

[电气安全]

等电位联结的设计及其应用研究

文/中国冶工程有限公司上海分公司 于字林

以某主题乐园项目电气设计为例，阐述等电位联结在电气配电系统内降低预期接触电压、防电击等电气安全技术中的设计及应用。通过设计实例论证等电位联结在实际应用中是一项非常重要的电气安全技术措施，应在实际项目中得到广泛应用。

目前，国内在各类建筑电气设计中，通常要求建筑单体总电源进线处进行重复接地一次，并要求接地电阻满足小于规定的欧姆值，这已成为我国电气设计的习惯做法，比较普遍，但并不科学。按照IEC标准做等电位以后，重复接地就显得不那么重要了。本文列举一主题乐园项目电气专业的设计实例，通过对做重复接地和等电位联结的案例分析和计算，阐述等电位联结在低压配电系统设计中，用于降低接触电压、防电击危害等电气安全技术措施中的重要性和必要性。

在建筑电气设计飞速发展的今天，我们了解到，造成众多电气安全事故和人体伤亡原因是出现的电位差过大，不能排除。为了防止超大的电位差造成的众多电气安全事故，20世纪60年代初，发达国家就已经开始推行应用等电位联结的相关安全技术。新建项目上大量设计选用了等电位联结，其原理就是将建筑单体中可导电部分之间用导体进行电气连接，使得所连接贯通部分的电位接近或相等，形成等电位，从而消除或减小过大的电位差，确保人身和设备安全，杜绝电气事故的发生，并使电气设备正常工作。

等电位联结对人们安全用电，以及对弱电设施的正常工作和使用安全，都是非常必要的。实际电气设计中，合理设置等电位联结使得作用范围尽可能缩小，这样才会更安全。我们生活在地球，所有的建筑和设备都依附于大地，所以电

气装置接地就是将它与大地连接，同时实现了与大地的等电位联结，减小与大地的电位差，以大地作为参考点位。因此，等电位联结比接地具有更广泛的内涵。接地在某种意义上说就是等电位联结的形式之一，但由于接地具有较大的接地电阻，减小电位差的效果较差，但它却有释放雷电流和静电荷的功能，无可替代。

等电位联结在低压配电系统设计降低接触电压、防电击危害中有几个主要的作用：一是当单体内电气设备绝缘破坏，发生碰壳接地故障时，TN系统做等电位联结比做重复接地能更大程度地降低接触电压；二是TN系统在建筑物外发生单相接地故障时，等电位联结可以消除由PE线或是其他金属管道从楼外导入的故障电压，避免电击事故；三是同一个配电箱为手持设备、移动设备和固定设备配电，采用等电位联结可以有效地避免固定设备碰壳发生接地短路，而造成正在使用手持设备或移动设备的人发生电击事故。下面将通过具体案例进行分析阐述等电位联结在低压配电系统防电击的设计及应用。

降低建筑物内电气设备接地故障引起的预期接触电压

1. 单体内未作重复接地和等电位联结，户内发生单相接地故障

江苏某乐园项目一单体采用TN-C-S系统

供电, 变电所系统接地电阻 R_a 为 $4\ \Omega$, 变电所至单体内总配电箱的距离 180 m , 电缆采用 $\text{ZR-YJV}-3\times 95+1\times 50$, 相线电阻为 $0.3765\text{ m}\Omega/\text{m}$, 保护线电阻为 $0.7515\text{ m}\Omega/\text{m}$, 相保电阻为 $1.128\text{ m}\Omega/\text{m}$, 从单体配电箱至游乐电气设备的距离为 62 m , 电缆采用 $\text{ZR-YJV}-5\times 16$, 相保电阻为 $3.291\text{ m}\Omega/\text{m}$ 。

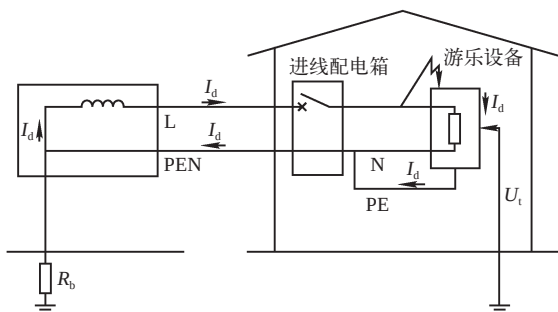


图1 单体内未作重复接地和等电位联结
(户内发生单相接地故障)

