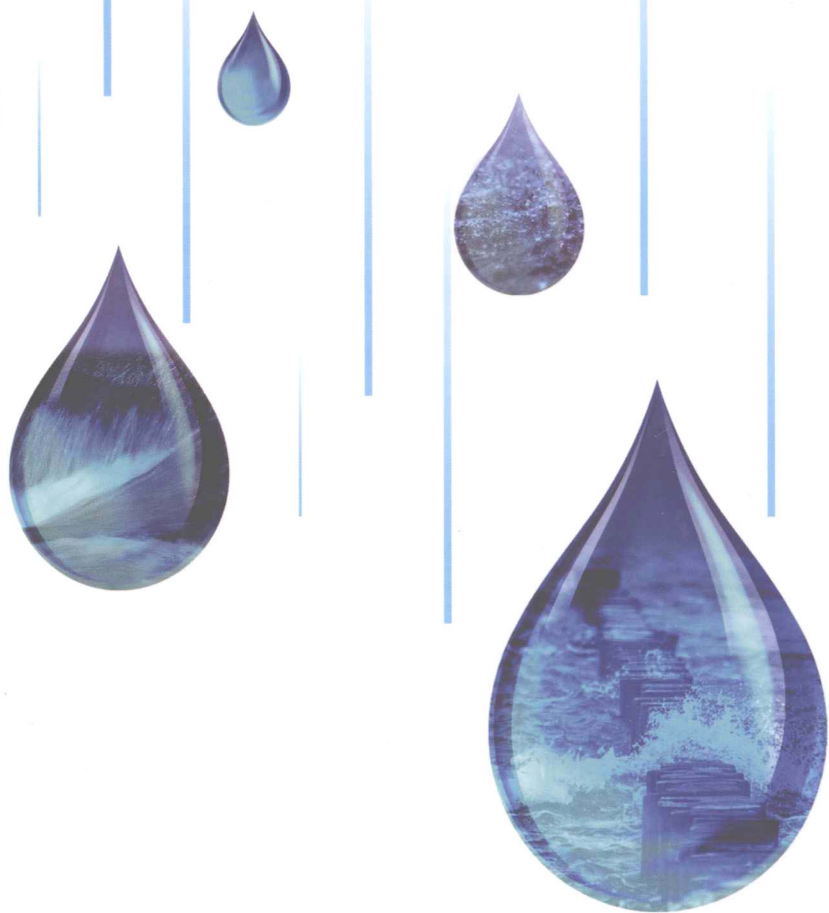




中国汛期降水 动力—统计预测研究

封国林 赵俊虎 杨 杰 张世轩

熊开国 王启光 龚志强 郑志海 支 蓉 著



科学出版社

国家科学技术学术著作出版基金资助出版

中国汛期降水动力- 统计预测研究

封国林 赵俊虎 杨 杰
张世轩 熊开国 王启光 著
龚志强 郑志海 支 蓉

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是作者们在多年理论联系实践的科学研究基础上,系统总结了近几年课题组有关短期气候预测研究成果而撰写的专著。本书以中国汛期降水预测的理论、方法和应用为主线,共分为9章。依次为短期气候预测研究进展、全球变暖背景下中国东部夏季三类雨型预测概念模型新建、全球变暖背景下中国季节的变迁和夏季降水对其变化的响应、天气系统的气候效应、动力-统计预测原理、动力-统计预测方案的构建、动力-统计方法在高度场和温度场中的应用、动力-统计集成的季节气候预测系统、2009~2014年中国夏季降水预测及异常成因分析。

本书可供气象、农业等部门业务和科研人员参考,也可供有关院校师生作为本科及研究生教材使用。

图书在版编目(CIP)数据

中国汛期降水动力-统计预测研究/封国林等著. —北京:科学出版社,2015.9

ISBN 978-7-03-045634-2

I. ①中… II. ①封… III. ①汛期-降水-统计预测-研究-中国 IV. ①P468.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 215887 号

责任编辑:杨帅英 / 责任校对:赵桂芬

责任印制:肖 兴 / 封面设计:图阅社

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015年10月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2015年10月第一次印刷 印张:21 3/4

