

超声波探伤中缺陷波和 伪缺陷波的判别

张文科

(中原油田技术监测中心 压力容器监测站,河南濮阳 457001)

Discrimination of the Reflected Waves of Defects and False Defects in Ultrasonic Testing

ZHANG Wen-ke

(Pressure Container Inspection Station Center, Central Plains Oil Field Technical Monitor, Henan Puyang 457001, China)

中图分类号: TG115.28

文献标识码: B

文章编号: 1000-6656(2005)01-0047-03

超声波探伤是目前应用最广泛的无损探伤方法之一,它具有灵敏度高、穿透能力强、检验速度快、成本低、设备轻便和对人体无害等一系列优点。超声波在钢材内部穿透能力很强,因此可检测很厚的钢板和焊缝;对于平面状缺陷,尽管有的缺陷很深,只要超声波直射至缺陷面,均能得到很高的缺陷波。因而超声波对压力容器焊缝探伤未焊透和裂纹等危险性缺陷检测灵敏度很高,具有实用意义。检测中作好缺陷和伪缺陷的判别具有重要意义。

1 缺陷的估判

检出缺陷后,应在不同的方向对其进行探测。

(1) 平面状缺陷 从不同方向探测,缺陷回波高度显著不同,在垂直于缺陷方向探测,缺陷回波高;在平行于缺陷方向探测,缺陷回波低,甚至无缺陷回波。一般来说裂纹等属于这种缺陷,这类缺陷回波高度较大、波幅宽、会出现多峰。探头平移时,反射波连续出现,波幅有变动;探头转动时,波峰有上下错动现象。

(2) 点状缺陷 从不同方向探测,缺陷回波无明显变化。一般包括气孔(单个气孔和密集气孔)和点状夹渣。气孔和点状夹渣的缺陷回波高度低,波形较稳定,从各方向探测,反射波高大致相同,但稍一移动探头就消失。但两者也有所不同,其原因主要是其内含物声阻抗的不同。气孔内含气体,声阻抗小,反射率更高,波形陡直尖锐;而金属夹渣或非

金属夹渣的声阻抗大,反射波要低一些,且夹渣面粗糙,波形宽,呈锯齿形;密集气孔为一簇反射波,其波高随气孔的大小而不同,当探头作定点转动时,会出现此起彼落的现象。

(3) 咬边 这种缺陷反射波一般出现在一次与二次波的前边。当探头在焊缝两侧探伤时,一般都能发现,在探头移到出现最高反射信号处固定时,适当降低仪器灵敏度。用手指沾油轻轻敲打焊缝边缘咬边处,观察反射信号是否有明显跳动现象,若信号跳动,则证明是咬边反射信号。

(4) 裂纹 一般裂纹的回波高度较大,波幅宽,会出现多峰。探头平移时,反射波连续出现,波幅有变动;探头转动时,波峰有上下错动现象。另外,裂纹也易出现在焊缝热影响区,而且裂纹多垂直于焊缝,探测时,应在平行于焊缝方向扫查。如果有裂纹,超声波能直射至裂纹,便于发现。

(5) 未焊透 这种缺陷是由于焊缝金属没有添到接头根部而形成。分布在焊根部位,两端较钝,有一定长度,属于平面状缺陷。当探头平移时,未焊透反射波波形稳定;从焊缝两侧探伤,均能得到大致相同的反射波幅。

(6) 未熔合 熔焊时,焊道与母材之间或焊道与焊道之间未完全熔化结合的部分就叫未熔合。当超声波垂直入射到其表面时,回波高度大。但如果探伤方法和折射角选择不当,就有可能漏检。未熔合反射波的特征是:探头平移时,波形较稳定;两侧探测时,反射波幅不同,有时只能从一侧探到。

2 伪缺陷波的判别

焊缝超声波探伤中,荧光屏上除了出现缺陷回波以外,还会出现伪缺陷波,它并非由焊缝中缺陷造成且类型较多。

2.1 仪器杂波

在不接探头的情况下,由于仪器性能不良,探头灵敏度调节过高时,荧光屏上出现单峰或者多峰的波形。接上探头工作时,此波形在荧光屏上位置固定不变,降低灵敏度后,此波消失。

