

常州雷暴的气候特点及多普勒雷达回波特征

雷正翠¹ 夏文梅² 周霖华¹ 吴焕勤¹ 姚丽娜² 张 备²

(1. 江苏省常州市气象局, 213001; 2. 江苏省气象局)

提 要: 利用常州基本观测站 1952—2007 年长序列的雷暴观测资料和多普勒雷达回波资料,采用数理统计和小波变换方法,对常州雷暴的变化规律、周期特征以及雷达回波特征进行了分析。结果表明:(1)雷暴日数年代际间差异显著。(2)雷暴年际变化很大,最大值为最小值的 5.9 倍;雷暴日数总体呈显著减少的趋势。(3)夏季为雷暴高发季节,占总雷暴日数的 66.8%。(4)月际变化差异大,雷暴集中出现在 4—9 月,其中 7、8 月为雷暴高发月。(5)从日分布来看,傍晚出现次数最多,其次为下午,上午出现最少。(6)常州年雷暴日数分布主要表现为 12a(年代际)震荡周期贯穿在整个 56 年里;1952—2004 年存在着非常明显 7a 左右的次周期特征;1968—2007 年还存在 3~4a 的小周期特征。(7)常州雷暴的雷达回波基本反射率因子一般在 30~65dBz 之间,回波顶高为 6~17km。(9)常州雷暴雷达回波移向主要有五类:西南东北向、东南西北向、西北东南向、旋转、局地生成。另外对常州雷雨大风和冰雹进行了统计分析,发现:7 月为雷雨大风最高发月;5 月和 7 月为冰雹最高发月。

关键词: 雷暴 统计特征 趋势系数 小波分析 回波特征

Climatic Characteristics of Thunderstorms in Changzhou Within 56 Years and Radar Echo Characters

Lei Zhengcui¹ Xia Wenmei² Zhou Linhua¹ Wu Huanqin¹ Yao Lina² Zhang Bei²

(1. Changzhou Meteorological Office of Jiangsu Province, 213001; 2. Jiangsu Meteorological Bureau)

Abstract: By using the long series observational data of thunderstorms in Changzhou from 1952 to 2007 and Doppler radar data, the variation, periodic characteristics and echo characters of thunderstorms are studied by means of mathematical statistics and the wavelet analysis. The results show that the interdecadal thunderstorm variability is great, and the annual number of thunderstorm day has a decreasing trend. The interannual variation in thunderstorm day number is comparatively large with the maximum being 5.9 times the minimum.

基金项目: 国家自然科学基金(40475017, 40665001)

收稿日期: 2008 年 6 月 30 日; 修定稿日期: 2009 年 5 月 15 日

The obvious seasonal variation of thunderstorms can also be detected, and the period of April to September is more frequent months for thunderstorms and their occurrence in July and August is the most, and over 66.8% thunderstorms occur in summer season. From the diurnal distribution, the highest number is in the evening, followed by the afternoon, at least in the morning. The results from wavelet analysis show that the annual number of thunderstorm days in Changzhou has a period of about 12 years within nearly 56 years and there is a period of about 7 years from 1952 to 2004. In addition, there is still three to four years of small cycle characteristics from 1968 to 2007. It is found that the radar basic reflectivity of thunderstorms in Changzhou is from 30 to 65dBz and the echo top-high is between 6 to 17km and the thunderstorm radar echoes are in five major shifts: the southwest to northeast, the southeast to northwest, the northwest to southeast, the rotation, and the local generation. The strong wind and hail storm in Changzhou are analyzed using statistical analysis methods. It is found that the thunderstorm winds occurring in July rank on top and the hail occurs the most in May and July.

Key Words: thunderstorm statistical characteristics tendency coefficient wavelet analysis echo characters

引 言

雷电以其强大的电流、炙热的高温、巨变的电磁场以及强烈的电磁脉冲等物理效应使其在瞬间产生巨大的破坏作用。雷电致灾范围非常广,常常造成人员伤亡,击毁建筑物,使供电系统、通信设备、计算机信息系统中断,引起森林火灾,造成仓储、炼油厂、油田等燃烧甚至爆炸,严重危害人民财产和人身安全,“联合国国际减灾十年”将雷电灾害视作最严重的自然灾害之一。常州位于经济发达的长三角地区,地处江淮下游,河网密集,是暖温带与亚热带过渡地带,冷暖气流频繁交汇,多雷暴灾害,据统计平均每年雷暴日数达 32 天左右,每年因雷电造成的经济损失非常严重,据统计 2003—2006 年发生雷击事故近 300 起,伤亡人数近 40 人,4 年经济损失高达 3000 万元。因此,防雷减灾工作已成为经济社会安全生产中不可缺少的重要环节。气象工作者们对此也非常关注,在区域雷暴气候特征分析、雷暴的短期预测、雷电发生机理、

