

“20060717”低纬高原强雷暴天气过程分析*

张腾飞^{1,2}, 邓勇³, 谢屹然², 许迎杰², 徐开², 刘雪涛², 尹丽云²

(1. 云南大学大气科学系, 云南昆明 650091; 2. 云南省雷电中心, 云南昆明 650034;

3. 云南省气象局, 云南昆明 650034)

摘要:利用雷电定位系统、多普勒天气雷达等监测资料和 MICAPS $1^\circ \times 1^\circ$ 客观分析场, 对发生在云南省低纬高原 2006 年 7 月 17 日强雷暴天气过程进行分析, 结果表明: 低层辐合区和高低层之间风向切变为此次强雷暴天气过程提供了有利的环流背景, 同时台风减弱形成的低压辐合区外围的高能高湿、强烈热力不稳定和中低层上升运动为雷暴天气的形成提供了有利的环境条件; 闪电定位网共监测到 33 125 闪电回击, 闪电高密度出现在滇中, 在 $0.1^\circ\text{E} \times 0.1^\circ\text{N}$ 面积上 24 h 最大达 594 次, 闪电最高峰出现在 16:00~17:00 之间; 此次强烈雷暴过程是由多普勒天气雷达上探测到 3 条中尺度对流系统(MCS)先后自东向西或自东北向西南影响云南省造成的, 回波强度在 40~55 dBz 之间, 风辐合、逆风区、垂直风切变、大的径向速度维持等中尺度特征有利于对流回波的发展, 引起强雷暴天气和雷电现象的发生。

关键词:雷暴; 闪电定位系统; 多普勒天气雷达; MCS

中图分类号: P 446 **文献标识码:** A **文章编号:** 0258-7971(2008)02-0166-09

雷电是伴随强雷暴天气过程而产生的, 是发生于大气中的一种瞬时高电压、大电流、强电磁辐射灾害性天气现象^[1], 会引起人员伤亡, 工农业生产减产, 因此雷击灾害已成为危害程度仅次于暴雨洪涝以及泥石流、山体滑坡等气象地质灾害的一大气象灾害^[2], 严重威胁着社会公共安全和人民生命财产安全。

许多研究表明只有在有利的大尺度背景下满足一定的物理条件, 才能激发产生强对流天气^[3~5], 诱发雷电活动。雷电是一种大气物理和大气电学现象, 往往是由中尺度对流系统(MCS)直接引起的, 还会伴有暴雨、冰雹和大风等。近年来, 许多学者利用闪电定位系统和多普勒天气雷达对中小尺度对流系统产生的雷电活动进行了研究, 得出了一些有意义的结果。如张义军等^[6,7]分析了超级单体雷暴中闪电 VHF 辐射源的时空分布特征, 认为雷暴中的放电过程与水成物粒子的大小以及空间分布的密度有关; 冯桂力等^[8]对一次中尺度对流的闪电演变特征进行分析发现, 在 MCS 成熟

阶段出现高正地闪频数的瞬间突增有可能对应着地面强天气的发生; Qie 等^[9]对闪电数据和雷暴临近预报进行了研究, 认为闪电数据可以用于雷暴临近预报中。

雷电的发生和雷电的性质与局地的气象、气候、地形、地貌特征等密切相关。云南是全国雷暴高发区, 全省大部地区年均雷暴日数在 80 d 以上, 滇南和滇西大部分地区属我国高强雷暴地区, 最南端的西双版纳州勐腊县年平均雷暴日数高达 138 d^[10], 雷电灾害比较严重。本文综合利用常规气象观测资料、闪电定位系统监测资料、多普勒天气雷达加密观测资料, 详细分析低纬高原地区的一次强雷暴天气过程, 以为低纬高原地区开展强对流雷暴潜势预报和雷电预警提供科学基础。

1 资料来源

(1) 每天 2 次的 MICAPS $1^\circ \times 1^\circ$ 客观分析数据, 垂直方向有 8 层(850, 700, 500, 400, 300, 250,

* 收稿日期: 2007-10-11

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(D0503); 中国气象局 2006 年研究型业务资助项目; 云南省气象局多轨道业务研究专项资助项目。

作者简介: 张腾飞(1966-), 女, 云南人, 学士, 高级工程师, 主要从事中尺度天气和大气电学方面的研究。E-mail: tfzhang@21cn.com.

200, 150 hPa), 包括风场、高度场、温度场、K 指数、 θ_{se} 、水汽通量、垂直速度、沙氏指数(SI);

(2) 云南已建成的闪电定位系统不定时的监测资料;

(3) 昆明棋盘山 C 波段多普勒天气雷达加密观测回波资料(包括反射率因子和径向速度场);

(4) 云南气象站的地面观测资料和灾情报告.

2 实况分析

2.1 地面观测资料分析 根据地面观测资料的分析, 2006年7月17日云南发生了一次强雷暴天气过程, 全省大部地区电闪雷鸣, 据不完全统计, 由于强烈雷电使部分地区发生了雷击灾害, 如 17:40(北京时间, 下同)大姚县发生雷击灾害, 造成 4 人死亡; 09:00师宗县彩云镇出现雷击灾害, 死亡 1 人; 石林县石林镇发生雷击灾害, 造成 1 人死亡, 牲畜死亡 2 头. 此次过程伴随有暴雨、冰雹、大风等强对流天气现象, 全省出现了连续 3 天的大雨、暴雨天气过程, 其中 17 日共出现 24 站大雨和 1 站暴雨, 其后 18 日出现了 34 站大雨和 15 站暴雨, 19 日出现 22 站大雨. 这次伴有强烈雷电的强对流天气过程还诱发了许多地区滑坡、泥石流等次生气象灾害.

