

ASME 2013 NDE 中有关相控阵超声成像检测的要点评析 第二部分:计算机成像技术

李 衍

(无锡市锅炉压力容器学会无损检测专委会, 无锡 214026)

摘 要: 探讨 ASME 最新版(2013)第 V 卷《无损检测》第四章中有关承压设备相控阵超声成像检测的主要规定。评析承压设备焊接接头体积检测必须采用的 CI(计算机成像)技术,突出相控阵超声检测扫查的典型模式,探测布图的典型示例,以及典型缺陷的相控阵读谱精要。意在对照国情,找差距、纠偏误,使中国企业正确执行 ASME 有关规范的水平更上一个台阶。

关键词: 线扫法;E 扫法;S 扫法;相控阵超声检测规程;二维显示;三维视图;缺陷图谱

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2015)09-0001-05

Evaluation of Key Points of Phased Array Ultrasonic Testing in ASME 2013 NDE Part 2: Computerized Imaging Techniques

LI Yan

(NDT Subcommittee of Wuxi Boiler and Pressure Vessel Society, Wuxi 214026, China)

Abstract: Present paper discusses the key requirements of phased array ultrasonic testing (PAUT) for pressure equipment presented in the updated edition of ASME Code(2013), Section V NDE, Article 4. This is the second part; evaluation of Computerized Imaging (CI) Techniques ought to be used for performing volumetric inspection of pressure equipment welds, in which emphasis is laid on the typical scanning patterns with PAUT, on the typical scan plan cases for butt welds and Tee welds, and also on the interpretation essentials of typical welding flaws detected by PA. The intention is to compare with our industrial standards and to look at our national condition, thus we can find out the gap and correct errors in this field, so that making the Chinese enterprises perform the referencing ASME Code Section raised to a higher level.

Keywords: Linear scan; E-scan; S-scan; PAUT procedure; 2-D display; 3-D display; Flaw images

能有效表征和评定超声显示是计算机成像(CI)技术的重大贡献,但 CI 技术也可用于改善探伤扫查的基本功能。计算机处理的数据分析,可与设备自动或半自动扫查机构联用,获取缺陷二维或三维图像,提高承压设备重要部件和结构的检测能力。计算机处理可用于定量评定 UT(超声检测)或其他 NDE(无损检测)法检出的缺陷类型、大小、形状、位置和方向(即完成缺陷“五定”:定性、定量、定形、定位、定向)。

ASME 2013 有关 PAUT(相控阵超声检测)的标

准主要有五个:① MA-IV PA(相控阵)线阵手动光栅法。② MA-V PA 交集扫:E 扫+线扫法和 S 扫+线扫法。③ NA-P PA 图谱解读。④ SE-2 700 焊缝 PAUT 法。⑤ SE-2 491 PA 仪器和系统特性校验。

1 PA 线阵手动光栅法

ASME 现行版规定承压设备焊缝 UT 应使用全自动或半自动设备进行。但手动 UT 仍然是全自动或半自动 UT 的基础。即使焊缝全部全自动或半自动 UT,也允许个别区域用手动法进行补充检测。MA-IV 规定了最基础的相控阵技术,PA 线阵探头和手动光栅法 UT 的技术要求,包括单一法(固定角度)、E 扫法(固定角度)和 S 扫法(变角变向)。

收稿日期:2014-10-25

作者简介:李 衍(1940—),男,高级工程师,主要从事承压设备的无损检测工作。

通常,按超声探头移动方式,有光栅法和线扫法;按声束动态变化特征,有 E 扫法和 S 扫法。实际检测时,往往组合使用^[1]。

1.1 光栅法

光栅法借用了光学术语涵义:光栅扫描显示器显示图形时,电子束依照固定的扫描线和规定的扫描顺序进行扫描。UT 中是指 PA 探头作类似于光栅行踪的移动方式,典型的光栅法如图 1(a)所示。

