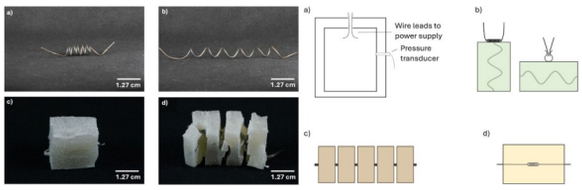
含能快递

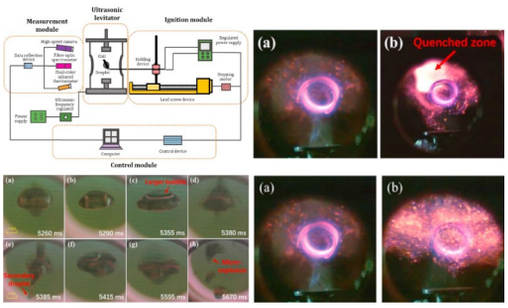
美国普渡大学报道利用形状记忆合金和电阻丝实现AP/HTPB固体推进剂性能调控



高氯酸铵/端羟基聚丁二烯(AP/HTPB)复合推进剂是航天系统中应用最广泛的固体推进剂之一,但其燃烧速率不可调控是制约其进一步发展的关键问题。美国普渡大学研究团队分别将形状记忆合金(SMA)和镍铬合金丝嵌入AP/HTPB推进剂,以实现对推进剂增压速率(dP/dt)的调控。研究表明,SMA在固体推进剂内部膨胀时,能够增加燃烧表面积,使推进剂dP/dt提高超过180%。根据需要驱动SMA,改变推进剂内几何形状,可正比提高推进剂增压速率,从而产生"节流效应"。嵌入镍铬合金丝,通过改变推进剂热通量(24.4~153.6 kW·m^{-2})实现推进剂预热,也可提高其增压速率(69 MPa·s^{-1}→110 MPa·s^{-1}),但点火时间延长。这种控制燃烧特性的研究可为未来智能含能材料和可节流推进剂的开发提供参考。

源自: *Messer D K, Nunes C T, Örnek M, et al. Throttleable solid propellants through embedded shape memory alloy and resistance wires [J]. Propellants, Explosives, Pyrotechnics, 2025, 50: e202400251. https://doi.org/10.1002/prep.202400251.*

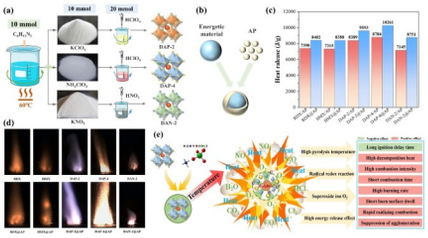
东南大学报道超声悬浮态下纳米铝基浆料单液滴的点火燃烧特性



纳米铝(nAl)/含氧化合物浆料是一种极具前景的空天推进动力燃料,东南大学团队利用超声悬浮技术,对具有不同含氧化合物燃料(碳酸二甲酯(DMC)和三醋酸甘油酯(TA))以及不同固体含量(1 wt.%、5 wt.%、10 wt.%、15 wt.%和20 wt.%)的单个纳米铝基浆料液滴的点火与燃烧过程开展研究,发现其可分为稳定吸热、振荡与微爆及气溶胶燃烧三个连续阶段,液滴内部气泡的膨胀、变形和破裂是导致微爆现象的主要原因。相较于DMC,Al/TA样品表现出更长的点火延迟(5690 ms)和更高的温度积分(5895.5 ℃·s)。随着样品中固体含量增加(1 wt.%→20 wt.%),点火延迟和最高温度均呈先升高后降低趋势,在15 wt.%时达到峰值(5982.3 ms和1128 ℃)。该研究为nAl/含氧化合物浆料的应用提供了有价值的见解。

源自: *Liang D L, Xue T H, Li L X, et al. Ignition and combustion properties of ultrasonically levitated single nano-Aluminum-based slurry droplets with various liquid oxygenated fuels and solid contents[J]. Combustion and Flame, 2025, 278: 114275. https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2025.114275.*

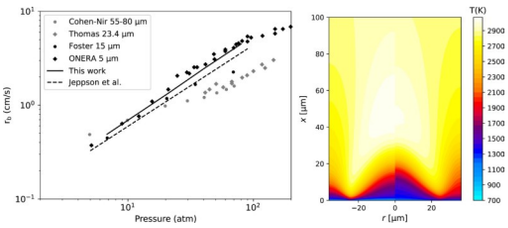
浙江大学报道核壳分子钙钛矿基含能氧化剂实现固体推进剂性能优化



浙江大学研究团队通过制备三种H_2dabco基分子钙钛矿含能材料(DAP-2、DAP-4和DAN-2),首次与氧化剂AP采用原位组装技术构建核壳结构,成功研制出新型高能氧化体系。该核壳分子钙钛矿基含能氧化剂有效弥补了含能材料的负氧平衡问题,具有高热稳定性、高能量密度、高热释放特性。研究表明,将其引入含铝固体推进剂后,可显著优化推进剂燃烧性能,有效促进比冲提升和能量释放增强。同时,分子钙钛矿基推进剂具有更轻薄的熔融骨架层,其分解释放的超氧离子能高效抑制铝颗粒团聚,从而显著提高燃烧效率。研究结果表明核壳分子钙钛矿基含能氧化剂在推进剂领域具有重要应用前景,可进一步提升推进剂性能以满足现代武器装备的发展需求。

