

纵波斜入射法在电站部件探伤中的应用

张彦新,牛晓光

(河北省电力研究院,石家庄 050021)

张雄亚,张艳亮

(国华定州发电厂,河北定州 073000)

摘 要:介绍了超声纵波斜入射法在电站锅炉压力容器管座角焊缝、螺栓和奥氏体钢锻件等部件探伤中的应用。对纵波斜入射探伤中入射角度的选择、缺陷波的辨别及对比反射体的确定等进行了分析。

关键词:超声波探伤;斜入射纵波;管座角焊缝;螺栓

中图分类号: TG115. 28

文献标识码: A

文章编号: 1000-6656(2008)02-0118-03

Ultrasonic Testing for Parts of Power Plant with Slant Longitudinal Wave

ZHANG Yan-Xin, NIU Xiao-Guang

(Hebei Electric Power Research Institute, Shijiazhuang 050021, China)

ZHANG Xiong-Ya, ZHANG Yan-Liang

(Guohua Dingzhou Power Plant, Dingzhou Hebei 073000, China)

Abstract: Contrast with common vertical longitudinal ultrasonic wave, slant longitudinal wave could be applied to test the nozzle welds on vessel, header, bolts and austenite material. The distinguishment of defect wave, the determination of reflection and so on were analyzed.

Keywords: Ultrasonic testing; Slant longitudinal wave; Nozzle weld; Bolt

1 斜入射纵波的产生及特点

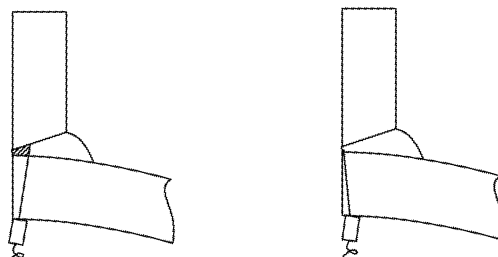
目前广为采用的超声波探伤方法按超声波的类型可分为纵波、横波和表面波探伤,其中纵波探伤多采用超声纵波垂直入射至试件探测面的方法,但限于工件形状和侧壁干涉等原因,垂直入射纵波的应用受到很大限制。笔者通过试验证实,采用具有一定倾斜角度的超声纵波进行探伤可以达到更好的检测效果。

垂直入射的超声纵波是由与被检工件表面平行的晶片发出的超声波垂直入射到被检工件中产生的。当晶片和被检工件表面成一定角度时,由波的折射原理可知,当入射角小于第一临界角时,钢中会同时产生折射纵波和折射横波,利用钢中折射纵波进行探伤的方法可称为纵波斜入射探伤法。

2 纵波斜入射探伤的几种典型应用

2.1 容器内壁管座角焊缝检验

容器安放式管座角焊缝采用内壁直射波探伤时,由于容器筒体为曲面,直射纵波探伤时存在不可探区(图中阴影部分)(图 1a),且由于侧壁干涉的影响,直探头在靠近管孔位置进行探伤时,孔侧边反射的纵波或横波与直接传播的纵波相遇产生干涉,改变了探头的指向性和声束对称性,使探伤灵敏度极



(a) 纵波垂直入射

(b) 纵波斜入射

图 1 容器管座角焊缝探伤

收稿日期: 2007-01-10

作者简介: 张彦新(1973—),男,高级工程师,主要从事电站特种设备及金属监督部件的无损检测技术研究及应用。

大值偏离探头轴线。在靠近开孔边缘的区域内,对于角焊缝容易出现根部未焊透、未熔合、裂纹等缺陷,探头主声束不能扫查到或探伤灵敏度很低,容易造成缺陷漏检。

采用斜入射纵波探伤可以很好地解决普通直射波存在的不足,如图 1b 所示,由于探头主声束与探头轴线成一定的夹角,探头主声束可以检测到普通直探头不能检测的区域,此时接收到的根部缺陷波为端角反射波。该探伤方法对角焊缝容易产生的根部未焊透、未熔合和裂纹等缺陷有很高的灵敏度。

河北南部电网某发电厂 7 号锅炉汽包材质为 BHW35,壁厚为 85 mm,12 根分散降水管座的规格为 $\phi 159 \text{ mm} \times 16 \text{ mm}$ 。大修检验时发现该管座角焊缝存在未焊透等外观缺陷。为了查明焊缝的内部质量,针对角焊缝的规格,采用了 5 MHz, $\phi 16 \text{ mm}$, 9° 探头,以 $\phi 1 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}-9 \text{ dB}$ 灵敏度进行检测,检测结果见表 1。可以看出,采用该方法可以得到满意的检验结果。本次检测同时采用了较低频率和较小晶片直径探头进行了测试。对比测试结果表明,采用较大直径、较高频率探头灵敏度较高。因此探伤时在满足耦合及穿透性要求的基础上,应尽量采用高频率大直径晶片探头。同时为了便于区分工件中存在的折射纵波和折射横波并得到较高的反射灵敏度,在满足工件结构尺寸要求的基础上应尽量采用较小折射角的探头。

