第五章

保护接地与保护接零

第一节　接地与保护接地的概念

一、接地与接地的方式

什么是接地？

出于不同的目的，将电气装置中某一部位经接地线和接地体与大地做良好的电气连接，称为接地。

接地有哪些类型？

根据接地的目的不同，分为工作接地和保护接地。工作接地是指为运行需要而将电力系统或设备的某一点接地，如变压器中性点直接接地等；保护接地是指为防止人身触电事故而将电气设备的某一点接地，如将电气设备的金属外壳接地等。

我国电力系统中性点接地方式主要有哪几种？

（1）中性点不接地系统——适用3～60KV系统；

（2）中性点经消弧线圈接地系统——适用3～60KV系统，可避免电弧过电压的产生；

（3）中性点直接接地系统——适用110KV以上及380KV以下低压系统；

二、名词解释

1. 中性线 N——引自电源中性点的导线。其功能有：用来通过单相负载工作电流；用来通过三相电路中的不平衡电流；使不平衡三相负载上的电压均等；与设备外壳相连，防止人体间接触电。

2. 保护线 PE——以防止触电为目的而用来与设备或线路的金属外壳、接地母线、接地端子、接地极、接地金属部件等作电气连接的导线或导体。

3. 保护零线 PEN——当零线与保护线PE共为一体，同时具有零线与保护线两种功能的导线。

4. IT系统——指电源中性点不接地（或经阻抗1000欧姆接地），而电气设备的金属外壳经各自的保护线PE线直接接地的三相三线制低压配电系统。

5. TT系统——指电源中性点直接接地，而电气设备的外露可导电部分经各自的PE线直接接地的三相四线制低压配电系统。

第二节　保护接地

一、保护接地的原理

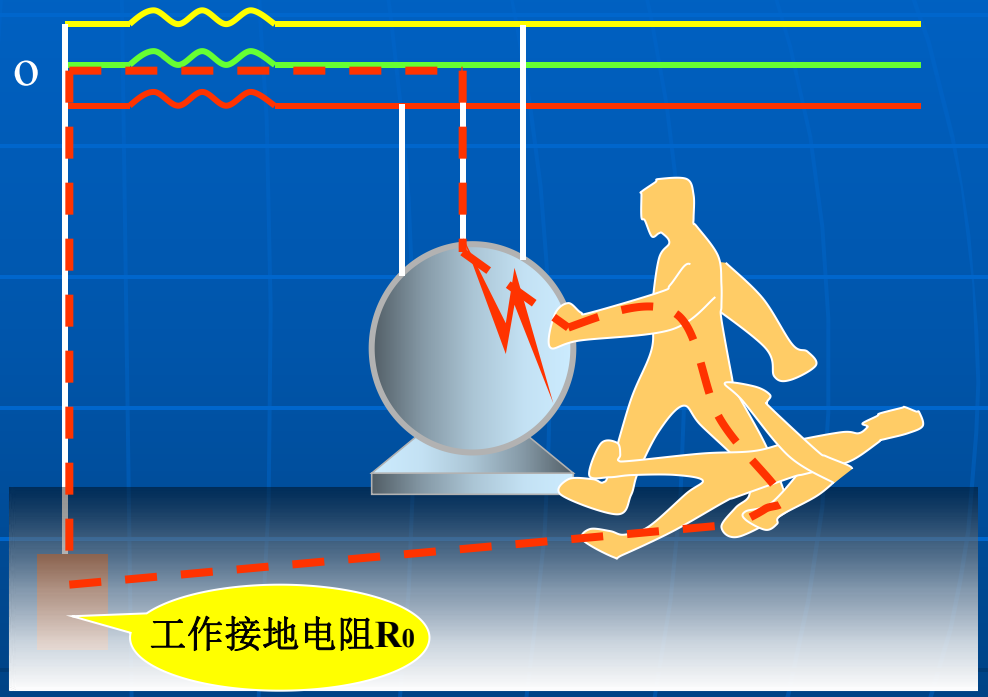
1. 在中性点直接接地的电网中，电气设备不接地的危险性

如右图所示的中性点直接接地的电网中，当没有接地保护的电气设备绝缘被破坏时，外壳可能带电。

