

2007年5~8月云南省雷电活动特点和致灾因子分析^{*}

张腾飞^{1,2}, 尹丽云², 许迎杰², 刘雪涛², 徐开², 谢毅然²

(1. 云南大学资环学院 大气科学系, 云南 昆明 650034; 2. 云南省雷电中心, 云南 昆明 650034)

摘要: 对2007年5~8月雷电活动及其灾害成因进行了分析, 结果表明: 云南雷电活动频繁, 但空间分布不均匀; 雷电活动的时间分布基本呈一峰一谷变化, 峰值出现在17~18时, 谷值出现在10~11时; 雷击灾害发生的可能性不但与闪电频数有关, 还与闪电强度有关, 闪电一般发生在回波强度 ≥ 40 dBz、组合反射率 ≥ 45 dBz、回波顶高 ≥ 12 km的具有典型强对流特征的区域; 回波强度越强、顶高越高, 发生雷电的可能性越大, 出现的雷电灾害越严重; 低槽切变、两高辐合型北方系统以及南海低压、热带辐合带型、西行台风型南方热带系统为雷电的发生发展提供了有利的环流背景以及动力、热力或者水汽条件; 雷电发生在 $SI < 0^\circ\text{C}$ 和 $\theta_{se850} - \theta_{se500} > 6^\circ\text{C}$ 的强烈对流不稳定区域内。

关键词: 2007年; 雷电活动; 致灾因子; 云南

中图分类号: P427.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-811X(2009)01-0073-07

0 引言

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、强电磁辐射的灾害性天气现象^[1]。雷电会引起人员伤亡和工农业生产减产, 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、山体滑坡等的一大气象地质灾害^[2], 严重威胁着社会公共安全和人民生命财产安全。近年来, 全国陆续建设雷电监测网, 开展雷电监测预警预报工作, 雷电监测与预警预报研究倍受重视。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, 本人^[3]曾利用多种探测资料对云南2006年7月17日强雷暴天气过程进行了分析研究, 认为雷暴天气过程是在有利的大尺度背景下由中尺度对流系统(MCS)直接产生的; 冯桂力等人^[4]对一次中尺度对流的闪电演变特征进行了分析, 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^[5]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; 郝莹

等^[6-7]进行雷暴潜势预报分析研究, 认为利用雷暴相关性好的对流参数作为预报因子, 预报准确率较高。

雷电的发生和雷电的性质与局地的天气、气候、地形、地貌特征等密切相关^[8], 由于特殊的地理条件和气候背景, 云南是全国雷暴高发区, 全年不同时期都会有不同程度的雷电灾害事故发生, 其中5~8月由于有充沛的水汽和热力条件, 是云南雷电的高发期, 也是雷电灾害的高发期^[9]。2007年云南雷电活动频繁, 雷电灾害比较严重, 本文综合利用常规气象观测、闪电定位系统监测、多普勒天气雷达加密观测资料, 对云南2007年5~8月雷电灾害以及成因进行了分析, 尤其重点分析2007年5月27~30日、6月23~26日、7月11~12日、8月8~12日的4次雷电过程, 以期对云南的雷电监测预警提供科学依据。

1 雷电活动特点

根据云南雷电定位监测网的探测资料, 全省范围内2007年5~8月共发生闪电283 553次, 每天均有不同程度的雷电活动发生, 但雷电活动的

^{*} 收稿日期: 2007-07-17

基金项目: 2006年中国气象局研究型业务项目《云南省雷电监测预警业务系统的研究开发》; 云南省科技攻关及高新技术计划(2006SG25)

作者简介: 张腾飞(1966-), 女, 云南大理人, 在读硕士, 高级工程师, 主要从事灾害性天气和大气电学方面的研究。

E-mail: tfzhang@21cn.com

空间和时间分布不均匀。

1.1 雷电活动时间分布

5~8月云南省雷电活动具有时段性特点,主要发生在5月27~30日、6月23~26日、7月11~12日、8月8~11日4个时段内,14天内监测到的闪电总数114 401次,占2007年5~8月闪电总数的40.3%。在这4个时段内的雷电活动导致曲靖、文山、版纳、昆明、楚雄等地出现了24起

严重的雷电灾害事故。同时从闪电发生的日分布来看(图1),2007年5~8月云南雷电活动的日分布基本呈一峰一谷变化,峰值出现在17~18时,谷值出现在10~11时,变化趋势与我省多年平均雷暴时间分布基本一致,这主要由于午后强烈的太阳辐射,能量逐渐累积,局地对流加强,雷电活动开始剧增,至17~18时达最大值,1h闪电次数达34 299次,随后又逐渐减弱。