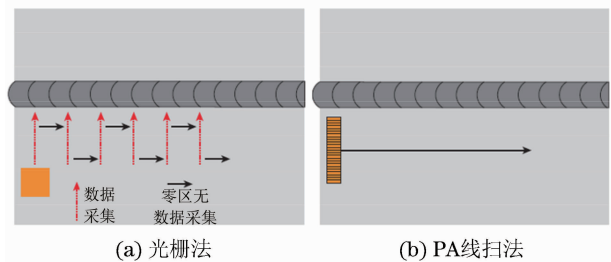


图 1 相控阵光栅法和线扫法示意

1.2 线扫法

线扫法即单轴扫描法,只用一个定位编码器(扫描轴或进位轴)来确定数据采集位置。线扫是沿一直线行程行进的一维扫查。必须提供的调整值是:① 速度。② 沿扫描轴或进位轴的行进距离范围。③ 数据采集间隔(取决于编码器分辨率)。

线扫常用于焊缝检测、腐蚀测绘等。用电子扫的线扫比常规 UT 光栅扫快一个数量级。与典型光栅法等效的 PA 线扫法如图 1(b)所示。

1.3 E 扫法

E 扫描又称电子光栅扫法,如图 2 所示,激励晶片的电子束直线移动,试件和探头均不移动。将单一聚焦法则通过多路传输,逐次递加于多组主动阵元,使压电转换产生角度恒定的超声波束,沿 PA 探头长度方向,以给定步进增量进行快速扫查。按设定的聚焦法则,E 扫法可用 0°纵波扫查,也可用斜角横波扫查。图 3 即表示以单一定角程控的 E 扫,颇似常规单晶探头产生的斜声束。探头无需前后移动,声束即可以单一探头-焊缝距离,扫查焊缝整个横断面^[2-3]。

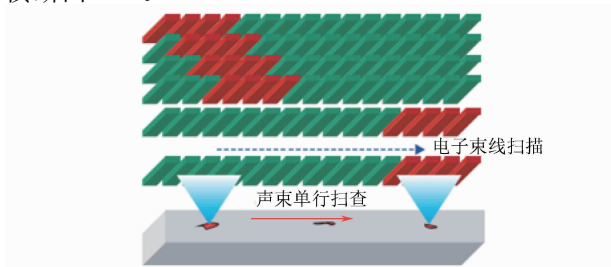


图 2 相控阵 E 扫法原理示意

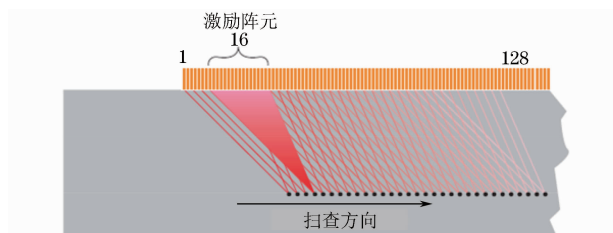


图 3 跨越探头长度的声束定角 E 扫原理示意

1.4 S 扫法

S 扫法又称扇形扫法、扇区扫法或方位角扫法,如图 4 所示。S 扫法,可指声束移动,也可指数据显示:① 声束移动是指将一组聚焦法则,逐次递加于多组阵元,通过压电转换,使其在被检材料中产生一系列给定角度范围的扇形声束。② 数据显示是指由特定阵元组产生的所有 A 扫描二维视图,这些 A 扫描的时间延迟和声束折射角均经校准。扫查体积已校准的 S 扫图像一般显示扇形图像,图像中缺陷形位可测。

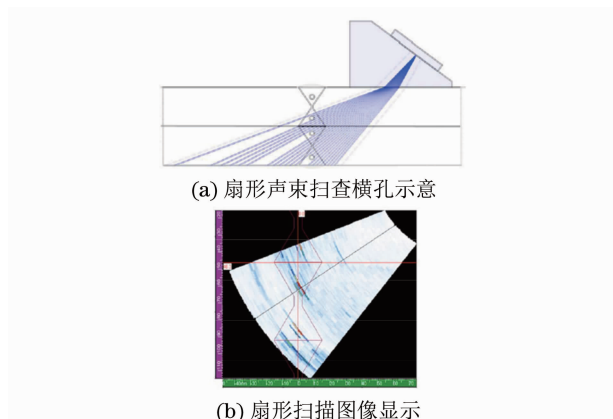


图 4 相控阵 S 扫法示意

2 PAUT 规程及其评定

PAUT 规程和规程评定应同时满足一般 UT 通用量化要求和 PAUT 特定量化要求,如表 1 所示,其中第 3 项中的有效高度是指由聚焦法则中使用的第一个和最后一个晶片的外端两者之间测出的距离。第 5、6 项是指附加的 E 扫要求,第 7、8 项是指附加的 S 扫要求。

