

73.1674
CYQ

机械工业技术革新技术改造选编

高压西林电桥

崔驭强 胡瑞莲 编



机械工业出版社

73.1674

机械工业技术革新技术改造选编

高 压 西 林 电 桥

崔馥强 胡瑞莲 编



机 械 工 业 出 版 社

内容提要 本书系统地介绍了利用高压西林电桥测量绝缘材料及电工产品的介电系数、介质损耗角正切值的测试技术。全书共分三章。第一章论述高压小电容西林电桥的原理、结构及其测试过程中防止干扰提高准确度的措施；第二章着重介绍高压西林电桥扩大电容测试范围的测试技术；第三章着重介绍高压西林电桥扩大电压测试范围的测试技术。

本书可供从事绝缘测试技术的工人和技术人员参考。

高压西林电桥

崔馥强 胡瑞莲 编

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业登记证出字第117号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092¹/₃₂·印张 2¹/₂·字数 54 千字

1978年8月北京第一版·1978年8月北京第一次印刷

印数 00,001—20,000·定价 0.20 元

*

统一书号：15033·4524

前 言

高压正接西林电桥（简称高压西林电桥）广泛应用于电工材料及电气设备的绝缘测试，它是绝缘测试方面的基本设备之一。

目前国内生产的高压西林电桥仅适用于小电容试品，电压测试范围也比较窄，既不能适应大电容电工产品的测试要求，也不能满足绝缘材料的低电压及高压电气设备的高电压测试需要。因此，改革西林电桥，扩大其测试范围，已成为科研、生产急需解决的关键问题。为了满足社会主义建设事业飞速发展的需要，广大电气工人和科学技术人员，高举“**鞍钢宪法**”的伟大旗帜，在党的正确领导之下，开展了一系列的扩大国产西林电桥测试范围的科研工作，取得了较好的成果。为了帮助广大电气工人和技术人员了解掌握这项测试技术，我们总结了自己在工作中的一些体会，吸取有关单位的宝贵经验并参考了国外的一些资料，编写了这本小册子，供有关方面参考。

由于我们对马列主义，毛泽东思想学习得不够，实践经验不足，调查研究也不够深入，书中难免有缺点、错误，恳切希望广大读者批评指正。

本书在编写过程中，西安交通大学绝缘教研室刘耀南副教授、邱昌容讲师对原稿作了认真细致的审查和修改，在此表示感谢。

目 录

第一章 高压小电容西林电桥	1
第一节 概述	1
第二节 电桥的灵敏度与准确度	5
一、西林电桥的灵敏度	5
二、西林电桥的准确度	7
第三节 高压西林电桥的结构	8
一、电阻比例臂	9
二、标准电容器	9
三、零位指示器	11
四、过电压保护装置	11
五、防护电压装置与对称臂	12
第四节 干扰与干扰误差	23
一、磁场干扰	23
二、电场干扰	24
三、电源频率变化所引起的干扰	31
第二章 扩大高压西林电桥电容测试范围	32
第一节 概述	32
第二节 大电容标准电容器法	32
第三节 分流器法	37
一、简介	37
二、计算理论	40
三、分流器法扩大量程测试损耗角正切值时应注意 的一些问题	43
四、分流器的结构和制作	45

IV

第四节 电流互感器法	49
一、简介	49
二、原理线路及理论分析	49
三、电流互感器法扩大量程测试时应注意的一些问题	60
四、零磁通精密电流互感器的结构和制作	62
第三章 扩大高压西林电桥电压测试范围	67
第一节 概述	67
第二节 高压西林电桥在低电压下运行	67
第三节 高压西林电桥在 10 千伏以上高电压下运行	71
一、电压互感器法	71
二、高压标准电容器法	74

第一章 高压小电容西林电桥

第一节 概 述

很多绝缘材料和电力设备，在制造和运行过程中，需测定其工频电压下的电容量 C_x 或介电系数 ϵ_x 与介质损耗角正切 $\tan \delta_x$ 。这对于检定电介质的性能、控制制造质量、确保运行安全，有着重要意义。

