

ZHONGGUO SHUIHANZAIHAI CHANGQIYUBAO

LILUN·FANGFA·SHIJIAN

中国水旱灾害长期预报

理论·方法·实践

范垂仁 夏军 张利平 李秀斌 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

中国水旱灾害长期预报

理论·方法·实践

范垂仁 夏军 张利平 李秀斌 著



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书共分十章。第一章综述了水旱灾害长期预测的重要性与必要性、国际国内研究前沿、水旱灾害中长期预测的流程等；第二章介绍了天体物理学旱涝灾害预测法；第三章介绍了旱涝灾害预测的大气环流特征量法；第四章介绍了中长期水文预报的系统分析方法；第五章介绍了基于相空间的中长期水文预测；第六章介绍了综合系数预测法；第七章介绍了洪水峰现时间长期预报方法；第八章介绍了谚语预测法；第九章介绍了中长期预报方法在干旱、粮食产量和水资源中的应用；第十章介绍了旱涝预测的集成发布与效益分析。“危险区法”、“黑子年月比例系数法”、“日月食代码值法”、“综合系数法”、“鼠相年法”等旱涝巨灾定性、定量方法是作者独创的，具有很强的实用价值。

本书适用于省地县农业、水利部门及基层水文站，可供全国各大中型水库发电厂应用，亦可供海洋、天文、地震、气象、保险、农业、电力等部门有关科技人员及大专院校师生学习参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

中国水旱灾害长期预报：理论·方法·实践/范垂仁
等著. —北京：中国水利水电出版社，2008

ISBN 978-7-5084-6183-0

I. 中… II. 范… III. ①水灾-预报-研究-中国②干旱-预报-研究-中国 IV. P426.616

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 204313 号

书 名	中国水旱灾害长期预报 理论·方法·实践
作 者	范垂仁 夏军 张利平 李秀斌 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	184mm×260mm 16 开本 15.75 印张 373 千字
版 次	2008 年 12 月第 1 版 2008 年 12 月第 1 次印刷
印 数	0001—2000 册
定 价	46.00 元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

作者简历



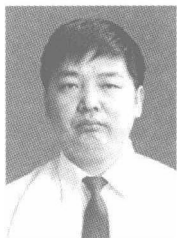
范垂仁，男，吉林省辉南县人，1934年2月出生，研究员。1954年东北水利学校毕业，1963年河海大学陆地水文专业本科毕业，先后在大伙房水库、水利部和吉林省水文水资源局工作。主持参与了国家科委、国家自然科学基金、吉林省科委、吉林大学等有关课题研究，发表论文50多篇，获国家、部、省科技奖20多项。现任长春自然灾害预测研究中心主任，《当代生态农业》杂志副社长，中国地球物理学会天灾预测专业委员会常务委员。



夏军，男，湖北孝感人，1954年10月出生，中国科学院地理科学与资源研究所知识创新基地研究员，博士生导师，水文水资源研究方向首席科学家，国家有突出贡献中青年专家，中科院“百人计划”入选者。主持或参加了国家自然科学基金、“973”、省部级重点项目60余项研究。在国内外学术刊物发表论文120余篇，主持撰写6部专著，9次获省部级奖励。现任国际水文科协（IAHS）副主席、IAHS中国国家委员会委员、国际水文科学杂志（HSJ）编委、联合国教科文组织国际水文计划（UNESCO-IHP）中国国家委员会委员、中国自然资源学会水资源专业委员会主任、中国地理学会水文专业委员会副主任等职。



张利平，男，湖北黄冈人，1971年10月出生，博士，武汉大学副教授。现主要从事水文气象学的研究和教学工作，主持参与了国家自然科学基金重大项目、国家自然科学基金、高校博士学科点专项基金，国家发改委等多项国家和省部级科研项目，获教育部科技进步一等奖、教育部自然科学二等奖、湖北省自然科学一等奖、湖北省优秀教学成果二等奖等奖励，参编专著和教材3部，在国内外发表论文40余篇。现任全球水计划（GWSP）中国国家委员会委员，中国自然资源学会水资源专业委员会委员等。



李秀斌，男，吉林省永吉县人，1966年2月出生，东北电网有限公司白山发电厂高级工程师。一直从事水文预测预报和水库调度运行的研究，发表论文20余篇，先后获得国家电力公司电力科学技术三等奖，吉林市科学技术协会优秀论文一等奖，中国地球物理学会第二十届学术年会优秀论文奖等多项荣誉，现任中国地球物理学会天灾预测专业委员会委员。

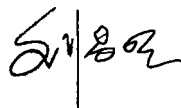
序

我国是一个水旱灾害频繁发生的国家，水旱灾害损失占我国自然灾害损失的大部分，长期水文预报具有重要的社会效益和经济效益。水旱灾害预测是一项重要的非工程措施，在防灾减灾事业中起着十分重要的作用。

