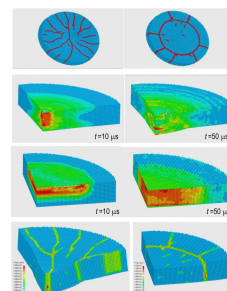


中物院流体物理研究所基于有限元-离散元结合方法进行 Steven 试验三维模拟

中物院流体物理研究所研究人员针对有限元方法描述断裂与摩擦时存在算法困难,而离散元方法难以描述炸药结构响应的问题,建立了有限元-离散元相结合的三维数值模拟方法与 Fortran 计算程序。通过有限元模拟炸药外金属壳体变形,离散元模拟炸药内部的裂纹扩展与摩擦升温,采用 Arrhenius 方程描述炸药热分解反应放热,实现了装药低速撞击非冲击点火的三维模拟。以 Steven 实验作为算例,开展了脆性炸药 PBX-2 在钝头弹与平头弹两种撞击条件下装药破坏与点火的模拟,考察了炸药非均匀性的影响,获得了装药受载应力历史、裂纹分布、温升曲线、点火时间与位置、撞击点火速度阈值等,分析了钝头弹与平头弹撞击点火的分布特性。以炸药裂纹摩擦以及自反应放热为点火机制的模拟结果与文献报道的实验结果符合较好。

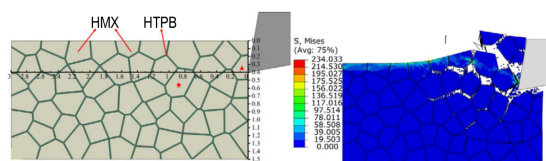
源自: HUANG Bin-bin, FU Hua, YU Yin, et al. Three-dimensional Numerical Simulation of Steven Test by the Combined Finite-Discrete Element Method. Chinese Journal of Energetic Materials, DOI: 10.11943/CJEM2020115.



中物院化工材料研究所利用有限元软件揭示了 PBX 含能材料的协同切削机理

晶体颗粒与聚合物粘结剂之间的协同变形行为决定了含能材料的可加工性。中物院化工材料研究所基于粘聚力有限元框架阐明了 HMX 基 PBX 正交切削中的的切割机制。粒子体积分数为 90% 的多边形 HMX 晶体采用线弹性模型建模,而 HTPB 粘结剂则采用与速率无关的超弹性及率相关塑性耦合模型。此外,在晶体颗粒和粘结剂中实现了粘聚力单元,以描述 PBX 在切割过程中热-机械耦合引起的材料失效行为。仿真结果显示了 PBX 的不同变形模式,以及破坏模式与加工表面形态的相关性。此外,切割深度对 PBX 的切割过程有较大的影响,包括材料破坏模式、损伤和能量耗散。为设计和合成具有高可加工性的高能材料提供了重要的指导方针。

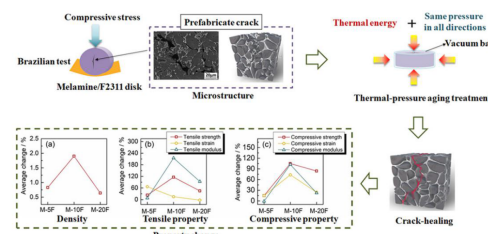
源自: Jiaohu Huang, Shijin Lu, Fengying Xie, et al. Finite element analysis of synergetic deformation in precision cutting of polymer bonded explosive. 2020, 188. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2020.108471>.



北京理工大学研究人员提出了一种三聚氰胺/F2311 的裂纹修复技术

北京理工大学研究人员从三聚氰胺/F2311 (PBX 模拟复合材料) 的微观结构和力学性能两个方面,系统研究了 F2311 含量对三聚氰胺/F2311 复合材料裂纹形貌和裂纹愈合行为的影响。采用扫描电镜和 CT 分析对微裂纹区进行定量表征。结果表明,热压处理可以消除裂纹,进一步提高密度和力学性能。M-10F 试样的密度和力学性能提高幅度最大,密度提高了 1.9%,抗拉抗压强度提高超过 100%。密度和力学性能的改善与工艺参数、初始密度和粘结剂含量有关。热压过程中提供给系统的热能和压应力可以促进粘结剂在界面处的迁移。此外,容易发生位移和旋转的小尺寸三聚氰胺颗粒可能与 F2311 一起迁移以填充裂纹。这一过程共同减少损坏和缺陷,使得裂纹部分或完全愈合,恢复材料的结构和性能。这项工作表明,热压处理对修复热塑性粘结剂复合材料损伤具有很大的潜力,扩大了未来材料设计的思路。

源自: Yuchen Guo, Qiong Lan, Chao Han, et al. Microstructural characterization of pressure-induced cracking in melamine/F2311 composites and crack-healing behavior via thermal-pressure aging treatment. 2020, 189. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2020.108538>.



