

# OPCM 动态传感特性 AE 数值模拟与实验研究

沈毅<sup>1</sup>, 裴文江<sup>1</sup>, 骆英<sup>2</sup>

(1. 东南大学 信息科学与工程学院, 江苏 南京 210096; 2. 江苏大学 理学院, 江苏 镇江 212013)

**摘要:**建立声发射(AE)信号的有限元(FEM)数值模拟模型, 研究正交异性压电复合材料(OPCM)对模拟 AE 源的动态传感特性。采用对结构施加脉冲载荷获得 OPCM 对瞬态 AE 信号时域响应特性, 采用扫频正弦形式的集中力载荷获得 OPCM 对连续 AE 信号的频域响应特性, 最后设计实验进行对比。研究表明, OPCM 对同平面内瞬态和不同频率连续 AE 信号具有横观各向异性传感特性。

**关键词:**声发射; 压电传感器; 有限元; 数值模拟

**中图分类号:**TP212.12 **文献标识码:**A

## Experiment Research and Numerical Simulation on the Dynamic Sense Characteristics of OPCM

SHEN Yi<sup>1</sup>, PEI Weng-jiang<sup>1</sup>, LUO Ying<sup>2</sup>

(1. School of Communication & Transportation, South East University, Nanjing 210096, China;

2. Faculty of Science, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

**Abstract:** FEM(Finite Element Model) numerical model of AE(Acoustic Emission) signal has been established and the dynamic AE sense characteristics of OPCM(Orthotropic Piezoelectric Composite Materials) has been researched. The sense characteristics in time domain of OPCM to the simulating AE signal were acquired by loading a pulse to the model, and the sense characteristics in frequency domain of OPCM to continue simulating AE signal were acquired by centralized impulsion in sine scan frequency model. A experiment was designed to contrast the simulating results in the end. The results showed that the OPCM sensor has different frequency characteristics to orthotropic AE signal in the same plane.

**Key words:** acoustic emission; piezoelectric transducer; FEM; numerical simulation

压电材料传感器具有响应速度快, 频带宽, 测量精度高, 性能稳定等优点, 被广泛应用于自诊断、自适应结构中。单一压电陶瓷片呈现压电横观各向同性的特性, 作为传感元件将同时感受所有方向应力波, 不具备测定特定方向应力波的能力<sup>[1]</sup>。正交异性压电复合材料(OPCM)传感器除具有普通压电复合材料的柔韧性好, 强度高, 极限应变大, 质量小等优点, 还具有平面横观各向异性的特点, 可区分平面结构中的各应力波分量, 从而使其在声发射(AE)检测于中比普通 PZT 传感元件更有效<sup>[2]</sup>。

本文基于 OPCM 传感元件力/电耦合本构方程, 建立二维有限元模型模拟结构中传播特性复杂的 AE 信号。通过耦合节点自由度, 读取压电陶瓷节点电压时域信号研究 OPCM 对同平面内正交 AE 信号的动态响应特性, 并设计实验方案。通过对比, 验证了 OPCM 对同平面内 AE 信号的正交异性传感特性和有限元 AE 建模法的正确性。

### 1 OPCM 传感元件模型

图 1 为 OPCM 传感元件结构模型<sup>[1]</sup>。其对平面应力波信号呈正交异性传感特性, 是通过如压电材料相与聚合物相在结构中的构造形式、方位及材料的强度、刚度、泊松比和尺寸的设计等特性参数的匹配来实现。图中,  $a$  为电极间距,  $h$  为传感元件厚度,  $d$  为电极宽度,  $c$  为外缘电极厚度,  $e$  为正负电极绝缘保护厚度。

