

中国雷电事件的时空分布特征

林 建 曲晓波

(国家气象中心,北京 100081)

提 要: 根据 1970—2006 年全国 847 站逐日雷暴日资料,统计分析了中国雷电事件的时空分布特征及雷电在发展阶段和消退阶段的路径变化。结果表明:全国雷电主要有 4 个多发区:南方区、高原区、北方区和新疆区;全国雷电日数呈下降趋势,高原区和南方区的下降趋势更明显;南方的雷电最早是 3 月份从江南中部往西往南辐射,然后再往北发展,高原的雷电由四川南部往北往西发展,而北方的雷电从华北东北部往东往南扩展。随着副高的季节性北跳三个区域的雷电在 7 月份连成一片,全国雷电范围达到最大,8 月第 2 旬随着副高南撤各雷电区开始逐渐撤退,直到 10 月第 1 旬。全国雷电大都发生在 4—9 月午后到深夜(12—24 时),其中 15—17 时和 19—20 时存在两个峰值,南方雷电发生时间最长,尤其是华南区雷电发生在 3—9 月,并有三个峰值,而北方区(包括新疆)雷电发生时间较短,主要集中在夏季,发生时段较晚,发生频次也明显偏低。雷电的时空分布及演变特征为雷电的落区预报提供了宏观的气候背景。

关键词: 雷电 时空特征 峰值时间

Spatial and Temporal Characteristics of Thunderstorm in China

Lin Jian Qu Xiaobo

(National Meteorological Center, Beijing 100081)

Abstract: By using 1970—2006 observed thunderstorm data from 847 stations in China, the spatial and temporal characteristics of thunderstorm in China and the variation of thunderstorm track in development and attenuation phases were demonstrated. Results show that thunderstorm in China were mainly concentrated over 4 regions: south area, plateau area, north area and Xinjiang. Annual mean thunderstorm days decreased recent years, and the decreasing trend is obvious over south area and plateau area. Thunderstorms over south area were spread from the central part of south of Yangtze River to the westward and southward, and then to northward;

基金项目: 中国气象局“雷电监测和潜势预报业务系统”轨道建设项目(GD2007—0204)资助

收稿日期: 2008 年 4 月 1 日; 修定稿日期: 2008 年 8 月 23 日

thunderstorms of plateau stretched from south of Sichuan to the northward and westward; thunderstorms of north area stretched from the northeast of North China to eastward and southward. In July the thunderstorm of the above 3 areas connected together and the extension and frequency of thunderstorm in China reached maximum due to the seasonal shift of subtropical high toward the north. Thunderstorms began to withdraw along with the shift of subtropical high toward the south from the second ten-days of August to the first ten-days of October. Thunderstorms usually began at 12:00—24:00 from April to September with two maxima at 15:00—17:00 and 19:00—20:00, and the duration of thunderstorm over south area, especially over South China, is longest from March to September with three maxima, while over north area, including Xinjiang, the duration is shorter concentrating in summer with later maximum time and lower frequency. Analysis of the spatial and temporal characteristics and evolution of thunderstorm in China provides a macroscopically climatic background for the potential prediction of thunderstorm. The relationship between the evolution of thunderstorm and atmospheric circulation and system will be studied in the near future.

Key Words: thunderstorm spatial and temporal characteristics maximum time

引 言

雷电灾害是自然灾害的一种。它可以直接造成人员伤亡,对航空、电力工业、计算机网络以及建筑物等的危害都是十分明显的。据有关统计,全球每年因雷电造成的人员伤亡超过 1 万人,所造成的经济损失在 10 亿美元以上。我国地处温带和亚热带地区,雷电活动十分频繁,每年大约有 3000~4000 人因遭受雷电而伤亡^[1]。雷电灾害已经被联合国列为“最严重的十种自然灾害之一”。因此,通过雷电的时空分布特征分析,了解雷电发生的主要时段、重点区域,对于开展雷电预警业务,促进防灾减灾是非常有意义的。文献[2-4]分别对武汉市、东北地区和全国雷暴天气的气候特征进行了分析,张义军等^[6]探讨了利用闪电资料进行雷电预警的方法和途径,孟青^[7-8]等分析了闪电监测系统在雷电预警中的应用,郑栋^[9]、郅秀书等^[10-11]利用闪电定位资料分析研究了北京及周边地区和青藏高原的闪电活动特征。本文用更长时间序列资料分析全国范围雷电事件的时空分布特征,尤其是全国范围内的雷电首次发生和最

终消失的路径,对雷电预警和防灾减灾提供气候背景具有重要的意义。

1 资料及有关说明

世界气象组织给出的定义是在本站听到雷声的观测日叫做雷暴日。在我国大范围的雷电监测是在近几年才开展起来的,而雷暴的观测则由来已久。一般来说雷暴伴有闪电活动^[6],本文以 20—20 时闻雷一次及以上的雷暴日观测代替雷电发生日,表明有雷电事件发生,以弥补历史上雷电观测不足的缺憾。

