

机械零件的声发射检测技术

田建英

(新疆卷烟厂,新疆 乌鲁木齐 833200)

摘要:主要从声发射机理、声发射传感器的研究和多传感器检测技术三个方面介绍了机械零件声发射检测技术的特点、研究现状和发展趋势。

关键词:声发射; 光纤传感器; 分布式

中图分类号:TP274.5

文献标识码:A

文章编号:1002-2333(2006)04-0076-02

1 引言

大型金属构件在使用过程中经常会受到多次交变应力的作用,受力构件的材料内部就会出现缺陷萌生、裂纹扩展和塑性形变,材料的晶体内部的位错移动和复合材料内部基体的破裂,以及材料物质结构的变化。声发射(Acoustic emission,简称AE)是指物体在受到形变或外界作用时,迅速释放弹性能量而产生瞬态应力波的物理现象^[1]。声发射是一常见的物理现象,大多数材料形变和损伤时有声发射发生^[2]。利用AE现象对机械构件损伤进行检测和评价的技术称为AE技术。AE技术具有如下特点:(1)实时性,即信号是由损伤源发出的,因此可以对损伤源在线实时监控;(2)完整性,通过传感器阵列可以准确确定损伤源的位置;(3)适应性,即可以对大型复杂结构进行检测,而不受试件几何形状的限制。由于AE检测技术的以上优点,使得AE技术在材料损伤检测、大型构件完整性评估、结构健康评价和智能材料研究等领域得到了广泛的应用。尤其在美国和欧洲等国家的航空航天领域,AE技术已经成为飞行器设计、开发和测试必不可少的技术手段之一。目前,声发射技术已广泛应用于石油化工工业、电力工业、交通运输、医学、微机电系统、航天和航空等领域。它也是广泛应用于金属材料现代无损检测和构件材料性能研究的一种新技术。

2 声发射技术理论介绍

2.1 声发射技术的原理与特点

声发射是在材料内部动态过程中,材料局部能量释放引起材料内质点震动从而产生的一种弹性波。声发射是弹性介质中能量释放的结果,一般将声发射信号分为

连续型和突发型两种。连续型的特点是波幅没有很大的起伏,发射频率高而发射能量小。突发型表现为脉冲形式,脉冲峰值很大但衰减很快。根据声学理论,弹性波在材料内部是以纵波和横波两种形式传播的,由于弹性波传播到材料表面时会发生反射和折射,使弹性波发生波形转换,因此在材料表面会存在纵波、横波、Rayleigh波或Lamb波,也造成声发射波分析的复杂性。

2.2 声发射实时检测的可行性和常用的测量参数

当弹性波传播到材料表面时,可引起材料表面的微小垂直位移,这种垂直位移一般为 $10^{-7} \sim 10^{-14} \text{m}$,可见其幅值很小,这时传感器接受到的信号电压仅约为数微伏。因此要求声发射检测系统应有高的检测灵敏度和宽的动态范围,并且固有噪声低。但是因为声发射信号是在材料的动态过程中产生的,这使得对材料损伤的实时检测成为可能。声发射检测属于无损检测方法的一种,由于材料的损伤可以通过声发射这种物理现象表现出来,因此我们只要通过对声发射信号进行检测就能获取材料损伤的信息。声发射测量参数包括事件记数与事件记数率、幅度分布、能量和能量率、有效值电压和频谱分布。

3 声发射传感器研究现状

3.1 光纤声发射传感技术介绍

声发射检测技术自从1960年代问世以来,受到工业发达国家的普遍重视,在理论研究、实验研究和实际应用方面得到了很大的发展。在声发射检测系统的研制方面,许多新型的声发射检测系统不断问世并被成功应用。声发射换能器的研究是声发射检测技术的一项重要内容。现在的商用声发射检测系统通常采用谐振式压电

5 结语

本系统基于LabVIEW开发平台,与传统设计相比具有研制周期短、容易组建、开发成本低、性能可靠、界面友好、易于功能扩展等优点。通过对动态链接库的调用,实现对采集卡的驱动,满足实时数据采集和控制的需要。同时,还可实现数据存储,以备数据分析使用。

在科研试验中,实现了磨料水射流试验台的射流压力、流量、温度等物理量的测量,满足了后续研究的需求。

[参考文献]

[1] 薛胜雄.高压水射流技术与应用[M].北京:机械工业出版社,

1998:11-16.

[2] 汪庆华.磨料射流装置及特性研究[D].西安:西安工业学院,2004:26-33,41-45.

