



水库汛期分期 与分期汛限水位调整理论与实践

莫崇勋 著 ◆

非
外
借

 科学出版社

水库汛期分期与分期汛限 水位调整理论与实践

莫崇勋 著

科学出版社

内 容 简 介

水库汛期分期与分期汛限水位的调整是流域雨洪资源化利用和水库管理调度工作中的关键技术,是新形势下水利工作面临的机遇与挑战,其理论及实践效果为当前水利科技工作者所关注。本书探讨了水库汛期分期及汛限水位调整的研究进展与存在问题;阐述了水库汛期分期的理论方法;介绍了汛期分期调度的危险性、易损性和风险性的评价理论以及水库汛期汛限水位的多目标模糊优选理论。根据示例需求,本书以广西澄碧河水库为典型工程,详细给出了水库汛期分期及分期汛限水位调整的应用与分析。

本书可作为水文学及水资源、工程管理、环境工程等专业的本科生和研究生的教材或参考书,也可供从事水库调度与管理的科研、技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

水库汛期分期与分期汛限水位调整理论与实践 / 莫崇勋著. —北京: 科学出版社, 2017. 11

ISBN 978-7-03-055162-7

I. ①水… II. ①莫… III. ①水库-汛限水位-动态控制-研究 IV. ①TV697. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 269963 号

责任编辑: 韦 沁 / 责任校对: 张小霞

责任印制: 张 伟 / 封面设计: 北京东方人华科技有限公司

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>

北京中石油彩色印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017 年 11 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2017 年 11 月第一次印刷 印张: 10 3/4

字数: 255 000

定价: 88.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

在气候变化和人类活动影响下，一方面水资源短缺问题制约着社会经济的快速发展，另一方面洪水灾害的肆虐，直接影响着人类的生存和发展。我国有 2/3 的地表径流属于洪水，如将其中的一部分洪水转化为可利用的水资源，则能在很大程度上缓解我国水多、水少、水脏等水安全问题，因此雨洪资源化利用广受关注。雨洪资源化是实现人与洪水和谐共存的必然之路，是实现控制洪水向洪水管理利用转变的重要途径与方法。水库是人类利用地表水资源，同时也是治理洪水的典型工程，兴利和防洪是大多数水库的重要任务。如何在保证水库防洪安全的前提下充分利用雨洪资源是具有时代鲜明特征的课题，是治水理念与时俱进的结果，是经济社会发展的客观要求，而水库汛期分期及分期汛限水位的调整是水库实现雨洪资源利用的核心内容及关键技术。

水库汛期分期及分期汛限水位调整理论是一门新兴学科，在国内外专家学者的共同努力下，取得了众多喜人成果。但是受洪水过程复杂性、非一致性及水库工程本身具有系统复杂性，水库汛期分期及分期汛限水位的调整工作在理论方法及工程实践上都不可避免存在不足之处。因此，本书综合作者近 10 年来围绕汛期分期及分期汛限水位调整的研究成果，系统介绍水库雨洪资源化利用工作中有关汛期分期、分期设计洪水、危险度、易损度、风险度、分期汛限水位多目标模糊优选等核心技术问题及其工程应用，期冀促进该学科的发展与进步，为水库调度管理工作提供科学依据。

本书共分 11 章，其体系与格局的形成受课题组学术思想的影响颇深。在同田文进、杜群超、蒋海艳、魏炜、刘俐、姜庆玲、王大洋、钟欢欢、谢燕平、班华珍、段丽敏、杨庆、黄亚、莫桂燕、林怡彤、刘朋、朱新荣、覃俊凯、黄怡婷、阮俞理等多位博士和硕士研究生的热烈研讨中，作者得到众多有益的启发，同时在组稿和修改过程中，他们也做了大量的整理和校对工作，在此，对他们的辛勤劳动表示由衷的感谢！

本书得到国家自然科学基金项目“土石坝水库汛期分期调度与防洪安全风险评估研究（资助号：51569003）”、广西自然科学基金项目“土坝水库汛期分期调度防洪风险定量评估模型研究（资助号：2015GXNSFAA139248）”、广西教育厅项目“水库汛期分期调度与防洪安全风险评估研究（资助号：桂教人〔2014〕39 号）”、广西防灾减灾与工程安全重点实验室系统性研究项目“水库洪水分期调度与防灾减灾研究（资助号：2014ZDX01）”等的支持；同时得到河海大学芮孝芳教授、合肥工业大学金菊良教授等专家的指导，广西水利厅李桂新处长、广西澄碧河水库管理局黄远匀主任和广西大学土木建筑工程学院领导的支持，在此一并表示衷心的感谢！

