

探伤温度对超声波无损检测缺陷定位、探伤灵敏度的影响

梁 驹 (广州穗监工程质量安全检测中心)

摘 要: 本文通过对超声波探伤过程中斜探头 k 值、声波扩散角与探伤温度的关系进行定量分析, 探讨了探伤温度对缺陷定位、探伤灵敏度的影响, 并提出了解决方法。

关键词: 超声波探伤; 探伤温度; k 值; 扩散角

1 前言

无损探伤是在不破坏被检对象的前提下, 利用声、光、电、磁等方法来检测材料表面及内部缺陷的检测技术。超声波探伤是无损探伤的主要方法之一, 其原理是利用超声波能在弹性介质中传播, 能在两种介质的界面上产生反射、折射等特性来探测材料内部或表面缺陷。由于具有检测厚度大、灵敏度高、速度快、成本低、能对缺陷定位和定量、对人体无害等优点, 超声探伤在实际探伤尤其是焊缝探伤中得到广泛的应用。

为实现对缺陷的探伤, 检测人员必须在探伤前对探伤系统依据参考试块进行标定和调整, 并保证其在探伤过程中保持不变。但是, 在实际检测中, 尤其是现场检测中, 探伤系统的状态却随着检测环境、检测对象的不同而发生改变。特别是探伤温度的变化会对斜探头的 k 值、超声波扩散角产生影响, 从而影响缺陷的定位和探伤灵敏度。因此, 定量分析探伤温度对斜探头 k 值、超声波扩散角的影响尤为重要。下面, 就此问题, 笔者进行分析和讨论。

先做样板间, 并对样板间室内环境质量进行检测, 检测合格后再进行其它部分的装修施工, 如检测不合格, 应会同设计、监理等单位查找原因, 采取相应的处理措施。

(3) 工程各责任方应积极配合室内环境检测, 保证现场情况能满足检测要求, 以了解工程室内环境污染的真实情况, 便于对室内环境污染超标的工程, 具体情况具体分析, 及时采取有效措施加以整改。

5 结语

解决民用建筑工程室内环境污染问题还要走很长的路, 还存在许多困难。例如, 控制材料的有害物质释放量牵涉到成千上万的生产厂家, 对大部分企业来说, 提

2 探伤温度对斜探头 k 值的影响

对于焊缝超声波探伤, 一般使用斜探头。通常, 探头晶片发出的超声波经过斜楔入射到工件表面, 入射角 α 介于第一临界角 α_1 和第二临界角 α_2 之间。因此, 工件中只存在横波, 从而实现横波探伤。根据折射定律,

$$\text{有: } \frac{C_{L1}}{\sin \alpha} = \frac{C_{S2}}{\sin \beta} \quad (1)$$

式中, C_{L1} —第一介质中的纵波波速;

C_{S2} —第二介质中的横波波速;

$\sin \alpha$ —纵波入射角;

$\sin \beta$ —横波折射角。

斜探头斜楔大多采用有机玻璃加工而成。在大部分技术文献中, 对有机玻璃中纵波波速一般取 2730m/s, 钢铁中横波波速一般取 3230m/s。探头的 k 值作为探头的固有特征值, 以横波折射角 β 的正切值来标称:

$$k = \tan \beta$$

事实上, 超声波在固体中的传播速度并不是一成不变的, 一般固体中的波速随介质温度的升高而降低。有

高生产工艺水平、淘汰落后产品决不是一件简单的事情, 恐怕不少企业将面临破产危险。建筑装饰材料假冒伪劣产品泛滥、市场管理混乱的局面由来已久, 整治市场秩序将是一场“持久战”。作好工程建设的监督管理, 要抓紧作好各项工作: 生产企业要增强竞争意识和紧迫感, 努力提高产品的环境品质; 有关行业管理部门须抓紧进行产业结构调整, 严格产品检测认证; 要全面加强对建筑装饰材料的市场监管, 逐步淘汰落后产品; 建设系统严把施工管理、工程竣工验收管理各阶段的检测工作; 社会各方面要普及建筑工程室内环境污染控制的有关知识, 提高全民室内环保意识, 加强自我保护和社会监督等, 否则, 控制室内环境污染将成为一句空话。●

