第21卷 第3期
2001年9月
气 象 科 学
SCIENTIA METEOROLOGICA SINICA
Vol. 21, No. 3
Sept., 2001

我国南方雷暴的气候特征研究①*

徐桂玉 杨修群
（南京大学大气科学系，南京 210008）

摘 要 本文根据我国南方62个气象观测站1971—995年月雷暴日数资料，应用EOF和小波统计分析方法，研究了雷暴的气候特征，包括它们的空间分布类型，季节变化特征和年际变化规律。所得结论，为进一步探讨大范围雷暴与大气环流的联系打下了基础。

关键词 雷暴 气候特征 EOF分析 小波分析
分类号 P416

引 言

雷暴又称风暴，是积雨云云体强烈发展阶段所产生的雷电现象，而且常伴有暴风雨、冰暴和龙卷等，是一种严重的灾害性天气，常造成国民经济和人民生命财产的重大损失。所以研究雷暴天气有着十分重要的意义。以往，我国从事这方面的研究已有不少，例如，盛承禹等[1]对我国雷暴的地理分布、季节变化、年际变化及日变化规律等均作了概括。张立等[2]分析了江淮下游地区雷暴的地理分布及时序变化，并指出引起雷暴年际变化的关键作用是低纬环流。对雷暴的结构、形成和预报方面的工作如文献[3][4]等等。不过，以前的大部分工作所研究的范围区域性较强、范围较小。有的侧重于局地雷暴预报或个例分析，所用的资料大多是70年代以前的，而且文献[5]中没给出雷暴分布图。为此，本文试图利用最近25年的资料，摸清我国南方大范围雷暴的气候特征，包括地域分布，季节变化及年际变化规律。一方面为防灾减灾提供气候背景，同时也为进一步研究雷暴与强对流天气如冰雹、暴雨之间的联系，以及雷暴的成因，特别是与大尺度大气环流的联系打下基础。

1 我国南方雷暴的气候特征

本方所用资料为1971.1～1995.12和1956～1995年6～8月，在18～35°N，105～125°E范围内均匀分布的62个观测站的月雷暴日数，取自国家气象中心整编的《中国地面气象记录月报》及有关省市地面气象资料。其中海南省的琼海和东方站相对缺测较多，处理时采用多年平均值并参考周围测站雷暴分布进行了插值。

① 收稿日期：2000—03—10；修改稿日期：2000—08—20
* 本研究工作得到《国家重点基础研究发展规划》G1998040900项目第一部分的资助

1.1　空间分布特

图 1 为 1971～1995 年雷暴日年平均分布图。根据等值线分布可见，雷暴分布总趋势为自南向北递减，最大值出现在海口。多雷暴带大多与地形关系密切，主要的多雷暴带有：我国东部的两广丘陵地区—南岭—武夷山、浙闽丘陵和江南丘陵一带；两广—武陵山一带；云贵高原西部大巴山以西一线；庐山—大别山一线；大巴山—秦岭一线；以及湖南西北—湖北西部一线。同时还可看到，我国东南沿海地区的雷暴比内陆要少。以上所述，与文献[1]中结论基本吻合，即南方多于北方，山地多于平原，沿海多于内陆。所不同的是，在华南南部，即广东、广西的南部及海南省，平均雷暴日略有减少，这可能与雷暴自 70 年代以来有减少的趋势（详见 1.3 节）有关。

