

# PE 管对接焊缝超声波检测信号 特征量提取与分析

龙盛蓉, 于润桥, 马娟

(南昌航空大学 无损检测技术教育部重点实验室, 南昌 330063)

**摘要:**采用超声波对 PE 管对接焊缝进行检测。通过对所检测缺陷波形进行分析, 提取了其 8 个对缺陷回波分析具有典型意义的特征量。对特征量进行主成分及回归分析, 得出与主要特征量相关的线性表达式。试验结果验证了回归方程的可信度, 为超声波智能检测中缺陷的判定提供了可靠的依据。

**关键词:**PE 管对接焊缝; 特征量; 超声波检测; 缺陷回波; 主成分分析

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2009)06-0442-03

## The Extracting and Analyzing on the Features of Ultrasonic Testing Signal Getting from PE Butt Weld

LONG Sheng-Rong, YU Run-Qiao, MA Juan

(Key Laboratory of Nondestructive Testing(Ministry of Education), Nanchang Hangkong  
University, Nanchang 330063, China)

**Abstract:** PE butt weld was tested by ultrasonic. By analyzing the defect wave got from the test, eight features were extracted. Then the principal component analysis and regression analysis were used to study these features and a linear expression related with features was got. By this study, a reliable base was given to ultrasonic flaw intelligent detection.

**Keywords:** PE butt weld; Features; Ultrasonic testing; Defect wave; Principal component analysis

超声波检测方法广泛用于焊接接头的无损检测中,但是,常规超声检测的最大问题在于对缺陷的定量与定性。目前随着信号处理技术的发展,如果能从超声检测的一般信号中提取出与被检测量相关的特征参量并对其进行分析,将对超声检测的可靠性及检测智能化提供有效的手段。笔者主要针对 PE 管对接焊缝进行了超声波检测,对所得到的检测波形进行了分析。

根据 JB/T 10662—2006《无损检测聚乙烯管道焊缝超声检测》标准的规定,对 PE 管的质量分级采用当量计算法。用厚度为 20 mm 的  $\phi 2-10$  mm 长横孔定标,将 PE 管的质量分为  $\phi 2$ ,  $\phi 2+3$  dB,  $\phi 2$

—3 dB 和  $\phi 2-6$  dB 四个级别<sup>[1]</sup>。超声波检测通常是检测过程中缺陷的反射回波的高度来判断缺陷的大小。笔者在检测后识别和提取了回波图形中所包含的特征量,并将主成分分析的方法引入其中,对所提取的特征量进行分析,以提高检测的可靠性。

## 1 回波信号分析与特征量提取

### 1.1 缺陷波的获取

检测采用 PXUT-27 超声波探伤仪,自制的频率为 2 MHz,入射角度为 56°的纵波斜探头,按标准 JB/T 10662—2006 对 PE 管对接焊缝进行手动扫描,发现缺陷后,存储缺陷信号并传入计算机中。对采集的信号通过 C 语言编程,将图形信号转换为数字信号,识别出始波和底波,找准缺陷的起始和结束

收稿日期:2008-07-14

作者简介:龙盛蓉(1979—),女,博士研究生,教师,主要研究方向为无损检测方法研究及信号处理。

位置<sup>[2]</sup>。

## 1.2 特征值的选取

描述回波信号特征的方法很多,既可以以统计量为基础,也可以是一个射频信号的包络面积、波形的对称度和峰态等,其值域范围包括时域、频域和几何特征等<sup>[2]</sup>。笔者选取的时域和频域的特征参量示意图 1。

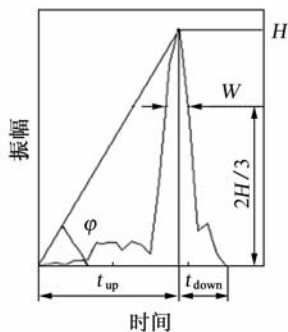


图 1 缺陷回波的时域特征

(1) 最大幅值  $H$  是缺陷波形的最高点  $H$ 。

(2) 波宽  $W$  在最高点纵轴高度  $2/3$  处的宽度。

(3) 起始角度  $\varphi$  波形上升时,最初几个点形成的角度。因为在实际的检测中,可能含有杂波,使波形的起始上升过程出现小波峰,所以在程序中需要检测这种情况的存在,并相应地作出调整。

