



中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 563—2004

高 压 电 容 电 桥

High Voltage Capacitance Bridges

2004 - 03 - 02 发布

2004 - 09 - 02 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

高压电容电桥检定规程

Verification Regulation of High

Voltage Capacitance Bridges

JJG 563—2004

代替 JJG 563—1988

本规程经国家质量监督检验检疫总局 2004 年 03 月 02 日批准，并自 2004 年 09 月 02 日起施行。

归口单位： 全国电磁计量技术委员会

起草单位： 国家高电压计量站

本规程委托全国电磁计量技术委员会负责解释

本规程主要起草人：

王乐仁 (国家高电压计量站)

章述汉 (国家高电压计量站)

参加起草人：

彭旭东 (国家高电压计量站)

目 录

1 范围	(1)
2 概述	(1)
2.1 高压电容电桥的工作原理	(1)
2.2 高压电容电桥的分类	(1)
2.3 高压介损仪	(1)
3 计量性能要求	(1)
3.1 高压电容电桥的准确度等级	(1)
3.2 高压介损仪电桥部分的准确度等级	(2)
3.3 高压电容电桥的基本误差	(2)
3.4 稳定性	(2)
4 通用技术要求	(2)
4.1 屏蔽支路调节器与工频检流计	(2)
4.2 外观及标记	(3)
4.3 绝缘	(3)
5 计量器具控制	(3)
5.1 检定条件	(3)
5.2 检定项目	(3)
5.3 检定方法	(4)
5.4 检定结果的处理	(7)
5.5 检定周期	(8)
附录 A 等功率电桥法检定高压电容电桥的原理与步骤	(9)
附录 B 低压导纳法检定高压电容电桥的原理与步骤	(11)
附录 C 电容轮换法检定高压电容电桥的原理与步骤	(12)
附录 D 用损耗因数数量具检定高压电容电桥的原理	(14)
附录 E 检定数据处理的例子	(15)
附录 F 高压介损仪的整体校准	(19)
附录 G 高压电容电桥检定证书内页格式	(21)

高压电容电桥检定规程

1 范围

本规程适用于在 50Hz 电源条件下测量电容量和介质损耗因数的西林型、电流比较仪型以及电子式、数字式高压电容电桥的首次检定、后续检定和使用中的检验。基于高压电容电桥原理的高压介损仪的电桥部分按本规程检定，电桥部分与高压电容器组合后按规程附录 F 校准。

本规程不适用于高压电容电桥附加作交流电桥使用的桥路部分的检定。

2 概述

2.1 高压电容电桥的工作原理

高压电容电桥从工作原理上可以认为是一种测量工频电流比率的装置。当工频高压施加在高压标准电容器和被测设备上时，即产生与它们的电容量和介质损耗因数成比例的同相及正交工频电流分量，这两个工频电流分量经电桥作比例测量后，即可得到被测设备相对于高压标准电容器的电容量比值与介质损耗因数差值。

2.2 高压电容电桥的分类

2.2.1 西林型高压电容电桥

电桥的电流比例臂由电阻器构成。流过参考电流的比例臂上并联有移相电容器。采用电势平衡指示。

2.2.2 电流比较仪型高压电容电桥

电桥的电流比例臂由电流比较仪的比例绕组构成。流过参考电流的比例臂上附有移相电路，采用磁势平衡指示。按移相方式可以把这类电桥分为有源与无源两种。属于无源的一种用阻容电路直接移相；属于有源的一种用电子放大元件配合阻容元件正交移相。用磁势合成方法实现所需相移。

2.2.3 电子式高压电容电桥

使用电子电路（包括模拟电路和数字电路）测量幅值比和相位差的高压电容电桥。

2.2.4 数字式高压电容电桥

采用数字信号处理方法测量幅值比和相位差的高压电容电桥。

2.3 高压介损仪

本规程涉及的高压介损仪是一种由高压电容电桥、高压试验电源和高压标准电容器组成的测量装置。高压试验电源通常不高于 10kV，频率 40Hz ~ 70Hz。

3 计量性能要求

3.1 高压电容电桥的准确度等级

3.1.1 高压电容电桥的准确度按电容比率和介质损耗因数分别定级如下：

电容比率测量准确度级别为 0.001, 0.002, 0.005, 0.01, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2,

0.5, 1, 2, 5。

介质损耗因数差值测量准确度级别为 0.5, 1, 2, 5, 10。

3.1.2 高压电容电桥通过量程扩展器增加的附加量程, 其准确度应当用准确度级别或用公式、图表表示。

3.2 高压介损仪电桥部分的准确度等级

高压介损仪电桥部分的准确度参照高压电容电桥定级。

3.3 高压电容电桥的基本误差

西林型高压电容电桥和自动变换量程的电子式或数字式电桥的基本误差为:

$$\Delta X = \pm \frac{AX}{100} (1 + 0.003X)$$

$$\Delta D = \pm \frac{B}{100} (D + 0.01)$$

电流比较仪型高压电容电桥和手动变换量程的电子式或数字式电桥的基本误差为:

$$\Delta X = \pm \frac{R_N A}{100} \left(1 + \frac{0.5D}{A} \right)$$

$$\Delta D = \pm \frac{B}{100} (D + 0.01)$$

各符号的意义为:

ΔX ——电容比率示值绝对误差限值;

ΔD ——介质损耗因数示值绝对误差限值;

A ——用百分数表示的电容比率测量准确度级别;

B ——用百分数表示的介质损耗因数差值测量准确度级别;

X ——电容比率测量示值;

D ——介质损耗因数测量示值;

R_N ——电容比率量程定标值。它等于该量程最大比率值按一位有效数字化整的数值。

3.4 稳定性

在遵守制造厂规定的使用、运输及贮存条件下, 2 年内电桥应符合原准确度级别基本误差的规定。在遵守制造厂规定的使用条件下, 环境温度每变化 10℃ 所引起的电桥误差值的变化, 应不大于电桥基本误差限值的 1/3。