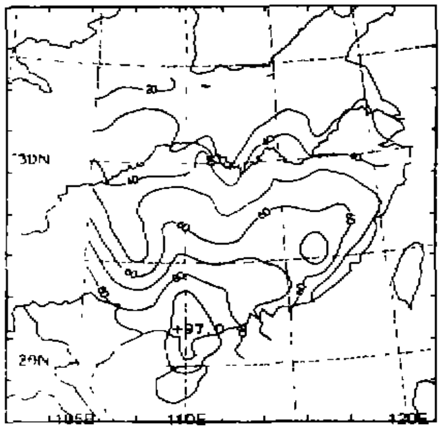

图 1　我国南方年平均雷暴日分布

Fig.1　The distribution of annual mean thunderstorms days in the South China

1.2　季节变化特征

图 2 为各季节代表月（1、4、7、10 月）雷暴日分布图。表 1 为逐月雷暴最大中心值。从逐月分布图中可清楚地看出雷暴的季节变化情况。1 月份，雷暴主要分布在 25～30°N 之间的华中、华西地区，即贵州、湖南及重庆等地，最大中心值为 0.88，位于湖南芷江。2 月份雷暴日数明显增多，多暴带轴线南移，中心位于广西桂林（4.04）。3 月，中心东移至南岭附近，位于江西的赣州，强度有所增强（7.4），而且，雷暴明显示向长江以北扩展。4 月份，中心向西南移动至两广丘陵，中心值继续增大为 10.0，位于梧州。同时西北部的四川北部和陕西南部雷暴也明显增多。5 月，中心强度大大增强，达 17.8，位置明显南移至海口。6 月，中心少动，仍在海口，中心值为 17.1。7 月，中心向西北移动，中心值位于广西龙州，等于 17.6。8 月中心东移，中心值位于广东阳江，为 18.24，为全年最大值。9 月，中心西移至海南省的东方，为 16.12；10 月中心少动，仍在东方，但日数减少为 8.4；11 月中心又重新回到云贵高原，位于贵州的兴仁，中心值为 1.12；12 月，中心位置不变，仍位于兴仁，但强度减弱为 0.28。以上年变化特征，由逐月雷暴中心活动动态图（略）可清楚地看到：由冬至夏，雷暴逐月增多，8 月达最大值，其中 5～9 月份为多雷暴月。而且夏半年 4～10 月雷暴中心偏南，主要活动区集中在 24°N 以南、113°E 以西区域。由夏至冬，雷暴逐月减少，尤其 10 月份以后，雷暴量骤减，其中以 12 月为最少。而且，冬半年 10～3 月雷暴中心偏北，主要活动区位于 25°N 以北、115°E 以西区域。

