

北京市地方计量技术规范

JJF (京) XXXX-XXXX

LCR 数字电桥校准规范

Calibration Specification for LCR Digital Electric Bridge

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

北京市市场监督管理局 发布

LCR 数字电桥校准规范

Calibration Specification for
LCR Digital Electric Bridge

JJF (京) xx-xxxx

归口单位：北京市市场监督管理局

主要起草单位：北京市计量检测科学研究院

本规范委托 XXX 负责解释

目 录

引 言.....	II
1 范围.....	1
2 引用文件.....	1
3 概述.....	1
4 计量特性.....	1
4.1 阻抗参数示值.....	1
4.2 频率示值.....	2
4.3 电平示值.....	3
5 校准条件.....	3
5.1 环境条件.....	3
5.2 测量标准及其他设备.....	4
5.3 校准前的准备及通用设置要求.....	4
6 校准项目和校准方法.....	5
6.1 校准项目.....	5
6.2 校准方法.....	5
7 校准结果表达.....	7
8 复校时间间隔.....	7
附录 A LCR 数字电桥校准不确定度评定示例.....	8
附录 B 校准原始记录格式（推荐）.....	11
附录 C 校准证书内页格式（推荐）.....	15

引言

本规范依据国家计量技术规范 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。

本规范为首次制定。

LCR 数字电桥校准规范

1 范围

本规范适用于频率范围为 20Hz~10kHz 的具有电感、电容、电阻、损耗因数等测量功能的 LCR 数字电桥的校准，也适用于具有上述单一测量功能或多个测量功能的测试仪表（如数字电容表、电容电感表、电容电感电阻表等）以及各类手持式 LCR 测量仪表的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJG 183-2017 标准电容器检定规程、JJG 726-2017 标准电感器检定规程、JJF 1636-2017 交流电阻箱校准规范、GJB/J 5412-2005 宽量程数字 RLC 测量仪检定规程

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 概述

LCR 数字电桥又称 LCR 测试仪或 LCR 阻抗测量仪，是采用数字技术测量阻抗参数的仪器，通常由信号源、电桥电路、数字处理模块和显示部分等组成。其测量对象为无源阻抗元件的参数，主参数通常包括电感 L 、电容 C 、电阻 R ，副参数包括损耗因数 D 、品质因数 Q 等。测量端口一般为四端对或两端对。

数字电感表、数字电容表、数字电阻表，以及集成了多种测量功能的电容电感表、电感电阻表、电容电感电阻表等，是采用微处理器和双积分 A/D 转换集成电路的数字仪表，可分别用于测量单个或多个电感、电容、电阻参数。测量端口一般为两端对。

4 计量特性

4.1 阻抗参数示值

各阻抗参数示值绝对误差的表示形式为：

$$\Delta = P_x - P_n - P_0 \quad (1)$$

式中：

Δ ——阻抗参数示值绝对误差，电感单位为 H，电容单位为 F，电阻单位为 Ω ；

P_x ——各阻抗参数测量显示值, 电感单位为 H, 电容单位为 F, 电阻单位为 Ω ;

P_n ——相应标准阻抗值, 电感单位为 H, 电容单位为 F, 电阻单位为 Ω ;

P_0 ——清零完成后 LCR 数字电桥的初始阻抗值, 电感单位为 H, 电容单位为 F, 电阻单位为 Ω 。

示值相对误差表示形式为:

$$\delta = \frac{\Delta}{P_n} = \frac{P_x - P_n - P_0}{P_n} \times 100\% \quad (2)$$

式中:

δ ——阻抗参数示值相对误差;

P ——各阻抗参数, 如电感 L 、电容 C 、电阻 R 等。

注: 式中各阻抗参数的单位, 主参数电感单位一般可为 μH 或 mH 或 H , 电容单位一般可为 pF 或 nF 或 μF , 电阻单位一般可为 Ω 或 $\text{k}\Omega$ 或 $\text{M}\Omega$, 具体以校准时仪器显示为准。副参数损耗因数和品质因数无单位。

