相控阵超声探伤仪校准规范

编制组

主编单位：西安汉唐分析检测有限公司

 讨论稿

 2025-04

 JJF（有色金属）XXXX—XXXX

相控阵超声探伤仪校准规范

(编制说明)

1. 工作简况

1.立项目的

相控阵超声探伤仪主要用于无损检测。和A型常规检测仪一样,相控阵超声均是基于采用脉冲反射法检测，均采用相同的缺陷定量及定位方法。但相控阵超声检测仪是高性能的数字化仪器，能够实现检测全过程信号的记录,通过对信号进行处理,系统能生成和显示不同方向投影的高质量图像。

目前，可参考对相控阵超声探伤仪进行校准的有JJF 1338-2012 《相控阵超声探伤仪校准规范》，ISO 18563-1:2022 《无损检测仪器 相控阵超声设备的性能与检验 第1部分》等规范。但这些规范的发布日期距离当前已经有较长时间，导致这些规范在当前的实际校准工作中存在校准方法不适用等问题，无法保证校准结果的准确性与可靠性。重新编写更适用于相控阵超声探伤仪的校准方法，完善相关校准项目，保证相控阵超声探伤仪校准结果的准确可靠，可以为指定的探伤工艺提供保障，进一步帮助有色金属行业实现高标准、高质量的的发展目标。

2.任务来源

为保证用于校准相控阵超声探伤仪的量值准确、可靠，适应我国有色金属行业的快速发展和满足国内外市场的需要，工业和信息化部以工信厅下达了根据工信部《工业和信息化部办公厅关于印发2024年行业计量技术规范制修订计划的通知》(工厅科〔2024〕602号)，计划完成年限为2025年。

3.项目编制组单位简况

3.1编制组成员单位

本规范的编制组单位为：西安汉唐分析检测有限公司。

3.2主编单位简介

3.2.1西安汉唐分析检测有限公司

西安汉唐分析检测有限公司是西北有色金属研究院(集团)控股子公司，属国有企业，主要从事有色产品的检测、可靠性评价、失效分析、质量评估、腐蚀性能及表面测试与表征、规范起草、检测方法的开发、标物的研制、设备的计量校准等。

公司于1985年被陕西省质监局授权为陕西省有色金属产品质量监督检验站。1987年被中国有色金属工业总公司授权为西北质量监督检验中心，先后被国家质检总局确定为钛及钛合金、铜及铜合金管材生产许可证检验工作实施单位；公司通过CNAS、CMA、国防DiLAC等认证认可，是陕西省有色金属材料分析检测与评价中心、陕西省稀有金属材料安全评估和失效分析中心、工业（稀有金属）产品质量和技术评价实验室、陕西省核工业用金属材料检测与评价服务平台挂靠单位。公司是国内最早从事有色金属材料及其产品分析检验检测与评价研究的专业机构之一，技术装备水平国内一流、国际先进，在我省优势产业稀有金属材料领域的检测能力和水平处于领先地位；先后承担了国家、省市多项重大课题，目前已建成国内唯一的核电堆芯材料分析检测平台、多层金属复合材料测试和评价平台、钛及钛合金专业检测平台。

近10年起草有色金属国家/行业规范共80余项、发表论文120余篇、授权专利30余项。先后荣获中国有色金属工业一等奖、二等奖20余次。

本单位积极组织编制组各次工作会议，开展相关的校准，有效组织参编单位多次对规范的各版《征求意见稿》进行认真的讨论和审议，提出大量有益的意见和建议，在编制组中发挥了牵头作用。

3.3成员单位简介

4.主要工作过程

西安汉唐分析检测有限公司接到有色金属行业计量技术委员会转发下达的制定任务后，成立了计量规范编制组，对计量技术规范编写工作进行了部署和分工，制定了制定原则及计划工作。

