

ICS 29.240.20

CCS F 24

**DL**

# 中华人民共和国电力行业标准

DL/T 309—2023

代替 DL/T 309—2010

## 1000 kV 交流系统电力设备现场试验 实施导则

Execution guide for field test of ac 1000kV electric equipment

2023-02-06 发布

2023-08-06 实施

国家能源局 发布

# 目 次

前言.....	II
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 电力变压器.....	1
5 电抗器.....	12
6 电容式电压互感器.....	14
7 电流互感器.....	16
8 气体绝缘金属封闭开关设备/气体绝缘金属封闭输电线路（GIS/GIL）.....	18
9 避雷器.....	21
10 接地装置.....	22



## 前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件替代 DL/T 309—2010，与 DL/T 309—2010 相比，除编辑性修改外，主要技术内容变化如下：

- 对范围规定进行了进一步明确；
- 调整了每一章结构，去掉了标准依据这一条；
- 增加了变压器小电流短路阻抗试验；
- 去掉了变压器和电抗器直流泄漏试验；
- 增加变压器解体式变压器试验内容；
- 去掉了第三章变压器和第四章电抗器中发电机接线方式；
- 增加 GIL 试验项目；
- 修改了 GIS/GIL 电压施加程序；
- 精简了互感器试验内容；
- 调整了内容变化后对应的规范性引用文件。

本文件由中国电力企业联合会提出。

本文件由全国特高压交流输电标准化技术委员会（SAC/TC 569）归口。

本文件起草单位：中国电力科学研究院有限公司、国家电网有限公司、湖北省电力有限公司电力科学研究院、安徽省电力有限公司电力科学研究院、浙江省电力有限公司电力科学研究院、国网冀北电力有限公司电力科学研究院、河南省电力有限公司电力科学研究院、江苏省电力有限公司电力科学研究院、国网山西省电力有限公司电力科学研究院。

本文件主要起草人：徐思恩、马跃、李璿、周凯、朱太云、刘黎、龙凯华、王伟、陶风波、俞华。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

# 1000 kV 交流系统电力设备现场试验实施导则

## 1 范围

本文件规定了 1000 kV 交流电气设备现场试验中，电力变压器、电抗器、电容式电压互感器、电流互感器、气体绝缘金属封闭开关设备/气体绝缘金属封闭输电线路（简称 GIS/GIL）、避雷器、接地装置的试验项目、试验目的、试验方法和试验结果判断。

本文件适用于 1000 kV 交流电气设备现场试验。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 1094.3 电力变压器 第 3 部分：绝缘水平、绝缘试验和外绝缘空气间隙

GB/T 16927.1 高电压试验技术 第 1 部分：一般定义及试验要求

GB/T 20840.2 互感器 第 2 部分：电流互感器的补充技术要求

GB/T 20840.5 互感器 第 5 部分：电容式电压互感器

GB/T 50150 电气装置安装工程 电气设备交接试验标准

GB/T 50832 1000 kV 系统电气装置安装工程电气设备交接试验标准

GB/T 7252 变压器油中溶解气体分析和判断导则

JJG 313 测量用电流互感器检定规程

JJG 314 测量用电压互感器检定规程

DL 417 电力设备局部放电现场测量导则

DL 474.4 现场绝缘试验实施导则 第 4 部分：交流耐压试验

## 3 术语和定义

本文件没有需要界定的术语和定义。

## 4 电力变压器

### 4.1 空载试验及负载试验

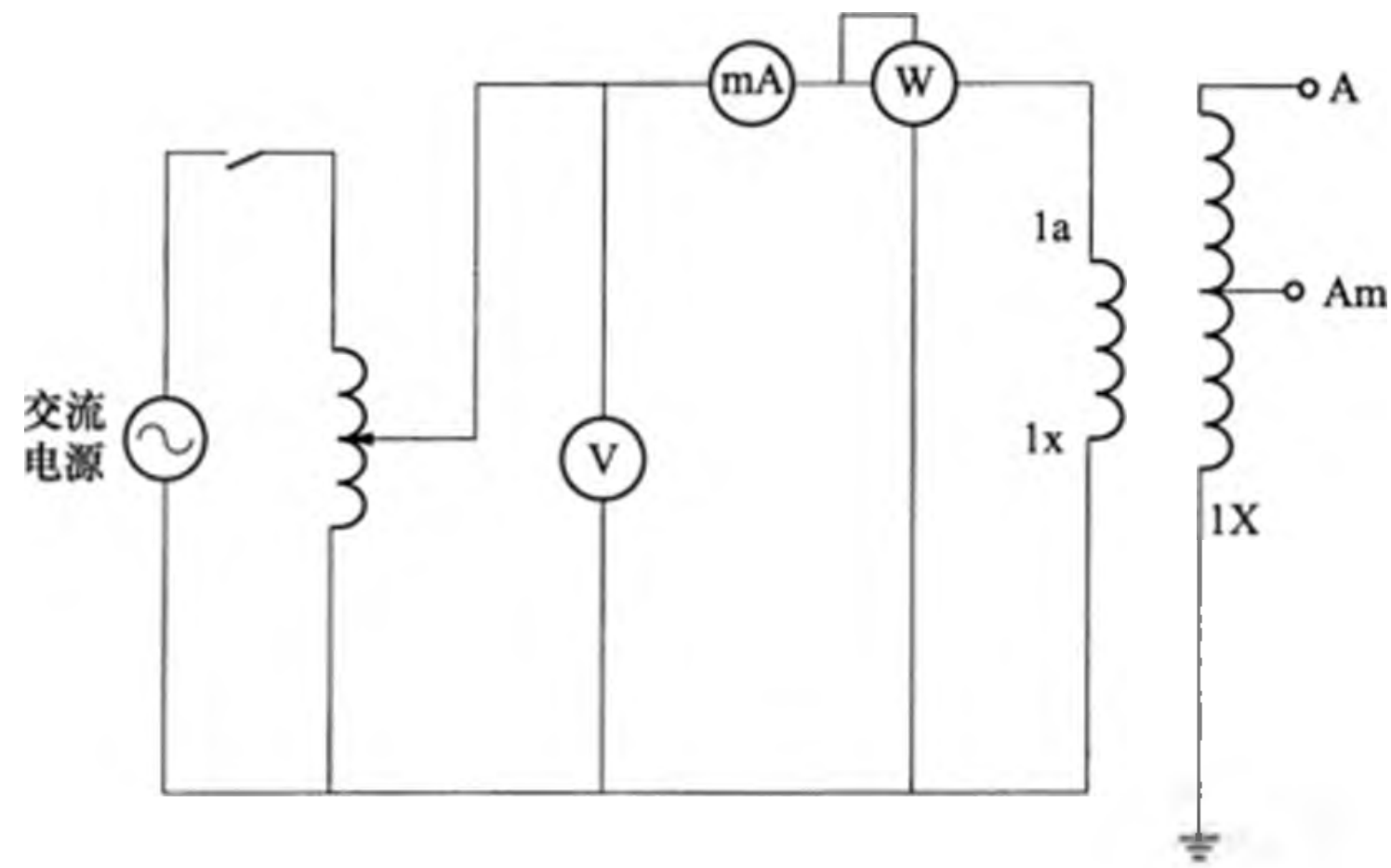
#### 4.1.1 试验目的

检查绕组是否存在匝间短路故障，检查铁芯叠片间的绝缘情况以及穿心螺杆和压板的绝缘情况。

#### 4.1.2 主体变压器空载电流、空载损耗测量

##### 4.1.2.1 试验接线

将额定频率的 380 V 电压施加于低压绕组（1a-1x）两端，高压及中压绕组开路，公共中性点 1X 接地，进行空载电流和空载损耗的测量。试验接线原理接线图见图 1。



