

JJF (浙)

浙江省地方计量技术规范

JJF (浙) 1083—2012

交流阻抗参数测试仪校准规范

Calibration Specification of AC Impedance Parameter Testers

杭州高电  
专业高试铸典范

Professional high voltage test

高压测量仪器智造 | 电力试验工程服务

2012—12—28 发布

2013—02—01 实施

浙江省质量技术监督局 发布

# 交流阻抗参数测试仪校准规范

Calibration Specification of AC Impedance  
Parameter Testers

JJF (浙)1083-2012

归口单位：浙江省质量技术监督局

主要起草单位：浙江省电力公司电力科学研究院  
浙江省计量科学研究院

参加起草单位：杭州市质量技术监督检测院

本规范委托浙江省电力公司电力科学研究院负责解释。

本规范主要起草人：

斯征宇（浙江省电力公司电力科学研究院）

刘 勤（浙江省计量科学研究院）

吴江萍（浙江省电力公司电力科学研究院）

参加起草人：

潘斌军（杭州市质量技术监督检测院）

詹洪炎（浙江省电力公司电力科学研究院）

龚金龙（浙江省电力公司电力科学研究院）

范 俊（浙江省电力公司电力科学研究院）

# 目 录

1 范围.....	(1)
2 引用文件.....	(1)
3 名词术语.....	(1)
4 概述.....	(2)
5 计量特性.....	(2)
6 校准条件.....	(3)
6.1 环境条件.....	(3)
6.2 供电电源条件.....	(3)
6.3 测试标准及辅助设备.....	(3)
7 校准项目和校准方法.....	(3)
7.1 校准项目.....	(3)
7.2 校准方法.....	(4)
8 校准结果表达.....	(6)
8.1 校准证书.....	(6)
9 复校时间间隔.....	(7)
附录 A 测量不确定度评定示例.....	(8)
附录 B 校准原始记录格式.....	(14)
附录 C 校准证书内页格式 (第 2 页).....	(17)
附录 D 校准证书校准结果页格式 (第 3 页).....	(18)

## 引言

本规范依据国家计量技术规范 JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF1001-2011《通用计量术语及定义》、JJF1059-1999《测量不确定度评定与表示》编制而成。

本规范是首次制定的浙江省地方计量技术规范。本规范根据《2011年浙江省地方计量技术法规制/修订计划》进行编制。



## 交流阻抗参数测试仪校准规范

### 1 范围

本规范适用于变压器空负载损耗参数测试仪、变压器短路阻抗测试仪和发电机交流阻抗测试仪（以下简称测试仪）的校准。

### 2 引用文件

本规范引用了下列文件：

GB 1094.1—1996 电力变压器第1部分 总则

GB 1094.2—1996 电力变压器第2部分 温升

DL/T 1093—2008 电力变压器绕组变形的电抗法检测判断导则

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于该规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

### 3 名词术语

下列术语和定义适用于本规范。

#### 3.1 空载电流 no-load current

当额定频率下的额定电压，施加到一个绕组的端子，其他绕组开路时，流经该绕组线路端子电流的方均根值。

#### 3.2 空载损耗 no-load loss

当额定频率的额定电压，施加到一个绕组的端子，其他绕组开路时，所吸取的有功功率。

#### 3.3 负载损耗 load loss

当额定电流流过一个绕组的线路端子且另一个绕组短路时，变压器在额定频率下所吸取的有功功率。

#### 3.4 短路阻抗(一对绕组的) short-circuit impedance (of a pair of windings)

变压器某一对绕组中的某一侧绕组端子间在额定频率及参考温度下的等值串联阻抗  $Z=R+jX$ 。确定此值时，该对绕组中另一侧绕组的端子短路，其余绕组(如果有)开路。对于

三相变压器，此阻抗是指每相的(等值星形联结)。对于带有分接绕组的变压器，短路阻抗是指某一分接位置上的。如无另外规定，它是指主分接上的。

### 3.5 阻抗电压 impedance voltage

当一个绕组短路，以额定频率的电压施加于另一个绕组的线路端子上，并使其流过额定电流时的施加电压值。

注：绕组的阻抗电压是指相应的参考温度下的数值且用施加电压绕组的额定电压值的百分数来表示。

## 4 概述

测试仪用于测量变压器或发电机在空载或短路状态下的损耗情况及各类特征值。测试仪所测的量包括电流、电压、频率以及通过这些量计算出的变压器或发电机的空载损耗、负载损耗、短路阻抗、阻抗电压等参数。测试仪基本的工作原理图如图1所示：

