

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2015.03.004

一种 DNAN 基熔铸炸药压滤装药工艺安全性分析^{*}

金大勇^① 王亲会^① 蒋秋黎^① 牛国涛^① 牛 磊^① 曹少庭^① 蒋芳芳^②

①西安近代化学研究所(陕西西安,710065)

②陕西应用物理化学研究所(陕西西安,710061)

[摘 要] 为确保混合炸药在压滤装药工艺过程中的安全性,通过工艺过程安全性分析,获得了工艺安全性风险因素及其分类;利用试验测试和数值仿真手段,对一种 DNAN 基熔铸混合炸药(MCX-D)的本质安全性、相容性、机械和热刺激等装药工艺安全性影响因素进行了分析与研究。结果表明,炸药本质上是安全的,压滤工艺过程中组分变化和热损伤导致炸药本身感度的升高有限(机械感度 $\leq 40\%$),符合使用要求;装药在温度和压力双重作用下的内部温升仅为 $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,不存在热爆炸的可能性。由此证明 DNAN 基熔铸炸药压滤装药工艺是安全可靠的。

[关键词] DNAN;熔铸炸药;压滤装药工艺;工艺安全性;机械感度;热损伤

[分类号] TQ560.8;TD235.2+1

引言

炸药装药工艺安全性是以装药工艺行为过程为基础,分析和研究工艺活动中危险因素存在、发生及变化的规律,从中找出危险和安全因素相互转换的条件,以便采取相应措施,保证科研、试验与生产活动的安全开展^[1]。因此,装药工艺安全性研究是装药工艺实用性与可行性的前提与基础。

压滤装药工艺是一种新型的炸药装药方法,其工艺原理是将一个带滤网的冲头压入模具中,利用滤网的过滤作用,将能量水平较低的液相载体滤除,留下高能固相炸药组分,提高装药的固相含量和装药质量,从而提高装药的毁伤威力水平^[2]。研究人员等对利用筛网式振动压滤法浇铸 40TNT/60RDX 熔铸炸药进行了研究,结果表明装药质量有所提高^[3];另外,国内外许多学者研究了压力注装工艺^[4-5],可以有效避免普通注装工艺产生的装药疵病^[3],提高破甲类武器的装药质量和毁伤威力。

压滤装药工艺综合了熔铸和压装两种工艺的特

点,因此其工艺过程中的危险因素也相对复杂,但是目前对压滤装药工艺安全性的研究还未见报道。为避免在压滤工艺试验中发生安全性风险,以具备低易损特性的 2,4-二硝基苯甲醚(DNAN)为基^[6-7],设计一种熔铸炸药基础配方,质量比 DNAN/HMX/复合钝感剂(FHD):29/68/3,代号 MCX-D,并以其为研究对象,对炸药本质安全性、相容性、机械和热刺激等影响装药工艺安全性的因素进行分析与研究,其结果对压滤装药工艺的安全性设计及 MCX-D 炸药在破甲战斗部中的应用提供了一定的参考。

1 MCX-D 炸药本质安全性分析

从工艺原理来说,采用压滤工艺装填的炸药需要同时适应熔铸与压装两种工艺操作的加载,危险性较大。因此试验采用 GJB772A 中相关方法测量了 MCX-D 炸药、制式 TNT 基熔铸 Octol75/25 炸药和压装 10[#]-159 炸药的机械安全性能,结果见表 1。

从表 1 看出,MCX-D 炸药机械感度优于制式 TNT 基熔铸炸药 Octol75/25 和压装炸药 10[#]-159。

表 1 机械感度对比

Tab.1 Comparison of mechanical sensitivity

炸 药	配方(质量比)	撞击感度/%	摩擦感度/%	特性落高(H_{50})/cm
MCX-D	DNAN/HMX/FHD:29/68/3	12	4	96.4
Octol75/25	HMX/TNT:75/25	36	32	89.1
10 [#] -159	HMX/bonder:95/5	32	18	—

