



南京大学学术文库

林振山 著

中国旱涝趋势 和降水预测 新技术的研究

南京大学出版社

南京大学学术文库

编辑委员会

主 任 蒋树声

副主任 洪银兴 陈 骏 张异宾(常务)

委 员(以姓氏笔画为序)

叶子铭 孙义燧 吕 建

任天石 刘荣川 许敖敖

陈 骏 宋林飞 张异宾

吴培亨 柳士镇 姚天扬

洪银兴 钱乘旦 龚昌德

童 星 蒋树声 程崇庆

谭仁祥

南京大学学术文库

总 序

蒋树声

高等教育发展的核心是学术和人才。2000多年前的儒家典籍《大学》，就倡言“大学之道，在明明德，在亲民，在止于至善”。其中就蕴涵着昌明学术、探求真知之意。不过，在相当长的一段历史时期中，无论是我国两汉时期的太学，还是两宋以后逐渐昌盛的书院，无论是古希腊雅典城邦的哲学学园，还是中世纪欧洲次第建立的大学，类似的学术研究，都主要集中在经国治邦的政治理念与修身养性的道德哲学领域，而且以整理、阐发经典为主。19世纪初诞生的以柏林大学为代表的德国大学模式，由于更加重视科学研究，主张教学与研究相结合、相统一，由于将自然科学的研究引入高等教育的殿堂，因而使得大学的理念为之一变，高等学校的形态与功能也发生了深刻的变化。时至今日，高等学校，尤其是研究性大学，已经成为我们这个时代理论

《南京大学学术文库》总序

创新、知识创新和技术创新的重要基地，科学研究已经成为现代大学的一个重要职能。当然大学“学术研究”的内涵，也因时而进，不断丰富、充实，由只注重哲学、人文、社会科学的研究，发展到注重自然科学与工程技术、管理科学的探索，进而追求科学与人文的整合；由只注重基础研究，发展到兼顾理论、知识的应用与技术的开发、推广。正是在这样一个时代背景下，江泽民主席在庆祝北京大学建校100周年大会上的讲话中，专门论述了建设“若干所具有世界先进水平的一流大学”的重要性，指出这样的大学，“应该是培养和造就高素质的创造性人才的摇篮，应该是认识未知世界、探求客观真理、为人类解决面临的重大课题提供科学依据的前沿，应该是知识创新、推动科学技术成果向现实生产力转化的重要力量，应该是民族优秀文化与世界先进文明成果交流借鉴的桥梁”。立志于跻身世界一流大学，为国家强盛、民族复兴和人类文明演进作出更大贡献的南京大学，理所应当要承担起这样的使命与职责；而出版《南京大学学术文库》，正是我们为建设世界一流大学所作出的诸多努力之一，其现实意义与深远影响，是不言而喻的。

出版《南京大学学术文库》，应该贯彻理论联系实际、实事求是的原则与“百花齐放，百家争鸣”的方针。在此基础上，我们提倡学术创新。学术的生命、学术的价值就在于有所继承，有所突破，有所创新。创新是学术昌明、理论发展的灵魂所在。此外，在学术研究上，多学科、跨学科的研究已成为发展趋势。

新的知识生长点、新的理论突破口，往往处于学科的边缘及交叉地带。能否突破多年来业已形成的彼此分割和疏离的学科界限，携手攻关，进行多学科、跨学科的研究，是我们能否有所创造、有所突进的关键所在。

据我所知，欧美发达国家的堪称世界一流水平的研究性大

学，大多有水平甚高、影响甚巨的学术期刊与出版机构。这些高水平的期刊与出版物，成为大学鲜明特色的标志之一。南京大学在近百年的办学实践中，逐渐形成了自己的办学特色和学术风格。在若干学科领域，南京大学不但在国内居领先地位，在国际上也接近前沿，有重要影响。《学术文库》要立足南京大学，进一步发扬我校已有的学科优势，并同时通过《学术文库》的出版，将我校正在生长发展中的新的学科影响扩展、光大，以形成南京大学新的学科优势和学术流派。对于南京大学出版社来说，能否使《南京大学学术文库》持续出版，形成特色，并在国内外学术界产生较大的影响，既是对南京大学出版社的一个挑战，又是为南京大学出版社上水平、上台阶提供的一个难得机遇。