4 通用技术要求

4.1 屏蔽支路调节器与工频检流计

与高压电容电桥配套使用的屏蔽支路调节器, 无论是手动调节或自动调节, 在调整到电桥规定的平衡状态时, 所引起的测量值的变化量应小于电桥允许误差的 1/10。

与电桥配套使用的工频检流计, 其高次谐波抑制比和交叉调制系数两项指标, 对介质损耗因数差值测量准确度为 0.5 级的电桥, 应不小于 50dB, 对 1 级应不小于 40dB, 其他情况应不小于 30dB。工频检流计的阻尼时间应小于 4s。工频检流计的灵敏度应满足如下要求: 当参考电流处于电桥规定的最低工作范围时, 若电桥测量臂偏调量相当于允许误差的 1/10, 则检流计的偏转不小于 1mm。

屏蔽支路调节器与工频检流计在通电预热 3min 后, 其零位漂移对测量结果的影响应小于允许误差的 1/10。

4.2 外观及标记

高压电容电桥及配套器件外观应完好, 各转换开关和接线端钮的标记应齐全清晰, 接插件接触良好, 开关转动灵活, 定位准确。高压电桥上应有型号、名称、原理接线图以及使用频率、量程、准确度级别、参考电流工作范围和出厂编号等标记。

4.3 绝缘

配有交流电源插座的高压电容电桥, 插座与电桥外壳可触及的金属部件之间的绝缘电阻应不小于 $10\text{M}\Omega$, 并能耐受 50Hz, 1.5kV 正弦电压 1min 试验。

若电桥具有与高压直接连结的端钮, 则该端钮与外壳可触及的金属部件之间的绝缘电阻应大于 $100\text{M}\Omega$, 并能耐受 50Hz, 15kV 正弦电压 1min 试验。

5 计量器具控制

计量器具控制包括首次检定、后续检定和使用中的检验。

5.1 检定条件

5.1.1 环境与电源条件

检定场所的布置应使被检电桥与高压引线的距离大于 $\sqrt[3]{U_m}$; 与电流母线的距离大于 $\sqrt[3]{I_m}$ 。其中: U 的单位为 kV; I 的单位为 A。

因外界电磁场影响而引起的误差, 不应超过电桥允许误差的 1/10。或者当改变高压试验电源的极性时, 前后两次示值之差, 不超过电桥在这一点允许误差的 1/5。

检定电桥时, 应满足表 1 规定的参考条件。检定前, 被检电桥与检定装置在满足表 1 规定的环境条件下存放时间应超过 24h。

表 1 检定参考条件

被检电桥介质损耗 因数准确度级别	环境温度 /℃	相对湿度 / (%)	电源频率 /Hz	电源电压波形畸变 系数/ (%)
0.5, 1	20 ± 5	35 ~ 65	50 ± 0.2	≤ 1
2, 5, 10	20 ± 10	30 ~ 75	50 ± 0.5	≤ 5

5.1.2 检定用设备

5.1.2.1 高压电容电桥的电容比率基本误差使用电容量具 (或交流电阻量具) 整体检定。高压电容电桥的介质损耗因数基本误差使用工频损耗因数量具整体检定。

电容量具提供的电容比率不确定度 ($p = 95\%$) 和工频损耗因数量具提供的损耗因数不确定度 ($p = 95\%$) 不得大于被检电桥允许误差的 1/3。

5.1.2.2 绝缘电阻表的测量误差应不大于 10%。输出电压为 1000V 或 1500V。

5.1.2.3 工频耐压试验装置的高压输出容量应不小于 500VA, 波形失真不大于 5%。试验电压的测量误差不大于 3%。

5.2 检定项目

高压电容电桥的检定项目按表 2 规定。

表 2 高压电容电桥检定项目

检定类别 检定项目	首次检定	后续检定	使用中检验
外观及标志检查	+	+	+
工频耐压试验	+	-	-
绝缘电阻试验	+	+	-
检流计灵敏度及屏蔽支路调节器细度试验（西林型和电流比较仪型电桥）	+	+	-
基本误差试验	+	+	+
稳定性试验	+	-	-
注：“+”表示必检项目，“-”表示可不检项目。			

5.3 检定方法

5.3.1 外观及标志检查

外观及标志的检查，应符合本规程第 4.2 条要求。西林型和电流比较仪型电桥全部转换开关应做不少于 10 次的全行程切换。桥体外壳上标明的接地端子，应单独可靠接地。

如发现电桥有严重影响计量性能的缺陷，应修复后再检定。

5.3.2 绝缘试验

高压电容电桥工频耐压试验应在仪器的电源开关接通状态下进行。试验时应逐渐地升高电压至规定值，偏差不大于 3%，并在此电压下保持 1min。试验中应避免试验电源突然接通和分断。测量试验电压时，推荐采用在试验变压器的高压输出端直接测量的方法。试验过程中应无击穿或闪络等破坏性放电现象产生。

绝缘电阻试验应在仪器的电源开关接通状态下进行，试验结果应符合 4.3 条规定。

5.3.3 检流计灵敏度及屏蔽支路调节器细度试验

检流计灵敏度及屏蔽支路调节器细度用两台电容试品在电桥正常测量状态下试验，并在正常参考电流和最大允许参考电流下各进行一次。在调整到电桥规定的平衡状态时，偏调电桥测量臂使测量值偏离该点允许测量误差的 1/10，引起检流计的偏转应不小于 1mm。在调整到电桥规定的平衡状态时，偏调电桥屏蔽支路一个最小分度，检流计的偏转应不大于 1mm。有源电流比较仪电桥的屏蔽支路调节器为反馈式电子放大器，不进行调节细度试验，只在电桥正常参考电流和最大允许参考电流下各进行一次检流计灵敏度试验。

