

Application of Low Frequency of Heavy Precipitation Forecast Weather Map in the Sichuan Basin

Yang Liu, Tiangui Xiao, Peirong Li

Atmospheric Science College, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan
Email: 1652208155@qq.com

Received: Jun. 7th, 2018; accepted: Jun. 20th, 2018; published: Jun. 27th, 2018

Abstract

This paper used the 500 hPa wind data in the summer from 2013 to 2017 and daily precipitation data of 132 stations of Sichuan basin to draw a low-frequency weather map and determine eight key areas according to geographical location of the Sichuan Basin. Then we analyzed the relation of low frequency system and summer precipitation by using the Low-frequency weather chart method and established a forecast model for Sichuan Basin summer heavy precipitation. We did a test of heavy precipitation forecast in Sichuan Basin by this method, and we found that there are many empty forecasts. Therefore, we must revise the advanced analytic result of forecast model to improve the accuracy of forecasts greatly. After comparing the results of forecast test with the actual results, we found that the effect by using the low-frequency weather map method for to forecast heavy precipitation in June is much better.

Keywords

Sichuan Basin, Low Frequency Synoptic Map, Low Frequency Key Zones, Forecast Model, Forecast Test

低频天气图在四川盆地强降水预报的应用研究

刘 洋, 肖天贵, 李培荣

成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都
Email: 1652208155@qq.com

收稿日期: 2018年6月7日; 录用日期: 2018年6月20日; 发布日期: 2018年6月27日

摘要

本文所用资料为四川盆地2013~2017年夏季500 hPa风场资料、132站的逐日降水量资料,根据四川盆地的地理位置,绘制低频天气图,确定8个关键区,然后根据低频天气图方法,分析低频系统与夏季强降水的配置关系,建立适合四川盆地夏季强降水预报模型,用此方法对2017年6月~7月四川盆地强降水过程做预报试验,发现空报次数较多,要对模型前期预报的分析结果进行修订,这能大大提高预报的准确率。预报试验的预报结果和实况来对比,发现运用低频天气图方法对预报6月份的强降水过程效果要更好一些。

关键词

四川盆地, 低频天气图, 低频关键区, 预报模型, 预报试验

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

低频天气图是一类新的预报的方法,它与常规的统计学预报、数值预报等方法有所差异,但又存在关联的预报 10~30 天延伸期的预报方法。通常将用滤波器滤波后得到的低频流场图、低频高度场图、低频降水量图等一些低频要素场图称为低频天气图。

近年来,气象灾害频繁发生的高影响天气事件越来越严重,尤其是城市内涝、泥石流、洪灾等极端强降水造成的灾害不容忽视,这对社会经济、农业领域、环境领域以及人民生活等方面产生严重影响,例如在 2010 年受持续强降水影响,长江流域多处发生超警戒洪水,中下游干流不同地点水位上涨,长江流域面临 20 年来的最高水位。2009 年 7 月我国共有 17 个省份超过 60 个站点逐日降水量达到强降水的标准,其中四川较强降雨导致一些乡镇出现洪涝、山体滑坡、泥石流造成通讯、交通中断,部分居民住房严重损毁。2010 年海南出现自 1961 年以来少见的强降水,20 日的平均降水量超过 1060.1 毫米,平均达到暴雨级别的天数为 6.6 天,是 1961 年以来同期最多,导致部分江河水位超过警戒水位,出现严重内涝,部分中小学停课。随着社会经济,科学技术和国家建设的快速发展,政府和公众需要越来越高的气象服务,这对我们气象行业的要求也越来越高。我国气象部门的预报主要为常规预报和月尺度的气候预测,传统观念认为:日天气预报具有周时间尺度的上限,并且气候预测的下限为一个月时间尺度,并且它们之间存在不可预报的时间差。所以用低频天气图的方法来预报“天气预报”和“气候预测”两者 10 到 30 天“时差”的这种预报是具有研究性的。而低频天气图的建立,是基于季节内振荡的特性,通过滤波的方式从中选取低频信号,最后建立 10 到 30 天的天气预报,做好这时段的预报对人们的生活、社会的经济都有重要的意义。本文根据低频天气图方法,结合四川的天气情况,创建四川盆地夏季 10~30 d 强降水过程的预报方法,为政府部门的防灾减灾部署工作预留充足的救灾时间,那么将使防灾减灾工作更具有针对性,这会使公民的生命安全和财产得到保障,减少不必要的损失。

20 世纪 70 年代初热带大气季节内震荡由 Madden and Julian (1971; 1972)发现,后来以 Madden 和 Julian 的名字被称为 Madden Julian Oscillation,是目前全球发现的最强低频信号[1][2]。目前的研究成果是关于

大气低频的研究主要集中在它的活动及其对热带的异常现象以及对全球气候系统的产生的影响，它的数值模拟(预报)研究，以及与厄尔尼诺与南方涛动事件的相互联系这三个方面[3]。由于热带 MJO 的准周期性、与热带对流的密切相关性以及其时间尺度与延伸期预报时效的匹配性，使得 MJO 成为了目前延伸期天气预报的重要桥梁[4]。当前针对热带 MJO 的研究，是用于延伸期预报，针对热带 MJO 的延伸期预报运用的是统计模型和动力模式两种方法，统计模型主要利用滞后回归模型、自回归模型、组合相似法和经验位相传播[5] [6] [7] [8]等方法来实时预报 MJO，也有在多种统计方法相结合的基础上对 MJO 进行集合预报，如韩国利用三种统计学的理论即小波的周期分析、多元线性回归和奇异谱分析相结合的方式来预报对 MJO，再与统计预报相结合，预报时效可以达到 24 天[9]。

基于统计预测模型，信飞根据矢量场的正交分解方法，自回归和多元回归的统计学方法建立了一个低频统计模型(30~50 天)，并创建了未来的 5 候的低频流场图[10]。丁一汇与梁萍基于大气低频信号和低频流场的统计模型，制作出梅雨季节的降水区的延伸期预报流程图[11]。陈丽娟等根据大气环流模式的特点对高程场进行了延伸期的扩展预报[12]。覃志年等通过延伸期预报方法对汛期的暴雨过程做了试验[10]。牛法宝等根据大气低频振荡的特征变化对不同季节的降雨做了延伸期预报的应用，并获得了很好的结果[13]。孙国武提出了运用低频天气图对延伸期降水的预报方法，利用低频天气图上的低频天气系统造成的南北气流辐合进行延伸期降水预报，后来进一步研究出了关键区大气低频预报方法[14]。20 世纪 80 年代末，90 年代初孙国武和章基嘉等就已经有了使用大气低频振荡来制作低频天气图预报中长期天气预报的设想[15]，并且和何金海教授等人共同将低频振荡预报方法应用于气象业务部门[16]。直到 2009 年左右，低频天气系统预报方法才被中国气象局作为一种新的方法进行试验研究，并将这种预报方法应用于气象业务预报中，在最近几年取得了突破性进展，其中上海、江苏、辽宁等地区应用了该方法在汛期强降水预报过程中[17] [18]。通过在不同区域 2008 年~2012 年的应用之后，发现强降水过程 10~45 天的预报的效果是较好的。目前，低频天气图方法在各个气象部门进行推广应用，低频天气图方法作为延伸期天气预报的关键已经成为重点方法之一。

2. 资料和方法

2.1. 资料概况

本文利用资料有：

1) 四川 2013~2017 年 5~8 月逐日 NCEP 再分析数据，水平分辨率为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ ，垂直方向为，海平面，500 hPa，要素场主要包括 U 风场、V 风场，通过处理将 nc 数据转换为 dat 格式，区域范围为 $0^\circ \sim 70^\circ \text{N}$ ， $60^\circ \sim 150^\circ \text{E}$ 。