2.2 已建成的闪电定位网监测资料分析 云南闪电定位仪选用的是中科院空间中心的 ADTD 闪电监测定位系统, 主要监测云-地闪电, 全省闪电定位监测网规划为 23 个子站, 2006 年 11 月才全部建设完成. 截止 2006 年 7 月 10 日仅仅建成了覆盖滇中、滇东北和滇西南的 13 个子站组成的闪电定

位网. 图 1 就是已建成的 13 个子站组成的闪电定位网监测到的 2006 年 7 月 17 日云南省 $0.1^{\circ}\text{E} \times 0.1^{\circ}\text{N}$ 格距上的闪电密度分布(图 1a)和时间分布(图 1b). 从图 1a 可见, 已建成的闪电定位网监测到 7 月 17 日 00:00:00~23:59:59 云南境内共发生了 33 125 个闪电回击, 在滇中(昆明、玉溪、楚雄东部)闪电密度最大, 大部分地区每 $0.1^{\circ}\text{E} \times 0.1^{\circ}\text{N}$ 面积上每 24 h 闪电密度都在 110 次以上, 其中在 $(102.0^{\circ}\text{E} \sim 102.1^{\circ}\text{E}, 25.0^{\circ}\text{N} \sim 25.1^{\circ}\text{N})$ 地区 24 h 共发生了 594 次闪电回击, 这也是 2006 年监测到闪电回击最多的一次闪电过程, 闪电发生的频率相当高, 事实上全省闪电回击数远大于这个数字, 主要由于滇西和滇东南的子站此时还建成, 滇西和滇东南发生的闪电雷击未能全部监测到, 但也同样说明这次雷暴天气过程出现雷电的强烈程度. 从图 1b 可见, 7 月 17 日 00:00:00~23:59:59 全天 24 h 都有闪电发生, 出现了 2 个闪电峰值, 闪电最高峰出现在午后 16:00~17:00 之间, 监测系统共监测到全省 1 h 大约发生了 6 500 次闪电回击, 次高峰出现在凌晨 04:00~05:00 之间, 全省共发生了大约 3 000 次闪电回击, 这次过程的闪电时间分布特征与云南历史上雷暴时间分布的气候统计特征几乎是一致的, 下面还将进一步研究.

3 强雷暴发生的天气背景分析

3.1 环流背景分析 图 2 给出了发生强雷暴天气过程前 7 月 16 日 20:00 和过程中 7 月 17 日 08:00 高空 500 hPa 和 700 hPa 的形势场.

