

承压气体管道泄漏声源特性声发射实验研究

郭福平¹ 李伟²

(¹茂名学院 机电工程学院, 广东 茂名, 525200;

²大庆石油学院 机械科学与工程学院, 黑龙江 大庆, 163318)

【摘要】 对气体管道泄漏孔处进行了声发射检测试验, 分析了气体泄漏产生声发射现象的原因, 通过对不同泄漏孔直径、不同泄漏内压情况下的声发射信号处理与分析, 得出气体管道泄漏声源的频率范围及幅度随管道内部压力、泄漏孔径的变化影响规律, 并与管道气体泄漏的数值模拟结果进行了对比分析, 试验研究结果为气体管道泄漏声发射检测提供依据。

【关键词】 气体泄漏; 管道泄漏; 声发射; 信号分析; 短时傅立叶变换

0 引言

承压管道泄漏产生的声发射信号是广义的声发射现象, 与传统意义上的声发射研究不同。管道产生的泄漏是因为管道因材料腐蚀老化、其他外力作用产生裂纹或者腐蚀穿孔, 且内外存在压力差而使管道中的流体向外泄漏的现象。其中流体通过裂纹或者腐蚀孔向外喷射形成声源, 通过和管道相互作用, 声源向外辐射形成声波, 这就是管道泄漏的广义声发射现象^{[1][2]}。

本文建立管道泄漏实验装置, 研究气体从泄漏孔处高速喷出的声学特性。通过对管道气体泄漏处的声发射信号的分析, 旨在总结泄漏声发射信号的频率范围及幅度随管道内部压力、泄漏孔径的变化影响规律, 验证管道气体泄漏的数值模拟结果, 为管道气体泄漏声学检测提供实验依据。

1 实验过程

实验装置如图1所示。传感器布置于泄漏孔附近的管道壁上, 即传感器与泄漏孔在沿管道方向上的距离为零。泄漏孔径为 $\phi 1\text{mm}$ 、 $\phi 2\text{mm}$ 、 $\phi 3\text{mm}$ 、 $\phi 4\text{mm}$ 、 $\phi 5\text{mm}$, 在每种泄漏孔径条件下, 改变管道内部压力, 从0.15MPa变化到0.4MPa, 每次增加0.05MPa的压力, 每改变一次压力, 采集一组泄漏声发射数据。

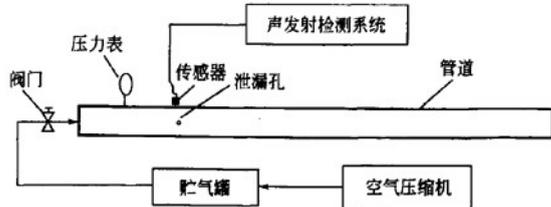


图1 承压管道泄漏处的声发射实验装置

2 泄漏源处声发射信号分析

2.1 泄漏处声发射信号分析

泄漏声发射检测主要是通过检测流体泄漏在管壁中激发的声波, 检测此声波是发现泄漏的一个有效途径, 也是声发射技术应用于泄漏检测的原理。

从严格定义上说泄漏所激发的声波^[3], 不是声发射现象。因为在此过程中, 管壁只是波导, 本身并不释放能量, 但是用此方法描述材料结构上的某种状况。

在时域内对信号分析, 可以获得信号在时域内的信息, 特别是从信号的时域波形上可知信号的幅值特征及其变化。同时, 信号的时域曲线是信号幅值随时间变化情况的反映^[1~3], 因此, 从时域曲线可以直观地看出波形的变化。

泄漏声发射信号具有多模态性^{[4][5]}, 也就是说泄漏产生的频率是不恒定的, 而是在一定的范围内变化的。而且由于泄漏过程中存在噪声, 噪声的频带与多模态波型的频带叠加, 使泄漏信号的频谱非常复杂。当管道在不同泄漏孔径、不同内部压力时, 由连续泄漏所激发的声发射信号的波形图和频谱图也有所不同。图2是 $\phi 2$

