

# 中华人民共和国国家标准

UDC 621.3.015.5  
: 621.317.3

## 局部放电测量

GB 7354 87

Partial discharge measurements

本标准参照采用国际标准 IEC 270《局部放电测量》。

### 1 适用范围

本标准适用于交流电压下的局部放电试验,有关直流电压下局部放电试验的特殊要求写在单独的条文中。本标准主要作为起草特定设备标准的一般导则。

局部放电试验有三种:

- 验证试品在规定电压下的局部放电量不大于某一规定值;
- 测定局部放电的起始电压和熄灭电压;
- 测定在某一规定电压下的局部放电量值。

本标准所述局部放电指绝缘介质中局部范围的电气放电,此种放电仅限制于被试的部分介质,且只使导体间绝缘局部桥接。它可能产生在固体绝缘空穴中、液体绝缘气泡中或不同介质特性的绝缘层间,也可能产生在金属表面的棱边或尖端上。放电大多数是以一个个脉冲的形式产生。可用各种专用仪器从接到试品的外回路中所流过的脉冲电流检出放电信号。某些情况也可产生一种较为连续的形式,称为无脉冲放电,此种放电形式的测量不包括在本标准范围内。

虽然局部放电能量不大,但长期的局部放电能导致绝缘材料介质特性的逐渐劣化,这种劣化的定义及估价方法不在本标准范围内。

长电缆和带绕组的试品,如变压器、发电机和电动机产品局部的局部放电由于有衰减、谐振和行波现象使测量复杂化。对这类试品试验的特殊要求,本标准只作简要说明。

本标准主要叙述局部放电的测量,也简单提到几种非电检测方法。

### 2 目的

本标准的目的是:定义所用术语和需测的有关参量;叙述可以使用的试验和测量回路;对一些特殊使用场合,推荐适用的测量方法和测量仪器;推荐校准方法;说明有关通用的试验程序;给出鉴别外界干扰和局部放电的一些说明。

### 3 名词、术语

#### 3.1 局部放电

在本标准中局部放电一词是指导体间绝缘仅被部分桥接的电气放电。这种放电可以在导体附近发生,也可以不在导体附近发生。

注:导体周围气体中的局部放电有时称为“电晕”,这个名词不适用于其它形式的局部放电。

不应把通用名词“游离”用来表示局部放电这一特殊情况。

#### 3.2 局部放电参量

在一定条件下,试品中发生的局部放电可以用不同的参量表示。如视在电荷量、重复率等。测量的定量结果以一种或几种参量来表示。

国家标准局 1987-03-02 批准

1987-10-01 实施



直流电压下的试验见第9章。

### 3.2.1 视在电荷量 $q$

在试品两端瞬时注入一定电荷量,使试品端电压的变化和由局部放电本身引起的端电压的变化相同,此注入量即为局部放电的视在电荷量,一般用皮库(pC)表示。

注:① 视在电荷量与放电处所涉及的电荷量不相等,后者不能直接测量。

② 实际上,由于局部放电引起的电流脉冲在测量阻抗端子上所产生的电压脉冲波形可能不同于校准脉冲引起的波形。可以认为视在电荷乃是此电荷瞬时注入试品两端,在测量仪器上读到的数值与局部放电引起的仪器读数相等的电荷。试品具有行波或衰减现象的特殊情况,见附录B。

### 3.2.2 重复率 $n$

在选定的时间间隔内,所测得的每秒钟局部放电脉冲的平均数。

注:实际上,仅能考虑超过规定量值或在规定量值范围内的脉冲。其结果有时以局部放电量的累积频率分布曲线表示。

### 3.2.3 平均放电电流 $I$

在某一时间间隔内,电荷绝对值的平均值。

$$I = \frac{1}{T} (|q_1| + |q_2| + \dots + |q_m|) \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:  $I$ ——平均放电电流, A;

$T$ ——时间间隔, s;

$q_1, q_2, \dots, q_m$ ——视在电荷量, C。

### 3.2.4 放电功率 $P$

某一时间间隔内,视在电荷量与产生脉冲时的瞬时电压值乘积的总和除以时间间隔。

$$P = \frac{1}{T} (q_1 U_1 + q_2 U_2 + \dots + q_m U_m) \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:  $P$ ——放电功率, W;

$T$ ——时间间隔, s;

$q_1, q_2, \dots, q_m$ ——视在电荷量, C;

$U_1, U_2, \dots, U_m$ ——产生  $q_1, q_2, \dots, q_m$  等脉冲时正弦波试验电压的瞬时值, V。

## 3.3 规定的局部放电量值

有关标准或技术条件中规定的某试品在指定电压下局部放电量的最大允许值。

## 3.4 与局部放电有关的电压

局部放电试验时的交流电压值均为其峰值除以  $\sqrt{2}$ 。下列电压值特别有意义。直流电压试验见第9章。

### 3.4.1 局部放电起始电压 $U_i$

当加于试品上的电压从观测不到局部放电的较低值逐渐增加到在试验回路中观测到局部放电时的最低电压。

在实践中,起始电压  $U_i$  是局部放电幅值等于或小于某一规定值时的最低电压。

### 3.4.2 局部放电熄灭电压 $U_e$

当加于试品上的电压从观测到局部放电的较高值逐渐降低到在试验回路中能观测到局部放电时的最低电压。

在实践中,熄灭电压  $U_e$  是局部放电幅值等于或小于某一规定值时的最低电压。

### 3.4.3 局部放电试验电压

局部放电试验电压,是在某一规定程序中在试品上所加的规定电压,在此电压下局部放电量不应超过某规定值。



## 4 试验回路和测量仪器

### 4.1 一般要求

本章中扼要叙述局部放电测量的各种试验回路和仪器。无论使用哪种试验回路或仪器，都应按第5章的规定校准，并应满足有关设备标准的要求。有关设备标准应规定测量的局部放电参量。一般可使用任何测量这些参量的仪器。如无其它规定，则可使用第4.2条中任一种试验回路和第4.3条中的测量视在电荷量的仪器。

直流电压下的试验见第9章。

### 4.2 试验回路

测量局部放电的基本回路有三种，如图1(a)、(b)和(c)所示，由此三种回路可导出其它多种回路，如图2、图3所示。

每种回路主要包括：

- a. 试品，除长电缆和带绕组的试品外，一般情况下可看作集中参数电容  $C_x$ ；
- b. 耦合电容  $C_k$  或第二个试品  $C_x$ ；
- c. 测量回路，由测量阻抗  $Z_m$ （有时有第二个阻抗  $Z_m$ ）、联结引线和测量仪器组成；
- d. 有时有一阻塞阻抗  $Z$ ，以防止放电脉冲经高压电源侧旁路并降低来自电源的干扰。

附录A叙述了各种不同回路的特性。

试品中的局部放电会在受试品中引起电荷转移，在测量阻抗上流过一电流脉冲，测得的电压脉冲的持续时间和波形由测量阻抗、试品和耦合电容一起来决定。

这些脉冲经放大和整形（必要时），以在测量仪器上提供一正比于视在电荷量的值。

#### 4.2.1 测量回路特性

按照测量频率范围，测量回路可分为宽频带和窄频带两大类。

测量回路的特性由下列参数确定：

- a. 下限截止频率  $f_1$  和上限截止频率  $f_2$

频率  $f_1$  和  $f_2$  是指对一恒定的正弦输入电压的响应，在宽频带回路中从恒定峰值降3dB时的频率；在窄频带回路中从峰值降6dB时的频率。

- b. 谐振频率  $f_0$

当使用窄频带回路或仪器时，其响应具有谐振峰值，相应的频率称为谐振频率  $f_0$ 。

- c. 频带宽度  $\Delta f$

窄频带和宽频带两种仪器的频带宽度均定义为：

$$\Delta f = f_2 - f_1$$

对宽频带， $\Delta f$  与  $f_2$  有同一数量级；对窄频带， $\Delta f$  远小于  $f_2$ 。

- d. 脉冲分辨时间

脉冲分辨时间就是两个相邻脉冲间的最短时间间隔。此时由两相邻脉冲重叠所产生的幅值误差不大于10%。

脉冲分辨时间反比于测量回路的频带宽度。

#### 4.2.2 试验回路的刻度因数 $K_s$

刻度因数乘仪器读数即得被测局部放电量的值。

刻度因数  $K_s$  与单独仪器的刻度因数  $K_i$  不同。

#### 4.2.3 测量阻抗

测量阻抗往往作为一种四端网络，它可以是一个电阻、电阻和电感并联、电阻并联一个电容、一个调频回路或一个较复杂的滤波回路所组成。窄频带测量回路常使测量阻抗的谐振频率调谐到与仪器的谐振频率一致。