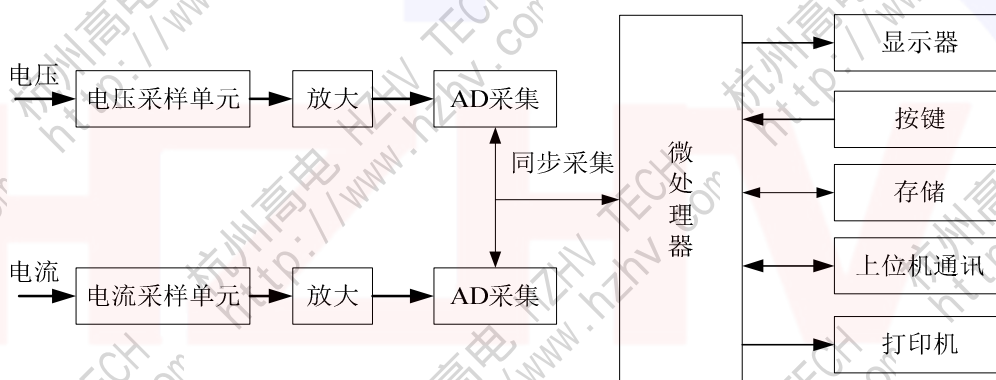


图 1 交流阻抗参数测试仪原理图

## 5 计量特性

### 5.1 电压测量

5.1.1 测试仪必须具备电压测量功能。

5.1.2 测试仪电压测量上限值不小于 100 V。

### 5.2 电流测量

5.2.1 测试仪必须具备电流测量功能。

5.2.2 测试仪电流测量上限值不小于 1 A。

### 5.3 频率测量

5.3.1 测试仪应该具备频率测量功能。

5.3.2 测试仪频率测量范围为(45~65) Hz。

### 5.4 相位角测量

测试仪应该具备相位角测量功能。

## 5.5 计算参数值

测试仪一般具备空载损耗、负载损耗、短路阻抗、阻抗电压等参数的计算功能。

## 6 校准条件

### 6.1 环境条件

6.1.1 环境温度：(15~25) °C

6.1.2 环境湿度：(30%~80%) RH

### 6.2 供电电源条件

6.2.1 电源电压：(220±22) V

6.2.2 电源频率：(50±0.5) Hz

### 6.3 测试标准及辅助设备

校准设备见表 1

表 1 校准设备

序号	名称	主要技术指标
1	交流阻抗参数测试仪校准装置	各参数的测量扩展不确定度应优于被校测试仪相应参数最大允许误差的 1/3
2	绝缘电阻表	测量电压 500 V，准确度等级不低于 10 级
3	耐电压测试仪	输出电压≥2000 V，准确度等级不低于 5 级

## 7 校准项目和校准方法

### 7.1 校准项目

校准项目见表 2 中

表 2 校准项目

序号	校准项目	校准
1	电压测量误差	+
2	电流测量误差	+
3	频率测量误差	+
4	相位角测量误差	+
5	计算参数测量误差	+
6	绝缘电阻	-
7	介电强度	-

注：“+”表示必须校准，“-”表示在首次校准时进行。



## 7.2 校准方法

### 7.2.1 存放时间

被校准仪器应在 6.1.1 条和 6.1.2 条规定的环境条件下存放不少于 8 h。

### 7.2.2 电压测量误差的校准

用交流阻抗参数测试仪校准装置,采用标准源测量法,在测试仪的测量范围内至少选取5个点,按图2所示接线,分别读取交流阻抗参数测试仪校准装置电压输出设定值 $U_N$ 和测试仪的示值 $U_X$ ,按(1)式计算电压的测量误差。校准电路如图1所示。

$$\gamma_U = \frac{U_X - U_N}{U_N} \times 100\% \quad (1)$$

式中:  $\gamma_U$ ——电压测量示值误差

$U_X$ ——电压测量示值

$U_N$ ——标准电压设定值



图2 测试仪校准系统连接图

### 7.2.3 电流测量误差的校准

用交流阻抗参数测试仪校准装置,采用标准源测量法,在测试仪的测量范围内至少选取5个点,按图2所示接线,分别读取交流阻抗参数测试仪校准装置电流输出设定值 $I_N$ 和测试仪的示值 $I_X$ ,按(2)式计算电流的测量误差。校准电路如图1所示。

$$\gamma_I = \frac{I_X - I_N}{I_N} \times 100\% \quad (2)$$

式中:  $\gamma_I$ ——电流测量示值误差;

