

ICS 19.100
J 04



中华人民共和国国家标准

GB/T 32563—2016

无损检测 超声检测 相控阵超声检测方法

Non-destructive testing—Ultrasonic testing—
Test method for phased-array ultrasonic testing

2016-02-24 发布

2016-10-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 I

引言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 检测技术等级 5

5 检测人员 5

6 检测设备 5

7 试块 7

8 基本要求 7

9 检测准备 8

10 检测系统的设置和校准 11

11 检测 13

12 检测数据的分析和解释 13

13 检测报告 14

附录 A（规范性附录） 相控阵探头晶片灵敏度差异与有效性测试 15

附录 B（规范性附录） 相控阵检测系统定位精度测试 16

附录 C（资料性附录） 常见其他形式焊接接头推荐的扫查位置 17

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由全国无损检测标准化技术委员会(SAC/TC 56)提出并归口。

本标准起草单位:江苏省特种设备安全监督检验研究院、艾默生过程管理(天津)阀门有限公司、上海材料研究所、中国特种设备检测研究院、广州多浦乐电子科技有限公司、奥林巴斯(中国)有限公司、北京福马智恒检测技术有限公司、浙江省特种设备检验研究院、北京欧宁航宇检测技术有限公司、矩阵科工检测技术(北京)有限公司、北京邹展麓城科技有限公司、江苏省特种设备安全监督检验研究院张家港分院、西南交通大学、中国航空工业集团公司北京航空材料研究院、北京理工大学、南京航空航天大学、广东省特种设备检测研究院中山检测院、江苏中特创业设备检测有限公司、汕头市超声仪器研究所有限公司、山东瑞祥模具有限公司、上海船舶工程质量检测有限公司、烟台富润实业有限公司。

本标准主要起草人:强天鹏、孙忠波、金字飞、郑晖、纪轩荣、王晓宁、郑振顺、郭伟灿、郑凯、徐智、江运喜、李剑峰、许建芹、俞燕萍、涂春磊、王飞、高晓蓉、史亦韦、徐春广、王海涛、富阳、龚成刚、陈和坤、魏忠瑞、邵建华、杨先明。

引 言

本标准提及的相控阵超声是指工业检测使用的相控阵超声技术,虽然相控阵超声属于脉冲反射法检测范畴,但是在声场特性、检测应用、信号处理与成像、性能和功能等许多方面,相控阵与常规脉冲反射法有很大不同。

相控阵超声使用的探头是由若干压电晶片组成阵列换能器,通过电子系统控制阵列中的各个晶片按照一定的延时法则发射和接收超声波,从而实现声束的扫描、偏转与聚焦等功能。利用扫描特性,相控阵技术可以在探头不移动的情况下实现对被检测区域的扫查;利用偏转特性,相控阵技术不仅可以在探头不移动的情况下实现对被检测区域的扫查,而且可以激发多角度声束对检测区域进行较大面积覆盖,从而提高检测效率及缺陷检出率;利用聚焦特性,相控阵技术可以提高声场信号强度、回波信号幅度和信噪比,从而提高缺陷检出率,以及缺陷深度、长度的测量精度。

相控阵超声检测系统是高性能的数字化仪器,能够实现检测全过程信号的记录。通过对信号进行处理,系统能生成和显示不同方向投影的高质量图像。

正因为相控阵超声与常规超声方法同是基于脉冲反射法检测,因此在本标准的试块、检测级别,以及缺陷的定量等内容部分参考了常规超声标准。但相控阵技术又是与常规超声差异很大的先进技术,所以在仪器系统校准、探头参数选择、扫描和扫查方法、工艺参数选择、增益补偿和灵敏度设定等方面标准给出了与常规超声不同的新规定。

无损检测 超声检测 相控阵超声检测方法

1 范围

本标准规定了利用手工扫查或自动(半自动)扫查的一维线阵相控阵超声技术应用基本原则,进行检测时工艺参数的选用规则,以及确定缺陷位置及尺寸的方法。

本标准适用于厚度为 6 mm~200 mm 的细晶钢焊接接头。对于其他金属细晶材料焊接接头,在考虑声速的变化后,也可参照本标准。对于厚度超出以上范围的焊接接头,在通过演示证明仪器系统具有足够的检测能力后,也可参照本标准。对于奥氏体不锈钢等粗晶焊接接头,在考虑信噪比和声速各向异性的影响后,也可参照本标准。

对于其他结构件、压延件、锻件,在选择合适的试块、校准方法和扫查方法后,也可参照本标准。

使用二维相控阵超声探头进行检测,在考虑声场特性变化及其给系统校准和检测带来的影响后,也可参照本标准。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 9445 无损检测 人员资格鉴定与认证

GB/T 12604.1 无损检测 术语 超声检测

GB/T 23905 无损检测 超声检测用试块

JB/T 11731 无损检测 超声相控阵探头通用技术条件

NB/T 47013.3 承压设备无损检测 第 3 部分:超声检测

3 术语和定义

GB/T 9445 和 GB/T 12604.1 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

晶片间距 pitch

两个相邻晶片的同侧边或者中心之间的距离(见图 1)。

3.2

晶片间隙 space between elements, gap between elements

两个相邻晶片间的空隙(见图 1)。

3.3

激发孔径 active aperture

单次激发晶片组的总长度。即:

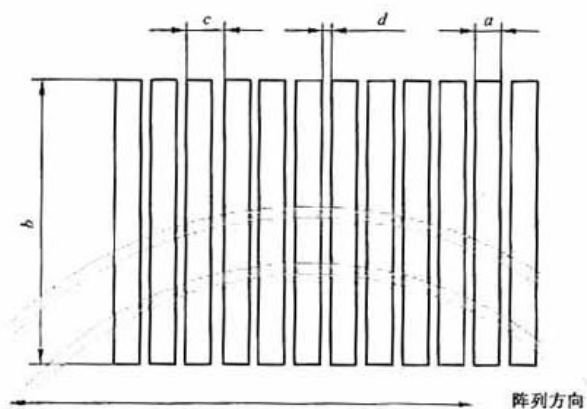
激发孔径 $L = n \times c - d$

式中:

L ——激发孔径;

GB/T 32563—2016

n —— 激发晶片数量;
 c —— 晶片间距;
 d —— 晶片间隙。



说明:

a —— 一个晶片的宽度;
 b —— 一个晶片的长度;