字数:513 000

定价:139.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序 一

我国地处全球最强的季风区,每年在暮春三月江南草长之时,领导和公众都十分关心汛期降水,特别是何时何地防汛会非常紧张或旱情会非常严重。而这种季度和跨季度的预测是世界性的难题。该书所讨论的问题显然是国家急需和科技前沿。该书围绕“利用历史资料的有用信息预报数值模式的预报误差来提高短期气候预测准确率”这一核心问题,构建了三类雨型的预报模型,在动力-统计有机结合的基础上考虑天气系统气候效应的预测方案的理论和方法。这些研究成果已经在 2009~2014 年实现 6 年的实际应用检验,客观评分稳定在 70 分以上,比所有其他方法高出 10 分左右,这是十分难能可贵的。总之,这是一项具有国际水平的原始创新研究成果,具有非常重要的理论意义和实际应用价值。

该书作者封国林教授长期从事短期气候预测研究,有很深厚的学术造诣,取得过一系列重要的创新性研究成果。2012 年由科学出版社出版了《极端气候事件的检测、诊断与可预报性研究》。他所领导的团队,包括在读的博士、硕士研究生,达四五十人之多。他现被评为中国气象局领军人才。与编著类书籍收集已有的研究成果不同,该专著侧重于详细介绍作者的研究成果的思想方法、理论体系。目前国内外还未见有同类书籍出版。因此,该专著对于大气科学领域的相关研究人员详细了解并应用这方面的内容具有重要参考价值,是开展教育培训和科学研究的一本重要参考书。

丑纪范

兰州大学大气科学学院

2014 年 9 月 21 日

序 二

目前气候模式预测的总体水平,无论是国内还是国外,都是不高的,主要是由于模式的不完善和资料不足引起。为了提高预报的准确性,一方面是改进模式和改进观测网,另一方面是利用大量长期的历史资料找寻气候变化的规律。据此订正预报结果,缩小或降低模式预报的误差,这主要是依据统计方法而实现的,因而动力模式与统计方法相结合而产生的动力-统计气候预测模式或方法是目前最有实际效果和准确率较高的气候预测方法。由封国林教授等研究的动力-统计方法是基于他的长期从事的相似预报理论和技术,通过多年的实践检验,在国内的业务预报中一般要高于业务发布的预报水平。在国际上属于先进水平,并且是在国际上较早实现业务化的。从理论和方法上都独具特色,代表了国内气候预测动力-统计方法,尤其是相似方法,最主要的成果,很值得推广和介绍。对于国内相关部门有重要的应用和借鉴价值,出版封国林教授等撰写的这本专著也会引起国际同行的关注。全书结构清楚,文字通畅,条理清晰。

丁一

2014年9月20日

序 三

由封国林等撰写的《中国汛期降水动力-统计预测研究》针对我国汛期降水预测业务工作及若干相关问题展开了讨论。该书还特别对作者及其同事们共同建立的“动力与统计集成的季节气候预测系统(FODAS)”作了介绍,并概述了对2009~2014年的业务应用情况。这本书对气候预测业务工作有一定的参考意义,也为相关业务人员提供了一本有用的工具书,值得出版。

我国的汛期降水季内变化和年际变化都相当复杂,有关的科学问题很多,非常复杂。既涉及热带海洋-大气的复杂相互作用和遥相关过程,又涉及热带外气候系统的复杂变化。同时,年代际变化也深刻地影响着气候年际变化及其可预测性,有关研究正是当下的研究热点和科学前沿。

作者在书中概要介绍了我国汛期降水的空间变化特征及其影响,着重介绍了有关业务预测应用问题,希望该书对气候预测业务的发展能有所推动。

建议作者对近年来发展起来的若干新的预测方法,如年际增量气候预测方法及其应用、热带相似气候预测方法、最优统计降尺度预测方法等做些扼要介绍,以使读者有一个更广泛的了解和把握。

王会军

2014年9月22日

前言

20 世纪以来,全球气候正在经历着一次以变暖为主要特征的显著变化。70 年代末之后全球气候变暖更加显著,区域性干旱和洪涝等极端天气气候事件更为频繁,造成的经济损失巨大,社会影响非常突出,客观上增加了政府和社会对短期气候预测的需求。我国处于全球最强的季风区,每年在暮春三月江南草长之时,领导和公众都十分关心汛期降水,特别是何时何地防汛会非常紧张或旱情会非常严重,而这种季度和跨季度的预测是世界性的难题,本书就是针对这个问题开展研究的。

