

一种声发射源的新型平面定位方法研究

龚 斌^{1,2}, 齐 辉¹, 马春华¹, 包日东^{1,2}, 闻邦椿²

(1.沈阳化工学院, 沈阳 110142; 2.东北大学机械工程与自动化学院, 沈阳 110004)

摘要: 声发射现象中产生的弹性波在传播时声压遵从指数衰减规律, 文中提出一种利用声衰减特性对声发射源进行平面定位的能量定位新方法。从理论上导出了该方法的定位计算公式, 并用 AE21C 型声发射仪在高分子合成纤维平板上以铅笔芯折断产生信号为模拟源进行了实验测量, 证明这种新的源定位方法可行, 并具有无须测量传声媒质的声衰减和声速等优点。

关键词: 声发射; 声衰减; 源定位; 能量

中图分类号: TG115.28

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2006)-02-0107-03

A new method of energy location for acoustic emission source

GONG Bin^{1,2}, QI Hui¹, MA Chun-hua¹, BAO Ri-dong^{1,2}, WEN Bang-chun²

(1.Shenyang Institute of Chemical Technology, Shenyang 110142, China; 2. School of Mechanic Engineering and Automation, Northeast University, Shenyang 110004, China)

Abstract: A new method of energy location for acoustic emission source is proposed by using the acoustic attenuation property based on the exponential attenuation rule for elastic waves propagation in the acoustic emission. The equation is derived, and experiment measurements using signals of pencil core fracture as the source conducted in a plane of high polymer synthetic fiber. Feasibility of the new source location method is confirmed. The method does not need measurement of the attenuation property of the medium and the sound speed.

Key words: acoustic emission; acoustic attenuation; source location; energy

1 引 言

声发射是指材料受外力或内力作用而产生变形或断裂时, 以弹性波形式释放出应变能的现象^[1]。从上世纪五十年代开始, 声发射技术得到了很大发展, 被广泛应用于设备无损检测、在线监控等场合。声发射的源定位技术是声发射技术研究的核心问题之一, 其定位准确程度反映声源检测位置与真实位置的符合程度^[2]。

对突发型声发射信号的源定位通常分为区域定位法和时差定位法^[2-5]。区域定位法中声源的位置确定在首先接收到信号且信号较强的探头附近, 这一方法具有处理速度快、测量简单可靠等优点, 但它仅能确定发声源存在的一个区域, 且探头间距越大则区域越大; 时差定位法是根据声发射仪各探头接收到声信号时差来作为信号从声发射源到各探头之间的传播时差, 从而进行定位, 虽能精确定位到点, 但在这一定位方法中由于波的衰减、波型转换等自然现象引起的误差是不可控制的^[6]。基于弹性波在传播时声压遵从指数衰减的自然规律, 本文提出一种新型平面定位法-能量定位法, 既考虑到波的衰减, 又能精确定位。

收稿日期: 2005-09-14; 修回日期: 2005-11-03

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50075010)

作者简介: 龚斌(1973-), 男, 湖北省人, 在职博士, 副教授, 从事压力容器安全检测研究工作。

2 声发射信号的衰减与能量

材料受外力或内力作用而产生变形或断裂时产生的弹性波在媒质中传播时,其强度随传播距离增加而逐渐减弱。对于沿 x 方向传播的平面波,其衰减遵从指数规律,其声压 P 随传播距离 x 的变化为^[7]:

$$P = P_0 e^{-\alpha x} \quad (1)$$

式中 P_0 为声源的声压; α 为衰减系数,与传播媒质及波的频率有关。

假设换能器输出的突发型声发射信号可表示为指数衰减的正弦波,即^[4]:

$$V(t) = V_p \cdot e^{-\beta t} \cdot \sin \omega t \quad (2)$$

式中 V_p 指对应声压 P 经换能器而引起的电压值,此时的振铃衰减波形是由换能器谐振产生的,而不需考虑声波在媒介中传播时产生的衰减(这一衰减在由 P_0 变成 P 中考虑),对一台各探头通道灵敏度相同的声发射仪而言, β 可以认为是一常数。

对突发型声发射信号,探头接收到的瞬态信号的能量可定义为^[4]:

$$E = \frac{1}{R} \int_0^{\infty} V^2(t) dt \quad (3)$$

设 V_i 为仪器预定衰减到的电压值, $V_i = V_p \cdot e^{-\beta T}$ 则声发射仪对突发型声发射信号能量测定为:

$$E = \frac{1}{R} \int_0^T V^2(t) dt = \frac{1}{R} \int_0^T V_p^2 \cdot e^{-2\beta t} \cdot \sin^2 \omega t dt = \frac{V_p^2}{R} \cdot \left[\frac{1 - e^{-2\beta T}}{4\beta(1 + \beta^2/\omega^2)} - \frac{e^{-2\beta T}}{2(\beta^2 + \omega^2)} \cdot \sin \omega T \cdot (\omega \cos \omega T + \beta \sin \omega T) \right] \quad (4)$$

$$\text{当 } e^{-2\beta T} \ll 1 \text{ 时, } E \approx \frac{V_p^2}{4\beta(1 + \beta^2/\omega^2)R} \quad (5)$$

