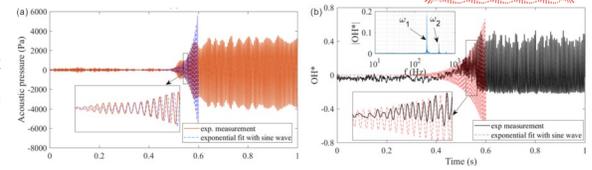


### 坎特伯雷大学研究了横向和纵向自激热声振荡的模式增长行为

在火箭发动机、燃气轮机、冲压发动机和航空发动机中经常会产生自激振荡,引起燃烧不稳定问题,导致巨大危害。坎特伯雷大学将热声动力学耦合研究作为一种替代方法来预测和表征存在横向和纵向燃烧不稳定性的模态生长行为。结果表明,任何声扰动的振幅都随时间呈指数增长,直到增长速度受到某种耗散过程的限制。同时还研究了相互作用指数,时间延迟,比热比和声阻抗对自激振荡产生的影响。将非定常放热模型与压力波动耦合,可以预测声扰动的模态增长率,从而为深入了解燃烧室的稳定性行为提供了一种新方法。

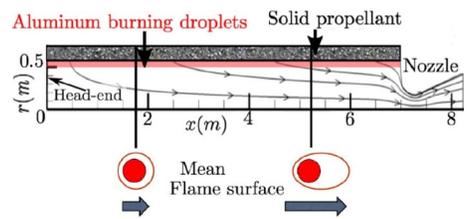
源自: ZHAO Dan, GUAN Yi-heng. Characterizing modal exponential growth behaviors of self-excited transverse and longitudinal thermoacoustic instabilities. *Physics of Fluids*, 2022, 34(2): 024109.



### 巴黎萨克雷大学使用无量纲数对分布式燃烧的增益作用进行表征

固体火箭发动机中的凝相颗粒通常被认为是抑制燃烧不稳定的阻尼项,然而铝的分布式燃烧在一定程度上却会导致燃烧不稳定。巴黎萨克雷大学构建了分布式燃烧作为热声源的重要理论。这些新的理论发展是基于热声源的线性模型,且该模型已经通过数值模拟进行了验证。结果表明热声源依赖于4个无量纲数(Sherwood数, Stokes数, 燃烧 Strouhal数, 流动 Strouhal数)。并且分布式燃烧对于不稳定的驱动作用来自两个方面:蒸发液滴周围的火焰动力学和液滴燃烧末端动力学,而发动机内的流场特性可能加速导致这种热声不稳定性。该研究为深入了解铝对于热声不稳定现象的综合作用打下了理论基础。

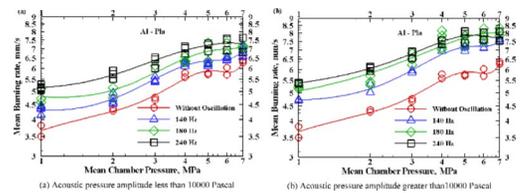
源自: GENOT A. Aluminum combustion instabilities: Dimensionless numbers controlling the instability in solid rocket motors, *Combustion and Flame*, 2021, 232, 111563.



### 印度马德拉斯理工学院研究了声振荡对于推进剂燃速的影响

印度马德拉斯理工学院通过实验研究了声压振荡对压力指数(n)较低的含铝推进剂和不含铝推进剂平均燃速的影响。在0~17 Mpa压力范围内,利用高压实验装置,用高速相机拍摄并测定了稳态和非稳态平均燃烧速率。通过旋转阀在燃烧室内产生不同频率的压强振荡。结果表明,含铝和不含铝的推进剂燃速都有明显提高,不含铝推进剂和含铝推进剂的最大燃速增大系数分别为1.27和1.47,且不含铝推进剂的火焰产生了极不稳定的振荡。

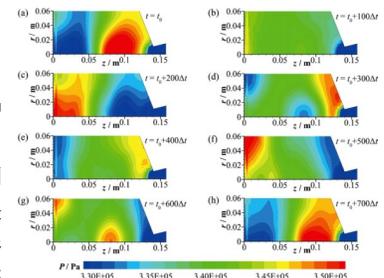
源自: KATHIRAVAN B, SENTHILAKUMAR C, RAJAK R, JAYARAMAN K. Acoustic pressure oscillation effects on mean burning rates of plateau propellants, *Combustion and Flame*, 2021, 226: 69-86.



