

DOI: 10.11973/wsjs202109011

# 相控阵超声检测的实验室能力认可

史亦韦<sup>1</sup>, 潘 锋<sup>2</sup>, 王利丹<sup>2</sup>, 赵 梦<sup>1</sup>

(1. 中国航发北京航空材料研究院, 北京 100095; 2. 中国合格评定国家认可中心, 北京 100062)

**摘要:** 分析了国内相控阵超声检测能力的实验室认可现状, 详细对比了国内外相控阵超声检测相关标准中关于人员、设备的管理和技术要求, 并根据相控阵超声检测技术特点和国内的应用现状, 从人员、设备、过程控制等方面提出了实验室相控阵超声检测能力认可的相关要求建议。

**关键词:** 实验室认可; 超声检测; 相控阵

**中图分类号:** TG115.28      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000-6656(2021)09-0045-07

## Laboratory accreditation of phased array ultrasonic testing competence

SHI Yiwei<sup>1</sup>, PAN Feng<sup>2</sup>, WANG Lidan<sup>2</sup>, ZHAO Meng<sup>1</sup>

(1. AECC Beijing Institute of Aeronautical Materials, Beijing 100095, China;

2. China National Accreditation Service for Conformity Assessment, Beijing 100062, China)

**Abstract:** A brief analysis is made on the current laboratory accreditation situation for the competence of PAUT in China. A detailed comparison is made of the requirements for personnel in relevant standards for phased array ultrasonic testing at home and abroad. Based on the understanding of special aspects of PAUT and the situation of its application in China, some special requirements on personnel, equipment and control of technique for the laboratory accreditation of PAUT competence are suggested.

**Key words:** laboratory accreditation; ultrasonic testing; phased array

相控阵超声检测(PAUT)技术具有更形象的缺陷显示方式, 更完整准确的缺陷评定能力, 更快速的扫查方式, 在各个工业领域得到了广泛推广和应用<sup>[1]</sup>。在碳钢焊缝超声检测中的应用已基本成熟, 国内外均已形成了系列化的相控阵超声检测标准。在近年来的中国合格评定国家认可委员会(CNAS)检测实验室认可活动中, 已有多个实验室申请认可了相控阵超声检测能力。然而, 由于相控阵超声检测技术在设备、检测操作、数据解读等方面复杂程度较高, 在设备的校准与核查方面, 与常规超声检测技术相比存在较大差异, 国内尚未形成统一认识, 导致各实验室在检测操作和技术管理方面存在不足, 实验室认可评审工作也在人员能力确认、设备要求确认、

关键工艺控制等方面存在难点。

文章在分析相控阵超声检测能力认可现状和现有标准要求的基础上, 依据相控阵超声检测技术特点以及该技术在国内的应用发展现状, 从人员、设备、关键控制点等方面提出了相控阵超声检测能力实验室认可评审的具体要求建议, 也为相关实验室规范该技术的应用提供了借鉴。

## 1 相控阵超声检测能力实验室认可现状

CNAS实验室认可的检测能力描述按照检测对象、项目/参数、领域代码、检测标准、说明及备注等方面展开。通常检测对象为被检测对象的描述, 项目/参数通常描述为超声检测、射线检测等, 已经获得相控阵超声检测能力认可的实验室的能力表中, 有的将参数描述为超声检测, 有的描述为相控阵超声检测, 最终准确代表其能力的是检测对象、检测标准, 加上说明栏目中的限定条件, 这些也同时是认定检测报告是否在认可范围内的依据。

收稿日期: 2021-02-24

基金项目: 中国合格评定国家认可委员会科技项目(2019CNAS07)

作者简介: 史亦韦(1962—), 女, 本科, 研究员, 主要从事无损检测的研究工作

通信作者: 史亦韦, shiyiwei621@163.com

与相控阵超声检测技术有关的主要国际标准、ASTM(美国材料实验协会)标准、我国国家标准、国内各行业标准和企业标准如表1所示。表1中同时给出了各标准所涉及的获认可实验室数量。

