

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2011.05.020

# HNS 炸药压装工艺安全性分析

闫昭君

(中国航天科工集团第九研究院 探测与控制技术研究所, 湖北 孝感 432100)

**摘要:** 为确保新型炸药生产过程的安全性, 着重从炸药的基本特性、装药工艺流程及工艺参数、压药模具的设计和等方面对压装工艺进行安全分析。结果表明, HNS 炸药的压装工艺安全可靠。通过对压药模具的爆炸仿真分析和对安全防护装置的爆炸试验, 得出结论: 即使发生爆炸, 现有工艺亦能有效地保护人员安全。

**关键词:** HNS 炸药; 压装工艺; 安全性分析

**中图分类号:** TJ410.6 **文献标志码:** A

## Security Analysis for HNS Explosive Pressure Charging Technology

Yan Zhaojun

(Detection & Control Technology Institute, No. 9 Research Institute of CASIC, Xiaogan 432100, China)

**Abstract:** In order to ensure security in production process for the HNS explosive, emphasize security analysis from the explosive properties, the charging technological procedure and parameter, the designing and using of pressing mold. The result shows that the HNS explosive pressure charging technology is safe and reliable. Through the simulation analysis of pressing mold blasting and the safety experiment of shelter in the equipment, the conclusion comes that even if the exploding happened, during the technological procedure, the technology condition, at the present, it could also effutely ensure the security of the workers.

**Keywords:** HNS explosive; pressure charging technology; security analysis

### 0 引言

HNS 炸药首次应用于某单位某型号产品, 其药柱密度为 1.58~1.62 g/cm<sup>3</sup>。根据药柱尺寸及密度, 计算出药柱药量约为 50 mg; 根据药柱设计要求, 药柱最大密度为 1.62 g/cm<sup>3</sup>, 对应的压力大约为 3 000 N。针对新型炸药的压药工艺, 笔者从炸药的基本特性、工艺压力参数、压药模具、压药设备防护装置等方面进行了安全性研究分析, 并做了相应的安全性验证试验。

### 1 HNS 炸药基本性质安全性分析

经过查询和收集炸药相关资料得知, HNS 炸药的基本性质如表 1。

表 1 HNS 炸药的基本性质

热化学性质	技术参数	热安定性	技术参数
燃烧热	14 448.6 kJ/kg	开始发热温度	315 °C
爆热	5 221 kJ/kg	260 °C 分解率	0.1%
比容	591 L/kg	260 °C 第 1 个	2.8 (cm <sup>3</sup> /(g·h))
		真空安 20 min	0.6 (cm <sup>3</sup> /(g·h))
		附加的 2 h 280 °C 时	2.7 (cm <sup>3</sup> /(g·h))
自燃温度	325 °C		
爆燃点	290 °C (分解)		
撞击感度			
(爆炸落高: 44 cm)	2.5 kg, 50%		
摩擦感度	0%		
静电感度	8 kV/0.001 μF		
	17 kV/0.000 1 μF		
	7 000 m/s (密度)		
爆速	1.70 g/cm <sup>3</sup> )		
	(密度 1.70 g/cm <sup>3</sup> )		

HNS 炸药的主要危险性能与工厂常用的 JH-14C 炸药进行比较, 结果如表 2。

表 2 HNS 炸药与常用 JH-14C 炸药比较结果

炸药名称	撞击感度/ (kg·cm)	摩擦感度/ %	爆速/ (m/s)	爆发点/ °C
HNS	110	0	7 000	325
JH-14C	125	≤ 36	8 380 ~ 8 480	≥ 280

从表 2 可以看出, HNS 炸药的撞击感度与 JH-14C 炸药的撞击感度相当, HNS 的摩擦感度比 JH-14C 小, 爆速比 JH-14C 小, 爆发点比 JH-14C 高, 即 HNS 炸药比常用的 JH-14C 炸药更钝感, 安全系数更大。

