

文章编号:0559-9350(2011)01-0098-07

基于天气成因和主成分投影分析的暴雨洪水分级研究

刘玉邦^{1,2}, 梁川¹

(1. 四川大学 水利水电学院, 四川 成都 610041; 2. 成都理工大学 学术期刊编辑中心, 四川 成都 610059)

摘要: 针对传统的多指标暴雨洪水分级方法的诸多不足, 应用成因(天气系统)与聚类分析(主成分投影)相结合的系统方法对暴雨洪水进行分级, 并通过分级指标的符号化处理对不同等级洪水的显著指标特征进行定量化描述, 以此形成系统的暴雨洪水分级方法。实例研究结果表明, 建议方法可行, 物理意义明确, 实现过程简便, 但分级结果仍会受样本数有限的影响。虽然该方法是针对暴雨洪水提出的, 但对非暴雨洪水的分级也不失为一种有效的尝试。

关键词: 暴雨洪水分级; 成因; 天气系统; 主成分投影; 聚类分析

中图分类号: TV213.9

文献标识码: A

1 研究背景

洪水等级是表征洪水及其灾情大小的形象而又简易的指标, 但洪水的形成和发展受流域自然地理、水文、气象和人类活动等多因素影响, 使洪水过程具有高度的随机性、模糊性和复杂性。受地域性限制, 不同区域有不同类型的洪水, 不同类型的洪水可能有不同的等级, 且各类型洪水达到某一等级的概率也是不同的, 不同等级的洪水可能有不同的指标来衡量。因而, 难以建立统一的指标进行洪水等级划分。在影响我国的各种洪水类型中, 以暴雨洪水发生最为频繁、影响范围最广、危害最大和预防难度最高, 因此研究暴雨洪水的等级划分更具有特殊的意义^[1]。

一般地, 表征暴雨洪水的特征值有洪峰水位、洪峰流量、洪水流速、洪水总量、洪水历时、洪峰模数和洪水涨落率等, 因而水文上常采用洪峰流量、时段洪量或洪峰水位来反映和比较暴雨洪水的变异程度^[2-3]。但这些指标不能用来分析和比较不同区域的暴雨洪水和灾情大小, 因此有学者采用洪峰流量或洪峰水位标准化值, 或采用标准面积(1 000km²)洪峰流量来划分暴雨洪水等级, 也有学者应用洪水频率 $P(\%)$ 的倒数(重现期)来划分, 其中洪水频率是指洪峰水位、洪峰流量或时段洪量等特征值的累积频率^[2]。这些划分方法仍有较大的局限性, 因而近年来有学者用洪水强度这一综合指标通过聚类分析将洪水分成不同的等级。其中洪水强度与洪峰水位、洪峰流量、洪水历时、洪水总量和洪水重现期等洪水要素有关^[4-6]。鉴于暴雨洪水要素自身较大的随机性和不确定性, 规定统一的洪水要素指标值十分困难, 因而有学者采用前期影响雨量、最大暴雨强度、降雨量、径流深和洪峰流量等指标代替部分洪水要素进行多指标洪水等级划分^[7-8], 并取得了一定的效果。

在聚类分析算法上, 一种是采用基于模糊关系的聚类算法, 该算法客观地反映了洪水等级划分的模糊特性, 且能定量确定有效分类数, 但其实现过程较为复杂^[9-11]; 另一种是采用基于目标函数的聚类算法, 如投影寻踪聚类分析方法, 该法直接由历史洪水样本数据来驱动, 能得到洪水自然的等级划分结果, 适宜暴雨洪水等级划分, 但其需要利用某种优化算法求解非线性规划问题, 计算较为

收稿日期: 2009-09-24

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40730634)