祝《南京大学学术文库》越出越好！

1999年5月于北园

内 容 简 介

本书是作者参加国家重点基础研究发展规划项目“我国重大气候灾害的形成机理和预测理论研究”和国家攀登项目“气候动力学和气候预测理论的研究”的部分成果。内容涉及气候可预报性问题、降水机理、旱涝趋势诊断和降水预测四个方面。

本书论述深刻透彻,方法新颖独特。对所提出的新技术、新方法力求在阐述上做到深入浅出,易于实际掌握应用。本书适合于大气科学高年级学生、研究生以及从事气候理论研究、气候诊断和预测的科研、业务部门的科技人员,也适合于水文、地震等学科从事资料分析、预测的有关研究人员。

A Brief Introduction

This work is one of the achievements in scientific research of the National Key Projects "The Climate Dynamics and the Theory of Climate Prediction" and "Study of the System of Short-term Climate Prediction of China". The fields of the predictability of climate, the mechanism of precipitation, the tendency diagnosis and the prediction of precipitation are involved in this book.

This work will be value to advanced undergraduations and graduate students, as well as to researchers interested in the fields.

前 言

众所周知,地球系统极为复杂,影响气候变化的因素很多,而这些因素之间还存在着复杂的相互作用。在科学高度发达的今天,人类尽管可以遨游太空,洞察夸克。但对气候要素之间相互作用的客观认识却是十分的有限,甚至无知。因此,对气候变化进行预测是一个十分困难的科学难题。

在各种时间尺度气候变化的预测中,显然季、年、代的变化预测更为重要,与全球平均状态变化相比,区域气候变化预测更为重要,与温度变化相比,降水变化预测更为重要。因此,对我国旱涝趋势的诊断和对区域降水的预测,是我国大气科学家和气象工作者的重要任务之一,关系到国计民生。我国幅员辽阔,旱涝灾害频繁。建国以来,我国遭受到许多严重的旱涝灾害:1954年长江流域发生了近百年未遇的特大洪水;1959—1961年的严重干旱;1963年、1975年北方大暴雨成灾;1991年苏、皖等地的特大水涝等等,都给人民的生命财产带来巨大灾难,给国家造成数千亿元的经济损失。

前 言

由于对旱涝趋势的诊断和对降水的长期预报,不仅能防灾、减灾,还将给工业、农业、牧业、旅游等行业带来巨大的经济效益,目前已引起许多国家的高度重视。“八五”和“九五”计划期间,我国已投入大量科研基金来资助气候预测研究项目,如“气候动力学与气候预测理论研究”、“短期气候的预测理论与预测方法研究”、“我国短期气候预测系统的研究”等。国际上,世界气象组织正在实施世界气候研究计划,并正在筹建世界气候预测研究院。目前常用的气候预测方法有:动力预测、统计预测和统计动力预测。而常用的气候诊断方法,则是基于统计原理和 Fourier 分析。

动力气候预测不仅计算费用昂贵,而且目前的预报准确率还不能达到业务预报的要求。鉴于至今人们对气候众多要素之间的相互作用机制尚不了解,各种时间尺度的动力气候预测也许还需几代科学家的努力。统计动力预测则刚刚处于试验阶段。而传统的统计气候预测方法,不仅忽略了气候系统的所有动力学机制和动力学特性,而且方法古老呆板,故在业务预报中,效果不尽人意。

