

JJF（有色金属）XXXX—XXXX
超声波探伤用液浸式换能器特性校准规范
(编制说明)

审定稿

2024-12

超声波探伤用液浸式换能器特性校准规范

编制组

主编单位：西安汉唐分析检测有限公司

一、工作简况

1.立项目的

超声波探伤用液浸式换能器主要用于水中超声探伤时，配套超声探伤机使用。它可以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。它是谐振于超声频率的压电陶瓷，由材料的压电效应将电信号转换为机械振动。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，超声波探伤用液浸式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，可参考对超声波探伤用液浸式换能器进行校准的有 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》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，校准项目不全面等问题，无法保证校准结果的准确性与可靠性。重新编写更适用于超声波探伤用液浸式换能器的校准方法，完善相关校准项目，保证超声波探伤用液浸式换能器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 2022 年行业计量技术规范制修订计划的通知》（工信厅科函〔2022〕476 号），其计划项目代号为：JJFZ(有色金属)013-2023。

按计划要求，本计量规范应于 2024 年完成制定。

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、中国计量科学研究院、湖南湘投金天钛业科技股份有限公司、陕西天成航空材料有限公司、南通友联数码技术开发有限公司、西安优耐特容器制造有限公司。

3.2 主编单位简介

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

3.3.1 中国计量科学研究院

中国计量科学研究院成立于1955年，隶属国家市场监督管理总局，是国家最高的计量科学研究中心和国家级法定计量技术机构，属社会公益型科研单位。

中国计量院主要开展科学计量、法制计量、工程计量三个方面的职责。

计量院拥有和平里和昌平两个院区，其中，和平里院区占地7.4万平方米、建筑面积6.1万平方米，昌平院区占地55.3万平方米、建筑面积4.8万平方米；设置14个研究所、8个职能管理机构、4个服务保障机构。截至2013年，中国计量院在职职工741人，其中中国工程院院士2人。

中国计量科学研究院力学与声学计量科学研究所下设六个研究室：质量密度研究室、测力研究室、容量研究室、硬度研究室、振动冲击研究室、声学研究室。现有科技人员52人，其中，高级技术职务17人。

本所保存国家计量基准22项、国家计量副基准12项、计量标准33项。1995年至今参加国际关键量比对的项目为25项。全所106项校准和检测项目于1999年至2000年通过了中国实验室国家认可委员会的实验室认可。质量及相关量和声学校准/测试能力通过了国际各地区计量组织和国际计量局的审查，已被列入国际互认协议（MRA）的附录C中，并被登入国际计量局网页。

1998年完成了与荷兰国家计量研究院（NMI）非自动衡器型式试验报告的互认工作；2001年完成了与德国PTB进行非自动衡器和称重传感器型式试验报告的互认工作；2006年经国际法制计量组织审查批准为非自动衡器和称重传感器型式试验报告互认的试验机构，可以出具国际互认的非自动衡器和称重传感器型式试验报告。

国家质检总局下设在本所的专业计量技术委员会秘书处有三个，分别为：“力值硬度计量技术委员会秘书处”、“声学计量技术委员会秘书处”、“质量密度计量技术委员会秘书处”；下设在本所的标准化委员会为“振动标准化技术委员会第三分委会秘书处”。

经过四十多年的发展，本所在计量科学研究方面取得了较为显著的成绩，1995年以来获局以上科技成果奖18项，其中20MN基准测力机达到了国际领先水平，获国家科学技术进步一等奖。

该所积极参加国内外科技合作与交流，按时参加与编制组的各项工作会议，对本规范提出了诸多专业性的建议，完善了校准规范中不确定度的测量模型、对校准规范中校准项目和计量标准器的选择提出了修改的建议，在编制组中发挥了主要作用。

3.3.2 湖南湘投金天钛业科技股份有限公司

湖南湘投金天钛业科技股份有限公司是一家专注于高端钛及钛合金材料的研发、生产和销售的高新技术企业。该公司隶属于湖南湘投控股集团全资子公司湖南湘投金天科技集团有限责任公司，拥有强大的研发和生产能力。公司注册资本为3.7亿元人民币，位于常德经济技术开发区，占地450亩，是国家级专精特新小巨人、湖南省专精特新中小企业，并拥有多项资格认证，如国家级专精特新“小巨人”企业、湖南省企业技术中心、湖南省高端装备特种钛合金工程技术研究中心等。

