

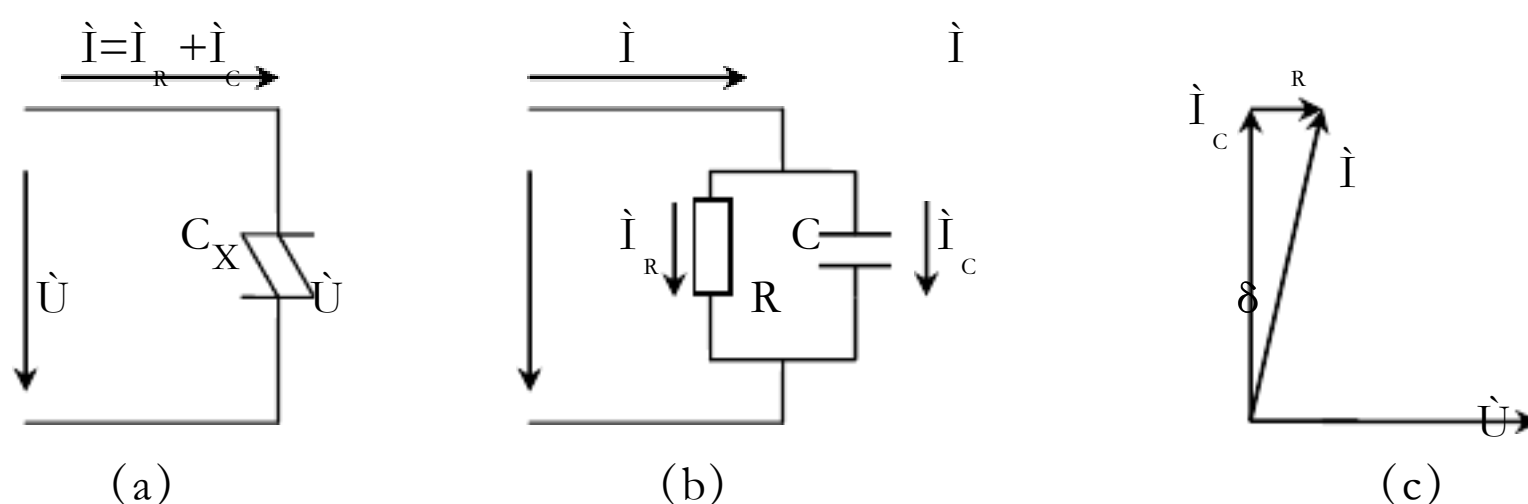
介质损耗

- 1、介损定义
- 2、测量 $\tan\delta$ 用西林电桥工作原理
- 3、测量 $\tan\delta$ 能发现的缺陷及其局限性
- 4、测量 $\tan\delta$ 的干扰因素
- 5、强电场干扰下测量介损的几种方法的简要介绍
- 6、电桥测试介损时需要注意的几个问题
- 7、几种一次设备的介损测量及影响因素
- 8、泛华AI-6000E 自动抗干扰介损仪常用功能的使用说明

一、介损定义

电介质在交流电压作用下,除电导损耗外还有极化损耗及游离损耗(电晕损耗和比直流电压作用下更为强烈的局部放电引起的损耗)。所以引入新的物理量来表示这种损耗。

绝缘介质在交流电压作用下的电路图和相量图:



(a) 电路示意图

(b) 等值电路图

(c) 相量图

电流包含有功和无功两个分量,电源供给的视在功率 $S=P+jQ$,由功率三角形可知 $P=Q\tan\delta =U^2\omega C\tan\delta$,在电介质一定,外施电压及频率一定时,可以用 $\tan\delta$ 表征介质损耗大小。

