

ICS 19.100
N 78
备案号: 34823—2012



中华人民共和国机械行业标准

JB/T 5525—2011
代替 JB/T 5525—1991

无损检测仪器 单通道涡流检测仪性能测试方法

**Non-destructive testing instruments
characteristics measured method for one-channel
eddy current testing instrument**

2011-12-20 发布

2012-04-01 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

JB/T 5525—2011

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 技术要求	1
4.1 环境与工作条件	1
4.2 性能	1
5 涡流仪特性测量	4
5.1 发生器单元	4
5.2 输入级特性	6
5.3 信号处理	7
6 检验	12
6.1 一般要求	12
6.2 检验的级别	12
6.3 检验程序	12
6.4 修正操作	13
附录 A (资料性附录) 差频法原理	14
附录 B (资料性附录) 在涡流仪输出 O 和输入 I 之间线性范围内的测量方法	15
附录 C (规范性附录) 输入阻抗的替代测量法	16
图 1 涡流仪功能框图	1
图 2 信号发生器单元的内部阻抗示意图	5
图 3 对应饱和输出电压的最大输入容限电压的测量	7
图 4 频率响应	8
图 5 测量共模抑制的配置图	11
图 A.1 解调电路	14
图 B.1 线性范围的确定	15
图 C.1 测量输入阻抗的配置图	16
表 1 叙述数据设置表格的示例	10
表 2 相位角度值与理论值对比表	10
表 3 检验程序级别	13

I

JB/T 5525—2011

前 言

本标准代替JB/T 5525—1991《涡流探伤仪性能测试方法》。

本标准与JB/T 5525—1991相比，主要变化如下：

- 重新编写了本标准的前言（本版的前言，1991版的前言）；
- 修改了标准名称，将《涡流探伤仪性能测试方法》修改为《无损检测仪器 单通道涡流检测仪性能测试方法》；
- 将原标准中“检验”一词改为“检测”。

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。

本标准负责起草单位：长春机械科学研究院有限公司。

本标准参加起草单位：爱德森（厦门）电子有限公司。

本标准主要起草人：郭健、林俊明。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为：

- JB/T 5525—1991。

III

无损检测仪器 单通道涡流检测仪性能测试方法

1 范围

本标准规定了涡流检测仪性能测试方法。

本标准适用于单通道涡流检测仪（以下简称涡流仪）。对于多通道涡流检测仪的相关部分也可参照使用。

本标准未给出性能检验指标，也未规定验收准则，这些内容在应用技术文件中给出。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 12604.6 无损检测 术语 涡流检测

3 术语和定义

GB/T 12604.6 中确立的术语和定义适用于本标准。

4 技术要求

4.1 环境与工作条件

涡流仪应在下列条件下正常工作：

- a) (0~50)℃温度范围内；
- b) 相对湿度不超过 85%；
- c) 周围无强烈振动、无腐蚀性介质和无较强电磁场干扰的环境中；
- d) 交流电源电压的变化在额定电压的±10%以内。

4.2 性能

4.2.1 一般性能

应在涡流仪预热时间结束后进行性能测试。

图 1 中各个单元适用于涡流仪的功能特性。必要时，涡流仪的电性能由制造者提供。某些性能可以根据第 5 章描述的方法进行检测。

4.2.2 功能框图

典型的通用涡流仪功能框图如图 1 所示。



图 1 涡流仪功能框图

JB/T 5525—2011

4.2.3 发生器单元

激励源：发生器单元。

在交流激励条件下，（正弦、三角和矩形等波型）电性能定义如下。

- 发生器的类型：电流或电压；
- 激励的类型：单一频率；
- 频率设置：范围、步长、额定值偏差；
- 谐波失真；
- 激励电压设置：范围、步长、额定值偏差、最大输出电压和电流。

