

团 体 标 准
发电设备相控阵超声检测技术导则
第 1 部分：通用要求
T / CSEE 0101.1—2020

*

中国电力出版社出版、印刷、发行
(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

*

2020 年 1 月第一版 2020 年 1 月北京第一次印刷
880 毫米×1230 毫米 16 开本 1.75 印张 52 千字

*

统一书号 155198·1871 定价 44.00 元

版 权 专 有 侵 权 必 究
本书如有印装质量问题，我社营销中心负责退换



中国电机工程学会官方微信



155198.1871

团 体 标 准

T/CSEE 0101.1 — 2020

发电设备相控阵超声检测技术导则 第 1 部分：通用要求

Technical guidelines for phased array ultrasonic testing of power generation—
Part 1: General requirements



2020-01-15 发布

2020-03-15 实施

中国电机工程学会 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 总体要求	3
5 试块通用要求	3
6 仪器	4
7 相控阵超声探头	5
8 相控阵超声检测系统性能	7
9 资料	7
附录 A (规范性附录) 相控阵超声检测仪规范	9
附录 B (规范性附录) 仪器测试	12
附录 C (规范性附录) 仪器适用性测试	16
附录 D (规范性附录) 相控阵超声探头技术规范	18
附录 E (规范性附录) 系统型式测试	20
附录 F (规范性附录) 系统适用性测试	22

前 言

T/CSEE 0101《发电设备相控阵超声检测技术导则》分为以下几部分：

- 第 1 部分：通用要求；
- 第 2 部分：汽轮机转子；
- 第 3 部分：护环；
- 第 4 部分：隔板焊缝；
- 第 5 部分：小径管异种钢焊缝。

本部分是 T/CSEE 0101 的第 1 部分。

本部分按照《中国电机工程学会团体标准管理办法（暂行）》的要求，依据 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第 1 部分：标准的结构和编写》的规则制定。

请注意本部分的某些内容可能涉及专利。本部分的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本部分由中国电机工程学会提出。

本部分由中国电机工程学会金属材料专业委员会技术归口并解释。

本部分制定单位：西安热工研究院有限公司、江苏方天电力技术有限公司、上海明华电力技术工程有限公司、华北电力科学研究院有限责任公司、华润电力技术研究院有限公司、中国大唐集团科学技术研究院有限公司、奥林巴斯（北京）销售服务有限公司、广州多浦乐电子科技有限公司、华阴市聚信电力科技有限公司。

本部分主要制定人：蔡晖、王志强、马君鹏、严晓东、刘建屏、李世涛、郭德瑞、王晓宁、尹璐、郭强、王鹏、秦承鹏、侯召堂、王强。

本部分为首次发布。

本部分在执行过程中的意见或建议反馈至中国电机工程学会标准执行办公室（地址：北京市西城区白广路二条 1 号，100761，网址：<http://www.csee.org.cn>，邮箱：cseebz@csee.org.cn）。

发电设备相控阵超声检测技术导则

第 1 部分：通用要求

1 范围

本部分规定了发电设备相控阵超声检测方法的一般要求和使用原则。

本部分适用于发电设备金属部件相控阵超声检测，复合材料等非金属的检测可参照本部分执行，应考虑材料对声波特性的影响。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 12604.1—2005 无损检测 术语 超声检测

GB/T 20737—2006 无损检测 通用术语和定义

GB/T 32563 无损检测 超声检测 相控阵超声检测方法

JB/T 8428 无损检测 超声试块通用规范

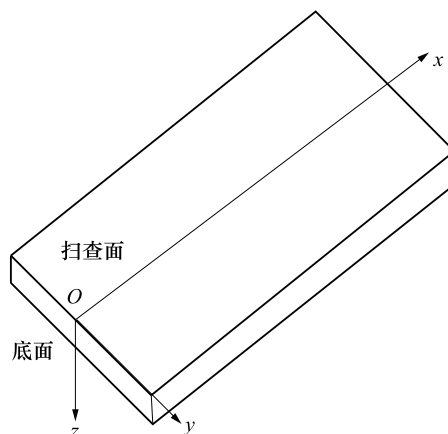
JJF 1338 相控阵超声探伤仪校准规范

3 术语和定义

GB/T 12604.1—2005、GB/T 20737—2006、GB/T 32563 界定的以及下列术语和定义适用于本部分。

3.1 坐标定义 coordinate definition

规定检测起始参考点 O 点以及 x 、 y 和 z 坐标的含义，见图 1。



说明：

O ——设定的检测起始参考点； x ——扫查面上沿扫查长度方向的坐标；
 y ——扫查面上垂直于扫查长度方向的坐标； z ——扫查面上扫查区域深度方向的坐标。

图 1 坐标定义

3.2 相控阵超声检测 **phase array ultrasonic testing**

通过电子技术，控制多阵元阵列探头中各阵元发射（或接收）声束的延迟时间，实现声束的偏转和聚焦，并以图像的方式显示被检对象内部状态的超声检测技术。

3.3 自动化或半自动化相控阵超声检测 **automated or semi-automated phased array ultrasonic testing**

