

ICS 19.100
N 77
备案号: 45654—2014

JB

中华人民共和国机械行业标准

JB/T 11780—2014

无损检测仪器
阵列涡流检测仪性能和检验

Non-destructive testing instrument
—Characterization and verification of array eddy current testing instrument

2014-05-06 发布

2014-10-01 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

JB/T 11780—2014

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 功能参数.....	2
5 检验方法.....	4
附录 A (规范性附录) A 型标准试块.....	8
附录 B (规范性附录) B 型标准试管.....	9
附录 C (规范性附录) 分辨力检测用标准试块.....	10
附录 D (规范性附录) 灵敏度检测用标准试块.....	11
附录 E (规范性附录) 频差法原理.....	12
图 1 典型的变阵涡流扫描规则.....	2
图 2 阵列涡流检测显示方式示意.....	3
图 3 涡流信号的混频处理示意.....	5
图 A.1 A 型标准试块示意.....	8
图 B.1 B 型标准试管示意.....	9
图 C.1 分辨力检测用标准试块示意.....	10
图 D.1 灵敏度检测用标准试块示意图.....	11
图 E.1 解调电路.....	12
表 1 描述数据设置表格示例.....	6
表 2 相位角度值与理论值对比.....	6

JB/T 11780—2014

前 言

本标准按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本标准由中国机械工业联合会提出。

本标准由全国试验机标准化技术委员会（SAC/TC122）归口。

本标准起草单位：爱德森（厦门）电子有限公司、南昌航空大学、国核电站运行服务技术有限公司、北京航空材料研究院、空军装备研究院航空所、海军航空装备无损检测中心、装甲兵工程学院、华北电力科学研究院。

本标准主要起草人：林俊明、任吉林、叶琛、徐可北、雷洪、孙金立、董世运、胡先龙、曹刚、赵晋成。

本标准为首次发布。

无损检测仪器 阵列涡流检测仪性能和检验

1 范围

本标准规定了阵列涡流检测仪（以下简称仪器）的术语和定义、功能参数和检验方法。
本标准适用于阵列涡流检测仪。

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 12604.6 无损检测 术语 涡流检测

3 术语和定义

GB/T 12604.6 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

相位线性 phase linearity

涡流检测的相位线性表示输出分量相位角与输入信号相位角两者间差值的稳定性，即输入 $0^\circ \sim 360^\circ$ 变化范围的相位角度时，在输出端获取的输入-输出最大线性偏差。