5.3.4 基本误差试验

电桥的电容比率基本误差选用能满足 5.1.2.1 条要求的电容量具（或交流电阻量

具), 使用图 1 的电容比较线路或附录 A1 图的等功率电桥线路整体检定。电桥的损耗因数基本误差选用能满足 5.1.2.1 条要求的工频损耗因数量具, 使用图 2 的电容比较线路或附录 B1 图的低压导纳线路整体检定。

检定时的参考电流应不小于电桥规定的最小工作电流。

检定时读取有效数字的舍入误差应为允许误差的 $1/10 \sim 1/100$ 。

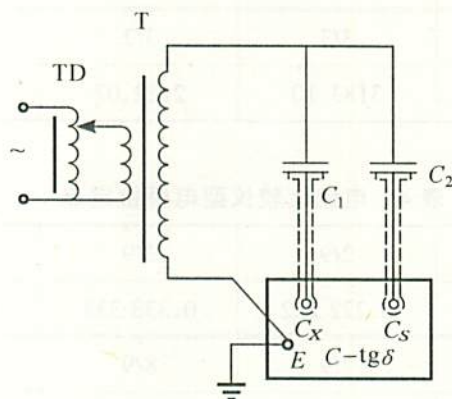


图 1 用电容比较线路检定电容比率

图中: TD—调压器; T—试验变压器; C_1 、 C_2 —标准空气电容器;
 $C - \text{tg}\delta$ —被检电桥

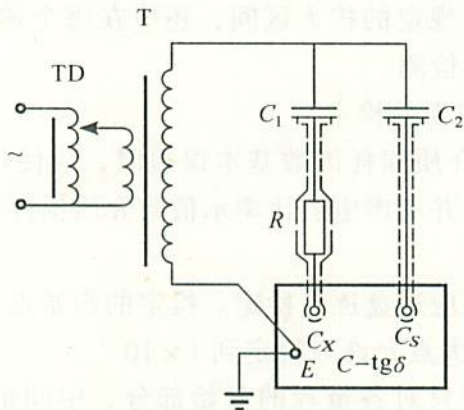


图 2 用电容比较线路检定损耗因数

图中: TD—调压器; T—试验变压器; C_1 、 C_2 —标准空气电容器;
 R —交流电阻; $C - \text{tg}\delta$ —被检电桥

5.3.4.1 电容比率基本误差检定

1) 检定高压电容电桥电容比率测量准确度时, 介质损耗因数盘的置数 D 应满足 $D^2 < \frac{A}{1000}$, 其中, A 为该量程的电容比率测量准确度等级指数。

2) 西林型电桥的基本量程应逐盘逐点检定。检定选点推荐按表 3 系列进行, 检定盘位一般是 $\times 1000\Omega$, $\times 100\Omega$ 和 $\times 10\Omega$ 。

检定电流比较仪型电桥的基本量程时, 检定选点参照表 4 系列进行。可以只对第一盘逐点检定。

非基本量程的检定,可以简化为只对各量程的起始部分,中间部分及最大部分各选一点检定。

表3 西林型电桥推荐检定点

标称比率	3/9	3/8	3/7	3/6	3/5
电桥示值 / Ω	9549.29	8488.26	7427.23	6366.20	5305.16
标称比率	3/4	3/3	3/2	3/1	—
电桥示值 / Ω	4244.13	3183.10	2122.07	1061.03	—

表4 电流比较仪型电桥检定点

标称比率	1/9	2/9	3/9	4/9	5/9
电桥示值	0.111 111	0.222 222	0.333 333	0.444 444	0.555 555
标称比率	6/9	7/9	8/9	9/9	—
电桥示值	0.666 666	0.777 777	0.888 888	0.999 999	—
注:其他比率按十进关系类推。					

3) 电子式和数字式电桥的基本电容比率检定点按 0.1~0.9、1~9、10~100 选取 28 个点。在电桥技术条件还有规定的扩大区间,还应在每个递进的 10 倍区间按接近均匀分布原则选取不少于 3 个点检测。

5.3.4.2 介质损耗因数基本误差检定

1) 检定高压电容电桥介质损耗因数基本误差时,应使用电容比率基本量程。测量盘的第一盘应有非零示值,并考虑电容比率示值与介质损耗因数示值的关系,这一关系在表 5 中列出。

介质损耗因数基本量程应逐盘逐点检定。检定的起始点对 0.5 级至 2 级为 1×10^{-4} , 5 级和 10 级为 1×10^{-3} 。最大点允许只检定到 1×10^{-1} 。

非基本量程允许简化为只对各量程的起始部分、中间部分及最大部分各选一点检定。检定时应根据受检电桥的类型和检定方法,参照表 6 确定频率修正系数 K_f 。

表5 电容比率示值与介质损耗因数示值的关系

等效电路类型	西林型	无源电流比较仪型	有源电流比较仪型
串联	$\frac{C_x}{C_s} = \frac{R_4}{R_3}$	$\frac{C_x}{C_s} = \frac{n_2}{N_1}$	$\frac{C_x}{C_s} = \frac{n_2}{N_1} \times (1 + D^2)$
并联	$\frac{C_x}{C_s} = \frac{R_4}{R_3} \times \frac{1}{1 + D^2}$	$\frac{C_x}{C_s} = \frac{n_2}{N_1} \times \frac{1}{1 + D^2}$	$\frac{C_x}{C_s} = \frac{n_2}{N_1}$
注:电容比率示值与介质损耗因数示值的关系可用公式 $C_x/C_s = K_p R_4/R_3$ 或 $C_x/C_s = K_p n_2/N_1$ 表示。			