2024年11月成立了计量规范编制组，明确编制组成员各自的工作内容及任务，对被校对象的使用单位进行了校准需求调研，收集相关资料。

2024年12月~2025年4月编制组成员对校准规范中的计量特性及校准方法进行了讨论，确定了校准项目及方法，对关键技术指标提出了修改意见最终行成讨论稿。

1. 规范编制原则和确定主要内容
	1. 编制原则

本规范是以JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》和JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》为基础性系列规范进行编写。

本规范引用了ISO 18563-1:2022 《无损检测仪器 相控阵超声设备的性能与检验 第1部分》（Non-destructive testing — Characterization and verification of ultrasonic phased array equipment）相关内容。

* 1. 确定主要内容

1 范围

本规范规定了用于超声无损检测的相控阵超声探伤仪的计量特性、校准条件和校准方法。本规范适用于频率在（0.5~10）MHz范围内的多通道相控阵超声检测仪的校准。

2 引用文件

JJF 1071《国家计量校准规范编写规则》

JJF 1001-《通用计量术语及定义》

JJF 1059.1《测量不确定度评定与表示》

ISO 18563-1:2022 《无损检测仪器 相控阵超声设备的性能与检验 第1部分》（Non-destructive testing — Characterization and verification of ultrasonic phased array equipment）

3 概述

液浸式超声换能器广泛应用在超声无损检测等领域，可分为聚焦换能器和平面换能器。液浸式超声换能器的特性参数可通过球靶反射体法和水听器法测量超声信号和扫描声场获得。

4 计量特性

4.1发射脉冲电压、上升时间和脉冲宽度

发射脉冲电压与制造商技术要求不超过±10%范围内；

上升时间应小于制造商技术要求的最大值；

对于方波脉冲和双极性脉冲波形,每个单独测量通道脉冲宽度应在制造商技术要求规定值的±10%范围内。当使用一个尖峰脉冲时，脉冲宽度应小于制造商的技术规范中规定的最大值,且通道之间的变化应在±20%范围内。

4.2延迟时间线性

小于制造商技术要求规定的最大延时时间的1%。

4.3频率响应

中心频率和带宽在制造商技术要求规定的±10%范围内。

4.4等效输入噪声

小于制造商技术要求规定值。

4.5增益线性

在制造商技术要求规定的整个增益范围内的任何连续1dB范围内,增益偏差应不超过

±0.5 dB；

在制造商技术要求规定的整个增益范围内的任何连续20dB范围内，增益偏差应不超过

±1 dB；

在制造商技术要求规定的增益范围内,增益偏差应不超过±2 dB。

4.6通道增益偏差

通道增益偏差应小于3dB。

4.7幅度线性

测得的信号幅度在允许范围内，允许范围见表1。

表1 幅度线性的验收指标

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 外部衰减器设定值dB | 所显示信号幅度的目标值/% | 验收指标/% |
| X-2 | 100 | 98~102 |
| X-1 | 90 | 88~92 |
| X | 80 | 基准 |
| X+2 | 64 | 62~66 |
| X+4 | 50 | 48~52 |
| X+6 | 40 | 38~42 |
| X+10 | 25 | 23~27 |
| X+12 | 20 | 18~22 |
| X+18 | 10 | 8~12 |
| X+24 | 5 | 3~7 |

4.8延迟时间线性

小于或等于制造商技术要求规定的相控阵超声检测仪最大延迟时间的1%或时间分辨率。

5 校准条件

校准时的环境条件应满足以下要求：

正常温湿度。

测量标准及设备应满足如下表2要求.

