

纳米复合材料技术将应用于航空领域

近日，中国科学院苏州纳米技术与纳米仿生研究所和空客（北京）工程技术中心在苏州工业园区签署合作协议，同步成立“航空纳米材料联合实验室”，首次在国内形成纳米材料与航空领域的深度合作，旨在探索纳米复合材料技术在航空领域的研发和应用，推进航空领域先进材料发展，为飞机设计制造等航空工业提供技术支持。

先进材料是有效解决航空飞机轻量化、低成本化和提高飞机安全性能的重要途径。相较于传统金属材料，目前所使用的碳纤维复合材料具有密度低、强度高、可设计性强等优点，正逐步代替金属材料在飞机中进行应用，成为

先进飞机的主要基础材料。纳米技术作为新兴的前沿科技领域，通过纳米改性能有效提升高分子材料界面性能，从而提高复合材料性能，在降低飞机重量，提升结构安全性、舒适性上具有极大潜力。

中科院苏州纳米所自2006年成立以来，始终深耕纳米材料、纳米器件等前沿领域，在空天飞行器用复合材料强化、在线防除冰、在线健康监测以及低成本制备等方面开展了大量的应用探索工作。在先进纳米材料方面，较早地实现了碳纳米纤维和薄膜等纳米材料宏观性能的连续制备，性能与产能水平均处于国际先进水平。空客（北京）

工程技术中心则是由欧洲航空巨头空客公司与航空工业共同建立的合资企业，在飞机结构设计、先进材料开发以及高端制造工艺等方面具有极其雄厚的实力，在全球范围内引领航空领域先进材料的发展。据了解，在该公司最新投放市场的宽体机A350XWB中，先进复合材料用量高达53%，使得飞机重量减轻，压力环境更宜人，实现了飞机结构安全性、经济性和舒适性的跃升。

本次合作是国内首次纳米材料与航空领域的深度合作，将有望进一步加深双方战略互信，发挥资源整合优势，在推动航空材料领域发展方面实现合

作共赢。未来，双方将以飞机设计制造先进材料需求为牵引，重点探索高韧性复合材料、高导电复合材料以及复合材料制备工艺过程以及服役状态监测技术等。一方面，充分发挥苏州纳米所在先进纳米材料与纳米技术方面的优势，通过纳米技术着重研发高韧性复合材料、高导电复合材料，优化复合材料制备工艺，增强服役状态健康监测技术；另一方面，将依托联合实验室，进一步促进苏州纳米基础研究成果在航空领域的快速验证，增强科研成果转化效率，从而提升科研能力与国际影响力，最终实现合作共赢。（辛文）

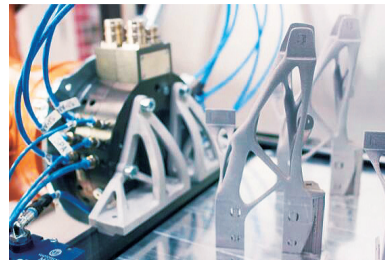
首个3D打印量产航材试验工厂在德国投入运营

近日，德国飞机零配件制造商Premium Aerotec、戴姆勒汽车集团和3D打印巨头EOS公司展开合作，推动3D打印技术在航空制造领域的应用。目前，三方已经在德国北部城市瓦雷尔设立了试验工厂，以对3D打印技术在工业化量产中的适用性进行测试。

三家公司的合作项目被命名为NextGenAM，项目目标是开发用于汽车和航空航天工业的铝合金部件生产的完整系统。经过一年多的前期筹备，第一家大型增材制造试验工厂于近日正式投入运营。在接下来的几个月中，将对生产流程进行测试，并对工厂所属各部分设施进行审核和检验。

据介绍，试验工厂中配备了用于增材制造、后期处理和质检等方面的机器设备。与以前的人们所熟知的生产系统不同，这里许多流程和生产步骤是完全自动化和集成化的，已经基本消除了手动步骤，这也是3D打印能够经济地应用于金属部件的重要基础。高度自动化的系统保证了增材制造工艺的高度经济性。

