

# 声发射技术在泄漏检测中的应用

陈志刚

(广州市特种承压设备检测研究院, 广州 510050)

**摘要:**通过对声发射泄漏检测的原理、机理和仪器设计等的研究,探讨了适合我国工业应用的声发射检漏技术,将价廉、便携、高效和操作方便的声发射仪器应用在工艺设备及管道泄漏检测上的可行性。

**关键词:**声发射检测;泄漏检测;研究应用

**中图分类号:**TG115.28 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-6656(2008)06-0366-03

## Application of Acoustic Emission Technique for Leakage Testing

CHEN Zhi-Gang

(Guangzhou Special Pressure Equipment Inspection & Research Institute, Guangzhou 510050, China)

**Abstract:** Studies have been made of the principles and mechanism of acoustic emission leakage testing and corresponding instrumentation design. The aim of the study is to lay foundation for industrial application of AE leakage testing applicable for conditions of China and for the feasibility of application of low-cost, portable and easy-to-operate AE instrument in testing of technology processing apparatus and pipelines.

**Keywords:** Acoustic emission testing; Leakage testing; Research and application

### 1 声发射检漏的原理及特点

声发射是材料受外力或内力作用而产生变形或断裂时,以应力波的形式释放能量的现象。声发射检漏的原理是根据流体泄漏会在管壁中激发应力波,检测此应力波有望发现泄漏情况。

从严格定义上说,泄漏所激发的应力波不是声发射现象,因为在此过程中,管壁只是波导,本身并不释放能量,但是它们都可以用应力波来描述材料结构上的某种变化状况,所以笔者假设这也是一种声发射现象。泄漏声发射信号具有如下特点:

(1) 由于泄漏摩擦信号所激发的应力波以低频为主(能量集中在<60 kHz的频率区间),其频谱具有很陡的尖峰。该特点为检测泄漏提供了有利的抗干扰条件,信号很容易从噪声中分离出来。

(2) 泄漏应力波信号均方根值与泄漏速率的平

方根值成正比:

$$\sqrt{\int U^2 dt} = K \sqrt{V_L}$$

式中  $U$ ——应力波信号强度;

$t$ ——采集信号累积的时间;

$K$ ——常数;

$V_L$ ——泄漏速率。

根据以上公式,可以设置不同的信号均方根值累积界限,达到泄漏报警的目的。

(3) 当泄漏速率很小,几乎与压力无关时,上式仍满足,故用上式设计的检漏仪将有较高的灵敏度。

(4) 泄漏激发的应力波是连续型信号。

从以上特点中看出,声发射检漏克服了其它方法的不足,具有较好的抗干扰性和灵敏度。

### 2 声发射泄漏检测仪

使用的 WaveAE2000 声发射泄漏检测仪是 32 通道全数字式波形采集系统,可进行线、面定位、智能采样和智能输出,采样频率为 20 MHz。可以通过键盘对系统进行软硬件设置,利用键盘设置参数,

收稿日期:2008-02-04

作者简介:陈志刚(1964-),男,副院长,工程师,长期从事特种承压设备检验检测。

可对通道放大器的放大增益进行无级调节,以适合不同环境下的测量,还能通过设置参数改变门槛高度,滤掉干扰信号。

声发射泄漏检测不但具有泄漏检测功能,而且还具有缺陷定位功能。在缺陷定位方式下,可在显示器上读出缺陷的准确位置,同时在打印机上打印每个事件信号的振铃数、振幅、能量值和位置,误差很小。采样一段时间后,可统计出各种曲线,并可对波形信号进行小波分析和神经网络模式识别。

在泄漏测量时,能实时绘出探头的均方根值(RMS)和曲线。如果有不为0的连续能量波 RMS 值,经累加到一定极限时报警并输出数据。

该声发射检测仪能够长期保持所存贮的参数,减少重复输入的麻烦,能够设置增益倍数,能自动进行多路转换,采样过程无需人工干预。

### 3 气体储存容器的声发射泄漏检测实验

储存容器见图1,其直径为400 mm,长1 000 m,壁上开有一小孔,孔径范围为0.5~2.5 mm。实验压力0~0.25 MPa,四个150 kHz的AE传感器分别放置在容器的不同位置上,进行气压泄漏检测。

