

略)基本特征是:低层(925–850hPa)有纬向的切变线南移,切变线后干冷空气南下入侵到华南西部;中、高层(700–500hPa)多数有低槽配合,低槽轴线多呈 EN–WS 向,与切变线有交角,槽后为偏北气流,槽前为偏南暖湿气流。天气系统结构以 A 型出现机率最多(16/30),B 型(5/30)和 C 型(4/30)较少,少数无法分型(5/30)。

(2)云系结构特征

在弱冷空气入侵过程中,卫星云图(IR 通道)通常有比较明显云系结构特征(图略),常见的有逗点云系(7/30)、斜云带(5/30)、横云带(11/30)。

(3)低空急流与降雨关系特征

低空急流通常出现在低槽前方和切变线南边,21 次强、中降雨过程中,有低空急流出现的为 14 次,另有 4 次有低空急流但无中等以上降雨发生。

(4)中尺度变压场结构特征

弱冷空气入侵过程中,一个显著特征是在地面中尺度变压场上容易形成中尺度负变压区,这些中尺度负变压区常见形式为近似椭圆形的负变压区,长轴多为近似 E–W 向,或是近似 E–W 伸展的负变压槽,正、负变压间的梯度较大,中尺度变压场的强度分布明显增强。

(5)中小尺度对流单体分布特征

对流运动容易在初期形成的中尺度负变压区北边界附近发生,然后向中尺度负变压区发展移动,在中尺度负变压区内形成 MCS,雷达组合反射率回波特征(图略)以线状对流最为常见(24/30),少数为团簇状对流(4/30)。

4 典型暴雨过程结构特征分析

2013 年 4 月 29 日广西经历了一次典型的弱冷空气入侵触发对流产生暴雨过程,过程中大、中、小尺度天气系统都具有明显的结构特征。

4.1 天气系统和云系结构特征

2013 年 4 月 29 日 20 时的天气系统和云系结构如图 1(见彩页)所示。

图 1a 中,正移向广西的 EN–WS 向 700、500、400hPa 槽轴线近似平行,W–E 向的 925、850hPa 切变线正移近桂北,高空槽轴线与切变线相交处的东南方(桂北)有中尺度负变压区形成,中尺度负变压区东南边有低空急流。

图 1b 中,低槽前云带为 WS–EN 向,云带长度达 10 个纬距以上,云带西南端到中段有对流发展,云带西侧有深色的薄云区,云带西南端移近桂西北。

3.2 大气层结稳定性特征

2013 年 4 月 29 日 20 时百色、河池、桂林和贵

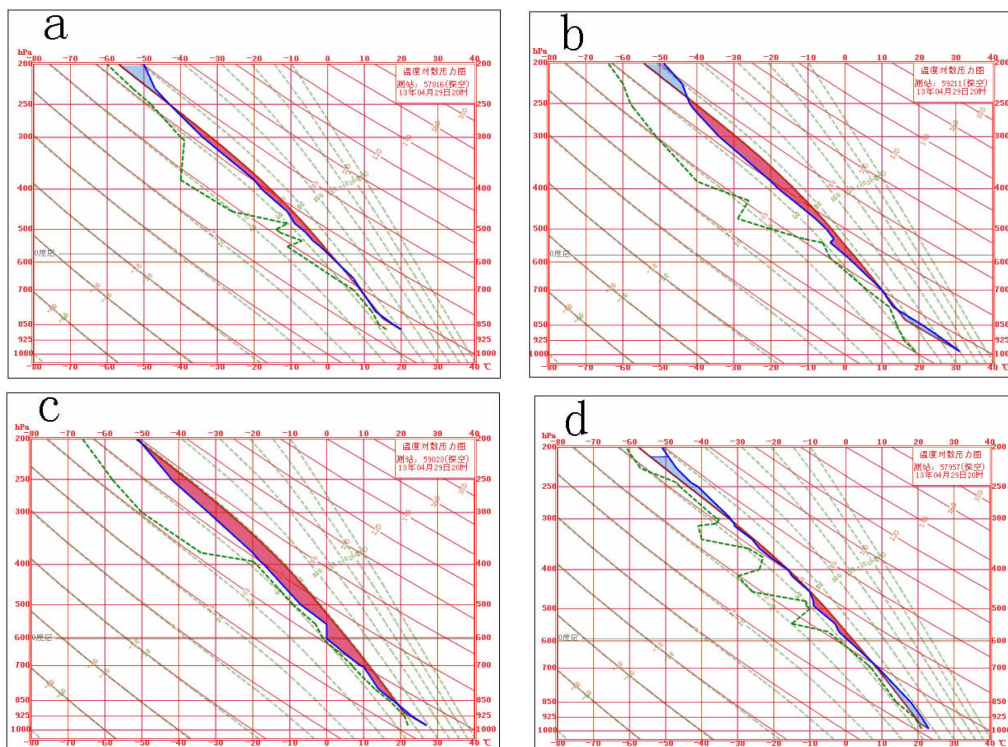


图 2 2013 年 4 月 9 日 20 时温度对数压力图分析

(a, 贵阳;b, 百色;c, 河池;d, 桂林)

阳大气层结稳定性分析如图 2 所示。

图 2 中,河池的正不稳定能量面积最大,百色次之;河池南边、西边探空站大气层结稳定性面积较小(图略);贵阳的正不稳定能量面积很小,桂林大气层结近似中性状态。由图 2 可见,大气层结不稳定中心位于河池附近,东边、北边大气层结近似中性。

3.2 地面中尺度变压场结构与对流分布特征

弱冷空气入侵广西前后的地面中尺度变压场分析如图 3(见彩页)所示。

29 日 23 时,弱冷空气到达桂北边界,在桂东北形成了 1 个中尺度负变压中心(图 3a);29 日 23 时-30 日 05 时,中尺度负变压中心位置稳定少变,强度经历了形成-加强-减弱过程(图 3a-d)。30 日 01-08 时,对流主要发生在中尺度负变压区内,负变压中心区域对流最强(图 3e),强降雨中心与中尺度负变压中心对应(图 3f)。

3.3 对流单体排列结构特征

对流发展过程前期和盛期雷达回波图如图 4(见彩页)。

图 4 中,在对流发展初期和盛期对流单体都呈线状排列,是 1 种线状对流结构。从图 4a 中 a1-a2 和图 4b b1-b2 中,对流线中对流单体具有明显的间断排列特征,前期直线排列特征较为明显,后期变形为曲线形式。

5 结论和讨论

综合上述分析,可以得到如下结论:

(1) 在弱冷空气影响造成降雨这一类天气过程中,通常在大、中、小尺度上都可见到明显的 3 维结构特征,各尺度结构的配置与强度与降雨强度密切相关。不论何种天气型,逗点云系更容量产生强降雨;在 A 类天气形势下,斜云带更有利强降雨的产生,横云带的降雨强度相对较弱。

(2) 弱冷空气入侵前,在地面通常有中尺度负变压区形成,弱冷空气侵入中尺度负变压区后抬升的暖湿空气触发对流,对流主要发生在中尺度负变压区内,以线状对流更常见。约有半数以上的强、中降雨过程有低空急流出现,但也有低空急流出现并无强降雨现象,低空急流与降雨强度呈弱相关的统计关系。

文中仅从形式上讨论弱冷空气入侵造成降雨过程中各尺度天气系统的结构特征,主要为今后深入

讨论中尺度负变压区的形成过程和机理建立基础,也可为实际预报应用提供参考。对于这些结构特征统计规律稳定性,其形成的运动学或动力学机理有待进一步研究分析。

参考文献:

- [1] 朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等.天气学原理和方法(第三版)[M].北京:气象出版社,2000:319-436.
- [2] 林宗桂,林开平,李耀先,等.一个高空槽前中尺度对流系统发生发展过程和机制研究[J].气象学报,2011,69(5):770-781.
- [3] 林墨,廖雪萍,林宗桂.卫星与自动站资料分析处理系统设计原理和实现[J].气象研究与应用,2012,33(1):61-66.
- [4] 林宗桂,林墨,林开平.强降雨监测预警产品原理和应用[J].气象研究与应用,2014,35(2):23-26.
- [5] 林宗桂,李耀先,林开平,等.一个长生命期中尺度对流系统维持机制的研究[J].气象学报,2009,67(4):640-651.
- [6] 罗红磊,陈海山,林宗桂,等.一条弱静止锋上对流系统发生过程的中尺度特征[J].热带气象学报,2013,29(1):106-114.
- [7] 林宗桂,林开平,陈翠敏.广西前汛期冷锋云系中尺度对流云团特征分析[J].广西气象,2003,24(3):1-5.
- [8] 林宗桂,林开平,陈翠敏.典型带状云系强降雨过程卫星云图演变特征分析[J].广西气象,2003,24(4):11-16.
- [9] 林宗桂,林开平,陈翠敏,等.一次暴雨过程天气尺度云系演变特征分析[J].广西气象,2005,26(3):1-8.
- [10] 林宗桂,陈冰廉,陈翠敏,等.利用卫星云图作强降雨落区短时预报方法研究[J].广西气象,2005,26(4):10-18.
- [11] 黎惠金,覃昌柳,黄增俊.“05.6”广西持续性大暴雨成因分析[J].广西气象,2006,26(1):1-4.
- [12] 李菁,黄治逢,高安宁.广西重大锋面暴雨天气过程的特征分析[J].气象研究与应用,2008,29(1):1-4.
- [13] 阳擎,陈翠敏,林开平.南宁市暴雨时空分布特征[J].气象研究与应用,2008,29(1):34-37.
- [14] 唐新,林宗桂,黎家宜,等.一条南北向暴雨带的降雨特征及成因分析[J].气象研究与应用,2009,30(3):1-4.
- [15] 林宗桂,林墨,林开平,等.一股高原南下弱冷空气触发准静止锋对过程分析[J].热带气象学报,2014,30(1):111-118.

文章编号:1673-8411 (2014) 03-0005-06

广东省夏半年降水敏感区域分析

薛羽君^{1, 2}, 董航宇³, 陈莉¹, 薛林强⁴

(1.三亚市气象局, 海南 三亚 572000; 2.海南省南海气象防灾减灾重点实验室, 海南 海口 570203;

3.河北省气象科学研究所, 河北 石家庄 050021; 4.茂名市气象局, 广东 茂名 525000)

摘要:利用广东省25个台站1980年至2012年4~9月份的降水量资料,采用小波分析、EOF和REOF方法对夏半年降水量的周期振荡、空间异常特征以及时间变化规律进行诊断分析研究。结果表明:广东省夏半年降水总量存在显著的4a、7a和13a周期振荡,且4a周期振荡信号最强,为第一主周期,7a和13a分别为第二、第三主周期。其主要异常模式表现为一致偏少或一致偏多、沿海与内陆反向型。广东省夏半年降水量的异常敏感区域为粤西北区、粤西南区和粤东北区。三个区域近几年夏半年降水量均表现为减少趋势,其中粤东北区降水量减少幅度较大。

关键词:广东省;夏半年降水量;小波分析;EOF;REOF

中图分类号:P458.1*21

文献标识码:A

Analysis of Sensitive Area for summer half year precipitation in Guangdong province

Xue Yu-jun^{1,2}, Dong Han-yu³, Chen Li¹, Xue Lin-qiang⁴

(1.Sanya Municipal Meteorological Service, Sanya 572000; 2.Hainan Province South China Sea Meteorological Disaster Prevention and Mitigation Key Laboratory, Haikou 570203; 3.Hebei Province Meteorological Institute, Shijiazhuang 050021; 4.Maoming Municipal Meteorological Service, Maoming 525000)

Abstract: Based on the summer half year precipitation data at 25 observational stations from 1980 to 2012 in Guangdong province, the periodic oscillation and spatial anomaly features and time evolution rule were analyzed by wavelet analysis, EOF (Empirical Orthogonal Function) and REOF (Rotated Empirical Orthogonal Function) methods. The results indicate that the periodic oscillation of summer half year precipitation in Guangdong province presented as 4a, 7a and 13a and the first principal period is 4a with most strong oscillation signal, the second and third principal period respectively for 7a and 13a. The main anomaly structures present less or more in all the areas, and spatial changes are opposite pattern from the coast to inland. The anomaly sensitive areas are northwest area, southwest area and the northeast of coast. The trend of summer half year precipitation appears decreasing tendency in recent years and the northeast area reduces remarkably.

Key words: Guangdong province; summer half year precipitation; wavelet analysis; EOF; REOF

1 引言

降水变化是气候变化的重要形式之一。对于我国降水的研究,气象学者做过很多研究,严华生等^[1]认为我国的降水空间分布呈现为南北分布;陈兴芳等^[2]从年代际尺度上得出我国雨带南北的旱涝呈反

位相形势;宇如聪等^[3]做了更详细研究,认为我国旱涝现象在20世纪80年代之前为南旱北涝,之后雨带发生移动,形成南涝北旱;吴林等^[4]也得出华南区域夏季降水呈南多北少的分布特征。

广东省属热带和亚热带季风气候区,是我国年降水量最多的省份之一,降水量的季节分布和地理

收稿日期:2014-07-15

作者简介:薛羽君(1985-),女,理学硕士,助工,主要从事天气预报工作。

分布不均匀,夏半年主要受热带低压和夏季风的影响^[5],降水的分布呈双峰型,分别出现在4~6月(即前汛期)和7~9月(即后汛期)^[6-7]。因此分析广东省降水的时空分布特征对本省各地的中长期天气预报和农业生产等具有一定的指导意义。前人从降水影响系统和降水分布特征着手做过很多研究,刘国忠等^[8]指出西南涡影响华南前汛期的旱涝情况。黄茂栋等^[9]和刘燕等^[10]分析了广东省40多年汛期降水的时空变化特征,得到降水有微弱上升趋势,存在明显的年际变化特征,并对降水空间分布进行了分区,且降水的强弱变化与该区域上空的水汽通量距平辐合呈正相关^[11]。从降水分级指数上来看,夏半年降水存在明显的7a和11a周期^[12-13]。

以上研究基本采用21世纪初之前的降水资料,且时间尺度不同,得到的结果也不尽相同。由于气候的变化,较长时间的资料统计分析未必能代表当下的气候特征,本文在以上研究的基础上,采用最近33年(1980年~2012年)的降水资料进行分析,找出降水异常敏感性区域,以期得到广东省夏半年的降水量时空分布特征。

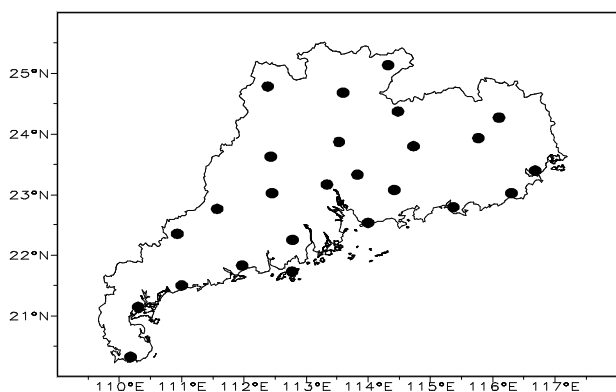


图1 广东省25个站点的地理位置

2 资料与研究方法

文中选取1980年~2012年广东省无缺测值的25个站点夏半年(4月~9月)的总降水量数据进行分析,数据来源于中国气象科学数据共享服务网,站点的地理位置如图1所示,分布比较均匀。

采用的方法有:Morlet小波分析,经验正交函数(EOF)分解,旋转经验正交函数分解(REOF)。

气象科学研究中,EOF能在有限区域对离散的站点资料进行分解,能将变量场的信息较快地集中在某几个空间分布模态上。而REOF可以使旋转后

的高载荷集中在某一较小区域上,使时空场空间分布结构更加清晰,克服了EOF在展开时的取样误差,这样能较好地反映不同地域的变量场变化,以及不同地域变量场的相关分布状况。小波分析(Wavelet Analysis)即多分辨率分析,基本思想是用一簇小波函数系来表示或逼近某一信号或函数,对信号的处理具有明显优越性。讨论EOF、REOF和小波分析具体算法可参照参考文献^[14],在此不加累述。

本文首先采用小波分析对广东省夏半年降水量气候序列的时频结构分析,寻找其振荡周期特征,然后采用EOF方法分析降水量空间分布型特征并确定旋转经验正交函数个数,在此基础上采用REOF方法寻找降水量异常敏感区,从而得出广东省近期夏半年的降水量时空分布特征。

3 结果分析

3.1 广东省降水空间分布的周期特征

根据Morlet小波变换方法,给出了广东省夏半年降水量的Morlet小波变换系数和方差(图2,见彩页),其中图2a中横坐标对应的是年份,纵坐标表示的是时间尺度(伸缩尺度),等值线表示的是小波系数的实部,图中实线和虚线分别表示小波系数实部为正值和负值,反映该地区降水偏多和偏少的交替变化特征。小波变换方差(图2b)反映波动能量随尺度的分布,可以确定降水序列的主要时间尺度。从图2可以看出,广东省夏半年降水总量存在显著的4a、7a和13a周期振荡,且4a周期振荡信号最强,为第一主周期,7a和13a分别为第二、第三主周期。

3.2 广东省夏半年降水空间分布型特征

通过对降水量资料进行EOF和REOF展开,得到前6个主分量旋转前后的方差及累计方差见表1,前6个模态所占的累计方差贡献率达到80.3%,具有大多数代表性,REOF方差贡献率较均匀分散。且从EOF特征值对数曲线(图略)得到,曲线呈明显递减状态,从第三个特征值之后,相连两点间直线的斜率明显变小,前3个特征根累积贡献率达64.35%,且都通过了North^[15]等提出的特征值误差范围的检验,具有一定的物理意义。本文重点使用前3个载荷向量场的分布特征来研究广东省夏半年降水量的特点,其夏半年降水量EOF展开的特征向量如图3所示,特征向量的时间系数和三阶多项式函数曲线如图4所示。

表 1 EOF 和 REOF 前 6 个载荷向量的累计方差贡献率(%)

| 序号 | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| EOF | 方差贡献率 | 40.92 | 15.74 | 7.69 | 6.81 | 5.53 | 3.61 |
| | 累积贡献率 | 40.92 | 56.66 | 64.35 | 71.16 | 76.69 | 80.3 |
| REOF | 方差贡献率 | 15.25 | 12.17 | 12.71 | 9.0 | 13.16 | 11.19 |
| | 累积贡献率 | 15.25 | 27.42 | 40.12 | 49.12 | 62.28 | 73.47 |

经过 EOF 分解后得到的载荷向量,第一载荷向量所描述的形态占 40.92%,是广东省夏半年降水量最主要的分布模态(图 3a),从图中看到,广东省夏半年降水变化非常一致,均表现为正值,且高值区主要分布在中部地区。这种分布表明虽然广东省属热带和亚热带季风气候区,地理特征差异大,但夏半年降水量仍以全省一致偏多或一致偏少的型式为主。

某一特征向量的时间系数代表了某一区域由该

特征向量表征的分布型式的变化特征,时间系数的绝对值越大,表明该时刻此类分布型式越显著。从第一空间模态对应的时间系数(图 4a)来看,1993 年以前时间系数基本为负值,广东省夏半年的降水量处于偏少阶段,且在 1991 年这种分布型式最显著,其中中部地区降水偏少明显,1993 年以后是降水量偏多时期,其中 2001 年最显著,表明该时期广东中部和西北部地区降水充沛。

