

文章编号: 1000-2022(2006)02-0228-07

北京强雷暴的地闪活动与雷达回波和降水的关系

李建华^{1,2}, 郭学良³, 肖稳安¹

(1 南京信息工程大学 电子工程系, 江苏 南京 210044; 2 威海市气象局, 山东 威海 264200
3 中国科学院 大气物理研究所, 北京 100029)

摘要: 对 2000—2001 年发生在北京地区的 8 次天气过程进行了闪电与降水特征的统计分析, 并针对两类典型暴雨和冰雹天气进行了详细的雷达、闪电特征分析。结果表明: 降雨和降雹天气的地闪特性具有明显差异。降雹天气的正闪比例较大, 特别在降雹前正闪频数增加剧烈。闪电通常发生在 45 dBZ 以上的回波区, 比目前闪电在中纬度通常发生在 30~45 dBZ 等其他一些研究结果偏高。

关键词: 地闪; 强对流天气; 雷达回波

中图分类号: P427.321 **文献标识码:** A

Relationship of Cloud-Ground Lightning Activities with Radar Echo and Precipitation in Storms of Beijing

LI Jian-hua^{1,2}, GUO Xue-liang³, XIAO Wen-an¹

(1 Department of Electronic Engineering NUIST, Nanjing 210044 China; 2 Weihai Meteorological Bureau, Weihai 264200 China
3 Institute of Atmospheric Physics Chinese Academy of Sciences Beijing 100029 China)

Abstract The observational characteristics of cloud-ground lightnings and precipitation for 8 storms during 2000—2001 are investigated and radar echo and lightning features for two types of heavy-rain and hail-producing weather are analyzed detailedly. There are apparent differences of lightning features between heavy-rain and hail-producing weather. The hail-producing weather has more positive lightnings and especially at the time just before hailfall the positive lightning frequency increases rapidly. In addition, it is also found that lightnings often occurred within radar echoes of more than 45 dBZ in the studied cases, which is a little higher than the 30—45 dBZ in mid-latitude region suggested by previous studies.

Key words cloud-to-ground lightning; convective weather; radar echo

0 引言

20 世纪 60 年代, 人们观测到闪电以后降雨有

猛增的现象^[1]。Piepgrass 等^[2]发现每分钟的闪电数与降水密切相关, 降水率峰值落后地闪峰值约 10 min。Goodman 等^[3]的研究表明总雨量与风暴的闪

收稿日期: 2005-01-30 改回日期: 2005-05-10

基金项目: 江苏省气象灾害重点实验室项目 (KLME050101); 国家自然科学基金资助项目 (40175001); 人工增雨的机理与方法研究 (40333033); 中国科学院重要方向性项目 (KZCX3-SW-213); 国家十五攻关项目 (2001BA610A06)

作者简介: 李建华 (1980-), 女, 山东烟台人, 研究方向: 云降水物理与强风暴。E-mail: jianhua80@126.com.

电密度之间重合程度很高。Buchler等^[4]研究了气团雷暴 10 m in 地闪频数与雷达测量的降雨通量极值之间的关系, 发现两者呈正相关 (相关系数 0.94)。Zipser等^[5]认为能引起闪电的快速起电的回波阈值为 -10 处的回波强度为 40 dBZ。

随着我国闪电监测系统的建立和闪电数据的积累, 许多科学工作者进行了闪电活动与降水^[6]、灾害性冰雹、大风天气的统计分析研究。陈哲彰^[7]研究了我国华北地区中尺度对流系统, 指出暴雨过程地闪频数很高、正地闪百分比很低, 而冰雹大风天气的地闪频数很低、正地闪百分比很高。Tao等^[8]研究指出, 冰雹大风天气的地闪频数很低, 而云中闪电频数很高, 多于地闪。张义军等^[9]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, 而与一般性降雨对应关系较差。

本文利用 2000—2001 年发生在北京地区的 8 次天气过程的观测资料, 详细分析了闪电、地面降水和雷达回波之间的关系。

1 资料

闪电资料是北京市气象局已经投入业务使用的 XDD03A 闪电观测资料, 主站设在北京市气象局本部, 辅站设在延庆、平谷、房山、北京人工影响天气办

公室的观测点。XDD03A 闪电探测系统能连续实时自动探测到以测站为中心, 半径 500 km 范围的闪电活动, 能根据需要将几分钟至 24 h 发生的闪电按指定范围、闪电强度、雷电数量和正负闪分布比例用直方图和峰值电流累积图同时给出。

