



ASTM E1065/E1065M - 14

评定超声波探测装置特性的标准规程

(中文版)

**Standard Practice for Evaluating
Characteristics of Ultrasonic Search
Units**

美国材料与试验协会

2014

目 录

1. 范围	1
2. 引用文件	1
3. 术语	2
4. 规程总结	3
5. 意义和使用	4
6. 从附录A1-附录A5 中描述的试验中获得的典型结果.....	6
7. 关键词	6
附录（强制性信息）	7
参考文献	33
更改一览表	34

评定超声波探测装置特性的标准规程¹

本标准是以固定代号 E1065/E1065M 发行的；其后的数字表示原文本正式通过的年号；或在有修订的情况下，为上一次的修订年号；圆括号中数字为上一次重新确认的年号。上标符号(ε) 表示对上次修改或重新确定的版本有编辑上的修改。

1. 范围

1.1 本规程包括用于评定与超声实验仪器同时使用的超声探测装置（也称为探针）的某些特性的测量程序。本规程描述了获得可能用于指定超声探测装置的声学响应和电响应的性能数据的方法。

1.2 程序用于使用商业探测装置表征系统或实验室仪器如信号发生器、脉冲发生器、放大器、示波器和波形分析器测量作为独立组件（独立于超声试验仪器）的探测装置。

1.3 程序适用于制造验收和新探测装置的进货检查或探测装置在其使用寿命中的定期性能评估。

1.4 附录 A1-附录 A6 中的程序一般适用于在 0.4-10MHz 范围内运行的超声探测装置。附录 7 适用于更高频率的浸没探测装置评估。附录 A8 描述了用于测量接触直射束探测装置中的声束轮廓的规程。其他附录，开发时将添加例如金属中斜射束探测装置的声束轮廓和探测装置特性的替代方法。

1.5 以 SI 单位或英寸-磅单位规定的值分别被认为是标准值。每个系统中规定的值可能不完全相等；因此，每个系统应独立于其他系统使用。结合两个系统的值可能导致不符合标准。

1.6 本标准不能详细列明所有安全问题，如有必要，请结合实际情况使用。标准使用者有责任在使用前建立合适的安全标准和健康规范条例，并明确该规范的使用范围。

2. 引用文件

2.1 ASTM标准：²

E1316 无损检测术语

2.2 其他文件：

¹ 本规程受 ASTM E07 无损试验委员会管辖，并由 E07.06 超声法分委员会直接负责。

现行版本于 2014 年 1 月 1 日批准，2014 年 2 月出版。原始版本于 1985 年批准，上一版本在 2008 年批准为 E1065-08。DOI: 10.1520/E1065_E1065M-14。

² 对于参照的 ASTM 标准，请查看 ASTM 网站 www.astm.org，或联系 ASTM 客服中心，邮件：service@astm.org。对于 ASTM 标准卷册的信息，参考 ASTM 网站的标准文件摘录页。

检测信号元件脉冲回波超声换能器的标准方法³**3. 术语**

3.1 定义 — 本规程使用的术语的定义，见术语 E1316。

3.2 本标准特定术语的定义：

3.2.1 孔径 — 由实验确定的探测装置压电元件的有效面积尺寸。

3.2.2 带宽 (BW) — 落在给定范围内的频率响应部分。在本文中，使用的范围是-6dB 水平，由频率响应的峰值测量。BW 的等式为：

$$BW = (f_u - f_l) / f_c \quad (1)$$

其中：

f_u = 上限频率，

f_l = 下限频率，和

f_c = 中心频率。

带宽以百分比表示。

3.2.3 中心频率 (f_c) — 在带宽范围的中心计算的频率值。

3.2.4 景深 (F_D) — 在聚焦探测装置的轴上轮廓测量的落在给定范围的声束部分。

3.2.5 焦距 (F_L) — 对于聚焦探测装置，镜头与焦点的距离。

3.2.6 焦点 (F_P) — 对于聚焦探测装置，沿着水中声束轴，从球形目标反射器记录峰值（最大）脉冲回波振幅响应的点。

3.2.7 频率响应—探测装置所测的脉冲回波频率。（本术语也称为频谱）

3.2.8 标称频率 (f_{min}) — 生产商在提供的标签上规定的频率。

3.2.9 同轴曲线—沿着探测装置声束的声学轴进行的测量顺序。

3.2.10 峰值频率 (f_p) — 频率响应的最大振幅时的频率值。

3.2.11 脉冲持续时间—用于激励探测装置的正弦脉冲串的长度，表示为循环时间或数量（有时称为单音脉冲）。

3.2.12 脉冲回波敏感性—用于比较施加电压振幅与从指定目标记录的脉冲回波振幅的测量。

3.2.13 冲击激励—适用于探测装置的短的电脉冲。此脉冲通常是快速上升时间和短持续时间的负向电压尖峰。

³ 可从美国医学超声学协会获得，14750 Sweitzer Lane, Suite 100, Laurel, MD 20707-5906。

3.2.14 横剖面—沿着垂直于探测装置声束的声学轴的线进行的测量顺序。

3.2.15 波形持续时间—指定目标的未校正信号或回波超过选择的与信号或回波的最大振幅有关的振幅水平（例如，-20或-40dB）的时间间隔或持续时间。

4. 规程总结

4.1 可通过由本规程概述的程序获得的数据描述的声学 and 电学特性的描述如下：

4.1.1 频率响应—频率响应可从以下两个程序之一获得：（a）冲击激励和（b）正弦脉冲串。附录A1描述了浸没式或零度接触探测装置获得频率响应的程序。附录A2描述了获得带宽特性的程序。

4.1.2 脉冲-回波相对敏感性 (S_{rel})—脉冲-回波相对敏感性可由使用附录A1所述的正弦脉冲串程序获得的频率响应数据获得。其值由施加到探测装置的电压振幅与从指定目标接收的脉冲-回波信号的关系获得。附录A3描述了获得脉冲-回波敏感性的程序。

注 1—可测定插入损耗的施加和接收功率值不包括在本规程描述的程序中。

4.1.3 时间响应—时间响应提供了描述波形无线电频率（rf）响应的方法。使用冲击激励、脉冲-回波程序获得响应。时间或波形响应从为进行评估的探测装置的型号选择的指定目标获得（例如，浸没、接触直射束，或接触斜射束）。附录A4描述了测量时间响应的程序。

4.1.4 电阻抗：

4.1.4.1 复合电阻抗—复合电阻抗可与测量仪器的商业阻抗获得，且这些测量可能用于在装置的操作频率范围提供探测装置阻抗的幅值与相位。这些测量通常是在实验室条件下用最小的电缆长度或外部配件并根据仪器制造商的说明进行。复合电阻抗的幅值也可通过使用从附录A5中概述的正弦脉冲串技术记录的值获得。

4.1.4.2 d-c电阻—探测装置的d-c电阻可提供关于电调元件的信息。测量可通过装置的终端进行。

4.1.5 声场测量—这些测量的目的是建立如浸没平面和聚焦探测装置的轴上和横向声束轮廓的参数。

4.1.5.1 本规程的附录A6和附录A8描述了水中的浸没平面和聚焦探测装置以及金属中的接触直射束探测装置进行声场测量的方法。文献讨论了进行这些测量的几种方法，但描述的技术相对单一且容易执行。

4.1.5.2 方法建议用于在浸没槽中进行测量，因此允许遵守脉冲-回波（球形目标）或水听器接收器技术。目标是提供测量以评估探测装置的特性或识别可能以时间或使用函数，或两者

发生的变化。

4.1.5.3 所有声束图型的测量并不是为了指定性能的极限。其目的是提供进行测量的一般方法，可能被用于指定初始和使用中的性能。

注 2—没有给出测量斜射束探测装置的声束轮廓特性的程序。正在考虑几种可能的方法，但还未获得小组委员会同意（1）。⁴

注 3—频率响应显示。图 1 和图 2 以及全文中的频率响应显示为与频率函数一样的线性振幅（非对数）响应。记录和线图仅显示响应的正成分或包络线。虽然这是频谱分析仪的正常显示，但正弦脉冲响应只显示为实际正弦波的一半。

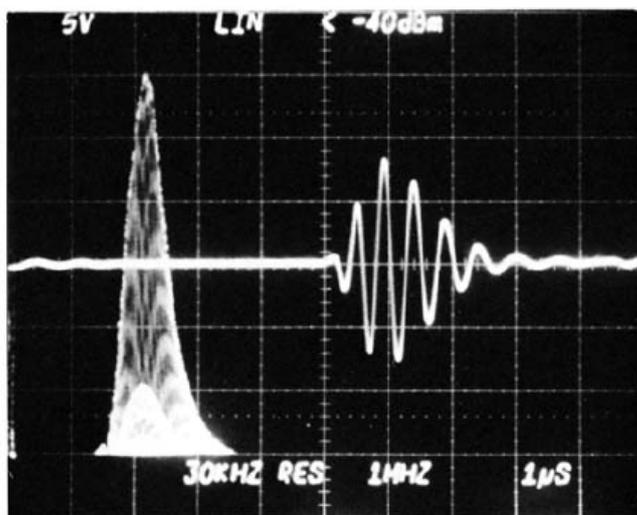
5. 意义和使用

5.1 本规程旨在提供评价超声波探测装置的标准化程序。这并不是为了指定性能和验收标准，而是提供可建立这些标准的数据。

5.2 这些程序旨在评价单元件压电探测装置的特性。

冲击激发 — 频率和时间响应

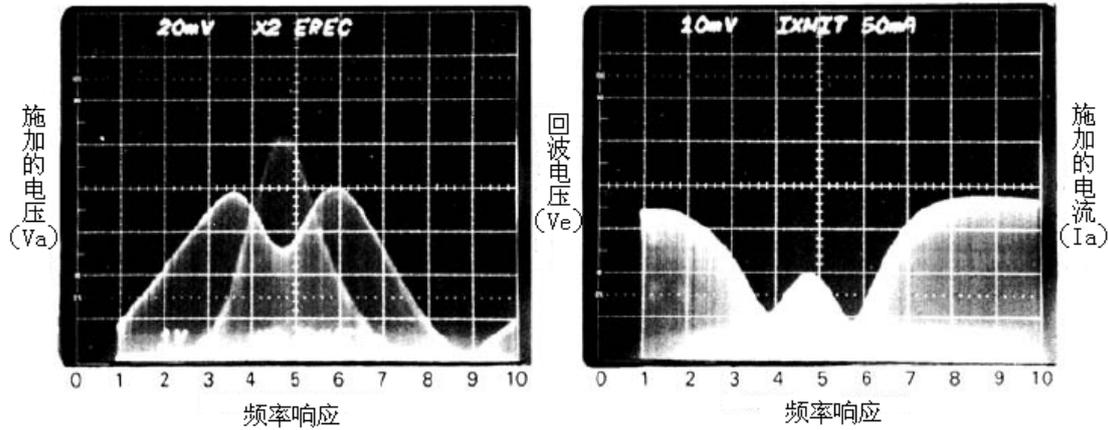
用户可添加关于探测装置的其他数据，如MFG, 样式类型，序列号，电缆目标等。



峰值频率----- f_p	2.2MHz	带宽-----BW 32%
中心频率----- f_c	2.15 MHz	波形持续时间
上限频率@-6dB f_u	2.5 MHz	@-20 dB水平3μsec
下限频率@-6dB f_l	1.8 MHz	@-40 dB水平3.7μsec

图1 由冲击激励程序获得的试验数据

⁴ 括号内的黑体数字参考本试验方法末端的参考文献清单。



用户可添加关于探测装置的其他数据，如MFG, 样式, 类型, 序列号, 电缆目标等

峰值频率----- f_p	4.7MHz	带宽-----BW	43%
中心频率----- f_c	4.7 MHz	相对敏感性-----Srel	-27dB
上限频率@-6dB f_u	5.7 MHz	电阻抗 (mag)	52 Ω
下限频率@-6dB f_l	3.7 MHz		

图2 由正弦脉冲串技术获得的试验数据

5.3 执行可能需要更详细的使用设施格式的程序说明。

5.4 获得的测量数据可能被本规程的用户用来指定、描述或提供超声波探测装置操作特性的采购和质量保证或服务评价的性能标准。使用全部或部分规程可由用户决定。

5.5 测量主要是在脉冲-回波条件下进行。为确定探测装置的相对性能，发射器或接收器可能需要进行额外的试验。

5.6 虽然这些程序与许多重要参数有关，但可能不会处理在指定应用中可能很重要的其他参数。这些参数可能包括功率处理能力、击穿电压、接触装置的耐磨性、射频干扰等等。

5.7 必须注意确保进行可比较的测量和本规程的用户遵循类似程序。指定或选择（如果可选）的条件可能影响试验结果并引起明显差异。

5.8 一些试验结果的解释，如频率响应曲线的形状，可能是主观的。小的违规行为可能造成重大后果。试验结果的解释超出了本规程的范围。

5.9 使用概述的程序获得的某些结果可能与超声波试验仪器进行的测量不同。这些不同可能归因于实验的本质或仪器的电特性中的差异。

5.10 用于获得探测装置频率响应和时间响应的脉冲发生器必须具有一个上升时间、持续时间和在其全带宽中足以激励探测装置的频谱含量，否则可能导致时间失真和错误的结果。