[3] 赵陆.冰粒射流加工工艺及设备的研究[D].西安:西安工业学院,2005:33-42.

[4] 张锦华,杨宏军.基于虚拟仪器的织机振动测试系统的研究[J].四川纺织科技,2004,(2):4-6.

(编辑 昊天)

作者简介:万宏强(1973-),男,讲师,博士研究生,主要从事动态设计、故障诊断等方面的研究。

收稿日期:2005-09-21

传感器,其压电材料是锆钛酸铅(PZT)一类的压电陶瓷。特点是灵敏度高但频带窄,不能在电磁干扰、高温和腐蚀等恶劣环境下使用。近20年来,随着光纤(Fiber Optic,FO)传感技术的快速发展和在各个领域中的广泛应用,用于无损检测领域的光纤声发射传感器(FO AE Sensors)的研究也取得了一定的进展,在许多领域得到了应用。与传统压电声发射传感器相比,光纤声发射传感器灵敏度高、体积小、频带宽,易于构成分布式检测,且能在强电磁干扰、高温高压、核辐射和化学腐蚀等恶劣条件下使用,因此在材料损伤检测、大型构件完整性评估、结构健康评价和智能材料研究中有着广泛的应用前景。

高温、腐蚀和强电磁干扰等工作环境对传感检测系统的环境耐受力提出了严格的要求。因此,目前常用的声发射检测系统不能完全满足这种要求。而光纤声发射传感器能够满足机械零件在线实时监控和损伤评价要求,因此,AE技术和光纤检测技术的结合,是完全可以满足机械零件在线实时监控和评估的要求。

3.2 光纤声发射传感技术研究现状

通过被测物理量(AE)对传输光参数进行调制,然后解调已调制的光信号,得出被测量从而了解对象当前状态就是光纤声发射检测。根据传输光调制参数的不同,用于声发射信号检测的光纤传感器类型主要有强度调制、相位调制、波长调制和偏振调制等类型,并且都有成功应用的例子。在国内外所报道的关于FO AE传感器的文献中,主要都是这几种类型。

相位调制光纤传感器具有以下特点:(1)灵敏度高;(2)探头设计灵活多样;(3)可检测的参数广泛。由于现在还不能对光相位直接检测,因此必须采用光纤干涉仪利用光干涉原理把相位转化为光强来进行检测。目前已研制成马赫-曾德尔(Mach-Zehnder)干涉仪,塞格奈克(Sagnac)干涉仪,法布里-珀罗(Fabry-Perot,F-P)干涉仪以及迈克尔逊(Michelson)干涉仪等,都已应用于光纤传感器。1999年,张克勤等设计了一种基于EFPI的非接触AE传感器^[3],通过对压电片产生的模拟AE源进行检测,验证了所设计的传感器可用于AE信号的检测,但其没有考虑工作点稳定问题。国外开展这方面的研究比较早,研究也较为深入。2001年,Peter Finkel, R. Miller^[4]等人研制了一种基于EFPI干涉仪的声发射传感器,介绍了该传感器设计原理以及通过实验对一些典型的模拟声发射源进行检测,验证了所设计的传感器可用于AE信号的检测。

强度调制传感器具有信号解调简单和健壮的优点,因此一些学者对其在AE检测领域的应用进行了一定的研究^[5]。2000年,L. Rippert等人进行了基于微弯原理的强度调制光纤传感器用于复合材料损伤的检测^[6]。作者在传感试验中,利用了自适应滤波等信号分析处理工具,验证了所设计的传感器可用于AE信号的检测。

布喇格光纤光栅AE传感器属于波长调制类型传感器,其灵敏度较高,容易构成分布式测量,但其对温度敏感,因此解调方案复杂。FBG传感器多用于低频静态应力

的测量,而用于高频动态应力(如AE波)检测的例子较少。2003年,Chris S. Baldwin等人作了基于FBG的AE传感技术的研究^[7],对铅笔折断和复合材料损伤等AE源进行了检测,试验结果达到了预期的目的,但传感器的温度敏感性问题没有得到解决。