作者简介: 刘玉邦(1969-), 男, 河北衡水人, 讲师, 博士生, 主要从事环境水文与水环境保护研究。E-mail: liuyubang@cdu.cn

复杂,且不能有效确定分类数。主成分投影法^[12-15]是一种十分简便的多指标决策与综合评价方法,它融合了主成分分析和投影法的优点,解决了诸如指标的信息重叠、评价单元在不同时间或空间整体比较和排序等问题。而且,其综合投影值的聚类效果能够直观观察,模型构建和计算十分简便,笔者曾用此方法对辽宁省大伙房水库流域1951—2005年的14场历史暴雨洪水样本进行了等级划分^[16]。研究表明,该方法受样本数量的影响较大,而且不能定量确定洪水样本的有效分类数。就某一特定区域来讲,依据洪水天气成因进行洪水等级划分则具有较充分的依据和可靠性。这是因为洪水有较强的地域性限制,一个地区暴雨洪水的发生、发展和当地的天气系统有着直接紧密的联系。在现代气候条件下,在特定流域,由于影响大气水汽和上升运动的季风环流、地理纬度等基本条件具有相对的稳定性,这使得流域内相似暴雨天气过程的重演具有了宏观基础,所形成的暴雨洪水也具有一定的稳定性,由此依据流域内形成暴雨洪水的天气系统类型进行流域洪水等级划分是可行的^[1]。

本文将天气系统成因分析和应用主成分投影的聚类分析相结合进行暴雨洪水等级划分,并通过划分指标的符号化处理结合投影值大小对不同等级洪水的显著指标特征进行量化描述。

2 暴雨洪水分级方法及步骤

2.1 主成分投影方法 主成分投影法是近几年才出现的一种评价方法,目前它已经应用在多个领域。其建模步骤如下:

2.1.1 指标的标准化处理 设有 n 个分级样本,由 p 个指标来描述,样本矩阵为 $X=(x_{ij})_{n \times p}$ 。考虑到各指标值量纲和数量级差异对评价结果可能造成的影响,采用极差变换法对各评价指标值进行标准化处理。对于正向指标,采用下式处理

$$y_{ij} = (x_{ij} - \min x_{ij}) / (\max x_{ij} - \min x_{ij}) \quad (i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, p) \quad (1)$$

对于负向指标,则采用下式处理:

$$y_{ij} = (\max x_{ij} - x_{ij}) / (\max x_{ij} - \min x_{ij}) \quad (i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, p) \quad (2)$$

其中, $\max x_{ij}$ 、 $\min x_{ij}$ 分别为第 j 个指标各评价样本属性值的最大值和最小值。

标准化处理后样本矩阵 X 转化为矩阵 $Y=(y_{ij})_{n \times p}$, $y_{ij} \in [0, 1]$ 。

2.1.2 确定指标权重 进行多指标综合分级时,考虑到各指标对评价对象影响程度的不同,因此在对多指标原始数据矩阵进行主成分分析时就需对指标进行赋权。目前对指标赋权的方法很多,主要有主观赋权法、客观赋权法和综合赋权法。其中,熵权法是比较客观的一种指标赋权方法,它是根据各评价对象的指标值来确定指标权重,所反映的是指标间的相互比较关系。因此本文采用熵权法对指标进行赋权。其步骤是:

设 f_{ij} 为矩阵 X 的第 j 项指标下第 i 个分级样本的指标值的比重,则有下式成立:

$$f_{ij} = x_{ij} / \sum_{i=1}^n x_{ij} \quad (3)$$

假设 e_j 为第 j 项指标的熵值,则有式(4)成立:

$$e_j = -k \sum_{i=1}^n f_{ij} \cdot \ln f_{ij} \quad (\text{其中}, k = 1/\ln n) \quad (4)$$

据式(5)确定各指标的权重:

$$w_j = (1 - e_j) / \sum_{j=1}^p (1 - e_j) \quad (5)$$

使用式(5)计算出各指标的权重后,对样本矩阵 Y 做加权处理,设 $z_{ij} = w_j \cdot y_{ij}$, 则得到加权处理后的样本矩阵 $Z = (z_{ij})_{n \times p}$, 令评价向量为 $\bar{d}_i = (z_{i1}, z_{i2}, \dots, z_{ip})$, $i=1, 2, \dots, n$ 。

2.1.3 对指标进行正交变换 为了降低多个评价指标之间评价信息的相互重叠和干扰,对原指标值

作正交变换, 过程如下:

若 $Z'Z$ 的特征值为 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p$ ($\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p \geq 0$), 相应特征向量分别为 $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_p$ 。令 $A = \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_p$, 则应用 $U = ZA$ 对样本矩阵 Z 作正交变换, 正交变换后的新样本评价矩阵即为 $U = (u_{ij})_{n \times p}$, 而新的决策向量则记为 $d_i = (u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{ip})$, $i = 1, 2, \dots, n$ 。

2.1.4 构造理想决策向量, 计算各分级样本的最优投影值 将每个分级样本向量化(即把每个分级样本看作一个 p 维向量), 将理想决策向量记为 $d^* = (d_1, d_2, \dots, d_p)$, 其中, $d_i = \max_{1 \leq i \leq n} \langle u_{ij} \rangle$, $j = 1, 2, \dots, p$, 应用式(6)将 d^* 单位化, 得

$$d_0^* = \frac{1}{\|d^*\|} d^* = \frac{1}{\sqrt{d_1^2 + d_2^2 + \dots + d_p^2}} d^* \quad (6)$$

应用式(7)计算出各分级样本在理想决策向量上的投影值:

$$D_i = d_i \cdot d_0^* = \frac{1}{\sqrt{d_1^2 + d_2^2 + \dots + d_p^2}} \sum_{j=1}^p d_j u_{ij} \quad (7)$$

2.2 暴雨洪水分级步骤 应用基于成因和主成分投影分析的暴雨洪水分级步骤如下: (1)对样本指标值进行标准化处理。按照指标值标准化处理方法, 对洪水分级样本指标值进行标准化处理。对于暴雨洪水而言, 本文采用洪水强度作为分级综合指标, 选择前期影响雨量、最大暴雨强度、降雨量、径流深和洪峰流量等指标作为影响指标, 这些分级指标均为正向指标, 因此本文采用式(1)进行标准化处理; (2)应用熵权法对指标赋权; (3)对分级指标进行正交变换; (4)构造理想决策向量, 计算各分级样本的最优投影值; (5)观察各样本最优投影值的散布情况, 对分级样本进行初步等级划分; (6)对区域形成暴雨洪水的天气系统类型进行分析, 确定洪水的有效分类数并对初步分级结果进行调整, 并最终划分暴雨洪水等级; (7)对各样本指标值进行符号化处理, 结合各样本最优投影值, 对各级洪水的显著特征指标和典型过程进行定量刻画。

3 实例应用

3.1 最优投影值计算及初步分级 为了便于比较, 本文采用文献[17]所提供的辽宁省南部地区碧流河水库自建库以来入库洪峰流量大于 $1000\text{m}^3/\text{s}$ 的 12 场洪水样本和原设计的 1962 年典型洪水作为分级样本, 并以各场洪水的前期影响雨量(x_1)、最大暴雨强度(x_2)、降雨量(x_3)、径流深(x_4)和洪峰流量(x_5)作为洪水过程的影响指标, 各指标的具体数值参见表 1。

表 1 碧流河水库的历史洪水样本

样本序号	洪号	前期影响雨量 (x_1)/mm	最大暴雨强度 (x_2)/(mm/3h)	降雨量(x_3)/mm	径流深(x_4)/mm	洪峰流量(x_5)/(m^3/s)
1	6 207	126	43	145	131	3 920
2	8 406	56	34	132	67	1 690
3	8 508	131	51	208	173	3 320
4	8 708	106	65	85	42	1 350
5	8 808	45	56	140	63	1 250
6	9 107	92	39	91	52	1 600
7	9 209	52	41	129	50	2 030
8	9 408	189	65	180	145	5 750
9	9 508 ¹	142	18	80	55	1 130
10	9 508 ²	162	33	60	34	1 050
11	9 607	141	25	95	77	1 900
12	9 608	172	30	98	72	1 350
13	9 708	48	57	216	103	3 590

按照模型构建步骤，运用极差变换法对表1中各样本指标的特征值进行标准化处理，得到矩阵 $Y=(y_{ij})_{13 \times 5}$ (数值从略)。由13个样本5个特征指标值所组成的矩阵 X 中的数据，采用熵权法计算得出5个分类评价指标的权重： $w_j (j=1, 2, \dots, 5)=(0.187443, 0.112196, 0.129550, 0.225727, 0.345084)$ 。

