第 27 卷 第 3 期
2011 年 06 月

热 带 气 象 学 报
JOURNAL OF TROPICAL METEOROLOGY

Vol.27, No.3
Jun., 2011

张腾飞，段旭，张杰，等. 云南强对流暴雨的闪电和雷达回波特征及相关性[J]. 热带气象学报，2011，27(3): 379-386.

文章编号：1004-4965(2011)03-0379-08

云南强对流暴雨的闪电和雷达回波特征及相关性

张腾飞[1]，段旭[2]，张杰[1]，尹丽云[1]，刘磊[1]

（1. 云南省气象台，云南 昆明 650034；2. 云南省气象科学研究所，云南 昆明 650034）

摘　　要：利用闪电监测资料和多普勒天气雷达探测资料，对 2007 年汛期强对流暴雨的闪电和雷达回波特征及相关性进行分析，结果表明：云南大多数暴雨属于强对流性暴雨，而且以负闪电为主，负闪电占总闪电的 90%以上；暴雨日降水量与日闪电数相关小，强的降水不一定有强的闪电活动，但大的日闪频数一般对应的暴雨日降水量大；伴随有闪电活动的强对流暴雨逐时降水量与逐时闪电频数演变曲线具有峰型特征和趋势一致，闪电先于降水之前开始，降水量峰值与闪电频数峰值同相或者落后 1～2 小时，而正闪频数峰值与降水量峰值同相或者落后；径向速度不均匀风场结构存在利于对流回波的发展和闪电的发生，强对流暴雨的闪电活动与强回波区有较好的对应关系，闪电一般发生在反射率因子≥30 dBz 和回波顶≥9 km 的区域。

关　键　词：强对流暴雨；闪电特征；雷达回波；相关性

中图分类号：P426.62　　**文献标识码：**A　　**Doi：**10.3969/j.issn.1004-4965.2011.03.011

1　引　　言

根据经典的雷电学原理[1-2]，大气中通过起电机制生成的正电荷和负电荷被分离到不同的区域，在一定条件下发生放电就产生了闪电现象。一般对流云云顶温度至少低于-20 ℃才会有较活跃的闪电发生，闪电的数目和频率因对流的强弱而有差异，一般来说，对流越剧烈闪电的数目和频率越高。中小尺度强对流灾害性天气按降水和对流的强弱可分为两类：一类是暴雨等强对流天气，另一类是冰雹等强对流天气。大量观测显示，这两类天气产生的闪电特征不同，闪电和对流云中的降水过程有关。随着我国闪电监测系统的建立和闪电数据的积累，有必要进行暴雨、冰雹等强对流天气的闪电特征及其相关性的分析研究。许多科学工作者[3-5]进行了闪电活动与降水、冰雹等天气的统计分析研究，认为降水产生的云地闪中负闪占绝对多数，而冰雹产生的云地闪中正闪的数量可以和负闪相当甚至超过负闪。冯桂力等[6]对雹暴的闪电活动特征与降水结构研究后认为，降雹天气过程的正地闪比例较高，在正地闪频数增加的过程中通常伴有负地闪频数的下降，同时认为对流降水区发生闪电的几率约是层云降水区的20倍以上，可以利用闪电与对流降水的相关性来有效地识别对流降水区。李照荣等[7]研究认为,闪电密度最大中心区出现在降雹位置之前，闪电逐时空间分布标识出冰雹云的发展移动路径。然而Carey等[8]研究发现一些非常强的风暴并没有产生大量的正地闪；Qie等[9]对中国内陆高原地区雷暴的地闪特征进行研究也发现，弱雷暴过程通常存在较高的正地闪发生比例。另外有些学者[10-11]对强风暴的地闪活动特征进行分析发现，一些强风暴产生非常低的地闪频数，而并非通常认为的对流越强，雷暴云中的地闪活动也越强。文献[12-13]则讨论了对流和降水特征的相关，认为强烈的闪电活动与强降雨有很好的对应关系，

收稿日期：2009-10-11；**修订日期：**2010-01-27

基金项目：云南省科技计划项目（2009CA014）“低纬高原雷电自动预警预报方法的研究和应用”；云南省科技攻关及高新技术计划（2006SG25）共同资助

通讯作者：张腾飞，女，白族，云南省人，正研级高级工程师，硕士，主要从事灾害性天气的研究。E-mail：tfzhang@21cn.com

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

而与一般性降雨对应关系较差。林开平等[14]对影响华南的西风带系统和热带系统的各类云系的闪电时空分布特征进行分析研究后认为，西风带系统云系的闪电分布形态特征和范围与热带系统云系有很大的差异。云南地处低纬高原，具有特殊的地形地貌和地理位置特征，雷暴天气频繁，相伴的暴雨频繁且严重[15]。因此本文对2007年汛期强对流暴雨的雷电和雷达回波特征及相关性进行分析，以期为云南暴雨的监测预警提供依据。