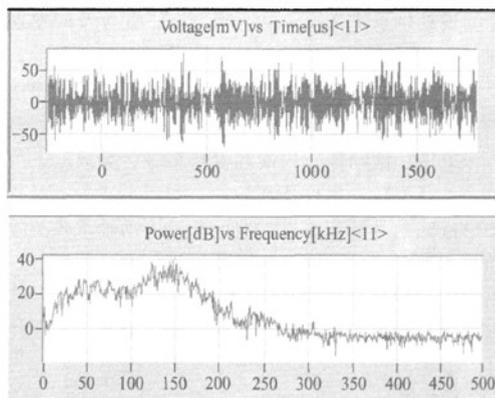


图2 管道泄漏声发射信号波形图与频谱图

泄漏孔在内压为 0.3MPa 时管道泄漏声发射信号波形图与频谱图。

从图 2 中可以看出, 信号具有时域连续性, 频谱分布范围较广。为了研究信号的局部时间范围内的频域特征, 1946 年 Gabor 提出了著名的 Gabor 变换, 之后进一步发展成为短时傅立叶变换 (short time fourier transform, 简称 STFT, 又称为加窗傅立叶变换), STFT 对小窗内的信号变换后得出信号的局部特征。图 3 为实验过程中管道泄漏孔处声发射信号短时傅立叶变换结果。图 3(a) 为泄漏孔径 2mm, 内压 0.3MPa, 图 3(b) 为泄漏孔径 4mm 内压 0.3MPa, 通过比较可知, 在内压相同情况下, 泄漏过程中信号频率处于连续波动过程, 泄漏孔直径大时 60~80kHz 信号有较大比例; 图 3(c) 为泄漏孔径 2mm, 内压 0.15MPa, 图 3(d) 为泄漏孔径 2mm, 内压 0.4MPa, 通过比较图 3(c)、图 3(a)、图 3(d) 可以看出, 在相同孔径不同压力下, 随着压力的增加信号的高频成分以及在同一时间产生的信号的频率成分明显增加。

可见, 泄漏声发射信号频率范围在泄漏过程中处于波动变化过程, 但频带范围基本保持不变; 随着管道内压的增大, 声发射信号高频成分有增加的趋势; 在保持压力不变的情况下, 声发射信号的频率成分增多。

通过以上分析可知, 泄漏声发射信号具有如下特点:

- ① 泄漏所激发的声波是连续型信号;
- ② 泄漏声发射信号的频率分布较广;
- ③ 泄漏声发射信号在泄漏过程中变化不大。

2.2 泄漏孔直径大小对泄漏孔处的声发射信号幅度影响

承压管道的管道壁一般都是弹性体, 泄漏发生时, 流体受压力喷射作用而诱发声波并在管道壁内传播。声波的纵波、横波和表面波引起的管壁振动包括纵振动、横振动和圆环振动。图 4 是在泄漏孔处在 0.2MPa 压力下, 泄漏孔直径变化时实验结果与利用 FLUENT 和 MATLAB 软件模拟气体管道泄漏连续声源产生机理数值模拟结果的对比如线图。从图中可以看出, 泄漏孔直径与泄漏孔处声发射信号幅度实验数据关系曲线和模拟数据关系曲线趋势相同。实验与模拟研究结果表明, 随着泄漏孔径的增大, 泄漏源处声发射信号幅度在逐渐增大, 但增加幅度不明显。模拟数据要比实验数据在数值上高出 25dB 左右, 产生这种情况的原因有两个, 一是因为泄漏源产生后, 以球面波向四面八方传播, 而实验当中接收到的数据只是某一方向的一部分能量; 二是因为模拟结果是在声源处空气中的幅度值, 而实验数据是泄漏源产生的弹性波传播到管道壁上并沿管道壁传播到传感器, 再由传感器所接收到声发射信号的幅值, 存在一定的能量损失。

