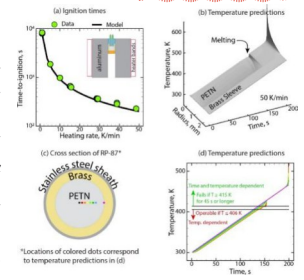


## 含能快递

## 美国桑地亚国家实验室开展了EBW的热烤损伤阈值试验

爆炸桥丝电雷管(EBW)作用原理是利用高功率脉冲电流将金属丝高速气-化而使猛炸药爆炸,一般选用气化快、耗能低的金属丝作为桥丝,所用炸药选择爆轰感度高的太安(PETN)。桑地亚国家实验室开展了RP-87型EBW热损伤实验,将雷管以输出端朝下的方式放在直径2.54 cm的空心铝筒中热烤,通过PDV测量雷管被起爆到输出端破片开始运动的时间间隔。实验表明,当加热温度低于406 K时,热烤后RP-87雷管与原始雷管性能相同;温度超过414 K并持续45 s后,雷管失效;在406~414 K,雷管能否正常作用取决于PETN在EBW起爆电压下的设计状态。获得了在这两个温度之间的雷管失效判据,失效准则是反应气体产物质量分数以及温差(PETN最高温度与406 K的温差)的函数,当RP-87雷管在失效判据超过0.05 K阈值时被判定为失效,将失效准则嵌入模型中计算,计算结果与实验结果较一致。

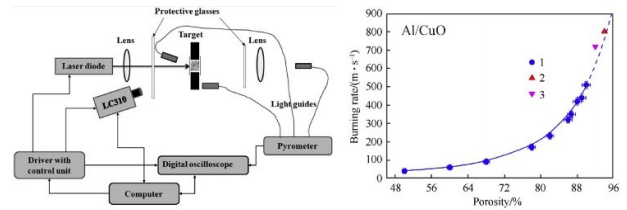
源自: Michael Hobbs, Michael Kaneshige, Stephanie Coronel. Operability thresholds for thermally damaged EBW detonators[J]. *Combustion and Flame*, 2022, 238: 111953.



## 俄罗斯科学院研究了纳米铝热剂脉冲激光点火特性

用铝和金属氧化物混合制备的铝热剂在燃烧过程中具有很高的放热效应(大于  $20 \text{ kJ} \cdot \text{cm}^{-3}$ )。俄罗斯科学院使用波长为808 nm、最大功率为4 W(最大光强为  $770 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ )的小型激光二极管对Al/CuO、Al/Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和Al/MoO<sub>3</sub>进行点火和燃烧性能研究,利用多通道高温计结合高速摄像机记录反应产物的温度响应。结果表明,对于不同密度和组分质量比的纳米铝热剂,初始混合物的孔隙率对 $W_{cr}$ (临界能量密度)有一定的影响,当孔隙率从82%增加至89%,点火延迟时间从1.0 ms延长至2.7 ms, $W_{cr}$ 从  $0.36 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2}$ 增加至  $1.60 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2}$ 。通过引入少量的碳黑,可以提高纳米铝热剂对激光辐照的敏感性,在Al/CuO中加入1%的炭黑,可以使点火延迟时间和临界启动能量几乎减半。当Al/Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的当量比为 $\Phi=1.41$ 时,点火延迟时间和临界能量同时达到最低。

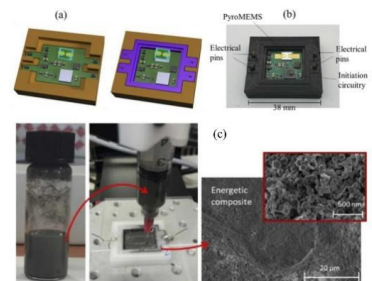
源自: Alexander Dolgoborodov, Vladimir Kirilenko, Michael Brazhnikov, et al. Ignition of nanothermites by a laser diode pulse[J]. *Defence Technology*, 2022, 18: 194-204.



## 法国国家科学中心开发了一种基于打印的高响应小型化安全自毁设备

数据安全是数据存储(个人、银行等)或军事系统等关键设备的基本要求,为实现对核心数据的“硬”保护,法国国家科学中心LAAS-CNRS开发了一种可触发的超安全设备(USD),能够在检测到入侵后的几毫秒内物理销毁含有机密数据的存储芯片。超安全设备被设计为一个附加模块,可以放置在任何电子芯片、IC电路或存储卡上,而不需要任何特定的芯片设计、衬底类型或封装解决方案。超安全设备的固态高能复合材料由Al/CuO纳米铝热剂和密集印刷在芯片上的铜氨络合物的混合物组成,通过电阻加热或电容放电在不到50 μs的时间内点燃。尽管Al/CuO铝热剂产生的气体量非常有限,但铜氨络合物的加入大大提高了加压速率和气体生成量,具有更好的破坏效果。400 mg含能复合材料可以在不到10 ms的时间内不可逆地破坏一个硅片( $\sim 120 \text{ mm}^3$ ),而反应时间和效率高度依赖于沉积到设备和存储卡中的纳米铝热剂的质量。这种超安全设备是通用的解决方案,可实现任何可调的机械动作,如释放、断开/断裂、丢弃、切换、延时和致动,可以满足多种应急安全响应需求。