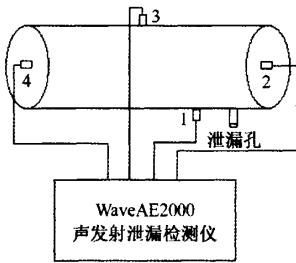


图1 实验装置和传感器分布图

四个传感器距泄漏孔距离分别为:1号100 mm, 2号300 mm,3号500 mm,4号920 mm。

AE 检漏仪前置放大器增益 20 dB,为除去噪声设置的软件门槛为 10 dB,RMS 值采样间隔为 0.1 s,

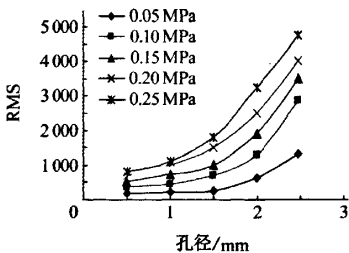


图3 不同压力下 RMS-孔径的关系曲线

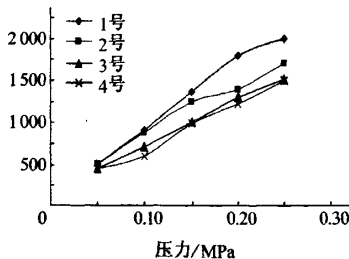


图4 气体泄漏孔径为 1.5 mm 时的压力-RMS 关系曲线图

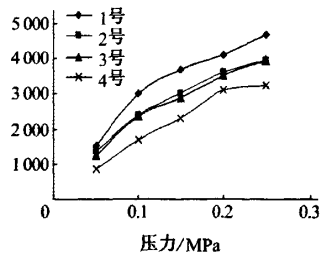


图5 泄漏孔径为 2.5 mm 时的压力的 RMS 关系曲线

累积时间设置为 20 s。

以气体泄漏检测进行实验。实验分别就气体条件下不同孔径、不同压力、不同位置传感器在相同时间(20 s)内所接收到的累积 RMS 值进行统计分析。

记录气体泄漏情况下、不同孔径,不同压力状况四个传感器接收到的 RMS 累积值,并作出对应的曲线(图2和3)。而孔径为 1.5 mm 和 2.5 mm 时的 RMS-压力值曲线见图4和5。

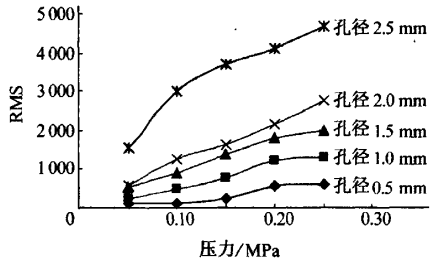


图2 不同孔径泄漏孔的 RMS-压力曲线

从图2可以看出:①同一孔径随压力增加,其RMS值迅速增长。②靠近泄漏源的传感器比远离的传感器所接受的信号更加强烈。③RMS值随孔径增大而增大。

图2~5可见,泄漏信号(能量)在泄漏孔中的分布呈中心强,沿径向递减的规律;而声发射检漏主要是检测泄漏孔边缘通过管壁传播的应力波。当孔径在一定范围内时,泄漏孔边缘处由于孔径增加,使泄漏信号(能量)的增加值大于其分布规律中径向的减少值,因此检测的 RMS 值随孔径增大而增大。值得注意的是,当孔径超过一定尺寸时,泄漏信号(能量)的增加值将小于其径向减少值,泄漏声发射信号应当减小甚至消失,相关规律有待以后作进一步的实验归纳总结。

### 4 声发射信号衰减特性的测定

为了检测声发射的衰减特性,笔者利用50m<sup>3</sup>

石油液化气储罐进行了试验。

4.1 储罐的设计参数

储罐设计压力为 2.0 MPa, 设计温度为常温, 主体材质为 16Mn, 公称壁厚为 24 mm, 几何尺寸为  $\phi 2.4 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ , 公称容积为  $50 \text{ m}^3$ 。

