

# 压力管道泄漏的声发射检测技术分析

尚其铎 罗文超 许子豪 (山东省安泰化工压力容器检验中心有限公司, 山东 济南 250014)

**摘要:** 声发射检测技术是较为常见的无损检测技术之一, 其可以在不破坏被测物体和性能的前提下对物体内部缺陷进行检测, 其具备一定的整体性、动态性和实时性等优势。本文依据声发射检测技术的相关理论和原理, 对某压力管道泄漏情况进行详细分析, 探讨声发射检测技术的优势和应用效果, 以期为其他管道泄漏检测工作提供一定的理论和实践依据。

**关键词:** 压力管道; 声发射检测技术; 泄漏检测; 应用策略

## 0 前言

随着科学技术的飞速发展, 非破坏性试验已逐步代替了传统的试验方法, 其不但具有较高的试验精度, 而且具有较高的可靠性。NDT 技术的使用, 使得 NDT 技术在测试中的应用, 对测试对象无污染、无损伤, 有很大的促进作用。声发射检测技术指的是借助专业仪器, 对声发射信号进行检测和分析, 并以此为基础推断出声发射源, 进而获得被测物体内部结构的缺陷信息。声发射检测技术与其他检测技术相比, 具有更快、更准确的特点, 在有压管道的泄漏检测中, 其效果将更加明显。

## 1 声发射检测技术基本理论分析

### 1.1 声发射技术原理

声发射 (AE) 是指在加载条件下, 材料内部结构和缺陷的改变, 局部应力集中, 并在一定程度上激发出一种瞬态弹性波, 从而释放出能量。但是由声发射产生的声波无法用人耳直接听到, 需要用特殊的仪器进行收集和探测。因此这些基于声发射的仪器, 通过特殊电子设备进行采集、传输和分析的方法, 是一种有效的方法。声发射探伤技术是通过材料所释放的应力波进行处理, 从而实现对材料状态的检测, 并对声发射源进行定位的一种非破坏性探伤技术。

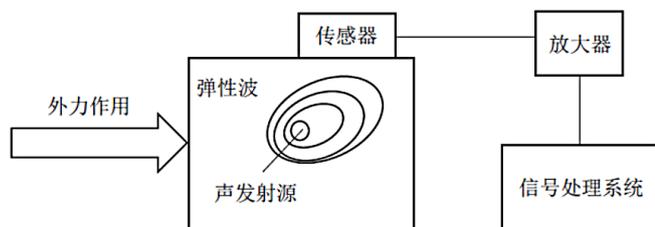


图1 声发射检测基本原理

该技术的原理如图1所示, 在外部或自身的内力的影响下, 会使材料的内部组织产生变化, 进而引起

裂纹的萌生、扩展和断裂, 并产生滑移变形、塑性变形和相变等严重的缺陷, 而这些改变就是声发射的来源。声波从声学发射源发出, 经过介质内部的传播, 最后其会抵达介质表面, 被介质表面的传感器捕获、接收, 并转换为电信号, 还会经过放大器的放大。再通过相应的信号处理系统对其进行处理, 从而对介质的特性或介质的结构完整性进行评价。

### 1.2 声发射技术特点

声发射技术是一种能够实时监测被测物体状态并反馈其随时间、温度等因素的变化情况, 从而实现缺陷的早期识别和预测。声发射法是利用物质自身所产生的应力波及能量来探测物质, 对物质基本没有约束, 且探测范围广泛。声发射技术对缺陷有很高的敏感性, 能对缺陷进行精确测量。声发射探测技术对探测环境的要求不高, 适用于高、低温、易燃、有毒的环境。

声发射法具有操作简便、成本低廉等优点。然而目前这一技术仅能探测到暂态波, 而不能探测到固定状态下的缺陷, 所以这一技术对活跃状态下的缺陷更加敏感, 不能探测到稳定状态下的缺陷。目前的 AE 技术只能定性地探测缺陷, 而不能定量地判定缺陷的大小和深度。在声发射探测中, 由于噪声、频散等因素的影响, 使得探测系统不能获得完整的原始信号, 从而对探测结果造成一定的影响。

### 1.3 管道泄漏声发射检测技术原理分析

在管线渗漏过程中, 管线自身的裂缝和渗漏孔洞不会产生结构的改变, 也不会产生弹性波。当管线发生泄漏时, 由于管线内部和外部的压强不同, 管线中的液体会被喷出, 并在喷出的一瞬间与管线的壁面发生碰撞, 从而形成一种应力波, 从而引起管线的 AE 信号<sup>[4]</sup>。压力波形中含有泄漏特性和位置等信息, 管道内壁是信号的传递媒介, 将压力波形信号传递给传

传感器。因此，管道泄漏时的 AE 信号不同于传统的 AE 信号，而是一种广义的 AE 信号。

在管道泄漏时，由于管壁的减振效应，仅有与管壁发生谐振的应力波能够在较大范围内传播，因此拥有不同距离的传感器，便能检测到具有不同特点的声发射信号，并对这些信号的变化展开分析，就可得出泄漏源的状态或位置，如图 2 所示为管道渗漏声发射检测流程图。