2) 2013 年~2017 年四川省 155 个站的逐日降水量。因为数据原因，最终选取 132 个站点，四川盆地 132 个站点分布图如图 1 所示。

2.2. 方法

本文通过对比不同滤波器的性能，最后选取 Butterworth 带通滤波器，它可以在序列内提取出物理量的周期，所以一直被广泛运用到气象问题的研究工作中，因为季节内振荡在 30~50 天有时间的周期性、空间的持续性和系统发展的准定常性[19]，所以最终选取滤波带通为 30~50 天。首先，利用低频天气图方法对降水过程做预报，用滤波后的数据建立低频流场图。其次，根据历史各例的统计分析及四川所处地理位置划分出关键区，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。最后分析低频天气系统与强降水过程的配置即强降水过程发生时的低频系统生成的区域、分布及连续出现的频数，

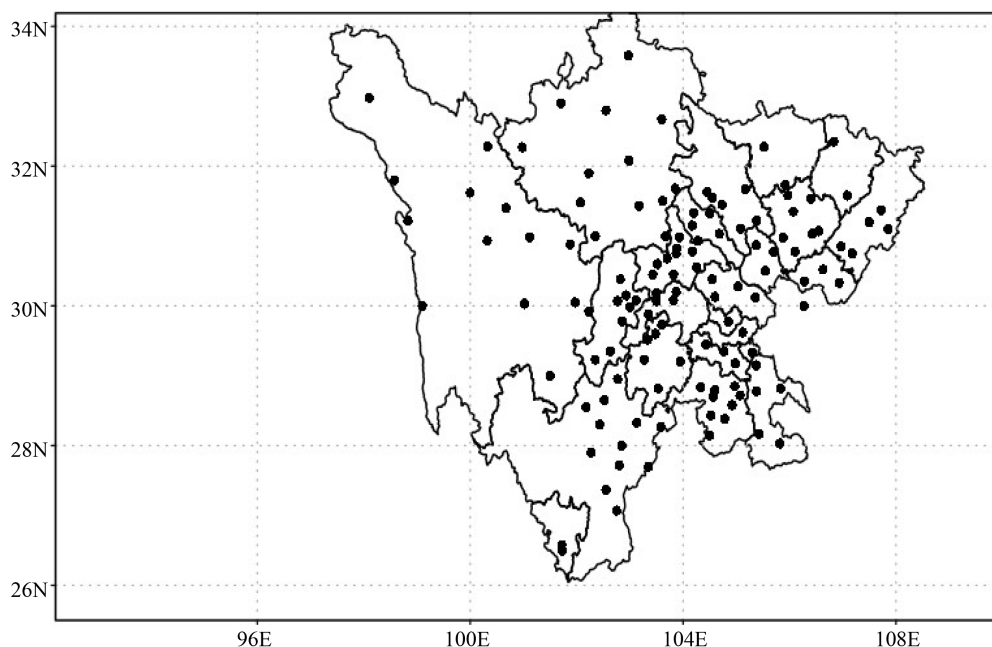


Figure 1. 132 stations in the Sichuan Basin
图 1. 四川盆地 132 个站点分布图

找出最有利于四川强降水过程的低频系统配置，创建四川地区的预测模型，根据外推 30~50 天的方法，来预报自预报日之后 10~30 天中四川地区强降水的发生时段。

3. 低频天气图特征

3.1. 低频天气图的建立

四川省位于 97°21'E~108°33'E 和 26°03'N~34°19'N 之间，在长江的上游位置，居于中国西南，是青藏高原和长江中下游平原的过渡带之间，所有位势高低悬殊，导致川西地势高，川东地势低的特点十分明显，盆地西面海拔高度在 3000 m 以上，多为高原、山地等；盆地东面海拔较西部低，海拔在 500~2000 米之间，多为盆地、丘陵等。由于四川盆地地形的因素，低层的大气变化很复杂，所以本文选取 500 hPa 等压面对其进行分析研究。通过所选取的带通滤波器，滤波所用序列为 U ，滤波后的序列 U_n 中第 n 个数据为：

$$U_n = a_0(U'_n - U'_{n-2}) - b_1U_{n-1} - b_2U_{n-2}, \quad n = 1, 2, \dots, N$$

其中：

$$a_0 = \frac{2\Delta\Omega}{4 + 2\Delta\Omega + \Omega_0^2}, b_1 = \frac{2(\Omega_0^2 - 4)}{4 + 2\Delta\Omega + \Omega_0^2}, b_2 = \frac{4 - 2\Delta\Omega + \Omega_0^2}{4 + 2\Delta\Omega + \Omega_0^2}$$

$$\Delta\Omega = 2 \left| \frac{\sin(\omega_1\Delta t)}{1 + \cos(\omega_1\Delta t)} - \frac{\sin(\omega_2\Delta t)}{1 + \cos(\omega_2\Delta t)} \right|$$

$$\Omega_0 = \frac{4 \sin(\omega_1\Delta t) \sin(\omega_2\Delta t)}{(1 + \cos(\omega_1\Delta t))(1 + \cos(\omega_2\Delta t))}$$

$$\Delta t = 1(\text{d}), \omega_0 = 2\pi/m_2, \omega_1 = 2\pi/m_1, \omega_2 = \omega_0^2/\omega_1$$

式中, N 为时间, m_1, m_2 为滤波的开始时间和结束时间。

将 2013~2017 年 5 月 1 日到 8 月 31 日的 500 hPa 逐日 u, v 合成风场数据通过滤波器滤波, 建立出逐日的低频天气图(如图 2)。根据低频天气图中流场的分布特征, 对低频天气系统的活动周期、低频天气系统的变化路径等参数进行研究, 所谓低频系统及为低频气旋、低频反气旋等天气系统。

3.2. 低频天气系统活动周期

通过历史各例的统计分析, 划分关键区的前提是不阻扰低频天气系统的区域性和完整性, 为了更方便的分析低频天气系统的变化特征, 在低频天气图的区域内划分出若干个区域。由于四川位于亚热带地区, 按经纬度划将其划分为 8 个关键区(图 3), 1 区: 亚热带高压及台风活跃区($0^{\circ}\sim 25^{\circ}\text{N}$, $120^{\circ}\sim 150^{\circ}\text{E}$): 对水汽的输送起平衡的作用; 2 区: 南海海域区域附近($0^{\circ}\sim 25^{\circ}\text{N}$, $100^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$): 水汽的来源地; 3 区: 阿拉伯海、孟加拉湾附近($0^{\circ}\sim 25^{\circ}\text{N}$, $60^{\circ}\sim 100^{\circ}\text{E}$): 水汽的来源地; 4 区: 东海至日本海附近($25^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{N}$, $120\sim 150^{\circ}\text{E}$): 夏季风对降水的影响; 5 区: 蒙古至河套附近($25^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{N}$, $100^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$): 经向风、纬向风的作用; 6 区: 青藏高原及以北地区($25^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{N}$, $60^{\circ}\sim 100^{\circ}\text{E}$): 高原系统对降水的影响; 7 区: 贝湖及以东地区($50^{\circ}\sim 70^{\circ}\text{N}$, $100^{\circ}\sim 140^{\circ}$): 低槽的影响; 8 区: 贝湖以西地区($50^{\circ}\sim 70^{\circ}\text{N}$, $60^{\circ}\sim 100^{\circ}\text{E}$): 脊的强弱。

通过分析低频天气图, 发现低频系统的移动很慢, 但其移动的周期在每个关键区中有较大的差异, 然而, 低频天气图方法的关键又是低频气旋与低频反气旋在各关键区中的周期变化来决定。