表 1 某汽包管座角焊缝的检测 results

编号	缺陷	超声波探伤结果 ¹⁾	X 射线探伤结果
1	夹渣	3.6 dB, 长 13 mm	条渣 14 mm
2	夹渣	0 dB, 点状	夹渣 $\phi 3 \text{ mm}$
3	夹渣	0 dB, 长 12 mm	条渣 13 mm
4	裂纹	6.1 dB, 长 22 mm	裂纹 25 mm
6	夹渣	0 dB, 点状	夹渣 $\phi 4 \text{ mm}$
8	未焊透	10.8 dB, 长 20 mm	未焊透 22 mm

根据理论分析,对于 5 MHz 纵波探头三倍近场区以外 $\phi 1 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$ 短横孔的声压反射强度与同声程的 $\phi 2 \text{ mm}$ 平底孔声压反射强度相同,可以以 $\phi 1 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$ 的短横孔代替 $\phi 2 \text{ mm}$ 平底孔作为标准反射体来确定探伤灵敏度。试验对该计算结论进行了验证,结果为在实际探伤过程中两种反射体反射波高相当,即纵波斜入射探伤时可以采用 $\phi 1 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$ 短横孔代替 $\phi 2 \text{ mm}$ 平底孔来调节探伤灵敏度。

2.2 集箱外壁管座角焊缝检验

集箱管座角焊缝剖面如图 2 所示。由于集箱的管座比较密集,管座间距通常很小,无法采用常规横波探伤。采用角度很小的斜入射纵波探头探伤时,利用管座间很小的间隙即可完成整个焊缝截面的扫查。采用专门制作的小角度纵波探头从集箱侧入射,配合小径管斜探头从管座侧入射的超声波探伤方法,取得了很好的检验效果。

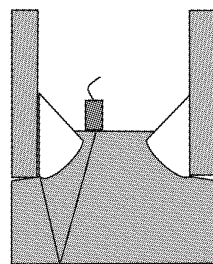


图 2 集箱管座角焊缝纵波斜入射探伤示意图

试验制作了四种不同规格的试块,试块上分别刻有不同深度槽,模拟管座角焊缝未焊透和裂纹缺陷,并制作 $\phi 1 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$ 短横孔进行灵敏度比较试验。试块的耦合端面分为平面和曲面两种形式,以模拟集箱外壁不同的检测位置。以该试块调整灵敏度后在专门制作的带有缺陷的角焊缝试样上进行检测,并和射线探伤结果进行对照分析。

分别采用 $5P\phi 10-9^\circ$, $5P\phi 10-12^\circ$ 和 $5P\phi 10-17^\circ$ 小角度纵波探头对 CSK-III A 标准试块和自制试块上的 $\phi 1 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$ 孔进行试验,结果表明:对于不同折射角的探头,折射角越小,相同声程处 $\phi 1 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$ 横孔的反射波越强。因此在满足扫查整个焊缝截面结构的前提下,应尽量选择折射角小的探头。

试验结果同时表明集箱管座角焊缝轴向和周向探伤的灵敏度差别很小,与 JB 1152—1981《锅炉和钢制压力容器对接焊缝超声波探伤》附录 2 中“筒体纵缝探伤不适用范围及修正范围的确定”对曲面探伤时的修正公式计算结果相符,实际探伤中可忽略其差别。

根据试验结果统计,推荐采用的灵敏度为:

- ① 采用专用模拟未焊透缺陷试块时,以 1 mm 深切割槽作为判伤灵敏度。
- ② 采用 CSK-III A 试块时,以 $\phi 1 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}+2 \text{ dB}$ 作为判伤灵敏度。

2.3 螺栓

螺栓探伤的重点是对运行中可能产生的裂纹进行检测。试验选取三种电厂常见规格螺栓 M36, M42 和 M120 各一条。在三条螺栓的第一扣螺纹根部加工深度分别为 0.5, 1 和 2 mm 的人工缺陷槽。分别将普通直探头和纵波斜入射探头在 DL/T 694—1999《高温紧固螺栓超声波检验技术导则》

