

Identification of Flood Seasonality for the Ankang Reservoir Basin*

Yanqing Li, Shenglian Guo, Yanlai Zhou, Tianyuan Li

State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan
Email: liyanqing@whu.edu.cn

Received: Nov. 12th, 2012; revised: Dec. 6th, 2012; accepted: Dec. 16th, 2012

Abstract: Identification of flood season can provide scientific basis and technical support for multiple control of flood limited water level, and make full use of flood water resources. Using the daily rainfall and runoff data from 1943 to 2011 of the Ankang reservoir basin, the flood seasonality is determined by rational method and statistical analysis methods. The results are consistent and can reflect the characteristic of two main flood seasons (summer and autumn) in the Hanjiang basin, the flood seasonality of Ankang reservoir is divided into pre-flood season (1st, May-20th, June), summer flood season (21st, June-31st, July), interim flood season (1st, August-20st, August) and autumn flood season (21st, August-31st, October).

Keywords: Flood Seasonality; Rational Method; Statistical Analysis; Ankang Reservoir

汉江安康水库流域汛期分期研究*

李妍清, 郭生练, 周研来, 李天元

武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室, 武汉
Email: liyanqing@whu.edu.cn

收稿日期: 2012年11月12日; 修回日期: 2012年12月6日; 录用日期: 2012年12月16日

摘要: 合理的汛期分期, 可以为汛限水位分期控制提供科学依据和技术支撑, 充分利用洪水资源。采用安康水库 1943~2011 年降雨径流资料, 结合天气系统成因分析和数理统计分析等方法, 研究确定安康水库的汛期分期方式。结果表明, 天气系统成因分析和数理统计分析得到的结果较为一致, 分期方式能够较好地反映汉江流域夏秋两汛的特性, 安康水库的汛期分期推荐方案为: 5 月 1 日~6 月 20 日为前汛期; 6 月 21 日~7 月 31 日为夏汛期; 8 月 1 日~8 月 20 日为过渡期; 8 月 21 日~10 月 31 日为秋汛期。

关键词: 汛期分期; 成因分析; 数理统计; 安康水库

1. 引言

汛期是指江河中由于流域内季节性降水、融冰、化雪, 引起定时性水位上涨的时期。汛期属于水文事件, 具有确定性、随机性、模糊性和过渡性^[1,2]。区分

汛期和非汛期是人类认识洪水季节变化特征的一大进步, 对汛期进一步进行划分是人类对雨洪发生规律的更深层次探索。

按照《水利水电工程设计洪水计算规范》规定, 很多水库采用了汛限水位分期控制, 把原来单一汛期划分为多个分期, 在各个分期内采用不同的汛限水位。与固定汛限水位调度方式相比, 汛限水位分期控

*基金项目: 水利部行业科技专项(201001002)资助。

作者简介: 李妍清(1989-), 女, 湖北武汉人, 硕士研究生, 从事水文分析计算及水资源研究。

制可以实现分期蓄水, 逐步抬高汛限水位, 增加水库重复库容, 更充分地利用了雨洪资源^[3]。而确定和调整水库分期汛限水位的基本前提就是对水库控制流域的汛期进行合理划分^[4]。

现有的汛期分期的研究方法众多, 主要包括成因分析法^[5]、数理统计法^[6]、模糊分析法^[2]、分形分析法^[7-9]、变点分析法^[10]、系统聚类法^[11]、矢量统计法^[12-14]、相对频率法^[12-14]、圆形分布法^[15]等。方彬等^[16]对汛期分期各方法进行了对比分析: 成因分析法建立在对流域水文、气象分析的基础上, 但有一定主观性, 尤其对于较大的流域, 成灾天气组合方式多, 工作量大; 数理统计法简单实用, 但在分析过程中对临界值的选取有主观性, 难将汛期划分得较细; 模糊分析法综合成因分析、数理统计、模糊统计为一体, 考虑了汛期在时间上的模糊性, 但在拟合分布函数以及分期的临界隶属度的选择上, 都可能带有主观性, 同时该方法主要用于主汛期划分, 对于多个分期的要求尚显不足; 分形分析法比较客观, 但分析计算的工作量比较大, 且对于如何判断对象是分形, 至今仍需进一步讨论; 变点分析法划分汛期可精确到日, 并且在一定程度上更为客观、可靠, 但需要取样满足特定分布, 且需较长的实测径流、雨量资料; 系统聚类法考虑了多因子影响, 但阈值的选取存在主观任意; 矢量统计法原理简单直观, 但只能考虑单指标影响, 对相间矢量累计的情况分期效果不明显; 相对频率法比较直观, 但分期划分比较粗略, 只能精确到旬; 圆形分布法则考虑了洪水的时间、量级。虽然汛期分期的方法很多, 但各方法都有一定的优缺点, 至今尚未形成公认的方法^[17]。

