

镜像法在接地电阻与跨步电压计算中的应用

谢小乐

(江西电力职工大学,江西 南昌 330032)

摘要:将电力设备的某些部分接地,是为了设备与操作人员的安全,本文应用镜像法对此进行了一些具体的分析计算。

关键词:镜像法;接地;计算

中图分类号:TM153 文献标识码:A 文章编号:1008-6862(2001)04-0013-(02)

考虑到一些电力设备可能会遇到很大的工作电流、短路电流或雷击电流,在安装时必须配有接地装置,以使这些短促而巨大的电流通过接地线送到接地体,再分散流入大地。而一些大功率电力设备的接地电流太大,流入大地后还在地面上形成较强的电位分布,也会造成很大的跨步电压,当其超过允许值时仍会威胁地面操作人员的安全,在实践中必需计算出这一区域(称为危险区),对其做出标记或围栏,以确保真正的安全。

1 接地电阻的计算

1.1 接地体深埋地下的情况

当接地体深埋于地下时,可看作离地表面无穷远,基本不受接地电流的影响,接地电阻的计算也较简单。

设接地体是半径为 a 的球体(良导体),土壤是不良导体,电导率为 γ ,此电流可看作按球对称分布流入大地见图 1,对距球心为 r 处的任一闭合球面,穿过的体电流密度为 \vec{j} 。

$$\text{则: } \oint \vec{j} \cdot d\vec{s} = 4\pi r^2 \cdot j = I$$

$$\therefore \vec{j} = j \vec{e}_r = \frac{I}{4\pi r^2} \vec{e}_r$$

又由欧姆定律的微分形式:

$$\vec{E} = \frac{\vec{j}}{\gamma} = \frac{I}{4\pi\gamma r^2} \vec{e}_r \quad (\vec{e}_r \text{ 为 } \vec{r} \text{ 方向上的单位矢})$$

\therefore 接地体电位:

$$U_{\text{球}} = \int_a^{\infty} \vec{E} \cdot d\vec{r} = \int_a^{\infty} \frac{I}{4\pi\gamma r^2} dr = \frac{I}{4\pi\gamma a}$$

$$\text{由此得接地电阻: } R_{\text{接地}} = \frac{U_{\text{球}}}{I} = \frac{1}{4\pi a \gamma} = \frac{\rho}{4\pi a}$$

(ρ 是土壤的电阻率并: $\rho = \frac{1}{\gamma}$)

若某次雷击电流 $I = 100 \text{ KA}$,土壤电阻率 $\rho = 300 \Omega \cdot m$, $a = 0.1 \text{ m}$,则此时: $R_{\text{接地}} = \frac{300}{4 \times 3.14 \times 0.1} \approx 238.7 (\Omega)$

$$U_{\text{球}} = \frac{300 \times 10^5}{4 \times 3.14 \times 0.1} \approx 2.4 \times 10^7 (V)$$

可见,此时接地体电位虽很高,但其深埋于地下,危险隐患不大。

1.2 接地体浅埋于地下 h 深时的情况

在生产实践中,从施工操作和经济等方面考虑,不可能每次都把接地体埋得非常深,因此对危险隐患必须加以考虑并采取相应的防范措施。设一个半径为 a 的球形接地体埋于地下 h 深处(虽 $h \gg a$,却又不能当作

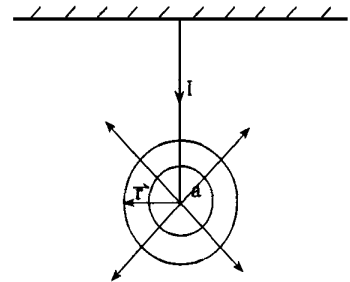


图 1 接地体深埋地下示意图

收稿日期:2001-03-02

作者简介:谢小乐(1963 —),男,江西南昌人,讲师,理学学士。

无穷大)。有较大接地电流时它对地面的影响不能忽略,且形成的电场已无对称可言(必须考虑边界条件)。若还用常规方法去计算接地电阻与地面上危险区,将会很繁琐。而这里讨论的恒定电场满足拉普拉斯方程,场的解答具有唯一性,所以下面采用电磁场理论的镜像法进行计算。

