

2013年中国夏季降水动力—统计 气候预测及检验分析探讨

赵俊虎¹ 杨杰² 龚志强¹ 封国林¹

(1 国家气候中心, 中国气象局, 北京 100081; 2 江苏省气象局气候中心, 南京 210008)

摘要: 2013年夏季(6—8月), 中国降水呈北多南少的异常分布, 东北、华北、四川盆地东部及西北大部降水偏多, 而淮河流域至江南大范围地区及青藏高原等地降水偏少。动力—统计预测和动力统计—诊断预测两种方法对夏季北方多雨和长江少雨的总体形势预测基本正确, 预测评分(PS)分别为71分和74分, 空间距平相关系数(ACC)分别为0.09和0.20。对西太平洋副热带高压、欧亚阻塞高压和东北冷涡区500hPa高度距平场的动力—统计预测结果也较理想, 为夏季旱涝分布的诊断预测提供了依据。指出了目前动力—统计预测可能存在的问题, 如预测结果对模式预测能力依赖性强, 采用多因子选取相似年时, 部分因子与降水之间的物理机制不清晰, 等等; 并指出了可能的解决途径, 如通过多模式评估和集合预报来克服预测结果对模式的依赖性, 通过深入分析因子对降水的影响机制、因子与降水之间年际关系的年代际变化等来解决因子的筛选问题。

关键词: 夏季降水, 高度距平场, 动力—统计预测, 动力统计—诊断预测

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2015.02.004

Analysis of and Discussion about Dynamic-Statistical Climate Prediction for Summer Rainfall of 2013 in China

Zhao Junhu¹, Yang Jie², Gong Zhiqiang¹, Feng Guolin¹

(1 National Climate Centre, China Meteorological Administration, Beijing 100081

2 Jiangsu Provincial Climate Center, Nanjing 210008)

Abstract: The precipitation anomaly distribution over China in the summer of 2013 was seen by the phenomenon of flooding in north and drought in south. More rainfall occurred in northeast China, north China, the eastern Sichuan basin and the most of the northwest China, while less rainfall occurred from the Huaihe river basin to the south of the lower reaches of the Yangtze River, and it also occurred over Tibetan Plateau. Both the dynamic-statistical prediction (DSP) and dynamic statistical-diagnostic prediction (DSDP) have made the approximately correct forecast for the situation of the flood in north and drought in the Yangtze River. The predictive score (PS) is 71 and 74 respectively, while the anomaly correlation coefficient (ACC) is 0.09 and 0.20 respectively. The DSP results of 500hPa height anomalies field in the areas of western Pacific subtropical high, Eurasian blocking high and northeast China cold vortex are ideal, which provided the basis for diagnostic prediction of the summer drought and flood distribution. Finally, the existing problems of DSP were discussed and we pointed out the possible solutions.

Keywords: summer Rainfall, height anomalies field, dynamic-statistical prediction, dynamic statistical-diagnostic prediction

0 引言

夏季(6—8月)降水预测是短期气候预测的重要内容,也是气候预测的难点问题^[1]。近几十年来,气象学者对中国夏季降水的统计规律、影响机制及预测方法等进行了研究^[2-7],其中预测方法主要有两

类,即统计方法和数值模式的动力学方法,二者各有优缺点,目前普遍的共识是:统计学方法与动力学方法要相互借鉴,融合发展^[8]。研究表明,动力和统计相结合是提高短期气候预测准确率的有效途径之一。围绕两者如何有效结合的问题,国内外开展了广泛的研究^[9-12],其中在气候模式预报基础上结合数理统计方法,利用历史资料信息对模式误差进行预报是引人注目的研究方向。早在1958年,顾震潮^[13]就提出将数值预报从初值问题改为演变问题,并指出了数值天气预报中使用历史资料的重要性和可行性^[14]。丑纪范从理论上探讨了在长期预报中动力和统计如何结合的问题

收稿日期:2013年12月14日;修回日期:2014年4月17日

第一作者:赵俊虎(1985—),E-mail:zhaojh@cma.gov.cn

资助信息:气象关键技术集成与应用重点项目(CMAGJ2014Z09);

公益性行业(气象)科研专项(GYHY201306021);