说明：

V—交流电压表；mA—交流电流表；W—功率因素表。

图 1 主体变压器空载电流空载损耗测量试验原理接线图

#### 4.1.2.2 主要推荐试验设备

主体变压器空载试验主要设备符合表 1 的规定。

表 1 主体变压器空载试验主要设备

序号	设备名称	主要参数
1	调压器	0 V~380 V
2	低功率因数功率表	$\cos\varphi=0.2$ , 0.2 级
3	交流电压表	600 V/0.2 级
4	交流电流表	2.5 A/0.2 级

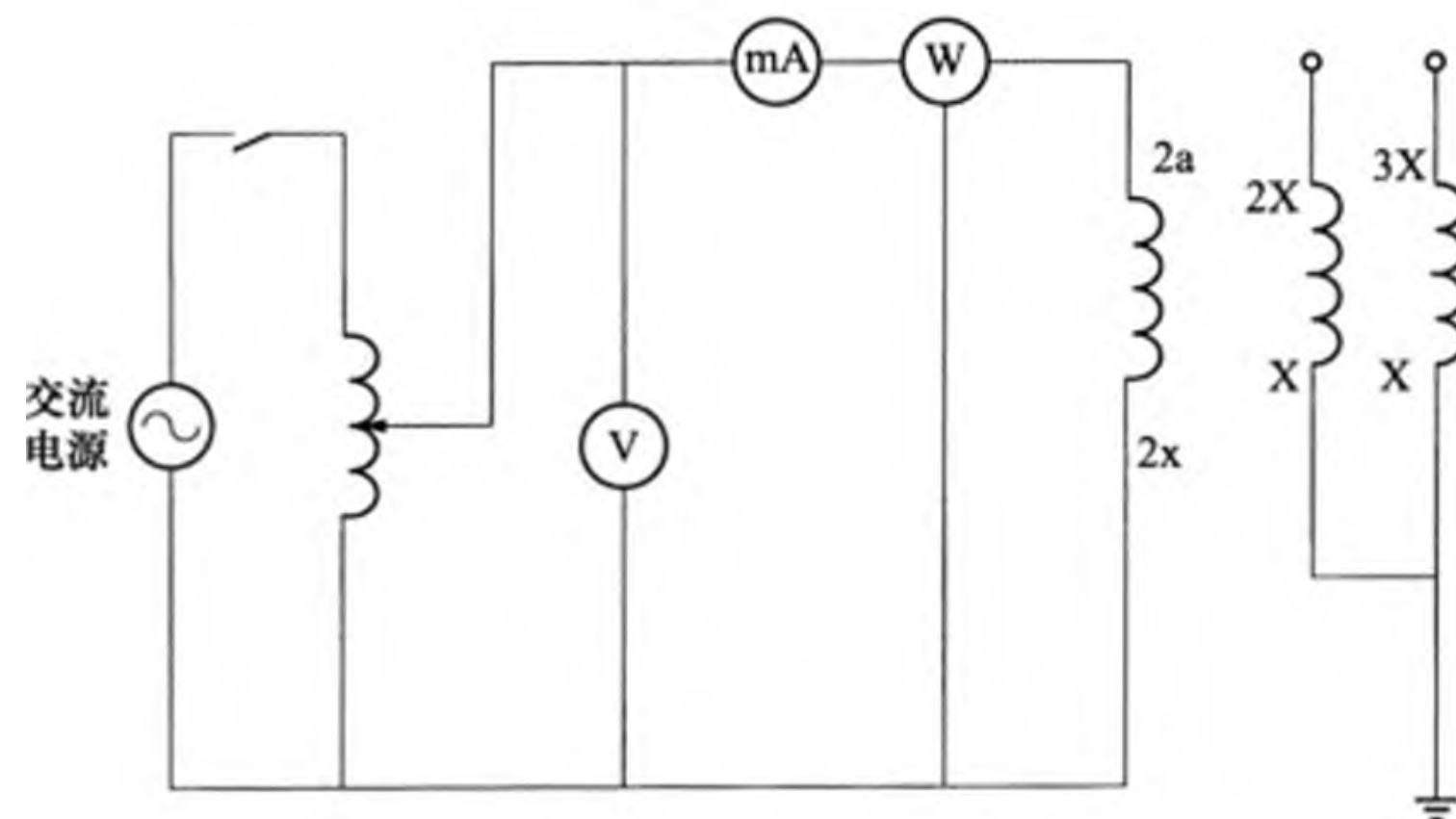
#### 4.1.2.3 试验判据

三相测试数据间差别不大，并且与出厂试验数据（如出厂时进行了 380 V 电压下的空载试验）相差不大。

#### 4.1.3 调压变压器空载电流、空载损耗测量

##### 4.1.3.1 试验接线

将额定频率的 380 V 电压施加于励磁绕组（2a-2x），其余绕组开路，公共中性点 X 接地，分接开关置于最大位置，进行空载电流和空载损耗的测量，试验原理接线图见图 2。



