

计算机辅助声发射源检测定位系统^①

何将三

(中南工业大学机电工程学院, 长沙 410083)

张立仁 高 兴

(株洲冶炼厂, 株洲 412004)

摘 要 针对普通声发射(AE)检测仪缺乏源定位功能, 开发了计算机辅助 AE 源检测定位系统, 并详细论述了该系统的组成、接口、源定位算法和程序、剔除噪声等问题。

关键词 声发射(AE) AE 源定位 自动检测系统

声发射(AE)是材料或结构受外力或内力作用产生变形或断裂时以弹性波形式释放出应变能的现象。声发射信号可以借助高灵敏度的声发射检测仪检测、分析, 从而推断声发射源(如裂纹)的位置和活动度。由于这种检测方法的无损性和动态性, 目前已经成为检测材料缺陷或结构完整性的重要手段, 在材料研究、压力容器评价、飞机构件的强度监视等方面获得了广泛应用。

目前已开发的声发射检测仪有多种类型。较为先进的多通道声发射检测系统一般装备了微型计算机, 具有检测、定位、分析等功能。普通的声发射检测仪则只有一个或几个通道, 功能简单, 一般仅提供声发射脉冲计数和相对时差数据, 不能进行在线实时定位和分析, 如 B&K 声发射脉冲分析仪。显然, 普通声发射检测仪在应用上有许多不便, 有必要进行功能开发。为此, 作者应用微型计算机对普通声发射检测仪进行开发, 研制成功计算机辅助声发射源检测定位系统。本文论述该系统的几个关键技术问题。

1 系统的组成

计算机辅助声发射源检测定位系统主要由换能器、前置放大器、主放大器、声发射脉冲分析仪、微型计算机及外设组成, 如图 1 所示。

声发射信号以高频应力波的形式在材料或结构中传播, 经换能器拾取转变为电信号, 二级放大后输入声发射脉冲分析仪, 数字信号经 IEEE488 接口总线输入计算机进行分析。

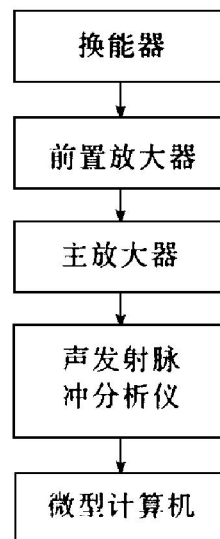


图 1 系统的组成

B&K 4429 声发射脉冲分析仪是一种高灵敏度的四通道声发射检测仪, 其工作原理示于图 2。该分析仪有三种操作模式: 脉冲计数模式、加权计数模式、四通道源定位模式。脉冲计数模式下可分别获得每一通道的声发射脉冲计数和累加总数。加权计数模式下可获得声发射信号的能量值。四通道源定位模式下给出相对时差值。每一通道的比较器可设定参考电平作为信号阈值, 以滤除环境噪声。该仪器设计

