

六盘山区两次切变线过程的地闪特征 及其与雷达回波对比的观测*

金 鞍 原永泉 周春科 郭昌明**

(中国科学院兰州高原大气物理研究所)

提 要

采用改进的交叉环磁场天线定位技术,结合使用3 cm天气雷达,1984年夏,在六盘山区进行了关于地闪特征及其与雷达回波对比的观测。对7月31日和8月11日两次过程作了初步的统计分析。结果表明,反射率因子在40 dBz以下时,全过程平均地闪频率与反射率因子成正相关;不同活跃程度的雷暴过程对应不同的平均地闪频率,地闪集聚区与PPI廓线之间的配置随云体的演变、移动而变化;云内人流区和山区迎风坡处可能更易集聚地闪。地闪的首次回击的众数峰值电流约为 2×10^4 A。另外的一些个例值为,正闪在地闪中所占比例约为14%,并且在雷暴过程结束时升高,可达41%;总闪与地闪之比约为2.44。

一、引 言

云体的回波结构与电现象为强烈天气云雨过程整体的两个侧面。关于二者的观测研究,在历史、理论及实践诸方面,均已有各自的特色。可以认为,如果进行二者的综合对比观测,一方面有助于揭示二者之间的内在联系,对双方的研究工作有益,另外,对发展灾害性天气的分析预报方法也有实用价值。

随着观测技术的发展,国外此类工作显得较活跃。由于获取了大量资料,观测得出了一些初步结果,并逐步试图将其用于加深对雷暴云体动力及物理结构的认识^[1,2]和改进危险天气的预报工作^[3,4]。

国内曾进行过一些雷暴电的初步综合观测^[5-7],但近期较少见,此外,关于地闪方面的观测,尚属空白。

有必要指出,人们现在对回波参数与闪电参数之间的内在物理关系认识还较差,定量显示其相关性的资料不多,有关论文所给出的也多为不尽一致的描述性结果,不能作为一般性结论^[8-17]。这些既反应了研究对象的客观复杂性,同时也暗示,此方面工作仍处在现象观测、资料积累阶段。为得出一般性结论,仍需强调观测和积累工作的重要性。

为此,我们在1984年夏季组织了有天气雷达,闪电定向装置及其它方法配合的一次

* 本文于1985年6月21日收到,1986年4月28日收到修改稿。

** 张广庶同志及本所电学组、雷达组部分同志参加了观测工作。

观测实验。

不难看出,鉴于国内外此方面研究的现状及实验的局限性,从本文结果引出有普遍意义的结论,尚嫌为时过早。

二、DF (地闪定向系统)简介

DF(DIRECTION FINDER)为一种经过改进的交叉环形磁场天线地闪定向系统。交叉环定向的基本原理是根据二个互相正交的环形天线上分别感应的辐射信号的大小来确定辐射源的方向。此法发展较早,国内也曾开展过此类工作^[18]。但传统的交叉环法用于闪电的定向存在一些弱点,尤其是极化造成的椭圆误差^[19],使其在近距离的应用上受到限制。

基于近年来关于闪电波形研究的进展,改进的交叉环定向仪 DF 采用宽带(1 kHz—1 MHz)磁场天线捕捉地闪的波形与极性,采用峰值门限技术减少因闪电通道非垂直地面的取向以及因电离层反射引起的极化误差,用波形鉴别器来剔除云闪及其它干扰信号,从而获得较好的定向精度和较高的探测效率。关于 DF 的详细介绍及有关的评价工作可参阅文献^[20]和^[21]。

三、实 验 描 述

场地:甘肃、宁夏交界处的六盘山区,见图 1。图的中心点为雷达设置点, D 表示地闪定向仪的设置点。平凉观测站海拔 1630 m,六盘山观测站海拔 2840 m。六盘山脉呈西北-东南走向横贯观测区域。

雷达, JMA-133 D 3.2 cm 天气雷达,设置在平凉观测站。峰值脉冲功率为 200 kW,波束宽度为 1.3°,观测时距离范围定为 100 km,基本仰角为 3°,配有等回波距离订正装置,全方位扫描速度为 6 r/min,数据采集方式为胶片拍摄。

