

文章编号: 1006-9941(2012)05-0565-06

# RDX 晶体颗粒压制密度分布的 $\mu$ CT 试验研究

张伟斌, 田 勇, 杨仍才, 戴 斌, 杨雪海

(中国工程物理研究院化工材料研究所, 四川 绵阳 621900)

**摘要:** 为掌握炸药压制结构特征, 利用微纳米焦点 X 射线 CT ( $\mu$ CT) 研究了 RDX 晶体压制进程, 分析了晶体间隙与截面密度及其分布。 $\mu$ CT 结果显示: 随着压制压力增大, 晶体间隙减小, 截面密度增大且相对波动性逐渐减小; 150 MPa 压力下密度趋于均匀分布, 但仍有微间隙的明显特征。分析表明: RDX 压制密度梯度现象明显, 愈靠近压制端面的截面密度愈高, 提高压制压力有利于密度均匀, 但过高会带来裂纹问题, 可采用双向压制、减小压制高度或加工提取靠近压制端面的炸药等措施进一步提高密度均匀性。

**关键词:** 材料检测与分析; 锥束  $\mu$ CT; RDX 晶体; 压制; 密度分布

中图分类号: TJ55

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2012.05.010

## 1 引言

炸药压制成型是当前国内外一种广泛使用的装药技术, 通常采用抽真空-加热压制的方法将炸药晶体或以炸药晶体为填料的高聚物粘接炸药压制成型。其中, 压力大小、颗粒堆积状态、造型粉孔隙率、造型粉可压性、模具形状、高径比和温度等因素直接影响成型药柱密度分布, 并决定成型质量和使用性能。对于成型炸药的密度及其分布问题的研究, 传统的如 X 射线、中子射线成像诊断手段虽能无损观察炸药件内部缺陷, 但不能与破坏性观察(如扫描电镜、光学显微镜等)的高分辨能力相媲美, 因此无法掌握炸药压制过程内部结构的演变情况, 目前大多仍沿用加工取样, 然后采用液体静力称量法测试获得待测材料密度及分布的传统方法, 一般只能获知被取样部位的密度及其差异, 对取样体积及测试精度有限制, 使得炸药压制成型的致密机理研究无法深入开展, 该问题一直是炸药精密成型技术研究的难点。

研究表明, 工业 CT (Computed Tomography) 在研究材料内部结构及其细节方面独具优势<sup>[1-4]</sup>, 尤其是利用微/纳米焦点 X 射线 CT (Nano/Micro-Focus X-ray Computed Tomography, 简称 NanoCT 或  $\mu$ CT)

研究材料性能近些年已成为材料学中的研究热点<sup>[5-8]</sup>。根据 CT 原理, 被检材料对 X 射线的吸收系数与材料密度成正比, 因此可用正比于吸收系数的 CT 灰度图像表示材料内部密度分布。国内外利用 CT 研究材料密度及分布一般采用扇束 CT 切片方法<sup>[9]</sup>, 主要对截面 CT 值进行分析与处理, 进而评估密度均匀性, 如李俊杰<sup>[10]</sup>、单雯雯<sup>[11]</sup>、陈慧能<sup>[12]</sup>、王珏<sup>[13]</sup>分别对石墨、聚丙烯酸酯泡沫以及代表样品等密度及均匀性 CT 评估等, 也有直接利用材料的射线衰减系数研究密度及均匀性<sup>[14]</sup>, 主要存在技术复杂和实验精度问题。美国主要采用扇束 CT 切片法研究炸药密度及分布<sup>[15]</sup>, 我们先前的试验研究表明利用高分辨锥束 CT 技术可很好地对炸药单晶甚至颗粒炸药固化成型试件的内部结构、密度分布进行分析和定量<sup>[16-20]</sup>。因此, 本研究利用锥束  $\mu$ CT 研究 RDX 晶体压制密度及分布, 掌握炸药晶体压制进程中演化及晶体间隙变化规律, 为后续炸药压制成型及其性能研究提供支撑。

## 2 装置与方法

### 2.1 炸药材料

高品质 RDX 晶体, 中国工程物理研究院化工材料研究所, 理论密度为  $1.816 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ , 晶体粒径为  $800 \sim 1000 \mu\text{m}$ , 内部孔隙较少。

### 2.2 试验装置

锥束 CT 是基于平板探测器的三代 CT 扫描系统, 样品台可平移和旋转。X 射线管最大电压 225 kV, X 射线源是微焦斑射线源, 可使 5 mm 直径样品的结