### 2 工艺安全性分析

压药工艺过程是: 秤药—装药—压药—退模。主要的工艺参数有: 药量、压力和保压时间。

常用的传爆药柱、接力药柱、扩爆药柱、导爆药柱等使用的炸药均为聚黑-14, 同样密度、同样尺寸的药柱, 工艺压力一般为 800~1 000 N。而用 HNS 炸药压制药柱, 压力需要 3 000~3 200 N (设计有 200 N 的裕度), 与常用工艺参数相比, 压力增加了近 3 倍。

压药工艺的危险因素主要是爆炸, 而引发爆炸事故的直接原因主要包括: 1) 压力过大; 2) 药量过多; 3) 药粉中有机械杂质; 4) 模套退模锥度太

收稿日期: 2011-01-14; 修回日期: 2011-02-28

作者简介: 闫昭君 (1966—), 女, 山西人, 大学本科, 高级工程师, 从事导弹弹药设计与战斗部总装技术研究。

小; 5) 模套内划痕太多, 硬度偏低 (46HRC 以下) 或有裂纹; 6) 模具组件间间隙过大, 组合后模具偏心, 组件互啃。在众多因素中, 炸药压装超过最大压力值时, 最容易产生爆炸事故。

针对该药柱, 压药模具借用定型产品的专用压药模具, 该模具经过十年的使用和每年的周检结果证明, 模具没有影响安全的缺陷。药量是根据药柱的尺寸和密度计算的, 称量器具是年检合格的防爆天平, 精度也符合工艺要求。药粉在称量之前, 工艺要求检验外观, 剔除机械杂质。因此, 该压药工艺的危险因素主要是: 压力为常用工艺参数的 3 倍。

### 3 压药模具安全性分析

#### 3.1 压药模具设计安全性分析

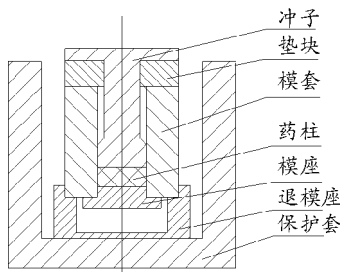


图 1 压药模具

压药模具如图 1, 压药时增加一个保护套。压

药过程中压力最终压在模套上, 模套内径  $\Phi 3.1$ , 外径  $\Phi 20$ , 壁厚 8.45, 如图 2。

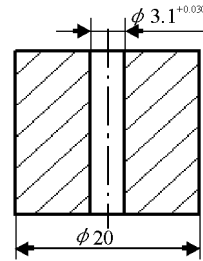


图 2 压药过程中的压力

根据模具设计资料, 模套壁厚要承受 196 MPa, 经验公式为壁厚  $\delta=0.25D$ ,  $D$  为模具内径。

分析模具  $\delta=2.7D$ , 因此, 模具壁厚设计远远大于承受 196 MPa 的要求。

药柱压制压力为 3000~3200 N。模具是否能够承受压药的余压, 这是该炸药材料压制工艺安全性分析的关键。

#### 3.2 压药模具爆炸安全性仿真分析计算

用工艺压力 3 000 N 压制药柱, 假设发生爆炸, 进行压药模具的爆炸仿真分析。压药模具的材料力学参数如表 3。

表 3 压药模具的材料力学参数

序号	零件	材料	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	失效应变
1	冲子	T10A	600	750	0.10
2	垫块	45	355	600	0.16
3	模套	T10A	600	750	0.10
4	模座	T10A	600	750	0.10
5	保护套	45	355	600	0.16
6	药柱	HNS1.62			

