

陈青, 廖玉芳, 杨书运, 等. 2014. 低频天气图方法在湖南省雨季强降水过程预报中的应用. 气象, 40(2): 223-228.

# 低频天气图方法在湖南省雨季强降水 过程预报中的应用<sup>\* 1</sup>

陈 青<sup>1,2</sup> 廖玉芳<sup>2</sup> 杨书运<sup>1</sup> 赵 辉<sup>2</sup>

1 安徽农业大学, 合肥 230036

2 湖南省气候中心, 长沙 410007

**提 要:** 利用 2006—2010 年 4—6 月 NCEP/NCAR 500 hPa 高度场和 700 hPa 风场逐日格点资料及湖南省 97 个地面气象观测站逐日降水观测资料, 运用低频天气图方法, 确定影响湖南强降水过程天气关键区, 分析影响湖南强降水过程的低频天气系统活动周期、变化路径及低频天气系统与强降水过程的配置的基础上, 建立了湖南省 4—6 月延伸期强降水过程预报模型, 回报拟合率以 4 月最高, 平均为 64.4%; 5 月次之, 平均为 54.9%; 6 月最低, 平均为 50.7%; 10、15、20、25 和 30 d 等不同预报时效的准确率以提前 30 d 的回报准确率最高。应用于 2011 年 4—6 月强降水过程预报, 准确率为 70%, 其中报对 7 次强降水过程, 空报 3 次, 无漏报。

**关键词:** 低频天气图, 强降水过程, 预报模型

**中图分类号:** P456

**文献标志码:** A

**doi:** 10.7519/j.issn.1000-0526.2014.02.010

## Application of Low Frequency Synoptic Chart to Predicting Severe Precipitation Process in Hunan Province

CHEN Qing<sup>1,2</sup> LIAO Yufang<sup>2</sup> YANG Shuyun<sup>1</sup> ZHAO Hui<sup>2</sup>

1 Anhui Agricultural University, Hefei 230036

2 Hunan Climate Centre, Changsha 410007

**Abstract:** A predicting model, low frequency synoptic chart, is developed to forecast severe precipitation events in Hunan Region based on NCEP/NCAR reanalysis data of 500 hPa height and 700 hPa winds as well as the daily rainfall data from 97 observation stations in Hunan Province during 2006—2010. Meanwhile, the synoptic key regions are determined and the characteristics of low-frequency waves are analyzed. Using historic data for validation, the average fitting rate of hindcast is 64.4% in April, 54.9% in May and 50.7% in June. Compared with the lead time of 10 d, 15 d, 20 d and 25 d, the fitting rate of hindcasts increases to the maximum at the lead time of 30 d. Applying the data to the forecasting of the severe precipitation events from April to June 2011 gives a good prediction result with the accuracy rate reaching 70%, the vacancy rate being 30% and no missing rate.

**Key words:** low frequency synoptic chart method, severe precipitation process, forecasting model

\* 湖南省科技重点项目(2012NK2020)和中国气象局气候变化专项(CCSF201212)共同资助  
2013 年 1 月 11 日收稿; 2013 年 3 月 20 日收修定稿  
第一作者: 陈青, 气候变化与应用. Email: chen\_qing\_11@163.com  
通信作者: 廖玉芳, 主要从事气象灾害研究. Email: lyf13975681873@163.com

## 引言

近年来,随着社会经济和科学技术的高速发展,公众和政府气象服务的需求越来越高,迫切需要气象部门开展10~30 d的延伸期天气过程预报服务,因而大气低频振荡与延伸期预报的应用研究引起了国内外气象学者的广泛关注。