安康水库位于汉江干流上游陕西省安康市境内, 是一座以发电为主, 兼有航运、防洪、养殖、旅游等综合效益的大型水利枢纽工程。坝址火石岩位于安康市城西 18 km 处, 上游距石泉水电站 170 km, 下游距湖北丹江口水库 260 km, 多年平均径流量 192 亿 m^3 , 控制流域集水面积 35,700 km^2 。安康水库正常蓄水位 330 m, 对应水库库容 25.85 亿 m^3 , 目前的防洪调度方式采用单一固定汛限水位。水库建成投运以来严格按照原设计规则, 汛期水库水位控制在 325 m 以下运行, 蓄满率较低, 洪水资源没有得到充分利用, 所以, 在保证安康水库防洪安全的前提下, 研究该水库汛限

水位分期动态控制方案, 对提高水库洪水资源的调控能力、充分发挥水利的综合利用效益, 具有重要的现实意义。

本文以安康水库 1943~2011 年洪峰系列、安康水库 1950~2011 年的日流量资料和安康流域 1960~2009 年日面雨量资料为实验数据, 采用天气系统成因分析、数理统计分析、矢量统计、变点分析等方法, 研究安康水库的汛期分期方式。

2. 分期方法研究

2.1. 天气系统成因分析法

根据汉江上游流域气候特征和天气系统, 安康水库流域暴雨洪水季节性变化是汛期分期的前提。汉江上游流域属于亚热带湿润气候, 气候特点是温暖湿润, 流域多年平均降水量为 800~1000 mm, 大巴山区可达 1100~1200 mm, 造成多雨的主要原因是特殊的地理位置和地形条件。巍峨的秦岭脉为我国南北气候的分界线, 流域北面的秦岭山脉海拔高程在 2500 m 以上, 最高的太白山主峰为 3767 m, 使得西北的干冷气流受阻不能长驱南下, 流域南面的大巴山系分为东西两段, 西部为米仑山, 东部为大巴山, 这些山脉地势较低, 山势平缓, 多呈南北走向, 其山间河谷形成了南部水汽向流域输送的通道。

由于流域夏秋两季多受西南季风和东季风的影响, 全年降水的 80% 都集中在 5~10 月。整个流域处于我国东部平原向青藏高原的过渡地带, 北有秦岭, 南有米仑山、大巴山。地理因子及环流条件均较复杂, 其暴雨成因及特性亦有明显的特殊性。主要特性表现在: 主要降水可分为夏、秋两季暴雨。夏季暴雨是长江梅雨带的北移、中低值天气系统影响的结果。秋季暴雨则主要是由南支西风环流的建立与发展所致。5~6 月份 700 毫巴天气图上, 长江流域往往有明显的东西向切变线, 地面图上相应存在着东西向的准静止锋, 这就是我国长江中下游地区初夏季节的梅雨形势。此时, 陕西南部处于太平洋副高的西北边缘, 也常出现暴雨。7 月份西风环流减弱, 副高脊加强北进, 脊线常徘徊于北纬 25°~30°之间, 此时陕南常处于南北向切变带内。由于西南季风加强, 水汽丰沛, 同时气温高, 地表受热极不均匀, 中小尺度天气系统活动频繁, 因而常出现短历时大强度暴雨。8 月份副高脊