本文通过普查 2013~2017 年 5 月~8 月逐日低频天气图, 归纳整理各关键区低频系统的中心位置、移动路径、活动周期等。从而找出低频系统在各关键区内的 30~50 天内的振荡规律, 有时, 先生成低频气旋在生成低频反气旋, 又生成低频气旋或只生成低频气旋或低频反气旋, 或同时生成低频气旋与低频反

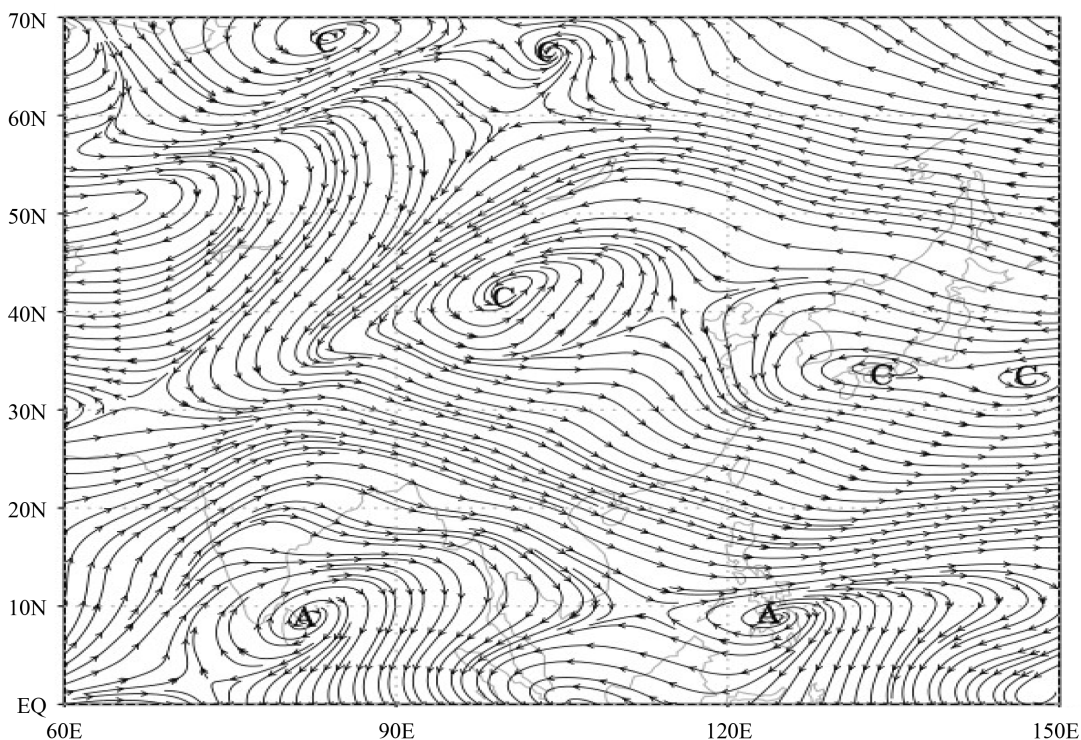


Figure 2. 500 hPa low-frequency weather map (July 4, 2017) (A: low-frequency anticyclone, C: low-frequency cyclone)

图 2. 500 hPa 低频天气图(2017 年 7 月 4 日)(A: 低频反气旋, C: 低频气旋)

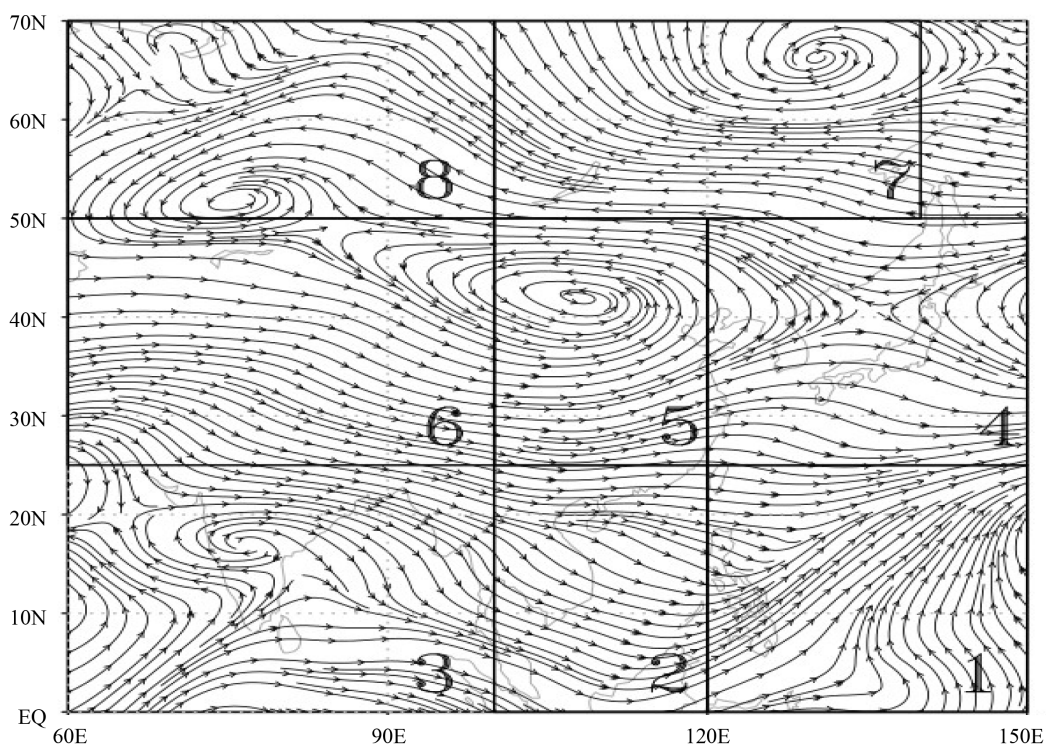


Figure 3. Low frequency weather system critical area
图 3. 低频天气系统关键区

气旋等……，各关键区内的低频系统并不同步。从而整理了各关键区低频气旋与低频反气旋的周期变化(表 1)，由表可以看出关键区 1、3、6 的振荡周期较短，而关键区 4、5、7、8 的振荡周期较长，其中关键区 1、3 属于低纬关键区，关键区 4、5、7、8 属于中高纬关键区。

3.3. 低频天气系统变化路径

低频天气系统的变化方式大致分为了两种及移动型(图 4)和振荡型(图 5)，所谓移动型为低频活动周期内的低频天气系统在某一关键区产生，产生后向东西方向移动，或者向南北方向移动，最后移出产生时的关键区。振荡型路径则是指低频活动周期内的低频天气系统在关键区产生后就原地振荡后自己消亡，始终没有移动出生成时的关键区。通过整理得到 2013~2017 年 5~8 月 500 hPa 低频天气图上各关键区低频天气系统的变化路径为：关键区 1、关键区 2、关键区 3、关键区 5、关键区 6、关键区 7 生成的低频天气系统为移动型，关键区 4、关键区 8 生成的低频系统为振荡型，其中关键区 1、关键区 2 生成的低频系统为向西或东北方向移动；关键区 3、关键区 6 生成的低频天气系统为向东北方向移动；关键区 5、关键区 7 生成的低频天气系统为向东移动；关键区 4、关键区 8 生成的低频天气系统大部分为原地振荡型。

