

京津冀地区闪电的气候分析*

陶祖钰 赵昕奕

(北京大学地球物理系, 100871)

提 要

本文对1989和1990两年夏季京津冀地区300km范围内的闪电资料分析了闪电强度,回击数的气候概率分布和闪电日变化及空间分布的气候规律,并将所得结果与美国俄克拉荷马及堪萨斯州的闪电气候特征进行了对比。结果表明,闪电的气候特征可以揭示出特定地区对流活动时空分布的气候规律。

关键词: 夏季, 闪电, 气候分析。

1 引 言

闪电是对流性天气中经常伴有的大气电现象。因此,分析闪电特征及其时空分布可以间接了解对流性天气系统的结构及其演变规律。Rust和Arnold(1981)对强风暴中发生在云-地之间的闪电进行了总结^[1],归纳出如图1的概略图。此图说明了云-地之间的

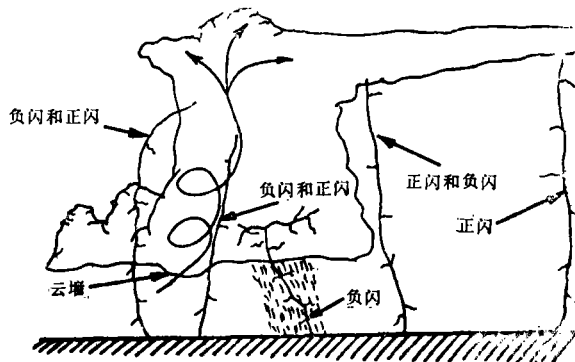


图1 强雷暴中云地闪分布的示意图
(取自Rust等1981)

闪电有正闪和负闪两种。由于对流云中负电荷主要位于云体的下部,正电荷主要位于云体的上部,因此云的主体部分和地面之间的放电大多为负闪,而云体边缘部分,特别是云砧部分和地面之间的放电大多为正闪。Rutledge和MacGorman(1988)对一个中尺度对流系统中的云-地之间的闪电(以下简称地闪)进行了个例分析^[2]。结果表明,负闪集中发生在回波强度很大的强对流降水区,而正闪则发生在回波较均匀的层状降水区。在时间上,正闪比负闪有落后现象,表明正闪主要出现在对流系统发展到成熟阶段以后。Reap和MacGorman(1989)对1985和1986两年4—9月美国国家强风暴实验室(NSSL)的闪电观测网取得的闪电资料进行了气候分析,在闪电的日变化和地理分布等方面得到了不少有意义的结果^[3]。

我国高原大气物理研究所在闪电研究方面作过不少工作^[4,5]。近年来,京津冀中尺度气象试验基地安置了一套地闪定位系统。该系统可以连续地记录下约300km范围内发

* 1991年7月16日收到原稿,1991年9月20日收到修改稿。

生的大部份地闪。由于闪电资料具有很高的时空分辨率,因此是分析对流天气很有用的资料。孟青和俞志敏^[6]、顾映欣^[7](1989)利用部分个例的闪电资料初步分析了京津冀地区闪电和对流天气之间的联系。

本文的目的是利用1989和1990两年该基地对闪电的系统观测资料,对京津冀地区闪电活动的基本气候特征进行分析,以充实对该地区对流天气气候规律的认识。

2 资料和分析方法

本文所用的闪电资料为京津冀中尺度气象基地LLP 80-02型闪电定位系统在1989年7,8月和1990年6,7,8,9月163个闪电日(指至少记录到1次闪电的天数)中观测到的84819个云-地闪。每个闪电资料包括时间,位置(x, y),性质(正,负),首次回击信号的距离规范化强度(以下简称强度)及其中所包含的回击数等5个参数。该闪电定位系统的最大探测距离为320km,有效探测距离为250km,闪电资料所复盖的地理区域如图2所示。图中圆圈的半径为150km。

