



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 14480.2—XXXX/ISO 15548-2:2013

代替 GB/T 14480.2-2015

## 无损检测仪器 涡流检测设备 第2部分：探头性能和检验

Non-destructive testing instruments—Equipment for eddy current examination  
Part 2: Probe characteristics and verification

(ISO 15548-2: 2013, Non-destructive testing—Equipment for eddy current examination—Part 2: Probe characteristics and verification, IDT)

(征求意见稿)

(本草案完成时间: 2024-09-09)

在提交反馈意见时, 请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

国家市场监督管理总局  
国家标准化管理委员会  
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 探头及其连接部件的性能 .....	1
4.1 基本性能 .....	1
4.2 电气性能 .....	2
4.3 功能特性 .....	2
5 检验 .....	3
5.1 总体要求 .....	3
5.2 检验级别 .....	3
5.3 检验程序 .....	4
5.4 纠正措施 .....	4
6 探头的电特性和功能特性的测量 .....	4
6.1 电特性 .....	4
6.2 功能特性 .....	5
6.3 归一化阻抗平面图 .....	20
7 连接部件的影响 .....	20
附录 A (资料性附录) 参考试块 A6 .....	1
参考文献 .....	3

## 前　　言

GB/T 14480《无损检测仪器 涡流检测设备》分为以下三个部分：

- 第1部分：仪器性能和检验；
- 第2部分：探头性能和检验；
- 第3部分：系统性能和检验。

本文件为GB/T 14480的第2部分。

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件替代GB/T 14480. 2—2015《无损检测仪器 涡流检测设备 第2部分：探头性能和检验》，与GB/T 14480. 2—2015相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 改变了范围的部分内容（见第1章，2015年版的第1章）；
- b) 改变了探头类型的部分内容（见4.1.2，2015年版的4.1.2）；
- c) 改变了物理特性的部分内容（见4.1.4，2015年版的4.1.4）；
- d) 改变了环境条件的部分规定（见4.1.6，2015年版的4.1.6）
- e) 改变了功能特性的部分内容（见4.3，2015年版的4.3）；
- f) 改变了检验级别以及表1中的部分内容（见5.2，2015年版的5.2）；
- g) 改变了修正操作的部分内容（见5.4，2015年版的5.4）；
- h) 改变了电特性测量条件的部分内容（见6.1.2，2015年版的6.1.2）；
- i) 改变了表面探头参考信号的部分内容（见6.2.3.2，2015年版的6.2.3.2）；
- j) 改变了表面探头角灵敏度的部分内容（见6.2.3.3，2015年版的6.2.3.3）。

本文件使用翻译法等同采用ISO 15548-2:2013《无损检测 涡流检测设备 第2部分：探头性能和检验》。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国机械工业联合会提出。

本文件由全国试验机标准化技术委员会（SAC/TC122）归口。

本文件起草单位：爱德森（厦门）电子公司、辽宁仪表研究所有限责任公司、湖北工业大学、清华大学、厦门大学、中国铁道科学研究院集团有限公司、浙江省特种设备科学研究院、中国核工业二三建设有限公司、杭州德邦检测技术有限公司、中机试验装备股份有限公司。

本文件主要起草人：林俊明、宋小春、黄松岭、曾志伟、黄凤英、林泽森、王琳、叶宇峰、彭炎、黄剑军、吴潇潇、任霞。

本文件所代替标准的历次版本发布情况为：

——GB/T 14480. 2—2015。

# 无损检测仪器 涡流检测设备

## 第2部分：探头性能和检验

### 1 范围

本文件规定了探头及其连接部件的功能特性，并描述了测量和检验方法。

对这些特性的评估，使得涡流检测设备可以明确描述且具有可比性。

通过精选系统性能，能设计出符合要求的专用涡流检测系统。

本文件的规定亦适用于涡流辅助设备。

本文件未涉及性能检验指标及检验范围，这些内容由应用技术文件给出。

### 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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。

ISO 12718 无损检测 涡流检测 术语（Non-destructive testing—Eddy current testing—Vocabulary）

注：GB/T 12604.6-2021 无损检测 涡流检测 术语（ISO 12718: 2019, IDT）

### 3 术语和定义

ISO 12718界定的术语和定义适用于本文件。

### 4 探头及其连接部件的性能

#### 4.1 基本性能

##### 4.1.1 应用

选择探头及其连接部件以满足指定的应用要求。

探头及其连接部件的设计受到使用仪器的影响。

##### 4.1.2 探头类型

探头按下列方式分类：

——待检材料类型，例如：高导电率的铁磁性材料或非铁磁性材料，或低导电率的铁磁性材料或非铁磁性材料；

——结构，例如：发射接收分离式探头或发射接收一体式探头；

——系列，例如：同轴探头、表面探头；

——测量方式，例如：绝对式、差动式；

——检测目的，例如：不连续检测、分选或测厚等；

——专用特征，例如：聚焦、屏蔽等。

#### 4.1.3 连接部件

连接部件可包括：

- 电缆和（或）延长部分；
- 接线端子；
- 滑环；
- 旋转头；
- 电感耦合器；
- 有源部件，例如：多路复用器、放大器等。

#### 4.1.4 物理特性

应包括下列内容：

- 外形尺寸和形状；
- 重量；
- 机械安装信息；
- 型号和序列号；
- 探头外壳材料；
- 覆面材料的成分和厚度；
- 磁芯或屏蔽罩的有无及其用途；
- 连接部件的类型（见4.1.3）；
- 方向标识（最大灵敏度的方向，见6.2.3.3）；
- 位置标识（电中心，见6.2.3.4）。

#### 4.1.5 安全

探头及其连接部件应符合有关电气安全、表面温度或爆炸的适用安全法规。

探头的正常使用不宜造成危险。

#### 4.1.6 环境条件

宜标明探头及其连接部件在正常使用、储存和运输时的温度和湿度条件。

探头及其连接部件所允许的干扰噪声和电磁辐射的影响应符合电磁兼容（EMC）的规定。

探头制造所使用的材料宜具有抗污染性能。

### 4.2 电气性能

应明确标明或用文字说明探头的外部电气连接。

如果探头连接到特定长度和特定类型的电缆上，其电气性能如下：

- 推荐的激励电流和激励电压的安全工作范围；
- 推荐的激励频率范围；
- 激励部件在空气中的阻抗；
- 激励部件在空气中的谐振频率；
- 接收部件在空气中的阻抗。

也应标明延长电缆的电气性能。

### 4.3 功能特性

应根据特定应用的系统确定探头的功能特性。

探头功能特性的测量需要使用校准试块。参考试块使用的材料根据具体应用确定。

探头的功能特性如下：

- 方向性；
- 对基本不连续（孔、槽）的响应特性；
- 覆盖范围的长度和宽度；
- 覆盖面积；
- 获得稳定响应的最小不连续尺寸；
- 透入特性；
- 几何效应；