自 1822 年 Fourier 提出了热传导的分析理论以来,Fourier 分析一直被认为是最完美的数学理论(对称)而被广泛应用于气候诊断、光学、信息学等领域。但如果信号的功率谱是宽带谱则 Fourier 变换只能告诉我们尺度的范围,而无法告诉我们信号的结构以及信号里所蕴含的大小不同尺度的串级过程,即 Fourier 分析在时空域中没有任何分辨率。用单分辨的 Fourier 分析技术来对蕴含不同时间尺度气候信息的气候资料进行诊断,其缺陷显而易见。

大气科学的发展必然要受到其他自然科学,尤其是数学和物理学发展水平的制约和推动。在非线性科学(耗散结构、突变、协同、混沌等)和多分辨分析取得重大发展的背景下,我们应该把传统的动力学理论、统计原理与非线性科学和多分辨分析理论有机地结合起来,开辟气候诊断和气候预测新途径。

在“九五”期间,本人有幸参加了国家重点基础研究发展规划

前 言

项目“我国重大气候灾害的形成机理和预测理论研究”及国家攀登项目“气候动力学与气候预测理论的研究”的工作,主要从事气候系统的非线性特性、气候诊断和降水预测方面的研究。本书是有关研究工作的阶段性成果。但由于属于前沿研究及作者水平所限,难免有许多错误与不当之处,敬请读者不吝赐教,不胜感激。

本书共四章,第一章是关于降水可预报性问题的研究;第二章是关于降水机理的研究;第三章是降水预测理论和技术的研究;第四章是关于中国旱涝趋势及降水变化的诊断。

十分感谢本课题组全体成员,他们分别参加了本书有关章节的部分研究工作。其中马开玉副教授和柳艳菊研究生参加了1.4~1.9章节的主要研究和撰写工作;博士研究生尤卫红高级工程师参加了2.5~2.7、3.4章节的主要研究和撰写工作;赵文桐教授和赵佩章副教授参加了2.8节中2.8.3的部分研究工作;彭永清教授参加了3.3节的主要研究工作,江静副教授参加了3.5节的主要研究和撰写工作;乐群博士研究生参加了3.6节的研究工作;硕士研究生邓自旺讲师参加了4.4~4.11章节的主要研究工作。

拙著所涉及的研究工作自始至终得到曾庆存院士、丑纪范院士、黄荣辉院士、赵柏林院士、丁一汇先生、王绍武先生、陈家宜先生和刘武达先生的大力支持,谨此致谢。有关研究工作还得到了国家九·五攀登项目“气候动力学和气候预测理论的研究”、国家九·五重中之重项目“我国短期气候预测系统的研究”、国家教育部跨世纪优秀人才基金和南京大学的资助和大力支持,谨此致谢!

林振山

1999年6月6日于南大契阔斋

目 次

《南京大学学术文库》总序(蒋树声)

前言

第一章 降水可预报性问题的讨论	1
1.1 导致长期预报不准确的因素	1
1.1.1 导致长期预报不准确的因素	1
1.1.2 外在随机因素和内在随机因素	2
1.2 长期预报的可行性问题	3
1.3 月雨量的可预报性预测试验	11
1.3.1 月雨量的相空间相似预报模式	11
1.3.2 月雨量的可预报性预测试验	14
1.4 中国的降水分布	17
1.5 降水气候噪声的估计	20
1.5.1 MADDEN 方法	20
1.5.2 TRENBERTH 方法	25
1.5.3 Yamamoto 方法	31
1.6. 潜在降水可预报性的估计	33
1.6.1 降水年际变率的估计	33