—— 晶片间距;
 d —— 晶片间隙。

图 1 线阵列相控阵探头参数

3.4

聚焦法则 focal law

通过控制激发晶片数量,以及施加到每个晶片上的发射和接收延时,实现波束的偏转和聚焦的算法或相应程序。

3.5

电子扫描 electronic scan

E 扫描

以电子方式实现对工件的扫查,即通过聚焦法则实现波束的移动或角度偏转,使之扫过工件中被检测区域。

3.6

线扫描 electronic linear scan

线形扫描

以相同的聚焦法则施加在相控阵探头中的不同晶片组,每组激活晶片产生某一特定角度的声束,通过改变起始激活晶片的位置,使该声束沿晶片阵列方向前后移动,以实现类似常规手动超声波检测探头前后移动的检测效果(见图 2)。线扫描包括垂直入射线扫描和倾斜入射线扫描两种。

3.7

扇扫描 electronic sectorial scan

变角度扫描

用特定的聚焦法则激发相控阵探头中的部分相邻或全部晶片,使激发晶片组形成的声束在设定的角度范围内以一定的步进值变换角度扫过扇形区域(见图 3)。

3.8

机械扫查 mechanical scan

以机械方式实现对工件的扫查,即通过移动探头实现波束的移动,使之扫过工件中被检测区域。

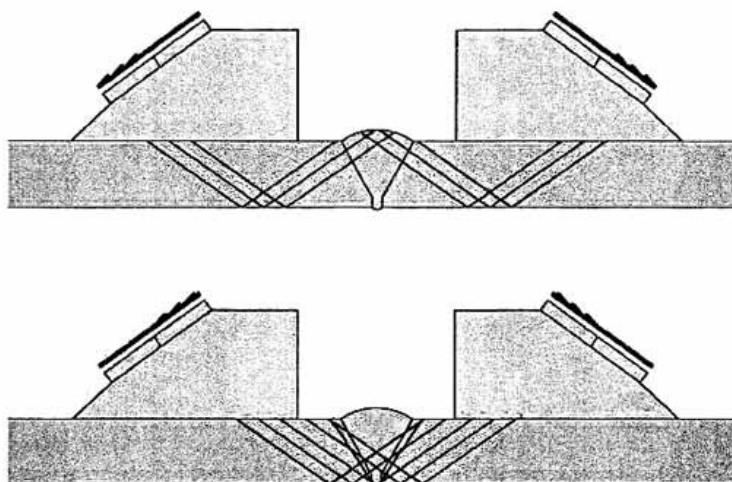


图 2 相控阵倾斜入射的电子线扫描检测焊缝的示意图

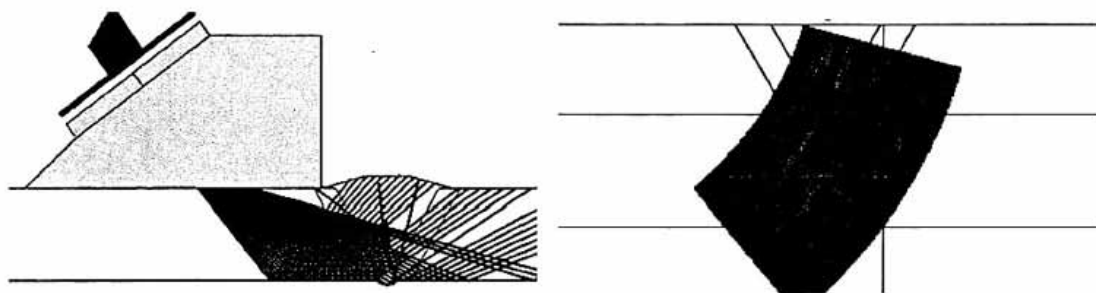


图 3 相控阵扇扫描检测焊缝的示意图

3.9

沿线扫查 mechanical scan along the line

相控阵探头晶片阵列方向与探头移动方向垂直或成一定角度的机械扫查方式。如：焊缝检测时，晶片阵列方向垂直于焊缝轴线或与轴线成一定角度（斜向扫查），探头前沿离开焊缝中心一定距离 S ，沿焊缝轴线方向平移，以获得声束覆盖范围内焊缝的信息（见图 4）。

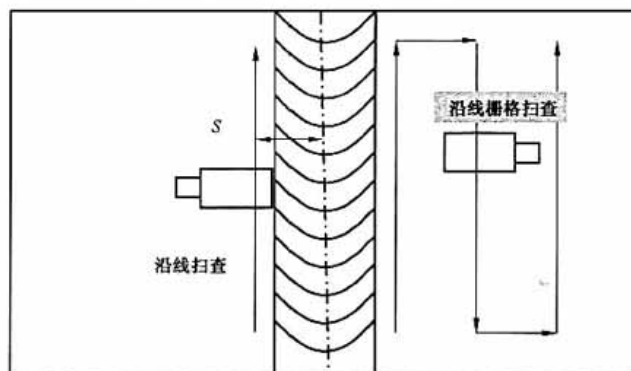


图 4 沿线扫查(左)和沿线栅格扫查(右)

GB/T 32563—2016

3.10

沿线栅格扫查 multiple scan along the line

多次沿线扫查,探头按照栅格式的轨迹行进,以实现检测部位的全面覆盖或多重覆盖。如图 4 右所示,对同一焊缝采用多个不同的 S 值沿线扫查即形成沿线栅格扫查。

3.11

角度增益修正 angle corrected gain

ACG

扇扫描时,因楔块衰减差异、晶片间差异及声压往复透射率差异等因素导致不同角度声束对相同声程处相同尺寸的反射体的回波幅度存在差异,利用软件对该差异进行修正,使之达到相同幅值。

3.12

时间增益修正 time corrected gain

TCG

对不同声程处相同尺寸反射体的回波进行增益修正,使之达到相同幅值。

3.13

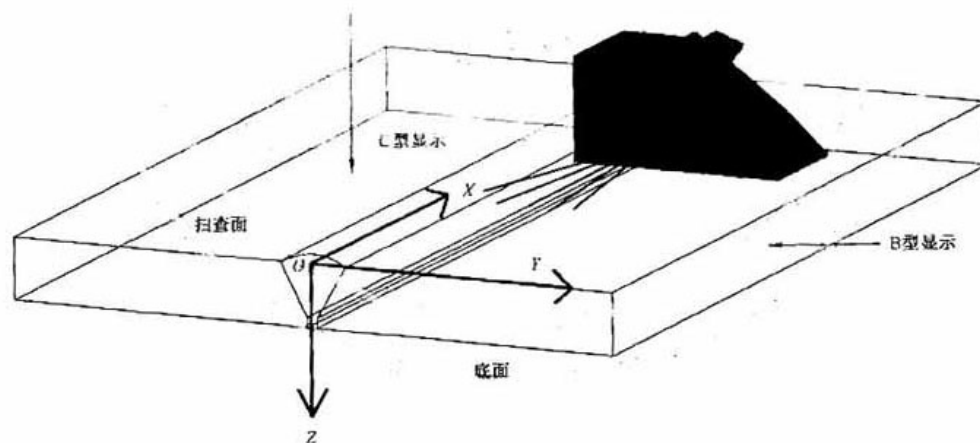
坐标 coordinates

相控阵检测规定的检测起始参考点 O 点和 X、Y 和 Z 坐标的含义(见图 5)。

3.14

S 型显示 S-display

由扇扫描声束组成的扇面形状的图像显示,图像中横坐标表示离开探头前沿的距离,纵坐标表示深度,沿扇面弧线方向的坐标表示角度。焊缝检测时,S 型显示显示的是探头前方焊缝的横截面信息(见图 3)。