二、测量 $\tan\delta$ 用西林电桥工作原理

西林电桥的四个桥臂由四组阻抗元件所组成,其原理接线如图1所示。电桥平衡时

$$\omega C_x R_x = 1/\omega C_4 R_4 \quad (1)$$

$$\tan\delta_x = C_4 R_4 \quad (2)$$

在工频试验电压下,式(2)中

$$2\pi f = 100$$

通常取 R_4 为 $10000/\pi = 3184\Omega$

则 $\tan\delta_x = C_4$, 即 C_4 的 μF 值就是 $\tan\delta_x$ 值。

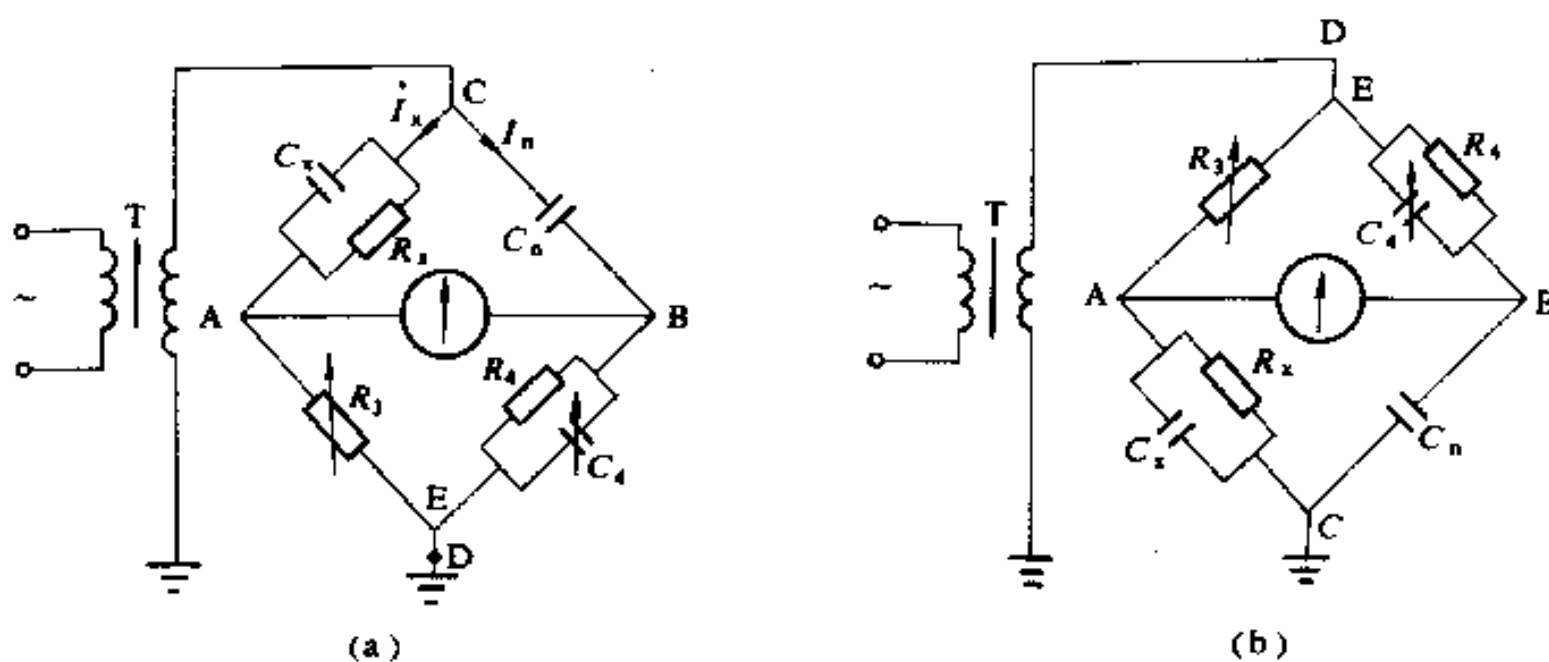


图 1 西林电桥原理接线图

(a) 正接线; (b) 反接线

三、测量 $\tan \delta$ 能发现的缺陷及其局限性

绝缘整体受潮，劣化变质、小体积试品贯通和未贯通的局部缺陷。当试品体积较大，缺陷的损耗占整个试品损耗太小比例时就有其局限性。如大容量变压器、整个发电机绕组及较长电缆，介损试验只能检查它们普遍的绝缘状况，而不易发现它们可能存在的局部缺陷。

关于大体积试品测介损的局限性的解释：

例如，某台变压器套管电容量为 250pF，介损为 5%，本体电容量为 10000pF，介损为 0.4%，根据并联电路介损计算公式得：

$$\tan \delta = \frac{C_1 \tan \delta_1 + C_2 \tan \delta_2}{C_1 + C_2} = 0.5\%$$

如果试品为串联电路，则介损计算公式为：

$$\tan \delta = \frac{C_2 \tan \delta_1 + C_1 \tan \delta_2}{C_1 + C_2}$$

下表为两部分试品串联前各自的介损及串联后的总介损：

第一部分介损	第二部分介损	两部分串联后的介损
0.08	0.12	0.11
0.10	0.12	0.12
0.20	0.12	0.13
0.30	0.12	0.15
0.40	0.12	0.17
0.50	0.12	0.19
0.55	0.12	0.20
0.60	0.12	0.21

表1 某设备部分与整体介损比较表

由此表可以看出，不能从两个容量差距较大试品串联或并联后的总介损作为判断试品好坏的依据，否则发现不了电力系统可能存在的事故隐患。

另外从体积的观点来看，绝缘总体积一定时，缺陷部分体积越大，则良好绝缘体积越小，因而缺陷对整体影响就越大，反之则影响甚微。串联时体积与电容成反比， $V_1 \gg V_2$ 则 $C_1 \ll C_2$ ，所以无论串联还是并联，都有：