归一化加权后的样本矩阵和对作正交变换后的新样本矩阵如下：

$$Z = \begin{pmatrix} 0.105437 & 0.059679 & 0.070588 & 0.157522 & 0.210722 \\ 0.014319 & 0.038194 & 0.059792 & 0.05359 & 0.04699 \\ 0.111945 & 0.078776 & 0.122906 & 0.225727 & 0.313512 \\ 0.079403 & 0.112196 & 0.020761 & 0.012991 & 0.022027 \\ 0 & 0.090712 & 0.066436 & 0.047094 & 0.014684 \\ 0.061179 & 0.05013 & 0.025744 & 0.029231 & 0.040382 \\ 0.009112 & 0.054904 & 0.057301 & 0.025983 & 0.071954 \\ 0.187443 & 0.112196 & 0.099654 & 0.180257 & 0.345084 \\ 0.126264 & 0 & 0.016609 & 0.034103 & 0.005874 \\ 0.152297 & 0.035807 & 0 & 0 & 0.062409 \\ 0.124962 & 0.01671 & 0.029066 & 0.069829 & 0.022027 \\ 0.165314 & 0.028646 & 0.031557 & 0.06171 & 0.022027 \\ 0.003905 & 0.93099 & 0.12955 & 0.112052 & 0.186492 \end{pmatrix};$$

$$U = \begin{pmatrix} 0.2962922 & 0.008944 & 0.02562 & -0.008644 & -0.016662 \\ 0.090530 & 0.019711 & -0.03107 & -0.02726 & 0.005167 \\ 0.422108 & 0.056613 & 0.034017 & -0.02095 & -0.01047 \\ 0.087578 & -0.06086 & -0.08514 & 0.032725 & -0.01685 \\ 0.075427 & 0.020508 & -0.09075 & -0.02425 & -0.01197 \\ 0.085879 & -0.02401 & -0.02864 & 0.007031 & 0.001593 \\ 0.096729 & 0.030097 & -0.03954 & 0.008979 & 0.018078 \\ 0.453983 & -0.00961 & 0.027134 & 0.047544 & 0.006317 \\ 0.073267 & -0.10599 & 0.011313 & -0.02426 & 0.009902 \\ 0.067994 & -0.13877 & -0.01608 & 0.015495 & 0.009861 \\ 0.136653 & -0.07858 & 0.016673 & -0.01957 & 0.000462 \\ 0.124242 & -0.13054 & -0.00569 & -0.03041 & 0.001926 \\ 0.245354 & 0.097747 & -0.04963 & -0.01242 & 0.020745 \end{pmatrix}$$

所构造的理想决策向量为 $d^*=(0.453983, 0.097747, 0.034017, 0.047544, 0.020745)$ ，各分级样本在理想决策向量上的投影值为： $D_i(i=1, 2, \dots, 13)=(0.289215, 0.087042, 0.420711, 0.068558, 0.067787, 0.074685, 0.098849, 0.444974, 0.047680, 0.037775, 0.115265, 0.079740, 0.386194)$ 。在求得各样本的最优投影值后，以样本序号为横坐标，以各样本最优投影值为纵坐标，绘制各样本最优投影

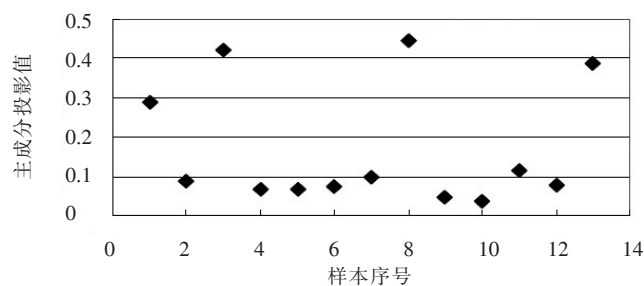


图1 碧流河水库13场历史洪水主成分投影值散点分布

值的散点分布图，并观察投影值的散布情况，散点分布图如图1所示。

从各样本投影值的散布情况来看，13个洪水样本由大到小可初步分为三级：一级投影值在0.4左右，对应着样本序号3(洪号8508)、8(洪号9408)、13(洪号9708)；二级投影值在0.3左右，对应着样本序号1(洪号6207)；三级投影值在0.1左右，对应着样本序号2(洪号8406)、4(洪号8708)、5(洪号8808)、6(洪号9107)、7(洪号9209)、9(洪号9508¹)、10(洪号9508²)、11(洪号9607)、12(洪号9608)。