3 PA 校验要求

PA 系统校验细则详见 SE-2491 标准。以下是 MA-IV 提到的两项一般要求^[4]。

3.1 聚焦法则

聚焦法则定义为 PA 操作文件,用于确定激活的探头阵元及其时间延迟法则,由此确定声束聚焦

表 1 ASME 规定的 PA 手动光栅扫查 UT 工艺
特定量化要求

序号	必须量化的 PAUT 特定参数
1	探头(阵元或晶片尺寸,阵元数,阵元芯距,阵元间距)
2	焦点范围(识别平面,焦点深度,或声程距离)
3	虚拟声阑尺寸(阵元数,阵元宽度、有效高度)
4	楔块角度
5	虚拟声阑起始和终止晶片号数(如 1~126,10~50 等)
6	虚拟声阑增量变化(晶片步进数,如 1,2 等)
7	扫查角度范围(如 $40^{\circ}\sim 50^{\circ}$, $50^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 等)
8	扫查角度增量变化(如 0.5° , 1° 等)

位置。聚焦法则适用于声波的发射和接收。校验与检测用的聚焦法则也应相同。图 5 即为 PA 聚焦原理,图 6~8 为 PA 聚焦法则的三个应用示例(水平聚焦,斜角聚焦和深度聚焦)。

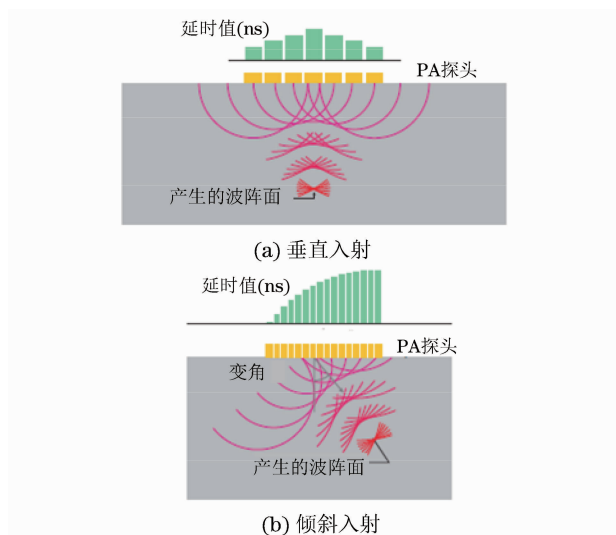


图 5 PAUT 聚焦原理示意

3.2 声束校验

检测用的所有声束均应校验,以提供检测声程中距离和波幅已作校准的量值。此声束校验应包括对楔块声程变化和楔块衰减效应所作出的补偿修正。

4 PA 经典扫法

MA-V 所规定的(E 扫+线扫)法和(S 扫+线扫)法,可称之为 PA 经典扫法,是 PAUT 完成焊接接头体积检测最典型、常用的扫查方式。具体说来,MA-V 规定了用线阵列 PA 探头,通过声束角度固定的 PA 电子扫描(即 E 扫)或声束角度可变的扇形扫查(即 S 扫),进行编码线扫查、完成体积检测的