人触及设备外壳，电流流过人体的途径为：设备外壳→人身→接地体→流回电源中性点。

设人体电阻Rb取1700Ω，接地电阻R0=4Ω，则流过人体电流

$$I_b=\frac{U_{相}}{R_b+R_0}=129mA>30mA$$



在中性点直接接地的电力系统中发生碰壳故障

由上述分析，可知在中性点直接接地的电网中，电气设备一旦发生碰壳故障，电气设备不接地，人体接触电气设备外壳，则会发生触电事故。

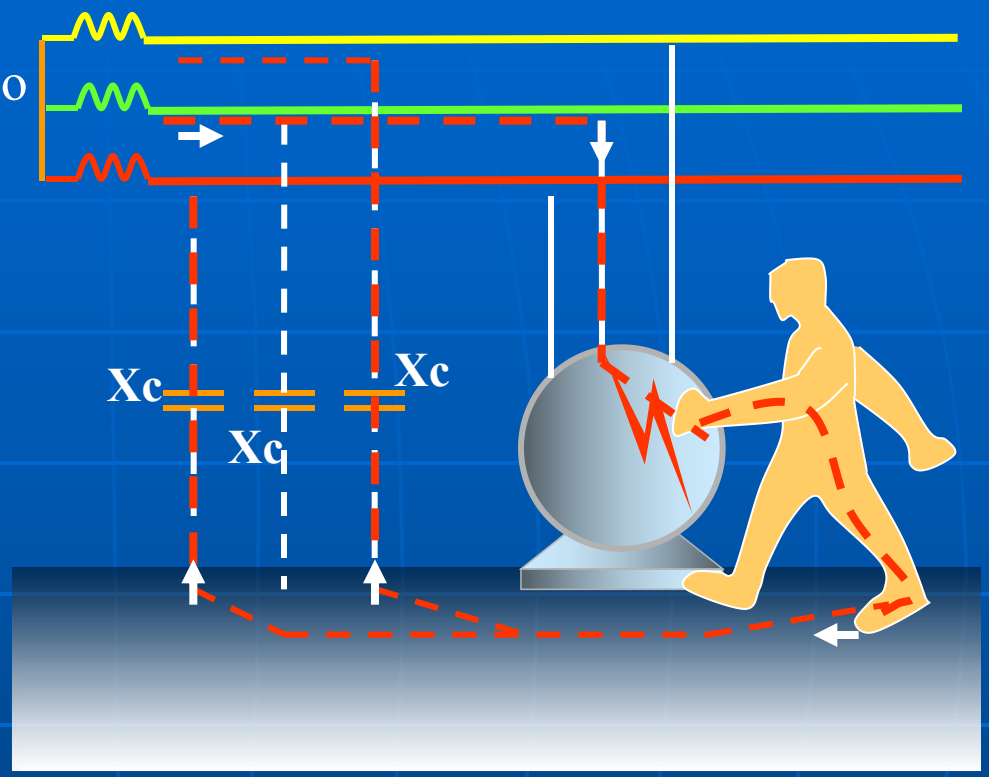
2. 在中性点不直接接地的电网中，电气设备不接地的危险性

如右图所示的中性点不接地的电网中，没有接地保护的电气设备发生碰壳故障。

在中性点不接地的电网中，发生碰壳事故时，人触及设备外壳，电流流过人体的途径为：

设备外壳→人身→其他两相线路对地电容→另外两相电相电源。

当线路电压较低，线路的对地电容容抗Xc较大，流过人体的电流很小，对人体危害不大；



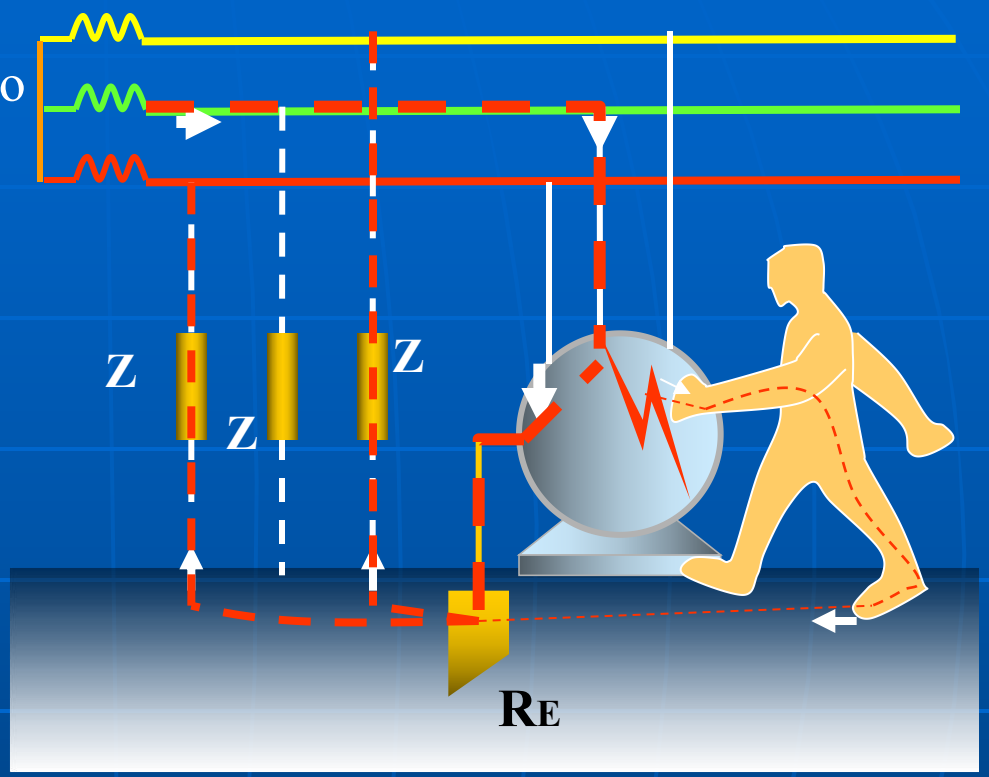
在中性点直接接地的电力系统中发生碰壳故障

但当线路电压较高，但当线路电压较高时，线路对地电容的容抗较小，所有这时流过人体的电流就会较大，对人的危害就会很大。

由上可知，不接地的电气在发生碰壳故障时，一旦有人触及其外壳，也有可能造成人身触电。

3. 保护接地在IT系统中的作用

如右图所示，当电气设备的绝缘损坏使外壳带电时，接地短路电流经接地体和人体同时流过。



在IT系统中发生碰壳故障时保护接地的作用

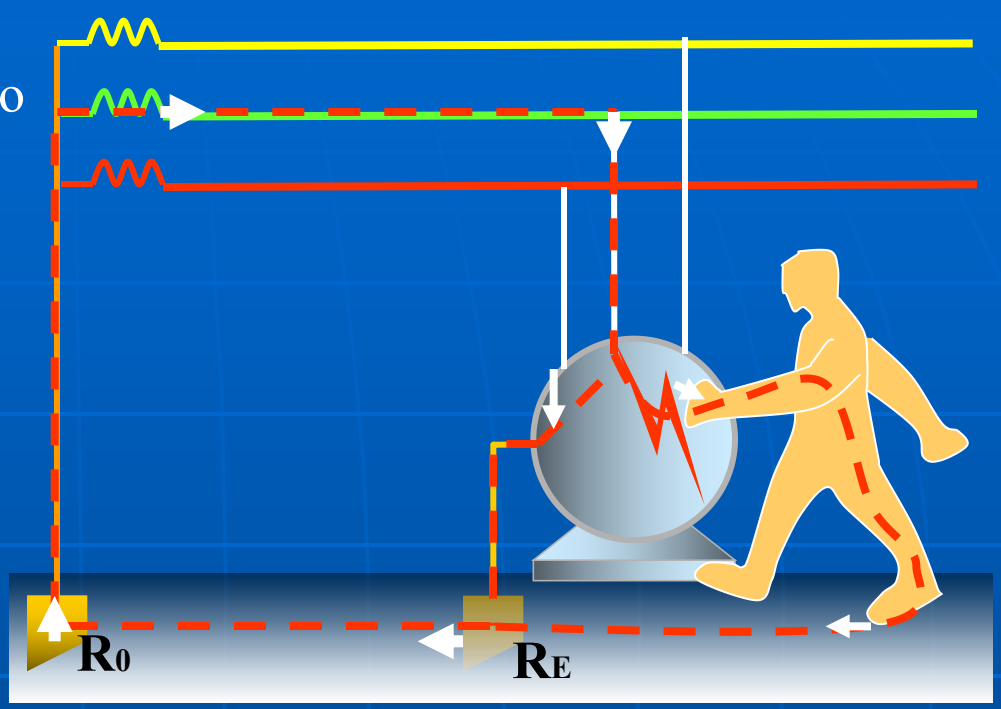
由于人体的电阻要比接地电阻R_E大数百倍，流经人体的电流也比流过接地体的电流小数百倍。当接地电阻极小时，流过人体的电流几乎等于零。

