

东北冷涡下两次雷电过程特性对比分析^{*}

冯民学^{1,2}, 钟颖颖¹, 王业成³, 焦 雪², 徐彬彬³

(1. 南京信息工程大学 大气物理学院, 江苏 南京 210044; 2. 江苏省防雷中心, 江苏 南京 210009; 3. 南京市气象局, 江苏 南京 210009)

摘 要: 利用卫星、闪电和电场等资料对 2009 年 6 月江苏的两次受东北冷涡影响所致的雷电过程进行对比分析, 探讨了发生雷电过程的天气形势和卫星产品等对强对流天气的指示作用, 初步得出了同一环流背景下的两次雷电过程的特征: 两次雷电过程都具备了较好的不稳定条件, 但由于能量分布的差异, 过程影响范围有所不同; 5 日雷电过程伴随冰雹, 其正闪比明显高于只有闪电发生的 21 日; 相当黑体亮度温度高低预示着对流活动活跃程度, 大部分闪电分布在云顶温度低值区, 或者温度梯度较大的对流旺盛区域; 两次过程电场快变抖动都提前于地闪发生。

关键词: 对比分析; 卫星资料; 雷电过程; 冷涡; 电场

中图分类号: P427.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-811X(2010)04-0054-05

0 引言

2009 年 6 月 5 日和 21 日, 受东北冷涡和高空槽的影响, 江苏地区出现了两次较大范围的强降水过程和强雷暴天气。两个过程影响都在午后到晚上, 并且发生了密集的闪电。

江苏省位于江淮下游, 地势低平。全省为暖温带-亚热带、湿润-半湿润季风气候, 是冷暖气流频繁交汇的地带。江苏省雷电主要集中在夏季的 6-8 月, 其中 7 月是雷暴高发期, 出现雷电的次数最多^[1]。这主要是因为夏季地面温度高, 若高空有冷气流入侵, 只要有较好的触发机制, 就很容易产生强对流天气。因此本文使用卫星资料、江苏省气象部门闪电定位仪的数据以及南京信息工程大学研制的电场仪数据等对 6 月的两次同一形势所致的雷电天气发生机制进行对比分析, 寻求雷电天气的普遍特征和差异, 可以为以后雷电天气的研究提供一些帮助。

1 天气形势分析

从 2009 年 6 月 5 日 08 时 500 hPa 天气图(图略)上可知, 在东北地区有一明显的冷涡存在,

其后部有明显的冷空气不断旋转南下, 江苏正好处于槽后的西北气流里, 冷平流影响全省, 并且 200 hPa 高空图上西北急流明显。午后地面升温显著, 上下层温差进一步加强, 利于对流性天气的发生, 地面图上在河南陕西有低值系统东伸, 在江苏淮北和沿江有明显暖式切变, 地面存在明显的对流触发机制。21 日 500 hPa 高空图上东北冷涡依然明显, 500 hPa 河南上空浅槽逐渐东移, 700 hPa 和 850 hPa 也有高空槽东移南压, 并有明显的冷平流, 地面温度在午后较高, 并且从当时的水汽通量图可知江苏上空有来自西南方向和南部的充足水汽供应, 形成上干下湿的不稳定气层^[2], 同时淮河以南有弱的风切变, 利于对流性天气的发生。两个强雷电过程都是高空有冷平流, 地面午后受日射而强烈加热, 在近地层形成不稳定的层结, 使对流抬升, 从而得到发生发展, 但这两次过程的热力条件、层结不稳定性还是有一定差异的。

2 不稳定指标分析

K 指数是描述大气稳定性和暖湿程度的一个综合性指标, K 值越大表示大气越温暖, 水汽越充分, 层结越不稳定^[3]。从图 1a 可知 6 月 5 日 20

* 收稿日期: 2010-03-29

基金项目: 江苏省科技支撑计划(社会发展)项目(BE2009693)