在没有人直接参与或部分参与的情况下，利用外加的设备或装置，使相控阵超声检测的工作状态或参数自动地按照预定的规律运行。

3.4 线扫描 **L-scan**

采用不同的阵元和相同的延迟法则得到的声束，在确定范围内沿相控阵超声探头长度方向扫描工件，以实现类似常规手动超声检测探头前后移动的检测效果，也称 L 扫描。线扫描包括直入射线扫描和斜入射线扫描两种。

3.5 扇扫描 **S-scan**

采用同一组阵元各不同延迟法则得到的声束，在确定角度范围内扫描工件，也称 S 扫描。

3.6 B 型显示 **B-display**

根据坐标的定义，工件侧面投影图显示，即侧视图，图像中横坐标表示平行线扫描移动的距离，纵坐标表示扫描的深度，B 扫描显示表示检测区域在 $x-O-z$ 平面的投影，见图 1。

3.7 C 型显示 **C-display**

根据坐标的定义，工件平面投影图显示，即俯视图，图像中横坐标表示平行线扫描移动的距离，纵坐标表示扫描的宽度，C 扫描显示表示检测区域在 $x-O-y$ 平面的投影，见图 1。

3.8 D 型显示 **D-display**

根据坐标的定义，工件端面投影图显示，即主视图，图像中横坐标表示扫描的宽度，纵坐标表示扫描的深度，D 扫描显示表示检测区域在 $y-O-z$ 平面的投影，见图 1。

3.9 S 型显示 **S- display**

由扇扫描声束组成的扇形图像显示，图像中横坐标表示距离探头前沿的位置，纵坐标表示深度，沿扇面弧线方向的坐标表示角度，在图像中用色标表示幅值大小。

3.10 角度增益修正 **angle corrected gain; ACG**

对不同角度声束同一声程相同尺寸反射体的回波幅度进行增益修正，使之达到相同幅值。

3.11 时间增益修正 **time corrected gain; TCG**

对不同声程相同尺寸的反射体的回波幅度进行增益修正，使之达到相同幅值。

3.12 检测系统 **combination system**

能完成特定相控阵检验功能的部分。相控阵超声检测系统包括仪器硬件、探头和连接电缆（含适配器）。

3.13 系统记录表 **system record table**

用于报告系统的检测结果，并与参考系统的数据进行比较的文档。

3.14 串扰 **crosstalk**

相邻两个阵元之间，由一个阵元振动引起相邻阵元受迫振动而产生的耦合信号与电缆信号之间的互感和互容引起线上噪声信号的总和。

4 总体要求

4.1 检测人员

4.1.1 相控阵超声检测人员应具有一定的金属材料、制造加工、焊接及热处理等的基本知识，应熟悉检测对象的材质、结构及声速特性等，对检测中出现的问题能做出分析、判断和处理。

4.1.2 按本部分从事相控阵超声检测的人员应经过相控阵超声检测技术培训，能按规定的检测工艺或业主要求熟练操作。

4.2 检测场所和环境

4.2.1 检测场所和环境应符合国家和有关环境卫生及劳动保护的法规，同时不应有对人体产生影响和干扰正常检测、判断的因素。

4.2.2 从事检测的人员应遵守安全工作的有关规定，当检测条件符合安全作业条件和本部分的工艺要求时，方可进行检测。

4.3 检测温度

4.3.1 本部分适用于检测对象的温度范围为 0℃~50℃。超出此温度范围时，应验证检测方法的适用性。

4.3.2 接触式检测时，试块与检测对象的温度差值应不超过 15℃。

4.4 耦合剂

4.4.1 耦合剂应具有良好的透声性能和润湿能力，且对工件检测面无损伤、对人体无伤害、对环境无污染，同时便于检测后清理。

4.4.2 实际检测采用的耦合剂应与检测系统设置和校准时的耦合剂相同。

5 试块通用要求

5.1 校准试块

5.1.1 校准试块用于探头、检测系统性能校准。本部分采用的校准试块为 CSK-I A 试块、半圆试块、A 型相控阵试块和 B 型相控阵试块。

5.1.2 CSK-I A 试块的具体要求见 JB/T 8428。半圆试块见图 2，A 型相控阵试块、B 型相控阵试块的具体要求见 JJF 1338。

5.2 对比试块

5.2.1 对比试块应与检测对象化学成分相似，具有意义明确的机械加工反射体的试块，用于调节相控阵超声检测设备的幅度和声程，检出的缺陷信号可与对比试块产生的信号相比较，即用于检测校准的试块。

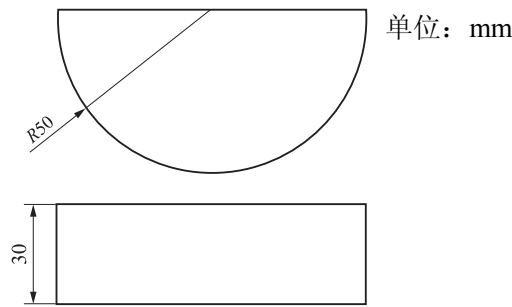


图 2 半圆试块

5.2.2 对比试块的外形尺寸应能代表检测对象的特征, 试块厚度应与检测对象的厚度相对应。如果涉及不同工件厚度对接接头的检测, 试块厚度应根据较厚工件的厚度确定。