本书参考了国内外相关文献，在此谨向文献作者示以谢意！

因作者水平有限。不妥之处在所难免，敬请读者予以批评指正。

莫崇勋

2017 年 8 月于南宁

目 录

前言

第1章 概述	1
1.1 问题来源及科学意义	1
1.2 国内外研究进展	4
1.3 存在问题及本书内容	11
1.4 实例工程基本情况	13
第2章 水库汛期分期的灰色定权聚类方法及应用	16
2.1 灰色系统理论	16
2.2 灰色聚类	19
2.3 灰色定权聚类	23
2.4 工程应用实践	24
2.5 小结	27
第3章 水库汛期分期的分形方法及应用	28
3.1 分形方法理论	28
3.2 工程应用实践	34
3.3 小结	48
第4章 水库汛期分期的集对方法及应用	49
4.1 集对方法的产生	49
4.2 集对分析的原理	50
4.3 工程应用实践	56
4.4 小结	62
第5章 水库汛期分期的 Fisher 最优分割法及应用	63
5.1 Fisher 最优分割法理论	63
5.2 工程应用实践	68
5.3 小结	72
第6章 水库汛期分期的布谷鸟搜索-投影寻踪方法及应用	73
6.1 布谷鸟搜索-投影寻踪法理论	73
6.2 工程应用实践	79
6.3 小结	84
第7章 水库汛期分期设计洪水推求	85
7.1 水库汛期分期设计洪水推求方法	85
7.2 工程应用实践	90
7.3 小结	100

第 8 章 水库汛期危险性评价	101
8.1 水库汛期分期调度的不确定性分析	101
8.2 基于 Monte Carlo 的水库汛期分期漫坝风险率模型	102
8.3 水库汛期分期危险度模型与等级划分	109
8.4 工程应用实践	112
8.5 小结	121
第 9 章 水库汛期易损性评价	122
9.1 失事后果估算	122
9.2 水库汛期易损性评价方法	127
9.3 工程应用实践	133
9.4 小结	136
第 10 章 水库汛期风险性评价	137
10.1 传统风险标准概述	137
10.2 风险度定量评估模型	143
10.3 风险度等级划分及评价指南	144
10.4 工程应用实践	145
10.5 小结	145
第 11 章 水库汛期分期汛限水位调整	146
11.1 水库汛限水位控制基础理论	146
11.2 多目标模糊优选法理论	150
11.3 工程应用实践	155
11.4 小结	159
参考文献	160

第1章 概述

1.1 问题来源及科学意义

1.1.1 问题来源

1. 水的重要性与水资源短缺

水是生命之源,是人类和自然界其他物种不可或缺的物质。随着人类对自然界认识的不断加深,如何最大可能地利用水造福社会逐渐成为人类思考的重要问题。水利这个概念最早源于我国战国时代的《吕氏春秋》(圉子,1999),虽然当时的水利仅指捕鱼之利,但却由此掀开了中国水利发展的序幕。时至今日,水利的内涵已不断丰富和发展,有防洪、灌溉、发电、供水和保护生态环境等方面的重要作用,可为国民经济的稳定可持续发展提供重要保障,同时为人与自然和谐相处提供重要基础。

进入21世纪,水资源作为基础性战略资源,在未来国家经济发展中将发挥越来越重要的作用。随着经济的快速发展,水资源短缺问题愈显尖锐。据麻省理工学院(MIT)科学家研究表明,预计到21世纪50年代,亚洲地区将会面临严重的水资源短缺问题,在未来的35年时间内,亚洲缺水人口较目前将增加10亿(Fant *et al.*, 2016)。迄今为止,中国34个省市中,涉及干旱缺水问题的地区占2/3以上,缺水地区面积超过中国国土面积的50%,缺水地区人口超过全国总人口的40%,缺水情势非常严峻(杨博、南昊,2016)。然而,中国大陆河流每年约有2000亿 m^3 的径流量汇入太平洋,其中汛期洪水总量比例达年径流总量的60%,且洪水发生时间较为集中。可见,汛期虽然来水量多,但为了防洪安全,水库未能高效利用雨洪资源,而汛期结束后,干旱缺水问题又接踵而至。

2. 水旱灾害和洪水的两重性

水旱灾害是人类面临的主要自然灾害之一。据统计,在全世界范围内每年因水旱灾害造成的损失占各种自然灾害总损失的比例高达55%,其中水灾为40%,旱灾为15%。中国目前受旱耕地超过0.2亿 hm^2 ,农田灌溉年缺水量高达300亿 m^3 ;中国620座城市中约有300座城市缺水,年缺水量约58亿 m^3 ,缺水已成为中国工农业生产发展的重要障碍之一(芮孝芳,2004)。

洪水作为自然界中水资源存在的形式之一,具有利与害的双重属性,同时呈现出季节性变化的特点。由于中国的南方和北方分别属于亚热带季风和温带季风影响区域,故大多数河川径流受到季风气候的影响,使得水资源在年内和年际分配均呈现不均匀特征,时程差异性较大。因此,如何更好地研究洪水的季节性特点,掌握其变化规律,解决中国干旱缺水问

题,并实现由“控制洪水”向“管理洪水”思路转变,尽可能趋利避害,贯彻落实新时期“洪水资源化”理念是一个值得深入探讨和研究的科学问题。

3. 传统的水库调度存在问题

传统的水库汛期调度规则通常为“一刀切”的应对策略,即在整个汛期采用同一汛限水位来迎接洪水。这种传统的水库汛期调度方式,虽能有效应对洪水,但经常出现汛期前期大量弃水,而汛末无水可蓄,汛末过后进入漫长的枯水期的状况,这种现象不利于水库蓄水潜力的发挥,与新时期“洪水资源化”的理念和要求不符。