^{*} 收稿日期:2014-10-08

基金项目:国防科技工业基础产品创新计划火炸药科研重大专项

作者简介:金大勇(1980~),男,副研究员,主要从事混合炸药配方及战斗部装药技术的研究。E-mail:jindasyong@163.com

通信作者:王亲会(1959~),男,研究员,主要从事混合炸药配方及战斗部装药技术研究

这是因为虽然单质 HMX 撞击感和摩擦感度均为 100%,但是在熔铸型 MCX-D 和 Octol75/25 炸药中,组分 DNAN 撞击感度(H_{50})仅为 117.5 cm(TNT 的 $H_{50} = 157$ cm),摩擦感度为 0(TNT 为 8%)^[8];DNAN 不但是工艺助剂,而且对感度较高的 HMX 颗粒起到包覆钝感的作用,同时 MCX-D 炸药中 DNAN 含量高于 Octol75/25 中的 TNT,因此其配方的机械感度相对较低。另外 MCX-D 炸药中含有 3%(质量分数)的高效复合钝感剂 FHD,其在机械和热等因素刺激下,能够对炸药中的固体组分进行有效地隔离和包覆,降低这些敏感的含能组分发生分解、燃烧转爆轰的可能性,从而提高了炸药的安全性^[9]。而 Octol75/25 炸药由于不含高效钝感组分,其感度也就相对较高。在实际应用中,Octol75/25 炸药作为一种成熟的制式配方,在国内外多个型号产品中得到应用,其安全性具有保证。综上所述,MCX-D 炸药注装时的工艺安全性是良好的。

对于压装型的 10[#]-159 炸药来说,其本身 HMX 的质量分数高达 95%,在 5%量级的起黏结与钝感功能的添加剂的作用下,使炸药机械感度降至 MCX-D 和 Octol75/25 炸药之间。10[#]-159 炸药作为一种优异的高能压装型炸药已在多个型号产品中获得应用,安全模压产品数以万计,炸药的本质安全性具有保证,而 MCX-D 炸药的机械感度优于 10[#]-159,因此其压装工艺安全性是良好的。

从以上情况综合对比看,MCX-D 炸药本质安全性良好,满足压滤装药工艺安全性要求。

2 工艺过程中的危险因素分析

MCX-D 炸药压滤装药工艺过程为:原材料转运与称量→炸药熔化混合→浇注→加压过滤→保压→卸压→冷却凝固成型→后处理。主要工艺参数包括:药浆温度、加压压力、保压时间等。采用压滤工艺装填 MCX-D 炸药过程中的主要危险因素是爆炸。由于加压过滤装药工艺结合了注装与压装两种工艺特点,因此引起爆炸的原因主要包括以下几个方面:

1)炸药原材料之间或与其接触的材料不相容,引发化学反应,并进而导致爆炸危险的发生。

2)炸药在原材料称量、转运和装药后处理时在机械刺激作用下引起爆炸危险。

3)炸药压滤过程中,随着低感度的液态载体 DNAN 和 FHD 的滤出,剩余药浆中 HMX 的质量分数可由最初的 68%上升至约 80%,炸药机械感度也随之增大,HMX 由于外加压力作用,颗粒之间发生的摩擦与撞击作用有可能引发爆炸反应。

4)炸药压滤过程中,为顺利过滤出液态载体组

分,需要药浆保持在熔点以上的高温(≥ 80.2 ℃),高温会对 HMX 晶体产生热损伤,使其感度升高,进而提高工艺安全性风险。

5)压滤过程中药浆在冲头机械压力与高温双重因素作用下,其内部可能产生热分解与热积累,甚至引起药浆的自加速反应而导致点火爆炸。

综上所述,引起压滤工艺过程中爆炸风险的因素可以归结为以下三类:

一是相容性,即由炸药配方的内、外相容性引起的爆炸危险;

二是机械刺激,即在工艺过程中由于组分发生改变而导致炸药感度升高的风险;

三是热安全性风险,包括炸药热损伤引起的感度升高以及药浆在机械压力与温度双重刺激下加速发生热爆炸的危险。

3 相容性的安全分析

相容性包括炸药组分之间的内相容性和炸药与外界材料的接触相容性。如果相容性有问题,则在装药工艺过程中可能会发生化学反应,产生敏感性杂质,或者直接导致炸药的爆炸。因此,试验中按 GJB772A 的相关方法对 MCX-D 炸药的相容性进行测试,结果见表 2。

