

DOI:10.3969/j.issn.1004-4701.2017.01.05

水库汛期分期及分期汛限水位研究综述

谭 幸^{1,2}, 吴晓彬², 虞 慧²

(1. 河海大学水利水电学院, 江苏 南京 210098; 2. 江西省水利科学研究院, 江西 南昌 330029)

摘 要: 利用分期汛限水位进行分期水库调度是同时满足防洪要求和水资源利用需求的有效手段, 而汛期分期决定了分期汛限水位的合理性. 因此, 分期水库调度的两个关键问题是: 汛期分期的划分; 分期汛限水位的确定. 本文就水库汛期分期的划分方法及分期汛限水位的确定方法进行阐述. 阐述国内水库汛期分期和分期汛限水位的发展历程, 总结其方法并进行了对比, 并得出对其成果的看法和展望, 以便使水利工作者在今后确定汛期分期和确定分期汛限水位的工作更高效.

关键词: 分期汛限水位; 汛期分期; 发展历程; 方法

中图分类号: TV697.1⁺1

文献标识码: B

文章编号: 1004-4701(2017)01-0023-04

0 引言

随着国民经济的飞速发展, 洪涝灾害和水资源缺乏的问题日益显现出来, 这对水库防洪除涝与灌溉供水提出了更高要求, 也使水库防洪与兴利之间的矛盾更加凸显. 在确保水库防洪安全的前提下, “如何发挥水库综合利用效益, 实现水库洪水资源化”、“如何合理地利用水库防洪库容与兴利库容”成为了我们急需解决的问题. 我国大部分地区属于季风气候区, 大多数河流的洪水由暴雨形成, 在整个汛期的不同时段, 暴雨的特性和量级都各不相同, 水库可根据汛期各个时期, 设计洪水大小的不同, 分别拟定各时段的防洪库容, 分期蓄水, 采用不同的分期汛限水位, 分期进行调度, 将原来只能用于防洪的部分库容既用来防洪, 又用来兴利. 水库在汛期的不同时段使用不同的汛限水位是实现洪水资源化的有效途径. 因此汛期分期的划分和分期汛限水位的确定成为了解决防洪与兴利矛盾的关键. 迄今为止, 在汛期分期和分期汛限水位的研究上已经取得了丰硕的成果, 因此本文对汛期分期的划分方法和分期汛限水位的确定方法进行系统的梳理和总结, 以便使水利工作者在今后确定汛期分期和确定分期汛限水位的工作更高效.

1 汛期分期的发展历程

1.1 初步发展阶段

20世纪50年代至80年代初, 汛期分期主要是根

据水文要素分析采用数理统计法来进行分期. 1958年丰满水库的防洪限制水位被提出从263 m降至261 m, 开始了水库汛期分期控制洪水的第一次尝试^[1]. 2007年王殿武等^[2]在北方地区采用数理统计方法进行汛期分期具有概念明晰的特点, 并认为汛期分为三个就可达到洪水资源化的要求. 麻荣永^[3]在对百色水库洪水规律分析后, 运用数理统计法进行汛期分期.

1.2 积极探索阶段

20世纪80年代至20世纪末, 汛期分期主要是用基于暴雨气候变化成因的成因分析法来进行分期; 同时也出现了模糊分析法运用到汛期分期中, 所谓模糊分析法就是运用汛期分期界限的模糊性, 再根据汛期水文信息与模糊集合理论推求各个时期的汛期隶属度. 1982年, 冯尚友等^[4]在对丹江口水库汛期分期的研究实践中, 从气象成因和水文统计两方面对丹江口水库进行汛期分期, 该方法的尝试打破了传统数理统计法硬性划分的理念. 1984年, 水利水电科学研究院从气象成因方面对岳城水库进行了汛期分期, 并在汛期后期对岳城水库的暴雨特性及设计洪水进行了分析^[5]. 1987年, 陈守煜等^[6]将模糊集分析法运用到汛期分期中, 为汛期分期方法的扩展找到了新方向, 该方面的运用有一定的理论价值和实际意义. 随后在1995年, 陈守煜等^[7]研究水文成因、概率统计和模糊集分析相结合来确定汛期隶属函数的综合方法, 使汛期分期更贴合实际. 莫崇勋等^[8]以模糊集合理论为根本, 整理水库汛期水文信息来拟合模糊隶属函数, 确定相对隶属度.