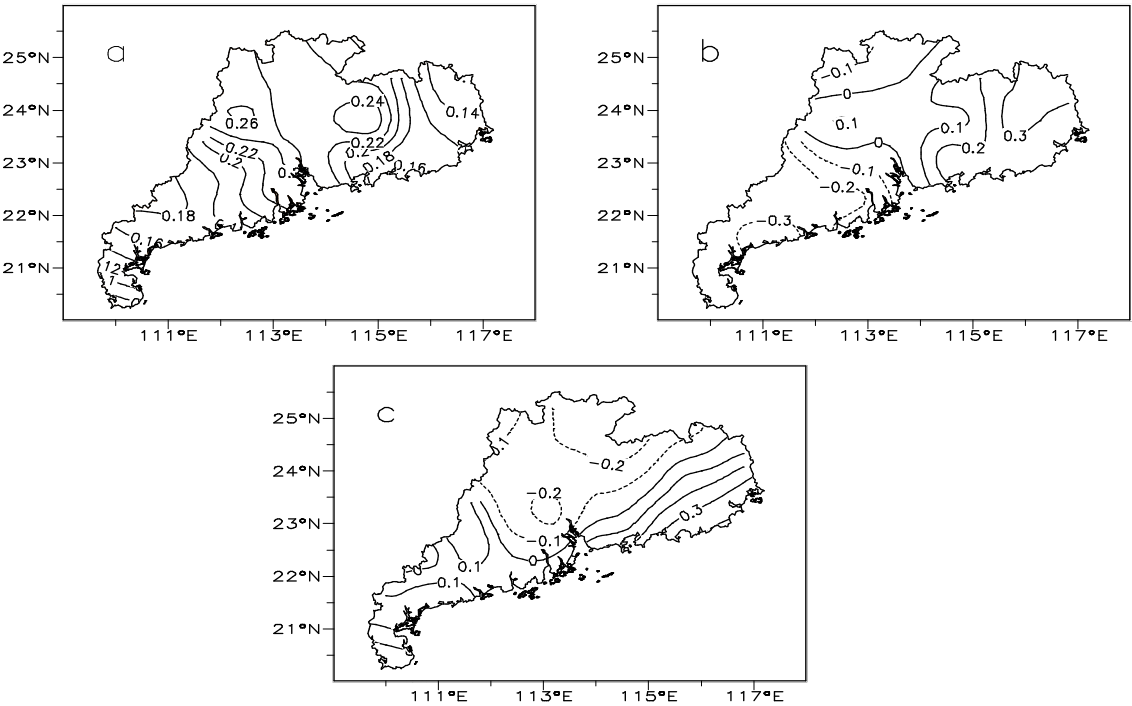


图 3 广东省夏半年降水量 EOF 展开的第一(a)、第二(b)和第三(c)特征向量

图 3b 描述了广东省夏半年降水分布的第二种模态,这个模态在总场中占 15.74%,南北部以珠江口到滨江一带为分界呈反位相型式,表明了该地区夏半年降水量分布南少(多)北多(少)的气候特点。结合该特征向量对应的时间系数(图 4b),在 2000 年前时间系数的绝对值相对较小,表明这种分布型

不够显著,而 2000 年和 2006 年时间系数为正值,且绝对值较大,表明在这两年中夏半年降水量呈现明显的南少北多现象。2002 年以及 2008 年以后时间系数为明显的负位相反,在此阶段广东省夏半年的降水量表现为南多北少的态势。

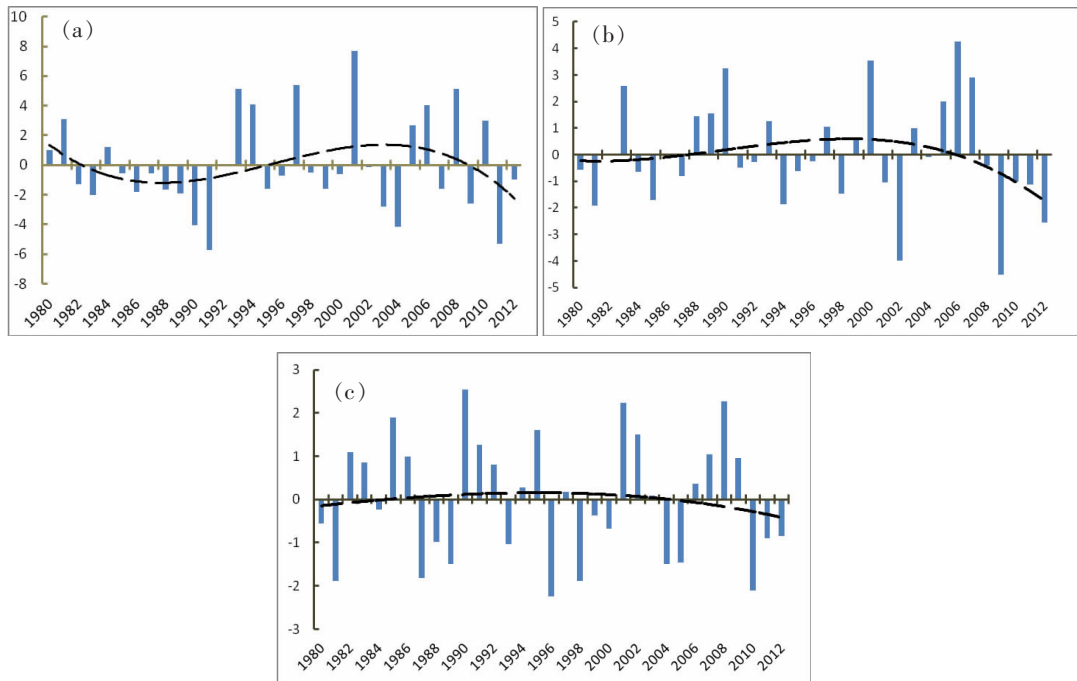


图4 广东省夏半年降水量 EOF 展开的第一(a)、第二(b)和第三(c)特征向量的时间系数(柱状)和三阶多项式函数曲线(黑虚线)

第三载荷向量场所描述的形态占 7.69%，反应了一定的分布型态。由图 3c 可见，负值区位于广东省西北部山区，而沿海一带为正值区，其中负值区域的极值中心位于韶关和南雄，为 -0.23，正值区域的极值位于惠来和徐闻，达到 0.39。这一特征向量场代表广东省西北部山区的降水趋势与沿海一带的降水趋势为相反的分佈型式，即西北部山区降水少、沿海地区降水多的分佈型式或西北部山区降水多、沿海地区降水少的分佈型式。

根据第三空间型所对应的时间序列图 4c 可以看出，振幅显然比前两个模态小，也说明了这种空间型不是主要的空间分佈型态。从绝对值大于 2 的年份来看，1990、2001、2008 年为正位相比较强，这几年沿海地区夏半年降水量偏多，西北部山区降水量偏少；1996 和 2010 年为负位相比较强，表明沿海地区夏半年降水量偏少，西北部山区降水量偏多。

3.3 广东省夏半年降水敏感区域分析

根据通过误差范围检验的特征值及其累积贡献率，取前 3 个载荷向量做旋转分析，以克服 EOF 分解中的取样误差。通过空间模态，可以分析降水量场的地域结构，以及通过各向量场的高载荷区对降水量场进行区域和类型的划分。图 5 给出了 REOF 前 3 个载荷向量场的空间分佈，其中图 5a 为第一旋转

载荷向量的分佈情况，从图中得到，整个区域基本为正值区，代表了全省夏半年降水量变化一致，且高载荷区位于广东西北部的韶关市到河源市一带，最大值达到 0.89，出现在南雄，其余区域载荷基本接近于 0，将这一分佈型定义为粤西北区，这一模态所占的方差贡献率最多，为 15.25%，表明这种分佈是广东省夏半年降水的主要分佈模态。图 5b 为第二旋转载荷向量场，高载荷区为负值，位于广东西南部，极值中心出现在湛江，为 -0.88，定义这一分佈型为粤西南区。在第三旋转载荷向量场(图 5c)的极大值区位于广东东北部沿海地区，其中汕尾为 0.92，惠来 0.91，将这一分佈型定义为粤东北区。

3.4 各敏感区域代表站夏半年降水量的趋势分析

对各气候区域选取代表站(粤西北区选取南雄站、粤西南区选取湛江站、粤东北区选取汕尾站)作 33 年距平序列分析。从各代表站的曲线及三阶多项式函数曲线变化(图 6)来看，3 个台站近 33 年夏半年降水量具有明显的年际振荡和年代际变化特征。南雄站降水量变率相对其他两个台站要小，从 1980 年到 1985 年降水量基本在平均值以上，不超过 300 mm，而 1986 年到 1992 年降水一致偏少，之后有缓慢增加的趋势，到 2007 年以后又有减少趋势。湛江站夏半年降水量基本在偏多偏少之间交替变化，偏

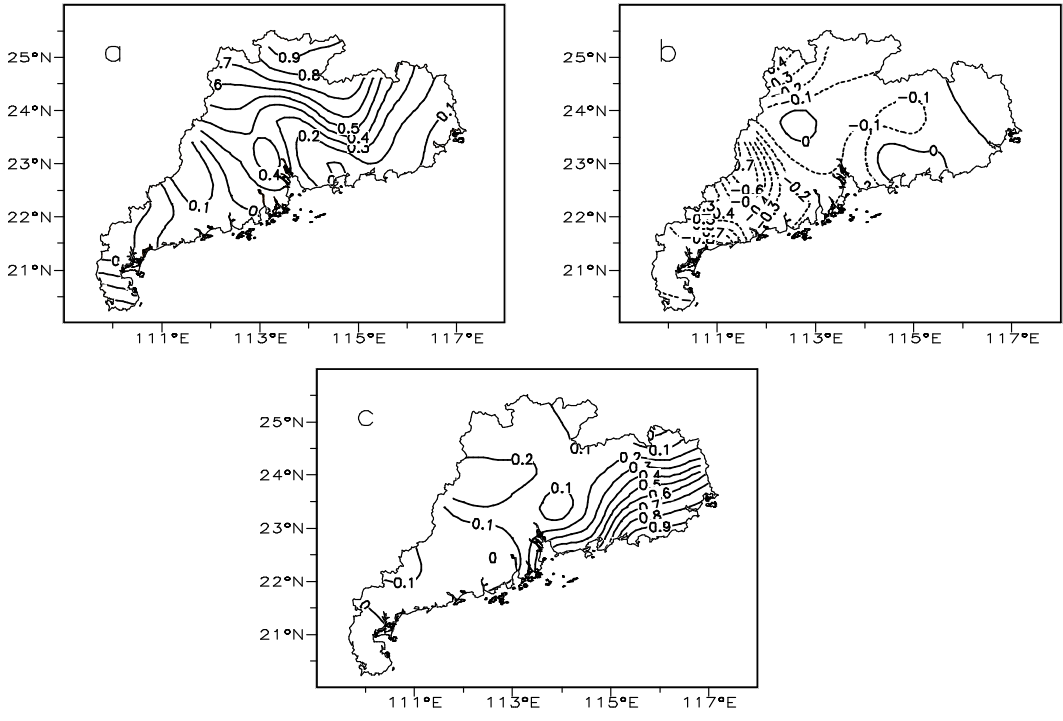


图5 REOF 前 3 个特征向量场的空间分布

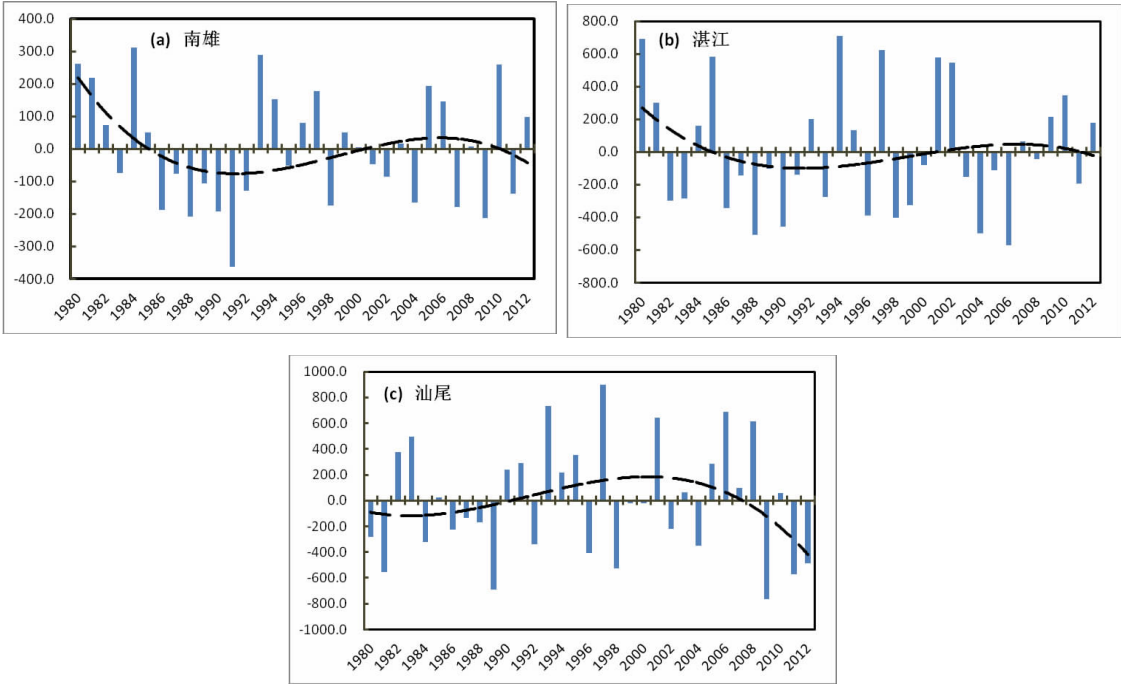


图6 各代表站夏半年降水量距平的年际变化(柱状)和三阶多项式函数曲线(黑虚线)

少较明显的阶段在 1986 年到 1991 年和 2003 年到 2008 年之间, 偏多较明显的阶段在 1994 年到 2002 年之间。汕尾站夏半年降水量变率较大,从 1990 年开始有上升趋势,但到 2009 年明显偏少,降水量最

多年份为 1997 年,比平均值偏多 800mm 左右,最少年份为 2009 年,偏少近 800mm。从以上分析得到,3 个代表站均反映出近年来夏半年降水量存在减少的趋势,其中南雄和湛江站大约从 2004 年开始降水量

逐渐减少,汕尾则从 2009 年开始减少,且减少幅度最大。

4 结论和讨论

本文通过小波分析、EOF 和 REOF 分解方法对广东省近 33 年夏半年降水量进行分析,得到以下结论:

(1) 广东省夏半年降水总量存在显著的 4a、7a 和 13a 周期振荡,且 4a 周期振荡信号最强,为第一主周期,7a 和 13a 分别为第二、第三主周期。

(2) 总体而言,广东省夏半年降水量表现为全区域一致偏多或一致偏少的主要特征;就区域尺度来看,广东省夏半年存在 3 个降水量异常区域,为粤西北区、粤西南区和粤东北区。

(3) 粤西北区和粤西南区夏半年降水量自 2004 年以来表现为减少趋势,粤东北区从 2009 年开始减少,且变率最大。

参考文献:

- [1] 严华生, 严小冬. 中国降水场的时空分布变化 [J]. 云南大学学报: 自然科学版. 2004, 26 (1): 38-43.
- [2] 陈兴芳, 孙林海. 我国年季降水的年代际变化分析 [J]. 气象 2002, 28 (7): 3-9.
- [3] 宇如聪, 周天军, 李建, 等. 中国东部气候年代际变化三维特征的研究进展 [J]. 大气科学, 2008, 32 (4): 893-905.
- [4] 吴林, 覃峥嵘, 黄大贞, 等. 华南区域季节性降水的差异分析 [J]. 气象研究与应用, 2009, 30 (3): 5-7.

- [5] 黄奇章. 广东省降水气候特征及其成因分析 [J]. 热带地理, 1990, 10 (2): 113-124.
- [6] 陈特固, 曾侠, 张江勇, 等. 全球变暖背景下的广东省降水量及旱涝变化趋势 [J]. 广东气象, 2007, 29 (1): 5-10.
- [7] 姜丽萍, 尤红. 广东罕见特大致洪暴雨形成机理个例分析 [J]. 气象科技, 2007, 35 (3): 375-377.
- [8] 刘国忠, 丁治英, 贾显锋. 影响华南地区西南低涡以及致洪低涡活动的统计研究 [J]. 气象研究与应用, 2007, 28 (增刊 I): 53-59.
- [9] 黄茂栋, 廖仕湘, 杨立洪. 广东汛期降水的时空分布特征 [J]. 广东气象, 2008, 30 (6): 33-36.
- [10] 刘燕, 叶萌. 基于 REOF 分析的广东前汛期降水趋势的区域特征 [J]. 广东气象, 2007, 29 (4): 11-14.
- [11] 肖伟军, 陈炳洪, 刘云香. 近 45a 华南夏季降水时空演变特征 [J]. 气象研究与应用, 2009, 30 (1): 12-15.
- [12] 刘黎明, 陈创买, 简裕庚. 广东省 1954-1990 年的气候特征及异常 [J]. 热带气象学报, 1996, 12 (4): 289-296.
- [13] 肖莞生, 陈子燊. 广东沿海降水长期变化特征与极值分析——以汕尾、广州、阳江 3 市为例 [J]. 热带地理, 2010, 30 (2): 135-140.
- [14] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术 [M]. 北京: 气象出版社. 1999: 269.
- [15] North G R, Bell T L, Cahalan R F, et al. Sampling errors in the estimation of empirical orthogonal functions [J]. Mon. Wea. Rev. 1982, 110 (7): 699-706.

欢迎订阅 2015 年《气象研究与应用》

《气象研究与应用》是广西壮族自治区气象局主管、广西气象学会主办、科学出版社出版的综合性技术刊物, 主要刊登气象科学有关分支学科的新理论、新技术及其应用的研究论文, 气象业务现代化建设的进展和技术经验及科研成果, 天气气候总结, 各项气象业务的技术经验, 开展减灾防灾气象服务的技术方法等。

《气象研究与应用》为季刊, 2015 年每期定价 20.0 元, 全年定价 80.0 元(含邮费)。2015 年《气象研

究与应用》增刊 I, 每本定价 30.0 元(含邮费)。

另有少量各年的《气象研究与应用》合订本, 每年每本定价 140.0 元(含邮费)。

订费请转账至: 广西气象学会; 账号: 20-007001040000573; 开户行: 南宁市农行园湖支行。或从邮局汇款至: 广西南宁市新竹路 30 号气象综合楼《气象研究与应用》编辑部收, 邮政编码: 530022, 电话: 0771-5848935。

文章编号:1673-8411 (2014) 03-0011-05

广西寒露风开始期短期气候预测方法研究

覃卫坚¹, 黄志², 李耀先³

(1 广西气候中心, 广西 南宁 530022; 2 广西气象信息中心, 广西 南宁 530022;

3. 广西气象减灾研究所, 广西 南宁 530022)

摘要: 利用 1951–2013 年广西 90 个气象观测站气温资料、国家气候中心 74 项指数和美国 National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) 的 Climate Prediction Center (CPC) 60 项指数以及海温和陆地雪盖资料、美国国家冰雪研究中心 (NSIDC) 的两极海冰资料, 使用相关分析方法得到广西寒露风开始期气候影响因子, 利用逐步回归和神经网络方法进行寒露风开始期的预测。结果表明: 寒露风开始期与前一年 9–10 月北极海冰面积、当年 3 月南极海冰面积、前一年 6 月欧亚雪盖、当年 5 月北美雪盖、北半球雪盖的相关显著。与前一年 9 月北半球极涡面积指数、前一年 10 月亚洲区极涡面积指数、前一年 3 月热带印度洋海温偶极子等指数相关显著。粒子群–神经网络方法预测误差低于逐步回归方法, 预报能力有明显提高。

关键词: 寒露风; 神经网络; 广西**中图分类号:** P46**文献标识码:** A

Short-term climate forecast method research on the start of cold dew wind in Guangxi

QIN Wei-jian¹, HUANG Zhi², LI YAO-XIAN³

(1. Guangxi Climate Center, Nanning Guangxi 530022; 2. Guangxi Meteorological Information center, Nanning Guangxi 530022; 3. Guangxi Institute of Meteorology and Disaster-Mitigation Research, Nanning 530022, China)

Abstract: Based on the temperature data of 90 stations in Guangxi, the 74 indexes from National Climate Center (NCC), the 60 indexes and the SST index data and the land snow data from CPC of NOAA during 1951–2013, the sea ice data from national snow and ice research center during 1979–2013, a new climatic prediction method of the onset of cold dew wind is studied by using the Fuzzy Neural Network method. The results show that: there are significantly correlations between the start of cold dew wind and the Arctic sea ice area from June to September in the year before, Antarctic sea ice in March in the same year, Eurasia snow cover in June in the year before, the North American and the Northern Hemisphere snow cover in May. The start of cold dew wind is also associated with some indexes, such as Arctic Oscillation (AO) index in September and October. The Particle Swarm Optimization (PSO) of Fuzzy Neural Network has a better qualitative capability of predicting the start of cold dew wind than the stepwise regression procedure.