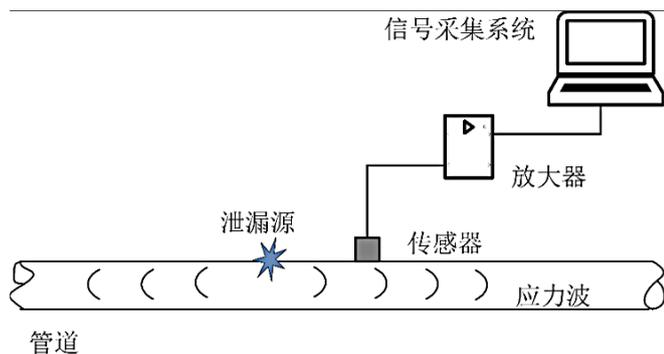


图 2 管道泄漏声发射检测流程图示

## 2 压力管道的声发射检测实验系统

本次设计的压力管道泄漏的声发射检测实验系统主要包含前置放大器、传感器、PAC-6006 声发射仪、压力泄漏的实验管道。

本文介绍了美国 PAC 公司 6006 系列四路数字探伤系统的研制情况，并介绍了该仪器的研制情况。在此基础上，研制一种新型的空气压缩机，并对其性能进行了测试。压力管道是一个长方形绕四圈，长 6000mm，宽 1500mm，沿着管道一共有 15 个曲率半径 6.5cm 的弯管。管子的每一周之间的间距是 320mm，其出口到地面的高度是 1420mm。管子的外径为 32mm，壁厚为 3mm。在距管线出口处 150mm，距管线入口处 2060mm 处设有漏气阀，可通过开启漏气阀来模拟不同的漏量。

## 3 管道泄漏检测实验

### 3.1 定位泄露源的方法

结合连续的声发射信号的特征分析，在技术不断发展过程中其基于信号的幅度衰减测量实现区域的定位方法、基于波形的互相关连形式的时差测量定位法和基于波形干涉的定位方法等三种方法逐渐被应用。

#### 3.1.1 互相关方法

该方法主要是应用波形的互相关定位方法实现，用于管道声发射泄漏检测上使用。任意一个波和另一个延迟时间为  $\tau$  的波  $B(t+\tau)$  之间互相关函数如下公

式：

$$R_{AB}(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T \Delta(t) B(t+\tau) dt$$

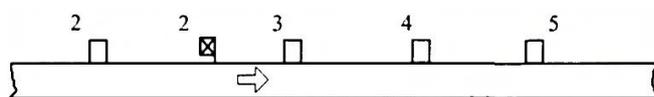
该公式中的  $T$  表示为有限的时间间隔，其在有限时间内仅间隔的互相关函数  $R_{AB}(\tau)$  在  $\tau = \tau'$  上肯定会包含一个最大值，这一方法可以在连续声发射源定位上使用。如在传感器 A 接收到来自于 AE 源的波  $A(t)$ ，传感器 B 接受到来自于 AE 源的波  $B(t+\tau')$ ，相对于波  $A(t)$  的时间延迟为  $\tau'$ ，那么此时 AE 波从源头传到两个传感器之间的时差就可以从其互相关的函数  $R_{AB}(\tau)$  的最大峰值部位得到： $\Delta t_{AB} = \tau'$

#### 3.1.2 幅度衰减测量区域的定位方法分析

面积定量分析法只需选择输出信号最大的两个探针，非常简单，但其缺点是所获得的面积过大，有时不能接受。如果在对声发射信号的大小进行分类的同时，还对声发射信号的振幅和被测对象的衰减特征进行了测量，那么就能够对泄漏源进行更精确的定位。

### 3.2 实验方案

本实验以三个部分进行：①保持管道的压力和泄漏量大小不变化，改变传感器的间距；②保持泄漏量大小和传感器的位置不变，改变管理的压力；③保持管道的压力和传感器位置不变化，改变管道泄漏量。根据三部分的数据采集分析实施多组的实验对比，选择适当的源定位方法去计算和分析声发射检测在不同状态与条件下对于管道泄漏源定位结果的实际影响。具体布置传感器如图 3 所示：



1, 3, 4, 5 为传感器；2 为泄露源

图 3 传感器布置图示

### 3.3 数据分析

#### 3.3.1 传感器间距的变化对于源定位的实际影响

泄露源本身在 1 号和 2 号传感器之间，并分别以 800mm、1100mm、1300mm 和 1800mm 的间距进行实验，进而得到 1~4 号的传感器信号频谱。由泄漏引起的应力波频率在 140kHz 附近有一个非常陡峭的峰值，其能量主要集中在 120~150kHz 之间。并采用相关位置法对其进行了分析。编写了相应的程序，把数据文件输入到 Matlab 软件中，利用 Matlab 中的 `xcorr` 函数，来实现两个信号的相关计算。取得实验数据。将 1 号和 2 号传感器同时获得的信号进行相互相关分析。经

