

# 基于强度与形态指标的洪水分类研究

彭 为<sup>1,2</sup>, 刘丙军<sup>1,2</sup>, 廖叶颖<sup>1,3</sup>, 邱江潮<sup>1,2</sup>

(1.中山大学地理科学与规划学院,广东 广州 510275; 2.华南地区水循环与水安全广东省普通高校重点实验室,广东 广州 510275; 3.广东省水文局惠州分局,广东 惠州 516001)

**摘 要:**洪水分类是描述洪水的特性和规律、加强洪水管理的重要手段之一。以澜沧江流域旧州站为例,通过 POT 取样法提取了 198 场洪水为样本,分别从仅考虑强度指标或综合考虑强度与形态指标,研究了该区域洪水分类的基本特征,研究结果如下:(1)基于强度指标的洪水分类,不能兼顾洪水强度与形态特征,同一类洪水形态差异明显,使得洪水分类结果不合理;(2)综合考虑强度与形态指标,可将旧州站洪水划分为 4 类,各类洪水间洪水强度与形态指标差异明显,同类洪水相似性较强。

**关键词:**洪水分类;强度指标;形态指标

中图分类号:P331.1

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2018)06-0007-05

## 1 引言

剧烈变化环境下,洪水要素变异显著,洪水过程普遍出现洪峰流量增加、峰现时间推后、洪量更集中等现象,各场洪水间差异增大,增加了控制与管理洪水的难度。加强洪水分类管理,针对不同类型的洪水采用不同的管理方式,对提高洪水预测精度、加强洪水管理和控制具有重要意义。

进行洪水分类,合理确定洪水指标是关键。现有研究大多采用强度指标对洪水进行分类。汪丽娜等<sup>[1]</sup>采用了最高水位值、洪峰流量值、最大 3d 洪量值、最大 7d 洪量值和最大 15d 洪量值 5 项指标,对北江流域石角站 53 年的洪水进行强度比较;刘玉邦等<sup>[2]</sup>以场次洪水过程的洪峰流量和洪水总量作为分类特征指标,将大伙房水库流域 14 场历史洪水分为特大洪水、大洪水和一般洪水三类;倪长健等<sup>[3]</sup>选取洪峰水位、洪水位超过 9m 的天数、大通洪峰流量、5~9 月洪量 4 项指标,将南京站 10 场洪水划分为特大洪水、大洪水、中等洪水和小洪水 4 种类型;谢云霞等<sup>[4]</sup>和 Chen 等<sup>[5]</sup>选取了洪峰流量、3h 最大暴雨强度、一次洪量、径流系数和

一次降雨量 5 项指标,将黄河支流秃尾河流域洪水分为特大洪水、大洪水、中洪水、小洪水四类;等等。上述研究在基于强度指标的洪水分类方面做了大量研究,并提出了诸多创新性研究成果,但综合强度和形态指标的洪水分类相关研究较少。洪水形态指标对洪水过程具有重要影响,如洪峰时间偏度反映洪峰在一场洪水中的位置,洪峰位置靠前和靠后的洪水过程差异显著。如何耦合洪水强度和形态指标对洪水分类的综合影响,是当前洪水分类亟待解决的问题之一。

基于上述分析,本文选取澜沧江干流旧州站为研究对象,运用该站 43 年逐时流量资料,分别探讨了仅考虑强度指标或综合考虑强度指标和形态指标对洪水分类的影响,旨在给流域洪水管理提供参考。

## 2 研究区概况

澜沧江发源于青海省唐古拉山,流经西藏、云南出境,出境后称湄公河,经缅甸、老挝、泰国、柬埔寨、越南注入中国南海。在中国境内,澜沧江长约 2 161km,流域面积约  $16.74 \times 10^4 \text{km}^2$ ,是我国较大的河流之一<sup>[6]</sup>。全流域属西南季风气候,干、湿季分明,一般

收稿日期:2017-10-26

基金项目:国家重点研发计划项目(2017YFC0405905, 2016YFC0401305);国家自然科学基金项目(91547108);水利部珠江河口动力学及伴生过程调控重点实验室开放研究基金资助项目([2017]KJ07);高校基本科研业务费中山大学青年教师重点培育项目