进行这种测量，一般采用高压正接小电容西林电桥（以下简称高压西林电桥），其特点是：试样不接地，并施加工频高压，桥体处于低压，试样电容不大于 20000 微微法，所以操作时很安全。其电桥原理线路如图 1-1 所示。图中电容 C_x 与等值电阻 R_x 相串联表示试品； C_0 是电容量已知，损耗角正切 $\tan \delta_0$ 极小的标准电容器； R_3 是无感可变电阻； C_4 是可变电容； G 是零位指示器。

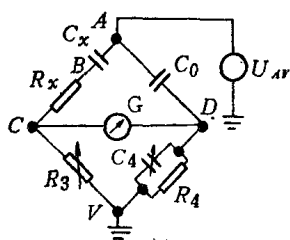


图1-1 高压西林电桥
原理线路图

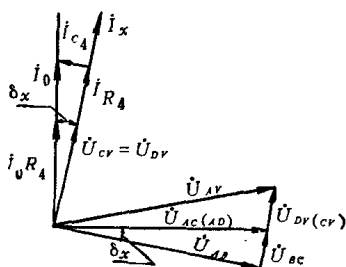


图1-2 高压西林电桥平衡
状态下的向量图

在 AV 之间施加工频电压 U_{Av} 后，调节 R_3 、 C_4 ，使检

流计指零。此时 C 、 D 两点的电位相等；流过检流计的电流 $I_g = 0$ ； AC 、 AD 之间电压 U_{Ac} 、 U_{Ad} 相等； CV 、 DV 之间电压 U_{Cv} 、 U_{Dv} 也相等，其向量图如图 1-2 所示。由于标准电容器 C_0 的介质损耗角正切极小（一般 $\text{tg} \delta_0 < 5 \times 10^{-5}$ ），所以流过它的电流 i_0 导前电压 $\dot{U}_{A0}$ 近于 90° 。流过试品 C_x 、 R_x 的电流 i_x 导前电压 $\dot{U}_{Ac}$ ($90^\circ - \delta_x$)，此 δ_x 角的正切 $\text{tg} \delta_x$ 应等于 R_x 上的电压 $|\dot{U}_{Bc}|$ 与 C_x 上的电压 $|\dot{U}_{Ab}|$ 之比，即：

$$\text{tg} \delta_x = \frac{|\dot{U}_{Bc}|}{|\dot{U}_{Ab}|} = \left| \frac{\dot{I}_x R_x}{\dot{I}_x / \omega C_x} \right| = R_x \omega C_x$$

可见电流 i_0 与 i_x 之间的夹角，即为试品的损耗角。试品电流 i_x 流过无感电阻 R_3 ，在 R_3 上产生一个与 i_x 同相的电压 $\dot{U}_{Cv}$ ($= \dot{I}_x R_3$)。在电桥平衡过程中，调节 R_3 的阻值，即连续不断的改变电压 $\dot{U}_{Cv}$ 的大小，使之与 $\dot{U}_{Dv}$ 在数值上相等。电流 i_0 流过 R_4 、 C_4 并联复合阻抗，而产生电压降 $\dot{U}_{Dv}$ ，当 $C_4 = 0$ 时，其值等于 $|\dot{I}_0 R_4|$ ，其向量方向与 i_0 一致，一般 δ_x 角很小，此值近似不变，仅仅随 C_4 的增大以 O 点为圆心，逐渐顺时针偏转到与电压 $\dot{U}_{Cv}$ 重合，使电桥达到平衡。此时沿电阻 R_4 流过的电流 $|\dot{I}_{R4}| = \frac{|\dot{U}_{Dv}|}{R_4}$ ，沿电容 C_4 流过的电流 $|\dot{I}_{C4}| = |\dot{U}_{Dv}| \omega C_4$ ，后者导前于前者 90° 角，它们之间的向量和即等于 i_0 ，所以试品的损耗角正切为：

$$\begin{aligned} \text{tg} \delta_x = R_x \omega C_x &= |\dot{I}_{C4}| / |\dot{I}_{R4}| = \left| \frac{\dot{U}_{Dv} \omega C_4}{\dot{U}_{Dv} / R_4} \right| \\ &= R_4 \omega C_4 \end{aligned} \quad (1-1)$$