3.2

最大激励电压 maximum output voltage

最大激励电压是指当信号发生器输出不加载荷且将其输出电压调整到最大时的峰-峰值电压 V_{p-p} 。

3.3

阵列涡流检测 array eddy current testing

具有按一定方式排布、且独立工作的多个检测线圈，能够一次性完成大面积扫查及成像的涡流检测技术。

3.4

变阵涡流检测 variable array eddy current testing

点、线、面阵列涡流探头中各阵元线圈激励/接收方式可以改变的一种阵列涡流检测技术。

3.5

变阵涡流扫描规则 variable array eddy current scanning rule

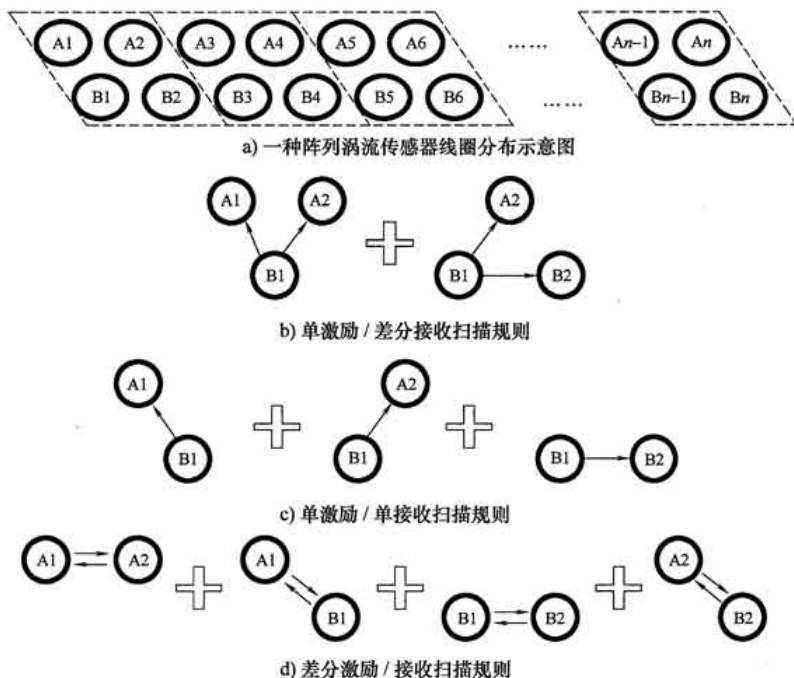
根据检测要求，采用电子切换技术改变和控制阵列涡流探头中每个阵元的激励顺序及频率、强度、滤波等参数的激励-接受方式。典型的变阵涡流扫描规则如图 1 所示。

3.6

通道间串扰抑制 anti-disturbing among channel

仪器抵抗或削弱不同检测信号通道之间相互干扰的能力，又称为通道隔离。

JB/T 11780—2014



注：方向箭头“→”的始端线圈为发射线圈，前端线圈为接收线圈。

图 1 典型的变阵涡流扫描规则

4 功能参数

4.1 频率范围

仪器工作频率范围宜在 64 Hz~5 MHz。

4.2 频率偏差

应具有两个或两个以上的独立可选、同时激励的频率，且频率宜连续可调。频率偏差的最大允许值为±1%。

4.3 通道数

仪器应至少具有 8 个物理通道。

4.4 相位调节

仪器应具有 360° 相位旋转功能，且具有手动或自动相位测量功能。

4.5 相位步进

相位应连续可调，步进不大于 1°

4.6 增益

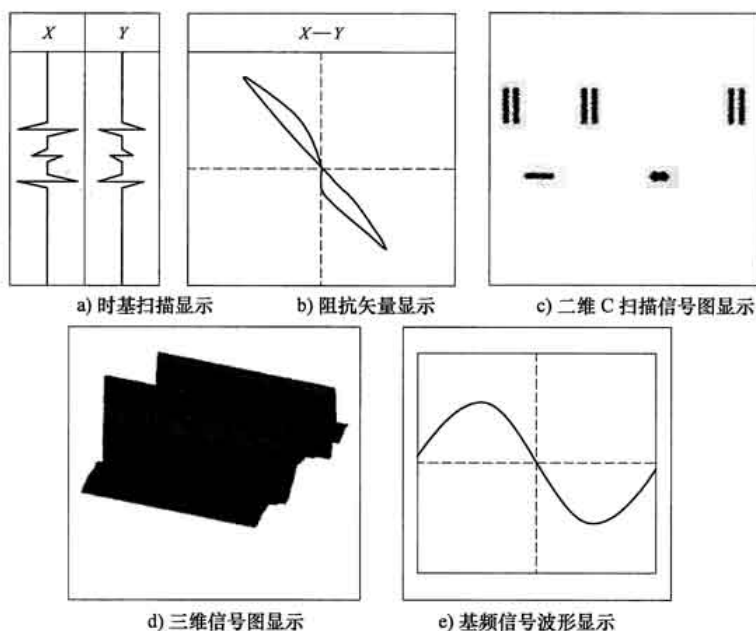
仪器增益范围应不小于 50 dB。宜具有 X-Y 增益比调节功能。

4.7 混频

仪器应具有混频单元，推荐自动混频功能。

4.8 显示方式

仪器应至少具有时基扫描、阻抗矢量平面图、二维 C 扫描平面图等三种涡流检测信号的显示方式，如图 2 的 a)、b)、c) 所示。推荐仪器具有三维信号图显示和带刻度标识的检波前基频信号波形显示功能，如图 2 的 d) 和 e) 所示。



