



水科学博士文库

*Sensitivity Study on
Watershed Hydrological Procedure to
Climate Extreme Events*

流域水文过程对 极端气候事件 敏感性研究

胡彩虹 王纪军 王民 吴泽宁 等 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

水科学博士文库
14

*Sensitivity Study on
Watershed Hydrological Procedure to
Climate Extreme Events*

流域水文过程对 极端气候事件 敏感性研究

胡彩虹 王纪军 王民 吴泽宁 等 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书针对流域水文过程对极端气候事件的响应,构筑了极端气候事件及其造成的水文过程分析方法体系,并以河南省典型流域——陆浑水库和鲇鱼山水库控制流域为研究对象,分析极端气候事件对水文过程的影响。全书包括绪论、极端天气气候事件、基于DEM流域特征信息提取及其地貌参数量化方法、极端水文事件概念内涵及其与极端气候事件关系识别、干旱形成机理及不同类型干旱间的关系、流域水文过程对极端降雨事件的响应等内容。

本书可供水文、水资源以及气候等相关专业科技工作者参考,也可供大专院校相关专业师生阅读。

图书在版编目(CIP)数据

流域水文过程对极端气候事件敏感性研究 / 胡彩虹
等著. — 北京:中国水利水电出版社, 2015. 11
(水科学博士文库)
ISBN 978-7-5170-3838-2

I. ①流… II. ①胡… III. ①气候变化—影响—流域
—水文模拟—研究 IV. ①P467②P334

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第278375号

书 名	水科学博士文库 流域水文过程对极端气候事件敏感性研究
作 者	胡彩虹 王纪军 王民 吕泽宁 等著
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) 68287658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 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	北京嘉恒彩色印刷有限责任公司
规 格	170mm×240mm 16开本 15印张 286千字
版 次	2015年11月第1版 2015年11月第1次印刷
定 价	60.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究



前言

QIANYAN

当今世界，全球气候变化深刻影响着人类的生存和发展，是各国共同面临的重大挑战。全球气候变化使中国水资源时空分布不均问题更加突出，暴雨洪涝灾害更加频繁，持续干旱现象更加严重，水利工程体系薄弱问题更加突出，应对水旱灾害的复杂性与难度更加凸显。本书针对流域水文过程对极端气候事件的响应，发挥交叉学科的综合优势，采用理论分析和模拟实验相结合的方法，基于统计学和成因分析法构筑一套完整和有效的极端气候事件及其造成的水文过程分析方法体系，分析极端气候事件和流域水文过程相互作用的机制。在明确极端气候事件定义和指标体系的同时，采用指标分析典型极端气候事件，以河南省典型流域——陆浑水库和鲇鱼山水库控制流域为研究对象，基于分布式水文模型分析极端气候事件对水文过程的影响。

本书以“气候变化—极端气候事件—流域水文过程”为研究主线，以流域水文过程对极端气候事件的响应为核心内容，主要包含以下内容：第1章为绪论，主要介绍研究背景和意义、研究现状和研究内容及其技术路线。第2章为极端天气气候事件，在对极端天气气候事件进行定义的基础上，分析了极端天气气候事件分析的指标，并基于这些指标采用相关统计学方法从不同角度对黄河流域、河南省旬降水、降水量及京广沿线的极端天气气候事件进行了时空变化分析。第3章为基于DEM流域特征信息提取及其地貌参数量化方法，在介绍数字高程模型的基础上，介绍了数字流域地形特征的提取，并采用不同地貌参数量化与降雨侵蚀产沙关系进行了量化研究。第4章为极端水文事件概念内涵及其与极端气候事件关系识别，在分析明确极端水文事件内涵的基础上，提出了极端水文事件阈值的确定方法，并以鲇鱼山水库控制流域为例分析了极端水文事

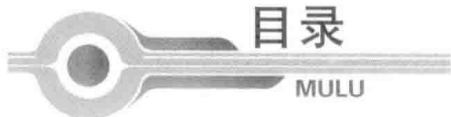
件和气候因子的关系。第5章为干旱形成机理及不同类型干旱间的关系，通过对于干旱概念及指标的分析，基于统计分析法和SWAT模型分析了陆浑水库控制流域以及黄河流域不同干旱类型的变化特征及相互之间的关系。第6章为流域水文过程对极端降雨事件的响应，在分析流域水文过程对降雨响应机理的基础上，构建了流域水文过程对极端降雨事件响应模型，并以陆浑水库控制流域为例分析了流域水文过程对极端降雨事件的响应情况，提出了相应的调控措施。

