

一次强雷电天气特征分析

李国梁¹ 李俊² 李享¹

(1 湖北省防雷中心, 武汉 430074; 2 湖北省气象信息与技术保障中心, 武汉 430074)

摘要: 研究旨在探讨雷电发生前各探测资料的变化特征, 以为雷电的预报提供指标。利用湖北闪电定位资料、多普勒天气雷达以及气象卫星的观测资料, 从环流背景、系统形成机理、雷达反射率、回波顶高、垂直液态水含量和云图特征等方面, 对湖北2014年8月30—31日的一次强雷雨天气过程进行分析。分析表明, 在中尺度对流云团的影响下产生雷雨天气, 雷雨天气过程发生时间及区域与雷达回波强反射率、高云顶高度区域的位置相吻合。当区域回波强度大部分达到40 dBz, 最大达到45 dBz, 回波顶高大部分在9 km 以上, 最大达到17 km, K指数 ≥ 36 和垂直液态水含量大部分在6 kg/m²以上, 最大达到20 kg/m²时, 对强对流天气的雷电预报有明确的指示作用。

关键词: 雷电天气, 特征分析

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2018.05.003

Analysis of Characteristics of Lightning

Li Guoliang¹, Li Jun², Li Xiang¹

(1 Hubei Lightning Protection Center, Wuhan 430074 2 Hubei Meteorological Information and Technical Support Center, Wuhan 430074)

Abstract: This research aimed to improve the detection of lightning before it occurs in order to provide an improved prediction method for lightning. Using observation data from a lightning locator, Doppler weather radar and meteorological satellite data from the Hubei area, this paper analyzed a strong Hubei thunderstorm and weather processes from August 30th to 31st, 2014. The study considered the circulation background, system mechanisms, radar reflectivity, high echo top, vertically integrated liquid and characteristics of cloud maps. Our analysis showed that under the influence of a mesoscale convective cloud system, time and area of the lightning corresponded to the area of the radar with intense echo reflectivity and high cloud tops. When the regional echo intensity was 40 dBz, maximum of 45 dBz, echo top was above 9 km, maximum up to 17 km, K index was not below 36 and most of the vertically integrated liquid was more than 6 kg/m², with the largest range of up to 20 kg/m², thunder and lightning weather were forecast.

Keywords: weather of the thunder, characteristics analysis

0 引言

雷电灾害给国家安全和人民生命造成重大威胁, 研究雷电发生的环境条件, 为雷电预报提供参考依据, 具有重要的现实意义。目前, 国内外专家学者对雷电的预报进行了许多研究分析, Xu^[1]在研究用于雷电预报的雷达回波后得出, 回波强度40 dBz的部分达到-10℃高度, 且回波顶高超过9 km, 云体很快发生闪电; Liu等^[2]在研究热带和亚热带多个雷暴形成时的雷达回波发现, 单体回波中40 dBz以上回波的顶高必须高于7 km; 王洪霞等^[3]指出, 负地闪出现在40 dBz的回波发展区域内, 而正地闪出现在强度为30 dBz左右的风暴后部。由于雷电的发生除了与天气系统有

较大关联外, 还存在较大的地域差异^[4-5]。本文通过对2014年8月30—31日湖北省强雷电天气特征进行分析, 旨在为建立湖北雷电的预报方法提供基础和指标, 为雷电预警预报提供参考依据。

1 闪电实况统计

2014年8月30—31日, 湖北省总闪电次数36747次, 其中正闪1742次, 负闪35005次, 而武汉、荆门、随州、孝感总闪电次数25137次(其中, 正闪1228次, 负闪23909次, 闪电强度 ≥ 100 kA的有2279次, 强度在50~100 kA的有9948次), 占全省总闪电次数的73.2%。30日20时—31日11时全省总闪电次数30628次, 平均2041.9次/h。资料来源于湖北省二维闪电定位资料, 从湖北省2014年8月30—31日闪电活动分布图(图1)可知, 这次强雷电过程, 闪电频次大、位置和时间非常集中, 闪电主要发生在武汉北部和荆门北部、随州南部、孝感北部区域, 从湖北省

收稿日期: 2017年7月3日; 修回日期: 2018年5月28日
 第一作者: 李国梁(1963—), E-mail: guoliang_li@163.com
 通信作者: 李俊(1988—), E-mail: glamourray@qq.com
 资助信息: 湖北省雷电灾害防御科研专项(FI-Z-201402)

