



中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 990—2004

声波检测仪

Acoustic Detector

2004-09-21 发布

2004-12-21 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

声波检测仪检定规程

**Verification Regulation for
Acoustic Detector**

JJG 990—2004

本规程经国家质量监督检验检疫总局 2004 年 09 月 21 日批准，并自 2004 年 12 月 21 日起施行。

归口单位：全国声学计量技术委员会

主要起草单位：湖北省计量测试技术研究院

参加起草单位：中国计量科学研究院

武汉岩海公司

本规程委托全国声学计量技术委员会负责解释

本规程主要起草人：

姚秋平 （湖北省计量测试技术研究院）

罗亚清 （湖北省计量测试技术研究院）

参加起草人：

边文萍 （中国计量科学研究院）

时根火 （湖北省计量测试技术研究院）

陶丽君 （湖北省计量测试技术研究院）

孙 涛 （湖北省计量测试技术研究院）

刘宏华 （武汉岩海公司）

目 录

1 范围	(1)
2 引用文献	(1)
3 术语和计量单位	(1)
3.1 超声检测	(1)
3.2 近场长度	(1)
3.3 远场	(1)
3.4 首波	(1)
3.5 发射换能器谐振频率	(1)
3.6 接收灵敏度	(1)
3.7 声时	(2)
4 概述	(2)
5 计量性能要求	(2)
5.1 声时测量相对误差	(2)
5.2 幅值测量级线性	(2)
5.3 幅值测量范围	(2)
5.4 发射电压幅值稳定度	(2)
5.5 接收系统频率响应	(2)
5.6 发射换能器谐振频率	(2)
5.7 通道隔离度	(2)
6 通用技术要求	(2)
6.1 外观、标志及说明书	(2)
6.2 标记	(3)
7 计量器具控制	(3)
7.1 检定条件	(3)
7.2 检定项目	(3)
7.3 检定方法	(3)
7.4 检定结果的处理	(8)
7.5 检定周期	(8)
附录 A 不确定度分析实例	(9)
附录 B 检定证书内页格式	(11)
附录 C 检定结果通知书内页格式	(12)

声波检测仪检定规程

1 范围

本规程适用于声波检测仪的首次检定、后续检定和使用中检验。

2 引用文献

本规程引用下列文献：

GB/T 3223—1994《水声换能器自由场校准方法》

GB/T 3947—1996《声学名词术语》

GB/T 12604.1—1990《无损检测术语 超声检测》

GB/T 17252—1998《100kHz以下超声压电换能器的特性和测量》

JJF 1001—1998《通用计量术语及定义》

JJF 1059—1999《测量不确定度评定与表示》

JJG 185—1997《500Hz~1MHz测量水听器》

JG/T 5004—1992《混凝土超声波检测仪》

CECS02:88《超声回弹综合法检测混凝土强度》

CECS21:2000《超声法检测结构混凝土内部缺陷》

使用本规程时，应注意使用上述引用文献的现行有效版本。

3 术语和计量单位

3.1 超声检测 (ultrasonic detection and measurement)

利用超声对材料的非声学性质进行检查或测定的方法和技术。

3.2 近场长度 (near field length)

主声轴线上最后一个声压极大值与晶片表面的距离。

3.3 远场 (far field)

自由场中，离声源远处瞬时声压与瞬时质点速度同相的声场。

3.4 首波 (fast wave)

声波检测仪发射声脉冲信号通过介质（空气、液体、固体）传播后，在接收换能器接收的信号波形中，首个明显区别于噪声的信号。首波应有一个完整的周期，有正峰值和负峰值。

3.5 发射换能器谐振频率 (sound projector resonance frequency)

发射换能器在一电压幅值不变的扫频信号激励下，在指定轴线方向上远场参考距离处接收声信号得到发送电压响应的频率响应函数，最大值处的频率。

3.6 接收灵敏度 (receiving sensitivity)

声波检测仪调至最佳接收状态，对智能式仪器是指首波达到一定的量化数值所要求的最小接收信号，对数字式仪器是指能使计数器关门的最小信号，对于模拟仪器是三倍

于噪声信号的接收信号。

3.7 声时 (time of transmitted sound)

声波在介质中传播的时间。

4 概述

声波检测仪是通过向待测试件发射声脉冲,使其穿过试件,然后接收穿过试件后声脉冲信号,并测量声脉冲信号穿过试件的时间,能量衰减,频率变化等,以完成对待测试件的无损检测。声波检测仪主要由发射、接收、延迟、声时和幅值测量等部分组成。