3.4. 低频天气系统与强降水的配置

由于四川盆地地域较复杂，在该地区的降水分布以及降水强度有明显的区域性特征[20]，四川盆地降水主要集中在中部和东部地区，取 2013 年~2017 年 5 月~8 月逐日降水资料，设含有 n 个值的气象要素序列(这里为降水量)按升序排列后为 $X_1, X_2, \dots, X_m, \dots, X_n$ ，则某个随机量值 $\leq X_m$ 的几率可用下式来计算，即： $P = (m - 0.31)/(n + 0.38)$ ，其中： m 为 X_m 的序号； n 为气象要素序列的个数；常值为经验

Table 1. Low-frequency synoptic oscillation period in key areas (unit: days)**表 1.** 各关键区低频天气图振荡周期(单位: 天)

关键区	1 区	2 区	3 区	4 区	5 区	6 区	7 区	8 区
气旋 C	12	15	12	19	22	10	26	18
反气旋 A	13	16	9	18	21	12	19	20

系数。第 95 个百分位值是 $P = 95\%$ 相应的 X_m 的值, 定义四川强降水事件的阈值为第 95 百分位的降水量。当某观测站的日降水量超出阈值时, 规定该观测站产生了 1 次极端降水事件。通过计算, 得到四川盆地第 95 百分位的降水极端事件的阈值平均值为 32.1 mm。盆地绝大部分的降水量都能达到 20 mm, 所以在实际业务中为了与天气预报更好的对应, 将强降水阈值定为 20 mm, 此降水量为大雨级别。根据这个等级, 制定四川地区夏季强降水过程的标准, 当盆地地区内超过 40 个台站的日降水量 ≥ 20 mm, 为一个强降水日。通过普查得到 2013~2017 年 4 月~8 月四川盆地共出现强降水过程 42 次, 其中 2017 年 7 月 7 日为一次强降水日, 降水分布如图 6。

分析 500 hpa 低频天气图, 统计各关键区内低频气旋与反气旋生成的频数, 得到当低频气旋在关键区 1 中活动时, 强降水发生的次数为 18 次(18/42), 当低频反气旋在关键区 1 中活动时, 强降水发生的次数为 12 次(12/42); 当低频气旋在关键区 2 中活动时, 强降水发生的次数为 13 次(13/42), 当低频反气旋在关键区 2 中活动时, 发生强降水的次数为 16 次(16/42); 当低频气旋在关键区 3 中活动时, 强降水发生的次数为 21 次(21/42), 当低频反气旋在关键区 3 中活动时, 强降水发生的次数为 14 次(14/42); 当低频气旋在关键区 4 中活动时, 强降水发生的次数为 14 次(14/42), 当低频反气旋在关键区 4 中活动时, 发生强降水的次数为 13 次(13/42); 当低频气旋在关键区 5 中活动时, 强降水发生的次数为 11 次(11/42), 当低频反气旋在关键区 5 中活动时, 强降水发生的次数为 6 次(6/42); 当低频气旋在关键区 6 中活动时, 强降水发生的次数为 18 次(18/42), 当低频反气旋在关键区 6 中活动时, 强降水发生的次数为 19 次(19/42); 当低频气旋在关键区 7 中活动时, 强降水发生的次数为 13 次(13/42), 当低频反气旋在关键区 7 中活动时, 强降水发生的次数为 19 次(19/42); 当低频气旋在关键区 8 中活动时, 强降水发生的次数为 23 次(23/42), 当低频反气旋在关键区 8 中活动时, 强降水发生的次数为 16 次(16/42)。

4. 低频天气图在四川盆地的应用

4.1. 建立四川盆地夏季强降水低频预报模型

本文整理统计 42 个强降水日在 8 个关键区中低频系统出现的频数、活动周期、移动路径等特征, 分析低频系统配置对四川盆地强降水的作用, 制作出符合四川盆地强降水的低频预报模型(图 7)。图中的 A 与 C 分别表示低频气旋和低频反气旋。由图可以得到, 在关键区 1、关键区 3、关键区 5、关键区 8 中有低频气旋活动时, 关键区 2、关键区 7 中会出现低频反气旋活动, 而关键区 4、关键区 6 中则有低频天气系统配合另外 6 个关键区活动, 此时, 来自北方的冷空气(箭头(1))与来自南方的暖湿气流(箭头(2))在四川盆地内交汇, 这种形势很有利于强降水过程的发生, 这也是低频天气图预报方法所阐述的重要的符合形势的模型。这种预报模型不仅考虑了南北气流相遇, 还考虑了地形因素及局地小地形和川北的大巴山的抬升作用、西太平洋亚热带高压环流西侧的西南暖湿气流、西南低涡的发展、南海的东南气流、孟加拉湾西南气流、向东移动的高原系统、印度季风槽等实际的大气环流中关键的天气系统对盆地降雨的影响。这样使得关键区内的低频天气系统与实际强降雨天气过程有相应的配合关系, 证明了使用低频天气图进行 10~30 天的天气预报是可以应用降雨过程的。