本文选取国家气象信息中心提供的 1970—2006 年全国 847 站逐日雷暴日资料来分析中国雷电事件的时空分布特征。本文所研究的雷电不涉及雷电的强度。

2 雷电的空间分布特征

2.1 年平均分布特征

根据 1970—2006 年雷电发生日的年平均分布(图 1,见彩页),大致可以把全国雷电沿图 1 中虚线分成 4 个区域:Ⅰ南方区

(105°E 以东, 35°N 以南,其中 25°N 以南为华南区)、Ⅱ高原区(105°E 以西除新疆以外)、Ⅲ北方区(105°E 以东, 35°N 以北)、Ⅳ新疆区(90°E 以西, 35°N 以北)。可以看出,南方区的雷电日随纬度增加是减少的,四川盆地东北部、重庆、贵州、江南大部及华南年均雷电发生日都在 30 天以上,为雷电易发区,大值区主要分布在华南,广西东部、广东西部和海南达 80 天以上(海南儋县 108 天);高原区的雷电大值带从云南到川西高原呈纵向分布,藏东偏北地区呈纬向分布,年平均雷电日在 60 天以上,其中云南南部达 80 天以上(云南勐腊 112 天、江城 109 天、景洪 106 天);北方区的雷电主要分布在华北西部和北部偏山区一侧以及东北的大兴安岭及长白山地区;新疆区的雷电则主要分布在伊犁河谷一带,年均雷电发生日也都在 30 天以上,也是雷电较容易发生的区域(新疆昭苏 84 天)。

从四个区域雷电的分布来看,雷电的发生与地形地貌关系十分密切,主要分布在高原、山区、丘陵或河谷地带,而华南和云南南部地区是雷电发生最频繁的区域,除了与地形有关外,可能还与东风波、台风等热带对流系统的发展有关。

2.2 月平均分布特征

分析逐月雷电 ≥ 3 天的样本空间分布发现,2 月份雷电最早出现在湖南、广西交界处,但主要是从 3 月份开始雷电发生区域不断扩大,到 7 月份达到区域和频率最大,8 月份开始区域逐渐缩小,11 月份开始中国大陆雷电基本消失。

图 2(见彩页)给出了 3—10 月雷电发生日的月平均分布,可以看到,3 月份整个雷电区域从云南中南部到江南、华南中北部呈东西带状分布,约 3~6 天;4 月份南方区域的雷电以江南南部和华南北部为中心向四周辐射,向北扩展到长江沿线一带,向南扩展到整个华

南,云南的雷电也进一步向北推进;大值区主要分布在云南南部、贵州、江南中西部和华南,江南东部相对偏少。另外,高原区的雷电由四川西南部向北扩展到四川大部,主要分布在川西高原,极大值出现在四川西南部(达 8 天);新疆阿拉山口也开始出现雷暴(4 天)。

5 月,新疆西部雷电活动明显增多,月平均雷电日达 14 天;高原区的雷电从四川南部往北扩展到青海东部,往西扩展到青海南部及西藏北部,极值出现在四川西北部和西南部(12 天);南方区域的雷电范围扩展不明显,云南南部(16~18 天)、广西广东(14 天以上)和海南(17~19 天)一带雷电明显增多;华北和东北地区开始出现雷电,月平均约 3~5 天。

6 月份,新疆西部的雷电区域继续东扩,月发生频率也明显加强,伊犁河谷地区雷电日达 20 天;青藏高原雷电发生区域进一步向北向西扩展,青海、西藏及川西高原为 12~16 天;南方区域的雷电活动继续向江淮发展,但主要集中在江南南部和华南以及云贵高原(14~18 天);北方区的雷电向南延伸至黄淮地区,华北、东北地区雷电活动明显增加,达 8~11 天,主要分布在山西北部,河北北部、内蒙古东部偏南地区和东北部、东北地区东部;汉水、黄淮、江淮及江南大部雷电活动相对偏少,为 3~5 天。7 月份,全国雷电活动达到极盛,范围和频率都达到最强,南北方月平均 ≥ 6 天的雷电区域连通。

8 月份,全国雷电活动明显比 7 月减少,尤其是在华北、东北地区更为明显。新疆西部的雷电也主要分布在伊犁河谷及其以南的新疆西南部;青藏高原及西南、华南的雷暴大值区都有所南压,极值分布在云南西北部 and 四川西南部的交界处及青藏高原中部,达 15~19 天;云南南部、广西东部、广东西部和海南 17~21 天,我国东部长江以北大部地区在 4~8 天。

9 月份,雷电活动迅速减少,南方雷电区域的北界一下退到江南南部,北方雷电区域明显缩小到华北东北部,仅为 3~5 天,大值区主要集中在青藏高原中部、青海南部、云南中西部及华南中南部,在 9 天以上,整个分布与 5 月份类似。新疆西部偏南地区为 3~6 天,极值为 9 天;10 月份,仅在青海东南部、川西高原、云南中南部、华南南部沿海和海南雷暴日数为 3~5 天,个别地方为 6~9 天。