试验工厂采用了EOS公司的M400-4四激光金属3D打印机，适



用于生产高质量金属部件。四个激光器可实现高达4倍的生产率，并且各个激光器独立工作，不受实际打印速度影响，该系统可以自动填充铝粉，准备新的打印任务，将成品组件从粉末床中挖出的步骤也可以并行进行。然后由无人驾驶的全自动车辆在充满保护气体的容器中，向各工作站运送增材制造的部件。

在接下来的后期处理工序中，由机器人将组件取出并置入烘箱进行热处理。最后机器人将处理完成的部件送往3D测量工作站进行质检，并在这里完成最后的生产步骤。

自2016年初以来，Premium Aerotec已经开始为航空生产部分3D打印钛金属部件，此次，作为NextGenAM项目的一部分，铝制材料的增材制造技术也将成功应用到航空制造领域。（辛文）

发动机失效分析为发动机服役保驾护航



中国航发航材院 刘丽玉

肃静的试车台上，完成试车任务的航空发动机被卸上台架，运送回装配现场。在那里，发动机将重新被分解成零部件，接受性能检验。

当发动机性能有问题或者是零部件出现了故障，就需要对出现故障的零部件进行系统地分析研究，找出失效原因，制定解决问题的措施，才能保证发动机健康可靠。这个过程，就称作“发动机失效分析”。

从专业术语上解释，失效是指产

品丧失规定的功能；发动机失效分析顾名思义就是发动机哪个环节或者零部件产生了失效，通过对失效件进行系统地分析研究，判明其失效性质和原因，提出预防和解决措施。而用给发动机看病这种通俗化的语言来概况，发动机失效分析更像是中医学科。西医的对症下药往往是感冒吃感冒药、头痛吃止痛药，但实际上，引起感冒的原因往往分很多的因素，而且还与病人的个体差异是有关的，所以要研究病理。中医讲究“望闻问切”，而发动机失效分析也有它的“望闻问切”。

望：观气色。对于发动机失效分析的“望”则是用眼睛看发动机故障的整个宏观失效现象，哪一处功能或哪一个零件出现了失效？是什么样的一种失效？断裂、磨损、腐蚀、变形、烧蚀等。

闻：听生息。发动机的声音，包括了发动机的工作过程中如功率、转速、振动、温度等各参数出现的变化，故障发生过程中，当事人看到了什么现象、听到了什么异响等。

问：发动机失效分析的“问诊”就包括了有很多的方面，除了本次症状，还应包括这台发动机的使用履历（故障前经历的工作情况）、服役时间等，就如病人的年龄、病史一样。与此台

发动机同型号的其他发动机是否出现过类似的故障，所谓的“病人的家族史”。此外，还有本台发动机的性能（病人的性情、习惯）、生活环境（病人的居住环境）等，是否存在特殊性。

切：中医上的脉诊对于发动机失效分析来说，主要是关键故障的痕迹、断口形貌、材质等分析，也是尤为重要的一环，故障的痕迹和断口形貌，如病人的脉络一样记录着发生故障时留下的零件在载荷和环境，如力学、化学、热学、电学等因素单独或共同地作用于零件所留下的信息。

因此，发动机失效分析的思路就是通过上述“望闻问切”获得的信息，以宏观表象特征和微观表象机理为理论依据，有机结合，全面应用逻辑推理方法，从而判断失效的肇事件、失效模式，推断失效原因，并通过一些模拟试验进行验证。而事实上，对于发动机失效分析的难点在于不是做到了以上的这四步就肯定能找到失效原因。一来，发动机工作环境恶劣，高温高压高转速，这种情况下某一个零件的失效往往会造成后续很多二次破坏，甚至掩盖了故障发生最开始时的一些表象，造成误判；此外，在高温高压高转速工作环境下，各部件发生的变化或承受的应力和温度畸变远远超出了发动机在“静态”计算和分析中所能预测到的；再者，发动机的设计和制造是多学科交叉、多部门参与、技术密集、综合性极强的系统工程，加之发动机结构和各零件形状的复杂性，零件设计、材料、工艺、制造及使用的每一个环节都影响着零件的失效。因此，发动机失效分析从来不是某一个人或者某一个领域就能对某一个故