$$\text{tg} = \text{tg}_1 + \frac{V_1}{V_2} \text{tg}_2$$

可见总体积很小的局部集中性缺陷是不能从介损中明显反映出来的。

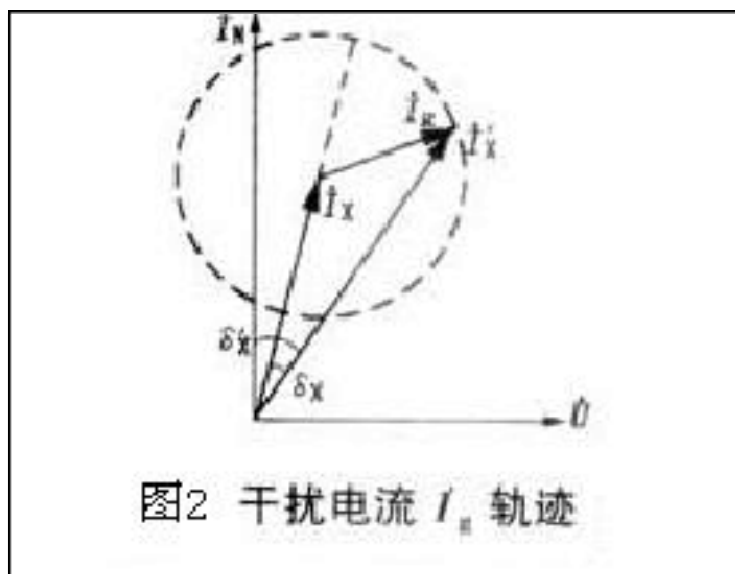
四、测量 $\tan \delta$ 的干扰因素

1、电场干扰

电场干扰主要是由于干扰电源通过带点设备与试品之间的电容

耦合造成的。

干扰电流在 $0^\circ \sim 360^\circ$ 范围内变动时试品电流与干扰电流合成轨迹图如图 2:



干扰电流通过耦合电容流过被试设备电容,干扰后电流 I_x 轨迹是以试品电流 I_x 末端为圆心,以干扰电流 I_g 为半径的一个圆。

2、磁场干扰

磁场干扰一般较小,电桥本体都有磁屏蔽,磁场干扰较弱时不会引起大的干扰电流。

3、空间干扰

空间干扰指在试品周围的构架、杂物或试品内部绝缘构成的干扰网络。这些干扰由理论分析可知,既能是实测结果增大,也可能使其减小。当 C_x 较小时, $|tg|$ 值较大,在电容套管、电流互感器、串级式电压互感器支架等小电容试品的介损测量时,尤其要注意空间网络的干扰。

五、强电场干扰下测量介损的几种方法的简要介绍

1、移相法

移相法是现场常用的消除干扰的有效方法,允许电场干扰电流通

过被测试设备和测量回路，利用干扰电流和试验电流之间的关系，通过计算得出真实的 $\text{tg}\delta$ 值。其简要原理是利用移相器改变试验电源的相位，使被测试设备中的电流 I_x 与 I_g 同相或反相，现场通常在试验电源和干扰方向相同和相反两种情况下分别测两次，然后取平均值

tg_1, tg_2 ；其电桥两次测量的电容值分别为

$$C_x = C_N \frac{R_4}{R_3} \frac{1}{1 - \text{tg}^2} \quad C_N \frac{R_4}{R_3}$$

$$C_x = C_N \frac{R_4}{R_3} \frac{1}{1 + \text{tg}^2} \quad C_N \frac{R_4}{R_3}$$

被试设备实际电容值计算公式为

$$C_x = \frac{C_x + C_x}{2} = \frac{C_N R_4}{2} \frac{1}{R_3 R_3}$$

2、倒相法

倒相法是移相法中的特例，比较简便。测量时正、反相各测一次，于是得到两组测量结果，即 C_x, tg_1 与 C_x, tg_2 。然后根据这两组数据计算出电容 C_x, tg 其相量图见图3。