表 2 MCX-D 炸药的相容性
Tab. 2 Compatibility of MCX-D

样品	样品量/g	放气量/mL	结果
HMX/DNAN	2.50/2.50	-0.08	相容
DNAN/FHD	2.50/2.50	0.08	相容
HMX/FHD	2.50/2.50	0.23	相容
MCX-D/20 [#] 钢	2.50/2.50	-0.01	相容
MCX-D/黄铜	2.50/2.50	-0.06	相容
MCX-D/硅橡胶	2.50/2.50	-0.15	相容

由表 2 可以看出,MCX-D 炸药的内相容性良好,其与压滤工艺设备、工装与模具材料的接触相容性亦符合要求,因此由相容性引起的爆炸风险基本可以排除。

4 机械刺激的安全性分析

压滤装药工艺的特点之一是在装药过程中需要对药浆施加一定的压力,以使低能的液相载体组分从滤网滤出。在此过程中,药浆中的固态 HMX 颗粒受到持续的机械压力作用而不断堆积和互相挤压,相互产生摩擦和撞击现象;另外从压滤工艺的原理可知,压滤装药时配方组分是一个动态变化的过程,由于配方中起润滑、钝感与工艺助剂作用的 DNAN 与 FHD 在压滤过程中不断减少,因此从配方

组分配比变化的趋势来看,剩余药浆中相对敏感的 HMX 的质量分数可由最初的 68% 上升至约 80%,这导致工艺过程中炸药配方的感度不断上升,给装药过程带来一定的危险性。

对此,通过对不同 HMX 含量炸药的机械感度进行测试与分析来进行研究。测试结果见表 3。

表 3 不同 HMX 含量炸药配方的机械感度
Tab. 3 Mechanical sensitivity of different explosive formulations contained HMX

编号	配方(质量比)	撞击感度 /%	摩擦感度 /%
1 [#]	DNAN/HMX/FHD;29/68/3	12	4
2 [#]	DNAN/HMX/FHD;23/75/2	32	12
3 [#]	DNAN/HMX/FHD;18.5/80/1.5	34	18

从表 3 可以看出,随着配方中 HMX 含量的增加以及 DNAN 和 FHD 含量的减小,炸药配方的感度随之上升,但是其机械感度均不大于 40%,满足装药工艺的安全性要求。

5 热刺激的安全性分析

5.1 炸药热损伤时的安全性

现代炸药理论认为,炸药颗粒、分子或晶体间的运动导致了炸药的局部加热,形成热点,而后导致炸药的爆炸^[10]。由于单质炸药合成技术所限,常用的炸药颗粒不是理想的无缺陷的单晶,而是不规则的,且晶体内部充满缺陷。在压滤工艺过程中,炸药不可避免地受到熔化加热的作用,这可能导致炸药晶体受到损伤甚至破裂,从而提高炸药的感度。

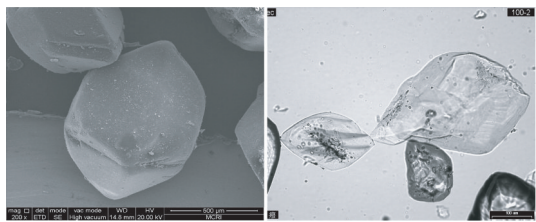
试验中,对在不同温度条件下恒定加热后的同一类型 HMX 的撞击感度进行了检测,结果如表 4。

表 4 热损伤后 HMX 的撞击感度
Tab. 4 Compact sensitivity of HMX after thermal damage

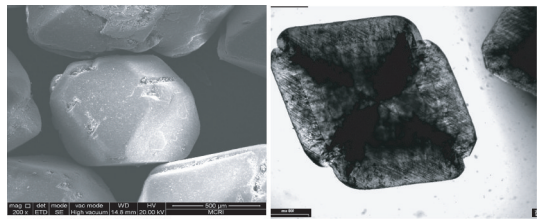
环境温度/℃	加热时间/h	特性落高/cm
常温	0	12.9
60	2	12.6
80	2	10.7
95	2	10.0