6. 从附录A1-附录A5中描述的试验中获得的典型结果

6.1 图1说明了使用冲击激励技术可能获得的一些典型结果。可获得频率响应、峰值频率、带宽、带宽中心频率和时间响应的值。

6.2 图2说明了使用正弦脉冲串技术获得的典型结果。可从本技术记录的数据获得频率响应、峰值频率、带宽、带宽中心频率、脉冲回波相对敏感性和电阻抗大小的值。

7. 关键词

7.1 孔径；带宽；特性描述；接触试验；景深；焦点；频率响应；浸没试验；峰值响应；探测装置；声束轮廓；时间响应；超声波。

附录

(强制性信息)

A1. 频率响应的测量

A1.1 简介 — 频率响应（也称为频谱）是对作为频率函数的给定目标的脉冲-回波响应振幅的测量。该响应作为建立探测装置的其他操作参数使用，包括峰值频率、中心频率（见附录A1）、带宽（见附录A2）和敏感性（见附录A3）。典型的响应曲线的示意图如图A1.1所示。这些示意图用于描述两种条件：（a）关于中心频率对称的响应，和（b）频率响应为非对称的条件。

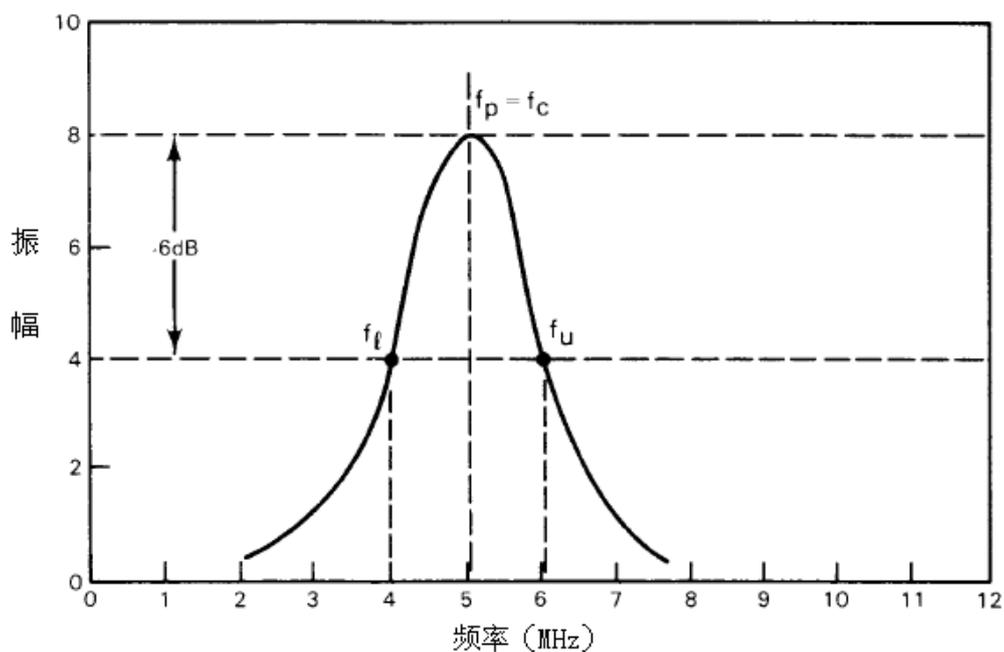
A1.1.1 描述了获得频率响应的两种方法：（a）冲击激励，和（b）正弦脉冲串。使用这些程序获得的响应提供了类似的结果；然而，再现性取决于如发生器驱动阻抗、探测装置阻抗、脉冲形状和测量系统等因素。用于探测装置评估的测量系统应由本规程的用户建立。

A1.2 冲击激励技术 — 获得频率响应的冲击激励技术是基于施加到探测装置的冲击脉冲产生广谱能量和给定目标的回波反映了具有探测装置特性的频率分布的原理。可使用模拟或数字化rf波形进行测量。图A1.2描述了用于测量rf模拟波形的频率响应的典型组件。该系统包括探测装置、冲击脉冲发生器（脉冲发生器）、前置放大器（接收器）、可以调节以捕获回波波形的电子门，显示示波器和频谱分析仪。图A1.3描述了用于测量数字化rf波形频率响应的典型组件。该系统包括探测装置、脉冲发生器、接收器，可以调节以捕获回波波形的门控、模数转换器（数字转换器）、傅里叶转换计算器和显示器。为了进行测量，将激励脉冲施加到探测装置并从特定目标获得回波。在示波器上监控门控的回波以确保只分析期望的rf波形。将门控的模拟rf波形输入频谱分析仪，（见图A1.2）。将门控的数字化波形输入傅里叶转换计算器并进行显示，（见图A1.3）。由此产生的频谱描述了探测装置的频率响应。

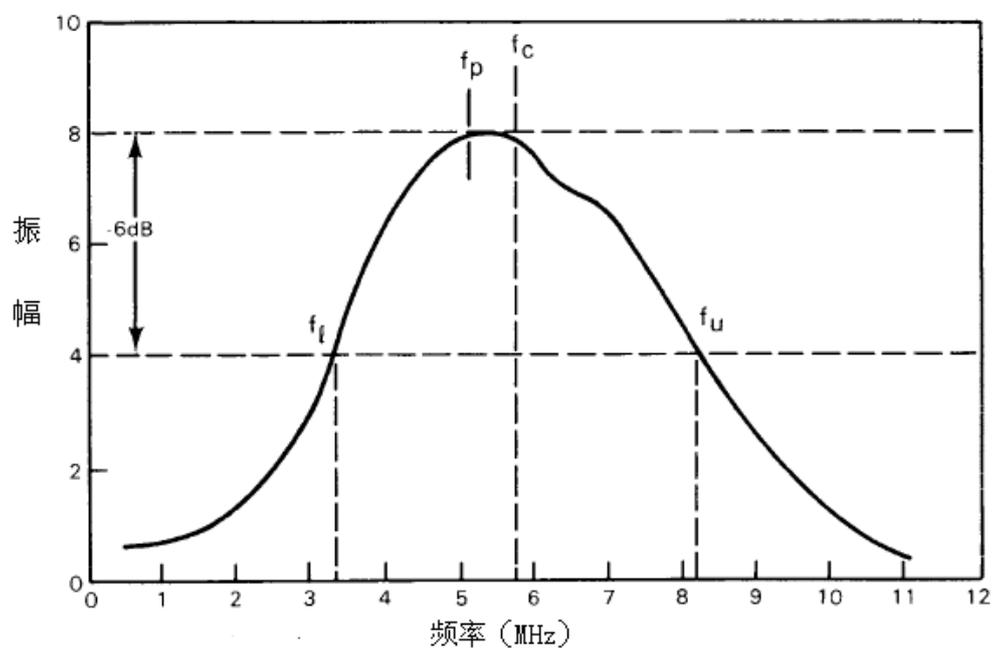
注 A1.1 — 频率响应测量的特别注意。使用正确的设置，由冲击激励和正弦脉冲串程序获得结果将产生类似结果。然而，由于多个变量与电子组件和调整有关，则可能产生一些差异。本规程的用户必须识别用于测量的参数。

注 A1.2 — 用于探测装置冲击激励的脉冲发生器设计为具有低驱动或开启阻抗和高断开阻抗。通常，可以调整脉冲的持续时间以提供转换到探测装置的最大能量。由于脉冲持续时间和发生器的输出阻抗可能影响实际传输到探测装置的频谱，必须注意以确保施加的能量谱足以准确描述探测装置的频率响应。脉冲发生器的操作参数应由本规程的用户建立。使用的接收器的电阻抗可影响频率响应。接收器的输入阻抗应

足够高（500 欧姆或更高）以减小潜在的不利影响。



[a] 对称响应曲线



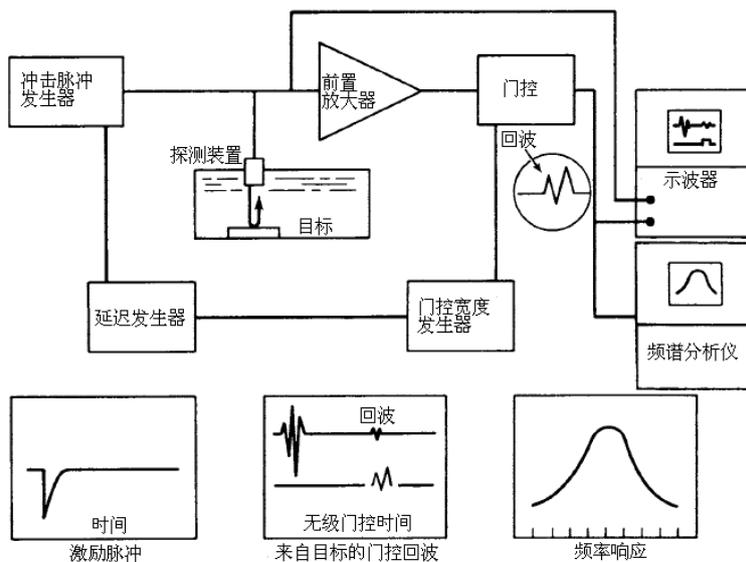
[b] 非对称响应曲线

图A1.1 频率响应曲线

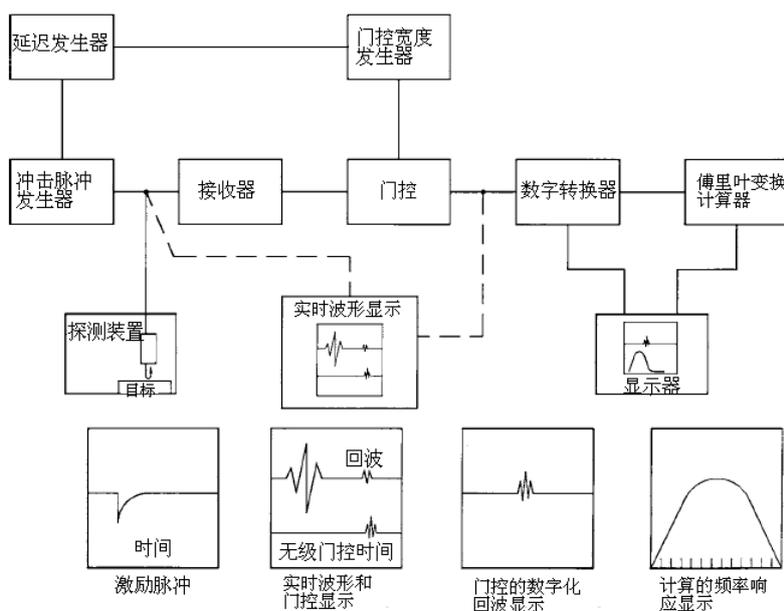
注 A1.3 — 对于频率响应的测量，推荐使用能够在探测装置的标称频率提供至少每周期 10 个样品的数字转换器。应抽取足够数量的周期以可靠地重现回拨波形的频谱。平均一些波形以增加测量的可靠性。可在供应商和用户之间建立特定要求。

注 A1.4 — 当使用冲击激励技术时，应该对返回的回波进行门控以便门控宽于回波以确保上升和衰减部分或波形包括在频率响应分析中。如果时间响应的一部分排除在频率响应之外，则应通过显示与波形有关的门控的位置和宽度进行明确记录。

A1.3 正弦脉冲串技术 — 原理是将已知电压和频率的正弦脉冲串施加到探测装置并测定其脉冲-回波响应。通过在探测装置的操作范围改变正弦脉冲串的频率和在每个频率记录回波响应，制得音频的曲线（2）。