综上所述可以看出,3—7 月雷电范围往北扩展,8—10 月迅速南压。这种变化与西太平洋副高的南北进退基本一致,实际上是因为副高西北部空气比较暖湿,常储备大量不稳定的能量,当副高西北部有锋面、低压、高空槽、切变线、低涡等系统影响时,副高西北部会出现范围较大的雷电区^[12]。但受上述提到的天气系统的单独影响,也会出现雷电天气,所以雷电的发生与副高的进退又不是很完全一致。

3 雷电的时间特征分析

3.1 年际变化

从全国雷电日数 37 年的线性趋势变化(图 3,见彩页)来看,除内蒙古东部偏南地区、西藏、云贵交界处、湖南南部雷电日数呈较明显的增加趋势外,全国各地的雷电日数基本上呈递减趋势,尤其是在青海南部和东南部、甘肃北部和中部、四川大部、重庆、云南西部和东部、贵州、广西大部、广东西部等地的雷电日数明显减少。

图 4 给出了全国及 4 个区域的雷电日年际变化曲线,同样可以清楚地看到这种线性递减的趋势变化,并且 1980 年代后期是一个转折年代,在此期间雷电日略微上升,之后主要呈下降趋势;从 4 个区域年际变化对比可以看出,高原区(主要是青海和川西高原)和南方区的下降趋势明显强于新疆区和北方

区,1985 年前偏高,之后明显下降;北方区 1990 年前雷电日呈波动变化,1990 年后下降明显,这与图 3a 中全国雷电线性趋势系数分布是一致的。

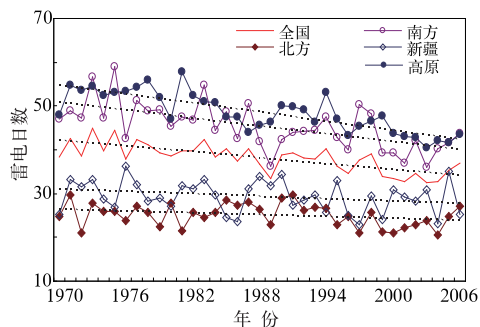


图 4 全国及 4 个区域雷电日数年际变化曲线
虚线为趋势线

可以看出,雷电日数的变化与中国大陆北方和西藏地区的增温以及西北地区东部、西南地区的降温趋势是较为一致的^[13-15],同时,任国玉等^[16]也指出中国与温度相关的极端气候事件强度和频率一般呈降低趋势或稳定态势,与该文结论也是吻合的。

3.2 月际变化

从雷电发生日的月变化来看(图 5),全国雷电主要发生在 4—9 月,7 月份达到峰值,月平均 9 天左右,11 月至次年 2 月全国几乎无雷暴出现,与 2.2 节中雷电的月平均分布特征是吻合的。南方区雷电发生最早,结束较晚,3 月开始 9 月才结束,在 4 月份有一个次极值,但雷电日数峰值主要集中在 7—8 月,月平均雷电日数在 3—5 月为 3~6 天,7—8 月为 9 天,均高于全国平均水平,而华南(图略)雷电发生日数更多,在 4—9 月为 6 天以上,5—8 月达 10 天以上,8 月份极值达 13 天以上;高原区雷电发生在 4—9 月,略晚于南方,峰值也在 7—8 月,达 10 天,整个期间发生频率均高于全国平均水平,5 月一直持续到 9 月均在 6 天以上;北方区雷电发

生较晚,基本上发生在 5—9 月,峰值在 7 月,与全国平均峰值时间一致,为 8 天;新疆区和北方区的月变化是一致的。

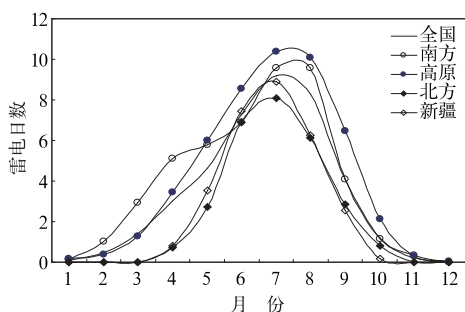


图 5 全国及 4 个区域(南方、高原、北方、新疆)多年平均(1970—2006 年)雷电日的月际变化

3.3 日变化特征

为了了解雷电在不同月份的日变化,图 6 给出了全国及不同区域平均雷电发生的时间及频次分布。就全国平均来说,雷电(≥ 1 次/小时)大都发生在 4—9 月正午到深夜(12—24 时)这段时间,主要集中在 13—21 时,在盛夏表现比较明显,频次 ≥ 2 次,在 15—17 时和 19—20 时存在两个峰值,频次为 3.5 次,而在春季频次 ≤ 2 次,峰值则以 19—20 时为主。南方区雷电集中在 3—9 月 12 时至凌晨 6 时,主要集中时段和全国平均基本相当(13—21 时),3—4 月为单峰型(19—21 时),频次 ≤ 2 次,5—8 月为双峰型(15—17 时和 19—20 时),频次为 4 次,其中华南区在 3—9 月几乎整天都有雷电发生,有三个峰值:2—6 时(5—6 月)、13—18 时(4—8 月)、19—20 时(3—9 月),发生在 2—6 时的峰值频次较低,为 2 次,而另两个峰值频次 ≥ 4 次,19—20 时这个峰值持续时间最长(3—9 月);高原区雷电发生在 4—9 月 12 时至凌晨 4 时,峰值在 15—18 时和 19—20 时,5—8 月发生频次较高(≥ 2 次),6、7 月峰值频次为 4 和 3.5 次,并且西藏东部比西部雷电持续时间长 2 小时以上,西部雷电发生时

