

曹妃甸首钢 300 吨转炉高压配电站 电气保护与接地

李玉龙

摘要：本文通过对几种供电接地系统的概括介绍，筛选出适合作为首钢 300t 转炉高压配电站的供电接地系统，并对其所应采取的各类接地措施作了较为详尽的说明与分析，对 300t 转炉高压配电站应采取的电气保护与接地方法提出了适当的建议。

摘要：电气保护；高压配电站；接地

中图分类号：U415.1

文献标识码：A

一、概述

在建筑物供配电设计中，接地系统设计占有重要的地位，因为它关系到供电系统的可靠性，安全性。不管哪类建筑物，在供电设计中总包含有接地系统设计。而且，随着建筑物的要求不同，各类设备的功能不同，接地系统也相应不同。尤其现在大量的大型工业建筑的出现对接地系统设计提出了许多新的内容。在常用的几种接地方式中，哪一种能够适合首钢 300t 转炉大型高压配电站呢？我们不妨分析一下以下几种接地系统。

二、常用几种接地方式的分析

1、TN-C 系统

在该系统中：C-表示工作零线与保护零线完全相同；

N-表示用电设备的外壳保护接零

T-设备的中性点工作接地

TN-C 系统是干线部分保护零线与工作零线完全相同。一般用于安全条件较好或无爆炸危险的场所，该系统的示意如图 1 所示。

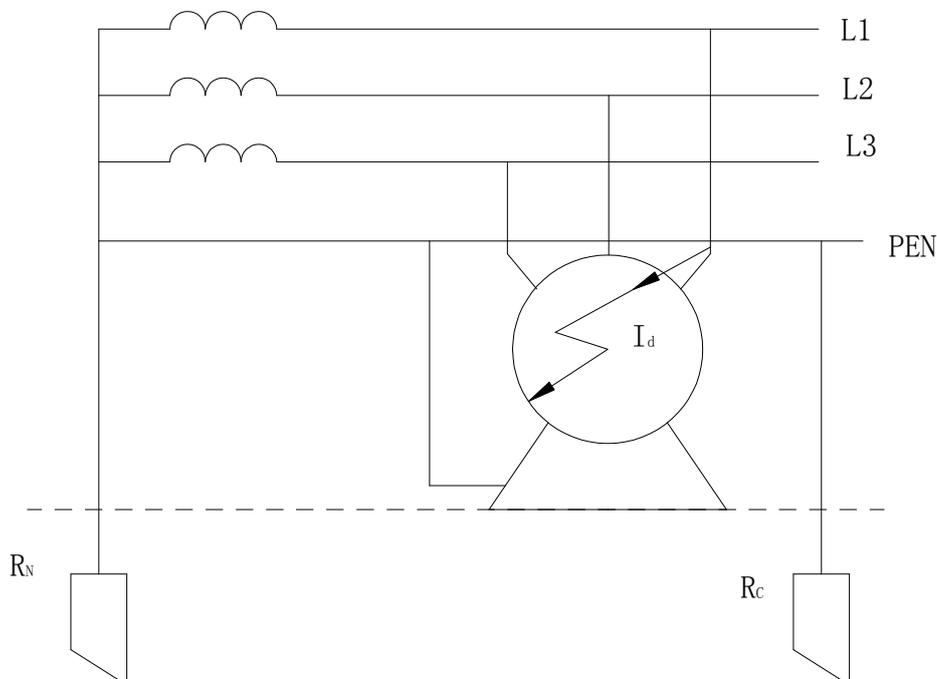


图 1: TN-C 系统示意

TN-C 系统被称之为三相四线系统，该系统中性线 N 与保护接地 PE 合二为一，通称 PEN 线。这种接地系统虽对接地故障灵敏度高，线路经济简单，但它只合适用于三相负荷较平衡的场所。大型工业建筑高压配电站内，单相负荷所占比重较大，难以实现三相负荷较平衡，PEN 线的不平衡电流加上线路中存在着的由于荧光灯、晶闸管（可控硅）等设备引起的高次谐波电流，在非故障情况下，会在中性线 N 上叠加，使中性线 N 电压波动，造成中性点接地电位不稳定漂移。不但会使设备外壳（与 PEN 线连接）带电，对人身造成不安全，而且也无法取到一个合适的电位基准点，精密电子设备无法准确可靠运行。因此 TN-C 接地系统不能作为首钢 300t 转炉大型高压配电站的接地系统。

