

高原高海拔地区输电线路接地电阻降低措施

王雪 赵军邦

(国网西藏电力有限公司超高压分公司 西藏自治区昌都市 854000)

摘要：由于高原高海拔地区地质构造的特定性，沙漠、戈壁地质结构占绝大部分。沙漠、戈壁地质给接地系统施工带来很大麻烦。近年来新建 110kV、220kV 变电站接地电阻不能满足规程、规范要求值，因此笔者对所了解及实施过的降低接地电阻的技术措施做一简单论述，以下的技术措施落实实现后变电站接地电阻均能满足规程、规范要求值，以供大家参考。

关键词：变电站；接地电阻；降阻方法

随着电力系统的发展，电压等级的不断提高和系统容量不断增大，系统接地短路电流愈来愈大。下面结合高原高海拔地区的特点及各种接地方式做一简单论述。

1 高原高海拔地区新建变电站接地电阻状况

近年，随着 220kV 电源网架不断深入，110kV 配电网不断完善，高原高海拔地区的变电站日渐增多。通常，变电站所址一般会避开较好的农田，选择地质条件较差的戈壁荒地。随着新疆石化行业的扩建，许多主要给这些石化供电的变电站主要建设在靠近戈壁地区，例如炼油总降变 110kV 变电站所建所址地层主要为厚度大于 10 米岩石组成，土壤电阻率 3000~100000Ω·m。就笔者所了解的近两年在疆内所建多座 220kV 及 110kV 变电站接地电阻都难以满足规程、规范的要求，如何降低接地电阻是电气设计人员目前急需解决的问题。

2 输电线路杆塔接地电阻及接地线长度要求

2.1 接地电阻要求

依据《交流电气装置的接地设计规范(GB/T50065-2011)》(以下简称规范)，对输电线路杆塔接地电阻的要求见表 1。当土壤电阻率超过 2000 Ω·m，接地电阻难以降低至 30 Ω时，可采用 6~8 根总长≤500 m 的放射形接地体或连续伸长接地体，此时接地电阻不受限制。

表 1 不同土壤电阻率的接地电阻要求

土壤电阻率(Ω·m)	≤100	>100~500	>500~1000	>1000~2000	>2000
接地电阻(Ω)	10	15	20	25	30

真正影响雷击反击概率的因素是冲击接地电阻，而非稳态接地电阻[2]。受冲击电流在大地中的散流行为特征的影响，冲击接地电阻、稳态接地电阻存在较大差异，因此工程实际中就出现了杆塔稳态接地电阻值合格，但在线路遭受雷击时却不能发挥有效作用，导致线路跳闸。

1.2 接地线长度要求

接地线过长对雷电流的泄放作用很小，雷电流泄流的地网长度应满足要求：

$$Le \leq 2\sqrt{\rho} \quad (式 1)$$

式中，Le 表示接地网导线长度，m；ρ 表示土壤电阻率，Ω·m。假设土壤电阻率 ρ=100 Ω·m，计算可得 Le≤20 m，即从杆塔引下线与接地网连接点开始计算，超出 20 m 距离的地网导线对雷电流泄流帮助不大。《规范》中对输电线路杆塔接地装置射线敷设长度限值的规定见表 2。

表 2 放射形接地极每根的最大长度

土壤电阻率(Ω·m)	≤500	≤1000	≤2000	≤5000
最大长度(m)	40	60	80	100

3 高原高海拔地区降低接地电阻技术措施

3.1 扩大接地网面积

接地电阻可以用下式计算： $R=0.433 \rho / \sqrt{A} + \rho / L \approx 0.5 \rho / \sqrt{A}$

式中 L 为接地极的总长度(包括水平与垂直) m；A 为接地网的面积 m²。从式中可以看出无疑增大接地网的面积是降低接地电阻的一种行之有效的方法。但是采用此方法也要因地制宜，对于建在山区的变电站及建设在市区的变电站，采用该方式不但在经济上不合算，同时也难于找到合适的场地来扩大接地网面积。

3.2 外引接地装置

当距变电站 2000 米以内有较低电阻率的土壤时，可敷设外引辅助接地网，此方式可特别使用在为了节约耕地，将变电站建设在山坡上，土壤多为风化石或多岩山地，土壤电阻率都很高，但变电站在 2000 米的范围内都有土壤电阻率比较低的地方。因而，可以在低电阻率的地方敷设专门用于降阻的接地装置，接地体埋深都要达到 1.2~1.5 米以下。应当注意，在变电站与远处接地设备

之间存在显著的电位差,特别在雷电等高频冲击作用时电位差将更大,应确保变电站主接地网与外接辅助接地网多根接地导体可靠连接。

3.3 增加接地网的埋设深度

指水平接地网埋设处到地面的距离。但该方式效果不明显,特别是高土壤电阻率地区更是如此,一般不采用这种方法。

3.4 利用自然接地

自然接地包括建筑物、配电室的钢骨架及钢筋混凝土地基、水电站进水口拦污栅、闸门及引水管、各类钢筋混凝土基础或钢板衬砌的竖井、埋于地下的金属自来水管和有金属外皮的电缆等,此方式利用与水电站效果特别明显,技术上容易实现,而且有较好的经济效益。