3.2 洪水成因分析及等级划分 在对洪水样本进行初步分级后，分析当地形成洪水的天气系统成因，并最终确定暴雨洪水等级。

碧流河水库位于碧流河干流上，流域控制面积2 085km²，最大库容9.34亿m³。流域区处于北温带湿润气候区，春季回暖迅速，风多雨少，夏季多高温高湿天气，降雨多集中在夏季，秋凉气爽，冬季则盛行西北风，以降雪为主。碧流河上游由于地理位置和地形条件，夏季经常受各种天气系统的影响，形成了以下三种类型的降雨：(1)华北气旋雨，出现次数多，降雨历时短，降雨强度大；(2)台风雨，出现次数少，但降雨强度大，历时较长，降雨范围也较广；(3)冷锋雨，出现次数多，但降雨强度小，一般形不成特大暴雨或大暴雨。就洪水特性而言，碧流河流域的洪水均由暴雨形成，除暴雨特性外，地理因素也会影响洪水的形成与发展。由于暴雨急，导致洪水的汇流时间较短，一次洪水过程一般为3~5d，而且多集中在7—8月份，其洪水发生频率占全年的87%，超过1 000m³/s的洪峰发生频率占整个1 000m³/s以上样本的93%。其中特大洪水均由台风雨所致^[18]。

由以上成因分析可知，影响碧流河流域洪水过程的天气系统大致可分为台风型($P > 150\text{mm}$)、气旋型(100~150mm)和冷锋型($P < 100\text{mm}$)三类，由此可以确定最佳聚类数为3，这和初步分级结果是一致的。在此基础上比照和调整最初分级结果，最终确定碧流河流域13场历史洪水样本可分为三级：一级是台风型特大洪水，对应洪水样本序号3(洪号8508)、8(洪号9408)、13(洪号9708)；二级是气旋型大洪水，对应序号1(洪号6207)；三级是气旋、冷锋混合型中小洪水，对应序号2(洪号8406)、4(洪号8708)、5(洪号8808)、6(洪号9107)、7(洪号9209)、9(洪号9508¹)、10(洪号9508²)、11(洪号9607)、12(洪号9608)。其中台风型洪水全部为特大洪水，灾害性较大；冷锋型洪水全部为小洪水，灾害性不大；除华北气旋型天气形成大洪水外，其余均形成为中小洪水，成灾性介于台风型和冷锋型之间。

3.3 洪水分级指标值的符号化处理和各级洪水特征描述 在上述分级结果基础上，选取一个分级标准将上述各级洪水过程的影响指标值符号化，以进一步刻画各级洪水的类型指标特征。由此依照常识，并结合对碧流河13场历史洪水的成因分析，定义指标值 $\in(1.2\bar{x}, \infty)$ 为特大洪水，指标值 $\in(0.8\bar{x}, 1.2\bar{x}]$ 为大洪水，指标值 $\in(0.5\bar{x}, 0.8\bar{x}]$ 为中洪水，指标值 $\in(0, 0.5\bar{x}]$ 为小洪水(指标符号化时对中小洪