近 20 年来,在丑纪范先生的鼓励 and 指导下,我开始从事短期气候预测,尤其是中国汛期降水的跨季度预测理论和方法研究。本书作者们及其研究团队在过去的十多年里,围绕“利用历史资料的有用信息预报数值模式的预报误差来提高短期预测准确率”这一核心问题,坚持对中国汛期气候的影响机制和预测理论、方法和技术等方面开展探索研究,取得了不少创新性的学术研究成果:首次提出了将气候变化的研究成果转化到短期气候预测中,探索了季节变化对全球变暖的响应及其在气候预测中的应用,重建了在全球变暖的背景下中国东部地区夏季三类雨型预测概念模型,提出了如何延伸天气系统时空尺度与短期气候预测相匹配的天气系统的气候效应概念,在此基础上,建立了动力-统计集成的季节气候预测系统(FODAS)。大部分成果通过国家有关科技项目的支持,在短期气候预测的实践中得到了试验应用并在全国所有省气象局推广,取得了明显的经济效应。在 2009~2014 年的汛期降水预测之中,取得了出色的成绩,呈现了乐观的应用前景。本书亦旨在抛砖引玉,引发学界共鸣,为今后进一步深入研究气候预测的理论和方法提供基础,兼具理论和实践的双重意义。

本书共分 9 章,依次为短期气候预测研究进展、全球变暖背景下中国东部夏季三类雨型预测概念模型新建、全球变暖背景下中国季节的变迁和夏季降水对其变化的响应、天气系统的气候效应、动力-统计预测原理、动力-统计预测方案的构建、动力-统计方法在高度场和温度场中的应用、动力-统计集成的季节气候预测系统、2009~2014 年中国夏季降水预测及异常成因分析。主要著者为封国林、赵俊虎、杨杰、张世轩、熊开国、王启光、龚志强、郑志海、支蓉。最后由封国林和赵俊虎对全书进行了统稿。

本书的出版得到了国家重点基础研究发展计划(课题编号:2012CB955902 和 2013CB430204)、国家自然科学基金(课题编号:41530531,41375078 和 41175067)的共同资助。衷心感谢丑纪范院士、丁一汇院士、王会军院士、曹鸿兴研究员、施能教授、廉毅研究员、张庆云研究员、李维京研究员等,他们多年来对我们的短期气候预测及有关的科学

研究工作给予了关怀和指导。施能教授阅读了全书稿并提出了有建设性的修改意见,在此表示衷心感谢。

我们衷心期待本书的出版对我国短期气候预测,尤其是汛期降水的预测业务和科研发展起到些许的推动和借鉴作用。由于我们的水平有限,书中瑕疵在所难免,真诚欢迎有关的专家和学者批评指正。

谨以此书祝贺尊敬的丑纪范先生 80 华诞。

封国林

2015 年 4 月

目 录

序一	
序二	
序三	
前言	
第 1 章 短期气候预测研究进展	1
1.1 全球气候变化背景下中国气候特征概述	3
1.2 中国夏季降水影响机制及其研究进展	5
1.3 短期气候预测方法的发展历程和研究现状	10
1.3.1 中国短期气候预测的发展历程	11
1.3.2 动力模式的发展和存在问题	12
1.3.3 动力-统计预测研究策略与进展	14
1.4 本书结构	15
参考文献	17
第 2 章 全球变暖背景下中国东部夏季三类雨型预测概念模型新建	23
2.1 资料和方法	24
2.2 中国东部夏季三类雨型及其同期大气环流系统配置特征	25
2.3 中国东部夏季三类雨型早期预测概念模型效果检验	28
2.4 不同阶段三类雨型前冬海洋和大气环流异常信号的差异	29
2.4.1 前冬海洋	29
2.4.2 前冬大气环流	31
2.4.3 前冬海气相互作用	34
2.5 全球变暖背景下三类雨型预测概念模型新建	37
2.6 本章小结	38
参考文献	40
第 3 章 全球变暖背景下中国季节的变迁和夏季降水对其变化的响应	43
3.1 基于非线性相似度量方法研究中国季节划分	43
3.1.1 资料和方法	44
3.1.2 中国四季的划分结果和比较	47
3.2 东亚地区大气环流的季节划分及其时空变化特征	50
3.2.1 资料	51
3.2.2 多年气候平均场的四季起始分布	51
3.2.3 季节起始时间的逐年变化	57