源自: *Gao H H, Liu J Z, Sun Z H, et al. Mechanistic analysis and performance comparison of core-shell assembled molecular perovskite energetic materials in HTPB propellant[J].Journal of Alloys and Compounds, 2025, 1022: 180040.https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2025.180040.*

法国巴黎萨克雷大学提出AP/HTPB复合推进剂的改进燃烧模型

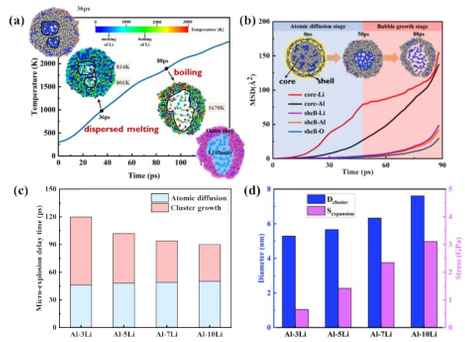


高氯酸铵(AP)和端羟基聚丁二烯(HTPB)复合推进剂已广泛应用于航天和军事领域,但其详细的燃烧模型尚未完善。法国巴黎萨克雷大学基于前人研究,提出一种针对AP/HTPB复合推进剂的修正燃烧模型,其包含一个详细的气相动力学机理。为使用提出的气相机理进行耦合火焰/固体模拟,还制定了一个关于燃烧表面均质AP/HTPB分解的模型。该燃烧模型适用于描述测试范围内(AP质量分数为60%~80%)任意AP含量的均质AP/HTPB推进剂的燃烧。随后,利用该模型研究了被一层均质AP/HTPB粘合剂包围的AP颗粒的二维非均质燃烧,并对推进剂表面火焰结构和燃烧速率进行评估,揭示AP颗粒尺寸和环境压力对燃烧状态的影响。此外,使用该模型对火焰中化学物质的生成进行研究,发现其与传统模型在最终产物和氮氧化物(NO_x)形成上存在显著差异,表明C_4H_6异构化和NO生成是AP/HTPB火焰中的重要化学步骤。

源自: *Bernigaud P, Davidenko D, Catoire L. AP/HTPB heterogeneous combustion with revised kinetics[J]. Proceedings of the Combustion Institute, 2024, 40: 105469. https://doi.org/10.1016/j.proci.2024.105469.*

北京理工大学揭示铝锂合金颗粒原子尺度微爆机制

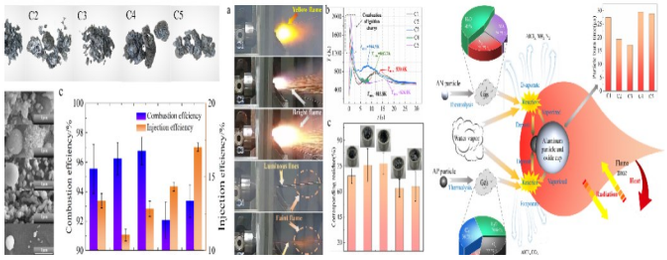
铝锂合金颗粒是一种新型的高能燃料，其燃烧过程中典型的微爆现象可有效提高燃烧效率。北京理工大学研究团队采用反应分子动力学计算方法成功从原子尺度揭示了铝锂合金颗粒的微爆机制。研究表明在颗粒受热过程中，颗粒内部金属锂团簇的聚集、熔化、沸腾和生长是颗粒微爆的先决条件。颗粒外壳和内部锂团簇的应力竞争决定了微爆现象的发生。该研究揭示了铝锂合金颗粒的微爆机制，为铝锂合金在推进剂中的高效应用提供了有效参考。



源自：*Zhou Y Z, Mao Q, NG S I, et al. Fundamental investigation on the micro-explosion of aluminum-lithium alloy particle[J]. Combustion and Flame, 2025, 274: 113983.https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2025.113983.*