声波检测仪主要用于混凝土、岩体及岩芯试样、陶瓷、石墨等非金属材料与结构的声波或超声无损检测,可进行强度检测、结构内部缺陷检测、裂缝检测、结合面质量与破损层厚度检测、匀质性检测、结构厚度检测、桩基质量检测以及材料弹性力学参数检测等。

5 计量性能要求

5.1 声时测量相对误差

电信号测量优于 $\pm 0.5\%$, 声信号测量优于 $\pm 1.0\%$ 。

5.2 幅值测量级线性

每 6dB 优于 $\pm 0.9\text{dB}$, 最小分度至少为 1dB, 总线性范围不低于产品技术指标要求。

5.3 幅值测量范围

不小于 60dB。

5.4 发射电压幅值稳定度

每小时优于 $\pm 5\%$ 。

5.5 接收系统频率响应

(10~250) kHz 频率范围内不均匀度不小于 12dB。

5.6 发射换能器谐振频率

偏差不超过标称频率值的 $\pm 10\%$


5.7 通道隔离度

对于多通道声波检测仪,在换能器标称频率处应大于 40dB。

6 通用技术要求

6.1 外观、标志及说明书

6.1.1 声波检测仪应具有以下清晰而耐久的标志:

- a) 制造厂的厂名;
- b) 产品的型号和出厂编号;
- c) 声波检测仪应有  标志及编号。

6.1.2 声波检测仪应无影响仪器正常工作及读数的机械损伤、旋钮失灵、衰减器错位和接触不良等现象。

6.1.3 每台声波检测仪应附带使用说明书。说明书中应包括下列资料:

- a) 各功能的描述及全部操作说明
- b) 仪器正常工作的电源及环境条件
- c) 预热时间
- d) 主要技术指标

6.2 标记

6.2.1 声波检测仪中非操作者使用的部件应采用密封或标记的方法加以保护。

6.2.2 声波检测仪应留有标注检定标记的适当位置。

7 计量器具控制

计量器具控制包括首次检定、后续检定以及使用中的检验。声波检测仪更换换能器和修理后对其计量性能有重大影响时，其后续检定原则上须按首次检定进行。

7.1 检定条件

7.1.1 检定环境条件

检定时应满足以下环境条件：

温度： $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$ ；

相对湿度： $(60 \pm 30)\%$ 。

7.1.2 检定用计量标准器

7.1.2.1 信号发生器：频率范围 $2\text{kHz} \sim 300\text{kHz}$ ，失真小于 1% ，输出电平的频响优于 $\pm 0.5\text{dB}$ ，可输出猝发音信号。

7.1.2.2 衰减器：频率范围 $\text{DC} \sim 30\text{MHz}$ ；每 10dB 误差不超过 $\pm 0.2\text{dB}$ 。

7.1.2.3 测量放大器：频率范围 $2\text{kHz} \sim 200\text{kHz}$ ，幅值稳定度优于 $\pm 0.05\text{dB}$ ，输入阻抗大于接收换能器阻抗 100 倍，有效增益不小于 60dB 。

7.1.2.4 测量水听器：带宽范围不小于被测换能器标称频率的 $0.5 \sim 1.5$ 倍，自由场灵敏度级应不低于 -210dB ($0\text{dB} = 1\text{V}/\mu\text{Pa}$)，自由场灵敏度的不均匀度在测量频率范围应不超过 $\pm 2\text{dB}$ 。

7.1.3 其他配套设备

7.1.3.1 数字示波器：频率范围 $\text{DC} \sim 100\text{MHz}$ ；幅值测量误差： 50V 以下常规幅值测量优于 $\pm 1.5\%$ ， 50V 以上高压测量优于 $\pm 5\%$ 。

