

# 超声探伤仪垂直线性不确定度研究

黄思杨<sup>1\*</sup>, 袁梦芹<sup>2</sup>, 朱文杰<sup>1</sup>

(1. 江西省检验检测认证总院, 南昌 330052; 2. 江西省检验检测认证总院计量科学研究院, 南昌 330002)

**摘要:** 以研究超声探伤仪垂直线性不确定度为目的。先介绍围绕具体的仪器型号及技术参数, 具体分析超声探伤仪垂直线性不确定度评定依据及方法, 并以建模方式进行不确定度评定, 最后出具垂直线性不确定度报告, 提出超声探伤仪检定装置校准的要点。旨在为超声探测人员提供借鉴, 掌握超声探伤仪垂直线性不确定度的探究技巧, 真正优化超声探伤仪的质量与性能, 真正发挥其功能作用。

**关键词:** 超声探伤仪; 检定装置; 垂直线性; 不确定度评定

## Research on vertical linear uncertainty of ultrasonic flaw detectors

HUANG Si-Yang<sup>1\*</sup>, ZHONG Meng-Qin<sup>2</sup>, ZHU Wen-Jie<sup>1</sup>

(1. Jiangxi Provincial Inspection, Testing and Certification Institute, Nanchang 330052, China; 2. Jiangxi Provincial Institute of Inspection, Testing and Certification Metrology Science Research Institute, Nanchang 330002, China)

**ABSTRACT:** The purpose is to study the vertical linear uncertainty of ultrasonic flaw detectors. Firstly, introduce the specific instrument models and technical parameters, analyze the basis and methods for evaluating the vertical linear uncertainty of ultrasonic flaw detectors, and conduct uncertainty evaluation through modeling. Finally, issue a vertical linear uncertainty report and propose the key points for calibrating the ultrasonic flaw detector calibration device. Intended to provide reference for ultrasonic detection personnel, master the exploration skills of vertical linear uncertainty of ultrasonic flaw detectors, truly optimize the quality and performance of ultrasonic flaw detectors, and truly play its functional role.

**KEY WORDS:** ultrasonic flaw detector; calibration device; vertical linearity; uncertainty assessment

## 0 引言

超声探伤仪检定装置用于工件缺陷的检测与评估, 为保证检定结果的准确性, 务必重视并落实超声探伤仪检定装置的检定校准, 其中垂直线性不确定度评定是检定校准的基本环节, 参照垂直线性指标确保超声探伤仪检定装置的实用性和有效性, 进一步扩大其应用范围。由此可见, 围绕超声探伤仪检定装置垂直线性不确定度评定探究具有必要性和重要性。

## 1 仪器型号及技术参数

超声探伤仪组成部分包括超声发生器、显示器、探头等, 其工作原理如图1所示。

CTJ-5A型超声探伤仪检定装置(如图2)达到JJG 746-2004

国家计量检定规程要求, 以脉冲调制法检定超声探伤仪垂直线性、衰减器误差等性能。其技术参数如表1所示。

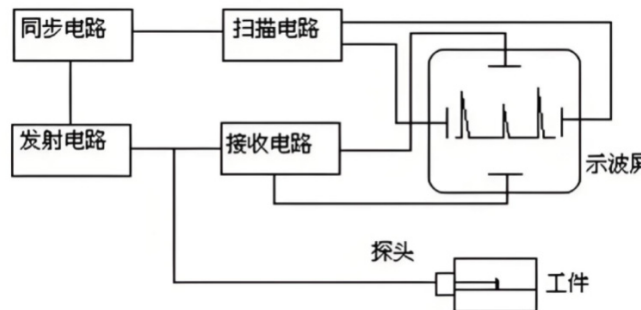


图1 超声探伤仪工作原理

Fig.1 Working principle of ultrasonic flaw detector

\* 通信作者: 黄思杨, 硕士, 工程师, 研究方向为计量检测。E-mail: 1643280862@qq.com

\*Corresponding author: HUANG Si-Yang, Master, Engineer, Jiangxi Provincial Inspection, Testing and Certification Institute, Nanchang 330052, China. E-mail: 1643280862@qq.com



图 2 CTJ-5A 型超声探伤仪检定装置

Fig.2 Calibration device for CTJ-5A ultrasonic flaw detector

表 1 CTJ-5A 型超声探伤仪检定装置技术参数

Table 1 Technical parameters of the calibration device for CTJ-5A ultrasonic flaw detector

类别	参数
频率范围	0.01~20 MHz
信号幅度范围	-55~+23 dB
衰减器误差	0.5%*A (衰减量) ±0.02 dB
声程范围	50~6000 mm
声速范围	1000~9999 m/s

## 2 评定依据及方法

### 2.1 评定依据

不确定度评定, 即通过表征赋予测量值, 它作为评定计量检定结果的参数<sup>[1]</sup>。评定依据包括《测量不确定度表达准则》(1993), 以及《计量检定不确定度》(1996)、JJF 1059-1999《测量不确定度与表示》技术规范<sup>[1]</sup>。