LS-1 试块上调整好扫描比例,以该试块 140 mm 处的通孔反射波调至满屏 80% 为基准探伤灵敏度,其中 M36 螺栓部分试验结果见表 2。

表 2 M32 螺栓模拟裂纹检测结果

缺陷深度/mm	探头型式	缺陷距探测面距离/mm	缺陷波 ¹⁾ 强度/dB	螺纹波 ²⁾ 高/%
2	5P14-D	71(本侧)	-8	低
	5P7×12β8.5°	71	-18	低
	5P14-D	93(对侧)	+9.1	10
	5P7×12β8.5°	93	-7	低
1	5P14-D	70(本侧)	+2.2	20
	5P7×12β8.5°	70	-5	20
	5P14-D	96(对侧)	+15.2	30
	5P7×12β8.5°	96	-2	低
0.5	5P14-D	70(本侧)	+15.3	40
	5P7×12β8.5°	70	-2	30
	5P14-D	94(对侧)	+24	40
	5P7×12β8.5°	94	+1.7	20

注:1) 为缺陷波与 140 mm 处 $\phi 1 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}$ 通孔的幅度差。

2) 为将缺陷波调至满屏 80% 时,缺陷波附近的螺纹波高。

由试验结果分析可见:

(1) 纵波斜入射探头对模拟裂纹缺陷产生的缺陷回波波形清晰、稳定、再现性好、信噪比高,螺纹波较规则;纵波直探头产生的缺陷波不稳定、再现性较差、信噪比低(对于深度 $\leq 1 \text{ mm}$ 的缺陷)、螺纹波不规则。

(2) 随着模拟缺陷距探测面距离的增大,纵波直探头对缺陷的检出率下降、信噪比降低,纵波斜探头仍具有较高的检出灵敏度和信噪比。

(3) 随着模拟缺陷尺寸的减小,纵波直探头对缺陷的检出率下降、信噪比降低,容易漏掉微小缺陷,纵波斜探头仍具有较高的检出灵敏度和信噪比。

(4) 对于等强细腰螺栓,如果螺纹和螺杆部位直径相差较大,即使探测面对侧模拟缺陷较大也很难发现,纵波斜入射探头则可以检出。

纵波斜入射检验螺栓的灵敏度比直纵波探伤灵敏度高、发现小缺陷能力强,原因是当波束轴线垂直于缺陷时,缺陷回波最高。用纵波直探头探测螺栓表面裂纹类缺陷,由于波束轴线与缺陷不相交和探头靠近螺栓外壁时侧壁干涉的影响,缺陷反射波声压较低。用纵波斜探头检测螺栓的人工缺陷时,移动探头,可使倾斜入射的超声波主声束入射到缺陷上形成端角反射,回波声压较高,缺陷回波很强。

2.4 其它应用

对奥氏体钢锻件等晶粒粗大的部件采用超声横波检验时,由于横波的波长相对晶粒尺寸较短,超声横波的衰减较大且晶界的散射明显,严重影响超声波的传输和缺陷回波的辨别。采用倾斜入射的超声波纵波来检测,由于纵波波长较长,可以很好地解决超声波衰减过大及晶界散射杂波影响缺陷辨别的问题,从而得到较好的缺陷回波显示。

厚壁圆筒形部件周向探伤时,超声横波能探测到的最大壁厚受到第一临界角的限制。采用纵波倾斜入射的方法可以解决由于圆筒形工件壁厚过大导致的横波不能扫查到工件内壁的问题。

另外对奥氏体不锈钢、镍合金等堆焊层的检测,由于材料晶粒粗大且指向性强,采用倾斜入射的纵波检测可以克服横波衰减及散射等问题,得到更好的检测效果。

3 纵波斜入射探伤应注意的问题

3.1 斜入射纵波入射角的选择

纵波倾斜入射到钢和空气界面的声压反射率在入射角不超过 10° 时,声压最低反射率不小于 95%。且入射角越大,声压反射率越低(入射角大于 70° 后又逐渐升高)。因此在满足对缺陷进行检测的基础上应尽可能选择较小的入射角,实际选用的纵波斜入射探头角度一般不超过 10° 。

3.2 辨别同时存在的纵波和横波

由超声波的折射原理可知,采用纵波倾斜入射探伤时,被检工件中同时存在折射横波及折射纵波^[1],可以从超声波的传播时间及对两种反射波的不同声压进行区分。折射纵波和折射横波声程差 $\Delta\tau$ 的计算公式为:

$$\Delta\tau = T \left(\frac{\cos\beta_1}{C_1} - \frac{\cos\beta_s}{C_s} \right) C_1$$

式中 T 为反射体声程, β_1 为折射纵波角度, β_s 为折射横波角度, C_1 为钢中的纵波声速, C_s 为钢中的横波声速。对于纵波斜入射探伤一般入射角较小, $\cos\beta_1$ 与 $\cos\beta_s$ 约等于 1, 钢中的 $C_1 = 5\,900 \text{ m/s}$, $C_s = 3\,230 \text{ m/s}$, 代入上式可得 $\Delta\tau \approx 0.8T$ 。即利用纵波斜入射探伤时,折射横波在折射纵波信号 0.8 倍声程位置出现,且横波的反射声压约为纵波的 $1/3$, 故根据反射波传播时间和回波高度可以明确区分折射纵波和横波信号。