表2校准设备

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 测量标准及其他设备 | 技术要求 |
| 1 | 信号发生器 | 能够产生正弦波信号或正弦脉冲串信号。 |
| 2 | 数字存储示波器 | 工作带宽不低于100MHz |
| 3 | 无感电阻 | 阻值为（50±0.5）Ω的无感电阻。 |
| 4 | 标准衰减器 | 步进1dB、总衰减量100 dB、50Ω的标准衰减器,当信号频率在15MHz以内时，该衰减器任意10dB范围的累积误差应小于0.3 dB |
| 5 | 脉冲发生器 | 能够产生一个带延迟或不带延迟的触发脉冲 |

6 校准项目和校准方法

6.1校准项目

校准项目见表3。

表3相控阵超声探伤仪校准项目一览表

|  |  |
| --- | --- |
| 序号 | 项目名称 |
| 1 | 发射脉冲电压、上升时间和脉冲宽度 |
| 2 | 延迟时间线性 |
| 3 | 频率响应 |
| 4 | 等效输入噪声 |
| 5 | 增益线性 |
| 6 | 通道增益偏差 |
| 7 | 幅度线性 |
| 8 | 延迟时间线性 |

6.2校准方法

6.2.1校准前检查

目测相控阵超声检测仪的外观，检查是否存在影响当前正常工作或未来可靠性的外部损伤。

6.2.2发射脉冲电压、上升时间和脉冲宽度

将相控阵仪器，转换板卡和示波器采用线缆进行连接，测量电压幅度从10%到90%的脉冲上升时间，如图1所示，幅度在50%时的脉冲宽度，发射脉冲电压。



图1 测量的发射脉冲

6.2.3延迟时间线性

首先选择可同时激活的最大通道数；将发射脉冲的幅度设置为中间值；将每个通道的发射延迟设置为零；采用相控阵超声检测仪的同步信号同步示波器；测量在示波器上同步信号和被测通道脉冲之间的时间。

6.2.4频率响应

将相控阵仪器、信号发生器、衰减器进行连接构成回路，用信号发生器将正弦波信号输入第一个通道，将输入相控阵超声检测仪的正弦信号设置为适当幅度,以在增益中间值设置下产生80%FSH的信号，在相控阵超声检测仪工作频率范围内，改变信号发生器输入信号的频率，记录每个频带在相控阵超声检测仪显示最大信号幅度时对应的频率，以小于标称频带带宽5%的增量，依次提高和降低频率,并记录相控阵超声检测仪显示的信号幅度低于最大幅度3dB时所对应的上限频率值和下限频率值，两者相加除以2得到中心频率，带宽等于上限频率减去下限频率。

6.2.5等效输入噪声

采用6.2.4的测试装置连接方式，采用最大带宽中心频率f的输入信号，测量等效输入噪声；将相控阵超声检测仪的增益设置到最大值；断开输入信号，记录相控阵超声检测仪显示屏上的噪声电平，把增益降低40dB，重新接通输入信号；调整经过校准的外部衰减器和/或输入信号电平直至射频信号电平与上述噪声电平幅度相同，用示波器测量输入信号的峰-峰值电压，并记录经过校准的外部衰减器的衰减量。

6.2.6增益线性

采用6.2.4的连接方式，使用信号发生器，给通道1接入一个测出的最宽频带中

心频率正弦波信号，将相控阵超声检测仪的增益设置为最小值，并调整信号发生器产生的参考信号，使其不饱和显示，在整个增益范围内，以适当的增量，增加相控阵超声检测仪的增益，对于每个增益设定值,调整经过校准的外部衰减器,使信号幅度保持恒定高度，对应每个增量.记录相控阵超声检测仪的增益值和外部衰减器的衰减值之间的差值。

6.2.7通道增益偏差

采用6.2.4的连接方式，启用通道1并连接信号发生器，提供一个频率对应最宽频带的中心频率的正弦信号，将相控阵超声检测仪的增益设置为中间值，调整信号发生器的输出信号，使通道1的信号的峰值幅度达到FSH的80%；测量A扫显示的正弦波的幅度，在所有通道上重复进行测量。