测量阻抗应具有阻止试验电源频率进入仪器的频率响应。

#### 4.2.4 耦合电容器

耦合电容器应设计成低电感,且其谐振频率不小于  $3f_s$ 。

耦合电容器在试验电压下不应有明显的局部放电。

#### 4.3 测量仪器

测量局部放电的仪器按照所测参量分成不同类别。不论使用哪种测量仪器,建议同时使用示波器,因为这有助于区分不同类型的局部放电,以及区分局部放电和外来干扰。

直流电压下的试验见第9章。

##### 4.3.1 测量仪器的刻度因数 $K_i$

测量仪器的刻度因数乘仪器读数即得校准时注入仪器的放电量。

##### 4.3.2 测量视在电荷 $q$ 的仪器

局部放电引起的电流脉冲,在测量阻抗端子上产生一讯号。短持续时间的电流脉冲所产生的讯号为一电压脉冲,它的峰值正比于试品的视在电荷。

单个的脉冲可以在阴极示波器上显示出来,并能用校准手段来确定视在电荷量。脉冲可以显示在由放电脉冲或试验电压触发的线性时基上,也可以显示在与试验电压频率同步旋转的椭圆时基上。

实际试验时,所测的视在电荷量一般理解为最大的重复发生的脉冲。最大放电脉冲幅值能直接用示波器或合适的峰值表测量。

如果相邻两脉冲相隔  $100\mu\text{s}$ ,由于脉冲重叠不会引起幅值测量误差,则仪器的分辨时间是可以接受的。但是一般希望脉冲分辨时间比  $100\mu\text{s}$  短得多,现有仪器可以满足这一要求。如果脉冲重复率低,也可能由于峰值表时间常数而产生误差。

注:① 由于局部放电的特性或测量回路的电容元件,电流脉冲可能被拉长,则对于该较长的脉冲,试品上的视在电量正比于电压脉冲的积分。

② 和不同脉冲幅值有关的重复率的分布可用脉冲计数器确定。

##### 4.3.3 测量脉冲重复率 $n$ 的仪器

只要分辨时间足够短,凡能指示下述参数之一的脉冲计数器或重复率计都可用来测量重复率  $n$ 。对被测的全部幅值,或给定范围内的幅值,能指示每秒平均数或给定时间内的总脉冲数。这种计数器往往和幅值鉴别器联合使用,以抑制低于某可调预定值的脉冲。

如果进入计数器的脉冲是振荡的或双向的,必须避免每个脉冲计数多于一次。

##### 4.3.4 测量放电功率 $P$ 的回路

不同类型的试验回路和仪器都可用来测量放电功率,常用的方法是用示波器来显示面积,也有以其它更先进技术为依据的测量方法。这种试验回路和仪器的校准是靠外加电压和视在电荷的刻度因数来确定的。

##### 4.3.5 测平均放电电流 $I$ 的仪器

测量经线性放大和整流后的放电电流脉冲平均值的仪器,经适当校准后均能用来指示平均放电电流。要避免由于放电重复率  $n$  低时放大器过载所引起的误差,或由于  $n$  大时振荡脉冲重叠所引起的误差。

##### 4.3.6 用无线电干扰仪测量局部放电

无线电干扰仪即频率选择电压表,主要用来测量影响无线电广播信号接收的干扰。

无线电干扰仪常被用作可调谐的窄频带检测器测量局部放电。由于其特性,仪器不直接指示本标准所定义的任何局部放电参量。但当它用峰值整定,并按5.2条校准后,可指示放电幅值,详见附录C。

读数对放电脉冲重复率是敏感的,脉冲重复率大于每秒50次可以使用。

#### 4.4 非电检测法

局部放电的非电检测法,包括声学、光学等方法,如有可能也包括对试品上的放电效应进行观察。通常这些方法不适用于局部放电的定量测量,常用于确定放电的位置。



#### 4.4.1 声学检测法

在杂音很小的房间里,用听觉有时也可作为检测局部放电的一种手段。

声学检测法是用微音器或传感器和示波器,这种方法确定放电位置很有效。高灵敏度的超音频定向微音器也可用来找出空气中电晕放电的位置。传感器和示波器联合使用也可用于找出油浸设备如变压器油中的放电位置,传感器可放在油箱内部或外部。

#### 4.4.2 视觉或光学检测

在暗室中,当眼睛对黑暗环境适应以后,可以对局部放电进行目测,必要时可借助大口径望远镜观察。也可用照相机拍照,但曝光时间要相当长。有时也使用光电倍增器或影象亮化器。也可用紫外线辅助观察。

#### 4.4.3 放电痕迹观察

当试验后有可能作检查时,观察放电痕迹可以指示放电的部位和说明放电的程度。

#### 4.4.4 油中溶解气体的分析法

油绝缘的电气设备,在某些情况下可以用分析油中溶解气体的成分和含量来检测是否存在局部放电。局部放电产生的气体在油中的溶解和积累是一个长时间的过程,可在一段时间内进行多次取样监测或连续监测。这种方法可在设备不停电状态下取油样进行测量,故尤其适用于运行中的设备检测,发现故障的灵敏度较高,方法简便。

注:有时,也可用可视气体法检测局部放电。

### 5 校准

校准包括两种:其一是确定测量仪器本身的特性,包括详细的刻度校准,一般在大修后或至少每年进行一次;另一是整体试验回路中仪器的例行校准,应在每次试验前进行。如果有许多相同的试品要作试验,则可以在适当的时间间隔内进行。后一校准的目的是确定试验回路的刻度因数和校验回路是否能测量有关设备标准中规定的最小可测放电量。

#### 5.1 仪器特性的测定

应在全量程范围内和在制造厂指出的适用条件下进行全面的仪器特性测定和校准。

校准时应将测量阻抗  $Z_m$  和连接电缆包括在内。

应确定下列特性:

- a. 低重复率(约 100 次/秒)时仪器的刻度因数  $K$  随脉冲幅值的变化;
- b. 脉冲分辨时间:测定时施加等幅值脉冲并逐渐增加其重复率;
- c. 下限频率  $f_l$  和上限频率  $f_h$ ;
- d. 校准装置的稳定性和准确度。

应根据经验,全部或部分地定期进行仪器的校验。

如果各特性在一年内的变化不超过百分之几,就可认为其特性是可以接受的,在这种情况下不需要在短期内进行校准。

局部放电测量仪器所允许的误差限往往大于其它测量。

##### 5.1.1 测量视在电荷量 $q$ 的仪器的校准

测量单个局部放电视在电荷量仪器的刻度因数  $K$ ,可用任一个已知电荷  $q_0$  的短电流脉冲通过测量阻抗进行校验。这种脉冲可由幅值为  $U_0$  的方波电压发生器串联一个小的已知电容  $C_0$  产生。在此情况下校准脉冲等价于一大小为  $q_0$  的放电量:

$$q_0 = U_0 C_0 \quad \dots\dots\dots (3)$$

在实践中,不大可能产生理想的阶跃电压脉冲,尽管带有上升时间较慢和限定衰减时间的其他波形可能注入基本上相同的电荷量,但由于相应电流脉冲的持续时间不同,检测回路的响应也会不同。

校准脉冲的上升时间应使通过电容  $C_0$  的电流脉冲的持续时间比  $1/f_0$  要短,校准脉冲的上升时间



不应大于 0.1μs, 衰减时间通常在 100~1000μs 范围内选取。

一般用由晶体管或汞润接点继电器做成的带电池的小型短波前脉冲发生器作为校准电源。当脉冲发生器的主要参数 ( $U_0, C_0$ ) 不能单独校核时, 则用一方波电压发生器串接已知电容作比较来校核。测量此电容时应采取措施保证不受杂散电容的影响。

### 5.1.2 测量平均放电电流 $I$ 的仪器校准

使用与第 5.1.1 款所叙述相似的发生器以产生已知电荷和重复率的脉冲, 可用来校准测量平均放电电流的仪器。

## 5.2 整体试验布置中仪器的校准

整体试验布置中仪器的校准是在接好试品时的具体试验条件下, 确定试验回路的刻度因数  $K_c$ , 此因数受回路特性影响。这种校准对每一个新的试品试验时都应进行。但在一系列相似试品上进行试验时, 若电容值与平均值之差不大于 ±10%, 则可以隔一段时间做一次。这种校准仅需在所测参量的一个或几个值上进行。

可用这种校准来校验所能测的最小放电量, 此最小可测放电量受回路特性和干扰水平的影响。

在整体试验布置中测量视在电荷  $q$  的仪器的校准, 是在试品两端注入短电流脉冲来进行的, 如图 4(a) 和 (b) 所示。在如图 4(b) 所示的情况下必须注意, 如果校准脉冲施加在高压端和地之间, 会引入误差。

校准脉冲的产生和要求与 5.1 条相同。整体试验布置的校准, 可在试品不带电的情况下, 用一低压电容  $C_0$  来进行, 在试验回路加压前取掉  $C_0$ 。也可在试品带电情况下用高压电容来进行校准。为使校准保持有效, 校准电容必须不大于  $0.1 \left( C_x + \frac{C_k \cdot C_m}{C_k + C_m} \right)$ , 并不小于 10pF,  $C_m$  为测量阻抗两端的电容, 在此条件下, 校准脉冲等值于一放电量  $q_0 \cong U_0 C_0$ 。试品高达几米时, 电容  $C_0$  应紧靠在试品高压端放置, 并应采取措施, 防止由于  $C_0$  和其连线对高压端寄生电容  $C_k$  (图 4) 的影响而产生误差。

尽管校准时考虑了回路本身对频带的限制, 但仍期望避免这一限制。因此, 窄带检测器的响应频率应满足:

$$f_n \leq 0.3 f_0$$

$$\text{式中: } f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$C = \frac{C_x C_k}{C_x + C_k}$$

$$L = a(h_1 + l + h_2)$$

$h_1$  —— 试品高度;

$h_2$  —— 耦合电容器的高度;

$l$  —— 它们之间的导体长度;

$$a = 10^{-6} \text{ H/m.}$$

在整体试验布置中测量平均放电电流  $I$  仪器的校准, 是以与测量视在电荷  $q$  相似的方法进行的, 发生器的重复率应低于测量仪器的频带。如果与重复率相应的脉冲间隔大于分辨时间, 通常能满足此要求。必须已知脉冲重复率  $n$ 。如果脉冲是由基本频率为  $f_s$  的方波发生器产生的, 且如果正负两脉冲都采用, 重复率  $n$  将等于  $2f_s$ , 在此条件下仪器读数相应于一平均放电电流

$$I = 2f_s U_0 C_0 \dots \dots \dots (4)$$

注: ① 如果计算表明谐振接近于测量频率, 则必须测量回路的频率响应。当在  $f_0 \pm \Delta f$  的整个范围内变化测量频率时, 刻度因数  $K_c$  应看不到明显的变化。

② 对于分布参数的试品(如电缆), 可能需用专门的校准技术, 见附录 B。



## 6 试验

### 6.1 一般要求

为了获得可再现的试验结果,做局部放电试验时,必须严格控制所有对试验结果有影响的因素。下面叙述了试品和试验电压的要求。特殊试验条件和试验方法在有关设备标准中规定,其中还应规定需要测量的放电参量和最小可测放电量,最小可测放电量的实际极限参阅第8.4条。直流试验见第9章。

### 6.2 试品的预处理

试验前,试品的状况应按有关设备标准的规定进行预处理。若无其它规定,试品应是干燥、清洁的,并应与周围的环境温度一致。试验前的电、热、机械作用会影响局部放电试验的结果,为保证良好的重复性,可将受上述影响的试品放置一段时间后再作试验。

### 6.3 对试验电压的要求

交流电压的局部放电试验,如无另外的规定,试验电压波形和升压速度应符合 GB 311.3—83《高电压试验技术第二部分:试验程序》的相应要求。

### 6.4 试验程序的选择

对各种类型试品使用的试验程序在有关设备标准中规定。试验程序包括准备过程、试验电压水平、试验电压频率、加压时间和加压程序,以及局部放电试验与其它绝缘试验的关系。

为了有助于制订这种试验程序,第6.4.1和6.4.2款列出了三个交流电压通用的试验程序的例子。

#### 6.4.1 测定局部放电起始电压和熄灭电压

加于试品上的电压,从远低于(预期的)局部放电起始电压加起,逐渐升高直至放电量达到或超过某一规定值,此时的试验电压就是局部放电起始电压,随后电压再增加约10%,然后降到放电量等于该规定值,此时的试验电压即局部放电熄灭电压。

应注意:对某些绝缘系统,熄灭电压可能受保持高于起始电压的施加时间的影响。另外,重复测量起始电压和熄灭电压时,两者都会受影响。

在任何情况下,试验时施加的电压不得超过试品的额定耐受电压,重复施加接近于额定耐受电压值的电压,有可能损坏试品。

#### 6.4.2 确定在规定试验电压下的局部放电量

##### a. 无预加电压的测量

以规定参量表示的局部放电的大小是在规定电压下测量的,该电压可能比预期的局部放电起始电压高得多。

在试品上施加电压,从较低值起逐渐增加到规定的电压值,且维持规定的时间。在此时间末了测量用规定参量表示的局部放电量,然后降低电压,切断电源。

有时在电压升高、降低或在整个试验期间也测量局部放电量。

##### b. 有预加电压的测量

加在试品上的电压从低于规定的局部放电试验电压的值逐渐升高到超过此值的一个规定的预加电压。在此预加电压下维持规定时间,然后降低到局部放电试验电压值,维持电压至规定时间,且在此时间末期,在给定时间间隔内测量局部放电量,在施加电压的整个期间应注意局部放电量的变化。

### 6.5 在长电缆和带绕组的试品上的测量

此种情况下,测量局部放电的某些导则列于附录B中。

## 7 测量准确度和灵敏度

局部放电现象受多种因素影响,因而重复性相当低。局部放电的测量误差也常比其它高压试验时的测量误差大。在规定局部放电的验收试验时应考虑这个情况。

测量也受背景噪声的影响,背景噪声应该是很低的,通常应小于50%规定的局部放电量允许值,以使局部放电测量有足够的准确性。



已确定为外界干扰的脉冲可以不考虑,当对设备验收试验规定的局部放电量较低,例如小于10pC,则背景噪声可以允许高达100%规定值。

注:试验回路中可以测到的最小局部放电量一般是受干扰限制的,当用适当的屏蔽或用一平衡试验回路有效地减少这些干扰时,其极限往往由仪器本身的内部噪声水平和由试验回路参数,特别是 $C_x$ 、 $C_k$ 、 $Z_m$ 和与 $Z_m$ 并联的电容 $C_m$ 等值确定,通常最小的可测量值随 $C_x$ 、 $C_m$ 、 $1/Z_m$ 和比值 $C_x/C_k$ 的增加而增加。在试品电容很小和很大的情况下,采用匹配变压器可增加测量的信噪比。

## 8 干扰

### 8.1 干扰源

测量局部放电时的干扰可分为两类:

a. 试验回路未通电时产生的干扰:这类干扰在试品回路未通电时就有,例如由于其它回路操作、整流子电机、附近的高压试验、无线电波、电焊、供电网络中可控硅元件等所引起,也包括测量仪器本身的固有噪声。这类干扰也可能发生在电源接上但处于零电压时。

b. 试验回路通电时产生的干扰:仅在回路通电时产生,但不是由试品产生的,这些干扰往往随电压增加而增加。它们可以包括例如试验变压器中的局部放电、高压引线的局部放电、套管中的局部放电(如果不是检测对象的部件)或者邻近物体接地不良而产生的放电。干扰也可能由高电压区域内连接不良所引起,即由屏蔽和其它只在试验时与屏蔽相联结的高压导体间的火花放电所引起。干扰也可由在测量仪器频带宽度内的试验电压高次谐波所引起。干扰也可以来自低压电源侧的局部放电,或触头间的火花,这种干扰经试验变压器或其它联结进入测量回路。

直流电压下试验的干扰情况见第9章。

### 8.2 干扰检测

与电压无关的干扰能用试验回路不通电时仪器上的读数来检测。

与电压有关的干扰,可以用下列方式来检测:把试品移开,或是用一电容量相等而不产生明显的局部放电的电容器代替。试验回路应按第5.3条给出的程序重新校准,然后通电直至规定的试验电压。

