

牟汶河下游汛期分期及洪水分级的确定

宋云峰¹, 张春霞¹, 刁艳芳², 张庆华²

(1.山东省泰安市水文局, 山东 泰安 271000; 2.山东农业大学水利土木工程学院, 山东 泰安 271018)

摘要:为实现对牟汶河下游蓄水建筑物进行汛期动态控制,依据流域范家镇站、北望站和大汶口站3个雨量站1980~2011年日降雨资料,采用模糊分析方法,对牟汶河下游汛期进行了分期;以北望站同时期的历年最大洪峰流量资料,利用重现期法确定了洪水分级流量。

关键词:汛期分期;洪水分级;模糊分析法

中图分类号:TV122

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2015)01-0088-04

大汶河是黄河在山东省的唯一支流,发源于泰莱山区,自东向西流经莱芜市、泰安市,经东平湖流入黄河,全长208 km,流域面积8 536 km²。大汶河的上游称牟汶河,又称大汶河北支,是大汶河干流的源头和上游河段。牟汶河在泰安大汶口纳柴汶河后称大汶河。因此,牟汶河是大汶河的重要河段。

近些年来,随着洪水资源化和现代水网的建设,牟汶河上建设了大量的橡胶坝、拦河闸等蓄水工程,这些工程的建设在发挥拦蓄、景观等作用的同时,也给河道防洪带来了压力。因此,在汛期必须对闸坝的运用进行科学合理的调度。

利用蓄水建筑物分期汛限水位和分洪水量级调控洪水资源,是处理蓄水建筑物防洪与兴利矛盾,实现洪水资源安全利用的重要技术途径,对缓解流域水资源短缺危机、改善生态环境和实现水资源可持续利用具有重要的现实意义。确定和调整蓄水建筑物分期汛限水位的基本前提就是蓄水建筑物控制流域汛期的合理划分;确定洪水量级的基本前提是不同洪水阈值的界定。

由于“汛期”变化规律有确定性、随机性、过渡性的特性,因而相应的汛期分期的确定方法有:成因分析法^[1]、数理统计法^[2]、模糊分析法^[3]、变点分析法^[4]、分形分析法^[5]、系统聚类法^[6]、矢量统计法^[7-9]及相对频率法^[10]等。其中,成因分析法建立在对研究流域的水文、

气象的分析基础之上,但在分析暴雨天气的成因上存在一定的**主观性,尤其对于较大的流域,成灾天气往往有很多种组合方式,分期的工作量较大。数理统计法简单实用,但在分析过程中,对临界值的选取带有主观性,同时很难将汛期划分得很细。模糊分析法综合成因分析、数理统计、模糊统计几种方法为一体,利用隶属函数来描述属于汛期的隶属度,有利于反映汛期的变化规律,故本文采用模糊分析方法对牟汶河下游汛期分期进行了研究。目前,洪水分级最为常用的方法是重现期法,本文亦采用此方法。

1 牟汶河下游汛期分期

1.1 汛期分期方法

模糊集合分析法进行汛期分期的基本思想和计算步骤简介如下。

(1)基本思想

汛期、非汛期、汛前期、汛后期的划分等具有模糊性。非汛期与汛期之间,或汛前期与主汛期之间存在差异,从差异的一方向另一方变化,中间经历一个渐变的连续过渡过程(过渡时期)—中介过渡性;在这个过渡时期内的某一个时刻,既具有差异的一方属性,又具有差异的另一方属性,即具有“亦此亦彼”性。通俗地讲,非汛期与汛期或汛前期与主汛期之间边界不清晰,很难用哪一个具体日期来分界,但客观上存在

收稿日期:2014-04-01

基金项目:山东省重大水利科研与技术推广项目(2012)

作者简介:宋云峰(1964-),男,山东肥城人,工程师,主要从事水文水资源管理工作。E-mail: 410273182@qq.com

通讯作者:张庆华(1960),男,山东招远人,教授,研究方向为水利工程建设与管理。E-mail: zqh@sdau.edu.cn

一个连续变化的过渡时期; 这个过渡时期内的某一时刻, 既具有非汛期(或汛前期)特性, 又具有汛期(或主汛期)的特性; 如何描述这种隶属程度的变化? 目前多数采用美国 L. A. Zadeh 教授提出的模糊集合论。

