



中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 746—2004

超 声 探 伤 仪

Ultrasonic Flaw Detectors

2004 - 09 - 21 发布

2005 - 03 - 21 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

超声探伤仪检定规程

**Verification Regulation for
Ultrasonic Flaw Detectors**

JJG 746—2004
代替 JJG 746—1991

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 2005 年 03 月 21 日起实施。

归口单位：全国声学计量技术委员会

主要起草单位：中国计量科学研究院

参加起草单位：中国测试技术研究院

湖北省计量测试技术研究院

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：

边文萍 （中国计量科学研究院）

朱 岩 （中国计量科学研究院）

参加起草人：

郝豫川 （中国测试技术研究院）

姚秋平 （湖北省计量测试技术研究院）

目 录

| | |
|-----------------------------|--------|
| 1 范围 | (1) |
| 2 引用文献 | (1) |
| 3 概述 | (1) |
| 4 计量性能要求 | (1) |
| 4.1 水平线性误差 | (1) |
| 4.2 衰减器技术要求 | (1) |
| 4.3 垂直线性误差 | (1) |
| 4.4 动态范围 | (1) |
| 4.5 电噪声电平 | (1) |
| 4.6 最大使用灵敏度 | (1) |
| 4.7 探伤灵敏度余量 | (1) |
| 4.8 扫描范围 | (2) |
| 4.9 分辨力 | (2) |
| 5 通用技术要求 | (2) |
| 5.1 外观 | (2) |
| 5.2 铭牌、标志和使用说明书 | (2) |
| 6 计量器具控制 | (2) |
| 6.1 检定条件 | (2) |
| 6.2 检定项目 | (3) |
| 6.3 检定方法 | (3) |
| 6.4 检定结果的处理 | (8) |
| 6.5 检定周期 | (8) |
| 附录 A 超声探伤仪检定证书内页格式 | (9) |
| 附录 B 超声探伤仪检定结果通知书内页格式 | (10) |
| 附录 C 检定不确定度评定实例 | (11) |

超声探伤仪检定规程

1 范围

本规程适用于通用 A 型脉冲反射式超声探伤仪的首次检定、后续检定和使用中检验。

2 引用文献

GB/T 12604.1—1990 无损检测术语 超声检测

GB/T 18694—2002 无损检测 超声检验 探头及其声场的表征

GB/T 18852—2002 无损检测 测量接触探头声速特性的参考试块和方法

JJF 1059—1999《测量不确定度评定与表示》

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 概述

超声探伤是目前广泛使用的无损检测方法之一。

超声探伤仪主要由同步、扫描、发射、接收放大、电源等电路部分及显示屏组成，可设延时、报警、深度补偿、标记、跟踪及记录等单元。与超声探头配套，广泛用于锅炉、高压容器、船舶、航空航天、铁路、桥梁建筑、化工机械、冶金、原材料等非破坏性检测。

4 计量性能要求

4.1 水平线性误差

不大于 2%。

4.2 衰减器技术要求

4.2.1 衰减器总衰减量应不小于 60dB。

4.2.2 衰减器衰减误差：在超声探伤仪规定的工作频率范围内，衰减器每 12dB 的误差不得超过 ± 1 dB。

4.3 垂直线性误差

不大于 6%。

4.4 动态范围

不小于 26dB。

4.5 电噪声电平

不大于垂直满刻度的 20%，且剩余增益大于 60dB。

4.6 最大使用灵敏度

不大于 $400\mu\text{V}$ 。

4.7 探伤灵敏度余量

不小于 42dB。

4.8 扫描范围

不小于 3500mm。

4.9 分辨力

不小于 26dB。

5 通用技术要求

5.1 外观

5.1.1 机壳表面应平整光洁、不应有影响仪器准确度的外观损伤。

5.1.2 开关调节旋钮（或螺丝）应齐全，使用方便、可靠、准确。

5.1.3 外接导线及插头、插座应安全牢固、连接可靠、无松动现象。

5.2 铭牌、标志和使用说明书

5.2.1 超声探伤仪应具有以下清晰而耐久的标志：

5.2.1.1 制造商的名称；

5.2.1.2 产品的型号和出厂编号；

5.2.1.3 采用国际标准或国家标准的标准代码和年代号；

5.2.1.4  标志。

5.2.2 非供操作者使用的部件，应采用密封或标记的方法加以保护，以免影响探伤仪的准确度。

5.2.3 每台超声探伤仪应附有使用说明书，包括所有附件的资料。

6 计量器具控制

计量器具控制包括超声探伤仪的首次检定、后续检定和使用中的检验。

6.1 检定条件

6.1.1 计量标准和主要配套设备

超声探伤仪检定标准装置由用于探伤仪电性能检定的函数信号发生器、标准衰减器及用于组合性能检定的标准探头（2.5MHz ϕ 20 直探头）、标准试块组成。其技术要求如下：

