

文章编号:1000-582X(2004)01-0049-05

SZJ型接地装置的接地电阻计算方法

陈先禄¹,赵爱华¹,刘渝根¹,韩建雄²,陶森林²,苏鹤声²

(1.重庆大学电气工程学院,重庆400030;2.四川电力实业总公司,四川成都610021)

摘要:通过理论分析、试验和工程实际应用表明,SZJ型接地装置是一种可以明显降低接地电阻的新型接地装置。该装置在土壤电阻率较高或地网占地土地面积较小的接地工程中,更具有独特的降低接地电阻的效果。同时研究了采用SZJ型接地装置的设计和计算方法。

关键词:SZJ接地装置;接地电阻;土壤电阻率

中图分类号:TM83

文献标识码:A

电气装置的接地是维护电力系统安全可靠运行、保障设备和运行人员安全的重要措施之一。人们在降低接地电阻方面,曾做了大量的研究工作,采取了各种技术措施,如增大接地体的尺寸、增加接地体的埋设深度、深井接地、引外接地、采用降阻剂等^[1-2]。这些措施对降低接地电阻都有不同程度的效果。但是,在实施过程中,往往会遇到施工难度较大,工程费用较高,场地条件限制,环境污染等问题。特别在高土壤电阻率地区,很难取得满意的降阻效果。

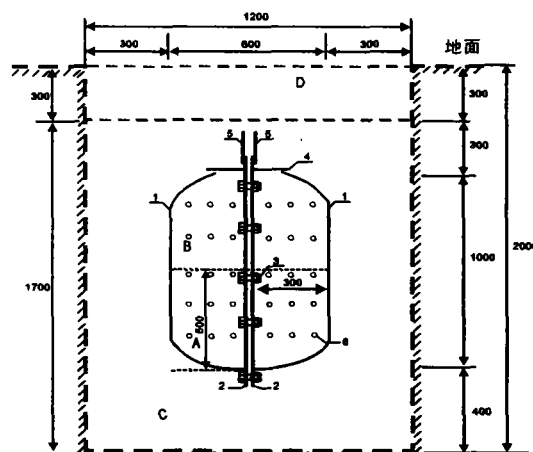
为了探索降低接地电阻的新方法,笔者研制了SZJ型接地装置。经过理论分析,试验和实际的工程应用表明,该装置具有结构新颖,施工方便,散流特性好,接地电阻小,耐腐蚀,工程费用低,对环境无污染等优点,值得在各类接地工程,特别是在土壤电阻率较高的接地工程中普遍推广应用。

1 SZJ型接地装置

SZJ型接地装置,其基本部件是一个用3mm厚的优质钢板,经加工成形的形状近似为半径300mm,高1000mm的半圆筒,其表面全部经过热镀锌处理。该装置的示意图如图1所示。

2 SZJ型接地装置降低接地电阻的原理分析

接地网的接地电阻R由以下4部分组成:接地引线的电阻;接地网接地体的电阻;接地体与周围土壤的接触电阻;接地体周围土壤的散流电阻。其中占主导



1. 两个钢制半圆筒;2. 两个半圆筒的连接法兰;3. 连接两个半圆筒的连接螺栓;4. 圆筒顶盖,筒盖上钻有多个渗水小孔;5. 两个半圆筒分别与水平接地网相连的连接引线;6. 半圆筒上钻的多个渗水小孔;A. 筒内吸水保水材料与天然水的混合填充区域;B. 筒内天然水的填充区域;C. 圆筒四周用低电阻率粘土回填区域;D. 地表面区域,回填一般泥土即可。

图1 SZJ型接地装置安装示意图(mm)

地位的是土壤的散流电阻。

如图1所示,SZJ接地装置具有较大的散流面积,具有较好的散流特性;接地体埋入接地坑中,在其周围回填电阻率较低的粘土,并夯实,这一方面进行了局部土壤置换,另一方面大大减小了接地体与地的接触电阻;此外,在接地体腹内有优良的吸水保水材料,特别干旱的地方采用注水方式,使接地体周围土壤保持长期湿

• 收稿日期:2003-09-08

作者简介:赵爱华(1978-),男,安徽宿松人,重庆大学硕士研究生,主要从事电力系统过电压及接地的研究。

润,有较好的导电性能。因此,SZJ 接地装置有较小的接地电阻。下面通过理论分析和试验等研究了 SZJ 接地装置接地电阻的计算方法,便于工程设计和应用。

2.1 SZJ 接地装置接地体的接地电阻

由图 1 所示,SZJ 接地装置的接地体实际埋入土壤深度不超过 2 m。因此,地表面的影响不能忽略。这样的问题称作半空间问题,即把地表面作为平分全空间的界面,地表面下被土壤电阻率为 ρ 的媒质充满。设接地装置未采用接地坑时的散流电阻为 R_0 ,参考图 1,设圆柱的高度为 L ,直径为 $d(d=2r_0)$,应用镜像法很容易推导出 SZJ 装置的 R_0 的计算公式为^[3]:

$$R_0 = \frac{\rho}{2\pi L} \times \ln \frac{4L}{1.36d} \times \frac{2h+L}{4h+L} \quad (1)$$