雷电灾害防御方面做了大量的研究工作^[1-8]。目前长江三角洲地区对雷电的研究还比较少,且雷电的发生有很强的地域性,因此本文利用 1952—2007 年的雷暴观测资料,通过数理统计和小波分析,对常州雷电灾害发生的年代际、年际、季节、月际变化规律以及常州雷暴发生的周期性等特征进行了分析,另外对常州雷暴的多普勒雷达回波特征进行了分析,旨在提高对常州雷暴发生规律和特点的认识,为本地区雷电预报和防雷减灾工作提供一定的参考依据。

1 常州雷暴的气候特征

1.1 资料及统计说明

本文利用常州基本观测站本站 1952—2007 年 56 年逐日地面观测资料中有关雷暴的观测记录(包括纪要中的记录)进行分析,以统计结果代表常州的雷暴气候特征。在资料统计时,观测簿上只记录闪电而无雷暴记录的不作雷暴统计,一日之内发生一次或数次雷暴的作为一个雷暴日。年代际变化中不

足 10 年的以该年代际平均值补足。

据文献[9]普通雷暴定义为只伴有阵雨的雷暴,强雷暴定义为伴有暴雨、大风、冰雹、龙卷等严重的灾害性天气现象之一的雷暴。

多普勒雷达资料分析中,雷暴的出现是根据历史观测资料中雷暴出现的时间、方位结合雷达回波得出。

气候趋势系数方法主要利用施能等[9]提出的判别方法,即对任一时间序列 $\{x_i\}$,其气候趋势系数定义为:

$$r_{xt} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(i - \bar{t})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (i - \bar{t})^2}}$$

式中: \bar{x} 为 $\{x_i\}$ 的均值; \bar{t} 为自然数序列 $\{i\}$ 的均值; n 为样本长度。若 $r_{xt} > 0$,表明序列 $\{x_i\}$ 有上升趋势, r_{xt} 越大上升趋势越强;若 $r_{xt} < 0$,表明序列 $\{x_i\}$ 有下降趋势, r_{xt} 值越小下降趋势越强。

1.2 常州雷暴的年代际变化特征

根据 1952—2007 年的雷暴统计数据(如图 1)可以看出,56 年里共出现 1773 个雷暴日,10 年雷暴总日数平均为 316.6d,56 年中雷暴总日数出现最多的是 20 世纪 60 年代,10 年雷暴总日数为 404d,20 世纪 50 年代和 20 世纪 60 年代 10 年雷暴总日数均超过了平均水平,20 世纪 70 年代起 10 年雷暴总日数均低于平均水平;出现最少的是 2000 年之

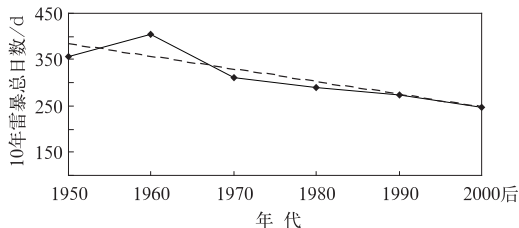


图 1 1952—2007 年常州雷暴年代际变化时间序列

虚线表示趋势线,实线表示雷暴年代际变化

后,10 年雷暴总日数为 247d;10 年雷暴总日数最大值约为最小值的 1.64 倍,可见常州雷暴日数年代际间差异显著。经过气候趋势分析得出,气候趋势系数为 -0.46 ,且通过 0.1 显著性检验,这表明 56 年里雷暴日数呈显著减少的趋势。

1.3 常州雷暴的年际变化特征

从 56 年来的年际变化(如图 2)来看,年平均雷暴日数为 31.66d,超出平均值的有 25 年,其中 1952—1979 年 28 年里有 20 年超出平均值,雷暴高发年份集中在 20 世纪 60 年代至 20 世纪 70 年代初;低于平均值的有 31 年,其中 1980—2007 年 28 年里共出现 23 年。雷暴出现最多的是 1963 年,为 59d,其次为 1987 年,为 53d,再次为 1956 年和 1960 年,均为 52d;雷暴日数出现最少的是 1978 年,为 10d,其次是 2001 年,为 18d,再次是 1982 年和 1989 年,均为 19d;年总雷暴日数最大值为最小值的 5.9 倍,可见雷暴日数年代际间相差非常大。从图 2 中还可以看出,1960—1965 年为雷暴最高发期,雷暴日数连续 6 年超过 40d,1969—1971 年为次高发期,连续 3 年均超过 39d。