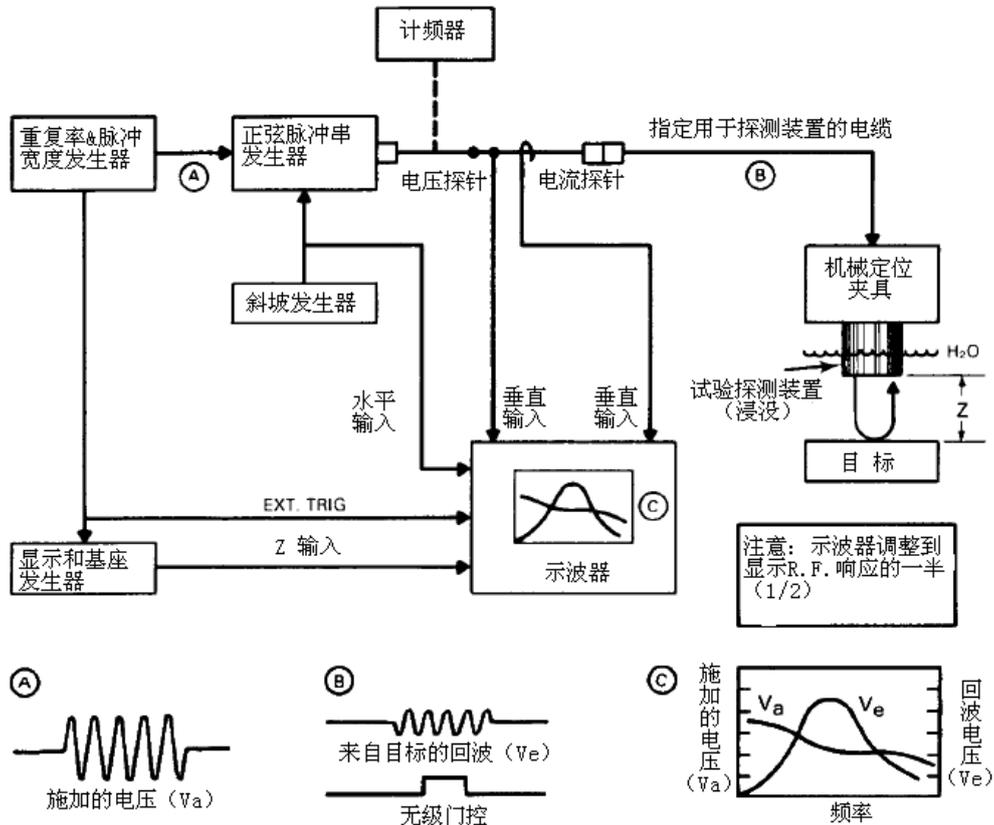
图A1.2 用于获得模拟rf波形信息的冲击激励系统的方块图



图A1.3 用于获得数字化rf波形信息的冲击激励系统的方块图

A1.3.1 图A1.4是为显示和记录频率响应设计的系统的方块图。调整函数发生器以在探测装

置操作频率预期的频率范围产生正弦脉冲串（例如2.5MHz的1-5MHz，5MHz的1-10MHz）。调整发生器脉冲宽度以在最低测量频率提供15周期的最小脉冲持续时间。将正弦脉冲串（见图A1.4，位置A）施加到探测装置并在特定频率记录给定目标的脉冲-回波响应。脉冲串的频率逐步通过频率范围并在每个频率记录脉冲-回波电压响应。对返回的回波进行门控（位置B）到回波响应的二分之一中心，以确保发生器或电子设备的瞬变不会影响测量。施加电压的振幅和回波响应的振幅都会制成频率函数（位置C）。



图A1.4 正弦脉冲串系统（频率响应）的方块图

A1.3.2 发生器输出的影响 — 商业正弦脉冲串发生器通常是为了提供输出到50欧姆电阻负载的恒定电压。当这些发生器通过超声波探测装置加载时，输出驱动电压可能随频率改变，取决于探测装置的阻抗。

A1.3.2.1 记录程序 — 正弦脉冲串记录程序的初始步骤是用50欧姆电阻负载终止发生器并确定在整个相关频率范围输出电压是恒定的。一旦确定后，去除50欧姆的电阻并连接探测装置。在不进一步调整发生器驱动电压的情况下获得频率响应。记录频率响应和施加的电压，从而显示探测装置的电阻抗的影响：

A1.4 特定程序 — 正弦脉冲串和冲击激励程序几乎适用于所有类型的探测装置。用于评估各种风格的特征的程序概述如下：

A1.4.1 浸没 — 图A1.5显示了获得浸没装置的频率响应的试验设置。

A1.4.1.1 平面探测装置 — 调整平面或非聚焦探测装置以使探测装置表面与目标 (Z_0) 之间的距离为50mm[2in.]。推荐尺寸不小于50×50mm[2×2in.]厚度为25mm[1in.]的平面和光滑玻璃块作为目标。使用调制器调节至目标的最大振幅响应。

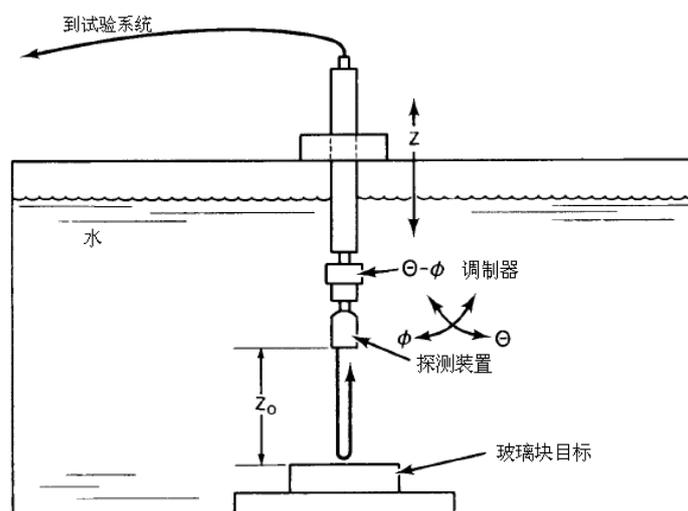
(a) 对于较高频率的探测装置可使用薄块。对于较低频率或较大直径的探测装置，或两者，可按照本规程用户的约定使用厚块。

(b) 所有目标或试验块的材料尺寸必须大于励磁电压的正弦脉冲串持续时间。

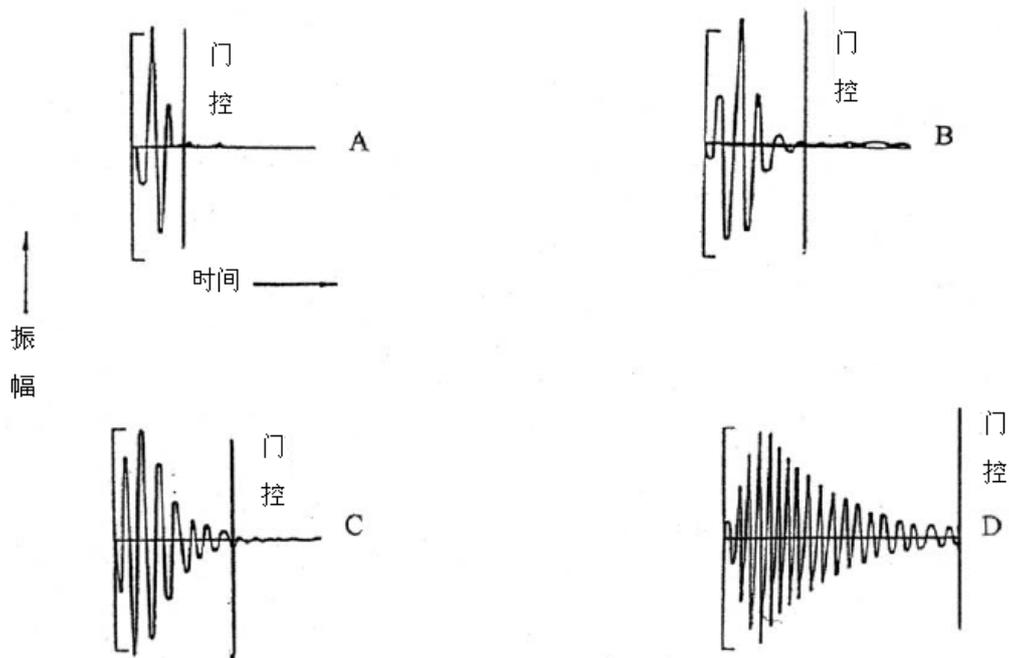
注 A1.5—频率响应分析指南。用于无损评价的超声波探测装置通常有 100kHz-100MHz 的下降范围。对于冲击激励，注 A1.3 建议使用具有每周期 10 个样品容量的数字转换器。对于更高的频率，此建议可由用户进行修改，但必须记录使用的数字化能力。

门控的位置对于准确分析探测装置的频率响应是至关重要的。图 A1.6 描述了定位数字转换器的门控设置的实例。第一个门控应设置在波形的开始。第二个门控应设置在包含整个波形至 20dB 水平的位置。波形 A 显示了一个接近 100%的带宽，而波形 D 显示了一个约 10%的带宽。

A1.4.1.2 聚焦探测装置 — 应使用球形目标以获得聚焦探测装置的频率响应。球在水中的直径至少应为10个波长（例如，在水中1MHz时为15mm[$\frac{5}{8}$ 英寸]）。应调节距离 Z_0 至目标的最大振幅响应。必须注意确保记录的响应中没有球的内反射或其周围的爬波信号，因为这些可以使响应失真。

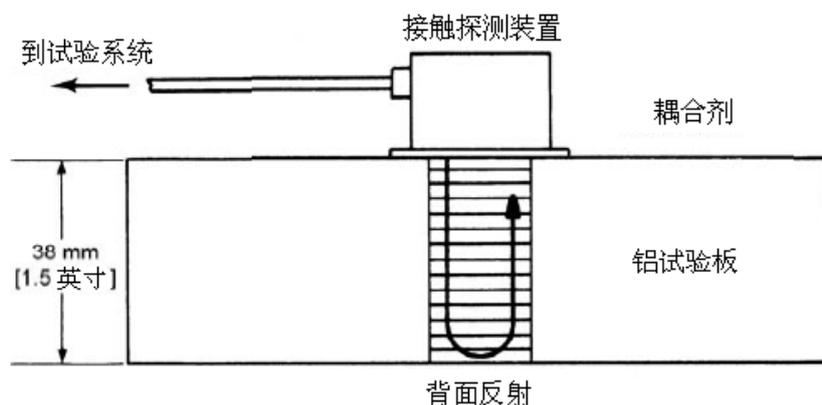


图A1.5 浸没探测装置的试验设置



图A1.6 数字转换器门控定位

A1.4.2 接触直射束 — 使用与试块耦合的装置进行接触直射束探测装置的测量。耦合剂应为机油或其他指定液体。图A1.7显示了接触直射束探测装置的试验设置。38mm[1½in.]平面（32μin.）的铝块或其他适当材料和尺寸的块材可用于频率响应的测量。试验块的后表面作为目标使用，记录该表面的回波响应。



图A1.7 接触直射束探测装置的试验设置

A1.4.2.1 薄块可用于较高频率的探测装置。厚块可经本规程的用户同意用于较低频率或较大直径的探测装置，或两者。

A1.4.2.2 所有目标或试验块的材料厚度必须大于励磁电压的正弦脉冲串脉冲持续时间。

注 A1.6—注意：浸没程序对于评价包含坚硬耐磨面板的接触直射束探测装置是无效的。

A2. 带宽测量

A2.1 探测装置的带宽 (BW) (有时也称为功能或操作带宽) 是探测装置频率响应的选择部分。

A2.2 带宽的上限和下限频率值 (分别为 f_l 和 f_u) 定义为脉冲-回波响应的振幅在频率响应曲线的峰值 (f_p) 以下下降 6dB 的值 (见图 A1.1)。选择峰值作为参考, 尽管其可能不在中心频率 (f_c)。带宽测量通过定位峰值响应和选择 f_l 和 f_u 值确定。

A2.3 带宽计算基于确定如下所述的带宽中心频率, f_c , 以 MHz 为单位:

$$f_c = \frac{f_l + f_u}{2} \quad (\text{A2.1})$$

A2.4 带宽的计算如下:

$$\text{BW} = (f_u - f_l) / f_c \times 100 \quad (\text{百分比}) \quad (\text{A2.2})$$

A2.5 例如, 图 A1.1 (a) 和 (b) 所示的频率响应的带宽如下:

A2.5.1 对称曲线 (图 A1.1 (a)):

$$f_c = (4.0 + 6.1) / 2 = 5.05 \text{ MHz} \quad (\text{A2.3})$$

$$\text{BW} = (6.1 - 4.0) / 5.05 \times 100 = 42\% \quad (\text{A2.4})$$

A2.5.2 非对称曲线 (图 A1.1 (b)):

$$f_c = (3.4 + 8.2) / 2 = 5.8 \text{ MHz} \quad (\text{A2.5})$$

$$\text{BW} = (8.2 - 3.4) / 5.8 \times 100 = 83\% \quad (\text{A2.6})$$

A3. 脉冲-回波相关敏感性

A3.1 脉冲-回波相关敏感性 (S_{rel}) 进行如下定义:

$$S_{rel} = 20 \log V_e / V_a \quad (\text{表示为 dB}) \quad (\text{A3.1})$$

其中 V_e 为附录 A1 中定义的特殊反射镜的反射的峰值-峰值电压响应, V_a 为适用于探测装置的峰值-峰值电压。根据生产商的标签, V_a 和 V_e 在标称频率 (f_{nom}) 下进行测量。