4.2.4 输入级电性能

输入级是探头与仪器的接口。要求在输入级进行阻抗匹配和信号放大。

输入级电性能定义：

- 输入阻抗与频率的相互关系；
- 增益设置范围、步长、额定值偏差；
- 最大输入电压；
- 相关共模工作参数。

4.2.5 高频信号处理

4.2.5.1 高频滤波

高频滤波减少与检测结果无关的频率分量，消除干扰。

在信号解调前使用的滤波器称之为载波频率滤波器（高频滤波器）。通常采用带通滤波器的形式，抑制与激励信号频率没有任何关系的信号频率。

高频滤波的电性能：

- 增益；
- 衰减 3dB 带宽；
- 衰减比；
- 传输响应。

4.2.5.2 高频放大

高频放大电性能：

- 增益设置范围、步长、额定值偏差；
- 输入信号范围；
- 带宽；
- 输出信号饱和电平。

4.2.5.3 解调

同步解调是从高频信号提取矢量分量。

解调的正极性信号的延迟将引起信号矢量顺时针旋转。解调信号的极性应是正向的，并应被确认。

解调信号的电性能：

- 基准信号波形，例如正弦、矩形和脉冲波；
- 每个基准信号波形的带宽；
- 相关相位的幅值偏差；
- 相关相位的相位偏移角度。

幅值解调是从高频信号提取低频幅值变量。

4.2.6 解调信号处理

4.2.6.1 矢量放大

一般地，矢量放大包含两个设计相同的传输通道。同步解调产生的矢量分量由这两个通道协同放大。

在某些检测仪器中可以用不同的增益放大这些分量。

矢量放大电性能定义为：

- 增益设置范围、步长、标称值偏差；
- 输入信号范围；
- 通带宽度；
- 输出饱和电平。

4.2.6.2 低频滤波

解调后使用的滤波器与低频滤波器有关（LF 滤波器）。选择适合使用的滤波器的频带宽度，例如探头摆动、扫查速度等。

低频滤波电性能：

- 增益；
- 衰减 3dB 带宽；
- 衰减比；
- 暂态响应。

4.2.6.3 相位设置

相位设置可以改变解调信号矢量的复平面显示的相位。

相位设置的电性能：

- 范围；
- 步长；
- 相位设置引起的信号幅值的变化；
- 显示相位与实际相位转角偏差。

4.2.7 输出和信号显示

显示的类型可以是指针式、硬拷贝或显示器。

显像的类型可以是复平面、时基、条形图或成像。

相关性能包括：

- 尺寸；
- 栅格的最大值和最小值；
- 满刻度显示的电压和时间范围；
- 传递因数，例如每小格的电压值；
- 线性度；
- 带宽。

可以是模拟、数字或逻辑输出。

模拟输出的电性能定义为：

- 电压或电流范围；
- 输出阻抗；
- 线性度；
- 带宽。

数字输出的电性能定义为：

- 串联或并联；
- 电压和电流的级别；
- 速度和格式化；
- 采样比；
- A/D 分辨力、范围和线性度。

JB/T 5525—2011

逻辑输出的电性能:

- 电压和电流级别;
- 设置延迟;
- 滞后作用;
- 有源高、低电平。

4.2.8 数字化

4.2.8.1 一般要求

实现数字化时,应定义如下电性能:

- 在信号处理过程中的数字化程度;
- 数字技术;
- A/D 分辨力;
- 采样比。

由厂商提供的信息应包括 4.2.8.2~4.2.8.5 的数据参量。

4.2.8.2 数字化程度

信号解调前或解调后都可以实现数字化。

4.2.8.3 数字技术

可以利用内部时钟或外部编码器实现数字技术。

4.2.8.4 A/D 分辨力

A/D 分辨力是将输入电压标称值变化成二进制数字的能力。

可以直接通过最大输入电压和分辨力读取二进制数字,二进制数字是一个相当有用的信息。

4.2.8.5 采样比

在 A/D 变换中使用的采样比用频率 (Hz) 表示。

5 涡流仪特性测量

5.1 发生器单元

5.1.1 激励频率

5.1.1.1 定义和测量条件

在仪器带负载的情况下对信号发生器输出频率进行测量。

示值误差 E_f (%) 按公式 (1) 计算:

$$E_f = \frac{V_d - V_m}{V_d} \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

式中:

- V_d ——示值;
- V_m ——被测量值。

应对整个被测量频率范围内的最大误差模量提出报告。

5.1.1.2 测量方法

可以使用差频法、频率计或频谱分析仪测量频率。

5.1.2 谐波失真

5.1.2.1 定义和测量条件

根据信号发生器产生的正弦波信号谐波分量,测量其与纯正弦波信号的偏差。

利用失真因子 K 描述谐波失真,按公式 (2) 计算:

$$K = \sqrt{\sum U_n^2} / U \dots\dots\dots (2)$$

K 给出近似值,见公式 (3):

JB/T 5525—2011

$$K = \frac{\sqrt{U^2 - U_1^2}}{U} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

- U ——交流分量方均根值;
- U_1 ——一次谐波(基波)方均根值;
- U_n —— n 次谐波方均根值。

根据 5.1 的要求,应在带载仪器的信号发生器输出端测量失真因子。
仪器在多频率条件下,应使用有效的测量仪器,例如频谱分析仪。
对每个频率的最大失真因子应做出说明。

5.1.2.2 测量方法

使用失真因子电桥、频谱分析仪或高通滤波器测量失真因子。

5.1.3 源阻抗

5.1.3.1 定义和测量条件

源阻抗 Z_s 是信号发生器单元的内部阻抗,见图 2a) 和图 2b), 在其各自输出端进行测量。

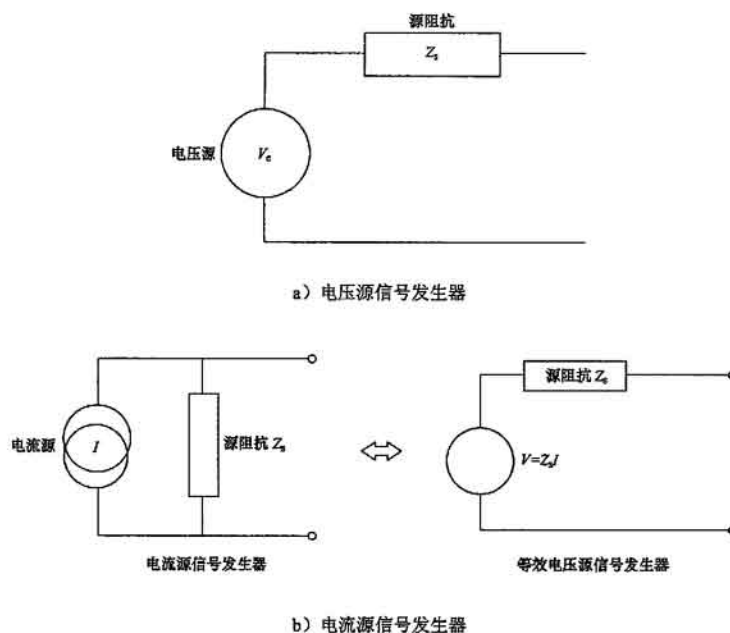


图 2 信号发生器单元的内部阻抗示意图

5.1.3.2 测量方法

若将源阻抗 Z_s 作为纯电阻考虑,可以推荐使用此方法。

信号发生器的输出用一个电阻 R_1 加负载(标称值 50Ω)。用一个适宜的电压表测量电压 V_1 。验证被测值应低于最大输出电压。

用电阻 R_2 (通常 $R_2=0.5 R_1$) 替换 R_1 并测量 V_2 ;

源阻抗 Z_s 用欧姆表示,按公式(4)计算:

JB/T 5525—2011

$$Z_s = \frac{V_1 - V_2}{\frac{V_2}{R_2} - \frac{V_1}{R_1}} \dots\dots\dots (4)$$

注1: 检验时, V_1 、 V_2 值和电流强度 V_1/R_1 、 V_2/R_2 要小于最大输出电压和电流。

注2: 选择 R_1 和 R_2 阻值决定 Z_s 测量值的精度。

5.1.4 最大输出电压 V_{0max}

5.1.4.1 定义和测量条件

最大输出电压是当信号发生器输出端不加负载, 并使其输出电压调整到最大时的峰-峰值电压。

5.1.4.2 测量方法

利用示波器或符合要求的电压表测量最大输出电压。测量仪器应具有高的输入阻抗 ($>1\text{ M}\Omega$), 并且带宽与涡流仪的频率范围相一致。测量仪器的典型最大适用频率至少应是涡流仪所用最大频率的两倍。

