

文章编号:1671-251X(2011)08-0056-05

DOI:CNKI:32-1627/TP.20110807.1131.017

声发射技术在立柱缸体裂纹监测中的应用研究

姚玉维

(煤炭科学研究总院检测研究分院, 北京 100013)

摘要:针对立柱缸体在做强度试验和型式试验时出现的缸体破裂现象,提出了一种基于声发射技术的立柱缸体裂纹监测方案。该方案采用声发射技术捕捉、分析、处理和显示立柱在受压过程中产生的裂纹弹性波;采用时差定位法获得声发射源位置;采用小波包技术处理声发射信号,以进一步提高了定位精度。测试结果表明,声发射技术用于检测立柱缸体裂纹、焊缝等隐形机理的产生、发展和进行危险性分析是可行的。

关键词:液压支架;立柱;缸体裂纹;监测;声发射;时差定位;小波包

中图分类号:TD355.4

文献标识码:A

网络出版时间:2011-08-07 11:31

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20110807.1131.017.html>

Application Research of Acoustic Emission Technology in Crack Monitoring of Column Cylinder

YAO Yu-wei

(Test Branch of China Coal Research Institute, Beijing 100013, China)

Abstract: In view of problem of fracture of cylinder in strength test and type test for column cylinder, the paper put forward a scheme of crack monitoring of column cylinder based on acoustic emission technology. The scheme uses acoustic emission technology to capture, analyze, process and display elastic wave of crack produced in compression process of column, uses time difference location method to get position of acoustic emission source, and uses wavelet packet technology to process acoustic emission signal to improve location precision. The test result showed that it is feasible to use acoustic emission technology to produce and development and make risk analysis of crack and weld of column cylinder.

Key words: hydraulic support, column, crack of cylinder, monitoring, acoustic emission, time difference location, wavelet packet

0 引言

某机械公司生产的液压支架双伸缩立柱在国家矿山支护设备监督检验中心1600T立柱试验台做强度试验时,外缸破裂,缸内液体及立柱上的压力计等附件飞溅至数米外距离,现场环境极其危险。这种缸体失效现象在液压支架型式试验中常有发生。为将检测工作做得更加完善,需对缸体失效原因从宏观到微观、从表面到内壁进行深入研究,尽早发现

金属缸体内部裂纹的出现、密封元件的损坏、疲劳损伤程度加深等现象。

声发射(AE)技术作为一种动态无损检测方法,可实现压力容器的在线检验及结构的整体探测和评价。目前,声发射技术已广泛应用于石油、航天、船舶等行业,但在煤炭行业尤其是煤矿支护设备检验中的应用还是空白。笔者引入声发射技术对立柱、液压支架、液压单体支柱等支护设备在型式检验时的缸体受力情况进行了监测,试验结果表明,在型式检验过程中,利用声发射技术可以发现支护设备内早期裂纹、失效焊缝等信息,有效避免继续加载带来的爆缸情况,从而保护人身财产安全。因此,声发射技术在支护设备检测中的应用具有重要意义。本文将立柱为例,阐述声发射技术在立柱型式检验中

收稿日期:2011-05-18

作者简介:姚玉维(1984-),女,安徽宿州人,助理工程师,硕士,主要研究方向为信号与信息处理。E-mail: yuweiyao@yahoo.com.cn

的应用,以模拟图的方式展现裂纹的分布情况。

1 声发射检测原理

无损检测方法在实际应用中一般分为常规无损检测和非常规无损检测2种。常规无损检测方法包括超声检测、射线检测、磁粉检测、渗透检测、涡流检测等;非常规无损检测方法包括声发射检测、泄漏检测、光全息照相检测、红外热成像检测、微波检测等。声发射检测方法是目前唯一一种能实时监测动态压力容器的检测技术,可提供缺陷随荷载、时间、温度等外变量而变化的实时或连续信息,适合于在线监控及早期或临近破坏预报,可解决常规无损检测方法所不能解决的问题。

声发射是指材料局部因能量的快速释放而发出的瞬时弹性波现象^[1]。由于疲劳或腐蚀所产生的塑性变形、裂纹形成、扩展都可以产生声发射。所有的材料包括金属、复合材料、陶瓷材料、FRP结构,岩石、木材都会产生声发射。与其它无损检测方法不同的是,声发射技术将来自于材料本身的能量转换成声发射信号。因此,声发射技术对有危害的缺陷非常敏感。来自于缺陷的声发射信号可以通过结构传输,所以,在结构上布置传感器即可对整个结构进行检测。