4.2 测量仪器及状态设置

测量仪器为 WAE2000 32 通道声发射仪, 传感器为 PAC R15L, 增益为 80 dB, 门限为 35 dB, 峰值定义时间为 1 000  $\mu\text{s}$ , 波击定义时间为 2 000  $\mu\text{s}$ , 撞击闭锁时间为 20 000  $\mu\text{s}$ , 声发射信号模拟源为日本产 HB $\phi 0.5 \text{ mm}$  铅芯折断。

4.3 纵向声发射模拟源衰减测量结果

采用铅芯折断模拟声发射信号源, 每个部位进行四次测量, 取其平均值。声发射信号幅度测量结果如表 1 所示, 衰减曲线如图 6 和 7 所示。

表 1 50 m<sup>3</sup> 卧罐纵向模拟声发射信号幅度衰减测量结果

距探头 距离/m	平均幅 度/dB	平均能 量计数	计 数	到峰 计数	上升时 间/ $\mu\text{s}$	持续时 间/ $\mu\text{s}$
0.5	70	240	61	10	72	619
1.5	57	105	44	21	190	495
2.5	48	65	15	11	326	362
3.5	41	45	2	2	410	412
4.5	61	100	33	5	43	284
5.5	60	116	26	8	130	289
6.5	46	35	7	1	11	95
7.5	52	107	52	19	325	650
8.5	47	100	37	24	232	561
9.5	55	87	59	8	224	470
10.0	49	53	10	2	18	120

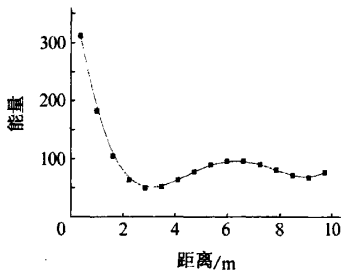


图 6 纵向模拟声发射信号能量衰减曲线

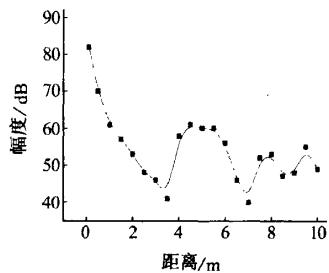


图 7 纵向模拟声发射信号幅度衰减曲线

5 结论

(1) 用泄漏应力波信号(即连续的 AE 信号)检

(上接第 365 页)

4 结论

(1) 检测同一轴向深度的模拟人工缺陷时, 使用 2.5 MHz 探头比 5 MHz 探头的灵敏度余量高约 20 dB, 因此被检测的轴越长, 所使用的探头频率应越低。

(2) 探头入射角控制在  $\alpha_t = 2^\circ \sim 9^\circ$  时可满足检测要求。

(3) 在轴端面对轴身横向缺陷的检测中, 探头伸到端面以外的部分越多, 超声波衰减越大, 因此应采用外形为圆形的探头。

(4) 在满足检测范围的前提下, 轴的直径较小时, 宜选用小直径的探头。

(5) 可检测的模拟人工缺陷的尺寸为 0.25 mm

测气体泄漏是可行的, 具有较高的灵敏度。

(2) 孔径为 0.5 mm 且压力较低时, 气体检测具有较高的灵敏度, 可应用于储罐和管道的泄漏检测。检测的最低灵敏度(最低泄漏率)可以通过实验确

(下转第 387 页)

(宽)  $\times$  0.25 mm(深)。

5 结语

以上试验结论可以证明, 采用小角度纵波探头检测轴类零件表面的横向缺陷是可行的, 应根据被检零件的直径和长度选择探头的角度、晶片直径和频率。

参考文献:

[1] 黄镜平, 安萍, 刘宪. DF4D 型机车在役车轴超声波探伤方法探讨[J]. 内燃机车, 2003, (8): 21-25.  
 [2] 乔洪刚. 用小角度纵波探头探查 RD2 车轮卸荷槽裂纹方法的探讨[B]. 铁道机车车辆工人, 2002, (1): 1.  
 [3] 刘英和, 康泰. 游乐设施高强螺栓小角度纵波探伤[J]. 无损检测, 2005, 27(2): 105-109.  
 [4] H. WUSTENBERG, 等[德国]. 铁路车轮车轴超声波探伤的最新进展[J]. 维普资讯, 2002, (2): 1-3.