1.1.2 科学意义

提高洪水资源利用率是有效缓解水资源短缺局面的有效途径,其利用方式主要分为工程措施和非工程措施。新中国成立以来,巨额资金已投入水利工程建设中,大量水利工程相继涌现。截至2016年,中国水库的数量已多达9.8万座(刘六宴、温丽萍,2016)。在积极倡导“科学发展观”的今天,利用工程措施方式缓解水资源短缺问题显然不够科学,也不够经济环保。相比之下,非工程措施,则表现出投入少、成效快的特点,俨然成为了一种更科学合理的途径。其中,综合利用现有的工程设备、科学的管理手段和管理方法,提高工程运行调度水平,在确保工程安全的条件下,提高洪水资源的利用率,增加水资源的有效供给就是一种良好的非工程措施。对于同时承担着防洪、发电、供水和灌溉等多项任务的水库而言,其运行调度则需要有更合理的要求和标准。

针对兼具防洪和兴利功能的水库而言,汛期分期是防洪控洪和兴利的前提;危险性、易损性和风险性评价对洪泛区土地利用与开发、洪灾损失评估、防洪救灾辅助决策、洪灾保险与防洪标准的制定具有重要意义;汛限水位作为防洪和兴利的结合点,是水库运行调度最重要的指标之一,它是为预防可能出现的洪水、保护大坝和下游防护对象的安全并在防汛期间允许兴利的最高水位。

1. 水库汛期分期研究的科学意义

由于洪水发生具有季节性,年内通常分为汛期和非汛期。近年来,水库汛期分期研究成为热点课题。中国学者指出:汛期可以再分期,一般分为前汛期、主汛期和后汛期;确定调度规则时,各个分期的汛限水位可以不同,即水库汛期各分期可以采用不同的调度方案,且在确定最优调度方案时需要计算水库大坝在各种方案下的风险大小(莫崇勋,2014)。

传统的水库防洪调度运行方式要求水库在整个汛期以较低的汛限水位迎洪,这往往导致了众多水库汛期不能蓄水,汛末又无水可蓄,防洪与兴利之间矛盾尖锐,洪水资源得不到有效利用(胡四一等,2002)。解决上述问题的有效途径之一就是对汛期进行分期,以分期设计洪水制定分期汛限水位,在不增加防洪风险的前提下充分利用洪水资源,以缓解水资源短缺矛盾。因此,如何合理地制定汛期分期方案是一个重要的科学问题。

利用水库汛限水位调控洪水资源是处理水库防洪与兴利矛盾,也是实现洪水资源安全利用的重要技术途径,对缓解流域水资源短缺危机、改善生态环境和实现水资源可持续利用具有重要的现实意义。而水库汛期的合理划分是确定水库分期汛限水位的前提,因此,合理

的汛期分期对水库实现洪水资源安全利用具有重要意义(胡四一等,2002;王宗志等,2007)。

2. 水库安全评价研究的科学意义

水库安全评价包括危险性、易损性和风险性评价,其中危险性评价和易损性评价是前提和基础,风险性评价是目标和结果。

1) 危险性

洪水灾害具有自然和社会的双重属性。洪水危险性评价从形成洪水灾害的自然属性角度分析,即从形成洪水灾害的致灾因子和孕灾环境条件进行的洪灾危险性分析。洪灾危险性分析是洪灾风险研究的重要内容。

危险性分析是洪灾风险管理的基础和重要前提,也是洪水灾害研究的热点。根据联合国人道主义事务部对危险性的定量表达,即危险度是灾害事件发生概率的函数,取值为[0, 1](United Nations, Department of Humanitarian Affairs, 1991, 1992)。

在实际运用中其科学意义在于,通过建立水库汛期漫坝危险度模型来对水库进行危险性评价,并提出水库正常运行所要求满足的危险度取值原则。

2) 易损性

洪水灾害的易损性与不合理的区域产业结构、城镇布局以及生态破坏程度密切相关。据初步统计,中国约有50%的人口和70%的财产分布在洪水威胁区内。因此,如何合理评价一个区域的洪水易损性,并通过优化布局 and 合理调整产业结构来减轻洪水的威胁是一个非常重要的课题。

易损性分析是洪灾风险管理的基础和核心环节,也是洪水灾害研究的热点。根据联合国人道主义事务部对易损性的定量表达,即易损度是灾害事件发生后果的函数,取值为[0, 1](United Nations, Department of Humanitarian Affairs, 1991, 1992)。

在实际运用中其科学意义在于,以综合评价理论建立水库防洪易损性评价模型为研究目标,根据国家对安全事故的等级划分规定,确定防洪易损度的等级划分标准,为灾害易损性评价提供依据。

3) 风险性

风险性评价是在危险性和易损性评价结果的基础上,对两者进行耦合研究。联合国人道主义事务部对风险的定量表达是:风险度=危险度×易损度(United Nations, Department of Humanitarian Affairs, 1991, 1992)。

在实际运用中其科学意义在于,通过建立水库防洪风险度评价模型,对风险度进行等级划分,并赋予相应的评价指南,为水库防洪风险评价提供依据。

3. 分期汛限水位调整研究的科学意义

中国大部分地区降水主要集中在汛期,汛期降水量占全年降水量的60%以上(刘攀等, 2007b)。整个汛期采用单一的汛限水位,是假定汛期内各日都需抵御年最大值取样得到的设计洪水,往往造成洪水资源的浪费,且不利于汛末的蓄水。对洪水具有明显季节性特征的水库,其汛期分为若干个分期,各期采用不同的汛限水位,有利于水库经济效益的发挥,并可以在一定程度上克服防洪和兴利之间的矛盾(叶秉如、方道南,1995;郭生练,2005)。