Madden等(1971)通过谱分析1957—1967年坎顿岛(美)观测资料,于1971年最先发现热带大气风场和气压场存在40~50 d周期的低频振荡现象。此后的南亚地区季风试验(Murakami et al, 1984)等进一步推动了低频振荡的研究。Auderson(1983)、李崇银等(1990)、Sun等(1989)等指出低频振荡不仅存在于热带地区,中高纬地区也存在明显的30~60 d周期的低频振荡,并对中高纬度地区大气低频振荡的结构特征、传播规律及其与ENSO和季风的联系等进行了深入的研究。但由于早期资料等条件限制,大气低频振荡的特性并没有运用于延伸期预报。直至近期,大气低频振荡在延伸期天气预报中的应用研究再次活跃(丁一江等, 2010; 李崇银等, 2012)。国外延伸期预报研究主要体现在赤道附近地区的大气低频振荡(MJO)方面,如Wheeler等(2004)利用MJO的8个位相的周期和强度变化试做澳大利亚夏季风降水的中长期预报; Jones等(2004)根据热带季节内对流的异常建立统计预报模型,推断未来4~5候的低频要素场预报。美澳等国家气象部门建立MJO监测业务,定期发布有关MJO产品并将其应用于降水等趋势预报。在我国,丁瑞强等(2007a; 2009b)引入非线性误差增长理论对大气可预报性的时空分布进行了研究,为延伸期预报提供了一定的物理依据;孙国武等(2008; 2010; 2011; 2012)研制出“低频天气图方法”预报上海地区延伸期(10~30 d)强降水过程预报;信飞等(2008)和杨玮等(2011)建立自回归统计模型试做延伸期高度场和降水过程预报。这些研究在延伸期预报方面进行了有意义的理论探索和业务实践,在一定程度上实现短中期、与月季趋势预报预测业务的有机衔接。

湖南省位于长江以南,南岭以北,地势上为云贵高原向江南丘陵和南岭山地向江汉平原的过渡地带,全省东、西、南三面山地环绕,逐渐向中部及东北部倾斜,形成向东北开口不对称的马蹄形;省内河网密布,拥有湘、资、沅、澧四条河流和全国第二大淡水

湖洞庭湖,5 km以上河流5341条,特殊的地理位置及地形导致湖南水害问题尤为突出。本文主要根据孙国武等(2008; 2012)提出的低频天气图方法,结合湖南的天气过程,建立湖南前汛期(雨季)10~30 d强降水过程预报方法,为防灾减灾决策提供科技支撑。

## 1 资料及方法

利用美国国家环境预报中心/国家大气研究中心(NCEP/NCAR)2006—2010年4—6月500 hPa高度场和700 hPa风场逐日再分析资料(水平格点间距为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ ,区域范围为 $10^{\circ} \sim 70^{\circ} \text{N}$ 、 $80^{\circ} \sim 120^{\circ} \text{E}$ ),以及同期湖南省气候中心整编的湖南地区97个地面气象观测站逐日降水观测数据。

主要应用Butterworth带通滤波器对前期150 d时段的逐日风场资料进行处理(保留30~50 d周期),用滤波后的当天资料绘制得到低频流场图,从图中分析低频气旋、低频反气旋等低频天气系统的活动周期和变化路径。规定97个地面气象观测站中日降水量 $\geq 10 \text{ mm}$ 的站数 $\geq 30$ 站为强降水过程的开始日期, $\leq 20$ 站的前一日为强降水过程的结束日期。

## 2 预报模型

### 2.1 关键区

湖南省4—6月强降水过程同时受到中高纬天气系统和低纬天气系统的影响。通过历史个例的统计分析并结合《湖南天气及其预报》(1987),选定关键区为:贝加尔湖地区( $50^{\circ} \sim 70^{\circ} \text{N}$ 、 $80^{\circ} \sim 120^{\circ} \text{E}$ ,简称1区)、新疆地区( $30^{\circ} \sim 50^{\circ} \text{N}$ 、 $80^{\circ} \sim 100^{\circ} \text{E}$ ,简称2区)、河套地区( $30^{\circ} \sim 50^{\circ} \text{N}$ 、 $100^{\circ} \sim 120^{\circ} \text{E}$ ,简称3区)、青藏高原南侧—孟加拉湾地区( $10^{\circ} \sim 30^{\circ} \text{N}$ 、 $80^{\circ} \sim 100^{\circ} \text{E}$ ,简称4区)、华南及其以南地区( $20^{\circ} \sim 30^{\circ} \text{N}$ 、 $100^{\circ} \sim 120^{\circ} \text{E}$ ,简称5区)和西太平洋地区( $20^{\circ} \sim 30^{\circ} \text{N}$ 、 $100^{\circ} \sim 120^{\circ} \text{E}$ ,简称6区),分别代表北方、西方和南方的天气系统(图1)。