2、TN-C-S 系统

在该系统中：C-S-表示工作零线与保护零线部分共用；

N-表示用电设备的外壳保护接零

T-设备的中性点工作接地

该系统的示意如图 2 所示。

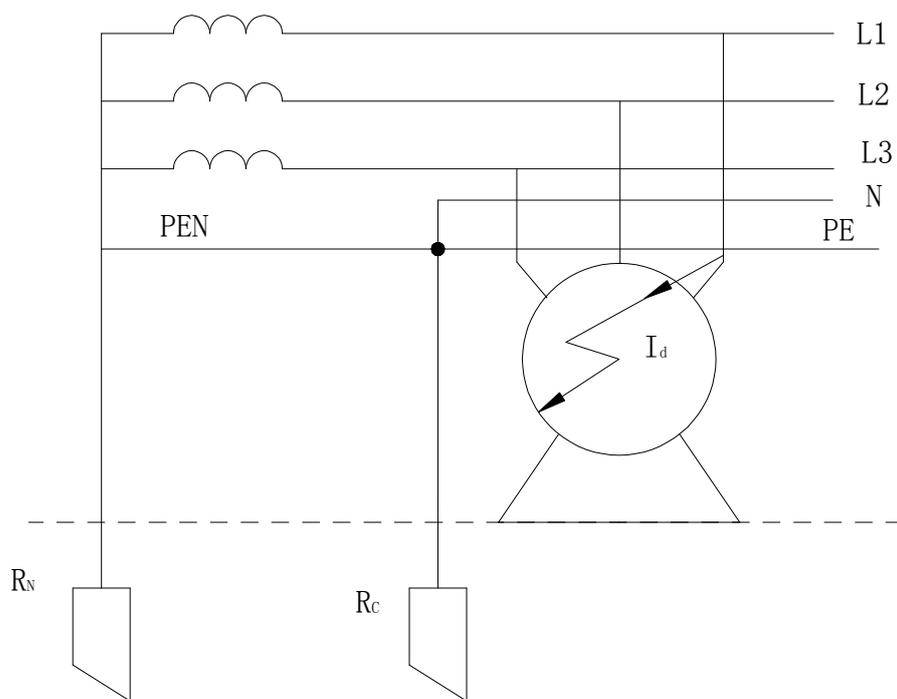


图 2: TN-C-S 系统示意

TN-C-S 系统由两个接地系统组成，第一部分是 TN-C 系统，第二部分是 TN-S 系统，分界面在 N 线与 PE 线的连接点。该系统一般用在建筑物的供电由区域变电所引来的场所，进户之前采用 TN-C 系统，进户处做重复接地，进户后变成 TN-S 系统。TN-C 系统前面已做分析。TN-S 系统的特点是：中性线 N 与保护接地线 PE 在进户时共同接地后，不能再有任何电气连接。该系统中，中性线 N 常会带电，保护接地线 PE 没有电的来源。PE 线连接的设备外壳及金属构件在系统正常运行时，始终不会带电。因此 TN-S 接地系统明显提高了人及物的安全性，同时只要我们采取接地引线，各自都从接地体一点引出，及选择正确的接地电阻值使电子设备共同获得一个等电位基准点等措施，那么 TN-C-S 系统可以作为首钢 300t 转炉大型高压配电站的一种接地系统。

3、TN-S 系统

在该系统中：S-表示系统中有保护专用保护线（PE 线），保护零线与工作零线完全分开

N-表示用电设备的外壳保护接零

T-设备的中性点工作接地

该系统的示意如图 3 所示， R_c 为重复接地电阻， R_n 为工作接地电阻。电气设备的外壳与系统保护（PE）线相连，在爆炸危险性较大或安全要求较高的场所应采用该系统。