按照模糊集合论, 因为主汛期属于模糊概念, 所以主汛期可作为汛期时间论域 T 中的一个模糊子集 A , 非主汛期亦是一个模糊子集 \bar{A} 。可用隶属函数 $\mu_A(t)$ 来描述汛前期向主汛期, 主汛期又向后汛期过渡时期中任何一个时刻 $t(t \in T)$ 属于主汛期特性的程度, 用 $\mu_A(t)$ 来描述属于非主汛期的程度。隶属函数的取值范围: $0 \leq \mu_A(t) \leq 1; 0 \leq \mu_{\bar{A}}(t) \leq 1$, 或 $\mu_{\bar{A}}(t) = 1 - \mu_A(t)$ 。

至此, 关键的问题是如何确定隶属函数。所以模糊集合分析法进行汛期分期的实质就是如何确定描述主汛期的中介过渡性和亦此亦彼性的隶属函数形状或参数。

(2) 计算步骤

① 收集 n 年实测降雨(日量)或流量过程作为试验集, 论域为时间 T 。

② 定义一个进入主汛期的降雨量(或流量)标准 Y_T , 即进入主汛期的指标。

③ 对于任一年(第 i 年), 根据大于或等于 Y_T 的起始时间 t_{1i} 和终止时间 t_{2i} 确定该年的主汛期区间, 称为模糊集合 A 的一次试验结果, n 年可得 n 个试验结果, 可用 $T_i = [t_{1i}, t_{2i}]$, $i = 1, 2, \dots, n$ 表示。模糊数学把一次试验结果称为一次显影, n 次可得到 n 个显影样本。

④ 在 T 论域上, 某一时间 t 被主汛期显影样本区 T_i 覆盖的次数为 m_i , 则时间 t 属于主汛期模糊集 A 的隶属频率 $P_A(t) = m_i/n$, 当 n 充分大时($n \rightarrow \infty$), 即可得隶属度:

$$\mu_A(t) = \lim_{n \rightarrow \infty} (m_i/n) = \lim_{n \rightarrow \infty} P_A(t) \quad (1)$$

对于不同时间 t 依次计算隶属度, 最后可求出隶属函数。

1.2 牟汶河下游汛期分期结果

(1) 计算牟汶河下游流域面平均降雨量。收集得到牟汶河下游流域三个雨量站范家镇站、北望站和大汶口站 1980~2011 年的日降雨量数据, 由于三个雨量站较为均匀的分布于流域内, 且流域地形起伏不大, 故采用算数平均法计算流域面平均雨量, 计算公式如下:

$$\bar{P} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m P_i \quad (2)$$

式中: \bar{P} 为流域面平均降雨量, mm; i 为测(雨量站)序数; m 为测站总数; P_i 为第 i 个雨量站的降雨量, mm。

(2) 通过式(2)计算出牟汶河下游流域逐日面平均雨量, 1980~2011 年共计 32a, 故 $n=32$, 作为模糊统计试验集。从环流特征和气候特征看, 6 月份前、9 月份后降雨较少, 且黄河流域汛期为每年的 6 月 1 日~9 月 30 日, 故汛期的论域设置为 $T[6.1, 9.30]$ 。

(3) 选择进入主汛期的硬性指标。根据气象成因分析, 确定牟汶河下游进入主汛期的硬性指标为日雨量达到 15mm, 即 $Y_T=15\text{mm/d}$ 。

(4) 对于任一年, 如 1980 年, 根据大于或等于 $Y_T=15\text{mm/d}$ 的起始时间 $t_{1,1980}=6$ 月 15 日, 终止时间 $t_{2,1980}=9$ 月 4 日, 确定 1980 年汛期的区间, $T_{1981}=(t_{1,1980}, t_{2,1980})=(6$ 月 15 日, 9 月 4 日), 即是汛期模糊集合 A 的一次试验结果, 或称一次显影样本。32 年求得 32 个显影样本, 结果见表 1 所示。