机玻璃中纵波波速、钢铁中横波波速与温度的关系见图 1 及下表。

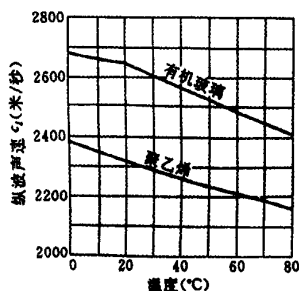


图 1 有机玻璃中纵波波速与温度的关系

铁中横波波速与温度的关系

T(°C)	26	100	200	300
C _s (m/s)	3229	3185	3154	3077

从以上我们可以看到,有机玻璃中纵波波速与温度变化基本成线性关系,波速随温度的升高而降低。钢铁中横波波速也与温度变化基本成线性关系,但由于变化较小,可以认为在常温范围内钢铁中横波波速保持不变。根据相关技术文献资料,在常温下,有机玻璃中纵波波速与温度的关系可用下式表示:

$$C_{L1} = 2750 - 4T \text{ (m/s)} \quad (2)$$

式中, T—探伤温度, °C。

此外,由于探头设计制造时所用的有机玻璃中纵波波速为 2730m/s,钢铁中横波波速为 3230m/s,若我们将据此算得的斜探头 k 值称为设计 k 值,用 k_0 表示;其相对应的横波折射角用 β_0 表示,则(2)式可表示为:

$$k_0 = \tan \beta_0$$

$$= \tan \left[\arcsin \left(\frac{C_{s2}}{C_{L1}} \times \sin \alpha \right) \right] \quad (3)$$

$$= \tan \left[\arcsin \left(\frac{3230}{2730} \times \sin \alpha \right) \right]$$

$$= \tan \left[\arcsin (1.183 \sin \alpha) \right]$$

由此可得, $\arctan k_0 = \arcsin (1.183 \sin \alpha)$

从而,有 $\sin \alpha = 0.845 \sin (\arctan k_0)$ (4)

将(2)式代入(3)中,我们可得到斜探头实际 k 值与探伤温度 T 的关系:

$$k = \tan \left[\arcsin \left(\frac{3230}{2750 - 4T} \sin \alpha \right) \right] \quad (5)$$

将(4)式代入(5)式中,我们可得到探伤温度为 T 时,斜探头实际 k 值与设计 k 值 k_0 之间的关系:

$$k = \tan \left\{ \arcsin \left[\frac{2730}{2750 - 4T} \sin (\arctan k_0) \right] \right\} \quad (6)$$

根据(6)式,我们可以根据探头的 k_0 值,推算具体温度 T 下探头实际的 k 值。经过计算可以看到,斜探头 k 值随温度的升高而增大,随温度的降低而减小。

在实际检测工作中,假设我们用一个 k_0 值为 2 的斜探头,探测工件中一个 $l_f = 65\text{mm}$, $d_f = 30\text{mm}$ 的缺陷 (l_f 表示缺陷到声波入射点的距离, d_f 代表缺陷到探伤面的垂直距离),且该探头由于温度影响,实际 k 值变为 2.5。如果仍按照 $k=2$ 计算,根据不同的横波扫描速度方式,其位置分别变为:

(1)按声程调节扫描速度:

$$l_f = x_f \sin \beta = \sqrt{65^2 + 30^2} \cdot \sin (\arctan 2) = 64.0\text{mm}$$

$$d_f = x_f \cos \beta = \sqrt{65^2 + 30^2} \cdot \cos (\arctan 2) = 32.0\text{mm}$$

(2)按水平调节扫描速度:

$$l_f = 65.0\text{mm}$$

$$d_f = l_f / k_0 = 32.5\text{mm}$$

(3)按深度调节扫描速度:

$$l_f = k_0 \cdot d_f = 60.0\text{mm}$$

$$d_f = 30.0\text{mm}$$

通过上面的例子我们可以看到,由于探头有机玻璃中纵波实际波速与设计波速的差别,造成了探头 k 值的改变,进而影响了缺陷位置的确定。实际检测中,如果探伤温度与设计温度相差过大,我们忽略了斜探头的 k 值因温度变化而发生的改变,必将造成缺陷定位的误差增大。

3 探伤温度对超声波扩散角的影响

常用斜探头辐射的声场由第一介质中的纵波声场与第二介质中的横波声场两部分组成,两部分声场是折断的。为了便于理解和计算,我们将第一介质中的纵波波源转换成轴线与第二介质中横波波束轴线重合的假想横波波源,这时整个声场可视为由假想横波波源辐射出来的连续的横波声场。同样,斜探头在工件中的横波声场也可认为是假想声源辐射的横波声场,和纵波声场一样具有良好的指向性,可以在被检材料中定向辐射,只是波束的对称性与纵波声场有所不同:

在声束轴线与界面法线所决定的入射平面内,声束不再对称于声束轴线,而是声束上半扩散角 θ_+ 。 θ_+ 大于声束下半扩散角 θ_- 。

$$\text{设: } \theta_+ = \beta_2 - \beta, \theta_- = \beta - \beta_1 \quad (7)$$

$$\sin \beta_1 = a - b, \sin \beta_2 = a + b \quad (8)$$

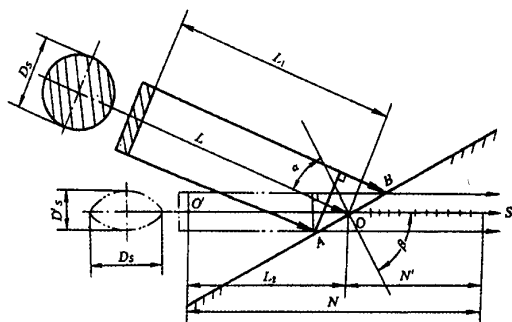


图 2 横波声场

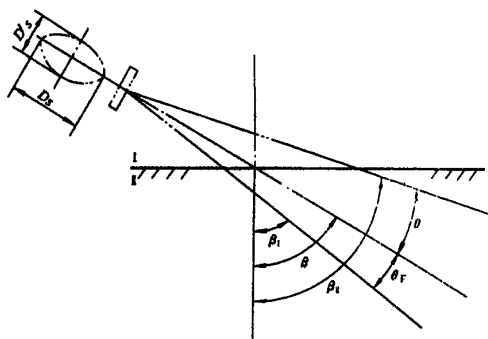


图 3 横波声场半扩散角

$$a = \sin \beta \sqrt{1 - \left(\frac{1.22 \lambda_{L1}}{D_s} \right)^2}, b = \frac{1.22 \lambda_{L1} C_{s2}}{D_s C_{L1}} \cos \beta$$

则:

$$a = \frac{2730}{2750 - 4T} \sin(\arctan k_0) \cdot \sqrt{1 - \left[\frac{1.22 \times (2750 - 4T)}{fD} \right]^2} \quad (9)$$

$$b = \frac{1.22 \times 3230}{fD} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{C_{L1}}{C_{s2}} \sin \beta \right)^2} \\ = \frac{3940.6}{fD} \cdot \sqrt{1 - 0.714 \sin^2(\arctan k_0)} \quad (10)$$

根据(7)、(8)、(9)、(10)式,我们可以按照探头的 k_0 值,推算具体温度下探头实际的上、下半扩散角和扩散角。经过计算我们可以看到,在声速轴线与界面法线所决定

的入射平面内,温度升高时,斜探头扩散角以及上、下半扩散角随之增大,波速指向性变差;温度降低时,扩散角以及上、下半扩散角随之减小,波速指向性变好。同时, k 值越大,扩散角以及上、下半扩散角随温度的升高而增大越快,随温度的降低而减小越快。

由于超声波能量主要集中在扩散角 $\theta = \theta_{上} + \theta_{下}$ 的区域内,扩散角越小,波束指向性越好,探伤灵敏度越高,分辨力越好,定位越精确。当探伤温度发生变化时,斜探头扩散角随之发生变化,尤其是温度升高时,斜探头的扩散角随之增大,波束指向性变差,探伤灵敏度降低,分辨率变差,缺陷的定量定位误差变大,易造成缺陷的漏检误判。

4 结论

从上面的分析我们可以看到,由于探伤温度对有机玻璃中纵波波速影响较大,造成了探伤温度较高时,探伤灵敏度下降、缺陷定位误差增大。另外,探伤温度越高,造成的误差就越明显。在实际探伤中,环境温度过高、工件冷却不均匀等原因,都会对检测结构造成不良影响。如果探伤温度与设计温度相差过大,我们必须采取相应的措施使不良影响减少到最低限度。一方面我们可以根据实际情况,在探伤系统进行标定和调整时考虑探伤温度的影响,对有关参数进行修正。另一方面,我们可以使用合适的探头,选取对温度改变不敏感的材料作为超声波的传播介质。总之,对于我们工程质量检测人员来说,在平时工作中,必须重视检测环境改变造成的影响,根据实际情况选用合适的检测工具,采用合适的检测工艺,力图将检测误差尽可能减少,提高检测精度,减少漏判和误判,保证工程的质量。●

【参考文献】

- (1) 超声波探伤. 劳动部锅炉压力容器安全杂志社, 1995.
- (2) 胡天明. 超声探伤. 武汉测绘科技大学出版社, 1994.

广东建材——
搭建沟通、了解的平台