国家重点基础研究发展计划(2013CB430204)

题^[15-17]。在此基础上,众多气象学者从不同的角度建立相似—动力模式^[18-22],发展了适用于动力季节预测的相似误差订正方法,并进行了预测试验,其结果显示这些方法能有效提高热带降水和环流的预报技巧^[23-25]。2008年以来,一些研究发展了利用相似年的模式误差信息,实现对预报年气候模式预报误差预报的季节降水动力—统计预测(DSP)方法^[26-33],该方法在中国气象局国家气候中心(NCC)的2009—2012年夏季降水预测中实现了业务应用,4年预测评分(PS)平均为73分,空间距平相关系数(ACC)平均为0.16^[34],体现了较高的预报技巧。

本文回顾了2013年中国夏季降水实况、DSP和动力统计—诊断(DSDP)两种方法的预测结果,以及西太平洋副高、欧亚阻塞高压及东北冷涡活动区500hPa高度场距平的DSP及检验,最后指出了目前DSP中存在的一些问题,为进一步完善和细化DSP的理论和技術提供参考。

1 资料和方法

1.1 资料

本文采用CMAP的1983—2013年夏季总降水量作为夏季降水实况资料,以NCEP/NCAR再分析月平均位势高度场作为高度场的观测资料,模式资料为NCC_CGCM生成的1983—2013年共31年回报和预报的逐月降水场和高度场资料(以上资料水平分辨率均为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$)。此外,还采用了NCC气候系统诊断预测室提供的74项月环流特征量资料和NOAA的40项月气候指数(<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/>),时段均为1951年1月—2013年2月。本文取1981—2010年平均值作为气候态。

1.2 预测和检验方法

预测方法主要有DSP和DSDP两种方法。DSP方法在文献[26]和[34]中均有详细介绍,具体思路和步骤简要概述如下:以2013年夏季降水为例,针对不同气候区域(将全国分为8个区域),进行单因子相似误差订正1983—2012年交叉检验的30年平均ACC从大到小排序,将其中ACC最大值因子作为组合的首选因子,通过逐步增加因子个数得到不同因子个数下(因子数为10个时,ACC较高且稳定)预报年前期历史交叉检验ACC评分最高的因子组合,对因子组采用EOF分解提取累积方差贡献达80%的主分量,通过计算欧氏距离得到因子组合选取的4个相似年,进而选取相似误差场,结合模式结果得到2013年汛期降水预测图。

在DSP方法的基础上,进行了DSDP,其方法简要概述如下^[32-33]:首先针对不同气候区域,进行单因

子相似误差订交叉交叉检验的平均ACC从大到小排序,获取关键预报因子集;对上述各区所选因子与区域夏季平均降水量进行相关性检验,剔除相关性较差的因子(未通过95%的信度检验),并考虑剩余因子潜在的物理意义和合理性,对预测因子进行诊断分析,剔除伪相关因子;对剩余因子不足10个的区域添加部分前期异常因子,如海温、大气遥相关型等;最后利用获取的新的因子组合,按照DSP方法进行预测。

降水的检验方法主要为PS评分和ACC,具体计算方法参见文献[35]。

2 2013年夏季降水实况及预测

2.1 2013年夏季降水实况

2013年夏季我国降水整体略偏多,且呈北多南少的分布,降水异常偏多的区域主要位于东北、华北、四川盆地东部及西北大部,降水偏多两成以上,四川盆地东部和华南沿海降水也偏多;降水异常偏少的区域主要位于黄淮南部地区、江淮地区和云贵高原至江南一带地区,青藏高原中东部和河套西北部降水也偏少(图1)。夏季东北局部地区出现了涝灾,7月下旬至8月中旬江南出现了罕见的大范围持续高温天气。

