



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112763583 B

(45) 授权公告日 2021.08.03

(21) 申请号 202110369788.3

(22) 申请日 2021.04.07

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 112763583 A

(43) 申请公布日 2021.05.07

(73) 专利权人 成都飞机工业(集团)有限责任公司  
地址 610092 四川省成都市青羊区黄田坝  
纬一路88号

(72) 发明人 吴晓红 张武明 杨扬 袁信满  
林文钦 岳诚 郭君 王亚琴  
(续)

(74) 专利代理机构 成都君合集专利代理事务所  
(普通合伙) 51228  
代理人 尹新路

(51) Int. Cl.  
G01N 29/30 (2006.01)

(56) 对比文件  
CN 106404920 A, 2017.02.15  
JP 2015108523 A, 2015.06.11  
CN 202066835 U, 2011.12.07

CN 201788174 U, 2011.04.06  
CN 109668966 A, 2019.04.23  
CN 211426385 U, 2020.09.04  
CN 210803374 U, 2020.06.19  
US 2012130653 A1, 2012.05.24  
CN 203894199 U, 2014.10.22  
CN 111272868 A, 2020.06.12  
CN 205749406 U, 2016.11.30  
CN 106525985 A, 2017.03.22  
CN 109406629 A, 2019.03.01  
CN 112213399 A, 2021.01.12  
CN 109668967 A, 2019.04.23  
CN 201207045 Y, 2009.03.11  
CN 212134587 U, 2020.12.11  
CN 2341147 Y, 1999.09.29  
CN 212780653 U, 2021.03.23  
CN 208897748 U, 2019.05.24  
CN 204008571 U, 2014.12.10 (续)

审查员 张若剑

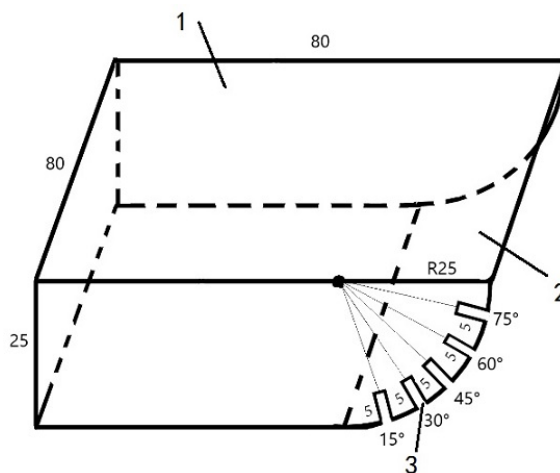
权利要求书2页 说明书5页 附图11页

(54) 发明名称

一种超声相控阵扇形扫描的校准块及制造和使用方法

(57) 摘要

本发明提出了一种超声相控阵扇形扫描的校准块及制造和使用方法,通过设计制造用于复合材料超声相控阵扇形扫描的校准块,用于超声相控阵扇形扫描对不同结构、不同厚度复合材料的适用性验证,测定探头的入射点、测定探头的偏转角度、声波传播速度测定、超声波波型确定、超声显示时基线比例调节,从而实现缺陷的精确定位定量,有效提高超声相控阵扇形扫描检测结果的准确性、可重复性、可比性。在本发明中,校准块的设计是重点,而圆弧面、平底孔则是校准试块制作的难点所在。



CN 112763583 B

[接上页]

(72) 发明人 虞永杰 王邦凯 尹松松

(56) 对比文件

王铮 等.纤维增强树脂基复合材料国内外超声检测标准.《无损检测》.2018,第40卷(第11期),第59-63页.

Angelika Wronkowicz等.Assessment of

uncertainty in damage evaluation by ultrasonic testing of composite structures.《Composite Structures》.2018,第203卷第71-84页.

王丹 等.复合材料无损检测对比试块的制作工艺及测试评价.《工程设备与材料》.2019,(第14期),第130-131页.

1. 一种超声相控阵扇形扫描的校准块,用于在超声相控阵扇形扫描中对不同结构、不同厚度的复合材料进行适用性验证,其特征在于,所述校准块(1)为一端设置半圆弧形端头(2)的板状结构,在所述半圆弧形端头(2)角度为 $90^{\circ}$ 的半圆弧形面上径向排布有五个平底孔(3),所述平底孔(3)以 $15^{\circ}$ 为间隔,绕半圆弧形端头(2)的圆心分别设置在半圆弧形面的 $15^{\circ}$ 、 $30^{\circ}$ 、 $45^{\circ}$ 、 $60^{\circ}$ 和 $75^{\circ}$ 的位置处并呈一线径向排布;

所述校准块(1)包括200张厚度为0.125mm的复合材料预浸料,且校准块(1)的长度和宽度分别为80mm;所述平底孔(3)分布在离所述校准块(1)左侧或右侧25mm距离处以半圆弧形端头(2)的圆心为圆心呈一线径向分布;

所述校准块(1)的半圆弧形端头(2)的半径为25mm;

所述平底孔(3)的孔径为3mm,孔深为5mm;

所述复合材料预浸料为具有铺层-树脂异质界面的非均质的混合相结构的碳纤维树脂基复合材料。

2. 一种超声相控阵扇形扫描的校准块的制造方法,用于制造如权利要求1所述的一种超声相控阵扇形扫描的校准块,其特征在于,具体操作为:选取200张单张尺寸为 $100\text{mm}\times 100\text{mm}\times 0.125\text{mm}$ 的复合材料预浸料,依次采用铺叠、组装、热压罐成型固化生成 $100\text{mm}\times 100\text{mm}\times 25\text{mm}$ 的试块板;然后对 $100\text{mm}\times 100\text{mm}\times 25\text{mm}$ 的试块板进行切割得到 $80\text{mm}\times 80\text{mm}\times 25\text{mm}$ 的试块板,再对 $80\text{mm}\times 80\text{mm}\times 25\text{mm}$ 的试块板的一端头进行铣切,生成半径为25mm的半圆弧形端头(2);最后在半圆弧形端头(2)上以 $15^{\circ}$ 为间隔,以半圆弧形面的圆心为圆心,分别在半圆弧形端头(2)的半圆弧形面上距离校准头(1)侧边25mm处的 $15^{\circ}$ 、 $30^{\circ}$ 、 $45^{\circ}$ 、 $60^{\circ}$ 、 $75^{\circ}$ 处钻5个一线径向分布的孔,然后进行铣孔得到五个孔径3mm、孔深5mm的平底孔,完成校准块(1)的制造。

3. 如权利要求2所述的一种超声相控阵扇形扫描的校准块的制造方法,其特征在于,所述铺叠的具体操作为:将200张复合材料预浸料分为两组100张的复合材料预浸料,对于一组100张的复合材料预浸料,采用 $0^{\circ}$ 和 $90^{\circ}$ 垂直的方式交叉叠合得到一个100层板,最后将两个叠合得到的100层板再叠合得到一个200层板。

4. 如权利要求3所述的一种超声相控阵扇形扫描的校准块的制造方法,其特征在于,在进行100层板交叉叠合的时候,每交叉叠合10层,就进行一次真空预压。

5. 如权利要求3所述的一种超声相控阵扇形扫描的校准块的制造方法,其特征在于,所述组装的操作为:分别在叠合的200层板的中心位置的底层、中间层和表层放置一根热电偶,然后再封装入真空袋;所述中间层为两个100层板之间。