作者简介:彭为(1996-),女,湖南岳阳人,硕士研究生,主要从事水资源配置研究。E-mail: pengw23@mail2.sysu.edu.cn

通讯作者:刘丙军(1976-),男,湖南益阳人,教授,博士,从事水资源系统分析研究。E-mail: liubj@mail.sysu.edu.cn

6~10月为湿季,约85%以上的降水量集中在湿季,暴雨多发在7、8月,中游暴雨强度较大,为流域的主要暴雨区。流域洪水主要由暴雨形成,多出现在6~8月。由于地域广阔,各地区地形、气候及暴雨差异较大,暴雨中心分散,且河流狭长,汇流缓慢,历时长,澜沧江中下游的洪水过程多为双峰或复峰型,平均历时约为20d。

本文用到的资料为澜沧江流域上游旧州站1964~2006年6~10月逐时洪水流量和水位数据,控制流域面积约87205km<sup>2</sup>,年平均径流总量约303.1×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>,其中湿季约占78.6%。受降水时空分布不均的影响,该站各场洪水过程差异较大。43年间洪水最大洪峰流量高达7100m<sup>3</sup>/s,超过最小洪峰流量的6倍,洪水总历时从8d到50d不等,洪水形态也存在明显不同。将差别较大的洪水划分为不同类别,采用不同的管理方式,能最大限度地减少调度决策的失误、降低洪水的灾害程度。

### 3 研究方法

洪水分类的基本计算过程包括洪水样本选取、洪水特征指标选择和提取、洪水聚类等环节。本文通过超定量选择法获取洪水样本,从强度和形态两方面选取特征指标,并选用主成分分析法进行特征指标的提取,采用基于减法聚类和聚类有效性函数的模糊C均值聚类算法,对洪水进行基于强度指标和基于强度与形态指标的分类,并对比分析两种指标的洪水分类结果。本文技术路线图如图1所示。

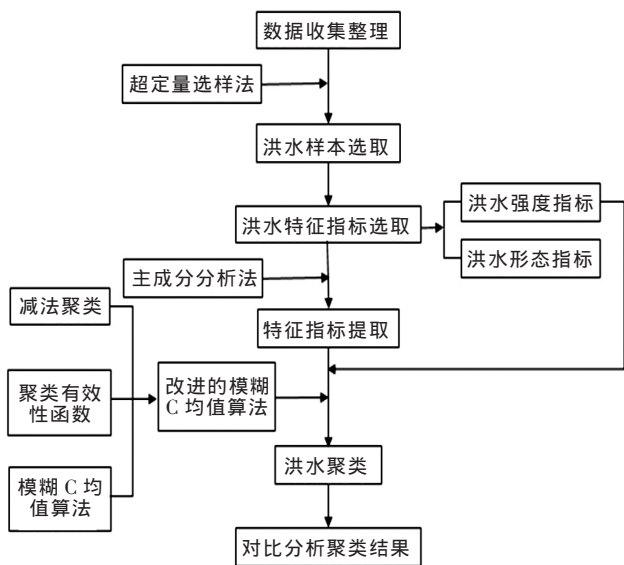


图1 技术路线图

Fig.1 The technology roadmap

#### 3.1 洪水样本选取

超定量选择法<sup>[7]</sup>(Peak over threshold,POT)是指根据一定规则选取门限值,以所有超过门限值的特征值为样本的选样方法,它提高了实测信息的利用率,增加了样本容量,且具有更强的物理相关性,更适用于洪水分析的样本选取。本文采用美国水资源协会(USWRC)提出的判别标准,同时选取两个连续洪峰的条件为:

$$\theta > 5 + \log(0.3861 * A) \quad \text{且} \quad X_{\min} < 0.75 \min[Q_1, Q_2] \quad (1)$$

式中: $\theta$ 为两个洪峰的间隔时间(d); $A$ 为流域面积(km<sup>2</sup>); $Q_i$ 为第*i*场洪水的洪峰流量(m<sup>3</sup>/s); $X_{\min}$ 为两个洪峰间的最小流量(m<sup>3</sup>/s)。