### 清华大学基于压强耦合响应研究了端燃发动机的燃烧稳定性

长期以来,燃烧不稳定性一直是固体火箭发动机面临的严重问题之一。清华大学提出了一种基于压力耦合响应函数的燃速模型,用于描述 AP-HTPB 复合推进剂颗粒在固体火箭发动机中的燃烧行为。利用气相控制方程的源项,成功地将该模型应用于轴对称内弹道仿真,利用自制的高阶数值求解器实现了推进剂燃烧与声压关系的预测。纵向模式下的热声燃烧不稳定性是由施加在稳定流上的燃烧速率脉冲触发的。此外还讨论了几种因素对不稳定症状产生的影响。结果表明,压力耦合响应函数、压力指数、推进剂的反应热和燃烧气体的比热比对压力振荡生长过程有明显的促进作用,而燃烧速率脉冲的大小和施加区域对压力振荡生长过程的影响较小。

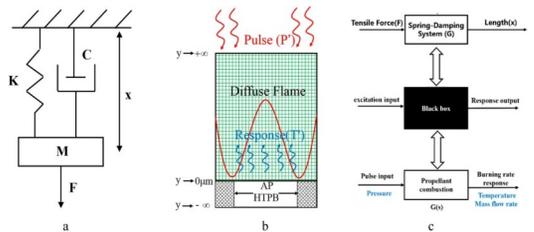
源自: JI Shi-xiang, WANG Bing, ZHAO Dan. Numerical analysis on combustion instabilities in end-burning-grain solid rocket motors utilizing pressure-coupled response functions, *Aerospace Science and Technology*, 2020, 98, 105701.



### 西北工业大学提出模拟固体推进剂燃烧响应的等效线性系统方法

在固体火箭发动机燃烧不稳定性研究中,固体推进剂燃烧响应的建模和分析是一项艰巨的任务。西北工业大学建立了一种基于传递函数的推进剂燃烧响应预测方法,对固体推进剂的燃烧响应进行建模。首先通过 CFD 计算固体推进剂在某个脉冲压力激励下的瞬态燃烧过程;然后,将燃烧过程作为黑盒处理,从 CFD 结果中得到燃烧过程的传递函数;最后,基于传递函数对燃烧响应进行预测和分析。结果表明利用该方法计算的推进剂燃面温度响应以及燃速响应与 CFD 计算结果误差小于 3%,在保证计算精度的同时大大提升了计算速度。此外,还提出了一种采用双传递函数的新方法进一步确保计算精度。该方法在模拟和预测燃烧不稳定性方面显示出了巨大的优势和潜力。

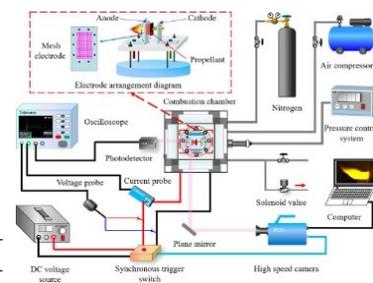
源自: LV Xiang, ZHANG Meng, AO Wen, et al. AP/HTPB combustion response simulation with a new equivalent linear system method, *Combustion and Flame*, 2023, 247, 112486.



### 南京理工大学研究了固体推进剂在电能刺激下的可控点火、燃烧和熄灭特性

南京理工大学研究了HAN基固体推进剂在不同电压、初始温度和压力下的着火、燃烧和熄灭特性。结果表明,电压、初始温度和压力的增加提高了燃烧速率、质量损失和灭火延迟时间,同时降低了点火延迟时间、点火所需能量和电解质量比。在实验结果的基础上,分析了推进剂从着火到熄灭的过程,提出了电化学分解过程中 $\text{NH}_3\text{OH}^+$ 中N—OH单键的断裂是影响ECSP着火的关键步骤。电解反应而非热解反应对ECSP实现可控燃烧起着重要作用。

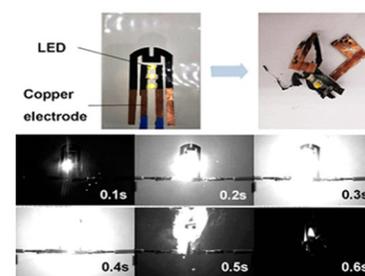
源自:BAO Li-rong, WANG Hui, WANG Zhi-wen, et al. Controllable ignition, combustion and extinguishment characteristics of HAN-based solid propellant stimulated by electric energy[J]. *Combustion and Flame*, 2022, 236, 111804.