### 2.2 低频天气系统活动周期

统计分析2006—2010年4—6月700 hPa低频流场图上各关键区活动周期为20~50 d的低频天气系统特征得出,不同关键区低频天气系统的活动

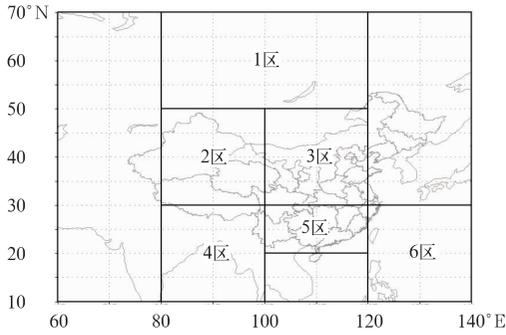


图 1 低频天气系统关键区

Fig. 1 Key areas of low frequency weather system

周期有一定的差异,在 1 区出现的低频天气系统有 16 次、2 区 8 次、3 区 6.5 次(有 1 次属不完整周期,下同)、4 区 12 次、5 区 7.5 次、6 区 14.5 次。选择出现频次最多的周期,确定 1~6 关键区的低频天气系统变化周期分别为 30、25、20、30、20 和 30 d。

图 2 给出了 2006 年 3 月 15 日至 4 月 15 日 700 hPa 低频流场图的分析结果。在 10°~30°N、100°~120°E 区域内,3 月 15 日出现低频反气旋,3 月 25 日消失;4 月 1 日低频气旋生成,4 月 16 日消失,低频天气系统活动周期近 32 d。

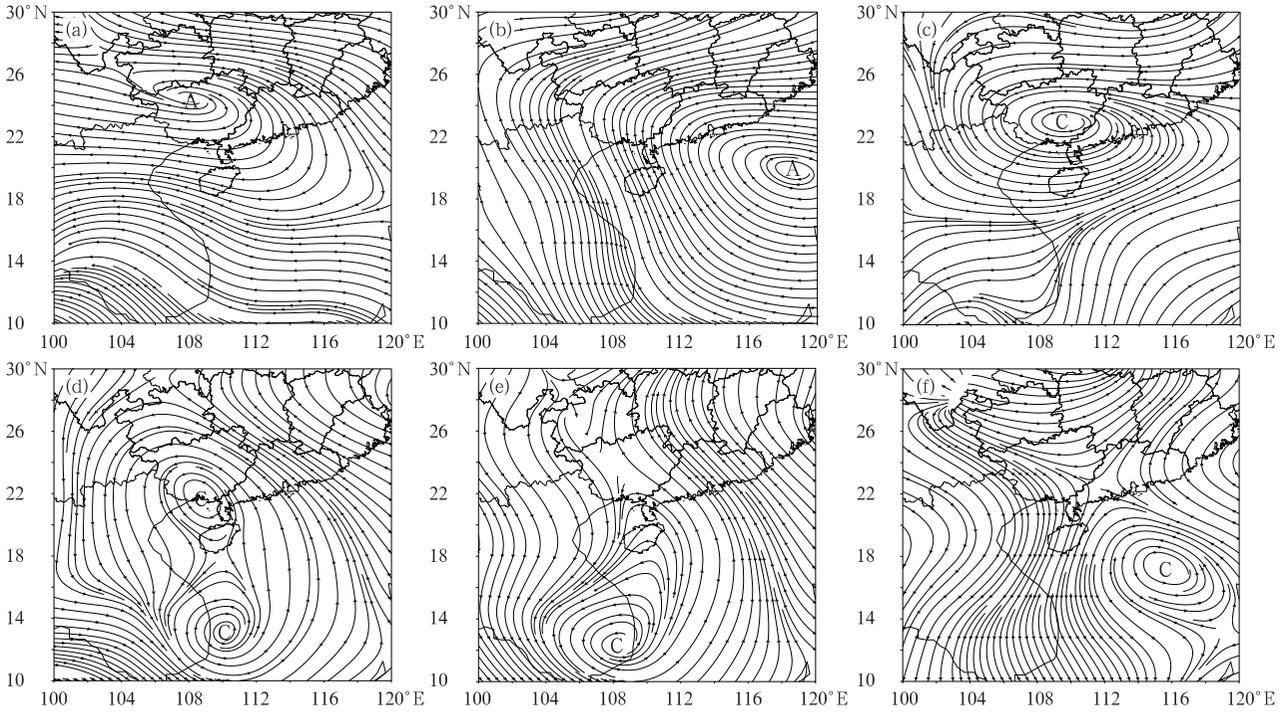


图 2 2006 年 3 月 15 日至 4 月 15 日 700 hPa 低频图

(A 为低频反气旋,C 为低频气旋)

(a)3 月 15 日,(b)3 月 22 日,(c)4 月 1 日,(d)4 月 6 日,(e)4 月 10 日,(f)4 月 15 日

Fig. 2 700 hPa low frequency weather from 15 March to 15 April 2006

(A is anticyclones, C is cyclones)

(a) 15 March, (b) 22 March, (c) 1 April, (d) 6 April, (e) 10 April, (f) 15 April

### 2.3 低频天气系统变化路径

低频天气系统变化路径可以分为两类:振荡型和移动型。振荡型即低频天气系统在某关键区生成并在原地振荡后消失,不移离该关键区。移动型即低频天气系统在某关键区生成后,位相东西传播或南北传播,移出该关键区。统计 2006—2010 年 4—6 月 700 hPa 低频流场图上各关键区低频天气系统的变化路径可得:1 区生成的低频天气系统多为向

东或向东南移动;2、3 区和 5 区生成的低频天气系统多为原地振荡;4 区生成的低频天气系统多为向东或向东北移动;6 区生成的低频天气系统多为向西或向西北移动。

### 2.4 低频天气系统与强降水过程的配置

2006—2010 年 4—6 月湖南省共出现强降水过程 59 次。根据 6 个关键区低频天气系统的演变特征,分析低频高压脊(低压槽)、低频气旋(反气旋)和

湖南省59次强降水过程的配置关系。

2.4.1 低频高压脊(低压槽)与强降水过程

分析500 hPa低频位势高度变化可得,强降水过程发生在1、3、5、6关键区低频波曲线下下降过程和2、4关键区上升过程中。各区低频高度曲线的演变特征表明,1区低频高度曲线下下降反映出该地区有低频低压(槽)维持,利于低频冷空气在该区堆积;2、4区低频高度曲线上升反映出该区有低频高压(脊)

存在,脊前偏北气流有利于引导1区的低频冷气流南下;3、5、6区低频高度曲线下下降反映出该地区有低频低压(槽)存在,有利于西南暖气流北上。

图3给出了5区的低频高度曲线图。从图中可以看出,2007—2010年4—6月出现了42次降水过程,其中发生在5区低频高度曲线下的强降水过程和负位相中的强降水过程分别是9次(9/11)、7次(7/9)、6次(6/11)、8次(8/11)。

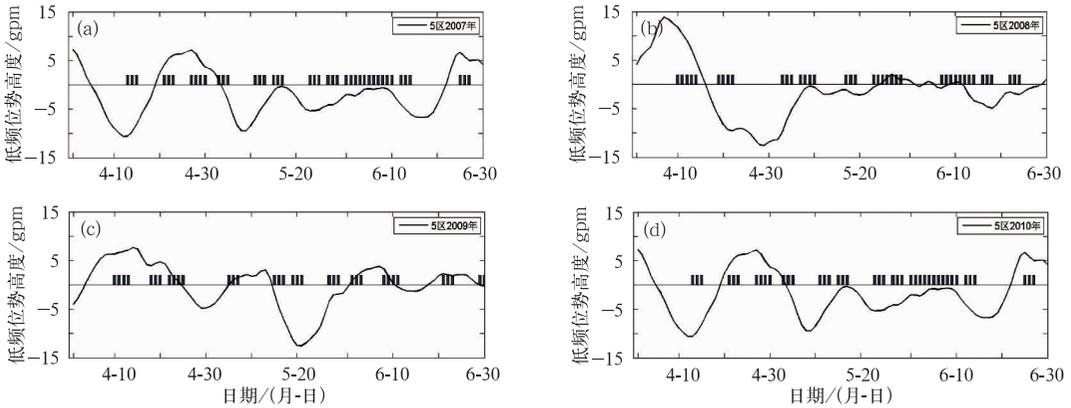


图3 2007—2010年关键5区4—6月500 hPa低频位势高度(曲线)与强降水过程(柱状)

Fig. 3 500 hPa geopotential height (curve) and severe precipitation process (column) in April, May and June in Area 5 during 2007—2010

2.4.2 低频气旋(反气旋)与强降水过程

分析700 hPa低频气旋(反气旋)变化可得,当1区有低频气旋活动时,发生强降水过程22次(22/59),有低频反气旋活动时,发生强降水过程15次(15/59);当2区有低频气旋活动时,发生强降水过程18次(18/59),有低频反气旋活动时,发生强降水过程14次(14/59);当3区有低频气旋活动时,发生强降水过程23次(23/59),有低频反气旋活动时,发生强降水过程14次(14/59);当4区有低频气旋活动时,发生强降水过程20次(20/59),有低频反气旋活动时,发生强降水过程21次(21/59);当5区有低频气旋活动时,发生强降水过程13次(13/59),有低频反气旋活动时,发生强降水过程19次(19/59);当6区有低频气旋活动时,发生强降水过程16次(16/59),有低频反气旋活动时,发生强降水过程19次(23/59)。

合成图上各关键区的低频系统,发现其与图4所示的配置图存在较好的一致性。

2.4.3 预报模型

综合分析其配置状况,建立强降水过程预报模型为:500 hPa低频位势高度图上1、3、5、6关键区低频高度曲线处于下降趋势,2、4关键区低频高度

由此得出,湖南强降水过程与1、2、3区低频气旋活动,5、6区低频反气旋活动,4区低频气旋或反气旋活动有关(图4),且各关键区的低频天气系统并不同时存在。表1列出了7次强降水过程的低频

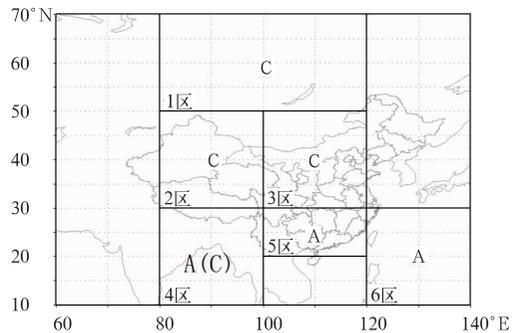


图4 各关键区低频天气系统与湖南省强降水过程配置图

(A为低频反气旋,C为低频气旋)

Fig. 4 Configuration between low frequency weathers in key areas and severe precipitation process in Hunan

(A is anticyclones, C is cyclones)

表 1 强降水过程与 700 hPa 低频流场天气系统  
Table 1 Severe precipitation process and 700 hPa low frequency weather system

强降水开始日期/年月日	强降水结束日期/年月日	1 区	2 区	3 区	4 区	5 区	6 区
20060408	20060415	C	/	/	A	/	/
20060525	20060526	C	/	C	/	/	A
20060603	20060608	C	C	/	A	A	A
20070523	20070526	/	/	C	A	/	/
20070531	20070603	/	C	C	A	/	A
20080526	20080530	C	C	/	A	/	A
20100512	20100515	C	/	/	/	A	/

