

# 高压电容电桥检定规程

JJG 563—1988

---

# 高压电容电桥检定规程

Verification Regulation of High Voltage  
Capacitance Bridge

JJG 563—1988

---

本检定规程经国家计量局于 1988 年 5 月 13 日批准，并自 1989 年 3 月 13 日起施行。

归口单位：国家高电压计量站

起草单位：国家高电压计量站

本规程技术条文由起草单位负责解释。

**本规程主要起草人：**

王乐仁（国家高电压计量站）

**参 加 起 草 人：**

王 勤（国家高电压计量站）

王立超（国家高电压计量站）

张 云（上海沪光仪器厂）

# 目 录

一 概述	618
二 技术要求	618
三 检定条件	620
四 检定项目和检定方法	621
五 检定结果处理和检定周期	623
附录 1 等功率电桥法检定高压电容电桥的原理与步骤	624
附录 2 低压导纳法检定高压电容电桥的原理与步骤	625
附录 3 电容轮换法检定高压电容电桥的原理与步骤	626
附录 4 电流比较仪法检定高压电容电桥的原理	628
附录 5 感应分压器法检定高压电容电桥的原理	628
附录 6 标准损耗器法检定高压电容电桥的原理	628
附录 7 检定数据处理的例子	629

# 高压电容电桥检定规程

本规程适用于新制造、使用中和修理后的，在工频电压条件下测量电容量和介质损耗因数的西林型和电流比较仪型高压电容电桥的检定。

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。

## 一 概 述

### 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 高压电容电桥的分类

#### 2.1 西林型高压电容电桥

这类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 电流比较仪型高压电容电桥

这类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。

### 3 高压电容电桥的配套器件

#### 3.1 工频指零仪；

#### 3.2 标准高压电容器；

#### 3.3 标准低感分流器；

#### 3.4 标准电流互感器；

#### 3.5 屏蔽支路调节器。

## 二 技 术 要 求

### 4 高压电容电桥的准确度

在高压电容电桥的国家标准颁布以前，高压电容电桥的准确度级别暂分类如下：

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。

### 5 高压电容电桥的基本误差

#### 5.1 西林型高压电容电桥的基本误差可表达为：

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

$$\Delta D = \pm \frac{B}{100}(D + 0.01) \quad (2)$$

5.2 电流比较仪型高压电容电桥的基本误差可表达为:

$$\Delta X = \pm \frac{R_N A}{100} \left( 1 + \frac{0.1X}{R_N} + \frac{0.5D}{A} \right) \quad (3)$$

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

5.3 各符号的意义为:

$\Delta X$ ——允许的电容比率绝对误差;

$\Delta D$ ——允许的介质损耗因数差值绝对误差;

$A$ ——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;

$X$ ——电容比率测量值;

$D$ ——介质损耗因数差值测量值;

$R_N$ ——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。

5.4 备有内附量程扩展器的高压电容电桥,应列出各附加量程的准确度级别或用公式、图表表示。

## 6 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大于  $10M\Omega$ ,并能耐受  $50Hz$   $1.5kV$  正弦电压  $1min$  试验而不击穿。

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  $100M\Omega$ ,并能耐受  $50Hz$   $15kV$  正弦电压  $1min$  试验而不击穿。

## 7 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。

## 8 屏蔽支路调节器与工频指零仪

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指零仪,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  $30dB$ 。工频指零仪的阻尼时间应小于  $4s$ 。工频指零仪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,若电桥测量臂偏测量相当于允许误差的  $1/10$ ,则指零仪的偏转不小于  $1mm$ 。

配套使用的屏蔽支路调节器与工频指零仪在通电预热  $3min$  后,其零位漂移对测量结果的影响应小于允许误差的  $1/10$ 。

## 9 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。高压标准电容器上应有电容量、介质损耗因数、额定工作电压、出厂编号等标记。

### 三 检 定 条 件

#### 10 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 $\sqrt[3]{Um}$ ；与电流母线的距离大于 $\sqrt[3]{Im}$ 。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。

