

# 一次强风暴天气闪电定位资料与 雷达资料的综合分析

杨国锋<sup>1,2</sup> 汤达章<sup>1</sup> 刘 晓<sup>2</sup> 张一平<sup>3</sup>

(1 南京信息工程大学, 南京 210044; 2 河南省气象局, 郑州 450003; 3 河南省气象台, 郑州 450003)

**摘要** 根据 2003 年 6 月 19 日河南一次强风暴天气的闪电定位资料和 714CD 雷达资料, 利用统计和对比分析的方法, 发现了闪电活动与雷达强度回波之间存在如下关系: 闪电发生频数、强度和雷达回波强度在时间序列上有较好的一致性; 在雷达回波发展的不同阶段, 闪电发生的位置与雷达强回波位置有时相同, 有时偏离, 有时甚至无闪电发生; 雷达回波速度场分析表明, 在低层存在不利于对流发展的环境风场特征时, 雷达降水回波在向测站移动的过程中趋于消散, 闪电频数也随着减少; 在降水回波速度辐合区, 对应闪电活动频繁, 这对于雷暴天气闪电短时预警工作有一定的参考价值。

**关键词** 强风暴 闪电定位 多普勒雷达 短时预报

## 引言

闪电是一种比较常见的天气现象。根据闪电发生部位可分成云闪和地闪, 由于云闪观测困难, 获取的资料十分有限, 所以对云闪的研究较少; 而地闪是云与大地之间的一种放电过程, 它对人类造成的危害要远远大于云闪, 因此人们更多地关注对地闪的监测和研究, 现行闪电监测设备大多是对地闪的监测。20 世纪 90 年代以后, 随着多普勒天气雷达和闪电监测系统布设数量的增多, 对于闪电资料和雷达观测资料的综合分析研究日益受到关注。Roeder 等<sup>[1]</sup>(1997) 提出了闪电临近预报的雷达回波强度、垂直厚度、回波顶高的参考指标。魏锦成等<sup>[2]</sup>以厦门 1996 年初雷天气的多普勒雷达探测为例, 分析了闪电定位对探测初生雷暴、识别雷雨和阵雨回波、判断雷暴降水率、移动、变化所起的作用。尤凤春等<sup>[3]</sup>结合逐小时降雨量, 分析了“96.8”特大暴雨的雷达回波和闪电资料, 分析了这次特大暴雨的降雨性质、强度以及分布的特点, 为雷达和闪电资料在同类型影响系统天气过程中的应用积累了经验。本文通过对 2003 年 6 月 19 日河南省一次强风暴天气的细

致分析, 发现了闪电活动(文中闪电均指地闪)与雷达回波强度、速度场特征之间的一些有价值关系。

## 1 灾害天气概况及天气学分析

### 1.1 天气过程概况

2003 年 6 月 19 日河南省出现了区域强风暴天气过程。13:00~20:00, 焦作、济源、洛阳、三门峡、平顶山、南阳、许昌 7 地区出现了强对流风暴, 其中焦作、沁阳、博爱、济源、卢氏、嵩县、禹州、襄城、鲁山、社旗等县(市)遭雷雨大风和冰雹天气袭击, 孟津、宝丰、方城出现了雷雨大风天气, 平顶山、鄢陵出现了局地冰雹, 平顶山、叶县出现了短时暴雨, 禹州、嵩县出现了短时特大暴雨, 禹州 16:00~19:00 降水量 88 mm, 嵩县 14:00~17:00 降水量 74 mm。强风暴天气过程范围广, 强度大, 时间长, 农作物受灾面积  $129 \times 10^3 \text{ h m}^2$ , 灾情十分严重。

### 1.2 天气学分析

19 日 08:00, 500 hPa 高空图上, 周口、平顶山、灵宝至陕西中部有一高空辐合线; 700 hPa 图上, 可以看到未来有可能转入弱高压脊后部, 降温情况不太明显; 850 hPa 图上, 河南西部有一浅槽。地面图