继续西伸北进, 本流域常受副高脊控制, 不利于大暴雨形成。如果副高脊控制时间过长, 往往形成干旱。到8月下旬~9月初, 副高第一次南撤, 并稳定在北纬25°~27°之间。同时南支西风建立, 孟加拉湾低槽发展, 造成水汽输送的有利条件。如遇中纬度短波槽东移, 在700毫巴天气图上便形成东西向切变线, 再加上米仑山、沐巴山的地形影响, 便产生东西向大雨带或暴雨带。这种环流形势一经产生, 便十分稳定, 雨势连绵持久, 多为霪雨。

安康水库流域降雨主要集中在5~10月, 以7月降雨量最多, 强度最大; 8月下旬~9月初是霪雨霏霏时节。因此, 从成因上可以将安康水库流域汛期划分成4个分期。

2.2. 数理统计分析法

2.2.1. 降水统计分析

由于季风气候的影响, 安康水库流域降水的年内分配很不均匀。夏、秋两季降水量占全年降水量的80%, 尤以7~9月降水量为最丰, 占全年降水量的60%左右。根据安康流域1960~2009年日面雨量资料, 统计安康水库流域汛期多年旬平均降水量, 结果见表1。

从表中可以看出, 7月上旬、9月上旬降水最大, 夏汛秋汛明显。因此, 初步将6月下旬~7月下旬划分为夏汛期, 8月上旬~中旬为过渡期, 8月下旬~10月下旬为秋汛期。

2.2.2. 洪水年内分布分析

安康水库的来水特点是: “枯中有峰、洪中有枯”, 年内分配很不均, 变化剧烈。为了充分说明大洪水年内时程变化规律, 对安康水库1950~2011年5~10月份的日流量资料进行统计分析。划分各年份的场次洪水, 并记录洪水发生的时间和相应日平均流量峰值, 然后按8个流量级统计各旬内相应级别的洪水发生次数。统计结果见表2。

由表2可见, 若不考虑1950年以前的历史特大洪水, 按洪峰流量来看, 62年内仅在2010年7月中旬、1983年7月下旬和1974年9月中旬发生过三次大于17,000 m³/s的洪水; 对于洪峰流量在12,000~17,000 m³/s的洪水, 主要发生在7月上旬~10月上旬; 而对于洪峰流量在8000~12,000 m³/s的洪水则主要发生在6月下旬~10月中旬, 仅一次发生在五月下旬; 5月上、中旬没有发生过大于8000 m³/s的洪水, 8月上

Table1. The statistic values of ten-day (monthly) average precipitation during flood season in the Ankang basin
表1. 安康流域汛期多年旬(月)平均降水量统计表

月份	5	6	7	8	9	10
上旬(mm)	25.1	28.1	67.2	38.9	56.2	38.7
中旬(mm)	31.9	30.6	53.0	44.3	41.7	24.7
下旬(mm)	34.3	41.4	48.0	50.1	44.7	17.5
月均(mm)	30.4	33.4	56.1	44.4	47.5	27.0
月比例(%)	12.7	14.0	23.5	18.6	19.9	11.3

Table2. The statistic values of discharge distribution during flood season in the Ankang basin
表2. 安康水库汛期洪水(Q)分布规律统计表

单位(m ³ /s)	5月			6月			7月			8月			9月			10月		
	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下
Q ≥ 17,000	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
17,000 > Q ≥ 15,000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0
15,000 > Q ≥ 12,000	0	0	0	0	0	0	1	3	0	0	1	0	4	1	1	1	0	0
12,000 > Q ≥ 10,000	0	0	1	0	0	0	4	3	2	0	0	1	2	1	0	2	0	0
10,000 > Q ≥ 8000	0	0	0	0	0	1	3	2	1	1	0	2	2	3	2	2	1	0
8000 > Q ≥ 6000	0	0	1	0	0	4	6	2	1	1	4	3	3	3	4	0	0	1
6000 > Q ≥ 4000	1	2	1	2	4	0	12	6	3	5	5	5	7	3	6	5	2	0
4000 > Q ≥ 2000	4	8	9	5	7	11	8	19	8	9	9	8	11	7	7	10	11	2

旬没有发生过大于 10,000 m³/s 的洪水; 对于小于 8000 m³/s 的洪水在各旬内分布较为均匀。

按洪水发生时间来看, 7~9 月间发生洪水的次数最多, 且在 7 月上旬~10 月上旬间发生大洪水的可能性最大; 最早发生大洪水的时间是在 5 月下旬, 最晚发生大洪水的时间是在 10 月上旬。因此, 从洪水分布统计规律可知, 5 月初~6 月中旬可以划分为前汛期, 6 月下旬~7 月下旬为夏汛期, 8 月上旬、中旬为过渡期, 而 8 月下旬~10 月底为秋汛期。