表 1

被检电桥介质损耗因数测量准确度级别	环境温度 (°C)	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

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。

#### 11 检定用设备

11.1 检定时使用的标准器具种类、名称、用途、准确度级别及其他技术参数列于表2。

表 2

类别	名 称	适用范围 <sup>①</sup>	准确度级别指数 <sup>②</sup>	介质损耗因数	时间常数
标准比率器	感应分压器 感应分流器 电流比较仪	X: 0.001~5	$\leq \frac{A}{5}$ <sup>③</sup> $\leq \frac{B}{500}$	—	—
	多盘感应分压器	D: 0.5~10	$\leq \frac{B}{10}$ <sup>③</sup>	—	—
标准电容器	殷钢气体电容器	X: 0.001~5 D: 0.5~10	≤0.05	≤5×10 <sup>-5</sup>	—
	普通气体电容器 真空电容器 压缩气体电容器	X: 0.05~5 D: 0.5~10	≤0.1	≤5×10 <sup>-5</sup>	—
	低压电容器	X: 0.2~5 D: 0.5~10	≤0.5	≤1×10 <sup>-3</sup>	—
标准阻抗箱	精密气体电容箱	X: 0.05~5 D: 0.5~10	$\leq \frac{A}{5}$	≤5×10 <sup>-5</sup>	—
	标准电容箱	X: 1~5	$\leq \frac{A}{5}$	$\leq \frac{B}{5} \times 10^{-4}$	—
		D: 0.5~10	$\leq \frac{B}{5}$	≤1×10 <sup>-3</sup>	—
	精密电阻箱	X: 0.05~5	$\leq \frac{A}{5}$	—	≤ $\frac{B}{15} \times 10^{-6}$ s
标准电阻箱	D: 0.5~10	$\leq \frac{B}{10}$	—	≤10 <sup>-6</sup> s	

注：①本栏中X表示电容比率测量，D表示介质损耗因数测量，字母后是准确度级别范围；

②本栏中A、B分别表示受检电桥电容比率与介质损耗因数测量准确度级别；

③两项指标同时满足；

④输入电压1kV，输出电压1mV~10V。

- 11.2 检定时使用的工频指零仪,应符合第8条要求。
- 11.3 检定时使用的参考电流应不小于电桥规定的最小工作电流。
- 11.4 检定时使用的温度计、湿度计的测量误差应小于表1允许变化范围的1/5。检定时使用的工频频率计的测量误差应小于表1允许变化范围的1/10。
- 12 外观及标记的检查,应符合本规程第9条要求。全部转换开关应作不少于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。

新出厂或修理后的电桥,应按本规程第6条要求作绝缘试验。使用中的电桥,如使用500V及以上电压的摇表测量绝缘电阻合格,一般可免做工频耐压试验。

如发现电桥有严重影响计量性能的缺陷,应修复后再检定。

#### 四 检定项目和检定方法

- 13 检定高压电容电桥可以采用整体检定方法,也可以采用按元件检定方法。

整体检定方法是在电桥的参考条件下,用已知比率 and 相位差的工频电流作为电桥的测量对象,从而确定电桥的测量误差。

按元件检定方法是把电桥的比例器和移相器分解为独立的元部件,然后按有关部件的检定规程或测量方法确定它们的误差。最后对误差进行综合。

对元件作独立检定或测量用的交流电桥或其他标准仪器,它们的准确度级别应保证被检测元件的测量误差不大于被检电桥允许误差的1/5。

按元件检定后,还应在各量程的起始部分、中间部分及最大部分各选一点作补充的整体检定。

- 14 检定误差主要包括检定装置误差与检定方法误差。无论用何种检定方法,检定结果的不确定度应小于电桥允许误差的1/3。

#### 15 高压电容电桥基本误差的整体检定

##### 15.1 电容比率测量准确度的检定

15.1.1 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。

15.1.2 对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,若检定选点参照表4系列进行,则允许只对第一盘逐点检定。若选点按其他方式,应考虑对前三盘逐盘逐点检定。如果选点方式能保证前三盘每个示值(10可不包括)都在检定点内,则允许适当减少检定点的数目。

