



中国复合材料工业协会

智能材料及其航空航天应用

汇报人：张家应



中国复合材料工业协会

目录

01 / 智能材料的特征

02 / 智能材料的构成

03 / 智能材料的应用

智能材料的特征

◆ 天然材料

兽皮、甲骨、羽毛、树木、草叶、石块、泥土

◆ 烧炼材料(烧结、冶炼材料)

砖瓦、陶瓷、玻璃、水泥、铜、铁

◆ 合成材料

合成塑料、合成纤维、合成橡胶

◆ 可设计材料

金属陶瓷、铝塑料薄膜

◆ 智能材料

形状记忆合金、光纤传感器



智能材料的特征

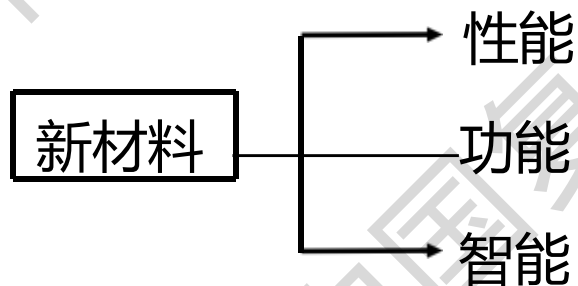
◆ 材料发展的总趋势:

高性能化、多功能化、复合化、精细化、智能化

✓ 材料对外部作用的抵抗特性

✓ 从外部输入一种信号,材料内部发生变化产生另一种信号的特性

✓ 一切生命体皆具备的对外界刺激的反应能力



智能材料来源于功能材料

功能材料是智能材料的基础





● 智能材料的构成

◆ 压电材料

压电晶体、压电聚合物、压电陶瓷

◆ 铁磁材料

软磁材料、硬磁材料、矩磁材料、旋磁材料、
压磁材料

◆ 形状记忆材料

形状记忆合金、形状记忆高分子

◆ 智能复合材料

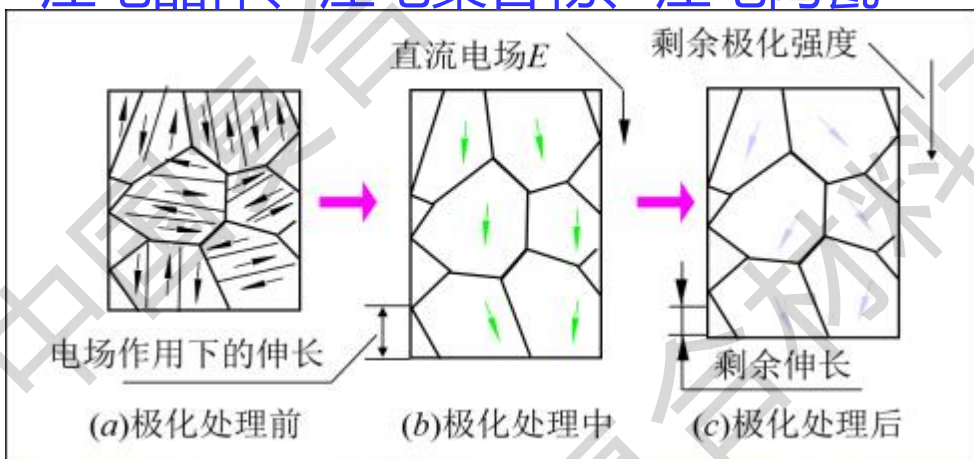
压电复合材料、铁电/铁磁复合材料、形状记忆
复合材料、自愈合复合材料



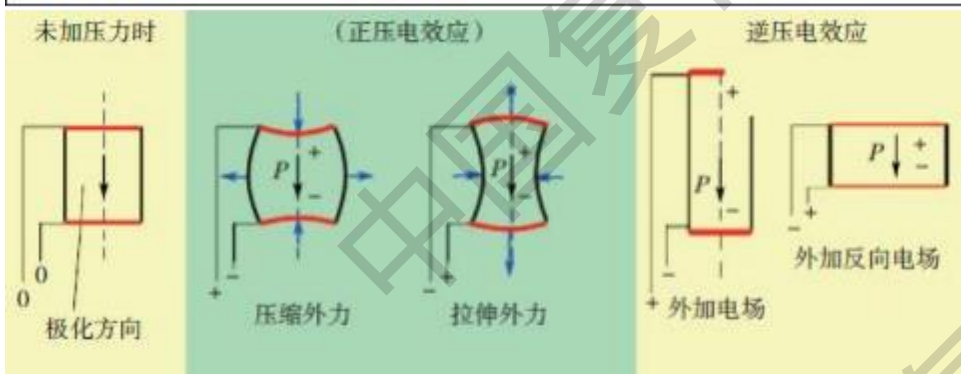
智能材料的构成

◆ 压电材料

压电晶体、压电聚合物、压电陶瓷



压电陶瓷属于铁电体一类的物质，是人工制造的多晶压电材料，它具有类似铁磁材料磁畴结构的电畴结构。电畴是分子自发形成的区域，它有一定的极化方向，从而存在一定的电场。



压电效应

压电材料能实现机—电能量的相互转换。





● 智能材料的构成

◆ 压电材料

压电晶体、压电聚合物、压电陶瓷

对压电材料特性要求：

①转换性能。要求具有较大压电常数。

②机械性能。压电元件作为受力元件，希望它的机械强度高、刚度大，以期获得**宽的线性范围**和**高的固有振动频率**。

③电性能。希望具有高电阻率和大介电常数，以**减弱外部分布电容的影响防止加载驱动电场时被击穿**。

④环境适应性强。温度和湿度稳定性要好，要求具有**较高的居里点**，获得较宽的工作温度范围。

⑤时间稳定性。要求**压电性能不随时间变化**。



● 智能材料的构成

◆ 压电材料

压电晶体、压电聚合物、压电陶瓷

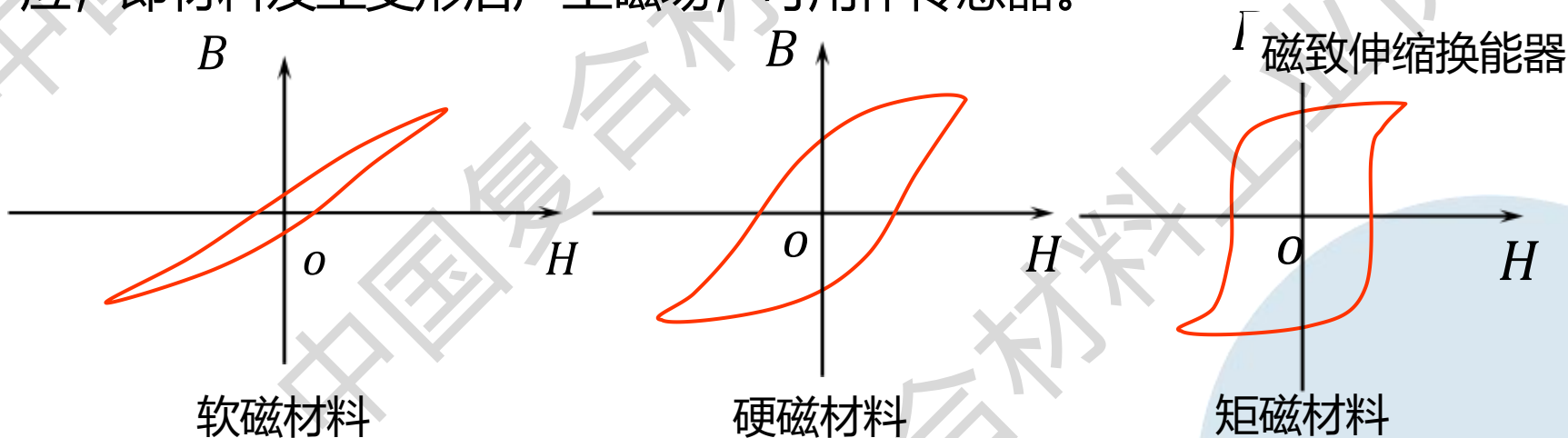
压电材料类型	优点	缺点	应用	常见材料
压电晶体	稳定性好, 机械强度高	低压电常数、低介电常数	压电振荡器、压电滤波器	石英
压电聚合物	柔性, 轻质, 高韧性, 温度稳定性、低声阻抗和机械阻抗	低压电常数, 工作温度低, 制备成本相对较高	超声换能器、微重力驱动器、柔性传感器、超声传感器等	PVDF
压电陶瓷	高压电常数、高耦合系数、高介电常数、耐高温、制备技术相对成熟	脆性、密度大, 部分含有毒性	耐极端环境传感器、振动控制、降低噪声、大位移驱动器等	PZT、BaTiO ₃