雷达资料由北京市气象台雷达站 3824C 波段多普勒天气雷达提供, 2001 年的雷达资料是 3830 多普勒天气雷达观测的。天气图是由 NCEP 再分析资料绘制的。

2 天气背景分析

从天气背景看, 2000—2001 年北京地区发生的这 8 次天气过程可以划分为两种典型类型, 一种是西南低涡系统北移造成的强对流天气过程, 如 2000 年 7 月 4—5 日 (图 1a), 在 500 hPa 上河套地区有一个典型的西南低涡, 东部为副热带高压控制。7 月 4—5 日北京市几乎所有地区均出现程度不等的连续性强降雨现象。

另一种属于北方冷空气入侵型, 强冷空气进入北京地区上空, 形成强烈不稳定天气。如 2001 年 7 月 25 日 (图 1b) 和 8 月 23 日 (图略) 受贝加尔湖冷涡影响, 冷锋过境引起强对流性天气。2001 年 7 月 25 日天气现象记录为飏线。2001 年 8 月 23 日降水从西北往东南逐渐发展, 在城区出现降雹, 雷阵雨来

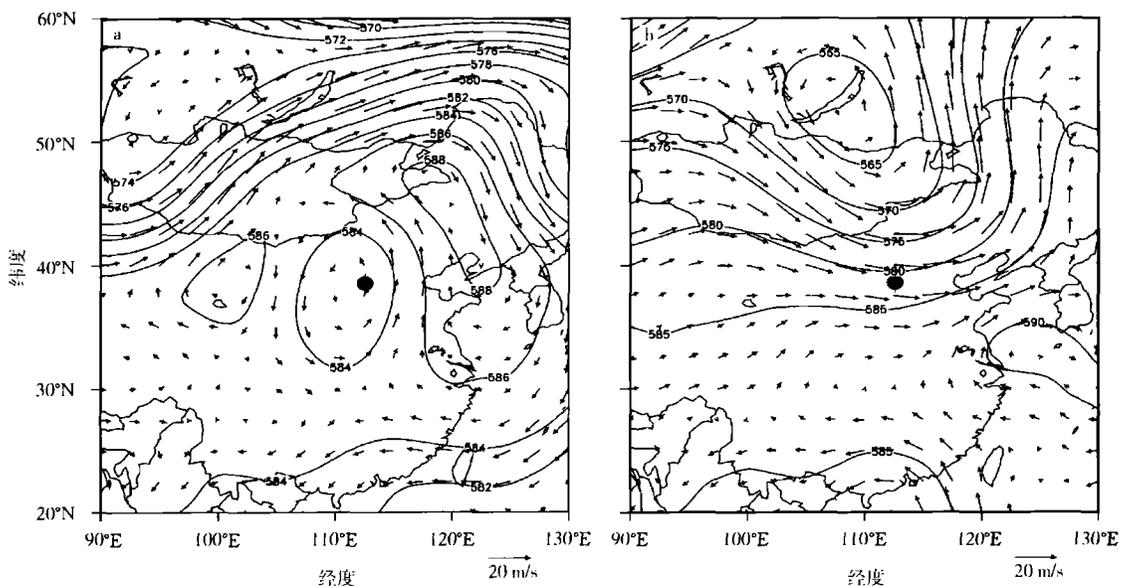


图 1 08 时 500 hPa 气压场 (单位: hPa) 和风场 (单位: m/s) 分布 (图中 \bullet 代表北京的中心位置 116 E、40 N)
a 2000 年 7 月 5 日; b 2001 年 7 月 25 日

Fig 1 Pressure (units hPa) and wind (units m/s) fields at 500 hPa at 08 00
(black points in figures represent the central position of Beijing at 40 N, 116 E)
a 5 th July 2000, b 25 th July 2001

