

JJF

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF ××××—××××

标准电容箱校准规范

Calibration Specification for Standard Capacitance Box

(征求意见稿)

××××—××—××发布

××××—××—××实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

标准电容箱校准规范

Calibration Specification for Standard
Capacitance Box

JJF XXXX-XX

归口单位：全国电磁计量技术委员会

主要起草单位：

参加起草单位：

本规范委托全国电磁计量技术委员会负责解释。

本规范主要起草人：

X X X（起草人所在单位名称）

参加起草人：

X X X（起草人所在单位名称）

目 录

引言.....	II
1 范围.....	1
2 引用文件.....	1
3 术语和计量单位.....	1
3.1 电容 capacitance	1
3.2 等效电容值 equivalent capacitance.....	1
3.3 损耗因数 dissipation factor of capacitor.....	1
3.4 绝缘电阻 insulation resistance.....	2
3.5 频率特性 frequency characteristic	2
3.6 零位电容值 residual capacitance.....	2
4 概述.....	2
5 计量特性.....	2
5.1 标准电容箱示值误差	2
5.2 年稳定性.....	3
5.3 损耗因数.....	3
5.4 绝缘电阻.....	4
5.5 零位电容值.....	4
6 校准条件.....	4
6.1 环境条件.....	4
6.2 测量标准及其他设备.....	4
7 校准项目和校准方法.....	5
7.1 校准项目.....	5
7.2 校准方法.....	5
8 校准结果表达.....	7
8.1 校准证书.....	7
8.2 数据处理及修约.....	8
9 复校时间间隔.....	8
附录 A 测量不确定度评定示例.....	9
A.1 标准电容箱测量不确定度的评定（直接测量法）	9
A.2 标准电容箱测量不确定度的评定（替代测量法）	11
附录 B 校准原始记录格式.....	13
2 端钮式标准电容箱原始记录.....	14
附录 C 校准证书内页格式（第 2 页）	15
附录 D 校准证书校准结果页格式（第 3 页）	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》进行编制。

本规范是首次制定的国家计量校准规范。

标准电容箱校准规范

1 范围

本规范适用于频率范围为 20 Hz~1 MHz, 电容范围为 0.0001 pF~1 F 的测量用标准电容箱的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1001-2011 通用计量术语及定义

JJG 183-2017 标准电容器检定规程

GB 11149-1989 标准电容箱国家标准

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 术语和计量单位

3.1 电容 capacitance

两导体所带电荷为等量异号时，电荷的量值与该两导体间电位差的比值。在国际单位制 SI 中，电容的单位是法拉 F。

3.2 等效电容值 equivalent capacitance

电容容抗值是交流阻抗的容性分量，按照不同的等效电路模型，分为串联等效电容值或并联等效电容值。

3.3 损耗因数 dissipation factor of capacitor

电容器损耗因数即电容器的损耗角正切 $\tan\delta$ 。在交流电场中，电容器损耗功率与其贮存功率的比值为损耗因数，用来判断电容器及介质的品质。

3.4 绝缘电阻 insulation resistance

绝缘电阻是指电容箱电路和屏蔽之间的绝缘指标。

3.5 频率特性 frequency characteristic

因偏离参考频率或参考频率范围时引起的电容量的变差。

3.6 零位电容值 residual capacitance

开关器件有零位档的标准电容箱，当所有开关均置于零位时，电容箱输出端的残余电容值。

4 概述

标准电容箱是由单个或若干个并联的电容器组成的多值电容器，主要用于交流阻抗的校准。

5 计量特性

5.1 标准电容箱示值误差

标准电容箱的示值绝对误差的表示形式为：

$$\Delta = C_N - C_X \quad (1)$$

式中： Δ ——电容箱的示值绝对误差，F；

C_N ——电容箱被校点示值的标称值，F；

C_X ——电阻箱被校点示值的实际值，F。

标准电容箱的示值相对误差的表示形式为：

$$\delta = \frac{\Delta}{C_X} = \frac{C_N - C_X}{C_X} \times 100\% \quad (2)$$

式中： δ ——电容箱的示值相对误差。

在最大工作频率范围内，标准电容箱每个十进盘均具有各自的电容准确度等级，各盘的示值最大允许误差应符合表 1 的规定。

表 1 标准电容箱最大允许误差

等级指数	最大允许误差
0.001 级	$\pm 0.001\%$
0.002 级	$\pm 0.002\%$
0.005 级	$\pm 0.005\%$
0.01 级	$\pm 0.01\%$
0.02 级	$\pm 0.02\%$
0.05 级	$\pm 0.05\%$
0.1 级	$\pm 0.1\%$
0.2 级	$\pm 0.2\%$
0.5 级	$\pm 0.5\%$
1 级	$\pm 1\%$
2 级	$\pm 2\%$
5 级	$\pm 5\%$
10 级	$\pm 10\%$