从表1可以看出,CNAS实验室认可的9项检测方法标准均为焊缝的检测标准,其中1项(标准

ISO 19285:2017)为焊缝相控阵超声检测的验收标准。获认可实验室最多的是标准 GB/T 32563—2016,共有13家实验室获得认可,其次是标准 ISO 13588:2019 和 ASTM E2700-20。其余3项行业标准(石油、电力、航天)和2项企业标准,获认可实验室较少。

表1 相控阵超声检测标准

标准号	名称	类别	认可实验室数量
ASTM E 2700-20	焊缝接触法相控阵超声检测的标准实施规程	焊缝检测	4
ISO 13588:2019	焊缝无损检测-超声检测-自动相控阵技术的应用	焊缝检测	7
ISO 19285:2017	焊缝无损检测-相控阵超声检测-验收级别	焊缝验收,与ISO 13588:2019 标准相配	2
ASME BPVC V—2019 A分卷,第4章 强制性附录IV和V	采用线阵列的手工扫查相控阵检测技术 相控阵E扫描和S扫描线扫查检测技术	焊缝检测	0
GB/T 32563—2016	无损检测 超声检测 相控阵超声检测方法	焊缝检测	13
SY/T 6755—2016	在役油气管道对接接头相控阵超声及多探头检测	焊缝检测	1
QJ 20045—2011	铝合金搅拌摩擦焊相控阵超声检测方法	搅拌摩擦焊检测	2
DL/T 1718—2017	火力发电厂相控阵超声检测技术规程	焊缝检测	2
Q/320281 PB32—2016	钢箱梁U肋角焊缝相控阵超声检测	焊缝检测(企标)	1
Q/CSEI 01—2013	钢制承压设备焊接接头相控阵超声检测	焊缝检测(企标)	1

根据CNAS官网信息,已获相控阵超声检测能力相关认可的检测实验室有22个。从检测实验室行业分布看,特种设备行业有4个,航空航天行业有2个,质检机构和检测公司有9个,电力行业有1个,船舶行业有3个,建筑行业有1个,有色金属和冶金行业有2个。这些数量远少于获常规超声检测方法认可的实验室,也远少于目前已拥有相控阵超声检测设备的数量,拟开展相控阵超声检测的实验室数量分析,其数量较少的原因与检测人员的培训与认证,以及设备、检测操作、数据解读的复杂性等因素有关。

## 2 相控阵超声检测人员的能力要求

无损检测技术的特点之一是不能仅从仪器给出的数据直接得出结论,检测人员的操作和人为评判对结果影响极大。相控阵超声检测的基本原理仍然是超声检测,但是由于采用阵列探头代替了单一晶片探头,在声束的控制、扫查的方式以及数据的表达形式等方面均不同于常规超声检测,影响具体的检测操作和数据的解读。因此,从事相控阵超声检测的人员需要经过专门的培训和资格确认。

从检测标准中的要求来看,国际标准、ASTM标准、ASME标准均首先要求检测人员应按照通用

的无损检测人员资格认证标准取得超声检测资格证书,在此基础上,增加相控阵超声检测的专门培训。ISO 13588:2019 和 ASME 标准同时对考试进行了要求。其中 ASME 标准给出了最详细的资格认证要求,要求相控阵超声 2 级人员在超声 2 级基础上增加 80 h 的 PAUT 培训,320 h 的实践经历,自动和半自动检测还应增加设备的软硬件培训。2 级实际操作考试应至少包括 2 个试件,每个试件包含 2 个缺陷。相控阵超声 3 级人员要求持有超声 3 级证,并满足关于 2 级人员的相控阵超声检测技术培训、实践经历和考试要求,具有编制检测规程的经历,熟练地评价相控阵超声检测结果的能力。国内的标准大多也是要求在按照常规无损检测人员资格认证的基础上,增加相控阵超声检测的培训,掌握专门的知识能力。其中标准 GB/T 32563—2016 提出了取得相控阵超声检测专项资格证书的要求。