非基本量程的检定,可以参照基本量程的选点,也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。

表 3

标称比率	3/9	3/8	3/7	3/6	3/5	3/4	3/3	3/2	3/1
电桥示值 ( $\Omega$ )	9549.29	8488.26	7427.23	6366.20	5305.16	4244.13	3183.10	2122.07	1061.03

注:其他盘位按十进关系类推。

表 4

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。

15.1.3 检定电容比率测量准确度的方法可以按电桥准确度等级参考表 5 选用。

表 5 中列出的各种检定方法，在附录中作原理介绍，并给出计算公式。

15.2 介质损耗因数差值测量准确度的检定

15.2.1 检定高压电容电桥介质损耗因数差值测量准确度时，电容比率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 6 中列出。

表 5

准确度级别	西林型	电流比较仪型
0.001~0.02	—	等功率电桥法，电容轮换法， 电流比较仪法
0.05~5	等功率电桥法，电流比较仪法， 感应分流器法，电容轮换法， 按元件检定法，标准阻抗法	等功率电桥法，电容轮换法， 电流比较仪法，标准阻抗法

注：等功率电桥法不适用于无屏蔽电位的电桥。

表 6

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	$\frac{C_X}{C_S} = \frac{R_4}{R_3}$	$\frac{C_X}{C_S} = \frac{n_2}{N_1}$	$\frac{C_X}{C_S} = \frac{n_2}{N_1}(1+D^2)$
并联	$\frac{C_X}{C_S} = \frac{R_4}{R_3} \cdot \frac{1}{1+D^2}$	$\frac{C_X}{C_S} = \frac{n_2}{N_1} \cdot \frac{1}{1+D^2}$	$\frac{C_X}{C_S} = \frac{n_2}{N_1}$

表 7

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： $f_0 = 50\text{Hz}$ 。

15.2.2 对介质损耗因数测量的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  $1 \times 10^{-4}$ ，对 5 级和 10 级为  $1 \times 10^{-3}$ 。最大点允许只检定到  $1 \times 10^{-1}$ 。

15.2.3 检定时应根据受检电桥的类型和检定方法参照表 7 确定频率修正系数。

15.2.4 介质损耗因数的非基本测量量程, 一般情况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。

15.2.5 检定电桥介质损耗因数差值测量准确度的方法可以参照表 8 按电桥准确度级别选用。它们的原理与计算公式在附录中介绍。

表 8

电桥准确度级别	西林型	电流比较型
0.5, 1	按元件检定法; 低压导纳法	低压导纳法
2, 5, 10	按元件检定法, 低压导纳法, 标准损耗器法	低压导纳法 标准损耗器法

注: 低压导纳法不适用于无屏蔽电位的电桥。

## 五 检定结果处理和检定周期

### 16 检定数据处理

16.1 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:

$$\Delta X = X - \frac{C_{Xe}}{C_{Se}} \quad (4)$$

$$\Delta D = D - D_{Xe} + D_{Se} \quad (5)$$

16.2 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:

$$\Delta X = X - \frac{C_X}{C_S} \cdot K_p \quad (6)$$

$$\Delta D = D - \frac{D_S}{K_f} - D_0 \quad (7)$$

### 16.3 各符号的意义

$\Delta X$ ——电容比率绝对误差;

$\Delta D$ ——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;

$C_S, D_S$ ——接在  $C_S$  端钮上的电容与介质损耗因数;

$C_{Xe}, D_{Se}$ ——接在  $C_X$  端钮的等效电容与介质损耗因数;

$C_{Se}, D_{Se}$ ——接在  $C_S$  端钮的等效电容与介质损耗因数;

$D_0$ ——介质损耗因数零位值;

$K_p$ ——修正系数, 参照表 6 选取;