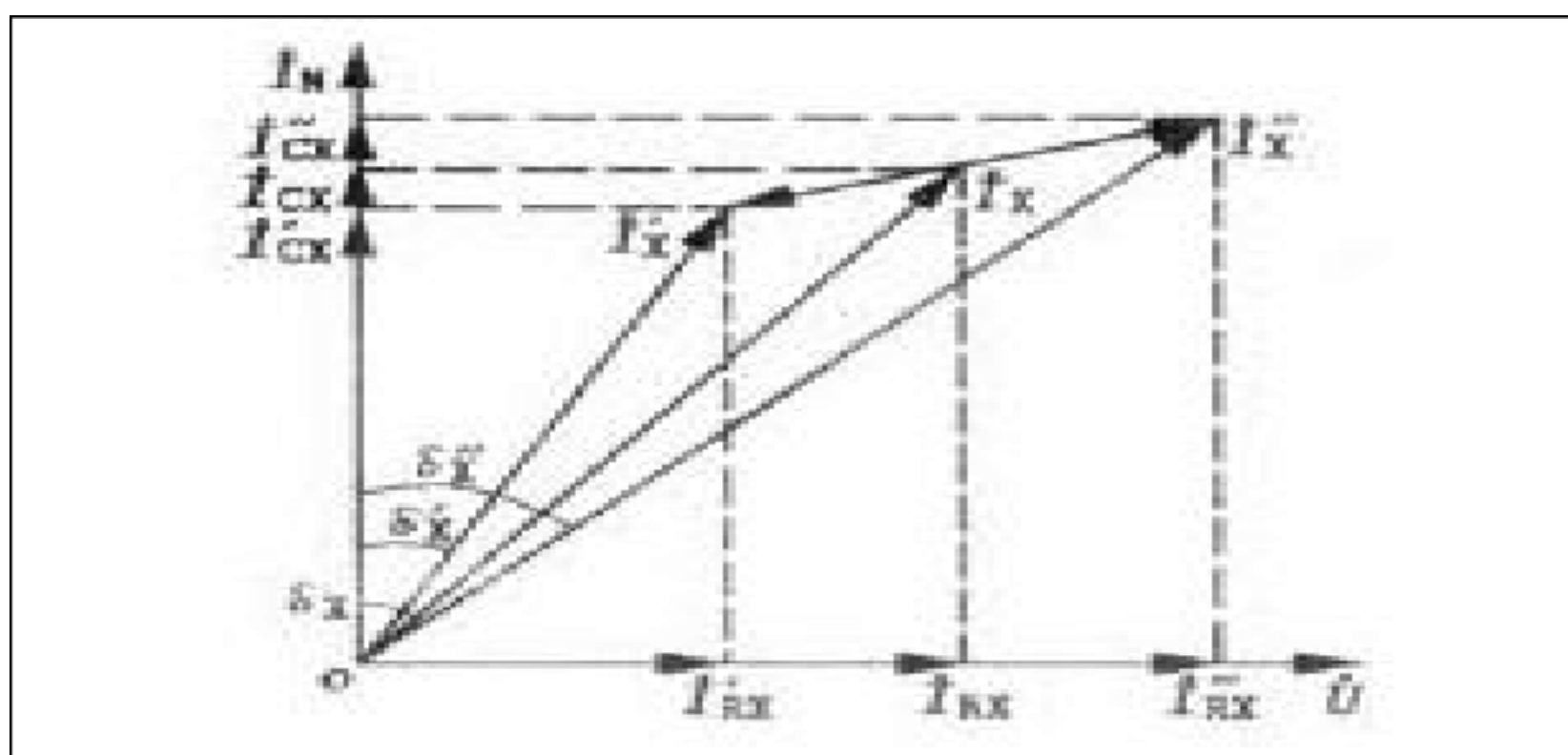


图3 用倒相法消除干扰的相量图

计算公式为：

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \delta &= \frac{I_{RX}}{I_{CX}} = \frac{\frac{1}{2}(I'_{RX} + I''_{RX})}{\frac{1}{2}(I'_{CX} + I''_{CX})} = \\ &= \frac{(I'_{CX} \operatorname{tg} \delta_1 + I''_{CX} \operatorname{tg} \delta_2)}{I'_{CX} + I''_{CX}} = \frac{C'_X \operatorname{tg} \delta_1 + C''_X \operatorname{tg} \delta_2}{C'_X + C''_X} \\ C_X &= \frac{I_{CX}}{U\omega} = \frac{I'_{CX} + I''_{CX}}{2} \times \frac{1}{U\omega} = \frac{C'_X + C''_X}{2} \end{aligned}$$

此时若 C'_X 与 C''_X 或 $\operatorname{tg} \delta_1$ 与 $\operatorname{tg} \delta_2$ 相差不大时，则 $\operatorname{tg} \delta = \frac{1}{2} \operatorname{tg} \delta_1 + \operatorname{tg} \delta_2$ 。

3、分级加压法

这种方法的思路源于倒相法，它象倒相法一样要进行两次测量然后进行计算，得到设备的真实介损值，其具体做法是：先在试验电压 U 时第一次将电桥调至平衡有 $\operatorname{tg} \delta_1$ 、 C_1 ；再将试验电压降至 $\frac{U}{2}$ ，第二次调平衡有 $\operatorname{tg} \delta_2$ 、 C_2 ，利用有干扰时测量介损的等值电路推出下面的计算公式进行计算可得其结果。

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \delta_X &= \frac{2C_1 \operatorname{tg} \delta_1 - C_2 \operatorname{tg} \delta_2}{2C_1 - C_2} \\ C_X &= 2C_1 - C_2 \end{aligned}$$

这两种方法的效果是等价的。但分级加压法比用倒相法操作简便，在现场的实际运用中，还可以用分级加压法来判断现场是不是存在干扰、电桥在测试过程是否准确、电桥内部是否有故障等。

4、桥体加反干扰源法

未加试验电源时，在电桥臂上施加一个特别的可调电源，用于补

偿干扰电流造成的影响，再施加电源电压，电桥就能在消除了干扰源的影响后测出试品真实 $\tan\delta$ 。

5、变频法

这种方法是采用与本地区电网频率不同的另一种频率的电源作为试验电源，测量强干扰下电力设备的介损。

工频时测量结果为 $\tan\delta_{50} = 2\pi fC_4 R_4$ ，采用变频电源后测得的介损为

$$\tan\delta_x = 2\pi fC_4 R_4 = 2\pi fC_4 R_4 \frac{f}{f_{50}} = \tan\delta_{50} \frac{f}{f_{50}}$$