阻抗参数的最大允许误差及准确度等级详见表 1。

表 1 阻抗参数的最大允许误差及准确度等级

最大允许误差	$\pm 0.02\%$	$\pm 0.05\%$	$\pm 0.1\%$	$\pm 0.2\%$
准确度等级	0.02 级	0.05 级	0.1 级	0.2 级
最大允许误差	$\pm 0.5\%$	$\pm 1\%$	$\pm 2\%$	$\pm 5\%$
准确度等级	0.5 级	1 级	2 级	5 级

4.2 频率示值

频率示值绝对误差的表示形式为:

$$\Delta f = f_0 - f_s$$

(3)

式中:

Δf ——频率示值绝对误差, Hz;

f_0 ——被校准 LCR 数字电桥的频率标称值, Hz;

f_s ——频率计数器测量显示值, Hz。

频率示值相对误差的表示形式为:

$$\delta = \frac{\Delta f}{f_s} = \frac{f_0 - f_s}{f_s} \times 100\% \quad (4)$$

式中：

δ ——频率示值相对误差。

频率示值的最大允许误差为±0.02%。

4.3 电平示值

电平示值绝对误差的表示形式为：

$$\Delta V = V_0 - V_s \quad (5)$$

式中：

ΔV ——电平示值绝对误差, V;

V_0 ——被校准 LCR 数字电桥的电平标称值, V;

V_s ——数字多用表(或数字电压表)的测量显示值, V。

电平示值相对误差的表示形式为：

$$\delta = \frac{\Delta V}{V_s} = \frac{V_0 - V_s}{V_s} \times 100\% \quad (6)$$

式中：

δ ——电平示值相对误差。

电平示值的最大允许误差为±10%。

注：具体计量特性可参照被校准 LCR 数字电桥的说明书等技术文件，以上要求不适用于合格性判别，仅供参考。

5 校准条件

5.1 环境条件

LCR 数字电桥或数字电容表及具有多个测量功能的测量仪表应在表 2 规定的环境影响量的参考范围内进行校准。

表 2 环境影响量的参考范围

准确度等级	温度	相对湿度
0.02 级	20℃±1℃	50%±10%
0.05 级及 0.1 级	20℃±2℃	50%±20%

0.2 级及以下	20℃±2℃	50%±30%
----------	--------	---------

LCR 数字电桥采用交流供电: 电压 220V, 频率 50Hz; 数字电容表及具有多个测量功能的测量仪表为 9V 电池供电。

周围应无影响仪器正常工作的机械振动或强电磁场。

5.2 测量标准及其他设备

测量标准由标准电容器 (箱)、标准电感器 (箱)、标准电阻器 (箱)、标准电容损耗箱、频率计数器、数字多用表 (或数字电压表) 等组成。

校准 LCR 数字电桥时, 由标准器、辅助设备及环境条件等因素引起的扩展不确定度应小于被校准 LCR 数字电桥最大允许误差的 1/3, 所用标准器具的短期稳定性应优于被校准仪器最大允许误差的 1/10。

5.3 校准前的准备及通用设置要求

5.3.1 校准前清零

为保证仪器的测量准确度和正常工作性能, 测量前必须对仪器进行清零。仪器清零包括开路和短路两种清零, 开路清零应使测量导线两端开路, 短路清零应使测量导线两端短路。无清零功能的 LCR 数字电桥, 应在开路状态下测量并记录电容的初始示值 C_0 , 在短路状态下分别测量并记录电感、电阻的初始示值 L_0 和 R_0 。

清零完成后进行测量时, 应尽量保证测量导线的形态与清零时一致; 仪器关机重启后、改变测量条件后均需要重新进行开路和短路清零操作。

5.3.2 等效电路的选择

测量时应根据被测量阻抗值的大小设置相应 LCR 数字电桥的串联或并联等效电路, 通常阻抗值低于 $1\text{k}\Omega$ 时采用串联等效电路, 阻抗值高于 $1\text{k}\Omega$ 时采用并联等效电路。