6.1.1.1 带有猝发音函数信号发生器

频率范围：(0.5 ~ 15) MHz；

频率稳定度： 5×10^{-4} ；

频率准确度： 5×10^{-4} ；

猝发音正弦失真：0.5%；

猝发音包含的正弦波个数不小于 10。

6.1.1.2 标准衰减器

衰减范围：(0 ~ 80) dB；

频率范围：(0 ~ 15) MHz；

衰减分挡形式：至少应有 10dB，1dB，0.1dB 三种衰减分挡形式；

衰减误差: $(0.5\% A \pm 0.02)$ dB, 式中: A 为衰减量。

6.1.1.3 标准探头: 2.5MHz $\phi 20$ 直探头

6.1.1.4 标准试块: DB-P Z20-2 DB-P Z20-4 CSK-1A

6.1.2 检定环境条件

室内温度: $15^{\circ}\text{C} \sim 35^{\circ}\text{C}$; 相对湿度: $30\% \sim 90\%$ 。

6.2 检定项目

超声探伤仪的检定项目见表 1。

表 1 检定项目表

| 序 号 | 检 定 项 目 | 首次检定 | 后续检定 | 使用中检验 |
|---------------------------|---------|------|------|-------|
| 1 | 外观检查 | + | + | + |
| 2 | 水平线性误差 | + | + | + |
| 3 | 衰减器衰减误差 | + | + | - |
| 4 | 垂直线性误差 | + | + | + |
| 5 | 动态范围 | + | + | - |
| 6 | 电噪声电平 | + | + | - |
| 7 | 最大使用灵敏度 | + | - | - |
| 8 | 探伤灵敏度余量 | + | + | - |
| 9 | 扫描范围 | + | - | - |
| 10 | 分辨力 | + | + | - |
| 注: “+”表示应检项目, “-”表示可不检项目。 | | | | |

有工作频率分挡性能的超声探伤仪, 在每挡工作频率上进行参数检定。不具有工作频率分挡性能的超声探伤仪, 检定时应在常用的 1.25MHz、2.5MHz 和 5MHz 工作频率下进行。

6.3 检定方法

6.3.1 外观检查

采用目视及操作方法进行。

6.3.2 水平线性误差

6.3.2.1 所用检定设备与被检超声探伤仪的连接方式如图 1 所示。并使函数信号发生器输出阻抗、衰减器特性阻抗和终端负载相互匹配。

6.3.2.2 被检超声探伤仪的工作方式置 [双], 抑制置 “0”, 衰减器置适中量值。在扫描范围各挡上, 将被检超声探伤仪的发射脉冲输入到函数信号发生器输入端, 其输出通过标准衰减器接到被检超声探伤仪 “收” 端, 并调节频率、信号幅度、调制波数及标准衰减器旋钮, 使超声探伤仪显示屏上显示六个幅度相等的 (如垂直满刻度 80%) 脉冲波形。

6.3.2.3 调节被检超声探伤仪 [扫描微调] 及 [移位] 旋钮, 使第一个波的前沿对准

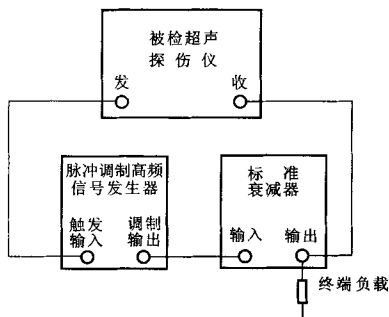


图1 检定装置示意图

水平刻度“0”，第六个波的前沿对准水平刻度“10”，依次读取第二至第五个波的前沿与水平刻度“2”，“4”，“6”，“8”的偏差 α_{\max} ，如图2所示，取其最大偏差值。按式(1)计算超声探伤仪水平线性误差：

