

孙军,周兵,宗志平,等. 重庆开县雷击事件天气背景分析[J]. 气象,2010,36(3):70-76.

重庆开县雷击事件天气背景分析^{*1}

孙 军 周 兵 宗志平 郑永光 陈 涛 谌 芸

国家气象中心,北京 100081

提 要: 利用卫星、雷达、闪电定位仪、地面自动站等常规和非常规资料对 2007 年 5 月 23 日重庆开县雷击事件进行了初步分析,结果表明:(1)此次雷击事件与 α 中尺度对流系统($M_{\alpha}CS$)发展密切相关,对流单体最早在四川东北部生成,并强烈发展东移,最终发展成 MCC,并伴有强降水,雷击事件就发生在 $M_{\alpha}CS$ 强烈发展的阶段。(2)高分辨率 FY 双星对此次强对流天气提供了有利的监测手段和工具,而由于开县处于雷达探测的边缘,雷达的监测能力显得不足。(3)闪电资料也显示强对流活动的发展具有局地特征,起初正地闪频次较多且集中,表明对流活动强。密集的正地闪出现在负地闪的周边地区,可能与新生对流强烈发展有关。(4)西南涡是主要的影响系统,由于冷空气东移南下,加强了低涡北部的偏东风分量,是对流发展的一个重要触发机制。 $M_{\alpha}CS$ 发生在弱对流不稳定环境中,但对流层中下层大气近饱和且湿层较厚。

关键词: 雷击, 闪电, α 中尺度对流系统, 对流单体

Analysis of a Lightning Stroke Event at Kaixian, Chongqing

SUN Jun ZHOU Bing ZONG Zhiping ZHENG Youguang CHEN Tao CHEN Yun

National Meteorological Center, Beijing 100081

Abstract: By using the data of FY series satellites, Doppler radar, lightning detection, automatic weather stations, etc., a primary observation and synoptic analysis were made to a lightning stroke casualty event occurring at Kaixian County of Chongqing Municipality on May 23, 2007. The main results show that this event was related to a rapidly developing $M_{\alpha}CS$ which formed in northeastern Sichuan Province in the morning. The lightning stroke event happened when the $M_{\alpha}CS$ moved eastward, developed continually and entered northern Chongqing in the late afternoon. The $M_{\alpha}CS$ eventually developed into a MCC in the evening. The $M_{\alpha}CS$ evolving process was monitored by the FY-2C, FY-2D satellites clearly, but not effectively by radar due to the limitation of detective range regardless of some information it revealed. The observation of the lightning location systems shows that more frequent positive cloud to ground (+CG) strokes were concentrated on the initial stage of $M_{\alpha}CS$, also the +CG strokes often occurred around the -CG stroke area during the developing stage, this distribution of CG flashes is maybe related to the newly developing cells. The southwest vortex and cold air and their interaction are the main triggering factors. The $M_{\alpha}CS$ initiated and developed in weak convective unstable environments, but the middle-lower-tropospheric air is near saturated.

Key words: lightning stroke, lightning, $M_{\alpha}CS$ (meso- α convective system), convective cell

引 言

雷电引起的灾害被列为世界十大自然灾害之一^[1],它不但会造成严重的经济财产损失,还会带来

人员伤亡,它造成的死亡人数甚至可以超过台风灾害^[2-3]。近几年雷击伤亡事件时有发生,其中包括一些群死群伤的雷击事件,不能不引起社会广泛关注^[4-8]。2007 年 5 月 23 日下午 4 时至 4 时 30 分,重庆市开县出现雷雨天气,重庆市开县义和镇政府兴

* 2007 年多轨道业务建设项目“雷电监测和潜势预报业务系统”和中国气象局新技术推广项目(CMATG2006M02)共同资助
2008 年 10 月 29 日收稿; 2009 年 11 月 22 日收修定稿
第一作者: 孙军,主要从事灾害性天气尤其是暴雨、暴雪、强对流等方面的预报和研究. Email: sunjun@cma.gov.cn