Key words: cold dews wind; Particle Swarm Optimization; Fuzzy Neural Network; Guangxi

寒露风是影响广西水稻生产的最严重气象灾害之一。寒露风节气前后, 广西晚稻先后进入抽穗扬花生长发育期, 如果遇到低温天气过程, 水稻生理活动减慢甚至停止, 导致抽穗开花及灌浆过程延缓, 花宫

发育不正常, 造成空壳, 结实率下降, 从而引起大面积减产, 这种低温天气过程称作“寒露风”^[1]。例如: 1984 年 10 月 4–9 日、10 月 11–14 日及 10 月 16 日先后出现三次寒露风天气过程, 当年广西大部地区

收稿日期: 2014-05-10**基金项目:** 广西自然科学基金资助(2013GXNSFB053010); 广西自然科学基金资助(2013GXNSFAA019273)**作者简介:** 覃卫坚(1971–), 男, 高级工程师, 硕士, 主要从事天气气候动力学研究, (E-mail) qinweijian2008@126.com。

寒露风天气日数为 9-32 天,比常年偏多 3-12 天,共有 32.13 万公顷晚稻受寒露风危害,单产较上年减产 17.9%,总产量减产 108.4 万吨。目前有关广西寒露风有了一些研究,如覃武等^[2]、李艳兰等^[3]、韩礼应等^[4]做了广西寒露风异常年份的大气环流分析;还有一些专家^[5]使用合成分析、逐步回归方法建立寒露风预报方程^[5-12]。

寒露风影响着当地水稻品种的布局、晚稻插秧期的安排,每年 5 月份农业部门开始为晚稻种植进行安排工作,以寒露风预报为重要决策依据。最近几年粒子群-神经网络比较广泛运用于气象预报中,它比传统的统计方法具有明显的优势。本研究首先分析广西寒露风与北极涛动、两极海冰、陆地雪盖、赤道太平洋海温以及各大气环流指数的关系,引进粒子群-神经网络方法建立广西寒露风开始期预报模型,为政府部门决策服务提供预报服务,在防灾减灾、农民增产增收、粮食安全方面具有重要的意义。

1 资料

使用 1951-2013 年广西 90 站地面观测站气温资料、国家气候中心 74 项指数、美国 National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) 的气候预测中心的 60 项指数以及海温和雪盖资料、美国国家冰雪研究中心 (NSIDC) 的两极海冰资料。广西初次寒露风天气过程定义为日平均气温 $\leq 22^{\circ}\text{C}$ 连续三天或以上的过程。

2 粒子群-神经网络方法

神经网络近年来兴起的一种计算方法,它具有解决非线性问题的能力,在气象统计预报上有独特的优势,但通常的神经网络在计算中经常出现网络因振荡不能收敛等问题,而最新流行的粒子群算法具有全局搜索的特性,它优化了神经网络的连接权和网络结构,刚好克服了这些问题^[13-15]。粒子群算法 (Particle Swarm Optimization, PSO) Kennedy 等^[16]在 1995 年最早提出的,是一种基于群体智能方法的进化计算技术,通过个体之间的互动协作来搜寻全局最优解。粒子群-神经网络的优化方程^[17]:

$$\text{Min}E(w, v, \theta, \gamma) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^{N_i} \sum_{i=1}^n [y_k(t) - \tilde{y}_k(t)]^2 < \varepsilon_1 \quad (1)$$

$$\tilde{y}_k(t) = \sum_{j=1}^p v_{jk} \cdot f \left[\sum_{i=1}^m x_i \cdot w_{ij} + \theta_j \right] + \gamma_{\tau} \quad (2)$$

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (3)$$

$$F(w, v, \theta, \gamma) = \frac{1}{1 + \min E(w, v, \theta, \gamma)} \quad (4)$$

其中 x 为训练样本, $\tilde{y}_k(t)$ 为网络的实际输出, $y_k(t)$ 为网络期望输出, $F(w, v, \theta, \gamma)$ 为适度函数。

种群多样评价函数:

$$f(\cdot) = \frac{1}{S |R(k)|} \sum_{i=1}^S \sqrt{\sum_{j=1}^n (x_{ij}(k) - \bar{x}_j(k))^2} \quad (5)$$

S 种群所含粒子的个数, $|R(k)| = \max(|x_{ij}(k)|)$ $1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n$, n 为问题的维数。 \bar{x}_j 为所有粒子第 j 维的平均值。在算法迭代过程中,如果种群多样性指数满足 $f(\cdot) < d_{\text{low}}$, 为纷纷远离最优位置;而当种群多样性指数逐步增大,直至超出上限 d_{high} 时,种群又开始向整体最优位置靠拢。

3 广西寒露风和前期因子的相关分析

3.1 广西寒露风与北极海冰的相关分析

影响我国大范围的冷空气源地绝大多数来源于北冰洋,而北极海冰则是冷空气的冷源,广西寒露风基本上由冷空气南下造成的,以下分析其与北极海冰的相关关系。统计广西寒露风开始期与同年前期各月海冰的相关系数,除了桂林市东北部与 1-4 月海冰有显著的正相关外,其余地区相关均不显著(图略)。统计广西寒露风开始期与前一年各月海冰的相关系数,桂东南、桂西南及沿海地区与前一年 6-9 月海冰面积为负相关,通过了水平为 5% 的显著性检验,尤其 9 月相关显著的区域最大(如图 1)。从广西寒露风平均开始期与各月北极海冰相关来看,与 9-

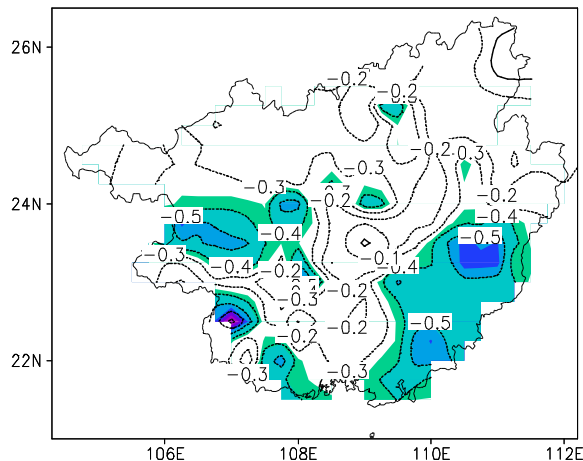


图 1 广西寒露风开始期与前一年 9 月北极海冰相关系数图 (阴影区域为通过水平为 5% 的显著性检验)

10月北极海冰相关显著并选入因子集中(x1:前一年9月北极海冰面积,x2:前一年10月北极海冰面积)。

3.2 广西寒露风与南极海冰的相关分析

统计寒露风开始期与各月南极海冰的相关系数,结果表明桂西及桂东南寒露风开始期与同年1-3月南极海冰相关显著,通过了水平为5%的显著性检验,为正相关(如图2)。与前一年各月南极海冰相关关系均不明显。从广西寒露风平均开始期与各月南极海冰相关来看,与当年3月南极海冰相关显著并选入因子集中(x3:当年3月南极海冰面积)。

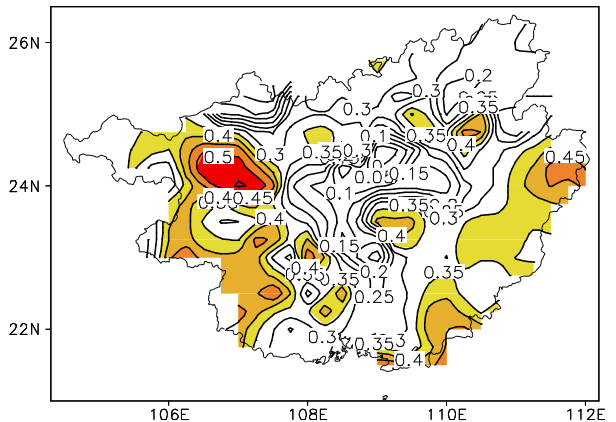


图2 广西寒露风开始期与同年3月南极海冰相关系数图(阴影区域为通过水平为5%的显著性检验)

3.3 广西寒露风与欧亚雪盖的相关分析

统计广西寒露风开始期与前期各月欧亚雪盖的相关系数(图略),从结果来看,广西各站的相关系数符号并不一致,桂北山区寒露风开始期跟前一年3-4月欧亚雪盖成反相关,且相关通过水平为5%的显著性检验,其余各站与各月欧亚雪盖相关几乎都通不过显著性检验,由此可见欧亚雪盖对广西寒露风开始期影响小,主要影响区域的是广西的北部山区。

从广西寒露风平均开始期与各月欧亚雪盖相关来看,与前一年6月欧亚雪盖相关显著并选入因子集中(x4:前一年6月欧亚雪盖)。

3.4 广西寒露风与北美雪盖的相关分析

统计广西寒露风开始期与前期各月北美雪盖的相关系数(图略),从结果来看,梧州、玉林、贵港的寒露风开始期与前一年11月北美雪盖成反相关,并通过水平为5%的显著性检验,其余各站与各月相关不显著。从广西寒露风平均开始期与各月北美雪盖相关来看,与当年5月北美雪盖相关显著并选入因子集中(x5:当年5月北美雪盖,x6:当年5月北美雪盖(不包括格陵兰岛))。

3.5 广西寒露风与北半球雪盖的相关分析

统计广西寒露风开始期与前期各月北半球雪盖的相关系数(图略),从结果来看,桂北山区寒露风开始期与前一年3月北半球雪盖为反相关,通过了水平为5%的显著性检验;广西其余地区寒露风开始期与各月北半球雪盖相关不明显。从广西寒露风平均开始期与各月北半球雪盖相关来看,与当年5月北半球雪盖相关显著并选入因子集中(x7:当年5月北半球雪盖)。

3.6 广西寒露风与赤道太平洋海温的相关分析

统计广西寒露风开始期与前期各月赤道太平洋各海区海温指数的相关系数(图略),从结果来看,大部地区寒露风开始期跟与前期各月NINO 1.2区(秘鲁沿海)、NINO 3.4区(中太平洋)、NINO 3区(东太平洋)、NINO 4区(西太平洋)的相关关系很弱,通不过显著性检验。

3.7 广西寒露风与各指数的相关

通过统计1952-2008年广西寒露风开始期与国家气候中心74项、CPC的60项指数的相关,得到相关显著的因子(如表1)。

表1 寒露风开始期与各指数相关系数

| 因子 | 相关系数 |
|---------------------------------------|-------|
| X8 前一年10月亚洲区极涡面积指数(1区,60E-150E) | -0.37 |
| X9 前一年9月北半球极涡面积指数(5区,0-360) | -0.40 |
| X10 当年3月东亚槽强度(CQ) | 0.37 |
| X11 当年4月 East Atlantic Pattern (EA) | 0.45 |
| X12 当年1月 Polar/ Eurasia Pattern (POL) | -0.38 |
| X13 前一年12月 ninoa | 0.37 |
| X14 前一年12月黑潮区海温 | 0.39 |
| X15 当年1月黑潮区海温 | 0.36 |
| X16 前一年3月热带印度洋海温偶极子(TIOD) | 0.43 |

4 寒露风预报试验和对比分析

以下根据广西各站寒露风与两极海冰、陆地雪盖、太平洋海温指数、各项指数等相关情况,筛选出各站相关最好的因子,利用逐步回归和粒子群神经网络方法建立广西寒露风开始期预报方程。

4.1 寒露风开始期预测方程

4.1.1 逐步回归预报

在建立预报方程中,因子过多时会使计算量增大,计算时间过长,如何控制方程的因子数呢?我们在逐步回归方程中采用不同的F值来选因子,分别以F=2,F=4,F=6三种不同F值建立寒露风开始期的逐步回归预报方程:

$$y=19.35+0.07x_3-2.93x_5+9.43x_9-2.79x_{11}$$

(F=2,σ=4.1,R=0.85) (6)

$$y=31.43-2.77x_5+9.89x_9-3.18x_{11}$$

(F=4,σ=4.27,R=0.83) (7)

$$y=1.66-4.05x_5+8.54x_9$$

(F=6,σ=4.63,R=0.79) (8)

式中,σ表示剩余标准差,R表示复相关系数。

上述3个预报方程建模样本长度均为29,不同F值所引入的因子数分别为4个、3个和2个。从逐步回归计算结果来看,随着F值增大引入的因子数量减少。利用预报方程对2009–2013年5个独立样本做广西寒露风开始期预报试验。从预报结果来看,

当F值越大时,预报误差越大,预报误差在6–14天之间。F=2时,逐步回归预测误差最小;从近5年利用F=2的预测方程计算结果来看,绝对误差平均为8天,相对误差为20%,预测和实况同号率为80%。

4.1.2 模糊神经网络预报

利用上一节逐步回归计算得到的因子建立3个神经网络预报模型。各预报模型的建模样本个数为29,粒子位置上限为5(下限为–5),隐节点为输入节点倍数上限为7(下限为0.3),学习因子为0.5,训练次数为2000,总体误差为0.01。利用预报模型对2009–2013年5个独立样本进行预报检验,从预报结果来看开始期的绝对误差在6–10天之间;误差均随着F值增大(因子数减少)而增大,其中F=2时预测误差最小;从近5年利用F=2的逐步回归计算出来的因子来做粒子神经网络预测,绝对误差平均为6天,相对误差为16%,预测和实况同号率为80%(如表2所示)。

4.1.3 两种预报模型的对比分析

从逐步回归方法和神经网络预报两种方法的预报结果对比来,三个不同因子数建立的预报模型预报误差均略有下降,其中当因子数为4时神经网络预报的绝对和相对误差下降幅度最大,预测的绝对误差比逐步回归方程小2天、相对误差小4%,预测准确率提高明显。

表2 逐步回归法与模糊神经网络预测模型的寒露风开始期预报误差对比分析

| 年份 | 实况 | 逐步回归法 | | | 模糊神经网络方法 | | |
|------|----|------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|
| | | 预测值 (日) | 绝对误差 /(日) | 相对误差 /(%) | 预测值 /(日) | 绝对误差 /(日) | 相对误差 /(%) |
| 2009 | 51 | 42 | 9 | 18 | 41 | 10 | 20 |
| 2010 | 47 | 49 | –2 | 4 | 48 | –1 | 2 |
| 2011 | 29 | 43 | –14 | 48 | 41 | –12 | 41 |
| 2012 | 44 | 51 | –7 | 16 | 49 | –5 | 11 |
| 2013 | 40 | 46 | –6 | 15 | 43 | –3 | 8 |
| 平均 | 42 | 46 | 8 | 20 | 44 | 6 | 16 |

5 结论

本文通过分析寒露风的气候变化特征,计算寒露风与海温、海冰、陆地雪盖、各指数的相关关系,选出数个相关显著的因子,建立广西寒露风预测方程,并得到以下结论:

- (1) 寒露风开始期与前一年9–10月北极海冰面积、当年3月南极海冰面积、前一年6月欧亚雪盖、当年5月北美雪盖、北半球雪盖的相关显著。
- (2) 广西寒露风开始期与前一年9月北半球极涡面积指数、前一年10月亚洲区极涡面积指数、前一年3月热带印度洋海温偶极子 (下转第30页)

文章编号:1673-8411 (2014) 03-0015-06

广西雷暴天气预报指标研究

梁维亮, 屈梅芳, 赖珍权, 翟丽萍
(广西气象台, 广西 南宁 530022)

摘 要:利用 2003~2012 年的地面填图和探空资料,统计常用对流参数满足指定阈值条件时广西 6 个探空站出现雷暴天气的概率(简称“雷暴概率”)。统计结果表明:整层比湿积分(IQ)、K 指数(KI)和抬升指数(LI)与雷暴概率有显著的线性关系,当 IQ、KI 增大,或 LI 减小时,雷暴概率增大。对流有效位能(CAPE)在 0~200J·kg⁻¹ 之间增长时雷暴概率迅速增大,但超过 200J·kg⁻¹ 后雷暴概率增大不明显。根据统计结果,选取 IQ、KI 和 LI 作为预报因子,CAPE 作为消空因子,定义了一个适用于广西雷暴天气的经验预报指标。用 2013 年资料做试报检验,结果表明该指标对 6 小时内的雷暴天气有较好的预报能力。

关键词:雷暴天气;IQ;KI;LI;CAPE;经验预报指标

中图分类号:P457.6 **文献标识码:**A

Research on the Forecasting Index for
the Thunderstorms in Guangxi
Liang Wei-liang, Qu Mei-fang, Lai Zhen-quan, Zhai Li-ping
(Guangxi Meteorological Observation, Nanning, 530022)

Abstract: Based on the surface and sounding data from 2003 to 2012, the thunderstorms probability (TP) in the 6 sounding stations of Guangxi were calculated under the index within the given range. The result showed that the Integral (IQ), KI and MDPI had significant linear correlation. When IQ, KI increased or MDPI decreased, TP increased. TP greatly increased when CAPE increased from 0 to 200J·kg⁻¹, but TP slowly increased when CAPE was larger than 200 J·kg⁻¹. According to the statistical results, an experiential forecasting index was defined by comprising IQ, KI, MDPI as forecast factors and CAPE as negative factor. The examination which used the data of 2013 proved that the experiential forecasting index was effective and practical.