间(图略)比较集中(13—21 时),峰值主要出现在 17 时左右,与郅秀书等^[9-10]利用闪电资料得出的结论是吻合的;北方区雷暴发生在 5—8 月 12—23 时,峰值时间略微偏前,分别在 14—17 时和 19—20 时,频次为 2.5 次,在 4 个区中频次最低;新疆区雷电发生在 5—8 月 13 时至凌晨 4 时,略比全国平均开始时间偏后,峰值时间也略偏后,分别在 16—18 时和 19—20 时,频次为 3 次,这应该与时差有关系。可以看出,北方区(包括新疆)雷电发生时间较短,主要集中在夏季,发生月份和时段均晚于南方区,发生频次也明显低于南方区和高原区。

4 中国大陆雷电发生动态演变分析

为了更清楚地了解中国大陆雷电的发展演变情况,图 7 给出了旬平均雷电日 ≥ 2 天的外廓线分布,通过追踪外廓线的动态演变来了解雷电在发展阶段和消退阶段的路径变化。

4.1 发展阶段

从旬平均雷电日 ≥ 2 天的外廓线分布(图 7a)可以清楚地看到,3 月第 2 旬开始雷电发生在湖南东部、江西中部和福建西北部(简称 A1 区),3 月第 3 旬云南南部的雷电(简称 B1 区)也开始发展,从 3 月第 3 旬至 4 月第 2 旬以 A1 区为中心雷电区向西向南辐射,形成南方雷电区(I 区),并与云南的雷电区相连,5 月第 1、2 旬,南方区雷电的北界在湖南境内明显南移,一直到 6 月第 2 旬,湖南大部分地区雷电日明显较前期偏少,到 6 月第 3 旬南方雷电区向北发展到长江沿线;同时 4 月第 2 旬四川西南部开始出现雷电(简称 B2 区),4 月第 3 旬向北发展至川西高原,5 月第 1、2 旬向北向西发展到高原东部(青海东部和南部、西藏东北部),5 月第 3 旬 B1、