A3.1.1 正弦破裂程序—图 A3.1 描述了确定通过正弦破裂程序获得的实验结果 S_{rel} 的数据。

S_{rel} 的数值 f_{nom} 在下确定。例子如下:

例子 A:

$$f_{nom} = f_p \quad V_a = 2.0 \text{ V} \quad (\text{A3.2})$$

$$V_e=200\text{mV}$$

$$S_{\text{rel}}=20\log (0.2/2.0) =-20\text{db}$$

例子 B:

$$f_{\text{nom}} \neq f_p \quad V_a=2.0\text{V} \quad (\text{A3.3})$$

$$V_e=0.1\text{V}$$

$$S_{\text{rel}}=20\log (0.1/2.0) =-26\text{db}$$

注 A3.1—可能通过模拟或数字化的 rf 反射波形进行脉冲-回波相关敏感性测量。

注 A3.2—在使用冲击激发程序测定敏感性的本规范中未给出程序。

A3.2 使用超声波仪器进行探测装置敏感性比较可能与本程序获得的数值可能不同以及可能与探伤仪的类型不同。探测装置响应受脉冲发生器的阻抗，探测装置和同轴电缆以及接收器的输入阻抗的阻抗影响。

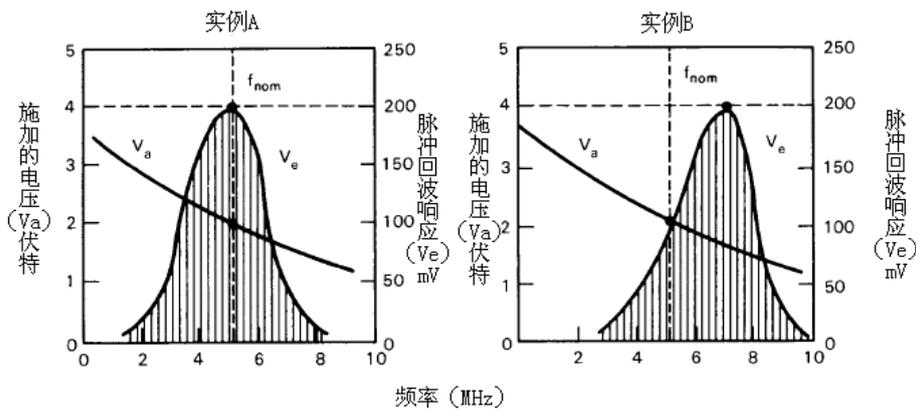


图 A3.1 正弦破裂频率响应曲线的敏感性测量

A4. 时间响应测量⁵

A4.1 时间响应—从使用脉冲-回波程序给出的目标获得的回波 rf 波形确定探测装置的时间响应。本响应作为评价其他操作和探测装置的恢复参数的基础，如波形持续时间和阻尼（试验单元脉冲-回波超声传感器的标准方法）。图 A4.1 给出了波形持续时间的典型例子。

A4.2 程序—测量时间响应的程序用于 A1.2 定义的冲击激发技术以及 A1.4，图 A1.2 和图 A1.3 列明的程序阐述了脉冲-回波程序的制定。图 A1.5 和图 A1.7 阐述了浸入式和接触直射柱探测装置的试验配置。

A4.3 时间响应条件和参数—CRT 的 rf 波形的图像或打印输出可用于描述探测装置的时间响

⁵ 见 AIUM 标准方法 (2.2)。

应。本记录应提供标有刻度的时间轴，其中可定义测量。在图 1 和图 2 中给出了例子。在波形的定量表述中选择的条件和参数（如波形持续时间，分辨率和阻尼）应经本规范的用户应规定和同意。波形持续时间可在低于脉冲-回波响应 20dB 或 40dB 水平进行测量。由于时间响应可受输入电子和接收器的阻尼影响，应小心确保接收器输入不饱和以及阻尼足够高（如 500ohms 或更高）一精确记录回波信号。

注 A4.1—本规范未描述使用正弦破裂激发程序获得的“时间响应”程序。

注 A4.2—对于数字化 rf 波形的时间响应的精确测量，需要 8 位数字转化器。应获取每一周期的足够数量的试样，以便采样值曲线提供相似于原始模拟波形的平滑的波形。对于峰值或低水平波形的可靠测量，建议每周期的最小采样为 36 个试样。8 位数字转换器本身限于显示 48dB 的动态范围并且仅一半范围用于评价 rf 波形，评价低水平信号可能需要提高放大镜的倍数。许多波形的平均数提高了可靠性。在供应商和用户间可能确定特殊要求。

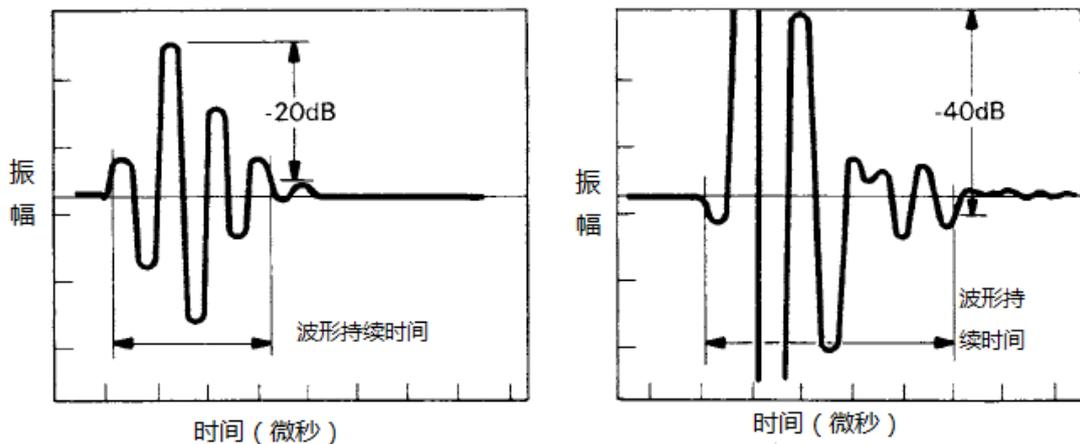


图 A4.1 时间响应（波形持续时间）

A5. 电阻抗测量

A5.1 可能使用阻抗计测定探测装置的电阻抗量级和相位。可能使用正弦破裂技术测定探测装置的电阻抗量级并测量适用于探测装置的电压和电流。

A5.1.1 使用阻抗计测量电阻抗—参见阻抗计的安装手册中用于获得待测装置的复数阻抗的量级和相位角的程序。

A5.1.2 使用正弦破裂技术测量电阻抗—图 A1.4 描述了用于测量探测装置的频率响应的方框图。相同的电子装备可能用于测量探测装置的电阻抗量级。根据频率作用，电压探针提供适用的电压测量。根据频率作用，电流探针提供适用的电流测量。在探测装置的标称频率 (f_{nom}) 下测定电阻抗的量级值。

$$|Z| = V_a / I_a \quad (A5.1)$$

其中 V_a 为 f_{nom} 时的适用电压， I_a 为 f_{nom} 时的适用电流。图 A5.1 显示了响应的略图，其中进行了阻抗测量。对于使用正弦破裂技术，使用探测装置附带的同轴电缆进行测量。出于本规范的目的，建议使用 1.2m[4ft]长的电缆。

注 A5.1—所有进行的阻抗测量都在对探测装置的面施加适宜荷载的条件下进行。如，浸入式装置应在水中进行测量；接触式装置应与金属块相连接。应采取预防措施确保在水箱或试验块中无驻波干涉发生。

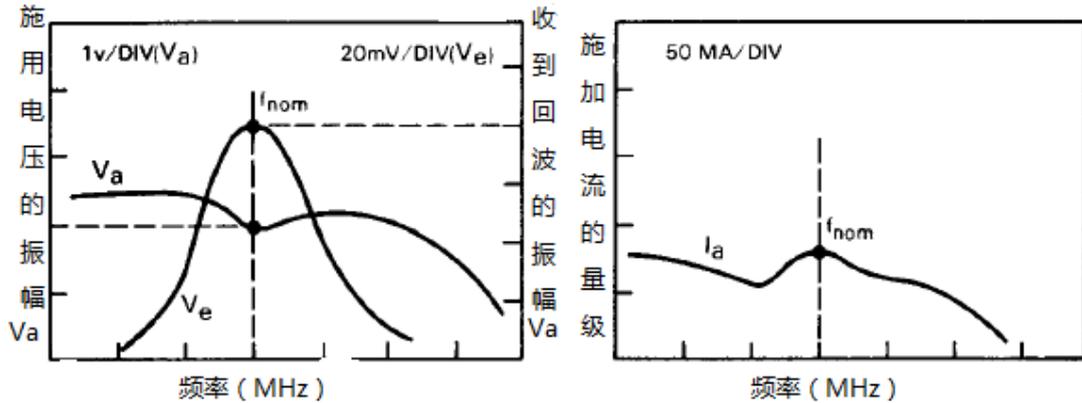


图 A5.1 测定探测装置阻抗的常用电压和电流记录

A6. 声场参数测量

A6.1 简介—本节描述了测量浸入式平和聚焦式探测装置的声场参数的测量程序。可能使用模拟或数字设备。

A6.2 试验装备—本程序概述了使用球形目标反射器的脉冲-回波技术的方法。也描述了使用水听器接收器的第二种程序。出于本规范的目的，探测装置的传送模式和接收模式应考虑相同和互为倒数。探测装置可能通过冲击激发脉冲或正弦破裂在中心频率， f_c ，处激发。

A6.2.1 对于本规范的用户，图 A6.1 显示了脉冲-回波测量的试验装置。图 A6.2 显示了水听器测量的试验装置。装置包括脉冲发生器，前置放大器，为获取回波能进行调节的回波门，探测装置，目镜或水听器，峰值检波器和 XY 记录器。峰值探测器输出为 Y 轴输入。X 轴输入为桥机和浸槽扫描和索引设备的 X-Y-Z 操纵器的模拟输出。

A6.2.2 球形目标—脉冲-回波程序选择的球形目标应为小型光滑球体（如，直径等于 10 倍水中波长 (λ) ）。

A6.2.3 水听器—可能使用两种形式的水听器。最满意的水听器是一种具有有效组件的直径小于水中测量的探测装置的中心频率， f_c ，时的 2λ 的水听器。如果元件大于此直径，校正

系数必须增加至包括水听器的方向性功能。水听器的频率响应必须充分广泛以便水听器无不良响应。水听器可能为带有小型压电元件的微型探测装置或可能由适当购买的浸入式探测装置并附带吸声面罩构成（如，软木塞），这种探测装置表面罩有小型针孔。图 A6.3 木啊是了带吸声面罩的水听器。

