相控阵超声换能器校准规范

编制组

主编单位：西安汉唐分析检测有限公司

 讨论稿

 2025-05

 JJF（有色金属）XXXX—XXXX

相控阵超声换能器校准规范

(编制说明)

1. 工作简况

1.立项目的

相控阵超声换能器主要用于超声探伤时，配套相控阵超声探伤仪使用。相控阵超声换能器能将电信号变换为超声信号，又能将超声信号变换为电信号，即具有超声发射和接收双重功能。它的结构组成主要有晶体、匹配层、声透镜、吸声块，超声换能器由若干晶体组成（如64、128、256、512个晶体）并与一定数目的通道对应。晶体数是超声换能器的重要指标，也是决定整机具体使用结果的关键技术之一。晶体数量多理论上成像质量越好，高密集换能器使声束扫描线密度高，不需要进行插补处理，图像细腻，分辨力好。主要应用于金属材料加工企业对其产品的超声无损检测，在这种应用场所中，相控阵超声换能器的性能指标能够满足工艺要求对能否发现被检测样品的内部缺陷起着关键作用。

目前，可参考对相控阵超声换能器进行校准的技术规范有JJF 1650-2017《超声探伤仪换能器声场特性校准规范》、JJF 1294-2011《超声探伤仪换能器校准规范》，但相控阵超声换能器与普通超声探伤用超声换能器存在差异，导致在实际校准工作中存在校准方法不适用，校准项目不全面等问题，无法保证相控阵超声换能器校准结果的准确性与可靠性。针对JJF 1650-2017《超声探伤仪换能器声场特性校准规范》、JJF 1294-2011《超声探伤仪换能器校准规范》中校准方法不适用，校准项目不全面的问题，重新编写更适用于相控阵超声换能器的校准方法，完善相关校准项目，保证相控阵超声换能器校准结果的准确可靠，为相控阵超声探伤所指定的探伤工艺提供有力保障，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

为保证用于校准超声波探伤用液浸式换能器的量值准确、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《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》（工信厅科函［2024］602号），其计划项目代号为：JJFZ(有色金属)013-2024，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》编制。

本规范是以JJF 1059.1-2012 《测量不确定度评定与表示》、ISO 18563-2 《Non-Destructive testing ——Characterization and verification of ultrasonic phased array equipment》、为基础，共同构成支撑对该校准规范的制定工作。

* 1. 确定主要内容

1 范围

本规范适用于中心频率范围在0.5MHz~15MHz的金属材料无损检测用相控阵换能器校准。

2 引用文件

JJF 1001 通用计量术语及定义

JJF 1034 声学计量名词术语及定义

GB 3102.7 声学的量和单位

3 概述

无损检测用相控阵换能器广泛应用于超声无损检测等领域，相控阵换能器由若干压电阵元组成的阵列，通过相控阵超声探伤仪的主机独立控制换能器中的各个真元，实现换能器声束的相控发射与接收，在介质指定空间区域内实现超声波的偏转和聚焦。常用换能器分为直换能器与斜换能器，此外还有与换能器配套使用的各种楔块等。

4 计量特性

4.1相对脉冲回波灵敏度偏差

相对脉冲回波灵敏度与标称值的偏差一般不超过±5dB。

4.2频率、相对带宽和脉冲持续时间

中心频率与标称值的偏差一般不超过±10%；

相对带宽与标称值的偏差一般不超过±15%；

脉冲持续时间与标称值的偏差一般不超过±15%。

4.3换能器灵敏度

换能器灵敏度与标称值的偏差一般不超过±5dB。

4.4阵元间串扰

阵元间串扰应≥25dB。

5 校准条件

校准时的环境条件应满足以下要求：

室温：（18~28）℃；

水温：（15~33）℃。

测量标准及设备应满足如下表1要求.

表1测量标准及其他设备

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 仪器设备名称 | 技术要求 |
| 1 | 脉冲发生器/接收器 | 频率范围：0.5kHz~35MHz；上升时间：不大于10ns；脉冲幅值（空载）：负向脉冲不小于100V。 |
| 2 | 数字示波器 | 工作频率上限不低于100MHz，采样频率应高于200MHz；至少应有两个通道，具备时间延迟测量（时间分辨力优于0.1μs）、幅值测量功能和快速傅里叶变换（FFT）功能。 |
| 3 | 标准试块 | 纵波声速为（5920±50）m/s和横波声速为（3255±30）m/s的钢试块。 |
| 4 | 水听器 | 水听器组带宽应至少覆盖（0.5~15）MHz,水听器有效直径一般应小于介质中工作频率所对应波长的2倍。 |
| 5 | 水槽及多自由度调节机构 | 夹持机构应能够将相控阵换能器固定并调整姿态。 |