式中, L 为接地体高度; h 为接地体埋深; d 为接地体圆柱面直径。

为验证公式(1)的正确性,在重庆大学高压试验室的半球形砂池及其配套的接地专用试验设备上进行了试验。对不同的土壤电阻率 ρ ,SZJ 接地装置接地电阻的试验值 R'_0 、理论计算值 R_0 及其相对误差列于表 1 中。

表 1 SZJ 接地体的接地电阻试验值 R'_0 与计算值 R_0 的比较

$\rho/(\Omega \cdot \text{m})$	278	504.8	764	989	1 245
R'_0/Ω	43.9	83.4	123.1	162.4	200
R_0/Ω	45.51	82.64	125.07	161.90	203.81
$(R'_0 - R_0)/R'_0/\%$	3.67	0.91	1.60	0.31	1.91

从表 1 中可看出,两者的相对误差低于 4%。这说明用公式(1)计算得到的接地电阻值比较准确,可以用来进行工程设计计算,其计算结果满足工程要求。

2.2 SZJ 接地装置的接地电阻

上面分析了 SZJ 接地装置的接地体在半无限空间的接地电阻的计算方法,这是在没有考虑接地坑和水分作用情况下的计算公式。为便于分析,引入降阻系数 k_1 和 k_2 分别代表接地坑和水分降低接地电阻的作用。下面先讨论接地坑的降阻作用。

2.2.1 接地坑的降阻作用

以半球形接地电极为例,如图 2 所示。其散流电阻 R_0 为

$$R_0 = \frac{\rho}{2\pi r} \quad (2)$$

r 为半球形接地板半径, r_1 接地坑半径。

设采用接地坑后接地装置的接地电阻为 R_1 。对于半球形接地板,设回填土电阻率为 0,则其 R_1 和 R_0 之比为 α :

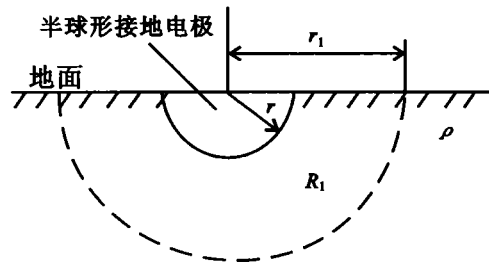


图 2 接地极模型

$$\alpha = \frac{R_1}{R_0} \times 100\% = \left(1 - \frac{r}{r_1}\right) \times 100\% \quad (3)$$

根据式(3),绘出 r_1 和 α 的关系曲线如图 2 所示。从图 2 看出,当 r_1 为 r 的 2 倍时,其散流电阻几乎占全部散流电阻的一半。把这部分土壤区域称为主电阻区域。由于主电阻区域的半径仅比接地电极的半径大 1 倍,因此,采用接地坑将低电阻率的粘土置换这部分土壤可以大大降低接地体的接地电阻,且工程量并不大。

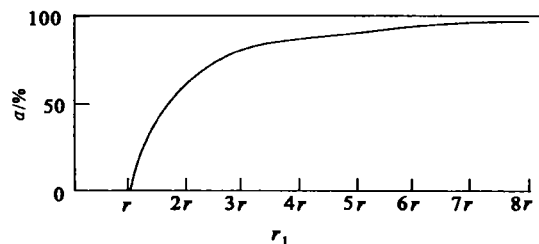


图 3 r_1 和 α 的关系曲线

2.2.2 降阻系数 K_1

从以上分析知,在采用接地坑并对坑内土壤进行置换后,可明显降低周围土壤的散流电阻。为便于分析计算,引入降阻系数 $K_1 = R_1/R_0$,其中 R_0 为采用接地坑前的接地电阻, R_1 为采用接地坑后的接地电阻。

对于单个 SZJ 接地装置而言,在接地体安装完成后未注入水之前,其接地电阻 R_1 为:

$$R_1 = K_1 R_0 \quad (4)$$

在回填土壤电阻率 ρ_0 比坑外的土壤电阻率 ρ 小 10 倍的情况下,在重庆大学高压试验室进行了相应试验。试验测得的 ρ 、 R_0 、 R_1 以及试验取得的 $K_1 = R_1/R_0$ 的相应数值列于表 2 中。