来自全国无损检测学会的权威指导  
《无损检测》编辑部的倾力奉献  
集结中国无损检测界的资深专家

立足行业 促进技术 彰显价值  
记录中国无损检测事业 30 年发展成果  
全新版面设计与内容策划

2009 年 1 月出版  
敬请期待

# 特刊《无损检测在中国》

——庆祝中国机械工程学会无损检测分会成立 30 周年  
暨《无损检测》创刊 30 周年

带您翻阅沉淀的历史,了解目前我国无损检测技术的发展水平,展示各工业领域无损检测技术的研究和应用现状;通过对 17 届世界无损检测会议的深度分析,给您打开一扇了解世界无损检测界的窗口。

### 出版宗旨

立足行业 促进技术 彰显价值

### 专家委员会

郭成彬 王务同 郑世才 沈建中 耿荣生  
徐永昌 沈功田 任吉林 刘松平 严仍春  
张文琴

### 栏目策划

- 历史的回顾
- 技术发展综述
- 行业发展综述
- 看世界
- 无损检测界
- 业界访谈

### 发行保证(总印数 20,000 册,免费赠阅)

- 随刊赠阅(《无损检测》2009 年 1 月刊)
- 学会理事会成员赠阅
- 《无损检测》专家库专家赠阅
- 学会 30 周年庆与会代表赠阅
- 各无损检测技术交流会及展览会赠阅
- 各工业系统无损检测人员 III 级培训班赠阅

### 无损检测界征集中(免费刊登)……

研究团队/机构:技术带头人、研究方向、研究成果、项目转化成果及合作交流意向等

无损检测技术服务:检测资质、人员队伍、使用设备、参与工程及检测经验等

### 广告征集中……

如果您是:

- 掌握核心技术、具备理论深度或应用价值的研究团队
- 拥有持续研发力量的仪器/系统生产企业
- 具备丰富经验的无损检测工程技术服务公司
- 具备良好市场开拓的国外设备一级代理公司

这里将展示您的:

企业形象、深厚的技术研究力量、持续改进的开发力量、最新研制成果、检测资质和丰富的工程经验、市场策略和服务承诺……

### 访谈企业 / 机构征集中……

如果您是:

- 掌握核心技术、具备理论深度或应用价值的研究团队
- 拥有持续研发力量的仪器/系统生产企业
- 从事新技术/新设备开发的新秀企业
- 具备丰富经验,曾参与重大工程的无损检测技术服务公司

这里将倾听您的:

团队研究实力、技术研究现状、设备应用前景、系统开发能力、市场拓展计划、工程检测经验……

策划:中国机械工程学会无损检测分会

《无损检测》编辑部

地址:200437 上海市邯郸路 99 号

联系人:符 艳 电话:021-65556775-225

传真:021-65544911 E-mail:ndt@mat-test.com

(上接第 354 页)

- [2] 黄松岭,李路明,汪来富,等.用金属磁记忆方法检测应力分布[J].无损检测,2002,24(5):212-214.
- [3] 袁 琪,焦 民,徐允谦.金属磁记忆方法在焊缝质量检测中的应用[J].无损检测,2002,24(12):539-541.
- [4] 张卫民,董韶平,杨 煜,等.磁记忆检测方法及其应用研究[J].北京理工大学学报,2003,23(3):277-280.
- [5] 阿 阿 杜波夫.金属磁记忆检测方法和仪表[M].金属磁记忆检测技术中国专家组,译.俄罗斯:动力诊断技术公司出版,2004.