在工频 50 赫情况下， $\omega = 314$ ， C_4 以微法表示，若 $R_4 = \frac{1000}{\pi}$ ，则 $\text{tg} \delta_x = 0.1 C_x$ ，若 $R_4 = \frac{10000}{\pi}$ ，则 $\text{tg} \delta_x = C_x$ ，从而根据 C_4 的数值直接读出试品的损耗角正切。

当电桥平衡时，因 $\dot{U}_{Ac} = \dot{U}_{Ad}$ ， $\dot{U}_{Cv} = \dot{U}_{Dv}$ ，由于 $|\dot{U}_{Cv}| =$

$|\dot{I}_x|R_3 = |\dot{U}_{Dr}| \approx |\dot{I}_0|R_4$, 即 $|\dot{U}_{Ac}|R_3\omega C_x \approx |\dot{U}_{Ad}|R_4\omega C_0$, 所以有:

$$C_x = \frac{R_4 C_0}{R_3} \quad (1-2)$$

从而根据 C_0 、 R_4 、 R_3 的数值可以直接计算出试品的电容量 C_x 。图 1-3 是常见的 QS₃ 型工频高压小电容西林电桥测量接线图, 其桥体线路如图 1-4 所示。

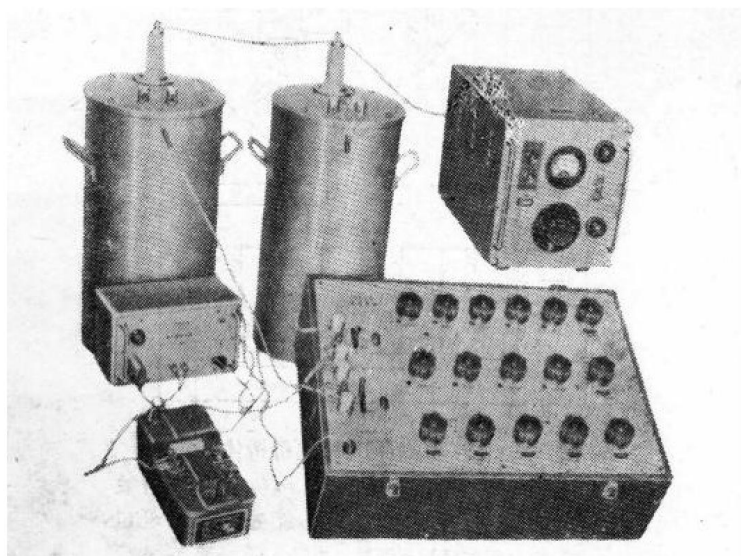


图1-3 QS₃型高压西林电桥测量接线图

在环境温度为 $20 \pm 5^\circ\text{C}$, 相对湿度为 30~80% 的条件下, 与 BR 型高压标准电容器, FY49 型放大器, AB1a 型振动式检流计配合使用时, 其测量误差如表 1-1 所列。

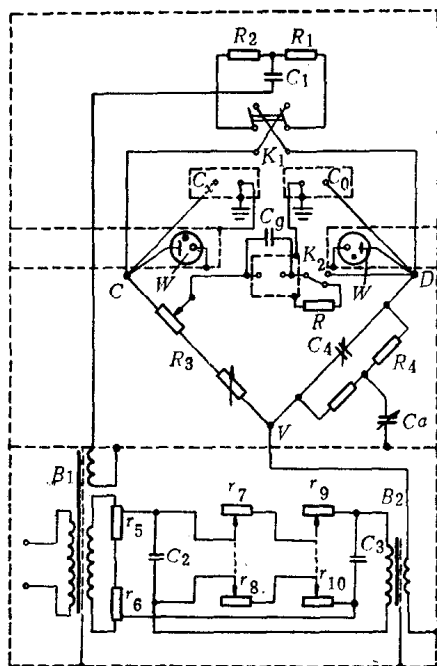


图1-4 QS₃型高压西林电桥桥体线路图

B_1 —防护电压装置进线变压器 B_2 —防护电压装置出线变压器 r_5 —防护电压装置数值粗调用电阻
 r_6 —防护电压装置数值细调用电阻 C_a —调节桥臂
 R_3 、 R_4 —对称用电容器 K_1 —找对称转换开关 R_1 、 R_2 —对称臂
 C_5 —接被试品 C_6 —接标准电容器 R_3 —第三桥臂电阻
 R_4 —第四桥臂电阻 C_4 —第四桥臂电容
 r_7 、 r_8 —防护电压装置相位粗调用电阻 r_9 、 r_{10} —防护电压装置相位细调用电阻 C_2 、 C_3 —防护电压装置移相用电容器 W —放电管