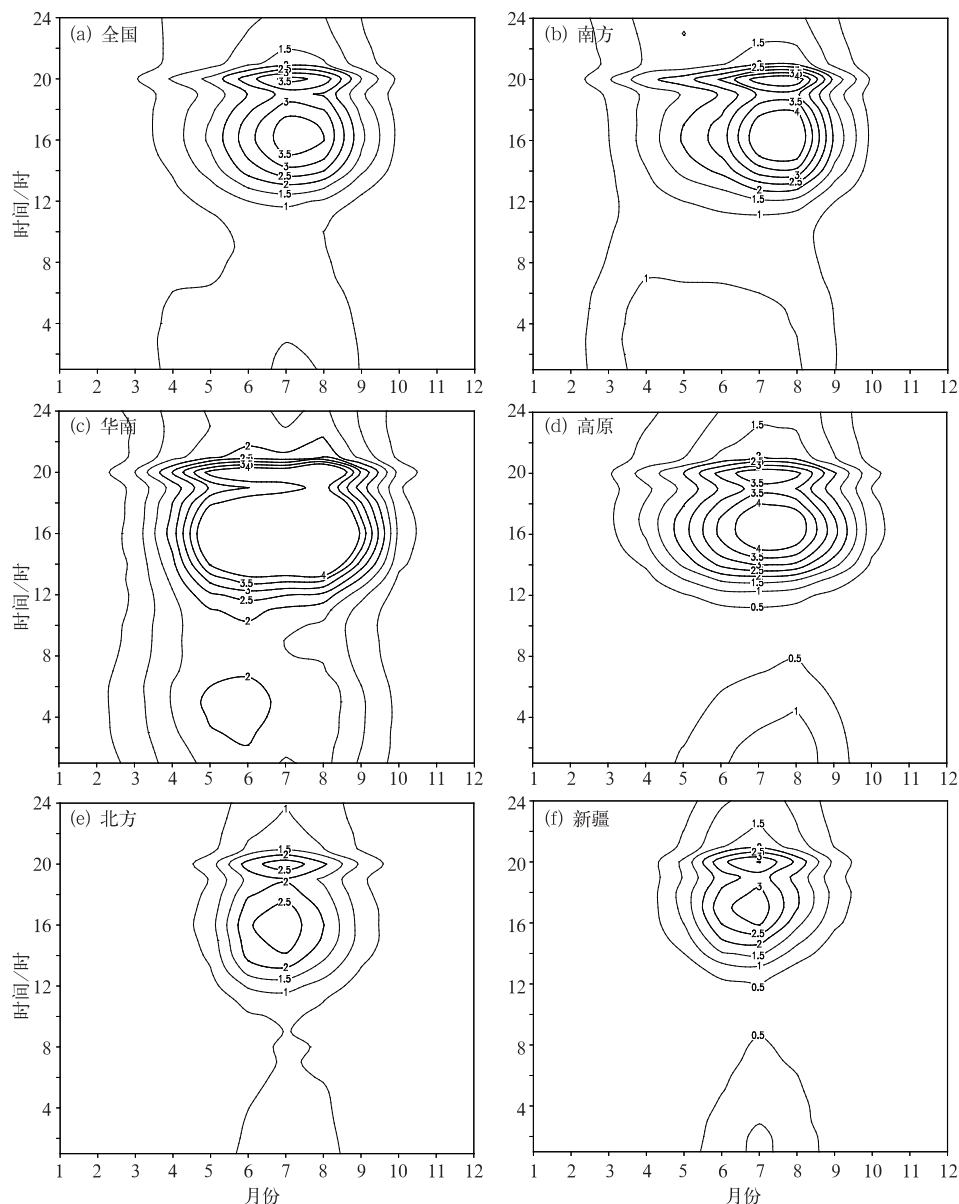


图 6 全国及不同区域雷电多年平均(1970—2006 年)的月一日频次变化

B2 区的雷电在云南北部连通,形成高原雷电区(Ⅱ区),到 6 月第 3 旬高原区雷电发展到最北端—甘肃祁连山区,7 月第 2 旬发展到最西端,扩展到整个西藏地区;另外,5 月第 3 旬在华北西北部开始出现北方雷电区中心,6 月第 1、2 旬向东北方向扩展至整个东北地区 and 内蒙古中东部偏南地区,向南扩展到京津

地区,6 月第 3 旬北方雷电区从陕西中北部、宁夏及甘肃东部与高原雷电区连通,并向南扩展至黄河下游,形成北方雷电区(Ⅲ区),此时仅四川东北部、甘肃南部、陕西南部、湖北北部及黄淮处于雷电低值区;7 月第 1 旬,南方雷电区继续向北推进与北方雷电区全线打通,并持续到 8 月第 1 旬;同时 7 月第 3 旬开

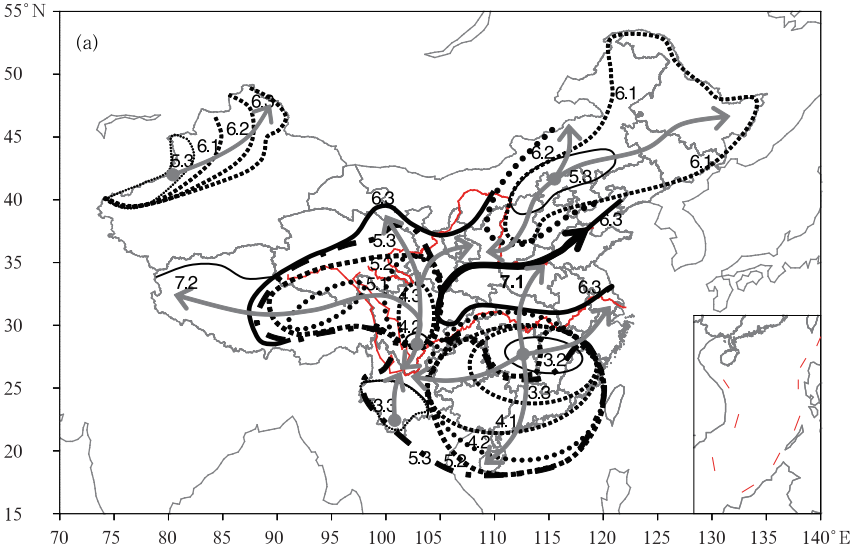


图 7a 旬平均雷暴日 ≥ 2 天的外廓线分布示意图(3 月第 2 旬至 8 月第 1 旬)
数字表示日期(月·旬)

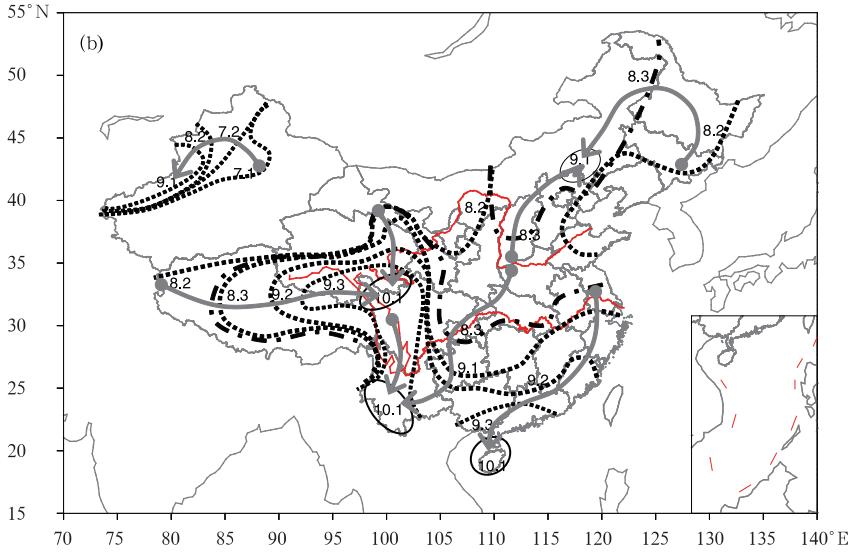


图 7b 旬平均雷暴日(2 天的雷暴日外廓线分布(8 月第 2 旬—10 月第 1 旬)
数字表示日期(月·旬)