作者简介: 冯民学(1962-), 男, 江苏江阴人, 博士, 正研级高工, 主要从事雷电防护研究. E-mail: fengminxue@tom.com

时, K 指数中心位于苏南沿海地区, 中心值为 34°C , 大部分地区 K 指数都大于 20°C , 这个时候的 K 值不是太大, 没有达到李勇^[4]研究得出的 I 区 5-9 月雷暴天气的 $30\sim 40^{\circ}\text{C}$, 主要原因可能是因为探空资料的时间尺度差, 20 时当天的雷电过程已基本结束, 能量得到了释放。而图 1b 中显示 21 日 20 时江苏大部分地区 K 值都达到 40°C , 表示层结相当不稳定, 已经积聚了大量能量。可见 5 日雷电过程全省的能量条件在这个时候没有 21 日好。

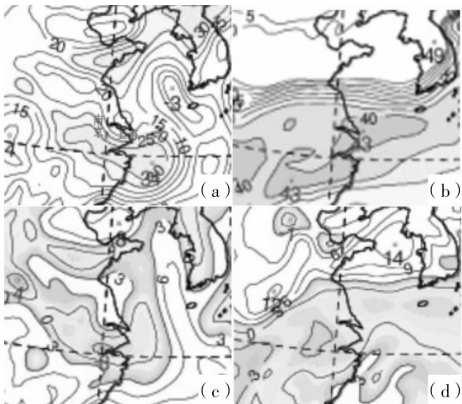


图1 2009年6月5日、21日20时 K 指数(a, b) (单位: $^{\circ}\text{C}$)和沙氏指数(c, d) (单位: $^{\circ}\text{C}$)

沙氏指数 (SI) 是衡量大气稳定度的重要判别指标^[5], 指小块空气由 850 hPa 干绝热地上升到抬升凝结高度 (LCL), 然后再按湿绝热线上升到 500 hPa, 在 500 hPa 上的大气实际温度 ($T500$) 与该上升气块到达 500 hPa 温度 (T_s) 的差值, 即 $SI = T500 - T_s$ 。如果气块温度 T_s 小于环境温度 $T500$, 则 $SI > 0^{\circ}\text{C}$ 表示气层较稳定; 反之, $SI < 0^{\circ}\text{C}$ 表示气层不稳定, 负值越大, 气层越不稳定^[6]。从图 1c 可知 6 月 5 日江苏西南部地区 $SI < -3^{\circ}\text{C}$, 层结非常不稳定, 有利于当天雷电的产生。图 1d 中显示 21 日江苏大部的沙氏指数都小于 0, 西南部有一 -4°C 的低值中心。江苏西南部 5 日的层结相对不稳定, 而 21 日整个江苏尤其是苏南的层结都不稳定。

6 月 5 日、21 日都已具备了发生雷电天气的水汽条件、抬升力条件和不稳定层结, 但由于能量分布的差异, 两次雷电过程主要影响范围还是有一定区别的。

3 闪电活动分析

表 1 为统计的 6 月两次雷电过程中发生的闪电情况。6 月 5 日江苏各市雷电总闪数最大值在淮

安, 达到 623 次, 最小值在徐州, 有 89 次。闪电强度正闪最大值在徐州, 强度为 267.10 kA ; 负闪最大值在泰州, 强度为 -199.90 kA 。共发生闪电 3 605 次, 其中正闪占了 43.86% ^[7], 这么高的正闪比对应了当天部分地区发生的短时降雹现象, 该值比冯桂力^[8]的 57.39% 小, 但这和现有的研究成果非常一致。冰雹天气正闪比明显大, 可能冰雹大粒子在下降的过程中带走了云中的部分电荷, 这其中的原因也待进一步研究。

