

中国科学院“八五”重大应用项目

——灾害性气候的预测及其对农业年景和水资源调配的影响

灾害性气候的模拟和预测

KY85-10-3

主 编：黄荣辉

副主编：纪立人 钱正安

DISASTROUS CLIMATE

气象出版社

序

近十多年来,大范围的气候异常已给全世界许多国家造成了严重气候灾害。据统计,全世界每年因自然灾害造成的经济损失达 600 亿美元以上,其中约 70% 左右是天气气候灾害造成的。因此,气候变化的预测已成为当今科学界关心的重要科学问题之一,为此,许多国家还成立了气候预测中心,专门从事气候变化预测研究。我国是世界上气候脆弱区之一,并处于东亚季风区,气候异常经常发生,旱涝灾害频繁,每年造成巨大的经济损失。如 1991 年夏季江淮流域及长江中、下游发生了特大洪涝;1994 年夏华南、辽南和华北北部发生了严重洪涝和江淮流域出现严重高温、干旱,造成约千亿元的经济损失。因此开展气候变化预测研究是一项具有巨大经济效益和社会效益的工作。

鉴于旱涝灾害的严重性及其开展气候预测研究的迫切性,中国科学院在“八五”期间开展了重大应用项目“灾害性气候预测及其对农业年景和水资源调配的影响”(编号:KY85-10)的研究,对我国主要的灾害性气候发生规律、成因、预测及其灾害的影响进行深入研究,以便为我国灾害性气候预测,特别是旱涝预测提供有物理基础、行之有效的预报模式。

项目下设五个课题:

- 第一课题: 灾害性气候状况及其发生、发展规律的研究;
- 第二课题: 灾害性气候的形成过程及诊断研究;
- 第三课题: 灾害性气候预测方法及预测试验研究;
- 第四课题: 灾害性气候对我国农业年景和水资源调配影响的研究;
- 第五课题: 面向灾害气候的资料应用系统。

本论文集是项目为总结研究成果而出版的论文集序列中有关灾害性气候预测部分,即上述第三课题内容。它反映了本项目在月-季短期气候预测方面的部分研究成果。本集内容分三部分:第一部分主要反映月预报,特别是延伸预报的研究成果和预测试验结果,以及季度和跨季度旱涝预测,特别是汛期旱涝,预测研究成果和预测试验结果;第二部分主要反映本项目为气候预测而发展的新耦合气候模式及其试验结果;第三部分主要反映月-季度气候预测的物理基础和有关模式的一些问题。

本论文集目的在于促进气候预测有关研究以及与业务部门的交流。由于时间匆忙,文中肯定有不少不妥之处,恳请指正。

中国科学院“八五”重大应用项目 (编号: KY85-10)
“灾害性气候的预测及其对农业年景和水资源调配的影响”

项目主持人: 黄荣辉

1995 年 3 月 1 日

Preface

During the recent ten years and more, the large-scale climate anomalies have caused severe climatic disasters in many countries in the world. According to statistical data, the global economic losses caused by natural disasters in all the world were about more than 60 billion U.S. dollars in every year, among which 70% was due to weather and climate disasters. Therefore, the predictions of climate variabilities have become one of the important scientific problems which are attracting scientific field's attention now. For the sake of climate prediction, the centers for climate prediction are established in many countries, which focus on the studies on the prediction of climate variabilities. Our country is one of the fragile climate regions and is in the East Asian monsoon area, therefore, the climate anomalies often occur, and drought and flood disasters are frequently caused there. These disasters bring huge economic losses in every year. For example, either the particular severe flood occurred in the Huai River basin the and middle and the lower reaches of the Yangtze River in the summer of 1991 or the severe flood occurred in south China and the southern part of Liaoning Province and the northern part of north China and the hot and severe drought occurred in the Yangtze River basin and the Huai River basin in the summer of 1994 had caused the economic losses of about 100 billion RMB and more. Therefore, the study on the prediction of climate variabilities is a huge beneficial work both for society and for economy.

Due to the severity of drought and flood disasters and the urgency of developing the study on climate prediction, Chinese Academy of Sciences carries out a key application research project "The prediction of disastrous climate and its impact on agriculture and management of water resources" (No. KY 85-10) during the period of the 8th five-year plan. This project focuses on the deep study on the regularity, cause and prediction of the main disastrous climate occurred in China and its impact on agriculture and management of water resources, so that a efficient prediction model with the physical bases can be proposed for the prediction of the disastrous climate, particularly drought and flood, occurred in China.

There are five following research topics in this project

Research topic 1: Study on the observational facts of disastrous climate and the regularity of it's occurrence and development.