从表 4 可以看出,随着环境温度的升高,炸药晶体的撞击感度有增高的趋势。进一步采用扫描电镜(SEM)和透射电镜(TEM)对试验样品进行微观观测,结果见图 1~图 3。

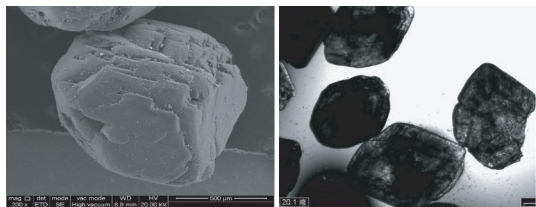
从图 1~图 3 图片可以看出,随着 HMX 晶体加热温度的提高,晶体内部和表面的裂纹与破碎等缺陷也随之增多,这对炸药本质的安全性会产生十分



(a)SEM (b)TEM
图 1 常温下 HMX 晶体的 SEM 和 TEM 照片
Fig. 1 HMX crystal and its SEM and TEM photographs at room temperature



(a)SEM (b)TEM
图 2 60 °C 热损伤后 HMX 晶体的 SEM 和 TEM 照片
Fig. 2 HMX crystal and its SEM and TEM photographs after thermal damage of 60 °C



(a)SEM (b)TEM
图 3 95 °C 热损伤后 HMX 晶体的 SEM 和 TEM 照片
Fig. 3 HMX crystal and its SEM and TEM photographs after thermal damage of 95 °C

不利的影响。

为研究热损伤对工艺安全性的影响,采用表 3 中典型的 1[#]和 3[#]配方,将熔化完成后的药浆在熔药锅内 100 °C 条件下保温 2 h(工艺过程一般不超过 1 h)后,测试炸药的机械感度。测试结果见表 5。

表 5 热损伤后炸药感度
Tab. 5 Sensitivity of explosive after thermal damage

编号	撞击感度/%	摩擦感度/%	损伤温度/℃
1 [#]	16	4	90
3 [#]	34	22	90

由表 5 的结果可以看出,热损伤对混合炸药配方的感度有影响,但是配方中含有的一部分 FHD 对炸药进行了高效钝感,使其最终感度均不超过 40%,满足了装药工艺的安全性要求。综上所述,在工艺过程中,热损伤不会造成安全性问题。

5.2 装药在温度和压力双重作用下的安全性

加压过滤试验主要是为了挤压过滤出炸药药浆

中的低能液相载体组分,因此不需要过大的压力。通过对常规模压与加压过滤装药参数对比发现,在相同的模具直径与装药量的前提下,模压法所需要的加压压力(表压)约为 15 ~ 25 MPa,压滤法所需要的加压压力(表压)约为 1 ~ 5 MPa,因此压滤法所需要的加压压力远小于传统的模压法,其安全性也相对获得了大幅度提高。为进一步获得更加可靠的安全性数据,采用数值计算的方法对炸药药浆在温度和压力双重作用下的安全性进行深入分析。

数值模拟以实际压滤工艺为背景开展计算,采用的计算条件比实际的工艺参数更苛刻,压力取 20 MPa,药浆温度取 130 ℃。

压滤工艺中,由于滤网的挤压作用,药浆中液相组分不断析出,固相质量分数逐渐升高,炸药对滤网冲头的反作用力不断增大,当反作用力等于外界滤网冲头压力时,滤网不再下移,此时进入保压阶段。在整个工艺过程中,保压阶段药浆承受的压力最高,在此期间药浆可能会发生温度升高并导致热分解,甚至引起药浆的自加速反应而导致点火。因此,数值模拟主要针对保压阶段的安全性开展计算。

采用热固耦合算法计算药浆在外界压力载荷下的温升,采用黏弹性材料模型描述药浆的本构关系,在该材料模型中,材料的偏应力张量按照线性黏弹性处理,即:

$$s_{ij} = 2 \int_0^t \varphi(t - \tau) \frac{\partial \varepsilon_{ij}(\tau)}{\partial \tau} d\tau. \quad (1)$$

