

文章编号:1006-9941(2020)03-0223-06

高致密球形 RDX 基浇注炸药的性能

姜洪伟^{1,2,3}, 赵雪², 芮久后², 钱华^{1,3}, 刘大斌¹

(1. 南京理工大学化工学院, 江苏 南京 210094; 2. 北京理工大学 爆炸科学与技术国家重点实验室, 北京 100081; 3. 国家民用爆破器材质量监督检验中心, 江苏 南京 210094)

摘要: 为探索高致密球形黑索今(H-RDX)与普通黑索今(RDX)对浇注炸药性能的影响,采用扫描电子显微镜(SEM)、差示扫描量热仪(DSC)等对两者的晶体形貌、热稳定性及机械感度进行评估;同时以典型浇注配方为例,探讨RDX类别对药浆黏度、药柱密度、爆速和冲击波感度的影响规律。结果表明:H-RDX表面光滑,晶体缺陷少,球形度高;与普通RDX相比,H-RDX的热分解表观活化能 E_a 和活化焓 ΔH 分别高 $10.79 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ 和 $10.81 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$,撞击和摩擦感度分别降低20%和8%;相同配方下药浆黏度降低41%~45%,药柱密度提高0.6%~3.9%,爆速提高1%~3%,冲击波感度降低10%~14%,表现出更优的工艺性能、爆轰性能及安全性能。

关键词: 高致密;球形黑索今(RDX);浇注炸药

中图分类号:TJ55

文献标志码:A

DOI:10.11943/CJEM2019086

1 引言

黑索今(RDX)作为一种传统的单质炸药,爆炸性能良好且成本相对较低,广泛应用于推进剂、发射药和混合炸药中,是当前和未来一段时间内炸药及固体推进剂装药的主要品种^[1]。

炸药颗粒的晶体粒度、晶体形貌、缺陷等因素对塑料粘结炸药的性能有直接影响^[2-4]。目前,为满足弹药高能低损的发展要求,国内外针对炸药晶体的改性已做大量工作^[5-9]。早在20世纪90年代,法国火炸药公司(SNPE)^[10]通过对普通RDX改性得到降感黑索今(I-RDX)。荆肖凡等^[11]通过超声和喷雾辅助设备制备的微米球形RDX撞击感度明显降低,活化能及热爆炸临界温度略有提高。改性后的RDX,由于球形度较高,更适用于熔铸体系与浇注体系。芮久后等^[12-13]采用环己酮溶剂重结晶的方法制备了球形

RDX,并将球形RDX和普通RDX分别与TNT制备了熔铸炸药并测试了药柱密度,发现球形RDX熔铸炸药的药柱密度比普通RDX熔铸炸药的药柱密度高 $0.04 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 。黄明等^[14]对比了高品质RDX(D-RDX)与普通RDX的晶体特性,发现D-RDX比普通RDX表面更光滑,粒度分布更窄,内部杂质和缺陷很少,表观密度大于 $1.798 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,并分别用D-RDX、普通RDX与梯恩梯(TNT)制备了熔铸炸药,发现D-RDX熔铸炸药的冲击波感度比普通RDX降低10%~15%。目前,国内对高致密球形RDX(H-RDX)混合炸药的性能研究主要基于熔铸炸药,在浇注炸药性能方面的研究较少。

本研究分别采用高致密球形RDX、普通RDX进行级配浇注,通过对两种RDX热稳定性、机械感度、药浆黏度、药柱密度、爆速及冲击波感度的研究,分析RDX晶体形貌的变化对浇注炸药性能的影响,以期高致密球形RDX在浇注炸药中的推广应用提供借鉴。

2 实验部分

2.1 试剂与仪器

材料:I型1类RDX、超细RDX(20~40 μm),工

收稿日期:2019-03-29;修回日期:2019-04-20

网络出版日期:2019-06-20

作者简介:姜洪伟(1994-),男,研究生,主要从事炸药装药工艺研究。e-mail:njust_jhw@sohu.com

通信联系人:钱华(1981-),男,研究员,主要从事火炸药配方及工艺研究。e-mail:qianhua@njust.edu.cn

引用本文:姜洪伟,赵雪,芮久后,等.高致密球形RDX基浇注炸药的性能[J].含能材料,2020,28(3):223-228.