本书由胡彩虹、王纪军、王民和吴泽宁在综合国内外众多研究资料的基础上，经过多次酝酿编写完成。书中参考和引用了国内外学者的有关论著，同时吸收了同行们的辛勤劳动成果，作者从中得到了很大的收益和启发，在此谨向各位学者表示衷心的感谢！本书的研究成果得到了国家自然科学基金项目“流域水文过程对极端气候事件敏感性研究”（项目编号：51079131）、中国气象局/河南省农业气象保障与应用技术重点开放实验室开放基金“河南省典型流域不同类型干旱指标关系构建及预估”（项目编号：AMF201304）、气候变化专项（CCSF201312）“河南省不同流域水文对极端降水响应机理研究”和河南省高校科技创新团队支持计划项目的资助，在此一并感谢。除本书作者外，参加项目研究的还有研究生李析男、杨帆、赵云、石志民、何福力、王艺璇、张颖、雷德义和姚娜等，对他们在研究中所付出的辛勤劳动表示衷心的感谢！

极端气候变化和流域水文过程是一项长期的、全球性的问题，更是一个跨学科、综合交叉的科学问题，该领域存在许多科学技术问题，依然是较长时期内研究的热点和难点，还需要进一步深入研究。限于作者水平，书中难免存在不足，敬请广大读者和同行专家批评指正。

作者

2015年5月



目录

MULU

前言

第 1 章	绪论	1
1.1	流域水文过程对极端气候事件敏感性研究的重要性和必要性	1
1.2	国内外研究前沿	3
1.3	研究内容、目标和研究技术路线	9
第 2 章	极端天气气候事件	11
2.1	极端天气气候事件定义及其指标体系	11
2.2	STARDEX 指标在黄河流域研究中的应用	16
2.3	河南省旬降水量的标度不变性分析	48
2.4	河南省降水量主模态季节演变的时空特征	56
2.5	京广线沿线年最大风速和年最大积雪深度重现期研究	65
第 3 章	基于 DEM 流域特征信息提取及其地貌参数量化方法	74
3.1	数字高程模型	74
3.2	数字流域地形特征提取	75
3.3	地貌参数量化方法	85
3.4	不同地貌参数量化与降雨侵蚀产沙关系研究	88
3.5	小结	94
第 4 章	极端水文事件概念内涵及其与极端气候事件关系识别	95
4.1	极端水文事件内涵及其阈值确定	95
4.2	极端水文事件和气候因子关系分析方法	98
4.3	极端气候和水文事件关系实例分析	102
第 5 章	干旱形成机理及不同类型干旱间的关系	119
5.1	干旱概念及其分类	119
5.2	干旱形成机理	119
5.3	干旱指标	123
5.4	不同类型干旱间关系构建	131

5.5	陆浑水库控制流域干旱特征分析	137
5.6	基于 SPI 和 SRI 指数的黄河流域气象水文干旱近 50 年 演变分析	173
5.7	小结	183
第 6 章	流域水文过程对极端降雨事件的响应	186
6.1	流域水文过程对降雨的响应机理	186
6.2	流域水文过程对极端降雨事件响应模型构建	192
6.3	流域水文过程对极端降雨事件响应的实例分析	204
6.4	小结	226
	参考文献	227

第 1 章 绪 论

1.1 流域水文过程对极端气候事件敏感性研究的重要性 and 必要性

当今世界，全球气候变化深刻影响着人类的生存和发展，是各国共同面临的重大挑战。2009 年年底结束的哥本哈根气候大会利益之争仍然占据着会场的主题。但这足以证明，气候变化的问题严重性，越来越多地影响到人类的正常生活，成为全人类共同面临的生存问题。水资源是基础性的自然资源和战略性的经济资源，是生态与环境的重要控制性要素，同时也是受全球气候变化影响的重点领域。全球气候变化使中国水资源时空分布不均问题更加突出，暴雨洪涝灾害更加频繁，持续干旱现象更加严重，水利工程体系薄弱问题更加显露，应对水旱灾害的复杂性与难度更加凸显。加快水利发展，夯实水利基础，增强应对气候变化的能力，提高复杂条件下防灾减灾水平，最大限度地减少全球气候变化对中国经济社会的影响，既是一场现实的严峻挑战，也是一项长期而艰巨的任务。