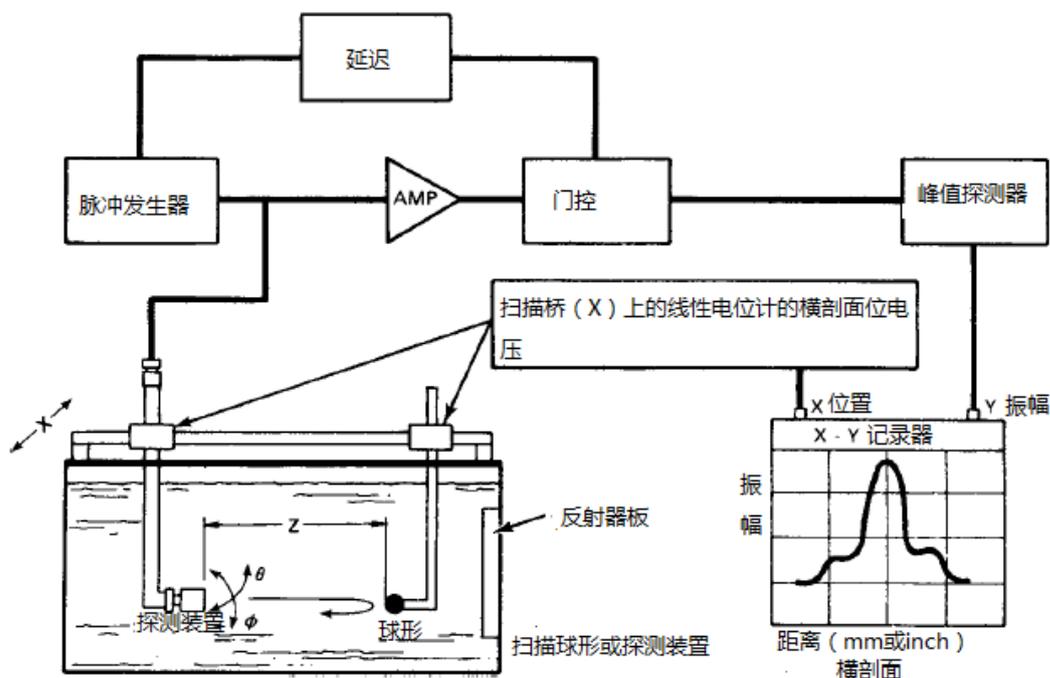


图 A6.1 使用球形目标反射器的脉冲-回波技术测量声场模式的试验装置

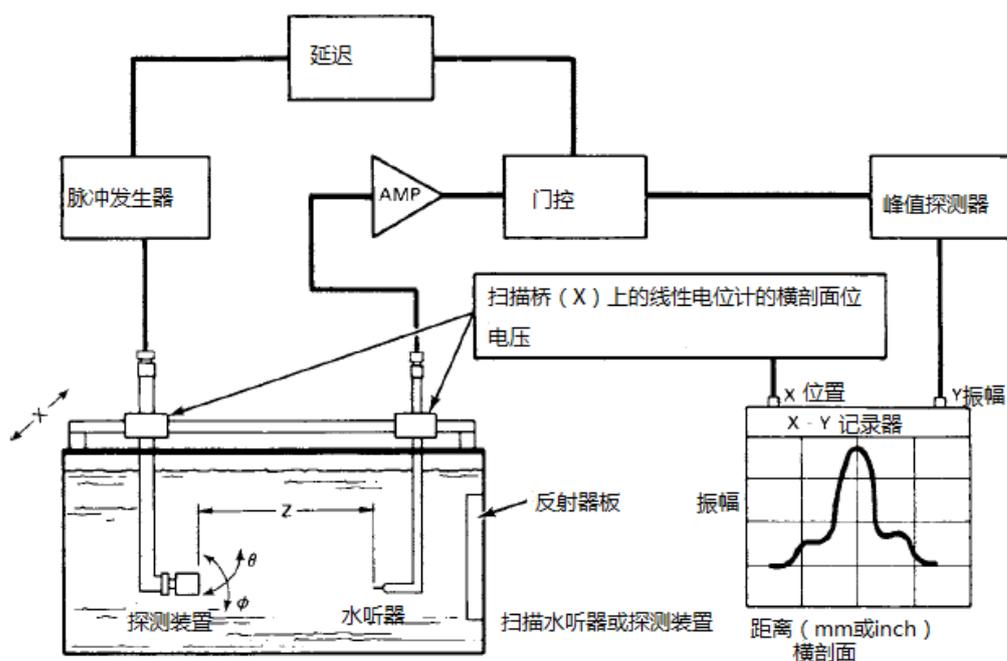


图 A6.2 使用水听器程序测量声场模式的试验装置

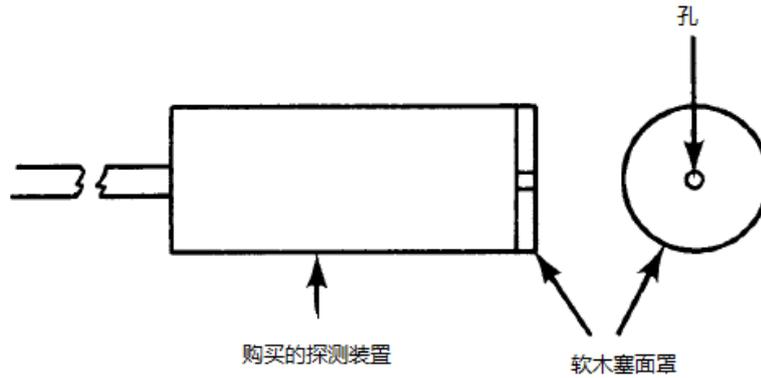


图 A6.3 调节购买的探测装置适应小型水听器的软木塞面罩

A6.3 浸入式平面（非聚焦式）探测装置—评价浸入式平面探测装置特性的 4 个参数为：（a）孔径尺寸，（b）横剖面，（c）同轴剖面，和（d）声束传播。

A6.3.1 球形目标测量

A6.3.1.1 图 A6.1 中的图形显示了使用球形目标反射器的脉冲-回波反射获得声场参数的装置。由于假定从探测装置传播的声束与接收模式中的探测装置的声束模式相同，脉冲-回波响应为两种声束的产物。因此，不同参数如基于不同技术的响应曲线的不同水平测量的孔径尺寸和声束传播。如，在使用球形目标，脉冲-回波技术时，在低于响应峰值的-6dB 水平进行测量。使用水听器技术时，在低于响应峰值的-3dB 水平进行测量。购买的系统适合进行这些测量。

A6.3.1.2 使用球形目标测量获得声束参数的案例程序如下（见图 A6.1）：

（a）放置平面目标，在槽中垂直于桥机并调整抓住探测装置的操作器的 θ 和 φ 轴以获得目标的最大脉冲-回波响应。

（b）在槽中的固定位置放置球形目标并定位探测装置以便其位于远处，位于远场中（超过聚焦式装置的峰值响应）。调整 X-Y-Z 操纵器以获得球形目标的最大响应。（或者，固定探测装置和移动球形目标）。

A6.3.1.3 孔径尺寸—为获得孔径尺寸（见图 A6.4（c）位置 1），移动探测装置结构球形目标（如，1.5mm[1/16in.]）并扫面目标。应采取措施确保门控中回波仅含有球形目标能量。根据穿过探测装置中心部分的低于平均响应的-6dB 水平测得的压力模式的尺寸定义孔径尺寸。

A6.3.1.4 横剖面—通过在远离探测装置表面的距离选择的声束扫面球形目标获得横剖面（见图 A6.4）。如果使用正弦破裂激发，理论位置的选择，如近-远-场转变， Z_n ，或其他点，如

$Z_n/2$, $Z_n/3$ 或 $2Z_n$, 可能适合。对于冲击激发, 可能更适合使用特殊距离 (如, 25, 75, 125mm 等 [1, 3, 5in.等])。出于参考目的, 不同孔径尺寸的近-远-场转变可能从下属等式进行计算:

$$\text{圆形活塞, } Z_n = d^2/4\lambda \quad (\text{A6.1})$$

其中:

Z_n = 探测面至远场转变的距离

λ = 波长, 和

d = 孔径

$$\text{方形组件 (A*A 尺寸)} \quad (\text{A6.2})$$

$$Z_n = 1.35A^2/4\lambda$$

(见参考 (3))

经用户同意, 为确定光线模式或射线对称性, 射线应在近-远-场转变或其他选择的距离或两者的两个正交方向描绘。

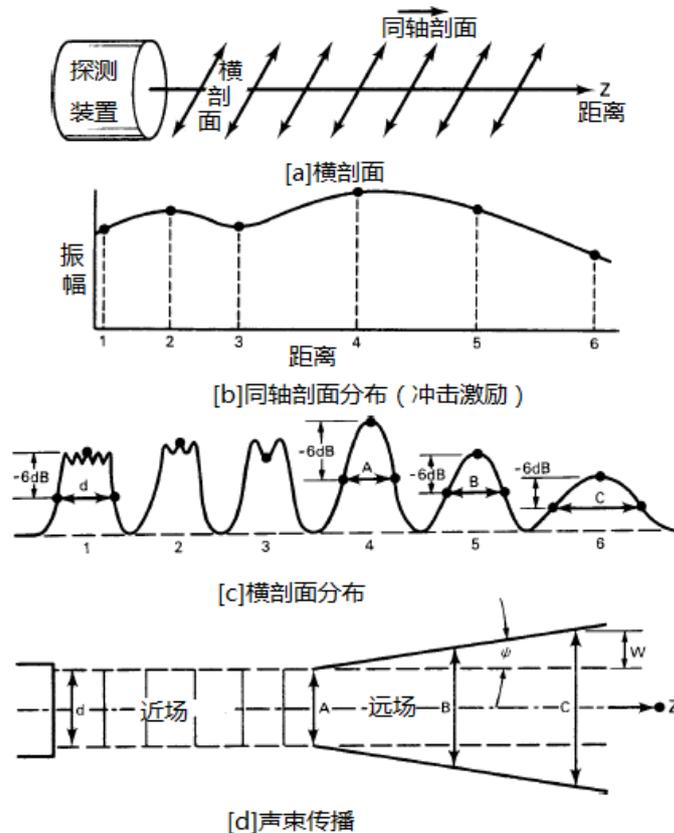


图 A6.4 确定探测装置性能参数的声场

A6.3.1.5 同轴剖面—根据探测装置面的距离, Z , 记录横向图中心的振幅, 从横剖面获得同轴剖面 (见图 A6.4)。或者, 如果能确定射线的中心, 球形目标可能沿着射线轴移动并根据

距离记录同轴压力响应。本程序更困难，因为由于球形目标移动远离探测装置面很难位置射线的中心轴。

A6.3.1.6 射线传播—射线传播为根据超过近-远-场变换距离测量射线发散度（见图 A6.4）。光速传播可能从横向图或通过远场中的两个或多个位置测量声场模式确定。程序用于在低于该位置的峰值响应的特定 dB 值处确定声束宽度。对于球形目标测量，在低于峰值响应的 -6dB 水平测量响应。然后按下述等式计算射线传播 (2ψ):

$$2\psi = 2\text{Arctan}W / (Z_c - Z_a) \quad (\text{A6.3})$$

（见图 A6.4。）

其中：

Z_a = 超过近-远场转变的距离

Z_c = 选择的超过 Z_a 的距离，和

W = 测量的声场宽度增加

A6.3.2 水听器测量—图 A6.4 显示了平面侵入式探测装置的典型结果图形。使用水听器册来那个获得这些参数的程序如下（见图 A6.2）：

（a）放置平面目标，在槽中垂直于桥机并调整抓住探测装置的操作器的 θ 和 φ 轴以获得目标的最大脉冲-回波响应。这确保扫描和索引经正常并与声场轴平行。

（b）将水听器放置在扫描桥上并通过将其放置在远场中使水听器放置在中心，调整 X 水听器以获得最大或峰值响应（或者，固定探测装置和移动球形目标）。

A6.3.2.1 孔径尺寸—为获得孔径尺寸，移动水听器靠近探测装置面（如，1.5mm[1/16in.]）并扫描射线。声束的孔径尺寸根据低于穿过探测中心位置的平均响应 -3dB 测得的压力模式的尺寸减去水听器的半径进行定义。见图 A6.4 (c)，位置 1。

A6.3.2.2 横剖面—根据在远离探测装置面选择的距离进行测量，记录水听器的响应获得横剖面。适用于球形目标测量的相同条件也适用于水听器测量（见 A6.3.1.4）。

A6.3.2.3 同轴剖面—按照球形目标测量的相同方法获得同轴剖面（见 A6.3.1.5）。正如其他水听器测量，应采取措施确保水听器的响应下降在门控内。（假定使用门控接收器。）

A6.3.2.4 射线传播—使用球形目标测量描述的不同方法测量射线传播（见 A6.3.1.6）。基本差异为在低于在测量位置获得的峰值响应的 -3dB 水平测量的射线传播代替球形目标测量在 6dB 水平测得的射线传播。

A6.4 聚焦侵入式探测装置—对于聚焦式侵入式探测装置，待测参数包括孔径尺寸 (d)，焦距 (F_L)，场深度 (F_D)，和在峰值响应时的声束直径 (d_{FL})。

A6.4.1 焦距和场深度—图 A6.5 描述了聚焦探测装置的声场同轴图。球形目标用于获得峰值响应值 (F_P) 和场深度 (F_D)。一旦从目标中获得最大振幅响应, 探测装置朝着目标移动直到振幅下降为低于峰值 6dB (50%)。然后移动探测装置通过峰值并超过直到振幅下降为低于峰值 6dB。这两个位置 (F_1 到 F_2) 间的距离规定了聚焦探测装置的场深度 (F_D)。在进行这些测量时, 应小心确保目标立即显示在探测装置的轴上。未对准可导致错误的测量。

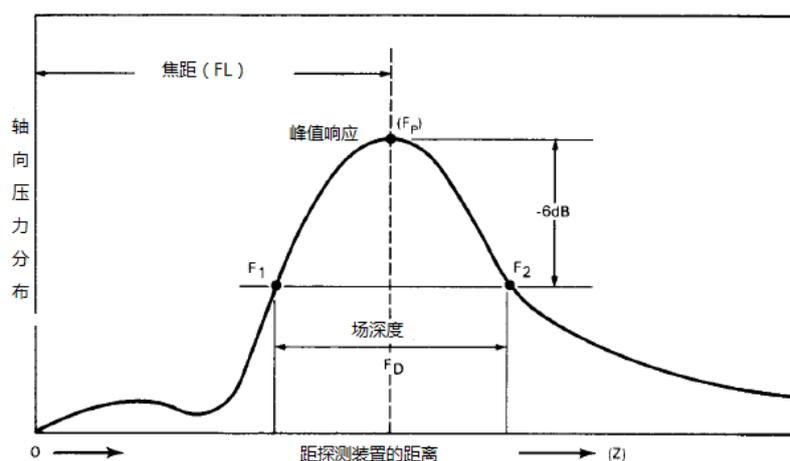


图 A6.5 聚焦探测装置的同轴剖面参数

A6.4.1.1 场深度根据 F_2-F_1 的距离确定。使用从球形目标反射器中的脉冲-回波响应或在使用水听器技术的转变模式中获得 F_2 和 F_1 的值。但是, 如果使用水听器技术, 在峰值响应处低于振幅-3dB 测得的场深度, F_D , 代替使用脉冲-回波程序时低于峰值响应振幅的-6dB 时测得的场深度。

