

压力管道泄漏点的新型声发射定位研究*

龚 斌** 包日东 金志浩 闻邦椿

(东北大学)

摘 要 压力管道在泄漏时会产生声发射信号,根据此信号传播时声压遵从指数衰减规律,提出了一种利用声信号衰减特性和能量累计对管道泄漏点进行精确定位的新方法,并用多通道声发射仪以塑料管道和金属管道为介质、以压电换能器产生的信号为模拟泄漏信号进行了精确定位的试验验证,表明该方法可行并具有较好的定位精度。

关键词 压力管道 声发射 声衰减 定位 泄漏点

中图分类号 TQ055.8⁺1

文献标识码 A

文章编号 0254-6094(2005)05-0291-03

管道输送作为现行的五大运输行业之一,被广泛应用于各行各业。管道的泄漏检测技术对管道输送的正常运转有着重要的意义,而泄漏点的定位则是泄漏检测技术的关键问题之一^[1]。声发射检测作为一种动态检测方法,对管道泄漏的在线检测和定位有着常规无损检测方法(如超声检测等)所不具备的优势,但目前这项技术用于管道泄漏还处于实验室阶段^[2,3]。

由压力管道泄漏产生的声发射信号不同于材料开裂产生的声发射信号,它由一系列低幅值的连续信号组成,其信号的单个脉冲在时间上不可分辨,属于连续型信号^[4,5],突发型声发射信号定位中常用的第一次门槛跨越技术时差定位方法不再适用。为此,很多科学工作者进行了大量研究,提出了许多新的定位方法,如基于声衰减的幅度测量式区域定位法和衰减测量式定位法、利用小波包理论的定位方法、利用神经网络系统的定位方法等^[5-12]。目前基于声衰减的定位方法都仅能确定声发源存在的一个区域,如需缩小定位区域提高定位精度则需加大探头布置密度或测量被测物体的衰减特性,而前者总不能精确到点,后者则相当困难。本文根据声发射信号在媒介中传播时声压遵从指数衰减规律的衰减特性,提出一种

利用声发射技术对泄漏点进行精确定位的新方法。

1 声发射信号的衰减与能量

设泄漏点发出的连续型声发射信号声压为 $P_0(t)$,声发射仪探头到泄漏点的距离为 Δx_1 ,由于弹性波的传播遵从指数衰减规律,则探头接收到的信号声压为^[12]:

$$P_1(t) = P_0(t)e^{-\alpha\Delta x_1}$$

式中 α 为由管道材料及声波频率确定的衰减系数,对使用压电换能器探头的声发射仪来说,探头接受的信号声压应与仪器的输出电压之间成线性关系,即:

$$V_1(t) = kP_1(t)$$

当声发射仪各探头及通道灵敏度相同时各通道的 k 值应相等。

对连续型信号,探头从 t_0 时间开始计数,经过 Δt 时间后探头接收到信号的能量为^[5]:

$$E_1 = \frac{1}{R} \int_{t_0}^{t_0 + \Delta t} V_1(t)^2 dt$$

$$\text{即: } E_1 = \frac{k^2 e^{-2\alpha\Delta x_1}}{R} \int_{t_0}^{t_0 + \Delta t} P_0(t)^2 dt$$

2 泄漏点定位

设管线上有一泄漏点,在其两侧布置 3 个声

* 国家自然科学基金资助(50075010)。

** 龚 斌,男,1973 年 6 月生,博士研究生。辽宁省沈阳市,110004。

发射仪探头,如图 1 所示。设 3 个探头 1、2、3 的坐标分别为 $0, x_2, x_3$, 泄漏点坐标为 x 。声发射仪 3 个探头均从 t_0 时间开始计数,经过 Δt 时间后接受的能量分别为 E_1, E_2, E_3 , 则:

$$\Delta x_1 = x \quad \Delta x_2 = x - x_2 \quad \Delta x_3 = x_3 - x$$

$$E_1 = \frac{k^2 e^{-2\alpha\Delta x_1}}{R} \int_{t_0}^{t_0 + \Delta t} P_0(t)^2 dt$$

$$E_2 = \frac{k^2 e^{-2\alpha\Delta x_2}}{R} \int_{t_0}^{t_0 + \Delta t} P_0(t)^2 dt$$

$$E_3 = \frac{k^2 e^{-2\alpha\Delta x_3}}{R} \int_{t_0}^{t_0 + \Delta t} P_0(t)^2 dt$$

$$E_2/E_1 = e^{-2\alpha(\Delta x_2 - \Delta x_1)} \quad E_3/E_1 = e^{-2\alpha(\Delta x_3 - \Delta x_1)}$$

$$x - (x - x_2) = \ln(E_2/E_1)/2\alpha$$

$$x - (x_3 - x) = \ln(E_3/E_1)/2\alpha$$

两式相比得: $x_2/(2x - x_3) = \ln(E_2/E_1)/\ln(E_3/E_1)$

$$x = x_2 \ln(E_3/E_1)/2\ln(E_2/E_1) + x_3/2$$

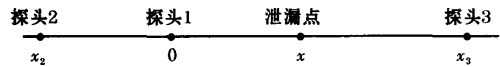


图 1 泄漏点定位示意图

3 实验测量

为验证上述定位方法,笔者进行了实验测定,实验用仪器为 AE21C 型四通道声发射仪。文献 [3] 表明,充气、充液管道泄漏时,声发射信号能量分布在 10 ~ 100kHz 范围内,其中大部分分布在 30kHz 以上范围,故实验中利用声发射仪对所采集的信号进行频率过滤,滤掉 20kHz 以下部分以排除噪声等干扰信号的影响,提高定位精度。实验以塑料管道和碳钢管道为对象,由于声波在塑料管道中传播时衰减高于碳钢管道,故实验用塑料管道较短而碳钢管道较长;以压电换能器产生的连续型声信号作为模拟泄漏声发射信号,实验测量时间累积长度为 60s,测量结果如表 1、2 所示。