1.3 蓬勃昌盛阶段

21世纪初至今, 国家防汛抗旱总指挥部将“从洪水

收稿日期: 2016-11-14

作者简介: 谭 幸(1993-), 女, 硕士在读.

控制到洪水管理”的新理念传达下来,在此时期,关于汛期分期的研究更是百花齐放,变点分析法、Fisher 最优分割法、矢量统计法及系统聚类法等多种方法纷纷涌现出来。方崇惠等^[9]证明了在分形理论的基础上利用时间因素和空间因素相拟合出的相似维来计算相应分维数的一种新型汛期分期方法。高波等^[10]考虑多个影响因子,运用了系统聚类法对滦河流域进行汛期分期,此法是基于模糊相似理论的一种新理论方法。刘攀等^[11]针对不同的取样方法采用变点分析法的三种模型进行分期,运用统计分析法进行对比评价,得出基于超定量取样概率变点分析模型的无偏性和有效性较好且成果最优。董前进等^[12]根据统计学法、动态分维数法来逐渐确定三峡水库的最终分期。刘克琳等^[13]证明 Fisher 最优分割法分类有实现多指标聚类和不破坏样本序列顺序的特点,通过定义最优分期数来进行汛期分期。冯平等^[14]通过分析统计降雨资料构建累计雨量序列来完成对天津于桥水库进行汛期分期。王宗志^[15]建立有效的模拟聚类模型对潘家口水库进行汛期划分,并提出水库汛期分期是高维度时间序列聚类问题。而陈曜等^[16]通过对时间序列高维度数据聚类分析,建立水库汛期分期投影寻踪模型,用遗传算法进行择优,后用于潘家口水库的分期问题中。谢飞等^[17]认为集对分析法简单易行可靠,并对此方法进行了一番论述。喻婷等^[18]对比了用各类分析方法、数理统计法、相对频率法和矢量统计法对隔河岩汛期分期时体现的利弊,认为矢量统计法有一定的局限性,成因分析法、数理统计法和相对频率法在分期上不够严谨细致。

2 汛期分期方法对比

从国内汛限分期的多年研究发展来看,常用方法可分为定性分析法和定量分析法,定性分析法有数理统计法、成因分析法等;定量分析法有模糊集合分析法、系统聚类法、变点分析法、Fisher 最优分割法等。汛期分期亦可被分为统计分析法和聚类分析法两大类。所谓统计分析法,是通过统计分析暴雨、洪水等量随时间变化的规律特性来确定分期结果的一类方法。而聚类分析法,是运用模糊相似理论,通过建立模型分析确定分期的另一类方法。

一个合适的汛期分期方法的首要要求是不能破坏洪水原有序列的时序性,同时能确定最优分期数。然而前汛期和后汛期有一定的相似性,在某些时间段可以被归为一类。但是由于汛期发生的先后是不可逆转的,则将其分为前汛期和后汛期进行分别计算。下面在各分期计算方法的对比中不考虑其是否破坏了原序列的连续性和能否确定最优分期数的问题,分为统计分析法和聚类分析法两类进行对比,见表1、表2。

表1 各统计分析法的特点

方法	特点
数理统计法	原理简单,受单指标影响,主观性较大
矢量统计法	原理简单,受单指标影响,取样存在误差,绘图量较大
相对频率法	原理简单,受单指标影响,取样存在误差,阈值选择主观性较强
圆形分布法	原理复杂,计算量、工作量较大

表2 各聚类分析法的特点

方法	特点
模糊集分析法	考虑了汛期划分界限的模糊性的因素,在理论上有一定的突破,受单指标影响,拟合分布函数、阈值的确定存在一定的主观性
分形法	物理水平要求高,受单指标影响,样本容量较大,计算繁琐
变点分析法	受多指标影响,需要数学理论基础,变点个数选择有一定的主观性
Fisher 最优分割法	受多指标影响,聚类结果是最优解,计算繁琐
系统聚类法	受多指标影响,阈值的确定存在主观性,聚类结果不是最优解
投影追踪法	受多指标影响,投影构造函数存在主观性且此项对结果影响很大
集对分析法	联系度的概念在理论上有一定突破,受多指标影响,在阈值与联系度阈值的选取上存在一定主观性
有效模糊聚类法	理论性强,模型结构复杂,计算繁琐

