

相控阵超声探伤仪校准规范

1 范围

本规范规定了具有 B 型显示功能的相控阵超声探伤仪的计量特性、校准条件和校准方法。适用于相控阵超声探伤仪 B 型显示模式下的计量特性的校准。

2 引用文件

本规范引用下列文件：

JJG 746—2004 超声探伤仪

JJF 1001—2011 通用计量术语及定义

JJF 1034—2005 声学计量名词术语及定义

GB 3102.7—1993 声学的量和单位

GB/T 3947—1996 声学名词术语

GB/T 12604.1—2005 无损检测 术语 超声检测

JB 10062—1999 超声探伤用探头性能测试方法

ASTM E 2491-06 相控阵超声检测仪器及系统性能评价标准导则

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规则；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规则。

3 术语和计量单位

本规范采用 GB 3102.7—1993 中规定的量和单位。

本规范采用 JJF 1001—2011、JJF 1034—2005、GB/T 12604.1—2005 中界定的和以下术语及定义。

3.1 B 型显示 B mode display

一种能够显示被检件的横截面图像，指示反射体的大致尺寸及其相对位置的超声信息显示方法。

3.2 成像横向分辨力 lateral imaging resolution

成像系统在与声束轴线垂直的方向的分辨力。

3.3 成像纵向分辨力 axial imaging resolution

成像系统在声束轴线方向的分辨力。

4 概述

相控阵超声探伤仪一般由主机和探头（又称为换能器阵列）组成。探头一般是由若干压电阵元组成的阵列。相控阵超声探伤仪通过主机独立控制探头中的各个阵元，实现探头声束的相控发射与接收，在介质指定空间区域内实现超声波的偏转和聚焦。