范垂仁、夏军、张利平、李秀斌四人的专著《中国水旱灾害长期预报》是一部集方法、理论和实践于一体的综合性著作。其特点是：在针对我国历史旱涝灾害系统分析、深入研究和大量实践的基础上，从天文、气象和地理等各方面探寻水旱灾害的成因机制和发展规律，提出了相应的预测方法，其中既包括常规的预测方法，又包括作者自主创新提出的危险区法、太阳黑子年月比例系数法、日月食代码值法、综合系数法和属相年法等定性和定量的预测方法。在对特大旱涝巨灾及超长期预测方面，提出了通过日、月、地三球相对位置和可公度网络图等方法，详细阐明了各种预测方法的适用条件、预见期及优缺点等。书中通过高度概括的文字和图表，列举了许多预报案例，集作者多年从事科研探索和长期水文预测实践之大成，具有很高的应用价值。书中运用交叉学科知识对国内外旱涝巨灾进行了全面和系统的分析研究，在理论和实践上都有新的进展和突破。该书的出版将有利于促进我国旱涝灾害长期预测理论和实践的发展。

本书作者长期致力于水文气象长期预报和系统水文学研究，数十年如一日，兢兢业业、不辞辛苦，矢志于水文预报攻坚，积累了丰富的知识和经验。该书是作者对40多年来预报实践经验的总结，既有理论研究，又有预报方法、预报实例，还有预报效益分析，是一部难得的水旱灾害中长期预测的专著。本书的出版将对我国水旱灾害预测事业的发展起到重要的推动作用。

中国科学院院士



2007年12月28日于北京

前 言

我国是一个水旱灾害频发的国家，根据相关部门统计，每年水旱灾害给国家带来的经济损失超过 100 亿人民币。减少我国水旱灾害在国民经济建设发展与保障系统中具有重要的现实意义和巨大的经济价值，其中水旱灾害中长期预测预报成为减少自然灾害规划、管理、决策调度的重要参考依据。1949 年新中国成立后，经过几代人的努力，我国水旱灾害长期预报水平有了相当的进展与提高，但是由于地球系统的复杂性和水文过程的不确定性，总的来说当前世界的水文中长期预测预报水平还不高，无论是在中国，还是在世界都是个难题。

为了推动我国水旱灾害长期预测预报的发展，国内水文界同行在该领域开展了长期不懈的研究与努力。本书作者就是其中的一支扎根于基层、长期合作、努力创新的研究队伍。本书是多年来作者们对水文现象长期观测、科研和预测实践经验的系统总结，系统介绍了应用我国大江大河的水旱灾害中长期预报方法与应用检验。全书共计十章，其主要特点是：

(1) 内容全面。书中既有理论研究，又有预报方法、预报实例和预报效益分析，涉及到水旱灾害长期预报的各个方面，在理论上和实践上对水旱灾害长期预报作了全面的探讨。

(2) 实用性强。本书所介绍的各种方法一般都是按照理论方法、概念与建模及举例、使用条件和范围、方法的优缺点分析、应用时注意事项等顺序来撰写。力求做到“理论深入浅出，方法思路明确”。此外还有如何保证预报方法和模型质量、如何提高准确率、建立模型时如何选好预报指标等，便于读者理解和应用。

(3) 预报内容和项目多、方法多、预报灾害要素多。书中不仅介绍了河道水文站最大洪峰量预报、水库年月径流预报，而且还包括了大暴雨时间、台风预报、大型水库汛期来水总量预报、水资源预报、洪水峰现时间预报、全国旱涝农田损失亩数预报和粮食产量预报等。

(4) 预报方法具有创新性。书中介绍的预报方法不少是作者独创的，如“日、月、地三球效应法”、“日、月食代码值法”。在利用水文学原理的同时，

还大胆采用交叉学科知识来作长期预测，如“区域性大洪水危险区图法”、“太阳黑子年月比例系数法”、“综合系数预测法”、“综合指数法”、“可公度网络结构图法”等。

(5) 资料翔实，图文并茂。书中文字流畅，表达清楚准确。

在全书的写作过程中，我们本着严肃认真的态度，反复修改和增删，直到2008年才最后交付全稿，历时十个春秋。

本书在完成、修改和完善的十年内，还得到国家自然科学基金(40730632, 50879061, 40675070)、中国科学院知识创新工程重要方向性项目(KZCX2-YW-126)、国家教育部博士学科基金以及湖北省科技攻关计划(2007AA301B57)等不同方面的支持，得到武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室、中国科学院陆地水循环及地表过程重点实验室、中国地球物理学会天灾预测专业委员会等部门的大力支持，在此一并表示衷心的感谢。

由于地球系统水文过程的复杂性以及人类认知水旱灾害发生机理的有限性，本书的出版只能起到“抛砖引玉”的作用。我们学识有限，书中的疏漏和错误之处在所难免，敬请国内外专家学者和广大读者批评指正。

作者

2008年12月

目 录

序 前言

第一章 综述	1
第一节 水旱灾害长期预测的重要性与必要性	1
第二节 中长期水文预报的难度与不确定性	4
第三节 国际国内研究前沿	6
第四节 水旱灾害中长期预测的流程	7
第二章 天体物理学旱涝灾害预测法	9
第一节 天体物理学旱涝灾害预测背景分析	9
第二节 近远日点月相、立春日期对巨旱涝影响机理	23
第三节 利用日月食预测旱涝原理	28
第四节 利用月相气候指数定性预测旱涝巨灾方法	36
第五节 利用日月食定量预测洪水	58
第六节 太阳黑子相对数预报法	65
第七节 天文动力学预测模型图法	80
第三章 旱涝灾害预测的大气环流特征量法	87
第一节 区域性大洪水危险区图预测法	87
第二节 大气环流特征量法	103
第三节 海温预测方法	126
第四章 中长期水文预报的系统分析方法	134
第一节 基于 R/S 分析的径流预测	134
第二节 基于气象因子的中长期水文预报方法	139
第三节 可公度网络结构图法	148
第五章 基于相空间的中长期水文预测	154
第一节 长期预报的相空间理论	154
第二节 基于相空间的径流预测模型	155
第三节 基于相空间的年月径流预测	162
第四节 水库中长期径流预报系统的开发研究	167

