

低压电气装置的安全指南

——《低压电气装置的设计安装和检验》读书笔记（二）

关象石

（北京市气象局，北京 100089）

2.1.2.2 连接不良起火：

低压配电线路的导体连接可分为固定连接和活动连接两种形式。“设备端子和线路之间以及线路和线路之间的永久连接为固定连接；开关两触头间和插头、插座间的断续的连接为活动的连接。两者都有可能因连接不良产生高温和电火花而引起火灾。”为减少此类火灾，应提高连接质量，即电气连接的导电良好，接触电阻应尽量的小。常出现的连接不良起火多为：

——铝线连接不良起火：由于铝线表面易在空气中氧化，膜电阻会引起连接处过热，过热又使膜电阻增大，因此会增大接触电阻。同时铝线本身的高膨胀系数会在铝线与铁（或铜）线连接时因热膨胀系数不同而造成间隙，至使导电性能下降及不同金属连接时产生的电池效应使铝线受到腐蚀而增大接触电阻等原因，均会分别或共同作用引起连接不良起火。

——插头、插座连接不良起火：插座作为连接附件，当“墙上安装的固定插座由专业电工施工，这种插座和与用电器具配套的电源线和插头如按产品标准制作，一般都能满足上述低接触电阻的要求，发生电气火灾的几率较小。”但是由于我国标准规定安装的固定插座数量较少，以客厅为例一般仅安装3组（香港执行IEE标准，规定为6~10组），因此住户只好从电料行购一价廉质次的插座板，用一段双芯PVC绝缘线接一双脚插头从墙上固定插座引出接用多个用电器具。这种插座板一是少一根PE线，很易导致人身电击，二是可能存在插头与插座之间的接触面积和压力不足等缺陷，致使接触

电阻过大而导致连接不良起火。

2.1.2.3 电气装置布置安装不当起火：

“1993 年造成重大经济损失的北京隆福大厦火灾就是镇流器半夜烤燃木质商品柜而引起的，”究其原因，一是安装在木质商品柜玻璃罩下的荧光灯镇流器存在质量问题，火灾事故发生后市消防局派人在市场上买了十几个品牌的镇流器，发现无一合格；二是布置安装不当，如果不是安装在饰有易燃天鹅绒的木质商品柜内也就不易发生火灾。同样，在一些宾馆的客房内，为方便客人有的在衣柜内装有照明灯泡，同时在衣柜门上安了连锁开关。笔者发现，有的连锁开关失灵，衣柜门已关上，里面的灯还亮着，这就存在着灯泡烤燃衣物起火的隐患。1994 年克拉玛依大火致使 325 人（多为儿童）死亡的原因就是灯泡烤燃剧场舞台幕布引起的。

在进行防雷工程施工时，要特别注意“有些线路防护电器动作时是要迸发电火花的，例如熔断器和火花间隙型的雷电浪涌防护器。这类防护电器的布置和安装应离可燃物适当距离，其下方也不应放置可燃物，以防坠落的电气火星引燃可燃物。”在爆炸和火灾危险环境使用这些防护电器必须选用密闭防爆型产品。有些电涌保护器虽然属限压型 SPD，主要元件为压敏电阻（MOV），但由于设计不合理，也曾发生过自爆现象（如广西某计算机房选用西南某公司 SPD，夜间自爆将墙面炸出一小坑），这类产品用于爆炸和火灾危险环境是极危险的，在一般环境中使用也要远离可燃物。

2.2 接地

2.2.1 接地的历史

一般认为，接地技术起源于 1754 年富兰克林的避雷针技术。用一根铁棒承接雷电流，并将铁棒下端埋于地中（即接地极），将雷电流泄入大地，从而实现了电气装置（外部防雷装置）与大地之间的电气连接。当然，在我国古代如湖南岳阳的慈氏塔，早在近千年前就使用六条铁链从塔顶铁刹垂至地面，更早地实践和应用了接地技术。