(上接第 368 页)

定,即在检测最大距离处,接收的泄漏信号高于设定灵敏度阈值时孔径尺寸与压力的乘积值。

(3) 近泄漏源的 RMS 信号强度比其它位置强。

(4) 从幅度和能量衰减曲线可见,在一定的距离范围内,信号幅度衰减曲线呈单调下降特征;随着距离增加,由于应力波的反射和叠加等原因,衰减曲线有多处峰值,即使探头和泄漏的距离达 10 m,仍然可检测到泄漏信号,确保了检测的可靠性。

(5) 可采用多传感器方法完成泄漏源的定位。

# 声发射技术在泄漏检测中的应用

作者: [陈志刚, CHEN Zhi-Gang](#)  
 作者单位: [广州市特种承压设备检测研究院, 广州, 510050](#)  
 刊名: [无损检测](#) **ISTIC PKU**  
 英文刊名: [NONDESTRUCTIVE TESTING](#)  
 年, 卷(期): 2008, 30(6)  
 引用次数: 1次

## 相似文献(10条)

### 1. 学位论文 [龚斌 承压特种设备检测中声发射技术的研究](#) 2006

声发射检测作为一种新的无损检测方法与其它常规无损检测方法相比有其独特的优点。随着工业技术的发展, 如何从声发射检测信号中获取更多的源信息, 使声发射技术更好地用于承压特种设备的检测成为工业生产的迫切需要, 也是目前声发射技术研究的重点课题之一, 这一课题研究具有重要的理论意义和实际应用价值。

本文主要针对压力容器安全检测和压力管道泄漏检测中声发射技术进行研究。

基于弹性波在传播时声压随指数衰减规律和第一次门槛跨越时差技术比较成熟的现状, 论文提出两种声发射源精确定位的方法——能量累积定位法和多探头定位法, 并对特种设备声发射检测中各种常见的探头阵列从理论上求出了两种定位方法的解析解。利用能量累积值与信号衰减特性的关系, 论文导出了信号幅值修正系数的解析公式, 从而快速、准确地判断声发射的强度。论文还对两种定位方法中的部分探头阵列利用模拟声发射源进行了实验验证, 结果表明在实验室条件下两种定位方法都具有较好的定位精度。

论文利用线弹性理论和弹塑性理论就小范围屈服与大范围屈服两种情况对裂纹尖端形成塑性区时产生的声发射累计数与缺陷尺寸的关系进行研究, 得出小范围屈服和大范围屈服形成塑性区时产生的声发射累计数分别与应力强度因子的4m和2m次方成正比的关系。论文还提出了一种利用声发射的阻塞效应来判断容器中新检出缺陷来历的方法, 并通过单边缺口试样拉伸声发射检测实验和实际应用案例验证了理论分析的正确性。

论文通过建立压力管道圆孔泄漏的射流扰动模型, 研究了泄漏声发射信号的产生机理及信号的频谱特性和能量累积特性。并以水为实验介质进行了压力管道圆孔泄漏的声发射实验测试, 利用小波分析对实验结果进行处理, 结果表明压力管道泄漏声发射信号是由射流对微小扰动的响应引起的并沿压力管道传播的一种含有多种频率成分的应力波, 其频谱很宽, 从几kHz到几MHz都有, 与液体的表面张力、密度及波动常数等参数有关, 对碳钢管道水泄漏的实验测试表明泄漏孔径和总流量的改变对频率的分布特性影响不大, 主要频率成分集中在3.05~3.81kHz左右; 对同一泄漏孔径, 喷射流速与信号的能量累积值基本符合指数关系 $E = \alpha \cdot v^n$ 。

### 2. 会议论文 [辛若家, 张来斌, 王朝晖, 秦先勇 小波神经网络在声发射管道泄漏检测中的应用研究](#)

声发射管道泄漏检测的目的是获得泄漏源的相关信息(泄漏孔的大小和位置等)。管道泄漏声发射信号既携带泄漏源特征信息, 同时又有大的随机性和不确定性, 属于一种非平稳随机信号, 因此泄漏声发射信号的分析与识别成了研究的重点和热点。综合小波变换和神经网络模式识别两种方法的优点, 提出了一种小波神经网络的信号分析方法, 提高了泄漏声发射信号的识别能力。