① 收稿日期: 1996-02-07; 修回日期: 1996-06-07 何将三, 男, 56 岁, 副教授

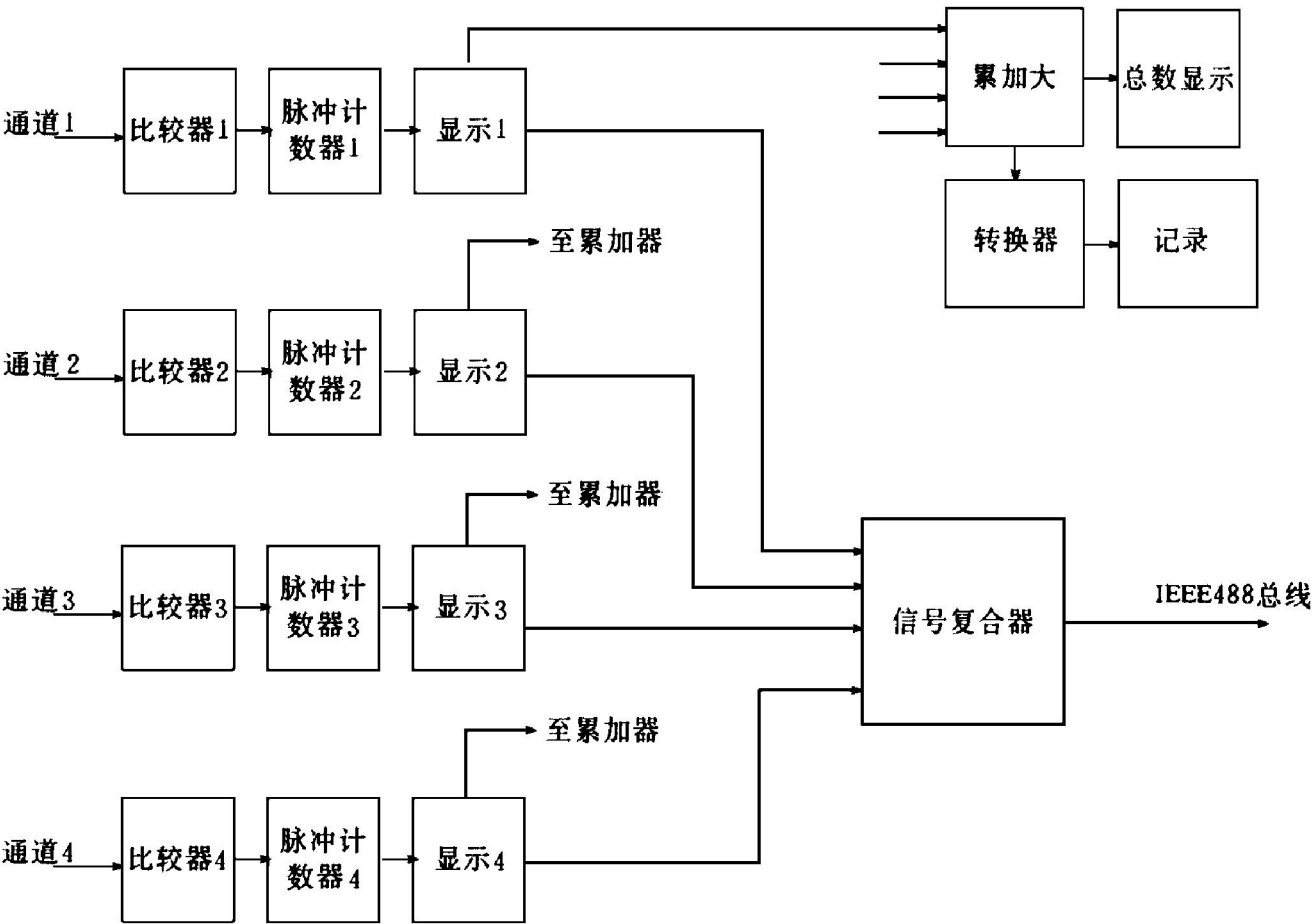


图 2 声发射脉冲分析仪原理框图

有数字输出接口，通过 IEEE488 接口总线与微型计算机相连，可实现自动检测和数据处理。

2 IEEE488 接口总线

IEEE488 接口总线又称 GPIB 接口总线，是基于 IEEE488 标准的并行接口总线，目前已获得世界各国的普遍承认，广泛用来组建积木式自动测试系统。

GPIB 总线具有讲者 T、听者 L、控者 C、请求服务 SR 等 10 种功能，自动实现计算机和器件间的交互作用和数据传输。

计算机辅助声发射源检测定位系统采用的 GPIB 接口总线包括接口卡、软件包 GPIB-PC 和电缆线等。接口卡主要由 GPIB 适配器 MPD7210、信号缓冲回路、通用逻辑门阵列 GAL、中断控制器、DMA 控制器、配置安排开