由表 2 知,试验得到的 K_1 值在 0.70 ~ 0.74 之间。在工程应用中,降阻系数 K_1 与接地坑的形状,大小和回填土的电阻率 ρ_0 与环境土壤电阻率 ρ 等因素有关,当满足 $\rho_0/\rho \leq 1/10$ 时, K_1 的值可在 0.70 ~ 0.74 之间选取。

表 2 采用接地坑前后的试验值 R_0 、 R_1 及 K_1 的试验取值

$\rho/(\Omega \cdot \text{m})$	278	504.8	764	989	1 245
R_0/Ω	43.9	83.4	123.1	162.4	200
R_1/Ω	32.4	60.1	88.2	113.6	141.2
K_1	0.738	0.721	0.716	0.699	0.706

2.2.3 降阻系数 k_2

由于SZJ接地装置具有良好的储水、渗水和吸水性能,使接地体与周围土壤长期保持湿润。同样,在重庆大学高压实验室进行了相应试验,分别测出了SZJ接地装置注水前后,其接地电阻 R_1 、 R_2 以及降阻系数 k_2 的试验数据如表3所示。

表3 注水前后 R_1 、 R_2 的试验结果及 k_2

$\rho/(\Omega \cdot m)$	278	504.8	764	989	1245
R_1/Ω	32.4	60.1	88.2	113.6	141.2
R_2/Ω	14.7	25.8	36.8	44.7	52.4
K_2	0.45	0.43	0.42	0.39	0.37

降阻系数 $K_2 = R_2/R_1$ (5)

根据表3所列的 K_2 值,可以得到土壤电阻率 ρ 与降阻系数 K_2 的关系曲线如图4所示。

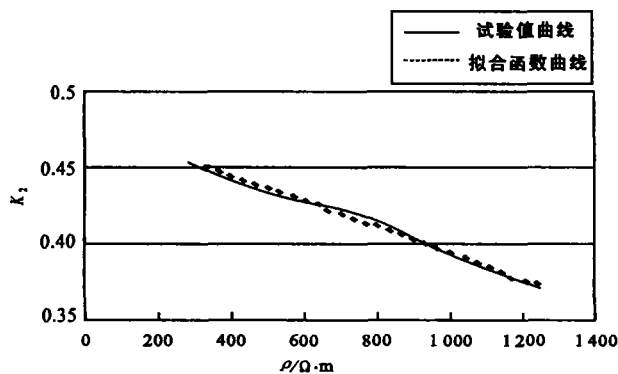


图4 降阻系数 K_2 和土壤电阻率 ρ 的关系曲线

由此试验结果看出,注水后,可使散流电阻降低1倍以上,且土壤电阻率 ρ 越大,降阻系数 K_2 越小。

对图4的试验曲线进行二次多项式的函数拟合,拟合结果如式(6)所示。

$K_2 = A + B\rho + C\rho^2$ (A 、 B 、 C 为一组常数) (6)

其中, A 、 B 、 C 的值与回填土壤的渗水性能和土壤成份的离子化能力有关。

在图4中,同时绘出了拟合函数的曲线,并与试验值曲线进行了比较。从比较结果看,二者的误差很小。因此,使用计算公式(6),依据给定的 ρ 值,来计算降阻系数 K_2 的值,可以满足工程要求。

综合以上分析,对于单个SZJ接地装置,在接地体完成安装并注入水后,其接地电阻 R 为:

$R_2 = K_1 K_2 R_0$ (7)

式(7)中, K_1 取值范围为 0.70 ~ 0.74,通常取 $K_1 = 0.72$; K_2 按式(6)计算; R_0 按式(3-1)计算。

3 SZJ装置与水平接地网构成复合接地网的分析计算

在实际工程中的接地网,为满足降低接地电阻、接

触电压和跨步电压等的需要,往往采用由水平接地网与多个SZJ接地装置相连构成复合接地装置。研究表明^[4-5],由于屏蔽作用,复合接地装置的接地电阻值 R_f ,要大于水平接地网与SZJ接地装置接地电阻值的并联值 R_b ,为便于分析计算,引入利用系数 η ^[6],且令

$\eta = R_b/R_f = \frac{R_3 // R_s}{R_f}$ (8)

式(8)中, R_3 为所有SZJ接地装置并联后的等效接地电阻, R_s 为水平接地网的接地电阻, $R_1 // R_s$ 为 R_1 与 R_s 并联后的等效接地电阻,采用 N 个SZJ装置时,

$R_3 // R_s = \frac{\frac{R_2 \cdot R_s}{N}}{\frac{R_2}{N} + R_s}$ (9)

由式(9),(10),可得出由多个SZJ接地装置与水平接地网构成复合接地装置后,其接地电阻 R_f 的计算式为:

$R_f = \frac{\frac{R_2 \cdot R_s}{N}}{\frac{R_2}{N} + R_s} \times \frac{1}{\eta}$ (10)

