

河流洪水资源利用效益与 定量评估研究

HELIU HONGSHUI ZIYUAN LIYONG XIAOYI YU
DINGLIANG PINGGU YANJIU

冯峰 著



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn



河流洪水资源利用效益与 定量评估研究

冯峰 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书首先介绍了洪水资源利用在国内外的的发展概况,对洪水资源利用产生的效益进行了定义和分类;重点阐述了洪水资源利用效益因子的识别方法、定量评估技术、综合评价方法;并提出了洪水资源的最优利用量决策模型、风险效益综合评价模型和优化配置模型;最后提出了下一步的研究展望。

本书可供水文学及水资源、水利工程、城市水利等专业的科研人员、大学教师、高年级本科生和研究生,以及从事水资源规划、管理、调度工作的技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

河流洪水资源利用效益与定量评估研究 / 冯峰著

— 北京:中国水利水电出版社,2012.11

ISBN 978-7-5170-0327-4

I. ①河… II. ①冯… III. ①河流—洪水—水资源—资源利用—研究 IV. ①TV213.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第263307号

书 名	河流洪水资源利用效益与定量评估研究
作 者	冯 峰 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
经 售	电话: (010) 68367658 (发行部) 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	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 9印张 214千字
版 次	2012年11月第1版 2012年11月第1次印刷
印 数	0001—1500册
定 价	30.00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

20 世纪以来水资源问题日益突显，水资源短缺已经成为我国水问题的主要矛盾。面对持续增加的生产、生活和生态用水需求，面对日益严峻的干旱缺水形势，如何为经济社会发展提供足量稳定的淡水资源作为一个重大而紧迫的课题提上议事日程。洪水资源利用作为一种最具潜力的开源手段被当代水利人加以实践和探索，并以其技术可行性、经济合理性和巨大的经济、社会和生态效益，使得人们逐渐认识到其在贯彻落实科学发展观、构建和谐社会中的必要性、合理性和迫切性。目前，我国对洪水资源利用的途径和措施有了较为深入的研究，但是对于洪水资源利用的效益识别方法、定量分析模型、风险效益综合评价模型等方面，和国外特别是发达国家比还有一定的差距，还没有具体的研究成果和可供推广的模型。这些现实情况一方面极大地限制了地区、河流利用洪水资源解决水资源短缺问题的进度和发展水平；另一方面也抑制了区域、流域或群众利用洪水资源的积极性，使一部分宝贵的淡水资源被浪费。所以加快这些问题的研究，是促进洪水资源广泛利用、提高节约意识、珍惜资源的基本前提，也是利用洪水资源的科学支持和技术保证。

作者将十几年对洪水资源利用的研究成果进行梳理，撰写成书，主要针对我国河流洪水资源利用的效益识别、定量评估以及综合评价等问题，以吉林省嫩江中下游的白城市 2002~2008 年洪水资源利用实践为研究背景和分析实例，开展了相关的研究，提出了洪水资源利用的效益识别方法、效益量化技术体系、综合效益评价模型等。通过实例计算认为，在保证洪水资源利用安全可靠、风险适度的前提下，该地区洪水资源利用的经济效益突出，生态环境效益和社会效益也十分显著。洪水资源利用不仅是解决水资源短缺的一种有效途径，也会对区域可持续发展及和谐社会的构建有着重大的现实意义。

本书共由 9 章构成。第 1 章介绍了国内外洪水资源利用、效益分析的研究现状，以及研究区域背景，并对区域洪水资源利用的可行性进行分析。第 2 章针对洪水资源利用的效益特点，构建了适合于洪水资源本身特点的功能与需求耦合效益识别法和其数学矩阵模型，利用实例进行了验证。第 3 章明确了洪水资源利用相关效益的概念，完成了经济效益、生态环境效益、内涵效益与

外延效益与定量技术的整合,提出了定量评估技术体系,对效益因子的计算方法进行了公式归纳和参数确定,并对不同利用措施的效益进行了分析。第4章基于内涵效益和外延效益定量评估模型,根据洪水资源利用效益评价的特点,明确了其国民经济评价的目的和内容,并构建了洪水资源利用国民经济评价模型。第5章构建了洪水资源利用综合效益的微观和宏观评价模型。社会效益通过基于熵权的模糊分度测评模型实现了定量评估;构建了MCA评价模型,该模型将不同量纲的效益价值进行综合比较和评价,从而对洪水资源利用效益进行微观评价;基于熵值权向量和多目标多级模糊优选理论,构建了区域洪水资源利用综合效益评价的多层次半结构性指标体系及连续动态评价模型。第6章通过构建基于边际等值原理的洪水资源最优利用量决策模型,根据决策原则确定洪水资源最优利用量,做到效益最大化和损失最小化,较好地处理了效益与风险损失的关系。将经济效益、生态环境效益、内涵效益与洪水资源利用量进行了回归分析,为洪水资源利用的效益预测奠定基础。第7章基于多目标遗传算法的优化配置模型,将不同频率的洪水资源作为有效的供水补给,纳入到水资源总量中进行优化配置。第8章对洪水资源利用的生态补偿机理进行了分析,按照全过程的思路,理清了洪水资源利用方式与生态补偿政策之间的关系和原理。第9章对所有研究内容进行总结,并对下一步的研究工作作了展望。

在本书的研究、撰写和出版过程中,许多专家给予了专业的指导和无私的帮助,他们是:大连理工大学水环境研究所所长许士国教授;清华大学水资源研究所所长倪广恒教授;黄河水利科学研究院院长时明立教授、副院长姚文艺教授、总工姜乃迁教授、水资源研究所所长何宏谋教授、所总工蒋晓辉教授,在此深表感谢。