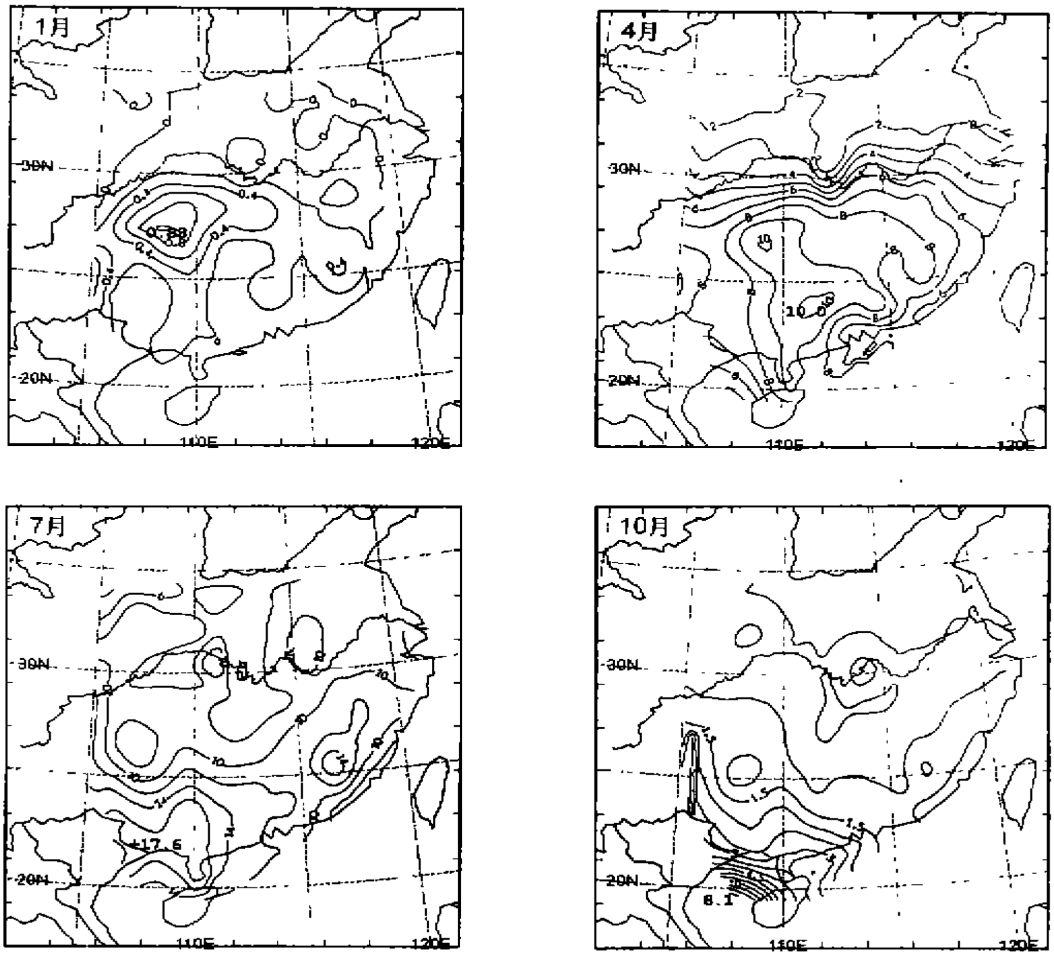

图 2 月(1、4、7、10)雷暴日分布

Fig. 2 The distribution of monthly thunderstorm days for January, April, July and October, respectively

表 1 逐月雷暴中心值

Table 1 Monthly central value of thunderstorm days

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
中心值	0.88	4.04	7.40	10.0	17.76	17.14	17.6	18.24	16.12	8.40	1.12	0.28

1.3 年际变化特征

图 3 给出了 25 年(71～95 年)区域平均雷暴的距平百分率。由于夏季雷暴资料(6～8 月)统计的年份较长,因此也作了夏季 6～8 月 40 年(56～95 年)雷暴的距平百分率图(图略)。由图可见,两者的变化趋势大致相同,说明夏季雷暴在全年雷暴量中占了很重要的地位。不过也有些年份不完全相似,甚至趋势是相反的。例如,1983 年夏季雷暴量明显偏少,而全年平均却异常偏多。究其原因,主要是由于该年冬半年的雷暴出现异常所致,这在下面 EOF 分析中可清楚地看到。

若取距平百分率≥20%作为多雷暴年、≤−20%作为少雷暴年，则夏季 6～8 月多雷暴年为 56、59、61、62、63、71、73 年，少雷暴年为 89 和 92 年。全年平均多雷暴年为 73、75 年，少雷暴年为 89 年。

由图 3 还可以清楚地看出，雷暴的年际变化曲线具有明显的趋势项和周期性。其趋势变化通常可用一次线性方程。

$$y = a + bx$$

来表示，即图 3 中细实线。可见，我国南方雷暴自 70 年代以来有减少的趋势（夏季 40 年资料同样存在减少趋势）。年平均雷暴的周期变化规律，由功率谱分析[6]结果（图略）表明，超过 95% 信度的显著周期为 2 年和 16 年，其中 2 年周期与文献[2]中结论相吻合。

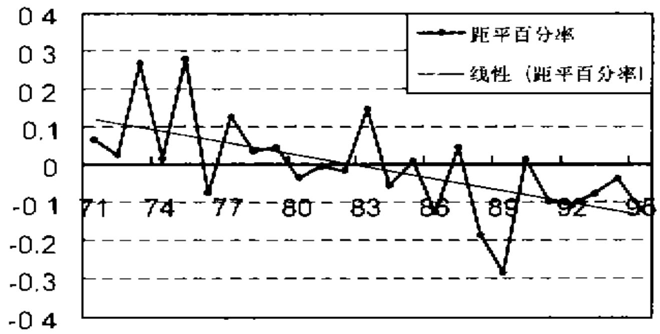

图 3　雷暴距平百分率

Fig. 3　Anomalies of thunderstorm days in percentage

由于谱分析是从频率域来分析一个时间序列 f(x)的波谱特征，无法知道 f(x)的波谱随时间的演变情况。所以这里再采用一种较新的分析技术，可以从频率域和时间域来分析时间序列 f(x)的波谱振幅随时间变化的特征，即小波分析方法[7]。