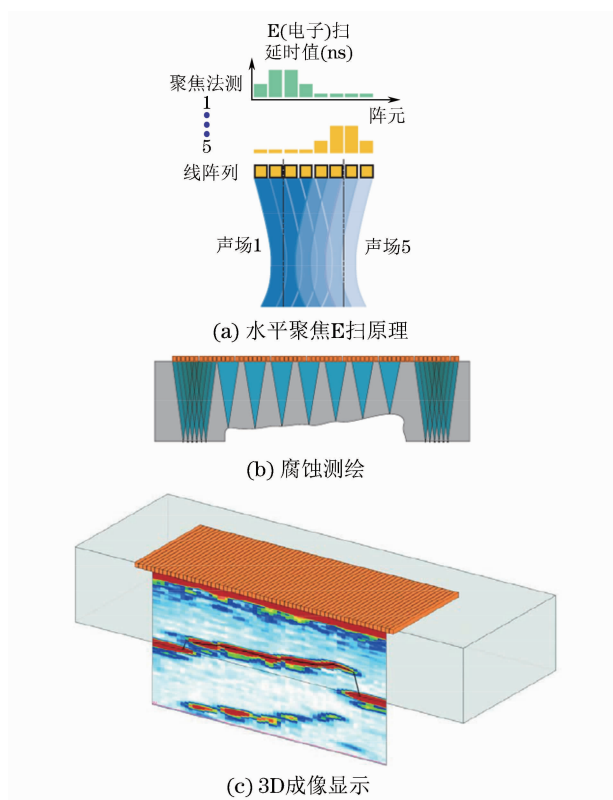


图 6 相控阵 E 扫水平聚焦应用示例

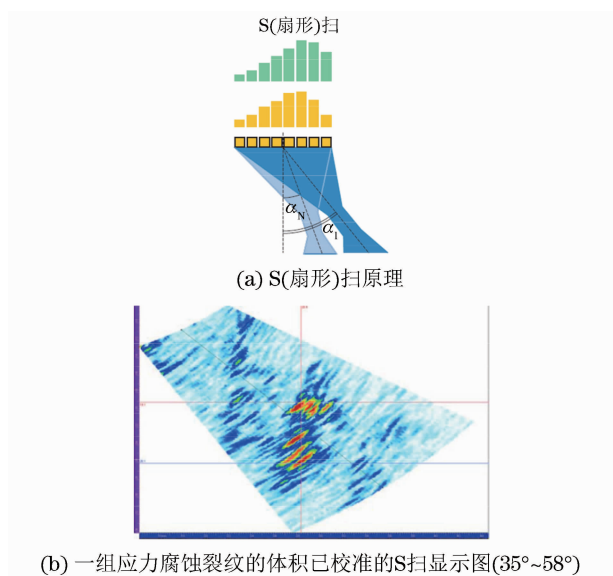


图 7 相控阵 S 扫斜角聚焦应用示例

方法要求^[5]。

4.1 焊缝 PA 特征

对焊缝作线扫(也称“行扫”)时,探头以固定的焊缝-探头距离、平行于焊缝轴线作单道扫查。探头在线扫每一位置,相控阵对准焊缝作 E 扫或 S 扫,即令声束对焊缝整个横断面作定角或变角扫查,借助于沿焊缝长度方向的线扫动作,完成对被检焊缝

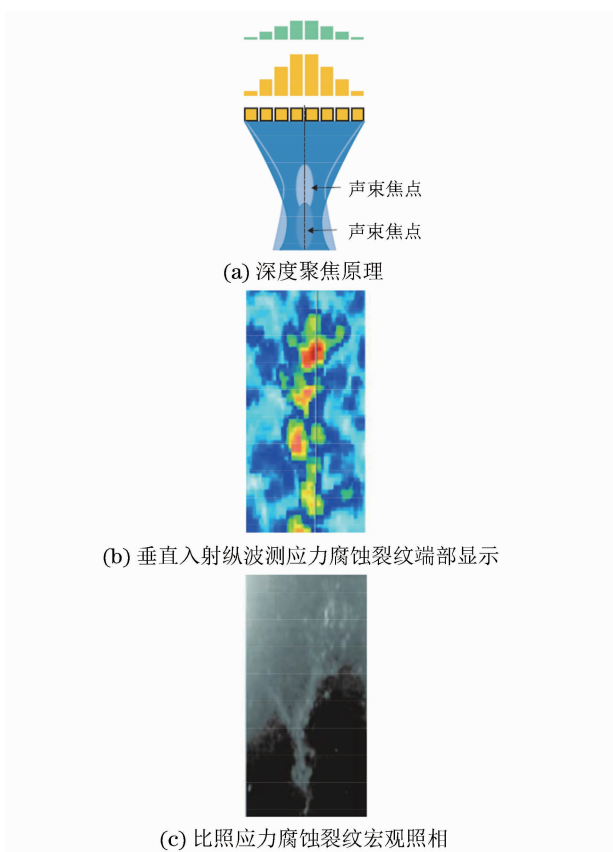


图8 相控阵深度聚焦原理及应用示例

的全体积检测。图9即为用两种角度的横波(SW) E扫法,即 60° 横波(一次波)+ 45° 横波(二次波),结合线扫法,完成焊缝体积检测的示例,这里可用一个PA探头在焊缝两侧分别作E扫和线扫,也可用两个PA探头在焊缝两侧同时作E扫和线扫。

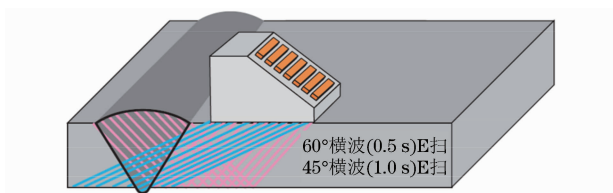


图9 用相控线阵以两种角度的E扫法+一维线扫法检测焊缝体积示例

4.2 PA线扫UT规程及其评定

用相控线阵探头作E扫和S扫+线扫时,其检测规程和规程评定应同时遵循一般UT通用量化要求和PAUT特定量化要求(见表2)。

4.3 PA扫查布图

用线阵探头,作相控阵E扫(固定角度)和S扫描码线扫检测前,ASME要求必须先给出扫查布图或施探示意图,示出探头的位置、移动方式和声线跟踪路程,以为焊缝检测提供标准化和有重复性的

表2 ASME规定的PA线阵探头线扫检测规程必须量化的特性要求

变量分类	序号	必须量化的PAUT特定工艺参数
重要变量	1	探头(阵元或晶片尺寸,阵元数,阵元芯距,阵元间距)
	2	焦点范围(识别平面,焦点深度,或声程距离)
	3	虚拟声阑尺寸(阵元数,阵元宽度、有效高度)
	4	楔块角度
	5	扫查布图(施探图)
	6	光栅角度
	7	虚拟声阑起始和终止晶片号数(如1~126, 10~50等)
	8	虚拟声阑增量变化(晶片步进数,如1,2等)
	9	扫查角度范围(如 $40^\circ \sim 50^\circ$, $50^\circ \sim 70^\circ$ 等)
	10	扫查角度增量变化(如 0.5° , 1° 等)
	11	虚拟声阑晶片序号(第一个和最后一个)
次要变量	12	焊缝中心线参考点标记

方法。扫查布图中除含有表2所示数据(重要变量11项,次要变量1项)外,还应指明声束角度和相对于焊缝轴线参考点的方向、焊接接头的几何形状尺寸、以及检测区域数^[6]。表中第6~8项是附加的E扫要求,第9~11项是附加的S扫要求。

图10~13给出了薄板、中厚板和厚板对接接头对接焊缝及T型接头组合焊缝的典型相控阵扫查布置和声线示例(有关要领和细节,就是ASME(2013)SE-2700标准的主题内容,也是承压设备焊缝实施PAUT的重中之重,笔者已另文详述^[7])。薄壁对接焊缝应从焊缝两侧进行探测,最好从开有坡口的焊缝一侧探测(探头可接近时)。对薄壁焊缝,只要探头参数适当,声束足以全覆盖检测范围,以单一探头-焊缝距离作单行线扫即可。厚壁对接焊缝应从焊缝两侧进行探测,最好从开有坡口的焊缝一侧探测(探头可接近时)。对厚壁焊缝,可用两种或两种以上的探头-焊缝距离,或多种聚焦法则的探头-焊缝距离,进行线扫,以确保全部覆盖检测体

