

编者按：

高品质炸药晶体 (Reduced sensitivity explosive crystals—RS-explosive crystals) 的出现为钝感弹药的研究与应用开辟了一条重要途径,高品质炸药晶体因而也成为目前国内外含能材料研究领域的热点之一。《含能材料》编辑部于本期策划了“高品质 HMX 与 RDX”专栏,邀请了国内部分活跃在高品质炸药晶体的制备、表征等领域的中青年学者撰写了相关研究论文,并配发了专栏特邀编委聂福德研究员的述评——高品质炸药晶体研究。我们希望本专栏能为我国高品质炸药晶体的研究和应用起到积极的促进作用。

高品质炸药晶体研究

聂福德

(中国工程物理研究院化工材料研究所,四川 绵阳 621900)

随着战场环境的千变万化,对武器系统提出了越来越高的要求:不仅期望弹药具有更高的毁伤威力,高可靠性和易操作性,而且期望弹药在非预期的外界危险刺激时其反应等级能控制在一个可以接受的水平,即具备较高的生存能力和安全性,为此引出了钝感弹药(IM)的强烈需求。为了指导钝感弹药的研制、生产、评估和部署,西方军事大国制定了一些列政策、法规和标准。2003年,美国发布MIL-STD-2105C,与北约的STANG 4439和AOP协调,最终统一为北约IM评估标准,这已经成为北约IM研制、考核、推广的纲领性文件。

为达到IM规范,重点需要控制弹药装药的感度,最有效的途径是采用不敏感单质炸药(如TATB、NTO)进行配方设计,典型的例子如法国开发的B2214、B2248等,可以有效降低和控制含能材料的感度及在意外刺激下反应的猛烈程度。另一方面,人们很早就注意到,炸药的感度不仅与分子结构特性相关,还受到晶体内部物理微结构、粒度分布、晶体形貌等的影响。许多文献报道了RDX晶体尺寸、晶体表面状态与形状以及晶体内部缺陷大小和数目对浇注炸药冲击转爆轰的影响,例如,Borne和Baillou的研究表明RDX晶体内部空穴是引起爆炸的热点源,随着缺陷数量增加和尺寸增大,其冲击波感度也相应增大。因此炸药晶体的品质对PBX的冲击波感度有明显的影响,使用较完整、缺陷少的单质炸药晶体可以降低冲击波感度。

因此,通过对现有含能材料的晶体改性可有效降低其感度,如通过改善结晶质量、减少结晶缺陷、降低或消除结晶中的化学杂质和多相等来提高炸药的晶体品质,可降低含能材料的感度,提高其安定性,这已经成为当前IM研究的一条重要途径。这种基于对传统的高能炸药尤其是RDX和HMX的晶体改性,可以显著提高炸药的安全性,并可在在能量、低感度和成本之间达到极好的平衡,因此各国竞相开发相关产品。

法国火炸药公司 (SPNE) 在降感 RDX (I-RDX) 的开发中率先取得了突破,目前已建成两条 I-RDX 生产线。Sjöberg 等以 SPNE 提供的 I-RDX 取代水下炸药 FPX7 中的 RDX 获得一种极不敏感炸药 (EIDS) 配方 FOXIT, Hytti 等按照 UN Test Series 对该配方进行了 EIDS 实验,并测试了临界尺寸、爆速等。结果表明,FOXIT 符合 EIDS 材料分级标准,具有较大的临界直径和对强脉冲撞击钝感的特性。挪威 DYN0 生产了代号为 RS-RDX 的降感 RDX,有例子表明使用 RS-RDX 有利于通过殉爆 (Sympathetic Detonation) 和重破片撞击 (Heavy Fragment Impact) 试验。澳大利亚 ADI 也生产了代号为 Grade A-RDX 的降感 RDX,生产的 A 级 RDX 在配方 PBXW-115、PBXN-109 中显著降低了冲击波感度和增大了临界直径。美国在 2000 年开始这方面的研究,启动了一项评价 SPNE I-RDX 的计划。荷兰 TNO 实验室在 2002 年指出应把研究焦点集中在改进已有含能材料的晶体品质上。德国 ICT 研究所和荷兰 TNO 实验室从 1995 年合作开始研究 RDX 和 HMX 晶体缺陷,通过激光共聚焦显微镜结合扫描电镜对 HMX 晶体的包藏进行了研究。

长期以来,中国工程物理研究院化工材料研究所一直致力于提高炸药安全特性的研究工作,在 2002 年突破了高品质降感 RDX 和高品质降感 HMX 的制备技术,获得了降感 RDX (代号钝-RDX, D-RDX) 和降感 HMX (代号钝-HMX, D-HMX) 的中试放大技术;通过开展一系列的基础研究,实现了 D-RDX、D-HMX 晶体形貌、内部缺陷、颗粒密度和粒径大小的控制技术,同时基本建立了炸药晶体(颗粒)品质表征体系,这包括:

- 开发了效果极佳的折光匹配光学显微测试技术;
- 研制了先进的具有自主知识产权的测量炸药晶体颗粒表观密度的密度梯度仪;
- 在国际上率先提出了压缩刚度法用于评价晶体颗粒凝聚强度;
- 建立了测定炸药单晶体弹性常数和硬度的纳米压痕法;
- 具备了较为系统的钝感含能材料/弹药的试验与评估能力。

鉴于高品质含能材料晶体研究工作在国内蓬勃开展,《含能材料》编辑部策划了“高品质 HMX 与 RDX 专栏”,邀请了国内一些中青年学者撰写了相关论文,重点介绍了在高品质炸药晶体研究方面最近研究成果。专栏共计 9 篇论文,内容包括对炸药晶体微结构精细表征研究的 X 射线小角散射分析和 μ CT 表征、RDX 晶体特性与感度关系研究、高品质 RDX 和高品质 HMX 的制备方法及产品性能表征,高品质炸药晶体颗粒的力学响应特性等相关内容。相信本专栏文章对于推动国内在高品质炸药方面的合作交流,加快高品质炸药的研究与应用,推动钝感弹药的研发都具有重要意义。

作者简介: 聂福德(1969-),男,博士,研究员,多年从事高品质炸药晶体制备及工程放大、PBX 配方设计及微纳米含能材料与器件研究,已发表论文 40 余篇。

e-mail: zgh-nfd@sohu.com