JIANG Hong-wei, ZHAO Xue, RUI Jiu-hou, et al. Properties of High Density Spherical RDX-based Cast Explosives[J]. Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao), 2020, 28(3):223-228.

业纯,江苏红光化工有限公司;高致密球形RDX(10~12目、100~120目),工业纯,中国兵器工业集团第375厂;石墨, $d_{50} \leq 5 \mu\text{m}$,工业纯,青岛日升石墨有限公司;铝粉, $(40 \pm 4) \mu\text{m}$,工业纯,明宇铝业有限公司;端羟基聚丁二烯(HTPB),羟值 $0.74 \text{ mmol} \cdot \text{g}^{-1}$,工业纯,营口天元化工所。

仪器:DSC1型差式扫描量热仪,梅特勒-托利多公司;Quanta 200FEG环境扫描电子显微镜,荷兰FEI公司;S-4800型扫描电子显微镜,日立公司。

2.2 浇注炸药的制备

浇注方法:采用“配药-捏合-浇注-固化”^[15]的制备工艺,即原料配备、物料捏合、真空振动浇注、高温固化成型四个步骤。

浇注级配质量比:含高致密球形RDX的浇注炸药配方中高致密球形RDX大小球级配比为3:1;含普通RDX的浇注炸药配方中I型1类RDX与超细RDX级配比为1.68:1。

固化条件:固化温度 $(60 \pm 2) ^\circ\text{C}$,固化时间6天。

药柱规格: $\Phi 40 \text{ mm} \times 40 \text{ mm}$ 。

2.3 性能测试

使用扫描电子显微镜对I型1类普通RDX和高致密球形RDX进行形貌表征;采用差示扫描量热仪,以5, 10, 15, 20 $\text{K} \cdot \text{min}^{-1}$ 四个升温速率,在不锈钢坩埚中对I型1类普通RDX和高致密球形RDX的热分解性能进行表征;参照GJB 772A-1997方法601.1摩擦感度-爆炸概率法、方法601.2撞击感度-特性落高法对I型1类普通RDX和高致密球形RDX机械感度进行测试(方法601.1测试条件:摆角 96° ;方法601.2测试条件:落锤质量5 kg);将含不同RDX配方的药浆参照QJ1813.2-2005《复合固体推进剂药浆黏度和试用期测定方法》第1部分:压杆落球黏度计法,测定药浆黏度;将含不同RDX配方的药柱参照GJB 772A-97方法401.2液体静力称量法测定药柱密度;参照GJB 772A-97方法702.1电测法测定爆速;参照GJB 772A-97方法605.1卡片式隔板法测定冲击波感度。

3 结果与讨论

3.1 不同RDX的晶体表现形貌分析

通过SEM定性分析普通RDX(I型1类RDX)与高致密球形RDX晶体颗粒的表观形貌,二者SEM照片见图1。如图1所示,普通RDX表面凹凸不平,缺陷较多

且大颗粒表面附着较多小颗粒,颗粒间形貌不规则;高致密球形RDX表面光滑、附着小晶体颗粒少,晶体缺陷少,颗粒间形貌规则呈类球形。

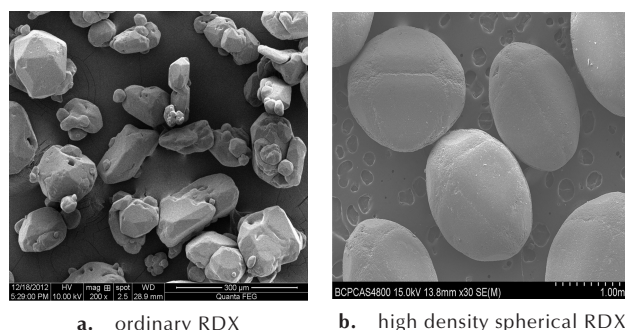


图1 普通RDX与高致密球形RDX形貌SEM图

Fig.1 SEM images of ordinary RDX and high density spherical RDX(H-RDX)