2014年8月30—31日各小时闪电次数图(图2)可知,时间主要集中在30日20时—31日11时期间,且电流强度大。闪电频数和强度远大于有闪电资料以来同期历史平均值^[6-8]。在闪电发生时段全省伴有大范围降水,强降水主要区域和时间与闪电发生区域和时间基本一致。

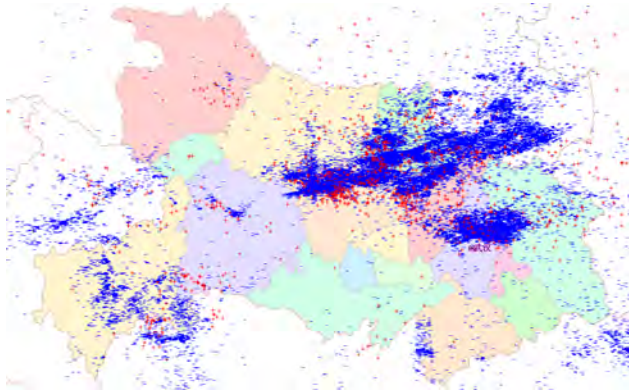


图1 湖北省8月30—31日闪电活动分布图

Fig. 1 Lightning activity distribution in Hubei Province on August 30 and 31

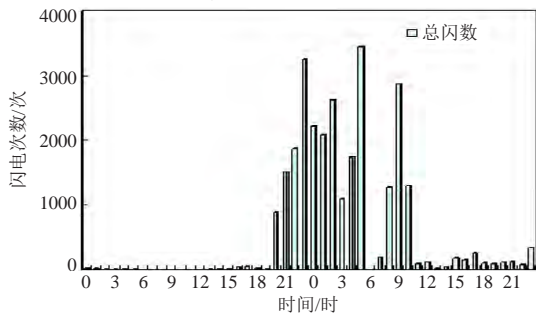


图2 湖北省8月30—31日各小时闪电次数图

Fig. 2 Lightning frequency in Hubei Province on August 30 and 31

2 大气环境特征分析

8月30—31日,500 hPa欧亚大陆中高纬维持两槽两脊形势,贝加尔湖附近有稳定西南—东北向长波槽,从贝湖槽底部不断有短波槽分裂东移南下,副热带高压呈东西带状稳定控制了30°N以南地区,588 dagpm西脊点在105°E以西地区;850 hPa有西南涡沿着江淮切变线东移;从卫星云图(图3)可知,中尺度系统在低槽云系底部前沿开始发展东移,并逐渐增强,冷云罩面积增大,云顶亮温下降,几个中尺度云团合并发展,在鄂中上空形成椭圆形的MCC;从武汉探空站的 $T\text{-ln}p$ 得知,鄂中 K 指数维持在36~40℃,对流有效位能(CAPE)维持在2200~2500 J/kg(图4)。

强大的副热带高压给长江中下游提供了必要的热力和水汽条件,短波槽引导冷空气与副高外围暖湿气流在长江中下游地区交汇,干冷和暖湿气流在长江中

下游剧烈碰撞,850 hPa有西南涡沿着江淮切变线东移,为这次强对流雷电天气过程提供环流条件。中尺度系统出现在低槽底部与副热带高压外围、干冷和暖湿气流剧烈交汇的地方,有利于强对流天气的形成。 K 指数和对流有效位能指标表明,鄂中地区具有强的不稳定能量累积,为本次强天气的发生创造了充足的不稳定条件。中低层风垂直切变存在并增强,加上中层的西南暖湿气流,容易使上升气流发生倾斜,有利于对流形成的降水脱离出上升气流,而不至于因拖带作用减弱上升浮力^[9-13],而且风的垂直切变可增加中层干冷空气的吸入,加强风暴中的下沉气流和冷空气的外流,通过强迫抬升使流入的暖湿空气更强烈上升,对流的加强更容易产生雷电。

3 雷达产品分析

由于雷暴云内的起电与其中的微物理过程息息相关,可以使用天气雷达观测云中粒子的形态特征,确定雷暴云的位置、移动方向及传播速度^[14-16]。为了寻找雷达资料与闪电发生的关系,将闪电发生的时间和地点与雷达产品进行匹配分析,根据雷达资料变化情况,将8月30日19:30和19:42,8月31日02时、05时、08时、11时雷达产品演变图进行分析。

