

广西壮族自治区地方计量技术规范

JJF（桂）XXXX—XXXX

LCR测量仪校准规范

Calibration Specification for LCR Measuring Instrument

（征求意见稿）

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

广西壮族自治区市场监督管理局 发布

LCR 测量仪校准规范

Calibration Specification

for LCR Measuring Instrument

JJF (桂) XXX-202X

归口单位：广西壮族自治区市场监督管理局

起草单位：桂林市计量测试研究所

本规范委托桂林市计量测试研究所负责解释

本规范主要起草人：

XXXX（XXXXXXXXXXXXXXXXXX）

XXXX（XXXXXXXXXXXXXXXXXX）

XXXX（XXXXXXXXXXXXXXXXXX）

XXXX（XXXXXXXXXXXXXXXXXX）

参加起草人：

XXXX（XXXXXXXXXXXXXXXXXX）

XXXX（XXXXXXXXXXXXXXXXXX）

目 录

引言	(II)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 术语	(1)
3.1 电感	(1)
3.2 电容	(1)
3.3 等效交流电阻值	(1)
4 概述	(1)
5 计量特性	(2)
5.1 工作频率	(2)
5.2 信号电平	(2)
5.3 准确度等级最大允许误差参考值	(2)
6 校准条件	(3)
6.1 环境条件	(3)
6.2 校准用标准设备	(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	(9)
9 复校时间间隔	(10)
附录 A 测量不确定度评定示例	(11)
附录 B 校准原始记录格式	(14)
附录 C 校准证书内页格式	(16)

引 言

本规范依据 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》编制。

本规范为首次发布。

LCR 测量仪校准规范

1 范围

本规范适用于工作频率范围为20Hz~1MHz的LCR测量仪的校准，也适用于具有电感、电容或电阻单一测量功能仪表或组合测量功能仪表的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJG 441-2008 交流电桥

JJG 183-2017 标准电容器

JJG 726-2017 标准电感器

JJF 1636-2017 交流电阻箱

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 术语

3.1 电感 Inductance

描述由于线圈电流变化，在本线圈中或另一个线圈中引起感应电动势效应的电路参数。在国际单位制 SI 中，电感的单位是亨利 H。

[JJG726-2017 3.1]

3.2 电容 Capacitance

两导体所带电荷为等量异号时，电荷的量值与该导体间电位差的比值。在国际单位制 SI 中，电感的单位是法拉 F。

[JJG183-2017 3.1]

3.3 等效交流电阻值 equivalent a.c resistance

电阻器交流阻抗的实部分量，按照不同的等效电路模型，可分为串联等效电阻值或并联等效电阻值。

[JJF1636-2017 3.1]

4 概述

LCR测量仪，也称LCR数字电桥，是一种带有微处理器的自动测量仪器，主要用于测量电路或电子元器件的电感（L）、电容（C）、电阻（R）等参数的测量仪器。通常由信号源、电桥电路、矢量电压比检测器和数字控制及显示部分组成，其测试原理如图1。 V_x 与 V_r 均是矢量电压表， R_r 是理想电阻。自平衡电桥的意思是：当DUT(Device Under Test)接入电路时，放大器的负反馈配置自动使得OP输入端虚地。 V_x 准确测定DUT两端电压（DUT的Low电位是0）， V_r 与 R_r 测得DUT电流 I_x ，由此可计算 Z_x 。

