

接地网地面电位分布计算分析

李欣¹, 龙辉², 戴玉松¹, 李建明³

(1. 西华大学电气信息学院, 四川 成都 610039;

2. 四川省电力公司资阳公司, 四川 资阳 600021; 3. 四川电力试验研究院, 四川 成都 610072)

摘要: 利用编写的软件计算分析恒定电流通过变电站接地网时地面的电位分布与电位梯度分布, 分析接地网的跨步电压和接触电压。

关键词: 接地网; 电位分布; 跨步电压; 接触电压

Abstract: Using the edited software the potential distribution and potential gradient distribution of earth surface when constant current flowing through ground grid of substation are calculated and analyzed. The step voltage and contact voltage are also analyzed.

Key words: ground grid; potential distribution; step voltage; contact voltage

中图分类号: TM751 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-6954(2010)03-0056-02

过去认为接地网的接地电阻越小就越安全, 测量评估一个接地网的安全时, 常常看接地电阻是否满足要求即可。实际上, 接地电阻与安全的关系并不简单。接地电阻比较低的接地网, 在某些情况下也可能存在危险。安全与不安全主要是指发生接地故障时, 接地网流入大地的电流是否在地网内部及周围, 或者在构筑物或接地设备构架与附近地面之间产生危险的电位差, 以及是否对一次或二次设备发生反击, 产生危害。因此, 电位分布和电位梯度对分析接地网的安全性是十分重要的。

变电站接地网的接地参数由于受到接地网形状和大地结构等因素的影响, 很难得到解析解。从 1972 年以来, 国内外学者对接地系统接地参数的数值计算进行了大量的研究, 并将各种数值计算方法应用到了接地参数的计算中, 如模拟电荷法、边界元法、有限元法、矩量法和有限差分法等。在结合各种接地网数值计算方法的基础上, 编写了能用于复杂形状接地网的软件。

此前有许多文章主要针对不同土壤电阻率, 不同土壤层的接地电阻计算。在电位分布计算方面, 由于电击事故的主要类型可分为接触电击、跨步电击和转移电击这三类。之前的文章多为研究接触电击的情况, 计算出接触电位差。由于通过计算可知, 一个网格电压最低点在网格中心点, 所以之前的计算大多是计算网格中心点和节点的电位。

主要介绍采用自开发的软件对接地网通过恒定

电流时地表的电位分布进行计算, 计算出地网的接地电阻及由不同 X 值、Y 值和代表电位值的 Z 值组成的电位分布矩阵, 并把计算结果通过 ORIGIN 软件进行分析, 能够比较清晰的看到整个地网地表的电位分布, 而不像以前多是看见地表上一条线的电位分布。同时可以看到地网不同步长情况下电位梯度的分布。

1 计算原理

设恒定电流 I 由接地极网分散泄流流入大地, 土壤电阻率为 ρ 以无穷远处为电位参考点。边界条件: $V_{\infty} = C$ 式中 C 为常数。

把地网分为 n 段, 设在第 i 段上的电流为 I_i , 由叠加定理可得到通过地网泄漏的电流 I 在 P 点产生的电位: $V_p = \sum_{i=1}^n R_i I_i$

同时设 R_{ij} 为第 j 段施加单位电流源时在第 i 段上产生的电压, 在此定义为互电阻, 用 R_{ij} 表示; 当 $i=j$ 时, R_{ij} 为自电阻。上式变为: 根据边界条件, 设电极电位为 V_G , 则: $\sum_{j=1}^n R_{ij} I_j - V_G = 0$ 再加上 $I = \sum_{j=1}^n I_j$ 可得矩阵: $RI - AV_G = B$, 式中,

$$I = [I_1, I_2, \dots, I_n]^T \quad A = [1, 1, \dots, 1, 0]^T$$

$$R = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & \dots & R_{1n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{n1} & R_{n2} & \dots & R_{nn} \\ 1 & 1 & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

$$B = [0, 0, \dots, 0, 1]^T$$

根据接地电阻的定义,即接地电阻为接地体的电位与流过接地体的电流之比,即

$$R = V_G / I$$

当 R_{ij} 两段导线间距离远大于导线长度时,可把导线作为点源处理。当距离近时可取导线两端和中点这三点,分别求解后再取平均值,以此求出 R_{ij} 。将 R_{ij} 代入矩阵就可求得 V_G 和 I_0 。