地闪的定向与定位:采用两台美 LLP 公司的产品 DF 交汇定位。单站 DF 可提供云-地闪首次回击发生的时间、方位、相对强度、极性和本次闪电的回击次数。DF 在 100 km 内探测效率优于 80%,定向随机误差优于 1°。两 DF 测站之间基线距离为 45 km。

数据处理中我们有下列限制:(i)考虑到定位精度,把观测范围限制在 100 km 以内。(ii)DF 使用中程档(观测范围为 180 km),为避免远区强场干扰,统计中舍去了强度值小于 25 的记录。(iii)为了排除距离因子的影响,将首次回击源强定义为

$$\text{首次回击源强} = \frac{\text{实测记录值} \times \text{距离(km)}}{100(\text{km})}$$

即把它归一化为 100 km 处的值。对于只取峰值的宽带响应仪器,由于测得的成份主要是辐射场,因此上述定义基本反映了实际情况。(iv)除特别指出外,为一致起见,统计中的时间间隔均取为 5 min。

虽然 DF 有较好的精度,但在各个方位上地形起伏较大,天线附近的导体等会引入一定的磁场定向系统性误差。此误差为方位角的函数^[20]。在国外的初步应用中,多认为这

种误差很小而未加订正。考虑到此次观测地形复杂而又一时难以获得实际可用的订正值的具体情况,除在观测中已注意天线的设置以尽量减小场地误差外,在资料处理中我们也持谨慎态度,即:作为初步工作,本文涉及的参数、结果一般属于下述情况:(i)与方位角无关或(ii)取全过程、多方位平均后,从概率角度看有意义或(iii)误差尺度还不足以造成太大损害,而对那些对固定方位依赖性很强的参数和题目,则作为下一步工作,留待以后处理。

四、初步结果

1. 平均地闪率

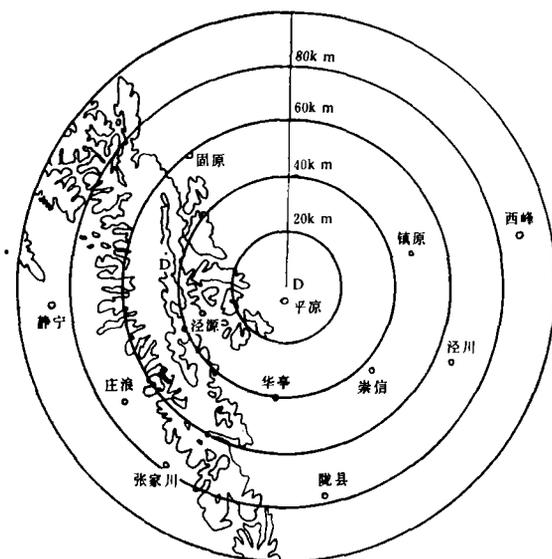


图 1 观测区域地形示意图
(图中等高线为 2000 及 2500 m)

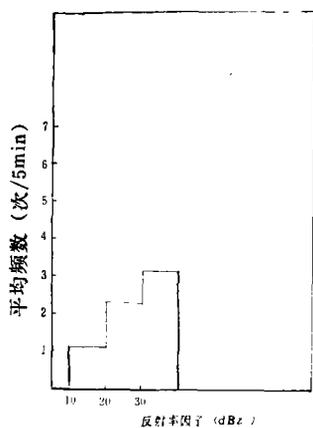


图 2 地闪频率与云反射率因子之间的关系(1984.7.31)

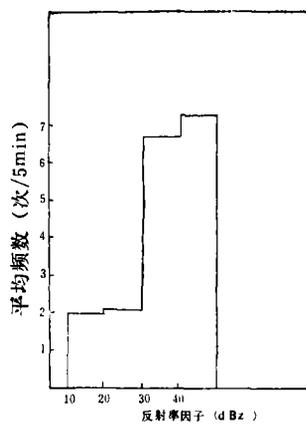


图 3 地闪频率与云反射率因子之间的关系(1984.8.11)

表 1 不同类型雷暴的地闪频率

类 型	气团雷暴	飏线雷暴	中尺度对流复合体	切 变 线	切 变 线
地 点	佛罗里达	俄克拉荷马		六 盘 山 区	
平均地闪率(次/min)	1.2	2.6	50	≥ 1.3	≥ 3.6
极大地闪率(次/min)	11.6	19.4	—	—	—

