

# 现场绝缘试验实施导则 变压器操作波感应耐压试验

## DL 474.6-92

中华人民共和国电力行业标准

### 现场绝缘试验实施导则

### 变压器操作波感应耐压试验

DL 474.6-92

中华人民共和国能源部

1992-11-03批准

1993-04-01实施

#### 1 主要内容和适用范围

1.1 本导则提出了变压器操作波感应耐压试验所涉及的试验接线、试验程序、测量方法、波形和故障判断等技术细则和注意事项、贯彻执行有关国家标准和能源部《电气设备预防性试验规程》(以下简称《规程》)的相应规定。

1.2 本导则适用于变电所、发电厂现场和在修理车间、试验室等条件下对变压器进行操作波感应耐压试验。

#### 2 作用概述

变压器操作波感应耐压试验是一种用来考核变压器绝缘耐受操作过电压能力的试验。根据《规程》的要求,330kV及以上的变压器在更换绕组或引线后应进行操作波耐压试验,考虑到220kV及以下的大型变压器现场试倍频感应耐压试验有时难以实现,《规程》允许用操作波耐压代替倍频感应耐压考核变压器的主绝缘和纵绝缘。

本操作波感应耐压试验,是采用已充电的电容器向被试变压器低压绕组放电,在其高压绕组上感应出符合《规程》要求的操作波电压,用一般的冲击电压发生器产生操作波电压,直接对变压器高压绕组施加试验电压的方法,虽与本感应耐压试验方法有部分类同之处,不属于本导则适用范围。

#### 3 试验电压

##### 3.1 电压波形和极性

用于变压器的操作波试验电压波形如图1所示,可将它表示为 $[T_{Cr} \times T_Z \times T_{d(90)}]$ ,根据《规程》的要求,波头时间 $T_{Cr}$ 应大于 $100 \mu s$ ,从视

在原点到第一个过零点的总时间 $T_z$ 至少为 $1000\ \mu\text{s}$ ，超过90%规定峰值的时间 $T_{d(90)}$ 至少为 $200\ \mu\text{s}$ 。当电压下降过零后，反极性的振荡幅值 $U_{2m}$ 不大于试验电压的50%。

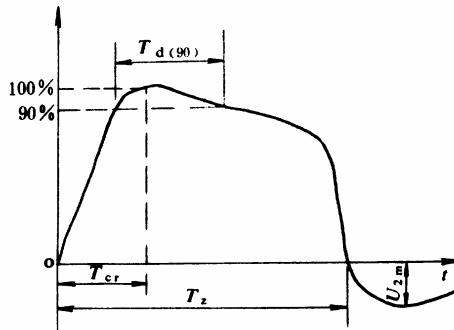


图 1 变压器操作冲击试验电压波形

《规程》规定，变压器试验采用负极性操作波，试验电压幅值偏差不大于 $\pm 3\%$ 。

### 3.2 电压幅值

根据GB1094《电力变压器》的要求及《规程》的推荐值，变压器操作波试验电压的幅值列于表1，对于全部更换绕组的变压器应按新产品考虑，采用表1所列的试验电压；对于部分更换绕组或引线的变压器一般应在此基础上乘以85%，最低不得小于75%。

## 4 试验接线

### 4.1 基本接线方式

表 1 35~500kV 变压器绝缘水平

电压等级 kV	额定短时间工频耐受电压 kV (有效值)	额定雷电冲击耐受电压 kV (峰值)	额定操作冲击耐受电压 kV (峰值)
35	85	200	160 <sup>2)</sup>
63	140	325	270 <sup>1)</sup>
110	200	480	375 <sup>1)</sup>
220	360	850	685 <sup>2)</sup>
	395	950	750 <sup>1)</sup>
330	460	1050	850
	510	1175	950 <sup>1)</sup>
500	680	1550	1300 <sup>1)</sup>

注：1) 中的数字为《规程》推荐值。

2) 中的数字为本导则推荐值，它们分别是根据当短时间工频耐受电压为85kV或360kV时计算而得的。

# 现场绝缘试验实施导则 变压器操作波感应耐压试验 DL 474.6-92

## 4.1.1 单相变压器

单相变压器操作波耐压试验接线如图2所示，被充电的电容器通过球隙及波头电阻对变压器低压绕组放电，在高压绕组上感应出预期的试验电压。

试验时，低压绕组非被试端和高压绕组中性点接地。

试验电压波头时间 $T_{Cr}$ 可以通过波头电阻 $R_1$ 来调节， $T_Z$ 和 $T_{d(90)}$ 的大小可以通过改变 $C_0$ 的大小来达到。此外这两个参数还与变压器励磁阻抗有关。变压器的铁芯饱和程度以及铁芯中的剩磁都对 $T_Z$ 和 $T_{d(90)}$ 有一定影响。