始高原区与北方雷电区也逐渐断裂。另外，新疆区雷电区(Ⅳ区)与北方区雷电发生时间一致，最初发生在 5 月第 3 旬伊犁河谷地区 and 新疆西南部，之后一直向东向北推进，6 月第 1、2 旬略向东扩至天山西部和准葛尔盆地，6 月第 3 旬北端东扩至天山以北的新疆

北部地区。

4.2 消退阶段

8 月第 2 旬北方雷电区(Ⅲ区)率先由东向西收缩，整个东北地区中南部雷电日明显减少(图 7b)，山东半岛也处于雷电低值区；8

月第 3 旬西藏的雷电区明显东撤,北方雷电区(Ⅲ区)从陕西南部与南方雷电区(Ⅰ区)分离,并从河套、陕北东撤至内蒙古中部及东部偏南地区,东北地区的雷电大值区向西北方向明显缩小,黄淮、江淮、江汉、陕西和四川盆地东北部为雷电低值区,除了高原雷电区(Ⅱ区)与北方雷电区(Ⅲ区)是断裂的外,整体与 6 月第 3 旬的分布非常类似;至 9 月第 2 旬北方雷电的高值区仅分布在河北西北部 and 内蒙古中部偏南地区,而南方雷电区(Ⅰ区)9 月第 1、2 旬向西向南方向撤退至长江及江南南部和四川西部、贵州西南部;9 月第 3 旬高原雷电区(Ⅱ区)只剩下西藏东北部、青海南部、川西高原及云南中西部,南方雷电区(Ⅰ区)退到华南北部;同时,新疆雷电区(Ⅳ区)从 7 月第 1 旬至 9 月第 1 旬自东向西撤退,北段西退较明显,8 月第 2 旬已西退至 6 月第 1 旬的位置,8 月第 3 旬至 9 月第 1 旬退到 5 月第 3 旬的位置;10 月第 1 旬全国的雷电仅分布在华南沿海和云南西部和川西高原。

4.3 综合分析

从旬平均雷电日(≥ 2 天)外廓线沿 115°E 的时间(旬)-纬度变化(图 7c)可以更清楚地看到南方雷电在 3 月第 2 旬开始出现,之后南界往南延伸至华南沿海,北界开始缓慢北抬,4 月第 3 旬北抬至长江沿线(30.6°N),然后一直到 5 月第 3 旬北界有所南落,6 月第 2 旬以后又开始北抬;北方雷电从 5 月第 3 旬出现以后,北界在 6 月第 2 旬扩展至内蒙古边界,南界一直向南扩展,在 7 月第 1 旬开始与随副高季节性移动而北抬的南方雷电在淮河一带(35°N)连通,整个 7 月份和 8 月第 1 旬这种状态一直持续,8 月第 2 旬以后,随着副高南撤南方雷电区向南收缩,从而南北方雷电分离,北支向北收缩直到 8 月第 3 旬,南支一直向南撤直到 10 月第 1 旬撤到华南沿海。

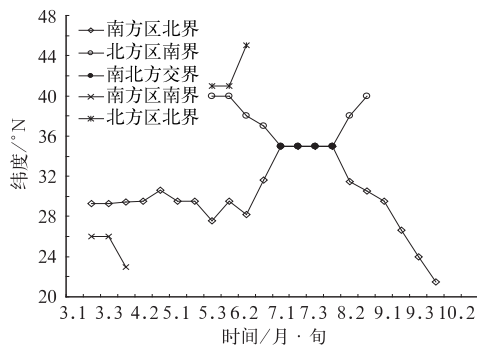


图 7c 雷暴日(≥ 2 天)外廓线沿 115°E 的时间(旬)-纬度变化

综上所述不难看出,南方雷电最早并不是从华南往北推进,而是 3 月第 2 旬从江南中部往西往南辐射然后再往北发展的,高原的雷电最早是 3 月第 3 旬从云南南部开始,但却主要是 4 月第 2 旬四川南部的雷电往北往西的发展,而北方的雷电是 5 月第 3 旬从华北东北部往东往南扩展的。同时,5 月第 3 旬起源于云南和四川的高原雷电区连通,并与南方雷电区连接,6 月第 3 旬高原雷电区又与北方雷电区连通,到 7 月第 1 旬南北方雷电区及高原雷电区三区连成一片,全国雷电范围达到最大,并一直持续到 8 月第 1 旬,8 月第 2 旬各雷电区开始逐渐撤退,8 月第 3 旬北方雷电区与高原和南方雷电区分离,之后高原雷电区向东向南撤,南方雷电区向西向南撤,而北方雷电区则由东西向中间收缩。从全国雷电的发展和消亡可以清楚地看到,雷电的发展经历了一个较长的时间,从 3 月第 2 旬直到 8 月第 1 旬,历时 4 个月 2 旬,而消退阶段最长只经历了 1 个月 2 旬(8 月第 2 旬至 10 月第 1 旬),而其中北方雷电区在短短不到一个月就迅速西撤减弱。