说明：

V—交流电压表；mA—交流电流表；W—功率因素表。

图 2 调压变压器空载电流空载损耗测量试验原理接线图

### 4.1.3.2 试验设备

调压变压器空载试验主要试验设备符合表 1 规定。

### 4.1.3.3 试验判据

三相测试数据间差别不大，并且与出厂试验数据（如果出厂时工厂进行过 380 V 电压下的空载试验）相差不大。

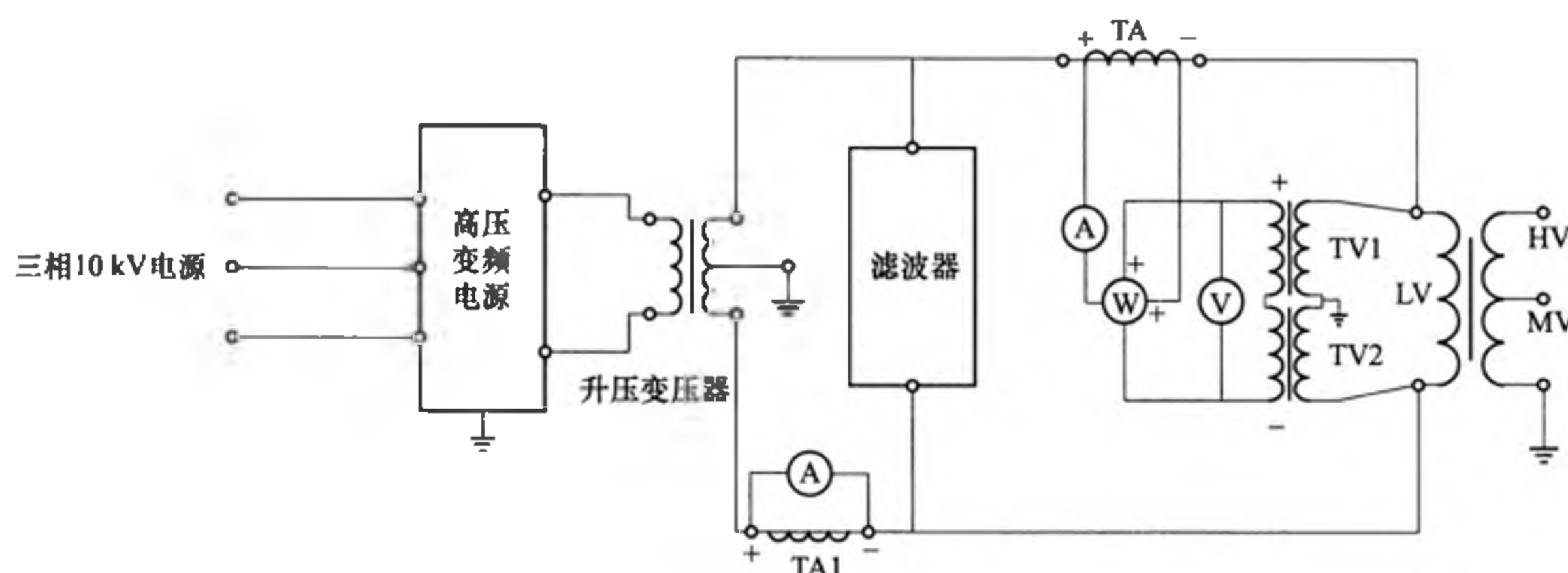
### 4.1.4 1000 kV 解体式变压器空载试验

#### 4.1.4.1 试验目的

1000 kV 解体式变压器主体变压器经现场组装后，或特高压变压器解体现场大修后，对铁芯等组件进行检查和运行参数实测，可进行全电压空载试验。

#### 4.1.4.2 试验接线

现场全电压空载试验采用对称加压方式，一般采用 10 kV 及以上的站用变压器作为试验电源，接入高压变频电源，采用中间变压器将 50 Hz 近似正弦的电压施加到被试变压器低压绕组上，高压及中压绕组开路且尾端接地，为了使电压波形符合 GB/T 16927.1 要求，在低压绕组并联三次、五次、七次谐波滤波器进行滤波及无功补偿，试验接线图见图 3。



说明：

TA、TA1—电流互感器；TV1、TV2—电压互感器；W、V、A、A1—功率分析仪的功率、电压、电流测量；HV、MV、LV—高压端子、中压端子和低压端子。

图 3 1000 kV 解体式变压器现场全电压空载试验接线图

#### 4.1.4.3 主要试验设备

1000 kV 解体式变压器空载试验使用的主要设备及其主要参数见表 2。

表 2 1000 kV 解体式变压器空载试验使用的主要设备及其主要参数

序号	设备名称	主要技术参数	数量	备注
1	超大功率移动式调频高压试验电源	额定输出容量不小于空载试验容量的 2 倍，一般大于 2500 kVA； 额定输入电压：三相交流电压，10 kV； 额定输出电压：单相，0~10 kV 连续可调	1	负载能力：阻性、容性、弱感性负载 系统效率：≥96%（满载输出） 工作噪声：≤80 dB（距本体 1 m 处）

表 2 (续)

序号	设备名称	主要技术参数	数量	备注
2	空负载试验变压器	额定容量不小于高压变频电源容量； 相数：单相； 额定电压：10 kV/ (65 kV-32.5 kV) × 2	1	满载连续不少于 60 min
3	电流互感器	额定电压：66 kV 电流变比：25-10-5 A/5 A 精度等级：0.01 级；	1	—
4	电压互感器	电压比：66 kV/100 V 精度等级：0.01 级	2	—
5	功率分析仪	基本功率精度：±0.02%； 低功率因数误差：0.03% (功率因数为 0 时)； 电流范围：0.5/1/2/5/10/20/30 A (与互感器输出匹配)； 电压范围：15 V~1000 V (与互感器输出匹配)	1	具备谐波分析功能

## 4.1.4.4 试验判据

- (1) 根据试验的实际情况对试验结果进行校正。
- (2) 空载电流和空载损耗与出厂试验数据应相差不超过 5%。

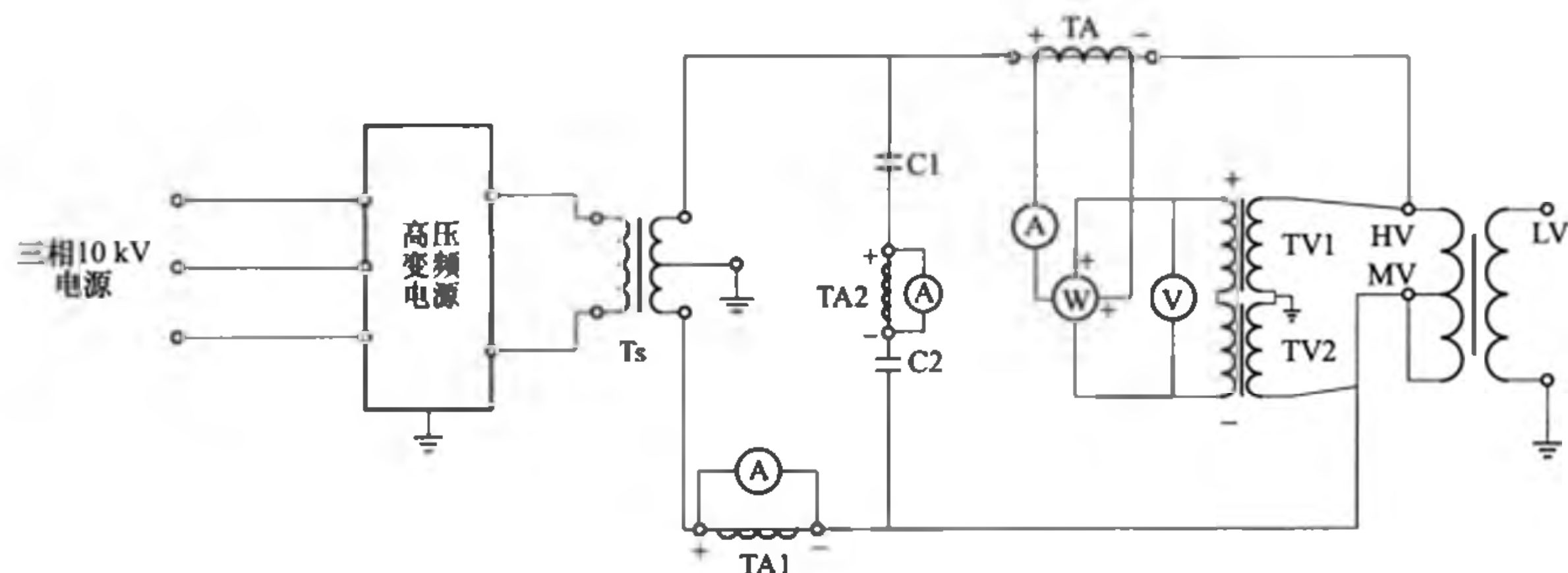
## 4.1.5 1000 kV 解体式变压器负载试验

## 4.1.5.1 试验目的

1000 kV 解体式变压器主体变压器经现场组装后，或特高压变压器经现场大修后，宜对绕组、磁屏蔽等组件进行检查和运行参数实测，进行 50%~100% 的额定电流下负载试验。