表2为国内各行业关于相控阵超声检测人员认证的相关要求和现状,主要有通用机械行业、特种设备行业、电力行业、船舶行业等。至今为止,各行业颁发的相控阵超声检测资格证书以2级资格居多,总数约为500人。颁发3级证书的只有电力行业和船舶行业,总数约为100人。

表 2 国内各行业关于相控阵超声检测人员认证要求和现状

行业	认证标准	人员资格认证要求	现状
通用机械行业	ISO 9712:2012 《无损检测人员资格 鉴定与认证》	中国机械工程学会无损检测分会专门针对相控阵超声检测 2 级培训和认证提出下列要求:① 报名学员要具有 ISO 9712 UT 2 级资格证书,且具有相关的检测经历;② 如 2 级证书非学会颁发,需报考人员提供所取得焊缝门类 2 级证书的证明(由 2 级证书发证机构出具),如没有证明或不包括焊缝,须加考实际操作考试;③ 实际操作考试分为数据采集和数据判读两门进行考试	由中国机械工程学会无损检测分会秘书处归口管理,已取证 2 级人员 100 余人
特种设备	TSG Z8001-2019 《特种设备无损检测 人员考核规则》	TSG Z8001-2019 规定相控阵超声检测仪设 2 级资格。要求持 UT 2 级 2 年或持有 UT3 级资格方能报考	由中国特种设备检验协会秘书处归口管理,并组织考核。2020 年 12 月已开始相控阵超声检测 2 级资格考试
电力	DL/T 675-2014 《电力行业无损检测 人员资格考核规则》	DL/T 675-2014 要求相控阵超声检测人员分为 1,2,3 级。要求持有 UT 同级证书后 24 个月的经历。培训学时 1 级为 40 学时,2 级为 120 学时,3 级为 160 学时	由全国电力行业无损检测人员资格考核委员会(3 级考委会)和地区专业电力行业无损检测人员资格考核委员会(2 级考委会)组织考试,由电力行业电力锅炉压力容器安全监督管理委员会颁发证书,已认证 2 级 209 人,3 级 56 人
船舶	指导性文件 GD02-2019 《无损检测人员水平 鉴定与认可指南》	GD15-2020《供方认可及人员资格管理指南》要求 A 级供方有一名相控阵超声检测 3 级人员,检测人员应有 2 级资格。GD02-2019 要求培训学时:1 级 80 学时;2 级 104 学时;3 级 126 学时。GD02-2019 要求报考 PAUT 人员应持有相应等级的 UT 资格证书,并持证工作 18 个月,同时要求 1 级 3 个月,2 级 6 个月的实践经历。2 级、3 级实际操作考试包括独立的数据判读考试	目前中国船级社(CCS)有 2 级证书,TWI(英国焊接研究所)颁发 CSWIP(焊接与检验从业人员资格证书)的 2 级和 3 级证书。CCS 也即将开展 3 级资格证书考试。目前 PAUT 2 级持证人数约为 200 人,3 级不到 50 人

相控阵超声检测实际上是超声检测领域的一项特殊技术,相关人员首先应满足超声检测的基本要求,同时应具备相控阵超声检测的专门知识和能力。从各行业的考核规则来看,均要求已持有超声检测同级资格证书才能报考,特种设备、电力行业、船舶行业的考核规则要求取得 2 级资格之后 18 个月或 24 个月方能报考相控阵超声检测 2 级资格。

从目前国内的人员认证情况来看,由于相控阵超声检测技术已经较成熟地应用于焊缝检测,需求较大的行业也集中于几个以焊缝检测为主要超声检测对象的行业。由于特种设备行业刚开始相关认证,因而已认证总人数较少。随着标准 NB/T 47013.15《承压设备无损检测 第 15 部分:相控阵超声检测》的发布和特种设备行业相控阵超声检测人员认证的开展,持证人员将会大幅度上升。对于授权签字人和技术监督人员,建议以通用要求与专门要求相结合的方式,即要求授权签字人应同时持有超声检测 3 级证书和相控阵超声检测 2 级资格证书,技术监督人员应持有相控阵超声检测 2 级资格证书。