业村小学发生雷击事故,造成7名小学生死亡,43人受伤。同日18时左右,重庆市梁平县梁山镇松竹村2人在户外田野行走时也遭雷击死亡。“5·23”雷击事件只是众多雷击事件中较为严重的一次,当然,雷击事件的发生有其偶然性和不确定性,雷电活动的产生源主要是雷暴云,雷暴中的电活动与对流活动密切相关^[9],雷击是和雷暴云本身电荷、电场结构的变化及其放电过程有关^[1]。近些年,国内外在雷电监测和雷电现象研究方面取得的进展可参考文献^[8]。雷暴云尤其是有组织的雷暴云属于中小尺度对流系统,它的发生、发展到减弱消亡过程除了有自身的演变规律外,更是受更大尺度天气系统的制约,这里仅对该次雷击事件的观测事实和产生的天气条件做初步分析。

1 资料

本文分析所用资料包括每3小时地面观测资料

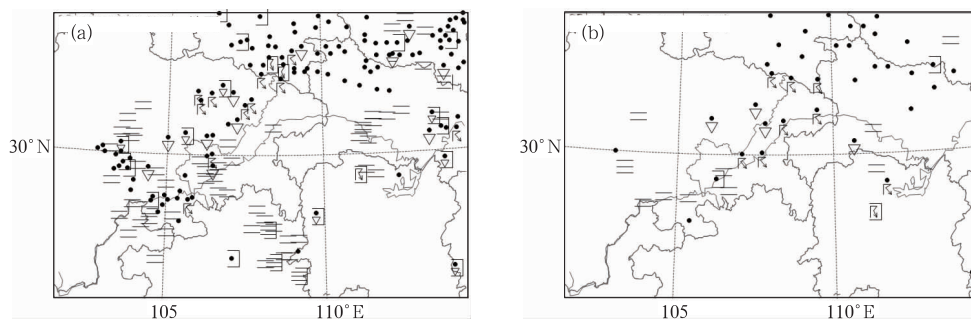


图1 2007年5月23日14时(a)和17时(b)地面天气现象分布

Fig. 1 The surface weather map at 06 UTC (a) and 09 UTC (b) 23 May 2007

2.2 FY-2C和FY-2D高分辨云图分析

FY-2D卫星2006年12月8日成功发射后,2007年4月28日开始提供云图产品,在汛期FY-2D与FY-2C一起为我国提供15分钟间隔的双星加密观测,其可见光与红外云图产品,分辨率分别达到了1.25 km和5 km,从而为强对流天气提供了有利的监测手段和工具。此次雷击事件是由一个中尺度对流系统(M_αCS)强烈发展造成的,对流单体从23日上午8时左右就开始在四川东北部出现,并逐渐发展壮大东移。从图2a上(北京时15:45)的红外云图上可以看到,-32℃和-52℃的强对流区

和每小时自动站观测资料、含特性层的探空资料、加密FY-2C和FY-2D卫星资料、多普勒雷达资料、闪电定位资料以及NCEP 6小时间隔1.0°×1.0°再分析资料等。

2 雷电事件发生成因分析

2.1 地面天气现象与自动站降水

图1a和1b分别为5月23日14时和17时(北京时)的地面天气现象图。分析表明,5月23日14时主要雷雨天气发生在四川东北部等地;17时雷雨区便移到重庆中北部。自动站降水资料显示(图略),15时,四川东北部、重庆西北部便有每小时超过10 mm的降雨出现;16—17时,雨区向东移动,分布不均匀,重庆北部雨强在6~10 mm·h⁻¹,其中,15—16时开县降雨6 mm,可见重庆开县雷击事件与午后强对流发展密切相关。

已位于开县附近的大范围区域,可见光云图上有对流上冲云顶;图2b上(北京时16:00)M_αCS面积进一步扩大,对流加强;图2c为雷击发生的最近时刻,对流上升云顶比较明显。至图2d时(北京时16:33),M_αCS仍处于强烈发展中,雷击区南部有新对流单体发展,雷击区附近云顶相对较平坦且白亮。

从FY-2C和FY-2D对流活动(黑体亮温)的演变进一步显示(图略),雷击事件与M_αCS前期对流单体发展密切相关,最早在四川东北部生成,并发展东移。M_αCS的另一个重要事实是对流发展旺盛,至傍晚发展成MCC,强降水也成为重要的天气现象,雷击事件就发生在M_αCS旺盛发展过程中。

