

# 模糊模式识别法在陆水水库年径流预报中的运用

郑桂平

(长江水利委员会 陆水试验枢纽管理局,湖北 赤壁 437300)

**摘要:**具有较高精度的水文中长期预报成果是水电站开展优化调度的重要依据。介绍了水文中长期预报中模糊数学方法的应用,侧重阐述了模糊模式识别的直接法和间接法的理论基础,及其在湖北省陆水水库年入库水量预报中的应用。研究表明,模糊识别方法的预报合格率高,克服了传统水文预报方法过多依赖于预报人员经验的缺点,而其模糊模式类型的选择还有优化的空间。

**关键词:**中长期水文预报;模糊数学;模式识别;优化调度;陆水水库

**中图分类号:**TV697 **文献标志码:**A

具有较高精度的水文中长期预报,是水电站经济合理调度的重要依据,也是研究预报调度方式的基础。实际上,待预报的水文要素成因十分复杂,既有确定性的规律,又有随机性和模糊性的规律。模糊性是水文中长期预报过程存在的基本特性之一,如“涝、正常、旱”,“丰、平、枯”,均属模糊概念,传统的水文预报方法表面上给出一个具体明确的分界值,实质上却没有明确的外延,是一些模糊性概念。用“模糊集合”描述模糊现象的数学模型为水文中长期预报提供了理论依据,具体来说,水文中长期预报的模糊数学方法有模糊模式识别法、模糊相关关系法、模糊聚类分析法、模糊优选权重法等<sup>[1-3]</sup>。本文结合湖北省陆水水库的水文中长期预报工作,探讨运用模糊模式识别法来预报年入库水量。

## 1 模糊模式识别法的基本原理

在通常的模式识别中,所谓模式总是有一个明确、清晰、肯定的式样。通过直接计算样本的隶属度判断其归属的方法,称作模式分类的隶属原则。当识别的对象并非某一特定元素,而是论域中的一个模糊集时,问题就变成了求模糊集合之间接近程度的问题。这就涉及模糊集合间的距离和贴近度的概念,以及据此做出模式分类的择近原则。

模糊模式识别法依据所识别的对象是单个确定的

元素还是论域上的子集,可划分为模糊模式识别的直接方法和间接方法。直接方法即直接计算样品的隶属度,遵循最大隶属原则。间接方法是求模糊集合之间接近程度的问题,遵循择近原则。直接法适合于单个模式的识别,间接法适合于模糊集的识别。

择近原则与隶属原则不同,是适用于群体识别的方法。但是,择近原则依据距离或贴近度分类,无论是距离还是贴近度都只能在一定程度上反映两个模糊集合间的差异。凸模糊集模式识别按贴近度最大原则,非凸模糊集模式识别则按趋势值、贴近度的最大择近原则<sup>[4]</sup>。水文要素的时空变化具有高度非线性特点,水文预报的复杂性及水文要素变化的不确定性决定识别对象(标准模式)和被识别对象(待识别样本)均为模糊子集,因此使用非凸模糊集模式识别更具有实用性和可操作性。

### 1.1 模糊模式识别的直接方法

给定论域  $U$  上的一个模糊子集  $A$ , 设  $U$  中有  $n$  个受  $A$  模糊约束的待择优的对象  $a_1, a_2, \dots, a_n$ , 按最大隶属度原则 I, 若

$$u_A(a_i) = \max_{j=1,2,\dots,n} u_A(a_j) \quad (1)$$

则最优对象为  $a_i$ 。

给定论域  $U$  上的  $n$  个模糊子集  $A_1, A_2, \dots, A_n$ , 并已确定隶属函数  $u_{A_i}(a)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , 设  $a_0 \in U$  是

一待识别的对象,按最大隶属度原则 II,若

$$u_{A_i}(a_0) = \max_{j=1,2,\dots,n} u_{A_j}(a_0) \quad (2)$$

则  $a_0$  应归属于  $A_i$ 。

### 1.2 模糊模式识别的间接方法

#### 1.2.1 凸模糊集模式识别

若  $A$  与  $B$  为论域  $U$  上的凸模糊集,则  $A$  与  $B$  的贴  
近度:

$$\rho(A, B) = 1/2[A \otimes B + (1 - A \odot B)] \quad (3)$$

式中,  $A \otimes B$  为  $A$  与  $B$  的内积,  $\bigvee_{x \in U} [u_A(x) \wedge u_B(x)]$ ;  
 $A \odot B$  为  $A$  与  $B$  的外积,  $\bigwedge_{x \in U} [u_A(x) \vee u_B(x)]$ 。