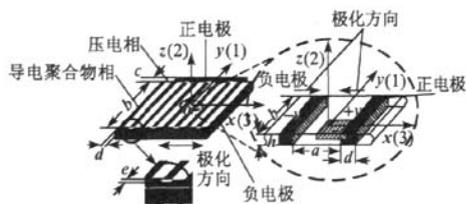


图 1 OPCM 传感元件的结构模型

当粘贴在构件表面的驱动元件仅承受电场  $\vec{E}_0$  作用时, 表征其纵、横向伸缩工作模式下的诱导正应

变与驱动电场强度间的耦合系数为等效的  $\bar{d}_y$ 。由图可见,由于复合材料宽度  $b$  远大于压电相和聚合物相的宽度,可认为片状压电复合材料内沿  $x(3)$  方向应力、应变在  $y(1)$  方向成均匀分布,且复合材料的诱导应变  $\bar{\Lambda}_x$  与压电相的变形  $a$  间的关系为<sup>[1]</sup>

$$\bar{\Lambda}_x = \bar{E}_3 \cdot d_{33}^c \cdot a / (a + d) = v_c \cdot d_{33}^c \cdot \bar{E}_3 = \bar{d}_{33} \cdot \bar{E}_3 \tag{1}$$

式中  $\bar{d}_{33} = v_c \cdot d_{33}^c$ ;  $v_c$  为压电相体积分分数;  $d_{33}^c$  为压电陶瓷的压电应变常量。同理

$$\bar{\Lambda}_y = \bar{d}_{31} \cdot \bar{E}_3 \tag{2}$$

式中  $\bar{d}_{31} = v_c d_{31}^c / [v_c + v_p (E^p / E_1^p)]$ ,  $v_p$  为导电聚合物相体积分分数,  $E^p$  为导电聚合物弹性模量,  $E_1^p$  为压电相在  $y(1)$  方向上弹性模量,  $d_{31}^c$  为压电陶瓷的压电应变常量。

式(1)、(2)表明,压电相在 OPCM 元件中的方位非常重要,它直接导致 OPCM 正交异性压电特性的形成( $\bar{d}_{33} \approx -2.4\bar{d}_{31}$ )。

在平面应变场中,设  $\sigma_x, \sigma_y$  分别为 OPCM 元件在  $x, y$  方向上的应力,由第一类压电方程,输出电位移

$$\begin{cases} D_x = \bar{d}_{xx}\sigma_x + \bar{d}_{xy}\sigma_y \\ D_y = \bar{d}_{yx}\sigma_x + \bar{d}_{yy}\sigma_y \end{cases} \tag{3}$$

式中  $\bar{d}_{xx}$  为 OPCM 传感元件在  $xx$  方向上的压电应变常数,  $\bar{d}_{xx} = \bar{d}_{yy} = \bar{d}_{33}$ ,  $\bar{d}_{xy} = \bar{d}_{yx} = \bar{d}_{31}$ 。由广义虎克定律

$$\begin{cases} \epsilon_x = (\sigma_x - \mu\sigma_y) / E \\ \epsilon_y = (\sigma_y - \mu\sigma_x) / E \end{cases} \tag{4}$$

式中  $\epsilon_x, \epsilon_y$  分别为宿主构件在  $x, y$  方向上的应变;  $E$  为宿主构件的弹性模量;  $\mu$  为宿主构件的泊松比。将式(4)代入式(3)得 OPCM 元件的传感方程

$$\begin{cases} D_x = \left( \frac{E}{1-\mu^2} \right) [\bar{d}_{33}(\epsilon_x + \mu\epsilon_y) + \bar{d}_{31}(\epsilon_y + \mu\epsilon_x)] \\ D_y = \left( \frac{E}{1-\mu^2} \right) [\bar{d}_{31}(\epsilon_x + \mu\epsilon_y) + \bar{d}_{33}(\epsilon_y + \mu\epsilon_x)] \end{cases} \tag{5}$$

## 2 AE 有限元模拟

AE 是材料在受到形变或外力作用时,迅速释放能量而产生的应力波,是进行结构诊断的重要依据。AE 信号处理技术面临的重大难题是 AE 源的多样性、信号本身的突发性和不确定性,且实际 AE 的检测常带有环境和仪器噪声的干扰。这些影响因素只能尽量减小而不可能完全消除,也不能通过实验的方法从微观上了解 AE 信号<sup>[3]</sup>。

近年来,国内外的一系列研究工作表明,有限元法能有效模拟结构中的应力波传播<sup>[3-4]</sup>,它能处理在任何几何形状的实际样品结构中复杂的边角和其他形式障碍物反射问题。因此,基于有限元法的应力