5.2 年稳定性

标准电容箱的稳定性是指电容值随时间恒定的能力。在一年内，电容值发生的变化为年稳定性。通过下式计算标准电容器的年稳定性。

$$\gamma = \frac{C_x - C_{x'}}{C_{x'}} \times 100\% \quad (3)$$

式中：

γ —标准电容箱的年稳定性；

C_x —本次校准电容箱的电容实际值，F；

$C_{x'}$ —上次周期校准电容箱的电容实际值，F。

标准电容箱的不稳定性指标不应超过最大允许误差。

5.3 损耗因数

标准电容箱每个十进盘均具有各自的损耗因数指标，损耗因数应不超过表 2 所规定的值。

表 2 损耗因数指标

介电材料	损耗因数指标
气体介质	$\leq 1 \times 10^{-4}$
固体介质 (标称值 $\leq 1 \mu\text{F}$)	$\leq 2 \times 10^{-3}$
固体介质 ($1 \mu\text{F} < \text{标称值} < 10 \text{ mF}$)	$\leq 5 \times 10^{-3}$
固体介质 (标称值 $\geq 10 \text{ mF}$)	≤ 0.3

5.4 绝缘电阻

绝缘电阻是指电容箱电路和屏蔽之间的绝缘电阻应不小于 $100 \text{ M}\Omega$ 。

5.5 零位电容值

标准电容箱的零位电容值应小于其各盘对应最大允许误差的 $1/10$ 。

6 校准条件

6.1 环境条件

被测标准电容箱的校准条件如表 3 所示。其环境条件应满足所评定目标等级的规定。在校准之前，被测量标准电容箱须放置： 0.05 级及以上的被测标准电容箱在实验室放置时间不少于 24 小时；其余等级的标准电容箱放置时间不少于 8 小时。

表 3 标准电容器的校准环境条件

等级指数	温度	相对湿度	校准频率
0.01 级及以上	$(20 \pm 1) ^\circ\text{C}$	$(50 \pm 10) \%$	1.推荐频率： $(1000 \pm 10) \text{ Hz}$; $\geq 10 \mu\text{F}$ 时 $(100 \pm 2) \text{ Hz}$
0.02 级	$(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$	$(50 \pm 10) \%$	
0.05 级; 0.1 级	$(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$	$(50 \pm 20) \%$	
0.2 级及以下	$(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$	$(50 \pm 20) \%$	2.指定频率

6.2 测量标准及其他设备

校准标准电容箱时，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标准电容箱最大允许误差的 $1/3$ 。

6.2.1 主要标准器

6.2.1.1 电容电桥

电容电桥的允许误差应不大于被校标准电容箱允许误差的 $1/4$ 。

6.2.1.2 RLC 测量仪

RLC 测量仪的允许误差应不大于被校标准电容箱允许误差的 1/4。

6.2.1.3 标准电容器或电容箱

标准电容器或电容箱的允许误差应不大于被校标准电容箱允许误差的 1/4。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