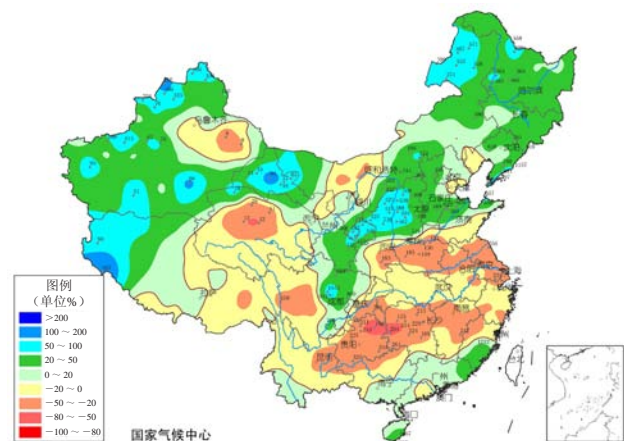


图1 2013年夏季降水距平百分率分布

2.2 预测结果及检验

图2a为DSP方法预测的2013年汛期降水距平百分率图。预测主雨带位于华北南部,东北大部、华南至江南东部、青藏高原东部等地降水偏多,西北和内蒙古大部、西南地区南部、长江中下游地区降水偏少;其中华北南部和东北大部、华南南部降水偏多预测正确,西南南部和长江中下游地区降水偏少预测正确;淮河流域和青藏高原东部地区降水预测偏多,西北和内蒙古大部降水预测偏少,预测错误。预测结果PS评分为71分,ACC为0.09。

此外,利用DSDP方法对2013年夏季降水进行了

预测(图2b), 预测主雨带位于西藏东部至华北南部一带, 内蒙古东部和东北东部、新疆大部、江南东部降水偏多, 而西藏西部至青海西部、内蒙古中西部、华北北部至东北西南部、西南大部、华南西部、长江中下游地区降水偏少。其中对主雨带的预测接近实

况, 华北南部、东北北部和东部、新疆大部偏多, 长江流域、西南大部降水偏少预报正确; 华北北部至东北西南部、华南南部预测降水偏少, 江南东部等地预测降水偏多, 与实况不符。预测结果PS评分为74分, ACC为0.20。

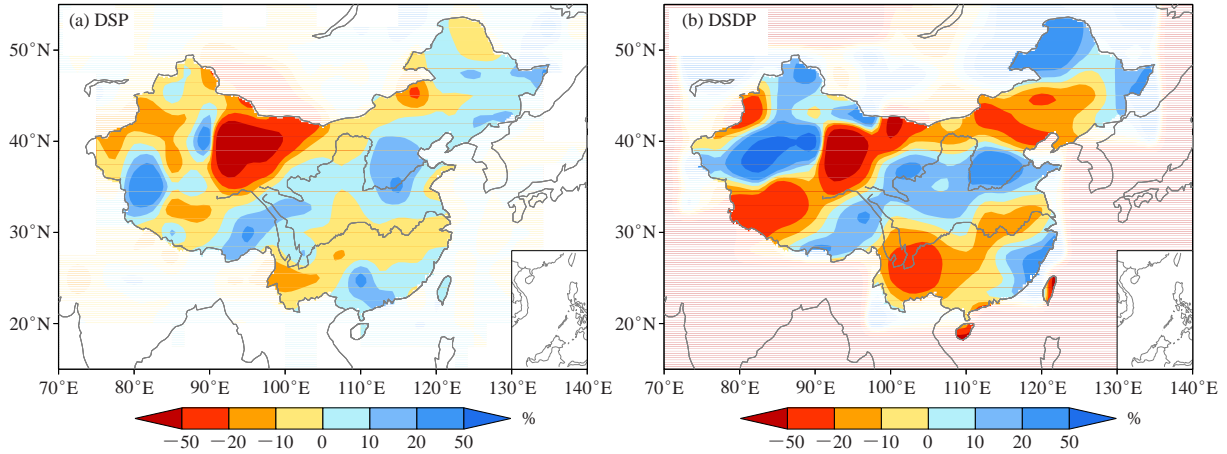


图2 2013年夏季降水距平百分率分布

DSDP方法是在DSP方法的基础之上, 对各区域因子进行诊断分析之后(8个区域, 每个区域10个因子), 再通过选取相似年提取其误差, 叠加到模式预测结果之上获得夏季降水预测结果。赵俊虎等^[33]以2011年长江中下游地区为例, 对比了两种预测方法选取因子的差异, 指出通过对因子进行诊断筛选后再进行DSP, 可以进一步提高预测水平。

