

基于集对分析的赣江中上游流域汛、枯水期分期研究

白桦¹, 杨筱筱², 鲁向晖¹, 曾智³

(1. 南昌工程学院水利与生态工程学院, 江西 南昌 330099;

2. 江西省水土保持科学研究所, 江西 南昌 330029; 3. 江西省水利规划设计院, 江西 南昌 330029)

摘 要:南方红壤丘陵区洪涝和季节性干旱灾害并存,合理划分汛、枯水期可为旱涝灾害防控提供科学依据。本文选取并统计赣江上中游国家气象站、水文站旬最大1日降水量、旬最大3日降水量、旬降水总量和旬平均流量,采用集对分析,将赣江上中游流域汛期划分为2月1~28日为汛前期,3月1~31日为前汛期,4月1日~6月30日为主汛期,7月1日~9月10日为汛后期,9月11日~次年1月31日为枯水期。集对分析汛期分期结果与传统汛期相近,理论基础完善,可用于赣江上中游流域水资源综合管理。

关键词:集对分析;联系度;汛期划分;赣江

中图分类号:P333.2

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2014)03-0043-05

经典的流域汛、枯水期分期普遍利用洪水年内分布图来划分,该方法使用简单,但缺乏严谨的理论依据和判别指标,使洪水年内时程变化不显著时汛期划分结果受主观因素影响较大,多为定性判断。鉴于此,近十几年相继出现了以计算为基础较为客观的划分方法,主要有分形法^[1-2]、系统聚类法^[3]、模糊试验法^[4]、变点分析法^[5]、动态聚类法^[6]和 Fisher 分割法等^[7-9],诸方法或考虑影响因子较单一,或选取指标阈值随意性较大,或无法判别最优分期数等,在使用性上仍存在一些局限性。

降水、径流具有随机性、模糊性和过渡性等多种不确定性特征。集对分析(Set Pair Analysis, SPA)^[10-12]是一种用联系数统一处理模糊、随机、中介和信息不完全所致的不确定系统理论和方法,是基于自然辩证法中“对立统一”和“事物是普遍联系”的观点建立起来的,能够描述各水文要素的内在关系。本文以赣江上中游流域为研究对象,考虑影响汛期径流的多重因素,采用集对分析方法进行汛、枯水期分期,以期实现洪水资源化和旱涝灾害防治。

1 集对分析原理

集对是将具有一定联系的两个集合组成对子,其核心思想就是把组成集对的两个集合就某一研究特性作同一性、差异性和对立性分析。从同异反三个方面分析事物之间的联系与转化,按照集对的某一特性展开系统分析,可以找出两个集合共有的特性、对立特性以及既非对立又非共有的特性,并建立在该问题下的同异反联系度表达式:

$$u = \frac{S}{N} + \frac{F}{N}i + \frac{M}{N}j \quad (1)$$

式中: N 为集合特性总数; S 为同一性个数; F 为差异性的个数(多维联系数时取多个值); M 为对立性个数; i 为差异性不确定系数,在 $(-1,1)$ 区间取值; j 为对立系数,且 $j \equiv 1$,有时起对立标记作用。令 $a=S/N$, $b=F/N$, $c=M/N$,则(1)简化为:

$$u = a + bi + cj \quad (2)$$

其中 a, b, c 满足归一化条件: $a+b+c=1$ 。 a 为两个集合的某种属性具有相同性质的程度, b 为两个集合的某

收稿日期:2013-04-01

基金项目:江西省科技计划项目(20112BBG70009;20132BAB203032);江西省土壤侵蚀与防治重点实验室开放基金(JXSB201201);江西省科技计划项目(20123BBG70198)

作者简介:白桦(1986-),男,河北任丘人,硕士,助理实验师,研究方向为水土保持措施水文效应。E-mail:baihua1985@126.com

通讯作者:鲁向晖(1976-),男,陕西临潼人,博士,讲师,研究方向为坡面径流资源利用。E-mail:xianghui@nit.edu.cn

种属性具有差异性的程度, c 为其某种属性的相反性质的程度。当 a 趋近于1时,说明这两个集合某种属性的性质越接近;而当 c 趋近于1时,说明这两个集合某种属性的性质越相反; b 趋近于1时,说明这两个集合某种属性的性质差异性越大。

2 基于 SPA 的汛、枯水期分期方法

汛、枯水期径流量受到气象及下垫面条件等因素的影响,使得汛、枯水期分期成为一个高维时间序列的多指标聚类问题。针对这种高维时间序列的不确定系统,其关键在于准确寻找其时间分割点。将整个汛期按照时段(5d,10d)分成若干个时间段,收集反映汛期分期的影响因素,根据影响因素的类别特性将汛期各时段划归为某种类别。

集对分析方法用于汛、枯水期分期,合理选择能够综合反映汛期变化分期的指标 x_1, x_2, \dots, x_m (m 为指标个数),将汛期不同时间段的指标体系构建成集合 $A_i=(x_{i,1}, x_{i,2}, \dots, x_{i,m})$,其中 i 为时段序号($i=1, 2, \dots, n, n$ 为时段数)。传统的汛、枯水期划分仅给出一般汛期和一般枯水期标准。赣江中上游属南方红壤丘陵区,红壤库容及有效库容较小,含蓄水分能力差,造成季节性干旱和洪

涝灾害并存的矛盾,该矛盾在汛期与枯水期的过渡期表现明显。针对赣江中上游的特殊分期需求,考虑主汛期和枯水期的水文气象指标(不同时间尺度降水、径流)持续偏高,结合指标的多年平均月值过程线中持续高值段的最低值和持续低值段的最高值分别确定主汛期和枯水期的分期阈值 x_{mf} 和 x_{md} 。当流域水文气象指标值超过主汛期(B_1)界限 x_{mf} 的时期为主汛期;低于主汛期界限 x_{mf} 高于汛期界限 $(1+\alpha)\bar{x}$ 为一般汛期(B_2);处于汛期 $(1+\alpha)\bar{x}$ 与过渡期界限间 $(1-\alpha)\bar{x}$ 为过渡期(B_3);低于过渡期界限 $(1-\alpha)\bar{x}$ 高于枯水期界限 x_{md} 为一般枯水期(B_4);低于枯水期界限 x_{md} 为枯水期(B_5)。 N 个评价指标中,分别有 S, F_1, F_2, F_3, P 个指标分别属于主汛期、一般汛期、过渡期、一般枯水期、枯水期,各期联系度表达式见公式(3)^[13],并依据联系数最大原则判断 A_i 所属:

$$\mu_{A_i}=a+bi+cj+dk+el=\frac{S}{N}+\frac{F_1}{N}i+\frac{F_2}{N}j+\frac{F_3}{N}k+\frac{P}{N}l \quad (3)$$

3 实例分析

3.1 流域概况

赣江为鄱阳湖水系五大河流之首,是江西第一大

表1 吉安水文站控制流域汛、枯水期划分指标特征值
Table1 The indexes for the flood and drought season division in the basin of the Ji'an control station

集合	时段	x_1 /mm	x_2 /mm	x_3 /mm	x_4 /m ³ ·s ⁻¹	集合	时段	x_1 /mm	x_2 /mm	x_3 /mm	x_4 /m ³ ·s ⁻¹
A ₁	3 上	17.1	33.4	46.7	1382	A ₁₉	9 上	17.7	34.0	39.0	1277
A ₂	3 中	19.8	35.4	53.8	1422	A ₂₀	9 中	11.9	21.7	26.6	1004
A ₃	3 下	23.8	43.3	70.0	1960	A ₂₁	9 下	11.1	20.9	22.1	875
A ₄	4 上	26.6	49.2	74.1	2418	A ₂₂	10 上	10.9	17.1	19.4	749
A ₅	4 中	27.6	48.0	72.5	2485	A ₂₃	10 中	13.2	23.6	24.7	770
A ₆	4 下	24.0	43.7	64.5	2446	A ₂₄	10 下	9.9	20.1	22.0	826
A ₇	5 上	28.7	49.8	78.3	2612	A ₂₅	11 上	9.1	16.1	18.1	729
A ₈	5 中	30.0	52.1	81.0	2946	A ₂₆	11 中	11.6	21.0	24.5	663
A ₉	5 下	32.3	53.1	85.6	3029	A ₂₇	11 下	6.9	11.8	14.2	591
A ₁₀	6 上	29.5	52.9	75.8	3164	A ₂₈	12 上	5.7	10.0	11.9	594
A ₁₁	6 中	38.6	64.9	101.6	3548	A ₂₉	12 中	7.5	12.7	14.9	569
A ₁₂	6 下	28.9	56.1	72.3	3204	A ₃₀	12 下	9.2	14.0	17.4	530
A ₁₃	7 上	20.8	39.6	48.2	2203	A ₃₁	1 上	7.7	13.9	16.6	550
A ₁₄	7 中	16.9	30.3	34.5	1661	A ₃₂	1 中	9.4	14.5	20.2	557
A ₁₅	7 下	17.3	29.4	40.2	1208	A ₃₃	1 下	12.2	20.5	27.3	645
A ₁₆	8 上	18.7	34.0	46.6	1347	A ₃₄	2 上	12.5	22.4	32.2	723
A ₁₇	8 中	18.2	34.2	44.1	1432	A ₃₅	2 中	13.7	25.8	36.7	853
A ₁₈	8 下	18.6	32.5	43.5	1218	A ₃₆	2 下	14.7	26.1	34.0	1110

注:数字+上、中、下代表旬编号,例如:3 上代表3月上旬

河流,也是长江八大支流之一^[14]。赣江发源于江西、福建两省交界的瑞金市赣源峯,自南向北流经赣州、吉安、吉安、樟树等 20 多个县(市)至南昌市分 4 支注入鄱阳湖,主河长 766km,流域面积 82 180km²。本文研究地点选为赣江吉安水文站控制流域。吉安水文站是长江流域赣江中游主要的控制站,位于东经 114°59′,北纬 27°06′,集水面积 56 223km²,属国家重要水文站。吉安水文站设站较早,观测资料系列较长、资料可靠,具有一定的代表性。

3.2 汛期、枯水期划分

选取 1956~2010 年赣县、广昌、井冈山、遂川、寻乌、吉安气象站逐日降水量和吉安水文站逐日流量资料,对赣江中上游流域进行汛期分期研究。采用泰森多边形法计算吉安水文站控制流域范围内的面平均日降水、最大 1d、3d 降水量,选取并统计控制流域范围内 1956~2010 年各旬旬最大 1d 降水量(x_1)、旬最大 3d 降水量(x_2)、旬降水总量(x_3)和旬平均流量(x_4)为指标(见表 1)。在汛、枯水期划分过程中,标准分为五类,其中 x_{mf} 和 x_{md} 是相对持续处于高值和低值的区域,由过程线划定; $(1+\alpha)\bar{x}$ 和 $(1-\alpha)\bar{x}$ 中 α 取 0.1^[15],分期界限见表 2。

表2 吉安水文站控制流域汛、枯水期分期标准
Table2 The standard for the flood and drought season division in the basin of the Ji'an control station

分类	x_1/mm	x_2/mm	x_3/mm	$x_4/\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$
x_{mf}	24.0	43.7	64.5	2418
x_{md}	11.9	21.7	26.6	1004
\bar{x}	17.6	31.3	43.2	1481
$(1+\alpha)\bar{x}$	19.3	34.5	47.5	1629
$(1-\alpha)\bar{x}$	15.8	28.2	38.9	1333

根据表 2 中的分期标准将集合 A_i 中的元素进行符号量化处理,结果见表 3。计算集对的联系数 a 、 b 、 c 、 d 、 e ,根据联系数最大原则判断集合 A_i 所属的标准,分期结果见表 4。

从表 4 中可以看出,采用集对分析方法将赣江中上游流域汛期划分为:3 月 1 日~3 月 31 日为前汛期(一般汛期),4 月 1 日~6 月 30 日为主汛期,7 月 1 日~9 月 10 日为汛后期(过渡期),9 月 11 日~次年 1 月 31 日为枯水期,次年 2 月 1 日~2 月 28 日为汛前期(一般枯水期)。

4 成果分析

赣江中上游地处南岭以北、长江以南,属亚热带湿

表3 吉安水文站控制流域汛、枯水期分期集合 A_i 符号量化
Table3 Symbolization of A_i in the basin of the Ji'an control station

集合	时段	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	集合	时段	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5
A_1	3 上	0	0	4	0	0	A_{19}	9 月上旬	0	0	3	1	0
A_2	3 中	0	3	1	0	0	A_{20}	9 月中旬	0	0	0	0	4
A_3	3 下	1	3	0	0	0	A_{21}	9 月下旬	0	0	0	0	4
A_4	4 上	4	0	0	0	0	A_{22}	10 月上旬	0	0	0	0	4
A_5	4 中	4	0	0	0	0	A_{23}	10 月中旬	0	0	0	2	2
A_6	4 下	4	0	0	0	0	A_{24}	10 月下旬	0	0	0	0	4
A_7	5 上	4	0	0	0	0	A_{25}	11 月上旬	0	0	0	0	4
A_8	5 中	4	0	0	0	0	A_{26}	11 月中旬	0	0	0	0	4
A_9	5 下	4	0	0	0	0	A_{27}	11 月下旬	0	0	0	0	4
A_{10}	6 上	4	0	0	0	0	A_{28}	12 月上旬	0	0	0	0	4
A_{11}	6 中	4	0	0	0	0	A_{29}	12 月中旬	0	0	0	0	4
A_{12}	6 下	4	0	0	0	0	A_{30}	12 月下旬	0	0	0	0	4
A_{13}	7 上	0	4	0	0	0	A_{31}	1 月上旬	0	0	0	0	4
A_{14}	7 中	0	1	2	1	0	A_{32}	1 月中旬	0	0	0	0	4
A_{15}	7 下	0	0	3	1	0	A_{33}	1 月下旬	0	0	0	2	2
A_{16}	8 上	0	0	4	0	0	A_{34}	2 月上旬	0	0	0	3	1
A_{17}	8 中	0	0	4	0	0	A_{35}	2 月中旬	0	0	0	3	1
A_{18}	8 下	0	0	3	1	0	A_{36}	2 月下旬	0	0	0	4	0

表4 联系数及分期计算成果
Table4 The connection number and the division result

联系度	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	所属标准	分期
μ_{A1}	0	0	1	0	0	B_3	前汛期
μ_{A2}	0	0.75	0.25	0	0	B_2	
μ_{A3}	0.25	0.75	0	0	0	B_2	
μ_{A4}	1	0	0	0	0	B_1	主汛期
μ_{A5}	1	0	0	0	0	B_1	
μ_{A6}	1	0	0	0	0	B_1	
μ_{A7}	1	0	0	0	0	B_1	
μ_{A8}	1	0	0	0	0	B_1	
μ_{A9}	1	0	0	0	0	B_1	
μ_{A10}	1	0	0	0	0	B_1	
μ_{A11}	1	0	0	0	0	B_1	
μ_{A12}	1	0	0	0	0	B_1	
μ_{A13}	0	1	0	0	0	B_2	汛后期
μ_{A14}	0	0.25	0.5	0.25	0	B_3	
μ_{A15}	0	0	0.75	0.25	0	B_3	
μ_{A16}	0	0	1	0	0	B_3	
μ_{A17}	0	0	1	0	0	B_3	
μ_{A18}	0	0	0.75	0.25	0	B_3	
μ_{A19}	0	0	0.75	0.25	0	B_3	
μ_{A20}	0	0	0	0	1	B_5	枯水期
μ_{A21}	0	0	0	0	1	B_5	
μ_{A22}	0	0	0	0	1	B_5	
μ_{A23}	0	0	0	0.5	0.5	B_4 或 B_5	
μ_{A24}	0	0	0	0	1	B_5	
μ_{A25}	0	0	0	0	1	B_5	
μ_{A26}	0	0	0	0	1	B_5	
μ_{A27}	0	0	0	0	1	B_5	
μ_{A28}	0	0	0	0	1	B_5	
μ_{A29}	0	0	0	0	1	B_5	
μ_{A30}	0	0	0	0	1	B_5	
μ_{A31}	0	0	0	0	1	B_5	
μ_{A32}	0	0	0	0	1	B_5	
μ_{A33}	0	0	0	0.5	0.5	B_4 或 B_5	
μ_{A34}	0	0	0	0.75	0.25	B_4	汛前期
μ_{A35}	0	0	0	0.75	0.25	B_4	
μ_{A36}	0	0	0	1	0	B_4	

润季风气候区,气候温和,雨量丰沛^[16]。3月份气温开始回升,冷暖气流频繁交汇,高空中锋面、槽及涡流活动频繁,降水量比冬季显著增多,且常出现阴雨天气;4~6月份受到东南季风的影响,且流域处于副热带高压边缘西南气流中,水汽充足,锋面雨、对流雨和地形雨频繁发生,极易出现强度大且集中的暴雨,同时该时段前期间歇性降水使得地面较为潮湿,包气带极易达

到饱和状态,大量降水易直接形成地表径流,使河川径流量大幅度增加,形成洪涝灾害;7~9月份受西太平洋副热带高压或大陆高压控制,流域多为连续晴热天气,只有受到台风影响时才可能产生降水,此时若持续无雨,考虑江西地处红壤丘陵区,红壤有效库容较小^[17],易产生季节性干旱。

上述流域气候特点与本文汛、枯水期划分时段相

吻合,说明本次汛、枯水期划分在成因上是合理。

5 结论

采用集对分析方法进行汛、枯分期,可较好确定不同分期之间界限,因其综合考虑多种因素对汛期划分的影响,且在分期过程中不破坏样本的时序性,对于水库防洪、兴利和实现洪水资源安全利用具有关键意义。集对分析方法概念清晰、形式多样、计算简单、使用方便,在应用中具有明显优势。

参考文献:

- [1] 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[J]. Advances in Water Science, 1995,6(2):133-138. (in Chinese))
- [2] 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, ZHENG Guoquan. Preliminary study on the seasonal periods classification of floods by using fractal theory[J]. Advances in Water Science, 1999,10(2):140-143. (in Chinese))
- [3] 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. (GAO Bo, LIU Kelin, WANG Yintang et al. Application of system clustering method to dividing flood season of reservoir [J]. Resources and Hydropower Engineering, 2005,36 (6):1-5. (in Chinese))
- [4] 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. (FENG Ping, XU Xianguang, LI Hai. Method to divide flood season based on the fuzzy set Analysis and its application [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2008,17(3):495-499. (in Chinese))
- [5] 刘攀,郭生练,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[J].Hydrology,2005,25(1):18-23(in Chinese))
- [6] 刘克琳,王银堂,胡四一.水库汛期分期定量分析方法的应用比较研究[J]. 水利水电技术, 2006,37(9):76-78. (LIU Kelin, WANG Yintang, HU Siyi. Comparative study on application of quantitative analysis methods to division of flood seasonal phases for reservoir [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2006,37 (9):76-78,82. (in Chinese))
- [7] 刘克琳,王银堂,胡四一. 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):14-16,37. (LIU Kelin, WANG Yintang, HU Siyi. Application of Fisher optimal dissection method to flood season division[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2007,27(3):14-16,37. (in Chinese))
- [8] 和宏伟,张爱玲. Fisher 最优分割法在云南地震分期中的应用[J]. 地震研究, 1994, 17(3):231-239. (HE Hongwei, ZHANG Ailing. The application of fished method to dividing seismicity period in Yunnan province[J]. Journal of Seismological Research, 1994,17(3):231-239. (in Chinese))
- [9] 丁元芳,高凤丽. Fisher 最优分割法在星星哨水库汛期分期划分中的应用 [J]. 吉林水利, 2006,(11):4-6. (DING Yuanfang, GAO Fengli. Application of Fisher-the optimal break up in the flood period divided of Xingxingshao reservoir[J]. Jilin Water Resources, 2006,(11):4-6. (in Chinese))
- [10] 王文圣,李跃清,金菊良,等. 水文水资源集对分析[M]. 北京:科学出版社,2010. (WANG Wensheng, LI Yueqing, JIN Juliang, et al. Set Pair Analysis of Water Resources and Hydrology [M]. Beijing: Science Press, 2010. (in Chinese))
- [11] 万星,王文圣,丁晶. 集对分析在水文水资源中的应用[J]. 水利水电科技进展, 2006,26 (4):9-11. (WAN Xing, WANG Wensheng, DING Jing. Set pair analysis and its application to hydrology and water resources [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2006,26(4):9-11. (in Chinese))
- [12] 冯利华,张行才,龚建林. 基于集对分析的水资源变化趋势的统计预测 [J]. 水文, 2004,24 (2):11-14. (FENG Lihua, ZHANG Xingcai, GONG Jianlin. Statistical forecast of change tendency of water resources based on set pair analysis [J]. Journal of China Hydrology, 2004,24(2):11-14. (in Chinese))
- [13] 陈丽燕,付强,魏丽丽.五元联系数在湖泊水质综合评价中的应用[J]. 环境科学研究, 2008,21(3):82-86. (CHEN Liyan, FU Qiang, WEI Lili. Application of five-element connection number to the quality assessment of eutrophication in lakes [J]. Research of Environmental Science, 2008,21(3):82-86. (in Chinese))
- [14] 杨荣清,胡立平,史良云.赣江流域水文特性分析[J]. 水资源研究, 2003,24(1):35-37. (YANG Rongqing, HU Liping, SHI Liangyun. Analysis on the hydrological characteristics of Ganjiang River [J]. Journal of Water Resources Research, 2003,24 (1):35-37. (in Chinese))
- [15] 朱兵,王文圣,王文芳,等. 集对分析中差异不确定系数 i 的探讨[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2008,40(1):5-9. (ZHU Bing, WANG Wensheng, WANG Hongfang, et al. Probe on variation uncertainty coefficient I in set pair analysis [J]. Journal of Sichuan University (Engineering Science), 2008,40(1):5-9. (in Chinese))
- [16] 郑海金,方少文,杨洁,等.近 40 年赣江年径流泥沙变化及影响因素分析[J].水土保持学报, 2012,1(26):28-32. (ZHENG Haijin, FANG Shaowen, YANG Jie, et al. Analysis on evolution characteristics and impacting factors of annual runoff and sediment in the Ganjiang River during 1970-2009 [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2012,26(1)28-32. (in Chinese))
- [17] 张斌,张桃林. 南方东部丘陵区季节性干旱成因及其对策研究 [J]. 生态学报, 1995,15 (4): 413-419. (ZHANG Bin, ZHANG Taolin. Cause of seasonal draught formation and strategy of the eastern hills in southern China[J]. Acta Ecologica Sinica, 1995,15(4):413-419. (in Chinese))

(下转第 23 页)

- ing, 2005,131(4):316–323.
- [10] 徐俊增,彭世彰,张瑞美,等. 基于气象预报的参考作物蒸发蒸腾量的神经网络预测模型 [J]. 水利学报, 2006,37 (3):376–379. (XU Junzeng, PENG Shizhang, ZHANG Ruimei, et al. Neural network model for reference crop evapotranspiration prediction based on weather forecast[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2006,37(3): 376–379. (in Chinese))
- [11] 蒋任飞,阮本清,韩宇平,等. 基于 BP 神经网络的参照蒸腾量预测模型[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2005,3(4):308–311. (JIANG Renfei, RUAN Benqing, HAN Yuping, et al. Model for estimating reference evapotranspiration based on BP neural network [J]. Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2005,3(4):308–311. (in Chinese))
- [12] Hargreaves G H, Samani Z A. Reference crop evapotranspiration from temperature [J]. Applied Engineering in Agriculture, 1985,1(2):96–99.
- [13] McCloud D E. Water requirements of field crops in Florida as influenced by climate [J]. Proc. Soil Sci. Soc. Fla, 1955,15:165–172.
- [14] Priestley C H B, Taylor R J. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters[J]. Monthly Weather Review, 1972,100(2):81–92.
- [15] Makkink G F. Testing the penman formula by means of lysimeters[J]. Journal of the Institution of Water Engineers, 1957,11:277–288.
- [16] 张瑞美. 二元水循环模式下区域蒸散发时空变化与分项解析 [D]. 南京:河海大学, 2008. (ZHANG Ruimei. Spatio-temporal Variation and Component Analysis of Regional Evapotranspiration under a Dual Water Cycling Mode [D]. Nanjing: Hohai University, 2008. (in Chinese))
- [17] 刘钰,蔡林根. 参照蒸发量的新定义及计算方法对比[J]. 水利学报, 1997,(6):27–33. (LIU Yu, CAI Lingen. Update definition and computation of reference evapotranspiration comparison with former method [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1997,(6):27–33. (in Chinese))

Applicability of Potential Evapotranspiration Methods in Henan Province

ZOU Lei^{1,2}, XIA Jun^{1,2}, MA Xixia³, ZENG Sidong^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan 430072, China;

2. Hubei Collaborative Innovation Center for Water Resources Security, Wuhan University, Wuhan 430072, China;

3. College of Water Conservancy and Environmental Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: FAO56-PM is the standard method for estimating potential evapotranspiration. However, the meteorological data required by the FAO56-PM method are not always available at a given station. This paper evaluated four existing methods and developed a temperature and radiation data-based RBF neural network model. We compared the performance of two temperature-based methods (Hargreaves method and Mc Cloud method) and two radiation-based methods (Priestley-Taylor method and Makkink method) with the FAO56-PM in five typical areas (Anyang, Xinxiang, Zhengzhou, Zhumadian, Xinyang) in Henan Province, China. The results of uncalibrated methods show that the Makkink method performs well while larger biases occur for the other methods. Calibration methods were performed for the Xinxiang data, the results show that lower error of all the methods compared to the uncalibrated methods. Besides, the temperature and radiation data-based RBF neural network model in Xinxiang is of high precision of prediction, and it can be used for the prediction of evapotranspiration.

Key words: potential evapotranspiration; temperature-based method; radiation-based method; RBF neural network; Henan Province

(上接第 47 页)

Flood and Drought Season Division Based on Set Pair Analysis for Middle and Upper Reaches of Ganjiang River

BAI Hua¹, YANG Xiaoxiao², LU Xianghui¹, ZENG Zhi³

(1. College of Water Conservancy and Ecological Engineering, Nanchang Institute of Technology, Nanchang 330099, China;

2. Jiangxi Research Institute of Soil and Water Conservation, Nanchang 330029, China;

3. Jiangxi Provincial Water Conservancy Planning and Designing Institute, Nanchang 330099, China)

Abstract: Floods and droughts exist in hilly red soil areas of the South China. The flood and drought season division can be used to control the disaster as a scientific base. This paper, based on maximum 1-day and 3-days and total precipitation and streamflow in 10-days, divided the flood and drought season into the period earlier than the flood period (Feb.1–28), early flood period (Mar.1–31), flood period (Apr.1–Jun.30), late flood period (Jul.1–Sep.10) and drought period (Sep.11–Jan.31 next year) in the middle and upper reaches of the Ganjiang River by set pair analysis. The result is closely to traditional one. So the set pair analysis can be applied to integrated water resources management with a relatively complete theoretical base.

Key words: set pair analysis; connection degree; flood season division; Ganjiang River