当探头与特定材料且材质均匀的试块之间为最小探测间距时，激励部件的归一化阻抗轨迹（当频率变化时）。

对于给定的应用，上述这些特性不能单独用来确定给定检测系统中探头的性能（例如：分辨力、最小可探测出的不连续等）。

必要时，应测量连接部件对探头功能特性的影响。

## 5 检验

### 5.1 总体要求

为保证涡流检测的一致性和有效性，应该检验涡流检测系统各组成部分的性能是否保持在许用限值内。

在使用参考试块检验涡流检测系统或探头之前，应先确认参考试块的物理状态是否处于许用限值内。

检验用的测量设备应在校验的有效期内使用。

为了便于理解，GB/T 14480的三个部分都描述了同样的检验程序。

### 5.2 检验级别

检验分三个级别。每个级别都规定了检验和复验的时间周期。

需明确由制造商或在制造商监控状态下完成首次型式检验。

1级——整体功能检验

使用参考试块对涡流检测系统进行定期检验，以验证其性能处于规定范围内。

检验通常在现场进行。

检验周期和参考试块在检验程序文件中予以规定。

2级——逐项功能核查和校验

以较长的时间间隔进行定期校验，以保证涡流检测仪器、探头、辅助设备和参考试块特定性能的长期稳定性。

3级——性能检验

对涡流检测仪器、探头附件和参考试块进行检验，以评定是否与制造商提供的各项性能相符合。

检验机构应规定要检验的性能。

表1列出了各检验等级的主要特性。

表1 检验级别

级别	项目	典型时间周期	仪器	责任承担
1 整体功能检验	系统的稳定性 例如：每小时、每天	经常进行 例如：每小时、每天	参考试块	用户
2 逐项功能核查和校验	仪器、探头和辅助设备 已选性能的稳定性	不经常进行，但至少每 年一次或大修后	已校准的测量仪器、参 考试块	用户
3 性能检验	仪器、探头和辅助设备 的全部性能	一次（首次交付） 和需要时	已校准的实验室测量仪 器和参考试块	制造商，用户

### 5.3 检验程序

根据实际应用的需要，确定系统性能的检验项目。应在检验程序文件中规定各检验级别及其基本的性能检验项目。

实际产品的涡流检测程序应参考本文件制定的检验程序。对于特定的涡流检测应用，能限定系统性能需要检验的项目数。

为了可在本文件的范围内开展检验，应提供表征仪器、探头和参考试块性能的充足数据。

### 5.4 纠正措施

1级——当系统性能不在规定限值内时，应对上一次整体功能检验后所检测的产品采取纠正措施，即将系统性能重新调整到许用限值内。

2级——当系统性能偏差超出制造商或应用技术文件所规定的许用限值时，应采取纠正措施，即对相关被检仪器、探头和辅助设备重新进行校验。

3级——当系统性能超出制造商或应用技术文件规定的许用限值时，应采取纠正措施，即对相关的被检仪器、探头和辅助设备进行校验。

## 6 探头的电特性和功能特性的测量

### 6.1 电特性

#### 6.1.1 总则

在探头的应用中，电特性本身并不能定义探头特性。

6.1.2~6.1.5给出的方法和测量仪器仅供参考，也能采用其他等效的方法和测量仪器。

#### 6.1.2 测量条件

在不使用检测系统的连接部件的情况下，在探头连接电缆的一端进行测量。探头置于空气中，并远离任何导电或磁性材料。

在探头连接器处对探头的每个部件进行测量，且测量某个部件时，其他部件处于开路状态。

当探头设计用于特定条件（例如：温度或压力）时，应在应用技术文件中规定所需的附加测量条件。

#### 6.1.3 激励元件谐振频率

##### 6.1.3.1 单线圈激励元件

使用阻抗仪测量激励元件的谐振频率 $f_{res}$ 。

##### 6.1.3.2 多线圈激励元件

激励元件为多个线圈时，要给出多个谐振频率。应测量并记录最低谐振频率。

#### 6.1.4 激励元件的阻抗

使用万用表测量电阻 $R_0$ ，使用阻抗仪测量电感 $L_0$ 。在推荐的探头工作范围的最低频率测量电感。

如果电容 $C_0$ 的值太小，无法直接测量，宜按式（1）计算得到更准确的结果：

$$C_0 = \frac{1}{4\pi^2 f_{\text{res}}^2 L_0} \quad (1)$$

激励元件的阻抗模型如图1所示。

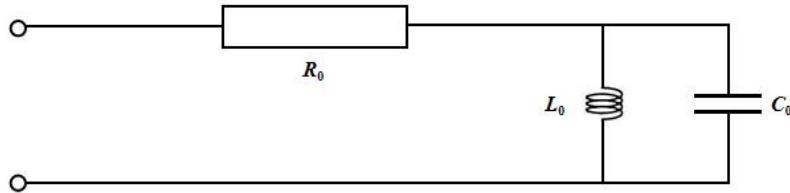


图1 激励元件的阻抗

#### 6.1.5 接收元件的阻抗

使用万用表测量电阻，用阻抗仪测量电感和电容。用阻抗的测量值能标绘出与频率相对应的特性曲线。

### 6.2 功能特性

#### 6.2.1 总体要求

本文件规定常用探头类型。为特殊（不常用）应用设计的探头应遵循应用技术文件进行规定，该文件是按照本文件规定制定的。本文件规定的特性能给出这些探头的有用信息。

本文件规定两类探头的功能特性：表面探头和同轴探头。

#### 6.2.2 测量条件

##### 6.2.2.1 一般要求

能使用符合GB/T 14880.1规定的且满足测量精度要求的通用涡流仪。

也能使用电压/电流发生器、同步探测放大器和电压表或示波器组成的测量系统进行测量。

当探头没有附带连接电缆时，应记录测量时所用电缆的电气性能。

使用包含已知特征（如槽和孔）的参考试块在探头制造商规定的频率范围内测量探头性能。

应按照应用技术文件规定的材料、冶金工艺和表面处理的要求制造参考试块。参考试块的几何形状应符合6.2.3.1和6.2.4.2的要求。用铁磁性材料制作的试块在使用前应进行退磁。参考试块能用其他器件（如替代试块、电路、线圈和球体等）替代，应证明替代器件在所测量特性上的等效性。