5.2.3 对比试块应采用与检测对象声学性能相同或相似的材料, 当采用直探头检测时, 不应有大于或等于 $\phi 2$ mm 平底孔当量直径的缺陷。

5.2.4 不同检测对象超声检测用对比试块人工反射体的形状、尺寸和数量应符合本部分的规定。

5.2.5 对比试块的尺寸精度在本部分有明确要求时应提供相应的证明文件, 无明确要求时应参照 JB/T 8428 的规定。

5.3 模拟试块

5.3.1 模拟试块是指含有模拟缺陷的试块, 用于相控阵超声检测工艺的验证。

5.3.2 模拟试块应满足下列要求:

- a) 应采用机械加工或焊接等方法制备, 或使用含真实缺陷的工件制备。
- b) 试块的结构及缺陷位置、长度、高度应具有代表性。

6 仪器

6.1 仪器要求

6.1.1 基本要求

基本要求包括:

- a) 相控阵超声检测仪的频率范围为 0.5 MHz~20 MHz。
- b) 具有质量管理体系 (如国际标准化 (ISO 9001)、中国计量认证/认可 (CMA) 等) 认证的制造商或实验室提供的测试报告。
- c) 相控阵超声检测仪应带有唯一性编号。

6.1.2 配置要求

配置要求包括:

- a) 相控阵超声检测仪应至少包含附录 A 中的信息。
- b) 0.5 MHz~20 MHz 的频率范围可根据工作频率按 -3 dB 测量。
- c) 应具备分时激发和并时激发多个阵元, 脉冲激发电压最大值不低于 75 V。增益可调, 最小步进不大于 1 dB。
- d) 应具有超声波发射、接收、放大、数据自动采集、记录、显示和分析功能。
- e) 相控阵超声检测仪应具有聚焦和修正算法及时间延时控制软件, 具备幅值测量、深度定位等测量功能。

- f) 应具备线扫描和扇扫描及 A 型显示、B 型显示、C 型显示和 S 型显示，并能进行存储和视频回放或数据外部存储。
- g) A 扫描数字采样频率应不低于最高探头标称频率的 5 倍，信号幅度的数字化分辨力至少为 8 位（256 级）。
- h) 在不同角度下，相控阵超声检测仪应能对相同声程同一尺寸的反射体回波幅值进行修正（角度增益修正 ACG 补偿楔块中的声波衰减和回波透射）。
- i) 相控阵超声检测仪应具备不同声程同一尺寸的反射体反射回波幅度修正功能（时间增益修正）。

6.1.3 性能要求

性能要求包括：

- a) 新购置仪器应附有该型号或批号按照附录 B 进行的性能测试报告。
- b) 每 12 个月或仪器修理后，应按附录 C 进行适用性测试。
- c) 测试可以由使用者测试，也可委托第三方或设备供应商测试。

6.2 扫查装置

- 6.2.1 扫查装置应具有确定探头位置的功能，可通过驱动单元或位置传感器实现对探头位置的确定与控制，位置分辨力应符合检测工艺的要求。
- 6.2.2 探头夹持部分应确保探头与位置传感器同步运动。
- 6.2.3 为提高探头运动轨迹与拟扫查轨迹的一致性和数据采集的同步性，宜使用导向装置。
- 6.2.4 扫查装置应保证探头与被检测面耦合良好。
- 6.2.5 扫查的驱动部分可采用自动装置或人工驱动，扫查时应使探头耦合良好、匀速扫查。
- 6.2.6 每次检测前应对位置传感器进行检查和记录，检查方式是使带位置传感器的扫查装置至少移动 500 mm，其误差应小于 1%。

7 相控阵超声探头

7.1 基本规定

- 7.1.1 探头是中心频率范围为 0.5 MHz~15 MHz，阵元数为 4~256，采用接触法（有或无楔块均可）检测的相控阵超声探头。
 - a) 一维阵列探头：包括线形、环形、扇形。
 - b) 二维阵列探头：阵元数不少于 8。
- 7.1.2 相控阵超声探头应满足以下条件：
 - a) 探头应清晰地标记制造商和唯一性序列号或永久性的编号，可以将信息追溯到探头数据表。
 - b) 具有制造商、第三方检测机构提供的合格证书。

7.2 技术要求

相控阵超声探头技术要求见附录 D。

7.3 性能测试

7.3.1 一般要求

探头的标识和装配，几何尺寸与设计应一致。

7.3.2 相对脉冲回波灵敏度差异

7.3.2.1 一维相控阵超声探头

对于具有相同尺寸和形状的所有阵元，其相对脉冲回波灵敏度差异应在 ± 3 dB以内。对于扇形和环形探头，所有阵元的相对脉冲回波灵敏度差异应在 ± 4 dB以内。

7.3.2.2 二维相控阵超声探头

对于具有相同尺寸和形状的所有阵元，其相对脉冲回波灵敏度变化应在 ± 3 dB以内。对于扇形和环形探头，所有阵元的变化应在 ± 4 dB以内。

二维相控阵超声探头可接受的相对脉冲回波灵敏度变化量见表 1。

表 1 二维相控阵超声探头可接受的相对脉冲回波灵敏度变化量

频率 f MHz	阵元面积大于或等于 1 mm^2		
	$n \leq 64$	$64 < n \leq 128$	$128 < n \leq 512$
$0.5 \leq f \leq 1$	± 5 dB	± 5 dB	± 5 dB
$1 < f \leq 1.5$	± 4 dB	± 4 dB	± 5 dB
$1.5 < f \leq 5$	± 3 dB	± 4 dB	± 5 dB
$5 < f \leq 10$	± 4 dB	± 5 dB	± 5 dB
	阵元面积小于 1 mm^2		
$0.5 \leq f \leq 10$	± 5 dB	± 5 dB	± 5 dB

