

变电站分层土壤模型构建 对土壤电阻率测量深度的要求

钟山,周炜明,周德才

(中国电力工程顾问集团西南电力设计院有限公司,四川成都 610021)

摘要:采用接地系统辅助设计软件包CDEGS,通过对变电站分层土壤模型下地网接地电阻、散流特性仿真计算,研究了模型构建深度对地网接地电阻计算误差的影响,并提出了构建模型所需的合理测量范围及深度。

关键词:土壤模型;地网;接地电阻;CDEGS;散流特性

中图分类号:S152.2 文献标志码:A 文章编号:1003-6954(2020)04-0047-04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2020.04.011

Measurement Depth of Soil Resistivity Required by Construction of Layered Soil Model in Substation

Zhong Shan, Zhou Weiming, Zhou Decai

(Southwest Electric Power Design Institute Co., Ltd. of China Power Engineering Consulting Group, Chengdu 610021, Sichuan, China)

Abstract: Through the simulation calculation of grounding resistance and stray current characteristics of grounding grid under the layered soil model of substation, the influence of the depth of model construction on the calculation error of grounding resistance of grounding grid is studied by using CDEGS software package of grounding system aided design, and the reasonable measurement range and depth required for establishing the model are proposed.

Key words: soil model; grounding grid; grounding resistance; CDEGS; stray current characteristics

0 引言

地网接地电阻的计算是变电站接地系统设计的一项重要内容,早期设计人员根据地网面积和土壤电阻率进行估算,对于地质结构较为复杂的变电站,其计算结果与实测值往往有较大出入。为提高变电站接地系统设计的合理性和可靠性,有必要基于土壤电阻率测量数据建立分层土壤模型,以提高地网接地电阻计算的准确性^[1]。

无论是采用哪种方法建模,其模型与实际土壤结构的吻合程度均取决于土壤电阻率测量数据。对于测量数据的要求不仅仅是准确,更重要的是“深度”,即测量的数据能否满足准确建模的需要,这点往往未得到充分重视,有必要进行相应的研究。

1 分层土壤模型应用简介

为提高变电站接地电阻计算的准确性,研究人员对于复杂土壤结构建模进行了大量的研究,提出了双层、多层、复合等土壤模型的建模方法,并开发出了相应的计算机辅助设计软件。近年来,这些方法和工具正逐步应用到变电站(换流站)接地设计中,对确保变电站安全性能发挥了重要作用^[2-5]。

CDEGS软件包是当前接地设计领域应用最广的计算机辅助设计软件,国内已有不少科研单位、高校、设计院及电力公司等引入了该软件,用于接地相关领域的研究及设计。该软件是由加拿大SES公司开发,可以用于仿真计算分层土壤和任意形状地网的参数。

2 接地电阻计算误差分析

由于较单层土壤模型更接近于实际的复杂土壤结构,采用分层土壤模型计算接地网的接地电阻,其结果更接近于实测值。对于工程设计人员来说,其关键工作就是如何根据测量数据,计算并分析得到合理的土壤模型。

测量数据是土壤建模的基础,不管采用哪种建模方法或计算算法,如果测量数据不能满足建模需要,将对接地电阻的计算造成较大的误差。下面根据工程实例仿真计算说明这个问题。

1) 计算模型

某500 kV变电站地网大小为 $200 \times 150 \text{ m}^2$,采用间隔10 m的均匀网格,接地体为 480 mm^2 镀锌扁钢。变电站土壤结构根据勘测资料可分为5层:第一层土壤深度0~20 m,土壤平均电阻率为 $500 \Omega \cdot \text{m}$;第二层土壤深度20~80 m,土壤平均电阻率为 $1000 \Omega \cdot \text{m}$;第三层土壤深度80~200 m,土壤平均电阻率为 $1500 \Omega \cdot \text{m}$;第四层土壤深度200~500 m,土壤平均电阻率为 $2000 \Omega \cdot \text{m}$;第五层土壤深度大于500 m,土壤平均电阻率为 $3000 \Omega \cdot \text{m}$ 。土壤结构模型如图1所示。

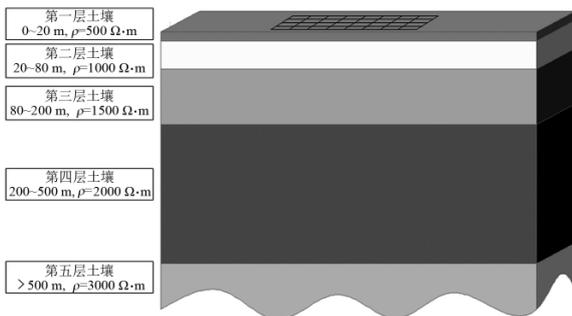


图1 土壤结构模型

2) 接地电阻计算。

采用CDEGS对以下5种情况进行仿真计算。

仿真计算1:工程测量深度为 $h \leq 20 \text{ m}$ 得到的土壤模型为均匀土壤模型,土壤电阻率为 $500 \Omega \cdot \text{m}$,计算接地电阻为 2.26Ω 。