3.2 不同RDX的热稳定性分析

图2为不同升温速率下,普通RDX与高致密球形RDX的DSC曲线。如图2所示,普通RDX与高致密球形RDX均在 204°C 左右存在一个吸热峰,此峰为固态

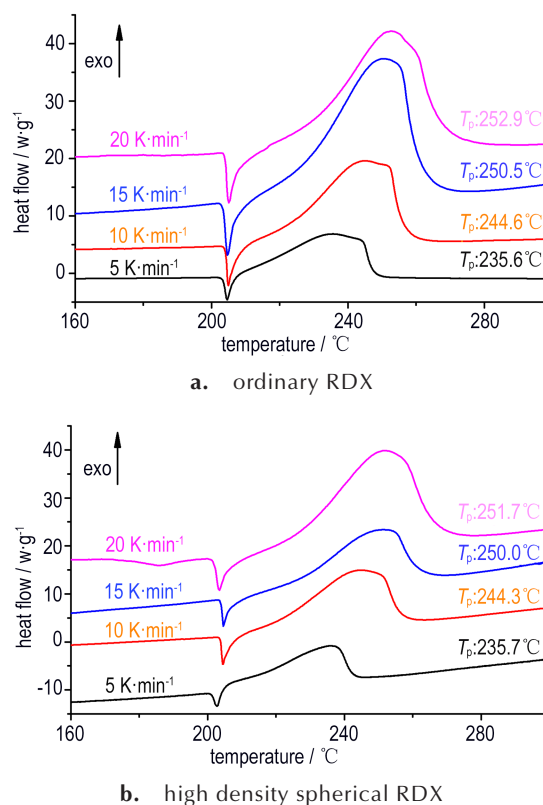


图2 普通RDX与高致密球形RDX在不同升温速率下的DSC曲线

Fig.2 DSC curves of ordinary RDX and high density spherical RDX at different heating rates

RDX 吸热熔化所致,可见球形化并不会改变 RDX 的熔点;普通 RDX 与高致密球形 RDX 的热分解峰温均随升温速率的增大而升高,热分解峰温与升温速率存在一定的关联性;在低温升温速率下 ($5 \text{ K}\cdot\text{min}^{-1}$),高致密球形 RDX 的热分解峰温与普通 RDX 基本相同,但在高温升温速率下 ($20 \text{ K}\cdot\text{min}^{-1}$),高致密球形 RDX 的热分解峰温稍低于普通 RDX。

根据 Kissinger 公式(1)^[16]和 Rogers 公式(2)^[17],利用不同升温速率下的热分解峰温,计算得到普通 RDX 与高致密球形 RDX 的指前因子 A 和热分解表观活化能 E_a ,计算结果见表 1。

$$\ln \frac{\beta}{T_p^2} = \ln \frac{AR}{E_a} - \frac{E_a}{RT_p} \quad (1)$$

$$A = \frac{E_a \beta}{RT_p^2} \exp \frac{E_a}{RT_p} \quad (2)$$

式中, β 为升温速率, $\text{K}\cdot\text{min}^{-1}$; T_p 为热分解峰温, K ; R 为气体常数, $8.314 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$; A 为指前因子, min^{-1} ; E_a 为热分解表观活化能, $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。

利用公式(3)^[17]可求得升温速率趋近于 0 时的热分解峰温 T_{p0} ,计算结果见表 1。

$$T_{p0} = T_p - b\beta - c\beta^2 \quad (3)$$

式中, T_{p0} 为升温速率趋近于 0 时的热分解峰温, K ; b 、 c 为常数。

表 1 普通 RDX 与高致密球形 RDX 的热分解动力学参数

Table 1 Thermal decomposition kinetic parameters of ordinary RDX and high density spherical RDX

sample	A / min^{-1}	E_a / $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$	T_{p0} / $^{\circ}\text{C}$	ΔH / $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$	ΔS / $\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	ΔG / $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$	T_e / $^{\circ}\text{C}$
RDX	3.1×10^{16}	164.72	222.4	160.58	32.53	144.46	225.7
H-RDX	41.8×10^{16}	175.51	220.6	171.39	54.19	144.64	225.7

Note: A is the pre-exponential factor. E_a is the apparent activation energy. T_{p0} is the peak temperature when β is zero. ΔH is the enthalpy of activation. ΔS is the entropy of activation. ΔG is the free energy of activation. T_e is the isokinetic temperature.