式(10)中, η 为利用系数; N 为SZJ接地装置的使用个数; R_s 为水平接地网的接地电阻; R 为单个SZJ接地装置的接地电阻,由式(7)计算。

下面绘出面积分别为 $100\text{ m} \times 100\text{ m}$, $150\text{ m} \times 150\text{ m}$, $200\text{ m} \times 200\text{ m}$, $250\text{ m} \times 250\text{ m}$ 等4种典型的水平接地网使用 N 个SZJ接地装置与利用系数 η 的关系曲线,以供工程设计参考。计算中,取水平接地体按等间距 10 m 布置,导体等值半径为 0.011 m ,埋深 0.6 m ,土壤电阻率为 $250\ \Omega \cdot \text{m}$ 。

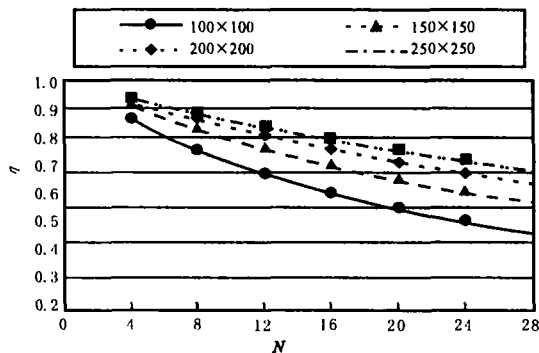


图5 利用系数 η 和接地体数量 N 的关系图

4 SZJ型接地装置的工程应用

SZJ型接地装置已在四川自贡的110 kV燕子山变电站和江苏徐州的220 kV贺村变电站等接地改造工程中实际应用。

四川自贡的110 kV燕子山变电站,其土壤电阻率在 $185 \Omega \cdot \text{m}$ 左右。在地网改造前,其接地电阻为 0.65Ω ,不满足规程要求。在接地网改造时,应用了6个SZJ型接地装置,经测试,接地网的接地电阻降为 0.42Ω ,满足了规程要求。而通过理论计算所得的电阻值为 0.45Ω ,与测试值误差为7%,计算结果偏高,这是由于计算中参数选取保守的缘故。

江苏徐州的220 kV贺村变电站,其土壤电阻率在 $500 \Omega \cdot \text{m}$ 以上。在地网改造前,其接地电阻为 0.83Ω ,不满足规程要求。在地网改造时,使用了40个SZJ型接地装置,经测试,接地网的接地电阻降为 0.45Ω ,满足了规程要求。通过计算所得的电阻值为 0.47Ω ,与测试值的误差为4%。

自贡110 kV燕子山变电站和徐州220 kV贺村变电站的工程应用结果表明,SZJ装置是一种新型的接地装置,具有降低接地电阻的作用。

5 结 论

1) 通过理论分析、模拟试验和现场应用等对SZJ接地装置降阻机理与作用进行了研究,提出了使用SZJ接地装置的工程设计方法和计算公式。

2) 经理论分析、试验与工程应用表明,SZJ接地装置具有散流特性好,降阻效果好,施工方便、耐腐蚀,对环境无污染,接地工程费用低等一系列优点,因而普遍适用于电力、通信、化工、计算机的防雷与接地工程。它不仅可作独立接地体单独使用,也可与水平接地网配合使用,是一种较为理想的新型接地装置,具有广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] 陈先禄,刘渝根,黄勇,等.接地[M].重庆:重庆大学出版社,2001.
- [2] 刘群,曾嵘,何金良,等.110 kV古冶变电站接地系统设计方案及其实施效果[J].电网技术.2001,25(4):40-42,46.
- [3] 戈尔德.雷电[M].北京:水利电力出版社,1983.
- [4] 陈家斌.接地技术与接地装置[M].北京:中国电力出版社,2003.
- [5] 曾嵘,何金良,吴维韩,等.变电站接地系统中垂直接地极作用分析[J].中国电力,2000,33(5):62-65.
- [6] 陈先禄,刘黎,刘渝根,等.用垂直接地极降低地网接地电阻的若干问题[J].电工技术杂志,2002(11):56-58.

Grounding Resistance Calculation Methods of SZJ Grounding System

CHEN Xian-lu, ZHAO Ai-hua, LIU Yu-gen, HAN Jian-xiong, SU He-sheng

(1. College of Electrical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China;

2. Sichuan Power Corporation, Chengdou sichuan, 610021, China)

Abstract: With theoretic analysis, lab experiment and engineering application, it is indicated that the SZJ grounding system is a new type grounding system which distinctly reduces the grounding impedance of grounding grids, especially of grounding grids in the zones with high-resistivity or grounding grids with scanty area. The design and calculation method for application of SZJ grounding system is also studied.

Key words: SZJ grounding system; grounding resistance; soil resistivity

(编辑 陈移峰)