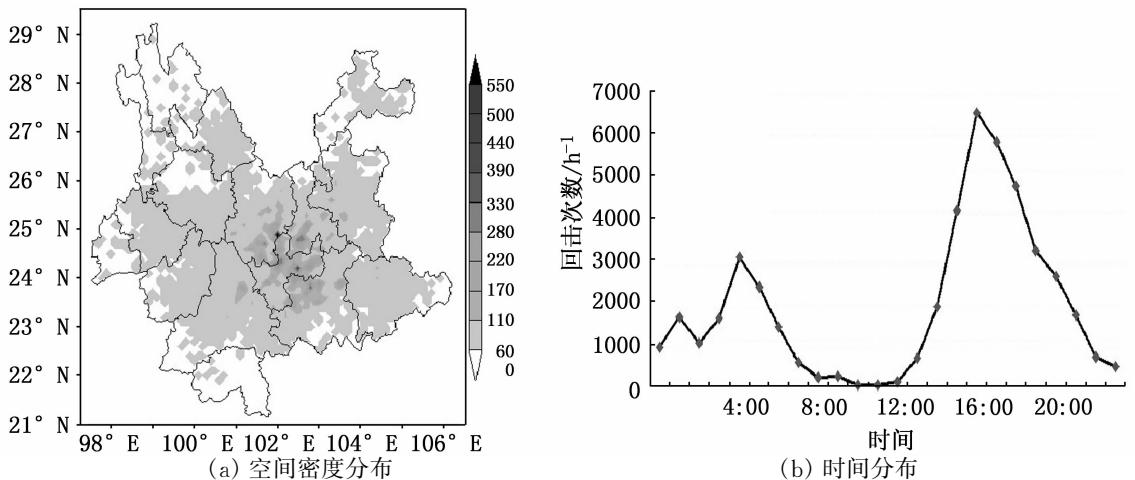


图 1 2006 年 7 月 17 日云南省闪电密度和时间分布

Fig. 1 The lightning density distribution and time distribution on July 17, 2006

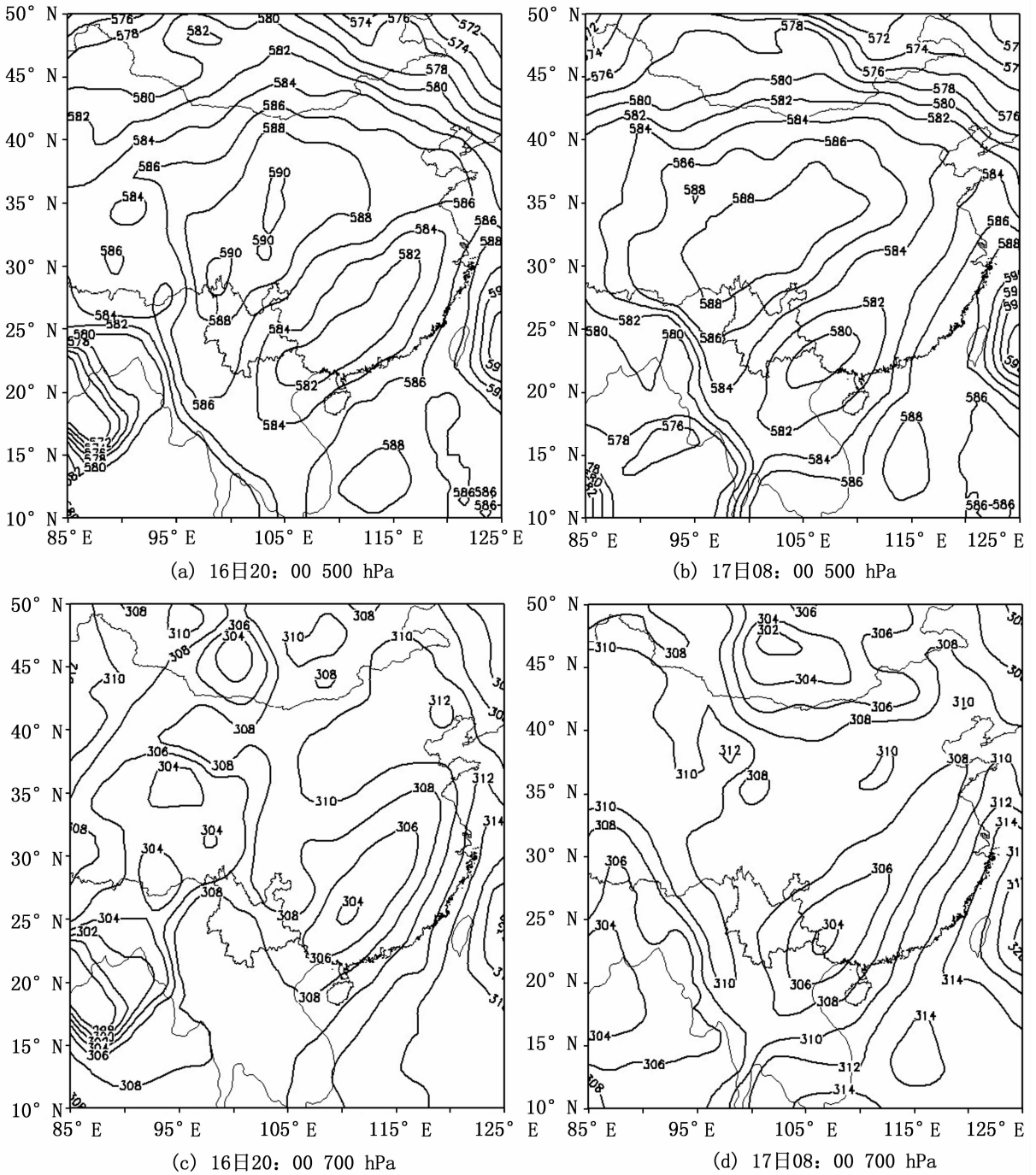


图 2 高空形势场(单位:dagpm)

Fig. 2 The upper pattern(Unit:dagpm)

2006年7月14日4号台风碧利斯在福建登陆后,减弱为低气压,偏西移动。在7月16日20:00 500 hPa形势场(图2a)上,在高原东南部的新疆东部、西藏东部、甘肃、陕西、四川到云南西北部为5880 gpm青藏高压环流控制,中心达5990 gpm,另在日本半岛附近的太平洋上,也是5880 gpm的副热带高压环流(以下简称副高),中心强度达5950 gpm,

4号台风减弱后的的低压就处于两高间的辐合区中,这样有利于低压的维持,我省大部为青藏高压东南侧和低压辐合区西北侧的较强东北风控制之下,风速达 $10\sim 12\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;在7月17日08:00 500 hPa形势场(图2b)上,副高增强西移,低压环流西移到了广西西部和云南东南部,云南东部和南部处于两高之间的辐合区,大部为东北东气流控制。

在 7 月 16 日 20:00 700 hPa 形势场(图 2c)上, 4 号台风减弱后的低压西移到了广西, 中心为 3 040 gpm, 桂林、百色、广南、蒙自、昆明、楚雄到丽江处于 2 个 3 080 gpm 之间的辐合区中, 其北侧为青藏高压, 南侧为副高, 云南北部盛行东北风到偏东风, 而西部和南部盛行西北风到偏北风; 在 7 月 17 日 08:00 700 hPa 形势场(图 2d)上, 3 040 gpm 低压西移到了广西西部到云南东南部, 云南境内辐合区减弱, 滇东转为低压外围的东北或偏北气流控制, 滇中及其以西地区为西北气流控制. 因此高层较强的东北气流引导冷空气南下, 同时低层辐合区和高低层之间风向切变的存在都为强雷暴天气的发生提供了有利的环流背景.

3.2 环境条件分析

3.2.1 能量条件和热力条件分析 K 指数能表征大气稳定度和中低层水汽含量和饱和程度, K 指数越大表示大气越不稳定和越潮湿, 越利于产生强对流天气; θ_{sc} 是湿空气通过假绝热过程把它包含的水汽全部凝结降落时所具有的温度, 所以 θ_{sc} 大小不仅反映了水汽含量的多少, 也反映了温度的高低.

K 指数是衡量大气中潜在能量多少的一种指标, $K > 20 \text{ }^\circ\text{C}$ 时, 就有出现雷暴的可能; $K > 35 \text{ }^\circ\text{C}$ 时, 即具备出现大片雷雨的条件. 在强雷暴天气发生前 7 月 16 日 20:00(图 3a)700 hPa 上, 云南处于 K 指数

的高值区, 形成 NE—SW 向的能量舌, 云南大部地区 $K \geq 40 \text{ }^\circ\text{C}$, 滇中及以南地区 $K \geq 42 \text{ }^\circ\text{C}$, 滇中到滇南 K 指数中心达到 $43 \text{ }^\circ\text{C}$; 同样分析 7 月 16 日 20:00 700 hPa 上假相当位温 θ_{sc} (图 3b)的分布, 云南和贵州之间形成了 N—S 的能量锋区, 云南强雷暴区处于能量锋区附近和西侧的大 θ_{sc} 区中, 大部处于 $\theta_{sc} \geq 82 \text{ }^\circ\text{C}$ 高能区中, θ_{sc} 高值中心在滇西北, 中心达 $93 \text{ }^\circ\text{C}$, 7 月 17 日 20:00 θ_{sc} 高值区西移减弱. 因此高 K 指数和高 θ_{sc} 提供了充足的能量条件和热力条件, 极易诱发强对流雷暴天气的发生.