6. 如权利要求2所述的一种超声相控阵扇形扫描的校准块的制造方法,其特征在于,所述切割的具体操作为:去除周边辅助材料,打磨清理表面余胶,对 $100\text{mm}\times 100\text{mm}\times 25\text{mm}$ 的试块板的边缘进行单边切割量为10mm的切割,得到 $80\text{mm}\times 80\text{mm}\times 25\text{mm}$ 的试块板。

7. 如权利要求2所述的一种超声相控阵扇形扫描的校准块的制造方法,其特征在于,对 $80\text{mm}\times 80\text{mm}\times 25\text{mm}$ 的试块板的一端头进行铣切的具体操作为:首先采用搭压板方式进行试块装夹并找正,试块垫高 $\geq 400\text{mm}$ ,其中压板厚度 $\leq 50\text{mm}$ ,宽度 $\leq 60\text{mm}$ ,压入试块深度 $\leq 20\text{mm}$ ;压板位置居中;然后进行“粗精铣”的圆弧面轮廓加工,加工采用刀具:GXIPJ4G/20 $\times$ 15 $\times$ 30R5,刀套:HSK63、E9304、5803、20100,工作长度:30min,仿真时间:15min,走刀采用行切方式。

8. 一种超声相控阵扇形扫描的校准块的使用方法, 基于权利要求1所述的一种超声相控阵扇形扫描的校准块, 其特征在于, 使用相控阵探头(4)对所述校准块(1)开展相控阵实验, 在具体实验时, 将相控阵探头(4)放置在校准块(1)上与半圆弧形端头(2)的圆心及五个平底孔(3)的圆心相对应的位置。

## 一种超声相控阵扇形扫描的校准块及制造和使用方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于无损检测技术领域,具体地说,涉及一种超声相控阵扇形扫描的校准块及制造和使用方法。

### 背景技术

[0002] 金属材料是由晶粒构成,晶粒在空间方位上排列是无规则的,金属材料整体表现为各向同性,超声传播速度恒定;而复合材料是一种非均质的混合相结构,内部组织结构复杂。纤维丝在树脂里浸润烘干后形成预浸料纤维布,利用预浸料进行裁剪、层层铺叠、固化后形成复合材料,复合材料各向异性显著,超声波传播过程中可能会在铺层-树脂异质界面可能发生折射,波型转换,使得传播特性较为复杂,超声在各个方向上显现出不同的传播速度。因此,金属材料采用校准试块测定的恒定传播速度,无法直接应用于复合材料。

[0003] 现阶段,国内外复合材料超声相控阵扇形扫描基本上基于CIVA、COMSOL等软件进行理论仿真模拟,无实际复合材料校准试块进行实验验证,复合材料具有重量轻、耐腐蚀、易制作成复杂结构等特点在各大领域得到广泛应用,制作一种用于复合材料超声相控阵扇形扫描的校准试块,可以用于超声相控阵扇形扫描对不同结构、不同厚度复合材料的适用性验证,测定探头的入射点、测定探头的偏转角度、声波传播速度测定、超声波波型确定、超声显示时基线比例调节,从而实现缺陷的精确定位定量,有效提高超声相控阵扇形扫描检测结果的准确性、可重复性、可比性。

### 发明内容

[0004] 本发明针对现有技术的上述缺陷及需求,提出了一种超声相控阵扇形扫描的校准块及制造和使用方法,通过设计制造用于复合材料超声相控阵扇形扫描的校准块,用于超声相控阵扇形扫描对不同结构、不同厚度复合材料的适用性验证,测定探头的入射点、测定探头的偏转角度、声波传播速度测定、超声波波型确定、超声显示时基线比例调节,从而实现缺陷的精确定位定量,有效提高超声相控阵扇形扫描检测结果的准确性、可重复性、可比性。在本发明中,校准块的设计是重点,而圆弧面、平底孔则是校准试块制作的难点所在。

[0005] 本发明具体实现内容如下:

[0006] 本发明公开了一种超声相控阵扇形扫描的校准块,用于在超声相控阵扇形扫描中对不同结构、不同厚度的复合材料进行适用性验证,所述校准块为一端设置半圆弧形端头的板状结构,在所述半圆弧形端头角度为 $90^{\circ}$ 的半圆弧形面上径向排布有五个平底孔,所述平底孔以 $15^{\circ}$ 为间隔,绕半圆弧形端头的圆心分别设置在半圆弧形面的 $15^{\circ}$ 、 $30^{\circ}$ 、 $45^{\circ}$ 、 $60^{\circ}$ 和 $75^{\circ}$ 的位置处并呈一线径向排布。

[0007] 为了更好地实现本发明,进一步地,所述校准块包括200张厚度为0.125mm的复合材料预浸料,且校准块的长度和宽度分别为80mm;所述平底孔分布在离所述校准块左侧或右侧25mm距离处以半圆弧形端头的圆心为圆心呈一线径向分布;

[0008] 所述校准块的半圆弧形端头的半径为25mm;

[0009] 所述平底孔的孔径为3mm,孔深为5mm。

[0010] 为了更好地实现本发明,进一步地,所述复合材料预浸料为具有铺层-树脂异质界面的非均质的混合相结构的碳纤维树脂基复合材料。

[0011] 本发明还公开了一种超声相控阵扇形扫描的校准块的制造方法,用于制造上述一种超声相控阵扇形扫描的校准块,所述制造方法的具体操作为:选取200张单张尺寸为100mm×100mm×0.125mm的复合材料预浸料,依次采用铺叠、组装、热压罐成型固化生成100mm×100mm×25mm的试块板;然后对100mm×100mm×25mm的试块板进行切割得到80mm×80mm×25mm的试块板,再对80mm×80mm×25mm的试块板的一端头进行铣切,生成半径为25mm的半圆弧形端头;最后在半圆弧形端头上以15°为间隔,以半圆弧形面的圆心为圆心,分别在半圆弧形端头的半圆弧形面上距离校准头侧边25mm处的15°、30°、45°、60°、75°处钻5个一线径向分布的孔,然后进行铣孔得到五个孔径3mm、孔深5mm的平底孔,完成校准块的制造。

[0012] 为了更好地实现本发明,进一步地,所述铺叠的具体操作为:将200张复合材料预浸料分为两组100张的复合材料预浸料,对于一组100张的复合材料预浸料,采用0°和90°垂直的方式交叉叠合得到一个100层板,最后将两个叠合得到的100层板再叠合得到一个200层板。

[0013] 为了更好地实现本发明,进一步地,在进行100层板交叉叠合的时候,每交叉叠合10层,就进行一次真空预压。

[0014] 为了更好地实现本发明,进一步地,所述组装的操作为:分别在叠合的200层板的中心位置的底层、中间层和表层放置一根热电偶,然后再封装入真空袋;所述中间层为两个100层板之间。

[0015] 为了更好地实现本发明,进一步地,所述切割的具体操作为:去除周边辅助材料,打磨清理表面余胶,对100mm×100mm×25mm的试块板的边缘进行单边切割量为10mm的切割,得到80mm×80mm×25mm的试块板。

