



智能材料与敏感飞机

赵晓鹏 罗春荣 周本谦

智能材料将使飞行器结构和外壳发生革命性的变化,智能材料被认为是航空航天技术中最重要的新材料领域,智能材料的显著特征之一是具有内禀的或必要的智力,能自动适应外部的激励,如载荷和环境状态。模仿生命系统,智能材料用传感器作为神经系统,激励器作为肌肉,微处理器作为它的大脑。智能材料的智力能够由材料成分、工艺、微结构等预先设置,以便适应各种情况的激励控制。智能材料是一门交叉学科,在世界各地有一大批物理学家、化学家、材料学家、机器人专家、系统控制专家、计算机专家、航空航天航海及其他一些领域的专家正致力于发展这一学科。目前,智能材料研究得到迅速发展;1992年1月在苏格兰召开了第一届欧洲机敏材料和结构讨论会,1992年3月日本科技厅主办了第一届国际智能材料研讨会,1994年6月在美国弗吉尼亚召开国际智能材料会议。虽然,智能材料和结构的概念,可以应用到各种设计和装置,如桥梁、水坝、建筑、管道、舰船、陆地交通和日常生活,但近来研究的主要方向是致力于未来的空间应用,如先进飞行器、运载火箭、大型空间站等。本文简介智能材料的基本概念,并略述在未来的敏感飞机中智能材料的应用。

一、智能材料简介

智能材料是指能模仿生命系统同时具有感知和激励双重功能的材料,它既能感知环境状态,又能自动的作出响应,如发射声波、辐射电磁波和热能,甚至能促进化学反应和改变颜色,作出类似于有生命物质的智慧反应。用传感器作为神经系统,激励器作为肌肉,微处理器作为大脑。智能材料分为被动智能材料与主动智能材料。被动智能材料不需外加的辅助就能有效地反映出对外界环境的变化并作出响应。早期主要研究被动敏感结构,它们具有系统整体的光学微传感器系统,以便决定结构状态和它所处的环境。近来主动敏感结构得到更多的注意。它们不仅具有光学神经系

统,同时具有激励器控制系统,以便影响结构在某些方面的变化,如刚度、形状、位置,取向和速度等。主动智能材料具有自动学习的功能,它由反馈网络发挥自身的感知和驱动功能。

智能化技术首先将应用到复合材料之中,适当的传感器和激励器能在制造过程嵌入结构。嵌入材料的传感器代表了发展的第一阶段,在这个领域已经取得了许多成果。第二阶段集中研制被嵌入或在表面安置的激励器的协调,是目前智能材料研究的主要问题。第三阶段的发展将是如何使控制系统及时解释传感器的数据以决定操作行为。

1. 神经系统

声学波导、微电子装置和光纤光缆都能作为传感器置入复合材料。其中,光纤具有与复合材料制造过程的相容性及能抵御与复合材料自身承受的一样大的应变。另外,当光纤对感知复合材料内部提供信号时,材料的介电性质仍然不变。它可以提供复合材料结构从制造、试验到服役的整个寿命过程的连续监测全貌。

大约20年前光纤进入通讯领域,从而引起了这个领域的革命性变化。用光纤作传感器仅有约10年左右,但它所引起的变化也是巨大的。光纤传感器可以分成两类,外部传感器和内部传感器。作为外部传感器,光纤本身仅仅是传递讯号,它没有感知性能。内部传感器利用了光纤的一些固有属性检测某些现象或定量测量,如用双折射性质检测力;压电效应测定压力;发光现象测密度变化;光电效应测电场;电致发光测电路等等。被动敏感结构的成功发展得益于设计和采用适当的光纤传感器、感知技术、多路传输技术以及恰当的制造方案,其中包括传感器的嵌入。可以设计各种光纤传感器用以检测整个物性参数,包括温度、应变、压力、电场和磁场等。光纤传感器依靠在纤维附近物理参数的相互作用产生传输信号的调制。目前研制的在复合材料中使用的传感器有微弯曲强度传感器,它是把单模或多模光纤传输功率的变化与复合材料自身产生的微弯曲效应连接到一起。这种传感器对监测材料内部愈合状态将会很有用。干涉相位传感器用来检测物理扰动对单模纤维中传播的相干激光相位的影响,这种相位移动可以由心部折射率的变化或纤维

中应变状态的改变所造成。在偏振传感器中要求保持纤维的极化,通过监测两个正交极化本征模式中的相位差来确定应变或温度的变化。此外,双心纤维、散布光纤传感系统等也被采用。

由神经状光纤连接起来的传感器网络以“自我发觉”的方式预告建筑物和桥梁的情况。美国佛蒙特大学不久前成功地将 2.5 英里长的光缆装入一个新建医学研究中心的混凝土墙、天花板和支柱中。这种网络除了检测细微的运动之外,还装备光传感器以测定裂纹是否正在形成。在威努斯基河大坝上,安装了约 4.5 英里长的光纤光缆用于检测大坝的水压、溢洪水道通过量和发电机振动情况,这种计算机化检测系统每天自动地检测大坝结构若干次并能发出紧急信号。美国弗吉尼亚智能材料系统和结构技术研究中心正在探索一种新的设计思想,检测桥梁或道路对其周围环境发生的反应。他们试图通过一组同轴电缆将一种电脉冲发送入桥柱,乃至通过一根钢筋传送一股电流,便可根据测量信号返回到接收器所花的时间来测定其内部损坏情况。

