

# 辛国斌：我们建设制造强国的路还很长

工业和信息化部副部长、国家制造强国建设领导小组办公室副主任辛国斌近日在“2018国家制造强国建设专家论坛”上表示，一段时期以来，国内外评价中国制造业发展成就，往往扬长避短，片面夸大成绩。中国制造业创新力不强，核心技术短缺的局面尚未根本改变。

辛国斌表示，中国改革开放40年来，制造业发展取得了举世瞩目的成就。尤其2010年以来，中国制造业增加值连续多年位居世界第一，高技术制造业发展势头良好，目前规模以上工业比重超过12%，载人航天、高速铁路等多个领域实现重大突破，人工智能、物联网、大数据、云计算、区块链等新技术、产品、模式等不断涌现，一批技术进入国际市场第一方阵。但看到成绩的同时，也要清醒地认识到中国制造业创新能力薄

弱，对外依存度高，整体上仍处于全球产业链和价值链的中低端。

据介绍，工信部对全国30多家大型企业130多种关键材料调研结果显示，32%的关键材料在中国仍为空白，52%依赖进口，绝大多数计算机和服务器通用处理器95%的高端专用芯片，70%以上智能终端处理器以及绝大多数存储芯片依赖进口。在装备制造领域，高档数控机床、高档装备仪器、运载火箭、大飞机、航空发动机、汽车等关键件精加工生产线上逾95%制造及检测设备依赖进口。

辛国斌指出，我们要以改革开放40周年为契机，顺应我国经济深度融入世界经济的趋势，积极主动提高制造业对外开放的层次和水平，更深更广融入全球供给体系。要更大力度地“引进来”，落实好汽车、船舶、

飞机等行业对外开放政策，大幅度放宽市场准入。强化知识产权保护，坚持内外资企业一视同仁，积极创造更有吸引力的投资环境。同时，要更高层次地“走出去”，扎实推进“一带一路”建设，完善“走出去”公共服务体系，加强与沿线国家在智能制造、工业互联网、中小企业等领域的交流合作，务实推进重要国际合作项目。

“我们与发达国家还有几十年的差距，建设制造强国的路还很长。”辛国斌说，应着力做好以下五个方面的工作：一是把深化体制机制改革作为“当头炮”，着力营造良好的发展环境。推动制造业高质量发展要进一步深化“放管服”改革，优化营商环境，推动国防工业改革以及垄断行业国有企业改革，发挥好市场配置资源的决定性作用。二是着力提升制造业创新能力。但有些地方急功近利，盲

目跟风，炒作所谓新技术新产业，必须高度警觉，坚决纠正。三是把供给侧结构性改革作为突破口，加快转型升级。一方面要发展战略性新兴产业，先进制造业；另一方面要稳妥退出化解旧动能、化解过剩产能，加快改进提升传统产业，促进全产业链整体提升。四是着力发挥信息化驱动引领的新引擎作用，深化信息技术与制造业融合发展。世界正在进入以信息产业为主导的经济发展时期，数字经济成为经济社会发展的重要驱动力，能否抓住数字化发展的机遇，决定制造强国目标能否实现。五是着力建设高质量发展承载体，培育一批优质、高效的制造业企业。实现制造业高质量发展既需要龙头企业，也需要小企业，要加大对中小微企业发展支持，发展一批专业化的小巨人企业。（综合）

# 飞机发动机维修新技术问世 无需更换零件节省资金

俄媒称，借助俄罗斯与法国科学家的一项技术发明，未来人们在维修飞机上最复杂的部件航空发动机时将无需替换零件，而只需修复受损部件即可。莫斯科钢铁冶金学院与法国里昂大学的科学家在《国际先进制造技术杂志》上共同发表的一篇文章介绍了这种新方法。

报道称，过去，维修航空发动机的唯一方法是用新部件替换损坏或老化的部件。这篇文章预示航空制造领域即将出现革命。专家认为，新技术不仅可在确保维修质量的同时节约大量资金，还能大幅降低航空发动机初始制造成本。

报道称，俄法科学家提出用“低温气动喷涂”法维修航空发动机。这种方法最初是30年前由新西伯利亚阿卡杰姆戈罗多克的苏联技术人员发明的，此前仅用于在成品零部件上覆盖某些特殊表层。近年来快速发展的增材制造和3D打印技术让“低温气动喷涂”技术能以较低成本维修航空发动机。“低温气动喷涂”法可避免把金属加热到熔点。这种方法用超音速气流