收稿日期: 2011-11-18; 修回日期: 2012-02-28

基金项目: 中国工程物理研究院学科发展重点基金(2007A03001)和国家重点自然科学基金(No. 10832003)国防预研项目(426020502)

作者简介: 张伟斌(1972-), 男, 硕士, 副研, 主要从事超声、射线、场发射、红外及 CT 检测技术与应用研究。e-mail: weibinzhang@163.com

构分辨力达到  $5\ \mu\text{m}$ , 试验中样品台带动压制模具自动旋转并可沿放大轴移动, 试验装置示意如图 1 所示。

### 2.3 试验方法

成型模具采用聚醚醚酮 (PEEK) 材料, 密度为  $(1.665 \pm 0.002)\ \text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ , 拉伸强度 200 MPa 以上, 模具尺寸为  $\Phi 50\ \text{mm} \times 34\ \text{mm}$ , 装药部位内径为 6 mm, 壁厚为 2.5 mm。RDX 晶体置入模具, 固定模具基座, 对初始状态 (松装) 进行 CT 扫描; 然后在材料试验机上进行压制试验, 压制温度为室温, 压制压力为 5 MPa, 加载速率为  $0.1\ \text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ , 卸压后进行 CT 检测; 对样品再次进行复压, 压制压力为 20 MPa, 卸压再进行 CT 扫描; 然后按上述压制过程进行复压, 压制压力分别升到 40, 50, 150 MPa, 每次复压后都进行一次 CT 检测, 如图 2 所示。每次 CT 检测时的管电压都为 120 kV, 电流为  $150\ \mu\text{A}$ , 放大倍率为 20, 分辨体元为  $20\ \mu\text{m}$  (切片厚度为  $20\ \mu\text{m}$ )。

## 3 结果与讨论

### 3.1 CT 扫描结果

图 3 和图 4 给出了沿压制方向典型的炸药中剖面和中截面 CT 扫描结果, 结果显示 RDX 晶体从松装到压实过程中伴随晶体移动、晶体破碎、密度增加、间隙填充、裂纹产生等复杂的结构演变特征。典型特征有: (1) 松装时, 晶体颗粒大, 晶体间接触点少, 间隙也较大 (如图 3a 和图 4a); (2) 在低压力 (5 MPa) 时, 模具上部晶体接触面增大, 一些大晶体被挤碎, 晶体变小并填入晶体间隙 (如图 3b 和图 4b), 中部和下部仍有较大部分晶体保持原有形貌; (3) 随着压力增大 (20, 40 MPa), 药柱体积缩小, 晶体破碎加剧并向下

延伸, 大晶体发生穿晶破裂变成更小的晶体, 晶体主要发生压制方向位移, 大晶体和细晶体明显嵌合, 致密性逐渐提高 (如图 3c、图 3d 和图 4c、图 4d); (4) 随着压力进一步增大 (50 MPa), 晶体位移趋小, 致密性提高趋缓, 晶体间隙填充效果趋稳 (如图 3e 和图 4e); (5) 再增大压力 (150 MPa), 药柱顶部和底部产生横向裂纹 (如图 3f)。