通过对各场洪水的洪量排序,采用百分位法确定门限值,选取超过洪量门限值的洪水场次组成样本序列。

#### 3.2 洪水指标选取

洪水指标一般包括强度指标和形态指标两类。本文选取的强度指标包括洪峰流量、洪峰水位和洪水总量3项,形态指标包括洪水总历时、洪峰时间偏度、退水历时、涨水点仰角值、退水点仰角值、偏度、峰度、洪量集中程度、高脉冲历时占比等9项。其中,洪峰时间偏度( $S$ )是涨水历时与总历时的比值,若值大于0.5,说明洪峰靠后,且 $S$ 值越大,洪峰越靠后,对水利工程的威胁越大;洪量集中程度是最大一日洪量与总洪量的比值,反映能量的分布情况,值越大,说明洪水能量越集中,越不利于防洪安全;高脉冲历时占比是流量大于洪峰流量75%的洪水过程的持续时长与总历时的比值,该指标反映了洪水在高流量位置的相对宽度,值越大,洪峰越宽,反之洪峰越窄。

由于选用多个指标难以顾全指标间的独立性,可能存在信息重叠等问题,影响分类结果的准确性和可靠性,而直接从众多的指标中剔除某些指标又会造成信息丢失,因此本文通过主成分分析法进行特征指标的提取。主成分分析法<sup>[8]</sup>(Principal Component Analysis,PCA)是一种数据分析的技术,主要思想是将高维数据投影到低维空间,提取多元事物的主要因素,揭示其本质特征。它通过对原始指标相关矩阵内部结构关系的研究,在保证原始数据信息丢失最少的情况下化繁为简,将多个指标简化为几个新的互不相关的综合指标。

#### 3.3 洪水分类方法

模糊C均值算法<sup>[9]</sup>(Fuzzy C Means,FCM)能直接

给出分类结果,并且具有算法简单、收敛速度快且能处理大数据集的优点,适用于洪水分类的研究。FCM算法的核心思想是把数据集划分成C个簇,同一簇中数据对象彼此的相似性尽可能大,不同簇中的数据对象相似性尽可能小。它是一种局部搜索算法,对初值的选取十分敏感,如果初值选取不当,很容易收敛到局部极小点,且该算法需要事先给定聚类个数。因此本文引入减法聚类算法<sup>[10]</sup>确定聚类中心初始值,既能获得全局最优解,又能加快收敛速度,并且自动获得聚类上限;此外,通过聚类有效性函数 Silhouette 指标<sup>[11]</sup>确定最佳聚类数,解决了FCM算法必须事先确定聚类个数的问题。

## 4 结果分析

### 4.1 POT洪水选择结果

由旧州站43年实测逐时流量资料提取独立洪峰序列。该站控制面积约87205km<sup>2</sup>,根据式(1)可得,两洪峰间隔大于9.53d时相互独立,由此得到221个独立洪峰,计算各场洪水的洪量,对其降序排列,取90th分位点作为门限值,得出澜沧江流域洪量门限值为9.24×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>,由此选出198场洪水作为样本。

### 4.2 基于强度指标的洪水分类

基于洪水强度指标可将旧州站洪水分为两类,洪水的场数及特征指标均值如表1所示。第1类洪水为大洪水,共72场,平均洪水总量为49.4×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>,平均洪峰流量为3863m<sup>3</sup>/s,平均洪峰水位为7.09m;第2类洪水为小洪水,共126场,平均洪水总量为21.8×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>,平均洪峰流量为2211m<sup>3</sup>/s,平均洪峰水位为4.83m,各项指标均远小于所有洪水平均值。

表1 基于强度指标的各类洪水特征指标

Table1 The various flood characteristics based on intensity indexes

类别	场数	洪水总量 /10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	洪峰流量 /m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup>	洪峰水位 /m
所有	198	31.8	2811	5.65
1	72	49.4	3863	7.09
2	126	21.8	2211	4.83

基于强度指标进行洪水分类,所得的两类洪水在强度指标上具有明显的差别,但无法体现形态特征差异。以19740714场次洪水和20000615场次洪水为例,19740714场次洪水总量为43.0×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>,洪峰流量为3220m<sup>3</sup>/s,洪峰水位为6.23m;20000615场次洪水总

量为33.0×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>,洪峰流量为3550m<sup>3</sup>/s,洪峰水位为6.72m,两场洪水强度指标较为接近,均被划分为第1类大洪水。但分析图2,两场洪水形态过程差异十分显著,19740714场次洪水洪峰时间偏度为0.194,为洪峰靠前型洪水,高脉冲历时占比为0.477,说明洪水峰腰较宽,洪水过程呈高胖型;20000615场次洪水洪峰时间偏度为0.625,为洪峰靠后型洪水,高脉冲历时占比仅为0.256,说明洪水峰腰较窄,洪水过程呈高瘦型。因此,此两场洪水划分为同一类显然不合理。