Research topic 2: Study on the formation processes of disastrous climate and its diagnostics

Research topic 3: Study on the prediction method and prediction experiments of disastrous climate

Research topic 4: Study on the impact of disastrous climate on agriculture and water resources

Research topic 5: Study on a application system of the observed data base for disastrous climate.

This collected papers are the part associated with the studies on the prediction of disastrous climate in the series of the collected papers published for the summaries of investigated results of this project, i.e., the content of the third research topic mentioned above. These papers reflect the studied results of this project on the predictions of the monthly and seasonal climate variabilities. The content of this collected papers are divided into three parts: The first part reflects mainly the studied results on the monthly forecasting, particularly on the extended forecasting and it's prediction experiments, and the seasonal and extra-seasonal predictions of drought and flood, particularly the prediction of drought and flood during the rainy season and it's prediction experiments; The Second part reflects mainly the studied results on the new coupling climate model developed for climate prediction by this project and it's prediction experiments; The third part reflects mainly the physical bases of the monthly and seasonal climate predictions and some problems associated the climate models.

The object of this collected papers is to promote the exchange between the institute associated with climate prediction and the operation division of climate prediction. Since the time written these papers is short, there may be some errors in the collected papers. Therefore, any valuable comments or suggestions for the collected papers are welcome.

Prof. HUANG Ronghui
Chief Scientist of the Project "KY 85-10",
the Key Applied Project of Chinese Academy of Sciences
during the 8th Five-Year-Plan

前 言

“灾害性气候及其对农业年景和水资源调配的影响”是中国科学院“八五”重大应用项目“灾害性气候的预测及其对农业年景和水资源调配的影响”(编号: KY85-10)的第三课题。设置这个课题的主要目的是进行月、季尺度的短期气候预测方法的研究和试验,以发展能够用于业务预报的短期气候预测系统。

众所周知,短期气候预测的研究对国民经济建设、人民生活特别是对农业生产是非常重要的,是当代气象科学的热点,具有重要的学术意义和实际应用价值。但短期气候预测问题又是一个远未解决的难题,国际上还没有成熟的经验和方法可引用。为此,我们对月、季预报分别采用不同的研究途径进行,对月预报以研究发展流体动力数值模式的动力延伸预报为主;而对季预报则采用多途径并举的技术路线,包括发展海气和陆气耦合模式,同时深入研究季度气候变化规律和各子系统的相互作用等。为了达到预期目标,检验和提高预测方法的水平,我们在研究工作中贯彻边研究、边试验的方针,紧密结合我国夏季汛期预报的实践,将研制的新方法用于实际的预测试验,起了很好的作用。

本课题下设七个专题:

1. 月际短期气候变化与异常的数值预报;
2. 季度短期气候变化与异常的数值预报方法;
3. 陆-气-海耦合模式的建立和灾害性气候预测试验;
4. 灾害性气候形成的物理因子和物理过程的敏感性试验;
5. 陆面过程为基础的短期灾害性气候预报方法;
6. 旱涝综合性预报方法及其流程化方案;
7. 旱涝灾害性气候的汛期和年度预报试验和预报集成的研究。

经过承担任务的科研人员的努力,本课题的研究取得了很大进展,本文集总结了该课题前几年研究工作的部分成果,共有论文 28 篇,包括三方面内容: 1) 有关用不同模式和方法所做的月、季尺度的 500hPa 形势(或距平)和降水预报试验,如用全球谱模式做延伸(月)形势预报;用大气环流模式或地气耦合非定常模式做季度的 500hPa 高度距平预报;用不同深度的地温和地震资料做汛期降水预报;用车贝雪夫展开做降水集成预报等。同时还就延伸预报中的初值时间滤波、预报过程中的时间和空间滤波及海温对延伸预报的影响做了对比试验。也就可预报性的时空依赖性和如何提高预报模式的计算效率,比如半拉格朗日和多重谱方法进行讨论和试验。2) 为气候预报而发展的新的大气环流模式、海气耦合模式及数值模式中陆面过程的土壤-植被-雪盖模式的初步试验结果,同时还就目前大洋环流模式中存在的问题进行了讨论并提出了一些解决方案。3) 与月-季气候预测有关的一些基本问题的分析或数值试验,如夏季热带西太平洋海温异常对北半球阻塞形势的影响;青藏高原化雪迟早与季节变化的关系;南极海冰异常对南亚西南季风的影响的数值试验;青藏高原热力动力作用与西北地区干旱的对比分析等。并探讨了短期气候变化与地圈的关系,提出了短期气候变化的“地心说”。

本文集编辑小组由大气物理研究所纪立人、袁重光、张道民、杨燕和兰州高原大气物理研究所的钱正安组成，王婉文和杨艳霞担任了文稿的计算机编辑和部分绘图工作。

中国科学院“八五”重大应用项目（编号：KY85-10）
——灾害性气候的预测及其对农业年景和水资源调配的影响

第三课题组长：纪立人

1995年5月5日

Foreword

The topic "Study on prediction methods and prediction experiments of disastrous climate" is the 3rd research task of the key application research project "the prediction of disastrous climate and its impact on agriculture and management of water resources" (No. KY85-10) sponsored by the Chinese Academy of Sciences during 1991—1995. The main aims of this research task are to study and experiment on the methods to make short-range climate prediction on monthly to seasonal time scales and to develop a short-range climate prediction system which can be applied to operational forecast.

