

接地金属网对高压输电线路下方 工频电场强度及感应电压改善的研究

周建飞¹, 周年光¹, 孔淑琴², 彭继文¹, 欧阳玲¹

(1. 湖南省电力公司试验研究院, 湖南省 长沙市 410007;

2. 高电压与电磁兼容北京市重点实验室(华北电力大学), 北京市 昌平区 102206)

Research on Reducing Both Power Frequency Electric Field Intensity and Induced Voltage Under HV Transmission Lines by Metal Ground Mesh

ZHOU Jianfei¹, ZHOU Nianguang¹, KONG Shuqin², PENG Jiwen¹, OUYANG Ling¹

(1. Hunan Electric Power Test & Research Institute, Changsha 410007, Hunan Province, China; 2. Beijing Key Laboratory of High Voltage & EMC(North China Electric Power University), Changping District, Beijing 102206, China)

ABSTRACT: To mitigate the phenomena of induced voltage in residential buildings near to HV power transmission line due to power frequency electric field, it is proposed to decrease the power frequency electric field intensity inside residential buildings as well as the induced voltage on the badly grounded conductors in residential buildings by metal ground mesh. Simulating residential buildings by the boxes made of high density wood-based panels, the experiments are performed in the phytotron and in a certain place under 500 kV and 220 kV AC power transmission lines in Hunan province, and the CDEGS software package is used for the electromagnetic field calculation. Results of experiments and calculation show that using metal ground mesh, both power frequency electric field intensity and induced voltage inside residential buildings near to HV AC transmission lines can be effectively reduced.

KEY WORDS: metal ground mesh; power frequency electric field intensity; induced voltage; HV AC transmission lines

摘要:为解决高压输电线路附近民房由于工频电场而产生感应电压的现象,提出采用接地金属网来减小民房内工频电场强度以及居民房内不良接地导体的感应电压。采用高密度板制做的木盒子模拟居民房,分别在人工气候室内和湖南省内某 500 kV 和 220 kV 交流输电线路下方进行试验,并采用 CDEGS 电磁计算软件进行计算,试验结果与计算结果表明,接地金属网可有效减小高压输电线路周围居民房中的工频电场强度和感应电压。

关键词: 接地金属网; 工频电场强度; 感应电压; 交流高压输电线

0 引言

随着社会的发展和对电力需求的增加,电网规

模日益扩大,当输电线路途经南方山区、丘陵地带时,由于居民居住分散,高压输电线路不可避免地会跨越或邻近民房,由此引起的电磁环境纠纷和投诉也日益增多^[1-4],特别是在秋冬季节天气干燥时用手接触金属水管、晾衣杆等物体,会有被电击的感觉,严重时人甚至被电击倒地^[5]。

目前国内有些研究机构和学者对高压输电线路邻近民房的电磁环境进行研究^[6-8],对高压输电线路周围导体或者人体上的感应电压流进行计算^[9-11],并提出采用屏蔽线或屏蔽网来改善输电线路下方工频电场强度的措施^[12-15];然而在 2 个铁塔之间架设屏蔽线或屏蔽网,需要使用大量屏蔽线,且需要重新计算铁塔应力并改造铁塔,实施起来较为困难。分析多年现场资料表明,高压输电线路附近民房内的感应电压与房屋的接地性能有密切关系,本文提出使用接地金属网这种简便易行的方法来改善高压输电线路附近居民房内的工频电场和墙壁上的感应电压,并采用实验室和现场试验以及 CDEGS 软件仿真计算相结合的方法进行验证,结果表明接地金属网可有效减小高压输电线路周围居民房中工频电场和感应电压的影响。

1 试验方法

1.1 试验对象与条件

为方便实验室和现场试验,保证试验对象参数的一致性,本文采用高密度板制作的 1 m×1 m×1 m 的木盒子模拟房子,用细钢筋做成的 2 个 0.25 m×

0.25 m 网格和 0.1 m×0.1 m 网格的金属网罩模拟金属网, 分别在人工气候实验室、湖南省内某 500 kV 和某 220 kV 输电线路下方进行试验。

人工气候室尺寸大小为 4 m×3.7 m×4.2 m, 可模拟降雨、风速、温度控制和湿度控制 4 种自然界的气候条件。本文试验中仅用到湿度和温度控制。

现场试验选择的湖南省内某 500 kV 交流输电线路段和某 220 kV 交流输电线路段地处平原地区, 200 m 附近没有其他 35 kV 及以上电压等级的输电线路, 与标准[16]中假设的水平近似。

1.2 监测仪器

工频电磁场强度现场监测采用 Narda 公司的 EFA-300 工频电磁场分析仪, 电场探头为边长 10 cm 的正方体, 通过光缆将监测信号传送至主机。使用条件为温度 0~50 °C, 相对湿度 <95%RH(RH 代表相对湿度), 并经中国计量研究院计量鉴定合格, 仪器在鉴定周期内, 精度为 ±5%。湿度测量采用法国 KIMO HD200 多功能温湿度计, 温、湿度探棒量程分别为 -20~80 °C 和 3%~98%RH, 仪器精度为 ±1.5%。使用 FLUKE 17B 型数字万用表测量感应电压和感应电流。现场试验时采用入地 >0.5 m 钢钎作为地电位极, 并在周围土壤中浇灌盐水来增加接地极的接地性能。

1.3 试验过程

1) 实验室试验。

控制人工气候室温度在(25±1) °C, 湿度 40%左右, 通过试验变压器将穿墙套管电压升至 72.7 kV, 在人工气候室内套管端部正下方的地面上放置 2 m×2 m 绝缘垫, 将木盒置于绝缘板上, 在木盒内部中心点固定工频电磁场测试仪。分别测量木盒不罩金属网罩, 木盒分别罩 2 个金属网罩不接地或接地情况下木盒内部中心点的工频场强, 同时用万用表测量木盒内外壁上金属铁丝的感应电压。

2) 现场试验。

在 500、220 kV 输电线路正下方的地面上放置 2 m×2 m 绝缘垫, 将木盒置于绝缘板上, 在木盒内部中心点固定工频电磁场测试仪。分别测量木盒不罩金属网罩, 木盒分别罩 2 个金属网罩不接地或接地情况下木盒内部中心点的工频场强, 同时用万用表测量木盒内外壁上金属铁丝的感应电压。并向相关变电站了解线路运行工况, 测试期间线路电压、电流及负荷比较稳定。

2 试验结果分析

2.1 实验室试验结果分析

实验室试验时, 穿墙套管电压稳定在 73 kV, 温度保持在 26 °C 左右, 湿度在 45%~50%, 所得测试结果如表 1 所示。

表 1 实验室测试结果
Tab. 1 Test results in laboratory

测试情景	电场强度 E/(V/m)	内部铁线感 应电压 U_1 /V	外部铁线感 应电压 U_2 /V	金属罩感 应电压 U_3 /V
无木盒也无金属罩	6301.0	—	—	—
木盒子无金属网罩	1718.0	58.3	120.9	—
木盒子套 0.25 m 网格的金属罩(不接地)	1143.0	50.1	107.4	159.5
木盒子套 0.25 m 网格的金属罩(接地)	564.0	13.0	29.6	0.0
木盒子套 0.1 m 网格的金属罩(不接地)	951.1	50.6	104.9	170.6
木盒子套 0.1 m 网格的金属罩(接地)	312.4	9.0	22.8	0.0

试验结果表明:

1) 木盒子本身可以将工频电场强度减少至无任何遮挡时的 1/4; 木盒子罩上 0.25 m×0.25 m 网格的金属网罩后不接地时电场强度减小至无任何遮挡时的 1/6 左右, 接地时工频电场强度减小至无任何遮挡时的 1/10 左右; 木盒子罩上 0.1 m×0.1 m 网格的金属网罩后不接地时工频电场强度减小至无任何遮挡时的 1/8 左右, 接地时工频电场强度减小至无任何遮挡时的 1/20 左右。

2) 木盒子内外壁铁丝上的感应电压在无金属网罩或者有金属网罩但不接地时基本没有发生变化; 接地时木盒子内外壁铁丝上感应电压可减少至不接地时的 1/4 左右, 金属网格从 0.25 m×0.25 m 减少至 0.1 m×0.1 m 时对木盒子内外壁铁丝上感应电压的进一步减小作用不是很明显。

3) 木盒子外面的金属罩在不接地时的感应电压比较大, 且随着网格的缩小感应电压会增大。

2.2 现场试验结果分析

当环境湿度为 86%RH 时, 在 220 kV 交流输电线路下方进行的现场试验所得数据如表 2 所示。当环境湿度为 67%RH 时, 在 500 kV 交流输电线路下方进行的现场试验所得数据如表 3 所示。

