

## 罗罗开始进行Advance3下一代发动机地面测试

罗罗公司已于12月1日对Advance3下一代发动机进行了首次试车运行。在不到一小时的测试时间里，Advance3发动机的表现基本符合预期。

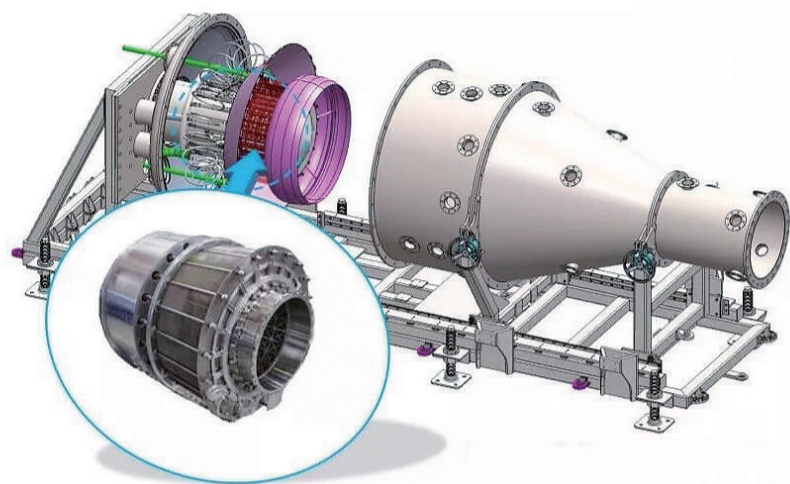
Advance3核心机包括经过改进的中、高压涡轮组件，由用于空客A350-900飞机的“遛达”XWB-84发动机风扇系统和用于波音787飞机的“遛达”1000发动机的低压涡轮组成。此外，在验证机上还对由陶瓷复合材料、3D打印部件和稀薄燃烧室组成的部件进行了测试。

与遛达XWB相比，Advance3验证机采用单级中压涡轮和2级高压涡轮，从而能够达到60:1的总增压比。



验证机采用单级中压涡轮和2级高压涡轮，从而能够达到60:1的总增压比。

## REL公司开建“佩刀”空天发动机预冷却器试验厂房



HTX高温气流试验设计图，图中蓝圈内是预冷却器外形图。

12月18日，REL公司（英国反作用发动机公司）宣布，该公司已经在美国启动了“佩刀”空天发动机预冷却器样机高温气流验证试验设施的建设工作。新试验厂房位于美国科罗拉多州沃特金斯附近的某机场内，目前正在进行组装。

今年9月，美国国防预先研究计划局（DARPA）曾授予了REL公司“佩刀”空天发动机预冷却器样机高温气流验证试验合同。预计验证试验将在2018年进行，主要验证预冷却器样机（HTX）在1000摄氏度总温来流条件下（相当于马赫数5飞行条件）的性能。按照设计，HTX样机能够在0.05秒时间内将1000摄氏度总温的来流空气冷却到零下150摄氏度，是“佩刀”发动机的核心部件。

DARPA项目合同及验证试验对于REL公司进军美国市场来说是一

个巨大的里程碑。REL公司总裁亚当·迪塞尔表示：“新设施采用通用电气公司J79涡轮发动机来加热高速气流，其试验能力完全超过了HTX验证试验的需求。”该设施编号为TF2，将在HTX项目完成之后向工业界、研究机构以及高校开放。与此同时，REL公司正在英国维斯科特同步建设TF1发动机试验设施，并将在那里进行“佩刀”空天发动机首次地面验证试验。

按照REL公司的计划，将在2020年开始进行核心部件的试验测试工作，重点测试发动机燃烧循环的低油耗潜力和启动关闭等可操作性能。第二阶段2021年开始进行发动机整机地面试验，第三阶段将通过研制X试验机来进行推进系统集成、可维护性和可靠性等试验测试。

（廖孟豪）

## 洛马、GE以及Aerion公司联手打造AS2超声速客机

Aerion公司执行总裁巴瑞特在12月中旬与洛马、GE公司签署“谅解备忘录”时表示，下一代民用飞机将以速度制胜，超声速客机的春天已经到来。该备忘录将推进AS2超声速飞机的研制和运营。

Aerion公司是AS2超声速客机项目的发起者，该公司发现公务机的客户一般对价格不太敏感，但时间都很宝贵，乘坐飞机首先考虑的就是速度，所以Aerion公司非常看好AS2飞机的市场前景，投产前预计前10年的产量将超过300架，销售额在前5年将超过200亿美元。Aerion公司自身是这个领域的新手，早先联合波音公司就飞机机翼、机身结构、系统布局、电传飞行控制系统等方面进行了初步设计。