河南省气象局 Z200408“多普勒雷达资料与闪电定位资料的综合分析”项目资助

作者简介: 杨国锋, 男, 1973 年生, 工程师, 硕士研究生, 从事多普勒雷达资料分析应用研究, Email: hnygf2000@sohu.com

收稿日期: 2004 年 7 月 2 日; 定稿日期: 2004 年 8 月 17 日

上,19日08:00大兴安岭到中蒙边境上有一条冷锋维持,且缓慢东移,西端尾部不断有小股冷空气扩散南下,影响山西、陕西和河南,河北中部到河南西北部有一冷锋,锋后在晋、陕中部已出现一个小高压。

该省区域小天气图上,19日11:00,西部山区为一大的辐合区,辐合中心在卢氏、嵩县之间,3h变压 $\Delta p_3$ 负变压中心和辐合中心相对应;14:00南阳北部、三门峡和登封为3个辐合中心;17:00辐合中心在济源和焦作之间。以上中尺度系统和强风暴的发生有很好的对应关系,强风暴结束后,20:00省区域天气图上,辐合中心位置变成了辐散中心。

物理量场诊断分析结果显示,19日08:00,表示热力稳定度的K指数<sup>[1]</sup>32℃等值线包围该省京广线以西的大部分地区,和当日发生强风暴的区域非常吻合,K值越大,表示大气越温暖,水汽越充分,层结越不稳定,K $\geq 30$ ℃可发生分散雷暴,K $\geq 35$ ℃可产生成片雷暴和暴雨。08:00强天气威胁指数(SWEAT)<sup>[1]</sup>大值区均位于河南,中心在禹州达360,SWEAT指数值愈高,发生强对流天气的可能性越大,通常大于等于300可有强雷暴发生。

## 2 闪电和雷达强度回波的时间演变及相互关系

### 2.1 闪电定位资料和雷达资料说明

河南省气象部门闪电定位系统由1个主站(郑州)、6个辅站(安阳、鹤壁、新乡、焦作、项城、漯河)

组成,主要设备采用信息产业部第22研究所研制的XDD03A型闪电定位仪。根据系统采集的2003年6月19日地闪资料,结合天气过程及雷达探测范围(速度探测有效半径为150km),选取当日12:00~20:00以郑州为中心、半径150km范围内的地闪数据,按每15min为一时段(12:00~12:15序号为1, ..., 19:45~20:00序号为32,共32个时段),分别统计了闪电总数、正闪数、负闪数、正闪占该时段闪电总数比值和每时段的闪电最强值(单位为A)。

雷达资料由河南省气象台雷达站(714CD雷达,具有多普勒功能)提供,强回波面积利用雷达显示软件具有的鼠标拖曳读数功能读取的像素值表示。

### 2.2 闪电活动演变特征

6月19日自03:03开始已出现初始闪电,其后至11:36,共探测到19次,时间间隔较长,位置分散,且强度很弱。至12:10开始,闪电活动明显加强,时间间隔缩短,位置相对集中,但强度依然较弱。根据统计数据制作了闪电活动时间序列图(图1),从第3个时段(12:30~12:45)开始,闪电频数增大,至第13个时段(15:00~15:15)出现一个峰值,其后至第21个时段(17:00~17:15)出现了一个低值,而后闪电频数迅速增大,在第24~28个时段(17:45~19:00)维持较高的闪电频数。19:45以后,闪电频数减小。