势凶猛且持续时间较短,并伴有 8 级以上的瞬时大风。类似的天气有 2000 年 5 月 17 日、31 日和 8 月 8 日、11 日。

3 资料分析

3.1 闪电与天气类型的统计特征

利用观测记录对 8 个个例进行了包括总闪电数、正负闪电数以及对应的天气类型的统计分析(表 1)。

从表 1 可以看出,在全天过程中,闪电总数与灾害性天气的强弱没有明显的关系,如 2000 年 8 月 8 日总闪电数达 179 次,2001 年 7 月 25 日总闪电数仅为 68 次,但是天气现象比 8 月 8 日剧烈得多。负闪总数在全天过程中占有主导地位(占 80% 以上),但负闪与雷暴天气的强弱之间亦无明显关系,只与降水存在一定的关系,负闪频数高,降水强;负闪频数低,降水弱。如 2000 年 7 月 4 日、5 日和 8 月 8 日 3 d 其中 7 月 5 日负闪频次最少,降水最弱。在全天过程中正闪与总闪频次比例不高,但与剧烈的强天气现象却有明显的关系,高正闪电比例对应剧烈的天气现象。如 7 月 4 日,7 月 5 日,8 月 8 日最大只有 17%,只出现阵性降水和暴雨天气,而其他几次过程明显呈递减趋势,相应出现了冰雹、大风等激

烈性天气现象。如 2000 年 5 月 17 日,5 月 31 日,8 月 11 日,2001 年 7 月 25 日,8 月 23 日的冰雹、大风天气里,发生降雹之前,正闪的比例明显增加,高达 55% ~ 85%,由表 1 还可以看出,正闪一般会提前于降雹大风几十分钟到 1 h 产生。这就可能为冰雹等强雷暴天气预警提供参考。

3.2 闪电频数与降水量的关系

图 2 给出了其中 3 个对流性天气过程中北京 19 个站每小时的累积降水量与闪电频数的演变关系。从图中可以看出降水量随时间变化很明显。

2000 年 7 月 5 日和 8 月 11 日的降水量与负闪频数的对应关系较为一致,降水量峰值与负闪频数峰值同相或落后一个时次。7 月 4 日的降水量与负闪频数分别出现多个峰值,关系比较复杂,降水与负闪频数关系不如前面两次天气过程显著。但由表 1 可以看出在地面出现强降水的时间里,如 2000 年 7 月 4 日 12~13 时,房山地区每小时降雨猛增为 73 mm,正闪比例为 17%,有明显的提高。

3.3 闪电与回波结构、地面降水类型的关系

对 2000 年 7 月 4 日的暴雨个例和 2001 年 8 月 23 日的冰雹大风个例的回波强度与对应的闪电特征的进行了分析。图 3 给出了 2004 年 7 月 4 日两个个例的雷达回波和同一时刻对应的闪电分布,图

表 1 8 个研究个例的地闪特性和天气特性

Table 1 Characteristics of cloud-ground lightnings and weather in 8 cases

| 时间 | 全天过程中的地闪特性 | | 降水发生前的地闪特性 | | 单站最大 降水量 /mm | 天气情况 |
|-----------------|------------|---------|--------------|---------|-----------------|--|
| | 总闪次数 | 负闪 / 总闪 | 总闪次数 | 正闪 / 总闪 | | |
| 2000 年 7 月 4 日 | 157 | 91 1% | 6(提前 42 min) | 17% | 73 | 全天大范围暴雨 |
| 2000 年 7 月 5 日 | 95 | 86 3% | 12(提前 1 h) | 0% | 42 | 短时降雨 |
| 2000 年 8 月 8 日 | 179 | 92 2% | | | 20 | 大范围层积云降雨 |
| 2000 年 5 月 17 日 | 29 | 62 1% | 7(提前 33 min) | 85 7% | | 12:50 首先在顺义开始降雹, 13:00 怀柔东南部、平谷境内、通县 降雹,降雹过程于 16:00 左右结束 |
| 2000 年 5 月 31 日 | 132 | 84 8% | 5(提前 15 min) | 83 3% | | 17:30 开始,延庆、密云、怀柔、 平谷都发生了不同程度的降雹 |
| 2000 年 8 月 11 日 | 342 | 88 9% | | | 29 | 降雹天气 |
| 2001 年 7 月 25 日 | 68 | 82 8% | 9(提前 1 h) | 55 5% | | 20:00~20:30 昌平区出现 雷雨大风并出现了冰雹, 冰雹最大直径为 40 mm。 |
| 2001 年 8 月 23 日 | 314 | 84 6% | 7(提前 6 min) | 85 7% | 29 | 20 时左右,城中城中、 南部地区大范围降雹, 并伴有 8 级以上的瞬时大风 |