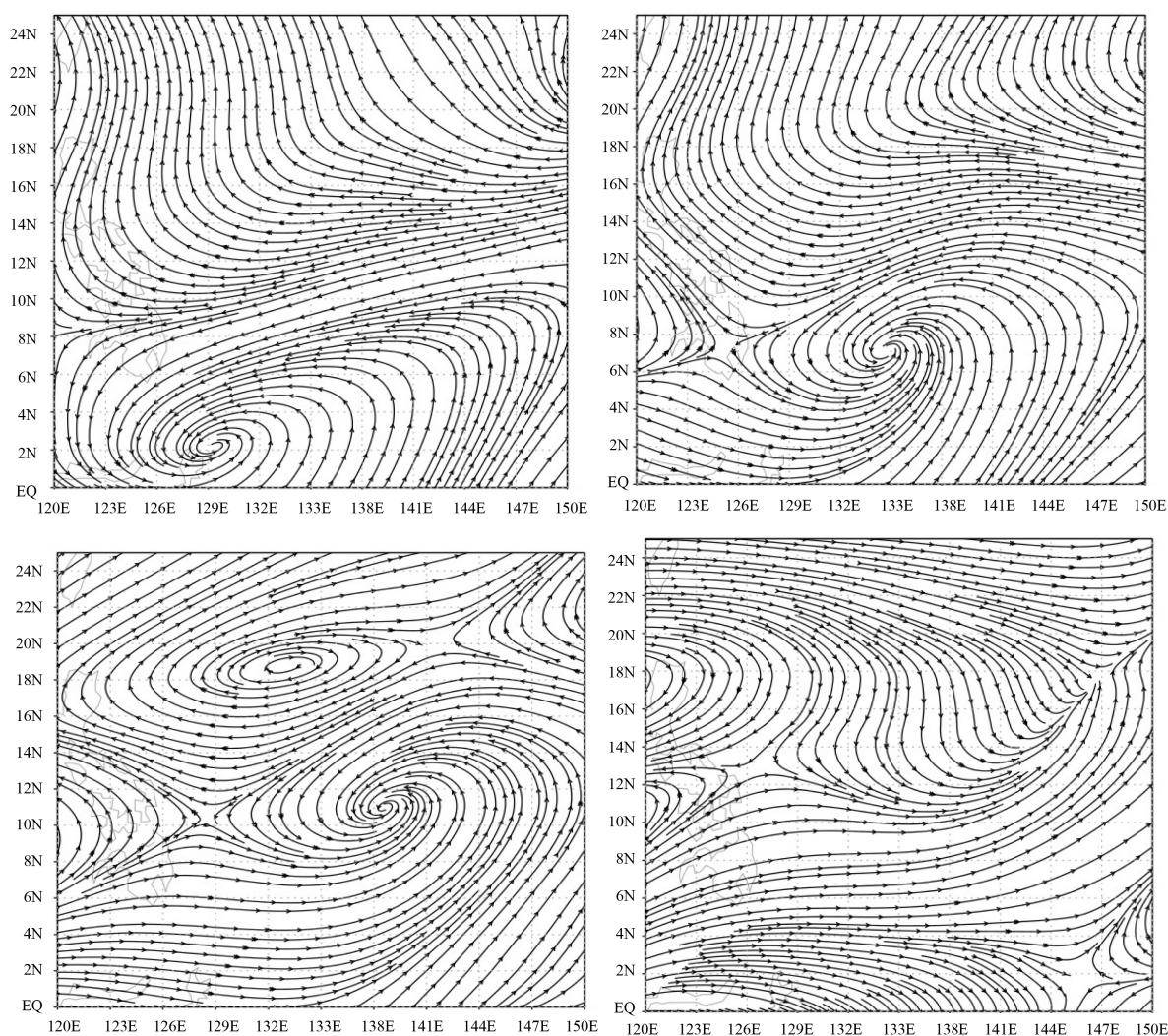


Figure 4. Mobile change path

图 4. 移动型变化路径

4.2. 强降水过程的预报流程

本文通过四川盆地强降水低频预报模型，整理出强降水的预报流程(图 8)，第一步为资料的选取，主要取区域流场等格点资料，通过滤波，绘制出低频天气图，然后根据四川盆地的地理条件及位置确定关键区，分析关键区内低频系统及低频系统与强降水之间的关系，最后建立强降水的低频预报模型，确定关键区中低频系统生成及周期，做出相关预报。

4.3. 2017 年四川夏季强降水过程预报应用

受青藏高原系统的移动、西南涡的发展、南海东南气流和西南季风等因素的影响，四川盆地汛期主要发生在 5 月~9 月，本文根据低频天气图方法，建立四川地区强降水低频预报模型，主要将 2017 年夏季 6 月~7 月的强降水过程应用于此预报模型中，对其进行预报试验(表 2)。由于季节内振荡有 30~50 天的时间周期性、空间持续性和系统生成的准定常性，所以在每次预报时需要分析前 30 天的逐日低频天气图，整理记载各个关键区中低频系统的生成时间、变化路径，切合预报模型中与低频系统变化一致的日

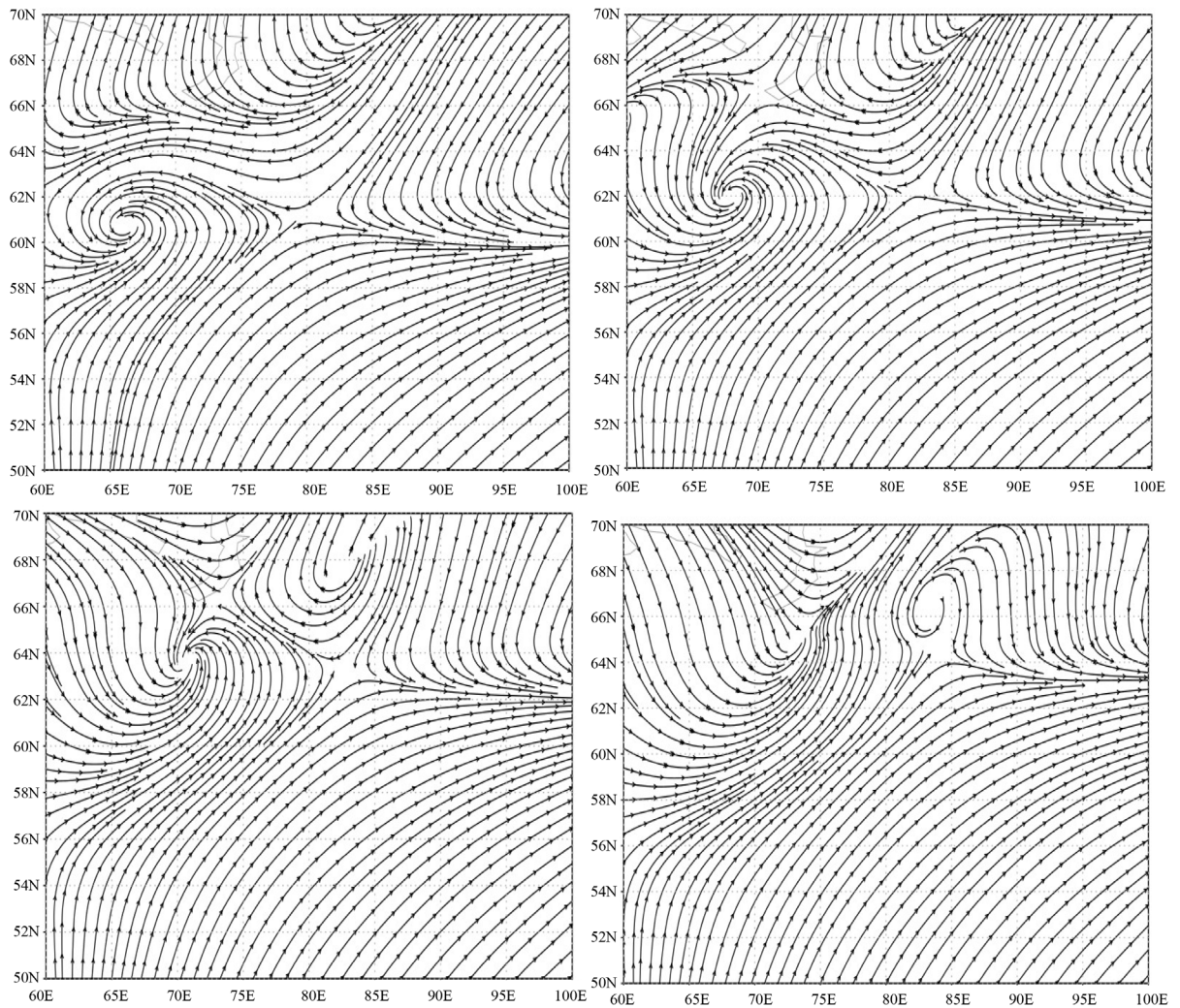


Figure 5. Oscillatory change path
图 5. 振荡型变化路径

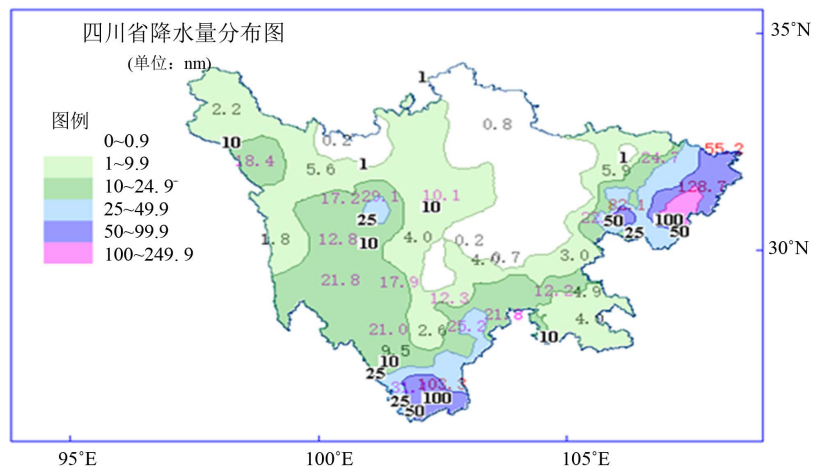


Figure 6. Sichuan Province, July 7, 2017 heavy precipitation daily precipitation distribution map
图 6. 四川省 2017 年 7 月 7 日强降水日降水分布图

