

# 目 录

---

- 一、电容式套管的作用
- 二、电容式套管的结构
- 三、电容式套管的试验
- 四、试验的注意事项
- 五、测试结果分析及测试报告编写



# 一、电容式套管的作用

变压器套管是将变压器绕组的高压线引至油箱外部的出线装置，作为导电部分支持物和对地绝缘作用。在变压器运行中，长期通过负载电流，当变压器外部发生短路时通过短路电流。

因此，对变压器套管有以下要求：

必须具有规定的电气强度和足够的机械强度；

必须具有良好的热稳定性，能承受短路时的瞬间过热；

外形小、质量小、密封性能好。



# 一、电容式套管的作用

变压器套管是将变压器绕组的高压线引至油箱外部的出线装置，作为导电部分支持物和对地绝缘作用。在变压器运行中，长期通过负载电流，当变压器外部发生短路时通过短路电流。

因此，对变压器套管有以下要求：

必须具有规定的电气强度和足够的机械强度；

必须具有良好的热稳定性，能承受短路时的瞬间过热；

外形小、质量小、密封性能好。







国家电网公司  
STATE GRID  
CORPORATION OF CHINA





国家电网公司  
STATE GRID  
CORPORATION OF CHINA



电力知识课堂





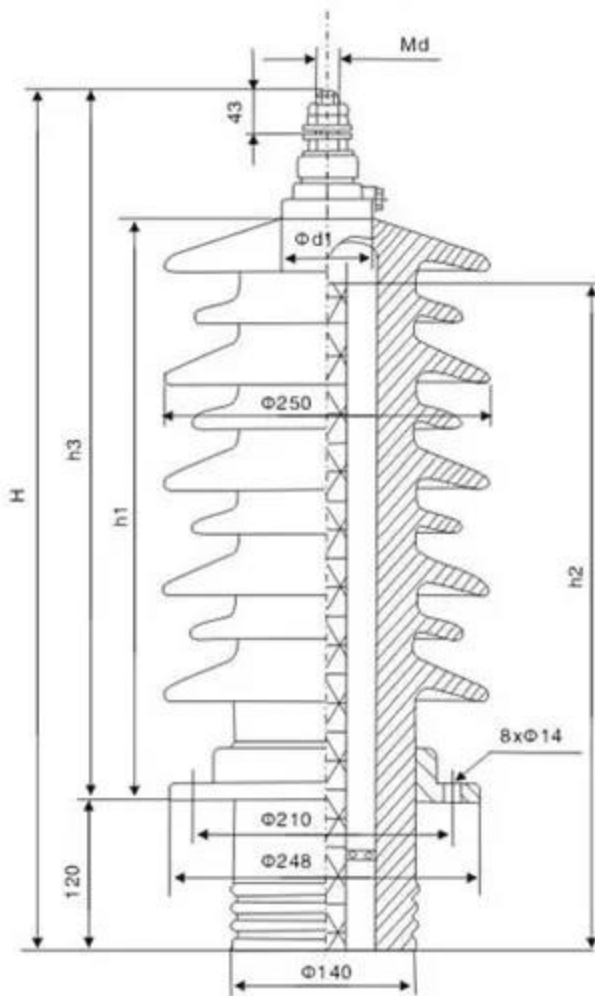
## 二、电容式套管的结构

110kV及以上的变压器高压套管通常是油纸电容型；

它由接线端子、储油柜、上瓷套、下瓷套、电容芯子、导杆、绝缘油、法兰盘、和均压球等组成。

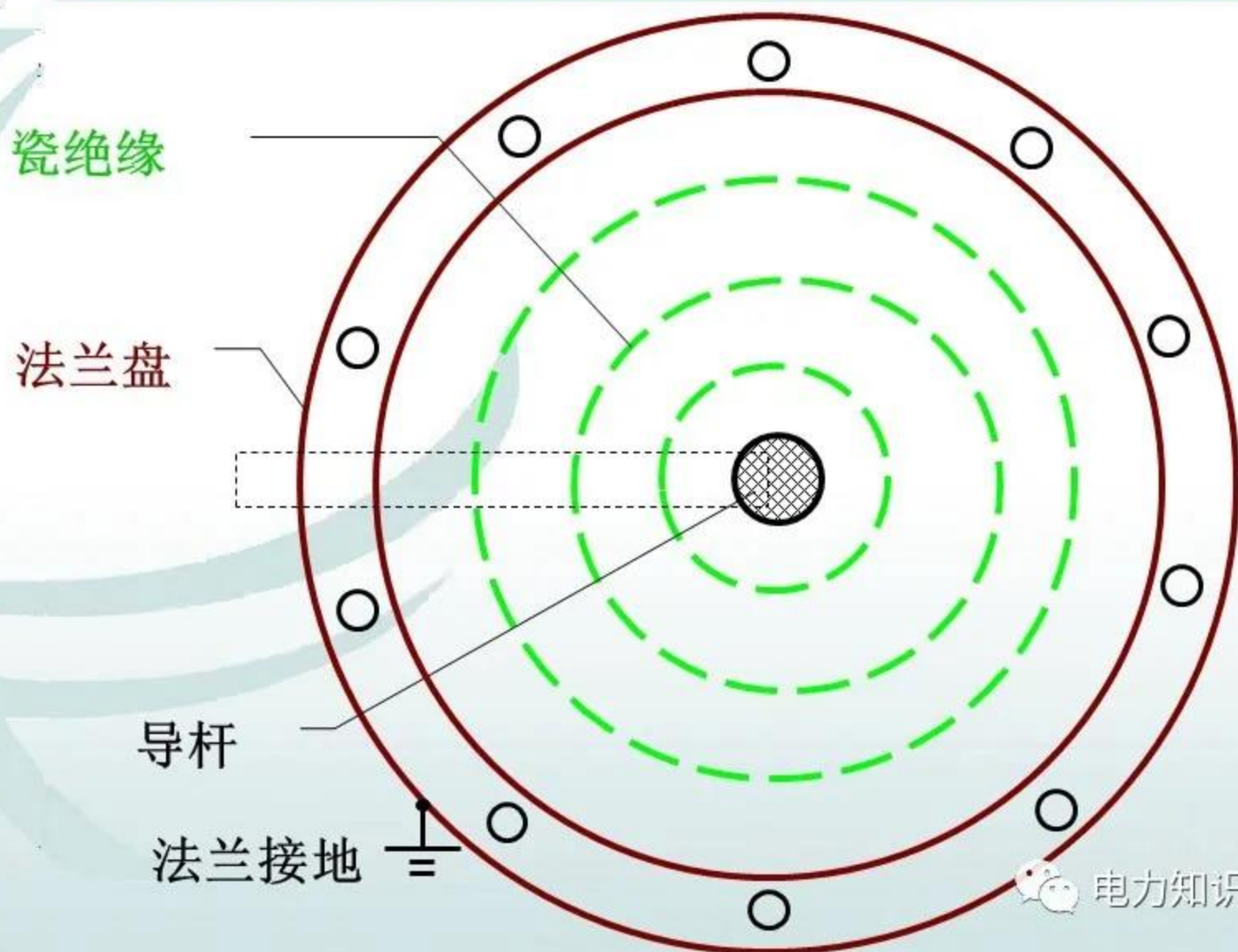


# 纯瓷结构套管



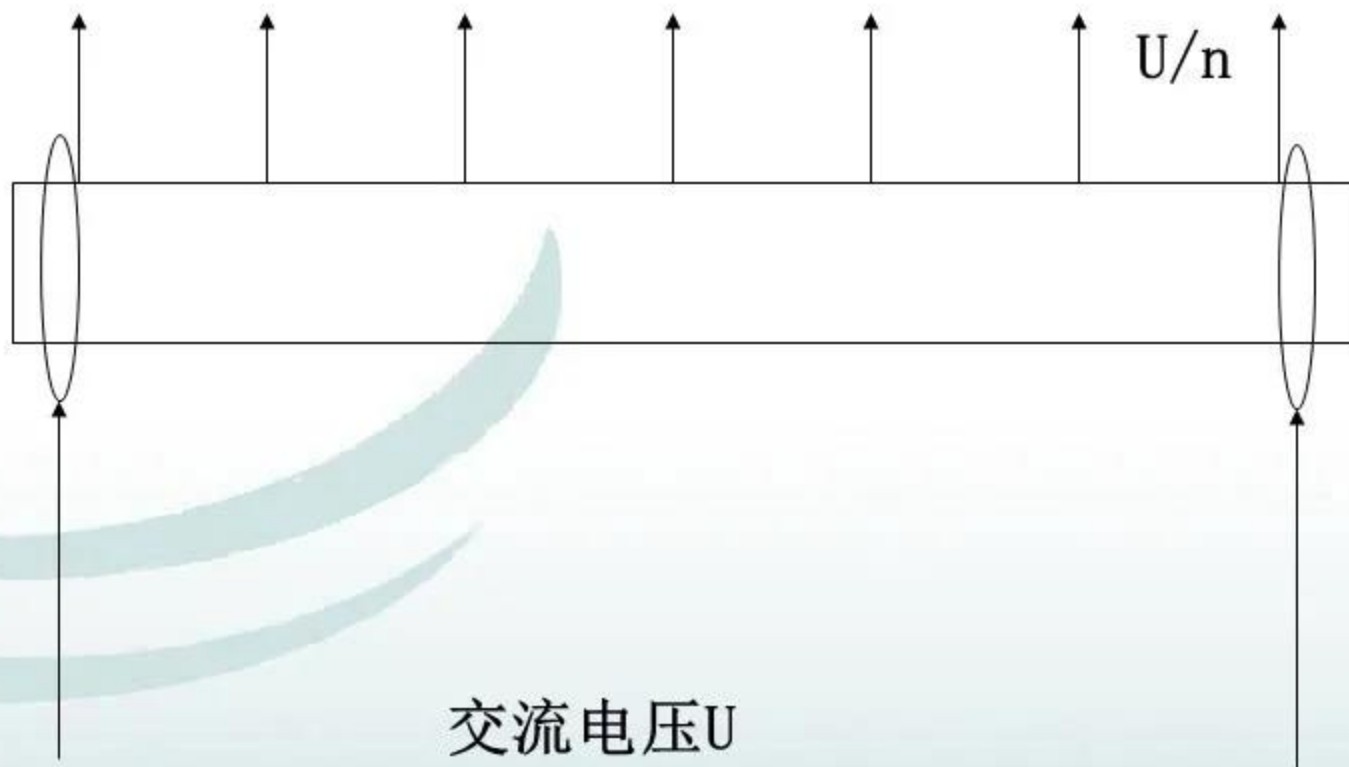


## 横向截面图



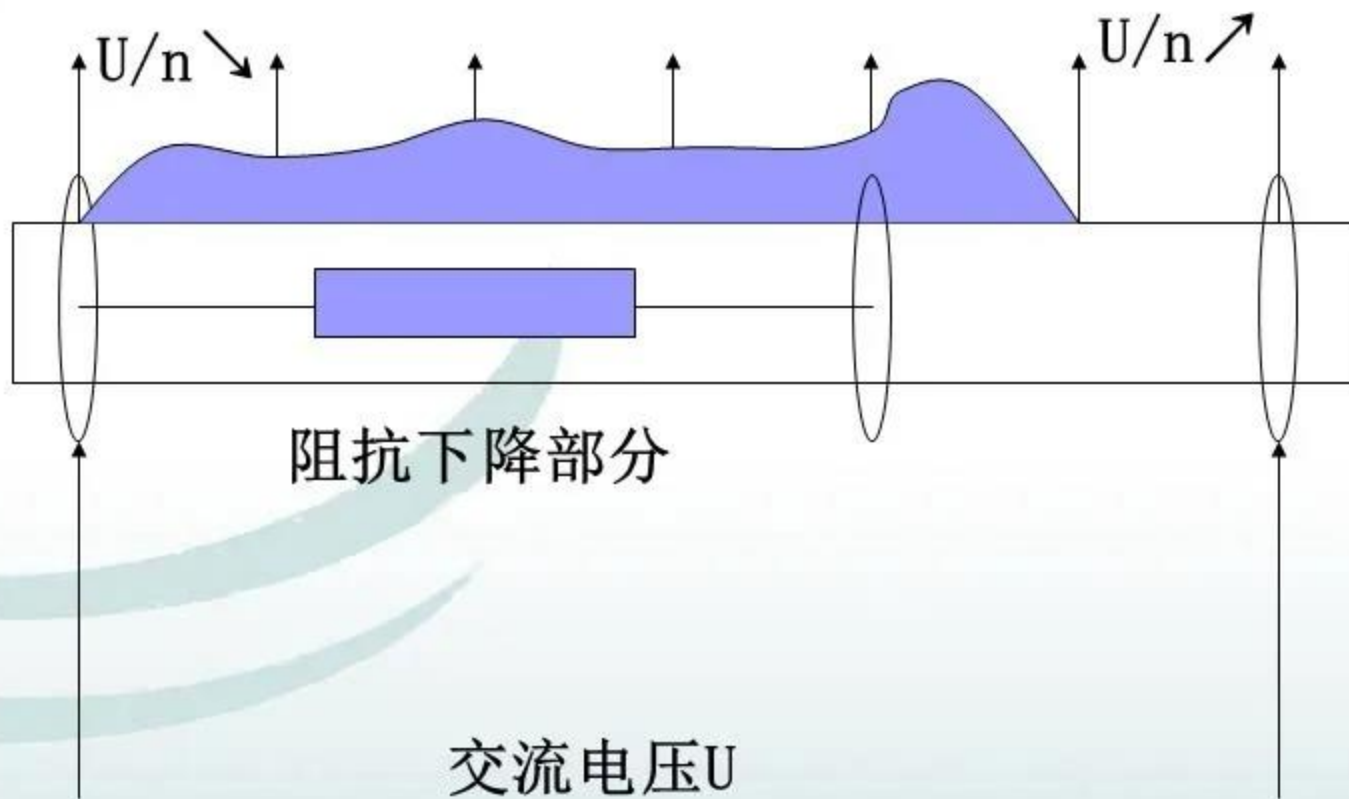
# 纯瓷结构在高电压作用下分析

在干燥及高纯度时电场分布



# 纯瓷结构在高电压作用下分析

在外部有不均匀雨水干扰时电场分布