● 智能材料的构成

◆ 铁磁材料

软磁材料、硬磁材料、矩磁材料、旋磁材料、压磁材料

铁磁材料是实现机械能-磁能转换的一类智能材料。在磁场作用下发生变形，这种现象称为磁致伸缩效应。利用正磁致伸缩效应，即磁场作用下材料发生变形，可用作驱动器；利用逆磁致伸缩效应，即材料发生变形后产生磁场，可用作传感器。



磁滞回线细长，剩磁很小。

磁滞回线较粗，剩磁很大。

磁滞回线呈矩形，剩磁接近于磁饱和磁感应强度。

智能材料的构成

◆ 形状记忆材料

形状记忆合金、形状记忆高分子

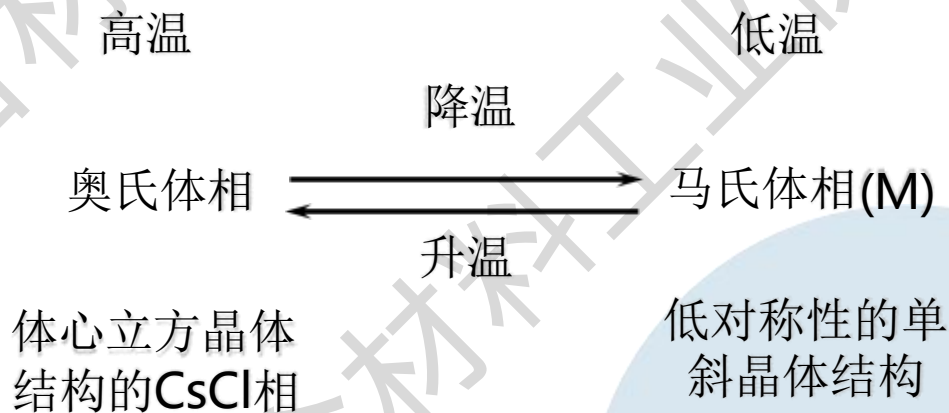
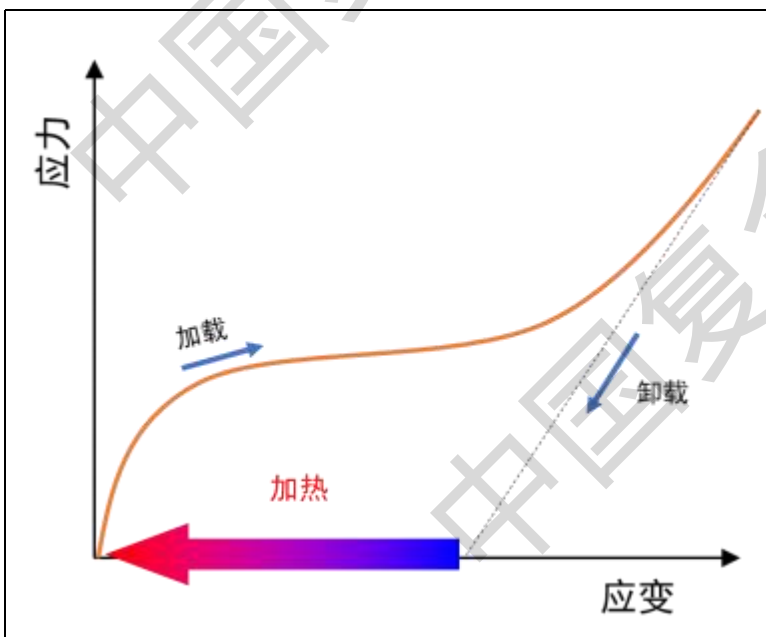
形状记忆效应是指具有一定初始形状的材料经形变并固定成另一种形状后，通过热、光、电等物理刺激或化学刺激的处理又可恢复成初始形状的一种特性，具有这种特性的材料称为形状记忆材料。形状记忆材料可集传感、驱动及执行机构为一体，成为“智能”材料系统中重要材料。