波传播数值模拟很好地解决了上述实验中遇到的难题,即在相同条件(结构的位移约束和载荷)下,其波源的产生和传播具有单一性、确定性和无噪声干扰的特点。

在无限大平板介质理想条件下,结构表面声源以圆形方式向四周辐射应力波。在一定区域外,传感元件对应的以声源为中心的辐射角较小,可认为传感元件在对应辐射角弧上感应到的应力波信号一致<sup>[1]</sup>,故可采用二维有限元法模拟 AE 的产生和传播,降低了计算量。为使计算尽量符合理想条件,避免 AE 的干涉、反射及衰减过快,在尺寸上考虑使任何边界的反射到达传感器都需要适当的延时,以保证研究传感器对第一个脉冲的响应。压电传感器耦合在试样表面,沿试样表面传播的主要模式为瑞利波(试验表明,当试样厚度大于 2~3 个波长时,此波在传播过程中不发生频散,衰减也比其他模式慢)<sup>[3]</sup>。因此,当传感元件被激励时,其表面各处的振动在相位上各不相同,离 AE 源远的感应点相位滞后,传感元件受到的激励在平均效果上被削弱。此外,还要求传感元件对被测构件无影响,且与被测表面的接触区域要很小,以尽量减小孔径效应<sup>[5]</sup>。

取脉冲载荷到左端的距离  $A_1 = 22$  cm,脉冲载荷到传感元件的距离  $A_2 = 18$  cm;传感元件的横向尺寸  $\Phi$  为 3.5 mm,厚为 1 mm;使用二维四节点平面单元模拟 AE 波在结构中的产生和传播,如图 2 所示。

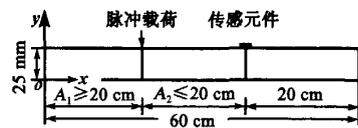


图2 结构与传感元件的二维有限元模型

粗略估计混凝土材料中应力波的传播速度  $C$  约为 2 500 m/s,为保证较好的传感元件平均激励效果,取  $\Phi = \lambda/4$  ( $\lambda$  为波长),由此可得应力波平均频率为

$$\bar{f} = \frac{C}{\lambda} = \frac{C}{4\Phi} = \frac{2\,500}{4 \times 3.5 \times 10^{-3}} = 178 \text{ (kHz)} \tag{6}$$

由式(6)知,取  $f_{\max} = 500$  kHz 满足模拟的需要,故单元边长

$$l_e = \frac{C}{f_{\max} \times 20} = \frac{2\,500}{500 \times 10^3 \times 20} = 0.25 \text{ (mm)} \tag{7}$$

采用直接积分法,积分时间步长

$$t = \frac{1}{20f_{\max}} = \frac{1}{20 \times 500 \times 10^3} = 0.1 \text{ (\mu s)} \tag{8}$$

形成瞬态 AE 使用的脉冲载荷<sup>[1]</sup>如图 3 所示。由图可见,研究模拟连续 AE 时,使用具有不同频率的正弦形式的集中力信号。

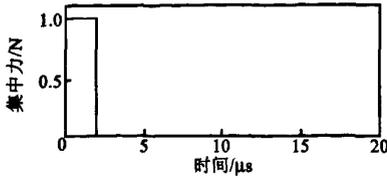


图 3 脉冲载荷

OPCM 压电陶瓷相有限元建模时采用的单元节点除位移自由度外,还有 1 个节点电压,用于压电陶瓷的力/电耦合。根据压电单元的机电耦合动力学方程

$$\begin{bmatrix} [M] & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{u} \\ \dot{V} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} [C] & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{u} \\ V \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} [K] & [K^Z] \\ [K^Z]^T & [K^d] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u \\ V \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F(t) \\ G(t) \end{Bmatrix} \quad (9)$$

式中  $[M]$ 为质量矩阵; $[C]$ 为阻尼矩阵; $[K]$ 为刚度矩阵; $[K^d]$ 为介电矩阵; $[K^Z]$ 为压电耦合矩阵; $\{V\}$ 为单元节点电压自由度向量; $\{u\}$ 为节点位移向量; $\{F(t)\}$ 为力载荷矢量节点力、面力、体力; $\{G(t)\}$ 为电载荷矢量,施加在节点的电荷矢量。