现场测试数据表明:

1) 木盒子本身可以将电场强度减少至无任何遮挡时的 1/10 以下; 木盒子罩上 0.25 m×0.25 m 网格的金属网罩后不接地时电场强度减小至无任何遮挡时的 1/20 左右, 接地时电场强度又可以减小

表 2 220 kV 交流输电线路下方测试结果
Tab. 2 Field test results under the 220 kV AC transmission line

测试情景	电场强度	内部铁线感	外部铁线感	金属罩感应
	$E/(V/m)$	应电压 U_1/V	应电压 U_2/V	电压 U_3/V
无木盒也无金属罩	2387.0	—	—	—
木盒子无金属网罩	125.4	16.2	23.5	—
木盒子套 0.25 m 网格的金属罩(不接地)	77.0	6.4	12.0	15.9
木盒子套 0.25 m 网格的金属罩(接地)	36.2	2.6	4.0	0.0
木盒子套 0.1 m 网格的金属罩(不接地)	28.2	2.6	4.9	4.7
木盒子套 0.1 m 网格的金属罩(接地)	13.7	1.4	2.2	0.0

表 3 500 kV 交流输电线路下方测试结果
Tab. 3 Field test results under the 500 kV AC transmission line

测试情景	电场强度	内部铁线感	外部铁线感	金属罩感应
	$E/(V/m)$	应电压 U_1/V	应电压 U_2/V	电压 U_3/V
无木盒也无金属罩	3031.0	—	—	—
木盒子无金属网罩	229.4	52.2	84.4	—
木盒子套 0.25 m 网格的金属罩(不接地)	178.0	38.5	59.3	75.2
木盒子套 0.25 m 网格的金属罩(接地)	87.6	14.4	21.5	0.0
木盒子套 0.1 m 网格的金属罩(不接地)	130.3	33.0	49.0	62.5
木盒子套 0.1 m 网格的金属罩(接地)	48.8	9.2	17.0	0.0

1/2; 木盒子罩上 0.1 m×0.1 m 网格的金属网罩后不接地时电场强度减少至无任何遮挡时的 1/30 左右, 接地时电场强度又可以减小 1/2。

2) 木盒子内外壁铁丝上的感应电压在罩上金属网罩后减小将近 1/2, 接地时可进一步减小 1/2, 网格从 0.25 m 减少至 0.1 m 对木盒子内外壁铁丝上感应电压的进一步减小作用不是很明显。

3) 木盒子外面的金属罩在不接地时的感应电压比较大。

3 仿真计算

本文采用 CDEGS 电磁计算软件对研究结果进行仿真计算, 采用 220 kV 单回水平布置双分裂 2×LGJ 400/50 导线进行建模, 根据软件的要求, 设置导线的相对电阻率为 1.64(相对于退火铜), 导线对地高度 18.5 m, 线间距 4.0 m, 间隔棒长度 0.4 m。导线正跨越居民房, 此时房内的电场强度较大。

居民房建模采用 10 m×10 m×10 m 的正方体木盒子, 正方体每个面分别由 10 根半径 0.04 m, 长度 10 m, 间隔 1 m 的圆柱形导体棒组成, 木材的相对电阻率取 10⁹(相对于退火铜)。

接地金属网采用 10.1 m×10.1 m×10.1 m 的正

方体金属盒来模拟, 正方体每个面由若干根半径为 0.005 m, 长度为 10.1 m 的圆柱形金属导体棒(钢材)组成, 根据金属网格大小的差别, 导体棒间隔分别取 1 m 和 2.5 m 2 种。钢材的相对电阻率取 12(相对于退火铜)。

仿真所得结果如图 1、2 所示。图 1 为木盒子中间垂直于导线方向高度 1.5 m 处观测线上的电场强度分布(为去除靠近墙壁处的畸变数据, 观测线上靠近墙壁 1 m 的数据未计入)。图 2 为从地面开始 0~10 m 高度的感应电压分布。

