

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2015.01.009

# 聚乙烯管道电熔接头缺陷分类研究\*

伏喜斌<sup>1</sup>, 黄跃鑫<sup>2</sup>, 黄学斌<sup>1</sup>, 钟舜聪<sup>2,3\*</sup>

(1. 厦门市特种设备检验检测院, 福建 厦门 361004; 2. 福州大学 机械工程及自动化学院, 福建 福州 350108;  
3. 福建省医疗器械和生物技术重点实验室, 福建 福州 350108)

**摘要:** 为了对聚乙烯管道电熔接头空洞缺陷和电阻丝信号进行分类识别, 在利用超声相控阵图谱得到缺陷区域的基础上, 取出了图像矩阵中缺陷区域的质心所在列, 并提取质心以下部分所有像素点的灰度值构成了一组一维信号。对这些一维信号进行平滑处理及小波分解, 并重构了其高频分量, 通过分析信号高频分量的统计特征实现了缺陷分类。研究表明, 不同类型缺陷对应的统计特征有明显差别, 能够有效地区分孔洞缺陷及电阻丝信号, 具有一定的应用推广价值。

**关键词:** 缺陷分类识别; 缺陷质心; 小波分解; 统计特征

中图分类号: TP274; TH878

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2015)01-0052-04

## Defect classification of electrofusion joints in polyethylene pipes

FU Xi-bin<sup>1</sup>, HUANG Yue-xin<sup>2</sup>, HUANG Xue-bin<sup>1</sup>, ZHONG Shun-cong<sup>2,3</sup>

(1. Xiamen Special Equipment Inspection Institute, Xiamen 361004, China;  
2. School of Mechanical Engineering and Automation, Fuzhou University, Fuzhou 350108, China;  
3. Fujian Key Laboratory of Medical Instrument and Pharmaceutical Technology, Fuzhou 350108, China)

**Abstract:** In order to classify void defects and heating wires in electrofusion joints of polyethylene pipes, defects' location and barycenter were obtained from ultrasonic phased array images using image processing methods. One-dimensional signals, the gray scale values of the column signal at the locations with different defect barycenter in ultrasonic phased array images, were calculated accordingly. High-frequency components of these one-dimensional signals were achieved by using wavelet decomposition algorithm. Experimental results demonstrate that statistical behavior of the high-frequency components can be effectively used in defect classification, especially for the void defects and heating wires. Therefore, this defect classification strategy can be recommended in real engineering applications.

**Key words:** defect classification; defect barycenter; wavelet decomposition; statistical behavior

## 0 引言

高密度聚乙烯管道具有优异的化学稳定性和耐候性, 其主要特点表现为抗压能力强、摩擦系数小、施工便捷、使用寿命长、适当的柔性和绿色环保。聚乙烯管道以其可靠的性能在燃气系统、给水系统、化工管道和通讯管道等领域有着广泛的应用<sup>[1]</sup>。聚乙烯管道的

焊接方式主要有热熔焊接和电熔焊接两种, 其中电熔连接技术成熟、自动化程度较高、安装方便快捷, 在聚乙烯管道维修中使用较为普遍<sup>[2-3]</sup>。实践证明, 聚乙烯管道最易损坏和泄漏的部位就是管道接口<sup>[4]</sup>。因此, 本研究对聚乙烯管道接头进行无损检测和缺陷识别, 实现接头焊接质量和安全性能的评定具有重大意义。

聚乙烯管道电熔接头的检测方法有目视检测、破

收稿日期: 2014-09-15

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(51005077); 国家卫生和计划生育委员会科研基金(WKJ-FJ-27); 国家质检总局科技计划项目(2011QK216); 福建省杰出青年基金滚动资助项目(2014J07007); 教育部高等学校博士学科点科研基金(博导类, 20133514110008); 福建省质量技术监督局科技项目(FJQI2013024, FJQI2013095); 福建省高等学校学科带头人培养计划(闽教人[2013]71号)