As well known, the study on climate prediction possesses significant importance to the national economic construction, the peoples' daily life and especially the agricultural production. It has become one of the most active research fields in atmospheric sciences at present and is not only of great academic significance but also of application value. However, it is also a very challenging problem which is far from being solved. There are no mature experience and methods ready for use in the world. Therefore, we take different approaches for the study of monthly and seasonal prediction respectively. For monthly forecast, the main direction is to study and develop dynamical extended-range forecast based on fluid dynamic numerical models; whilst for the seasonal forecast, we seek a hierarchy of approaches simultaneously, including the development of air-sea and air-land coupled models and making in-depth research on the dynamics underlying seasonal climate variability and the interaction between its various components. To achieve the goals and to evaluate and improve the skills of the prediction methods, we stick to the guiding principles of testing and evaluating our newly developed methods in real-time prediction experiments in the course of study and apply them into the summer rainy season forecast operation in our country. The performance is quite satisfactory.

This research task consists of the following seven sub-topics:

1. Numerical prediction of monthly climate anomalies;
2. Methods in numerical prediction of seasonal climate and anomalies;
3. The development of land-air-sea coupled models and the experiments of disastrous climate prediction;
4. Physical factors for the occurrence of disastrous climate and sensitivity experiments of its physical processes;
5. Methods for short-range disastrous climate prediction based on land processes;
6. Synthetic prediction method for draught and flooding and its systematic flow scheme for operational purpose;
7. Seasonal and multi-seasonal forecast experiments for disastrous draught or flooding climate in rainy season as well as research on ensemble forecast.

Through the combined efforts of the staff members engaged in this project, much pro-

gress has been achieved. This volume reflects a part of the advances from studies during recent years. There are altogether 28 papers, which covers the following three respects: 1) The prediction experiments for 500 hPa general circulation patterns (or its anomalies) and precipitation on monthly to seasonal time scales with different models and methods. For example, the (monthly) dynamic extended forecast of general circulation by the global spectral model, the prediction of seasonal 500hPa height anomalies by GCMs or time-dependent land-air coupled models; the precipitation forecast for flooding season with ground temperatures at different depths and seismic data, the comprehensive forecasting of precipitation by Tchebycheff expansion, etc.. At the same time, the comparative experiments have been done on the impact on extended forecast of the time filtering of initial data, the time and space filtering during the model forecast and the impact of SST. Also, the time and space dependence of predictability and numerical schemes to improve the computational efficiency of forecast models, such as semi-Lagrange and multi-spectral method have been discussed and tested. 2) The preliminary experiment results of the new GCM, the air-sea coupled model developed for climate prediction and the soil-vegetation-snow cover model for land processes in numerical models. The problems in present ocean general circulation models are also discussed and some schemes are suggested to solve them. 3) The analysis or numerical experiment for some basic topics related to monthly and seasonal climate prediction such as the influence of tropical western Pacific SST anomalies in summer on the Northern Hemisphere blocking; the relationship between the timing of the snow melt on the Qinghai-Xizang Plateau and the seasonal change; the numerical experiments on the influence of anomalies of antarctic sea ice on the South Asian monsoon; the comparative analysis of the relations between thermal and dynamic effect of the Qinghai-Xizang Plateau and the draught in northwest China. Also, the relationship between short-range climate variability and the geosphere is inquired into and the "geocentric theory" for short-range climate change is proposed.

The editorial group of this volume consists of Ji Liren, Yuan Chongguang, Zhang Daomin, Yang Yan from the Institute of Atmospheric Physics and Qian Zheng'an from the Lanzhou Institute of Plateau Atmospheric Physics. Wang Wanwen and Yang Yanxia are responsible for the computer processing of all the manuscripts and the plotting of some papers.

Prof. Ji Liren

Supervisor of the 3rd topic of project KY85-10,
the key applied project of Chinese Academy of Sciences
during the period of Five-Year-Plan 1991-1995.