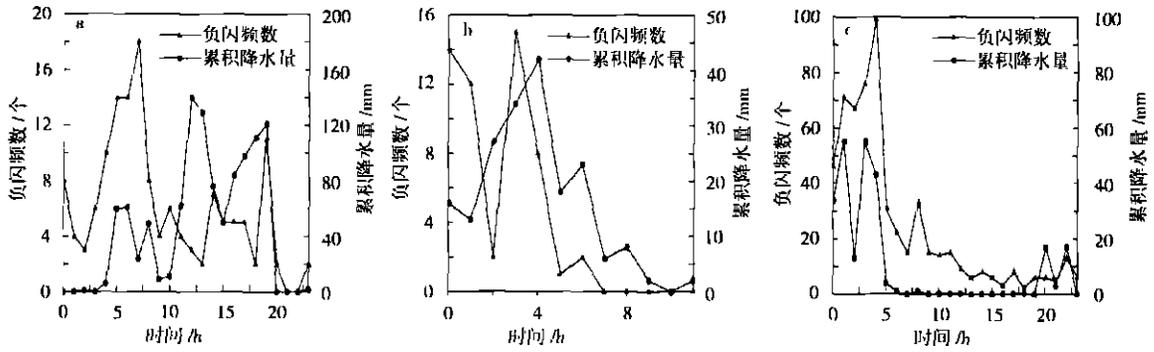


图 2 2000年北京地区所有测站的累积降水量与负闪频数随时间的演变

a 7月4日; b 7月5日; c 8月11日

Fig 2 Temporal evolution of negative lightning frequency and the precipitation sum of all stations in Beijing in 2000

a 4th July, b 5th July, c 11th August

4给出了对应雷达回波的 1 h 间隔的闪电分布, 用来分析闪电随回波的演变过程。

2000年 7月 4日 13: 48(图 3a), 北京西部地区已经形成较大范围的回波, 但大于 45 dBZ 的强回波区主要有 3 处, 分别在北京市区西的房山地区和北京市区的东南、东北方向。最大回波达 50~55 dBZ。对应这几处强回波区, 有 13 处闪电出现 (图

4a), 其中有 3 个正地闪、10 个负地闪。由此可见, 闪电活动区与 45 dBZ 以上的强回波区有较好的对应关系。在此时段, 房山测站观测降水量达到 73 mm/h, 是整个过程观测到的最大降水量, 这与前面陈述过的正闪电频数与雷暴天气的强度相关的结果是一致的。