注： n 为阵元总数。

7.3.3 频率、带宽和脉冲持续时间

应对探头每个阵元的频率、带宽和脉冲持续时间进行测量，且满足以下要求：

- 平均中心频率应在探头数据表中规定的额定频率的 $\pm 10\%$ 以内。
- 每个阵元的中心频率应在平均中心频率的 $\pm 10\%$ 以内。
- -6 dB 平均相对带宽应大于或等于探头数据表中规定的相对带宽。
- 平均脉冲持续时间应小于或等于探头数据表中规定的脉冲持续时间。

7.3.4 探头灵敏度

探头灵敏度要求包括：

- 应对采用相同设计的探头进行灵敏度测量。
- 对于少量（小于 10 个）制造的探头，可以不指定验收标准。
- 非矩阵相控阵超声探头，基于相同设计制造的数量多于 10 个的探头，其探头灵敏度应在探头数据表中规定值的 ± 3 dB 以内。
- 二维相控阵超声探头的探头灵敏度应在探头数据表中规定值的 ± 5 dB 以内。

7.3.5 阵元间串扰

阵元间串扰要求包括：

- 小于或等于 64 个阵元的阵列，阵元间串扰应在两个位置上确定；大于 64 个阵元的阵列，应在四个位置上确定。

- b) 阵元间串扰应通过激励随机选择的一个阵元，测量相邻阵元接收的信号。阵元间串扰应不大于 25 dB。

7.3.6 出厂不合格阵元的数量

不合格阵元的最大数量不得超过表 2 中给出的值，不合格阵元不能相邻。

表 2 最大数量的不合格阵元

阵元总数	频率 f MHz	
	$0.5 < f \leq 5$	$5 < f \leq 10$
>64	2%	3%
≤64	0	0

7.4 楔块

7.4.1 相控阵超声检测时，宜与探头相匹配的楔块一起使用。常用的相控阵楔块是相控阵斜楔块和相控阵 0°平面楔块，相控阵楔块与探头工装耦合时，应在楔块与探头接触面均匀地涂抹耦合剂，使探头激发声束通过楔块与探头接触面。

7.4.2 相控阵斜楔块应将相控阵超声探头所激发的声束通过楔块折射成所需的波形模式和折射角度入射到受检区域。

7.4.3 相控阵 0°平面楔块应将相控阵超声探头所激发的声束通过楔块入射到受检区域，同时避免楔块底面的反射波出现在受检区域。

8 相控阵超声检测系统性能

8.1 一般性要求

8.1.1 本部分规定了相控阵超声探头中心频率为 0.5 MHz~15 MHz、通过直接接触法（有或没有楔块）进行检测的相控阵检测系统。

8.1.2 本部分规定了验证相控阵超声检测系统性能的测试方法和验收标准。如果探头阵元并非全部使用，可只对使用的阵元进行测试，并将测试结果记录在系统记录表中。

8.1.3 当系统型式测试、系统适用性测试均满足要求时，可认为系统符合本部分的规定，该系统成为一个参考系统。在修改或更换系统的组件和设置前，该系统可一直作为参考系统。若系统在进行其他设置后仍可恢复原始设置，则认为之前的参考系统仍然有效。所有测试结果均应记录在系统记录表中。

8.1.4 对与参考系统相同的系统，只进行系统适用性测试。当所有测试成功时，可认为该系统符合本部分要求。在进行首次测试时，应用参考系统上的参数进行初始化，并根据测试结果形成新的系统记录表。

8.2 检测系统的复核

8.2.1 相控阵超声检测系统初次使用前，应对其给定的应用操作模式和设置按照系统型式测试和系统适用性测试进行测试，具体测试见附录 E、附录 F。

8.2.2 系统维修后或更换系统组件后均应进行系统型式测试。

8.2.3 对检测系统有怀疑时应进行系统型式测试。

9 资料

9.1 检测报告至少应包括以下内容：

- a) 报告编号。

- b) 委托单位。
- c) 检测标准。
- d) 检测对象：名称、编号、规格尺寸、材质、检测部位等。
- e) 检测设备及器材：检测仪、探头、扫查装置、试块、耦合剂等。
- f) 检测工艺参数：扫描类型、显示方式、扫查方式、聚焦法则、探头配置及扫查灵敏度等。
- g) 检测工艺确认：理论模拟软件演示的检测区域覆盖图及参数。
- h) 检测示意图：检测部位及所发现的缺陷位置和分布图。
- i) 检测数据：以电子版形式保存。
- j) 检测结果：评定出缺陷位置、尺寸等。
- k) 检测人员和审核人员的资质及签字。
- l) 检测日期。