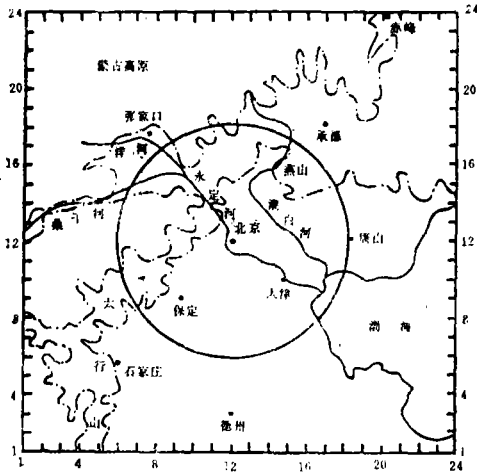


图2 京津冀地区(575×575km)的地形概略图曲线。

对于闪电空间分布气候特征的分析,我们将整个区域划分成 24×24 的正方形网格,网格距为25 km(如图2所示)。然后统计位于每个格点周围 ± 12.5 km范围内的闪电总数(以下简称闪电密度)。通过分析等密度线来分析闪电的空间分布。为了进一步分析闪电空间分布的日变化,用同样方法还绘制了00—06,07—12,13—18及19—24时4个时段的闪电密度分布图。

3 概况

表1给出163个闪电日中84819个闪电的平均特征。从表1中可见,地闪中大部分为负闪,负闪比正闪约多5倍(100:18)。负闪的平均回击数为2.30次,表明大部分负闪中包含2次以上回击。而正闪的平均回击数只有1.31,表明大多数正闪只有1次回击。但是正闪的平均强度比负闪大1倍以上,即使对闪电强度用回击数权重后,正闪仍比负闪强30%。造成上述正闪和负闪的基本特征不同的原因不难从图1中得到解释。

为了分析闪电的基本气候概况,本文首先计算了全部闪电中正闪和负闪的比例及这两类闪电的平均强度和平均回击数。然后,将闪电强度分为50, 50-100, 100-150, ...和 >1000 共20个等级,并计算出各强度等级闪电在全部闪电中所占的百分率作出闪电强度概率分布曲线图。用同样的方法还作出回击数的概率分布图,及闪电强度相对于回击数的概率分布图。

为了分析闪电日变化的气候规律,我们分别统计了23:30—00:30, 00:30—01:30, ...和22:30—23:30中每小时的闪电总数及平均强度和平均回击数,并绘制成相应的闪电日变化

为了更清楚地看出正闪和负闪的差异,图 3 给出不同回击数和不同强度等级的正闪和负闪的概率分布曲线。从图 3 a 可见,80%以上的正闪只有 1 次回击,2 次或 2 次以上回击的正闪的概率只有 19%。而负闪中,1 次回击的只占 43%,2 次或 2 次以上回击的占 57%,比正闪多 2 倍。从正、负闪的强度看(图 3 b),一半以上的正闪的强度小于 50,负闪的概率随强度的增加迅速减小。强度在 50—100 之间的负闪概率已减小到 8%以下。而强度在 50—100 之间的正闪占 50%以上,而强度小于 50 的正闪的概率只有 15%。

表 1 闪电特征

	次数	百分率	回击数	强度	权重强度
负 闪	71 858	84.7	2.30	56.06	133.07
正 闪	12 961	15.3	1.31	130.67	172.26
合 计	84 819	100.0	2.15	67.46	139.06

图 3 c 给出了首次回击强度和回击数之间的关系。图中,回击数大于 8 次的负闪和回击数大于 4 次的正闪,由于个例很少,首次回击强度和回击数之间无一定的规律可寻。对于回击数小于 7 次的负闪和小于 3 次的正闪,其强度随回击数的增大而略有增大,即多回击闪电中首次回击的强度只比一次回击闪电的强度稍微大一些。