## 4.1.5.2 试验接线

负载试验包括负载损耗和短路阻抗测量。特高压解体式变压器负载试验包括高压—中压负载试验、高压—低压负载试验、中压—低压负载试验；其中，高压—中压负载试验是在变压器高压绕组或中压绕组一侧中施加额定频率、正弦波形的额定电流，在另一侧短路测量负载损耗和短路阻抗，高压—低压负载试验接线图见图 4。



说明：

Ts—试验变压器；TA、TA1、TA2—电流互感器；C1、C2—无功补偿电容组；TV1、TV2—电压互感器；W、V、A—功率分析仪的功率、电压、电流测量；HV、MV、LV—高压端子、中压端子和低压端子。

图 4 1000 kV 解体式变压器现场高压—低压负载试验接线图

## 4.1.5.3 主要试验设备

1000 kV 解体式变压器负载试验使用的主要设备及其主要参数见表 3。

表 3 1000 kV 解体式变压器负载试验使用的主要设备及其主要参数

序号	设备名称	主要技术参数	数量	备注
1	高压变频电源	额定输出容量不小于需有功容量的 2 倍； 额定输入电压：三相交流电压，10 kV； 额定输出电压：单相，0~10 kV 连续可调	1	负载能力：阻性、容性、弱感性负载； 系统效率：≥96%（满载输出）； 工作噪声：≤80 dB（距本体 1 m 处）
2	试验变压器	额定容量：不小于高压变频电源容量； 相数：单相； 额定电压：10 kV/（65 kV-32.5 kV）×2	1	满载连续不小于 60 min
3	电流互感器	额定电压：66 kV； 电流变比：25-10-5 A/5 A； 精度等级：0.01 级	1	—
4	电压互感器	电压比：66 kV/100 V； 精度等级：0.01 级	2	—
5	功率分析仪	基本功率精度：±0.02%； 低功率因数误差：0.03%（功率因数为 0 时）； 电流范围：0.5/1/2/5/10/20/30 A 电压范围：15 V~1000 V	1	具备谐波分析功能（应能显示谐波次数和含量）
6	高压无功补偿电容器组	满足最大无功补偿容量和电压要求，能灵活调节容量满足现场试验的要求	2	—

## 4.1.5.4 试验判据

- a) 试验结果的负载损耗和短路阻抗需校正到参考温度。
- b) 负载损耗和短路阻抗与出厂试验数据应相差不超过 5%。

## 4.2 绕组连同套管的外施交流耐压试验

## 4.2.1 试验目的

考核变压器主绝缘的局部缺陷，如是否存在绕组主绝缘受潮、开裂或者运输过程中引起的绕组松动、引线移位以及绝缘表面脏污等缺陷。

## 4.2.2 主体变压器绕组连同套管的外施交流耐压试验

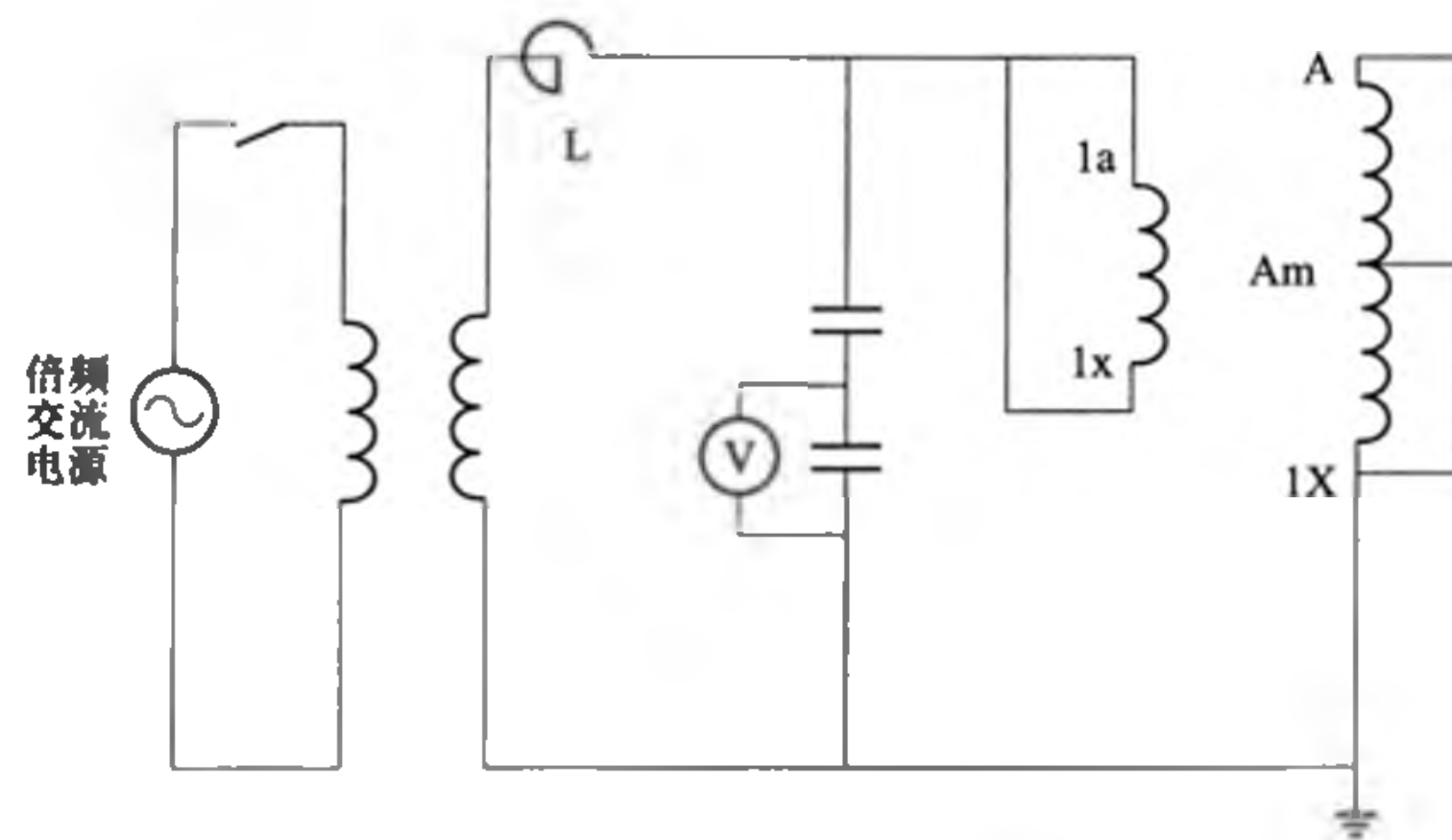
## 4.2.2.1 试验接线

变压器外施交流耐压试验分别对低压绕组和中性点进行，测试时被试绕组短路加压，非被试绕组短路接地，外壳接地。低压绕组加压时，绕组（1a-1x）短接加压，高中压绕组（A-Am-1X）短接接地；反之高中压绕组（A-Am-1X）短接加压，绕组（1a-1x）短接接地。试验采用串联谐振装置进行，试验原理接线图见图 5。