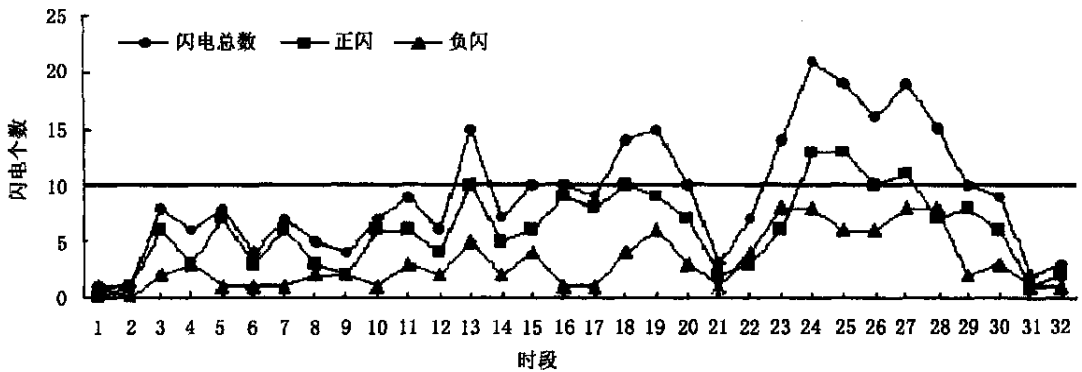


图1 2003年6月19日12:00~20:00闪电活动情况  
(横轴标值1~32为选择时段中间隔为15min的时段序号,下同)

整个闪电活动中以正闪为主(共有24个时段),正地闪占闪电总数的60%以上;只有少数时段(4个)负闪占闪电总数超过50%。这与北京、贵州、苏州等地闪电统计的情况一致,在夏季强对流天气发

生时,地闪活动多以正闪为主。从图1中可以看出,正闪和负闪频数极值往往不一致,如果对某个特定区域的闪电情况进行统计,这种现象更加明显,正、负闪电此起彼伏相互配置是云中电荷分离与空间电

荷作用的结果<sup>[4]</sup>。

资料分析发现,闪电强度与闪电频数在时间变化上没有明显的对应关系,闪电频数大的时段,有的闪电强度很强,也有的闪电强度很弱,甚至比闪电频数小的时间内发生的闪电强度还要弱。但是,不同

时段内闪电强度极大值却与闪电频数有较好的一致性,在闪电频数大的时段,闪电强度极大值也随之增大(见图 2),极大值出现之后紧接着出现较多的弱闪电,这与日常生活中人们对闪电观测的经验一致。

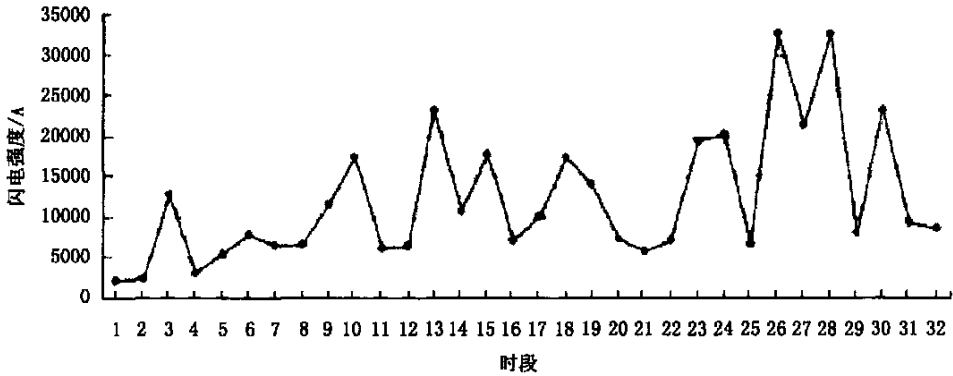


图 2 2003 年 6 月 19 日 12:00 ~ 20:00 各时段闪电强度极大值的变化

### 2.3 雷达回波面积变化与闪电频数变化的关系

我们选择这次天气过程 12 个时次的雷达探测资料(强度场),绘制了雷达回波面积(回波强度  $\geq 30$  dBz,以像素数表示)变化图(图 3),与图 1 图 2 的对比分析发现,闪电频数的变化早于强回波面积的变化,闪电活动自 12:10 开始明显加强,14:50 强回波才生成,有 2~3 h 的提前量。当 15:15 左右闪电数

达第 1 次高峰时,强回波面积仍处较低值,是风暴新生阶段。经过 2 个多小时迅速增长,17:08 风暴达其旺盛阶段,此时正是禹州,嵩县等地降水最强时,闪电频数也在 17:30 前后达到最大值,至 18:45,闪电频数开始减小,而强回波面积到 19:38 以后才开始变小。