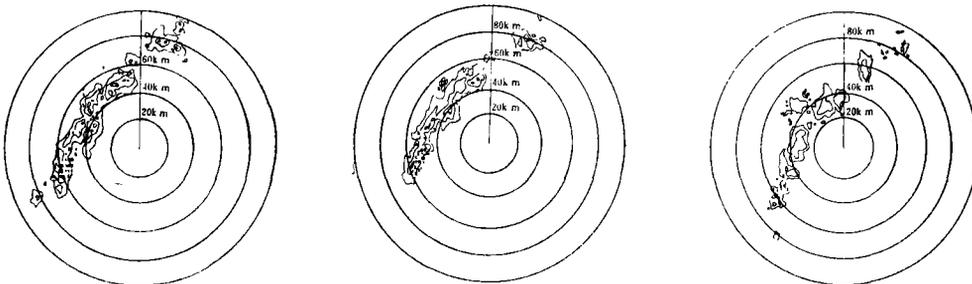
表 2 两次过程回波特征的对比

回 波 特 征 \ 过 程	7.31	8.11
最大回波强度	< 40 dBz	> 40 dBz
最强时回波形状 (30dBz)	孤立、零散 长90 km	带状 长170 km
云 顶 高	一般低于5 km	一般为10 km左右
云上部反射率因子	较 弱	较 强
下垫面情况	较 低 平	较高, 切变线一侧有爬山运动
持续时间	较 短	较 长

图2、图3为两次过程中对应不同回波强度平均地闪率, 两次过程中的值分别为 1.1/2 次/5 min (10 dBz), 2.3/2.1 次/5 min (20 dBz), 3.2/6.7 次/5 min (30 dBz), —/7.3 次/5 min (> 40 dBz), 前一个值属于7月31日过程。7月31日过程未出现大于40 dBz的回波。

这里的平均, 指对众多相同强度的回波面积上地闪频率的全过程平均值。这个正相关的结果反映了地闪频率随云强变化的一个粗略轮廓。

Maier et al.^[22] 及 Goodman^[4] 曾总结了不同地区、不同类型雷暴过程的平均地闪率, 如表1所示。同时, 我们在此表右栏加上了7月31日和8月11日两次切变线过程的数据, 并且在表2中对两次过程的回波特征进行了对比。



(a) (1984, 8, 11, 22:40—23:00) (b) (1984, 8, 11, 23:01—23:20) (c) (1984, 8, 11, 23:30—23:50)

图 4 回波 PPI 显示及地闪散布图

(雷达仰角 3° , 图中最外层回波廓线为 20 dBz, 回波廓线云间强度差为 10 dBz。数字表示 20 min 内该数字所在之小矩形面积中的地闪次数, 小矩形面积为 2.41 (东西) $\times 4.0$ (南北) km^2)

表 1 和表 2 显示, 作为电活动表征的平均地闪率, 不仅在不同类型的雷暴过程中有较显著的不同, 而且即使对同一类型的雷暴系统, 也存在较大的差别, 而这种差别对应了雷暴过程不同的活跃水平。

曾有报导指出, 回波反射率增至某值后, 地闪频率会有明显的下降^[16], 但在这两次过程中我们并未获得此类反射率的资料。

2. 地闪的位置

从观测所得的资料看, 普遍地讨论地闪发生的位置与回波之间的关系, 不是一件容易的事。正如前言所述, 它们之间并没有十分明确的关系。在这里, 仅作为个例分析的结果, 提出以下几点较突出的现象:

1) 几乎所有高闪频区 本身是强回波区或周围有强回波区存在, 但也有例外;

2) 强回波区却并不意味着有高闪频存在, 甚至可以没有地闪发生, 这种现象在多强回波中心的飢线型雷暴系统内尤为显著, 这种系统高闪频区往往很有限。

3) 图 4(a) 中的地闪有集中在前沿的趋势, 那里也许是人流区的位置。

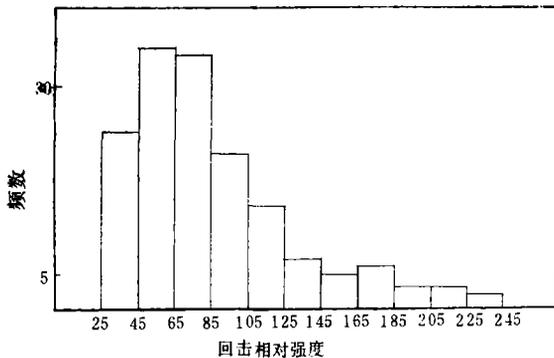


图 5 地闪回击强度分布
(1984, 7, 31)

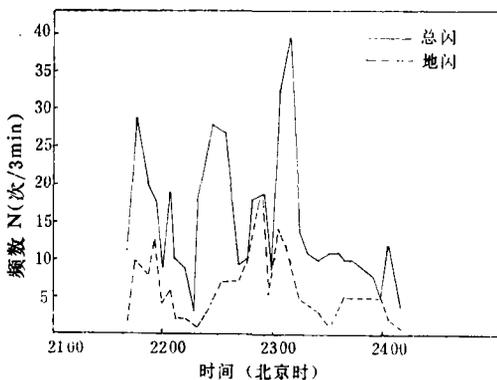


图 6 总闪与地闪频数的时间变化
(1984, 7, 31)

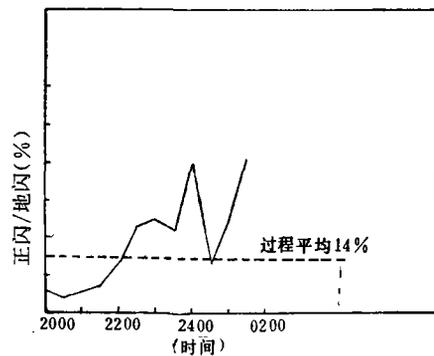


图 7 正闪对地闪之比随时间的变化
(1984, 8, 11)

4) 高闪频也可能与地形有关, 图 4(a) 中的地闪集聚区为六盘山迎风坡, 此处山脊海拔约 2700 m, 平均坡度为 $700 \text{ m} : 7000 \text{ m} = 10\%$ 。

5) 地闪集聚区与回波 PPI 廓线之间的相互配置随云体发展、演变、运动而变化(图 4)。

3. 地闪的强度分布

对 7 月 31 日雷暴, 即中等偏弱的一次过程, 我们统计了地闪首次回击辐射强度的分

布,它也是反映闪电剧烈程度的一个度量。对于研究放电过程,了解电波传播及闪电危害均有意义。结果可见图 5,由图可知 100 km 处众数辐射强度为 4 V/m 左右。

由仪器的宽带特征及鉴别特征可知,测得的辐射值发生在接地点上方 100 m 以下。并且一般回击的初始速度为 10^8 m/s 左右,因此,可以用 Bruce-Golde 模式^[23]对通道电流进行估算,可得在 100 km 处 4 V/m 的辐射场峰值对应于通道中约 2×10^4 A 的脉冲峰值电流。

4. 总闪和正闪的一些资料

为了对地闪特征有一个较完整的印象,在现有的条件下,此次观测也注意尽量采集一些总闪(云内闪、云际闪与云地闪之和)和正闪(把正电荷带向地面的云地闪)的资料。图 6 为 7 月 31 日过程总闪频率和地闪频率随时间演变的对照,极大值总闪为 40 次/3min,地闪为 18 次/3 min,总闪与地闪之比平均为 2.44。图 6 中总闪的数据是本地无云雨的夜晚直接用目测所得,相对于 DF 记录而言,我们认为这种方法比用现有的闪电计数器有更好的可比较性。图 7 为 8 月 11 日较强切变线过程的资料,它给出了正闪在地闪中所占的比例随时间的变化。这次过程,平均正闪地闪比为 14%,此值似乎显出高于平原地区值的趋势。另外,从图 7 中可看到,在最后的消散阶段,正闪所占的比例上升,这与现有的大多数观测及其解释相符合。

五、讨论与小结

使用全过程平均地闪频率,则地闪程度与带状雷暴云体回波强度之间有较好的正对应关系(图 2、图 3)。这里全过程平均是指对众多相同强度回波面积上的地闪率值取全过程的时间平均。此参数虽不同于以往基本无空间分辨力和地闪鉴别力的闪电计数器所得的笼统的“闪电频率”,但毕竟只是对地闪程度的一个轮廓性描述,并未十分强调时间和空间上的分辨。由于抹去了部分带状雷暴系统内部多强中心生消掩蔽效应带来的复杂细节,所以得出了明显的对应关系。这个参数的使用,在一定程度上也体现了现有精度条件下,带状雷暴观测描述不同于单体雷暴的特殊性。

两次过程中不同的平均地闪率看来与两次系统不同的水平扩展,负温区深厚程度和其它系统配合因素有关(表 1),这也从概貌上反映了两次过程不同的强度。表 1、表 2 似乎进一步说明平均地闪率有希望在带状雷暴系统中作为雷暴剧烈程度的一项指标。

如果在一段时间间隔上考察回波强度与高闪频区的平面分布情况,则二者之间的关系很不明显(图 4)。对图 4 这类情况来说,至少有两点值得指正:强电荷中心与强反射率中心的相对位置在不断改变,其次,云中强电荷中心与地闪接地点之间在投影平面上也有不可忽略的尺度。

原则上,影响地闪频率的因子很多,如气流场,云体垂直结构,雷暴每个局部的生消状态,降水发生的时间等等。从现在应用的天气雷达及其数据采集方式来看,上述因子在空间和时间上还难以得到足够精确而系统的反映,因此,高闪频区本质特征的揭示,有待于观测手段的发展。

回波与闪电参数在空间分布上的对应,观测得到的结果大多不很好,以致有人认为从

雷达回波来推断闪电的发生是不大可能的^[16]。这除了在观测质量方面向我们提出进一步要求外,同时也给我们这样的启示:对雷暴系统的雷电观测给出了雷达回波所不包含或难以确定的信息,努力提取这些信息,会加深我们对雷暴过程的理解。

地闪观测的结果,一方面显示了雷电过程的共性,暗示了它与动力及微物理过程的关系,另一方面,也显示了六盘山地区雷电活动可能有它的特点,即高原山区地闪与正闪偏多。从总闪与地闪之比偏小而总闪及地闪率并无特殊性看,似乎是地闪夺取了一部分云闪。有证据说明,闪电是由负流光开始的,这就为上述现象提供了这样一种说明,即流光产生后向何处去与周围环境有关,相对于平原地区而言,高原山区使流光更易向地表发展。

由辐射强度估算的通道峰值电流的众数值为 2×10^4 A,这是一个与实测非常符合的结果。这一结果表明,利用定向仪 DF,可以通过闪电定距及测定辐射场强来估计闪电通道中的电流峰值。对于难以获得实地实测电流值的闪电来讲,这种方法虽然现在只能做量级上的估计,但由于可以获得大量基本资料,所以无疑是一种很吸引人的遥感方法。

