

「故障分析」

基于CDEGS软件的变电站工频电磁场计算

文/国网重庆市电力公司璧山供电分公司 邓前锋 罗 鹏 邓宗权

为了深入研究变电站站内工频电磁场在正常运行状态及短路故障状态时的分布情况,以500 kV变电站为例,采用CDEGS软件对变电站进行模型建立与工频电磁场分布的仿真计算。首先,通过将仿真结果与实测结果的对比,验证了建立模型及该软件的正确性。然后分析了正常状态下变电站站内有无建筑物时的工频电场分布情况及短路故障时变电站站内工频磁场的分布情况,优化变电站工频电场分布的各种情况,为变电站站内正常运行和短路故障状态时工频电磁场的计算与分析提供了一种有效方法。

电力在社会生产和人类生活中的广泛应用,从业人员对工作环境的工频电磁场分布要求越来越高。根据《电力行业作业场所工频电磁场安全防护规定(试行)》将工频电磁场安全防护等级分为3级:0级、I级、II级。

目前,国内关于变电站内工作电磁环境的研究,以测量分析较多,而变电站工频电磁场的计算分析还比较少。近年来,开始利用一些软件仿真分析变电站站内电磁场分布,以500 kV变电站为例采用了IES-Coulomb软件进行了单个设备与单相设备仿真,并与文中方法计算结果对比,验证了计算结果的正确性。还有采用CDEGS对某特高压变电站进行建模分析,预测了变电站线路下、保护小室与围墙外等处电磁场强度,但是只分析正常状态下变电站内电磁场分布情况,而未分析短路故障状态下工频电磁场及变电站优化情况。整体而言,软件仿真分析灵活、可靠、简洁、适用于复杂结构的电磁环境计算。

本文基于某500 kV变电站进行建模,使用CDEGS计算了站内离地1.5 m处工频电磁场分布,对站内一条路径的工频电磁场仿真计算,并与现场实测值进行对比。仿真分析了整个变电站稳态、短路故障状态的电磁场分布,将仿真数据进

行归纳分析,得到了变电站站内正常运行和短路故障状态时工频电磁场分布情况,并为深入研究变电站的工频电磁场提供基础。

1 500 kV变电站的工频电磁场模型建立

1. 变电站模型的建立

本文以某500 kV变电站为例进行模型建立。由于变电站内大多高压带电设备多且形状不规则,为了得到整个变电站内工频电场的总体分布情况,在建模过程中,对变电站进行如下简化处理:将母线、进线、出线和设备间相连的导线视为圆柱形导体,导线为良导体;不考虑变电站内如断路器、隔离开关等电气设备对电磁场的影响。在CDEGS环境下,对500 kV变电站进行建模,建模时设定地面为零电位,作为良导体考虑。导线各相电压幅值为 $500/\sqrt{3}$ kV, A、B、C三相电压依次滞后 120° 。变电站500 kV开关场的透视图如图1所示。

2. 有效性验证

为了验证构建模型及计算结果的准确性,将500 kV开关场中一条路径(如图1中红色虚线所示)的工频电磁场进行仿真计算,将仿真数据与实际测量数据进行对比,结果分别如图2、图3所示。