湖南湘投金天钛业科技股份有限公司的发展方向是瞄准国家战略目标，打造高端装备钛合金材料先进制造平台与人才集聚创新高地。公司秉持“以人才为根本、客户需求为导向、创新驱动为动能、产品质量为生命”的经营理念，拥有国际先进的钛合金材料生产线与检测实验室。其产品广泛应用于航空航天、海洋舰船、车辆、医疗器械等领域，是中国高端装备钛合金材料与零部件的重要供应商。

此外，该公司还积极参与产学研用合作，培育自主创新体系建设，致力于研制生产的钛及钛合金棒材、锻坯、零部件等产品的高质量发展。通过不断的科技创新和产品研发，公司已成为中国高端钛合金材料三家主要供应商之一，以及大型综合钛材加工企业之一。

该单位积极参与编制组的各项工作会议，提供了稳定性优异的液浸式超声换能器用于本规范验证实验，在编制组中发挥了主要作用。

3.3.3 陕西天成航空材料有限公司

陕西天成航空材料有限公司天成航材成立于2007年，是专业从事钛合金材料研发、生产的高新技术企业。公司于2008年投产，目前拥有自主知识产权及各项成果100余项，研发人员占比15%，累计研发投入上亿元，是国内较早涉足钛合金产业的技术队伍之一。

公司产品定位于高端钛材应用，主营产品包含钛合金棒材、线材、锻件等，以一流的“航空标准”管理体系支撑钛产业高质量发展。公司自主研发、设计了国内首条航空级钛合金全流程动态多向控温控制轧生产线，可为航空、医疗等高端领域用户提供超细晶钛棒及高品质钛盘卷，从材料端创新突破，解决了多项航空材料“卡脖子”难题；大规格棒材生产线采取“以轧代锻、锻轧结合”的方式，进一步优化生产工艺，可为航空终端提供发动机盘、轴件及飞机结构件用原材料，赋能中国航空业态升级。

公司致力于通过先进材料的开发及应用推动航空航天事业的进步与发展，先后获得航天特种工艺Nadcap无损检测认证及AS9100D、ISO13485、ISO14001、ISO45001等资质认证。

公司努力寻求高附加值、高技术含量的钛合金产业新突破，投资12.8亿建成的现代化、智能化生产基地已于2019年投入使用，建筑面积达80000m²，项目配套3000m²先进材料实验室及企业研发中心，预计到2025年，公司年产能将达到20000吨。

该单位积极参加编制工作，开展相关的验证试验，提供修改意见。

3.3.4 南通友联数码技术开发有限公司

南通友联数码技术开发有限公司成立于1993年8月，专业从事便携式数字超声探伤仪、TOFD、超声成像和多通道数字超声自动探伤系统的研制、生产和销售。公司致力于科技创新，在加拿大设有新品研发中心，确保友联技术与国际同步。近年来，公司先后承担并完成了多项国家863和省部级科技项目，产品先后获得了国家重点新产品、省高新技术产品、省市科技成果奖等荣誉20余项。作为江苏省高新技术企业，公司拥有多项专利，具有独立的自主知识产权，现已成为国内工业超声检测行业的龙头企业。公司拥有先进的生产、制造和测试检验设备，是江苏省唯一的超声检测技术工程中心。公司切实推进全面质量管理，在通过ISO9001：2000质量管理体系认证的基础上，进一步强化人才培养、优化生产工艺，电子器件实现了SMT自动焊接，保证了产品质量的一致性和可靠性，产品质量在行业中保持领先地位。

该单位积极参加编制工作，组织公司专业技术人员对本规范中的校准项目进行实验论证，提供修改意见。

3.3.5 西安优耐特容器制造有限公司

西安优耐特容器制造有限公司是一家由西北有色金属研究院控股的国家级高新技术企业，专注于稀有金属装备的研发、制造及工程化服务。该公司成立于2010年，注册资本为1.5亿元，由西部材料、西部超导、凯立新材等三家上市公司参股。西安优耐特容器制造有限公司在稀有金属装备制造领域内具有世界领先的钽、铌装备制造技术，以及国内一流的钛、锆、镍装备制造技术。公司的业务重点服务于核化工、新能源和高端精细化工等国家战略需求及新兴产业领域。

公司拥有多项资质和认证，包括民用核安全机械设备制造许可证、A2类压力容器设计及制造许可证、管道元件（元件组合装置）制造许可证、ASME U证、PED证书等。这些资质和认证证明了公司在行业内的专业能力和技术水平。