4 闪电的日变化

闪电的日变化特征可以用逐时闪电次数占全日闪电次数中的百分率,平均回击数和平均强度在一日中的变化来表示。从图 4 a 可见,正闪和负闪次数的日变化基本相似,即 17 时最多,09 时最少。如果将一天分为 00—06(后半夜),07—12(上午),13—18(下午)及 19—24 时(前半夜)4 个时段,则闪电次数的日变化和对流在午后发展,傍晚达到最强的日变化规律相一致。但是,对比图中正闪和负闪两条曲线可以发现,两者的日变化规律是不完全相同的。首先,正闪次数的日变化较负闪大。其次,正闪次数的增大(11 时)较负闪(10 时)晚,傍晚后正闪次数的减少比负闪缓慢,表现出正闪的日变化比负闪大约 1 小时的落后。第三,正闪在 01 时还有一个次大的峰,而负闪则不显著。上述正闪和负闪日变化的差异可能反映了只有当午后对流系统发展到成熟阶段后才发生正闪,以及午夜后,由于云顶辐射冷却和夜间行星边界层急流形成后对流的再度发展。

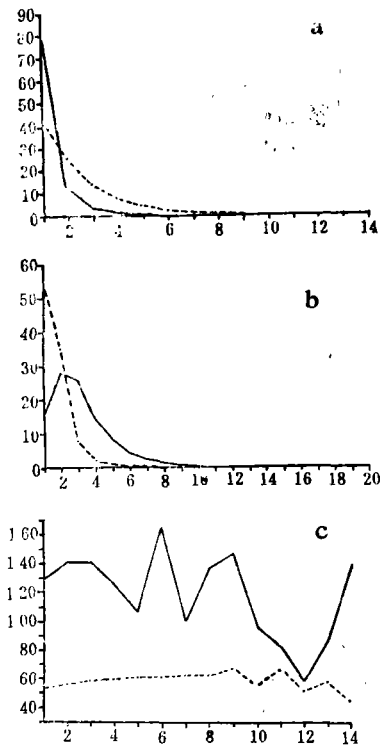


图 3 云-地闪的基本气候特征

(a 不同回击数的闪电的百分率, b 不同强度等级的闪电的百分率, c 不同回击数的闪电的平均强度;实线为正闪,虚线为负闪)

回击数的日变化曲线(图 4 b)清楚地反映出负闪的平均回击数大于正闪的气候概况。在任何时次,负闪的回击数都在 2.0 以上,而正闪在绝大多数时次不超过 1.5 次。负闪和正闪最小平均回击数都位于凌晨(04 和 05 时),最大平均回击数的时次,负闪为 11 时(大于 3.0

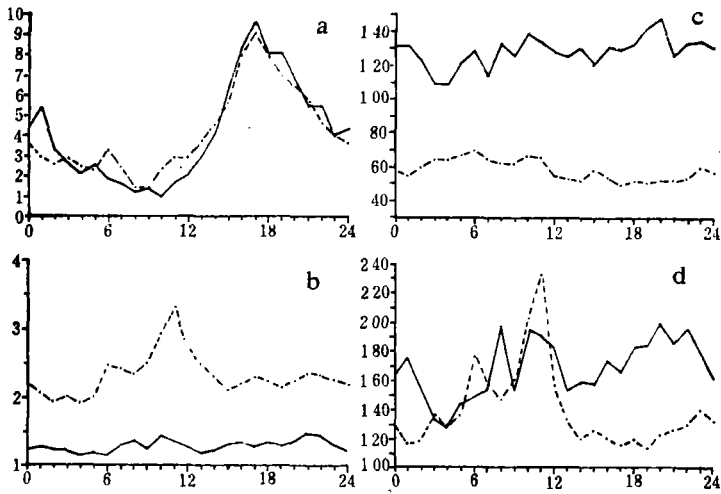


图4 闪电的日变化曲线

(a 逐时闪电次数占全部闪电次数的百分率, b 闪电的逐时平均回击数曲线, c 闪电强度的逐时平均强度曲线, d 闪电权重强度逐时平均曲线; 实线为正闪, 虚线为负闪。)

次), 正闪为 21 时(大于 1.6 次)。正闪还有 2 个峰值发生在正闪次数最少的时刻(08 和 10 时, 见图 4 a), 无代表性, 因此, 无论是正闪还是负闪, 其平均回击数的日变化曲线均具有不对称的特点。对比图 4 a 和图 4 b, 上述回击数的日变化特征可能反映在对流过程不同阶段闪电的回击数的差异。在闪电最不活跃时刻之前 3—5 小时, 即对流即将消散时, 闪电的回击数最小。在对流开始发展阶段, 负闪的平均回击数最大。在对流发展到成熟阶段, 正闪的平均回击数最大。