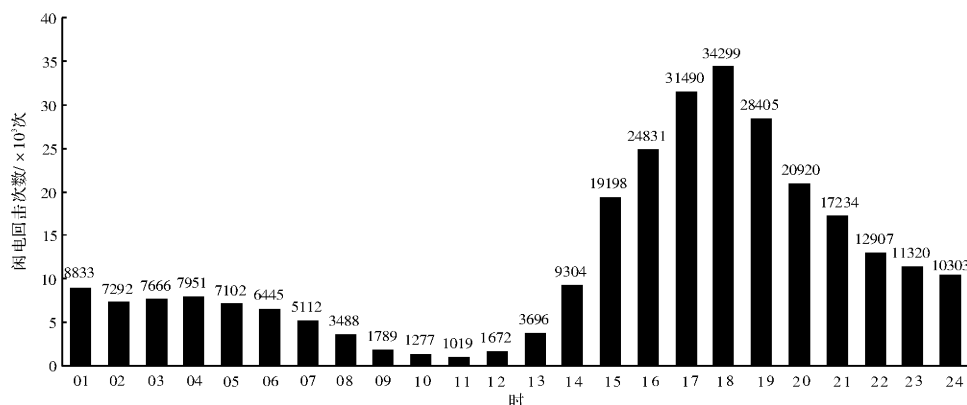


图1 2007年5~8月雷电时间分布

1.2 雷电活动的空间分布

通过分析2007年5~8月全省10 km × 10 km面积上的闪电频数分布(图略)发现,闪电主要发生在滇东、滇中和滇南,其中闪电活动高频数区在滇中及其以东的昆明、楚雄、玉溪、红河、曲靖、文山6个地区,滇西北雷电活动相对较少。全省平均5~8月期间闪电频数为0.74次·km⁻²,其中最大闪电频数为6.59次·km⁻²,出现在云南中部的昆明地区;最小闪电频数为0次·km⁻²,出现在云南西北部的迪庆和怒江地区。从表1中各州(市)闪电数统计可以更清楚地看出,云南雷电活动主要出现在曲靖、文山、红河、楚雄、昆明、普洱等地区,其中以曲靖地区为最多,共监测到闪电数49 308次,占全省闪电总数的17.4%。闪电最少为怒江州,仅监测到闪电数455次,为曲靖地区的1%。

由此可见,2007年5~8月全省雷电活动频繁,但空间和时间分布不均匀,每天集中出现在午后到傍晚时段;频发区域在滇中、滇东和滇南地区,这与云南特殊的地形地貌和地理位置有关。

2 雷电灾害与闪电频数和闪电强度的关系分析

2.1 5~8月雷电灾害与闪电频数和闪电强度的关系

据不完全统计,2007年5~8月全省共发生

雷电灾害事故136起,共造成58人死亡58人受伤,人员伤亡事故分布在昭通、曲靖、文山、昆明、楚雄、大理、玉溪、红河、版纳、德宏、保山等11个地区(表1),集中出现在滇中的昆明、楚雄、大理、玉溪及其以东的昭通、曲靖、文山、红河等地区,发生在这个区域的雷击死亡人数占全省的雷击死亡人数的93%。可见雷电灾害分布也不均匀,主要发生区与雷电活动频发区相吻合。

比较2007年5~8月雷击死亡人数分布与闪电频数分布的关系可以看出,闪电发生高频区域的昆明、楚雄、曲靖、文山、玉溪、红河也是雷击死亡人数的密集区,因此雷击死亡人数与闪电频数有较好的对应关系。进一步分析16个地区的闪电特征(目前闪电定位网监测到的闪电各特征值精度是一个理论值,因此闪电监测设备测量值可能需要进行权威标定)发现,5~8月期间闪电频数≥1.2次·km⁻²的地方,发生雷击伤亡的人数多,曲靖、昆明、文山和楚雄是发生闪电频数最大的4个地区,发生的雷击伤亡人数也较多,如2007年5~8月曲靖市闪电频数最大,为1.7次·km⁻²,雷击伤亡人数最多,为28人,其中死亡人数也较多为9人;昆明、文山、楚雄的雷击死亡人数分别为6人、9人、10人。但滇东北的昭通闪电频数不高,而雷击伤亡人数却较多,为19人,其中死亡

