

驱动元件犹如变色龙,当外界信息发生变化的时候,它可以改变自身的结构等以更好地适应环境的变化。

1.3 智能控制技术

在智能结构中,控制系统也是重要组成部分之一,它的作用相当于人的大脑。智能结构控制系统包括控制元件及控制策略与算法等。智能结构的控制元件集成于结构之中,其控制对象就是结构自身。由于智能结构本身是分布式、强耦合的非线性系统,且所处的环境具有不确定性和时变性,因此,要求控制元件能够自己形成控制规律,并能够快速完成优化过程,需有很强的实时性和在线性。而以频域为基础的经典控制理论和以时域为基础的现代控制理论均难以面对智能结构自身的特征和所处的环境^[5]。智能结构的控制打破了传统控制系统的研究模式,将对受控对象的研究转移到对控制器自身的研究上,通过提高控制器的智能水平来减少对受控对象数学模型的依赖,从而增强结构系统的适应能力,使控制元件在受控对象性能发生变化、漂移、环境不确定和时变的情况下,始终获得满意的控制效果。

除了智能传感技术、智能驱动技术以及智能控制技术这3种较为重要的技术外,智能信息处理与运输也至关重要。对多传感器数据与信息融合,以及多传感器的优化配置的研究^[6]也是智能结构信息处理研究的重要内容。

2 智能材料的3种基础材料

随着研究工作的逐步深入,可用于构建智能材料系统的基础材料正日趋完善并不断丰富。目前,国内外现已研制成功并实现了商品化的该类材料有两类:一是形状记忆材料、智能高分子材料等,可用作智能材料系统中的驱动器材料;另一类是压电材料、光导纤维等,可用作智能材料系统中的感知材料^[7]。

2.1 形状记忆材料

形状记忆是指具有初始形状的制品,经形变固定之后,通过加热等外部条件刺激手段的处理,又可使其恢复初始形状的现象。形状记忆材料包括形状记忆合金(SMA)、形状记忆陶瓷(SMC)、形状记忆高分子(SMP)。SMA是研究最早的智能材料之一,是利用应力和温度诱发相变的机理来实现形状记忆功能的。将其在高温下进行定型,在低温或常温下使其产生塑性变形,当环境温度升至临界温度时,合金变形消失并恢复到定型的原始状态,将这种加热后又恢复的现象称作形状记忆效应(SME),将具有形状记忆效应的合金称作形状记忆合金。形状记忆合金主要用来制作驱动器,其具有许多独特的性能,其中最主要的是形状记忆效应(SME)、伪弹

性效应(PE)、类橡胶性(HDC)^[8]。目前SMA已在航空航天、电子、仪器仪表、自动控制、能源、建筑、医疗以及日常生活中得到了广泛应用。

与形状记忆合金相比,形状记忆高分子材料不仅变形量大、赋形容易、形状响应温度便于调整,还具有保温、绝缘性能好、不易锈蚀等特点。根据形状记忆高分子材料的材料回复原理可将其分为:热致感应型、电致感应型、光致感应型等。如最近KEN等^[9]利用纳米级SiC颗粒增强形状记忆高分子基体,把颗粒状SiC掺入一种热固性形状记忆高分子树脂中,通过调节SiC颗粒的含量,可以得到不同回复性的形状记忆高分子材料,在其含量小于40%时,显示出良好的回复性。再比如Annick等^[10]研究聚氨酯栓塞的细胞毒性和诱发性,发现利用其形状记忆功能和泡沫结构的弹性既能很好的保持栓塞的形状,又具有良好的生物相容性。

2.2 压电材料

压电材料是通过电偶极子在电场中的自然排列而改变材料的尺寸,响应外加电压而产生应力或应变,电和力学性能之间呈线性关系。压电材料具有以下特点:(1)具有正逆压电效应,使得它在智能结构中既可作传感元件又可作驱动元件;(2)频响范围宽,响应速度快,功耗低;(3)输入输出均为电信号,易于测量与控制;(4)容易加工得很薄,特别适合于柔性结构。压电材料包括压电陶瓷和压电高分子。

大多数压电器件通常由压电陶瓷构成。使用最广的压电陶瓷是醋酞酸铅(PZT),其在许多广为人知的器件和商品化器件内做致(起)动元件和敏感元件,例如所有的呼吸机都是以压电陶瓷声频换能器为核心构成的。超声净化器、定时器与声纳系统、流体测量装置、气压计以及扩音器都离不开压电陶瓷。由于PZT压电态至非压电态的转变温度低,其工作温度范围比较狭窄,因而目前正开发其在较高温度条件下的应用,如Zahi等^[11]合成了一种三元压电陶瓷,考察了其介电和电性能,发现当居里温度(T_c)在250~305℃范围内时,这种材料具有较高的机电耦合系数(kp)。再比如Amen^[12]等研制的PZT压电纤维可用于震动控制。