中国科学技术大学研究人员进行了长管强约束条件下压装 PBX 炸药点火试验研究

为探究压装炸药 PBX-A 在较强约束条件下、在药柱一端使用点火药引燃后能否发生燃烧转爆轰,中科大研究人员在传统 DDT 管的基础上重新设计了特定位置约束增强的厚壁钢柱壳管实验装置,利用多路 PDV 诊断技术,配套高速摄影记录对点火药引燃炸药实验过程中的柱壳膨胀、断裂特性等实验现象进行了全过程连续监测。对比由爆轰驱动的同装药条件下实验现象及对应过程物理状态的区别,发现:爆轰实验和点火实验的总反应时间历程存在数量级的差别;柱壳上各个测点速度历程反映出内部炸药反应引起的压力增长历程特征,以及炸药反应的传播过程均存在明显差异。分析表明,在较强约束条件下,典型压装炸药 PBX-A 在一端使用点火药引燃后的反应行为实际是以高温、高压反应产物沿装药缝隙对流,炸药表面的层流燃烧及其伴随的结构响应行为为主要表现形态;从反应压力水平及其增长的时间历程来看,炸药基体中没有形成冲击波,因而无法实现从冲击到爆轰的转变。

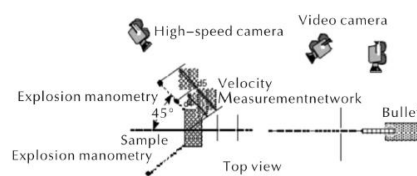
源自: Experimental study on ignition reaction evolution of pressed PBX-B in long thick wall cylinder confinement, T Qiu et al, 2020, J. Phys.: Conf. Ser. DOI: 10.1088/1742-6596/1507/3/032022.



西安近代化学研究所分析了HTPE推进剂子弹撞击和快速烤燃特性

目前,固体推进剂热安全性的研究主要以小尺寸试验的烤燃实验和热分析为主,对HTPE钝感推进剂的机械安全性能和易损特性(子弹撞击、快速烤燃等)研究较少。为此,西安近代化学所人员计算了以PET/Bu-NENA为黏合剂体系、AP和AL为固体填料的HTPE(端羟基聚醚)钝感推进剂的理论比冲、特征速度等能量性能,测定了推进剂的机械感度,结合推进剂的机械感度研究了HTPE推进剂的子弹撞击和快速烤燃特性,分析了影响HTPE推进剂子弹撞击和快速烤燃响应的因素,为该类推进剂的发动机低易损性设计和应用提供参考。同时HTPE推进剂具有较低的易损特性,子弹直径为12.7 mm的子弹撞击试验和快速烤燃试验均表现为燃烧反应,可安全用于高速动能弹、超高速导弹等武器系统中,是一类具有发展前途的高能钝感推进剂。

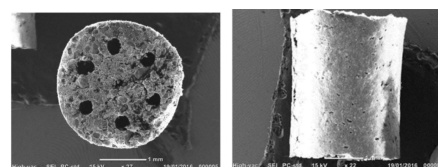
源自: X Lü, Pang W Q, Li J Q, et al. *Bullet Impact and Fast cookoff characteristics of HTPE Insensitive Solid Propellant*. *Huozhayao Xuebao/Chinese Journal of Explosives and Propellants*, 2019, 42(1): 79-83.



法国布尔日奥尔良大学研究人员研究了基于RDX的低易损性推进剂点火和燃烧特性

纯RDX用于低易损推进剂的组成,然而文献中很少有人对RDX基推进剂的燃烧特性进行实验研究。为了产生关于一种低易损性RDX基推进剂点火和燃烧特性的新实验数据。奥尔良大学工作者使用激光二极管获得点火,并在一个圆柱形的封闭式反应器中,对不同的初始压力和初始的推进剂质量进行了实验。在不同初始压力下,得到点火延迟、最大超压和传播速率以及激光功率等实验数据。同时实验结果与超压的热力学预测进行了比较。最后,用修正的Langlie方法研究了不同激光功率和大气条件下的点火概率。

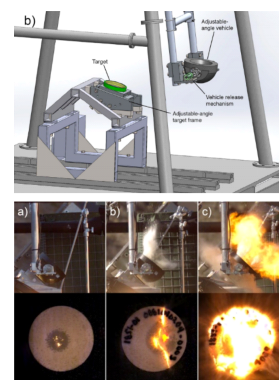
源自: Ehrhardt J, Courty L, Gillard P, Baschung B. *Experimental Study of Pyrolysis and Laser Ignition of Low-Vulnerability Propellants Based on RDX*. *Molecules* 2020, 25, 2276.