第六章 综合系数预测法·····	172
第一节 天干、地支、属相与洪水·····	172
第二节 综合系数预测法及应用·····	173
第七章 洪水峰现时间长期预报方法·····	179
第一节 洪水峰现时间的特点·····	179
第二节 大洪水峰现时间预报模型与应用·····	181
第八章 谚语预测法·····	186
第一节 谚语对洪水预测的指示意义·····	186
第二节 谚语汇集·····	187
第三节 谚语与洪水的对应分析·····	190
第四节 利用谚语预测洪水·····	192
第五节 谚语预测法讨论·····	195
第九章 中长期预报方法在干旱、粮食产量和水资源中的应用·····	197
第一节 旱灾定量预报模型及应用·····	197
第二节 粮食产量预报·····	200
第三节 水资源水库来水长期预测·····	201
第十章 旱涝预测的集成发布与效益分析·····	220
第一节 预测工作程序·····	220
第二节 作业预报集成和发布前的准备·····	226
第三节 集成与发布应注意的几个问题·····	227
第四节 预报效益实例·····	230
第五节 展望·····	234
参考文献·····	235
后记·····	240

第一章 综 述

第一节 水旱灾害长期预测的重要性与必要性

水旱灾害对人类社会的影响和带来的巨大损失已经成为世界性关注的重大问题。来自国际组织的统计资料表明,20 世纪 90 年代后期以来,世界进入了一个水旱灾害事件频发并重的阶段。20 世纪 70~80 年代中期,世界上受旱灾影响的人口最多;80 年代后期~90 年代初期,受旱灾人口明显下降,受水灾人口急速上升;90 年代后期~2002 年,不仅受水灾人口居高不下,而且受旱灾人口再攀新高。从水旱灾害事件发生的区域看,35%发生在以季风气候为主的亚洲地区,29%发生在非洲,20%发生在美洲,13%发生在欧洲,3%发生在大洋洲。根据国外有关的统计资料,2002 年全球因灾死亡 10576 人,其中亚洲 8570 人,占 81%。死亡成因中洪水占 42%。同时资料分析表明,发展中国家因灾死亡人数约为发达国家的 13 倍。而从经济损失来看,洪水造成的损失占了 50%。

我国地理气候条件特殊,人口众多,降雨量在时空上的分布相当不均匀,水旱灾害一直是威胁人类生存和发展的最严重的自然灾害,洪水灾害损失占各类突发性自然灾害总损失的 30%以上。我国干旱半干旱区占国土面积的 40%,20 世纪 90 年代以来北方干旱化有关的灾害造成的经济损失每年都在 1000 亿元以上。干旱化使 20 世纪 90 年代黄河中上游的年天然径流量比 20 世纪 50 年代减少了 24.4%,在自然过程和人类活动的共同影响下,下游实际径流量减少 68%,致使黄河连年断流,每年经济损失超过 100 亿人民币,其中胜利油田减产 8%。20 世纪 70 年代以来北非地区连年干旱,使 22 个国家的 2.5 亿人口遭受百年来最严重的粮食危机。21 世纪水资源将成为制约全球社会经济发展最主要的因素。

根据美国气象局(NWS)统计资料,美国 1926~2000 年平均每年水旱灾害损失为 13.67 亿美元;根据有关资料统计,我国每年的水旱损失超过 1000 亿人民币,仅 1998 年长江全流域性大洪水,松花江、嫩江特大洪水的灾害,其直接经济损失就达到了 2551 亿人民币,暴露出我国在防洪工程性措施和非工程性措施方面还存在诸多问题。根据国家防汛抗旱总指挥部发布的有关信息,2006 年我国水旱灾害十分严重。全国农作物洪涝受灾面积 1.51 亿亩,受灾人口 1.45 亿人,因灾死亡 1841 人,失踪 475 人,倒塌房屋 87.6 万间,直接经济损失达 1273 亿元。全国耕地受旱面积一度达到 2.96 亿亩,成灾 2.19 亿元,有 365 万人、2814 万头大牲畜因干旱发生临时性饮水困难。2006 年 8 月底水旱灾害统计的 6 项主要指标中,除农作物洪涝受灾面积外,农作物受旱面积、因旱饮水困难人数、大牲畜饮水困难数、洪涝灾害死亡人数和直接经济损失都是 1998 年大洪水以来同期最大的。