## 4.1.2 三相变压器

330、500kV三相变压器的操作波耐压试验的典型接线如图3。电容器被充电后对低压绕组放电，其中被试相全励磁，其余两相半励磁，这样便在中性点接地的 高压绕组上产生两种电压：在被试相产生额定试验电压；在其余两相产生与它极性相反、幅值为1/2额定值的试验电压。这样不仅使被试相的对地绝缘受到了考核，而且使相间绝缘受到了1.5倍额定试验电压的考核。

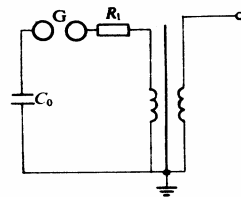


图 2 单相变压器试验接线图

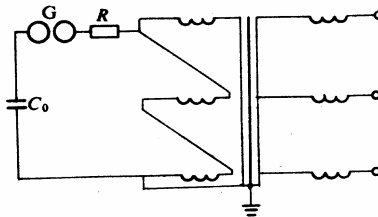


图 3 330、500kV 三相变压器试验接线图

110、220kV变压器与330、500kV变压器不同，其相间试验电压与相对地试验电压相同，其试验电路如所示。被试变压器低压侧接线与图3相同，高压侧由中性点接地改为非被试两相接地。

三相变压器中性点操作波耐压试验接线如图5所示，为了在中性点得到预期的试验电压，被试变压器高压侧全励磁相接地。

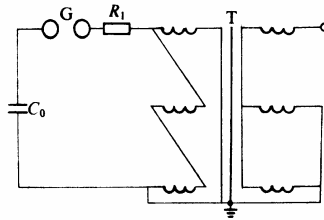


图 4 110kV、220kV 变压器试验接线图

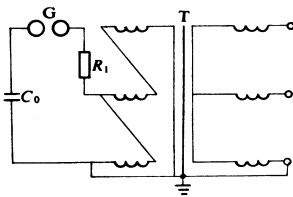


图 5 三相变压器中性点试验接线图

对于三绕组变压器，应分析产品结构，比较不同接线，计算出各线端、相间和对地的试验电压，并选择适宜的分接位置，将其非被试的第三绕组一点接地，避免电位悬浮。应合理选择各绕组的接地端子，以防绕组间的电位差超过允许值。

自耦变压器高压端和中压端的试验电压，若不能同时满足要求时，通常宜在中压端不超过耐压标准的条件下，优先满足高压端的试验电压要求。

## 4.2 试验电路

图6为一台三相变压器操作波耐压的具体试验电路实例，图中各主要试验元件的参数，按被试变压器的规范选择。

# 现场绝缘试验实施导则 变压器操作波感应耐压试验 DL 474.6-92

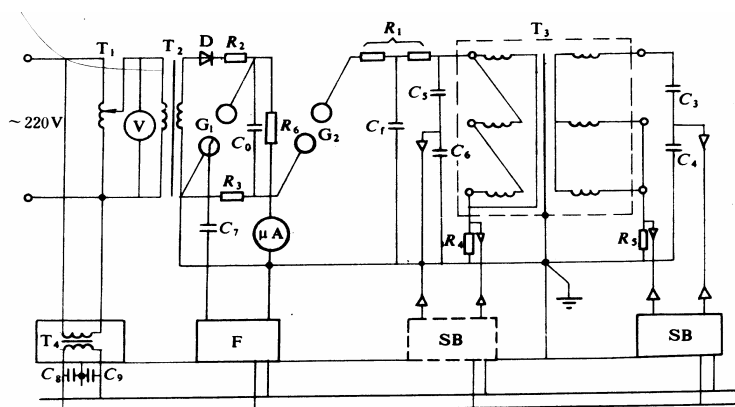


图 6 变压器操作波试验电路图

图6中各元件参数如下：

$T_1$ (调压器)： 220/250V , 3kVA

$T_2$ (试验变压器)： 50V,3kVA

$T_3$ (被试变压器)： 120MVA , 242/10.5kV

$T_4$ (隔离变压器)： 220V,1kVA

D(高压硅堆)： 200kV , 20mA

$G_1$  ,  $G_2$ (球间隙)： 100

$R_2$  ,  $R_3$ (水电阻)： 300k

$R_1$  (波头电阻)： 200

$R_4$ (示伤电阻)： 0.4 (用 1.0电阻丝套软塑料管无感绕制)

