

# 锅炉压力容器 T 型接头与管座角接头 焊缝超声波探伤技术探讨

姚志忠

(无锡恒安压力容器制造有限公司, 江苏无锡 214171)

**摘要:**对 T 型接头与管座角接焊缝超声波探伤中遇到的声束入射方向与扫查范围、扫描线比例调节、检测灵敏度、曲面探测、几种特殊波形的利用、典型缺陷探测与判断及缺陷类型的判别等技术问题进行了论述。

**关键词:**T 型接头;管座角接头;焊缝;超声波探伤

**中图分类号:** TG115.28 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-4423 (2004) 04-11-04

T 型接头与管座角接头焊缝在锅炉压力容器大量应用,由于其结构特殊,几何形状多变,受力状况复杂等原因,造成施焊条件困难,焊接质量难以保证,同时,对超声波检测技术提出了更高的要求,即要求对此类焊缝的检测方法和检测工艺参数的选择、缺陷判别及结果评定等方面应采用行之有效方法来控制焊缝内部质量,以确保锅炉容器的安全运行。近年来,已有一些标准规定对此类焊缝采用超声波检测,如 JB 4730-94《压力容器无损检测》中 9.1.5.3 管座角焊缝的检测;GB 11345-89《钢焊缝手工超声波探伤方法和探伤结果的分级》中 10.4“T 型接头”和“管座角焊缝”的检验;JB 3144《锅炉大口径管座角焊缝超声波探伤》;JB/T 7602-94《卧式内燃锅炉 T 形接头超声波探伤》及国家质量技术监督局锅炉压力容器安全监察局于 1998 发布的《工业锅炉 T 型接头对接焊缝超声波探伤规定》等标准。在这些标准中,对检测频率、探头参数的选择、探伤试块、检测面、检测灵敏度、验收标准等内容作出了规定,但是对如何确定缺陷位置,几种典型缺陷如何检测等内容未作出规定,给广大无损检测工作者在对此类焊缝进行超声波检测时带来一定困难,虽然广大高级无损检测技术专业工作者为解决 T 型接头和管座角接头这一焊接和检测均为薄弱的焊缝检测问题进行了大量试验,作出了很大努力,且已经解决了其中某些检测技术问题,但是仍然存在一些急需解决的重要技术问题,本文就这一问题