接地技术发展至今，可以归纳为：功能性接地和保护性接地两大类。

——功能性接地：1835 年莫尔斯有线电信的实用化中，只将一根发出信号的电线架起来，而利用大地有通电流的性质，利用大地返回信号，称为大地回路，这是最早

的功能性接地。这种接地还广泛的应用于农村有线广播、直流输电网络、电气铁路的机车运行，可参见图 1 所示。

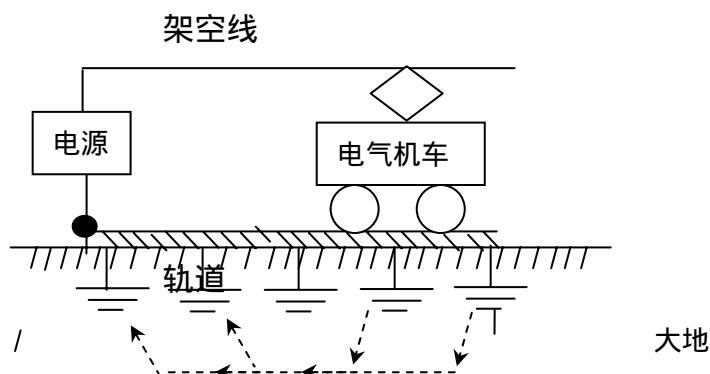


图 1 电气机车应用大地回路例示

除上述动态的功能性接地外，尚有静态的功能性接地，如计算机信息系统，无论是模拟信号还是数字信号，在接收或发出电压信号时均需要一个稳定的电位基准面，而地球是最现实最好直接利用的稳定的电位基准面，这种地通常称为直流工作地、信号地或逻辑地，是目前应用最广的一种静态功能地。其工作原理见图 2 所示。

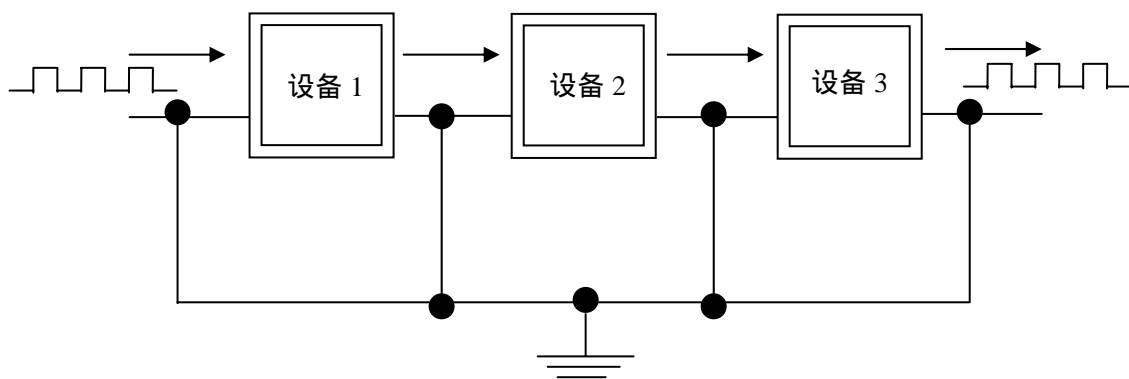


图 2 信息系统设备静的功能性接地例示

对于一些较大的移动物体，如飞机、火箭、人造卫星等，它们不可能与大地进行固定或直接的连接，此时可利用最大的导体，如飞机机身来模拟替代真的大地，这个地可称为“本体地”（body earth），除了受到干扰的瞬间，其电位基本上是稳定的，完全能满足功能性地的要求。有的设备厂商对静态功能性接地提出很低的接地电阻要求，

在美国标准 IEEE sta1100 中指出：“不建议采用任何一种所谓分开的、独立的、绝缘的、专用的、干净的、静止的、信号的、计算机的、电子的或其他这类不正确的大地接地体做为设备接地导体的一个连接点。”对岩类土壤中的接地体，在土壤电阻率很高的情况下，完全可以通过外引并形成环状，人造出一个大的导体（环形接地覆盖面积达 80m^2 或有效直径达 10m ）做为本体地，而不必耗资巨大的追求很低的接地电阻值。

——保护性接地，外部防雷装置的接地装置是最早的保护性接地。1876 年贝尔电话研究成功后，电话线网在地面广泛的架设起来，会受到雷的直击，雷击电压的陡波前冲击波会在金属线路上疾走，造成了各种各样的灾害，因此在 1890 年前后发明了电话线路导雷器，即将一装入管内的火花间隙串上熔丝并联在电话线上，其出口与地连接，在电信部门最早称“电话保安器”，其接地即保护性接地。这种方法目前广泛应用于电力输变电路和设备的避雷器、低压配电系统和电信及信号网络的电涌保护器。为防止雷击造成高压输电线路的中断，架空高压线上常架设避雷线，拦截雷电并通过金属塔杆接地泄流；为防止变压器一、二次侧的绝缘破坏，在二次侧（低压侧）施行接地保护，这些均属保护性接地。为防止低压电器漏电造成的伤害，我们经常使用的家用电器，如洗衣机、吸尘器、电炊具的插头为三脚插头，其中最长的一脚为接地保护（PE）端。