闪电中首次回击强度的日变化曲线(图 4 c)同样清楚地反映出正闪比负闪强的特征。从总体上看, 无论是正闪还是负闪, 其日变化均不明显。但是, 与图 4 a 相对照可以发现, 在负闪最活跃的 13 时到 22 时, 负闪的强度较小。而在负闪最不活跃的 04 时到 11 时, 负闪的强度较大, 即负闪强度的日变化和负闪次数的日变化之间有反位相关系。正闪的强度和次数之间也有类似的关系, 但不如负闪显著。

由于 1 次闪电所释放的能量不仅与首次回击的强度有关, 而且和 1 次闪电中包含的回击数(放电次数)有关。因此, 将首次回击的强度和回击数的乘积作为闪电的权重强度, 更能代表 1 次闪电所释放的能量。从图 4 d 所给的闪电权重强度的日变化曲线可见, 尽管正闪的回击数小于负闪, 但正闪的权重强度仍比负闪大(除了 06 和 11 时以外)。由于首次回击强度的日变化很小, 因此权重强度的日变化与回击数的日变化基本一致。对比图 4 a 和图 4 d 可以发现, 在负闪趋于活跃的 09—11 时, 负闪的权重强度最大。在负闪最活跃的 17 时左右, 负闪的权重强度最小。这可能反映了在对流发展过程中, 初次放电所释放的能量最大, 而在闪电活动最频繁的成熟阶段, 每次放电所释放的电量反而较小。

5 闪电的空间分布

我们用在每个 $25 \times 25 \text{ km}$ 正方形面积中的闪电数(密度)来分析闪电空间分布的气候

特征。从图 5 所给出的闪电密度可见, 200 km 以外的闪电密度随距离增大明显减小。这是由于闪电定位系统的探测能力随距离的增大而减小所致。考虑到该探测系统的有效探测距离, 我们在分析闪电的空间分布时, 将着重分析 150 km 范围内的闪电分布。

从图 5 可见, 正闪和负闪的气候分布基本相同, 又由于负闪的密度比正闪大 3—4 倍, 因此, 负闪的空间分布基本上代表了全部闪电的空间分布特征。从图 5 a 可见, 闪电分布集中在五个区域。第一个区域位于北京东北方 50 km 左右的潮白河流域。这是闪电活动最频繁的地区, 负闪密度在 800 以上, 最大值达 2594 次。闪电集中区从中心向东南延伸到渤海湾的黄河入海口。第二个区域位于北京到石家庄一线, 恰好与太行山平行。第三个区域位于北京西北的永定河河谷。从中心向西北和西分别]有两条大值轴沿洋河和桑干河河谷向上游延伸。第四个区域位于北京东北方的燕山山地。第五个区域为天津到德州一线。此外, 在黄河河口附近还有一个密度为 100 左右的区域。显然, 前四个区域都和山脉、河流等地形密切相关。

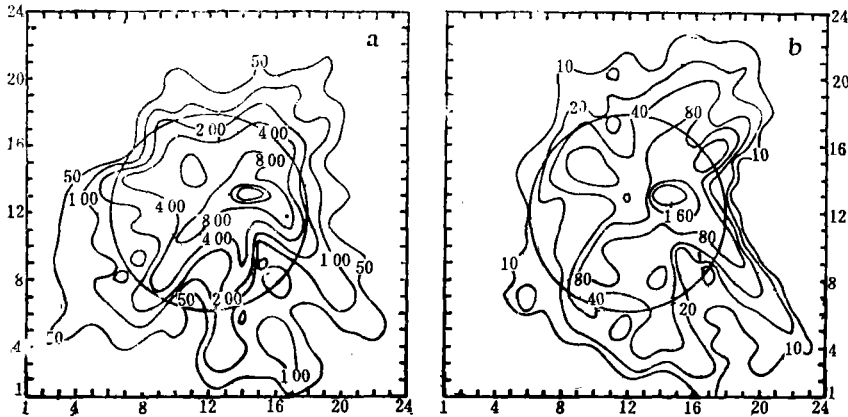


图 5 闪电的空间密度(每 25×25 km中的闪电次数)分布
(a 负闪, b 正闪)