校准项目包含外观检查、电容箱示值误差、损耗因数、频率特性，绝缘电阻及零位电容值等可根据客户需要进行校准。

7.2 校准方法

7.2.1 外观检查

标准电容箱的铭牌应有以下主要标志：

产品名称、型号、编号、生产厂名（或厂标）、十进盘电容标称值和相应的准确度等级、损耗因数指标、零位电容、额定电流或最大功率等。

7.2.2 标准电容箱示值误差

根据被校标准电容箱的等级指数、标称值，可采用直接测量法、同标称值替代法进行校准，每个电容步进盘各电容档位均需进行校准。

标准电容箱校准频率一般可选择为 100 Hz 或 1 kHz。

7.2.2.1 直接测量法：

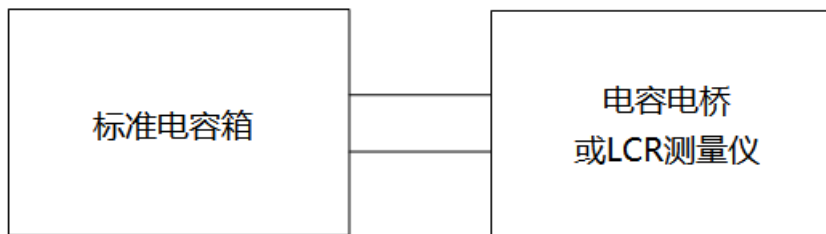


图 1 直接测量法校准标准电容箱

直接用电容电桥或 LCR 测试仪测量标准电容箱各步进盘的电容值，被测标准电容箱阻抗值低于 $100\ \Omega$ 时可采用串联等效模型，高于 $100\ \Omega$ 时可采用并联等效模型。

测量结果的示值误差按公式（1）和（2）计算。

7.2.2.2 同标称值替代法



图2 同标称值替代法校准标准电容箱

如图2所示,利用电容电桥或RLC测试仪依次测量标准电容箱 C_S 和被校电容箱 C_X 的电容值,校准结果为

$$C_X = C_S + (A_X - A_S) \quad (4)$$

式中: A_S ——测量标准电容箱 C_S 时测量仪器的示值;

A_X ——测量被校电容箱 C_X 时测量仪器的示值。

7.2.3 损耗因数

利用电容电桥直接测量标准电容箱损耗因数,各步进盘每个档位的电容损耗因数均需校准,测量结果如式(5)所示。

$$D_X = D \quad (5)$$

式中: D ——损耗因数示值;

D_X ——损耗因数实际值。

7.2.4 频率特性

测量标准电容箱频率特性时,首先利用电容电桥或LCR测量仪在参考频率下测量电容箱的电容值 C_0 ,再在某一频率 f 下测量电容箱的电容值 C_F ,则该频率下的频率特性可用式(6)计算。

$$\gamma_x = \frac{C_F - C_0}{C_0} \times 100\% \quad (6)$$

式中： γ_x ——被校准标准电容箱的频率特性。

7.2.5 标准电容箱零位电容

测量标准电容箱零位电容值时，将各步进盘置于零位档或最小档位，利用电容电桥或 LCR 测量仪测量零位电容值。

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。

8.2 数据处理及修约

被校标准电容箱的误差数据计算后，应采用四舍五入法则进行修约，各十进盘第 1 点的校准数据末位应修约到对应于该点最大允许误差的 $1/10$ 的位数，其余各点位数与第一点对齐。

9 复校时间间隔

建议复校时间间隔为一年。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

适用于用标准电容箱的校准测量结果不确定度的评定与表示。参照 JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》进行评定。

A.1 标准电容箱测量不确定度的评定（直接测量法）

1. 测量方法

用 AH2500 高精密电容电桥直接测量 $1\text{ pF} \sim 1\text{ }\mu\text{F}$ 标准电容器的容量值，其测量结果（ 1 kHz ）不确定度评定如下。

2. 数学模型

$$C_x = C \quad (\text{A.1})$$

式中： C_x ——待校电容箱的电容实际值，F；

C ——电容电桥的电容显示值，F。

3. 测量不确定度的评定

3.1 A 类不确定度 $u_{1(\text{rel})}$

在重复性条件下，对 $1\text{ pF} \sim 1\text{ }\mu\text{F}$ 被测标准电容箱进行 10 次独立重复测量，得到的测量结果总结如下附表 A.1。

3.2 B 类不确定度

①AH 电桥引入的不确定度分量 $u_{2(\text{rel})}$

AH 高精密电容电桥经上级检定，其测量结果不确定度为 A，按正态分布计算，则相对标准不确定度为 $u_{2(\text{rel})} = \frac{A}{2}$

②环境条件引入的不确定度分量 $u_{3(\text{rel})}$

实验室环境条件符合检定规程的要求，影响量可忽略， $u_{3(\text{rel})} = 0$

3.3 合成标准不确定度

各输入量互不相关，且灵敏系数为 1，则相对合成标准不确定为

$$u_{\text{rel}} = \sqrt{u_{1(\text{rel})}^2 + u_{2(\text{rel})}^2 + u_{3(\text{rel})}^2}$$

