

焊缝超声波检测中缺陷指示长度的测定

程 茂

(浙江省锅炉压力容器检验所, 杭州 310020)

MEASUREMENT OF THE INDICATING LENGTH OF WELD DEFECT IN ULTRASONIC INSPECTION

CHENG Mao

(Zhejiang Boiler and Pressure Vessel Inspection Institute, Hangzhou 310020, China)

中图分类号: TG115.28+5

文献标识码: B

文章编号: 1000-6656(2002)03-0129-03

在役压力容器定期检验中, 超声波检测因其特殊的优越性被广泛应用于焊缝内部缺陷的检测, 但也因为其无法准确判断缺陷性质, 因此缺陷的指示长度就成为定量评定焊缝质量等级的重要因素之一。缺陷的指示长度就是把超声波检测中缺陷始端和末端的确定位置投影在被检测材料的表面, 并连接其两点间长度, 即通过移动探头的方法来测量缺陷长度。这种定量方法主要考虑了探头有关特性, 而未考虑缺陷特性对长度测量的影响, 因此造成所测得的指示长度经常与缺陷的实际尺寸存在较大的误差。本文着重就缺陷指示长度测定进行探讨。

1 超声波探头指向性与缺陷相对位置对缺陷指示长度的影响

1.1 探头的指向性 $D_c(\theta)$

探头的指向性包括发射指向性 $D_d(\theta)$ 与接收指向性 $D_r(\theta)$ 。在实际工作中探头的晶片(波源)近似作活塞运动, 根据活塞波振动的理论, 可得圆形晶片探头发射指向性系数 $D_d(\theta)$ 为^[1]

$$D_d(\theta) = \frac{P(r, \theta)}{P(r, 0)} = \frac{2J_1(KD \sin \theta)}{KD \sin \theta} \quad (1)$$

式中 J_1 ——一阶贝塞尔函数

$P(r, \theta)$ ——远声场距声源中心距离为 r 处的声压

$P(r, 0)$ ——波源轴线上距声源中心距离为 r 处的声压

D ——晶片直径

θ ——辐射声波方向与晶片轴线夹角

K ——波数

$K = 2\pi/\lambda$

λ ——波长

探头的接收指向性系数 $D_r(\theta)$ 可由接收声波的传播方向与接收探头晶片表面法线之间的角度变化求出, 并且同样受到式(1)的影响。对于一个单晶片探头, 晶片既发射又兼接收, $D_d(\theta) = D_r(\theta)$, 此时探头探伤时总的指向系数为 $D_c(\theta) = [D_d(\theta)]^2$ 。在探伤过程中, 经常采用反射波高最大值下降一半(6dB, $D_c = 0.5$)或 $1/10$ (20dB, $D_c = 0.1$)的方法来确定缺陷的指示长度, 我们将此时的 θ 定义为 θ_{w6} 或 θ_{w20} 。根据式(1), 令 $y = KD \sin \theta$, 可以求出

$$D_c = 0.5 \quad y = 1.62$$

$$\theta_{w6} = \arcsin 0.52 \frac{\lambda}{D} \approx 29 \frac{\lambda}{D}$$

$$D_c = 0.1 \quad y = 2.77$$

$$\theta_{w20} = \arcsin 0.88 \frac{\lambda}{D} \approx 50 \frac{\lambda}{D}$$

1.2 不同的超声波波束与缺陷相对位置不同组合对指示长度的影响

如图1所示, 当波束半顶角为 θ_{w6} 时, 在声程为 S 时, 波束宽度为 L_6 ; 在声程为 S_1 时, 波束宽度为 L_6' 。当波束半顶角为 θ_{w20} 时, 在声程为 S 时, 波束宽度为 L_{20} ; 在声程为 S_1 时, 波束宽度为 L_{20}' 。如缺陷长度为 L , 且 $L_6' < L < L_6$ 。在实际测量中, 如在声程 S 处测量该缺陷, 采用 6dB 法, 得到缺陷指示长度 L_6 , 用 20dB 法测量得到的缺陷指示长度为