典型的声发射波的频率范围为1 kHz~2 MHz或更高。低频的声发射信号易受到背景噪音的干扰如摩擦、碰撞或工艺信号等,这些低频的声波通常会产生伪声发射现象。高频信号主要是声波的衰减,它会限制所检测的声发射信号。因此,在使用声发射技术时要选用合适频率的传感器和处理器,所选的频率范围在环境噪音之上。

声发射过程是短暂的,通常以脉冲或称作“撞击(HIT)”的形式表现出来。声发射系统通过分析每个撞击波形的各个参数特征,实时处理这些撞击脉冲。图1为声发射系统处理的一个声发射撞击波形和一些声发射特征参数。这些声发射特征参数为撞击时间、上升时间、AE幅度、AE振铃次数、持续时间、频率范围,可通过分析波形的关键特性来确认声发射源的性质是噪音引起的还是有真正的破坏源。

通过对同一区域内的多个声发射事件的聚类分析可以判定声发射源的严重程度,如图2所示。图2方框内聚集了多处声发射信号源,因此,判断被测物在此处出现较严重裂缝或泄漏。

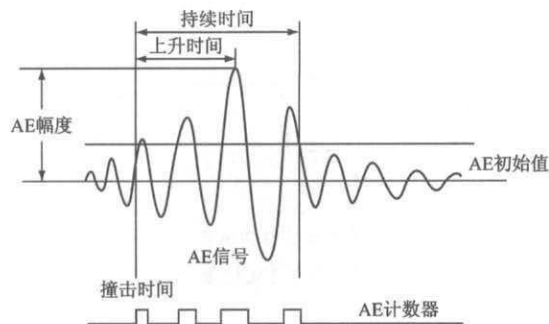


图1 声发射撞击波波形及特征参数

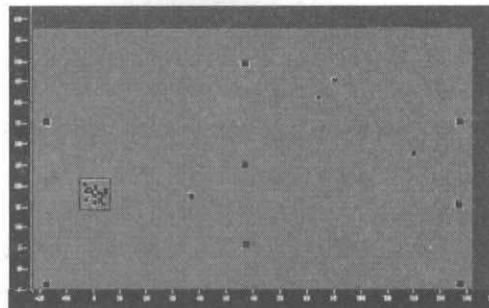


图2 声发射源的聚类分析

2 立柱缸体裂纹声发射检测

2.1 声发射检测系统结构

立柱缸体裂纹声发射检测系统结构如图3所示。

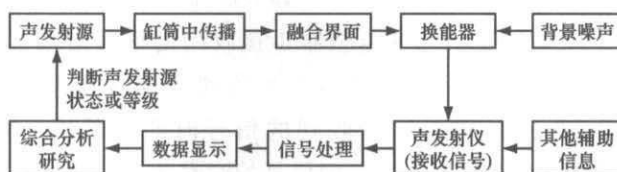


图3 立柱缸体裂纹声发射检测系统结构

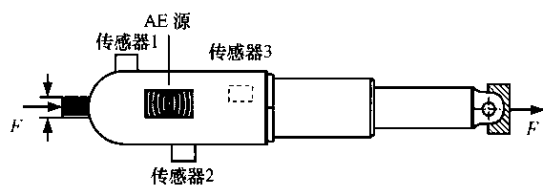
以缸径 $\phi 200$ 型立柱为检测对象,在立柱缸体周围布置3个声发射传感器(见图4),选用美国PAC声发射传感器和信号采集卡PCI-2,利用压力试验机加载被试缸^[2],使缸体裂纹出现弹性波,对该弹性波进行采集、数据处理、分析、总结归纳,以帮助确定该型号缸体现场试验时裂缝等变化的波形情况;然后对现场环境进行勘察,分析噪声源对裂纹信号的干扰;反复观察立柱在“加载—保压—卸荷”过程中裂缝产生所发出的弹性波在相位、幅值、频率、能量等方面的变化,分析裂纹发生、发展的情况。