## 4.2.2.2 试验设备

谐振加压主体变压器外施交流耐压试验设备符合表 4 的规定。





说明:

L—电抗器; A—高压端; Am—中压端; 1X—公共中性点; 1a—低压端。

图5 主体变压器绕组连同套管的外施耐压试验原理接线图(谐振加压)  
(以低压绕组加压为例)

表4 主体变压器外施交流耐压试验主要设备(谐振方案)

序号	设备名称	主要参数
1	变频电源柜/机组	200 kW (20 Hz~300 Hz)
2	谐振电抗器	265 kV (220 kV 以上) /200 H
3	中间变压器	350 kVA/25 kV
4	电容分压器	300 kV/1.0 级
5	补偿电容器	保证谐振点在工频范围
6	绝缘电阻测试仪	5000 V
7	导线	> 10 mm <sup>2</sup>

#### 4.2.3 调压变压器绕组连同套管的外施交流耐压试验

##### 4.2.3.1 试验接线

试验分别对调压绕组和补偿绕组进行,测试时被试绕组短路加压,非被试绕组短路接地,外壳接地。调压绕组加压时,绕组(2X-X)和(3X-X)短接加压,绕组(2a-2x)、(x-2x)短接接地,外壳接地;反之,励磁(补偿)绕组加压时,绕组(2a-2x)、(x-2x)短接加压,绕组(2X-X)和(3X-X)短接接地。试验原理接线图见图6。

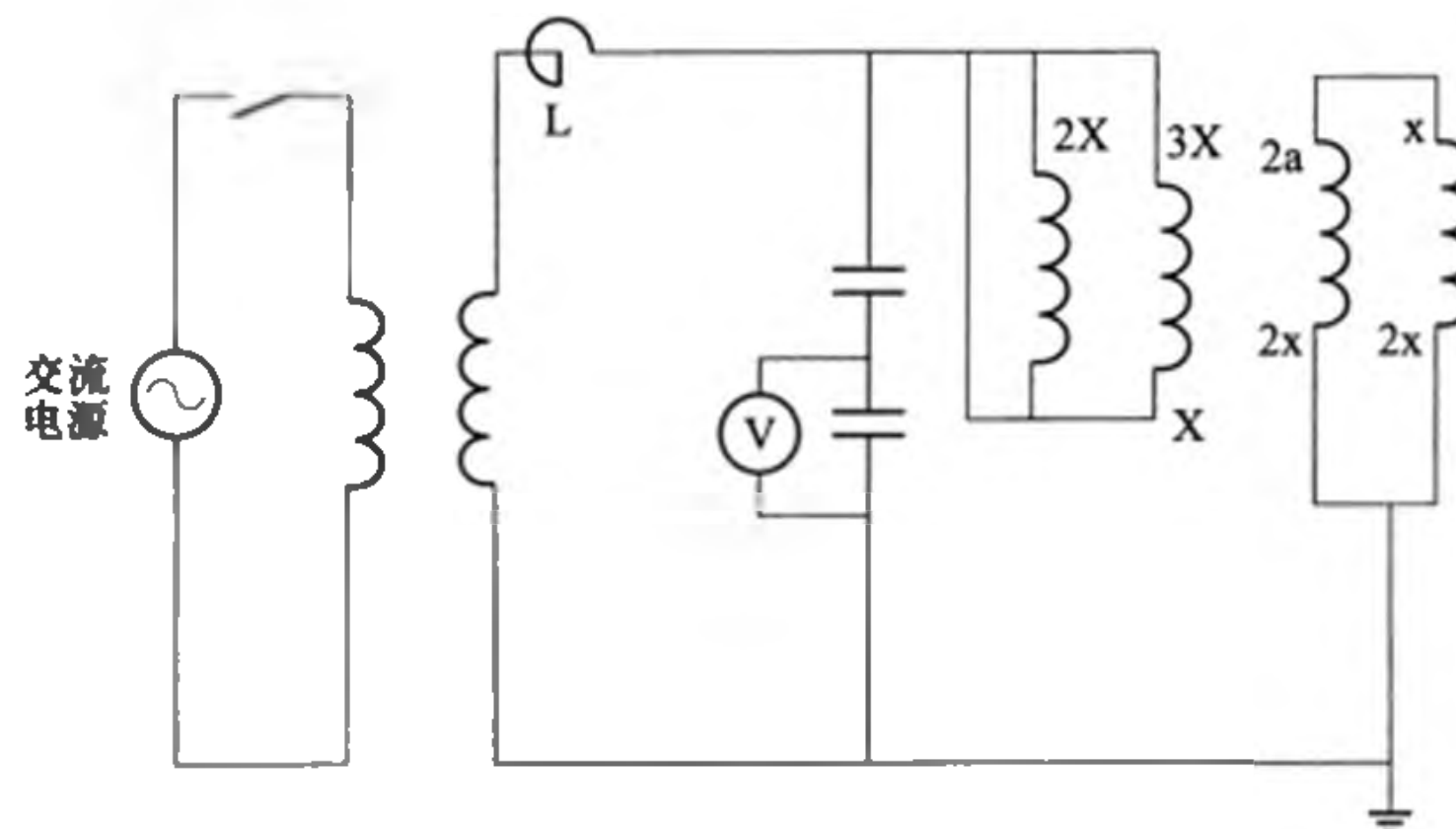


图6 调压变压器绕组连同套管的外施耐压试验原理接线图  
(以调压绕组加压为例)

### 4.2.3.2 试验设备

调压变压器外施交流耐压试验主要设备（谐振方案）见表 4。

### 4.2.4 试验判据

- a) 试验过程中无电压突然下降和电流表突然猛烈波动，无可听的异常放电声。
- b) 油试验应按现行国家标准 GB/T 7252 的有关规定执行。
- c) 油中溶解气体含量应无乙炔，且总烃小于或等于  $20 \mu\text{L/L}$ ，氢气小于或等于  $10 \mu\text{L/L}$ 。
- d) 试验前后测得的油色谱数据应无明显差别，当气体组份含量有增长趋势时，可结合相对产气速率综合分析判断。

