

变电站接地网的降阻设计探讨

张卓为

(浙江省电力设计院, 杭州 310012)

摘要: 高土壤电阻率地区的变电站, 宜着眼于在征地范围内解决降低接地电阻的问题, 可考虑在进站道路路基下设置外延水平接地体, 对深回填的大面积回填区设双层接地网; 尽量利用征地范围内的低土壤电阻率地层。如政策处理允许, 也可考虑外引到征地范围以外。综合利用以上方法, 可使变电站的接地电阻达到设计要求。

关键词: 接地电阻; 外延; 双层接地网; 接地井

中图分类号: TM862

文献标志码: B

文章编号: 1007-1881(2010)07-0011-04

Discussion on Design of Reducing Resistance of Substation Grounding Grid

ZHANG Zhuo-wei

(Zhejiang Electric Power Design Institute, Hangzhou 310012, China)

Abstract: For substations in the district with high soil resistance rate, it is suitable to solve the problem of reducing grounding resistance within the land acquisition area. It is recommended to install the horizontal extended grounding body under the bed of access road to substation, set up a double-layer grounding grid in large deep backfilled area, make full use of low resistance rate land layer within the land acquisition area to lead the grounding body to that area. Grounding body can be extended outside the land acquisition area only if allowed by the policy. By using these comprehensive methods, the substation grounding resistance can be reduced to meet the design requirement.

Key words: grounding resistance; access road to substation; double-layer grounding grid; grounding well

工频接地电阻值是考核接地装置的主要指标, 直接关系到工频接地短路和雷电流入地时的地电位升高。位于高土壤电阻率地区的变电站, 须采取各种措施来降低接地电阻至要求值。有效的降阻措施包括扩大接地网面积、水平接地体外延、双层接地网、接地井、水平接地网均压带加密、降阻剂、电解离子接地极等。本文结合工程实例, 对常用降阻措施的适用性和局限性、应用效果、实施方式和施工要点等予以分析, 提出降阻工程中可循用的设计思路。

1 常用降阻措施分析

变电站的接地网是以水平接地极为主边缘闭合的复合接地网, 其接地电阻通常按以下公式计算^[1]:

$$R_n = \alpha_1 R_e \quad (1)$$

$$\alpha_1 = \left(3 \ln \frac{L_0}{\sqrt{S}} - 0.2 \right) \frac{\sqrt{S}}{L_0} \quad (2)$$

$$R_e = 0.213 \frac{\rho}{\sqrt{S}} (1+B) + \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{S}{9hd} - 5B \right) \quad (3)$$

$$B = \frac{1}{1 + 4.6 \frac{h}{\sqrt{S}}} \quad (4)$$

式中: R_n 为任意形状边缘闭合接地网的接地电阻; R_e 为等值(即等面积、等水平接地极总长度)方形接地网的接地电阻; S 为接地网的总面积; ρ 为土壤电阻率; d 为水平接地极的直径或等效直径; h 为水平接地极的埋设深度; L_0 为接地网的外缘边线总长度; L 为水平接地极的总长度。

由式(1)-(4)可知, 增大接地网面积 S 、接地

网外缘边线总长度 L_0 和减小土壤电阻率 ρ 对降低接地电阻 R_n 的效果明显；在一定范围内增大水平接地极总长度 L 对降低 R_n 也有作用，但当 L 达到一定值后再继续增大对 R_n 的影响变得十分微弱；增大参数 d, h ，对降低接地电阻 R_n 作用有限，与其经济性相比不具备可取性。在变电站有效的降阻措施中，外引扩网和水平接地体外延在水平方向上增大了 S, L_0 ，双层接地网和接地井相当于在垂直方向上增大 S, L_0 ，降阻剂和电解离子接地极的作用是减小 ρ ，而水平接地网均压带加密则起到增大 L 的作用。

2 外引扩网或水平接地体外延

外引扩网指在变电站接地网以外(一般 1 km 之内)的适宜区域另外敷设一闭合接地网，与站内主接地网相连。水平接地体外延指从站内主接地网边缘某起点外延水平接地体。两者均是在水平方向扩大接地网，通过站外的扩网或外延的水平接地体与站内主接地网并联来降低变电站接地电阻。扩网或外延水平接地体的接地电阻按 DL/T 621-1997《交流电气装置的接地》^[1]附录 A 计算。

外引扩网或水平接地体外延均为十分有效的降阻措施。例如，220 kV 青田变电站平均土壤电阻率 $2\ 700\ \Omega\cdot\text{m}$ ，站址处约 3 m 下为土壤电阻率 $2\ 000\sim 4\ 000\ \Omega\cdot\text{m}$ 且层厚大于 30 m 的坚硬花岗岩层，主网接地电阻约 $9\ \Omega$ ；青田变的外引接地体位于站址附近高速公路路基下，外引接地体与站内主接地网采用架空线连接，过公路等处用电缆连接。采用了外引扩网后，接地电阻降至 $1\ \Omega$ 。