西安优耐特容器制造有限公司还拥有陕西省“稀有金属装备”共性技术平台、陕西省“稀有金属压力容器”工程技术研究中心以及陕西省企业技术中心等研发创新平台。这些平台不仅提升了公司的研发能力，也为公司的技术创新和产品升级提供了强有力的支持。

该单位积极参与编制组的各项工作会议，对规范的技术指标和校准项目中的部分内容提出了有效建议，在编制组中发挥了主要作用。

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。本项目主要工作过程经过了以下几个阶段：

1) 2023 年 8 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。

2) 2023 年 9 月~2024 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，在 2024 年 4 月形成了校准规范讨论稿。

3) 2024 年 4 月 24 日~26 日，编制组成员参加了由有色金属行业计量技术委员会组织的在湖南省长沙市华晨豪大酒店召开的有色金属计量技术规范讨论会，与会专家和各单位代表对《液浸式超声换能器特性校准规范-讨论稿》提出了修改意见，并且在会上确定了项目负责起草单位明确了各项工作时间进度要求，编制组依据讨论会上提出的修改意见，修改讨论稿并形成征求意见稿，具体内容见表 1。修改后形成了《液浸式超声换能器特性校准规范-征求意见稿》。

表 1 有色金属计量技术规范研讨会会议纪要（讨论稿）

序号	标准章 条编号	意见内容	提出单位	处理意见
1	4 章节	计量特性描述统一改为：“一般不超过”；	西南铝业（集团）有限责任公司	采纳
2	6 章节	图 1 中图示解释改为“注：1——超声波接收发射仪；2——自由调节装置；3——示波器显示；4——液浸式超声换能器；5——球靶反射体。”形式；	国标（北京）检验认证有限公司	采纳
3	附录 A、 附录 B	按照格式要求进行修改，同时新增示意图空白处；	西南铝业（集团）有限责任公司	采纳

4) 2024 年 7 月向社会广泛征求意见，根据收到的意见进行修改，修改后形成《液浸式超声换能器特性校准规范-预审稿》。

5) 2024 年 8 月在青岛举行有色金属计量技术规范研讨会，会上有来自不同单位的计量委员会委员、专家、代表对《液浸式超声换能器特性校准规范-预审稿》提出了修改意见，具体内容见表 2。修改后形成了《液浸式超声换能器特性校准规范-审定稿》

表 2 有色金属计量技术规范研讨会会议纪要（预审稿）

序号	标准章 条编号	意见内容	提出单位	处理意见
1	4 章节	计量特性描述统一改为：“不超过”；	国标（北京）检验认证有限公司	采纳
2	6 章节 6.2	增加脉冲回波灵敏度校准示意图	中国计量科学研究院	采纳

3	6 章节 6.2.2	公式（1）采用公式编辑器编辑（全片采用）	国标（北京） 检验认证有 限公司	采纳
4	6 章节 6.2.5 6.2.6 6.2.7	增加球靶反射体声压峰值响应说明	中国计量科 学研究院	采纳
5	附录 C C.3.1	增加计算过程	西南铝业（集 团）有限责任 公司	采纳

二、编制原则和依据

（一）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。

本规范参考了ASTM E1065-2014Standard Practice for Evaluating Characteristics of Ultrasonic Search Units 、BS EN ISO 22232-2-2020Non-destructive testing——Characterization and verification of ultrasonic test equipment等相关内容。

（二）确定主要内容

1 范围

本规范适用于频率在（0.5~15）MHz 范围内的液浸式聚焦换能器与液浸式平面换能器。

2 引用文件

IEC 62127-3:2022 Ultrasonics - Hydrophones

3 概述

超声波探伤用液浸式换能器由压电晶片、阻尼块、接头、电缆线、保护膜和外壳组成。其关键部件是压电晶片，是一个具有压电特性的单晶或多晶体薄片，其作用是将电能转换为声能，并将声能转换为电能。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 脉冲回波灵敏度