表1-1 QS₃型高压西林电桥的测量误差

被 试 量	测量范围	测 量 准 确 度	工作电压 (伏)	量 限 (微微法)
电 容 C_x	$40 \sim 2 \times 10^4$ 微微法	$\pm (0.5\% \pm 5 \text{ 微微法})$	≥ 3000	
		$\pm (1\% + 5 \text{ 微微法})$	≥ 1000	
损失角正切 $\text{tg} \delta_x$	$1 \times 10^{-4} \sim 1$	$\pm (1.5\% + 6 \times 10^{-5})$	≥ 3000	$C_x > 100$
		$\pm (1.5\% + 1.5 \times 10^{-4})$	≥ 3000	$C_x = 40 \sim 100$
		$\pm (1.5\% + 1.5 \times 10^{-4})$	≥ 1000	$C_x > 100$
		$\pm (1.5\% + 1.5 \times 10^{-4})$	≥ 1000	$C_x = 40 \sim 100$

注：上表中测量误差未包括高压标准电容器之误差。

第二节 电桥的灵敏度与准确度

电桥的灵敏度取决于试样 C_x ， $\text{tg} \delta_x$ 有极微小变化时，零位指示器能否指示出来，因而它直接限制了电桥的测试准确度。

一、西林电桥的灵敏度

(一) 影响损耗角正切测试灵敏度的因素。在图 1-1 中令： $Z_1 = R_x - \frac{j}{\omega C_x}$ ； $Z_2 = \frac{-j}{\omega C_0}$ ； $Z_3 = R_3$ ； $Z_4 = \frac{R_4}{1 + jR_4\omega C_4}$ 。当电桥平衡时， $U_{C_x} = U_{D_V} = U_{A_V} \frac{Z_3}{Z_1 + Z_3} = U_{A_V} \frac{Z_4}{Z_2 + Z_4}$ 。若 Z_4 产生一极微小相角增量，则 $\Delta Z_4 = Z_4 \Delta \phi_4 \approx Z_4 \Delta \text{tg} \phi_4 = Z_4 \Delta \text{tg} \delta_x$ ($\because \phi_4 = \delta_x$)，则 U_{D_V} 即变成 $U'_{D_V} = \frac{Z_4 + \Delta Z_4}{Z_2 + Z_4 + \Delta Z_4} U_{A_V}$ ，因而 C 、 D 之间产生一微小电位差，即：

$$e = U'_{D_V} - U_{D_V} = \frac{\Delta Z_4}{Z_2 + Z_4} \frac{Z_3 U_{A_V}}{Z_2 + Z_4} - \frac{Z_4}{Z_2 + Z_4} \frac{Z_3 U_{A_V}}{Z_2 + Z_4}$$

$$= \frac{\Delta Z_4}{Z_4} \frac{Z_4}{Z_2 + Z_4} \frac{Z_3}{Z_2 + Z_4} \frac{U_{A_V}}{Z_2 + Z_4}$$

由于 $Z_2 \gg Z_4$ ，所以 $Z_2 + Z_4 \approx Z_2 = -\frac{j}{\omega C_0}$ ，因为 $Z_4 \ll \frac{1}{\omega C_4}$ ，

$$e \approx U_{AV} \Delta \operatorname{tg} \delta_x R_4 \omega C_0 \quad (1-3)$$

此时产生一流过零位指示器的极微小电流 I_g ，由于 $Z_1 \gg Z_3$ ， $Z_2 \gg Z_4$ ，所以此电流也可近似认为仅在三角形回路 VDC 中流动。设零位指示器的内阻为 R_g ，则有：

$$\begin{aligned} I_g &= \frac{e}{R_3 + R_4 + R_g} = \frac{U_{AV} \Delta \operatorname{tg} \delta_x R_4 \omega C_0}{R_3 + R_4 + R_g} \\ &= \Delta \operatorname{tg} \delta_x \frac{U_{AV} \omega C_0}{1 + \frac{R_3}{R_4} + \frac{R_g}{R_4}} \end{aligned} \quad (1-4)$$

