

高含沙河流复杂水资源系统的 汛期难控制利用洪水量评价方法及其应用

李勋贵 魏霞 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

高含沙河流复杂水资源系统的 汛期难控制利用洪水量评价方法及其应用

李勋贵 魏霞 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书系统地分析了高含沙河流复杂条件下的人类活动影响、汛期难控制利用洪水量内涵与评价等问题；应用系统周界观控模型研究了人类活动对径流的直接和间接影响，提出实测径流一致性检测还原方法；从水量和水质角度界定了汛期难控制利用洪水量内涵，提出其评价方法，并揭示其复杂性、功率谱周期和长程相关性；基于信息熵理论和美国通用土壤流失方程，提出了土壤侵蚀风险测度，阐述了汛期难控制利用洪水量与土壤侵蚀风险的关系。

本书可供水文水资源学、水资源系统学、洪水灾害风险学、土壤侵蚀学以及相关学科的科研教学人员、研究生使用与参考。

图书在版编目 (C I P) 数据

高含沙河流复杂水资源系统的汛期难控制利用洪水量
评价方法及其应用 / 李勋贵, 魏霞著. — 北京: 中国
水利水电出版社, 2014. 7

ISBN 978-7-5170-2296-1

I. ①高… II. ①李… ②魏… III. ①泾河—流域—
高含沙水流—汛期—洪水总量—研究 IV. ①P331.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第167019号

书 名	高含沙河流复杂水资源系统的汛期难控制利用洪水量 评价方法及其应用
作 者	李勋贵 魏霞 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 (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	三河市鑫金马印装有限公司
规 格	170mm×240mm 16开本 11.75印张 224千字
版 次	2014年7月第1版 2014年7月第1次印刷
印 数	001—800册
定 价	36.00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

汛期难控制利用洪水量的评价和人类活动水文效应的分析研究,是水文水资源学科十分重要的课题之一,是洪水资源化和洪水灾害风险研究的重要支撑。流域水资源的形成与演变受到天然水文过程和人类活动的共同影响,水资源系统是天然系统和人工系统的耦合体。当流域受到强烈的人类活动影响时,径流的形成与演变将变得更加复杂,导致水资源的开发利用出现许多难题,特别是高含沙河流,水沙关系的复杂性还使得水资源的开发利用面临着新的问题。

泾河地处黄土高原中部,是渭河的一级支流、黄河的二级支流。泾河流域作为我国重要的能源化工基地之一,具有重要的区位优势 and 战略地位。但流域水土流失严重,生态环境问题和水资源矛盾突出,防洪形势严峻,洪涝灾害严重,极大地制约了流域社会经济的可持续发展。作为高含沙河流,泾河汛期洪水资源的开发利用受到许多因素的制约而难以全部资源化,一部分以汛期难控制利用洪水量的形式出现,从而会加重下游的洪水灾害风险。同时,流域地表水资源可利用量和汛期难控制利用洪水量评价难以应用传统方法进行。因此,开展复杂环境下人类活动影响分析以及高含沙河流汛期难控制利用洪水量的评价和风险研究,可为流域洪水资源化和洪水灾害风险管理提供科学依据,对解决流域水资源短缺矛盾、提高水资源利用效率、促进社会经济的可持续发展具有十分重要的意义。

多年来,笔者一直从事水文模拟、水资源系统工程、水资源可持续开发利用、土壤侵蚀与水土保持、洪旱灾害风险等方面的科研工作,承担了国家自然科学基金“复杂环境下泾河流域汛期难控制利用洪水临界效应研究(51109103)”、“典型淤地坝淤积过程辨识及其主要影响因素研究(41001154)”、高等学校博士学科点专项科研基金资助项目“环境变迁下洪水演变规律和洪水弃水多维耦合评价

研究(20090211120021)”和兰州大学中央高校基本科研业务费专项资金项目“复杂环境下汛期洪水弃水风险分析(lzujbky-2010-103)”等,在人类活动影响分析、汛期难控制利用洪水量和地表水资源可利用量评价、淤地坝淤积机理、土壤侵蚀风险等方面取得了一定的研究进展和成果。比如提出系统周界观控模型并应用于人类活动对径流的影响、土壤侵蚀风险、水资源系统优化配置等领域;基于系统周界观控模型分离人类活动对径流的影响,提出径流还原新方法——实测径流一致性检测还原法,克服了传统还原方法的不足;基于水量和水质角度界定汛期难控制利用洪水量内涵,在此基础上结合水库优化调度模型和分级最大值法建立其评价方法等。本书正是在上述科研项目的资助下,对取得的科研成果的一个系统性总结。