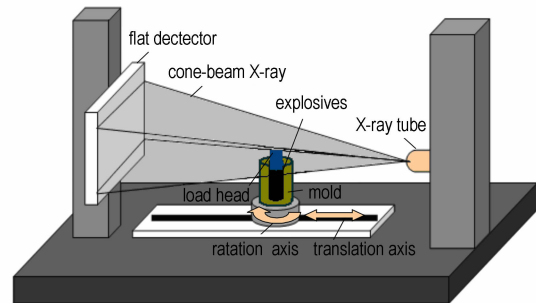


图 1 CT 试验装置示意图

Fig. 1 CT experimental set-up

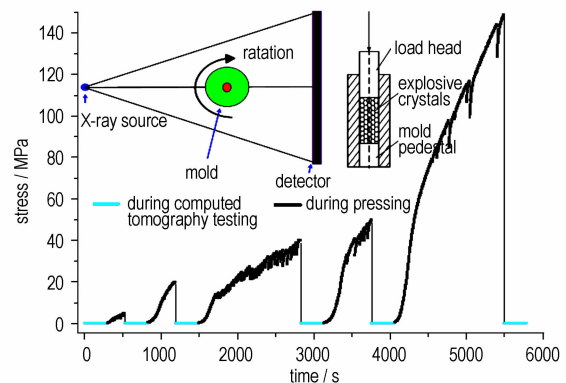


图 2 试验过程示意图

Fig. 2 Schematics of the experimental progress

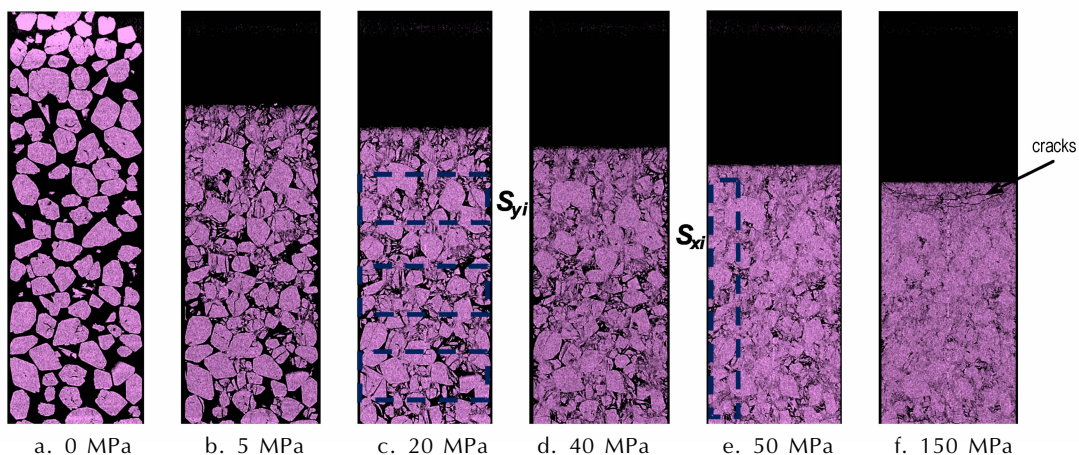


图 3 沿压制炸药压力方向的中剖面 CT 结果

Fig. 3 Vertical slices at different pressures (section parallel to pressing direction)

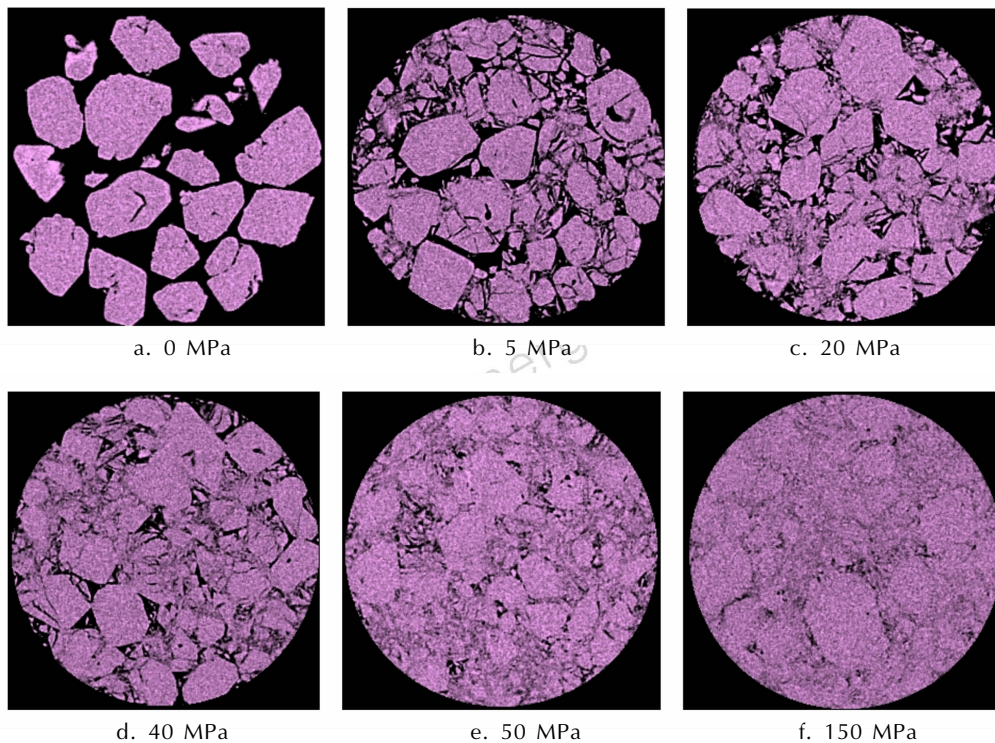


图 4 沿压制炸药径向的中截面 CT 切片结果

Fig. 4 Horizontal slices at different pressure (section perpendicular to pressing direction)