注:A 为低频反气旋,C 为低频气旋,/ 为无  
Note: A is cyclones, C is anticyclones, / is none

曲线处于上升降趋势;700 hPa 低频流场图上,1、2、3 区至少有一区出现且仅出现低频气旋,5、6 区至少有一区出现且仅出现低频反气旋,则湖南省境内有强降水过程发生。

### 2.5 预报流程

根据预报模型建立强降水过程预报流程(图 5)为:首先根据各区当天的低频天气系统确定统计出的外推周期,得到各关键区未来 10~30 d 的低频天气系统演变趋势,运用上述,制作未来 10~30 d 的强降水过程预报。

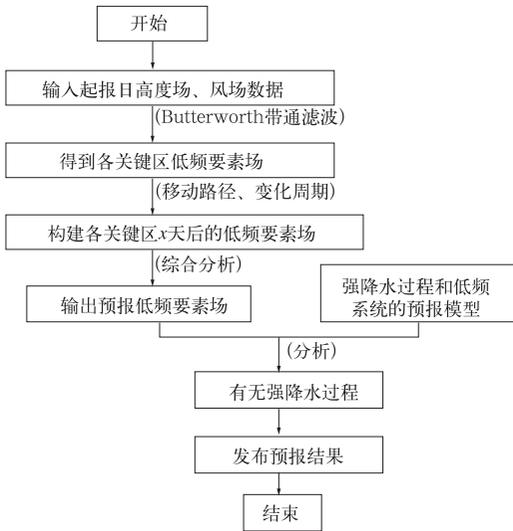


图 5 预报流程

Fig. 5 Forecasting procedures

## 3 模型检验

### 3.1 回报检验

对 2006—2010 年 4—6 月的强降水过程分别提

前 10、15、20、25 和 30 d 进行回报检验(图 6),结果表明,4 月拟合率最高,平均为 64.4%;5 月次之,平均为 54.9%;6 月最低,平均为 50.7%。不同预报时效的准确率以提前 30 d 的回报准确率最高。

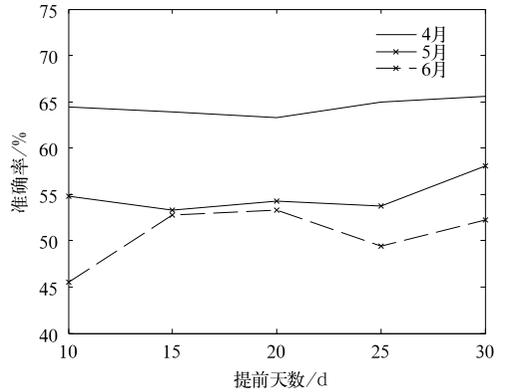


图 6 2006—2010 年 4—6 月回报准确率

Fig. 6 The accuracy of hindcast in April, May and June during 2006—2010

### 3.2 应用检验

2011 年 4—6 月,运用本模型预测湖南地区未来 10~30 d 强降水过程。共进行了 10 次预报(表 2),报对 7 次,无漏报,空报 3 次。其中空报次数所占比例较大,这与低频天气系统的周期变化有关,3 次空报的实际低频系统演变比预报日所推算的变化推迟了 5~15 d,故在实际应用中需要加强对低频系统演变的分析,对模型前期预报结果及时进行修订,以提高预报准确率。

## 4 结论

(1) 运用“低频天气图”方法,确定了影响湖南强降水过程的 6 个天气关键区,在分析天气关键区

表 2 湖南 2011 年 4—6 月预报

Table 2 The forecast results in Hunan from April to June 2011

发布预报时间	预报降水时间	实际强降水时段
2011 年 3 月 15 日	4 月中旬后期	4 月 15—17 日
2011 年 3 月 25 日	4 月下旬后期	无强降水
2011 年 4 月 11 日	5 月中旬前期	5 月 11—13 日
2011 年 4 月 17 日	5 月中旬后期—下旬前期	5 月 21—23 日
2011 年 4 月 25 日	5 月下旬后期	无强降水
2011 年 5 月 1 日	6 月上旬前期	6 月 3—7 日
2011 年 5 月 5 日	6 月上旬后期—中旬前期	6 月 9—11 日
2011 年 5 月 14 日	6 月中旬前期	6 月 13—16 日
2011 年 5 月 21 日	6 月下旬前期	无强降水
2011 年 5 月 25 日	6 月下旬后期	6 月 27—30 日