障做出正确的诊断。另一方面，发动机失效分析的复杂性和困难性，还体现在这种分析是建立在客观现象和基本理论上的主观能动性行为，不仅是对一些技术问题的认识需要过程的积累，而且一些管理因素以及分析人员的差异性都能影响到分析结果的准确性。因此，往往是一次故障要重复发生几次，才能真正地找到原因。

对于发动机来说，设计是主导，材料是基础，工艺是保证，使用是监护。航空发动机的使用过程是综合考核发动机设计水平、材料选择、制造工艺、维护修理等方面实际质量的过程，当这些质量问题在使用中充分暴露时，失效分析便是检验、评定产品缺陷安全度的最佳依据。它好似一面镜子，不断反映产品所固有的以及质量控制中的薄弱环节，是处理这些问题的最有力的手段。

扁鹊的“望闻问切”指导了发动机失效分析的思路，但是众所周知，目前成功的失效分析也多如扁鹊的医术，都是事后的分析。解决患者难，防患未然者神。因此失效分析的方向要从“事后分析”创新发展为“事前预防”，在发动机研制阶段就把产品的失效和可靠性进行评价，建立构建安全可靠或失效概率的物理数学模型，并通过数值计算和试验模拟验证，达到构件全寿命周期的安全与可靠性评估的目的，在规定的寿命内，使产品在规定工作条件下完成规定功能时产生的失效可能性降到最低程度，逐渐达到防患于未然。而作为发动机失效分析的人员，不仅要有医生的思路、侦探的技巧，还要有一颗任何情况下坚持实事求是、坚持真理的心。

CATIA知识工程在工艺设计中的应用

航空工业庆安 丁东旭

随着航空工业庆安数字化制造技术的快速发展、产品任务的不断加大，工艺人员在工艺方案设计和数控编程阶段不同程度上进行着重复的工作，而通过知识工程的思想，在工艺设计过程中将原有工程制造经验、专家知识及标准规范融入到现有工艺设计中，通过知识的“再利用”实现了与CATIA系统的无缝连接，从而一定程度上减少工艺人员的重复工作，另外通过CATIA的Catalog功能，有效地将一些工程经验进行整理和存储，从而也使得专家知识可以得到高效利用。

知识工程是人工智能发展到新阶段必然产生的课题，是面向现代制造技术要求而产生并发展的新型智能制造方法的重要工具。知识工程是促进制造智能化的重要途径，它的任务是通过访问专家，了解他们的知识，将所得的信息由一些人（通常是知识工程师）编写成计算机内的表现形式。计算机可以类似人类进行推理和求解问题。知识工程被视为一种将知识从专家头脑中“提取”或“挖掘”出来并以可计算形式传递给机器的过程。通过知识工程的主要定义我们可以看出，知识工程主要是通过知识采集、知识聚集、知识管理、知识应用等流程将一些知识信息（包括专家经验知识、标准规范、原理公式等）通过计算机将这些推理和运用的范围显性化出来。一方面方便工程技术人员快速调用，另一方面可以有效地对知识信息进行管理，在知识积累、管理和推广上，知识工程都有其不可替代的巨大优势。

知识工程适用范围很广，与制造技术、自动化技术、系统工程、信息技术等学科相互渗透，知识工程适用于产品的全生命周期，笔者认为知识工程在一些已有多年经验沉淀的、

以经验积累为主的传统制造行业中，作用尤为明显。比如在数控加工行业中，影响零件加工效率和质量的因素有很多，包含人、机、料、法、环等多个方面影响着加工过程，很难通过理论来寻求最佳的加工方案，一般都遵循一些原有的加工经验来进行现有零件的方案策划，而工艺设计的合理性很大程度上取决于工程技术人员经验丰富程度。理想状态下，企业肯定希望所有零件的加工方案是最优的，即集合了所有专家的经验和建议。虽然企业在策划阶段都进行风险分析和评估，可风险分析的全流程覆盖显然是很难实现的。而通过知识工程，尽可能地将所有专家知识进行整合，技术人员在策划阶段可快速调用专家知识，进而也保质保量地完成零件的工艺设计。