6 校准项目和校准方法

6.1校准项目

校准项目见表2。

表2相控阵换能器超声换能器校准项目一览表

|  |  |
| --- | --- |
| 序号 | 项目名称 |
| 1 | 相对脉冲回波灵敏度偏差 |
| 2 | 频率、相对带宽和脉冲持续时间 |
| 3 | 换能器灵敏度 |
| 4 | 阵元间串扰 |

6.2 校准方法

6.2.1校准前检查

观察相控阵换能器的外观，应符合以下要求：

 待校准相控阵换能器应无明显的损坏，尤其换能器前端的匹配层应完好；

 水浸使用的相控阵换能器，水浸部分应密封完好。

6.2.2相对脉冲回波灵敏度偏差

在进行相对脉冲回波灵敏度偏差校准时，需要对换能器中的每一个阵元进行校准。

通过分线板卡连接相控阵换能器、脉冲发生/接收仪和数字示波器，设置发射脉冲时间等于1/2标称换能器频率周期的负方波，也可以是负尖脉冲。将相控阵换能器与试块接触并调整至耦合良好。用示波器测出每个阵元反射回波的电压幅值Vel，并计算和记录每个Vel的算数平均值Vav。

每个阵元的相对脉冲回波灵敏度偏差Sel，可以使用公式（1）进行计算：

S\_el=20lg V\_el/V\_av （1）

6.2.3频率、带宽和脉冲持续时间

在进行频率、相对带宽、脉冲持续时间校准时，需要对换能器中的每一个阵元进行校准。接触式相控阵换能器连接方式与仪器设置同7.2.2，水浸式相控阵换能器需要将换能器浸入水中后通过水听器配合水箱及自由调节装置连接，仪器设置同7.2.2。

频率校准时，应从频谱幅度最高出下降6dB时确定频率点，从获得的上限频率fu和下限频率fl通过公式（2）获得中心频率：

f\_0=(f\_u+f\_l)/2 （2）

相对带宽Δfref的计算见公式（3）：

∆f\_ref=((f\_u-f\_l)/f\_0 )×100% （3）

6.2.4换能器灵敏度

在进行换能器灵敏度校准时，连接方式与仪器设置同7.2.2。

任意取相控阵换能器上的一个阵元（一般为第一个阵元或最后一个阵元），使用数字示波器测量其激励信号幅度Vref。在相同的激励方式下，依次测量并记录每个阵元的反射回波电压幅值Vel，计算所有阵元的反射回波电压幅值的算术平均值Vav。换能器灵敏度Spt按公式（4）进行计算：

S\_el=20lg V\_av/V\_ref （4）

6.2.5阵元间串扰

阵元数在64个及以内的，需要选择两个位置进行阵元间串扰校准；阵元数超过64个的，需要选择4个位置进行阵元间串扰校准。连接方式同7.2.2，激励信号设置为至少6个周期且频率与换能器标称频率相同的正弦脉冲串。将示波器连接一个相邻阵元进行串扰校准，阵元间串扰CT可以按照公式（5）进行计算：

CT=20lg V\_exc/V\_rec （5）

式中：

Vexc——激励电压，mV；

Vrec——相邻阵元收到的信号电压，mV。

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，并可根据检漏仪的情况进行填写。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

由于相控阵超声探伤检测效率远高于常规超声检测，近两年来，随着工业发展的进步，相控阵超声设备技术瓶颈逐渐突破，相控阵超声检测技术在国内应用逐步广泛，主要应用于有色行业对产品进行超声波检测。但是对于相控阵超声换能器的校准方法研究相对较少，部分使用相控阵超声探伤设备的 客户，多参考ISO 18563-2对相控阵换能器进行检测，但标准中对检测方法规定模糊，无法对相控阵超声换能器的校准工作进行有效指导。

本次所提出的相控阵超声换能器校准规范与此次申请的相控阵超声探伤仪望能开展对相控阵超声换能器的校准工作，共同保障校准方法的合理性以及试验结果的可信度，填补有色金属行业以及计量行业领域空白，促进相控阵超声换能器在有色金属行业中更合理、更准确的应用。

未发现有知识产权的问题，或涉及专利的情况。

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，促进超声波探伤用液浸式换能器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，对相控阵超声换能器的校准过程提供了技术支撑。

1. 其他应予说明的事项

（无）。

 《相控阵超声换能器校准规范》编制组 2025年04月