利用以上计算结果,根据公式(4)、(5)、(6)^[18]可以计算得到普通 RDX 与高致密球形 RDX 的活化焓 ΔH 、活化熵 ΔS 和 Gibbs 自由能 ΔG ,计算结果见表 1。

$$\Delta H = E_a - RT_p \quad (4)$$

$$\Delta S = R \left[\ln A - \ln \frac{K_B T_p}{h} \right] \quad (5)$$

$$\Delta G = \Delta H - T_p \Delta S \quad (6)$$

式中, ΔH 为反应活化焓, $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$; ΔS 为反应活化

熵, $\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$; ΔG 为反应 Gibbs 自由能, $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$; K_B 和 h 分别为玻尔兹曼常数和普朗克常数, $K_B = 1.381 \times 10^{-23} \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}$, $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$; T_p 为热分解峰温, K ,此处取 T_{p0} 为热分解峰温。

普通 RDX 与高致密球形 RDX 的反应速率常数 k 可体现其热分解速率,当二者反应速率常数 k 相同时,所对应温度为等动力学点温度 T_e ,该温度可用 Arrhenius 公式(7)求得,计算结果见表 1。

$$k = A e^{-\frac{E_a}{RT}} \quad (7)$$

式中, T 为特征温度, K ; A 、 R 、 E_a 的含义同式(1)。

从热力学角度来讲,高致密球形 RDX 与普通 RDX 的 ΔG 均大于 0,且高致密球形 RDX 的 ΔH 比普通 RDX 高出 $10.81 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$,说明二者的活化反应在常温常压下均不会自发进行且高致密球形 RDX 活化反应需要更高的激发能量。从动力学角度来讲,高致密球形 RDX 热分解表观活化能比普通 RDX 高 $10.79 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$,二者等动力学点温度 T_e 为 $225.7 \text{ }^{\circ}\text{C}$,这意味着当温度低于 $225.7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,具有较高热分解表观活化能的高致密球形 RDX 热分解速率低于普通 RDX 的热分解速率。

3.3 不同 RDX 的机械感度分析

普通 RDX 及高致密球形 RDX 的机械感度测试结果见表 2。由表 2 可知,高致密球形 RDX 的机械感度明显低于普通 RDX,撞击感度、摩擦感度分别比普通 RDX 降低 20% 和 8%。

这是由于高致密球形 RDX 表面光滑,棱角较少,附着小晶体颗粒少,在受到机械作用时,晶体与外部加载物,晶体与晶体间产生更少热量;高致密球形 RDX 缺陷较少,形貌相对规则呈类球形,更有利于热量的散发。受到机械作用时,高致密球形 RDX 较普通 RDX 而言,产热少散热多,根据热点理论,其机械感度更低。

表 2 普通 RDX 与高致密球形 RDX 的机械感度

Table 2 Mechanical sensitivity of ordinary RDX and high density spherical RDX

sample	H_{50} / cm	friction sensitivity / %
RDX	32.6	88
H-RDX	39.1	81

Note: H_{50} is the value of characteristic drop height.