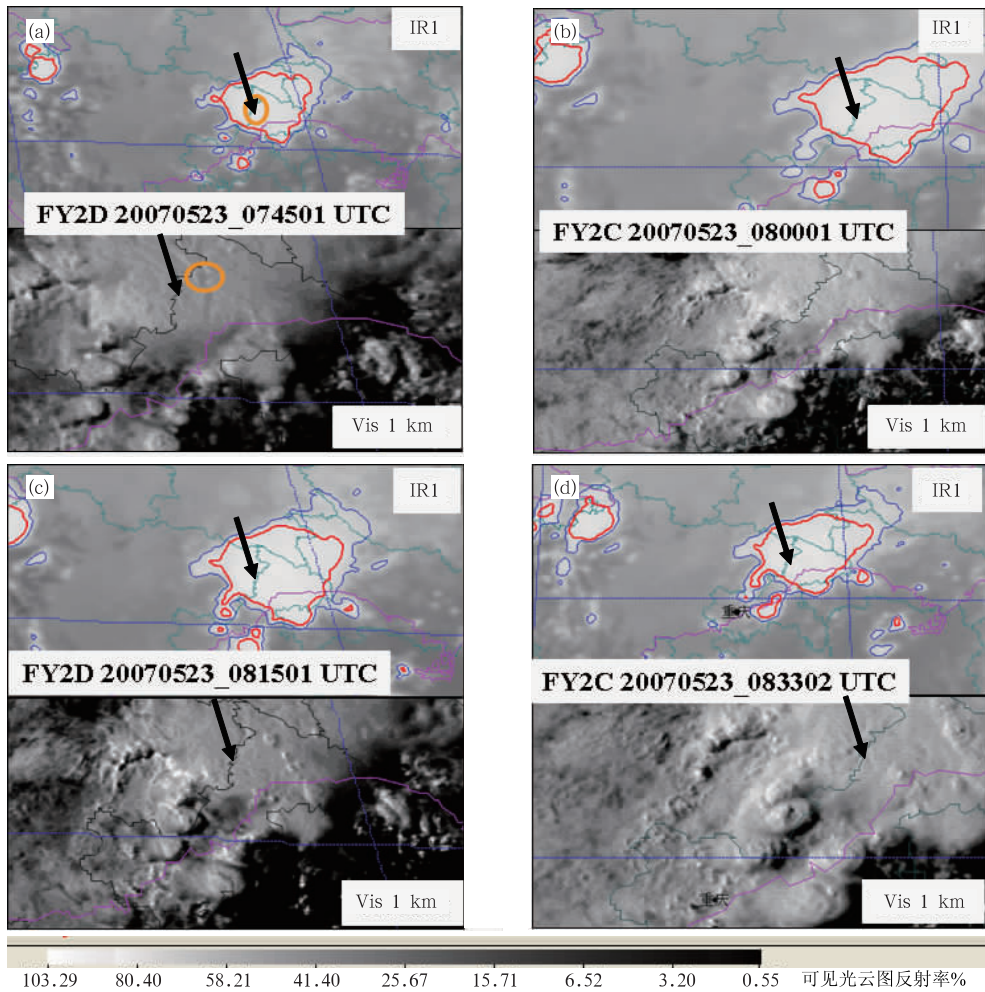


图 2 逐 15 分钟 FY-2C 和 FY-2D 红外与可见光云图
线条分别为 -32°C 和 -52°C 云顶亮温等值线
(箭头所指为兴业村小学大致位置)

Fig. 2 The FY-2C and FY-2D IR and VIS satellite cloud images

(The contours are cloud top brightness temperatures of -32°C and -52°C , respectively;
The arrows indicate the approximate location of the primary school of Xingye Village)

2.3 雷达资料分析

重庆目前有三部雷达正在建设,一部带病工作的旧雷达一天只能接收一张图,无法捕捉这次过程,而位于四川东北部离重庆开县最近的南充雷达站距离开县也有 230 km,在雷达探测的边缘,而陕西安康离开县相对较近,与开县的直线距离为 180 km,因此下面分析基于陕西安康的 C 波段多普勒雷达(CINRAD-CB)产品。在重庆开县(站点海拔 166.4 m)雷击事件发生的 23 日下午,该雷达一直保持在工作状态,采用降水模式下的 VCP21 体扫描机制,在时域上对引起雷击事件的强对流系统覆盖还是比较好的。但是重庆开县和陕西安康之间受到近东西