**作者简介:** 伏喜斌(1977-), 男, 吉林长白人, 工学博士, 高级工程师, 主要从事特种设备焊接无损检测方面的研究。Email: xibinfu@163.com

**通信联系人:** 钟舜聪, 男, 研究员, 博士生导师。E-mail: zhongshuncong@hotmail.com

破坏性试验、超声检测等,靠目视检测无法探查内部缺陷,而破坏性检测是一种抽样性质的方法<sup>[5]</sup>。目前比较有效的无损检测方法是采用超声相控阵成像检测技术。研究表明,采用超声相控阵技术及B型扫描成像技术,能够可靠地检出聚乙烯管道电熔接头的内部缺陷,并能精确地确定缺陷的位置和大小<sup>[6]</sup>。

为了提高缺陷检测效率,减少人为因素的影响,实现基于超声相控阵成像检测的聚乙烯管道电熔接头的缺陷自动识别,本研究在运用数字图像处理技术得到聚乙烯管道电熔接头超声图谱的缺陷区域的基础上,研究实现对各个缺陷区域进行分类识别的方法。

## 1 小波变换

小波变换作为一种时频局部化的分析方法,其窗口是可变的。小波变换在低频部分具有较低的时间分辨率和较高的频率分辨率,在高频部分具有较低的频率分辨率和较高的时间分辨率,具有对信号的自适应性和局部分析与细化的功能,被广泛应用于信号分析的多个领域<sup>[7-10]</sup>,是现代信号分析与处理的有力工具<sup>[11]</sup>。

对于任意函数 $f(t) \in L^2(R)$ 的连续小波变换为:

$$W_f(a, b) = \{f, \psi_{a,b}\} = |a|^{-\frac{1}{2}} \int_R f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (1)$$

式中: $a$ —尺度参数, $b$ —平移参数。

为了降低小波变换的系数冗余度,将小波变换基函数尺度参数 $a$ 和平移参数 $b$ 限定在一些离散的点上取值,即可得到离散小波变换函数:

$$\psi_{j,k}(t) = a_0^{-\frac{j}{2}} \psi\left(\frac{t - ka_0^j b_0}{a_0^j}\right) = a_0^{-\frac{j}{2}} \psi(a_0^{-j}t - kb_0) \quad (2)$$

相应的离散小波变换可以表示为:

$$C_{j,k} = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \psi_{j,k}(t) dt = \{f, \psi_{j,k}\} \quad (3)$$

为了克服小波分解在高频段的频率分辨率较差而在低频段的时间分辨率较差的缺点,本研究在小波分解的基础上提出了小波包分解。小波包分解提高了信号的时频分辨率,是一种更精细的信号分析算法。

## 2 缺陷分类识别

聚乙烯管道电熔接头中常见的缺陷类型主要有电阻丝错位、熔合面缺陷、孔洞<sup>[12]</sup>和冷焊<sup>[13]</sup>等。聚乙烯管道电熔接头超声相控阵检测B型扫描所得的原始图像如图1所示。图1中包含一个孔洞缺陷。