A6.4.2 焦点的直径—探测装置的焦点处的直径, d_{FP} , 可能通过使用球形目标的脉冲-回波响应或使用水听器技术获得。本程序的第一步用于定位焦点峰值。在定位峰值后, 横截面图提供焦点处的直径。当使用脉冲-回波, 球形目标技术, 焦点处的直径根据-6dB 水平测得的声束宽度进行定义。在使用水听器技术时, 焦点处的直径根据-3dB 水平测得的声束宽度进行定义。图 A6.6 显示了本程序获得的典型模式。

A6.4.3 聚焦探测装置的横剖面—通过扫描穿过探测装置面的选择距离的声束的球形目标获得横剖面。在探测装置的焦点的剖面图提供有关射线直径的相关信息。

A6.4.3.1 射线对称性—为确定声束对称性, 横剖面应描绘在与焦距相对性的距离的两个正交方向上。这些剖面通常成为 X 和 Y 束剖面图。

A6.5 焦距探测装置的射线夹角的测量:

A6.5.1 简介—聚焦探测装置的射线夹角的知识, 根据本节中的描述进行测量, 在测定检测覆盖中很重要, 尤其是圆柱形材料 (4), 和使用不同检测参数 (5) 的组合进行预测信号幅

度对预期的目标的线性度。

A6.5.1.1 本节的目的是提供测量焦距声场的有效射线夹角的通用程序并定于进行测量的常用参数。

A6.5.1.2 在此描述的射线夹角是基于对球面或圆形焦距探测装置进行横向射线剖面测量。球形聚焦探测装置的同轴和横剖面与图 A6.4 (b) 中和图 A6.4 (c) 中显示的“平面”探测装置基本相同，除了通过聚焦方式减少的距离外。可能选取最大同轴振幅点代表装置的焦距 (FL)。薄的电缆目标可能用作 A6.2 和 A6.3 中描述的球形目标的备选项。这在装备简化，信号强度和再现性 (6) 方面提供一定优势。

A6.5.2 几何射线代表—聚焦射线的近场的横截面的简单代表显示在图 A6.7 中。这代表球形聚焦射线的任何横截面。对于圆形聚焦射线，其仅代表横向 (宽度) 方向的横截面。一些以往定义射线夹角的尝试仅考虑了图中显示的几何因素。当这完成时，夹角可能近似错误的表示为来自图中的下述等式：

$$\alpha \approx 2 \tan^{-1} (W/2) / FL \quad (A6.4)$$

其中：

α =射线夹角，

W=探测装置元件直径 (或宽度)，和

FL=探测装置的焦距。

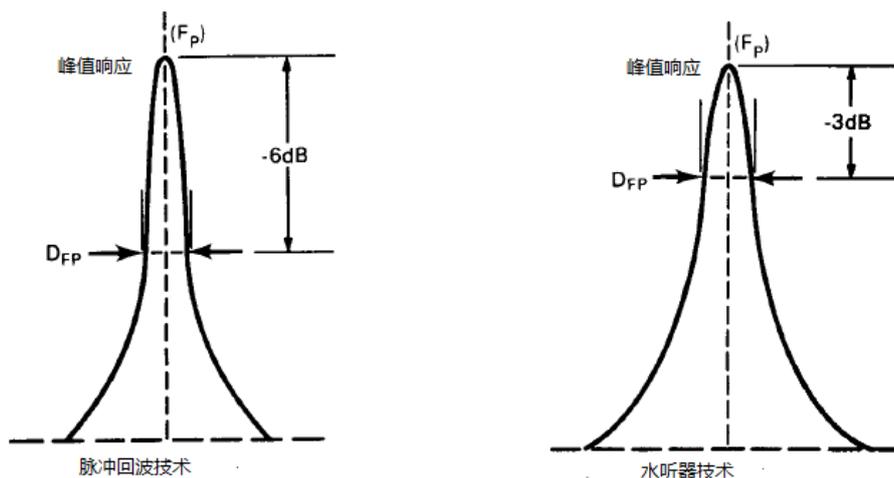


图 A6.6 聚焦探测装置的声束直径的测量

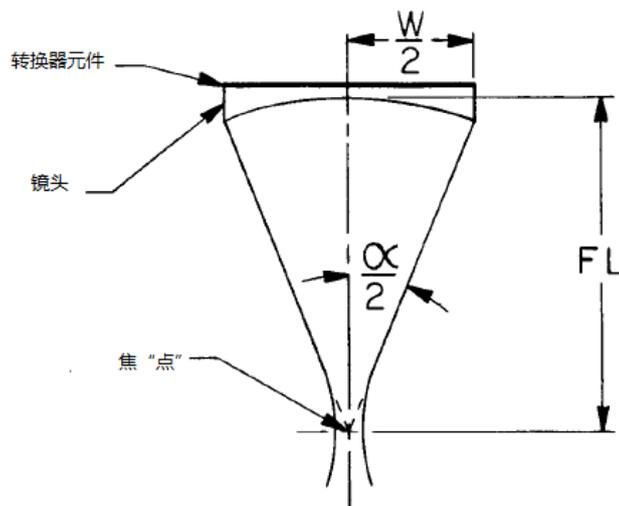


图 A6.7 聚焦射线的横截面

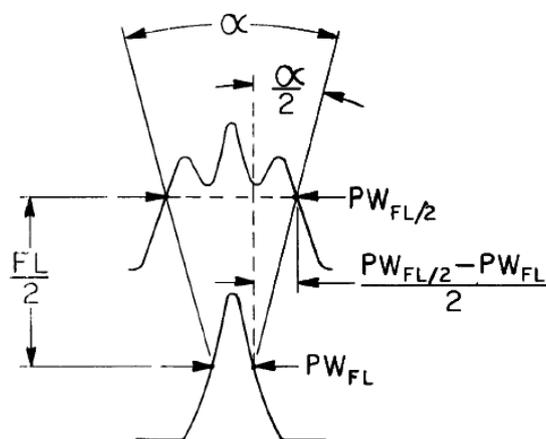


图 A6.8 横向射线剖面的夹角测定

A6.5.2.1 此简单方法为考虑射线中心到传播聚焦探测装置边缘的压力振幅的减少,以及射线中心到接收探测装置的边缘的相应敏感性的减少。在使用脉冲-回波检测技术时,两种减弱偏离中央响应的来源行为引起射线的有效角宽小于之前等式获得的角宽。基于此原因,尽管图 A6.7 的射线代表在可视化聚焦射线的集聚方面有用,但不建议基于此进行定量计算。

A6.5.2.2 横向射线剖面—图 A6.6 显示了在探测装置的焦距处球形聚焦射线的横剖面。在“宽度”方向选择时圆形聚焦射线也有相同剖面。但是在圆形聚焦探测装置的剖面沿着射线长度测量时,其显示平滑顶部。此剖面用于测量射线长度而不用于此描述的目的。对于任何一种类型的聚焦射线,横剖面,根据图 A6.6 所示,用于测量射线夹角。

A6.5.3 横剖面的角度测量—测定射线夹角的更精确的方法为在焦距和半焦距处测定场的横剖面宽度 (PW)。在这些距离处的典型剖面的代表显示在图 A6.8 中。每个剖面的宽度在低于该剖面的峰值 6dB 的振幅处提取,以及这些数值在下述等式中用于测定射线夹角使用:

$$\alpha = 2 \tan^{-1} (PW_{FL/2} - PW_{FL}) / FL \quad (A6.5)$$

其中：

$PW_{FL/2}$ = 半焦距处的-6dB 剖面宽度，和

PW_{FL} = 焦距处的-6dB 剖面宽度。

A6.5.3.1 程序—在上述等式中使用的进行测量的详细程序的例子如下：

(a) 如果未知探测装置的焦距，根据使用球形目标或更好使用圆形聚焦装置的 A6.4.1 中描述的脉冲-回波模式中测量，小直径电缆 (6)。

(b) 在探测装置面到目标的水程距离处，A6.4.3 中描述的脉冲-回波模式中的水中测量横剖面等于焦距和半焦距。每个距离的响应峰值振幅开始在全屏高度 (FSH) 的适当的高百分比中显示，其高度低于设备的垂直线性限制 (如，80%FSH)。为在半焦距达到此水平的剖面则需要更多的增加，因为在此距离光速压力下降。将对 50% (-6dB) 峰值的振幅处的每个剖面宽度 (如，40%FSH) 进行记录。

(c) 在 (b) 中测量的-6dB 剖面宽度随后用作上述等式中的 PW_{FL} 和 $PW_{FL/2}$ 以计算射线夹角值， α 。

A6.5.4 剖面 and 探测装置几何测得的射线夹角的比较案例—下述给出了常用探测装置使用上面第一个给出的“几何”等式和计算剖面宽度的更精确的第二个等式的 α 的计算例子。

探测装置特点

频率	5.0MHz
直径	12.7mm[0.5in.]
焦距	52.07mm[2.05in.]
测量的 $PW_{FL/2}$	4.297mm[0.169in.]
	(在-6dB)
测量的 PW_{FL}	0.787mm[0.031in.]
	(在-6dB)

A6.5.4.1 探测装置“几何”计算：

$$\alpha = 2 \tan^{-1} (0.5/2) / 2.05 = 2 \tan^{-1} 0.122 = 13.9^\circ \quad (\text{A6.6})$$

A6.5.4.2 测量的剖面宽度的计算：

$$\alpha = 2 \tan^{-1} (0.169 - 0.031) / 2.05 = 2 \tan^{-1} 0.067 = 7.7^\circ \quad (\text{A6.7})$$

A6.5.4.3 在比较时基于参考 (4) 和 (5) 的研究中使用相同探测装置计算的和测量的射线范围结果和区域振幅线性，从第二个计算式中获得的射线夹角的显著较低值比按照成功使用的角度值大。

A7. 高频宽带浸没探测装置特殊技术

A7.1 简介 — 在高频下，水使超声波显著减弱，并引起宽带浸没探测装置返回的回波峰值频率的可测量降档。频率降档也可缩短测量的聚焦探测装置的焦距。本附录提供了计算对操作浸没探测装置特性的衰减作用的近似方法，给出了各种频率和带宽的探测装置最大水径的示例指南表，并建议了描述高频宽带浸没探测装置的频率和焦点特征的技术。

A7.1.1 衰减随着传播距离在声音传播材料中的增加，使测量信号振幅减小，并是频率的函数。忽略其它损失如衍射，振幅可以表示为以下形式的指数方程：

$$A = A_0 e^{-\alpha f^n Z} \quad (\text{A7.1})$$

其中：

Z = 传播距离，cm，

f = 频率，Hz，

n = 频率依赖性的指数，

α = 介质的频率依赖性振幅衰减系数，奈培/cm/Hz ^{n} ，

A_0 = 未衰减的振幅，

A = 衰减的振幅，

$e = 2.71828\dots$

注A7.1 — 在特定频率的衰减（以dB/cm表示）由下式获得

$$\text{dB/cm} = -8.6859\alpha f^n \quad (\text{A7.2})$$

A7.2 理论：

A7.2.1 当频率依赖性的指数为 $n=2$ 时，由于在水中，降档的峰值频率的近似式由Ophir和Jaeger (7) 给出：

$$f_p = \frac{f_0}{2\alpha Z \sigma^2 + 1} \quad (\text{A7.3})$$

其中：

f_0 = 未衰减的峰值频率，Hz，

α = 振幅衰减系数，奈培/cm/Hz²，

Z = 传播距离，cm，

$\sigma = (f_0 \times \% \text{ BW}/236)$ ，和

$\% \text{ BW}$ = 未衰减频谱的百分比带宽（-6dB）。

注A7.2 — 传播距离是从探测装置到目标再到探测装置的往返距离，带宽是指在冲击激励下的双转导脉冲-回波频谱。

注A7.3 — 以dB/cm/MHz²表示的衰减由下式获得

$$\text{dB/cm/MHz}^2 = -8.6859 \times 10^{-12} \alpha \quad (\text{A7.4})$$

A7.2.1.1 使用（方程A7.4），在水中引起5%峰值频率降档的往返水径是：

$$Z = \frac{1465}{\alpha f_0^2 (\% BW)^2} \quad (\text{A7.5})$$

水的示例计算为：

$$\alpha = 36 \times 10^{-17} \text{奈培/cm/Hz}^2,$$

$$f_0 = 25 \times 10^6 \text{Hz},$$

$$\% BW = 50\%, \text{ 和}$$

$$Z = 2.6 \text{cm [1.02in.]}$$

A7.2.1.2 表A7.1的示例指南已经按这种方法计算。该表显示了对于该假定的衰减系数预计使各种带宽的峰值频率和未衰减的峰值频率探测装置产生5%降档的往返水径。实际衰减系数取决于水温和纯度。