6 月 21 日全省各市雷电总闪数最大值在苏州, 达到 4 755 次, 最小值在宿迁, 为 0 次。闪电强度正闪最大值在苏州, 强度为 332.70 kA ; 负闪最大值在南京, 强度为 -292.90 kA 。其中正闪占总闪百分比为 1.91% , 与施广全^[9]研究的江苏单个强对流天气过程的平均正负地闪数量比从 1.16% 至 9.80% 不等的结果一致。也与有关研究文献指出的在降雨过程中负闪占绝对优势是吻合的。

从图 2、3 中 18-20 时闪电的分布情况可知, 5 日的闪电主要在江苏中西部及南部, 并且分布较散; 而 21 日的闪电分布相对集中, 发生在中部偏南、东南部的一些地区。5 日全天产生的闪电比 21 日少得多, 但正闪比却明显比 21 日大。薛秋芳等^[10]分析夏季北京地区的闪电活动认为不同类型的天气过程, 如冰雹、暴雨发生时, 地闪中正、负闪比例呈现一定的规律性。本文通过对两次过程的对比分析, 也可得出类似的结果, 发生冰雹天气时正闪所占百分比明显高于普通降雨天气。说明闪电对一些强天气现象的发生也有指示作用。

表1 2009年6月5日和21日江苏省闪电情况分析

日期	总闪数	正闪数	负闪数	正闪占总 闪百分比	最大(正/负) 电流强度/kA
6月5日	3 605	1 581	2 024	43.86%	267.10/-199.90
6月21日	17 996	343	17 653	1.91%	332.70/-292.90

4 卫星资料分析

从 6 月 5 日的卫星云图可知, 12 时左右, 山东上空有一对流云团生成, 并且不断扩大, 此时南通上空也有一小对流云团生成。两个对流云团逐渐发展, 面积进一步扩大, 16 时左右北部的云团已覆盖山东南部、苏北地区, 南部的云团也向南向北发展, 覆盖江苏南部沿海大部分地区。随后北部云团开始分裂成多个云团并一直往南发展, 覆盖整个江苏地区。19 时北部分散的云团合并,

结构紧实,面积比较大,位于江苏中西部上空,在增强云外云团上可看出其云顶温度很低,对流发展旺盛。以后云团继续向南发展,强度加大,22 时开始减弱消散,24 时已完全消散。

6 月 21 日 14 时,浙北地区有多个小对流云团生成,云团面积开始增大,对流发展加速,并逐步合并为一个大的对流云团。17 时开始影响苏南,上海等地,此时江苏中部,南部也产生小对流云团,并且开始迅速发展,和南部的大对流云团合并。19 时,大片对流云团覆盖整个苏南和上海,并且云顶较高,对流强烈。随后云团开始减弱逐渐移向海面,22 时已基本消散。

两次雷电过程都是受局地的对流云团发生发展影响,并随着云团的发展和移动,给江苏不同地区带来了程度不一的暴雨、雷电等天气现象。

但由于云团产生地区及移动趋势有所不同,两次过程影响的范围还是有一定差异的。5 日云团是从北部移入我省,再逐渐往西往南发展,影响我省;21 日云团从浙江开始移入我省,由南向北向东影响我省。

为了较直观地反映雷电过程中云中对流活动,利用水平分辨率 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 经纬度的 FY-2C 卫星相当黑体亮度温度(TBB)网格资料,探讨了 2009 年 6 月两次过程中 TBB 的平均场分布特征,以求得对流云团发展与闪电的关系。TBB 温度越低,表明云顶越高,对流越旺盛^[11]。

图 2、3 分别是两次过程中对流发展相对旺盛的 18、19 时的 TBB 等值线和 18-20 时总闪的叠加图。从图 2 可知,6 月 5 日 18 时,全省大部分地区云顶温度都低于 250 K,中部和西部部分地区