仿真计算2:工程测量深度为 $20 \text{ m} < h \leq 80 \text{ m}$,得到的土壤模型为水平两层土壤模型,上层土壤电阻率为 $500 \Omega \cdot \text{m}$,厚度为20 m;下层土壤电阻率为 $1000 \Omega \cdot \text{m}$,厚度无穷大,计算接地电阻为 2.83Ω 。

仿真计算3:工程测量深度为 $80 \text{ m} < h \leq 200 \text{ m}$,

得到的土壤模型为水平3层土壤模型,第一层土壤电阻率为 $500 \Omega \cdot \text{m}$,厚度是20 m;第二层土壤电阻率为 $1000 \Omega \cdot \text{m}$,厚度为60 m,第三层土壤电阻率为 $1500 \Omega \cdot \text{m}$,厚度无穷大,计算接地电阻为 3.10Ω 。

仿真计算4:工程测量深度为 $200 \text{ m} < h \leq 500 \text{ m}$,得到的土壤模型为水平4层土壤模型,第一层土壤电阻率为 $500 \Omega \cdot \text{m}$,厚度是20 m;第二层土壤电阻率为 $1000 \Omega \cdot \text{m}$,厚度为60 m,第三层土壤电阻率为 $1500 \Omega \cdot \text{m}$,厚度为300 m,第四层土壤电阻率为 $2000 \Omega \cdot \text{m}$,厚度为300 m,计算接地电阻为 3.21Ω 。

仿真计算5:测量深度 $h > 500 \text{ m}$ 得到的土壤模型即为土壤结构的真实模型,计算接地电阻为 3.31Ω 。

3) 误差分析

以仿真计算5的结果为接地网接地电阻的真值,定义接地电阻计算误差系数为

$$\xi = \frac{R' - R}{R} \times 100\% \quad (1)$$

式中: R' 为接地电阻计算值, Ω ; R 为接地电阻真值, Ω 。

各计算案例结果及误差如表1所示。

表1 不同土壤模型计算接地电阻误差

| 土壤模型 | 接地电阻/ Ω | $\xi/\%$ |
|-------|----------------|----------|
| 仿真计算1 | 2.26 | -31.76 |
| 仿真计算2 | 2.83 | -14.43 |
| 仿真计算3 | 3.10 | -6.38 |
| 仿真计算4 | 3.21 | -2.84 |

由表1计算结果可知,当计算地网接地电阻所采用的土壤模型不能真实反映土壤的实际结构时,其计算结果会产生较大误差。土壤模型是建立在数据的基础上,对地网所在区域的测量广度及深度很大程度决定了土壤模型与真实土壤结构的接近程度。目前,国内外相关标准尚未对此有明确的规定,理论上对测量范围及深度的要求越高,在其基础上建立的土壤模型越趋于真实,接地电阻计算越准确;但是其经济代价及测试技术难度也增大,存在一个技术经济合理性的权衡问题。

3 地网散流特性仿真分析

1) 接地网的散流特性

当直流或交流电源的两端通过接地体与大地相

连接,将会在地下建立电流场,其分布规律取决于岩石和土壤的分布规律,其研究方法通常是采用电磁场理论。在土壤电阻率一定的情况下,电流密度越大,电场强度随之增大,也就是说,电场强度间接反映了地中电流的分布规律。

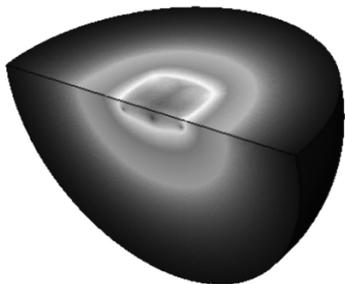


图 2 地网散流时地中电场强度

假如在地网中注入电流,如图 2 所示,从三维空间看,散流范围是一个类椭球体,入地电流的绝大部分集中在这个区域内成发散状,该区域的土壤的电阻率则对接地网接地电阻起决定作用。

2) 仿真计算

对于变电站接地网,当发生接地故障,地网中将注入一定大小的故障电流,其散流区域主要由地网的大小及其所在区域土壤电阻率决定。下面通过案例仿真计算来说明该问题。

仍采用前面所述模型:地网大小为 $200 \times 150 \text{ m}^2$,采用间隔 10m 的均匀网格,接地极为 480 mm^2 镀锌扁钢;在地网中心注入 20 kA 电流。改变地网所在区域的土壤电阻率,计算地中电势的分布对电流在土壤中的散流情况。

土壤电阻率分别为 $100 \Omega \cdot \text{m}$ 、 $500 \Omega \cdot \text{m}$ 、 $1000 \Omega \cdot \text{m}$ 、 $2000 \Omega \cdot \text{m}$ 、 $5000 \Omega \cdot \text{m}$ 时,地中电势分布如图 3 至图 7 所示。

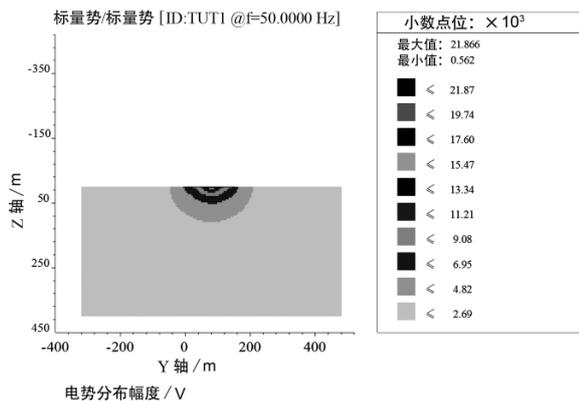


图 3 土壤中的电势分布($\rho = 100 \Omega \cdot \text{m}$)

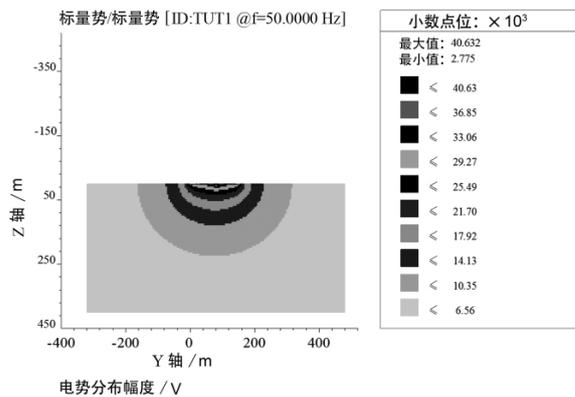


图 4 土壤中的电势分布($\rho = 500 \Omega \cdot \text{m}$)

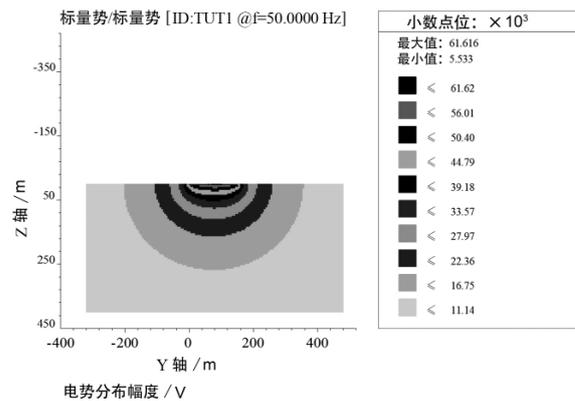


图 5 土壤中的电势分布($\rho = 1000 \Omega \cdot \text{m}$)

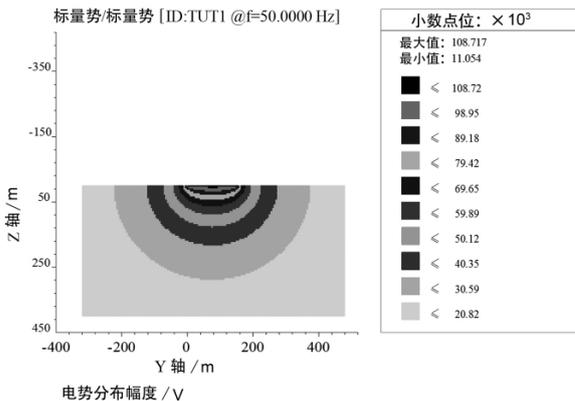


图 6 土壤中的电势分布($\rho = 2000 \Omega \cdot \text{m}$)

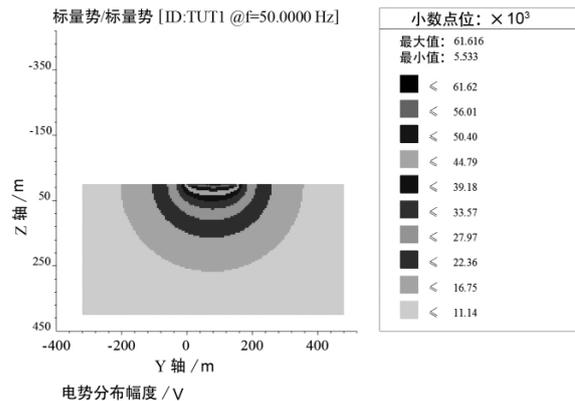


图 7 土壤中的电势分布($\rho = 5000 \Omega \cdot \text{m}$)