极端气候事件是指天气状态严重偏离其平均态时所发生的事件，可以认为是异常或很少发生的事情，在统计意义上成为极端事件。随着全球气候的变暖，温度平均值的升高不仅直接影响气候极端值的变化，而且使得水循环加剧，导致高温干旱和暴雨洪涝等极端气候事件发生强度与频率出现加剧的趋势。20 世纪后期，我国水文气象和气候极端事件明显增加，90 年代无论异常程度还是频率均比 80 年代更为频繁和突出（周国良和岳智慧，2004；高煜中等，2006），1991—2000 年的 10 年里，全球每年受到气象水文灾害影响的平均人数为 2.11 亿人，是因战争冲突影响人数的 7 倍。根据统计，全球气候变化及相关的极端气候事件所造成的经济损失在过去的 40 年平均上升了 10 倍（丁裕国等，2008）。随着全球气候变暖，极端灾害性天气频频发生，给人类生命财产和国民经济发展带来巨大损失，对我国公共安全构成重要威胁，防灾减灾的任务艰巨和迫切。1997 年、1999—2001 年，我国北方地区严重干旱；



1998年,长江流域、松花江及嫩江流域遭遇特大洪水灾害;1999年,长江中下游及其以南地区再次受到大洪水的影响;2003年6月下旬到7月中旬,淮河流域又发生了比1991年更严重的洪水灾害;2007年2月5日,北京气温高达 16°C ,创下了167年来的同期最高纪录;2008年,南方出现雪灾;2008年8月25日,上海市出现入汛后最强暴雨天气,为1872年有气象记录以来所未遇;2009年,受台风“莫拉克”的影响,福建、浙江、安徽、江西部分站点过程雨量超过50年一遇,台湾阿里山过程降水量为3139mm,连续两天超1000mm,强降水造成重大人员伤亡和财产损失;2009年,华北局地最高气温打破夏季极端最高气温纪录,河北南部、河南北部、山东等地局部最高气温达 $40\sim 43^{\circ}\text{C}$;2009—2012年,云南连续3年干旱;2013年,全国多地持续遭受暴雨袭击,一些江河部分河段发生超保证水位洪水,部分城市内涝严重,还有一些地方发生山洪、泥石流、滑坡等灾害,造成重大人员伤亡和财产损失;2014年6月,南方暴雨9省489.6万人受灾,26人因灾死亡,3人失踪;2014年8月,全国12省(自治区)遭遇严重干旱,部分地区已断水3个月。这些极端气候事件迫切要求我们回答这样的问题:诸如气候变化、极端气候事件和人类活动对流域的地表水、地下水、生态环境以及洪水和干旱等极端事件发生产生怎样的影响?径流、地下水位及人类活动的改变将产生怎样的生态和气候效应等?对这些科学问题的研究也就成为全球气候变化与水文学及水资源研究的前沿课题。

气候、人类活动与水,无论从科学层面或从经济社会发展的层面上看,都是处于相互依从相互制约之中,而气候变化与人类活动因素不是孤立的,它们之间的相互作用既可能是正反馈也可能是负反馈。近20年来,气候变暖、人口增长和经济社会发展的共同影响致使一些地区或流域的水循环发生了明显的变化,也致使短期暴雨—径流关系发生变化,也引起了年际和年代际降雨—径流关系的变化。地表径流、土壤水和地下水的变化、土地利用覆被变化对气候因子的响应是陆气相互作用中的重要物理过程,它们影响土壤含水量进而影响流域蒸散发,低层大气感热和潜热通量的分配,陆面与大气水分和能量平衡,从而对生态系统和气候产生重要的影响(刘春蓁,2004;杨传国等,2007)。因此,气候、植被、地表水、土壤水与地下水之间有着重要的相互作用,应用气象气候学、土壤学、生态水文学和遥感等学科原理,研究流域水文过程对极端气候事件的响应有助于提高大气模式和水文模式的预报精度及延长水文模式的预报期,并可用于研究流域水文过程对气候变化的响应,对于实时洪水干旱预报预警、防灾减灾、水资源可持续利用、缓解水资源供需矛盾及促进区域经济规划和发展等方面具有重大的科学意义和广阔的应用前景。



1.2 国内外研究前沿

1.2.1 气候变化及极端气候事件

对全球气候变化的影响评估应用较多还是利用大气环流模式 (general circulation model, GCMs), 通过建立各种不同的情景 (scenario) 来预测气候变化对自然环境带来的影响。由于气候变化的复杂性以及各个模型结构的不确定性, 不同 GCMs 的预测结构也不尽相同, 尽管结果不同, 但其预测的趋势基本上是一致的 (IPCC, 1990; 1992)。目前有不少国家对 GCMs 做了大量的研究 (IPCC, 1992, 1996, 2001)。用 GCM 研究气候情景经历了由 20 世纪末期大气中的温室气体浓度加倍到平衡状态时的气候变化情景, 发展到目前高分辨率 $50\text{km} \times 50\text{km}$ 上的气候均值及气候变化。

