

接地系统技术探讨

弋奇平

中国电子系统工程第四建设有限公司 河北石家庄 050051

【摘要】随着当代社会工业化生产规模不断的扩大，对电力需求的稳定及安全提出了越来越高的要求。从工程实际结合理论计算分析的方法展开部分接地系统的讨论。以此展示各种接地在配电系统、用电设备中的工作原理及如何满足其使用功能及安全功能。论证电气接地的重要性和根据用电结构、用电环境、设备性能选择不同类型接地系统的必要性。

【关键词】工作接地；保护接地；等电位联结；ESD防静电接地；防雷接地；接地原理

引言

电力作为工业生产的重要能源，工业用电需求不断增加，生产单位要稳定生产、提高生产效率必须保障电力的安全运行、可靠运行。接地是配电系统中的重要组成部分，是安全、可靠用电的重要环节。电气系统中常见接地有工作接地、保护接地、ESD防静电接地、防雷接地等。在工程建设、生产运行中，电气专业人员需提高自身知识水平，掌握电气接地技术，才能选择科学合理的接地方案，避免供电安全隐患，能发现并处理接地引起的相关故障。

1 电气接地的定义及分类

电气系统和电气装置都需要取得一个参考电位，通常这个参考电位都是从视为零电位的大地取得。而与大地连接取得大地电位的方式称之为接地。常见接地类别有工作接地、电气保护接地、等电位联结、防雷接地、ESD防静电接地。

1.1 工作接地

220/380V配电系统中变压器的中性点通过与大地连接获得一个参考电位，并使低压配电系统能够正常和稳定运行。这种中性点与大地连接的方式称为工作接地（图1）。工作接地的作用主要包括两点：（1）稳定系统电压，将对地电压钳制在220V；（2）低压配电线路发生接地故障时或高压窜入低压时为故障电流提供经大地返回电源的通路，使线路的保护装置动作。

1.2 保护接地

运行中的电气装置外露导电部分（例如电气设备的金属外壳）通过满足设计和规范要求的导线或者同等金属材料与接地装置连接称之为保护接地。保护接地的作用是降低电气装置故障时外露导电部分的对地电压或接触电压。

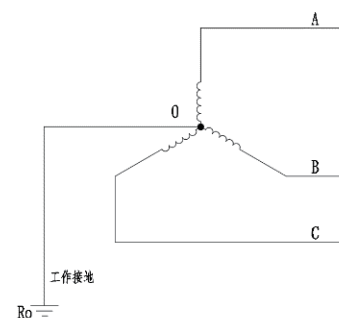


图1：工作接地

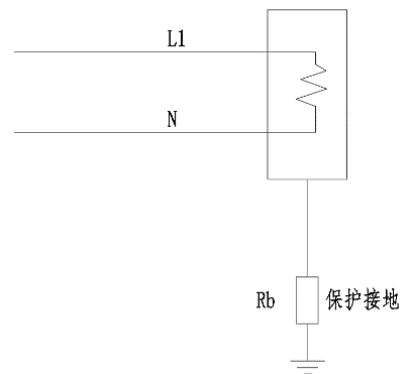


图2：保护接地

1.3 等电位联结

“多个可导电部分间为达到等电位进行的联接”，这是等电位联结在规范中的定义。通俗的说就是把建筑物内金属导体比如电气设备外壳、金属管道、金属风管、金属结构件、电缆外皮等相互联通，以达到电位相等或相近的做法。

1.4 防雷接地

防雷接地是雷击时防止造成损害的一种接地系统（图3）。其作用是通过防雷装置把雷电流引入大地达到保护建筑物、设备，避免人身伤亡的目的。防雷装置通常分为外部防雷装置和内部防雷装置。外部防雷装置由接闪器、引