全书共分8章。第1章介绍研究背景、目的意义和国内外相关研究进展。第2章对研究区进行了介绍。第3章对流域主要水文要素(降水、蒸发、气温、径流)的空间分布、时间演变等进行分析。第4章基于系统周界观控模型,分析人类活动对径流的影响,并提出实测径流一致性检测还原法。第5章对汛期难控制利用洪水量内涵进行分析,基于水量和水质角度将其划分为汛期难调控洪水量和汛期难利用洪水量,并应用水库防洪优化调度模型和分级最大值法进行求解,评价了有水库工程措施和无水库工程措施两种情况的汛期难控制利用洪水量。第6章是汛期难控制利用洪水量评价方法在地表水资源可利用量中的应用研究,以泾河下游的泾惠渠灌区为例进行分析。第7章应用复杂性测度——近似熵、功率谱周期分析方法和非趋势波动分析方法(Detrended Fluctuation Analysis, DFA)对汛期难控制利用洪水和实测天然径流的复杂性、周期性和长程相关性进行分析。第8章利用信息熵和美国通用土壤流失方程USLE的5个因子,提出检测流域土壤侵蚀风险的土壤侵蚀风险测度 R_e ,建立汛期难控制利用洪水量与土壤侵蚀风险测度 R_e 的关系,分析汛期难控制利用洪水的风险性质。

在资料的收集,得到中国气象局、国家土地资源数据库、国

家科学数据共享服务网、黄土高原水土保持数据库、北京师范大学生态学研究所景观生态与可持续性科学研究中心、泾惠渠管理局等的支持与帮助，在此一并表示感谢！在研究的过程中，也引用了一些学者和科研工作者的科研成果，在此谨向他们表示衷心的感谢！

作者

2013 年 12 月于兰州大学

二 目录

前言

第 1 章 综述	1
1.1 研究背景和目的意义	1
1.2 汛期难控制利用洪水量评价研究现状与进展	2
参考文献	4
第 2 章 泾河流域概况	8
2.1 流域基本情况	8
2.2 水沙特性	9
2.3 土地利用类型	10
2.4 水资源开发利用状况	11
2.5 主要生态环境问题	13
参考文献	14
第 3 章 泾河流域主要水文要素特征分析	16
3.1 降水特征	16
3.1.1 泾河流域降水量的空间自相关性	17
3.1.2 泾河流域降水量的空间分布规律	18
3.1.3 泾河流域降水量的年际变化特征	20
3.1.4 泾河流域降水量的年内变化特征	23
3.1.5 泾河流域降水量的时间变化趋势	25
3.2 蒸发特征	27
3.2.1 泾河流域蒸发量的空间分布规律	28
3.2.2 泾河流域蒸发量的年际变化特征	28
3.2.3 泾河流域蒸发量的年内变化特征	30
3.2.4 泾河流域蒸发量的时间变化趋势	32
3.3 气温特征	33
3.3.1 泾河流域气温的空间分布规律	33
3.3.2 泾河流域气温的年际变化特征	34
3.3.3 泾河流域气温的年内变化特征	36