带动金属粉末微粒与零部件表面发生碰撞，在零部件上形成新的金属表层。若用3D打印设备管理这一增材制造进程，可让老化或损坏的金属部件“回”其初始状态。

报道称，莫斯科钢铁冶金学院的科学家与法国同行成功地研制出了混合金属粉末与“低温气动喷涂”法的使用机制，甚至在不拆解航空发动机的情况下修复复杂的发动机部件。新方法的发明人之一、莫斯科钢铁冶金学院生态技术和工程研究所所长安德烈·特拉维亚诺夫对俄罗斯《消息报》表示：“这项技术的妙处在于，零部件在修复过程中不会受热。如果使用气体和激光对零部件进行焊接，焊点附近将产生高温，导致零件丧失强度等力学性能。”

俄罗斯技术公司下属的乌法发动机制造联合企业专家帕维尔·阿利金认为，这项新技术不仅可用于维修，还可用于航空发动机的制造。

专家认为将这项技术投入实际生产需要两到三年时间。而10到15年后人们或能用这项技术打印完整的飞机。（梁坤）

# 航空发动机压气机是如何设计的



吴仲华及其代表性著作《叶轮机械三元流动通用理论》(NASA-TN-2604)。



然是压气机设计体系中最为重要的核心理论。

## 数值模拟仿真蓬勃发展 计算流体力学技术推动压气机气动设计发展

20世纪80年代，航空发动机设计人员逐步认识到，如果要在进一步提升压气机压比的同时保持较高的效率和宽广的喘振裕度，必须对压气机内部流动有更加清晰和准确地认识。

计算流体力学(CFD)是非线性偏微分方程组的专门学科。早期CFD方法的研究多针对外流，然而压气机气流属于内流，模拟难度要高于外流。英国剑桥大学Denton教授开发了一套三维叶轮机械数值模拟程序，全球诸多航空发动机研究机构都曾采用该套程序对压气机进行数值模拟计算。

随着CFD技术发展，设计人员对压气机内部三维流动结构的认识不断提高，压气机中气体的实际流动与设计预想之间的偏差愈发增大。中国著名工程热物理学家吴仲华创立了全新的叶轮机械三元流动理论，开启了压气机设计技术的全新发展篇章。

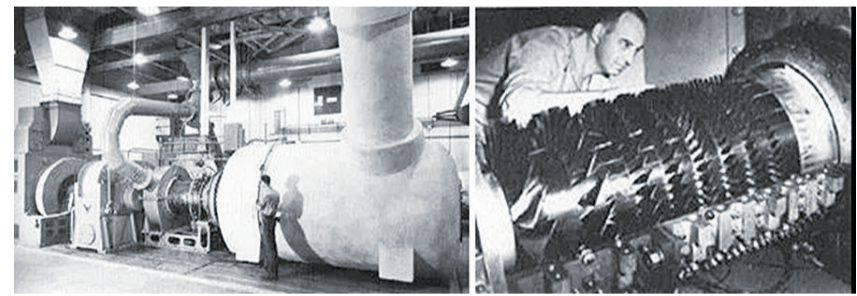
吴仲华1940年毕业于清华大学机械工程系。通过对叶轮机械内部流动理论进行深入研究，吴仲华独立发展了基于流面模型的叶轮机械三元流动理论，将叶轮机械内部三维流动分解到两类相对流面上，从而将三维问题转化为求解两个流面上的二维问题。

自叶轮机械三元流动理论公开发表后，各大发动机研究机构开发出相应的压气机设计计算程序，建立起压气机三维设计体系，并应用于工程实践。时至今日，“吴氏通用理论”仍

## 喷气推进新时代 多学科交叉推动压气机设计进入新阶段

进入21世纪，高效、节能、环保、安静成为民用航空发动机的关键词，变循环、热管理、电磁红外隐身设计等全新设计概念也逐步应用于军用航空发动机的研发当中。航空发动机需求的全新变化，压气机设计也进入了全新阶段，比较有代表性的新设计体系如下：

先进优化算法寻优设计。工程技术人员将遗传算法、神经网络算法、响应面算法、伴随优化算法等大规模多目标多变量优化算法引入压气机设计体系；高自由度叶片参数化几何造型方法。用参数化几何描述方法取代传统解析几何方法进行压气机设计；三维粘性设计方法。采用三维粘性数值模拟方式，使叶型几何调整与流场数值模拟同步进行；复合材料叶片制造技术。复合材料叶片制造技术已成为当前研究热点，持续探索制造过程自动化以及材料力学性能提升；多学科综合数值模拟技术。压气机数值模拟领域逐步出现了流、固、声、热等多物理场耦合综合数值模拟分析技术。