又由于振幅的平方、声压的平方均与能量成正比,即振幅与声压应成线性关系:

$$V_p = k \cdot P = k \cdot P_0 \cdot e^{-\alpha x} \quad (6)$$

将式(6)代入式(5),得:

$$E = \frac{V^2}{4\beta(1 + \beta^2/\omega^2)R} = \frac{k^2 P_0^2 \cdot e^{-2\alpha x}}{4\beta(1 + \beta^2/\omega^2)R}$$

$$\text{令 } \frac{k^2 P_0^2}{4\beta(1 + \beta^2/\omega^2)R} = e^c \text{ 有: } (\ln E - c)^2 = 4\alpha^2 x^2 \quad (7)$$

3 能量定位法

将声发射仪的四个探头布置成正方形,建立坐标系如图1所示。设声源坐标为 (x, y) , 到各探头距

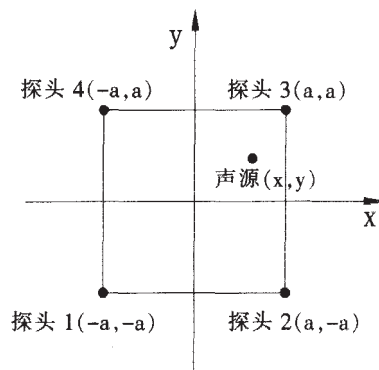


图1 声发射源定位示意图

Fig.1 Acoustic emission source location

离为 x_1, x_2, x_3, x_4 各探头接收到的能量为 E_1, E_2, E_3, E_4 有:

$$x_1^2 = (a+x)^2 + (a+y)^2; \quad x_2^2 = (a-x)^2 + (a+y)^2;$$

$$x_3^2 = (a-x)^2 + (a-y)^2; \quad x_4^2 = (a+x)^2 + (a-y)^2;$$

将其代入式(7)有:

$$(\ln E_1 - c)^2 = 4\alpha^2 x_1^2 = 4\alpha^2 [(a+x)^2 + (a+y)^2] \quad (8)$$

$$(\ln E_2 - c)^2 = 4\alpha^2 x_2^2 = 4\alpha^2 [(a-x)^2 + (a+y)^2] \quad (9)$$

$$(\ln E_3 - c)^2 = 4\alpha^2 x_3^2 = 4\alpha^2 [(a-x)^2 + (a-y)^2] \quad (10)$$

$$(\ln E_4 - c)^2 = 4\alpha^2 x_4^2 = 4\alpha^2 [(a+x)^2 + (a-y)^2] \quad (11)$$

联立式(8)、式(9)与式(10)、式(11)可解得:

$$c = \frac{1}{2} \cdot \frac{\ln^2 E_1 - \ln^2 E_2 + \ln^2 E_3 - \ln^2 E_4}{\ln E_1 - \ln E_2 + \ln E_3 - \ln E_4} \quad (12)$$

联立式(8)、式(9)与式(8)、式(11)可解得:

$$y = \frac{\ln^2 E_1 - \ln^2 E_4 - 2c(\ln E_1 - \ln E_4)}{\ln^2 E_1 - \ln^2 E_2 - 2c(\ln E_1 - \ln E_2)} \cdot x \quad (13)$$

令 $k = \frac{\ln^2 E_1 - \ln^2 E_4 - 2c(\ln E_1 - \ln E_4)}{\ln^2 E_1 - \ln^2 E_2 - 2c(\ln E_1 - \ln E_2)}$, 将式(12)、式(13)

代入式(8)、式(9),可联立得:

$$\frac{(\ln E_1 - c)^2}{(\ln E_2 - c)^2} = \frac{(a+x)^2 + (a+kx)^2}{(a-x)^2 + (a+kx)^2}$$

令 $\frac{(\ln E_1 - c)^2}{(\ln E_2 - c)^2} = b$, 可解得:

$$x = \frac{a+ab+ak \pm \sqrt{-a^2+6a^2b-a^2+2a^2k-2a^2bk-a^2k^2+2a^2bk^2-a^2b^2k-1+b^2k^2}}{-1+b^2k^2}$$

$$y = \frac{\ln^2 E_1 - \ln^2 E_4 - 2c(\ln E_1 - \ln E_4)}{\ln^2 E_1 - \ln^2 E_2 - 2c(\ln E_1 - \ln E_2)} \cdot x$$