9 人, 通过分析闪电强度可以发现, 昭通的平均闪电电流强度最强, 正地闪达到 72.0 kA, 负地闪达到 -72.2 kA, 因此虽然昭通闪电频率不高, 但由

于闪电的电流强度大, 同样造成大的雷击伤亡事件, 雷击伤亡人数与闪电频数的对应关系不好, 但与闪电强度却有极好的相关性。

表 1 2007 年 5~8 月各州市雷击死亡/伤亡人数与闪电特征值关系

州(市)	死亡/伤亡人数	地闪总数	密度 (次/km ²)	负地闪数	平均强度 /kA	最大强度 /kA	正地闪数	平均强度 /kA	最大强度 kA	>100 kA 次数	<30 kA 次数
楚雄	10/3	35 345	1.24	34 576	-33.7	-328.2	769	56.1	707.6	603	18 535
曲靖	9/19	49 308	1.70	47 619	-37.5	-360.2	1 689	59.9	264	763	17 253
昭通	9/10	7 980	0.36	7 641	-72.2	-357.4	339	72.0	200.1	1023	805
文山	9/3	40 641	1.29	39 223	-33.9	-279.9	1418	51.8	221.5	620	20 798
昆明	6/3	33 869	1.61	33 234	-29.5	-361.1	635	52.4	339.3	319	21 847
玉溪	5/1	14 503	0.97	13 940	-28.8	-233.7	563	49.4	265.4	196	9 624
大理	4/7	7 903	0.28	7 497	-36.2	-319.7	406	53.8	700.3	195	3 732
版纳	2/12	9 960	0.52	9 545	-35.5	-291.7	415	49.2	230.1	210	4 934
红河	2/0	35 364	1.10	33 902	-31.4	-414.4	1 462	50.2	279.6	582	21 417
保山	1/0	4 138	0.22	3 944	-32.3	-433.4	194	50.0	251.9	57	2306
德宏	1/0	1 357	0.12	1 074	-37.5	-303.8	283	59.7	277.5	57	568
普洱	0/0	25 474	0.57	24 428	-36.5	-326.3	1 003	54.0	271.2	818	13 255
临沧	0/0	4 866	0.21	4 673	-32.1	-195	193	47.8	351.2	75	2 819
丽江	0/0	11 070	0.54	10 581	-44.0	-498.1	489	49.9	268.2	344	2 708
迪庆	0/0	1 320	0.06	1 159	-42.8	-271.5	161	48.1	237.4	56	495
怒江	0/0	455	0.03	464	-42.2	-420.1	34	54.8	286.1	23	174

2.2 3 次雷电过程雷电灾害与闪电频数和闪电强度的关系

通过对 2007 年 5 月 27~30 日、6 月 23~26 日和 8 月 8~11 日(表 2)时间段一致的 3 次雷电过程的闪电强度、总地闪数和伤亡人数进行对比分析, 发现在 3 次过程中正负地闪平均强度都差不多, 负地闪平均强度在 -33.5~-31.4 kA, 正地闪平均强度在 50.7~54.3 kA。从发生地闪的情况来看, 8 月 8~11 日发生的总地闪最多, 为 43 286 次, 但发生的雷击伤亡人数仅仅 3 人, 明显比其它 3 次雷击伤亡人数少。通过分析 3 次过程的正负地闪的最大电流强度发现, 5 月 27~30 日、6 月 23~26 日负地闪最大强度较大, 分别达到 -360.2 kA、-361.1 kA, 明显高过 8 月 8~11 日最大负地闪的

强度, 而 5 月 27~30 日正地闪最大强度也最大, 达 700.3 kA。进一步对这 3 次过程的 10 km×10 km 雷电频数分布分析, 发现前 2 次过程雷电分布具有区域性, 主要分布在滇中以东和以南地区; 而 8 月 8~11 日雷电分布范围广, 分布在除滇西北以外的全省大部分地区。因此前 2 次过程虽然闪电次数相对 8 月 8~11 日较少, 但由于闪电强度较强, 造成雷击伤亡人数比较多, 加之由于前两次过程属非全省性雷电过程, 雷电发生的区域和时间相对集中, 每天集中出现在午后的滇中以东和以南地区, 短时内局部地区出现较高的闪电频数, 这也是造成雷击伤亡人数较多的原因, 而 8 月 8~11 日是全省性雷电过程, 雷电活动区域和时间上的分散大大降低了雷击造成人员伤亡事故的可能性。

表 2 2007 年 5~8 月 3 次雷电天气过程的闪电强度对比

时间	死亡/伤亡人数	总地闪数	负地闪数	平均强度 /kA	最大强度 /kA	正地闪数	平均强度 /kA	最大强度 /kA	>100kA 次数	<30 kA 次数
5 月 27~30 日	8/9	24 141	23 554	-31.4	-360.2	587	50.7	700.3	199	13 646
6 月 23~26 日	7/9	30 793	29 696	-33.5	-361.1	1 097	54.3	230.2	381	15 218
8 月 8~11 日	3/0	43 286	42 070	-33.0	-291.7	1 216	52.6	325.5	547	23 196

可见云南省雷击伤亡人数的多少不但与闪电频数有关, 还与闪电强度有密切关系。通常闪电

频数较高的区域发生雷击灾害的可能性较大, 但有时闪电频数虽然不高, 由于闪电的电流强度较

大,也易引起雷击灾害。

3 雷电发生的雷达回波特征分析

利用全省 6 部 CC/3830 多普勒天气雷达资料分析了 2007 年 5~8 月雷电过程的雷达回波特征。2007 年 5~8 月产生雷电的回波往往都是由多单体对流回波、混合型降水回波中的对流回波单体造成的,具有典型的强对流天气的特征,回波强度一般在 40 dBz 以上,组合反射率一般在 45 dBz 以

上,回波顶高往往超过 12 km。

图 2 给出了 6 月 24 日和 7 月 12 日 2 个雷电日的多普勒天气雷达监测产品(组合反射率和回波顶产品)与闪电定位数据叠加图。从 6 月 24 日 22:41 普洱市多普勒天气雷达组合反射率(图 2a)和回波顶产品(图 2b)与闪电定位数据叠加看出,雷电是由多单体对流回波(短带状回波)造成的,发生雷电的区域组合反射率达 55~65 dBz,回波顶达 15 km 以上,对流发展异常旺盛,6 月 24 日雷电引起人员伤亡是最重的,雷击发生 6 起,造成 6 人死亡,9 人受伤。