5.3.3 量程的选择

校准 LCR 数字电桥时, 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功能。

5.3.4 信号电平的选择

通常, 信号电平选取为 1V, 如无此选项, 应选择使被校准 LCR 数字电桥具有最多稳定显示位数的信号电平, 且应在标准器允许使用的额定电压值范围内。

5.3.5 信号源内阻的选择

LCR 数字电桥信号源的内阻一般有 30Ω 和 100Ω 两种选择, 为避免信号源内阻较小时出现过流现象, 通常信号源内阻选择为 100Ω 。

5.3.6 测量速度的选择

LCR 数字电桥的测量速度一般有快速、中速、慢速三种选择, 为保证测量结果的数值稳定, 通常选择慢速模式。

5.3.7 频率和校准点的选择

应根据用户的要求并结合被校准 LCR 数字电桥说明书的规定进行, 如无此要求, 各阻抗值应在 1kHz 频率条件下校准。此外, 应分别在 120Hz (或 100Hz) 和 10kHz 频率条件下测量电容值、电阻值的频率响应, 在 1kHz 频率条件下测量电阻值为 $1\text{k}\Omega$ 至 $10\text{k}\Omega$ 范围内的电阻线性。

6 校准项目和校准方法

6.1 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	外观及通电检查	6.2.1
2	阻抗参数示值校准	6.2.2
3	频率校准	6.2.3
4	电平校准	6.2.4

注: 频率和电平的校准一般适用于新生产或修理后的 LCR 数字电桥。

6.2 校准方法

6.2.1 外观及通电检查

6.2.1.1 被校准 LCR 数字电桥外观应完好, 机壳、端钮等不应有影响正常工作的机械损伤。

6.2.1.2 前后面板应标明产品名称、型号、出厂编号、生产厂名称等, 且前面板上各功能键、按钮应有明确标记。

6.2.1.3 通电后, 被校准 LCR 数字电桥应能处于正常开机状态, 有自检功能的 LCR 数字电桥应能通过自检, 显示器各参数应能正常显示, 各指示灯应能正常指示, 各功能键、按钮应能正常切换; 对于触摸屏幕, 应能正常进行各参数设置。

6.2.2 阻抗参数示值校准

LCR 数字电桥阻抗参数示值的校准采用直接测量法,按 5.3 的要求完成校准前的准备及通用设置,直接用被校准 LCR 数字电桥测量阻抗标准(标准电感、电容、电阻箱或标准电容损耗箱)。校准四端对和两端对 LCR 数字电桥接线方法分别如图 1 和图 2 所示。

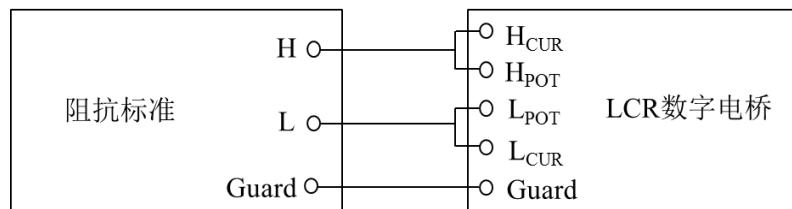


图 1 直接测量法校准四端对 LCR 数字电桥

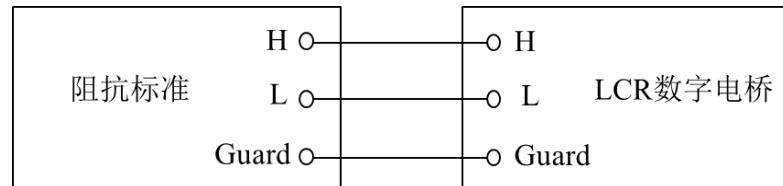


图 2 直接测量法校准两端对 LCR 数字电桥

被校准 LCR 数字电桥各阻抗参数的示值误差按公式(1)和公式(2)计算。

6.2.3 频率校准

根据测量端口的形式,正确连接被校准 LCR 数字电桥的测量端和频率计数器的输入端,对频率连续可调的 LCR 数字电桥,应对其 100Hz、120Hz、1kHz 和 10kHz 频率点进行校准,对有固定频率的 LCR 数字电桥,应对上述指定的固定频率点进行校准(不涵盖的可不校准)。