9.2 检测报告的编制、审核应符合有关法规或标准的规定。

9.3 存档要求：

- a) 检测数据应以电子版形式保存。
- b) 扫查数据、检测记录和报告要存档，保存期不少于7年。7年后，若用户需要可转交用户保管。

附 录 A
(规范性附录)
相控阵超声检测仪规范

相控阵超声检测仪应包含的规范信息见表 A.1。

表 A.1 相控阵超声检测仪规范信息

信 息	信息类型	备 注
一 般 特 征		
尺寸	OI	长度 (mm) × 宽度 (mm) × 高度 (mm)
质量	OI	包括电池
电源类型	OI	
仪器插座类型	OI	包括接线图
电池工作时间	M	充满电的新电池
电池个数和类型	OI	
温度变化时的稳定性	M	
预热后的稳定性	M	
相对电压变化的稳定性	M	
仪器操作或存储时的运行温度和电压 (电源和/或电池) 范围	OI	当需要预热时, 应说明其持续时间
电池低电压报警	OI	
脉冲重复频率 (PRF)	M	最小值和最大值
最大功率	OI	VA (伏安)
防护等级	OI	
环境要求	OI	如有害物质限制、电磁、振动、温度、湿度
通道配置	OI	同时控制的通道数和可用通道数
可扩展通道数	OI	
测量单位	OI	如 mm、in、%、dB、V
显 示		
屏幕大小和分辨率	OI	
声速范围	OI	
时基延迟和深度	OI	
扫描与显示模式	OI	
A 扫描显示的屏幕刷新率	M	
脉冲重复频率	OI	
脉冲基准频率	OI	如差值
垂直分辨率	OI	单位为 bit (比特)
最高频率	M	

表 A.1 (续)

信 息	信息类型	备 注
时基线误差	M	
输入/输出		
原始信号的输出 (即射频, RF)	OI	
原始信号的逻辑和模拟控制	OI	包括接线图
编码器接入的数量和特性	OI	包括接线图
输入功率	OI	交流、直流、电压范围、功率 (W)
设备可用的外部电源	OI	电压、频率
同步输入/输出	OI	
波 束 成 型		
同时激发的最大通道数	OI	
最大延迟时间	OI	
聚焦法则数	M	
脉 冲 发 射 器		
同时可用的发射器数量	OI	
脉冲形式	OI	
发射脉冲上升时间、下降时间和持续时间	M	
有效输出阻抗	M	
最大延时	OI	
延时分辨率	M	
延时线性	M	
每个通道可施加的电压	OI	
每个发射器的最大功率	OI	
接 收 器		
同时可用的接收器数量	OI	
增益范围	OI	
放大器的特性	OI	
在全屏高度上的输入电压	OI	
最大输入电压	M	
幅值线性	M	
仪器频率范围内的幅值线性	M	
频率响应速度	M	
阻塞时间	M	
噪声	M	
动态范围	M	
接收器的输入阻抗	M	

表 A.1 (续)

信 息	信息类型	备 注
最大延迟时间	OI	
接收延时精度	M	
时间增益修正 (TCG)	M	
每个通道上使用不同增益值的可能性	OI	
接收器之间的干扰	M	
延迟时间的线性度	M	
增益时的线性变化	M	
通道增益变化	M	
数 据 采 集		
外部存储器和仪器之间的传输速率 (连接类型)	OI	
每秒存储 A 扫描的最大数量	OI	应说明 A 扫描的特性
每秒存储 C 扫描的最大数量	OI	应说明 C 扫描的特性
每次 A 扫描的最大采样数	OI	
存储容量	OI	M 字节
闸 门		
闸门数量	OI	
阈值操作	OI	如重合或反重合
测量模式	OI	如阈值、最大值、过零
闸门同步性	OI	如发射脉冲、第一个回波
闸门特性	OI	例如阈值、位置、持续时间
分辨力测量	OI	
警告触发	OI	如警报前的序列数
监视器闸门振幅的线性度	M	
监视器闸门的时间跨度差	M	
模拟输出阻抗	M	
模拟输出的线性度	M	
模拟闸门输出中测量信号位置的影响	M	
模拟闸门输出上升、下降及持续时间	M	
信 号 处 理		
处理功能	OI	如平均、快速傅立叶变换 (FFT)、整流、包络、压缩、尺寸测量
<p>注 1: OI 为仪器出厂时应有的信息。</p> <p>注 2: M 为应测量的数据。</p>		

附 录 B
(规范性附录)
仪 器 测 试

B.1 运行时间

仅使用电池供电时，相控阵超声检测仪可正常工作运行的时间，应不小于制造商标定的运行时间，且不小于 4 h。

B.2 电压变化时的稳定性相控阵超声检测仪由稳压直流电源供电时，电压应能保持在仪器要求的电压范围内。

电压信号的幅度和位置应在制造商技术规范规定的限值内并保持稳定。参考信号幅度变化不应超过满屏高度的 $\pm 2\%$ ，或时基上初始设置的位置变化不超过满屏宽度的 $\pm 1\%$ 。