因此,进一步开展水库汛期分期,水库汛期危险性、易损性和风险性评价,以及水库汛限

水位优选研究工作对水库科学调度的实现、蓄满率的提高、水资源的合理开发利用和“洪水资源化”理念的贯彻等具有十分重要的理论价值和现实意义。

1.2 国内外研究进展

1.2.1 水库汛期分期的研究进展

建国后我国陆续修建了大量水库,由于大部分新建水库水文基础资料的样本容量较小,这些水库不具备汛期分期研究的基本条件;再加上建国初期我国人口总数不多、经济欠发达,水的供需矛盾尚不突出,水库暂无实施汛期分期调度的必要。随着洪水资料的积累、水库调度经验的增加、国民经济的迅猛发展和水资源需求量的持续增长,一些地区水资源供需矛盾突出,于是开始有水库汛期分期以及水库分期调度的研究。水库汛期分期早期的研究多见于水资源开发利用程度高、水资源短缺危机严重的华北地区及海河流域(胡四一等,2002;邹鹰等,2006)。随着经济社会的可持续发展对水的需求的全面提升(包括水量的增加、供水水质和供水保证率的提高),水库汛期分期调度理念逐渐被应用到水资源相对丰富的南方湿润地区水库(刘攀,2005;莫崇勋,2009;金保明、方国华,2010)。

国内关于汛期分期的研究成果相对丰硕,研究方法也层出不穷。从20世纪五六十年代起始,汛期分期研究总体可分为1949~1980年的萌芽期、1981~2000年的探索期和2001年至今的蓬勃期。

1. 萌芽期

萌芽期(1949~1980年)研究主要通过定性分析对分期工作进行最初的尝试,如1958年吉林和黑龙江两省关于丰满水库防洪控制水位调整的初步尝试(王本德等,2006)。

2. 探索期

探索期(1981~2000年)中,一些学者意识到成因影响的重要性,开始尝试将定性分析和定量计算结合起来对汛期分期进行研究。中国学者以丹江口水库为研究实例,综合分析了流域的气候特征、暴雨和洪水特性等气象水文特征,采用成因分析和统计分析法把丹江口水库汛期分为前、中和后三期,并进行了安全可靠性和经济合理性分析,之后通过实践调度运行结果验证了其研究的现实意义(冯尚友、余敷秋,1982)。联合北京气象中心发布的“岳城水库汛期后期暴雨特性及设计洪水分析”中将气象成因引入汛期分期中,通过探索流域的大气环流及其变化规律,将汛期划分为前后两分期。与此同时,一些新方法也逐渐被引进到汛期分期研究中,其中较为典型是陈守煜(1995)在20世纪80年代创建的模糊水文水资源学,将中国传统的哲学思想与模糊理论融合,突破了人们对传统水文学的观念和认识。在汛期分期研究中,他认为汛期在时间上本身存在模糊成分,汛期和非汛期也存在着“亦此亦彼”的联系,进而提出了成因分析、数理统计和模糊集合法相结合的汛期分期新思路。麻荣永(1992)以广西百色水库为例,通过研究流域暴雨时空变化特征,运用统计分析对水库年最大洪峰流量数据进行分析计算,以此作为汛期划分的参考依据。童黎熙(1996)采用模糊统计

法和参数法,以潘家口水库各分期的隶属度为基准进行了汛期划分。

3. 蓬勃期

蓬勃期阶段(2001年至今)各种新思路和新方法逐步被应用到汛期分期研究领域,汛期划分也开始向定量化和精细化方向发展。定量计算方法逐渐变得完善,主要方法有灰色定权聚类法、分形法、集对分析法、Fisher 最优分割法、投影寻踪法、矢量统计和相对频率法、圆形分布法、变点分析法、模糊集合法等。

1) 灰色定权聚类法

灰色聚类评估方法是灰色理论技术家族中最早发展并得以广泛应用的一门技术。灰色聚类是根据灰色关联矩阵或灰类的白化权函数将观测指标或观测对象划分成若干个可定义类别的方法。一个聚类可以看成是属于同一类的观测对象的集合。常见的灰色聚类方法有灰色关联聚类、灰色变权聚类、灰色定权聚类、基于三角白化权函数的灰色聚类法等(刘思峰等,2010)。

蒋海艳等(2012)将灰色系统理论和统计聚类进行耦合,提出了基于灰色定权聚类系数的水库汛期分期法,并应用于潘家口水库。

2) 分形法

分形理论最早由侯玉等(1999)引入到汛期分期研究中,他们利用分形法对雅砻江小得石站的洪峰散点数据的维度进行分形计算,结果表明洪峰散点系列存在自相似性,并以此作为汛期分期的依据。方崇惠、雒文生(2005)以分形理论中的时间容量维和空间相似维为依据对漳河水库进行了汛期分期,并将所得结果和经验统计法进行了比较分析。魏炜(2014)基于分形理论,以日为单位对广西澄碧河水库近50年的日降雨量进行计算,将该水库汛期划分为前、主和后三个分期。