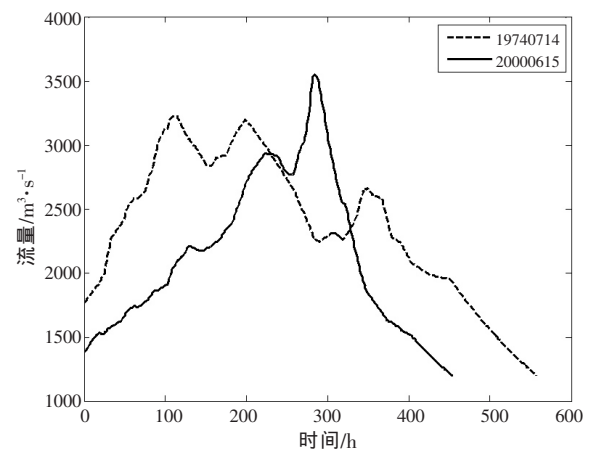


图2 强度相近形态不同的两场洪水

Fig.2 The two floods with similar intensity and different morphology

### 4.3 基于强度与形态指标的洪水分类

#### 4.3.1 指标提取结果

本文采用主成分分析方法从12项洪水指标中提取信息,从表2可以看出,前4个主成分的方差累积贡献率达到了90.781%,且特征值都大于1,因此提取前4个主成分(分别用Z<sub>1</sub>、Z<sub>2</sub>、Z<sub>3</sub>、Z<sub>4</sub>表示)代替原有指标,基本保留了原来的指标信息。主成分载荷矩阵如表3所示,Z<sub>1</sub>与洪水总历时、退水历时、退水点仰角值和洪量集中程度有较强的相关关系,表征洪水历时特性;Z<sub>2</sub>与洪量、洪峰水位、洪峰流量三个表征强度的指标相关关系较为明显;Z<sub>3</sub>与偏度、峰度和高脉冲历时占比三个指标具有明显的相关关系,可以表征洪峰的形态特征;Z<sub>4</sub>与洪峰时间偏度和涨水点仰角值相关关系较强,主要表征洪水涨水段特征。主成分得分是原始变量在主成分空间中的表示,从不同角度刻画了原始变量的变化特征,洪水在四个主成分上的得分值可用于代替原有的指标数据进行聚类。

表2 特征值及主成分贡献率

Table2 The characteristics and principal component contribution rate

主成分	特征值	贡献率/%	累积贡献率/%
1	4.415	36.796	36.796
2	2.802	23.347	60.143
3	2.080	17.332	77.474
4	1.597	13.306	90.781
5	0.476	3.963	94.744
6	0.196	1.636	96.380
7	0.166	1.385	97.765
8	0.130	1.085	98.850
9	0.074	0.615	99.465
10	0.036	0.299	99.764
11	0.018	0.146	99.910
12	0.011	0.090	100.000

表3 主成分载荷矩阵

Table3 The principal component load matrix

指标	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>3</sub>	Z <sub>4</sub>
洪水总量	0.821	0.515	-0.097	0.039
洪峰水位	0.320	0.902	0.014	0.199
洪峰流量	0.339	0.903	0.029	0.198
洪水总历时	0.966	0.140	0.065	0.057
洪峰时间偏度	-0.154	0.091	-0.040	-0.960
退水历时	0.840	0.054	0.080	0.488
涨水点仰角值	-0.197	0.474	0.148	0.782
退水点仰角值	-0.384	0.857	0.068	-0.265
偏度	-0.147	-0.031	0.906	0.146
峰度	0.007	-0.094	0.834	-0.077
高脉冲历时占比	-0.168	-0.409	-0.772	-0.150
洪量集中程度	-0.917	0.094	0.089	0.227

#### 4.3.2 聚类分析结果

取减法聚类的半径参数  $\delta=0.5$ , 得到 4 个聚类中心, 依次将聚类数设定为 2, 3, 4, 计算得 Silhouette 指标值分别为 0.1811、0.1935、0.2115, 可见最佳聚类数为 4 类。因此本文将旧州站 198 场洪水分为 4 类, 以洪水总