常用探头分为直探头与斜探头，此外还有与探头配套使用的各种楔块等。

超声探伤时，缺陷的位置 L 由公式 (1) 确定。

$$L = ct \quad (1)$$

式中：

c ——声速，m/s；

t ——传播时间，s。

5 计量特性

5.1 扇扫成像横向分辨力

扇扫成像横向分辨力一般不大于 2 mm。

5.2 扇扫成像纵向分辨力

扇扫成像纵向分辨力一般不大于 2 mm。

5.3 短缺陷分辨力

短缺陷分辨力一般不大于 5 mm。

5.4 成像横向几何尺寸测量误差

人工缺陷成像的横向几何尺寸测量误差一般不超过 $\pm 5\%$ 。

5.5 成像纵向几何尺寸测量误差

人工缺陷成像的纵向几何尺寸测量误差一般不超过 $\pm 5\%$ 。

5.6 扇扫角度范围测量误差

通过对人工缺陷的扇形扫查成像，确定扫查角度范围，测量误差一般不超过 $\pm 3^\circ$ 。

5.7 扇扫角度分辨力

角度分辨力一般不大于 2.5° 。

注：由于校准无需作出合格与否的判定，因此上述技术指标仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

温度：18 °C ~ 28 °C

6.2 标准器及其他设备

专用试块 A、B 具有一系列不同位置、不同角度、不同尺寸的规则通孔和盲孔以模拟缺陷，具体结构及参数如图 1、图 2 所示。

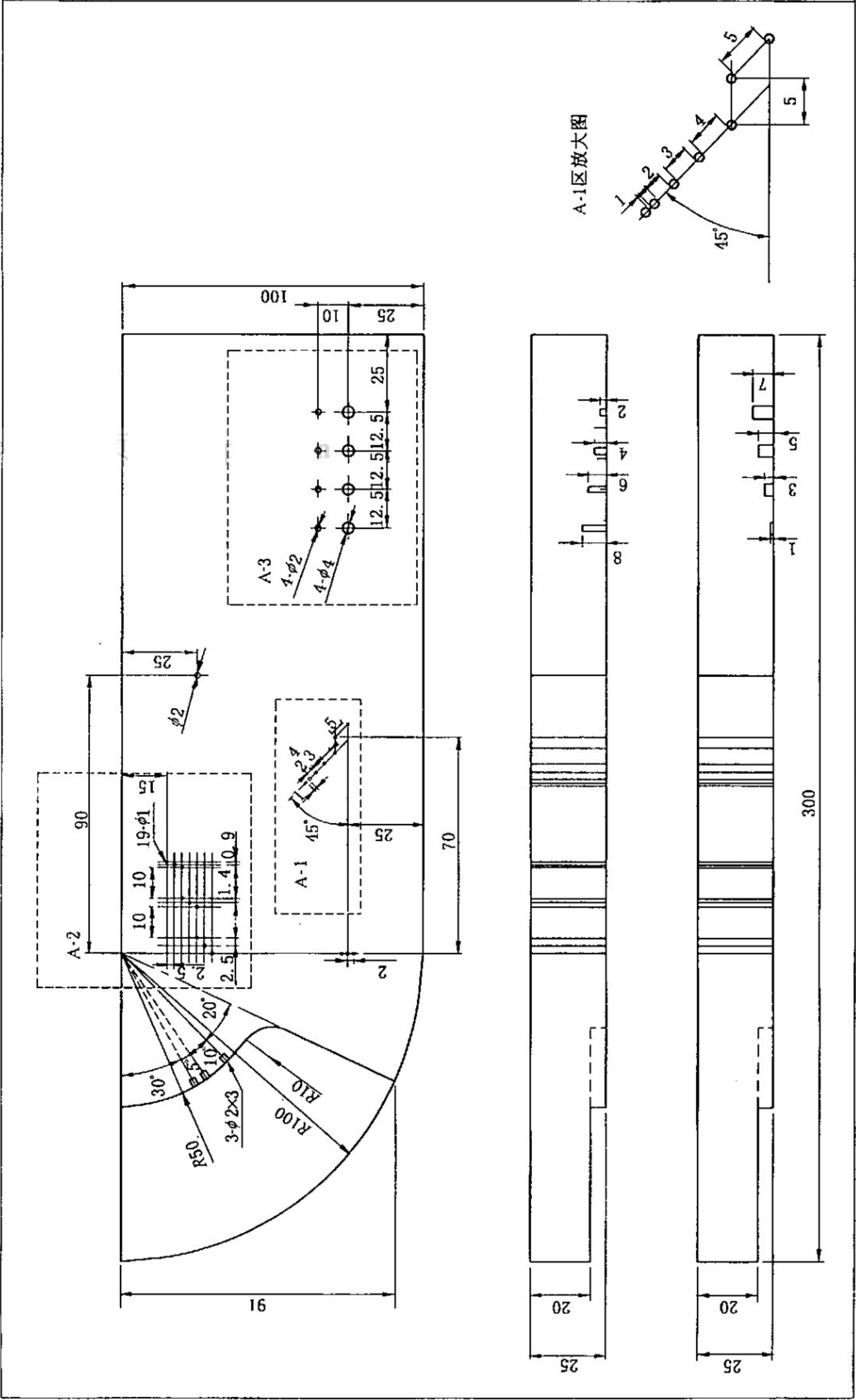


图 1 专用试块 A 的结构示意图

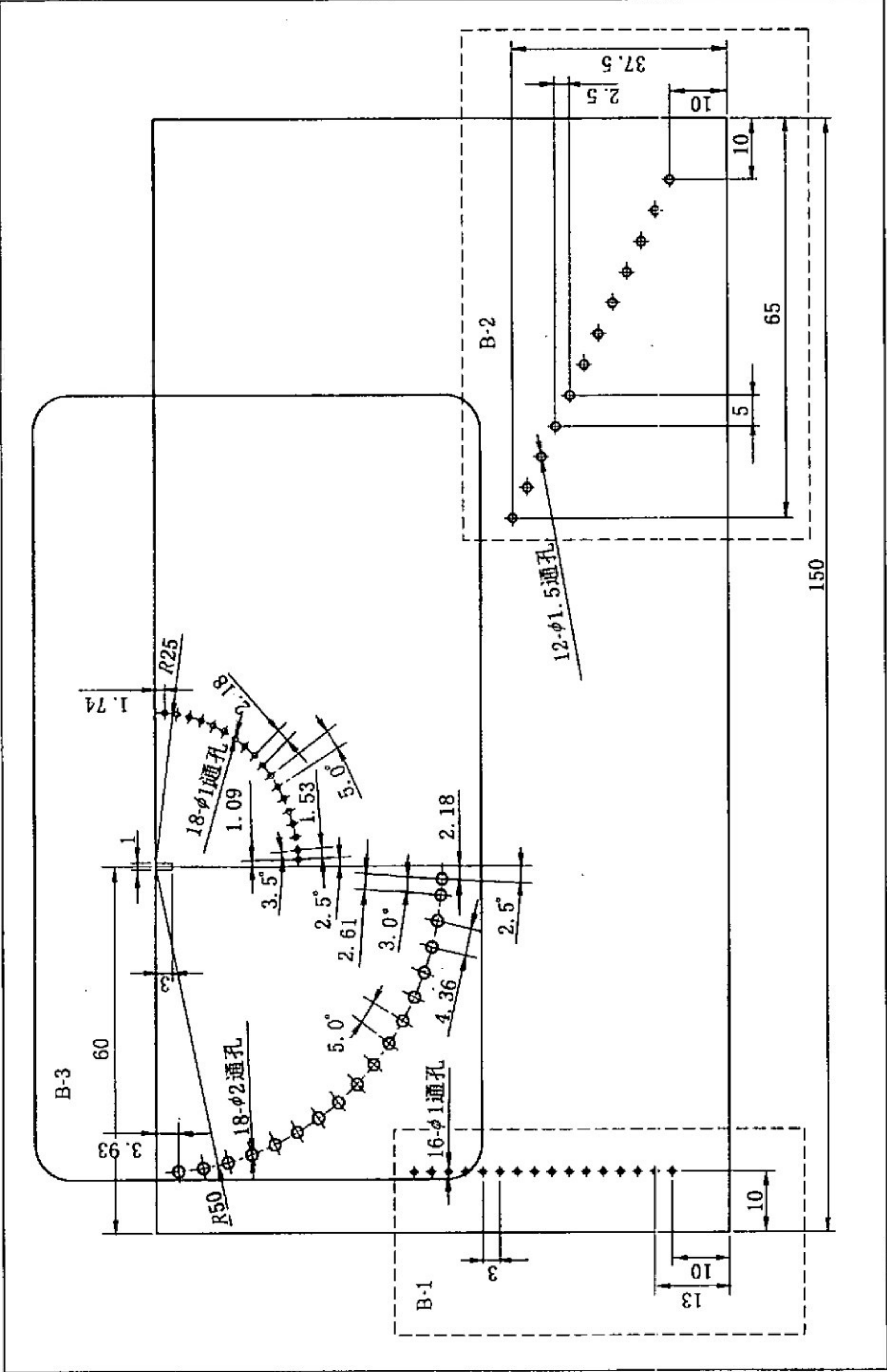


图 2 专用试块 B 的结构示意图

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