3.3	全球变暖情况下中国季节的变化	58
3.3.1	资料及方法	58
3.3.2	全球增暖背景下的季节变化特点	59
3.4	近 48 年中国的季节变化与极端温度事件的联系	65
3.4.1	资料和方法	65
3.4.2	季节变化	66
3.4.3	极端温度频次分析	69
3.4.4	季节变化与极端温度的联系	70
3.5	中国东部地区前冬季节来临早晚与夏季降水的关系探究	71
3.5.1	资料	72
3.5.2	中国东部地区季节来临时间与夏季降水之间的联系	73
3.5.3	前冬季节来临早晚对应的环流、水汽输送及海温场形势	77
3.5.4	前冬来临早晚影响夏季降水的机理模型	82
3.6	江淮流域夏季降水对前冬持续时间长短的响应	84
3.6.1	资料和方法	85
3.6.2	江淮流域前冬持续时间与夏季降水的变化特征分析	85
3.6.3	江淮流域前冬持续时间对夏季大气环流场和水汽输送场的影响	88
3.6.4	江淮流域前冬持续时间与夏季降水的奇异值分解	90
3.7	利用前冬季节来临早晚对 2012~2014 年中国夏季降水的预测	92
3.8	本章小结	95
	参考文献	96
第 4 章	天气系统的气候效应	98
4.1	副高的分类及其北跳对中国夏季降水的影响	98
4.1.1	夏季西太副高的不同类型下中国汛期大尺度旱涝特征	99
4.1.2	夏季西太副高的两次北跳	109
4.2	暴雨的“气候效应”	115
4.2.1	长江中下游地区暴雨“气候效应”的指标	116
4.2.2	暴雨“气候效应”与长江中下游夏季降水空间分布型	121
4.2.3	暴雨“气候效应”强弱与中国东部夏季降水	123
4.3	台风的气候效应	126
4.3.1	台风影响指数的提出	126
4.3.2	中国东部台风降水的时空特征分析	128
4.3.3	华南地区台风降水的贡献及预测	129
4.4	东北冷涡的气候效应	133
4.4.1	5~8 月东北冷涡客观识别分类及北半球大气环流特征分析	134
4.4.2	东北冷涡的偏离指数	143
4.5	本章小结	149
	参考文献	149

第 5 章 动力-统计预测原理	152
5.1 动力-统计预测基本原理	152
5.2 模式与实况资料	155
5.2.1 动力模式	155
5.2.2 实况资料	157
5.3 预测效果检验方法	157
5.4 模式降水预测评估及误差分析	159
5.4.1 模式降水预测评估	159
5.4.2 模式预测误差统计特征分析	160
5.4.3 模式预测误差相似性	164
5.4.4 模式误差场可预测度	166
5.5 动力-统计预测有效性检验	168
5.6 本章小结	171
参考文献	171
第 6 章 动力-统计预测方案的构建	173
6.1 动态最优多因子组合预测方案	173
6.1.1 单因子相似误差订正	173
6.1.2 多因子相似误差订正	174
6.1.3 基于优化多因子组合的客观定量预测方法	175
6.1.4 误差场相似年选取的探讨	179
6.2 异常因子相似预测试验方案	180
6.2.1 近 27 年长江中下游地区汛期降水及前期异常因子统计	180
6.2.2 因子异常相似参数的确定	182
6.2.3 误差场维度压缩的回报检验	183
6.2.4 压缩维度的模式误差预测方案	184
6.2.5 独立样本回报试验	185
6.3 模式预测误差主分量相似预测试验方案	186
6.3.1 模式误差场主分量相似预测	186
6.3.2 模式误差主分量相似预测方案及流程	187
6.3.3 2005~2010 年东北区域汛期降水独立样本预测方法对比分析	189
6.3.4 东北区域 2010 年汛期降水预测个例分析	191
6.4 多方案预测集成	195
6.4.1 集成预测方法介绍	195
6.4.2 集成预测流程	197
6.4.3 集成预测成员及其预测性能检验	198
6.4.4 集成预测回报检验	201
6.5 预测可信度分析	203
6.5.1 基于误差分布的预测性能对比	203