本研究运用数字图像处理技术能够得到聚乙烯管道电熔接头超声图谱的缺陷区域,结果如图2所示。图2中共分离出15个缺陷区域,其中6号标记的区域

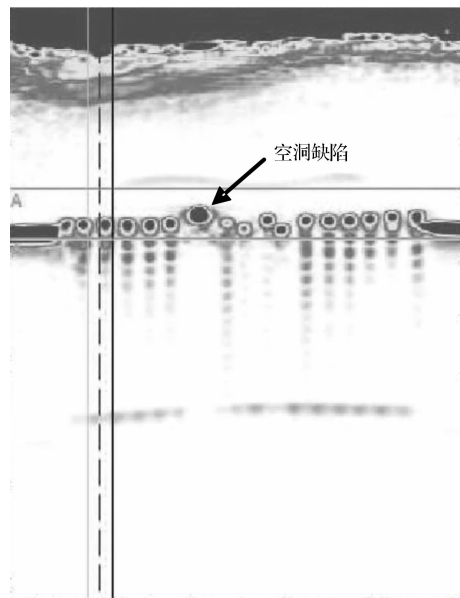


图1 聚乙烯管道电熔接头超声相控阵检测图像

为孔洞。笔者在此基础上,研究了利用计算机对不同类型的缺陷进行自动分类识别的方法。

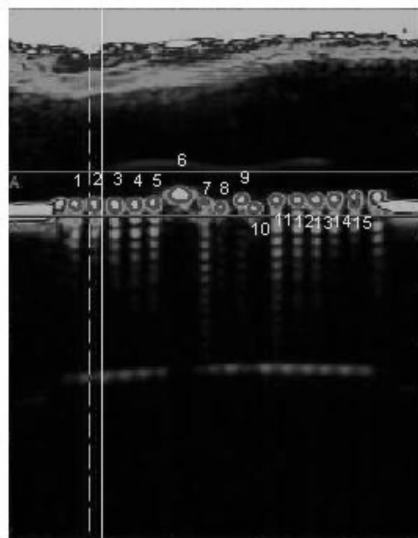


图2 运用图像处理技术得到的缺陷区域

为此,本研究首先求出图像中缺陷区域的质心位置,取出图像矩阵中质心所在的列上所有像素点的灰度值,截取质心以下的部分进行5点平滑处理,从而对应于每个缺陷区域构成一组一维信号。结果如图3所示。图3中的序号与图2中的序号对应,图中的横坐标表示图像上的点到质心的竖直距离。

所提取的一维信号的波形特征与聚乙烯管道电熔接头的超声检测成像规律相一致如图3所示。大部分电阻丝信号均发生了明显的振荡,只有少数几个电阻丝的振荡信号较弱,而孔洞信号不发生振荡。在所有的电阻丝信号中,随着信号的振荡趋于稳定之后,均会