$$\Delta L = \frac{|\alpha_{\max}|}{B} \times 100\% \quad (1)$$

式中： ΔL ——水平线性误差；

B ——水平满刻度数。

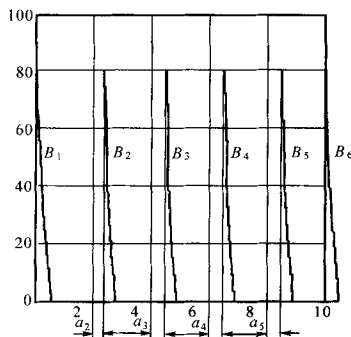


图2 水平线性波形调整示意图

6.3.3 衰减器衰减误差

6.3.3.1 所用检定设备与被检超声探伤仪的连接方式如图1所示。并使正弦信号发

生器输出阻抗衰减器特性阻抗和终端负载相互匹配。

6.3.3.2 被检超声探伤仪的工作方式置[双]，抑制置“0”，衰减器置适中量值。在扫描范围各挡上，将被检超声探伤仪的发射脉冲输入到函数信号发生器输入端，其输出通过衰减器接到被检超声探伤仪“收”端。

6.3.3.3 选择函数信号发生器的频率处于超声探伤仪的工作频率 2.5MHz 上，调节其输出，使被检超声探伤仪显示屏上显示的信号幅度为垂直满刻度 100%。

6.3.3.4 采用被检超声探伤仪衰减器衰减量与标准衰减器衰减量进行比较的方法，读出被检超声探伤仪衰减器衰减量误差。

6.3.4 垂直线性误差

6.3.4.1 所用检定设备与被检超声探伤仪的连接方式如图 1 所示。并使正弦信号发生器输出阻抗衰减器特性阻抗和终端负载相互匹配。

6.3.4.2 被检超声探伤仪的工作方式置[双]，抑制置“0”，衰减器置适中量值。在扫描范围各挡上，将被检超声探伤仪的发射脉冲输入到函数信号发生器输入端，其输出通过衰减器接到被检超声探伤仪“收”端。

6.3.4.3 调节函数信号发生器的输出，同时调节标准衰减器，使在显示屏上适当读数位置处有稳定的垂直满刻度的 100% 高频信号，且标准衰减器有 30dB 衰减余量。

6.3.4.4 调节标准衰减器，依次记下每衰减 2dB 时信号幅度的百分数，直至衰减达 26dB，然后将此实测值与理论值相比较，设垂直刻度的 100% 波高为 $L_{总}$ ，衰减 A /dB 时

的相应理论波高为 $L_{理}$ ，按 $A(\text{dB}) = 20 \lg \frac{L_{总}}{L_{理}}$ ，求出 $\frac{L_{总}}{L_{理}}$ 的波高理论比值，见表 2。

取最大正偏差 Δ_{+max} 与最大负偏差 Δ_{-max} 绝对值之和作为垂直线性误差，见式 (2) 所示

$$\Delta = |\Delta_{+max}| + |\Delta_{-max}| \quad (2)$$

式中： Δ ——垂直线性误差，以 % 表示；

$|\Delta_{+max}|$ ——最大正偏差绝对值，以 % 表示；

$|\Delta_{-max}|$ ——最大负偏差绝对值，以 % 表示。

表 2 波形幅度与衰减量对应表

| 衰减量 A /dB | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 |
|-------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|
| 理论值/% | 100 | 79.4 | 63.1 | 50.1 | 39.8 | 31.6 | 25.1 | 20.0 | 15.8 | 12.5 | 10.0 | 7.9 | 6.3 | 5.0 |

6.3.5 动态范围

6.3.5.1 所用检定设备与被检超声探伤仪的连接方式如图 1 所示。并使函数信号发生器输出阻抗衰减器特性阻抗和终端负载相互匹配。

6.3.5.2 被检超声探伤仪的工作方式置[双]，抑制置“0”，衰减器置适中量值。在扫描范围各挡上，将被检超声探伤仪的发射脉冲输入到函数信号发生器输入端，其调制输出通过衰减器接到被检超声探伤仪“收”端。

6.3.5.3 标准衰减器衰减量置适当值，调节函数信号发生器的输出和标准衰减器的衰

减量,使被检超声探伤仪显示屏上显示的高频信号幅度为垂直刻度 100%,且有大于 30dB 的衰减量。

6.3.5.4 调节标准衰减器,读取高频信号幅度自垂直满刻度 100%下降至刚能辨认之最小值时衰减器调节量,即为被检超声探伤仪的动态范围。

6.3.6 电噪声电平

取下所有检定用连接线,并将被检超声探伤仪灵敏度和扫描范围调至最大,抑制置“0”,此时显示屏时基线上电噪声平均幅度在垂直刻度上的百分数,即为被检超声探伤仪的电噪声电平。