$K_f$ ——修正系数, 参照表 7 选取。

16.4 按以上各款规定, 经计算得到的测量误差, 再按允许误差的 1/10 化整。判断电桥合格与否, 以化整后的数据为准。

### 17 检定结果的评定

17.1 整体检定时, 被检电桥的受检量程按第 15 条规定所选测点的误差, 均不超过第 5 条规定的基本误差范围, 则该量程检定合格。

17.2 按元件检定时,被检电桥的受检量程按第 12 条对元件独立检定或测试。若元件误差均不超过有关技术条件规定的误差范围,同时按 17.1 款规定作补充的整体检定也合格,则该量程检定合格。

17.3 不合格量程按实际误差确定准确度级别。

## 18 检定证书

18.1 检定证书上应当写有被检高压电容电桥配套器件的名称、制造厂、型号规格和出厂编号。

18.2 电容比率测量准确度级别指数小于 1 的高压电容电桥,可以在检定证书上列出检定数据,一般情况下可以只给出检定结果。

19 基本量程经检定合格的高压电容电桥,发给检定证书,并在证书上列出其他量程的检定结果。

20 基本量程经检定不合格,应当进行修复。经修复后送检仍不合格,但降级后能符合该级全部技术要求和误差范围,则允许降到该级使用,并发给该级的检定证书。在证书上应注明降级情况。

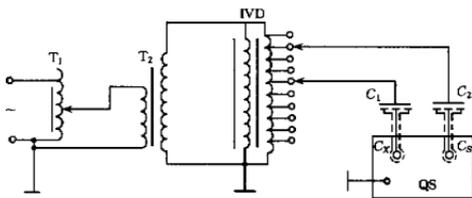
21 检定周期一般不得超过 2 年。使用频繁的高压电容电桥,应当适当缩短检定周期。

# 附 录

## 附录 1 等功率电桥法检定高压电容电桥的原理与步骤

### 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电容比例臂的原理线路见图。



图

图中:  $T_1$ ——调压器;

$T_2$ ——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;

QS——被检电桥。

### 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 档测量, 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

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

然后按规程 15.1 款选点规定预置比率。当预置比率为  $K$  时,  $C_1$  所加电压为  $C_2$  所加电压的  $\kappa$  倍。设这时电桥示值为  $X$  和  $D$ , 则

$$\frac{\dot{C}_1 \varepsilon}{\dot{C}_2 \varepsilon} = X - jD \quad (2)$$

根据规程 16.1 款可计算电桥误差为:

$$\Delta X = X - KX_0 \quad (3)$$

$$\Delta D = D - D_0 \quad (4)$$

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 比率档测出  $\dot{C}_3/\dot{C}_2$ , 然后重复以上步骤。

若感应分压器需要修正比率误差, 其值为  $\varepsilon + j\delta$ , 则式 (3) 和 (4) 可写作

$$\Delta X = X - KX_0 - KX_0\varepsilon \quad (5)$$

$$\Delta D = D - D_0 + \delta \quad (6)$$

### 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

用第 2 条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 (4) 增加修正项, 即

$$\Delta D = D - D_0 - \left(\frac{1}{X} - 1\right) \frac{R_4 (\Omega)}{3183 (\Omega)} \times 10^{-3} \quad (7)$$

然后选用准确度等级指数不大于  $B/10$ , 时间常数不大于  $10^{-6}\text{s}$  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, 可参照第 2 条有关内容。电阻箱预置电阻值为  $R = \frac{R_4}{10}$ 。

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。

5 等功率电桥法不适用于无屏蔽电位的电桥 (如 QSI)。

## 附录 2 低压导纳法检定高压电容电桥的原理与步骤

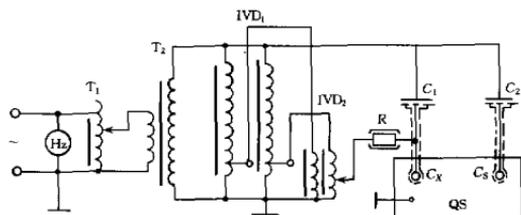
### 1 原理线路

低压导纳法是根据电流注入的理论设计的新校验方法。原理线路见图。

图中:  $T_1$ ——调压器;