相控阵超声探伤仪的校准项目见表 1。

表 1 相控阵超声探伤仪校准项目一览表

序 号	项 目 名 称
1	扇扫成像横向分辨力
2	扇扫成像纵向分辨力
3	短缺陷分辨力
4	成像横向几何尺寸测量误差
5	成像纵向几何尺寸测量误差
6	扇扫角度范围测量误差
7	扇扫角度分辨力

7.2 校准方法

调节相控阵超声探伤仪到 B 型显示工作状态，进行如下校准。

7.2.1 扇扫成像横向分辨力

将探头放置在试块 A 中 A-1 区一系列通孔的下端面，在探头与试块表面之间涂敷合适的耦合剂，并施加一定的压力确保良好耦合，调节设备实现扇形扫查，确保 A-1 区中的人工缺陷都在显示区域中。成像中所能分开的最小间距即为该工作状态下的成像横向分辨力。

7.2.2 扇扫成像纵向分辨力

将探头放置在试块 A 中 A-2 区一系列通孔的上端面，在探头与试块表面之间涂敷合适的耦合剂，并施加一定的压力确保良好耦合，调节设备实现扇形扫查，确保 A-2 区中的同一组人工缺陷都在显示区域中。成像中所能分开的最小间距即为该工作状态下的成像纵向分辨力。

7.2.3 短缺陷分辨力

将探头放置在试块 A 中 A-3 区一系列人工缺陷的下端面，在探头与试块表面之间涂敷合适的耦合剂，并施加一定的压力确保良好耦合，调节设备实现扫查成像。图像中所能清晰显示的最小长度的人工缺陷的长度即为该设备对短缺陷的分辨力。

7.2.4 成像横向几何尺寸测量误差

将探头放置在试块 B 中 B-1 区一系列通孔的左端面及 B-2 区一系列通孔的下端面，在探头与试块表面之间涂敷合适的耦合剂，并施加一定的压力确保良好的耦合，调节设备实现线性扫查或扇形扫查得到清晰图像。

在图像上，依次选择不同孔图像的中心并进行横向间距测量，读取不同孔图像之间的横向距离测量值。用试块上该两孔之间的标称值减去测量值，即为设备对该两个孔横向几何尺寸测量的误差。