为了进一步分析闪电分布的日变化规律, 图 6 给出 4 个时段的负闪分布。如上节所指出的, 它们分别与对流发展的不同阶段相对应。从图 6 可见, 4 个时段负闪的空间分布是不同的。在 07—12 时, 闪电集中在潮白河和永定河流域。到 13—18 时, 上午在潮白河和永定河上游的闪电集中区向东南偏东方向延伸, 表明这两条河的河谷是对流发生的源地。而北京到石家庄的闪电区及天津到德州的闪电区是在午后才形成的。前者持续到上半夜(19—24 时), 而后者明显减弱。01—06 时, 闪电密度总体上比 19—24 时显著减小, 特别是太行山东麓的闪电区。但是, 天津到德州一线及黄河口的闪电密度却再度增大。

上述闪电分布的日变化表明潮白河及永定河河谷是京津冀地区对流发生的源地, 同时也是对流系统经常停滞的地区。太行山东麓是对流日变化最明显的地区, 闪电集中在午后及上半夜。天津到德州一线及黄河河口的闪电一天中有两个闪电集中时段, 午后及下半夜。它可能表明这两个地区的闪电和海风与陆风触发的对流有关。

图 7 给出了 4 个时段正闪的空间分布。虽然正闪和负闪的全天分布很相似, 但 4 个时

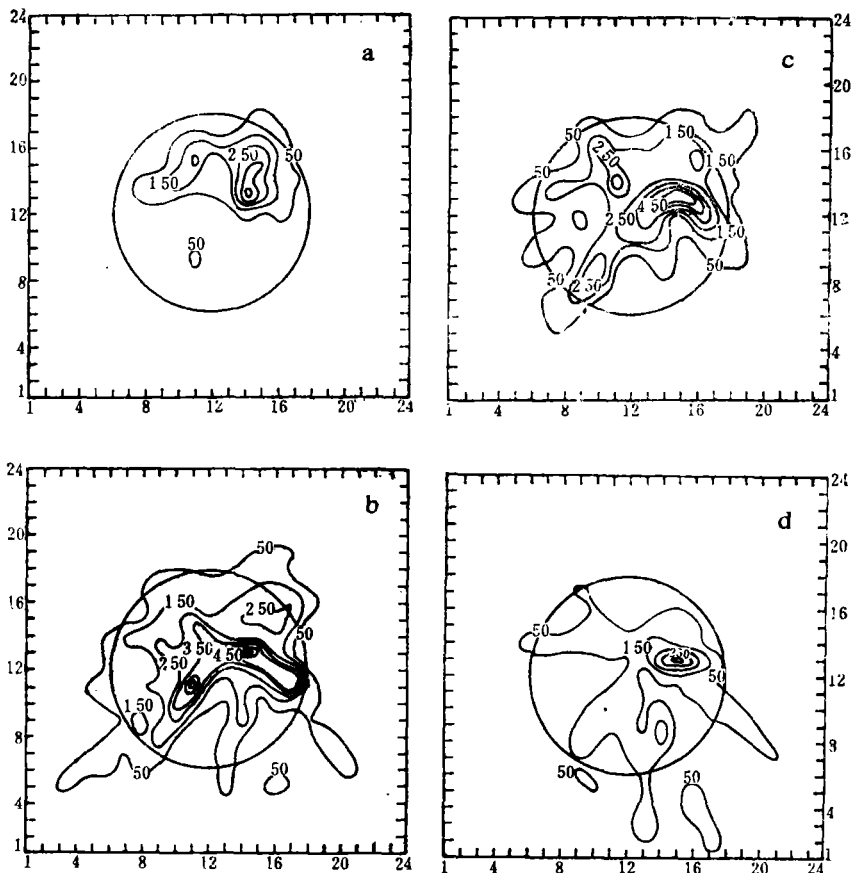


图6 4个时段的负闪电密度分布
(a 07—12时, b 13—18时, c 19—23时, d 01—06时)

