

高土壤电阻率地区接地网降阻措施探究

温展

中水东北勘测设计研究有限责任公司, 吉林 长春 130012

DOI:10.61369/WCEST.2025100012

摘 要 : 随着风电、光伏、生物质等新能源发电装机容量在我国工业发电总装机容量中的比重的逐渐攀升,我国新能源发电装机总容量已经超过火电装机总容量。本文论述了接地网接地电阻超标的危害,从南方某高土壤电阻率地区的新能源场站的接地电阻超标分析着手,对降低接地电阻措施中的土壤中加入(非)电解质法、换土法、外引接地法、具有导电性能的混凝土法及钻孔深埋法的设计及施工流程进行阐述,旨在为有关电气设计人员提供参考。

关 键 词 : 土壤电阻率; 接地电阻; 电解质法; 外引接地; 钻孔深埋法; 电气设计

Research on Resistance Reduction Measures for Grounding Grids in Areas with High Soil Resistivity

Wen Zhan

China Water Northeast Survey, Design and Research Co., LTD., Changchun, Jilin 130012

Abstract : As the proportion of installed capacity of new energy power generation such as wind power, photovoltaic power and biomass power in the total installed capacity of industrial power generation in China gradually increases, the total installed capacity of new energy power generation in China has exceeded that of thermal power. This article discusses the hazards of excessive grounding resistance in grounding grids. Starting from the analysis of excessive grounding resistance in a new energy station in a certain area with high soil resistivity in the south, it elaborates on the design and construction processes of measures to reduce grounding resistance, including the method of adding (non-) electrolytes to the soil, soil replacement method, external grounding method, concrete method with conductive performance, and deep drilling and burial method. It aims to provide reference for relevant electrical designers.

Keywords : soil resistivity; grounding resistance; electrolyte method; external grounding; drilling and deep burial method; electrical design

引言

在我国部分风光能源较充沛的地区,多伴随干旱、高寒等恶劣的地质和自然条件,从而造成这些地区的土壤电阻率较高的情况,当土壤电阻率 $\rho > 500 \Omega \cdot \text{m}$ 时,我们可将其定义为高土壤电阻率地区,倘若盲目的在这些地区敷设人工接地网,不仅会造成升压站主接地网接地电阻过高,提高建设成本和运维成本,严重时甚至会威胁设备、电力系统的安全,甚至造成人身伤亡。鉴于此,文章通过对南方某高土壤电阻率地区进行地网接地电阻,将结果与允许值进行比较,分析以上参数超标原因,并针对这类问题提出解决方案及措施。

一、接地电阻超限的危害

接地电阻是故障电流经接地装置流入大地,再经大地流向另一接地体或向远处扩散所遇到的电阻。接地电阻超过允许值时会给运维人员、电气设备等造成严重危害,甚至会破坏电力系统的稳定运行。

(一) 危及人身安全

接地电阻超过允许值时,若系统发生接地故障,会使故障电流不能顺利流入大地,从而造成故障点周围地电位升高,进而形

成超过限值的接触电位差和跨步电位差。这两种超限值的电位差会给运维人员带来严重的安全隐患甚至造成人员伤亡。例如:当设备接地电阻超过限值时,人体手部接触设备外壳,会在接触处和脚部与地接触点之间形成电流通路,这个电流甚至能达到200mA以上,这样的电流对人体的伤害是致命的。

(二) 对设备绝缘造成损坏

接地电阻超限时,故障点与大地之间形成的通路阻值较大,故障电流较小,保护动作的灵敏度因此受到影响,从而使接地故障无法被按时切除。在故障相接地点处产生的长期弧光接地过电

压甚至能够达到正常运行电压的3.5至4倍，该过电压长期作用于设备外绝缘，会加速其老化甚至将其击穿，从而造成电气设备烧毁、爆炸。另外，由单相接地故障引起的系统中性点电位偏移，会使非故障相电压从相电压升高至线电压，即耐受电压由之前的相电压升高到相电压的倍，从而导致正常相上投运的设备外绝缘承受更高的电压，导致一次设备的绝缘破坏和二次设备线圈的损毁。