表 6 频率修正系数 K_f

检定方法	西林型	无源电流比较仪型	有源电流比较仪型
低压导纳	$\left(\frac{f}{f_0}\right)^2$	$\left(\frac{f}{f_0}\right)^2$	1
串联等效	1	1	$\left(\frac{f_0}{f}\right)^2$
并联等效	$\left(\frac{f}{f_0}\right)^2$	$\left(\frac{f}{f_0}\right)^2$	1
注: $f_0 = 50\text{Hz}$			

2) 电子式和数字式电桥介质损耗因数基本量程规定为: 当 X 读数为 1 ~ 10 中间的某一值时, D 按 0、0.0001 ~ 0.0009、0.001 ~ 0.009、0.01 ~ 0.1 选取 29 个点。

非基本量程允许简化为只对各量程的起始部分、中间部分及最大部分各选一点检定。

5.3.5 稳定性试验

高压电容电桥的稳定性试验选用基本误差试验中正负误差最大的两个检定点进行。被检电桥置于规定的参考温度上、下限的环境, 测量出误差。与电桥在参考温度下的误差比较, 误差值的变化应不大于该检定点允许误差的 1/6。

5.4 检定结果的处理

5.4.1 数据处理

整体检定高压电容电桥电容比率测量准确度时, 电桥的测量误差按下式计算:

$$\Delta X = X - \frac{C_{XQ}}{C_{SQ}}$$

$$\Delta D = D - D_{XQ} + D_{SQ}$$

整体检定高压电容电桥介质损耗因数差值测量准确度时, 电桥的测量误差按下式计算:

$$\Delta X = X - \frac{K_p C_X}{C_S}$$

$$\Delta D = D - \frac{D_S}{K_F} - D_0$$

各符号的意义为:

ΔX ——电容比率绝对误差;

ΔD ——介质损耗因数差值绝对误差;

X ——电容比率示值;

D ——介质损耗因数示值;

C_X , D_X ——接在 C_X 端钮上的电容与介质损耗因数值;

C_s, D_s ——接在 C_s 端钮上的电容与介质损耗因数值;

C_{xQ}, D_{xQ} ——接在 C_x 端钮的等效电容与介质损耗因数值;

C_{sQ}, D_{sQ} ——接在 C_s 端钮的等效电容与介质损耗因数值;

D_0 ——介质损耗因数零位值;

K_p ——修正系数, 参照表 5 选取;

K_F ——修正系数, 参照表 6 选取。

5.4.2 被检电桥的受检量程按 5.3.4 条规定所选测量点的误差, 均不超过 3.3 条规定的基本误差范围, 则该量程检定合格, 否则为不合格。

5.4.3 不合格量程按实际误差确定准确度级别。

5.4.4 受检电桥按表 2 检定项目试验合格, 而且基本量程检定合格, 可发给检定证书。

5.4.5 检定证书应给出各个受检量程检定结果和实际准确度等级。

5.4.6 基本量程检定不合格, 应当进行修理调校。经修理调校后检定仍不合格, 但降级后能符合该级全部技术要求, 允许降到该级使用, 并发给该级的检定证书。在证书上应注明降级情况。

5.5 检定周期

西林型和电流比较仪型高压电容电桥的检定周期一般不得超过 2 年。电子式和数字式高压电容电桥的检定周期一般不得超过 1 年。使用频繁的高压电容电桥, 应当适当缩短检定周期。

附录 A

等功率电桥法检定高压电容电桥的原理与步骤

A.1 原理线路

等功率电桥，又称双边变压器比例臂电桥，因具有等功率测量能力而得名。用等功率电桥法检定高压电容电桥比例臂的原理线路见图 A1。

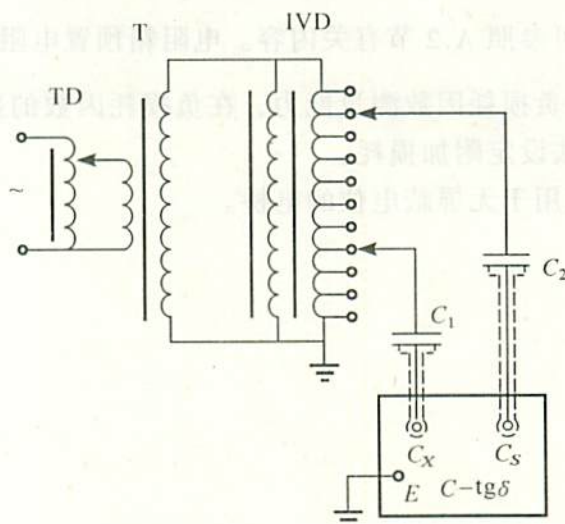


图 A1 等功率电桥原理线路

图中：TD—调压器；T—试验变压器；IVD—1kV 单盘感应分压器；
 C_1 、 C_2 —标准空气电容器； $C - \lg \delta$ —被检电桥

A.2 检定 C_X 和 C_S 端钮处于地电位的高压电容电桥步骤

选取 $C_1 = C_2 = 1000\text{pF}$ ， C_1 和 C_X 端钮连接， C_2 和 C_S 端钮连接。使用被检电桥基本量程的 1:1 挡测量，设电桥示值为 X_1 和 D_1 。然后 C_1 和 C_2 交换，设电桥示值为 X_2 和 D_2 ，则

$$\frac{\dot{C}_1}{\dot{C}_2} = 1 + \frac{X_1 - X_2}{2} - j \frac{D_1 - D_2}{2} = X_0 - jD_0 \quad (\text{A1})$$