将式 (1-2) 代入式 (1-4) 则得：

$$\Delta \operatorname{tg} \delta_x = I_g \frac{1 + \frac{R_g}{R_4} + \frac{C_0}{C_x}}{U_{AV} \omega C_0} \quad (1-5)$$

(二) 影响电容量测试灵敏度的因素。在图 1-1 中令：

$$Z_1 = R_x + \frac{-j}{\omega C_x}; \quad Z_2 = \frac{-j}{\omega C_0}; \quad Z_3 = R_3; \quad Z_4 = \frac{R_4}{1 + jR_4 \omega C_4}。$$

当电桥平衡时 $U_{CV} = U_{DV} = U_{AV} \frac{Z_3}{Z_1 + Z_3} = U_{AV} \frac{Z_4}{Z_2 + Z_4}$ ，若 Z_3 产生一极微小增量 $\Delta Z_3 = \Delta R_3$ ，则 U_{CV} 即变成： $U'_{CV} = I_x R_3 + I_x \Delta R_3$ ，因而 C 、 D 之间产生一微小电位差 $e = I_x \Delta R_3$ ，由于 $Z_1 \gg Z_3$ ， $R_x \ll \frac{1}{\omega C_x}$ ，

$$\text{所以} \quad e \approx U_{AV} \Delta R_3 \omega C_x \quad (1-6)$$

此时必产生一流过零位指示器的极微小电流 I_g ，由于 $Z_1 \gg Z_3$ ， $Z_2 \gg Z_4$ ，所以可近似认为此电流仅在三角形回路 VDC 中流动，设零位指示器的内阻为 R_g ，则：

$$I_g = \frac{U_{AV} \Delta R_3 \omega C_x}{R_3 + R_4 + R_g} \quad (1-7)$$

由于 R_3 增到 $R_3 + \Delta R_3$ ，则按公式 (1-2)， C_x 即减少到 $C'_x = \frac{R_4 C_0}{R_3 + \Delta R_3}$ ，因而造成 C_x 减小一微量 ΔC_x ， $\Delta C_x = \frac{R_4 C_0}{R_3} -$

$\frac{R_4 C_0}{R_3 + \Delta R_3}$ ，将公式 (1-7) 代入并简化得：

$$\frac{\Delta C_x}{C_x} = I_g \frac{1 + \frac{R_g}{R_4} + \frac{C_0}{C_x}}{U_{AV} \omega C_0} \quad (1-8)$$

公式 (1-5) 及公式 (1-8) 中， I_g 受零位指示器最小鉴别能力的限制、由零位指示器本身的特性决定。显然采用高鉴别能力的零位指示器（或增加检流计前置放大器的放大倍数）以及提高测试电压和采用大电容的标准电容器，均可以提高损耗角正切值及电容量的测试灵敏度。这是因为通过零位指示器的电流 I_g 与测试电压 U_{AV} 成比例，而 ωC_0 值增大，则使 Z_2 与 Z_4 的阻抗值相接近。此外， C_x 的大小也对灵敏度有一定的影响， C_x 太小会使电桥灵敏度下降，所以一般希望 C_x 不小于 50 微微法。

二、西林电桥的准确度

在测试时，根据测试准确度的要求，将允许测试误差 $\Delta \text{tg} \delta_x$ 或 ΔC_x 以及其他参数一并代入公式 (1-5) 和公式 (1-8) 进行计算，桥体的实际灵敏度应比计算值高一级。在大量生产的试验线上，由于允许的测试误差 $\Delta \text{tg} \delta_x$ 或 ΔC_x 较大或由于测试电压 U_{AV} 很高，应适当降低检流计的前置放大倍数，这对于加快测试速度、提高工作效率，具有相当显著的效果。相反不根据测试要求，盲目提高桥体的灵敏度是没有必要的，会浪费测试时间。