如果电噪声电平超过 20%,应减少增益,直至电噪声电平为 20%为止,此时剩余增益应大于 60dB。

6.3.7 最大使用灵敏度

6.3.7.1 所用检定设备与被检超声探伤仪的连接方式如图 1 所示。并使函数信号发生器输出阻抗衰减器特性阻抗和终端负载相互匹配。

6.3.7.2 调节被检超声探伤仪,使其灵敏度达到最高,然后函数信号发生器输出,使被检超声探伤仪显示屏上显示的高频信号的最大值比电噪声电平高 6dB,如图 3 所示。



图 3 信噪比示意图

6.3.7.3 用示波器测量此时高频信号的峰-峰值电压,并作为该频率下被检超声探伤仪的使用灵敏度。其最小值为接收系统最大使用灵敏度。

6.3.8 探伤灵敏度余量

6.3.8.1 检定所用 DB-P Z20-2 或 DB-P Z20-4 型标准试块与被检超声探伤仪的连接方式如图 4 所示。

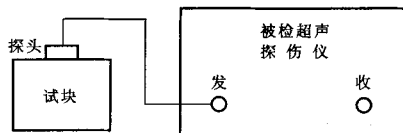


图 4 检定装置示意图

6.3.8.2 将被检超声探伤仪的工作方式置[单]。其发射强度调至产品技术指标所规定的调节度上,[抑制]置“0”,[增益]最大。

6.3.8.3 按 6.3.6 条的方法测出探伤仪的电噪声电平,然后调节[衰减器]使仪器电噪

声电平为满幅度的 10%。记录这时〔衰减器〕的读数 s_0 。

6.3.8.4 连接 2.5MHz $\phi 20$ 直探头并置于标准试块上中间加适当的耦合剂，并保持适当的耦合。移动探头使孔波幅度最高，调节〔衰减器〕使孔波幅度为垂直刻度的 50%，记下此时〔衰减器〕的读数 S_1 ，则探伤灵敏度余量为：

$$S_p = S_1 - S_0 \quad (3)$$

式中： S_p ——常用（2.5MHz $\phi 20$ ）直探头的探伤灵敏度余量，用 dB 表示。

6.3.9 扫描范围的检定：采用 2.5MHz $\phi 20$ 直探头。

6.3.9.1 检定所用试块与被检超声探伤仪的连接方式如图 4 所示。被检超声探伤仪的工作方式置〔单〕。其发射强度调至产品技术指标所规定的调节度上，〔抑制〕置“0”，〔增益〕最大。

6.3.9.2 连接 2.5MHz $\phi 20$ 直探头，并置于标准试块（DB-P Z20-2 或 DB-P Z20-4）上，中间加适当的耦合剂，并保持适当的耦合。

6.3.9.3 根据被检超声探伤仪中扫描范围的要求，将探头固定于适当厚度的试块上，调节被检超声探伤仪使显示在荧光屏上的多次底波中最后一次底波的幅度大于垂直刻度的 50%，然后在水平刻度 0~100 的范围内读出底波的个数 n ，按公式（4）计算扫描范围。

$$L = nD \quad (4)$$

式中： L ——扫描范围，mm；

n ——底波的个数；

D ——试块厚度，mm。

6.3.10 分辨力

6.3.10.1 检定所用试块与被检超声探伤仪的连接方式如图 4 所示。

6.3.10.2 被检超声探伤仪的工作方式置〔单〕。其发射强度调至产品技术指标所规定的调节度上，〔抑制〕置“0”，其他旋钮位置适当。

6.3.10.3 将 2.5MHz $\phi 20$ 直探头置于标准试块 CSK-1A 上，中间加适当的耦合剂，并保持适当的耦合，使来自 A 面、B 面两个面的回波幅度相等并约为垂直刻度的 80%（ h_1 ）。读取波峰（ h_1 ）对应衰减器的读数 D_1 如图 5。