## 4.3 绕组连同套管的长时感应电压试验带局部放电试验

### 4.3.1 试验目的

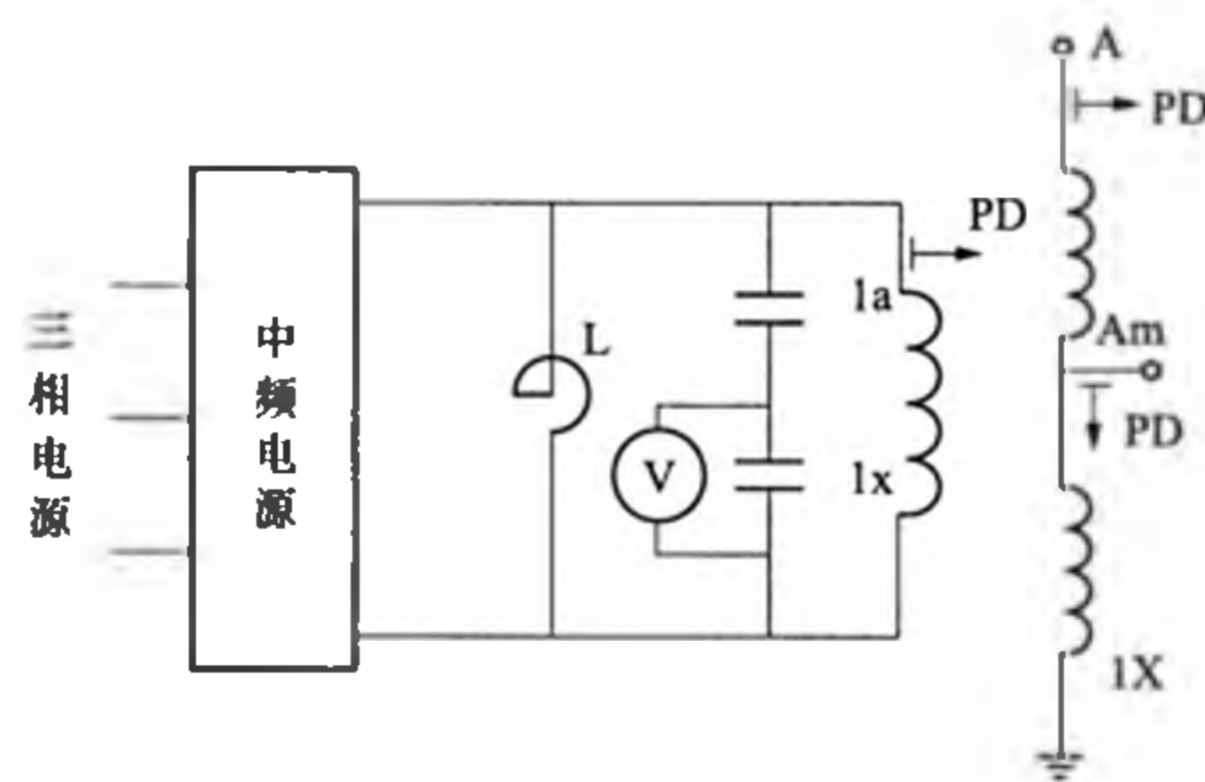
局部放电试验检查在电压的作用下绝缘结构内部的气隙、油膜或导体的边缘发生的非贯穿性的放电现象，而常规的绝缘试验是无法有效对上述隐患进行检查的。通过局部放电试验能及时发现变压器制造和安装工程中的缺陷，对确保变压器的安全投运具有重要的意义。

1000 kV 解体式变压器增加了厂内拆解、现场组装等环节，在现场交接试验应比常规产品考核强度高，在进行变压器长时感应耐压试验中，从保障产品质量的角度出发，可采用在激发电压  $1.5U_m/\sqrt{3}$  下，持续 5 min，且不进行频率折算。

### 4.3.2 主体变压器绕组连同套管的长时感应耐压带局部放电测量

#### 4.3.2.1 试验接线

1a-x 加压（1x 接地），公共中性点 1X 接地，变压器各线端安装屏蔽环。试验原理接线图见图 7。



说明：

L—电抗器；PD—局部放电测量探头；A—高压端；Am—中压端；1X—公共中性点。

图 7 主体变压器连同套管的长时感应耐压和局部放电试验原理接线图

#### 4.3.2.2 电压施加程序

试验电压按照图 8 的顺序、时间及电压值施加。系统最高电压  $U_m=1100 \text{ kV}$ 。在电压上升到  $U_3$ 、 $U_2$  的时候记录局部放电量值，在上升到  $U_1$  并降低到  $U_2$  后，每隔 5 min 记录一次局部放电量值，降低到  $U_3$  后，保持 5 min，记录局部放电量值。

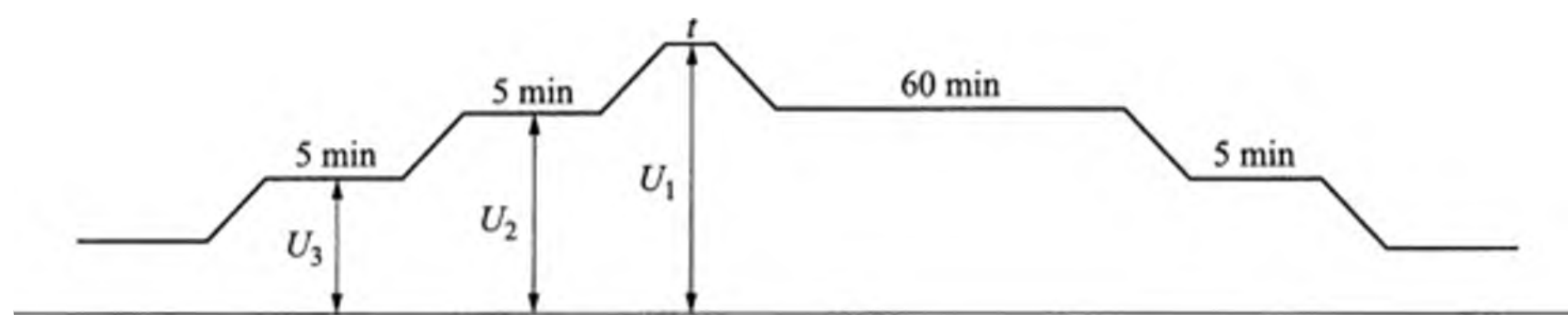


图 8 主体变压器局部放电试验电压施加程序

图中：

$$U_1 = 1.5U_m / \sqrt{3} = 953 \text{ kV};$$

$$U_2 = 1.3U_m / \sqrt{3} = 826 \text{ kV};$$

$$U_3 = 1.1U_m / \sqrt{3} = 699 \text{ kV}.$$

$t$ ：当试验频率为额定频率时， $t = 60 \text{ s}$ ；当试验频率为非额定频率时， $t = 120 \times (\text{额定频率} / \text{试验频率}) \text{ s}$ ，但不少于  $15 \text{ s}$ 。

### 4.3.3 解体式变压器试验局部放电测量试验程序

鉴于  $1000 \text{ kV}$  解体式变压器主体变压器与常规产品的差异性，增加了厂内拆解、现场组装等环节，从保障产品质量的角度出发，因此在现场交接试验 ACLD 过程中，其试验方法应比常规产品的考核强度大，可采用激发电压  $1.7U_m / \sqrt{3}$  下，持续  $5 \text{ min}$ ，且不进行频率折算。具体时间、电压的施加顺序见图 9（试验数据记录方式参考 4.3.2.2 条）。