7.1.3.2 功率放大器：输出功率 100W ，频率范围 $2\text{kHz} \sim 200\text{kHz}$ 。

7.1.3.3 简易消声水槽：要能满足两换能器间距离的远场条件。

7.1.3.4 交流电压表：频率范围 $10\text{Hz} \sim 300\text{kHz}$ ，示值误差优于 1.0% 。

7.1.3.5 温度计：测量范围 $(15 \sim 30)^\circ\text{C}$ ，示值误差优于 0.1°C 。


7.1.3.6 游标卡尺：分度值 0.02mm 。

7.2 检定项目

检定项目见表 1。

7.3 检定方法

7.3.1 外观检查

7.3.1.1 声波检测仪应有生产厂家名、型号、名称、出厂编号、声波检测仪应有 

标志及编号；

表 1 声波检测仪检定项目一览表

项 目	首次检定	后续检定	使用中检验
外观检查	+	+	+
使用说明书	+	-	+
声时测量相对误差 (电信号方法)	+	+	-
声时测量相对误差 (声信号方法)	+	+	+
幅值测量级线性	+	+	-
发射电压稳定度	+	+	-
幅值测量范围	+	-	-
接收系统频率范围	+	+	-
发射换能器谐振频率	+	-	-
通道隔离度 (只用于多通道声波检测仪)	+	+	-

注：“+”为应检项目，“-”为可不检项目。

7.3.1.2 声波检测仪应满足 6.1.2 的要求。

7.3.2 声时测量相对误差 (声信号方法)

7.3.2.1 检定装置方框图如图 1 所示, 按出厂规定的时间进行预热。

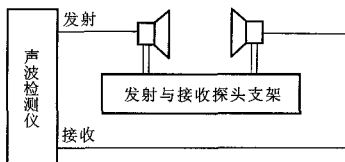


图 1 声时测量相对误差 (声信号方法) 的检定装置示意图

7.3.2.2 调节声波检测仪发射和接收探头之间距离至大约 20mm, 发射电压至最大, 调节接收声波使首波周期占显示时间轴 1/3 ~ 1/6, 首波峰 - 峰值为满屏显示的 2/3, 按照仪器的操作手册提供的方法, 测量出零声时并予以消除。以后发射探头和接收探头之间距离每增加 60.0mm 测量一次声时。测量直至探头之间距离增加至 320mm 为止, 测量过程中应注意调节声波检测仪始终保持首波峰 - 峰值为满屏显示的 2/3, 测量过程中温度变化应不超过 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。其声时理论计算值测量值与理论计算值误差不应超过 5.1 要求。声时理论计算公式如下:

$$t = d / (331.4 \sqrt{1 + 0.00367T}) \quad (1)$$

式中: t ——声时理论计算值, s;

d ——两换能器之间的距离, m。

T ——空气温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

7.3.3 声时测量相对误差 (电信号方法)

7.3.3.1 检定装置方框图如图 2 所示。

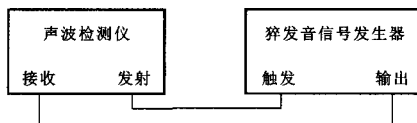


图 2 声时测量相对误差 (电信号方法) 的检定装置示意图

7.3.3.2 调节猝发音信号发生器, 频率调至探头标称频率, 波数为 10 个, 延迟为 $50\mu\text{s}$, 声波检测仪首波调节如 7.3.2.2, 按照仪器的操作手册提供的方法, 测量出零声时并予以消除。以后调节猝发音延迟每 $500\mu\text{s}$ 声波检测仪做一次声时测量, 直至声波检测仪的测量上限 (5ms 后可增加至 1ms 测量一次)。声时测量相对猝发音延迟的误差应符合 5.1 要求。

7.3.4 幅值测量级线性

7.3.4.1 检定装置方框图如图 3 所示。

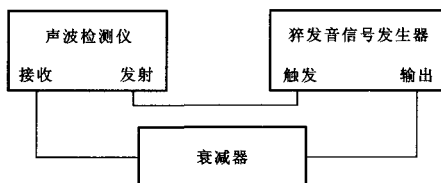


图 3 幅值测量级线性的检定装置示意图

7.3.4.2 声波检测仪的量程控制器置于参考量程位置 (标称测量上限下 30dB 测量档), 调节猝发音信号发生器的频率为探头标称频率处, 猝发音信号发生器输出幅度及衰减器至适当位置, 声波检测仪接收信号的调节同 7.3.2.2。依次按 6dB 增加或减少声波仪量程控制器的量程, 同时相应调节衰减器, 使声波检测仪接收信号幅值和原幅值相同。量程控制器改变值与衰减器改变值之差即为幅值测量级线性的误差, 其误差应符合 5.2 的规定。

7.3.4.3 对于数字式声波检测仪, 按 7.3.4.2 调节衰减器, 用声波检测仪幅值测量功能测量出 6dB 增加或减少的幅值, 并计算相应 dB 值, 其值应符合 5.2 的规定。