关与跳线等组成。GPIB-PC 软件包包括管理程序、硬件诊断程序、软件安装程序、配置安排程序、语言接口程序等文件。在应用程序中调用有关程序，即可实现计算机和器件间的数据传输。仪器输出数据给计算机的流程图示于图 3。

3 声发射源定位算法和程序

3.1 AE 源定位算法

声发射源定位就是通过声发射检测确定缺陷(如裂纹)在固体材料表面的位置。通过将一组换能器按一定的几何关系放置在材料表面的固定点上,组成换能器阵列,测定声发射源发射的声波到达各换能器的相对时差。将这些相对时差代入满足该阵列几何关系的一组方程求解,就可得到缺陷位置坐标。在实践中,为便于方程组的建立和简化求解,换能器通常按照

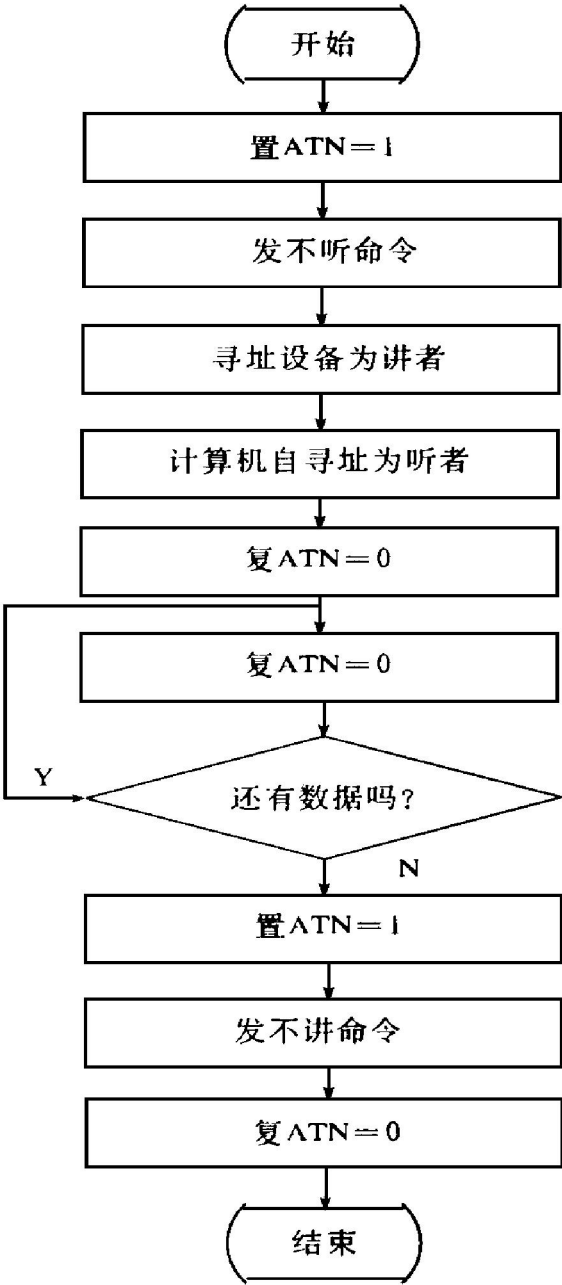


图 3 设备输出数据给计算机的操作序列

特定的几何图形布置，因而定位方法有直线定位法，归一化正方阵定位法、平面正方形定位法、平面正三角形定位法、任意平面三角形定位法、球面三角形定位法、区域定位法等^[1]。

区域定位法跟其他几种定位法有所不同，它不是通过求解方程组来确定 AE 源的坐标，而是根据相对时差来判别 AE 源所在的小区域。如图 4 所示，换能器 S_1 、 S_2 、 S_3 按平面正三角形布置，作三角形各边的垂直平分线，将正三角形划分为六个相同的区域 A_1 、 A_2 、 $\dots$ 、 A_6 。再分别以三条边为 x 轴，垂直平分线为 y 轴，顶点为焦点，等间隔地作双曲线，