3.3.4 泾河流域气温的时间变化趋势	37
3.4 径流特征	37
3.4.1 泾河流域天然径流量的年际变化特征	38
3.4.2 泾河流域天然径流量的年内分配特征	40
3.4.3 泾河流域天然径流量的时间变化趋势	41
3.4.4 流域降水对天然径流量的影响	42
参考文献	45
第4章 系统周界观控模型理论方法及其应用	46
4.1 系统周界观控模型通式	46
4.2 水资源系统周界观控模型的构建	48
4.3 弹性系数求解的分形法和势分析法	49
4.3.1 分形法	49
4.3.2 势分析法	51
4.4 人类活动对径流的影响分析	53
4.5 基于系统周界观控模型的实测径流一致性检测还原方法	57
4.5.1 径流还原研究进展	57
4.5.2 实测径流一致性检测还原方法	61
4.5.3 实测径流一致性检测还原法的径流还原结果分析	65
参考文献	75
第5章 水量水质相结合的汛期难控制利用洪水量评价方法	79
5.1 汛期难控制利用洪水量的基本内涵	79
5.2 水库防洪优化调度模型	81
5.2.1 水库防洪任务与特点	81
5.2.2 水库群的防洪特点	81
5.2.3 防洪优化调度模型	82
5.3 分级最大值法	84
5.4 基于水库防洪优化调度的汛期难调控洪水量结果与分析	88
5.4.1 巴家嘴水库来水来沙特性和水库运用方式	90
5.4.2 巴家嘴水库特征参数	91
5.4.3 巴家嘴水库典型年调洪计算结果	92
5.5 基于分级最大值法的汛期难利用洪水量结果与分析	98
5.5.1 汛期洪水弃水系数	98
5.5.2 不同方法的对比分析	100
5.6 汛期难控制利用洪水量结果与分析	104

5.6.1 有水库工程措施	104
5.6.2 无水库工程措施	108
参考文献	111
第 6 章 汛期难控制利用洪水量评价方法在泾惠渠灌区中的应用	114
6.1 水资源可利用量的概念和特征	114
6.2 河道水资源可利用量的计算原则	116
6.3 河道水资源可利用量的计算	116
6.4 非汛期河道最小生态需水量的计算	118
6.5 汛期难控制利用洪水量的计算	119
6.6 河道水资源可利用量计算结果	120
6.7 水资源可利用量不同方法成果比较	121
6.7.1 传统方法的河道水资源可利用量计算成果	121
6.7.2 不同方法比较	122
6.8 不同频率和沙限下的泾河河道水资源可利用量	124
6.9 泾惠渠灌区渠首工程可引水量分析	125
参考文献	128
第 7 章 汛期难控制利用洪水复杂性和周期性分析	129
7.1 径流序列的复杂性	129
7.1.1 近似熵分析方法	129
7.1.2 径流序列复杂度分析	131
7.1.3 径流复杂度年变化分析	132
7.1.4 径流复杂度月变化及其与径流量关系分析	135
7.2 径流序列的功率谱周期性	138
7.2.1 功率谱周期分析方法	138
7.2.2 径流序列功率谱周期分析	140
7.3 径流序列的长程相关性	143
7.3.1 长程相关性分析方法	143
7.3.2 径流序列长程相关性分析	146
参考文献	147
第 8 章 汛期难控制利用洪水与土壤侵蚀风险关系分析	149
8.1 基本数据	150
8.2 美国通用土壤流失方程 USLE	151
8.3 土壤侵蚀风险测度 R_e	155
8.4 土壤侵蚀风险测度 R_e 的等级划分方法	157

8.5 土壤侵蚀风险结果与分析	159
8.6 土壤侵蚀风险影响因子的敏感性分析	162
8.7 汛期难控制利用洪水量和土壤侵蚀风险关系分析	166
参考文献	171

第 1 章 综 述

1.1 研究背景和目的意义

水是自然环境的重要组成部分，也是人类赖以生存发展必不可少的基础自然资源。水资源为流域水循环中能够为人类社会和生态环境所利用的淡水资源，其补给来源主要为大气降水，赋存形式为地表水、地下水和土壤水，可通过水循环逐年得到更新^[1-2]。随着社会经济的发展，人类活动越来越多地改变着自然地理环境，改变着陆地水文的循环状况和全球水量的时空分布，人类活动所带来的社会、经济和生态效应已经引起了人类社会的广泛关注，深入开展相关的研究对国民经济建设和社会可持续发展有着重要的意义^[3]。如何评价和分析人类活动对径流变化的贡献率，已成为水文水资源学科的研究前沿^[4-5]。

水资源的开发利用要遵循可持续开发利用原则，运用“三水统观统管”的治水思想，坚持综合调节、时空治水、经济治水、生态治水的方略^[6-7]，对水资源实行多维调控^[8]，实现人与自然的和谐发展^[9-11]，否则会引起水危机。构建人与自然和谐相处的社会，是人类文明发展的必然趋势，经济社会与水资源之间的协调关系是构建和谐社会的重要基础。水资源作为国家发展的三大战略资源之一，处理好水资源开发利用和社会经济发展以及生态环境保护之间的关系是坚持可持续发展道路的重要内容^[12]。