（三）造成保护装置拒动作

较大的接地电阻会限制接地故障电流的大小，使其低于保护装置的动作限值，从而引起保护装置的“拒动（不能切除故障）”或者“误动（错误动作）”。这种不利的影响不仅会延长故障的持续时间，还有可能扩大事故停电的范围。另外，当故障电流较小时将很难与正常的线路电容电流进行区分，会使故障定位装置失去作用，从而增加了故障排查难度和延长了停电时间。

（四）降低系统稳定性

对于中性点非有效接地系统，较高的接地电阻能够与所在系统的对地电容构成谐振回路，从而产生铁磁谐振，由此产生的谐振过电压往往会达到相电压的数倍，会严重威胁到系统中导体及设备的绝缘安全。另外，当系统遭受雷击或出现操作过电压时，过电流由于大接地电阻的存在而无法快速有效的流入大地，使系统存在较高水平的残压，从而会对附近设备产生“反击”伤害，使系统耐雷水平进一步降低。

（五）带来火灾隐患及电磁干扰

当故障电流经高电阻接入大地时，在高接地电阻路径上会产生高温电弧和局部发热，有引燃周围可燃物，增加火灾的风险。除此以外，接地不良还会导致杂散电流对通信线路或精密电子设备的干扰，影响其正常工作。

二、以南方某新能源项目为例分析高土壤电阻率地区接地参数合规性

对于接地电阻的允许值在各类工程中都不相同，例如：对于露天储罐，独立避雷针接地电阻应 $\leq 30\Omega$ ，无独立避雷针接地电阻应 $\leq 10\Omega$ ；柱上开关、电容器等的金属氧化锌避雷器接地电阻应 $\leq 10\Omega$ ；不接地、谐振接地及高阻接地系统，接地电阻应 $\leq 50/I$ ，且 $\leq 4\Omega$ ；对于低电阻接地系统的接地电阻应 $\leq 2000/I$ ，且 $\leq 4\Omega$ ；对于配电装置TN系统的接地电阻应 $\leq 10\Omega$ 等^[1]。下面以南方某地区新能源发电项目为例，阐述变电站高压配电装置设计初始，接地电阻实际值计算方法并判断其是否合规。

南方某地区新能源发电项目新建一座220kV升压站，两台主变压器，两回出线1回，站址所在区域地层岩性主要以变质岩为主，主要岩性为花岗岩、片岩为主，覆盖层为第四系坡残积黏性土，该地区土壤腐蚀性为微腐蚀，非冻土区域。根据本项目地勘报告，该地区地表土和地下0.8米处的土壤情况基本一致，土壤电阻率为 $950\Omega \cdot m$ ，根据接入系统意见接地故障非对称电流有效值

为3231A，流经本站设备中性点电流 I_n 为1927.5A。



南方某新能源发电项目地下土情 南方某新能源发电项目地表土情

（一）主接地网接地电阻允许值

根据《交流电气装置的接地设计规范》（GB/T 50065-2011）附录E，对于中性点有效接地系统中的三相分体设备，故障电流 I_f 取单相接地不对称电流有效值。根据220kV及以上机组需要继电保护双重化配置，热稳定校验用时间为主保护动作时间+断路器失灵保护动作时间+断路器开断时间，即：