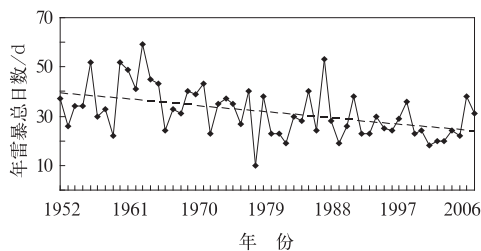


图 2 1952—2007 年常州雷暴年际变化时间序列

虚线表示趋势线,实线表示雷暴年际变化

1.4 常州雷暴的季节变化特征

从季节变化(如图 3)来看,四季出现的雷暴以夏季最多,且多为午后雷阵雨,为剧烈升温所导致的热雷雨。56 年总雷暴日数为

1773d,春、夏、秋、冬季各季雷暴总日数分别为 384d、1185d、185d、19d,累年平均分别为 6.86d、21.16d、3.3d、0.34d,分别占总雷暴数的 21.7%、66.8%、10.4%、1.07%;夏季累年平均出现的日数为各季平均的 2.67 倍,分别是春、秋、冬季的 3.09 倍、6.4 倍、62.4 倍。

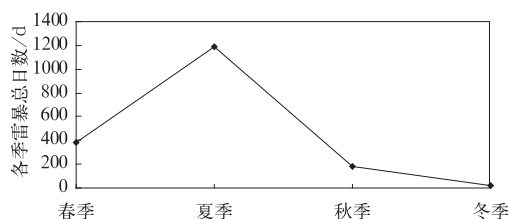


图 3 1952—2007 年常州雷暴季节变化时间序列

1.5 常州雷暴的月际变化特征

图 4 给出了常州市各月雷暴总日数分布情况,从各月雷暴出现频数来看,雷暴集中出现在 4—9 月,出现的总日数为 1632d,占全年总雷暴日数的 92.05%,其中 7、8 月为雷暴高发月,占全年总雷暴日数的 54.8%;其次为 6 月、9 月、4 月和 5 月,占全年雷暴总日数的 37.28%;3 月较少(56 年里共出现 92d,平均每年 1.64d);2、10、11 月很少,分别出现 15、19、11d;1、12 月几乎没有(56 年里分别仅出现 2d)。

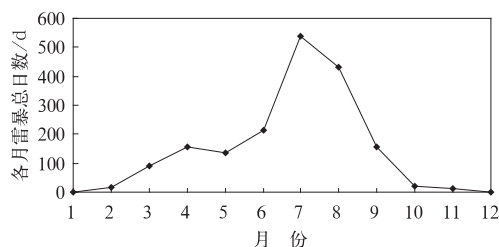


图 4 1952—2007 年常州雷暴月际变化时间序列

1.6 雷暴的初、终期特征及日分布特征

雷暴的初终日是很重要的气候指标,常州雷暴初期为 1 月 1 日,出现在 1997 年,另

有一年出现在 1 月 26 日,为 1969 年;雷暴终日为 12 月 31 日(出现了连续两天雷暴),为 1996 年,另有一年为 1979 年的 12 月 21 日。雷暴初日出现在 2 月的有 10 年,终日出现在 11 月的有 7 年,大多数年份初日出现在 3 月,共有 33 年。大多数终日出现在 9 月,共有 29 年。

由于 7—8 月为雷暴最高发月份(占总数的 54.8%),因此重点对 2004—2007 年 7—8 月的雷暴数据按照时间段(早晨:04—08 时,上午:08—12 时,中午前后:10—14 时,下午:12—6 时,傍晚前后:16—20 时,夜里:20—08 时,其中上半夜:20—24 时,下半夜:24—02 时)进行了统计(注:一个时间段里多次出现只算一次,一天中若在多个时间段出现,则分别计算),结果发现:4 年里总雷暴日数为 72d,总计次数为 106 次,其中早晨 11 次,上午 2 次,中午 9 次,下午 27 次,傍晚 32 次,上半夜 16 次,下半夜 9 次(见表 1),由此可见,傍晚出现次数最多,其次为下午,再次为上半夜,最少出现的时间段是上午,仅有 2 次。因此应密切关注午后雷阵雨的出现。