然后按规程 5.3.4.1 条选点规定预置比率。当预置比率为 K 时， C_1 所加电压为 C_2 所加电压的 K 倍。设这时电桥示值为 X 和 D ，则

$$\frac{\dot{C}_{10}}{\dot{C}_{20}} = X - jD \quad (\text{A2})$$

根据规程 5.4.1 条可计算电桥误差为：

$$\Delta X = X - KX_0 \quad (\text{A3})$$

$$\Delta D = D - D_0 \quad (\text{A4})$$

检定更大比率时，可选 $C_3 = 10000\text{pF}$ ， $C_2 = 1000\text{pF}$ ，用 1/10 的电压比和电桥 1:1 比率测出 $\frac{\dot{C}_1}{\dot{C}_2}$ ，然后重复以上步骤。

A.3 检定 C_x 和 C_s 端钮不处于地电位的高压西林电桥步骤

用 A.2 节所述步骤检定这类电桥的 3/9, 3/8, 3/7, 3/6, 3/5, 3/4 比率时, 只需在式 (A4) 增加修正项, 即

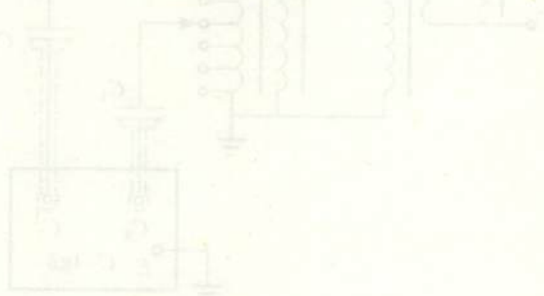
$$\Delta D = D - D_0 - \left(\frac{1}{X} - 1 \right) \frac{R_4 (\Omega)}{3183 (\Omega)} \times 10^{-3} \quad (\text{A5})$$

然后选用准确度等级指数不大于 $B/10$, 时间常数不大于 10^{-6} s 的电阻箱, 串在 C_1 高压侧, 预置电阻值 $R = R_4$ 。即可重复以上步骤确定 3/2, 3/1 的误差。

检定更大比率时, 可参照 A.2 节有关内容。电阻箱预置电阻值为 $R = \frac{R_4}{10}$ 。

A.4 被检电桥若不具备负损耗因数测量能力, 在负损耗因数的数值不大于 10^{-3} 时, 可以用高压端串入电阻方法设定附加损耗。

A.5 等功率电桥法不适用于无屏蔽电位的电桥。



附录 B

低压导纳法检定高压电容电桥的原理与步骤

B.1 原理线路

低压导纳法是根据电流注入的理论设计的校验方法。原理线路见图 B1。

设电压 U_1 加在 C_1 和 C_2 的高压端，电压 U_2 加在 R 的高电位端。 C_X 和 C_S 端钮对地阻抗为 Z_1 和 Z_2 ，注入 C_X 和 C_S 端钮的电流为 I_1 和 I_2 ，则

$$\begin{aligned} \frac{I_1}{I_2} &= \frac{RC_1}{(R+Z_1)C_2} \times \frac{1+j\omega Z_2 C_2}{1+j\omega \frac{RZ_1}{R+Z_1} C_1} \times \left(1-j \frac{1}{\omega RC_1} \times \frac{\dot{U}_2}{U_1}\right) \\ &\approx \frac{RC_1}{(R+Z_1)C_2} \times \left(1-j \frac{1}{\omega RC_1} \times \frac{U_2}{U_1} - j\omega \frac{RZ_1}{R+Z_1} C_1 + j\omega Z_2 C_2\right) \end{aligned} \quad (B1)$$

式 (B1) 表明，无论是西林型电桥还是电流比较仪型电桥，都可以用低压导纳法检定。其区别只与零位修正值的大小有关。

B.2 检定步骤

置 IVD2 输出为零，用被检电桥在图 B1 状态测量 $\frac{C_1}{C_2}$ 。设电桥示值为 X_0 和 D_0 。

然后按规程 5.3.4.1 条选点规定预置介质损耗因数。当 $\frac{U_2}{U_1}$ 从 10^{-6} 变到 10^{-3} ，介质损耗因数的预置值从 10^{-4} 变到 1。设检定时预置值为 D_s ，电桥示值为 X 和 D 。根据规程 5.4.1 条计算得

$$\Delta X = X - K_P X_0 \quad (B2)$$

$$\Delta D = D - \frac{D_s}{K_F} - D_0 \quad (B3)$$

B.3 低压导纳法不适用于无屏蔽电位的电桥。

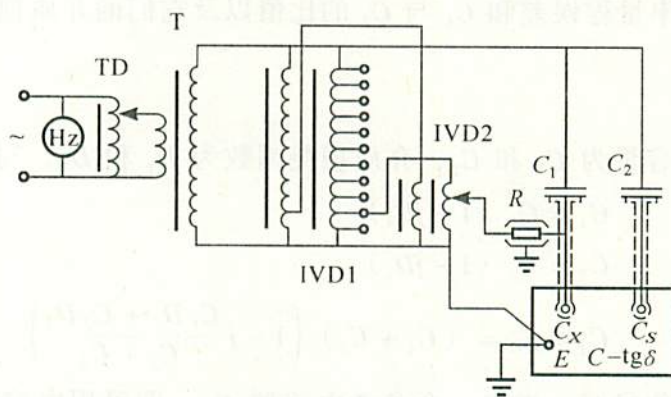


图 B1 低压导纳法原理线路

图中：TD—调压器；T—试验变压器；IVD1—1kV 单盘感应分压器；IVD2—10V 四盘感应分压器；Hz—工频频率计；R—31.83kΩ 标准电阻； C_1 、 C_2 —1000pF 标准空气电容器；C—tgδ—被检电桥

