

# 声发射模拟信号在水介质中传播的波形特征

陈 冲<sup>1</sup>, 刘相鹏<sup>2</sup>, 吕 震<sup>1</sup>, 刘 兵<sup>1</sup>, 王 风<sup>1</sup>, 孔祥斌<sup>3</sup>, 李木森<sup>1,2</sup>

(1. 山东省超硬材料工程技术研究中心,邹城 273500;  
2. 山东大学 材料科学与工程学院,济南 250061;3. 邹城市地震局,邹城 273500)

**摘要:**采用全波形声发射仪测量了声波发生器产生的,并分别经钢板和水介质传播的声发射模拟信号,对其波形特征进行了时域分析、频谱分析和对比研究。结果表明,AE 模拟信号经水介质传播后的幅度较钢板传播后明显降低;AE 模拟信号通过水介质没有明显的频散现象发生,而通过钢板传播后频散现象明显,这与钢板表面和材料内部的晶界有关。

**关键词:**声发射;水介质;时域分析;频谱分析;幅度;频散现象

中图分类号:TG115.28 文献标志码:A 文章编号:1000-6656(2012)12-0058-03

## The Waveform Characteristic of Acoustic Emission Simulation Signals Propagation in Aqueous Medium

CHEN Chong<sup>1</sup>, LIU Xiang-Peng<sup>2</sup>, LV Zhen<sup>1</sup>, LIU Bing<sup>1</sup>, WANG Feng<sup>1</sup>, KONG Xiang-Bin<sup>3</sup>, LI Mu-Sen<sup>1,2</sup>

(1. Shandong Engineering Research Centre for Superhard Materials, Zoucheng 273500, China;  
2. School of Materials Science and Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China;  
3. Zoucheng Seismological Bureau, Zoucheng 273500, China)

**Abstract:** The AE simulation signals, which were produced by a sound wave generator and propagating in the steel plate and aqueous medium respectively, were detected by a full waveform acoustic emission detector, and the waveform characteristic was studied comparatively with the help of time domain analysis and frequency spectrum analysis. The results showed that the amplitudes of the AE simulation signals propagating in the aqueous medium were much more lower than those propagating in the steel plate. The dispersion phenomenon of the AE simulation signals propagating in the aqueous medium was not obvious, but was obvious when propagating in the steel plate due possibly to its surface and crystal boundary.

**Keywords:** Acoustic emission; Aqueous medium; Time domain analysis; Spectrum analysis; Amplitude; Dispersion phenomenon

声发射(Acoustic Emission,简称 AE)是指物体中局部因能量快速释放而产生瞬态弹性波的现象<sup>[1]</sup>。大多数物体的声发射信号强度很弱,而采用专用仪器探测、记录和分析声发射信号以及利用声发射信号推断声发射源则统称为声发射检测技术。

收稿日期:2012-08-14

作者简介:陈 冲(1986—),男,助理工程师,主要从事无损检测方面的研究。

通讯作者:李木森(1952—),男,教授,博导,主要从事无损检测方面的研究。

由于声发射信号来自被测物体本身,并且对构件的几何形状不敏感,因此能实时监测物体结构完整性和对声发射源进行实时评价。声发射检测技术已广泛应用于石油化工、材料试验、航空航天等领域。国内外科技工作者在与地震活动相关的岩石力学、地球物理、地质结构和矿震监测等技术领域开展了许多声发射试验和理论研究,为地震监测和预报提供了重要的研究基础<sup>[2-10]</sup>。大量历史记录和震例资料表明,地下水的映震能力强,反映比较灵敏,与地震孕育和发生有着密切关系,是进行地震监测预报

和科学的重要手段<sup>[10-14]</sup>。

文章采用声波发生器模拟 AE 信号,使之通过不同传播介质(钢板和水)后用全波形声发射检测仪接收 AE 模拟信号,对接收到的信号波形进行时域分析和频谱分析,并对比研究了 AE 模拟信号在水介质中与钢板介质中传播的差异,为研究水—声耦合法在地震波信号实时监测系统中的应用提供重要的试验依据。

## 1 试验设备及方法

采用 DG1022 型信号发生器发出 AE 模拟信号,分别经钢板和水介质传播后由 SR150M 型 AE 传感器接收,再经前置放大器(增益 40 dB)放大后,由 DS2-8A 型全波形声发射检测仪接收和存储。水介质中传播 AE 模拟信号的试验采用  $\phi 20 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$  的圆棒状波导杆将信号导入水中,然后由另一根同样形状、尺寸的波导杆接收。AE 模拟信号在钢板和水介质中传播的试验装置示意图如图 1。