2.2.3. 径流统计分析

汉江上游径流来源主要为雨水补给, 其次也有一定数量的地下水和冰雪融水补给, 因此径流的季节性变化比较明显。冬末春初为径流最枯季节, 河川径流主要靠地下水补给, 最小流量多发生在 1~2 月份, 随着气温的逐渐升高, 4~5 月份常出现春汛, 夏、秋两季是河川径流最丰的时期, 这主要是由于大陆低压的发展和太平洋副热带高压的西伸, 使得从印度洋来的西南季风加强, 再加上地形的抬升作用, 流域内常形成霪雨。河川径流主要集中在 7~10 月, 4 个月径流量占全年径流量的 60% 以上, 其中 7、9 两个月水量最大。

统计安康水库 1950~2011 年的 5~10 月逐日流量资料, 结果如表 3 所示, 汛期的来水量存在从小到大, 然后由大到小的规律性, 7 月上旬、中旬和 9 月上旬平均来水量所占比例最大, 10 月以后来水量显著变小。径流量分配与降水量的分配规律基本一致。根据来水量占汛期总量的百分比, 将 5 月上旬~6 月中旬划分为前汛期, 6 月下旬~7 月中旬划分为夏汛期, 7 月下旬~8 月中旬为过渡期, 8 月下旬~10 月下旬划分为秋汛期。

2.2.4. 年最大洪峰统计分析

根据 1943~2011 年安康水库年最大洪峰流量、

Table 3. The proportion of ten-day (monthly) average runoff during flood season in the Ankang basin (%)
表 3. 安康水库汛期各旬(月)来水量占汛期比例统计表(%)

月份	5	6	7	8	9	10
上旬	3.13	3.14	8.94	5.02	8.61	7.46
中旬	3.54	2.93	8.65	5.95	7.68	4.71
下旬	3.67	4.47	5.33	6.13	7.37	3.24
月	10.34	10.54	22.92	17.1	23.66	15.41

1950~2011 年的日平均流量资料, 绘制散点分布图如图 1、图 2, 可以看出洪峰有以下特征:

1) 洪峰散点的频次、大小基本呈现由弱至强、再由强至弱的规律性, 9 月以后仍出现一大簇洪峰, 表明汉江流域安康段以上易于发生秋汛。

2) 洪峰在 7 月与 9 月出现次数最多, 且洪峰较大。其余各月流量相对较小, 出现频率也较低。最大的洪峰流量出现在 7 月下旬。

因此, 根据年最大洪峰流量统计分析, 5 月上旬~6 月下旬可以划分为前汛期, 7 月上旬~7 月下旬为夏汛期, 8 月上旬~8 月中旬为过渡期, 而 8 月下旬~10 月下旬为秋汛期。

2.3. 矢量统计法

洪水的季节特征以年为周期, 因此可以用极坐标来表征洪水的季节性。矢量统计法把每场取样洪水看作一个矢量, 根据各个矢量之间的方向相似性来判断分割点, 即作为汛期分期点。采用年极值取样, 绘制极坐标图以示分期效果。其中, 圆周 360 度代表 5 月 1 日~10 月 31 日之间的每一天表示的度数, 以各矢量的聚集情况作为分期标准, 矢量相互密集的角度范围可作为同一个分期。