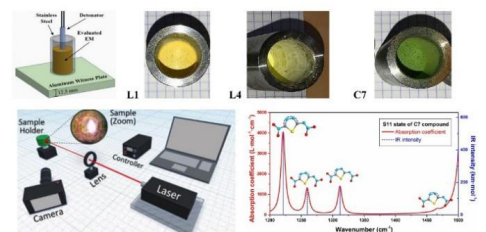
源自: Florent Sevely, Tao Wu, Felipe Sodre Ferreira de Sousa, et al. Developing a highly responsive miniaturized security device based on a printed copper ammine energetic composite [J]. *Sensors and Actuators A: Physical*, 2022, 346: 113838.



## 以色列特拉维夫大学报道了新型含硫含能材料的激光点火性能

将硫原子掺入高能分子结构中,理论上可以得到具有更高密度、更强热稳定性、更好点火性能的含能材料。目前,对含硫高能分子(SEMols)的研究较少,燃烧和爆炸性能的计算和实验数据有限。以色列特拉维夫大学开展了L1、L4、C7三种新型含硫含能材料激光点火性能研究。结果表明,在高能分子结构中加入硫原子可大幅改善其热稳定性。在冲击、摩擦和静电放电敏感性方面,L1表现出次级炸药特性,而L4和C7表现出介于初级和次级炸药之间的特性;L1和L4的起爆速度和起爆压力应分别为  $7860 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}/25.4 \text{ GPa}$ 和  $7302 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}/20.4 \text{ GPa}$ 。起爆试验表明,L1、L4和C7的威力优于TNT。无高氯酸盐配合物C7表现出低功率激光点火特性,具备11 ms的点火延迟时间和12.0 mJ的阈值点火能量。分析认为C7是光热点火机制,点火过程从连续的多光子吸收开始,通过激发分子振动引起分子温度急剧上升,随后在材料的其他部分出现雪崩式的键解离过程。

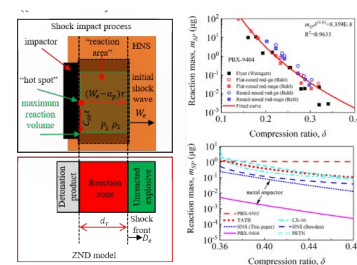
源自: Jagadish Das, Daniel Shem-Tov, Zhang Shijie, et al. Power of sulfur-Chemistry, properties, laser ignition and theoretical studies of energetic perchlorate-free 1,3,4-thiadiazole nitramines[J]. *Chemical Engineering Journal*, 2022, 443: 136246.



### 南京理工大学提出了一种基于炸药化学反应能量的新型冲击起爆判据

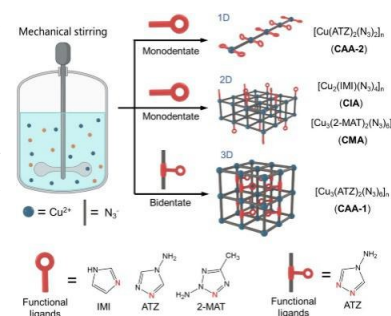
目前常用的冲击起爆判据有 Walker 判据和 James 判据,能够较好拟合大尺寸飞片冲击起爆,但难以描述小尺寸、弯曲或者其他形貌撞击体的临界起爆数据,同时受限于材料属性和界面参量的选择,难以给出统一的判据拟合参数。南京理工大学通过对比冲击过程中的波结构与炸药稳定爆轰波结构,以冲击过程中炸药反应所释放的化学能为阈值,提出了一种新型冲击起爆判据。利用该判据对获得的阈值速度和经典历史数据进行了分析,得到了较好的拟合效果, $R^2$ 值均大于 0.96。与现有的判据相比,该判据可以削弱界面材料属性的影响,实现判据参数的统一;对于相同性质的炸药,该判据能够利用单一拟合曲线来描述不同形貌和材料撞击体的阈值数据。讨论了多种炸药的冲击起爆感度,密度更大的撞击体或者对炸药进行掺杂可能有利于冲击过程中热点的产生,进而提高冲击感度。基于化学反应能量的新型判据为今后冲击起爆判据的发展提供了新的视角,有助于冲击起爆机理的研究。

源自: Mu Yunfei, Zhang Wei, Shen Ruiqi, et al. A chemical reaction insight of shock initiation criterion[J]. Applied physics letters, 2022, 121(6): 064102.