外引的扩网或外延的水平接地体作为变电站接地网的一部分，其设计参数如埋深、上方敷设的高电阻率结构层厚度等要满足规程^[1]规定；因位于变电站围墙以外，还要防止建成后误遭外力破坏。为尽量减少与站内主接地网间的屏蔽，外延的水平接地体宜采用放射状，起点可选择主接地网四角处或其它有外引条件的点。扩网或外延接地体与原接地网要可靠连接，连接点一般为 3 点及以上，并防止外力破坏和腐蚀。如扩网或外延区土壤电阻率较低，则降阻效果更好；尤其是含水量相对高的地块，如滩涂、小溪等，可铺水下或岸边地网。

外引扩网或水平接地体外延，如扩展到征地

范围以外，就涉及到政策处理；而浙江省内变电站建设工程中征地范围外的政策处理困难，这是限制其应用的最主要因素。

在征地范围之内，可利用变电站配套新建或改造的进站道路来设置外延接地体。通常进行以下设计和施工：在已征地进站道路的路基下预埋 2 根水平接地体，规格同主网；埋深根据跨步电势要求；上方采用碎石、砾石或卵石的高电阻率结构层，厚度不小于 200 mm，以满足跨步电势的要求；每隔 10 m 左右可设置 1 根均压带。

在进站道路下设置外延接地体，几乎不涉及政策处理、费用低廉、施工方便且与进站道路同步建设，是工程中处理降阻问题时首先可考虑采取的措施。例如 220 kV 栅浦变，平均土壤电阻率 $195\ \Omega\cdot\text{m}$ ，主网接地电阻 $0.54\ \Omega$ ，新建进站道路长 250 m；设计采用在进站道路下预埋外延水平接地体来降阻，变电站接地电阻降至 $0.4\ \Omega$ 。

3 双层接地网

双层接地网适用于回填深度超过 1.5 m 的填方区。当变电站内的回填区占变电站面积 1/3 及以上或回填区土壤电阻率较低时，可考虑在回填区设双层接地网。上层接地网为全站共有，设置于变电站设计标高下 0.8 m，间距按常规接地网设计；下层接地网增设于填方区原土层下 0.5 m，沿填方区外缘四围敷设 1 周；内部均压带间距可不设，或取 50 m 以上、或根据填方区面积和原土层土壤电阻率酌情选取。下层接地网边缘引上 8 根接地体与上层接地网可靠连接，上引接地体间距尽量大，下层接地体和上引接地体的规格均与上层接地体规格相同。

双层接地网是个立体接地网，虽然上下层接地网间相互屏蔽，但从工程应用效果看对降阻仍有一定作用，尤其适用于原土层上部土壤电阻率较低或回填土土壤电阻率较高的填方区。在实际工程中，要求回填工密实紧夯，土壤电阻率低于 $40\ \Omega$ ，但实际普遍难以实现。回填土通常就地取材，最常见的是部分区域挖方，部分区域填方，用挖方土做回填土，回填土的土壤电阻率相对较高。例如 220 kV 清漾变，回填区原土层上部土壤富水性较好，平均土壤电阻率 $70\ \Omega\cdot\text{m}$ ；下方为厚度大于 50 m 的砂岩，平均土壤电阻率 $500\ \Omega\cdot\text{m}$ ，

变电站主接地网接地电阻 0.95Ω 。虽然进所道路长仅 50 m ,但在进站道路下预埋外延接地体和填方区设双层接地网(下层地网面积 $11\,210 \text{ m}^2$)后,变电站实测接地电阻降至 0.5Ω 以下。

双层接地网的费用低廉、施工方便,与场地平整同步建设;不仅有降阻作用,对均压也有好处。工程中处理接地降阻时,对回填深度超过 1.5 m 的大面积回填区,可考虑设双层接地网。

4 接地井

应用接地井的实质是在垂直方向上扩大接地网。接地井的接地电阻估算^[2]为:

$$R_k = \frac{\rho_y}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d_1} + \frac{\rho_z}{2\pi l} \ln \frac{d_1}{d} \quad (5)$$

式中: R_k 为接地井的接地电阻; ρ_y 为原地层的电阻率; ρ_z 为置换材料的电阻率; l 为垂直接地体长度; d 为垂直接地体直径; d_1 为接地井计算直径。

当变电站下层土壤电阻率小于上层土壤电阻率(如有地下水)时,接地深井应用效果良好。接地深井也可用于土壤电阻率基本均匀的变电站,不建议用于下层土壤电阻率远高于上层土壤电阻率(如山区变电站,上层为土壤、下层为岩石)或岩层坚硬钻井困难的变电站。当变电站上层土壤电阻率较低时,也可考虑接地浅井,井深在低土壤电阻率层内,但 20 m 之内的接地浅井对于大中型地网的降阻作用很小。

接地井布置时,必须考虑接地井互相的屏蔽、接地井与主接地网间的屏蔽。在均匀电阻率土壤中,流过大地电流,向垂直和水平方向呈半球形等位面扩散。根据实际工程经验,如以接地井坐标为圆心、接地井深度为半径作圆,该圆与主接地网或其它接地井等效圆的面积重叠部分比例,近似为相互屏蔽的比例。因此,接地井宜设置于变电站四角,且有足够深度,深度计算要考虑屏蔽影响。在均匀电阻率土壤中,多个接地浅井的作用往往不如 1 个接地深井。当变电站下层土壤电阻率较小时,井深应尽可能达到低土壤电阻率地层,深入到地下水位更佳。