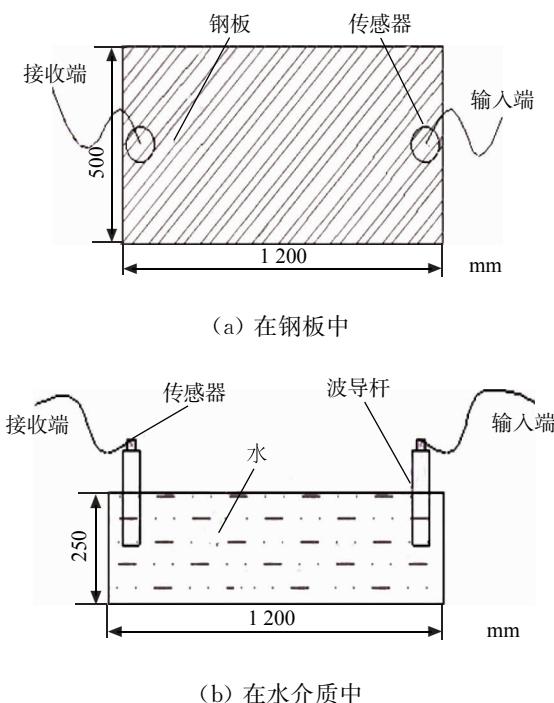


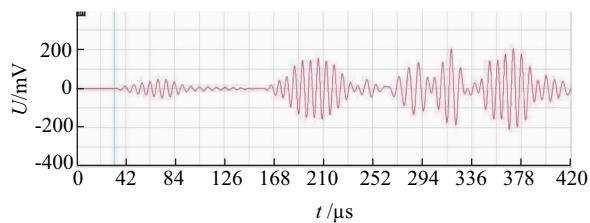
图 1 AE 模拟信号在钢板和水介质中的传播试验装置示意图

## 2 试验结果与分析

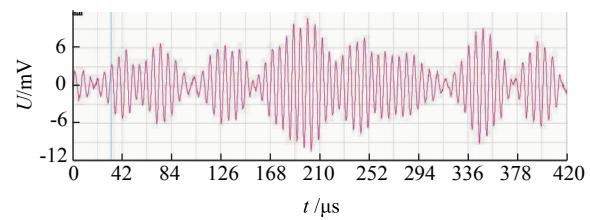
### 2.1 AE 模拟信号在水介质和钢板中传播的波形观察结果

用信号发生器发出 150 kHz, 电压峰峰值  $V_{\text{pp}} = 400 \text{ mV}$  的 AE 模拟信号, 分别在钢板和水介质中经

1.2 m 距离传播后,由声发射检测仪接收的信号波形如图 2 所示。



(a) 在钢板中



(b) 在水介质中

图 2 在钢板和水介质中传播后的信号波形

从图 2 中可以看出:① 相同 AE 模拟信号经钢板传播后的波形有纵波、横波,纵波在前,横波在后。而经过水介质传播后的波形仅有纵波,即水介质不传播横波。② 相同 AE 模拟信号经过水介质传播后的纵波幅度明显小于经过钢板传播后的纵波幅度。③ AE 模拟信号在两种介质中传播的初始阶段波形幅度都有增大的趋势。在钢板中传播的波形幅度增大是由于纵波和横波叠加的缘故;而在水介质中传播的波形幅度增大可能是由于水槽壁反射、折射叠加的缘故。

### 2.2 AE 模拟信号在水介质和钢板中传播的波形分析对比

用信号发生器发出 150 kHz, 电压峰峰值为 1 V 的 AE 模拟信号, 分别在钢板和水介质中经 1.2 m 距离传播后,由声发射检测仪接收到的信号波形分别用 MATLAB 软件进行时域分析;并经傅里叶(FFT)变换后,进行频谱分析。经水介质传播后的 AE 模拟信号的时域分析和频谱分析结果如图 3 所示。

经钢板传播后的 AE 模拟信号的时域分析和频谱分析结果如图 4 所示。

由图 3(a)和图 4(a)可以看出,AE 模拟信号的时域图大致相同,为典型的突发型信号,但通过水介质传播后的 AE 模拟信号幅度明显小于通过钢板传播后的幅度。由图 3(b),3(c)和图 4(b),4(c)可以看出,AE 模拟信号经钢板传播后发生明显的频散现象,而经水介质传播后则不明显。这可能与钢板