2.3 智能高分子材料

现在人们已经认识到生物体中有许多组织具有类似水凝胶的结构,如人体器官内壁粘液层、眼的玻璃体和角膜、细胞外基质等均为凝胶状组织。这为从仿生构思研制智能生物材料指明了方向。当生物组织受到温度、化学物质等刺激时,形状和物性发生变化,进而呈现相应的功能。将生物的某些功能引入材料,使材料智能化,是21世纪开拓并应用生物材料所面临的挑战之一。智能高分子材料是通过分子设计和有机合成

的方法使有机材料本身具有生物所赋予的高级功能:如自修复与自增殖能力、认识与鉴别能力、刺激响应与环境应变能力等^[13]。这些特殊性能使它可应用于一些特殊领域,如北海道大学长田义仪教授利用凝胶的压电效应,制成人工肌肉,实现类似人的肌肉那样的人工触觉系统^[14]。根据高分子凝胶所受刺激信号的不同,可以将其分为以下几种:温敏性、光敏性、磁场响应、电场响应、PH 响应、化学物质响应等,如利用高分子凝胶的热可逆沉淀—溶解现象,可以将分子阀引入高分子链,即把具有识别功能的生物分子或某种受体的配体(如细胞抗体)结合到高分子链上应用于沉淀诱导的亲和分离,制备生物反应器^[15]。此外,美国科学家利用智能染料分子的荧光效应已研究出一种超微纤维—光纤传感器,它的直径仅为人类毛发的 1‰~1%。当光纤将激光传输至固定在其端部的荧光指示器,并与被分析物分子在尖端处相互作用时,发射光的波长与强度的改变就可转化为被分析物的浓度。

3 智能材料的应用

3.1 智能材料在航空领域的应用

航空领域最早开展了智能材料结构研究。随着航空科学技术的飞速发展,对飞行器的结构提出了更高要求,如轻质、高可靠性、高维护性、高生存能力,为了适应这些要求,必须增加材料的智能性,使用智能材料结构。智能材料结构在航空飞行器上的应用主要有智能蒙皮、自适应机翼、振动噪声控制和结构健康监测等。

3.1.1 智能蒙皮

智能蒙皮是在飞行器蒙皮中植入传感元件、驱动元件和微处理控制系统,它的功能包括:流体边界层控制、结构健康检测、振动与噪声控制、多功能保型天线等。可以实时监测或监控蒙皮损伤,并可使蒙皮产生需要的变形,使结构不仅具有承载功能,还能感知和处理内外环境信息,并通过改变结构的物理性质使结构发生形变,对环境做出响应,实现自诊断、自适应、自修复等多种功能。其中利用智能蒙皮进行边界层控制是通过把边界层维持层流状态,或者对湍流进行控制,大大减小了飞行器飞行中的阻力,延迟在机翼中的空气流动分离,从而提高飞行器性能,减少燃料的消耗。由于飞行器的蒙皮一般都很薄,要求埋入的传感器体积小,对基体结构的损伤较小,符合条件的传感器有光纤、含金属芯压电陶瓷纤维、PVDF 等。

3.1.2 自适应机翼

为了满足高性能飞行器研制需求,自适应机翼技术作为一项关键技术,将发挥其在改善飞机飞行性能方面的重要作用。自适应机翼具有翼型自适应能力,根据不

同的飞行条件改变机翼形状参数,如机翼的弦高、翼展方向的弯曲和机翼厚度,采用最优方式,使机翼能得到空气动力学方面的帮助,如可以有效改善翼面流场、延缓气流分离、增加升力和减少阻力,从而提高飞行器的机动性和载荷能力,抑制气动噪声与振动,并能改善雷达探测的散射截面从而有利于飞行器的隐身。常规的刚性机翼表面导致空气较早分离,使阻力增加、升力减小。

机翼形状的变化范围有 3 种尺度,分别是小尺度变形、中等尺度变形以及大尺度变形(即改变机翼面积、后掠角等)。在 MAS 计划实施之前的研究主要针对中等尺度变形(如改变机翼弯度和扭转角)和小尺度变形(如产生局部鼓包和振荡表面延迟气流分离),MAS 计划则主要研究大尺度变形(如改变机翼面积、平面形状)。