将每一个区域细分为 n 个小区域，如 A_{11} ， $A_{12} \dots\dots A_{1n}$ 。区域定位法就是要测定 AE 源位于哪一个小区域中。

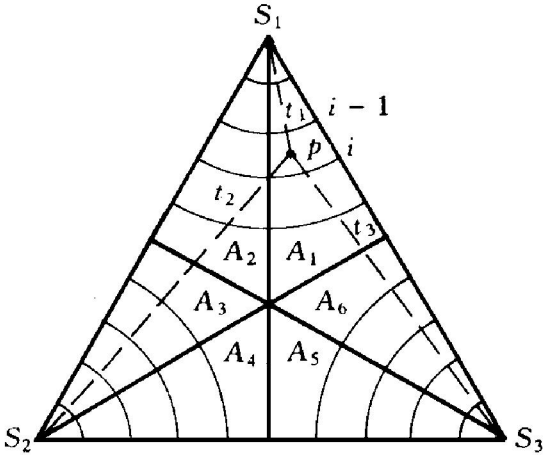


图 4 区域定位法

首先判别 AE 源在哪一个区域。设声发射信号到达 S_1 、 S_2 、 S_3 的时间分别为 t_1 、 t_2 、 t_3 。如果 $t_1 < t_2$ 且 $t_1 < t_3$ ，则 $\overline{PS_1} < \overline{PS_2}$ 且 $\overline{PS_1} < \overline{PS_3}$ ，表明声发射源 P 在区域 A_1 或 A_2 。此时，若有 $t_2 > t_3$ ，则可进一步判定 P 在 A_1 区；反之，若 $t_2 < t_3$ ，则 P 在 A_2 区。由此类推，得到 AE 源位置区域判别表(附表)。

附表 AE 源位置区域判别表

区域	A_1	A_2
判别式	$t_1 < t_2$ 且 $t_1 < t_3$	
	$t_2 > t_3$	$t_2 < t_3$
区域	A_3	A_4
判别式	$t_2 < t_1$ 且 $t_2 < t_3$	
	$t_3 > t_1$	$t_3 < t_1$
区域	A_5	A_6
判别式	$t_3 < t_1$ 且 $t_3 < t_2$	
	$t_1 > t_2$	$t_1 < t_2$

进而判别声发射源 P 在哪一个小区域中。如图 4，设正三角形的边长为 $2l$ ，每个区域划分为 n 个小区域，AE 源 P 位于第 i 小区($i = 1, 2, \dots, n$)，即位于第 i ， $i - 1$ 双曲线之间。过 P 的双曲线方程为：

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1$$

焦点位于 S_1 和 S_3 。由双曲线性质有:

$$|PS_1 - PS_3| = V |\Delta t_{13}| = 2a$$

式中 V 为声发射传播速度。由此得到:

$$a = \frac{1}{2} V |\Delta t_{13}|$$

同理, 对于双曲线 i 和 $i-1$ 上的点可以得到:

$$a_i = \frac{1}{2} V |\Delta t_{13}^i| = \frac{L}{n} (n-i)$$

$$a_{i-1} = \frac{1}{2} V |\Delta t_{13}^{i-1}| = \frac{L}{n} (n-i+1)$$

根据几何关系 $a_i < a < a_{i-1}$ 可以得出 AE 源 P 在第 i 小区的条件:

$$\frac{L}{n} (n-i) < \frac{1}{2} V |\Delta t_{13}| < \frac{L}{n} (n-i+1)$$

即

$$\begin{aligned} n(1 - \frac{V |\Delta t_{13}|}{2l}) &< i \\ &< n(1 - \frac{V |\Delta t_{13}|}{2l}) + 1 \end{aligned}$$