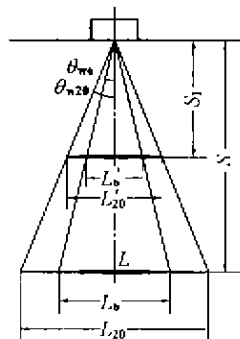


图 1

L_{20} ; 只有当缺陷长度 $L > L_6$ 或者 $L > L_{20}$ 时, 测得的指示长度才等于 L 。在声程为 S_1 处采用 6dB 法测量, 因为缺陷长度满足 $L_6' < L < L_6$, 测得的指示长度为 L , 但到声程 S 处用同一方法测量则指示长度变为 L_6 。由此可见, 对同一缺陷, 采用不同分贝的波束测长或用同一分贝波束在不同声程处测长, 所得到的缺陷指示长度是不全相等的。因此在实际探伤过程中, 对于一些长度较小的缺陷, 在某一声程处, 如其长度小于此处波束宽度, 就会产生放大作用, 缺陷越小, 声程越大, 放大作用越大, 其指示长度误差也就越大, 因此选择合适的波束宽度和声程, 使之尽可能满足 $L \geq L_x$ 对准确测定这些缺陷的指示长度是非常重要的。对焊缝斜角探伤中, 不同分贝波束的宽度 L_x (水平方向) 可以由下式求出

$$L_x = \frac{2h}{K} \tan \theta_x$$

式中 h ——荧光屏显示垂直深度

$K = \tan \beta$

β ——斜探头的折射角

θ_x ——某分贝时波束半顶角

2 缺陷形态、方向、位置对指示长度的影响

不仅探头的指向性影响缺陷指示长度测量精度, 缺陷反射波同样存在反射指向性, 这与缺陷的性质、大小、方位和倾斜角度等有关。实际检测中缺陷指示长度的精度受到两者同时作用的影响, 但此时通过计算求解指示长度已无实际意义, 以下通过实际工作中常见的一些问题来讨论缺陷自身因素对指示长度的影响。

2.1 缺陷形状不规则

如图 2 所示, 当探头在焊缝下侧探伤时, 所测得的缺陷指示长度明显小于缺陷实际长度, 而当探头在焊缝上侧探伤时, 所得到的指示长度反映缺陷的长度更真实。

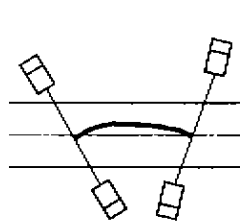


图 2

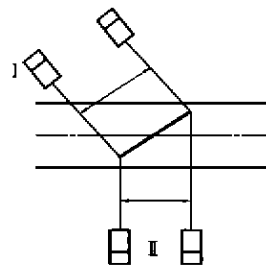


图 3

2.2 缺陷长度方向与焊缝倾斜

如图 3 所示, 探头在位置 II 检测时, 探头在某处出现最高反射波, 这时沿焊缝方向左右移动, 则所测得的缺陷指示长度就不真实; 而如果探头在位置 I 检测时, 探头在出现最高反射波处, 沿缺陷长度方向移动, 则测得的长度更精确。

2.3 缺陷存在于被测焊缝的端部

如图 4a 所示, 当缺陷位于 T 字口部位, 且探头处于位置 I 时, 由于焊缝余高的阻挡, 不能测量到整条缺陷; 当探头处于位置 II 时, 同样由于焊缝余高的影响, 声束不能垂直扫查缺陷, 缺陷反射波很低, 只有当缺陷的端部取向与声束中心线垂直时, 才会有较高的反射波, 所以容易造成指示长度偏小, 过低地评价缺陷的危害程度。实际检测中, 在位置 II 进行斜平行扫查时, 不考虑其它因素, 适当提高探伤灵敏度, 将出现缺陷反射波的反射点作为缺陷的一个端点。在位置 I 时 (图 4), 如果缺陷的反射波高超过评定线 (EL), 就可以认为缺陷向外延伸, 这时可把材料的端部作为缺陷的一个端点。这种情况在实际工作中有比较重要的意义。因为 T 字口是应力集中部位, 缺陷向外延伸, 对于另一焊缝相当于横向缺陷, 引起的危害更大, 所以对该部位应当认真检测。

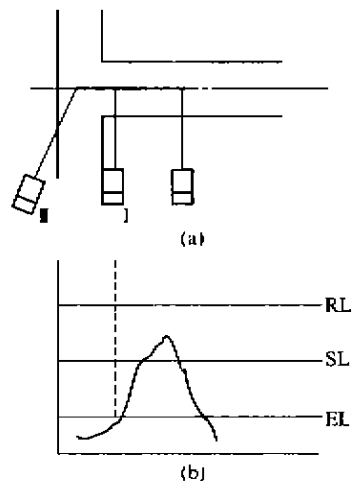


图 4

在某球罐 T 字口检测过程中,就产生了斜平行扫查中未发现缺陷端部,认为缺陷只位于纵缝上,长度不超标,不需要返修,而后在与射线底片对照中才发现缺陷延伸至环缝上,且为需返修的部位。重新检测,提高探伤灵敏度,才发现缺陷端点的反射波,从而确定了返修的长度和深度。