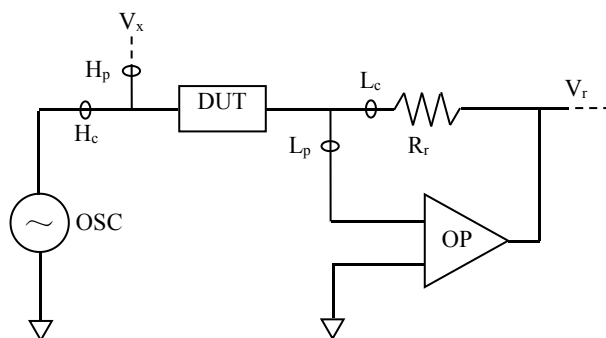


图1 LCR测量仪原理图

5 计量特性

5.1 工作频率

工作范围：20Hz~1MHz。

5.2 信号电平

工作范围：10mV~10V，固定或可调。固定电压一般为1V。

5.3 准确度等级及最大允许误差

LCR测量仪根据电感、电容、电阻三个参数确定其准确度等级的，其准确度等级和最大允许误差见表1：

表1 LCR测量仪准确度等级及最大允许误差

准确度等级	最大允许误差
0.02级	±0.02%
0.05级	±0.05%
0.1级	±0.1%
0.2级	±0.2%

表1 (续) LCR测量仪准确度等级及最大允许误差

0.5级	$\pm 0.5\%$
1级	$\pm 1\%$
2级	$\pm 2\%$
5级	$\pm 5\%$

注：具体计量特性，请参照被校测试仪的技术要求，上述指标不适用于合格性判别，仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温湿度条件见表2：

表2 环境温湿度条件

准确度等级	温度/ $^{\circ}\text{C}$	相对湿度/%
0.02级	20 ± 1	50 ± 10
0.05级、0.1级	20 ± 2	50 ± 20
0.2级及以下	20 ± 2	50 ± 30

6.1.2 供电电源： $220\text{V}\pm 22\text{V}$ ， $50\text{Hz}\pm 0.5\text{Hz}$ 。

6.1.3 校准过程中周围无影响校准系统正常工作的机械振动和电磁干扰。

6.2 校准用标准设备

校准用计量标准器具的不确定度不应超过被校仪器不确定度或最大允许误差的三分之一。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

校准项目见表3。

表3 校准项目一览表

序号	校准项目	校准方法条款
1	外观及工作正常性检查	7.2.1
2	工作频率	7.2.2
3	信号电平	7.2.3
4	电感、电容、电阻	7.2.4
5	损耗因数	7.2.5

7.2 校准方法

LCR测量仪应在校准条件下放置4h 以上。校准前，应根据说明书的要求进行预热，一般不少于

30min。

7.2.1 外观及工作正常性检查

被校LCR测量仪的铭牌、标志应清晰、正确、完整；前、后面板各功能键、按钮或转换开关应有标记，以注明其功能；无影响正常工作的机械损伤。通电后LCR测量仪显示器和各指示灯应能正常指示，仪器应处于正常的开机状态；有自检功能的LCR测量仪，应能通过自检，开路清零和短路清零功能应正常；各功能键、按钮和转换开关应能正常切换。

7.2.2 工作频率

根据被校 LCR 测量仪测量端的形式，选择合适的连接电缆，正确连接被校 LCR 测量仪的测量端和频率计数器的输入端。对频率连续可调的被校 LCR 测量仪，根据其说明书的规定确定校准频率和其他设置条件；无具体规定时只校准 10^n Hz 频率点 (n 为整数，且 $n \geq 1$)，固定频率的被校 LCR 测量仪应逐点校准，被校 LCR 测量仪频率的误差按公式 (1)、(2) 计算。

$$\Delta f = f_0 - f_s \quad (1)$$

$$\delta_f = (\Delta f / f_0) \times 100\% \quad (2)$$

式中：

Δf ——被校 LCR 测量仪频率的绝对误差；

f_0 ——被校 LCR 测量仪频率标称值；

f_s ——频率读数器的显示值；

δ_f ——被校 LCR 测量仪频率的相对误差。

7.2.3 信号电平

信号电平的技术要求一般在开路情况下给定的，但有些 LCR 测量仪的信号电平与负载有关。信号电平准确度的校准应根据被校 LCR 测量仪说明书的规定，确定需要校准的信号电平和其它设置条件，使用尽量短的电缆正确连接被校 LCR 测量仪的测量端和数字多用表的输入端，被校 LCR 测量仪信号电平的误差按公式 (3)、(4) 计算。

