

文章编号: 1006-9941 (2013)02-0279-02

TATB 造型颗粒内部微结构特征

张伟斌, 戴斌, 杨雪海, 田勇, 肖丽, 杨存丰, 杨仍才

(中国工程物理研究院化工材料研究所, 四川 绵阳 621900)

炸药造型颗粒通常是压制类高聚物粘结炸药 (PBX) 的基本颗粒单元, 一般通过水悬浮法造粒成型, 造粒结构与质量的一致性将直接影响压制成型 PBX 的质量与性能。TATB 是目前安全性能最好的钝感炸药, 以 TATB 为基制成的 PBX 更是得到了广泛应用, 但 TATB 造粒结构特征还未完全认识, 这主要是由于仅仅依赖于非破坏性光学方法分析暴露在表面的特征和破坏性切片方法扫描电镜 (SEM) 二维观察样品内部的特征。因此, 高精度、无损观察与评价造型颗粒结构特征可对造粒工艺水平提升具有科学指导作用, 对控制 PBX 精密性能也具有重要工程意义。本研究利用高分辨 X 射线层析成像 (High Resolution X-ray Computed Tomography, HRXCT) 技术无损观察 TATB 造型颗粒内部微结构特征。

采用中国工程物理研究院化工材料研究所 TATB 粉末晶体 ($<20 \mu\text{m}$), 配一定比例粘结剂 (F_{2314}) 经水悬浮法造粒工艺, 呈颗粒状, 颗粒直径约为 $2.4 \sim 2.7 \text{ mm}$, 造型颗粒置于样品架并固定在 HRXCT 旋转与平移平台上, 处于平板探测器与 X 射线管之间 (成像放大倍率为 32.5), HRXCT 扫描时 X 射线管发射出一锥束多色 X 射线 (管电压 100 kV, 管电流 $120 \mu\text{A}$, 分辨体元为 $12 \mu\text{m}$), TATB 造型颗粒在旋转平台上每转一微小角度就得到一幅基于 X 射线吸收的射线图像 (如图 1 示意), 最后 TATB 造型颗粒的三维结构图像就由这几百直至几千幅的射线图像重建得到。

图 2 给出了随机抽样的 5 粒 TATB 造型颗粒的三维 CT 重建图及 CT 扫描的轴向与径向切片图。从图 2 的结果可明显看出: (1) 不同颗粒内部存在不同的涡旋特征, 即单个大的涡旋, 两个较小的涡旋以及多个更

小的涡旋。这些涡旋可能与造粒工艺中粘性液体的搅拌湍流及在湍流中的位置密切相关。(2) 不同颗粒共同的结构特点是内部相对松散且有孔隙, 均匀性较差, 但靠近颗粒表面有一致密包覆层, 颗粒表面有一相对高密度的薄层。致密包覆层厚度有差异, 单个涡旋及双涡旋结构的致密包覆层厚度较厚, 多涡旋结构的致密包覆层厚度较薄。整个颗粒呈现“涡旋核-致密外壳”结构特征 (Vortex-cores & dense-crusts structure)。颗粒致密包覆层形成及厚薄可能是凝结过程湍流中的颗粒间摩擦差异所致, 高密度薄层则可能是造型颗粒凝结后的粘结剂直接包覆所致。