15 31(图 3b), 随着系统向东北方向移动, 回

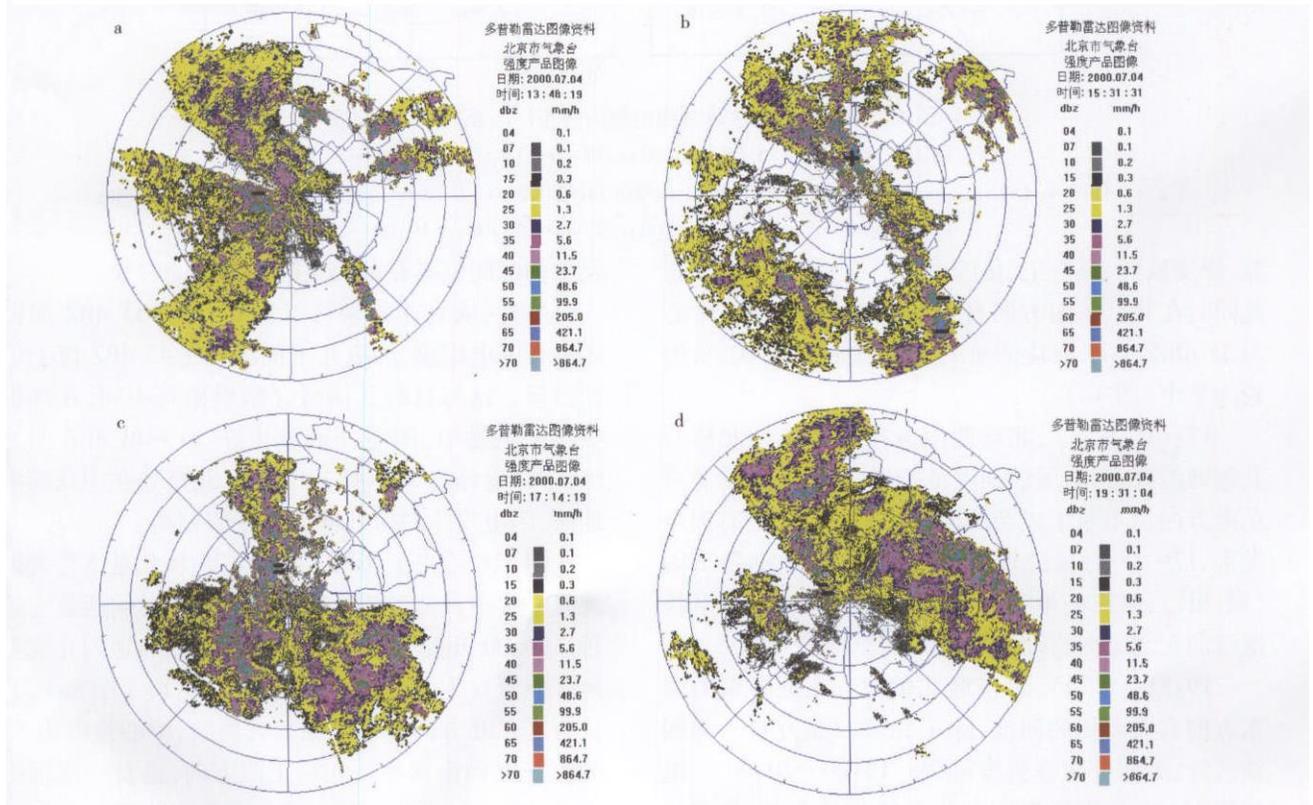


图 3 2000年 7月 4日观测的雷达回波与闪电分布

a 13: 48; b 15: 31; c 17: 14; d 19: 31

Fig 3 Observed radar echoes and lightnings on 4th July 2000

a 13: 48; b 15: 31; c 17: 14; d 19: 31

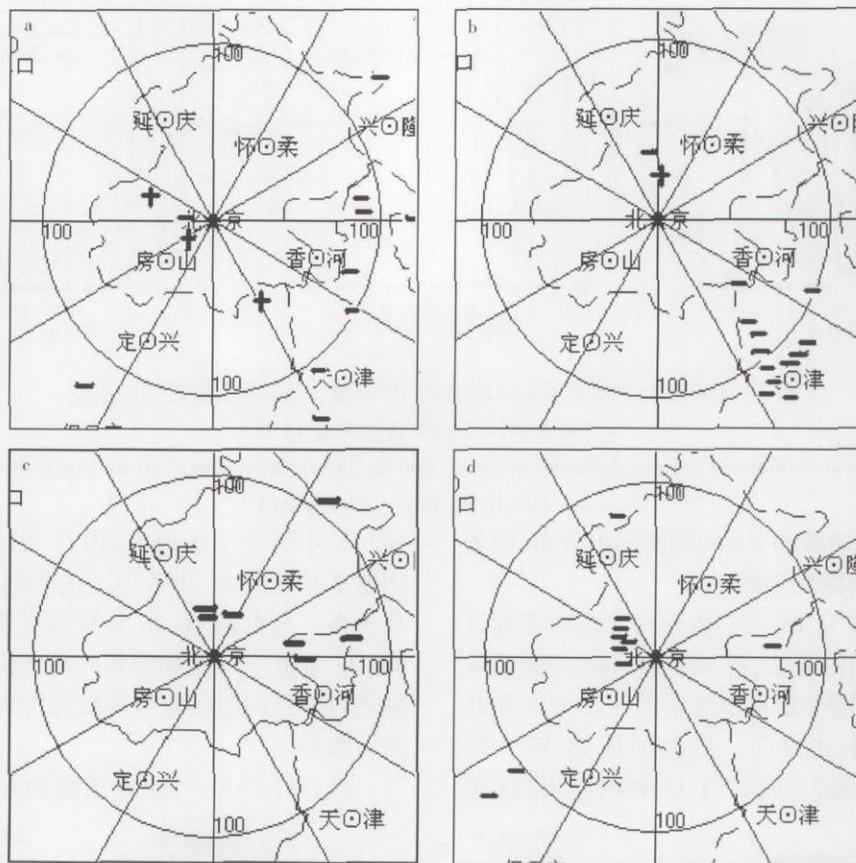


图 4 2000年 7月 4日观测的地闪分布 (+: 正闪; -: 负闪)