目 次

1.6.2 降水潜在可预报性的估计	34
1.7 中国典型测站降水噪声的估计	35
1.7.1 资料	35
1.7.2 TRENBERTH 方法的改进	35
1.7.3 Yamamoto 方法的改进	36
1.8 中国月降水量的气候噪声的分布	36
1.9 中国月降水量的潜在可预报性分布	48
第二章 降水机理的研究	57
2.1 冰雹形成的时间振荡机制	57
2.1.1 冰雹形成过程的三分子模式	57
2.1.2 冰雹形成过程的时间振荡	59
2.2 论对流云的耗散结构和浑沌现象	62
2.2.1 薄层模型	62
2.2.2 暖云的三分子模型	65
2.3 冷对流云的准三分子模型	66
2.3.1 准三分子模型的提出	66
2.3.2 速率方程及其线性稳定性分析	67
2.3.3 线性化定态分歧解	71
2.3.4 含时解	75
2.4 El-Nino 现象对南京降水量的影响	79
2.4.1 Morlet 小波	79
2.4.2 南京降水量的多尺度结构	80
2.4.3 El-Nino 现象对南京降水量的影响	82
2.5 昆明 5 月降水对 El-Nino 的响应	87
2.6 云南 5 月雨量的天气气候成因探讨	90
2.6.1 影响云南 5 月雨量的大气环流背景	90
2.6.2 影响云南 5 月雨量的主要天气形势	93
2.7 前期大气环流变化对云南 5 月雨量的影响	94

2.7.1 云南5月雨量与前期大气环流场变化的统计特征	95
2.7.2 前期大气环流变化与云南5月雨量的关系探讨	99
2.8 El-Nino的日食诱因及其 R_1 - R_2 预测原理	101
2.8.1 日食-厄尔尼诺系数	102
2.8.2 资料检验	103
2.8.3 日食诱发厄尔尼诺的机制	109
2.8.4 2020年前厄尔尼诺年的预测	110
第三章 降水预测理论和技术的研究	112
3.1 探索一种新的暴雨预报方法	112
3.1.1 嫡产生	112
3.1.2 对流雨的预报	115
3.1.3 普适预测方法	116
3.2 降水、温度与气压的三变量反演模式	119
3.2.1 反演方法	119
3.2.2 R - P - T 的反演建模	122
3.2.3 定性分析	124
3.3 延滞降水预报方程的试验	128
3.3.1 延滞方程	128
3.3.2 函数形式及参数的确定	129
3.3.3 检验	131
3.4 月雨量预测的相空间投影技术	133
3.4.1 多元时间序列资料的选取及其相空间	134
3.4.2 月雨量预测的相空间投影技术	136
3.5 自记忆降水预测模型	140
3.5.1 方法简介	141
3.5.2 方差分析结果	142

目次

3.5.3 拟合和预报	143
3.6 降水距平的动力方程	146
3.6.1 苏北地区降水的时间演变特征	146
3.6.2 降水距平的动力模式	147
3.6.3 参数的确定	148
3.6.4 旱涝期的准周期性	149
3.7 降水预报的自组织建模技术(GMDH)	151
3.7.1 GMDH 的基本思想	151
3.7.2 降水资料的自组织建模技术	153
3.8 降水预报的相空间模处理组合法(GMMDH)	158
3.8.1 以方均根函数为判据的模处理组合法	158
3.8.2 无偏判据的 GMMDH	162
3.8.3 联合判据的 GMMDH	163
第四章 中国旱涝趋势及降水变化的诊断	165
4.1 中国旱涝等级史料的发展趋势	165
4.1.1 MHAT 子波	166
4.1.2 中国旱涝趋势的诊断	167
4.2 中国华南、华东和华北地区旱涝等级史料的发展趋势 诊断	170
4.3 北京和上海旱涝史料的多尺度分析	173
4.3.1 北京旱涝史料的多尺度分析	173
4.3.2 上海旱涝史料的多尺度分析	176
4.4 中国近 40 年降水变化的多尺度分析	177
4.4.1 资料和算法	177
4.4.2 中国近 40 年来降水变化的多尺度分析	178
4.4.3 气温和降水量变化情况对比	180
4.5 中国近 40 年来不同时间尺度降水变化的空间 差异分析	183