本书的研究和出版工作得到了中国博士后科学基金资助项目“河流洪水资源利用的生态补偿机理及消纳阈值研究”(2012M511581)、黄河水利科学研究院科技发展基金“黄河流域典型区域目标蒸散发的确定及配置研究”(黄科发201205)、河南省教育厅青年骨干教师资助计划项目“河流洪水资源利用生态补偿机理研究”(2011HNQNGG-216)等项目的资助,在此一并致谢。

受时间和作者水平所限,本书许多内容还有待完善和继续深入研究,其中若有错误或不足之处,敬请读者和有关专家给予批评指正。

作 者

2012年6月于郑州金水河畔

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究目标和内容	5
1.3 研究区域背景	8
第 2 章 河流洪水资源利用的效益识别方法	13
2.1 洪水资源利用的效益分析	13
2.2 洪水资源利用效益识别方法	15
2.3 洪水资源利用效益识别实例	20
2.4 本章小结	23
第 3 章 河流洪水资源利用的效益定量评估	25
3.1 洪水资源利用效益的定量评估技术	25
3.2 洪水资源利用内涵效益定量计算	32
3.3 洪水资源利用外延效益的定量评估	47
3.4 不同利用措施的效益分析	58
3.5 本章小结	62
第 4 章 河流洪水资源利用国民经济评价	64
4.1 河流洪水资源利用国民经济评价模型	64
4.2 河流洪水资源利用国民经济评价实例	70
4.3 本章小结	72
第 5 章 河流洪水资源利用综合效益评价	74
5.1 洪水资源利用综合效益的 MCA 评价	74
5.2 洪水资源利用综合效益的连续动态评价	80
5.3 本章小结	91
第 6 章 河流洪水资源最优利用量及效益拟合	92
6.1 河流洪水资源最优利用量决策	92
6.2 洪水资源利用量与各种效益的拟合	98
6.3 GDP 分摊法估算洪水资源利用效益	101
6.4 洪水资源利用效益敏感性分析	103
6.5 本章小结	106
第 7 章 河流洪水资源综合利用及效益预测	107
7.1 基于熵权的洪水风险效益综合评价	107

7.2	区域洪水资源的供水补偿作用及优化配置	110
7.3	区域洪水资源利用的效益预测	116
7.4	本章小结	117
第 8 章	河流洪水资源利用的生态补偿机理	119
8.1	水库洪水资源利用的补偿机理	119
8.2	湿地洪水资源利用的补偿机理	120
8.3	泡塘洪水资源利用的补偿机理	121
8.4	灌区洪水资源利用的补偿机理	123
8.5	草原洪水资源利用方式	124
8.6	地下水库洪水资源利用方式	124
8.7	不同利用方式的效益对比分析	124
8.8	本章小结	127
第 9 章	结论与展望	129
9.1	结论	129
9.2	展望	132
参考文献		133

第 1 章 绪 论

1.1 研究背景

1.1.1 国内外洪水资源利用现状

我国水资源供需形势紧张已成为突出的社会问题。一方面,水资源总体上匮乏;另一方面,在来水时,为确保河流和大坝安全,又不得不全力以赴地护送洪水下泄入海,使大量没有得到充分利用的宝贵水资源白白流失^[1]。进入 21 世纪,水资源短缺已经成为我国水问题的主要矛盾。面对持续增加的生产、生活和生态用水需求,面对日益严峻的干旱缺水形势,如何为经济社会发展提供足量稳定的淡水资源作为一个重大而紧迫的课题提上议事日程,洪水资源利用作为一种最具潜力的开源手段被当代水利人加以实践和探索。当今社会,生存与发展成为时代的主题,实现人口、资源、环境与社会、经济协调健康持续发展是人类共同的美好愿望。随着我国经济社会发展、工业化和城市化进程不断加快,干旱缺水、洪涝灾害、水环境恶化成为制约我国经济社会可持续发展的主要问题。洪水资源利用以其技术可行性、经济合理性和巨大的经济、社会和生态效益,使得人们逐渐认识到其在贯彻落实科学发展观、构建社会主义和谐社会中的必要性、合理性和迫切性。

流域洪水资源利用是发挥洪水资源特性、缓解水资源短缺、减少水旱灾害损失、实现水资源可持续开发利用的重要措施。研究表明,近 50 年来中国六大江河的实测径流量均呈下降趋势^[2]。进入 20 世纪 90 年代以后,水资源供需矛盾进一步突出,越来越多的学者开始关注洪水资源利用问题,向立云等^[3]对国内外洪水资源利用的历史进行了阐述,陶国芳等^[4]对我国洪水资源利用存在的问题进行了分析。一些研究者对洪水资源利用的实施方法进行了深入探讨,如通过引洪冲湖水、蓄洪调水和直接引洪北调的方式来实现长江洪水资源化的利用^[5];在滦河流域潘家口水库,采用常用的 6 种聚类分析方法进行定量汛期分期研究,为实现洪水资源化制定和调整分期汛限水位提供了重要的前提条件^[6]。许士国^[7]、刘建卫^[8]等对于通河湖库的嫩江洪水资源化问题进行了深入研究。