对于时间函数 f(x)，其小波变换定义为

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

其中 $W_f(a,b)$是小波系数，a 为伸缩因子，决定小波宽度；b∈R 为平移因子，是反映小波位置移动的参数；Ψ 是 Ψ* 的共扼函数。这里选择的母波函数为

$$\Psi(x) = e^{icx}e^{-x^2/2}$$

函数，其中 c 为常数（这里取 c=5.4）。

由于 Morlet 小波函数是一个周期函数经过 Gaussian 函数平滑而得到的，所以其伸缩尺度 a 与 Fourier 分析中的周期 T 有很好的一一对应关系[8]：

$$T = \left[\frac{4\pi}{c + \sqrt{2 + c^2}}\right]a = 1.144a$$

本文中，取尺度因子 $a=2\cdot 2^{0.2(j-1)}$(j=1,20)，这样，结果就非常直观了。计算结果如图 4 所示，图中纵坐标为 j，它与主要周期 T 的对应关系见表 2。

表 2 j 与 T 的对应关系

Table 2 Corresponding relationship between j and T

j	1	6	11	16	18
T(年)	2	4	8	16	21.1

信号的强弱由小波系数的大小(实线表示正值,虚线表示负值)表示。由图可见,最强的周期为 2 年和 21 年。其次是 4 年和 9 年左右。其中,准 2 年周期以 70 年代为最强,其次是 80 年代中期,而 90 年代较弱。4 年左右的周期有个转变过程,由 70 年代前期的 5 年左右周期转为 70 年代后期和 80 年代前期的 4 年周期,至 80 年代中期以后,又演变为 3～4 年周期。9 年周期在前 40 年变化不大,而到 90 年代则转为 7～8 年和 11 年左右周期。

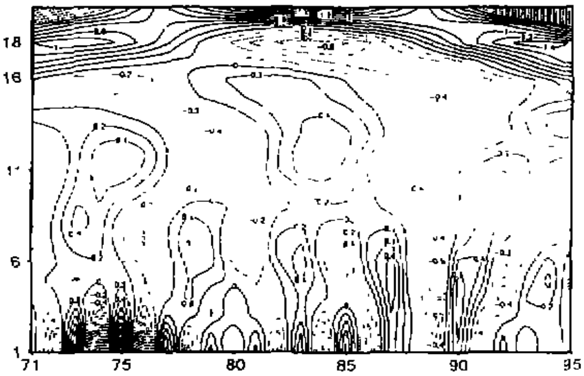

图 4 1997～1995 年雷暴的 Morlet 小波系数时-频分布

Fig. 4 Time-frequency distribution of Morlet coefficient

由以上分析可知,我国南方雷暴的年际变化存在着 2 年、4 年较短周期和 9 年、21 年长周期振荡。而且短周期存在着 70 年代以 2 年以 2 年周期为主、80 年代 2 年、4 年周期都较明显、90 年代以 3～4 年周期为主的年代际变化规律。

2 EOF 分析

为了清楚地显示我国南方雷暴的主要空间分布类型及其与年际变化之间的联系,下面对雷暴资料进一步作 EOF 分析。由前面已知,雷暴发生的季节变化比较明显,这里将冬季与夏季分别加以讨论,其中将 5～9 月称作夏半年,10～4 月作为冬半年,为突出雷暴异常的分布类型及其与年际变化的联系,这里资料采用区域内各测站 5～9 月或 10～4 月的距平值。

表 3 前 5 个特征向量场的方差贡献(%)