如图1所示, 建筑单体进线电源处未作重复接地以及等电位联结时, 当游乐电气设备绝缘破坏, 发生接地短路, 故障电流将流经相线、PE和PEN线回到电源, 根据欧姆定律, 故障回路电流大小为

$$I_d = \frac{U_0}{Z_s} = \frac{U_0}{Z_L + Z_{PE} + Z_{PEN}} = \frac{220}{0.18 \times 0.7515 + 0.18 \times 0.3765 + 0.062 \times 3.291} = 540\text{ (A)} \quad (1)$$

此时, 设备外壳能产生的预期接触电压大小为

$$U_t = I_d (Z_{PE} + Z_{PEN}) = 540 \times (0.062 \times 3.291 \times 0.5 + 0.18 \times 0.7515) = 128\text{ (V)} \quad (2)$$

此时, 当人触及设备外壳, 预期接触电压可达 128 V , 远远超出了正常情况下的安全电压接触电压 50 V 。

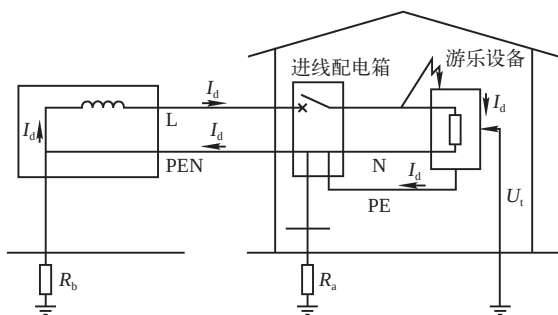


图2 单体内作重复接地 (户内发生单相接地故障)

2. 单体内作重复接地, 户内发生单相接地故障

如图2所示, 上述案例, 同等条件, 建筑单体进线电源处作了重复接地, 接地电阻 R_b 为 $10\ \Omega$, 当设备外部绝缘破坏, 发生单相接地短路时, 故障电流将分两路回到电源: 一路通过PE线和PEN线回到电源, 另一路通过PE线和两个接地电阻串联回到电源, 故障电流为

$$I_d = \frac{U_0}{Z_{PEN} / (R_a + R_b) + Z_L + Z_{PE}} = \frac{220}{(0.18 \times 0.7515) / (4 + 10) + 0.18 \times 0.3765 + 0.062 \times 3.291} = 542\text{ (A)} \quad (3)$$

设备外壳的预期接触电压将为

$$U_t = I_d Z_{PE} + I_d R_a \frac{Z_{PEN}}{Z_{PEN} + R_a + R_b} = 542 \times 0.062 \times 3.291 \times 0.5 + 542 \times \frac{0.18 \times 0.7515}{0.18 \times 0.7515 + 14} \times 10 = 107\text{ (V)} \quad (4)$$

可以看出, 如果做了重复接地, 可一定程度上降低预期接触电压, 但不明显。

3. 单体内作等电位联结, 户内发生单相接地故障

如图3所示, 单体电源进线处做等电位联结, 因为等电位联结只是传导电位, 并不改变故障回路, 故障电流仍为 542 A 。由于有等电位联结, a点和b点的电位相同, 设备外壳预期接触电压 U_t 也就是故障电流在PE线上所产生的压降, U_t 大小为

$$U_t = I_d Z_{PE} = 542 \times 0.062 \times 3.291 \times 0.5 = 55\text{ V} \quad (4)$$

显而易见, 作等电位联结在降低建筑物内电气设备接地故障引起的预期接触电压是非常有效的, 效果远远优于PE线的重复接地。

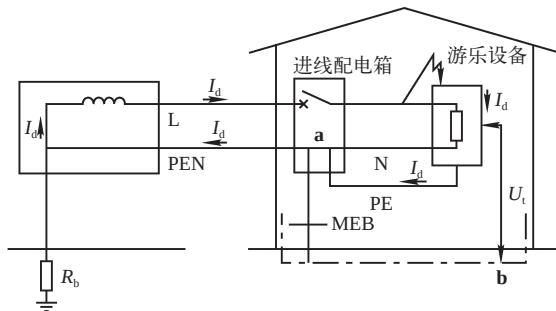


图3 单体内作等电位联结 (户内发生单相接地故障)