面对近 10 余年来全球出现的水旱灾害极端事件频发并重的局面,国际社会已经积极

行动起来。目前联合国、各相关国际组织、各国政府与非政府组织机构为减轻水旱灾害制定了各种计划，付出了卓越努力。他们在推动水旱灾害管理的研究与治水战略的转移、防灾意识的普及、减灾体系的完善、新技术在防灾减灾中的应用与推广以及促进国际社会的交流与合作等方面发挥了积极的作用，促使世界各国不断完善与深化治水的理念、方略、管理体制、运作机制、技术手段与对策措施。例如，在 20 世纪最后 10 年，联合国发起了“国际减灾十年”活动及新世纪以来后续的“国际减灾战略”行动。2000 年 3 月在荷兰海牙召开的第二次世界水大会上发表的部长宣言《21 世纪的水安全》，确定将“风险管理”（针对洪水、干旱、污染及其他与水相关的灾害）列为 7 个挑战领域之一。2000 年 8 月，联合国组织启动的《世界水资源的评价计划（WWAP）》中，“风险管理”也被列为重点领域之一。2002 年关于可持续发展的世界政府首脑峰会（WSSD）的执行计划也认识到，为了减轻重大水旱灾害的影响，需要有计划地给予援助。2003 年，得到众多国际组织支持的国际洪水网络（IFNet）宣告成立。2003 年 3 月第三次世界水大会上，部长宣言的题目就定为《减灾与风险管理》。宣言指出：“水旱灾害的影响日趋严重，表明需要采取综合的途径，包括加强工程措施，如水库与堤防的建设；也包括非工程措施，如土地利用管理、灾害预报与预警系统、国家风险管理体系……”，“……为了减轻灾害损失，国际社会通过共享与交流资料、信息、知识与经验……加强科学家、水管理者与利害关系者之间的合作，以减少脆弱性……”。2007 年，联合国教科文组织（UNESCO）为了响应全球加强风险管理的行动，与世界气象组织联合制定了国家洪水计划，目前已经筹建国际水灾害与风险管理中心，该中心设在日本土木研究所。为了减少自然灾害带来的巨大损失，国际上积极倡导从控制洪水转向洪水管理，从盲目冒险转向风险管理，从体制上推进风险管理的各种政策，建立在与洪水共存基础上的减灾战略，其中包括发展预警预报系统，建立保护法规，推行洪水保险等。水旱灾害对区域可持续发展造成了严重威胁，因而成为各国着重研究和预防的主要自然灾害，国家和各地政府部门投入大量资金充实和完善防洪工程体系的建设。

中国水旱灾害的发生既有经济社会发展等方面的原因，也有自然条件因素影响，尤其是灾害性大暴雨与洪水以及大范围的干旱灾害。目前，由于人类抵御自然灾害的能力有限，国际、国内都在积极倡导减少自然灾害，水旱灾害的预测预报是其中非常重要的非工程措施之一。近些年，国家防洪减灾实践过程表明，尽管我们建立了牢固的防御工程，但我们对非工程性措施的水旱灾害预测能力方面还有待加强，如能提供可靠的水旱灾害预报，则可以充分有效地利用防洪工程，避免或减轻灾害损失。因此国内外对水旱灾害预报技术的研究就一直没有停止过，水旱灾害预报技术也一直处于不断的改进和发展之中。新世纪之初，随着我国社会经济的进一步发展，中国水资源安全问题将面临更多来自大尺度和陆地水系统变化的挑战，亟待从国际水科学前沿和中国重大需求的结合点出发，探讨水旱灾害形成的机理，开展水旱灾害的中长期预测，为一系列危及国家水资源安全与战略问题的综合诊断，防治和调控提供科学支持和技术支撑。有资料分析表明（图 1-1~图 1-3），除地震灾害外，洪涝灾害造成的国民经济损失位居第二位，做好洪水灾害预报，保障人民的生命财产安全，更有着深远的现实和历史意义。