2. 肌肉

在复合材料中嵌入激励器的做法,仅仅是近几年才产生的。目前,作为激励器的材料主要有形状记忆合金、压电材料和电流变液体。利用记忆效应,形状记忆合金材料制成的丝已被用来嵌入复合材料,以实现结构振动的控制和强化。美国国家宇航局正在研究用形状记忆合金材料制成的丝和板实现对柔性构件的弯曲控制和柔性结构的振动控制。由形状记忆合金混杂复合材料可以实现瞬态振动控制,它对于耗散振动结构之内的能量是非常有效的。此外,同时利用力激励器和刚度激励器形成一种结构,可实现对运动和形状的同时控制,它的行为更象人体的肌肉。对压电材料施加一个作用力可产生相应的电响应,表现出对激励的自适应反应。压电材料可以是晶体也可以是陶瓷。考虑到它的脆性,通常把它们制成一些聚合物,这样能做成很薄的片,并嵌入到材料的内部或粘到任何表面。意大利比萨大学的研究人员,根据人类皮肤有表皮和真皮的特点,为机器人制造了一种人造皮肤,这种皮肤不仅富有弹性,厚度也和真皮肤差不多。他们制作了特殊的表皮,它由两层橡胶薄膜组成,在薄膜之间到处放置只有针尖大小的用压电陶瓷制成的激励器。在受到压力时,就产生电压,受压越大,产生的电压就越大。这种人造皮的机器人可以灵敏地感觉到一片胶纸脱离时产生的拉力,或灵敏地感觉到一个加了润滑剂的发动机轴承脱离时摩擦力突然变化的情况,迅速作出握紧反应。嵌入复合材料之内的压电材料受力会产生电流,发出振动,抵消外界引起的噪音。这可用于降低汽车、桥梁、潜水艇、卫星乃至空间站的振动。用压电材料消除电冰箱和空调器的噪音对大多数

人将有直接用途。

电流变液是一种神奇的流体,它是由具有高介电常数的小颗粒和油液组成的混合物。没有电场时,电流变液呈液体状态,可象水或液压油那样自由流动。如果在电场的作用下,它处在渐变的胶状形态,且与电场强度成正比。这种固液之间的转变仅仅在毫秒(约千分之一秒)间就可实现,而且这种转变是可逆的。施加电场的电流变液用足够的力改变时,可以发生流变,但是当外加剪应力低于临界值时,胶体表现出固体特性,具有可测量的刚度。美国能源部 1992 年提出的《电流变液估量报告》中曾指出“电流变液将使工业和技术若干部门出现革命性的变革,这些部门包括工业自动化设备工业,如液体阀门、离合器、控制设备、伺服机械、阻尼系统等;通用及专用机械工业,如建筑机械,农场机械、油田机械等;油压工业,如液压油缸、液压活塞、闭环控制系统等;交通工业,如航空航天、力矩转换器、发动机底座避震器、变速器、耦合制动系统等。难怪美国密歇根大学 Filisko 教授预言“电流变液将产生比半导体更大的革命”。用电流变液作激励器的研究目前主要是自动调节减震结构和自愈合结构。

3. 大脑

智能结构中的大脑通常是微处理器。将来,含有嵌入的传感器和激励器及微处理器的结构组成一个系统,接收到来自传感器的信号,微处理控制器迅速作出诠释并触发激励器改变材料响应。如美国的桥梁专家设计出可自动加固的桥梁。他们设想把极微小的信号传感器和微型计算机芯片埋入桥梁,而桥梁材料由形状记忆合金或电流变液材料组成。埋在材料中的传感器得到某部分材料中出现问题的信号后,计算机就会发生指令,使事先嵌入的电流变液变成固体自动加固。

目前,没有嵌入传感器和微处理器的被动式智能材料研究取得很大进展。美国伊利诺斯大学建筑材料实验室的 Carolyn Dry 教授研制出一种能自行愈合的混凝土。他们把大量的空心纤维加入混凝土中,空心纤维中又装满“裂纹修补剂”。这种混凝土在建筑物中一旦开裂,空心纤维也随着开裂,修补剂就从空心纤维中流淌出来,填充在开裂的地方自行愈合。

二、敏感飞机

21 世纪人类社会的进步强烈地依赖于科技进步。作为技术革新的驱动力,与物质或材料相关的科学和技术将充当重要的角色。现在,创造智能材料的要求不断增长,在众多的科学领域依照各自不同出发点的许多方法正在被尝试。例如,在人工智能、神经计算机等相关领域,可以用智能材料部分代替传统上一直依赖的应用软件、电子线路等。在医疗领域,发展具有生物相容性、适当的重量、自控制和其他柔韧性功能的新材料,以代替外部控制假体材料,如人工组织、血管、骨