### 3.2 讨论与分析

#### 3.2.1 晶体间隙与分布

炸药压制填充(或晶体间隙率)效果决定炸药初始结构状态,进而影响成型性能,定量获取晶体间隙率对深入研究炸药压制成型技术有很重要的指导作用。本研究利用压制截面 CT 切片的炸药面积占比来定量表征炸药压制晶体间隙率,则不同压力下任一压制截面 CT 切片的晶体间隙率  $h_i$  为:

$$h_i = \frac{S_i - S_{i-RDX}}{S_i} \quad (1)$$

那么,分析区域内的晶体间隙率(或平均晶体间隙率,或总间隙率)  $H$  有:

$$H = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n h_j \quad (2)$$

式中,  $S$  为切片面积,  $S_{RDX}$  为切片中炸药晶体面积;  $i, j$  为切片位置数,切片位置数越大越靠近压制端面;  $n$  为最大切片数。

根据式(1),图 5 给出不同压制截面炸药晶体间隙率分布随压制压力的变化分布曲线。表 1 给出压制炸药的总间隙率( $H$ )以及靠近固定面、中部和压制面的各 50 个切片的体间隙率( $H_{1-50}$ 、 $H_{middle \pm 25}$ 、 $H_{upper-50}$ )。结果说明:初始状态下间隙率较大,其波动性也较大;随着压

制压力的不断增大,颗粒发生位移重排甚至破碎,破碎晶粒逐渐填充颗粒之间的间隙,其间隙率不断减小,同一压制压力下各个压制截面的间隙率虽不同,但其波动性趋小。另外,间隙率随压制高度还有一个梯度分布,越靠近压制端面越低,说明晶体破坏越严重,间隙填充越完全,分析表明压制应力靠近压制端面相对较大,越靠近固定底面的应力相对较小,主要原因可能是晶体与晶体、模具内壁之间的摩擦力平衡了部分应力。

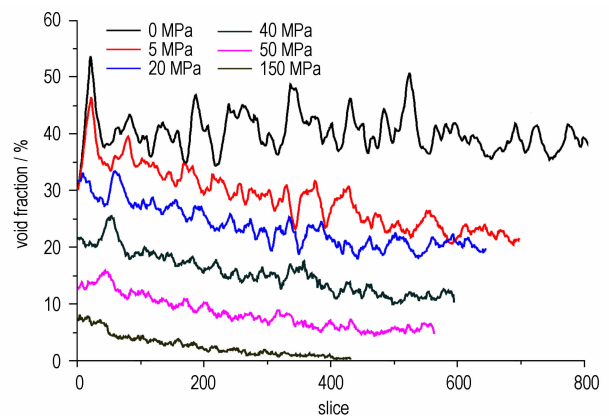


图 5 不同压制截面炸药晶体间隙率随压力变化分布曲线

Fig. 5 Void fraction distribution at the different slices along with different pressures

表 1 不同压制压力下的炸药平均孔隙率

**Table 1** Void fraction at different pressure

loading pressure /MPa	0	5	20	40	50	150
$H/\%$	0.403	0.286	0.237	0.155	0.085	0.027
$H_{1-50}/\%$	0.417	0.378	0.299	0.216	0.141	0.069
$H_{middle \pm 25}/\%$	0.400	0.283	0.225	0.150	0.076	0.021
$H_{upper-50}/\%$	0.391	0.219	0.204	0.116	0.058	0.007

3.2.2 晶体密度及分布

压制密度及其分布控制是炸药成型工艺研究的重点和难点。本研究采用 CT 灰度值相对比法研究炸药压制密度及其分布,即根据 CT 基本原理导出的物质密度与 CT 值一般存在线性关系,对此进行对比分析。我们先前的 CT 试验也表明炸药密度与 CT 灰度值的线性关系较理想(线性相关系数  $R > 0.99$ )<sup>[21-22]</sup>。因此,设初始状态下 RDX 颗粒晶体均匀,晶体密度为  $\rho_{crystals}$ ,晶体松装体积为  $V_0$ ,松装密度为  $\rho_{v0}$ ,单个晶体体积为  $V_{0j}$ ,晶体 CT 灰度均值为  $CT_0$ ,空气 CT 灰度均值为  $CT_{air-0}$ 。一定压力下的样品密度为  $\rho_i$ ,样品体积为  $V_i$ ,样品 CT 灰度均值为  $CT_i$ ,空气 CT 灰度均值为  $CT_{air-i}$ ,则有:

$$\frac{\rho_i}{\rho_{v0}} = \frac{CT_i - CT_{air-i}}{CT_0 - CT_{air-0}} \quad (3)$$