6.5.2	旱涝预测可信度计算方法	206
6.5.3	预测可信度检验	208
6.6	汛期降水预测中年代际变化信息的订正试验	210
6.6.1	东亚夏季降水年代际变化	210
6.6.2	东亚夏季降水年代际变化信息的订正方案	213
6.7	本章小结	225
	参考文献	226
第7章	动力-统计方法在高度场和温度场中的应用	228
7.1	模式对高度场预测技巧评估	228
7.2	西太平洋副热带高压区域高度场的动力统计-诊断预测	231
7.2.1	相似选取方案	231
7.2.2	历史回报试验	232
7.2.3	预测	233
7.3	欧亚阻塞区域高度场的动力统计-诊断预测	234
7.3.1	相似选取方案	234
7.3.2	历史回报试验	235
7.3.3	预测	237
7.4	东北冷涡区域高度场的动力统计-诊断预测	239
7.4.1	相似选取方案	239
7.4.2	历史回报试验	239
7.4.3	预测	240
7.5	中国夏季温度模式预测误差订正	241
7.5.1	中国夏季温度变化趋势分析	241
7.5.2	模式预测误差订正方法	245
7.5.3	去除 EMD 拟合趋势的夏季温度模式预测误差订正预测应用	247
7.6	本章小结	252
	参考文献	252
第8章	动力-统计集成的季节气候预测系统	254
8.1	FODAS 系统功能和框架	254
8.2	FODAS 系统界面	256
8.3	FODAS 系统的预测流程	259
8.3.1	降水预测	259
8.3.2	温度预测	259
8.4	FODAS 系统的推广应用	259
8.5	本章小结	261
第9章	2009~2014 年中国夏季降水预测及异常成因分析	262
9.1	2009 年夏季降水预测及异常成因分析	262
9.1.1	夏季降水预测及检验	262

9.1.2	2009 年夏季降水异常成因	264
9.2	2010 年夏季降水预测及异常成因分析	268
9.2.1	夏季降水预测及检验	268
9.2.2	2010 年夏季降水异常成因	269
9.3	2011 年夏季降水预测及异常成因分析	277
9.3.1	2011 年夏季降水预测及检验	277
9.3.2	2011 年夏季降水异常成因	280
9.3.3	2011 年春末夏初旱涝急转异常成因分析	288
9.4	2012 年夏季降水预测及异常成因分析	305
9.4.1	夏季降水预测及检验	305
9.4.2	2012 年夏季降水异常成因分析	306
9.5	2013 年夏季降水预测及异常成因分析	316
9.5.1	夏季降水预测及检验	316
9.5.2	2013 年夏季降水成因分析	318
9.6	2014 年夏季降水预测及异常成因分析	322
9.6.1	夏季降水预测及检验	322
9.6.2	2014 年夏季降水异常成因分析	324
9.7	本章小结	329
	参考文献	329

第 1 章 短期气候预测研究进展

政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 第五次评估报告第一工作组报告《气候变化 2013: 自然科学基础》指出, 20 世纪以来全球正在经历一次以变暖为特点的气候变化, 过去 130 年全球地表平均温度上升了约 0.85°C 。20 世纪 80 年代以来变暖更加显著, 进入 21 世纪后全球变暖也并未停滞。伴随着全球变暖, 全球气候系统也发生了明显变化, 海洋所吸收热量占地球气候系统热能储量比例增加, 海平面显著上升, 冰川融化加速, 北极海冰面积迅速减小, 等等(图 1.1)。与此同时, 全球大气环流系统发生了年代际变化, 导致水循环和降水格局也发生了改变。就陆地而言, 近 30 年来, 澳大利亚、非洲南部、北美洲东部和南美洲北部、亚洲北部及东南部等地降水呈显著增加趋势, 而东北亚及北美洲西部等地降水呈显著减少趋势, 此外, 区域性极端降水和干旱事件频次增加。