此测量值可以用图形表示。

5.1.5 最大输出电流 I_{0max}

5.1.5.1 定义和测量条件

最大输出电流是当信号发生器的输出端与由制造商确立的最小阻性负载连接时测得的电流峰值。

5.1.5.2 测量方法

设置信号发生器输出电流为最大。用测电流探头连接示波器或电流表测量最大输出电流。测量仪器应具有低的阻抗 (典型值低于最小阻性负载 10%), 最大输出电流的带宽与涡流仪频率范围兼容。

此测量值可以用图形表示。

5.2 输入级特性

5.2.1 最大许用电压

5.2.1.1 定义和测量条件

最大许用输入电压与安全、饱和及非线性有关。

在最小增益情况下各个峰值输入电压, 相当于:

- 由制造商给出的最大值。这个电压是使仪器不遭受损害的安全输入电压, 它包括相关共模工作限值。
- 90%饱和输出电压。
- 超越给定值的非线性电压。脱离线性的最大许用偏差要在应用文件中确定。

在所有条件下施加的输入电压不应超过 a) 中给定的条件。

5.2.1.2 测量方法

5.2.1.2.1 饱和输出的相关条件

使用差频法 (原理见附录 A)。输入电压由正弦波信号发生器提供。正弦波发生器频率与涡流仪所选频率的差值不应大于涡流仪规定带宽的 10%。

涡流仪设置成最小增益并使滤波器滤波作用调到最小。用纯电阻给涡流仪的输入端和各个输出端加载荷。

保证涡流仪达到平衡条件。使用高阻抗计测量输入信号。

在示波器上显示输出信号并使用峰值电压表测量其 X 轴和 Y 轴分量。

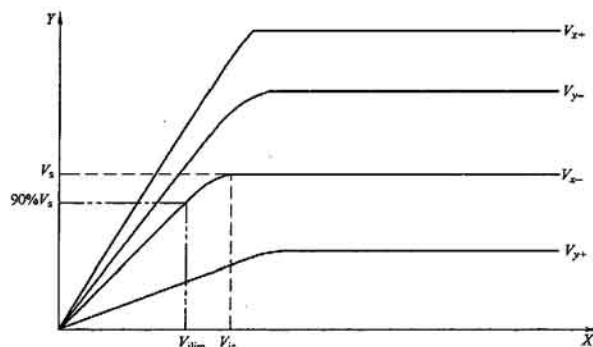
输入电压从 0 增加到制造者给出的安全输入电压并标绘输出电压各个分量的正、负峰值 (V_{x+} , V_{x-} , V_{y+} , V_{y-}) 曲线。四个变量中有一个 (例如与输入的最小值有关) 首先到达稳态值 V_s 时, 终止继续增加的变量并提供饱和输出电平 V_s 。此时, 已获得的输入值 V_i 开始减少, 直到被监测到的输出分量值达 90% V_s 。

在图 3 中, 将已获取的, 对应于最大输入容限电压且与饱和输出电压有关的电压输入值定义为 V_{lim} 。

6

5.2.1.2.2 相关非线性

使用 5.2.1.2.1、附录 B 给出的方法确定线性并决定最大输入电压以便使非线性低于相关应用文件给出的条件。



说明:

X 轴——输入电压 (V_s 饱和输出电平);

Y 轴——输出电压。

注: 每个输出幅值仅与本例有关。

图 3 对应饱和输出电压的最大输入容限电压的测量

用规定条件代替附录 B 中给出的条件:

I = 输入电压 O = 输出电压; $I_{\min} = 0$ I_{\max} = 与饱和电压有关的输入电压 (5.2.1.2.1)。

5.2.2 输入阻抗

5.2.2.1 定义和测量条件

输入阻抗是输入级的视在阻抗。等效电路为电阻和电容的并联组合。

5.2.2.2 测量方法

可以使用附录 C 中描述的方法。对任何其他替代方法应提出报告。

所有电压都应小于所施加的最大输入电压。

5.3 信号处理

5.3.1 概述

在图 1 中, 规定信号处理级包括高频和低频信号处理。

5.3.2 测量条件

在没有其他说明的情况下, 测量条件适用于 5.3.3~5.3.11。

对电阻与输入端的接点 (见 5.1) 应加以屏蔽。仪器的增益应设置成最小值。用零输入电压平衡涡流仪。所有滤波器设置效应为最小。应关注滤波器专用设置的变化特性, 例如带宽、增益和相位精度。在此条件下, 应用文件应规定检验的测量条件。由于测量的是涡流仪的输出值, 高频滤波器的滤波效应和解调器功能不应存在差异。若高频滤波器可调, 则选择的检测频率应倾向于制造者的推荐值。