在探头影响区域内，任何扰动电磁场或铁磁性材料的存在都会影响探头的功能特性。当按照6.2.2.2和6.2.2.3测量时，应注意避免这些影响。

应记录每个特性的测量条件，例如：激励频率、电压/电流、参考试块的详细情况等。

测量信号幅值，需要时也测量信号相位。

##### 6.2.2.2 信号幅值测量

## a) 绝对测量

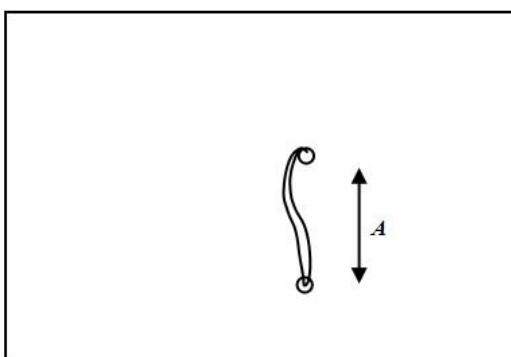
信号幅值是平衡点与最大信号偏移点构成的矢量的长度，除非在应用技术文件中另有规定，见图2a）。

## b) 差动测量

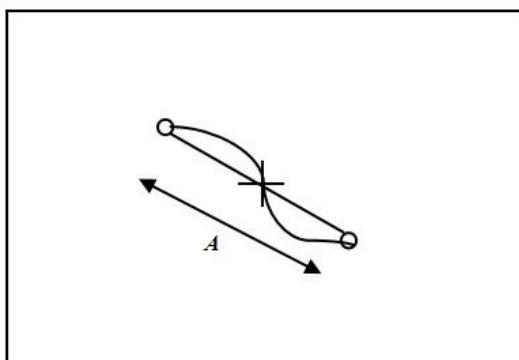
信号幅值是连接两个信号极值点（如峰-峰值）的矢量的长度，除非在应用技术文件中另有规定，见图2b）。

## c) 其他测量

此方法应在应用技术文件中规定。



a) 绝对信号的幅值测量



b) 差动信号的幅值测量

图 2 信号幅值测量

## 6.2.2.3 信号相位角测量

相位角测量的参考基准应是 x 轴正向。

量程范围应为  $360^\circ$ ，可以是  $0^\circ$  至  $360^\circ$ ，或者  $0^\circ$  至  $\pm 180^\circ$ 。

测量的极性应按照如下规定：

——P360:  $0^\circ$  至  $360^\circ$ ，正向为逆时针方向（数学惯例）；

——N360:  $0^\circ$  至  $360^\circ$ ，正向为顺时针方向；

——P180:  $0^\circ$  至  $\pm 180^\circ$ ，正向为逆时针方向；

——N180:  $0^\circ$  至  $\pm 180^\circ$ ，正向为顺时针方向。

相位角是参考基准线与按照6.2.2.2测定的信号幅值的连线之间的夹角。

## 6.2.3 表面探头

除非另有规定，应按照应用技术文件中规定的恒定探头提离下进行测量。

#### 6.2.3.1 参考试块

在图3中概括地示出了参考试块（A1~A5）。

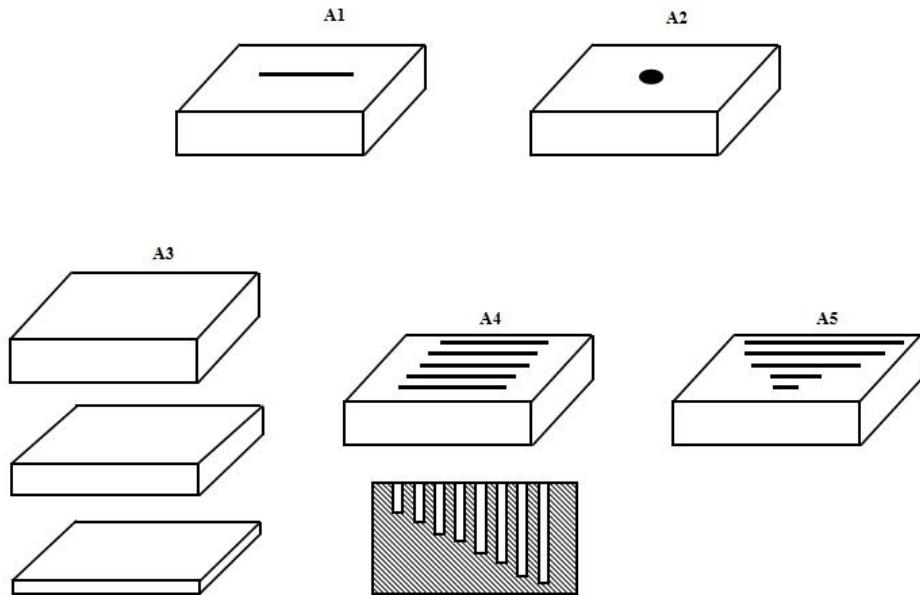


图3 表面探头用参考试块

每种参考试块的详细要求应在检验程序中给出。

每种参考试块的长度和宽度应至少是探头技术条件规定的覆盖长度的10倍。当探头覆盖范围未知时，应以扫查平面内探头的最大（有效）作用范围来代替。按照6.2.3.8的规定得到测量的覆盖长度后，方能进行检验。

参考试块的厚度应至少是在探头规格中的最低频率下的标准透入深度的两倍。

参考试块的详细规定如下所述：

##### a) A1试块

试块中心位置有一个槽。

槽的最低要求为：

——槽的长度应比按照6.2.3.10规定的方法所测定的“恒定探头响应的槽的最小长度”要长；

——槽的深度应比按照6.2.3.11规定的方法所测定的“恒定探头响应的表面开口槽的最小深度”要深；

——槽的宽度应在应用技术文件中规定。

##### b) A2试块

试块中心位置有一个孔。

孔的直径在应用技术文件中规定。建议孔的深度与A1试块中槽的深度相同。

##### c) A3试块

与A1试块相同，但是没有槽且厚度不同。一系列不同厚度参考试块的最大厚度为探头标准透入深度的三倍或探头有效扫查范围的两倍。

##### d) A4试块

与A1试块相同，且有n个平行的槽。

- 所有槽都有与A1试块的槽相同的长度和宽度；
  - 从槽1到槽n，各槽的深度按照应用技术文件规定的恒定步长递增；
  - 两个相邻槽的间距应至少是探头覆盖长度的5倍（按照6.2.3.8的规定）；
  - 从第一个槽和最后一个槽到与它们各自邻近的试块边缘的距离应至少是边缘效应长度的2.5倍。
- 槽的数量和槽的深度在应用技术文件中规定。

#### e) A5试块

与A1试块相同，且有n个平行的槽。

- 所有槽都有与A1试块的槽相同的深度和宽度；
- 从槽1到槽n，各槽的长度按照应用技术文件规定的恒定步长递增；最长的槽的端部离试块边缘的距离应远大于边缘效应长度的2.5倍；
- 两个相邻槽的间距应至少是探头覆盖长度的5倍（见6.2.3.8）；
- 从第一个槽和最后一个槽到与它们各自邻近的试块边缘的距离应至少是边缘效应长度的2.5倍；
- 所有槽都居中布置在试块上。