走向的大巴山系阻挡,安康雷达在 0.5° 、 1.5° 的仰角上均不能有效观测到重庆开县附近的天气状况(如图 3 所示),仅在 2.4° 仰角上能够观测到当地上空有意义的回波,而此时回波高度已经接近 10 km,等压面处于 300~250 hPa 之间,仅能粗略反映对流层高层的状况。同时由于距离过远,已经超出雷达径向风通常 150 km 的观测范围,因此又损失一项重要的分析量。由于开县附近对流层中低层基本处于安康雷达的盲区内,对流层中低层的风暴结构无法由雷达数据揭示,安康雷达对本次强对流事件空间覆盖能力较弱,雷达监测预警能力相当有限。

5 月 23 日从 12 时到 17 时之间,在有利于对流发展的环境条件下,四川达州到重庆开县之间不断

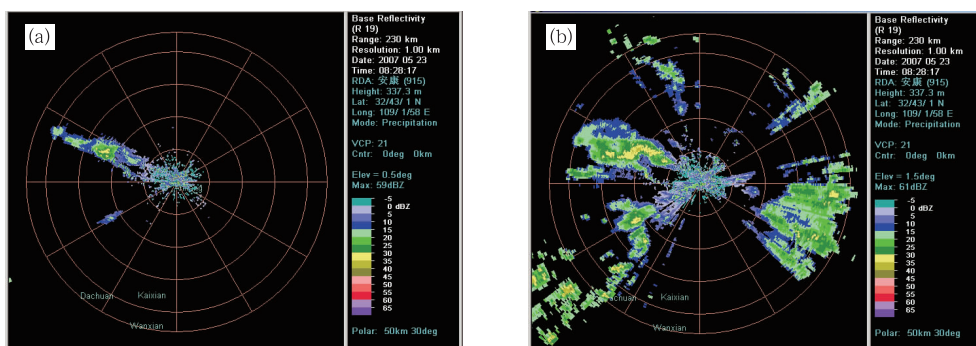


图 3 2007 年 5 月 23 日 16 时 28 分安康雷达 0.5° (a) 和 1.5° (b) 仰角的基本反射率
 Fig.3 The Ankang radar base reflectivity at elevation 0.5° (a) and 1.5° (b) for 0828 UTC 23 May 2007

有中尺度对流单体自西南向东北方向活动,并展现出比较复杂的空间结构,其中 13 时 55 分,开县附近的对流体回波中心强度曾达到 60 dBz。

23 日下午 16 时, TBB 表明对流云团继续发展, 低于 -70 °C 的 TBB 低值区域相对 14 时扩大许多, 系统中心也向东南方向有所移动(图 4a)。开县雷击事件发生在 16 时至 16 时 30 分, 从 16 时 16 分安康雷达的基本反射率看(图 4b), 开县西侧存在成片的回波大于 35 dBz 的强对流区, 最大回波强度超过

45 dBz。从 16 时 22 分基本反射率图像上看(图 4c), 强对流区向东移动逼近开县站点, 而回波中心强度也增长到 50 dBz。同时刻的组合反射率也反映了基本相同的特点(图 4d), 强回波的结构大致呈逗点状分布, 空间尺度范围在几十千米左右, 开县义和镇兴业村小学位于开县站点西西南方向大约 40 km 处, 雷击事件极有可能就是由此小的对流单体造成的。虽然雷达回波反映了一些开县雷击前后的雷暴动态信息, 但相对于 13 时左右监测到的对流活