Key Words: Thunderstorms; IQ; KI; MDPI; CAPE; Experiential Forecasting Index

广西是对流天气多发的地区。强烈发展的对流系统造成的冰雹、大风、强降水给生命和财产安全造成重大的威胁,雷暴也经常造成人员的伤亡和电子设备的损坏,造成的经济损失不可估量^[1-3]。因此研究雷暴天气潜势的预报方法,对于预报评估雷暴天气,乃至其强烈发展的阶段——强对流天气可能引

发的风险,提前做好预警和防御工作,具有非常重要的意义。

雷暴天气具有尺度小、发展移动速度快的特点,利用传统的天气学方法所做的雷暴天气预报的精细化程度已经不能满足当前的需求。近年来,有关雷暴天气预报方法有很多研究成果,综合利用物理量指

收稿日期:2014-05-16
资助项目:广西自然科学基金项目:2012GXNSFAA053191; 广西自然科学基金项目:2013GXNSFAA019288; 广西自然科学基金项目:2014GXNSFAA118290。
作者简介:梁维亮(1983-),工程师,硕士,从事灾害性天气预报和研究工作。

数进行潜势预报就是重要方法之一。沙氏指数、K 指数、对流有效位能是天气预报业务中常用的物理量指数,在对锋面暴雨、台风和短时强降水、大风、冰雹等强对流天气的诊断和预报工作中发挥了重要作用^[4-19]。郝莹等^[20]、郑婧等^[21]、湛志刚等^[22]综合运用各种对流参数,建立了雷暴天气潜势预报的方法,取得了较好的预报效果。

本文通过统计和分析雷暴天气和对流参数的相关关系,选取雷暴天气的预报因子,定义适用于广西雷暴天气的经验预报指标。

1 资料

本文所用资料为 2003~2013 年的地面填图和探空资料,地面填图时间间隔 3 小时,探空资料时间间隔 12 小时。其中 2003~2012 年 10a 的资料用于统计分析,2013 年的资料用于样本检验。对流参数值基于探空资料,利用 MICAPS3.1 系统输出。

2 研究方法

首先,将地面观测到的雷暴天气与探空资料对应起来是研究两者关系的前提。但是要求雷暴天气与探空施放时间、空间完全一致是不可能的。Darkow 提出过较严格定义:探空施放地点距离对流天气发生地点不超过 80km,对流天气在探空气球释放前后的 105 分钟内出现。如此严格的定义在实际业务中难以实行。本文结合广西的实际情况将上述定义扩展为:探空站与雷暴天气发生地点的距离不超过 100km,雷暴天气出现在探空气球施放时间前后 6 小时内。

判断探空站在气球施放时刻是否出现雷暴天气的具体方法为:在探空施放前后各 6 小时时段内,与探空站距离小于 100km 的地面观测站在地面填图的现在天气或过去天气中只要有一个有雷电天气记录的,均视为该探空站在气球施放时刻出现了雷暴天气。这样就将雷暴天气与探空资料对应起来,同时也将雷暴天气和对流参数对应起来。

地面观测和对流参数取得对应后,统计对流参数满足指定阈值条件的总次数 m ,以及在满足该阈值条件的前提下出现雷暴天气的次数 n ,则此时雷暴概率为 n/m 。雷暴概率表示在对流参数满足阈值条件下距离探空站 100km 的范围内出现雷暴天气的可能性。

通过对 2003~2012 年资料的统计分析,根据雷

暴概率随对流参数值的变化规律挑选出对雷暴天气指示作用较好的参数进行适当组合,定义一个综合的雷暴天气经验预报指标。用 2013 年资料对广西雷暴天气做试报,通过临界成功指数 (CSI)、命中率 (POD) 和虚警率 (FAR) 等指标来检验和评估经验预报指标的实际效果。

3 统计结果分析

雷暴天气的发生要求充足的水汽、不稳定层结和抬升机制等三个基本条件,加强时还需要有较强的垂直风切变条件。目前对流参数大多是考虑以上一个或多个条件来定义,从不同角度反映雷暴天气潜势。

常用的对流参数可以根据定义分为几类:大气温湿类参数,用来表示大气中水汽的多少,如整层比湿积分 (IQ);热力综合参数,反映大气的温湿状态,如 K 指数 (KI)、总指数 (TT);层结稳定度类参数,用来表示大气层结是否稳定,如沙氏指数 (SI)、抬升指数 (LI);动力类参数,如最大上升速度 (W_m);另外还有能量类参数,表示不稳定能量的大小,如对流有效位能 (CAPE)、粗理查逊数 (BRN)。

通过对比上述对流参数在不同阈值条件下的雷暴概率,发现 IQ、KI 和 LI 与雷暴概率的有显著的线性关系(通过显著水平 0.05 的显著性检验),在同类参数中对雷暴天气的指示作用最好。能量类参数 CAPE 的特征虽然与前三者不同,但也对雷暴天气有特殊的指示作用。为方便分析,当雷暴概率小于 25% 时称为雷暴不易出现,25%~50% 时称为雷暴可能出现,50%~75% 时称为雷暴容易出现,75% 以上时称为雷暴极易出现。

3.1 整层比湿积分 (IQ)

整层比湿积分指的是从地面到大气层顶的比湿的积分:

$$IQ = \int_{p_0}^0 q \cdot dp$$

其中 q 为比湿, p 为气压, p_0 为地面气压。在指层上的比湿越大则 IQ 越大,因此 IQ 直观反映了气柱中的水汽总量。

随着 IQ 的增大,雷暴概率持续增大(图 1a)。当 $IQ \leq 4500 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时雷暴天气不易出现,在 4500~5500 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间可能出现,在 5500~6000 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间容易出现,6000 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以上则极易出现 ($IQ > 7000 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的样本数少,统计结果的代表性较差)。不同探空站的

雷暴概率有一定差异,地处桂西的南宁、百色在 $IQ > 4000 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时就可能出现雷暴天气,而南宁站只要 $IQ > 4500 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 就容易出现雷暴天气, $IQ > 5500 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 就极易出现雷暴天气。

3.2 K 指数 (KI)

KI 是反映垂直温度递减率和低层水汽含量的热力综合参数,定义为:

$$KI = (T_{850} - T_{500}) + T_{d850} - (T - T_d)_{700}$$

其中 T 和 T_d 分别表示温度和露点温度,下标表示等压面(hPa)。KI 定义中的物理意义简单明确:等式右边三项分别表示温度垂直递减率、低层的水汽条件和中层的饱和程度。KI 反映的是 850~500hPa 之间的层结状态,除了比较特殊的高架雷暴,或海拔较高的地区以外,在大多数情况下 KI 是适用的。

总体上 KI 越大则雷暴概率越大。KI $\leq 30^\circ\text{C}$ 时不易出现雷暴天气,在 $32 \sim 36^\circ\text{C}$ 之间为可能出现,在 $36 \sim 40^\circ\text{C}$ 之间为容易出现, $KI > 40^\circ\text{C}$ 时为极易出现(图 1b)。在 KI 相同时,桂西和桂南的雷暴概率大于桂东和桂北。百色、北海、南宁在 $K > 30^\circ\text{C}$ 时已经可能有雷暴天气;北海、南宁只要 $K > 34^\circ\text{C}$ 时就容易出现雷暴天气, $K > 38^\circ\text{C}$ 时极易出现雷暴天气。

3.3 抬升指数 (LI)

LI 是层结稳定度参数,表达式为:

$$LI = T_{500} - T_s$$

其中 T_{500} 是 500hPa 的环境温度, T_s 为气块从修正的低层 3000 英尺高度开始干绝热抬升,饱和后再湿绝热抬升到 500hPa 时的温度。

LI 越小,雷暴概率越大。雷暴天气在 $LI > 1^\circ\text{C}$ 时不易出现,在 $-2 \sim -1^\circ\text{C}$ 之间时可能出现, $LI \leq -2^\circ\text{C}$ 时容易出现(图 1c)。当 LI 相同时,南宁、桂林的雷暴概率相对较大,北海的雷暴概率相对较小。

3.4 对流有效位能 (CAPE)

CAPE 是基于气块理论定义的能量类参数,反映出气块在环境浮力作用下的上升运动所能达到的强度,这种能量是有利于对流发展的。其计算方法为:

$$CAPE = \int_{PEL}^{PLFC} R_d (T_{vp} - T_{ve}) \cdot d \ln p$$

其中 R_d 为气体常数, T_{vp} 和 T_{ve} 分别为气块和环境的虚温, P_{LFC} 和 P_{EL} 分别为自由对流高度和平衡高度上的气压。

当 $CAPE \leq 100 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,雷暴概率最大仅为 11.9%(桂林),不易出现雷暴。当 $CAPE > 200 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$,

各站雷暴概率均超过 25%,个别站超过了 50%。但是随着 CAPE 继续增大,雷暴概率增大的幅度变小,并且有上下波动,即使在 $CAPE > 1600 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,雷暴概率也只是在 51%~76% 的范围(图 1d)。在没有对流发生时 CAPE 是没有实际意义的,CAPE 只有在有释放机制时才能够反映对流的初始阶段的一些特征,要达到强对流还需要有不稳定能量的输送。说明 CAPE 在雷暴天气出现之前并不能对其产生影响,因此不能明确指示雷暴天气是否发生。但是从相反的角度来看,在 CAPE 接近为 0 时雷暴概率很低,实际上 $CAPE = 0$ 时广西 6 个站的雷暴概率平均仅为 5.7%,所以较小的 CAPE 指示无雷暴天气的作用是明显的,可以作为雷暴天气预报的消空因子。

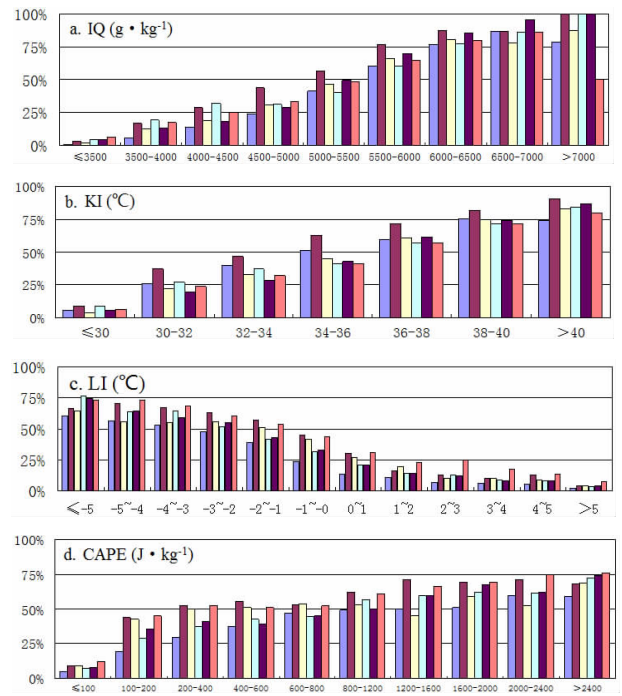


图 1 对流参数在不同阈值条件下的雷暴概率

4 经验预报指标

4.1 指标的定义

雷暴天气的发生要求水汽条件、层结条件、抬升条件这三个基本条件都同时具备,一个完整的预报指标应该同时包含三个方面的信息,但是目前对流参数都是诊断水汽和稳定度条件的,表示当前温、湿状态下的雷暴天气潜势。这是因为抬升条件由中尺度系统提供,难以用常规的高空观测值来定义相关参数^[23]。鉴于此,短期预报时可以用一个综合的指标来诊断雷暴天气的潜势,再通过自动站、雷达等非常

规资料进行短时临近的监测和预警。

IQ、KI、LI 在正常的取值区间内分别与雷暴概率有显著的线性关系,根据“配料法”思想和线性叠加原理,可以将三者线性相加作为雷暴天气的一个综合指标,并且考虑 CAPE 特殊指示作用将其作为消空因子。由于前三者本身的量级不同,变化值的量级也不同,因此相加前要统一量级才能在综合指标中平等地反映这三个参数变化时对雷暴天气中所产生的影响。于是定义经验预报指标:

$$I=IQ/100+KI-10LI \quad (1)$$

IQ 和 KI 的值越大、或 LI 的值越小则 I 越大,越有利于雷暴天气发生,所以指标 I 代表的是水汽和不稳定条件综合影响下的雷暴天气潜势。

4.2 预报阈值的确定

评价预报效果常用的指标为临界成功指数(CSI)、命中率(POD)和虚警率(FAR),计算方法为^[24]:

CSI=正确次数/(正确次数+空报次数+漏报次数)

POD=正确次数/(正确次数+漏报次数)

FAR=空报次数/(正确次数+空报次数)

CSI、POD 越高、或 FAR 越低,则预报效果越好。

首先用 CAPE 进行消空,当 CAPE=0 时均预报无雷暴天气,然后根据(1)式对 2003~2012 年的资料进行拟合,设预报阈值为 a,当 $I \geq a$ 时预报有雷暴天气,当 $I < a$ 时预报无雷暴天气。

连续改变阈值 a,通过比较对应的 CSI、POD、FAR 来确定最优的预报阈值。从图 2 可以看到,CSI 表现为单峰值的特征,不同站点达到峰值的阈值 a 有差异。各站 CSI 峰值均在 50%左右,桂南比桂北高,主要原因是桂北站点漏报较多。阈值为 40 时北海站漏报 110 次,而桂林站漏报多达 468 次,说明在 I 值很小(即各种条件都较为不利)的情况下桂北仍会有较多的雷暴天气发生,原因可能与桂北的地形条件和影响系统都更复杂有关。对比未经过 CAPE 消空的预报指标,当 I 值较小时 FAR 有所减小,CSI 有所提高,说明此时用 CAPE 消空能有效减少空报次数;而当 I 值较大时消空的效果不明显。

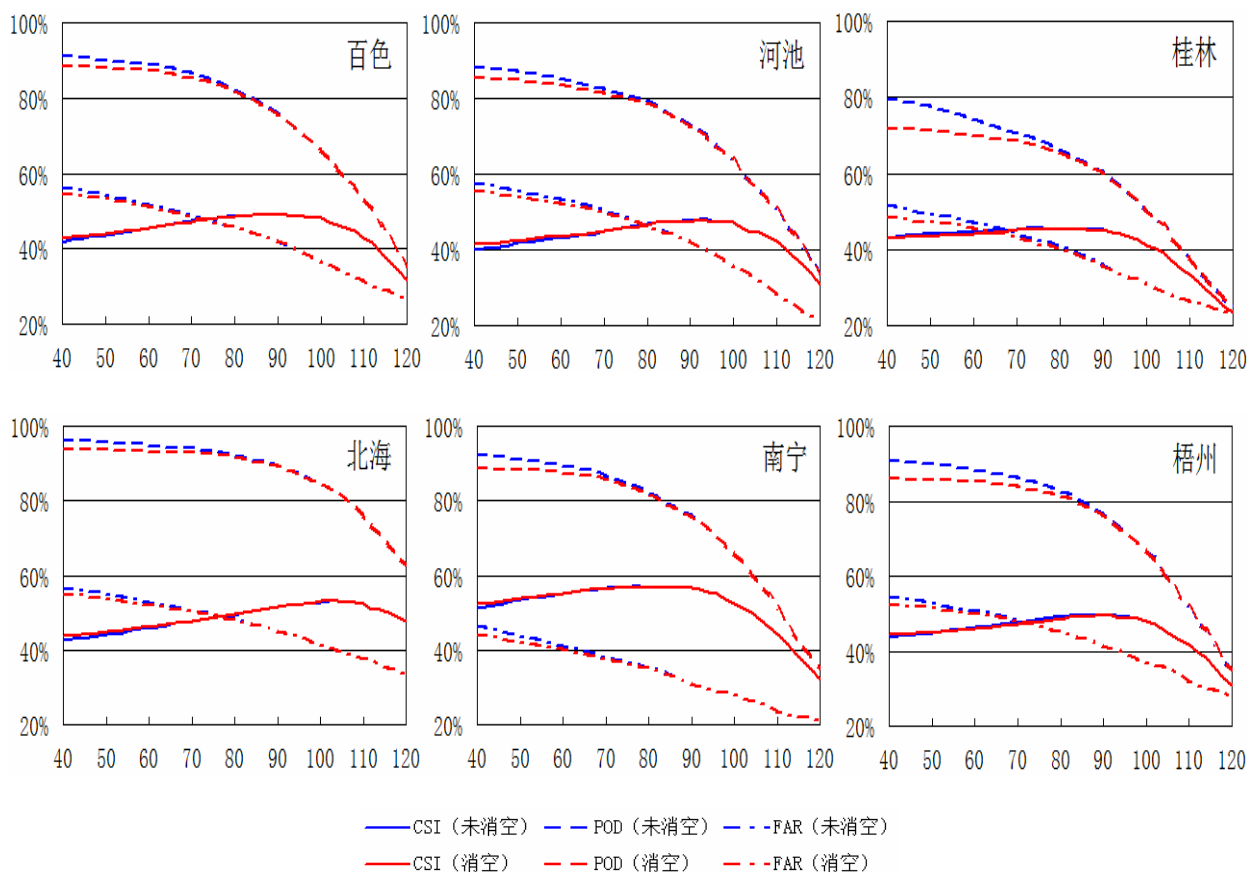


图 2 不同阈值对应的 CSI、POD 和 FAR

CSI 是业务中评价预报质量的最重要的一个指标,而且要求有一个阈值能够同时满足 POD 最大和 FAR 最小显然是做不到的。因此确定预报阈值时选择 CSI 作为首要的参考指标。这里选取 CSI 最大时的 α 值作为预报阈值,确定各站的预报阈值如表 1, 而此时的 CSI 可以看作预报质量的预期。

表 1 最大 CSI 和对应的预报阈值

| | 北海 | 南宁 | 梧州 | 百色 | 河池 | 桂林 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|
| 最大 CSI(%) | 53.1 | 56.8 | 49.5 | 49.0 | 47.9 | 45.4 |
| 预报阈值 | 104 | 80 | 92 | 88 | 92 | 80 |

4.3 试报检验

用 2013 年的资料作为样本对经验预报指标进行试报检验。将样本用 CAPE 进行消空后根据表 1 中预报阈值对各站雷暴天气做试报, I 大于该阈值的预报有雷暴天气, I 小于该阈值的预报无雷暴天气。试报效果总体较好(表 2), 南宁、百色、桂林的 CSI 高于预期, 其中南宁的 CSI 达到 62.9%, 比预期提高了 6.1%; 北海、梧州、河池的 CSI 低于预期, 与预期的差距分为 1.8%、1.4%、3.2%。从试报的 CSI、POD 和 FAR 综合评估, 经验预报指标 I 对 2013 年雷暴天气的预报效果与预期偏差不大, 是满足雷暴预报质量评分要求的, 对雷暴预报业务有较好的指导作用。

表 2 2013 年试报结果

| | 北海 | 南宁 | 梧州 | 百色 | 河池 | 桂林 |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 实况/预报(次) | 203/248 | 238/262 | 189/230 | 191/261 | 174/212 | 174/201 |
| 正确/空报/漏报(次) | 153/95/50 | 193/69/45 | 136/94/53 | 152/109/39 | 119/93/55 | 120/81/54 |
| CSI/POD/FAR(%) | 51.3/73.4/38.3 | 62.9/81.1/26.3 | 48.1/72.0/40.9 | 50.7/79.6/41.8 | 44.7/68.4/43.9 | 47.1/69.0/40.3 |

5 结论

通过统计特定阈值条件下的雷暴概率, 发现 IQ、KI 增大或 LI 减小时雷暴概率增加, 且三者分别与雷暴概率有显著的线性关系, 可用于建立经验预报指标。CAPE=0 时雷暴概率很小, 指示无雷暴天气的作用明显, 可以作为消空因子。

用 IQ、KI、LI 和 CAPE 定义了经验预报指标 I, 并确定了广西各站的预报阈值。对 2013 年广西的雷暴天气进行试报检验, 结果表明 I 的预报效果较好, 达到了预报质量评分要求, 可以应用于 6 小时短时预报业务。

参考文献:

[1] 刘献耀, 许爱华, 刘芳. 江西省春夏季强对流天气气候特征 [J]. 气象与减灾研究, 2009, 32 (4): 50-56.

[2] 简海燕, 龚乃弘, 张秋跃. 宜春地区主要气象灾害分布规律及成因分析 [J]. 气象与减灾研究, 2011, 34 (3): 57-63.

[3] 缪霄龙, 缪启龙, 宋健, 等. 杭州地区雷雨大风灾害风险区划 [J]. 气象与减灾研究. 2012, 35 (3): 45-50.

[4] 欧徽宁, 梁珊珊, 杨胜才. 2013 年广西一次前汛期暴雨过程分析 [J]. 气象研究与应用, 2013, 34 (4): 14-17.

[5] 黄远盼, 宁玉梅, 莫家尧. 广西前汛期两次暴雨天气过程对比分析 [J]. 气象研究与应用, 2014, 35 (1):

12-16, 35.

[6] 朱星球, 王咏青. 2010 年冬季江西两次暴雨过程的环境场分析 [J]. 气象与减灾研究, 2011, 34 (4): 30-36.

[7] 杨婷, 苗春生, 唐振飞. 江西 “6.19” 特大暴雨天气过程诊断分析 [J]. 气象与减灾研究. 2010, 33 (3): 34-41.

[8] 张娟娟, 刘波. 2013 年 6 月 26-29 日江西梅雨锋暴雨天气过程分析 [J]. 气象与减灾研究. 2014, 37 (1): 55-60.

[9] 张劲梅, 莫伟强, 鄢俊一. 西南季风爆发背景下东莞两轮强降水的特征分析 [J]. 广东气象, 2014, 36 (1): 38-42, 46.

[10] 周芳, 陈翔翔, 郭达烽, 等. 台风 “海葵” (2012) 造成的景德镇特大暴雨过程分析 [J]. 气象与减灾研究, 2013, 36 (3): 35-42.

[11] 郭达烽, 包慧濛, 郑劲光, 等. 台风 “潭美” (2013) 影响江西期间的路径和降水诊断分析 [J]. 气象与减灾研究, 2010, 33 (1): 31-39.