3.3 对比标准反射体的选择

在利用倾斜入射纵波进行探伤时,如果采用平

机械工业上海无损检测培训中心 2008 年培训通知

机械工业上海无损检测培训中心长期承担机械行业无损检测人员资格培训工作,经中心培训的各级无损检测人员已超过两万人。2008 年中心继续采取滚动办学方法,举办各类无损检测方法的初级(I 级)和中级(II 级)培训班。具体办班日期为:

超声探伤

3 月 11 日—3 月 29 日 5 月 6 日—5 月 24 日
6 月 17 日—7 月 5 日 8 月 12 日—8 月 30 日
10 月 14 日—10 月 31 日 12 月 9 日—12 月 27 日

磁粉探伤

2 月 26 日—3 月 8 日 4 月 1 日—4 月 12 日
5 月 27 日—6 月 7 日 7 月 8 日—7 月 19 日
9 月 2 日—9 月 13 日 11 月 4 日—11 月 15 日

渗透探伤

4 月 14 日—4 月 19 日 6 月 10 日—6 月 16 日
7 月 21 日—7 月 28 日 9 月 16 日—9 月 23 日
11 月 17 日—11 月 22 日

射线探伤

4 月 15 日—4 月 26 日 7 月 29 日—8 月 9 日
11 月 25 日—12 月 6 日

涡流探伤

6 月 16 日—6 月 20 日 12 月 8 日—12 月 13 日

培训执行 GB 9445—2005《无损检测 人员资格鉴定与认证》标准(等同于 ISO 9712:1999)。该标准规定,一种给定的 NDT 方法应用于一个或多个工业门类(焊接件、锻件、铸件或管件等),相应考

核采取不同的试题和工件。培训方法的工业门类为:

UT:① 焊缝;② 锻件、板、棒、型材;③ 铸件;
④ 管材、管道。

RT:① 焊缝;② 铸件。

MT:① 焊缝;② 锻件、板、棒、型材;③ 铸件。

PT:① 焊缝;② 锻件、板、棒、型材;③ 铸件。

请学员结合工作需要和时间安排,根据培训计划提前报名。请来电索取正式培训开班通知函和报名表(报名表上需加盖单位公章和医疗机构视力证明章)。报名时请说明参加的培训方法、工业门类和日期,每种方法需交三张一寸登记照。

培训学员经理论、实践考试合格后,颁发中国机械工程学会无损检测学会的无损检测人员资格证书(新证)。培训中心还可按企业及用户需要,接受合作培训及现场委托培训,欢迎联系接洽。

培训费用:ET 为 1 800 元/期;UT,RT 为 1500 元/期;MT,PT 为 1 300 元/期(含资料)。

考试费用:按工业门类 300 元/项;增加一门考试,增加 100 元/门。

联系人:丁杰,季敬元;电话:021-65556775—412;传真:021-55888795;E-mail:dingding_19@163.com;报到地点:机械工业上海无损检测培训中心,上海市邯郸路 99 号 1 楼(上海材料研究所内)。

(机械工业上海无损检测培训中心)

底孔作为标准反射体,就要求平底孔与声束轴线垂直,且要包括不同声程和不同直径的平底孔,需要制作系列标准反射体试块,不适应现场应用。由于纵波斜探头的主声束和晶片轴线成一定夹角,类似于横波斜探头,因此可采用横波探伤常用的短横孔作为标准反射体。短横孔反射体试块的优点是不同深度的短横孔可以在一个试块上面,试块的体积小、携带方便。通过计算可得 5MHz 的纵波斜入射探伤时,在 3 倍近场区以外 $\phi 1\text{ mm} \times 6\text{ mm}$ 短横孔的反射声压与 $\phi 2\text{ mm}$ 平底孔相同,因此可以以 $\phi 1\text{ mm} \times 6\text{ mm}$ 短横孔代替 $\phi 2\text{ mm}$ 平底孔作为标准反射体来确定探伤灵敏度。

4 结论

利用倾斜入射的超声纵波进行探伤可以解决常规超声波探伤方法无法解决的问题,弥补直射纵波探伤时工件侧壁干涉、粗晶粒材料横波探伤时声波衰减严重和晶界散射、圆筒工件壁厚过大导致横波无法检测到内壁及由于部件形状等原因无法采用常规纵横波检测等缺憾,对常规超声波检验是很好的补充。随着超声波检验技术的进步,纵波倾斜入射探伤必将有更广泛的应用。

参考文献:

[1] 胡天明. 超声波探伤[M]. 武汉:武汉测绘大学出版社, 1995.