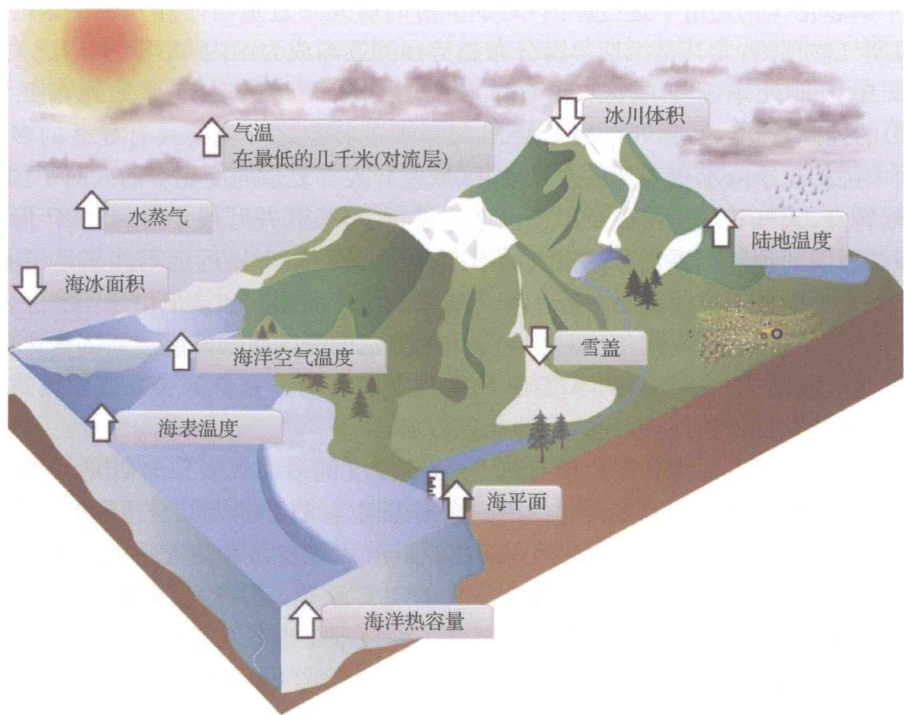


图 1.1 随着全球变暖各个气候系统的变化趋势

箭头表示变化方向。源自: IPCC AR5 第一工作组的报告《气候变化 2013: 自然科学基础》

在全球变暖背景下, 中国的气候也在发生着变化, 旱涝灾害发生频率增加(丁一汇等, 2006)。据统计, 自 20 世纪 80 年代以来, 大范围的旱涝灾害已给中国工农业生产和国民经济带来严重损失, 每年由于旱涝灾害造成的经济损失达 2000 亿元左右, 约占国民经济

总产值的 2.7%(黄荣辉等,2006),且随着经济的发展,气象灾害造成的经济损失将会越来越严重(吴国雄等,2006)。研究表明,50%以上的自然灾害都是由洪涝和干旱引起的(陈菊英,2010)。例如,1998 年夏季长江流域出现了 1954 年以来全流域性的特大洪水,东北的嫩江和松花江流域也出现了百年不遇的大洪水,大暴雨和洪涝灾害所造成的直接损失超过 2480 亿元,死亡人数为 3656 人,受灾人口达到 2.3 亿人之多(李维京,1999);此后 1999 年(陈桂英等,2001)和 2010 年长江流域(贾小龙等,2011),2003 年(毕宝贵等,2004)和 2007 年(谭桂容等,2009)淮河流域又发生了严重洪涝灾害。相比洪涝灾害,干旱灾害的持续时间更长,范围更广。1999~2001 年的华北持续干旱,不仅给工农业生产带来严重损失,而且在很大程度上对华北地区的水资源和生态环境造成了破坏。2006 年夏季中国西南东部大部分地区遭受了有气象资料记录以来最严重的干旱事件(李永华等,2009),2009 年秋季至 2010 年春季中国西南地区发生了持续近 8 个月的严重干旱,受灾面积达 1.2 亿亩^①,且随着全球变暖,近年来中国华北和东北南部及西南地区干旱灾害更加严重(黄荣辉等,2012)。2012 年和 2013 年中国北方夏季降水异常偏多,部分地区发生洪涝灾害,等等。这些旱涝气候灾害给中国国民经济造成了巨大的损失,旱涝时空分布的不均匀性带来的水资源利用的不确定性严重制约了社会 and 经济发展,自然生态系统和环境也在不断恶化。正是由于这些原因,对于旱涝的研究一直是国内外气象学家的重点和难点,短期气候预测,尤其是汛期旱涝分布趋势预测逐渐成为国内和国际上广泛关注的重要课题。中国地处东亚季风区,夏季降水的多寡和雨带的分布都受到东亚夏季风(EASM)的控制(施能等,1996),而 EASM 最重要的特点之一就是具有显著的多尺度变化,因而中国的夏季降水也表现出多尺度、区域差异大等复杂的变化。前人对中国夏季降水的气候特点、天气和环流特征及形成机理等进行了论述,并开展了月、季和年际的降水预测,但是目前的预测结果仍存在很大的不准确性,预测水平还远远不能满足国家需求,究其原因,一个重要的方面就是对降水变化规律与机理的理解和认识仍然不够深入,尤其是在全球变暖的背景下,气候年代际变化导致了降水的影响机制产生了新的变化;另一个重要原因是气候模式初始资料的不准确、模式物理过程的不完备等导致气候模式误差较大,模式预测结果技巧较低,远远达不到业务需求。