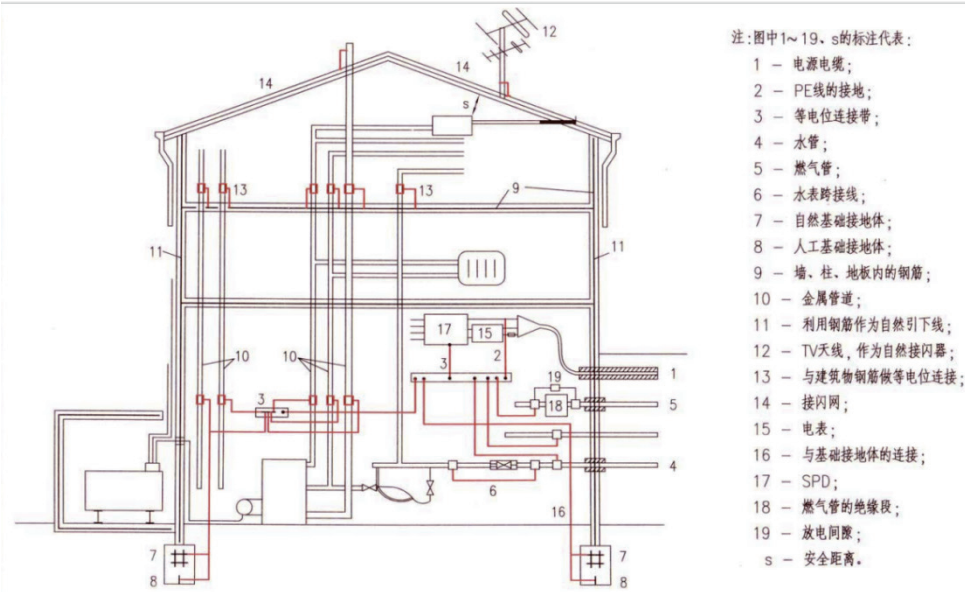


图3: 防雷接地

下线、接地装置组成，内部防雷装置由防雷等电位连接和与外部防雷装置的间隔距离组成。现代建筑物防雷是一项综合性防雷措施，包含接闪器、引下线、接地装置、屏蔽、等电位连接、合理布线、浪涌保护等技术环节。

1.5 防静电接地

将可能产生和聚集静电的管道、设备、操作工具、人体等通过导电体与大地构成回路的接地叫静电接地。防静电接地通常应用于易燃易爆的油、气管道、储罐和易被静电损害的电子厂房、信息机房等场景，如（图4）防静电地板。



图4: PVC防静电地板

2 接地系统的技术分析

2.1 工作接地技术分析

2.1.1 接地电阻值

TN系统的中性点接地从其接地短路时提供故障电流返回电源通路的功能来说阻值是越小越好。那应该多小或者说不超过多少欧才能满足安全运行的条件呢。可从常规低压

配电系统举例（图5）分析。

GB50054-2011《低压配电设计规范》第5.2.11条规定：当TN系统相导体与无等电位联结作用的地之间发生接地故障时，为使保护导体和与之连接的外露可导电部分的对地电压不超过50V，其接地电阻的比值应符合下式的要求：

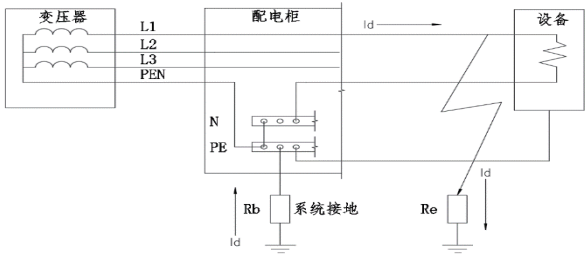


图5: 低压配电系统

$$R_b/R_e \leq 50/(U_o-50)$$

R_b : 所有与系统接地极并联的接地电阻（ Ω ）

R_e : 相导体与大地之间的接地电阻（ Ω ）

U_o : 相导体对地标称电压（V）

从上图可以看出当L1发生接地短路时，接地短路电流 I_d 路径为 $L1 \rightarrow R_e \rightarrow R_b \rightarrow$ 变压器。PEN、PE线上的电压升高为 U_f ，与PE线相连接的设备外壳电压也升高至 $U_f = I_d \cdot R_b$ 。为使保护导体和与之连接的外露可导电部分的对地电压不超过50V，则有

①: $U_f = I_d \cdot R_b \leq 50V$ 。

同时按 I_d 路径可知

②: $I_d = U_o / (R_b + R_e)$ 。

结合①②公式可得出规范要求的公式 $R_b/R_e \leq 50/(U_o-50)$ ，低压系统 $U_o=220V$ ，带入得 $R_b \leq 0.29R_e$ 。

