

070729 特大暴雨的地闪特征与降水相关分析

苗爱梅¹ 贾利冬² 吴 蓁³ 张娄平⁴

(1. 山西省气象台,太原 030006; 2. 山西省气象局;
3. 河南省气象台; 4. 山西省垣曲县气象局)

提 要: 利用闪电定位每分钟的实测资料、加密雨量站每分钟的雨量资料,以及卫星云图资料,对2007年7月29—30日,山西南部产生的特大暴雨的地闪特征进行了综合分析。发现:地闪出现在500hPa的5840gpm与5880gpm之间、 $TBB \leq -43^{\circ}\text{C}$ 的区域内;低空急流左侧3个经距、700hPa暖切变南侧2~3个纬距所围区域与 $TBB \leq -63^{\circ}\text{C}$ 的区域或云团南部TBB水平梯度的大值区相叠合的区域是地闪的高频数区和密集区,该区域与暴雨落区有较好的对应关系;3个中- β 尺度对流云团和1个MCC是导致特大暴雨产生的主要对流系统。分析结果表明:两个中尺度云团合并的时刻是闪电频次更高的时刻,两个中尺度云团合并的地点是闪电频次更高更密集、降水更强的区域;利用单站每分钟的地闪累积数以及与加密雨量站每分钟雨量的关系,可以识别中- γ 尺度对流系统,遥测小尺度强降水,提前35~40分钟预测雨强峰值的到来;只有在有利的高低层系统配置下,局地地闪频数与雨强随时间的变化才有很好的相关性。

关键词: 特大暴雨 地闪特征 相关分析

The Correlation Analysis between Cloud-to-ground Lightning Character and Precipitation of 070729 Super Rainstorm

Miao Aimei¹ Jia Lidong² Wu Zhen³ Zhang Louping⁴

(1. Shanxi Meteorological Observatory, Taiyuan 030006; 2. Shanxi Meteorological Bureau;
3. Henan Meteorological Observatory; 4. Yuanqu Meteorological Office)

Abstract: With the real-time data minutely measured by the lightning locator, and the precipitation data minutely measured from the encrypted precipitation station, as well as the satellite cloud picture, the cloud-to-ground lightning character in a super rainstorm occurred in the south of Shanxi on July 29—30, 2007 was analyzed. The results show that the cloud-to-ground lightning

基金项目: 山西省科技攻关项目“山西省中短期气象灾害预警系统”(041088)资助。

收稿日期: 2008年1月11日; 修定稿日期: 2008年2月26日

appeared in the area of 500hPa, between 5840gpm and 5880gpm, and $TBB \leq -43^{\circ}\text{C}$. The areas surrounded by 3 longitude distance, the left side of low jet flow, and 2—3 latitude distance, the south side of 700hPa warm shear, enclosed by the area of $TBB \leq -63^{\circ}\text{C}$ or the south of cloud cluster, big value zone of TBB horizontal grads, are the high frequency and dense areas of the cloud-to-ground lightning. There is a good correspondence between these areas and rainstorm falling area. Three meso- β scale convective cloud cluster and one MCC are the main convective systems, which resulted in the super rainstorm. The analysis result indicates that the time when a couple of meso- β scale cloud cluster incorporates is the time when the frequency of lightning is higher. The position where a couple of meso- β scale cloud cluster incorporates is the area where the frequency of lightning is higher and the precipitation is stronger. There is a good relationship between the minutely cumulated number of cloud-to-ground lightning from single station and the minute precipitation from the encrypted precipitation station. It can be used to identify meso- γ scale convective system, remotely survey small scale strong precipitation, and forecast the coming of rain intensity peak value ahead of 35-40 minutes. Only in favorable allocation of upper and lower air system configuration, there will be a perfect correspondence between the local cloud-to-ground lightning frequency and rain intensity change along with time.