式中: s_{ij} 为偏应力张量; ε_{ij} 为应变张量; $\varphi(t)$ 为张弛剪切模量。 $\varphi(t)$ 根据下式得到:

$$\varphi(t) = G_{\infty} + (G_0 - G_{\infty}) e^{-\beta t}. \quad (2)$$

式中: G_0 为短时剪切模量; G_{∞} 为长时剪切模量; β 为衰减系数。

压力的计算按照下式进行:

$$p = K \ln V. \quad (3)$$

式中: K 为体积模量; V 为相对体积, $V = V(t)/V_0$; $V(t)$ 为现时体积; V_0 为初始体积。

根据装药圆柱形轴对称特点,为减少计算量,采用了四分之一模型。

图 4 是计算模型示意图,包括装药、模具两部分,装药直径分为 80、120 mm 和 160 mm 3 种,装药直径为 120 mm 和 160 mm 的计算模型是在直径为 80 mm 计算模型的基础上放大而得到。3 种装药的长径比都为 2 : 1。图 5 为计算网格示意图,药浆和模具均采用了六面体实体单元。计算时,在药浆上端面施加均布压力载荷以模拟压滤工艺中装药受到的压力作用。

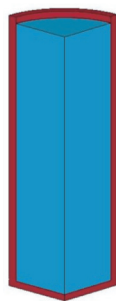


图 4 计算模型

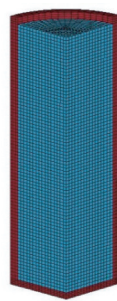


图 5 计算网格

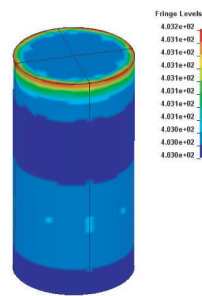
Fig. 4 Calculating model

Fig. 5 Calculating mesh

从安全性的角度考虑,比较关心装药最高温度点的位置及其温度变化规律,图 6 是装药温度最高点及温度云图。根据计算结果,装药的最高温度点均位于装药上端面与模具相邻的位置,如图 6 所示。出现该现象的原因在于该位置的装药一方面受到压力作用,发生一定的塑性变形而生热,另一方面该部分装药与模具直接接触,在压力作用下装药发生运动,从而与模具摩擦生热。在塑性功转热和摩擦生热的双重机制作用下,导致该部位的装药温度最高。图 6(b)的温度分布云图清楚地显示了装药中高温点的所在区域。



(a) 最高温度点



(b) 温度云图

图 6 装药温度最高点及温度云图

Fig. 6 The highest temperature point and temperature distribution of charge

读取了不同装药直径下的装药最高温度点的温度时程曲线,分别如图 7 ~ 图 9 所示。由此可见,在本文的压滤工艺条件下,装药内部的温升是很小的,最高温度点只比初始药温增大 0.3 ℃ 左右。随着装药直径的增大,最高温度点的温度曲线呈现出不同的变化规律,即装药直径变大之后升温速率有所减小。由图 7 ~ 图 9 也可以看出,装药尺寸等比例放大之后其内部的温度变化并没有相似关系。

