

[接地系统]

电力系统与电气装置接地

文/内蒙古北控京泰能源发展有限公司 陈雁宇

提高对电力系统及电气装置接地的重视，对接地及接地系统进行系统的分析，强调接地重要性。电力系统及电气装置良好接地是对电力系统及电气装置以及人身安全的有力保障。

良好的电气接地是保证电气设备安全稳定运行、保证人身及设备安全运行的先决条件，接地指电力系统和电气装置的中性点、电气设备的外露导电部分和装置外导电部分经由导体与大地相连。可以分为工作接地、防雷接地和保护接地。

电力系统接地

电力系统接地方式有两种：一种是有效接地，一种是非有效接地。有效接地就是中性点直接与大地做有效连接。6~35 kV系统为低电阻接地系统，非有效接地即小电流接地系统。分为中性点谐振接地（经消弧线圈）、中性点经高低电阻接地、中性点不接地。中性点直接与大地连接称为有效接地（0.4 kV、110 kV以上系统）。低压电力系统有TN、TT和IT之分。当电力系统单相接地时，会有很大的电流通过中性点形成回路，这时继电保护装置就会动作，把故障点从系统切开会，保证整个电力系统安全运行，避免扩大故障造成系统瘫痪。缩小故障范围，提高整个电力系统的供电可靠性。

中性点通过消弧线圈（10 kV供电系统接地容性电流超过10 A，35~66 kV及以下电力系统接地容性电流超过30 A）、高低电阻（高阻用于200 MW以上发电系统）与大地连接的称为非有效接地。如66 kV以下供电系统，当系统出现单相接地时，理论上消弧线圈会将故障点电容电流降低至安全值以下，但无法从根本上消除故障点电压，根据ATP-EMTP

电磁暂态程序的仿真结果，补偿后的中性点位移电压幅值仍然较高，但系统能在新的平衡下稳定运行，为查找故障点争取了时间。相对电阻接地系统供电可靠性高些，但就目前来讲，经过消弧线圈补偿的电力系统接地选线准确率无法达到100%。而经电阻接地的电力系统，当系统出现单相接地时，故障回路跳开，避免扩大事故。而且有利于系统增扩，节约成本。试验表明，电缆供电系统中发生单相接地时，经消弧接地系统接地点所产生的过电压幅值（3.2 pu）大于经小电阻接地系统接地点所产生的过电压幅值（2.5 pu）。因此，在中性点接地系统选用时，后者优于前者。

经消弧线圈接地的电力系统如图1所示。出现接地后，消弧线圈对工频电容电流进行补偿，使接地点电容电流小于燃弧值，理论上弧光熄灭，但近年来很多研究者进行了大量试验，试验表明接地点电压降至4 V时，弧光仍然无法熄灭，要使电弧熄灭，仅降低电流是完全不够的。

目前由于自动化水平的逐步提高，变流及变频设备大量使用，使供电系统内谐波大量增加，消弧线圈只对故障点工频电流进行补偿，对谐波电流不起作用，致使电弧无法熄灭而扩大事故。经消弧线圈补偿的电力系统出现接地后运行1~2 h的接地系统仅完全适用于系统电容电流较小（对于6~10 kV系统不大于10 A）、电动机和电缆数量较少的电网。因此，经消弧线圈接地的供电系统必须对系统