3.3 分布式光纤声发射检测技术

由于一只声发射传感器只能检测到有限区域的声发射信息,要实现大型机械构件材料的无损检测,通常采用多传感器阵列。尤其是对复杂机械构件的在线实时监测,无疑增加了监测系统的复杂性和监测成本。而采用分布式光纤传感技术可以有效地解决这个问题。分布式光纤传感器就是用一根光纤既作为传感元件又作为传光通路,获得被测量随时空变化的分布性信息。分布式光纤传感检测技术从1970年代末期发展至今,得到了一定程度的发展,大体可以分为准分布式光纤传感技术和全分布式光纤传感技术两类。根据原理的不同,该类传感技术可分为4类^[8]:(1)利用后向瑞利散射的传感技术;(2)利用喇曼效应的传感技术;(3)利用布里渊效应的传感技术;(4)利用前向传输模耦合的传感技术。在声发射检测领域,常常利用时分复用和波分复用技术来实现对大型构件的AE信号检测,其中基于波分复用技术的布喇格光纤光栅AE传感分布检测技术是最有希望的一种分布式光纤声发射传感技术。

[参考文献]

- [1] 沈功田,戴光,刘时风.中国声发射技术进展[J].无损检测,2003,25(6):302-307.
- [2] 耿荣生.声发射技术发展现状-学会成立20周年[J].无损检测,1998,20(6):151-154.
- [3] 张克勤,赵玉成,田芳.非接触式光纤声发射传感器的设计[J].自动化仪表,1999,(5):7-19.
- [4] Peter Finkel, R. Miller, R. D. Finlayson, J. Borinski. Development of fiber optic acoustic emission sensors [J]. Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation, 2001,20: 1844-1851.
- [5] Jean-Michel Papy, Sabine Van Huffel, Laurent Rippert, Martine Wevers. On-line detection method for transient waves applied to continuous health monitoring of carbon fiber reinforced polymer composites with embedded optical fiber [J]. Smart Structures and Materials 2003: Modeling, Signal Processing, and Control Proceedings of SPIE, 2003,5049:718-731.
- [6] L. Rippert, M. Wevers, and S. Van Huffel, Optical and acoustic damage detection in laminated CFRP composite materials [J]. Composites Science and Technology, 2000,60:2713-2724.
- [7] Chris S. Baldwin, Anthony J. Vizzini, Acoustic emission crack detection with FBG [J]. Smart Structures and Materials 2003: Smart Sensor Technology and Measurement Systems, Proceedings of SPIE, 2003,5050:133-143.
- [8] 胡晓东,刘文晖,胡小唐.分布式光纤传感技术的特点与研究现状[J].航空精密制造技术,1999,35(1):28-31. (编辑 吴天)

作者简介:田建英(1971-),女,硕士,工程师,主要从事设备管理及CAD/CAM等方面的工作。

收稿日期:2005-11-10

作者: [田建英](#)
 作者单位: [新疆卷烟厂, 新疆, 乌鲁木齐, 833200](#)
 刊名: [机械工程师](#)
 英文刊名: [MECHANICAL ENGINEER](#)
 年, 卷(期): 2006, ""(4)
 引用次数: 0次

参考文献(8条)

1. [沈功田, 戴光, 刘时风](#) 中国声发射技术进展[期刊论文]-[无损检测](#) 2003(06)
2. [耿荣生](#) 声发射技术发展现状-学会成立20周年 1998(06)
3. [张克勤, 赵玉成, 田芳](#) 非接触式光纤声发射传感器的设计[期刊论文]-[自动化仪表](#) 1999(05)
4. [Peter Finkel, R Miller, R D Finlayson, J. Borinski](#) Development of fiber optic acoustic emission sensors 2001
5. [Jean-Michel Papy, Sabine Van Huffel, Laurent Rippert, Martine Wevers](#) On-line detection method for transient waves applied to continuous health monitoring of carbon fiber reinforced polymer composites with embedded optical fibers 2003
6. [L Rippert, M Wevers, S Van Huffel](#) Optical and acoustic damage detection in laminated CFRP composite materials 2000
7. [Chris S. Baldwin, Anthony J Vizzini](#) Acoustic emission crack detection with FBG 2003
8. [胡晓东, 刘文晖, 胡小唐](#) 分布式光纤传感技术的特点与研究现状[期刊论文]-[航空精密制造技术](#) 1999(01)

相似文献(10条)