计算过程见图 2:先设整个空间充满相同的土壤,但在地面上 h 处放置一个对称于原接地体的球形电极,通以相同电流 I ,使原地表面处满足相同的分界面条件。

$$\text{此时接地体电位: } U_{\text{球}} = \frac{\rho}{4\pi a} + \frac{\rho}{4\pi \cdot 2h} = \frac{\rho}{4\pi} \cdot \frac{a+2h}{2ah}$$

$$\therefore \text{接地电阻: } R_{\text{接地}} = \frac{U_{\text{球}}}{I} = \frac{\rho}{4\pi} \cdot \frac{a+2h}{2ah}$$

2 跨步电压及危险区的分析计算

2.1 跨步电压

前提条件同 1.2 中,现进一步计算其在地面所引起的跨步电压。

仍由镜像法代入运算(见图 3):

由镜像法形成的对称性先求图中 a 点电位:

$$U_a = 2 \int_{r'}^{\infty} \frac{\rho}{4\pi r'^2} \bar{e}_{r'} \cdot d\bar{r}'$$

$\bar{e}_{r'}$ 为 \bar{r}' 方向上的单位矢量

$$\therefore U_a = \frac{2\rho}{4\pi} \cdot \frac{1}{r'} = \frac{\rho}{2\pi \sqrt{h^2 + r_a^2}}$$

又设跨步距离为 d ,在图中离 a 点 d 距离的 b 点处,同理求出:

$$U_b = \frac{\rho}{2\pi \sqrt{h^2 + r_b^2}} = \frac{\rho}{2\pi \sqrt{h^2 + (r_a + d)^2}}$$

\therefore 求出跨步电压:

$$U_{ab} = U_a - U_b = \frac{\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{\sqrt{h^2 + r_a^2}} - \frac{1}{\sqrt{h^2 + (r_a + d)^2}} \right)$$

2.2 危险区的计算

在实践中,对跨步电压有一规定的安全限值 U_0 ,则必须满足: $U_{ab} \leq U_0$

即我们对应于跨步电压可取的临界值 U_0 可计算出: $r_b = r_a + d$ 就是危险区的半径。

$$\therefore \text{代入公式: } \frac{\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{\sqrt{h^2 + r_a^2}} - \frac{1}{\sqrt{h^2 + (r_a + d)^2}} \right) = U_0$$

式中 ρ, I, d, U_0, h 都是由现场环境、设备情况等可以给出的已知数或设定值(如雷击电流 I 只能给出最不利情况的设定值),只有 r_a 是未知数,解方程求出 r_a 进一步得出: $r_b = r_a + d$ 即为我们所要求的危险区半径。

参 考 文 献:

- [1] 邱毓昌. 高电压工程 [M]. 西安:西安交通大学出版社,1995.
- [2] 王泽忠. 电磁场 [M]. 北京:中国电力出版社,1999.

Application of the Mirror Image Method in Calculating the Earth Resistance and Step Voltage

XIE Xiao-le

(Jiangxi Electric Power University for Staff, Nanchang 330032, China)

Abstract: Power equipments are connected to earth to ensure the safely of equipments and engineers. Mirror image method can be a effective to calculate the earth resistance and step voltage.

Key words: mirror image method; connect to earth; calculate

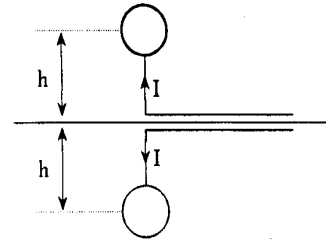


图 2 接地体浅埋于地下 h 深示意图

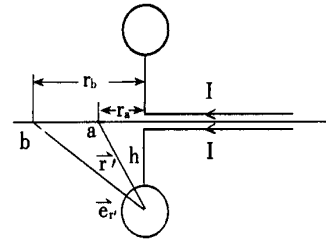


图 3 讨论跨步电压的示意图