说明:

O —— 设定的检测起始参考点;

X —— 沿焊缝长度方向的坐标;

Y —— 扫查面上沿焊缝宽度方向的坐标;

Z —— 垂直于扫查面沿焊缝厚度方向的坐标。

图 5 坐标的定义

3.15

B 型显示 B-display

工件的侧面投影显示方式,图像中横坐标表示沿线扫查移动的距离,纵坐标表示深度。焊缝检测

时,B型显示表示检测区域在 $X-O-Z$ 平面的投影(见图 5)。

3.16

C 型显示 C-display

工件的平面投影显示方式,图像中横坐标表示沿线扫查移动的距离,纵坐标表示离开探头前沿的距离。焊缝检测时,C 型显示表示检测区域在 $X-O-Y$ 平面的投影(见图 5)。

4 检测技术等级

4.1 焊接接头的相控阵检测技术分为 A、B、C 三个检测技术等级,不同技术等级对应于不同的缺陷检出率。

4.2 焊接接头不同技术等级要求的不同角度的声束覆盖次数:

- a) A 级应保证相控阵声束对检测区域实现一次以上全覆盖。
- b) B 级应保证相控阵声束对检测区域实现不同角度扫射两次以上全覆盖。
- c) C 级应保证相控阵声束对检测区域实现不同角度扫射三次以上全覆盖。
- d) 可通过选择不同扫查面、扫查方式、扫查路径和扫描方式来实现上述覆盖。
- e) 当要求对检测区域进行两次以上覆盖时,应尽可能使至少其中两次覆盖的声束来自大致相互垂直的两个方向。若因条件限制不能实现,则允许来自一个方向,但任两次覆盖的声束夹角不得小于 10° 。
- f) C 级扫查的其中一次扫射可将探头置于焊缝表面上实施扫查,采用此种扫查需要将焊缝余高磨平。

4.3 焊接接头不同技术等级要求的信噪比:

- a) A 级不要求制作模拟试块。在对比试块上测量信噪比,应保证所有声束拟采用的声程范围内 $\phi 2$ 横孔的信噪比大于 9 dB。
- b) B 级是否制作模拟试块由合同双方商定,模拟试块的制作要求见 7.3。在试块上测量信噪比,应保证所有声束拟采用的声程范围内 $\phi 2$ 横孔的信噪比大于 12 dB。
- c) C 级要求制作模拟试块(见 7.3)。在模拟试块上测量信噪比,应保证所有声束拟采用的声程范围内 $\phi 2$ 横孔的信噪比大于 12 dB。

4.4 其他结构形式的工件扫查可以参照焊接接头的规定区分检测技术等级,也可以不区分检测技术等级,但至少要求对检测区域全覆盖,且信噪比大于 9 dB。

5 检测人员

5.1 从事相控阵检测的人员至少应符合 GB/T 9445 或等效标准的要求,应通过有关相控阵检测技术的专门培训并取得相应证书。

5.2 相控阵检测人员应熟悉所使用的检测设备。

5.3 相控阵检测人员应具有实际检测经验并掌握一定的金属材料及加工的基础知识。

6 检测设备

6.1 总则

相控阵检测设备包括仪器、探头、软件、扫查装置和附件,上述各项应成套或单独具有产品合格证或制造厂出具的合格文件。

6.2 超声相控阵仪器

- 6.2.1 相控阵仪器应为计算机控制的含有多个独立的脉冲发射/接收通道的脉冲反射型仪器,其放大器的增益调节步进不应大于 1 dB。
- 6.2.2 相控阵仪器应配备与其硬件相匹配的延时控制和成像软件。
- 6.2.3 -3 dB 带宽下限不高于 1 MHz,上限不低于 15 MHz。
- 6.2.4 采样频率不应小于探头中心频率的 6 倍。
- 6.2.5 幅度模数转换位数应不小于 8 位。
- 6.2.6 仪器的水平线性误差不大于 1%,垂直线性误差不大于 5%。
- 6.2.7 所有激励通道的发射脉冲电压具有一致性,最大偏移量应不大于设置值的 5%。
- 6.2.8 各通道的发射脉冲延迟精度不大于 5 ns。

6.3 软件

- 6.3.1 软件至少应有 A、S、B、C 型显示的功能,且具有在扫描图像上对缺陷定位、定量及分析功能。
- 6.3.2 能够存储、调出 A、S、B、C 图像,并能将存储的检测数据复制到外部存储空间中。
- 6.3.3 仪器软件应具有聚焦法则计算功能、ACG 校准功能,以及 TCG(或 DAC)校准功能。
- 6.3.4 仪器的数据采集和扫查装置的移动同步,扫查步进值应可调,其最小值应不大于 0.5 mm。
- 6.3.5 仪器应能存储和分辨各 A 扫描信号之间相对位置的信息,如编码器位置。
- 6.3.6 离线分析软件中应能对检测时关键参数设置进行查看。

6.4 相控阵探头

- 6.4.1 相控阵探头应符合 JB/T 11731。相控阵探头应由多个晶片(一般不少于 8 个)组成阵列,探头可加装用以辅助声束偏转的楔块或延迟块。
- 6.4.2 探头实测中心频率与标称频率间的误差应不大于 10%。
- 6.4.3 探头 -6 dB 相对频带宽度不小于 55%。
- 6.4.4 采购验收相控阵探头时,同一探头晶片间灵敏度最大差值不大于 4 dB,且不应存在坏晶片(相控阵探头晶片的灵敏度差异、有效性测试方法和坏晶片定义见附录 A)。
- 6.4.5 使用中的相控阵探头如出现坏晶片,可在选择激发孔径范围时设法避开坏晶片;如无法避开,则要求在扫查使用的每个声束组中,损坏晶片不应超过总使用晶片数的 12.5%,且没有连续损坏晶片;如果晶片的损坏超过上述规定,可通过仿真软件计算且通过试块测试,确认坏晶片对声场和检测灵敏度、信噪比无明显不利影响,才允许使用。