初始状态下,有:

$$\rho_{v0} V_0 = \rho_{crystals} \sum_{j=1}^n V_{0j} \quad (4)$$

式(4)代入式(3),有:

$$\rho_i = \frac{CT_i - CT_{air-i}}{CT_0 - CT_{air-0}} \times \frac{\sum_{j=1}^n V_{0j}}{V_0} \rho_{crystals} \quad (5)$$

那么,两种压制压力下的密度比为:

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{CT_1 - CT_{air-1}}{CT_2 - CT_{air-2}} \quad (6)$$

同理,一定压制压力下截面切片炸药密度相对模具的密度比为:

$$\frac{\rho_k}{\rho_{model}} = \frac{CT_k - CT_{air-k}}{CT_{model-k} - CT_{air-k}} \quad (7)$$

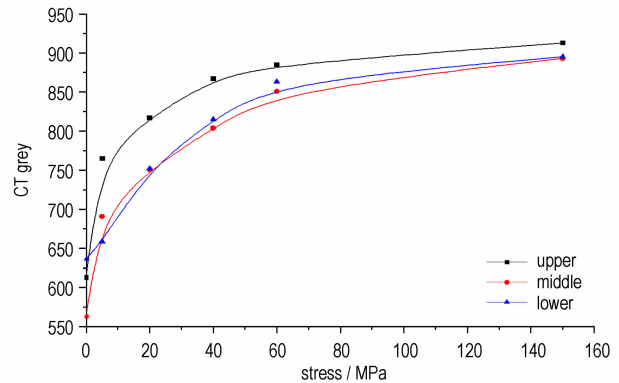
那么,分析区域截面平均密度(或体密度) $\rho_v$ 为:

$$\rho_v = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \rho_k \quad (8)$$

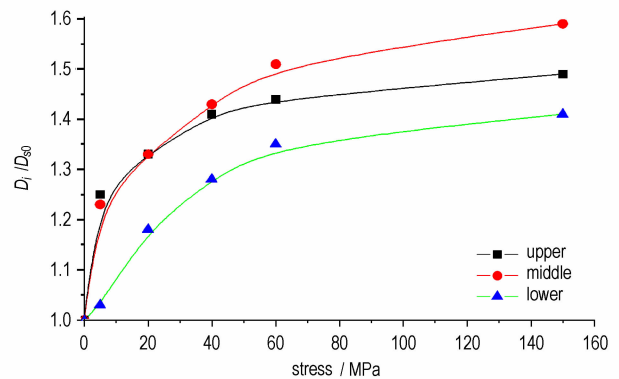
式中, $j$ 为松装炸药晶体数, $k$ 为切片数, $n$ 为最大切片数。

压制炸药上、中、下部的密度差也是炸药性能研究重点关注的问题。因此,以图 3 的中剖面为例,避开 150 MPa 压力产生的裂纹位置,始终取上、中、下三个部位进行分析,分析面积  $11.8 \text{ mm}^2$ ,三个部位( $S_{yi}$ )的

$CT_i - CT_{air-i}$ 随压制压力的变化如图 6a 所示。从图 6a 中可以看出,初始状态下,模具下部炸药晶体的 CT 灰度值最大,中间的最小。随着压力增大,三个部位的 CT 灰度值都呈非线性增大并最终趋于平缓,但其中上部的 CT 灰度值最大,中下部最终趋于一致。根据式(6),三个部位的压制密度( $D_i$ )与该部位初始状态密度( $D_{s0}$ )的比值如图 6b 所示。结果显示,在低应力压制下,三个部位密度增量明显,其中上部、中部的相对密度增量基本一致,下部的相对密度增量较小;而随着应力的提高,中部的相对密度增量明显超过上部和下部。结果表明,在松装状态下,模具下部的炸药密度偏高;在压制过程中,上部的密度最大;压制成型后,中部相对密度增量最大。



