

秦微^{1,2} 张其林^{1,2} 姜苏^{1,2} 陈媛^{1,2} 苏建峰^{1,2}

基于大气电场资料的雷电临近预警研究

摘要

通过分析深圳地区 2012 年 6—9 月 17 次雷暴过程的电场观测资料,并结合广东省闪电定位资料,发现当雷暴云移近电场仪测站时,在测站的防护区内(距测站 10 km 半径范围内),闪电发生前的电场幅值快速增加且伴随有快变抖动的现象,并且快变抖动和闪电的发生具有 0-1 化对应关系,即当有电场的快变抖动出现的情况下,电场达到一定阈值并维持一段时间后,防护区内发生闪电的可能性很大.因此根据大气电场的波形特征,提取出与闪电相关性较高的因子,利用多元回归技术建立一套预报方程,根据该预报方程得出最佳预警参数.结果表明:当大气电场阈值达到 0.86 kV/m,且在 10.73 min 内电场能维持在阈值上,并伴随有电场的抖动时,在防护区内发生闪电的可能性很大,预警准确率达 53%.

关键词

大气电场;闪电定位;多元回归;临近预警

中图分类号 P427.32

文献标志码 A

收稿日期 2015-08-31

资助项目 国家重点基础研究发展计划(2014 CB441405);国家自然科学基金(41275009, 41375037)

作者简介

秦微,女,硕士生,主要从事雷电电磁场计算等方面的研究工作.836488735@qq.com

张其林(通信作者),教授,博士生导师,主要从事电磁场、雷电监测与预警研究 qzhang@nuist.edu.cn

1 南京信息工程大学 中国气象局气溶胶与云降水重点开放实验室,南京,210044

2 南京信息工程大学 大气物理学院,南京,210044

0 引言

雷暴是一种中小尺度天气过程,常伴有强烈的闪电活动以及大风和暴雨.除了在重要场所和区域进行全面的雷电防护措施以外,利用多种观测资料进行雷电活动的监测和临近预警是十分必要的.

目前国际国内采用的雷电监测预警技术大都利用闪电定位探测和大气电场探测这两种设备,通过研究大气电场与雷暴之间的关系,以找到较为理想的预报因子^[1].许多学者正尝试利用电场阈值^[2]、曲线的快变抖动的 0-1 关系^[3]和极性反转^[4]等方法进行雷电预警.部分学者尝试将电场数据与闪电定位数据^[5]、雷达数据结合起来进行闪电预警^[6].其中,Wilson^[7]将电场资料与闪电定位资料相结合,提出当电场到达 3 kV/m 时进行预报比较理想;吴明江等^[3]对上述的阈值法进行改进,设置不同的阈值,进行多级预警;张义军等^[8]通过对青藏高原东部地区大气电场特征的分析,发现雷暴云的电结构与大气电场的特征之间的影响关系;Arangurena 等^[4]根据大气电场资料分析西班牙地区的夏季雷暴特征,通过阈值法和极性反转法来进行闪电预警,对比两种预警方法的预报效果,发现电场发生首次极性反转时能更有效地对闪电进行预警^[9].

本文根据深圳地区 2012 年 6—9 月的大气电场资料和闪电定位资料,分析电场与闪击点之间的对应关系,根据大气电场的波形特征,利用多元回归技术,提取出与闪电发生相关性较高的因子,建立一套预报方程及最佳电场预警参数.

1 资料来源及仪器介绍

本文使用的大气电场资料,由深圳市防雷中心安装在位置为深圳湾(113°56'49"E,22°31'20"N)的大气电场仪在 2012 年 6—9 月所观测,该电场仪为旋转场磨式结构,基本性能参数如表 1 所示.

表 1 大气电场仪性能参数

Table 1 Specification of atmospheric electric field mill

参数	性能
电场测量范围/(kV/m)	-50~50
探测半径/km	25
分辨率/(V/m)	20
响应时间/s	1

本文所使用的闪电定位资料来源于深圳市气象局的 ADTD 雷电探测系统,该系统综合使用了磁定向法以及双曲线时差到达法,对深圳市及周边地区发生的地闪进行定位.由于受到大气电场探测范围的限制,这里所选取的资料为以大气电场仪安装位置为中心,20 km 半径范围内发生地闪的记录.