Table 3 Percent of total variance explained by the first five eigenvectors

夏半年	方差贡献	48.8	9.4	6.9	5.3	4.8
	累积方差贡献	48.8	58.2	65.3	70.4	75.2
冬半年	方差贡献	44.3	12.9	8.1	6.3	5.7
	累积方差贡献	44.3	57.2	65.3	71.6	77.3

表2列出了EOF前5个特征向量场的方差贡献及累积方差贡献。可以看到，夏半年和冬半年前5个特征场累积方差贡献分别占总方差的75.2%和77.3%，对于雷暴这类地域性较强的天气现象来说，其收敛性还是相当不错的。

图5为夏半年的eof1-eof3及其对应的时间系数t1-t3。

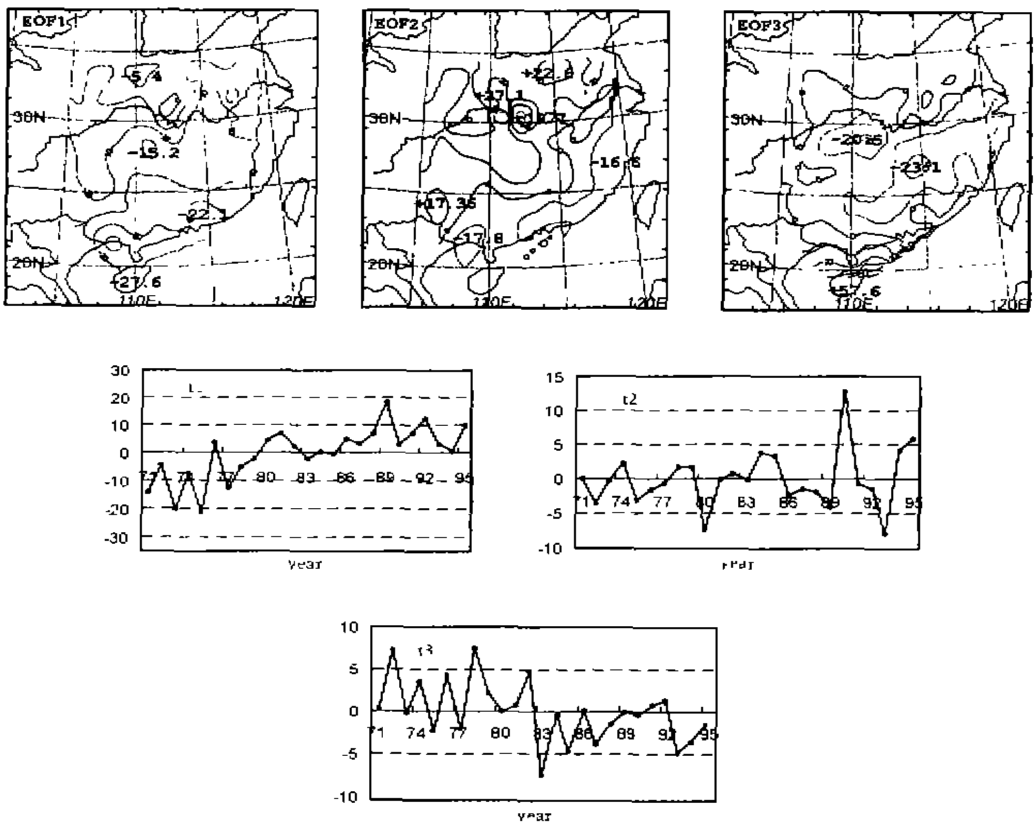

图5　夏半年前3个特征场(eof1-eof3)及其对应的时间系数(t1—t3)

Fig.5　The first three eigenvectors(eof1-eof3) and the corresponding time coefficients(t1—t3) in summer half year

第一特征场eof1的载荷值基本上全部为负号(除湖北小范围地区)，这里仍称它为全区域型。该型反映雷暴若出现异常，那么全区域是一致的。大的极值中心位于两广地区，其次是湖南、江西等地。对应的时间系数t1反映了该分布型的年际变化情况。负值表示雷暴偏多，正值表示雷暴偏少。由图亦可较清楚地见到，EOF1模态存在2年和20年以上的周期。其中，1975、1973、1977、1971、1974为明显多雷暴年，1989、1992、1995、1992、1981为明显少雷暴年，而且上述极值中心附近地区雷暴偏多或偏少的情况最为明显。前面根据实测值的距平百分率所确定的雷暴异常年份在这里已全部反映出来了。

eof2的特点是东南部与西北部空间载荷值反号，反映雷暴异常东南部与西北部呈相反的分布形势，简称为东南-西北型。正载荷中心位于湖北、河南、安徽、广西、湖南及四川，负载荷中

心主要位于福建、广东和广西。由 t2 可知,该模态存在较明显的 4 年左右周期变化。而且西北部多雷暴年份主要为 1990、1995 年,少雷暴年为 1980、1993 年;同样,东南部多雷暴年份为 1980 和 1993 年,少雷暴年为 1990、1995 年。

eof3 的主要特征是载荷零线呈纬向型,而且中部大范围区域(负值)与其南、北较小范围(正值)载荷符号相反,表明雷暴出现异常情况是中部与其南、北部相反,即中部多(少),则其南、北部少(多)。这里将其称为纬向 I 型。对应的时间系数 t3 与 t1 类似,同样具有 2 年和 20 年以上周期变化,虽然两者位相基本相反,但是两者所对应的空间场是不同的。同 t3 可见,中部地区雷暴偏多明显的年份为 1983、1985 和 1993 年等,尤其是负载荷中心的湖南、江西等地;南、北部偏多的年份为 1978、1972 和 1982 年等,其中以海南、安徽最为显著。雷暴偏少的年份,中部地区为 1978、1972 和 1982 年,而其南、北两侧为 1983、1985、1993 年等。

eof4(图略)与 eof3 相比较,都属纬向型,但符号分布区域差别很大。由图可见,其符号由南向北呈"正-负-正-负"分布,零线平均在 22°N、27°N 和 33°N 附近,将该型称作纬向 Ⅱ 型。结合 t4(图略)可知,位于 25°N 附近和 33°N 以北负载荷区雷暴明显偏多的年份有 1993 和 1994 年;而这时长江流域和南部沿海(正载荷值区)雷暴偏少。相反,长江流域和南部沿海偏多的年份为 1981、1975 年,这时,相应 25°N 附近及 33°N 以北为雷暴偏少年份。

eof5(图略)的分布特点,除少数地区外,其零载荷线基本呈南北向分布,而且从东至西呈"负-正-负"的分布特点,故称该型为经向型。不过要注意的是,在 110°E 以西地区,其雷暴异常分布大致与 eof3 的纬向 I 型相同。而且从载荷值来看,主要反映的是 115°E 以西地区的雷暴异常,据 t5(图略)可知,该区域雷暴偏多年份为 1983 和 1978 年。另外,在 25°N 以南地区,经向分布特点较为明显,广西和广东、海南呈相反的变化趋势。其中比较明显的异常年份除 1983、1978 以外,就是 1990 和 1971 年,广西雷暴偏多,而广东偏少。显然,eof5 反映了雷暴异常更为细致的地域分布特征。

综上所述,夏半年我国南方雷暴异常的空间分布类型主要有:全区域型、东南-西北型、纬向型(Ⅰ、Ⅱ 型)和经向型。同时也给出了各分布类型对应的异常年份。

下面讨论冬半年雷暴分布情况。图 6 为冬半年 eof1-eof3 及其对应的时间系数 t1-t3。

第一特征向量场 eof1,载荷值全为负,中心位于广东,称为全区域型。也就是说,冬半年雷暴异常明显的区域为 25 °N 附近。由 t1 可见,雷暴偏多的年份主要为 1983 和 1981 年,偏少的主要年份是 1971、1988 年。

eof2 的特征是,东北部(负载荷)与西南部(正载荷)呈相反的变化趋势,因此称作为东北-西南型。由 t2 可知,东北部雷暴偏多的年份主要为 1987 和 1991 年,偏少的主要年份是 1982 年,异常中心位于江西-湖南。西南部主要偏多的年份为 1982 年,偏少的主要年份是 1987、1991 年,异常中心位于广东沿海地区以及云南省。