我国多年平均年水资源总量为 2.8 万亿 m^3 ，占全球陆地可更新水资源总量的 6.6%，居世界第六位，但人均水资源量仅为 2200m^3 左右，为世界平均水平的 1/3，在全世界 153 个国家和地区中排在第 121 位。我国水资源时空分布不均，年际和年内变化大，一旦出现连续丰水年或枯水年组时，常造成水旱灾害、工农业生产不稳定和水资源供需矛盾紧张的局面，也给我国江河治理和水资源开发利用带来极大的困难^[2]。随着人类文明的进步与社会的发展，人类对水资源的需求日益增大，正以空前的速度和规模开发利用着极其有限的水资源。据统计，1949~2000 年的 50 年内，我国人口增加了 1.3 倍，而用水量却增加了 4 倍多，我国社会经济建设取得举世瞩目成就的同时，也引发了干旱缺水突出、洪涝灾害严重、水环境恶化加剧和生态环境严重退化的一系列环境问题^[2]。



洪水是极端的水文现象,具有灾害、资源双重特性^[13]和超出一般意义上的水资源的特殊性^[14]。洪水是一种复杂的自然现象,其发生与发展取决于气象因素和地理因素^[15-16]。洪水复杂性体现在其流程和水位不仅受到河道、洪泛区地形和水力因素的共同影响^[17],而且也受到人类活动^[18]和全球变暖^[19]的影响,因而人们对洪水的认识仍很有限^[17]。洪水与干旱一样,都是我国西北干旱半干旱地区的基本环境特征^[20-21]。汛期难控制利用洪水是洪涝灾害发生的重要原因^[22-23],全世界灾害损失的40%是由洪水造成的^[16],我国因洪水所造成的财产损失居各类灾害之首^[24]。我国大中城市约90%濒临江河海洋,都受到一定程度洪水的威胁,可能造成巨大的经济损失^[25]。洪涝灾害治理已成为2011年中央一号文件《中共中央 国务院关于加快水利改革发展的决定》中的重要目标任务之一。

泾河地处黄土高原中部,具有高含沙水流形成的自然地理条件^[26],是典型的高含沙河流^[27]。泾河流域地处我国西北干旱半干旱区,是我国重要的能源化工基地之一,具有重要的区位优势 and 战略地位。但流域水资源时空分布极不均匀,水资源矛盾十分突出,严重的水土流失又导致水沙关系恶化,造成防洪形势严峻,洪涝灾害严重,制约了流域社会经济的可持续发展。水资源问题已成为当地社会经济发展的主要限制因素^[28]。洪水资源的开发利用对解决水资源短缺、提高水资源利用效率、控制和减少洪涝灾害等具有重要的作用^[29]。高含沙河流汛期洪水资源的开发利用由于受到多种因素的共同影响,难以全部资源化,对于难以调控利用的那部分洪水弃水,就成为洪水风险和灾害的根源之一。目前,对高含沙河流汛期难控制利用洪水量的内涵、评价方法及其性质等基本问题的认识仍很有限,这对洪水资源的开发利用和洪水灾害机理的掌握极为不利。因此,开展复杂环境下人类活动影响分析以及高含沙河流洪水资源化的核心问题——汛期难控制利用洪水量的评价、性质及其风险研究,可为流域洪水资源化和洪水风险管理提供科学依据,对解决流域水资源短缺矛盾、提高水资源利用效率、促进社会经济的可持续发展也具有十分重要的意义。

1.2 汛期难控制利用洪水量评价研究现状与进展

洪水资源化概念的提出,是我国一些学者和水管理者在对我国水资源短缺、水污染、生态环境问题深入认识的基础上于21世纪初提出来的^[29]。水利部于2003年将洪水资源利用列为重点调研课题,国家防办也成立了专题调研小组^[30]。国内在洪水资源化方面进行了许多不同层次的研究,取得了丰富的研究成果,但直接对汛期难控制利用洪水的研究较少,仅在地表水资源可利用