a. CT grey versus pressure



b. ratio of pressing density to initial density

图 6 中剖面典型部位 CT 值及压制密度变化

Fig. 6 CT grey and density ratio to initial state

另取剖面径向八个等分部位进行分析,分析面积  $2.75 \text{ mm}^2$ ,八个部位( $S_{xi}$ )的  $CT_i - CT_{air-i}$ 随压制压力的变化如图 7 所示。从图 7 可以看出,初始状态下,模具径向炸药晶体的 CT 灰度值最最小且波动性最大;随着压力增大,CT 灰度值逐渐增大且波动性逐渐减小。根据式(6),表明在松装状态下模具径向炸药密度分

布的波动性最大;在压制过程中,密度逐渐增大且波动性逐渐减小;150 MPa 压力压制成型后,径向密度分布趋于均匀。

根据式(7),图 8 给出不同压制压力下截面的切片炸药密度相对模具密度比值的曲线关系。压制炸药的体密度( $\rho_v$ )以及靠近固定面、中部和压制面的各 50 个切片的体密度( $\rho_{1-50}$ 、 $\rho_{middle \pm 25}$ 、 $\rho_{upper-50}$ )相对模具密度的比见表 2。结果显示,松装状态下所有截面的切片炸药密度较低,不同截面密度的波动性较大;随着压制压力增大,所有截面密度均增大,愈靠近压制端面的截面密度愈高即呈密度梯度升高,但不同截面密度的相对波动性和相对密度梯度均逐渐减小;达到 150 MPa 压力时,靠近压制端面的截面出现裂纹导致截面密度有所降低。结果表明,靠近压制端面的压制密度偏高,增大压制压力有利于密度均匀性的改善。因此,如需进一步提高密度均匀性,可在不产生裂纹的高压制压力下,采用双向压制、减小压制高度或加工提取靠近压制端面的炸药等措施。

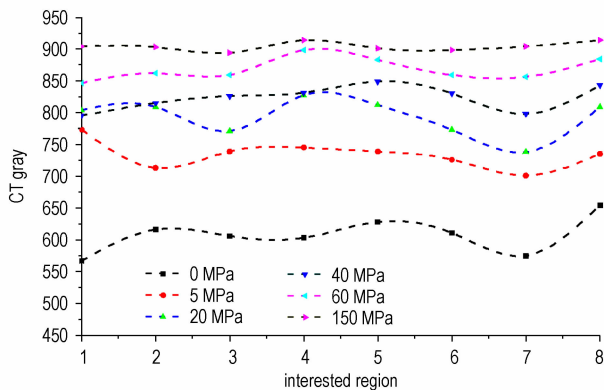


图 7 中剖面径向部位 CT 值变化

Fig. 7 CT grey of the radial parts at the middle profile

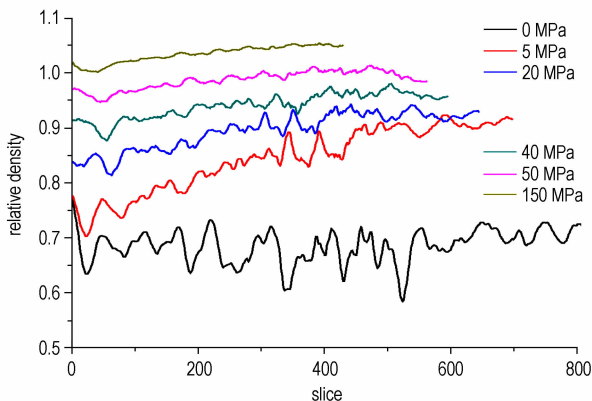


图 8 压制截面切片炸药密度相对模具密度比值曲线

Fig. 8 Relative density distribution between explosives and mold at the slices along with different pressure

表 2 不同压制压力下截面平均密度相对模具密度比

Table 2 Relative density distribution of three parts under different pressure

loading pressure /MPa	0	5	20	40	50	150
$\rho_v/\rho_{model}$	0.687	0.844	0.895	0.940	0.987	1.034
$\rho_{1-50}/\rho_{model}$	0.683	0.738	0.841	0.905	0.960	1.006
$\rho_{middle \pm 25}/\rho_{model}$	0.685	0.854	0.905	0.944	0.993	1.037
$\rho_{upper-50}/\rho_{model}$	0.709	0.912	0.923	0.956	0.989	1.051