相导体与大地之间的阻值 R_e 每次短路都不同,是个不确定值。但根据公式①可知减小 R_b 能够减小用电设备外壳的故障电压。通常设计时中性点接地电阻值 $\leq 4\Omega$,若不能满足规范要求的电阻比值则可通过等电位联接或进一步减小 R_b 。目前建筑物内的接地系统多为综合接地具备等电位联接条件,设计所要求的中性点接地电阻值 $\leq 1\Omega$ 则是容易达到的。

另外在10kV高压窜入低压线路时(图6),在高压对地电容、低压系统接地 R_b 构成的故障电流 I_o 通路中,仍可得出 $U_f = I_o * R_b$,10kV多为小接地或不接地系统,接地故障电流不大于30A。若 $R_b = 4\Omega$,则 $U_f = 120V$,可满足工作接地应能保证当发生高压窜入低压时,低压中性点对地电压升高不超过120V的规定。

以上分析可知TN系统中工作接地的电阻不大于 4Ω ,且尽量降低阻值是有利于系统安全运行的。

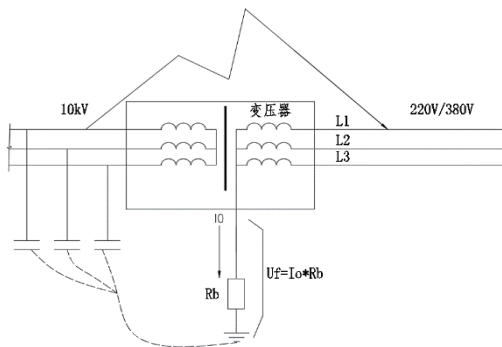


图6: 高压窜入低压侧线路

2.1.2 中性点的接地位置选取

在诸多工程建设中通常变压器中性点直接接入配电房MEB,或者变压器中性点与低压总柜PE铜排同时接入MEB或MEB引出导体,这并不是规范的做法。实际上TN系统的工作接地须以绝缘导体的形式从中性点引出PEN,且该绝缘导体只能在低压配电柜内一点与PE排连接实现工作接地(图5)。除此一点接地以外不得再有其它接地点,以此避免中性线电流在不正规路径产生杂散电流。

2.2 保护接地技术分析

保护接地降低电气装置外露导电部分对地电压和接地电压的方法是通过装置接地时与电气装置或人体形成并联达到降低电压的目的。当低压设备出现相线碰外壳短路故障时,若无保护接地,则外壳接触电压 U_t 升高至 $U_o = 220V$ (图7)。

如果设置保护接地(图2)则形成经保护接地电阻 Z_b 和电

源对地阻抗 Z 返回电源的故障电流通路。故障电流 $I_d = U_o / (Z + R_b)$, $U_t = I_d * R_b$,因 $R_b < 4\Omega$,有保护接地的设备外壳电压远低于220V。

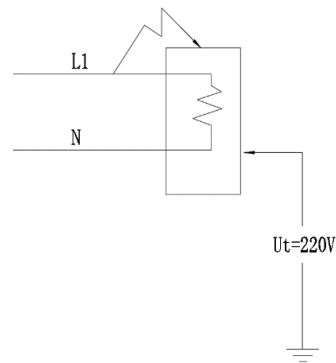


图7: 设备无保护接地

在中性点接地的TN系统中已有保护接地导体PE,PE一端与被保护设备连接,另一端与电源中性点连接并接地。PE在提供故障电流通路的同时降低了设备外壳接触电压。设备不需要单独做保护接地,保护接地适用于电源不接地的系统。

2.3 等电位联结技术分析

等电位联结可以把建筑物内联结的各种金属体视作代替大地,同理,设置接地体或接地极的接大地接地就是与大地做等电位联结。有些电气人员常把等电位联结与接地理解为同一个概念,但两者既有相同之处也有区别。等电位联结中的“联结”主要作用是传递电位而非电流,等电位联结也并非一定要接地,而保护接地的“连接”主要作用包括传导故障电流,防雷接地的“连接”主要是泄放雷电流。

等电位联结按作用可分为两类:一类是使电气系统正常工作,如电子信息设备、机房的功能等电位联结;另一类是起保护性作用的等电位联结,如防止防止人身电击、电气事故,以安全为目的。保护等电位联结按其等电位联结的范围分为总等电位联结、局部等电位联结、辅助等电位联结三类。总等电位联结范围包含建筑物整体,除降低建筑内各金属件的电位差外,还有消除建筑外经电气线路和金属管道侵入建筑内的故障电压、雷电压的作用。因此总等电位联结需设置在电源进线箱旁边,通常设置于总配电室、变电所内。局部等电位是在局部范围内把可导电部分联结,可视为小范围内的“总等电位联结”,通常设置于卫生间、配电间、泵房等地。辅助等电位连接是2.5m伸臂范围内可同时触及的可导电部分通过导线直接连通的联

