文章编号: 1674-7070(2011) 03-0244-06

大气电场仪观测结果的修订

周俊驰[1,2] 王振会[1,2] 郭凤霞[1,2] 曾庆锋[1,2] 徐鸣一[1,2] 虞进[3] 行鸿彦[1,4] 季鑫源[1,4]

摘要

大气电场仪是测量大气电场的重要设备,其测量结果受多种因素影响. 通过一系列对比试验表明: 电场仪采用探头正置或倒置结构时的观测结果基本一致,倒置结构有利于避免雨水带来的影响. 不同的安装环境对测量结果的影响很大,为了消除这种影响,提出了对观测数据进行地面修订的方法,得到不同天气条件下的修订系数. 所得结果对于实现多站电场仪联网观测的数据一致性有重要实际意义.

关键词

电场仪; 探头朝向; 电场畸变; 修订系数

中图分类号 TH71; TG803

文献标志码 A

收稿日期 2010-11-02

资助项目 公益性行业科研专项(GYHY2008-06014)

作者简介

周俊驰,男,硕士生,从事雷电科学与技术方面的研究. jimchow1985@ hotmail. com

王振会(通信作者) ,男,教授,博导,研究方向为大气探测与大气遥感. eiap@ nuist. edu. cn

1 南京信息工程大学 气象灾害省部共建教育部重点实验室,南京,210044

2 南京信息工程大学 大气物理学院,南京,210044

3 浙江省湖州市气象局,湖州,310000

4 南京信息工程大学 电子与信息工程学院,南京,210044

0 引言

大气电场仪作为一种最常用的大气电场探测设备,可以长时间连续地测量地面大气电场的强度和极性,既能够记录晴天的大气电状态,又可记录雷暴发生前的电活动以及雷暴过程中的电场变化,在雷电监测预警等许多方面具有重要应用价值[1]. 目前普遍使用的电场仪主要是场磨式的,场磨式电场仪由定片和转片等构件组成,转片的旋转遮挡使定片上的感应电荷发生周期性变化,通过变化的电流推算出电场值[2]. 场磨式电场仪的探头可采用正置结构[3],也可采用倒置结构[4-5]. 实际观测中,不同站点、不同型号的电场仪测量结果往往存在较大差异,晴天大气电场值从几百 V/m[6] 到几 kV/m[7] 不等. 电场仪组网观测中,为确保各站点数据的一致性和可比性,需要对测量值进行修订,除在实验室进行平行板标定[8-10] 外,还需在观测现场将测量值向地面标定[2]. 为此,本文通过一系列试验,探究探头的朝向和安装环境等因素对测量结果的影响,并提出修订方法,以期提高电场仪测量结果的可靠性和不同站点测量数据的可比性.

1 仪器设备及试验环境

本研究使用了 2 种型号的电场仪,其中: NUIST 型(下简称 NUIST) 由南京信息工程大学自主研制; AMEO34O 型(下简称 AMEO340) 为法国进口. 2 种电场仪均为场磨式结构,原理相同. 试验场地为南京信息工程大学校园内气象观测场,观测场环境较空旷,距试验用电场仪最近建筑约 70 m 处有一座 6 m 高小楼,与电场仪地物张角约为 5°,对试验结果的影响可以忽略. 每台电场仪周围 5 m 内没有其他仪器. 本研究进行了 10 个月的连续观测,AMEO340 为探头倒置式,NUIST 为探头正置式,金属立柱高度均为 1. 5 m. 本研究采用 2 台 NUIST 和 1 台 AMEO340 进行不同情况下的对比观测试验,分析差别原因,给出订正方案. 表 1 为 2 种所使用大气电场仪的主要性能参数.

2 探头正置与倒置结构对测量结果的影响

2. 1 无降水天气下探头正置时 AMEO340 与 NUIST 的对比

考虑到 AMEO340 的结构,仅在无降水天气下做 AMEO340 探头正置试验,将其与 NUIST(探头正置) 的观测结果进行比对. 试验结果如表 2. 以 2009 年 10 月 28 日 3: 00—6: 00 为例,AMEO340 与 NUIST 测得的

电场曲线如图 1 所示,可见两者波形趋同,观测结果具有很好的一致性.

表 1 2 种大气电场仪的主要性能参数

Table 1 Specifications of the two electric field mills

型号	性能参数		
	探测半径/km	电场范围/(kV/m)	电场分辨率/(V/m)
NUIST	15~20	-50~+50	<20
AME0340	15	-50~+50	<20

型号	性能参数		
	记录方式	电力消耗/W	可靠性
NUIST	数据文档存储及变化曲线显示	<15	100% 显示电场变化
AME0340	实时保存,雷雨自动记录	7	100% 显示电场变化

表 2 无降水期间探头正置时 AMEO340 与 NUIST 的对比试验结果

Table 2 Comparison of AMEO340 and NUIST results with upward probes in fine weather

日期	AMEO340 测得电场的绝对平均值/(kV/m)	NUIST 测得电场的绝对平均值/(kV/m)	相关系数
2009-10-28	1.73	1.69	0.915
2009-10-30	1.61	1.64	0.956
2009-10-31	1.66	1.62	0.947
2009-11-01	1.54	1.58	0.921
2009-11-02	1.75	1.69	0.926
2009-11-03	1.71	1.67	0.936
2009-11-04	1.62	1.68	0.901
2009-11-05	1.53	1.48	0.894
2009-11-06	1.67	1.66	0.936
2009-11-07	1.76	1.73	0.921

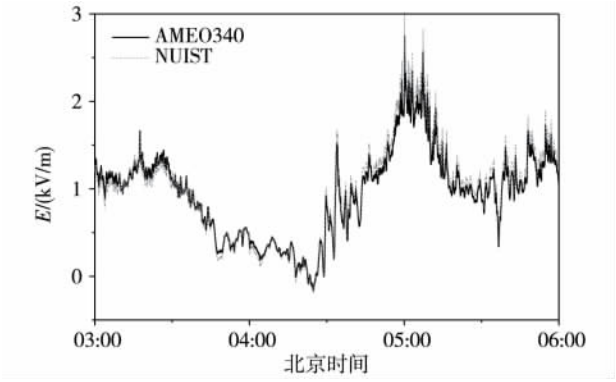


图 1 2009 年 10 月 28 日 AMEO340 与 NUIST 型电场仪实测电场值

Fig. 1 Electric field data measured by AMEO340 and NUIST on October 28,2009

2.2 NUIST 探头正置与倒置时的对比

在观测场安装 2 台 NUIST 型电场仪,水平距离 5 m,一台(1#)探头正置,另一台(2#)探头倒置,通过对比可以判断探头朝向对测量结果的影响. 试验结果如表 3. 其中,2009 年 12 月 7—9 日 3 天有阵雨,其他为无降水天气.

表 3 NUIST 型 1#与 2#电场仪的对比试验结果

Table 3 Comparison of NUIST 1# and NUIST 2# results

日期	1#测得电场的绝对平均值/(kV/m)	2#测得电场的绝对平均值/(kV/m)	相关系数
2009-12-01	1.71	1.69	0.981
2009-12-02	1.54	1.51	0.979
2009-12-03	1.63	1.63	0.994
2009-12-04	1.58	1.56	0.991
2009-12-05	1.62	1.65	0.988
2009-12-06	1.76	1.75	0.996
2009-12-07	4.67	3.59	0.621
2009-12-08	4.17	2.63	0.542
2009-12-09	5.26	3.31	0.790
2009-12-10	1.86	1.77	0.909

无降水情况下,如 2009 年 12 月 1—6 日,两者绝对平均值非常接近,相关系数很高,波形趋同. 发生降水时,两者测量结果则存在较大差异,如 12 月 7—9 日. 以 12 月 8 日为例,可将该日的电场变化情况分为 3 个阶段. 第 1 阶段:00:00—06:00,如图 2 所示,此阶段尚未发生降雨,1#与 2#观测结果基本一致. 第 2 阶段:06:00—19:00,如图 3 所示,此阶段为降雨阶段,可以看到二者观测得到的电场曲线差异明显,且 1#测量值呈现高频抖动. 造成这种现象的原因,一是由于雨水使 1#探头的感应片与地瞬时短路,当把电机转速提高时,这种现象可以减少[9];二是由于雨滴带有电荷,相当于将感应片置于大量点电荷产生的电场中,对电场仪的测量结果影响较大. 第 3 阶段为降雨结束后阶段,如图 4 所示,2 个探头观测结果的相关性较降雨阶段有所提高,但仍存在较大差异,这是由于感应片上仍存在水滴,水滴所带电荷产生的电场仍对测量结果存在影响. 而采用倒置结构则可以避免这种影响,2#与 AMEO340 都是倒置结构,如图 5 所示,降雨阶段与无雨阶段的一致性无明显差异.

3 架高探头及安装环境对测量结果的影响

3.1 地表与架高探头的对比试验

晴天大气电场是竖直向下的匀强电场[9],地表

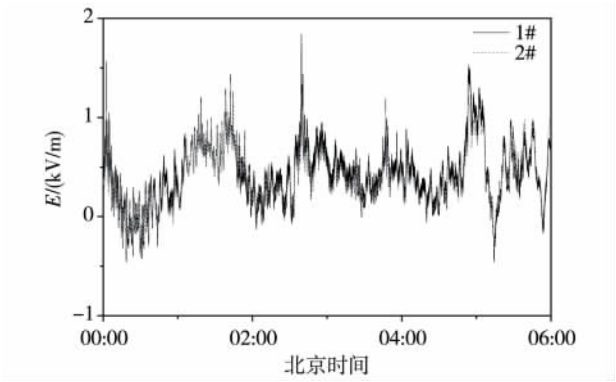


图 2　2009 年 12 月 8 日 00:00—06:00 雨前实测电场值

Fig. 2　Electric field data measured before rain by NUIST1# and NUIST2#, 00:00—06:00 on December 8, 2009

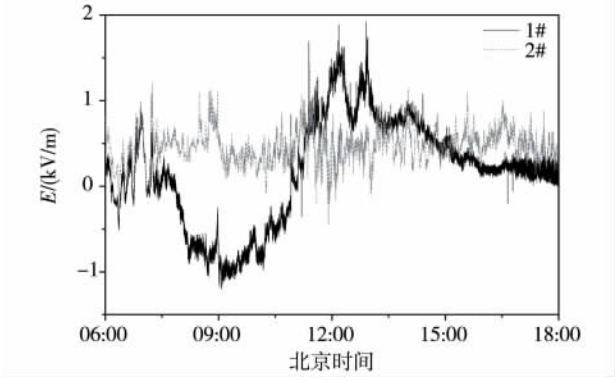


图 3　2009 年 12 月 8 日 06:00—19:00 雨时实测电场值

Fig. 3　Electric field data measured in rain on by NUIST1# and NUIST2#, 06:00—19:00 December 8, 2009

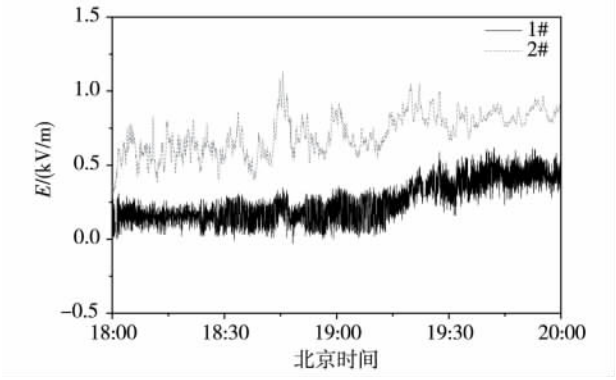


图 4　2009 年 12 月 8 日 19:00—24:00 雨后实测电场值

Fig. 4　Electric field data measured after rain by NUIST1# and NUIST2#, 19:00—24:00 on December 8, 2009

的凸起物体,如建筑物、植被等会引起电场的畸变[13]. 出于防水及安全因素考虑,电场仪探头需架高安装在高 1.5 m 的金属立柱上. 为了了解架高造成的电场畸变对观测结果的影响,将 2 台 NUIST 电场仪置于观测场内,水平距离 5 m,1#探头安装在立柱上,2#探头埋入地中,探头与地表齐平. 可以近似认为,1#与 2#探头分别测得同一点不同高度处的大气电场值. 表 4 为 2009 年 10 月 23 日—11 月 8 日的对比实验观测结果.

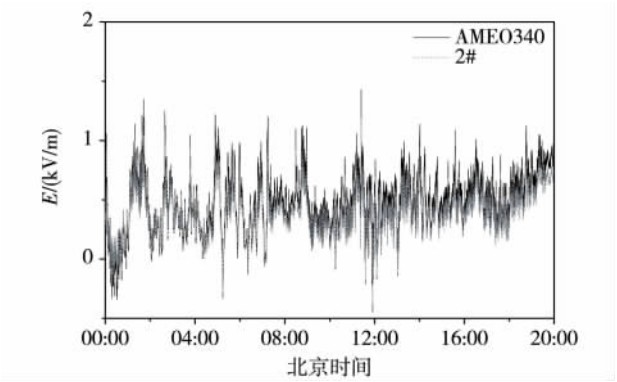


图 5　2009 年 12 月 8 日 NUIST2#电场仪与 AMEO340 的实测电场值

Fig. 5　Electric field data measured by NUIST2# and AMEO340 on December 8, 2009

可见,不同的天气情况下,大气电场幅值不同时,1#探头测值 y_1 与 2#探头测值 y_2 的线性倍数有较大差异. 晴天时,y_1 的幅值较小; 阴雨天气时,y_1 的幅值较大. 本试验期间,晴天时段共 13 个,1#探头测得电场的绝对平均值均小于 5 kV/m; 阴雨(含雷暴)时段共 11 个,1#探头测得电场的绝对平均值大于 5 kV/m 的共 9 个,占 81.8%. 因此,以 y_1 为 ±5 kV/m 作为临界值,将观测数据分成 2 组. 当 $-5\ \mathrm{kV/m} < y_1 < 5\ \mathrm{kV/m}$ 时,取表 4 中相应线性倍数的平均值作为修订系数

$$y_2 = 0.26y_1, \tag{1}$$

当电场强度 $y_1 \leqslant -5\ \mathrm{kV/m}$ 或 $y_1 \geqslant 5\ \mathrm{kV/m}$ 时,取表 4 中相应线性倍数的平均值作为修订系数

$$y_2 = 0.63y_1, \tag{2}$$

这样就可以将架高探头测得的电场值 y_1 转换成为地面电场值 y_2.

在非雷暴过程中,大气电场值是不会大幅突变的[11],但实际观测时,外界干扰因素会在测得电场曲线中产生较大的瞬时脉冲. 因此采用延时判断的方法,即当 y_1 幅值连续 60 s 处于 ±5 kV/m 之内时,采用式(1)进行修订; 当 y_1 幅值连续 60 s 超过 ±5 kV/m 时,则采用式(2)进行修订; 否则,维持原修订方程不变. 当 y_1 在 ±5 kV/m 附近时,修订结果

表 4　探头架高对观测结果的影响

Table 4　Impacts of the raised probe on the result

日期	时间段	天气	1#测得电场的绝对平均值/(kV/m)	2#测得电场的绝对平均值/(kV/m)	线性倍数
2009-10-23	00:00—24:00	晴	1.42	0.31	$y_1=4.58y_2$
2009-10-24	00:00—12:00	晴	1.71	0.33	$y_1=5.18y_2$
	12:00—15:00	阴	6.07	4.02	$y_1=1.51y_2$
2009-10-24	15:00—16:00	雷暴	17.23	11.61	$y_1=1.55y_2$
2009-10-25	17:00—24:00	阴雨	6.36	3.58	$y_1=1.78y_2$
2009-10-26	00:00—11:00	阴	6.99	3.71	$y_1=1.88y_2$
	11:00—24:00	晴	2.12	0.46	$y_1=5.26y_2$
2009-10-27	00:00—24:00	阴	9.05	5.31	$y_1=1.70y_2$
2009-10-28	00:00—05:00	阴雨	8.23	4.69	$y_1=1.75y_2$
	05:00—08:00	晴	1.25	0.32	$y_1=3.92y_2$
	18:00—24:00	阴	7.84	3.90	$y_1=2.01y_2$
2009-10-29	00:00—03:00	阴	6.62	3.66	$y_1=1.81y_2$
	03:00—14:00	晴	2.07	0.43	$y_1=4.81y_2$
	14:00—17:00	阴	4.83	2.29	$y_1=2.11y_2$
	17:00—24:00	晴	2.14	0.51	$y_1=4.29y_2$
2009-10-30	00:00—24:00	晴	1.89	0.42	$y_1=4.50y_2$
2009-10-31	00:00—24:00	晴	1.33	0.25	$y_1=5.32y_2$
2009-11-01	00:00—24:00	晴	1.12	0.19	$y_1=5.89y_2$
2009-11-02	00:00—13:00	晴	1.19	0.26	$y_1=4.57y_2$
2009-11-02	17:00—19:00	雷暴	15.46	10.93	$y_1=1.41y_2$
2009-11-04	09:00—24:00	阴	6.91	3.21	$y_1=2.15y_2$
2009-11-05	00:00—24:00	晴	0.98	0.23	$y_1=4.27y_2$
2009-11-06	00:00—24:00	晴	1.16	0.25	$y_1=4.72y_2$
2009-11-07	00:00—24:00	晴	1.31	0.32	$y_1=4.14y_2$
2009-11-08	00:00—24:00	晴	1.64	0.37	$y_1=4.42y_2$

会出现个别跳变,但电场仪连续观测过程中难免受外界干扰因素影响,所以修订过程产生的个别跳变点对整体观测结果的影响可以忽略.

3.2　结果检验

利用 2009 年 11 月 9 日—11 月 14 日的观测结果对上述修订方法进行检验,结果如表 5.

图 6 为 2009 年 11 月 9 日晴天大气电场下,使用该修订方法进行修订的结果. 图 7 为 2009 年 11 月 11 日阴天大气电场较大时,使用该修订方法进行修订的结果. 图 8 为 2009 年 11 月 12 日雷暴天气过程期间,使用该修订方法对雷暴期间大气电场进行修订的结果. 可以看到,修订值 E_c 与地表实测值(2#)

表 5　结果检验

Table 5　The result test

日期	时间段	天气	1#测得电场的绝对平均值/(kV/m)	修订值的绝对平均值/(kV/m)	2#测得电场的绝对平均值/(kV/m)	修订值与 2#测得电场绝对平均值的相对误差/%
2009-11-09	00:00—24:00	晴	1.69	0.36	0.34	5.5
2009-11-10	00:00—24:00	晴	2.21	0.42	0.39	7.6
2009-11-11	00:00—24:00	阴	6.92	3.33	3.51	5.1
2009-11-12	00:00—12:00	晴	2.46	0.47	0.45	4.4
	12:00—15:00	雷暴	11.67	7.79	6.32	8.3
	15:00—24:00	晴	2.52	0.45	0.48	6.2

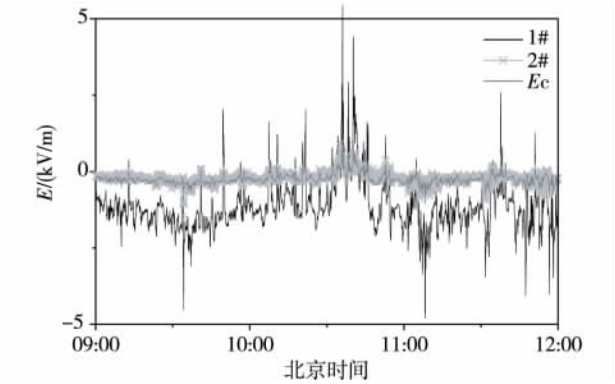


图 6　2009 年 11 月 9 日晴天的电场实测值与修订值

Fig. 6　Measured and calibrated data of electric field in fine weather on November 9,2009

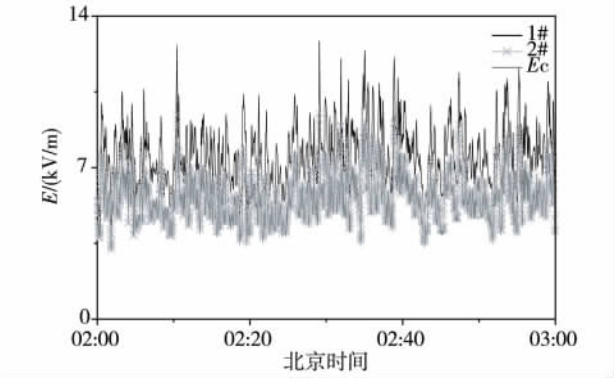


图 7　2009 年 11 月 11 日阴天的电场实测值与修订值

Fig. 7　Measured and calibrated data of electric field in overcast on November 11,2009

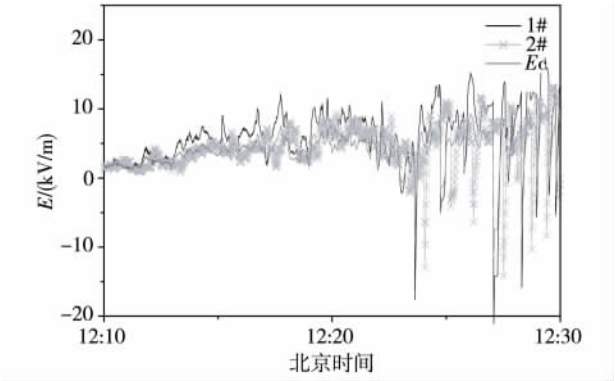


图 8　2009 年 11 月 12 日雷暴过程期间的电场实测值与修订值

Fig. 8　Measured and calibrated data of electric field in thunderstorm on November 12,2009

一致性较好,相对误差均未超过 10%. 有时,受电源、场地等安装条件的限制,电场仪需安装在楼顶,建筑物对电场的畸变同样会对测量结果有影响. 因此,可以采用上述修订方法,将电场值标定到地面,以实现不同安装高度的电场仪网络的数据一致性. 实际观测过程中,仪器的差异、安装环境的不同,都会对电场仪的测量结果产生影响,因此,上述公式不宜直接普遍推广,其他站点的电场仪采用上述方法进行修订时,y_1 的阈值以及不同天气背景下的修订系数都应根据各站的实际试验比对结果而决定.

4　结论及展望

本文通过一系列对比试验,对于大气电场仪测量结果的修订得到以下结论.

1) 无降水条件下,采用探头正置或倒置结构的电场仪观测结果基本一致. 实际观测中,正置探头受雨水影响较大,采用倒置结构利于避免这种影响.

2) 建立了架高探头的测量结果 y_1 与地面电场值 y_2 之间的关系,以实现电场观测值的对地标定. 当 $|y_1|<5$ kV/m, $y_2=0.26y_1$; 当 $|y_1|\geqslant 5$ kV/m, $y_2=0.63y_1$. 当然,实际观测过程中,仪器的差异,安装环境的不同,都会影响电场仪的测量结果,因此,上述公式不宜直接普遍推广,可以采用类似方法,得到其他站点电场仪独立适用的修订系数.

由于试验天数有限,修订系数需要利用更多的观测数据来进一步验证及改进,雨天测量结果的可靠性有待提高,下垫面对电场仪测量结果的影响有待定量分析,这是在接下来的工作中需要进一步研究和完善的.

参考文献

References

[1] 孟青,吕伟涛,姚雯,等. 地面电场资料在雷电预警技术中的应用 [J]. 气象,2005,31(9):30-33
MENG Qing,LÜ Weitao,YAO Wen,et al. Application of detection data from electric field meter on ground to lightning warning technique [J]. Meteorological Monthly,2005,31(9):30-33

[2] 罗福山,庄洪春,何喻晖,等. KDY 型旋转式电场仪 [J]. 电测与仪表,1993,30(4):17-21
LUO Fushan,ZHUANG Hongchun,He Yuhui,et al. Rotative electric field meter KDY [J]. Electrical Measurement & Instrumentation,1993,30(4):17-21