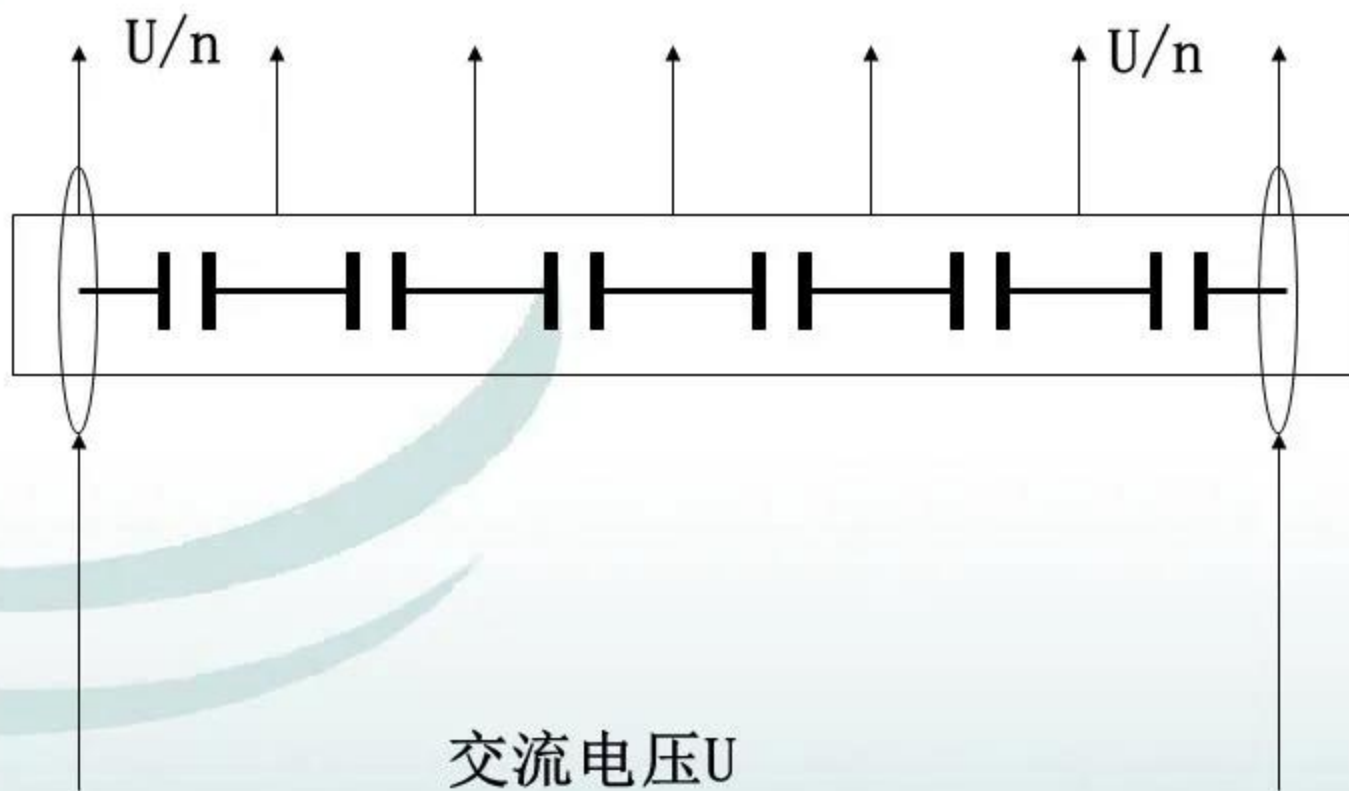
无法达到均匀分压



# 套管内部引入电容

主导整体电压分压，  
均衡电场分布

## 引入均压电容

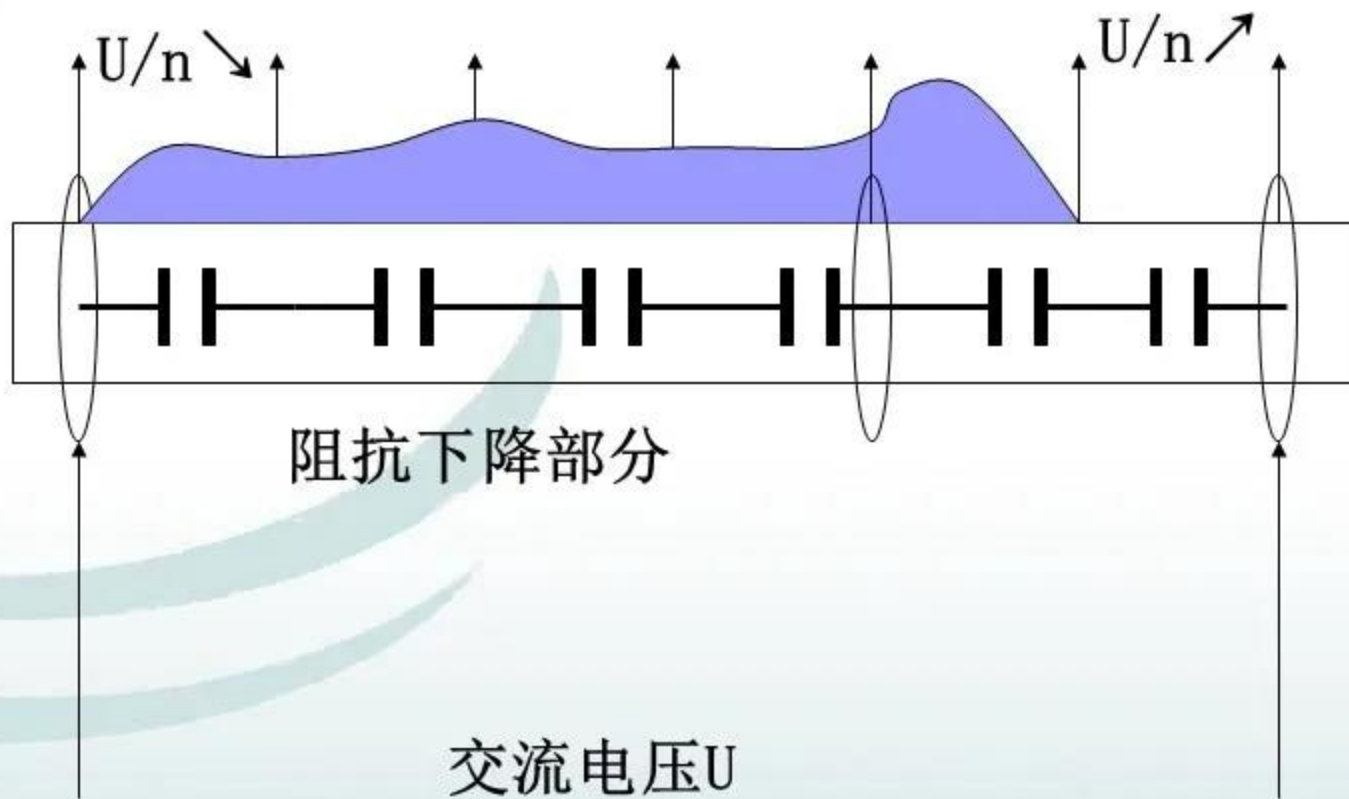


交流电压 $U$

可以均匀分压

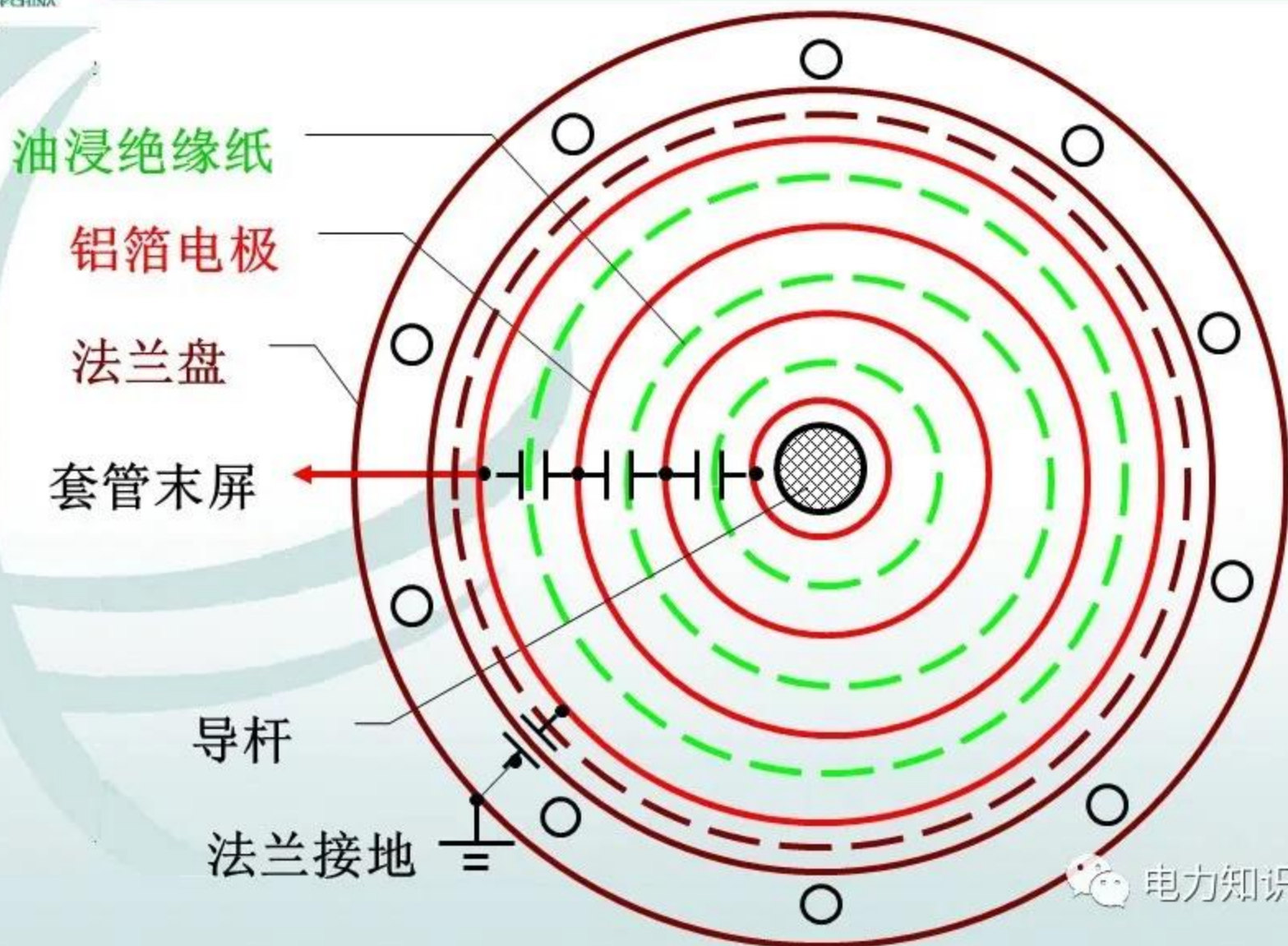
## 引入均压电容

在外部有不均匀雨水干扰时电场分布



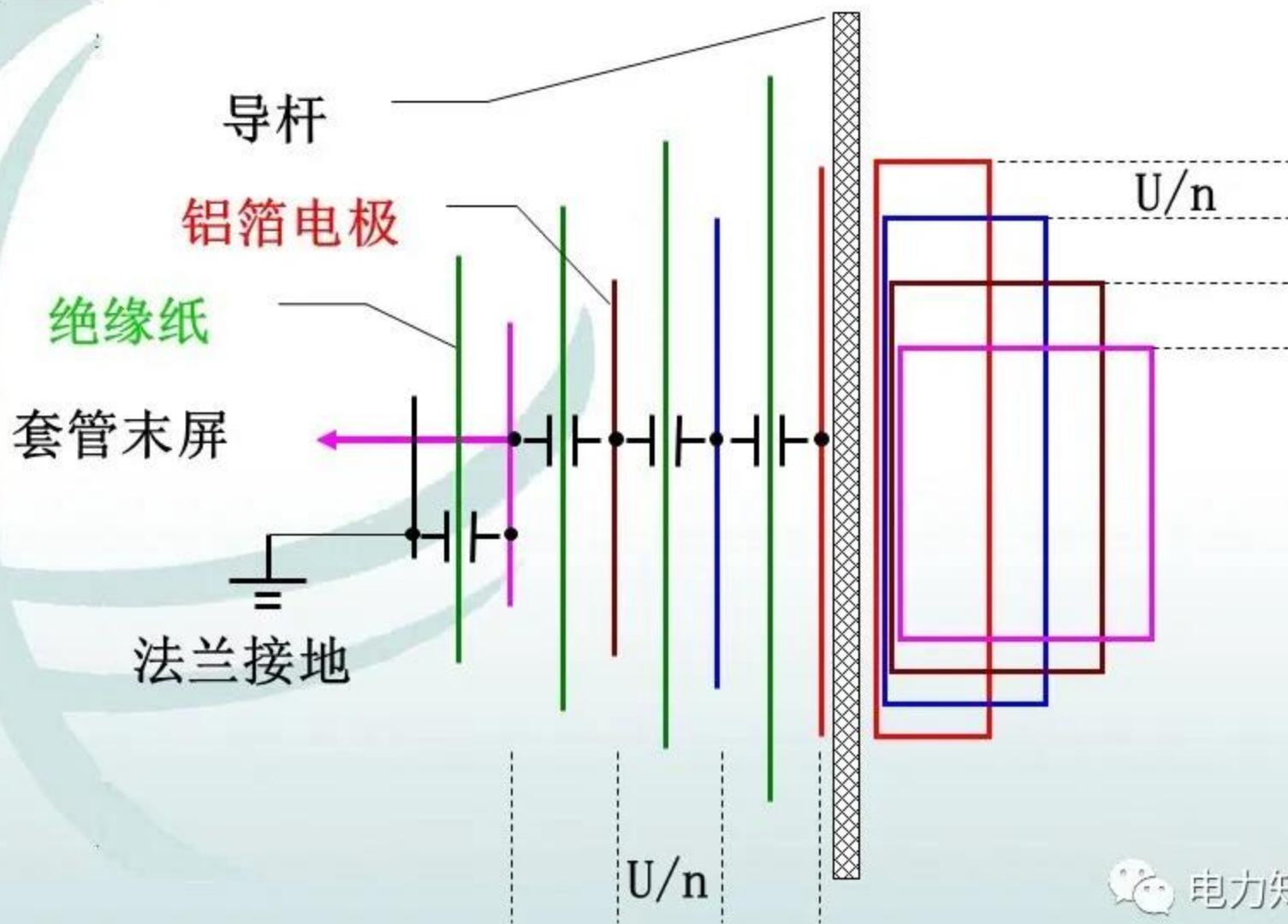
电容主导了分压，设计在安全范围

## 电容式套管横截面图





## 纵向截面图



# 1.电容芯子及套管末屏结构

电容芯子是按照电容分压原理卷制而成的，以电缆纸和油作为主绝缘，它是在套管的中心导管外包绕铝箔作为极板、油浸电缆纸作为级间介质组成的串联同轴圆柱电容器，电容器的一端与中心导管相连，另一端由连接法兰的测量端子引出（也就是末屏）。其外部是瓷绝缘。