被校准 LCR 数字电桥频率示值误差按公式(3)和公式(4)计算。

6.2.4 电平校准

一般情况下,被校准 LCR 数字电桥的电平与负载有关,应根据测量端口的形式,使用尽量短的测试线正确连接被校准 LCR 数字电桥的测量端和数字多用表(或数字电压表)的输入端,应对其 0.1V、0.3V 和 1.0V 电平值进行校准。

被校准 LCR 数字电桥电平示值误差按公式(5)和公式(6)计算。

7 校准结果表达

7.1 校准证书

校准结果应在校准证书上反应, 校准证书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, 应说明被校准对象的接收日期;
- h) 如果与校准结果的有效性和应用有关时, 应对被校准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) 对校准规范的偏离的说明;
- n) 校准证书和校准报告签发人的签名、职务或等效标识;
- o) 校准结果仅对被校准对象有效的声明;
- 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。

7.2 数据处理及修约

被校准 LCR 数字电桥各参数的误差数据计算后, 应采用四舍五入法则进行修约, 其有效数位数应满足各量程所评定的不确定度要求。

8 复校时间间隔

建议复校时间间隔为 1 年。

附录 A LCR 数字电桥校准不确定度评定示例

A.1 测量方法

采用直接测量法, 以校准 LCR 数字电桥的电感值为例评定 LCR 数字电桥的不确定度。测量装置为标准电感箱, 用被检 LCR 数字电桥直接测量标准电感箱的 100mH 电感值, 读取 LCR 数字电桥的测量显示值。

A.2 测量模型

测量模型可用式 (A.1) 表示:

$$\Delta = L_x - L_N$$

(A.1)

式中:

Δ — 被测 LCR 数字电桥电感值的示值误差, mH;

L_x — 被测 LCR 数字电桥的电感显示值, mH;

L_N — 标准电感箱的电感标准值, mH。

灵敏度系数为:

$$\frac{\partial f}{\partial L_x} = 1 \quad \frac{\partial f}{\partial L_N} = -1 \quad (A.2)$$

根据不确定度传播律, 测量结果的不确定度可表示为:

$$u_c^2(L) = \left(\frac{\partial f}{\partial L_x}\right)^2 u^2(L_x) + \left(\frac{\partial f}{\partial L_N}\right)^2 u^2(L_N) \quad (A.3)$$

式中:

$u_c(L)$ — 被测 LCR 数字电桥电感值的合成标准不确定度, mH;

$u(L_x)$ — 被测 LCR 数字电桥引入的不确定度, mH;

$u(L_N)$ — 标准电感箱引入的不确定度, mH。

A.3 不确定度来源

由测量模型可知, 测量结果的不确定度由被测 LCR 数字电桥引入的不确定度(测量重复性引入的不确定度和电桥分辨力引入的不确定度中的较大者)和标准电感箱引入的不确定度决定。

校准过程中, 在符合要求的环境条件下, 温度、湿度、电磁干扰等带来的影响可忽略, 因此, 环境条件引入的不确定度忽略不计。

A.4 测量不确定度分量

A.4.1 LCR 数字电桥测量重复性引入的不确定度 $u_1(L_x)$

LCR 数字电桥的重复性引入的标准不确定度通过 A 类方法进行评定, 采用贝塞尔公式计算单次实验标准偏差得到。

$$u_1(L_x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (L_{xi} - \bar{L}_x)^2}{n-1}} \quad (\text{A.4})$$

式中:

\bar{L}_x — LCR 数字电桥重复测量标准电感箱的测量平均值, mH;

L_{xi} — 测量标准电感箱对应电感值的第 i 次测量值, mH;

n — 重复测量的次数。

LCR 数字电桥在 1kHz 测量频率下测量标准电感箱 100mH 电感值, 重复测量结果如表 A.1 所示。

表 A.1 测量标准电感箱 100mH 电感值的重复测量数据

测量次数	电桥显示值/mH
1	99.95
2	99.95
3	99.96
4	99.95
5	99.95
6	99.96
7	99.96

8	99.95
9	99.96
10	99.95

根据表 A.1 中的数据, 可由公式 (A.4) 计算出重复测量的单次实验标准偏差为

$$S(L_x) = 0.0042 \text{ mH} \quad (\text{A.5})$$

则测量重复性引入的不确定度为:

$$u_1(L_x) = S(L_x) = 0.0042 \text{ mH} \quad (\text{A.6})$$

A.4.2 LCR 数字电桥分辨力引入的不确定度 $u_2(L_x)$

LCR 数字电桥分辨力引入的不确定度按 B 类方法进行评定。在测量标准电感箱电感值时, LCR 数字电桥的分辨力为 0.01 mH , 即分布区间的半宽度为 $a = 0.01 \text{ mH}$, 为均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则 LCR 数字电桥分辨力引入的不确定度为:

$$u_2(L_x) = \frac{a}{k} = \frac{0.01 \text{ mH}}{\sqrt{3}} = 0.0058 \text{ mH} \quad (\text{A.7})$$

被测 LCR 数字电桥引入的不确定度为测量重复性引入的不确定度和电桥分辨力引入的不确定度中的较大者即取 $u_1(L_x) = 0.0058 \text{ mH}$ 。

A.4.3 标准电感箱引入的不确定度

测量装置为标准电感箱, 其引入的不确定度按 B 类方法进行评定。根据上级溯源证书可知, 该标准电感箱在 100 mH 电感值的不确定度为 0.005 mH , ($k=2$), 即分布区间的半宽度为 $a = 0.005 \text{ mH}$, 包含因子 $k=2$, 则标准电感箱引入的标准不确定度为:

$$u_2(L_x) = \frac{a}{k} = \frac{0.005 \text{ mH}}{2} = 0.0025 \text{ mH} \quad (\text{A.8})$$

A.5 合成标准不确定度

合成标准不确定度为:

$$u_c(L) = \sqrt{u_1^2(L_x) + u_2^2(L_x)} = 0.006 \text{ mH} \quad (\text{A.9})$$

A.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$, 则扩展不确定度为:

$$U(L) = k \times u_c(L) = 0.012 \text{ mH}, \quad (k = 2) \quad (\text{A.10})$$

附录 B 校准原始记录格式（推荐）**LCR 数字电桥校准原始记录**

证书编号：

被校仪器信息

委托单位名称			
委托单位地址			
委托仪器名称			
生产单位			
规格型号		仪器编号	

标准设备信息

标准器名称	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

本次校准所用测量标准的溯源性说明：

技术依据：

环境条件 温度： 相对湿度：

校准地点：

备注：

校准日期：

校准人员： 核验人员：

1. 外观检查: 合格 (), 不合格 ()

委托物品测量前状态说明: 完好 (), 有缺陷 ()

2. 电容值

校准项目	实际值	测量值	不确定度 ($k=2$)	备注
电容				
电容频率响应				

3. 电感值

实际值	测量值	不确定度 ($k=2$)	备注

4. 电阻值

校准项目	实际值	测量值		不确定度 ($k=2$)	备注
电阻					
电阻频率响应					

5. 电阻线性值 (1kHz)

实际值 (k Ω)	测量值 (k Ω)	实际值 (k Ω)	测量值 (k Ω)

6. 损耗因数

实际值	测量值	实际值	测量值

7. 频率

标称值	显示值	备注

8. 电平

标称值	显示值	备注

附录 C 校准证书内页格式（推荐）

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：

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

证书编号 XXXXXX-XXXX

1. 外观检查: 合格 (), 不合格 ()

2. 电容值

校准项目	实际值	测量值		不确定度 ($k=2$)	备注
电容					
电容频率响应					

3. 电感值

实际值	测量值		不确定度 ($k=2$)	备注

4. 电阻值

校准项目	实际值	测量值	不确定度 ($k=2$)	备注
电阻				
电阻频率响应				

5. 电阻线性值 (1kHz)

实际值 (k Ω)	测量值 (k Ω)	实际值 (k Ω)	测量值 (k Ω)

6. 损耗因数

实际值	测量值	实际值	测量值

7. 频率

标称值	显示值	备注

8. 电平

标称值	显示值	备注

声明:

1. 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本次所校准的计量器具有效。

校 准 员:

核 验 员: