

[接地系统]

池塘对变电站接地装置接地性能的影响分析

文/国网浙江省电力有限公司检修分公司瓶窑运维站 张宇

基于有限元法，搭建了考虑池塘的块状土壤模型，分析了散流过程中地中电流密度，并定量分析了池塘与接地网的距离、池塘截面积和池水纵深对接地电阻的影响。变电站接地装置的设计应综合考虑周围土壤结构对其接地性能的影响。

发变电站、换流站以及架空输电线路的接地系统是电力系统安全运行的重要保障之一，其地网的设计是重要的电气设计之一。实际大型变电站接地装置设计中会存在下述情况：接地装置周围有几块土壤电阻率不同于其他周围土壤电阻率，例如低电阻率的池塘、河流等。如果大型接地装置设计过程中忽略其影响，会造成研究结果与实际不符。

对于不同土壤结构中接地网模型的搭建，多位学者进行了非常多的研究。研究接地性能的数值方法主要有下面两类：①基于电路理论的方法，包括等效场路结合法、电路法以及传输线法，它们都需要先计算出接地装置的自阻抗、互阻抗等电路参数，但在获得以上参数的过程中存在简化，会对最终计算结果有影响；②基于电磁场理论的数值算法，有矩量法和有限元方法。电磁场方法不仅能够准确计算接地体的接地参数，还可以详细分析复杂土壤结构中接地体的接地性能。当土壤结构比较复杂时，矩量法计算步骤非常复杂。

本文采用有限元数值算法，构建了考虑池塘的块状土壤结构模型，分析了接地导体流散过程中地中电流密度，并定量分析了池塘与接地网的水平距离、池塘的截面积和池塘的深度对接地

装置接地性能的影响。

接地网有限元模型

1. 接地网散流过程的有限元模型

基于电准静场基本方程，接地体的散流过程由拉普拉斯方程表述

$$D(\varphi(x, y, z)) = (\gamma + j\omega\epsilon) \left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} \right) = 0 \quad (1)$$

式中， φ 是标量电位函数； $(\gamma + j\omega\epsilon)$ 是土壤的广义电导率。

散流过程符合如下条件：

无穷远处电位为零

$$\varphi = 0 \quad r \rightarrow \infty \quad (2)$$

地表面法向电流密度为零

$$(\gamma + j\omega\epsilon) \nabla \varphi n = 0 \quad (3)$$

电位连续和法向电流密度连续

$$\begin{cases} \varphi^+ = \varphi^- \\ (\gamma + j\omega\epsilon)^+ \nabla \varphi^+ n^+ = (\gamma + j\omega\epsilon)^- \nabla \varphi^- n^- \end{cases} \quad (4)$$

式中， φ^+ 和 φ^- 是分界面处两边的电位； n^+ 和 n^- 为分界面处两侧的外法线方向； $(\gamma + j\omega\epsilon)^+$ 和 $(\gamma + j\omega\epsilon)^-$ 为分界面处两侧媒质的广义电导率。

注入电流的接地导体截面 s 上，满足

$$\begin{cases} \varphi^+ = \varphi^- \\ \int_s -(\gamma + j\omega\epsilon)^+ \nabla \varphi^+ n^+ ds = I \end{cases} \quad (5)$$

式中, I 是注入电流幅值。

2. 土壤结构模型

基于上述方法, 搭建了考虑池塘的块状模型, 如图1所示。

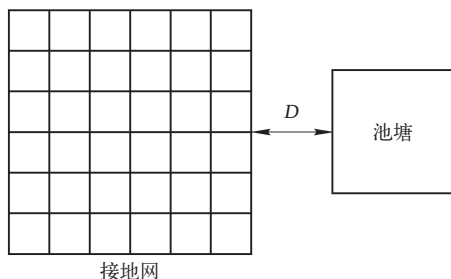


图1 接地网与池塘示意图

其中, 接地装置边长为60 m、各导体间距为10 m, 土壤电阻率为 $\rho = 1\,000\ \Omega \cdot \text{m}$, 河水的电阻率 $\rho_1 = 10\ \Omega \cdot \text{m}$, 接地网的埋设深度 $d = 0.5\ \text{m}$, 当不考虑池塘时接地电阻为 $6.89\ \Omega$ 。假定池塘深度 $h = 10\ \text{m}$, 池塘截面积 $S = 20\ \text{m} \times 20\ \text{m}$, 池水电阻率 $\rho = 10\ \Omega \cdot \text{m}$, 池塘与接地网之间的距离 $D = 3\ \text{m}$ 。注入电流幅值 $I = 10\ \text{kA}$ 。