(5) 认为 $n=32$ 可以代替总体, 利用上表计算任一时间 t 属于汛期模糊集 A 的隶属度。例如, 从表 1 可以看出, 6 月 1 日被 (t_1, t_2) 覆盖次数 $m_{6.1}=1$ (即 1987 年), 其隶属度 $\mu_A(6 \text{ 月 } 1 \text{ 日})=1/32=0.031$ 。 t_1 最晚出现的时间为 7 月 15 日, 即 1992 年; t_2 最早出现的时间为 7 月 17 日, 即 2002 年, 故 7 月 15~17 日各日隶属于模糊的隶属度 $\mu_A(7.15 \sim 7.17)=1.0$ 。绘制 6 月 1 日~9 月 30 日的隶属度曲线如图 1 所示。

由上述分析可知, t_2 最早出现的年份都是 2002 年, 经实际调查可知 2002 年是特枯年份, 故在选取主汛期隶属度阈值时, 要充分考虑 2002 年的数据的特殊性, 将 0.96 作为划分主汛期和非主汛期的隶属度界线。7 月 3 日~8 月 4 日的隶属度均大于 0.96, 故为主汛期, 6 月 1 日~7 月 2 日为汛前期, 8 月 5 日~9 月 30 日为汛后期。

2 牟汶河下游洪水分级

2.1 洪水分级方法

实际中通常利用重现期(或频率)划分洪水等级。洪水重现期 T (年)等于洪水频率 $P(\%)$ 的倒数 $(1/P)$, 它们能科学地反映洪水出现的概率和防护对象的安全度以及洪水灾情的大小, 而且也消除了流域面积这一因素, 因而可以用作划分区域洪水等级的统一指标。

根据《水文情报预报规范》(GB/T 22482-2008), 按

表1 汛期模糊集合 A 的试验样本结果(显影样本集)Table 1 The results of the test samples of fuzzy set A in the flood seasons

序 i	年份	t_1	t_2	序 i	年份	t_1	t_2	序 i	年份	t_1	t_2
1	1980	6.15	9.4	12	1991	6.10	8.17	23	2002	6.9	7.17
2	1981	6.20	8.23	13	1992	7.15	9.1	24	2003	6.22	9.17
3	1982	6.11	9.2	14	1993	6.27	9.16	25	2004	6.15	9.14
4	1983	6.27	9.22	15	1994	6.24	9.3	26	2005	6.18	9.28
5	1984	6.3	9.27	16	1995	6.2	9.2	27	2006	6.13	9.3
6	1985	6.15	9.16	17	1996	6.13	8.29	28	2007	6.20	9.27
7	1986	6.12	8.15	18	1997	7.3	9.12	29	2008	6.30	9.19
8	1987	6.1	9.3	19	1998	6.16	8.24	30	2009	6.7	8.22
9	1988	7.3	9.7	20	1999	6.14	9.13	31	2010	6.17	9.9
10	1989	6.7	8.19	21	2000	6.21	9.27	32	2011	6.22	9.28
11	1990	6.13	8.26	22	2001	6.14	8.4				

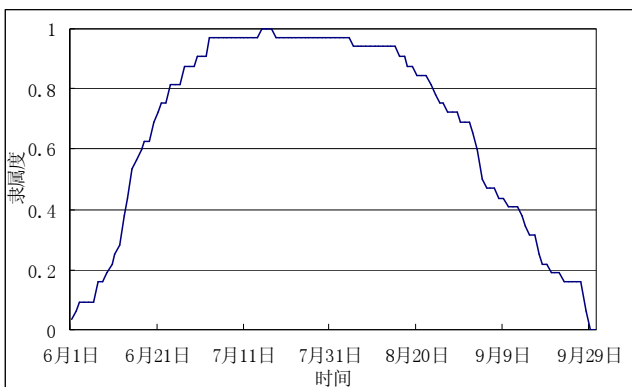


图1 隶属度曲线

Fig.1 The membership degree curve

洪水要素重现期小于 $5a$ 、 $5\sim 20a$ 、 $20\sim 50a$ 、大于 $50a$, 将洪水分为小洪水、中洪水、大洪水、特大洪水 4 个等级。