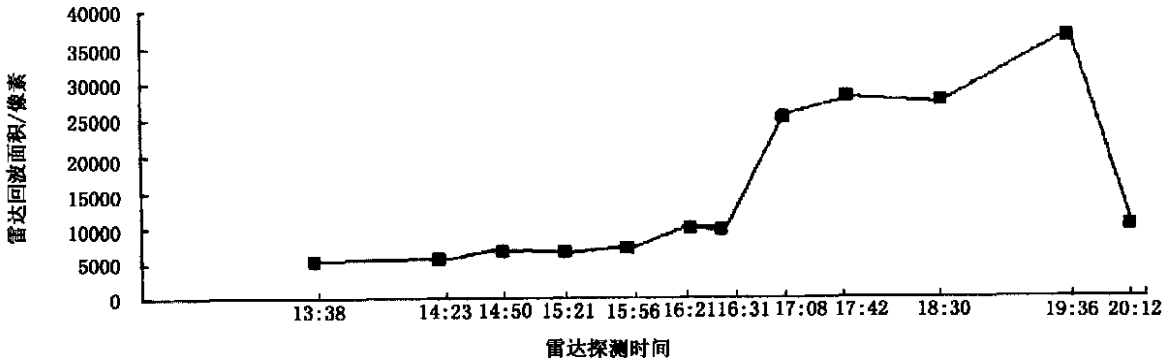


图 3 2003 年 6 月 19 日雷达回波面积图(像素数)  
(天线仰角:1.45°,最大距离 150 km,回波强度  $\geq 30$  dBz)

### 2.4 雷达强回波与闪电活动的关系

从 19 日不同时次雷达回波强度场上,可以看到,13:38 太行山西北侧有零散块状对流回波生成,15:56 许昌境内的禹州另有新生单体生成。16:21 新郑南部回波发展和禹州回波趋于合并,使禹州回

波加强,此时禹州 14 个乡镇和城区出现冰雹、大风、暴雨。16:31 禹州强回波的东南方许昌、鄢陵和西北孟县、孟津等地有新生单体出现,形成一条近西北—东南向的带状回波。17:42 带状回波北端向济源、沁阳方向发展,南端向平顶山、襄城处接近。18:

30 强回波中心对应的沁阳、襄城、博爱等地均降雹。19:38 强回波中心分别位于焦作、平顶山,此后强回波很快消亡,灾害性天气结束。

利用闪电定位系统的动态显示功能,查看了不同时次的闪电活动情况。13:38 左右(10 min 内),在郑州西北,方位角  $320^{\circ} \sim 345^{\circ}$ 、距离  $85 \sim 120$  km 的区域出现 4 个正闪,1 个负闪,随后西北方向闪电频数减少,西南和正南方向的平顶山、许昌等地闪电活动增多,17:00 ~ 18:30,闪电活动出现一个高峰期,且出现区域和带状回波的位置基本一致,19:10 之后,闪电频数明显减少,19:30 之后,雷达探测范

围内基本无闪电发生。

为了寻找雷达强回波与闪电活动的关系,选择 13:38、16:21、17:42、18:30、19:38 五个时次雷达 PPI 观测资料,绘制了雷达回波演变图,并标出了雷达观测时刻前后 10 min 闪电发生的位置(图 4)。可以看到,在雷达回波初生阶段,闪电发生位置向着雷达强回波(50 dBz 以上)未来发展的方向偏离;在较强降水维持时段,闪电发生位置基本与雷达强回波位置相同;而在回波消亡时段,雷达强回波区域并没有闪电发生。可见,有强回波不一定有强闪电,而闪电活动频繁的地区往往会有回波发展。

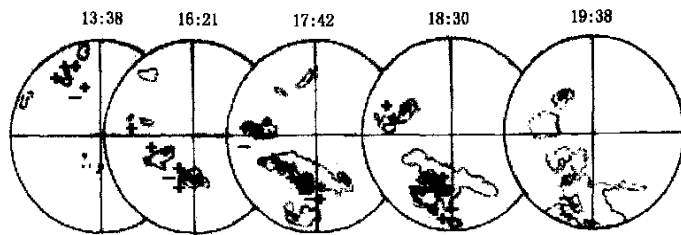


图 4 雷达回波演变与闪电活动示意

(天线仰角:  $1.45^{\circ}$ , 重复频率: 1000 Hz, 图中距离圈 150 km, “+”表示正地闪,“-”表示负地闪)