一般而言,在实际调度中,具有丰富的调度经验的水库调度人员建议使用原理简单、计算量小的统计分析方法;在科学技术研究中,具有丰富的理论知识的科研技术人员建议使用有一定强度的数学物理背景的聚类分析法。总之,在实际运用中,我们仍然要使用多种分析方法,选择时需考虑水文、气象、水库下垫面等多重因素的影响以及综合满足其过程性、随机性、模糊性等多重属性,将其结果进行对比分析来确定最终分期办法。

3 分期汛限水位的发展历程

分期汛限水位是在以季节特点为分界点的不同分期期间,分别用适当的方法求出水库汛期允许兴利蓄水的上限水位。随着“采用分期汛限水位能使得防洪与兴利更有效地结合起来”的观念深入人心,从单一的传统方法到随后的模糊统计法和多目标优化法,体现出分期汛限水位的确定方法正在多元化地发展。至2015年,全国已有大约300座水库陆续采用了分期汛限水位,如瀑布沟水库、三峡水库等大型具有发电功能的水库,各分期运用不同的汛限水位控制方案,并取得了良

好的效果,不仅增加了灌溉效益,还增加了发电效益。

周庆义^[19]将此传统方法运用到音河水库分期汛限水位的研究中去,提高了水库的调控能力,有效地缓解了防洪和兴利的矛盾。丁晶等^[20]在分析了传统方法后,认为传统方法会降低水库的防洪标准,提出采用洪水随机模拟法,通过随机过程理论和时间序列建立生成大量洪水过程的模型,将汛限洪水视为随机变量,来推求各分期汛限水位。华家鹏^[21]根据实测资料采用其定义的组合频率法和库水位法确定分期汛限水位,解决了年频率不明的问题。武鹏林等^[22]在汾河水库中,根据随机函数理论确定汛期防洪限制水位,此法开辟了一条确定汛限水位的研究新道路。陈守煜等^[23]提出了模糊统计试验,采用了水文、概率论及模糊集理论的方法来确定隶属函数,描述了汛期物理演变过程,认为模糊统计法简单易行,但存在一定的主观性。张波子^[24]在主汛期和后汛期之间设置了过渡期,充分考虑了洪水变化的规律和防洪兴利原则。王才君等^[25]建立了多目标风险决策模型,考虑了洪水预报预泄等因素,通过对三峡水库多方案的风险效益分析,最后确定动态汛限水位方案。薛金平等^[26]通过采用模拟模型交互运算与随机动态规划方法对漳泽水库不同控制水位的运行方式进行了优化调度。

4 分期汛限水位确定方法的对比

分期汛限水位的研究发展已取得一定的成果,总结其确定方法可大致分为以下几类:传统方法、模糊统计法和多目标优化法。以下为对这三种方法的理解:

传统方法:在汛期分期完成的前提下,对不同的分期使用相同的频率来计算分期设计洪水过程,按水库运行标准来进行调洪演算,从而推求出各分期的汛限水位。

模糊统计方法:将一年时间 T 内的模糊子集汛期定义为 A ,用隶属函数 $U_A(t)$ ($0 \leq U_A(t) \leq 1$) 来描述过渡过程中任何一个时间 t 属于汛期的程度,通过洪水物理成因来确定主汛期的大致范围来构建此隶属函数,再通过分析各分期隶属于汛期的程度来确定模糊子集隶属函数,来求出汛期分期汛限水位。

多目标优化法:基于水库的防洪和兴利存在着一定的矛盾性(既要使水库实现防洪功能又要其发挥兴利效益)是一个多目标的问题,可运用数学规划的求解方法,将汛限水位作为自变量,通过分别分析其对防洪和兴利的影响规律,找出目标函数效益的极大值。