3.2.2 水汽条件分析 图 4 给出了 7 月 16 日 20:00(图 4a)和 7 月 17 日 08:00(图 4b)700 hPa 上的水汽通量和水平风场分布. 从图 5 可以看出, 4 号台风减弱形成的低压辐合区东西两侧都是水汽通量的大值带, 随着低压辐合西移, 西侧水汽通量的大值带也西移, 云南处于西侧水汽通量大值带的外围和西侧. 16 日 20:00 水汽通量大值带在湖北、湖南, 中心为 $14 \text{ g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, 17 日 08:00 西移到贵州, 中心增强到 $16 \text{ g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, 水汽沿外围向云南输送. 因此减弱台风形成的低压辐合区外围的东北或偏东气流还携带了充沛的水汽, 随着东北或偏东气流控制云南, 这股气流为强对流雷暴天气的形成提供了有利的水汽条件.

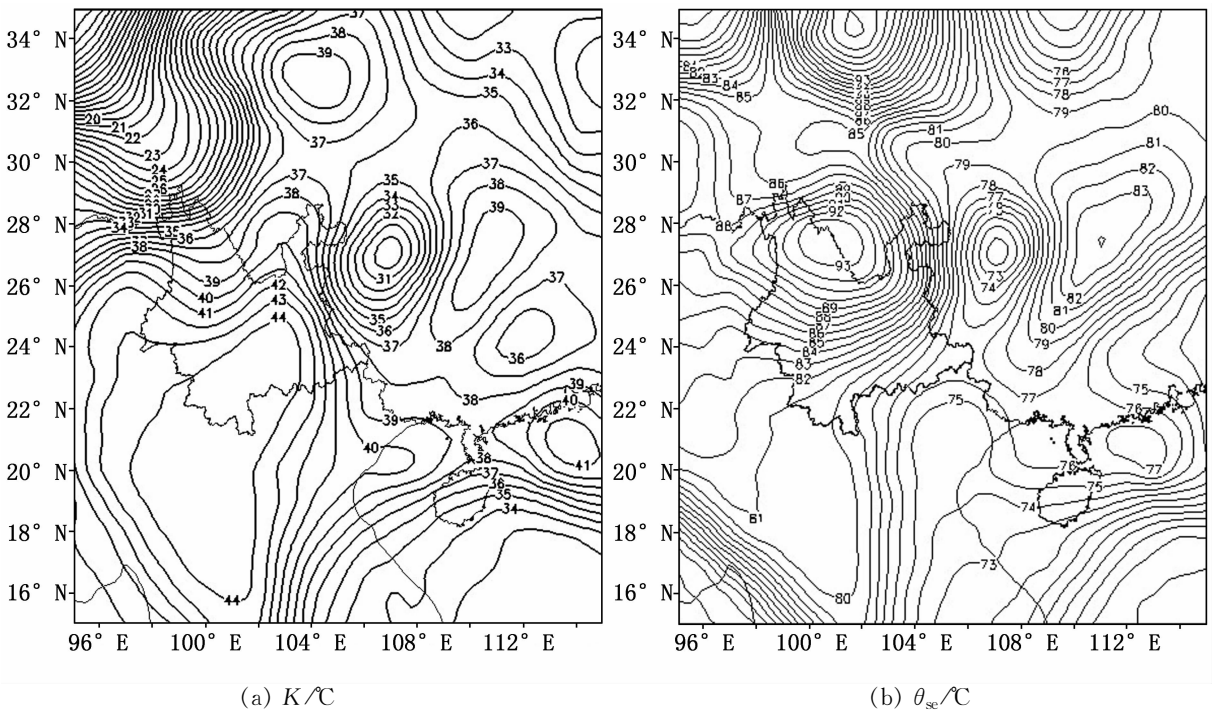


图 3 7 月 16 日 20:00 K 指数和 θ_{sc} 分布

Fig. 3 The K exponent and θ_{sc} distribution at 20 on July 6

3.2.3 动力条件 垂直速度能直接表征对流的强弱,大气层结的不稳定是产生强对流天气的必要条件,沙氏指数(SI)正是衡量大气稳定度的重要判别指标.

分析沿 25.5°N 垂直速度的经向垂直剖面图发现,7月16日20:00(图5a) $111^{\circ}\text{E}\sim 107^{\circ}\text{E}$ 中高层550 hPa以下都为上升运动区,其中滇黔边界 105°E 为强

上升运动区,最强上升运动出现700 hPa到750 hPa之间,上升速度达 $48\times 10^{-4}\text{ hPa}\cdot\text{s}^{-1}$,而在 $101^{\circ}\text{E}\sim 104^{\circ}\text{E}$ 区域内云南从低层到高层都为上升运动;到了7月17日08:00上升运动区范围扩大,强度加强,在 $101^{\circ}\text{E}\sim 109^{\circ}\text{E}$ 区域内整层都演变为上升运动区,滇黔边界 105°E 附近维持强上升运动,强度明显加强,