设另外，由于接地电阻很小，接地短路电流流过时，所产生的压降也很小，故外壳对大地的电压也很低，人站在大地上去碰触外壳时，人体所承受的电压很低，不会有危险。

4. 保护接地在TT系统中的作用

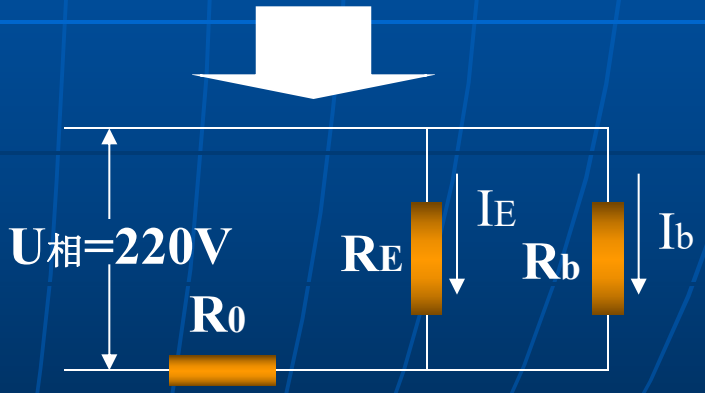
右图所示为TT系统采用保护接地极其等效电路。

通过等效电路图我们可以看出人体电阻和保护接地电阻的关系为并联，然后与中性点接地电阻串联，一般情况下设$R_E=R_0=4\Omega$，$R_b=1700\Omega$，在380/220V电网中，利用欧姆定律可以求出，接地故障电流$I_E=27.5A$，人体承受的电压$U_E=U_b=110V$。流过人体的电流$I_b=65mA>30mA$。



中性点直接接地系统采用保护接地的危险

注意，在大多数情况下，27.5A的故障电流不足以使电路的过流保护装置动作，这将使用电设备外壳长期存在110V的对地电压，这对人体是很不安全的。



等效电路

结论：

保护接地主要应用于中性点不接地或不直接接地的电网中（IT系统）。它的工作原理就是并联电路中的小电阻（保护接地电阻）对大电阻（人体电阻）的强分流作用。因此，接地电阻的数值对于保护的效果是最至关重要的！

二、保护接地电阻的确定

1. 中性点不接地的380/220V系统，要求$R_E \leq 4\Omega$；当变压器容量在100KVA以下时，可放宽到$R_E \leq 10\Omega$。

2. 中性点不接地或经消弧线圈接地的高压系统$R_E \leq 10\Omega$。

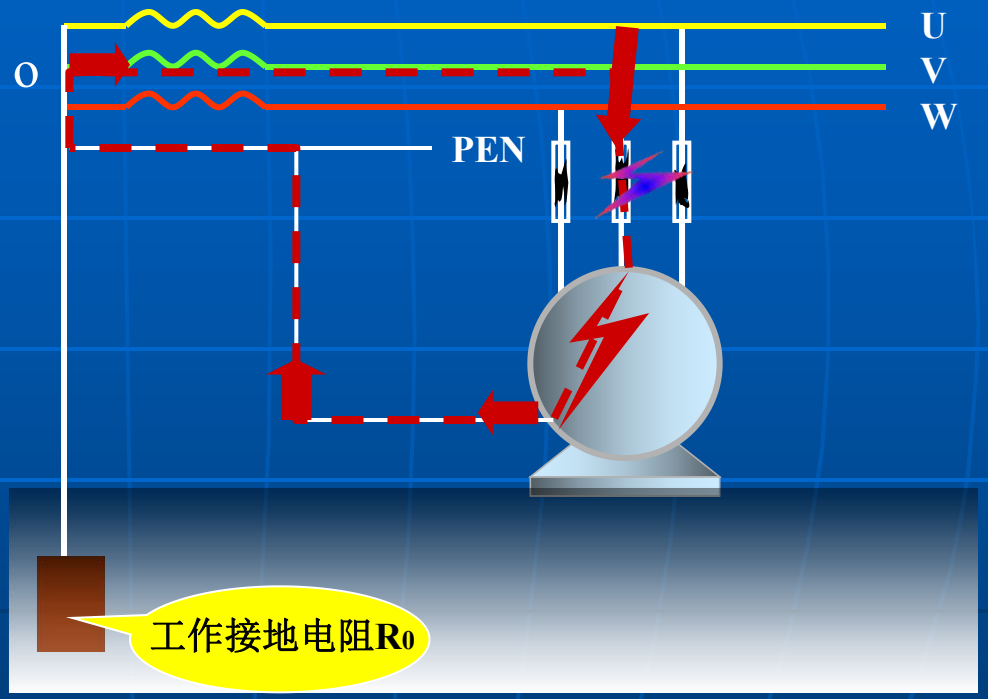
3. 中性点直接接地的高压系统（额定电压在100KV及以上），设备外壳接地并要求接地电阻不大于0.5Ω。