3.4 含不同 RDX 配方药浆黏度及药柱密度分析

不同配方药浆黏度及药柱密度测试结果见表 3,其中药浆黏度由钢珠从压杆落球粘度计顶端沉至底端

所耗时间表示。

表3 药浆黏度及药柱密度

Table 3 Slurry viscosity and density of explosive cylinders with ordinary RDX and H-RDX

items	cast explosives	slurry viscosity / s	columns density / $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$
1#	RDX:Al:C:HTPB, 59:30:1:10	1548	1.78
2#	H-RDX:Al:C:HTPB, 59:30:1:10	910	1.79
3#	RDX:C:HTPB, 84:1:15	1378	1.55
4#	H-RDX:C:HTPB, 84:1:15	752	1.61
5#	H-RDX:C:HTPB, 89:1:10	1207	1.64

由表3可知,相同配方下高致密球形RDX药浆黏度明显低于普通RDX,且即使高致密球形RDX含量由84%(4#)提升至89%(5#)时,其药浆黏度仍低于普通RDX(3#)(所有黏度的测定均在室温下进行)。所有配方中,2#配方药柱密度最大,为 $1.79\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,3#配方药柱密度最小,为 $1.55\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 。相同配方下高致密球形RDX药柱密度高于普通RDX,且RDX的含量越高时,密度差值越大。

这是由于高致密球形RDX表面光滑,球形度高,使其药浆黏度更低,流散性更好,浇注时药浆能更均匀密实地流平,不会引入气孔;同时,不同粒径的球形RDX颗粒之间可以更密实地填充,导致高致密球形RDX药柱密度更大。由于铝粉密度高于RDX密度,导致1#、2#配方密度高于3#、4#配方。高致密球形RDX良好的工艺性能使其浇注炸药的RDX含量能提高至89%。

1#、2#药柱的表观形态如图3所示。由图3可见,普通RDX药柱孔洞较多,表面凹凸不平,这是普通RDX药浆黏度过大而在浇注过程中引入气孔所致;而高致密球形RDX药柱无明显孔洞,表面较为平整(白色部分为修剪药柱时破碎的RDX晶体),导致高致密球形RDX较普通RDX药柱密度更高。

3.5 含不同RDX配方药柱爆速分析

不同配方药柱的爆速见表4。由表4可知,同配方下高致密球形RDX药柱爆速高于普通RDX。在含铝粉配方(1#,2#)中,高致密球形RDX(2#)爆速比普通

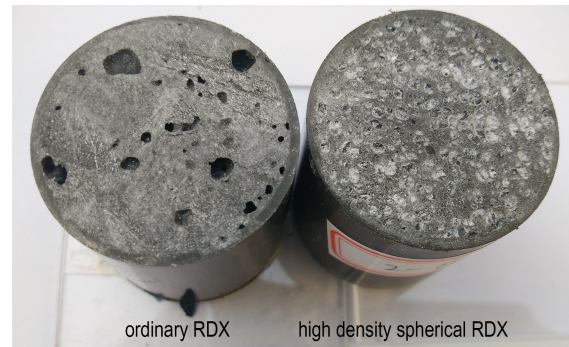


图3 普通RDX与高致密球形RDX浇注药柱表观形貌图

Fig. 3 Photographs of ordinary RDX-based and high density spherical RDX-based cast explosives cylinders

RDX(1#)高 $78\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;在不含铝粉配方(3#,4#)中,高致密球形RDX(4#)爆速比普通RDX(3#)高 $200\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,且随着RDX含量的增大,爆速有更大的提升空间。高致密球形RDX优良的工艺性能使其浇注炸药能够达到更高水平的RDX含量和爆速。

表4 不同配方药柱的爆速

Table 4 Detonation velocity of different formulations with ordinary RDX and H-RDX

items	1#	2#	3#	4#	5#
detonation velocity / $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	7676	7754	7740	7940	8181

3.6 含不同RDX配方药柱冲击波感度分析

为减少试验量,以药柱未发生爆轰时的最小隔板块数来近似表示药柱的冲击波感度,结果见表5。

表5 不同配方药柱的冲击波感度

Table 5 Shockwave sensitivity of different formulations

items	number of plates	detonator sensitivity
1#	21	positive
2#	19	negative
3#	22	positive
4#	19	negative
5#	21	negative

Note: plate is organic glass with 2 mm thickness.