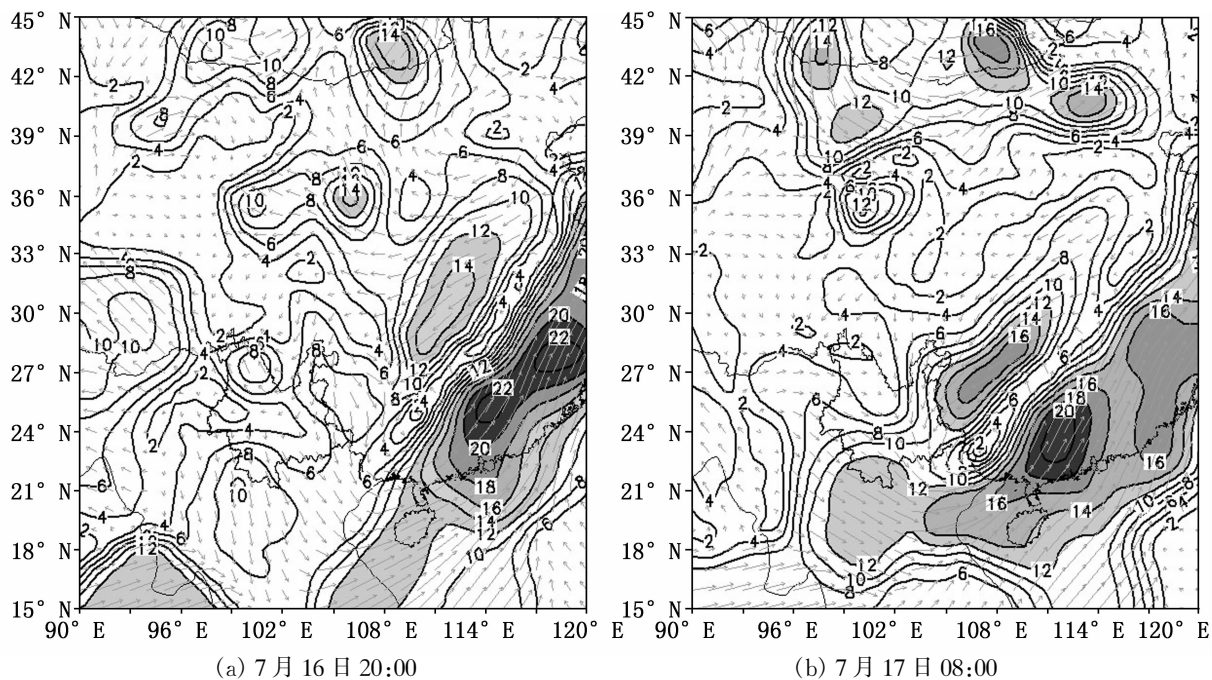


图4 700 hPa水汽通量分布和水汽输送方向(单位: $\text{g}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$)

Fig. 4 The moisture flux distribution and transfer direction at 700 hPa(Unit: $\text{g}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$)

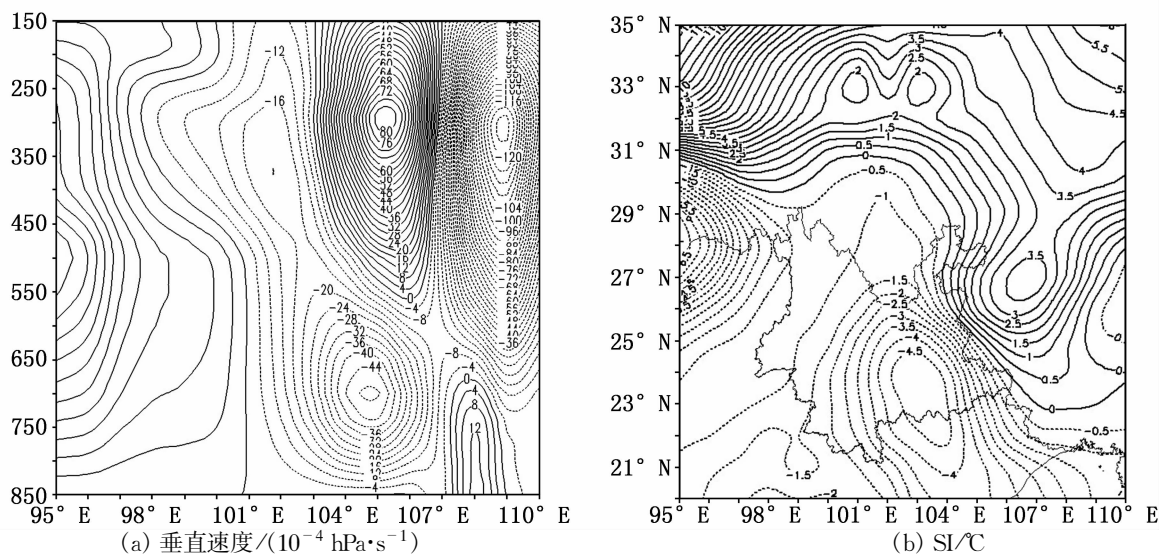


图5 7月16日20:00沿 25.5°E 垂直速度的方向垂直剖面和SI的空间分布

Fig. 5 The vertical cross-section of vertical velocity on 25.5°E and SI distribution at 20BST, July 16

强中心位置在 500 hPa 左右,加强到 $80 \times 10^{-4} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$,强雷暴区与上升运动区吻合,尤其是低层上升运动对雷暴天气的形成提供了足够的抬升动力条件.进一步分析 7 月 16 日 20:00(图 5b)SI 的分布发现,云南都处于 SI 负值区中,大部分地区 $SI < -1.0 \text{ } ^\circ\text{C}$,滇中附近 SI 在 $-3.0 \sim -4.5 \text{ } ^\circ\text{C}$,表明全省大部分地区处于热力不稳定中,尤其滇中及以南地区处于强烈不稳定区中,这给强对流雷暴天气的发生发展提供了充分的不稳定条件.

4 多普勒雷达回波分析

通过对 7 月 17 日昆明棋盘山多普勒雷达 0.5° 仰角的回波资料分析发现,先后有 3 个中尺度对流系统(MCS)自东向西或自东北向西南扫过滇中,下面进行详细分析.