极端气候事件是气候变化研究的重点内容。极端气候事件作为一种稀有事件, 突发性强, 损害性大, 但人们对其气候变化规律的认识还不足, 极端气候事件的变化也就越来越引起了广泛关注, 鉴于极端气候事件与气候变化的密切关系及其对人类经济社会及自然环境的重要影响, 其研究已经成为气候变化的问题之一。极端气候事件的研究经历了一个从概念的认识到的事实观测, 再到模式模拟的发展过程。

Easterling 等 (2000) 将极端气候事件归为两类: 一类是基于简单的气候统计学, 这些极端事件每年都会发生, 如非常高或非常低的逐日温度、强的逐日或逐月降水量; 另一类是更复杂一些的直接由事件发生与否来决定的, 如洪涝、飓风等, 这样的事件对于给定的地点并不是每年都发生。Beniston 等 (2007) 简单归纳了常用的定义极端事件的标准: ①事件发生的频率相对较低; ②事件有相对较大或较小的强度值; ③事件导致了严重的社会经济损失。IPCC 第四次评估报告则给出了一个简洁明确的概念, 对一特定地点和时间, 极端天气事件就是从概率分布的角度来看, 发生概率极小的事件, 通常发生概率只占该类天气现象的 10% 或者更低, 也即极端天气事件的特征是随地点而变的。

一般地说, 极端气候事件的变率要比气候的变率更强, 危害更大。近年来, 国际国内对于极端气候事件进行了大量的研究。目前, 国内外对极端气候主要包括对观测事实的研究, 联合国政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 第二、第三次评估报告都用较大的篇幅概括了极端温度和降水事件的观测研究成果, 众多的研究表明, 极端降水事件对于全球气候变化的响应十分敏感, 气候的微小变化可能引发极端气候值的频率、强度出现较大的变化。在全球气候变



暖的背景下,总降水量增大的区域其强降水事件极可能有明显增加的趋势,即使平均总降水量减少或不变,也存在着强降水量或其频次增加的现象(江志红等,2007)。在过去的50年里,我国的极端强降水平均强度和极端强降水值都有增加的趋势,极端强降水事件也趋于增多,大暴雨、暴雨日数均由南向北逐渐减少,但其变异系数从南向北递增。且各地平均强度和量值都有不同程度的加大,而大于100mm/d的大暴雨在长江和黄河流域也表现为增多(翟盘茂等,1999,2007)。直到20世纪90年代早期,对极端气候的研究,才开始利用模式模拟的方法(胡宜昌等,2007)。Mearns等(1995)利用区域气候模式(RegCM)模拟研究美国温度日较差的变化。Schar等(2004)利用CHRM区域模式模拟发现,在A2情景下,21世纪末欧洲像2003年那样强的热浪可能平均每两年就会发生一次。Zhang等(2006)利用Hardley中心的PRE-CIS模式,发现在B2情景下,21世纪末中国极端高温事件普遍增多、生长季延长,极端降水在大部分地区都有增加的趋势。

极端气候的强度、频率和持续性等特征参数的变化本质上是其概率分布形态、气候序列内部结构变化的反映。当前关于气候极值分布及其在未来气候情景预测方面的应用已成为一个新的研究热点。Means等(1984)研究指出,气候要素原始分布的均值变化可导致极值频率和强度呈非线性变化,即气候微小变化可能引起极端气候值频率很大的变化;Katz等(1992)从理论上证明原始分布的方差变化对于极值频率的影响比平均值的影响大得多;Groisman等(1999)研究指出假定降水量拟合为Gamma分布,不但平均值的变化会改变其方差,且降水方差的变化又会影响极端降水的频数,从而造成总降水量增加时降水极值呈现非线性增大。可见,随着气候变暖的加剧,与暖事件对应的极端气候事件的频率有可能增加,而与冷事件对应的极端值频率有可能减少。丁裕国等(2002)引入概率加权法参数估计代替极大似然法,将Gumbel分布用于极端气候事件的拟合中,谢志清等(2005)对长江三角洲强降水过程年极值分布特征做了详细的研究,魏锋等(2005)探讨了Gumbel分布拟合我国西北地区降水极值的适用性,结合随机模拟试验预测未来西北地区计算降水特征,结果表明,用Gumbel分布拟合西北地区极端降水是适宜的,西北地区重现期为50a的极端降水空间分布特征与年降水的分布特征十分相似,当降水总量增加时,各代表站日雨量方差相应增加,对应模拟的极端降水也有不同程度的增加,表现为极端降水右侧概率密度增大,强量级的极端降水重现期缩短。蔡敏等(2007)利用近40a我国东部210个雨量站逐日降水资料,采用具有较高拟合精度的L-矩参数估计方法,先后以Gumbel分布和广义Pareto分布拟合我国东部极端降水的时空变化特征并对未来气候做预估,结果表明极端降水过程持续以1~2d为主,东部地区极端降水趋势没有明显变化,但时空差异较



大。因此,鉴于上述研究,目前研究尚不能较准确地模拟极端气候事件及其概率以及未来平均气候变化的预估结果。

随着全球气候变暖日渐加剧,极端气候事件的频繁出现,尤其是极端降水事件的变率加大,对于当前和未来社会与生态环境的影响将更加明显,而极端降水的区域形态特征、极端降水的时空变率特征、极端降水与全球气候的平均变率的联系以及对水文过程的影响等问题尚待解决,极端降水事件的描述方法和指标等问题也需要不断地研究和提升。

1.2.2 气候变化对水文水资源的影响研究

气候变化必然引起水文循环的变化,引起水资源在时空上的重新分布和水资源数量的改变,进而影响生态环境和社会经济的发展。气候变化诸如频繁的洪涝和干旱的发生,其直接原因都是由于气候的变化、ENSO 现象而导致的。

气候变化对水文水资源影响的研究在 20 世纪 80 年代中期才引起国际水文界的高度重视,早在 1977 年,美国国家研究协会(USNA)就组织会议讨论了气候、气候变化和供水之间的影响关系。然而进入 80 年代以后气候变化对水文水资源的影响才真正进入研究者的议题中。1985 年,世界气象组织(WMO)出版了气候变化对水文水资源影响的综述报告,并推荐了一些检验和评价方法,之后又出版了水文水资源系统对气候变化的敏感性分析报告;气候变化对水文水资源的影响的研究最初是将 GCMs 模式和水量平衡模型耦合来预测不同区域的气候变化对河川径流量的影响(傅国斌,1991;刘春蓁和杨建青,2002;王守荣等,2003;卢秀娟等,2003;陈玲飞和王红亚,2004 等)。Mimikou 等(2000)利用两种气候变化模式:HadCM2 和 UKHI,以及水文平衡模型(WBUDG)模拟了气候变化对希腊中部地区平均月经流的影响,进一步开发了河流水质模拟模型,模拟了点源污染的水质变化,模拟参数包括 BOD、DO 和氨氮的浓度,也是对气候变化对水质影响的首次探索研究;Matondo(2004)等总结了气候模拟模型和水文模拟模型的发展现状,并应用 11 种 GCMs 模式和水文模拟模型 CLIRUN 模拟了气候变化下瑞士 3 个流域的水资源及水文变化情况。尽管 GCMs 的应用目前得到了不错的结果,但是由于其应用只能在大尺度上,而对于区域研究来说,GCMs 的应用也就受到了限制。因此,许多不同的分析研究方法也与模型相应地提出,Burn(1994)就利用了无参数统计试验的方法,预估了气候变化对加拿大中西部区域春季时间序列入流的影响;为了研究一天降雨量和温度对未来气候前景的影响,Tung 和 Haigh(1995)采用了天气预测模型,包括温度和降雨生成模型,利用多种 GCMs 模型的结果分析了全球气候变化对纽约径流变化的影响;Mansell(1997)利用基础的统计方法研究了苏格兰西部气候变化对降雨趋势和洪灾风