3.4 扩展不确定度

取其置信概率为 $p=95\%$ ，包含因子 $k=2$ ，则 $U_{\text{rel}}=2 \times u_{\text{rel}}$

表 A.1 1 pF~1 μF 标准电容箱测量结果

标称值	1pF	10pF	100pF	1000pF	0.01μF	0.1μF	1μF
次数	测量结果(pF)				测量结果(μF)		
1	0.999939	9.99954	99.9968	999.978	0.01000085	0.0999970	1.000088
2	0.999944	9.99956	99.9967	999.978	0.01000089	0.0999972	1.000082
3	0.999943	9.99954	99.9968	999.977	0.01000091	0.0999979	1.000078
4	0.999941	9.99953	99.9969	999.978	0.0100009	0.0999984	1.000086
5	0.999946	9.99955	99.9968	999.978	0.01000087	0.0999976	1.000095
6	0.999943	9.99954	99.9969	999.977	0.01000087	0.0999981	1.000103
7	0.999938	9.99955	99.9968	999.979	0.01000090	0.0999985	1.000091
8	0.999946	9.99954	99.9969	999.978	0.01000085	0.0999971	1.000093
9	0.999942	9.99955	99.9968	999.978	0.01000086	0.0999980	1.000100
10	0.999940	9.99956	99.9967	999.979	0.01000092	0.0999983	1.000098
平均值	0.9999422	9.999546	99.99681	999.978	0.010000882	0.09999781	1.0000914
标准差	2.7E-06	9.7E-06	7.4E-05	6.7E-04	2.5E-08	5.5E-07	8.0E-06
$u_{1(\text{rel})}$	2.7E-06	9.7E-07	7.4E-07	6.7E-07	2.5E-06	5.5E-06	8.0E-06

3.5 不确定度分量表汇总

表 A.2 1 pF~1 μF 标准电容箱不确定度汇总表

标称值	1pF	10pF	100pF	1000pF	0.01μ F	0.1μ F	1μ F
$u_{1(\text{rel})}$	2.7×10^{-6}	1.0×10^{-6}	0.7×10^{-6}	0.7×10^{-6}	2.5×10^{-6}	5.5×10^{-6}	8.0×10^{-6}
$u_{2(\text{rel})}$	0.8×10^{-6}	0.5×10^{-6}	0.5×10^{-6}	0.5×10^{-6}	1×10^{-6}	1×10^{-6}	2.5×10^{-6}
$u_{3(\text{rel})}$	0	0	0	0	0	0	0
合成标准不确定度	2.9×10^{-6}	1.2×10^{-6}	0.9×10^{-6}	0.9×10^{-6}	2.7×10^{-6}	5.6×10^{-6}	9×10^{-6}
扩展不确定度 $U_{\text{rel}} (k=2)$	5.8×10^{-6}	2.4×10^{-6}	1.8×10^{-6}	1.8×10^{-6}	5.4×10^{-6}	12×10^{-6}	18×10^{-6}

A.2 标准电容箱测量不确定度的评定（替代测量法）

1、测量方法

替代法主要用于校准准确度级别较高的标准电容箱。用电容电桥作为替代装置，分别测量标准电容箱或被校电容箱，通过计算得出被校电容箱电容量实际值。

2、数学模型

被校准电容器容量值计算公式：

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

式中： C_x ——被校电容箱容量实际值；

C_s ——标准电容箱容量实际值；

ΔC ——两次电容量值之差。

3、测量不确定度主要来源及评定

3.1 A 类不确定度 $u_{1(\text{rel})}$

在重复性条件下，对 1 pF 被测标准电容器进行 10 次独立重复测量，得到的测量结果如表 A.3 所示。

表 A.3 1 pF 测量结果

(单位：pF)

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量结果	0.99998	0.99999	0.99998	0.999998	0.999998	0.999998	0.999998	0.999998	0.999998	0.999998

测量结果的平均值 $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = 0.999936 \quad \text{pF}$

实验标准差为 $s(\bar{X}) = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} = 7.6 \times 10^{-6} \quad \text{pF}$