洪水资源化也是维系和保护湿地的重要依据和保障,利用蓄滞洪区主动分蓄水库弃掉的多余洪水来恢复湿地或回补地下水是其中的重要手段^[9]。在淮河流域,通过采取行蓄洪区洼地蓄水方案,减少了蚌埠闸总弃水,增加调节库容多年平均利用率 50%~60%;2003 年哈尔金闸开闸引蓄嫩江洪水共 4.17 亿 m³,并通过月亮泡向其连通的它拉红泡、新荒泡引水 5000 万 m³,缓解了白城市的用水紧张局面,部分实现了嫩江洪水资源化^[10]。在我国北方尤其是西北地区,2/3 以上的年内降水量集中在 6~9 月(共 4 个月)汛期,短时段高强度输入的雨洪水,造成水土流失和无效蒸发,雨后又无水灌溉,大旱之年人、畜饮水困难,群众生活贫困。近年来,我国在干旱缺水山区大力建设水窖、水池和小塘坝等微型雨洪集蓄利用工程,解决农民生活用水,发展抗旱补水灌溉和畜牧种植业^[11]。据不完全统计,到 2000 年底,全国共建成雨水集蓄利用工程 560 万处,蓄水容积 18.3 亿

m^3 , 解决了 1532 万人及 966 万头牲畜的饮水问题, 发展抗旱保苗补水灌溉面积 1830 万亩。另外, 经济发达的深圳市多年年平均水资源利用量仅 5.26 亿 m^3 , 每年约有 14 亿 m^3 水资源白白流失, 可供开发的潜力很大。雨洪资源利用可以达到增加水资源、防洪减灾、减少径流污染、改善生态环境等功效。

洪水资源利用针对传统治水存在的不足而提出, 是兴利与除害结合、防洪与抗旱并举在新时期的具体体现, 是经济社会发展的客观需要, 是与时俱进、开拓创新的理论研究结果, 是在新的治水理论和理念指导下的具体实践。“洪水资源利用”在国外通常被称为“洪水管理”^[12]。由于全球范围的水资源紧缺和暴雨洪水灾害频繁, 世界五大洲约 40 多个国家和地区在城市开展了不同规模的洪水利用研究: 日本在屋顶修建蓄水系统, 或修建屋顶蓄水和渗井、渗沟相结合的回补系统, 雨水在屋顶集蓄后, 逐步放入渗井或渗沟, 再回补地下。美国制定了相应的政策法规, 限制雨水直接排放流失, 控制雨水径流的污染, 收取雨水排放费, 要求或鼓励雨水的截流、储存、利用或回灌地下, 改善城市水环境与生态环境。德国是世界上雨水收集、处理、利用技术最先进的国家之一, 通过法律强制和市场推动鼓励用户采用雨洪利用技术^[13]。近 20 年来, 美国、加拿大、意大利、法国、墨西哥、印度、土耳其、以色列、日本、泰国、苏丹、也门、澳大利亚、德国等约 40 多个国家和地区在城市和农村开展了不同规模的雨洪利用研究, 并召开过 10 届国际雨洪利用大会。其中, 美国和日本等经济发达、城市化进程发展较早的国家, 城市雨洪利用发展较快。

1. 美国

随着人们对洪水及其环境及生态作用认识的不断加深, 美国 1993 年大水之后, 在人烟稀少、资产密度较低的高风险区没有对水毁堤防加固或重建, 让洪水迂回滞留于曾经被堤防保护的 land 中, 既利用了洪水的生态环境功能, 同时减轻了中国重要地区的防洪压力。1995 年出台的全国洪泛区综合管理计划中更将恢复洪水高风险区的生态环境功能作为未来 30 年洪泛区管理的四大目标之一。

2. 日本

自 20 世纪 60 年代起, 日本力图实现“安全确保”的防洪方略, 经过 30 多年的经营, 建立起了较高标准的防洪工程体系, 近来认识到通过防洪工程确保安全既不可能也不经济, 防洪观念转变为在一定防洪标准下的“风险选择”策略。在利用洪水方面采取了雨洪就地消化, 洪水资源化利用, 在原渠道化的河道上人为造滩、营造湿地、培育水生物种以求形成类似于自然状态的“多自然河川”等措施。

1.1.2 洪水资源利用效益的研究现状

国内外一些学者对雨洪水资源利用效益分析进行了研究。周维博、李佩成^[14]在研究干旱半干旱地域灌区水资源综合效益评价体系时, 建立了灌区水资源综合效益评价的数学模型, 并应用层次分析法 (AHP) 原理, 对构建的模型进行了研究。殷峻暹、侯召成^[15]以大连市碧流河水库为例, 根据大连市供水系统的风险及其变化过程, 通过分析引蓄洪水资源的利用情况, 建立洪水资源效益分析模型, 并对碧流河水库开展的洪水资源利用情况进行了定量分析。陈洁、许长新^[16]从经济学的角度对洪水资源化利用进行了成本收益分析, 认为将防备性投入变为积极性经济循环, 在发展经济的同时保护了环境, 实现了人与

环境共同发展,洪水利用的收益远远大于其成本。万亮婷等^[17]对地下水人工回灌工程经济效益进行科学评价,并针对各种效益提出了相应的计算方法,完善了地下水人工回灌经济效益分析理论与计算方法。黄初龙、邓伟^[18]等利用 SUAAR 灰色聚类法对我国东北地区的水资源利用进行评价,构建了东北地区的 SUAAR 评价指标体系。邵东国^[19]、李玮^[20]对洪水资源利用的潜力进行了分析,提出了缺水损失法、分摊系数法用来计算工业供水效益,用水价法计算城市供水效益,将平原地区洪水资源化地下水回灌效益分为增产、节支、环境效益三部分,并提出了相应的计算公式。Yutaka Takahasi^[21]等对日本河流管理的进程进行了回顾,从以往的集中在经济效益转变为现在的综合性管理。Jiang Ming^[22]等以莫莫格国家自然保护区为研究实例,分析和计算了湿地的减缓洪水效益。Jan Jaap Bouma^[23]等研究了荷兰洪水管理与风险之间的关系。Roy Brouwer^[24]等对荷兰的洪水管理替代政策进行了综合生态、经济和社会方面的效益评估研究。于琪洋从实践可持续发展治水思路出发,认为城市雨洪资源利用在解决城市水资源短缺、缓解城市洪涝灾害、改善城市生态系统、美化城市环境等方面,可产生巨大的经济、社会和生态效益,并提出可通过采取统筹规划、建立有效的水资源管理体制、加强科学研究和试点工作、加强政策法规和财政支持等政策措施,加强城市雨洪资源利用^[25]。刘佳莉的研究表明,由全国人民和国际友人共同捐助的甘肃雨水集流工程——“121 雨水集流工程”、“大地之爱·母亲水窖”和“万眼爱心水窖”在解决当地饮水困难、发展节水旱作农业、加快群众脱贫致富步伐等方面发挥了重要作用^[26]。丁海燕提出城市排水采用 6 字方针“渗一回(灌)—调(节)—蓄—用—排”,“渗”字应当放在首位,万不得已才“排”。渗是指雨洪水直接入渗地下,效果好而且成本低,施工方便,可采用透水砖、草砖、渗水沟、渗水井、绿地等。灌是指有条件的地方要利用雨水回灌地下水。调是为了错开洪峰时间,减少洪峰流量^[27]。王国栋、石海波提出通过完善防洪预案,在确保防洪安全的前提下充分利用雨洪资源,加快河口村水库建设,提高沁河防洪能力及有效利用黄河干流洪水资源等措施缓解豫北地区干旱缺水问题^[28]。崔敬欣表明,城市雨水利用工程可以节省巨额市政投资,可以节省市政和居民用水开支,有良好的产业前景,能形成新的经济增长点^[29]。

国内对于雨洪资源利用的理论和技术研究日趋完善,但对其后期产生的效益识别和评估不足,尤其是缺乏一套科学合理的识别和评估河流洪水资源利用经济社会效益的理论体系与技术方法,突出表现在:

首先,效益评估的研究内容不够全面,主要是对效益类别区分不清,相应类别效益的指标还不全面。对洪水资源利用的效益研究多集中在经济方面,对其社会和生态效益多用文字描述,缺乏量化分析,不能准确反映效益大小,主观随意性很大。

其次,评估指标的定性与定量属性不统一。由于研究手段不成熟,资料获取困难或是对指标定义和界定不统一,现有评估研究重定性轻定量,并且对定量和定性指标缺乏统一处理,从而影响综合效益的评估。

第三,现存评估体系缺乏普适性和推广性。综合评估需要建立一套能客观、准确、全面并且定量反映洪水资源利用效益的评估指标体系。由于组成流域的因素复杂和流域具体情况各异,以及人们评估的目的、重点和方向不同,到目前为止,还没有一种能被广泛接受的雨水或洪水利用效益评估指标体系和评估方法。

第四,模型研究不完善。不同的分析模型有不同的计算步骤和评估方法,也有各自的优劣性和适用性,评估方法不同也会导致评估结果的差异。至今国内外尚没有一套完整的、适用性强且被研究者广泛认同的洪水资源利用综合效益分析模型。

洪水资源利用除了产生直接的经济效益外,还会带来间接的社会效益。雨水集蓄以及水库蓄洪都属于具有公益性的社会事业的一部分,可以缓解水资源压力,改善人民生活质量、保障社会安全以及提高生产效率等。实际上,洪水资源利用的直接经济效益在本益比上并不突出,其社会效益更为重要。因此,需要对洪水资源利用的经济效益、生态环境效益和社会效益进行综合分析和评估。

总的来说,目前我国对雨水或洪水资源利用的途径和措施有了较为深入的研究,但是对于洪水资源利用效益识别方法、定量分析、风险效益综合评价模型等方面,还和国外特别是一些发达国家有一定的差距。而且到目前为止还没有具体的研究成果和可供推广的模型。这些现实情况一方面极大地限制了地区、河流利用雨洪资源解决水资源短缺问题的进度和发展水平;另一方面也抑制了区域、流域或群众利用洪水资源的积极性。使一部分宝贵的淡水资源被浪费,所以加快这些问题的研究,是促进广泛利用、提高节约意识、珍惜资源的基本前提,也是利用洪水资源的科学支持和技术保证。

洪水资源利用可产生多方面的效益,涉及不同领域和不同方面,具有大学科交叉的特点。多学科理论体系的支撑、洪水资源利用理论的完善、多种效益评估的探讨以及人们对其认识的不断提高,为深入研究洪水资源利用的经济、社会效益奠定了基础。

1. 社会和谐发展的基础

2003年10月召开的中共十六届三中全会提出了“坚持以人为本,树立全面、协调、可持续的发展观,促进经济社会和人的全面发展”,即科学发展观^[30-31]。对人与自然和谐发展提出了更高要求:需要努力把握人与自然之间关系的平衡,寻求人与自然的和谐发展;必须把人的发展同资源消耗、环境退化、生态遭受破坏联系在一起。

科学发展观是国家发展战略的整体构想,从经济增长、社会进步和环境安全的现实目标出发,从哲学观念更新和人类文明进步的理想目标出发,全方位概括了“自然、经济、社会”复杂系统的运行规则和“人口、资源、环境、发展”四位一体的辩证关系,并将此类规则与关系在不同时段或不同区域的差异表达包含在整个时代演化的共性趋势之中。研究洪水资源利用的经济、生态和社会效益,需要按照科学发展观的要求,从国家发展战略的整体构想考虑水与经济、生态和社会的全面关系,研究洪水资源对社会和谐发展的重要作用 and 重大影响。

2. 多学科研究的理论基础

水属于自然环境范畴,人属于生态系统范畴,也属于社会、经济学的范畴,生态系统与自然环境、社会、经济息息相关。水、经济、生态、社会构成了一个复杂的系统,系统中各因素间相互影响、相互依存。水对经济、社会、生态系统乃至人类生存资源的影响体现在水资源、水环境、水生态环境等方面。水文与水资源学、生态学、经济学、社会学等相关学科基本理论为建立洪水资源利用效益指标奠定了理论基础。