2 资料分析

大气电场仪可以测量晴天和雷暴天气条件下大气电场值和电场极性的连续变化,同时可以探测闪电放电(包括云闪和云地闪)所引起的电场变化.在雷暴云接近大气电场仪安装地时,电场值往往会出现快变抖动现象,电场的快变抖动是云层频繁放电现象的表现,这种现象的出现可能是雷暴云中有大量云闪发生,或是较远处有云地闪发生^[10].

本文将距电场仪 20 km 半径范围内发生 50 次以上闪电的雷暴过程定义为一次强雷暴过程,从深圳市 2012 年 6—9 月电场仪所观测资料中选出 17 次强雷暴过程,以 2012 年 6 月 15 日雷暴过程为例进行分析.如图 1 所示,将地闪闪击点距电场仪的距离叠加到电场的变化曲线上,分析电场变化与闪击距离之间的关系.图 1 中曲线为大气电场演变曲线,标志点为闪电闪击点,横轴为电场演变以及闪电发生的时间,右纵轴为地闪闪击点与电场测站的距离刻度,而左纵轴为电场幅值刻度.从图 1 可以直观看出电场、闪电共同演变过程.由图 1 可以将雷暴过程的大气电场变化分为 5 个阶段:

1) 第一阶段:闪电集中发生在距电场仪 15 km 以外处,此时电场出现小幅度的波动,这一过程可认为是雷暴云刚刚发展起来,或者是雷暴云正在向电场仪的方向移动,但是仍未到达大气电场的探测范围内,所以此时闪电频率较少,且闪击点离电场仪的位置都比较远,分析此时的电场可以发现,电场由之前的平稳,逐渐出现抖动的现象,且电场幅值逐渐出现过零快变尖峰^[10].

2) 第二阶段:此时闪电集中发生在 13~15 km 之间,这时电场变得更加活跃,幅值迅速增加,且闪击点离电场仪越来越近,在该时间段内电场幅值持续超过某一个值,表明远处的雷暴云逐渐移近或者此处的雷暴云正处于迅速发展过程中,充放电较多.

3) 第三个阶段:此时闪电击中发生在距离电场仪 10~13 km 的范围内,该阶段中闪击点离电场仪

很近,但仍未落到 10 km 范围内,可以把这一过程视为一个过渡阶段,此时雷暴云在不断地积累能量,也可以认为远处的雷暴云正在向电场仪靠近,此时的电场频繁的上下震荡跳动,幅值较大,且频繁出现阈值的突变.

4) 第四阶段:该阶段中闪电发生在距离电场仪 10 km 的范围内,为雷暴云的爆发阶段,此时闪电频率最高,且大量落在预警范围内,电场更为活跃,出现大量的阈值突变.

5) 第五阶段:闪击点再次落在了 10 km 范围之外,为雷暴云逐渐消亡或者是远离测站的过程,此时大气电场经过一段时间后幅值减小,趋近于平稳的状态.

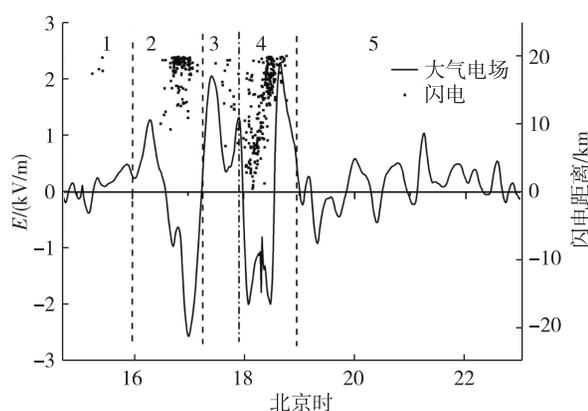


图 1 大气电场与闪电分布

Fig. 1 Distribution of lightning electrified and lightning location

3 预警参数与雷电预报方程

如上分析可知,根据闪电定位资料统计得出闪击点距电场仪的距离,并结合大气电场特征,以电场是否出现快变抖动,闪电发生在距电场仪 15 km 以内时的电场值及该阶段的持续时间等作为预报的参数,利用多元回归技术,建立闪电预报方程.