[0016] 为了更好地实现本发明,进一步地,对80mm×80mm×25mm的试块板的一端头进行铣切的具体操作为:首先采用搭压板方式进行试块装夹并找正,试块垫高 $\geq 400$ mm,其中压板厚度 $\leq 50$ mm,宽度 $\leq 60$ mm,压入试块深度 $\leq 20$ mm;压板位置居中;然后进行“粗精铣”的圆弧面轮廓加工,加工采用刀具:GXIPJ4G/20×15×30R5,刀套:HSK63、E9304、5803、20100,工作长度:30min,仿真时间:15min,走刀采用行切方式。

[0017] 本发明还公开了一种超声相控阵扇形扫描的校准块的使用方法,使用相控阵探头对所述校准块开展相控阵实验,在具体实验时,将相控阵探头放置在校准块上与半圆弧形端头的圆心及五个平底孔的圆心相对应的位置。

[0018] 本发明与现有技术相比具有以下优点及有益效果:

[0019] 本发明提供的校准块及其制造和使用的方法,突破了复合材料超声相控阵声传播特性研究瓶颈,实现了从理论仿真走向实验验证,从复杂问题转向单一问题,具有极大的工程应用价值。本发明给出校准块的制作方法,从复合材料预抽固化成型,到数控精确铣切,所得到圆弧面和平底孔,平底孔底粗糙度、平整度及尺寸,完全符合设计图纸要求,避免加工误差带来的误判,校准试块可重复制作;平底孔与自然缺陷声阻抗一致,可以更加真实有效地验证超声相控阵扇形扫描声传播中偏转角测定、传播速度测定、波型确定等以及各类

检测设备、各种复合材料检测对象的检测能力有效性；平底孔在不同角度径向错层分布，可以分别验证不同检测设备对不同方位上缺陷的检出能力，有效提高超声相控阵扇形扫描检测结果的准确性、可重复性、可比性。

### 附图说明

- [0020] 图1为本发明校准块结构设计示意图；  
[0021] 图2为本发明校准块的半圆弧形面上的平底孔分布示意图；  
[0022] 图3为本发明校准块CATIA立体结构模型示意图；  
[0023] 图4为本发明校准块另一视角的CATIA立体结构模型示意图；  
[0024] 图5为本发明校准块波形验证试验结果示意图；  
[0025] 图6为本发明使用相控阵探头的示意图；  
[0026] 图7为传播速度试验结果示意图；  
[0027] 图8为时基线调节后的平底孔声程SA的试验结果示意图；  
[0028] 图9为时基线调节后的半圆弧形端头的弧底SA的试验结果示意图；  
[0029] 图10为测定偏转角度为 $29^\circ$ 的试验结果示意图；  
[0030] 图11为测定偏转角度为 $42^\circ$ 的试验结果示意图；  
[0031] 图12为本发明校准块的实物立体结构示意图；  
[0032] 图13为本发明校准块的实物另一个立体结构示意图。  
[0033] 其中：1、校准块，2、半圆弧形端头，3、平底孔，4、相控阵探头。

### 具体实施方式

[0034] 为了更清楚地说明本发明实施例的技术方案，下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，应当理解，所描述的实施例仅仅是本发明的一部分实施例，而不是全部的实施例，因此不应被看作是对保护范围的限定。基于本发明中的实施例，本领域普通技术工作人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本发明保护的范围。

[0035] 在本发明的描述中，需要说明的是，除非另有明确的规定和限定，术语“设置”、“相连”、“连接”应做广义理解，例如，可以是固定连接，也可以是可拆卸连接，或一体地连接；可以是机械连接，也可以是电连接；也可以是直接相连，也可以是通过中间媒介间接相连，可以是两个元件内部的连通。对于本领域的普通技术人员而言，可以根据具体情况理解上述术语在本发明中的具体含义。

[0036] 实施例1：

[0037] 本实施例提出了一种超声相控阵扇形扫描的校准块，用于在超声相控阵扇形扫描中对不同结构、不同厚度的复合材料进行适用性验证，如图1、图2、图3、图4、图12、图13所示，所述校准块1为一端设置半圆弧形端头2的板状结构，在所述半圆弧形端头2角度为 $90^\circ$ 的半圆弧形面上径向排布有五个平底孔3，所述平底孔3以 $15^\circ$ 为间隔，绕半圆弧形端头2的圆心分别设置在半圆弧形面的 $15^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $60^\circ$ 和 $75^\circ$ 的位置处并呈一线径向排布。

[0038] 为了更好地实现本发明，进一步地，所述校准块1包括200张厚度为0.125mm的复合材料预浸料，且校准块1的长度和宽度分别为80mm；所述平底孔3分布在离所述校准块1左侧

或右侧25mm距离处以半圆弧形端头2的圆心为圆心呈一线径向分布；

[0039] 所述校准块1的半圆弧形端头2的半径为25mm；

[0040] 所述平底孔3的孔径为3mm,孔深为5mm。

[0041] 为了更好地实现本发明,进一步地,所述复合材料预浸料为具有铺层-树脂异质界面的非均质的混合相结构的碳纤维树脂基复合材料,具有各向异性,不同于各向同性金属材料。

[0042] 需要注意的是图12和图13为本申请校准块1的实物扫描图,在此处仅作为展示,其并不对本申请所记载的技术方案有任何实质的影响,故若因扫描操作光线等问题存在不清楚的地方也不对本申请技术内容造成影响。

[0043] 图1中记载的数值80的单位均为mm,代表校准块1的长和宽为80mm,25和R25的单位也为mm,分别代表校准块1的厚度为25mm和半径为25mm。图2中 $\Phi 3$ 代表孔径为3mm,25的单位为mm,代表平底孔3距离边缘25mm;80的单位也为mm,代表校准块1的宽度为80mm。

[0044] 实施例2:

[0045] 本实施例提出了一种超声相控阵扇形扫描的校准块的制造方法,用于制造上述一种超声相控阵扇形扫描的校准块,如图1、图2、图3、图4、图12、图13所示所述制造方法的具体操作为:选取200张单张尺寸为100mm $\times$ 100mm $\times$ 0.125mm的复合材料预浸料,依次采用铺叠、组装、热压罐成型固化生成100mm $\times$ 100mm $\times$ 25mm的试块板;然后对100mm $\times$ 100mm $\times$ 25mm的试块板进行切割得到80mm $\times$ 80mm $\times$ 25mm的试块板,再对80mm $\times$ 80mm $\times$ 25mm的试块板的一端头进行铣切,通过编制圆弧面专用程序和调用程序,生成半径为25mm的半圆弧形端头2;最后在半圆弧形端头2上以15 $^{\circ}$ 为间隔,以半圆弧形面的圆心为圆心,分别在半圆弧形端头2的半圆弧形面上距离校准头1侧边25mm处的15 $^{\circ}$ 、30 $^{\circ}$ 、45 $^{\circ}$ 、60 $^{\circ}$ 、75 $^{\circ}$ 处钻5个一线径向分布的孔,然后进行铣孔得到五个孔径3mm、孔深5mm的平底孔,完成校准块1的制造。

[0046] 为了更好地实现本发明,进一步地,所述铺叠的具体操作为:将200张复合材料预浸料分为两组100张的复合材料预浸料,对于一组100张的复合材料预浸料,采用0 $^{\circ}$ 和90 $^{\circ}$ 垂直的方式交叉叠合得到一个100层板,最后将两个叠合得到的100层板再叠合得到一个200层板。