估计重现期的洪水要素项目包括洪峰水位 H_{\max} 、洪峰流量 Q_{\max} 或时段洪量 W 等, 可依据河流(河段)的水文特性来选择。

利用洪水重现期确定洪水等级时应注意:(1)划分洪水等级时, 河流洪水常采用洪峰流量或时段洪量的重现期, 海岸洪水采用潮位的重现期;(2)洪水频率计算是确定洪水等级的关键。在洪水频率计算中, 按年最大值法选取样本系列, 首先对实测水文资料进行审查, 并对历史洪水的调查资料进行复核后, 选取 P-III 型分布模型, 按适线法计算洪水频率。

2.2 牟汶河下游洪水分级结果

2.2.1 数据分析

牟汶河下游河道的流量站为北望站, 洪水要素选择洪峰流量, 按照年最大值选样, 得到北望站 1980~2011 年的历年最大洪峰流量。经过调查, 在历史上有三个洪峰流量特大值, 分别是 1918 年的 $6\ 250\text{m}^3/\text{s}$ 、

1921 年的 $5\ 850\text{m}^3/\text{s}$ 、1964 年的 $8\ 640\text{m}^3/\text{s}$ 。在频率分析计算中, 这三个值按照特大值来处理。

2.2.2 适线法计算洪水频率

由数据分析部分可知, 北望站洪峰流量的频率计算需要考虑特大值的处理, 在此采用统一样本的频率分析方法计算, 具体步骤如下:

(1) 点绘经验频率点据。由资料可知, 资料为不连续样本, 在此采用统一处理法计算样本点据的经验频率。将实测洪水与历史大洪水一起共同组成一个不连续的系列, 认为它们共同参与组成一个历史调查为 N 年的样本, 各项样本可在 N 中统一排序。将实测洪峰流量 Q_i 由大到小排列, 其中, 为首的 a 项特大值的经验频率采用 Weibull 公式计算, 即

$$P_M = \frac{M}{N+1} \quad M=1, 2, \dots, a \quad (3)$$

而实测期 n 内的 $n-l$ 个一般洪水是 N 年样本的组成部分, 由于它们都不超过 N 年中为首的 a 项洪水, 因此其概率分布不再是从 0 到 1, 而只能是从 P_a 到 1 (P_a 是第 a 项特大洪水的经验频率)。于是对实测期的一般洪水, 假定其第 m 项的经验频率在 $(P_a, 1)$ 区间内线性变化, 则可以根据插值计算经验频率, 故实测值经验频率的计算公式为

$$P_m = P_a + (1 - P_a) \frac{m-l}{n-l+1} \quad m=l+1, l+2, \dots, l+n \quad (4)$$

式中: N 为调查考证期, n 为实测系列年数, a 为特大值的个数, l 为实测系列中特大值的个数。然后将经验点据 (p_i, Q_i) 点绘在海森格纸上。

(2) 统计参数的初估和理论频率曲线的绘制。采用矩法估计 3 个统计参数, 均值 \bar{Q} , 变差系数 C_v , 偏态系数 C_s , 作为适线法的初值。根据该参数值查 P-III 型

表2 北望站各频率洪峰流量表

Table 2 The peak discharge of the 8 frequencies of the Beiwang station

频率	0.01	0.1	1	2	5	10	20	50
洪峰流量/ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	19 450	13 800	8 327	6 738	4 708	3 260	1 919	488

分布 ϕ 值表, 可以求得一组不同频率 p 对应的设计值 Q_p , 即

$$Q_p = \bar{Q}[1 + C_v \phi(p, C_s)] \quad (5)$$

根据 (p, Q_p) 绘制理论频率曲线, 并将此线绘制在有经验点据的格纸上。

(3) 调整适线。检查理论频率曲线与经验点据的拟合情况, 若不理想, 则调整参数 (主要调整 C_v 和 C_s), 再重新计算频率曲线。

(4) 确定参数, 推求设计值。最后根据理论频率曲线与经验点据的配合情况, 从中选择一条与经验点据配合较好的曲线作为采用曲线, 相应于该曲线的参数便看作是总体参数的估值, 并根据这组参数推求指定设计频率的设计值。