6.5 仪器校准

相控阵仪器的性能指标应定期进行校准,校准方法见附录 A 和附录 B。校准周期由使用单位决定。

6.6 扫查装置

- 6.6.1 扫查装置应具有确定探头位置的功能,可通过步进电机或位置传感器实现对位置的探测与控制,位置分辨力应符合工艺要求。
- 6.6.2 夹持部分应确保探头与位置传感器同步运动。
- 6.6.3 为提高探头运动轨迹与拟扫查轨迹的一致性和数据采集的一致性,应尽可能使用导向装置。
- 6.6.4 驱动部分可以采用电机或人工驱动。

7 试块

7.1 试块包括校准试块和模拟试块,试块的一般要求应满足 GB/T 23905。

7.2 校准试块用于声速、楔块延时、ACG 及 TCG 的校准,也可用于检测灵敏度的校准,可采用 NB/T 47013.3 所述的 CSK-I A 试块、CSK-II A 试块、CSK-III A 试块、圆弧孔试块,或与之功能类似的其他试块。

7.3 本标准推荐采用 CSK-II A 试块作为灵敏度校准试块。若要求使用其他试块作为灵敏度试块,应在合同中拟定,且检测准备及实施时应考虑到模拟试块横孔直径(见 4.3 和 7.4)、扫查灵敏度设置(见 10.1、10.2 和 10.4)等的差异。

7.4 模拟试块用于检测灵敏度的校准,信噪比的评价,同时可验证检测工艺的有效性。模拟试块的材质、形状、结构、厚度,以及焊接坡口型式和焊接工艺应与实际检测的工件相同或相近,应在检测区域内设置适当的位置设置反射体,反射体应包括用于信噪比测量和灵敏度校准的 $\phi 2 \times 40$ 的横孔,以及其他机械加工的模拟缺陷和焊接产生的自然缺陷。

7.5 采用自动(半自动)扫查的检测,应采用模拟试块验证检测工艺的有效性。

8 基本要求

8.1 相控阵检测工艺规程

8.1.1 检测前,应根据本标准编制相控阵检测工艺规程。

8.1.2 相控阵检测工艺规程至少应包括以下内容:

- a) 适用范围和对被检工件的要求;
- b) 遵循的规范标准和包含的检测技术等级;
- c) 被检工件情况(名称、材质、成型方法、坡口形状尺寸、焊接情况、热处理情况、母材检测情况等);
- d) 检测的目的、检测覆盖区域、检测时机、采用的规范标准和检测技术等级;
- e) 对检测人员资格和能力的要求,检测人员培训和工艺验证试验要求;
- f) 对检测设备(仪器、探头、试块)的要求;
- g) 检测参数及要求,包括检测覆盖区域、检测时机、仪器、探头及楔块的参数设置或选择、扫查方法(机械扫查及电子扫描)的选择、扫查面的确定、探头位置的确定、扫查面的准备等,以及检测系统的设置(激发孔径、扇扫角度和步进、线扫步进、聚焦、时间窗口、灵敏度等)和校准(灵敏度、位置传感器等)方法,横向缺陷的补充检测方法(必要时);
- h) 扫查示意图(SP):图中应标明工件厚度、焊缝坡口形状、扫查面、探头位置、扫查移动方向和移动范围、扫描波束角度和覆盖范围等;
- i) 检测温度、扫查速度、数据质量要求;
- j) 扫查和数据采集过程的一般要求;
- k) 对数据分析、缺陷评定与记录报告的一般要求。

8.2 工艺验证试验

8.2.1 工艺验证试验为:制作与被检工件相同或相似的带有缺陷的模拟试件,将拟采用的检测工艺应用到模拟试件上,以验证拟采用工艺的有效性。工艺验证试验结果应确保能够清楚地显示和测量模拟试块中的缺陷或反射体。

8.2.2 符合以下情况之一时应进行工艺验证试验,试验应在模拟试块上进行:

- a) 按 C 级实施检测的焊接接头;

GB/T 32563—2016

- b) 按 B 级采用自动或半自动扫查的批量检测；
- c) 结构和形状复杂的工件；
- d) 信噪比和声速与细晶粒钢差异明显的非细晶粒钢工件检测；
- e) 检测条件(例如检测面)不能满足检测等级要求时；
- f) 合同要求进行。

8.2.3 经合同双方同意,可使用经过认证的相控阵仿真软件计算部分或全部代替工艺验证试验内容。

8.3 焊接接头横向缺陷检测

8.3.1 当符合以下条件之一时应进行横向缺陷检测：

- a) C 级检测；
- b) 有横向裂纹发生倾向时；
- c) 所选用的检测等级有要求时；
- d) 合同或设计文件规定要求进行时。

8.3.2 对横向缺陷进行检测,当焊缝没有磨平时,可将探头放在靠近焊缝的母材,与焊缝轴线成 $10^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 夹角(如图 6 左),采用扇扫描+沿线扫查方式进行检测。当焊缝磨平时,可采用探头放在焊缝上(如图 6 右),采用扇扫描+沿线扫查方式进行检测。

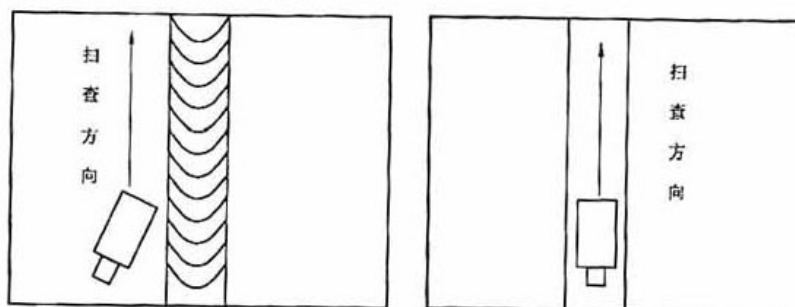


图 6 横向缺陷扫查示意图

9 检测准备

9.1 检测区域

焊接接头检测区域应包含焊缝本身宽度加上两侧各 10 mm 或实际热影响区宽度(取较大值)。

9.2 扫查方式选择

焊接接头首次检测推荐采用以下机械扫查与电子扫描的结合方式：

- a) 沿线扫查+扇扫描；
- b) 沿线扫查+线扫描+扇扫描；
- c) 沿线栅格扫查+扇扫描。

对可疑部位,可采用扇扫描,结合锯齿、前后、左右、旋转、环绕等各种扫查方式进行检测。

9.3 探头及模块的选择

9.3.1 根据工件厚度、材质、检测位置、检测面形状以及检测使用的声束类型选择相控阵探头的频率、晶片数量、晶片间距、晶片尺寸、形状以及楔块规格等。

9.3.2 相控阵探头参数的选择可参照表 1,通常单次激发的晶片数不少于 8 个。

表 1 推荐采用的探头参数

最大探测厚度/mm	频率/MHz	晶片间距/mm	偏转方向孔径尺寸/mm
$6 \leq T < 15$	15~5	0.8~0.3	5~10
$15 \leq T < 50$	10~4	1.0~0.5	8~25
$50 \leq T < 100$	7.5~2	1.5~0.5	20~35
$100 \leq T < 200$	5~1	2.0~0.8	30~65