[0047] 为了更好地实现本发明,进一步地,在进行100层板交叉叠合的时候,每交叉叠合10层,就进行一次真空预压。

[0048] 为了更好地实现本发明,进一步地,所述组装的操作为:分别在叠合的200层板的中心位置的底层、中间层和表层放置一根热电偶,然后再封装入真空袋;所述中间层为两个100层板之间。

[0049] 为了更好地实现本发明,进一步地,所述切割的具体操作为:去除周边辅助材料,打磨清理表面余胶,对100mm $\times$ 100mm $\times$ 25mm的试块板的边缘进行单边切割量为10mm的切割,得到80mm $\times$ 80mm $\times$ 25mm的试块板。

[0050] 为了更好地实现本发明,进一步地,对80mm $\times$ 80mm $\times$ 25mm的试块板的一端头进行铣切的具体操作为:首先采用搭压板方式进行试块装夹并找正,试块垫高 $\geq$ 400mm,其中压板厚度 $\leq$ 50mm,宽度 $\leq$ 60mm,压入试块深度 $\leq$ 20mm;压板位置居中;然后进行“粗精铣”的圆弧面轮廓加工,加工采用刀具:GXIPJ4G/20 $\times$ 15 $\times$ 30R5,刀套:HSK63、E9304、5803、20100,工作长度:30min,仿真时间:15min,走刀采用行切方式。

[0051] 实施例3:

[0052] 本实施例提出了一种超声相控阵扇形扫描的校准块的使用方法,使用相控阵探头4对所述校准块1开展相控阵实验,在具体实验时,将相控阵探头4放置在校准块1上与半圆弧形端头2的圆心及五个平底孔3的圆心相对应的位置。

[0053] 实施例4:

[0054] 本实施例在上述实施例3的基础上,为了更好的实现本发明,进一步地,如图1、图2、图3、图4、图5、图6、图12、图13所示使用相控阵探头确定超声波波型的操作为:将相控阵探头放置于圆弧面的圆心处,采用校准试块圆弧面开展相控阵实验,相控阵扇形扫描实验结果如图5所示,图5中以箭头指示的地方即为一次底波,采用液滴法间接验证,一次底波幅值有跳动,基于仅纵波能在液体中传播,确定波型为纵波。

[0055] 本实施例的其他部分与上述实施例3相同,故不再赘述。

[0056] 实施例5:

[0057] 本实施例在上述实施例3-4任一项的基础上,如图1、图2、图3、图4、图7、图8、图9、图12、图13所示,使用校准块1结合相控阵探头4测定传播速度和1:1时基线比例调节的具体操作为:将相控阵探头放置于圆弧面的圆心处,采用校准试块圆弧面和45°平底孔开展相控阵实验,复合材料各向异性显著,超声波传播过程中可能会在铺层-树脂异质界面可能发生折射,波型转换,使得传播特性较为复杂,超声在各个方向上显现出不同的传播速度,采用校准试块首次测得主声束方向的传播速度。如图7所示传播速度测定为2387m/s,为了方便查看,在图7中以方框的形式将传播速度标定展示,如图8和图9所示,时基线比例调节验证,平底孔孔深20.2mm,R25弧底显示50mm,时基线比例为1:1,在工程应用中,时基线比例为1:1,可以对发现的缺陷进行精确定位,对于设计人员对损伤容限评估并开展下一步工程处置指名方向。为了方便查看,在图中以方框的形式对平底孔声程SA以方框的形式进行标定。

[0058] 本实施例的其他部分与上述实施例1-4任一项相同,故不再赘述。

[0059] 实施例6:

[0060] 本实施例在上述实施例1-5任一项的基础上,如图1、图2、图3、图4、图10、图11、图12、图13所示,使用校准块1结合相控阵探头4测定偏转角度的操作为:将相控阵探头放置于圆弧面的平底孔轴线圆心处,如图10和图11所示,扇扫检测范围内发现2个平底孔回波,分别是42°与29°,相比较而言,42°平底孔回波高于29°回波幅值,因此主声束偏转角为42°。42°是5MHz探头及39°物理角度楔块组合的主声束偏转角,在42°方向主声束超声能量高发现缺陷灵敏度高。

[0061] 工作原理:

[0062] 本实施例的其他部分与上述实施例1-5任一项相同,故不再赘述。

[0063] 以上所述,仅是本发明的较佳实施例,并非对本发明做任何形式上的限制,凡是依据本发明的技术实质对以上实施例所作的任何简单修改、等同变化,均落入本发明的保护范围之内。需要说明的是,图5、图7、图8、图9、图10、图11仅为试验数据的计算机界面截图,在此仅仅作为效果的展示,其并不对本申请方法的实质内容造成影响。