与出厂数据相差不超过±3dB。参照 ISO 22232-2 ， 8.4.2 条款

4.2 中心频率

中心频率偏差不超过标称值的±10%。参照 ISO 22232-2 ， 8.3.2 条款

4.3 相对带宽

偏差不超过标称值的 $\pm 15\%$ 。参照 ISO 22232-2，8.3.2 条款

4.4 焦距/近场长度

焦距/近场长度偏差不超过标称值/理论值的 $\pm 15\%$ 。参照 JJF 1650——2017,5.1 条款

4.5 场深

场深/偏差不超过标称值/理论值的 $\pm 15\%$ 。参照 ISO 22232-2，8.7.4.2 条款

4.6 焦点尺寸/声束直径

焦点尺寸/声束直径的偏差不超过标称值的 $\pm 20\%$ 。参照 JJF 1650——2017,5.2 条款

4.7 声束扩散角

偏差不超过标称值的 $\pm 20\%$ 。参照 JJF 1650——2017,5.2 条款

注：若换能器出厂时未提供出厂测试报告或上述参数标称值，则将首次校准值作为标称值。

5 校准条件

5.1 环境条件

室温：（18~28）℃；水温：（15~33）℃。

5.2 测量标准

校准项目和测量标准见表 1。

表 2 聚焦/平面超声换能器校准项目一览表

序号	项目名称	适用换能器类型
1	脉冲回波灵敏度	平面换能器、聚焦换能器
2	中心频率	平面换能器、聚焦换能器
3	相对带宽	平面换能器、聚焦换能器
4	焦距	聚焦换能器
5	近场长度	平面换能器
6	场深	聚焦换能器
7	焦点尺寸	聚焦换能器
8	声束直径	平面换能器
9	声束扩散角	平面换能器、聚焦换能器