根据上述步骤, 绘制拟合最好的理论频率曲线, 该曲线的三个统计参数为 $\bar{Q}=1\,177\text{m}^3/\text{s}$, $C_v=1.5$, $C_s=2C_v=3$, 各频率洪峰流量值如表 2 所示。

2.2.3 洪水等级划分结果

由洪水分级标准和表 2 可知, 当洪峰流量小于 $1\,919\text{m}^3/\text{s}$ 时, 为小洪水; 在区间 $[1\,919, 4\,708)\text{m}^3/\text{s}$ 时, 为中洪水; 在区间 $[4\,708, 6\,738)\text{m}^3/\text{s}$ 时, 为大洪水; 不小于 $6\,738\text{m}^3/\text{s}$ 时, 为特大洪水。

3 结语

利用 1980~2011 年日降雨资料, 分析得到牟汶河下游汛期分期结果为: 6 月 1 日~7 月 2 日为汛前期, 7 月 3 日~8 月 4 日为主汛期, 8 月 5 日~9 月 30 日为汛后期。利用 1980~2011 年的历年最大洪峰流量, 分析得到牟汶河下游小洪水、中洪水、大洪水、特大洪水四个等级分级流量为: 洪峰流量小于 $1\,919\text{m}^3/\text{s}$ 时为小洪水; 在区间 $[1\,919, 4\,708)\text{m}^3/\text{s}$ 时, 为中洪水; 在区间 $[4\,708, 6\,738)\text{m}^3/\text{s}$ 时, 为大洪水; 大于 $6\,738\text{m}^3/\text{s}$ 时, 为特大洪水。

参考文献:

[1] 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 Liangru, CHEN Jidong. Study on reservoir operation in south-central Haihe river basin and in flood season adopted by hydro-meteorology and

statistical regularities [J]. Journal of China Hydrology, 1996, 16(6): 52-56. (in Chinese))

- [2] 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. (MA Rongyong. Analysis of flood regulation and determine seasonal design flood of Baise reservoir [J]. Hongshui River, 1992, 11(2): 14-17. (in Chinese))
- [3] 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))
- [4] 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 change-point approach [J]. Journal of China Hydrology, 2005, 25(1): 18-23. (in Chinese))
- [5] 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))
- [6] 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 [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2005, 35(6): 1-5. (in Chinese))
- [7] Cunderlik, J. M., Ouarda, T. B. M. J., Bobée B. On the objective identification of flood seasons [J]. Water Resources Research, 2004a, 40, W01520, doi:10.1029/2003WR002295.
- [8] Cunderlik J M, Ouarda T B MJ, Bobée B. Determination of flood seasonality from hydrological records [J]. Hydrological Sciences Journal, 2004b, 49(3): 511-526.
- [9] 喻婷, 郭生练, 刘攀, 等. 汛期分期方法应用比较研究[A]. 全国第三届水问题研究学术研讨会论文集 [C]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005: 259-264. (YU Ting, GUO Shenglian, LIU Pan, et al. Compare of methods of reservoir flood season stageing [A]. Proceedings of the Third National Water Research Symposium [C]. Beijing: China WaterPower Press, 2005: 259-264. (in Chinese))
- [10] 郭倩, 刘攀, 徐小伟. 以平均设计流量为指标的汛期分期方法研究[J]. 中国农村水利水电, 2011, (8): 53-55. (GUO Qian, LIU Pan, XU Xiaowei. Flood seasonality based on the mean design discharge [J]. China Rural Water and Hydropower, 2011, (8): 53-55. (in Chinese))

(下转第 19 页)