9.3.3 根据设计的检验工艺要求,结合生产厂家推荐的角度偏转范围,选择与探头相匹配的楔块。常用楔块角度包括 0° 、 45° 、 55° 、 60° (自然角度)等。

9.3.4 对于曲面工件应确保耦合良好,工件与楔块最大间隙超过 0.5 mm 时,应定制与工件曲率相符的楔块,同时应改变仪器中楔块的参数,以确保聚焦法则的精确性。

9.4 不同检测等级的扫查方法

9.4.1 对接焊缝,优先推荐采用扇扫描+沿线扫查。S 值的选择应确保声束对检测区域充分覆盖,同时兼顾检测灵敏度。

9.4.1.1 A 级检测:适用于缺陷检出率要求较低的焊缝,或在用设备的焊缝的抽查检测。可选择横波倾斜入射的沿线扫查+扇扫描或横波倾斜入射的沿线扫查+线扫描,扫查面可以为焊缝单面单侧。

9.4.1.2 B 级检测:适用于缺陷检出率要求较高的焊缝。当母材厚度 6 mm~50 mm 时,可选择横波倾斜入射的沿线扫查+扇扫描或横波倾斜入射的沿线扫查+线扫描进行检测,扫查面为焊缝一面两侧;当厚度 50 mm~200 mm 时,可选择横波倾斜入射的沿线扫查+扇扫描进行检测,扫查面为焊缝两面四侧。

9.4.1.3 C 级检测:适用于缺陷检出率要求很高的焊缝,被检测的焊缝的余高应磨平。当母材厚度 6 mm~50 mm 时,可选择横波倾斜入射的沿线扫查+扇扫描或横波倾斜入射的沿线扫查+线扫描进行检测,扫查面至少为焊缝一面两侧;当厚度 50 mm~200 mm 时,可选择横波倾斜入射的沿线扫查+扇扫描进行检测,扫查面应为焊缝两面四侧。此外还应增加横向缺陷检测,以及在焊缝及附近母材上的纵波直射声束线扫描。

9.4.1.4 当受现场条件限制,B 级和 C 级检测无法做到从焊缝一面两侧或两面四侧扫查时,经合同双方商定,可增加 3 次波扫查(较薄工件),或通过增加沿线栅格扫查(较厚工件),来增大覆盖范围和实现多角度声束多次覆盖,以弥补扫查面不足带来的影响。

9.4.2 其他常见结构焊缝推荐扫查位置可参见附录 C。

9.5 检测参数设置

9.5.1 激发孔径设置

无论选择何种扫描方式,可偏转方向上的激发孔径尺寸 D 与晶片宽度 b 之比应满足: $0.2 \leq D/b \leq 5$ 。根据不同的工件厚度推荐使用的可偏转方向上孔径尺寸范围见表 1。如果校准时发现表 1 所推荐的孔径无法满足 10.1.5 或 10.2.5 要求时,可选择更大的激发孔径。

9.5.2 扇扫描设置

9.5.2.1 横波斜声束扇扫描角度范围不应超出 $35^\circ \sim 75^\circ$ 并在楔块制造商推荐的角度范围内使用。特殊情况下,确需要应用超出该角度范围的声束检测时,应通过试验验证其灵敏度。

GB/T 32563—2016

9.5.2.2 当工件壁厚较小时,不宜采用过小角度声束,以免底面一次反射波进入楔块产生干扰。

9.5.2.3 角度步进设置应符合表 2 要求。

表 2 推荐的扇扫描角度步进设置

最大检测深度 T' /mm	角度步进范围/(°)
$T' \leq 50$	≤ 2
$50 < T' \leq 100$	≤ 1
$100 < T' \leq 200$	≤ 0.5

9.5.3 线扫描设置

使用线扫描覆盖时,应保证对检测区域全覆盖,激发孔径移动的步进设置一般为 1。

9.5.4 聚焦设置

焊缝初始扫查的聚焦深度设置一般应避免在近场区内。当检测声程范围在 50 mm 以下时,聚焦深度可以设置在最大探测声程处;当检测声程范围在 50 mm 以上时,聚焦深度可以选择检测声程范围的中间值或其他适当深度。

在对缺陷进行精确定量时,或对特定区域检测需要获得更高的灵敏度和分辨力时,可将焦点设置在该区域。

9.6 扫查面准备

9.6.1 探头移动区域应清除焊接飞溅、锻造氧化皮、铁屑、污垢及其他影响透声性能和耦合效果的覆盖物。检测表面应平整,便于探头的移动和耦合,其表面粗糙度 Ra 值应小于或等于 $6.3 \mu\text{m}$ 。

9.6.2 保留余高的焊缝,如果焊缝表面有咬边、较大的隆起和凹陷等应进行适当的修磨,并做圆滑过渡以免影响检测结果的评定;要求去除余高的焊缝,应将余高打磨到与临近母材平齐。

9.6.3 检测前应在工件扫查面上予以标记,标记内容至少包括扫查起始点和扫查方向。可采用各种方法保证扫查轨迹的正确性,例如将探头移动轨迹画到母材上。

9.7 母材检测

对重要工件或检测人员有怀疑时,应对超声波声束通过的母材区域,采用直探头或相控阵探头纵波 0° 声束线扫描模式进行检测。此检测仅作参考,不属于对母材的验收检测。母材检测的要点如下:

- 检测方法:接触式脉冲反射法;
- 检测灵敏度:将无缺陷处二次底波调节为荧光屏满幅的 100%;
- 凡缺陷信号幅度超过荧光屏满刻度 20% 的部位,应在工件表面作出标记,并予以记录。

9.8 耦合剂

9.8.1 应采用有效且适用于工件的介质作为超声耦合剂。

9.8.2 选用的耦合剂应在一定的温度范围内保证稳定可靠的检测。

9.8.3 实际检测采用的耦合剂应与检测系统设置和校准时的耦合剂相同。

9.9 检测温度

9.9.1 采用常规探头和耦合剂时,工件的表面温度范围为 $0^\circ\text{C} \sim 60^\circ\text{C}$ 。

9.9.2 系统校准与实际检测间的温度差应控制在 $\pm 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之内。