套管末屏（法兰上的接地小套管），它与电容芯子的最末屏（接地屏）相连，运行时接地，检修时供试验（如测量介损、绝缘电阻等）用。





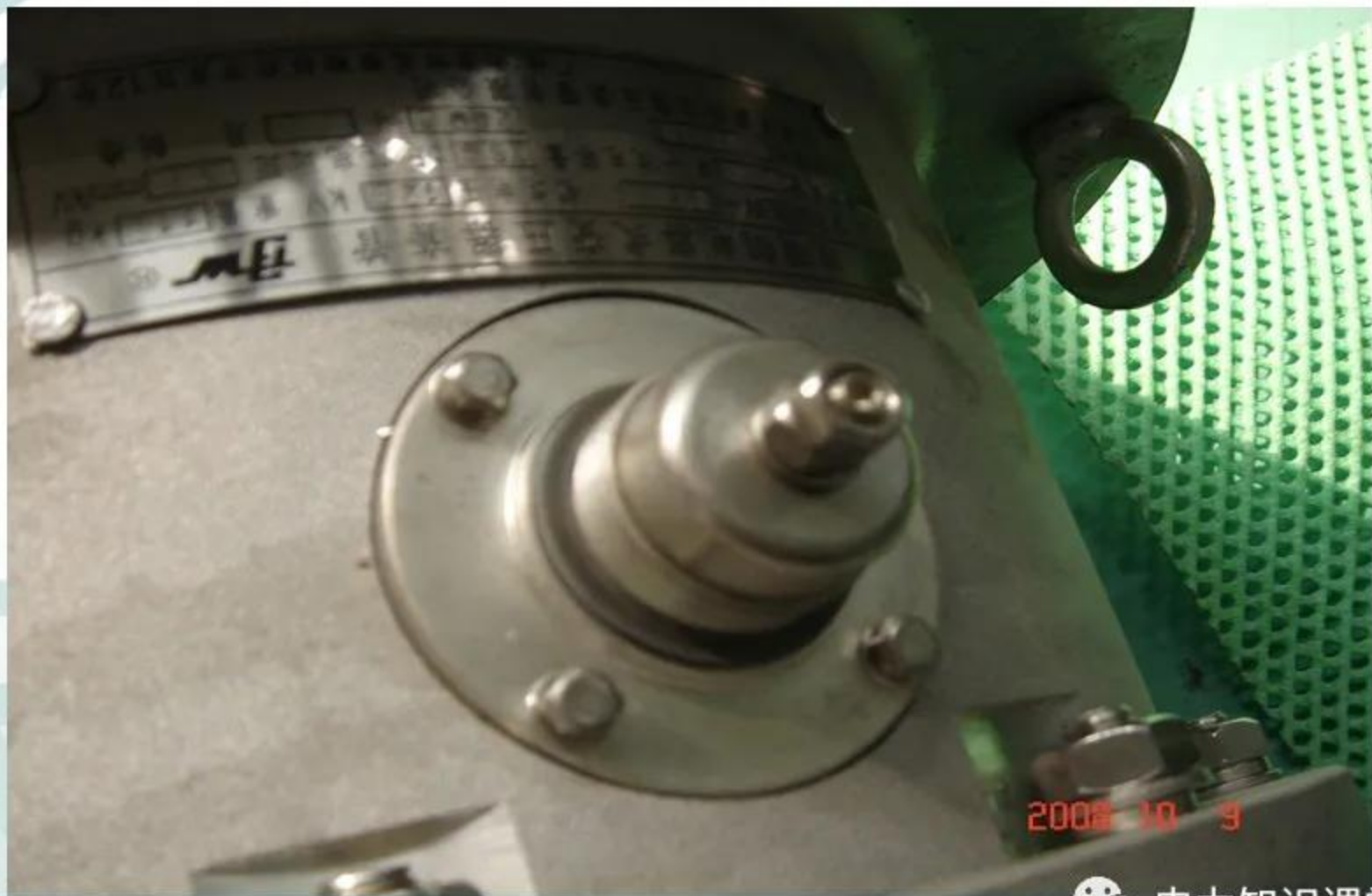
国家电网公司  
STATE GRID  
CORPORATION OF CHINA







国家电网公司  
STATE GRID  
CORPORATION OF CHINA







国家电网公司  
STATE GRID  
CORPORATION OF CHINA



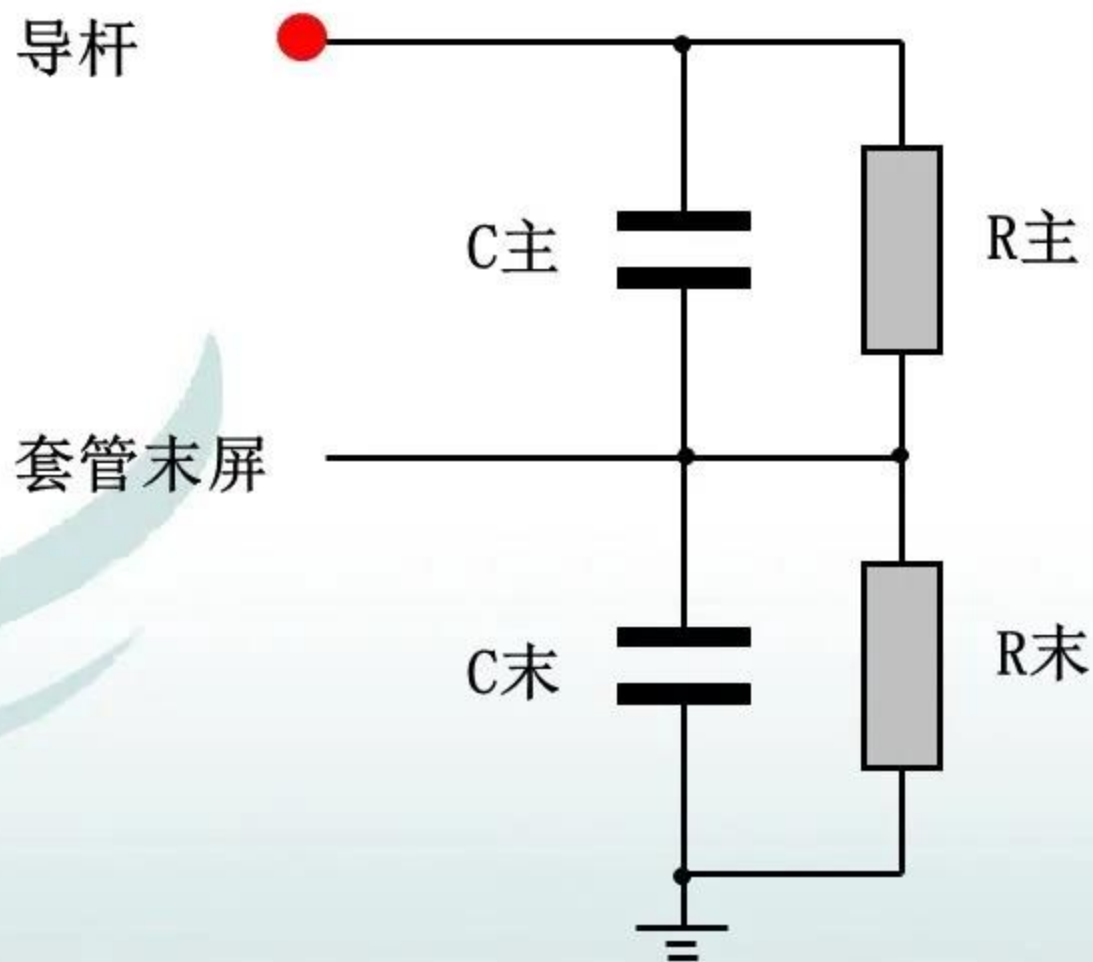


国家电网公司  
STATE GRID  
CORPORATION OF CHINA



电力知识课堂

## 电容式套管电气模型图



法兰接地



电力知识课堂

### 三、电容式套管的试验

试验目的：

当套管因密封不良等原因受潮时，水分往往通过外层绝缘逐渐进入电容芯子，因此测量主绝缘和测量外层绝缘，即末屏对地的绝缘电阻及介质损耗因数，能有效地发现绝缘是否绝缘劣化、受潮、电容层短路、漏油和其他局部缺陷。





### 三、电容式套管的试验

- 1、测试仪器、设备的选择
- 2、危险点分析及控制措施
- 3、测试前的准备工作
- 4、现场测试步骤及要求
- 5、试验注意事项
- 6、测试结果分析及测试报告编写

# 1、测试仪器、设备的选择

绝缘电阻测试仪（选用电压2500V），  
自动介损测试仪，  
测试仪性能良好，应在检定合格期内。



绝缘电阻测试仪



自动介损测试仪

## 2、危险点分析及控制措施

防止高处坠落：

工作人员在进行套管拆、接线时，必须系好安全带。使用梯子必须有人扶持或绑牢。对于220kV及以上变压器套管拆、接线时，尽可能采用高处作业车或检修作业架，严禁徒手攀爬套管。

防止高处落物伤人：

高处作业应使用工具袋，上下传物件应用绳索栓牢传递，严禁抛掷。



## 2、危险点分析及控制措施

防止人员触电：

拆接试验接线前，应将被试设备对地充分放电，以防止感应电压伤人，以及及剩余电荷影响测量结果。

试验用电源的回路上应设有漏电保护器，使用前应对漏电保护器进行跳闸试验，仪器与试验电源之间应有明显的断开点。

试验仪器的金属外壳应可靠接地，仪器操作试验人员必须站在绝缘垫上或穿绝缘鞋操作仪器。

测试前应 与检修人员负责人协调，不允许有交叉作业。





### 3、测试前的准备工作

---

了解被试设备现场情况及试验条件：

查勘现场，查阅相关技术资料，包括该套管历年试验数据及相关规程等，掌握该套管运行及缺陷情况。

### 3、测试前的准备工作

测试仪器、设备、工器具准备：

选择在检定合格期内的绝缘电阻测试仪、自动介损测试仪。

选用带剩余电流动作保护器的电源盘、放电棒、万用表、干湿温度计、安全帽、常用工器具、接地线、安全遮拦、标示牌等。

- 办理工作票并做好试验现场安全和技术措施：
- 向所有试验人员交代工作内容、带电部位、现场安全措施、现场作业危险点，明确人员分工及试验程序。

## 4、现场测试步骤及要求

### 4.1、单独对套管的测试项目

#### 1) 绝缘电阻;

- a、套管导杆对地主绝缘的绝缘电阻;
- b、套管末屏对地绝缘电阻;

#### 2) 套管 $\tan \delta$ 和电容量。

- a、套管导杆对地主绝缘的 $\tan \delta$  和电容量;
- b、套管末屏对地 $\tan \delta$  和电容量;