2.2 声发射源的定位

本文给出2种声发射源的定位方法^[3-6]。

(1) 时差定位

由图4给出3个声发射传感器探头阵列的平面定位例图,如图5所示。



F—立柱所受压力

图4 声发射检测立柱裂纹示意图

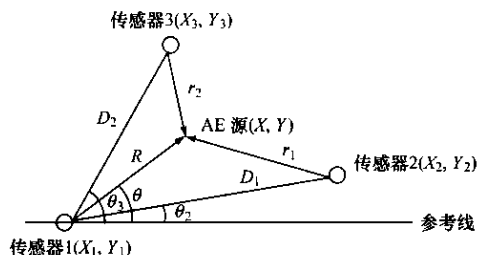


图5 3个声发射传感器探头阵列的定位

信号采集卡可获得的输入数据为3个声发射传感器的声发射信号到达次序、到达时间及2个时差,如此可以得到如下系列公式^[2]:

$$\Delta t_1 v = r_1 - R \quad (1)$$

$$\Delta t_2 v = r_2 - R \quad (2)$$

$$R = \frac{1}{2} \times \frac{D_1^2 - \Delta t_1^2 v^2}{\Delta t_1 v + D_1 \cos(\theta - \theta_2)} \quad (3)$$

$$R = \frac{1}{2} \times \frac{D_2^2 - \Delta t_2^2 v^2}{\Delta t_2 v + D_2 \cos(\theta_3 - \theta)} \quad (4)$$

式中: Δt_1 为以传感器1接收到的信号时间为基准,传感器2与传感器1接收到信号的时间差; Δt_2 为以传感器1接收到的信号时间为基准,传感器3与传感器1接收到信号的时间差; v 为声发射源弹性波传播速度; r_1 为传感器2距离声发射源的直线距离; r_2 为传感器3距离声发射源的直线距离; R 为传感器1距离声发射源的直线距离; D_1 为传感器2距离声传感器的直线距离; D_2 为传感器3距离声传感器的直线距离;

器3距离传感器1的直线距离; θ 为传感器1与声发射源连线与参考线间夹角; θ_2 为传感器2与声发射源连线与参考线间夹角; θ_3 为传感器3与声发射源连线与参考线间夹角。

式(3)和式(4)为2条双曲线方程,通过求解可以找到这2条双曲线的交点,即可计算出声发射源的部位。

按图4在立柱外布置3个声发射传感器,立柱缸体裂纹声发射检测系统采集数据如表1所示(数据来源:2009-11-05,煤矿支护设备第二实验室,被试立柱型号为 $\phi 200/\phi 185-200$)。声发射源位置 $X=-192.324, Y=-192.324, Z=100.53714$ 。

表1 声发射源测试采集数据

传感器	传感器位置 /mm	到达时间 /ms	波速 /(m·s ⁻¹)	所用时间 /ms
传感器1	$X_1=0$ $Y_1=0$	0.033 33		
传感器2	$X_2=0$ $Y_2=100$	0.047 13	3 000	2.04
传感器3	$X_3=100$ $Y_3=100$	0.057 73		

为验证上述结果的准确性,假设给出声发射源的位置、波速、各传感器的位置,反推出各个传感器的到达时间,然后再把到达时间和波速输入定位系统中,得出声发射源的位置。从表2可看出,使用该方法得到的定位结果与给出的声发射源之间的误差在1 mm以内。由此可判断,利用时差定位法获得的声发射源位置具有响应快、精度高的优点,能够满足定位要求,表1数据成立。

表2 误差分析

声发射源位置/mm			时差法定位位置/mm			绝对误差/mm			波速/(m·s ⁻¹)
X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	
0	0	100	-0.181 7	-0.162 4	100.332 5	0.181 7	0.162 4	0.332 5	
0	0	50	-0.201 1	-0.191 3	50.234 6	0.201 1	0.191 3	0.234 6	
100	100	100	100.181 7	100.183 2	100.332 5	0.181 7	0.183 2	0.332 5	3 000
100	80	100	99.812 6	79.825 1	99.779 2	0.187 4	0.174 9	0.220 8	
50	50	50	49.801 5	50.013 3	50.263 1	0.198 5	0.013 3	0.263 1	

(2) 智能定位

采用常见的BP神经网络技术来进行声发射源定位。将声发射传感器按等腰或等边三角阵列布置

在缸筒外部,将采集到的信号包括幅度、上升时间、持续时间、信号能量作为神经元输入,运用Matlab神经网络工具箱进行网络的设计与训练,从而在最

小误差下智能定位出声发射源位置。

BP神经网络的设计包括:

① 输入量的确定

输入参数包括幅度、上升时间、持续时间和信号强度4个参数,因此,选择 N 个传感器的这4个参数作为输入量,网络输入神经元的个数即为 $4N$ 个。输入量确定后,进行归一化处理后送入网络。