进行论述。

## 1 T 型接头与管座角接焊缝的结构形式

### 1.1 T 型接头类型

#### 1.1.1 I 类接头类型

见图 1 I 类 T 型接头示意图。

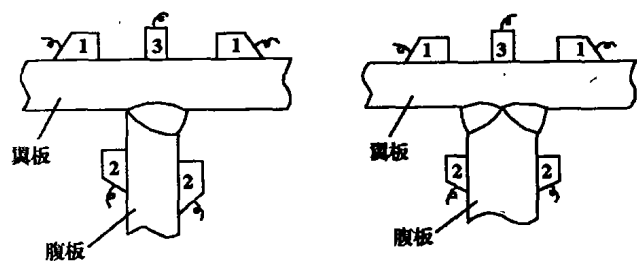


图 1 I 类 T 型接头示意图

#### 1.1.2 II 类 T 型接头

见图 2 II 类 T 型接头示意图。

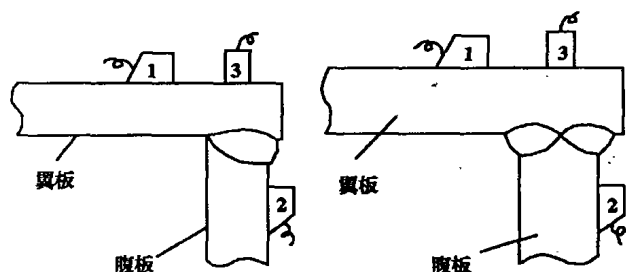


图 2 II 类 T 型接头示意图

### 1.1.3 Ⅲ类 T 型接头

见图 3 Ⅲ类 T 型接头示意图。

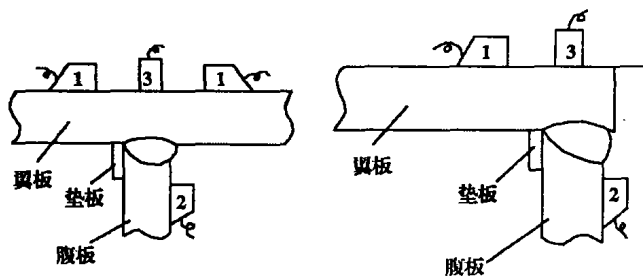


图 3 Ⅲ类 T 型接头示意图

### 1.2 管座角接头焊缝

#### 1.2.1 插入式管座角接头焊缝

见图 4 插入式管座角接头焊缝示意图。

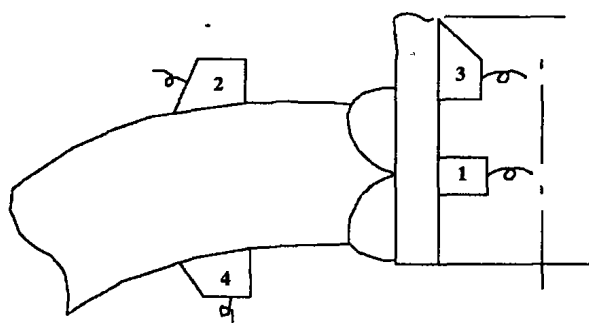


图 4 插入式管座角接头焊缝示意图

#### 1.2.2 安放式管座角接头焊缝

见图 5 安放式管座角接头焊缝示意图。

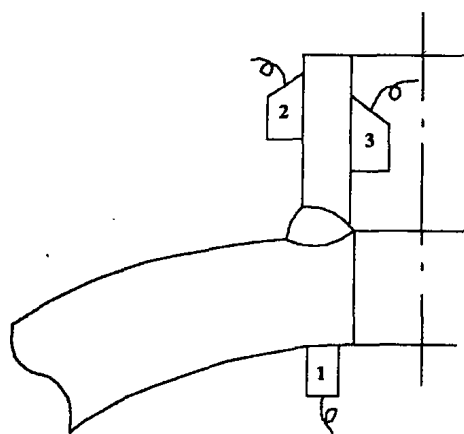


图 5 安放式管座角接头焊缝示意图

## 2 关于声束入射方向与扫查范围

声束入射方向和扫查范围确定的原则有二点：一是确保声束入射方向尽量与所检测的主要缺陷垂直，二是声束的扫查范围必须确保扫查到 T 型接头焊缝和管座角接焊缝的全体积及热影响范围。为此，必须合理选择探测面和斜探头的入射角度。

### 2.1 T 型接头焊缝的检测面和斜探头 K 值

第一种检测方法：

用一种 K 值 ( $K_1$  或  $K_2$ ) 的斜探头在如图 1 或图 2 或图 3 所示翼板外侧位置 1 利用直射波作单面双侧探伤，当发现缺陷后再用另一种 K 值探头作进一步复查，确定缺陷的方向、位置和埋藏尺寸。

第二种检测方法：

用直探头或双晶直探头在如图 1 或图 2 或图 3 所示位置 3 检测焊缝与翼板间未焊透或未熔合，翼板侧面焊缝下层状撕裂及焊缝中其它缺陷。

第三种检测方法：

用斜探头在如图 1 或图 2 或图 3 所示的腹板上位置 2 利用直射波和反射波 (一、二次波) 进行探测，可探测根部和中间未焊透、腹板侧未熔合及焊缝中其它缺陷。当腹板厚度大于 25 mm 时，可用  $K_1$  和  $K_2$  探头联合探测，当腹板厚度小于或等于 25 mm 时可用  $K_1$  和  $K_{2.5}$  探头联合探测。