B.3 稳定性要求

B.3.1 预热后的稳定性

环境温度保持在 $\pm 5^\circ\text{C}$ ，电源或电池电压在制造商要求的范围内，在允许预热时间后的 30 min 内，信号幅度的变化不应超过满屏高度的 $\pm 2\%$ ，且沿时基的最大偏移应小于满屏宽度的 $\pm 1\%$ 。

B.3.2 相对温度变化的稳定性

将相控阵超声检测仪放置在温度变化的环境中，在规定的温度范围内以 10°C 作为最大的温差幅度变化，每 10°C 的温差幅度变化，参考回波幅度和位置的变化不应超过满屏高度的 $\pm 5\%$ 和满屏宽度的 $\pm 1\%$ 。

B.4 显示

B.4.1 时基误差

将相控阵超声检测仪的时基线性与校准发射器的时基线性进行对比，记录每个延迟并测量仪器上对应的瞬间波幅指示位置（前沿或最大波幅）。每次测量时，应计算仪器读取的时间与发射器实际时间之差，最大偏差不应超过屏幕宽度的 $\pm 0.5\%$ 或仪器的时间分辨力。

B.4.2 最高频率

相控阵超声检测仪带宽中最高频率 f_h ，在该频率中信号与时基上的位置无关。 f_h 是全屏高度变化在 $\pm 5\%$ 以内时的最高频率。

最小振幅到最大振幅信号改变不得超过全屏高度的 $\pm 5\%$ 。测量频率 f_h 应大于或等于制造商的规定值。

B.4.3 A 扫描显示的屏幕刷新频率

数字相控阵超声检测仪的显示器具有一定的刷新频率，可能与超声脉冲重复频率 f_R 不匹配。

选择发射器中的周期数，使产生的信号持续时间与仪器技术规范中提到的刷新频率对应，脉冲重复频率应与该屏幕刷新频率相同。当信号发射器产生的测试信号（或其一部分）始终显示在 A 扫描上时，则屏幕刷新频率被验证。如果实际的屏幕刷新频率低于技术规范中的规定值，则部分信号可能不会被显示。

B.5 发射器

B.5.1 脉冲重复频率

将示波器与发射器连接，使用示波器测量 10 个均匀分布的脉冲重复频率，包括技术规范中规定的最小值和最大值。

测量的脉冲重复频率不得超过控制值的 $\pm 5\%$ 。

B.5.2 有效输出阻抗

连接示波器前，检查仪器是否被发射器的高电压损坏。阻抗应小于 $25\ \Omega$ ，有效输出阻抗应在技术规范值的 $\pm 20\%$ 或 $\pm 5\ \Omega$ 之内。

B.5.3 延时精度

测量的延时精度值应符合设备技术规范的精度要求。

B.6 接收器

B.6.1 串扰

仪器的串扰应大于制造商技术规范的规定值。

B.6.2 发射脉冲后盲区

盲区应小于或等于制造商技术规范的规定值。

B.6.3 动态范围和最大输入电压

仪器的动态范围和最大输入电压 V_{\max} 应大于制造商技术规范的规定值。

B.6.4 接收器输入阻抗

每个通道测量的输入阻抗数值应在制造商技术规范规定的 $\pm 20\%$ 以内。

B.6.5 瞬时分辨力

瞬时分辨力测量结果应在制造商技术规范中规定的公差范围内。

B.6.6 延时精度要求

对于任意的 5 组测量值，信号位置与记录值的最大偏差小于或等于制造商技术规范中规定的时间精度，则延时精度满足要求。

B.6.7 仪器极端频率范围内的幅值线性

包括最低中心频率的滤波器、最高中心频率的滤波器及具有最大带宽的滤波器的频率值。对于每个频率值，测量的幅度应在表 B.1 规定的范围内。

表 B.1 垂直线性的验收指标

衰减器设置 dB	屏幕上的目标幅度 占全屏高度的百分比 %	验收幅度 占全屏高度的百分比 %
0	100	>98
1	90	88~92

表 B.1 (续)

衰减器设置 dB	屏幕上的目标幅度 占全屏高度的百分比 %	验收幅度 占全屏高度的百分比 %
2	80	参考线
4	64	62~66
6	50	48~52
8	40	38~42
12	25	23~27
14	20	18~22
20	10	8~12
26	5	3~7

B.7 监控闸门

B.7.1 幅度的线性度

监控闸门幅度的线性度应与表 B.2 中的标称值相等，在全屏高度的 $\pm 2\%$ 内。

表 B.2 衰减器设置与标称值振幅的对应变化关系

相对衰减 dB	标称值 占全屏高度的百分比 %
1	90
0	80
-2	64
-4	50
-6	40
-8	32
-10	25
-12	20
-14	16
-16	13
-18	10