表 1 2004—2007 年 7—8 月不同时间段雷暴出现频次

时间	早晨	上午	中午	下午	傍晚	上半夜	下半夜
总次数 (106)	11	2	9	27	32	16	9
所占 百分比	10.4%	2%	8.5%	25.5%	30.2%	15.1%	8.5%

2 雷暴的小波分析和周期特征

小波分析亦称多分辨分析,是一种新的时频分析工具,主要思想是将任一信号分解成时间和频率(尺度)的独立贡献,同时又不失原有信号的信息。它能将气象时间序列曲线分解成交织在一起的多尺度成分,并对不同尺度成分采用相应粗细的时域取样步长,从而能不断聚焦到曲线的任一细节。小波变换不仅可以给出气候序列变化的尺度,还可

以显现出变化的时间位置,对于气候预测是十分有用的^[11]。基本小波有多种形式,这里采用 Morlet 小波^[12]。Morlet 小波在揭示气候资料的奇异性(突变点)方面表现出良好的性能。

对于时间序列函数 $f(x)$, 小波变换定义为

$$W_f(a, b) = a^{1/2} \int f(x) \Psi^* \left(\frac{x-b}{a} \right) dx$$

其中 $W_f(a, b)$ 是小波系数, a 为伸缩因子, 决

定小波宽度; $b \in R$ 为平移因子, 是反映小波位置移动的参数, Ψ 是 Ψ^* 的共轭函数。Morlet 小波母波函数为

$$\Psi(x) = C e^{-\frac{x^2}{2}} \cos(5x)$$

其中 C 为重构时的归一化常数。

为了更好地揭示常州雷暴发生的规律, 对 1952—2007 年雷暴日数进行了 Morlet 小波分析。图 5 为常州雷暴日数序列小波分析

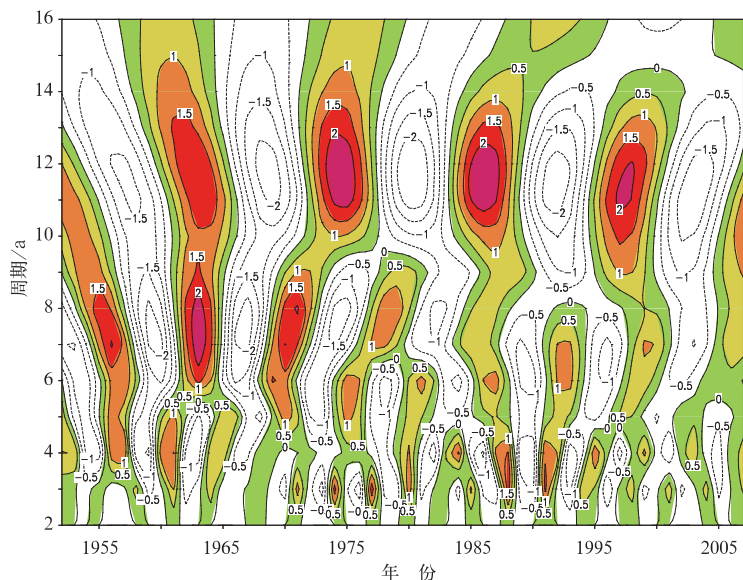


图 5 常州雷暴日数序列小波分析图

图, 图中横坐标为年变量, 纵坐标为周期(a)。

通过小波分析可见: (1) 常州年雷暴日数分布主要表现为 12a (年代际) 时间尺度上存在正负闭合中心交替的特征, 12a 震荡周期贯穿在整个 56 年里, 其对应的多雷暴时段分别为 1960—1965 年、1973—1977 年、1985—1987 年、1994—1998 年, 其中中心值对应着 1963 年、1974 年、1987 年、1998 年, 雷暴日数分别为 59d、37d、53d、36d, 分别为该时间段内的最高值; 少雷暴年时段分别为 1957—1959 年、1966—1968 年、1978—1984 年、1988—1993 年、1999—2005 年。(2) 在 1952—1984 年存在着非常明显 7~8a 的次