量、洪峰流量、洪水总历时、洪峰时间偏度和高脉冲历时占比 5 项最能体现各类洪水间强度和形态差异的指标为关键特征指标, 洪水的场数及关键特征指标均值如表 4 所示, 对每一类洪水选取一场典型洪水过程, 如图 3 所示。

表4 基于强度与形态指标的各类洪水特征指标  
Table4 The various flood characteristics based on intensity and morphology indexes

类别	场数	洪水总量 / $10^6\text{m}^3$	洪峰流量 / $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$	洪水总历时/d	洪峰时间偏度	高脉冲历时占比
所有	198	31.8	2811	20.8	0.375	0.347
1	49	55.8	3781	30.2	0.317	0.316
2	49	30.5	2796	20.3	0.531	0.255
3	51	20.9	2768	15.7	0.259	0.248
4	49	20.7	1902	16.9	0.398	0.575

分析表 4 和图 3, 得出如下结论:

(1) 旧州站 43 年洪水系列可划分为 4 类。其中, 第 1 类洪水为高胖型大洪水, 第 2 类洪水为洪峰偏后型较大洪水, 第 3 类洪水为尖瘦长尾型中等洪水, 第 4 类洪水为矮胖型小洪水。各类洪水在强度大小上分层更加显著, 而在洪水总历时、洪峰位置、洪峰胖瘦等形态特征上也有十分明显的差别。

(2) 第 1、2 类洪水强度大、历时长, 多数场次与基

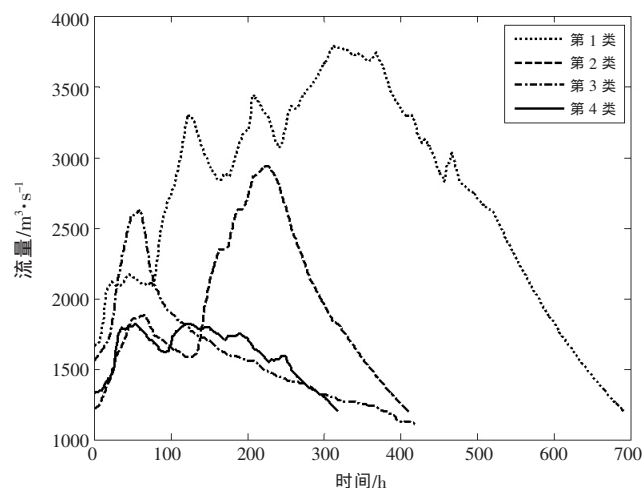


图3 各类典型洪水过程线  
Fig.3 The hydrograph of the typical floods

于强度指标分类的大洪水一类相重合。其中, 第 1 类洪水平均洪水总量、平均洪峰流量和平均洪水总历时均远高于所有洪水平均值, 而平均高脉冲历时占比较大, 说明洪水峰腰较宽, 整体呈高胖型, 防洪风险较高, 应提早预泄腾库, 保证洪水期留有足够的防洪库容, 同时按照下游最大安全过流能力进行泄洪, 确保大坝和上下游防洪安全<sup>[12]</sup>; 第 2 类洪水强度和总历时略小于第 1 类洪水, 平均高脉冲历时占比仅 0.255, 说



明洪水峰腰较窄,整体呈高瘦型,且平均洪峰时间偏度大于0.5,说明洪水为洪峰靠后型,在前期应及时将多余的洪水泄走,减少防洪库容的消耗,为后期洪峰的到来预留较大的库容。在考虑强度指标时,19740714场次洪水和20000615场次洪水归为第1类大洪水,综合考虑强度和形态指标后,19740714场次洪水和20000615场次洪水分别归为了第1类高胖型大洪水和第2类洪峰靠后型洪水。

(3)第3、4类洪水强度小、历时短,在基于强度指标的分类中大多属于小洪水一类。其中第3类洪水峰高量小,平均高脉冲历时占比仅为0.248,说明洪水峰腰窄,整体呈尖瘦型,而平均洪峰时间偏度远小于0.5,说明洪水洪峰靠前,退水过程极为缓慢,这类洪水在涨水期间应充分发挥水库拦洪削峰作用,减轻下游防洪压力;第4类洪水强度和总历时均远小于所有洪水平均值,而平均高脉冲历时占比高达0.575,说明洪水峰腰宽,整体呈矮胖型,应在确保防洪安全的基础上尽量蓄水保水,提高洪水资源的利用率。