[3] 肖庆复,肖正华,惠世德,等. DC-3 型大气平均电场仪 [J]. 电子技术应用,1988(5):35-37
XIAO Qingfu,XIAO Zhenghua,HUI Shide,et al. Atmospheric average electric field meter DC-3 [J]. Application of Electronic Technique,1988(5):35-37

[4] 肖正华,惠世德,肖庆复,等. 倒置式大气平均电场仪 [J]. 高原气象,1994,13(1):106-112

XIAO Zhenghua,HUI Shide,XIAO Qingfu,et al. Inverted atmospheric average electric field mill [J]. Plateau Meteorology,1994,13(1):106-112

[5] 罗福山,何渝晖,张健,等. 新型倒装式旋转电场仪[J]. 空间科学学报,2004,24(6):470-474
LUO Fushan,HE Yuhui,ZHANG Jian,et al The new inverted electric field mill [J]. Chinese Journal of Space Science,2004,24(6):470-474

[6] 陈渭民. 雷电学原理[M]. 北京:气象出版社,2003
CHEN Weimin. Theory of lightning [M]. Beijing: China Meteorological Press,2003

[7] 高太长,黄子洋,张鹏,等. 大气电场资料与雷达回波融合的一种方法[J]. 解放军理工大学学报:自然科学版,2006,7(3):302-306
GAO Taichang,HUANG Ziyang,ZHANG Peng,et al. Method of amalgamate atmospheric electric field data and radar data [J]. Journal of PLA University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2006, 7(3): 302-306

[8] 罗福山,庄洪春,何喻晖,等. 电场标定装置[J]. 电测与仪表,1993,30(6):31-34
LUO Fushan,ZHUANG Hongchun,HE Yuhui,et al. Calibration device of electric field [J]. Electrical Measurement & Instrumentation,1993,30(6):31-34

[9] 卢昆亮,白德宝. 一种新设计的大气电场仪[J]. 高原气象,1984,3(4):45-53
LU Kunliang, BAI Debao. A newly designed field mill [J]. Plateau Meteorology,1984,3(4):45-53

[10] 王代新,江孟蜀. 避雷针电场与地面电场的相关性及其科学价值[J]. 重庆工商大学学报:自然科学版,2009,26(1):70-75
WANG Daixin,JIANG Mengshu The relativity between lightning rod and electric field of earth surface and its scientific value [J]. Journal of Chongqing Technology and Business University: Natural Science Edition, 2009, 26(1):70-75

[11] 柴瑞,王振会,肖稳安,等. 大气电场资料在雷电预警中应用[J]. 气象科技,2009,37(6):724-728
CHAI Rui,WANG Zhenhui,XIAO Wenan,et al Application of atmospheric electric field data in lightning warning [J]. Meteorological Science and Technology,2009,37(6):724-728

Calibration of the atmospheric electric field mill

ZHOU Junchi[1,2] WANG Zhenhui[1,2] GUO Fengxia[1,2] ZENG Qingfeng[1,2]
XU Mingyi[1,2] YU Jin[3] XING Hongyan[1,4] JI Xinyuan[1,4]

1 Key Laboratory of Meteorological Disaster of Ministry of Education,
Nanjing University of Information Science & Technology,Nanjing 210044

2 School of Atmospheric Physics,Nanjing University of Information Science & Technology,Nanjing 210044

3 Meteorological Bureau of Huzhou,Huzhou 310000

4 School of Electronic and Information Engineering,Nanjing University of Information Science & Technology,Nanjing 210044

Abstract Electric field mills play an important role in measuring near-ground electric field,whose observation accuracy is prone to be influenced by many factors. Based on experiments with upright and inverted probes,this paper demonstrates that the orientation\souts of the probes makes no difference to the results,while inverted probes could minimize impacts of charged raindrops in the perennial and all-weather observation. In addition,it puts up a calibration method to get the electric field value on the ground in different weathers and different amplitudes of atmospheric electric field,which can eliminate impacts of the surroundings to realize uniformity and comparability of data from multiple sites.

Key words electric field mill; probe orientation; aberration of electric field; calibration factor