7.3.5 发射电压幅值稳定度

7.3.5.1 检定装置方框图如图 4 所示。

7.3.5.2 将被检声波检测仪接上负载 ($1\text{M}\Omega$ 1/2W 电阻), 发射电压置于最大, 直接用数字示波器测量声波检测仪发射电压幅值, 并在一小时均匀时间间隔测量 5 次, 其最大值至最小值相对平均值的幅度变化范围应符合 5.4 规定。

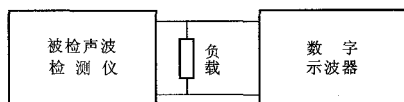


图4 发射电压幅值稳定度的检定装置示意图

7.3.6 幅值测量范围

7.3.6.1 检定装置方框图如图5所示, 图中 R 为 50Ω 无感电阻。

7.3.6.2 按图5所示连接测量仪器, 开关 $K1$ 置于“1”, $K2$ 置于“1”, 调节声波检测仪发射幅值和脉宽使其发射声信号最大(但接收的信号首波不应有超载失真, 否则应减小接收放大器增益), 两探头之间距离为 1.5 倍近场长度, 接收信号调节同 7.3.2.2, 记下首波幅值高度。

7.3.6.3 置猝发音频率为探头标称频率, 开关 $K2$ 置于“2”, $K3$ 置于“1”, 调节猝发音输出幅值, 使声波检测仪接收的信号与 7.3.6.2 接收首波幅值相等, 此时记下数字电压表的电压值为 V_{\max} 。

7.3.6.4 开关 $K1$ 置于“3”, $K2$ 置于“1”, $K3$ 置于“2”, 两探头之间距离尽可能加大, 声波检测仪调至最大接收增益状态(带前置放大器的应接上), 从大到小调节猝发音输出幅值, 使声波检测仪接收的信号幅值等于其接收灵敏度时的信号大小, 如果声波检测仪接收灵敏度较高可以在两探头之间增加隔声板, 记下此时声波检测仪接收信号幅值高度。

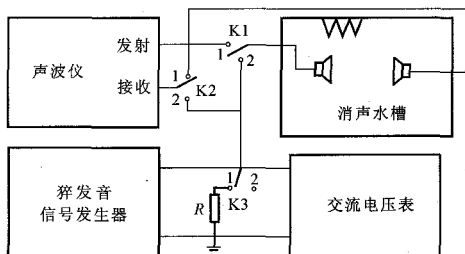


图5 声波检测仪测量范围的检定装置示意图

7.3.6.5 开关 $K2$ 置于“2”, $K3$ 置于“1”。调节猝发音输出幅值, 使声波检测仪接收的信号与 7.3.6.4 接收信号幅值相等, 此时记下数字电压表的电压值为 V_{\min} 。

7.3.6.6 声波检测仪幅值测量范围计算按公式(1)进行, 其值应符合 5.3 要求。

$$A = 20 \lg \frac{V_{\max}}{V_{\min}} \quad (2)$$

式中: V_{\max} ——最佳发射时声波检测仪测量的首波信号的电压值, V;

V_{\min} ——声波检测仪接收灵敏度电压值, V;

A——声波检测仪测量范围, dB。

7.3.7 接收系统频率响应

7.3.7.1 检定装置方框图如图 3 所示。

7.3.7.2 声波检测仪的量程控制器置于参考量程位置 (标称测量上限下 30dB 测量挡), 调节猝发音信号发生器的频率为换能器标称频率, 并调节猝发音信号输出及衰减器至适当位置, 声波检测仪接收信号的调节同 7.3.2.2。

7.3.7.3 在 10kHz ~ 250kHz 范围调节猝发音信号发生器的频率, 调节衰减器, 使接收的信号同 7.3.7.2 的接收信号等幅。衰减器的调节范围不超过 12dB, 即可视为符合 5.5 条要求。