2.2 焊缝表面沟槽引起的反射波

当超声波扫查到多道焊缝表面形成的一道道沟槽时,会引起沟槽反射。这种波一般出现在一、二次波处或稍偏后位置,波形特点为不强烈,迟钝。

2.3 焊缝上下错边引起的反射波

板材在加工坡口时,上下刨得不对称或焊接时焊偏会造成上下层焊缝错位。由于焊缝上下焊偏,在一侧探伤时,焊角反射波很像焊缝内缺陷,当移到另一侧探伤时,一次波前没有反射波。

2.4 探头下扩散声束在焊缝表面的反射回波

对接焊缝超声波探伤时,探头下扩散声束在焊缝表面的反射回波很容易被误判为缺陷。通过采用不同角度探头进行探伤试验,弄清了这种假缺陷回波产生的原因及特点。

3 试验验证

3.1 伪缺陷

在厚板环缝超声波探伤(B级)时,常发现距背面3~8mm深度范围内的熔合线附近有不同长度连续的超标反射回波,有时甚至在焊缝全长都有此反射波。以某60mm厚管节为例,其焊缝结构如图1所示。使用折射角 $\beta=60^\circ$ 的探头和数字式增益型探伤仪探伤,其回波指示位置见表1,波幅均处在DAC曲线II区,也有个别点达到III区。

对于这种反射波,按照常规的判断很容易被评定为未熔合或母材中的缺陷,当拍打背面焊缝区时波幅变化不明显。然而砂轮打磨背面焊缝时可见波

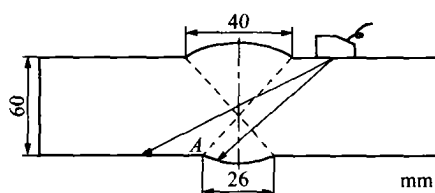


图1 焊缝结构

表1 探伤仪回波指示位置 mm

回波编号	声程指示	水平指示	深度指示
1	107.0	92.6	53.5
2	104.0	89.2	51.5
3	103.5	89.2	51.5

幅逐渐降低直至消失。这说明该反射波是来自于背缝的焊缝表面。这种现象极易导致误判,造成不必要的返修。为此,作者进行了一些试验,分析这种反射波产生的原因。

3.2 试验验证

试验1 选取图1所示并经探伤确认钢板中无缺陷。在钢板背面模仿实际焊缝余高进行堆焊。采用不同角度探头进行探伤,发现了类似的回波,其回波指示位置见表2。从表2可见,用前三种折射角的探头,仪器指示深度均 $<60\text{mm}$ 。按常规,应判为钢板中有缺陷,但实际钢板堆焊前经探伤并无缺陷。

表2 试验1回波指示位置

β ($^\circ$)	声程指示 mm	水平指示 mm	深度指示 mm	DAC dB
66.0	126.6	115.1	51.25	+14.0
63.0	124.7	111.1	56.60	+13.2
55.5	101.0	83.2	55.21	+8.0
45.0	有回波的地方深度指示 $\geq 60\text{mm}$,回波幅度多在I区(也有高者)			

试验2 由于试验1的焊缝表面形状有随机性,所以又制作了形状准确的对比试块(图2)。左下 40° 斜面为刨床加工。测试结果见表3。从表3中可以看出,用前三种探头探测对比试块同样存在伪缺陷波,即仪器指示深度均 $<60\text{mm}$,而且反射回

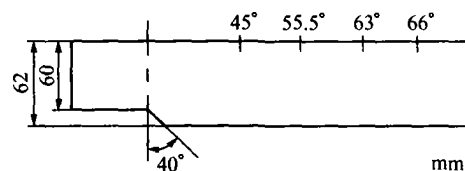


图2 对比试块示意图

表3 试验2回波指示位置

β ($^\circ$)	声程指示 mm	水平指示 mm	深度指示 mm	DAC dB
66.0	114.0	104.1	46.37	+1.4
63.0	110.3	98.33	50.11	-3.4
55.5	98.0	80.76	55.51	-9.3
45.0	85.61	60.53	60.54	-8.0

波幅度更高。

由此可见,用 66° 、 63° 及 55.5° 探头探伤时,试验 1,2 中的下部焊缝表面和 40° 斜面均不利于轴线声束反射,故看不到轴线声束的反射波,看到的是扩散声束的回波(见图 1 探头声束)。所以虽然反射面深度 $>60\text{mm}$,而仪器指示深度却反而 $<60\text{mm}$ 。但当使用 45° 探头时,由于试验 2 的 40° 斜面与轴线声束接近垂直,所以有较强的轴线声束反射波(DAC-8dB),指示深度也 $>60\text{mm}$;而试验 1 的焊缝表面反射条件不如 40° 斜面,但仍能得到轴线声束的反射回波,只是相对 45° 斜面其回波能量较低(多在 DAC 曲线 I 区),仪器指示深度也是 $>60\text{mm}$ 。