压电陶瓷单元负极面节点电载荷矢量 $\{G(t)\}=0$ ,耦合正极面节点电压自由度值为要计算的电势,模拟传感元件的电极,直接读出电压信号。在进行传感分析时,节点电压向量 $\{V\}$ 可由 $\{F(t)\}$ 计算所得,由式(9)可得单元运动微分方程为

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + \left\{ [K] - \frac{[K^Z][K^Z]^T}{[K^d]} \right\} \{u\} = \{F(t)\} \quad (10)$$

$$\{V\} = -[K^Z]^T \{u\} / [K^d] \quad (11)$$

将式(10)求解后, $\{u\}$ 代入式(11)可得 $\{V\}$ 。

为使模拟产生的 AE 信号激励三维的 OPCM 模型感应面以保证数值模拟不失真,根据传感元件在对应辐射角弧长上感应到应力波信号相似的特点<sup>[3]</sup>,将距 AE 源同位移处的节点应力应变自由度横向扩展,使激励形成面<sup>[3]</sup>激励 OPCM。

采用 C35 混凝土材料参数进行模拟,弹性模量  $E=3.5 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ ,泊松比  $\mu=0.25$ ,密度  $\rho=2400 \text{ kg/m}^3$ 。OPCM 对图 2 脉冲载荷及不同频率的正弦形式的集中力信号的响应如图 4 所示。

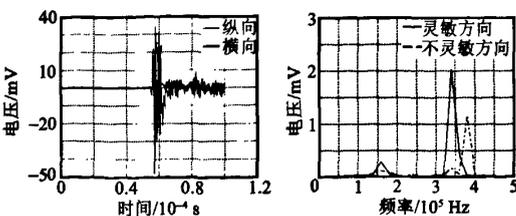


图 4 OPCM 传感响应结果

### 3 实验

为得到 OPCM 元件在较宽较高频率范围内的 AE 动态响应特性,并与模拟计算结果相比较,作者专门研制了如图 5 所示装置。其中纵向摆放的 OPCM 标记为 1 号传感元件,横向摆放的 OPCM 标记为 2 号传感元件。



图 5 实验装置

用频响宽,灵敏度高的普通 PZT 作为激励产生 AE 信号,通过控制信号发生器可实现瞬态及连续的 AE。通过扫频研究 OPCM 对不同频率连续 AE 信号的响应。根据混凝土材料的特点,频率为 100 Hz~500 kHz,扫描时间为 15 ms,实验结果如图 6、7 所示。

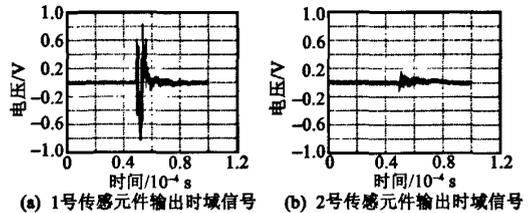


图 6 瞬态 AE 实验响应

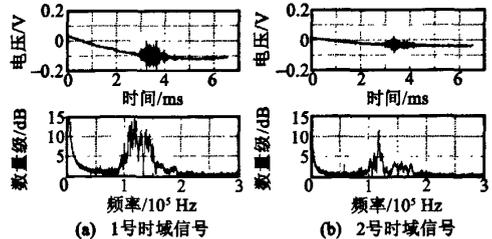


图 7 连续 AE 实验响应

通过与模拟结果对比可知:

(1) 相同点:OPCM 对同平面内 AE 信号具有横观各向异性传感特性。连续扫频时,由于低频应力波的波长较长,使得压电陶瓷传感元件孔径效应<sup>[6]</sup>影响增大,OPCM 的尺寸效应<sup>[6]</sup>难以发挥,导致正交两方向低频处的响应幅值大小接近。

(2) 不同点:高频时,应力波在实际结构中衰减较快,相应响应幅值衰减较快,300 kHz 后响应几乎为 0;由于 AE 信号的衰减包括几何衰减、频散衰减、散射和衍射衰减及由能量损耗机制引起的衰减等。其中对于散射、衍射及由能量损耗机制引起的衰减目前还无有效的方法模拟(是目前 AE 模拟的难点),故模拟时的衰减速度比实验慢。