美国NASA早期压气机试验设备以及八级轴流压气机试验。

中国航发涡轮院 刘昭威

大众对航空发动机最直观的认识，可能就是在搭乘民航客机时，机翼下方挂载的民用大涵道比涡轮风扇发动机。大直径叶片风扇、低压压气机和高压压气机共同组成航空发动机重要部件——压气机。

率较低。后来，人们逐渐认识到压气机内部气体流动有其独有特点，发展了二维平面叶栅压气机设计体系。

## 叶轮机械三元流动理论 中国人在压气机设计领域的杰出贡献

随着压气机结构更为紧凑和负荷不断提高，压气机中气体的实际流动与设计预想之间的偏差愈发增大。中国著名工程热物理学家吴仲华创立了全新的叶轮机械三元流动理论，开启了压气机设计技术的全新发展篇章。

吴仲华1940年毕业于清华大学机械工程系。通过对叶轮机械内部流动理论进行深入研究，吴仲华独立发展了基于流面模型的叶轮机械三元流动理论，将叶轮机械内部三维流动分解到两类相对流面上，从而将三维问题转化为求解两个流面上的二维问题。

自叶轮机械三元流动理论公开发表后，各大发动机研究机构开发出相应的压气机设计计算程序，建立起压气机三维设计体系，并应用于工程实践。时至今日，“吴氏通用理论”仍

## 喷气飞行时代的来临 压气机设计体系初创

涡轮喷气发动机产生推力的基本原理是：发动机将速度较低的空气吸入，经压缩、燃烧、涡轮膨胀做功后，再以较高速度排出，通过空气在发动机进出口的动量差，形成推力。

涡喷发动机在二战的炮火中诞生。战后，世界各国投入大量人力物力，开展涡喷发动机的研制工作。经研究发现，增大压气机增压比，能够有效提高发动机的热效率，各国开始逐步重视航空压气机设计技术的研究。

早期的压气机设计多基于原有的翼型理论以及螺旋桨理论，并逐步发展到孤立叶型理论，压气机的设计效

# 树脂复合材料将全面应用于航空发动机

法国赛峰集团近日签署协议，决定将在LEAP航空发动机等设备上采用先进的树脂复合材料。赛峰集团与美国通用电气合资的CFM国际公司专注于制造空客、波音和中国商飞项目的发动机。

根据协议，复合材料技术将用于制造发动机的关键结构部件，包括风扇叶片、风扇外壳、声学面板和填料沟槽，复合材料由索尔维公司开发生产。索尔维公司2016年在德国奥斯特林根开设了一家最先进的树脂工厂，主要服务于LEAP航空发动机计划。部分材料将由索尔维从德国的奥斯特林公司生产，索尔维也正在投资和支持LEAP计划。

赛峰集团是一家高科技跨国集团，世界500强企业，拥有四大核心专业：航空航天推进、航空航天设备、防务安全和通信。

索尔维成立于1863年，是一家总部设在布鲁塞尔的跨国企业。索尔维产品的主要应用领域包括飞机、汽车、电池、智能医疗设备、矿物和油气提取的高效率和可持续性。

赛峰集团材料采购副总裁蒂埃里说：“索尔维一直是赛峰长期信任的供应商，在多个发动机和机舱计划中提供先进的复合材料。该协议强调不仅将继续加强合作LEAP计划，而且还将加强了



两个集团之间另一个更大的投资组合。”索尔维复合材料全球业务部总裁卡梅罗说：“赛峰的复合材料技术、专业知识和安全的供应链将继续支持赛峰在未来几年里生产这种高度创新的航空发动机。LEAP发动机的设计充分利用了复合材料的优势，以减少燃料消耗、CO排放、噪音和维护成本。”

树脂复合材料具有轻质，比强度、比刚度大等特征，可替代传统钛合金等材料应用于航空发动机。在气动设计、结构设计和复合材料技术发展的基础上，复合材料风扇叶片可以进一步提高飞机的推重比和燃油效率，降低噪音和有害气体排放，增加舒适性和经济性。采用复合材料可以减轻风扇及发动机质量，提高比刚度、疲劳性能、损伤和缺陷容忍等。航空发动机采用先进复合材料可以同时实现更高涵道比和减重的重要途径，这也为复合材料普遍应用于航空发动机提供了的机遇。（边际）

# 当4D打印遇到发动机

中国航发航材院 王俊丽

其实，4D打印也不算是啥稀罕物，直白些，就是在3D打印基础上发展起来的增材制造技术。通常的3D打印技术偏重于强调打印结构材料，而4D打印技术，则是希望打印出具有功能性或可以变化的构件。4D打印的概念是2013年美国TED大会上，麻省理工学院计算机系科学家Skylar Tibbitts提出的，是在3D打印基础上发展起来的增材制造技术。