险的影响；Westmacott 和 Burn (1997) 同样利用无参数统计试验方法进一步分析了气候变化对不同时间和规模的水文现象中 4 种水文变量的潜在影响；Hobbs (1997) 应用贝叶斯方法分析了气候变化带来的不确定性，主要的应用在于气候预测以及预测模型参数的选择，以及气候变化对径流的影响，进一步分析了对水资源系统带来的影响，并应用实例验证了贝叶斯方法的可行性及实用性；Seidel 等 (1998) 利用高分辨率周期雪覆盖地图预测了 Alpine 流域的未来入流情况；Venema (1997) 利用随机水文模型模拟了在气候变化影响下，塞内加尔河流域的降水量及入流量的变化，其结果表明在气候变化影响下，该流域入流量呈现逐年下降趋势，干旱威胁日趋严重，进一步建立了优化模型，分析了不同策略的前景分析，供决策者选择；Pao-Shan Yu 等 (2002) 同样利用天气预测模型和降雨-径流模型分析了气候变化对台湾南部水资源的影响。2006 年、2009 年和 2012 年第四、第五和第六届世界水论坛分别探讨了“关于气候变化对水文水资源的影响”“全球气候变化的影响及其对策”以及举办“水和适应气候变化”高层圆桌会议，这些探讨更进一步深化了气候变化对水文水资源的研究内容，也对研究区域气候变化对水资源的影响提供了一定的思路。

气候变化导致的水文水资源危机也引起了国内专家的重视，一些学者着手研究中国的水文水资源对气候的响应。20 世纪 80 年代以来开展了大量的气候变化对我国水文水资源影响的专门研究：“七五”期间的“中国气候与海面变化及其趋势和影响研究”“八五”期间的攻关项目“全球变化预测、影响和对策研究”中的专题“气候变化对水文水资源的影响及适应对策”“九五”期间的科技攻关项目“我国短期气候预测系统”中的专题“气候异常对我国水资源及水分循环影响的评估模型研究”，2009 年国家 973 计划项目“气候变化对我国东部季风区陆地水循环与水资源安全的影响及适应对策”，2010 年全球变化国家重大项目“气候变化对黄淮海地区水循环的影响机理和水资源安全评估”以及科学研究计划项目“气候变化对西北干旱区水循环影响机理与水资源安全研究”等，取得了可喜的研究成果。大多数的研究主要偏重于区域的研究，针对局部流域的评估模型有黄河中上游、海河流域、长江流域、洮河流域及淮河流域等，也从区域性角度分析了华北地区、西北地区、西南地区等气候变化对水资源的影响。然而，一个较长的水文系列，径流变化受多种因素影响，既有气候变化还有人类活动，诸如土地利用变化、植被覆盖变化以及各种用水引起的水量 and 水质变化。水文水资源除了受气候因素的影响外，还与人类活动有着密切的联系，而不同流域内气候变化和人类活动对径流的影响程度是不同的，目前定量研究气候变化和人类活动对水文水资源变化的影响越来越引起关注，也是当前研究的重点内容之一，刘闻等 (2014) 和李峰平



等(2014)综述了气候变化和人类活动对水文水资源的影响,并指出了现阶段研究的薄弱环节,刘春臻等(2014)评述了气候变化和人类活动对径流的影响,并指出目前关于气候变化以及各种人类活动对水文过程的影响研究还处于起始阶段。从地球科学发展看,气候模型与水文模型的耦合应该是研究天然水循环与社会水循环的相互作用最为可行的方法。虽然目前气候模型对区域尺度降水的模拟还不能像对气温模拟的那么好,区域尺度的水循环尚不能被正确地描写,已经发表的利用气候-水文耦合模型研究水文循环变化的检测与归因文章极少。但随着气候系统五大圈层相互作用的深入研究、气候模型时空分辨率的提高以及地球观测系统多种信息源的开发和利用,天然水循环与社会水循环的研究最终将耦合在一起。并指出今后拟开展的工作包括:①改进水文模型中对气候变暖的水文效应的描写,例如研究大气含水量与土壤含水量的动态变化对蒸散发的制约作用;②将社会水循环的各个分量,尤其是人类活动产生的各种用水消耗量——额外蒸发量,融入到陆面水文过程模式和大气的水量与能量平衡方程中。定量地描写自然蒸发与人类活动产生的额外蒸发,是耦合模型必将面对的问题。

对于气候变化下极端水文事件也有大量的研究,杨涛等(2011)主要针对国内外在气候变化下采用统计降尺度和降雨径流模型对水文极端事件进行预测的研究进展进行了分析,张利平等(2011)综述了气候变化下极端水文事件的研究进展,从极端水文事件的定义、研究方法、水文极值分布函数、观测事实及模拟研究等方面分析评述了极端水文事件问题的研究现状和研究成果。