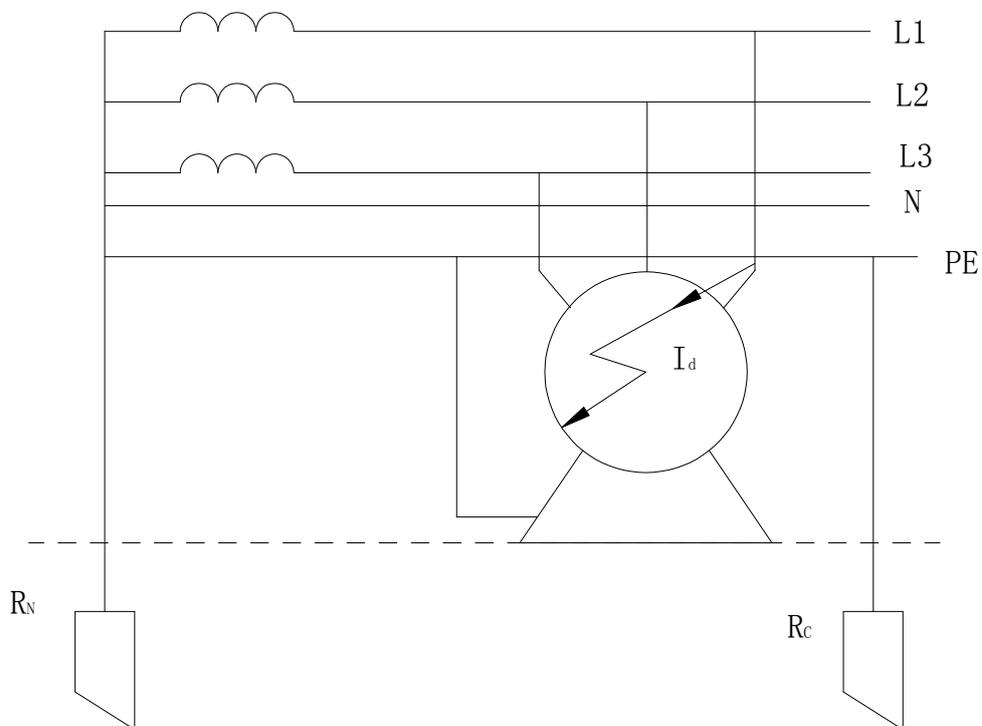


图 3: TN-S 系统示意

保护原理：当设备的绝缘击穿(如 L1 相绝缘击穿)，形成电源的单相短路，其单相短路电流为 I_d

$$I_d = U / (Z_L + Z_{PE} + Z_E + Z_T)$$

式中 U-电源的相电压；

Z_L -相线阻抗；

Z_{PE} -回路中电气元件的阻抗；

Z_T -变压器计算阻抗。

可见由于短路电流较大，系统中的短路保护装置动作切断故障设备电源，将故障设备脱离电源，防止触电事故的发生。TN-S 系统的安全问题的关键是，要与可靠的短路保护装置配合，在设备外壳带电时短路保护装置一定要可靠地动作。这里存在与短路保护的配合问题。

TN-S 是一个三相四线加 PE 线的接地系统。通常建筑物内设有独立变配电所时，进线采用该系统。TN-S 系统的特点是，中性线 N 与保护接地线 PE 除在变压器中性点共同接地外，两线不再有任何的电气连接。中性线 N 是带电的，而 PE 线不带电。该接地系统完全具备安全和可靠的基准点位。只要象 TN-C-S 接地系统，采取同样的技术措施，TN-S 系统可以用作首钢 300t 转炉大型高压配电站的接地系统。如果计算机等电子设备没有特殊的要求时，一般都采用这种接地系统。