eof3 不同于 eof2,其特征为东南部(正载荷)与西北部(负载荷)呈相反变化趋势,故称该型为西北-东南型。同时也要注意,110°E 以东地区,呈纬向型分布,南北部符号相反。而 27°N 以南地区,又呈现经向型特征,东、西向符号相反。该型主要的异常中心位于贵州至湖南,其次是广西和广东等地。结合时间系数 t3 可知,西北部雷暴偏多的年份有 1981、1982、1972 等年,偏少的是 1988、1992 年等;东南部偏多的年份主要有 1988、1992 等年,偏少的是 1981、1982、1972 年等。时间系数 t3(包括以下的 t4、t5)与 t1、t2 相比数值偏小,也就是说相应地区出现异常的程度相对来说要轻些。

eof4(图略)最清楚的特点是中部呈经向型分布、115°E 以东(负值)和以西(正值)呈相反的变化趋势,并且西部的载荷中心值要大的多,位于贵州和湖南,该型称作经向型。但要注意的是北部与南部基本无此特点,且海南有大的负值中心。对应的时间系数 t4(图略),正权重均小于 2.5,负值只有 1987 年接近-4,因此该型主要反映 1987 年海南、云南、广西、广东及长江中下游以北雷暴偏多,而长江中下游以南至 27°N 附近雷暴异常偏少。