防止单体建筑外的故障电压通过PE线或其他金属管道从楼外导入

1. 单体内未作重复接地和等电位联结, 户外发生单相接地故障

图4中, 建筑单体内没有作等电位联结, 也不

能形成自然接触的等电位联结。如图4所示,配电系统在户外某处相线绝缘损坏,发生单相接地短路,故障电流为 I_d 经过 R_e 、大地和 R_b 回到电源,且相线不断线,由于有 R_e 和 R_b 的存在,故障电流未超过电源馈线处保护电气的整定值,无法切断电源,因此故障电流长期持续存在。这样就会产生故障电压 $U_f = I_d R_b$,故障电压沿着PEN线和PE线传到设备的外壳,使得设备外壳带电引起电气事故。

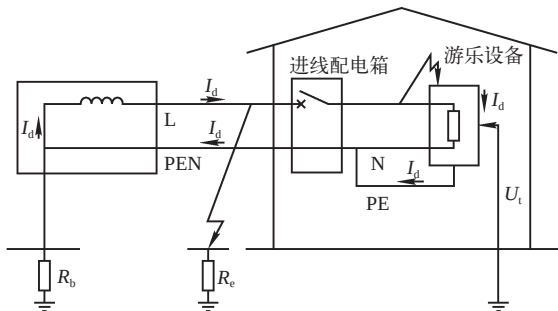


图4 单体内未作重复接地和等电位联结
(户外发生单相接地故障)

2. 单体内作等电位联结, 户外发生单相接地故障

日常生活中,也经常发生屋内的电气设备外壳长期有电压使人麻电,甚至更严重发生电击,造成死亡事故,也就是大家经常说的“电楼”,即使断开了电源,这种现象还是存在。造成这种现象的原因多数都是因为户外配电系统内接地故障引入的故障电压。这类故障一是比较隐蔽,不易查找排除;二是配电系统不允许断开PEN线和PE线,故障电压是沿着PEN和PE线传导的,所以即使切断了电源也解决不了问题。

在建筑屋内作等电位联结,如图5所示。电气设备外漏可导电部分a点的电位和外界可导电部分b点的电位同时升高到 U_f ,预期接触电压 U_c 为零,彻底消除建筑单体外故障电流经保护导体进入户

内引起的电击危险,没有电位差,也就可避免出现“电楼”现象造成电气危害。

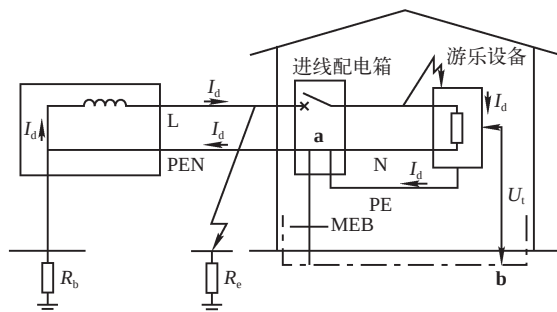


图5 单体内作等电位联结（户外发生单相接地故障）

可避免因固定设备绝缘破坏发生接地短路,而造成正在使用手持设备或移动设备的人发生电击事故

1. 单体内未作局部等电位联结, 固定设备发生接地故障

根据GB 50054—2011《低压配电设计规范》要求,TN系统配电线路间接接触防护,保护电器切断故障回路的时间不同,配电线路及固定电气设备的末端线路不大于5 s;手持式电气设备和移动式电气设备用电末端或插座回路为0.4 s,如果两种设备的供电引自同一个配电箱或者是同一个配电回路,就会因不同类型配电回路的切断时间不同,而引起电击事故。举例分析,图6所示为一乐园项目中骑乘设备单体的配电系统,单体配电间有内有进线电源箱和总电位联结MEB,设备现场末端配电箱引出回路为给手持设备H和固定设备M配电,当固定电气设备M碰壳且发生单相短路接地时,故障电流 I_d 经过a—b—c和一段PE线返回到电源。使用固定设备的人虽然不慎接触到设备外壳,也能很快摆脱,不会被电击伤害,但如果有人在同时使用手持设备,就有可能发生电击事故,甚至被电击致死,原因分析如下。