3.1 雷达反射率因子的分析

通过对雷达回波强度的大小,强回波中心,强回波区的产生、发展以及移动的方向和速度进行分析,可以做出对强对流单体的预报和追踪。图5是湖北省雷达组合反射率演变图,红色区域属于强回波区域,往往是雷暴云的中心^[17-18],从图5可以看到,8月30日19:30在荆门和随州西北方向出现两个较强回波区域,回波强度在40 dBz以上,荆门局部达到45 dBz以上(荆门初次闪电时间为19:55),之后强回波逐渐向东南方向移动,强回波区域有所增大,19:42随州局部达到45 dBz以上(随州初次闪电时间为20:01),8月31日02时,强回波区域继续向东南方向移动,到当日05时,强回波区域移动到京山、安陆、大悟一线,并形成连成一体的强回波区域,同时远安北部有强回波形成,到当日08时强回波到达孝感、黄陂、新洲一线,远安北部强回波逐渐南移到远安南部,到11时强回波减弱消失,仅有秭归有强回波生成。根据闪电发生时间和回波强度的相关性统计分析,在雷暴发生前,该区域回波强度大部分在40 dBz以上,且最大回波强度 ≥ 45 dBz,从图5也可看出,强回波所在区域,降水量增大,闪电次数明显增加。

3.2 回波顶高的分析

回波顶高是在 ≥ 18 dBz反射率因子被探测到时,

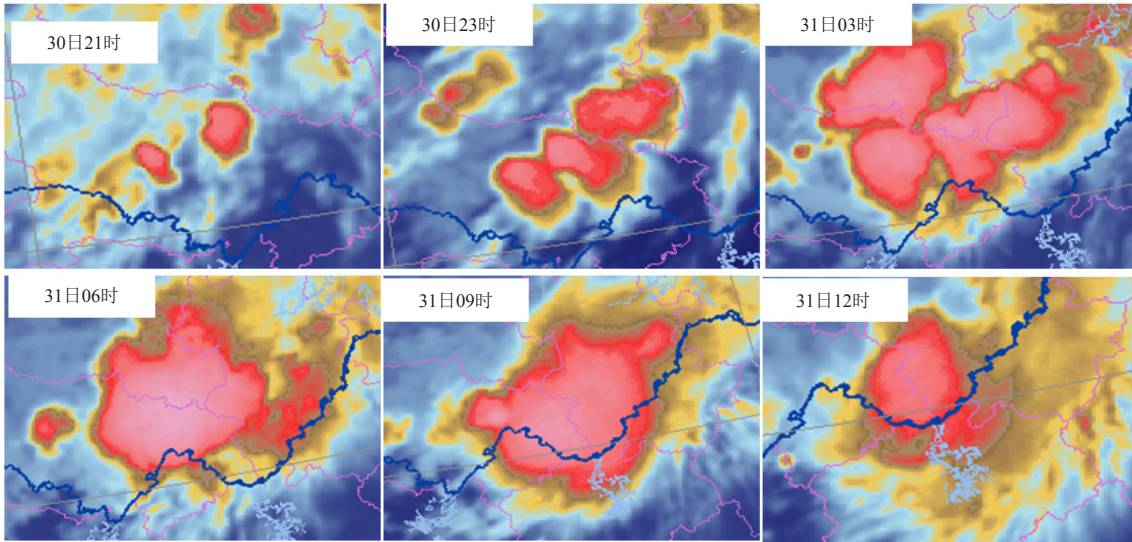


图3 8月30日21时—31日12时中尺度系统活动演变图
Fig. 3 Activities for mesoscale system diagram from 09 pm, August 30, to 12 pm, August 31