## 5 结论

本文以澜沧江流域旧州站为研究对象,通过POT取样法提取198场洪水作为样本,分别从考虑强度指标或综合考虑强度与形态指标方面,研究了洪水分类指标对洪水分类的影响,得到如下结论:

(1)基于强度指标将旧州站洪水分为大洪水和小洪水两类,体现了洪水在强度上的差异,但不能兼顾洪水形态特征,同类洪水形态特征差别较大。

(2)基于强度与形态指标将旧州站洪水分为4类,第1类洪水为高胖型大洪水,第2类洪水为洪峰偏后型较大洪水,第3类洪水为尖瘦长尾型中等洪水,第4类洪水为矮胖型小洪水。不同类别洪水间强度和形态指标都具有明显的差异,同类洪水强度大小和形态特征相近,说明基于强度与形态指标对洪水进行分类更加准确合理。

参考文献:

- [1] 汪丽娜,陈晓宏. 北江流域历年洪水强度大小的比较研究[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2010,49(6):145-148.(WANG Lina, CHEN Xiaohong. Comparative research on the magnitude of flood intensity during previous years of the Beijiang river basin [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni. 2010,49(6):145-148. (in Chinese))
- [2] 刘玉邦,梁川. 基于PCP-C耦合模型的流域洪水分类研究[J]. 水文, 2010, (1):18-22. (LIU Yubang, LIANG Chuan. Watershed flood classification research based on PCP-C coupling model [J]. Journal of China Hydrology, 2010,(1):18-22. (in Chinese))
- [3] 倪长健,王顺久,王杰. 最优曲线投影动态聚类指标及在洪水分类中的应用——以南京站洪水为例[J]. 灾害学, 2011,99(2):1-4. (NI Changjian, WANG Shunjiu, WANG Jie. Optimal curve projection dynamic cluster index and its application in flood classification: a case study of a flood observed at Nanjing observation station[J]. Journal of Catastrophology, 2011,99(2):1-4. (in Chinese))
- [4] 谢云霞,王文圣,曾尚春. 基于分形模糊集对分析方法的洪水分类[J]. 水电能源科学, 2012,(11):31-34.(XIE Yunxia, WANG Wensheng, ZENG Shangchun. Study on flood classification based on fractal fuzzy set pair analysis method[J]. Water Resources and Power, 2012,(11):31-34. (in Chinese))
- [5] CHEN Shouyu, XUE Zhichun, LI Min. Variable sets principle and method for flood classification[J]. Science China(Technological Sciences), 2013,56(9): 2343-2348.
- [6] 刘苏峡,丁文浩,莫兴国,等. 澜沧江和怒江流域的气候变化及其对径流的影响 [J]. 气候变化研究进展, 2017,(4):356-365. (LIU Suxia, DING Wenhao, MO Xingguo, et al. Climate change and its impact on runoff in Lancang and Nujiang River basins [J]. Progressus Inquisitiones DE Mutatione Climatis, 2017,(4):356-365.(in Chinese))
- [7] 张丽娟,陈晓宏,叶长青,等. 考虑历史洪水的武江超定量洪水频率分析 [J]. 水利学报, 2013,(3):268-275. (ZHANG Lijuan, CHEN Xiaohong, YE Changqing, et al. POT flood frequency analysis with historical floods in Wujiang River [J]. Journal of Hydraulic Engineering. 2013,(3):268-275. (in Chinese))
- [8] 刘可新,包为民,阙家骏,等. 基于主成分分析的K均值聚类法在洪水预报中的应用[J]. 武汉大学学报(工学版), 2015,(4):447-450. (LIU Kexin, BAO Weimin, QUE Jiajun, et al. Application of K-mean cluster method to flood forecasting based on principal component analysis[J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2015,(4):447-450. (in Chinese))
- [9] Orhan Kesemen, özge Tezel, Eda özkul. Fuzzy c-means clustering algorithm for directional data (FCM4DD)[J]. Expert Systems with Applications, 2016,(58):76-82.
- [10] 武俊峰,艾岭. 一种基于改进聚类算法的模糊模型辨识[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2010,(3):1-5.(WU Junfeng, AI Ling. A fuzzy identification based on improved clustering algorithm[J]. Journal of Harbin University of Science and Technology, 2010,(3):1-5. (in Chinese))
- [11] Subbalakshmi Chatti, Krishna Grama, Rao Skrishnamohan, et al. A method to find optimum number of clusters based on fuzzy Silhouette on dynamic data set [J]. Procedia Computer Science, 2015,(46):346-353.
- [12] 于思洋,常世名. 柘溪水库防洪调度问题及应对措施[J]. 人民长江, 2017,(4):37-39. (YU Siyang, CHANG Shiming. Flood control dispatching problems and countermeasures of Zhexi reservoir[J]. Yangtze River, 2017,(4):37-39. (in Chinese))