[12] 程正泉, 林良勋, 沙天阳, 等. “尤特” 强降水过程大气层结分析 [J]. 广东气象, 2013, 35 (6): 1-16.

[13] 莫伟强, 鄢俊一, 张劲梅. 东莞连日 3 次强对流前期的差异分析 [J]. 广东气象, 2013, 35 (4): 29-33.

[14] 伍秀莲. 桂林初夏时节的雷电场特征及潜势预报 [J]. 气象研究与应用, 2013, 34 (2): 84-86.

[15] 张凌云, 刘蕾, 李亚琴, 等. 柳州 “2012.4.12” 强对流天气过程分析 [J]. 气象研究与应用, 2013, 34 (3): 22-25.

(下转第 57 页)

文章编号:1673-8411 (2014) 03-0020-07

华南一次特大暴雨诊断分析及数值模拟

叶朗明¹, 陈明惠², 夏冠聪³

(1.江门市气象局, 广东 江门 529000; 2.玉林市气象局, 广西 玉林 537000; 3.中山市气象局, 广东 中山 528401)

摘 要:用 NCEP/NCAR 再分析格点资料对 2009 年 5 月 23–24 日发生在华南的特大暴雨过程进行了诊断分析, 并利用中国新一代 GRAPES 模式进行了数值模拟研究。结果表明:副高稳定维持, 西侧偏南气流引导季风云团北抬; 水汽来源主要为孟加拉湾西南气流和南海东南气流, 水汽辐合主要集中在 925hPa–850hPa, 具有明显日变化特征; 垂直上升运动提前约 6 小时于强降水的出现, 暴雨中心位于最大垂直速度中心附近。模式成功模拟了暴雨过程的雨带分布及环流形势演变, 显示中尺度涡旋是造成暴雨的主要影响系统, 其不仅造成陆地的低层辐合高层辐散, 还为暴雨区提供了正涡度, 促使 2 个中 α 尺度对流系统的生成和发展东移, 直接导致暴雨的发生。

关键词:暴雨; 诊断分析; GRAPES 模式

中图分类号: P458.2

文献标识码: A

DIAGNOSTIC ANALYSIS AND NUMERICAL STUDY OF A THUNDERSTORM IN SOUTHERN CHINA

Abstract: Based on the NCEP / NCAR reanalysis gridded data and GRAPES model Diagnostic analysis and Study on Numerical Simulation of Southern China thunderstorm occurred in 23–24 May 2009 is studied. The result shows that moisture sources of torrential rain process comes from Somali cross-equatorial flow, stiff southwest flow of bay of Bengal and the south sea airflow. In periods of torrential rain, stronger convergent winds at lower levels and stronger divergent winds at high levels is conducive to low-level vortex system development and maintenance. Storm center is located near the center of the maximum vertical velocity. It is successful to simulate the large-scale atmosphere circulation development and distribution of torrential rain. It shows that the mesoscale vortex is the main influencing system causing torrential rain, which is in direct relationship with the genesis and intensive development of a meso- α scale low vortex at 850hPa on the basis of GRAPES model.

Key words: torrential rain; diagnostic analysis; GRAPES model

0 引言

华南地处我国最南端, 受到热带与中纬度天气系统的交替作用, 暴雨频率高, 雨强大, 汛期持续时间长, 暴雨次数和强度均居全国之首, 给经济建设与人民生命财产带来巨大损失。而华南地区由于受静止锋、季风、海风分布、地形等复杂因素的影响, 常常

会爆发大暴雨, 这也是华南预报员预报的难点和热点问题。多年来气象学者对华南前汛期暴雨的研究得到了许多有意义的成果^[1–6], 认为低空辐合及对应的强上升运动和气旋性涡柱是造成这次暴雨的动力学机制。对具代表性的华南连续暴雨如 94.6 和 05.6 等的研究, 也揭示了一些暴雨发生发展的物理机制^[7–14], 暴雨的发生和维持与大尺度背景环境有密

收稿日期: 2014–06–15

资助项目: 广东省江门市气象局基金资助项目(201201)

作者简介: 叶朗明(1982–), 男, 江西龙南人, 硕士研究生, 工程师, 主要从事暴雨、数值模式 and 海陆风研究, ye_langming@126.com

切的联系。陶诗言等^[15]对中国暴雨做了系统性的分析总结, 得出了系列关于暴雨发生发展和天气系统配合结论, 把持续性暴雨的发生发展背景大致分成了三种类型, 并指出了西太平洋副高的位置决定了从海上来的水汽通道。陈炳洪、薛纪善^[16-17]等的研究表明, 活跃的南海季风与低纬度环流配置是华南前汛期持续性暴雨产生的背景条件。田晨、徐蓉等^[18-19]的研究表明, 下垫面的非均匀性改变边界层热力和动力过程, 进而影响强降水的分布。林毅等^[20-23]研究了急流对暴雨发生的影响, 并进行了数值模拟试验。孙素琴、杨婷等^[24-25]对区域性特大暴雨进行了诊断分析。但是近年在运用中国新一代数值模式 GRAPES 进行暴雨研究还是比较少, 多为使用 WRF 和 MM5 模式。

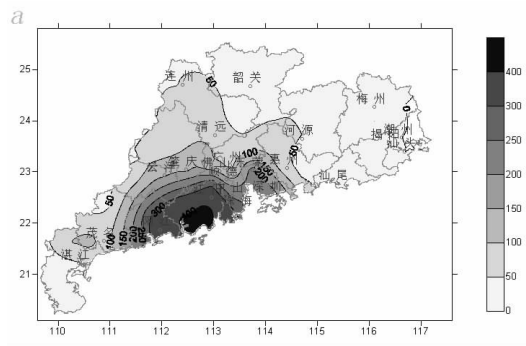
本文利用 NCEP/NCAR 每天 4 次的 $1^\circ \times 1^\circ$ 再分析资料、地面常规观测资料, 进行天气学分析和动力学诊断, 还利用了我国新一代 GRAPES 模式进行暴雨过程的数值模拟试验, 模式采用分辨率为 $1^\circ \times 1^\circ$ 的 NCEP 再分析资料为背景场, 水平分辨率设置为 12km, 模式顶层为 10hPa, 垂直分层为 31 层, 使用 30S 高分辨率地形资料以及相应的下垫面特征资

料。以便揭示这次特大暴雨过程的一些本质特征。

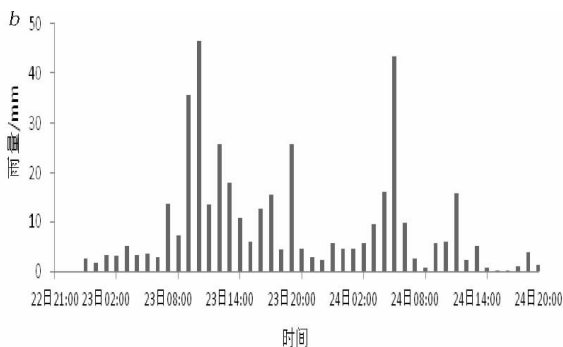
1 雨情分析

2009 年 5 月 23–24 日, 珠江口西侧出现暴雨到大暴雨, 局部地区出现特大暴雨降水, 主雨区位于江门至阳江一带(图 1a)。广东省有 8 个气象观测站录得大于 250mm 的过程雨量, 其中最大雨量为台山站 420mm; 有 68 个区域自动站超过 250mm, 其中台山市端芬镇录得最大过程雨量 618mm。

降水可分为两个阶段(图 1b, 以台山站为例): 第一阶段发生在 23 日白天, 08:00 开始台山沿海出现一条 45dBz 的强雷达回波带不断北抬, 降水最强的 09:00~11:00 时间段, 出现了强度中心达 60dBz 的强回波单体, 台山站最强降水出现在 11:00, 时雨量达 46.7mm, 09:00~20:00 的 12h 累积雨量 221.9mm。第二阶段从 24 日早晨开始, 沿海强回波不断生成并涌上内陆, 06:00 多个站点录得大于 40mm 的时雨量。持续的强降水过程, 使得粤西多个气象台发布暴雨红色预警信号, 也造成农田受浸、山体崩塌和水闸受损, 经济损失严重。



(a) 全省雨量分布图



(b) 台山站雨量演变图

图 1 2009 年 5 月 22 日 20 时至 24 日 20 时雨量图

2 天气形势分析

暴雨发生前, 21 日 20 时, 500hPa 中高纬度环流为两槽一脊型, 块状的副热带高压脊线稳定维持在 21°N , 118°E 附近, 850hPa 珠江口以西为一致的西南气流, 水汽条件充足, 南海有低压云团发展。

暴雨发生时, 22 日 20 时, 500hPa 588 线维持在沿海, 粤西南降水逐渐明显; 从 5 月 23 日 08 时的综合示意图(图 2)可以看到在 $30^\circ\sim 35^\circ\text{N}$ 上, 200hPa 为副热带西风急流区, 暴雨区位于高空急流轴的南侧,

从风场上分析, 华南处于辐散区。500hPa 副热带高压稳定维持, 有利于季风扰动沿着副高西侧北上。586hPa 线(黑线)的西脊点位于珠江口附近, 珠江口西侧位于副热带高压边缘的不稳定区, 有利于强降水天气的出现, 这种配置是造成华南暴雨的典型条件之一^[17]。23–24 日副高稍有东退, 但副高主体稳定, 粤东则位于副高控制区域, 不利于降水发生。南海中部海面的扰动云团缓慢西北移, 受其外围东南风影响, 为粤西输送充沛的水汽, 导致珠江口及其西侧持续性的强降水。

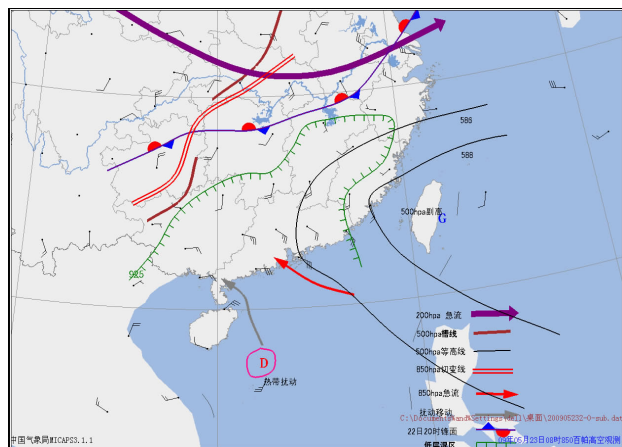


图2 2009年5月23日08时综合图

暴雨发生后,25日20时,东亚大槽开始建立,副热带高压减弱东退,华南被槽后西北风场控制,降水结束。从天气形势分析初步得出,此次强降水过程是稳定的副高下,季风扰动北上造成的结果。下面从水汽条件、动力等方面对此次暴雨过程作进一步的物理量诊断和分析。

3 物理量诊断

3.1 水汽条件

充足的水汽是暴雨发生的必要条件,而仅仅大

气柱现存的水汽通常还不足以造成暴雨,还需上游源源不断的水汽供应。分析水汽通量发现(图3a),输送到暴雨区的水汽通道主要有两支:一支为孟加拉西南气流,另一支是南海115°E附近的东南气流,两支水汽在南海中部汇合,水汽通量最大中心达到 $18\text{g}/(\text{cm}\cdot\text{hPa}\cdot\text{s})$,两支气流汇合主要输送到珠江口两侧,中心值达 $8\text{g}/(\text{cm}\cdot\text{hPa}\cdot\text{s})$,粤东及北部湾的水汽通量则要小很多。

为探讨水汽通量散度随时间的演变,以强降水中心取东西南北各1.5个纬度的区域做平均水汽通量散度,讨论其上空不同高度水汽通量散度随时间的演变。从21日20时–22日20时,强降水中心上空基本为弱的水汽通量辐合或者辐散区,而从23日02时开始,低层出现明显的水汽辐合区,其中最大值出现在925hPa,达到 $-8.0\times 10^{-7}\text{g}/(\text{cm}^2\cdot\text{hPa}\cdot\text{s})$ (图3b),此时强降水开始出现,且在23日20时–24日14时辐合出现另一个峰值,集中在850–1000hPa高度,辐合层高度达到最大,这就表明强降水区的水汽供应非常充足,同时也对应于另一次强降水的峰值。24日20时水汽开始辐散,降水逐渐减少。因此,水汽通量散度反映出此次强降水的发生、发展和消散,在暴雨中心区有很强水汽辐合。

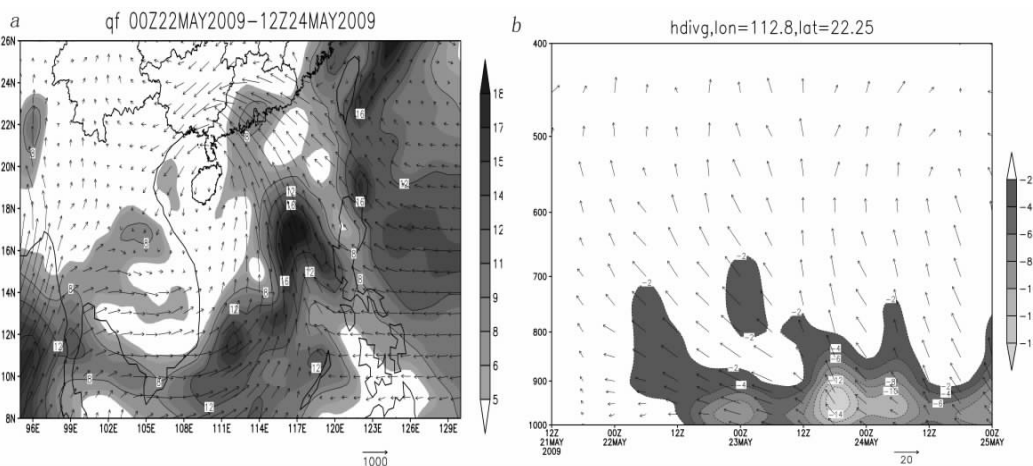


图3 (a)2009年5月22日08时–24日20时925hpa平均水汽通量(单位: $\text{g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}$);
(b)(21.5–23.5°N;111.5–113.5°E)区域水汽通量散度时间演变(单位: $\text{g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}$)

3.2 动力条件

从台山观测站(22.25°N;112.8°E)垂直速度剖面图可分析出(图4a),从5月22日14时开始,低层开始出现上升运动,500hPa以上仍为下沉运动,此时降水还未发生。22日20时起上升运动迅速扩

展到300hPa,强度增强,23时台山站开始出现降水,500hPa出现强度为 $-7\times 10^{-3}\text{hPa/s}$ 中心,23日07:00–23日20:00强降水时段中,垂直速度再度加强,出现 $-17\times 10^{-3}\text{hPa/s}$ 中心。24日02:00–24日08:00次强降水时段中,对应垂直速度出现第二个强度中心,

之后地面降水开始明显减弱。

分析 700hPa 垂直速度区域分布 (图 4b), 可以看出在 20~23°N, 113°E 附近, 为垂直速度的负值

区, 最大上升速度为 $-13 \times 10^{-3} \text{hPa/s}$, 说明这区域存在强烈的上升气流运动。

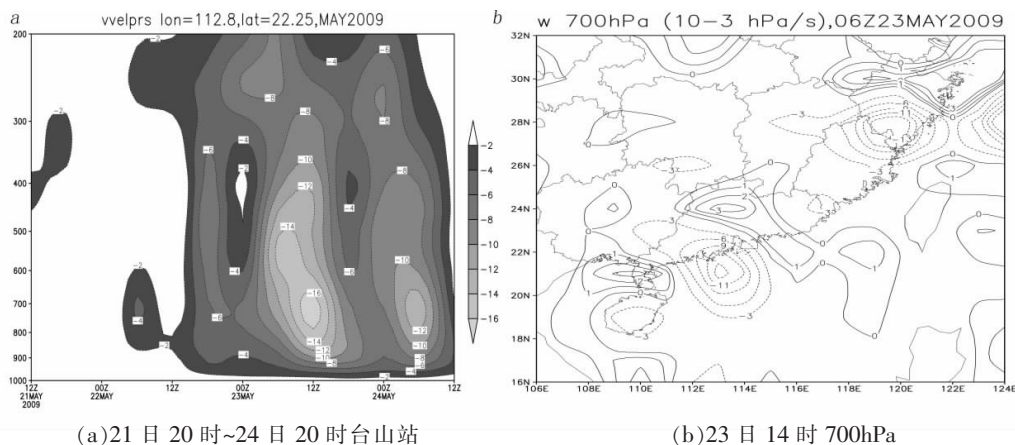


图 4 2009 年 5 月垂直速度图 (单位: 10^{-3}hPa/s)

从图 5 可见, 22 日 20 时暴雨发生前, 200hPa 存在明显的辐散场, 散度中心值达 $7 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$, 23 日 08 时高层辐散场进一步增强, 同时低层开始出现辐合中心, 高层辐散场的抽吸作用给中尺度系统的发展提供了动力条件。涡度场来看, 23 日 14 时-24 日 20 时中层一直维持正涡度 (阴影), 表明 500hPa 有正涡度平流。这种低层辐合, 高层辐散的配置既有利于上升运动, 也有利于低层中尺度系统的发展及维持。

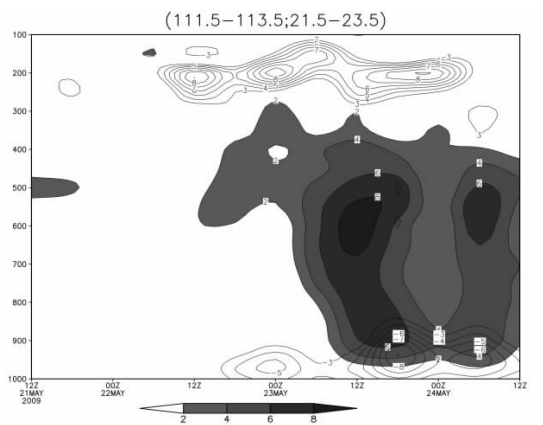


图 5 21 日 20 时-24 日 20 时暴雨区域 (21.5°N-23.5°N; 111.5°E-113.5°E) 散度、相对涡度的时间-高度剖面图 (实线为散度, 单位: 10^{-5}s^{-1} ; 阴影为相对涡度, 单位 10^{-5}s^{-1})

3.3 大气层结情况分析

假相当位温 θ_{se} 是一个重要的温湿特征参数, 它在大气干绝热和湿绝热变化中都是守恒的。用假相当位温随高度的变化 $(\partial \theta_{se} / \partial p) > 0$ 表示对流不稳

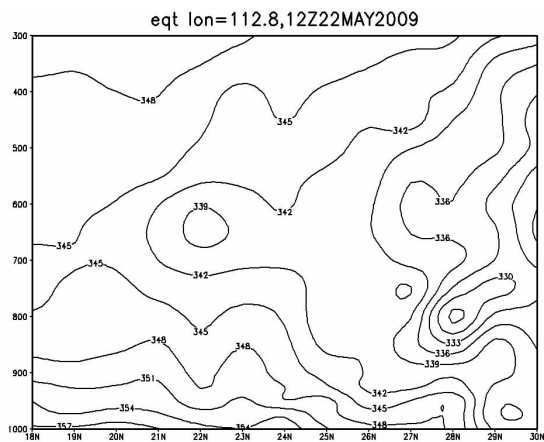


图 6 2009 年 5 月 22 日 20:00 假相当位温空间分布 (单位: K)

定, 假相当位温随高度升高而降低; $(\partial \theta_{se} / \partial p) < 0$ 表示对流稳定, 假相当位温随高度升高而升高。沿暴雨区 112.8°E 经度作 θ_{se} 的垂直剖面, 22 日 20 时, 21~23°N 附近在 1000hPa-700hPa 存在密集的假相当位温等值线, $(\partial \theta_{se} / \partial p) > 0$, 表示那里是不稳定区域, 在 700hPa-500hPa 假相当位温变化不明显, 处于相对的稳定层结, 500hPa 以上 $(\partial \theta_{se} / \partial p) < 0$ 表示对流稳定, 随着低空暖湿空气不断流入, 低层层结变的不稳定, 容易产生强降水。