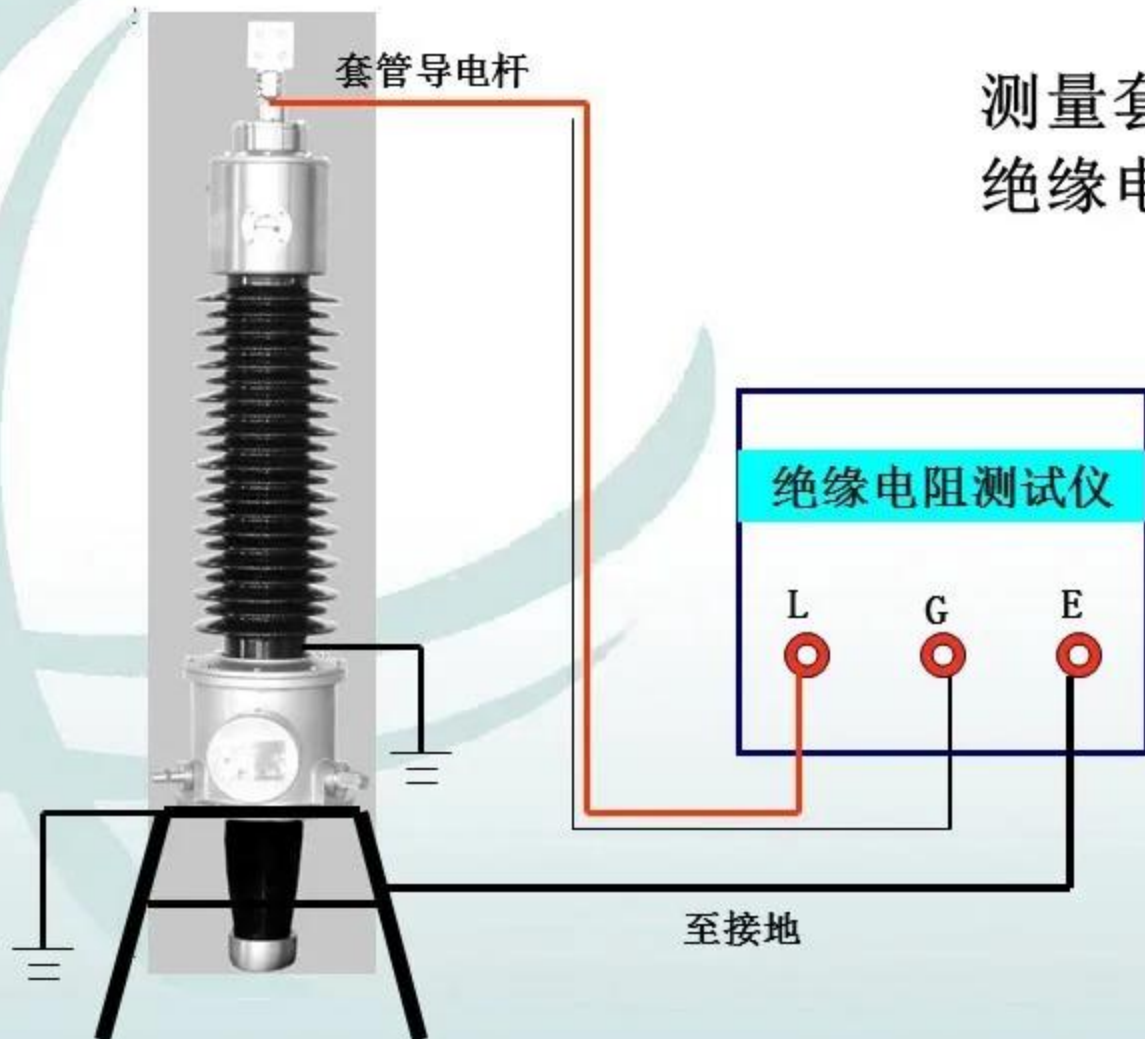


## 1) 绝缘电阻的测试步骤及要求

测量套管接线端子导杆对地主绝缘的绝缘电阻：

将独立套管垂直固定放置在支架上，支架接地，测量套管主绝缘对地绝缘电阻时，套管的末屏接地。将绝缘电阻测试仪的E端测试线接在支架的接地上，L端测试线接在套管的导电杆上。

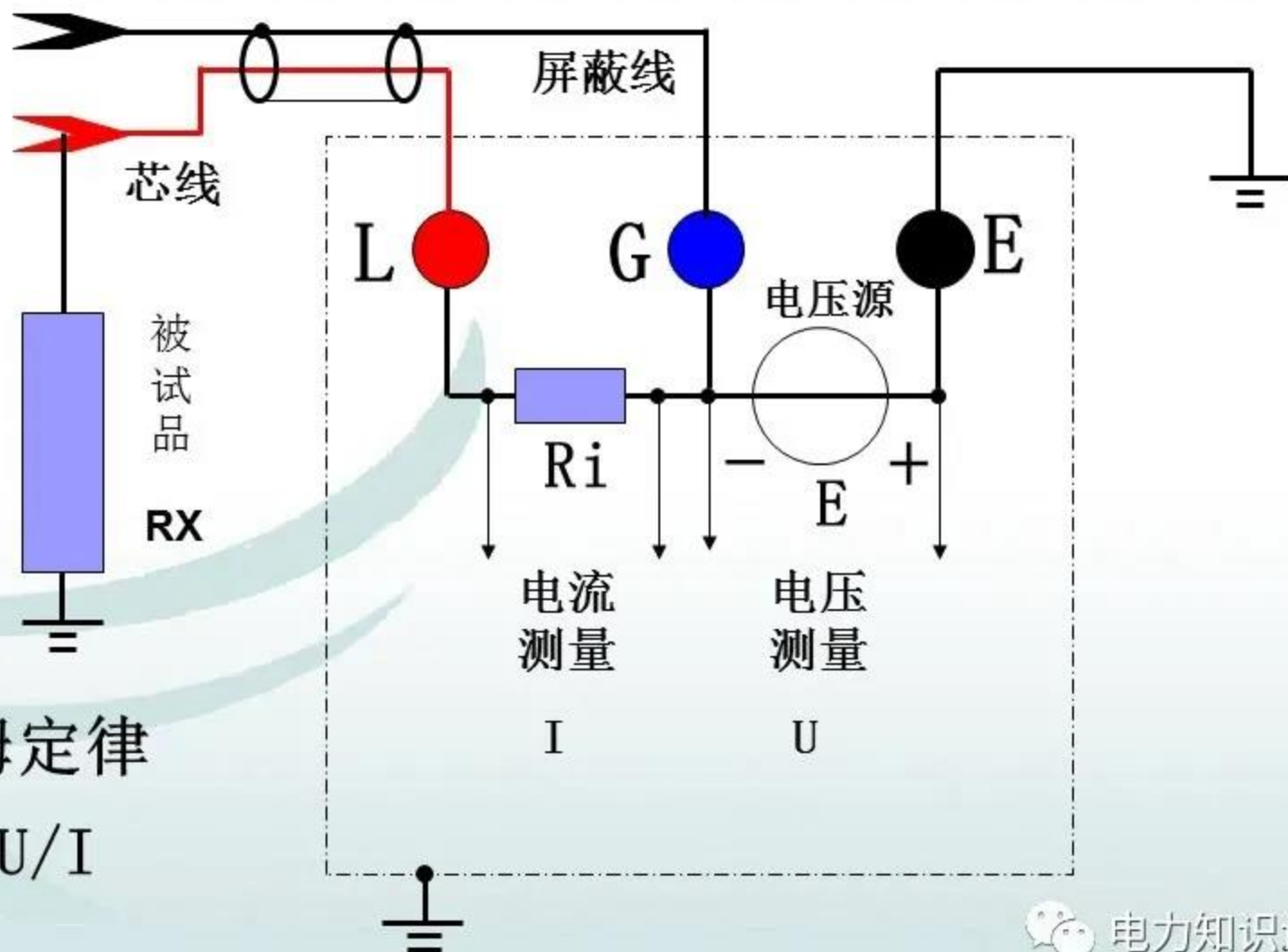
## 绝缘电阻测量试验接线图——主绝缘



测量套管主绝缘  
绝缘电阻接线图

接线完毕  
等待试验

# 绝缘电阻表

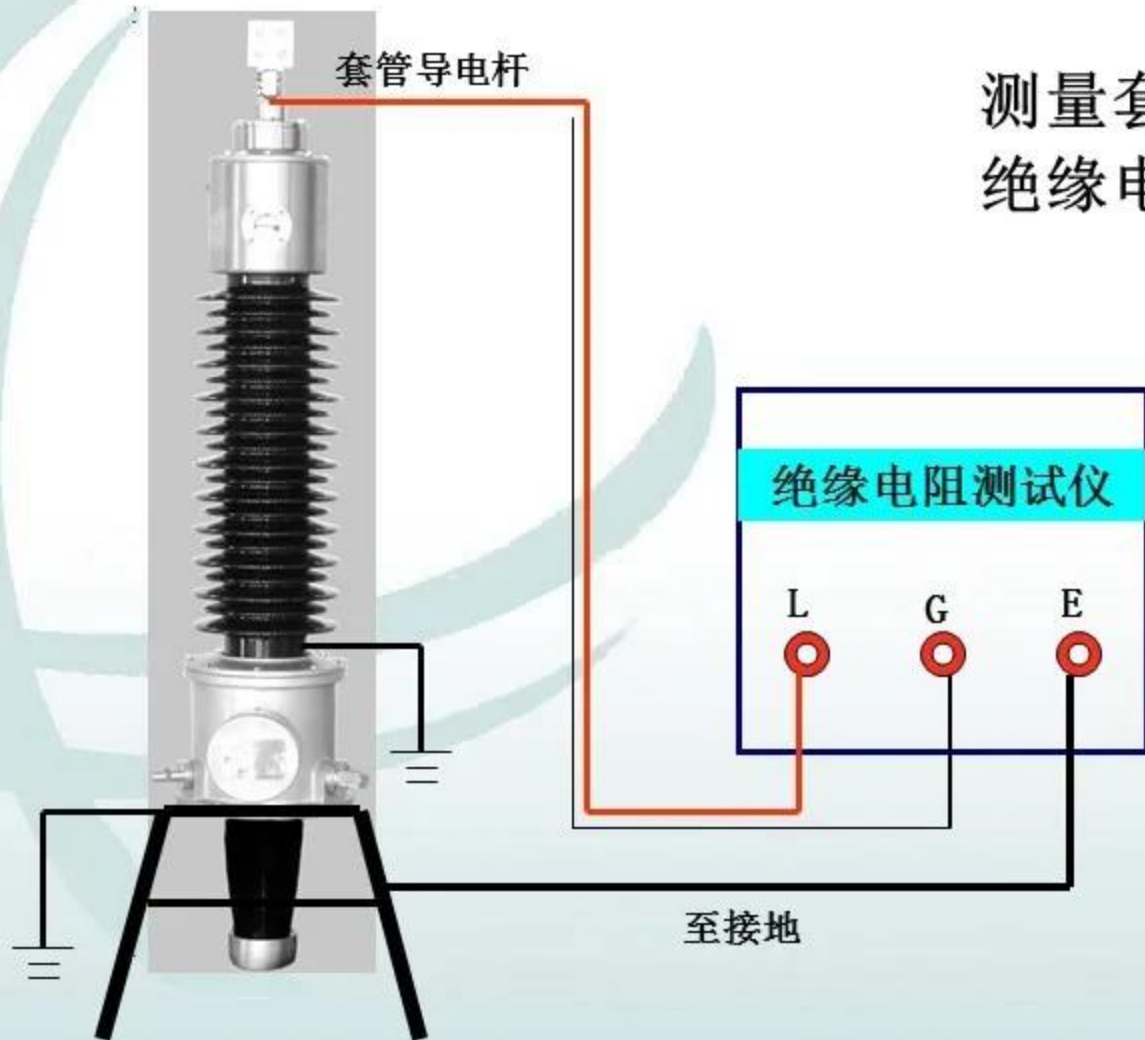


欧姆定律

$$RX = U / I$$



## 绝缘电阻测量试验接线图——主绝缘



测量套管主绝缘  
绝缘电阻接线图

接线完毕  
等待试验

## 绝缘电阻测试步骤——主绝缘

手持L端测试针绝缘手柄，打开绝缘电阻测试仪的开关，选择电压2500V档位，按下测试按钮，将L端测试针搭接在套管的导电杆上，持续加压，读数大于量程上限或稳定时读取绝缘电阻值；将L端测试针取下，按停止测试按钮，关闭测试仪电源，对测试部位充分放电。