6 校准项目和校准方法

6.1 校准项目

校准项目见表 2。

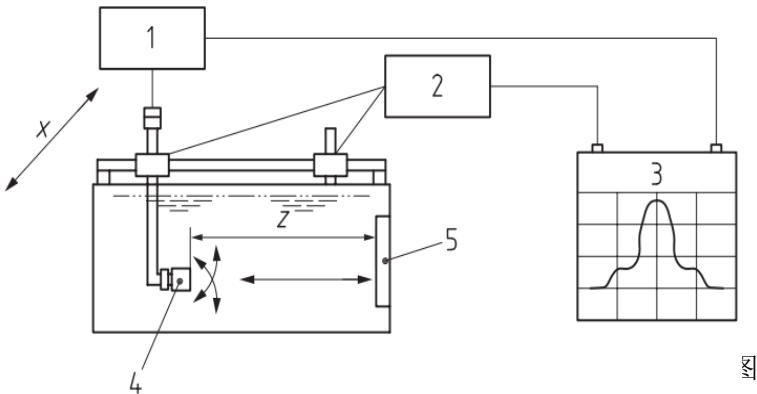
表 2 聚焦/平面超声换能器校准项目一览表

序号	项目名称
----	------

1	脉冲回波灵敏度
2	中心频率
3	相对带宽
4	焦距/近场长度
5	场深（焦柱长度）
6	焦点尺寸/声束直径
7	声束扩散角

6.2 校准方法

整个校准过程将换能器和球靶或水听器浸在水中进行，校准装置及原理如图 1、图 2、图 3 所示。



1.超声波接收发射仪；2.自由调节装置；3.示波器显示；4.液浸式超声换能器；5.平面反射体（玻璃或亚克力材质）

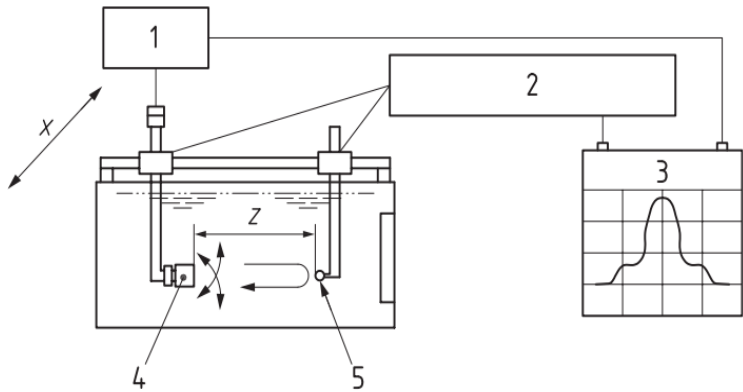


图 2 球靶反射体法液浸式换能器校准系统示意图

1.超声波接收发射仪；2.自由调节装置；3.示波器显示；4.液浸式超声换能器；5.球靶反射体

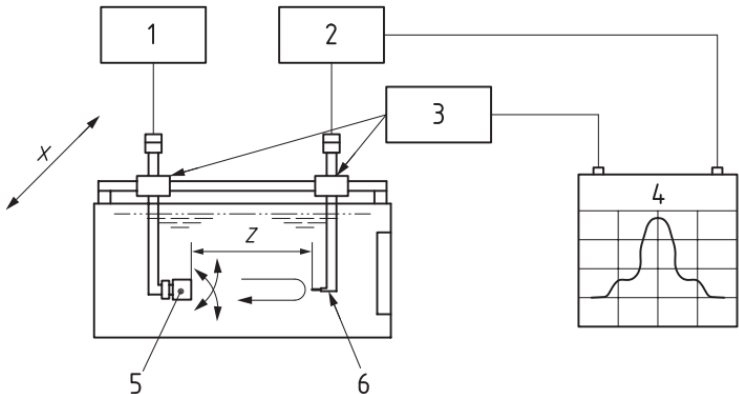


图 3 水听器法液浸式换能器校准系统示意图

1.超声波接收发射仪；2.自由调节装置；3.信号同步；4.示波器显示；5.液浸式超声换能器；6.水听器

6.2.1 校准前检查

检查换能器外观，应满足一下要求：

- 1) 被校换能器应无明显损坏，发射声波前端匹配层应完好无破损脱落现象；
- 2) 被校换能器防水橡胶圈应无老化开裂现象。

6.2.2 脉冲回波灵敏度

连接方式见图 1。将换能器发生声波面朝向平面反射体固定好后，连接超声波接收发射仪和示波器，调节超声波接收发射仪激励信号波形、激励电压等参数，通过自由度调节机构带动球靶，在示波器显示波形稳定且幅值最高时进行信号测量。

脉冲回波灵敏度计算方法见公式（1）：

$$S = 20\log_{10}\left(\frac{V_{out}}{V_{in}}\right) \quad (1)$$

其中：

S——脉冲回波灵敏度，dB；

V_{out} ——回波信号的峰峰电压值，mV；

V_{in} ——超声换能器激励电压值，V。

不同类型的液浸式超声换能器脉冲回波灵敏度会因液体介质类型、液体介质温度、换能器阻抗不同而产生差异。因此，每次校准时，应详细记录校准条件。

6.2.3 中心频率

进行中心频率校准时，采用球靶反射体法进行校准。校准时，稳定回波信号获取方法参照 6.2.2。

使用示波器的频谱分析功能，得到回波信号的频率响应曲线。上限截止频率 f_u 和下限截止频率 f_l 定义为：脉冲回波信号在频率响应曲线的峰值点（峰值频率 f_p ）以下下降 6dB 时对应两个频率点的值，常见频率响应曲线见图 3。