由表5可知,高致密球形RDX药柱的冲击波感度在含铝粉的配方(2#)中比普通RDX(1#)降低10%,在不含铝粉的配方(4#)中比普通RDX(3#)降低14%;4#、5#配方对比可见,随着高致密球形RDX含量的增大,药柱冲击波感度随之升高,3#、5#配方对比可见,

即使 RDX 含量再提高 5%, 高致密球形 RDX 药柱的冲击波感度仍低于普通 RDX。此外, 高致密球形 RDX 药柱恰巧均无法用雷管直接起爆, 而普通 RDX 药柱均可用雷管直接起爆。这是由于高致密球形 RDX 形状更规则, 不同粒径的球形颗粒之间能更均匀地匹配, 药柱结构更密实、孔隙率更小, 不易吸收能量也不利于热点的形成^[18], 从而降低了药柱的冲击波感度。

4 结论

(1) 高致密球形 RDX 热分解表观活化能 E_a 与活化焓 ΔH 分别比普通 RDX 高出 $10.79 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ 和 $10.81 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。常温常压下, 高致密球形 RDX 不会自发进行活化反应且活化反应需要的激发能量更高, 温度低于 $225.7 \text{ }^\circ\text{C}$ 时, 高致密球形 RDX 热分解速率更低。高致密球形 RDX 机械感度明显低于普通 RDX, 其中撞击感度、摩擦感度分别比普通 RDX 降低 20% 和 8%。

(2) 相同配方下高致密球形 RDX 药浆黏度更低, 药柱密度更高且更加密实, 爆速更高且高致密球形 RDX 优良的工艺性能使其能达到更高水平的爆速 ($8000 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上)。

(3) 相同配方下高致密球形 RDX 浇注药柱冲击波感度更低, 分别比普通 RDX 低 10% (含铝配方中) 和 14% (不含铝配方中)。

参考文献:

- [1] 高晓敏, 黄明. I-RDX 及其 PBX 老化研究进展[J]. 含能材料, 2010, 18(2): 236-240.
GAO Xiao-min, HUANG Ming. Review on ageing of I-RDX and I-RDX based PBX[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2010, 18(2): 236-240.
- [2] Elbeih A, Husarova A, Zeman S. Path to ϵ -HNIW with reduced impact sensitivity[J]. *Central European Journal of Energetic Materials*, 2011, 8(3): 173-182.
- [3] Urbelis J H, Swift J A. Solvent effects on the growth morphology and phase purity of CL-20[J]. *Crystal Growth & Design*, 2014, 14(4): 1642-1649.
- [4] Bayat Y, Zarandi M, Zarei M A, et al. A novel approach for preparation of CL-20 nanoparticles by microemulsion method[J]. *Journal of Molecular Liquids*, 2014, 193: 83-86.
- [5] Oxley J, Smith J, Bucu R, et al. A study of reduced-sensitivity RDX [J]. *Journal of Energetic Materials*, 2007, 25 (3) : 141-160.
- [6] Spyckerelle C, Eck G, Sjöberg P, et al. Reduced sensitivity RDX obtained from Bachmann RDX [J]. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 2008, 33(1): 14-19.
- [7] Doherty R M, Watt D S. Relationship between RDX properties and sensitivity[J]. *Propellants Explosives Pyrotechnics*, 2008, 33(1): 4-13.
- [8] Kim D Y, Kim K J, Kim H S. Semi-quantitative study on the inclusion in cooling crystallization of RDX using various solvents [J]. *Propellants Explosives Pyrotechnics*, 2010, 35 (1) : 38-45.
- [9] Bénazet S, Jacob G, Pèpe G. Molecular modeling in crystal engineering for processing of energetic materials [J]. *Propellants Explosives Pyrotechnics*, 2003, 28(6): 287-295.
- [10] Freche A, Aviles J. Insensitive RDX[C] //Proc. Insensitive Munitions & Energetic Materials Technology Symposium. San Antonio, 2000, 18-22.
- [11] 荆肖凡, 徐文峥, 王晶禹. 超声和喷雾辅助制备微米球形化 RDX[J]. 火工品, 2013(4): 46-48.
JING Xiao-fan, XU Wen-zheng, WANG Jing-yu. Study on ultrasound- and spray-assisted precipitation of micrometer and spherical RDX[J]. *Initiators & Pyrotechnics*, 2013(4): 46-48.
- [12] 赵雪, 芮久后, 冯顺山. 重结晶法制备球形化 RDX[J]. 北京理工大学学报, 2011, 31(1): 5-7.
ZHAO Xue, RUI Jiu-hou, FENG Shun-shan. Recrystallization method for preparation of spherical RDX [J]. *Transactions of Beijing Institute of Technology*, 2011, 31(1): 5-7.
- [13] 赵雪, 芮久后, 冯顺山. RDX 颗粒形态对 RDX 基熔铸炸药性能的影响[J]. 南京理工大学学报, 2011, 35(5): 714-716.
ZHAO Xue, RUI Jiu-hou, FENG Shun-shan. Effects of RDX physical morphology on properties of RDX base melt-cast explosive[J]. *Journal of Nanjing University of Science and Technology*, 2011, 35(5): 714-716.
- [14] 黄明, 李洪珍, 徐容, 等. 高品质 RDX 的晶体特性及冲击波起爆特性[J]. 含能材料, 2011, 19(6): 621-626.
HUANG Ming, LI Hong-zhen, XU Rong, et al. Evaluation of crystal properties and initiation characteristics of decreased sensitivity RDX[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2011, 19(6): 621-626.
- [15] 郑保辉, 殷明, 耿呈祯, 等. 壳体约束下浇注 PBX 的温度适应性 [J]. 含能材料, 2017(03): 66-73.
ZHENG Bao-hui, YIN Ming, GENG Cheng-zhen, et al. Temperature adaptability of cast PBX under restriction of shell [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2017(03): 66-73.
- [16] Kissinger H E. Reaction kinetics in differential thermal analysis [J]. *Analytical Chemistry*, 1957, 29(11): 1702-1706.
- [17] Zhang T L, Hu R Z, Xie Y, et al. The estimation of critical temperatures of thermal explosion for energetic materials using non-isothermal DSC [J]. *Thermochimica Acta*, 1994, 244: 171-176.
- [18] Ye B Y, An C W, Zhang Y R, et al. One-step ball milling preparation of nanoscale CL-20 / graphene oxide for significantly reduced particle size and sensitivity [J]. *Nanoscale Research Letters*, 2018, 13(1): 42.
- [19] 黄寅生, 炸药理论[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2016.
HUANG Yin-sheng. *Explosives theory*[M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2016.