注A7.4 — 如果（方程5）乘以-8.6859，则计算时衰减系数使用dB/cm/MHz²，频率使用MHz。而

$$Z = \frac{-1.273 \times 10^4}{(\text{db/cm/MHz}^2)(\text{MHz})^2(\% BW)^2} \quad (\text{A7.6})$$

以及水的示例计算为：

$$\text{dB/cm/MHz}^2 = -3.127 \times 10^{-3} \text{（见注A7.5）}$$

$$\text{MHz} = 25,$$

$$\% BW = 50\%, \text{ 和}$$

$$Z = 2.6 \text{cm [1.02in.]}$$

注A7.5—系数 3.127×10^{-3} 从频率偏移数据的研究中进行试验推断。注明其他数值（见例子，参考(8-11)）。

A7.3 方法 — 在给定频率的带宽越大，可允许的水径越短。如果中心频率、带宽和焦距结合超过了指导表如表A7.1显示的范围，应通过其他方法如图A7.1的那些示意图来确定焦距和频率响应。

A7.3.1 图A7.1的插图a, b, c和d所示的原理是用高速、低衰减的第二材料如熔融石英代替水。这缩短了声音通过水的行进距离。探测装置的声束轴朝着法线入射到第二材料。

表A7.1 示例指南：引起5%峰值频率降档^A的总的最大水径（cm[in.]）

MHz	带宽							
	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
cm[in.]								
3.5					67.8	51.9	41.0	33.2
					[26.7]	[20.4]	[16.2]	[13.1]
5.0			65.1	45.2	33.2	25.4	20.1	16.3
			[25.6]	[17.8]	[13.1]	[10.0]	[7.9]	[6.4]
7.5		45.2	28.9	20.1	14.8	11.3	8.9	7.2
		[17.8]	[11.4]	[7.9]	[5.8]	[4.5]	[3.5]	[2.8]
10.0	45.2	25.4	16.3	11.3	8.3	6.4	5.0	4.07
	[17.8]	[10.0]	[6.4]	[4.5]	[3.3]	[2.5]	[2.0]	[1.60]
15.0	20.1	11.3	7.2	5.0	3.69	2.83	2.23	1.81
	[7.9]	[4.5]	[2.8]	[2.0]	[1.45]	[1.11]	[0.88]	[0.71]
20.0	11.3	6.4	4.07	2.83	2.08	1.59	1.26	1.02
	[4.5]	[2.5]	[1.60]	[1.11]	[0.82]	[0.63]	[0.49]	[0.40]
25.0	7.2	4.07	2.61	1.81	1.33	1.02	0.80	0.65
	[2.8]	[1.60]	[1.03]	[0.71]	[0.52]	[0.40]	[0.32]	[0.26]
30.0	5.0	2.83	1.81	1.26	0.92	0.71	0.558	0.452
	[2.0]	[1.11]	[0.71]	[0.49]	[0.36]	[0.28]	[0.220]	[0.178]
40.0	2.83	1.59	1.02	0.71	0.519	0.398	0.314	0.254
	[1.11]	[0.63]	[0.40]	[0.28]	[0.204]	[0.157]	[0.124]	[0.100]
50.0	1.81	1.02	0.65	0.452	0.332	0.254	0.201	0.163
	[0.71]	[0.40]	[0.26]	[0.178]	[0.131]	[0.100]	[0.079]	[0.064]

^A 流水管表示>76cm[30in.]。显示的水径除以2得到水中的单程距离[探测装置和目标之间的距离]。适用于 $\alpha = -3.127 \times 10^{-3} \text{ dB/cm/MHz}^2$ 。

A7.3.1.1 焦距 — 图A7.1的插图a, b和c所示的方法是可以近似测量本规程3.2.5和3.2.6指定的球形目标焦距。

- (a) 插图a使用水中的球形目标。第二材料仅仅替代探测装置和球之间的一些水。
- (b) 插图b使用嵌入第二材料的球形反射器。实例为熔融石英内的气泡。
- (c) 插图c使用磨成高速、低衰减的第二材料后壁的半球形目标。

注A7.6 — 焦距测量基于在反射目标的脉冲-回波操作中的最大正或负（取较大者）峰值半周期振幅。

使用平面反射器获得的结果是平板焦点。使用球形反射器获得的结果是球形目标焦点。这两个结果必然不同。

A7.3.1.2 频率响应 — 图A7.1的插图d所示的方法使后壁回波最大化，并接近频率响应测量条件（见A1.4.1.2）。插图d中的声场的图示旨在强调通过本方法测定的声程长度与3.5和3.6中指定的球形目标焦距不同。球形目标与平板目标之间的最大脉冲-回波振幅的声程长度之比描绘在图A7.2中。

A7.3.2 焦距和频率响应—图A7.1的插图e所示的原理已经应用于高频聚焦浸没延迟线探测装置，如50MHz，直径为0.635cm[0.25in.] $F_L=1.27\text{cm}[0.5\text{in.}]$ ，以测量焦距和频率响应。本方法假设一个球面波前并使用球的表面作为等相位反射器以缩短水径。推断焦点 (F_p) 在球的几何中心。将球直径的一半加入到单程水径的方法不直接适用于焦距受衍射限制的情况。

A7.4 计算—计算说明了在图A7.1的插图d中示意性地阐述的频率响应方法。类似的计算适用于图A7.1的插图a, b和c。当由不同声速的两种材料组成时，声程的分区由下式计算：

$$Z_{TM} = [Z'_F - Z_W] \left(\frac{C_W}{C_{TM}} \right) \quad (\text{A7.7})$$

$$Z_W = Z'_F - Z_{TM} \left(\frac{C_{TM}}{C_W} \right) \quad (\text{A7.8})$$

其中：

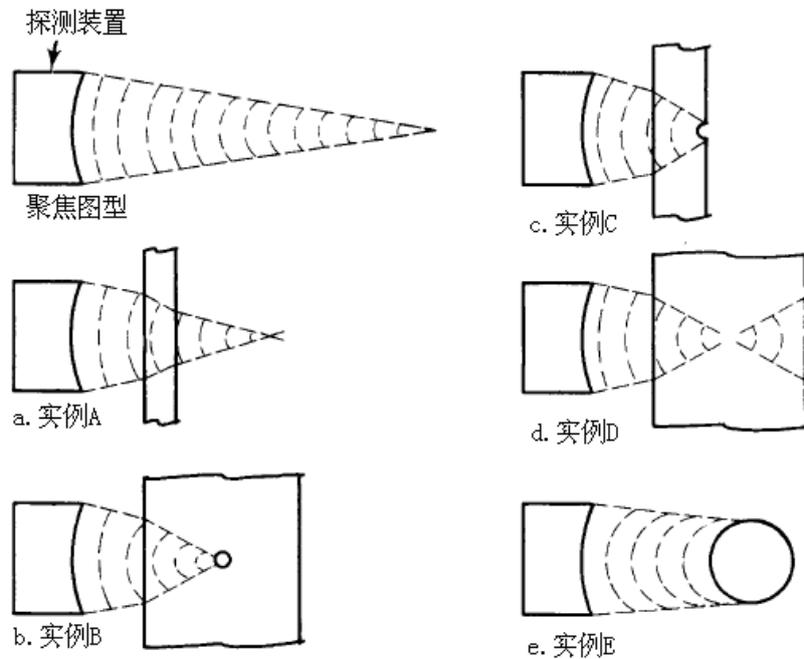
Z'_F = 最大理论平板（在没有频率降档时最大回波振幅与水中平板的距离），

Z_W = 探测装置与较低衰减的第二材料入口表面之间的单程水径，

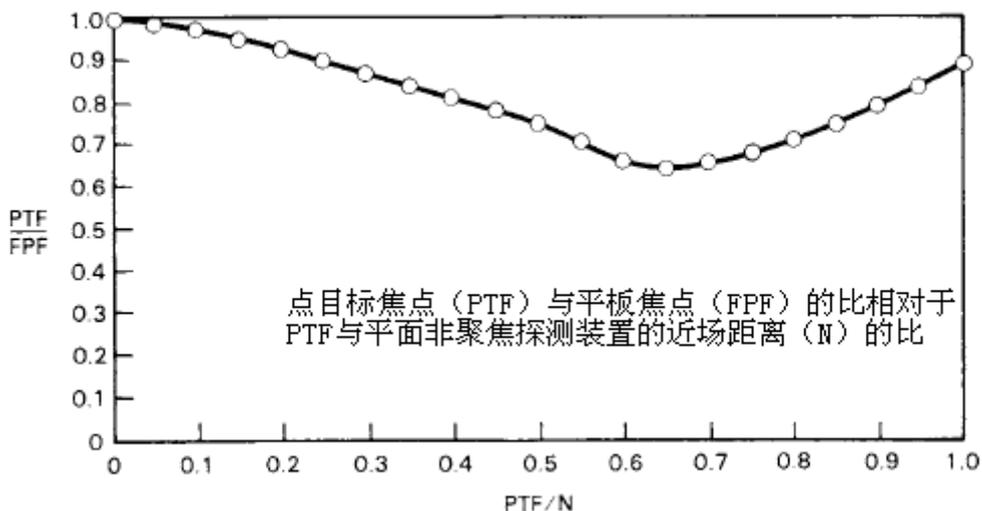
Z_{TM} = 第二材料的厚度（在这种情况下厚度取后壁回波的最大值），

C_W = 声音在水中的速度，和

C_{TM} = 声音在第二材料中的速度



图A7.1 聚焦测量



图A7.2 点目标与平板焦距的比

实例 — 将频率响应测量条件设计为具有80%带宽和10.0cm[3.95in.]最大理论平板的10MHz探测装置。表A7.1建议最大往返水径应小于5.1cm[2in.]。假设第二材料是 $CTM = 0.594 \text{ cm}/\mu\text{s}$ 和 $CW = 0.148 \text{ cm}/\mu\text{sec}$ 的熔融石英。 $ZF = 1.0 \text{ cm}$, $ZW \leq 2.5 \text{ cm}$,

$$Z_{TM} = [100 - 25] \left(\frac{1.48}{5.94} \right) = 1.87 \text{ cm} [0.74 \text{ in.}] \quad (\text{A7.9})$$

假设2.0cm[0.79in.]厚的熔融石英可用。单程水径预测为

$$Z_w = [100 - 2.0] \left(\frac{5.94}{1.48} \right) = 1.97 \text{ cm} [0.078 \text{ in.}] \quad (\text{A7.10})$$

因此, 2.0cm[0.79in.]厚的熔融石英板背侧的最大回波振幅应发生1.97cm[0.078in.]水径, 频率响应应在标准公差范围内10MHz时达到峰值。

A7.5 报告 — 探测装置特性报告应记录在第二材料的单程水径, 记录第二材料的类型和厚度, 说明使用的反射器的类型。对于使用第二材料代替水的焦距测量, 从下式计算水中的等效焦距

$$F_L = Z_w + Z_{TM} \left(\frac{C_{TM}}{C_w} \right) \quad (\text{A7.11})$$

实例 — 2.2cm的单程水径取位于熔融石英板的入口表面1.9cm的气泡的回波最大值。在水中的等效焦距为

$$F_L = 2.2 + (1.9) \left(\frac{5.94}{1.48} \right) = 9.83 \text{ cm} [3.87 \text{ in.}] \quad (\text{A7.12})$$

A8. 超声波直射束、接触探测装置的金属中声束图型的测量

A8.1 简介 — 从超声波直射束、接触探测装置传播的声场图型随频率、大小、形状和设计改变。这些探测装置可被设计为具有单或双的，圆形的或矩形的压电元件和配置为传播柱状、发散或聚焦束图型。测量超声波探测装置的金属中的声束图型在建立参数如声束扩散（或聚焦）和在不同深度目标的超声波响应（回波振幅）中很重要。这些参数在选择特定应用的探测装置和分析接收的数据中价值。