目 录

序

前 言

月数值天气预报的试验研究	张道民 纪立人 李金龙(1)
月数值天气预报的滤波试验	李金龙 张道民 纪立人(12)
实际预报可预报性的时空依赖性分析	李志锦 纪立人(17)
全球海温距平对月预报影响的数值试验.....	 骆美霞 纪立人 张道民 李金龙 游荣高(24)
数字滤波方法在中长期数值天气预报中的应用	杨 燕 纪立人(31)
多重谱方法及其初步应用	季仲贞 王 斌(37)
完全非内插半拉格朗日计算格式的分析研究	陈嘉滨 王 军(44)
一个实用的长期预报模式的初值形成方案	林俊杰 薛纪善(50)
滤波在改进旱涝季度数值预测的作用.....	 黄荣辉 陆日宇 陈金中 刘爱娣(55)
简化动力学模式季节预报试验及误差分析	胡增臻 黄荣辉(65)
距平模式季预报时间过滤方案的探讨	林本达 王允宽(76)
距平模式的季预报试验	王允宽 林本达(82)
短期气候距平的一个数值模拟研究	李 旭 曾庆存 袁重光(89)
地气耦合对 1993 年汛期降水预报	蔡 英 汤懋苍(98)
地温异常与 1991 年江淮大水、江南大旱关系的初步分析	马柱国(103)
华北降水分布集成预报试验	周家斌 王允宽 杨桂英(112)
IAP 九层大气环流模式的初步结果	毕训强 曾庆存(118)
关于大洋环流模式的一些问题	张学洪 金向泽 陈克明(128)
海气耦合模式年际变率研究	俞永强 郭裕福 张学洪 陈克明(132)
一个土壤-植被-雪盖模式的初步试验.....	严中伟 季劲钧(135)
夏季热带西太平洋海温异常对北半球阻塞形势影响的数值模拟研究.....	 陆日宇 黄荣辉(141)
青藏高原化雪迟早的辐射效应对季节变化的影响.....	 吴国雄 薛纪善 王在志 刘 辉 何安国 赵宇澄(151)
青藏高原北侧地区干湿年夏季垂直环流差异的对比分析及青藏高原的 热力影响	吴统文 钱正安(162)

青藏高原北侧地区干湿年夏季间环流及高原动力影响差异的对比分析..... 吴统文 钱正安(169)

南极海冰异常对大气环流以及南亚西南季风的影响数值试验研究..... 梁建茵 吴尚森(176)

短期气候变化“地心说”的具体内容和存在问题 汤懋苍(186)

中、蒙浅层地热通量场的计算及其结果分析 范新岗 胡泽勇(190)

中、蒙地区地温、降水资料的网格化处理及其结果的..... 胡泽勇(195)

初步分析

CONTENTS

Preface

Foreword

An Experimental Study on Monthly Numerical Weather Prediction.....	Zhang Daomin, Ji Liren and Li Jinlong(1)
Test on Filtering and Predictable Scale in Monthly Numerical Weather Prediction	Li Jinlong, Zhang Daomin and Ji Liren(12)
Analysis of the Dependence of Atmospheric Predictability on the Spatial and Temporal Scales from Operational Forecasts	Li Zhijin and Ji Liren(17)
A Numerical Experiment of the Influence of SSTA on Monthly Numerical Weather Prediction.....	Luo Meixia, Ji Liren, Zhang Daomin, Li Jinlong and You Ronggao(24)
Use of Digital Filtering Method in Extended-Range NWP.....	Yang Yan and Ji Liren(31)
Mutiple Spectrum Method and Its Preliminary Application.....	Ji Zhongzhen and Wang Bin(37)
On Semi-Lagrangian Scheme Without Interpolation	Chen Jiabin and Wang Jun(44)
A Practical Initialization Scheme of Long-Range Numerical Forecast Model	Lin Junjie and Xue Jishan(50)
Role of filtering in Improvement of Seasonal Drought-Flood Numerical Prediction	Huang Ronghui, Lu Riyu, Chen Jinzhong and Liu Aidi(55)
Seasonal Prediction Experiments with a Simplified Dynamical Model and Analysis of the Error	Hu Zengzhen and Huang Ronghui(65)
Study on the Time Filtering Scheme for Seasonal Forecast from an Anomaly Model	Lin Benda and Wang Yunkuan(76)
Experiment for Seasonal Forecast from an Anomaly Model.....	Wang Yunkuan and Lin Benda(82)
A Simulation Study on Short-Term Climate Anomalies by IAP AGCM.....	Li Xu, Zeng Qingcun and Yuan Chongguang(89)
A Summary of Earth-Atmosphere Coupling Method for 1993 Flood Season.....	Cai Ying and Tang Maocang(98)
A Preliminary Analysis for the Relationship Between the Anomalies of Soil Temperature and the Floods in the Yangtse-Huai River Reaches and	