如果干扰超过试品放电量最大允许值的50%,则应采取措施以降低干扰。降低干扰的方法见第8.3条。从测到的局部放电量减去干扰水平是不对的。

用示波器作为指示仪器进行观察,有助于区别试品放电和外界干扰(如背景噪声),有时用它来确定放电的类型。

非电检测法(见第4章)常用来确定高压引线或试区其它地方电晕的位置,也可作为试品中局部放电的独立的确定方法。

### 8.3 降低干扰

#### 8.3.1 概述

降低干扰的方法,可以将试区附近所有金属结构妥善地接地和必要地屏蔽,并且把试验回路和测量回路的电源加以滤波,在屏蔽室内试验是降低干扰最有效的方法,进入屏蔽室的所有电气联结都经过滤波器。采用第8.3.2和8.3.3款叙述的方法可进一步降低干扰水平。

#### 8.3.2 平衡回路

使用图1(c)所示平衡回路可以有助于区分试品中的局部放电和试验回路中其它部位所产生的放电或背景噪声,且后者可得到部分平衡。

#### 8.3.3 信号电子处理和复原

一般情况,特别是在工业条件下,灵敏度受干扰限制。有各种不同的电子方法可用于从干扰中分离出真实放电信号,这些方法可以单独使用,也可以组合使用,使用时应小心。某些方法叙述如下:

##### a. 时窗法

仪器有一个能在预选时刻打开和关闭的电路,只在窗打开的时间间隔内脉冲信号才能通过并进入测量仪器,在窗关闭的时间间隔内信号被阻断。如果干扰产生在固定的时间间隔内,调节窗打开和关闭



的时间,使在产生干扰的时间间隔内将窗关闭。以交流电压试验时,其真实放电信号只重复发生在试验电压的固定相位上,可使窗仅在此时间间隔内打开。

直流电压试验,当试验电压是交流电压整流而来时,时窗法特别有用。

#### b. 极性甄别法

在图 1(c)所示回路中,可以用比较  $Z_m$  和  $Z_{m1}$  上脉冲信号极性的办法来区别试品产生的信号和某些来自试品以外部分产生的干扰信号,用一逻辑系统进行比较并操作仪器的门窗,使只有正确极性的脉冲能通过,从而只有来自试品的脉冲被送入测量仪表。

#### c. 脉冲均值法

在工业环境中很多干扰都是随机的,而真实的放电信号却在试验电压周波相同的时间内产生,所以采用现代信号均值技术,有可能大大降低随机发生的干扰的相对水平。

#### d. 频率选择

无线电波干扰及电力系统载波通讯干扰只限制在个别频带,对宽频带仪器,可将带阻滤波器调谐到干扰信号的频带,以降低放大器的增益,从而可降低这种干扰。对窄频带仪器,可将仪器调谐到干扰水平可忽略的频率。

### 8.4 干扰水平

不能给出干扰的确定值。但作为一般导则,在无屏蔽的工业试区,特别是在大尺寸的试验回路中可能遇到相当于几百 pC 个别放电的干扰,采用平衡回路可将此干扰大大降低。

在屏蔽的试验室内,所有金属结构都妥善地联结到试验室屏蔽上,并采取措施抑制来自电源和其它电气系统的干扰。此时所得到的测量极限即测量回路本身的极限,或者是由屏蔽、接地或滤波稍不完善而限制。目前在某些情况下,最低可测放电量约为 1pC。

## 9 直流电压试验时对局部放电测量的特殊要求

### 9.1 概述

直流电压试验时的局部放电现象和交流电压试验时有几个明显的差别,特别是对固体绝缘、液体绝缘或其组合绝缘。对气体绝缘差别很小,可忽略。

对某些差别概述如下:

a. 由于直流电压下个别脉冲之间的时间间隔是由所用材料的电气时间常数确定的,因而直流电压下的重复率可能极低,而交流电压试验时重复率由电压频率决定。

b. 直流电压下,当电压恒定时,绝缘材料内部的电压分布由电阻率决定,而电压变动时基本上由介电常数确定。

升压和降压后将有一个时间相当长的电荷重分布过程,极性转换后也一样。

c. 直流电压的脉动以及温度等参数也可能对试品局部放电特性有相当大的影响。

关于这些现象,下面给出有关第 3 至第 8 章的进一步资料。

### 9.2 局部放电参量

一般,视在电荷  $q$  和重复率  $n$  也适用于直流电压试验,但对这种试验还没有采用累积参量的经验。

### 9.3 局部放电电压

直流电压时,局部放电试验电压值以其平均值表示。

#### 9.3.1 局部放电起始电压和熄灭电压

直流电压试验时,由于局部放电起始电压和熄灭电压与电压变动下的电压分布等因素有关,因而很难确定。

有时即使去掉试验电压之后局部放电可能还继续存在,特别是对固体和液体绝缘及其组合绝缘。

#### 9.3.2 局部放电试验电压

局部放电试验电压的定义与交流电压相似,往往只考虑超过某重复率的放电量,但不频繁发生的单



个高幅值脉冲可能也是重要的。

#### 9.4 试验回路和测量仪器

通常交流电压试验所用的试验回路和测量仪器也可以用于直流电压试验。建议同时使用脉冲计数器以作补充。

当脉冲重复率 $n$ 低时,在每一时间间隔内,那种在不同的且可选择的幅值范围中显示出放电次数的计数装置是有用的。

#### 9.5 试验

##### 9.5.1 对试验电压的要求

如在有关设备标准中无其它规定,直流电压局部放电试验,其试验电压波形和升压速度应符合 GB 311.3—83 的相应要求。

##### 9.5.2 试验程序的选择

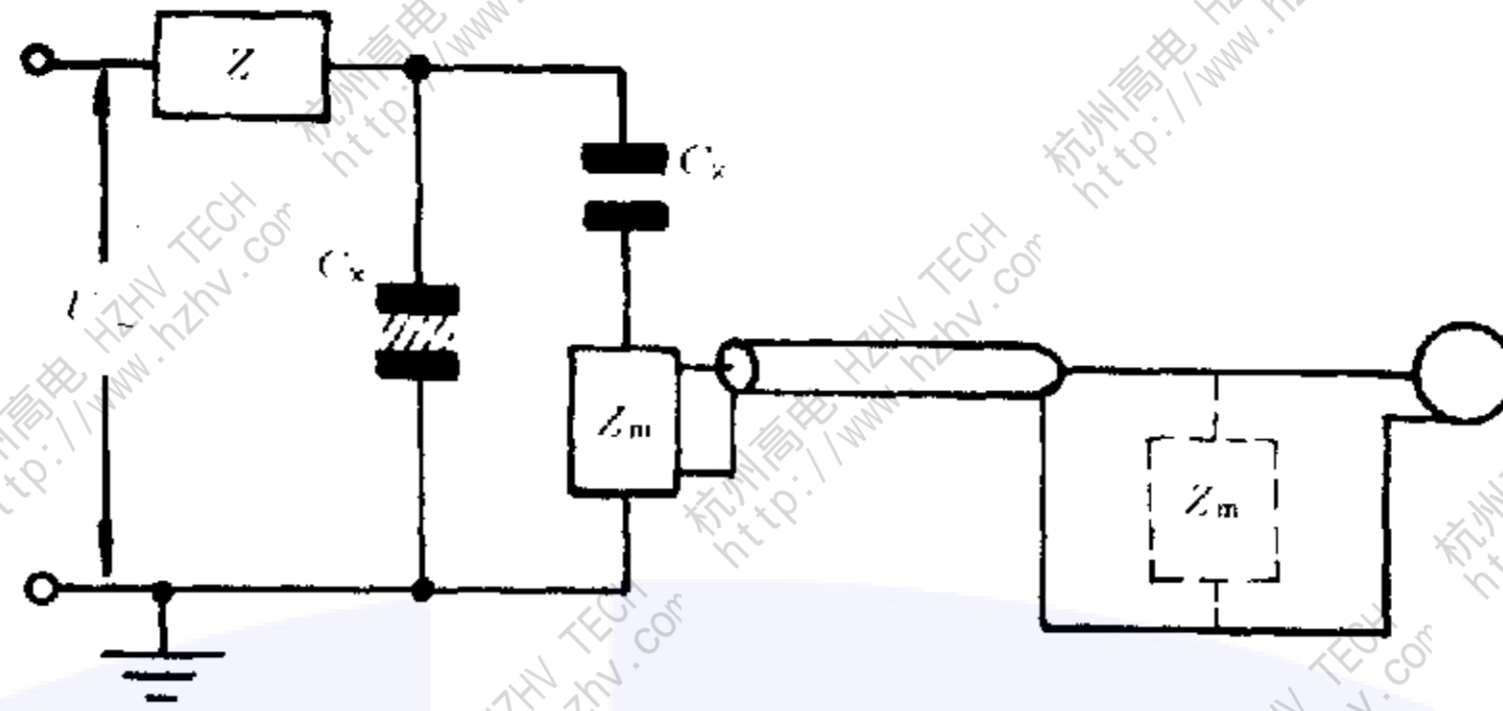
交流电压下确定起始电压和熄灭电压的试验程序,一般都不适用于直流电压试验,因为电压升高和降低时,介质上的电场强度与电压恒定时不同。