4、TT 系统

第一个“T”表示变压器的中性点接地；第二个“T”表示用电设备的外壳接地。该系统的示意如图 4 所示。

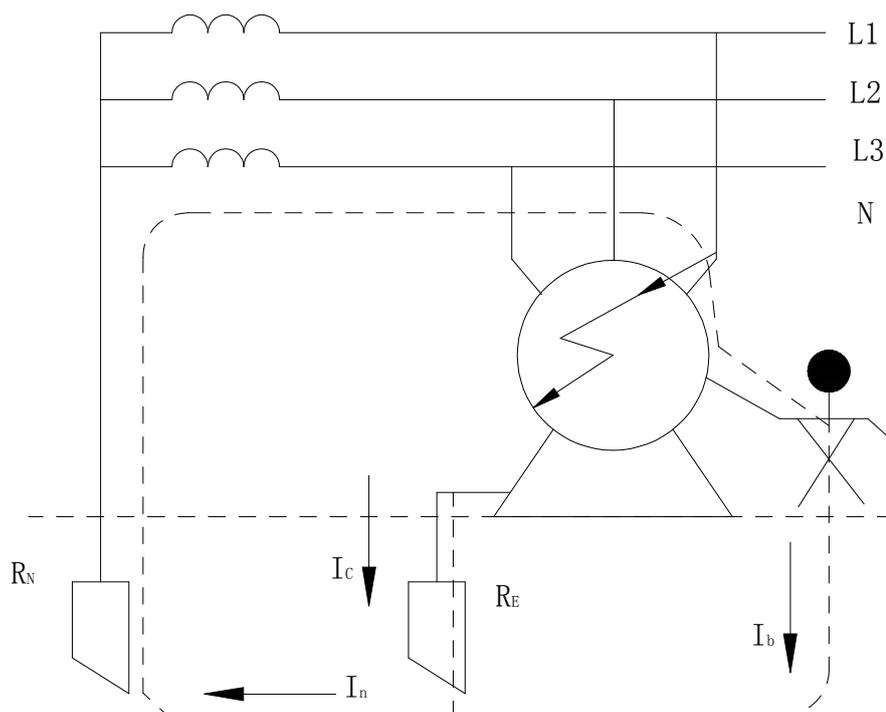


图 4：中性点接地系统的保护接地示意

通常称 TT 系统为三相四线接地系统。该系统常用于建筑物供电来自公共电网的地方。TT 系统的特点是中性线 N 与保护接地线 PE 无一点电气连接，即中性点接地与 PE 线接地是分开的。该系统在正常运行时，不管三相负荷平衡不平衡，在中性线 N 带电情况下，PE 线不会带电。只有单相接地故障时，由于保护接地灵敏度低，故障不能及时切断，设备外壳才可能带电。正常运行时的 TT 系统类似于 TN-S 系统，也能获得人与物的安全性和取得合格的基准接地电位。随着大容量的漏电保护器的出现，该系统也会越来越作为大型工业建筑高压配电站的接地系统。从目前情况来看，由于公共网的电源质量不高，难以满足要求，所以 TT 系统很少被大型工业建筑高压配电站采用。

5、IT 系统

IT 系统在中性点不接地的系统中发生单相接地，接地电流主要是取决于系统的分布电容和对地绝缘电阻。系统覆盖面越广，形成的单相接地电流越大。当设备的外壳接地后，设备的绝缘击穿时其外壳对地电压会大幅度地降低，如图 5 所示。