4.1 第 1 个 MCS(I)回波演变特征

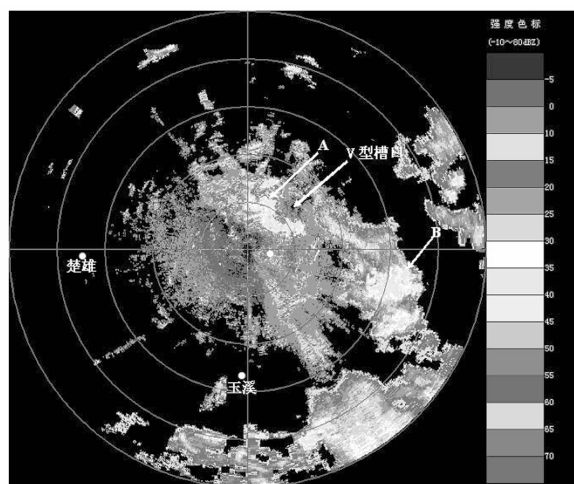
4.1.1 强度场特征 首先在昆明雷达站 150 km 探测范围内的北部和东北部不断有对流云回波生成和发展,并向西南移动,02:00 之后在向西南移动的过程中,单体对流回波逐渐有规律排列,呈 NW—SE 向的带状回波,形成中尺度对流系统 MCS(I),回波强度达 45~50 dBz.在 2:55(图 6a)I 西南移到昆明地区的禄劝、富民、嵩明、石林一带,强回波区 A 在雷达站东北部,离雷达站大约为 20 km,强度为 45 dBz,强回波向前弓,在其后侧大约 43° 雷达径向上的 20~30 km 的地方出现后侧 V 型槽口,这与干冷气流入侵有关;另一块强回波 B 在雷达站东南方,离雷达站大约 90 km,在石林县东部.3:22 I 扫过雷达站、昆明市和石林县,其中强回波 A 扫过昆明市,强回波 B 扫过石林县,产生这些区域的强雷暴天气,伴随强雷电活动.I 继续西南移动,5:01(图 6c)到达楚雄市、易门、玉溪、江川、华宁、通海一线,强回波在 I 的东南段,强度在 40~45 dBz,西北段相对较弱,为 30 dBz 左右.07:00 之后 I 逐渐西南移出探测范围,在探测范围内无明显的对流云回波,I 处于减弱阶段,雷电活动也进入低谷期.因此 I 向西南移主要影响昆明、红河、玉溪、楚雄南部和普洱东北部,造成这些区域强烈的雷电活动和 04:00~06:00 之间出现的次闪电回击高锋值.

4.1.2 径向速度场特征 在 2:55 多普勒速度场(图 6b)上,零速度线随高度弯向正速度区,入流面积大于出流面积,表示为辐合性风场;同时零速度线近似呈“S”型变化,风随高度顺转,高低空之间存在明

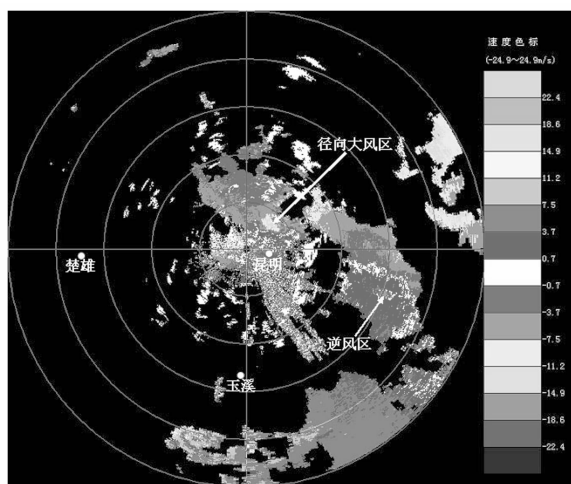
显的垂直风切变,由低层西北西风顺转为高层的东北风;A 附近还出现了达 $14 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 负径向速度中心,表明后侧有较强的干冷气流入侵,有利于触发前侧对流回波的发展,B 附近正速度区中存在负速度区,出现了逆风区的现象,逆风区本身是辐散辐合共轭体系统风场在多普勒雷达速度图上的表现形式,造成中尺度垂直环流的形成,此后频繁的雷电活动开始.5:01(图 6d)零速度线始终随高度弯向正速度区,其变化形式总体上表明环境盛行偏北风,而且具有辐合性风场的特征,在 I 的东南段距雷达 100 km 以外的区域,在大片正速度区中出现负速度,如华宁到通海之间,表明存在逆风区结构;在玉溪市附近强回波 C 附近出现大的正径向速度中心,径向速度达 $22 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,表明后侧有较强的干冷气流入侵和在正径向速度中心前侧存在风速辐合,同样强回波附近存在风速辐合和大的径向风速维持.07:00 之后零速度线为一致的 WNW—ESE 向,环境盛行偏北风.可见 I 产生的强对流雷暴天气(雷电活动)与风场的辐合、风垂直切变、逆风区有关,也与大的径向速度维持有关,这与许多人的研究一致^[11,12].

4.2 第 2 个 MCS(J)回波演变特征

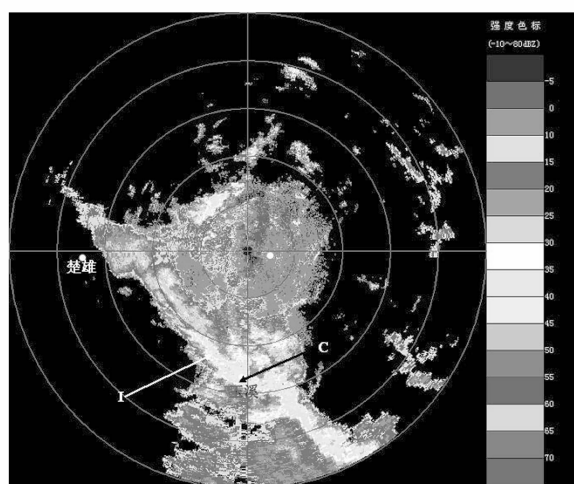
4.2.1 强度场特征 14:00 之后,对流回波又开始活跃起来,开始进入雷电活动的第 2 个高峰期,其中 14:56 在雷达站东部,从曲靖地区、红河北部到玉溪东部形成了 1 条 NNE—SSW 带状回波,整体回波西移,回波强度达 45~50 dBz.这条带状回波在西移过程中,16:00 之后未过雷达站,就开始减弱,而其前侧在雷达站西部和南部出现了 1 条更强的带状回波,形成 MCS(J),J 近似呈 N—S 向排列.16:23(图 6e)J 具有弓型带状回波的特征,主要分布在楚雄州和玉溪地区,长约 300 km,回波强度达 50~55 dBz,J 范围大,强度强,继续偏西移,造成滇中高雷电密度和最强雷电活动期.17:07 到了楚雄州的大姚北部、牟定、双柏和玉溪地区的新平一线,J 北段经过大姚县过程中,回波强度 45~55 dBz,造成大姚县发生 4 起雷击事件,4 人死亡.20:40 之后 J 减弱西移出探测范围,造成的雷电活动也减弱.因此中尺度对流系统 J 西移主要影响了曲靖、红河、昆明、楚雄、大理、玉溪和普洱东北部等地区,使这些地区大部分地方除出现强烈雷电外,大姚县出现雷击 4 人死亡的现象,还伴随了暴雨、冰雹、大风等天气现象;加上这个 MCS 范围大,强度强,造成比较强烈的雷电现象,这也是此过程闪电高峰出现在 15:00~20:00 之间和造成滇中高雷电密度的原因.