国家电力公司武高所和山东泛华研制的抗干扰介损测量仪利用了该原理，具有很强的抗干扰能力。

六、电桥测试介损时需要注意的几个问题

1、外界电场干扰的影响

35kV 电压等级的CT、PT，断路器套管等由于电容量小，受外界电场干扰比较大，有时不采取措施消除电场干扰措施就不能反映试品绝缘的好坏。

2、试品电容量变化不容忽视

3、试品表面泄漏的影响

测量设备绝缘的介损时，如测量时空气相对湿度较大，会使绝缘表面有低电阻导电支路，对介损测量形成干扰。当湿度较大，绝缘表面脏污时，对测量结果影响更大。这种表面低电阻泄漏，对介损的影

响，因试品的不同而不同。一般情况下，正接线时有偏小的测量误差；而反接线时有偏大的测量误差。由于加装屏蔽环会改变测量时的电场分布，因此不易加装屏蔽环。为保证测量介损的准确度，一般要求测量时相对湿度不大于80%。

4、电桥引线的影响

a、引线长度的影响

b、高压引线与试品夹角的影响

为了测量准确应尽量减小高压引线与试品间的杂散电容，气候条件差时更为重要，有实测例子表明高压引线与试品夹角为 90° 时杂散电容最小。

c、高压引线电晕的影响

d、引线接触不良的影响

当引线与试品接触不良时，等于被试支路串联一个附加电阻，该电阻在交流电压作用下会产生有功损耗并与试品损耗叠加。

5、反接线带来的测量误差

在反接线中试品高压电极及引线对地的杂散电容与试品并联，因此会产生测量误差，当试品容量较小时，这个误差更大。

6、标准电容器 C_N 有损耗

通常所说的标准电容是将它看作无损电容的。如果试品介损比标准电容还要小，那么表征标准电容的漏导损耗的电阻支路 R_N 将不能忽略。

7、测试电源的选择

在现场测试中，有时会遇到测试电源与干扰电源不同步。比如试验电源与干扰电源来自两个不同的系统存在频率差或发电机供电时输入频率不稳定等情况。

8、负 $\tan\delta$ 的出现

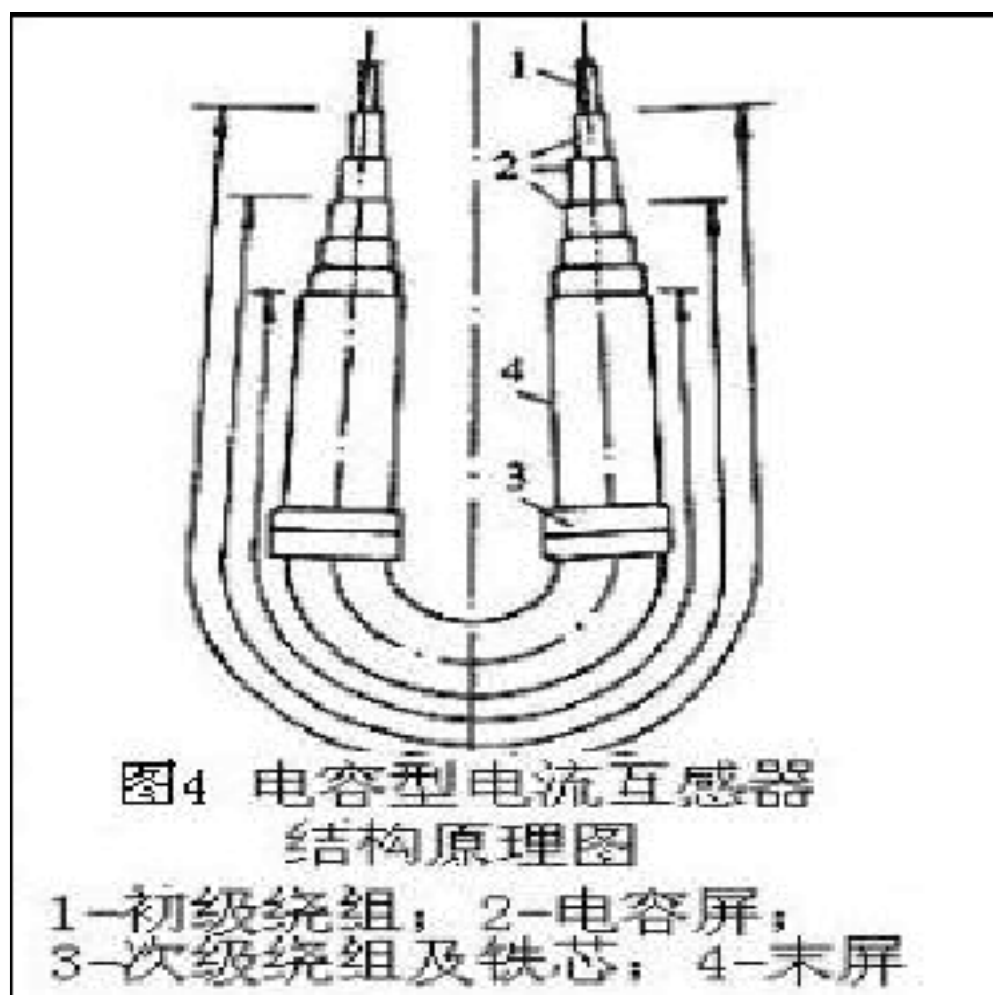
电场干扰、空间干扰及标准电容器 C_N 的损耗均可带来负 $\tan\delta$ 。现场出现负介损时，从这几个方面分析是可以找出原因的，并可求得正确测量结果。