$T_2$ ——试验变压器;

IVD<sub>1</sub>——1kV 单盘感应分压器;



图

- IVD<sub>2</sub>——100V 五盘感应分压器；  
 Hz——工频频率计；  
 R——31.83kΩ 标准电阻；  
 C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>——1000pF 标准空气电容器；  
 QS——被检高压电容电桥。

设电压  $\dot{U}_1$  加在 C<sub>1</sub> 和 C<sub>2</sub> 的高压端，电压  $\dot{U}_2$  加在 R 的高电位端。C<sub>X</sub> 和 C<sub>S</sub> 端钮对地阻抗为 Z<sub>1</sub> 和 Z<sub>2</sub>，注入 C<sub>X</sub> 和 C<sub>S</sub> 端钮的电流为  $\dot{I}_1$  和  $\dot{I}_2$ ，则

$$\frac{\dot{I}_1}{\dot{I}_2} = \frac{RC_1}{(R+Z_1)C_2} \cdot \frac{1+j\omega Z_2 C_2}{1+j\omega \frac{RZ_1}{R+Z_1} C_1} \left[ 1 - j \frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1} \cdot \frac{1}{\omega RC_1} \right]$$

$$\approx \frac{RC_1}{(R+Z_1)C_2} \left[ 1 - j \frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1} \cdot \frac{1}{\omega RC_1} - j\omega \frac{RZ_1}{R+Z_1} C_1 + j\omega Z_2 C_2 \right] \quad (1)$$

式 (1) 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。其区别只在于零位修正值的大小而已。

## 2 检定步骤

置  $U_2=0$ ，用被检电桥在图 2 状态测量  $\dot{C}_1/\dot{C}_2$ 。设电桥示值为  $X_0$  和  $D_0$ 。

然后按规程 15.2 款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。设定时预置值为  $D_S$ ，电桥示值为  $X$  和  $D$ 。根据规程 16.2 款计算得

$$\Delta X = X - K_p X_0 \quad (2)$$

$$\Delta D = D - \frac{D_S}{K_f} - D_0 \quad (3)$$

## 3 低压导纳法不适用于无屏蔽电位的电桥（如 QS1）。

### 附录 3 电容轮换法检定高压电容电桥的原理与步骤

#### 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

$$\frac{C_1}{C_2} = 1 + \epsilon \quad (1)$$

$$D_1 - D_2 = \delta \quad (2)$$

使用高压电容电桥 1:1 比率臂测量。设该比率臂比差为  $\alpha$ ，角差为  $-\beta$ 。两次测量的比值为  $X_1$  和  $X_2$ ，介质损耗因数示值为  $D_1$  和  $D_2$ 。则

$$X_1 = 1 + \alpha + \epsilon \quad (3)$$

$$X_2 = 1 + \alpha - \epsilon \quad (4)$$

$$D_1 = \beta + \delta \quad (5)$$

$$D_2 = \beta - \delta \quad (6)$$

从上面四个式子可推导出

$$\alpha = \frac{X_1 + X_2}{2} - 1 \quad (7)$$

$$\beta = \frac{D_1 + D_2}{2} \quad (8)$$

$$\epsilon = \frac{X_1 - X_2}{2} \quad (9)$$

$$\delta = \frac{D_1 - D_2}{2} \quad (10)$$

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

## 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

$$\dot{C}_1 = C_1 (1 - jD_1) \quad (11)$$

$$\dot{C}_2 = C_2 (1 - jD_2) \quad (12)$$

$$\dot{C}_1 + \dot{C}_2 = (C_1 + C_2) \left( 1 - j \frac{C_1 D_1 + C_2 D_2}{C_1 + C_2} \right) \quad (13)$$