高压西林电桥的分辨能力存在一定的限度，若超出了这个限度，即使电桥不平衡，零位指示器也显示不出来，因而造成了电容量与介质损耗角正切值的测量误差。这种误差与灵敏度的关系如公式 (1-5) 及公式 (1-8) 所示。在实际测量中，这两种误差交织在一起，但 $\Delta \text{tg} \delta_x$ 及 $\frac{\Delta C_x}{C_x}$ 的最大值绝

不会超过公式 (1-5) 及公式 (1-8) 所计算出的数值。例如, 测试电压 $U_{AV} = 3$ 千伏, $C_0 = 100$ 微微法检流计的电流常数 $I_g = 10 \times 10^{-8}$ 安/毫米, 若试品的电容量 $C_x \gg C_0$ 且因 $Z_g \ll Z_0$ 。按公式 (1-5) 及公式 (1-8) 得:

$$\frac{\Delta C_x}{C_x} = \Delta \operatorname{tg} \delta_x = 0.1\%$$

若在零位指示器前接入放大倍率为 50 的前置放大器, 则其最大测量误差降低为 0.002%。

除由于上述灵敏度所造成的测量误差外, 由于被测值 C_x 、 $\operatorname{tg} \delta_x$ 都是在电桥建立平衡以后, 由电桥的元件参数计算出来的, 若这些元件本身不准确, 必导致相应的测量误差。

由公式 (1-1) 及公式 (1-2) 可知:

$$\frac{\Delta \operatorname{tg} \delta_x}{\operatorname{tg} \delta_x} = \frac{\Delta R_4}{R_4} + \frac{\Delta C_4}{C_4} \quad (1-9)$$

$$\frac{\Delta C_x}{C_x} = \frac{\Delta R_3}{R_3} + \frac{\Delta R_4}{R_4} + \frac{\Delta C_0}{C_0} \quad (1-10)$$

上两式中 $\frac{\Delta R_3}{R_3}$ 、 $\frac{\Delta R_4}{R_4}$ 、 $\frac{\Delta C_4}{C_4}$ 、 $\frac{\Delta C_0}{C_0}$ 表示电桥相应元件的相对误差。

总的来说, 影响电桥准确度的因素除了上述两种以外, 还有电阻元件的分布电容; 残余电感; 元件间以及元件与电桥以外的一切物体之间的杂散耦合; 外电场干扰等等。进行精确测量时, 只有把这些因素的影响减小到远小于上述两种误差时, 电桥的测量误差才能用公式 (1-5)、(1-8)、(1-9)、(1-10) 来估计。

第三节 高压西林电桥的结构

精密高压西林电桥系由电阻比例臂、高压标准电容器、零位指示器、对称臂及防护电压装置等元件组成, 现分述

如下：

一、电阻比例臂

如图 1-1 所示，高压西林电桥是一个电阻比例臂电容电桥，它的两个重要的低压臂是由电阻 R_3 、 R_4 所组成。由于测量频率低，杂散电容与残余电感的影响较小，因此用十进电阻箱作为可调电阻 R_3 （其电阻值为 $10000 \sim 0.01$ 欧，其工作电流为 30 毫安），其最小电阻档 13×0.01 欧，采用滑线电阻，并且联接成图 1-4 的形式，使得试品电流 I_x 不通过滑动接点，触头的接触电阻仅与检流计串联。这样，桥体很容易建立平衡。

由公式 (1-1) 可知，因为 R_4 固定不变（其阻值一般为 $\frac{1000}{\pi}$ 或 $\frac{10000}{\pi}$ ，其工作电流约为 0.3 毫安）， C_4 的电容量在 $1 \sim 1 \times 10^{-5}$ 微法之间，因此损耗角正切值可以直读。

二、标准电容器

高压标准电容器是高压西林电桥的重要元件。要求在测试电压下，损耗角正切值小，电容稳定，即电容量不随温度、频率、测试电压的变化而改变，且不受外电场的影响。一般以空气作为介质，因为空气不发生电晕时，它的损耗角正切值最小，而且稳定。为了防止电极边缘由于电场畸变而发生电晕，一般采用三电极结构。