● 智能材料的构成

◆ 形状记忆合金

形状记忆效应是由于合金中发生了热弹性或应力诱发马氏体相变。热弹性马氏体和应力诱发马氏体统称为弹性马氏体。只有弹性马氏体相变才能产生形状记忆效应。





● 智能材料的构成

◆ 形状记忆高分子

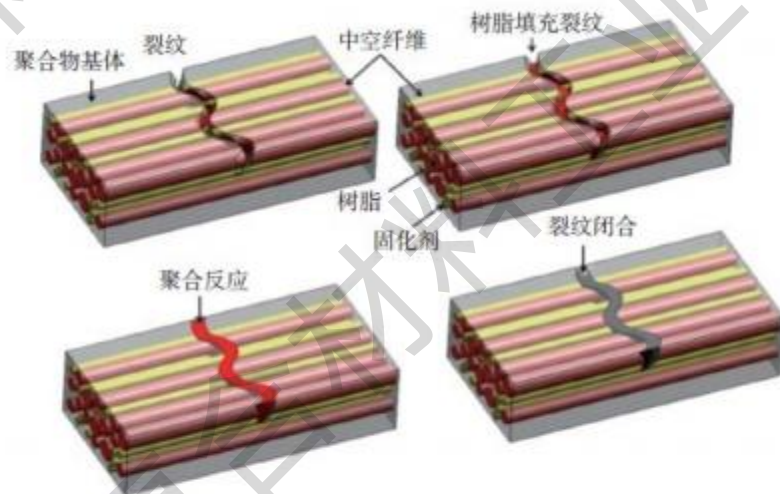
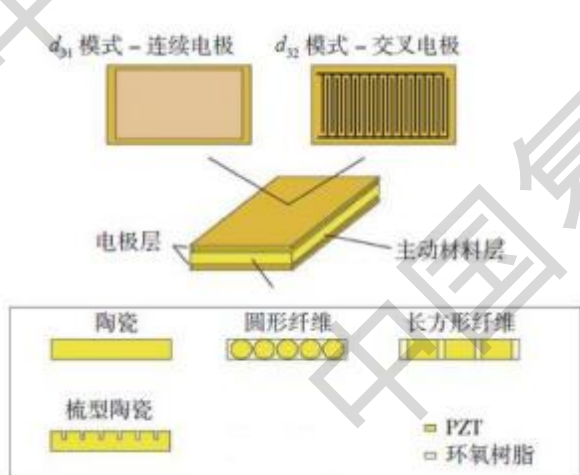
材料类型 (根据回复机理)	回复特性	应用领域
热致形状记忆高分子	在室温以上变形，并能在室温固定形变且可长期存放，当再升温至某一特定响应温度时，制件能很快回复初始形状的聚合物。	医疗卫生、体育运动、建筑、包装、汽车及科学实验等领域，如医用器械、泡沫塑料、座垫、光信息记录介质及报警器等。
电致形状记忆高分子	热致形状记忆高分子与具有导电性能物质(如导电炭黑、金属粉末及导电高分子等)的复合材料，通过电流产生的热量使体系升温，形状回复；既具有导电性能，又具有良好的形状记忆功能。	电子通讯及仪器仪表等领域，如电子集束管、电磁屏蔽材料等。
光致形状记忆高分子	某些特定的光致变色基团(PCG)引入高分子链，在紫外光照射下，PCG发生光异构化反应，使分子链的状态发生显著变化，材料在宏观上表现为光致形变；光照停止，PCG发生可逆的光异构化反应，分子链状态回复。	印刷材料、光记录材料、“光驱动分子阀”和药物缓释剂等。
化学感应型形状记忆高分子	利用材料周围介质性质的变化来激发材料变形及回复。常见的化学感应方式有pH值变化、平衡离子置换、螯合反应、相转变反应和氧化还原反应等。	蛋白质或酶的分离膜、“化学发动机”等特殊领域。