试验 3 试验 1 和 2 都是用一次波对厚板进行探伤的试验。为了考察中厚板是否存在此伪缺陷回波,又选择了厚度为 34mm 的管节环缝(图 3)进行了试验。经测试,这种产生于焊缝趾部(A 点附近)的假缺陷回波,在 K2 探头置于 B 点和 C 点时用一、二次波扫查都能发现,这时二次波扫查时的指示位置为:声程指示 131.9mm ;水平指示 118.0mm ;深度指示 59.09mm ;在 DAC 曲线的 II 区。焊缝趾部附近经打磨后,该回波消失。

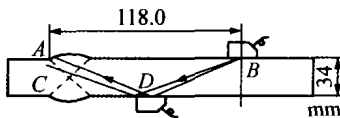


图 3 试验 3 探伤示意图

从试验可见回波有如下特点① 探伤仪的回波声程指示是入射点到焊缝表面反射点的距离。② 探伤仪的回波指示位置在工件内部焊缝熔合线附近(45° 探头除外)。③ 探头折射角越大,回波深度指示越小。④ 45° 折射角探头仪器的深度指示位置等于或大于板厚。⑤ 回波幅度与反射面的反射条件有关。⑥ 打磨余高后回波幅度变小直到消失。

3.3 分析

上述试验证实了假回波的反射面在焊缝表面,但为什么深度指示会远小于板厚而不是大于板厚,其原因是声束是扩散的,若反射面只有利于扩散角内某部分声束反射时,其所得回波再用轴线声束计算,显然会出现错误。在此可以借助于 RB2 对比试块进一步说明(图 4)。MO 声线与 $\phi 3\text{mm}$ 孔交于 B,而 LO 声线与 $\phi 3\text{mm}$ 孔交于 A;MB 的水平声程 MF 为 116.8mm ,而 LA 的水平声程 LE 为 98.83mm 。用三种探头分别找到试块中 60mm 深横通孔的最高反射波,然后向前移动和向后移动探头,到波幅降

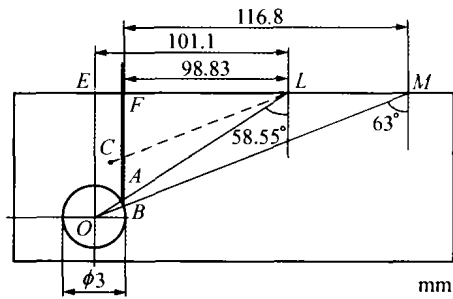


图 4 RB2 对比试块

表 4 轴线声束和扩散声束反射回波的指示位置

β ($^\circ$)	探头 位置	声程指示 mm	水平指示 mm	深度指示 mm	DAC dB
66.0	回波最高处	146.0	133.3	59.38	0
	前移	119.0	108.7	48.40	+6
	后移	168.0	153.1	68.33	+6
63.0	回波最高处	131.1	116.8	59.56	0
	前移	113.5	101.1	51.53	+6
	后移	152.7	136.1	69.36	+6
56.1	回波最高处	105.0	86.53	59.47	0
	前移	94.0	77.46	53.24	+6
	后移	119.0	98.07	67.40	+6

到一半时(DAC+6dB)记下声程指示,此时的仪器指示见表 4。

现以 63° 探头前移为例进行分析,当入射点在 M 时,探头的轴线声束(63°)与 $\phi 3\text{mm}$ 孔反射面垂直,回波最高,此时声程为图 4 中的 $BM = 131.1\text{mm}$,深度 $BF = 59.56\text{mm}$,水平距离 $FM = 116.8\text{mm}$ 。探头前移至 L 时(波幅下降一半),轴线声束移为 CL,此时 CL 在 $\phi 3\text{mm}$ 孔上已无反射面,所以此时的回波不是轴线声束的反射,而是下扩散角内与 $\phi 3\text{mm}$ 孔反射面垂直的某声束 AL 的反射波。此时仪器的指示声程是 AL 的真实声程 113.5mm ,但 AL 的折射角 $\beta = \arccos 60^\circ / (113.5 + 1.5) = 58.55^\circ$,实际深度 $AE = \cos 58.55^\circ \times 113.5 = 59.22\text{mm}$,实际水平距离 $EL = \sin 58.55^\circ \times 113.5 = 96.83\text{mm}$ 。