$$\Delta V = V_0 - V_s \quad (3)$$

$$\delta_V = (\Delta V / V_0) \times 100\% \quad (4)$$

式中：

ΔV ——被校 LCR 测量仪信号电平的绝对误差；

V_0 ——被校 LCR 测量仪信号电平标称值；

V_s ——数字多用表的显示值；

δ_v ——被校 LCR 测量仪信号电平的相对误差。

7.2.4 电感、电容、电阻的校准

7.2.4.1 工作状态选择和通用操作

a) 工作频率的选择：应按 LCR 测量仪说明书所规定的频率或用户要求的频率下校准。若无此规定，可按表3 列出的LCR标准量值选择校准工作频率。

表3 工作频率的选择

L	C	R	校准工作频率
1mH~1H	10pF~1μF	1Ω ~1MΩ	1kHz
>1H	>1μF	>1MΩ	100Hz, 120Hz

b) 信号电平的选择：应按 LCR 测量仪说明书规定选择信号电平，若无此规定，应在标准器允许使用的额定电压值范围内，选择使LCR测量仪具有最多稳定显示位数的最小电平下进行校准，通常为 1V。

c) 基本量程的选择：应根据 LCR 测量仪说明书的规定选择基本量程，无此项规定时，一般将准确度最高的量程作为基本量程，有自动量程的可选用自动量程。

d) 等效电路的选择：应根据 LCR 测量仪说明书的规定进行，如无此规定，因阻抗值与频率有关，所以应遵循阻抗低用串联等效电路，阻抗高用并联等效电路校准的原则。通常阻抗值低于 1kΩ时采用串联等效电路，阻抗值高于 1kΩ 时采用并联等效电路。一般情况下，电感选用串联等效电路；电容 1pF~1μF 选用并联等效电路，大于 1μF 选用串联等效电路；电阻 1Ω~1kΩ 时选用串联等效电路，大于 1kΩ选用并联等效电路。有等效电路自动选择功能的可选此功能。

e) 开路和短路校零操作：有校零功能的 LCR 测量仪首先进行开路或短路校零操作。无校零功能的，应在开路情况下测量并记录电容的初始示值 C_0 ；在短路情况下测量并记录电感、电阻的初始示值 L_0 和 R_0 。

7.2.4.2 校准点的选取

若无具体要求，在 LCR 测量仪的量程范围内，选择 10^n （“n”为自然整数）的量值点进行校准。同时参考LCR测量仪使用说明书中对校准点的建议，并可根据实际情况和用户的要求选取校准点。

7.2.4.3 电感

a) 采用直接测量法进行校准。选择合适的标准器，按7.2.4.1 的规定进行相应设置，根据标

准器的端口形式不同, 采用图2~图5 中不同的接线方式。

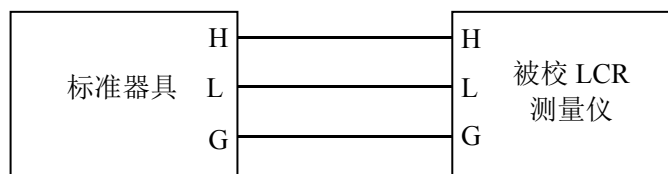


图2 直接测量法连接示意图

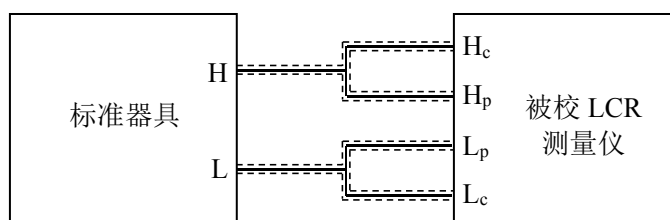


图3 两端口结构标准连接示意图

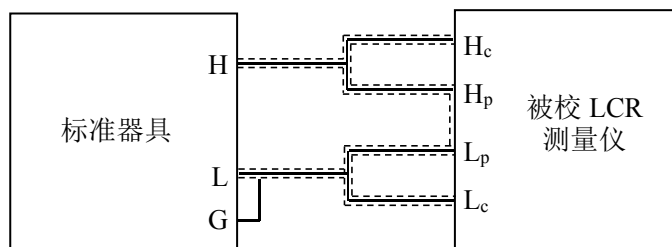


图4 三端口结构标准连接示意图

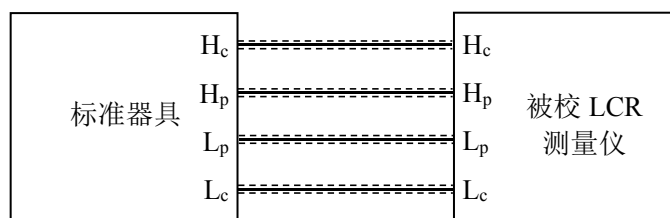


图5 四端口结构标准连接示意图

b) 按照7.2.4.2选取校准点, 读取并记录LCR测量仪电感示值, 其示值误差按公式(5)、(6) 计算:

$$\Delta L = L_x - L_0 - L_s \quad (5)$$

$$\delta_L = (\Delta L / L_s) \times 100\% \quad (6)$$

式中:

ΔL ——被校 LCR 测量仪电感示值的绝对误差;

L_x ——被校 LCR 测量仪电感示值;

L_0 ——被校 LCR 测量仪电感初始示值, 有校零功能的 LCR 测量仪, 计算时不包含该项;

L_s ——标准电感器 (箱) 的标准值;

δ_L ——被校 LCR 测量仪电感示值的相对误差。

7.2.4.4 电容

a) 采用直接测量法进行校准。选择合适的标准器，按 7.2.4.1 的规定进行相应设置，根据标准器的端口形式不同，采用图 2～图 5 中不同的接线方式。

b) 按照 7.2.4.2 选取校准点，读取并记录 LCR 测量仪电容示值，其示值误差按公式 (7)、(8) 计算：

$$\Delta C = C_x - C_0 - C_s \quad (7)$$

$$\delta_c = (\Delta C / C_s) \times 100\% \quad (8)$$

式中：

ΔC ——被校 LCR 测量仪电容示值的绝对误差；

C_x ——被校 LCR 测量仪电容示值；

C_0 ——被校 LCR 测量仪电容初始示值，有校零功能的 LCR 测量仪，计算时不包含该项；

C_s ——标准电容器（箱）的标准值；

δ_c ——被校 LCR 测量仪电容示值的相对误差。

7.2.4.5 电阻

a) 采用直接测量法进行校准。选择合适的标准器，按 7.2.4.1 的规定进行相应设置，根据标准器的端口形式不同，采用图 2～图 5 中不同的接线方式。

b) 按照 7.2.4.2 选取校准点，读取并记录 LCR 测量仪电阻示值，其示值误差按公式 (9)、(10) 计算：

$$\Delta R = R_x - R_0 - R_s \quad (9)$$

$$\delta_R = (\Delta R / R_s) \times 100\% \quad (10)$$

式中：

ΔR ——被校 LCR 测量仪电阻示值的绝对误差；

R_x ——被校 LCR 测量仪电阻示值；

R_0 ——被校 LCR 测量仪电阻初始示值，有校零功能的 LCR 测量仪，计算时不包含该项；

R_s ——标准电阻器（箱）的标准值；

δ_R ——被校 LCR 测量仪电阻示值的相对误差。

7.2.5 损耗因数

7.2.5.1 校准点的选取

在LCR测量仪损耗因数的量程范围内均匀选取3~10个点进行校准。

7.2.5.2 示值误差

采用直接测量法进行校准, 根据标准损耗因数箱的端口形式不同, 采用图2~图5中不同的接线方式。按照选取的校准点, 读取并记录LCR测量仪损耗因数示值, 其示值误差一般用绝对误差形式表示, 按公式(11)计算:

$$\Delta D = D_x - D_s \quad (11)$$

式中:

ΔD ——被校 LCR 测量仪损耗因数示值的绝对误差;

D_x ——被校 LCR 测量仪损耗因数示值;

D_s ——损耗因数标准器的标准值。

8 校准结果表达

校准结果应在校准证书上反应。校准证书应至少包括如下信息:

- 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;
- d) 证书的唯一性标识(如编号), 每页及总页数的标识;
- e) 送校单位的名称和地址;
- f) 被校对象的描述和明确标识;
- g) 进行校准的日期;
- h) 校准所依据的技术规范的标识, 包括名称及代号;
- i) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明
- j) 校准环境的描述;
- k) 校准结果及其测量不确定度的说明;
- l) 对校准规范的偏离的说明;
- m) 校准证书签发人的签名或等效标识;
- n) 校准结果仅是对被校对象有效的声明;
- o) 未经实验室书面批准, 不得部分复制证书的声明。