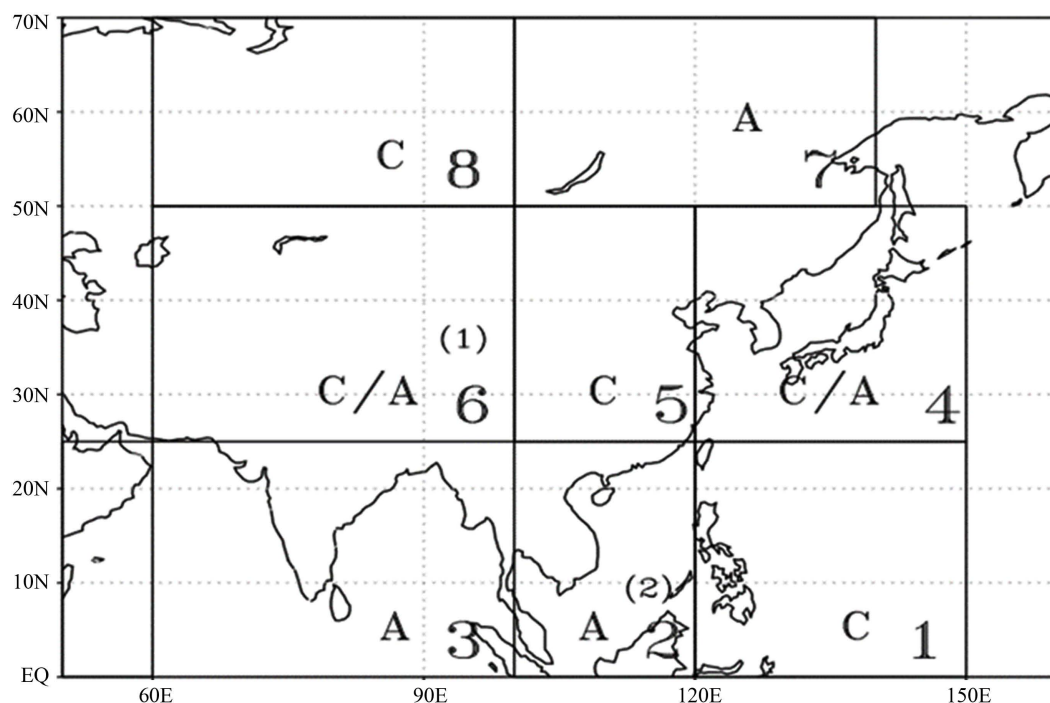


Figure 7. Low-frequency prediction model of heavy precipitation in Sichuan Basin (C: low-frequency cyclone, A: low-frequency anticyclone, arrow (1): cold air in the north, arrow (2): warm south air in the south)

图 7. 四川盆地强降水低频预报模型(C: 低频气旋, A: 低频反气旋, 箭头(1): 北方冷空气, 箭头(2): 南方暖湿空气)

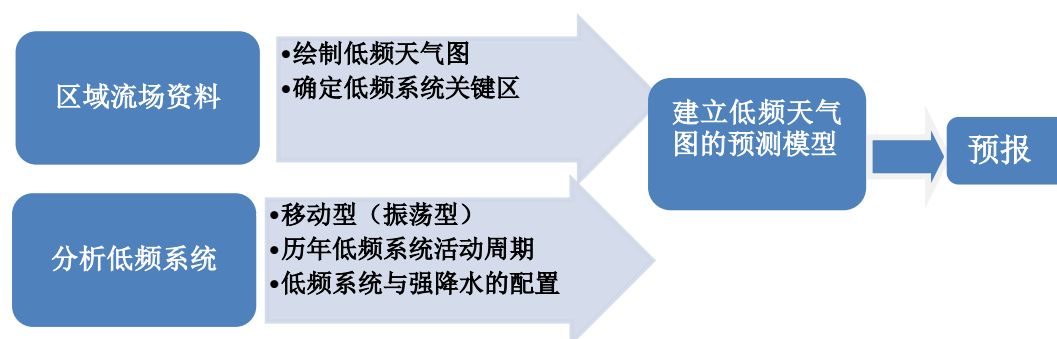


Figure 8. Forecast process

图 8. 预报流程

期, 依据统计出低频系统在各关键区的周期, 来外推未来 10~30 天中有与低频预报模型中低频系统配置符合相对应的时段, 这个时段则是发生强降水可能性最大的时间。

本次试验预报降水过程 13 次, 预报过程中正确有 8 次, 特别是 7 月 5 日~7 日预报十分准确, 达州站特大暴雨(如图 9)带来很大损失, 提前 25 天预报出来将减少一些损失, 漏报 2 次, 空报 3 次, 发现正确率为 61.53%, 同时发现空报次数较多, 这是因为低频天气图的周期变化的原因, 3 次空报的时间的实际低频系统的变化比预报时间推迟 10~20 天, 所以实际应用时对低频系统的变化的分析不能忽视, 2 次漏报分别是 6 月下旬与 8 月上旬的两段时间内, 其中 6 月 30 日至 7 月 2 日为漏报, 这时间段甘孜内有暴雨的产生, 若漏报, 将会产生一些气象灾害, 给公众的生活带来一些损害, 所以要对模型前期预报的分析结果进行修订, 这能大大提高预报的准确率。总的来说, 低频天气图方法用于四川盆地的强降水过程

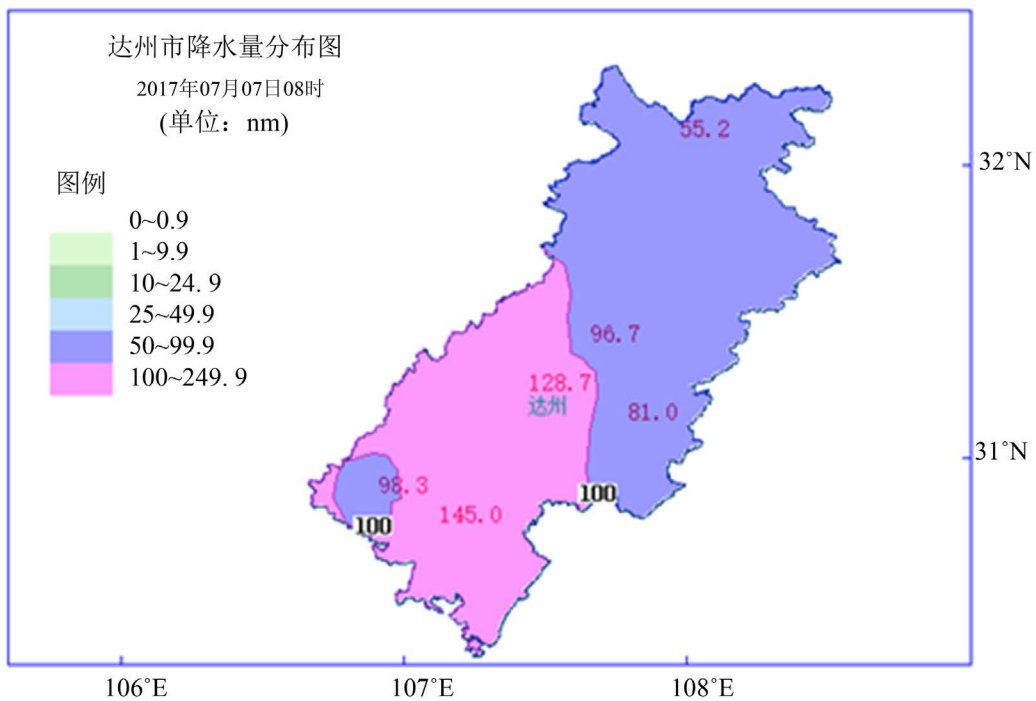


Figure 9. Precipitation in Rida Prefecture with heavy precipitation
图 9. 强降水日达州降水量分布图