洛马公司在超声速领域的研究已将近半个世纪。臭鼬工厂正是这个领域的领军人物，研究和积累了大量的军用超音速飞机技术，现在正好转移到民用飞机。洛马公司的加入将推动项目的进展。

GE公司在民用航空领域也做了很多工作，包括给庞巴迪、波音等生产了Passport、LEAP等先进的涡喷发动机，这些发动机差不多使用了500

多项工艺，但对超声速客机的发动机来说还不够，还需要陶瓷基复合材料、增材制造、钛铝复合材料、数字化以及人工智能等方面的技术。超声速客机发动机将面临更加复杂的挑战，需要发动机公司和飞机公司紧密合作，实现技术的互通。

从现有的数百项技术来看，要实现超声速客机发动机，有一个非常大的问题。因为当飞机在高空高速飞行时，飞机的进气温度非常高。如何控制发动机的热量就很重要。GE公司计划在新的发动机上使用一台已运行过上万小时的核心机，再装上新的低压系统，有点像军用发动机，但是这台发动机要更商业化，高超声速或超声速飞行时耗油量要经济可行。AS2发动机还将具有数字化诊断功能，每次飞行的参数都能传回地面进行趋势分析。

AS2计划载客12人左右，最大巡航速度马赫数1.4，无声爆。飞机航程设计为马赫数0.85下5400海里，马赫数1.4下4200海里。首飞预计在2023年，2025年开始交付。FlexJet公司已订购20架飞机，总金额超过24亿美元。

（钟达）



## 复材外涵为航空发动机“中国心”助力

航空工业复材 纪斌述

航空发动机复合材料外涵机匣在加力式涡扇发动机上使用，在我国尚属首次。它是连接发动机承力框架，形成外涵通道和安装外部附件的承力结构，长期使用温度在280℃左右，结构形式相对复杂。外涵机匣是由碳纤维增强的聚酰亚胺树脂制成，这种材料的使用温度高，耐疲劳性好，比强度高、比模量高。现代航空发动机正在向高推重比、高机动性发展，耐高温聚酰亚胺树脂复合材料可应用于发动机的冷端部位，满足新一代发动机的增推减质的要求。国外已经投入使用的发动机如F404、F110、F119、F120、F414、M88-2均采用聚酰亚胺树脂基复合材料外涵机匣。

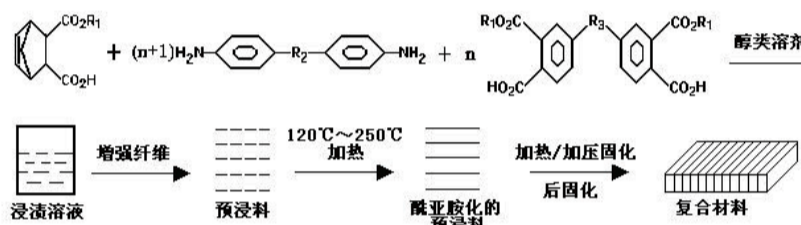
由聚酰亚胺树脂基体和增强纤维两大组分组成的预浸料，铺叠在模具上后，在保持一定温度和压力工艺条件下，固化成型结构件的复合材料，称为热压成型聚酰亚胺树脂基复合材料。聚酰亚胺树脂为耐热性能和抗热氧化稳定性优良的热固性树脂基体，热压成型聚酰亚胺树脂基体的基体树脂以PMR型聚酰亚胺树脂为主，在国外主要按照其耐热性能分为三代，第一代使用温度为280~316℃，第二代使用温度为350~371℃，正在研制的第三代使用温度为400~420℃。国内热压

成型聚酰亚胺树脂基复合材料的发展与国外类似，先后研制了第一、第二代以及第三代热压成型聚酰亚胺树脂基复合材料，并得到了实际应用或进行了考核验证。热压成型聚酰亚胺树脂基复合材料的预浸料采用湿法制备，主要采用模压或热压罐工艺热压固化成形结构件，要求高温高压，固化温度在310~400℃，固化压力在1.5~4.0MPa。目前，中航复合材料有限责任公司已经具备一代到三代聚酰亚胺树脂基复合材料的原料及构件生产能力。

某型聚酰亚胺树脂基复合材料外涵机匣现已进入批产阶段。外涵机匣使用温度在-45~280℃左右，结构形式分为前、后两段，前段外涵为金属安装边、安装座与复合材料壳体铆接，由内外盖板连接的全长对开式结构；后段为金属安装座与复合材料翻边锥筒铆接结构。

某新型发动机复合材料外涵机匣结构形式为全程对开、前后金属翻边结构，工作温度在-60~350℃。外涵机匣结构形式的不同导致机匣成型时形成的缺陷种类也不尽相同。例如：预处理过程中存在大量挥发物无法排除会造成开敞及非开敞结构机匣的大面积分层和空隙，成型时树脂粘度较高和高温树脂成型后内应力会造成非开敞结构转角R区分层。