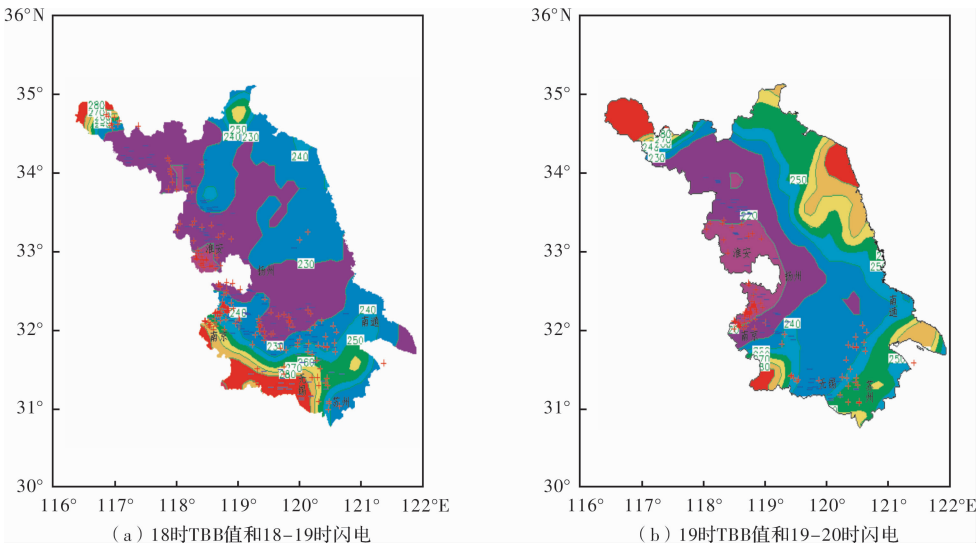


图2 2009年6月5日TBB值(单位:K)和闪电的叠加图

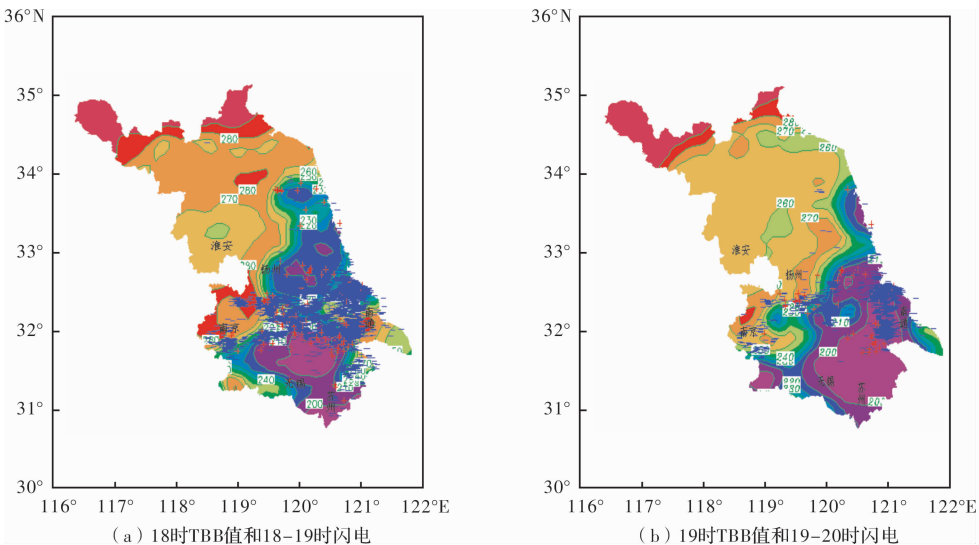


图3 2009年6月21日TBB值(单位:K)和闪电的叠加图

都低于 230 K。到 19 时, 中西部的云顶温度降到 220 K, 低值中心位于江苏中西部和安徽交界处, 淮安、扬州和南京等地的云顶温度都相当低, 这些区域对流发展非常旺盛。相当多的闪电集中在这些区域, 只有少数闪电发生在云顶温度较高的地方。图 3 表示 6 月 21 日 18 时, TBB 温度除南通外, 基本呈东南低西北高分布, 随着强对流云团逐渐向东移, 19 时苏州、南通、无锡一带为大范围的云顶温度 200 K 的低值区, 预示着这些地方的对流活动非常活跃, 大部分闪电分布在这些低值区, 或者云顶温度梯度较大的区域, 对应当时这些地区的强降水和较多的雷灾事故。两次雷电过程的对流云团都发展旺盛, 但 21 日的对流活动更为活跃, 并且从图上 TBB 值分布可看出 5 日的天气主要发生在中部和西部, 而 21 日主要发生在东南部。