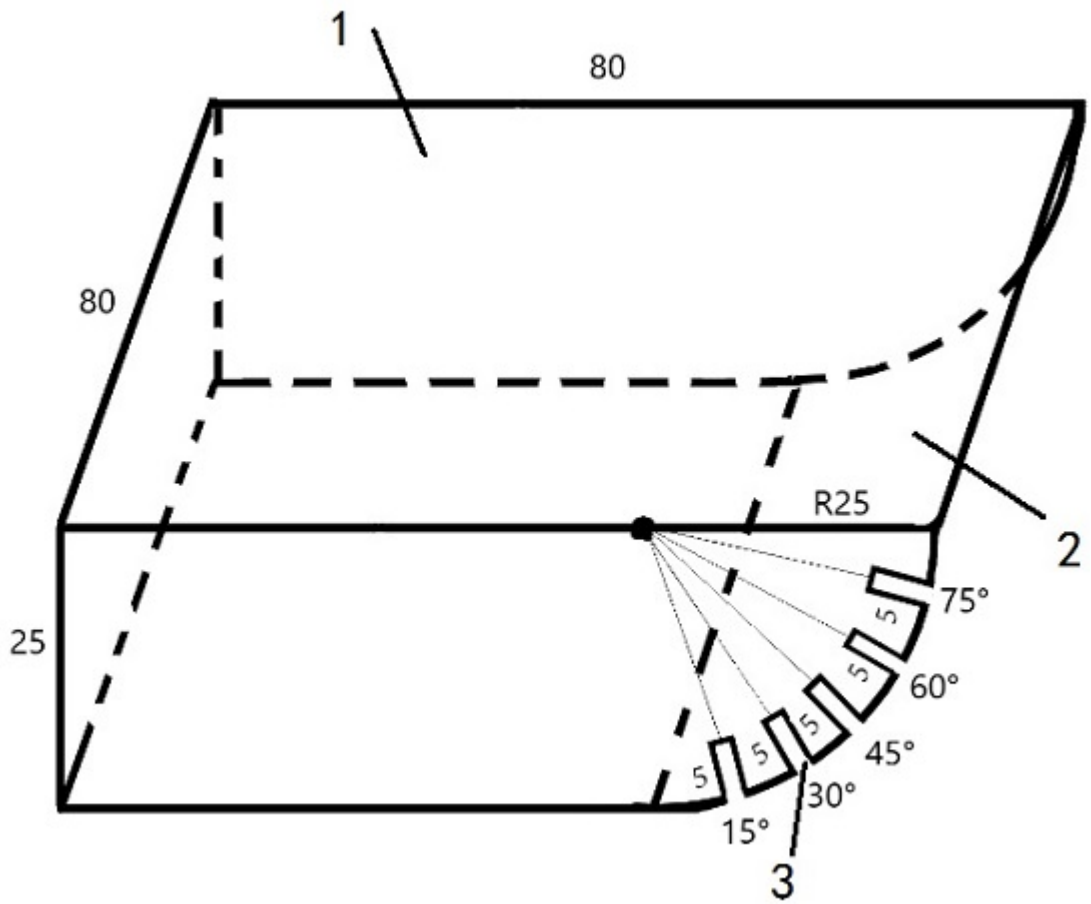


图1

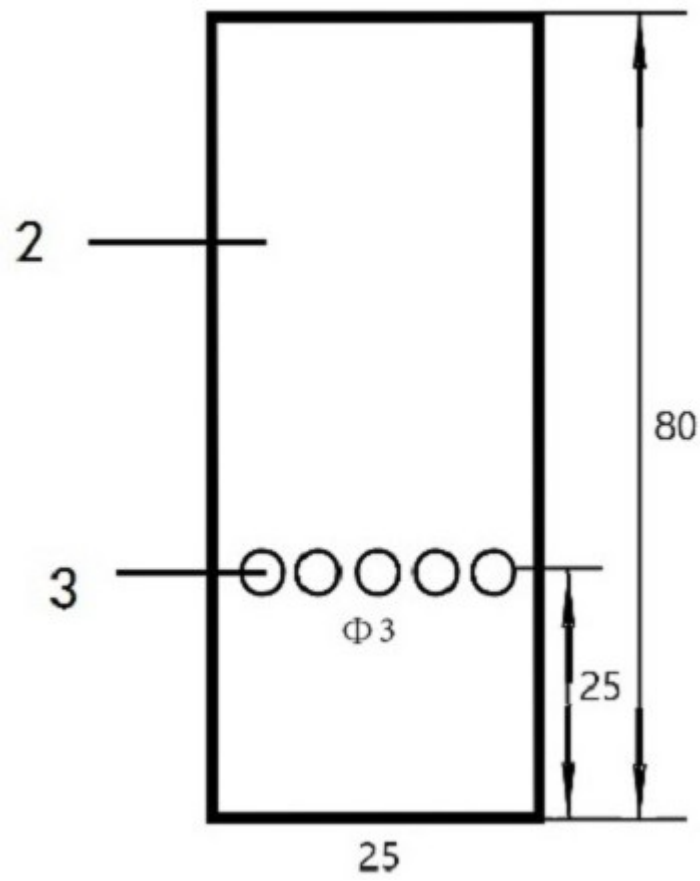


图2

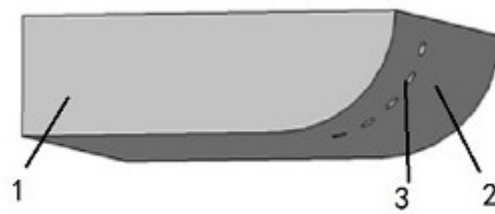