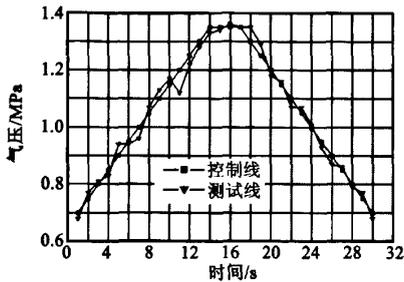


图4 驻点气压测控效果

## 5 结束语

本文针对在超高温、高压环境中实现加热器出口流场驻点气压高精度测控的技术要求,提出一种基于模糊PID技术的压电式气体压力测控系统,

(上接第651页)

## 4 结论

利用有限元法模拟压电传感元件对AE信号的动态传感过程,对压电传感元件设计与开发有一定的理论借鉴作用,且可缩短设计和实验周期,减少人力、物力,有很高的工程应用价值。本文利用OPCM传感元件的本构方程建立了其动态AE传感的有限元模型,并进行了计算和实验研究。

(1) OPCM传感元件对平面AE信号有横观各向异性传感特性。

(2) 有限元法模拟特定AE信号及用于设计结构较复杂的压电AE传感元件和进行传感分析的可行性,并对以后压电传感元件的开发提供了理论借鉴的手段。

### 参考文献:

[1] LUO Ying. Research on orthotropic piezoelectric com-

posite material strain sensing unit [C]. San Diego: Proceedings of SPIE, 2000.

### 参考文献:

- [1] 吴松,陈宏,古建华,等.一种压电压力传感器的防热方法[J].科学通报,2007,52(8):866-869.
- [2] 杨新军,李燕东.模糊自适应PID控制在气液增压缸的位置控制中的应用[J].英才高职论坛,2007,8(3):62-64.
- [3] 周森磊,杨志刚,田彦涛,等.基于模糊PID控制的新型压电型电液伺服阀研究[J].压电与声光,2006,28(2):218-220.

posite material strain sensing unit [C]. San Diego: Proceedings of SPIE, 2000.

- [2] 龚仁荣.结构材料中声发射传播特性的研究[D].镇江:江苏大学,2005.
- [3] 沈毅,骆英,朱建国.OPCM动态传感性能有限元分析与实验研究[J].传感技术学报,2004,3(9):399-401.
- [4] HILL R, FORSYTHA S A, MACEY P. Finite element modelling of ultrasound, with reference to transducers and AE waves[J]. Ultrasonics, 2004, 42(9): 253-258.
- [5] 扬凤霞,王四德,兰从庆.1-3型PZT/Polymer压电复合材料性能分析[J].压电与声光,2001,23(1):49-55.
- [6] LUO Ying. Research on the orthotropic piezoelectric composite materials actuator and its preliminary application[C]. San Diego: SPIE, 2002.

## 2008年第5期广告索引

### 彩色广告

中电科技第二十六研究所第六研究室	封面
德清华莹电子有限公司	封二
普爱纳米位移技术(上海)有限公司	封三
上海大川原干燥设备有限公司	封四
深浙江嘉康电子股份有限公司	插1
合肥圣达实业公司	插2
合肥恒力电子技术开发公司	插3
深圳南玻结构陶瓷有限公司	插4

### 黑白广告

淄博宇海电子陶瓷有限公司	插1
中电科技第二十六研究所第一研究室	插2
中电科技第二十六研究所第三研究室	插3
中电科技第二十六研究所第四研究室	插4
中电科技第二十六研究所第七研究室	插5
青海3419干燥设备有限公司	插6
中电科技第二十六研究所第五研究室	插7
重庆金胜晶体技术有限公司	插8
上海保得科技有限公司	597

# OPCM动态传感特性AE数值模拟与实验研究

作者: [沈毅](#), [裴文江](#), [骆英](#), [SHEN Yi](#), [PEI Weng-jiang](#), [LUO Ying](#)  
 作者单位: [沈毅,裴文江,SHEN Yi,PEI Weng-jiang](#)(东南大学,信息科学与工程学院,江苏,南京,210096),  
[骆英,LUO Ying](#)(江苏大学,理学院,江苏,镇江,212013)  
 刊名: [压电与声光](#) **ISTIC|PKU**  
 英文刊名: [PIEZOELECTRICS & ACOUSTOOPTICS](#)  
 年,卷(期): 2008, 30(5)  
 引用次数: 0次