5 电场分析

采用公益性行业专项布置在南京信息工程大学 的电场仪(学校 1 号站)数据, 对这两次雷电过程的大气电场特征进行分析。图 4 显示 16 时左右电场开始出现小的波动, 16: 40 后电场猛增, 达到 25 kV/m, 此后是持续快速的正脉冲, 并且正电场值逐渐减小。直到 17: 20 出现负跳变, 电场值较小, 在 5 kV/m 以内, 而后又是正跳变。18: 20 左右开始正负跳变交替出现, 最大电场值超过 30 kV/m, 直到 21: 40 左右电场值逐渐减小, 趋于稳定。大气电场仪的有效探测半径为 20 km, 因此以学校 1 号站为中心, 利用江苏 ADTD 闪电探测数据统计其半径 20 km 内的地闪, 发现 18: 41 出现第一次地闪记录, 电场变化比地闪提前接近 1.5 h, 可能之前发生的都是云闪, 但云闪引起的地面大气电场的变化被清楚地记录下来。云闪对地闪有一定预示作用, 或者大气电场仪能记录更远范围发生的地闪引起的电场变化也有可能。18: 41 - 19: 56 基本为正地闪, 20 时后出现的主要为负地闪。

图 5 显示 17 时左右电场开始出现快变抖动, 电场为较小的负值。17: 40 左右电场逐渐变为正值, 但数值较小, 直到 18: 00 左右电场值迅速跳变到 5 kV/m 以上的正值, 持续一段时间较大的正值后, 电场值逐渐减小到 3 kV/m 以内, 但都一直维持正脉冲。在 20: 00 电场值又出现明显的猛增, 达到 10 kV/m 以上。而后维持几分钟的正值后,

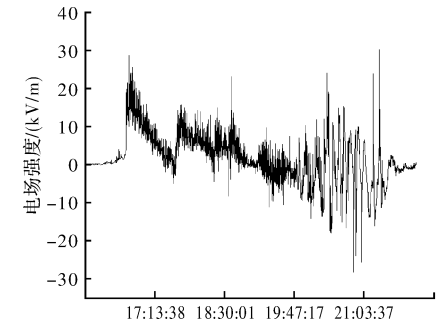


图 4 6 月 5 日 16: 00 - 22: 00 电场变化曲线

20: 11 开始出现剧烈的负跳变, 电场值接近 -15 kV/m, 持续几分钟的负脉冲后, 电场又变为正值, 然后逐渐减小到零。统计当天其周围 20 km 范围内发生的地闪情况, 第一次地闪发生在 19: 02, 比电场快变抖动滞后了约 2 h, 该范围内发生的都是负地闪。

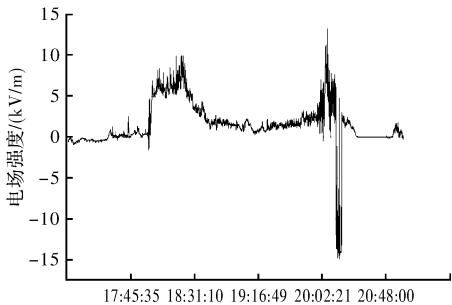


图 5 6 月 21 日 17: 00 - 21: 00 电场值

两次雷电过程电场快变抖动都提前于地闪发生, 但 6 月 5 日的电场跳变更为频繁, 并且平均电场值高于 6 月 21 日。究其原因, 5 日当天云中电荷量较大, 一直能达到闪电发生的电场强度, 频繁触发闪电, 这也和统计的学校 20 km 范围内, 6 月 5 日闪电较 21 日多的情况一致。