中心频率计算方法见公式（2）：

$$f_c = \frac{f_u + f_l}{2} \quad (2)$$

式中：

f_c ——中心频率，MHz；

f_u ——上限截止频率，MHz；

f_l ——下限截止频率，MHz。

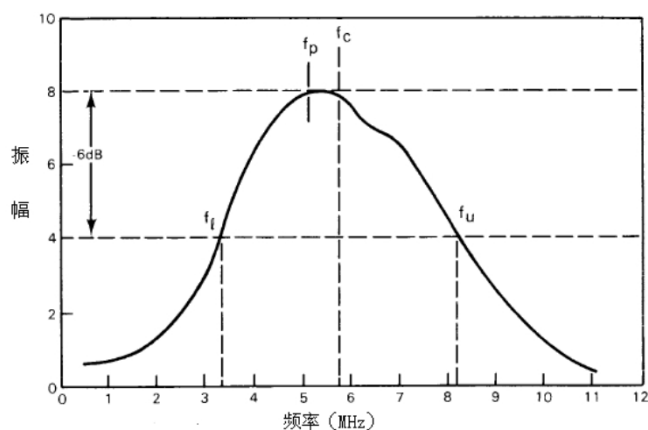


图 3 频率响应曲线

6.2.4 相对带宽

带宽计算方法见公式（3）：

$$B_w = \frac{f_u - f_l}{f_c} \times 100\% \quad (3)$$

式中：

B_w ——相对带宽；

f_u ——上限截止频率，MHz；

f_l ——下限截止频率，MHz；

f_c ——中心频率，MHz。

6.2.5 焦距/近场长度

6.2.5.1 球靶反射体法

连接方式见图 2。根据被校准的探头频率选取相应大小的反射球靶，将待校准换能器固定并确保其向水槽中发射声波，将脉冲接收发射仪模式设置为自发自收，连接超声波接收发射仪和示波器，调节超声波接收发射仪激励信号波形、激励电压等参数，通过自由度调节机构带动球靶反射体，使用计算机记录扫描时每次球靶位置变动后超声换能器接收到的信号幅值。对超声换能器的辐射声场进行沿声轴方向的纵向剖面扫描，得到沿声轴方向的声压场数据。通过分析声轴上的声压场，得到待校准超声换能器的焦距/近场长度。焦距为聚焦换能器焦点到换能器表面的距离，近场长度为平面换能器声轴上的声压峰

值处到换能器表面的距离。扫描步进间隔一般设置为不超过工作频率所对应波长的一半。

6.2.5.2 水听器法

连接方式见图 3。将脉冲接收发射仪模式设置为一发一收。参照 6.2.5.1 中描述调节仪器。通过自由度调节机构带动水听器对超声换能器的辐射声场进行沿声轴方向的纵向剖面扫描,得到沿声轴方向的声压场数据。

聚焦换能器声轴上声压分布及焦距测量如图 4 中 FL 所示,平面换能器声轴上声压分布及近场长度测量原理如图 5 中 N0 所示。

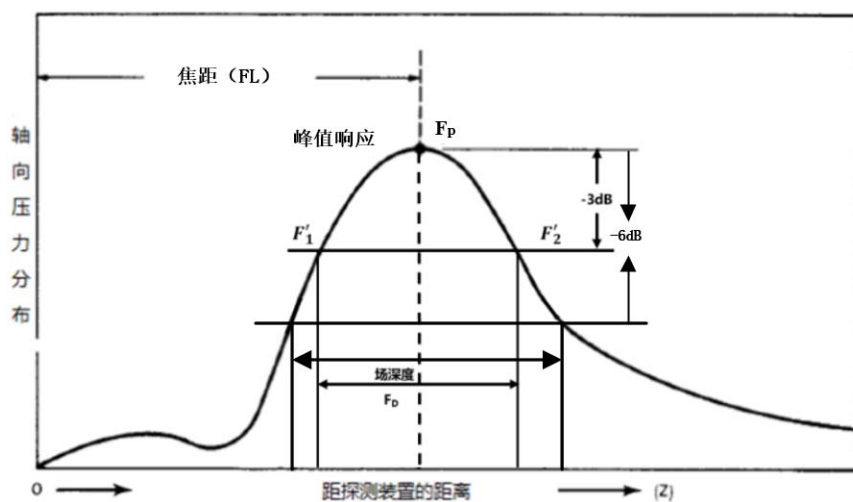


图 4 聚焦换能器声轴上声压分布图

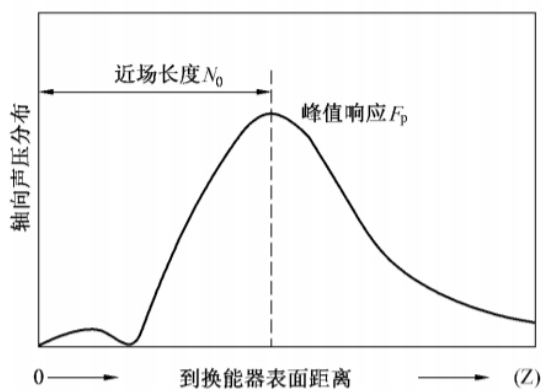


图 5 平面换能器声轴上声压分布

6.2.6 场深

场深的校准仅对于聚焦换能器。

6.2.6.1 球靶反射体法

根据 6.2.5 得到聚焦换能器声轴上的声压分布,在焦点前后寻找比焦点处声压幅值下降 6dB 的位置,该两个位置的距离即为该换能器的场深,如图 4 所示。

6.2.6.2 水听器法

根据 6.2.5 得到聚焦换能器声轴上的声压分布,在焦点前后寻找比焦点处声压幅值下降 3dB 的位置,该两个位置的距离即为该换能器的场深,如图 4 所示。

6.2.7 焦点尺寸/声束直径

6.2.7.1 球靶反射体法

连接方式见图 2。将脉冲接收发射仪模式设置为自发自收,通过多自由度调节机构带动球靶反射体对聚焦换能器或平面换能器的辐射声场进行垂直于声轴方向的横向剖面扫描,得到声压场的二维图。在该二维图像中,找到最大点,在最大点周围寻找幅度比最大值下降 6dB 的数据点得到封闭曲线,并通过适当的拟合方式得到规则的圆,该圆的直径即为焦点尺寸/声束直径。如果拟合结果不是规则的圆,以椭圆的长轴短轴方式表达。