3) 集对分析法

谢飞和王文圣(2011)、严培胜等(2012)、李英士等(2014)、莫崇勋等(2016)基于集对分析中的联系度和联系数概念,从宏观和微观角度揭示了汛期总体相关性和影响汛期的各因子间的相关性,分别对河北潘家口水库、湖北三峡水库、吉林丰满水库和广西澄碧河水库进行了汛期划分研究,结果表明集对分析法具有宏观微观结合的优点。

4) Fisher 最优分割法

丁元芳和高凤丽(2006)、刘克琳等(2007)、肖聪等(2014)、王贺佳和武鹏林(2015)考虑到 Fisher 最优分割法兼具多因素和保持样本天然时序性的双重优势,将其分别应用于吉林星星哨水库、北京密云水库、云南李仙江流域和山西太平水库汛期分期中,均取得了良好的实践效果。

5) 投影寻踪法

陈曜和王顺久(2009)首次把投影寻踪法应用到水库汛期分期研究领域,通过构造单位向量和投影函数,将影响汛期的多维因素投射到低维空间,结合遗传算法寻优找到最能够反映汛期特性的单位向量,对潘家口水库汛期进行了划分研究,得到了该水库汛期各分期的起止时间。

6) 矢量统计和相对频率法

Cunderlik 等(2004)最早提出矢量统计和相对频率分期法,该法将洪水发生时间和量级

分别描述为矢量的方向和大小两个特性,通过相似性分析,可区分为不同类别,进而实现分类研究,该法在一定程度上弥补了当时汛期分期研究中时间和量级相独立的缺陷。喻婷等(2006)基于年最大值取样(AMM)和超定量取样(POT),采用了矢量统计分期法和相对频率分期法对湖北省隔河岩水库进行汛期分期,并对两种方法进行了对比分析。吴东峰等(2008)则采用矢量统计法,以高山冰川作用下的新疆天山地区流域水库为实例工程进行了汛期分期,确定了各个分期的时间范围。薄会娟(2011)和郭倩(2012)分别用矢量统计法和相对频率法对三峡水库和金沙江李庄站的汛期进行划分研究,并将分期结果和传统的统计法进行了对比分析,得到了更为合理的分期成果。

7) 圆形分布法

圆形分布法最早由方彬等(2007a)应用到三峡水库的汛期分期研究中,该法综合考虑了洪水发生的集中度、集中期、高峰期的起止时间和发生量级4个特性,以其独特的优势为汛期分期研究开辟了新思路。

圆形分布法是将具有周期性变化的资料,通过三角函数变换,使原始数据成为线性资料的一种统计方法。该法具有计算简单方便、分析灵活客观的特点。

8) 变点分析法

丁晶和邓育仁(1988)对单变点(跳跃分析)理论、方法进行了详细的阐述;覃爱基等(1993)将跳跃分析用于宜昌站的年径流时间序列分析中;Xiong和Guo(2004)将bayes理论和变点分析结合,对湖北宜昌水文站的径流资料进行了变点计算分析,为进一步实现汛期分期研究提供了参考。刘攀等(2005)将变点分析法应用到三峡水库的汛期分期研究中,通过对均值变点和概率变点两种法的计算对比分析,得到概率变点比均值变点适应性更强的结论。刘俐(2015)基于超阈值和日最大取样法对龙滩水库多年日平均流量系列进行选择,采用变点理论对其进行分析并对汛期进行分期,之后针对分期结果做了合理性检验。

变点分析法(Change Point)是一种基于统计理论,用于检测时间序列突变,同时可以进行假设检验的方法,可以分为概率变点方法和均值变点方法。在汛期分期中,变点分析法具有较严密的理论基础,但它需要严格的数学假定,如对极值的概率表述等,这与实测数据可能会有出入。与此同时,变点个数和阈值的选取也存在一些主观性,需要进一步研究和检验。

9) 模糊集合法

赵元秀(2004)以每年中首场和末场洪水发生时间为指标,采用模糊集合理论对漳泽水库进行了汛期划分。莫崇勋等(2009)采用模糊集合聚类法对澄碧河水库汛期进行分期,并确定了分期汛限水位。郭金城等(2013)以贵州构皮滩水库为实例工程,分别采用模糊集合法与圆形分布法进行水库汛期划分和对比分析。

对于汛期分期研究工作,相比国内研究而言,由于地理和气候环境存在较大差异,国外学者在此方面研究较少,成果不多。代表性的研究如德国学者Beurton等(2009)结合本国境内的480多个水文站点的最大洪水实测数据进行了聚类分析计算,结果显示这480多个水文站点的最大洪水发生时间和量级大致可归为三类,分别分布于德国境内的不同区域,有些区域还表现出明显的冬季洪水的特点,有些区域则主要集中在春季或夏季。英国专家Cunderlik等(2004)认为洪水的季节性分布规律是研究洪水特性的重要切入点,其采用AMM

和 POT 取样法对英国境内洪水的季节性分布规律进行了统计分析和对比研究。

1.2.2 水库汛期安全评价的研究进展

1. 水库汛期危险性评价研究进展

目前,进行洪水危险性分析的常用方法包括气象动力学方法、水动力学方法、数理统计方法、模糊数学方法、系统仿真方法、调查法、故障树法等,这些方法的研究和应用对于提高我国洪灾管理水平起到了积极的推动作用(郭凤清等,2013)。但与发达国家相比,我国的相关研究工作还不够系统,成果实用性有待于提高,特别是体现洪灾系统特征的方法论研究有待于深化(丁文峰等,2015)。

2. 水库汛期易损性评价研究进展

自 1970 年人们意识到易损性至今,学术界对易损性的研究获得了不少的成果,但对易损性的认识各有千秋,因为每个社会群体包含不同的承灾体,评价指标也不尽相同(张一凡,2009)。易损性是指受到伤害或破坏的程度,体现的是人类社会对自然灾害的承受能力(文彦君,2012)。联合国于 1991 年和 1992 年公布的易损性定义:“潜在损害现象可能造成的损失程度”(United Nations, Department of Humanitarian Affairs, 1991, 1992)。刘希林根据联合国定义和 Panizza (1996)的观点,认为易损性是在给定地区和给定时段内,由潜在自然灾害而可能导致的潜在总损失(刘希林、莫多闻,2001;刘希林等,2002)。郭跃(2005)对其概念作了总结:①遭受灾害破坏和损失的容易程度;②个人或群体对灾害的处理和恢复能力;③灾害风险和处理灾害事件的社会经济条件的综合衡量。

蔡向阳和钱永波(2016)对灾害易损性评价方法进行了系统的对比分析,指出各种方法的优缺点和适用范围,具体情况见表 1.1。

表 1.1 常用的灾害易损性评价方法对比分析

方法	原理	比较
核算灾体价值法	通过对灾体类型划分、灾体分布的基本属性提取,计算灾体灾前价值,以此进行易损性评价	将承灾体货币化进行评价基础,默认承灾体在灾害中完全破坏;在核算价值时,忽略了人口易损性,和实际情况会有不小的出入;但可用于区域性的易损性评价,简洁、直观
模糊综合评价法	基于模糊变换原理和最大隶属度原则,通过对事物的多方面综合分析,从而得出科学的评价	能够有效减少人为因素或不确定因素的影响,但评价精度较依赖于评价指标的获得程度以及对界线值的设定是否合理
多因子复合函数法	影响因素众多,利用分类的方法寻找承灾体中最具代表性且对易损性影响最大的因子	能根据不同的孕灾环境和承灾体,进行指标的优化处理,但在对人口指标和财产指标的细化上是主观的
物元综合评判法	根据物元要素的特点(如发散性、可扩性、共轭性等)建立模型,进行拓展,从而解决事物的矛盾问题	该方法只能得出评判等级且具有主观性,因此评价精度不足,其应用存在一定的局限性

续表

方法	原理	比较
BP 神经网络法	训练已有的样本数据对未来进行分析与预测	该方法对样本质量要求颇高。在实际应用中,具有较大难度,因此实际操作性不太强
空间多准则评价方法	把系统分为目标层和指标层,通过隶属关系建立目标和指标之间的联系,基于客观现实和理论模型给出权重,对隶属性求和,得出目标层结果,从而分析、决策问题	该方法恰当地综合了定性和定量方法,把复杂的问题化为多层次单目标的决策问题,然后通过简单的运算得出评价结果,原理通俗易懂,条理清晰
基于历史记录评价方法	以丰富的地质灾害历史记录为依据,综合分析灾害统计资料,确定易损性影响因子	目前我国无负责灾害数据管理的部门,资料多分散且不具系统性,故该方法实用性不大

3. 水库汛期风险性评价研究进展

由于各国的水资源总量和人均拥有量的不同,水库分期风险性研究主要集中在我国。目前,国外水库汛期风险性研究主要集中在洪水保险、洪泛区管理以及风险决策等方面: Bouma 等(2005)研究了对待风险的态度将如何最大限度地影响评估结果,他指出对待风险的态度和对风险概念的理解将显著影响水资源管理领域的各种决策过程和结果。Shin 等(2007)利用广义 Logistic 分布模型对大坝和堤防的失事风险进行了不确定性分析,并利用矩法、最大可能概率法和概率权重矩法计算得到大坝和堤防失事的期望值和方差。

我国对水库汛期风险性评价方法研究较国外深入。汛限风险性评价方法主要有概率组合法、随机微分方程法、频率分析法、随机模拟法等,其中随机模拟法是最常用的风险分析计算方法。

1) 概率组合法

傅湘等(1997)在分析洪水风险的基础上,以洪水遭遇组合规律为分析对象,运用概率组合法估算了水库下游防护区的防洪风险率,为水库防洪调度方案的制订提供了科学依据。何长宽(1998)用概率组合法推导出并联水库下游洪峰流量概率分布的数学表达式,并以此分析了滦河流域潘家口、桃林口两座水库建成后滦县站洪峰流量的概率分布。金明(1991)指出水文风险是水库防洪风险的控制性因素,但仅仅考虑水文风险会降低水库防洪系统的全面风险,他指出概率组合法是水库防洪风险分析计算的一种可靠而简单的方法。

2) 随机微分方程法

姜树海(1994)认为在水库调洪过程中,水库蓄洪量是具有 Wiener 过程特性的。据此,他构造了含有随机项的随机微分方程,并且得出水库动态泄洪的风险率表达式。最后,他通过 Fokker-Planck 向前方程,计算得出与水库泄洪风险率密切相关的库水位概率分布。实例研究显示,采用随机微分方程对水库进行调洪演算能够合理地反映各种不确定性随机因素对水库水位的影响,从而使水库泄洪风险率的计算建立在相对科学合理的基础之上。