周期特征, 1967—2004 年表现为 6~7a 的周期。(3) 1968—2007 年还存在 3~4a 的小周期特征。

3 雷暴的多普勒雷达回波特征

3.1 基本反射率因子与回波顶高

通过分析常州 2004—2007 年多普勒雷达回波特征, 发现出现雷暴时的雷达回波基本反射率因子均在 30~65dBz 之间, 回波顶高在 6~17km; 普通雷暴一般在 35~50dBz, 回波顶高在 6~10km; 强雷暴雷达回波基本反射率均在 55~65dBz 之间, 回波顶高在 10

~17km,出现冰雹时回波强度大于 55dBz,高度大于 12km。常州绝大多数雷暴发生时基本反射率因子为 40~55dBz,强雷暴一般为 55~65dBz,因此在雷达回波图上若上游地区出现回波强度大于 30dBz 的回波,则要密切关注。另外一般 7—8 月的回波都比较强,破坏性大,因此应特别予以重视。

表 2 2004—2007 年常州雷暴基本反射率和回波顶高

	普通雷暴	雷雨大风	冰雹
基本反射率/dBz	30~50	>50	>55
回波顶高/km	6~10	>10(多数为 14~17)	>12(一般为 17)

3.2 雷达回波移向

通过对 2005—2007 年雷达回波资料进行分析,发现 2005—2007 年常州市共出现雷暴日数 88d,产生的雷暴大致有以下五种移动方向:其中自西南向东北方向移动(绝大多数属此类,占 45/88,为 51.1%)、自东南向西北方向移动(台风倒槽影响属此类,占 5/88,为 5.7%)、自西北向东南方向移动(冷空气东移南下属此类,占 19/88,为 21.6%)、旋转

(江淮气旋和台风经过本地附近属此类,占 2/88,少)、局地生成(副热带高压型的热雷雨属此类,一般自生自灭,基本发生在 7—8 月,占 17/88,为 19.3%)。

4 常州冰雹和雷雨大风的变化特征

4.1 雷雨大风变化特征

1952—2007 年 56 年里出现雷雨大风共计 150d,年平均为 2.68d,其中超过平均值的有 28 年,全年未出现雷雨大风的有 8 年。20 世纪 60 年代出现雷雨大风最多,其次为 20 世纪 70 年代和 2000 年之后,出现最少的是 20 世纪 90 年代。雷雨大风出现最多的年份为 1956 年,共出现了 10d;其次为 1965 年,出现了 9d。从月际变化(表 3)可以看出,7 月为最高发月,为 109d,占 72.7%,因此 7 月应特别注意雷雨大风的出现;其次为 8 月和 5 月,分别为 36、26 次;而 1、2、10、11、12 月很少出现雷雨大风,其中 2、11 月各出现 1d 雷雨大风,1、11、12 月未出现雷雨大风。

表 3 1952—2007 年各月雷雨大风总日数

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
总日数/d	0	1	7	13	26	14	109	36	8	1	0	0
占百分数/%	0	0.7	4.7	8.7	17.3	9.3	72.7	24	5.3	0.7	0	0

4.2 冰雹变化特征

1952—2007 年 56 年里有 18 年出现了冰雹,共计 27d,年平均为 0.48d,其余 38 年未出现冰雹。冰雹出现较多的是 1985—1988 年,4 年里共出现 10d 冰雹。从表 4 可

以看出,5 月和 7 月为最高发月,均为 6d,均占 22.2%,因此 5 月和 7 月应特别注意冰雹的出现;其次为 8 月、4 月和 2 月,分别为 5、4、3 次;3 月和 6 月较少出现冰雹;1、9、10、11、12 月 5 个月未出现冰雹。

表 4 1952—2007 年各月冰雹总日数

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
总日数/d	0	3	1	4	6	2	6	5	0	0	0	0
占百分数/%	0	11.1	3.7	14.8	22.2	7.4	22.2	18.5	0	0	0	0

5 结论和讨论

利用 1952—2007 年长序列的雷暴观测资料和多普勒雷达回波资料,通过数理统计和小波分析,对常州雷电灾害发生的年代际、年际、季节、月际变化规律以及常州雷暴发生的周期性特征、雷达回波特征进行了分析,得出了以下结论:

(1) 56 年里共出现 1773 个雷暴日,10 年总雷暴日数平均为 316.6d,10 年总雷暴日数出现最多的是 20 世纪 60 年代,20 世纪 50 年代和 20 世纪 60 年代,10 年总雷暴日数均超过了平均水平,20 世纪 70 年代起 10 年总雷暴日数均低于平均水平;出现最少的是 2000 年之后。雷暴日数年代际间差异显著。从趋势线可以看出,20 世纪 60 年代之后雷暴总的变化趋势是逐渐减少的,减少趋势明显。