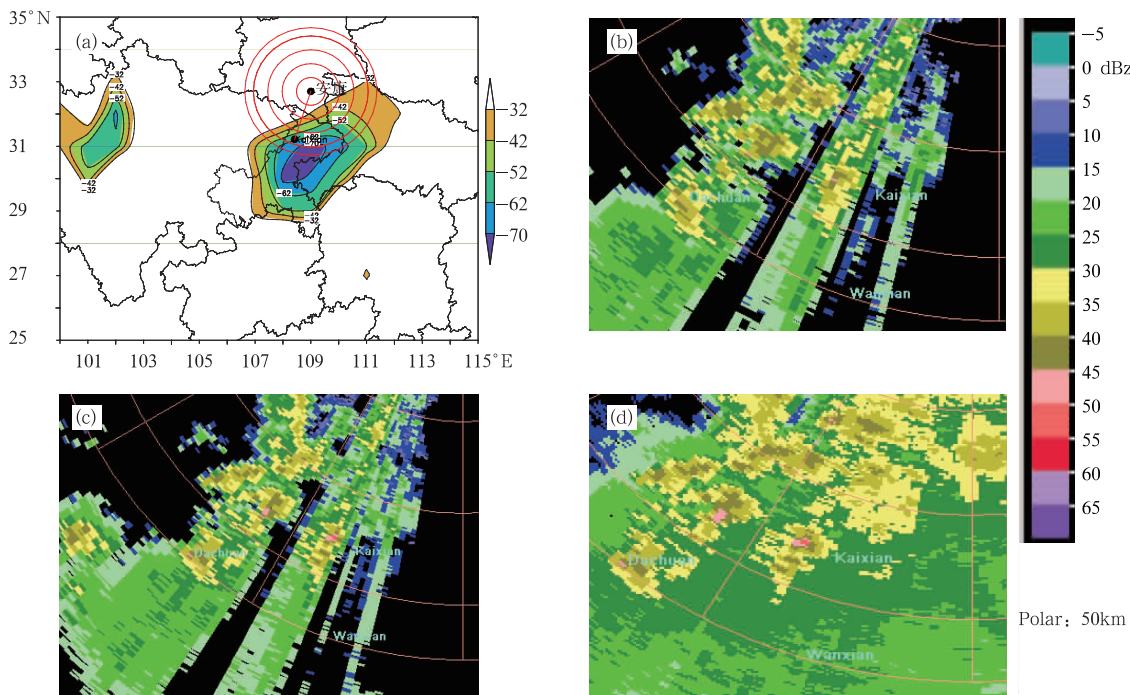


图 4 (a) 2007 年 5 月 23 日 16 时 TBB, (b) 16 时 16 分基本反射率(仰角 2.4°),
 (c) 16 时 22 分基本反射率(仰角 2.4°), (d) 16 时 22 分组合反射率

图 a 中以安康为中心的同心圆半径由内向外分别为 50、100、150、200 和 230 km

Fig.4 (a) The FY-2C Satellite TBB (shading areas) for 0800 UTC 23 May 2007
 (the circles are radar scan radius of 50,100,150,200 and 230 km, respectively)

(b)The radar base reflectivity for 0816 UTC 23 May 2007 at elevation 2.4°,

(c)Same as Fig. 4b but for 0822 UTC, (d) Same as Fig. 4c but for composite reflectivity mosaics

动特点,16 时对流活动尺度更小,距离安康雷达也更远,无疑增加了监测预警的难度,同时也表明了雷击发生过程的复杂性。

2.4 雷电定位仪资料

近年来,闪电定位资料被大量用于强对流天气的监测当中,闪电活动与强对流天气的关系已多有研究^[11-12],一般认为以正地闪活动为主的对流较为活跃,并经常产生冰雹和龙卷,但一般雷暴包括中尺度对流系统还是以负地闪居多,本例也不例外。根据研究^[13],中尺度对流系统一般分为对流云区和层云区,对流中心区一般对应负地闪,层云区和对流云砧区一般对应正地闪,因此从负地闪活动的集中区可以判断单体的位置,这对雷达资料缺乏的地区显得尤为重要。12—13 时,主要闪电活动相对集中(图 5a),出现在四川东部,这时对流单体正在快速发展,负地闪区东南侧的一片正地闪相对集中区,根据高空风方向,这片正地闪区极有可能是对流云砧区的放电结果,但缺乏雷达资料证实;14—15 时,是对流发展旺盛阶段,负地闪区呈东北—西南带状分布,对流区已开始进入重庆西北部地区(图 5b);16—17 时,负地闪区开始分离成两片,一片位于重庆北部,并向偏东方向移动,一片位于重庆中部,并向东南方向移动(图 5c)。这种负地闪区分离表明单体分裂,随后的卫星红外云图证明了这一点,但表现不如闪电资料明显。因此闪电资料对对流系统的活动有很好的指示意义,尤其在雷达资料缺乏的情况下。