3.5 局部换土

采用局部换土或降阻剂来更换接地装置周围高电阻率土壤的方法。在新疆许多变电站,此方式是降低土壤电阻率有效而常用的措施。以红帆 220kV 变电站为例:所建站址地层主要由含漂砾卵石层组成,土壤电阻率 200~1500 $\Omega \cdot m$ 。在换土前,接地电阻计算值为 3.4 Ω ,采用局部换土方式后接地电阻计算值为 0.47 Ω ,实际测量接地电阻为 0.18 Ω 。但在使用降阻剂时应注意降阻剂对钢接地体的腐蚀性及其自身的稳定性及扩散性。

3.6 采用长垂直接地极

在高土壤电阻率地区,但是当地下较深处有土壤电阻率较低的地质结构时,采用长垂直接地极来降低其接地电阻方法已被越来越多的工程技术人员所采用。目前,在新疆有许多工程多建设在山区,这些地区土壤多为风化石或多岩山地,土壤电阻率一般在 200~100000 欧姆·米之间变化。以鄯善南山矿区 110kV 变电站为例,该站址地层主要为厚度大于百米的优质的花岗岩组成。土壤电阻率 3000~100000 $\Omega \cdot m$,所以该站采用 8 根 36 米深长垂直接地极来降低其接地电阻的方法,并取得较好效果,接地电阻降至 1.7 欧姆以下。炼油总降变 110kV 变电站,所区接地条件较为复杂,其中主要原因是所址区地层岩性变化极大;一般表层土壤电阻率较大,且水平分布变化也较大,一般在 200~70000 $\Omega \cdot m$ 之间变化;3 米以下土壤电阻率相对较小,一般在 200~500 $\Omega \cdot m$ 之间变化,且相对较为稳定。所以该站采用 10 根 10 米深长垂直接地极降低其接地电阻的方法,并取得较好效果,接地电阻降至 5 欧姆以下。

在选择长垂直接地极降阻方式时应注意以下几点:

(1) 在变电站附近的地区,如发现金属矿体,可将埋深接地体插入矿体上,利用矿体延长接地范围。(2) 当地面的电阻率较高,一般浅理的水平接地体主要起均压作用,长垂直接地极为了减少屏蔽,最好放在接地网或接地网的四周,垂直接地体间的距离大于或等于垂直接地体的长度。(3) 当地下较深处有土壤电阻率高于上层土壤电阻率时采用此方法效果不大,且降阻效果没有水平接地体效果好,应尽量采用外延扩网的方法降阻。(4) 为了保证明显的降阻效果,埋设长垂直接地极中宜灌注低电阻率降阻材料,考虑到节省材料和灌注低电阻率材料的施工要求,垂直接地极可选择直径 50mm,壁厚 3.5 mm 的镀锌钢管,深井的孔径一般在 100~150 mm 之间。(5) 对于高阻地区若要将接地电阻降低到 0.5 Ω 以下,要花费大量财力、物力。若按照《电力工程设计手册》及规程、规范的要求,接地电阻可不超过 5 Ω ,但必须采取以均衡地面电位分布和高电位引出及低电位引入的隔离为主的措施。但生产单位长期建立的大接地系统小于 0.5 Ω 低接地电阻值的思想,并且害怕提高接地电阻后损害电气设备以及人身受到伤害,要提高接地电阻至 5 Ω 以下,实施起来还有一定阻力。

结论

综上所述,要降低高原高海拔地区变电站的接地电阻,目前在戈壁荒地最多、最经济实惠的方式是采用局部换土的方式,在矿区变电站,采用长垂直接地极方式效果更好。作为设计人员应当注意的是各种降阻方法都有其应用的特定条件,要针对不同地区、不同条件采用不同方法相互配合,才能获得最合理、经济的降阻效果。

参考文献:

- [1] 邓先林.探究输电线路的防雷设计与运维技术[J].智能城市,2020,6(3):80-81.
- [2] 冯焱冲,刘龙洋,陈政,等.配网架空地线的设计、防雷效果和经济性研究[J].电工技术,2023(5):161-165.
- [3] 邓先林.探究输电线路的防雷设计与运维技术[J].智能城市,2020,6(3):80-81.
- [5] 陈四甫,陶晓莉,朱渊博,等.接地材料与土壤接触电阻测定方法研究[J].电气技术,2023,24(3):31-35.
- [5] 张国锋,胡松江,张明磊,等.杆塔接地网用新型接地材料降阻效率的影响因素优化分析[J].微型电脑应用,2021,37(5):27-29,33.
- [6] 王毅,程梓航,王喆,等.输电线路杆塔长距离外延接地散流特性研究[J].山东电力技术,2022,49(11):1-6,19.