谐波（如超标）进行治理。

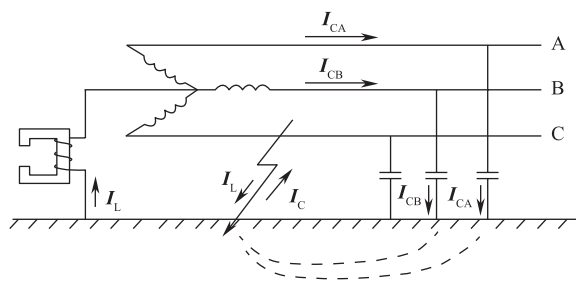


图1 经消弧线圈接地的电力系统

防雷接地

防雷接地也是保护接地的一种，在防雷系统里，接地是最关键部分，只有接地电阻足够小，才能使雷电流快速泄入大地，使被保护设备耐受过电压时间缩短，并能起到保护作用。一些设计单位为了节省投资，借用金属屋顶做接闪器，金属屋面之间要做好电气连接（见图2）。防雷接地系统接地电阻要满足如下要求：金属板下面无易燃物品时，铅板的厚度不应小于2 mm，不锈钢、热镀锌钢、钛和铜板的厚度不应小于0.5 mm，铝板的厚度不应小于0.65 mm，锌板的厚度不应小于0.7 mm；金属板下面有易燃物品时，不锈钢、热镀锌钢和钛板的厚度不应小于4 mm，铜板的厚度不应小于5 mm，铝板的厚度不应小于7 mm。

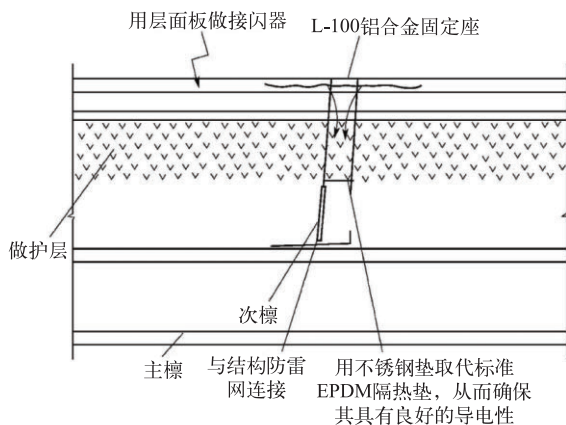


图2 用屋面面板做接闪器节点图

防雷接地设计中，利用与地有可靠连接的各种金属结构、管道和设备作为接地体，称为自然接地体。如果自然接地体的电阻能满足要求并不对自然接地体产生安全隐患，在没有强规时就可以用来做

接地体。

浪涌保护器（SPD）适用于220 V及380 V低压供电系统及电子设备类的防雷击过电压保护。其接地端在TN-C系统中与PEN线做可靠连接；在TN-S系统中与PE线做可靠连接。将设备外露导电部分与接地体连接到一起的保护接地是为了保证人身及设备安全运行而设的接地。低压系统中设备外壳与PE线连接就属于保护接地，但在同一TN-S系统中，保护接地与保护接零不能同时共用，以防触电危及人身安全。

电缆铠层接地

电缆钢铠必须保证有一点接地，否则，铠装层会积聚大量的电荷。如果传输的是信号，将使传输信号失真；如果传输的是高压电力，铠装积聚的电荷会危及人身安全。电缆穿过电流互感器时，如果钢铠与接地铜辫连接点在电流互感器上侧，则铜辫穿过电流互感器后接地；如果钢铠与接地铜辫连接点在电流互感器下侧，则铜辫需穿进电流互感器再回穿出电流互感器后接地。一根通信电缆屏蔽层只需一端单点接地，如果两端两点接地会产生环流。但也有特例：如变频器对光电编码器产生的干扰；有时一端接地也会产生干扰，两端接地时则干扰消除。

变频器接地

变频器与电动机不能共接地线接到PE上，而是严格分开，可分接地线接到同一接地极上。变频器正确接地能有效抑制干扰，保证人身安全，接地线长度尽量缩短，为保证接地电阻足够小，一般接地线径大于2.5 mm²，长度小于20 m为宜，外壳可接到专用接地端子上后接地，与防雷接地装置至少5 m以上的距离，变频器信号输入线屏蔽层应独立接到PE上，接地必须牢固。在不出现干扰的情况下，一般用户不太注意接地与否。

桥架接地

梯架、槽盒和托盘全长不大于30 m时，不应少于两处与保护导体连接；全长大于30 m时，每隔20~30 m应增加一个连接点，起始端与终端端均应可靠接地。

消除静电接地

静电接地是防止静电对人身及设备造成的危害而设的接地。静电接地系统接地电阻值要求不大于 $10^6 \Omega$ 。专设的静电接地体电阻不大于 100Ω ，在土壤电阻率较高地区，其对地电阻值不大于 $1\,000 \Omega$ 。因此电力系统以及防雷接地的接地电阻都满足该要求。但以下接地干线或线路不得用于静电接地：TN-C系统的中性线；整流所各级电压的交直流保护接地系统；直流回路专用接地干线。