利用差频法 (见附录 A) 调节外部信号发生器的输出电压, 使涡流仪输入电压达到线性最大许用电压的 1/2。

外部信号发生器频率与涡流仪选频间的差频 f_d 应小于制造者规定的涡流仪带宽的 10%。

5.3.3 谐波衰减

5.3.3.1 被检谐波衰减的性质和测量条件

n 次谐波响应 V_n 与基波响应 V_1 的电压比按公式 (5):

JB/T 5525—2011

表 1 叙述数据设置表格的示例

<i>i</i>	1	2	...														<i>n</i>
<i>X</i>																	
<i>Y</i>																	

用列于表 1 中 *X* 和 *Y* 的分量减去它们的连续分量获取的值再列入表 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 $X_{rec}=X_1-X_{av}$ 或 $Y_{rec}=Y_1-Y_{av}$ 。

第 *i* 次采样的相位角：

$$\text{若: } X_{rec} \geq 0 \quad \Phi_{0i} = \arctan (Y_{rec}/X_{rec})$$

$$X_{rec} < 0 \quad \Phi_{0i} = \arctan (Y_{rec}/X_{rec}) + 180^\circ$$

此值与 *i* 次采样的理论值相比较： $\Phi_{li} = i \times (f_d/f_c) \times 360 + \Phi_0$ 。

表 2 相位角度值与理论值对比表

<i>i</i>	1	2	...														<i>n</i>
X_{rec}																	
Y_{rec}																	
Φ_0																	
Φ_i																	

通过公式： $\Delta\Phi_{0max} = \max (\Phi_{0i} - \Phi_{li})$ 求出的线性度最大偏差，单位为度 ($^\circ$)。

5.3.7 正交分量

5.3.7.1 定义和测量条件

正交分量代表涡流仪输出 90° 移相分量的能力。规定用正交偏差或 90° 与 *X* 和 *Y* 通道间有效移相的偏差定义。

5.3.7.2 测量方法

利用相位计或锁相放大器测量 *X* 和 *Y* 输出之间的相角。

测量方法可以取自 5.3.6 采集的数据，此时所用的采样频率 f_c 大于 $360f_d$ (例如：分辨力至少为 1°)。

5.3.8 增益设置准确度

5.3.8.1 定义和测量条件

增益设置准确度代表涡流仪线性放大信号的能力。规定标定值和测量值间的最大线性偏差用分贝 (dB) 表示。对每个输出分量应进行测量。

5.3.8.2 测量方法

若信号发生器不包括衰减器，则应在信号发生器和涡流仪之间安装已标定的衰减器。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 X_{ref} 和 Y_{ref} 。涡流仪的增益范围至少应分成五档，例如每档相差 6 dB 或 10 dB。利用相同档次加大涡流仪的增益，并减少信号发生器输出信号的幅度。每档可测量两个输出分量值。

增益偏差通过公式 (6) 和公式 (7) 求出，单位为分贝 (dB)：

$$E_x = 20 \lg (V_x/V_{xref}) \dots\dots\dots (6)$$

$$E_y = 20 \lg (V_y/V_{yref}) \dots\dots\dots (7)$$

最大偏差是在增益测量中偏差的最大值。

5.3.9 相位设置准确度

5.3.9.1 定义和测量条件

相位设置准确度是相位控制过程中产生移相时，输出相位矢量期望值和实际变动值的差值。应报告相位设置引起的幅度偏差。

10

5.3.9.2 测量方法

涡流仪信号发生器的输出经过衰减器连接到涡流仪输入端。在不加输入电压的情况下，平衡涡流仪并测量每个输出分量， X_{ref} 和 Y_{ref} 。

调整输入电压达到与非线性有关的最大输入电压的 1/2。相位控制设置为 0° (ϕ_0) 测量每个输出分量， X_0 和 Y_0 。公式 (8) ~ 公式 (10) 计算输出矢量的幅度和相位角。

$$V_0 = \sqrt{(X_0 - X_{ref})^2 + (Y_0 - Y_{ref})^2} \dots\dots\dots (8)$$

若 $X_0 - X_{ref} \geq 0, \phi_0 = \arctan \frac{(Y_0 - Y_{ref})}{(X_0 - X_{ref})} \dots\dots\dots (9)$