● 智能材料的构成

◆ 智能复合材料

压电复合材料、铁电/铁磁复合材料、形状记忆复合材料、自愈合复合材料

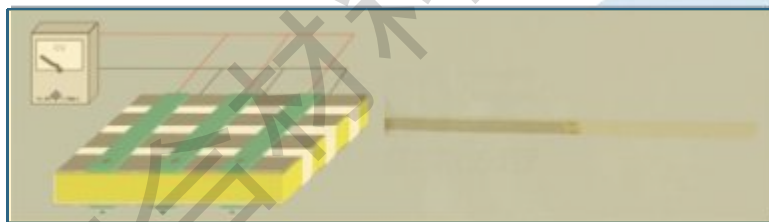
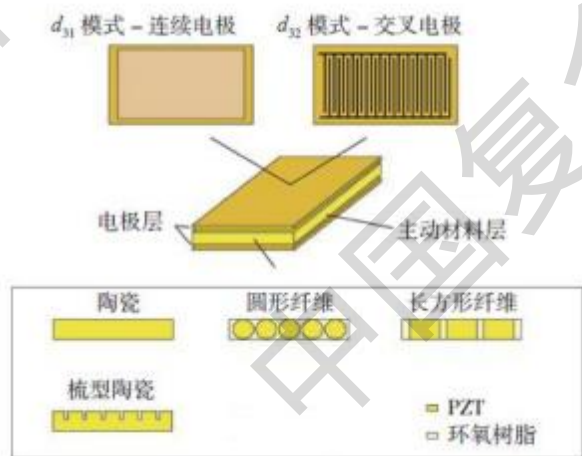
每种智能材料都有其自身的局限性，智能复合材料可以克服智能材料自身局限性，使得智能材料性能更加优良，具有很大的发展和使用前景，是未来智能材料的发展趋势。



● 智能材料的构成

◆ 压电复合材料

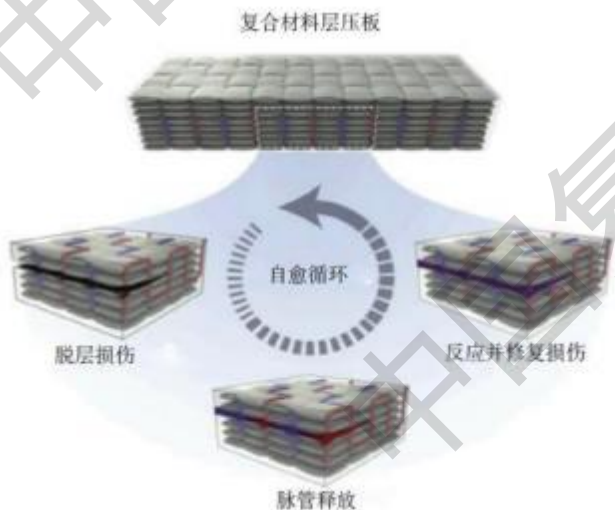
压电纤维复合材料是先进的薄片型执行器和传感器，提供高性能、高灵活性及高可靠性。作为致动器时，位移可达上百微米或几百微米，输出力可达900N以上。作为传感器使用时，产生的电荷量与振动幅度、振动频率等有关，输出电压可达几伏或更高，输出电流在微安级。



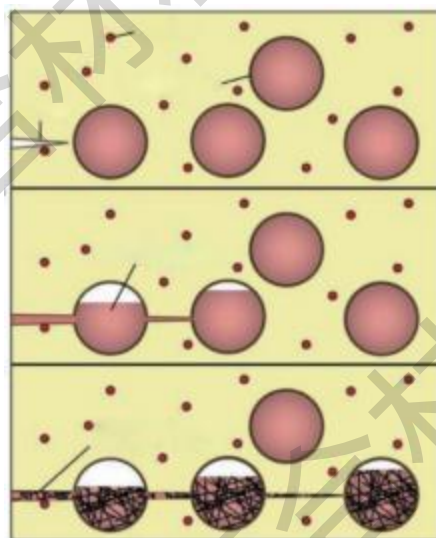
● 智能材料的构成

◆ 自愈合复合材料

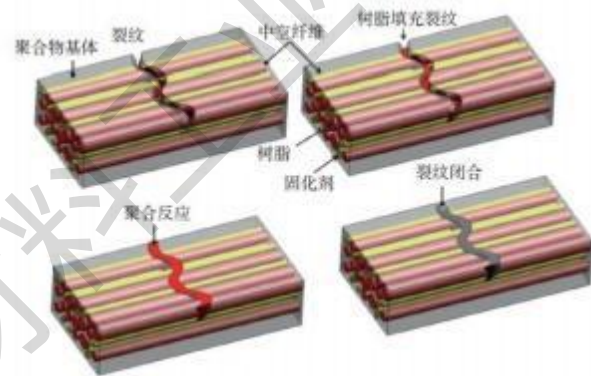
生物材料的自修复、自愈合：树木、贝壳，等
 在人造材料中加入一些易扩散的物质或修复剂，在材料出现损伤时，
 内部组分向损伤部位迁移，聚集并结合成高硬度的新物质；或者损伤
 部位的修复剂被释放出来进行修复，从而使损伤愈合。