第一节 水旱灾害长期预测的重要性与必要性

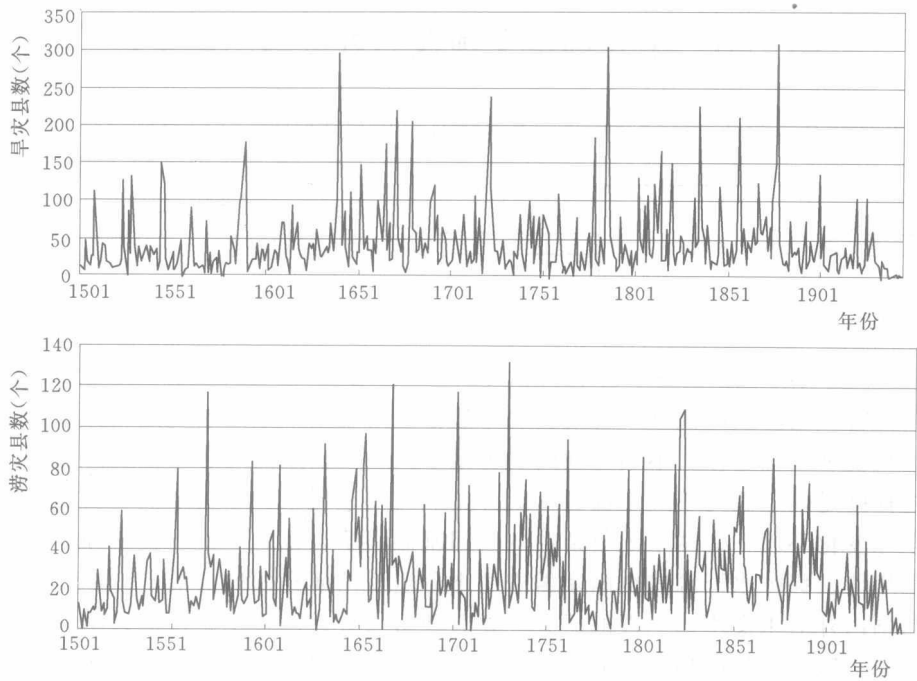


图 1-1 中国历史上（1501~1901 年）旱涝受灾县数统计图

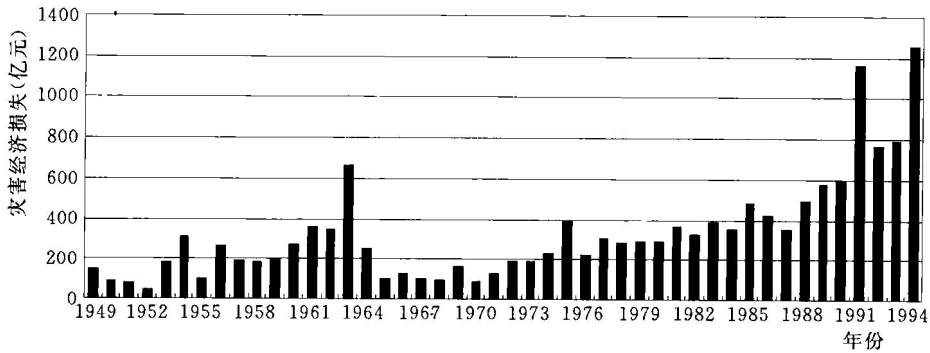


图 1-2 1949~1994 年中国自然灾害直接经济损失统计图

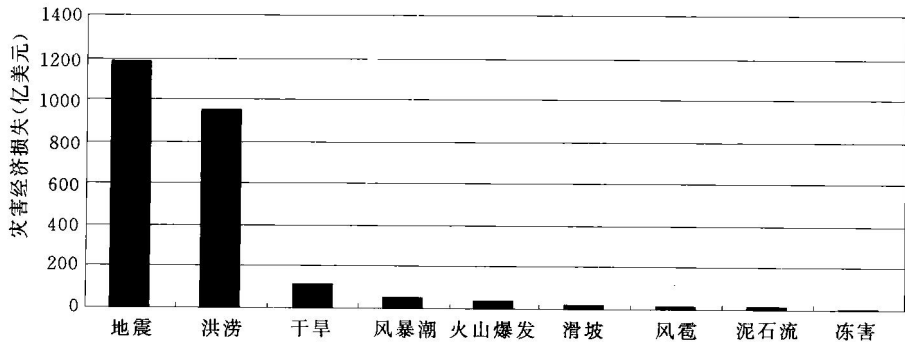


图 1-3 1900~1995 年世界自然灾害大事件经济损失排行榜

第二节 中长期水文预报的难度与不确定性

在自然变化和人类活动综合作用下,水文循环过程及其影响变化既有确定性的一面,又有

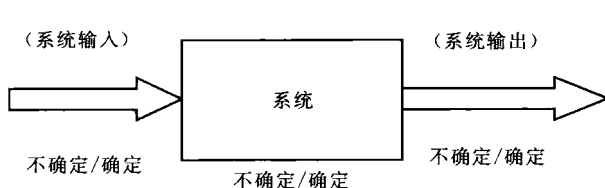


图 1-4 水文系统不确定性来源的示意图

不确定性或随机性的一面。一般讲,水文系统的不确定性来自几个方面:①系统输入的不确定性,引起系统的不确定性;②系统本身存在不确定性;③更为复杂的情况,即系统输入和系统本身都存在的不确定性。其示意图见图 1-4。

水旱灾害预测涉及的预测系统的动力学过程极其复杂,也涉及到基础资料信息以及预测方法的精度和不确定性。不确定性问题也是水文系统复杂性问题的主要体现之一。客观的水文过程则是确定性与不确定性各种成分交织的复杂现象。水文系统不确定性研究不仅世界是全球变化环境下地球系统复杂性的一门基础科学,也是现代水文学理论发展和认识旱涝灾害规律、保障水资源安全国家需求中十分重要的研究领域前沿。

目前国内外对水文不确定性的研究主要有随机与统计的理论、模糊数学方法以及灰色系统或者称为区间分析的理论与方法。各国专家学者针对水文不确定性问题进行了深入的研究,取得了带有理论开创性和独具特色的研究成果。在国内,以河海大学、四川大学、西安理工大学等为代表的随机水文学理论与方法,以大连理工大学为代表提出的模糊水文学理论与方法和以武汉大学等为代表的灰色系统水文学及其综合的广义不确定性理论与方法等,为现代水科学不确定性研究开拓了新的思路和新的途径。

目前,国际上的研究特别强调在水文学未来发展中,应用更多的交叉学科方法,积极倡导对水文水资源不确定性研究方法论进行新的探讨,主要集中在如何从水文系统分散信息员提取信息和进行统计或决策的问题、可持续水质水量管理的风险分析和不确定性研究、环境管理中的多种不确定性问题等,采用了贝叶斯统计、模糊统计、随机模拟和灰色统计等方法。

与国内外在水文系统不确定性理论与方法的研究比较,我们强调多学科交叉,强调将水文学原理、水文系统识别与随机、模糊与灰色系统中精华部分的思想方法相结合,提出一种研究描述水文信息不完全和处理水文广义不确定性的系统水文学理论,开拓系统水文学不确定性学术研究,希望提升认识水文过程和空间变化趋势规律和识别其不确定性变化的能力,发展新的分析工具。

水文不确定性是众所周知的难题。目前还存在着不同的学术观点与争议,我们提倡“百家争鸣,学术创新”,通过理论与实践,推动水文不确定性问题进一步的研究。下面仅以灰色系统水文分析为例,说明作者应对水文不确定性的一种研究思路与方法论。