聚酰亚胺树脂在反应过程中需



聚酰亚胺树脂体系典型工艺示意图。



装有复合材料外涵机匣的欧洲M88-2型发动机。



某型发动机复合材料外涵机匣。



某新型发动机复合材料外涵机匣。

要经过溶剂挥发、酰胺化、亚胺化、交联固化等多个阶段，整个工艺过程比较复杂。其中前三步为预处理阶段，主要是单体之间的相互反应并伴随有大量的气体产生，同时树脂粘度从极低的几十厘泊变化到几十万厘泊，然后经过高温高压发生交联固化反应，树脂成型工艺十分复杂。

故聚酰亚胺树脂与碳纤维复合材料的生产工艺的关键是如何选择合适的工艺方法，才能将树脂配置过程中和预处理过程中的小分子气体及时完

全的排出，否则气体包埋在制件内部，就会导致零件产生气孔缺陷，从而严重影响复合材料的力学性能。

目前，聚酰亚胺树脂基复合材料由于其材料的特殊性，面临着稳定性较差，合格率偏低等问题。经过多年的技术积累，中航复合材料有限责任公司已经能够稳定地进行航空发动机复合材料外涵机匣的批生产任务，突破了高温树脂基材料成型中的种种技术困难，拥有多项专利技术，在高温树脂基复合材料构件领域进入了世界先进行列。

## 基于石墨烯的吸波材料应用研究

航空工业洪都 王豪 彭铮

随着电子信息技术的普及，电磁波在人们的日常生活中广泛存在。当电磁辐射超出人体和环境所能承受的上限时，会形成电磁污染。在军事领域，雷达仍然是现代战争中搜寻目标的惯用手段，研制能够高效吸收电磁波的雷达隐身材料是提高武器系统生存能力的有效途径之一。因此，吸波材料在军事和民用领域上都有着广泛的研究价值和前景。

新型的电磁波吸收材料——石墨烯

石墨烯是2004年首次发现的一种新型的二维纳米材料，其神奇的二维结构使其具有独特的理化性能。

石墨烯是目前已知的导电性能最好的材料。石墨烯中的电子运动速度可以达到光速的1/300。石墨烯的价带和导带相交于费米能级，这赋予了石墨烯独特的零能隙半导体性能，是目前最高迁移率的碳化硅材料的两倍。在未来，石墨烯有可能取代硅制造超微型晶体管，将计算机处理器

的运算速率提高百倍。

石墨烯的强度相当于目前最好的钢材强度的100多倍，硬度甚至超过了钻石，是目前自然界强度最大的材料，而它的密度却很小。在室温下，石墨烯的热导率是常用的金属导热材料如金银铜的十几倍，是铝的二十多倍。

石墨烯还具有其他一些特殊的性能，如超高的比表面积。单原子层石墨烯的理论比表面积可以达到惊人的2630m<sup>2</sup>/g，是活性炭的比表面积的2~3倍，可以用于吸附和脱附各种大分子和小颗粒。石墨烯的光学透过率能达到97.7%，这种特性让石墨烯在太阳能电池的透明电极也有应用的潜力。

上述特点使得石墨烯有可能取代传统碳材料成为一种新型的电磁波吸收材料，但不可回避的是，与其他碳系材料类似，单质石墨烯的主要电磁波衰减机制是电损耗，因而吸波性能欠佳。

因将碳材料与铁氧体、电损耗型的金属化合物纳米粒子复合是提高吸波性能的一种有效途径。石墨烯比表面积大，很适合作为载体来负载纳米

粒子，不仅可以有效解决纳米粒子分散性差、自身易团聚的难题，而且可以在纳米尺度上对其结构和性能进行设计和优化，从而制备出具有特定组成、结构和性能的石墨烯基多功能复合吸波材料。

石墨烯的吸波机理

电磁波在传播过程中遇到任何形状的介质时，在电磁波的人射面或界面都会发生反射和透射现象。由于原传播介质的波阻抗和材料的波阻抗不匹配，就会有一部分电磁波发生反射，而另一部分则透射进入到介质内部。阻抗越不匹配，反射的电磁波就越多。只有当原传播介质的波阻抗与材料的波阻抗相互匹配时，电磁波才会最大效率地入射到材料内。电磁波在材料内部传播过程中与材料发生相互作用并被转化为其他形式的能量（如机械能、电能和热能等），即电磁波损耗。所以，吸波材料的吸波性能主要由两个条件决定：一是阻抗匹配特性，即减少电磁波在材料表面的反射或透射能够最大限度地进入到材料内部；二是衰减特性，即电磁波进入到材料内部后，材料能够对电磁波进行有效地吸收或损耗，减少电磁波的二次反射。