Severe Drought in South of Yangtse River in 1991.....	Ma Zhuguo(103)
Experiments of Composite Forecasts for Rainfall Distribution over Northern China	Zhou Jiabin, Wang Yunkuan and Yang Guiying(112)
The Preliminary results of an IAP Nine-Level Atmospheric General Circulation Model.....	Bi Xunqiang and ZengQingcun(118)
Issues on World Ocean General Circulation Models.....	Zhang Xuehong, Jin Xiangze and Chen Keming(128)
Studies on Interannual Variabilities in A Coupled Ocean-Atmosphere General Circulation Model.....	Yu Yongqiang, Guo Yufu, Zhang Xuehong, and Chen Keming(132)
Preliminary Experiments of a Soil-Vegetation-Snow Cover Model.....	Yan Zhongwei and Ji Jinjun(135)
Numerical Simulation of the Impact of SSTA in the Tropical Western Pacific in Summer on the Blocking in Northern Hemisphere.....	Lu Riyu and Huang Ronghui(141)
Radiation Impacts on Seasonal Variation of the Spring Snow-melt over the Tibetan Plateau.....	Wu Guoxiong Xue Jishan, Wang Zaizhi, Liu Hui, He Angguo and Zhao Yucheng(151)
Comparative Analysis of the Vertical Circulation between Dry and Wet Years in Summer over the Northern Periphery of Tibetan Plateau and the Thermal Effect of Topography	Wu Tongwen and Qian Zheng'an(162)
Comparative Analysis of the Summer Circulation and the Dynamic Effect of Topography between Dry and Wet Years over the Northern Periphery of Tibetan Plateau	Wu Tongwen and Qian Zheng'an(169)
Numerical Experiments of the Influence of Antarctic Sea Ice Anomalies on the General Circulation and South Asian Summer Monsoon.....	Liang Jianyin and Wu Shangshen(176)
The Content of "Geocentric Theory" of Short-term Climate Change and Some problems	Tang Maocang(186)
Calculation and Analysis of Soil Heat Flux Results in China and Mongolia.....	Fan Xinggong and Hu Zeyong(190)
Process and Analysis of Soil-Temperature and Precipitation Data on Grids and Some Preliminary Results for China and Mongolia.....	Hu Zeyong(195)

月数值天气预报的试验研究

张道民 纪立人 李金龙

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100080)

提 要

用大气物理研究所二室的全球谱模式做了多个例子的月预报试验, 结果表明, 500hPa 月平均预报高度场不仅明显优于持续性预报, 也优于气候预报。文章还就如何从逐日的瞬时动力预报中提取对月预报有用的信息进行了讨论, 指出用加权平均代替通常使用的算术平均求得平均月预报显著地提高了预报效果。

关键词: 谱模式 月数值预报 信息提取

一、引 言

Lorenz(1969)指出, 由于小尺度分析误差随时间的增长, 不可能得到两周以上有预报意义的瞬时数值天气预报。然而用大气环流模式制作经过时间或空间滤波的月时间尺度的有使用价值的预报仍然是可能的, 因为这样的滤波方法可分离出较好预报的运动尺度^[1]。Miyakoda 等人(1983)首先用大气环流模式做了 30 天平均的有意义的动力预报。之后, 世界各大预报中心, 象 ECMWF^[2], 美国 NMC^[3], 加拿大气候中心^[4]和 日本 JMA^[5]的学者都先后进行了大量的延伸(月)预报试验, 做了一个月甚至更长的时间积分, 给出了一个月的平均高度场, 讨论了初始场、模式空间分辨率和模式的系统误差对预报结果的影响, 探讨了如何提高月预报质量(如用相邻初值集合预报代替纯动力预报)和如何从预报产品中更有效地提取一些有用信息的方法(如 EOF 处理), 得到了较令人鼓舞的结果, 但是总的说来月尺度的数值预报水平还比较低, 有些问题尚待研究。

本文是用 ECMWF 模式基础上大气所发展的全球谱模式^[6,7], 对春夏秋冬不同季节共做了 6 个实例的月预报试验, 对预报结果做了分析和检验, 将结果与持续性预报和气候预报做了比较, 初步分析了模式误差, 对所得的结果进行了简单的误差订正, 并就有些问题进行了讨论, 本文给出了这些试验的一些结果。

二、模式简述和初始资料

预报试验所使用模式为全球谱模式, 三角截断水平方向取 42 个波, 垂直方向分为 9 层(简称 T42L9), 模式采用静力扣除方案, 即将预报变量温度、地面气压和诊断变量位势高度分为基本量和扰动量, 而将扰动量作为预报变量, 这样可以加速谱展开的收敛性, 减少截断误差。模式中包括了辐射、垂直扩散、地面过程、大尺度降水、积云对流参数化(包括深对流和浅对流)和次网格尺度地形重力波组参数化等各种非绝热物理过程, 其方案