如果仪器可以测量高于全屏高度的 100%的信号幅度，则应将表 B.2 以 2 dB 步长扩展到相应的最大可能测量值。

B.7.2 时间跨度差的线性度

记录闸门中监控闸门时间跨度差值与标称监控闸门时间跨度差值的偏差，偏差应在标称 ± 40 ns 范围内。时间跨度差标称值见表 B.3。

表 B.3 监控闸门时间跨度差值与标称监控闸门时间跨度差值

在屏幕宽度的位置 %	时间跨度差标称值 μs
20	参考值
40	参考值 + 8 μs
60	参考值 + 16 μs
80	参考值 + 24 μs

B.7.3 模拟输出

模拟输出的阻抗。测量的输出阻抗应在制造商技术规范中规定的公差范围内。

模拟输出的线性度。输出电压与标称值的偏差应在制造商技术规范中规定的允许范围内，标称值见表 B.4。

表 B.4 衰减器设置与输出电压的对应变化关系

相对衰减 dB	标称值 占全屏高度的输出电压百分比 %
+1	90
0	80
-2	64
-4	50
-6	40
-8	32
-10	25
-12	20
-14	16
-16	13
-18	10

闸门内信号位置的影响。测量结果应在制造商技术规范中规定的公差范围内。

模拟输出的上升时间、下降时间和保持时间。测量结果应在制造商技术规范中规定的公差范围内。

B.8 总体要求

总体要求如下：

- a) 型号性能测试是为了验证仪器对接收信号综合处理的能力。
- b) 最大信号幅度变化应在 ± 2 dB 之内（ ± 0.5 dB 的通道变化）。
- c) 最大时间变化应小于或等于仪器的时间精度。

附 录 C
(规范性附录)
仪器适用性测试

C.1 测试对象

在每台相控阵超声检测仪上应进行本附录规定的测试。

C.2 测试时机

测试时机包括：

- a) 供货验收时。
- b) 每间隔 12 个月应测试一次。
- c) 仪器维修后。

C.3 设备的目视检测

目视检测，仪器外表面应无影响正常使用的损伤。

C.4 发射脉冲参数

C.4.1 发射脉冲电压、上升时间和保持时间

发射脉冲电压、上升时间和保持时间要求如下：

- a) 每个通道的发射器脉冲电压波动应在制造商规范中规定电压的±10%以内。
- b) 脉冲上升时间 t_r 应小于规定的最大值。
- c) 对于矩形和双极脉冲，脉冲持续时间 t_d 应在规定的±10%以内。对于尖峰脉冲，脉冲持续时间 t_d 应小于规定值的 1.5 倍，通道改变时各项参数变化范围应在±20%范围内。

C.4.2 发射延时精度

最大差值 t_{dif} 应小于制造商技术规范中规定的最大延迟时间的 1%。

C.5 接收器

C.5.1 频率响应

频率响应要求如下：

- a) 每个频率范围的中心频率 f_0 应在制造商技术规范中规定值的±10%以内。
- b) 每个频率范围的较高频率 f_u 和较低频率 f_l 应在制造商技术规范中规定值的±10%以内。

C.5.2 通道增益变化

各通道增益变化小于 2 dB。

C.5.3 等效输入噪声

测量值应小于制造商技术规范中的规定值。

C.5.4 增益线性

增益线性要求如下：

- a) 任何连续 20 dB 跨度的增益，偏差不得超过 ± 1 dB。
- b) 任何连续 1 dB 跨度的增益，偏差不得超过 ± 0.5 dB。
- c) 在制造商技术规范规定的增益范围内，增益偏差不得超过 ± 2 dB。

C.5.5 幅值线性

对于每个设置，测量的幅度应在附录 B 的表 B.4 规定的公差范围内。

C.5.6 时基线性

最大时间差 t_{dif} 应小于或等于制造商技术规范中规定的最大延迟时间或时间分辨力的 1%。

附 录 D
(规范性附录)
相控阵超声探头技术规范

D.1 相控阵超声探头应有技术要求

相控阵超声探头应有技术要求见表 D.1。

表 D.1 相控阵超声探头应有技术要求

必 备 信 息	备 注
商品名	—
识别码	序列号, 证明书
探头型号	—
探头尺寸	外部尺寸
阵列几何结构	形状、方向、排列、规格、角度、阵元间距、阵元尺寸
连接器型号	商品名
连接方案	阵元与连接器间的连接详情
电缆线	长度、外径、外部材料
集成楔块的尺寸、几何形状和材料	仅适用于带有集成楔块的接触式探头
物理状态	外壳材料和接触面形状
标称频率、相对带宽、脉冲持续时间	—
中心频率、相对带宽、脉冲持续时间	测量每个阵元
中心频率平均值、平均带宽、平均脉冲持续时间	
相对脉冲回波灵敏度	
探头标称灵敏度	—
探头灵敏度	
阵元间串扰	阵元间串扰的最大值
最大允许扩散角 (仅对接触式探头)	相对基准面指示的最大扩散角
背衬回波	背衬回波与参考回波最大幅度差 (dB)
环境条件	如温度范围、湿度、密封、压力
用于特性测试的设备和程序	—
特别条款	如存放、运输过程中的保护

D.2 相控阵超声探头可选技术要求

相控阵超声探头可选技术要求见表 D.2。

表 D.2 相控阵超声探头可选技术要求

可 选 信 息	备 注
总图和公差	—
阵元间串扰	对应探头的串扰测量值
扩散角（仅对于接触式探头）	相对基准面指示的扩散角测量值
背衬回波	背衬回波与参考回波幅度差（dB）