### 四川大学和西北工业大学研究人员制备了一种具有高能量释放和高柔韧性的导电薄膜

随着电子技术的发展,随之而来的信息安全问题也开始引起人们的关注。基于含能材料的瞬态电子技术,可以从硬件层面对敏感电子器件进行永久性破坏,可以有效解决随之而来的信息安全问题。四川大学研究人员将负载单壁碳纳米管(SWNTs)的高能离子液体和氧化铜功能化多壁碳纳米管(MWNTs)组装在一起,制备了一种柔性导电高能薄膜。所获得的柔性导电高能薄膜具有良好的导电性、高能量释放和高柔韧性。实验证实,柔性导电高能薄膜可以满足低电压工作和高电压自毁的要求,能够替代传统电子器件中的电路。所制备的瞬态芯片可以在10 ms内响应,并在0.7 s内完全自毁。

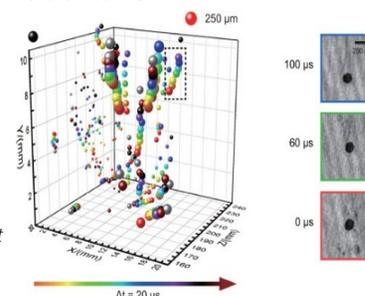
源自:WANG Yu-tao, MA Zhong-liang, LIU Pei-jin, HE Wei. Flexible conductive energetic film based on energetic ionic liquids and carbon nanotubes for information security transient electronics [J]. *Chemical Engineering Journal*, 2023, 473, 144981.



### 浙江大学研究人员研发了推进剂燃烧金属液滴多参数三维测量的高速离轴全息成像测试技术

为了深入揭示固体推进剂中燃烧金属液滴三维运动演化规律,浙江大学研究团队研发了25 kHz高速离轴全息三维成像系统,与西北工业大学、湖北航天化学技术研究所合作,成功应用在了多型配方推进剂测试中,实现了高温条件下多相多尺度金属液滴、燃烧包络火焰、凝相产物羽流的形貌、粒径、三维位置与三维运动多参数动态可视化测量,显著提升了在剧烈燃烧湍流与不均匀弥散介质条件下燃料微颗粒的成像测试能力,为固体推进剂精细化测量提供了一种新的手段。

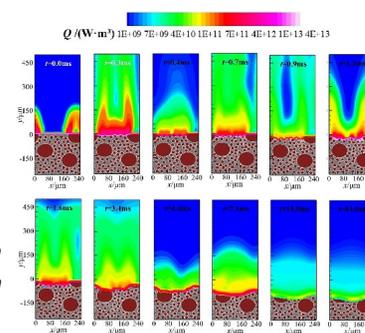
源自:Wu Ying-chun, Lin Zhi-ming, Zhuo Zhu, et al. Particle burning behaviors of Al/AP propellant with high-speed digital off-axis holography, *Proceedings of the Combustion Institute*, 2021, 38(3), 4401-4408.



### 南京理工大学研究了固体推进剂在发动机燃烧室中的非正常传热传质机理

南京理工大学采用基于序列算法的程序生成了AP/HTPB推进剂的微观结构,并通过指数降压环境来模拟固体火箭发动机(SRM)的实际工作状态,研究了推进剂在SRM燃烧室中的动力学不稳定性及非正常传热传质机理。研究发现,快速降压和表面形貌的变化是引起燃烧波动的主要原因。此外,还计算了不同推进剂的淬灭时间。研究表明推进剂内不同的AP粒子位置分布也会引起淬灭时间的变化。

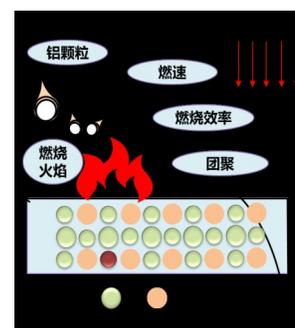
源自:CHEN Kai-xuan, YE Zhen-wei, YU Yi-zhe, et al. Unsteady heat and mass transfer mechanism in AP/HTPB propellant combustion under rapid depressurization, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 2023, 146, 106949.



### 西北工业大学研究了直流电场控制固体复合推进剂的燃烧和团聚特性

西北工业大学使用直流电场来控制固体复合推进剂的燃烧和团聚特性,在正向和反向电场电压范围(-5~5 kV)下,系统考察了推进剂燃烧速率、铝团聚过程、CCPs粒度分布和燃烧效率。研究发现,随着电场电压的升高,推进剂的燃烧速度和燃烧效率均有所提高,而铝的团聚程度有所降低,导致CCPs颗粒尺寸减小。提出了电场改变推进剂燃烧的物理机制,电场的引入可以通过粒子电荷加速、瑞利破碎和离子激发等方式产生深远的影响。通过施加电场,可以在不改变推进剂配方的情况下通过电场调节固体复合推进剂的燃烧和团聚特性。

源自:AO Wen, WEN Zhan, LIU Lu, et al. Controlling the combustion and agglomeration characteristics of a solid composite propellant via a DC electric field. *Aerospace Science and Technology*, 2022, 128, 107766.



(西北工业大学 刘佩进 编译)