求解 R_i 时 i 导线距 P 点距离远大于 i 导线长度时,把导线作为点源处理。距离近时可将导线分为 m 段,每段电流为 d_k^i ,且 $\sum_{k=1}^m d_k^i = 1$ 。使用公式

$$V_{pk}^i(r, z) = \frac{\rho}{\pi^2 a b^2} \int_0^\infty \frac{K_0(\lambda r)}{K_1(\lambda a)} \cos \lambda z \sin \frac{b \lambda}{2} \frac{d \lambda}{\lambda^2}$$
 求解。由于接地体是在半无限介质,则可采用镜像法求得 $V_{pk}^i(r', z')$ 。点 P 的电位为 $V_{pk}^i = V_{pk}^i(r, z) + V_{pk}^i(r', z')$ 。

$$R_i = \sum_{k=1}^m V_{pk}^i d_k^i$$

得出 R_i 和 I_i 后由 $V_p = \sum_{i=1}^n R_i I_i$ 就可得到土壤中任一点的电位。

2 接地网电位分布计算分析

计算选用的是长 350 宽 250 的变电站的地网,地网分布图如图 1。

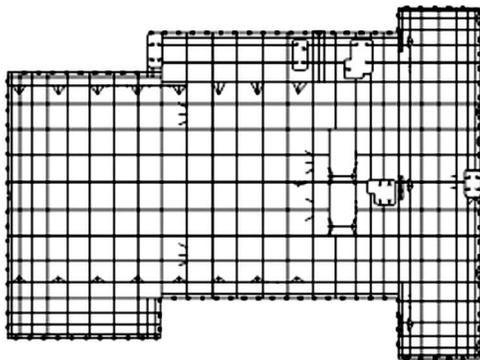


图 1 地网分布图

导体直径采用地网设计的尺寸,设土壤电阻率为 $240 \Omega \cdot m$,注入的恒定电流为 10 kA ,计算步长为 1 m 。通过软件计算,得出如图 2 的电位分布矩阵。矩阵内的数值为代表电位值的 Z 值,矩阵的行坐标为代表电位分布中的 X 坐标,矩阵的列坐标为 Y 坐标。通过所得的 X, Y, Z 值用 ORIGIN 就可以画出电位分布的三维图,如图 3。由图 3 可以清晰的看见地网电位分布在网格线上的电位高,节点处电位最高,在网

格中心点电位最低。但为了更准确的了解高电位点在地网的位置,可以用 ORIGIN 画出由亮度表示电位高低的电位分布平面图,如图 4。其中亮度越高的地方代表电位越高,亮度越低的地方代表电位越低。由图可看到亮度高的地方主要集中于地网中心的节点处,代表这地网中心的节点电位最高。亮度在网格的中心处比周围都低,代表网格中心处的电位比较低。最高电位与最低电位的大致位置可以从图中得到,然后在之前图 2 的数据矩阵中就可以得到最高电压值,最低电压值及代表各自位置的坐标。其中通过最低电压可以求得最大接触电压。由图 3 和图 4 可见地网边上的网格中心点电位比较低,但电位分布最高电位在 X 坐标 300, Y 坐标 250 附近,最低电位在 X 坐标 260, Y 坐标 260 附近,由此可以清晰发现地网的危险区域。

由之前软件计算出的数据还可以得到步长为 1 m 地网电位梯度的分布矩阵,同上可以画出地网电位梯度分布的三维图,如图 5。同时也可以画出由亮度代表电位梯度大小,其中亮度越大的时候电位梯度越大的地网电位梯度分布平面图,如图 6。由图 5 和图 6 可见地网周边的亮度比较高,但地网梯度最高点在 X 坐标 300, Y 坐标 250 处。通过地网分布图分析,估计是由于该区域接地过于密集导致泄流电流在该位

图 2 电位分布矩阵

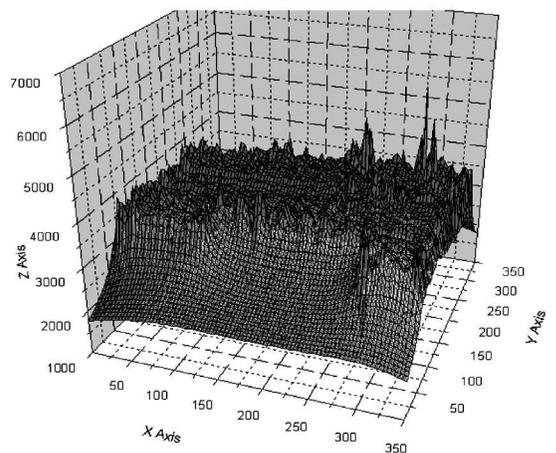


图 3 电位分布三维图

(下转第 91 页)

和农民烧山、用火情况,加强与沿线政府的沟通,加强对沿线农民的宣传,防止违规烧山、用火可能对线路造成的危害。对新投的水电送出线路要及时收集此类信息,提前作好预防工作。

(7)及时处理由于线路对档距中央边坡风偏距离不够的情况,采用增加杆塔、提高杆塔高度、对突出边坡进行开方等措施来防止由于边坡距离不够可能

引发的线路故障发生。

参考文献

- [1] 陶元忠,包建强.输电线路绝缘子运行技术手册[Z].北京:中国电力出版社,2003.
- [2] 胡毅.输电线路运行故障分析与防治[M].北京:中国电力出版社,2007.

