



## Topic Insights

## 含能材料——新型合成和诊断技术

罗胜年<sup>a</sup>, Michael Gozin<sup>b</sup><sup>a</sup> School of Materials Science and Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China<sup>b</sup> School of Chemistry, Faculty of Exact Sciences, Tel Aviv University, Tel Aviv 69978, Israel

*Engineering* 含能材料及交叉科学专题包括来自中国、德国和美国的7篇文章。专题的主题覆盖含能材料合成和表征、含能性质和燃烧性能、超高压行为和实验诊断技术。鉴于合成在含能材料领域的持续重要性，含能材料及交叉科学专题的大部分文章涉及新型含能材料的化学、物理和超高压合成。含能材料在制备、加工或外刺激如冲击压缩下的热力、物理和化学过程本质上是多尺度的。了解含能材料结构-加载-性能关系要求时空分辨诊断技术，但诊断方法研究远远落后于合成。因此，一篇综述文章致力于研究新型诊断技术。

毛河光等从高压角度展望了单键聚合氮和原子金属氢，而这两种物质通常被认为是终极含能材料。这两种含能材料的高压合成通常需要数百吉帕超高压，这限制了它们的直接应用。但是，研究这些材料的稳定性、亚稳定性和基础性质可以为通过其他合成路径寻找极端含能材料提供有价值的信息。

无碳氢的五唑阴离子分解为氮气时释放大量的能量。林秋汉等展示了他们关于环五唑阴离子的观点。无水金属五唑盐是一种潜在的绿色、无毒的高能起爆药。联氨五唑盐和羟胺五唑盐含氮量达到95%，是具有最佳性能和应用潜力的非金属五唑盐。五唑盐和官能团修饰五唑盐化合物的高效合成是五唑类化学的一个主要方向。Wozniak和Piercey重点关注环五唑阴离子含能材料及其实验合成，内容包括历史意义、前驱体、合成路径、

稳定影响因子、含环五唑化合物的含能性能，并展望了未来实验研究的方向。这两篇展望和综述文章对于发展环五唑阴离子作为下一代环境友好炸药是相当有用的。

发展先进高能材料是含能材料领域最重要的关注点，并且其发展可在不同的尺度上实现。冯永安等报道了一种有前途的熔环独特二维层状晶体结构含能材料——4-硝基-7-叠氮基-吡唑-[3,4-*d*]-1,2,3-三嗪-2-氧化物 (NAPTO)。该材料具有高能量、低感度和高热解温度。二维层状结构通过层间滑移减缓外界刺激，从而降低感度。尚宇等以 $\text{NH}_3\text{OH}^+/\text{NH}_2\text{NH}_3^+$ 作为B位阳离子，通过简单放大合成路径合成两种不含金属的六角钙钛矿化合物 $(\text{H}_2\text{dabco})\text{B}(\text{ClO}_4)_3$  ( $\text{H}_2\text{dabco}^{2+}$ 是1,4-二氮杂双环[2.2.2]辛烷-1,4-二鎓离子)。这些材料有高晶体密度、正形成焓、高爆轰性能和优良的热稳定性。

陈书文等报道了利用喷雾造粒法制备新含能亚稳态混合纳米复合物。这些亚稳态混合纳米复合物使用铝 (Al) 纳米颗粒作为燃料、高氯酸铵 (AP) 和聚偏二氟乙烯 (PVDF) 作为氧化剂。掺入石墨烯氧化物 (GO) 提高了Al@AP/PVDF的固相反应速率，同时改善了热稳定性。Al@AP/PVDF-GO良好的界面接触和颗粒分布增强了热传导速率，减少了纳米铝颗粒团聚，同时加快燃烧反应速率。该工作演示了一种改善铝基亚稳态混合纳米复合物的能量释放速率和燃烧效率的新策略。

最后，张抑扬等适时回顾了一些新兴或较少应用到

含能材料的新型跨多时空尺度诊断方法，包括X射线成像/衍射/散射、相干X射线衍射成像、太赫兹和光吸收/发射光谱和激光速率/位移干涉技术。针对的科学和工程问题包括缺陷、强度、变形、热点、相变、反应和冲

击或热感度。他们介绍了探测和数据分析的基本原理并辅以示例说明。这些诊断技术特别适用于原位表征含能材料性能，揭示化学-物理-力学机理，构建结构-加载-性能关系，指导含能材料合成和加工。