$X_0 - X_{ref} < 0, \phi_0 = \arctan \frac{(Y_0 - Y_{ref})}{(X_0 - X_{ref})} + 180^\circ \dots\dots\dots (10)$

用不超过 10^0 ($i \times \phi_e$) 的 i 阶跃变换相位控制并在 360° 范围内重复测量和计算。相位偏差按公式 (11) 求得，单位为度 ($^\circ$)：

$$\phi_d = \phi_i - (i \times \phi_e) \dots\dots\dots (11)$$

幅度偏差按公式 (12) 求得，以百分数表示：

$$V_d = \{ (V_i - V_0) / V_0 \} \times 100 \dots\dots\dots (12)$$

应报告 ϕ_d 和 V_d 的最大值。

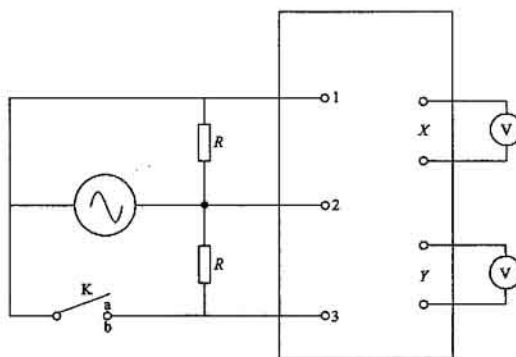
5.3.10 共模抑制

5.3.10.1 定义和测量条件

共模抑制测量表征涡流仪抑制共模信号的能力。共模抑制检验仅用于涡流仪的差分测量。

5.3.10.2 测量方法

利用两个匹配电阻替代涡流仪探头 (见图 5)。利用差频法，外接正弦波信号发生器到涡流仪的输入端。



说明：

- 1——输入 1；
- 2——公共端；
- 3——输入 2；
- a——开关位置 1；
- b——开关位置 2。

图 5 测量共模抑制的配置图

JB/T 5525—2011

此时施加最大线性输入电压并将开关位置拨到 1。\$V_x\$ 和 \$V_y\$ 变成 \$V_{x1}\$ 和 \$V_{y1}\$。

然后开关拨到 2 的位置并且输入电压被 2 除。\$V_x\$ 和 \$V_y\$ 变成 \$V_{x2}\$ 和 \$V_{y2}\$。

按公式 (13) 计算涡流仪的共模抑制电压：

$$|V_{si}| = \sqrt{V_{xi}^2 + V_{yi}^2} \dots\dots\dots (13)$$

其中 \$i=1\$ 或 \$2\$。

按公式 (14) 计算抑制特性因子 \$q_i\$：

$$q_i = V_{s1}/V_{s2} \dots\dots\dots (14)$$

5.3.11 涡流仪的最大噪声

5.3.11.1 定义和测量条件

涡流仪最大噪声与仪器本身的输入电压有关，它相当于涡流仪设定在最大频宽范围、涡流仪输入端短路时输出的最大信号。

涡流仪的噪声可以由应用文件规定在其他操作条件下测量。在所有情况下，都应报告涡流仪的频宽。

5.3.11.2 测量方法

对涡流仪的输入端施加最大许用电压（增益最小）。测量输出端电压 \$V_{maxout}\$。加大增益，若可能，加大增益至最大 \$G_{max}\$。

为了测量涡流仪的噪声电平 \$V_{noiseout}\$，当涡流仪的输入端短路时，使用一个频宽大于或等于涡流仪频宽的真值电压表测量输出端电平。

按公式 (15) 计算涡流仪输入端的等效噪声：

$$V_{eq} = V_{noiseout} \frac{V_{maxin}}{V_{maxout}} \frac{G_{min}}{G_{max}} \dots\dots\dots (15)$$