对根部未焊透和腹板侧未熔合及热影响区裂纹等缺陷，用  $K_1$  探头效果较好，当一次波探不到焊缝根部时，可适当增加探头 K 值或减小探头前沿距离。

在实际探测时，可选用第一种探测方法为主，并辅以第二种探测方法为辅进行联合探测，也可选用第三种探测方法为主并辅以第二种探测方法为辅进行联合探测。

### 2.2 管座角接头焊缝的检测面和斜探头 K 值

2.2.1 插入式管座角焊缝检测方法按图 4 所示，采用直探头在接管内壁于位置 1 进行探测；采用斜探头在筒体外壁位置 2 利用一次波与二次波进行探测；对厚壁筒体也可在筒体内壁探测；采用斜探头在接管内壁位置 3 利用一次波进行探测，也可在接管外侧利用二次波探测。斜探头 K 值可根据板厚选择，当板厚小于或等于 20 mm 时可选用  $K_1$  和  $K_{2.5}$  联合探测，当板厚大于 20 mm 时可选用  $K_1$  和  $K_2$  联合探测。

2.2.2 安放式管座角焊缝如图 5 所示，按下列方法探伤：

采用直探头在筒体内壁于位置 1 进行探测，采用斜探头在接管外侧利用二次波于位置 2 进行探测，采用斜探头在接管内侧面位置 3 利用一次波进行探测。斜探头 K 值按插入式管座角焊缝要求选择。

### 3 关于扫描线比例

#### 3.1 T型接头焊缝探伤扫描线比例调节

当板厚小于或等于 25 mm 时,扫描线比例利用 CSK-ⅢA 试块推荐按深度 2:1、水平 2:1 或水平 1:1 调节。当板厚大于 25 mm 时,扫描线比例利用 CSK-ⅢA 试块推荐按深度 1:1 调节。

#### 3.2 管座角焊缝探伤扫描线比例调节

直探头探伤时,可利用工件上或试块上已知尺寸的底面回波来调整适当比例。斜探头探伤时,为有利于对缺陷判断,推荐声程比例法,即利用 CSK-ⅠA 或 IW<sub>2</sub> 试块按声程比例调节,使最大探测声程位于探伤仪扫描线上第 6~8 格之间。

### 4 关于检测灵敏度

T型接头和管座角接头焊缝超声波探伤时,检测灵敏度应根据所探产品规定执行的标准要求调节。当探测曲面工件时,如探头尺寸与探测面曲率半径之间满足第 5 条较高要求时,一般可不必进行修正,如要精确探测则可比平板试块调节时提高 2 dB 左右,如满足第 5 条一般要求,一般也不修正,如要精确探测,则可比平板试块调节时提高 3~6 dB,表面补偿可根据工件表面粗糙度具体情况,按相应标准规定进行补偿。

### 5 关于曲面探伤的有关问题

5.1 当探头与曲面工件接触面最大尺寸  $W$  及曲面工件直径  $D$  满足下式时,可按平板工件要求进行探测,一般可不必进行检测灵敏度曲面修正,如欲进行精确探测灵敏度补偿,按上述第 4 条要求执行。

5.1.1 一般要求时:

$$W \leq \sqrt{2D} \quad (1)$$

式中  $W$ —探头与工件接触面最大尺寸,对直探头为探头直径(此时晶片尺寸比此值还要小),对斜探头,当作筒体纵向探测时为探头宽度,作周向探测时为探头接触面长度

$D$ —工件直径(在外部探测时为工件外径内部探测时为工件内径。此时,探头接触面与工件最大间隙  $h \leq 0.5 \text{ mm}$ )