3. 洪水资源利用技术及效益的研究基础

近20年来,由于全球范围内水资源紧缺和暴雨洪水灾害频繁,美国、加拿大、墨西

哥、德国、日本等 40 多个国家相继开展了雨洪资源利用的研究与实践,并召开过 10 届国际雨洪资源利用大会。其中,德国、日本、美国等经济发达、城市化进程发展较快的国家,将城市雨洪资源利用作为解决城市水源问题的战略措施,进行试验、推广、立法、实施。我国城市雨洪资源利用具有悠久的历史,新疆的坎儿井、北京北海团城古代雨洪资源利用工程,都是古代雨洪资源利用的典范。真正意义上的城市雨洪利用开始于 20 世纪 80 年代,发展于 90 年代,目前呈现出良好的发展势头。近几年,洪水资源利用在实践中也取得了显著效益^[32]。从 2003 年开始,3 年内吉林省在白城地区成功引蓄了嫩江及洮儿河洪水资源,引蓄洪水 9.84 亿 m^3 ,改善湿地面积 50km^2 ,使地下水得到了补充,水位升高 $0.36\sim 1.90\text{m}$,平均升高 0.70m ,取得了巨大的经济效益和社会效益。黑龙江省在利用洪水资源进行湿地补水改善生态环境方面做了很多尝试,效果突出,截至 2005 年 10 月,利用中引工程从嫩江向扎龙湿地引水 11.15 亿 m^3 ,解决了扎龙湿地缺水问题,湿地生物多样性得到恢复,丹顶鹤等珍禽栖息地状况明显改善。大连碧流河水库采用汛限水位动态控制方法,2005 年和 2006 年两年累计为水库多拦蓄洪水资源 1.35 亿 m^3 (相当于中等规模城市年用水量),创造直接经济效益达 0.2 亿元,流域防洪效益达 0.3 亿元,按 2.6 元/ m^3 的城市水价核算,经济效益将达到 3.51 亿元。以上研究从不同角度研究了雨洪资源利用的经济社会效益,各有侧重,虽不很全面,但都得出了鲜明观点,为系统地研究洪水资源利用社会经济效益评估指标体系奠定了良好的基础。

1.2 研究目标和内容

1.2.1 研究目标

- (1) 研究具有普适性的河流洪水资源利用效益识别方法。
- (2) 研究建立河流洪水资源利用综合效益的定量评估模型。
- (3) 研究建立河流洪水资源利用的国民经济评价模型。
- (4) 研究洪水资源利用效益指标体系,构建综合效益评价模型。
- (5) 研究河流洪水资源的最优利用量及优化配置等相关问题。
- (6) 研究河流洪水资源的生态补偿机理等相关问题。

1.2.2 研究内容

洪水资源利用要坚持整体利益最大化原则,讲求投入与产出、效益与损失的合理化,坚持趋利避害、利益均衡的原则。洪水资源利用不仅可以在一定程度上缓解区域水资源紧缺,改善区域生态环境,同时还能有效地减轻排洪压力,减少洪灾损失。不仅能够产生直接的经济效益,更重要的是具有生态环境效益和社会效益。将从洪水资源所具备的功能和量级出发,与河流、区域对水资源的需求对接耦合进行效益识别,对识别出的效益进行层次结构分析后,归入包含经济效益、生态环境效益、社会效益的综合效益体系,并建立综合效益定量评估模型和总体评价模型,对洪水资源利用的综合效益进行定量评估和总体评价。本专题拟从以下 8 个方面开展研究。

- (1) 效益识别:对洪水资源利用效益进行识别。
- (2) 效益层次结构分析:对识别出的效益进行层次结构分析,列入相应的综合效益体系。
- (3) 定量技术整合:确定效益的定量评估方法和参数。

- (4) 社会效益定量评价模型：构建社会效益定量评价模型。
- (5) 综合效益定量评估模型：构建综合效益定量评估、国民经济评价模型。
- (6) 指标体系建立：构建综合效益的多层次半结构指标体系。
- (7) 多目标综合分析评价模型：构建综合效益的多目标综合总体评价模型。
- (8) 实例分析和验证：利用典型的河流、区域进行计算分析和论证调整。

1.2.3 任务分解

(1) 河流洪水资源利用的效益识别。根据我国洪水资源利用的实践经验，提出洪水资源利用功能与需求耦合效益识别法。这种方法以用水系统为主线，一方面从洪水资源所具备的功能属性进行识别，比如水量、水质、水能、净化功能等；另一方面从河流、区域对洪水资源的接纳和需求能力进行识别；然后功能与需求、供给与需量、主动与被动进行对接和耦合，识别出具体效益。

(2) 河流洪水资源利用的效益层次结构分析。对识别出的效益进行层次结构分析后，合并归类。一方面归入综合效益定量评估体系，分为经济效益、生态环境效益和社会效益三大类；一方面归入综合效益多层次半结构指标体系。在此过程中，注意以下三个问题：注重分类的方法和效益的种类，避免归类错误；对未识别出的外延次生效益要注意补充完整，避免效益遗失；对识别出的重复效益注意整合，避免效益外溢。

(3) 效益与定量技术整合。对河流洪水资源利用所产生的内涵效益、外延效益，以及经济效益、生态环境效益、社会效益与定量评估技术进行整合。对于一种效益量化可用方法最少要两种以上，以备选择；根据数据选择适合的方法进行定量计算，以减少误差；经济效益和生态环境效益定量计算要注重数据可靠性、参数合理性和方法适用性。

(4) 社会效益模糊定量评价模型。河流洪水资源利用社会效益不易进行定量货币化评估，采取结合我国洪水资源利用试点区域的实践经验，构建社会效益评价指标体系，利用熵值权向量、专家打分等方法来确定指标权重，计算级别特征值和综合评价值，得出社会效益的分度测评和评价等级，对由于洪水资源利用所产生的社会效益进行模糊定量评价。

(5) 综合效益定量评估、国民经济评价模型。河流洪水资源利用综合效益定量评估最终的结果形式为经济效益和生态环境效益的货币化测度与社会效益的分度测评两者的结合。构建综合效益定量评估模型，对效益进行综合计算，考虑资金的时间价值，考虑社会折现率等，计算相应的效益参数，进行综合效益国民经济评价。可根据定量计算结果，推算出洪水资源利用在我国相关地区、流域单位水量产生的效益，单位为元/ m^3 。

(6) 指标体系建立。构建综合效益的多层次、多目标半结构指标体系，多层次含有目标层、准则层、指标层、次指标层等；多目标是指要满足经济效益、生态效益和社会效益的多个目标；半结构指标有定量指标、定性指标；指标选择应具有代表性、普适性、易得性。定量指标多为经济效益，参数指标多为生态环境效益和社会效益，经济效益、生态环境效益和社会效益指标根据具体的实例运用情况，可选择为部分定量和部分定性指标。指标体系的建立就具有一定的可扩展性，根据流域或地区的不同可对指标体系进行扩展或缩减，适用性更广。

(7) 构建多目标综合分析评价模型。构建多目标综合分析评价模型要充分利用多种方法互相印证，目的是对单一的洪水资源利用总体效果进行评价，对多个洪水资源利用方案

排序优选。评价模型可考虑 AHP、模糊可变、灰色聚类、物元可拓等多种方法。权重确定方法可用信息熵、二元比较、基于博弈论综合权重法等较先进的方法。

(8) 实例分析和验证。对于河流洪水资源利用效益的定量评估模型和综合效益分析评价模型,应利用典型的河流、区域的数据和资料,进行计算分析和论证调整。修改完善模型,提高其可靠度,确保其适用性。实例分析主要选择为国家洪水资源利用试点区域——东北流域的白城地区等。

1.2.4 技术路线

洪水资源利用综合效益评价研究技术路线主要包括系统分析(前提条件探讨)、资料搜集、效益识别方法的确定、效益层次结构分析、定量技术选择、评价指标的选择、指标体系构建、评价方法选择和综合评价等阶段。由于综合效益的分析和计算与所研究区域当地的社会经济情况密切相关,因此需要大量翔实的实际调查工作,了解掌握研究区域的相关数据资料。首先分析具体的河流、城市所能提供的洪水资源,从量、质、能上分别进行分析判断,并与用水系统对水资源的需要进行耦合对接,从而识别出洪水资源利用的效益。根据识别的效益,确定评价系统的目标层和准则层。准则层包含三大部分内容,分别为经济效益、生态环境效益、社会效益,对个别指标需基于现场实验得出。评价指标的选择需要参考相关国内外资料为根据河流当地的实际情况,考虑普适性原则等,进行粗选和细选评价指标,构建评价指标体系。指标定量的计算需要根据评价指标的不同,考虑因素的不同,采取相应的赋值方法。评价函数的确定需要根据目标的不同,方法的不同,确定目标函数。如考虑效益最大还是风险最小,考虑单个方案的评价还是多个方案的优选,需要根据 AHP 方法还是工程可变模糊集理论构建相应的数学模型。把相关的指标规格化矩阵按照评价模型的要求,进行综合评价,得出相应的结论。其过程及思路如图 1.1 所示。

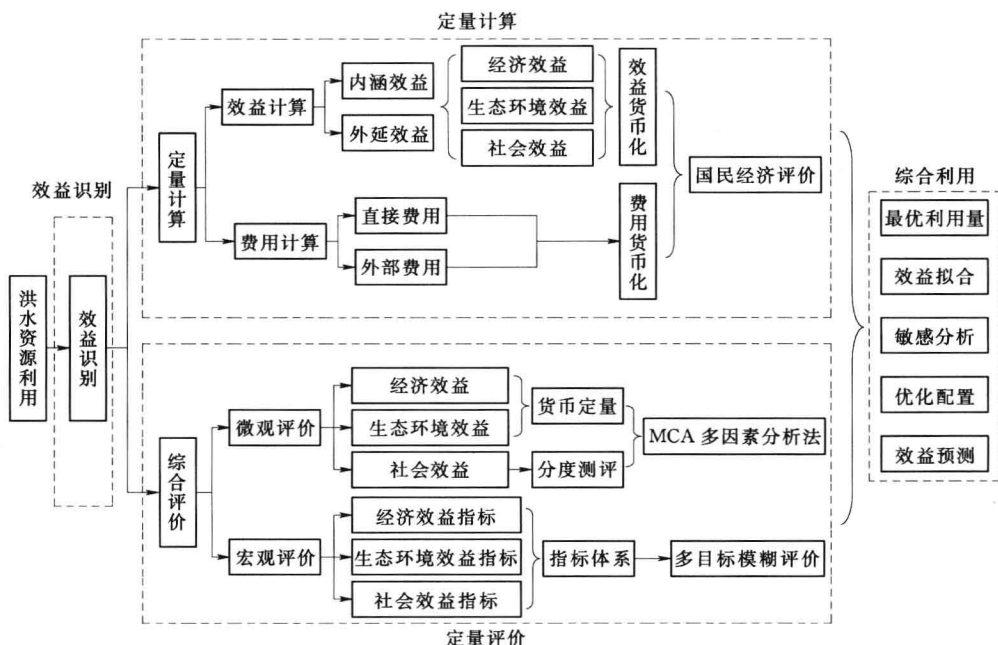


图 1.1 技术路线

1.3 研究区域背景

1.3.1 研究区域基本情况

吉林省位于祖国东北腹部,是一个内陆省份。南界辽宁省,北接黑龙江省,西连内蒙古自治区,东与俄罗斯接壤,东南隔鸭绿江、图们江与朝鲜民主主义共和国相望。地理位置南北向为北纬 $40^{\circ}52'$ 至北纬 $46^{\circ}18'$,最大宽度约600km。东西向为东经 $121^{\circ}38'$ 至东经 $131^{\circ}19'$,最大长度约750km。行政区划分为9个地级市(州),60个县(市、区)。

