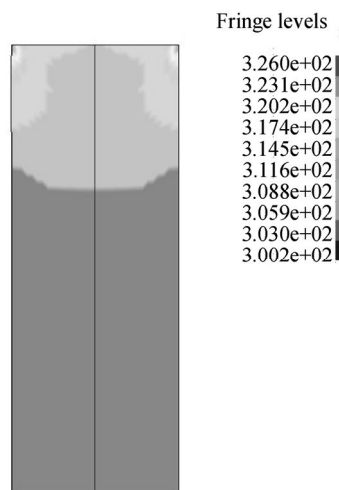


(b) 普通压装

图5 2种工艺条件下炸药横截面应变对比



(a) 等静压



(b) 普通压装

图6 2种工艺条件下炸药横截面温度对比图

3 结论

笔者采用有限元方法对炸药等静压工艺和普通压装工艺进行了数值模拟，重点研究了2种工艺条件下炸药的机械和热的响应情况。结果表明：与普通压装相比，等静压工艺中炸药受力更加均匀，炸药内部的塑性应变和温升都较小，工艺安全性更高。

参考文献：

- [1] 张德三. 等静压成型JB9014e工艺研究[J]. 火炸药学报, 1998(3): 19-21.
- [2] Verma Mm, Sharma AK, Vasudeva Sk. A study directed

根据前面的计算结果，普通压装工艺中可能导致炸药发生反应的外界作用主要有2个。第1个作用是压杆对炸药的挤压，挤压会导致炸药的局部塑性变形、损伤和温度升高，温度升高会加剧炸药的损伤，引发热点，降低其安全性；第2个作用是炸药和模具之间的摩擦，摩擦会导致炸药与模具的接触表面迅速升温，产生热点，易引发炸药点火。而对于等静压工艺来说，不存在炸药与金属模具之间的摩擦作用，这就少了一种主要的热点生成方式。同时，等静压工艺中，炸药受到的外界作用只有周围流体的静压力，而这种静压力又是均匀作用在炸药表面上，使得炸药内部的应力和温度是均匀分布的，不会出现局部的应力集中和温度剧增。

toward plastic bonded explosives and their characteristics[J]. Theory and Practice of Energetic Materials, 1997: 124-131.

- [3] Ms. Leslie Ben'Ous, et al. Isostatic blocking as a replacement for carpet rolling in the manufacturing of solventless multi-base propellant, 38th International Annual Conference of ICT June 26-June 29, 2007 Karlsruhe Federal Republic of Germany.
- [4] 于鑫, 刘军卿. 大炸高下喇叭罩聚能装药静态侵彻能力[J]. 兵工自动化, 2012, 31(9): 18-20.
- [5] 陈朗, 鲁建英, 张明, 等. 药柱等静压实验和数值模拟计算[J]. 高压物理学报, 2008, 22(2): 113-117.
- [6] LS-DYNA keyword user's Manual[Z]. Livemore Software Technology Corporation, USA, 2007.