针对水文系统不确定性的科学问题与复杂背景,可以通过随机理论、模糊数学以及灰色系统区间分析的融合交叉的研究途径,探讨水文现象的复杂性和不确定性,认识水文循环和不同尺度水文的特征规律,并找出它们之间的联系,从现实条件出发,建立一套系统水文学广义不确定性的研究体系和水文系统模拟、预测、统计、规划的新方法;提出水文系统不确定性的差异信息和区间分析理论与方法,以促进精确的物理水文学和统计水文学

相结合,更多地考虑来自社会经济、人类活动影响方面造成的种种不确定性,应用风险分析理论,建立识别水文系统风险分析中的灰色不确定性的灰色~随机风险率理论方法,服务与可持续水资源管理、全球气候变化影响、旱涝灾害预报、水资源与水环境评价等多方面,使水文学的理论向现实更逼近一步。

以水文~生态模拟及其与天气动力学模型耦合为例,水文模型往往对来自 GCMs 或中尺度区域模式输入的不确定性 I 所引起输出的不确定性 O 十分敏感。比如,水文生态模型对降水量的不确定性敏感性 O 很强,即 $O > I$ 。在水文循环的生物圈研究方面,是以考虑天气模型与水文模型的耦合联系为目标。所以,无论是水文循环模拟本身还是与大气系统模式耦合都需要研究上述种种不确定性问题。

目前认识到的是:系统的不确定性十分复杂,通常以某个半量化的数值区间表示。例如,假定某天气或水文特征量的真值为 X_{ture} ,采用动力学模拟总是存在一定的误差,对 X_{ture} 模拟的平均值记为 X_{avg} ,则模拟过程不确定性来源有:系统偏差 $(X_{avg} - X_{ture})$;模型模拟值相对 X_{avg} 的误差 U_{prec} ;由于采用的模型或者观测技术不同在它们之间反映的误差 U_{prot} ;由于时间和空间尺度的不同所反映的天气模拟不确定性误差 U_{scale} 等。它们的不确定性数值区间总和为: $(X_{avg} - X_{ture}) + U_{prec} + U_{prot} + U_{scale}$ 。目前需要研究的问题是:如何在水文循环模拟和系统耦合与聚解中描述、量化和运算这些数值区间?如何将输入输出的不确定性 I~O 与水文循环模拟的确定性关系耦合在一起,认识水文的复杂性和模拟的薄弱环节,为水文生态模拟应用,提高必要的风险分析信息。这是水文循环模拟的不确定性量化研究比较困难的问题,需要采用不同的研究途径与方法。

目前,可行的方法之一是随机统计的理论,通过随机~动力学的系统模拟,识别水文循环模拟和耦合中的不确定性。面临的问题是:推求随机~动力学的系统模拟的解十分困难,在实际应用中往往缺乏足够的系统观测和系统状态(土壤含水量等)样本资料。

另一种途径是模糊数学和灰色系统区间分析的不确定性理论方法。例如,针对水文模拟信息不完善的问题,可以把前述的系统不确定性数值区间可定义为一种特别的灰数 $X_g(\otimes) = [X_d, X_o, X_u]$,其中 X_d 是下界值, X_u 是上界值。为了减少参数,定义灰数的白化值为 $X_o = (X_d + X_u)/2$ 。区间灰半径为 $\delta X = (X_u - X_d)/2$ 。则数值区间只需用两个参数描述 $X_g(\otimes) = (X_o, \delta X)$,其中 X_o 可描述系统确定性或趋势性的变化项,而 δX 反映了系统不确定性信息。夏军通过研究提出了满足灰区间四则封闭运算,且较现行区间分析有进一步改进(如自减为零等)的运算法则。利用它们可以将描述系统不确定性的数值区间,纳入到水文循环动力学系统方程参加运算,即获得系统模拟确定性的解,有可以量化系统不确定性的数值区间解。

以天气动力学~水文生态模式耦合的数值区间聚解模型为例,其间的转化不确定性系统之一可表达为:

$$\frac{dY_i^{(1)}(\otimes)}{dt} + a_i(\otimes)Y_i^{(1)}(\otimes) = \sum_{k=1}^N b_{ik}(\otimes) \frac{dX_k^{(1)}(\otimes)}{dt} \quad (1-1)$$

式中: $X_k(\otimes)$ 为天气动力学模式输出变量累加变换; $Y_i(\otimes)$ 为聚解到地面第 i 个测站的水文变量累加变换; $a_i(\otimes)$ 、 $b_{ik}(\otimes)$ 为天气聚解模型的灰参数。

从理论熵可以推导出一种与数值灰区间等价关系模型为:

$$\frac{d(Y_i^{(1)}, \delta Y_i^{(1)})}{dt} + (a_i^{(1)}, \delta a_i^{(1)})(Y_i^{(1)}, \delta Y_i^{(1)}) = \sum_{k=1}^N (b_{ik}^{(1)}, \delta b_{ik}^{(1)}) \frac{d(X_k^{(1)}, \delta X_k^{(1)})}{dt} \quad (1-2)$$