### 3 相控阵超声检测设备校准与核查要求

相控阵超声检测仪器和系统具有与传统超声检测系统相似的单个组件,这些系统基于单通道或多通道脉冲回波单元,包括脉冲发生器、接收器、探头和连接电缆等。主要的区别在于,相控阵超声探头由一系列单独接线的阵元组成,通过相控阵超声检测仪器多通道的发射和接收系统可对这些阵元进行编程延时单独激励。检测时可通过改变使用的阵元数量和每个阵元之间的脉冲激励延迟时间来控制声束。相控阵超声检测可获得的声束偏转程度取决于阵元数量、阵元间距、阵元尺寸、阵列形状、阵元的谐振频率、声束进入的材料、相邻脉冲发生器和接收器之间脉冲发射可能的最小延迟以及脉冲发生器的电压特性等。相控阵超声检测系统通常采用计算机控制脉冲发射和接收参数,接收的信号也通过计算机数据采集系统在计算机屏幕上显示并存储。大多数相控阵超声检测系统在自动和半自动扫描中使用编码器。由此可以看出,相控阵超声检测系统的性能参数必然包含常规超声检测仪器的电气性能,同时

还增加了与探头多阵元、延时激励相关的电气性能, 以及与软件声束控制、数据采集系统和数据显示相关的性能。

### 3.1 相控阵超声检测系统性能测试标准

由于相控阵超声检测系统与常规超声检测系统

有明显差异, 原有超声检测系统的性能评价参数不能覆盖相控阵超声检测系统的性能参数, 因此不能直接采用原超声检测系统的性能评价标准。近年来, 国内外发布了一系列专用于相控阵超声检测系统的性能评价标准(见表 3)。

表 3 相控阵超声检测系统性能评价相关标准

标准号	名称	类别
ASTM E2904-17	相控阵探头性能表征和验证的标准实施规程	探头性能
ASTM E2491-13(2018)	评价相控阵超声检测仪器和系统性能的标准指南	组合系统性能
ISO 18563-1:2015	无损检测-相控阵超声设备的性能表征和验证-第 1 部分: 仪器	仪器性能
ISO 18563-2:2017	无损检测-相控阵超声设备的性能表征和验证-第 2 部分: 探头	探头性能
ISO 18563-3:2015	无损检测-相控阵超声设备的性能表征和验证-第 3 部分: 组合系统	组合系统性能
GB/T 29302-2012	无损检测仪器 相控阵超声检测系统的性能与检验	系统组合性能
JB/T 11731-2013	无损检测 相控阵超声探头通用技术条件	探头性能
JB/T 11779-2014	无损检测 相控阵超声检测仪技术条件	仪器性能
JJF 1338-2012	相控阵超声探伤仪校准规范	仪器校准(组合性能)

上述标准中, 标准 ISO 18563-1:2015 和 JB/T 11779-2014 是关于相控阵超声检测仪器制造商需要满足的检验要求。其中要求的性能测试项目均为仪器的硬件电路的特性, 未涉及软件功能, 也排除了探头特性的影响。性能测试分为型式试验和出厂检验, 型式试验项目有 30 余项, 主要分为整体稳定性、显示特性、脉冲发生器性能、接受器性能以及监控门性能等。

表 4 为 2 份标准中要求的出厂检验项目, 主要内容为脉冲发生器和接受器的部分性能参数(表中①为标准 ISO 18563:2015, ②为标准 JB/T 11779-2014)。2 份标准均要求了一些常规超声检测仪具有的性能, 如发射脉冲上升时间、持续时间以及接收器频率响应和线性参数等, 但相控阵超声检测仪器需要针对仪器中可同时激励和接收超声脉冲的所有

表 4 相控阵超声检测仪出厂检验性能测试项目

项目归属	测试项目	涉及标准
便携式或使用电池的仪器	工作时间	②
稳定性	温度稳定性	②
脉冲发射器	发射电压、上升时间和持续时间	①②
	时间延迟线性	①
	脉冲反冲幅度	②
接收器	频率响应	①②
	通道间增益变化	①
	等效输入噪声	①
	增益线性	①②
	垂直显示线性	①②
	时间延迟线性	①