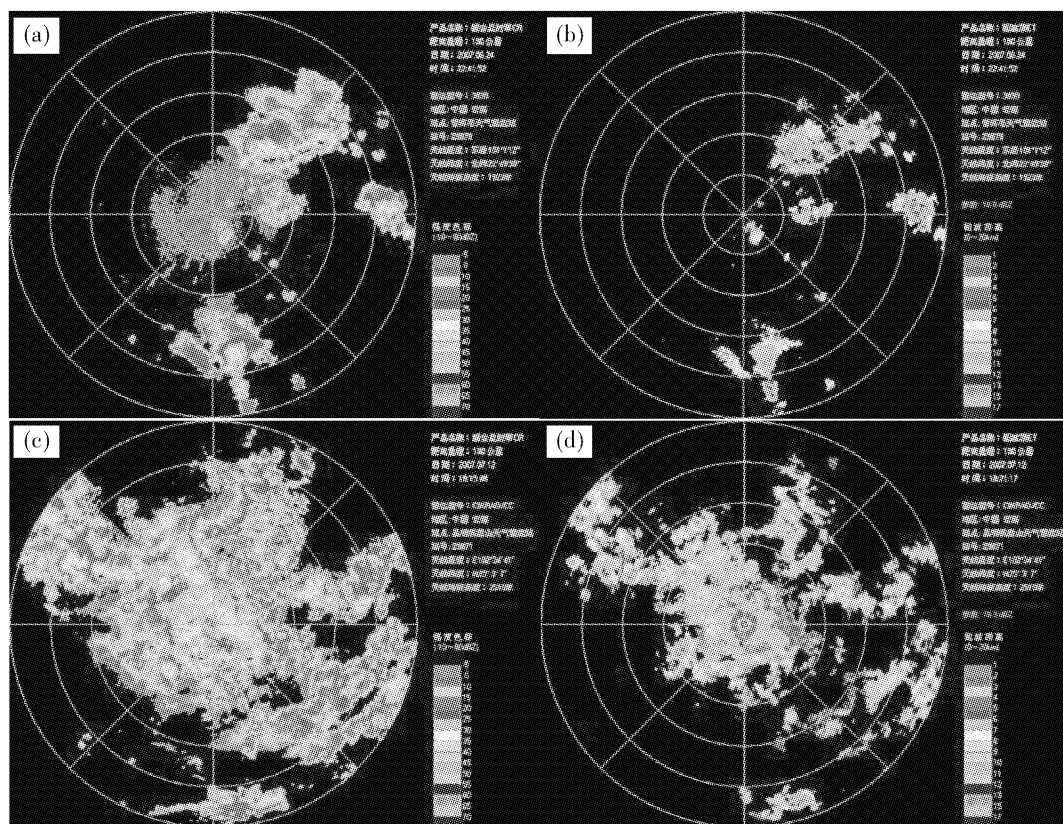


图 2 普洱市 6 月 24 日 22:41 多普勒天气雷达组合反射率(a)、回波顶(b)产品与闪电数据的叠加以及昆明市 7 月 12 日 18:26 多普勒天气雷达组合反射率(c)、回波顶(d)产品与闪电数据的叠加
(蓝色-代表负地闪 红色+代表正地闪)

分析昆明多普勒天气雷达 7 月 12 日 18:26 的组合反射率(图 2c)和回波顶(图 2d)与闪电定位数据叠加图发现,这次雷电过程是由混合型降水回波中的强对流单体造成的,组合反射率达 45 dBz 左右,并且在对流发展旺盛的地区,即回波顶高超过 12 km 的区域基本上都有闪电发生,回波面积大、持续时间长,整体回波自东北向西南移动,但相对前一次过程的雷达回波强度偏弱,因此尽管此次过程发生的雷电次数高,但雷灾不如前一次严重。

由此可见,多普勒天气雷达监测产品的强度与闪电的发生有较好的对应关系,闪电均集中在

回波顶高高且强度强的具有典型强对流特征的区域,回波强度越强、顶高越高,发生雷电的可能性越大,出现的雷电灾害越严重。

4 雷电发生的环境条件分析

4.1 地形和地理位置条件

雷电是由雷暴云带电而形成的,是雷暴云中不同符号荷电之间的放电过程^[10]。通常我们认为雷电的形成是由于大气中热空气上升,与高空冷空气产生摩擦,从而形成了带有正负电荷的小水

滴。当正负电荷累积达到一定的电荷值时, 会在带有不同极性的云团之间以及云团对地之间形成强大的电场, 从而产生云团对云团和云团对地的放电过程。

云南地处低纬高原地区, 一年四季得到的太阳光热较多, 太阳光照射地面后, 利于形成局地强对流雷暴天气, 产生雷电过程, 这也是造成云南多雷电的原因。但是云南地势自西北向东南呈阶梯状逐级下降, 滇西北地势险峻, 是有名的横断山脉, 不利于北方冷空气从此侵入, 滇中为地形波状起伏, 属起伏缓和的低山丘陵, 滇东南、南部为地势最低的地区, 因此云南的地形呈喇叭口的形式, 向东南方向开口。由于云南特殊的地形条件及南北气候的差异, 云南的水汽主要来源于西南部的孟加拉湾和东南部的中南半岛、南海一带, 而冷空气主要从滇东北进入, 因此一方面滇东南、南部是云南主要的热带、亚热带区域, 温湿条件较好, 一旦有抬升动力条件(如高层冷空气), 就利于形成雷电; 第二方面, 从南部来的暖湿气流和从东北部来的冷空气进入我省后会受到重重高山的阻挡, 尤其是西北部高山的阻挡, 冷暖空气利于在滇中及以东以南的区域交汇, 容易产生雷电; 第三方面两股气流进入云南后处于高山的迎风坡, 随着地形逐渐自南向北和自东向西的升高, 暖湿气流就会抬升, 形成对流不稳定, 易产生雷电天气。

云南特殊的地形地貌和地理位置是造成 2007 年 5~8 月云南多雷电活动但分布不均匀特征的重要因素之一, 雷电高发区域主要出现在滇中、滇东和滇南地区。

4.2 天气系统背景条件

通过对 5~8 月的雷电过程进行分析发现, 造成云南雷电的主要环流形势可以归纳为 2 大类 5 种类型, 北方系统类和南方热带系统类, 其中北方系统类包括低槽切变和两高辐合, 而南方系统类包括西行台风、热带辐合带和南海低压, 有时会出现北方系统和南方热带系统相互配合影响。5 月 27 日和 8 月 11 日是其中的 2 次雷电过程, 5 月 27 日主要受北方低槽切变系统影响, 8 月 11 日是受南方热带辐合带系统。下面分别对这 2 次雷电过程的天气背景和气象条件进行分析。