直流电压试验时确定局部放电量还没有共同接受的方法。必须注意不论采用什么方法,加压一开始的局部放电量可能和相同试验电压经过一段时间后的放电量不同。

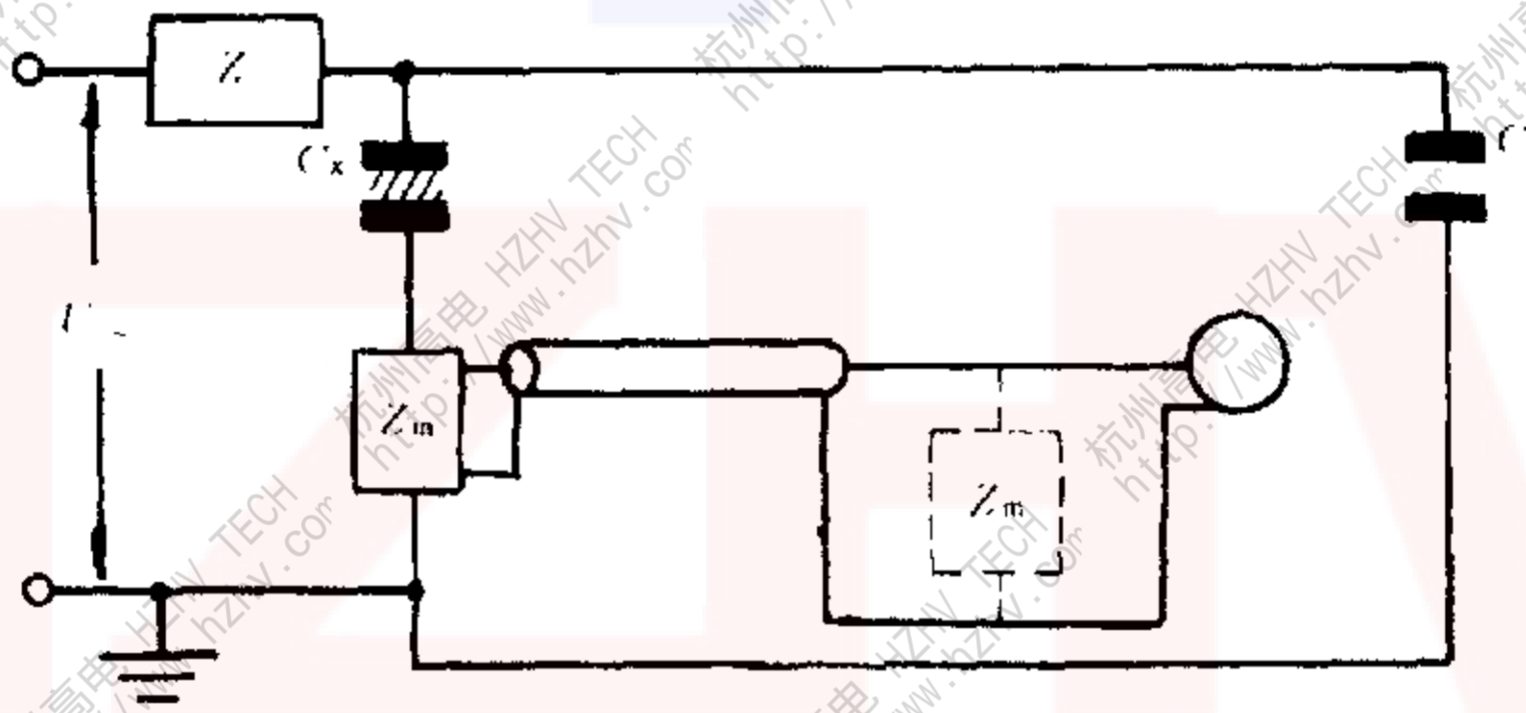
#### 9.6 干扰

第 8 章的规定也适用于直流电压试验,然而,直流电压下会产生一种特定类型的有规律的重复干扰,它与直流电源整流元件中的电流转换有关。