无论机翼变形尺度的大小是多少,机翼的自适应变形无一例外都是通过 2 种技术途径来实现的。第一种途径是通过智能材料的诱导应变来驱动结构产生所需要的形变。其中,压电材料形状记忆合金以及磁致伸缩材料最具作为自适应机翼变形作动器的潜力。另一种途径是采用目前的常规材料结构,结合成熟的控制和驱动技术,融入自适应机翼的概念,采用特殊的一体化结构/机构形式来实现机翼结构可控的自适应变形。

3.1.3 振动噪声控制

飞行器的振动会使结构产生疲劳裂纹,使结构破坏,甚至酿成重大事故,其产生的噪声更会对机组人员和乘客的身心健康造成伤害。随着飞行器日益向轻量化、高速化发展,人们对其舒适性和安全性等方面也提出了越来越高的要求,这就要求我们必须对飞行器进行振动和噪声控制。传统的飞行器减振降噪方法主要是被动控制技术,例如附加约束阻尼层、安装动力吸声器等方法,虽然在飞机结构的振动噪声控制中得到了较好应用,但是这些被动方法的主要缺点在于:一是有效适用的频带较窄,二是往往带来基体结构重量的过度增加而影响飞机的机动性能。

将智能结构技术应用于飞机的振动噪声控制研究,是现代飞机设计中减振降噪技术应用与发展的一个趋势。尤其是压电材料,由于其具有良好的宽频可控特性及机电耦合特性,使其在飞机智能结构减振降噪研究中成为首选的智能材料。

3.1.4 结构健康监测

采用智能结构的健康监测技术可以在线实时地对结构状态进行监测,进而保证飞机的安全性和可靠性、降低维护费用、延长使用寿命。对飞行器机体结构进

行健康监测的主要方法是:把传感元件和传感网络粘贴在机体结构表面或埋入机体结构中,实时监测飞行器的应力、应变、温度、损伤等结构健康状态。常用的传感器主要有光纤和压电传感器。也可以把传感器和传感网络植入飞行器蒙皮中,实时监测飞行器表面的应力、应变、温度、损伤等结构健康状态,并能感受到冲击载荷。

3.2 智能材料在混凝土结构中的应用

智能材料应用在土木工程的混凝土结构中也发挥着至关重要的作用,比如具有自我诊断和自我适应、感觉和自我调节的功能等。智能材料的这些功能和作用的发挥都为混凝土结构的改进和完善打下了良好基础。

3.2.1 具有自诊断和自适应功能的机敏混凝土结构

将机敏材料融合到混凝土中,可使混凝土构件具有自诊断、自增强、自我调节和自愈合的功能。按机敏材料与结构混凝土结合的状况,机敏材料可分为本征和非本征两大类^[16]。当机敏材料与结构混凝土具有相同的物理特征时,即为本征机敏材料(如碳纤维混凝土),反之则为非本征机敏材料(如光纤、记忆合金、愈合管道等)。根据机敏混凝土结构自诊断、自适应功能目标的不同,大致可分为:具有裂缝自诊断和主动控制功能的机敏混凝土结构、具有裂缝自愈合功能的机敏混凝土结构;具有应力状态自诊断功能的压敏混凝土结构、具有温度分布自诊断和自调节功能的温敏混凝土结构、具有结构变形自监测和自适应功能的机敏混凝土结构、具有钢索应力自监测功能的机敏钢索混凝土结构^[17]。

3.2.2 有感觉和自我调节功能的混凝土智能减振结构

这类结构由可调参数智能结构构件和普通结构构件组合而成。它是以普通动力感知器作为结构振动状态的“感觉神经”,由智能材料调节器根据感觉神经测得的结构振动状态,自我调节智能结构构件的参数,来实现减小整个混凝土结构振动^[18]的目标。因此,从根本上说,它与普通的半主动控制结构是一样的,只是在调节参数的手段上采用了智能材料。由于智能材料调节器是通过改变外加电场或磁场的强度调整材料状态从而调整结构参数的,因此它的变化速率要大大快于常规半主动控制中使用的电磁阀装置。这就使得智能减振结构几乎没有时滞,控制的品质大大优于常规的半主动控制结构,这也就是智能减振结构具有旺盛生命力的原因^[19]。

智能材料除了应用在航空领域以及混凝土的结构中,还应用在电子、机械、自动化等领域,其应用原理基本上都是相同的,就是利用相关技术赋予相关的一种或者几种材料于智能的思维,使得材料变得具有生物体的特征即智能化。