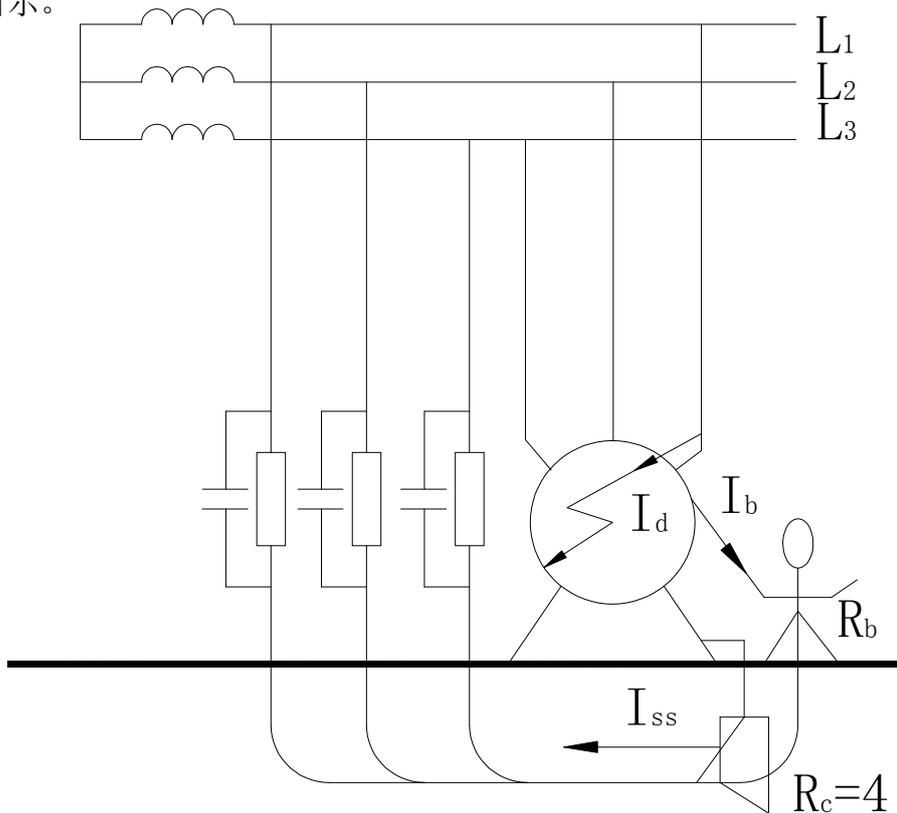


图 5：中性点不接地系统的保护接地示意

IT 系统是三相三线式接地系统，该系统变压器中性点不接地或经阻抗接地，无中性线 N，只有线电压（380V），无相电压（220V），保护接地线 PE 各自独立接地。该系统的优点是当一相接地时，不会使外壳带有较大的故障电流，系统可以照常运行。缺点是不能配出中性线 N。因此它是不适用于大型工业建筑高压配电站的。

在大型工业建筑高压配电站内，要求保护接地的设备非常多，有强电设备，弱电设备，以及一些正常情况下不带电的导电设备与构件，均必须采用有效的保护接地。如果采用 TN-C 系统，将 TN-C 系统中的 N 线同时用做接地线；或者在 TN-S 系统中将 N 线与 PE 线接在一起，再连接到底板上；再或不设置电子设备的直流接地引线，而将直流接地直接接到 PE 线上；有的干脆把 N 线、PE 线、直流接地线混在一起。以上这些做法都是不符合接地要求的，且是错误的。前面已经分析过，在首钢 300t 转炉大型高压配电站内，单相用电设备较多，单相负荷比重较大，三相负荷通常是不平衡的，因此在中性线 N 中带有随机电流。另外，由于大量采用荧光灯照明，其所产生的三次谐波叠加在 N 线上，加大了 N 线上的电流量，如果将 N 线接到设备外壳上，会造成电击或火灾事故；如果在 TN-S 系统中将 N 线与 PE 线连在一起再接到设备外壳上，那么危险更大，凡是接到 PE 线上的设备，外壳均带电；会扩大电击事故的范围；如果将 N 线、PE 线、直流接地线均接在一起除会发生上述的危险外，电子设备将会受到干扰无法工作。因此大型工业建筑高压配电站应设置电子设备的直流接地，交流工作接地，安全保护措施，及普通建筑也应具备的防雷保护接地。

三、分析首钢 300t 转炉高压配电站应采取的各种接地措施

1、 防雷接地：为把雷电流迅速导入大地，以防止雷害为目的的接地叫防雷接地。

首钢 300t 转炉高压配电站内有大量的电子设备与布线系统。如通信自动化系统，火灾报警及消防联动控制系统，办公自动化系统等，以及他们相应的布线系统。从已建成的配电站看，配电站的各层顶板、底板、侧墙、吊顶内几乎被各种布线布满。这些电子设备及布线系统一般均属于耐压等级低，防干扰要求高，最怕受到雷击的部分。不管是直击、串击、反击都会使电子设备受到不同程度的损坏或严重干扰。因此对配电站的防雷地设计必须严密、可靠，配电站的所有功能接地，必须以防雷接地系统为基础，并建立严密完整的防雷结构。