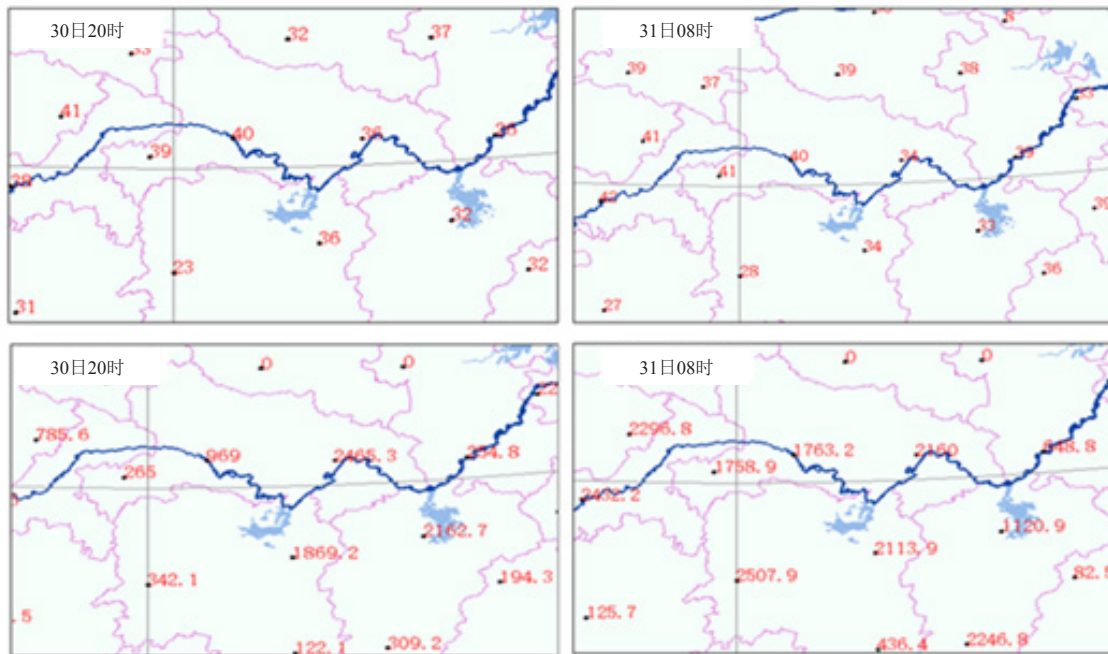


图4 8月30日20时、31日08时K指数和对流有效位能图
Fig. 4 K index and convection effective potential energy at 08 pm, August 30, and 08 am, August 31

以最高仰角为基础的回波顶高度^[19]。一般回波顶高上升越高，代表对流发展越为旺盛。图6为湖北省8月30—31日回波顶高演变图，红色区域即为对流发展最旺盛的区域。8月30日19:30在十堰和随州、远安等地回波顶高大于9 km，局部达到17 km以上，并逐渐向东南方向移动，回波顶高逐渐上升，区域有所扩大，并到达随州和荆门西北部，8月31日02时，回波顶高高值区域继续向东南方向移动，到05时，回波顶高高值区域移动到京山、安陆、大悟，并形成连成一体的

大区域，同时远安北部回波顶高上升，08时回波顶高高值区域到达麻城、黄陂、新洲一线，巴东、远安北部回波顶高上升，11时回波顶高下降，秭归回波顶高上升。对比图5中高反射率区域发现，对流发展旺盛区域与回波顶高高值区域相吻合，一般都是雷暴云的中心区域，且回波顶高区域中心的移动与回波强度区域中心移动相吻合。从图6中可以看出，在雷暴发生前，其周围雷暴云的回波顶高大部分在9 km以上，最大回波顶高达到17 km。