综上所述,我国南方冬半年雷暴异常分布主要可归纳为全区域型、东北-西南型、西北-东南型、经向型及纬向型,同样,各型所对应的雷暴偏多(偏少)年份亦一一给出。

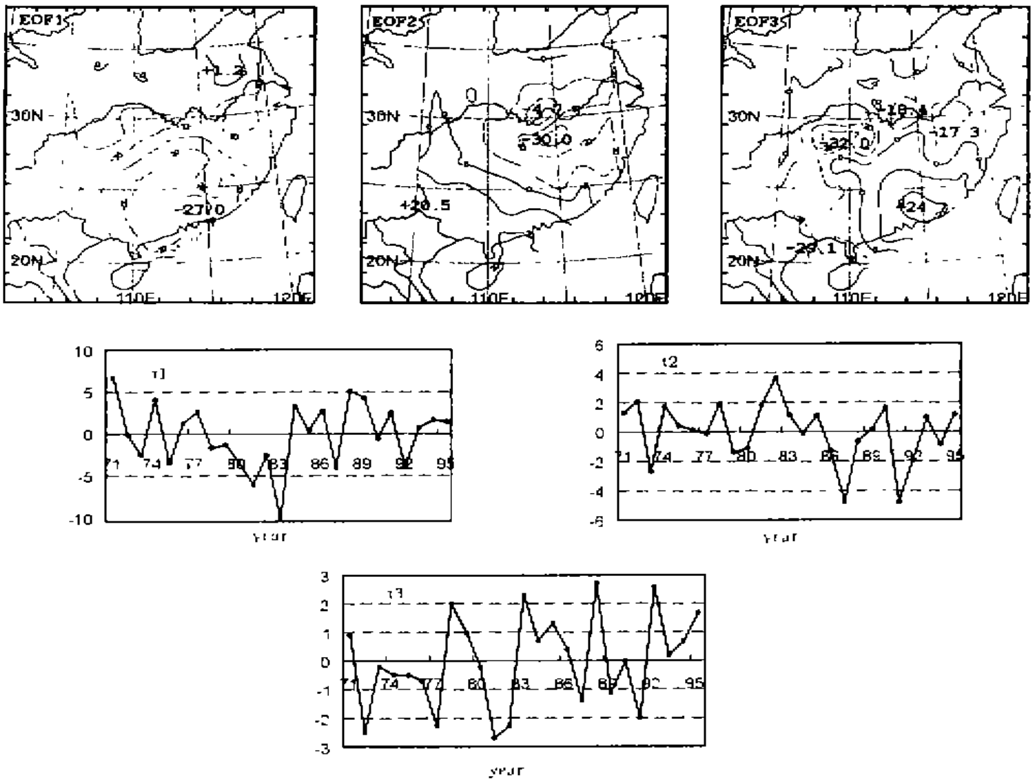

图 6 同图 5,但为冬半年

Fig. 6 As in Fig. 5, except for winter half year

3 结论与讨论

(1)我国南方雷暴自 1971~1995 年变化的总趋势是逐渐减少的,并具有 2 年、4 年、9 年较短周期和 21 年长周期变化。较短周期存在着 70 年代以 2 年周期为主、80 年代 2 年、4 年周期都较明显、90 年代以 3~4 周期为主的年代际变化规律。

(2)我国南方雷暴季节变化显著。由冬至夏,雷暴逐渐增多,8 月达最大值,其中 5~9 月份为多雷暴月。由夏至冬,雷暴逐月减少,尤其 10 月份以后,雷暴量骤减,其中以 12 月为最少。而且,4~10 月雷暴中心偏南,主要活动区集中在 24°N 以南、113°E 以西区域,10~3 月雷暴中心偏北,主要活动区移至 25°N 以北、115°E 以西范围内。

(3)我国南方雷暴空间分布的总趋势是自南向北递减,多雷暴带与主要山地分布密切相

关,东南沿海地区雷暴比内陆要少。

(4)据 EOF 分析,我国南方雷暴异常空间分布主要有以下几类:夏半年为全区域型、东南-西北型、纬向型(Ⅰ、Ⅱ型)和经向型(累积方差贡献占总方差的 77.3%);冬半年为全区域型、东北-西南型、西北-东南型、经向型及纬向型(累积方差贡献占总方差的 75.2%)。

以上结论是根据实测资料统计而得。众所周知,更重要的是要搞清楚各种类型雷暴异常分布年际变化的原因,因此对大气环流异常,特别是对流层中下层热力场特征及环流演变特征及其与雷暴之间的联系还须作进一步的探讨。

参 考 文 献

1 盛承禹,等. 北京:中国气候总论. 科学出版社. 1986. 306～310
2 张立,等. 江淮下游地区雷暴的气候学特征及其与大尺度环流的关系. 见:华东中尺度天气文集(1). 总参气象局. 1984. 8～19
3 寿绍文. 一个"超级单体"雹云的成因及结构. 南京气象学院学报, 1982, **18**(2):12～18
4 黄德江. 湖北省春季雹暴、雷暴及大-暴雨的对比分析. 见:强对流天气文集. 北京:气象出版社. 1982. 33～39
5 冯沛芝,等. 中国主要气象灾害分析. 北京:气象出版社, 1985. 1～2
6 苏炳凯. 大气科学中的统计诊断与预测. 南京:南京大学出版社, 1986. 463～465
7 Kumar P and E Foufoula-Georgiou. An new look at rainfall fluctuations and scaling properties of spatial rainfall using orthogonal wavelets. J. Appl. Meteor. , 1993, **32**:209～222
8 S D Merys, B G Kelly and J J O Brien. An introduction to wavelet analysis in Oceanography and Meteorology: With application to the dispersion of Yannai waves. Mon. Wea. Rev. , 1993, **12**:2858～2866

CLIMATIC FEATURES OF THUNDERSTORMS IN THE SOUTH CHINA

Xu Guiyu　Yang Xiuqun

(*Department of Atmospheric Sciences, Nanjing University, Nanjing*, 210093)

Abstract　In this paper, with data of the thunderstorm days of 62 stations in the South China for 1971～1995, by applying the EOF and wavelet analysis methods, we have investigated the climatic features of thunderstorms in the South Chain including their spatial distributions and seasonal, interannual variations. This study provides a basis for further investigating the relationship between the atmospheric circulation and the large scale thunderstorms.

Key words　Thunderstorm　Climatic　EOF analysis　Wavelet analysis