6 检验

6.1 一般要求

为保证涡流检测的一致性和有效性，需要对组成涡流检测系统各部件的性能进行检验，以使其保持在允许的限值内；在使用参考试件检验系统或探头之前，应对参考试件的物理条件进行检验，以使其处于允许限值内。检验用的测量设备应在校准的有效期内使用。

6.2 检验的级别

检验分三个级别。每一级都规定了检验和复检的时间周期。应由制造者或在制造者监控状态下完成首次性能检测。

1 级——总体功能检查。

检验通常在现场进行，应使用参考试块对涡流检测系统定期进行检验以验证其性能处于规定的限值内。在检验程序文件中应确定检验周期和参考试件。

2 级——具体功能检查和校准。

通过规定的周期进行的检验，至少每年进行一次，以保证涡流检测仪器、探头、辅助设备和参考试块所选性能的长期稳定性。

3 级——性能检查。

对涡流仪、探头附件和参考试块进行检验以评定是否与制造者提供的各项性能相符合。检验机构应规定要检验的性能。

表 3 列出了检验的主要性能和检验程序。

6.3 检验程序

被检验的系统性能取决于实际应用。检验的基本性能和级别应在检验程序文件中予以规定。应用的

JB/T 5525—2011

检测程序应参考检验程序。这样，根据特定的应用可以限定要检验性能的项目数。

为了能在本部分的范围内进行检验，应提供表征仪器、探头和参考试块性能的足够数据。

表 3 检验程序级别

级别	项 目	典型时间周期	仪 器	责任承担
1 级	系统性能的稳定性	经常进行。例如：按小时、按天	参考试块	用户
2 级	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以后进行	已校准的测量仪器、参考试块	用户
3 级	仪器、探头和辅助设备的全部性能	一次。首次交付和需要时	校准实验室测量仪器和参考试块	制造者、用户

6.4 修正操作

1 级——当系统性能不在规定限值内时，应先对相关的被检产品检验以后，再决定是否对其进行修正。修正操作应使其性能在可接受的限值内。

2 级——当系统性能偏差大于制造者或应用文件规定的可接受限值时，应决定是否对相关被检仪器、探头和辅助设备进行修正。

3 级——当系统性能超出制造者或应用文件规定的可接受范围时，应对相关被检仪器、探头和辅助设备做出修正的决定。

13

JB/T 5525—2011

附录 A
(资料性附录)
差频法原理

附录 A 为多通道涡流仪和带有滤波解调电路的差频法的例子。

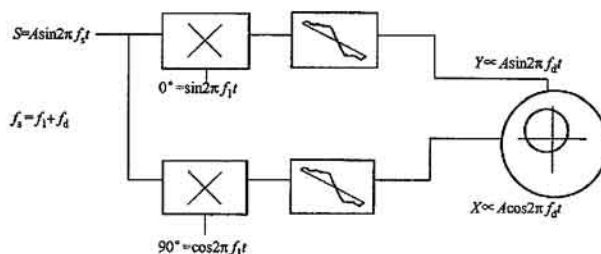


图 A.1 解调电路

此方法包括在涡流仪的输入端施加一个正弦电压其频率与涡流仪的工作频率略有差别： $f_s = f_1 + f_d$ 。因此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，见公式 (A.1) ~ 公式 (A.4)。

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

改写成

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

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

改写成

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

涡流仪电路内部的低通滤波器抑制公式 (A.1) 和公式 (A.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涡流仪已选频率的差频应由制造商规定的涡流仪本身频宽的 10% 还小。若要测量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 5525—2011

附录 B
(资料性附录)