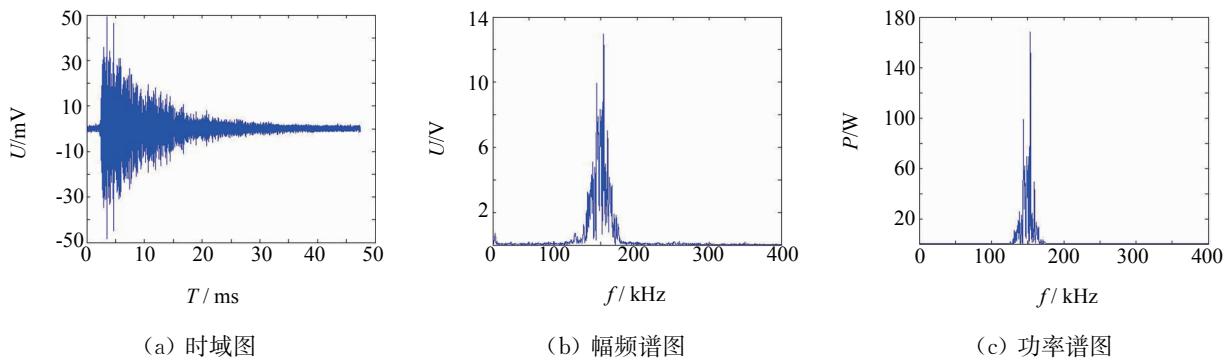


图 3 在水介质中传播后的 AE 模拟信号波形时域图和频谱图

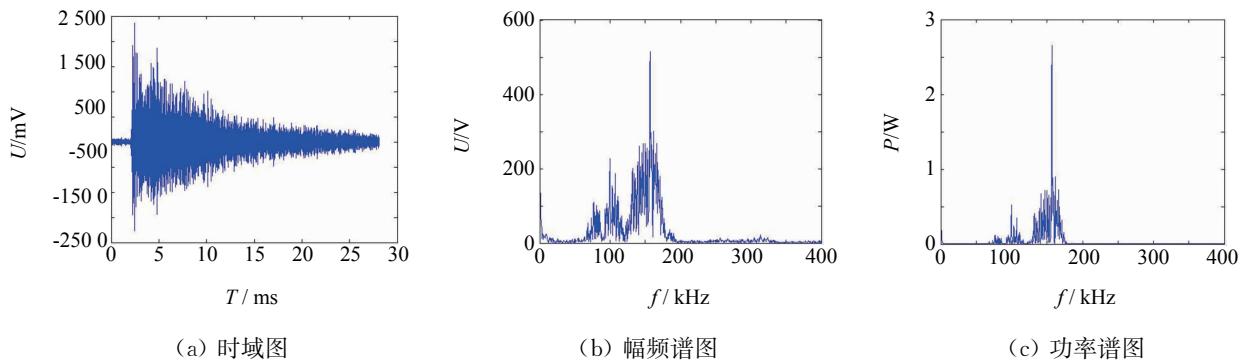


图 4 在钢板中传播后的 AE 模拟信号波形时域图和频谱图

中存在大量的晶界有关,因 AE 模拟信号在这些界面会形成反射或折射,从而导致信号的幅频和功率谱展宽。此外,因钢板很薄,在钢板两个平行的表面之间,横波和纵波经多次反射后沿着板面传播,形成平板波导<sup>[15]</sup>。由于钢板厚度的影响,AE 模拟信号的传播波速依赖于波的频率,从而导致波的频散<sup>[16]</sup>。水为单一均匀介质,因此 AE 模拟信号传播时不易发生频散现象。AE 模拟信号在水介质中的这种传播特性有利于通过水-声耦合的方法,用声发射检测仪实时采集经水介质传播的地震波信号,为设计和建立新的地震波实时监测、采集和处理系统提供了重要的试验依据。

3 结论

(1) AE 模拟信号经钢板传播后,其波形特征表现为纵波和横波组合的混合波;而经水介质传播后,其波形特征表现为单一纵波,即在水介质中不传播横波。

(2) AE 模拟信号经水介质传播后的幅度较经钢板传播后的明显降低。

(3) AE 模拟信号经钢板传播后发生明显的频散现象,与钢板的表面和钢板中存在大量的晶界有关。AE 模拟信号经水介质传播后频散现象则不明显,该特征对基于水-声耦合法用声发射检测仪实时

采集地震波信号十分有利。

#### 参考文献：

- [1] 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.
  - [2] Cheon Dae-Sung, Jung Yong-Bok, Park Eui-Seob, et al. Evaluation of damage level for rock slopes using acoustic emission technique with waveguides[J]. Engineering Geology, 2011, 121:75—88.
  - [3] Tyupkin Y S, Giovambattista R D. Correlation length as an indicator of critical point behavior prior to a large earthquake[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2005, 230:85—96.
  - [4] Wang Hong-Liang, Ge Mao-Chen. Acoustic emission/microseismic source location analysis for a limestone mine exhibiting high horizontal stresses[J]. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 2008, 45:720—728.
  - [5] 马瑾,马文涛,马胜利,等.5°拐折构造变形物理场的试验研究与数值模拟[J].地震地质,1995,17(4):318.
  - [6] 马胜利,陈顺云,刘培洵,等.断层阶区对滑动行为影响的试验研究[J].中国科学 D 辑:地球科学,2008, 38 (7):842—851.
  - [7] 路鹏,李志雄,陶本藻,等.震级频度与古登堡-里克特关系式偏离的前兆意义[J].地震,2006,26(4):1—7.