### 3 雷达回波速度场特征与闪电活动的关系

多普勒雷达比常规天气雷达的优势之处在于它可用来测量降水区内的风场结构和某些强对流天气的风场特征。在没有显著的垂直运动情况下,晴空大气回波的多普勒速度场代表了环境风场的径向分量分布,可从中分析到真实的环境风场。考虑到环境风场在大多数情况下在水平方向上可假定是均匀的,而只是在垂直方向上有变化,所以晴空大气回波的多普勒速度图像都是以 PPI 的方式显示,因为这种显示方式既能分析某高度平面上的均匀风场,又能分析在不同高度平面上的变化情况。纯粹的冷暖平流以及纯粹的大尺度辐合辐散相应的多普勒速度特征已为大家所熟悉<sup>[5]</sup>,实际大尺度运动往往是冷暖平流与大尺度辐合辐散运动的结合,夏文梅<sup>[6]</sup>等将相应的多普勒速度特征分成以下 4 种类型:①暖平流与辐合的结合;②冷平流与辐合的结合;③暖平流与辐散的结合;④冷平流与辐散的结合。相应的多普勒速度特征类型体现出零速度线在雷达两侧的顺转或逆转的弯曲程度存在明显的差异,如图 5 所示。

从 6 月 19 日 13:38 速度场上(图 6a),我们可以

看到类似于图 5c 的特征,在雷达站周围 30 km 范围内,零速度线随距离顺转,但零速度线弯向负区的顺转程度远远大于其在另一侧弯向正区的顺转程度,负速度区面积明显地小于正速度区的面积,这是典型的暖平流和辐散的结合,这表明低层大气虽有暖平流输送,但辐散的环境风场不利于对流的发展。在 14:23 速度回波图(图 6b)上,暖平流变弱,大尺度风场辐散;17:08 速度回波图(图 6c)上零速度线呈弓状,弯向负速度区,呈现出单纯的风场辐散特征,此时降水回波虽有明显的朝向雷达方向的径向风速分量,但由于低层大气辐散,降水回波在移向雷达测站的过程中必然趋于消散,因此降水回波始终没有向郑州发展。

反查当日闪电资料发现,闪电发生的位置变化与强回波的移动密切相关,而速度回波更清晰地反映和预示雷达回波的发展趋势,从图 1 地闪活动变化曲线上可以看出,18:45 之后,闪电频数急剧减少,而此时正值雷达回波趋于消散。另外,我们还发现,在雷达速度回波图上,速度辐合区也对应着闪电活动频繁的区域。以上分析表明:雷达回波速度场特征对闪电活动的预报有一定的指示意义。

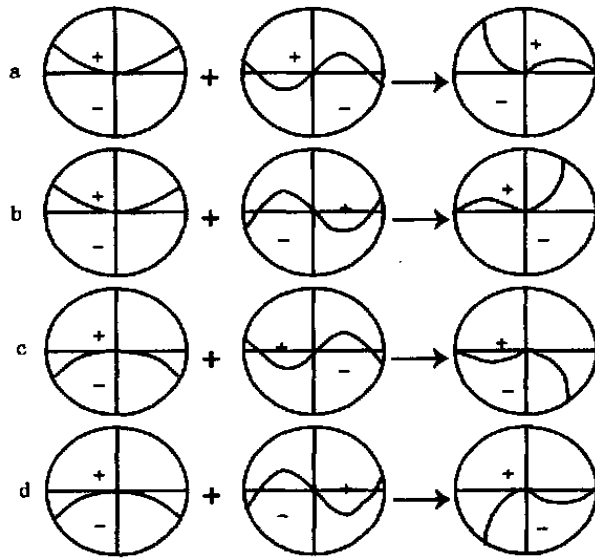


图 5 大尺度辐合辐散与冷暖平流结合示意

(a.大尺度辐合与暖平流结合;b.大尺度辐合与冷平流结合;c.大尺度辐散与暖平流结合;d.大尺度辐散与冷平流结合)