本文选取 2012 年 6—9 月的 17 次强雷暴过程,根据电场变化与闪击点位置的关系,选取预报因子,将第二阶段作为提前预报的关键时间段,该阶段的持续时间为阈值的持续时间,最大的幅值选作阈值,将第三阶段的持续时间作为提前预警时间,若电场出现了较明显的抖动现象,本文设为 1,无抖动现象设为 0,抖动不明显设为 -1.选取阈值、阈值持续时间、提前预警时间、抖动情况作为预报因子,其统计结果如表 2 所示.

根据统计的 17 次强雷暴过程的预报因子,利用

多元回归的方法,得到如下方程:

表 2 2012 年 6—9 月 17 次强雷暴过程预报因子统计

Table 2 Statistics of the predictor for 17 lightning processes during June to September of 2012

日期 (月-日)	阈值持续时间 t_1 / min	阈值 E / (kV/m)	预警时间 t_2 / min	快变抖动 d
06-09	14.38	0.41	8.89	0
06-11	6.61	0.12	13.34	1
06-12	9.78	0.94	17.78	1
07-05	9.78	0.35	38.83	1
07-18	12.45	0.57	0.90	1
07-18	12.45	0.57	0.90	1
07-22	25.36	0.68	6.08	1
07-25	19.07	1.27	11.47	1
08-01	15.77	1.06	6.60	0
08-05	12.16	0.59	3.09	1
08-09	22.37	0.90	10.49	0
08-14	2.32	1.78	20.00	1
08-16	13.80	1.90	25.09	1
08-18	7.13	2.14	4.42	-1
08-28	4.51	0.76	3.52	-1
09-06	8.04	0.19	0.00	1
09-08	6.19	0.13	1.96	0
09-12	13.16	0.87	21.93	1

$$t_1 = 10.8572 - 0.9482E - 0.00146t_2 + 1.5d,$$

$$E = 1.12811 - 0.00567t_2 - 0.33464d - 0.00645t_1,$$

$$t_2 = 7.20599 + 3.26743d - 0.00272t_1 - 1.55735E,$$

$$d = 0.58347 + 0.01363t_1 - 0.43473E + 0.01547t_2.$$

接下来将 4 个预报因子取平均值,分别将其中的 3 个平均值带入上面的预报方程中,即可得到一组新的预报因子的数值,通过计算得到, $t_1 = 10.73$ min, $E = 0.86$ kV/m, $t_2 = 17.37$ min, $d = 1$, 即当大气电场阈值达到 0.86 kV/m,且在 10.73 min 内电场能维持在阈值上,并伴随有电场的抖动时,就可以预报在 17.37 min 后在距离测站 10 km 的范围内会有闪电发生。

4 个例分析

图 2 为 2012 年 6 月 17 日的一次闪电过程中闪电分布情况及闪电走向。从图 2 中可以看出,此次雷暴过程的走向是从西北方向向东南方向移动,闪击点在 20 km 以外主要集中在电场仪的西北部 and 西边,雷暴云逐渐向电场仪方向移动,当闪击点在 15 km 之内时,闪电在电场仪的四周均有分布,东南方

向也有少量的闪电。将闪击点分布与本次雷暴过程中 6:00—14:00 的电场相结合,如图 3,可以看出,在电场第一阶段,电场出现了抖动的现象,并且幅值增加,此时闪电发生在 15 km 以外,也就是电场仪的西北方向。根据上述方法,电场第二阶段的阈值为 0.91 kV/m,并且在该阶段内阈值超过 0.91 kV/m 的时间超过了 12 min,此时闪电主要集中分布在 10~15 km 范围外;第二阶段过后在 10 km 内发生了闪电,根据闪电定位资料,在 08:03:12 时距站点 12.01 km 处发生第 1 次闪电,预警的提前时间为 20 min。