3 天气形势分析

以上分析表明,重庆开县雷击事件是由中尺度对流系统在四川东北部和重庆北部强烈发展造成的,现就该中尺度系统发生的大尺度环流背景进行初步分析。

从 23 日 08 时 500 hPa 高空图上可以看到,高空槽已经移到蒙古国西部到甘肃东部一带,它所携带的一股冷空气正在东移南下,200 hPa 高空急流位置偏北,急流轴贯穿我国北方地区,急流中心位于内蒙古西部,急流南侧的四川东北部和重庆北部地区位于 200 hPa 高压中心带上,这一地区为高空辐散气流所控制,并一直持续晚上 20 时。700 hPa 图上,四川南部有一低涡存在,低涡切变线位于四川与

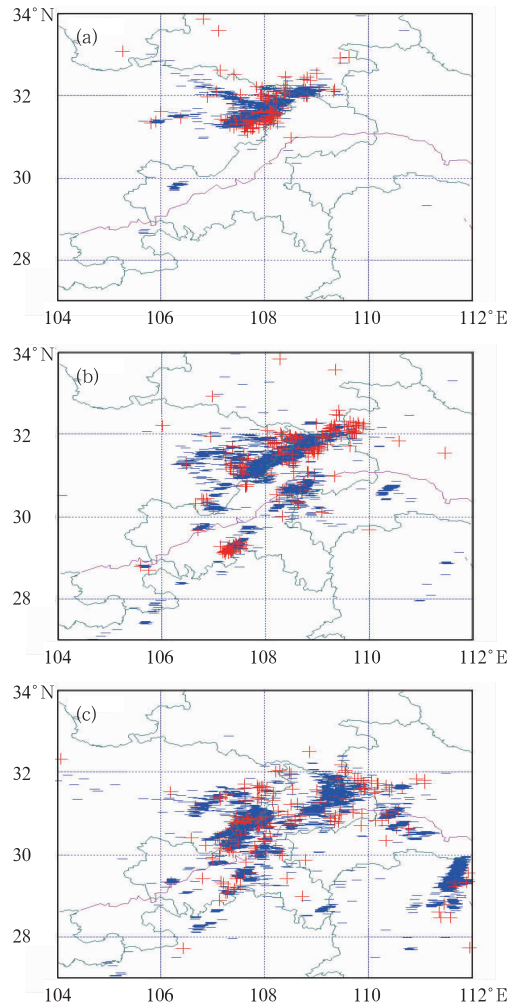


图 5 2007 年 5 月 23 日 13 时(a),15 时(b)和 17 时(c)闪电定位仪 1 h 观测

(+表示正地闪,-表示负地闪,资料取自空间所)

Fig. 5 One hour accumulated lightning observation at (a) 0500 UTC (b) 0700 UTC (c) 0900 UTC

(+, positive cloud-to-ground lightning,

-, negative cloud-to-ground lightning)

重庆交界处,地面冷锋已经进入四川北部。至 23 日 14 时(图 6),高空槽东移,冷空气进一步扩散南下,同时,原位于四川南部 700 hPa 上的低涡缓慢向东北方向移动,14 时已经到达四川东部的中部位置,低涡切变线穿过重庆北部。晚上 20 时,低涡中心已经移到四川东北部与重庆北部的交界处,强度加强。因此,从 23 日 14 时至 20 时,由于冷空气东移南下,加强了低涡北部的偏东风分量,从而使低涡发展,而低涡的发展又加强了底层的垂直上升运动,是对流发展的一个重要触发机制。另外,从 22 日下午开始,青海东南部有对流云团东移发展,并进入四川北部,至 22 日夜間对流达到最强,并于 23 日凌晨开始