第三节　保护接零

一、保护接零原理

电气设备正常工作时，零线不带电，由于外壳与电源零线连接，人体触摸设备外壳并没有危险。

当电动机等设备发生“碰壳”故障时（见右图），金属外壳将相线与零线直接接通，单相接地故障变成单相短路。



中性点直接接地系统采用的保护接零

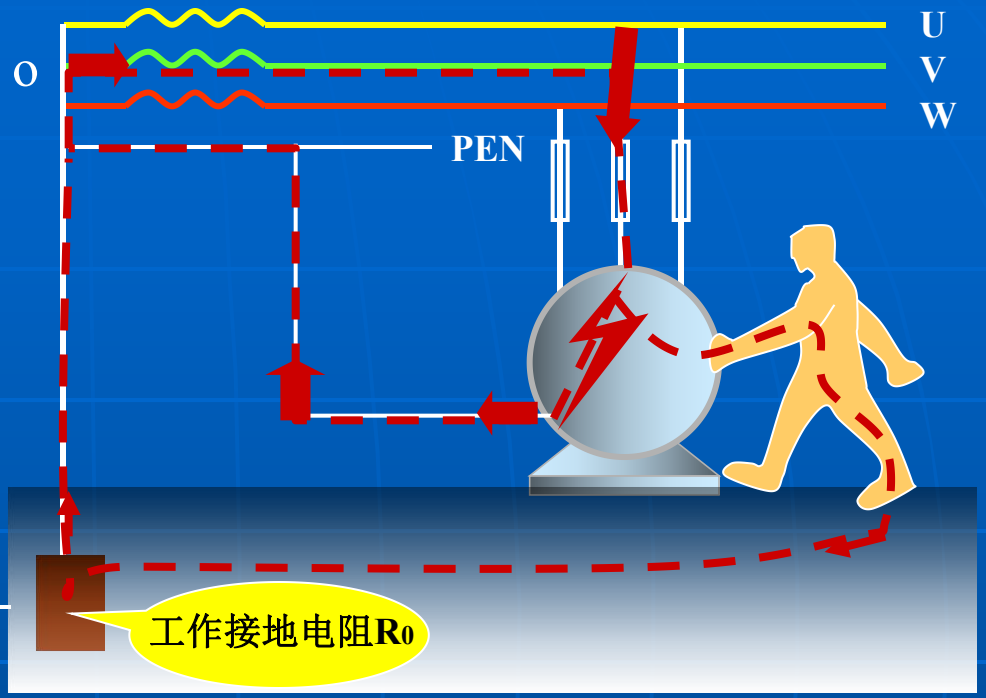
短路电流的数值足以使安装在线路上的熔断器或其他过流保护装置动作，从而切断电源。

注意：当设备发生碰壳短路到过电流保护装置动作切断电源的时间间隔内，触及设备外壳的人体也会承受一定电压，因此有一定的危险性。

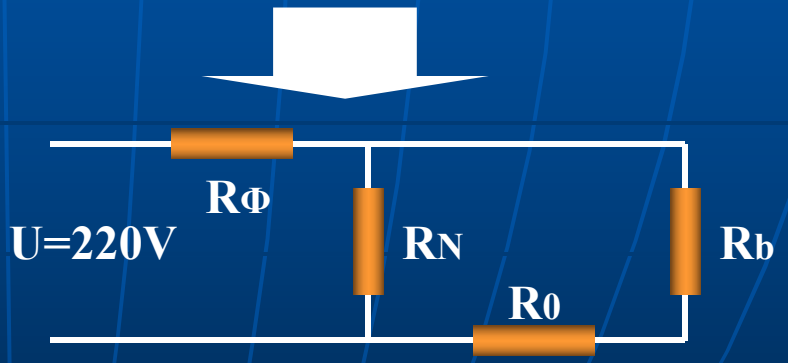
当设备外壳发生碰壳故障时，在保护装置还没有断电的过程中，如果有人接触电气设备的外壳，流过人体的电流及加在人体的电压可以通过右图的等效电路图求出

设人体电阻R_N＞＞R_0(接地电阻)，R_b＞＞R_N（零线电阻）时，R_Φ—相线电阻，R_N—零线电阻，若相线截面为零线的2倍，则$R_N=2R_\Phi$，利用欧姆定律可以求出此时人体承受的电压$U_b=147V$。

通过上述分析，我们可以知道，保护接零的有效性在于线路的短路保护装置能否在碰壳短路故障发生后灵敏的动作迅速切断电源。



中性点直接接地系统采用的保护接零



保护接零电路的等效电路

二、接零保护的三种形式

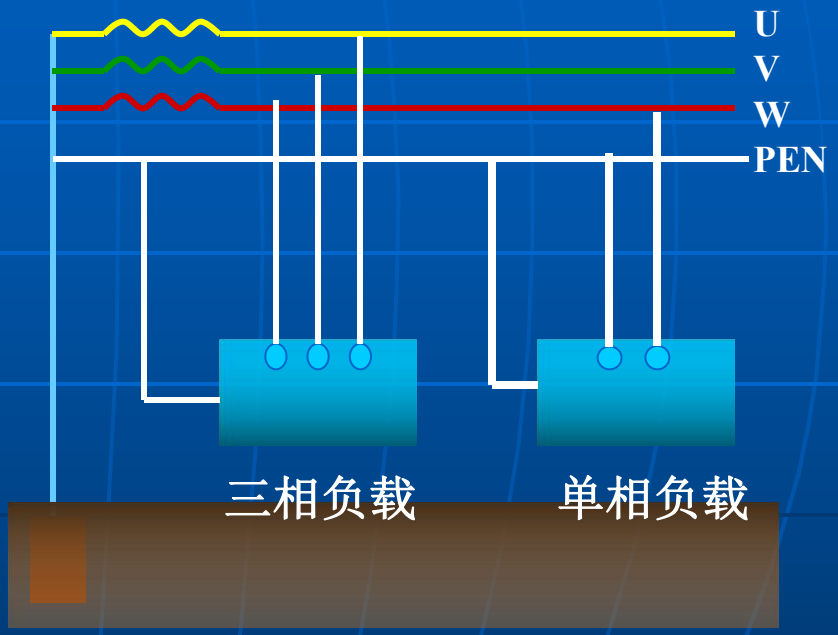
什么是TN系统？

是指电源的中性点接地，负载设备的外露可导电部分通过保护线连接到此接地点的低压配电系统。“T”表示电源中性点直接接地，“N”表示电气设备金属外壳接零。根据零线N和保护线PE不同的安排方式，TN系统可分为三种形式。