槽的数量和槽的长度在应用技术文件中规定。

#### f) A6试块

为获得转换信号而规定的一种试块，见6.2.3.16。

### 6.2.3.2 参考信号

测量步骤如下：

#### a) 参考试块

应使用A1试块进行本条测量。

#### b) 探头扫查

将探头置于槽和邻近的试块边缘之间的中间位置，在试块上平衡探头。

确认探头在上述位置附近沿着槽的方向和边缘的方向移动时，信号未发生明显的变化。

探头通过槽的中心上方进行线性扫查，探头的首选扫查方向垂直于槽（见图4）。对于这种测量方法，探头的首选扫查方向应由制造商规定。如果探头明确设计用于扫查不与探头扫查相垂直（例如：平行）的槽，则应在应用技术文件中规定替代的测量程序。

#### c) 测量结果

调节仪器，使扫查中获得的最大信号幅值对应于仪器动态范围的某个给定值（例如：25%）。

在后续的测量过程中，应确认未发生信号饱和。

参考信号  $S_{ref}$  是扫查过程中信号的最大幅值。

参考信号的相位角作为后续测量的初始相位角。

后续各条中的测量值都应表示为  $S_{ref}$  的相对值。

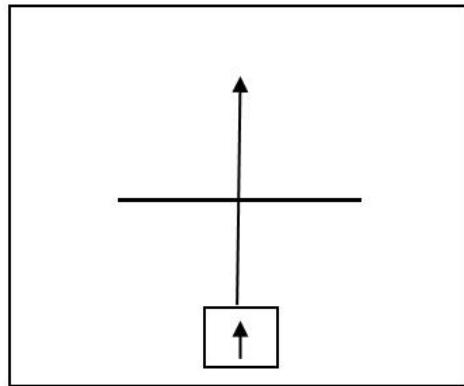


图 4 获得参考信号的探头扫查路径

#### 6.2.3.3 角灵敏度

测量步骤如下：

##### a) 参考试块

应使用A1试块进行本条测量。

##### b) 探头扫查

在制造商标明的探头首选扫查方向的角的范围 ( $\alpha$  角从  $0^\circ$  到  $180^\circ$  移动)，用给定的足够大的分辨力的步长但不超过  $20^\circ$  (见图5) 扫查槽的中心部位。 $\alpha$  角的值在应用技术文件中规定。

对于某些探头，当在试块槽的中心部位扫查不能获得最佳效果的情况下，在应用技术文件中应提供一个可替代的测量方法。

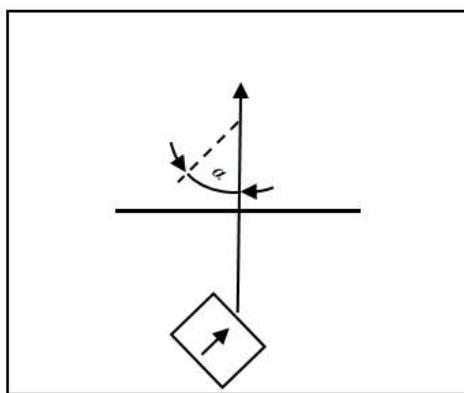


图 5 测量角灵敏度的探头扫查路径

##### c) 测量结果

记录每次扫查信号的最大值  $S_{\max}(\alpha)$ ，然后根据  $\alpha$  标绘  $S_{\max}(\alpha) / S_{\text{ref}}$ 。

由  $S_{\max}(\alpha) / S_{\text{ref}}$  得到的  $\max(S_{\max}) / S_{\text{ref}}$  最大值所对应的探头扫查方向规定为探头的实际首选扫查方向，并应在下列测量中使用。

当探头的实际首选扫查方向与制造商标明的首选扫查方向偏差较大时，应记录此情况；并标明新的扫查方向标识，在所有后续测量中应使用  $S_{\text{ref}}$  的对应值。