2 资料来源

规定某测站 24 小时(20:00—20:00，北京时，下同)日降水量在 50 ~ 100 mm 为暴雨；日降水量在 100 ~ 200 mm 为大暴雨。暴雨又有强对流天气性暴雨和非强对流天气性暴雨之分，一般把伴随有闪电活动的暴雨称为强对流性暴雨。

① 云南闪电定位网监测资料，主要指云-地之间发生的闪电（下同）。闪电定位仪选用中科院空间中心的 ADTD 闪电监测定位系统，通过多个探测子站采用双曲时差技术为主、辅以磁方向定向算法、定向时差的混合交汇算法对闪电发生的时间、强度、位置进行监测和定位。云南闪电定位网由 23 个闪电定位仪组成，能实现全省绝大部分地区（除滇西北迪庆北部）探测精度 400 m、探测效率 90% ~ 95%的理论值分布。

② 日降水量主要收集云南省 124 个气象站地面实况降水资料。根据逐站逐日的降水量统计，2007 年 5 月 1 日—10 月 31 日全省共 263 站次出现了暴雨。

③ 暴雨日逐时降水量是云南省大气监测自动气象站降水观测资料。

3 云南暴雨闪电活动特征及相关性

某一测站的暴雨都由其上空具有一定尺度大小的中尺度云团或者云系造成的，为了解形成暴雨的云团或云系上的闪电活动特征及相关性，选取暴雨测站周围一定范围内闪电情况来进行统计分析，统计时段为暴雨当日 20:00—20:00。根据云南暴雨云团尺度一般具有几十千米到几百千米的特点[16]，闪电统计范围确定为测站周围 50 km 和 30 km，即测站上空大约 100 km 和 60 km 降雨云团或云系上的闪电。

3.1 暴雨发生与闪电活动的关系及闪电极性特征

在 263 站次暴雨中测站周围 50 km 和 30 km 范围监测到闪电的站次不同，这主要是由于引起强对流暴雨的雷暴云上闪电分布不均匀性所致，有闪电的站次分别达到 197 站次和 168 站次，占 75%和 64%，表明云南暴雨以强对流性暴雨为主。本文把所有暴雨测站周围发生的日闪电进行累加，暴雨站周围 50 km 和 30 km 范围发生的总闪电数分别为 43 534 次和 16 428 次；负闪电分别为 40 018 次和 14 984 次，占 91% ~ 92%；正闪电分别为 3 516 次和 1 444 次，占 8% ~ 9%。发生暴雨时测站周围 50 km 和 30 km 范围内日总闪电最多达 2 367 次和 1 149 次，出现在 8 月 11 日的晋宁和禄丰，但降水量并不大，日降水量分别为 72.0 mm 和 51.0 mm；最大暴雨出现在 6 月 30 日的河口，降水量为 131.2 mm，当日 50 km 范围内发生闪电总数仅为 76 次，其中负闪电 60 次。

3.2 强对流暴雨日闪频数、负闪频数、正闪频数特征及相关性

选取测站周围 50 km 范围内日闪电总数超过 20 个的 129 个强对流暴雨个例，对其日降水量与当日测站上空发生的日闪频数、正闪频数、负闪频数进行对比分析，其中日闪频数包括负闪频数和正闪频数（图 1）。由图 1 可见，129 站次暴雨测站周围 50 km 发生的总闪频数、正闪频数和负闪频数分别为 43 958 次、36 630 次和 3 328 次，负闪频数占总闪频数的 92%。但日闪频数、正闪频数和负闪频数差别较大，最多日闪频数为 2 367 个，最少为 20 个，平均为 333 个，日闪频数大于平均值的有 37 例；最多负闪频数为 2 311 个，最少为 0 个，平均为 307 个，负闪频数大于平均值的有 36 例；最大正闪频数为 114 个，最少为 0 个，平均为 26 个，正闪频数大于平均值的有 43 例；日闪频数和负闪频数有较好的对应关系，不同个例负闪频数的演变趋势与日闪频数演变趋势几乎一致，演变曲线几乎重合，两者的相关系数达到 0.998；日闪频数和正闪频数对应关系不好，两者的相关系数仅为 0.225，这也表明云南暴雨以

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

负闪电为主。

从图 1 还可以看出，暴雨日降水量峰值并没有与日闪电频数的峰值一一对应，暴雨降水量与总闪频数、正闪频数和负闪频数相关系数很小，分别为-0.02、0.02、-0.01，表明暴雨日降水量的大小与闪电总数没有明显的相关关系。即强的降水不一定有强的闪电活动，与文献[17-18]的研究结果一致。由于强降水往往是对流云和层状云共同作用的结果，层状云为对流云的发展提供潮湿环境，促使强降水得以维持和加强，而冯桂力等的研究证实对流降水区发生闪电的几率是层云降水区的 20 倍以上，因此由于对流云和层状云共存，云上少的闪电也能产生暴雨。但从图 1 看出，大的日闪频数一般对应的暴雨降水量相对较大，这是由于引起闪电活动的对流云一般发展强烈，云内会存在剧烈的上升运动，有利于低层水汽向上输送，促使云滴的凝结增长和降水粒子的降落而产生强降水。因此云南大多数暴雨（占 3/4）伴随有闪电现象发生，属于强对流性暴雨，并以负闪电为主，占总闪电的 90%以上，但暴雨日降水量的大小与闪电总数没有明显关系。