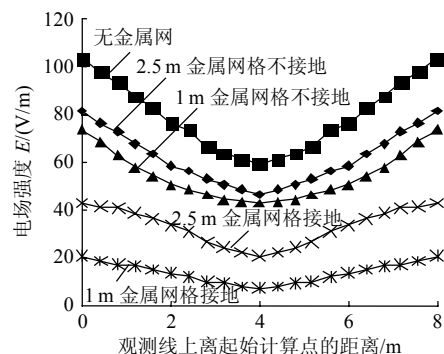


图 1 房子内部高度为 1.5 m 观测线上的电场强度分布
Fig. 1 Distribution of power frequency electric field at 1.5 m above the ground in house

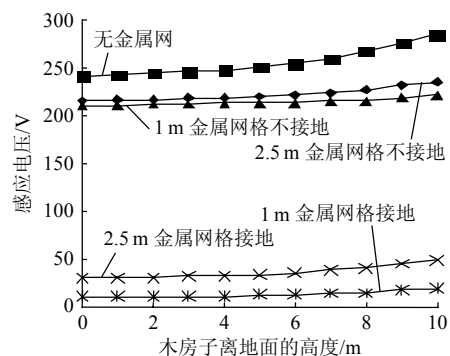


图 2 木房子墙壁感应电压随高度的变化
Fig. 2 Variation of induced voltage in wooden house wall with height

仿真计算结果与现场测量结果基本一致, 木房子本身对工频电场有一定的屏蔽作用, 加上金属网罩以后木房子内部的工频电场强度明显降低, 且随着金属网格的缩小屏蔽效果逐渐增强, 但效果并不明显。金属网罩接地和不接地均能改善木房子内部的电场强度, 且效果差不多; 但接地后能够明显减小木房子墙壁上的感应电压, 而不接地时金属网罩几乎不能减小木房子墙壁上的感应电压。随着金属网格的缩小感应电压逐渐减小, 但效果并不明显。

4 结论与讨论

试验和仿真结果均表明接地金属网可有效减

小高压输电线路周围民房内的工频电场强度和感应电压;若金属网不接地,可减小工频电场强度,但基本不会减小感应电压,反而会在金属网上产生较大的感应电压;接地金属网格的缩小会进一步增强效果,但效果并不明显。

使用接地金属网来减小高压输电线路周围民房内的工频电场强度和感应电压是一种简便易行经济的处理方法;但本文仅对接地金属网在减小房屋内部工频电场强度和房屋墙壁上感应电压方面的效果进行研究,在工程实际应用中还有许多因素需要考虑,如居民的心理影响、外观的美化设计等。具体实施时可以参照 GB 50057-94—2000 年修订稿《建筑物防雷设计规范》中第 2 类防雷建筑物的防雷措施沿屋角、屋背、屋檐和檐角敷设接地网^[17]。