图3

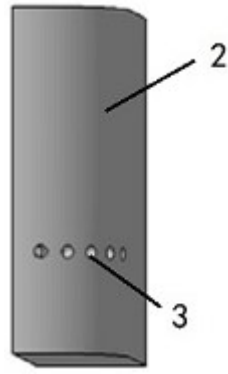


图4

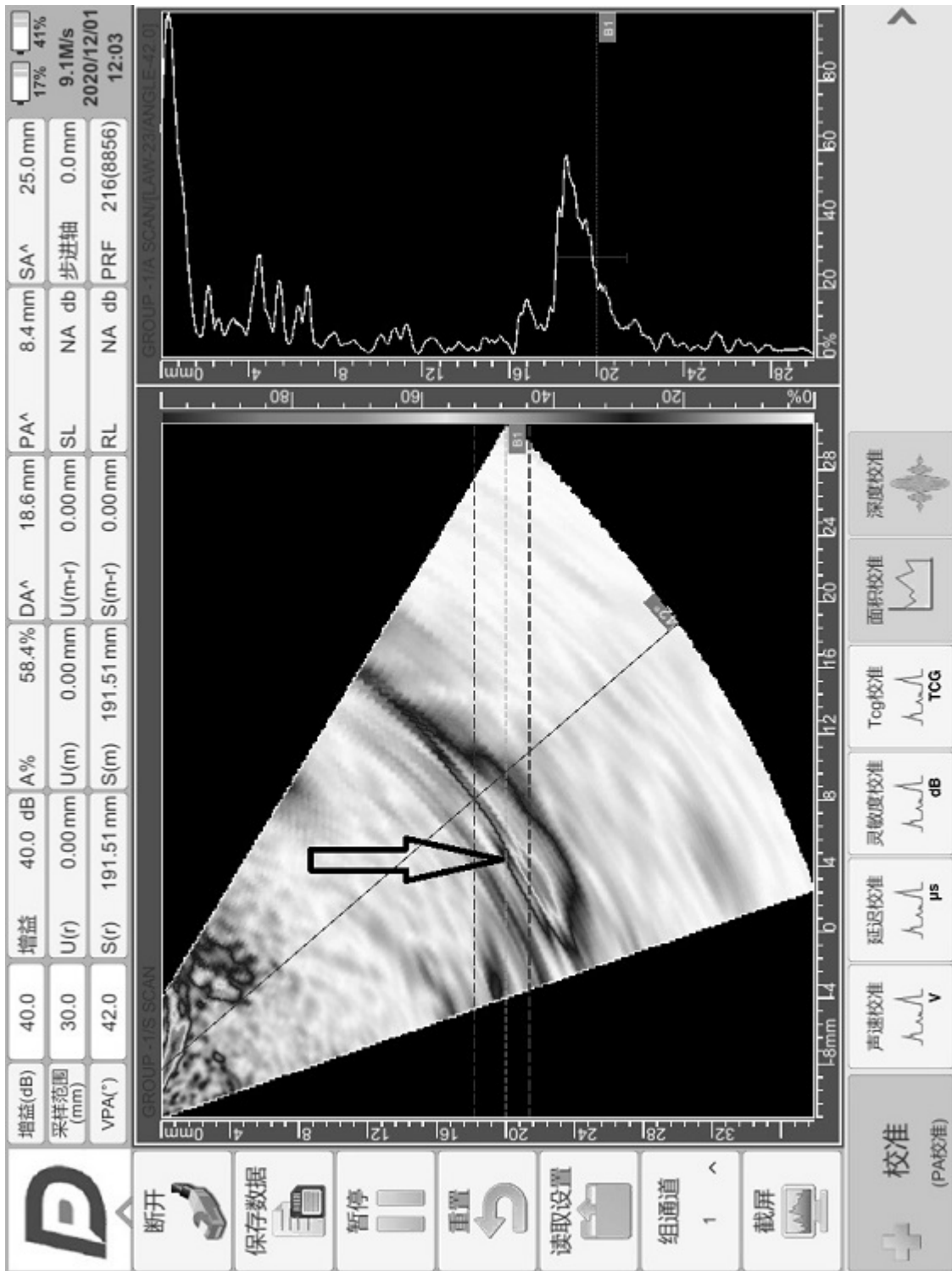


图5

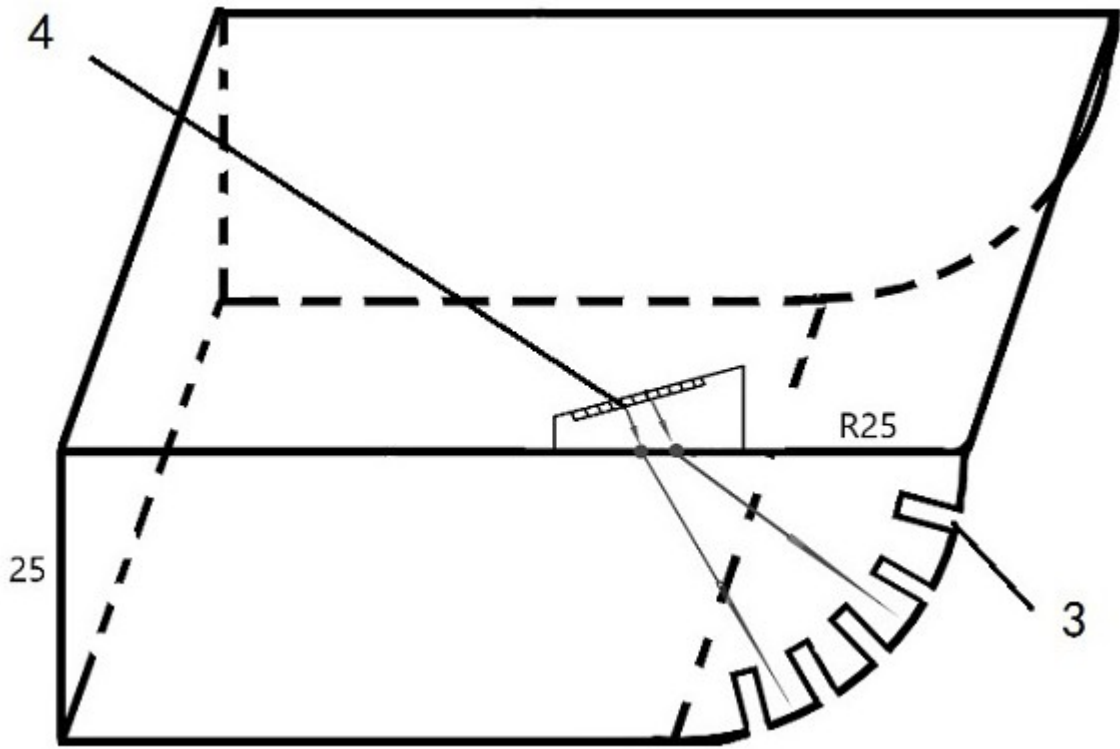