$R_5$ (示伤电阻)： 3.5 (用 0.5电阻丝套软塑料管无感绕制)

$R_6$ (高值电阻)： 500M

$C_0$ (主电容器)： 电力电容器19kV , 2.0 $\mu$ f

$C_f$ (调波电容器)： 50kV , 0.1 $\mu$ F

$C_3$  (220kV套管末屏电容) : 451pF

$C_4$ (低压电容器) : 600V , 2.5  $\mu$  F

$C_5$ (电容器) : 50kV , 2200pF

$C_6$ (低压电容器) : 600V , 0.5  $\mu$  F

$C_7$  (耦合电容器) : 50kV , 0.018  $\mu$  F+

$C_8$  ,  $C_9$ (低压电容器) : 1kV,0.1 ~ 1.0  $\mu$  F

V(电压表) : 300V 0.5级

$\mu$  A(微安表) : 200  $\mu$  A,1.0级

SB(双踪记忆示波器) : 频带宽度应在10MHz以上

F(脉冲点火装置)

## 5 主要元件的选择

### 5.1 主电容器的选择

主电容器 $C_0$ 是操作波发生装置的主要元件，它对 $T_z$ 、 $T_4d(90)$ 及回路效率起着重要作用。经验表明，取 $C_0=(2 \sim 3)C_4$ ( $C_2$ 为被试变压器折算到低压侧的等效电容)时，可满足波形的要求，同时也可使效率达到50% ~ 60%，能满足现场试验的要求。变压器等效电容的计算甚为复杂，实际上，我们可以近似地根据被试变压器低压绕组的额定电压来选择主电容，表2给出了推荐值。

表 2 主电容  $C_0$  推荐值

低压绕组额定电压 kV	6	10	35	63
主电容值 $\mu$ F	4.0	2.0	0.6	0.2

主电容器的充电电压 $U_0$ 可根据低压侧最大操作波电压幅值 $U_{2m}$ (高压侧操作波 试验电压除以变比)及操作冲击装置的效率 来估计，即

$$u_0 = U_{2m} / h$$

若选择直流脉冲电容器作主电容器，其额定电压 $u_n$ 应大于 $u_0$ ；若选择电力电容器，其允许直流充电电压可为其交流额定电压的3 ~ 4倍，若充

# 现场绝缘试验实施导则 变压器操作波感应耐压试验

## DL 474.6-92

电电压 $u_0$ 太高，可考虑选用两级冲击电压发生装置。

### 5.2 调波电容器 $C_f$ 的选择

调波电容器 $C_f$ 的作用是用来消除低压侧操作波头部的尖脉冲，一般选取  $C_f=(0.2 \sim 0.5)C_2$ 。

### 5.3 波头电阻 $R_1$ 的选择

波头电阻的作用是调节波头长度 $T_{cr}$ 和阻尼波幅上的振荡，其阻值可用下式估算

$$R_1 = T_{cr} / 3C$$

其中

$$C = \frac{C_0(C_f + C_2)}{C_0 + C_f + C_2}$$

波头电阻值也可以在低电压调波时用试验的方法确定。

波头电阻可用直径(0.4 ~ 1.0)mm的合金电阻丝绕制，制作时应注意保持匝间距离，避免匝间放电。

## 6 测量系统及校正

测量系统应有足够的准确度，测量误差应在GB311《高电压试验技术》所规定范围之内。

### 6.1 直流电压的测量

直流电压可采用一高值电阻与微安表串联来测量，此电阻应在工作电压和温度范围内保持稳定，其阻值变化应小于1%。

### 6.2 操作波电压测量操作波电压可用电容

分压器和示波器、峰值电压表进行测量。分压器低压臂要选用稳定性较好的电容器，高压臂可利用套管芯柱对末屏电容(或另组装电容分压器)，选用有足够精度的电桥对高、低压臂电容进行测量，保证操作波电压的测量误差小于3%。

### 6.3 冲击电流的测量

用分流器和示波器测量示伤电流。分流器可用电阻丝无感绕制而成。

### 6.4 整体校正

按图4接线，在低于0.5倍试验电压下测量被试变压器加压端子上的电压与主电容器上充电电压的比例关系。在0.75倍试验电压下再一次进行

校核，以保证在全电压冲击时得到准确的操作冲击电压幅值。

### 7 试验程序

分别对每相进行操作波耐压试验，录取高、低压侧电压和示伤电流波形，顺序为：

- a.在低于0.5倍试验电压下调波，校核电压幅值，确定充电电压与操作波电压的比例关系，冲击次数不限；
- b.在0.75倍试验电压下冲击一次并校对和修正充电电压与操作波电压的比例关系，同时记录示伤波形；
- c.在额定试验电压下冲击3次。