Table 2. Prediction of heavy precipitation process in Sichuan Basin from June to July 2017
表 2. 2017 年 6~7 月四川盆地强降水过程预报

预报起始时间	预报降水时段	实际降水时段	降水实况
6 月 9 日	6 月 22 日~27 日	6 月 24 日	暴雨
	漏报	6 月 30 日~7 月 2 日	暴雨
	7 月 5 日~7 日	7 月 5 日~7 日	大到暴雨(达州站特大暴雨)
6 月 19 日	7 月 4 日~7 日	7 月 5 日~7 日	大到暴雨(达州站特大暴雨)
	7 月 12 日~16 日	7 月 14 日~17 日	暴雨
6 月 29 日	7 月 13 日~16 日	7 月 14 日~17 日	暴雨
	7 月 19 日~20 日	空报	错误
7 月 9 日	7 月 21 日~24 日	7 月 21 日~22 日	大到暴雨
	7 月 27 日~30 日	空报	错误
7 月 19 日	8 月 2 日~6 日	8 月 3 日~7 日	暴雨
	漏报	8 月 14 日~18 日	暴雨
	8 月 21 日~22 日	8 月 21 日~22 日	暴雨
7 月 29 日	8 月 13 日~18 日	8 月 14 日~18 日	暴雨
	8 月 22 日~24 日	空报	错误

的预报结果是比较成功的。通过分析还发现预报试验的预报结果和实况来对比，发现运用低频天气图方法对预报 6 月份的强降水过程效果要更好一些。

4.4. 低频天气图的天气学意义

低频天气系统与常规天气图上的天气系统存在较大的差别, 低频天气系统所反映的是某些天气过程中天气系统的发生、维持、变化的过程。通过分析 2017 年某一强降水日的低频流场图(图 10(a))和实况流场图(图 10(b))。发现, 低频气旋和低频反气旋的生成的位置在四川盆地所在的 30°N 附近汇合, 相应的低频偏北降水过程的气流与低频偏南气流在四川盆地的分布与其低频系统分布相对应, 同时期实况流场图上的变化也是如此, 从实况流场图上也可以得到偏北气流与偏南气流在四川盆地所在的 30°N 附近汇合。低频天气图上偏南气流可以反映暖而湿的气流北上, 两支气流分别来源于东亚季风、印度季风; 而偏北气流则反映出中高纬区域的冷空气南下。冷空气与暖湿空气在该地区汇合, 是造成降水过程的重要因素。虽然低频天气系统与实况天气系统有所差异, 但两者的环流系统是相互关联的。低频气旋对应的环流系统为实况天气图上的气旋, 低频反气旋所对应的环流系统是实况天气图上的反气旋。然而低频天气系统有 30~50 天低频振荡, 其特点是有明显的时间周期性、空间持续性和系统生成的准定常性, 在实况的天气图上的大气环流并不没有这些时空特点, 所以在 30 天以前做不出相关预报。这也说明了低频天气系统对于大气环流系统的变化也起到相应的作用。

以四川地区为例, 来分析低频气旋、低频反气旋与实况环流系统的联系, 2017 年四川大部分地区暴雨时间在 6 月下旬至 7 月上旬, 如图 10(a)、(b)可得: 在蒙古至河套地区有一低频反气旋, 而相应的在四川地区有相对应的低频的偏南气流相对应。随着蒙古至河套的低频反气旋向南移动, 在阿拉伯海、孟加拉湾地区生成低频气旋。低频气旋与低频反气旋在四川盆地 28°N 附近汇合并停留, 导致暴雨的形成。

4.5. 完善技术

任何新预报技术方法都不是固定的, 需要通过实践检验, 在实践中改进、充实和完善, 甚至借鉴吸取其他方法的经验, 才能为之所用, 下面从三个方面进行探索与思考:

1) 低频天气图方法有很明显的地域性, 适合在区省、市的气象单位进行应用推广。但应用时, 需要着重考虑地域的大气环流、天气系统、地形地理等方面的特点, 把这些特点加在低频天气图方法中, 就会得到比较有地域性的低频天气图方法。

2) 低频天气图方法要以天气动力学原理为基础, 把实际天气图(未滤波)上的高频变化的天气系统滤去, 改为具有缓变特征的低频天气图上的低频系统。

3) 低频天气图方法预报流程中, 有几个预报流程(关键区的选择、低频图的分析 and 预测模型的建立)非常重要。如分析低频天气图, 作为预报人员要对天气学原理和技术规则十分了解, 能够读懂低频天气图, 了解低频系统的演变特征, 这是低频天气图方法的基本功。

5. 结论

本文建立逐日低频天气图, 普查低频系统的周期, 分析低频系统的移动路径来阐述低频天气图的特征, 在联系与强降水的配置关系, 得到低频天气图上低频系统生成位置, 与实际大气环流中有利于产生降水的天气系统位置相对应。这说明通过低频天气图方法来预测夏季 10~30 天强降水的产生, 在天气学方面是有意义的。

确定符合四川盆地夏季强降雨时段的低频系统的关键区, 分别为亚热带高压及台风活跃区(1 区)、南海海域区域(2 区)、阿拉伯海、孟加拉湾附近(3 区)、东海至日本海附近(4 区)、蒙古至河套附近(5 区)、青藏高原及以北地区(6 区)、贝湖及以东地区(7 区)、贝湖以西地区(8 区), 其中关键区 1、3、6 的振荡周期较短, 而关键区 4、5、7、8 的振荡周期较长, 其中关键区 1、3 属于低纬关键区地区, 关键区 4、5、7、8 属于中高纬关键区。

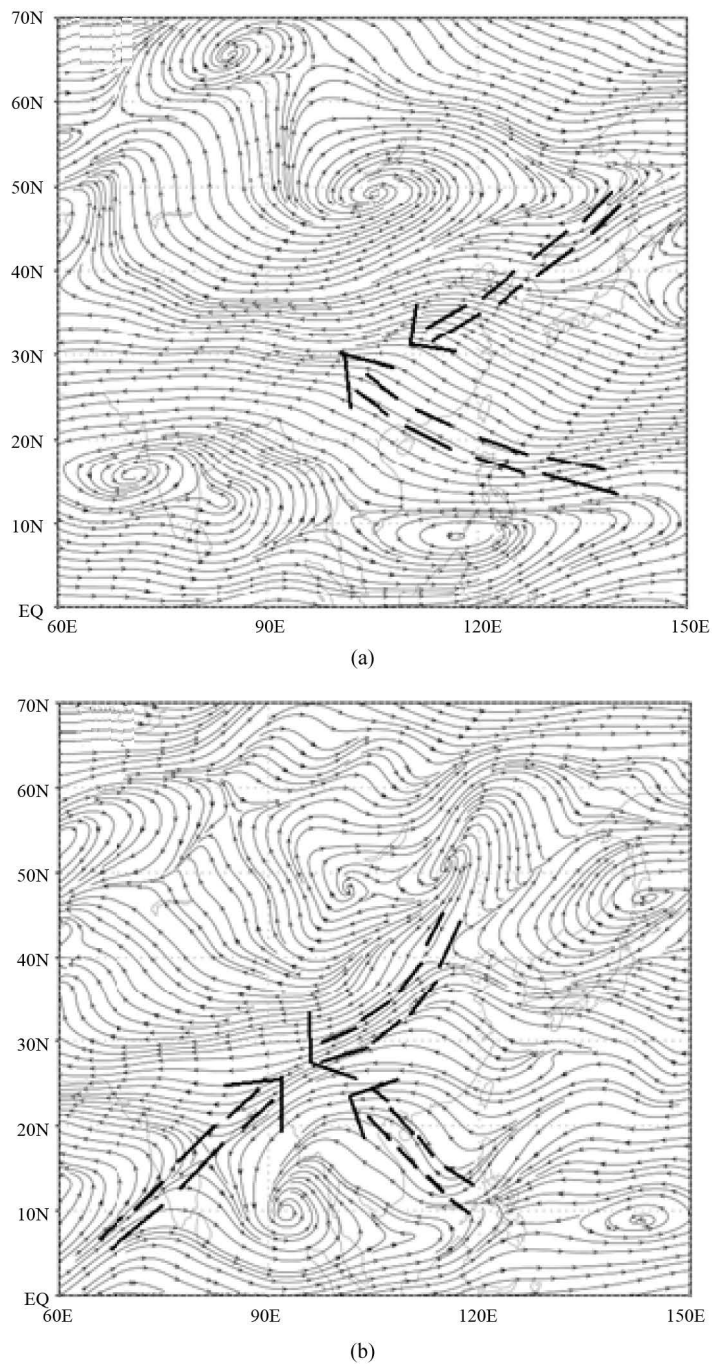


Figure 10. June 23, 2017 Flow Field Map ((a) Low Frequency Flow Field Diagram, (b) Live Flow Field Diagram)