附录 C

电容轮换法检定高压电容电桥的原理与步骤

C.1 电容换位法

用电容换位法可以绝对标定名义值相同的两电容之比值与介质损耗因数差值。设被测电容为 C_1 和 C_2 ，且

$$\frac{C_1}{C_2} = 1 + \epsilon$$

$$D_1 - D_2 = \delta$$

使用高压电容电桥 1:1 电容比率量程测量。设该量程比值测量误差为 α ，介质损耗因数测量误差为 β 。两次测量得到比值示值为 X_1 和 X_2 ，介质损耗因数示值为 D_1 和 D_2 。则

$$X_1 = 1 + \alpha + \epsilon$$

$$X_2 = 1 + \alpha - \epsilon$$

$$D_1 = \beta + \delta$$

$$D_2 = \beta - \delta$$

从上面四个式子可推导出

$$\alpha = \frac{X_1 + X_2}{2} - 1$$

$$\beta = \frac{D_1 + D_2}{2}$$

$$\epsilon = \frac{X_1 - X_2}{2}$$

$$\delta = \frac{D_1 - D_2}{2}$$

于是电桥 1:1 比率量程误差和 C_1 与 C_2 的比值以及它们的介质损耗因数差值均可确定。

C.2 电容加法

设两个电容器电容量为 C_1 和 C_2 ，介质损耗因数为 D_1 和 D_2 ，写成复数形式为：

$$\dot{C}_1 = C_1 (1 - jD_1)$$

$$\dot{C}_2 = C_2 (1 - jD_2)$$

$$\dot{C}_1 + \dot{C}_2 = (C_1 + C_2) \left(1 - j \frac{C_1 D_1 + C_2 D_2}{C_1 + C_2} \right)$$

这样，借助电桥作过渡，指定一个参考电容器 C_N ，即可用电容加法得到两个有确定比率的电容器组。

C.3 电容比率乘法

借助高压电容电桥已校准的比率作过渡，可传递更大的电容比率。推导如下：

$$\frac{\dot{C}_1}{\dot{C}_N} = \dot{K}_1 = K_1 (1 - jD_1 + jD_N)$$

$$\frac{\dot{C}_2}{\dot{C}_1} = \dot{K}_2 = K_2 (1 - jD_2 + jD_1)$$

则
$$\frac{\dot{C}_2}{\dot{C}_N} = \frac{\dot{C}_2}{\dot{C}_1} \cdot \frac{\dot{C}_1}{\dot{C}_N} = \dot{K}_1 \cdot \dot{K}_2 = K_1 K_2 (1 - jD_2 + jD_N)$$

附录 D

用损耗因数量具检定高压电容电桥的原理

电容器的介质损耗可以用并联电阻模拟,也可以用串联电阻等效。根据电工学,并联时等效的介质损耗因数值为 $\frac{X_c}{R}$,串联时为 $\frac{R}{X_c}$ 。因此,可以在标准电容器上并联或串联合适的标准电阻组成有确定介质损耗因数值的损耗因数量具。

准确度 1 级及以下损耗因数量具的准确度可以用已校准的高压电容电桥标定。

准确度高于 1 级的损耗因数量具可以用替代法从损耗因数标准量具传递。也可以通过按元件检定法从标准阻抗器溯源。

附录 E

检定数据处理例子

E.1 西林型高压电容电桥电容比率盘检定数据处理例见表 E1。

E.2 电流比较仪型高压电容电桥电容比率盘检定数据处理例见表 E2。

E.3 数字高压电容电桥电容比率量程检定数据处理例见表 E3。

E.4 介质损耗因数盘检定数据处理例见表 E4。

表 E1 西林型高压电容电桥电容比率盘检定数据

名义值		实际值	测量盘示值	测量值	误差	允许误差
$\frac{3}{9}$	X	0.333 386	954.75	0.333 385	-1×10^{-6}	$\pm 1.6 \times 10^{-4}$
	D	0.000 200	0.000 200		0	$\pm 5 \times 10^{-5}$
$\frac{3}{8}$	X	0.375 059	858.68	0.375 053	-6×10^{-6}	$\pm 2 \times 10^{-4}$
	D	0.000 167	0.000 158		-9×10^{-6}	$\pm 5 \times 10^{-5}$
$\frac{3}{7}$	X	0.428 638	742.60	0.428 629	-9×10^{-6}	$\pm 2 \times 10^{-4}$
	D	0.000 133	0.000 138		5×10^{-6}	$\pm 5 \times 10^{-5}$
$\frac{3}{6}$	X	0.500 078	636.52	0.500 063	-15×10^{-6}	$\pm 2.5 \times 10^{-4}$
	D	0.000 100	0.000 107		7×10^{-6}	$\pm 5 \times 10^{-5}$
$\frac{3}{5}$	X	0.600 094	530.43	0.600 079	-15×10^{-6}	$\pm 3 \times 10^{-4}$
	D	0.000 067	0.000 040		-27×10^{-6}	$\pm 5 \times 10^{-5}$
$\frac{3}{4}$	X	0.750 118	424.35	0.750 089	-29×10^{-6}	$\pm 4 \times 10^{-4}$
	D	0.000 033	0.000 040		7×10^{-6}	$\pm 5 \times 10^{-5}$
$\frac{3}{3}$	X	1.000 157	318.25	1.000 157	0	$\pm 5 \times 10^{-4}$
	D	0.000 000	0.000 015		15×10^{-6}	$\pm 5 \times 10^{-5}$
$\frac{3}{2}$	X	1.500 235	212.17	1.500 212	-23×10^{-6}	$\pm 8 \times 10^{-4}$
	D	0.000 070	0.000 072		2×10^{-6}	$\pm 5 \times 10^{-5}$
$\frac{3}{1}$	X	3.000 47	106.06	3.001 13	66×10^{-5}	$\pm 15 \times 10^{-4}$
	D	0.000 037	0.000 041		4×10^{-6}	$\pm 5 \times 10^{-5}$
$\frac{30}{9}$	X	3.341 42	95.24	3.342 08	66×10^{-5}	$\pm 16 \times 10^{-4}$
	D	0.000 322	0.000 343		21×10^{-6}	$\pm 5 \times 10^{-5}$