9 复校时间间隔

建议复校时间间隔为1年,使用单位可根据实际使用情况自主决定复校的时间间隔。

附录 A

测量不确定度评定示例

A.1 概述

环境条件：环境温度：20.3℃，相对湿度：58%。

测量标准：精密十进位电感箱，精密十进位大电容箱，精密十进位交流电阻箱（以下简称电感箱、电容箱和电阻箱）。

被测对象：LCR测量仪。

测量方法：直接测量法，将电感箱、电容箱或电阻箱与被校LCR测量仪按规定接线方式连接，在电感箱、电容箱或电阻箱上设置一定的值作为标准值，直接读取被校LCR测量仪的显示值作为校准值，校准值与标准值的差值即为被测LCR测量仪的示值误差。

A.2 测量模型

$$\text{电感: } \Delta L = L_x - L_s \quad (\text{A.1})$$

式中： ΔL ——LCR 测量仪电感示值的绝对误差；

L_x ——LCR 测量仪电感显示值；

L_s ——电感箱的示值。

$$\text{电容: } \Delta C = C_x - C_s \quad (\text{A.2})$$

式中： ΔC ——LCR 测量仪电容示值的绝对误差；

C_x ——LCR 测量仪电容显示值；

C_s ——电容箱的示值。

$$\text{电阻: } \Delta R = R_x - R_s \quad (\text{A.3})$$

式中： ΔR ——LCR 测量仪电阻示值的绝对误差；

R_x ——被校 LCR 测量仪电阻显示值；

R_s ——电阻箱的示值。

A.3 灵敏系数

A.3.1 电感

$$c(L_x) = \frac{\partial \Delta L}{\partial L_x} = 1$$

$$c(L_s) = \frac{\partial \Delta L}{\partial L_s} = -1$$

A.3.2 电容

$$c(C_x) = \frac{\partial \Delta C}{\partial C_x} = 1$$

$$c(C_s) = \frac{\partial \Delta C}{\partial C_s} = -1$$

A.3.2 电阻

$$c(R_x) = \frac{\partial \Delta R}{\partial R_x} = 1$$

$$c(R_s) = \frac{\partial \Delta R}{\partial R_s} = -1$$

A.4 标准不确定度评定

下面以电感100mH、电容100μF、电阻100Ω三个校准点为例子进行不确定度分析。

A.4.1 由测量重复性引入的标准不确定度分量（A类评定）

在相同环境条件下，LCR测量仪频率为1kHz时分别对电感箱100mH点、电容箱100μF点和电阻箱100Ω点进行10次重复测量，获得数据如表A.1。

表A.1 测量数据一览表

序号	电感/mH	电容/μF	电阻/Ω
1	100.006	99.9690	100.012
2	100.004	99.9685	100.009
3	100.001	99.9664	100.008
4	100.003	99.9678	100.011
5	100.005	99.9645	100.007
6	100.002	99.9667	100.012
7	100.004	99.9683	100.010
8	100.006	99.9656	100.006
9	100.003	99.9672	100.009
10	100.001	99.9635	100.013
\bar{x}_i	100.004	99.9668	100.0097
$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$	0.0018	0.0018	0.0023

A.4.2 由标准器引入的标准不确定度分量（B类评定）

A.4.2.1 电感箱经上级计量机构校准符合要求,使用说明书中技术指标给出 100mH 点最大允许误差为 $e = \pm(0.0005 \times 100\text{mH}) = \pm 0.05\text{mH}$ 。

其半宽度 $a = 0.05\text{mH}$, 在区间内服从均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则

$$u(L_s) = \frac{a}{k} = \frac{0.05\text{mH}}{\sqrt{3}} \approx 0.0289\text{mH}$$

A.4.2.2 电容箱经上级计量机构校准符合要求,使用说明书中技术指标给出 100 μF 点最大允许误差为 $e = \pm(0.0005 \times 100\mu\text{F}) = \pm 0.05\mu\text{F}$ 。

其半宽度 $a = 0.05\mu\text{F}$, 在区间内服从均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则

$$u(C_s) = \frac{a}{k} = \frac{0.05\mu\text{F}}{\sqrt{3}} \approx 0.0289\mu\text{F}$$