上述计算结果显然与仪器的指示深度和水平距离不同。仪器指示的数据是按无反射条件的轴线声束计算的,所以是错误的。其指示深度比 A 点的实际深度提高了 7.7mm ,水平距离前移了 4.3mm 。换言之,即把 A 点反射波误指示为无反射的 C 点。

同样道理,在实际焊缝探伤时,若焊缝表面某点不利于轴线声束反射而只与下扩散角范围内某部分

无损检测高等教育发展论坛首届年会暨中英无损检测技术交流研讨会将在上海举行

第 11 届无损检测教育培训科普工作委员会工作会议于 2004 年 12 月 10~13 日在昆明召开。会上由无损检测信息中心、华东理工大学、南昌航空工业学院、清华大学、北京航空航天大学、大连理工大学、武汉大学、重庆大学、中北大学和沈阳工业大学等单位代表发起建立了无损检测高等教育发展论坛。其目的是促进我国无损检测高等教育的发展及其国际交流,建立无损检测高等教育信息交流平台;同时为无损检测高等教育与无损检测人员、国内外知名学者、应用企业、设备器材制造与供应商提供互动对话平台,以增进和深化各界的联系,推动和建立密切的伙伴关系,在应对经济发展的需要和激烈的市场竞争中增强实力,促进我国无损检测技术的发展。

会议决定于 2005 年 4 月 6~8 日在上海举办首届年会。届时将邀请国内知名专家进行专题报告,邀请无损检测专业毕业生进行创业报告,同时将安排在读无损检测研究生进行论文交流。会议期间将同时举办中英无损检测技术交流研讨会,五所英国高等学校从事无损检测技术研究的六位教授届时将访问中国,并在会议期间作专题报告和研讨。会议还将安排国内外仪器生产厂商作新产品介绍和展示。

有关无损检测高等教育发展论坛和中英无损检测技术交流研讨会的详细情况及参加会议的手续等问题请浏览学会信息网(www.chsndt.com)。

(全国无损检测学会教育培训科普工作委员会)

核工业无损检测人员资格鉴定考试大纲通过专家评审

核工业无损检测人员资格鉴定考试大纲专家评审会于 2004 年 11 月 17~19 日在江苏周庄召开。来自核行业管理和监管部门、核设备设计、制造、核燃料生产、核设备安装、核电厂、海军、九院等相关部门的 16 位专家参加了会议。专家们一致认为,核工业无损检测人员资格鉴定考试大纲的编制对满足核工业建设和持续发展是十分必要、及时并具有积极的意义。考试大纲的实施将对核工业无损检测人员的考核和培训工作具有指导作用;对规范核工业无

损检测人员资格鉴定考试和提高核工业无损检测人员的水平具有重要作用。该国内首次编写的考试大纲体现了核工业的特点,总结了多年的实践经验,参考了国内外无损检测人员资格鉴定的有关标准和文件,符合相关法规的要求。考试大纲条理清晰、结构完整、要求适宜、内容全面、可操作性强。核工业无损检测人员培训鉴定考核将按该考试大纲执行。

(核工业无损检测中心 王跃辉)

声束相垂直时,则得到较高回波,其声程也会错误地被指示为轴线声束反射的声程。

实际上无论探头角度多大,这种扩散声束在焊缝表面引起的伪缺陷回波现象都可能存在,主要取决于有效反射面的大小、方向、形状和粗糙度等。为了与变型波区别,更应该称其为变角回波。

4 试验结论

(1) 焊缝中的上述回波并非缺陷回波,是探头

下扩散角内的某一声束在焊缝表面的反射波(变角回波)。

(2) 无论斜探头角度多大,焊缝探伤的变角回波都有可能存在。但是否出现及其反射能量主要取决于有效反射面的大小、方向、形状和粗糙度等。

(3) 工件厚度和探头角度越大,变角回波的现象越明显。较薄工件用直射波探伤时可能不明显,但用二次以上的波(含二次波)探伤时也很明显。

(下转第 54 页)

航空工业中的 X 射线检测——现状、挑战和新的工艺
GA Mohr, T Fock(美国, 德国)

阵列传感器

柔性相控阵列传感器用于复杂几何形状部件的接触检测
O Casula, C Poidevin, G Cattiaux 等(法国)

产生可变方向声束的偏轴环形传感器阵列
H Masuyama, K Mizutani, K Nagai 等(日本)