在涡流仪输出 O 和输入 I 之间线性范围内的测量方法

参数 I 的极值是 I_{\min} 和 I_{\max} 。

在 I_{\min} 和 I_{\max} 之间参数 I 阶跃变化是恒定的。每一个 I 的参数值与测得的 O 参数值有关。

对这些 I 和 O 值使用线性度。由此获取 $O_{L_{in}}(I)$ 的关系式，其偏差值 (%) 的计算见公式 (B.1)：

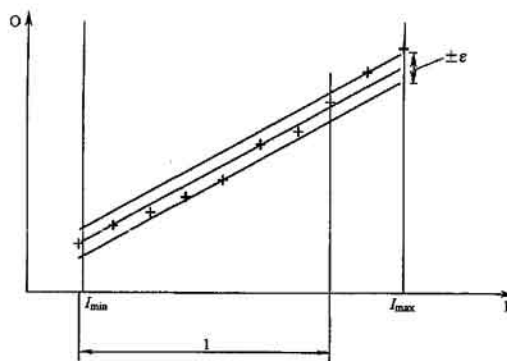
$$\Delta(I) = \left(\frac{|O(I) - O_{L_{in}}(I)|}{|O_{L_{in}}(I_{\max}) - O_{L_{in}}(I_{\min})|} \right) \times 100 \dots\dots\dots (B.1)$$

设置 I 值的线性范围 ϵ ：

$$\Delta(I) \leq \epsilon$$

ϵ 为线性最大许用偏差 (%)。

图 B.1 给出了使用上述方法确定线性范围的图例。



说明：

1——线性范围。

注：这是适用于振幅的线性测量。对于相位线性测量的偏差，以度为单位表示（0° ~ 360° 标度替代 0% ~ 100%）。

图 B.1 线性范围的确定

15

JB/T 5525—2011

附录 C
(规范性附录)
输入阻抗的替代测量法

外接正弦波发生器输出的信号通过系列电阻 R_V 馈送到涡流仪的输入端 (见图 C.1, 用电阻 R_e 和电容 C_e 的并联表示涡流仪的输入阻抗)。

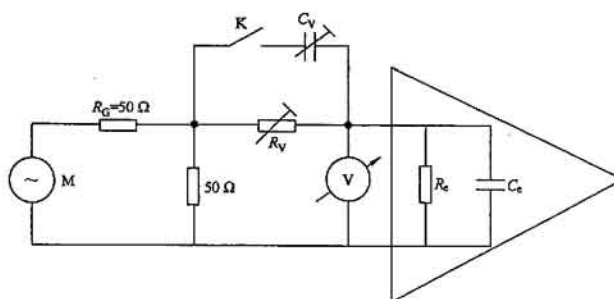


图 C.1 测量输入阻抗的配置图

此信号发生器的源阻抗 R_G 应小于涡流仪的输入电阻 R_e 。在一般情况下, 若 R_G 是 $50\ \Omega$ 的标准电阻就会满足 $R_G < R_e$ 的条件。

首先, 为了确定 R_e , 由外部信号发生器输出一个低频信号 f_{G1} (可取 $1\ \text{kHz}$) 并打开开关 K。这样做的目的是为了测量降在 R_e 上的输入电压 V_e 。然后增加 R_V 直到获取的输入电压值达到 $R_V=0$ 时获取的输入电压值的一半, 见公式 (C.1) ~ 公式 (C.3)。

$$V_{e1} = 0.5V_e \quad (R_V=0) \dots\dots\dots (C.1)$$

此时 R_V 和 R_e 的值相等:

$$R_V = R_e \dots\dots\dots (C.2)$$

为了确定 C_e , R_V 的设置状态保持不变并增大外部信号发生器的输入频率达到 f_{G2} , 此时输入电压值降到 $V_{e1}/2$:

$$V_{e2} = 0.5V_{e1} \quad (R_V=R_e) \dots\dots\dots (C.3)$$

在此阶段, 闭合开关 K 并给电容 C_V 充电, 直到 C_V 上的电压再一次达到初始电压 V_{e1} 。在 f_{G1} 和 f_{G2} 间转换频率时, 输入电压 V_{e1} 和 V_{e2} 不应有任何变化。

在这些条件下, $C_V=C_e$ 可以借助全桥电路的方法测量 R_V 和 C_V 。

注: 旁路电容 C_e 应是一个极小的值, 要特别牢记电压表的输入电容与 C_e 是叠加在一起的。

确定 C_e 时, 必须从已经确定的 C_V 值减去寄生电容值。

尽可能选择整机输入电路确定 R_e 和 C_e 值。