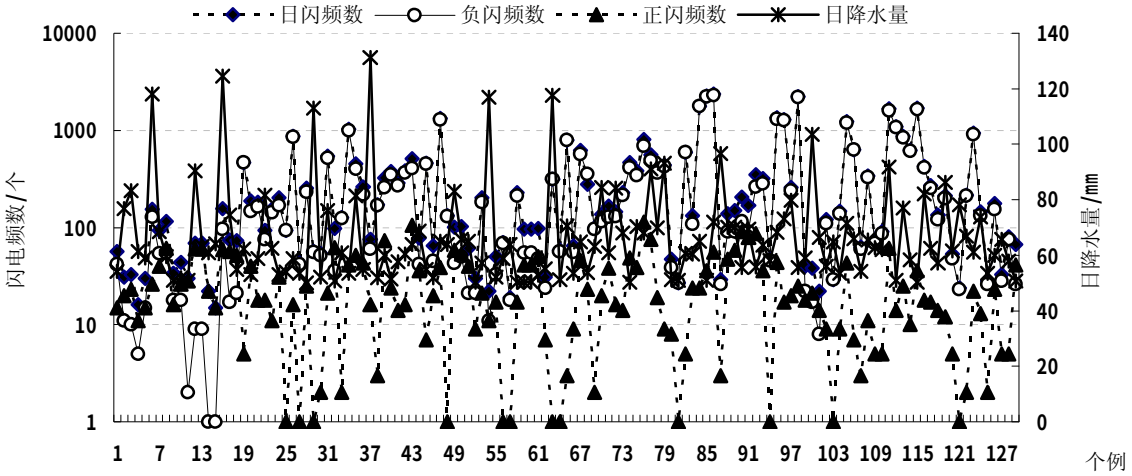


图 1　2007 年 5 月 1 日—10 月 31 日暴雨日降水量、日闪频数、负闪频数、正闪频数的关系

左边纵坐标表示闪电频数，采用对数坐标；右边纵坐标表示降水量。

4　强对流暴雨个例逐时降水量的总闪频数、负闪频数、正闪频数演变

下面对 3 个强对流暴雨个例的逐时降水量和相应时段测站周围的闪电活动演变特征进行研究分析。

4.1　6 月 23 日 14 时—24 日 14 时罗平暴雨的闪电频数多峰型个例的演变特征

6 月 23 日 14 时—24 日 14 时罗平 24 小时降水量达 96.0 mm。从逐时降水量、总闪频数、负闪频数、正闪频数随时间的演变(图 2)可看出，暴雨发生过程中总闪频数和负闪频数随时间的演变曲线基本重合，存在较好的对应关系，且随时间演变曲线振幅远远大于正闪频数的振幅，表明产生暴雨的对流云以负闪电为主；逐时降水量与闪电频数的演变曲线存在多个峰值，表明可能存在多个中尺度对流云团产生暴雨，降水量峰值与总闪频数峰值同相或者落后 1 个时次，其中有 3 个降水量峰值落后于总闪频数峰值 1 小时，如第一个降水峰值出现在 19 时，降水量为 11.9 mm，闪电峰值出现在前 1 小时，发生 35 个负闪电；最大总闪频数峰值出现在 23 时，发生 61 个闪电，最大降水量峰值出现在其后 1 小时，降水量为 25.2 mm；还有 2 个降水量峰值与总闪频数同相。还可看到，正闪电少且在负闪电出现后 2 小时才发生，4 个正闪频数峰值随着降水峰值的出现才出现，与降水峰值同位相或者落后 1 个时次。

4.2　6 月 29 日 20 时—30 日 20 时砚山暴雨闪电频数双峰型个例的演变特征

6 月 29 日 20 时—30 日 20 时砚山站 24 小时降水为 81.3 mm。从逐时降水量、总闪频数、负

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

闪频数、正闪频数随时间的演变(图 3)可看出，暴雨站以负闪电为主，出现 2 个闪电高峰，对应 2 个降水量峰值，1 个同相、1 个落后 1 小时，最大降水量峰值出现在 04 时，小时降水为 45.8 mm，最大闪电频数峰值在 03 时发生闪电 151 个，次大降水量峰值出现在 06 时，小时降水为 11.6 mm，与闪电频数次峰值同相，发生闪电 114 个；正闪电是在负闪电出现后几个小时发生，存在 1 个正闪频数峰值，出现在 06 时，在第 1 个降水峰值后 2 小时、第 2 个降水峰值出现时才出现。