目次

4.5.1 中国东部降水变化南北差异	184
4.5.2 中国降水变化东西部差异	186
4.6 中国东北、华北、内蒙古、新疆、青藏等地区的 气候诊断	189
4.6.1 东北地区气候变化的多尺度诊断	189
4.6.2 华北地区气候变化的多尺度诊断	191
4.6.3 内蒙古地区气候变化的多尺度诊断	192
4.6.4 新疆地区气候变化的多尺度诊断	194
4.6.5 青藏高原地区气候变化的多尺度诊断	196
4.7 中国黄土高原、长江中下游、华南、西南地区的 气候诊断	198
4.7.1 黄土高原地区气候变化的多尺度诊断	198
4.7.2 长江中下游地区气候变化的多尺度诊断	199
4.7.3 华南地区气候变化的多尺度诊断	201
4.7.4 西南地区气候变化的多尺度诊断	203
4.8 中国7个主要气候区降水趋势的预测	205
4.8.1 德比契斯小波的滤波系数	205
4.8.2 资料与气候区的划分	208
4.8.3 东北、华北和黄淮地区降水趋势的预测	208
4.8.4 江淮、长江中下游、江南和华南地区降水趋势 的预测	214
参考文献	221

第一章

降水可预报性问题的讨论

1.1 导致长期预报不准确的因素

1.1.1 导致长期预报不准确的因素

长期预报的动力学方法,首先是用有关的物理学理论,寻找大气演变的物理规律及其特性,而后用数学方法进行处理。故而,人们一般认为导致长期数值预报不准确的原因有三点:一是由于人们对某方面的知识缺乏全面了解或有意地忽略了气候系统演化的某些实际的物理过程,而使得模式或有关的物理公式无法真实地描述系统的真实物理过程;二是初始场的不准确;三是数值求解的误差。

一个十分有趣的问题是:如果将来人们不仅可以建立准确的模式,而且还掌握了充分准确的数值求解技术和准确的观测以期获得充分准确的初始条件。那么,我们是否可以做出足够准确的长期预报?这里的“足够准确”的含意是长期预报的误差不得超过规

定的范围。

根据确定论描述的两个显著特点：运动类型对初值的不敏感性和未来轨道的可预言性，我们似乎应该认为答案是肯定的。然而，经验告诉我们，这是一个十分棘手的问题。因为，有时我们尽管对模式、观测手段和计算方法进行了改进，但数值预报的准确率未必得到提高。而且其准确率随着时间的增长而迅速下降。Smagorinsky、Jastrow、Halem、Williamson 和 Kasahara 等人做了大量的误差检验试验，这些试验表明：误差增倍的时间约为三天。总而言之，误差是肯定存在的，而且误差还将随着时间的延长而增大。以致在提前预报的时间达到某尺度后，所做的长期预报便失去了任何意义。而不像我们以往所想象的那样，在将来的某一天，我们一定能够准确地做出长期预报。

这就提出了长期数值预报的可行性问题，以及导致长期预报不准确的因素及其数理基础。

1.1.2 外在随机因素和内在随机因素

在用动力学方法来描述实际的物理过程时，我们不可能“事无巨细”地考虑过程的所有方面。但若只考虑确定该实际过程的主要特征，则势必遗留下许多细微、次要的因素。这些细微、次要的因素，对模式系统而言，就是外在的随机因素。所以，对任一模式系统而言，其外在随机性是客观存在的。外在随机性对系统的状态或演化行为的影响，有时是微不足道的，有时则是至关重要的。这可从以下的试验得到说明。

设一个单摆的初始条件为： $\theta = \pm \pi$ ， $\dot{\theta} = 0$ ，根据力学原理，单摆应该永远静止在那里。但事实上，初始条件的任何微小的偏差，都会放大起来而决定单摆的未来命运——向左或是向右侧倒下去。显然，此时仅仅靠动力学原理是不能解决问题的，只有计入单摆的外在随机性，才能对运动有一“完全”的描述。