图6

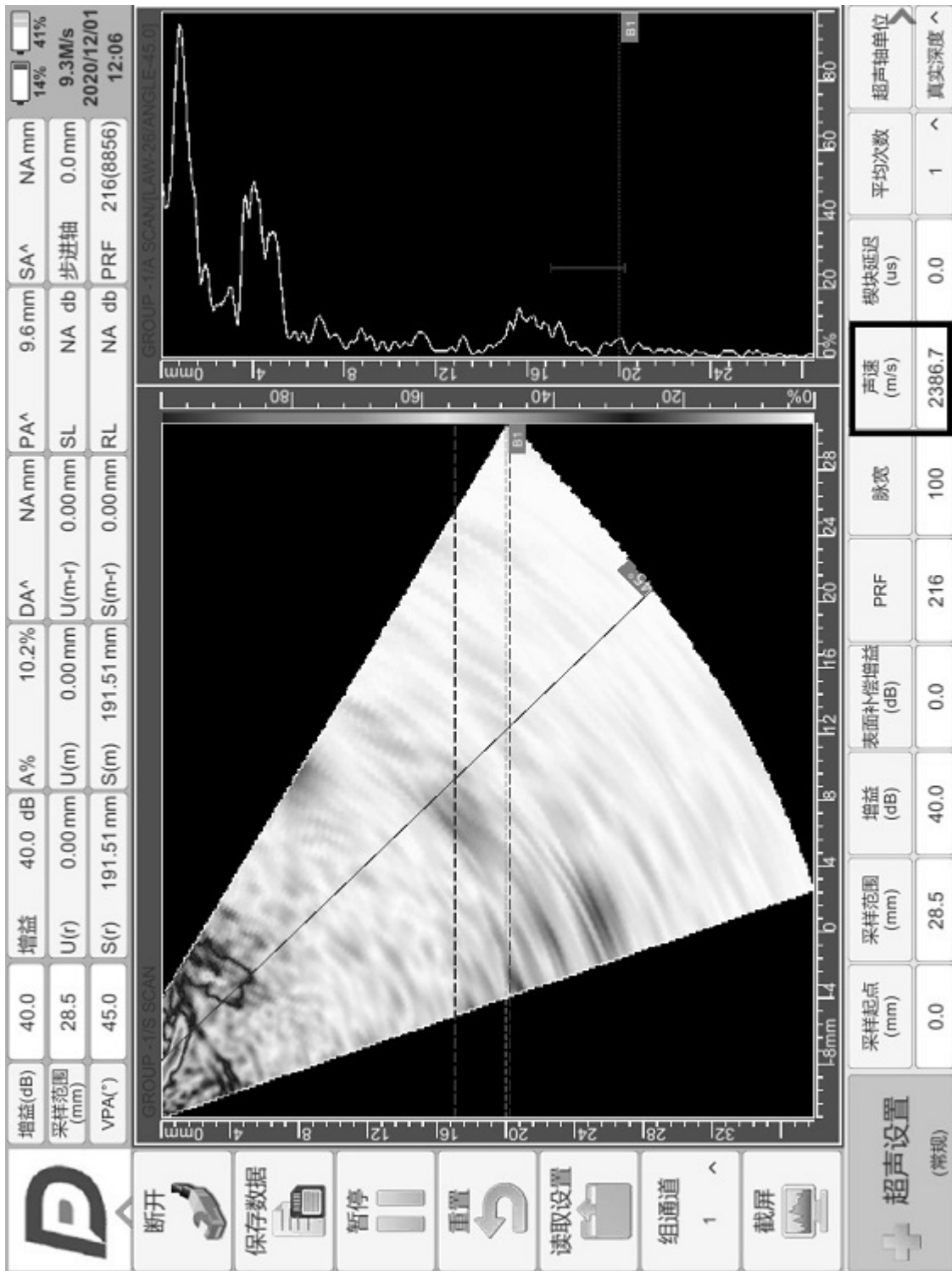


图7

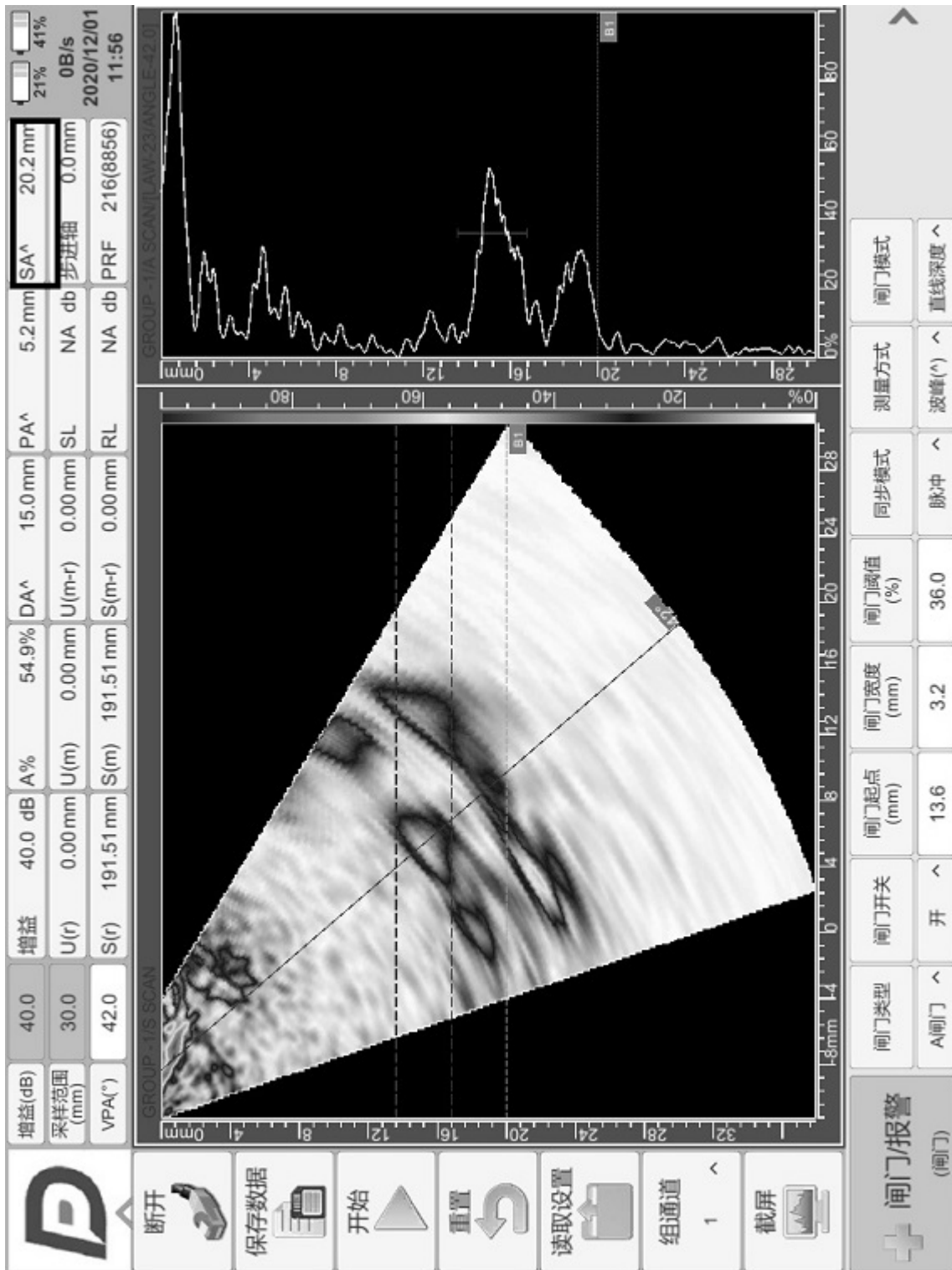


图8

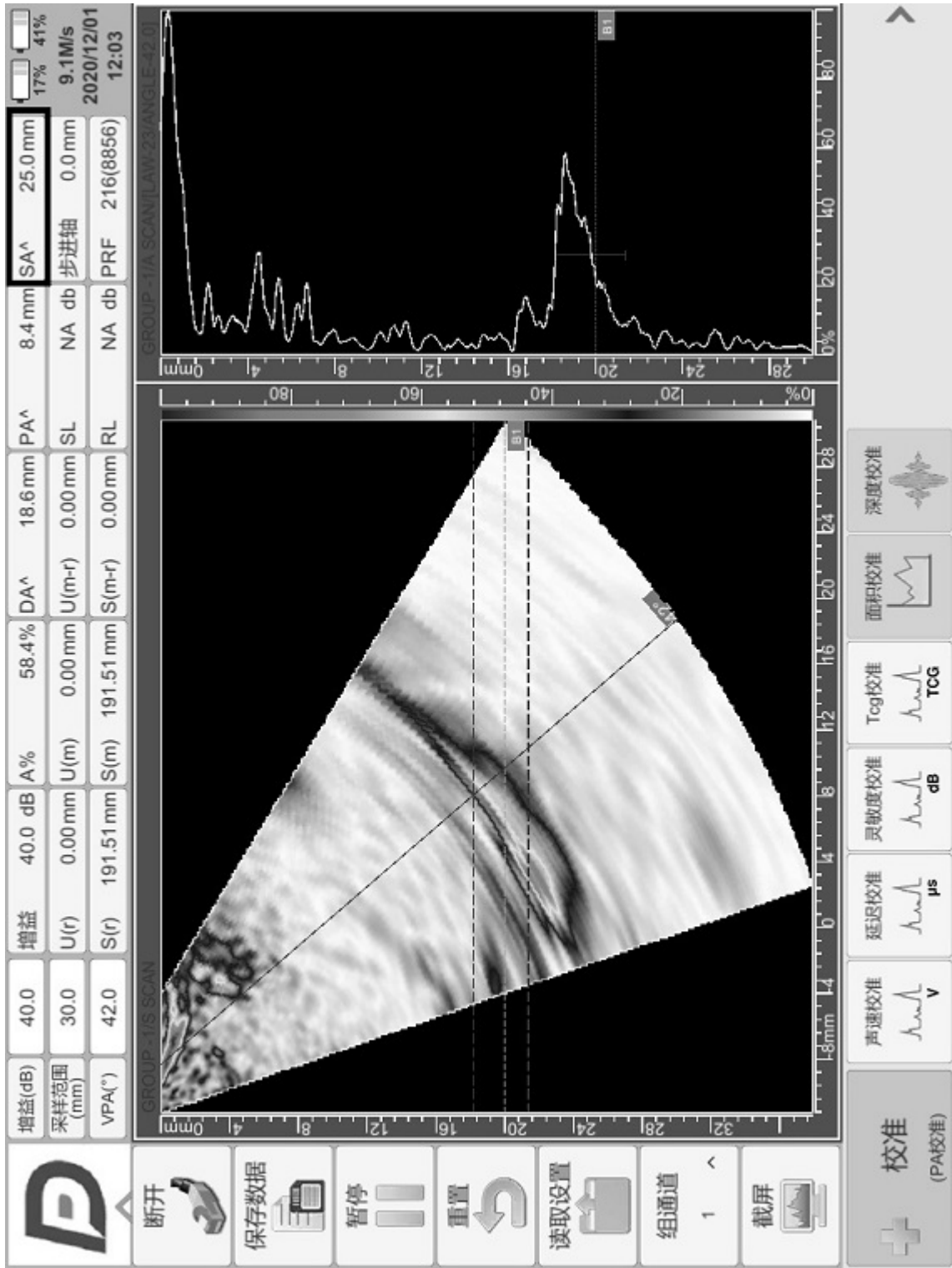