#### 1) 求整套模具空载承受的最大静压力

施加 4 000 N 力时, 模具应力云图见图 3。最大应力为 24.6 MPa, 最大应力产生在冲子上。

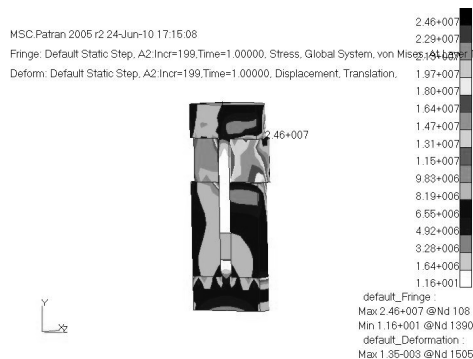


图 3 模具应力云图

施加 6 000 N 力时, 模具应力云图见图 4。最大应力为 251 MPa, 最大应力产生在冲子上。从应力状况看, 模具能承受此压力, 但是垫块会从其缺口

沿冲子轴滑出。

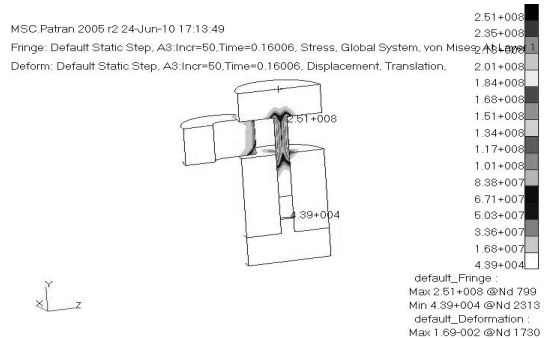


图 4 模具应力云图

从以上计算可以看出, 模具能够正常工作, 不失效、不失稳的情况下, 所能承受的极限载荷介于 4 000~6 000 N 之间。

#### 2) 模具是否能够承受炸药爆炸的能量

炸药爆炸 10  $\mu$ s 后, 模具受爆炸冲击后的状态图见图 5。

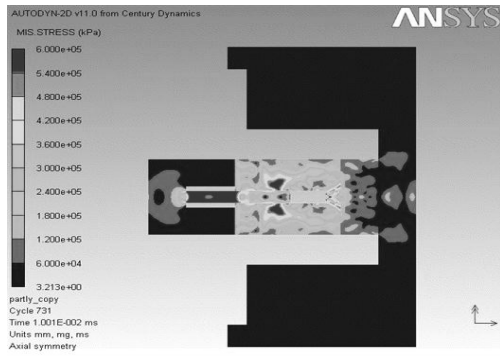


图 5 模具受爆炸冲击后整体图

从图 6 可以看出，模座受损，部分失效。

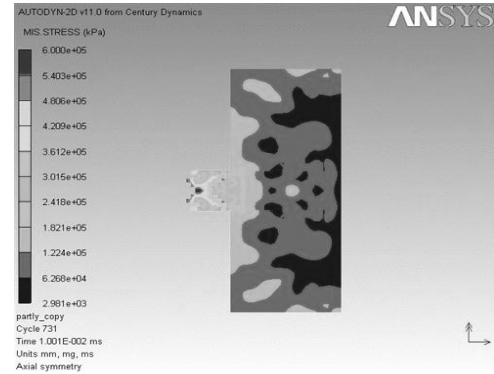


图 6 爆炸冲击后模座图

从图 7 可以看出，模套局部屈服，但未发生失效，内腔产生变形。

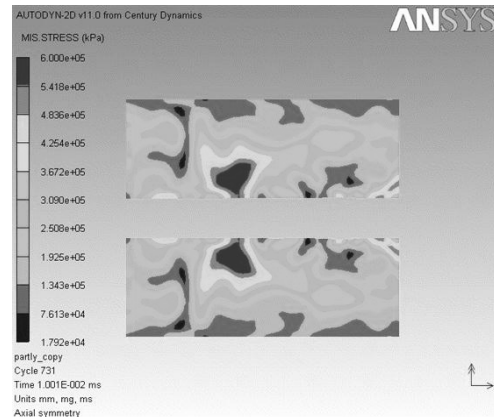


图 7 爆炸冲击后模套图

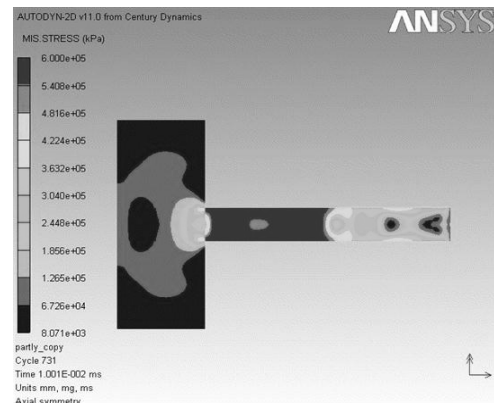


图 8 爆炸冲击后冲子图

从图 8 可看出，冲子杆局部屈服，产生微小变形。

从图 9 可以看出，垫块未达到其屈服强度。

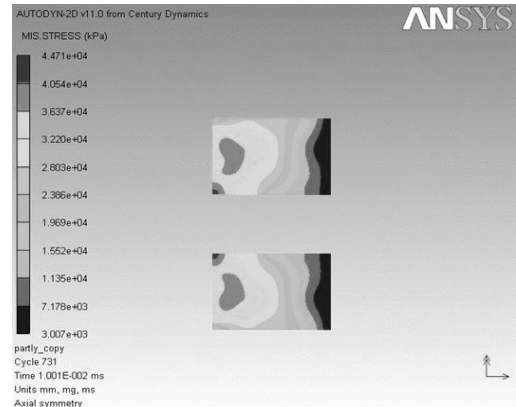