3 关键区域高度场的动力—统计预测

环流异常是降水异常的直接原因。对中国夏季降水而言, 东亚夏季风系统是最主要的影响因素, 东亚夏季风与中高纬系统的配置形势等又会造成相同气候背景下不同区域的旱涝分布^[36]。对关键区域环流的预测可以为夏季旱涝的大体分布趋势预测提供参考。赵俊虎等^[37]对欧亚中高纬阻塞高压关键区高度场进行了动力—统计跨季度预测试验, 其方法主要概况如下:

(1) 分别从NCEP和CGCM的多年回报数据中提取夏季平均500hPa高度场观测资料和模式结果, 并求取高度场的预报误差场, 提取气候因子的逐年冬季季节平均指数; (2) 分别计算前冬气候因子与关键区域夏季区域平均的高度场和模式误差场的相关系数, 获取关键因子, 利用预测年关键因子与历史因子之间的欧式距离选取历史相似年, 将相似年的误差叠加到预报年的模式结果之上, 形成预报结果; (3) 通过多年独立样本回报结果, 确定关键因子和相似年个数, 形成最终预报方案。将此方法分别应用到2013年夏季副

高区、欧亚中高纬阻塞高压区和东北冷涡区500hPa高度距平场的跨季度预测。图3给出了2013年夏季副高(5880gpm等值线)的观测和预测情况。由图可见, 2013年副高偏强偏西, 副高西北部北翘; 模式系统订正结果接近气候态, DSP方法预测副高偏强偏西, 与实况接近, 但面积较实况偏大, 副高体西部位置也有所差异。

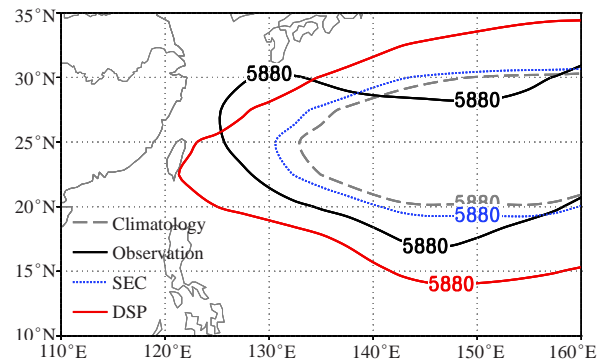


图3 2013年夏季副高(黑色实线为观测, 灰色短线为气候态, 蓝色点线为系统订正, 红色实线为DSP)

乌拉尔山(40°—50°N, 40°—70°E)、贝加尔湖(50°—60°N, 80°—110°E)和鄂霍次克海(50°—60°N, 120°—150°E)三个区域是欧亚中高纬阻塞高压发生频次最高的地区, 这三个地区夏季有无阻塞高压建立和维持, 对中国夏季旱涝分布有较大的影响^[38]。图4给出了2013年夏季三个区域500hPa高度距平场的观测和DSP方法预测的情况。由图4a—4c