注：X——涡流信号矢量的水平分量；Y——涡流信号矢量的垂直分量。

图 2 阵列涡流检测显示方式示意

4.9 相位线性偏差

相位最大线性偏差应不大于 1° 。

4.10 增益准确度

增益标称值与测量值间的最大偏差应不大于 1 dB。

4.11 最大激励电压

最大激励电压应不小于 5 V。

4.12 信号通道间的一致性

4.12.1 幅度差异

不同检测信号通道在使用同一探头以及相同的激励频率、增益、相位等参数条件下，对于标准试样

JB/T 11780—2014

上同一个人工缺陷的响应信号幅度差异应不大于 3%。

4.12.2 相位差异

不同检测信号通道在使用同一探头以及相同的激励频率、增益、相位等参数条件下，对于标准试样上同一个人工缺陷的响应信号，相位差异的最大允许值为 5° 。

4.13 通道间串扰抑制

通道间串扰抑制能力应不小于 50 dB。

4.14 分辨力

分辨力为仪器能区分与扫查方向垂直的两条裂纹的最小间距。

4.15 灵敏度

仪器能检测到的人工缺陷的最小深度。

5 检验方法

5.1 检验条件

仪器应在下列条件下进行检验：

- a) 环境温度 $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ ；
- b) 相对湿度 45%~75%；
- c) 交流供电电压为 220 V，误差为 $\pm 2\%$ ；
- d) 交流供电频率为 50 Hz，误差为 $\pm 1\%$ ；
- e) 直流供电电压，误差为额定值的 $\pm 1\%$ ；
- f) 应避免外电磁场干扰；
- g) 通风良好；
- h) 避免阳光直射。

5.2 检验用器具

检验需要下列器具：

- a) 0.5 级或优于 0.5 级的交、直流电压表和电流表；
- b) 信号发生器：幅度误差不大于 2%，频率误差不大于 0.1%；
- c) 1 级或优于 1 级的千分表和扭簧比较仪；
- d) 频带不低于 50 MHz 的双踪示波器；
- e) 频率计或频谱分析仪；
- f) 数字相位计：测量误差不大于 0.5° ；
- g) 阻值为 50 Ω 、功率为 3 W 的无感电阻；
- h) 附录 A~附录 D 中的校准试块。

5.3 性能检验

5.3.1 激励频率偏差检测

在涡流检测的频率范围内，等间隔设置 10 个检测频率，对发生器输出频率进行测量。频率标称值

的误差 Δf 由公式(1)计算:

$$\Delta f = \frac{f_d - f_m}{f_d} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

式中:

f_d ——频率标称值,单位为赫(Hz);

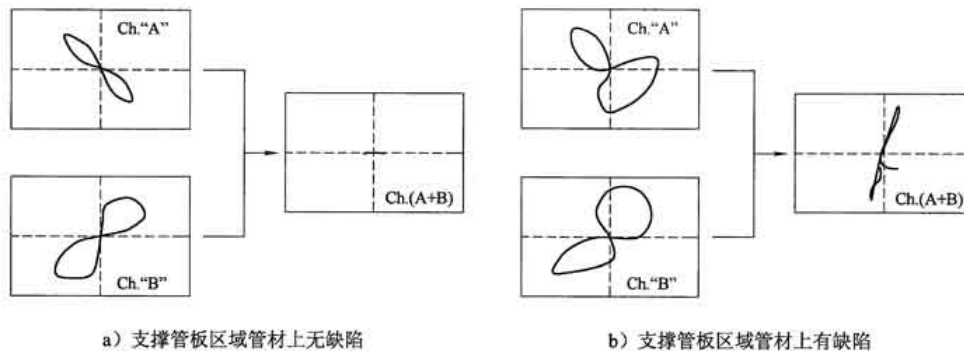
f_m ——频率测量值,单位为赫(Hz)。

使用示波器、频率计或频谱分析仪测量频率。试验后应给出被测量范围内的最大频率偏差。

5.3.2 混频检测

用选定的内穿式差动探头和附录B中的B型校准试块进行试验,试验方法如下:

- 设 f_1 为某一检测通道的工作主检频率(10 kHz~500 kHz), f_2 为另一检测通道的工作辅检频率,且 $f_2=f_1/2$;
- 两个频率的激励信号同时作用于同一探头,然后从这一探头同时拾取两个频率的响应信号,分别注入各自的检测信号通道;
- 在B型校准试块的无缺陷位置外面套一个内径不小于标准试管外径、宽度不小于15 mm、壁厚不小于5 mm的45钢圆环,使内穿式探头扫标准试管上人工通孔和外面的钢环,在两个检测通道分别获得响应信号;
- 分别调节两个检测通道的增益和相位参数,使两个通道上的模拟支撑管板的钢环信号幅度相同,相位角相差一个确定的角度;
- 对两个通道的涡流响应信号进行混频处理,得到削弱了支撑管板干扰的人工通孔的涡流响应信号,如图3所示;
- 以经过混频处理后得到的 $\phi 1.7\text{mm}$ 通孔响应信号的幅值与残余的干扰信号幅值之差(dB数)作为仪器混频性能的评价指标,要求不小于10 dB。



注: Ch. "A" ——通道 "A"; Ch. "B" ——通道 "B"; Ch. (A+B) ——混频 (A+B)。

图3 涡流信号的混频处理示意

5.3.3 相位角线性偏差检测

采用附录E中的频差法,利用采样频率 f_s 大于 $36f_d$ (采样步进 10°)的数据处理系统同步获取两个输出分量。

表1列出了一个周期输出信号的设置数据。

JB/T 11780—2014

表 1 描述数据设置表格示例

<i>i</i>	1	2	3	4	5	6	...	31	32	33	34	35	36
<i>X</i>													
<i>Y</i>													

将用于表 1 中的 *X* 和 *Y* 的分量减去它们的连续分量获取的值 X_{irec} 和 Y_{irec} , 再列入表 2 中。连续分量为 X_{av} 或 Y_{av} , 它们是全部采样的平均值, 由此 $X_{irec}=X_i-X_{av}$ 和 $Y_{irec}=Y_i-Y_{av}$ 。

第 *i* 次采样的相位角按公式 (2) 和公式 (3) 计算:

$$\text{若 } X_{irec} \geq 0 \quad \phi_{mi} = \arctan(Y_{irec} / X_{irec}) \dots\dots\dots (2)$$

$$X_{irec} < 0 \quad \phi_{mi} = \arctan(Y_{irec} / X_{irec}) + 180 \dots\dots\dots (3)$$

此值与第 *i* 次采样的理论值相比较: $\phi_{thi} = i(f_d / f_c) \times 360 + \phi_{mi}$ 。

数据组在表 2 中列出。

表 2 相位角度值与理论值对比

<i>i</i>	1	2	3	4	5	6	...	31	32	33	34	35	36
X_{irec}													
Y_{irec}													
ϕ_{mi}													
ϕ_{thi}													

相位角线性的最大偏差值按公式 (4) 计算, 单位为度 ($^{\circ}$)。

$$\Delta\phi_{mmax} = \max(\phi_{mi} - \phi_{thi}) \dots\dots\dots (4)$$

5.3.4 增益准确度检测

若信号发生器不包括衰减器, 则应在信号发生器和仪器之间安装已校准的衰减器。

利用最小增益值作为初始条件测得的每个分量输出值并形成参考值 V_{xref} 和 V_{yref} 。仪器的增益范围至少应分成五档, 例如 6 dB 或 10 dB。利用相同档次加大仪器的增益并减小信号发生器输出信号的幅度。每档可测量两个输出分量值 V_x 和 V_y 。

增益偏差按公式 (5) 和公式 (6) 计算, 单位为分贝:

$$E_x = 20\lg(V_x / V_{xref}) \dots\dots\dots (5)$$

$$E_y = 20\lg(V_y / V_{yref}) \dots\dots\dots (6)$$

最大增益偏差应满足 4.10 要求。

5.3.5 最大激励电压检测

仪器输出端连接 50 Ω 无感电阻, 利用示波器或电压表测量最大激励电压。测量仪器应具有高的输入阻抗 (大于 1 M Ω), 并且上限截止频率应包含仪器的频率范围。