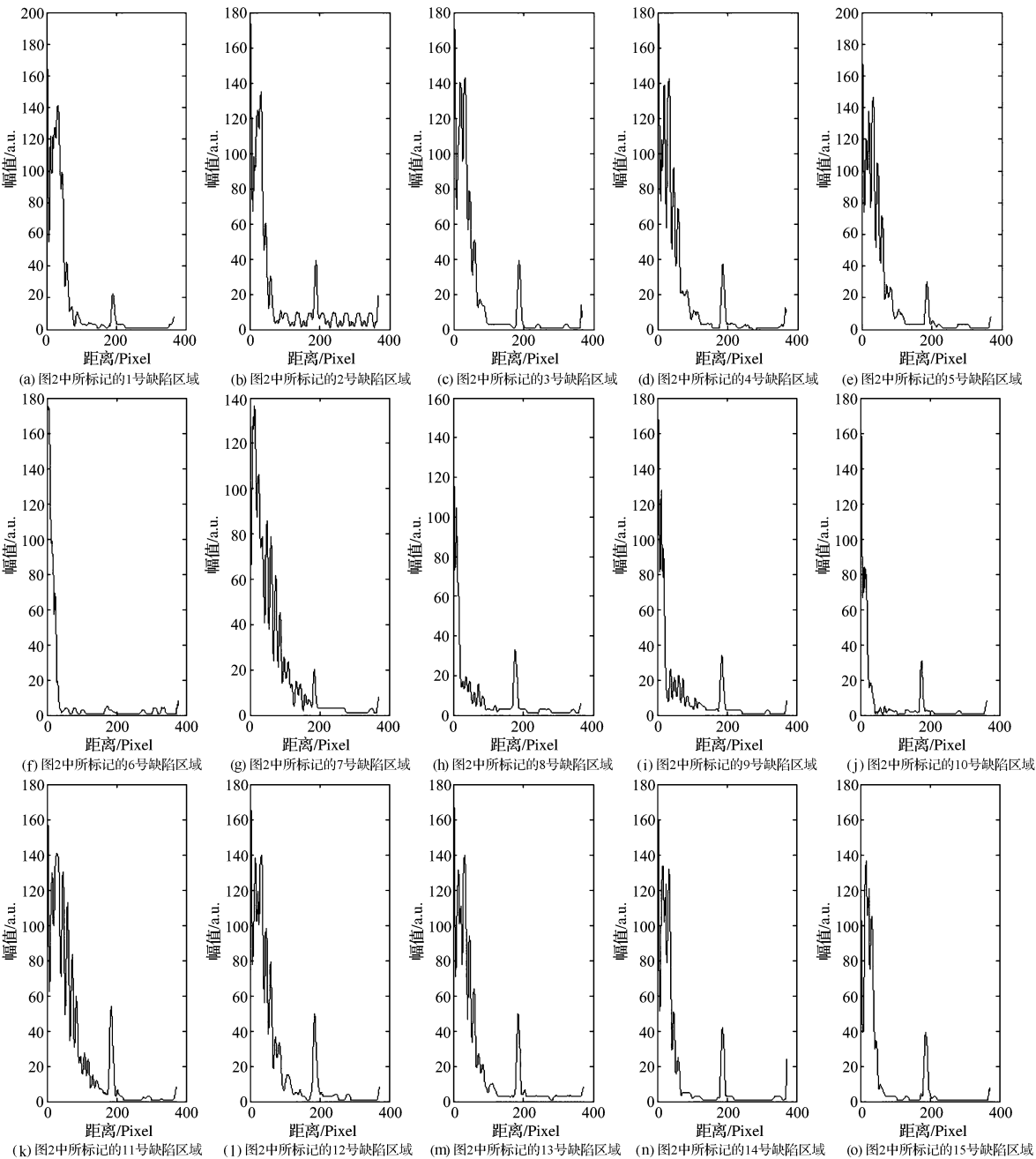


图 3 对应于每个缺陷区域的一维信号(依次代表第 1~15 组信号)

出现一个峰值较小的波峰,该波峰信号即是聚乙烯管道接头的内壁反射信号,而在孔洞信号中没有出现该波峰,则是由于超声波不能穿透孔洞到达管道内壁造成的。本研究取图 3 中的第 5、6、10 组信号作进一步的分析,对 3 组信号进行小波分解,并重构其高频分量,结果如图 4 所示。图 3 中第 5、6、10 组信号的高频分量分别如图 4(a~c)所示。从图 4 中能够看出,信号高频分量的振荡与信号的波形特征相一致,在信号幅值较大的区间内,其高频分量的振荡也较强烈。由于孔洞信号不发生振荡,也没有内壁反射形成的波峰,孔洞信号高频分量的振荡明显比电阻丝信号弱。本研究采用信号高频分量的标准差来度量信号的振荡程

度,图 4 中 3 个信号高频分量的标准差分别为 2.546 3、1.204 5、1.548 3。参考图 3 中对应的信号波形可以看出,由于图 4(b)为孔洞信号,不发生振荡,因此其高频分量标准差也最小;而图 4(c)为振荡较弱的电阻丝信号,但是其高频分量的标准差仍然比孔洞信号高;图 4(c)为正常的电阻丝信号,其高频分量的标准差明显大于孔洞信号。所有 15 组信号的高频分量的标准差如表 1 所示。

因此,本研究可以将信号高频分量的标准差作为对孔洞缺陷和电阻丝信号进行区分的依据。而对于振荡较弱的电阻丝信号,可以通过判断其是否包含内壁反射信号将其与孔洞信号区别开来。