如果  $S_{\max} / S_{\text{ref}}$  有几个不同的极大值就表明探头有几个首选扫查方向。因此，最好在每个首选扫查方向都测量探头的性能。

通过这种测量能确定附加参数。例如：探头的各项异性因子  $k$  可按式(2)计算：

式中：

$\min(S_{\max})$  ——  $S_{\max}(\alpha)$  的最小值。

#### 6.2.3.4 位置标识

位置标识不同于扫查方向标识。按照下面给出的测量方法，探头本体上的标识应明确规定电中心的位置。

当这个标识不能在探头上准确地标注时，应以示意图方式，或用标记到探头上某一固定点的距离的方式表示。

a) 参考试块

应使用A1试块进行本条测量。

b) 探头扫查

使探头的首选扫查方向垂直于槽，在槽的中心上方进行线性扫查。

### c) 测量结果

如果有一个峰值信号，探头位置标识就是探头在槽上时信号为最大值的一个点。例如：绝对信号。

如果有两个峰值信号，探头位置标识就是探头在槽上时两个峰值信号之间信号为零值的一个点。例如：差动信号。

#### 6.2.3.5 边缘效应

测量步骤如下：

a) 参考试块

应使用A1试块进行本条测量。

b) 探头扫查

探头置于槽和相邻的试块边缘之间的中间位置，以下列两种方式从前述平衡位置沿扫查线移动到参考试块的最近的边缘位置：

- 1) 探头沿着它的首选扫查方向移动；
  - 2) 探头垂直于它的首选扫查方向移动。

### c) 测量结果

用下列两种方式表示：

- 1) 边缘效应是用从探头位置标识到试块边缘信号值为  $S$  处的距离来表征。其信号  $S$  如式(3)所示。

式中：

*A* ——应用技术文件中规定的值。

- 2) 边缘效应是用从第二个探头位置标识到试块边缘信号值为  $S$  处的距离来表征。其信号  $S$  如式 (3) 所示。

#### 6.2.3.6 对孔的响应

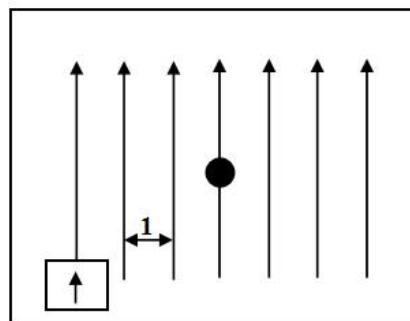
测量步骤如下：

a) 参考试块

应使用A2试块进行本条测量。

### b) 探头扫查

根据制造商的标明，探头在平行于首选扫查方向的一系列路径内扫查试块，每两个相邻路径的间距小于等于探头覆盖宽度的20%（见图6）。



标引序号说明：

1 —— 间距。

注： 探头上的箭头指示探头的首选扫查方向。

图 6 探头扫查测量孔的响应

### c) 测量结果

计算整个扫查信号的最大值  $S_{\max} / S_{\text{ref}}$ 。

对于每个扫查路径，应绘制出比  $S_{\max} / S_{\text{ref}}$  小6 dB信号相对应的点，以得到探头对孔的响应图。

扫查路径应通过孔和第一个记录点（例如：左下）的探头位置标记的表示方式与响应图相关联。

通过使用更高级别的等值线或任何等效图像（3D绘图、彩图等）能更完整地描述结果。

#### 6.2.3.7 对槽的响应

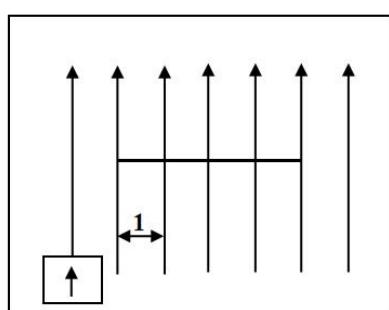
测量步骤如下：

### a) 参考试块

应使用A1试块进行本条测量。

### b) 探头扫查

探头在一系列路径内扫查试块，其中两个相邻路径之间的距离（间距）不大于槽长度的10%，探头的首选扫查方向垂直于槽（见图7）。



标引序号说明：

1 —— 间距。

注： 探头上的箭头指示探头的首选扫查方向。

图 7 探头扫查测量槽的响应

### c) 测量结果

计算整个扫查信号的最大值  $S_{\max} / S_{\text{ref}}$ 。

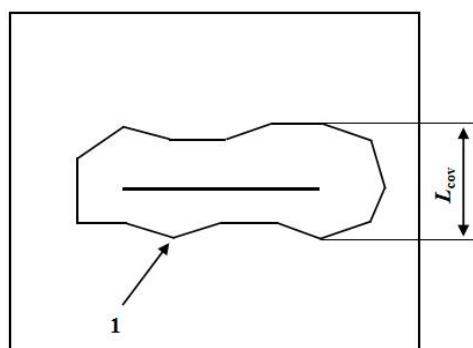
对于每个扫查路径，应绘制出比  $S_{max} / S_{ref}$  小6 dB信号相对应的点，以得到探头对槽的响应图。

扫查路径应通过槽和第一个记录点(例如:左下)的探头位置标记的表示方式与响应图相关联。

通过使用更高级别的等值线或任何等效图像（3D绘图、彩图等）能更完整地描述结果。

### 6.2.3.8 覆盖长度

在6.2.3.7的扫查中得到了在扫查方向上包络的最长尺寸，从探头对槽的响应图中获取了覆盖长度 $L_{cov}$ （见图8）。



## 标引序号说明:

1 — -6 dB扫描线。

图 8 测定覆盖长度的示例

### 6.2.3.9 覆盖宽度

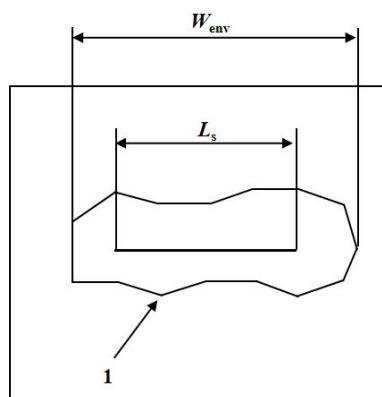
在6.2.3.7中得到了垂直于扫查方向包络的最宽尺寸，从探头对槽的响应图中获取了覆盖宽度  $W_{cov}$ （见图9）。

覆盖宽度按式(4)计算:

$$W_{\text{cov}} \equiv W_{\text{env}} - L_S \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

式中：

$L_s$  ——槽的长度。



#### 标引序号说明:

1 —— -6 dB扫描线。

图9 测定覆盖宽度的示例

#### 6.2.3.10 恒定探头响应的槽的最小长度

测量步骤如下：

##### a) 参考试块

应使用A5试块进行本条测量。

##### b) 探头扫查

在参考块表面上，探头的首选扫查方向垂直于槽，使探头的中心通过每个槽的中间位置进行线性扫查。

##### c) 测量结果

从第一个槽开始测量，该槽的长度要比测量的探头覆盖宽度长，按槽递增的长度测量，记录长度为  $l_i$  的每个槽  $i$  的最大信号  $S_i$ 。

$l_{\min}$  是信号  $(S_i - S_{i-1}) / S_{\text{ref}} \leq 0.1$  的槽长  $l_i$  中最小长度，除非在应用技术文件中另有其他规定。

$l_{\min}$  是不改变探头响应的最小槽长。任何较长的槽将给出同样的响应。

检测期间探头性能的更详细信息能从所有槽标绘的曲线得出。

#### 6.2.3.11 恒定探头响应的表面开口槽的最小深度

测量步骤如下：

##### a) 参考试块

应使用A4试块进行本条测量。

##### b) 探头扫查

在参考块表面上，探头的首选扫查方向垂直于槽，使探头的中心通过每个槽的中间位置进行线性扫查。

##### c) 测量结果

对于深度为  $d_i$  的槽  $i$ ，记录所有槽  $i$  信号  $S_i$  的最大信号。

$d_{\min}$  是信号  $(S_i - S_{i-1}) / S_{\text{ref}} \leq 0.1$  的最小深度，除非在应用技术文件中另有其他规定。

$d_{\min}$  是引起探头响应的表面开口槽的最小深度。

#### 6.2.3.12 提离效应

测量步骤如下：

##### a) 参考试块

应使用A1试块进行本条测量。

##### b) 探头扫查

探头放在试块的平衡区域上，并按规定的步距垂直试块表面移动，例如：使用不导电的薄垫片实现。当探头与参考块接触（即  $z=0$ ）时，对探头进行平衡。

##### c) 测量结果

依据规定的步距改变  $z$ ，绘制  $S(z) / S_{\text{ref}}$  曲线。

提离效应由  $S(z)$  与  $z$  的关系曲线来表征。

#### 6.2.3.13 探头提离对槽的响应

测量步骤如下：

**a) 参考试块**

应使用A1试块进行本条测量。

**b) 探头扫查**

探头的首选扫查方向垂直于槽，在槽的中心上方进行线性扫查。

探测偏离从零到一个代表影响区域边缘的值变化，该值由应用技术文件规定。

对于每个探头偏离，在试块平衡区域上平衡探头。

**c) 测量结果**

对每个探头偏离 $z$ ，重复6.2.3.2中规定的测量。

探头偏离对缺陷信号的影响通过绘制 $S_{\max}(z)/S_{\text{ref}}$ 与 $z$ 的关系曲线来表征。

**6.2.3.14 有效透入深度**

测量步骤如下：

**a) 参考试块**

应使用A3试块进行本条测量。

**b) 探头扫查**

探头放在每个试块的中心上，并不移动。

**c) 测量结果**

在厚度最小的试块上平衡探头。

$S_0$ 是在最厚的试块上得到的信号。

A3试块上获得的厚度为 $t$ 的信号： $t = S(t)$ ， $S(t)$ 是依据 $t$ 标绘的。

有效透入深度 $P_{\text{eff}}$ 是 $[S(t) - S_0]/S_0 \leq 0.1$ 对应的 $t$ 值，除非在应用技术文件中另有其他规定。