其耦合效果约为平板工件的 50% 左右。

5.1.2 较高要求时

$$W \leq \frac{1}{2} \sqrt{2D} \quad (2)$$

此时探头接触面与工件最大间隙  $h \leq 0.06 \text{ mm}$ ,其耦合效果约为平板工件的 80% 左右。

5.2 当探头接触面尺寸与工件直径不能满足式(1)和(2)时,就应采用曲面试块调节探伤条件

5.2.1 直探头探伤,曲面试块的探头接触面曲率半径应与工件曲率半径相同,材质也应相同。试块反射体按所执行的标准要求。

5.2.2 斜探头探伤曲面试块材质和曲率半径与工件相同。其反射体可为离探测面一定深度  $h$  的  $\varnothing 2$  横孔。

此时斜探头入射点可在任一标准试块 90° 棱角上测试。斜探头折射角可按图 6 所示方法测试:见图 6 斜探头用曲面试块测定折射角

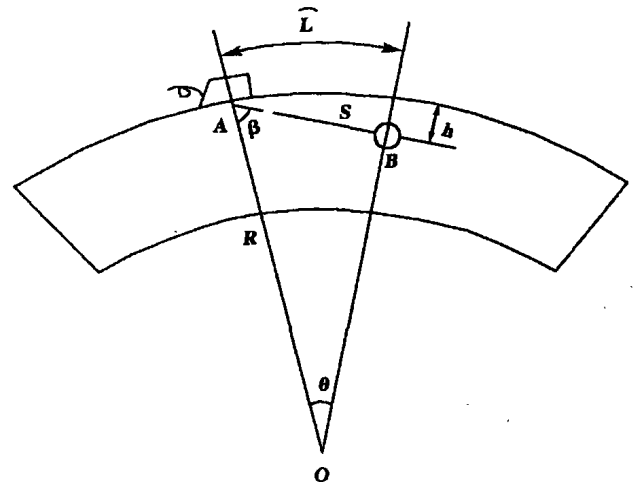


图 6 斜探头用曲面试块测定折射角

设  $A$  为入射点,  $B$  为试块上离探测面深  $h \text{ mm}$   $\varnothing 2$  横孔,  $R$  为试块外半径,  $\beta$  为折射角,  $L$  为探头入射点至  $\varnothing 2$  横孔的弧长,可实际测量,则图 6 中  $\theta = \frac{180L}{\pi R} = 57.3 L/R$ ,探头入射点至横孔的声程  $AB = S$ ,可由仪器扫描线上横孔回波处声程读数得到,也可按下式求得:

$$S = \sqrt{R^2 + (R-h)^2 - 2R(R-h)\cos\theta}, \text{ 则斜探头折射角 } \beta \text{ 为:}$$

$$\beta = \sin^{-1} \left( \frac{R-h}{S} \cdot \sin\theta \right) \quad (3)$$

### 6 关于缺陷位置的确定

6.1 T型焊缝超声波探伤对缺陷位置确定

6.1.1 斜探头在翼板上探测

见图 7 斜探头翼板探测时缺陷波示意图。

斜探头在图7所示翼板上位置1A探测时,如焊缝中存在缺陷F,则缺陷波F出现在焊角AB'的回波B之前,缺陷F的深度和水平距离可由缺陷最大反射波在扫描线上位置确定,只要读出其中一个(如深度)值,另一个(如水平距离)值可根据探头K值换算出。缺陷波F一般出现在一次波声程处,如经测试F波的深度小于翼板厚度T,则说明缺陷位于翼板内,反之说明缺陷F位于焊缝内,如F波深度等于翼板厚T,则说明缺陷F正在位于翼板侧熔合线处,以此可为提供判断缺陷性质的依据。