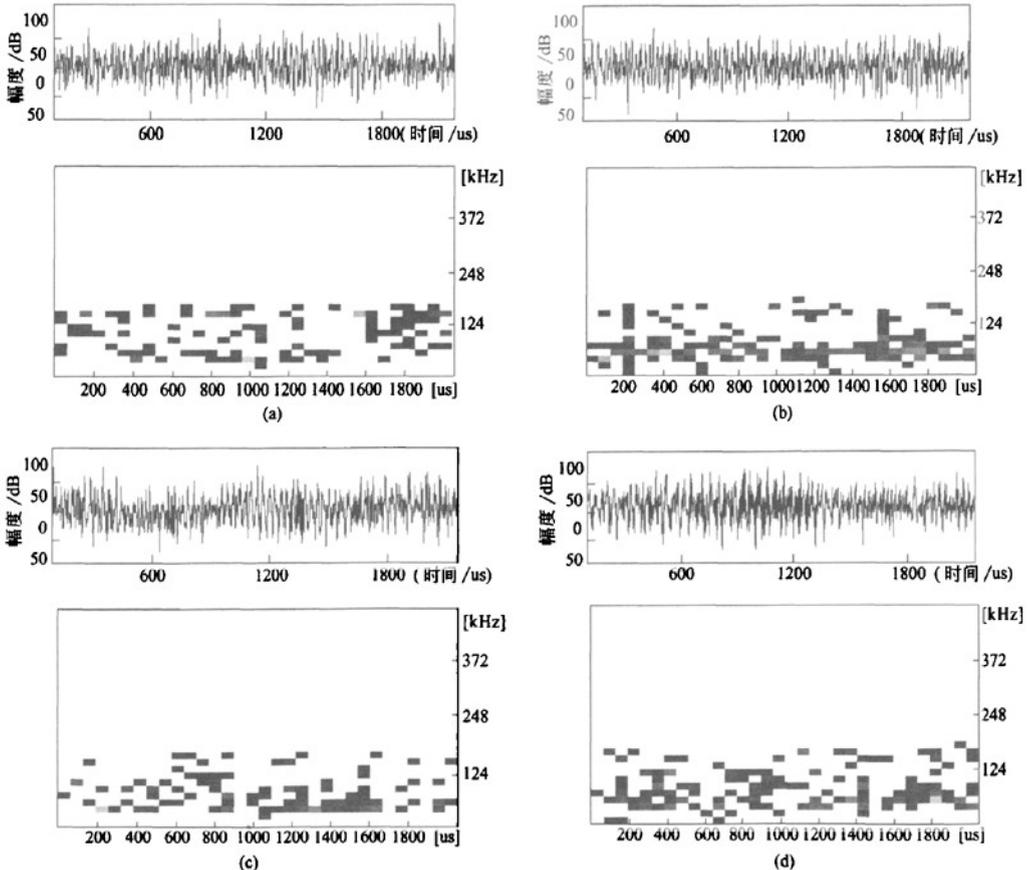


图 3 泄漏孔处的声发射信号波形图与 STFT 图

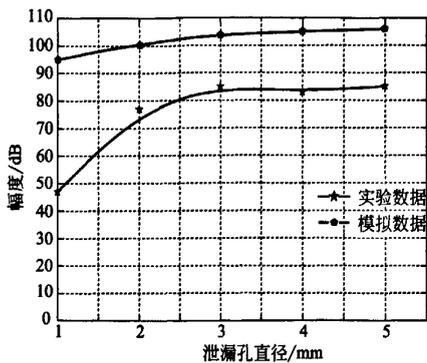


图4 泄漏孔径对泄漏孔处声发射信号幅度影响

2.3 管道内部压力对泄漏孔处声发射信号幅度影响

由于管道内部压力改变时, 泄漏孔处气体的流速会发生变化, 因此导致泄漏孔处的声发射信号也要随之改变。图5为泄漏孔直径为1mm时, 不同管道内压情况下的实验与利用 FLUENT 和 MATLAB 软件模拟气体管道泄漏连续声源产生机理数值模拟结果幅度对比图。

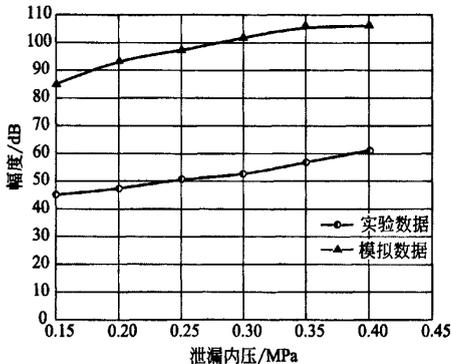


图5 泄漏内压对泄漏源处声发射信号幅度影响

从图中可见, 二种数据曲线图趋势基本相同, 由于能量损失原因模拟数据要比实验数据大些。实验结果表明随着管道内压力的增加, 泄漏孔处流速增大, 使得气体与管壁的摩擦也增大, 于是泄漏处的声发射信号强度也在增大。

3 结论

本文通过实验对管道气体泄漏孔处的声发射信号进行了分析, 重点研究了不同管道内压与不同泄漏孔直径对声发射信号的影响, 总结泄漏声发射信号的频率范围及幅度随管道内部压力、泄漏孔径的变化影响规律, 并与管道气体泄漏的数值模拟结果进行了对比分析, 得到如下结论:

- ① 管道气体泄漏时, 泄漏处的声发射信号的频率范围分布较广;
- ② 随着管道泄漏孔直径的增大, 泄漏处的泄漏声发射信号的幅度增大; 信号的高频率成分增加, 同时信号频率成分增加;
- ③ 随着管道泄漏内压的增大, 泄漏处声发射信号的幅度增大; 信号高频成分增加、频率成分增加。

参考文献

- [1] 李善春, 郭福平, 王为松. 压力管道泄漏声发射监测试验研究 [J]. 无损检测, 2007, 29 (2): 74-79.
- [2] 焦敬品, 何存富, 吴斌等. 管道声发射泄漏检测技术研究进展 [J]. 无损检测, 2003, 26 (10): 25-38.
- [3] 霍臻, 陈翠梅, 朱润祥. 压力管道声发射泄漏检测 [J]. 无损检测, 1997, 19 (4): 105-107.
- [4] 焦敬品, 何存富, 吴斌等. 管道超声导波检测技术研究进展 [J]. 实验力学, 2002, 17 (1): 1-9.
- [5] 张平, 施克仁, 耿荣生等. 小波变换在声发射检测中的应用 [J]. 无损检测, 2002, 24 (10): 436-439.