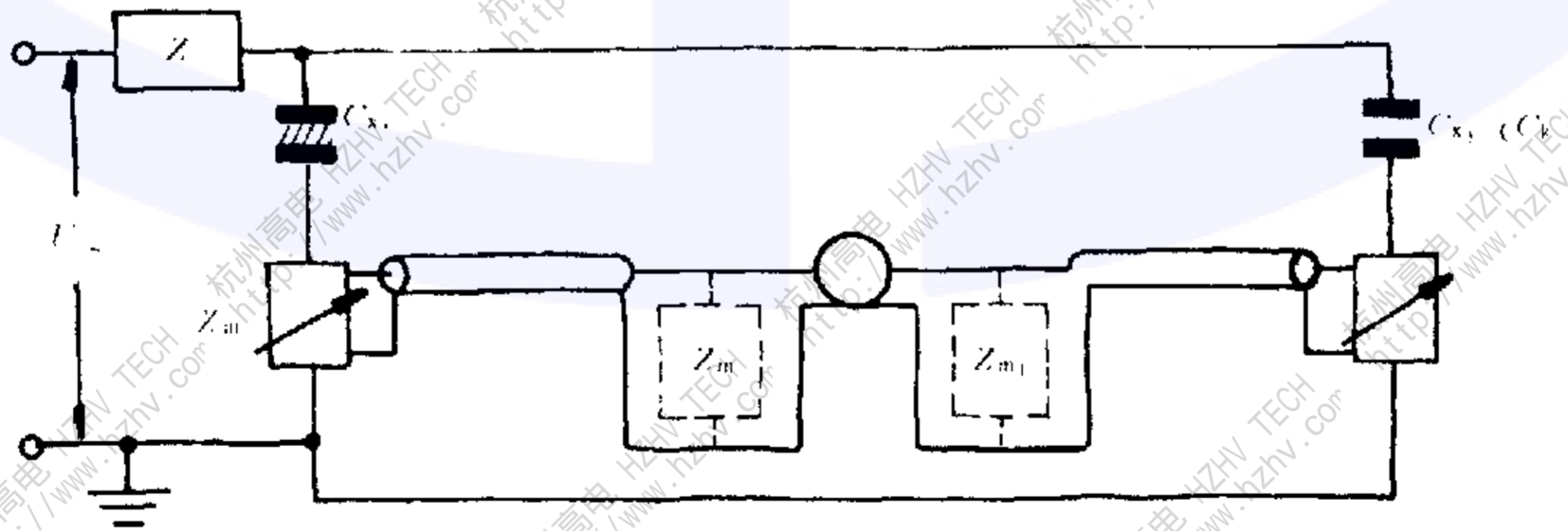




(a) 测量阻抗与耦合电容串联



(b) 测量阻抗与试品串联



(c) 平衡回路

图1 局部放电的基本回路



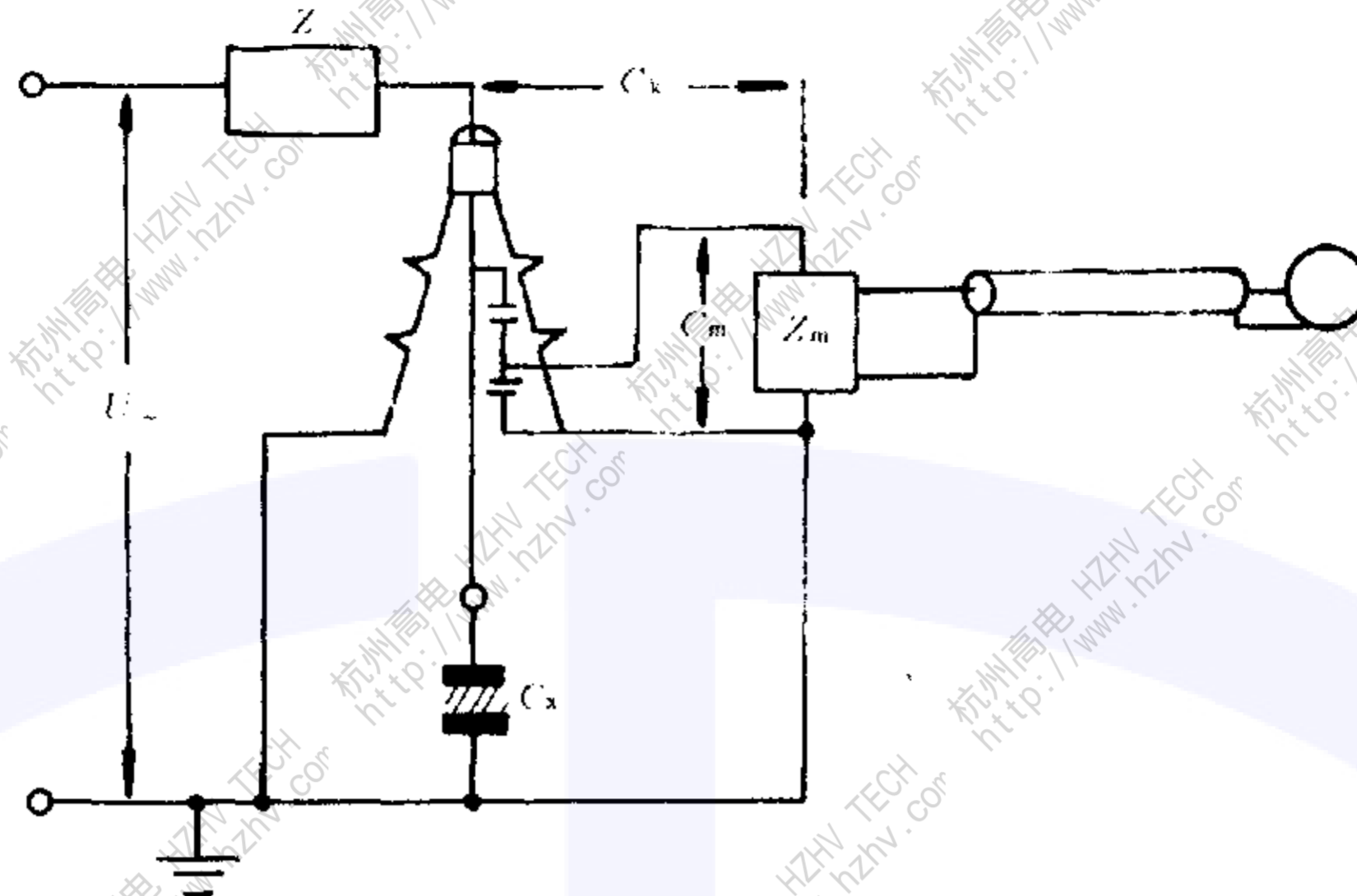