在[6,7]中已有较详细的描述。

积分所使用的初始资料为 1979 年春、夏、秋、冬各选 1 个例子, 1992 年和 1993 年各 1 个例子, 共 6 个例子, 其日期分别为 1979 年 4 月 1 日、6 月 1 日、10 月 1 日、12 月 25 日、1992 年 6 月 1 日和 1993 年 6 月 1 日。

三、预报试验结果

对每个例子各积分了 30 天, 我们将此称为纯动力预报。检验了预报高度场在 100、200、300、500、700 和 850hPa 六个标准等压面上的高度距平相关系数 AC 和均方根误差 RMSE, 给出了 1—10 天, 1—15 天和 1—30 天北半球 500hPa 预报平均距平场图等, 其结果分述如下:

1. 检验评分

首先来看每 10 天的预报高度平均场与相应观测场的检验结果。表 1 为北半球($20^{\circ} \sim 90^{\circ} \text{N}$)500hPa 高度的 AC, 由表 1 看出不同的个例相差较大, 平均而言, 在预报时段的第一个 10 天, 评分还比较高, 但第二个 10 天评分急剧下降, 到第三个 10 天有的个例的 AC 又有不同程度的回升, 有人认为这可能反映了大气中低频变化的周期性^[8], 或模式能预报大气中的周期性的波动但位相有误差, 或纯系随机误差^[9], 其原因尚待进一步研究。为比较, 表中给出了 6 个例子的相应初值持续性评分。

表 1 500hPa 北半球($20^{\circ} \sim 90^{\circ} \text{N}$)10 天平均预报的 AC

项目 个例	预 报			持 续 预 报		
	1—10	11—20	21—30	1—10	11—20	21—30
1979.4.1	0.7772	0.5299	0.0418	0.4816	-0.0037	0.1545
1979.6.1	0.6557	0.0914	0.3992	0.3100	-0.0269	-0.1571
1979.10.1	0.8553	0.1648	0.1303	0.6564	-0.0376	0.0767
1979.12.25	0.7463	0.3993	0.5591	0.5414	-0.1786	0.3205
1992.6.1	0.5493	0.2294	0.2862	0.4260	0.1567	-0.1888
1993.6.1	0.6696	0.2733	0.2624	0.5238	0.1990	0.1443
平 均	0.7089	0.2814	0.2798	0.4899	0.0182	0.0583

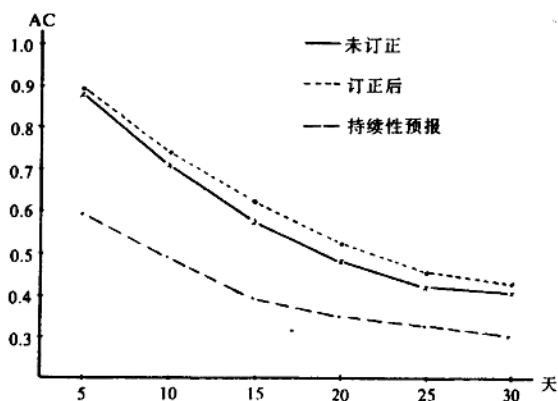


图 1 北半球 500hPa 1—N 天平均预报高度的 AC 演变图

其次, 再来看看预报的前若干天平均高度 AC 的变化, 图 1 为 6 个例子平均的 1— N 天($N=5, 10, 15, \dots, 30$)北半球 500hPa 预报平均高度的 AC 的变化曲线, 从图可以看出, 1—10 天、1—15 天和 1—30 天的 AC 分别为 0.7089, 0.5760 和 0.4063。个例不同 AC 相差较大, 夏季的 3 个例子(1979、1992 和 1993 年的 6 月 1 日)都比较低(1—30 天 AC 分别为 0.1919、0.2668 和 0.3864), 这与一些文章给出的结果相近。