结。通常我们可以认为局部范围内没有端子箱的个别金属相互连通是辅助等电位联结。此三类等电位联结都是以发生接地故障时降低接触电压为目的,局部等电位联结和辅助等电位联结可看作在远离总等电位联结的地方作为总等电位联结的一种补充,进一步降低电位差以达到要求的接触电压限值。

2.4 防雷接地技术分析

防雷接地系统是否可靠关键在于导通性。建筑物的防雷设计通常以建筑物的基础钢筋做接地体,柱内钢筋做引下线。接地体的质量直接关系防雷系统对地电阻值的大小,决定了防雷系统引雷电流入地的效果。通常建筑物分为筏板基础、桩基础、承台独立基础,各种基础利用钢筋作为接地体时焊接型式均不相同。施工时应在参考国标图集的基础上根据现场土壤电阻率实际做出优化,比如独立基础承台内钢筋增加扁钢与土壤接触、或接地装置增加镀锌角钢等,以保证接地体接地阻值满足工程要求。另外对于建筑物专用引下线间距、屋面接闪网格大小也应根据防雷防雷分类检查是否满足规范要求。无论是基础、地梁钢筋还是柱内钢筋、接闪网,只要是防雷系统内的电气筋连接必须可靠符合规范要求。比如使用圆钢搭接时,应保证其搭接长度为其直径的6倍,焊接时双面施焊确保材料紧密连接,避免夹渣、裂纹、虚焊等问题的出现。焊接完成后敲除药皮做防腐处理保障使用年限。

2.5 防静电接地技术分析

防静电接地系统的静电接地电阻值不大于 $10^6\Omega$,具体大小需要根据使用场景和对静电敏感对象的特性来选择。例如危爆化学品区若静电接地电阻值过小会导致过大的静电泄放电流产生的热效应可能成为这类场所的火源,引起燃烧或爆炸。

一般建筑内静电接地干线使用防雷接地干线,但在集成电路、半导体等厂房的精密设备常设置独立的ESD静电接地

系统。为防止建筑物雷电流释放引起的跨步电压以及供电系统三相不平衡中性线电流,在距离建筑物20m以上距离处设置独立的接地装置用电缆引入室内。

铺设防静电地板是防静电的一种重要手段。按导电性能可分为导电型和耗散型。导电型防静电地板的表底电阻值应在 $1\times 10^4\sim 1\times 10^6$ 欧姆之间,耗散型防静电地板的表底电阻值应在 $1\times 10^6\sim 1\times 10^{10}$ 欧姆之间。一般来说,导电型防静电地板适用于对静电控制要求较高的场所,如微电子制造厂、精密仪器厂等;耗散型防静电地板适用于对静电控制要求较低的场所,如计算机房、通信机房等。在地板铺设完成后其下导电铜箔或铜排必须与建筑物内接地端子连接,才可达到防静电效果。

3 结语

接地系统存在多种型式,其应用场景、使用功能各不相同。但其在电气系统中的功能性和安全性至关重要。随着电气技术的进步,接地的理论和实践也在不断合理化、科学化。在工程建设中要不断完善电气接地和保护方案,提高电气接地的可靠性和安全性。电气技术人员应掌握好电气接地技术,对其原理深入了解。以上为本文对实践经验的总结,从基本定义和原理要点分析电气系统的各种接地方式,以供广大同业者提供参考。

参考文献:

- [1] 中国机械工业勘察设计协会. GB50054-2011, 低压配电设计规范[S] 北京: 中国计划出版社, 2011.
- [2] 中国建筑标准设计院. 接地装置安装[S] 北京: 中国计划出版社, 2016.
- [3] 王厚余. 建筑物电气装置500问[M] 北京: 中国电力出版社, 2008.
- [4] 吴舒萍. 低压配电系统中接地与接零保护的分析和应用[J]. 湖南理工学院学报(自然科学版), 2014, 27(3): 49-53.