图 2 在套管抽头端测量的试验回路

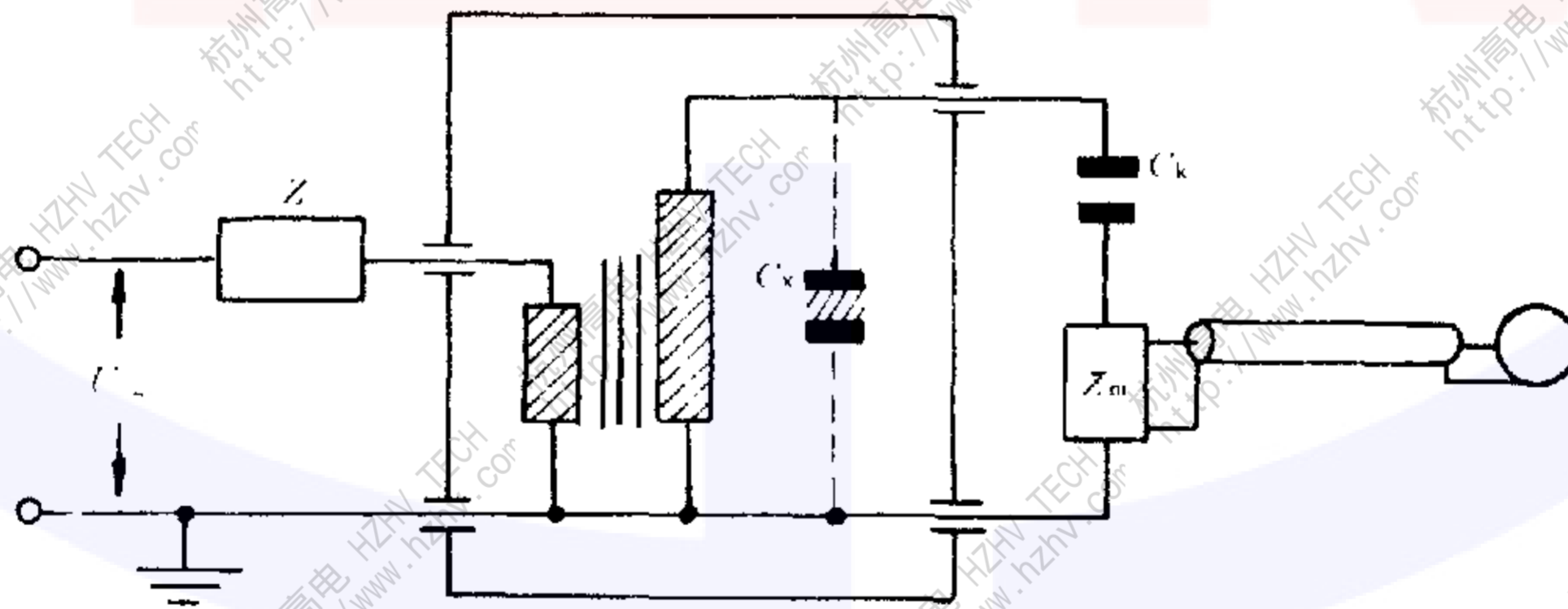
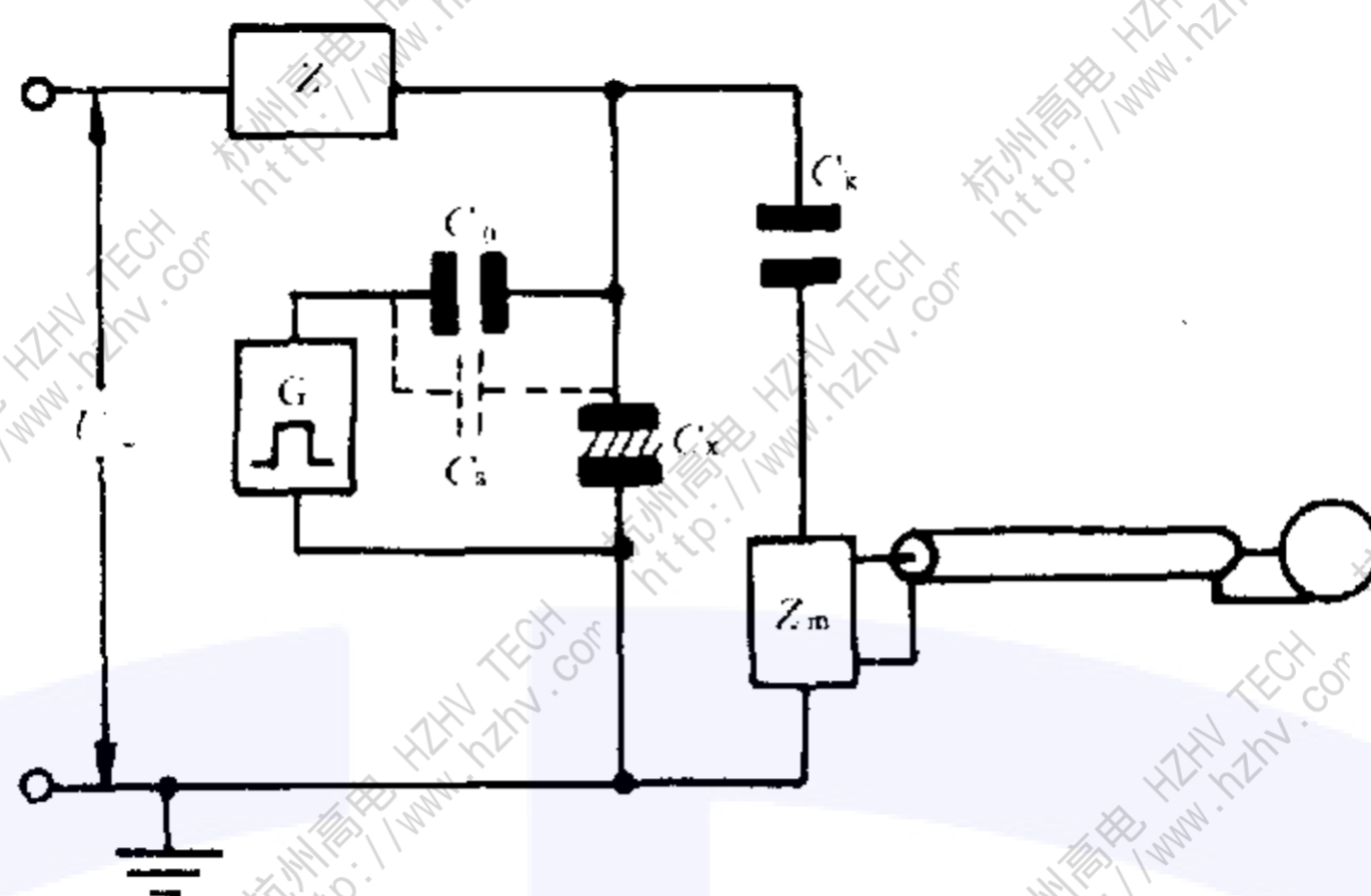
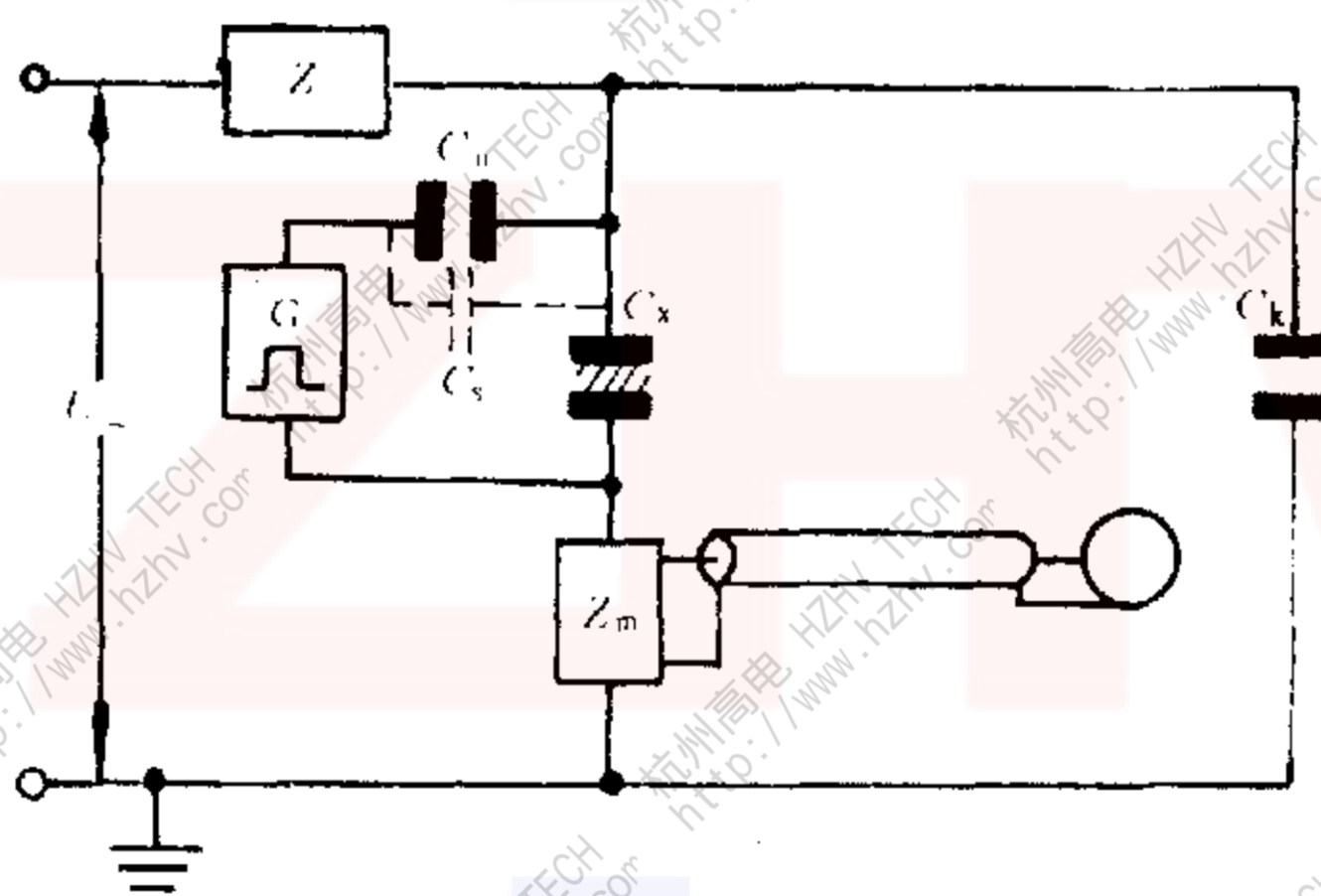


图 3 感应加压试品测量的试验回路





(a)



(b)