4.1 模拟研究的模式和方案

本文运用中国气象局数值预报创新基地发展的 GRAPES 模式系统进行暴雨过程的数值模拟试验。采用时间间隔为 6h, 分辨率为 $1^\circ \times 1^\circ$ 的 NCEP 再分析资料为背景场, 模拟区域中心选取为 (22.5°N,

113°E), 网格点数为 293×209, 水平分辨率 12km, 网格包括了整个雨区; 模式顶层为 10hPa, 垂直分层为 31 层, 使用 30S 高分辨率地形资料以及相应的下垫面特征资料。参数化方案: 使用 Kessler 微物理过程, Grell 积云对流参数方案, RRTM 长波辐射方案和 Dudhia 短波辐射方案, MRFPBL 以及 Noah land-surface 陆面过程。模拟时间从 2009 年 5 月 22 日 20BST 至 24 日 20BST, 共 48h, 采用 200s 的时间步长, 每 1h 时输出一次积分结果。

4.2 降水模拟与观测对比分析

分析 2009 年 5 月 22 日 20 时到 23 日 20 时实况 24 小时雨量与模式降水进行比较 (图 7a,b), 主

雨带均集中在珠江口及其以西地区, 上川岛观测站实况出现 263 毫米, 模拟最大雨量出现在深圳为 180 毫米, 虽然位置略有偏移, 但强度及雨带分布与实况较一致, 模拟在粤北至江西南部有小范围暴雨降水, 实况要偏小。模式对于每 6 小时的降水也有一定的准确性, 分析 23 日 08 时-14 时的降水实况, 雨区主要集中在珠江口西侧, 模拟结果对于粤西的降水基本能模拟出来, 但降水强度偏弱。23 日 14 时-20 时的降水, 降水主要在粤西和珠江三角洲附近, 模拟比较好的把降水落区模拟出来。总体来说, 模拟结果较好地再现了实况降水的雨带位置、走向及暴雨中心的位置和强度。

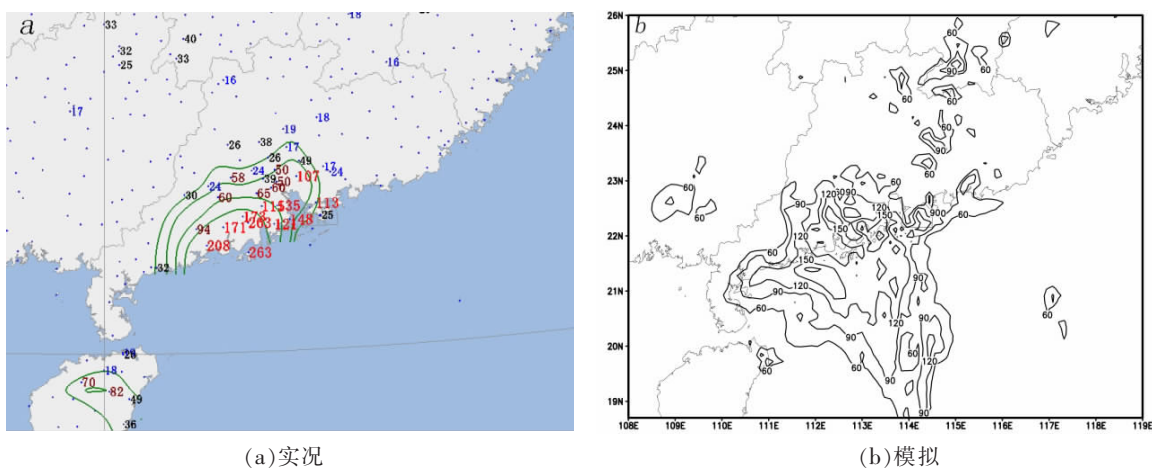


图 7 2009 年 5 月 22 时-23 日 20 时雨量分布 (单位: mm)

4.3 大尺度环流场的模拟

从模拟出来的大尺度环流场的情况来看 (图略), 中高纬地区两槽一脊的环流形势与实况相比, 强度和位置大体一致, 模拟的西太平洋副热带高压与实况位置基本一致 (图 8), 也模拟出来南海北部的季风扰动, 850hPa 西南季风范围与实况总体吻合, 但模式模拟出来的西南季风强度要略微偏强, 总体看来模式比较成功的模拟出了这次暴雨过程, 因此可以用模拟结果来分析这次过程的细节, 以弥补观测数据不足的困难。

4.4 模拟中尺度涡旋

模拟 16h 后 500hPa 的流场 (图 9a), 发现在华南南部出现一个中尺度涡旋系统, 从风场上分析这个涡旋源源不断给广东省内陆输送水汽。分析红外云图演变, 两个对流云团分别于 23 日上午和 24 日凌晨在涡旋东北侧生成, 并逐渐发展东移, 云顶亮温均低于 -60°C , 主体直径约 300km, 形状呈椭圆 (图

9b), 具有中 α 尺度特征, 缓慢移动的对流云团造成了台山冲蒺镇 100.4mm/h 强降水。

模拟 5 月 23 日 12 时暴雨区上空的涡度场和散度场, 850hPa 在两广交界一带出现一个辐合中心, 中心最大值达到 $-7 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$, 珠江口西侧的暴雨区处于辐合区内, 200hPa 则处辐散区, 最大辐散中心值达 $10 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$, 850hPa 在南海北部 (20°N , 112°E) 维持一个的相对涡度的大值中心 (图略)。经过台山站经度 (112.8°E) 做相对涡度和散度的垂直剖面图 (图 9c,d), 可发现在 20.5°N 和 21.5°N 存在两个相对涡度正值区, 中心最大值达到 $45 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ 和 $32 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$, 而散度场上也存在两个负值中心, 最大辐散中心值达 $-15 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ 和 $-20 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$, 对比模拟雨带分布, 发现这两个区域分别对应于海上的强降水中心和陆地降水中心。这种低层强辐合, 高层辐散的配置给对流云团的发展提供有利的动力条件, 中尺度涡旋系统的发展和维持, 不仅给陆地带来充沛水

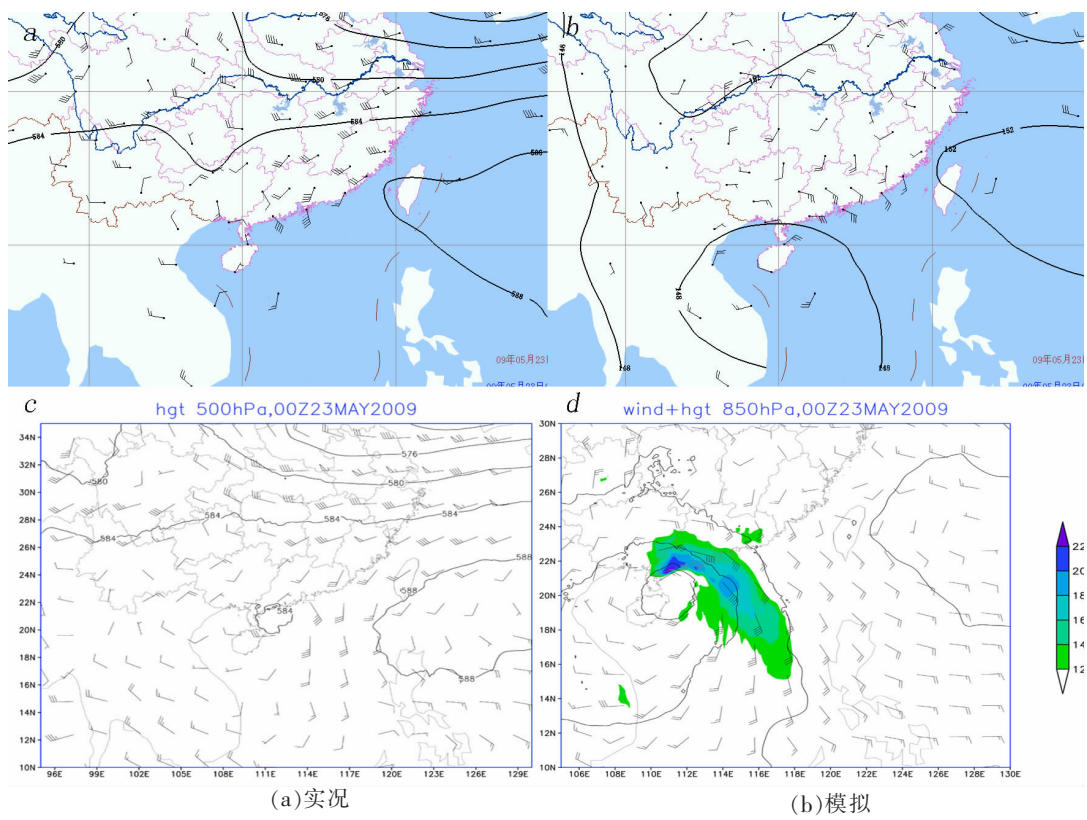


图 8 2009 年 5 月 22 时-23 日 20 时雨量分布 (单位:mm)

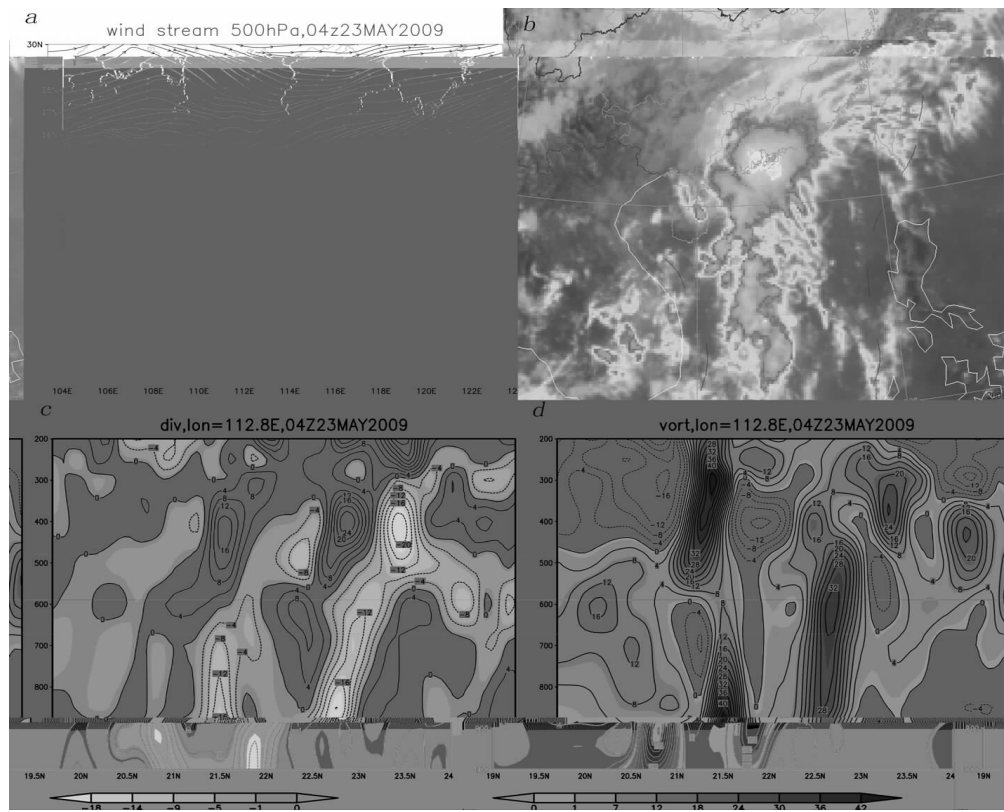


图 9 模拟 16h (5 月 23 日 12 时)

汽,还给中 α 尺度对流系统生成发展提供了正涡度,从而造成珠江口西侧的特大暴雨天气过程。

5 结论

(1)2009年5月23–24日强降水中心出现在江门–阳江一带。暴雨过程期间,华南处于200hPa西风急流南侧辐散区,500hPa586线位于珠江口附近,西太平洋副高稳定维持,使得南海热带扰动云团发展,并沿着副高西侧的偏南气流北抬,是此次大暴雨过程的有利天气系统。

(2)水汽通量场的分析表明,水汽主要来自孟加拉西南气流和南海115°E附近的东南气流,两支水汽在南海中部汇合,然后输送到珠江口两侧,水汽通量散度集中在925hPa,并具有明显的日变化。

(3)垂直速度分析表明,垂直上升运动提前约6小时于强降水的出现,暴雨中心位于最大垂直速度中心附近,强降水发生在有利的垂直上升运动下。

(4)GRAPES模式成功模拟出此次强降水过程的大尺度背景场的演变、中尺度降雨的分布,基本能够表现出中尺度系统降水的发生、发展和演变过程,但模拟的降水强度偏弱。模拟显示中尺度涡旋系统是造成暴雨的主要影响系统,其不仅造成陆地的低空辐合高空辐散,还提供了正涡度,促使2个中 α 尺度对流系统的生成和发展东移,直接导致暴雨的发生。

参考文献:

- [1] 林良勋,冯业荣,黄忠等.广东省天气预报技术手册[M].北京:气象出版社,2006.
- [2] 林良勋,吴乃庚,黄忠,等.广东2008年罕见“龙舟水”特点及成因诊断分析[J].气象,2009,35(4): 43–50.
- [3] 赵玉春.热带扰动引发华南前汛期暴雨的机理研究[D].南京:南京信息工程大学,2007.
- [4] 罗建英,廖胜石,钟祥平.2004年7月华南暴雨期水汽的初步研究[J].广西气象,2005,26(S1): 47–49.
- [5] 张小霞,陈小芸,杨宇声,等.佛山一场大暴雨的强降水特征[J].广东气象,2006,28(2): 40–42.
- [6] 温晶,纪忠萍,谢炯光.2008年前汛期广东长连续暴雨过程的500hPa环流特征[J].广东气象,2008,30(4): 8–11.
- [7] 吕梅,成新喜,陈中一,等.1994年华南暴雨期间夏季风的特征及其对水汽的输送[J].热带气象学报,1998,14(2): 135–141.
- [8] 蒙伟光,王安宇,李江南,等.华南前汛期一次暴雨过程中的中尺度对流系统[J].中山大学学报:自然科学版,2003,42(3): 73–77.
- [9] 蒙伟光,王安宇,李江南,等.华南暴雨中尺度对流系统的形成及湿位涡分析[J].大气科学,2004,28(3): 330–341.
- [10] 张润琼,沈桐立.贵州02.6大暴雨的模拟与诊断分析[J].气象,2006,32(1): 95–101.
- [11] 孙建华,赵思雄.华南“94.6”特大暴雨的中尺度对流系统及其环境场研究Ⅱ物理过程、环境场以及地形对中尺度对流[J].气象,2013,39(5).
- [12] 伍志方,曾沁,叶爱芬,等.珠江三角洲短时大暴雨的多普勒特征及成因[J].自然灾害学报,2009,18(5): 119–126.
- [13] 王丛梅,丁治英.河北夏季低涡暴雨的统计研究[J].自然灾害学报,2006,15(5): 69–75.
- [14] 戴廷仁,寿绍文,陈艳秋,等.辽宁地区一次暴雨过程成因的位涡诊断分析[J].自然灾害学报,2006,15(3): 31–36.
- [15] 陶诗言.中国之暴雨[M].北京:科学出版社,1980.
- [16] 薛纪善.1994年华南夏季特大暴雨研究[M].北京:气象出版社,1999.
- [17] 陈炳洪,林良勋,张维.5.23广东特大暴雨过程特点及数值诊断分析[J].热带气象学报,2011,27(5): 738–744.
- [18] 徐蓉,苗峻峰,谈哲敏.南京地区城市下垫面特征对雷暴过程影响的数值模拟[J].大气科学,2013年第6期,1235–1246.
- [19] 田晨,周伟灿,苗峻峰.中国地区下垫面特征对强对流天气影响研究进展[J].气象科技,2012,40(2): 207–212.
- [20] 林毅,刘铭,刘爱鸣.高低空急流在闽西北大暴雨过程中的作用及数值模拟[J].气象科学,2006,26(4): 449–455.
- [21] 赵思雄,傅慎明.2004年9月川渝大暴雨期间西南低涡结构及其环境场的分析[J].大气科学,2007,31(6): 1059–1075.
- [22] 于波,林永辉.引发川东暴雨的西南低涡演变特征个例分析[J].大气科学,2008,32(1): 141–154.
- [23] 郑钢,张铭.一次切变线暴雨过程的诊断研究和数值试验[J].气象科学,2004,24(3): 294–302.
- [24] 杨婷,苗春生,唐振飞.江西“6.19”特大暴雨天气过程诊断分析[J].气象与减灾研究,2010,33(3): 34–41.
- [25] 孙素琴,于爱兵,郑婧.一次梅雨锋暴雨与中– β 尺度低涡及小高压的关系[J].气象与减灾研究,2012,35(2): 23–30.
- [26] 黄晓东,梁巧倩,郑伟杰,等.2009年广东前汛期一次连续性特大暴雨的特征及成因[J].广东气象,2009,(6).

文章编号:1673-8411 (2014) 03-0027-04

近 55 年广西融水县降水气候特征分析

谭敏玲, 何 如, 罗红磊

(广西气象服务中心, 广西 南宁 530022)

摘 要:利用融水县气象站 1959~2013 年的降水资料,采用数理统计和线性倾向估计分析方法,分析了融水县降水分布特征及其变化规律。结果表明:融水县降水分配不均,主要集中在 4~8 月,6 月最多,5 月次之;年暴雨日数 6.9d,暴雨持续时间多为 1d,最长 4d;近 55 年来融水县年降水量和汛期(4~9 月)降水量均呈减少趋势,每 10 年分别减少 16mm 和 6mm,而主汛期(5~8 月)的降水量却呈增多趋势,每 10 年增加 13mm,这预示着融水县未来降水可能更趋于集中在主汛期(5~8 月),发生洪涝灾害的几率可能增多。此外,一日最大降水量呈增多趋势,预示未来降雨强度可能增大;春、秋季的降水量呈减少趋势,提示未来发生春旱、秋旱的几率可能增多。

关键词:降水;线性倾向估计;气候特征

中图分类号:P46

文献标识码:A

Climatic characteristic analysis on the precipitation in Rongshui County of Guangxi during recent 55 years

Tan Min-ling, He Ru, Luo Hong-lei

(Guangxi Meteorological Service Center, Nanning Guangxi, 530022)

Abstract: Based on precipitation data of weather station from 1959 to 2013, in Rongshui, characteristics of precipitation distribution and its variation rules were analyzed by using mathematical statistics and the linear trend estimation analysis method. The results show that distribution of precipitation is uneven, and mainly concentrates in April to August, during which June is in the top of the list, while May take second place; Annual rainstorm days is 6.9 d, heavy rain duration (1d) with longest (4d); There is decreasing trend of annual precipitation and flood season (April to September) during recent 55 years with the precipitation in each decade reducing 16 mm and 6 mm respectively, while the main flood season (May to August) presents increase trend with 13 mm insreasing per decade, which indicates the precipitation may tend to be more focused in the main flood season, and the chance of flooding may increase. In addition, maximum precipitation of per day present up tendency, which means the intensity of precipitation, may increase; spring and autumn precipitation shows a trend of decrease suggesting the chance of spring and autumn drought may increase in the future.