段的分布却有相当明显的差异。首先, 01—06时的负闪比19—24时大大减少, 但正闪除永定河上游地区减少外, 其它地区均有不同程度的增加, 特别是在北京以东增加得非常显著。其次, 13—18时和19—24时的负闪分布很相似, 但这两个时段正闪的分布却表现出较明显的向东南移动的现象。第三, 01—06时北京以南的负闪到07—12时已不复存在, 而在07—12时正闪的分布中仍保留了01—06时中天津到德州及北京到石家庄一线的正闪区, 虽然其密度已显著减小。上述正闪和负闪分布日变化的不同进一步反映了正闪主要发生在对流过程的后期及对流云体的下风方, 即云砧部分。

6 比较和讨论

本节将对根据1989和1990两年我国京津冀地区(以下简称我国)闪电资料所得到的气候特征和根据1985和1986两年美国俄克拉荷马及堪萨斯州的闪电资料所得到的气候特征(以下简称美国)作一比较。根据Reap 所给的结果^[3], 总体上这两个地区闪电的基本气候特征是相同的。具体表现在以下几个方面: 1. 云-地闪中负闪占绝大多数; 2. 负闪的回击数大于正闪; 3. 正闪的强度比负闪大一倍以上; 4. 闪电次数有明显的日变化; 5. 闪电

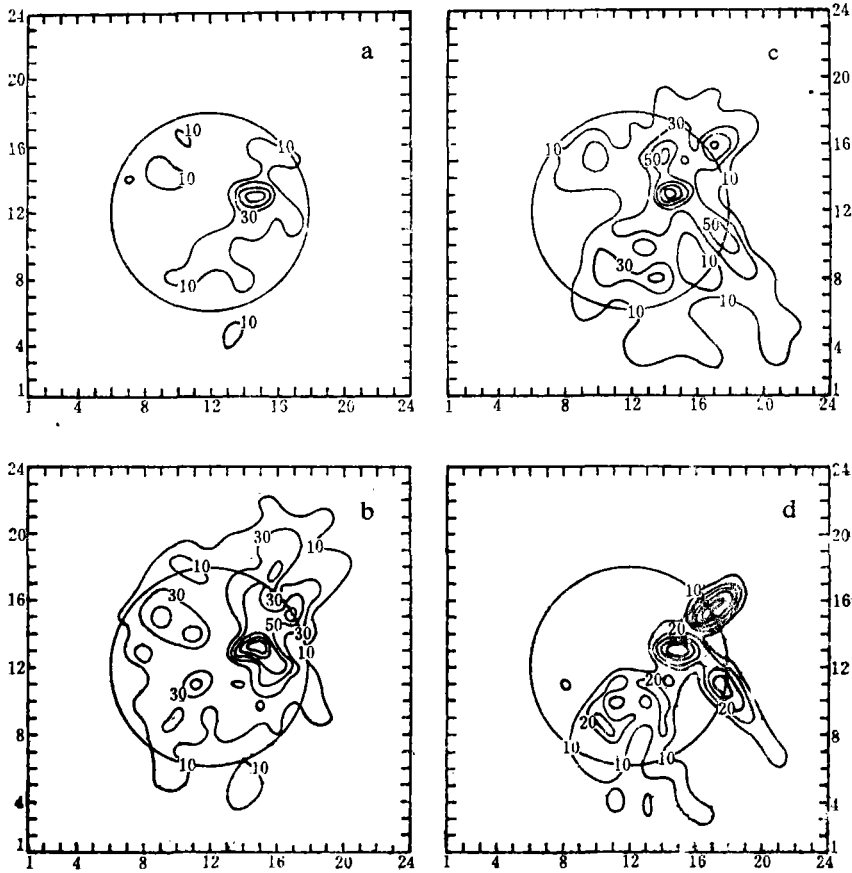


图 7 4 个时段的正闪密度分布
(a 07-12时, b 13-18时, c 19-23时, d 01-06时)

