

DOI:10.13296/j.1001-1609.hva.2018.02.040

实验室中环境湿度对工频电场测量设备准确度的影响及改进措施研究

兰新生, 丁登伟, 王志高, 周易谦, 苏长华, 王杰, 王方强

(国网四川省电力公司电力科学研究院, 成都 610072)

摘要: 输变电工程工频电场强度测试结果的准确性对于电力工程的环保验收评价具有重要的意义,但研究发现环境湿度增加会导致输变电工程工频电场强度测得值偏大。为了验证测量设备的准确性,研究环境湿度导致输变电工程工频电场强度测得值偏大的因素及改进措施,文中通过对工频电场强度测量传感器采取密封处理和悬吊的支撑方式,利用实验室的标准电场,研究了实验室内工频电场强度测得值受环境湿度的影响程度,给出了测得值受环境湿度影响的数值范围,并提出了在实验室内对工频电场强度测量设备进行校准或者比对时提高测量准确度的解决办法。试验证明工频电场传感器本身是准确的,用于放置传感器的支架受环境湿度的影响是导致测得值产生误差的关键因素,通过对传感器采取悬吊的方式或者采取措施使得实验室内环境相对湿度低于55%可有效降低环境湿度对测量准确度的影响。该研究对输变电工程工频电场强度测量方法的改进和推进相关标准的修订具有重要意义。

关键词: 湿度; 工频电场; 测量准确度; 改进措施

Study on the Effects of the Environmental Humidity on the Accuracy of Power Frequency Electric Field Measurement Equipment in Laboratory and Improvement Measures

LAN Xinsheng, DING Dengwei, WANG Zhigao, ZHOU Yiqian, SU Changhua,

WANG Jie, WANG Fangqiang

(State Grid Sichuan Electric Power Research Institute, Chengdu 610072, China)

Abstract: The accuracy of the power frequency electric field measurement results in power transmission and transformation projects is of great importance to environmental evaluation of power engineering. However, we have found that high environmental humidity could lead to larger power frequency electric field intensity measurement results. In order to verify the accuracy of the measuring device and investigate the effects of environmental humidity on the power frequency electric field intensity measurement results and improvement method, two ways of sealing and suspension of the sensor are applied in standard electric field. The effects of the environmental humidity on the measurement results of power frequency electric field intensity are investigated. The range of the environmental humidity which can affect test results is obtained, and the solution of improving the testing accuracy is given on the power frequency electric field intensity measuring for calibration or comparison experiment of equipment in laboratory. The results demonstrate that suspension of sensor and bringing down environmental humidity below 55% could reduce the effects of environmental humidity on measurement accuracy effectively. This study is of great significance in improving power frequency electric field intensity measuring method in power transmission and transformation project, also it is meaningful to promote the revision of relevant standards.

Key words: environmental humidity; power frequency electric field intensity; measuring accuracy; improvement measures

0 引言

随着社会经济和输变电技术的飞速发展, 输、变电工程带来的电、磁环境问题引起广泛的关注^[1-2]; 工频电场强度是电力工程环境保护竣工验收的重要指标, 其测得值的准确性对工程环保验收工作的判定具有非常重要的意义。国内学者对高压输变电工程产生的工频电场进行了大量的计算和研究^[3-12], 笔者在四川地区多个电力工程工频电场强度的测量过程中发现, 利用同样的测试设备对同一工程、同一工况(电压相同)、同一位置在不同环境湿度下进行测试时, 其工频电场强度测得值不同, 数值大者达日常平均值的2~8倍^[14-15], 在环境湿度大于55%时其测得值远高于“国际大电网会议第36.01工作组”推荐方法得到的计算值, 这不禁让人对测量方法和测量系统的准确性产生怀疑。

国内众多学者的研究也证实了环境湿度对工频电场强度测得值有重要的影响^[16-23]。研究发现, 环境湿度可从以下方面影响测得值的准确性: ①影响电场强度传感器绝缘性能而影响测得值; ②改变测量设备支架的电学性能而改变测量点电场分布进而影响测得值。基于此, 该实验在标准电场内, 通过对传感器进行密封和采取悬吊的支撑方式在不同环境湿度下进行测量, 并与正常测量时的测试结果进行对比, 以确定环境湿度影响测得值准确性的原因。

1 实验方法

1.1 标准电场

该实验参照电力行业标准 DL/T 988—2005《高压交流架空送电线路、变电站工频电场和磁场测量方法》附录A中所述方法建立标准电场。两块2 m×2 m的铜制极板相向放置, 间距0.8 m, 电场为水平方式布置, 因传感器放入而导致的电场畸变程度在允许误差范围内。平行布置的用于校准工频电场测试设备的极板见图1。

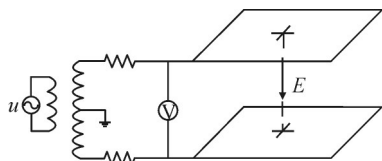


图1 平行布置的用于校准工频电场测试设备的极板

Fig. 1 Parallel plates used for calibration of electric field measuring instrument.

1.2 工频电场测量系统

工频电场强度测量系统采用narda公司制造的PMM8053B主机和EHP-50系列(B、C、D)传感器及实验室配套的支撑(上层为高50 cm的泡沫, 下层为50 cm

高的木凳)组成。

1.3 实验方式及过程

1)传感器放置与电场方向一致, 在实验室配套的支撑方式下, 在2.5 kV/m固定标准电场中, 保持温度不变, 调节环境相对湿度(39.7%~74.6%), 将传感器放置在标准电场中心位置, 分别获得密封传感器和正常测量状态下的工频电场强度结果。

2)传感器放置与电场方向一致, 在利用尼龙丝线将传感器悬吊的方式下, 在2.5 kV/m固定标准电场中, 保持温度不变, 调节环境相对湿度(39.7%~74.6%), 将传感器放置在标准电场中心位置, 分别获得密封传感器和正常测量状态下的工频电场强度结果。将传感器悬吊之后进行测量见图2, 将传感器悬吊密封之后进行测量见图3。

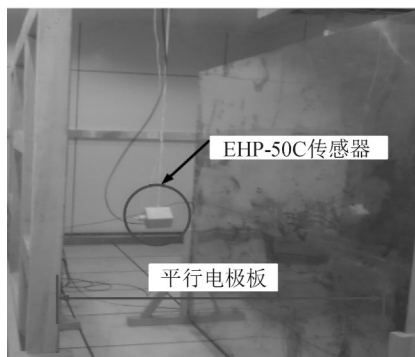


图2 将传感器悬吊之后进行测量

Fig. 2 Measurement method in laboratory (sensor suspended and unsealed)



图3 将传感器悬吊密封之后进行测量

Fig. 3 Measurement method in laboratory (sensor suspended and sealed)

2 不同方式下工频电场强度测得值

在实验室配套的支撑方式下, 传感器密封与正常测量时的测试结果见表1、2; 在利用尼龙丝线将传感器悬吊的支撑方式下, 传感器密封与正常测量时的测试结果见表3、4。

表1 密封时不同环境湿度工频电场强度测得值

Table 1 The power frequency electric field intensity measurement results in different environmental humidity (sensor sealed)

参数	1	2	3	4	5	6	7	8	9
电场标准值/(kV·m ⁻¹)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
环境相对湿度/%	44.3	48.1	52.0	57.4	60.0	61.3	62.7	65.0	70.8
测得值/(kV·m ⁻¹)	3.05	3.05	3.04	3.08	3.05	3.04	3.04	3.08	3.09

表2 正常测量时不同环境湿度工频电场强度测得值

Table 2 The power frequency electric field intensity measurement results in different environmental humidity (sensor unsealed)

参数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
电场标准值/(kV·m ⁻¹)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
环境相对湿度/%	39.7	40.7	41.0	44.6	47.5	49.5	50.2	51.1	53.0	54.7	56.3
测得值/(kV·m ⁻¹)	2.56	2.45	2.48	2.50	2.51	2.50	2.50	2.51	2.51	2.51	2.52

参数	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
电场标准值/(kV·m ⁻¹)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
环境相对湿度/%	57.9	59.1	59.8	61.9	63.2	65.0	65.4	67.3	68.1	69.2	70.7	74.6
测得值/(kV·m ⁻¹)	2.56	2.66	2.70	2.71	2.72	2.74	2.75	2.76	2.78	2.78	2.80	2.81

表3 悬吊密封时不同环境湿度工频电场强度测得值

Table 3 The power frequency electric field intensity measurement results in different environmental humidity (sensor suspended and sealed)

参数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
电场标准值/(kV·m ⁻¹)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
环境相对湿度/%	47.7	48.9	50.5	51.4	52.5	53.4	54.9	56.5	57.7	58.8	60.6	61.7	63.0	64.2
测得值/(kV·m ⁻¹)	3.01	3.00	3.00	3.00	3.02	2.99	2.99	3.00	3.02	2.97	2.99	2.94	2.94	2.96

表4 悬吊正常测量时不同环境湿度工频电场强度测得值

Table 4 The power frequency electric field intensity measurement results in different environmental humidity (sensor suspended and unsealed)

参数	1	2	3	4	5	6	7	8	9
电场标准值/(kV·m ⁻¹)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
环境相对湿度/%	48.9	50.2	51.7	52.4	53.3	54.7	57.3	58.6	59.2
测得值/(kV·m ⁻¹)	2.58	2.60	2.57	2.59	2.58	2.57	2.58	2.55	2.53

参数	10	11	12	13	14	15	16	17	18
电场标准值/(kV·m ⁻¹)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
环境相对湿度/%	60.7	61.5	62.8	64.5	65.5	68.1	70.5	71.1	73.0
测得值/(kV·m ⁻¹)	2.54	2.52	2.54	2.52	2.52	2.50	2.51	2.50	2.49

3 数据分析

3.1 配套支撑密封时环境湿度对工频电场强度测得值的影响

在实验室配套的支撑方式下密封时不同环境湿度对工频电场强度测得值的影响见图4。

从图4曲线直观地看出,在实验室配套的支撑方式下,将传感器密封时,测得值偏大但不随环境湿度的变化而变化。

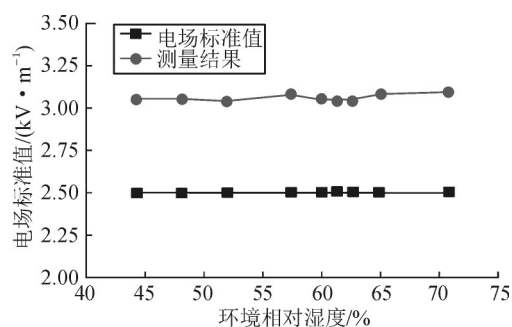


图4 配套支撑密封时不同环境湿度对工频电场强度的影响
Fig. 4 Effects of the environmental humidity on the power frequency electric field intensity (sensor sealed)

3.2 配套支撑正常测量时环境湿度对工频电场强度测得值的影响

在实验室配套的支撑方式下正常测量时不同环境湿度对工频电场强度测得值的影响见图5。

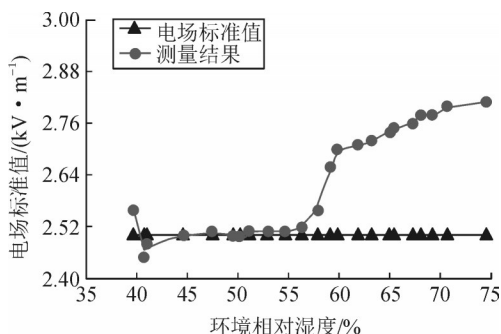


图5 配套支撑正常测量时不同环境湿度对工频电场强度的影响

Fig. 5 Effects of the environmental humidity on the power frequency electric field intensity (sensor unsealed)

图5曲线表明,在实验室配套的支撑方式下,环境相对湿度超过55%后,传感器正常测量时,测得值随着环境相对湿度增大而迅速增大;在相对湿度小于55%时,测得值基本保持恒定且与标准电场值非常接近。

3.3 悬吊密封时环境湿度对工频电场强度测得值的影响

悬吊密封时对工频电场强度测得值的影响见图6。

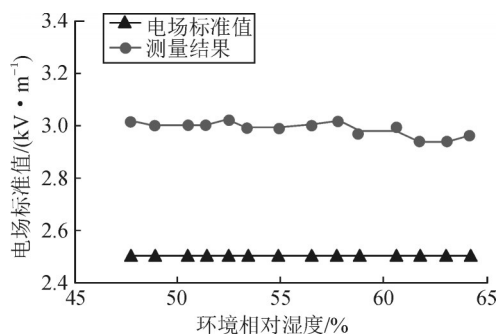


图6 悬吊密封时不同环境湿度对工频电场强度的影响

Fig. 6 Effects of the environmental humidity on the power frequency electric field intensity (sensor suspended and sealed)

从图6曲线直观地看出,在利用尼龙丝线将传感器悬吊的支撑方式下,密封传感器时,测得值偏大但变化趋势与环境相对湿度趋势不一致,其测试结果稳定并接近实验室配套支撑方式密封传感器的测试结果。

3.4 悬吊正常测量情况下环境湿度对工频电场强度测得值的影响

悬吊正常测量时不同环境湿度对工频电场强度测得值的影响见图7。

图7曲线表明,在利用尼龙丝线将传感器悬吊

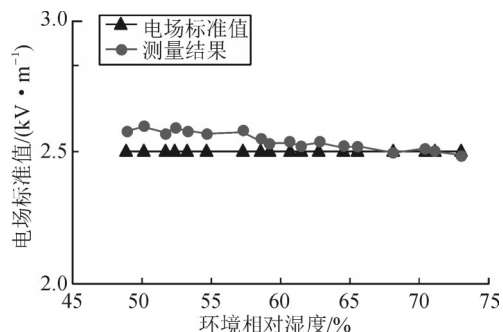


图7 悬吊正常测量时不同环境湿度对工频电场强度的影响

Fig. 7 Effects of the environmental humidity on the power frequency electric field intensity (sensor suspended and unsealed)

的支撑方式下,传感器正常测量时,在相对湿度从49%到73%变化区间,测得值不随环境湿度的变化而变化且测得值保持基本恒定并与标准电场数值非常吻合,最大误差小于4%。

3.5 密封与悬吊时环境湿度对工频电场强度测得值的影响

从表1、3以及图4、6的对比来看,可以发现在,将传感器密封时,采取实验室配套支撑方式和利用尼龙丝线将传感器悬吊支撑的方式得到的测得值均不随环境湿度的变化而变化,且两种支撑方式得到的测得值一致性较高,均较标准值偏大20%左右。

从表2、4以及图5、7的对比来看,可以发现在传感器正常测量时,采取实验室配套支撑方式和利用尼龙丝线将传感器悬吊支撑的方式得到的测得值在环境相对湿度小于55%时结果与标准值一致性较高;当环境相对湿度大于55%时,两种支撑方式的测得值差距巨大,但采用悬吊方式支撑得到的测得值非常接近标准值,由此可以得出:工频电场强度传感器支撑方式的不同是造成测得值偏离标准值的重要因素也可能是唯一因素。在实验室内,利用尼龙丝线将传感器悬吊的支撑方式可以有效避免测得值受到环境湿度的影响,尤其是环境相对湿度大于55%时,效果更加明显。

4 结论

4.1 讨论

均匀电场公式: $E=U/d$ 表明,电场强度只与极板电压和间距有关,实验室内均匀电场数值与空气介电常数无关。根据实验结果可以发现,在对传感器进行悬吊时,即使在环境相对湿度大于70%时,测得值也与理论计算值非常一致(最大误差4%),这表明

传感器在高湿度下本身也是准确的,且对传感器悬吊可以避免测得值受环境湿度的影响,进而确定了环境湿度和传感器放置方式(支撑或悬吊)是影响工频电场强度测量设备测得值的关键因素。通过使实验室内环境相对湿度保持低于55%或对传感器采取悬吊的方式两种方法可以提高工频电场强度的测得值准确性。

4.2 结论

1)在实验设定的湿度范围(48.9%~73.0%)内,用于测量工频电场的传感器本身是准确的;

2)传感器支撑物(支架)是环境湿度影响工频电场强度测量设备测得值的关键因素,采取将传感器悬吊的方式可以避免测得值受到环境湿度影响;

3)包含了传感器支架的工频电场测量系统在环境相对湿度大于55%时会导致较大的测量误差,误差随湿度的增加而增大;在环境相对湿度小于55%时,受到的影响较小,基本可忽略;

4)开展工频电场测试设备校准或者比对的实验时可以通过对传感器采取悬吊或者使实验室内环境相对湿度低于55%的方式来提高校准或者比对结论的准确性。

参考文献:

- [1] 周浩,余宇红.我国发展特高压输电中一些重要问题的讨论[J].电网技术,2005,29(12):1-9.
ZHOU Hao, YU Yuhong. Discussion on several important problems of developing UHV AC transmission in China[J]. Power System Technology, 2005, 29(12): 1-9.
- [2] 刘振亚.特高压电网[M].北京:中国经济出版社,2005.
LIU Zhenya. Ultra-high voltage power grid[M]. Beijing: China Economic Publishing House, 2005.
- [3] 辐射环境保护管理导则—电磁辐射测量仪器和方法: HJ/T 10.2—1996[S].北京:中国标准出版社,1996.
Guideline on management of radioactive environmental protection electromagnetic radiation monitoring instruments and methods: HJ/T 10.2—1996[S]. Beijing: China Standard Press, 1996.
- [4] 500 kV环境影响评价技术导则输变电工程: HJ 24—2014[S].北京:中国环境科学出版社,2014.
Technical guidelines for environmental impact assessment of electric power transmission and distribution project: HJ 24—2014[S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2014.
- [5] 黄子璇,席黎明,樊梦旭,等.特高压交流输电线路电晕放电对工频电场的影响[J].高压电器,2014,50(2):6-11.
HUANG Zixuan, XI Liming, FAN Mengxu, et al. Influence of corona discharge on power frequency electric field underneath UHV AC transmission lines[J]. High Voltage Apparatus, 2014, 50(2): 6-11.
- [6] 袁一飞,汪泉弟,杜松旺.特高压输电线路工频电场的仿真研究[J].高压电器,2009,45(3):5-7.
YUAN Yifei, WANG Quandi, DU Songwang. Simulation study of the power frequency electric field of UHV transmission line[J]. High Voltage Apparatus, 2009, 45(3): 5-7.
- [7] 赵志斌,董松昭,谢辉春.特高压交流同塔双回输电线路邻近建筑物时畸变电场研究[J].高电压技术,2012,38(9):2171-2177.
ZHAO Zhibin, DONG Songzhao, XIE Huichun. Distorted electric field of the building near UHVAC double circuit transmission lines on the same tower[J]. High Voltage Engineering, 2012, 38(9): 2171-2177.
- [8] 邹岸新,徐禄文.相序对特高压交流输电线下工频电磁场影响的仿真分析研究[J].高压电器,2015,51(3):82-87.
ZOU Anxin, XU Luwen. Simulation analysis on effect of phase sequence on power frequency electromagnetic field under UHV AC transmission lines[J]. High Voltage Apparatus, 2015, 51(3): 82-87.
- [9] 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.
- [10] 黄韬,吕建红,彭继文,等.基于矩量法的输电线路工频电磁场实测与计算分析[J].高压电器,2013,49(2):30-36.
HUANG Tao, LYU Jianhong, PENG Jiwen, et al. Calculation of power frequency electromagnetic field around transmission line based on moment method[J]. High Voltage Apparatus, 2013, 49(2): 30-36.
- [11] 郭雄,万保权.输变电工程的电磁环境[M].北京:中国电力出版社,2009:7-68.
WU Xiong, WAN Baoquan. The electromagnetic environment of power transmission and transformation engineering [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2009: 7-68.
- [12] 肖冬萍,何为,谢鹏举,等.高压输电线路电晕放电特性及其电磁辐射场计算[J].电网技术,2007,31(21):52-55.
XIAO Dongping, HE Wei, XIE Pengju, et al. Study on corona discharge characteristic of high voltage transmission line and calculation of its electromagnetic radiation field[J]. Power System Technology, 2007, 31(21): 52-55.
- [13] 邵方殷.交流线路对平行接近的直流线路的工频电磁感应[J].电网技术,1998,22(12):59-63.
SHAO Fangyin. Power frequency electromagnetic introduction on DC transmission line caused by a parallel proximate AC transmission line[J]. Power System Technology, 1998, 22(12): 59-63.