6 结论

本文通过对江苏 2009 年 6 月两次东北冷涡下的雷电过程的天气形势、不稳定指标、卫星资料、闪电活动和大气电场情况分析, 得出发生雷电天气的一般环流背景与能量条件, 以及雷电天气的云顶亮度温度值, 为以后进行雷电预报提供了简单的参考标准。同时本文分析了这两次过程的闪电分布情况, 结果表明降雹过程的正闪占总闪百分比明显高于降雨过程, 不同的正闪比例可指示不同的天气类型。并且初步得出了同一环流形势下产生的两次雷电过程的电场特征有所差异, 但电场快变抖动都先于闪电发生的结论。

参考文献：

[1] 景元书, 申双和, 李明. 江苏省雷暴气候特征分析[J]. 灾害学, 2000, 15(1): 27-30.

[2] 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文, 等. 天气学原理和方法[M]. 北京: 气象出版社, 2003: 442-449.

[3] 杨国锋, 汤达章, 刘 晓, 等. 一次强风暴天气闪电定位资料与雷达资料的综合分析[J]. 气象科技, 2005, 33(2): 167-172.

[4] 李勇, 孔期. 2006 年 5-9 月雷暴天气及各种物理量指数的统计分析[J]. 气象, 2009, 35(2): 64-70.

[5] 张腾飞, 尹丽云, 许迎杰, 等. 2007 年 5-8 月江苏省雷电活动特点和致灾因子分析[J]. 灾害学, 2009, 24(1): 73

-79.

[6] 殷娴. 江苏省雷电灾害区域划分以及雷电活动潜势预报研究[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2009: 27.

[7] 周筠珺, 张健龙, 孙凌. 京、津、冀地区地闪特征的统计分析[J]. 灾害学, 2009, 24(1): 101-105.

[8] 冯桂力, 鄢秀书, 吴书君. 山东地区冰雹云的闪电活动特征[J]. 大气科学, 2008, 32(2): 289-299.

[9] 施广全. 江苏地区强对流天气过程的电学活动规律研究[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2008: 56.

[10] 薛秋芳, 孟 青, 葛润生, 等. 北京地区闪电活动及其与强对流天气的关系[J]. 气象, 1991, 17(2): 15-19.

[11] 廖胜石, 罗建英, 蔡芴宁. 2005 年 6 月华南致洪暴雨过程中 FY-2C 卫星 TBB 场分析[J]. 气象, 2007, 33(1): 81-82.

Comparative Analysis on Characteristics of Two Lightning Processes under Northeast Cold Vortex

Feng Minxue^{1,2}, Zhong Yingying¹, Wang Yecheng³, Jiaoxue² and Xu Binbin²

- (1. College of Atmospheric Physics, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China;
2. Lightning Protection Center in Jiangsu Province, Nanjing 210009, China;
3. Nanjing Meteorological Bureau, Nanjing 210009, China)

Abstract: With data of satellite, lightning and electric field, two lightning processes under northeast cold vortex happened in Jiangsu province in June, 2009 are analyzed, synoptic situation of lightning occurrence and indication effect of satellite products and some others for severe convective weather are discussed, and features of the two lightning processes under the same circulation background are concluded. Both of the two lightning processes occurred under unstable conditions, but the areas which were influenced by the processes were different for the different energy distributions of the two. Accompanied by hail the lighting process on 5th, June had higher ratio of positive flashes than the only lightning process on 21st. Black Body Temperature (TBB) indicated the active degree of convective activity and most of the lightning distributed in low value ranges of cloud-top temperature, or vigorous convectional section with larger temperature gradient. Fast-changing dither of electric field occurred before ground lightning in both the two processes.

Key words: comparative analysis; satellite data; lightning process; cold vortex; electric field