2.4 相邻缺陷

对于相邻缺陷,在实际检测过程中,由于探头移动时,缺陷动态波形较为复杂,波峰与波谷交替出现,检测人员很容易将连续的缺陷判断成断续的,从而过小地评价缺陷;也容易将断续的缺陷判断成连续的,从而过大地评价缺陷,会出现不必要的返修。如图 5 所示,如果采用定量线(SL)为检出灵敏度,则测得的缺陷为一个,长度为 l_2 ;如果采用评定线(EL)为检出灵敏度,则检出的缺陷为两个,长度分别为 l_1 和 l_2 。

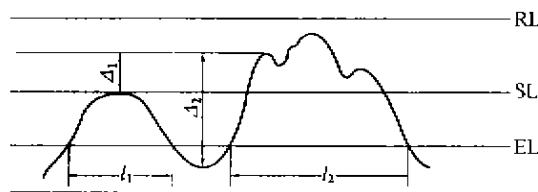


图 5

根据经验,对缺陷是否为连续性缺陷有如下判断原则,即①在探头左右移动过程中,缺陷包络线中,任意两相邻的波峰差值 $\Delta_1 \leq 6\text{dB}$,且任意两相邻的波峰与波谷差值 $\Delta_2 \leq 10\text{dB}$,则该缺陷通常是连续的。②如果缺陷反射包络线存在多个波峰和波谷,只要波谷都位于评定线以上,那么该缺陷就是连续的。需要补充的是,以上原则在应用中还存在一些问题,因为要准确区分相邻缺陷,还受到仪器、探头分辨力的影响。根据我们在工作实践中的体会,对于一些缺陷密集的区域,如微小的密集气孔区域,中间还夹有短条渣,在应用中就很难依据原则判断是否连续,如在一球罐焊缝超声波检测过程中,发现一条状缺陷,缺陷的静态反射波形为一簇反射波,波高不同,但差别不大,当探头作定点转动时,缺陷反射波此起彼伏,此时根据波形我们判定为密集气孔,且分布在一定的深度范围内,但在测定缺陷指示长度时发现反射波均位于评定线上,就容易把缺陷判断为连续的。后与射线底片对照,证实了我们的判断。根据粗略统计,对于间距 $\leq 6\text{mm}$ 的缺陷,采用普通探头很难分辨是否断续。这时应当根据缺陷的动态

波形,判断缺陷可能的性质,然后推断是否连续。这在实际工作中有比较重要的指导意义。

3 对有关标准中缺陷指示长度测定规定的探讨

JB 4730—1994 标准规定,当缺陷只有一个高点时,用 6dB 法测量其指示长度;当缺陷有多个高点,且端点波高均位于 II 区时,用端点 6dB 法测量其指示长度(GB 11345—1989 标准规定用端点峰值法测量其指示长度);当缺陷波高位于 I 区时,如有必要可用评定线作为绝对灵敏度测量其指示长度。

(1) 6dB 法与端点 6dB 法均属于相对灵敏度法,优点在于不受传播损失和衰减的影响,不受发射波高度的影响,但通常情况缺陷的指示长度要比实际长度短一点,但对小缺陷有放大作用。

(2) 评定线作为绝对灵敏度测长,测得的指示长度与评定线的灵敏度有关,灵敏度越高,测得的长度越长。但缺点是易受传播损失和衰减以及反射波高的影响。

(3) 端点峰值法要比端点 6dB 法测得的指示长度小,对于裂纹等缺陷,测量精度较高,但对某些形状不规则的缺陷,有可能出现过小评定。

(4) 标准中未规定如何判断处理不同声程处测得不同数值的指示长度,未规定测量指示长度时是按照焊缝方向还是缺陷方向。

(5) 在实际工作中,无论培训考核,还是现场检测,均采用以测量出较大的数值为准,基本上测长时探头沿焊缝方向左右移动。

4 小结

以上就焊缝超声波检测时,缺陷指示长度测定的有关问题进行了探讨,并结合具体情况,根据理论和实际工作经验提出了一些解决方法,同时存在许多不完善的地方,还需要在工作学习中,不断积累经验,提高业务水平,进一步提高检测的可靠性。

参考文献:

- [1] 全国锅炉压力容器无损检测人员资格考核委员会. 超声波探伤(Ⅱ,Ⅲ级教材)[Z]. 北京:劳动部中国锅炉压力容器安全杂志社,1995.
- [2] 日本非破坏检查协会著,马羽宽,姜志明,李世荣,译. 超声探伤 B[M]. 长春:吉林科学技术出版社,1985.