

钢板电化学腐蚀声发射建模及分析系统

穆为磊¹, 刘家辰¹

(1. 中国海洋大学工程学院 青岛 266100)

Email: muweilei@ouc.edu.cn

摘要: 声发射具有检测灵敏度高, 能够对腐蚀、开裂等缺陷进行早期在线检测, 检测成本低, 不受温度、压力等环境影响的优势, 近十几年来, 其作为一种被动无损检测技术在油气储中得到了大量的应用。本文分析了钢板电化学腐蚀中声发射信号与电位之间的关系, 然后在不同静电电位下对钢板进行声发射激励, 对采集信号进行特征参数提取, 分析了不同静电电位下产生的声发射信号的幅频响应, 最后对电位波动引起的声发射信号建立了数学模型。

关键词: 声发射、电化学腐蚀、油气储运

1 研究背景

作为世界上最重要的商品之一, 石油的储运需求在日益增长, 目前以低碳钢为主的材料被制作成各种规格的石油储罐, 但受储存介质以及使用环境影响, 储罐的底板腐蚀穿孔会引发油气泄露, 若不能及时检查处理, 则会导致严重的灾害以及环境污染, 对人们的生命财产安全造成重大影响[1]。而储罐等大型设备通常两年进行一次开罐检修, 所以为了应对随时会发生的储罐的腐蚀问题, 国内提出了多种检测手段[2]。声发射在线检测技术能够在不影响生产的情况下及时发现储罐失效情况, 极大地节省了人力和物力, 已发展成为较为成熟的在线检测手段[3]。金属的腐蚀原理有多种, 其中电化学腐蚀最为广泛。由于金属表面与铁垢等杂质之间存在一定的电位差异, 从引起金属的局部腐蚀。腐蚀电位是电化学中的一个重要参数, Magaion等[4]在进行电化学噪声和声发射对不锈钢局部腐蚀研究时发现电位波动对声发射信号的产生有一定的影响。本文在不同静电电位下对钢板进行声发射激励, 对采集信号进行特征参数提取, 分析了不同静电电位下产生的声发射信号的幅频响应, 根据实验数据对电位波动引起的声发射信号建立了数学模型。

2 研究内容

当Q235钢板发生局部电化学腐蚀时, 金属原子在电场力的作用下转移, 材料发生变化, 金属原子变成离子, 释放能量发出瞬态弹性应力波。材料中局域源快速释放能量产生瞬态弹性波的现象称为声发射 (Acousticmission, 简称 AE), 有时也称为应力波发射。当静电流通过电极时, 电极电位偏离其平衡电位, 这种现象叫做电极的极化。对电极系统通入外电流, 此电流密度下的电极电位 E 与其平衡电位间 E_e 之差的绝对值称为该电极反应的过电位 η , 单位电极面积

在单位时间内的电极反应产物量为电极反应速率 I , 其与电极反应的过电位的关系如下:

$$\begin{aligned}\eta &= |E - E_e| = f(I) \\ \eta I &\geq 0\end{aligned}\quad (1)$$

电化学电极反应的速率与电位之间关系如下:

$$\begin{aligned}\bar{I} &= nF\bar{k}c_R \exp\left(\frac{\alpha nFE}{RT}\right) \\ \bar{I} &= nF\bar{k}c_O \exp\left[-\frac{(1-\alpha)nFE}{RT}\right]\end{aligned}\quad (2)$$

其中, 上标正反向箭头为正、逆反应, k 为反应速度常数, C 为反应物的浓度, R 为通用气体常量, T 为绝对温度, F 为法拉第常量, α 为传递系数。可见不同电位条件对铁原子变为铁离子的速率不同, 因此在此过程中产生的弹性波有一定差异, 产生的声发射信号源也不同。

声发射信号的频谱随着声发射源卸载时间的变化而变化。卸载时间越短, 声发射信号的频谱所能达到的频率越高, 该声发射事件的能量释放速度越快。并且由于声发射源自身特性、声发射源到检测传感器的传播路径等不同, 采集仪采集到的信号与声发射源产生的实际信号差别较大。因此, 我们通过实验测试, 在不同的静电电压下对Q235钢板的同一位置进行放电, 采集到同种传播路径下, 不同电位影响下产生的声发射源传播信号。对采集信号进行分段频散移除处理, 并对其特征参数进行提取, 总结出了不同静电电位下声发射激励信号的幅频特征。