(收稿日期:2010-03-02)

(上接第 57 页)

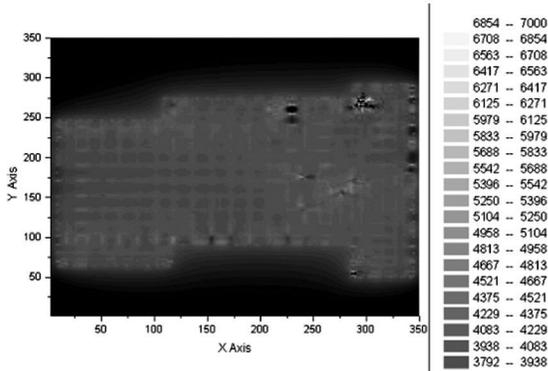


图 4 电位分布平面图

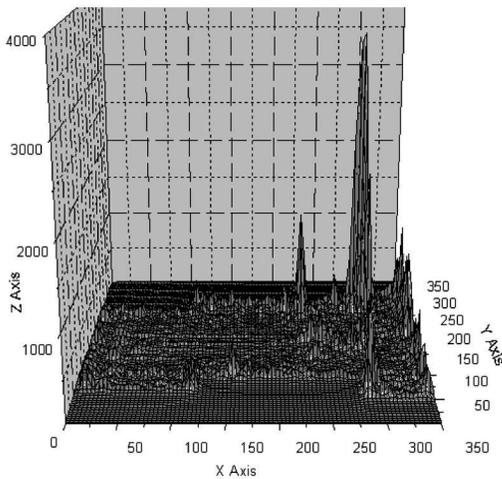


图 5 地网电位梯度分布三维图

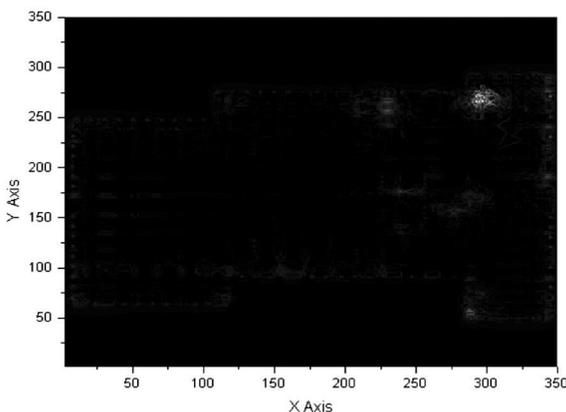


图 6 电位梯度分布平面图

置比较集中使电位升高。

为效验该软件计算的效果,计算了一个 4 乘 4 的网格,在计算所得的矩阵中取过节点和网格中心点的多条平行线,画出各条线的电位分布情况,与文献 [5] 中采用水槽中模拟测量的结果进行比较。其中计算所得的电位分布线与文献 [5] 采用水槽模拟测量所画出的电位分布线比较接近。所以可以用此软件对地面电位分布进行仿真计算。

3 结 论

运用前面提到的软件对变电站大型接地网的电位分布进行计算,计算结果通过 ORIGIN 进行分析,可以清晰地看到电位分布的三维图和用亮度代表电位值的平面图,能更方便对接地网电位分布的分析,从而找到最大的接触电压和接触电压所在位置。同时软件计算跨步电压的计算结果,通过 ORIGIN 分析得到的图可以清晰看见在地网中跨步电压高的危险区域。

所采用的方法能对各种地网分布方式进行计算,有助于对接地网电位分布的研究。同时可以对大型变电站的接地网进行计算,分析该地网的安全情况,有助于地网设计更加安全可靠。

参考文献

- [1] 张丽萍.一个实际变电站接地网的计算机模拟计算与分析[J].电工技术学报,2000,15(1):72-75.
- [2] 李中新.变电站接地网模拟计算[J].中国电机工程学报,1999,19(5):76-79.
- [3] 何金良,曾嵘.电力系统接地技术[M].科学出版社,2007.
- [4] 姚凤.变电站接地网数值计算[J].安徽水利水电职业技术学院学报,2007,7(1):1-3.
- [5] 李如虎.不同布置方式的接地网的地面电位分布及计算[J].供用电,1990(3):12-15.

(收稿日期:2009-12-25)