6.2.7.1 水听器法

连接方式见图 3。将脉冲接收发射仪模式设置为一发一收,参照 6.2.7.1 方法调节仪器,通过多自由度调节机构带动水听器对换能器的辐射声场进行垂直于声轴方向的横向剖面扫描。在声压场二维图像中,找到最大点,在最大点周围寻找幅度比最大值下降 3dB 的数据点得到封闭曲线,并通过适当的拟合方式得到规则的圆,该圆的直径即为焦点尺寸/声束直径。如果拟合结果不是规则的圆,以椭圆的长轴短轴方式表达。

6.2.8 声束扩散角

对声束扩散角校准时,采用水听器法进行校准。根据 6.2.5 得到聚焦换能器声轴上的声压分布,在远场区选择位置 A、C,如图 6 所示。通过计算 A、C 处的-3dB 声束直径,并考虑 A、C 点间的距离得到扩散角。

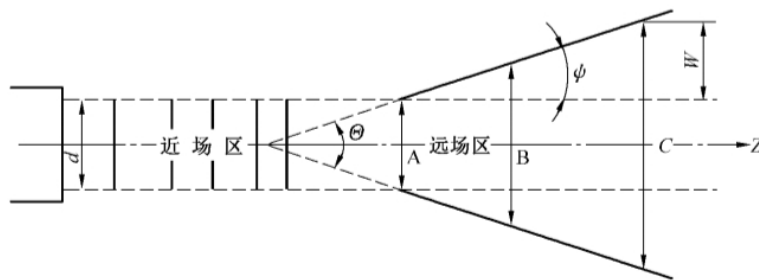


图 6 声束扩散角计算示意图

扩散角计算公式：

扩散角计算公式：

$$\theta = 2\varphi = 2 \times \arctan[W / (Z_c - Z_a)] \quad (4)$$

式中：

Z_a 、 Z_c —— 两点距换能器表面距离， $Z_c > Z_a$ ，mm；

W —— Z_c 位置处-3dB 声束直径比 Z_a 位置处-3dB 声束直径增加值的一半，mm。

7 校准结果表达

经校准的换能器出具校准证书，校准结果应在校准证书上反映，校准证书至少应包括以下信息：

- a) 标题：“校准证书”；
- b) 实验室的名称和地址；
- c) 实施校准活动的地点，包括客户设施、实验室固定设施以外的地点；
- d) 证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- e) 客户的名称和联络信息；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 进行校准活动的日期，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和证书发布日期；
- h) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- i) 本次校准所用的测量标准和溯源性及有效性说明；
- j) 校准环境的描述；
- k) 校准结果及其测量不确定度的说明（给出整个测量范围校准结果测量不确定度的最大值）；
- l) 对校准规范偏离的说明；
- 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) 校准人和核验人签名；
- o) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- p) 未经校准实验室书面批准，不得部分复制校准证书的声明。

校准原始记录参考格式见附录 A，校准证书内页参考格式见附录 B。

8 复校时间间隔

复校时间间隔的长短取决于其使用情况，使用单位可根据实际使用情况自主决定复校的时间，建议复校时间间隔为 1 年。

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。

三、实践检测情况

西安汉唐分析检测有限公司、中国计量科学研究院力声所根据本规范的校准项目对液浸式超声换能器进行了全计量特性的校准，内容详见校准报告。

四、规范水平分析

据查，目前国内外针对超声波探伤用液浸式换能器特性的校准规范，计量检测机构对超声波探伤用液浸式换能器特性校准项目的选取以及校准方式参照当前已有的 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》等规范进行校准，这些规范存在时间过长且不满足校准实际需求的问题，本规范为目前最新的校准方法。

五、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。

六、规范中涉及的专利或知识产权说明

（无）

七、重大分歧意见的处理经过和依据

（无）

八、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。

九、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。

十、废止现行有关规范的建议

（无）。

十一、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，对超声波探伤用液浸式换能器特性的校准过程提供了技术支撑。

十二、其他应予说明的事项

（无）。

《超声波探伤用液浸式换能器特性校准规范》编制组 2024年12月