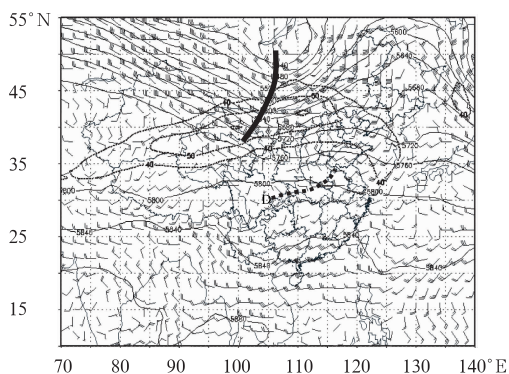


图 6 2007 年 5 月 23 日 14 时形势场
(实线:500 hPa 高度,单位:gpm, 虚线:200 hPa 大于 $40 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的急流区,间隔 $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 风场为 700 hPa,粗实线为 500 hPa 槽线,粗虚线为 700 hPa 切变线)

Fig. 6 Synoptic analysis valid at 0600 UTC 23 May 2007

(fine solid lines are 500 hPa height (unit:gpm), dash lines are 200 hPa jet stream, thick solid line is 500 hPa trough, thick dash line is 700 hPa shear line, the barbs are 700 hPa wind fields)

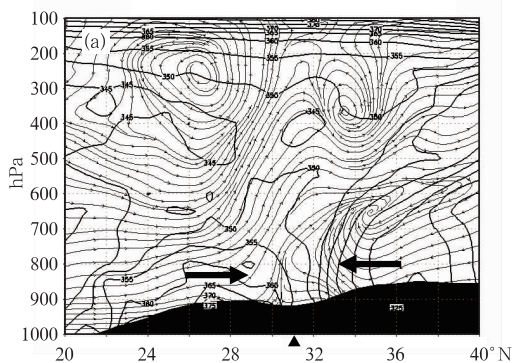
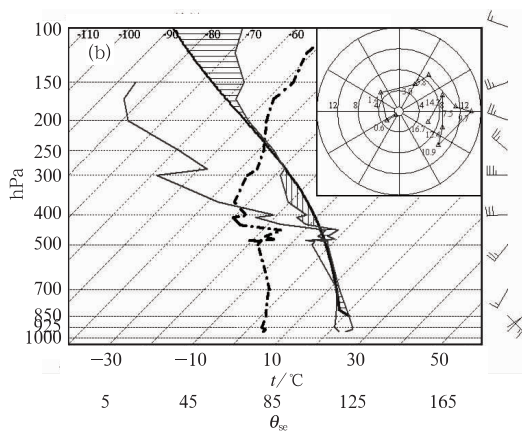


图 7 (a) 2007 年 5 月 23 日 14 时沿 108°E θ_e 垂直剖面及上升气流示意图
(粗实线为 θ_e 等值线,间隔 5 K,带箭头细线为流线,粗箭头表示冷暖空气运动方向)



(b) 5 月 23 日 08 时四川达川 $T\text{-log}P$ 图和 Hodograph 图

(细实线分别为气温和露点探空曲线,粗箭头为地面到 500 hPa 风切变矢量)

Fig. 7 (a) Cross-section for θ_e (solid lines) and updraft fields along 108°E at 0600 UTC 23 May 2007,

(think solid lines are θ_e contour, interval is 5 K, fine lines with arrow are stream lines, think arrow indicates the direction of motion of cold and warm air)

(b) $T\text{-log-}p$ and Hodograph for Dazhou, Sichuan at 0000 UTC 23 May 2007

(Fine solid lines are radiosounding curves of temperature and dew-point, respectively, thick arrow is vertical wind shear vector from surface to 500 hPa)

以上空气干燥,即上干下湿结构明显,对流层中低层风垂直切变较小,从地面到 500 hPa 只有 $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,与 2008 年 4 月 14 日四川盆地西部的冰雹

减弱消散,减弱消散的地方正好在四川东北部,这不但加大了这一地区的水汽含量,同时,消散雷暴本身产生的阵风锋也可能是对流触发的另一机制。

前面从大尺度形势场的分析中给出了 $M_{\alpha}CS$ 产生的一些有利的环境条件,但对流的产生和发展离不开不稳定条件,从 θ_e 的垂直剖面来看,23 日上午 08 时,重庆开县已处在弱不稳定条件下,到 14 时(图 7a),这种弱不稳定条件仍然存在,并向更高的高度发展,开县附近 450 hPa 以下都为弱不稳定区,同时也可以看到,锋区正向开县逼近,低层锋区陡直且能量更加集中,冷暖空气开始交汇于开县附近,暖湿空气并沿锋区爬升。20 时,低层锋区已经移到开县并继续缓慢南移。