② 网络输出向量

声发射监控设备对数据进行采集,提取特征参数并将这些参数输入已训练好的网络,调入训练形成的权值然后经过网络程序计算,输出向量即为缸体裂纹缺陷的位置。

③ 网络的设计与训练

采用Matlab神经网络工具箱对网络进行设计和训练,训练函数采用收敛速度快的Levenberg-Marquadt反转算法,学习函数采用梯度下降动量学习算法,采用均方误差函数计算网络的误差。以网络训练的均方根误差(RSM Error)作为考察指标,综合分析训练结果,以确定最小误差。

智能定位法通过对样本的学习来解决定位,需要大量的训练数据,而实际情况往往很难提供大量已知输出模型的训练数据,所以此处不予列举。但从实际测试结果可以得出,智能定位法因需要处理大量代码和数据,运算速度较慢,实时性较差,不适宜应用在立柱缸体裂纹声发射监测中。

2.3 声发射信号的处理及其它噪声排查

利用小波包分析技术,先对信号进行分解,再对衰减的信号在不同频率段内进行有效的补偿,然后对分解的信号进行小波包重构,利用互相关技术计算出时差,进而为声发射源定位提供准确的时差值以减小定位误差^[7-8]。小波包信号分析方法流程如图6所示。

具体步骤如下:

(1) 选择一个小波并确定一个小波分解的层次 N ,然后对信号 S 进行 N 层小波包分解。采用有一定近似对称性的正交小波(如Symlets8、Coiflets3小波)和对称的双正交小波(如B样条小波)。

(2) 确定最佳小波包基。

(3) 结合已有知识对信号进行频谱分析,根据所得结果和每个序列的起始频率,计算出感兴趣的频率成分位于第 N 层的某几个频段内,可记为 $\{P_1, P_2, \dots, P_m\}$ 。

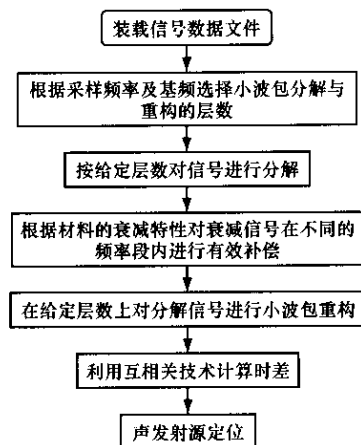


图6 小波包信号分析方法流程

(4) 判定声波的传播特性。

(5) 根据步骤(3)的分析对不同频率段 $\{P_1, P_2, \dots, P_m\}$ 内衰减的信号进行有效补偿。

(6) 小波包分解系数的阈值量化。对于每一个小波包分解系数,选择一个适当的阈值并对系数进行阈值量化。

(7) 对信号实行小波包重构。根据第 N 层的小波包分解系数和量化处理系数重构小波包。

(8) 利用互相关技术计算时差^[10]。

将上述步骤得到的值代入式(1)~(4),即可计算出声发射源位置。利用该技术计算出的时差数值精度大大提高,从而提高了声发射源定位的精度。

3 试验结果及预期效果

通过大量现场试验,分析得出:大多数声发射源产生的声发射信号的参数值是交叉重叠的,其分布特征无明显区别。表3给出了立柱试验过程中可能发生声发射信号的源参数分布。从表3可看出,除泄漏和电磁噪声具有较大的能量和持续时间外,其它源的声发射信号的参数分布基本一致。这些数据对立柱加载过程中声发射源类型的分析判断具有重要参考意义。

图7为声发射检测效果图。在图7中,根据设定参数大小,以不同颜色表示声发射源严重等级,即可方便地看出,在当前压力下,立柱内部声发射源的分布情况,参考表3的经验值,即可判断声发射源为何种类型。

在煤矿支护设备检验室现场,结合试验台加载方式,分析得出图7中阴影集中的区域(椭圆框内)为可能发生裂纹或焊缝缺陷的地方;试验台继续加载,观察声发射检测模拟图界面,阴影集中区域集中

表3 不同声发射源产生声发射信号参数的分布情况

声发射源	幅度/dB	能量	上升时间/ μs	持续时间/ μs
泄漏	37~75	$3\sim 6\times 10^4$	1~2 000	$1\sim 5\times 10^5$
裂纹	40~63	12~51	10~100	80~300
焊缝缺陷	40~70	10~60	10~100	80~300
电磁噪声	38~93	$2\sim 2\times 10^4$	1~2 000	$1\sim 5\times 10^5$
表面涂漆层(氧化层)	40~78	1~140	1~150	1~2 000