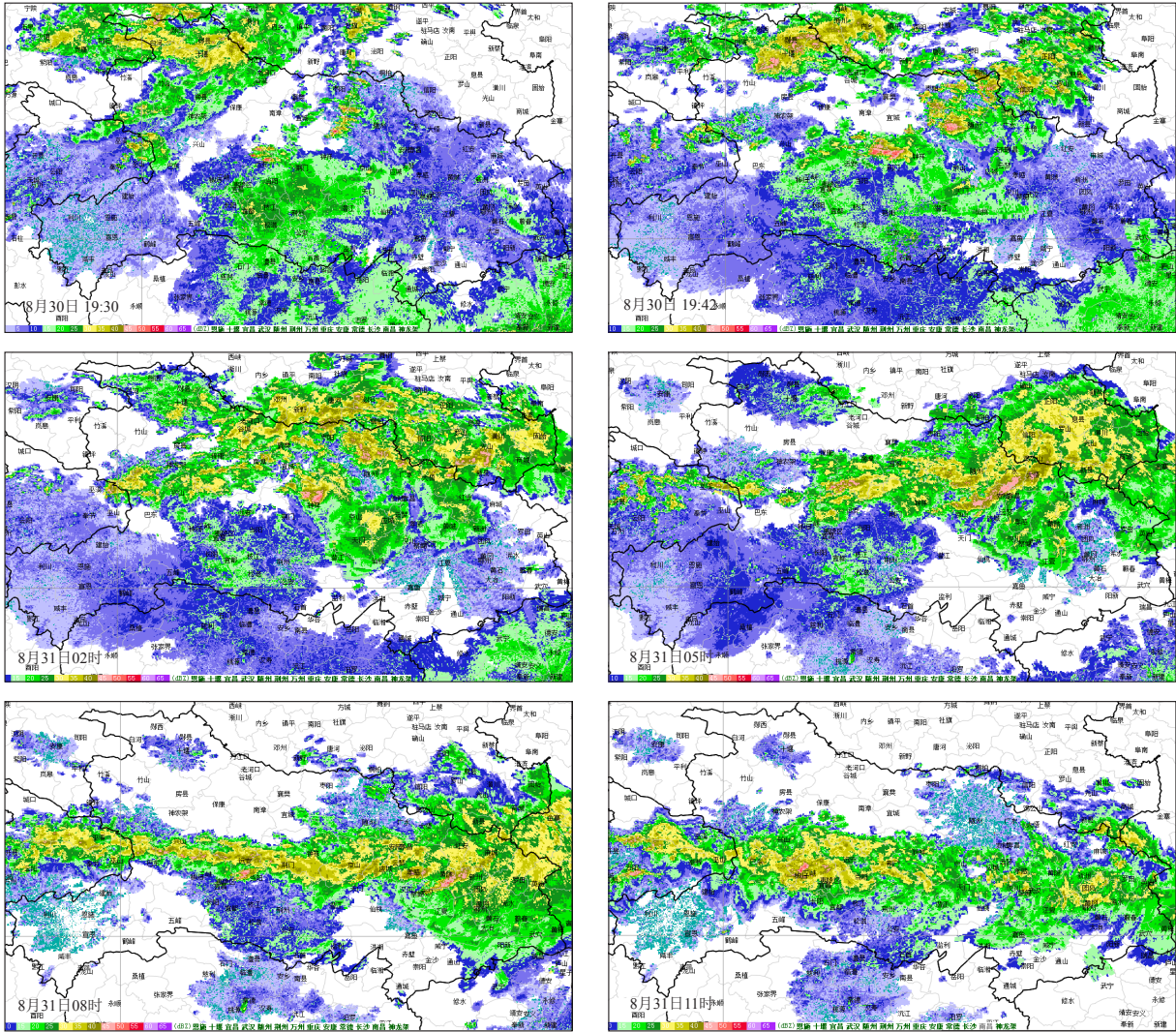


图5 8月30日19:30和19:42, 31日02时、05时、08时、11时雷达回波 (dBZ)

Fig. 5 Radar echo (dBZ) at 7:30 pm and 7:42 pm, August 30, and 02, 05, 08, 11 am, August 31

3.3 垂直液态水含量分析

关于云内起电机制的假说有很多,但无一例外地都要求云中必须有充足的水汽,云中含水量对云内电荷的分离和累积的贡献是不可忽视的,也是闪电发生的一个重要条件^[20]。

图7中的粉红色区域属于液态水含量较高的区域,8月30日19:30在十堰和随州、远安等地液态水含量大于 6 kg/m^2 ,局部达到 20 kg/m^2 ,并逐渐向东南方向移动,液态水含量逐渐上升,区域有所扩大,并到达随州和荆门西北部,8月31日02时,高液态水含量区域继续向东南方向移动,到05时,高液态水含量区域移动到京山、安陆、大悟,并形成连成一体的大片区域,同时远安北部液态水含量上升,08时高液态水含量区域到达孝感、黄陂、新洲一线,巴东、远安北部液态水含量上升,11时液态水含量下降,秭归液态

水含量上升。正好与闪电降水区域相吻合,从图7中可以看出在雷暴发生前,区域的液态水含量大部分在 6 kg/m^2 以上,最大液态水含量达到 20 kg/m^2 。

4 结论

1) 贝湖槽冷空气与长江中下游暖湿气流交汇,同时中低层风速增强,垂直风切变增强,加之低层有西南涡沿着江淮切变线东移,为这次强雷电天气的发生准备了充足的不稳定条件。

2) 中尺度系统首先在低槽云系底部前沿开始发展,随着低槽云系东移,中尺度系统发展增强,几个中尺度云团合并发展,冷云罩面积增大,云顶亮温下降,为这次强雷电天气发生提供了中尺度环境。

3) 通过常规天气资料能够了解大尺度环境背景与层结的稳定;卫星资料在时间和范围上有提前量和广域性,有助于宏观地了解中尺度系统的基本情况;