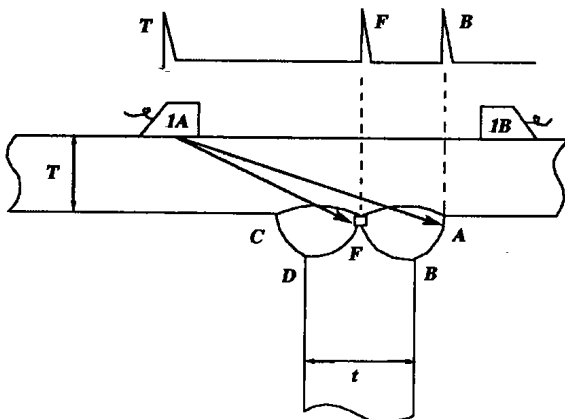


图7 斜探头翼板探测时缺陷波示意图

斜探头在图7所示位置1A探测时,如焊角CD处无缺陷,则不出现焊角CD回波。

6.1.2 斜探头在腹板探测

见图8斜探头在腹板上探测缺陷波示意图。

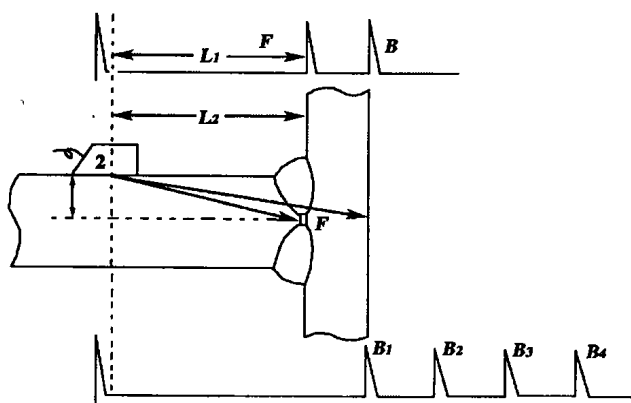


图8 斜探头在腹板上探测缺陷波示意图

斜探测头在图8所示腹板位置2探测时,如焊缝中存在缺陷F,此时缺陷波的水平距离L<sub>2</sub>和离探测面深度h的确定与平板对接焊缝相同。如缺陷波在扫描线上水平距离读数L<sub>1</sub>大于探头到翼板实际距离L<sub>2</sub>时,说明缺陷在翼板内,反之则说明缺陷在焊缝内,如L<sub>1</sub>=L<sub>2</sub>,则缺陷正好处于翼板侧熔合线处,

以此可为判定缺陷性质提供依据。

6.1.3 直探头或双晶直探头在翼板外侧如图1所示位置3探测时对缺陷的定位方法与钢板相同。当缺陷深度小于翼板厚度时,说明缺陷在翼板内,当缺陷深度等于翼板厚度时,缺陷位于熔合线处,缺陷深度大于翼板厚度,缺陷位于焊缝内。

6.2 管座角接焊缝超声波探伤对缺陷位置的确定

6.2.1 插入式管座角焊缝超声波探伤缺陷位置的确定

●斜探头在筒体外圆面探测,如图4所示,当斜探头在筒体外面探测插入式管座角焊缝时,由于管座角焊缝相贯线呈马鞍形,当探头在筒体两最高点平行于筒体对准管座角焊缝探测时,可按平板对接焊缝探伤方法对焊缝中缺陷定位。当探头在筒体两最低点沿筒体周向探测管座角焊缝时,可按筒体纵焊缝探伤方法对缺陷定位。当探头在除以上四个特殊点外的其它位置探测角焊缝时,由于每一处的曲率半径不同,缺陷位置确定要根据具体探测位置的曲率大小来确定,具体确定缺陷位置的条件有三点:

一是扫描线比例按声程调节,二是在探测时探头不管在何部位均应垂直角焊缝探测,三是将相贯线角焊缝分区域定位,如图9所示按钟点分区,现分别说明:

见图9贯相线角焊缝钟点分区

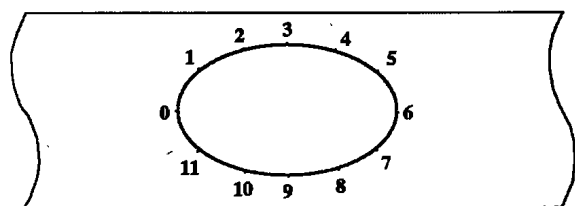


图9 贯相线角焊缝钟点分区

在位置0点和6点两点探测时对缺陷定位:

缺陷深度一次波探测:

$$h = S \cos \beta = S \text{costg}^{-1}K \quad (4)$$

缺陷深度二次波探测:

$$h = 2T - S \cos \beta = 2T - S \text{costg}^{-1}K \quad (5)$$

缺陷水平距离:

$$L = S \cdot \sin \beta = S \text{sintg}^{-1}K \quad (6)$$

式中 S—缺陷声程,可从扫描线上读取

β—探头折射角

K—探头K值

T—筒体壁厚

(未完待续)