## 4 结论

(1) 松装下炸药截面密度较低且波动性较大;随着压制压力增大,截面密度增大,愈靠近压制端面的截面密度愈高即呈密度梯度升高,密度的相对波动性和梯度均逐渐减小;达到 150 MPa 压力时,截面密度趋于均匀,但靠近压制端面的截面出现裂纹,如需进一步提高密度均匀性,可在不产生裂纹的高压制压力下,采用双向压制、减小压制高度或加工提取靠近压制端面的炸药等措施。

(2) 本文研究的是室温下纯 RDX 的压制过程,虽与炸药实际成型特征有差别,但锥束  $\mu$ CT 能高分辨地、非破坏性地过程观察、分析表征 RDX 颗粒在压制进程中的晶体间隙和密度分布,可为实际工程中炸药压制成型致密机制研究提供先进的、有效的手段。

## 参考文献:

- [1] Philip C J Donoghue, Stefan Bengtson, Xi-ping Dong. Synchrotron X-ray tomographic microscopy of fossil embryos[J]. *Nature*, 2006, 442(10): 680-683.
- [2] Richard A Ketcham. Three-dimensional grain fabric measurements using high-resolution X-ray computed tomography[J]. *Journal of Structural Geology*, 2005, 27: 1217-1228.
- [3] Richard A Ketcham, Gerardo J Iturrino. Nondestructive high-resolution visualization and measurement of anisotropic effective porosity in complex lithologies using high-resolution X-ray computed tomography[J]. *Journal of Hydrology*, 2005, 302: 92-106.
- [4] LeBret J B, Norton M G, Bahr D F. Examination of crystal defects with high-kV X-ray computed tomography[J]. *Materials Letters*, 2005, 59: 1113-1116.
- [5] William D Carlson, Cambria Denison. Mechanisms of Porphyroblast Crystallization: Results from High Resolution Computed X-ray Tomography[J]. *Science*, 1992, 257(5074): 1236-1239.
- [6] Saadatfar M, Arns C H, Knackstedt M A, et al. Mechanical and transport properties of polymeric foams derived from 3D images[J]. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, 2004, 263: 284-289.
- [7] Matthew D Montminy, Allen R Tannenbaum, Christopher W Macosko. The 3D structure of real polymer foam[J]. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2004, 280: 202-211.