高寒地区接地系统

高寒地区（冻土层大于 800 mm ）接地系统，规范之规定接地体埋设在冻土层以下，这个规定无非就是要求接地体接地电阻满足保护人身及设备安全的需要，水平接地体埋设深度大于 800 mm ，接地极上端极尾距离地面最短为 800 mm ，但在三北及高原地区，冻土层一般都在 $1\,800\text{ mm}$ 以上，如果水平接地体按 800 mm 深敷设，接地极最多将有 $1\,000\text{ mm}$ 在冻土层内，土结冻时电阻率会直线上升，导致接地电阻值不满足接地要求，又因防雷与接地检测都是在雷雨季节，冬季往往被人们忽略，解决以上问题无非就是解决冻土层电阻率问题、按规范要求深埋或者从接地材料三方面入手。

解决冻土层电阻率问题：首先想到的就是更换接地体周围土壤，改变土壤性质、预热等方法，经过多方调研，以上方法除了增大投资以外，收到的效果不佳。

按规范要求采用深井或深挖的办法，如果工程很小，此办法确实收效很好。如果大的工程，仅接地一项就会增加很多材料及工程量，更不利于后期维护。

接地材料方面，目前市场上在冻土地区使用特殊接地材料，虽然造价高一些，但从技术性能与接地效果方面均能满足接地要求，并因此优越性而备受推崇，有非常规接地模块和离子接地系统，外加特殊无凝结物离子降阻填料等，既能有效改善土壤结构，又能降低接地网电阻季候性变化的幅度。

电压互感器接地

电压互感器接地通常有三种：电压互感器一次中性点接地、二次线圈接地和互感器铁心接地。一

次线圈星形接线时，中性点必须接地，以便电源出现接地时辅助线圈开口角产生零序电压。三相五柱式电压互感器，一次侧中性点必须接地（见图3）。

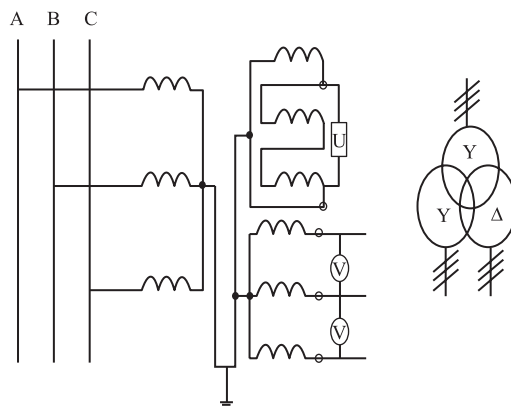


图3 三相五柱式电压互感器一次侧中性点接地Y0/Y0/Δ接地

一次侧V-V接线的电压互感器一次侧无须接地，但二次侧必须接地（见图4）。根据继电保护要求，适当选用二次侧中性点接地或V相接地。但在V相接地时需要通过保护间隙接地，以保护人身安全。二次侧接地点均应设置在主控保护屏内经过端子排接地，而在配电装置内，仅设置试验及检修安全接地点。铁心接地只是起到安全保护作用。

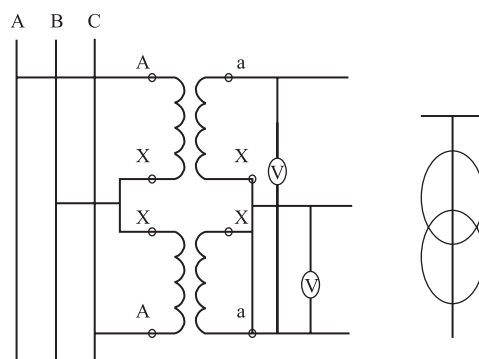


图4 V-V接线的电压互感器二次接地

总结：电力系统及电气装置良好接地，是保证电力系统安全运行、防止人身遭受电击、保证人身安全、防止雷击及消除静电等危害安全的有力保证措施。因此一定要引起广大电力工作者的高度重视。根据不同外界条件，因地制宜，规范接地，有效接地，避免事故，保证电力及人身安全。EA

（收稿日期：2021-07-23）