接闪器所用金属材料及尺寸应能满足机械强度和耐腐蚀的要求，还要有足够的热稳定性，能承受雷电流的热破坏作用。

高压配电站接闪器采用针带组合接闪器，避雷带采用 $\Phi 10$ 镀锌圆钢在屋顶组成 $\leq 10 \times 10$ (m) 的网络，该网络与屋顶金属构件作电气连接，与大楼柱头钢筋作电气连接，引下线利用柱头中钢筋、圈梁钢筋、楼层钢筋和防雷系统连接。外墙面所有金属构件也应与防雷系统连接，柱头钢筋与接地体连接，组成具有多层屏蔽的笼形防雷系统，这样不仅可以有效防止雷击损坏楼内设备，而且还能防止外

来的电磁干扰。

2、 交流工作接地:在三相四线制供电系统中变压器低压侧中性点的接地称为工作接地。接地后的中性点称为零点,中性线称为零线。

工作接地主要指的是变压器中性点或中性线(N线)接地,N线必须用铜芯绝缘线,在配电中存在辅助等电位接线端子,等电位接线端子一般均在箱柜内,必须注意,该接线端子不能外漏;不能与其他接地系统,如直流接地、屏蔽接地、防静电接地等混接;也不能与PE线连接。

首钢300t转炉高压系统里,采用中性点接地方式可使接地继电保护准确动作并消除单相电弧接地过电压。中性点接地可以防止零序电压偏移,保持三相电压基本平衡,这对低压系统很有意义,可以方便使用单相电源。

3、 安全保护接地:变压器中性点(或一相)不直接接地的电网内,一切电气设备正常情况下不带电的金属外壳以及它连接的金属部分与大地作可靠电气连接。控制接地保护电阻很小,很容易把漏电设备的对地电压控制在安全范围内,而且接地电流被接地保护电阻分流,流过人体的电流很小,保证操作人员的人身安全。

在工业建筑内,要求安全保护接地的设备非常多,有强电设备、弱点设备,及一些非导电设备与构件,均必须采用安全保护接地措施。当没有做安全保护接地的电气设备的绝缘损坏时,其外壳有可能带电。如果人体触及此电气设备的外壳就可能被电击伤或造成生命危险。在中性点直接接地的电力系统中,接地短路电流经人身、大地流回中性点;在中性点非直接接地的电力系统中,接地电流经人体流入大地,并经线路对地电容构成通路,这两种情况都能构成人身触电。

如果装有接地装置的电气设备的绝缘损坏使外壳带电时,接地短路电流将同时沿着接地体和人体两条通路流过, $I_d = I_d' + I_R$,我们知道:在一个并联电路中,通过每支路的电流值与电阻的大小成反比,即:

式中: I_d -接地回路中的电流总值

I_d' -沿接地体流过的电流

I_R -流经人体的电流

r_R -人体的电阻

r_d -接地装置的接地电阻

由上式可以看出,接地电阻越小,流经人体的电流越小,通常人体电阻要比接地电阻大数百倍,经过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。即 $I_d \approx I_d'$ 。实际上,由于接地电阻很小,接地短路电流流过时所产生的压降很小,所以设备外壳对大地的电压是不高的。人站在大地上去碰触设备的外壳时,人体所承受的电压很低,不会有危险。