低频天气系统与强降水过程对应关系的基础上,建立了湖南省前汛期延伸期强降水天气过程预报模型。经过 2011 年应用检验,表明该模型对湖南强降水过程有较好的预报能力。

(2) 本预报模型用于 6 月强降水过程预报准确率偏低,是与主导影响系统的变换有关还是模型建立过程中未考虑季节因素引起的,有待作进一步的分析。

(3) 由于湖南省地形复杂,区域面积广,未来研究考虑分区进行延伸期强降水过程预报,也许能进一步提高预报的准确率,从而更具有实用性。

**致谢:**感谢湖南省气候中心提供的技术指导和湖南省 97 个地面气象观测站逐日降水资料。

## 参考文献

- 程庚福,曾申江,等.1987.湖南天气及其预报.北京:气象出版社.
- 丁瑞强,李建平.2007.误差非线性增长理论及可预报性研究.大气科学,31(4):571-576.
- 丁瑞强,李建平.2009a.非线性误差增长理论在大气可预报性中的应用.气象学报,67(2):241-249.
- 丁瑞强,李建平.2009b.天气可预报性的时空分布.气象学报,67(3):343-354.
- 丁一汇,梁萍.2010.基于 MJO 的延伸预报.气象,36(7):111-122.
- 李崇银,潘静,田华,杨辉.2012.西北太平洋台风活动与大气季节内振荡.气象,38(1):1-16.
- 李崇银,武培立,张勤.1990.北半球大气环流 30—60 天振荡的一些特征.中国科学 化学,20(7):764-774.
- 孙国武,冯建英,陈伯民,等.2012.大气低频振荡在延伸期预报中的

- 应用进展.气象科技进展,2(1):12-17.
- 孙国武,孔春燕,信飞,等.2011.天气关键区大气低频波延伸期预报方法.高原气象,30(3):594-599.
- 孙国武,信飞,陈伯民,等.2008.低频天气图预报方法.高原气象,27(增刊):64-68.
- 孙国武,信飞,孔春燕,等.2010.大气低频振荡与延伸期预报.高原气象,29(5):1142-1147.
- 信飞,孙国武,陈伯民.2008.自回归统计模型在延伸期预报中的应用.高原气象,27(增刊):69-75.
- 杨玮,何金海,孙国武,等.2011.低频环流系统的一种统计预报方法.气象与环境学报,27(3):1-7.
- Anderson. J R, Rosen R D. 1983. The latitude-height structure of 40—50 day variations in atmosphere angular momentum. J Atmos Sci, 40:1454-1591.
- Jones C, Carvalho M V, R W Higgins, et al. 2004. A statistical forecast model of tropical intraseasonal convective anomalies. J Climate, (17):2078-2094.
- Krishnamurt T N, Subrahmanyam D. 1982. The 30—50 day mode at 850 mb during MONEX. J Atmos Sci, 39:2088-2095.
- Madden R A, Julian P R. 1971. Detection of a 40—50 day oscillation in the zonal wind in the tropical Pacific. J Atmos Sci, 28:702-708.
- Murakami T, Nakazawa T, He J. 1984. On the 40—50 day oscillations during the 1979 Northern Hemisphere summer Part ( I ): Heat and moisture budget. J Meteor Sci Japan, 62:469-484.
- Sun Guowu, Chen Baode. 1989. Oscillation characteristics and propagation of atmospheric low frequency waves over Qinghai-Xizang Plateau. CJAS, (12):293-300.
- Wheeler M C, Hendon H H. 2004. An all season real time multivariate MJO index: Development of an index for monitoring and prediction. Mon Wea Rev, (132):1917-1932.