表 1 实验测定塑料管道泄漏点定位结果

探头位置坐标/mm	$x_1 = 0, x_2 = -100, x_3 = 150$						
E_1	297 615	215 675	150 611	95 349	60 895	36 061	26 581
E_2	37 956	28 476	20 951	11 662	7 885	3 806	2 882
E_3	27 468	58 340	73 147	108 021	172 646	231 472	289 601
模拟泄漏点实际位置	20	40	60	80	100	120	130
泄漏点定位计算坐标	17.15	42.71	56.69	77.97	100.49	116.61	128.75
绝对误差	2.85	2.71	3.31	2.03	0.49	3.39	1.25

表 2 实验测定碳钢管道泄漏点定位结果

探头位置坐标/mm	$x_1 = 0, x_2 = -1 500, x_3 = 2 500$						
E_1	245 052	142 630	79 761	48 221	29 440	21 845	
E_2	33 453	21 145	10 288	6 957	3 975	3 115	
E_3	24 923	42 359	70 651	122 487	208 986	268 221	
模拟泄漏点实际位置	400	800	1 200	1 600	2 000	2 200	
泄漏点定位计算坐标	389.14	772.98	1 205.59	1 611.13	1 984.12	2 215.67	
绝对误差	10.86	27.02	5.59	11.13	15.88	15.67	

从表 1、2 中可以看出,在实验测量范围内,这种新型定位方法具有较好的定位精度。

4 结论

4.1 根据弹性波在介质中传播时的衰减特性,可以利用声发射技术对管道泄漏点进行精确定位。

4.2 本文中提出的精确定位方法可以在不增大声发射仪探头布置密度、不测量传播介质衰减特性、不进行波形分析,仅测量能量累计值情况下对管道上的稳定泄漏点进行精确定位,定位误差较小。

4.3 本文中提出的精确定位方法至少需3个探头,仅适用于具有3个探头以上的多通道声发射仪,且需将各通道灵敏度调为相同。

参 考 文 献

- 1 李光海,王勇.基于声发射技术的管道泄漏检测系统.自动化仪表,2002,23(5):20~23
- 2 焦敬品,李涌,何存富等.压力管道泄漏的声发射检测研究.北京工业大学学报,2003,29(2):144~166
- 3 焦敬品,何存富,吴斌等.管道声发射泄漏检测技术进展.无损检测,2003,25(10):519~523
- 4 王祖荫.声发射技术基础.济南:山东科学技术出版社,1989
- 5 袁振明,马羽宽,何泽云.声发射技术及其应用.北京:机械工业出版社,1985
- 6 Chen Ph D, Roger H L, Wissawapaisal K. Study of Acoustic Waveguides for Reinforced Concrete Structures. AIP Conference Proceedings,2000,509(1):1661~1668
- 7 沈功田,刘时风.声发射源定位技术.无损检测,2002,24(3):114~117,125
- 8 沈功田,刘时风.连续声发射源定位技术.无损检测,2002,24(4):164~167
- 9 Ding Y, Reuben R L, Steel J A. A New Method for Waveform Analysis for Estimating AE Wave Arrival Times Using Wavelet Decomposition. NDT & E International, 2004,37(4):279~290
- 10 Jiao Jingpin, He Cunfu, Wu Bin et al. Application of Wavelet Transform on Modal Acoustic Emission Source Location in Thin Plates With One Sensor. International Journal of Pressure Vessels & Piping,2004,81(5):427~431
- 11 王潜龙,冯全科,屈展等.基于声发射与小波包理论的压力管道泄漏检测.西安交通大学学报,2003,37(3):515~518
- 12 Yang M, Manabe K, Hayashi K et al. Data Fusion of Distributed AE Sensors for the Detection of Friction Sources During Press Forming. Journal of Materials Processing Technology,2003,139(1):368~372
- 13 冯若.超声手册.南京:南京大学出版社,1999
(收稿日期:2005-03-29,修回日期:2005-06-22)

Research on the New Acoustic Emission Location of the Leak Points of Pressure Pipelines

GONG Bin, BAO Ridong, JIN Zhihao, WEN Bangchun

(Northeast University, Shenyang, 110004, Liaoning, China)

Abstract An acoustic emission signal could occur when pressure pipelines were leaking. A new method of using the attenuation characteristics and energy accumulation of the acoustic emission signal to locate precisely the leak points of pressure pipelines was proposed based on the law of acoustic pressure abiding by the index attenuation when the signal was transmitting, an accurately locating experiment was made by using multi-channel acoustic emission instrument with plastic pipelines as medium and the signals induced with a piezoelectric sender as analog leakage signals, the result shows that the method was feasible and precise.

Keywords Pressure Pipeline, Acoustic Emission, Acoustic Attenuation, Location, Leak Point

(上接第285页)

through the mechanism analysis method, and a linear analysis was made under Simulink environment. The mathematical model and its analysis result facilitated the optimum design of the mixing temperature-controlling valves.

Keywords Temperature-Controlling Valve, Modeling, Dynamic Performance