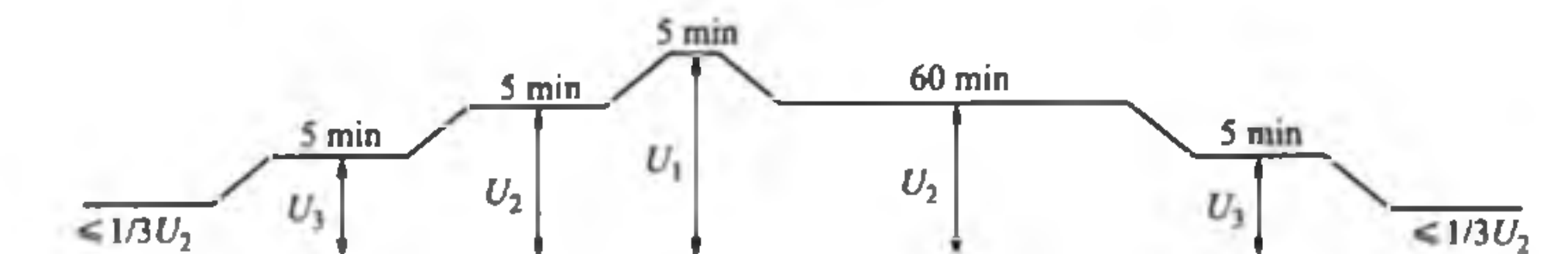


图 9  $1000 \text{ kV}$  解体式变压器主体变压器局部放电试验电压施加程序

图中：

$$U_1 = 1.7U_m / \sqrt{3};$$

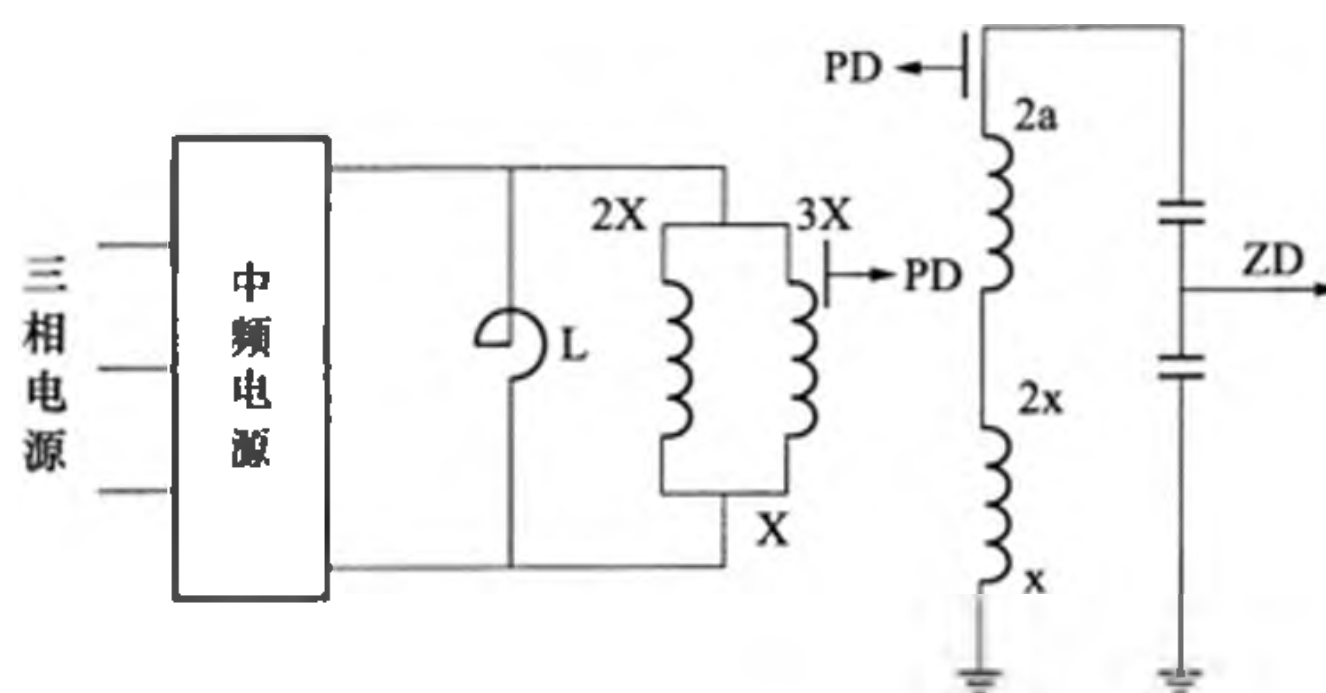
$$U_2 = 1.3U_m / \sqrt{3};$$

$$U_3 = 1.1U_m / \sqrt{3}.$$

### 4.3.4 调压变压器绕组连同套管的感应耐压试验带局部放电测量

#### 4.3.4.1 试验接线

连接绕组  $2X-3X$  端，在其与  $X$  间施加电压， $x$  端接地，变压器各线端安装屏蔽环。调压变压器置于最大分接。试验原理接线图见图 10。



说明：

L—电抗器；PD—局部放电测量探头。

图 10 调压变压器连同套管的感应耐压试验和局部放电试验原理接线图

#### 4.3.4.2 电压施加程序

试验电压按照图 11 的顺序、时间及电压值施加，最高运行电压  $U_m=126\text{ kV}$ （试验数据记录方式见 4.3.2.2 条）。

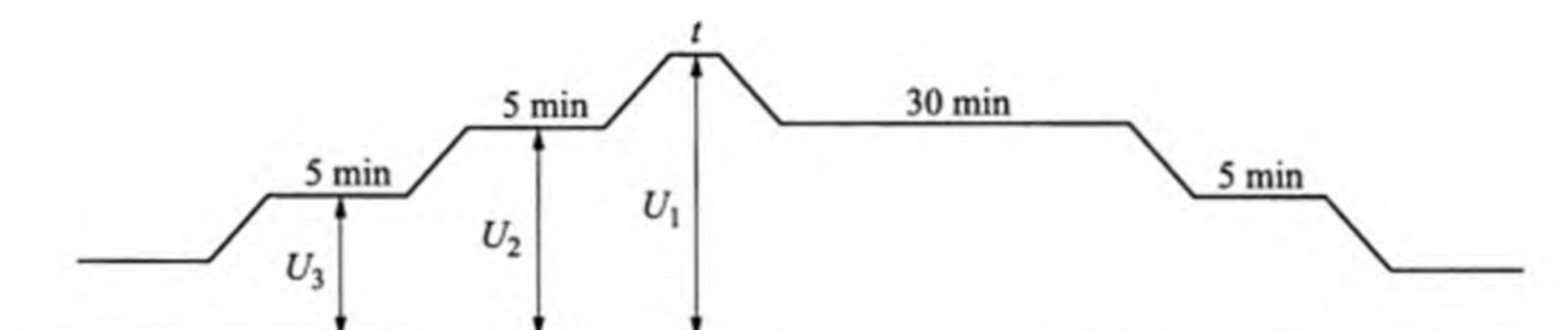


图 11 调压变压器局部放电试验电压施加程序

图中：

$$U_1 = 1.7U_m / \sqrt{3};$$

$$U_2 = 1.5U_m / \sqrt{3};$$

$$U_3 = 1.1U_m / \sqrt{3};$$

$$t = 5\text{ s}.$$

#### 4.3.5 试验判据

试验必须满足 GB/T 50832 及 GB/T 50150 相关要求。

如果满足下列要求，则试验合格。

- 1) 试验电压不产生突然下降；
- 2) 在  $U_2$  的长时试验期间，本体 1000 kV 端子局部放电量的连续水平应不大于 100 pC、500 kV 端子的局部放电量的连续水平应不大于 200 pC；调压补偿变压器 110 kV 端子局部放电量的连续水平应不大于 300 pC；
- 3) 在  $U_2$  下，局部放电不呈现持续增加的趋势，偶然出现较高幅值的脉冲以及明显的外部电晕放电脉冲可以不计入；
- 4) 在  $1.1U_m / \sqrt{3}$  ( $U_3$ ) 下，视在电荷量的连续水平应不大于 100 pC。

#### 4.3.6 试验设备

按照 GB/T 1094.3 及 DL 417 标准选择测试设备。主要试验设备推荐技术参数见表 5。