式中: X_k, Y_i, a_i, b_{ik} 为数值区间灰色系统模型白化值, 即模拟确定性变化的变量和参数; $\delta X_k, \delta Y_i, \delta a_i, \delta b_{ik}$ 为数值区间。应用灰区间运算法则, 数值区间聚解模型可进一步转化为等价的两个子模型方程。一个是与确定性聚解部分联系的白化方程模型, 即

$$\frac{dY_i^{(1)}}{dt} + a_i Y_i^{(1)} = \sum_{k=1}^N b_{ik} \frac{dX_k^{(1)}}{dt} \quad (1-3)$$

另一个是与模型白化值有联系, 表达聚解不确定性的灰半径方程, 即

$$\frac{d\delta Y_i^{(1)}}{dt} + (|a_i| + \delta a_i) \delta Y_i^{(1)} = \sum_{k=1}^N (|b_{ik}| + \delta b_{ik}) \frac{d\delta X_k^{(1)}}{dt} + \delta b_{ik} \frac{d\delta X_k^{(1)}}{dt} - \delta a_i |Y_i^{(1)}| \quad (1-4)$$

依据天气动力学的输出和地面水文生态变量的观测和系统辨识方法, 可识别确定性聚解模型和不确定性数值区间模型的参数, 获得两组聚解子模型的解, 量化聚解的确定性项和数值区间的不确定性特征, 达到研究动力学过程不确定性所要求的目标。

总之, 水文系统的不确定性问题比较复杂, 需要提高水文预测基础的信息来源。同时, 也需要采用一些新的方法和技术来描述系统的不确定性, 采用“灰靶”的概念预测和处理系统的不确定性, 提高预测合格率和精度。另一方面, 随着研究尺度的增加和预见期的增长, 水文中长期预测的不确定性和预测难度也在不断的增加。

第三节 国际国内研究前沿

由于人类活动对地球系统的影响迅速扩大, 经济和人口膨胀带来的需求空前增长, 造成全球变暖、土地退化、水资源匮乏等一系列全球生态环境问题。中国位于地球环境变化最激烈的季风区, 水资源和生态环境具有复杂和易变性, 对外界变化的响应和承受能力具有敏感和脆弱的特点。伴随着全球气候发生变化的是全球降水和气温时空分布的改变, 其陆地覆盖, 年际径流量和地下水时空分布随着发生变化。水循环是联系地球系统“地圈—生物圈—大气圈”的纽带, 是全球变化四大主题“水、碳、食物、健康”中的核心问题。由于受全球气候变化和人类活动的影响, 全球、陆地、流域不同尺度水资源的形成、转化过程中的水循环机制变得越来越复杂, 可持续发展中的水与气候、水与生态、水与社会、水与经济的矛盾日益突出。

近 20 年来, 国际社会为了解决这些问题, 实施了一系列的研究计划, 来积极探索水循环以及与水相关联的前沿科学问题与应用基础问题。从交叉和综合角度来看, 最具有影响的是 21 世纪初提出的全球水系统计划 (GWSP), 该计划引领了国际地球系统科学的水问题研究前沿, 它起源于世界知名的四大计划 (国际地圈生物圈计划, IGBP; 全球气候研究计划, WCRP; 国际人文因素计划, IHDP; 国际生物多样性计划, DIVERSITAS) 联合形成的地球系统伙伴计划 ESSP (Earth System Science Partnership)。GWSP 面向当前和未来人类面临的严峻水资源、生态、环境和人类健康的科学基础问题, 从大尺度水系统的概念和方法论, 探索地球系统水循环的物理、地球生物化学以及人类活动的相互影响与作用关系, 为破解水资源危机的成因与支撑人类可持续发展提出基础规律认识和科学对策途径。

中国在陆地水系统研究方面, 有着得天独厚的基础条件和天然优势。人口占世界人口的 1/4, 国土面积占世界陆地面积的 1/15, 占亚洲面积的 1/4, 差不多等于整个欧洲的面

积，气候类型齐全而复杂。由于水问题的重要性，我国多个涉水部门（中国科学院、水利部、中国气象局、国土资源部等）积极支持流域或者区域水资源的研究，已经有比较好的基础和条件。从学科前沿和国家水资源重大需求看，迫切需要探索交叉性前沿科学问题，探索以水为纽带的水与气候、水与生态、水与社会和水与经济等各个系统间的作用关系，剖析陆地水系统变化规律和影响机制。

第四节 水旱灾害中长期预测的流程

中长期水文预报是一项系统工程，影响因素十分复杂，它涉及到天文、海洋、气象、水文、水利、地理、数学、灾害学、环境科学、历史学、农业等多门学科。为此把影响旱涝水文要素变化预测对象的各项因素，依主次要影响顺序，加入多年研究成果中，形成行之有效的水旱灾害中长期预报方法，并制作预测流程图（图 1-5 和图 1-6）。该图