然而基于物理过程研究的水文极端事件(洪水和干旱)研究流域水文过程对极端气候事件的响应研究是国际上比较关注的方向之一。目前一些相应的做法是通过分析极端气候事件与反映水文过程的特征量建立统计分析,而得出其统计关系(邹全等,2013)。Klemes曾经说过,要更清楚地了解极端事件的概率特性,就必须从水文现象的物理特征出发,而不是从更多的数学计算出发。气候变化对陆地水循环的影响研究基本上是采用气候模型输出产品驱动陆地水文模型的方法,在这一单向连接中,气候模型输出的气候情景以及与其相连的水文模型是两个独立的研究对象。近20年来气候情景及水文模型的研究都取得了很大的进展,而对水文水资源的影响研究也由气候年均值变化对径流的影响发展至目前既有气候均值又有气候变异的变化对径流均值、极值频率分布变化的影响。随着气候情景的发展,水文模型由集总式的流域模型进展至分布式的大尺度水文模型,这些研究对于认识水文水资源对气候变化的敏感性以及给定的气候情景对陆地水文循环带来的影响有了初步的了解。然而未来水资源压力的增加以及水文极端事件可能发生的频率加大,迫切要求进一步改进气候变



化对水文水资源的影响研究,提高气候模型的模拟和预测能力,使 GCM/RCM 能够反映产生洪水、干旱的天气事件和降水特性,改进气候模型对陆地水循环与陆气间的相互描写和表述。

1.2.3 总结

综上所述:①极端水文事件的提法虽然存在,由于极端天气事件的特征是随地点而变,仍缺乏一个明确的定义。②气候变化对水文水资源影响的研究工作仅从宏观上的气候变化来分析,没有从气候变化的平均态和极端变化来进行区别分析,尤其是极端气候因子的变化引起的水资源问题,研究甚少。③有关极端天气气候事件的研究工作虽然越来越多,各个地方气象业务部门都陆续开展了相关方面的研究,但到目前为止,研究主要集中在对观测资料的统计分析方面,对模式的模拟方面做得较少,且由于气候模式的空间分辨率不高,对中小尺度的环流天气过程的极端事件的描述存在较大不足。④关于极端水文事件的研究做了大量的工作,如对洪水和干旱的预报、检测管理、特性分析、成因分析以及灾害分析等,但洪水和干旱对极端气候事件的响应程度的研究做得非常少。

随着全球气候变暖日渐加剧,极端气候事件频繁出现,尤其是极端降水事件的变率加大,对于当前和未来人类社会与生态环境的影响将更加明显,迫切要求进一步研究极端气候变化对水文水资源的影响研究,流域水文事件过程对极端气候变化的响应的研究也就具有十分重要的实际价值和现实意义。尽管在观测、理论和模拟等各方面的研究都已取得了不少进展,但仍存在许多薄弱环节。流域水文过程对极端气候事件的响应也就成为当前的前沿课题之一,本书在国家自然科学基金项目“流域水文过程对极端气候事件敏感性研究”(项目编号:51079131)、中国气象局/河南省农业气象保障与应用技术重点开放实验室开放基金“河南省典型流域不同类型干旱指标关系构建及预估”(项目编号:AMF201304)、气候变化专项(CCSF201312)“河南省不同流域水文对极端降水响应机理研究”和河南省高校科技创新团队支持计项项目课题共同资助完成的基础上整理而成,整个研究内容以“气候变化—气候极端事件—流域水文过程”的作用过程为主线从机理和应用进行研究,并以河南省典型流域—陆浑水库和鲇鱼山水库控制流域为应用研究对象,研究内容涉及气候变化及其与极端气候事件密切相关的人类社会经济及自然环境的重要影响,对于提高极端气候事件的应对能力、降低极端事件影响的脆弱性具有重要的理论和现实意义,为制定防御自然灾害规划和可持续发展战略措施等提供重要的科学依据。



1.3 研究内容、目标和研究技术路线

1.3.1 研究内容

本书主要针对流域水文过程对极端气候事件的响应,研究各种极端气候事件的区域性太及时空变率等特征,研究极端气候事件和水文事件之间的联系,并利用水文模型对其过程进行模拟仿真,将极端气候和水文事件联系起来,并提出不同情境下的防灾减灾措施,因此,针对研究目标,以河南省典型流域——陆浑水库和鲶鱼山水库控制流域为研究对象,拟定本项目的具体研究内容如下。

(1) 极端气候事件的本质特征研究:

- 1) 极端气候事件的定义、内涵和区域形态特征。
- 2) 极端气候事件的时空变率特征。
- 3) 极端气候事件与全球气候平均变率的联系。

(2) 流域水文过程特征研究:

- 1) 气候变化对流域水文特性的影响研究。
- 2) 流域下垫面条件分析及数字流域构建。
- 3) 流域水文模型构建。

(3) 流域水文过程对极端气候事件的响应研究:

- 1) 分析极端气候事件和水文因子之间的联系。
- 2) 建立多气候因子和水文因子之间的模型。
- 3) 建立水文过程对极端气候事件的响应关系。

(4) 防灾减灾措施研究:

- 1) 流域水文过程对极端气候事件敏感性分析。
- 2) 未来气候变化条件下的流域水文过程对极端气候事件响应情景。

1.3.2 研究技术路线

本书涉及气象气候学、水文学、风险分析和数学模拟等多学科和技术,须发挥交叉学科的综合优势,采用理论分析和模拟实验相结合,并在极端气候事件及其水文过程应用中加以推广,构筑一套完整和有效的极端气候事件及其造成的水文过程分析方法体系。技术路线概括如下。

(1) 资料收集整理。对研究区域进行水文调查,收集和分析有关的气候气象资料、水文资料及 DEM 等资料,根据流域内下垫面条件和气候等特性,对流域进行分区。

(2) 分析研究区域气候变化特点。分析气候序列内部结构,采用极值分布理



论分析极端气候事件的统计特征,根据气候学原理分析极端气候事件的物理特征。

(3) 分析流域水文特性。统计分析流域洪水和干旱的变化特点,研究气候变化对流域水文特性的影响,并建立气候多因子和水文因子之间的统计模型。

(4) 建立流域水文模型。根据流域的气候和水文特征,以蓄满-超渗兼容模型为基础,考虑土壤水与地下水动态交换的作用,建立流域水文模型,研究区划网格或子流域的分辨率对水文过程的影响,对水文过程对气候因子的敏感性进行分析,通过改进空间分辨率、气候因子和地表特性参数的数据格式耦合模型,提高水文模型的模拟精度。

(5) 流域水文过程对极端气候事件的响应研究。结合已建立的水文模型,研究流域水文过程对极端气候事件的响应。

(6) 在前述研究的基础上,根据未来极端气候事件的预估,预测流域水文过程,根据不同极端气候事件提出流域管理相应的防灾减灾措施。

研究技术路线见图 1.1。

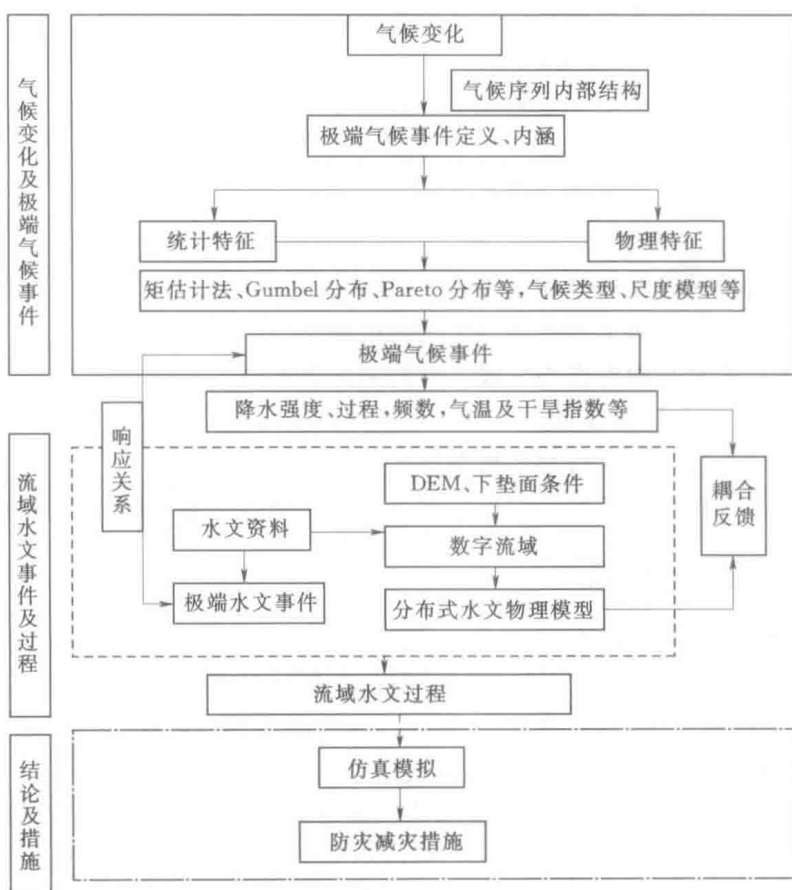


图 1.1 研究技术路线框图