5.3.6 不同检测通道的一致性检测

5.3.6.1 幅度差异检测

在 50 kHz~500 kHz 频率范围内选定一个激励频率设定每个检测信号通道的工作频率, 并利用附录

JB/T 11780—2014

A 中 A 型校准试块上的 0.5 mm 刻槽或附录 B 中 B 型校准试块上的 $\phi 1.7$ mm 通孔调整仪器，保持仪器各通道的增益、相位等参数设定一致。

在相同参数条件下，使用同一探头逐通道地（或者推荐将同一探头信号同时接入各通道）针对同一标准试样上指定人工缺陷进行检测，扫查时，探头应紧贴标准试块，以避免提高效应影响检测结果。记录不同检测通道上的响应信号幅值 (A_1 、 A_2 、 A_3 、 \dots 、 A_n)。

以 $\Delta A = A_{\max} - A_{\min}$ 作为涡流仪不同检测通道幅值差异的评价结果， $\Delta A / A_{\max}$ 应满足 4.12.1 的要求。

5.3.6.2 相位差异检测

试验方法同 5.3.6.1，记录不同检测通道上的相位 (θ_1 、 θ_2 、 θ_3 、 \dots 、 θ_n)。 $\Delta\theta = \theta_{\max} - \theta_{\min}$ 作为涡流仪不同检测通道相位差异的评价结果， $\Delta\theta$ 应满足 4.12.2 的要求。

5.3.7 通道间串扰抑制检测

所有通道设置为同一频率，并都应进行测试。

每个通道的输入端依次连接到外部信号发生器。外部信号发生器应输出最大线性电压。其他通道增益设置为最大值，以便测量每个通道的输出分量。

对于 n 个通道，第 j 个通道的输出 V_{Sj} 按公式 (7) 计算：

$$|V_{Sj}| = \sqrt{V_{Sj}^2 + V_{Sj}^2} \dots\dots\dots (7)$$

式中：

$j=1, 2, \dots, n$ 。

当这个信号反馈到第 i 个通道时，该通道的串扰因子 t_i 按公式 (8) 计算：

$$t_i = 20 \lg \left\{ \max_{j \neq i} \frac{|V_{Sj}|}{|V_{Si}|} \right\} \dots\dots\dots (8)$$

仪器的串扰因子为 $t = \max(t_i)$ ，应满足 4.13 的要求。

5.3.8 分辨力检测

在进行平衡和提高效应补偿后，在附录 C 的分辨力检测用标准试块上，以均匀的速度沿着切槽中垂线扫查切槽，扫查时应保证每个阵元的扫查方向与切槽垂直，应清晰观测到各切槽信号。

5.3.9 灵敏度检测

在进行平衡和提高效应补偿后，在附录 D 的灵敏度检测用标准试块上，以均匀的速度沿着切槽中垂线扫查切槽，扫查时应保证每个阵元的扫查方向与切槽垂直，应清晰观测到各切槽信号。