目前关于4D打印的概念有三种定义。第一种认为4D打印是基于智能材料的增材制造技术，也就是说是用增材制造技术打印智能材料，即“4D打印=增材制造+智能材料”。其核心

在于制造工艺是传统的增材制造技术，原材料为形状记忆合金等智能材料。所用到的材料主要包括形状记忆合金、形状记忆聚合物、形状记忆陶瓷等。第二种认为4D打印应当更为宽泛，即只要在3D打印技术基础上引入其他要素(3D+)就可定义为4D打印，可以是“3D打印+特殊材料”，也可以是“3D打印+其他工艺”，还可以是“3D打印+特殊性能”。持这类观点的学者们认为，引入新的要素是4D打印的核心所在。第三种认为4D打印是所打印物件具有时间、空间、性能或功能变化的增材制造技术，即利用增材制造实现的产品在时间或空间维度下具有形状、性能或功能的改变能力，这一类的制造技术可称为4D打印技术。虽然目前尚没有4D打印的规范定义，但其能与传统材料结合使用及对现有材料进行改性的特征是很明显的，这也是4D打印技术的关键与基础。

4D打印技术可以打印什么材料呢？4D打印技术可以打印各种形状记忆材料，既可以打印铜、钛、铁系形状记忆合金，又可以打印热致、电致、光致形状记忆聚合物，还可以打印黏弹性、马氏体相、铁电性以及铁磁性形状记忆陶瓷。形状记忆简单理解，就像是橡皮筋一拉就伸长一松就收缩。只是这里的形状记忆材料可以是

温度、电或者光等不同介质驱动它发生变形。同时它也可以打印高弹性橡胶或者超弹性合金或者超材料等等能想象得到的各种好玩的材料。

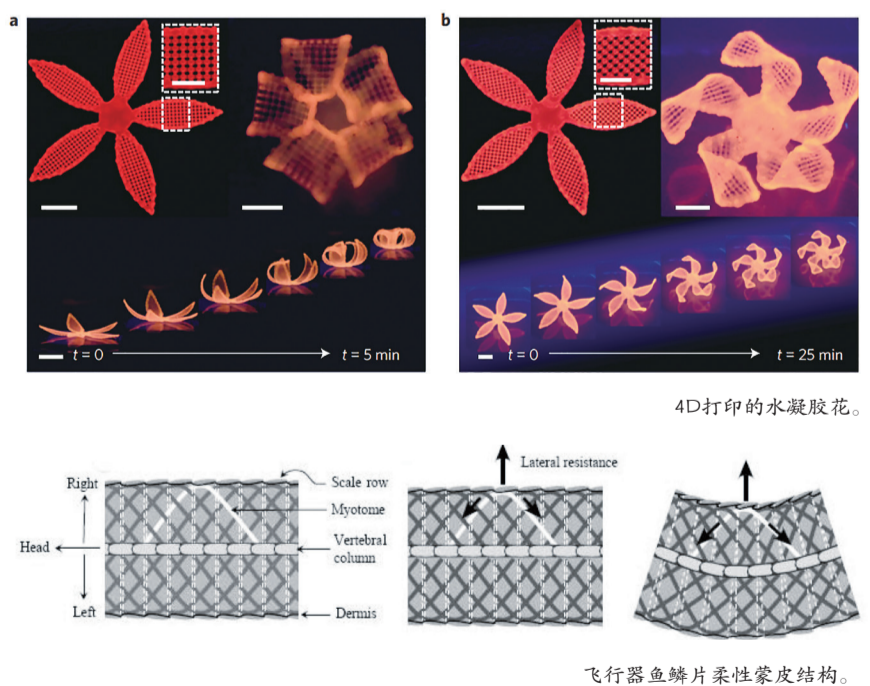
航空领域科学家分析，在未来4D打印技术在航空领域或将大有可为。一是它可以用于智能变体飞行器。智能变体飞行器是一种从科幻走向现实的飞行器，就是采用智能材料、智能传感器和智能执行机构实现飞行器尺度和形状实质性的改变，可以对流动、噪声以及气动弹性性能实行智能控制，并适应多种任务模式以大幅度提升飞行性能。目前制约变体飞机结构工程化应用有自适应柔性蒙皮、连续可变主动变形骨架结构、蒙皮与骨架协调匹配与驱动控制三方面的关键技术。就一个自适应柔性蒙皮的构型就杂到使用传统制造技术基本上无法实现制造，4D打印或将解决这方面的难题，同时采用4D打印技术可以拓宽结构设计领域，有可能出现许多更加高效率的新概念结构。