表 E2 电流比较仪型高压电容电桥电容比率盘检定数据

名义值		实际值	测量盘示值	测量值	误差	允许误差
$\frac{1}{9}$	X	0.111 130	0.111 131		1×10^{-6}	$\pm 1 \times 10^{-5}$
	D	0.000 040	0.000 018		-22×10^{-6}	$\pm 1 \times 10^{-4}$
$\frac{2}{9}$	X	0.222 260	0.222 261		1×10^{-6}	$\pm 1 \times 10^{-5}$
	D	0.000 040	0.000 036		-4×10^{-6}	$\pm 1 \times 10^{-4}$
$\frac{3}{9}$	X	0.333 390	0.333 390		0	$\pm 1 \times 10^{-5}$
	D	0.000 040	0.000 040		0	$\pm 1 \times 10^{-4}$
$\frac{4}{9}$	X	0.444 520	0.444 519		-1×10^{-6}	$\pm 1 \times 10^{-5}$
	D	0.000 040	0.000 043		3×10^{-6}	$\pm 1 \times 10^{-4}$
$\frac{5}{9}$	X	0.555 649	0.555 648		-1×10^{-6}	$\pm 1 \times 10^{-5}$
	D	0.000 040	0.000 044		4×10^{-6}	$\pm 1 \times 10^{-4}$
$\frac{6}{9}$	X	0.666 779	0.666 777		-2×10^{-6}	$\pm 1 \times 10^{-5}$
	D	0.000 040	0.000 045		5×10^{-6}	$\pm 1 \times 10^{-4}$
$\frac{7}{9}$	X	0.777 909	0.777 907		-2×10^{-6}	$\pm 1 \times 10^{-5}$
	D	0.000 040	0.000 043		3×10^{-6}	$\pm 1 \times 10^{-4}$
$\frac{8}{9}$	X	0.889 039	0.889 036		-3×10^{-6}	$\pm 1 \times 10^{-5}$
	D	0.000 040	0.000 044		4×10^{-6}	$\pm 1 \times 10^{-4}$
$\frac{9}{9}$	X	1.000 169	1.000 167		-2×10^{-6}	$\pm 1 \times 10^{-5}$
	D	0.000 040	0.000 041		1×10^{-6}	$\pm 1 \times 10^{-4}$
$\frac{10}{1}$	X	10.002 55	10.002 48		-7×10^{-5}	$\pm 1 \times 10^{-4}$
	D	0.000 094	0.000 111		17×10^{-6}	$\pm 1 \times 10^{-4}$

表 E3 数字高压电容电桥电容比率量程检定数据

 $C_0 = 50.65\text{pF}$

名义值		应有值	测量值	误差	允许误差
1/1	C/pF	50.65	51.05	0.4	± 1.0
	D	0.000 040	0.000 1	0.000 06	$\pm 0.000 2$
2/1	C/pF	101.3	102.16	0.86	± 1.5
	D	0.000 040	0.000 2	0.000 16	$\pm 0.000 2$
3/1	C/pF	151.95	153.06	1.11	± 2
	D	0.000 040	0.000 2	0.000 16	$\pm 0.000 2$

表 E3 (续)

名义值		应有值	测量值	误差	允许误差
4/1	C/pF	202.6	203.92	1.32	± 2.5
	D	0.000 040	0.000 1	0.000 06	$\pm 0.000 2$
5/1	C/pF	253.25	254.91	1.66	± 3
	D	0.000 040	0.000 2	0.000 16	$\pm 0.000 2$
6/1	C/pF	303.9	305.65	1.75	± 3.5
	D	0.000 040	0.000 1	0.000 06	$\pm 0.000 2$
7/1	C/pF	354.55	356.37	1.82	± 4
	D	0.000 040	0.000 2	0.000 16	$\pm 0.000 2$
8/1	C/pF	405.2	407.32	2.12	± 4.5
	D	0.000 040	0.000 2	0.000 16	$\pm 0.000 2$
9/1	C/pF	455.85	457.89	2.04	± 5
	D	0.000 040	0.000 2	0.000 16	$\pm 0.000 2$
10/1	C/pF	506.5	508.73	2.23	± 5.5
	D	0.000 040	0.000 2	0.000 16	$\pm 0.000 2$

表 E4 介质损耗因数盘检定数据

名义值		实际值	测量盘示值	测量值	误差	允许误差
0.01	X	0.999 892	0.999 897		5×10^{-6}	$\pm 1 \times 10^{-4}$
	D	0.010 117	0.010 120		3×10^{-6}	$\pm 1.1 \times 10^{-4}$
0.02	X		0.999 902		10×10^{-6}	$\pm 1.5 \times 10^{-4}$
	D	0.020 117	0.020 115		-2×10^{-6}	$\pm 2.1 \times 10^{-4}$
0.03	X		0.999 907		15×10^{-6}	$\pm 2 \times 10^{-4}$
	D	0.030 117	0.030 112		-5×10^{-6}	$\pm 3.1 \times 10^{-4}$
0.04	X		0.999 912		20×10^{-6}	$\pm 2.5 \times 10^{-4}$
	D	0.040 117	0.040 110		-7×10^{-6}	$\pm 4.1 \times 10^{-4}$
0.05	X		0.999 918		26×10^{-6}	$\pm 3 \times 10^{-4}$
	D	0.050 117	0.050 108		-9×10^{-6}	$\pm 5.1 \times 10^{-4}$

表 E4 (续)