根据分期汛限水位的发展历程和各种方法的概述,对比得出:传统方法使用范围广,充分考虑汛期水文规律但受多种传统经验系数的制约,难以突破;模糊统计

法突破了单一的防洪标准限制,能充分考虑汛期水文的系统时间规律,简单易行,但有一定的主观性;多目标优化法在运用数学规划理论上,能尽可能调节防洪和兴利之间的矛盾,使效益尽可能达到最大化,思路清晰,理论性强,但在实际运用中要考虑其可操作性。

综上所述,在现已取得的分期汛限水位确定方法的基础上,根据各种影响因素,比如水库的经济条件、水库的主要功能、限制流域、气象水文特性、历史资料的多少等,在实际工程中根据不同的具体情况来确定采用特定方法制定汛限水位方案。

5 结语与展望

(1)目前,汛期分期的研究方法有很多,但由于不同地区水库的暴雨洪水季节性变化规律差异明显,且水文、气象、水库下垫面等因素差距大,故汛期分期至今未形成一个公认的研究方法体系。在研读了诸多文献,梳理总结后,本人认为汛期分期的发展研究上可从两方面来加强:一是对已有方法进行改进,比如前文中提到的系统聚类法,它是考虑多个影响因子的优势,对散点样本得出精确的最优解,但洪水是一个连续样本,这样可能会破坏洪水原有序列的时序性,因此可对该方法进行适当的改进。二是加强方法之间的综合利用。从前文可知,最初采用的数理统计方法和成因分析法的分期结果不够严谨细致,主观性较强,而后出现的变点分析法无偏性和有效性好,Fisher 最优分割法具有实现多指标聚类和不破坏样本序列的优势,但计算繁琐,集对分析法简单易行,但有一定的主观性。每种方法的优劣性不同,可以考虑建立能充分融合各方法优点的综合计算模型。

(2)对于分期汛限水位,有人认为传统方法充分考虑了水文规律但难以突破;模糊统计法在传统方法的基础上突破了单一防洪标准限制,简单易行;多目标优化法思路清晰,理论性强。但这些方法均只考虑了个别属性,不够全面。比如多目标优化法,它是通过建立简单的模型对原问题进行简化,在实际工程中面对复杂的水文信息时,必然会舍弃部分信息(如对水库上下游经济、生态及环境的影响等),导致结果偏于理想化。因此我们可以考虑建立充分考虑分期汛限水位各种属性的综合模型,使成果更贴合实际。

(3)从汛期分期的发展历程来看,许多研究者均只是在假设原分期正确的前提下,采用多种分期方法互相检验的方法来验证其合理性,缺乏可信度。1982年冯尚友等^[4]在丹江口水库实践研究中首次提出了对汛期分期的合理性进行检验的观点。而后陈璐等^[27]提出一种汛期分期的合理性检验方法。至此以后,未见有其他

检验方法提出。因此,在汛期分期的合理性检验方法研究上还有待发展。

参考文献:

- [1] 王本德,周惠成,王国利,等. 水库汛限水位动态控制理论与方法及其应用[M]. 北京:中国水利水电出版社,2006.
- [2] 王殿武,梁凤国,董增川,等. 基于数理统计方法的北方地区水库汛期分期分析研究[A]. 中国水利学会2007学术年会雨水利用与社会经济环境可持续发展分会论文集[C]. 2007.
- [3] 麻荣永. 百色水库洪水规律分析及其分期设计洪水推求[J]. 红水河,1992,11(2):14~17.
- [4] 冯尚友,余敷秋. 丹江口水库汛期划分的研究和实践效果[J]. 水利水电技术,1982(2):56~61.
- [5] 水利部电力部天津勘测设计院,国家气象局北京气象中心. 岳城水库汛期后期暴雨特性及设计洪水分析[C]//水利水电科学研究院. 水文计算经验汇编:第四集. 北京:水利电力出版社,1984.
- [6] 陈守煜,周惠成,王本德,等. 水利水文水资源与环境模糊集分析[M]. 大连:大连理工大学出版社,1987.
- [7] 陈守煜. 从研究汛期描述论文水文系统模糊集分析的方法论[J]. 水科学进展,1995,6(2):133~138.
- [8] 莫崇勋,刘方贵,孙桂凯. 水库汛期模糊划分及其分期汛限水位的确定[J]. 水力发电,2009,35(8):13~14.
- [9] 方崇惠,雒文生. 分形理论在洪水分期研究中的应用[J]. 水利水电科技进展,2005,25(6):9~13.
- [10] 高波,刘克琳,王银堂,等. 系统聚类法在水库汛期分期中的应用[J]. 水利水电技术,2005,36(6):1~5.
- [11] 刘攀,郭生练,王才君,等. 三峡水库汛期分期的变点分析方法研究[J]. 水文,2005,25(1):18~23.
- [12] 董前进,王先甲,王建平,等. 分形理论在三峡水库汛期洪水分期中的应用[J]. 长江流域资源与环境,2007,16(3):400~404.
- [13] 刘克琳,王银堂,胡四一,等. Fisher最优分割法在汛期分期中的应用[J]. 水利水电科技进展,2007,27(3):14~16.
- [14] 冯平,徐向广,李海. 基于模糊集合分析的汛期分期方法及其应用[J]. 长江流域资源与环境,2008,17(3):495~499.
- [15] 王宗志,王银堂,胡四一. 水库控制流域汛期分期的有效聚类分析[J]. 水科学进展,2007(4):580~585.
- [16] 陈曜,王顺久. 基于投影寻踪的汛期分期探讨[J]. 水文,2009,29(3):16~18.
- [17] 谢飞,王文圣. 集对分析在汛期分期中的应用研究[J]. 南水北调与水利科技,2011,9(1):60~63.
- [18] 喻婷,郭生练,刘攀,等. 水库汛期分期方法研究及其应用[J]. 中国农村水利水电,2006(8):24~26.
- [19] 周庆义,皇甫淑贤,马友春,等. 音河水库汛期分时段控制运用研究[J]. 黑龙江水利科技,1995(3):69~74.
- [20] 丁晶,王文圣,邓育仁. 合理确定水库分期汛限水位的探讨[C]. 全国水文计算进展和展望学术讨论会论文集. 南京:河海大学出版社,1998,501~506.
- [21] 华家鹏,孔令婷. 分期汛限水位和设计洪水位的确定方法[J]. 水电能源科学,2002(1):21~22.
- [22] 武鹏林,晋华. 汛期洪水循时程变化规律研究与应用[J]. 太原理工大学学报,1999(1):104~107.
- [23] 陈守煜. 工程水文水资源系统模糊集分析理论与实践[M]. 大连:大连理工学院出版社,1998.
- [24] 张波子. 汛期过渡期水库汛限水位动态控制方法[J]. 河北水利水电技术,2002(4):27.
- [25] 王才君,郭生练,刘攀,等. 三峡水库动态汛限水位洪水调度风险指标及综合评价模型研究[J]. 水科学进展,2004,15(3):376~381.
- [26] 薛金平,杨士荣,武全胜,等. 漳泽水库最优兴利调度研究[J]. 山西水利科技,1999(8):41~46.
- [27] 陈璐,郭生练,刘攀,等. 汛期分期合理性检验方法及应用研究[J]. 中国防汛抗旱,2008(4):55~58.

编辑:张绍付

The research summary of the flood season staging and the limited water level by stage

TAN Xing^{1,2}, WU Xiaobin¹, YU Hui²

(1. Hydraulic and Hydroelectrical School, HOHAI University, Nanjing 210098, China;
2. Jiangxi Institute of Water Sciences, Nanchang 330029, China)

Abstract: Using of limited water level by stage in reservoir scheduling is a effective method that satisfied the requirements of flood control and demand of water resources use, and the result of flood season staging determines the rationality of the limited water level by stage. Therefore, there are two issues in the stage scheduling of reservoir: first, the division of flood season staging; second, the determination of limited water level by stage. This article elaborated how to determine methods of reservoir flood season staging and reservoir limited water level by stage. It narrated development history of flood season staging and the limited water level by stage, summarized and compared its methods. And points out my view and prospects of the results. It make the work of flood season staging and the limited water level by stage more efficient.

Key words: The limited water level by stage; Flood season staging; Development history; Method

翻译:谭幸