由此可以得出,这次闪电过程中的电场与闪电的特征与预报方程得出的预报参数基本吻合。

根据上述的预报结果,当大气电场阈值达到 0.86 kV/m,且在 10.73 min 内电场能维持在阈值上,并伴随有电场的抖动时,就可以预报在 17.37 min 后在距离测站 10 km 的范围内会有闪电发生,与这次雷暴中的 20 min 预警时间很接近。利用预报方程的结果与上述 17 次雷暴过程进行逐一检验后发现,该预报方程的预警准确率达到 53%,对比阈值法的预报结果,预警的准确率有很大提高。

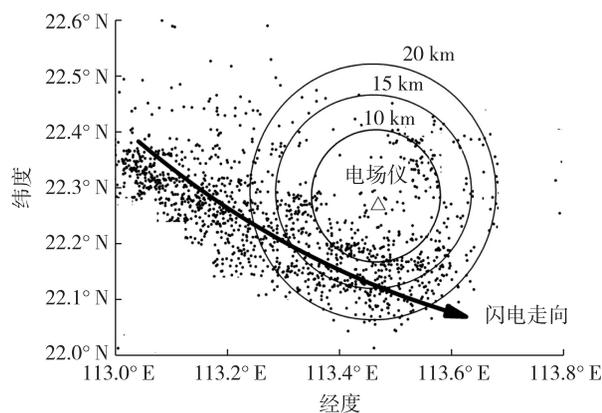


图 2 2012 年 6 月 17 日一次闪电过程
闪击点分布及其走向

Fig. 2 Distribution and trend of lightning
stroke point on June 17, 2012

5 结论

1) 在雷暴云向电场仪移动的过程中,闪击点与大气电场之间存在一定的对应关系,根据闪击点的位置可将电场分为如下几个阶段:① 闪击点在 15 km 以外,此时电场出现抖动,且幅值出现持续增加的现象;② 闪击点在 10~15 km,此时电场幅值持续增加且呈现明显的震荡;③ 闪击点在测站 10 km 以

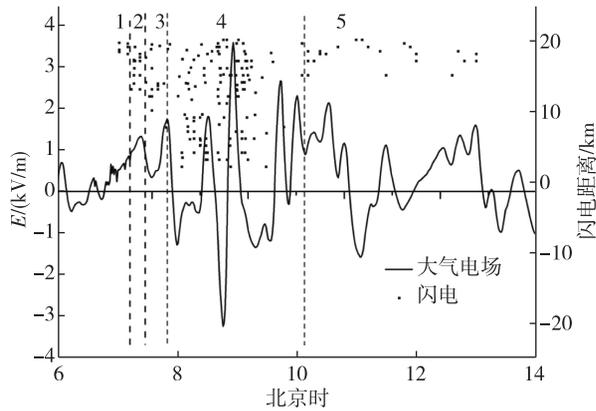


图3 2012年6月17日电场与闪电分布
Fig.3 Distribution of lightning electrified and lightning location on June 17, 2012

内时,此时为雷暴云最活跃的时期,闪电频繁发生;
④ 闪击点再次落在 10 km 以外,此时雷暴云远离测站或者是雷暴云消退阶段.

2) 利用本文中预报方程,可以得出当大气电场阈值达到 0.86 kV/m,且在 10.73 min 内电场能维持在此阈值上,并伴随有电场的抖动时,可以预报在 17.37 min 后在距离测站 10 km 的范围内会有闪电发生,利用这种预报的方法,预报准确率达到 53%.

本文利用大气电场资料,结合多元回归方法,建立预报方程,这对闪电预警有一定的参考价值,但是本文中使用的资料比较有限,在后面将结合雷达资料^[11]、卫星资料进行进一步的闪电预警研究,以提高预警的可靠性和准确性.