$$t_e = t_m + t_f + t_o = 0.2s$$

根据附录B，等效时间常数 $X/R=30$ ，故取典型衰减系数 D_f 为1.21，因此，接地故障对称电流：

$$I_f = 1862A$$

取站内、外发生接地故障时的土壤分流系数 S_{f1} 均为0.4，对经地网入地的故障对称电流分两种情况求取：

$$1) \text{ 当站内短路时: } I_g = (I_f - I_n) S_{f1} = 521.4A$$

$$2) \text{ 当站外短路时: } I_g = I_n S_{f1} = 771A$$

故取经地网入地的故障对称电流为站外短路时对应的电流有效值，即为771A。

经接地网入地的最大接地故障不对称电流有效值为： $I_G = I_g \cdot D_f = 934A$ 。

根据《交流电气装置的接地设计规范》（GB/T 50065-2011）4.2.1-1对中性点有效接地系统，应符合下列公式要求：

$$R \leq 2000/I_G = 2.141\Omega$$

因此接地电阻允许值应不大于2.141 Ω 。

（二）主接地网接地电阻实际值

在工程设计中，需要首先对接地电阻实际值进行计算，以判断是否应该采取恰当的降阻措施并应用于实际当中，根据《交流电气装置的接地设计规范》（GB/T 50065-2011）附录A和工程现场情况，拟在均匀土壤中，进行主边缘闭合的复合接地网设计，水平接地网长985米，宽84米，埋深0.8米。故有：

$$\text{式 A.0.3-2: } = 0.989$$

$$\text{式 A.0.3-4: } = 0.961$$

$$\text{式 A.0.3-3: } = 3.7$$

$$\text{式 A.0.3-1: } R_n = \alpha_1 \cdot R_e = 3.659\Omega, \text{ 不符合相关标准要求。}$$

三、降低接地电阻措施探究

在高土壤电阻率地区，为了满足尽可能使接地电阻降低的要求，经常会用到由多个接地体并联组合而成的接地网。但这种方法需要用到的型钢较多，并且需要占用的面积很大，且工程量较大，通过这种方法降低接地电阻往往较难达到理想效果。在实际工程当中，多采用降低接地体附近土壤电阻率的措施，以达到降低接地电阻的目的。^[2]

（一）在土壤中加入电解质法

在接地体敷设前后，在其周围土壤掺入盐、炉灰、炭末、焦炭、煤渣等，用以提高接地体附近土壤的导电性能，其中最常用的是掺入盐类物质，例如：NaCl，因为盐类溶于土壤后对改善土壤电阻率效果较好，受季节性影响的变动较小，且成本较低。在实际工程中处理的方法如下：在每根接地体的附近挖设直径0.5至1.0米，深1.5米左右的坑，将土壤和盐隔层填入坑内。通常每层土壤的厚度约10厘米，每层食盐层的厚度约1厘米，填入食盐的过程中同时用水将其湿润。经测算，平均每米接地体的耗盐量约为12至16千克，对于砂质土壤加电解质法可将接地电阻值降至原来的17%至13%左右，对于砂质粘土加电解质法可将接地电阻值降至原来的40%至33%左右。如果再加入电解质中掺入木炭，效果会更为明显。由于木炭属固态导体，不易被腐蚀、溶解和渗透，故掺入木炭会使有效期延长。但是，加入电解质法也有一定局限性，例如：减少了接地体的寿命，加速接地体的锈蚀；对岩石及含石较多的土壤降阻效果不明显；随着盐的逐渐溶化、流失而使接地电阻逐渐增大。所以采用加入电解质法降阻需要每2年左右进行一次维护。

（二）在土壤中加入非电解质（降阻剂）法

降阻剂一般由生石灰和碳粉等为主要原料制成，由于这些物质不能被电解，因此能够在土壤中长期使用，且不会随土壤中的水份流失，所以降阻效果明显且有效期较长，据统计，采用在土壤中加入非电解质法对土壤进行处理得到的接地电阻能够比处理之前接地电阻降低50%。尤其对于岩质地带，采用埋设接地线和降阻剂并用的方法较为明显，其接地电阻值比只埋接地线时能够降低40%。该方法仅需在挖好的接地线沟内先撒上非电解质，再用旧土将接地线沟回填，就能够得到较小的接地电阻。

（三）换土法

使用泥炭、粘土、砂质粘土及黑土等电阻率较低的土壤对敷设完成的接地体进行掩埋，以此替换掉原有电阻率较高的土壤。当条件允许时，也可使采用焦炭、木炭等对接地体附近原有的土壤进行替换。换土的范围通常在接地体周围1至2米的范围内，以及靠地面侧大于等于水平接地极埋深的1/3处的区域内。采用换土法进行接地体施工，接地电阻能够减小至原有接地电阻的60%左右。