(4) 峰度系数  $K$ <sup>[3]</sup> 用来描述波形的峰态(即其尖锐与陡峭程度)。在采集到目标脉冲回波后,由回波的包络波形可计算峰度特征。具体计算方法是:在一个检测到的包络波形里,设  $A(k)$  为取自时间采样  $k$  的幅值,那么该波形的峰度特征由下式给出:

$$K = \frac{m^4}{(m^2)^2} \quad (1)$$

$$\text{式中 } m^4 = \frac{1}{n} \sum [A(k) - \bar{A}]^4;$$

$$m^2 = \frac{1}{n} \sum [A(k) - \bar{A}]^2;$$

$n$ ——采集的缺陷回波波形的数据点数;

$\bar{A}$ ——波形振幅的均值。

(5) 波形下面积  $S$  为时域波形下面积,计算方法为:

$$S = \sum_{k=1}^n \frac{[A(k) + A(k+1)] \cdot k}{2} \quad (2)$$

(6) 频谱峰值  $f$  在对缺陷时域波形进行 FFT 后得频谱图,找出最大幅值即为频谱峰值。

此外还有上升时间  $t_{up}$  和下降时间  $t_{down}$ 。

## 2 特征向量主成分分析与计算

用选取的 8 个特征量对检测回波信号进行分析。在这些特征量中同时包含有反映缺陷大小的主要因素及次要因素。为了提高检测的可靠性,减少次要因素对质量等级评定的干扰,因此对选取的特征量进行了主成分分析。

采用 C 语言编写程序,对所检测的标准试样缺陷图像进行了特征向量提取,得到了以下试样的特征向量:根据标准化处理后的数据,借助 Matlab 统计软件,得到变量的相关系数矩阵的特征根和相应的特征向量及贡献率<sup>[4-8]</sup>。根据累计贡献率接近 85% 的原则,从 14 个被测试件中提取了 3 个主成分,见表 1~3。

表 1 缺陷回波及相应特征量

编号	$H/\text{mm}$	$t_{up}$	$t_{down}$	$\omega$	$\varphi$	$S/\text{mm}^2$	$K$	$f$	试样类型	声压值
1	162	5	7	2	1.249	34 561.5	6.0	2 114.121	$\phi 2-10 \text{ mm}$ 长横孔	$1.22P_0$
2	222	10	7	2	1.326	48 802.0	8.5	2 288.123	$\phi 2-10 \text{ mm}$ 长横孔 $\pm 3 \text{ dB}$	$1.22P_0$
3	122	5	7	2	1.107	26 003.0	6.0	1 596.636	$\phi 2-10 \text{ mm}$ 长横孔 $-3 \text{ dB}$	$1.22P_0$
4	86	4	7	2	0.785	18 398.0	5.5	1 269.047	$\phi 2-10 \text{ mm}$ 长横孔 $-6 \text{ dB}$	$1.22P_0$
5	58	4	8	2	0.785	13 589.5	6.0	890.433	$\phi 1-8 \text{ mm}$ 平底孔	$0.81P_0$
6	78	12	6	2	0.785	20 305.5	9.0	798.096	$\phi 1-5 \text{ mm}$ 平底孔	$2.08P_0$
7	176	9	6	3	1.249	38 822.0	7.5	1 809.605	$\phi 1-4 \text{ mm}$ 平底孔	$3.25P_0$
8	237	5	8	2	1.373	51 558.0	6.5	3 514.205	$\phi 1-2 \text{ mm}$ 平底孔	$12.99P_0$
9	156	4	6	2	1.249	33 130.0	5.0	2 191.685	$\phi 2-8 \text{ mm}$ 平底孔	$3.25P_0$
10	122	7	7	2	1.107	30 774.0	7.0	1 488.652	$\phi 2-9 \text{ mm}$ 平底孔	$2.57P_0$
11	58	3	11	1	0.763	21 151.0	7.0	1 060.885	$\phi 2-4 \text{ mm}$ 平底孔	$12.99P_0$
12	90	6	7	3	0.876	41 568.0	6.5	1 102.875	$\phi 2-15 \text{ mm}$ 平底孔	$0.66P_0$
13	141	3	6	1	1.326	19 999.0	4.5	2 028.000	$\phi 2-4 \text{ mm}$ 长横孔	$0.664P_0$
14	47	5	6	2	0.625	19 678.0	5.5	659.878	矩形槽(PE-V 试块)	$4.822P_0$

表2 主成分的特征值及方差贡献率

主成分	特征值	贡献率	累积贡献率
$Z_1$	3.682 6	46.032 5	46.032 5
$Z_2$	2.218 4	27.685	73.717 5
$Z_3$	1.223 7	15.296 25	89.013 75