1. 期刊论文 [陈仲裕, Farhad Ansari, Chen Zhongyu, Farhad Ansari](#) 用埋入式光纤传感器探测建筑结构中的声发射 -[光学学报](#)2000, 20(8)
 声发射技术已经应用于金属和混凝土结构中, 作为探测内部裂缝的一种无损检测方法。目前用的技术都是由压电换能器来采集声发射信号。讨论了基于用光纤技术的声发射传感器的开发和测量方法。它是用埋入式光纤传感器来监测类似桥梁、高速公路、隧道和房屋建筑等混凝土结构中的开裂信号。
2. 学位论文 [池红岩](#) 用于声发射表面波探测的光纤传感器设计与实验研究 2008
 声发射技术是近年来出现的一种新技术, 特别是和光干涉技术相结合后形成一门更新、更前沿、更有应用前景的技术。因此, 声发射技术的进展受到越来越多相关人士的重视, 他们对于声发射技术在工业、国防等方面的应用表现出极大的关注。
 本文简单地对声发射的产生机制及一些基本的检测方法进行了介绍和说明, 并从固体的表面波出发, 阐述了声波在固体中的传播特性。本文还介绍了Math-Zehnder光纤干涉仪的原理及其基本应用。根据传统的光学干涉原理研制出的相位调制型光纤传感器-Math-Zehnder光纤干涉仪, 实现对声波的测量, 其突出特点是灵敏度高; 价格便宜; 结构简单; 系统抗干扰能力强。
 由于有些特殊检测需要传感器具有较小的尺寸, 本文主要研究螺旋式光纤传感器。对螺旋式光纤传感器的感应特性进行理论分析和计算机仿真。制作了多个不同圈数、不同直径的传感器, 对其灵敏度进行理论分析, 其特性用实验进行检验, 实验结果和理论计算相吻合, 表明这种传感器可以用于声发射信号的检测。
3. 会议论文 [刘统玉, 霍恒恒, 韩秀甫, 赵洪贤, 王辉, 倪家升, 王黔, R. Chen, G. F. Fernando](#) 适用于电力设备状态检测的多参数光纤传感器系统
 本文介绍了一种多参数光纤传感器系统。该系统是针对电力行业高压设备的安全监测而研究开发的。它包括一个光纤布拉格光栅温度/应变传感器和一个光纤声发射传感器。光纤温度/应变以及声发射传感器的技术平台都是共同的, 因此便于模块化设计、成本低、便于产业化推广应用。对于温度检测, 系统的灵敏度为0.1℃, 精度为±0.2℃, 信号处理的带宽可达5kHz。光纤声发射传感器是基于光纤熔融耦合器。对于光纤光栅和声波传感器的信号解调共用一个宽带光源。声发射信号的检测带宽为10~250kHz。
4. 期刊论文 [梁艺军, 徐彦德, 刘志海, 苑立波, Liang Yijun, Xu Yande, Liu Zhihai, Yuan Libo](#) 环形光纤声发射传感器的相位调制特性研究 -[光子学报](#)2006, 35(9)
 提出了一种基于光纤Sagnac干涉仪的环形传感器, 用于固体表面传播的超声波的检测。这种传感器的特点是能够精确地检测由固体表面传播的超声波产生的微弱振动。当超声波信号通过光纤传感器的两个臂到达探测器时, 干涉仪的输出光强度受到了超声信号的调制。通过检测干涉仪的输出光强度并利用Fourier变换, 测得了超声信号的振幅和频率。而且对传感系统的位相调制特性进行了仿真, 并对实验结果进行了分析, 结果表明该系统可用于固体表面传播的超声波频率特征的识别。
5. 学位论文 [水冰](#) 一种光纤F-P声发射传感器的研究设计 2006
 目前声发射信号测量主要采用压电陶瓷传感器, 其优点是成本低、易实现; 其缺点是易受电磁干扰、且不能实现长期实时检测。而光纤声发射传感器则具有以下优点: 频带宽、不受电磁干扰、灵敏度高、体积小、损坏阈值高、不必与被测物体接触、电子设备与传感器可以间隔很远等等。因而受到了世界范围的普遍关注。本文对国内外光纤声发射传感技术的研究现状和发展动态进行了综述, 在此基础上, 从实际应用角度出发, 提出了光纤非本征F-P结构测量声发射信号的思想。对非本征F-P腔光纤声发射测量原理进行了研究, 对传感器的结构、传感特性、信号采集及处理进行了分析、设计和实验。
 本课题的主要研究内容是: 1、提出了非本征F-P光纤声发射传感系统的结构方案, 并对其测量声发射信号的原理进行分析, 建立其数学模型。
 2、提出了双波长的稳定方法, 并进行了结构参数的优化设计, 确定了合适的反射比、波长及F-P腔长。
 3、设计了非本征F-P光纤声发射信号测量系统, 对系统各个部分如光源、光纤耦合器、光波分复用器、光接收模块等的特性进行分析和设计。
 理论分析和实验结果表明: 所设计的非本征F-P光纤声发射传感系统具有良好的敏感性和高的分辨率, 为声发射信号的测量提供了一种全新有效的方法。
 本文研究内容是国家自然科学基金课题(50275125)和航空科学基金课题(04153068)资助项目。
6. 期刊论文 [马良柱, 常军, 刘统玉, 霍恒恒, MA Liang-zhu, CHANG Jun, LIU Tong-yu, HUO Dian-heng](#) 基于光纤耦合器的声发射传感器 -[应用光学](#)2008, 29(6)
 为检测变压器内局部放电产生的声发射信号, 介绍了一种基于特殊光纤熔融拉锥耦合器型声发射传感器。它是利用声波引起的扰动改变耦合器两臂光功率输出的特点来检测声发射信号。实验结果表明: 此种传感器在10 kHz~250 kHz范围内对声发射信号有良好响应, 在155 kHz灵敏度为 5.6×10^{-6} V/Pa, 噪声为1.8 Pa声压, 有望在复合材料与结构、电力无损检测方面得到应用。
7. 期刊论文 [袁小庆, 史仪凯, 邓梁, YUAN Xiao-qing, SHI Yi-kai, DENG Liang](#) 一种光纤F-P声发射传感器的设计与实现 -[光子学报](#) 2008, 37(1)
 为克服压电陶瓷传感器易受电磁干扰、不能实现长期实时检测的缺点, 提出了光纤非本征F-P结构测量声发射信号的思想对光纤非本征F-P腔声发射测量原理进行分析, 提出了双波长的稳定方法, 并进行了结构参数的优化设计, 确定了合适的反射比、波长及F-P腔长理论分析和实验结果表明: 所设计的非本征F-P光纤声发射传感器具有良好的敏感性和高分辨率。
8. 期刊论文 [梁艺军, 刘俊峰, 张巧萍, 吴雷, 樊晨光](#) 光纤声发射源定位实验平台的研究与实现 -[哈尔滨工程大学学报](#)2010, 31(2)
 为了研究固体中声发射源定位问题, 开发了一套成本低廉, 适用范围广, 检测灵敏度高的声发射源定位实验系统。采用Sagnac光纤干涉仪作为点传感器构成传感阵列, 给出了Sagnac光纤干涉仪超声检测及声源定位的原理; 光纤传感器布置在矩形钢板上构成阵列, 用模拟声源激励钢板上的任意位置, 基于单片机的数据采集电路将四路声发射信号发送给计算机, 计算机通过VB编写的软件平台对四路信号进行解调处理。根据四路信号的时间差得到声源的位置, 并采用时差修正法提高了定位精度。结果表明, 此系统利用光纤传感器实现了钢板中声发射源