在王厚余老师书中指出：供电系统有两个接地，“一个是系统内电源端带电导体的接地；另一个是负荷端电气装置外露导电部分的接地。就低压供电系统而言，前者通常是指变压器、发电机等中性点的接地，称作系统接地；后者通常是指电气装置内电气设备金属外壳、布线金属管槽等外露导电部分的接地，”它们均属保护性接地。目前，将保护性接地和功能性接地接至同一接地装置，称为共用接地系统（Common earthing system）。

2.2.2 带电导体系统和接地系统的分类

书中首先纠正了一些不规范的称谓，如“将设有专门的 PE 线的供电系统，三相的称作三相五线系统，单相的称作单相三线系统”，实际上“IEC 标准配电系统有两种分类方法”：

2.2.2.1 按带电导体系统分类

“带电导体指工作时通过电流的导体，相线（L 线）和中性线（N 线）是带电导体，保护接地线（PE 线）不是带电导体。”所以，这种分类时不计 PE 线，如：

——单相两线系统：有 L 线和 N 线各一根

——单相三线系统：如美国的住宅使用 240V/120V 电压供电，它是从单相变压器二次侧引出 240V 及自绕组的中点抽出一接地的中线而引入 120V 电压，“它是单相系统，但有三根带电导体，”与我国民用住宅的俗称“单相三线系统”（由 L、N、PE 三线组成）大不相同。

——两相三线系统：“如我国为减少线路电压降自三相变压器引出的两根相线（L 线）和一根中性线（N 线）为厂区或庭园照明供电的配电系统。”

——三相三线系统：“如给三相电动机供电的系统”，除在变压器处中性点接地外，引出的只有三根相线。

——三相四线系统：“这是国际上和我国广泛应用的具有三根相线和一根中性线的配电系统。不论有无 PE 线它都被称为三相四线系统。”在下边的“按接地系统分类”中的 TN - C、TN - S、TN - C - S 和 TT 系统均属三相四线系统，而不是我们通常误解的 TN - C 是三相四线，TN - S 是三相五线，TN - C - S 是三相四线改为三相五线。此外，还有国外曾经使用，而现在很少用的两相五线系统，在此不详细介绍。

2.2.2.2 按接地系统分类

目前国际上和国内最常用的是按接地系统分类，也可以说是电源处接地与电气装置内电气设备外露导电部分（如金属外壳）的接地的组合，日本人川濑太郎称之为“机器接地”。它可以分为 TN、TT 和 IT 三大类型，其文字符号的含义是：

第一字母：说明电源与大地是否直接连接。

T：电源的一点（通常是中性点）与大地直接连接。（Terre, 法文“大地”的第一个字母）

I：电源与大地隔离或电源的一点经高阻抗与大地连接。（Isolation, 法文“隔离”的第一个字母）

第二个字母：说明电气装置的外露导电部分与大地的关系。

T：外露导电部与直接与大地连接，它与电源处的接地无联系。

N：外露导电部分通过与接地的电源中性点连接而接地。（Neutre, 法文“中性点”的第一个字母）

C：系统中 N 线和 PE 线是合一的。（Combine, 法文“合一”的第一个字母）

S：系统中 N 线和 PE 线是分开的。（Cepare, 法文“分开”的第一个字母）

按上述规定说明，按接地系统可分为三大类五小类：

TT 系统：电源接地与设备外露导电部分接地是分开的，为三相四线。

IT 系统：电源不接地（或经高阻接地），设备外露导电部分直接接地，为三相三线。（引出中性线的 IT 系统不在此例）

TN 系统可分为三类：

TN - C 系统：设备外露导电部分的接地通过 PEN 线与电源接地相连接，在全系统中 N 线与 PE 线是合一的。

TN - S 系统：设备外露导电部分的接地通过 PE 线与电源接地相连接，在全系统中 N 线与 PE 线是分开的。

TN - C - S 系统：在全系统中，仅在电气装置电源进线点前（一般在低压总配电柜处）N 线与 PE 线是合一的（TN - C 系统），之后 N 线与 PE 线是分开成为独立的两根线（TN - S 系统）。特别需强调的是，PEN 线分开后，N 线不能重复接地，否则又返回到 TN - C 系统了。