七、几种一次设备的介损测量及影响因素

1、电容型电流互感器

1) 结构与测量方法

电容型电流互感器（以下简称电容型 TA）是电容均匀分布的油浸纸绝缘产品，其内部结构是采用 10 层以上同心圆形电容屏围成的 "U" 形，其中，各相邻电屏间绝缘厚度彼此相等，且电容屏端部长度从里往外成台阶状排列，最外层有末屏引出。电容屏由铝箔制成，屏间绝缘由电缆纸连续缠绕构成由于其一次回路轴向及径向电场分布均匀，主绝缘结构合理并得到充分的利用，因此电容型 TA 的整体结构非常紧凑。电容型电流互感器结构图如图4：



一次绕组对末屏用正接线测量，也可按一次绕组对末屏、二次绕组及地用反接线测量。但上述方法只反映一次绕组电容层间的绝缘状况，不易发现电流互感器底部及电容芯子表面的绝缘状况，规程规定末屏对地绝缘电阻低于 $1000\text{M}\Omega$ ，应测量末屏对地介损，测量电压 2kV 。

2) 常见的绝缘故障形式

a、电容极板边缘的局部放电

由于制造中电容极板不光滑，电容尺寸排列不符合设计要求，以及铝箔在卷制或组装的过程中应力集中而产生断裂等造成电容极板边缘电场集中而形成局部放电。

b、绝缘介质不均匀产生局部放电，损伤绝缘结构

由于制造或检修过程中真空干燥处理不彻底，绝缘体内存在气泡，在电场作用下气泡比固体介质的击穿强度低，在运行中气泡处首先发生极化而产生局部放电。由于U形结构，电容纸容易卷褶，放电首先在

沿折叠处发展。

c、绝缘受水分、杂质侵蚀而引起的介电性能下降

由于端部密封不严，容易造成底部和末屏受潮，使绝缘劣化，介电性能下降。

d、热老化

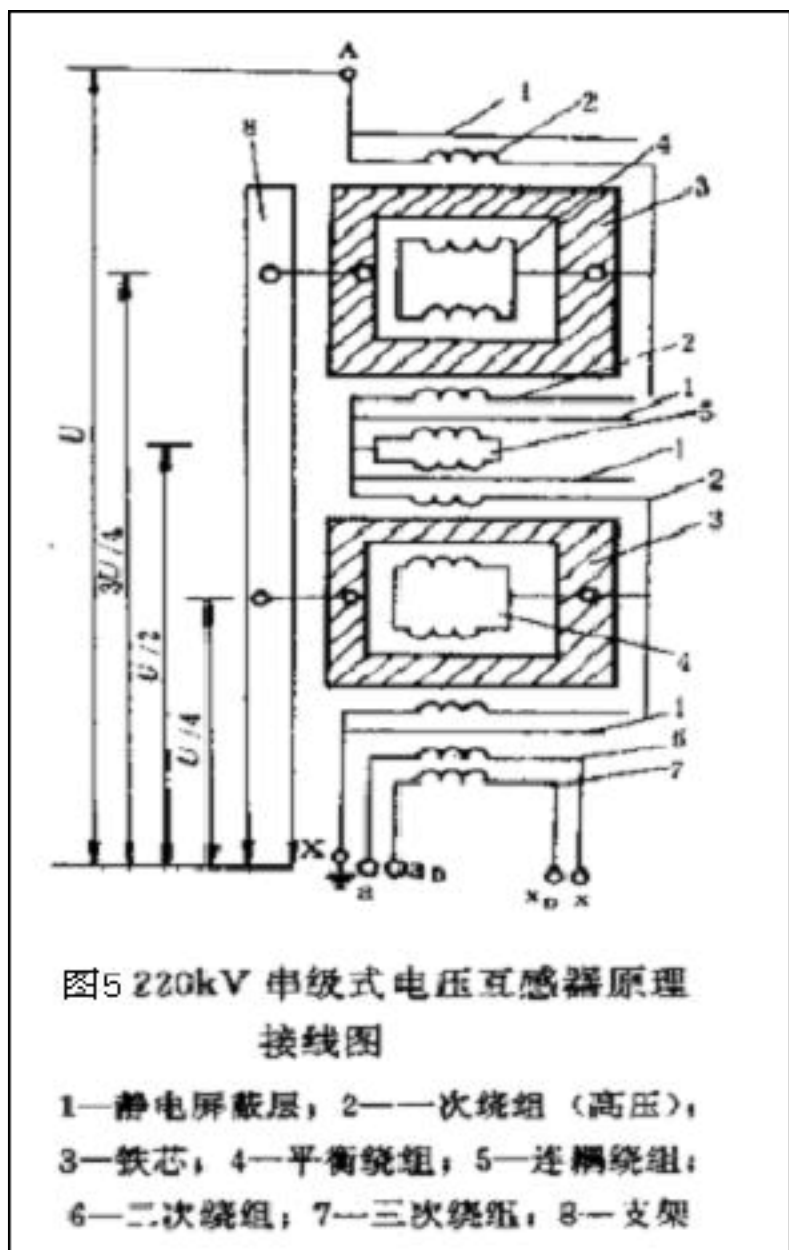
电容绝缘既承受高电压，电容芯棒又有大电流流过，介质损耗以及电流热效应均会使绝缘体的温度升高。如果绝缘存在缺陷，绝缘中发出的热量向周围介质扩散，则绝缘的温度将会不断升高产生热不稳定，造成老化。绝缘油在电场作用下由于局部放电、过热使油分解，以及水份及杂质溶于油中都能使油的介电性能下降。