美国阿拉莫斯国家实验室利用透明目标直接观察HMX基PBX炸药摩擦点火

PBX撞击时热点的形成是其冲击起爆的关键因素。G.R.Parker等人对高能炸药斜向撞击事件(类似跌落)进行了实验研究,研究大型PBX装药对于低速冲击和摩擦的响应。该实验通过直接观察而不是过去的推断收集的数据是为了声明(并重申)松散砂砾颗粒在摩擦点火中所起的作用,并证实了一些早期的摩擦点火机制。实验中通过采用刚性臂摆将高能装药传递到冲击表面,并对其方向进行精确控制,而该项工作的创新之一是使用透明目标来观察高能炸药与撞击表面之间的接触界面,且利用定量图像分析识别不是点火结果的发光点。得出结论:点火不是由PBX与受冲击表面的摩擦相互作用引起的,而是产生于嵌入在PBX中硬的、高熔点的砂砾颗粒与具有硬的、高熔点的冲击表面的局部摩擦相互作用,砂砾颗粒被迅速加热到高温(>600℃),并成为PBX的关键热点。这一机制完全依赖于两个高熔点组分的相互作用。通常是砂砾颗粒和撞击表面-因此,防止点火的最明显的策略是确保二者中一个或两个都不存在。然最实际的缓解策略是通过使用低熔点橡胶垫、橡胶涂层等来避免高能炸药撞击在高熔点表面。如果对精密表面或模具的要求与橡胶涂层等不相容,则使用裸铝(非表面处理)来替代。它的熔点相对于HMX来说是边缘的,但它的高热扩散率导致了较低的热点。

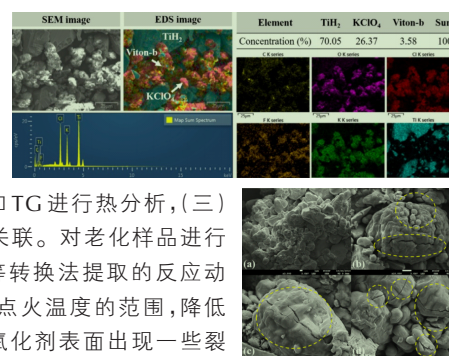
源自: Gary R Parker, Matthew D Holmes, Eric M Heatwole, Robert M Broilo, Michelle N Pederson, Peter M Dickson. *Direct observation of frictional ignition in dropped HMX-based polymer-bonded explosives*. *Combustion and Flame*, 2020, 221:313-318.



韩国首尔国立大学为老化THPP的燃烧性能提供了新的见解

THPP是最常用的烟火引发剂之一,自20世纪60年代以来,其一直被使用。老化带来的挑战是众所周知的,现如今,含能材料的老化已然成为一个关键问题。THPP在老化过程中会失效或偏离预期的性能。老化过程已知会改变其组成及其热化学动力学;然而,THPP在燃烧行为方面的性能变化尚未得到解决。Juyoung等人通过三种类型的实验,研究了其反应路径:(一)通过SEM-EDS进行形态和元素组成观测,(二)通过DSC和TG进行热分析,(三)点火和燃烧特性的测量和燃烧机制的核查,报道了THPP的点火和燃烧特性之间的新关联。对老化样品进行的热分析和形态学观察显示,老化导致燃料的不断氧化和随后的氧化剂的分解。用等转换法提取的反应动力学表明,热老化导致活化能降低,而湿热老化则相反。特别是活化能的增加限制了点火温度的范围,降低了反应活性,从而增加了点火延迟时间和燃烧时间。热老化样品的KClO₃含量增加,氧化剂表面出现一些裂纹,而湿热老化样品的TiO₂含量增加。因此,KClO₃分解和TiO₂的形成可以被认为是热老化和湿热老化下的主要反应机制。THPP点火和燃烧特性的下降会导致烟火装置的严重损坏,为确保其99%的热性能,其理想保质期为10年。

源自: Juyoung Oh, Jack J. Yoh. *Critical changes in the ignition and combustion characteristics of aged titanium-based initiators*. *Combustion and Flame*, 2020, 221.



(北京理工大学 弹药安全性数值仿真团队 吴艳青 编译)