如图 1-5 所示，在低压电极外加设上下保护电极，由于这样，高低压之间

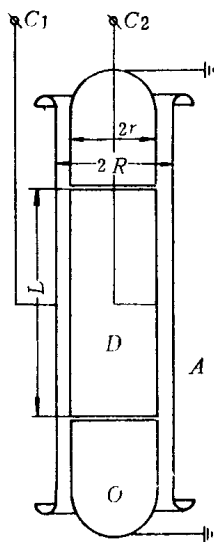


图1-5 标准空气电容器

绝缘电阻并联在高压极与保护极之间，减少了固体支撑元件

所产生的附加损耗。由于保护电极的屏蔽作用，使低压极边缘的电场不畸变，并且使低压电极的有效面积固定，因而其电容值可以从几何尺寸计算。高压标准电容器一般是圆柱形的，外圆柱 A 为高压电极，内圆柱为低压电极。为了使高压电极边缘处电场不过分集中，外圆柱的边向外弯曲、呈圆弧形。内圆柱由互相绝缘的两部分组成，中间电极 D 为低压电极，两端为保护电极 O ，为了使低压电极下的电场尽可能地均匀， D 与 O 之间的间隙尽可能地小，一般取 1~2 毫米。在设计标准电容器时，内外圆柱的半径必须选择适当的比例，使电容器的工作电压达到最大值，而且内圆柱的表面不发生电晕，一般比例系数取 3。内圆柱 D 的长度通常为外圆柱的 $\frac{1}{3}$ 。这种电容器的电容可按下式计算：

$$C = \frac{2\pi L}{\ln \frac{R}{r}} = \frac{0.2416 L}{\lg \frac{R}{r}} \text{ (微微法)}$$

式中 L ——为低压内电极的有效长度(厘米)；

R ——外圆柱的半径(厘米)；

r ——内圆柱的半径(厘米)。

标准电容器的电容量一般采用 100 微微法。在制造高压标准电容器时，电极表面光洁度必须很高，若表面不光洁、受潮、积存灰尘，都会使电容器的损耗角正切值增加。

为了避免介质击穿与电晕损耗，高压标准空气电容器的两块极板必须有足够的距离，而要得到几十到 100 微微法的电容量，就必须有相当大的极板面积。但这样要达到 100 千伏以上的试验电压，电容器的整体尺寸就会很大。考虑到气体的绝缘强度随压力加大而增加，因此采用了压缩气体作介质，做成充气标准电容器在具有同等工作电压和电容量情况

下，可以减小电极距离及电极面积，缩小电容器体积。

我国已生产各种电压等级的高压充气标准电容器。充氮的标准电容器有 50 千伏、250 千伏、500 千伏、1000 千伏等电压等级，其电容量一般在几十~100 微微法。这种标准电容器系用两个同轴金属圆柱体构成高低压电极，其表面经抛光，光洁度很高，达到小的损耗。外壳选用特殊加工处理的酚醛纸筒及钢板制成的底盖。要求保证密封可靠，不漏气和足够的机械强度。电容器上下两端装有防晕罩。在底部装有压力表和阀门，供观察电容器内部压力变化及充放气使用。底部装设滚轮，以便移动。

充气电容器的电容值的准确度不低于 0.1%，电容温度系数不大于 3×10^{-5} /度，损耗角正切值不大于 1×10^{-4} 。

最近我国又试制成功充六氟化硫的 100 千伏、250 千伏、500 千伏，50 微微法、100 微微法的高压标准电容器。由于六氟化硫的绝缘强度高，因此这种电容器与同样电压和容量的充氮电容器相比，体积小，重量轻。

三、零位指示器

高压西林电桥最常用的零位指示器是振动式检流计。国产 AB1a 型振动式检流计在工频 50 赫时的电流常数约 5×10^{-8} 安/毫米，电压常数约 1×10^{-5} 伏/毫米。谐振频率范围为 3~100 赫。为了提高测试灵敏度，可以在振动式检流计之前接放大倍数为 60 的工频放大器。这种放大器的主要缺点是干扰大。为了减小放大器的干扰，必须做到接头可靠，电源稳定，线路屏蔽良好。

四、过电压保护装置

如上所述，虽然普通的正接高压西林电桥操作是安全的，但是一旦试样或标准电容器击穿，电阻臂 R_3 、 R_4 将承