Key Words: super rainstorm cloud-to-ground lightning character correspondence analysis

引 言

多年来气象工作者对各类强对流天气分别从天气形势、物理量场、能量场、卫星云图、雷达回波特征等方面进行了分析和研究^[1-7],揭示了强对流天气发生、发展的一些特点和成因。近些年来,随着闪电探测技术的飞速发展,国内外利用闪电定位系统和多种雷达获取的资料对强对流天气过程进行了大量的观测,并取得了许多有意义的结果。Rutledge 等^[8]发现,闪电频数和地闪的位置分布与观测的风暴降水结构相关。张义军等^[9]对对流和层状云系的电活动、对流及降水特性的相关性进行了分析。周筠君等^[10-11]利用对地闪的观测,研究了对流性天气系统中降水的估算。最近袁铁^[12]利用卫星观测的闪电资料研究了青藏高原闪电活动特征及其与气象要素之间的关系。纵观国内外对强对流天气的闪电特征的大量研究发现,目前对突

发性强降水闪电活动的时空分布特征的认识仍十分有限,对闪电与强降水的关系了解依然不够深入。正如 Relepez 等指出的,在美国佛罗里达州的对流云降水与雷电活动的关系复杂:第一,有时很少或没有闪电活动却产生显著的降水;第二,有时有大量闪电发生却降水很少;第三,闪电和降水间存在很好的相关。再如 Williams^[13]所指出的,大量个例分析表明该关系具有很大的可变性,因为不同的地理位置、气象条件、海拔高度都可能引起雷暴放电特征的差异。

2007 年 7 月 29—30 日,受副高西进东退影响,山西南部 23 个县市 24 小时降水量超过 50mm,其中 4 个县市的雨量超过 100mm,运城市垣曲县 24 小时降雨量达 313.3mm,1 小时降水强度为 78.8mm,位于该县暴雨中心的朱家庄自动雨量站记录 24 小时降雨量达 384.7mm。强降雨造成运城市 16 条主要河流、117 条峪口沟道爆发超标洪水。政府公布的灾情调查称:这次强降水

造成的灾害,范围之广、程度之重、损失之巨,均为历史上所罕见。据不完全统计,仅运城市受灾人口达 20 万余人,死亡 13 人、失踪 3 人、受伤 14 人,倒塌损毁房屋 3857 间(孔),桥梁被毁 138 座,道路被毁 297km,河堤被毁 72km,农田及大田作物被毁 $1.7 \times 10^4 \text{ hm}^2$,直接经济损失达 14.96 亿元。本文试图通过垣曲县每分钟的加密雨量站资料,阳城、沁源、绛县每小时的多要素自动站资料,卫星云图资料和山西省 7 个地市组网后每分钟累积地闪资料,分析地闪密度与高低空系统配置的关系、对流云团的演变特征、地闪分布与云顶亮温的关系,揭示特大暴雨区两个中尺度云团合并的时刻和地点与闪电频次、降水强

度的关系;高低空系统配置、TBB、地闪密度与暴雨落区的关系;同一对流云团中不同地域地闪频数与降水的相关性,同一地域不同对流云团地闪频数与降水的关系,为突发性强降水的临近预报提供参考依据。

1 影响系统动态与观测资料来源

1.1 天气背景及影响系统

表 1 给出了 2007 年 7 月 28—30 日,30~40°N、105~115°E 700hPa 冷切变和暖切变、500hPa 槽线和暖切变线的动态变化及 35~40°N 5880gpm 线和 5840gpm 线的位置变化,及垣曲县气象站不稳定指数。