9.9.3 若检测过程中工件温度变化超出上述范围,应评价温度变化对检测结果的影响。

9.9.4 若检测前发现工件温度超出上述范围,应通过实验验证设备的适用性,同时验证检测的可操作性和可靠性。

10 检测系统的设置和校准

10.1 扇扫描的校准

10.1.1 采用扇扫描检测前,应对扇扫描角度范围内的每一条声束校准,校准的声程范围应包含检测拟使用的声程范围。

10.1.2 可采取 TCG 修正方法进行校准,也可采取 DAC 曲线方法进行校准。

10.1.3 为避免角度灵敏度差异,在校准前可先进行 ACG 修正。

10.1.4 ACG 修正可采用 CSK-I A 试块或其他带有 R100 mm 圆弧的等效试块。焊缝检测时,DAC 曲线和 TCG 修正可采用 CSK-II A 试块,也可采用其他横孔试块。

10.1.5 扇扫描 TCG 修正后不同深度处相同反射体回波波幅应基本一致,且经最大补偿的声束对最大声程处横孔回波的信噪比应满足 4.3 的要求。

10.2 线扫描的校准

10.2.1 采用线扫描检测前,应对线扫描角度范围内的每一个声束校准,校准的声程范围应包含检测拟使用的声程范围。

10.2.2 可采取 TCG 修正方法进行校准,也可采取 DAC 曲线方法进行校准。

10.2.3 在校准前也可先对激发孔径位置不同导致的灵敏度差异进行修正。

10.2.4 对于孔径位置灵敏度差异修正, 0° 声束可使用 CSK-II A-1 试块 40 mm 的大平底回波进行修正,其余角度声束可使用 CSK-II A-2 试块上 50 mm 深 2 mm 直径平底孔进行修正。焊缝检测,DAC 曲线和 TCG 修正可采用附录 CSK-II A 试块,也可采用其他横孔试块。

10.2.5 线扫描 TCG 修正后不同深度处相同反射体回波波幅应一致,且经最大补偿的声束对最大声程处横孔回波的信噪比应满足 4.3 的要求。

10.3 扫查分区

应根据工件厚度、所选择扫查面,以及灵敏度、分辨力、信噪比要求等,决定是否采用分区扫查,以及各区的覆盖范围。

10.4 灵敏度设置

10.4.1 可选用 TCG 和 DAC 两种方式设置灵敏度。

10.4.2 初始扫查时推荐采用 TCG 设置灵敏度。

10.4.3 设置 TCG 灵敏度,探测深度为 6 mm~50 mm 时,将 $\phi 2 \times 40$ 横孔回波幅度调至满屏的适当高度(例如 90%),作为扫查灵敏度;探测深度大于 50 mm 时,将 $\phi 2 \times 40$ 横孔回波幅度调至满屏的适当高度(例如 80%),作为扫查灵敏度。

10.4.4 设置 DAC 灵敏度,探测深度为 6 mm~50 mm 时,将 DAC 曲线的最大声程处的 $\phi 2 \times 40$ 横孔回波调至满屏的适当高度(例如 40%),作为扫查灵敏度;探测深度大于 50 mm 时,将 DAC 曲线的最大声程处的 $\phi 2 \times 40$ 横孔回波调至满屏的适当高度(例如 20%),作为扫查灵敏度。

10.4.5 曲面工件检测时,检测面曲率半径 $R \leq W^2/4$ 时,TCG 或 DAC 校准应在与检测面曲率相同或相近(试块曲率在工件曲率的 0.9~1.5 倍范围内)的对比试块上进行。

GB/T 32563—2016

10.4.6 纵焊缝的增益及声程修正可通过相应的模拟试块测定,也可通过仿真软件计算实现。

10.4.7 工件的表面耦合损失和材质衰减应与试块相同,否则应进行传输损失补偿。在所采用的最大声程内最大传输损失差小于或等于 2 dB 时可不进行补偿。

10.5 扫查步进设置

10.5.1 扫查步进指扫查过程中相邻两个 A 扫描信号间的空间采样间隔,检测前应将检测系统设置为根据扫查步进采集信号。

10.5.2 推荐的扫查步进设置见表 3 的规定。

10.6 位置传感器的校准

10.6.1 检测前应对位置传感器进行校准。

10.6.2 校准方式是使扫查装置移动一定的距离(不小于 500 mm)时对检测设备所显示的位移与实际位移进行比较,其误差应小于 1%,最大不超过 10 mm。

表 3 推荐的扫查步进值

工件厚度 t/mm	扫查步进最大值 $\Delta x_{\text{max}}/\text{mm}$
$6 \leq t \leq 10$	1.0
$10 < t \leq 150$	2.0
$150 < t \leq 200$	3.0

10.7 检测系统的复核

10.7.1 检测系统的复核包括对灵敏度复核及定位精度复核,在如下情况时应按照附录 B 对检测系统进行复核:

- 检测前;
- 检测过程中检测设备停机后开机或更换部件时;
- 检测人员有怀疑时;
- 检测结束时。

10.7.2 复核应采用与初始检测设置时的同一试块。若复核时发现与初始检测设置的测量偏离,应按照表 4 执行。

表 4 偏离和纠正

灵敏度	1	$\leq 3 \text{ dB}$	通过软件进行纠正
	2	$> 3 \text{ dB}$	重新设置,并重新检测上次校准以来所检测的焊缝
声程	1	偏离 $\leq$ 小于或等于 1 mm	不需要采取措施
	2	偏离 $>$ 大于 1 mm	找出原因重新设置。若在检测中或检测后发现,则纠正后重新检测上次校准以来所检测的焊缝
角度	1	偏离 $\leq 1^\circ$	不需要采取措施
	2	偏离 $> 1^\circ$	找出原因重新设置。若在检测中或检测后发现,则纠正后重新检测上次校准以来所检测的焊缝

11 检测

11.1 依照工艺设计将检测系统的硬件及软件置于检测状态,将探头摆放到要求的位置,沿设计的路径进行扫查。扫查过程中应采取一定的措施(如提前画出探头轨迹或参考线、使用导向轨道或使用磁条导向)使探头沿预定轨迹移动,过程中探头位置与预定轨迹的偏离量不能超过 S 值的 15%。

11.2 扫查时应保证扫查速度小于或等于最大扫查速度 $v_{\max}$,同时保证耦合效果和满足数据采集的要求。最大扫查速度按式(1)计算:

$$v_{\max} = \frac{\text{PRF}}{N \cdot A} \Delta x \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