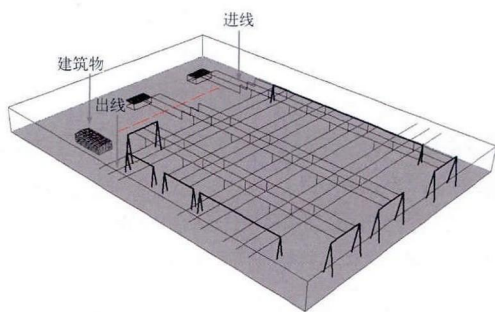


图1 变电站500 kV开关场区域透视图

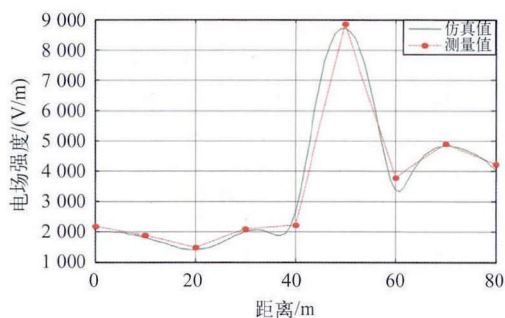


图2 路径上方离地1.5 m处工频电场的计算值与实测值

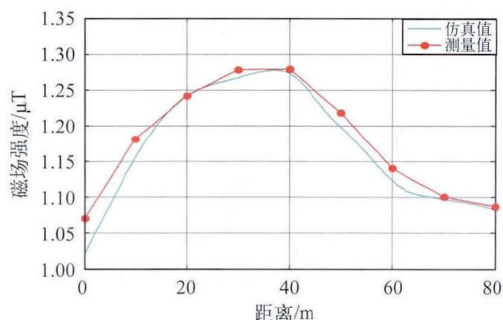


图3 路径上方离地1.5 m处工频磁场的计算值与实测值

从图2和图3可以看出采用CDEGS软件计算的

工频电磁场计算结果与实测数据中电磁场分布情况基本一致，两者结果吻合较好，说明所建模型能够有效地分析变电站内工频电磁场的分布情况。

变电站正常工作状态时的工频电场计算与分析

在以上所建模型及验证计算结果的基础上，对所研究的500 kV变电站开关场在正常工况下的工频电场分布进行仿真计算，其地面上方1.5 m处的工频电场分布三维图如图4所示。

从图4中可以看出，变电站工频电场强度值大都处在5~9 kV/m之间，不超过12 kV/m。电场强度畸变值大多出现在每一回进出线的外侧，每回线路的中间相线下电场值都较小。电场强度较大值主要集中在设备（断路器、隔离开关）附近，这是因为带电导体法向方向电场的不连续性，同时线路的对地高度、导线结构、计算电场点距离地面高度等因素共同影响而导致的。最大电场强度值约为11 896 V/m，位于第1回出线C相下方断路器附近，主要是由于上方母线离地较近，并且高压带电设备较多。

根据我国工频电场职业暴露的3个安全防护等级，用3种颜色绘制了变电站内各个工频电场强度等级的区域色块图，如图5所示。红色区域表示工频电场强度大于10 kV/m的地方（安全防护Ⅱ级，必须控制每次接触时间不超过30 min），站内工作人员应尽量避免长期暴露在这些区域；浅棕色区域表示工频电场强度大于5 kV/m的地方（安全防护Ⅰ级，每次接触作业时间不得超过2 h）；绿色