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。

## 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

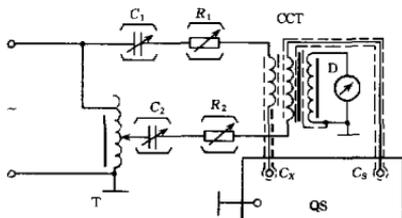
$$\frac{\dot{C}_1}{\dot{C}_N} = \dot{K}_1 \quad (14)$$

$$\frac{\dot{C}_2}{\dot{C}_1} = K_2 \quad (15)$$

$$\frac{\dot{C}_2}{\dot{C}_N} = \frac{\dot{C}_2}{\dot{C}_1} \cdot \frac{\dot{C}_1}{\dot{C}_N} = K_1 K_2 \quad (16)$$

#### 附录 4 电流比较仪法检定高压电容电桥的原理

在原理线路图中，低压电源通过电容器和电阻器，向被检电桥注入两路工频电流，其比率由标准电流比较仪校准。调节电桥至平衡，即可得到测量读数。



图

标准电流比较仪的比率准确度可以用电流比较仪检定装置确定，也可以用参考电流法校验，还可以用等功率电桥法或电容轮换法校验。

图中：T——调压器；  
R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>——电阻箱；  
C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>——电容箱；

CCT——电流比较仪；  
D——工频指零仪；  
QS——被检高压电桥。

#### 附录 5 感应分流器法检定高压电容电桥的原理

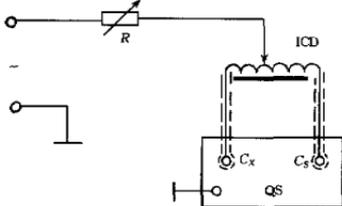
在原理线路图中，低压电源通过电阻箱向感应分流器注入工作电流，经感应分流器分流后，向被检电桥注入已知比率的两路工频电流，调节电桥至平衡，即可得到测量读数。

感应分流器的准确度可以用电流比较仪检定装置确定，也可以用参考电流法校验。

感应分流器法，只适用于西林型电桥的检定，对电流比较仪型电桥，由于内阻抗过大或放大器自激，不能满足检定条件。

图中：R——电阻箱；

ICD——感应分流器。



图

#### 附录 6 标准损耗器法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  $\frac{X_O}{R}$ ，串联时为  $\frac{R}{X_O}$ 。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标准损耗器。

标准损耗器的准确度可以用已校准的高压电容电桥标定。

## 附录 7 检定数据处理的例子

- 1 西林型高压电容电桥电容比率盘检定数据处理例见表 1。  
 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 2。  
 3 介质损耗因数盘检定数据处理例见表 3。

表 1

名义值		实际值	测量盘示值	测量值	误差化整	允许误差
$\frac{3}{9}$	X	0.333386	954.75	0.333385	0	$1.6 \times 10^{-4}$
	D	0.000200	0.000200		0	$5 \times 10^{-5}$
$\frac{3}{8}$	X	0.375059	858.68	0.375053	0	$2 \times 10^{-4}$
	D	0.000167	0.000158		$-1 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-5}$
$\frac{3}{7}$	X	0.428638	742.60	0.428629	0	$2 \times 10^{-4}$
	D	0.000133	0.000138		$0.5 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-5}$
$\frac{3}{6}$	X	0.500078	636.52	0.500063	0	$2.5 \times 10^{-4}$
	D	0.000100	0.000107		$0.5 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-5}$
$\frac{3}{5}$	X	0.600094	530.43	0.600079	0	$3 \times 10^{-4}$
	D	0.000067	0.000040		$2.5 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-5}$
$\frac{3}{4}$	X	0.750118	424.35	0.750089	0	$4 \times 10^{-4}$
	D	0.000033	0.000040		$0.5 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-5}$
$\frac{3}{3}$	X	1.000157	318.25	1.000157	0	$5 \times 10^{-4}$
	D	0.000000	0.000015		$1.5 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-5}$
$\frac{3}{2}$	X	1.500235	212.17	1.500212	0	$8 \times 10^{-4}$
	D	0.000070	0.000072		0	$5 \times 10^{-5}$
$\frac{3}{1}$	X	3.00047	106.06	3.00113	$6 \times 10^{-4}$	$15 \times 10^{-4}$
	D	0.000037	0.000041		0	$5 \times 10^{-5}$
$\frac{30}{9}$	X	3.34142	95.24	3.34208	$6.4 \times 10^{-4}$	$16 \times 10^{-4}$
	D	0.000322	0.000343		$2 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-5}$