4 实验测量

实验用仪器为 AE21C 型四通道声发射仪。探头布置如图1所示,测量平台为 4mm 厚的正方形高分子合成纤维平板,边长为 350mm,以 0.5mm 铅笔芯折断产生信号作为模拟突发型声发射信号,折

表 1 实验测定源定位结果表 (坐标单位: mm)
Table 1 Experimental result of source location testing

探头位置	a=150							
E1	830	630	465	349	415	549	722	945
E2	1345	1645	1956	2235	2765	4215	6365	9562
E3	17284	25374	36222	50423	42924	30345	21085	14115
E4	7812	5016	3414	2196	2105	1775	1496	1190
c	13.08	12.82	13.13	12.86	12.86	12.91	13.10	12.83
b	1.17	1.39	1.58	1.85	1.92	2.09	2.25	2.66
k	3.98	1.96	1.33	0.99	0.88	0.62	0.38	0.12
模拟源实际坐标 x	20	40	60	80	80	80	80	80
源定位计算坐标 x	19.72	42.31	58.68	82.80	82.31	81.94	78.22	83.25
x 绝对误差	0.28	2.31	1.32	2.80	2.31	1.94	1.78	3.25
模拟源实际坐标 y	80	80	80	80	70	50	30	10
源定位计算坐标 y	78.43	82.81	77.81	82.13	72.11	50.83	29.67	10.08
y 绝对误差	1.57	2.81	2.19	2.13	2.11	0.83	0.23	0.08

断点其坐标为 (x, y), 由于探头的对称性, 将所有测量点均布置在第一象限。测量得到声发射仪四个探头接受的能量 E_1 、 E_2 、 E_3 、 E_4 及计算结果如表 1 所示。

试验结果表明, 该方法在实验室环境下对模拟源的定位具有较精确的定位结果。但在工程实际中定位探头接收到的信号除了声发射源产生的信号外, 还会包含噪声等干扰信号, 定位精度会受到一定影响。如何排除干扰, 提高该方法在工程实际中的定位精度还有待进一步研究。

5 结 论

通过上述推导及实验, 可以得出如下结论:

1. 利用声发射现象中波在传播时的衰减特性可以对声发射源进行精确定位; 2. 本文中提出的能量定位方法可以在不测量传播介质衰减特性、不测量声速, 仅测量能量积累值的情况下对声发射源进行精确定位, 且考虑到波的衰减特性, 测量误差较小; 3. 本文中提出的能量定位方法在平面定位时至少需要四个探头, 仅适用于多通道声发射仪, 且需将各通道灵敏度调为相同。

参 考 文 献

[1] 王祖荫. 声发射技术基础 [M]. 山东: 山东科学技术出版社, 1989. 1-20, 56-70.
WANG Zuyin. Foundation of Acoustic Emission Technology[M]. Shandong Science and Technology Press. 1989. 1-20, 56-70.

[2] 沈功田, 耿荣生, 刘时风. 声发射源定位技术[J]. 无损检测, 2002, 24(3): 114-117, 125.
SHEN Gongtian, GENG Rongsheng, LIU Shifeng. Acoustic emission source location[J]. NDT, 2002, 24(3): 114-117, 125.

[3] Ding Y, Reuben R L, Steel J A. A new method for waveform analysis for estimating AE wave arrival times using wavelet decomposition[J]. NDT & E International, 2004, 37(4): 279-290.

[4] 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. 46-71.
YUAN Zhenning, MA Yukuan, HE Zeyun. Technology and Application of Acoustic Emission[M]. Mechanical Industry Press, 1985. 46-71.

[5] JIAO J P, HE C F, WU B, et al. Application of wavelet transform on modal acoustic emission source location in thin plates with one sensor [J]. International Journal of Pressure Vessels & Piping, 2004, 81(5): 427-431.

[6] 徐彦廷. 声源定位问题研究及误差分析 [J]. 无损检测, 1999, 21(5): 199-200.
XU Yanting. A study on source location in acoustic emission inspection and its error analysis [J]. NDT, 1999, 21(5): 199-200.

[7] 冯若. 超声手册[M]. 南京: 南京大学出版社, 1999. 440-459.
FENG Ruo. Manual of Hyperacoustic[M]. Nanjing University Press, 1999. 440-459.

[8] 沈功田, 耿荣生, 刘时风. 连续声发射源定位技术[J]. 无损检测, 2002, 24(4): 164-167.
SHEN Gongtian, GENG Rongsheng, LIU Shifeng. Locating sources of continuous acoustic emission [J]. NDT, 2002, 24(4): 164-167.