A8.1.1 附录A8描述了使用在参考块表面以下不同深度加工的一系列侧面钻孔（SDHs）的脉冲-回波响应，测量金属中声束图型的方法。开发金属中的声束图型的必须包括：（1）使用适当的信号门控能力描述超声波探测和超声波探伤仪器特性的方法，（2）包含侧面钻孔的金属块，（3）沿着试验块穿越探测装置的机械装置，（4）用于耦合探测装置的超声能量与金属块的超声耦合剂，（5）获得横轴轮廓的程序，和（6）记录的响应的分析。

A8.2 探测装置特性和超声波

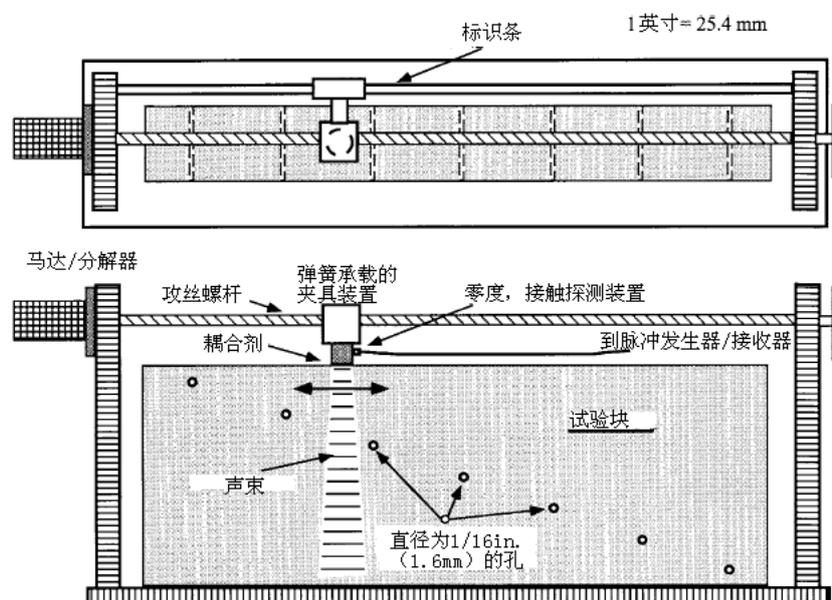
仪器 — 探测装置在测量声束图型之前建立操作频率和带宽的特性是一个基本要求（见本规程的附录A1和附录A2）。一旦用户之间商定和指定探测装置的特性，可使用有适当信号门控能力（见A6.2.1）的脉冲-回波探伤仪器来记录声束图型。由于是沿着试验块穿越探测装置，探伤仪器应能够从选择的SDHs中记录信号响应。由于试验块中的SDHs在不同的深度，记录的响应提供了描述金属块中声束图型的信息。

A8.3 金属试验块 — 金属块的大小和SDHs的数量和深度的选择应基于探测装置的设计。位于表面下不同深度的SDHs系列提供了可以获得描述声束图型、声束扩散或聚焦以及信号振幅响应信息的目标（12）。长300mm[12in.]、高100mm[4in.]、宽32mm-38mm[1.25-1.5in.]的金属块是用于在2-15MHz频率范围评价接触探测装置的典型试验块。通过试验块的厚度的钻孔必须是直的并垂直于试验块的侧面，以便为声束提供恒定的反射表面。孔的直径通常为1.6mm[1/16in.]。由6.35mm[0.25in.]-12.7mm[0.5in.]或更大的间隔隔开的顶表面的距离取决于探测装置的大小和频率。

注A8.1 — 试验块的尺寸并不仅限于上面列出的尺寸。用户之间可商定选择替代的尺寸和设计。

A8.4 机械穿越机制 — 可使用几种类型的机械穿越机制，如C型扫描桥，从SDHs中记录声束图型。不建议使用非机械（手动）程序，因为会受到如耦合剂变化和探测装置与试验块表面之间不一致的压力等因素引起的误差。图A8.1功能性地描述了用于获得声束图型的一种类型的扫描仪。该图显示了带有SDHs的试验块。弹簧承载的夹紧装置在探测装置与试验块表

面之间提供了恒压。已经发现3-5lbs.的弹簧承载压力足以获得可靠的和可重复的结果。探测装置的空间位置可以从连接到驱动马达的编码器或表盘/滑动测微计获得。根据此信息，来自SDHs的振幅响应可能与探测装置在试验块上的位置有关。必须注意确保探测装置平行于试验块的表面，且无斜面、倾斜或摆动，因为这可以降低SDHs的响应。



图A8.1 获得金属中直射束声束图型的穿越机制

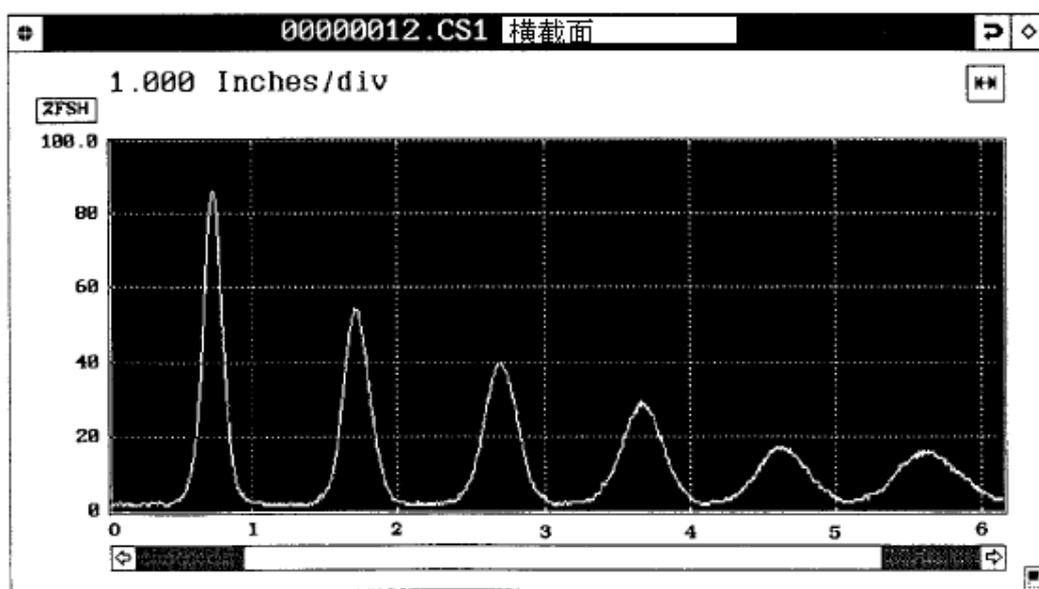
A8.5 超声能量的耦合 — 可使用多种耦合剂如油，甘油，水或其他超声耦合剂材料。必须用耦合剂覆盖试验块的顶表面，在整个测量过程中保持在表面上，在探测装置和试验块表面施加恒压。如果使用水，建议浸没试验块和探测装置的表面。必须注意确保SDHs没有可能影响测量的任何污染（腐蚀，耦合剂等）。

A8.6 横轴声束图型 — 本附录包括设计有单或双，圆形或矩形压电元件的探测装置。必须在两个正交方向测量从这些装置得到的图型。该程序是用位于一个方向的探测装置记录图型，然后将探测装置旋转90°，重复测量。通过比较两次测量的记录，可以评价如两轴中对称的声束、声束发散、双探测装置响应和聚焦（如果有的话）等参数。由矩形压电元件制成的探测装置在这两个正交方向具有不同的声束图型。

A8.7 记录的响应 — 使用直径为3/8in.，5MHz的探测装置从一系列SDHs中得到的超声波束图型如图A8.2所示。使用自动机械C型扫描桥获得这些数据。探测装置与试验块浸没在水中，装置与试验块之间使用弹簧承载约3lbs.的力。用于此实例的试验块由铝制成，长250mm[10in.]，高125mm[5in.]，宽25.4mm[1in.]。电子门控应设置为足够宽以便在不改变门控设置的情况下记录来自SDH每个深度的信号。该图显示了来自在相隔25.4mm[1in.]和

25.4-89mm[1-3.5in.]的深度范围的6个SDHs的超声波束图型和振幅。左边的图型来自25.4mm[1.0in.]深的孔，而右边的一个来自89mm[3.5in.]深的孔。图中，前四个轮廓明显分开，但最后两个没有达到期望的分离。这可能表明有来自相邻孔、试验块侧面或在门控中混淆多个SDH信号的干扰。对于声束扩散的精确测量，来自SDHs的轮廓应明显分离。可通过在两个不同深度测量声束宽度和计算声束扩散角，使用这些数据评价在-3，-6，-10和-20dB水平的声束扩散。在记录的第一个和第三个图型的-20dB直接用卡尺测量显示第一个声束图型的宽度约为7.6mm[0.3in.]，第三个图型的宽度约为11.4mm[0.45in.]或相差3.8mm[0.15in.]。为估计半角声束扩散， $3.8[0.15]$ 的值分为一半。由于孔之间的距离为25.4mm[1.0in.]，可使用 $1.9 \div 25.4 = 4.28^\circ [0.075 \div 1 = 4.28^\circ]$ 的反正切计算近似的声束扩散。可使用电子时间门控获得更精密的测量。

A8.7.1 试验块的大小、SDHs的深度和孔的分离的选择应基于被描述的探测装置的大小和频率，以确保相邻孔之间没有干扰和试验块的侧面没有反射。声束扩散半角的计算可以验证预计的声束扩散，可使用该信息确保没有干扰。



图A8.2 在参考块中SDHs的超声波响应

参考文献

- (1) Busse, L. J.等人,“超声波试验系统的表征方法”,美国核管理委员会,NUREG/CR-2264/PNL-4215, 1982年7月。
- (2) Erickson, K. R.,“脉冲-回波传感器的单音脉冲串试验”,IEEE声能学和超声学, SU-26, No. 1, 1979年。
- (3) Krautkramer, J.等人,材料的超声波试验,第二版, Springer-Verlag, NY, 1977, p. 72。
- (4) Beck, K. H.,“用于检查圆柱形材料的超声波传感器聚焦”,材料评估, Vol 49, No. 7, 1991年7月, pp. 875–882。
- (5) Beck, K. H.,“超声区域-振幅线性局限性”,材料评估, Vol 50, No. 8, 1992年8月, pp. 978–985。
- (6) Chaskelis, H. H.和Hart, S. D.,“远场声束图型上目标的几何图形的意义”,关于NDE的程序10研讨会, 1975年4月, ASNT 和SRI。
- (7) Ophir, J.和Jaeger, D.,“超声波通过介质和非线性色散衰减传播的光谱移动”,超声成像 4, 1982年, pp. 282–289。
- (8) Kinsler, L. E.和Frey, A. R., 声学基础, 第二版, John Wiley & Sons, Inc. 1962, p. 226。
- (9) Markham, J. J., Beyer, R. T.,和Lindsay, R. B.,“声音在液体中的吸收”,现代物理学评论, Vol 23, No. 4, 1951, pp. 353–411, (p. 396 op.cit.)。
- (10) Sette, Daniele,“声波在液体和液体混合物中的分散和吸收”,物理学百科全书, (Flauugge, S., ed.), Vol XI/I, 声学I, Springer-Verlag (Berlin), 1961, pp. 275–360, (pp. 318–321 op.cit.)。
- (11) Tschiegg, C. E., Greenspan, Martin和Eitzen, D. G.,“超声波连续波射线功率测量;国际比对”,美国国家标准局研究杂志, Vol 88, No. 2, 1983, pp. 91–103, (p. 102 op.cit.)。
- (12) ISO/DIS – 18375, 无损试验“探测装置和声场的表征”, Rev 11, 1995年9月。

更改一览表

E07 委员会已经标记了相对于前一版本(E1065-08)发生的可能影响本标准使用的修改位置。

- (1) 修改了标题，从指南改成规程，在相关段落用“规程”编辑性取代“指南”。
- (2) 调整标准为双重名称以维持整个标准的一致性。

ASTM 国际组织采取的立场是，尊重任何与在本标准中提到的项目有关的专利权利的主张。本标准用户必须明确，任何该专利的有效性，侵犯这种专利的风险，完全由他们自己负责。

本标准任何时候都由责任技术委员会进行修改，并且每五年评价一次，如果无需修订，则不必重新批准或撤回。您的评论在本标准或其附加标准中都没有被采纳的话，请与 ASTM 总部讨论。您的评论将会得到责任技术委员会的仔细考虑。如果您觉得您的评论没有得到承认，你可以按下面注明的地址，向 ASTM 委员会发表您的见解。

本标准的版权归属于ASTM国际组织，地址：100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States。需要本标准的个别重印版（单本或多本），可与ASTM组织的上述地址联系，或 610-832-9585 (电话)，610-832-9555 (传真)，service@astm.org (e-mail)；或者通过美国ASTM 网站 (www.astm.org) 联系获得。拷贝本标准的权利也可从ASTM网站(www.astm.org/COPYRIGHT/) 获得。