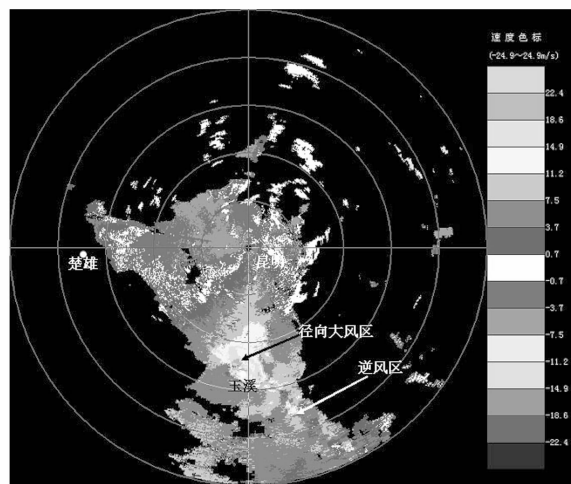
(a) 2:55 反射率因子



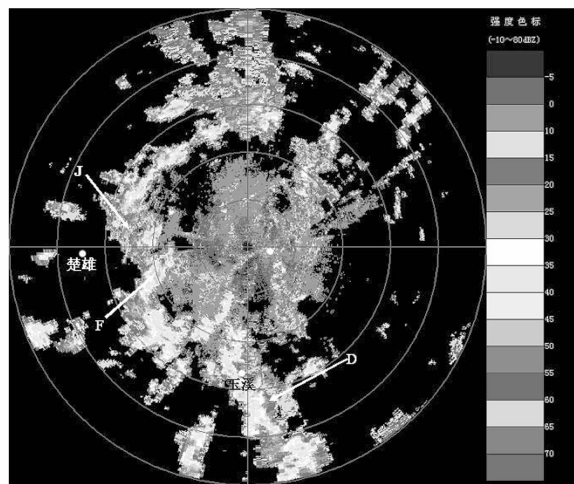
(b) 2:55 径向速度



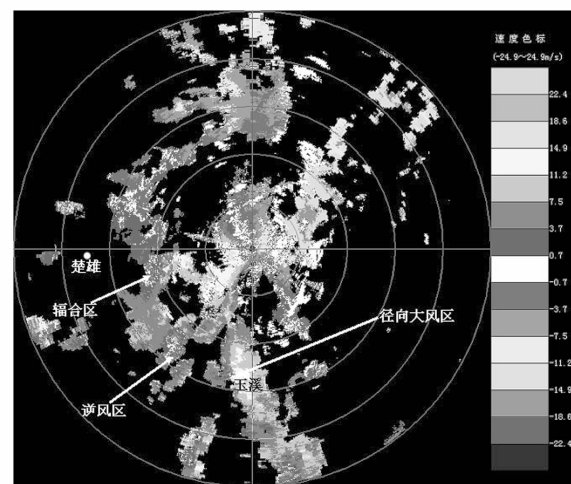
(c) 5:01 反射率因子



(d) 5:01 径向速度



(e) 16:23 反射率因子



(f) 16:23 径向速度

图 6 2006 年 7 月 17 日在 150 km 探测范围内雷达回波演变(单位: dBZ 和 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, 仰角为 0.5°)

Fig. 6 The radar echo evolution in 150 km on July 17, 2006 (Unit: dBZ and $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, the elevations are 0.5°)

4.2.2 径向速度场特征 在 16:23 多普勒速度场(图 6f)上,零速度线仍为一致的 NNW—SSE 向,环境盛行偏东风,但在 J 上对于强回波区附近出现大径向风速区、逆风区和辐合区等特征,如在玉溪市附近的强回波 D 虽然都处于正速度区中,但存在 $14\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的大径向风速;易门西南部的回波 E 附近在正速度区中存在负速度,具有逆风区特征;在禄丰县西南部的强回波 F 附近,东部离雷达近一侧为正速度,并且出现 $13.6\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 大径向风速,而离雷达远的一侧西部为负速度,同时存在风向辐合和大径向风速,这正是对应最强雷电区域和最强雷电活动阶段,全省 1 h 发生了 6 500 次闪电回击. 17:07 之后 J 北段经过大姚县始终存在着风向的辐合,造成大姚县发生 4 人死亡的雷击现象,而南段经过新平县等地的回波维持 $16\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上的大径向风速,沿途也产生强烈的雷电现象.

4.3 第 3 个 MCS(K)回波演变特征

4.3.1 强度场特征 19:40 在雷达站东部又生成第 3 个 MCS(K),在曲靖地区、昆明东部到玉溪东北一线,呈 NNE—SSW,回波强度在 40 dBz 左右,长约 200 km,大约 21:35 过雷达站,之后继续偏西移,影响区域同前 2 个 MCS,产生持续第 2 个雷电过程的第 3 次雷电过程,但 K 回波相对弱,产生的雷电活动也相对较弱.

4.3.2 径向速度场特征 在多普勒速度场上最大特点是:19:40 之后零速度线基本维持 NNW—SSE 向,表明环境盛行偏东风,但在高空(距离雷达 1 km 以上)出现 $16\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的偏东风和 MCS 上有逆风区结构.

