

高压线路电磁辐射预测系统的设计与测试

俞波

(江苏省辐射环境保护咨询中心,江苏南京 210036)

摘要:利用静电电磁场理论在 Matlab 的图形用户界面(GUI)环境下开发了电磁辐射预测系统,该系统能够预测 500 kV 及以下高压送电线路下的工频电场强度和磁感应强度,并对典型线路预测值和实测值进行比较,分析系统的可靠性。

关键词:Matlab;工频电场强度;磁感应强度

中图分类号:TM726.1

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2010)03-0054-03

随着电力工业的发展,电网的容量越来越大,输送的距离越来越远,输电线路的电压等级也在不断提高,再加上经济发展和人口增长等社会因素的影响,新建的高压输电线路越来越逼近人口稠密区^[1]。电磁辐射对人体的危害主要包括 2 个方面:热效应和非热效应。热效应是指人体蛋白质和水分子这些不均匀电介质在变化的电磁场中,随电场的变化而不断振动,分子之间相互摩擦产生热量,这些热量会在人体中积累,从而烧坏蛋白质分子,导致某种生理病症;非热效应是指电磁场对人体在不产生温升的情况下引起的生理病。为了有效地控制电磁辐射的污染,国家规定了高压输电线路下工频电场和工频磁场能够满足《500 kV 超高压送变电工程电磁辐射环境影响评价技术规范》(HJ/T24-1998)中工频电场 4 kV/m、工频磁场 0.1 mT 的推荐限值要求。在该规范的指导下,利用静电场理论在 Matlab 的图形用户界面(GUI)环境里设计了高压送电线路下电磁辐射预测系统,该系统能够对 500 kV 及以下高压送电线路空间下的工频电场和工频磁场进行预测,这对电网的发展规划有着重要的理论价值和实际意义。

1 工频电场和磁感应强度的计算

1.1 静电场理论

电力线路的频率为 50 Hz,其波长为 6 000 km,而一条线路仅几十或几百 km^[2],所以在架空线路工程计算中,可以采用静电场理论。如图 1 所示,长度为 ρ 的导线 1 上分布着电荷线密度为 Q 的均匀电荷,将地面视为良导体,利用镜像电荷 $-Q$ 代替大地对计算点 P 电场强度的影响,当 P 点距离导线的间距 L 与导线长度 ρ 之比趋于 0 时,则导线在 P 点产生的电场强度 E 由下式求出^[3]:

$$E = \frac{Q}{2\pi\epsilon L} \quad (1)$$

式中: ϵ 为真空介电常数,通常取 $\epsilon = \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9}$ F/m。

则:

$$E = -\text{grad} U = \frac{dU}{dL} \quad (2)$$

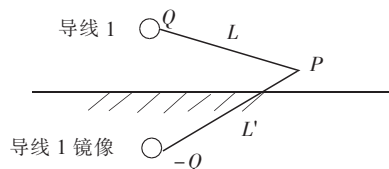


图 1 导线 1 及其镜像

选择无穷远处为点位参考点,电荷 Q 在 P 点产生电位为:

$$U_1 = \int_L^\infty \frac{Q}{2\pi\epsilon L} d\rho = -\frac{Q}{2\pi\epsilon} \ln L \quad (3)$$

镜像 $-Q$ 在 P 点产生电位为:

$$U_2 = -\int_L^\infty \frac{Q}{2\pi\epsilon L} dl = \frac{Q}{2\pi\epsilon} \ln L' \quad (4)$$

则 P 点的总电位为:

$$U = U_1 + U_2 = \frac{Q}{2\pi\epsilon} \ln \frac{L'}{L} \quad (5)$$

1.2 电场强度的计算

假设计算 P 点分布在各导线表面,由式(5)计算各回路自互电位系数,如图 2 所示。

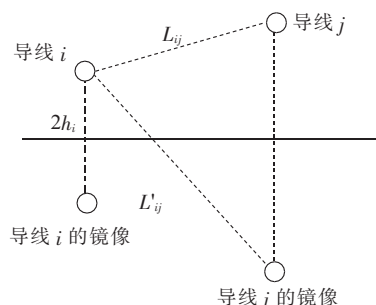


图 2 自互电位系数计算图

导线 i 的自电位系数:

$$\phi_{ii} = \frac{1}{2\pi\epsilon} \ln \frac{2h_i}{R_i} \quad (6)$$

式中: R_i 为各导线半径,对于分裂导线可用等效单根导线半径代入,四分裂导线等效半径 $R_i = \sqrt[4]{r\sqrt{2}d^3}$, 二分裂导线等效半径 $R_i = \sqrt{rd}$, r 为次导线半径, d 为次导线间距。

导线 i 的互电位系数:

$$\phi_{ij} = \frac{1}{2\pi\epsilon} \ln \frac{L'_{ij}}{L_{ij}} \quad (7)$$

假设导线根数为 n , 由式(5-7)得:

$$\begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ \dots \\ U_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \phi_{11} & \phi_{12} & \dots & \phi_{1n} \\ \phi_{21} & \phi_{22} & \dots & \phi_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \phi_{n1} & \phi_{n2} & \dots & \phi_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ \dots \\ Q_n \end{bmatrix} \quad (8)$$

已知导线表面电压和自互电位系数, 求出导线的等效电荷 Q_n , 由此可得 P 点的电场强度:

$$E = \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{2\pi\epsilon} \left(\frac{1}{L_i} - \frac{1}{L'_i} \right) \quad (9)$$

式中: L_i 为电荷 Q_i 到 P 点之间的距离; L'_i 为电荷 Q_i 的镜像到 P 点之间的距离。

1.3 磁感应强度的计算

如图3所示, 长度为 ρ 的导线1电流为 I , 计算 P 点距离导线的间距为 L , 且与导线1长度 ρ 之比趋于0时, 导线在 P 点产生的磁感应强度为:

$$B = \frac{I\mu}{2\pi L} \quad (10)$$

式中: μ 为真空磁导率, 取 $\mu = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$, 和电场强度计算不同的是关于镜像导线的考虑, 与导线所处高度相比, 这些镜像导线位于地下很深的距离, 因此只考虑空间的实际导线, 忽略它的镜像^[4]。

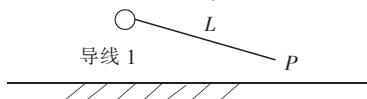


图3 导线1直线电流

2 电磁辐射预测系统的设计

2.1 电磁辐射预测系统的界面设计

用户界面设计是应用程序的重要组成部分, 一个好的应用程序要有美观实用的界面^[5]。本系统的用户界面, 综合考虑了各个元素的重要性、控件之间的联系和操作等方面的要求, 合理使用窗体控件及四周空白区域来突出设计元素, 用户界面如图4所示。

另外, 该界面还进行了容错性设计, 当用户遗漏了数据或者录入了不合法的数据时, 系统会准确地检测出错误发生的位置, 报告出错误发生的性质, 从而保证系统运行状态的稳定性。

2.2 电磁辐射预测系统的总体设计

软件结构的好坏将直接影响软件系统开发成功与否, 为了能够设计出更合理、清晰的体系结构, 在



图4 用户界面

设计过程中采用了抽象、封装、模块化、信息隐藏、耦合与内聚等技术。电磁辐射预测系统由线路参数输入模块、电磁辐射预测模块、预测结果保存模块等3部分组成。

(1) 线路参数输入模块。该模块负责对用户输入高压送电线路的参数进行实时监控, 并且判断这些参数的合法性, 若合法, 则保存, 若不合法则放弃。

(2) 电磁辐射预测模块。该模块利用静电场理论对高压送电线路下空间的电场强度和磁感应强度进行计算。

(3) 预测结果保存模块。该模块负责对预测得到的电场强度和磁感应强度的合法性进行检测, 若数据合法, 则将数据保存到用户指定的 EXCEL 文件中。

3 电磁辐射预测系统的测试

系统测试的目的: 验证高压送电线路下电磁辐射预测系统的可靠性。

系统测试的方法: 选择江阴 220 kV 夏运 I, II 线 7 号—8 号塔间进行工频电场强度和磁感应强度现状监测, 并根据该线路的实际参数, 利用电磁辐射预测系统进行预测, 对这 2 组数据进行分析比较。

3.1 线路参数及监测现状

江阴 220 kV 夏运 I, II 线路采用双分裂逆相序 (ABC/CAB) 排列, 分裂导线的间距为 30 cm, 考虑绝缘子和弧垂长共计 8 m, 7 号—8 号塔有关参数如表 1 所示。

表 1 7 号—8 号塔有关参数

参数	直线塔	参数	直线塔
导线型号	2×LGJ-400	220 kV 线上中层垂直间距	6.5 m
220 kV 上层水平间距	5 m×2	220 kV 线中下层垂直间距	6.5 m
220 kV 中层水平间距	7 m×2	呼高	32 m
220 kV 下层水平间距	5.75 m×2		

监测时间: 2008 年 7 月 25 日; 天气状况: 晴, 温

度 35.7℃,湿度 57.2% RH;监测时,220 kV 夏运4563 线运行工况; $U=231$ kV, $I=240$ A;监测时,220 kV 夏运 4564 线运行工况; $U=231$ kV, $I=222$ A。

3.2 结果比较与分析

工频电场实测值与预测值结果对比见图 5。磁感应强度实测值与预测值结果对比见图 6。

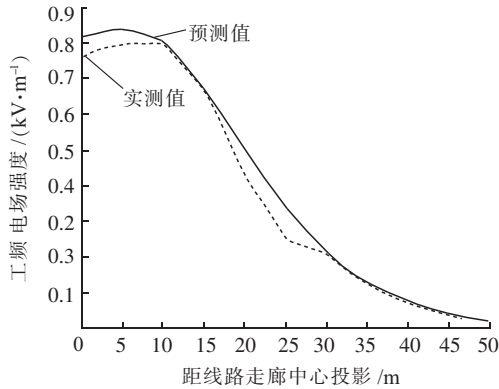


图 5 工频电场实测值与预测值结果对比

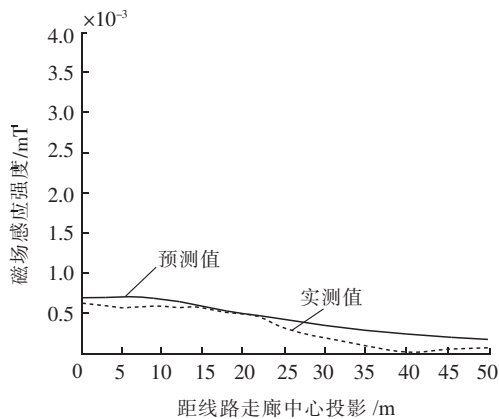


图 6 磁感应强度实测值与预测值结果对比

由图 5 和图 6 可以看出,预测值和实测值变化趋势大致相同,但预测值与实测值之间存在误差,主

要原因如下。

(1) 环境现状存在误差。本系统对高压送电线路下工频电场和磁场的预测是建立在理想环境下的,而实际环境比较复杂,天气状况、温度、湿度、风速和周围建筑物等均会影响线下电磁场的分布。

(2) 模型参数存在误差。所建立的数学模型中,包括线路的坐标、分裂导线的线距、线路的电压、电流等参数不可能与监测时的实际情况完全一样。

4 结束语

本文利用静电场理论在 Matlab 的 GUI 环境下,开发出高压送电线路下电磁辐射预测系统,本系统的预测值比实测值略大,但数据的变化趋势大致相同。在电网的发展规划过程中,利用本系统可以较好地预测 500 kV 及以下高压送电线路下电磁辐射,以便及时作出规划调整,有效地控制电磁辐射污染,保护生态环境。

参考文献:

- [1] 丁玉斌,张国平. 高压输电变电电磁辐射污染分析及防护研究[J]. 高等函授学报,2007,20(4):45-47,50.
- [2] 石昌智,李孜军. 电磁辐射源危险性评价与防护管理研究[A]. 中国优秀硕士学位论文全文数据库[C].2008.
- [3] HJ/T 24—1998,500 kV 超高压送变电工程电磁辐射环境影响评价技术规范[S].
- [4] 曹伟,徐立勤. 电磁场与电磁波理论[M]. 北京:北京邮电大学出版社,1999.
- [5] 张志涌,徐彦琴. MATLAB 教程[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2001.

作者简介:

俞波(1984-),男,江苏扬州人,硕士研究生,主要研究领域为电磁辐射与环境保护。

The Design and Testing of Prediction System for Electromagnetic Radiation under High Voltage Transmission Line

YU Bo

(Jiangsu Radiation Environmental Protection Consultation Center, Nanjing 210036, China)

Abstract: According to the static electromagnetic field theory, the system for the prediction of electromagnetic radiation is developed under the environment of GUI in MATLAB. The system can be used for the prediction of the power-frequency electric-field intensity and the magnetic induction intensity produced by 500 kV or under 500 kV transmission line. In order to analyze the reliability of the system, comparison between predicted data and measured data of typical power transmission lines is made in the paper.

Key words: MATLAB; power-frequency electric-field intensity; magnetic induction intensity

中国 2010 年上海世博会概况

时间:2010年5月1日至10月31日;地点:上海市中心黄浦江两岸,南浦大桥和卢浦大桥之间的滨江地区;主题:城市,让生活更美好;副主题:城市多元文化的融合、城市经济的繁荣、城市科技的创新、城市社区的重塑、城市和乡村的互动;目标:吸引200个国家和国际组织参展,7000万人次的参观者。