**6.2.3.15 近表面槽的有效检测深度**

测量步骤如下：

**a) 参考试块**

应使用A1试块和A3试块进行本条测量。

**b) 探头扫查**

对放置在探头和A1试块位置之间的不同厚度的A3试块，重复6.2.3.2的操作。

**c) 测量结果**

用每个A3试块平衡探头，依据试块厚度 $t$ 标绘信号 $S_{\max}(t)$ 。

有效深度 $D_{\text{eff}}$ 是 $[S(t) - S_0]/S_0 \leq 0.1$ 给出的 $t$ 值，除非在应用技术文件中另有其他规定。

在零厚度（对表面断裂缺陷不灵敏的探头）不能产生 $S_{\max}(t)$ 的最大值的情况下，那么应使用较大厚度 $t$ 获得的最大值代替 $S_{\max}(0)$ 。

**6.2.3.16 转换信号**

从预先制定的试块上获得的转换信号能作为绝对标度以比较不同的探头信号。

此信号不能用于表征探头自身的性能。测量步骤如下：

**a) 参考试块**

参考试块A6与具体应用无关，其尺寸和材料是规格化的：高导电率、低导电率的非铁磁性材料及低导电率的铁磁性材料。尽管如此，试块A6应与使用的A1~A5试块具有相同的类别。

试块的性能、允差和制造要求在附录A中给出。参考试块A6见图10。

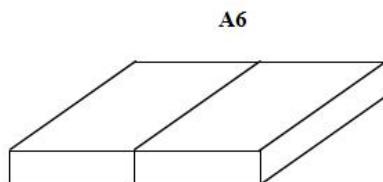


图 10 参考试块 A6

### b) 探头扫查

探头置于槽和相邻边缘之间的中间位置，在试块上平衡探头。

在参考试块表面上，探头的首选扫查方向垂直于槽，使探头的中心通过槽的中间位置进行线性扫查。

### c) 测量结果

用在6.2.3.2中获得的设置调整仪器。应验证在随后的测量过程中未产生饱和信号。

扫查过程中信号的最大值即为转换信号  $S_{\text{trans}}$ 。

如果发生饱和，则将仪器调整到较小增益  $G_{\text{low}}$ 。在这种情况下测量的结果是： $S_{\text{trans}} \times G / G_{\text{low}}$ 。

## 6.2.3.17 相位角转换信号

铁氧体能被用于得到具有重现性的相位转换信号。铁氧体的形状和探头到铁氧体的距离是不相关的。

为了获得信号，有必要在探头的首选扫查方向上，进行探头/铁氧体的相对移动。

记录参考信号的相位角和（或）转换信号的相位角。

## 6.2.4 同轴探头

### 6.2.4.1 总体要求

除非另有规定，否则：

——本条测量适用于圆柱形和圆形横截面的内穿式或外穿式同轴探头。应以应用技术文件规定的恒定探头偏离进行测量；

——测量结果将涉及信号的幅值和相位。

非圆形横截面的同轴探头的检验，应按照应用技术文件个案处理。

### 6.2.4.2 参考试块

本条中规定了图11~图16示出的参考试块(B1~B4、C1~C4)。

参考试块包括管材或棒材。

参考试块的长度  $L$  需大于制造商标明的探头端部效应的4倍。当这个数据未知时，应由沿扫查方向的探头有效扫查范围代替。

管壁厚度（或棒材直径）在应用技术文件中规定。管壁厚度（或直径）应在管材（或棒材）的整个长度上保持一致。

如果以工业制造的管材作为参考试块，且在探头技术条件中规定的标称最低频率下，参考试块的厚度至少是标准透入深度的4倍时，则管壁厚度变化造成的影响可以忽略。

每个试块的详细要求应在工艺规程中给出。

仅考虑探头平行于参考试块的轴线扫查时的性能，参考试块的详细规定如下所述：

a) 试块B1和试块C1，如图11所示。

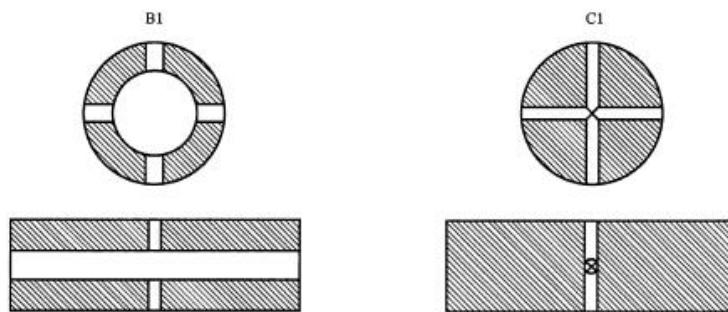


图 11 试块 B1 和 C1

在同一横截面上,管材试块的4个通孔和棒材试块的2个通孔,其直径(至少为0.6 mm)由应用技术文件规定。

b) **试块B2和试块C2**, 如图12a) 所示。

试块B2的尺寸与试块B1相同,但仅有一个通孔,其孔径是试块B1上通孔孔径的2倍。

试块C2的尺寸与试块C1相同,但仅有一个孔,孔的深度等于棒的半径。

c) **试块B3和试块C3**, 如图13所示。

管材试块B3与试块B1有相同的尺寸,棒材试块C3与试块C1有相同的尺寸,在同一轴向直线上均匀排列 $n$ 个纵向的槽。

所有槽的横向剖面相同。槽的长度的 $l$ 以恒定步长从0 mm增加到按照6.2.4.5方法测定的端部效应距离的最大值。管材试块,槽的深度等于管壁厚度。棒材试块,槽的深度等于棒直径的一半。这些深度大于按照6.2.4.12测量的有效透入深度,能使用较小深度的槽。两个相邻槽的间距是探头覆盖长度的5倍。