7.2.5 成像纵向几何尺寸测量误差

将探头放置在试块 B 中 B-1 区一系列通孔的下端面，在探头与试块表面之间涂敷合适的耦合剂，并施加一定的压力确保良好耦合，调节设备实现线性扫查或扇形扫查得到清晰图像。

在图像上，依次选择不同孔图像的中心并进行纵向间距测量，读取不同孔图像之间的纵向距离测量值。由试块上该两孔之间的标称值减去测量值，即为设备对该两个孔纵向几何尺寸测量的误差。

7.2.6 扇扫角度范围测量误差

将探头放置在试块 B 中 B-3 区一系列通孔的上端面，在探头与试块表面之间涂敷合适的耦合剂，并施加一定的压力确保良好耦合。

对于直探头，本规范推荐采用 3 个扫描角度范围，该扫描角度范围的选取以垂直于探头阵元分布方向并通过探头中心的线为 0° 参考左右对称，推荐选取的角度范围如下： 30° ($\pm 15^\circ$)、 60° ($\pm 30^\circ$)、 80° ($\pm 40^\circ$)。

对于斜探头，由于偏转角度及扫描范围差异较大，本规范推荐根据客户要求或根据仪器情况由实验室指定角度范围。

设定不同的扇形扫查角度范围，调节设备实现扇形扫查得到清晰的图像。在图像中数出缺陷图像的数目，并根据试块中人工缺陷的示意图，计算出实际扫查角度。

如果在同一个增益下，无法全部显示扫查范围内所有人工缺陷的图像；应适当调节增益，使得在该图像中尽可能同时显示出该区域所有的人工缺陷。

7.2.7 扇扫角度分辨力

将探头放置在试块 B 中 B-3 区一系列通孔的上端面，在探头与试块表面之间涂敷合适的耦合剂，并施加一定的压力确保良好耦合，调节设备实现扇形扫查。图像中所能分开的最小角度间距即为该工作状态下的扇扫角度分辨力。

8 校准结果表达

8.1 校准数据处理

所有的数据应先计算后修约，出具的校准数据均保留一位小数。

8.2 校准证书

相控阵超声探伤仪校准后出具校准证书，校准证书应包括的信息及推荐的校准证书内页格式见附录 A。

8.3 校准结果的不确定度评定

校准结果的不确定度按 JJF 1059—1999 进行评定，不确定度评定实例见附录 C。

9 复校时间间隔

复校时间间隔建议为 1 年。

然而，复校时间间隔的长短取决于其使用情况，如环境条件、使用频率、测量对象等，因此使用单位可根据实际使用情况自主决定复校的时间间隔。

附录 A

校准证书内容

A.1 校准证书至少应包括以下信息：

- a) 标题，如“校准证书”；
- b) 证书的编号、页码及总页数；
- c) 校准实验室的名称和地址；
- d) 进行校准的日期；
- e) 进行校准的地点（如果不在实验室内进行校准）；
- f) 送校单位的名称和地址；
- g) 被校相控阵超声探伤仪的描述和明确标识；
- h) 校准所依据的技术规范的名称及代号；
- i) 校准所用计量标准的名称、技术参数及有效期；
- j) 校准时的环境条件；
- k) 校准结果；
- l) 校准结果的测量不确定度；
- m) 复校时间间隔的建议；
- n) 校准人签名、核验人签名、批准人签名；
- o) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- p) 未经校准实验室书面批准，不得部分复制校准证书的声明。