表3 主成分的因子载荷矩阵

指标	$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$
$H$	0.506 2	0.129 1	0.044 2
$t_{up}$	0.199 6	-0.584 3	0.089 2
$t_{down}$	-0.142 2	0.202 2	0.765 6
$w$	0.177 5	-0.414 1	-0.361 8
$\varphi$	0.459 2	0.236 8	-0.060 7
$S$	0.470 3	-0.049 7	0.126 7
$K$	0.139 7	-0.521 4	0.498 3
$f$	0.447 9	0.314 8	0.070 6

即:

$$Z_1 = 0.506 2X_1 + 0.199 6X_2 - 0.142 2X_3 + 0.177 5X_4 + 0.459 2X_5 + 0.470 3X_6 + 0.139 7X_7 + 0.447 9X_8$$

$$Z_2 = 0.129 1X_1 - 0.584 3X_2 + 0.202 2X_3 - 0.414 1X_4 + 0.236 8X_5 - 0.049 7X_6 - 0.521 4X_7 + 0.314 8X_8$$

$$Z_3 = 0.044 2X_1 + 0.089 2X_2 + 0.765 6X_3 - 0.361 8X_4 - 0.060 7X_5 + 0.126 7X_6 + 0.498 3X_7 + 0.070 6X_8$$

### 3 多元线性回归分析

根据计算所得各样本的声压值及标准化后的数据,进行回归分析后得:

$$Y = (3.475 6 + 0.335 1X_1 + 1.299 5X_2 + 2.506 2X_3)P_0$$

根据JB/T 10662—2006 标准,将其按照回归公式进行转换,得表4。

得到评定区间后,对实验室中的其它带有人工缺陷的PE管试块进行数据采集,进一步验证回归

表4 评定区间

评定 级别	缺陷分类	
	单个缺陷声压	多个缺陷(群)声压
1	无缺陷回波	无缺陷回波
2	3.166 9 $P_0$	最高缺陷当量 $\leq 1.8700P_0$
3	4.421 9 $P_0$	最高缺陷当量 $\leq 3.1669P_0$
4	5.976 0 $P_0$	最高缺陷当量 $\leq 4.4219P_0$

表5 回归方程可信度结果验证

编 号	试样 类型	缺陷级别		结 果
		当量算法	回归方程法	
1	$\phi$ 2—19 mm 长横孔	单个缺陷 $\phi$ 2+ 20 dB,4 级	单个缺陷 6.248 9 $P_0$	正 确
2	$\phi$ 1—7 mm 平底孔	单个缺陷 $\phi$ 2— 1.6 dB,2 级	单个缺陷 4.005 4 $P_0$	正 确
3	$\phi$ 2—5 mm 平底孔	单个缺陷 $\phi$ 2+ 4 dB,4 级	单个缺陷 6.033 2 $P_0$	正 确
4	$\phi$ 2—6 mm 长横孔(密集)	多个缺陷 $\phi$ 2— 2 dB,3 级	多个缺陷 2.154 3 $P_0$	正 确
5	$\phi$ 2—16 mm 平底孔(密集)	多个缺陷 $\phi$ 2+ 6 dB,4 级	多个缺陷 5.121 3 $P_0$	正 确

方程的可信度,得表5。

### 4 结论

超声回波信号中带有大量的检测对象信息。通过对缺陷图像进行特征量提取,采用适当的信号处理方法,对所提取特征量进行主成分分析并得到与主要特征量相关的线性表达式,为超声波智能检测中缺陷的判定提供了可靠的依据。

### 参考文献:

- [1] 马娟. PE管超声检测技术的研究[D]. 南昌:南昌航空大学,2008.
- [2] 刚铁,吴林. 焊接缺陷的超声回波信号分析与最佳特征子集的选择[J]. 应用声学,1999,18(2):38—43.
- [3] 余锦华,杨维权. 多元统计分析与应用[M]. 广州:中山大学出版社,2005.
- [4] 高惠璇. 应用多元统计分析[M]. 北京:北京大学出版社,2005.
- [5] Shin H J, Kwan J R, Song S J. Ultrasonic Real Time Imaging Technique for the Inspection of Electrofusion Joints for Polyethylene Piping[C]. 2001 Forum for Gas Safety. Korea: Korea Gas Safety Corporation, 2001.
- [6] 卢超,张维,邬冠华,等. 小波变换软阈值去噪在粗晶材料超声检测中的应用[J]. 应用声学,2003,22(3):1—6.
- [7] 全国锅炉压力容器无损检测人员资格考核委员会组织编写. 超声波探伤[M]. 北京:劳动部锅炉压力容器安全杂志社,1995.
- [8] Addison R C Jr, Safaeinili A, McKie A D W. Laser-based ultrasound for the Inspection of gas pipelines[J]. Nondestructive Evaluation,1997,16:1277—1281.