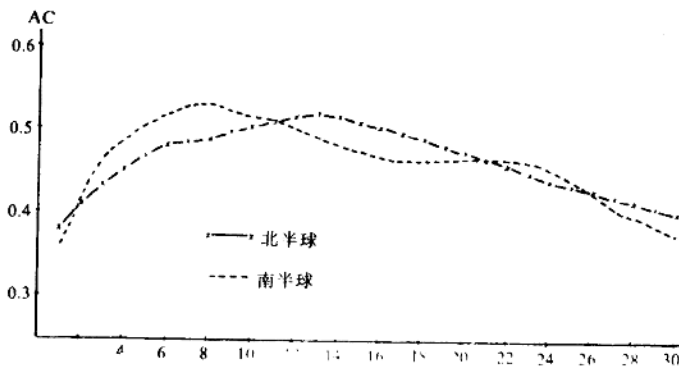


图 2 北半球 500hPa 1— N 天($N=1$ 到 30 天)平均预报高度同 30 天平均实况的 AC

图 2 给出 6 个例子平均的北半球 500hPa 1— N 天($N=1$ 到 30 天)的动力预报平均高度与相应 30 天平均实况的相关系数 AC 的时间演变, 可以看出, 在北半球 AC 的最大值出现在 $N=13$ 天处, 其值为 0.5188, 就是说 1—13 天平均预报与 30 天平均实况相关最大。对南半球($20^{\circ} \sim 90^{\circ} S$), $N=8$ 天, $AC=0.5270$ 。曲线的这种变化表明, 由于时间平均相当某种滤波, 随着积分时间的延长, 平均场中所包含的波长较短的高频波逐渐被滤掉, 同时被加进的资料愈多愈接近月平均状态, 评分 AC 逐渐提高, 曲线上升, 这是自然的。然而随着 N 的继续增大, 包含有各种尺度的越来越不太精确的逐日预报被加进来参加平均, AC 又随 N 的增大而逐渐降低, Tracton 等人(1988)由 108 个例子, 得 $N=7$ 天, 据此, 他们认为, 对于月预报积分 7 天就够了, 用前 7 天的平均预报代替 1—30 天的月平均预报, 反而比积分 30 天得到的结果要好(30 天平均预报 $AC=0.39$, 而前 7 天平均预报

表 2 500hPa 高度场最大的 AC 与相应的 N 值

个例日期	算术平均预报				加数平均预报(e)			
	北半球		南半球		北半球		南半球	
	N	AC	N	AC	N	AC	N	AC
1979.4.1	8	0.6385	8	0.5631	30	0.6695	24	0.5533
1979.6.1	13	0.4148	16	0.7246	27	0.3411	23	0.6812
1979.10.1	8	0.6587	6	0.5403	30	0.6686	20	0.5259
1978.12.25	18	0.5712	10	0.4106	30	0.5768	23	0.3910
1992.6.1	13	0.3985	5	0.4231	28	0.3998	30	0.3982
1993.6.1	7	0.5175	8	0.6372	20	0.5278	28	0.6415
平均	13	0.5188	8	0.5270	30	0.5282	24	0.5313

AC=0.47)。但这里有两个问题, 第一, 对月预报 N 是未知的, 且随个例和地区不同而异, 由图可见, 6 个例子平均, 北半球 $N=13$ 天, 而南半球 $N=8$ 天。表 2 为南北半球的 N 值及所对应的 AC 值。而 Tracyon 等人给出的 108 个例子中, N 从 1 到 30 天均有出现。第二, 对瞬时动力预报的结果作某种误差订正(比如预报减去纬向平均误差)或对瞬时预报采取某种加权平均, 最大的 AC 与响应的 N 值是可以变化的(见表 2)。

2. 动力预报与初值持续性预报和气候预报的比较

首先看一下动力预报与持续性的比较, 由表 1 已经看出, 对预报的三个时段(1—10、11—12 和 21—30 天), 平均动力预报明显优于持续性预报, 特别是在后两个 10 天, 持续性预报已有不少个例出现负相关。对于 1—10 天, 1—20 天和 1—30 天的平均预报前者的