可见, 2013年夏季乌拉尔山至鄂霍次克海西部为负距平控制, 不利于阻塞高压活动。DSP方法预测(图

4d—4f)除贝加尔湖西部地区外, 其余地区均为负距平, 即欧亚中高纬阻塞形势较弱, 以纬向环流为主。

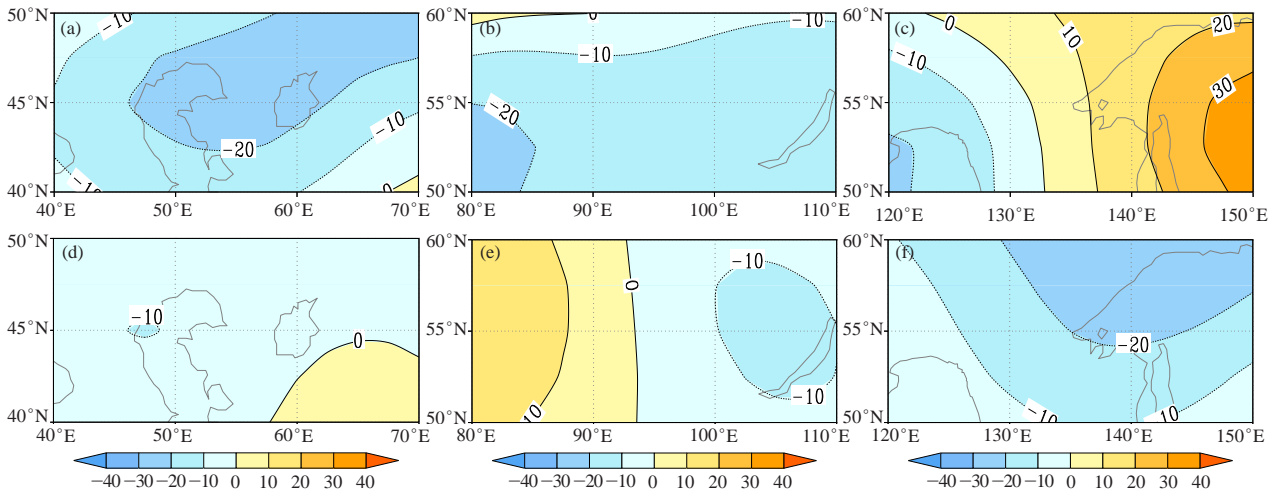


图4 2013年夏季欧亚中高纬阻塞高压区500hPa高度距平场 (gpm)
(a、b、c为观测; d、e、f为DSP预测; a、d为乌拉尔山区域; b、e为贝加尔湖区域; c、f为鄂霍次克海区域)

夏季中国东北冷涡的活动对北方降水也有较大影响^[39]。图5给出了2013年夏季东北冷涡活动区域500hPa高度距平场的观测和预测情况。由图5a可见, 2013年夏季东北冷涡活动区中西部为负距平控制, 利于冷涡活动; DSP方法预测均为负距平(图5b)。由

NCC对夏季欧亚中高纬阻塞高压和东北冷涡二者季节内活动的检测(图略)可见, 夏季欧亚中高纬阻塞形势较弱, 东北冷涡活跃, 中高纬以纬向环流为主, 不利于冷空气南下。

根据夏季副高、欧亚阻塞高压及东北冷涡的趋

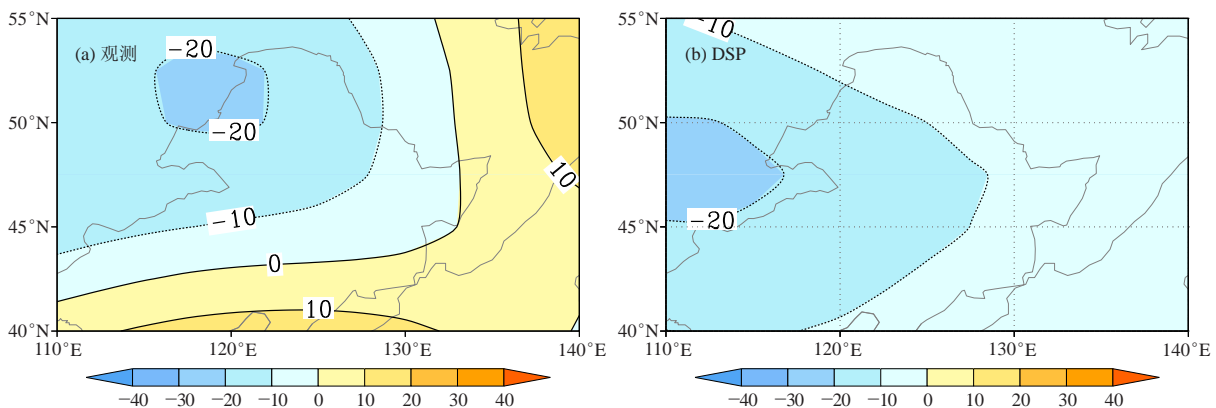


图5 2013年夏季东北冷涡区500hPa高度距平场 (gpm)

势预测结果, 进而预测夏季华北和东北多雨、长江少雨。DSP方法预测结果较好地把握了夏季副高、欧亚阻塞高压和东北冷涡的主要趋势, 为夏季旱涝分布的趋势预测提供了诊断依据。

4 动力—统计预测存在问题的探讨

众所周知, 目前短期气候预测是一个世界性的难题, 随着全球气候变暖, 极端气候事件频发, 区域气候也发生了变化, 影响我国气候变化的因素也随之变化, 增大了短期气候预测的困难。近年来动力—统