### 2.2 评定方法

CTJ-5A 型超声探伤仪检定装置垂直线性指标评定的过程中, 主要围绕不确定度, 即垂直线性误差进行检定、测量<sup>[2]</sup>。其中装置测量值与被测量点之差为误差估读值, 用  $E_{\Delta}$  表示。评定操作总结为: 连接 CTJ-5A 型超声探伤仪与检定装置(如图 3), 其中, CTJ-5A 型超声探伤仪设置情况如表 2 所示。

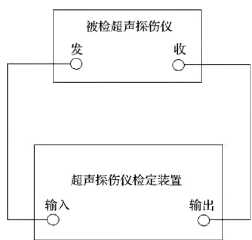


图 3 CTJ-5A 型超声探伤仪与检定装置测试连接

Fig.3 Test connection between CTJ-5A ultrasonic flaw detector and calibration device

表 2 CTJ-5A 型超声探伤仪的设置

Table 2 The setup of CTJ-5A ultrasonic flaw detector

内容	设置
工作方式	双
抑制	0%
宽带	0.5~4 MHz
调节频率	2.5 MHz
调节按钮	衰减按钮

设置完成后, 仪器显示屏读数达到规定, 同时, 显示满格

信号。其中, 衰减按钮启动后, 每间隔 2 dB 记录信号幅度变化值, 达到既定衰减量之后, 对比实际测量值和理论值(如表 3)。

表 3 垂直线性实际测量值与理论值比较

Table 3 Comparison between actual measured values and theoretical values of vertical linearity

衰减量 (dB)	0	2	4	6	8	10	12	14
理论值 (%)	100	81.5	66.2	50.2	39.7	31.8	19.0	15.4
实测值 (%)	100	80.5	66.5	50.1	39.9	32.0	19.0	15.2
差值	0	0.5	-0.3	-0.1	0.2	-0.2	0	0.2

## 3 建模分析

围绕垂直线性误差建立测量模型, 确定  $E_{\Delta}$  计算公式, 如公式 (1)。

$$E_{\Delta} = \Delta_x - \Delta_N + \delta\Delta_N \quad (1)$$

公式中,  $\Delta_x$  代表被测点误差,  $\Delta_N$  代表 CTJ-5A 型超声探伤仪检定装置读数误差,  $\delta\Delta_N$  代表装置基本误差对测量值的影响。

## 4 不确定度的评定

### 4.1 标准不确定度的评定

输入量与  $\Delta_+$ 、 $\Delta_-$  之间独立, 其合成标准不确定度公式如公式 (2)。

$$u_c(\Delta) = \sqrt{[c_1 \cdot u(\Delta_+)]^2 + [c_2 \cdot u(\Delta_-)]^2} \quad (2)$$

输入量的标准不确定度归纳如表 4 所示。

评定 CTJ-5A 型超声探伤仪检定装置垂直线性不确定度的过程中, 围绕精度影响因素进行评定, 在分类基础上进行评定, 分别是装置不确定度及测试仪不确定度类、标准不确定度类<sup>[3]</sup>。

第一, 装置不确定度评定。当评定依据、测量标准、被测对象等条件保持不变, 固定装置调制成 10 dB, 无新装置, 则  $U$  (CTJ-5A 型超声探伤仪检定装置读数) 为 0。

第二, 测试仪不确定度评定。当被测 CTJ-5A 型超声探伤仪放置失稳, 则会引发读数偏差。通过增加测量次数, 以及多台仪器同测的方式来评定垂直线性的不确定度。联测的结果如表 5 所示。

第三, 标准不确定度评定。装置基本误差为  $\pm 0.02$  dB, 均匀分布可知, 包含因子  $\sqrt{2}$ , 则  $0.02 \div \sqrt{2} = 0.0141$  dB。数值可靠性较高, 其自由度预估为无穷大。

表 4 输入量的标准不确定度归纳

Table 4 Induction of standard uncertainty of input quantity

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度	$c_i$	$ c_i  \cdot u(x_i)$	$\nu_i$
$u(\Delta_+)$	测量重复	0.65%	1	0.65%	50
	视差				
$u(\Delta_-)$	标准衰减器的	0.65%	-1	0.65	50
	不确定度				

表5 联测结果  
Table 5 Joint testing results

分类	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
垂直 (%)	31.8	31.7	31.5	31.4	31.5	31.6	31.3	31.2	31.4	31.3
测量值 x (dB)	9.97	10.05	10.04	10.04	10.08	10.05	10.06	10.05	10.07	10.09

#### 4.2 扩展不确定度的评定

扩展不确定度由合成不确定度与包含因子的乘积而得。其中合成不确定度计算公式如(3)。

$$U(E_1) = \sqrt{\sum C_i [U(x_i)]^2} \approx 0.04 \text{ dB} \quad (3)$$

公式中,合成不确定度用  $U(E_1)$  表示,  $C_i [U(x_i)]$  意味着单个影响因素对测量结果的影响程度,对其合成,获得合成不确定度。目的是提高测量结果准确度和可靠性。