表 1 2007 年 7 月 28—30 日中低层天气系统位置及垣曲县不稳定指数

	28 日		29 日		30 日	
	08 时	20 时	08 时	20 时	08 时	20 时
700hPa 冷切变	106.0°E	105.0°E	108.0°E	109.5°E	111.5°E	113.5°E
700hPa 暖切变	38.5°N	37.5°N	37.0°N	36.0~37.0°N	消失	消失
500hPa 槽线	105.0°E	106.0°E	106.0°E	108.5°E	109.0°E	114.0°E
500hPa 暖切变	39.0°N	38.0°N	37.5°N	37.5°N	消失	消失
5880gpm 线	119.5°E	118.5°E	117.0°E	114.0°E	116.5°E	118.0°E
5840gpm 线	114.0°E	112.5°E	111.2°E	110.5°E	113.4°E	114.0°E
850hPa 暖切变	38.5°N	37.5°N	37.0°N	36.0~37.0°N	消失	消失
K 指数/°C	33	38	38	39	37	36
SI 指数/°C	0	-1.7	-1.1	-2.0	-0.9	-0.5
$\Delta\theta_{se500-850}/\text{C}$	-5	-7	-13	-13	-3	-2

由表 1 可知,2007 年 7 月 28 日 08 时至 29 日 20 时副高西进,29 日 20 时以后副高东退,30 日 20 时,5880gpm 东撤到 118.0°E 处。28 日 08 时,700hPa 暖切变位于 38.5°N,之后逐渐南压,29 日 20 时南压到 36.0~37.0°N(110.0°E 处暖切变位于 36.0°N,115.0°E 处暖切变位于 37.0°N),30 日 08 时暖切变消失。从垣曲县各项指数表明,28 日 08 时至 29 日 20 时,随着副高的西进大气层结不稳定度迅速增加,29 日 20 时以后随着冷空气的入侵副高东退,不稳定能量

释放,大气层结由不稳定趋于稳定状态。

1.2 观测资料来源

2005 年,山西省气象局在太原、长治、晋中、阳泉、大同、离石和运城 7 个地市安装了中国科学院空间科学与应用研究中心研制的 ADTD 雷电监测定位系统。该雷电监测定位系统的特征参数见表 2。

本文所用的雷电资料为上述 7 个地市组网后每分钟的累积地闪资料(组网后的特征参量见表 3),山西 78 个自动站的逐时雨量、

表 2 ADTA 探测仪的探测参量与指标

参数	指标
回击波形到达精确时间	精度优于 10^{-7} s
方位角	优于 $\pm 1^\circ$
磁场峰值	优于 3%
电场峰值	优于 3%
波形特征值(4 个)	精度优于 10^{-7} s
陡度值	优于 3%

垣曲县加密雨量站每分钟的雨量资料、108 个县常规气象观测资料 and 自记雨量资料。卫星资料为风云 2C 卫星每 30 分钟的 TBB 资料。

表 3 组网后的雷电监测定位系统的探测参量与指标

参数	单位	指标
回击发生的精确时间	$0 \cdot 1 \mu\text{s}$	精度优于 10^{-7} s
回击位置(经纬度)	度	网内精度优于 300m
强度	KA	相对误差优于 15%
波形特征参量	$0 \cdot 1 \mu\text{s}$	精度优于 10^{-7} s
陡度值	KA/ μs	相对误差优于 15%
放电量	库仑	相对误差优于 30%
峰值功率	兆瓦	相对误差优于 30%

2 地闪特征分析

2.1 地闪密度分布与高低层系统配置

2007 年 7 月 29 日 08 时至 31 日 08 时, 全省范围总地闪次数为 7376 次, 其中负地闪 6815 次, 正地闪 561 次, 在总地闪次数中, 负地闪所占比例为 92.4%; 1 分钟地闪频数的最大值是 22 次。地闪出现在 500hPa 的 5840gpm 与 5880gpm 之间的区域(图 1a, 5880gpm 线是副高的特征线, 用以表示副高的动态, 在副高东退南压过程中 5840gpm 线象征着西风带中纬度系统, 表示冷空气动态, 若 5840gpm 线偏西或偏北, 与 5880gpm 线之间的距离超过 4 个经纬距, 则说明中低纬系统的相互作用不明显), 地闪密集区位于低空急流左侧 3 个经距内、700hPa 暖切变南侧 2~3 个纬距内(图 1a, 见彩页), 地闪密集区