白城市位于吉林省的西北部,与内蒙古和黑龙江毗邻,面积2.56万 km^2 。全市辖洮北区、洮南市、大安市、镇赉县、通榆县5个县(市、区),总人口为200万人,其中农业人口为120万人。白城市属于旱半干旱地区。多年年平均年降水量405mm。年蒸发量为1749mm,年平均日照时数约为2950h。干旱是这里的主要气候特征,据新中国成立以来的资料统计,春旱发生频率为91.4%,夏旱为77.9%,秋旱为79%^[32]。而且,在发生干旱的同时,还常常伴有外洪内涝发生。在全市73万多公顷耕地面积中,易旱面积就有53万多公顷,平均计算因旱灾造成年际间农业产值丰欠幅度多达5亿~6亿元,即使在丰水年,由于年内降水分配不均,也有干旱造成的减产。1999年以来,白城市的旱情越来越严重,不仅降水少,而且时空分布极为不均,每年的1~6月几乎没有有效降水过程,致使严重的春旱连接严重的夏旱发生。春天抗旱播种出的苗,因无后续水补充,凋萎、干枯现象严重,造成严重灾害。几年来的连续干旱,使全市地下水水位下降1.5~3m,全市8座大中型水库,除月亮湖和团结水库引蓄了部分洪水外,其余水位都在死库容以下,300多个自然泡塘几乎全部干涸,除嫩江外,其他河流全部断流。严重的干旱不仅制约了农业经济的发展,而且还造成全市农村20多万人口和近14万头大牲畜饮水困难,加剧了生态环境的恶化。

干旱严重地影响了农业生产和农村经济的发展,干旱也困扰了城乡居民的生活,全市有近2000个村(屯)饮水都发生困难。干旱尤其是对生态环境影响更为严重,全市碱化、沙化面积扩大,草原、湿地面积萎缩。干旱成为制约白城国民经济发展的主要因素。解决干旱主要需要用“水”,但白城地区地下水承载能力有限,开发利用地上水,扩大水资源是今后一个时期的工作重点,但地表水潜力最大的是洪水,因此,实现洪水资源化,充分利用洪水资源,关系着白城地区国民经济的发展。

借鉴已有的洪水资源利用措施,并分析水文系统与下垫面条件,白城市可采取多种洪水资源利用措施。充分挖掘有利于洪水资源化的自然条件有:白城地区有丰富的泡沼资源,其中可蓄水量超过300万 m^3 的泡沼共有67个,总容量约为12.67亿 m^3 ;白城市境内有3大湿地:向海湿地、莫莫格湿地和月亮泡湿地,总面积约150万 hm^2 ;白城市西部地区,洮儿河与蛟流河交汇处的洮儿河冲积扇,地下水总储量100亿 m^3 ,年平均可补给水量6.1亿 m^3 ,开采量4.7亿 m^3 ^[33];由于洮儿河上游用水增加,修建了大量的拦蓄工程,现在洮儿河的正常径流已难以汇入到洮儿河与嫩江交汇处的月亮泡水库中,而嫩江年平均径流量230 m^3 ,且经过分析嫩江与洮儿河存在径流补偿特性。因此充分利用洪水资源可以缓解当地资源的不足,满足用水需求。

1.3.2 水资源情况

白城市全市水资源量为 22.72 亿 m^3/a ^[34], 其中: 地下水天然资源量为 20.83 亿 m^3/a , 占总水资源量的 91.68%; 地表水资源量为 1.89 亿 m^3/a , 占总水资源量的 8.32%; 地下水可开采量为 15.39 亿 m^3/a , 占地下水天然资源量的 73.88%。

白城市地下水主要补给来源有: 降水入渗补给、河水渗漏补给、田间灌溉补给和区外侧向补给, 其中: 多年平均降雨入渗补给量为 18.64 亿 m^3/a , 占地下水天然资源量的 89.49%; 河水渗漏补给量为 1.69 亿 m^3/a , 占地下水天然资源量的 8.11%; 田间灌溉回渗补给量为 0.32 亿 m^3/a , 占地下水天然资源量的 1.54%; 区外侧向补给量为 0.18 亿 m^3/a , 占地下水天然资源量的 0.86%。

1.3.3 洪水资源利用可行性分析

1. 利用月亮泡水库引蓄嫩江洪水

白城市有一江七河, 其中嫩江、洮儿河为市内的主要江河。嫩江为松花江的北源, 干流全长 1370km, 发源于大兴安岭支脉伊勒呼里山中段南侧, 源头称为南瓮河, 河源海拔 1030m, 到嫩江河口处高差约为 900m。流域面积 29.7 万 km^2 , 月亮泡就位于嫩江下游 1303km 处。洮儿河是嫩江下游最大的支流, 发源于内蒙古科尔沁右翼前旗, 全长 595km, 流域面积 3.307 万 km^2 , 其上游在内蒙古科尔沁右翼前旗境内有察尔森水库, 总库容 12.53 亿 m^3 , 下游经月亮泡水库调蓄后泄入嫩江。