二是它可以用作新型热防护结构。高超声速飞行器具有作战响应快、战场生存力强、察打效能高、慑战一体等能力，是快速侦察和精确打击的重要武器装备，引发全球研究热。高超声速飞行器正朝着水平起降、重复使用和快速响应特征方向发展。这三种服役工况对热防护结构提出严峻挑战。而利用4D打印技术从全新的技术视角研制精巧的热防护结构，实现结构随服役环境需求的自适应变化，可以有效解决现有热防护结构在环境适应性、隔热效率、寿命特性等方面的矛盾，

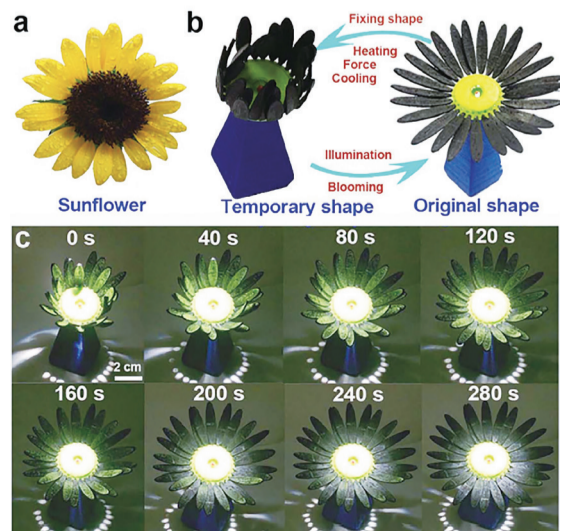
根据服役的实时需求改变热防护结构的内部特征，通过时间维度化解热防护结构多约束应用的难题，可能给热防护技术领域带来颠覆性应用效果。

三是新一代隐身技术。隐身技术是现代战机的核心技术之一。目前主要的隐身方式包括外形隐身、材料隐身、等离子体隐身等。未来智能隐身技术或将大展宏图。智能隐身具有感知和信息处理能力，可通过自我指令对环境做出最佳响应，以达到降低信号特性，与背景匹配、融合的目的。它模仿“变色龙”具有自动适应环境变化的特点。可以有效弥补上述隐身技术的不足，能显著降低军事目标被探测、发现、识别及攻击的概率，提高装备的战场生存能力和作战效能，军事意义重大。4D打印独特的时间相关性，与智能隐身技术结合，可使隐身结构根据外界环境变化调节自身的结构和性能，并对环境作出最佳响应，为智能隐身结构物理实现提供了一种全新的思路，它将有力地推进智能隐身技术的工程化应用。

说了这么多，4D打印技术与发动机有什么关系呢？有资料介绍自适应循环发动机(ACE)将是满足第六代战机的航空发动机，其中智能化、智能结构、主动控制技术是其三项关键技术，这三项关键技术的突破对于攻克先进航空发动机技术瓶颈，提高航空发动机经济可承受性水平有异乎寻常的意义。GE航空的自适应循环发动机(ACE)的设计，可增加20%的战斗飞机推力，提高燃料消耗率25%，并提供更多的飞机散热能力。GE已与



美国国防部联手，采用节约成本的设计，自2007年开始制造和试验这一革命性的理念，并计划通过自适应发动机过渡计划(AETP)继续提高ACE设计。于2016年6月30日，美国国防部与GE和普惠同时签订了AETP合同。美国空军已经明确表示，自适应发动机是第六代战机唯一动力，智能材料等自适应结构和形状记忆合金调节器将会应用到其中的主动控制技术。利用形状记忆合金的特性发展一种新型压气机叶尖间隙智能密封技术，可以根据发动机工作状况自适应地控制压气机叶尖间隙；同时也可以利用



4D打印的光致驱动智能结构。

形状记忆合金控制燃气涡轮发动机压气机叶尖间隙。在智能推进控制(IPC)计划中，NASA正在发展和验证一种用于高压涡轮的可变间隙传感器；除此之外，NASA格林研究中心对高温记忆合金(HTSMA)展开了研发，该合金能承受500℃的高温，并在加热时可自动恢复原始形状，可用于主动间隙控制系统中的位移执行机构。4D打印技术则可以实现打印形状记忆合金和智能材料，可以推断或将是未来航空发动机研发中的重要技术之一。

当4D打印技术与航空发动机相遇，未来将值得期待。