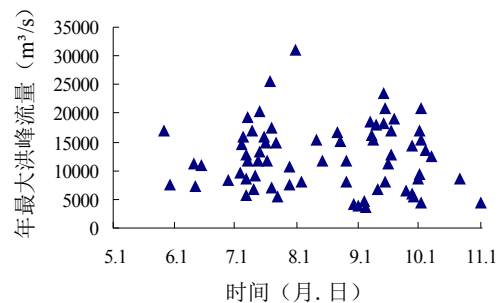


Figure 1. Scatter diagram of annual maximum peak flows
图 1. 年最大洪峰流量散点图

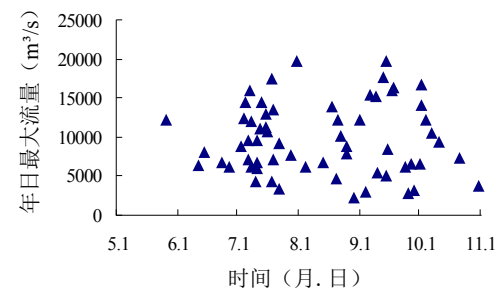


Figure 2. Scatter diagram of annual maximum daily flows
图 2. 年最大日平均流量散点图

将安康水库 1943~2011 年洪峰值及峰现时间组成的系列换算成矢量, 单位长度为 1, 点绘于极坐标图中, 如图 3 所示, 6 月 21 日为夏汛期开始时间, 7 月 24 日夏汛期结束, 进入过渡期, 8 月 17 日为秋汛期开始时间。因此, 5 月 1 日~6 月 20 日可定为前汛期, 6 月 21 日~7 月 24 日为夏汛期, 7 月 25 日~8 月 16 日为过渡期, 8 月 17 日~10 月 31 日为秋汛期。

2.4. 均值变点分析法

采用安康水库 1950~2011 年的汛期(5 月 1 日~10 月 31 日)日流量资料, 取日最大洪峰流量为统计指标, 进行日洪峰最大值取样, 对构造的新序列进行均值变点分析, 得到计算结果如图 4 所示。另取三日最大洪量、七日最大洪量为统计指标(图略), 可以得出: 无论是平均日流量, 还是平均三日、七日洪量, 构造的时间序列与平均量在时间分布上基本一致。日最大洪峰、三日最大洪量取样的均值变点分析表明, 四个变点分别出现在 7 月 3 日、7 月 23 日、9 月 1 日、10 月 8 日; 而七日最大洪量的分期点在 6 月 24 日、8 月 5 日、8 月 15 日、10 月 9 日。

据此, 综合考虑到水文过程的随机性及偏于安全的原则, 将第四和第五分期合并, 初步拟定汛期分期如下: 5 月 1 日~6 月 23 日为前汛期; 6 月 24 日~7 月 31 日为夏汛期; 8 月 1 日~8 月 31 日为过渡期; 9 月 1 日~10 月 31 日为秋汛期。值得指出的是, 对于洪峰的描述, 我国一般采用 P-III 分布, 因此采用正态分布为基础的均值变点分析只能是一个近似分析。

2.5. 综合结果分析

针对安康水库汛期分期计算, 将多种分期方法的计算结果进行综合比较, 见表 4。经综合分析, 7 月

是汉江中上游特大洪水的多发期, 暴雨集中, 洪量较大, 8 月上旬以后洪峰流量的量级比前期洪水要小一些, 8 月下旬~10 月上旬会发生秋汛, 一些洪水也

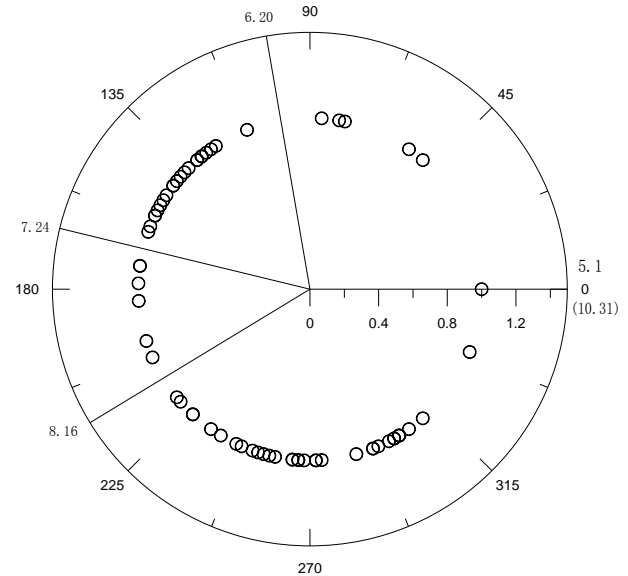


Figure 3. Flood season identification based on vector statistic method
图 3. 矢量统计法汛期分期结果