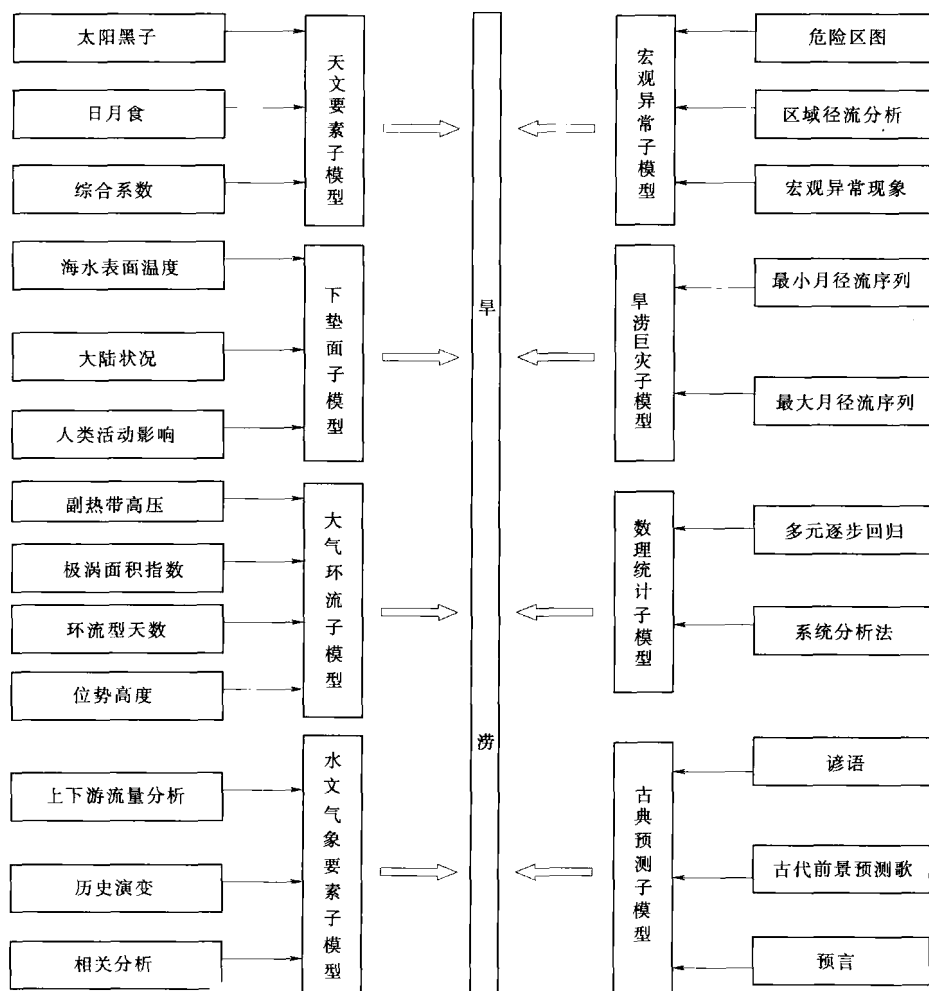


图 1-5 中长期水文综合预报模型结构图

把我国各学科先进思维、先进理论、方法、经验和成果完整地融入进去，同时能够进行综合分析审查，防止错误发生，发挥水文学优势，综合预报成果，相互校正，提高预报精度，达到发挥水文长期预报作用，更好地为国民经济建设服务。

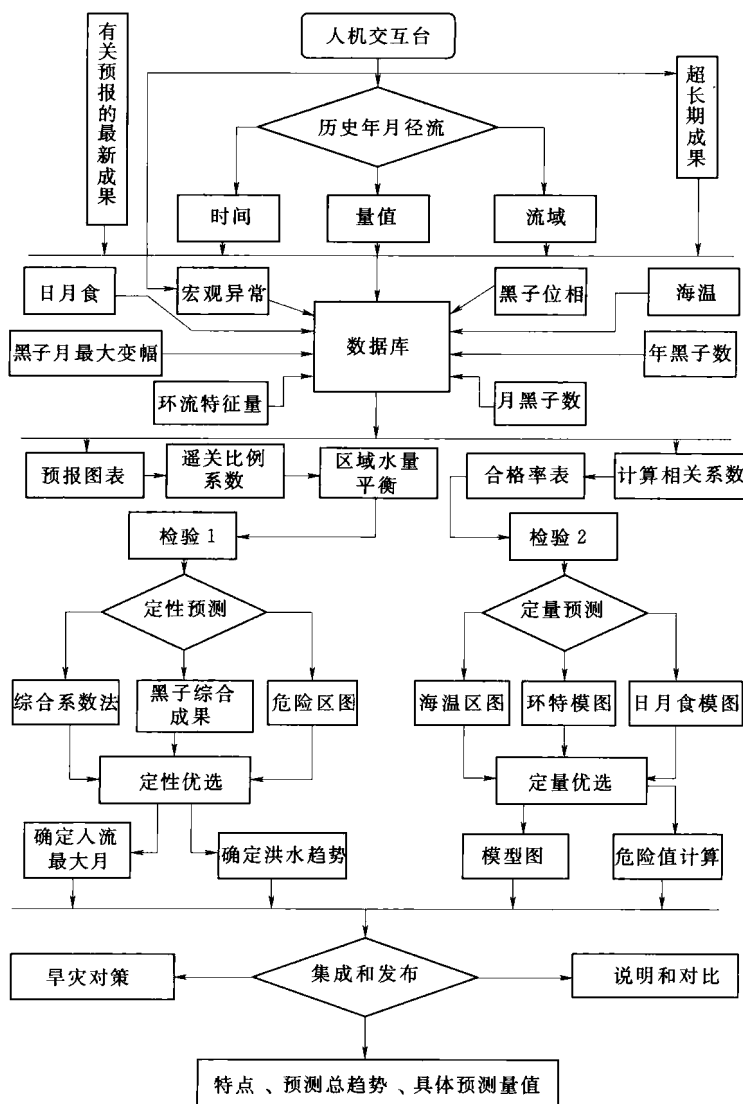


图 1-6 中长期水文旱涝巨灾洪峰流量年月径流量预报流程图