1. TN—C系统

这种系统的零线N和保护线 PE 合为一根保护零线PEN。所有设备的外露可导电部分均与PEN连接，如右图所示。

优点：投资较省，节约导线。

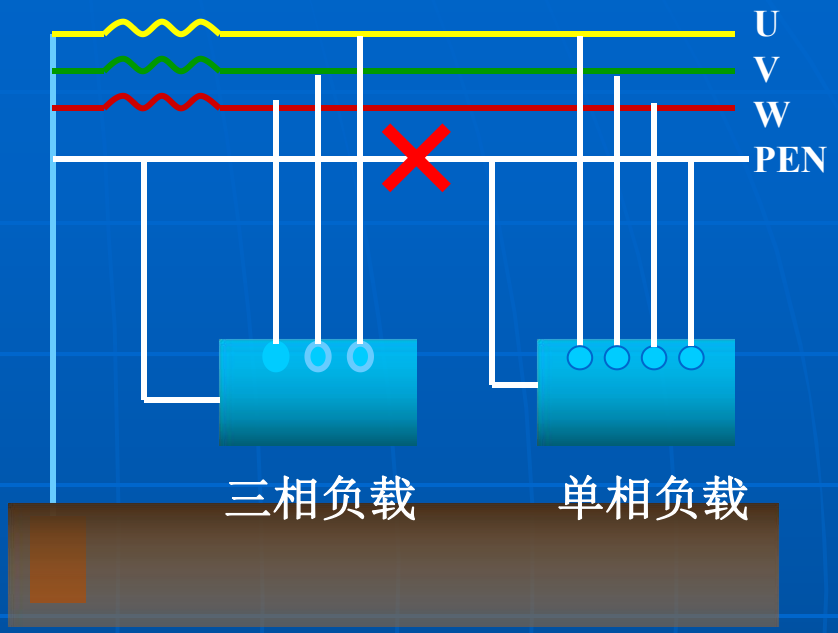


TN—C 低压配电系统

缺点：

当PEN线断线时，在断线点P以后的设备外壳上，由于负载中性点偏移，可能出现危险电压。

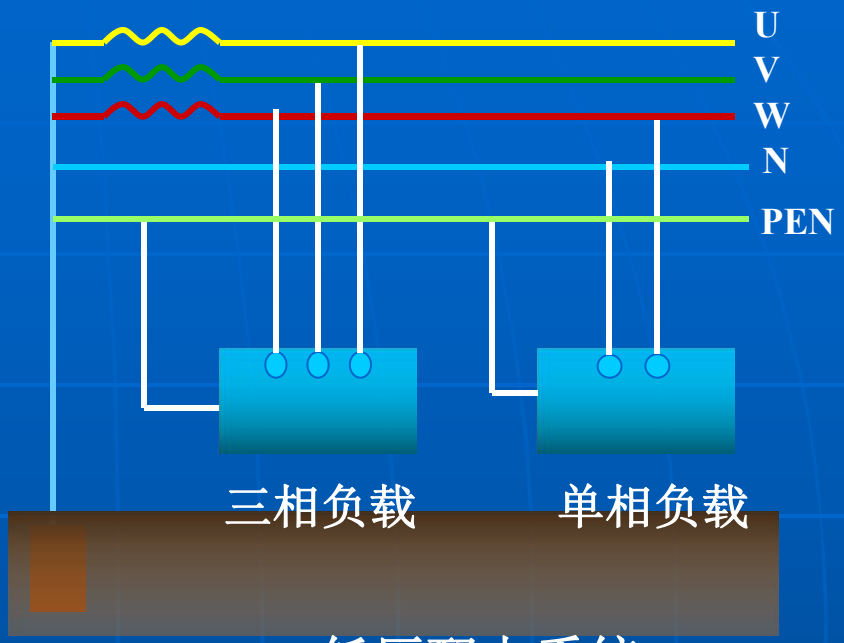
更为严重的是，若断线点后某一设备发生碰壳故障，开关保护装置不会动作，致使断线点后所有采用保护接零的设备外壳上都将长时间带有相电压。（如右图）



断线点后面所有接零设备外壳上将出现危险电压

2. TN—S系统

TN—S系统的零线N和保护线 PE 是分开设置的，所有设备的外壳只与公共的PE线相连，如右图所示。



TN—S 低压配电系统

在TN—S系统中，零线N的作用仅仅是用来通过单相负载的电流和三相不平衡电流，所以称作工作零线，对人体触电起保护作用的是PE线，所以称为保护零线。

由于N线和PE线作用不同，功能各异，所以自电源中性点之后，N线和PE线之间以及对地之间均需加以绝缘。

TN—S系统的优点：

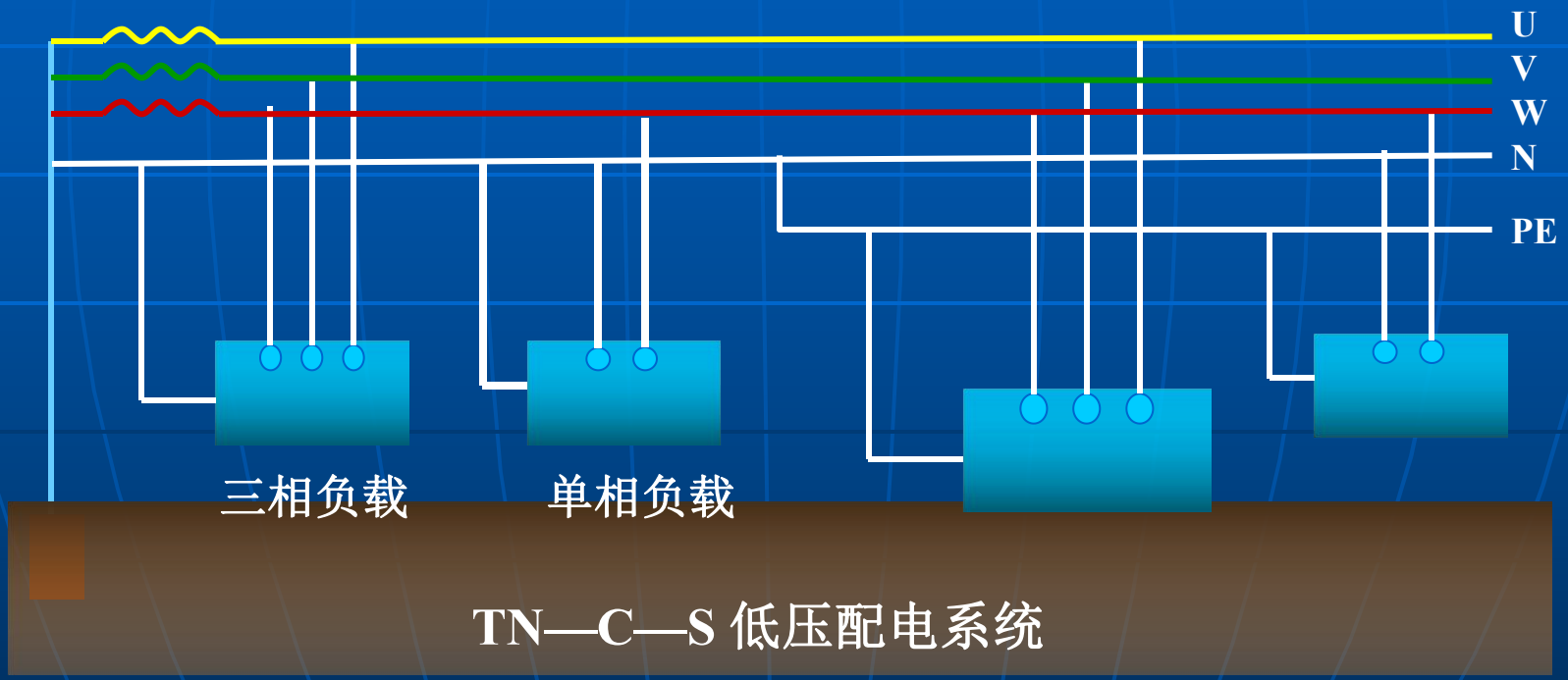
（1）一旦N线断开，只影响用电设备的正常工作，不会导致在断线点后的设备外壳上出现危险电压；（2）即使负载电流在零线上产生较大的电位差，与PE线相连设备外壳上仍能保持零电位，不会出现危险电压；（3）由于PE线在正常情况下没有电流通过，因此在用电设备之间不会产生电磁干扰。