6.2.8幅度线性

采用6.2.4的连接方式，通过信号发生器给通道1输入一个正弦波信号,其频率为滤波器最大带宽时的中心频率；将外部校准的衰减器设置为一个较低的值X，并调节输入信号的幅度和相控阵超声检测仪的增益,使该信号的幅度为FSH的80%；记录相关的增益设定值(参考增益)；在不改变相控阵超声检测仪增益的条件下，将经过校准的外部衰减器设置到表1所列的设定值，对应每个设定值，测量相控阵超声检测仪显示屏的信号幅度。

6.2.9延迟时间线性

通过相控阵超声检测仪同步信号来同步脉冲发生器和信号发生器(在缺省条件下，用信号发生器产生一个单周期正弦波的测试信号，将这个测试信号的频率设置为相控阵超声检测仪滤波器最宽频带时的中心频率；设置相控阵超声检测仪的增益为中间值,调整信号发生器的输出幅度,直至相控阵超声检测仪显示的信号幅度达到FSH的80%，将相控阵超声检测仪时基延迟设置为0μs，并把测试信号接入仪器；将接收延迟设置为最大接收延迟时间的20%，调整相控阵超声检测仪时基的宽度,以显示最大延迟的信号，测量对应目标延迟时间测试信号。

7 校准结果表达

经校准后出具校准证书，校准证书由封面和校准数据内页组成，封面由校准机构确定统一格式，校准数据按照附件B要求，并可根据实际情况进行填写。校准证书应至少包括以下信息：

a) 标题：校准证书；

b) 实验室名称和地址；

c) 进行校准的地点（如与实验室的地址不同）；

d) 证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；

e) 客户的名称和地址；

f) 被校对象的描述和明确标识；

g) 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性和应用有关时，应说明被校对象的接收日期；

h) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；

i) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；

j) 校准环境的描述；

k) 校准结果及测量不确定度的说明；

l) 对校准规范的偏离的说明；

m) 校准证书签发人的签名、职务或等效标识以及签发日期；

n) 校准结果仅对被校对象有效的声明；

o) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

8 复校时间间隔

建议校准时间间隔为1年；当使用频率较高时，建议用户缩短为3个月。

9.附录

附录主要包含校准原始记录参考格式、校准证书内页参考格式、测量不确定度评定示例三部分。

1. 规范水平分析

3.1采用国际标准及国外先进规范的程度

据查，目前国内外针对相控阵超声探伤仪特性的校准规范，计量检测机构对相控阵超声探伤仪校准项目的选取以及校准方式参照当前已有的JJF 1338-2012 《相控阵超声探伤仪校准规范》，ISO 18563-1:2022 《无损检测仪器 相控阵超声设备的性能与检验 第1部分》等规范进行校准，这些规范存在时间过长的问题，本规范为目前最新的校准方法。

3.2与国际及国外同类标准水平的对比分析

目前国外没有相关技术规范，本规范水平达到国外先进水平。

1. 与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系

本规范所引用的规程及规范均为我国现行有效的计量规程及规范，是本规范的一部分，引用这些规程及规范后，使本规范的要求与现行的相关法律、法规、规章及相关规程规范的关系不矛盾、不冲突，其相互关系非常协调。

1. 规范中涉及的专利或知识产权说明

（无）

1. 重大分歧意见的处理经过和依据

（无）

1. 规范作为强制性或推荐性国家（或行业）标准的建议

建议本规范作为推荐性行业计量技术规范，供相关行业参考采用。

1. 贯彻规范的要求和措施建议

本规范发布后，中国有色金属行业协会和有色金属行业计量技术委员会应加强本规范的宣传力度，促进相控阵超声探伤仪生产厂家按照实际情况合理选用校准规程，以促进我国企业的技术进步和产品质量上档次，提高我国产品在国际国内市场的竞争能力。

1. 废止现行有关规范的建议

（无）。

1. 预期效果

本规范的制定，具有极大的经济效益和社会效益，填补了有色金属行业领域校准空白，对相控阵超声探伤仪特性的校准过程提供了技术支撑。

1. 其他应予说明的事项

（无）。

 《相控阵超声探伤仪校准规范》编制组 2025年4月