Properties of High Density Spherical RDX-based Cast Explosives

JIANG Hong-wei^{1,2,3}, ZHAO Xue², RUI Jiu-hou², QIAN Hua^{1,3}, LIU Da-bin¹

(1. School of Chemical Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China; 2. State Key Laboratory of Explosion Science and Technology, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China; 3. National Supervision and Inspection Center for Industrial Explosive Materials, Nanjing 210094, China)

Abstract: To explore the influence of ordinary hexogen (RDX) and high density spherical RDX on the properties of cast explosives, the crystal morphology, thermal stability and mechanical sensitivity of the two kinds of explosives were evaluated by scanning electron microscopy (SEM), differential scanning calorimeter (DSC) and etc. Taking typical casting formulation as an example, the influence of RDX type on slurry viscosity, density of cylinders, detonation velocity and shockwave sensitivity was discussed. Results show that high density spherical RDX has smooth surface, few crystal defects and high sphericity. The apparent activation energy and enthalpy of activation of high density spherical RDX is 10.79 kJ·mol⁻¹ and 10.81 kJ·mol⁻¹ higher than that of ordinary RDX. The impact and friction sensitivity of high density spherical RDX is 20% and 8% lower than that of ordinary RDX. Comparing with ordinary RDX, the high density spherical RDX-based cast formulation shows 41%–45% and 10%–14% decrease in the slurry viscosity and shockwave sensitivity, together with 0.6%–3.9% and 1%–3% increase in the density of cylinders and detonation velocity, respectively showing a better process properties, detonation properties and safety properties.

Key words: high density; spherical hexogen (RDX); cast explosives

CLC number: TJ55

Document code: A

DOI: 10.11943/CJEM2019086

(责编:姜梅)