3.2 AE 源定位程序

所开发的 AE 源检测定位程序 AESLS 具有定位、标定、查询三个模块。标定模块用于测定声发射传播速度。查询模块提供该系统设备的技术数据, 为正确进行测试提供咨询。定位模块包括了直线定位法、归一化正方阵定位法、平面正方形定位法、平面正三角形定位法、任意平面三角形定位法、区域定位法, 可以根据输入的时差数据自动求得 AE 源的位置坐标, 并整理出报告和绘图。程序流程图示于图 5。

程序采用菜单选择方式, 有较好的人机交互界面, 数据显示和绘图相结合, 使用方便。

4 声发射检测中的除噪措施

声发射检测过程中可能存在各种各样的干扰噪声, 剔除这些噪声是保证声发射检测获得成功的关键之一。

声发射源检测定位过程中的干扰噪声主要是环境噪声、区域外声发射源、区域内多声发射源等。本系统采用硬件和软件相结合的办法以剔除噪声干扰:

(1) 环境噪声: 通过设置合适的阈值来滤除环境噪声。

(2) 区域外声发射源: 通过考察 AE 源位置坐标是否满足几何关系来判定, 用软件剔除区域外声发射源。例如平面正三角形定位(图 6), 对 $P(x, y)$ 进行坐标变换可求出 $P(x', y')$ 和 $P(x'', y'')$, P 在三角形内的条件是:

$$y > 0 \text{ 且 } y' > 0 \text{ 且 } y'' > 0$$

不满足该条件则 P 在三角形之外。

(3) 区域内多声发射源: 文献[1]介绍了一种符号判别法。对于 9 个换能器组成的正方阵列, 将坐标旋转 45° , 计算同方向二个换能

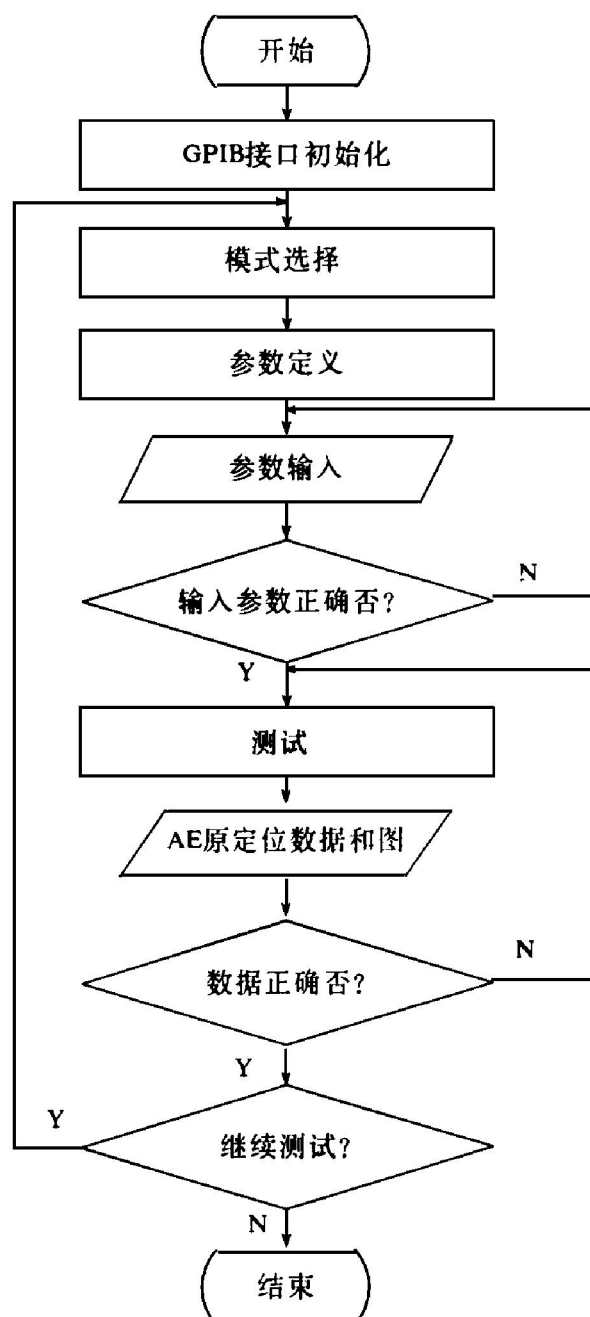


图5 AE 源检测定位流程图

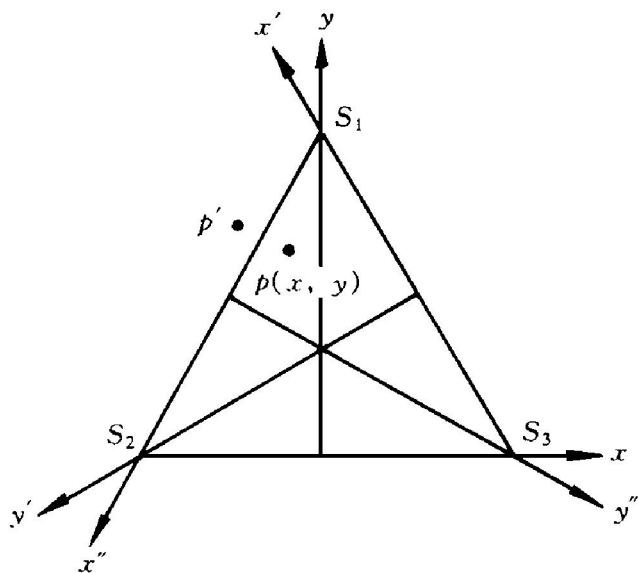


图6 区域外 AE 源的差别

器的相对时差, 如果符号相同, 则可判别为单个声发射源; 反之, 如果符号不相同, 则可判别为多个声发射源。本系统中 B& K4429 声发射脉冲分析仪仅有四通道, 因而不便采用符号判别法。本系统采用校验法来识别多个声发射源。具体做法是在定位检测的基础上保持换能器阵列不变, 仅将第四个换能器移置到计算的 AE 源位置坐标上, 进行校验测试, 若第四个换能器测得的相对时差为零, 则计算结果就是唯一 AE 源位置坐标, 否则, 区域内必有其他

声发射源存在。

5 结论

(1) 为使普通声发射检测仪具备源定位功能, 开发计算机辅助声发射源检测定位系统很有必要。作者开发的系统采用积木式结构, 应用软件功能齐全, 使用方便, 实现了声发射源在线检测定位, 实践中取得了良好的效果。

(2) 测试仪器与计算机之间的接口, 是自动检测系统的重要环节。采用国际流行的 GPIB 接口, 既有较强的功能和较高的数据传输速度, 又便于系统的扩展, 是积木式自动测试系统的发展方向。

(3) 剔除噪声干扰是保证测试获得成功的关键之一。实践证明, 采用硬件与软件相结合的方法剔除噪声, 是有效的途径。

参考文献

- 1 袁振明等. 声发射技术及其应用. 北京: 机械工业出版社, 1985: 46- 59, 88.
- 2 张世箕等. 自动测试系统. 成都: 电子科技大学出版社, 1994: 172- 190.

A COMPUTER-AIDED TEST SYSTEM FOR ACOUSTIC EMISSION SOURCE LOCATION

He Jiangsan

College of Mechanical and Electrical Engineering,

Central South University of Technology, Changsha 410083

Zhang Liren, Gao Xing

Zhuzhou Smelter, Zhuzhou 412004

ABSTRACT Being directed against that the general acoustic emission pulse analyzer was deficient in ability to locate an acoustic emission source, a computer-aided test system for locating the acoustic emission source has been developed. The system composition, device interface, algorithm and program to locate an acoustic emission source, method to eliminate noise, etc were discussed.

Key words acoustic emission(AE) acoustic emission source location automatic test system

(编辑 何学锋)