2、电磁式电压互感器

1) 结构与测量方法

电磁式电压互感器分为全绝缘和分级绝缘两种，绝缘方式不同测量方法也不同。

220kV 串级式电压互感器的绕组及结构布置图见图5



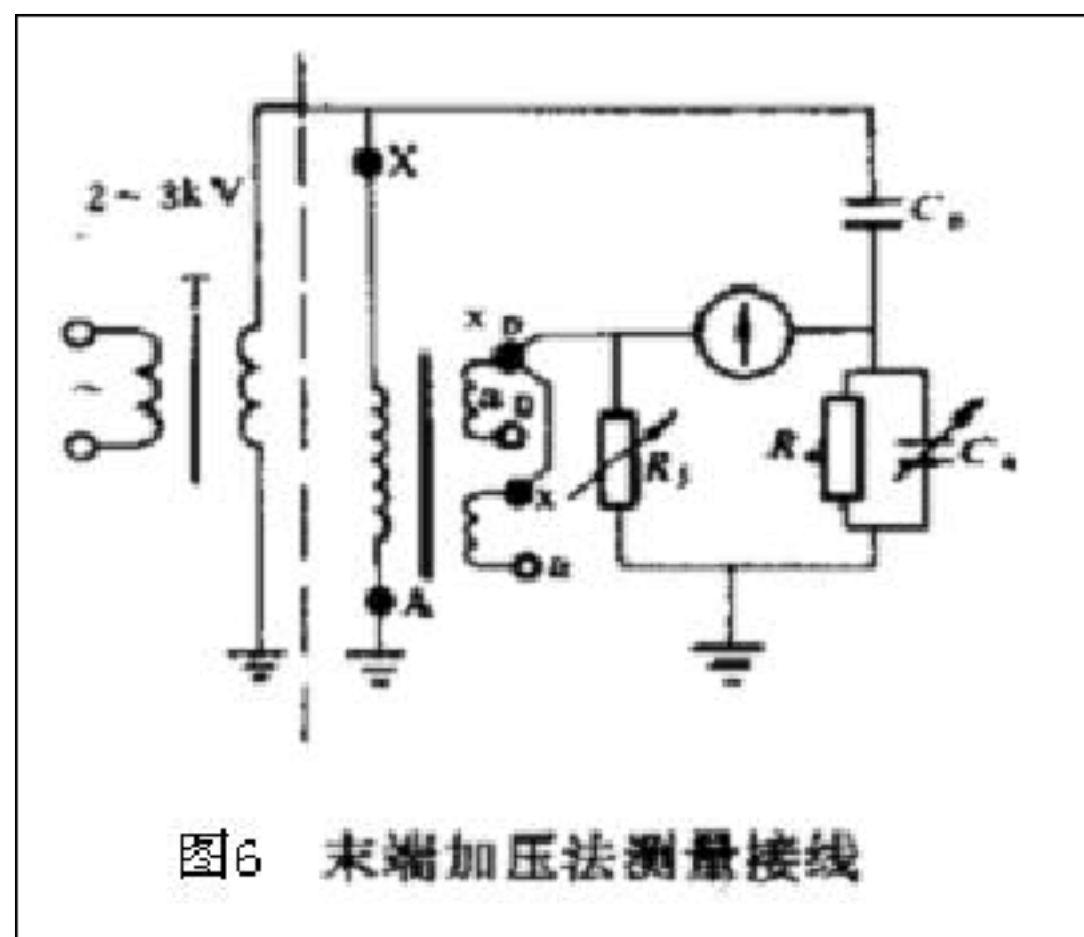
一次绕组分成4段，绕在两个铁芯上；两个铁芯被支撑在绝缘支架上，铁芯对地分别处于 $\frac{3}{4}$ 和 $\frac{1}{4}$ 的工作电压，一次绕组最末一个静电屏(共有4个静电屏)与末端“X”相连接，“X”点运行中直接接地。末电屏外是二次绕组 a_x 和三次绕组 a_{DxD} 。“X”与 a_x 绕组运行中的电位差 $100/\sqrt{3}$ V，它们之间的电容量约占整体电容量的80%。110kV级的绕组及结构布置与220kV级类似，一次绕组共分2段，只有一个铁芯，铁芯对地电压为 $\frac{1}{2}$ 的工作电压。