TN—S系统的优点：

消耗导电材料多，投资大，适于环境较差，对安全可靠性要求较高以及设备对电磁干扰要求较严。

3. TN—C—S系统

TN—C—S系统是指配电系统的 前面是TN—C系统，后面是TN—S系统，兼有两者的优点，保护性能介于两者之间。常用于配电系统末端环境条件较差或有数据处理设备的场所。如下图所示。



TN—C—S 低压配电系统

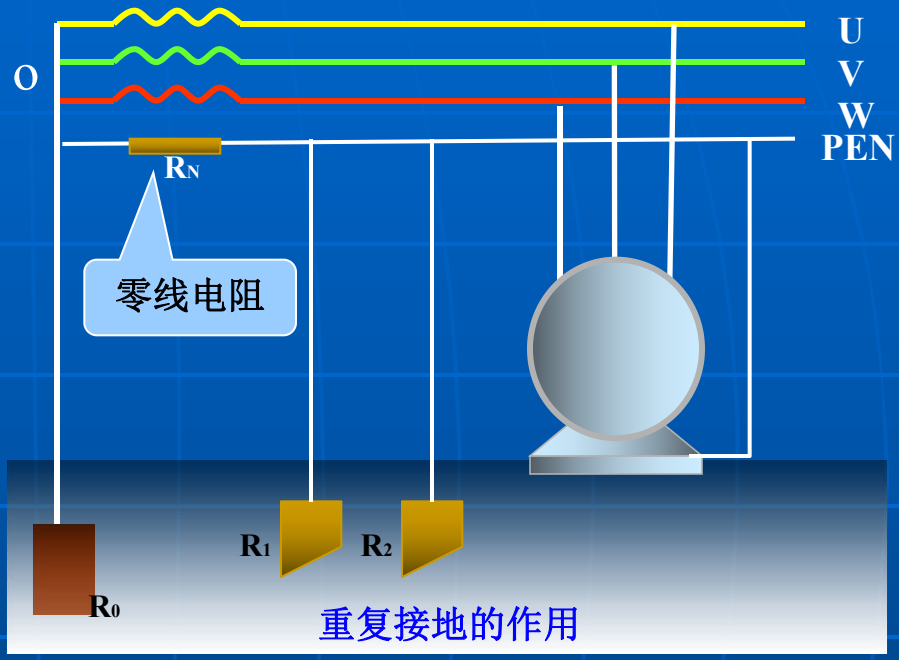
三、重复接地

重复接地是指在TN系统中，除了对电源的中性点工作接地外，还在一定得处所把PE线或PEN线再进行接地。如下图所示。

1. 重复接地的作用

（1）TN线路完整时，重复接地可以降低碰壳故障时所有被保护设备金属外壳的对地电压，减轻开关保护装置动作之前触电的危险性。

（2）在PEN线断线的情况下，重复接地可以降低断线点后面碰壳故障时PE线的对地电压，减轻触电事故的严重程度。



（3）缩短了漏电故障的持续时间。

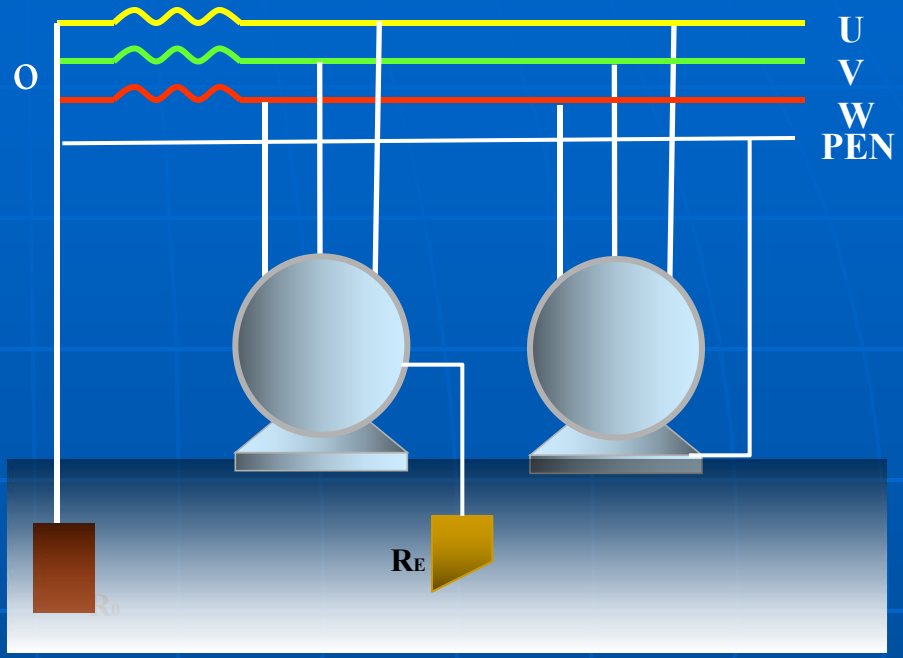
（4）改善架空线路的防雷性能。

（5）等效降低了工作接地电阻，降低了三相负载不平衡时零线的对地电压。

（6）在零线断线时起一定的平衡各相电压的作用；降低高压窜入低压电网的对地电压。

四、采用保护接零的注意事项

（1）在由同一台变压器供电的系统中，不宜将一部分设备保护接地而另一部分设备保护接零。即在同一系统中不宜保护接地和保护接零混用。 如右图所示



保护接地与保护接零混用的危险

（2）接零保护的系统，其工作接地装置必须可靠，接地电阻值必须符合要求。

（3）接零保护必须有灵敏可靠的保护装置配合。

五、重复接地的要求

按照有关技术文件规定，TN系统的保护线或保护零线必须在以下处所装设重复接地。

（1）架空线路干线和长度超过200m的分支线终端及沿线路每100m处；

（2）线路引入车间及大型建筑物的第一面配电装置处；

（3）采用金属管配线时，金属管与保护零线连接后作重复接地；

（4）同杆架设的高低压架空线路的共同敷设段的两端。

对重复接地电阻的要求：