### 3. 期刊论文 [张立, 侯迪波, 周泽魁, Zhang Li, Hou Dibo, Zhou Zekui 基于虚拟仪器的水管道泄漏检测定位系统的实现](#) - [仪器仪表学报](#) 2006, 27(z1)

摘要基于虚拟仪器的水管道泄漏检测定位系统, 其检漏与定位分别采用声发射检测法和互相关分析法。硬件由一台主机、一台主无线数传机、多台从无线数传机和数据采集卡等组成。软件编程包含数据分析处理、数据通讯、结果显示查询、系统配置等模块。系统在实际应用中取得了良好的效果。

### 4. 学位论文 [于浩 石油管线泄漏的声发射技术\(AE\)监测系统研究](#) 2009

石油管道泄漏一直是困扰石油管道运输的一个难题, 研究对石油管道泄漏进行监测和定位的理论及方法对提高管道运输能力和防止泄漏污染意义巨大。研究管道泄漏的检测理论、检测方法, 实现对管道泄漏点的精确定位, 对于维护管网的安全运行, 避免资源的浪费, 有着重要的理论意义和应用价值。特别是计算机处理能力的飞速发展, 利用软件和虚拟仪器技术, 结合现有的管道泄漏检测定位方法, 研究全数字式的管道泄漏检测系统, 能有效的提高泄漏检测定位的精度和可靠性, 同时具有更好的适应性。

声发射泄漏检测是基于管道泄漏时激发的在管道中传播的超声波进行检测的一种方法。本文利用声发射检测技术, 并结合现代信号处理技术、神经网络技术, 在均匀圆管上研究了管道泄漏的信号处理和定位的方法, 并在实验中证明了运用小波提取声发射泄漏信号中特定频段信号进行定位的可行性, 具体包括以下工作:

建立了管道泄漏声发射声波检测系统, 包括管道泄漏模型和声发射检测装置两部分。分析了泄漏声发射声波的产生机制以及其在理想均匀圆管中传播的特点, 并建立了泄漏声发射声波检测系统的模型。通过对管道泄漏声发射检测实验, 研究了泄漏声发射信号的能量和频谱随压力、泄漏孔径大小及传播距离变化的规律。

对泄漏声发射信号的时域统计特征、频域分布特征、泄漏信号的相关性作了详细的分析; 并运行自适应滤波方法、小波软、硬阈值方法对泄漏声发射信号进行了有效的去噪处理。

利用泄漏声发射信号的互功率谱密度函数, 考虑结构中导波的多模态和频散特性, 对管道泄漏源定位技术进行了研究, 构造了泄漏声发射源定位算法模型。在此基础上, 利用结构频散特性确定相关参数、提取单一导波模态的方法, 减小了多模态和频散特性对定位的不利影响, 从而较好地实现了泄漏源的定位。

### 5. 会议论文 [张立, 侯迪波, 周泽魁 基于虚拟仪器的水管道泄漏检测定位系统的实现](#) 2006

本文基于虚拟仪器的水管道泄漏检测定位系统, 其检漏与定位分别采用声发射检测法和互相关分析法。硬件由一台主机、一台主无线数传机、多台从无线数传机和数据采集卡等组成。软件编程包含数据分析处理、数据通讯、结果显示查询、系统配置等模块。系统在实际应用中取得了良好的效果。

### 6. 期刊论文 [刘哲军, 苗月忠, 沈功田, 钱华, LIU Zhe-jun, MIAO Yue-zhong, SHEN Gong-tian, Qian Hua 压力容器无损检测—有色金属压力容器的无损检测技术](#) - [无损检测](#) 2005, 27(7)