以上五种系统可在许多标准中见到图示，本文不一一绘出。

2.2.3 对各类接地系统的评述

2.2.3.1 TN—C 系统：

优点：PEN 线兼 PE 线和 N 线的作用，可节省一根导线。

缺点：

1) “如系统为一单相回路，当 PEN 线中断时，设备金属外壳对地将带 220V 的故障电压，电击死亡的危险很大”。

2) “如 PEN 线穿过 RCD（高灵敏度剩余电流动作保护器），因接地故障电流产生的磁场在 RCD 内互相抵消而使 RCD 拒动”。

3) “进行电气维修时需用四极开关来隔断中性线上可能出现的故障电压的传导。”

但 PE 线不允许断开，而在 TN - C 中 PE 与 N 线等用同一根线，因此产生了矛盾。

4) “PEN 线因通过中性线电流产生电压降，从而使所接设备的金属外壳对地带电位。此电位可能对电子设备产生干扰，也可能在爆炸危险场所内打火引爆。”此处讲的电压降或带电位对电子设备的干扰主要是指对电子设备逻辑地（静态的功能性接地）的干扰，因此，GB50057 中的第 6.4.1 条强制条文规定“当电源采用 TN 系统时，从建筑物内总配电盘开始引出的配电线路和分支线路必须采用 TN - S 系统，”即可用 TN - S 或 TN - C - S 系统。

因此，“现在 TN - C 系统已很少采用”，尚需对旧的 TN - C 系统进行改造。

2.2.3.2 TN - S 系统

与 TN—C 系统相比较，多用了一根导线做专用的 PE 线，可避免 TN—C 系统中的四项缺点（问题）。

2.2.3.3 TN - C - S 系统

实际上由前端的 TN - C 和后端的 TN - S 系统组成，“TN - C - S 系统自电源到用户电气装置之间节省了一根专用的 PE 线”，这种系统是我国常用的系统，使用这一系统特别需注意的是在电源进线点处（如总配电盘）的总等电位联结（MEB），进行 MEB 与否则有如下优缺点：

优点：TN - C - S 前端的“PEN 线上的电压降使整个电气装置对地升高一 U_{PEN} 的电压，”但在总配电盘处实现了 MEB 后，“且在电源进线点后 PE 即和 N 线分开，而 PE 线并不产生电压降，整个电气装置对地电位都是 U_{PEN} 而在装置内并没有出现电位差，因此不会发生 TN - C 系统的种种电气不安全因素。”

缺点：“IEC 标准要求要求在电源进线点处（例如总配电箱处）PEN 线必须先接 PE 母排，然后通过一连接板（线）接中性线母排，……这是因为如果连接板（线）导电不良，中性线电路不通，设备不工作，故障可及时发现加以修复，不致发生电气事故，如果 PEN 线先接 N 母排，如果连接极导电不良，则这时整个装置内的设备都失去了 PE 线的接地，而设备仍正常工作，存在的隐患将不被发现，这对人身安全是十分不利的”，电子设备也会因此受到干扰。

2.2.3.4 TT 系统

优点：“TT 系统的电气装置各有其自己的接地极，正常时装置内的外露导电部分

为地电位，电源侧和各装置出现的故障电压不互窜。”

缺点：在“发生接地故障时因故障回路内包含两个接地电阻 R_A （电源地阻）和 R_B （设备接地电阻），故障回路阻抗较大，故障电流较小，一般不能用过电流防护兼作接地故障防护，为此必须装用 RCD 来切断电源。”

2.3.3.4 IT 系统

缺点：因 IT 系统一般不引出中性线，不能提供 220V 电源，所以其应用受到了限制。

优点：因 IT 系统“不具备故障电流返回电源的通路，其故障电流仅为非故障相对地电容电流，其值甚小，因此对地故障电压很低，不致引发事故。所以发生一个接地故障时不需切断电源而使供电中断”。

（未完待续）