多组分石墨烯基吸波材料通过复合杂化粒子微结构及协同效应，并研究吸波材料的负载密度、形貌、结构、各组分含量以及各组分之间的协

同效应对其电磁参数的影响，同时利用石墨烯的特殊结构以及石墨烯与纳米粒子复合所带来的特殊性质所造成的界面极化、电子弛豫极化和偶极子极化等效应来损耗电磁波，获得了具备多种电磁波损耗机制且性能可调的轻质、高强、宽频吸波材料结构体系。

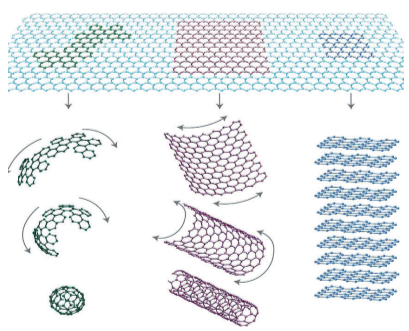
石墨烯吸波材料的研究现状及启示

近年来研究者在对于石墨烯吸波材料方面的研究做了很多有价值的工作。

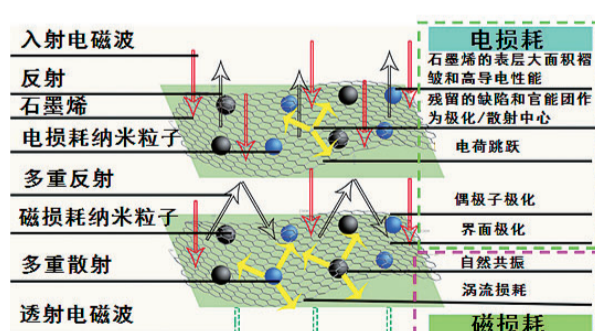
多元体系的石墨烯基复合吸波材料的设计与制备以及电磁波吸收性能的研究在国际上刚刚开展。高的比表面积、优秀的电学性能和特殊的二维结构等特性都赋予了石墨烯作为新型复合吸波材料理想构建单元的优异潜能，但石墨烯基复合吸波材料的综合吸波性能仍有待提高。

采用多种组份的纳米粒子与石墨烯复合，在一定程度上减轻了石墨烯片层的团聚，更重要的是制备的多组份复合材料具有多功能，对于吸波材料而言，每一组份的材料具有不同的电磁波吸收特性，多种组份的材料复合时吸波材料能兼顾那种材料的优点，实现优势互补。但是多元复合材料在制备时存在的缺点也很明显，例如，不同界面的相容性差、多组分材料的分散性和均匀性不易控制等。

尽管如此，多元体系的石墨烯基复合吸波材料的设计与制备依旧会成为未来新型吸波材料研究的重点，作为新型基材的石墨烯也会对推动隐身材料的技术发展以及电磁防护方面的研究提供更大的作用。



石墨烯(上)和不同结构的碳材料：富勒烯(左下)；碳纳米管(中下)；石墨(右下)



多组分石墨烯基多功能复合吸波材料吸波机理图。

## BAE系统公司MAGMA无人机能完成首飞

BAE系统公司和曼彻斯特大学联合研制的MAGMA无人机已经完成了首次飞行试验。该无人机去掉了机翼和尾部襟翼的机械设计，采用一种独特的气流系统来实现飞行控制，从而可提供更好的控制性能，减轻了重量和维护成本，有利于未来研制更轻、更隐身，更快速和更高效的军/民用飞机。首次试飞验证了两种技术，分别是机翼循环控制技术，即从飞机发动机获取尾气，以超声速从机翼后缘喷出，实现飞行控制；另一种流体推

力矢量技术，即调整排出的气体方向，从而改变飞机的航向。（高翔）



## 德国MTU公司研发涡轮风扇新技术

作为欧洲“洁净天空”2（CleanSky 2）研究计划的一部分，德国MTU航空发动机公司正在对普惠涡轮风扇家族的低压涡轮和高压压缩机进行进一步优化。

改进计划涉及空客A320neo、波音737MAX、庞巴迪C系列、三菱MRJ以及伊尔库特MS-21等机型。根据具体应用情况，此次MTU将承担15%至18%的

工作份额，其中包括进一步改善空气动力学性能，开发新的更轻、更耐高温的材料。这包括了将CMC（陶瓷基复合材料）制成的材料在低压涡轮机上进行应用。

为进行新技术验证，MTU将MTR390型发动机作为载体进行改装。预计将于2020年完成验证机的调试和测试工作，MTU期望在2021年完成结论评估。

（王小米）