有色金属压力容器是航天飞行器关键部件之一, 其质量直接关系飞行器的安全及使用寿命。综述了有色金属压力容器在制造和验收过程中重点采用的无损检测方法, 包括常规射线、超声和渗透及非常规的声发射、激光全息、泄漏和目视检测等, 且分别介绍了它们的应用和特点。

### 7. 学位论文 [林海 立式储罐的泄漏检测与寿命预测技术研究](#) 1999

该文开展了立式储罐泄漏的声发射检测技术研究。主要内容是通过对比立式储罐泄漏过程的分析, 研究有效活动声源产生的机理, 并通过实验室研究证明了立式储罐声发射检测技术的应用性及有效活动声源的变化规律。这些对指导实际立式储罐声发射检测具有重要意义。同时研究采用灰色关联分析及数理统计方法对立式储罐使用寿命进行预测。根据现场立式储罐的管理模式, 将立式储罐的管理、强度样核及寿命预测集成在一起, 编制一个较完整的立式储罐管理软件。最后利用声发射检测技术对现场20000m<sup>3</sup>原油储罐进行检测, 并利用所编制的软件, 对该储罐进行寿命预测分析。研究结果表明, 声发射检测技术在立式储罐的泄漏检测及完整性评价方面具有重大的应用价值, 应大力开展这方面的研究工作和推广应用工作。

### 8. 期刊论文 [梁伟, 张来斌, 王朝晖, LIANG Wei, ZHANG Lai-bin, WANG Zhao-hui 声发射检测技术在管道泄漏信号识别](#)

对基于声发射技术的管道泄漏检测这一新方法进行了实验研究.从声发射技术的基本理论入手,分析了声发射技术的特点及检测原理,掌握了声发射信号的分析处理方法及源定位技术,然后进一步将声发射检测技术应用于输油管道的泄漏检测,建立了管道泄漏声发射检测模型,并建立了两种泄漏定位模型.对整个检测系统进行了设计,并进行了管道泄漏声发射实验,对管道泄漏声发射信号的特征进行了分析和提取,为进一步的实验研究及现场应用打下基础.

9. 期刊论文 朱祥军, 吴怡, ZHU Xiangjun, WU Yi 声发射检测防喷器泄漏的研究 -钻采工艺2009, 32 (4)

防喷器的密封检测是防喷器日常检修的必要手段,目的是为了保证防喷器正常发挥其重要的作用,确保钻井作业安全.防喷器密封检测中最常遇到的是泄漏问题,常常由于泄漏部位的隐蔽性和防喷器的高压危险性,使得泄漏位置不能快速准确被发现.利用声发射高灵敏度的特性,结合防喷器的声波传播特性,在大量试验的基础上总结出防喷器泄漏的声发射检测布点方式、分析方法和判断依据,为其他石油设备泄漏检测提供参考.

10. 学位论文 李鹏 基于模态声发射检测技术的管道泄漏研究 2008

管道泄漏检测是石油、化工、天然气和城市供水等领域中需要解决的重要问题之一.研究管道泄漏的检测理论、检测方法,实现对管道泄漏点的精确定位,对于维护管网的安全运行,避免资源的浪费,有着重要的理论意义和应用价值.

管道导波检测技术是近年来研究的一个热点,从理论上较好地解决了声发射技术应用中面临的源定位不准确、信号解释困难和噪声等问题.本文从声发射基本理论展开,介绍了声发射信号在管壁中传播的导波特性,并对管道进行了泄漏实验研究.

利用泄漏声发射信号的互能量谱密度函数,考虑结构中导波的多模态和频散特性,对充液管道泄漏源定位技术进行了研究,构造了泄漏声发射源定位算法模型.通过对声发射信号进行时频分析,利用结构频散特性确定相关参数、提取单一导波模态的方法,减小了多模态和频散特性对定位的不利影响,从而较好地实现管道泄漏源定位.

## 引证文献(1条)

1. 戴光, 刘鹏, 张颖, 巨勇智 管式夹套容器内管泄漏声发射监测试验研究[期刊论文]-压力容器 2009 (6)

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_wsjc200806014.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wsjc200806014.aspx)

下载时间: 2010年5月27日