$v_{\max}$ ——最大扫查速度,单位为毫米每秒(mm/s);

PRF ——激发探头的脉冲重复频率,单位为赫兹(Hz);

Δx ——设置的扫查步进值,单位为毫米(mm);

N ——设置的信号平均次数;

A ——A 扫描的数量(如扇扫描时,激发如 $35^{\circ} \sim 75^{\circ}$ 的扇扫描,角度步进为 1° ,则 $A=41$;又如线扫描时,探头总体晶片数量为 64,同时激发 16 晶片,扫查步进为 1,则 $A=49$)。

11.3 若需对工件在长度方向进行分段扫查,则各段扫查区重叠范围至少为 20 mm。对于环状工件(如环焊缝),扫查停止位置应越过起始位置至少 20 mm。

11.4 扫查过程中应保持稳定的耦合,有耦合监控功能的仪器可开启此功能,若怀疑耦合不好,应重新扫查该段区域。

12 检测数据的分析和解释

12.1 检测数据的有效性评价

12.1.1 分析数据之前应对所采集的数据进行评估以确定其有效性,数据至少应满足以下要求:

- a) 数据是基于扫查步进的设置而采集的;
- b) 采集的数据量满足所检测焊缝长度的要求;
- c) 数据丢失量不得超过整个扫查的 5%,且不准许相邻数据连续丢失;
- d) 扫查图像中耦合不良不得超过整个扫查的 5%,单个耦合不良长度不得超过 2 mm。

12.1.2 若数据无效,应纠正后重新进行扫查。

12.2 缺陷的测量

12.2.1 总则

结合 B 型显示、C 型显示、扇扫描及 A 扫描显示,对缺陷的位置、幅度、长度进行测量。

可采用各种聚焦方法提高定量精度。

可采用锯齿、转角、环绕等各种扫查方法提高定量精度和辅助定性。

12.2.2 回波幅度确定

扇扫描时,找到不同位置扇扫描的不同角度 A 扫描中缺陷的最高回波幅度作为该缺陷的幅度。线扫描时,找到不同孔径组合时,缺陷最高回波幅度作为该缺陷的幅度。

12.2.3 缺陷长度确定

若缺陷最高幅度未超过满屏 100%，则以此幅度为基准，找到此缺陷不同角度 A 扫描回波幅度降低 6 dB 的最大长度作为该缺陷的长度。

若缺陷最高幅度超过满屏 100%，则找到此缺陷不同角度 A 扫描回波幅度降低到定量线时的最大长度作为此缺陷的长度。

12.3 缺陷的评定

缺陷的评定由合同双方商定，或参照有关常规超声标准。

13 检测报告

检测报告至少应包括如下内容：

- a) 委托单位；
- b) 检测标准；
- c) 被检工件：名称、编号、规格、材质、坡口形式、焊接方法和热处理状况；
- d) 检测设备：仪器型号及编号、扫查装置包括编码器、试块、耦合剂；
- e) 检测条件：检测工艺卡编号、探头参数及楔块选择、扫查方式（S 或 E）、聚焦法则的设定、检测使用的波型、检测系统的设置、系统性能试验报告、角度增益修正文件、温度；
- f) 检测示意图：探头扫查表面、检测区域以及所发现的缺陷位置和分布；
- g) 检测数据：数据文件名称、缺陷位置与尺寸、质量级别及缺陷部位的图像（S 扫描或 B 扫描等，以能够真实反映缺陷情况为原则）；
- h) 检测结论；
- i) 检测人员和责任人员签字；
- j) 检测日期。

附 录 A
(规范性附录)

相控阵探头晶片灵敏度差异与有效性测试

A.1 一般要求

本测试要求仪器软件能够对相控阵探头的每个晶片进行逐一激发。测试时探头不应加装楔块或延时块。为减少晶片磨损而附加的保护贴膜应均匀一致,不影响测试结果。

A.2 测试方法

A.2.1 将相控阵探头均匀稳定地耦合在 CSK-II A-1 试块 40 mm 厚度(或等效试块)表面,单独激发第一个晶片,得到 40 mm 大平底回波。

A.2.2 调节增益值使 40 mm 的底面回波达到 80% 满屏高度,记录此时的增益值。

A.2.3 单独激发下一个晶片,并重复 A.2.2,直至最后一个晶片。

A.3 坏晶片

以下晶片被认定为坏晶片:

- a) 未见底面回波信号的晶片;
- b) 有底面回波信号但信噪比小于 12 dB 的晶片;
- c) 同一阵列中灵敏度明显偏低,比其他晶片的平均灵敏度低 9 dB 以上的晶片。