则相对标准不确定度为 $u_{1(\text{rel})} = \frac{u_1}{\bar{X}} \approx 8 \times 10^{-6}$

3.2 B 类不确定度

①标准电容器引入的标准不确定度 $u_{2(\text{rel})}$

1 pF 标准电容器的扩展不确定度为 $U_{\text{rel}}=1\times 10^{-5}(k=2)$ ，则标准电容器的相对标准不确定度为

$$u_{2(\text{rel})}=\frac{U_{\text{rel}}}{2}=5\times 10^{-6}$$

②标准电容器的不稳定性引入的标准不确定度 $u_{3(\text{rel})}$

经过稳定性考察，标准电容器的年不稳定性符合 2×10^{-5} ，符合均匀分布，则相对标准不确定度为 $u_{3(\text{rel})}=\frac{2\times 10^{-5}}{\sqrt{3}}\approx 12\times 10^{-6}$

③电桥分辨率引入的标准不确定度 $u_{4(\text{rel})}$

根据 AH2700A 电桥的说明书，计算出电桥 1 pF 量程的分辨率为： 1×10^{-6} ，符合均匀分布，则相对标准不确定度为

$$u_{4(\text{rel})}=\frac{1\times 10^{-6}}{2\sqrt{3}}=0.3\times 10^{-6}$$

④环境条件的影响 $u_{5(\text{rel})}$

实验室环境条件符合检定规程的要求，影响量可忽略。

3.3 合成标准不确定度

各输入量互不相关，且灵敏系数为 1，则相对合成标准不确定度为：

$$u_{\text{rel}}=\sqrt{u_{1(\text{rel})}^2+u_{2(\text{rel})}^2+u_{3(\text{rel})}^2+u_{4(\text{rel})}^2+u_{5(\text{rel})}^2}=3.4\times 10^{-7}$$

3.4 扩展不确定度

取置信概率为 $p=95\%$ ，包含因子 $k=2$ ，则 $U_{(\text{rel})}=2\times u_{\text{rel}}=3\times 10^{-5}$

3.5 不确定度分量表汇总

表 A.4 1 pF 标准电容箱不确定度汇总表

输入量	估计量	评定类型	标准不确定	概率分布	灵敏度系数	不确定度分量
$u_{1(\text{rel})}$	8×10^{-6}	A 类	8×10^{-6}	/	/	8×10^{-6}
$u_{2(\text{rel})}$	1×10^{-5}	B 类	5×10^{-6}	正态分布	1	5×10^{-6}
$u_{3(\text{rel})}$	2×10^{-5}	B 类	17×10^{-6}	矩形	1	17×10^{-6}
$u_{4(\text{rel})}$	1×10^{-6}	B 类	0.3×10^{-6}	矩形	1	0.3×10^{-6}
$u_{5(\text{rel})}$	0	B 类	0	矩形	1	0
合成标准不确定度						1.9×10^{-5}
扩展不确定度 $U_{\text{rel}}(k=2)$						4×10^{-5}

附录 B 校准原始记录格式

记录编号_____证书编号_____共__页 第__页

送校单位_____样品名称_____样品制造厂_____

样品型号_____样品编号_____样品等级(允差)_____

标准装置名称_____标准装置型号_____标准装置编号_____

标准装置不确定度_____标准装置证书号_____标准装置证书有效期____年____月____日

依据的技术文件_____环境温度____湿度____

校准员____核验员____校准日期____年____月____日

1 转盘式标准电容箱原始记录：

电容值				
示 值	实 际 值	实 际 值	实 际 值	实 际 值
频 率				
允 许 误 差				
损 耗 因 数				
电容值不确定度				
损 耗 因 数 不 确 定 度				

2 端钮式标准电容箱原始记录

<div>测量盘</div> <div>示值</div>	实 际 值 (pF)					
	×10000	×1000	×100	×10	×1	×0.1
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
损耗因数:						
校准频率:	测量频率 1000 Hz					

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. 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

1 转盘式标准电容箱

电容值				
示 值	实 际 值	实 际 值	实 际 值	实 际 值
频 率				
允 许 误 差				
损 耗 因 数				
电容值不确定度				
损 耗 因 数 不 确 定 度				

证书编号 XXXXXX-XXXX

校准结果

2 端钮式标准电容箱

测量盘 示值	实 际 值 (pF)					
	×10000	×1000	×100	×10	×1	×0.1
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
损耗因数:						
校准频率:	测量频率 1000 Hz					

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.

校准员：

核验员：