(2) 雷暴年际变化很大,最大值为最小值的 5.9 倍。1960—1965 年为雷暴最高发期,雷暴日数连续 6 年超过 40d,1969—1971 年为次高发期,连续 3 年均超过 39d。

(3) 从季节变化来看,四季出现的雷暴以夏季最多,占总雷暴日数的 66.8%。

(4) 从各月雷暴出现频数来看,雷暴集中出现在 4—9 月,其中 7、8 月为雷暴高发月。

(5) 常州雷暴初期为 1 月 1 日;雷暴终日为 12 月 31 日(出现了连续两天雷暴)。雷暴初日出现在 2 月的有 10 年,终日出现在 11 月的有 7 年,大多数年份初日出现在 3 月,共有 33 年。大多数终日出现在 9 月,共有 29 年。

(6) 日分布来看,雷暴傍晚出现次数最多,其次为下午,再次为上半夜,最少出现的

时间段是上午,仅有 2 次。

(7) 常州年雷暴日数分布主要表现为 12a(年代际)时间尺度上存在正负闭合中心交替的特征,12a 震荡周期贯穿在整个 56 年里;在 1952—1984 年存在着非常明显 7~8a 的次周期特征,1984—2004 年表现为 6~7a 的周期;1968—2007 年还存在 3~4a 的小周期特征。

(8) 常州雷暴出现时的雷达回波基本反射率均在 30~65dBz 之间,回波顶高在 6~17km;普通雷暴一般在 35~50dBz,回波顶高在 6~10km;强雷暴雷达回波基本反射率均在 55~65dBz 之间,回波顶高在 10~17km;出现冰雹时回波强度大于 55dBz,高度大于 12km。

(9) 常州雷暴雷达回波移向主要有五种:西南东北向、东南西北向、西北东南向、旋转、局地生成(自生自灭)。

另外对 1952—2007 年常州雷雨大风和冰雹进行了统计分析,结果表明:

(a) 56 年里共出现雷雨大风 150d,年平均为 2.68d;1960 年代出现雷雨大风最多,其次为 1970 年代和 2000 年后,最少出现的是 1990 年代;7 月为雷雨大风最高发月,占 72.7%,因此 7 月应特别注意雷雨大风的出现。

(b) 56 年里共出现冰雹 27d,年平均为 0.48d。5 月和 7 月为冰雹最高发月,因此 5 月和 7 月应特别注意冰雹的出现。

本文对常州 1952—2007 年雷暴发生的气候特征和多普勒雷达回波特点进行了初步分析,对雷暴发生的天气系统及影响因子的分析,找出常州雷暴发生的界定指标,完善雷暴的预报预警将是进一步研究的重点。

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] 段炼,陈章. 近 42 年成都地区雷暴的气候统计特征[J]. 自然灾害学报,2006,15(4):59-64.
- [3] 张美平,敖淑珍,刘翔,等. 广州白云国际机场近 46 年来雷暴气候的统计特征[J]. 应用气象学报,2004,15(1):66-73.
- [4] 李玉林,杨梅,李玉芳. 夏季雷暴云雷达回波特征分析[J]. 气象,2001,27(10):33-37.
- [5] 王军,赵伟华,周官辉,等. 鹤壁市雷暴短时监测和临近预报流程[J]. 气象,2004,30(5):47-51.
- [6] 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.
- [7] 辛吉武,许向春,蔡杏尧. 海南儋州雷暴天气气候特征分析[J]. 气象,2008,34(1):100-106.
- [8] 胡艳,端义宏. 上海地区雷暴天气的气候变化及可能影响因素[J]. 中国海洋大学学报,2006,36(4):588-594.
- [9] 朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等. 天气学原理[M]. 北京:气象出版社:2000.
- [10] 施能,曹鸿兴. 近 42 年我国冬季气温、降水趋势及年代际变化的成因分析[C]. 我国短期气候变化及成因研究. 北京:气象出版社,1996:49-54.
- [11] Arnedo A, Grasseau G, Holschneider M. Wavelet transform analysis of invariant measures of some dynamical system[J]. Phys.Rev. Lett. 1988,61:2281.
- [12] Christopher Torrence, Gilbert P. A practical guide to wavelet analysis[J]. Bull Am Meteorol Soc, 1998, 79(1):61-78.