### 5 垂直线性不确定度报告

测量条件达到要求,包含因子赋值为2,当测试点为10 dB时,不确定度数值即包含因子与拓展不确定度的乘积,即  $2 \times 0.04 \text{ dB} = 0.08 \text{ dB}$ 。

### 6 超声探伤仪检定装置校准和测量能力

超声探伤仪检定装置用于评测超声探伤仪的过程中,务必落实检定装置校准工作,确保超声探伤仪垂直线性不确定度评定工作有意义地开展,最终得出可靠的评定结果,真正为超声探伤仪改进、优化提供依据<sup>[4]</sup>。

取型号一致且稳定运行的测试仪,数量为一台。事先选择示值为0.1 KV的点,保持重复性条件,对其多次测量,测试为8次,获得测量列,数据为:0.1000, 0.0999, 0.1000, 0.0999, 0.1000, 0.1000, 0.1000, 0.0999。

公式(4)如下

$$\bar{x} = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 x_i \quad (4)$$

单次实验标准差用公式(5)求得单次测量标准差。

$$s = \sqrt{\sum_{i=1}^8 (x_i - \bar{x})^2 / (n-1)} \quad (5)$$

重复性测量结果为0.09996 KV,单次测量标准差数值为  $4.827 \times 10^{-5} \text{ KV}$ 。

检定装置校准的相关要点总结为:第一,优选检定方法。在超声探伤仪检定装置校准环节选择适合的检定方式。常见检定法有四种,分别是误差检定、灵敏度检定、线性度检定、脉冲重复频率检定,不同检定方法的特点、应用原理等存在差异,所以要视情况选择适合的检定方法<sup>[5]</sup>。第二,确定校准方法。针对探头进行几何校准,指的是探头外形校准,探头信号传播方向校准,目的是减少因探头结构多变产生的评定误差<sup>[6]</sup>。对于灵敏度校准,利用最小信号幅值校准超声探伤仪的灵敏度,同样是缩小误差。对于距离校准,主要在样品上测距,提高超声探伤仪的距离测量准确,大大减小探头与检测点之间误差<sup>[7]</sup>。第三,相关注意事项。超声探伤仪检定装置的垂直线性不确定

度评定,必须在标准温度下进行,一般而言,环境温度  $22^\circ\text{C}$ ,相对湿度50%的条件下进行检定和校准<sup>[8]</sup>。不确定度评定过程中,应保证超声探伤仪鉴定装置放置的稳定性,这能减少误差,同时,还要控制环境噪声,将检定误差最小化,提高校准结果的准确性<sup>[9]</sup>。评定活动开始前,工作人员彻底清洁探头,去除杂质,确保评定的准确性。最后针对超声探伤仪检定装置进行周期性检定和校准,以保证其准确性和稳定性<sup>[10]</sup>。

### 7 结论

综上所述,超声探伤仪垂直线性不确定度是超声探伤仪检定装置性能衡量的重要指标。以CTJ-5A型超声探伤仪检定装置为例,掌握这一性能评定依据以及方法,并通过建模分析对装置不确定度、拓展不确定度评定。根据报告针对性强化超声探伤仪的测量能力,提高测量精度,从整体上提高超声探伤仪检定装置的评定水平。

### 参考文献

- [1] 王宁. 测量不确定度评定中的常见错误解析 [J]. 计量与测试技术, 2019, 46(06): 84-86.
- [2] 齐英豪, 张克, 王永锋, 等. 超声波探伤仪的线性误差测试方法分析 [J]. 物理测试, 2022, 40(02): 22-25.
- [3] 孙素娟. 超声探伤仪检定原理的浅析 [J]. 品牌与标准化, 2020, (05): 71-73.
- [4] 陈沈理. 超声探伤仪检定装置校准方法的探讨 [J]. 电子质量, 2021, (07): 117-120.
- [5] 洪滔. 超声探伤仪计量性能检定的经验探讨和不确定度分析 [J]. 无损探伤, 2022, 46(04): 42-44.
- [6] 陈沈理. 不解体探伤仪校准方法的探讨 [J]. 电子质量, 2021, (08): 10-13.
- [7] 孙素娟. 超声探伤仪水平线性误差测量结果不确定度评定 [J]. 中国计量, 2020, (07): 93,102.
- [8] 左鹏. 探讨超声探伤技术在无损检测中的应用 [J]. 电子元器件与信息技术, 2021, 5(08): 65-66.
- [9] 陈滢漪. 游乐设施检验用超声探伤仪的期间核查方法 [J]. 河南科技, 2020, (16): 51-55.
- [10] 程林. 全自动浸入式超声探伤在HIC评价中的应用 [J]. 宝钢技术, 2021, (05): 57-63.

### 作者简介

黄思杨, 硕士, 工程师, 研究方向为计量检测。