三维脉管网络自愈合复合材料

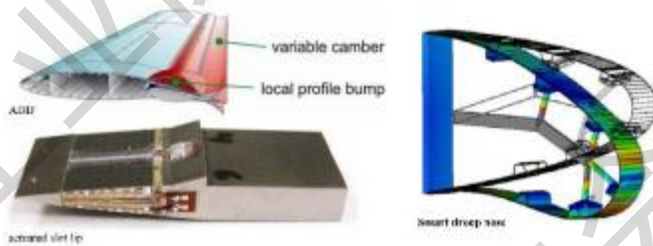


微胶囊自愈合复合材料

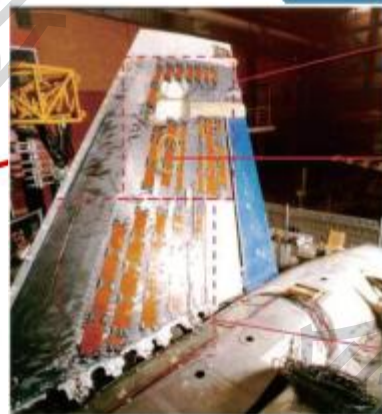


中空纤维自愈合复合材料

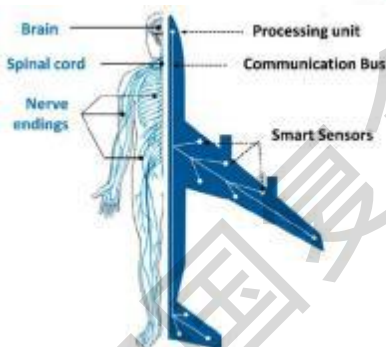
智能材料的应用



变体结构

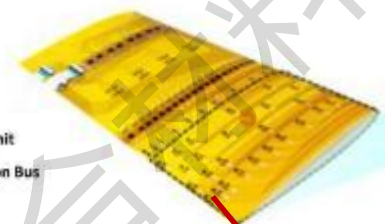


振动抑制



健康监测

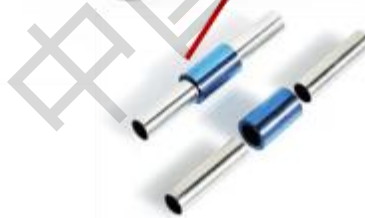
智能蒙皮



智能传动机构



电致变色材料

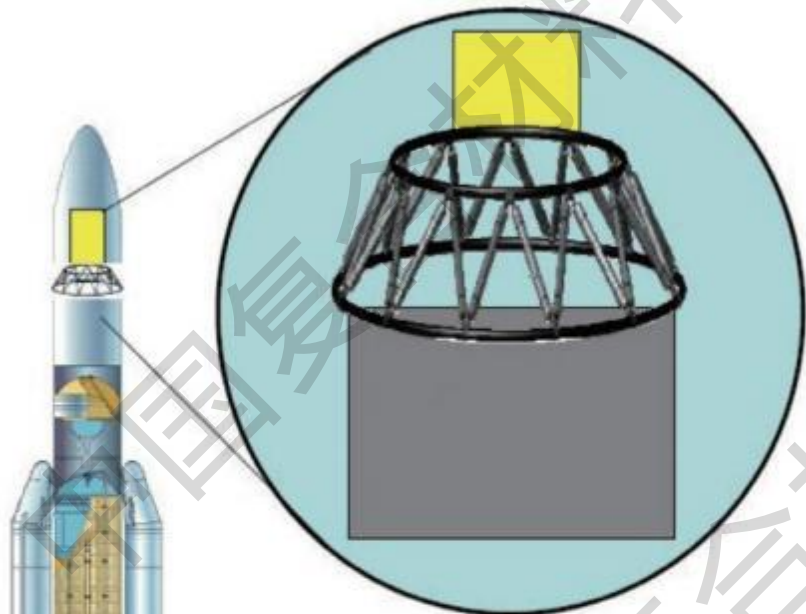


紧固件

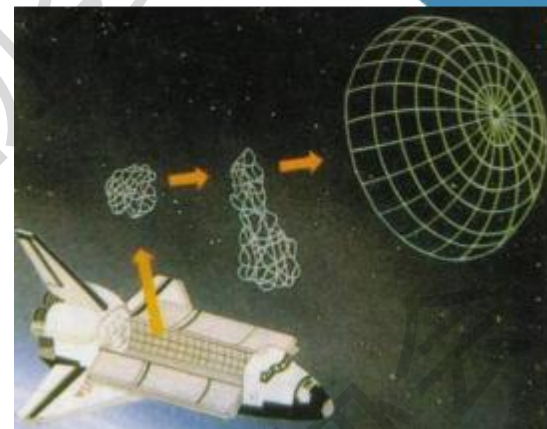


噪声控制

智能材料的应用



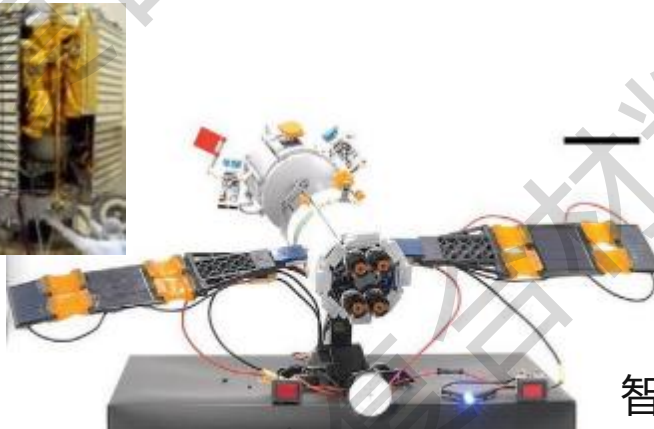
航天飞机健康检测系统



折叠式展开天线



热控百叶窗



智能铰链



主动有效载荷适配器



● 智能材料的应用

智能材料作为目前航空航天材料研究的一个热点分支，是一个集合物理、化学、材料、机械、力学等众多领域的研究，具有广阔的发展前景，对于智能材料来说，虽然性能优异，但是每种材料本身有其局限性：

记忆合金的主要缺点是存在疲劳失效风险、相变的滞后时间相当长、生产成本较高、高度依赖于温度，需要可控和稳定稳定温度条件。