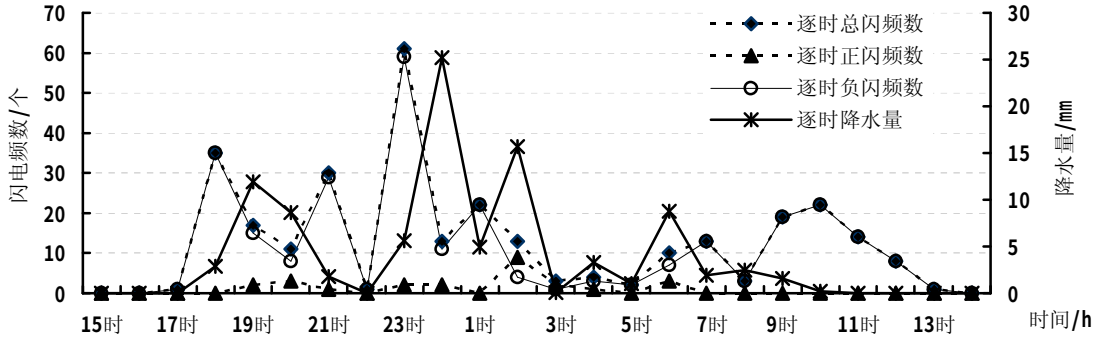


图 2 2007 年 6 月 23 日 14 时—24 日 14 时罗平站降水量、总闪频数、负闪频数、正闪频数逐时演变

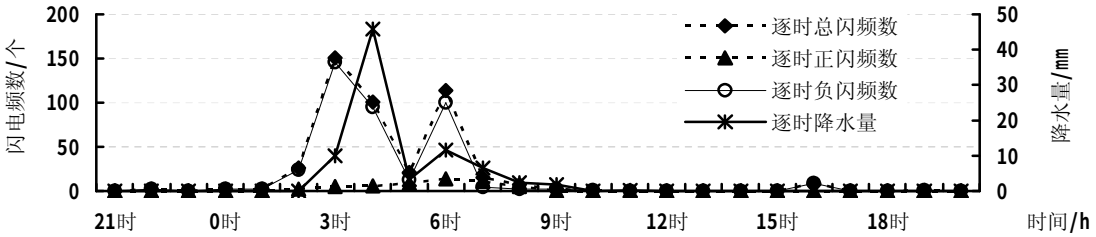
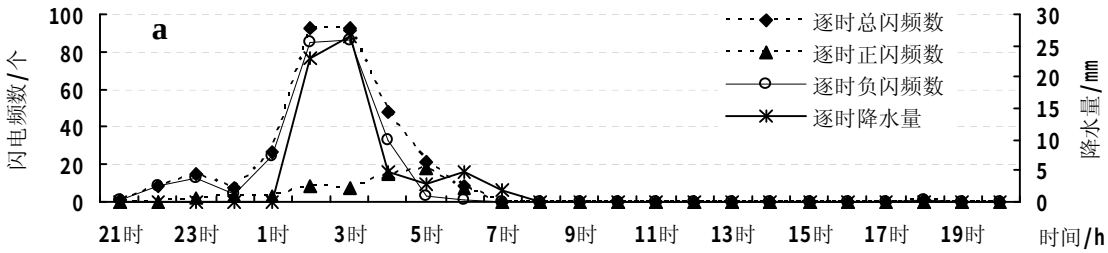


图 3 2007 年 6 月 29 日 20 时—30 日 20 时砚山降水量、总闪电频数、负闪频数、正闪频数逐时演变

4.3 7 月 5—6 日暴雨闪电频数单峰型个例

7 月 6 日全省出现 6 站暴雨，出现总闪频数为 15 593 个，图 4 分别给出云南的宁蒗(a)、江川(b)、红河(c)、大关(d)暴雨站的逐时降水量、总闪频数、负闪频数、正闪频数随时间演变，其中 5 日 20 时—6 日 20 时宁蒗降水 63.7 mm、江川降水 60.0 mm、红河降水 64.0 mm，大关 5 日 08 时—6 日 08 时降水 50.2 mm。由图 4 可知，这 4 个暴雨站的演变比较类似，即逐时降水量演变趋势与总闪频数和负闪频数的演变趋势比较一致，同样说明了产生暴雨的对流云以负闪电为主，降水量和闪电频数都比较集中在 1 个时段发生，只存在 1 个总闪频数、负闪频数、正闪频数的峰值。表明 4 站暴雨的产生可能仅受到 1 个中尺度对流云团的影响；闪电活动初期并没有降水发生，随着闪电（负闪）剧增，1 小时后降水量开始并迅速增加，几乎同时或者 1 个小时之后达到峰值，其中 2 次同时达到而 2 次滞后，之后闪电迅速减少，降水量也迅速减少，具有典型中尺度对流云团影响的特征，降水和闪电活动来势猛烈，结束比较迅速，产生短时暴雨；正闪峰值有 3 次在降水峰值后 1～2 小时内出现，1 次同相。



PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

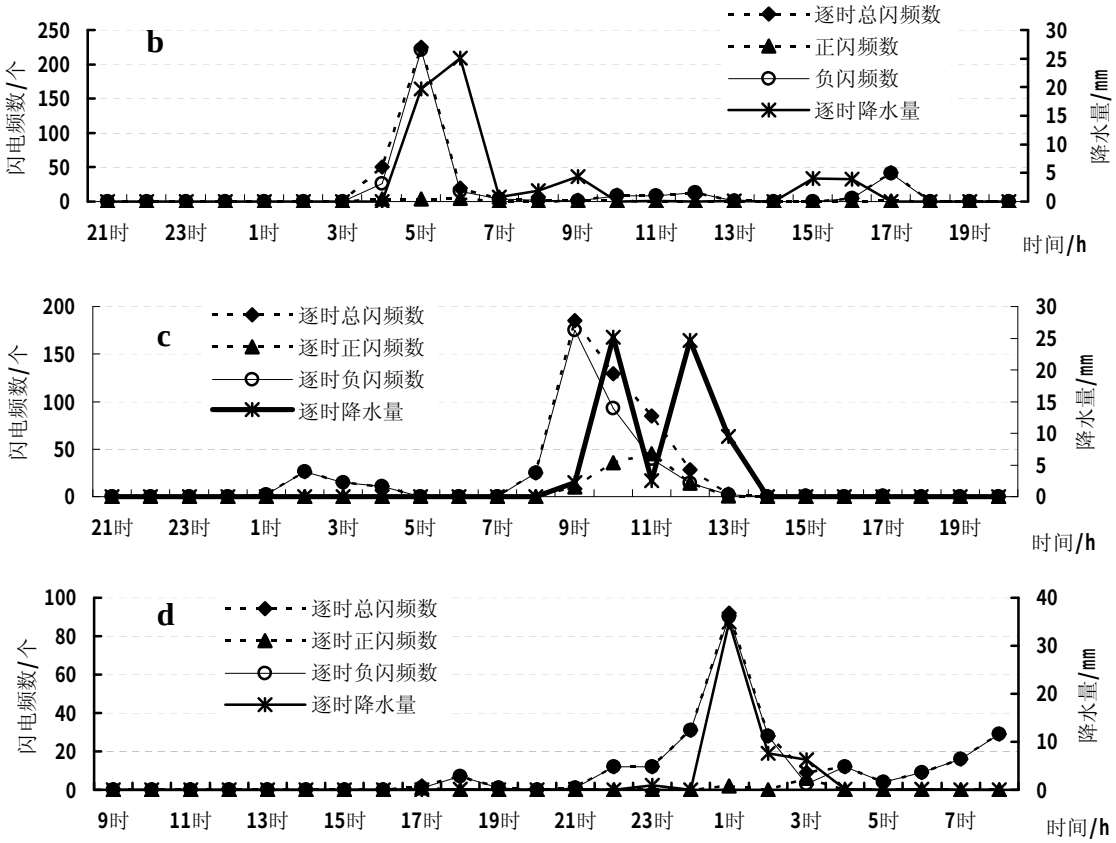


图 4　2007 年 7 月 5 日 20 时—6 日 20 时宁蒗(a)、江川(b)、红河(c)及 5 日 08 时—6 日 08 时大关(d)的总闪电频数、负闪频数、正闪频数、降水量的逐时演变

综上所述，由于强降水过程中风垂直切变不太大，云上部的正电荷层在水平方向无法远离负电荷层而直接暴露于地面之上，另外可能没有足够多的冰相粒子，因此产生强对流暴雨的对流云以负闪电为主，一般很少产生正闪电。其次强对流暴雨的产生一般是在一定大尺度环流背景下，由中尺度对流系统直接引起[19-20]，中尺度对流系统产生的降水具有强度大、来势猛和持续时间短的特点，致使降水量与闪电频数的演变趋势比较一致并具有峰型演变特征，也证实了具有强烈闪电活动的1个或者多个中尺度对流云团是强对流暴雨的直接制造者。再者闪电的发生与云中气流的运动强度有关，强烈的上升运动会引起云层内各种微粒碰撞摩擦加强和电荷积累，当电荷增加到一定程度就会因为局部电场强度达到或超过空气的电击穿强度，从而引起强烈的闪电活动[21]；同时强烈的上升运动又促使云滴迅速增长，当云滴大到上升气流无法托住时就形成降水，可见闪电是伴随强对流云的一种天气现象，而强降水是其发展的产物，降水量峰值会与闪电频数峰值同相或者落后1～2个时次；而对流云发展到成熟阶段，雷暴云顶部形成的卷云毡会远离母体，致使高层正电荷暴露于地面而对地放电，造成正闪频数峰值与降水量峰值同相或者落后。因此负闪电频增是强降水开始的标志，而正闪电频增是强降水强盛和结束的标志。