A.2 推荐的相控阵超声探伤仪校准证书的内页格式如下：

校准结果

探头型号：_____

探头编号：_____

校准项目	校准结果
扇扫成像横向分辨力/ mm (A-1 区)	_____
扇扫成像纵向分辨力/ mm (A-2 区)	_____
短缺陷分辨力/mm (A-3 区)	φ2 盲孔时, 最短缺陷_____; φ4 盲孔时, 最短缺陷_____。
成像横向几何尺寸 测量误差/mm (B-1 区)	标称值: 3.0 6.0 9.0 12.0 15.0 18.0 21.0 30.0 39.0 45.0 测量值: 误差:
成像横向几何尺寸 测量误差/mm (B-2 区)	标称值: 5.0 10.0 15.0 20.0 25.0 35.0 45.0 55.0 测量值: 误差:
成像纵向几何尺寸 测量误差/mm (B-1 区)	标称值: 3.0 6.0 9.0 12.0 15.0 18.0 21.0 30.0 39.0 45.0 测量值: 误差:
成像纵向几何尺寸 测量误差/mm (B-2 区)	标称值: 2.5 5.0 7.5 10.0 12.5 15.0 17.5 20.0 22.5 25.0 27.5 测量值: 误差:
直探头扇扫角度范围 测量误差/ (°) (B-3 区)	设定扫描角度范围 (仪器设定): 30° (±15°) 60° (±30°) 80° (±40°) 显示扫描角度范围 (图像读取): _____ 误差: _____
斜探头扇扫角度范 围测量误差/ (°) (B-3 区)	设定扫描角度范围 (仪器设定): 标称扫描范围_____ (自行选择) 显示扫描角度范围 (图像读取): 实际测量扫描范围_____ 误差: _____
扇扫角度分辨力/mm (B-3 区)	_____

校准的环境条件: 温度_____℃; 相对湿度_____%

附录 B

专用试块的技术要求

本规范实验所采用试块的材料是 45# 钢，其声速为 5 920 m/s，表面粗糙度小于 1.6 μm 。所有的人工缺陷中除了 A-3 区中是规则的圆形盲孔外，其余人工缺陷均为规则的圆形通孔，试块的几何尺寸与人工缺陷的位置及几何尺寸如图 1、图 2 所示。

一般来说，试块的材料为金属，表面应足够平整。材料没有明确的限制，只要确切知道试块材料的声速、保证试块中人工缺陷的加工精度即可。

附录 C

校准结果的不确定度评定

本附录给出了相控阵超声探伤仪成像检测纵向分辨力的不确定度评定实例。

C.1 数学模型

缺陷的位置由声速与传播时间确定，数学模型如公式 C.1 确定。

$$L = ct \tag{C.1}$$

式中：

c ——声速，m/s；

t ——传播时间，s。

材料的声速 c 与传播时间 t 相互独立，相对不确定度可以写为：

$$u_{\text{crel}}^2(L) = u_{\text{rel}}^2(c) + u_{\text{rel}}^2(t) \tag{C.2}$$

C.2 A 类不确定度的评定

选择横向通孔成像结果为测量对象，对水平投影间距为 35 mm 的两个孔进行 6 次独立成像检测。成像后测量两孔的水平投影间距，得到如下数据（mm）：

35.8，35.4，35.4，35.6，35.4，35.6

单次测量引入的标准不确定度为 0.163 mm，相对不确定度为 0.47%。

C.3 B 类不确定度的评定

B 类不确定度主要来自工件中人工缺陷的加工误差带来的不确定度、输入声速误差带来的不确定度、时间测量带来的不确定度等。

1) 相距 35 mm 时人工缺陷间距最大允许误差为 ±0.2 mm，相对误差小于 0.57%。以均匀分布考虑，其引入的标准不确定度 $u_p = \frac{0.57\%}{\sqrt{3}} = 0.33\%$

2) 输入材料声速带来的最大误差为 1.0%。以均匀分布考虑，其标准不确定度 $u_v = \frac{1.0\%}{\sqrt{3}} = 0.58\%$

3) 时间测量中，由于采样率一般高于 40 MHz，每个数据代表的时间间隔约为 0.025 μs。即便是对最近的孔成像检测，总的传播时间约为 $T = 3.5 \mu\text{s}$ ，相对误差为 0.71%。以均匀分布考虑，标准不确定度 $u_t = \frac{0.71\%}{\sqrt{3}} = 0.41\%$

综合考虑 A 类、B 类不确定度，总的不确定度来源如表 C.1 所示。

表 C.1 标准不确定度汇总表

不确定度分量	不确定度来源	灵敏系数	标准不确定度（%）
u_a	重复性引入的不确定度	1	0.47
u_p	人工缺陷的加工误差带来的不确定度	1	0.33
u_v	输入声速误差带来的不确定度	1	0.58
u_t	时间测量带来的不确定度	1	0.41

C.4 合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{u_a^2 + u_p^2 + u_v^2 + u_t^2} = 0.91\% \quad (\text{C.3})$$

C.5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$, $U=ku_c=2\times 0.91\%=1.82\%$;

取 $U=2.0\%$ 。

C.6 结论

对于超声探伤的空间定位来说, 2%的空间定位精度基本能满足所有的探伤定位需求, 故校准可行。