参考文献

References

- [1] 陈渭民.雷电学原理[M].北京:气象出版社,2003:137-230
CHEN Weimin. Principle of lightning science [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2003: 137-230
- [2] 刘春泉,厚军学,刘凯.利用大气电场资料进行雷暴预警预报[J].宁夏工程技术,2010,9(3):202-205
LIU Chunquan, HOU Junxue, LIU Kai. Thunderstorm warning and forecast with atmosphere electric field data [J]. Ningxia Engineering Technology, 2010, 9(3): 202-205
- [3] 吴明江,杜莉萍,陈勇斌,等.大气电场的特征及雷电预警技术研究[J].气象水文海洋仪器,2010,27(1):10-14
WU Mingjiang, DU Liping, CHEN Yongbin, et al. Study on the characteristics of atmospheric electric field and lightning warning [J]. Meteorological, Hydrological and Marine Instruments, 2010, 27(1): 10-14

- [4] Aranguren D, Montanya J, Sola G, et al. On the lightning hazard warning using electrostatic field: Analysis of summer thunderstorms in Spain [J]. Journal of Electrostatics, 2009, 67(2/3): 507—512
- [5] 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
- [6] 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
- [7] Wilson C T R. Investigations on lightning discharge and on the electric field of thunderstorm [C] // London: Philos Trans A of the Royal Society, 1920: 75-115
- [8] 张义军,葛正漠,陈成品,等.青藏高原东部地区的大气电特征[J].高原气象,1998,17(2):135-141
ZHANG Yijun, GE Zhengmo, CHEN Chengpin, et al. Electrical characteristics of atmosphere in east of Qinghai-Xizang plateau [J]. Plateau Meteorology, 1998, 17(2): 135-141
- [9] 曾庆锋.雷暴云地面电场特征和基于多源观测资料的雷电预警研究[D].南京:南京信息工程大学大气物理学院,2013
ZENG Qingfeng. Analysis on the features of ground atmospheric electric field and studies on the lightning forecasting based on multi-source observations [D]. Nanjing: School of Atmospheric Physics, Nanjing University of Information Science and Technology, 2013
- [10] 徐鸣一,王振会,樊荣,等.江苏省地闪密度及雷电流幅值分布[J].南京信息工程大学学报(自然科学版),2010,2(6):557-561
XU Mingyi, WANG Zhenghui, FAN Rong, et al. Distribution of lightning density and lightning current amplitude in Jiangsu province [J]. Journal of Nanjing University of Information Science & Technology (Natural Science Edition), 2010, 2(6): 557-561
- [11] 刘岩,李征,程向阳,等.LD-II和ADTD型闪电定位资料的对比分析[J].南京信息工程大学学报(自然科学版),2015,7(4):380-384
LIU Yan, LI Zheng, CHENG Xiangyang, et al. Comparative analysis of LD-II and ADTD lightning location data [J]. Journal of Nanjing University of Information Science & Technology (Natural Science Edition), 2015, 7(4): 380-384

Lightning nowcasting based on electric field data

QIN Wei^{1,2} ZHANG Qilin^{1,2} JIANG Su^{1,2} CHEN Yuan^{1,2} SU Jianfeng^{1,2}

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

Abstract Through the atmospheric electric field data of 17 typical thunderstorm processes around Shenzhen recorded from June to September of 2012, in combination with the lightning position data, we found very important relationship between the electrified variation and lightning strike occurrence. The amplitude of the electric field increases quickly accompanied by dithering when the thunderstorm cloud comes close to field instrument stations. The relationship between the electric field and the lightning stroke occurrence is 0-1, that is, when the electric field reaches and maintains a certain threshold for some time, the possibility of lightning is great in protection zone (within 10 km from electric field station). Therefore, according to the characteristics of the atmospheric electric field waveform, predictors highly correlated with lightning are chosen, and a forecasting equation is established using multiple regression techniques. According to the equation, when the atmospheric electric field reaches the threshold of 0.86 kV/m and maintains that value for a continuing of 10.73 minutes accompanied by electric field dithering, it can be predicted that the lightning will occur within the range of 10 km from the station, with accuracy as high as 53%.

Key words atmospheric electrified; lightning location; multiple regression; nowcasting