## 参考文献(6条)

1. [LUO Ying](#) [Research on orthotropic piezoelectric composite material strain sensing unit](#) 2000
2. [龚仁荣](#) [结构材料中声发射传播特性的研究](#)[学位论文] 2005
3. [沈毅](#). [骆英](#). [朱建国](#) [OPCM动态传感性能有限元分析与实验研究](#)[期刊论文]-[传感技术学报](#) 2004(09)
4. [HILL R](#). [FORSYTHA S A](#). [MACEY P](#) [Finite element modelling of ultrasound,with reference to transducers and AE waves](#) 2004(09)
5. [扬风霞](#). [王四德](#). [兰从庆](#) [1-3型PZT/Polymer压电复合材料性能分析](#)[期刊论文]-[压电与声光](#) 2001(01)
6. [LUO Ying](#) [Research on the orthotropic piezoelectric composite materials actuator and its preliminary application](#) 2002

## 相似文献(10条)

1. 期刊论文 [顾建祖](#). [王鑫伟](#). [骆英](#). [龚仁荣](#). [GU Jian-zu](#). [WANG Xin-wei](#). [LUO Ying](#). [GONG Ren-rong](#) [正交异性压电传感器在结构健康诊断中的应用 -振动工程学报](#)2007, 20(4)

通过正交异性压电(Orthotropic Piezoelectric Composite Materials, 简称OPCM)传感器与普通压电(PZT)传感器的传感特性比较,证明了OPCM传感器对同平面内相互正交的AE信号具有不同的响应特性.基于OPCM传感器的这一特性,将其作为结构健康诊断系统中的声发射传感器,可减少结构侧面等边界反射的影响,有效保留损伤和/或缺陷的有用信息.结合Gabor小波时频分析方法和透射波法,能增强声发射技术探测结构损伤的能力,并减少了测试仪器的通道数量,为实用的结构健康诊断提出了新的思路并建立了相关的理论模型.

2. 学位论文 [李明](#) [基于声发射技术的绝缘子污秽放电监测方法研究](#) 2004

在长期的运行过程中绝缘子表面会积累污秽遇到潮湿的气候条件容易发生污秽放电,造成污闪事故,它通常会造造成大面积停电,这对强调安全和稳定的电力系统来讲是不能接受的,为此电力部门采取多种措施来防止污闪的发生.目前使用的方法以预防为主,但实践证明这是不够的,还应该对污染严重的地区的绝缘子进行监测,及时了解污秽的严重程度和它对系统的威胁程度,主动展开绝缘子污闪的防治工作,有针对性的采取措施,提高工作效率,减少污闪事故发生的可能性,因此绝缘子污秽放电在线监测具有很大的社会效益和经济效益,是一项具有重大技术经济意义的研究课题.在查阅国内外大量参考文献的基础上,该文分析了现有的检测方法的特点和不足,并提出基于声发射技术的绝缘子污秽放电监测方法.通过分析绝缘子污秽放电过程以及伴随放电出现的声发射现象,研究了污秽放电过程中声信号的特点,揭示出污秽放电的严重程度和声信号之间存在的关系,提出通过监测绝缘子污秽放电发出的声信号可以实现对绝缘子污秽的在线监测.为了捕捉捕捉污秽放电产生的声信号,设计了具有较高灵敏度的聚焦声传感器及试验用数据采集电路,聚焦声传感器是将压电传感器和聚焦抛物面组合在一起,可以接收到较远处放电产生的微弱声信号.使用这套装置,在绝缘子的人工污秽试验中采集了不同污秽度和不同电压下绝缘子污秽放电的声发射信号,对比污秽放电不同阶段的声发射信号,证明随着污秽放电的增强,声信号幅值增大并且连续性更强.最后运用模糊推理的方法对试验数据进行分析,结果证明通过声信号可以定量地判断出放电距离污闪的裕度,证明该文提出的声学监测法可以真正实现绝缘子在线监测,能正确判断绝缘子污秽程度,并发出相应的报警信号,使工作人员能够及时采取措施,避免污闪事故的发生.该文提出的声学监测法是声发射技术在电力系统中的一个应用,是绝缘子污秽在线监测的一种新方法.该文所完成的仅是一些基础工作,还需要进行大量的试验和研究才能使之完善并达到实用的程度.