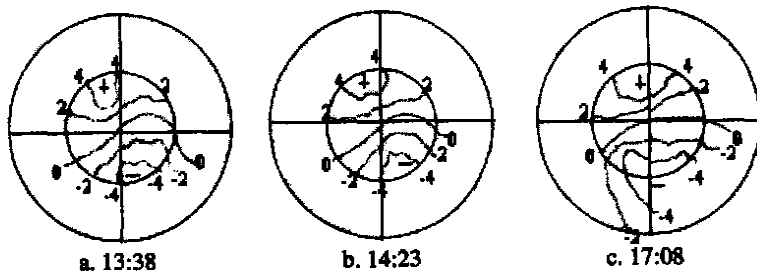


图 6 2003 年 6 月 19 日雷达速度场演变示意

(天线仰角:1.45°,重复频率:1000 Hz,图中距离圈分别为 30 .60 km)

#### 4 结论

本文通过对这次强风暴天气过程的闪电定位资料和 714CD 雷达资料分析,得到如下初步结论:

(1) 根据闪电分布图上正、负闪电频繁发生的方位及时间变化,结合雷达回波强度场资料,可以更好地推断对流系统的演变。

(2) 在雷达回波发展的不同阶段,闪电发生的区域与雷达强回波位置不一定对应:在雷达回波初生阶段,闪电发生位置向着雷达强回波未来发展的方向偏离;在较强降水维持时段,闪电发生位置基本与雷达强回波位置相同;在回波消亡时段,雷达强回波区域并没有闪电发生。

(3) 根据雷达速度场的一些典型特征,可以较好

地预测雷达回波演变的未来趋势,同时对闪电短时预报也有一定的指示意义。在低层存在不利于对流发展的环境风场特征时,降水回波在向测站移动的过程中趋于消散,闪电频数也随着减少;在降水回波速度辐合区,对应闪电活动频繁。

需要指出的是,实际天气过程中云闪数要远远大于地闪数<sup>[7]</sup>,而闪电定位系统监测到的地闪数也只是实际发生地闪的一部分,因此应用此类闪电资料与雷达回波进行综合分析有一定的局限性。

#### 参考文献

- 1 寿绍文,励申申,姚秀萍.中尺度气象学.北京:气象出版社,2003. 296,352,363
- 2 魏锦成,陈泽面.闪电定位资料应用于雷暴天气监测与诊断的个例分析.气象,1997,23(12),39-42
- 3 尤凤春,景华,李江波.“96.8”河北特大暴雨雷达回波和闪电资料

- 特征.气象,1999,24(8):46-49
- 4 蔡晓云,宛霞,郭虎.北京地区闪电定位资料的应用分析.气象科技,2001,29(4):33-38
- 5 胡明宝,高太长,汤达章.多普勒天气雷达资料分析与应用.北京:解放军出版社,2000.100-118
- 6 中国气象局北京城市气象研究所等.中美强对流天气临近预报技术国际研讨会文集.北京:气象出版社,2004.145-151
- 7 陈渭民.雷电学原理.北京:气象出版社,2003.137-230,324-335

## Synthetical Analysis of a Severe Storm Event Using Lightning and Doppler Radar Data

Yang Guofeng<sup>1,2</sup> Tang Dazhang<sup>1</sup> Liu Xiao<sup>2</sup> Zhang Yiping<sup>3</sup>

(1 Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044; 2 Henan Provincial Meteorological Bureau, Zhengzhou 450003; 3 Henan Provincial Meteorological Office, Zhengzhou 450003)

**Abstract:** Based on the synthetical analysis of lightning data and Doppler radar echoes from a severe storm event in Henan Province on 19 June 2003, relationship is found between lightning frequency and radar echo intensity. In the different phases of the radar echo variation, lightning location is sometimes consistent with the position of strong radar echo, and at some other times away from the position of strong radar echo; sometimes even no lightning occurs. Through analyzing velocity echo data, it can be seen that under the adverse lower-level wind field, precipitation radar echoes dissipated gradually while moving toward the station, and at the same time the lightning frequency decreased gradually.

**Key words:** severe storm, lightning position, Doppler radar, nowcasting