确认放电完毕后拆换接线。

## 1) 绝缘电阻的测试步骤及要求

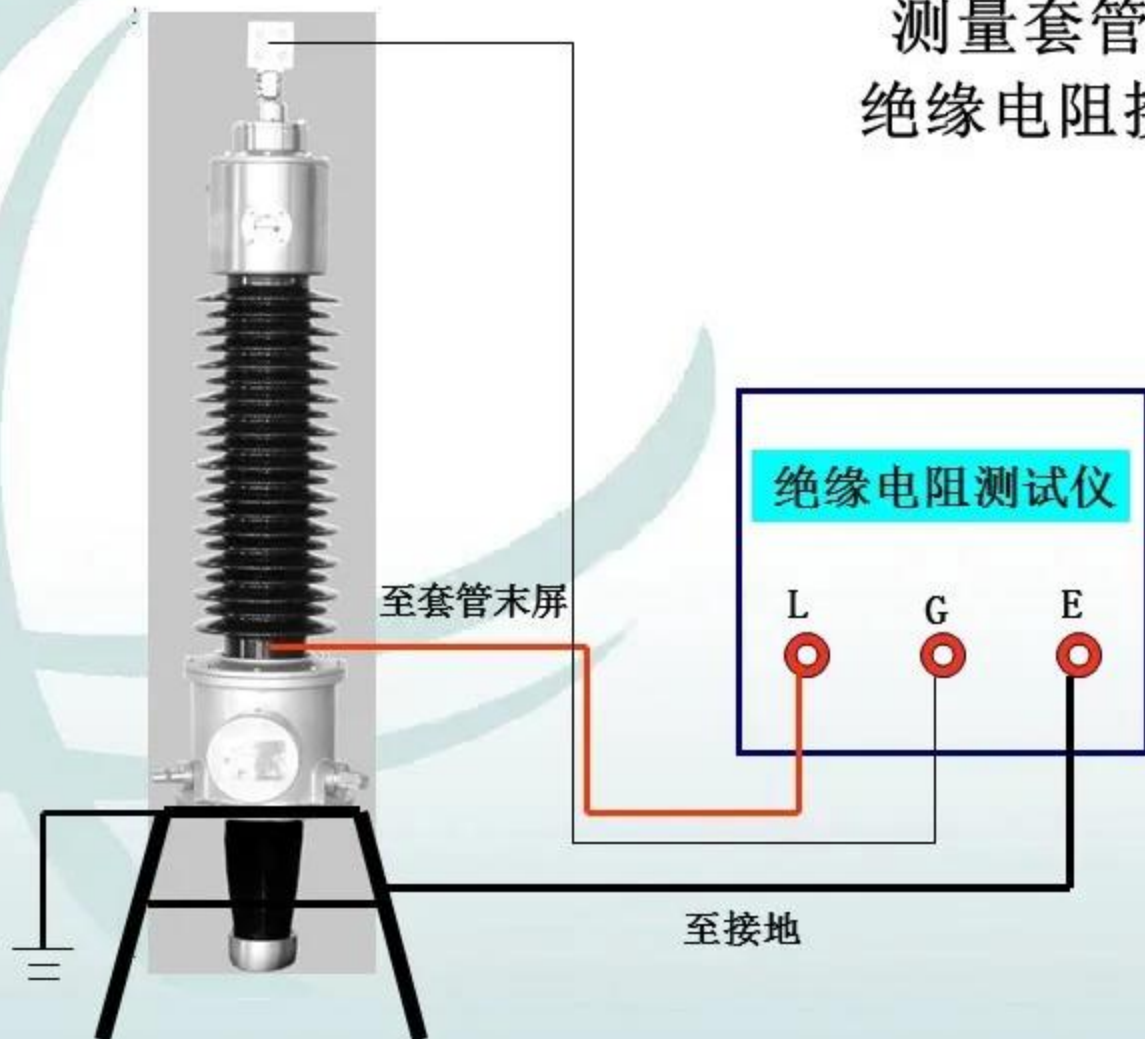
测量套管末屏对地绝缘电阻：

打开套管末屏的接地。将绝缘电阻测试仪的E端测试线接在支架的接地上，L端测试线接在套管的末屏。



## 绝缘电阻测量试验接线图——末屏

测量套管末屏  
绝缘电阻接线图



接线完毕  
等待试验

## 绝缘电阻测试步骤——末屏

手持L端测试针绝缘手柄，打开绝缘电阻测试仪的开关，选择电压2500V档位，按下测试按钮，将L端测试针搭接在套管的末屏上，持续加压，读数大于量程上限或稳定时读取绝缘电阻值；将L端测试针取下，按停止测试按钮，关闭测试仪电源，对测试部位充分放电。