通道进行测试。ISO 18563-1:2015 还要求了一些相控阵超声检测仪器特有的性能, 如通道间增益变化、发射和接收的时间延迟线性等。

使用方在采购仪器后, 需根据具体使用的要求配用不同形式和参数的探头, 并设置特定的聚焦方式、扫查方式和显示方式。仪器与探头组合后的使用性能是实际检测中更直接影响检测能力和效果的性能。ISO 18563-3:2015、GB/T 29302-2012 和 ASTM E2491-13(2018) 是 3 份相控阵超声检测系统组合性能的测试标准, 其中标准 GB/T 29302-2012 修改自 ASTM E2491-06, 内容与 ASTM E2491-13(2018) 类似。标准中明确说明了评价这些性能的目的, 其目的在于检测特定相控阵超声检测仪或系统性能长期的变化, 以发现相控阵超声检测仪和系统的潜在故障, 并在必要时进行维修。组合性能测试项目所用的测试方法仅需使用特定试块和相控阵超声检测系统, 因而可以由使用方在工作现场进行测试。

表 5 为 3 份标准中的组合性能测试要求。其中包括了目视检查、阵元和通道、声束特性、成像检查、仪器线性、楔块磨损等方面(表中①为标准 ISO 18563-2:2017; ②为标准 GB/T 29302-2012)。从这些测试项目的特点来看, 除了仪器线性以外, 其他项目均与相控阵超声探头多阵元的特点相关, 因而与常规超声检测系统的组合性能差异较大。如阵元和通道相关性能, 考察多通道仪器和多阵元探头相匹配时的正确性和各阵元间的性能一致性, 以及各阵元组合使用的性能。声束特性的特殊性在于相控

阵超声探头的声束可控性和阵元使用的可变性,使得同一探头产生多种组合的多种声束。此外,由于相控阵超声检测采用图像显示方式并基于图像进行评定,成像准确度也是一项重要的性能测试项目。

**表 5 相控阵超声检测系统组合性能的性能测试要求**

项目归属	测试项目	涉及标准	
		初次检验	定期校验
—	仪器目视检查	①	①
阵元和通道	通道分配	①	—
	阵元相对灵敏度	①②	①②
	虚拟探头的绝对灵敏度	①	①
	虚拟探头的相对灵敏度	①	①
	饱和阵元	①	—
	接触探头折射角-探头入射点	①	①
	水浸探头折射角-工件入射点	①	①
声束特性	沿声轴的灵敏度	①	—
	声束尺寸	①②	②
	接触探头声束偏离角	①	①
	接触探头栅格副瓣	①	—
	声束偏转范围	②	②
	聚焦能力	②	②
	反射体位置(距离、角度)	①②	②
成像检查	-6 dB 焦点尺寸	①	—
	幅度比较	①	—
仪器线性	放大系统线性	①②	①②
楔块磨损补偿	楔块衰减和延迟补偿	②	②

ISO 18563-3:2015 标准区分了初次使用前和定期校验的测试项目,除了给出测试方法外,还给出了具体的判定准则。此外,该标准针对相控阵超声探头的工作模式进行了详细分析,按照动态孔径数量、每个孔径的发射次数或延迟法则数、延迟法则类型的不同组合,归纳为 6 种工作模式,对每种模式的声束特性测试中需使用的声束进行了明确的规定,这是该标准的独到之处。

表 6 为标准 JJF 1338—2012 中的校准项目及参考合格标准,可以看到,其与 ISO 18563-3:2015、GB/T 29302—2012(ASTM E2904-17)等标准有很大的差异,所有项目都是与相控阵超声检测成像时缺陷的分辨力和几何尺寸的测量误差有关。其中分辨力、角度范围与探头的参数、性能以及仪器的发射、接收性能相关,测量误差与仪器的数据采集功能、成像软件的计算能力相关,这些参数是一种仪器和探头组合性能的间接综合验证。JJF 1338—2012 校准规范对相控阵超声检测系统组合性能的校验要点覆盖不完全,尤其是缺少仪器线性等与缺陷信号的幅度定量相关的性能,以及系统组合灵敏度、声束