沙氏指数(SI)和 $\frac{\partial\theta_{se}}{\partial p}$ 是衡量大气稳定度的重要判别指标, 当 $SI < 0^{\circ}\text{C}$ 和 $\frac{\partial\theta_{se}}{\partial p} > 0^{\circ}\text{C}$ 表征大气不稳定,

$SI > 0^{\circ}\text{C}$ 和 $\frac{\partial\theta_{se}}{\partial p} < 0^{\circ}\text{C}$ 表征大气为稳定的。

4.2.1 5 月 27 日北方系统类雷电过程

在 5 月 27 日 08 时高层 500 hPa 上, 青藏高原东南侧从格尔木、甘孜到巴塘有一低槽, 后部为西北气流, 随着低槽东南移, 引导高层冷空气向东南移; 在低层 700 hPa 上, 从宜宾、威宁到丽江有一川滇切变线生成, 后部为 312 dagpm 的高压环流。因此高层低槽东南移, 后部偏北风携带冷空气, 促使中低层川滇切变线的形成和东南移, 导致滇中及以东强烈雷电活动, 低槽切变系统为此次雷电过程的发生发展提供了动力抬升条件和冷空气条件。

为了更清楚地揭示云南雷电发生的环境条件, 本文对 SI 分布和 $\theta_{se850} - \theta_{se500}$ 分布进行分析。图 3a、b、c 分别给出了 5 月 27 日 08:00~20:00 全省 10 km × 10 km 面积上的闪电频数分布实况、08 时的 SI 分布和 $\theta_{se850} - \theta_{se500}$ 分布。从图 3a 可以看出, 5 月 27 日 08:00~20:00 发生的闪电是区域性的, 主要发生在滇中到滇东南的文山、昆明、曲靖和红河北部一带。在 SI 的分布(图 3b)上滇中到滇南 $SI < 0^{\circ}\text{C}$, 表示这些区域处于不稳定大气中, 这就给强对流雷电天气的发生发展提供了充分的不稳定条件, 而滇中以北和以西地区 $SI > 0^{\circ}\text{C}$, 表示该区域为稳定的大气控制, 云南的北部和四川南部区域出现 SI 密集线, 表征两种气团(稳定大气和不稳定大气)之间的过渡, 可见雷电主要发生在 $SI < 0^{\circ}\text{C}$ 的不稳定区域; 由 $\theta_{se850} - \theta_{se500}$ 的分布(图 3c)可以看出, 云南除了北部地区 $\theta_{se850} - \theta_{se500} < 0^{\circ}\text{C}$ 外, 全省大部地区 $\theta_{se850} - \theta_{se500} > 0^{\circ}\text{C}$, 并且从滇中到滇东南形成了一条大值带, $\theta_{se850} - \theta_{se500} > 6^{\circ}\text{C}$, 雷电正是发生在这些大值区域内, 即发生在强烈的对流不稳定区域内。

4.2.2 8 月 11 日热带系统类雷电过程

在 8 月 10~11 日 08:00 中高层 500 hPa 和 700 hPa 上, 南海低压生成, 偏北移动, 同时在 18°N 附近形成热带辐合带, 云南处在南海低压西北侧和热带辐合带北侧偏东气流或者东北气流的控制下, 并且分析 K 指数场发现, 全省大部 $K \geq 40^{\circ}\text{C}$, 都处于高能高湿区域中。因此南海低压的生成和热带辐合带异常活跃为雷电的发生提供了有利暖湿条件。

同样图 3d、e、f 分别给出了 8 月 11 日 08:00~20:00 全省 10 km × 10 km 面积上的闪电频数分布、08:00 的 SI 分布和 $\theta_{se850} - \theta_{se500}$ 分布。从图 5d

可以看出, 8 月 11 日 08:00 ~ 20:00 发生的闪电是全省性的, 发生在除滇西边缘和滇东北外的全省大部份地区。从 8 月 11 日 08:00 的 SI 分布和 $\theta_{se850} - \theta_{se500}$ 分布看出, 不稳定范围和强度明显大于

5 月 27 日, 全省都处于强烈不稳定大气中, 全省大部地区 $SI < -1.5^{\circ}\text{C}$, $\theta_{se850} - \theta_{se500} > 10^{\circ}\text{C}$ 。由此可见, 全省性的高能高湿和强烈不稳定造成了此次全省性的雷电过程。