制造业经过一个世纪的发展，生产过程中有着大量的专家知识，也形成了很多标准和规范，随着计算机技术和CAD/CAM软件和数据库技术的快速发展，计算机可以将这些专家知识和标准规范建立和管理起来并传递给用户。以CATIA软件为例，CATIA软件中的知识工程专家模块，CATALOG模块就可以用来建立和管理专家知识，其主要是通过参数化设计，然后建立一些函数或规则来表达专家知识，并通过CATALOG对专家知识进行保存和层级管理。在当今数字化制造要深入发展，无论是工艺设计，还是数控编程都需要CAD/CAM软件的辅助。而在CAM软件中构建的完整的加工环境，应包含流程、部件和加工资源，而部件又包含零件、毛坯和夹具，如果从装配的维度来划分，一个包含零件、毛坯和夹具的组合称之为部件，即零件为部件的一部分，而零件是由许多特征构成，在CATIA环境下不同的层级要素其参数化设计的方法也不同，本文对于特征级的要素通过超级副本功能来建立，

而对于零件级则通过公式、设计表等功能来实现。

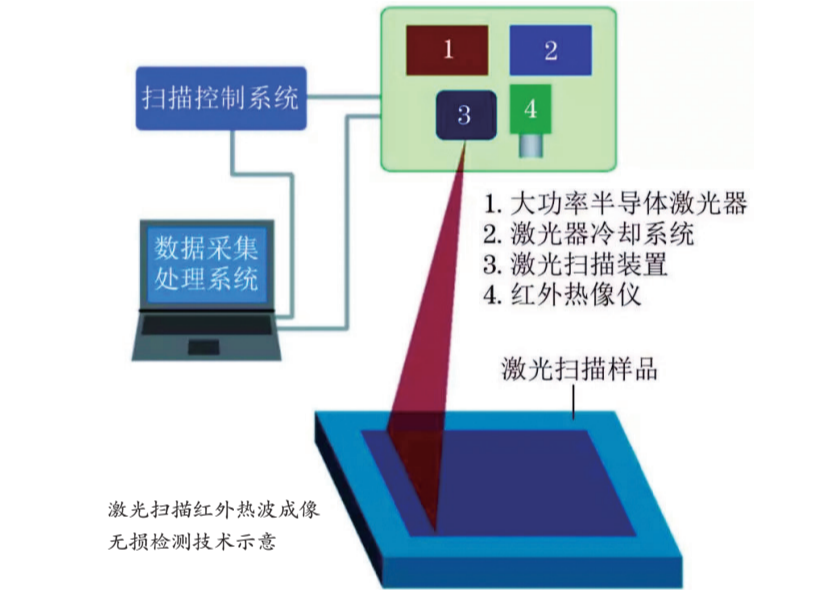
近年来加工设备快速更新换代，壳体零件的加工工序也越来越集中，加工效率也在不断提高。通过近十年的探索和研究，壳体零件的加工流程也逐渐成组化和系列化，基本上形成了固定接口的装夹方式和四轴加五轴的加工思路，而接口形式也由原有的燕尾装夹逐步转变为稳定更好、重复定位精度更高的一面两销螺纹拉紧的方式，目前常用的接口形式有两个系列，每种系列下有几种固定的规格。另外，通过摸索，在壳体零件典型特征的加工方法上也不同程度积累了加工经验。在工艺设计阶段也逐步形成了固有的策划流程：确定接口形式及位置→构建加工环境→编制数控程序。所以如何快速调用和调整接口特征，快换工装以及编程方法一定程度上影响着工艺员的工作效率。而通过CATIA专家知识模块则很好地解决此类问题。

CATIA超级副本（Power Copy）功能是参数化设计技术的拓展，实质是参数化和“宏”的有机结合。即在交互式环境中输入“相似特征”的参数，宏调用输入的参数，通过修改参数，自动生成典型零件特征。由此可以看出，通过CATIA知识工程可以有效地对典型特征的加工知识进行存储及管理，

一般通过参数化设计建立标准件的流程，首先成组零件中某一零件通过参数化设计对零件进行建模，然后通过设计表将成组零件导入。最后，通过CATALOG对成组零件进行保存管理。通过数字化加工的积累，通过现场不断地实践和积累，对于一些特征选用的刀具，加工方法都有各自的标准规范，比如快进给刀具的开粗，堵杯孔的加工流程，端口的加工流程，但是由于规范查阅麻烦，信息不全，工艺人员水平不一导致这些加工经验很难快速并准确地传递到使用者身上，而通过CATIA知识工程可以有效地对典型特征的加工知识进行存储及管理，工艺在使用中则无需询问专家或查阅资料，在CATIA环境下就可通过交互的方式快速调用。