考虑池塘时地中电流密度对比分析

图2所示分别为水平均匀土壤结构模型及考虑池塘的土壤模型中接地网正下方0.3 m处水平观测平面上电流密度分布情况。

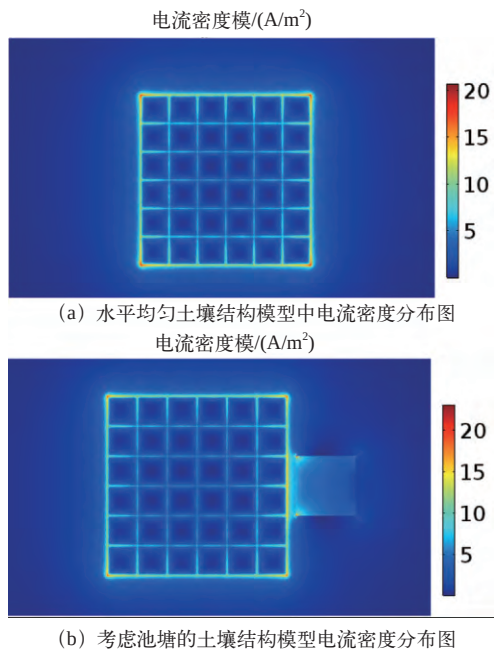


图2 电流密度分布图

从图2a可以看出, 水平土壤结构模型中, 泄漏电流沿接地网分布非常不均匀, 接地网四个边

角处电流密度最大, 最大为 $20\ \text{A/m}^2$ 。这是由于入地故障电流通过导体向地中流散过程中, 低电导率土壤的妨碍, 以及导体与导体相互之间的屏蔽效应的影响, 大多数入地电流倾向于沿导体散流, 导致更多的电流流到接地网的边角。

图2b与图2a具有明显的差异, 考虑池塘的土壤结构模型中, 靠近池塘的接地导体电流密度也较大, 池塘区域的电流密度明显比水平均匀土壤结构模型中同位置处土壤中电流密度大, 池塘区域最大电流密度为 $11\ \text{A/m}^2$, 相同位置处土壤区域最大电流密度为 $3\ \text{A/m}^2$, 这是因为池水电导率远高于土壤电导率。

考虑池塘对接地电阻的影响

分析池塘对接地电阻的影响, 需要求出水平均匀土壤模型中接地电阻 R , 考虑池塘时其接地电阻 R_c , 在保证接地体面积、导体电阻率和周围土壤电阻率不变的条件下, 由式(6)计算出接地电阻的变化率 μ

$$\mu = \frac{R - R_c}{R} \times 100\% \quad (6)$$

1. 接地网与池塘之间的水平间距的影响

改变地网与池塘之间水平距离 D , D 由 $0\ \text{m}$ 增至 $10\ \text{m}$ 过程中, μ 随水平距离 D 的变化趋势如图3所示。

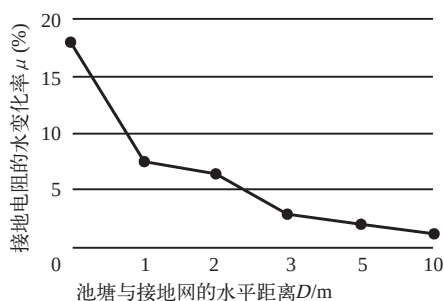


图3 接地电阻随池塘与接地网距离变化曲线图

由图3可知, 随着池塘与地网之间距离越来越远, 接地电阻减小且变化幅度逐渐变缓, 当池塘与接地网距离 $D = 0$ 时, 接地电阻下降幅度最大, 为 17.8% ; 当 $D = 10\ \text{m}$, 接地电阻下降率最小, 为 1.2% 。随着池塘与接地网距离的增大, 池水对接地网接地电阻的影响逐渐降低。当池塘与接地网距离较远时, 可以忽略池水对接地电阻的影响。

2. 池塘截面积对接地电阻的影响

改变池塘截面积, 使其在 $10\ \text{m} \times 10\ \text{m} \sim 50\ \text{m} \times 50\ \text{m}$ 范围内变化, 其中池水深度 $h = 10\ \text{m}$, μ 随池塘截面积