JB/T 11780—2014

附录 A
(规范性附录)
A 型标准试块

A.1 材料与规格

A.1.1 材料：20 钢或 45 钢。

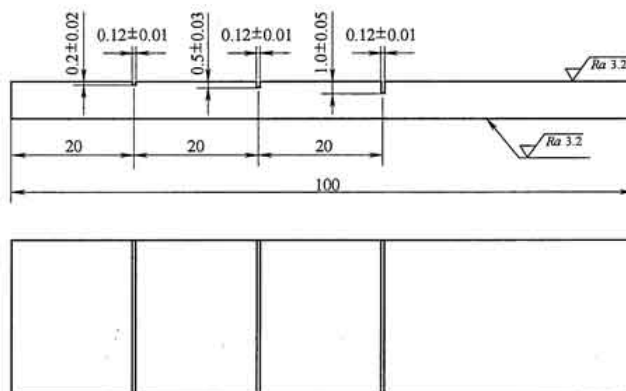
A.1.2 规格：如图 A.1 所示。

A.2 人工缺陷

A.2.1 人工缺陷为线切割切槽。

A.2.2 人工缺陷的尺寸、位置如图 A.1 所示。试块宽度根据选用的阵列涡流探头扫查面积确定。

单位为毫米



技术要求：未注尺寸公差±0.1。

图 A.1 A 型标准试块示意

JB/T 11780—2014

附录 B
(规范性附录)
B 型标准试管

B.1 材料与规格

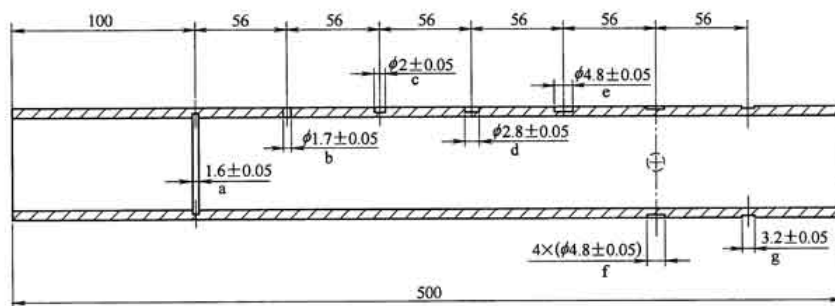
B.1.1 材料：H 系铜合金。

B.1.2 规格： $\phi 25 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$ 。**B.2 人工缺陷**

B.2.1 人工缺陷类型包括通孔、环形槽、平底孔。

B.2.2 人工缺陷的尺寸、位置如图 B.1 所示。

单位为毫米

技术要求：未注尺寸公差 ± 0.1 。

说明：

a——内环槽，槽深=壁厚 $\times 10\%$ ；

b——通孔；

c——平底孔，深度=壁厚 $\times 80\%$ ；d——平底孔，深度=壁厚 $\times 60\%$ ；e——平底孔，深度=壁厚 $\times 40\%$ ；f——4 个周向均匀分布的平底孔，深度=壁厚 $\times 20\%$ ；g——外环槽，槽深=壁厚 $\times 20\%$ 。