下面从单站探空来进一步揭示这种气层的弱对流不稳定结构,这里的探空选自距离开县最近且大气环境较为接近位于四川东北部的达川站,23 日 08 时 $T\text{-log}P$ 图上(图 7b),从逆温层上最大不稳定层算起的 CAPE 值只有 $615 (\text{J} \cdot \text{kg}^{-1})$,但湿层较厚,从地面到 450 hPa 大气层空气几乎达到饱和,450 hPa

过程相比有显著的不同,前一过程 CAPE 值达到了 $1439 (\text{J} \cdot \text{kg}^{-1})$,探空曲线为典型的“洋葱头”形状,对流层中层空气较为干燥,垂直风切变也较大,达到

了 $25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上。这种不同的气层结构可能是造成前一次过程冰雹较明显,后一次过程降雨较明显的主要原因。

4 结 论

通过以上分析,得出如下主要结论:

(1) 此次雷击事件与 $M\alpha CS$ 前期对流单体发展密切相关,最早在四川东北部生成,并东移强烈发展,最终发展成 MCC,强降水也成为重要的天气现象。雷击事件就发生在 $M\alpha CS$ 强烈发展的阶段。

(2) 高分辨率 FY 系列卫星为此次强对流天气提供了有利的监测手段和工具,而由于开县处于雷达探测的边缘,雷达的监测能力显得不足。

(3) 闪电资料显示出对流活动的一些特征,负地闪活动的集中区可以判断单体的位置和移动,正地闪集中区可以判断对流云砧区位置和移动,补充雷达资料探测能力的不足。

(4) 西南涡是主要的影响系统,由于冷空气东移南下,加强了低涡的北部的偏东风分量,是对流发展的一个重要触发机制。 $M\alpha CS$ 发生在弱对流不稳定环境中,但对流层中下层大气近饱和且湿层较厚。

参考文献

[1] 陈渭民. 雷电学原理[M]. 北京:气象出版社,2006.

- [2] 王秀荣,毛卫星,郭进修. 2004 年主汛期我国强对流天气灾害统计特征[J]. 自然灾害学报,2007,16(01):27-30.
- [3] 许小峰. 雷电灾害与监测预报[J]. 气象,2004,30(12):19-20.
- [4] 林俊文. 陆川县 2005 年雷击伤亡事故分析[J]. 广西气象,2006,(S1):141-142.
- [5] 许爱华,马中元,郭艳. “717”庐山雷击事件分析[J]. 气象,2004,30(6):35-39.
- [6] 林建民,焦见鹤,臧艳华. “9.27”雷击事故调查与球闪浅析[J]. 山东气象,2004,(2):20-21.
- [7] 余宏鹰,罗文兵. 四川省 2003 年雷电灾害评述[J]. 四川气象,2004,(4):60-62.
- [8] 高菊霞,庞亚峰,任建芳,等. 2005 年陕西省雷电活动特征及灾害过程分析[J]. 灾害学,2006,(4):54-57.
- [9] 薛秋芳,孟青,柴秀梅. 北京地区雷击事例的气象条件分析[J]. 气象,2000,26(6):12-15.
- [10] 张义军,周秀骥. 雷电研究的回顾和进展[J]. 应用气象学报,2006,(6):829-834.
- [11] 薛秋芳,孟青,葛润生. 北京地区闪电活动及其与强对流天气的关系[J]. 气象,1999,25(11):15-19.
- [12] Carey L D, Rutledge S A, and Petersen W A. The relationship between severe storm reports and cloud-to-ground lightning polarity in the contiguous United States from 1989 to 1998[J]. Mon Wea Rev, 2003, 131:1211-1228.
- [13] Zajac B A, Weaver J F. Lightning Meteorology I: An Introductory Course on Forecasting with Lightning Data [G]. presented at Symposium on AWIPS, 2002 AMS Annual Meeting, Orlando, FL.