5 结论和讨论

综合上述分析可以得出以下结论:

(1) 全国雷电多发区主要有 4 个:南方区、高原区、北方区 and 新疆区,全国雷电日数

呈下降趋势,高原区和南方区的下降趋势明显强于新疆区和北方区。

(2) 全国雷电经历了较长的发展阶段,南方雷电最早在3月第2旬从江南中部往西往南辐射再往北发展,高原的雷电却主要是四川南部的雷电往北往西的发展,而北方的雷电是从华北东北部往东往南扩展。先是高原雷电区与南方雷电区相连,然后再与北方雷电区相连,最后随着副高季节性北跳南北雷电区连通,到7月份全国雷电覆盖面积最大。8月第2旬各雷电区逐渐开始撤退,8月第3旬高原和南方雷电区与北方雷电区分离,之后高原雷电区向东向南撤,南方雷电区向西向南撤,而北方雷电区则由东西向中间收缩。

(3) 全国雷电大都发生在4—9月午后到深夜(12—24时),在15—17时和19—20时存在两个峰值,在春季则以19—20时峰值为主。南方雷电发生时间最长,尤其是华南区在3—9月几乎整天都有雷暴发生,有三个峰值。北方(包括新疆)雷电发生时间较短,主要集中在5—8月,但发生时段和峰值均偏晚,发生时段较短。

本文着眼于全国,用较长的时间序列研究了雷电的时空分布及演变特征,为雷电的落区预报提供了宏观的气候背景,但由于雷暴日资料不涉及雷电的强度,并且在空间和时间上资料分辨率较低,所以对于一些具体地方的雷电分布及日频次变化描述还不够详细,在这方面可以用新的闪电资料来弥补。另外,雷电活动空间分布的形成除了与地形有密切关系外,尤其是雷电区域的动态演变与大气环流及天气系统的演变是分不开的,

在以后的工作中作者将进一步讨论和分析雷电的发展演变与环流和系统的变化。

参考文献

- [1] 许小峰. 雷电灾害与监测预报[J]. 气象, 2004, 30(12): 17-21.
- [2] 王学良. 武汉市雷电日数的时间和地域变化的基本特征[J]. 湖北气象, 2003, 4: 21-23.
- [3] 张敏锋, 刘欣生, 葛正谟. 我国北方地区雷电活动的时空特征[J]. 高原气象, 2000, 19(3): 277-284.
- [4] 张敏锋, 冯霞. 我国雷暴天气的气候特征[J]. 热带气象学报, 1998, 14(2): 156-162.
- [5] 许小峰, 郭虎, 廖晓农, 等. 国外雷电监测和预报研究[M]. 北京: 气象出版社, 2003: 60-66.
- [6] 张义军, 孟青, 马明, 等. 闪电探测技术发展和资料应用[J]. 应用气象学报, 2006, 17(5): 611-620.
- [7] 孟青, 葛润生, 朱小燕. SAFIR 闪电监测和预警系统[J]. 气象科技, 2002, 30(3): 135-138.
- [8] 孟青, 吕伟涛, 姚雯, 等. 地面电场资料在雷电预警技术中的应用[J]. 气象, 2005, 31(9): 30-33.
- [9] 郑栋, 孟青, 吕伟涛, 等. 北京及周边地区夏季地闪活动时空特征分析[J]. 应用气象学报, 2005, 16(5): 638-644.
- [10] 鄯秀书, Ralf Toumi. 卫星观测到的青藏高原雷电动特征[J]. 高原气象, 2003, 22(3): 288-294.
- [11] 鄯秀书, 张广庶, 孔祥贞, 等. 青藏高原东北部地区夏季雷电特征的观测研究[J]. 高原气象, 2003, 22(3): 209-216.
- [12] 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文, 等. 天气学原理和方法[M]. 北京: 气象出版社, 1992: 615-620.
- [13] 任国玉, 徐铭志, 初子莹, 等. 近54年中国地面气温变化[J]. 气候与环境研究, 2005, 10(4): 717-727.
- [14] 马晓波. 中国西北地区最高最低气温的非对称变化[J]. 气象学报, 1999, 57(5): 613-621.
- [15] 马晓波, 李栋梁. 青藏高原近代气温变化趋势及突变分析[J]. 高原气象, 2003, 22(5): 507-512.
- [16] 任国玉, 初子莹, 周雅清, 等. 中国气温变化研究最新进展[J]. 气候与环境研究, 2005, 10(4): 701-716.