量的研究中,才有较具体的相关研究报道^[31-37],计算方法大体有倒算法(或倒扣法)、洪水弃水系数法等。由于前者的计算结果较难于反映水资源可利用量的动态特征,在实际应用中多采用后者。同时,这些传统方法仅适用于低含沙河流,难以在高含沙河流中应用。因此,目前对汛期难控制利用洪水量的计算没有什么好的方法^[38],且对于诸如有多少洪水难于被控制利用,其具有哪些性质等这些基础问题仍不清楚,仍有很多理论和实践问题亟需解决。国外直接对洪水资源化的研究并不多见,也未见汛期难控制利用洪水的相关报道,但在雨洪资源利用、洪水控制、洪水风险与管理等方面有较多的研究报道。如 Ibrahim 研究了苏丹中部干旱地区城市雨洪利用问题^[39]; Srinivasan 等应用提出的集中一分散模型来评价印度 Chennai 市的雨水利用政策^[40]; Pinter 基于美国 1993 年大洪水后的重建讨论了城市化建设对洪水控制的影响^[41]; Bower 研究了加拿大 Assiniboine 河的洪水控制问题,指出洪水灾害与人为因素密切相关^[42]; Fu 研究了水库洪水控制调度问题^[43]; Carter 等提出未来洪水风险管理的承载评估方法^[44]; Jonathan 等研究了美国密西西比河中下游地区建坝、土地利用变化等对洪水的影响^[45]; De Kok 和 Grossmann 提出流域尺度的洪水风险管理模型来减少 Elbe 河下游的洪水风险^[46]。这些研究拓宽了洪水相关研究,但未见汛期难控制利用洪水的相关报道。我国台湾和香港学者在雨洪控制、洪水调度等方面也有较多研究,如 Chang 等研究了城市雨洪控制调度问题^[47], Wei 和 Hsu 研究了水库洪水控制问题^[48],但同样没有涉及到汛期难控制利用洪水量的评价及其性质等问题。

在高含沙河流,洪水资源的开发利用除受到工程非工程措施调控洪水能力影响之外,还受到来水来沙特性以及河道水资源利用特性的影响^[49-50]。如当来水中的含沙量大于水资源利用沙限时,洪水就不能被利用而形成弃水,额外下泄的那部分洪水就会影响到下游的防洪安全,提高下游的防洪风险,成为难控制利用洪水的一部分,故汛期难控制利用洪水量的计算须结合这两方面进行,这是对当前普遍认为的汛期难控制利用洪水量内涵观点的一种继承与发展。传统观点认为^[36],汛期难控制利用的洪水量是指在可预见的时期内,不能被工程非工程措施调控利用的汛期洪水量,汛期水量中扣除掉当时利用的一部分水量和通过工程蓄存起来供今后利用的另一部分水量之外,其余水量即为汛期难控制利用洪水量。根据这一观点,汛期洪水可划分为可调控洪水和难调控洪水。但是,传统观点认为汛期难控制利用洪水量仅为水量的概念,与河道水资源利用特性(引水沙限)和径流泥沙含量(水质)无关,这种认识是不全面的。研究表明,泾河张家山水文站年最大洪水的水沙搭配关系为高含沙水流,且全流域的水沙搭配关系呈现出协调的趋势^[51],这种特征对流域汛期河道引水和弃水产生重要的影响^[50]。基于这种认识,高含沙河流汛期可调控



洪水和难调控洪水均可产生可利用洪水量和难利用洪水量,故高含沙河流汛期难控制利用洪水量的计算是一个复杂的问题,其取决于这两方面的汛期难调控洪水量与汛期难利用洪水量之间的关系。

就泾河流域的实际情况来看,流域汛期暴雨洪水集中,径流泥沙含量极高,具有水沙异源的特点^[50-51],马莲河、蒲河、洪河等支流水土流失尤为严重,来水来沙特征及洪水资源开发利用具有与别的流域或支流的异同之处,在进行汛期难控制利用洪水量的评价时,高含沙河流难于直接应用已有成果,这在很大程度上凸显出目前相关研究的局限性。同时,影响汛期难控制利用洪水的因素复杂多样,开展汛期难控制利用洪水的评价分析意义重大。从实际应用角度讲,拓宽高含沙河流汛期难控制利用洪水的研究方法和研究领域也具有现实的意义。因此结合前人已有研究,如何评价高含沙河流汛期难控制利用洪水量,如何揭示复杂环境下汛期难控制利用洪水的特性,是一个值得研究和亟需解决的科学问题。