与暴雨落区有较好的对应关系(图 1b, 见彩页)。

2.2 影响特大暴雨区的对流云团及地闪分布特征

(1) 中尺度对流云团的演变

卫星红外云图动画显示, 29 日 12:00 位于运城市的 1 号对流云团东移发展, 13:30 进入垣曲县, 此时云顶亮温 TBB(以下简称 TBB) 达 210K(图 2, 见彩页), 13:00—14:00, 垣曲县 1 小时降水量达 40.1mm, 同时有 2 号中- α 尺度对流云团覆盖在晋东南地区, 3 号中- β 尺度对流云团在河南省境内生成。1 号对流云团在垣曲县滞留 2 小时后东移与发展北上的 3 号对流云团 16:00 在晋东南地区合并。18:30, 4 号中- β 尺度对流云团在山西西南边界生成; 19:30, 5 号中- β 尺度对流云团在垣曲县附近生成; 20:00, 北上发展的 4 号中- β 尺度对流云团与 5 号中- β 尺度对流云团在垣曲县合并发展, 22:00—23:00, 垣曲县 1 小时降水量高达 78.8mm。17:00, 在河南省境内又有两个中- β 尺度对流云团生成, 18:30, 这两个中- β 尺度对流云团合并, 之后在北上过程中不断发展, 21:00 已经发展成为 TBB 值达 210K 的中- α 尺度的 6 号对流云团(达到 MCC 的标准^[14-15])。6 号对流复合体在 30 日 0:00 进入山西省境内, 之后不断北上发展, 30 日 01:00—04:00 影响垣曲县, 该县 3 小时降水量达 86.0mm。30 日 04:00—09:00, 6 号中尺度对流复合体在北上东移过程中使临汾东部、长治、晋城地区出现区域性暴雨, 沁源县 6 小时降水量达 91.0mm。

(2) 影响垣曲县的对流云团及地闪分布

由图 2 对流云团的演变及地闪分布可知, 造成垣曲县特大暴雨的主要影响云团有: 1 号中- β 尺度对流云团、4 号与 5 号中- β 尺度对流云团合并发展后的中尺度对流云团、

以及在河南生成北上发展的 6 号中尺度对流复合体(MCC)。由图 2 还可看出,地闪主要分布在云顶亮温 $TBB \leq 230K$ 的区域内以及云团南部 TBB 水平梯度的大值区。图 3 是

7 月 29 日 12 时至 30 日 08 时垣曲县地闪频数与 TBB 的时间序列图。由图 3 可知,7 月 29 日 12 时至 30 日 05 时单站的地闪频数与 TBB 呈反比,TBB 越小,地闪频数越高。

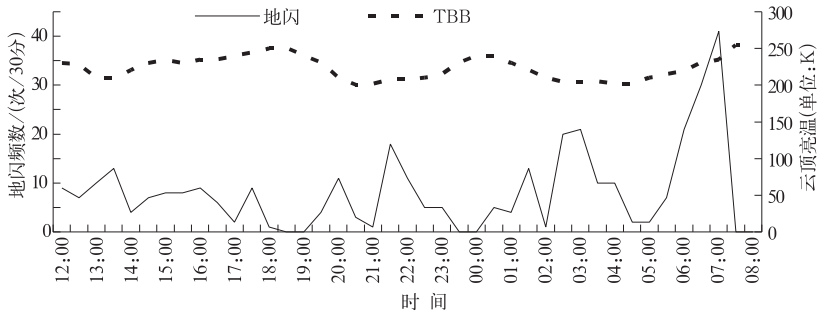


图 3 7 月 29 日 12 时至 30 日 08 时垣曲县地闪频数与 TBB 的时间序列图

2.3 地闪频数与雨强的相关性分析

7 月 29 日 08:00 至 30 日 08:00,特大暴雨过程的降水主要分 3 个时段。第一个降水时段为 29 日 12:00—14:00。在此时段,垣曲县受 1 号中- β 尺度对流云团影响,1 小时最大降水量达 40.1mm,1 分钟最大降水量为 2.1mm。第二个降水时段为 29 日 20:00—23:00。该时段,垣曲县首先受本地生成的 5 号中- β 云团影响,接着又受 4 号与 5 号中- β 尺度对流云团合并发展的影响,垣曲县 3 小时降水量为 125.5mm,1 小时最大降水