3) 频率分析法

频率分析法是在假定水库调洪最高水位与最大洪水出现的频率相同的基础上,以水库

调洪最高水位恰好等于相应防洪标准的洪水的频率作为水库的防洪风险率。若利用设计防洪标准所对应的洪水来推求水库的防洪风险率,则风险率的大小为对应的设计防洪标准的倒数,即 $P=1/T$ 。谢国琴(2006)在分析水库的工程条件与安全运行情况的基础上,通过采用频率分析法计算了水库在各拟定的汛限水位调整方案下的防洪风险率。频率分析法在计算水库防洪风险时具有简单易行的优点,但该法将水库的防洪标准与设计洪水完全等同起来,其合理性有待考究;其次频率分析法显然只考虑了水文不确定性因素对水库防洪风险的影响,而忽略了其他不确定性因素对水库防洪风险的影响。

4) 随机模拟法

随机模拟法是推求水库防洪风险的一种最常用的方法。梅亚东和谈广鸣(2002)在综合考虑水文不确定性因素、调洪起始水位的不确定和水力不确定性因素等对水库防洪的影响的基础之上,分别采用三角分布和正态分布描述水力不确定性对泄洪能力的影响,应用一阶季节性自回归模型对西南某水库的入库洪水进行模拟,在给定的调洪起始水位和特定调洪规则的前提下,经调洪演算得到水库调洪最高水位的分布和洪水漫坝的风险率。丁大发等(2005)在分析水库常遇风险事件、大坝防洪安全事件以及影响水库防洪的主要风险因素等的基础之上,构建了基于蒙特卡罗随机模拟的水库多因素组合的防洪风险率估算模型。刘晓琴等(2005)在分析影响水库防洪调度主要不确定性因素的基础上,采用蒙特卡罗模拟技术给出水库防洪调度风险分析的实施程序,讨论了风险分析的计算方法。周惠成等(2006)采用随机模拟法研究了水库实施防洪预报调度对水库防洪风险率的影响。周研来,梅亚东(2010)采用 Copula 函数构建洪峰和洪量的联合分布模型,通过随机模拟入库洪水过程,在给定汛限水位调整方案和调洪规则的基础上对随机模拟的洪水进行调洪演算,得到各汛限水位调整方案下的水库防洪风险率。刘艳丽等(2010)在研究基于拉丁超立方抽样法的基础上提出一种基于蒙特卡罗随机模拟法风险分析模型,并结合碧流河水库分别对考虑单因素影响和多因素影响下的组合防洪风险进行了分析研究,为水库防洪调度分析提供了一种新的不确定性分析方法。

1.2.3 分期汛限水位调整的研究进展

传统的汛限水位确定方法多是根据水库特定的防洪标准,通过计算相应频率下的设计洪水过程,经过调洪演算反推求得。分期汛限水位则是在汛期分期的基础上,考虑各个分期不同的水文特征和规律,针对分期时段洪水特性,采用不同的汛限水位方案进行调度,以充分利用水库库容,缓解水资源短缺的矛盾。截至目前,国内外的相关学者在分期汛限水位调整研究方面取得了一定的进展。

在国内,关于水库分期汛限水位的研究始于 20 世纪八九十年代,主要的研究方法有设计洪水过程线法、模糊分析法、多目标优化法、多目标模糊优选法等。

1. 设计洪水过程线法

设计洪水过程线法通过对汛期暴雨洪水变化规律及特征分析,进行汛期分期,在此基础上通过计算各分期的设计洪水拟定分期洪水过程线,最后结合水库防洪标准确定分期防洪标准,进而通过调洪演算推求出各分期的坝前最高水位,最后通过控制条件确定各分期汛限

水位。

丁晶和邓育仁(1998)在深入分析汛期洪水过程线的基础上,采用水文学原理中的随机模拟法对汛期洪水过程进行模拟研究,从而得到大量的洪水模拟样本,对每场洪水进行调洪确定坝前水位,然后采用频率分析来确定相应标准频率下的汛限水位特征值。华家鹏和孔令婷(2002)提出了用组合频率法和库水位法共同来确定分期汛限水位的新思路,得到了满足水库防洪标准的汛限水位方案。周秋玲等(2004)、杜丽惠等(2005)、方彬(2007b)、刘攀等(2007b)、张娜等(2008)以设计洪水过程线理论为基础,通过不断探讨和研究,相继提出了一些新的研究方法和成果。

2. 模糊分析法

模糊分析法源于模糊理论产生和发展,由于汛期不同时期的库容值与汛期防洪库容值存在不同程度的隶属关系,这种隶属关系可以用隶属度表示。因此,通过计算汛期各时期的隶属度来确定各分期的防洪库容,进而结合水位-库容关系曲线便可确定相应的汛限水位。