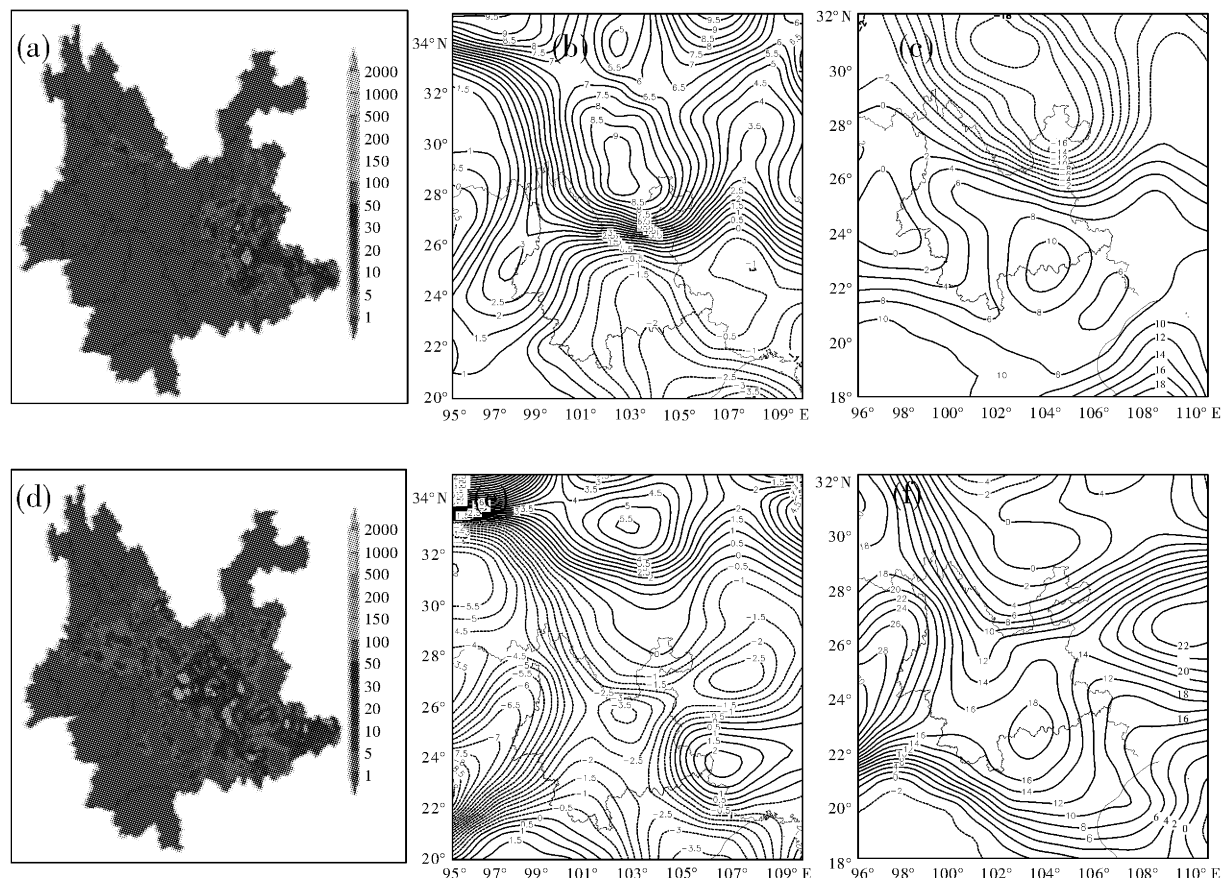


图3 5 月 27 日 08:00 ~ 20:00 10 km \times 10 km 面积上闪电频数分布(a)、08 时的 SI 分布(b)和 $\theta_{se850} - \theta_{se500}$ 分布(c)以及 8 月 11 日 08:00 ~ 20:00 头电密度分布(d)、08 时的 SI 分布(e)的 $\theta_{se850} - \theta_{se500}$ 分布(f) (单位: $^{\circ}\text{C}$)

综上所述, 低槽切变、两高辐合型北方系统以及热带南海低压、热带辐合带型热带、西行台风型南方热带系统都能为雷电的发生提供动力、热力或者水汽条件, 但不论是那种类型, 雷电的发生发展与大气稳定度密切相关, 雷电正是发生在 $SI < 0^{\circ}\text{C}$ 和 $\theta_{se850} - \theta_{se500} > 6^{\circ}\text{C}$ 的强烈不稳定区域内。