图 9 爆炸冲击后垫块图

3) 如果炸药爆炸引起模具爆炸，保护套能否承受模具爆炸的能量。

从以上计算结果来看，保护套可能不会受到破片冲击，有可能受冲击波冲击，去除其它零件只留下保护套后继续计算到爆炸后 15 μs: 保护套的最大应力为 133 MPa，不会破坏，如图 10。

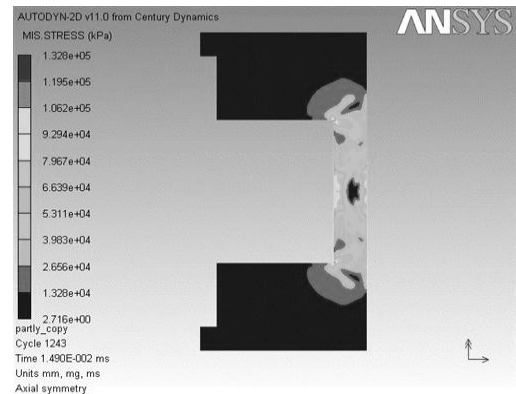


图 10 爆炸冲击后保护套图

经仿真计算得出结论：压药模具及保护套能够承受 HNS 炸药 50 mg 药量的爆炸威力。

### 4 压药设备防护装置安全性试验

压药设备为杠杆压力机，人机隔离措施是 10 mm 厚的有机玻璃防护板。设计试验方案，验证防护板的防护能力，是否经得住压药模具爆炸的威力。

试验条件与方法：安全防护装置置于爆炸罐内，14 号甲（LD-14A）电雷管采用两级短路保护，并且电雷管的脚线与雷管座的壳体短路，在试验现场将装有电雷管的雷管座拧入药柱体，将起爆组件放置在安全防护装置中部，用起爆控制仪起爆。

试验结果：安全防护装置的一侧有机玻璃板的中间螺栓处出现 3 条放射状裂纹，所有裂纹均与有

机玻璃板呈约  $30^{\circ}\sim 60^{\circ}$  的角度。3 条裂纹长约  $100\sim 180$  mm。裂纹未出现明显缝隙, 所有有机玻璃板也未出现破片穿孔现象。如图 11。

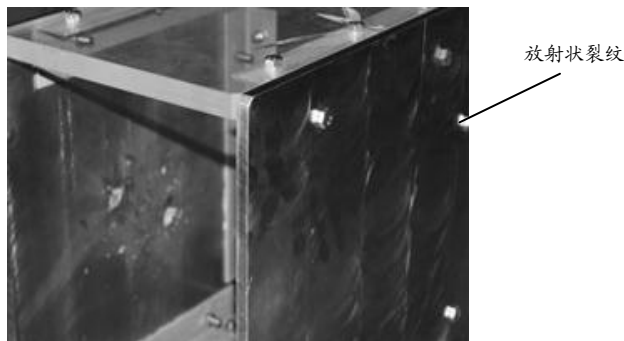


图 11 爆炸后防护装置损伤图

综上所述, 试验结论为: 安全防护装置尽管出现裂纹但未出现明显缝隙, 有机玻璃板未出现破片穿孔现象。如果压药过程中出现意外爆炸时, 安全

\*\*\*\*\*

(上接第 59 页)