名义值		实际值	测量盘示值	测量值	误差	允许误差
0.06	X		0.999 923		31×10^{-6}	$\pm 3.5 \times 10^{-4}$
	D	0.060 117	0.060 107		-10×10^{-6}	$\pm 6.1 \times 10^{-4}$
0.07	X		0.999 929		37×10^{-6}	$\pm 4 \times 10^{-4}$
	D	0.070 117	0.070 108		-9×10^{-6}	$\pm 7.1 \times 10^{-4}$
0.08	X		0.999 934		42×10^{-6}	$\pm 4.5 \times 10^{-4}$
	D	0.080 117	0.080 109		-8×10^{-6}	$\pm 8.1 \times 10^{-4}$
0.09	X		0.999 940		48×10^{-6}	$\pm 5 \times 10^{-4}$
	D	0.090 117	0.090 110		-7×10^{-6}	$\pm 9.1 \times 10^{-4}$
0.10	X		0.999 946		54×10^{-6}	$\pm 5.5 \times 10^{-4}$
	D	0.100 117	0.100 113		-4×10^{-6}	$\pm 10.1 \times 10^{-4}$

附录 F

高压介损仪的整体校准

F.1 检定了高压介损仪电桥部分的基本误差后, 应使用高压损耗因数标准器对介损仪整体进行校准。校准点按表 F1 选取。高压损耗因数标准器的误差不得大于被检介损仪允许误差的 1/3。

表 F1 高压介损仪整体校准点

标准器参数 试验电压 / kV	2	6	8	10
$C_x = 50\text{pF} \sim 100\text{pF}$ $D = 0, 0.005, 0.01, 0.05$	+	+	+	+
$C_x = 500\text{pF} \sim 1000\text{pF}$ $D = 0.005, 0.01, 0.05$	+	+	+	+
$C_x = 5\text{nF} \sim 10\text{nF}$ $D = 0.005, 0.01, 0.05$	+	+	+	-
$C_x = 50\text{nF} \sim 100\text{nF}$ $D = 0.005, 0.01, 0.05$	+	+	-	-
$C_x = 0.5\mu\text{F} \sim 1\mu\text{F}$ $D = 0.005, 0.01, 0.05$	+	-	-	-
注 1: 后两栏根据产品量程选用。 注 2: 栏中符号“+”表示必校项目, 符号“-”表示可不校项目。				

F.2 高压介损仪的准确度按电容值和介质损耗分别定级如下:

电容值测量准确度级别为 0.5, 1, 2, 5。

介质损耗因数测量准确度级别为 1, 2, 5, 10。

F.3 西林型和自动变换量程的电子式或数字式高压介损仪的允许误差为:

$$\Delta C = \pm \frac{a}{100} (C + C_0)$$

$$\Delta D = \pm \frac{b}{100} (D + 0.01)$$

F.4 电流比较仪型和手动变换量程的电子式或数字式高压介损仪的允许误差为:

$$\Delta C = \pm C_{FS} \left(\frac{a}{100} + \frac{0.5D}{100} \right)$$

$$\Delta D = \pm \frac{b}{100} (D + 0.01)$$

F.5 各符号的意义为：

ΔD ——允许的介质损耗因数示值绝对误差；

ΔC ——允许的电容值示值绝对误差；

a ——用百分数表示的电容值测量准确度级别；

b ——用百分数表示的介质损耗因数测量准确度级别；

D ——介质损耗因数测量示值；

C ——电容值测得值；

C_{FS} ——电容测量量程上限值；

C_0 ——内置标准电容器电容值。

F.6 有反接线功能的高压介损仪，除按表 F1 校准点进行正接线准确度试验外。还应按表 F1 校准点进行反接线准确度试验。

附录 G

高压电容电桥检定证书内页格式

检定条件 环境温度: _____ °C
 相对湿度: _____ %
 电源频率: _____ Hz
 外观检查: _____, _____ (是否合格)
 绝缘电阻: 电源插座对地 _____ (实测值) MΩ, _____ (是否合格)
 高压端子对地 _____ (实测值) MΩ, _____ (是否合格)
 交流耐压: 电源插座对地 _____ (实测值) kV, _____ (是否合格)
 高压端子对地 _____ (实测值) kV, _____ (是否合格)
 灵敏度: _____ (实测值), _____ (是否合格)
 调节细度: _____ (实测值), _____ (是否合格)
 稳定性: _____ (实测值), _____ (是否合格)

结论及说明:

有效期至 年 月 日

检 定 结 果 (电桥部分)

基本量程检定

量程 (盘) (比率或步进单位)	电容比率准确度 (准确度等级)	结 论 (是否合格)	损耗因数准确度 (准确度等级)	结 论 (是否合格)

说明:

非基本量程检定

量程 (盘) (比率或步进单位)	电容比率准确度 (准确度等级)	结 论 (是否合格)	损耗因数准确度 (准确度等级)	结 论 (是否合格)

说明:

检 定 结 果 (介损仪部分)

基本量程检定

电容量程 (标准器电容值)	电容值准确度 (准确度等级)	结 论 (是否合格)	损耗因数准确度 (准确度等级)	结 论 (是否合格)

说明:

非基本量程检定 (含反接线测量)

电容量程 (标准器电容值)	电容值准确度 (准确度等级)	结 论 (是否合格)	损耗因数准确度 (准确度等级)	结 论 (是否合格)

说明:

中华人民共和国
国家计量检定规程

高压电容电桥

JJG 563—2004

国家质量监督检验检疫总局发布

*

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲2号

邮政编码 100013

电话 (010) 64275360

E-mail jilxb@263.net.cn

北京市迪鑫印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

版权所有 不得翻印

*

880 mm × 1230 mm 16开本 印张1.75 字数33千字

2004年6月第1版 2004年6月第1次印刷

印数1—2 000

统一书号 155026—1791 定价: 18.00元