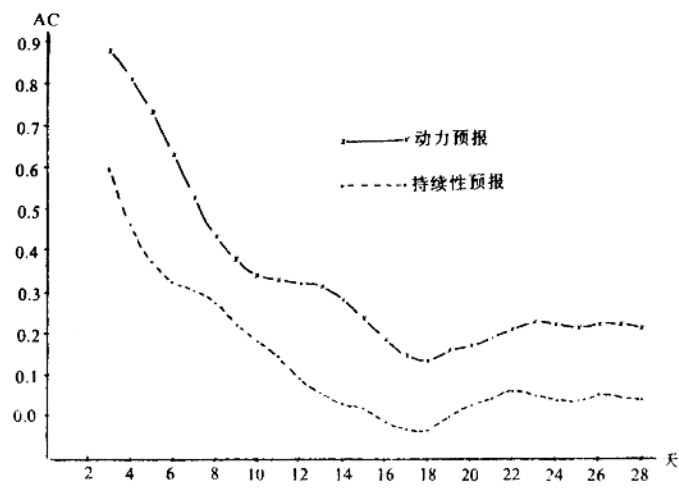


图 3 北半球 500hPa 5 天滑动平均预报高度的 AC

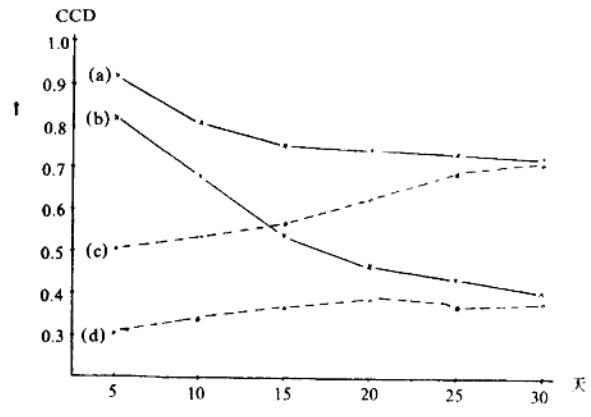


图 4 500hPa 1— N 天平均预报高度的 CCD 演变(a)北半球动力预报; (b)南半球动力预报; (c)北半球气候预报; (d)南半球气候预报

评分也明显的高于后者(图 1), 动力预报(北半球 500hPa 6 个例子平均)的 AC 分别为 0.7089, 0.4815 和 0.4063, 而持续预报的相应值为 0.4899, 0.3488 和 0.3014。均方根误差的差别也很显著, 前者只有后者的 $\frac{1}{2}$ 到 $\frac{2}{3}$ 。图 3 给出 6 个例子平均的北半球 500hPa 5 天滑

动平均预报高度与相应实况的 AC 时间演变, 可以看出, 在第 18 天(即第 16 天到 20 天的平均预报), 动力和持续性预报同时出现最小值, 而后又有不同程度的回升。

再来看一下动力与气候预报的比较, 这里, 气候预报指相应的多年月平均场, 显然, 对气候预报的相关检验距平相关系数已不适用, 为此, 我们用预报高度场与其纬向平均值的偏差场和相应观测场的偏差场之间的相关系数作标准, 用 CCD 表示, 其定义为

$$CCD = \frac{\sum (H_f - \bar{H}_f)(H_0 - \bar{H}_0)}{\sqrt{\sum (H_f - \bar{H}_f)^2 \sum (H_0 - \bar{H}_0)^2}}$$

其中 H_f 为预报值, H_0 为观测值, $\bar{H}_f$ 为预报值沿纬圈方向的平均值(随纬度变化), 因此 CCD 表示预报场与观测场槽脊位置的相关性大小。图 4 为 6 个例子平均的 500hPa 动力和气候预报 1— N 天($N=5, 10, 15, \dots, 30$)的 CCD 时间演变, 可以看出动力预报始终比气候预报相关性要高。动力预报 CCD 随时间逐渐下降, 但愈向后愈缓慢, 而气候预报, 由于观测值平均时间愈长愈接近气候值, 因此气候预报的 CCD 的相关曲线随时间逐渐上升。南半球, 尽管 CCD 大小不同, 但其变化趋势与北半球相近。对于均方根误差 RMSE(图略), 一般说来, 动力预报前 15 天增长较快, 但 15 天后变化非常缓慢, 6 个例子平均 1—30 天平均预报高度仅比 1—15 天 RMSE 增加 1.5 米。对气候预报前 20 天 RMSE 急剧下降, 后来逐渐平缓, 从 RMSE 看, 月平均动力预报比气候预报并未减小, 甚至有的反而增加, 这与 Yamada 等人^[5]和 Tracton 等人^[3]的结果相似。均方根误差的增大, 其原因有两个, 一是预报与实况槽脊系统的位相不一致, 二是预报场整层抬高或降低。若为前者, 则相关系数 CCD 相应也较差, 若为后者, 则 CCD 并不一定差。因此, 相对而言, CCD 较之于 RMSE 更有参考价值。另一方面, 尽管有的动力预报的 RMSE 比气候预报还差, 它却能给出平均月预报的距平分布, 而气候预报却不能, 因此它仍然是有意义的。另外, 对 1—10、11—20 和 21—30 天三个时段 6 个例子平均北半球 500hPa 动力预报的 CCD 分别为 0.8099、0.5612 和 0.4583, 而相应的气候预报则分别为 0.5360、0.5387 和 0.5777, 前两个 10 天动力预报均好于气候预报, 就是说, 第二个旬的动力预报仍具有一定的参考价值。

3. 误差初步订正

由于大气中小尺度扰动内在的不稳定性和大气环流数值模式的不完善, 一般说来, 当大气环流模式由实际的初始场进行积分时, 系统误差就会发展, 由大量的积分实例所确定的模式气候(长时间积分结果)与相应的气候实况并不一致, 而是趋向于模式本身的内在统计平衡状态, 这种差别或系统误差通常称之为模式的气候漂移。为增加模式输出产品的可用性, 对这些误差进行订正是必要的。由于我们的积分个例不够多, 只能给出初步的误差分析, 设 ΔH 为纬向平均误差, 有

$$\Delta H_i = \frac{1}{N_i} \sum_{j=1}^{N_i} (H_{f,j} - H_{0,j})$$