a 13 00 14 00, h 15 00 16 00, c 17 00 18 00, d 19 00 20 00

Fig. 4 Observed cloud-ground lightning distributions on 4th July 2000(+: positive lightning -: negative lightning)

a 13 00 14 00, h 15 00 16 00, c 17 00 18 00, d 19 00 20 00

波, 强度减弱, 只有正、负闪电各一次, 降水减弱。与此同时在北京东南方向有新的回波生成, 回波中心为 55 dBZ 以上, 对应的负闪频数增加为 12 次, 负闪较为集中 (图 4b)。

17: 14 (图 3c), 北京西南方向强回波区北移与北侧回波区合并, 回波强度范围增强扩大, 同时北京东南方向仍不断生成新的回波, 并北移, 随之有闪电发生, 17 18 时段总地闪频数为 7 个, 全部是负闪 (图 3d)。对应的地面降水稍有所增强。随后系统继续向东北方向移动。

19: 31 (图 3d), 北京西北偏北 东北 东南偏东方向有大面积的回波, 除了北京西北方有一强回波区外, 大部分回波强度减弱。19 00 20: 00 闪电频数为 10 次, 主要集中在北京的西北方向, 与回波区相对应, 均为负闪 (图 4d)。门头沟最大强度降水达到 29 mm/h。随后开始减弱, 闪电也随之减少。此次天气过程持续时间较长, 全天总闪电数为 157 次, 负闪为 143 次, 占 91.1%。正闪出现了 14 次,

发生的时间基本在地面强降水出现的时候。

另外, 从对比结果可以看到, 30~35 dBZ 回波区没有闪电纪录, 闪电几乎都出现在 45 dBZ 以上的回波区。这与目前其他研究结果稍有不同, 在热带低纬度风暴中, 闪电一般发生在 30~40 dBZ 回波区, 中纬度为 30~45 dBZ^[10]。北京处在中高纬度地区, 闪电发生对应的回波强度值偏高。

图 5 6 给出了 2001 年 8 月 23 日北京冰雹大风天气过程中观测的雷达回波和地闪随时间的演变过程。16 00 开始有闪电发生, 17 00 以后地闪在北京地区频繁发生, 出现 14 次闪电。17: 18 (图 5a), 北京市区正北方向有一范围较大回波, 中心强度为 55 dBZ, 正在向南移动。北京正西方向, 也有一范围很小强度达 55 dBZ 的回波区。在北京的西北方向还有一片回波区, 强度较弱。图 6a 给出了闪电的时空分布, 17 00 18 00 北京北部 55 dBZ 的强回波区的闪电频数较为集中, 有 11 个负闪, 2 个正闪, 此系统正在由北向南移动, 北京西部 55 dBZ 的回波区闪