的部位随着压力的升高而增多、压力降低而减少,且此处为非焊接区、无漏液现象发生,即可判断缸体内部、靠近右侧底座附近出现微小裂纹。由此可以应用到实际立柱型式检验中,即在煤炭行业标准 MT313—1992 中规定加载次数内缸体声发射检测图中有阴影扩大趋势,说明立柱缸体内部已出现问题;结合声发射源分布图可以分析出立柱受力是否均衡,检验所用材料是否满足技术要求;继续加载至立柱爆缸即可记下爆缸临界值。同时,便于提前提醒检验人员做好防范措施,以保护人身财产安全。

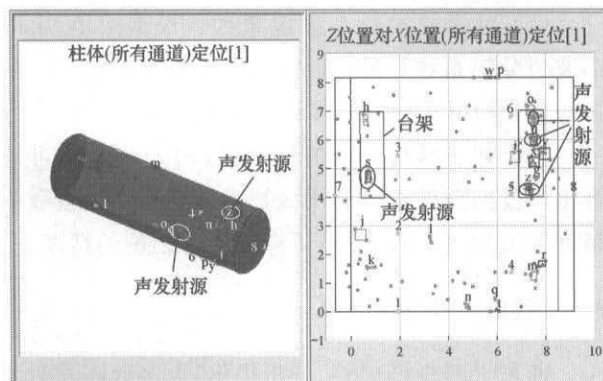


图7 声发射检测模拟效果图

4 结论

(1) 采用时差定位方法即可实时完成声发射源的定位,且精度满足实验要求;

(2) 采用小波包技术对采集的信号进行分解、补偿、重构,减少了信号衰减,排除了冗余信号,保证了声发射信号幅值等参数的准确度;利用互相关技术计算出的时差数值精度大大提高,从而提高了声发射源定位的准确度;

(3) 测试结果表明,声发射技术用于检测立柱缸体裂纹、焊缝等隐形机理的产生、发展和危险性分析是完全可行的。但同时也可以看出,由于结构复杂、受力方式多变、外界影响因素多等原因,声发射源类型的捕捉、分析、剥离还需进行大量的模拟试验^[11];声发射源位置判断的准确度也有待进一步

提高;

(4) 声发射技术为支护设备性能的深入检验提供了一种试验方法,该技术还可推广应用到液压支架试验台疲劳磨损程度分析、单体立柱缸筒受力分析、液压系统中阀类漏液的检测等方面,应用前景较广泛。

参考文献:

- [1] 李邦宪,沈功田,段庆儒,等. GB/T 18182—2000 金属压力容器声发射检测及结果评价方法[S]. 北京: 中国标准出版社,2001.
- [2] 李学谦,李秀轩,叶津平. MT313—1992 液压支架立柱技术条件[S/OL]. [2011-05-06]. <http://www.wenku.baidu.com/view/acf11f00a6c30c2259019eeb.html>.
- [3] 沈功田. 金属压力容器的声发射源特性及识别方法的研究[D]. 北京:清华大学,1998.
- [4] 秦海鹏,童敏明. 基于含水煤岩声发射特性的矿井底板突水智能监测仪设计[J]. 工矿自动化,2009(12): 1-4.
- [5] 袁振明,马羽宽,何泽云. 声发射技术及其应用[M]. 北京:机械工业出版社,1985.
- [6] 周洁. 裂纹声发射源定位研究及发展趋势预估初探[D]. 南宁:广西大学,2006.
- [7] 冯志刚,孙汝科,郭娟娟,等. 基于小波包分析的声发射源定位方法[J]. 江苏大学学报:自然科学版,2010(1):115-119.
- [8] 陈晓智,李蓓智,杨建国. 基于小波分析的声发射刀具状态判别[J]. 传感器与微系统,2006,25(6):19-24.
- [9] DAI Guang, XU Yanting, WANG Yali, et al. AE Monitorig and Data analysis for Large Spherical Tanks [J]. NDT&EInternational, 1993, 26(6): 287-290.
- [10] 王运美,张宏,董为荣,等. 石油钻具裂纹缺陷声发射检测方法[J]. 中国石油大学学报,2009,33(5): 104-107.
- [11] 戴光. 在用压力容器活性缺陷的声发射特性与模糊综合分析[D]. 杭州:浙江大学,1996.