表 2

名义值		实际值	测量盘示值	测量值	误差化整	允许误差
$\frac{1}{9}$	X	0.111130	0.111131		$1 \times 10^{-6}$	$1 \times 10^{-5}$
	D	0.000040	0.000018		$-2 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-4}$
$\frac{2}{9}$	X	0.222260	0.222261		$1 \times 10^{-6}$	$1 \times 10^{-5}$
	D	0.000040	0.000036		0	$1 \times 10^{-4}$
$\frac{3}{9}$	X	0.333390	0.333390		0	$1 \times 10^{-5}$
	D	0.000040	0.000041		0	$1 \times 10^{-4}$
$\frac{4}{9}$	X	0.444520	0.444519		$-1 \times 10^6$	$1 \times 10^{-5}$
	D	0.000040	0.000043		0	$1 \times 10^{-4}$
$\frac{5}{9}$	X	0.555649	0.555648		$-1 \times 10^{-6}$	$1 \times 10^{-5}$
	D	0.000040	0.000044		0	$1 \times 10^{-4}$

续表

名义值		实际值	测量盘示值	测量值	误差化整	允许误差
6 9	X	0.666779	0.666777		$-2 \times 10^{-6}$	$1 \times 10^{-5}$
	D	0.000040	0.000045		0	$1 \times 10^{-4}$
7 9	X	0.777909	0.777907		$-2 \times 10^{-6}$	$1 \times 10^{-5}$
	D	0.000040	0.000043		0	$1 \times 10^{-4}$
8 9	X	0.889039	0.889036		$-3 \times 10^{-6}$	$1 \times 10^{-5}$
	D	0.000040	0.000044		0	$1 \times 10^{-4}$
9 9	X	1.000169	1.000167		$-2 \times 10^{-6}$	$1 \times 10^{-5}$
	D	0.000040	0.000041		0	$1 \times 10^{-4}$
10 1	X	10.00255	10.00248		$-1 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-4}$
	D	0.000094	0.000111		$1 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-4}$

表 3

名义值		实际值	测量盘示值	测量值	误差化整	允许误差
0.01	X	0.999892	0.999897		0	0.005
	D	0.010117	0.010120		0	$1.1 \times 10^{-4}$
0.02	X		0.999902		0	0.01
	D	0.020117	0.020115		0	$2.1 \times 10^{-4}$
0.03	X		0.999907		0	0.015
	D	0.030117	0.030112		0	$3.1 \times 10^{-4}$
0.04	X		0.999912		0	0.020
	D	0.040117	0.040110		0	$4.1 \times 10^{-4}$
0.05	X		0.999918		0	0.025
	D	0.050117	0.050108		0	$5.1 \times 10^{-4}$
0.06	X		0.999923		0	0.03
	D	0.060117	0.060107		0	$6.1 \times 10^{-4}$
0.07	X		0.999929		0	0.035
	D	0.070117	0.070108		0	$7.1 \times 10^{-4}$
0.08	X		0.999934		0	0.040
	D	0.080117	0.080109		0	$8.1 \times 10^{-4}$
0.09	X		0.999940		0	0.045
	D	0.090117	0.090110		0	$9.1 \times 10^{-4}$
0.10	X		0.999946		0	0.050
	D	0.100117	0.100113		0	$10.1 \times 10^{-4}$

## 附加说明:

本检定规程经国家计量检定规程审定委员会电磁专业委员会审定通过。

主审人: 张德实