特性等与缺陷检出相关的性能。另外,所有测试都需结合使用方所使用的聚焦方式和扫查方式,由使用方确定具体校验的声束组合。

**表 6 标准 JJF 1338—2012 中的校准项目及参考合格标准**

校准项目	参考合格标准
扇扫成像横向分辨力	扇扫成像横向分辨力一般不大于 2 mm
扇扫成像纵向分辨力	扇扫成像纵向分辨力一般不大于 2 mm
短缺陷分辨力	短缺陷分辨力一般不大于 5 mm
成像横向几何尺寸	人工缺陷成像的横向几何尺寸测量误差 测量误差 一般不超过±5%
成像纵向几何尺寸	人工缺陷成像的纵向几何尺寸测量误差 测量误差 一般不超过±5%
扇扫角度范围	通过对人工缺陷的扇形扫查成像,确定扫查 测量误差 角度范围,测量误差一般不超过±3°
扇扫角度分辨力	角度分辨力一般不大于 2.5°

### 3.2 相控阵超声检测标准对仪器设备的要求

通过对表 1 中的各相控阵超声检测标准进行分析,国际标准 ISO 13588:2019 和 ISO 20601:2018 中直接要求相控阵超声检测仪器应符合 ISO 18563-1—2015, ISO 18563-2—2017 和 ISO 18563-3—2015 的要求,这意味着仪器和探头从购买时的质量检测,直至定期校验,都需符合这 3 个标准的测试项目和合格要求。ASTM 和 ASME 标准都提出应每年一次对幅度显示线性(垂直线性)和幅度控制线性(衰减器精度)进行校验。此外,ASTM 标准提到了时基线性、深度显示精度和探头阵元活性的初始检查要求,但未要求检查周期。国内标准中要求的性能测试项目、周期和方法差异较大,每份标准仅提出了关注的几项参数的测试要求。

综合来看,仪器线性、探头阵元有效性、成像定位误差以及编码器定位误差等是各标准中有较多要求的校验项目,这些性能涉及仪器接收放大部分、探头元件、信号采集和数字化单元、成像计算机软件以及扫查定位编码器等部件。除探头阵元有效性外,这些性能均与缺陷的定位定量准确度直接相关,而探头阵元有效性检查可及时发现无效阵元,避免对合成声束产生影响。各标准均未对发射脉冲、延迟线性、声束尺寸、聚焦能力、声束偏转极限等相控阵超声检测系统声束控制能力参数进行校验,这些性能关系到进入被检工件声束的特性,决定着超声场的强度分布,与检测覆盖率相关,影响到缺陷的检出率,但这些超声场的特性可以通过具体检测工艺的验证加以控制。

### 3.3 相控阵超声检测仪器设备认可要求

作为实验室认可的统一要求,需要明确校准与核查的项目和周期的最低要求。常规超声检测仪通常要求每年按我国的计量检定规程(JJG 746—2017)或特定的超声检测仪性能测试标准进行校准,但根据前面的分析,现有的标准 JJF 1338—2012 对仪器性能的覆盖不够完全,能按 ISO 标准和 ASTM 标准进行校准的机构极少,而经 CNAS 认可的项目也不全面。

由于相控阵超声探头声束可控可变,标准 ISO 18563-3:2015、GB/T 29302—2012 和 JJF 1338—2012 中的很多校验项目与使用方应用该技术的方式和使用的探头有关,尤其与声束特性相关的性能有关。这几份标准所规定的测试方法仅需要利用特定的试块、相控阵超声检测仪器和探头即可进行,不需要额外的校准用标准器,因此可以考虑使用该方法自行进行仪器的定期校验和核查。