附录 E
(规范性附录)
系统型式测试

E.1 阵元和通道

E.1.1 对探头与仪器的连接以及连接探头后的检测系统，应进行如下测试：

- a) 发射和接收的通道或晶片配置的验证，以及仪器激发不同晶片的控制能力。
- b) 探头晶片的相对灵敏度测量。
- c) 故障组件（如无效晶片）的识别。

E.1.2 必要时，或仪器有条件时，上述测试应在晶片幅值补偿后进行。

E.2 波束特性

- a) 若仪器提示通道不饱和，基本信号应是不饱和。
- b) 可通过检查叠加信号的线性度来验证饱和情况，叠加信号的线性度应与表 E.1 一致。若不满足，可通过降低激发电压调整。

表 E.1 叠加信号的线性度验收标准

设定增益 dB	波幅在屏幕上占满屏高度的百分比 %	可接受波幅占满屏高度的百分比 %
+2	100	≥95
0	80	参考线
-6	40	37~43
-12	20	17~23

E.3 接触式探头的波束特性表征**E.3.1 折射角—探头入射点**

当折射角小于或等于 65°时，实测折射角应在延迟法则设定值的±2°范围内；当折射角大于 65°时，实测折射角应在延迟法则设定值的±5°范围内。

E.3.2 波束轴向灵敏度

波束轴向灵敏度要求：

- a) 测量并记录波幅值或增益值及相应的声程。
 - 1) 距离—波幅曲线；
 - 2) 时间增益修正；
 - 3) 数据表。
- b) 如果使用波束聚焦，采用 6 dB 法确定聚焦区域的声程范围。

E.3.3 波束尺寸

测量波束尺寸并在系统记录表中记录测量结果。

E.3.4 倾角

测量倾角并在系统记录表中记录测量结果。

E.4 成像检查

E.4.1 反射体定位

测量反射体的定位偏差并在系统记录表中记录偏差。

E.4.2 -6 dB 斑点尺寸

测量中值延迟法则下该入射波束测量值与系统记录表中的-6 dB 处回波值之间的偏差。

E.4.3 波幅比较

测量 A 扫描中幅值与系统记录表上图谱中的幅值的偏差。

附录 F
(规范性附录)
系统适用性测试

F.1 测试目的

F.1.1 通过测试，确认以下特性不随时间变化：

- a) 阵元的相对灵敏度。
- b) 放大系统的线性度。
- c) 虚拟探头的绝对灵敏度。
- d) 虚拟探头的相对灵敏度。
- e) 接触式探头的探头入射点。
- f) 接触式探头的折射角。
- g) 接触式探头的倾斜角。

F.1.2 当参数不满足验收标准时，若已考虑了 F.1.1 的偏差并已进行过评估，否则应重新进行测试。

F.2 设备的目视检测

F.2.1 操作步骤

目视检测相控阵超声检测仪的探头、电缆和连接器，消除可能影响系统当前操作及其长期可靠性的问题。

探头楔块进行检查，核查组件是否正确组装。

F.2.2 验收标准

楔块不应有影响波束特性的机械损伤。连接电缆应连接良好。

F.3 阵元相对灵敏度

F.3.1 以下情况，认定为无效阵元：

- a) 当仪器能够对阵元施加增益补偿时，阵元相对灵敏度小于 -12 dB。
- b) 当仪器没有补偿电路时，阵元相对灵敏度小于 -9 dB。

F.3.2 若存在一个或多个新的无效阵元，除以下情况外，均应重新进行测量阵元的相对灵敏度。

- a) 模拟结果表明失效的振元对波束没有影响；
- b) 无效阵元的比例不大于 $1/16$ ，且无效阵元不相邻。

F.3.3 当新的所有基本信号幅值的平均值和除无效阵元之外所有基本信号幅值的平均值之间的下降大于 6 dB 时，仅在实际应用的信噪比可接受的情况下方可允许使用，否则应进行设备维护。

F.4 放大系统的线性度

放大系统的线性度见附录 E 的表 E.1。

F.5 虚拟探头的绝对灵敏度

F.5.1 实际增益与距离—波幅曲线测量的增益的差值不应超过 ± 4 dB。

F.5.2 若实际增益值与距离—波幅曲线测量的增益之间差值大于 4 dB，则仅在应用的信噪比可以接受

的情况下方可允许，否则应进行仪器维护。

F.6 虚拟探头的相对灵敏度

标准化后，使用相同延迟法则的所有虚拟探头在不同深度反射体的反射回波波幅均应在平均波幅的 ± 2 dB 内。

F.7 探头入射点

F.7.1 探头入射点与系统记录表上最初记录点的距离值应在 ± 1 mm 内。

F.7.2 对于有效孔径尺寸不大于 15 mm、中心频率不大于 2 MHz 的斜探头，探头入射点的位置与最初在系统记录表中的记录值应在 ± 2 mm 差值范围内。

F.8 折射角

当折射角小于或等于 65° 时，实测折射角应在延迟法则设定值的 $\pm 2^\circ$ 范围内；当折射角大于 65° 时，实测折射角应在指定值的 $\pm 5^\circ$ 范围内。