5　强对流暴雨的闪电活动与雷达回波的关系

为了进一步研究闪电活动与造成暴雨的对流云结构之间的关系，本文把闪电叠加到雷达回波上进行分析。分别选取上述 3 个类型的个例，在仰角 1.5 °、探测范围 150 km 的雷达回波产品图上叠加前 6 min 发生的闪电，保持与多普勒天气雷达体扫间隔同步。

经过对 6 月 24 日 16: 16 昆明雷达站反射率因子和闪电的叠加（图 5a）发现，对流回波发展旺

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

盛，呈块状或者带状分布，其上发生的几乎都是负闪电，30 dBz 以上的强对流回波区与闪电活动对应较好，尤其在 40 dBz 以上强回波中心区域闪电密集，强回波强度均超过 50 dBz。分析雷达回波顶和闪电叠加（图 5b）发现，10 km 以上的回波顶区与闪电活动对应较好，而且在 12 km 以上的高回波顶中心区闪电密集，回波顶超过 13 km，最高达 17 km；从图中还可以看到，由于对流回波强度强、顶高高，闪电活动比较激烈。同时配合雷达回波径向速度产品和闪电叠加（图略）发现，闪电发生在回波径向速度分布不均匀的对流回波上，具有径向速度大小不均匀、大风区、逆风区和风的辐合等中尺度特征，这些风场特征的存在有利于对流回波的发展。