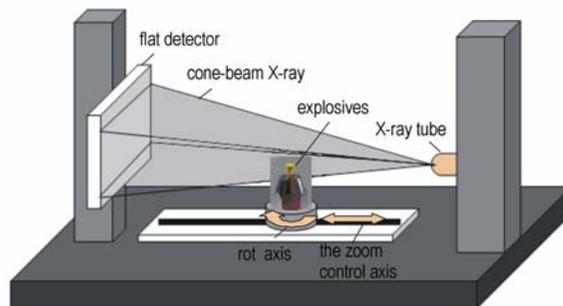


图 1 高分辨锥束 X 射线 CT 扫描示意

Fig. 1 HRXCT experimental set-up

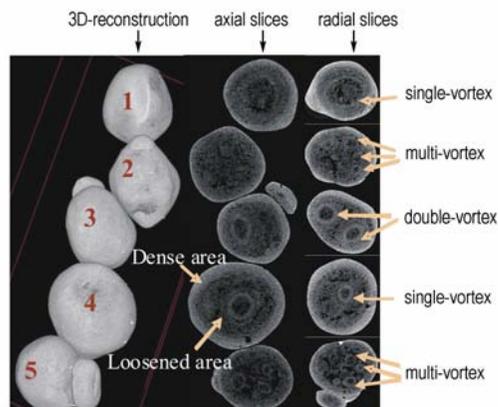


图 2 TATB 造型颗粒 CT 三维重建及 CT 切片图

Fig. 2 3D-reconstruction of TATB based granules and CT slice

收稿日期: 2012-12-06; 修回日期: 2012-01-24

基金项目: 国防预研 (426020603, 426020502) 和国家自然科学基金 (10979037) 资助

作者简介: 张伟斌 (1972 -), 男, 研究员, 主要从事无损检测与材料评价研究。e-mail: weibinzhang1@163.com

涡旋结构及整体结构描述见表1。其中,单涡旋与双涡旋的结构尺度约为0.5~0.8 mm,多涡旋的结构尺度约为0.2~0.3 mm。

表2随机给出了5个颗粒的致密层与内部较松散区的典型部位的CT值,分析面积0.03 mm²。从数据结果可以看出,分析区的致密包覆层CT值明显比内部较松散部位的CT值大。根据CT灰度相对比法^[1-4],计算得到致密包覆层与内部较松散区的总体密度比约为1.2。

表1 TATB 造型颗粒特征

Table 1 Characteristics of TATB based granules

No.	characteristics of vortex	characteristics of the overall granule
1	single-vortex	single-core & crust structure
2	multi-vortex	multi-core & crust structure
3	double-vortex	double-core & crust structure
4	single-vortex	single-core & crust structure
5	multi-vortex	multi-core & crust structure

表2 TATB 造型颗粒内部典型部位 CT 均值

Table 2 Analysis of mean CT grey of TATB based granules

position	dense area		loosened area	
	axial	radial	axial	radial
1	17757	17972	16682	16624
2	-	-	16482	16800
3	17602	17875	16440	16644
4	17861	17575	16969	16447
5	-	-	16198	16307
air			12237	

Note: 1) 1,2,3,4,5 is granule number. 2) Non-analysis for position 2 and 5 granules due to thin thickness.

本研究用 HRXCT 技术无损观察到颗粒内部的涡旋特征,这与粘性流体湍流基本特征^[5-7](小旋涡、大旋涡、耗散涡以及边界层流动分离的对称双旋涡等)非常吻合,说明可利用 HRXCT 从微结构特征非破坏性解析角度为炸药造粒工艺的湍流问题研究提供一种新方法或验证技术。

研究不仅得到了 TATB 造型颗粒微结构特征,而且呈现的内部涡旋结构形态与造粒工艺中搅拌液体的粘性湍流密切相关,实现了对炸药造粒微结构认识的新进展,为后续 TATB 造型颗粒压制成型结构研究提供了基础。

关键词: 材料科学; 高分辨 X 射线 CT; TATB 造型颗粒; 微细结构

中图分类号: TJ55

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2013.02.027

参考文献:

- [1] 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.
- [2] ZHANG Wei-bin, HUANG Hui, TIAN Yong, et al. Characterization of RDX-based thermosetting plastic bonded explosive by cone-beam micro-focus computed tomography[J]. *Journal of Energetic Materials*, 2012, 30(3): 196-208.
- [3] ZHANG Wei-bin, TIAN Yong. Characterization of pressing process of RDX crystal grain by cone-beam micro-focus computed tomography[C] // 18th WCNDT, Durban, South Africa, 2012.
- [4] 张伟斌, 田勇, 杨仍才, 等. RDX 晶体压制密度分布 μ CT 试验研究[J]. 含能材料, 2012, 20(5): 565-570.
ZHANG Wei-bin, TIAN Yong, YANG Reng-cai, et al. Study on pressing density distribution of RDX crystals with a cone-beam micro-focus computed tomography[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2012, 20(5): 565-570.
- [5] 高学平. 高等流体力学[M]. 天津: 天津大学出版社, 2005.
GAO Xue-ping. *Advanced Fluid Mechanics*[M]. Tianjin: Tianjin University Press, 2005.
- [6] 倪浩清. 工程湍流模式理论综述及展望[J]. 力学进展, 1996, 26(2): 145-165.
NI Hao-qing. Current status and development trends of turbulence modeling[J]. *Advances in mechanics*, 1996, 26(2): 145-165.
- [7] Zhang Tao, VAN Sciver Steven W. Large-scale turbulent flow around a cylinder in counterflow superfluid 4He (He(II))[J]. *Nature Physics*, 2005: 36-38.