3.3 智能材料在船舶领域的应用

目前,船舶工业已将形状记忆合金的原理和基本方

法应用在声发射检测。大量研究表明^[20-25]:通过检测形状记忆合金的 AE 信号、分析 AE 信号的特征参数,可研究和评价船舶结构材料温度和马氏体相变,了解其马氏体相变过程及其特点,进而对作为 AE 源的形状记忆合金本身的性能和状态进行评估。作为一种动态无损检测技术,声发射对研究形状记忆合金智能材料和结构起着重要作用。

智能材料作为一种先进复合材料,在航空航天、建筑、船舶等领域的应用日趋广泛,凭借其轻量化、智能化等优势,愈来愈受到研究人员的广泛关注。

4 智能材料的发展前景

智能材料在现有材料和相关关键技术的基础上发挥着越来越重要的作用,智能材料在材料领域,包括船舶材料中的地位也日趋提高,其应用的广泛性也备受人们的关注。今后智能材料领域的研究主要集中在以下几个方面^[26-27]:

(1) 智能结构集成的数学基础,包括结构集成传感器、执行器和控制器后的特殊数学、力学问题,特别是非线性问题;

(2) 主动传感器,适合于智能结构的应变、振动、损伤腐蚀及温度等传感器的原理方法与技术,特别是分布式传感器及多传感器复合;

(3) 主动执行器,由形状记忆材料、压电材料、智能高分子材料、光导纤维、电(磁)流变体等制成的执行器;

(4) 信息处理、通讯和控制,适用于智能材料系统与结构、仿生的智能控制、模糊控制及神经网络控制的自适应控制的理论及方法;

(5) 智能材料自身特性及智商评价体系的研究。

21 世纪,智能材料将会引导材料科学不断向前发展,其应用和发展将会带领人类物质文明迈入更高的阶段。相信国内外知名的科学家将会研究出新的技术,应用在更新的材料中,运用在包括航空航天、船舶等众多领域,进而为国防作出贡献,研制并生产出越来越多的、具有超高使用价值的商品,令人们的生活和工作更加快捷和方便,从而也会进一步促进复合材料在战略性新兴产业等重大领域的广泛应用。

参考文献

- [1] 姚康德,成国象.智能材料.北京:北京工业出版社,2002.
- [2] Astin F, Knowles G J, Jung C C, et al. Adaptive/conformal wing design for future aircraft. IEEE Regional Control Conference, Brooklyn, USA, 1992.
- [3] Hickman G A, Gerardi A, Feng Y. Application of smart structures to aircraft health monitoring. Journal of Intelligent Material Systems and Structures, 1991, 1: 409-411. (下转第 136 页)

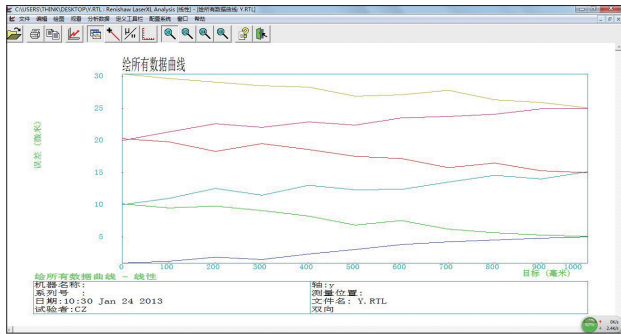


图5 坐标漂移误差曲线
Fig.5 Axis drift error curve

针对可能存在的原因,对该机床进行检查分析,首先,该机床Y坐标行程只有1000mm左右,且设定好原点后立即复查就出现偏差,基本排除是温度差造成测量装置热胀冷缩所引起。于是检查光栅尺安装是否牢靠,经过检查发现固定光栅尺读头的螺钉出现轻微松动,重新紧固螺钉后再次检查,其图形如图6所示。从分析数据的结果看,该机床重复定位为0.0037mm,定位精度为