第一个槽和最后一个槽的端部与它们各自相邻的管端部、棒端部之间的距离应是端部效应的2.5倍。

d) **试块B4和试块C4**, 如图12b) 所示。

试块B4管内径比B2大,其余与B2相同。

试块C4的直径比C2小,其余与C2相同。

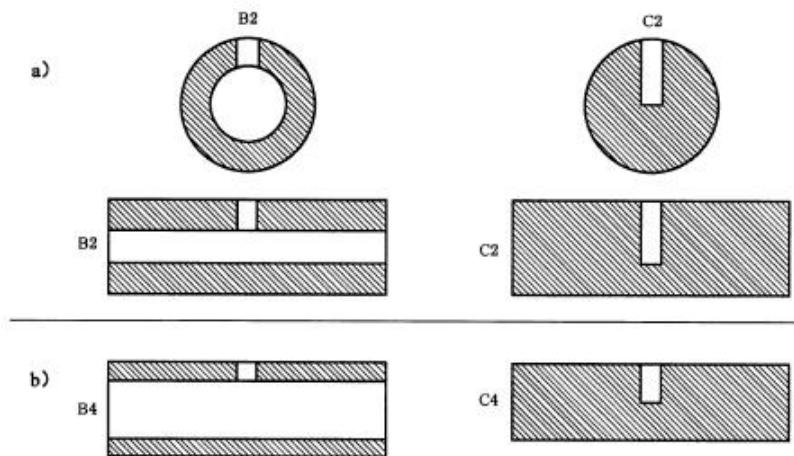


图 12 试块 B2、C2 和 B4、C4

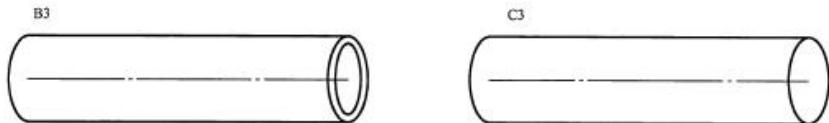


图 13 试块 B3 和 C3

## e) 试块B5和试块C5, 如图14所示。

这是与B1相同的一系列管, 管壁厚保持不变, 管内径逐个增加。

这是与C1相同, 直径逐个减小的一系列棒。

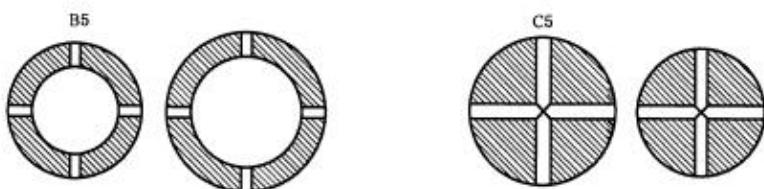


图 14 试块 B5 和 C5

## f) 试块B6和试块C6, 如图15所示。

这是与B1相同的一系列管, 内径保持不变, 管厚逐个增加, 或仿制这种情形的一根单个的管。

这是与C1相同的一系列棒, 棒的直径保持不变且中心孔直径逐个增加, 或仿制这种情形的一根单个的棒。

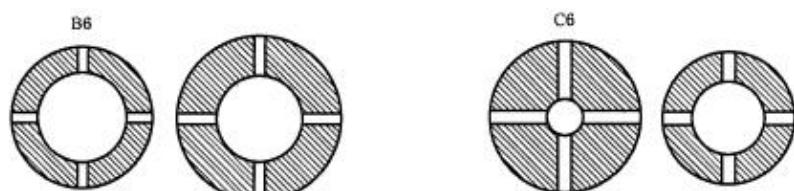
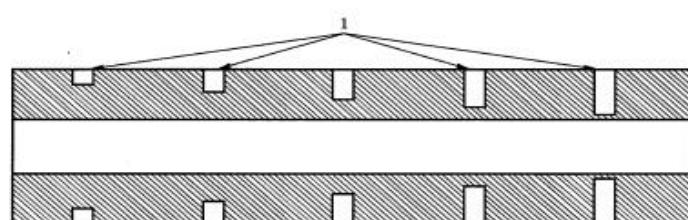


图 15 试块 B6 和 C6

## g) 试块B7, 如图16所示。

与试块B1相同的管, 具有矩形截面的环形凹槽。

凹槽宽度等于试块B1上孔的直径。凹槽深度以应用技术文件规定的步长递增。两个凹槽的间隔如6.2.4.8规定的那样为探头覆盖长度的5倍。



标引序号说明:

1 ——360°凹槽。

图 16 试块 B7

#### 6.2.4.3 参考信号

测量步骤如下：

##### a) 参考试块

应使用试块B1（或试块C1）进行本条测量。

##### b) 测量结果

在管材（或棒材）L/4 的位置处平衡探头，探头在孔的上方扫查。

调节仪器，使扫查中获得的最大信号值对应于仪器动态范围的某个给定值（例如：25%）。在后续的测量过程中应确认未发生信号饱和。

参考信号  $S_{ref}$  是扫查过程中信号的最大值。

参考信号的相位角作为随后测量的初始相位角。

在后续条款中，所有的测量结果都应使用  $S_{ref}$  表示。

#### 6.2.4.4 探头位置标识

按照下面给出的测量方法，标在探头上的探头位置标识明确地规定为探头的电中心。

探头的尺寸和形状或探头响应的许用位置能标记探头位置标识。

当这个标识不能在探头上准确地标注时，应以示意图方式，或用标记到探头上某一固定点的距离的方式表示。

测量步骤如下：

##### a) 参考试块

应使用试块B1（或试块C1）进行本条测量。

##### b) 测量结果

在管材（或棒材）L/4 的位置处平衡探头，以通过 3L/4 的孔的路径扫查试块。

与孔同一轴线位置的探头的点相对应的探头位置标识处有一个峰值信号，该信号为最大值（例如：绝对信号）。

有两个最大值的位置，探头位置标识规定如下：

——对于如上所述的第一个最大值，测定第一个标记；

——对于第二个最大值，测定第二个标记。

探头位置标识应标在那两个标记的等距离位置。

#### 6.2.4.5 端部效应

测量步骤如下：

##### a) 参考试块

应使用试块B1（或试块C1）进行本条测量。

在管材（或棒材）L/4的位置处平衡探头。探头朝向试块的端部移动。

##### b) 测量结果

端部效应是用探头位置标识到试块边缘的距离表征。其信号  $S$  如式（3）所示。

不改变探头的取向，应在试块的其他端部重复进行同一测量。

#### 6.2.4.6 轴对称性

测量步骤如下：

##### a) 参考试块

应使用试块B2（或试块C2）进行本条测量。



#### 6.2.4.11 填充效应

由于本性能与应用相关，因此不作为探头基本功能特性。如果需要，下列测量应是必要的。

##### a) 参考试块

应使用试块B5（或试块C5）进行本条测量。

##### b) 测量结果

###### 1) 几何效应

在试块穿过横截面的中心位置和 L/4 处平衡探头。

此测量信号为  $S_0(D)$ ， $D$  为管内径（棒的直径）。

依据  $D$  标绘  $S_0(D) / S_{ref}$ 。

###### 2) 孔响应效应

轴向移动探头分别扫查每根管和每根棒试块。 $S_{max}(D)$  为扫查期间获得的最大信号。依据  $D$  标绘  $S_{max}(D) / S_{ref}$ 。