表2 碧流河水库历史洪水等级、成因和过程指标特征符号值

洪号	天气系统	前期影响雨量/mm	最大暴雨强度/(mm/3h)	降雨量/mm	径流深/mm	洪峰流量/(m ³ /s)	投影值大小	最优聚类数(3)的分级结果	次优聚类数(4)分级结果	集对分析分级结果 ^[9]
6207	华北气旋	II	II	II	I	I	0.289 215	大	大	大
8406	黄海气旋	III	III	II	II	III	0.087 042	中小	中	中
8508	9号台风	II	II	I	I	I	0.420 711	特大	特大	特大
8708	华北气旋	II	I	III	III	III	0.068 558	中小	小	小
8808	蒙古气旋	IV	I	II	III	III	0.067 787	中小	小	小
9107	华北冷锋	II	II	III	III	III	0.074 685	中小	小	小
9209	蒙古气旋	IV	II	II	III	II	0.098 849	中小	中	中
9408	15号台风	I	I	I	I	I	0.444 974	特大	特大	特大
9508 ¹	河套冷锋	I	IV	III	III	IV	0.047 68	中小	小	小
9508 ²	河套冷锋	I	III	IV	IV	IV	0.037 775	中小	小	小
9607	东北-华北- 青藏冷锋	I	III	III	II	III	0.115 265	中小	中	小
9608	东北-华北- 淮河冷锋	I	III	III	II	III	0.079 74	中小	小	小
9708	11号台风	IV	I	I	I	I	0.386 194	特大	特大	特大

水进行了细致区分)。按照这一分级标准对各洪水过程的影响指标值做符号化处理,其结果参见表2。

从表2的分级结果可以看出,特大洪水全部为台风型天气系统所致,在入库洪峰流量 $>1\ 000\text{m}^3/\text{s}$ 的13个样本中占23%;大洪水为华北气旋型天气系统所致,占全部样本的8%;中小洪水既有气旋型,又有冷锋型,其中冷锋型天气系统所致洪水均为小洪水,占全部样本的69%。此外,可选样本序号3、1、12作为特大、大、中小洪水的典型代表。其中,特大型洪水主成分投影值在0.4以上,单一指标洪峰流量、径流深和降雨量均达到特大洪水的指标标准,最大暴雨强度达到大洪水及以上的指标标准;大洪水的主成分投影值在0.2~0.4之间,单项指标洪峰流量和径流深达到特大洪水指标标准,降雨量和最大暴雨强度达到大洪水的标准;中小洪水投影值在0.2以下,其单项指标特征值均在大洪水标准值以下。华北气旋型洪水为大洪水,其他气旋型天气系统既有发展成中洪水的可能,也有发展成为小洪水的可能;冷锋型洪水的洪峰流量、径流深和降雨量指标基本处于中洪水标准值以

表3 各级洪水的特征指标标准值

级别	投影值	洪峰流量/(m^3/s)	径流深/mm	降雨量/mm	最大雨强/($\text{mm}/3\text{h}$)	占总样本数比例/% (洪峰流量 $>1\ 000\text{m}^3/\text{s}$)
特大	> 0.4	$> 2\ 765$	> 98.2	> 153	> 34.3	23
大	0.2~0.4	$> 2\ 765$	> 98.2	102~153	34.3~51.4	8
中小	0.2以下	$< 1\ 842$	< 65.5	< 102	< 34.3	69

下,均为小洪水。

4 结论

(1)实例应用研究表明,应用成因(天气系统)与聚类分析(主成分投影)方法对区域暴雨洪水的分级是可行的,其结果显示,碧流河水库13场入库洪峰流量大于 $1\ 000\text{m}^3/\text{s}$ 的历史洪水样本,可分为台风型特大洪水、气旋型大洪水、混合型中小洪水三级,分别对应着台风、气旋、冷锋三种天气系统。其中,台风型天气系统所形成的全部为特大洪水,冷锋型天气系统所形成的全部为小洪水,华北气旋天气系统形成大洪水,其他气旋型天气系统则形成中小混合型洪水。据此可进行分类防洪调度设计;(2)台风型特大洪水最优投影值在0.4以上,单项指标洪峰流量、径流深和降雨量均达到特大洪水标准,最大暴雨强度达到大洪水标准;气旋型大洪水最优投影值在0.2~0.4之间,单项指标洪峰流量和径流深达到特大洪水指标标准,降雨量和最大暴雨强度达到大洪水的标准;混合型中小洪水投影值在0.2以下,其单项指标特征值在大洪水标准值以下;(3)和其他方法相比,主成分投影法具有模型构造简单、计算简便、聚类效果便于客观直观观察的优点,而成因分析则可对洪水形成原因进行揭示,并依据成因类型确定有效聚类数,这也弥补了主成分投影在定量确定有效聚类数方面的不足,而指标值符号化处理,可进一步对各级洪水的显著指标特征进行定量化描述,并就此形成系统的暴雨洪水分级方法;(4)本文分级方法虽然克服了诸多分级方法的不足,但也会受样本数量有限的影响,因此在区域暴雨洪水分级研究中,应尽可能取得足够多的分级样本数。虽然本方法是针对区域暴雨洪水提出的,但对其他非暴雨洪水分级而言,也不失为一种新的尝试。