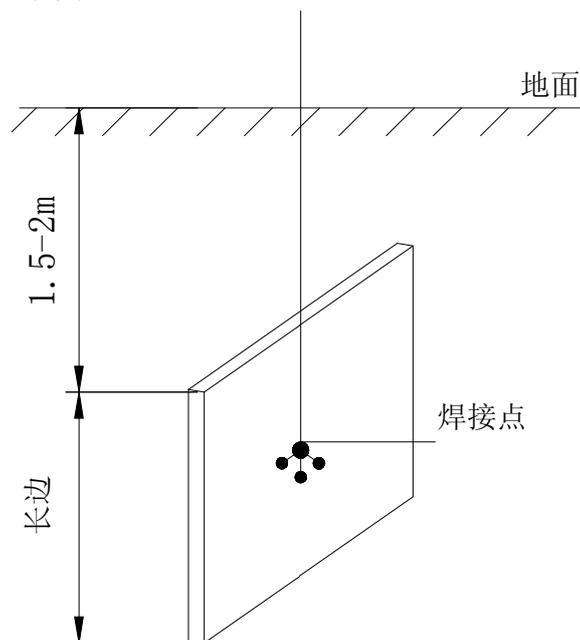
加装保护接地装置并且降低它的接地电阻,不仅是保障配电站内电气系统安全,有效运行的有效措施,也是保障设备及人身安全的必要手段。

4、 直流接地:在首钢300t转炉配电站内,包含有大量的计算机,通讯设备和带有电脑的自动化设备。当在这些电子设备在进行输入信息,传输信息,转换

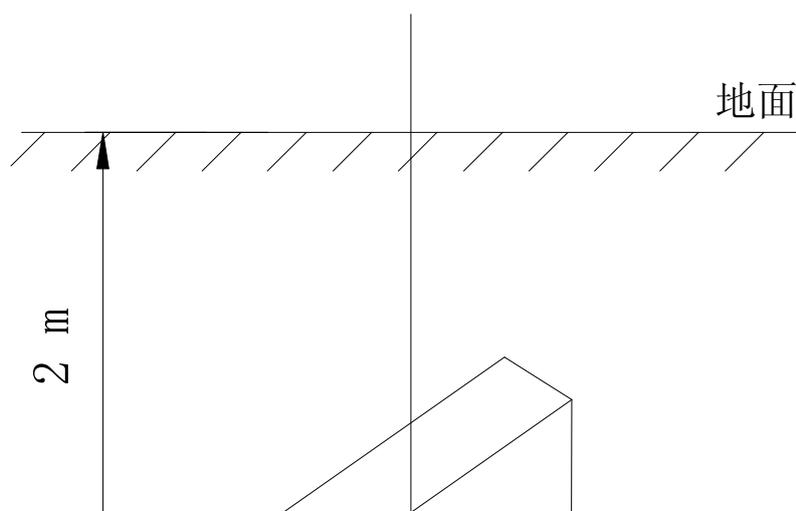
能量，放大信号、逻辑动作、输出信息等一系列过程中都是通过微电位或微电流快速进行，且设备之间常要通过互联网进行工作。因此为了使其准确性高，稳定性好，除了需有一个稳定的供电电源外，还必须具备一个稳定的基准电位。可采用较大截面的绝缘铜芯线作为引线，一端直接与基准电位连接，另一端供电子设备直流接地。该引线不宜与 PE 线连接，严禁 N 线连接。

5、屏蔽接地与防静电接地：首钢 300t 转炉配电站内，电磁兼容设计是非常重要的，为了避免所用设备的机能障碍，避免甚至会出现的设备损坏，构成布线系统的设备应当能够防止内部自身传导和外来干扰。其主要原因是超高电压，大功率辐射电磁场，自然雷击和静电放电。这些现象会对发送或接收很高传输频率的设备产生很大的干扰，因此对这些设备及其布线必须采取保护措施，免受来自各方面干扰。