7.3.8 发射换能器谐振频率

7.3.8.1 检定装置方框图如图 6 所示。

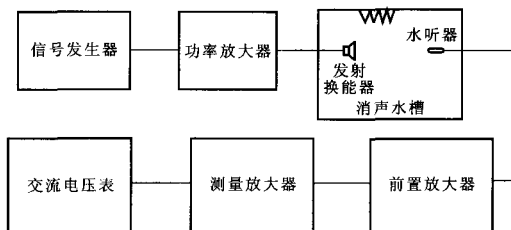


图 6 发射换能器谐振频率的检定装置示意图

7.3.8.2 在发射换能器上施加的功率应使水听器接收的信号大小与发射换能器接收声波检测仪正常工作时发射声信号大小相当。在轴线方向上远场处测量接收声信号发送电压响应的频率响应函数, 其中水听器接收最大声信号所对应的频率即为发射换能器谐振频率。当发射换能器、水听器敏感元件最大尺寸分别为 a_1 、 a_2 声波波长为 λ 时, 测量距离 d 应同时满足 (3) 式。所测量发射换能器谐振频率应符合 5.6 条要求。

$$d > (a_2^2 + a_1^2) / \lambda; d > a_1; d > a_2 \quad (3)$$

7.3.9 多通道声波检测仪的通道隔离度

7.3.9.1 检定装置方框图如图 7 所示。

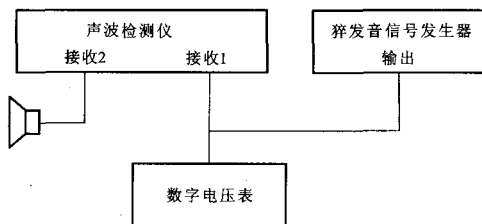


图 7 多通道声波检测仪的通道隔离度的检定装置示意图

7.3.9.2 声波检测仪的量程控制器置于7.3.4检定得到测量级线性的上限，调节猝发音信号发生器的频率为换能器标称频率，并调节猝发音信号输出使声波检测仪通道1接收信号有满屏的80%。用数字电压表测量的电压值记为 V_1 。

7.3.9.3 通道2换能器，调大声波检测仪通道2（接收2）的增益，使通道2显示的信号同通道1（接收1）的信号等幅，此时应尽可能防止（接收2）接收噪声信号。通道隔离较好的声波检测仪串入通道2的信号可能调不起来，只要调节的增益大40dB以上即可视为符合5.7条要求。

7.3.9.4 通道2换能器卸下，并接入猝发音信号，调节猝发音信号幅值使声波检测仪接收的信号与7.3.9.3通道2显示的信号等幅，记下数字电压表测量的电压值记为 V_2 。通道隔离度计算如下式。其结果应符合5.7条要求。

$$L = 20 \lg \frac{V_1}{V_2} \quad (4)$$

式中： V_1 ——通道1输入信号的电压值，V；

V_2 ——通道1输入 V_1 信号下由通道间的串扰在通道2的等效输入信号的电压值，V；

L ——通道隔离度，dB。

7.4 检定结果的处理

经检定合格的声波检测仪发给检定证书；经检定有不合格的项目，发给检定结果通知书，并注明不合格项目。

7.5 检定周期

声波检测仪的检定周期一般不超过1年。

附录 A

不确定度分析实例

声波检测仪测量结果不确定度的评定，主要内容就是评定检定声波检测仪声时测量结果的不确定度。

A.1 数学模型

本规程采用与已知距离的空气声时测量值与计算值比较法，检定声波检测仪声时测量误差。数学模型如下：

$$\Delta t = t_1 - d / (331.4 \sqrt{1 + 0.00367T})$$

式中： Δt ——被检声波检测仪声时测量误差，s；

t_1 ——被检声波检测仪声时测量值，s；

d ——两换能器之间的距离，m；

T ——空气温度， $^{\circ}\text{C}$ 。

A.2 方差及灵敏系数

由于 $f(t_1, d, T)$ 中的 t_1, d, T 互不相关，故其合成估计方差为

$$u_c^2(\Delta t) = c^2(t_1)u^2(t_1) + c^2(d)u^2(d) + c^2(T)u^2(T)$$

式中灵敏度系数为

$$c(t_1) = \frac{\partial(\Delta t)}{\partial(t_1)} = 1$$

$$c(d) = \frac{\partial(\Delta t)}{\partial(d)} = -1 / (331.4 \sqrt{1 + 0.00367T}) = -0.0029 \quad (\text{取 } T = 20^{\circ}\text{C})$$

$$c(T) = \frac{\partial(\Delta t)}{\partial(T)} = -d / 331.4 \times (-1/2) \times (1 + 0.00367T)^{-3/2} \times 0.00367 = 0.3 \times 10^{-6} \quad (\text{取 } T = 20^{\circ}\text{C}, d = 0.06\text{m})$$