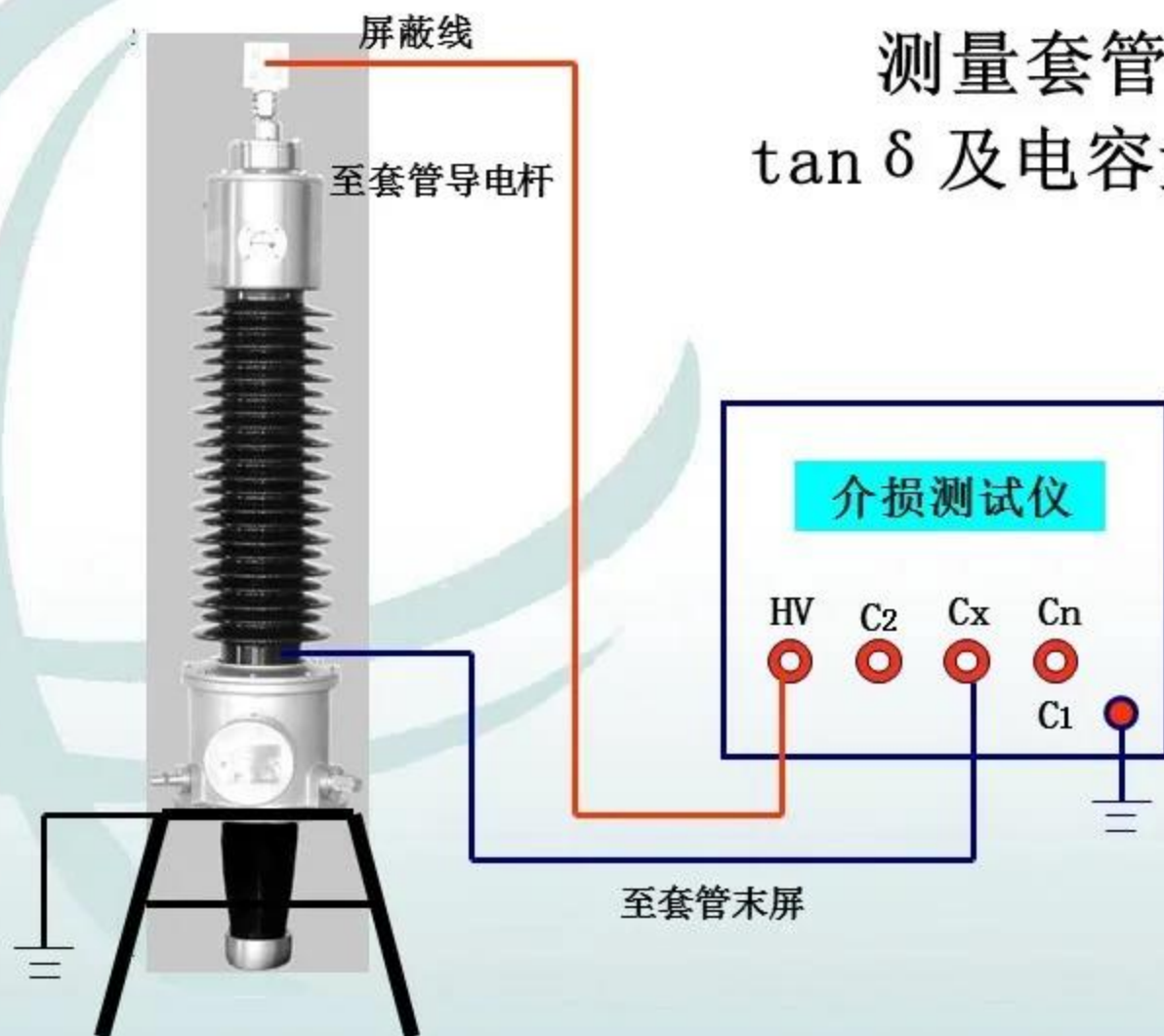
确认放电完毕后拆换接线。

## b、测量套管 $\tan \delta$ 和电容量

**套管主绝缘 $\tan \delta$  和电容量测量：采用正接法**

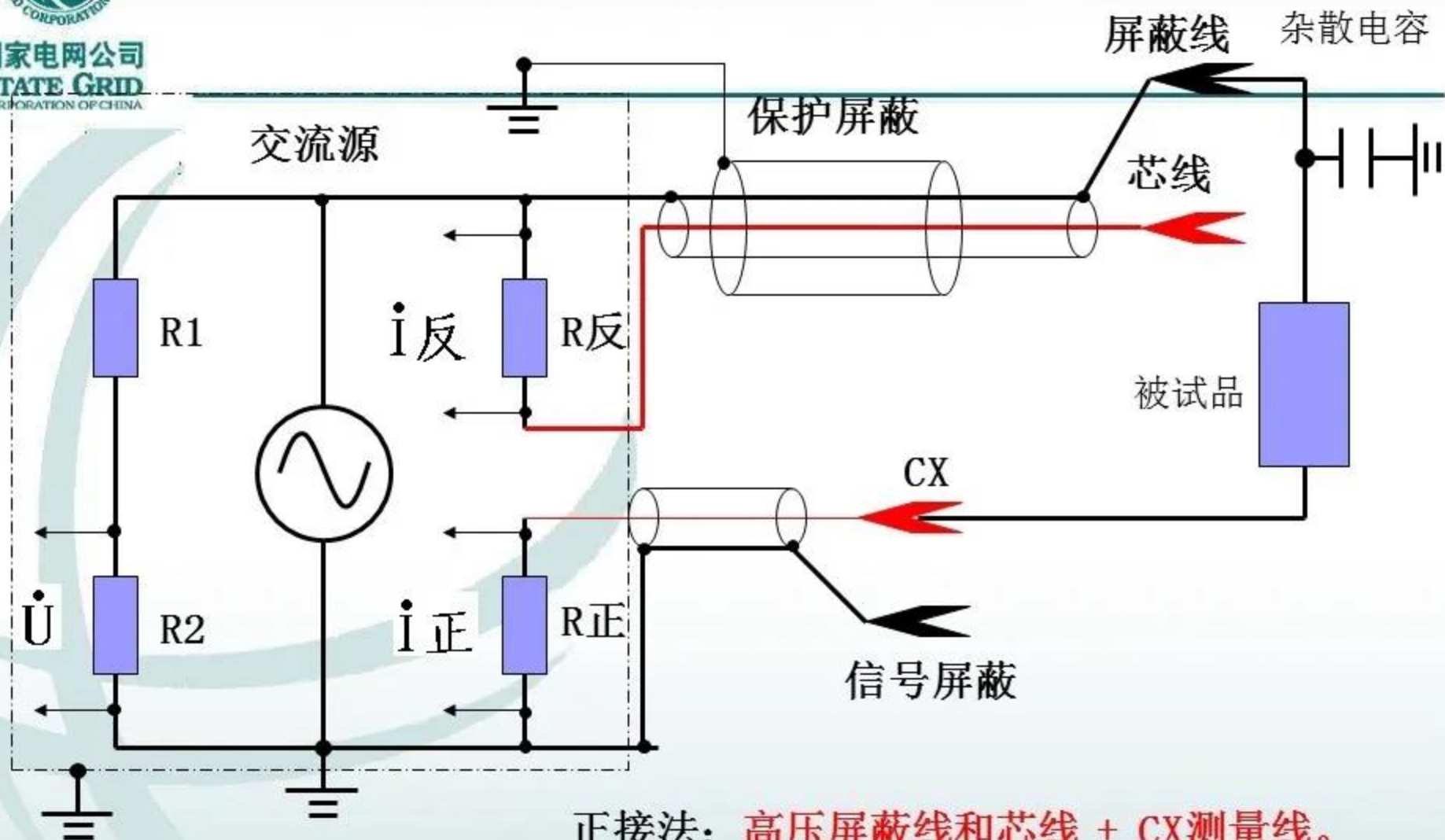
将独立套管垂直固定放置在支架上，套管法兰与支架良好接触并接地，将介损测试仪的外壳接地，介损仪插上试验电源，高压端测试线屏蔽线接在套管的导电杆上；打开套管末屏的接地， $C_x$ 端测试线接在套管末屏上。

## 试验接线图——主绝缘介损及电容量





## 9. 介损测试仪-正接法

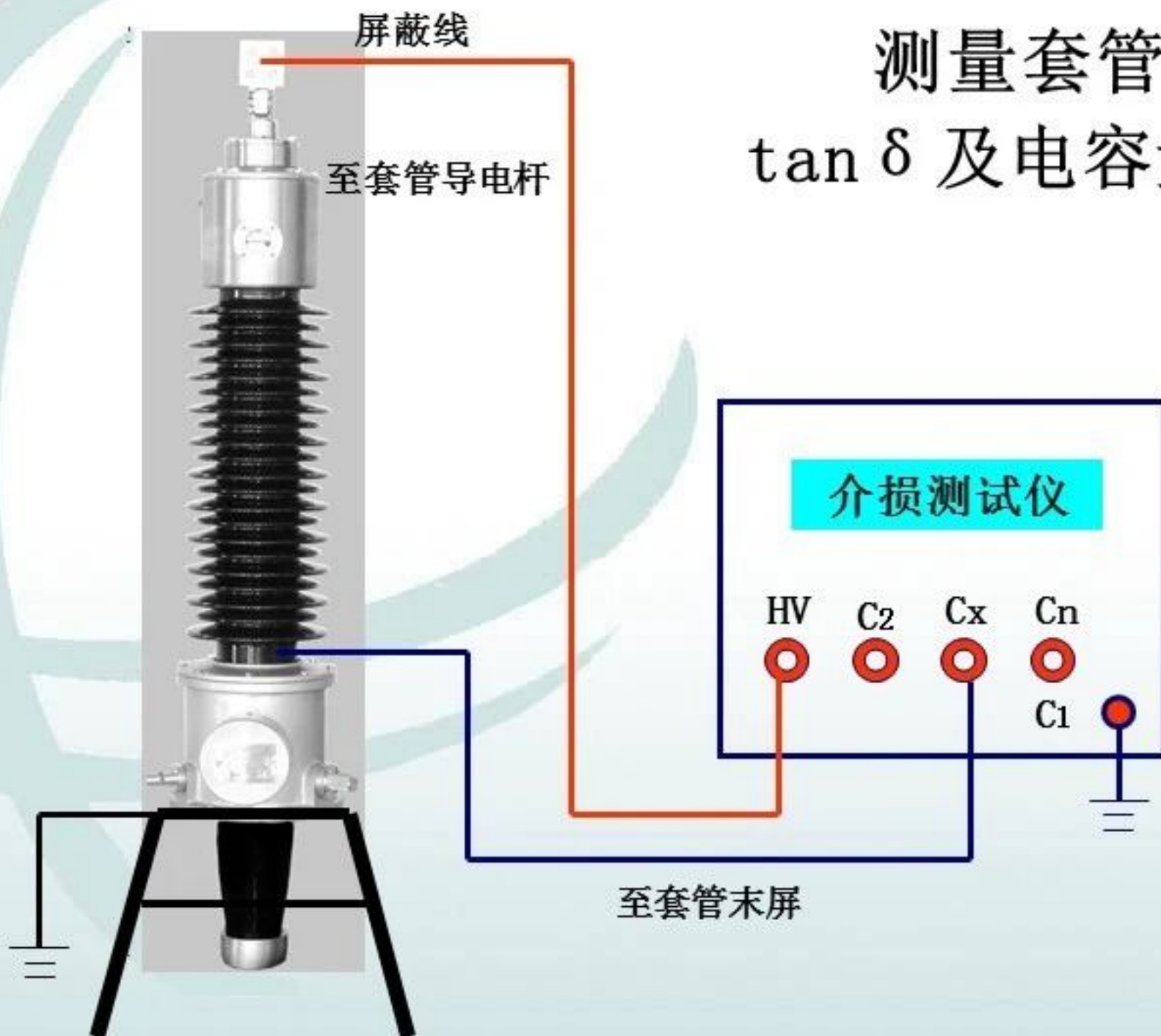


正接法：高压屏蔽线和芯线 + CX测量线。

测量电压值、电流值、相位差。

由三个基本量计算出电容、介损等值。

## 试验接线图-----主绝缘介损及电容量



## 介损及电容量测试步骤——主绝缘

打开介损测试仪的开关，选择正接线，试验电压10kV，打开内高压允许开关，切换至开始位置，按住测试键数秒开始测试，待测试完毕，读取测试值，关闭测试仪高压输出及关闭电源，对测试部位接线充分放电。