- [14] 施东风, 孙沙清, 王 冲, 等. 不同布置方式220 kV变电所对周围环境的电磁辐射分布[J]. 环境测量管理与技术, 2007, 19(2): 44-51.
SHI Dongfeng, SUN Shaqing, WANG Chong, et al. The electromagnetic radiation environment distribution from different layout of 220 kV transformer substations[J]. The Administration and Technique of Environmental Monitoring, 2007, 19(2): 44-51.
- [15] 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.
- [16] 庄振明, 谢咏梅, 宋永忠. 解决电磁辐射分析仪测量值偏高的方法[J]. 环境监测管理与技术, 2008, 20(4): 70-71.
ZHUANG Zhenming, XIE Yongmei, SONG Yongzhong. The method for measured values correct of electromagnetic radiation analyzer[J]. The Administration and Technique of Environmental Monitoring, 2008, 20(4): 70-71.
- [17] 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的影响研究[J]. 电网技术, 2008, 32(s2): 237-239.
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): 237-239.
- [18] 俞集辉, 郑亚利, 徐禄文, 等. 湿度、温度对工频电场强度的影响[J]. 重庆大学学报(自然科学版), 2009, 32(2): 137-140.
YU Jihui, ZHENG Yali, XU Luwen, et al. Effect of humidity and temperature on power electric-field intensity[J]. Journal of Chongqing University(Natural Science Edition), 2009, 32(2): 137-140.
- [19] 何家宁, TAO D, 张宗华, 等. 电选机电场强度与相对湿度之间的关系[J]. 金属矿山, 2006, 360(6): 27-29.
HE Jianing, TAO D, ZHANG Zonghua, et al. Relationship between electric field intensity and relative humidity of electrostatic separator[J]. Metal Mine, 2006, 360(6): 27-29.
- [20] 彭一琦. 考虑气象条件的输电导线工频电场计算新方法[J]. 高电压技术, 2010, 36(10): 2507-2512.
PENG Yiqi. Novel method for transmission line power frequency electric field calculation considering the weather condition[J]. High Voltage Engineering, 2010, 36(10): 2507-2512.
- [21] 孙 涛, 何旺龄, 万保权, 等. 湿度对高压输电线路工频电场测量的影响[J]. 高电压技术, 2014, 40(6): 1710-1716.
SUN Tao, HE Wangling, WAN Baoquan, et al. Influence of humidity on power frequency electric field measurements for high voltage transmission lines[J]. High Voltage Engineering, 2014, 40(6): 1710-1716.
- [22] 张广洲, 朱银军, 张业茂, 等. 输电线路工频电场分布特性与计算方法辨析[J]. 高电压技术, 2011, 37(10): 2581-2586.
ZHANG Guangzhou, ZHU Yinjun, ZHANG Yemao, et al. Calculation methods and distribution characteristics of power frequency electric field of transmission lines[J]. High Voltage Engineering, 2011, 37(10): 2581-2586.
- [23] 梁振光, 董 霞, 郑 路, 等. 500 kV变电站工频电场的测量与分析[J]. 高电压技术, 2006, 32(11): 81-83.
LIANG Zhenguang, DONG Xia, ZHENG Lu, et al. Measurement and analysis of power frequency electric field in a 500 kV substation[J]. High Voltage Engineering, 2006, 32(11): 81-83.

兰新生(1979—), 男, 高级工程师, 从事电力环境测量与治理研究。

(上接第245页)

sion lines fault location precision based on traveling wave[J]. Power System Technology, 2007, 31(2): 28-35.

李振兴(1977—), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为电力

系统继电保护与安全稳定控制。

田 斌(1989—), 男, 硕士, 主要研究方向为电力系统继电保护与安全稳定控制(通信作者)。