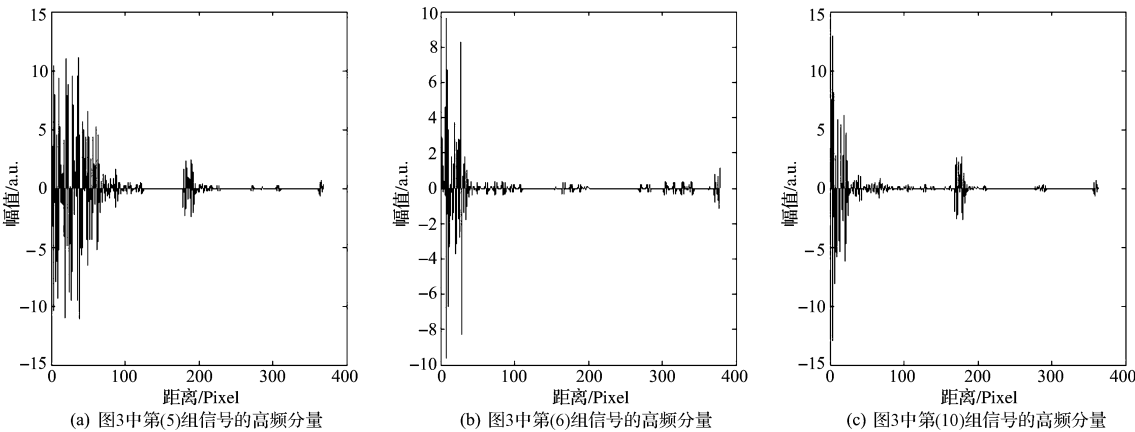


图4 信号的高频分量

表1 信号高频分量的标准差

| 序号 | 标准差     | 序号 | 标准差     | 序号 | 标准差     |
|----|---------|----|---------|----|---------|
| 1  | 2.204 9 | 6  | 1.204 5 | 11 | 2.613 3 |
| 2  | 1.988 7 | 7  | 2.029 6 | 12 | 2.255 2 |
| 3  | 2.076 4 | 8  | 1.801 4 | 13 | 2.404 2 |
| 4  | 2.726 9 | 9  | 1.816 3 | 14 | 2.394 0 |
| 5  | 2.546 3 | 10 | 1.548 3 | 15 | 2.914 4 |

3 结束语

为实现聚乙烯管道电熔接头超声相控阵成像检测的缺陷自动分类识别,在运用数字图像处理技术能够得到聚乙烯管道电熔接头超声图谱的缺陷区域的基础上,笔者研究了对各个缺陷区域进行分类识别的方法。该方法通过取出图像矩阵中缺陷区域的质心所在的列上所有像素点的灰度值,截取质心以下部分,从而对应于每个缺陷区域构成一组一维信号。本研究对这些一维信号进行平滑处理及小波分解,并重构其高频分量,将信号高频分量的标准差作为区分孔洞缺陷和电阻丝信号的依据。

研究结果显示,不同类型的缺陷所对应的统计特征有所不同,正常电阻丝信号的标准差明显大于孔洞缺陷,笔者所研究的方法能够较好地分类识别出孔洞和电阻丝信号,具有一定的应用价值。

参考文献(References):

[1] 何旭. HDPE(高密度聚乙烯)管道的性能与施工安装方法[J]. 民营科技,2008(11):170-170.  
[2] 徐家怡. 聚乙烯管道焊接接头的超声波检测[J]. 煤气与热力,2011,31(12):29-31.

[3] 阳代军,霍立兴,张玉凤. 塑料压力管道的焊接方法及其发展动向[J]. 中国塑料,2001,15(3):16-20.  
[4] 王佳智. 聚乙烯燃气管道接口的质量控制[J]. 科技致富向导,2013(7):124-124.  
[5] MESSER B, YARMUCH M, DEN B P. Novel high resolution defect detection for thermoplastic butt-welds[J]. **Pipeline & gas journal**,2003,230(3):46-57.  
[6] 丁守宝,郭伟灿,郑津洋,等. 聚乙烯管道电熔接头超声检测[J]. 无损检测,2008(5):267-269.  
[7] 周伟,桂林,周林,等. Matlab小波分析高级技术[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2006.  
[8] ZHONG S, OYADIJI S O. Crack detection in simply-supported beams without modal parameter using stationary wavelet transform[J]. **Mechanical Systems and Signal Processing**,2007,21(4):1853-1884.  
[9] ZHONG S, OYADIJI S O. Detection of cracks in simply-supported beams by continuous wavelet transform of reconstructed modal data[J]. **Computers and Structures**,2011(89):127-148.  
[10] ZHONG S, OYADIJI S O. Crack detection in simply supported beams using stationary wavelet transform of modal data[J]. **Structural Control and Health Monitoring**, 2011,18(2):169-190.  
[11] 曹毅,张榆锋,毛选珍. 小波分析及其在信号处理中的应用[J]. 现代电子技术,2003(15):35-37.  
[12] 王卉,郑津洋,郭伟灿,等. 聚乙烯管道电熔焊接接头的超声检测[J]. 压力容器,2007,24(5):45-49.  
[13] 郑津洋,郭伟灿,施建峰,等. 聚乙烯电熔接头冷焊缺陷的超声检测方法[J]. 焊接学报,2008,29(9):1-4.

[编辑:李辉]

本文引用格式: