

# 焊缝超声相控阵检测 —最新国际标准介绍

李 衍

(无锡市锅炉压力容器学会无损检测专委会, 江苏无锡 214026)

**摘 要:**介绍最新国际标准有关承压设备对接接头对接焊缝和 T 型接头组合焊缝采用相控阵扇形扫查或电子扫描进行超声检测的重要要求。主要内容包括相控阵仪器、探头和校验试块要求, 仪器调试方法(时基线性、探测范围和灵敏度), 聚焦律的设置和校验, 检测程序, 薄板、中板和厚板对接焊缝及 T 型接头的探测布置和声线示踪, 图像显示评价。意在为国内承压设备推广应用标准化相控阵超声检测技术提供有用借鉴。

**关键词:**超声检测; 相控阵; 承压设备; 焊接接头; 标准化

**中图分类号:** TG115.28 **文献标志码:** C **文章编号:** 1671-4423(2012)04-21-09

## Introduction of the Latest International Standard: Ultrasonic Inspection of Welds Using Phased Array

LI Yan

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

**Abstract:** This article describes all of the important requirements in the latest international standard on inspection of butt welds and Tee welds in pressure vessels, using phased arrays with S-scan or E-scan. The main content is consist of (a) the requirements of phased array instruments, probes and calibration blocks; (b) adjust methods of base linearity, test range and sensitivity; (c) setup and checking of focal laws; (d) specific examination procedures; (e) scanning setup and sound line trail for butt welds and T welds of thin, medium and heavy plates; (f) indication evaluation. The intention is to provide useful references for promoting application of standardized phased array ultrasonic inspection technologies in our country.

**Keywords:** Ultrasonic inspection; Phased array; Pressure equipment; Welded joints; Standardization

美国机械工程师学会(ASME)《锅炉压力容器法规》(2010 版)直接采用了美国材料试验学会(ASTM)有关相控阵超声检测仪器和系统特性的评定方法指南, 对此, 笔者已作过全面介绍<sup>[1-3]</sup>。这里, 再介绍 ASTM 公布的另一份最新国际标准 E2700—9《焊缝接触式超声相控阵检测方法》, 详述有关焊接接头检测操作工艺细则, 希望为国内承压设备行业当前正在积极推广应用的焊缝相控阵检测, 送上方法标准的及时雨。

### 1 适用范围

#### 1.1 焊缝型式

该标准主要适用于熔化焊对接接头对接焊缝和 T 型接头组合焊缝用斜声束扇形(S)扫查和电子(E)扫描的相控阵超声检测。对其他焊接方法, 如摩擦焊、电子束焊等, 也可参照本标准进行检测, 只要采用相控阵(PA)检测时, 扫查声束具有足够的覆盖范围<sup>[3]</sup>, 且所用方法有工艺文件和记录报告并经

批准。

## 1.2 厚度范围

该标准适用的材料厚度范围为 9mm~200mm。厚度小于 9mm、大于 200mm 时,只要符合下列条件,也可采用相控阵超声检测;制作壁厚和形状相同的模拟试样,通过演示操作,证实用该标准规定的方法,也能达到足够的检测范围和检测灵敏度。

## 1.3 不适用对象

该标准不适用于特殊几何形状的焊缝如点焊缝的检测。

## 2 参考标准

相控阵超声检测技术是在常规超声检测技术的基础上发展起来的,参阅下列标准篇目有助于相控阵技术的熟练应用。

### 2.1 ASTM(美国材料试验学会)标准

ASTM E164 焊缝接触式超声检测

ASTM E317 超声脉冲回波式仪器和系统性能评定方法(非电子测试法)

ASTM E543 无损检测机构规程

ASTM E587 接触式超声斜探法

ASTM E1316 无损检测术语

ASTM E2192 平面状缺陷超声测高法

ASTM E2491 相控阵超声检测仪器和系统特性的评定方法导则

### 2.2 ASME(美国机械工程学会)标准

ASME 锅炉压力容器法规第 V 卷第四章 焊缝超声检验

### 2.3 ASNT(美国无损检测学会)标准

ASNT-TC-1A 无损检测人员资格鉴定和认证推荐细则

ANSI 美国国家标准学会 /ASNT CP-189 无损检测人员资格鉴定和认证标准

### 2.4 AIA(美国航空航天学会)标准

NAS-410 无损检测人员资格鉴定和认证

### 2.5 ISO(国际标准化组织)标准

ISO 2400 超声检测设备校验参考试块

## 3 术语定义

该标准使用术语定义见 ASTM E1316 无损检测术语。

## 4 标准概述

相控阵用于焊缝检测有多种用法。为控制相控阵技术的使用方法和质量,已制定了工业具体要求。为推广应用相控阵技术,制定一份通用性操作标准,自然是众望所归。有些设备制造方已开发了便携式、用户友好的仪器。ASME 等机构为满足有关焊缝相控阵检测要求,已发布了相应法规条款和法规案例(CC)。例如,ASME SE-2491 就直接采用了 ASTM E2491 标准,为承压设备焊缝相控阵检测,规定了超声检测仪器和系统特性的评定方法。这里介绍的 ASTM E2700-09 标准,规定了用相控阵设备手工扫查和机械扫查受检焊缝的操作工艺导则。

## 5 意义和使用须知

### 5.1 最大特点

工业相控阵不同于常规单晶超声换能器,前者可用电子方法控制超声波束。相控阵列由一系列称为阵元的换能器单元(晶片)组成,各个阵元单独接线,其激发有时间延迟,但线路分开。阵列一般分组激励产生声脉冲,以产生相位差,形成相长干涉或相消干涉。

### 5.2 显示方式

相控阵主要是产生和接收超声波的一种方法,但也是扫描显示和成像的一种方法。有些扫描显示图形模拟了手工检测的 A 扫描显示,有些扫描显示(如扇形扫描或 S 扫描)则是相控阵所独有的。基于相控阵的显著特点和特性,相控阵需要作特殊的设置和调整,这是该方法标准的侧重点。市售软件能使操作者易于进行设置,而无需详悉相控阵要求。

### 5.3 方法种类

相控阵可用于不同方法—即手工线扫查或带编码器的线扫查,也可采用不同的显示或组合显示。在手工扫查中,主要采用带相应 A 扫描显示的扇形(S 扫描)显示。扇形(S 扫描)显示有优于电子(E)扫描的优点:它能同时以一定的角度范围覆盖检测体积。

### 5.4 主要优点

用相控阵对焊缝进行超声检测的主要优点是:

(1) 扫查速度快,因同时有多种角度的声波扫查显示;

(2) 成像好,是来自实际深度的扇形扫查图像;

(3)有数据储存,如有关选定反射体的数据,便于查阅和存档;(4)可用电子仪器快速设置,且重复性好。

### 5.5 人员要求

凡用本标准进行相控阵超声检测、分析和报告结果的人员,应为按国家或国际认可的无损检测人员资格鉴定和认证细则或标准(如 ASNI/ASNT CP189、ASNT—TC—1A、NAS—410、或类似文件),经受适当培训、资格鉴定和认证的人员。另外,还应就相控阵设备和操作技术,经受附加培训,了解有关知识,累积一定的实际经验。按本标准进行检测的人员,应在检测报告中注明资格鉴定证书编号。

## 6 仪器设备

### 6.1 相控阵仪器

#### 6.1.1 一般要求

超声相控阵仪器应为脉冲回波式。仪器上装有标准 dB 增益或衰减控制器,调节量至少为 1dB;有脉冲发生器和接收器各自分开的多通道。系统应能产生和显示 B 扫描图像和 S 扫描图像,这些图像能储存记忆,供随后观测。

#### 6.1.2 特定要求

相控阵系统应载有聚焦法则设定软件,能借此直接修正超声波束特性。具体的延时计算,可由系统自身完成,或由外部计算输入。

#### 6.1.3 数据储存

相控阵系统应有数据储存手段,以保存扫描显示数据。数据储存可用外接储存器件—移动硬盘、U 盘或闪存卡等。另外,也可用遥控便携式计算机连接仪器来储存数据。若仪器本身不能储存 A 扫描数据,如某些手工操作的仪器,也可只记录最终图像。

#### 6.1.4 垂直线性

相控阵系统的波幅和屏高线性应标准化,即满足 E2491 标准的要求,且至少每年校验一次。

#### 6.1.5 探测频率

仪器应能在 1MHz~10MHz 的标称频率下发射和接收声脉冲。对特殊应用,可采用最大为 20MHz 的频率,但这可能要用特殊的数字化仪器,并经特殊许可。

#### 6.1.6 数字化频率

仪器应能以所用探头标称频率至少为 5 倍的频率,将 A 扫描显示数字化。波幅数字化时,分辨力至少应为 8bit(即 256 个色阶)。

#### 6.1.7 角度校准增益

仪器应能对检测方法中使用的每种角度下、反射体在一定声程时的回波幅度,进行均衡处理(即角度校准增益 ACG),以此对楔块衰减变化和回波透过率进行补偿修正。

#### 6.1.8 时间校准增益

仪器还应装有在时基范围内能使信号幅度均衡化(即时间校准增益)的装置。

### 6.2 相控阵探头

#### 6.2.1 探头设计

所用相控阵探头的设计取决于应用要求。相控阵探头可用移动式或整体式楔块、延迟线式、水浸式或局部水浸式。在某些情况下,也可用无折射楔块即无延时块的相控阵探头(即只加耐磨护套的探头)。

#### 6.2.2 阵列模式

焊缝检测用的相控阵探头,可为 1D(线阵)、1.5D(半面阵)或 2D(面阵)型。手工扫描法只能用 1D(线阵)探头,起声波收发作用(一如收发纵波的探头)的组成阵元成并行排列。2D(面阵)探头,用电子振荡,校验应对所有斜交角进行。

#### 6.2.3 阵列参数

相控阵探头中的阵元数和阵元尺寸及阵元芯距,应根据应用要求和制造单位推荐的限值选定。所选定的探头,其组成阵元数不得多于所用相控阵仪器中脉冲发生器和接收器可寻址的阵元数。

#### 6.2.4 楔块角度

使用折射楔块辅助声束调向时,楔块自然入射角的选定,应使所用检测方法涉及到的声束角度扫描范围,不超过制造单位对所用探头和波型(纵波或横波)的推荐限值。

#### 6.2.5 曲面修整

在曲表面上使用的折射楔块,若楔块底面与被检试件曲面之间的间距大于 0.5mm,应要求楔块底面修整到与试件曲面吻合(常规 A 扫描曲面斜探伤也有同类要求)。

## 7 系统调整

## 7.1 时基范围

### 7.1.1 零点调整

仪器显示应针对所要使用的每一聚焦法则,用A扫描调整,以使被检材料中的声传播获得准确的信号显示。时基范围的调整,应包括楔块内传播时间的校准,以使试件中的零深度位置对每一聚焦法则均获得准确显示。

### 7.1.2 时基线性和精确度

应按E2491《相控阵超声检测仪器和系统特性的评定方法导则》或E317《超声脉冲回波式仪器和系统性能评定方法(非电子测量法)》进行校验。

### 7.1.3 深度偏差

体积校正的B扫描或S扫描显示,应能显示出已知靶体(通常指试块中一定几何形状的机加工反射体,如长横孔、平底孔等)的实际深度,偏差不大于实际深度的3%或3mm(取两者中较小值)。

### 7.1.4 试块选用

时基范围的调整应使用有圆弧面的标准试块,如IIW试块等。试块材料应与被检试件相同或声特性相似。

## 7.2 灵敏度

### 7.2.1 调整用反射体

灵敏度(波幅)的调整要求:用斜探头探伤时,灵敏度不随声束角度而变化。灵敏度用平行于板材探测面、并垂直于声束轴线的横孔调整,也可用与探测角度方向一致的平底孔或等径反射体调整。在某些情况下,也可用表面线槽调整灵敏度,但一般不推荐。

### 7.2.2 调整范围和时机

仪器的调整,应包括完整的相控阵系统,应在系统使用前,在被检厚度范围内进行。

### 7.2.3 探测面状态

在对比试块上校验时,探测面(有堆焊层或无堆焊层,凸面或凹面)应与被检试件表面状态相似。

### 7.2.4 耦合剂同一性

检测过程中使用的耦合剂应与校验时使用的耦合剂相同。

### 7.2.5 接触状态

检测过程中使用的接触式楔块、或水浸装置或局部水浸装置,应与校验时使用的一样。

### 7.2.6 聚焦法则同一性

校验时用的聚焦法则,应施用于实际检测。

### 7.2.7 控制钮位置

凡影响仪器波幅显示(或灵敏度显示)的任何控制按钮或旋钮(如脉冲持续时间、滤波、平均化等),其位置在实际检测与校验时均应相同。

### 7.2.8 禁用控制钮

凡影响仪器线性的控制按钮或旋钮(如剪裁、抑制等),均不得使用。

### 7.2.9 阵元激活基线评价

应按ASTM E2491标准附录A3。

## 8 耦合条件

### 8.1 表面准备

#### 8.1.1 表面状态

有可能时,焊缝金属表面最好制备到能圆滑过渡到相邻母材表面。但也可在焊后状态下检测焊缝,只要表面状态不影响信号显示的有效评定。

#### 8.1.2 表面清理

清除焊缝两侧母材扫查表面存在的焊接飞溅、氧化皮、垃圾、锈蚀及过度粗糙,修整距离为被检板厚的数倍,此距离相关于探头尺寸和声束角度。要沿焊缝顶部或沿焊缝宽度范围内进行扫查时,焊缝余高可磨平。注意,扫查表面应尽可能打磨平滑。通常,表面无需抛光,用圆盘或砂带磨光机轻轻打磨,即可满足检测要求。

#### 8.1.3 直探伤

对斜探头扫查声束要通过的母材区域,应使用直探头进行扫查,以检出有可能妨碍斜声束传播、干扰判定结果的反射体(如板材分层类缺陷)。评定焊缝检测结果时,应考虑此类反射体的影响,但此类反射体的检出,无需作为母材拒收的依据。

## 8.2 耦合剂

### 8.2.1 种类和特性要求

在探头底面与被检试件表面之间,要有一层耦合剂—通常为液体或半液体,使声能可从探头传到被检材料中去。耦合剂应充分润湿探头和试件接触面,不得存有空气间隙。典型的耦合剂有水、机油、油脂、甘油、纤维素胶等。所用耦合剂应对被检材料无害;使用时,应在表面涂上薄薄一层,除水以外,都要节约使用。用甘油时,常需添加润湿剂,以改善耦合性能。用水耦合时,水应清洁,最好脱氧。水中可加抑制剂或润湿剂。

### 8.2.2 介质粘度

耦合介质应选择粘度适合于被检材料表面粗糙度的介质。

### 8.2.3 温差控制

对接触式探伤,校验试块与被检试件的表面温差应不大于15℃。

## 9 距离—波幅校正

### 9.1 校验试块

灵敏度(波幅)调整用的校验试块,其制作材料厚度和表面粗糙度应与被检试件相似,材质和热处理应与被检焊缝相似。

### 9.2 距离—波幅校正

灵敏度的距离—波幅校正,也可用其他方法,只要校正结果与认可的方法所得结果一样可靠。另外,代用方法及所用设备,应满足本标准提出的有关特性要求。

### 9.3 基准反射体

#### 9.3.1 直探头探伤

直探头探伤时,可用横孔校验,横孔深度位置为 $\frac{1}{4}T$ 和 $\frac{3}{4}T$ ( $T$ —试块厚度)。 $T < 50\text{mm}$ 时, $\frac{1}{4}T$ 孔有可能分辨不出。此时,校验试块中可另加 $\frac{1}{2}T$ 孔,用 $\frac{1}{2}T$ 孔和 $\frac{3}{4}T$ 孔进行距离波幅校正。

#### 9.3.2 斜探头探伤

斜探头探伤时,也用横孔校验,横孔深度位置为 $\frac{1}{4}T$ 和 $\frac{3}{4}T$ 。 $T < 25\text{mm}$ 时,校验试块中可另加 $\frac{1}{2}T$ 孔,用 $\frac{1}{2}T$ 孔和 $\frac{3}{4}T$ 孔进行距离波幅校正。对薄壁小径管,校验试块中用横孔作基准反射体可能不切实际,此时,经合同双方同意,也可采用内外表面开口线槽作为距离波幅校正的基准反射体。

#### 9.3.3 基准反射体尺寸

调整灵敏度用的横孔孔径尺寸,应经合同双方同意。采用其他反射体时,其尺寸也由合同双方商定。

### 9.4 许用技术

#### 9.4.1 时间校准增益

相控阵检测的信号评价使用彩色编码的B扫描或S扫描作为原始评价方法。因此,所用扫描显示应提供统一色码,此色码相关于反射体在不同声

程距离上的回波波幅。

注意,只有装有电子距离波幅补偿电路(简称TCG)的仪器,才能使用此法。要使用调整范围内的所有反射体进行校验和评价。超声检测中要使用的检测设备、探头、聚焦法则和耦合剂等,均应组合应用于此衰减调整。

#### 9.4.2 初始基准反射

对有时间或声程(不是实际深度)标度的仪器显示,设定聚焦法则,使超声波射到的参考靶体(一般取声程距离处于最远点的靶体——笔者注)产生最大回波信号。将此参考反射体的最高回波信号调到40%~80%满屏高(FSH)。此靶体即可视为初始基准反射体。

#### 9.4.3 电子距离波幅校正

应用同一聚焦法则,使检测范围内不同距离处的其他参考反射体回波,也达到最大,调整电子距离波幅校正控制器,使所有参考反射体的回波高度与初始反射体的回波高度,均为同屏高(此即所谓同波高法)。将此校正应用于实际检测要用到的所有聚焦法则。

#### 9.4.4 其他等效方法

也可使用其他方法,来完成所有聚焦法则的同波高法调整,即令检测距离范围内的同大小反射体获得同波高。每台仪器的操作手册,对该仪器系统的所用方法,均有最佳说明。

#### 9.4.5 灵敏度调整示例

用横孔来调整焊缝检测灵敏度的方法示例见图1。注意,尽管用于检测横孔的声线角度各不相同,到达横孔的距离也各不相同,但各个横孔的回波强度显示是相同的。图1(a)示出了两倍壁厚范围内,一次声程波(0.5S波)的延长部分,作为二次声程波(1.0S波)的"镜像"。图1(b)则示出了相控阵扇形扫描的显示图像,附加的焊缝断面图,能使焊缝中的缺陷(横孔)上下位置在镜像中一目了然<sup>[4]</sup>。

### 9.5 校验周期

灵敏度的定期校验,应按合同双方商定的频度进行。若设备校验结果其参数变化超过合同双方的规定值,则应重新调整。若灵敏度变化起源于激活的阵元数相对于基线评价的数值,则可要求更换探头。

## 10 焊缝检测程序

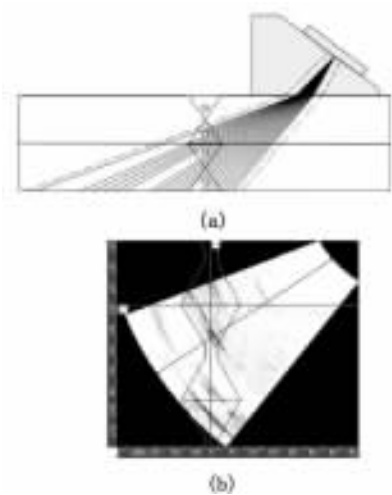


图 1 模式化 S 扫查和 S 扫描显示(用 TCG 将横孔回波调为满屏高 80%)

10.1 概述

相控阵检测程序通常与常规超声在声束覆盖和检测角度等方面的程序一样。一般对焊缝结构推荐的检测程序细节,详见 ASTM E164《焊缝接触式超声检测》。相控阵方法的细节变化,取决于实际检测时使用的手工扫查,还是编码扫查。

10.2 扫查范围

施探前,应先制定书面扫查方案(Scan plans),确定焊缝相控阵扫查程序。扫查方案中,应说明:为保证声束覆盖整个检测范围,所要求的探头偏离焊缝中心线的距离,以及相应的声束角度。所要求的体积覆盖范围,可包括焊缝全体积加上两侧热影响区。焊缝应尽可能从焊缝两侧进行探伤。

10.3 横向裂纹的检测

怀疑有横向裂纹存在时,应作补充检测,使声束平行于或接近平行于焊缝中心线进行扫查。焊缝余高磨平时,探头可直接置于焊缝上,作平行扫查;余高未磨平时,探头置于焊缝两侧母材上,作倾斜 10°~15°斜平行扫查。前者效果最好。

10.4 检测布置和声路示例

通常,从有机械加工焊接坡口的板材表面进行扫查。因焊缝轮廓不同,当然也可采用其他扫查布置。图 2~图 7 给出了典型的薄板和厚板对接接头、角接接头、T 型接头,使用相控阵超声检测时的探头布置和相应声路的示意图。并非所有结构都能检测(如因可接近性受到限制等),这里给出的只是示例。所示多种探头—焊缝距离给出的声束截面覆盖

范围,是对编码线扫查来说的。这也可用探头手工移动,以光栅式扫查来取代;此时,探头偏离焊缝距离连续变化。



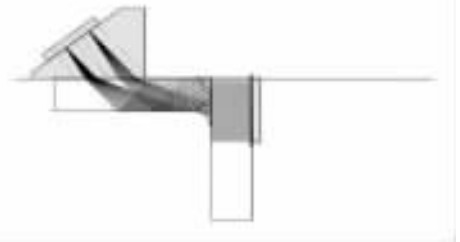
薄壁对接焊缝应从焊缝两侧进行探测,最好从开有坡口的焊缝一侧探测(探头可接近时)。对薄壁焊缝,只要探头参数适当,声束足以全覆盖检测范围,以单一探头—焊缝距离作线扫查即可。

图 2 薄壁对接焊缝的 S 扫描和 E 扫描



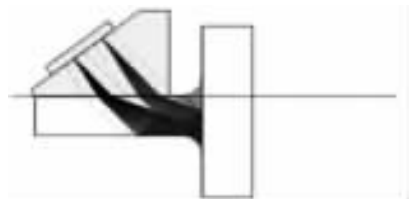
厚壁对接焊缝应从焊缝两侧进行探测,最好从开有坡口的焊缝一侧探测(探头可接近时)。对厚壁焊缝,可用两种或两种以上的探头—焊缝距离,或多种聚焦法则的探头—焊缝距离,进行线扫查,以确保全部覆盖检测体积。

图 3 厚壁对接焊缝的 S 扫描和 E 扫描



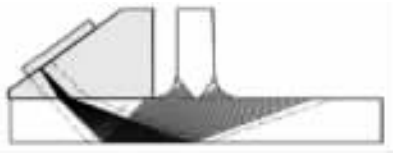
对角接焊缝,应将斜探伤与直探伤结合起来使用。对单 V 形坡口,斜探头宜放在开有焊缝坡口一侧的板面上进行探测;对 K 形坡口,只要可接近,斜探头应从开有坡口的板材两面进行探测。在大多数情况下,只用直探头在另一角接板面上进行探测,而不再用斜探头探测。

图 4 角接焊缝的组合扫查(S 扫描+E 扫描)



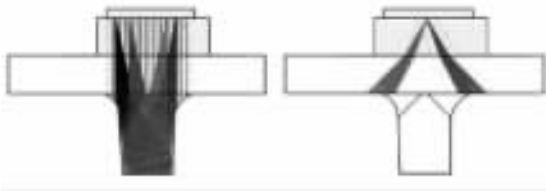
对 T 型接头,可将斜探头置于腹板上,用类似于对接接头对接焊缝的检测方法进行探伤。腹板厚度较薄时,可只用一种探头—焊缝距离作 E 扫描或 S 扫描。只要可接近,斜探头应从腹板两面进行检测。

图 5 T 型接头的 S 扫描(腹板侧斜探伤)



对 T 型接头,也可不用图 5 所示从腹板侧进行斜探伤的方法,而将斜探头置于翼板内侧,用二次波作 S 扫描或 E 扫描探测焊缝。翼板厚度较大时,可用两种探头一焊缝距离探测。只要可接近,斜探头应从翼板两面进行探测。一般翼板面斜探伤不如图 5 所示腹板面斜探伤有效。

图 6 T 型接头的 S 扫描(翼板内侧斜探伤)



只要可接近,T 型接头焊缝最好从翼板外侧进行探测。为使焊缝融合面(K 型坡口有三个融合面)的缺陷获得最佳检出,可三法并举:( $0^\circ$  E 扫描)+(小角度纵波 E 扫描)+(横波 E 扫描)。

图 7 T 型接头的 E 扫描(翼板外侧探伤)

## 10.5 扫查方式

扫查探头的移动可选用以下三种方式中的一种:手动式,自动式,半自动式。

### 10.5.1 手动式

手动扫查的主要方式是探头作光栅式移动,声束基本上垂直于焊缝轴线。探头前后移动的距离由扫查方案确定,要确保声束全覆盖检测范围。每次光栅式扫查探头横向移动距离,应不超过晶片横向尺寸之半。扫查速度(探头手工前后移动)受系统更新特性的限制。一般说来,采用的聚集法则越多,则所需处理时间也越多,因而作 B 扫描或 S 扫描显示的更新速率也越慢。

### 10.5.2 自动式或半自动式

(1)定位编码器 自动或半自动扫查时,探头上应连有适应每一轴线探头移动定位的编码器(大多只用一个编码器)。编码器应作校验,以验证离参考点位置的定位数据,测量精确度应为扫查总长度的 1% 或 10mm(取两者中较小值)。

(2)导向机构 应使用探头夹持器或磁条之类的导向机构,以确保探头横向移动时离焊缝中心线距离始终不变。

(3)采样增量 应按使用的每一聚焦法则,采集以 A 扫描形式显示的数据,数据采集增量不大于

2mm(对要求检出的最小缺陷长度,至少有三倍增量,如缺陷长度 3mm,要求增量不大于 1mm)。注意,按验收标准,缺陷测长要求严格时,此增量值还得减小。使用横向聚焦声束时,即可考虑按上述要求确定数据采集增量。

(4)探头数 只对有编码器的扫查适用:可同时使用多个探头和多个聚焦法则组合(比如,用同一探头作两次 S 扫查,但起始阵元不同),只要系统有运行能力。探头移动可由扫查方案细节确定,即通过校验试块中的线槽探测来验证声束覆盖范围。

## 11 显示评定

焊缝相控阵超声检测的显示评定,在一定程度上,取决于所使用的扫查方法是手工扫查,还是编码扫查。

### 11.1 手工扫查的显示评定

#### 11.1.1 显示方式

用手工扫查进行相控阵检测时,操作者在扫查过程中,应使用实时 S 扫描或 B 扫描显示,来监控耦合质量和显示屏上超过评定阈值的信号显示。

#### 11.1.2 评定对象

评定用手工相控阵方法检出的信号,应要求操作者注意扫查过程中检出的信号,评定所有超过评定阈值的信号显示。有些相控阵系统可能还包括以下选项:(1)把某些项目加入检测报告格式;(2)把 S 扫描或 B 扫描图像加进检测报告。

### 11.2 编码扫查的显示评定

#### 11.2.1 数据来源

编码扫查方法有赖于评定由储存的 A 扫描所产生的数据显示。

#### 11.2.2 实时显示

编码系统可装实时显示装置,以显示扫查过程中采集数据时的一个或多个视图。此项要求仅用于扫描编程时数据质量的评定,可用于一个或多个通道的监控。

#### 11.2.3 数字化波形

编码相控阵扫查所检出的信号显示,应使用作为 S 扫描或 B 扫描基础的数字化波形进行评价,该波形采集于数据获取过程中。

#### 11.2.4 显示形式

用于信号评价的编码扫查数据显示,除了手工扫查可得的 S 扫描显示或 B 扫描显示外,还可使用

其他多种投影显示(如顶视图、侧视图、端视图等)。

### 11.2.5 重叠区域

用编码法扫查焊缝时,可分段扫查,只要采集数据的相邻区域有重叠,且扫查区段之间的重叠有标识,即有相对于焊缝参考起始点的编码位置(例如,2m长的焊缝,可分两段扫查,第一段从0mm~1000mm,第二段从950mm~2000mm,两段之间重叠50mm)。

### 11.2.6 评定阈值

在S扫描或B扫描显示图上,应有明显的彩色标明评定阈值,以使值得注意的信号显示在背景色度上易于识别。

### 11.2.7 显示信息

角度校准(也称为检测体积校准)的S扫描或B扫描图像,含有两个重要信息:信号幅度和相关于超声波束角度的缺陷深度信息。

### 11.2.8 缺陷显示定位

缺陷显示定位应标出相对于探测面的深度距离,并使用相关于焊缝参考点的坐标系统进行定位。

## 11.3 缺陷定量

### 11.3.1 缺陷测长

缺陷长度一般用端点半波高度法测定,即根据探头沿焊缝长度方向移动时,由缺陷左右两端的最大波幅降低一半时的移动距离确定;或者用绝对灵敏度半波高度法测定,即根据探头沿焊缝长度方向移动时,由缺陷左右两端的最大波幅降至最小评定幅度一半时的移动距离确定。

### 11.3.2 缺陷测高

缺陷高度可依据S扫描或B扫描图像,用6dB降落法测定。此法适用于尺寸大于声束截面的平面状大缺陷;对尺寸小于声束宽度的小缺陷,可使用声束扩散修正法改善测高定量精度。对方向不利的缺陷或自身表面不规则的缺陷,用波幅定量法可能会使缺陷尺寸测不准,或者使缺陷的严重性评不准。遇此情况,宜采用ASTM E2192《平面状缺陷超声测高法》标准所描述的平面状缺陷优化测高法,这对相控阵超声缺陷定量能起特效作用。

### 11.3.3 定量依据

对所有超声发现的缺陷,应根据合同双方认可的验收标准,进行评定。

## 11.4 超声报告

超声相控阵检测报告中应列入的项目,由合同

双方确定。内容可包括:

(1)被检焊缝细节(材质、厚度、坡口型式、焊接工艺等),工件示意图;

(2)扫查面和表面状态;

(3)相控阵超声仪器细节;

(4)相控阵探头细节;

a. 探头阵元数;b. 频率;c. 阵元芯距;d. 焦距(识别平面、焦深或声程);

(5)楔块(声速、入射角、尺寸、相对于1#阵元的基准尺寸);

(6)虚拟窗孔的使用,即注明阵元数和阵元宽度;

(7)聚焦法则使用的阵元数;

(8)S扫描的角度范围;

(9)从制造方获取的有关推荐角度范围的单据;

(10)校验记录,电子一距离校正(TCG)记录及角度增益校正记录;

(11)编码器;

(12)使用的扫查机构;

(13)耦合剂;

(14)灵敏度调整方法及细节;

(15)扫查工艺卡(说明探头在试件上的位置,探头的移动参数,使用的声束角度及体积覆盖范围);

(16)传输波型(纵波、横波、脉冲反射波、串列一发一收波、一发一收直通波等);

(17)扫查结果(缺陷细节:位置、长度、高度、波幅、合格与否等);

(18)操作者姓名及资格等级;

(19)检测日期。

## 参考文献:

[1]李衍. 相控阵超声检测系统特性评价的一般要求[J]. 无损探伤,2010,34(5):28-32.

[2]李衍. 相控阵超声检测系统特性评价的具体要求[J]. 无损探伤,2011,35(1):22-27;35(2):22-26.

[3]李衍. 焊缝超声相控阵扇形扫查的覆盖范围[J]. 无损探伤,2011,35(4):1-6.

[4]李衍. 焊缝超声相控阵参数与缺陷显示的相关性[J]. 无损探伤,2010,34(3):1-4.

[5]ASNT. Nondestructive Testing Handbook: Ultrasonic Testing, Vol. 7, 3 ed. USA, Columbus, 2007.

[6]R/D Tech. Advances in Phased Array Ultrasonic Technology Applications. Olympus NDT, Canada, 2007.





# 内燃机车辅助传动 十字销裂损的分析与对策

纪晓明<sup>1</sup> 郭瑞芳<sup>2</sup>

(1. 通辽机务段, 内蒙古赤峰 024006;

2. 徐州机务段, 江苏徐州 221007)

**摘 要:**针对内燃机车辅助传动系统十字销裂损的原因进行分析,指出检修装配工艺和磁粉探伤的不当是产生裂损多发的主要原因,并提出改进措施。

**关键词:**内燃机车;十字销;裂纹;裂损原因;措施

**中图分类号:** TG115.28 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-4423(2012)04-29-03

重载提速机车牵引定数由单机 3300t 上调至 4 组合的 2 万 t,持续的高负荷运行加剧了内燃机车辅助传动系统的传动轴、万向轴部件的疲劳损伤。2010 年以来我段机车运行中发生多起辅助传动系统部件的折裂,以十字销裂损居多,因此必须总结经验,采取对策,在源头控制部件装配质量,以期提高检修质量确保机车安全运行。

## 1 受力分析与磁痕特征

辅助传动轴属于万向联轴器的组件,起到传递柴油机与静液压变速箱和启动变速箱之间转矩的作用。由于柴油机转速升降幅度较大、工况转换频繁,使其承受较大的交变载荷和机械冲击载荷。十字销是整个传动系统受力最大的组件之一,其作用是把主动轴的转矩传递给从动轴,一般成对使用。十字销的根部是应力集中点,受力较大,极易产生疲劳裂纹,其裂损扩展速度快、危害性更严重。由于组装工艺控制不当、装配时尺寸选配不合适可造成十字销游隙过大以及润滑不良导致卡滞,使所受到的交变载荷和机械冲击载荷相应增大从而加剧部件的疲劳破坏直至断裂。

从发现的一些裂纹磁痕及折裂轴的断口分析,

裂纹的特征主要表现在:(1)应力集中主要在柱销圆根部的剪切力方向的某一点,此点产生疲劳裂纹源,在强大的外力作用下萌发为疲劳微裂纹。(2)初期都是呈极细、较浅的毛细发纹状,一条或数条稀疏分布,随着疲劳极限的扩展最终沿旋转方向发展直至被切断。(3)磁痕一般沿轴柱的圆根部周向稀疏分布,比较平直、窄细长,宽度均匀,两头不尖锐,磁痕聚集不多且模糊显示。(4)在折裂的断口上观察,有明显的贝纹区,一般脆断区占截面积的 25%左右,个别的甚至更大(图 1)。是典型的疲劳裂纹特征,从而说明了服役条件极为苛刻。



图 1 某一十字销断口形貌

[7]Drinkwater B W, Wilcox P D. Ultrasonic arrays for non-destructive evaluation: A review, NDT&E Int. 2006; 39, 525.

[8]Lupien V. Principles of phased array ultrasound for non-destructive testing, Mater. Eval. 2007; 65, 24 .

[9]Armitt T. Proceedings of 9th European Congress on Non-Destructive Testing. ECNDT, Berlin, 2006.

# 焊缝超声相控阵检测—最新国际标准介绍

作者: [李衍](#)  
作者单位: [无锡市锅炉压力容器学会无损检测专委会, 江苏无锡214026](#)  
刊名: [无损探伤](#)  
英文刊名: [Nondestructive Inspection](#)  
年, 卷(期): 2012(4)

## 参考文献(8条)

1. [李衍](#) 相控阵超声检测系统特性评价的一般要求 2010(05)
2. [李衍](#) 相控阵超声检测系统特性评价的具体要求 2011(01)
3. [李衍](#) 焊缝超声相控阵扇形扫查的覆盖范围 2011(04)
4. [李衍](#) 焊缝超声相控阵参数与缺陷显示的相关性 2010(03)
5. ASNT [NondestructiveTestingHandbook:UltrasonicTesting](#) 2007
6. R/DTech [AdvancesinPhasedArrayUltrasonicTech-nologyApplications](#) 2007
7. [DrinkwaterBW;WilcoxPD](#) [Ultrasonicarraysfornon-destructiveevaluation:Areview](#) 2006
8. [LupienV](#) [Principlesofphasedarrayultrasoundfornon-destructivetesting](#) 2007

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_wsts201204008.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wsts201204008.aspx)