表 5 主要试验设备推荐技术参数

序号	设备名称	主要参数
1	变频电源	额定容量：800 kW； 额定输入电压：三相，380 V； 额定输出电压：单相，0~350 V； 额定输出电流：2286 A； 额定输入频率：50 Hz； 额定输出频率：20 Hz~300 Hz
2	电源柜	额定电压：380 V，三相； 额定电流：1500 A； 开断方式：电动、手动
3	励磁变压器	额定容量：800 kVA； 相数：单相； 频率：75 Hz~300 Hz；

表 5 (续)

序号	设备名称	主要参数
3	励磁变压器	冷却方式: ONAN; 额定输入电压: 350 V×双绕组, 可并可串, 每绕组均有 350 V、400 V 抽头; 额定输出电压: 180 kV
4	可调电感补偿电抗器	额定电压: 180 kV (电抗器容量按照实际频率要求匹配)
5	均压罩	1000 kV、500 kV、110 kV 侧用
6	分压器	300 kV
7	局部放电测量仪	四通道同时测量、长时间存储、回放功能; 带局放信号前置噪声处理放大单元
8	局放超声定位系统	八通道监测

#### 4.4 绕组频率响应特性试验

##### 4.4.1 试验目的

检查变压器由于运输过程中可能发生的绕组尺寸或形状发生的不可逆的变化, 例如轴向和径向的尺寸变化、器身位移、绕组扭曲、鼓包和匝间短路等。

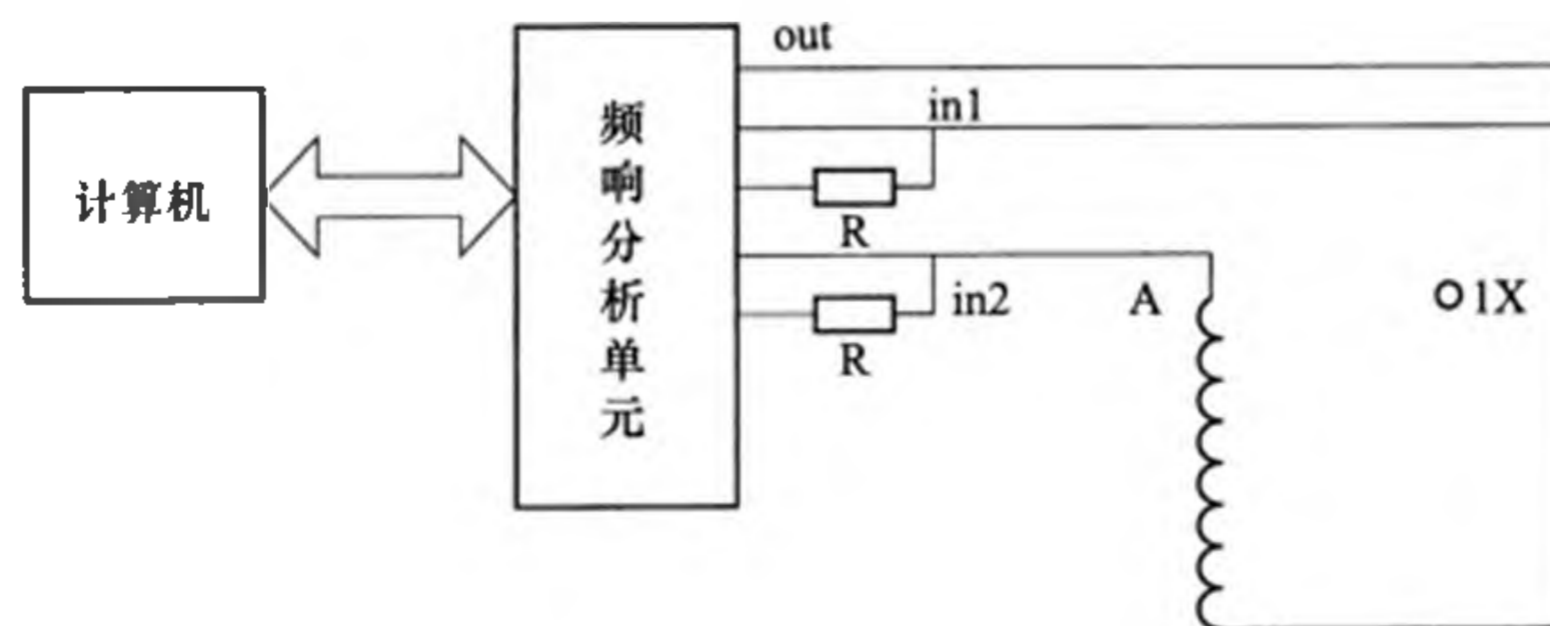
##### 4.4.2 试验接线

绕组频率响应试验在主体变压器和调压变压器上分别进行, 调压变压器进行测试时分接开关处于最大(或与例行测试位置一致)。

主体变压器依次按激磁(输入)端 1X 响应(检测)端 A、激磁(输入)端 Am 响应(检测)端 A、激磁(输入)端 1X 响应(检测)端 Am, 激磁(输入)端 1x 响应(检测)端 1a 接入仪器进行测量。

调压补偿变依次按激磁(输入)端 X 响应(检测)端 3X、激磁(输入)端 X 响应(检测)端 2X, 激磁(输入)端 2x 响应(检测)端 2a、激磁(输入)端 x 响应(检测)端 2X 接入仪器进行测量。

试验对所有绕组分别进行。试验原理接线图见图 12。



说明:

1X—中性点; A—响应端。

图 12 变压器绕组频率响应特性试验原理接线图

##### 4.4.3 试验判据

a) 同一组变压器中各台单相变压器对应绕组的频率响应特性曲线基本相同, 并且与例行试验结果

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/426140133150010212>