参 考 文 献

- [1] 刘昌明,孙睿.水循环的生态学方面:土壤—植被—大气系统水分能量平衡研究进展[J].水科学进展,1999,10(3):251-259.
- [2] 汪党献.水资源需求分析理论与方法研究[D].北京:中国水利水电科学研究院,2002.
- [3] Burns D, Vitvar T, McDonnell J, et al. Effects of suburban development on runoff generation in the Croton River basin, New York, USA [J]. Journal of Hydrology, 2005, 311 (1-4): 266-281.
- [4] Xu JX. Variation in annual runoff of the Wudinghe River as influenced by climate change and human activity [J]. Quaternary International, 2011, 244 (2): 230-237.
- [5] 董磊华,熊立华,于坤霞,等.气候变化与人类活动对水文影响的研究进展[J].水科学进展,2012,23(2):286-293.
- [6] 李佩成,冯国章.论干旱半干旱地区水资源可持续供给原则及节水型社会的建立[J].干旱地区农业研究,1997,15(2):1-7.
- [7] 李佩成.试论人类水事活动的新思维[J].中国工程科学,2000,2(2):5-9.
- [8] 冯国章,李佩成.西北内陆河区水资源天然分布的缺陷及其持续开发利用的对策[J].干旱地区农业研究,1997,15(3):65-71.
- [9] 李佩成.试论人与自然和谐相处及再造西北山川秀美[J].地球科学与环境学报,2005,27(3):1-4.
- [10] 李佩成.治水的哲学思考[A]//周孝德,沈冰.水与社会经济发展的相互影响及作用[C].北京:中国水利水电出版社,2005.
- [11] 李佩成.发展地球科学,推进人与自然和谐发展[J].西北地质,2007,40(1):



- 1-6.
- [12] 游进军. 水资源系统模拟理论与实践 [D]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2005.
- [13] 张欧阳, 许炯心, 张红武, 等. 洪水的灾害与资源效应及其转化模式 [J]. 自然灾害学报, 2003, 12 (1): 25-30.
- [14] 王浩, 殷峻暹. 洪水资源利用风险管理研究综述 [J]. 水利发展研究, 2004 (5): 4-8.
- [15] Yang SQ, Chen YN, Wang AS. Dynamic mechanism of flood disaster on the basis of chaotic theory [J]. Journal of the Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, 2003, 20 (4): 446-451.
- [16] 付湘, 王丽萍, 边玮. 洪水风险管理与保险 [M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [17] Lincoln T. Flood of data [J]. Nature, 2007, 447 (7143): 393.
- [18] Pall P, Aina T, Stone D A, et al. Anthropogenic greenhouse gas contribution to flood risk in England and Wales in autumn 2000 [J]. Nature, 2011, 470 (7334): 382-385.
- [19] Schiermeier Q. Increased flood risk linked to global warming [J]. Nature, 2011, 470 (7334): 316.
- [20] 施雅风, 沈永平, 胡汝骥. 西北气候由暖干向暖湿转型的信号、影响和前景初步探讨 [J]. 冰川冻土, 2002, 24 (3): 219-226.
- [21] 程国栋, 王根绪. 中国西北地区的干旱与旱灾——变化趋势与对策 [J]. 地学前缘, 2006, 13 (1): 3-14.
- [22] Cheng CT, Chau KW. Flood control management system for reservoirs [J]. Environmental Modelling and Software, 2004, 19 (12): 1141-1150.
- [23] Rougiani M, Ghafouri M, Tabatabaei M. An innovative methodology for the prioritization of sub-catchments for flood control [J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2007, 9 (1): 79-87.
- [24] 陈颙, 史培军. 自然灾害 (修订版) [M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2008.
- [25] 张智, 吴济华. 城镇防洪与雨洪利用 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.
- [26] 廖建华, 许炯心, 杨永红. 黄土高原区高含沙水流发生频率空间分异及其影响因素 [J]. 水科学进展, 2008, 19 (2): 60-170.
- [27] Li XG, Wei X, Wang NA, et al. Maximum grade approach to surplus floodwater of hyperconcentration rivers in flood season and its application [J]. Water Resources Management, 2011, 25 (10): 2575-2593.
- [28] 耿艳辉. 泾河流域植被生态需水量研究 [D]. 济南: 山东师范大学, 2005.
- [29] 向立云, 魏智敏. 洪水资源化——概念、途径与策略 [J]. 水利发展研究, 2005 (7): 24-29.
- [30] 国家防办课题组. 洪水资源化调研报告 [J]. 中国防汛抗旱, 2004 (2): 10-14.
- [31] 雷志栋, 瞿继龙. 叶尔羌河平原绿洲水资源可利用量的探讨 [J]. 灌溉排水, 1999, 18 (2): 10-13.
- [32] 杜晓舜, 夏自强. 洛阳市水资源可利用量研究 [J]. 水文, 2003, 23 (1): 14-