图4 整体试验回路中校准的接线

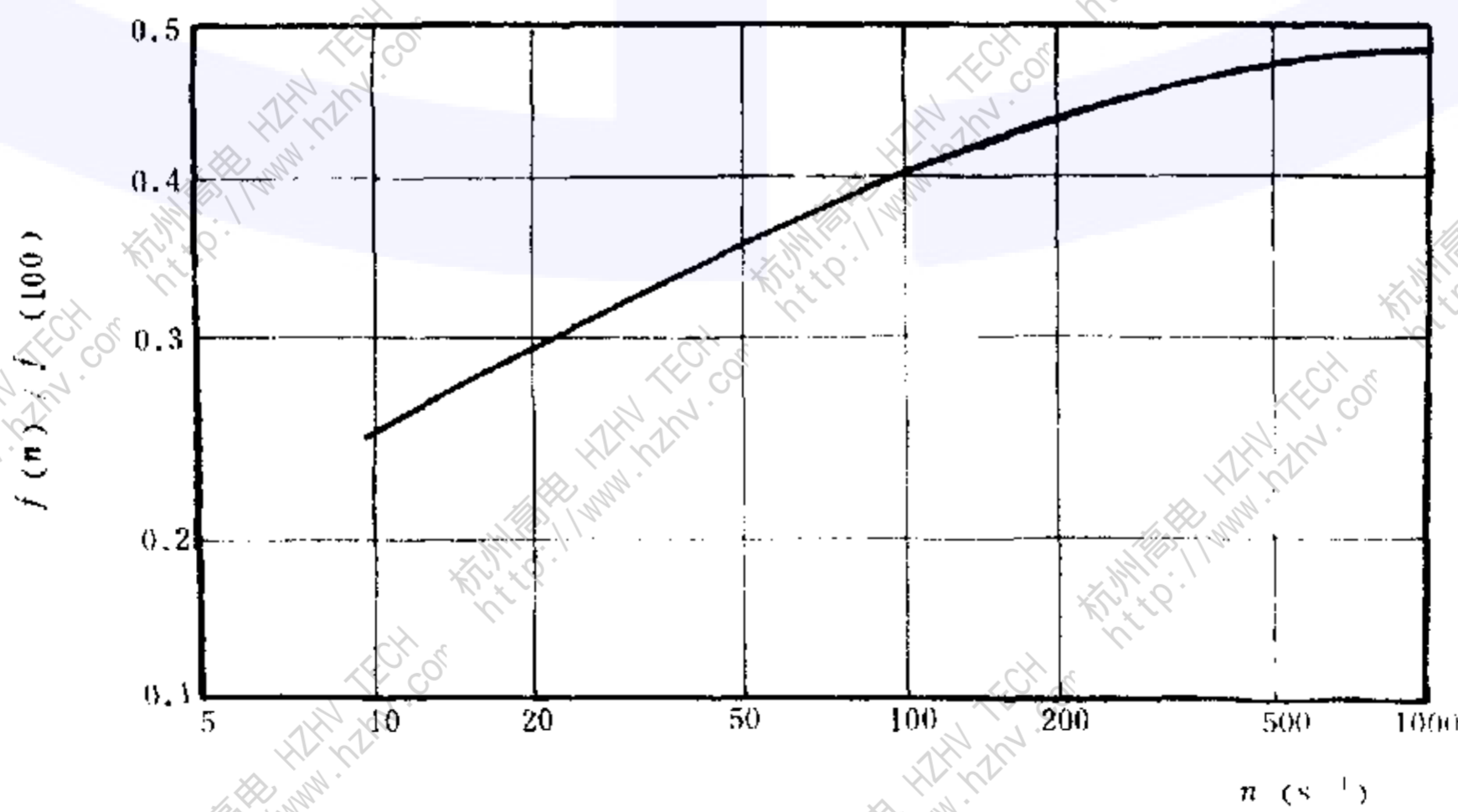


图5 C.I.S.P.R. 无线电干扰仪脉冲幅值不变时,读数随重复率  $n$  的变化



## 附录 A

### 试验回路

(补充件)

局部放电试验的三种基本回路,如图 1(a)、(b)、(c)所示,由此可以导出图 2、图 3 回路。

各种回路的特性扼要叙述如下:

图 1(a),测量阻抗接在耦合电容器的接地侧,这种回路适用于有一端接地的试品,试品和高压电源间的阻塞阻抗  $Z$  用以衰减来自高压电源的干扰,阻塞阻抗还阻止试品局部放电脉冲经电源阻抗旁路,从而可能增加灵敏度。

图 1(b),在此回路中测量阻抗接在试品的接地侧,试品低压侧必须与地隔开。

有时,试验变压器入口电容和高压引线的杂散电容可起耦合电容  $C_x$  的作用,而不需要另外再接专门的耦合电容器。这种接线特别适用于试品电容小于变压器入口电容和杂散电容的情况。若试验变压器的入口电容至少与  $C_x$  有同样的数量级,当无阻塞阻抗  $Z$  时,这种接线也是令人满意的。

图 1(c),如图所示为一平衡线路,仪器接在  $Z_m$  和  $Z_{m1}$  之间,试品和耦合电容器低压侧都与地隔开。此回路可以部分平衡来自试品以外的干扰。 $C_x$  和  $C_{x1}$  电容量最好是同一数量级。如采用两个相同的试品作为  $C_x$  和  $C_{x1}$  ( $C_{x1}$ ),为了能收到最好的效果,两试品的介质损失角、特别是其随频率的变化应是相似的。调整时可在高压端和地间接一个人工放电电源,调节阻抗  $Z_m$  和  $Z_{m1}$  直至仪器读数最小。缩小的比率可能从 3(对完全不同的试品)到 1000 或更高(对相同的、很好屏蔽的试品)。

图 2,此回路由图 1(a)回路导出,适用于装有带抽头电容套管的试品。套管电容代替耦合电容  $C_x$ ,测量阻抗接在套管抽头的端子上。在这种情况下,测量阻抗两端有相当大的电容  $C_m$ ,可能影响测量灵敏度。

图 3,这种回路用于试品为电力变压器或电压互感器,由感应产生试验电压的情况,也是由图 1(a)回路导出的。



## 附录 B

## 长电缆和带绕组试品上的局部放电测量

(补充件)

原则上附录 A 所叙述的回路都能用来测量长电缆和带绕组的试品,也就是带分布电容和电感元件的试品。某些试品,如变压器和电压互感器可以从低压绕组励磁,感应产生试验电压(图 3)。

具有分布电容和电感元件的试品的局部放电测量的细节不在本标准范围内,这里只叙述几个特别重要并在测试方法上要注意的问题,以供制订有关设备标准时参考。

**B.1 衰减现象**

由于绕组内部或沿长电缆的衰减,在试品测量端记录到的放电量不同于产生放电点的那个量。

**B.2 谐振现象和反射现象**

试验时在绕组端子或电缆上记录到的放电量可能会由于谐振现象或在端子上的反射而有变化,最好不要用窄频带放大器。

可以采用特殊的校准技术,如双脉冲发生器,将长电缆中的反射现象考虑进去。

**B.3 阻抗特性**

带绕组的试品和一个集中电容  $C$  不一样,通常具有波阻抗特性,一般带有一些并联的集中电容。

**B.4 放电部位**

可用多种不同的方法来确定绕组或长电缆中局部放电的部位,其中有几种是同时在试品的两端或更多端进行测量,也可以用非电法测量(见第 4.4 条)。



## 附录 C

## 用无线电干扰仪测量局部放电

(补充件)

对测量无线电干扰的通用仪器的要求,有关说明书中都有规定。其响应一般由规定的窄频带和可变中心频率的调谐带通滤波器和具有一定充电时间常数  $\tau_1$ 、放电时间常数  $\tau_2$  的准峰值测量回路所决定。指示仪表为临界阻尼的动圈式仪表,它具有机械时间常数  $\tau_3$ 。

仪器的特性使其基本上响应于输入电流脉冲的电荷。由于仪器的准峰值测量回路,具有相同电荷但重复率较高的脉冲,仪器上的读数也较高。

仪表读数  $U_r$  与视在电荷量  $q$  和重复率  $n$  两者都有关,对短的有规律的重复脉冲,仪器的刻度因数  $K_1$  为:

$$K_1 = \frac{1}{f(N) \cdot \Delta f \cdot Z_m}$$

式中:  $f(N)$  ——  $N$  的非线性函数(见图 5);

$\Delta f$  —— 仪器频带宽度;

$Z_m$  —— 纯电阻测量阻抗的值。

因为  $K_1$  正比于  $K_2$ , 并是在整体试验回路中校准确定的,所以  $q$  可以由  $q = K_1 U_r$  决定。于是可以认为仪器的读数近似正比于  $q$  的大小和仪器的频带宽度,由于有杂散电容和电感,读数可能实际上不与  $Z_m$  成正比,如果放电脉冲在时间上不规则分布,使用因数  $f(N)$  是不严格的。

在 C. I. S. P. R. 出版物 16: C. I. S. P. R. 无线电干扰仪和测量方法规程中介绍了这一种按准峰值电压设计的仪器,它规定在 6dB 时频带  $\Delta f$  为 9kHz, 时间常数  $\tau_1 = 1\text{ms}$ ,  $\tau_2 = 160\text{ms}$ ,  $\tau_3 = 160\text{ms}$ 。测量无线电干扰时,用正弦电压对该仪器进行校验,其频率为仪器的调谐频率。干扰电压习惯上用一等价的正弦电压有效值表示。将一恒定的  $0.158\mu\text{Vs}$ , 重复率为每秒 100 次的短脉冲输入仪器时,应与输入一个谐振频率下的  $1000\mu\text{V}_{r.m.s}$  正弦电压得到相同的读数。

此仪器读数随重复率的变化示于图 5。

上述 C. I. S. P. R. 出版物给出了使用这种仪器测量高压设备产生的无线电噪声电压规程,其中叙述了两种试验回路基本上与图 1(a)和图 1(b)回路一致,采用某些措施,也可以用来测量局部放电。

应注意图 5 曲线只适用于有规律的重复脉冲。如果用无线电干扰仪测量局部放电,应按照第 5.2 条在实际回路中校准,建议采用有规律的重复脉冲  $q_0$  来进行校准,其重复率约为试验电压频率的两倍。

这样将使仪器能够在实际接近起始电压的试验中测量局部放电量,此时每周的脉冲数很小,在此条件下局部放电量近似等于  $q_0$  乘以仪器试验时的读数和校准读数之比。如果在脉冲重复率的有限范围内  $f(N)$  引起的读数误差是小的,则上述关系在此范围内也适用。

用无线电干扰仪测量局部放电时,试验记录应该包括微伏读数和测定的等值视在电荷量皮库以及有关测定刻度因数的相应资料(例如校准、脉冲重复率、试验电压频率等)。

## 附加说明:

本标准由中华人民共和国机械工业部和中华人民共和国水利电力部提出。

本标准由西安高压电器研究所和水利电力部电力科学研究院负责起草。

本标准主要起草人徐果馨、王乃庆。