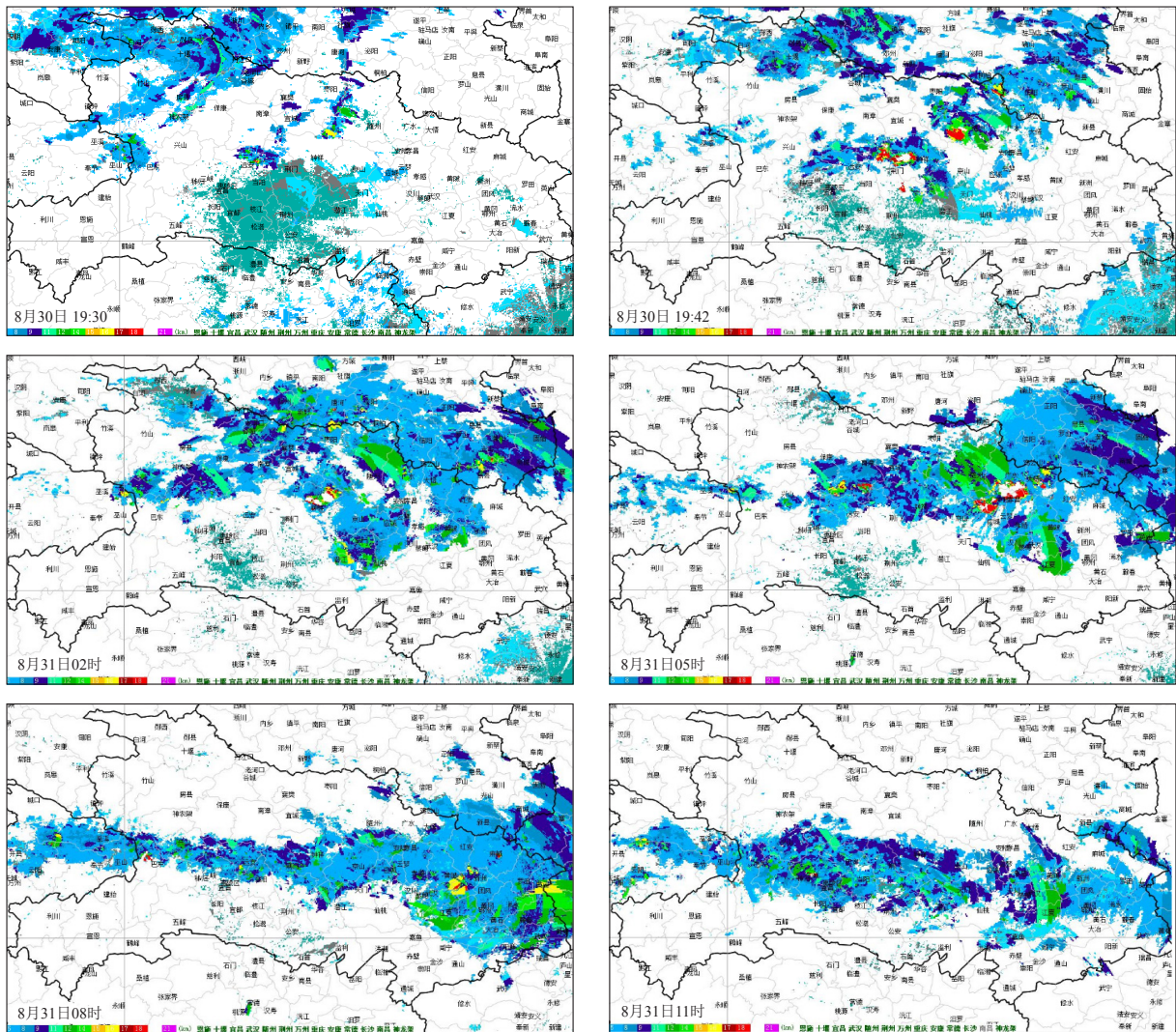


图6 8月30日19:30和19:42, 31日02时、05时、08时、11时回波顶高 (km)

Fig. 6 Echo top high (km) at 7:30 pm and 7:42 pm, August 30, and 02, 05, 08, 11 am, August 31

雷达资料有助于比较具体地了解天气系统的发展和移动趋势; 大气电场资料能直观反映雷电发生前的电场变化; 闪电定位资料能够证实闪电发生的具体位置。

4) 雷电发生时间及区域与雷达强回波区域的位置相吻合, 与高云顶高度区域相吻合。当区域回波强度大部分在40 dBz以上、回波顶高大部分在9 km以上, 且最大回波强度 ≥ 45 dBz、最大回波顶高达到17 km时, 发生雷电的可能性较大。