参考文献

- [1] 黄道春, 阮江军, 文武, 等. 特高压交流输电线路电磁环境研究[J]. 电网技术, 2007, 31(1): 6-11.
Huang Daochun, Ruan Jiangjun, Wen Wu, et al. Study on electromagnetic environment of UHV AC transmission lines[J]. Power System Technology, 2007, 31(1): 6-11(in Chinese).
- [2] Kogelschatz U. Dielectric-barrier discharge: their history, discharge physics and industrial application[J]. Plasma Chemistry and Plasma Processing, 2003, 23(1): 1-46.
- [3] 许杨, 张小青, 杨大晟. 高压输电线路工频电磁环境[J]. 电力学报, 2007, 22(1): 9-14.
Xu Yang, Zhang Xiaoqing, Yang Dasheng. Power frequency electromagnetic environment of high voltage transmission line[J]. Journal of Electric Power, 2007, 22(1): 9-14(in Chinese).
- [4] 彭继文, 周建飞, 周年光, 等. 湿度对 500 kV 超高压交流架空送电线路区域电磁环境影响研究[J]. 电网技术, 2008, 32(S2): 236-239.
Peng Jiwen, Zhou Jianfei, Zhou Nianguang, et al. Research on effects of humidity on 500 kV EHV AC overhead transmission lines regional electromagnetic environment[J]. Power System Technology, 2008, 32(S2): 236-239(in Chinese).
- [5] 吕平海, 张格红, 吴健, 等. 高压交流输电线路电场短期生态效应研究[J]. 陕西电力, 2009, 37(8): 22-25.
Lü Pinghai, Zhang Gehong, Wu Jian, et al. Research on short-term ecological effect of electric field under HV AC transmission line[J]. Shaanxi Electric Power, 2009, 37(8): 22-25(in Chinese).
- [6] 张广洲, 邬雄, 万保权, 等. 邻近民房的输电线路电磁环境[J]. 高电压技术, 2009, 35(4): 884-888.
Zhang Guangzhou, Wu Xiong, Wan Baoquan, et al. EM environment of the transmission lines adjacent to residential buildings[J]. High Voltage Engineering, 2009, 35(4): 884-888(in Chinese).
- [7] 梅贞, 陈水明, 马锋, 等. 高压输电线路附近室内电磁环境与屏蔽效果[J]. 高电压技术, 2008, 34(1): 60-63.
Mei Zhen, Chen Shuiming, Ma Feng, et al. Electromagnetic field in home near high voltage transmission line and shielding efficiency of structure[J]. High Voltage Engineering, 2008, 34(1): 60-63(in Chinese).
- [8] King R W P. Shielding by a house from the electric field of a power line[J]. Radio Science, 1999, 34(4): 773-779.
- [9] 杨文翰, 吕英华. 用模拟电荷法求解高压输电线路附近电磁场[J]. 电网技术, 2008, 32(2): 47-50, 55.
Yang Wenhan, Lü Yinghua. Application of emulation charge method in calculation of electromagnetic environment near to HV transmission lines[J]. Power System Technology, 2008, 32(2): 47-50, 55(in Chinese).
- [10] 王建华, 文武, 阮江军, 等. UHV 交变电场在人体中感应电压流计算分析[J]. 高电压技术, 2007, 33(5): 46-49.
Wang Jianhua, Wen Wu, Ruan Jiangjun, et al. Calculation of electric field induced currents on human bodys under 1000kV UHV[J]. High Voltage Engineering, 2007, 33(5): 46-49(in Chinese).
- [11] 胡丹晖, 涂彩琪, 蒋伟, 等. 500kV 同杆并架线路感应电压和电流的计算分析[J]. 高电压技术, 2008, 34(9): 1927-1931.
Hu Danhui, Tu Caiqi, Jiang Wei, et al. Calculation of inductive voltage and current for 500kV double circuits transmission lines on single tower[J]. High Voltage Engineering, 2008, 34(9): 1927-1931(in Chinese).
- [12] 蒋虹, 焦景慧, 林志和, 等. 超高压线路降低电场强度对策研究[J]. 高电压技术, 2006, 32(8): 56-58.
Jiang Hong, Jiao Jinghui, Lin Zhihe, et al. Research on the countermeasure for the over limitation of the power frequency electric field caused by extra-high voltage transmission line[J]. High Voltage Engineering, 2006, 32(8): 56-58(in Chinese).
- [13] 路遥, 邬雄, 万保权, 等. 交流特高压线路下电场强度的改善[J]. 高电压技术, 2006, 32(12): 66-68.
Lu Yao, Wu Xiong, Wan Baoquan, et al. Study on the measurement of reducing electric field intensity under UHV transmission lines[J]. High Voltage Engineering, 2006, 32(12): 66-68(in Chinese).
- [14] 路遥, 邬雄, 张小武. 交流特高压输电线路线下电场强度改善措施研究[J]. 电网与水力发电进展, 2008, 24(2): 9-14.
Lu Yao, Wu Xiong, Zhang Xiaowu. Measurements of improving electric field under UHV AC transmission line[J]. Advances of Power System & Hydroelectric Engineering, 2008, 24(2): 9-14(in Chinese).
- [15] 李永明, 何健, 徐禄文, 等. 超高压输电线路下工频电场抑制方法的研究[J]. 高压电器, 2009, 45(4): 47-51.
Li Yongming, He Jian, Xu Luwen, et al. Research on suppression of power frequency electric field due to EHV transmission lines[J]. High Voltage Apparatus, 2009, 45(4): 47-51(in Chinese).
- [16] 国家环境保护局. HJ/T 24—1998 500kV 超高压送变电工程电磁辐射环境影响评价技术规范[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 1999.
- [17] 中华人民共和国建设部. GB 50057-94—2000 年修订稿 建筑物防雷设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2000.



周建飞

收稿日期: 2011-02-20.

作者简介:

周建飞(1981), 男, 硕士, 工程师, 主要从事电力环境保护的研究工作, E-mail: jtzhou@yeah.net;
周年光(1971), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事电力环境保护的研究工作。

(责任编辑 马晓华)