A.3 标准不确定度

现以规程中规定的 60mm 距离声时测量为例，分析检定声波检测仪声时测量误差的不确定度。不确定度的来源有：重复测量的标准差引入的不确定度分量，60.0mm 距离测量误差、温度测量误差及温度范围的规定引入的不确定度分量。

A.3.1

1) A 类标准不确定度

因被检声波检测仪声时测量稳定性引起的重复性测量标准差，可以通过对声时值进行 9 次测量，计算标准差得到测量数据见表 A.1。

表 A.1

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9
测量值/ μs	175.0	175.2	175.3	175.1	175.3	175.4	175.3	175.2	175.2

标准差: $u(t_1) = s_1 = 0.12\mu\text{s}$

2) B类标准不确定度

2.1) 60.0mm 距离测量引入的不确定度为 0.12mm, $k=2$, 则

$$u(d) = U/k = 0.12/2 = 0.06 \times 10^{-3} \text{ m}$$

2.2) 温度允许范围引入的不确定度, 温度范围为 $\pm 0.5^\circ\text{C}$, $k=\sqrt{3}$, 则

$$u_1 = U/k = 0.5/\sqrt{3} = 0.289^\circ\text{C}$$

2.3) 温度测量引入的不确定度为 0.2°C , $k=2$, 则

$$u_2 = U/k = 0.2/2 = 0.1^\circ\text{C}$$

2.4) 温度测量分辨率为 0.1°C , $k=\sqrt{3}$, 则

$$u_3 = U/k = 0.1/\sqrt{3} = 0.058^\circ\text{C}$$

u_1, u_2, u_3 分量独立无关, 合成不确定度为

$$u(T) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = 0.31^\circ\text{C}$$

A.4 合成标准不确定度

以上分量独立无关, 且数值相差不是太大, 可以直接进行合成。

$$u_c^2(\Delta t) = c^2(t_1)u^2(t_1) + c^2(d)u^2(d) + c^2(T)u^2(T)$$

$$u_c(\Delta t) = \sqrt{(0.12)^2 + 0.174^2 + 0.093^2} = 0.23\mu\text{s}$$

A.5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$, 则扩展不确定度:

$$U = ku_c(\Delta t) = 2 \times 0.23 = 0.46\mu\text{s}$$

A.6 相对扩展不确定度

$$U_r = \frac{0.44}{175.2} \times 100\% = 0.26\%$$

由以上分析可知, 扣除被检重复性后相对扩展不确定度, 与 5.1 条所要求的最大相对允差之比为 $\frac{0.26\%}{1\%} = \frac{1}{3.85}$

满足小于 1/3 要求, 本方法有效。

附录 B

检定证书内页格式

检定结果

共 页 第 页

1. 外观检查：_____
2. 声时测量相对误差：电信号测量最大相对误差 _____ %，
声信号测量最大相对误差 _____ %。
3. 幅值测量级线性：每 10dB 最大误差 _____ dB，总线性范围 _____ dB，
最小分度为 _____ dB。
4. 幅值测量范围：_____ dB。
5. 发射电压稳定度：_____ %。
6. 接收系统频率范围：(10 ~ 250) kHz 频率范围内不均匀度 _____ dB。
7. 发射换能器谐振频率：_____ kHz。
8. 多通道声波检测仪隔离度（频率 _____ kHz）：_____ dB。

检定环境条件：

温度：_____ °C；相对湿度：_____ %。

检定依据：JJG990—2004《声波检测仪检定规程》

测量结果不确定度（必要时）：

使用的标准装置名称：

说明：

附录 C

检定结果通知书内页格式

检定结果

共 页 第 页

1. 外观检查：_____
2. 声时测量相对误差：电信号测量最大相对误差_____%，
声信号测量最大相对误差_____%。
3. 幅值测量级线性：每 10dB 最大误差_____dB，总线性范围_____dB，
最小分度为_____dB。
4. 幅值测量范围：_____dB。
5. 发射电压最大示值误差：_____%。
6. 接收系统频率范围：(10~250) kHz 频率范围内不均匀度_____dB。
7. 发射换能器谐振频率：_____kHz。
8. 多通道声波检测仪隔离度（频率_____kHz）：_____dB。

检定环境条件：

温度：_____℃；相对湿度：_____%。

检定依据：JJG990—2004《声波检测仪检定规程》

测量结果不确定度（必要时）：

使用的标准装置名称：

说明：

注：对不合格项目在该项目指明“不合格”，对无法再检定的项目，应说明“由于…的原因，以下项目无法检定。”