根据上述情况,建议对相控阵超声检测仪器和探头作如下要求。

(1) 新采购相控阵超声检测仪器。应要求厂商提供符合标准 ISO 18563-1—2015 或 JB/T 11779—2014 的测试报告。新采购的相控阵超声探头应要求厂商提供符合标准 ISO 18563-2:2017 或 JB/T 11731—2013 的测试报告。

(2) 新采购的相控阵超声检测仪器和探头在投入使用前以及每年,应参照 ISO 18563-3—2015 或 GB/T 29302—2012(ASTM E2491-13)或 JJF 1338—2012 对仪器的垂直和水平线性、探头阵元有效性和灵敏度、声束特性、声束偏转范围(使用环阵探头时除外)、成像定位精度等性能进行校准或核查。核查应覆盖上述项目,但不限于单一标准。

(3) 每 3 个月应对探头阵元有效性和成像定位精度进行一次核查。

(4) 对于自动扫查,每次检测前应对编码器定位准确度进行核查。

## 4 检测过程控制要点

### 4.1 扫查方案

相控阵超声检测技术的最主要特点是可以用一个线阵探头发发出不同的声束,使用电子扫查(E扫描)和扇扫描(S扫描)设置,从一个方向上对焊缝区域进行扫查。扫查焊缝时,探头前沿离开焊缝中心一定距离,沿焊缝轴线方向平移。在探头覆盖范围不足时,可

增加一个探头位置的扫查。设置探头数量、探头位置、声束扫查方式、发出的声束角度或角度范围和声束聚焦点,以确保焊缝区和热影响区的覆盖率,是焊缝检测的首要问题,也是制定检测工艺的关键点。

### 4.2 扫查速度和采样间距

扫查速度的确定是为了确保能按照既定的扫查方案进行扫查,且不丢失数据,与人眼观察时不同,相控阵超声检测技术通常采用扫描成像的方式显示数据,因此,可采用的最大扫查速度取决于系统的刷新率,影响因素包括聚焦法则数量、扫描分辨率、信号平均、重复频率、采样速率、检测区域体积等。速度过快会丢失数据,通常标准中对允许丢失的数据扫描线有规定。有标准规定沿扫描轴的数据采样间距需保证对要求检测的最小缺陷长度有 3 次采样。

### 4.3 仪器参数设置

检测时,依据选定的扫查方案,需对相控阵超声检测仪器的激发孔径、聚焦点、声程范围,扇扫描角度范围、角度步进量、线扫描步进量等参数进行设置。在进行灵敏度设置时,对于扇扫描,需要进行时间增益修正(TCG)和角度增益修正(ACG);对于线扫描,需要进行时间增益修正(TCG),使不同距离和角度的信号幅度一致。在某些情况下,需对每一个声束(角度,焦点,聚焦法则)设置灵敏度。仪器设置用的试块和被检表面的温度差应在 $\pm 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内。

### 4.4 结果的解释、评价

相控阵超声检测的数据显示方式以图像为主,显示模式有 S 扫描、B 扫描、C 扫描等。结果评定时首先要进行数据质量的评估,需要技术熟练和有经验的检验人员通过观察图像,判断是否存在因耦合、时基线设置、灵敏度设置、信噪比、饱和显示、数据采集等因素导致的偏差,确定是否需要重新扫查。确定数据质量符合要求后,对显示进行识别、分类,确定不连续的位置、幅度、长度和高度,最终还是需要按验收标准进行评定,相控阵超声检测对于缺陷的验收标准有基于长度和高度的,也有基于长度和幅度的,还有基于长度、幅度和性质的。

### 4.5 检测工艺规程的工艺验证

相控阵超声检测技术的复杂性使得工艺验证成为必须经过的步骤。工艺验证的主要目的是验证所确定的扫查方案和检测参数是否能有效检出被检工件中所要求检出的反射体。为进行工艺验证,要求制作与被检工件的材料、结构、制造工艺和表面状态相同或相似的含缺陷模拟试件,应用所制订的检测工艺