### 北京理工大学提出了通过引入功能配体构建性能可调含能铜配合物绿色起爆药的新策略

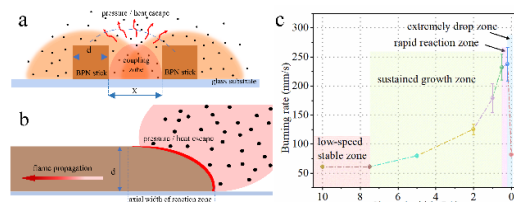
寻找含铅起爆药(叠氮化铅, LA; 斯蒂酚酸铅, LS)的替代品一直是含能材料领域的一个紧迫问题。基于唑类配体的无铅起爆药是一类极具前景的起爆药替代物,但目前尚没有一种真正可以取代 LA 的合格起爆药。北京理工大学通过引入功能性配体,为制备性能可调的含能铜配合物起爆药提供了一种新的思路。通过一种简单直接的自组装方法,合成了四种具有梯状结构的含能聚合物配合物(CAA-1、CAA-2、CIA 和 CMA)起爆药。首次用 X 射线单晶衍射证实了 CAA-2、CIA 和 CMA 的分子结构。利用 DSC、TGA、SEM 等方法对这些新型配位聚合物起爆药进行了详细的表征,并根据 BAM 标准测试它们的感度。CAA-1、CIA 和 CMA 的最小起爆药量分别为 20, 50 mg 和 15 mg。其中,CAA-1 具有可接受的热稳定性(172.2 °C)、感度和流散性,用 CAA-1 代替叠氮化铅制作了火焰雷管、针刺雷管和电雷管,进行了振动、跌落、发火等性能测试,取得了良好的效果。CAA-1 是叠氮化铅的一种很有前途的替代物。



源自: Li Hai-bo, Wang Yan-na, Wei Zheng-he, etc. Tunable copper complexes with functional ligands: A promising strategy for green primary explosives [J]. Chemical Engineering Journal, 2022, 430(1): 132739.

### 中北大学借助微笔直写技术实现了 B/KNO<sub>3</sub> 粉体集成,从化学组配-物理结构双重路径调控其化学释能

B/KNO<sub>3</sub> 复合物是一种具有高热值、高安全性的点火药剂,在火工器件、航天航空等领域得到广泛应用。中北大学借助微笔直写技术实现了 B/KNO<sub>3</sub> 药剂的粉体集成,并研究了 B/KNO<sub>3</sub> 在线性集成状态下的化学释能规律。研究表明,固含量为 93% 时, B/KNO<sub>3</sub> 点火药线在兼顾成型效果的前提下,保证了火焰的稳定传播,平均线性燃速为 57.56 mm·s<sup>-1</sup>。在此基础上,研究了含能药线的尺寸效应和药线间的能量耦合作用。借助能量耦合效应,含能结构的反应性得到极大提升,线性燃速可达 240 mm·s<sup>-1</sup>。该研究实现了含能复合物化学组配-物理结构双重路径的反应性调控,为 B/KNO<sub>3</sub> 点火药剂在微含能器件的集成化、阵列化应用提供了依据。



源自: Li Chen-yang, Song Hao-yu, Xu Chuan-hao, et al. Reactivity regulation of B/KNO<sub>3</sub>/PVDF energetic sticks prepared by direct ink writing [J]. Chemical Engineering Journal, 2022, 450: 138376.

### 陕西应用物理化学研究所利用液滴微流控技术制备了球形化 HNS 微球

为了进一步降低冲击片雷管的发火电压,满足未来直列式火工品小型化、集成化的发展需求,陕西应用物理化学研究所采用液滴微流控技术将原料 HNS-IV 聚合制备出高度球形化的 HNS 微球,获得的 HNS 微球平均粒径为 20.48 μm,变异系数(CV 值)不大于 0.2。采用多点 BET 法测定得到 HNS 微球和原料 HNS 的比表面积分别为 26.44 m<sup>2</sup>·g<sup>-1</sup> 和 13.09 m<sup>2</sup>·g<sup>-1</sup>,表明 HNS 在球形化后具备了更多的微孔结构。使用 TG、DTG 及热烤的方法探查了其热力学、动力学参数及热烤稳定性,结果表明 HNS 微球的活化能相较于原料 HNS 平均降低约 20.87%,但热烤稳定性基本不变。HNS 微球装药的 50% 发火电压为 913.7 V,较原料 HNS 降低约 90 V。研究表明,液滴微流控方法可快速高效地制备高度球形化 HNS 微球,在不改变 HNS-IV 晶体结构和热稳定性的情况下,增强了 HNS-IV 对短脉冲敏感的特性,将 HNS 的飞片起爆阈值降低到 1000 V 以下。

源自: Han Rui-shan, Lu Fei-peng, Zhang Fang, et al. Thermal and ignition properties of hexanitrostilbene (HNS) microspheres prepared by droplet microfluidics[J]. Defence Technology, 2022(online). <https://doi.org/10.1016/j.dt.2022.05.006>.

(陕西应用物理化学研究所 褚恩义 编译)