变化趋势如图4所示。

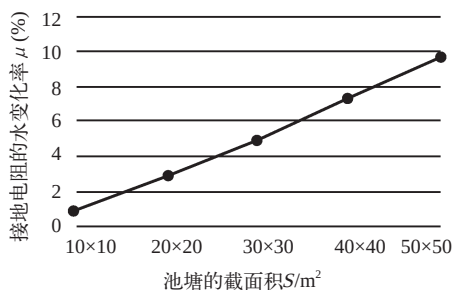


图4 接地电阻随池塘截面积变化曲线图

由图4可看出,随池塘截面积的增加,接地电阻变化幅度上升,且随着截面积的增大,接地电阻呈现接近线性减小的趋势,这是因为池水的电阻率远比土壤电阻率小,其截面积增大,有利于散流,所以其变化率也逐渐升高。池塘截面积 $S=10\text{ m}\times 10\text{ m}$ 、 $20\text{ m}\times 20\text{ m}$ 、 $30\text{ m}\times 30\text{ m}$ 、 $40\text{ m}\times 40\text{ m}$ 、 $50\text{ m}\times 50\text{ m}$ 时,接地电阻分别下降0.9%、2.8%、4.9%、7.3%和9.6%。

3. 池水纵深对接地网接地电阻的影响

设定周围土壤电阻率 $\rho=1\,000\ \Omega\cdot\text{m}$,池塘截面积为 $20\text{ m}\times 20\text{ m}$,池水纵深 h 是2~30 m,计算得到的接地电阻变化率 μ ,如图5所示。

由图5可知,池水深度 h 越大,接地电阻下降率 μ 越大,这是因为池水电阻率远低于周围土壤电阻率,池水纵深增大,有利于故障电流沿接地体向土壤更深处流散。池水深度 $h=2\text{ m}$ 、30 m时,接地电阻下降率 μ 分别为0.47%、4.6%。考虑

池水深度对接地电阻影响较小,所以当池水实际深度不易测量时,可以忽略其对接地电阻影响。

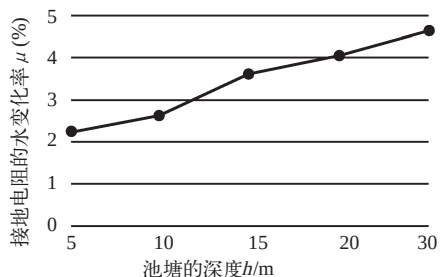


图5 接地电阻随池水纵深变化曲线图

结束语

本文采用有限元法,构建了考虑池塘的土壤模型,探讨了地网的散流过程及不同参数改变对接地电阻的影响,结论如下:

1) 接地装置与池塘之间的水平距离小于3 m时考虑池塘对接地电阻有很大影响,池塘与接地网的距离分别为0和3 m时,接地电阻分别下降了17.8%、2.8%。

2) 接地装置接地电阻的变化幅度与池塘截面积密切相关,当池塘截面积不大于 $10\text{ m}\times 10\text{ m}$ 时可以不考虑池塘对接地电阻的影响。

3) 随着池水深度的增大,接地电阻逐渐降低。池水深度 $h=2\text{ m}$ 、30 m时,接地电阻下降率 μ 分别为0.47%、4.6%。EA

(收稿日期:2019.11.17)

(编辑:朱金凤)

东土科技与国创中心达成战略合作协议 助力汽车智能控制平台国产化

当前,智能汽车上升为国家重要战略,智能网联汽车随之成为工业互联网技术的重要应用领域。对于新能源汽车领域而言,随着5G移动通信、导航系统、传感技术、智慧交通及能源基础设施等相关技术和产业优势的增强,未来将实现车、网、路和能源之间的信息互联。

本土汽车品牌,正在与国际品牌的竞争中,找到自身的优势:自主可控的汽车电子架构、智能汽车控制器和汽车操作系统将成为未来智能汽车科技竞争的高地。

2020年5月,北京东土科技股份有限公司(以下简称“东土科技”)与北京新能源汽车技术创新中心有限公司(以下简称“国创中心”)签署《汽车电子与汽车操作系统战略合作协议》,双方致力于在汽车电子领域,通过深度战略合作,共同开发智能汽车控制器、中央网关等产品和解决方案,将东土科技的操作系统、网络通信和总线芯片等技术优势,转化为中国自主可控的新一代汽车电子架构产品,打造中国自主可控的汽车电子核心技术产业生态。

本次战略合作将进一步夯实东土科技在智能汽车领域的技术储备,加快公司工业互联网产品和解决方案在智能汽车领域的发展应用,助力中国智能汽车的核心控制系统国产化及可持续发展迭代。未来,双方将调动和发挥双方资源优势,共同推进“软件定义汽车”的产业落地,实现共赢发展。