Key Words: precipitation; linear tendency estimation; climatic character

1 引言

融水县地处广西北部,位于柳江中游右岸,地势低洼,每年汛期,当遭到强降雨袭击时,易发生洪涝,给人民生命财产带来一定程度的危害。如近百年来 1902 年、1970 年、1988 年、1994 年、1996 年、2009 年融水县曾发生特大洪涝灾害,柳江水位暴涨,融水县

城严重积水,致使经济建设和群众物质财产遭受重大损失。其中最严重的是 1996 年 7 月的洪灾,县城遭遇百年不遇的特大洪水袭击,水位超警戒 11.48m,融水县城 95% 的街道及建筑物、机关、企业、学校等均被洪水淹没,交通全部中断,洪水灾害损失达 3.18 亿元。1988 年、1994 年的洪水,县城被淹没 80%,洪水造成的损失也相当严重。为此,本文

收稿日期:2014-05-18

作者简介:谭敏玲(1961-),女,广西南宁市人,助理工程师,主要从事专业气象有偿服务工作。

针对融水县降水的气候特点进行分析,为做好降水预报和防灾减灾提供科学依据。

降水是一种最为常见的天气现象,但降水偏多会造成洪涝灾害,偏少又会造成干旱,旱、涝灾害对国民经济、人民生命财产安全都有很大的威胁。多年来,很多气象学者一直致力于降水的研究。任国玉等^[1]利用 1951~1996 年地面气象资料统计得出全国降水量总体上呈微弱增加趋势,但各地区间存在较大差异,增加最显著的地区包括江淮流域和东南沿海;同时东北、华北北部和两北地区也有不同程度的增加。张永领等^[2]分析了长江流域夏季降水的时空特征及演变趋势,得出长江流域夏季降水存在区域性差异。广西地处我国南部,属亚热带季风气候,天气复杂多变,暴雨洪涝频发。对于广西各地的降水已有不少研究^[3-10],并取得了很多有意义的成果。但迄今关于融水县降水的研究相对较少。本文拟利用融水县气象站 1959~2013 年逐日降水资料研究融水县降水的气候特征,对提高当地防御气象灾害的能力具有一定的实际意义。

2 资料与方法

利用融水县气象站 1959~2013 年的逐日降水量资料,分别统计出月、季、年降水量、最大日降水量序列,用数理统计法分析降水量的时间变化特征,用线性倾向估计法分析融水县降水趋势变化。

3 降水的基本特征

3.1 月降水量

融水县位于广西北部,属中亚热带季风气候。受

季风和地形的共同影响,降水分配不均,主要集中在 4~8 月,其中 6 月最多,累年平均月降水量为 366.7mm,5 月次之,为 280.0mm,12 月最少,仅有 42.0mm。在 1959~2013 年间,融水县最大月降水量为 841.6mm,出现在 1998 年 6 月。

3.2 四季降水量

在春夏秋冬四个季节中,降水量主要集中在春、夏两季,占全年总降水量的 78.1%,其中夏季降水最多,占全年的 46.6%,春季次之,占全年的 31.5%。秋、冬两季的降水较少,仅占全年的 21.9%,其中冬季降水最少,仅占全年的 10.2%,秋季次之,占全年的 11.7%。进行对比分析发现,春季和夏季的降水量分别是冬季的 3.1 倍和 4.6 倍,降水的季节差异非常明显。

3.3 年降水量

融水县累年平均年降水量为 1757.5mm。历年降水量波动较大,最大年降水量为 2521.2mm,出现在 1994 年,最小年降水量为 1284.3mm,出现在 2011 年。最大年降水量是最小年降水量的 1.96 倍。

4 暴雨特征分析

根据中国气象局规定的暴雨标准:将日降雨量 $\geq 50\text{mm}$ 定义为暴雨,其中一般性暴雨为 $50\text{mm} \leq \text{日降水量} < 100\text{mm}$,大暴雨为 $100\text{mm} \leq \text{日降水量} < 250\text{mm}$,日降雨量 $\geq 250\text{mm}$ 的为特大暴雨。

4.1 暴雨日数的月际变化

融水县累年平均年暴雨日数为 6.9d,多集中出现在 4~8 月,以 6 月最多,为 2.4d,其次是 5 月,为 1.4d,12 月自有资料记载以来鲜有暴雨过程发生(表 1)。

表 1 融水县累年各月暴雨日数

| 月份 | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 |
|-----------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 暴雨日数(d) | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.5 | 1.4 | 2.4 | 1.3 | 0.6 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0 |
| 占全年百分比(%) | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 7.2 | 20.3 | 34.8 | 18.8 | 8.7 | 1.4 | 2.9 | 1.4 | 0.0 |

4.2 暴雨日数的年代际变化

融水县各年代平均暴雨日数为 72.4d,其中最多的是 70 年代,暴雨日数为 84d;其次是 60 年代,暴雨日数为 76d,80 年代暴雨日数最少,为 54d。融水县暴雨日数年代际变化较大,70 年代到 80 年代有一个骤减的过程,80 年代后暴雨日数又呈现逐渐增减趋势。

4.3 暴雨强度分析

在 1959~2013 年间,融水县暴雨总日数为 392d,其中,大部分暴雨持续时间为 1d,占总数的 92.09%,持续 2d 的暴雨占 6.89%,持续 3d 和 4d 的暴雨均占 0.51%,各出现过 2 次。

有气象记录以来融水县最大暴雨雨量:持续 1d 的雨量为 296.5mm,为特大暴雨,出现在 1966 年 6

月 21 日;持续 2d 的雨量为 315.5mm,出现在 1976 年 7 月 8–9 日;持续 3d 的雨量为 305.4mm,出现在 2000 年 6 月 9–11 日;持续 4d 的雨量为 516.0mm,出现在 1994 年 6 月 13–16 日。

5 降水变化趋势分析

图 1 给出的是融水县全年(1–12 月)、汛期(4–9 月)、主汛期(5–8 月)、春季、夏季、秋季、冬季降水量以及一日最大降水量的线性倾向率分布,图 2、图 3、图 4 给出各时段的降水变化。由图可见,融水县全年降水量和汛期(4–9 月)降水量均呈减少趋势,倾向率分别为 $-15.853\text{mm}/10\text{a}$ 和 $-6.180\text{mm}/10\text{a}$,而主汛期(5–8 月)的降水量却呈增多趋势,倾向率为 $12.952\text{mm}/10\text{a}$ 。在四个季节中,春、秋季的降水量呈减少趋势,夏、冬季的降水量呈增多趋势,其中秋季降水量减少趋势最为明显,其倾向率达到 $-18.482\text{mm}/10\text{a}$ 。此外,一日最大降水量呈略增多趋势,倾向率为 $1.551\text{mm}/10\text{a}$ 。

由上分析可见,融水县未来降水可能更趋于集中在主汛期(5–8 月)或夏季,发生洪涝的几率可能增多,一日最大降水量呈增多趋势,预示未来降雨强度可能增大;春、秋季的降水量呈减少趋势,提示未来发生春旱、秋旱几率可能增多。

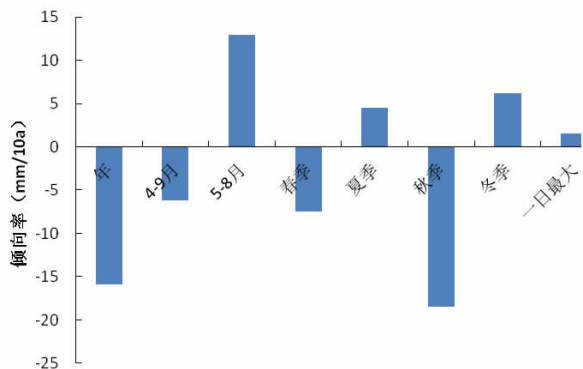


图 1 降水量的线性倾向率图

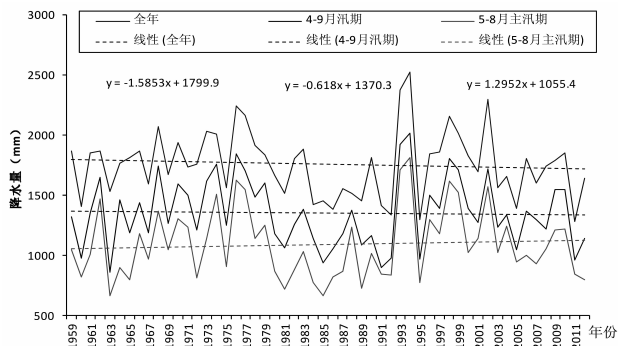


图 2 全年、汛期和主汛期降水量的变化

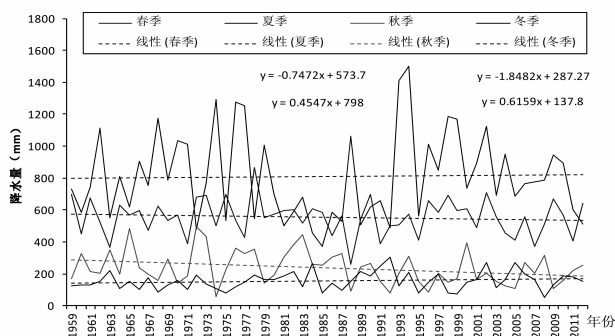


图 3 四季降水量的变化

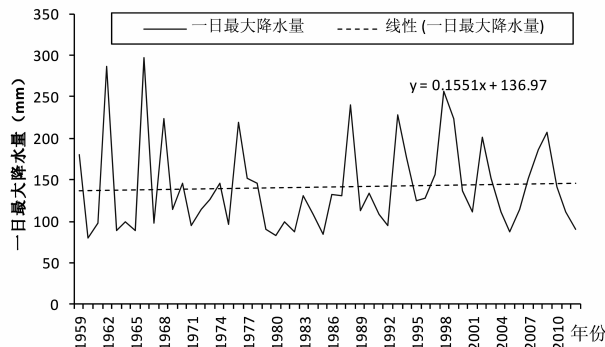


图 4 一日最大降水量的变化

6 结论

(1)通过分析近 55a 融水县的降水资料可知,融水县降水主要集中在 4–8 月,其中 6 月最多;在四季中,春、夏两季降水较多,占全年总降水量的 78.1%;秋、冬两季的降水较少,仅占全年的 21.9%。春季和夏季的降水量分别是冬季的 3.1 倍和 4.6 倍,降水的季节差异非常明显。

(2)通过分析近 55a 融水县暴雨特征可知,融水县年平均暴雨日数为 6.9d,多集中出现在 4–8 月,以 6 月最多;融水县大部分暴雨持续时间为 1d,占总数的 92.09%,持续 2d 的暴雨占 6.89%,持续 3d 和 4d 的暴雨均占 0.51%;持续 1d、2d、3d、4d 的最大暴雨量分别为 296.5mm、315.5mm、305.4mm 和 516.0mm。

(3)通过线性趋势分析可知,近 55a 融水县年降水量和汛期(4–9 月)降水量均呈减少趋势,每 10 年分别减少 16mm 和 6mm。主汛期(5–8 月)的降水量却呈增多趋势,每 10 年增加 13mm。由此推断,融水县未来降水可能更趋于集中在主汛期(5–8 月),发生洪涝灾害的几率可能增多。此外,一日最大降水量呈增多趋势,预示未来降雨强度可能增大;春、秋季的降水量呈减少趋势,提示未来发生春旱、秋旱几

率可能增多。

参考文献:

- [1] 任国玉, 吴虹, 陈正洪. 我国降水变化趋势的空间特征 [J]. 应用气象学报, 2000, 11 (3): 322-330.
- [2] 张永领, 高全洲, 丁裕周, 等. 长江流域夏季降水的时空特征及演变趋势分析 [J]. 热带气象学报, 2006, 22 (2): 161-168.
- [3] 李耀先, 涂方旭, 李桂峰, 等. 广西主汛期降水量异常诊断分析 [J]. 广西气象, 2001, 22 (1): 1-7.
- [4] 况雪原, 钟丽华, 黄雪松, 等. 广西前汛期旱涝特征及成因分析 [J]. 广西气象, 2001, 22 (4): 5-8.
- [5] 林振敏, 姚才, 郑宏翔, 等. 广西 6~8 月分级降水的气候特征 [J]. 气象研究与应用, 2007, 28 (2): 36-41.

- [6] 谢少风, 况雪源, 钟利华. 广西春播期降水变化的气候诊断分析 [J]. 广西气象, 2001, 22 (1): 40-46.
- [7] 覃志年, 何慧, 况雪源. 广西季气温、降水量异常频次的时空分布特征 [J]. 气象研究与应用, 2007, 28 (2): 27-30.
- [8] 黄雪松, 周惠文, 黄梅丽, 等. 广西近 50 年来气温、降水气候变化 [J]. 广西气象, 2005, 26 (4): 9-11.
- [9] 涂方旭, 覃峥嵘, 李耀先, 等. 广西近百年来降水量序列的气候变化特征 [J]. 广西气象, 2000, 21 (2): 30-33.
- [10] 刘蕾, 张凌云, 李家文. 近 52 年柳州地区降水时空分布变化 [J]. 气象研究与应用, 2013, 34 (2): 22-25.

(上接第 14 页)

等指数相关显著。

(3) 粒子群-神经网络方法预测误差低于逐步回归方法, 预报能力有明显提高。

参考文献:

- [1] 蒙远文, 蒋伯仁, 韦相轩, 等. 广西天气及其预报 [M]. 气象出版社, 1989.
- [2] 覃武. 桂西北寒露风偏早和偏晚的原因分析 [J]. 广西气象, 1989, 10 (2): 33-34.
- [3] 李艳兰, 苏志, 涂方旭. 广西秋季寒露风的气候变化分析 [J]. 广西气象, 2000, 21 (S): 55-57.
- [4] 韩礼应. 河池地区寒露风趋势与当年 4 月份 500hPa 极涡的关系 [J]. 广西气象, 1990, 11 (2): 27-29.
- [5] 肖富明. 广西寒露风气候趋势预测概念模型 [J]. 广西气象, 2000, 21 (S): 36-40.
- [6] 黄仁立. 用因子权重集成法作寒露风长期预报 [J]. 广西气象, 1992, 13 (2): 48-49.
- [7] 龙国夏, 李桂峰. 寒露风长期预报方法的探讨 [J]. 中国农业气象, 1988, 10 (4): 35-39.
- [8] 何慧. 南宁地区寒露风趋势的长期预报 [J]. 广西气象, 1996, 17 (3): 12-13.
- [9] 欧坚莲. 用多次回归方法做寒露风初日长期预报 [J]. 广西气象, 1996, 17 (3): 13-14.

- [10] 安晓明. 用因子搭配法作寒露风长期预报 [J]. 广西气象, 1993, 14 (2): 26-27.
- [11] 黎金水. 用双重分析方法作寒露风初日长期预报 [J]. 广西气象, 1990, 11 (1): 35-37.
- [12] 甘一忠. 带周期分析因素的逐步回归方法在寒露风天气预报中的应用 [J]. 广西气象, 1997, 18 (4): 20-22.
- [13] 金龙, 陈宁, 林振山. 基于人工神经网络的集成预报方法研究和比较 [J]. 气象学报, 1999, 57 (2): 198-207.
- [14] 吴建生, 金龙, 汪灵枝. 遗传算法进化设计神经网络具网络气象预报建模研究 [J]. 热带气象学报, 2006, 22 (4): 411-416.
- [15] 金龙, 罗莹, 王业宏, 等. 月降水量的神经网络混合预报模型研究 [J]. 高原气象, 2003, 22(6): 618-623.
- [16] Kennedy J, Eberhart R C. Particle Swarm Optimization [A]. In: Proc IEEE International Conference on Neural Networks [C]. IV Piscataway, NJ: IEEE Service Center, 1995, 1942-1948.
- [17] 吴建生, 刘丽萍, 金龙. 粒子群-神经网络集成学习算法气象预报建模研究 [J]. 热带气象学报, 2008, 24 (6): 679-686.

文章编号:1673-8411 (2014) 03-0031-05

EMD 方法在广西夏季降水量预测中的应用

马 军¹, 陆 甲², 赵金彪³

(1.广西气象信息中心, 广西 南宁 530022; 2.广西气候中心, 广西 南宁 530022; 3.广西气象台, 广西 南宁 530022)

摘 要:对广西夏季降水量进行 EMD 分解后,利用均生函数相关法,比较不同 IMF 分量组合建模的预测,不同组合试验预测显示,用前二个 IMF 分量组合建模预测是最佳的组合方案。经对 2001—2010 年共 10 年广西夏季降水量实际预测检验表明,趋势预测准确率达 70%以上,对夏季降水量预测较有参考价值。为基层台站的气候预测及服务提供一个客观预测方法。

关键词:EMD; IMF 分量; 夏季降水量; 气候趋势预测, 广西

中图分类号:P46

文献标识码:A

Application of EMD Method in Prediction of Summer Precipitation in Guangxi

Ma Jun, Lu jia, Zhao Jin-biao

(1.Guangxi Meteorological Information Center, Nanning 530022;

2.Guangxi Climate Center, Nanning 530022; 3.Guangxi Meteorological Observaotion, Nanning 530022)

Abstract: Based on the EMD and Mean Generation Function relation method, it is put forward that the best composition plan to predict is to use the first 2 IMF components to create a prediction model by the comparsing of the prediction effects of models composed with different IMF components. The result showed that the accuracy rate of tendency prediction from 2001 to 2010 was above 70%, which was valuable to the summer prediction to provided a simple and convenient operation method for meteorological service.