参 考 文 献

- [1] Mazur, V., and W. D. Rust, Lightning propagation and flash density in squall lines, as determined with radar, *J. G. R.*, **88**,1495-1502,1983.
- [2] Taylor, W. L., E. A. Brandes, W. D. Rust and D. R. MacGorman, Relationships between lightning activity and severe storm structure from VHF mapping and Doppler radar, Preprints, 13th Conf on Severe Local Storms, 1983.
- [3] Orville, R. E., R. W. Henderson and L. F. Bosart, An east coast lightning detection network, *Bull. of Amer. Meteor. Soc.*, **64**,9,1029-1037,1983.
- [4] Goodman, S. J., Lightning activity associated with severe storms embedded within a mesoscale convective storm complex, Preprints, 13th Conf. on Severe Local Storms, 1983.
- [5] 中科院大气所雷雨云遥测组, 雷雨云结构的综合探测, 中科院大气所集刊, 第4期, 科学出版社,1976.
- [6] 中科院大气所消雹组, 雷雨云和冰雹云中闪电的初步观测, 全国人工降水、防雷科技座谈会报告选编, 中央气象局研究所, 1973.
- [7] 叶宗秀等, 冰雹云闪电频数特征及其在防雷中的应用, 高原气象, 第一卷, 第2期, 1982.
- [8] Kinzer, G. D., Cloud-to-ground lightning versus radar reflectivity in Oklahoma thunderstorms, NOAA Tech. Memor. ERL NSSL-59,1972.
- [9] Marshall, J. S., and S. Radhakant, Lightning related to intensive precipitation aloft, Preprint Volume, IAGA/IAMAP Joint Assembly, Seattle, 1977.
- [10] Proctor, D. E., VHF radio pictures of lightning, Spec. Rept. TEL 120, Council for scientific and industrial research, Johannesburg, S. Africa, 1974.
- [11] MacGorman, D. R., Lightning location in a storm with strong wind shear, PH. D. dissertation, Rice Univ., Houston, Tex., 1978.
- [12] Rust, W. D., W. L. Taylor, D. R. MacGorman and R. T. Arnold, Research on electrical properties of severe thunderstorms in the Great Plains, *Bull. of Amer. Meteor. Soc.*, **62**,9,1286-1293, 1981.
- [13] Carte, A. E., and R. E. Kidder, Lightning in relation to precipitation, *J. of Atmos. and Terr. Phys.*, **39**,139-148,1977.
- [14] Shackford, C. R., Radar indications of a precipitation-lightning relationship in New England thunderstorm, *J. Meteor.*, **17**,15-19,1960.
- [15] Holle, R. L., R. E. Lopez and W. L. Hiscox, Relationship between lightning occurrences and radar echo characteristics in South Florida, 8th International Aerospace and Ground Conf. on Lightning and Static Electricity, 1983.
- [16] Hiser, H. W., Sferics and radar studies of South Florida thunderstorms, *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, **76**,312-330,1973.

- [17] Lhermitte, R., and P. R. Krehbiel, Doppler radar and radio observations of thunderstorms, *IEEE Trans. on Geoscience Electronics*, GE-17,162-171,1979.
- [18] 孙景群、郑达洲, 雷电多站定位及其在森林防火中的应用, 中科院大气所集刊, 第4期, 科学出版社, 1976。
- [19] Yamashita, M., and K. Sao, Some considerations of the polarization error in direction finding of atmospherics, *J. Atmos. Terr. Phys.* 36,1623-1641,1974.
- [20] Binford, R. L., L. G. Byerley, E. P. Krider, M. W. Maier, A. E. Pifer and M. A. Uman, Wide-band magnetic direction finder networks for locating cloud-to-ground lightning, 8th Inter. Aerospace and Ground Conf. on Lightning and Static Electricity, 1983.
- [21] Johnson, R. L., D. E. Janota and J. E. Hay, An operational comparison of lightning warning systems, *J. of App. Met.* 21,5,703-707,1982.
- [22] Maier, M. W., and E. P. Krider, A comparative study of the cloud-to-ground lightning characteristics in Florida and Oklahoma thunderstorms, Preprints, Conf. on Severe Local Storms, 1982.
- [23] Bruce, C. E. R., and R. H. Gold, The Lightning discharge, *J. Inst. elect. Engrs.*, (London), 88, (pt. 2),487-520,1941.

OBSERVATION OF CG FLASH CHARACTERISTICS AND THEIR CORRELATIONS WITH RADAR ECHO FOR TWO SHEAR LINES OVER LIUPAN MOUNTAIN AREA

Jin An Yuan Yongquan Zhou Chunke Guo Changming

(Lanzhou Institute of Plateau Atmos. Physics, Academia Sinica)

Abstract

By DFs and radar, data of CG (Cloud-to-Ground) flash and radar echo of two shear line processes were collected in the summer of 1984 in Liupan Mountain area.

Primary analyses have been proceeded from data collected for the shear lines on July, 31 and August, 11. The results show that the mean CG flash rate for the whole storm process is in consistent with reflectivity factor (when echo intensity < 40 dBz) and the activity of thunderstorms. Matching between high flash rate areas and radar cells varies widely with the development and movement of clouds. There may be higher CG rate in the area of updraft and mountain slope facing the wind. The estimated mode peak current for the first return strokes is about 2×10^4 A. Other results from the two cases are described.