$I_x$ ——电流测量示值;

$I_N$ ——标准电流设定值。

#### 7.2.4 频率测量误差的校准

用交流阻抗参数测试仪校准装置,采用标准源测量法,在测试仪的测量范围内,至少选取3个点,按图2所示接线,分别读取交流阻抗参数测试仪校准装置频率输出设定值 $f_N$ 和测试仪的示值 $f_x$ ,按(3)式计算频率的测量误差。校准电路如图1所示。

$$\gamma_f = \frac{f_x - f_N}{f_N} \times 100\% \quad (3)$$

式中:  $\gamma_f$ ——频率测量示值误差;

$f_x$ ——频率测量示值;

$f_N$ ——标准频率设定值。

#### 7.2.5 相位角测量误差的校准

接线方式见图2,标准功率源的电压输出设置为100V,标准功率源的电流输出设置为1A,相位角设置为 $90^\circ$ ,读取被校测试仪相位测量角 $\varphi_x$ ,以绝对误差计算。

#### 7.2.6 计算参数测量误差的校准

用交流阻抗参数测试仪校准装置,采用标准源测量法,在测试仪的测量范围内,至少选取3个点,对每一种计算参数读取测试仪显示值 $\tau_x$ ,用交流阻抗参数测试仪校准装置输出的电压、电流和功率因数通过理论公式计算出标准参数值 $\tau_N$ ,按(4)式计算参数计算的误差。校准电路如图2所示。

$$\gamma_\tau = \frac{\tau_x - \tau_N}{\tau_N} \times 100\% \quad (4)$$

式中:  $\gamma_\tau$ ——计算参数的示值误差;

$\tau_x$ ——计算参数测量示值;

$\tau_N$ ——计算参数标准值。

### 7.2.7 绝缘电阻测量

用测量电压为500 V的绝缘电阻表，测量测试仪电源输入端对机壳的绝缘电阻，测量结果应大于20 M $\Omega$ 。

### 7.2.8 介电强度试验

在测试仪的电源输入端与外壳之间施加工频电压1500 V，历时1 min，应无击穿或闪络现象。

## 8 校准结果表达

### 8.1 校准证书

校准结果应在校准证书（报告）上反应，校准证书（报告）应至少包括以下信息：

- a) 标题，如“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
- d) 证书或报告的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- e) 客户的名称和地址；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性和应用有关时，应说明被校对象的接收日期；
- h) 如果与校准结果的有效性和应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；
- i) 对校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- k) 校准环境的描述；
- l) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- m) 对校准规范偏离的说明；
- n) 校准证书和校准报告签发人的签名、职务或等效标识；
- o) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- p) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书或报告的声明。

校准原始记录格式见附录 B，校准证书（报告）内页格式见附录 C、附录 D。

## 9 复校时间间隔

建议复校时间间隔为1年。送校单位也可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。



## 附录 A 测量不确定度评定示例

交流阻抗参数校准仪电压测量结果不确定度  
评定与表示

## 1 概述

1.1 计量标准：主要计量标准设备为交流阻抗测试仪校准装置，其相应技术性能如下

序号	标准设备名称	技术指标	
1	交流阻抗测试仪校准装置	电压输出范围 (0~250) V	电流输出范围 (0~10) A
		准确度等级 0.05 级	

## 1.2 被测对象：

序号	被校设备名称	技术指标	
1	DS-2008 型交流阻抗测试仪	电压测量范围 (0~250) V	电流测量范围 (0.005~10) A
		电压电流准确度等级 0.2 级	

## 1.3 测量方法

采用标准源测量法和本规范规定的测试仪校准接线图，在交流阻抗测试仪校准装置上设置相应校准点的电压值，待示值稳定后，分别读取标准装置设置值与被校测试仪示值，计算被校测试仪的示值误差。