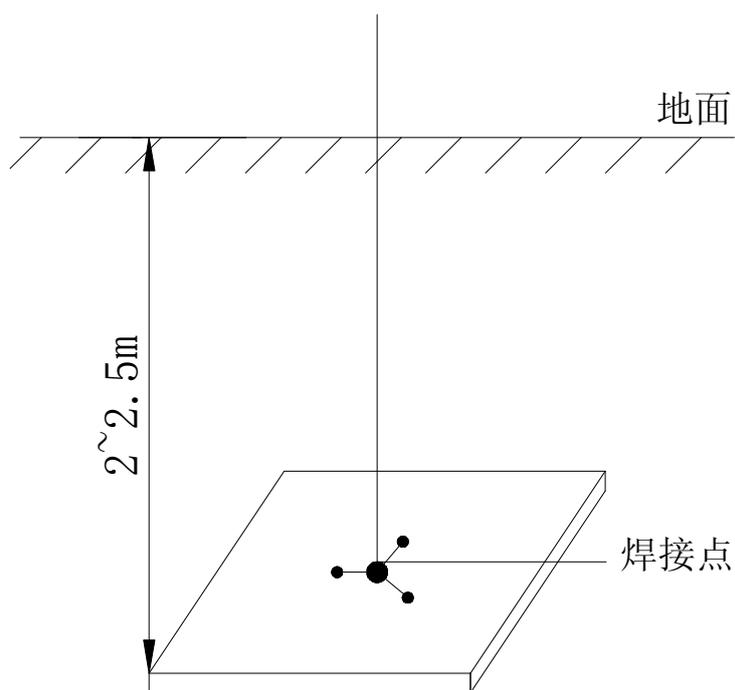
屏蔽及其正确接地是防止电磁干扰的最佳保护方法，这种方法使屏蔽系统与大地之间等电位分布。由于射频电流的集肤效应，要求屏蔽体的接地系统表面积要足够大，为了保证相当低的阻抗，接地线要尽量短，而且其长度应避免 $1/4$ 波长的奇数倍，接地方式有埋铜板，埋接地棒，埋格网等形式，无论采用哪种方法，都要求有足够的厚度，有一定机械强度和耐腐蚀性。接地铜板埋置方式分为立埋，横埋，平埋三种，如下图：



第一种：立埋方案



第二种:横埋方案



第三种:平埋方案

防静电干扰也很重要。在洁净、干燥的房间内，人的走步、移动设备，各自摩擦均会产生大量静电。例如在相对湿度 10-20%的环境中人行走可以积聚 3.5 万伏的静电电压、如果没有良好的接地，不仅仅会产生对电子设备的干扰，甚至会将设备芯片击坏。将带静电物体或者可能产生静电物体通过导体与大地构成电气回路的接地叫防静电接地。防静电接地要求在洁净干燥环境中，所有设备外壳及室内设施必须均与 PE 线多点可靠连接。

工业建筑的接地装置的接地电阻越小越好，独立的防雷保护接地电阻应 $\leq 10 \Omega$ ；独立的安全保护接地电阻应为 $\leq 4 \Omega$ ；独立的交流工作接地电阻应 $\leq 4 \Omega$ ；独立的直流工作接地电阻应 $\leq 4 \Omega$ ；防静电接地电阻一般要求 $\leq 100 \Omega$ 。

首钢 300t 转炉配电站的供电接地系统宜采用 TN-S 系统，按规范宜采用一个总的共同接地装置，即统一接地体。统一接地体为接地电位基准点，由此分别引出各种功能接地引线，利用总等电位和辅助等电位的方式组成一个完整的统一系统。通常情况下，统一接地系统可利用大楼的桩基钢筋，并用 40*4 镀锌扁钢将其连成一体，作为自然接地体。根据规范，该系统与防雷接地系统共用，接地电阻应 $\leq 1 \Omega$ 。若达不到要求，必须增加人工接地体或采用化学降阻法，使接地电阻 $\leq 1 \Omega$ 。在配电站内设置总等电位铜排，该铜排一端通过构造桩与统一接地体连接，另一端通过不同的连接端子分别与交流工作接地系统中的中性线连接，与需要做安全保护接地的各设备连接，与防雷系统连接，与需做直流接地的电子设备的绝缘铜芯接地线连接。

在首钢 300t 转炉配电站中，因为系统采用计算机参与管理或使用计算机作为工作工具，所以其接地系统宜采用单点接地并宜采取等电位措施。单点接地是保护接地、工作接地、直流接地在设备上相互分开，各自成为独立系统。可从机柜引出三个相互绝缘的接地端子，再由引线引到总等电位铜排上共同接地。不允许把三种接地连结在一起，再用引线接到总等电位铜排上，实际上这是混合接地，这种接法既不安全又会产生干扰，现在的规范是不允许的。