(下转第76页)

- 法[J]. 自然资源学报, 2002,17(2):188-197. (SHEN Zhenyao, YANG Zhifeng. Index system and method for assessing water resources renewability of the Yellow River basin [J]. Journal of Natural Resources, 2002,17(2):188-197. (in Chinese))
- [17] 赵建民,陈彩虹,李靖. 水土保持对黄河流域水资源承载力的影响[J]. 水利学报, 2010,41(9):1079-1086. (ZHAO Jianmin, CHEN Caihong, LI Jing. Impacts of soil and water conservation on water resources carrying capacity in Yellow River basin [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2010,41(9):1079-1086. (in Chinese))
- [18] 陈曜,丁晶,赵永红. 基于投影寻踪原理的四川省洪灾评估[J]. 水利学报, 2010,41(2):220-225. (CHEN Yao, DING Jing, ZHAO Yonghong. Assessment on flood disaster in Sichuan province based on the principle of projection pursuit method [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2010,41(2):220-225. (in Chinese))

## Evaluation of Water Resources Carrying Capacity in Xianghuang Banner Based on Projection Pursuit Model and Its Application in Water Resources Allocation

ZHAO Yiping, YU Xiangqian, LIU Wei, LIU Di, WANG Xinzhu, WANG Mingxin

*(Institute of Water Resources for Pastoral Area, MWR, Hohhot 010020, China)*

**Abstract:** Xianghuang Banner is located in the semi-arid pastoral area, and the water supply of some areas can not meet the needs of economic development, and the water resources transfer project was urged to plan based on the evaluation of water resources carrying capacity. According to the characteristics of water resources utilization, an evaluation indexes system was constructed based on the projection pursuit model. The results show that: (1) The water resources carrying capacity of Xianghuang Banner is weak, and Wengongwula Sumu is better than Xinbaolage Town, which is the weakest area of water resources carrying capacity. (2) The degree of groundwater development, population density, water resources per capita, water consumption per unit of GDP and ecological water consumption rate have the great influence on water carrying capacity. Based on the evaluation results, the water resources transfer project was made for water transfer from Wengongwula Sumu to Xinbaolage Town, which can help to relieve water supply stress of both areas. The results can provide the scientific basis of water resources regulation plan for Xianghuang Banner, and also provide reference for water resources management in other similar areas.

**Key words:** water resources carrying capacity; water resources regulation; projection pursuit model; Xianghuang Banner

(上接第 11 页)

## Flood Classification Research Based on Intensity and Morphology Indexes

PENG Wei<sup>1,2</sup>, LIU Bingjun<sup>1,2</sup>, LIAO Yeying<sup>1,3</sup>, QIU Jiangchao<sup>1,2</sup>

(1. School of Geography and Planning, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China; 2. Key Laboratory of Water Cycle and Water Security in Southern China of Guangdong High Education Institute, Guangzhou 510275, China;

3. Huizhou Hydrology Bureau of Guangdong Province, Huizhou 516001, China)

**Abstract:** Flood classification is one of the important means to describe the characteristics and regularity of floods and to strengthen flood management. In this paper, the Jiuzhou Station in the Lancangjiang River Basin was taken as an example, in which 198 floods were sampled by using POT sampling method. The essential features of flood classification in this area were studied respectively from just considering the intensity index or considering the intensity and morphology index. The results are as follows: (1) The flood classification based on intensity index can not take into account the flood intensity and morphological characteristics. The morphology is different in the same type of flood, making the flood classification results unreasonable; (2) Considering the intensity and morphology index, the floods at the Jiuzhou Station can be divided into 4 categories. Various floods have different intensity and morphology indexes while congener floods show high similarity.

**Key words:** flood classification; intensity index; morphology index