参 考 文 献:

- [1] 王本德,张静.考虑暴雨成因的大伙房水库洪水分类研究[J].水文,2008,28(1):15-20.
- [2] 许武成,王文.洪水等级的划分方法[J].灾害学,2003,16(2):68-73.
- [3] 许武成.再谈洪水等级的划分问题[J].西华师范大学学报(自然科学版),2004,25(3):13-16.
- [4] 康爱卿,邱林,张亭.基于投影寻踪的洪水分类和识别方法研究[J].华北水利水电学院学报,2009,30(2):6-8.
- [5] 董前进,王先甲,艾学山,等.基于投影寻踪和粒子群优化算法的洪水分类研究[J].水文,2007,27(4):

- 10-14 .
- [6] Michelle Robinson, Miklas Scholz, Nicolas Bastien, et al . Classification of different sustainable flood retention basin types[J] . Journal of Environmental Sciences, 2010, 22(6): 898-903 .
- [7] 王文圣 . 基于集对分析的洪水分类研究[J] . 高原山地气象研究, 2009, 29(1): 51-54 .
- [8] LU Hongjun, CHEN Yinchuan . The grey clustering method of the evaluation of flood severity [C]//Proceedings of International Symposium on Floods and Droughts . Nanjing: HohaiUniversity Press, 1999: 24-29 .
- [9] 汪丽娜, 陈晓宏, 李粤安 . 基于人工鱼群算法和模糊 C_2 均值聚类的洪水分类方法[J] . 水利学报, 2009, 40(6): 743-748 .
- [10] 关莹, 赵双喜 . 基于熵权的模糊聚类模型在洪水分类中的应用[J] . 华北水利水电学院学报, 2009, 30(4): 9-12 .
- [11] 马寅午, 周晓阳, 尚金成, 等 . 防洪系统洪水分类预测优化调度方法[J] . 水利学报, 1997 (4):1-8 .
- [12] 吴开亚, 何琼, 孙世群 . 区域生态安全的主成分投影评价模型及应用[J] . 中国管理科学, 2004, 12(1): 106-109 .
- [13] 王纯, 姚翠珍 . 主成分投影法在证券市场上上市公司统计分析中的应用[J] . 数学的实践与认识, 2002, 32(1): 46-49 .
- [14] 吴有炜 . 主成分投影法用于多目标决策预评价[J] . 无锡轻工业大学学报, 2001, 20(4): 409-415 .
- [15] 孙冰, 齐中英 . 主成分投影法在企业技术创新动力评价中的应用[J] . 系统工程理论方法应用, 2006, 15(3): 285-288 .
- [16] 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, 30(1): 18-22 .
- [17] 卢正波, 侯召成 . 洪水聚类有效性分析[J] . 南水北调与水利科技, 2007, 5(2): 87-91 .
- [18] 金英学, 方文莉, 张春波, 等 . 碧流河流域水文特性的变化规律分析[J] . 东北水利水电, 2007, 25(4): 28-30 .

Storm flooding grading based on cause and principal component projection analysis

LIU Yu-bang^{1, 2}, LIANG Chuan¹

(1. Sichuan University, Chengdu 610041, China; 2. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: Storm flood grading is important to storm flood disaster management, disaster assessment, forecasting and flood control design. In order to overcome the shortcomings of conventional multi-index comprehensive grading of storm flood, a systematic method combining the cause analysis (weather system) with clustering analysis (Principal Component Projection) is suggested and the classification index symbolic processing is applied. Case study results show that the proposed method is feasible, and it has clear physical meanings and easy to be used. Although this method is proposed for storm flooding grading, it is also a good attempt for non-storm flood grading.

Key words: storm flood grading; cause; the weather system; Principal Component Projection; clustering analysis

(责任编辑: 王成丽)