A.4.2.3 电阻箱经上级计量机构校准符合要求,使用说明书中技术指标给出 100 Ω 点最大允许误差为 $e = \pm(0.0002 \times 100\Omega + 0.001\Omega) = \pm 0.021\Omega$ 。

其半宽度 $a = 0.021\Omega$, 在区间内服从均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则

$$u(R_s) = \frac{a}{k} = \frac{0.021\Omega}{\sqrt{3}} \approx 0.0121\Omega$$

A.5 合成标准不确定度和扩展不确定度 (见表A.2)

表A.2 不确定度一览表

参数	不确定度来源	标准不确定度 $u(x_i)$	概率分布	灵敏系数	不确定度分量 u_i	u_c	$U(k=2)$	$U_{\text{rel}}(k=2)$
电感	LCR测量仪的重复性	0.0018mH	正态	1	0.0018mH	0.029mH	0.058mH	0.058%
	电感箱的最大允许误差	0.029mH	均匀	-1	0.029mH			
电容	LCR测量仪的重复性	0.0018 μF	正态	1	0.0018 μF	0.029 μF	0.058 μF	0.058%
	电容箱的最大允许误差	0.029 μF	均匀	-1	0.029 μF			
电阻	LCR测量仪的重复性	0.0023 Ω	正态	1	0.0023 Ω	0.012 Ω	0.024 Ω	0.024%
	电阻箱的最大允许误差	0.012 Ω	均匀	-1	0.012 Ω			

附录 B

校准原始记录格式

第 页 共 页

委托单位：		证书编号：	
委托单位地址：		校准依据：	
仪器名称：	型号规格：	出厂编号：	
制造单位：	温度：℃	相对湿度：%	
校准地点：		校准日期：年 月 日	

校准用主要计量标准器具

名称	型号规格	出厂编号	不确定度/准确度等级 /最大允许误差	证书编号	有效期至

一、外观及工作正常性检查：

二、校准结果

1、工作频率

标称频率	实际频率	测量不确定度 ($k=2$)

2、信号电平

信号频率	标称电压	实际电压	测量不确定度 ($k=2$)

3、电感

标准值	$f=$		$f=$		$f=$	
	显示值	测量不确定度 ($k=2$)	显示值	测量不确定度 ($k=2$)	显示值	测量不确定度 ($k=2$)

4、电容

标准值	$f=$		$f=$		$f=$	
	显示值	测量不确定度 ($k=2$)	显示值	测量不确定度 ($k=2$)	显示值	测量不确定度 ($k=2$)

5、电阻

标准值	$f=$		$f=$		$f=$	
	显示值	测量不确定度 ($k=2$)	显示值	测量不确定度 ($k=2$)	显示值	测量不确定度 ($k=2$)

6、损耗因数

测试频率	标准值	显示值	测量不确定度 ($k=2$)

校准人员：_____ 核验人员：_____ 批准人：_____

附录 C

校准证书内页格式

证书编号××××××—××××

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	%	其他		
校准所依据的技术文件（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. ×××××仅对加盖“×××××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。

第 页 共 页

证书编号××××××—××××

校准结果

一、外观及工作正常性检查:

二、校准结果

1、工作频率

标称频率	实际频率	测量不确定度 ($k=2$)

2、信号电平

信号频率	标称电压	实际电压	测量不确定度 ($k=2$)

3、电感

标准值	$f=$		$f=$		$f=$	
	显示值	测量不确定度 ($k=2$)	显示值	测量不确定度 ($k=2$)	显示值	测量不确定度 ($k=2$)

4、电容

标准值	$f=$		$f=$		$f=$	
	显示值	测量不确定度 ($k=2$)	显示值	测量不确定度 ($k=2$)	显示值	测量不确定度 ($k=2$)

5、电阻

标准值	$f=$		$f=$		$f=$	
	显示值	测量不确定度 ($k=2$)	显示值	测量不确定度 ($k=2$)	显示值	测量不确定度 ($k=2$)

证书编号××××××—××××

校准结果

6、损耗因数

测试频率	标准值	显示值	测量不确定度 ($k=2$)

校准人员：_____ 核验人员：_____ 批准人：_____

广西壮族自治区
地方计量技术规范
LCR测量仪校准规范
JJF(桂) XXXX—202X
广西壮族自治区市场监督管理局发布