## 2 数学模型：

交流阻抗测试仪电压示值误差 $\Delta V$ ：

$$\Delta V = V_x - V_N$$

式中： $\Delta V$ ——示值误差，V；

$V_x$ ——被校测试仪示值，V；

$V_N$ ——标准装置电压设定值，V。

## 3 不确定度传播率：



$$u_c^2(\Delta V) = c_1^2 u^2(V_X) + c_2^2 u^2(V_N)$$

式中，灵敏系数  $c_1 = \partial(\Delta V) / \partial(V_X) = 1$ ， $c_2 = \partial(\Delta V) / \partial(V_N) = -1$ 。

#### 4 不确定度评定

当标准装置电压输出设置值为 100.000 V 时，对被校测试仪电压值校准展开不确定度评定。

4.1 由交流阻抗测试仪校准装置电压误差引入的不确定度分量  $u(V_{N1})$ ，用 B 类标准不确定度评定。

校准装置电压设置为 100.000 V 点的最大允许误差为  $\pm(0.05\% \times 100)$  V，则其不确定度区间半宽为 0.05 V，按均匀分布计算。

$$u(V_{N1}) = 0.05 \text{ V} / \sqrt{3} = 0.0289 \text{ V}$$

4.2 由被校测试仪电压测量重复性引入的不确定度分量  $u(V_{X1})$ ，用 A 类不确定度评定。

对被校测试仪 100 V 点进行 10 次反复测量数据如下：

测量序号	1	2	3	4	5
实测值 (V)	99.923	99.923	99.923	99.923	99.923
测量序号	6	7	8	9	10
实测值 (V)	99.923	99.922	99.922	99.922	99.922

实测结果的算术平均值

$$\begin{aligned} \bar{x} &= \frac{1}{10} (99.923 + 99.923 + 99.923 + 99.923 + 99.923 + 99.923 + 99.922 + 99.922 + 99.922 + 99.922) \\ &= 99.9226 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\text{其样本标准差 } S(x_k) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_k - \bar{x})^2} = 5.1640 \times 10^{-4} \text{ V}$$

由于实际校准过程中，采用单次读取被校仪器值作为最终结果，故  $u(V_{X1}) = 5.1640 \times 10^{-4} \text{ V}$

4.3 被校测试仪电压测量分辨力引入的不确定度分量  $u(V_{X2})$ ，用 B 类不确定度评定。

被校测试仪在 100.0 V 点的分辨率为 0.001 V，则其不确定度分布半宽为 0.0005 V，按均匀分布计算，则

$$u(V_{X2}) = 0.0005 \text{ V} / \sqrt{3} = 2.8868 \times 10^{-4} \text{ V}$$

## 5 主要标准不确定度汇总表

标准不确定度分量	标准不确定度分类	不确定度来源	测量结果分布	标准不确定度分量 (V)
$u(V_{N1})$	B	标准装置电压测量准确度	均匀	0.0289
$u(V_{X1})$	A	被校测试仪测量重复性	正态	$5.1640 \times 10^{-4}$
$u(V_{X2})$	B	被校测试仪电压测量分辨率	均匀	$2.8868 \times 10^{-4}$

## 6 合成标准不确定度

6.1 经过分析不确定度的来源,其各分量互为独立量,则

$$u_c(\Delta V) = \sqrt{\sum_{k=1}^3 u_k^2} = \sqrt{u(V_{N1})^2 + u(V_{X1})^2 + u(V_{X2})^2} = 0.0289 \text{ V}$$

合成相对标准不确定度  $u_{\text{crel}}(\Delta V) = u_c(\Delta V) / 100 \text{ V} = 2.89 \times 10^{-4}$

## 6.2 扩展不确定度计算

取包含因子  $k=2$ , 则

$$U_{\text{rel}} = k \times u_{\text{crel}}(\Delta V) = 2 \times 2.89 \times 10^{-4} \approx 5.8 \times 10^{-4}$$

## 7 测量结果的表述:

在上述不确定度评定过程中,由标准装置电压测量准确度引入的不确定度分量  $u(V_{N1})$  与其它不确定度量相比,在合成不确定度计算过程中占主导地位,其他量与其相比可以忽略。故本次扩展不确定度评定值适用于被校测试仪电压测量全量程。