### 8 故障判断

将全电压与降低电压(0.5、0.75倍试验电压)下的电压、电流波形进行比较，便可判断变压器是否出现绝缘故障。

如果电压和电流波形没有发生形状上的改变，它们的幅值按电压大小正比例变化，说明变压器内部没有发生故障，若波形在整体形状上发生变化，或增加了新的振荡，或振荡频率有了变化，或幅值与电压不成比例等，表明试品绝缘发生故障，但应该指出，被试变压器铁芯的饱和程度、剩磁情况对电压和电流波形稍微有些影响。若有与电流磁效应同向的剩磁存在，以及随着饱和程度的增加将使电压过零时间和中性点电流达到峰值的时间提前，在进行故障判断时应引起注意。

绝缘故障有两种类型：

a.主绝缘击穿。当主绝缘发生击穿时，电压突然截断并随之产生振荡，同时电流也突然上升。

b.匝间或段间绝缘损坏。当发生匝间(段间)短路时，波形变化不象主绝缘击穿时那样明显，总的趋势是被试端电压幅值降低，波头时间变短，波尾时间缩短。同时中性点示伤电流达到峰值的时间超前于电压过零时间。图7为一台单相变压器高压绕组绝缘击穿的波形实例。



# 现场绝缘试验实施导则 变压器操作波感应耐压试验

## DL 474.6-92

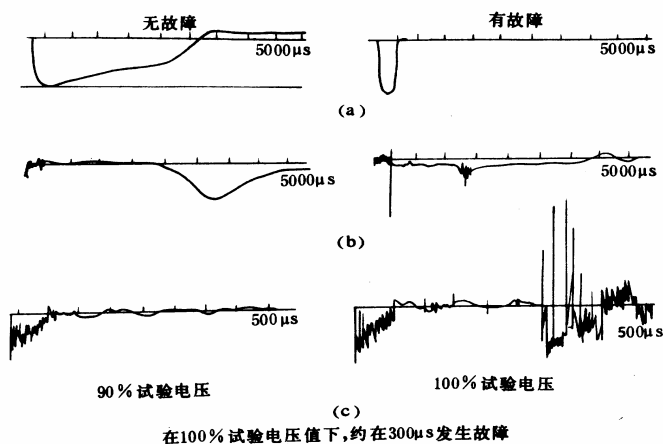


图7 单相变压器操作波感应耐压试验高压绕组绝缘击穿实例  
(a) 施加电压波；(b) 中性点电流；(c) 中性点电流（快扫描）

通常还通过操作波试验前后的工频空载试验来验证变压器是否出现了匝间短路，但应注意某些匝间故障的变压器仍能耐受空载试验的电压。

在变压器发生绝缘损坏时还会出现异常音响，这种音响有助于故障判断，但它本身不可作为判断故障的依据。

### 9 安全注意事项

9.1 在进行操作波耐压试验时，变压器每个绕组应有一点接地，以免出现电位悬浮。

9.2 在对330kV、500kV三相变压器进行操作波耐压试验时，要注意测量高压绕组非被试端子的电压。若其电压超出被试端子电压50%，应采取措施降低，以免损坏相间绝缘。可将高压绕组非被试端子连接在一起，或在相应的低压端子上接一个电阻负载，可以把相间电压限制在1.5倍以下。

9.3 整个试验电路的所有接地线连接在一起，然后接到接地网的一个端子上，避免冲击电流分别流入地中产生不同点之间地电位升高，造成仪器损坏或影响测量结果。

9.4 示波器、峰值电压表等采用隔离变压器供电，隔离变压器通常应具有耐受工频电压10kV的绝缘强度。

9.5 试验结束或途中更改接线时，应分别将主电容器对地放电，放电时间不得少于5min，放尽为止。在更改接线过程中，主电容器的放电接地棒应始终挂上，保持接地状态。

附加说明：

本导则由能源部科技司提出。

本导则由能源部高电压试验技术标准化技术委员会归口并起草。

本导则由东北电力试验研究院、华东电力试验研究所负责起草。

本导则主要起草人：杨丞棠、赵二冬、朱匡宇。