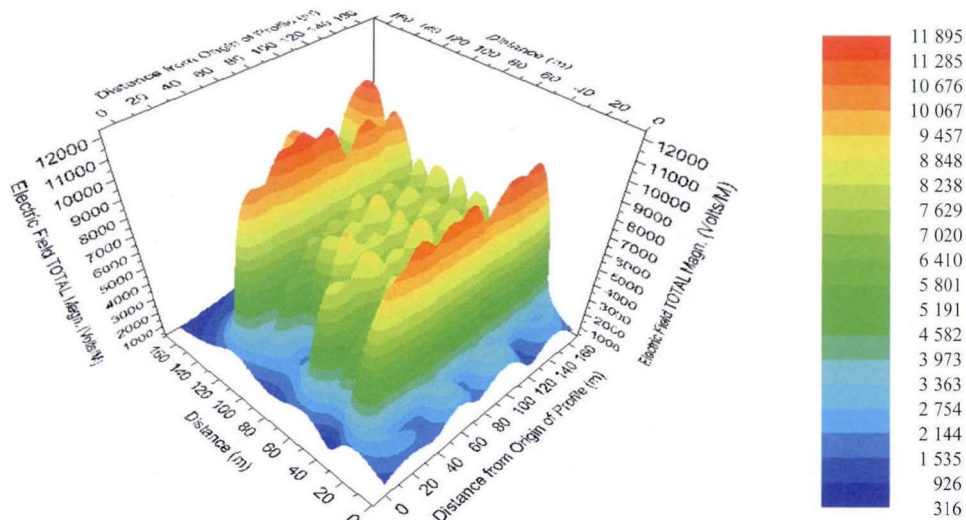


图4 500 kV开关场区域离地1.5 m高处工频电场分布三维图

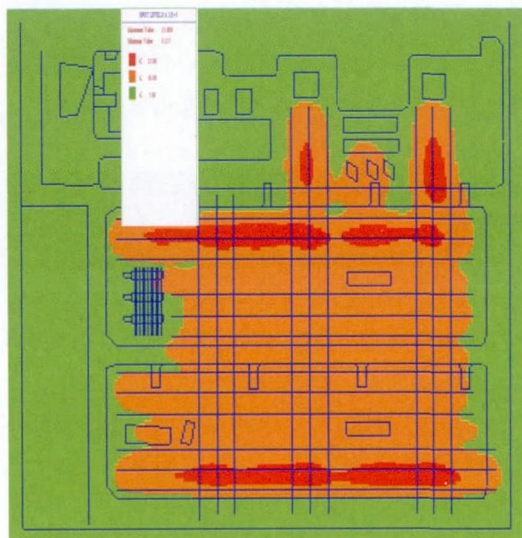


图5 500 kV开关场区域离地1.5 m高处工频电场分布色块图
区域表示工频电场强度小于5 kV/m的地方(安全防护0级,可安全持续工作)。因此,在变电站人

员工作期间,应尽可能地避免长期暴露在这些电场强度较大的区域。

变电站正常及短路故障状态下的工频磁场计算与分析

当变电站发生短路故障时,导线上电压降低,电流升高,使变电站站内工频电场幅值降低,磁场幅值升高。因此,只考虑短路故障状态时的变电站站内工频磁场分布情况。

1. 正常状态时的工频磁场计算

采用CDEGS软件,对500 kV变电站站内离地1.5 m处工频磁场分布进行计算分析。由于变电站内导线电流值大小随着负荷的大小而发生着变化。因此对工频磁场进行仿真计算时,假定每回进线的电流值大小为140 A,每回出线的电流值大小为70 A。最终求出地面上方1.5 m处的工频电场分布三维图及等值色块图,如图6、图7所示。

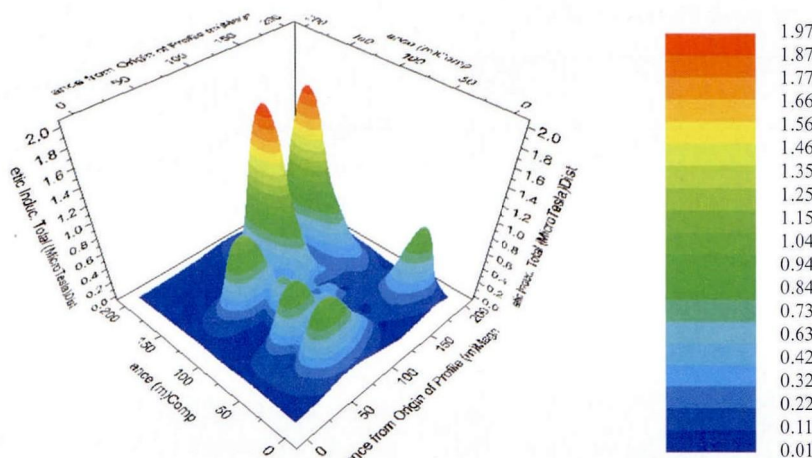


图6 500 kV开关场区域离地1.5 m高处磁场分布三维图

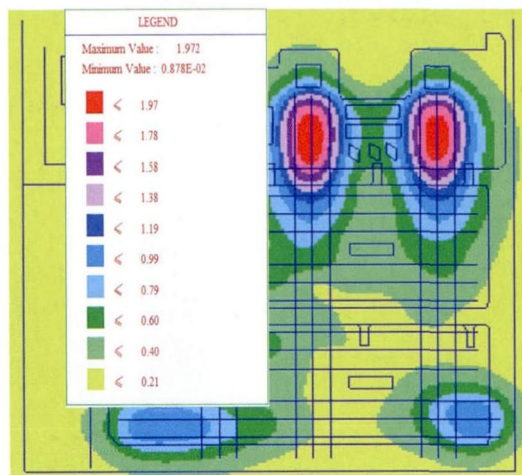


图7 正常状态时500 kV开关场区域离地1.5 m高处
磁场分布色块图

从图7中可以看出,变电站工频磁场强度值大多在 $1\ \mu\text{T}$ 左右,工频磁场幅值最大值为 $1.97\ \mu\text{T}$,远远低于工频电磁安全防护导则规定的职业暴露限值 $100\ \mu\text{T}$ (安全防护0级)。磁场强度较大值大多出现在每一回进出线的中间导线的下方,而随着距中间导线距离的增大而逐渐减小。由于母线上的电流值较小,因此母线下方磁场相对较小。整个变电站内的工频磁场都远远低于 $100\ \mu\text{T}$,站内职员可安全持续的工作。

2. 故障状态时的工频磁场计算

图8和图9所示分别为进线发生单相、三相故障时变电站的工频磁场分布三维图。

从图8、图9中可以看出,第一回进线发生

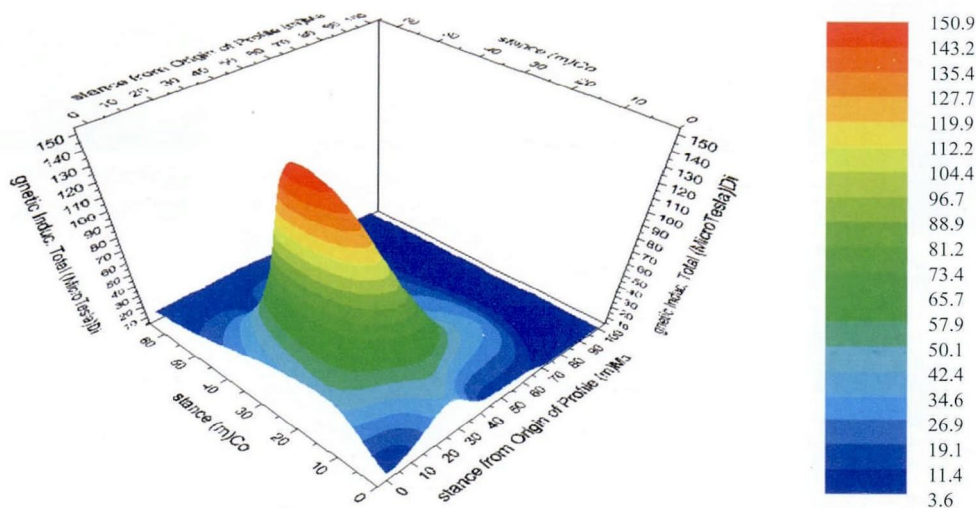


图8 单相故障时500 kV开关场区域离地1.5 m高处工频磁场分布三维图

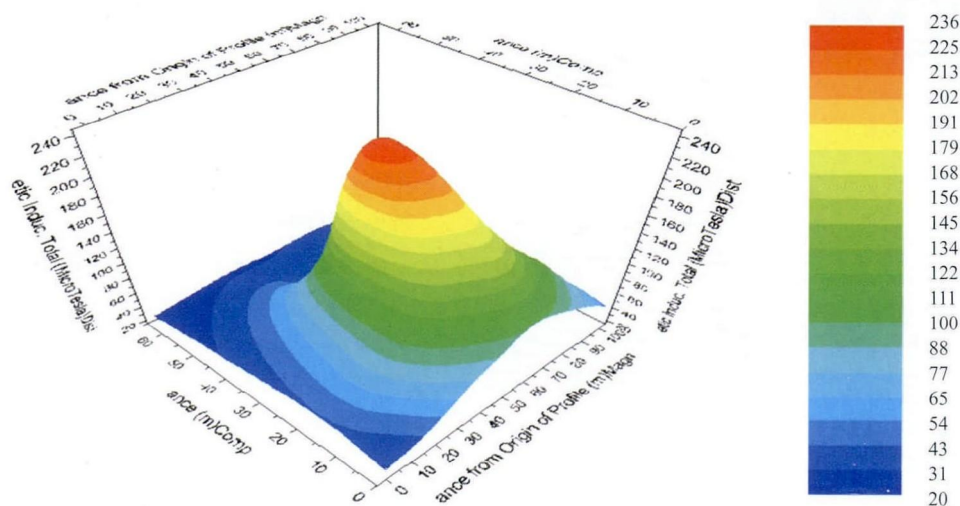


图9 三相故障时500 kV开关场区域离地1.5 m高处工频磁场分布三维图

单相短路故障跟发生三相短路故障时，工频磁场分布规律相似。单相短路故障时，工频磁场大多为100 μT ，大多位于安全防护0级。三相短路故障时，工频磁场大多为130 μT ，大多位于安全防护I级。由于三相短路故障时各相工频磁场的叠加，使得工频磁场的幅值比单相短路故障的稍大。

由于变电站内自动保护装置如断路器等作用时间约为1 s，因此站内磁场超过100 μT 的时间很短，且工频磁场幅值都远低于相关准则中职业暴露限值500 μT 。

结束语

采用加拿大SES公司的CDEGS软件对某

500 kV变电站开关场工频电磁场进行仿真分析，所建模型建立能有效地计算变电站站内工频电磁场，仿真结果与变电站的实际测量数据都能基本吻合，为计算其他电压等级变电站站内工频电磁场提供了准确、快速的方法。

通过仿真计算分析了变电站的工频电磁场分布规律：工频电场强度较大值主要集中在导线交叉与靠近开关场外侧导线；工频磁场强度较大值主要位于每回导线的中间区域，工频磁场幅值大多为1~1.5 μT 。短路故障情况时，磁场强度幅值也远远低于暴露限值500 μT 。EA

(编辑：杨得润)

(收稿日期：2016.08.30)