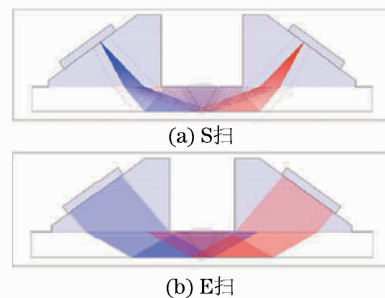


图10 薄壁和中薄壁对接焊缝的S扫和E扫原理示意

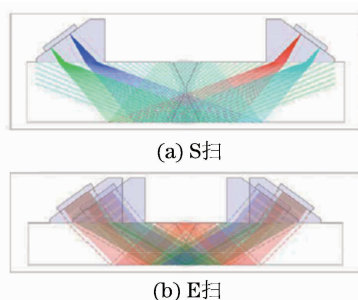


图 11 厚壁对接焊缝的 S 扫和 E 扫原理示意

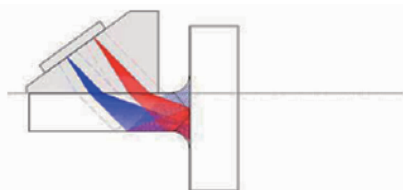


图 12 T 型接头的 S 扫(腹板侧斜探伤)原理示意

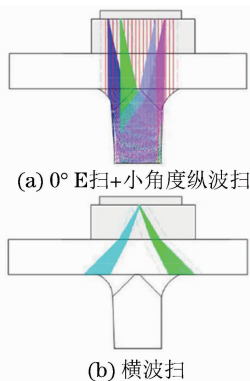


图 13 T 型接头的组合扫查(翼板外侧探伤)原理示意

积。对 T 型接头,可将斜探头置于腹板上,用类似于对接接头对接焊缝的检测方法进行探伤。腹板厚度较薄时,可只用一种探头-焊缝距离作 E 扫或 S 扫。只要可接近,斜探头应从腹板两面进行检测。只要可接近,T 型接头焊缝最好从翼板外侧进行探测。为使焊缝熔合面(K 型坡口有三个熔合面)的缺陷获得最佳检出率,可三法并举:0° E 扫+小角度纵波扫+横波扫。

4.4 仪器设备校验

PA 仪器垂直线性、水平线性和聚焦法则的校验方法及要求:前两项与常规 UT 法同。对相控阵 E 扫和 S 扫,特别提到定位编码器的校验。

用线阵探头加编码器作 E 扫或 S 扫检测前,应对所用编码器进行校验。校验间隔不超过一个月,

或在首次使用后不超过一个月;校验时,编码器至少移动 500 mm。显示值偏差应不大于实际移动距离的 1%。

4.5 扫查声束覆盖范围

要检测焊缝和热影响区体积,应使用带编码器的线阵探头,用线扫法进行检测。每次线扫查应平行于焊缝轴线,探头-焊缝距离保持不变,声束垂直于焊缝轴线。

(1) 探头离焊缝轴线的距离应借助于固定的导轨或机械装置,保持一定。

(2) E 扫的检测角度和 S 扫的角度范围,应针对被检焊接接头,适当选定。

(3) 扫查速度应能产生符合要求的图像。扫查速度的选定应根据诸多因素:如延时法则数、扫查分辨率、信号平均值、脉冲重复频率、数据采集频率、及受检体积等。被检焊缝全长作分区扫查时,相邻扫查区域之间至少应有 20 mm 重叠长度。扫查环焊缝时,第一个扫查区始端与最后一个扫查区终端,也应有相同重叠长度。

(4) 对 E 扫法来说,相邻主动声闸(即声闸增量变化)之间的重叠应至少为有效声闸高度的 50%。

(5) 对 S 扫法来说,角度扫查增量变化最大应为 1°或足以确保 50%的声束重叠。

(6) 当需用多道线扫来覆盖被检焊缝和热影响区母材时,相邻线扫之间的重叠范围,对 E 扫,应确保至少有 10%的有效声闸高度;对 S 扫,至少为 10%的声束宽度。

4.6 扫查数据记录

ASME 规定:对关注的检测区,应记录未作处理、未设门限值的 A 扫数据,最小数字化频率为检测频率的 5 倍,记录增量最大值 $\Delta R_{\max}$ 与材料厚度 t 关系如下:① $t < 75$ mm 时, $\Delta R_{\max}$ 不大于 1 mm。② $t \geq 75$ mm 时, $\Delta R_{\max}$ 不大于 2 mm。

4.7 焊缝横向缺陷的检测

对横切焊缝轴线的缺陷(如横向裂纹),可使探头对焊缝轴线倾斜一定角度,用斜平行法进行手工扫查检测。

(未完待续)

欢迎网上投稿 欢迎订阅 欢迎刊登广告