## 6 发射装药发射安全性评估方法

基于相应装药结构下发射装药破碎程度对发射安全性影响的起始动态活度比的表征方法, 发射装药发射安全性评估方法和判据可表述为:

1) 用膛内燃烧与力学环境试验系统进行各种恶劣条件下发射装药燃烧与力学环境试验若干发, 获得弹底发射装药动态挤压应力曲线及弹底发射装药着火时间。由此得到真实发射条件膛内燃烧与力学环境下弹底发射装药点燃前弹底发射装药的应力时间历程。

2) 以步骤 1) 的测试结果为基础, 用发射装药动态挤压破碎试验系统进行系列的发射装药动态挤压破碎试验, 获得逼近真实发射装药燃烧与力学环境下弹底发射装药的挤压破碎过程。

3) 用步骤 2) 获得的在逼近真实发射装药力学环境下的破碎药床, 用发射装药动态活度试验系统进行动态活度试验, 确定真实发射条件发射装药燃烧与力学环境下弹底破碎药床动态活度曲线和起始动态活度比阶跃的临界点。

4) 建立发射装药发射安全性判据: 根据步骤 1) 的测试结果确定实际射击中最恶劣条件下的弹底发射装药挤压应力大小, 若该应力接近或大于临界挤压应力, 则被试发射装药发射不安全; 若该应力远远小于临界挤压应力, 则发射安全; 若该应力在小于临界挤压应力接近临界压力的某一范围内, 则条件安全。

防护装置可以对操作人员进行有效防护。

## 5 总结

通过炸药性质、工艺参数、压药模具、防护装置等方面的安全分析可知, HNS 炸药的压装工艺是安全可靠的。即便发生爆炸, 防护装置亦能有效地保护人员避免受伤。

## 参考文献:

- [1] 艾鲁群. 国外火工品手册(药剂与试验)[S]. 兵器标准化研究所, 1988.
- [2] 刘德润. 装药工艺学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1991.
- [3] 陈国光, 等. 弹药制造工艺学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2004.
- [4] 欧育湘. 炸药学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2006.
- [5] 阳建红, 等. 高能推进剂燃烧转爆炸仿真模型研究[J]. 火箭与制导学报, 2006: 26(1).

## 7 结论

文中基于发射装药引起膛炸事故的根本原因, 系统地提出了发射装药发射安全性的评估方法, 为科学评估发射装药发射安全性提供了理论依据与技术手段。

## 参考文献:

- [1] 芮筱亭, 负来峰, 王国平, 等. 弹药发射安全性导论[M]. 北京: 国防工业出版社, 2009: 11-12.
- [2] 芮筱亭, 负来峰, 沙南生, 等. 发射药装药发射安全性评定技术的研究进展[J]. 兵工学报, 2005, 26(5): 690-696.
- [3] U. S. Army test and evaluation command, international test operations procedure (ITOP). Safety Testing of Tank Ammunition[R]. AD-A158 140, 1985.
- [4] U. S. Army test and evaluation command, international test operations procedure (ITOP). Safety Testing of Field Artillery Ammunition[R]. AD-A170 829, 1986.
- [5] Horst A W, May I W, Clarke E V. The Missing Link Between Pressure Waves and Breachblows[J]. AD-A058 354/2GA, 1978: 1-3.
- [6] Stiefel L. 火炮发射技术[M]. 杨葆新, 袁亚雄, 译. 北京: 兵器工业出版社, 1993: 78-79.
- [7] 凌剑, 芮筱亭, 负来峰, 等. 膛内燃烧与力学环境物理仿真技术研究[J]. 南京理工大学学报, 2006, 30(4): 512-516.
- [8] 陈涛, 芮筱亭, 凌剑, 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(4): 467-471.
- [9] 陈涛, 芮筱亭, 洪俊, 等. 用于发射药床动态挤压应力研究的半密闭爆发器仿真[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(17): 4075-4078.