- surface characteristics in general circulation models: Soil profile data set and derived water-holding capacities, global biogeochem[J]. *Cycles*, 1993, 7(1): 97-108.
- [19] Shi, X.Z., D.S. Yu, E.D. Warner, et al. Soil database of 1: 1,000,000 digital soil survey and reference system of the Chinese genetic soil classification system [J]. *Soil Survey Horizons*, 2004, 45: 129-136.
- [20] Kalnay, E., M. Kanamitsu, R. Kistler, et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project [J]. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1996, 77: 437-471.
- [21] Xie P, Yatagai A, Chen M, et al. A gauge-based analysis of daily precipitation over east Asia [J]. *Journal of Hydrometeorology*, 2007, 8(3): 607-626.
- [22] Xu Ying, Gao Xuejie, Shen Yan, et al. A daily temperature dataset over China and its application in validating a RCM simulation [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2009, 26(4): 763-772.
- [23] Sheffield J, Goteti G, Wood E F. Development of a 50-year high-resolution global dataset of meteorological forcings for land surface modeling [J]. *Journal of Climate*, 2006, 19(13): 3088-3111.
- [24] Reggiani, P., M. Sivapalan, S. M. Hassanizadeh. A unifying framework for watershed thermodynamics: Balance equations for mass, momentum, energy and entropy, and the second law of thermodynamics [J]. *Advance in Water Resources*, 1998, 22(4): 367-698.
- [25] 张强, 张之贤, 问晓梅, 等. 陆面蒸散量观测方法比较分析及其影响因素研究[J]. *地球科学进展*, 2011, 26(5): 538-547. (ZHANG Qiang, ZHANG Zhixian, WEN Xiaomei, et al. Comparisons of observational methods of land surface evapotranspiration and their influence factors [J]. *Advances in Earth Science*, 2011, 26(5): 538-547. (in Chinese))
- [26] 李修仓. 中国典型流域实际蒸散发的时空变异研究 [D]. 南京: 南京信息工程大学, 2013. (LI Xiucang. Spatio-temporal Variation of Actual Evapotranspiration in the Pearl, Haihe and Tarim River Basins of China [D]. Nanjing: Nanjing University of Information Sciences & Technology, 2013. (in Chinese))
- [27] 中华人民共和国水利部. 中国水资源公报 [R]. 2000. (Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. *China Water Resources Bulletin*[R]. 2000. (in Chinese))

Development of Large Scale Coupled Land Surface and Hydrologic Model System and Its Application in Pearl River Basin

ZHU Yongnan^{1,2}, LIN Zhaohui², HAO Zhenchun^{1,3}

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. ICES, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China;

3. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 201198, China)

Abstract: In this paper, we updated the digital watershed data set of a coupled land surface and hydrologic model system (CLHMS) for the Pearl River Basin. The water cycle process of the Pearl River Basin during 1963-2006 was simulated using CLHMS. We evaluated the simulation ability of each water cycle component with the measured stream flow. The results show reasonable inter-annual responses of dominant water cycle components and good skills in simulating the monthly river flow of main stream. The water balance indexes (WBI) are close to 1, the Pearson correlation coefficient (PMC) are above 0.84, the IOA similarity coefficient are above 0.9, the skill of peak flow simulation still need to be improved.

Key words: coupled land surface and hydrologic model system; Pearl River Basin; hydrological process simulation; water cycle

(上接第 91 页)

Study on Flood Season Staging and Flood Grading for Lower Reaches of Muwenhe River

SONG Yunfeng¹, ZHANG Chunxia¹, DIAO Yanfang², ZHANG Qinghua²

(1. Taian Hydrology Bureau of Shandong Province, Taian 271000, China; 2. College of Water Conservancy and Civil Engineering, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China)

Abstract: In order to implement dynamic control of water storage buildings in the lower reaches of the Muwenhe River in flood season, the fuzzy analysis method was applied to make the flood season staging based on the daily rainfall data from the three rainfall stations of Fanjiazhen, Beiwang and Dawenkou from 1980 to 2011. Meanwhile, the return period method was used to determine the flood grading on the basis of the annual maximum peak discharge data from the Beiwang station.

Key words: flood season staging; flood grading; fuzzy analysis method