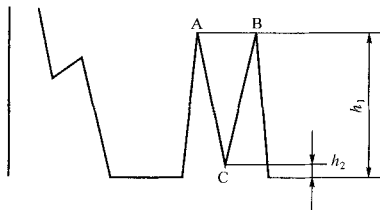


图 5 波峰、波谷示意图

6.3.10.4 调节衰减器，使波谷 C 的回波幅度上升为垂直刻度的 80%，读取波谷（ h_2 ）

对应衰减器的读数 D_2 ，则分辨力 R 为

$$R = D_1 - D_2 \quad (5)$$

R 单位：dB

6.3.11 使用中检验：

6.3.11.1 检验项目见表 1。

6.3.11.2 检验方法

- 1) 外观：检验方法分别见 6.3.1；
- 2) 水平线性误差的检验：检验方法见 6.3.2；
- 3) 垂直线性误差的检验：检验方法见 6.3.4。

检验结果最大允许误差不应超过检定时最大允许误差的 1.25 倍。

6.4 检定结果的处理

经检定，符合本规程要求的超声探伤仪发给检定证书，检定不合格的超声探伤仪发给检定结果通知书，并注明不合格的项目。检定证书和检定结果通知书内页格式见附录 A、附录 B。

6.5 检定周期

超声探伤仪的检定周期一般不超过 1 年。

附录 A

超声探伤仪检定证书内页格式

| 检 定 项 目 | 检 定 结 果 |
|------------------|---------|
| 外观检查 | |
| 水平线性误差/% | |
| 衰减器衰减误差/dB | |
| 垂直线性误差/% | |
| 动态范围/dB | |
| 电噪声电平/% | |
| 最大使用灵敏度/ μ V | |
| 探伤灵敏度余量/dB | |
| 扫描范围/mm | |
| 分辨力/dB | |

检定环境条件：

温 度：_____℃

相对湿度：_____%

检定依据：JJG 746—2004 超声探伤仪检定规程

使用的标准装置名称：_____

标准装置扩展不确定度（垂直线性误差）：_____

附录 B

超声探伤仪检定结果通知书内页格式

| 检 定 项 目 | 检 定 结 果 |
|------------------|---------|
| 外观检查 | |
| 水平线性误差/% | |
| 衰减器衰减误差/dB | |
| 垂直线性误差/% | |
| 动态范围/dB | |
| 电噪声电平/% | |
| 最大使用灵敏度/ μ V | |
| 探伤灵敏度余量/dB | |
| 扫描范围/mm | |
| 分辨力/dB | |

检定环境条件：

温 度：_____℃

相对湿度：_____%

检定依据：JJG 746—2004 超声探伤仪检定规程

使用的标准装置名称：_____

标准装置扩展不确定度（垂直线性误差）：_____

说明：1. 对检定不合格项应加注“不合格”字样；

2. 由于某检定项目不合格，故该检定项目无法检定。

附录 C

检定不确定度评定实例

选一稳定的超声探伤仪,对垂直线性误差作不确定度评定。

C.1 数学模型: $\Delta = |\Delta_{+max}| + |\Delta_{-max}|$

Δ ——垂直线性误差,以%表示;

$|\Delta_{+max}|$ ——垂直线性最大正偏差的绝对值,以%表示;

$|\Delta_{-max}|$ ——垂直线性最大负偏差的绝对值,以%表示。

C.2 方差和灵敏系数

由于 $|\Delta_{+max}|$ 与 $|\Delta_{-max}|$ 互不相关,故其合成方差为

$$u_{c(\Delta)}^2 = c_{(\Delta_{+max})}^2 u_{(\Delta_{+max})}^2 + c_{(\Delta_{-max})}^2 u_{(\Delta_{-max})}^2$$

式中灵敏系数:

$$c_{(\Delta_{+max})} = \frac{\partial (\Delta)}{\partial (\Delta_{+max})} = 1$$

$$c_{(\Delta_{-max})} = \frac{\partial (\Delta)}{\partial (\Delta_{-max})} = 1$$

C.3 标准不确定度:

1. 输入量垂直线性最大正偏差的绝对值标准不确定度来源

测量重复性引入的标准不确定度分项 u_1 ;

函数信号发生器引入的标准不确定度分项 u_2 ;

标准衰减器引入的标准不确定度分项 u_3 。

①由输入量读数分散性引入的标准不确定度 u_1

选取超声探伤仪最大正偏差所对应的总衰减量为测量点,在重复条件下连续测量 10 次,得到最大正偏差的测量列 (%):

2.0, 2.1, 2.0, 2.2, 2.1, 2.0, 2.1, 2.1, 2.2, 2.0

$$\bar{\Delta} = \frac{\sum \Delta_i}{n} = 2.08\%$$

$$\text{单次测量实验标准差 } s = \sqrt{\frac{\sum (\Delta_i - \bar{\Delta})^2}{n-1}} = 0.079\%$$