A.4 复核

若测试发现各晶片的增益值离散性较大,最大与最小增益值之差 ≥ 4 dB 时,应确认耦合一致性及稳定性,然后按 A.2 规定的方法重新测试,进行复核。

附录 B
(规范性附录)
相控阵检测系统定位精度测试

B.1 一般要求

B.1.1 本测试应在检测前、检测过程中以及检测结束后进行。

B.1.2 不加装楔块或延时块时,本测试可评价仪器软件对声束合成的控制精度。加装楔块或延时块时,本测试可反映楔块或延时块的磨损,以确定是否需要更换或再校准。

B.2 测试方法**B.2.1 不加装楔块或延时块时**

B.2.1.1 将相控阵探头稳定地耦合到图 B.1 的试块上,并将欲测试晶片组的孔径中心与 100 mm 等声程孔的声程中心重合。

B.2.1.2 设置扇扫描角度范围 $-80^{\circ}\sim 80^{\circ}$,保存等声程孔的扇扫描图像。

B.2.1.3 在软件中测量各孔的回波声程及角度,与实际值相比较。

B.2.2 加装楔块或延时块时

B.2.2.1 设置软硬件组合,以得到拟用于检测的声束范围。

B.2.2.2 在拟用于检测的声束范围内,对靠近的两侧边缘声束及居中间位置的声束分别进行单独激发。

B.2.2.3 将相控阵探头置于图 B.1 的试块表面,以所选取的声束找到与该声束相同角度位置的孔的最高回波,记录仪器中测得的孔的位置信息,并与实际值相比较。

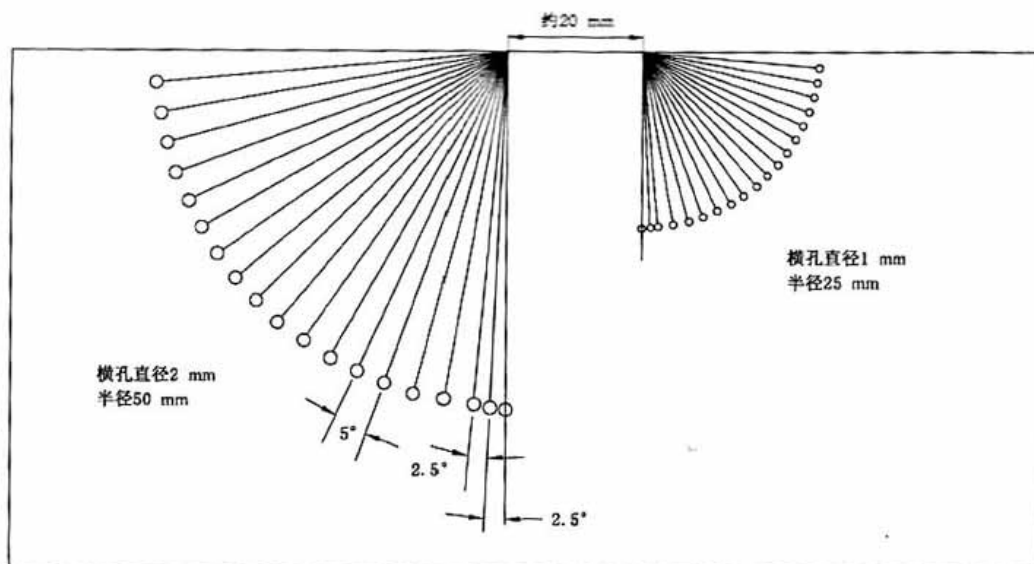


图 B.1 相控阵试块

附录 C

(资料性附录)

常见其他形式焊接接头推荐的扫查位置

图 C.1~图 C.4 提供了常见形式焊接接头推荐的扫查位置,可根据被检工件的状态选择不同的方案,若一个位置扫查或单次扫查不能满足要求时,则宜采取增加扫查位置或增加电子扫描方式等有效的方法,以达到对检测区域全覆盖的要求。

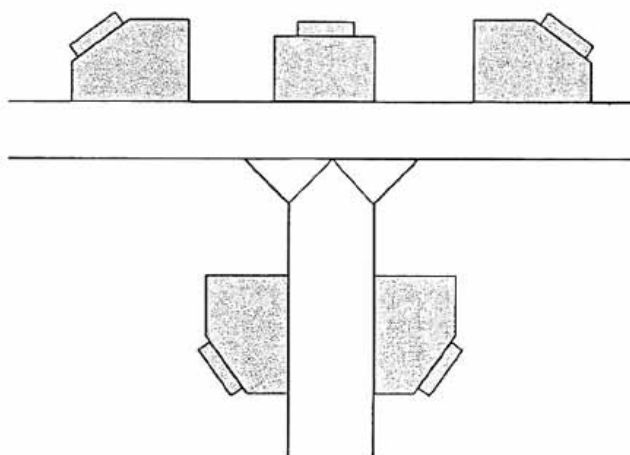


图 C.1 T型焊接接头

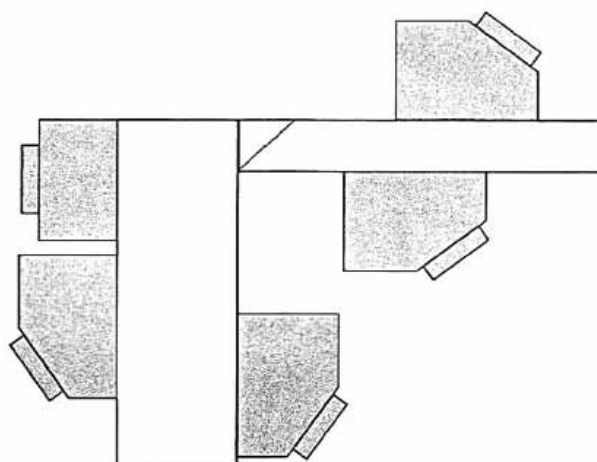


图 C.2 角接焊接接头

GB/T 32563—2016

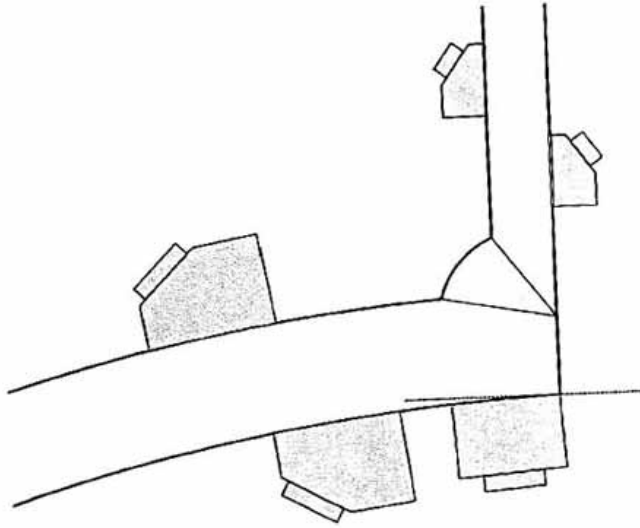


图 C.3 安放式焊接接头

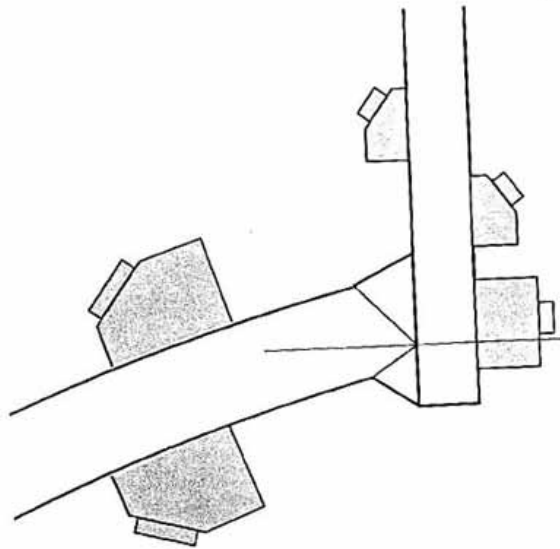


图 C.4 插入式焊接接头

中 华 人 民 共 和 国

国 家 标 准

无损检测 超声检测

相控阵超声检测方法

GB/T 32563—2016

*

中国标准出版社出版发行

北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)

北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址 www.spc.net.cn

总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238

读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/16 印张 1.5 字数 39 千字

2016年5月第一版 2016年5月第一次印刷

*

书号: 155066·1-54466 定价 24.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话:(010)68510107



GB/T 32563-2016