被校测试仪电压校准以相对值表示的测量结果不确定度为:

$$U_{\text{rel}} = 5.8 \times 10^{-4} \quad (k=2)$$

# 交流阻抗参数测试仪电流测量结果不确定度 评定与表示

## 1 概述

1.1 计量标准：主要计量标准设备为交流阻抗测试仪校准装置，其相应技术性能如下

序号	标准设备名称	技术指标	
1	交流阻抗测试仪校准装置	电压输出范围 (0~250) V	电流输出范围 (0~10) A
		准确度等级 0.05 级	

1.2 被测对象：

序号	被校设备名称	技术指标	
1	DS-2008 型交流阻抗测试仪	电压测量范围 (0~250) V	电流测量范围 (0.005~10) A
		电压电流准确度等级 0.2 级	

1.3 测量方法

采用标准源法和本规范规定的测试仪校准接线图，在交流阻抗测试仪校准装置上设置相应校准点的电流值，待示值稳定后，分别读取标准装置设置值与被校测试仪示值，计算被校测试仪的示值误差。

2 数学模型：

交流阻抗测试仪电流示值误差 $\Delta I$ ：

$$\Delta I = I_x - I_N$$

式中： $\Delta I$ ——示值误差，A；

$I_x$ ——被校测试仪示值，A；

$I_N$ ——标准装置电流设定值，A。

3 不确定度传播率：

$$u_c^2(\Delta I) = c_1^2 u^2(I_X) + c_2^2 u^2(I_N) = u_1^2(y) + u_2^2(y)$$

式中，灵敏系数  $c_1 = \partial(\Delta I) / \partial(I_X) = 1$ ， $c_2 = \partial(\Delta I) / \partial(I_N) = -1$ 。

#### 4 不确定度评定

当标准校准装置电流输出设置值 1.000 A 时，对被校测试仪电流值校准展开不确定度评定。

4.1 由交流阻抗测试仪校准装置电流误差引入的不确定度分量  $u(I_{N1})$ ，用 B 类标准不确定度评定。

校准装置电流设置为 1.000 A 点的最大允许误差为  $\pm(0.05\% \times 1)$  A，则其不确定度区间半宽为 0.0005 A，按均匀分布计算。

$$u(I_{N1}) = 0.0005 \text{ A} / \sqrt{3} = 2.8868 \times 10^{-4} \text{ A}$$

4.2 由被校测试仪电流测量重复性引入的不确定度分量  $u(I_{X1})$ ，用 A 类不确定度评定。

对被校测试仪 1.000 A 点进行 10 次反复测量数据如下：

测量序号	1	2	3	4	5
实测值 (A)	0.9991	0.9991	0.9991	0.9992	0.9991
测量序号	6	7	8	9	10
实测值 (A)	0.9992	0.9992	0.9992	0.9992	0.9992

实测结果的算术平均值

$$\begin{aligned} \bar{x} &= \frac{1}{10} (0.9991 + 0.9991 + 0.9991 + 0.9992 + 0.9991 + 0.9992 + 0.9992 + 0.9992 + 0.9992 + 0.9992) \\ &= 0.99916 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\text{其样本标准差 } S(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x})^2} = 5.1640 \times 10^{-5} \text{ A}$$

由于实际校准过程中，采用单次读取被校仪器值作为最终结果，故  $u(I_{X1}) = 5.1640 \times 10^{-5} \text{ A}$

4.3 被校测试仪电流测量分辨力引入的不确定度分量  $u(I_{X2})$ ，用 B 类不确定度评定。

被校交流阻抗测试仪在 1.000 A 的分辨率为 0.0001 A，则其不确定度分布半宽为 0.00005 A，按均匀分布计算，则



$$u(I_{X2}) = 0.00005 \text{ A} / \sqrt{3} = 2.8868 \times 10^{-5} \text{ A}$$

## 5 标准不确定度分量表:

### 5.1 主要标准不确定度汇总表

标准不确定度分量	标准不确定度分类	不确定度来源	测量结果分布	标准不确定度分量 (A)
$u(I_{N1})$	B	标准装置电流测量准确度	均匀	$2.8868 \times 10^{-4}$
$u(I_{X1})$	A	重复性	正态	$5.1640 \times 10^{-5}$
$u(I_{X2})$	B	被校测试仪电流测量分辨率	均匀	$2.8868 \times 10^{-5}$