强度的日变化与闪电次数的日变化反位相;6. 闪电的空间分布与地形有关。

特别值得提出的是,虽然Reap所用的网格距较大(48km),但从Reap在图6中所给出的美国闪电空间分布大体上也可看出,闪电最活跃的地区位于红河,阿肯色河及密西西比河上游的河谷。这与京津冀地区的闪电集中在洋河,桑干河及潮白河河谷非常相似。这可能表示在河谷地区低空水汽比较丰富和常有辐合气流,因此对流比较活跃。此外美国闪电密度等值线的走向和地形等高线大体平行,最大闪电密度位于落基山的东麓。而京津冀地区的太行山东麓也是闪电的集中带。

但是,这两个地区闪电的气候特征也存在一些差异。首先,我国负闪和正闪的比例为100:18,而美国为100:4.5,即我国的正闪比美国多得多。但是美国正、负闪的平均回击数比我国略大,分别为1.39和2.73。其次,在闪电的日变化方面,我国正、负闪活动的高峰都在17时左右,而美国正闪活动的高峰时间比负闪落后约3小时,在21时左右。此外,我国在01时左右还有一个较小的正闪活动高峰,而美国在此时刻正闪和负闪都较活跃,但其峰值不如我国的正闪那么显著。入夜以后,我国负闪迅速减少,而正闪减少得较慢。美国则恰好相反。上述中、美两地闪电气候特征的差异可能与两地对流系统的特征存在某些差

异有关。

总之,两个地区闪电的气候分析都表明闪电资料对分析对流天气是很有用的,在这方面还有许多工作可做。仅就气候分析而言,本文受资料所限,没有做闪电月际变化的分析。对闪电的空间分布,只分了4个时段,这对了解闪电空间分布日变化的规律仅是初步的。可以预计,在积累了更多闪电资料以后,闪电的气候分析还可得到更多关于对流活动气候规律的认识。

致谢:京津冀中尺度气象试验基地和国家气象局强风暴实验室为本工作提供的闪电资料和资助及石定朴同志在资料方面的具体帮助,谨表谢意。

参考文献

- [1] Rust W D, et al. Research on electrical properties of severe thunderstorms in the Great Plains. *Bull Amer Meteor Soc*, 1981, 62(9): 1286-1293.
- [2] Rutledge S A, et al. Cloud-ground lightning activity in the 10-11 June 1985 mesoscale convective system observed during the Oklahoma-Kansas PRE-STORM Project. *Mon Wea Rev*, 1988, 116: 1393-1408.
- [3] Reap R M, et al. Cloud-to-ground lightning: climatological characteristics and relationships to motion fields, radar observations, and severe local storms. *Mon Wea Rev*, 1988, 117: 518-535.
- [4] 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*, 1982, 1: 53-59.
- [5] 金鞍等. 六盘山区两次切变过线过程的地闪特征及其与雷达回波的对比观测. *气象学报*, 1989, 46(1): 59-66.
- [6] 孟青等. 闪电定位和天气雷达探测资料的对比综合分析. *京津冀中尺度气象试验文集*, 1989, 124-131.
- [7] 顾映欣. 闪电定位资料与对流降水关系的初步分析. *京津冀中尺度气象试验文集*, 1989, 132-138.

CLIMATOLOGICAL ANALYSIS OF LIGHTNING IN BEIJING-TIANJIN-HEBEI DISTRICT

Tao Zuyu Zhao Xinyi

(Department of Geophysics, Peking University, Beijing 100871)

Abstract

Based on the lightning data of 1989 and 1990 summer in Beijing-Tianjin-Hebei district, the climatological probabilities of the strength and stroke number, the diurnal circle and the spacial distribution are given respectively for negative and positive cloud-to-ground lightning in this paper.

The climatological characteristics of the lightning in Beijing-Tianjin-Hebei district are compared with the states of Oklahoma and Kansas, U. S.. The results show that the climatological characteristics of lightning could exhibit the climatological regularity of the convective activity.

Key words: Summer, Lightning, Climatological analysis.