3. 期刊论文 [沈毅](#). [骆英](#). [赵国旗](#). [顾建祖](#). [朱步银](#). [SHEN Yi](#). [LUO Ying](#). [ZHAO Guo-qi](#). [GU Jian-zu](#). [ZHU Bu-yin](#) [基于AE数值模拟的压电元件传感特性研究 -仪表技术与传感器](#)2005, ""(9)

建立结构与压电材料传感元件的二维有限元模型,模拟结构中一种声发射(AE)的产生和传播.通过读取结构表面特定位置节点加速度与压电相节点电压时域信号,实现了结构中微观的AE波传播与宏观的输出电压信号的有机结合,并讨论这种无噪声影响理想条件下1-3型压电复合材料(1-3型PCM)、压电偶极子对、普通PZT材料用于模拟的AE检测时,对AE波径向共振与厚度共振的响应特性.

4. 学位论文 [徐慧](#) [木制品材料声发射特性研究](#) 2005

声发射(AE)是指材料或结构在承受外部载荷的状态下产生损伤甚至断裂时,释放出应变能,并以应力波形式向外传播的现象,声发射技术是利用相关仪器检测声发射信号,根据信号推断材料或结构内部声发射源的位置及其产生机理的实验技术。

围绕木质材料的声发射特性,本文开展了以下几方面研究工作:

应用压电传感器、前置放大器及通用采集卡等设备建立了一套实验室用声发射测试系统;应用声发射技术测试了刨花板三点弯曲过程中的声发射特征.测试发现刨花板在加载弯曲过程中,声发射特性曲线较好地反映刨花板的力学性能,由AE振铃计数-位移曲线可求得弹性极限点及破坏点位置,因而可作为检测材料力学性能的补充手段;应用声发射技术进一步测试了不同密度试件在拉伸过程中的声发射特性,测试结果表明不同密度,不同裂纹试件声发射特性具有一定的规律:试件的临界载荷与裂纹长度的平方根之积为一常数等;采用三种方法测试木材及木制品中的声速,发现断铅试验不适合声速测量;应用虚拟软件Labview编写了声发射信号应用程序,对刨花板声发射信号进行特征参数测试、频谱分析,构成了一套测试兼分析声发射信号的虚拟仪器;应用三传感器对刨花板声源线性定位,通过改进测试方法,得到了较好的定位精度;应用小波分析手段分析了木材中声发射信号,克服了传统傅立叶变换的缺点,成功地获取了淹没在噪声中的声发射信号。

5. 会议论文 [刘秀丽](#). [宁宁](#) [结构关键部位疲劳损伤动态实时监控技术综述](#) 2004

结构的动态损伤监控是保证结构运行安全、保证结构试验顺利进行的重要措施之一。在位、非接触式结构的动态损伤实时监控技术,可及时发现和跟踪监控结构损伤的发生、发展,可预防意外事故发生,同时可为损伤容限设计、耐久性设计、检测周期制定提供重要参考依据。

#### 6. 学位论文 [张劲民 特种固体推进剂声发射燃速仪的研制](#) 2005

目前,在我国国防武器研究领域中,贫氧推进剂和燃气发生剂的研制受到越来越多的关注,而这类特种固体推进剂具有燃烧声发射信号较弱,信号稳定性较差等特点,在对其进行燃速测试时不能使用以往通用的推进剂声发射燃速测试方法,只能采用传统的靶线法和发动机法测试燃速,导致测试效率和精度较低、成本高等许多问题,不能满足特种推进剂配方研制的需要,这个问题制约了我国特种固体推进剂的研制。因此,需要研制新型的用于贫氧推进剂和燃气发生剂燃速测试的仪器。