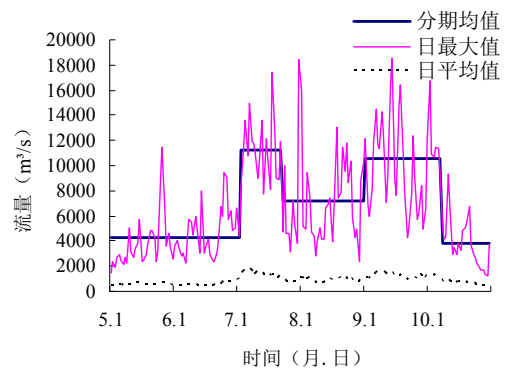


Figure 4. Average change point analysis of daily maximum peak flow series
图 4. 日最大洪峰序列均值变点分析图

Table 4. Comparison of flood season identification results for the Ankang reservoir basin
表 4. 安康水库汛期分期计算结果比较表

分期方法	前汛期	夏汛期	过渡期	后汛期	
天气系统成因分析法	5 月上旬~6 月下旬	7 月上旬~7 月下旬	8 月上旬~8 月中旬	8 月下旬~10 月下旬	
降雨统计分析	5 月上旬~6 月中旬	6 月下旬~7 月下旬	8 月上旬~8 月中旬	8 月下旬~10 月下旬	
数理统计法	洪水年内分布统计分析	5 月上旬~6 月中旬	6 月下旬~7 月下旬	8 月上旬~8 月中旬	8 月下旬~10 月下旬
	径流统计分析	5 月上旬~6 月中旬	6 月下旬~7 月中旬	7 月下旬~8 月中旬	8 月下旬~10 月下旬
年最大洪峰统计分析	5 月上旬~6 月下旬	7 月上旬~7 月下旬	8 月上旬~8 月中旬	8 月下旬~10 月下旬	
矢量统计分析	5 月 1 日~6 月 20 日	6 月 21 日~7 月 24 日	7 月 25 日~8 月 16 日	8 月 17 日~10 月 31 日	
均值变点分析	5 月 1 日~6 月 23 日	6 月 24 日~7 月 31 日	8 月 1 日~8 月 31 日	9 月 1 日~10 月 31 日	

较大。考虑到偏于安全和习惯, 更好地反映汉江流域夏秋两汛的特性, 建议将安康水库的汛期分为四期: 5月1日~6月20日为前汛期; 6月21日~7月31日为夏汛期; 8月1日~8月20日为过渡期; 8月21日~10月31日为秋汛期。

3. 结语

由于汛期变化规律有确定性、随机性、模糊性和过渡性的特征, 在汛期分期实践中, 需要运用各种相关方法, 经综合分析方可得到全面反映汛期特征、合理可行的汛期分期方案。合理的汛期分期结果, 可充分利用洪水资源, 为汛限水位分期控制提供科学依据和技术支撑。

本文综合天气系统成因分析和数理统计分析等方法进行研究:

1) 天气系统成因分析和数理统计分析得到的结果较为一致, 不同方法各有优缺点, 建议综合使用。

2) 为了更好地反映汉江流域夏秋两汛的特性, 建议将汛期划分为四期较合理可行, 夏汛期与秋汛期之间为过渡期。故安康水库的汛期分期推荐方案为: 5月1日~6月20日为前汛期; 6月21日~7月31日为夏汛期, 8月1日~8月20日为过渡期; 8月21日~10月31日为秋汛期。

参考文献 (References)