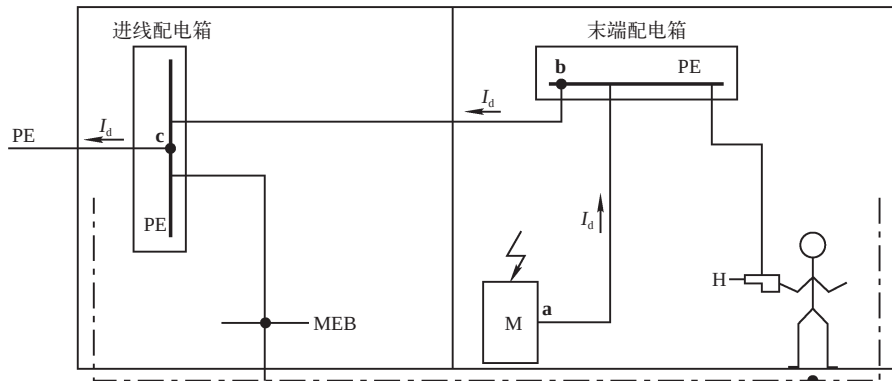


图6 未作局部等电位联结

从图6可看出,手持设备的接触电压为和d点的电位差,整个建筑做了总等电位联结,所以d点和同电位手持设备的故障电压为b和c点一段PE线所产生的电位差,而b和c点PE线又较长,TN系统接地故障电流 I_d 较大,造成的故障电压也会大大超过50 V,这一故障电压将会通过PE线和等电位导电地面施加在人体上,使人遭受电击。干燥环境下,50 V的接触电位差就能在人体形成30 mA电击致死的故障电流,而固定设备切断电源的时间为5 s,所以不能瞬时切断电源让使手持设备的人摆脱电击,就算手持设备回路装有RCD,但此回路没有发生故障,所以也无法切断电源,排除故障。这样过高的故障电压和过长时间的人体通电作用下,使用手持设备的人将遭受电击且不能摆

脱,从而造成死亡。

2. 单体内作局部等电位联结,固定设备发生接地故障

解决TN系统这种事故的方法有几种:一是加大PE线的截面积,使得b和c点一段PE线所产生的电位差小于50 V;二是在固定设备配电回路增设RCD,保证在0.4 s的时间内切断电源;这两种方案虽然可行,但有不足,也不实用。如果采用了局部等电位联结方式,如图7所示,b点和d点电位相同,故此移动手持设备故障电压为0,就没有电击危险,而且做了局部等电位后,固定设备M上的预期接触电压仅为a点和b点的电位差,故障电压大幅下降,即可大大减少电击事故。

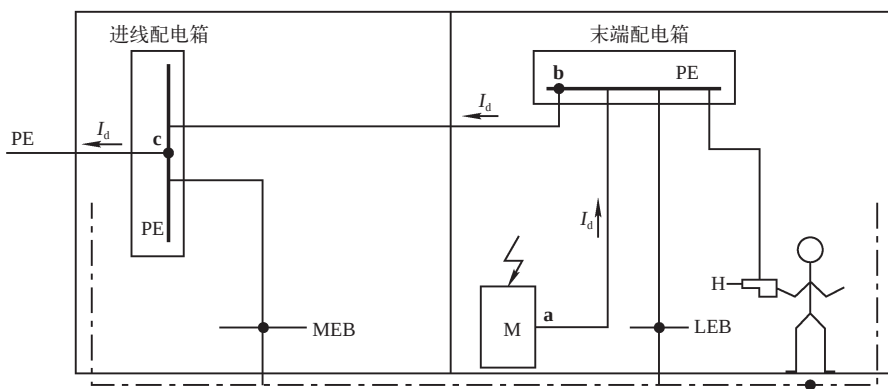


图7 作局部等电位联结

结束语

综上所述,等电位联结其本质就是使有可能带电部分的电位相近或相等,减小或消除电位差,还能有效地减少雷电反应对弱电设施的损坏和干扰。本文通过具体的案例说明了等电位联结的重要性和必要性,既可以有效地降低接触电压,又能在发生接地故障时如果防护电气不能及时自动切断电源。故障防护失效时,由

等电位联结来消除故障电压,从而避免人身电击事故,而且增加的不过是寥寥几根连接线,且不需要复杂的维护和管理,既可靠又经济,而且在诸多电气系统中有着不可替代的保护和功能性作用,今后在众多的电气系统设计中应充分考虑和利用。EA

(收稿日期:2020.04.02)

(编辑:朱金凤)

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告