图 B.1 B 型标准试管示意

JB/T 11780—2014

附 录 C
(规范性附录)
分辨力检测用标准试块

C.1 材料与规格

C.1.1 材料牌号: 2 系铝合金 (淬火+固溶时效)。

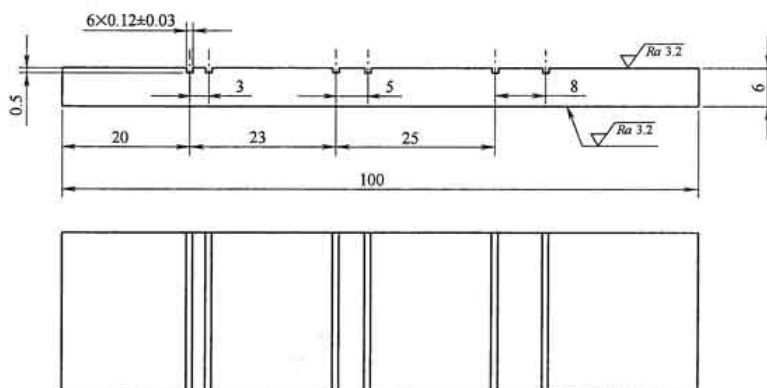
C.1.2 规格: 如图 C.1 所示。

C.2 人工缺陷

C.2.1 人工缺陷为线切割刻槽。

C.2.2 人工缺陷的尺寸、位置如图 C.1 所示。试块宽度根据选用的阵列涡流探头扫查面积确定。

单位为毫米



技术要求: 未注尺寸公差±0.1。

注: 六个槽深度相等, 均为 0.5。

图 C.1 分辨力检测用标准试块示意

JB/T 11780—2014

附录 D
(规范性附录)
灵敏度检测用标准试块

D.1 材料与规格

D.1.1 专用试块材料: 2 系铝合金 (淬火+固溶时效)。

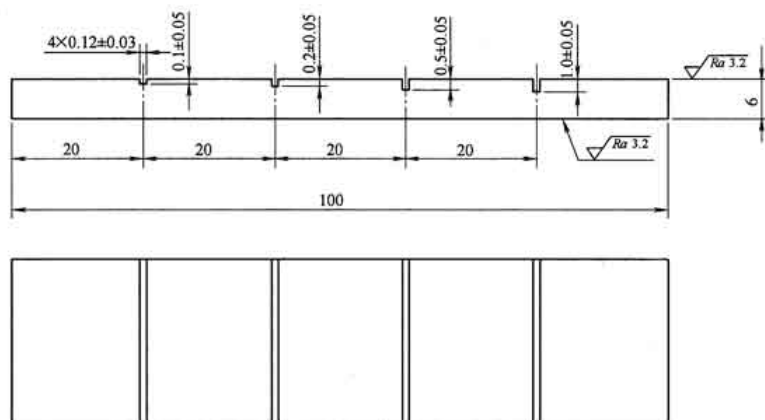
D.1.2 规格如图 D.1 所示。

D.2 人工缺陷

D.2.1 人工缺陷为线切割刻槽。

D.2.2 人工缺陷的尺寸、位置如图 D.1 所示。试块宽度根据选用的阵列涡流探头扫查面积确定。

单位为毫米



技术要求: 未注尺寸公差±0.1。

图 D.1 灵敏度检测用标准试块示意图

JB/T 11780—2014

附 录 E
(规范性附录)
频差法原理

本附录为多频涡流仪和带有滤波解调电路的频差法的例子。

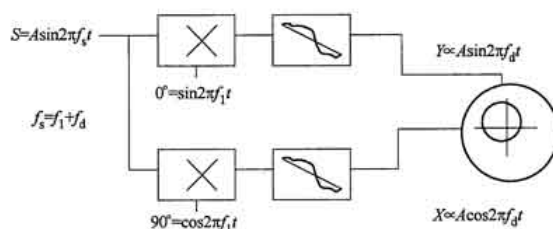


图 E.1 解调电路

此方法包括在多频涡流仪的输入端施加一个正弦电压，其频率与多频涡流仪的工作频率略有差别： $f_s = f_1 + f_d$ 。因此多频涡流仪的内部解调器电路对发生器频率 f_1 产生一个差频。在我们的例子中解调器电路包括对信号实数分量和虚数分量的确定。

$$S_X(t) = A \sin[2\pi(f_1 + f_d)t] \sin 2\pi f_1 t \quad \dots\dots\dots (E.1)$$

改写成

$$S_X(t) = \frac{A}{2} [\cos 2\pi f_d t - \cos 2\pi(2f_1 + f_d)t] \quad \dots\dots\dots (E.2)$$

$$S_Y(t) = A \sin[2\pi(f_1 + f_d)t] \cos 2\pi f_1 t \quad \dots\dots\dots (E.3)$$

改写成

$$S_Y(t) = \frac{A}{2} [\sin 2\pi f_d t + \sin 2\pi(2f_1 + f_d)t] \quad \dots\dots\dots (E.4)$$

多频涡流仪电路内部的低通滤波器抑制等式 (E.1) 和式 (E.2) 第二项中含有 $(2f_1 + f_d)$ 的频率。涡流仪输出 X 和 Y 幅值的两个信号同 A 成比例。可以用正弦和余弦函数对频率 f_d 进行调制。在多频涡流仪的理想条件下，加到示波器上的这两个电压，示波器屏幕显示一个正比于 A 的圆的半径，它标绘了 f_d 特性曲线，一般情况下，外部信号发生器频率和多频涡流仪已选频率的差频应比由制造商规定的多频涡流仪本身频宽的 10% 还小。若要测量多频涡流仪信号发生器频率，可以调整输入信号频率 f_s 以便使示波器停止屏幕上标绘的旋转轨迹。

此时 $f_1 = f_s$ 。



JB/T 11780-2014

版权专有 侵权必究

*

书号：15111 · 11971

定价：18.00 元

打印日期：2015年8月10日 F009