(下转第 84 页)

### 3 提高自标定成功率的方法

在实际检测中,结合上述分析,通过大量的现场试验,针对每个影响常压储罐罐底板声发射检测自标定的因素提出了相应的改善措施,并进行了部分验证。改善后,自标定成功率得到了提高。

#### 3.1 布置双层探头

针对罐内存在噪声的问题,在定位探头上方的平面布置同样数量的传感器,如图5所示,并进行相应的软件设置,依据声发射波的优

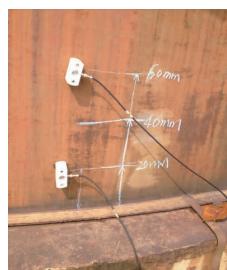


图5 双层传感器布置图

先接收原则,罐内噪声会首先被上层传感器接收,下层定位传感器将不会接收,从而不影响自标定以及罐底板缺陷信号的定位。

#### 3.2 设定准确的初始声速

依据前面的分析,参与定位的有效信号为沿罐内介质传播的声发射信号,因此,结合声发射波的传播特点以及不同储罐内介质的特点,通过现场试验,可以确定同类型储罐的声速值范围,进而减少该因素的影响,得到唯一的定位点,且与传感器实际位置基本重合,通过微调,即可得到准确的声速,完成自标定。

#### 3.3 设定准确的信号门槛值

门槛值是软件过滤噪声、保留有效信号的主要手段,针对同类型的储罐,可以通过改变门槛值,观察在传感器发射波幅值相同的情况下,通过壁板和

(上接第60页)

- [8] Ponomarev A V, Zavyalov A D, Smirnov V B, et al. Physical modeling of the formation and evolution of seismically active fault zones [J]. Tectonophysics, 1997, 277: 57—81.
- [9] Lei Xing-Lin, Koji Masuda, Osamu Nishizawa, et al. Detailed analysis of acoustic emission activity during catastrophic fracture of faults in rock [J]. Journal of Structural Geology, 2004, 26: 247—258.
- [10] Alberto Carpinteri, Giuseppe Lacidogna, Simone Puzzi. From criticality to final collapse: Evolution of the “b-value” from 1.5 to 1.0, Chaos [J]. Solitons and Fractals, 2009, 41: 843—853.
- [11] 国家地震局预测预防司编. 地下流体地震预报方法

通过介质传播的声发射波的幅值特点,针对该特点,有针对性地设置门槛值,达到保留介质传播信号而除去壁板传播信号的目的,保证自标定的成功。

#### 3.4 合理布置传感器

现场的传感器布置除了按照常规的方法之外,还应尽可能远离人孔、清扫孔、进出口等结构不连续的位置,使传感器尽量形成闭合的圆环。图6为改善后的某次自标定的三维效果图。

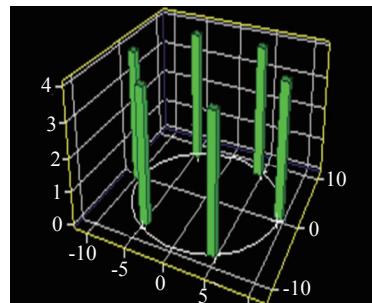


图6 改善后的自标定三维效果图

### 4 结论

通过现场试验结合理论分析,找出了影响声发射自标定的主要因素,并通过试验找出了改善的方法以及检测过程中应注意的问题,以提高自标定准确度,确定准确的声速,进一步提高油田在用常压储罐声发射检测的高效性和准确性,为胜利油田在用常压储罐的安全运行保驾护航。

#### 参考文献:

- [1] JB/T 10764—2007 无损检测 常压金属储罐声发射检测及评价方法[S].
- [M]. 北京:地震出版社,1997.
- [12] 耿杰,张昭栋,魏焕,等.唐山地震前后地下水动态图像及其形成演化模式[J].地震地质,1998,20(3):255.
- [13] 林淑真,李宗仰,陈暉家.台湾地区9.21及3.31地震的地下水位异常统计与介人分析[J].地震地质,2003,26(4):321—327.
- [14] 兰双双,迟宝明.汶川地震近区深层井孔-含水层系统水位异常响应研究[J].水文地质与工程地质,2010,37(2):1—5.
- [15] James F. Wave Propagation in Structures[M]. New York: Springer-Verlag New York Berlin Heidelberg, 1997.
- [16] 龚仁荣.结构材料中声发射传播特性的研究[D].镇江:江苏大学,2005:12—13.