图 10. 2017 年 6 月 23 日流场图((a)低频流场图, (b)实况流场图)

分析四川盆地强降水与低频系统配置的关系，制作出四川盆地低频天气图的预报模型。关键区 1、关键区 3、关键区 5、关键区 8 中有低频气旋活动时，关键区 2、关键区 7 中会出现低频反气旋活动，而关键区 4、关键区 6 中则有低频系统配合另外 6 个关键区活动，此时最有利于强降水过程的发生。这不仅考虑了南北气流相遇的原因，还考虑了不仅考虑了南北气流相遇，还考虑了地形因素及局地小地形和

川北的大巴山的抬升作用、西太平洋亚热带高压环流西侧的西南暖湿气流、西南低涡的发展、南海的东南气流、孟加拉湾西南气流、向东移动的高原系统、印度季风槽等实际的大气环流中关键的天气系统对盆地降水的影响。

最后利用低频天气图方法,对2017年夏季6月~7月强降水过程进行预报应用,得到的结论是,预报降水的正确率为61.53%,同时发现空报次数较多,这是因为低频天气图的周期变化的原因,3次空报的时间的实际低频系统的比变化预报时间推迟10~20天,所以实际应用中对低频系统的变化的分析不能忽视,并且要对模型前期预报的分析结果进行修订,这能大大提高预报的准确率。总的来说,低频天气图方法用于四川盆地的强降水过程的预报结果是比较成功的。通过分析还发现预报试验的预报结果和实况来对比,发现运用低频天气图方法对预报6月份的强降水过程效果要更好一些。

致 谢

本文是在肖天贵老师的指导下完成的,不管是开始定题目还是在查资料准备以及撰写论文的全过程中,肖老师一直都耐心地给予我指导和意见,使我在思考问题及撰写论文方面都有了很大提高;在每次设计遇到问题时老师不辞辛苦的讲解才使得我的论文顺利的进行。在此肖老师表示衷心地感谢!还要感谢和我同组的同学们,在撰写论文的过程中,遇到的一些困难,正是你们的帮助,才得以顺利解决,在此表示深深的谢意。

基金项目

国家自然科学基金(91337215, 41575066)、国家科技支撑计划(2015BAC03B05)、全国大学生创新训练计划项目(201610621033)支持。

参考文献

- [1] Blackmon, M.L., Wallace, J.M., Lau, N.C., *et al.* (1977) An Observational Study of the Northern Hemisphere Winter-time Circulation. *Journal of the Atmospheric Sciences*, **34**, 1040-1053. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1977\)034<1040:AOSOTN>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1977)034<1040:AOSOTN>2.0.CO;2)
- [2] Hoskins, B.J. and Pearce, R. (1983) Large Scale Dynamical Process in the Atmosphere. Academic Press, Reading, 56-65.
- [3] 李崇银, 潘静, 宋洁. MJO 研究新进展[J]. 大气科学, 2013(2): 229-252.
- [4] 梁萍, 何金海. MJO 在延伸期预报中的应用进展[J]. 气象科技进展, 2013(1): 31-38.
- [5] Maharaj, E.A. and Wheeler, M. (2005) Forecasting an index of the Madden-Oscillation. *International Journal of Climatology*, **25**, 1611-1618. <https://doi.org/10.1002/joc.1206>
- [6] Jiang, X.N., Waliser, D.E., Wheeler, M.C., *et al.* (2008) Assessing the Skill of an All-Season Statistical Forecast Model for the Madden-Julian Oscillation. *Monthly Weather Review*, **136**, 1940-1956. <https://doi.org/10.1175/2007MWR2305.1>
- [7] Jones, C., Carvalho, L.M.V., Higgins, R.W., *et al.* (2004) A Statistical Forecast Model of Tropical Intraseasonal Convective Anomalies. *Journal of Climate*, **17**, 2078-2095. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2004\)017<2078:ASFMOT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2004)017<2078:ASFMOT>2.0.CO;2)
- [8] Seo, K., Wang, W., Gottschalk, J., *et al.* (2009) Evaluation of MJO Forecast Skill from Several Statistical and Dynamical Forecast Models. *Journal of Climate*, **22**, 2372-2388. <https://doi.org/10.1175/2008JCLI2421.1>
- [9] Kang, I.S. and Kim, H.M. (2011) Intraseasonal Prediction and Predictability for Boreal Winter. In: Chang, C.P., *et al.*, Eds, *The Global Monsoon System: Research and Forecast*, World Scientific Series on Asia-Pacific Weather and Climate, Vol 5. World Scientific, Singapore, 409-418. https://doi.org/10.1142/9789814343411_0024
- [10] 孙国武, 信飞, 陈伯明, 等. 低频天气图预报方法[J]. 高原气象, 2008(S1).
- [11] 梁萍, 丁一汇. 基于季节内振荡的延伸预报试验[J]. 大气科学, 2012, 36(1): 102-116.
- [12] 陈丽娟, 陈伯民, 张培群, 等. T63 模式月动力延伸预报高度场的改进实验[J]. 应用气象学报, 2005, 16(增刊): 92-96.

- [13] 覃志年, 李维京, 何慧, 等. 广西 6 月区域性暴雨过程的延伸预测试验[J]. 高原气象, 2009, 28(3): 668-693.
- [14] Sun, G. and Chen, B. (1989) Oscillation Characteristics and Meridional Propagation of Atmospheric Low Frequency Waves over Qinghai-Xizang Plateau. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, **12**, 293-300.
- [15] 章基嘉, 孙国武, 陈葆德. 青藏高原大气低频变化的研究[M]. 北京: 气象出版社, 1991: 105-106.
- [16] 杨玮, 何金海, 孙国武, 等. 低频环流系统的一种统计预报方法[J]. 气象与环境学报, 2011, 27(3): 1-5.
- [17] 蒋薇, 孙国武, 陈伯民, 等. 江苏省汛期强降水过程的延伸期预报试验[J]. 气象科学, 2011, 31(增刊): 24-30.
- [18] 胡春丽, 李辑, 陈伯民, 等. 低频天气图方法在辽宁夏季延伸期强降水预报中的应用[J]. 气象科技进展, 2013, 3(1): 64-67.
- [19] 孙国武, 信飞, 孔春燕, 等. 大气低频振荡与延伸期预报[J]. 高原气象, 2010, 29(5): 1142-1147.
- [20] 张琪, 李跃清. 近 48 年西南地区降水量和雨日的气候变化特征[J]. 高原气象, 2014(2): 372-383.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2163-3967, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ag@hanspub.org