220 kV 芦江变电站的平均土壤电阻率为 $300 \Omega \cdot \text{m}$,主接地网实测接地电阻 0.87Ω ;在站区四角设计 4 口 150 m 深井后,变电站实测接地电阻

降至 0.58Ω ,满足设计要求。又如 220 kV 诸暨变电站的平均土壤电阻率 $500 \Omega \cdot \text{m}$,经在站区四角增设 4 口 70 m 深井,井深到达了地下水位层,顺利解决了接地网降阻问题。

采用深井降阻时,不宜在深井坐标附近再用水平接地体放射状外延,因为外延的水平接地体同样会与深井的垂直接地极相互屏蔽。但深井可设置在水平外延接地体的外延终点。

5 其它降阻方法

5.1 加密水平接地网均压带

考虑到地表的电位分布均匀和适宜变电站内设备接地引上线的需要, $500 \sim 220 \text{ kV}$ 变电站主接地网通常采用 $13 \text{ m} \times 13 \text{ m}$ 的方孔地网,以 1 个 220 kV 变电站为例,假设此时接地电阻为 R 。当主接地网孔加密到 $8 \text{ m} \times 8 \text{ m}$ 时,接地电阻约 $0.95R$;若将主接地网做成 1 块钢板,接地电阻约 $0.88R$;若仅沿变电站围墙内侧敷设 1 个地网轮廓,接地电阻约 $1.4R$ 。这是由于水平接地体相互之间屏蔽的原因。可见,一味加密水平接地网孔距,其降低接地电阻的效果与经济相比是不适宜的。

实际工程中,可通过计算适当加密主接地网孔,但应经过技术经济性比较。

5.2 人工改善土壤电阻率

用低电阻率土壤置换高电阻率土壤,这种方法虽有效果,但对大中型地网而言,由于工程量太大而很少采用。在接地体和自然土壤之间敷设优质降阻剂,可改善接地装置附近的土壤电阻率、增大接地体的等效截面积、增大接地体和土壤的接触面积、降低接地体与土壤间的接触电阻,对降低工频接地电阻有一定效果。降阻剂对提高接地网瞬间泄流能力、降低冲击接地电阻也有一定效果。雷电冲击电流下,接地装置呈现的冲击电阻与平常工频电流下的工频接地电阻的比值,称为冲击系数。有数据显示,填充优质降阻剂相对自然土壤,可降低冲击系数约 10% 。

但是对于大中型地网,当降阻剂应用于水平接地网内时,由于水平接地网的屏蔽作用,降低地网接地电阻的效果并不显著,主要还是起到均压的作用。同时,当降阻剂应用于水平接地网内

(下转第 27 页)

(上接第 13 页)

时,施工量大,降阻效果与施工质量密切相关,对施工的要求高。因此,浙江省内 220 kV 以上变电站很少在水平接地网内采用降阻剂作为主要降阻措施。

不过,在接地井内压力灌降阻剂却是十分必要的。从式(5)可见,接地井内灌压优质降阻剂,能降低接地井单孔电阻。接地井与主接地网并联,从而降低了全站接地电阻。

为保证降阻效果,使用的降阻剂应电阻率低、无污染无毒性、对接地极无腐蚀作用,且最好能保护接地极不受腐蚀;稳定、长效,不随地下水流失;有良好的导电渗透功能。

另外,电解离子接地极的作用类似降阻剂,且施工较降阻剂简单,在工程中有一定应用。

6 结语

在变电站的降阻设计中要针对工程实际,对

站址作认真详实的勘测,根据站区和周边的地形、一定深度范围内的地质土壤电阻率、水资源分布情况等综合分析,既要满足征地政策处理的要求,也要考虑变电站建成后接地网维护的方便。实际工程中,降阻措施的选用通常不是单一的,而是几种措施的综合,最终通过技术经济比较才能确定较好的降阻方案。

参考文献:

- [1] DL/T 621-1997 交流电气装置的接地[S]. 北京:中国电力出版社,1998.
- [2] 戈东方,钟大文. 电力工程电气设计手册(电气一次部分)[M]. 北京:水利电力出版社,1989.

收稿日期:2010-04-27

作者简介:张卓为(1974-),女,浙江杭州人,工程师,从事变电工程设计工作。

(本文编辑:杨 勇)



下 期 要 目

- 输电线温度及载流量的 ANSYS 计算方法
- 宁波电网与济南电网继电保护配置的分析比较
- 基于无线双网关的移动应急远动系统探讨
- 省地县三级调度 DTS 互联在浙江电网反事故演习中的应用
- 微油点火燃烧器建模及数值计算方法的研究
- 新型蜂巢式一次风风量测量装置的研究和应用
- 超临界 600 MW 机组双背压凝汽器抽空气管路的改进
- D 汽轮机的高压通流受阻运行分析
- 基于 IEC 61970 的智能电网数据采集平台设计
- 2009 年浙江火电机组热工保护系统可靠性改进