计预测方法在解决夏季降水预测这一难题上取得了一定进展, 该方法在近5年的全国夏季降水预测中表现出了较高的预报技巧, 体现了动力—统计相结合的短期气候预测思路的正确性。该方法利用历史资料弥补了模式预报误差, 虽然提高了短期气候预测准确率, 但也存在一些问题, 如预测结果对模式预测能力依赖性强, 若模式结果较差, 动力—统计预测的提升空间也有限; 采用多因子选取相似年时, 部分因子与降水之间的物理机制不清晰; 目前只是对季节尺度气候

进行了预测,而对季节内异常气候过程无能为力;等等。针对以上一些问题,提出以下可能的解决途径:

1) 加强传统影响因素(ENSO、东亚夏季风、副高、欧亚阻塞高压及遥相关等)和新的影响因素(平流层大气环流、北极海冰和印度洋海温等)在新的年代际气候背景下与中国短期气候,尤其是夏季降水之间关系及其年代际变化的理解和认识。例如,柳艳香等^[40]指出,在最近10年,东亚中高纬阻塞高压出现的频率增大,但多雨带位置并没有出现在长江及以南地区。这可能与东亚夏季风的年代际恢复性增强有关。此外,以往研究多注重单个系统与夏季降水的关系,在新的气候背景下,更应注重系统之间的配置及综合作用。

2) 对DSP而言,首先考虑到模式原始预测结果对动力—统计预测结果有重要的影响,因此可在评估多个气候模式预测结果的基础上,择优选取若干模式进行预测试验,并进行集合预测;其次需考虑不同气候异常情景下预测方案的选取,如在ENSO年和非ENSO年分别用什么预测方案较适合;将动力—统计相结合的思想应用到月、延伸期预报之中,解决异常气候过程的预测问题;环流异常是气候异常的直接因素,因此需加强对环流的动力—统计预测,再降尺度到降水等要素。NCC近年研发的第二代气候系统模式(BCC_CSM)对环流场有较好的预测技巧^[41],这为提高短期气候预测水平提供了新的条件。

对以上问题的探索和研究,将有利于提高短期气候预测的水平,促进我国短期气候预测业务的发展。

参考文献

[1] 丑纪范,徐明.短期气候数值预测的进展和前景.科学通报,2001,46:890-894.
 [2] 宋连春,肖风劲,李威.我国现代气候业务现状及未来发展趋势.应用气象学报,2013,24(5):513-520.
 [3] 李维京,张培群,李清泉,等.动力气候模式预测系统业务化及其应用.应用气象学报,2005,16(增刊):1-11.
 [4] 贾小龙,陈丽娟,高辉,等.我国短期气候预测技术进展.应用气象学报,2013,24(6):641-655.
 [5] 封国林,杨涵洧,张世轩,等.2011年春末夏初长江中下游地区早涝急转成因初探.大气科学,2012,36(5):1009-1026.
 [6] 郑志海.月动力延伸预报研究进展回顾.气象科技进展,2013,3(1):25-30.
 [7] 龚志强,侯威,封国林.赤道中东太平洋海温关联指数及其与ENSO弱作用年相关的研究.气象学报,2012,70(5):1074-1083.
 [8] 丑纪范.为什么要动力-统计相结合?—兼论如何结合.高原气象,1986,5(4):367-372.
 [9] Feddersen H, Andersen U. A method for statistical downscaling of seasonal ensemble predictions. Tellus A, 2005, 57: 398-408.
 [10] 丁一汇.季节气候预测的进展和前景.气象科技进展,2011,1(3):14-27.