通过CATIA知识工程模块可以有效地对知识的进行存储和管理，一方面有效地减少工作中的“重复劳动”，另一方面也对企业知识进行了积累，使得新员工快速掌握公司积累的工程知识经验。本文只是知识工程运用的很小一部分，而知识工程的深层次运用则可以为日常工作带来更多的便利，相应的也需要投入更大的精力。

实用新技术检测航空发动机涂层缺陷



涂层技术作为航空发动机的核心技术，发挥着隔热、防护、抗磨、抗冲击、减震等不同的作用，从而提高了航空发动机的最高工作温度，减少燃油消耗，降低与空气的摩擦，延长航空发动机的使用寿命，保障航空发动机的安全可靠运行。

涂层厚度不均匀、黏接质量、厚度超标都将影响涂层的性能。在制作过程中，涂层和基体材料黏接不牢甚至脱黏；在使用过程中，涂层产生裂纹或者涂层与基体脱黏分离，都将严重影响航空发动机的运行安全，因此对涂层缺陷的检测十分重要。

航空发动机涂层缺陷的检测技术主要有红外热波无损检测、激光扫描红外热波技术、微波技术等。其中，红外热波无损检测技术是一种数字化新型无损检测技术，具有非接触、非破坏、检测面积大、检测速度快、便于在线检测、结果直观易懂等优点，受到越来越多研究人员的关注。

红外热波成像技术属于主动红外热成像技术，与被动红外热成像的区别在于其是主动施加热激励。目前，国际上主流采用高功率闪光灯进行热激励，但是闪光灯电源体积庞大而且笨重，闪光灯热均匀性差，只能近距离进行热激励。为此，南京诺威尔光电系统有限公司和中国航发南方的研究人员采用激光扫描红外热波技术，利用线状连续激光束在试件表面进行扫描，形成高功率密度的脉冲热激励，实现试件表面的热激励。

激光扫描热波成像基本原理

红外热波无损检测技术主动采用热激励源对材料表面进行加热，形成的热波向材料内部进行传播，材料内部的缺陷如裂纹、脱黏、损伤等会形成热阻而影响热波的传播，从而引起材料表面温度场的变化。利用红外热像仪记录材料表面的温度变化，从而可以检测到材料内部的缺陷信息。

红外热波无损检测技术的必要条件是材料内部的温度梯度，而脉冲热激励则是产生这种温度梯度的有效方法。脉冲热激励主要包括闪

光灯和激光。

近年来，半导体激光器的发展非常迅速，由于其功率高、价格低、体积小，在工业领域得到了广泛的应用。半导体激光器功率可以达到很高，但半导体激光器的输出一般是点光源，功率密度很高，容易损伤材料表面，不适合直接作为红外热波无损检测技术的热激励源。为此，研究人员提出采用线型激光束扫描方式，其激光器功率很高，功率密度低，可在材料表面形成短周期的脉冲加热，而不会损伤材料表面。

高功率激光器的光束经透镜整形，形成一均匀线型光斑照射在试件表面上，数据采集处理系统通过扫描控制装置，根据试件的特性来调节扫描速度和扫描时序关系，从而实现试件内部缺陷的检测。

激光扫描热波成像检测系统

激光扫描热波无损检测设备主要由计算机、扫描控制单元、测试平台等部分组成。测试平台包括激光器及冷却系统、扫描振镜、热像仪及光路系统等，其采用激光对试件表面进行扫描与采集红外图像。扫描控制单元用于控制热像仪和激光扫描振镜之间的同步。计算机系统用于硬件控制、系统监测、图像分析与处理等。

激光扫描热波无损检测系统中的关键技术在于激光扫描与采集之间的同步关系，确保激光一进入到红外热像仪视场就开始同步采集，对于后续图像处理是非常有好处的。激光扫描的快慢根据试件导热率决定，一般扫描速度在6~30mm/s之间。（江海军）



激光扫描红外热波无损检测设备外观