以下介绍末端加压法和规程推荐的用末端屏蔽法测量分级绝缘电压互感器的介损的方法。

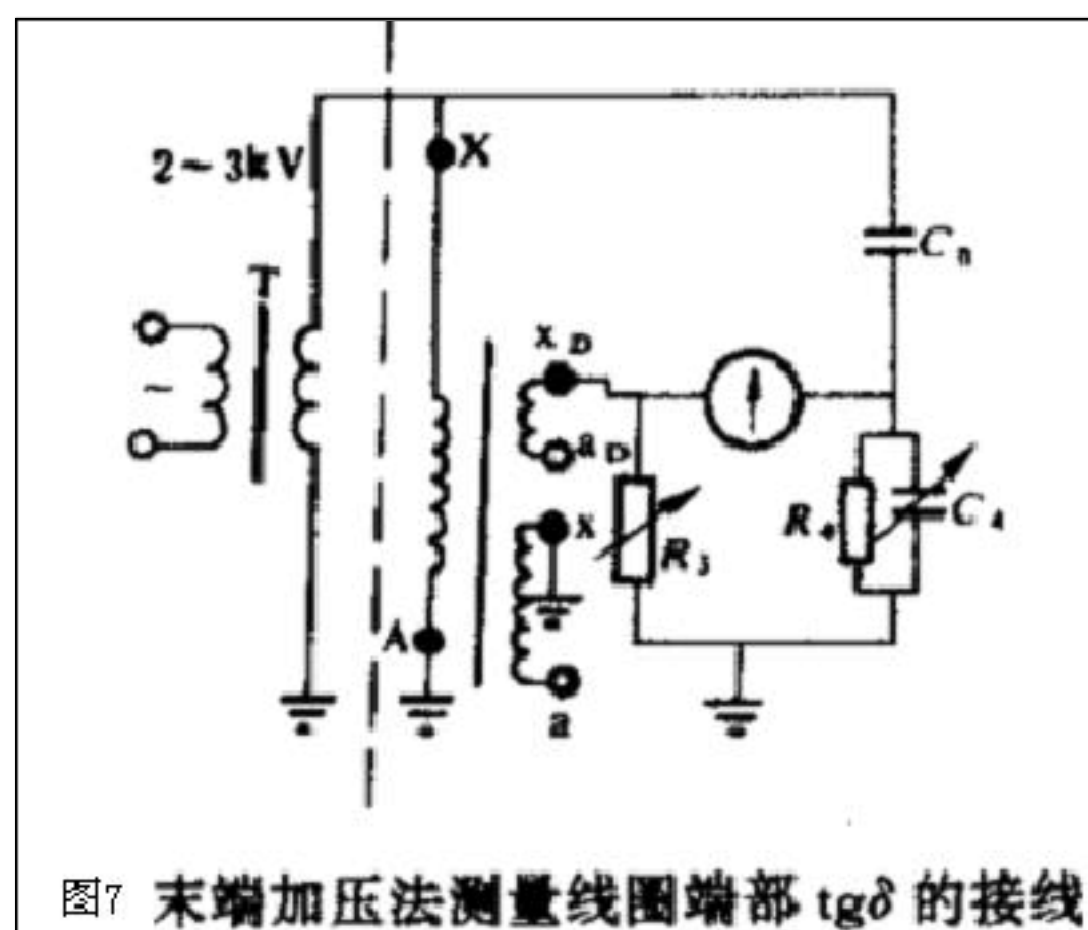
1) 末端加压法

该方法测量的主要是一二次绕组间的电容量和介损，相当于顶端有一个屏蔽罩，同时由于试品电容值较大（远大于末端屏蔽法），

因此具有很强的抗干扰能力。另外可以不断开高压引线，拆解引线工作量减小。缺点是仍有二次接线板对测量结果的影响。



使用末端加压法端部严重受潮时不能使介损有明显变化。因此要有监测绕组端部受潮的测试方法，如下图:



由图知，测量的主要是下铁芯对三次绕组端部的绝缘状况。能有效的监测出受潮情况。

2) 末端屏蔽法

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/46804113110006045>