确认放电完毕后拆接线。



## 套管 $\tan \delta$ 和电容量测试步骤

### 套管末屏 $\tan \delta$ 和电容量测量：反接法

打开套管末屏的接地，将介损测试仪的外壳接地，介损测试仪的高压端测试线芯线接在套管的末屏上。



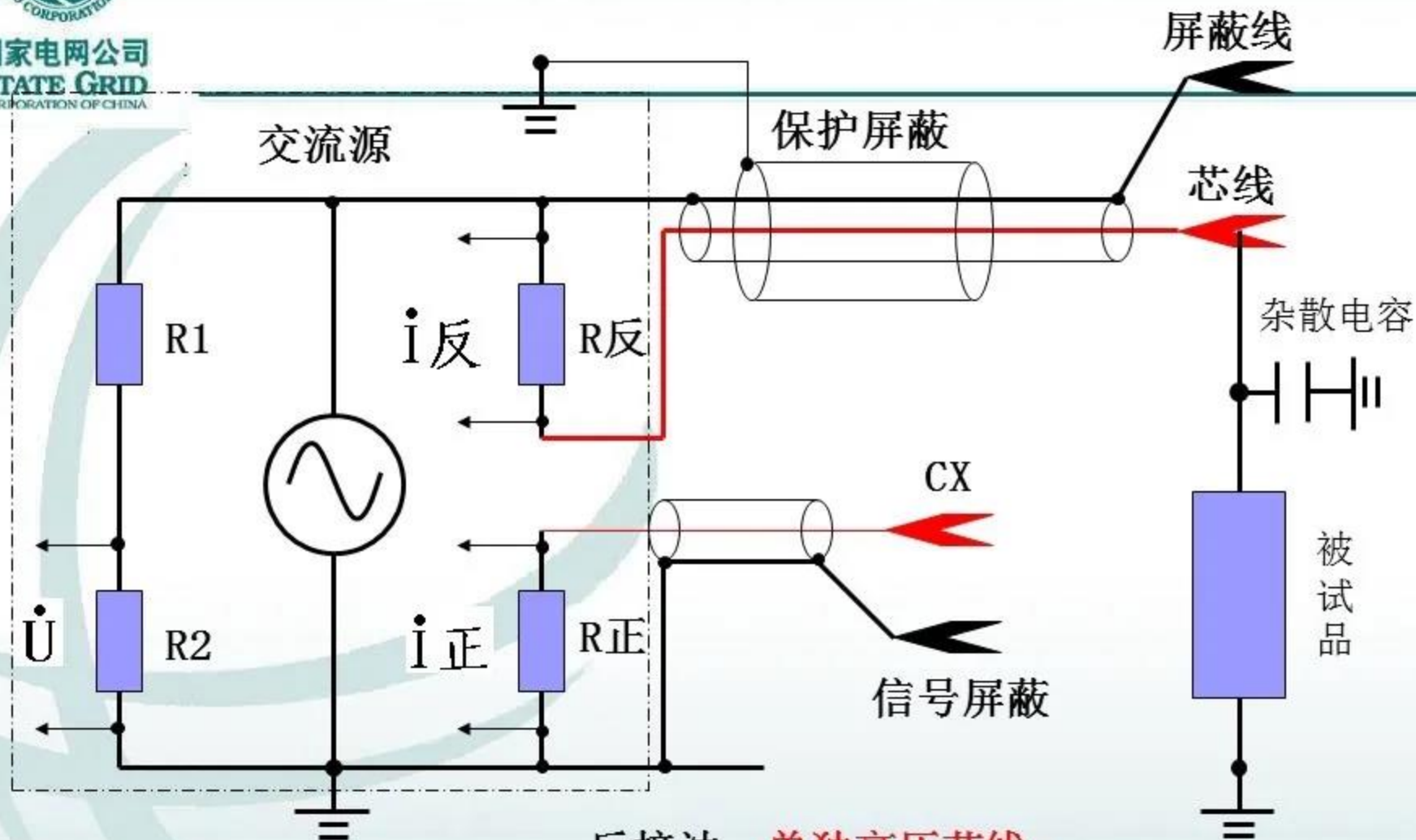
## 试验接线图——末屏介损及电容量



测量套管末屏  
 $\tan \delta$  及电容量反接线图

接线完毕  
等待试验

## 10. 介损测试仪-反接法



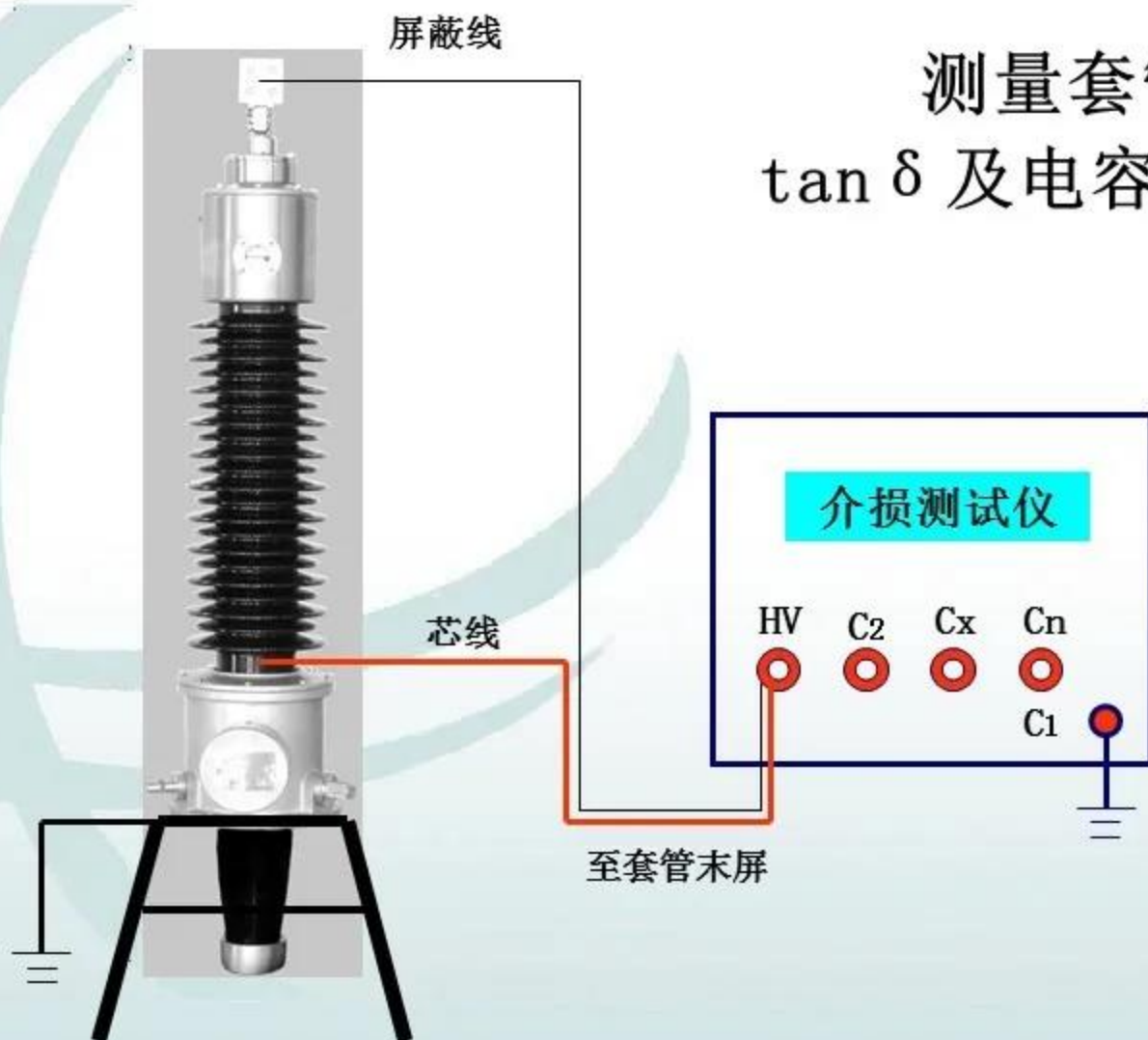
反接法：单独高压芯线。

测量电压值、电流值、相位差。

由三个基本量计算出电容、介损等值

缺点：杂散电容影响无法消除

## 试验接线图——末屏介损及电容量



测量套管末屏  
 $\tan \delta$  及电容量反接线图

接线完毕  
等待试验



## 测量套管 $\tan \delta$ 和电容量测试步骤

打开介损测试仪的开关，选择反接线，试验电压2kV，打开内高压允许开关，切换至开始位置，按住测试键数秒开始测试，待测试完毕，读取测试值，关闭测试仪高压输出及关闭电源，对测试部位接线充分放电。

确认放电完毕后拆接线。

## 四、试验注意事项

- 1、测试应在天气良好，湿度不大于80%，温度不低于+5℃的条件下进行。
- 2、对套管接地放电并拆除引线；
- 3、用干燥清洁的软布擦去套管外绝缘表面和末屏套管上的脏污，必要时用适度的清洁剂洗净，擦干。
- 4、拆套管末屏接地时，注意防止螺杆跟着旋转，以免内部松动，造成接地不良。
- 5、检查试验接线，确保无误。开始试验时做到呼唱。
- 6、试验完毕恢复套管末屏的接地，检查接地是否良好。

## 四、试验注意事项

7、现场连同绕组测量时，为了减少线圈电感的影响，被测试绕组全部短接，非被试绕组全部短路并接地。非测试套管末屏接地保留。



## 五、测试结果分析及测试报告编写

### （一）测试结果分析

#### 1、标准及要求

国家电网公司《输变电设备状态检修试验规程》（Q/GDW188-2008）；

《电气装置安装工程 电气设备交接试验标准》（GB50105-2006）；

- 1) 主绝缘：绝缘电阻 $\geq 10000\text{M}\Omega$ ，500kV以下等级 $\tan \delta$ 不大于0.7%；500kV等级不大于0.5%；
- 2) 套管末屏：绝缘电阻 $\geq 1000\text{M}\Omega$ ，低于 $1000\text{M}\Omega$ 时，应测量末屏对地 $\tan \delta$ ，其值不大于2%。
- 3) 电容型套管的电容值与出厂值或上一次有效测量值的差别应在 $\pm 5\%$ 范围内。



## 2) 测试数据结果处理

- (1) 电容型套管的 $\tan \delta$ 值，一般不进行温度的换算。
- (2) 当测量 $\tan \delta$ 值与出厂值或上一次测量值比较明显变化或接近上限值时，应进行综合分析，查明原因。必要时进行额定电压下的测量，建议取油样进行分析。
- (3) 电容量比历史数据增大时，可能设备密封不良，进水受潮，或者，套管内部游离放电，烧坏部分绝缘层，导致电极间的短路。
- (4) 电容量比历史数据减小时，可能设备内部缺油造成，进入部分空气。

## （二）测试报告编写

填写报告时，应包括试验时间、试验地点、设备的参数、试验用仪器的型号和编号、天气情况（包括温度、湿度）、试验人员、试验性质、试验数据、试验结论以及其它需要备注的内容等。

# 案例1

1991年 7月 24日，某110kV变电站1#变压器(1986年1月生产，1987年11月投入运行)在系统无操作、无负载情况下，A相差动保护动作跳闸，高压A相套管电容芯子飞出，套管末屏熔断，套管电容芯子内电极(穿缆导杆)断成4段，套管下部绝缘成型件严重损坏，均压球变形。

分析为由于套管末屏接地不良，产生局部放电，逐渐波及到主电容屏，使主电容屏电场发生严重畸变，导致套管主绝缘击穿、爆炸。





## 案例2

某500kV变电站，在1996年春季预试时发现：1号电抗器（型号：BKDFP—40000 / 500，1981年12月制造）C相套管，在绝缘试验时发现末屏绝缘不良，在测绝缘电阻时，听到中间法兰处有放电声。

套管分解后，发现套管末屏有两个引出接地线，其中闲置的引出线未做绝缘处理，残留约40mm长的引线头压在外层白布带内，白布带松脱后，引线头下落至距离法兰很近的内壁处，以致出现测绝缘时的放电声。经绝缘处理后运行良好。

## 案例3

某变电所主变型号为SFZ8-M-25000 / 63，套管型号为BRW3-66(1999年11月生产)，小套管经接地罩(俗称“草帽”式接地罩)接地。变压器预防性试验后投入运行时，66kV侧A相、B相套管末屏小套管接地罩与法兰之间放电。

经检查分析，在进行套管测量后，由于在上接地罩固定螺栓前，没有将接地罩和法兰间的油漆清除，致使接地罩和法兰之间接触不良，导致变压器运行后接地罩与法兰间放电。将接地罩和法兰之间油漆清除、接触良好后，运行正常。



## 案例4

某变电站型号为S7—4000 / 63主变，套管型号为BRY—60(1973年 2月产品)。预防性试验时，发现高压B相套管末屏绝缘电阻明显下降，仅为 $10\text{M}\Omega$  (标准为 $1000\text{M}\Omega$ )。采用介损电桥经末屏测量套管 $\tan\delta$ ，当施加电压2kV时，电桥显示放电，无法测量。

经检查分析，B相套管末屏结构为老式经接地片接地。外观检查发现小套管密封圈老化严重，并有渗油痕迹。可能在拆接地片时内部接地线跟着同时转动，导致小套管内部引线松动后与中间法兰间距离不够、发生放电。经拆开检查发现，末屏间引出线焊接点已经断开并搭接在法兰上，引线上绝缘护套短，其裸露部分与法兰间发生放电。