### 5.2 合成标准不确定度:

经过分析不确定度的来源,其各分量互为独立量,则

$$u_c(\Delta I) = \sqrt{\sum_{K=1}^3 u_K^2} = \sqrt{u(I_{N1})^2 + u(I_{X1})^2 + u(I_{X2})^2} = 0.00029 \text{ A}$$

$$\text{合成相对标准不确定度 } u_{\text{crel}}(\Delta I) = u_c(\Delta I) / 1\text{A} = 2.9 \times 10^{-4}$$

### 5.3 扩展不确定度计算

取包含因子  $k=2$ , 则

$$\begin{aligned} U_{\text{rel}} &= k \times u_{\text{crel}}(\Delta I) \\ &= 2 \times 2.9 \times 10^{-4} = 5.8 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

## 6 测量结果的表述:

在上述不确定度评定过程中,由标准装置电流测量准确度引入的不确定度分量  $u(I_{N1})$  与其它不确定度量相比,在合成不确定度计算过程中占主导地位,其他量与其相比可以忽略。故本次扩展不确定度评定值适用于被校测试仪电流测量全量程。

被校测试仪电流校准以相对值表示的测量结果不确定度为:

$$U_{\text{rel}} = 5.8 \times 10^{-4} \quad (k=2)$$



## 附录 B 校准原始记录格式

## 交流阻抗测试仪校准原始记录

送检单位				证书编号	
器具名称			型号规格		
出厂编号		出厂日期		准 确 度	
制 造 厂					
校准日期		审 核 员		校 准 员	
受样日期		样品编号		委托文件编号	

校准依据:

校准时使用的计量标准器具: 交流阻抗参数测试仪校准装置

型号:

编号:

有效期:

环境条件: 温度 \_\_\_\_\_ °C 相对湿度 \_\_\_\_\_ %

- 1、绝缘电阻测量 \_\_\_\_\_
- 2、介电强度试验 \_\_\_\_\_
- 3、示值误差校准

### 3.1 电压测量误差的校准

表 1: 电压校准数据:

单位: V

标准值	量程:	最大允许误差:	
	显示值 (A 相)	显示值 (B 相)	显示值 (C 相)

## 3.2 电流测量误差的校准

表 2: 电流校准数据

单位: A

标准值	量程:		最大允许误差:	
	显示值 (A 相)	显示值 (B 相)	显示值 (C 相)	显示值 (C 相)

## 3.3 频率测量误差的校准

表 3: 频率校准数据

单位: Hz

标准值	显示值

## 3.4 相位角测量误差的校准

表 4: 相位角校准数据

单位: °

校准装置电压输出设置为 100V, 全电流 1 mA	
标准值	显示值

## 3.5 计算参数测量误差的校准

表 5: 功率测量校准数据

功率(W) 电压(V) 电流(A)	标准值	显示值		
		A 相	B 相	C 相

表 6: 阻抗测量校准数据

单位:  $\Omega$ 

电压设定值(V) 电流设定值(A)	阻抗标准值	显示值	显示值	显示值
		A 相	B 相	C 相

## 附录 C 校准证书内页格式 (第 2 页)

证书编号 XXXXXX-XXXX

校准机构授权说明				
校准环境条件及地点:				
温 度		℃	地 点	
相对湿度		%	其 它	
校准依据 (代号、名称):				
校准所使用的主要测量标准:				
名 称	测量范围	不确定度/ 准确度等级	检定/校准证 书编号	证书有效期至

注:

1. XXXXX 仅对加盖“XXXXX 校准专用章”的完整证书负责。
2. 本证书的校准结果仅对所校准的对象有效。
3. 未经实验室书面批准, 不得部分复印证书。

附录 D 校准证书校准结果页格式 (第 3 页)

证书编号 XXXXXX-XXXX

# 校准结果

(校准项目及校准结果)



校准结果不确定度的评估和表述均符合 JJF1059 的要求。

敬告:

1. 被校准仪器修理后, 应立即进行校准。
2. 在使用过程中, 如对被校准仪器的技术指标产生怀疑, 请重新校准。
3. 根据客户要求和校准文件的规定, 通常情况下 \_\_\_\_\_ 个月校准一次。

校准员:

核验员:

第 X 页 共 X 页