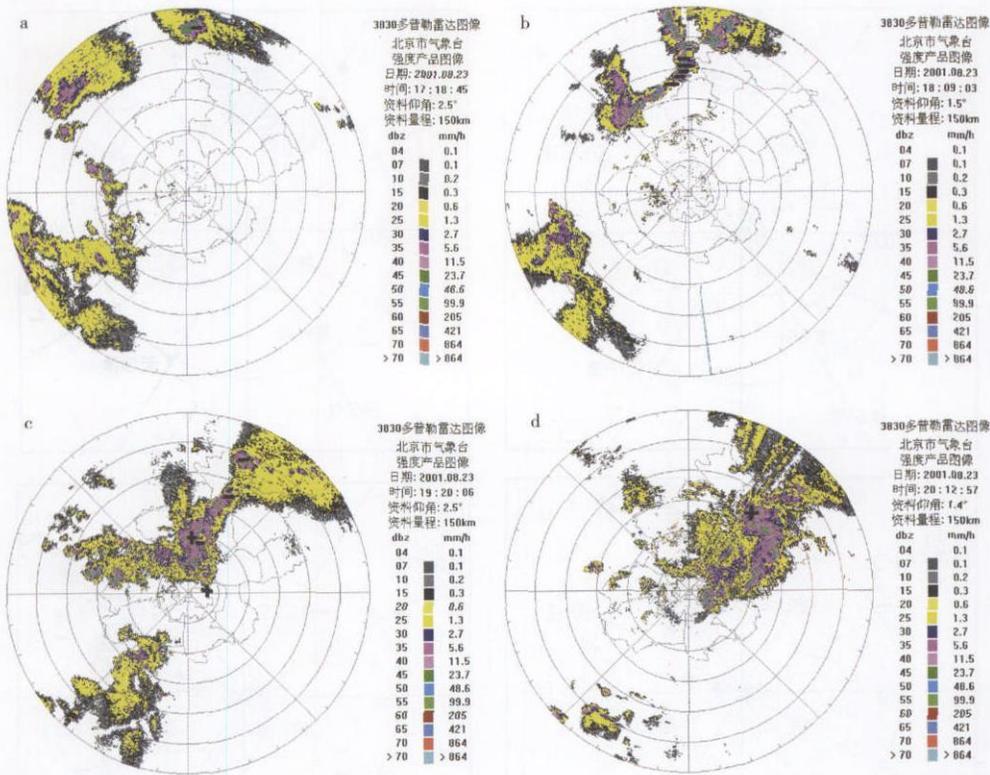


图 5 2001年 8月 23日的观测雷达回波

a 17:18(仰角为 2.5°); b 18:09(仰角为 1.5°); c 19:20(仰角为 2.5°); d 20:12(仰角为 1.4°)

Fig. 5 Observed radar echoes on 23rd August 2001

a 17:18(elevation 2.5°); b 18:09(elevation 1.5°);
c 19:20(elevation 2.5°); d 20:12(elevation 1.4°)

电较少,只发生一次正闪,回波区正向东移动。北京西北部的弱回波区中没有闪电发生,回波区向东南方向移动,3块回波区在移动过程中连接在一起形成带状回波,系统得到加强。18:09(图 5b),在延庆盆地发展成为一条东北西南走向,长约 100 km 的强回波带,同时闪电频数猛增到 46 次,负闪电 43 次。19:00(图 5c),强回波带到达延庆、怀柔地区,发生闪电 43 次,正闪 17 次,正闪电达到了 39.5%,19 时左右延庆、怀柔地区出现降雹。此后系统东移南下,回波前沿的移动速度为每小时 60 km,强度有所减弱。19:40,回波带西南部经过北京市区,北京出现雷雨大风,没有降雹。经过市区后,系统又一次得到加强,到 20:12(图 5d 6d),系统在城南部地区产生冰雹、大风。正负闪电在北京市区和东北部地区频繁发生。

由闪电资料和天气现象的分析可以知道,19:20~19:30 发生了 8 次地闪现象,有 6 次正闪;19:54~19:59 发生 7 次地闪现象,其中正闪有 6 次,

正闪明显占优势,表明正闪发生跟冰雹的发生有着密切的关系。

4 结 论

(1) 闪电特性与降水类型有密切关系。云地总闪电与强雷暴天气的强弱没有明显关系。云地负闪电总数在总闪电中占有主导地位(占 80% 以上)。负闪比例越高,降水越强。正闪数与冰雹、大风等激烈性天气有明显的关系。在发生冰雹、大风天气前,正闪会有一个突然集中发生的阶段,正闪的百分比会明显增加,一般会提前于降雹大风时间几十分钟到 1 h 这就可能为冰雹等强雷暴天气的预警提供参考。