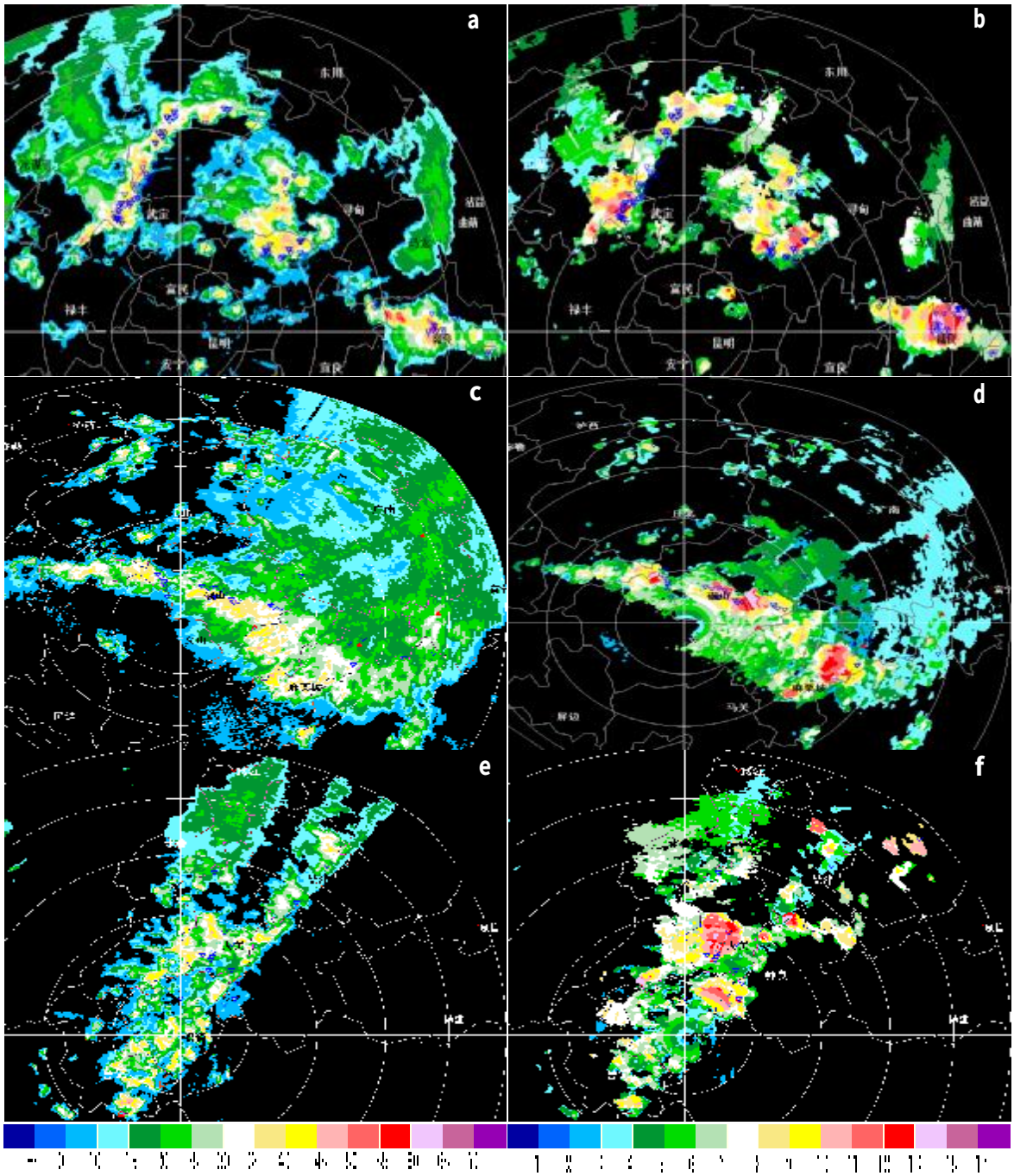


图5 雷达产品反射率因子、回波顶与同时次前6 min闪电叠加

a、b为6月24日16：16昆明雷达产品，c、d为6月30日02：49文山雷达产品，e、f为7月6日00：56昭通雷达。

每个雷达站探测仰角为1.5 °，探测范围为150 km，色标表示强度。红色“▲”和蓝色“▽”分别表示地面观测的正、负地闪。

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

从6月30日02: 49文山雷达站反射率因子（图5c）、回波顶（图5d）分别与闪电叠加可以清楚看到，闪电主要出现在近似呈带状排列强回波区及其周围，反射率因子≥30 dBZ，回波顶≥9 km，在其后部大片连续的弱回波区(＜30 dBZ)内仅有零星闪电发生，同时还注意到偶尔的正闪电偏离强回波带，出现在弱层回波区内，说明雪粒子是层状云区正地闪发生的主要贡献者，这与Carey等[8]的研究一致，而强对流回波带附近的正闪电可能是由于高空水平风场的作用将携带大量电荷的冰晶粒子吹离强回波中心(主要向后输送)所致；径向速度产品和闪电叠加（图略）表明，大范围径向速度分布是负速度区面积大于正速度区面积，具有入流大于出流的辐合型风场特征，同时带状强回波区还存在中尺度逆风区结构。

同样分析7月6日00: 56昭通雷达站反射率因子（图5e）、回波顶（图5f）和径向速度（图略）与闪电叠加发现,这是一条中尺度对流回波带(带状回波），其上虽然闪电发生少，强回波区上并非都有闪电发生，但大关县境内发生的闪电基本还是在反射率因子≥30 dBZ和回波顶≥9 km的强回波区及其周围，径向速度具有逆风区和辐合等不均匀分布的中尺度特征。

分析对比这3次强对流暴雨过程还发现，后2次过程的对流回波发展相对前1次弱,最强回波在40～45 dBZ，最大回波顶在15 km左右，闪电活动也相对弱。由此可见，具有径向速度大小不均匀、大风区、逆风区和风辐合等中尺度特征的不均匀风场结构存在，会影响局部水平辐散辐合的强弱和分布，引起中尺度垂直环流形成，非常有利于对流回波发展，促进闪电发生。强对流暴雨的闪电活动与强回波区有较好的对应关系，闪电一般发生在反射率因子≥30 dBZ和回波顶≥9 km的区域，并且对流回波发展越旺盛，即对流回波强度越强、回波顶越高，闪电活动就越激烈。

6 结　　论

（1） 云南暴雨常伴随闪电现象发生，大多数属于强对流性暴雨，且强对流暴雨的日闪频数与负闪频数有较好的相关性，暴雨发生过程中逐时总闪频数和负闪频数随时间演变的一致性，说明云南强对流暴雨以负闪电活动为主，占总闪电的 90%以上。

（2） 暴雨日降水量与日总闪频数、正闪频数和负闪频数的相关系数很小，分别为-0.02、0.02、-0.01，主要由于强降水多是对流云和层状云共同作用的结果，对流降水区发生闪电的几率又比层云降水区大得多，因此强的降水不一定有强的闪电活动。但由于强的闪电活动表明云内存在剧烈的上升运动，有利于低层水汽向上输送，促使云滴凝结增长和降水粒子降落，因此大的日闪频数一般对应大的暴雨日降水量。

（3） 强对流暴雨的逐时降水量与闪电频数随时间的演变曲线具有峰型演变特征，且两者演变趋势比较一致。表明云南强对流暴雨的产生与具有闪电活动的中尺度对流云团密切相关，可能存在多个或单个中尺度对流云团影响产生强对流暴雨。但闪电总是先于降水之前开始，降水量峰值与闪电频数峰值同相或者落后1～2个时次，正闪频数峰值与降水量峰值同相或者落后，表明负闪电频增是强降水开始的标志，而正闪电频增是强降水强盛和结束的标志。

（4） 多普勒雷达径向速度不均匀风场结构的存在有利于对流回波的发展，促进闪电发生。强对流暴雨的闪电活动与强回波区有较好的对应关系。闪电一般发生在反射率因子≥30 dBZ 和回波顶≥9 km 的区域，对流回波强度越强、回波顶越高，闪电活动越激烈。