本研究工作从这类推进剂的燃烧特性入手,首先研究了推进剂燃烧过程产生的声信号的频带特性和不稳定特性,分析了声信号从燃烧室内到传感探头之间的传输模式,有针对性地制作了声发射压电传感器,采用弱信号检测技术,有效拾取燃烧声信号。通过单片机完成信号的采集和判别,结合PC机对数据进一步加工和数字处理,最后输出燃速数据。同时,为了保证推进剂燃烧所需的特殊条件,设计了新型的燃烧室、压力和温度控制装置。

新型声发射燃速仪可以测试推进剂在氮气、水下两种介质中的燃速,复合了传统的靶线法测试功能,测试压强范围宽,具有自动控制、测试,计算各种燃速参数并打印报告单等功能。经过对多种配方的实际测试,证明了该仪器能有效地解决长期困扰贫氧推进剂和燃气发生剂燃速测试的难题,且性能稳定,精度高,大大提高了测试的效率,有力地促进了推进剂配方的研制。

#### 7. 会议论文 [吴斌.王庆锋.焦敬品.何存富 新型PVDF声发射传感器的设计方法及应用](#) 2006

基于声发射技术研制了一种新型PVDF压电传感器,详细介绍了声发射传感器的结构、工作原理以及声发射传感器压电元件、背衬材料、声匹配层和前置放大器接口电路设计对传感器灵敏度、分辨率和信噪比的影响。利用美国物理声学公司声发射信号数据采集处理DISP系统进行了断铅信号采集试验,测试结果表明:设计的新型PVDF声发射传感器对断铅信号具有宽频带响应,应用研制的新型PVDF声发射传感器、数字示波器和计算机组成的数据采集处理系统对4M20氮气压缩机六段排气阀进行了状态监测,结果表明新型声发射传感器能够用于设备状态监测、设计方法可行。

#### 8. 期刊论文 [王庆锋.吴斌.焦敬品.何存富.WANG Qing-feng.WU Bin.JIAO Jing-pin.HE Cun-fu 新型PVDF声发射传感器的设计方法及应用 -仪表技术与传感器](#)2006,“(11)

基于声发射技术研制了一种新型PVDF压电传感器,介绍了声发射传感器的结构、工作原理以及声发射传感器压电元件、背衬材料、声匹配层和前置放大器接口电路设计对传感器灵敏度、分辨率和信噪比的影响。利用美国物理声学公司声发射信号数据采集处理DISP系统进行了断铅信号采集试验,测试结果表明:设计的新型PVDF声发射传感器对断铅信号具有宽频带响应,应用研制的新型PVDF声发射传感器、数字示波器和计算机组成的数据采集处理系统对4M20氮气压缩机六段排气阀进行了状态监测,结果表明新型声发射传感器能够用于设备状态监测,设计方法可行。

#### 9. 期刊论文 [赵霞.袁慎芳.周恒保.孙红兵 基于声发射技术的损伤诊断Agent研究 -中国机械工程](#)2008, 19(14)

为解决实际大型结构的健康监测问题,首先针对大型铝板结构建立了多Agent系统,整个多Agent系统可实现压电传感器、光纤传感器、应变片传感器等不同传感器的选取和自组网络,自动实现声发射源监测、紧固件松动、应变分布监测等三种典型损伤监测。介绍了作为整个系统实现的基础工作之一的基于声发射技术的损伤诊断Agent的构造过程。通过具体试验,基于声发射技术,集成不同的时延判定方法,针对铝板、环氧板、碳纤维板进行了声发射源定位的诊断Agent研究。

#### 10. 期刊论文 [王永涛.韩建.牟海维.全星慧.WANG Yong-tao.HAN Jian.MU Hai-wei.QUAN Xing-hui 基于声谱分析的阀门内泄漏检测系统 -大庆石油学院学报](#)2006, 30(3)

基于阀门内泄漏时产生的泄漏量与泄漏时湍流产生的声发射特征,研制了便携式阀门内泄漏声学检测仪。阐述了基于声学的阀门内泄漏检测系统,通过检测阀门内泄漏产生的泄漏谱估算了阀门的泄漏量。该系统采用了2只压电传感器对泄漏的声信号进行采集,利用DSP技术进行谱分析,并将泄漏谱在频域相减,实现了弱小泄漏的有效检测。

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_ydysg200805041.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_ydysg200805041.aspx)

下载时间: 2010年5月27日