单次测量标准不确定度 $u_1 = s = 0.079\%$

②函数信号发生器引入的标准不确定度分项 u_2

依使用说明:函数信号发生器正弦波幅度精度是 1%,认为在 1MHz ~ 15MHz 范围内该精度按均匀分布为:

$$u_2 = \frac{1\%}{\sqrt{3}} = 0.58\%$$

③标准衰减器引入的标准不确定度分项 u_3

依据标准衰减器检定证书,在 2.5MHz 频率,衰减器最大测量误差为 $\pm 0.014\text{dB}$

(0.16%), 以均匀分布考虑, $k = \sqrt{3}$

$$\text{所以 } u_3 = \frac{0.16\%}{\sqrt{3}} = 0.09\%$$

④输入量 Δ_+ 的标准不确定度 $u_c(\Delta_+)$ 的合成:

因以上各量彼此独立不相关, 所以

$$u_c(\Delta_+) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = \sqrt{(0.079\%)^2 + (0.58\%)^2 + (0.09\%)^2} = \sqrt{0.3507\%} = 0.59\%$$

2. 输入量垂直线性最大负偏差的绝对值标准不确定度来源同上

①由输入量读数分散性引入的标准不确定度 u'_1

选取探伤仪最大负偏差所对应的总衰减量为测量点, 在重复条件下连续测量 10 次, 得到最大负偏差的测量列 (%):

0.5, 0.6, 0.6, 0.6, 0.5, 0.5, 0.6, 0.6, 0.5, 0.6

$$\bar{\Delta} = \frac{\sum \Delta_i}{n} = 0.6\%$$

$$\text{单次测量实验标准差 } s' = \sqrt{\frac{\sum (\Delta_i - \bar{\Delta})^2}{n - 1}} = 0.05\%$$

单次测量的标准不确定度 $u'_1 = s' = 0.05\%$

②函数信号发生器引入的标准不确定度分项 u'_2

依使用说明: 函数信号发生器正弦波幅度精度是 1%, 认为在 1MHz ~ 15MHz 范围内该精度按均匀分布:

$$u'_2 = \frac{1\%}{\sqrt{3}} = 0.58\%$$

③标准衰减器引入的标准不确定度分项 u'_3

依据标准衰减器检定证书, 在 2.5MHz 频率, 衰减器最大测量误差为 $\pm 0.014\text{dB}$ (0.16%), 以均匀分布考虑, $k = \sqrt{3}$, 所以

$$u'_3 = \frac{0.16\%}{\sqrt{3}} = 0.09\%$$

④输入量 Δ_- 的标准不确定度 $u_c(\Delta_-)$ 的评定: 因以上各量彼此独立不相关, 所以

$$u_c(\Delta_-) = \sqrt{u'^2_1 + u'^2_2 + u'^2_3} = \sqrt{(0.05\%)^2 + (0.58\%)^2 + (0.09\%)^2} = \sqrt{0.347\%} = 0.59\%$$

C.4 标准不确定度汇总表 (见表 C.1)

C.5 合成标准不确定度的评定

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u_c^2(\Delta_+) + c_2^2 u_c^2(\Delta_-)} = \sqrt{(0.59\%)^2 + (0.59\%)^2} = 0.83\%$$

C.6 扩展不确定度评定: 取包含因子 $k = 2$

$$U = ku_c = 2 \times 0.83\% = 1.7\%$$

C.7 探伤仪垂直线性误差检定结果的扩展不确定度报告

$$U = 1.7\% \quad k = 2$$

表 C.1 标准不确定度汇总表

| 标准不确定度分量 | 不确定度来源 | 标准不确定度 | c_i | |
|-----------------|--|--|-----------|----------------------------------|
| $u_c(\Delta_+)$ | 1. 测量重复性引入的标准不确定度分量 u_1 2. 函数信号发生器引入的标准不确定度分量 u_2 3. 标准衰减器引入的标准不确定度分量 u_3 | $u_1 = s = 0.08\%$ $u_2 = 0.58\%$ $u_3 = 0.09\%$ | $c_1 = 1$ | $c_1 u_c(\Delta_+) = 0.59\%$ |
| $u_c(\Delta_-)$ | 1. 测量重复性引入的标准不确定度分量 u'_1 2. 函数信号发生器引入的标准不确定度分量 u'_2 3. 标准衰减器引入的标准不确定度分量 u'_3 | $u'_1 = s' = 0.05\%$ $u'_2 = 0.58\%$ $u'_3 = 0.09\%$ | $c_2 = 1$ | $c_2 u_c(\Delta_-) = 0.59\%$ |