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com

参 考 文 献：

[1] MASON B J. 云物理学[M]. 中国科学院大气物理所译. 北京：科学出版社，1978：504-584.
[2] 周秀骥，陶善昌，姚克亚. 高等大气物理学[M]. 北京：气象出版社，1991：535-602.
[3] 李建华，郭学良，肖稳安. 北京强雷暴的地闪活动与雷达回波和降水的关系[J]. 南京气象学院学报，2006，29(2)：228-234.
[4] 陈哲彰. 冰雹与雷电大风的云对地闪电特征[J]. 气象学报，1995，53(3)：365-374.
[5] 李南，魏鸣，姚叶青. 安徽闪电与雷达资料的相关分析以及机理初探[J]. 热带气象学报，2006，22（3）：265-272.
[6] 冯桂力，郄秀书，袁铁，等. 雹暴的闪电活动特征与降水结构研究[J]. 地球科学（D），2007，37（1）：123-132.
[7] 李照荣，付双喜，李宝梓，等. 冰雹云中闪电特征观测研究[J]. 热带气象学报，2005，21（6）：589-596.
[8] CAREY L D，RUTLEDGE S A. Electrical and multiparameter radar observations of a severe hailstorm[J]. J Geophys Res，1998，103(D12)：13 979-14 000.
[9] QIE X，YU Y，WANG D，et al. Characteristics of cloud-to-ground lightning in Chinese Inland Plateau[J]. J Meteorol Soc Jp，2002，80(4)：745-754.
[10] LANG T J，RUTLEDGE S A，DYE J E，et al. Anomalously low negative cloud-to-ground lightning flash rates in intense convective storms observed during STERAO-A[J]. Mon Wea Rev，2000，128(1)：160-173.
[11] SOULA S，SEITY Y，FERAL L，et al. Cloud-to-ground lightning activity in hail-bearing storms[J]. J Geophys Res，2004，109，D02101，doi：10. 1029/2003JD003669.
[12] 周筠君，郄秀书，张义军，等. 地闪与对流性天气系统中降水关系的分析[J]. 气象学报，1999，57 (1)：103-110.
[13] 张义军，华贵义，言穆弘. 对流和层状云系电活动对流及降水特性的相关分析[J]. 高原气象，1995，14(4)：396-405.
[14] 林开平，林宗桂，易燕明，等. 各类云系的闪电时空分布特征[J]. 热带气象学报，2005，21（4）：384-392.
[15] 张腾飞，尹丽云，许迎杰，等. 2007 年 5～8 月云南省雷电活动特点和致灾因子分析[J]. 灾害学，2009，24(1)：73-79.
[16] 张腾飞，鲁亚斌，普贵明. 低涡切变影响下云南强降水的中尺度特征分析[J]. 气象，2003，29(12)：29-33.
[17] 李英，郭荣芬，索渺清，等. 初夏孟加拉湾对流云团北上低纬高原的初步研究[J]. 热带气象学报，2003，19(3)：277-284.
[18] 张腾飞，段旭，张杰. 初夏孟湾风暴造成云南连续性强降水的中尺度分析[J]. 热带气象学报，2006，22(1)：67-73.
[19] 王晓明，谢静芳，王侠飞. 强对流天气的分析及短时预报[M]. 北京：气象出版社，1992.
[20] 张腾飞，张杰，郭荣芬. 一条中尺度雨带的多普勒雷达回波特征及环境条件分析[J]. 应用气象学报，2005，16(1)：70-77.
[21] 陈渭民. 雷电学原理[M]. 北京：气象出版社，2006：112-149.

CHARACTERISTCS OF LIGHTNING AND RADAR ECHOES AND RELATIONS BETWEEN THEM FOR STRONG CONVECTIVE RAINSTROM IN YUNNAN

ZHANG Teng-fei[1], Duan Xu[2], ZHANG Jie[1], YIN Li-yun[1], LIU Lei[1]

（1. Yunnan Meteorological Observatory, Kunming 6500034, China；
2. Yunnan Meteorological Institute, Kunming 6500034, China）

Abstract：By cloud-ground lightning data and Doppler weather radar echo data, the characteristics of lightning and radar echoes and the relations between them for Yunnan strong convective rainstorms are analyzed for 2007 flood season. The results show that most rainstorms belong to convective rainstorms in which lightning is mostly negative and the negative lightning number is more than 90% of the total lightning number. The precipitation and the lightning number are little relativity in the rainstorm's day, but big day-lightning frequency always produces heavy precipitation. Hourly evolution curves of precipitation and lightning frequency have peak-style characteristics and evolution tendencies between them are very coherent in strong rainstorm, but lightning occurrence has always precedence over precipitation. Precipitation peaks are in phase to lightning frequency peaks or fall behind them for about 1～2 hr, and the positive frequency peaks are in phase to the precipitation peaks or falls behind them. Uneven wind field structure on radial velocity is advantaged to convective echo development and lightning occurrence. Lightning which produces strong convective rainstorm is very corresponding to the strong echo field and usually produces in the area where reflectivity is above 30 dBz and Echo Top-ET is above 9 km.

Key words：strong convective rainstorm；lightning characteristics；radar echo；relativity

PDF created with pdfFactory trial version www.pdffactory.com