量达 78.8mm,1 分钟最大降水量为 2.2mm。第三个降水时段为 30 日的 01:00—04:00。该时段主要受 6 号中尺度对流复合体(MCC)影响,3 小时降水量为 86.0mm,1 小时最大降水量为 42.9mm,1 分钟最大降水量为 1.8mm。

图 4a 给出了垣曲县地闪频数与雨强的时间相关图。图中的雨量曲线和地闪曲线分别由垣曲县加密雨量站每分钟的雨量资料 6 分钟累计、每秒钟的地闪 6 分钟累计次数点绘。

图 4b 为垣曲县、绛县每小时的地闪频

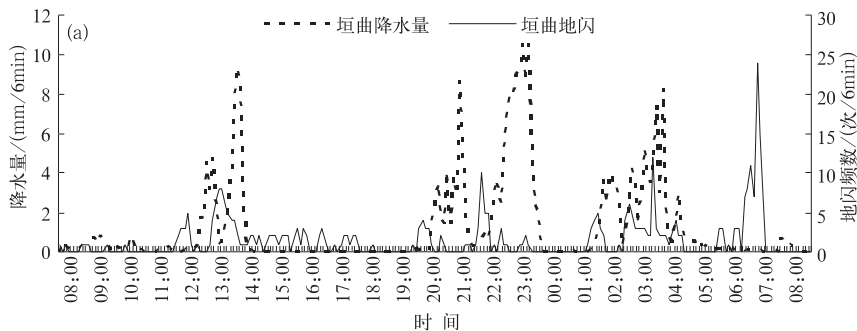


图 4a 2007 年 7 月 29 日 08 时至 30 日 08 时山西省垣曲县地闪与雨强随时间的变化

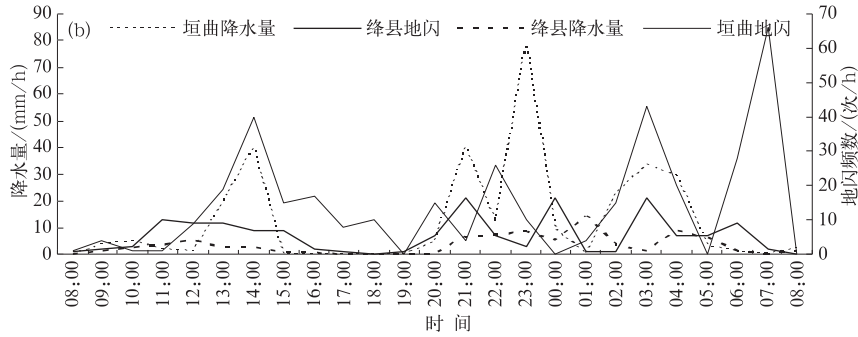


图 4b 2007 年 7 月 29 日 08 时至 30 日 08 时山西省绛县和垣曲县地闪与雨强随时间的变化

数与每小时的雨量随时间的变化。闪电探测距离为 300km;探测范围分别取垣曲县和绛县辖区。绛县与垣曲县交界,位于垣曲的北部。由图 2 对流云团的演变可知,特大暴雨过程中绛县与垣曲县受相同的对流云团影响。

此次特大暴雨过程的特征从图 4b 可得到印证:垣曲县和绛县降水时段为 3 段,4 次地闪峰值分别对应应有 4 次雨峰。第一和第三时段,降水为单峰型,分别由 1 号中- β 尺度对流云团和 6 号中尺度对流复合体(MCC)引起;第二时段,降水为双峰型,首先由本地生成的 5 号中- β 尺度对流云团单独影响,随后 4 号、5 号中- β 尺度对流云团合并发展再度影响。由图 4b 可以看出,逐时累积地闪与逐时累积雨量随时间的演变,可以识别中- β 尺度的对流系统。