采用热固耦合有限元方法计算了压滤工艺过程中装药的安全性,计算结果表明,在常规的压滤工艺参数条件下,装药内部的温度升高幅度很小,不存在热爆炸的可能性。

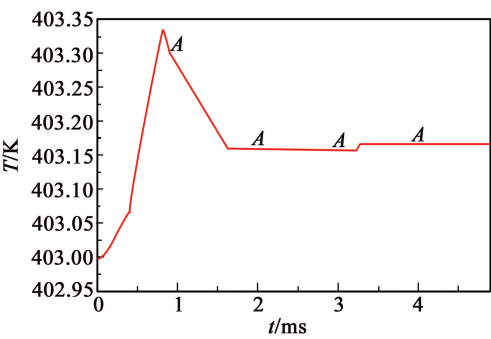


图 7 装药直径为 80 mm 时最高温度点的温度曲线

Fig. 7 Curve of the highest temperature point for charge diameter of 80 mm

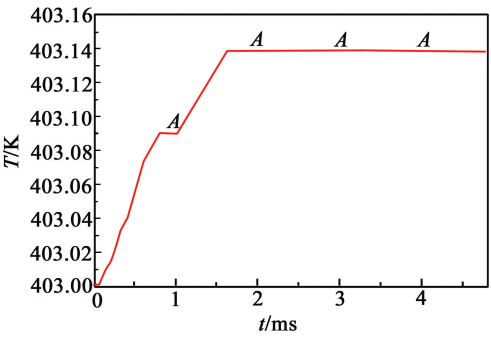


图 8 装药直径为 120 mm 时最高温度点的温度曲线

Fig. 8 Curve of the highest temperature point for charge diameter of 120 mm

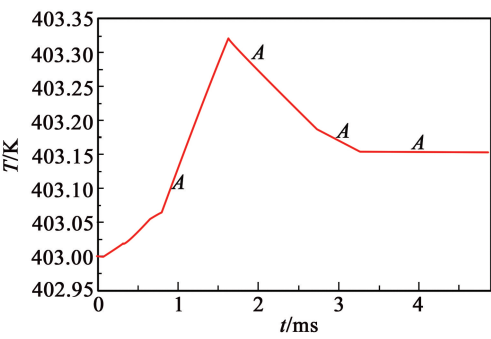


图 9 装药直径为 160 mm 时最高温度点的温度曲线

Fig. 9 Curve of the highest temperature point for charge diameter of 160 mm

6 压滤装药工艺安全性试验验证

为验证上述分析的正确性,项目组采用 MCX-D 炸药进行装药工艺安全性验证试验。试验工艺参数及试验结果见表 6。

由表 6 和图 10 可以看出,试验采用的工艺参数均在安全性测试与数值计算的范围之内,试验结果表明,以 DNAN 为基的熔铸炸药 MCX-D,采用压滤工艺进行装药是安全可行的。

表 6 工艺安全性验证试验参数
Tab. 6 Parameters of the process safety
validate test

炸药配方(质量比)	HMX/DNAN/FHD:68/29/3
熔药时间/min	30
药浆温度/℃	100
加压压力/MPa	5
装药直径/mm	100
装药长径比	2 : 1
安全性	安全



图 10 MCX-D 炸药压滤装药样品

Fig. 10 Sample of filter press charge for MCX-D

7 结论

通过对压滤装药工艺的安全性分析,获得了工艺过程中安全风险因素及其分类;利用试验测试和数值仿真手段,对 MCX-D 炸药的本质安全性、相容性、机械和热刺激等装药工艺安全性影响因素进行了分析与研究。结果表明,炸药本质上是安全的,压滤工艺过程中组分变化和热损伤导致炸药本身感度的升高有限(机械感度 $\leq 40\%$),符合使用要求;装药在温度和压力双重作用下的内部温升仅为 0.3℃左右,不存在热爆炸的可能性。综合分析证明 DNAN 基熔铸炸药压滤装药工艺是安全可靠的。

参 考 文 献

[1] 金大勇,贾宪振,王亲会,等. RTHLDu-1 炸药注装工艺安全性分析[J]. 火工品,2011(6):41-46.
Jin Dayong, Jia Xianzhen, Wang Qinhui, et al. Security analysis for RTHLDu-1 explosive casting technology[J]. Initiators & Pyrotechnics, 2011(6):41-46.

[2] 金大勇,王亲会,牛国涛,等. 一种高固相含量熔铸炸药精密铸装技术[J]. 火工品,2013(2):40-43.
Jin Dayong, Wang Qinhui, Niu Guotao, et al. A technology of precise melt-casting charge with highly solid contents[J]. Initiators & Pyrotechnics, 2013(2):40-43.

[3] 孙业斌,惠君明,曹欣茂. 军用混合炸药[M]. 北京:兵器工业出版社,1995.

[4] 刘德润,何德昌. 熔铸炸药的低压顺序凝固技术[M].