月亮泡水库是嫩江的旁侧水库, 也是其支流洮儿河的河尾控制水库, 利用月亮泡水库调蓄嫩江洪水, 可以将丰富的嫩江洪水资源为白城地区所利用, 如图 1.2 所示。

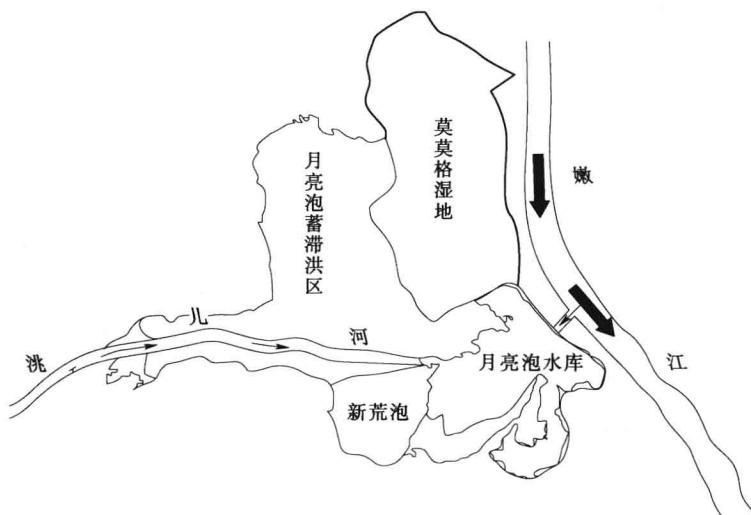


图 1.2 月亮泡水库洪水资源利用示意图

通过对嫩江与洮儿河 45 年的年、月及汛期逐日径流过程的对比, 发现嫩江与洮儿河的径流存在如下差异和特点^[35]:

(1) 洮儿河径流量较小, 在上游逐步修建水利工程后, 没有充足的水量进入月亮泡, 难以维持月亮泡水库的正常运行; 嫩江水量充沛, 有丰富的水量从月亮泡水库旁侧流过。在地理位置上月亮泡连接着嫩江与洮儿河, 嫩江大水时能够回灌月亮泡水库。

(2) 嫩江与洮儿河年径流总量丰枯相似年份较多,但是有 33% 以上的年份嫩江处于丰水而洮儿河水量平水或较枯,存在径流补偿条件。

(3) 汛期逐月径流对比可见,有超过 46.7% 的年份嫩江平水或丰水而洮儿河较枯,对应月数也超过了 37%。

(4) 洮儿河洪水过程历时较短,嫩江洪水过程历时较长,而且嫩江洪峰一般在洮儿河洪峰过后到达月亮泡断面,具有安全截蓄嫩江退水水量的可能。

(5) 每年嫩江在洮儿河最后一次洪水后仍有丰沛的水量通过,而此时洮儿河的流量较小。根据分析可见,月亮泡有条件接纳洮儿河和嫩江两方面的来水。1/3 以上的年份两河存在径流补偿条件,汛期可引蓄嫩江洪水,在削弱嫩江洪峰增强下游防洪安全的同时,可将洪水转化为可用水资源。而两河径流特性的差异对于引嫩江汛期水量入月亮泡水库,实现洪水资源化,非常有利。

2. 利用白城市泡沼资源引蓄洪水

白城地区有丰富的泡沼资源,可以蓄洪利用,其中蓄水量超过 300 万 m^3 的泡沼共有 67 个,总蓄水量为 12.67 亿 m^3 。白城地区是以农业为主要产业,可以利用这些便利的泡沼资源存蓄洪水为农业提供灌溉用水,并在引蓄洪水的过程中补充地下水。

3. 引蓄洪水补充地下水

白城地区目前年用水量的 90% 为地下水,地下水开采量已达到可开采量的 84%,采取合理措施补充地下水成为当务之急。

日常对于地下水的大量抽取为洪水下渗提供了大量的地下水库的蓄水空间,在引水与泡沼蓄水的过程中洪水的下渗可以补充这些空间。在 2003 年引洪过程中,短期内地下水水位上涨了 0.5~1m。所以以泡沼蓄水的方式来补充地下水大有可为。

4. 湿地的维护与洪水资源利用

白城地区有莫莫格与向海两大湿地,近年来由于生产生活用水增多及水资源的短缺,进入湿地的水量逐渐减少,湿地退化严重,利用汛期洪水恢复湿地是洪水资源利用的另一重要措施。莫莫格湿地位于嫩江右岸,可以直接从嫩江引水。向海湿地的自然水源为霍林河,并修建了向海水库。近年来霍林河水源不足,已经修建了“引洮入向”工程。利用泡沼、湿地引蓄洮儿河与嫩江的洪水是洪水资源利用概念的集中体现,它改变了以泄为主的制洪策略,将汛期的洪水引入泡沼,使非常规的洪水资源变为常规的水资源进行利用。除了以上的引蓄洪水措施之外,还应该在集雨工程上做文章,特别是在白城市北部半山区,采取环山水平截水沟、集水窖等工程措施充分利用雨水资源。

1.3.4 洪水资源利用的实践

白城市主要从嫩江和洮儿河引水。

1. 嫩江引水闸和引渠

(1) 白沙滩灌区提水站,引水口位于镇赉东北嫩江右岸,设计流量 $28\text{m}^3/\text{s}$,主干渠长度 98.1km,过流能力 $20\text{m}^3/\text{s}$,灌区设计灌溉面积 2.07 万 hm^2 ,现实际灌溉面积 1.2 万 hm^2 ,年用水量 2.6 亿 m^3 。由于近两年水田面积扩大,工程需要扩建,主干渠过流能力低,也需要扩建。

(2) 四方坨子提水站,引水口位于白沙滩提水站下游 800m 处,设计流量 $25.8\text{m}^3/\text{s}$,