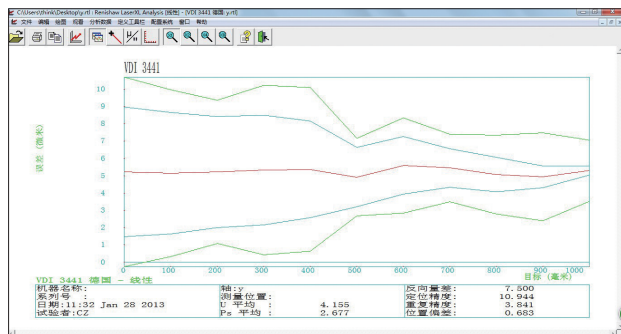


图6 坐标漂移调整后误差曲线
Fig.6 Axis drift error curve after adjustment

0.012 mm,再次设定原点后立即复查,和之前设定值完全不差,故障排除。

5 结束语

综上所述可以看出,利用激光干涉仪的线性测长功能,不仅能够测量出数控机床的定位精度、重复定位精度和反向间隙等数据并对精度进行补偿。还能帮助我们利用检测图形和数据,来分析数控机床出现故障的原因及解决办法,从而迅速恢复机床,缩短维修时间,提高维修的效率。

参考文献

[1] Renishaw. 激光测量系统及附件的在线操作指南. Renishaw plc 版本 2.1,2007.
[2] 王正平. 用激光向量测量技术测量和补偿体积定位误差. 计量技术, 2001 (10):10-13.

(责编 小城)

(上接第 133 页)

[4] 张新霞,郭东洲. 智能材料与结构的研究进展. 结构强度研究,2001(3): 44-45.
[5] 谢建宏,张为公,梁大开. 智能材料结构的研究现状及未来发展. 材料导报, 2006, 20(11):6-9.
[6] Manson G, Worden K. Lamb-wave sensor optimization using differential evolution, 2001.
[7] 奚利飞,郑俊萍,杨红磊,等. 智能材料的研究现状及展望[D]. 南京:东南大学,2005.
[8] 刘爱荣,潘亦苏. 形状记忆合金的研究进展. 材料导报, 2001, 15(5): 32-34.
[9] Gall K, Dunn M L, Liu P, et al. Shape memory polymer nanocomposites. Acta Material, 2002, 50(20): 5115.
[10] Metcalfe A, Desfaits A C, Salazkin I, et al. Cold hibernated elastic memory foams for endovascular interventions. Biomaterials, 2003, 4: 490-491.
[11] Zahi S, Bouaziz R, Abdesslem N, et al. Dielectric and piezoelectric properties of PbZrO₃-PbTiO₃-PbTiO₃-Pb(Ni_{1/3}Sb_{2/3})O₃ ferroelectric ceramic system. Ceramics International, 2003: 29-35.
[12] Amen A, Claude R, Yves V. Segmented piezoelectric fiber composite for vibration control: fabricating and modeling of electromechanical properties. Composites Science and Technology, 2003, 63:867-872.
[13] Patrick S, Stayton, Allan S, et al. Molecular engineering of proteins and polymers for targeting and intracellular delivery of therapeutics. Journal of Controlled Release, 2000, 65: 200-203.
[14] Osada Y, Okuzaki H. Electro-driven polyelectrolyte gel with biomimetic motility. Electrochimica Acta, 1995, 40(13-14):2220-2229.
[15] 吉静,黄明智. 开发智能性明胶. 明胶科学与技术, 2001,21(1):10-12.
[16] Rogers C A. Intelligent material system—the dawn of a new material age. Journal of Intelligent Material System, 1992, 4 (1): 166-185.
[17] Gandhi M V, Thompson B S. Smart Material and Structures. London: Chapman & Hall. 1992.
[18] 履伟廉,项海帆. ER智能材料在结构振动控制中的应用. 地震工程与工程振动, 1998,18(3): 49-55.
[19] 骆宇时,罗为民,张伟. 智能材料在混凝土结构中的应用研究简. 人民长江. 2002,3(3):29-30.
[20] 芦笠,林萍华,陈静,等. 声发射在形状记忆合金研究中的应用. 中国有色金属学报, 2001,11(6): 1002-1008.
[21] Shiwa M, Kishi T. The present and future of AE. Ultrasonic Techno, 1992, 12:15-18.
[22] Hatano H. New trends in AE technics. Nondestructive Inspection, 1995, 44(1):7-9.
[23] Zhang J Z. Nondestructive Inspection Technology and Its Application. Beijing: Science Press, 1993: 339-350.
[24] Funakubo H. Shape Memory Alloys. Tokyo: Sang-gyo Book, 1984: 10-71.
[25] Yito K, Orsuka K, Kamino K, et al. Functional Metallic Materials. Tokyo University Publisher, 1985: 47-55.
[26] 刘锦淮,焦正. 智能材料研究的现状与发展. 传感器世界, 1999,5(8): 5-6.
[27] 杨大智. 智能材料与智能系统. 天津:天津大学出版社, 2000: 37-38.
(责编 亿霖)