综上所述,围绕以旱涝预测为焦点的月-季节尺度的短期气候预测研究,对我国社会经济发展、建设和谐社会起着重要的作用。提高短期气候预测,尤其是汛期旱涝分布趋势的预测、预警及应急决策能力,不仅是保障国家安全、发展经济和防灾减灾的现实需要,更是一项关系到国计民生的大工程,有非常重大的现实意义。因此,面向我国洪涝、干旱等重大自然灾害的预警问题,研发短期气候预测关键技术是当务之急和极为必要的,是国家防灾减灾工作的重中之重(丁一汇等,2004)。本章就全球气候变化背景下中国气候特征、中国夏季降水影响机制及其研究进展、短期气候预测方法的发展和研究现状等学术研究进展进行概述,在此基础之上,介绍了本书的研究内容。

^① 1 亩=666.7m²。

1.1 全球气候变化背景下中国气候特征概述

2008年起IPCC就启动了第五次评估报告的编写,2013年9月公布了第一工作组的报告《气候变化2013:自然科学基础》。报告指出,气候系统的暖化是毋庸置疑的,自1950年以来,气候系统观测到的许多变化在过去几十年甚至千年里都是未有的。1880~2012年,全球海陆表面平均温度呈线性上升趋势,升高了 0.85°C ;2003~2012年平均温度比1850~1900年平均温度上升了 0.78°C 。1983~2012年的这30年,每10年的地表温度均高于1850年以来的任何时期,因此,虽然没有更早期的历史详细记录,但过去30年可能是过去1400年间最热的30年。科学家指出,人类活动极有可能是20世纪中期以来全球气候变暖的主要原因,95%以上信度。

与IPCC第四次评估报告相比,IPCC第五次评估报告在很多数据方面都有了明显进展,尤其是得到更多量化的科学数据。例如,在海洋增暖方面,第四次评估报告指出,1961年以来,海洋变暖所吸收热量占地球气候系统热能储量的80%以上;而在第五次评估报告中,1971~2010年海洋变暖所吸收热量占地球气候系统热能储量的90%以上,几乎确定的是,海洋上层(0~700m)已经变暖。与此同时,1979~2012年,北极海冰面积以每10年3.5%~4.1%的速度减少;自20世纪80年代初以来,大多数地区多年冻土层的温度已升高,升温速度因地区的不同而不同。自1950年以来,地球海平面的上升速度高于过去的2000年。1901~2010年全球平均海平面上升了19cm,而过去10年间,冰川融化的速度也比20世纪90年代加快了数倍。从20世纪50年代开始,地球上的极端天气就已开始增多,包括强降雨、热浪、洪水、干旱等,正不断给人类带来灾害。IPCC第五次评估报告估算了不同情形下全球地表平均温度的上升幅度。据预计,应对气候变化较为脆弱的南亚地区将成为气温上升最快的区域,2046~2065年,最高升温部分将分布在尼泊尔、不丹、印度北部、巴基斯坦及中国南部的地区,升温幅度为 $2\sim 3^{\circ}\text{C}$,而2081~2100年,这些地区的预计温度会上升 $3\sim 5^{\circ}\text{C}$ 。随着气候持续变暖,高温热浪将更加频繁,持续时间更长。

近几十年来,中国的气候学和气候变化研究不断发展。20世纪90年代初,叶笃正等(1991)主编的《当代气候研究》系统地总结了当时国际和国内气候变化领域的研究成果。丁一汇(1997)主编的《中国的气候变化与气候影响研究》介绍了当时国内有关气候变化观测事实、气候模拟和预测、温室气体排放及气候变化影响等研究成果。近年来,气候变化科学进入了新的快速发展时期,新的研究成果不断涌现,与气候变化有关的研究也不断向更深的方向发展(王绍武,2001;秦大河等,2005)。中国近百年来,气候变化是一个备受气候学界重视的问题。早在20世纪60年代,王绍武等(1963)就分析了中国20世纪气候变暖的趋势。近来,王绍武等(2010)指出,1999~2008年中国平均温度增量为 $0.4\sim 0.5^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,即中国的气候变暖仍在继续;唐国利等(2012)基于全球和中国的观测资料指出,无论全球还是中国,2001~2010年都是有仪器观测记录以来最暖的10年,虽然这10年内的温度上升趋势很弱,冬季中国新疆和东北的气温低于前10年,但并不意味着气候变暖已停止。全球变暖情况下中国季节的变化显著,大部分地区春季、夏季的起始时