形状记忆聚合物虽然表现出巨大的应用潜力，但相对于形状记忆合金等材料，较低的弹性模量、刚度、强度，限制了其的应用。

压电陶瓷材料制造温度高、硬度大、有一定毒性，需要上千度的高温制作、不能满足柔韧性需求。

光纤、压电等传感器需要在稳定的环境下使用，对于复杂环境，其使用需要进行环境补偿且容易发生失效。



● 智能材料的应用

智能结构所具有的自诊断、自修复、减振降噪等能力对保障航空航天结构的安全性能有重要意义，涉及领域比较广，但是在工程应用方面还存在着诸多问题：

- ◆ 材料复合化的相容性问题
 - ◆ 小型化的制作加工问题
 - ◆ 材料力学性能设计提高的问题
 - ◆ 航空航天领域复杂环境下的应用问题
- 这些问题也**制约了**智能材料大规模应用。

提高**工作温度**、提高**变形能力**，其**功能特殊化**、**复合化**以及**结构微型化**将是研究的重点方向。



中国复合材料工业协会

中国复合材料工业协会成立于1984年，是经国家民政部注册，具有独立法人资格的社会团体（社证字第3258号），在国务院国资委党委领导下，由国家建材局发起，新中国对外开放后成立的第一批一级行业社团组织。协会多年来一直坚持党建为引领，积极服务行业、服务社会、服务企业，不断提升行业协会的凝聚力和组织力，推动着行业转型升级、创新发展规范着企业行为维护着企业间公平竞争发挥着行业自律的作用搭建起政府与行业、企业之间的桥梁和纽带，助力中国复合材料行业健康发展。



公众号
行业资讯、企业风采



视频号
会议直播、公益讲座

网站：www.ccia.xin

电话：010-88875799

地址：北京市海淀区板井路69号商务中心12FB