- 北京:北京理工大学出版社,1990.
- [5] 陈熙荣,吴风元,刘德润. 用压力注装获得高效率、优质药柱的研究[J]. 火炸药,1981(6):13-16.
- Chen Xirong, Wu Fengyuan, Liu Derun. The Study of press loading process for efficiently obtain high quality explosives charge [J]. Explosives and Propellants, 1981(6):13-16.
- [6] 王昕. 美国不敏感混合炸药的发展现状[J]. 火炸药学报,2007,30(2):78-80.
- Wang Xin. Current situation of study on insensitive composite explosives in USA [J]. Chinese Journal of Explosives and Propellants,2007,30(2):78-80.
- [7] 金大勇,王红星,牛国涛,等. 正交试验法研究 DNAN 基熔铸炸药的装药工艺[J]. 含能材料,2014,22(6):804-807.
- Jin Dayong, Wang Hongxing, Niu Guotao, et al. Study on charge process of DNAN based melt cast explosive by orthogonal experiments [J]. Chinese Journal of Energetic Materials,2014,22(6):804-807.
- [8] 王红星,王浩,蒋芳芳,等. DNAN 炸药熔铸工艺安全性分析[J]. 兵工自动化,2014,33(7):72-74.
- Wang Hongxing, Wang Hao, Jiang Fangfang, et al. Safety analysis of melt-cast technology for DNAN explosive[J]. Ordnance Industry Automation,2014,33(7):72-74.
- [9] 黄文斌,王亲会,王浩,等. 复合钝感剂对梯黑铝炸药的钝感机理[J]. 火炸药学报,2009,32(2):41-43.
- Huang Wenbin, Wang Qinhui, Wang Hao, et al. Desensitization mechanism of composite desensitizer to THL explosive[J]. Chinese Journal of Explosives and Propellants, 2009,32(2):41-43.
- [10] 金韶华,松全才. 炸药理论[M]. 西安:西北工业大学出版社,2010.

Safety Analysis for Filter Press Process of a DNAN Based Melt-cast Explosive

JIN Dayong^①, WANG Qinhui^①, JIANG Qiuli^①, NIU Guotao^①, NIU Lei^①, CAO Shaoting^①, JIANG Fangfang^②

^①Xi'an Modern Chemical Research Institute (Shaanxi Xi'an, 710065)

^②Shaanxi Applied Physics-chemistry Research Institute (Shaanxi Xi'an, 710061)

[ABSTRACT] In order to ensure the safety of the filter press process of composite explosive, the risk factors and its classification of process safety were obtained according to analyzing the process engineering safety. By means of experimental test and numerical simulation, the influential factors including intrinsic safety, compatibility, mechanical and thermal stimuli of MCX-D, a kind of DNAN based melt-cast explosive, were analyzed and studied. It found out that the explosive made in the filter press process was safe intrinsically, and the sensitivity of explosive due to ingredient variation and thermal damage increased in a very limited range (improvement of mechanical sensitivity $\leq 40\%$), which met the application demands. The inner temperature increased by 0.3℃ or so in the condition of temperature and press, which indicated the thermal explosion would not happen. The filter press process of DNAN based melt-cast was safe and reliable.

[KEY WORDS] DNAN; melt-cast explosive; filter press process; process safety; mechanical sensitivity; thermal damage

(上接第 15 页)

Synthesis and Performance of a Primary Explosive Resisting High Temperature Named Cadmium Azide

SHENG Dilun, CHEN Likui, ZHU Yahong, YANG Bin

Shaanxi Applied Physics and Chemistry Research Institute (Shaanxi Xi'an, 710061)

[ABSTRACT] For the demand of resisting high temperature of primary explosives used in initiator at sustained high temperature exposure, coke off environment and oil-gas well exploitation, a new primary explosive cadmium azide (CA) had been synthesized and evaluated. Synthesis techniques of CA have been studied by metathesis reaction. The structure characteristic of CA has been measured by the component analysis and IR spectrum. By the evaluation of its properties such as heat, sensitivity, explosion speed and initiating ability, it is considered that the decomposing temperature of CA (334-370℃) is higher than lead azide, and its blast temperature is up to 417-426℃. The impacting sensitivity of CA is similar to lead azide, but the friction and static sensitivity of CA are lower than those of lead azide. The results show that CA is a primary explosive resisting high temperature, serving as a substitute of lead azide that could be used in military and civil detonators.

[KEY WORDS] energy material; thermostability; primary explosive; cadmium azide; synthesis; performances