髓等都是非常迫切的需要。在航空、空间和原子能发展等领域,使用在严酷环境下的材料,不仅仅需要耐久性,而且需要许多功能,如自诊断,损伤抑制,自修复或剩余寿命预告以避免事故。日常生活中的材料,包括布料、建筑材料和生活必需品,将朝着依靠环境可自动调节的非常便利和舒适的方向发展,以满足人类的要求。美国智能材料系统研究的重点在航空、航天、航海和机器人应用。当前,非破坏估计、损伤控制、振动和声学控制、精确运动控制、自适应材料、智能过程方法等受到特别重视。

敏感飞机被认为是未来飞机发展的方向。由智能材料和结构组成的这种飞机,一方面具有敏感结构,它的所有系统得到监控,包括推进器、飞行控制、航空电子设备和结构。它的各子系统,如起落架、液压力学、气动力学和环境控制将被分别监控。另一方面它能实现损伤抑制和自动修复,避免事故发生。

这种监控或说“视觉”是对人类神经系统的模仿。近来新材料的发展、传感器技术的革新及计算机硬件、软件的成就使得视觉成为可能。美国多伦大学光纤智能结构实验室正在设计各种方法,试图使机翼和其他关键结构具有自己的神经系统、肌肉和大脑,使它能感觉到即将出现的故障并能自行解决,如在飞机发生故障之前向飞行员发出警报。一种机翼用智能材料是在高性能复合材料中嵌入细小的光纤材料。由于在复合材料中布满了纵横交错的光纤,它们就能象“神经”那样感受到机翼上受到的不同压力,因为通过测量光纤传输光时各种变化,可以测出飞机机翼承受的不

同压力,在极端严重的情况下,光纤会断裂,光传输就会中断,于是就能发出即将出现事故的警告。新近,美国洛克希德飞机公司研制出一种新型飞机蒙皮。把微型处理器,微型传感器和微型天线等植入用导电的复合材料制成的飞机蒙皮中,实现电子设备和飞机蒙皮一体化。一旦飞机在战斗中或者飞行时受到损伤,传感器即可从受损部位的应力变化得到感觉,马上把获得的感觉通过电路传给微型处理器,然后由与微型处理器相通的中央计算机作出决策,指挥受损部位重建电路,保证电子系统继续正常工作,使飞机安全返航。

振动问题特别是随机突然振动对飞机的正常飞行造成了极大的影响。用电流变液作激励器的自适应材料系统和自适应结构能根据环境状态自动调节,实现主动振动控制。如装在飞机座舱壁的电液变液材料装置,能减弱飞机产生噪音的振动,使飞机飞行平稳。置入直升机水平旋翼叶片的电流变液可实现自动加固,利用电流变液的直升机衰减结构,可排除对直升机振动源的响应频率等。

自愈合是生物界的特征之一。在被动智能材料中实现自愈合的设想已经得到实现。未来的敏感飞机中实现损伤抑制和自动修复是人们追求的目标。我们在国内最早开展了金属材料愈合研究,目前在材料自愈合方面取得一些成果,研究课题得到了国家自然科学基金委员会、中国科学院等单位资助。

航空技术的发展给人类插上了飞行的翅膀,智能材料在飞机中的应用,将使人类的飞行趋于完美。

(上接第 41 页)

应用领域。

续 表

——石油的年代和流向
地表过程研
——过去太阳活动信息和宇宙线的变化
——山脉隆升速率
——地表层年代或土壤的侵蚀
环境中核废物和放射性
——放射性物质的深部渗透和沉积
——核废物后处理工厂释放的 ^{36}Cl
——铀矿体的侵蚀
——铀矿区地下水的地球化学离析作用
宇宙化学
——陨石暴露年龄
——月球表面的宇宙成因 ^{36}Cl
—— $^{36}\text{Ar}(n,p)^{36}\text{Cl}$ 截面的测定
半导体物理
——Cl 在硅中的扩散

中国原子能科学研究院利用加速器质谱计测定了我国东北连山关铀矿区的地下水和矿石,柴达木盆地朵斯勒湖石盐以及河北平原地下水中的 ^{36}Cl 。研究内容涉及:将 ^{36}Cl 作为指示剂研究地下水中可溶性长寿命核素的迁移,在核废物安全贮存研究方面的应用,地下水年龄和大陆蒸发盐的断代研究,其它应用,例如我国的核设施环境,长寿命核素在水圈的迁移,油井的成因,温泉年代及其成因等项研究,正在逐步展开。

(上接第 31 页)

它是在大约 2×10^5 个大气压下结晶而成的,其体积弹性模量甚至高于假设的超硬材料 $\beta\text{-C}_3\text{N}_4$ 。故就目前的情况看要夺取金刚石的霸主地位并取而代之,仍将需要作艰苦的努力。