的定位,为材料结构健康检测与监控的研究提供了一种新的方法.

9. 期刊论文 [梁家惠 声发射研究用的非接触式传感器 -无损检测](#)2003, 25(1)

与常用压电声发射换能器不同,声发射研究中使用的非接触式宽带传感器主要有两种,即电容传感器和光学探测器.为了削弱孔径效应,空气间隙的电容传感器采用了不同的结构.光学探测器则是建立在激光干涉的基础上.利用偏振干涉方法研制的光学探测器是传感器的一种优化设计,而光纤传感器在实现声发射技术的现场应用中具有许多潜在的优点.

10. 学位论文 [孙飞 光纤声发射检测系统相位调制特性实验研究](#) 2008

压电陶瓷相位调制器广泛应用于光纤测量系统中.本文简述了光纤声发射检测技术的进展情况,详细分析了光纤相位调制原理,分别介绍了基于Michelson、Mach-Zehnder、Sagnac、Fizeau干涉仪光纤传感器用于检测在固体表面传播的声波的基本原理.

然而在干涉型传感器的实用化设计过程中,环境因素的变化会引起相位漂移带来的输出信号畸变.本文根据双光束干涉测量的特点提出了一种采用相位调制器(PZT: Piezoelectric Ceramic)来实现相位调制的检测方案.并对用PZT实现的光纤相位调制理论进行了分析,推导了PZT外施电压与相位变化量之间的数学关系式.通过分析得出在正交工作点附近相位变化非常敏感,因此将光纤环绕在PZT上,通过给PZT加直流电压可有效地控制光纤相位变化.通过大量的Matlab仿真图形,在理论上分别针对检测小信号和大信号的两种情况详细分析了该方法的可行性,并通过实验进行了验证.实验表明,该方法能够有效的补偿系统相位漂移,提高了系统工作的稳定性.

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_jxgcs200604042.aspx

下载时间: 2010年5月28日