Key words: EMD; IMF components; summer precipitation; climate tendency prediction; Guangxi

1 引言

验模态分解 (Empirical Mode Decomposition, EMD) 方法, 是美国宇航局 Norden E Huang 1998 年提出的一种非线性平稳信号分析方法^[1], 很多气象工作者先后也用于分析不同时间序列的规律或提取趋势^[2-4], 但用于气候预测方面尚不多。万仕全等^[5]和邹明玮^[6]以扬州 530 年旱涝级别(DWI)序列和北半球 1995 年树木年轮 (treering) 序列为例, 采用 EMD 方法、均生函数和最优子集回归方法构建了一个新的预测模型, 结果表明, 具有平稳化的 IMF 分量, 尤其是特征 IMF 分量有较高的可预测性, 它对

原序列趋势的预测有重要指示意义。玄兆燕等^[7-8]采用 EMD 和神经网络方法相结合对石家庄的气温和降水进行预测, 证明 EMD 方法降低了被预测信号中的非平稳性, 其预测精度比直接用神经网络预测的预测精度有较明显的提高; 冯平等^[9]对黄河兰州以上地级水资源分区的年降雨量序列建立了基于 EMD 的径流 BP 神经网络预测模型, 显著提高了模型质量; 李楠等^[10]也证明了利用时间序列 EMD 产生的多个 IMF 分量分别用神经网络进行预测, 比用单一神经网络预测更准确有效; 毕硕本等^[11]用 EMD 结合 SVM 对广西夏季降水量进行了预测, 也证明了比单纯用 SVM 方法要好。然而, 这些基于 EMD 的气

收稿日期: 2014-05-12

基金项目: 广西自然科学基金项目 2011GXNSFA018011。

作者简介: 马军(1984-), 男, 回族, 广西南宁人, 主要从事气象信息处理。

候预测,对于究竟如何组合不同的 IMF 分量进行建模预测效果更好,未见讨论,同时,这些文献中所使用的是数学模型较为复杂的神经网络或 SVM 等一些方法,不便于基层台站日常操作与业务化。因此,本文提出的基于 EMD 的均生函数相关法,从提高预测准确率出发,比较了用不同 IMF 分量组合建模对预测结果所带来的影响。经过 2001—2010 年共 10 年的实际预测检验,气候趋势(正负趋势)预测准确率达 70% 以上,对夏季降水量预测较有参考价值,给气象服务提供一种简单易行而有效的方法。

2 资料及方法

2.1 资料

所用资料为 1951~2010 年广西夏季(6—8 月)降水量(88 个气象站)距平百分率累计值(下称 R68)。而在制作预测检验时,则先把预测年之后各年的 R68 值去掉,作为预测效果评估使用。

2.2 方法

所用预测方法为基于经验模态分解基础上的均生函数相关法。EMD 是将信号中不同尺度的波动或趋势逐级分解,产生一系列具有不同特征尺度的数据序列,每一个序列称为一个本征模态函数(Intrinsic Mod Function, IMF)分量,各分量大大降低了原来的非平稳性,其基本思想^[1]是:假如一个原始数据序列 $X(t)$ 的极大值或极小值数目比上跨零点(或下跨零点)的数目多 2 个(或 2 个以上),则该数据序列就需要进行平稳化处理。具体处理方法是:找出 $X(t)$ 所有的极大值点并将其用样条函数插值成为原数据序列的上包络线;找出 $X(t)$ 所有的极小值点并将其用样条函数插值成为原数据序列的下包络线;上下包络线的均值为原数据序列的平均包络线 $m_1(t)$;将原数据序列 $X(t)$ 减去该平均包络线后即可得到一个去掉低频的新数据序列 $h_1(t)$;

$$X(t) - m_1(t) = h_1(t) \quad (1)$$

一般来讲, $h_1(t)$ 仍然不是一个平稳数据序列,为此需要对它重复上述处理过程。重复进行上述处理过程 k 次,直到所得到的平均包络值趋于零为止。这样就得到了第一个 IMF 分量 $C_1(t)$:

$$h_{1(k-1)}(t) - m_{1k}(t) = h_{1k}(t) \quad (2)$$

$$C_1(t) = h_{1k}(t) \quad (3)$$

第一个 IMF 分量代表原始数据序列中最高频部份。将原始数据序列 $X(t)$ 减去第一个分量 $C_1(t)$,

可以得到一个去掉高频成分的差值数据序列 $r_1(t)$ 。对 $r_1(t)$ 进行上述平稳化处理过程可以得到第二个 IMF 分量 $C_2(t)$,如次重复下去直到最后一个差值序列 $r_n(t)$ 不可再被分解为止,此时 $r_n(t)$ 代表原始数据序列的均值或趋势:

$$r_1(t) - C_2(t) = r_2(t), \dots, r_{n-1}(t) - C_n(t) = r_n(t) \quad (4)$$

Huang 将这样的处理过程形象地比喻成“筛”过程。最后,原始的数据序列可由这些 IMF 分量以及一个残差表示:

$$X(t) = \sum_{j=1}^n C_j(t) + r_n(t) \quad (5)$$

由于每一个 IMF 分量是代表一组特征尺度的数据序列,因此“筛”过程实际上将原始数据序列分解为各种不同特征波形的叠加。

均生函数相关预测法,首先对选中的 IMF 分量根据文献^[12]构造延拓矩阵,再应用 IMF 分量延拓矩阵中的各序列分别与原 IMF 分量计算相关,分别找出相关系数最高的短周期和长周期各一个,最后再合并作出预测。即:

设一维时间序列

$$x(t) = \{x(1), x(2), \dots, x(N)\}$$

建立以均生函数为基础的预报模型,式中 N 为样本量。则均生函数为:

$$\bar{x}_k(i) = \frac{1}{n_k} \sum_{j=0}^{n_k-1} x(i+jk) \quad i=1, 2, \dots, k; k=1, 2, \dots, M \quad (6)$$

式中 $n_k = \text{int}(N/k)$, $M = \text{int}(N/2)$, 对 $\bar{x}_k(i)$ 作周期性延拓,则外延序列为:

$$f_k(t) = \bar{x}_k \left[t - \text{int} \left(\frac{t-1}{k} \right) \right] \quad (7)$$

对不同周期 k 的延拓序列分别与原序列 $x(t)$ 计算相关系数 $R(k)$, 分别在 $k=2$ 到 $M/2-1$ 间和 $k=M/2$ 到 M 间找出最大的一个 $R(k)$ 作为短周期和长周期,然后对长、短两个周期延拓序列进行合并,作为预测值。

3 广西夏季降水量趋势预测

降水是气候系统诸多因子综合作用的结果,降水异常将导致干旱或洪涝等灾害。计算表明,广西夏季降水量,占年降水量 47.5%。众所周知,在亚洲季风区中,夏季是一年气象灾害的高发季节,因此,政府和公众极为关注每年夏季降水量的预测。为了做好防灾减灾气象服务工作,各地气象工作者对当地夏季降水量分析和预测先后做了许多研究^[13-27]。

但是,由于影响气候因素极为复杂,任何一种分析和预测都不可能尽善尽美,多种预测方法综合决策仍将是一定时期内短期气候预测主要作法。为此,有必要探讨更多更有效的方法。本文基于 EMD 的均生函数相关法,以制作 2001 年预测为例,具体做法是:

首先对 1951~2000 年的 R68(N=50)进行 EMD 分解,得出从高频到低频振荡的 5 个 IMF 分量,再计算出各 IMF 分量与原序列的相关系数(下称 R)及各个 IMF 分量的功率谱分析(下称 G)结果(图 1)。从中可看出各 IMF 分量与原序列的相关程度及其是否存在显著周期:IMF2~IMF4 分别有通过 99% 信度的 8、11、16 年周期,IMF1 没有通过信度检验的周期存在,但与原序列序列相关系数 $R=0.65$,而 IMF5 是趋势分量。

现假设仅用第一分量(IMF1)进行均生函数相关法预测,那么,先用 IMF1 通过⑥-⑦式计算延拓序列 $f_k(t)$,然后利用 $f_k(t)$ 与 IMF1 计算相关系数,选出 $k=2$ 到 $M/2-1$ 间最大一个相关系数作为短周期,再选出 $k=M/2$ 到 M 间最大相关系数对应的 k 作长周期,最后把这两个周期延拓序列的 $N+1$ 的值累加,则得到一个预测年的 IMF1 值(图 2)。由图 2 见,

仅用第一个分量预测与实况有着较好拟合(同号率为 76%),预测 2001 年广西夏季总降水量距平百分率值为 12.8 与实况 28.7 有同一气候趋势。

计算表明,广西夏季降水量序列 EMD 分解一般有 5 个 IMF 分量,第一分量一般无显著周期存在,但 R 一般在 0.64 以上;而 IMF2~IMF4 的相关系数 R 一般在 0.30 以上,且有显著周期存在;IMF5 的 R 一般在 0.27 以下。说明 IMF2 以后的各分量已具有平稳性,同时,前 4 个 IMF 包含了原序列的主要信息。显然,用不同 IMF 分量建模,其预测结果是不同的。究竟用哪些 IMF 分量建模预测效果更好?为了找到问题答案,本文分别选取 IMF1、IMF1 和 IMF2、IMF1-IMF3、IMF1-IMF4 和 IMF2-IMF4 等 5 种不同的 IMF 组合,同样用均生函数相关法对 2001—2010 年广西夏季降水量逐年预测。结果见(表 1),采用前 4 种方案的 IMF 组合进行均生函数相关法预测,气候趋势准确率均达 70%以上,特别是只用前 2 个分量建模预测的准确率高达 80%,而如果忽略了 IMF1 的建模预测,气候趋势准确度却很低,甚至大多趋势相反。说明,IMF1 虽仍有一定非平稳性,但却包含有原序列的主要信息,在预测中将起到决定性作用。

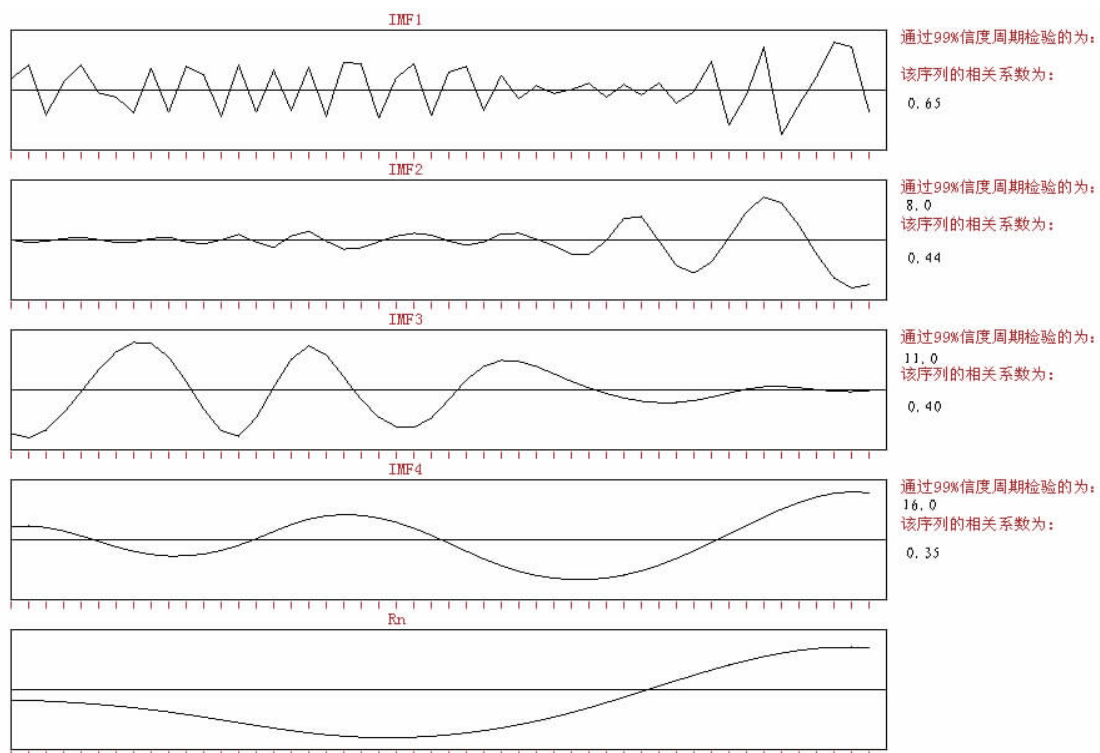


图 1 1951—2000 年广西夏季降水量 EMD 分解各 IMF 分量

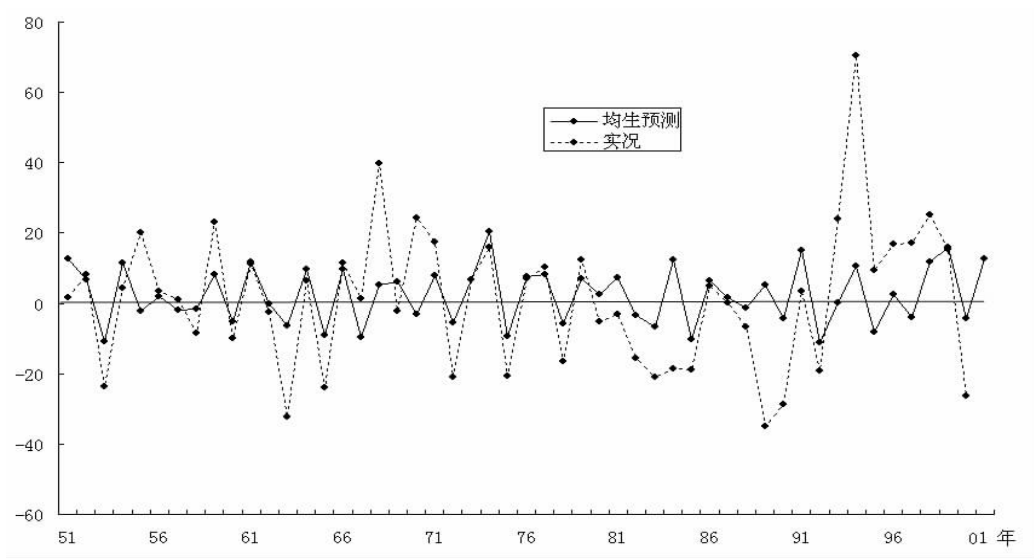


图 2 广西 2001 年夏季降水量 IMF1 趋势预测及拟合

表 1 2001—2010 年广西夏季降水量不同 IMF 建模方案的预测结果及评价

| | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 趋势 准确率 | 均方根 误差 |
|----|------|------|-------|------|------|------|------|------|-------|------|-----------|-----------|
| 前1 | 12.8 | 6.6 | -10.8 | 11.4 | -2.1 | 2.2 | 6.0 | 9.9 | -11.3 | 2.3 | 7/10 | 12.9 |
| 前2 | 12.5 | 6.0 | -8.3 | 15.0 | 0.0 | 1.8 | 3.8 | 6.9 | -13.3 | 2.4 | 8/10 | 18.6 |
| 前3 | 10.3 | 8.1 | -5.3 | 15.5 | -2.9 | 2.3 | 7.4 | 8.0 | -6.2 | 5.4 | 7/10 | 23.2 |
| 前4 | 9.8 | 6.0 | -7.1 | 12.9 | -4.5 | 0.0 | 3.6 | 4.1 | -8.4 | 0.7 | 7/10 | 27.4 |
| 后3 | -3.0 | -0.6 | 3.7 | 1.5 | -2.4 | -2.2 | -2.4 | -5.9 | 2.8 | -1.6 | 3/10 | 33.5 |
| 实况 | 28.7 | 29.8 | -6.5 | 2.2 | 8.8 | 16.1 | -6.7 | 26.8 | -9.5 | -0.3 | | |

表 2 2001—2010 年广西夏季降水量前 5 个本征模态的功率谱计算结果及其与原序列的相关系数

| | | IMF1 | IMF2 | IMF3 | IMF4 | IMF5 |
|------|----|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2001 | R | 0.647 | 0.437 | 0.397 | 0.348 | 0.202 |
| | 周期 | | 8 | 11 | 16 | 16 |
| 2002 | R | 0.699 | 0.318 | 0.339 | 0.369 | 0.233 |
| | 周期 | | 8 | 11 | 16 | 16 |
| 2003 | R | 0.711 | 0.267 | 0.309 | 0.392 | 0.270 |
| | 周期 | | 9 | 11 | 17 | 17 |
| 2004 | R | 0.701 | 0.293 | 0.349 | 0.374 | 0.226 |
| | 周期 | | 8 | 11 | 17 | 17 |
| 2005 | R | 0.692 | 0.298 | 0.361 | 0.369 | 0.207 |
| | 周期 | | 8 | 11 | 17 | 17 |
| 2006 | R | 0.693 | 0.322 | 0.354 | 0.382 | 0.203 |
| | 周期 | | 7 | 12 | 18 | 18 |
| 2007 | R | 0.700 | 0.335 | 0.321 | 0.359 | 0.214 |
| | 周期 | | 9 | 12 | 18 | 18 |
| 2008 | R | 0.700 | 0.319 | 0.329 | 0.360 | 0.189 |
| | 周期 | | 9 | 12 | 18 | 18 |
| 2009 | R | 0.709 | 0.346 | 0.316 | 0.385 | 0.209 |
| | 周期 | | 8 | 13 | 38 | 19 |
| 2010 | R | 0.714 | 0.384 | 0.301 | 0.359 | 0.182 |
| | 周期 | 3 | 8 | 13 | 19 | 19 |

4 结论

在基于 EMD 的均生函数相关预测中, 对广西夏季降水量长达 10 年的实际预测检验表明: 利用不同的 IMF 分量组合建模, 其预测结果是不一样的, 在实际预测中, 研究出究竟怎样组合 IMF 分量预测效果最好, 很有实际意义; IMF1 包含了原序列的主要信息, 很多时候虽仍具有非平稳性, 在预测中是一个必需选取的本征模态分量; 在选取不同 IMF 分量的组合预测中, 选取前二个 IMF 分量进行组合建模预测, 比选取其它组合方式预测效果明显要好。

对广西夏季降水量 10 年的实际预测表明, 基于 EMD 的均生函数相关预测, 气候趋势预测准确率一般可达 70—80%, 在夏季降水量气候趋势预测业务中有一定参考价值。

在气候预测研究中, 最终的目的是如何提高预测准确率。无数实践表明, 衡量一个预测方法的好坏, 绝非算法越复杂、所用资料越多就一定会有效。对于一个基层台站而言, 简单、有效和实用性是实际业务中所追求的目标。

参考文献:

- [1] Norden E H, Zhang S, Steven R L. The empirical decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis [A], Proceedings of the Royal Society of London [C]. London, England, 1998: 903-995.
- [2] 纪玲玲, 林振山, 王昌雨, 等. 福建泉州地区降水量长期变化和未来趋势分析 [J]. 热带气象学报, 2008, 4: 42-46.
- [3] 林振山, 汪曙光. 近四百年北半球气温变化的分析 [J]. 热带气象学报, 2004, 20 (1): 90-96.
- [4] 刘莉红, 翟盘茂, 郑祖光. 中国北方夏半年最长连续无降水日数的变化特征 [J]. 气象学报, 2008 (3): 474-477.
- [5] 万仕全, 封国林, 周国华, 等. 基于 EMD 方法的观测数据信息提取与预测研究 [J]. 气象学报, 2005 (4): 516-525.
- [6] 邹明玮. 基于非线性时间序列分析方法的非线性系统特性研究 [J]. 扬州大学硕士学位论文: 5-30.
- [7] 玄兆燕, 杨公训. 经验模态分解法在大气时间序列预测中的应用 [J]. 自动化学报, 2008 (1): 97-101.
- [8] 玄兆燕, 杨公训. EMD 在地面气温预测中的应用 [J]. 微计算机信息, 2008, 24 (7): -516-525.
- [9] 冯平, 丁志宏, 韩瑞光, 等. 基于 EMD 的降雨径流神经网络预测模型 [J]. 系统工程理论与实践, 2009, VOL. 29, NO.1 152-158.
- [10] 李楠, 曾庆雯. 基于 EMD 和神经网络的时间序列预测 [J]. 西安邮电学院学报, 2007, 12, 1 51-54.
- [11] 毕硕本, 徐寅, 覃志年, 等. EMD 在广西季节降水预报中的应用, 应用气象学报, 2010, 21 (2): 1-5.
- [12] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术 [M]. 气象出版社, 2007: 239-247.
- [13] 况雪源, 钟利华. 南宁百年夏季降水量的奇异谱分析 [J]. 广西气象, 2000, 2: 26-28.
- [14] 覃志年, 金龙, 况雪源. 人工神经网络的短期气候定性预报方法研究 [J]. 气象科技, 2004, 32 (3): 168-172.
- [15] 吴洪宝, 王盘兴, 林开平. 广西夏季降水量潜在可预报性估计 [J]. 应用气象学报, 2005, 16 (4): 445-452.
- [16] 覃志年, 金龙, 何慧. 广西夏季异常降水量的前馈网络预报模型 [J]. 灾害学, 2005, 20 (4): 23-28.
- [17] 周文志, 蒋丽娟, 吴松. 广西夏季旱涝分布规律及同期 500hPa 环流特征 [J]. 自然灾害学, 2009, 18 (4): 132-137.
- [18] 覃卫坚, 李耀先, 廖雪萍. 广西热带气旋的暴雨统计分析 & 数值模拟 [J]. 气象研究与应用, 2013, 34 (1): 1-6.
- [19] 覃卫坚, 黄志, 李耀先. 基于海温、雪盖的影响广西热带气旋频数的气候预测模型研究 [J]. 气象研究与应用, 2013, 34 (3): 1-6.
- [20] 覃志年, 覃峥嵘. 广西 2002 年夏季多雨成因分析 [J]. 广西气象, 2002, 23 (3): 1-6.
- [21] 覃志年. 广西后汛期降水分型预报探讨 [J]. 广西气象, 2002, 23 (2): 22-23.
- [22] 覃志年, 覃峥嵘. 广西 2004 年 7 月降水量异常偏多成因及预测分析 [J]. 广西气象, 2004, 25 (4): 25-27.
- [23] 陈映强, 黄育娇. 基于正交小波分析的揭阳市降水变化特征 [J]. 广东气象, 2013, 35 (1): 11-14.
- [24] 段海花. 等. 东江流域汛期降水时空分布的非均一特征 [J]. 广东气象, 2014, 36 (1): 21-24.
- [25] 李福胜, 张仲. 海口市 1951-2010 年降水的时间序列分析 [J]. 广东气象, 2013, 34 (3): 15-18.
- [26] 凌良新. 等. 潮州市前、后汛期降水量的多时间尺度对比 [J]. 广东气象, 2009, 31 (3): 19-21.
- [27] 李开乐. 章站 PTE 逐日时间序列相似分析预报系统分析 [J]. 广东气象, 1999, (3): 8-10.