#### 6.2.4.12 有效透入深度

测量步骤如下：

##### a) 参考试块

使用试块B6（或试块C6）进行本条测量。

##### b) 测量结果

用最小厚度的试块平衡探头。

$S_0$  是在最厚的试块上获得的信号。分别在厚度为  $t$  的B6和C6试块上测得的信号为  $S(t)$ ，标绘  $t$  的函数  $S(t)$ 。

有效透入深度  $P_{eff}$  是  $[S(t)-S_0] / S_0 \leq 0.1$  对应的  $t$  值，除非在应用技术文件中另有其他规定。

#### 6.2.4.13 B7 试块检测的有效深度

本性能仅应对内穿式同轴探头进行检验。

测量步骤如下：

##### a) 参考试块

应使用试块B7进行本条测量。

##### b) 测量结果

在B1上远离凹槽区域平衡探头。

从最深凹槽获得的信号为  $S_1$ 。

对于每个  $S_{max} / S_{ref} = S_i$  的凹槽， $S_i / S_1 < 0.1$  规定为在B7试块上的检测限值。

### 6.3 归一化阻抗平面图

仅在使用单个接收线圈的绝对式探头时考虑本条测量方式，它表征接收部件的特征。

应使用阻抗仪进行测量。保持与允许一样小的探测间距。

**参考试块：** 试块A3用于表面探头（用最厚的试块）；

试块B1或C1用于同轴探头。

探头置于 L/4 处。

根据频率的变化标绘归一化阻抗平面图。

### 7 连接部件的影响

当探头接上连接部件时，电特性和功能特性都会受到影响。

应通过重复6. 1和6. 2中规定的测量方法来评价这些影响。

特别重要的是：

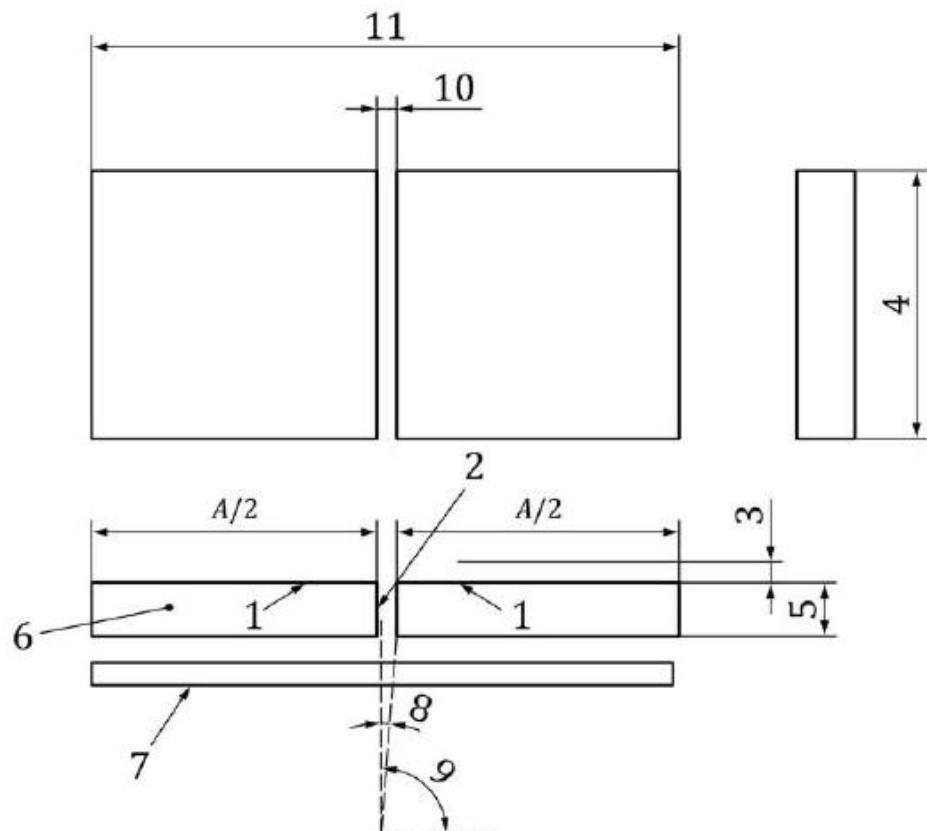
——幅值响应，和

——相位响应。

附录 A  
(资料性附录)  
参考试块 A6

#### A.1 标称值和性能允差

参考试块A6如图A.1所示。



标引序号说明：

- 1 —— 工作表面；
- 2 —— 缺口表面；
- 3 —— 边缘位移  $E$ ；
- 4 —— 试块长度  $B$ ；
- 5 —— 试块高度  $C$ ；
- 6 —— 导电系数  $\sigma$ ；
- 7 —— 支承结构；
- 8 —— 角度偏离  $F$ ；
- 9 —— 工作表面的相关角度  $G$ ；
- 10 —— 缺口宽度  $D$ ；
- 11 —— 试块宽度  $A$ 。

图A.1 转换信号的试块A6

参考试块A6的标称值和性能允差见表A.1。

表A.1 标称值和性能允差

性能	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C<sup>a</sup></i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>G</i>	$\sigma_{Aust}^c$	$\sigma_{Af}^f$
标称值	$\geq 4$ 倍探头直径 $\phi \geq 100$ mm	$\geq A/2$	$> 3\delta^b$ $\geq 5$ mm	0.1 mm	0 mm	0°	90°	1.5 MS/m	30 MS/m
标称值 许用偏差	±1 mm	±1 mm	±0.5 mm	±0.05 mm	≤0.1 mm	≤0.1°	±5°	±0.5 MS/m	±10 MS/m

<sup>a</sup> 建议用于变化的频率：  
 $c=5$  mm导磁材料（例如：低合金钢）；  
 $c=5$  mm高导电性材料（例如：铝合金）；  
 $c=15$  mm低导电性材料（例如：18/8钢）。

<sup>b</sup>  $\delta$ ——标准透入深度。

<sup>c</sup> 仅与非导磁材料相关。

## A.2 制造

建议用铣削和研磨的方法制造参考试块A6，也能用线切割方法代替。试块缺口表面平均粗糙度等级宜至少是0.8  $\mu\text{m}$ ，即CLA(N6)。其余部分表面平均粗糙度等级宜至少是1.6  $\mu\text{m}$ ，即CLA(N7)，如果可能平均粗糙度亦可为0.8  $\mu\text{m}$ ，即CLA(N6)。

支承结构宜是同一材料或是非导电材料。为了防止参考试块弯曲，试块厚度应足够大。

## 参 考 文 献

- [1] ISO 15549 Non-destructive testing—Eddy current testing—General principles
  - [2] ISO 15548-1 Non-destructive testing—Equipment for eddy current examination—Part 1: Instrument characteristics and verification
-