此次特大暴雨过程的特征从图 4a 可以得到更有力的说明。降水主要分 3 个时段,这与图 4b 的描述是一致的。不同的是,第一、第二时段,地闪与降水均为双峰型;第三时段,地闪与降水均为三峰型。说明在第一和第三降水时段,还有中- γ 尺度的对流系统活动。图 4a 表明,每 6 分钟累积地闪与累积雨量随时间的演变,可以识别中- γ 尺度对流系统,可提前 30~40 分钟预测雨强峰值的到来。

由图 4、图 2 综合分析可知:4 号、5 号中- β 尺度对流云团在 29 日 19:30—20:00 合并,合并的时刻是闪电频次跃升的时刻,合并

的地点垣曲县在 29 日 20:48 出现了第二降水时段的第一次雨峰;29 日 21:00—21:30, 4+5 号对流云团与 1+3 号对流云团结合,在结合地垣曲县 21:24—21:30,6 分钟累积地闪达 10 次,22:48,6 分钟降水量达 10mm,出现了第二降水时段的第二次雨峰;30 日 01:00—01:30,从河南北上的 6 号对流复合体(MCC)与 4+5 号对流云团后部新生的中- β 对流云团结合,01:12,在结合点垣曲县闪电频次再度跃升,01:36,在结合地垣曲县出现了第三降水时段的第一次雨峰。另外,图 2 中还显示,在 29 日 15:00—16:00,1 号中- β 尺度对流云团和 3 号中- β 尺度对流云团在沁水结合,沁水县闪电频次跃升,16:00 沁水县 1 小时降水量(图略)达 21.0mm。

综合分析结果证实两个中尺度云团合并的时刻和地点是闪电频次更高、降水强度更大这一观测事实。

观测和分析结果表明:29 日 08 时至 30 日 05 时,垣曲县和绛县地闪频数与雨强随时间的变化都有很好的相关性;负地闪的出现及其频数的增加意味着影响该地区的对流风暴正在发展并向本地移来,地闪频数峰值的出现意味着雨强峰值的迅速到来。30 日 05:00—07:00,垣曲县和绛县都出现了频数很高的地闪,但随后并没有再度出现雨峰,且实况降水量特小或无降水。这说明仅靠单站地闪频数峰值还不能更准确地预测未

来雨强的峰值。

2.4 干打雷空地闪成因探讨

由表 1 可知,30 日 08 时,850hPa~500hPa 的暖切变全部消失,5880gpm 线已东退到 116.5°E,5840gpm 线已东退到 113.4°E (山西省的东部地区),准确地说,特大暴雨区已经丧失了副高边缘充足水汽输送的条件,这一点可以从 30 日 08 时水汽通量散度(29 日 20 时为 $-1.0 \times 10^{-7} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,30 日 08 时为 $0.4 \times 10^{-7} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)的分析场得到证实(图略)。此时能促使特大暴雨区产生高频数雷电的动力条件是 700hPa 的冷式切变和 500hPa 的槽线。

3 结语

(1) 2007 年 7 月 28—30 日山西南部特大暴雨过程发生在副高西进和东退过程中。地闪出现在 500hPa 的 5840gpm 与 5880gpm 之间、 $\text{TBB} \leq -43^\circ\text{C}$ 的区域内;低空急流左侧 3 个经距、700hPa 暖切变南侧 2~3 个纬距所围区域与 $\text{TBB} \leq -63^\circ\text{C}$ 的区域或云团南部 TBB 水平梯度的大值区相叠合的区域是地闪的高频数区和密集区,该区域与暴雨落区有较好的对应关系。

(2) 特大暴雨过程主要由:1 号中- β 尺度对流云团、4 号与 5 号中- β 尺度对流云团合并发展、以及在河南生成北上发展的 6 号中尺度对流复合体(MCC)引起。