5 结论

(1) 2007 年 5 ~ 8 月云南雷电活动空间分布不均匀, 雷电活动主要出现在滇东、滇中和滇南地区, 这主要与云南地处低纬高原、地势自西北向东南呈阶梯状逐级下降、滇西北地势险峻的特殊地形地貌和地理位置有关; 雷电活动的时间分布基本呈一峰一谷变化, 峰值出现在 17 ~ 18 时, 谷值出现在 10 ~ 11 时, 这主要由于午后强烈的太阳

辐射, 能量逐渐累积, 局地对流加强, 雷电活动开始剧增, 至 17 ~ 18 时为最大值, 随后又逐渐减弱。

(2) 雷电灾害发生的区域与雷电主要活动区域相吻合, 主要也发生在滇中及滇东地区。闪电频数较高区域发生雷击灾害的可能性较大, 但有时虽然闪电频数不高, 由于存在电流强度较大的闪电, 也易引起雷击灾害, 因此雷击伤亡人数不但与闪电频数有关, 还与闪电强度有密切关系。

(3) 雷电往往都是由多单体对流回波、混合型降水回波中的对流回波单体造成的, 闪电均集中在具有典型强对流特征的区域, 回波强度一般在 40 dBz 以上, 组合反射率一般在 45 dBz 以上, 回波顶高往往超过 12 km, 并且回波强度越强、顶高越高, 发生雷电的可能性越大, 出现的雷电灾害越严重。

(4) 低槽切变、两高辐合型北方系统以及南海

低压、热带辐合带型热带、西行台风型南方热带系统为雷电发生发展提供了有利的环流背景以及动力、热力或者水汽条件, 雷电正是发生在 $<0^{\circ}\text{C}$ 和 $>6^{\circ}\text{C}$ 的强烈对流不稳定区域内。

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: 271–397.
- [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[M]. 北京: 气象出版社, 2004: 133–137.
- [3] 张腾飞, 邓勇, 谢毅然, 等. “20060717”低纬高原强雷暴天气过程分析[J]. 云南大学学报: 自然科学版, 2008, 30(2): 166–174.
- [4] 冯桂力, 鄢秀书, 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.
- [5] Qie Xiushu, Yan Muhong, Guo Changming et al. Lightning data and study of thunderstorm nowcasting [J]. ACTA Meteor Sin, 1993, (7): 244–256.
- [6] 郝莹, 姚叶青, 陈焱, 等. 基于对流参数的雷暴潜势预报研究[J]. 气象, 2007, 33(1): 51–57.
- [7] 赵秀英 吴宝俊. 风暴强度指数[J]. 气象, 2000, 26(5): 55–56.
- [8] 李亚丽, 杜继稳, 鲁继平, 等. 陕西雷暴灾害及时空分布特征[J]. 灾害学, 2005, 20(3): 99–102.
- [9] 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, 2007, 22(2): 87–92.
- [10] 陈渭民. 雷电学原理[M]. 北京: 气象出版社, 2006: 112–149.

Analysis of Characteristics and Causes of Lightning Activity in May to August of 2007 in Yunnan

Zhang Tengfei^{1,2}, Yin Liyun², Xu Yingjie², Liu Xuetao², Xu Kai² and Xie Yiran²

(1. Department of Atmospheric Science, Yunnan University, Kunming 650034, China;

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

Abstract: The lightning activity and the causes of lightning disaster from May to August of 2007 are analyzed. The results show that lightning activity is frequent, but spatial distribution is uneven. The changes of temporal distribution of lightning activity show a peak-low pattern. The peak appears between 17:00 and 18:00 PM and valley appears between 10:00 and 11:00AM. The probability of lightning disaster is not only related to lightning frequency, but also related to lightning intensity. Lightning strikes always takes place in the strong convective region where echo intensity is equal to or greater than 40 dBz, composite reflectivity is equal to or greater than 45 dBz and Echo Top-ET is equal to or greater than 12 km. If the echo intensity is strong and the Echo Top-ET is high, there will be more possibility of lightning occurrence and lightening disaster will become more serious. Yunnan lightning activity occur in the unstable field where SI is bellow 0 and $\theta_{se850}-\theta_{se500}$ is above 6°C by the favorable weather background, such as north systems of trough-shear and two high-pressure convergence, and south tropical systems of Nanhai trough, tropical convergence and typhoon which moves to the east.

Key words: Yunnan; 2007; lightning activity; disaster causes