- [8] Abdelmajid Elmoutaouakkil, Luc Salvo, Eric Maire, et al. 2D and 3D characterization of metal foams research using X-ray tomography [J]. *Advanced Engineering Materials*, 2002, 4(10): 803–807.
- [9] ASTM E1935-1997(Reapproved 2008), Standard test method for calibrating and measuring CT density[S].
- [10] 李俊杰, 韩焱, 王黎明. 基于 ICT 的石墨密度均匀性检测方法研究[J]. 无损检测, 2008, 30(3): 163–164, 192.  
LI Jun-jie, HAN Yan, WANG Li-ming. Study on the method of graphite density uniformity inspection based on X-ray ICT [J]. *Nondestructive Testing*, 2008, 30(3): 163–164, 192.
- [11] 单雯雯, 张林, 徐家云. 聚丙烯酸酯泡沫密度均匀性的射线检测技术[J]. 强激光与粒子束, 2007, 19(1): 71–74.  
SHAN Wen-wen, ZHANG Lin, XU Jia-yun. Detecting technology for density uniformity of trimethylolpropane trimethacrylate polymer foams [J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2007, 19(1): 71–74.
- [12] 陈慧能, 杨树彬, 杨庆玲. 多材质构件密度的工业 CT 无损检测[J]. 测试技术学报, 2010, 24(6): 547–551.  
CHEN Hui-neng, YANG Shu-bing, YANG Qing-ling. The density NDT of multiple materials structure with ICT [J]. *Journal of Test and Measurement Technology*, 2010, 24(6): 547–551.
- [13] 王珏, 黄苏红, 蔡玉芳. 工业 CT 材料密度测量方法研究[J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(2): 203–205.  
WANG Jue, HUANG Su-hong, CAI Yu-fang. Research on measuring ICT material density [J]. *Computer Engineering and Applications*, 2010, 46(2): 203–205.
- [14] 倪培君, 蔡和平, 任安峰, 等. 基于组分特性的材料密度工业 X 射线 CT 定量检测[J]. 无损检测, 2011, 33(7): 5–10.  
NI Pei-jun, CAI He-ping, REN An-feng, et al. Quantitative NDT of materials density based on the composition by industrial X-ray computed tomography [J]. *Nondestructive Testing*, 2011, 33(7): 5–10.
- [15] Perkins D E, Martz H E, Hester L O, et al. Computed tomography experiments of pantex high explosives [R]. DE92013517.
- [16] 张伟斌, 戴斌, 田勇, 等. 微米级炸药晶体缺陷的微距工业 CT 试验研究[J]. 含能材料, 2008, 16(6): 767.  
ZHANG Wei-bin, DAI Bin, TIAN Yong, et al. Experimental study on micron crystal defect of explosive based on  $\mu$ VCT [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials*, 2008, 16(6): 767.
- [17] 张伟斌, 戴斌, 田勇, 等. 微米级炸药晶体缺陷的  $\mu$ VCT 试验研究[J]. CT 理论与应用研究, 2009, 18(3): 60–65.  
ZHANG Wei-bin, DAI Bin, TIAN Yong, et al. Experiment study on micron crystal defect of explosive based on  $\mu$ VCT [J]. *Computerized Tomography Theory and Applications*, 2009, 18(3): 60–65.
- [18] 张伟斌, 黄辉, 田勇, 等. 颗粒 RDX 填充热固炸药结构特性  $\mu$ CT 表征及性能预估[J]. 含能材料, 2009, 17(4): 499–500.  
ZHANG Wei-bin, HUANG Hui, TIAN Yong, et al. Structure characterization and performance estimate for thermal solidified RDX explosive by  $\mu$ CT [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials*, 2009, 17(4): 499–500.
- [19] 宗和厚, 张伟斌, 戴斌. HMX 和 RDX 晶体微细结构特征  $\mu$ CT 表征. 含能材料, 2010, 18(5): 514–517.  
ZONG He-hou, ZHANG Wei-bin, DAI Bin. Characterization on Microscopic Structures of HMX and RDX with  $\mu$ CT [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials*, 2010, 18(5): 514–517.
- [20] ZHANG Wei-bin, HUANG Hui, TIAN Yong, et al. Characterization of RDX-based thermosetting lastic bonded explosive by cone-beam microfocus computed tomography. *Journal of Energetic Materials*, 2012, 30(3): 196–208.
- [21] 杨雪海, 张伟斌, 戴斌, 等. 微焦点 CT 在含能材料密度测试中的应用研究[J]. CT 理论与应用研究, 2009, 18(4): 61–67.  
YANG Xue-hai, ZHANG Wei-bin, DAI Bin, et al. Research on energy material density by X-ray micro computed tomography [J]. *Computerized Tomography Theory and Applications*, 2009, 18(4): 61–67.
- [22] 杨雪海, 张伟斌, 戴斌, 等. 含能材料密度的 XCT 自参照测试[J]. 无损检测, 2010, 32(6): 431–433.  
YANG Xue-hai, ZHANG Wei-bin, DAI Bin, et al. Self-comparison based X-Ray computed tomography for measuring narrow densities of energy material [J]. *Nondestructive Testing*, 2010, 32(6): 431–433.

## Density Distribution of Pressed RDX Crystals with a Cone-beam Micro-focus Computed Tomography

ZHANG Wei-bin, TIAN Yong, YANG Reng-cai, DAI Bin, YANG Xue-hai

(Institute of Chemical Materials, CAEP, Mianyang 621900, China)

**Abstract:** The pressing process for RDX crystals was investigated with a cone-beam micro-focus computed tomography ( $\mu$ CT). The voids among the pressed RDX crystals, and their section pressing density and distribution were analyzed. Results show that the density of RDX crystals becomes more compact and uniform under 150 MPa, but some visible micro-gaps still exists inside the crystals. The distribution gradient of pressing density is very obvious at along the direction of pressure. Increasing the pressing pressure will be favorable to the uniform of the density distribution, but too high pressure will induce macro cracks. As a nondestructive test method,  $\mu$ CT shows a strong capability in the research of RDX crystals density distribution during pressing process.

**Key words:** materials testing and analysis techniques; cone-beam micro-focus computed tomography ( $\mu$ CT); RDX crystals; pressing process; density distribution

**CLC number:** TJ55

**Document code:** A

**DOI:** 10.3969/j.issn.1006-9941.2012.05.010