[11] 魏凤英,黄嘉佑.我国东部夏季降水量统计降尺度的可预测性研究.热带气象学报,2010,26(4):483-488.
 [12] 陈丽娟,李维京,张培群,等.降尺度技术在月降水预报中的应用.应用气象学报,2003,14(6):648-655.
 [13] 顾震潮.作为初值问题的天气形势预报与地面天气历史演变作预报的等值性.气象学报,1958,29:93-98.
 [14] 顾震潮.天气数值预报中过去资料的使用问题.气象学报,1958,29(3):176-184.
 [15] 丑纪范.短期气候预测的现状、问题与出路(一).新疆气象,2003a,26(1):1-4.
 [16] 丑纪范.短期气候预测的现状、问题与出路(二).新疆气象,2003b,26(2):1-5.
 [17] 丑纪范.天气数值预报中使用过去资料的问题.中国科学,1974,(6):635-644.
 [18] 黄建平,丑纪范,衣育红.500hPa月平均距平场演变的宏观描述.气象学报,1989,47(4):483-487.
 [19] 黄建平,丑纪范.海气耦合系统相似韵律现象的研究.中国科学(B辑),1989,19(9):1001-1008.
 [20] Huang J, Yi Y, Wang S, et al. An analogue-dynamical long-range numerical weather prediction system incorporating historical evolution. QJ Meteorol Soc, 1993, 119: 547-565.
 [21] Huang J, Wang S. The experiment of seasonal prediction using the analogy-dynamical model. Science in China (B), 1992, 35: 207-216.
 [22] 龚建东,丑纪范.论过去资料在数值天气预报中使用的理论和方法.高原气象,1999,18(3):392-399.
 [23] 任宏利,丑纪范.统计-动力相结合的相似误差订正法.气象学报,2005,63(6):988-993.
 [24] 任宏利,丑纪范.动力相似预报的策略和方法研究.中国科学D辑(地球科学),2007,37(8):1101-1109.
 [25] 郑志海,任宏利,黄建平.基于季节气候可预报分量的相似误差订正方法和数值试验.物理学报,2009,58(10):7359-7367.
 [26] 王启光,封国林,郑志海,等.长江中下游汛期降水优化多因子组合客观定量化预测研究.大气科学,2011,35(2):287-297.
 [27] 王启光,封国林,支蓉,等.长江中下游汛期降水数值预报业务模式误差场预报研究.气象学报,2012,70(4):789-796.
 [28] Xiong K G, Feng G L, Huang J P, et al. Analogue-dynamical prediction of monsoon precipitation in Northeast China based on changeable configuration of optimal multi-predictor. Acta Meteor Sin, 2011, 25(3): 316-326.
 [29] 熊开国,赵俊虎,封国林,等.汛期降水相似动力预报-模式误差主分量相似预报方法.物理学报,2012,61(14):149204.
 [30] 杨杰,王启光,支蓉,等.动态最优多因子组合的华北汛期降水模式误差估计及预报.物理学报,2011,60(2):029204.
 [31] 杨杰,赵俊虎,郑志海,等.华北汛期降水多因子相似订正方案与预报试验.大气科学,2012,36(1):11-22.
 [32] 赵俊虎,封国林,王启光,等.2010年我国夏季降水异常气候成因分析及预测.大气科学,2011,35(6):1069-1078.
 [33] 赵俊虎,杨杰,封国林,等.2011年我国夏季降水动力统计预测与异常成因.应用气象学报,2013,24(1):43-54.
 [34] 封国林,赵俊虎,支蓉,等.动力-统计客观定量化汛期降水预测研究新进展.应用气象学报,2013,24(6):656-665.
 [35] 陈桂英,赵振国.短期气候预测评估方法和业务初估.应用气象学报,1998,9(2):178-185.
 [36] 贾小龙,陈丽娟,龚振淞,等.2010年海洋和大气环流异常及对中国气候的影响.气象,2011,37(4):446-453.
 [37] 赵俊虎,杨杰,龚志强,等.欧亚中高纬阻塞高压关键区高度场动力-统计跨季度预测试验.物理学报,2013,62(9):099206.
 [38] 赵振国.中国夏季早涝及环境场.北京:气象出版社,1999.
 [39] 孙力,安刚,廉毅,等.夏季东北冷涡持续性活动及其大气环流异常特征的分析.气象学报,2000,8(6):704-714.
 [40] 柳艳香,王凌,赵振国,等.2006年中国夏季降水预测回顾.气候变化研究进展,2007,3(4):243-245.
 [41] 朱春子,李清泉,王兰宁,等.基于T106L26全球大气环流模式的夏季集合预报.大气科学学报,2013,36(2):192-201.