对模拟试件进行检测试验,以验证工艺的有效性。验证可以在模拟试块上进行,也可以通过模拟软件进行,以减少模拟试块的使用。工艺验证要求检出所有要求的反射体,以证明尺寸测量能力以及该工艺对深度和宽度的覆盖。这是确保工艺适用性的关键步骤,几乎每个相控阵超声检测标准均提出了工艺验证的要求,有的标准根据被检工件的复杂程度不同,对验证用试块提出了不同的要求。

#### 4.6 不确定度评估

标准 CNAS-CL01:2018《检测和校准实验室能力认可准则》中 7.8.3.1 规定,在测量不确定度与检测结果的有效性或应用相关、客户有要求、测量不确定度影响与规范限的符合性时,需在报告中给出测量不确定度。标准 CNAS-CL01-G003:2018《测量不确定度的要求》7.1 条规定,检测实验室应分析测量不确定度对检测结果的贡献,应评定每一项用数值表示的测量结果的测量不确定度。同时,注 2 中规定对一特定方法,如果已确定并验证了结果的测量不确定度,实验室只要能证明已识别的关键影响因素受控,则不需要对每个结果评定测量不确定度。

常规超声检测将测得的缺陷幅度或当量尺寸、缺陷长度等作为合格评定依据,但由于超声检测不确定因素较多,尤其是人为操作的不确定度可能占据主要因素,且受到被检缺陷自身形状和性质等未知因素的影响,测得的缺陷尺寸与实际尺寸之间的差异较大,往往大过可评估的测量不确定度。因此,通常并未要求超声检测结果中报告测量不确定度。相控阵超声检测在通常的使用目的下,可以考虑在进行了针对缺陷幅度(当量尺寸)、缺陷长度和缺陷高度的测量不确定度初始评估后,不必在检测结果中给出测量不确定度。但在特定应用场合,例如需要采用相控阵超声检测给出的缺陷长度、高度、位置等数据对检测对象的使用特性开展进一步的计算和评估,或客户有特殊要求时,则可给出测量不确定度评估结果,并声明不确定因素。

### 5 质量控制要求

检测实验室对检测工作的质量控制分为外部

质量控制和内部质量控制。关于外部质量控制,目前标准 CNAS-RL02:2018《能力验证规则》中仅要求实验室每 2 年参加一次无损检测领域的的能力验证,并未具体规定检测方法。从相控阵超声检测技术的复杂性与风险控制的角度考虑,尽可能地利用各种质量控制手段进行监控是十分必要的。由于相控阵超声检测是超声检测技术之一,用于焊缝常规超声检测的样品,大多也适合于相控阵超声检测,其差异主要在于缺陷评定,相控阵超声除了能给出缺陷回波当量、缺陷位置、缺陷长度等信息外,还可以进行缺陷自身高度的评定。目前,上海材料研究所机械工业无损检测中心已在 CNAS 官网公布的 2020 年能力验证计划中提供钢焊缝 PAUT 能力验证项目,但作为新开发的项目,参加的实验室还不多,尚需进一步积累经验,逐步完善。

就目前的情况,建议申请和获得相控阵超声检测能力的实验室尽可能参加专为该技术设立的能力验证项目,或者至少用相控阵超声检测技术参加超声检测项目(如焊缝超声波检测)的能力验证并得到满意结果。

关于内部质量控制,可在标准 CNAS-CL01:2018 第 7.7.1 条规定的质量监控方式中选择适当的方法。如测量和检测设备的功能核查、使用相同或不同方法重复检测、审查报告的结果、实验室内比对、盲样测试等。

### 6 结语

通过分析国内外相关检测标准和仪器设备性能测试标准以及各标准方法的国内认可现状,根据相控阵超声检测技术特点,提出了对实验室相控阵超声检测能力认可的一些建议。然而这些建议的合理性和适用性,还需经过行业内进一步的讨论和验证。

#### 参考文献:

- [1] 中国机械工程学会无损检测分会. 无损检测发展路线图[M]. 北京:中国科学技术出版社,2020.

欢迎网上投稿 欢迎订阅 欢迎刊登广告