(3) 两个中尺度云团合并的时刻和地点闪电频次更高,降水强度更大。

(4) 利用单站逐时地闪与雨强随时间的演变关系可以识别中- β 尺度的对流系统,利用单站每分钟地闪的累积数以及与加密雨量站每分钟雨量的关系,可以识别中- γ 尺度对流系统,可提前 35~40 分钟预测雨强峰值的到来。

(5) 只有在 5840 与 5880gpm 控制区域、低空急流左侧 3 个经距、700hPa 暖切变南侧 2~3 个纬距内,局地地闪频数与雨强随时间的变化才有很好的相关性,利用地闪频数峰值才能准确地预报强对流风暴产生的局地强降水。

参考文献

- [1] 项素清,徐燕峰. 浙北地区一次强对流天气过程分析[J]. 气象,2003,29(5):46-50.
- [2] 漆梁波,陈永林. 一次长江三角洲飑线的综合分析[J]. 应用气象学报,2004,15(2):162-173.
- [3] 王莉萍,崔晓东,常英,等. 一次飑线天气的非正规气象资料特征分析[J]. 气象,2006,32(10):88-93.
- [4] 王军,周官辉,杜滨鹤,等. 豫北一次飑线天气过程分析[J]. 气象,2002,28(11):37-41.
- [5] 曹俊武,刘黎平. 双线偏振多普勒天气雷达识别冰雹区方法研究[J]. 气象,2006,32(6):13-19.
- [6] 谢梦莉,黄京平,俞炳. 一次罕见的飑线天气过程分析[J]. 气象,2002,28(7):51-54.
- [7] 苗爱梅,梁海河,贾利冬,等. 副高边缘两次暴雨过程的地闪特征[J]. 气象科技,2007,35(s):8-14.
- [8] Rutledge S A, C Lu, D R Mac Gorman. Positive cloud-to-ground lightning in meso scale convective system[J]. J Atmos Sci, 1990, 47: 4085-2100.
- [9] 张义军,华贵言,言穆弘,等. 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(4):396-405.
- [10] 周筠君,郗秀书,王怀斌,等. 利用对地闪的观测估算对流性天气中的降水[J]. 高原气象,2003,22(2):168-172.
- [11] 周筠君,郗秀书,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):103-111.
- [12] 袁铁,郗秀书. 青藏高原中部闪电活动与相关气象要素季节变化的相关分析[J]. 气象学报,2005,63(1):123-127.
- [13] Williams E R. The electrification of severe storms[J]. Meteorol Monogr,2001,28:527-561.
- [14] 吕艳彬,郑永光,李亚萍,等. 华北平原中尺度对流复合体发生的环境和条件[J]. 应用气象学报,2002,13(4):406-412.
- [15] 杨本湘,陶祖钰. 青藏高原东南部 MCC 的地域特点分析[J]. 气象学报,2005,63(2):236-242.