5) 水汽辐合和不稳定状况是雷雨天气发生的重要要素, 当K指数 ≥ 36 , 最大值达到40和垂直液态水含量 ≥ 6 kg/m², 最大值达20 kg/m²时, 对强对流天气的雷电预报有明确的指标作用。

闪电定位仪的实时性、雷达探测的精确性、卫星探测的广域性, 雷达回波图能看到云底及云层的垂直分布, 云图对于云顶分布的直观性, 这些资料的相互

配合, 取长补短, 对中小尺度雷电天气的分析和预报就能提供较全面的信息。多种观测手段的加入, 帮助我们多方面了解天气系统的实况, 更准确地分析其特征。卫星资料与雷达资料的结合分析, 在时间和空间上做到了优势互补, 可以有效地对雷电的发生做出可靠的预报预警。

尽管上述的分析初步揭示出大气探测资料对灾害性天气过程中雷电的预警和预报方面具有一定的参考价值, 然而, 对雷电活动特征的全面认识还需要积累更多的典型个例和足够的大气电场仪网络, 相信随着强对流天气分析个例的增多, 人们对雷电参数在强对流天气短时预报中的运用将有更深的认识。

参考文献

- [1] Xu Q.J. Methods of lightning nowcasting based on radar echo extrapolation technology. Meteorological and Environmental