（1）当工作接地电阻不超过4Ω时，每处重复接地电阻不得超过10Ω；

（2）当允许工作接地电阻不超过10Ω时，允许重复接地电阻不超过30Ω，但重复接地点不得少于3处。

第四节　接地装置

接地装置由接地体和接地线组成。接地体是埋入地中并直接与大地土壤接触的金属导体；接地线是指将电气设备需要接地的部分与接地体连接起来的金属导线。

一、接地体

接地体分为自然接地体和人工接地体两种。

1. 自然接地体

接地体是兼做接地体而埋入地下的金属管道、金属结构、钢筋混凝土地基等物体。

利用自然接地体时应注意的问题：

（1）自然接地体至少应有两根引出线与接地干线相连。
（2）不得在地下利用裸铝导体作为接地体。
（3）利用管道或配管作接地体时，应在管接头处采用跨接线焊接。
（4）直流电力网的接地装置不得利用自然接地体。

2. 人工接地体

人工接地体是采用钢管、角钢、扁钢、圆钢等钢材特意制作而埋入地中的导体。按照机械强度的要求，钢质接地体和接地线的最小尺寸应满足表1；铜、铝接地线只能用于地面以上，其最小尺寸见表2。

表 1　钢质接地体和接地线的最小尺寸

材料种类		地上		地下	
		室内	室外	交流	直流
圆钢直径 / mm		6	8	10	12
扁钢	截面 / mm^2	60	100	100	100
	厚度mm	3	4	4	6
角钢厚度 / mm		2	2．5	4	6
钢管壁厚 / mm		2．5	2．5	3．5	4．5

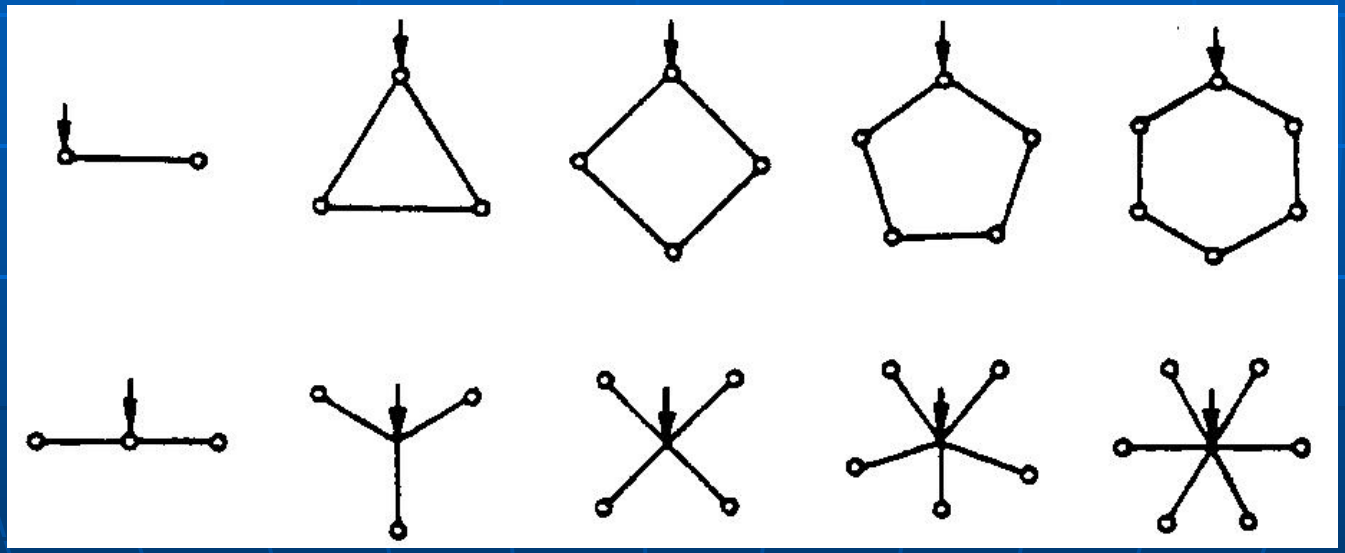
表 2铜、铝接地线的最小尺寸 / mm^2

材料种类	铜	铝
明设的裸导线	4	6
绝缘导线	1.5	2.5
电缆接地芯或与相线包在同一保护套内的多芯导线的接地芯	1	1.5

人工接地体按其埋设方式不同，分为垂直接地体和水平接地体两种。

（1）垂直接地体

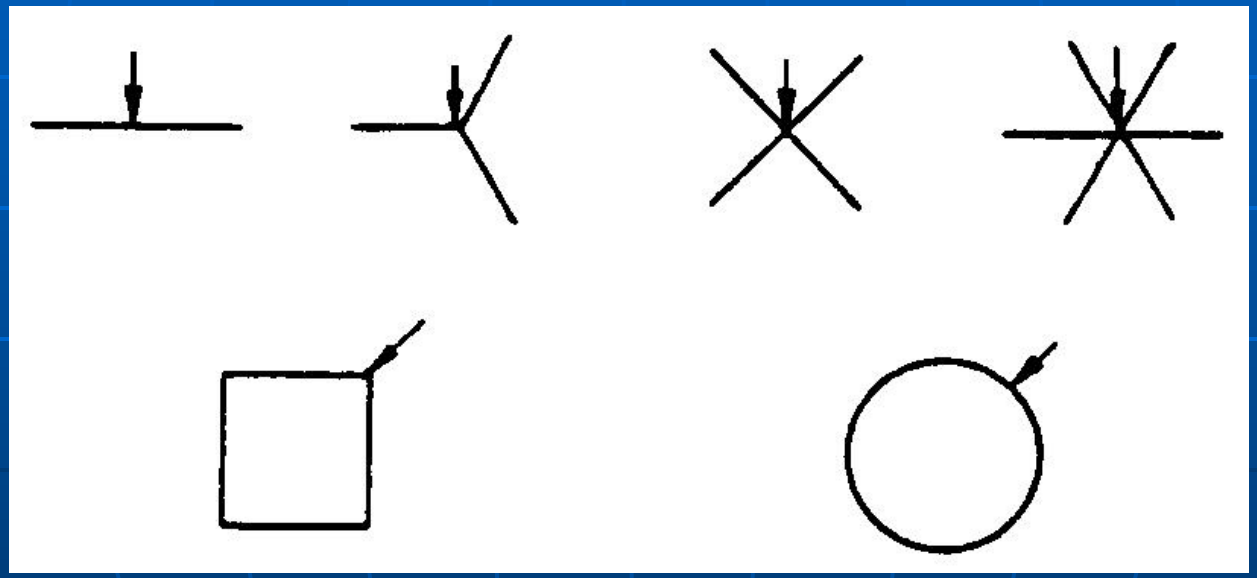
一般情况下宜用垂直接地体。垂直接地体可采用直径40～50mm的钢管，或用一定规格的角钢制作，下端加工成尖状以利器砸入地下。相邻钢管或角钢之间的距离以不超过3～5m为宜。垂直接地极可以布置成如下图形式。