过这个软件程序的计算,最后得出相关系数算法。

其中得到  $rx12index$  就为两个信号的频移单位,结合时间单位  $10^{-6}s$  当  $rx12index=30\mu s$  期间,其相关系数具有着最大的偏移量。随后可计算得到泄露源距离1号传感器的距离为:  $(1500-700)-4956970.3 \times 30 \times 10^{-6}=326mm$ 。同理也可得到每一次实验的定位计算数据。

当测量到距离漏气点较近时,测量到的振幅较大,而当测量到距离漏气点较远时测量到的振幅较小。当1、2号传感器的间隔在1100mm之内的时候,其理论计算与实际的结果比较接近。平均偏差在5%左右。而1、2号传感器的间隔越来越大。通过分析可以知道,在使用相互相关定位方法来计算泄露源的位置时,传感器间距不应该过大,而在传感器间距过小的时候,则可以获得比较精确的定位结果。

### 3.3.2 压力的变化对于源定位的影响

本次将管道的内部压力分别从1.1MPa~0.2MPa之间,可以做到3组12个实验,从实验本身的波形图和频谱图可以看出,泄漏声信号的活动性会随着管道的压力增大而增强,能量与幅值本身在整个频率范围内呈现出递增的趋势。根据管道的特性衰减中压力从0.8~0.2MPa递减变化的实验为例,可以测得泄露源其两边2号和3号传感器的幅值与衰减距离。

根据区域的测量定位方法对其泄露源定位的准确程度进行进一步分析,最终得到区域定位。分析发现,泄漏点距离2号传感器较近,泄漏点距离实际的泄漏点41mm位置,也就是距离2号传感器259mm的位置,与实际源位置的误差为13.6%。同理可以得到压力从0.9~0.3MPa递减变化实验的误差率为10.0%,压力从1.1~0.8MPa递减变化的试验误差率为12.7%。

结合上述三组试验的数据对比分析,可以知道在压力变化的条件下,使用幅度的衰减值去测量区域定位的方法得到的计算结果与实际源位置相比其误差均超出了10.0%,可以看出该方法定位区域相对较大,精度不足。对其原因进行分析,可能是试验器传感器有限或则是背景的噪声无法消除。

### 3.4 小结

在压力管道中存在一种连续的AE现象,它与有压管线中的突发式信号不同,不能用简单的位置图来判断其位置。当AE信号通过管线时,它包含了管线中许多泄漏源和管线的结构特征等信息。本项目拟将室内声发射仪与油气管线装备相结合,对泄漏声发

射源的信号进行采集,并利用适当的算法对其进行分析研究。在一定的漏气量下,随着漏气孔直径的增加,漏气声发射信号的能量也随之增加。

结果表明:①当传感器之间的距离很短、漏失率很低时,利用交叉相关方法可以对漏失源进行精确定位;②交叉相关时差定位方法是利用低频带声信号对泄漏源进行定位,在低背景噪音的情况下,可以获得更准确的定位结果。如果使用在强背景噪音下所收集到的泄漏声源,就很难获得满意的定位效果;③在改变压力的情况下,采用振幅衰减法进行定位的方法有很大的误差,定位面积很大,为了提高定位的准确度,需要设置更多的传感器,要尽量组成一个完善的阵列,要尽量减少背景噪音。

## 4 结语

综上所述,压力管道本身的生产工艺和运行环境十分复杂,在长期使用过程中极易发生泄漏事故,严重威胁着国家和人民本身生命财产安全。为了减少压力管道所存在的泄漏风险,需要对管道泄漏的缺陷实施有效的管控,需要采取声发射检测技术对于泄漏源实施精准定位,减少检测成本提升检测质量,保障压力管道运行的稳定性与安全性。

### 参考文献:

- [1] 张双财,张国玉,李万甜.浅谈压力管道无损检测和焊接技术实践[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2021(9):2.
- [2] 胡瑞兵.分析压力管道检验检测技术的发展现状[J].2021(7):1.
- [3] 孙彬.关于高温环境下压力容器与压力管道在线超声波检测技术[J].2021(8):1.
- [4] 侯文峰.无损检测技术在压力管道检验中的综合应用研究[J].现代工业经济和信息化,2021,11(6):3.
- [5] 温学鹏.无损检测技术在压力管道检验中的运用[J].华东科技(综合),2021,000(006):1-1.
- [6] 李越,邵玉龙,邢谭芳.无损检测技术在压力管道容器检测中的应用[J].内燃机与配件,2023(3):3.
- [7] 苟东荣,沈功田,宋凯,等.声发射检测技术在齿轮故障诊断中的研究与应用现状[J].无损检测,2023,45(3):29-34.

### 作者简介:

尚其铎(1995-),男,汉族,河北衡水人,本科,助理工程师,研究方向:特种设备检验检测。