3) 结果分析

对于给定大小的接地网,理论上其散流范围及深度为整个大地,从仿真计算结果可知,随着土壤电阻率越低,地中电势衰减得越快,大部分电流在较浅层的土壤中散去;而随着土壤电阻率的不断增加,其电势衰减得越慢,其散流深度相应增大。如按电势衰减80%考虑,其散流深度随土壤电阻率变化情况如图8所示。

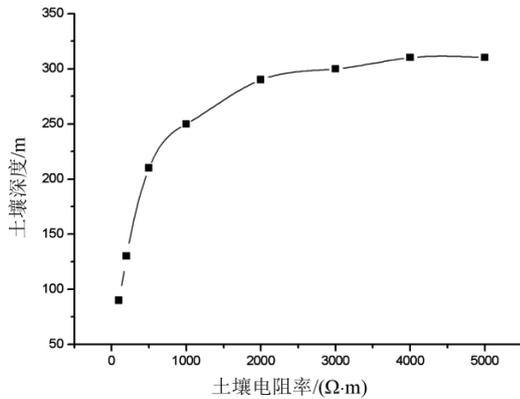


图8 散流深度与土壤电阻率的关系(80%电势降)

从该曲线可知,对于 $200 \times 150 \text{ m}^2$ 的接地网,在其所在区域土壤电阻率较小时($100 \sim 1000 \text{ } \Omega \cdot \text{m}$),其散流深度随土壤电阻率增大而迅速增大;在土壤电阻率较大时($1000 \sim 5000 \text{ } \Omega \cdot \text{m}$),其散流深度增加较为缓慢,并逐步趋于稳定。

4 测量范围及深度的探讨

接地网设计中,国内外标准对接地网所在区域的土壤电阻率测量范围及深度未有明确规定,而在实际工程中,设计人员却须面临这个问题。根据对以往工程资料的收集及整理,测量范围及深度根据工程特点通常为站内围墙以内,深度大多要求在 $20 \sim 100 \text{ m}$ 。

近年来国内部分换流站工程已经开始参考国外经验,将地网的对角线长度作为散流半径来确定测量的范围及深度。与上面所提供的案例计算结果比较,在站区土壤电阻率较低情况下($\rho \leq 1000 \text{ } \Omega \cdot \text{m}$),采用地网对角线长度确定测量范围及深度是合理的(案例地网对角线为 250 m ,地电势衰减大于80%);而在土壤电阻率较高情况下($\rho > 1000 \text{ } \Omega \cdot \text{m}$),则建议在地网对角线的长度基础上适当增大(案例中

$\rho = 5000 \text{ } \Omega \cdot \text{m}$,最大散流深度达到约 310 m),具体可根据工程现场测量条件确定。

如将地网对角线长度作为散流半径确定工程测量范围及深度,对于第2章提供的计算案例,其散流半径为 250 m ,对应的计算模型为案例4,接地电阻计算结果为 $3.21 \text{ } \Omega$,误差为 2.84% ,应能满足工程设计要求。

5 结 语

通过对变电站分层土壤模型地网的接地电阻、土壤的散流特性进行仿真计算和分析,得到以下结论:

- 1) 为提高变电站地网接地电阻计算的准确性,应采用分层土壤模型计算地网的接地电阻。
- 2) 土壤模型的建立是以实际测量数据为基础的,测量“深度”越浅则接地电阻计算误差越大。
- 3) 通过仿真计算,建议在土壤电阻率 $\rho \leq 1000 \text{ } \Omega \cdot \text{m}$ 时,采用地网对角线长度作为散流半径确定测量范围及深度;而在土壤电阻率 $\rho > 1000 \text{ } \Omega \cdot \text{m}$ 时,则建议在地网对角线的长度基础上,根据具体工程条件适当增大散流半径。

参考文献

[1] 交流电气装置的接地设计规范: GB 50065—2011 [S], 2011.

[2] 张波,胡军,马迈周. 分层土壤中三维复合接地网分析软件的开发[J]. 电力勘测设计, 2015(3): 66-70.

[3] 何为,张瑞强,杨帆,等. 变电站内水平多层土壤参数反演[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(33): 5964-5973.

[4] 何金梁,康鹏,曾嵘,等. 青藏铁路110 kV输变电工程五道梁和沱沱河变电站的土壤结构模型分析[J]. 电网技术, 2005, 29(20): 14-18.

[5] 杨慧娜,袁建生. 利用 Wenner 四极法确定三层土壤模型[J]. 清华大学学报, 2002, 42(3): 291-294.

作者简介:

钟山(1975), 硕士研究生, 高级工程师, 从事变电站设计及设计管理工作。(收稿日期: 2020-03-06)