间呈现提前的趋势,而秋冬季则呈现推后的趋势,相应的冬季持续时间明显缩短,而夏季持续时间明显增加,春季、秋季持续时间也增加(张世轩等,2011);随着夏季延长,除华东以外中国大部分地区极端高温频次增加,随着冬季缩短,中国大部分地区极端低温频次下降,且下降趋势显著;极端高温和低温的存在及其年际变化是导致夏季、冬季持续日数变化的原因之一,也是导致夏季、冬季持续日数出现大幅波动的主要原因(赵俊虎等,2011)。

温度和降水是反映气候变化的两个主要指标。随着全球变暖的持续,全球陆地降水格局也发生了改变,近 30 年来澳大利亚、非洲南部、北美洲东部和南美洲北部、亚洲北部及东南部等地降水呈显著增加趋势,而东北亚及北美洲西部等地降水呈显著减少趋势(图 1.2),此外,区域性极端降水和干旱事件均增加等。

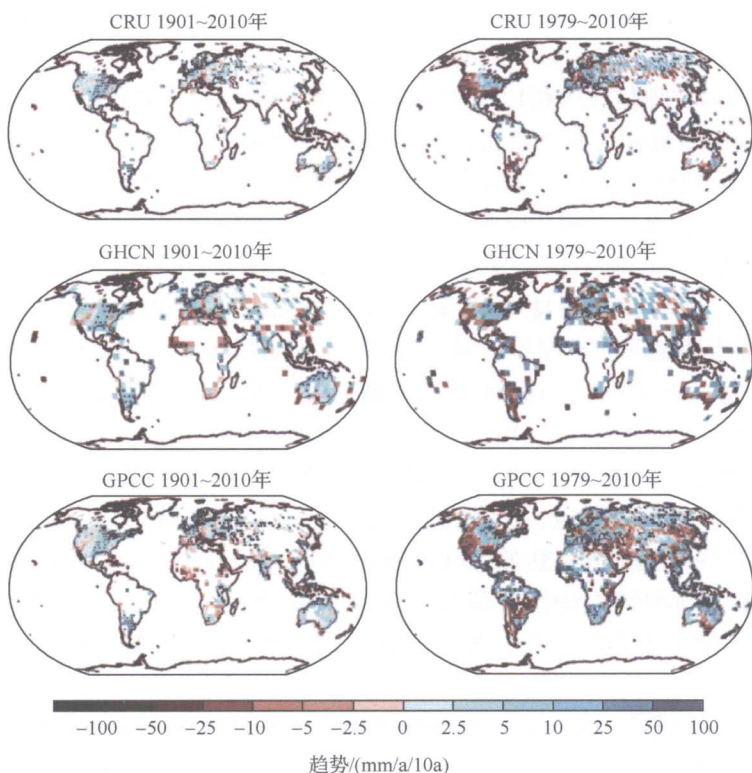


图 1.2 全球陆地降水趋势

源自:IPCCAR5 第一工作组的报告《气候变化 2013:自然科学基础》

CRU 为英国东英吉利亚大学气候研究部简写;GHCN 为全球历史气候网简写;GPCC 为全球降水气候中心简写

关于全球变暖背景下中国降水趋势的研究较多,这些研究包括年降水趋势,不同季节、不同区域和不同量级降水变率、夏季降水年代际变化及台风降水和极端降水等。从年降水趋势来看,全国平均年降水量从 20 世纪 60 年代到 90 年代呈明显下降趋势,但在 90 年代后期出现回升(王遵娅等,2004);降水量年变化区域差异较大,1951~2002 年,华北、华中、东北南部地区持续下降,而长江流域以南地区明显增加(王英等,2006)。其中华北的干旱问题引起了广泛的关注,60 年代中期至 70 年代后期,华北由湿润向干旱过渡,从 70 年代后期开始华北的干旱不断加剧,90 年代后期以来,华北地区更是连年出现大旱,