垂直接地体的布置

（2）水平接地体

多岩石地区经常采用水平接地体。水平接地体可采用直径40mm×4mm的扁钢或直径16mm的圆钢制作，多采用放射形布置，也可以成排布置成带形或环形。其几种典型的布置方式如下图所示。



水平接地体的布置

二、接地线

接地线包括接地干线和接地支线两部分接地线应尽量利用金属构件的自然导体，用作自然接地线的有生产用金属结构、配线的钢管、建筑物的金属结构及不会引起燃烧和爆炸的金属管道等。

若无可利用的自然接地体或虽有可能利用的、但不能满足运行中电气连接可靠的要求，以及接地电阻不符合要求时，则应另设人工接地线。人工接地线一般应采用钢质接地线。

三、接地装置的连接

接地装置地上部分可采用螺纹连接。螺纹连接应采取防松、防锈措施。接地装置地下部分必须焊接（熔焊）。焊接不得有虚焊。利用建筑物的钢结构、起重机轨道、工业管道等作自然接地线时，其伸缩缝或接头处应予跨接 。

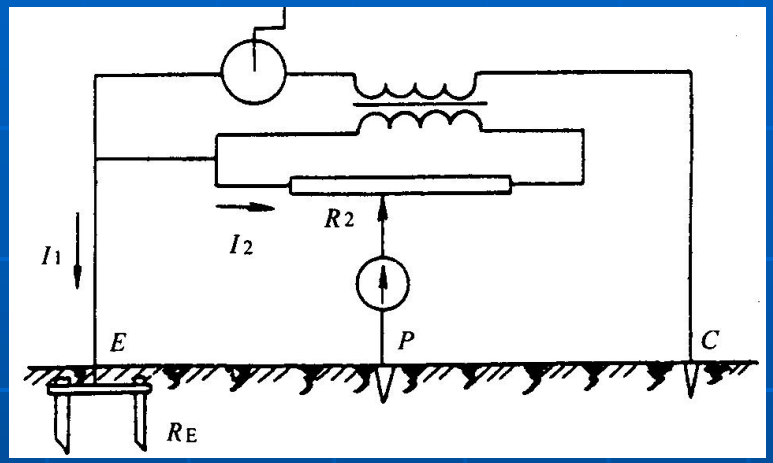
四、接地装置的保护

为防止腐蚀，接地体最好采用镀锌元件；焊接处涂沥青油防腐；明设的接地线应涂漆防腐。接地体安装位置应避开有腐蚀性杂质的土壤。接地线应尽量安装在不易受到机械损伤的地方，并应在便于检查的明显处。

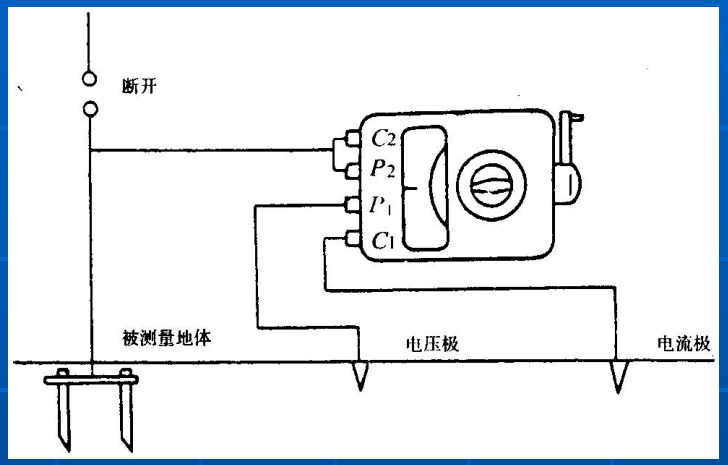
五、接地电阻的测量

1. 测量原理

接地电阻一般用接地电阻测量仪测定。接地电阻测量仪是测量接地电阻的专用仪表。其测量原理电路和实际接线图如下图所示。



接地电阻测量仪原理电路



接地电阻测量接线图

2. 接地电阻测量仪的使用

（1）使用前先将仪表放平，然后调零；（2）正确接线；（3）将倍率开关置于最大倍数上，缓慢摇动手摇发电机手柄，同时 转动“测量表度盘”，使检流计指针处于中心红线位置上，读取数值；（4）如果测量标度盘的读数小于1欧，应将倍率开关置于较小的一档，再重新进行测量。

六、接地装置检查和维护

1.接地装置检查周期

（1）变、配电站接地装置每年检查一次，并于干燥季节每年测量一次接地电阻；

（2）车间电气设备的接地装置每两年检查一次，并于干燥季节每年测量一次接地电阻；

（3）防雷接地装置每年雨季前检查一次，避雷针的接地装置每5年测量一次接地电阻；

（4）手持电动工具的接零线或接地线每次使用前进行检查；

（5）有腐蚀性的土壤内的接地装置每五年局部挖开检查一次。

2.接地装置定期检查的内容

（1）检查各部连接是否牢固、有无松动、有无脱焊、有无严重锈蚀；

（2）检查接零线、接地线有无机械损伤或化学腐蚀、涂漆有无脱落；

（3）检查人工接地体周围有无堆放强烈腐蚀性物质；

（4）检查地面以下50cm以内接地线的腐蚀和锈蚀情况；

（5）测量接地电阻是否合格。