(2) 在本文的例子中,30~35 dBZ 回波区均无闪电发生,大多数闪电与 45 dBZ 以上的回波区相对应,其值略高于其他研究结果。

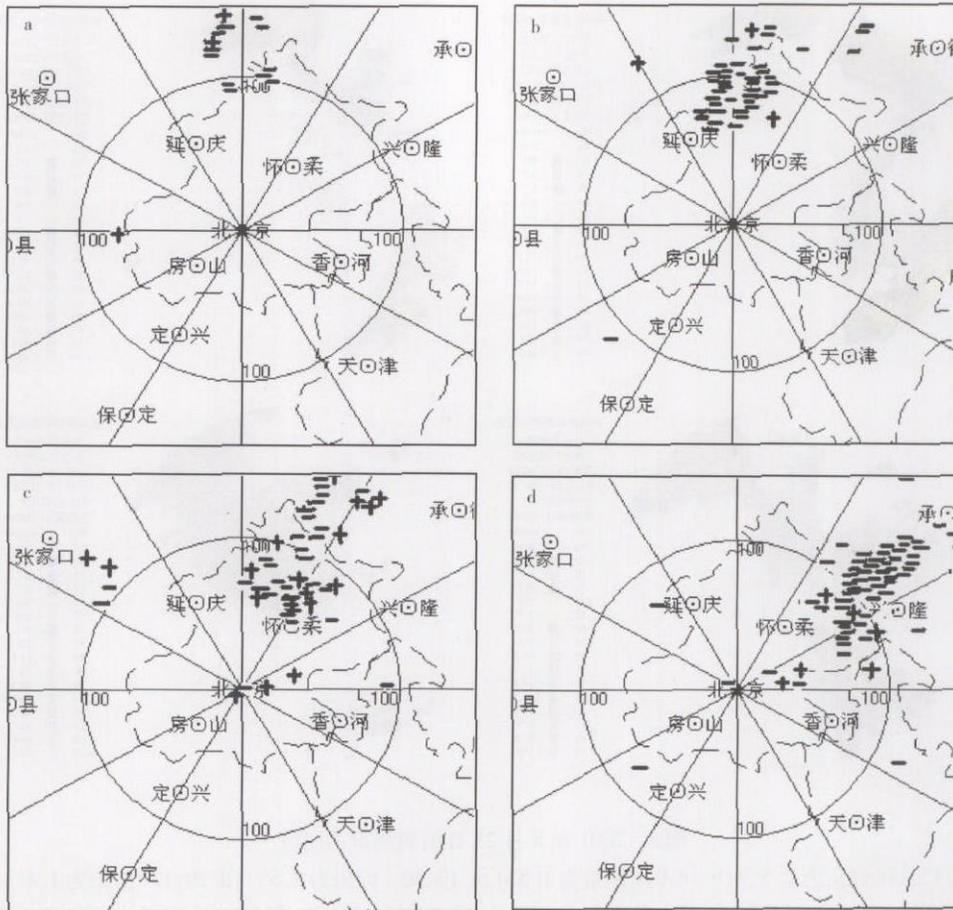


图 6 2001年 8月 23日观测的地闪分布 (+: 正闪; -: 负闪)

a 17: 00 18: 00 h 18: 00 19: 00 c 19: 00 20: 00 d 20: 00 21: 00

Fig 6 Observed cloud-ground lightning distributions on 23rd August 2001 (+: positive lightning -: negative lightning)

a 17: 00 18: 00 h 18: 00 19: 00 c 19: 00 20: 00 d 20: 00 21: 00

参考文献:

- [1] Moore C B, Vonnegut B, Vrablik E A, et al Gushes of rain and hail after lightning [J]. *J Atmos Sci* 1964, 21(6): 646-665.
- [2] Piepgrass M V, Kridler E P. Lightning and surface rainfall during Florida thunderstorms [J]. *J Geophys Res* 1982, 87(c13): 11193-11201.
- [3] Goodman S J, MacGonnan D R. Cloud-to-ground lightning activity in mesoscale convective complexes [J]. *Mon Wea Rev* 1986 114 (12): 2320-2328.
- [4] Buchler D E, Wright P D, Goodman S J. Lightning rainfall relationships during COHMEX [C]. Preprints Atmospheric Sciences conference on atmospheric electricity Albuquerque 1990 710-714.
- [5] Zipser E, Lutz T. The vertical profile of radar reflectivity of convective cells: A strong indicator of storm intensity and lightning probability [J]. *Mon Wea Rev* 1994 122(8): 1751-1759.
- [6] 周筠君, 郝秀书, 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.
- [7] 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.
- [8] Tao Shangchan, Meng Qing Lin. Binngan Remote sensing of thunderstorm cloud flashes with MLDARS [C]. Preprints the Workshop on Mesoscale Met and Heavy Rain in East Asia Fuzhou, 1995 127-128.
- [9] 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.
- [10] Carey L D, Rutledge S A. The relationship between precipitation and lightning in tropical island convection: A G-band polarimetric radar study. A multiparameter radar case study of the microphysical and kinematic evolution of a lightning producing storm [J]. *Mon Wea Rev* 2000 128(8): 2687-2710.