图9

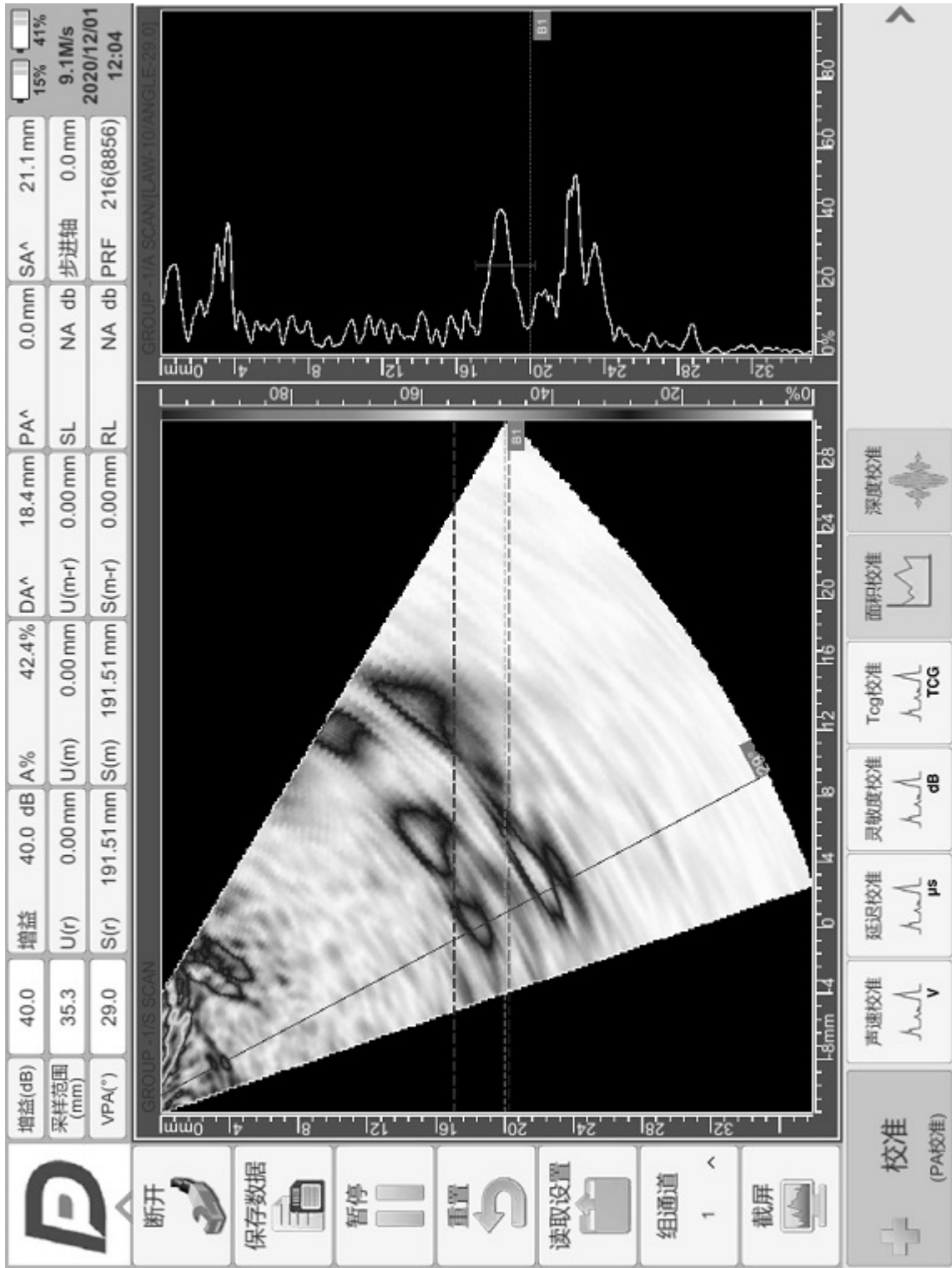


图10

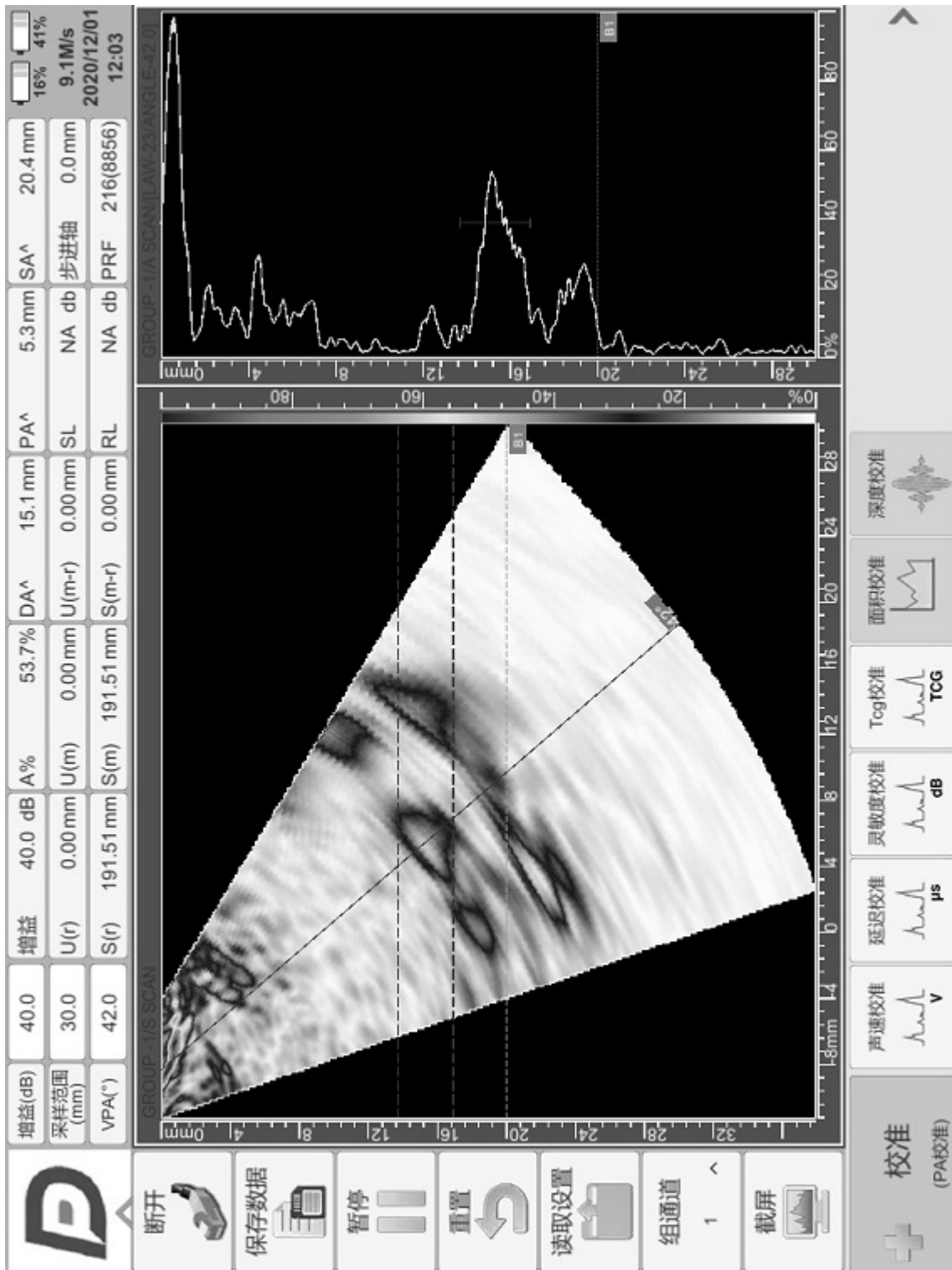


图11



图12



图13