（四）采用外引接地法

对于某些位于山丘或丘陵地区的项目，当接地电阻超过限值，而在工程所在地又难以采用有效地降低土壤电阻率的措施时，可采用外引接地的方法。例如在工程所在地附近有湖泊、水流或者电阻系数较低的土壤，则可以考虑在这些地方制作人工接地极或敷设水下接地网，然后再利用接地线（如扁钢带或避雷线）将这些接地极引接至本工程作外引式接地极。采用这种方法时应该注意，使外引接地装置避开人行通道，并应做好警示标识，防止附近经过的人员因跨步电压而触电。穿过越公路时，外引地线的埋深应不小于0.8米。

（五）采用具有导电性能的混凝土法

在水泥中掺入碳质或其他导电纤维，待其凝固后用作接地极

进行使用。例如在水泥中掺入约导电纤维，能够制成导电性能优良的接地极。经检测，这种在1立方米水泥中掺入0.1公斤碳纤维的混凝土导电性能较普通混凝土能提升30%左右。利用这种这种方法的制成的接地极，通常被用于防直击雷保护的接地设计中。为了使冲击接地电阻进一步降低，还可在上述导电混凝土凝固前埋入针状接地极，使放电电流能够通过针状接地极传播至导电纤维当中，经过试验测算，这种方法对降低接地电阻效果同样十分明显。

（六）采用钻孔深埋法

这种方法早在其他国家得到过验证，并在工程实际中取得了较好的效果。近年来，我国也已逐步开始采用这种方法进行降阻。这种方法用到的接地极长度一般需达到5至10米[3]，如果采用过长的接地极不仅会给施工带来困难而且降阻效果效果也不会特别明显。采用不同直径圆钢，其接地电阻值差别很小。钻孔深埋法适用于接地网敷设场地较为有限和建构筑物较紧凑等场所。在这些地方使用传统方法进行接地极敷设空间较为局促，且安全距离无法得到满足，如果在接地极上通过覆盖绝缘层等措施来保障安全，不仅会增加工作量还会增加施工成本。采用钻孔深埋法的接地体，受环境因素影响较小，能够获得稳定的接地电阻值。这种方法由于是将接地极深埋，也能够使跨步电压显著降低，对保证人身安全较有利。另外，这种施工方法较简便，效果明显且成本不高，在未来施工中有望进一步被推广和应用。

四、本工程降阻措施的确定

由于本工程所在地区地层岩性主要以变质岩为主，且工程所在地四周多茶树等高经济作物，为了控制整体工程成本，使项目尽量不破坏原有生态环境，经过经济技术比较，本工程决定采用在钻孔深埋法降低接地电阻。对地形进行现场勘测后，设计提出拟进行打孔地点方案，施工时先按照设计图纸在升压站站址上用钩机挖出深0.8米，宽度500毫米左右的接地极沟，再用电钻在拟定的部分点位钻出深5米直径为160毫米的深孔，置入直径为80毫米的镀锌钢管后，用水平接地极将所有镀锌钢管并联，再灌入碳纤维水泥浆，形成完整的接地体。经过接地电阻测试，接地电阻值降至 1.623Ω 满足设计要求，证明该方法可行。

五、结语

综上所述，在针对高土壤电阻率地区接地网进行电气工程设计施工，如何确保接地电阻值满足相关标准规范要求已成为危及人身及设备安全的关键挑战。电气设计工程师应当从工程实际出发，明确电气工程当中接地电阻的限值要求，并充分熟悉各类降低接地电阻措施的优劣及特点，在有限成本内提出能够降低接地电阻值的有效措施，为电气工程的建设提供可靠的支撑，确保工程稳定运行与安全运维。

参考文献

[1] 中华人民共和国国家标准交流电气装置的接地设计规范 GB/T 50065-2011，中共计划出版社，2011。

[2] 电力工程设计手册变电站设计 [M]，中国电力出版社，2019.6:500-502。

[3] 万收兰：降低季节性冻土地区接地电阻的方法研究 [J]，电气应用，2020(8):48-52。