应用相控阵列超声对航空材料进行缺陷检测和分类
V Kramb(美国)

掩埋目标的电感和电容阵列成像
D Schlicker, A Washabaugh, I Shay(美国)

将周期性压电复合材料阵列中的机械交扰降至最低
D Robertson, G Hayward, A Gachagan 等(英国)

相控阵列检测技术的新特征:模拟和实验
S Mahaut, S Chatillon, E Kerbrat 等(法国)

相控阵列技术应用于喷嘴检测
A Garcia, C Pérez, F Fernández 等(西班牙)

超声无损检测成像的最佳线性接受波束形成器
F Lingval, T Olofsson, E Wennerström 等(瑞典)

固体中相控阵列超声脉冲的光弹性可视化
E Ginzel, D Stewart(加拿大)

应用超声阵列的快速、低成本、全波形的映射和分析
D Lines, J Skramstad, R Smith(英国, 美国)

用于超声换能器的压电复合材料的最新进展
WL Dunlap Jr(美国)

复杂几何形状自动放行检测的超声相控阵的信号分析
S Labbe, P Langlois, F Tremblay 等(加拿大)

混频相控阵列研究
Y Xiang, C Peng, XL Peng 等(中国)

应用相控阵列超声探头检测锻造不锈钢管道的贯穿焊缝
MT Anderson, SE Cumblidge, SR Doctor(美国)

混凝土的超声相控阵列和合成孔径成像
KJ Langenberg, K Mayer, R Marklein 等(德国)

航空发动机部件检测中相控阵列超声的应用:从传统传感器的转变
V Kramb(美国)

应用相控阵列技术进行大直径管道的壁厚测量
H Lompe, O Dillies, S Nitsche 等(德国, 法国)

基于小孔径换能器的相控天线阵列的焊缝超声断层成像
AM Lutkevich, AA Samokrutov(俄罗斯)

汽车

制造环境中的无损检测系统
XR Cao(美国)

第三代自动化缺陷识别系统
F Herold, K Bavendiek, R Grigat(德国)

汽车车身粘接质量超声信号的自适应滤波技术
FM Severin, R Gr Maev(加拿大)

应用超声检测、场致发射显微镜和残余应力测量进行点焊质量分析
D Stocco, R Magnabosco, RM Barros(巴西)

应用高分辨率声成像评价胶接质量
E Yu Maeva, IA Severina, FM Severin 等(加拿大)

使用反射声波实时确定电阻点焊质量——与穿透传播模式的比较
AM Chertov, RG Maev(加拿大)

开发监控汽车发动机润滑油的线圈式机油探测系统
WT Kim, MY Choi, HW Park(韩国)

汽车制造中摩擦焊和胶粘固化的红外监控
GB Chapman(加拿大)

汽车工业中的多种无损检测方法
P Buschke, W Roye, T Dahmen(德国)

推动汽车工业应用无损检测技术的需求
GB Chapman(德国)

汽车工业中无损检测的活动、需要和趋势
G Mozurkewich(美国)

汽车工业中底盘单元铝铸件的 X 射线检测实验报告
M Jelinek, T Fahrzeugguss(德国)

汽车后方障碍物超声探测方法的研究
XB Zang, YR Mao, HW Zhao 等(中国)

汽车工业深拉工序中管道裂纹的声发射检测
B Bisiaux, T Wartel, A Proust 等(法国) (未完待续)

张 坚译 耿荣生校

(上接第 50 页)

(4) 凡遇到此类按常规定位方法定位于熔合线附近或母材内的回波, 都应慎重对待, 需要认真地观察焊缝外形、更换探头角度、双面双侧检测、精确定位分析, 必要时打磨焊缝等, 以免造成误判。

(5) 当探头折射角较大, 灵敏度较高时, 有一部分能量转换成表面波。当表面波传播到耦合剂堆积处, 也能形成反射信号。这时只要不动探头, 随着耦合剂扩散, 波幅逐渐降低, 如果擦去探头前耦合剂,

信号立刻消失。

(6) 超声波探伤中探头经常与工件表面摩擦, 时间长了探头容易造成前磨和后磨。当出现前磨时, 折射角变小, K 值变小; 当出现后磨时, 折射角变大, K 值变大; 如果不及时校验仪器, 对缺陷的定位、定量评定容易发生错误。温度对探头影响很大, 一般探头的 K 值是在室温下测定, 在温差大的天气探伤时, 应注意及时测定探头 K 值, 以免误测; 高温探伤时, 必须使用高温探头。