林建等：中国雷电事件的时空分布特征

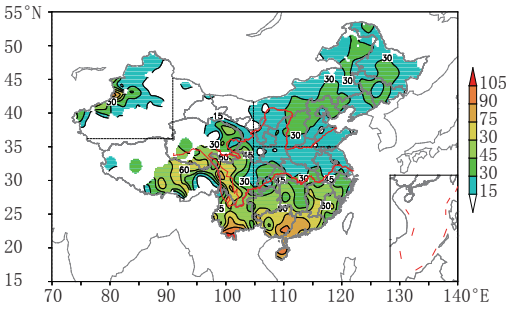


图1 雷暴日的多年平均分布(1970—2006年)
图中仅显示 ≥ 15 天的雷暴日分布

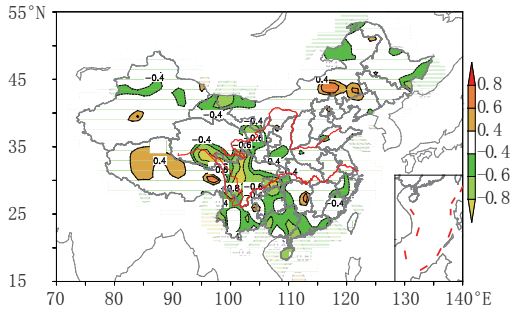


图3 1970—2006年全国雷电日数线性趋势变化
阴影区超过95%显著性检验

林建等：中国雷电事件的时空分布特征

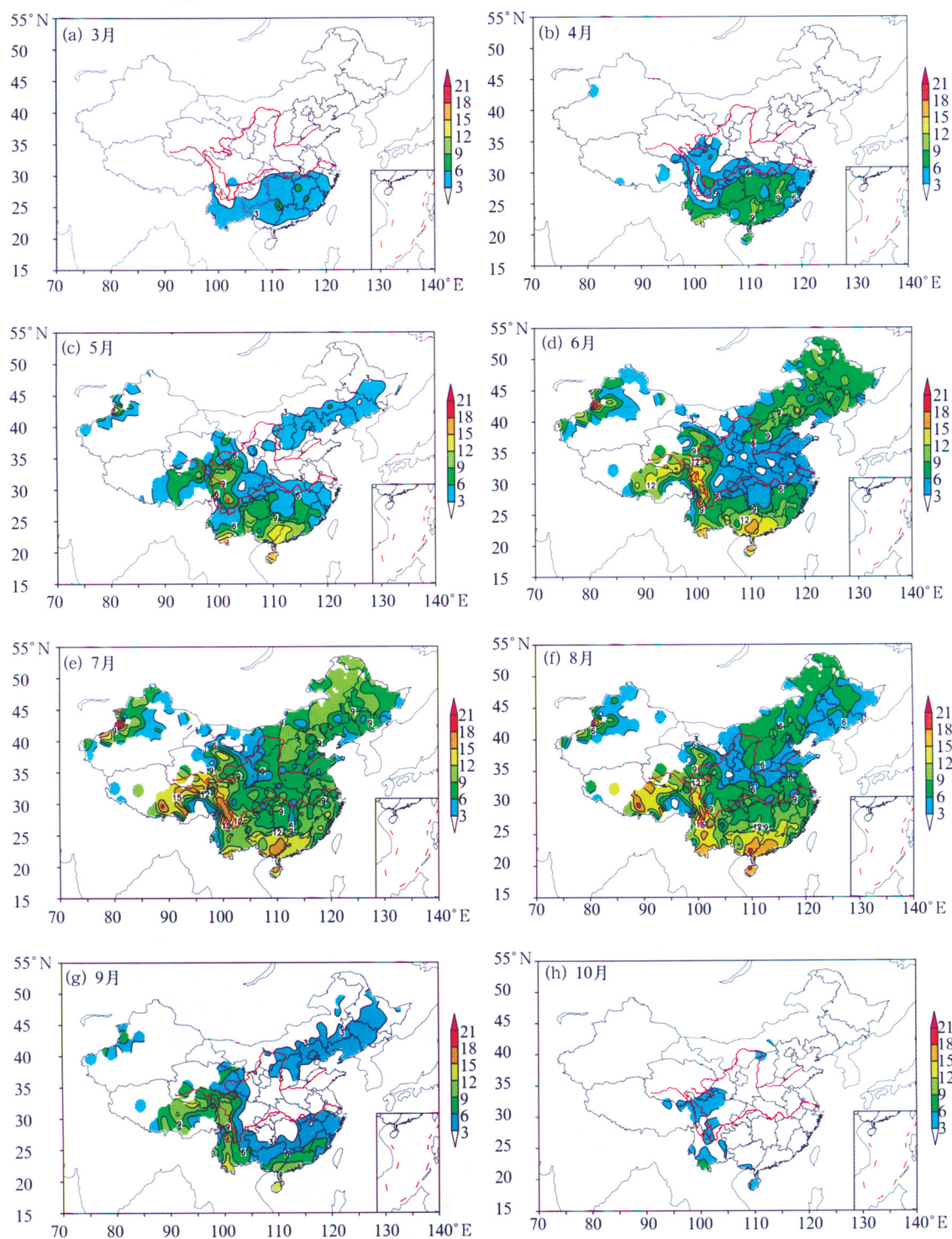


图2 3—10月中国雷电发生日的月平均分布(1970—2006年)