苗爱梅等：070729特大暴雨的地闪特征与降水相关分析

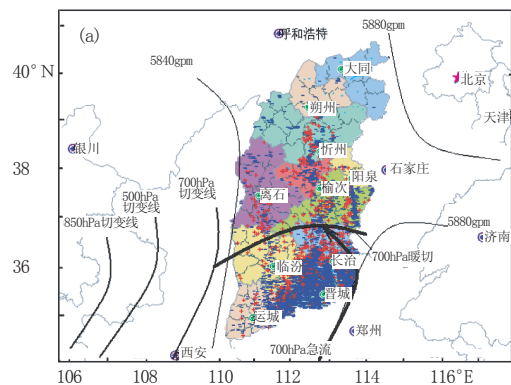


图 1a 2007年7月28-30日特大暴雨过程地闪分布与29日20时高低空系统配置

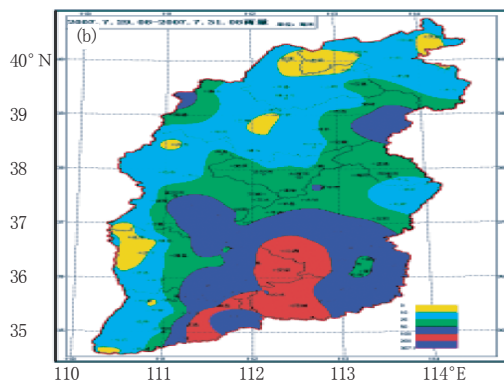


图 1b 过程降水量分布

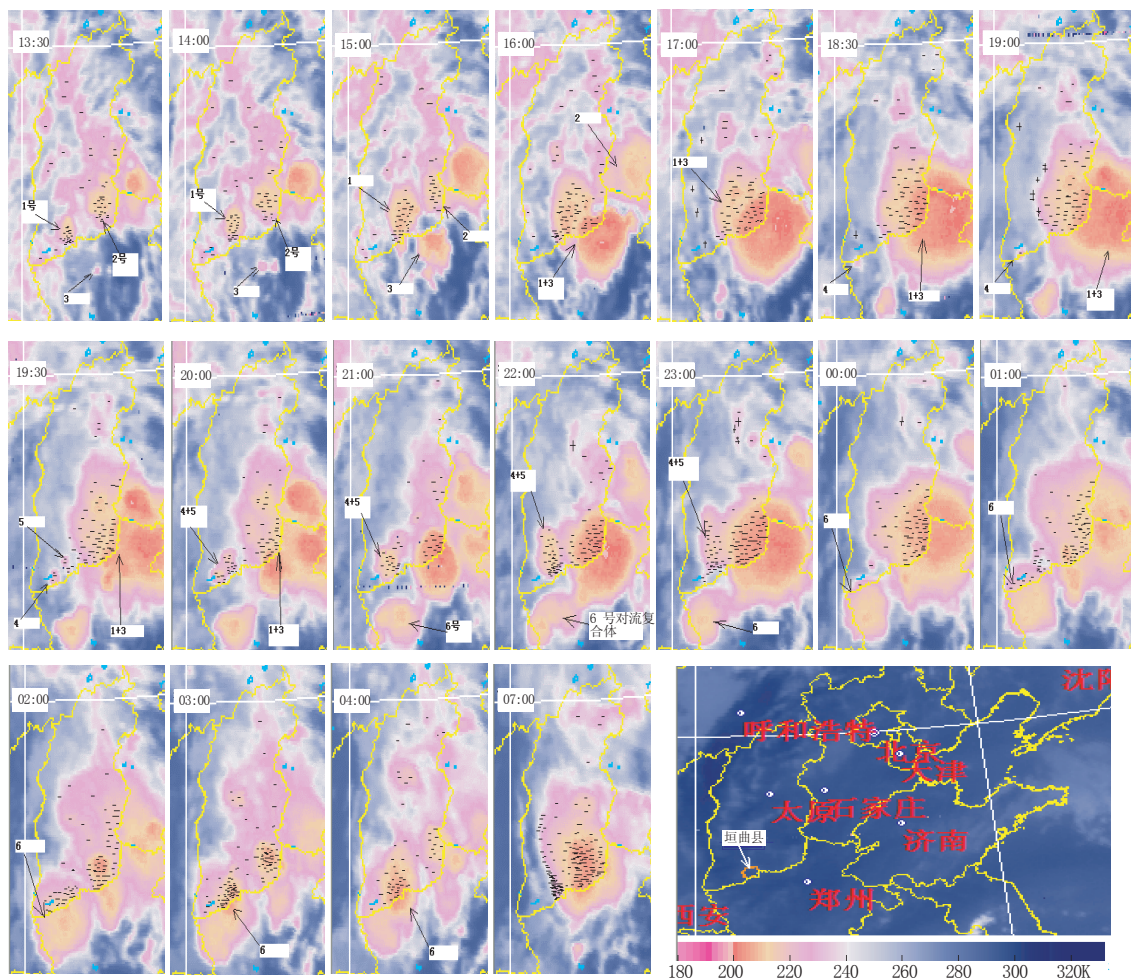


图 2 2007年7月29日13:30至7月30日07:00对流云团的演变及地闪分布