西北工业大学与国家纳米科学中心联合提出铝水推进剂燃烧与喷射性能提升方法

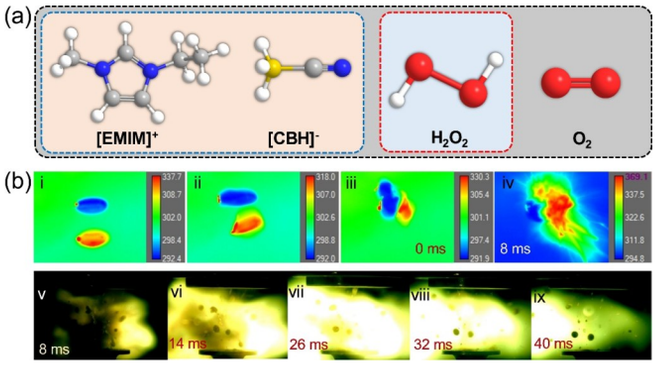
提高燃烧和喷射效率是铝水推进剂领域的核心挑战。西北工业大学与国家纳米科学中心采用将氧化剂引入铝水推进剂配方中的方式，系统地研究了不同含量的高氯酸铵(AP)和硝酸铵(AN)对铝水推进剂燃烧和喷射性能的影响。通过热重分析、激光点火测试和固体火箭发动机点火实验，证实了AP热分解产生会大量的氧化气体，将铝水推进剂的燃烧效率提高了约2%；AN的分解增大了气流速度，可使铝水推进剂的喷射效率提高约47%。这一发现为铝水推进剂的性能优化提供了新的思路。



源自：*Yue S, Wen Z, Wu Q, et al. Effect of AP and AN on the combustion and injection performance of Al-H_2O gelled propellant[J]. Combustion and Flame, 2024, 270: 113801.https://10.1016/j.combustflame.2024.113801.*

美国夏威夷大学报道1-乙基-3-甲基咪唑氰基硼氢化物和过氧化氢绿色双组元推进剂在有氧环境中的自点火燃烧性能

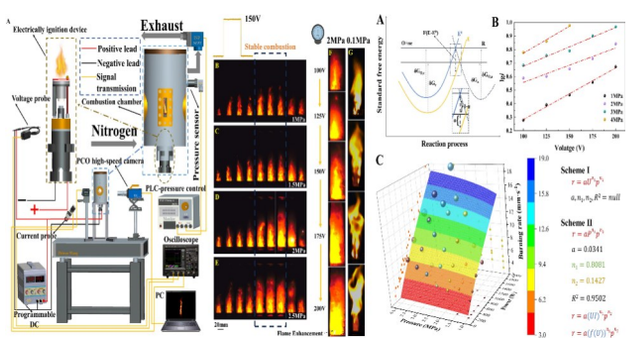
自燃离子液体(HILs)是一类关键的活性离子液体，其作为有毒肼类燃料的绿色替代品而备受关注。美国夏威夷大学利用超声悬浮装置，研究了1-乙基-3-甲基咪唑氰基硼氢化物([EMIM][CBH])和H_2O_2双组元推进剂在大气环境中的点火化学特性。在氧气存在的情况下，推进剂点火性能显著提升，点火延迟时间缩短至8±4 ms，点火持续时间增加，燃烧产物中CO_2含量增加，有毒和污染性气体(如CO、HCN、CH_4等)的生成受到抑制。进一步研究表明，氧气的促进作用，主要涉及其与关键中间体(亚氨基甲基)硼酸[$(HO)_2BCH{=}NH$]之间的反应，最终生成具有催化作用的过氧羟基(·HO_2)和羟基(·OH)，从而促进点火反应进行。该研究从理论上证明，精确配比的HIL-氧化剂双组元推进剂可作为通用燃料在太空和地球大气环境中使用，从而简化多级推进系统。



源自：*Biswas S, McAnally M, Chambreau S D, et al. Atmospheric ignition chemistry of green hypergolic bipropellant 1-Ethyl-3-Methylimidazolium cyanoborohydride-hydrogen peroxide in an acoustic levitator: Exploring a potent universal propellant[J]. Chemistry-A European Journal, 2025, 31: e202500593. https://doi.org/10.1002/chem.202500593.*

南京理工大学建立电控固体推进剂双指数燃速经验模型

用于智能固体推进系统的新型电控固体推进剂，因具备按需启停与可编程推力输出能力，成为当前的研究热点。然而，外部物理能场、压强以及电化学之间的耦合效应使燃烧反应变得更加复杂。南京理工大学团队利用自设计的高压电控燃烧综合诊断系统，基于电极界面异相反应动力学，建立了电压主导式电控双指数燃速经验模型($r = a(f(U))^{n_1}p^{n_2}(0 < n_1 = 0.8081, n_2 = 0.1427 < 1)$)。模型表明通过主动电压控制可精确调节燃速，且不会影响固体火箭发动机的运行稳定性。



源自：*Wang Z W, LI F, Li L, et al. Interdisciplinary combustion issues in electrically controlled solid propellant[J]. Combustion and Flame, 2025, 276: 114145.https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2025.114145.*

（东南大学　梁导伦　编译）