- [1] 郭生练. 设计洪水研究进展与评价[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005.
GUO Shengliang. Advance and assessment of design flood research. Beijing: China Water Power Press, 2005. (in Chinese)
- [2] 陈守煜. 从研究汛期描述水文系统模糊集分析的方法论[J]. 水科学进展, 1995, 6(2): 133-138.
CHEN Shouyu. Methodology of fuzzy sets analysis to hydrologic system from research on flood period description. Advances in Water Science, 1995, 6(2): 133-138. (in Chinese)
- [3] 水利部. 水利水电工程设计洪水计算规范(SL44-2006)[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006.
Ministry of Water Resources. Design flood calculation regulating for water resources and hydropower engineering. Beijing: China Water Power Press, 2006. (in Chinese)
- [4] 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, 18(4): 580-585.
WANG Zongzhi, WANG Yintang and HU Siyi. Effective fuzzy cluster method for dividing reservoir flood season. Advances in Water Science, 2007, 18(4): 580-585. (in Chinese)
- [5] 史良如, 陈继东. 利用水文气象和统计规律对海河流域中南部水库汛期控制运用的研究[J]. 水文, 1996, 16(6): 52-56.
SHI Liangtu, CHEN Jidong. Study on reservoir control during flood season in the south-central of Haihe basin using hydrometeorology and statistical law. Journal of China Hydrology, 1996, 16(6): 52-56. (in Chinese)
- [6] 冯尚友, 余数秋. 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.
FENG Shangyou, YU Fuqiu. The research and practice effect of flood season staging for Danjiangkou reservoir. Water Resources and Hydropower Engineering, 1982, 2: 56-61. (in Chinese)
- [7] 侯玉, 吴伯贤, 郑国权. 分形理论用于洪水分期的初步探讨[J]. 水科学进展, 1999, 10(2): 140-143.
HOU Yu, WU Boxian and ZHENG guoquan. Preliminary study on the seasonal periods classification of floods by using fractal theory. Advances in Water Science, 1999, 10(2): 140-143. (in Chinese)
- [8] 张建生, 黄强, 马永胜, 王义民. 水库汛期分期及其评价方法[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2009, 37(10): 229-234.
ZHANG Jiansheng, HUANG Qiang, MA Yongsheng and WANG Yimin. Division of flood seasonal phases for reservoir and the evaluation method. Journal of Northwest A&F University (Nature Science Edition), 2009, 37(10): 229-234. (in Chinese)
- [9] 于兴杰, 张树田, 马领康. 基于模糊统计法与分形分析法的洪水分期研究[J]. 中国农村水利水电, 2009, 7: 65-71.
YU Xingjie, ZHANG Shutian and MA Lingkang. Research on seasonal floods based on the fuzzy statistical and fractal methods. China Rural Water and Hydropower, 2009, 7: 65-71. (in Chinese)
- [10] 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.
LIU Pan, GUO Shenglian, WANG Caijun, et al. Flood season staged for Three Gorges Reservoir based on the change-point approach. Journal of China Hydrology, 2005, 25(1): 18-23. (in Chinese)
- [11] 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, 35(6): 1-5.
GAO Bo, LIU Kelin, WANG Yintang, et al. Application of system clustering method to dividing flood season of reservoir. Water Resources and Hydropower Engineering, 2005, 35(6): 1-5. (in Chinese)
- [12] CUNDERLIK, J. M., OUARDA, T. B. M. J. and BOBée B. On the objective identification of flood seasons. Water Resources Research, 2004, 40: Article ID:W01520.
- [13] CUNDERLIK, J. M., OUARDA, T. B. M. J. and BOBée, B. Determination of flood seasonality from hydrological records. Hydrological Sciences Journal, 2004, 49(3): 511-526.
- [14] 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: 24-56.
YU Ting, GUO Shenglian, LIU Pan, et al. Study on method and application of reservoir flood season staging. China Rural Water and Hydropower, 2006, 8: 24-56. (in Chinese)
- [15] 方彬, 郭生练, 郭富强, 等. 汛期分期的圆形分布法研究[J]. 水文, 2007, 27(5): 7-11.
FANG Bin, GUO Shenglian, GUO Fuqiang, et al. Identification of flood seasonality by circular distribution method. Journal of China Hydrology, 2007, 27(5): 7-11. (in Chinese)
- [16] 方彬, 郭生练, 刘攀, 等. 分期设计洪水研究进展和评价[J]. 水力发电, 2007, 33(7): 71-75.
FANG Bin, GUO Shenglian, LIU Pan, et al. Advance and assessment of seasonal design flood methods. Water Power, 2007, 33(7): 71-75. (in Chinese)
- [17] 蒋海艳, 莫崇勋, 韦逗逗, 等. 水库汛期分期研究综述[J]. 水利水电科技进展, 2012, 32(3): 75-80.
JIANG Haiyan, MO Chongxun, WEI Doudou, et al. Review of reservoir flood season staging. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2012, 32(3): 75-80. (in Chinese)