由此可见风场的辐合、风垂直切变、逆风区以及大径向速度维持等中尺度特征有利于 MCS 上对流单体回波的发展,产生强烈雷电活动;此次强烈雷电过程是由 3 个 MCS 先后自东向西或自东北向西南影响我省造成的,主要影响滇中地区,造成这些区域的高雷电密度,并产生了 2 个闪电高峰期,回波强度在 40~55 dBz 之间,尤其第 2 条弓型状的 MCS 最强,造成的雷电现象也最强烈.

5 结 论

(1) 2006 年 7 月 17 日低纬高原地区发生了 1 次强雷暴天气过程,伴随强烈雷电活动,强烈雷电

使部分地区发生了雷击灾害,造成多人死亡.闪电定位网共监测到 33 125 闪电回击,闪电高密度出现在滇中,在 $0.1^\circ\text{E}\times 0.1^\circ\text{N}$ 面积上 24 h 闪电密度最大达 594 次;出现了 2 个闪电峰值,闪电最高峰出现在午后 16:00~17:00 之间,次高峰出现在凌晨 04:00~05:00 之间.

(2) 高层较强的东北气流引导冷空气南下,同时低层辐合区和高低层之间风向切变的存在都为强雷暴天气的发生提供了有利的环流背景;在 700 hPa 上云南处于 $K\geq 40^\circ\text{C}$ 和 $\theta_{\text{se}}\geq 82^\circ\text{C}$ 中,高 K 指数和高 θ_{se} 提供了充足的能量条件和热力条件,极易诱发强对流雷暴天气的发生;减弱台风形成的低压辐合区外围的东北或偏东气流携带了充沛水汽为强对流雷暴天气的形成提供了有利的水汽条件;SI 在 $-3.0\sim -4.5^\circ\text{C}$ 之间的强烈热力不稳定和中低层上升运动对雷暴天气的形成提供了足够的抬生动力条件.

(3) 此次强烈雷电过程是由 3 个中尺度对流系统(MCS)先后自东向西或自东北向西南影响我省造成的,回波强度在 40~55 dBz 之间,3 个 MCS 主要影响滇中地区,造成这些区域的高雷电密度分布,并产生了 2 个闪电高峰期,尤其第 2 条弓型状的 MCS 最强,造成的雷电现象也最强烈,产生了闪电最高峰;风场辐合、逆风区、风垂直切变、大的径向速度维持等中尺度特征都有利于 MCS 上对流回波的发展,引起雷暴天气和雷电现象的发生.

参考文献:

- [1] 许小峰,郭虎,廖晓农,等.国外雷电监测与预报研究[M].北京:气象出版社,2003.
- [2] 许键明,孙家栋.中国气象事业发展战略研究——气象与国家安全卷[J].北京:气象出版社,2004.
- [3] 张腾飞,马翔联,鲁亚斌,等.“20030816”云南暴雨过程的中尺度分析[J].云南大学学报:自然科学版,2006,28(2):136-143.
- [4] 张腾飞,段旭,鲁亚斌,等.云南一次强对流冰雹天气过程的环流背景及其多普勒雷达特征分析气象[J].高原气象,2006,25(3):531-538.
- [5] 许美玲,段旭,孙绩华,等.与低空气流相伴的暴雨天气诊断分析[J].云南大学学报:自然科学版,2004,26(4):320-324.
- [5] 张义军,孟青,KREHBIEL P R,等.超级单体雷暴中

- 闪电 VHF 辐射源的时空分布特征[J]. 科学通报, 2004,49(5):499-505.
- [6] 张义军,言穆弘,张翠华. 甘肃平凉地区正地闪特征分析[J]. 高原气象,2003,22(3):295-300.
- [7] 冯桂力,鄯秀书,周筠君. 一次中尺度对流的闪电演变特征[J]. 高原气象,2006,25(2):220-228.
- [8] QIE Xiu-shu, YAN Mu-hong, GUO Chang-ming, et al. Lightning data and study of thunderstorm nowcasting [J]. ACTA Meteor Sin, 1993, 7: 244-256.
- [10] 尹丽云,许迎杰,张腾飞,等. 云南雷暴的时空分布特征分析[J]. 灾害学,待刊.
- [11] 张沛元,陈荣林. 多普勒速度图上的暴雨判据研究[J]. 应用气象学报,1995,6(3):371-374.
- [12] 伍志方,张春良,张沛源. 一次强对流天气的多普勒雷达特征分析[J]. 高原气象,2001,20(2):202-207.

Analysis of “20060717” strong thunderstorm process over lower latitude plateau of China

ZHANG Teng-fei^{1,2}, DEN Yong³, XIE Yi-ran², XU Ying-jie²,
XU Kai², LIU Xue-tao², YIN Li-yun²

(1. Department of Atmospheric Science, Yunnan University, Kunming 650091, China;

2. Yunnan Lightning Study and Protection Center, Kunming 650034, China;

3. Meteorological Bureau of Yunnan Province, Kunming 650034, China)

Abstract: By using monitoring data of lightning detection system, atmosphere electric field apparatus and the Dopplar weather echo radar and MICAPS $1^\circ \times 1^\circ$ object analysis field, the strong thunderstorm process over Lower Latitude Plateau (Yunnan Province) on July 17, 2006 is analysed. The results show that the advantageous circulation background of convergence field on the middle and low layer and wind direction shear from the low layer to the upper layer is supplied for the strong thunderstorm weather process, and the advantageous ambient condition of high energy and high humidity, strong instability and ascending motion are also supplied. The lightning detection net monitored 33 125 lightning return strokes, high density was in mid-Yunnan, the most density was 594 at $0.1^\circ\text{E} \times 0.1^\circ\text{N}$ for 24 h, and lightning fastigium was from 16:00 to 17:00. On Dopplar radar there were 3 mesoscale convective systems(MCS) affecting Yunnan, echo intensity was from 40 to 55 dBz, and the mesoscale feature of the wind convergence, areas of the contrary wind and the large radial velocity were advantaged to the development of convective echoes, arousing thunderstorm weather and thunder phenomenon.

Key words: thunderstorm; lightning detection system; the Dopplar weather echo radar; MCS