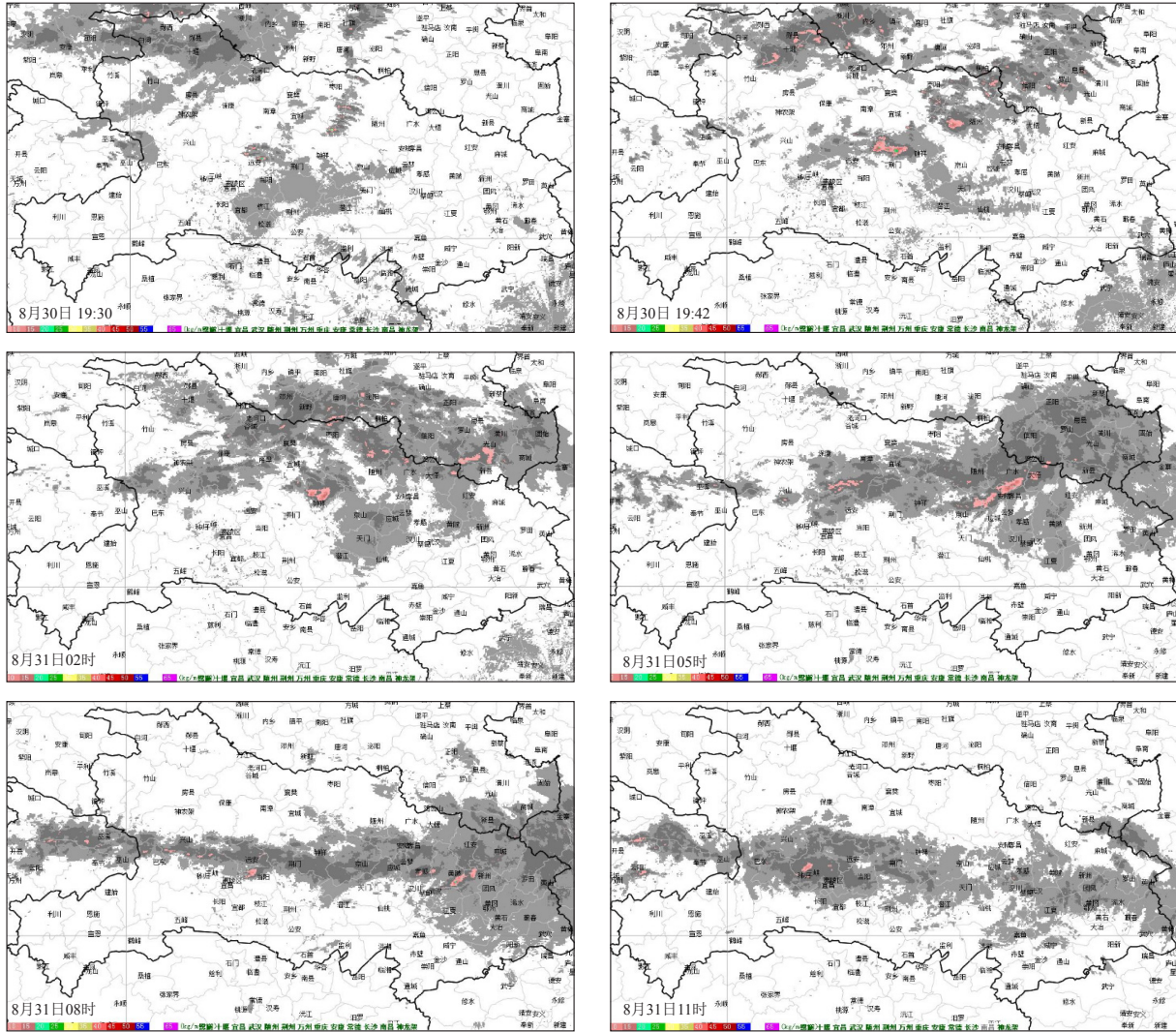


图7 8月30日19:30和19:42, 31日02时、05时、08时、11时垂直液态水含量 (kg/m^2)

Fig. 7 The vertical liquid water content (kg/m^2) at 7:30 pm and 7:42 pm, August 30, and 02, 05, 08, 11 am, August 31

Research, 2016(5): 46-49.

[2] Liu C, Cecil D J, Zipser E J, et al. Relationships between lightning flash rates and radar reflectivity vertical structures in thunderstorms over the tropics and subtropics. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2012, 117, D06212, doi: 10.1029/2011JD017123.

[3] 王洪霞, 苗爱梅, 郑皓文. 一次锋前暖区暴雨成因分析. *中国农学通报*, 2016, 32(17): 157-164.

[4] 王凯, 朱浩, 鞠晓雨, 等. 安徽省皖南山区地闪特征对比分析. *气象与环境学报*, 2016, 32(3): 83-88.

[5] 李国梁, 李俊, 李享, 等. 武汉地区雷电预警阈值研究. *气象科技*, 2015, 43(5): 874-879.

[6] 王学良, 张科杰, 张义军, 等. 雷电定位系统与人工观测雷暴日数统计比较. *应用气象学报*, 2014, 25(6): 741-750

[7] 杨春明, 马林, 曹辉. 2010—2012年安徽省闪电特征分析与应用研究. *中国农学通报*, 2016, 32(29): 155-160.

[8] 宋敏敏, 郑永光. 我国中东部3—9月云、地闪电密度和强度分布特征. *热带气象学报*, 2016, 32(3): 322-333.

[9] 叶朗明, 苗峻峰. 华南一次典型回流暖区暴雨过程的中尺度分析. *暴雨灾害*, 2014, 33(4): 342-350.

[10] 徐双柱, 韦惠红. 关于强对流天气预报的几点思考. *暴雨灾害*, 2016, 35(3): 197-202.

[11] 王伟. 西北太平洋快速增强热带气旋及其与垂直风切变的关系. 南京: 南京信息工程大学硕士学位论文, 2013.

[12] 唐佳, 姚蓉, 王晓雷, 等. 2015年春季湖南两次混合对流天气过程对比分析. *干旱气象*, 2017, 35(2): 250-259.

[13] 周丽雅, 王凯, 刘倪. 基于Logistic回归蚌埠地区致灾雷电预报研究. *气象与环境学报*, 2016, 32(5): 147-153.

[14] 刘蕾, 李宜爽, 张凌云, 等. 广西汛期2次暖区暴雨成因的对比分析. *中国农学通报*, 2016, 32(5): 136-143.

[15] 祁海霞, 辜旭赞, 白永清, 等. 2013年湖北一次大暴雨 β 中尺度分析和模拟诊断. *气象*, 2017, 43(3): 268-277.

[16] 余蓉, 杜牧云, 杜九三, 等. 基于多对流参数的武汉地区雷电活动预报方法研究. *气象科技*, 2016, 44(2): 269-274.

[17] 赵娴婷, 赵玉春, 汪小康, 等. 宜昌峡口区夏季暴雨天气分型及多普勒雷达特征. *暴雨灾害*, 2016, 35(4): 334-343.

[18] 唐明晖, 王强, 叶成志, 等. “威马逊”台前飊线环境场及多普勒雷达回波特征. *气象科技*, 2016, 44(2): 275-282.

[19] 翟园, 洪起, 乔娟, 等. 湖南地区多普勒天气雷达回波与云地闪关系研究. *中国农学通报*, 2016, 32(11): 115-120.

[20] 王宁宁, 谭涌波, 师正, 等. 气溶胶对云中水成物粒子电荷情况的影响. *南京信息工程大学学报:自然科学版*, 2013, 5(4): 331-335.