- 17, 20.
- [33] 贾绍凤, 周长青, 燕华云, 等. 西北地区水资源可利用量与承载能力估算 [J]. 水科学进展, 2004, 15 (6): 801-807.
- [34] 燕华云, 贾绍凤. 湟水水资源可利用量研究 [J]. 水资源研究, 2005, 26 (1): 10-12.
- [35] 姚水萍, 郭宗楼, 任佶, 等. 地表水资源可利用量计算探讨 [J]. 浙江大学学报 (农业与生命科学版), 2005, 31 (4): 479-482.
- [36] 王建生, 钟华平, 耿雷华, 等. 水资源可利用量计算 [J]. 水科学进展, 2006, 17 (4): 549-553.
- [37] 陈显维. 国内外水资源可利用量概念和计算方法研究现状 [J]. 水利水电快报, 2007, 28 (2): 7-10, 17.
- [38] 徐德龙, 张翔, 吕孙云, 等. 地表水资源可利用量研究现状及发展趋势 [J]. 人民长江, 2007, 38 (11): 110-112.
- [39] Ibrahim MB. Rainwater harvesting for urban areas: a success story from Gadarif City in central Sudan [J]. Water Resources Management, 2009, 23 (13): 2727-2736.
- [40] Srinivasan V, Gorelick SM, Goulder L. Sustainable urban water supply in south India: desalination, efficiency improvement, or rainwater harvesting? [J]. Water Resources Research, 2010, DOI: 10.1029/2009WR008698.
- [41] Pinter N. One step forward, two steps back on U.S. floodplains [J]. Science, 2005, 308 (5719): 207-208.
- [42] Bower SS. Natural and unnatural complexities: flood control along Manitoba's Assiniboine River [J]. Journal of Historical Geography, 2010, 36 (1): 57-87.
- [43] Fu G. A fuzzy optimization method for multicriteria decision making: an application to reservoir flood control operation [J]. Expert Systems with Applications, 2008, 34 (1): 145-149.
- [44] Carter JG, White I, Richards J. Sustainability appraisal and flood risk management [J]. Environmental Impact Assessment Review, 2009, 2 (1): 7-14.
- [45] Jonathan WFR, Nicholas P, Reuben H. The use of retro-and scenario-modeling to assess effects of 100+ years river of engineering and land-cover change on Middle and Lower Mississippi River flood stages [J]. Journal of Hydrology, 2009, 376 (3-4): 403-416.
- [46] De Kok JL, Grossmann M. Large-scale assessment of flood risk and the effects of mitigation measures along the Elbe River [J]. Natural Hazards, 2010, 52 (1): 143-166.
- [47] Chang FJ, Chang KY, Chang LC. Counterpropagation fuzzy-neural network for city flood control system [J]. Journal of Hydrology, 2008, 358 (1-2): 24-34.
- [48] Wei CC, Hsu NS. Optimal tree-based release rules for real-time flood control operations on a multipurpose multireservoir system [J]. Journal of Hydrology, 2009, 365 (3-4): 213-224.
- [49] 马斌, 解建仓, 汪妮, 等. 渭河泥沙对水资源利用的影响——以宝鸡峡灌区为例 [J]. 水土保持学报, 2001, 15 (3): 89-92.



- [50] 李勋贵, 王乃昂, 魏霞. 高含沙河流汛期弃水量确定的分级最大值法 [J]. 资源科学, 2010, 32 (6): 1213 - 1219.
- [51] 冉大川, 郭宝群, 张晓华, 等. 泾河流域来沙系数变化与响应分析 [J]. 泥沙研究, 2009 (2): 60 - 67.