童黎熙(1996)采用模糊统计和参数法对潘家口水库进行分期汛限水位计算,结果显示分界指标选取对分期汛限水位确定有较大影响。陈守煜(2005)在《水资源与防洪系统可变模糊集理论与方法》一书中详细论述了汛限水位动态模糊理论,并以黑龙江音河水库为实例,确定了该水库前、中和后3个不同分期的汛限水位。莫崇勋(2014)根据模糊集合理论,以广西澄碧河水库为例,进行汛期划分并求得了各分期的隶属度和汛限水位,为该工程的优化调度提供了技术支撑。

3. 多目标优化法

多目标优化法源于数学系统中的规划理论。水库通常兼有防洪与兴利功能,而防洪与兴利本身就存在着对立统一的关系,在寻求兴利最大化的同时必然导致防洪安全保证最小,反之亦然。多目标优选法是充分考虑汛限水位调整对防洪和兴利的影响,通过寻优找到理想的汛限水位值。因此,确定分期汛限水位是一个多目标优化问题。

胡振鹏等(1998)建立了丹江口水库汛期运行的优化调度模型,采用随机DP法对其进行求解。刘攀等(2007b)对三峡水库调度进行模拟研究,充分论证了三峡水库实现优化调度的可能性,建立了一套完整的分期优化调度模型,采用混合编码和改进GA算法对优化模型求解,得到了更优的调度运行方案。栗飞等(2010)采用回归简化法对丹江口水库调度方式进行优化,获得了良好的效果。刘心愿等(2015)针对多目标智能优化技术中存在的问题和缺陷,选用NSGA-II和DEMO算法进行优化研究,评估和对比分析了两种算法的优化效果,对水库调度多目标优化问题的研究起到了促进作用。阿依努尔·吐尔孙(2016)通过综合分析水库的来水、泄水、蓄水、灌溉需水等多个因子,建立了叶尔羌河依干齐水库的多目标优化调度模型,得到了一套完整的汛限水位调度方案。

4. 多目标模糊优选理论

多目标模糊优选理论是在多属性目标因子体系的基础上,通过模糊集合论的隶属度函数,对模糊信息进行量化,并根据实际情况确定因子体系及其权重,从而将多目标问题转化为一个综合单目标问题进行求解的理论。

大连理工大学陈守煜在《复杂水资源系统优化模糊识别理论与应用》一书对多目标模糊

优选理论进行了详细阐述,并在防洪调度、灌溉系统等领域进行了实例应用(陈守煜,2002)。韩宇平等(2003)在晋、黑、苏、豫、桂、滇和陕7省的水安全评价研究中建立了多层次多目标模糊优选模型,通过优选对7个省的水安全情势进行了排序。王波、袁汝华(2005)对常规的多目标模糊优选模型进行了权重优化改进,并对模型改进前后效果做了对比评估,得到了一种更为合理可靠的优选模型。康君田等(2005)通过对闹德海水库常规调度方式展开深入研究,分析论证了该水库提高兴利效益的必要性和可能性,在此基础上采用多目标模糊优选法对调度方式进行了优选,并基于PowerBuilder建立了一套完整的可实现人机交互的调度操作系统平台。黄振芳、刘昌明(2010)详细分析了多属性评价因子权重对于模糊优选的重要性和敏感性,考虑主客观权重并用博弈论进行耦合,建立了一种综合权重模糊优选模型,并将其用于地下水环境风险研究中,结果显示模型具有鲁棒性强、效率高的特点。李琪等(2011)在广西玉林市供水方案优选研究中,综合考虑了可供水量、水质、工程投资等8个评价因子,对4种拟定的供水方案进行多目标模糊优选研究,确定了最优的供水方案计划,运行结果显示优选的方案实用价值较高。程孟孟和陈进(2012)、朱玲玲等(2013)、王哲等(2014)分别采用多目标模糊理论研究水量分配问题、水利现代化评价和地下水承载力等问题,也都通过实例研究证明了该理论良好的实用性和可靠性。

在国外,自20世纪末期起,部分学者在应对日趋尖锐的水资源短缺和供需矛盾问题研究方面,进行过积极努力的探索。如美国学者Miller等(1996),Waylen、Woo(1982)和Black和Werritty(1997)提出了对水库库容重新分配的想法和思路。Wurbs等(1987)和Johnson等(1990)提出了应从水资源需求、洪灾风险的变化、河川径流季节性变化规律等方面作为切入点去研究水库库容分配的问题。LeClerc、Marks(1983),Colorni、Fronza(1983)和Wurbs(1983)设定了可以进行防洪库容调整和库容重分配的4种情景,为开展水库分期汛限水位研究和实践调度工作提供了重要的参考和借鉴。Labadie(2004)在研究分期汛限水位问题时,曾尝试在水库群模拟调度研究中加入人工智能算法和模糊理论技术成分。Murota(1984)考虑在综合分析水库蓄水、弃水等指标的基础上,从风险分析的角度研究分期汛限水位。

1.3 存在问题及本书内容

1.3.1 存在问题

1. 汛期分期的精确性与合理性问题

1) 汛期分期研究方法尚未统一

描述汛期的变化过程十分复杂,这导致了人们对汛期的认知存在主观认识上的不全面;再加上受到观测水平的限制,描述汛期的暴雨洪水等水文资料也不够齐全。这种主、客观的认识不完全,导致汛期分期计算时存在较大误差。另外,虽然描述汛期分期的方法很多,但各种方法都有其优缺点,且普遍存在不精准、主观随意性大的问题,至今尚未形成公认的研究方法。