最后根据实验结果, 假设电化学腐蚀声发射信号由 N 个不同参数值 (如频率、时移和幅度) 的原子跨界产生的脉冲组成。这些脉冲在局部相邻而相互靠近。单个脉冲由激励函数决定其上升部分、衰减指数函数决定其下降部分, 余弦函数决定其不同的频率分量。将不同时间延迟下的 N 个脉冲叠加形成单次激励的声发射信号, 对其在板中的传播进行模拟, 在与实验信

号进行比较的过程中不断评估合适的参数值。单个脉冲的数学模型如下：

$$g = \frac{1}{1 + ae^{-b(t-\tau_1)}} e^{-\frac{(t-\tau_2)}{c}} A \cos(2\pi f(t - \tau_3)) \quad (3)$$

对实验信号进行窄带滤波，保留100kHz附近频段，对其进行频散移除处理，得到的信号波形如图1所示，对此波形进行模型参数估计，得到数学模型的各项参数分别为 $a=1$, $b=10^8$, $\tau_1 = 5 \times 10^{-6}$, $\tau_2 = 5 \times 10^{-5}$, $\tau_3 = 7.7 \times 10^{-6}$, $c = 3 \times 10^{-6}$, $A=9.5$ 。对数学模型传播后的频散移除处理如图2所示。

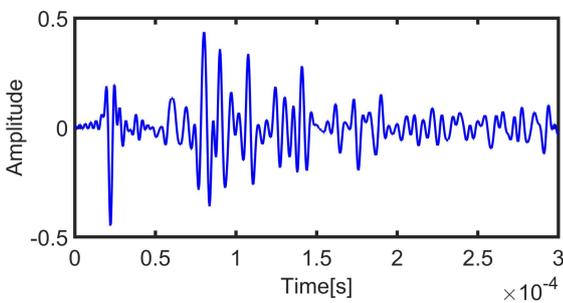


Figure 1. Experimental signal dispersion removal

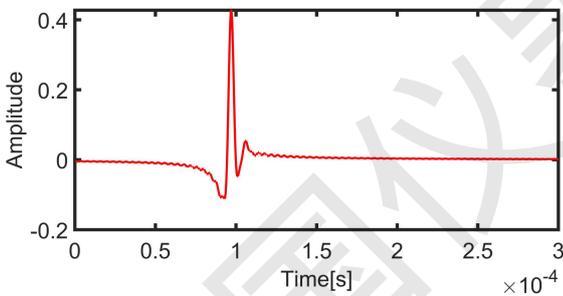


Figure 2. Analog signal dispersion removal

3 结论

储罐电化学腐蚀过程中声发射波的产生机制对声发射源的识别和储罐腐蚀情况的分析具有重要意义[5]。本文分析了电化学腐蚀中电位对声发射信号产生的影响，以此为基础在不同的静电电位下对Q235钢板进行放电激励，并根据实验结果建立了电位波动引起的声发射波的数学模型，讨论了数学模型和实验信号进行时域、频域和时频域比较分析的结果。并对建立模型的参数值进行了评估，使其符合电化学腐蚀产生的声发射信号。

参考文献

[1] MUHAMMAD F S, KHURRAM K, FAHEEM R, et al.

Corrosion detection and severity level prediction using acoustic emission and machine learning based approach[J]. Ain Shams Engineering, 2021,3891-3903

- [2] 孔 军. 油田储罐腐蚀在线检测及风险评估[J]. 化工管理, 2024(04): 1008-4800
- [3] 夏利群. 声发射技术在储罐腐蚀检测中的应用综述[J]. 现代职业安全, 2023(06):55-57
- [4] MAGAINO S. Spectrum Analysis of Corrosion Potential Fluctuations for Localized Corrosion of Type 304 Stainless Steel[J]. Journal of The Electrochemical Society, 1987,134(12), 2993.
- [5] QUI F, DAI G, ZHANG Y, Application of an acoustic emission quantitative method to evaluate oil tank bottom corrosion based on corrosion risk pace[J]. Insight, 2017, 59 (12) :653-658