按贴近度最大原则,即在论域  $U$  上有一个凸模糊  
子集  $A_j, j = 1, 2, \dots, n$ , 若有  $k \in \{1, 2, \dots, n\}$ , 使

$$\rho(B, A_k) = \max_{j=1,2,\dots,n} \rho(B, A_j) \quad (4)$$

则  $B$  与  $A_k$  最贴近。

若  $A_j, j = 1, 2, \dots, n$ , 是  $n$  个标准模式,如  $A_k$  满足  
(4)式,则  $B$  应归属于  $A_k$  模式。

#### 1.2.2 非凸模糊集模式识别

给定论域  $U$  上有已知标准模式  $A_i, i = 1, 2, \dots, m$   
各标准模式用  $n$  个离散点的非凸隶属函数描述,即  
 $A_i(a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ij}, \dots, a_{in}), j = 1, 2, \dots, n$ , 待识别的模  
式为  $B(b_1, b_2, \dots, b_j, \dots, b_n)$ 。

若  $a_{ij} - a_{i,j+1} < 0$  且  $b_j - b_{j+1} < 0$ , 或  $a_{ij} - a_{i,j+1} >$   
 $0$  且  $b_j - b_{j+1} > 0$ , 则趋势值  $k_{i,j+1} = 1/(n - 1), j = 1,$   
 $2, \dots, n - 1$ , 否则趋势值  $k_{i,j+1} = 0$ 。

非凸模糊集识别按择近原则,即:设在论域  $U$  上  
有  $S \subset m$  个模糊子集  $A_1, A_2, \dots, A_L, \dots, A_S, L = 1, 2,$   
 $\dots, S$ , 若  $K_L = \max_{1 \leq i \leq S} (\sum_{j=1}^{n-1} K_{i,j+1})$ , 且  $\rho(B, A_p) =$   
 $\max_{1 \leq l \leq S} \rho(B, A_l)$ , 则  $B$  与  $A_p$  的模式最贴近。

## 2 实例

已知陆水水库 1952 ~ 1999 年逐年入库水量的时  
间序列(见表 1),试用模糊识别法预报 2000 ~ 2012 年  
逐年入库水量。

有关资料显示,地极移动存在 14 个月,6,7 a 和  
35 a 的不同变化周期,气象周期与地极移动周期有对  
应性,据此采用地极移动因子作为中长期预报因子考  
虑。即:如预报 2000 年入库水量,可用 1994 ~ 1999 年  
6 a 的实际值的演变过程作为待识别模式  $B$ , 与 1988  
~ 1993 年子系列,……,1952 ~ 1957 年子系列(标准系  
列  $A_1, \dots, A_m$ ) 进行识别,用非凸模糊集择近原则,选择  
贴近度最大的模式预测其第 7 年入库水量,即得预报  
的 2000 年入库水量值。类似,2001 ~ 2012 年按上述

方法计算得出。

### 2.1 2000 年入库水量的预报计算过程

#### 2.1.1 隶属度计算

待识别模式  $B$  (1994 ~ 1999 年子集),隶属函数为  
 $B(b_1, b_2, \dots, b_6)$ , 隶属度为  $b_j = u_B(W_j) = (\max W -$   
 $W_j)/(\max W - \min W), j = 1, 2, \dots, 6$ 。

在现有资料中(1952 ~ 1999 年),  $\max W = W_{1954}$   
 $= 56.13$  亿  $m^3$ ,  $\min W = W_{1968} = 10.60$  亿  $m^3$ 。例如,  
 $b_1 = (\max W - W_{1994})/(\max W - \min W) = (56.130 -$   
 $32.225)/(56.130 - 10.600) = 0.53$ ;  $b_2 = (56.130 -$   
 $49.474)/(56.130 - 10.600) = 0.15$ , 因为  $W_{1995} >$   
 $W_{1994}$ , 则  $b_2 = 0.15$ 。

标准模式模糊子集  $A_i$  的隶属函数为  $A_i(a_{i1}, a_{i2},$   
 $\dots, a_{i6})$ , 隶属度为  $a_{ij} = u_A(W_{ij}) = (\max W -$   
 $W_{ij})/(\max W - \min W), i = 1, 2, \dots, 42, j = 1, 2, \dots, 6$ 。例  
如,  $a_{11} = (\max W - W_{1952})/(\max W - \min W) =$   
 $(56.130 - 22.420)/(56.130 - 10.600) = 0.74$ ;  $a_{12}$   
 $= (56.130 - 27.400)/(56.130 - 10.600) = 0.63$ , 因  
为  $W_{1953} > W_{1952}$ , 则  $a_{12} = 0.63$ 。

#### 2.1.2 趋势值计算

$A_i$  与  $B$  趋势分析。若  $a_{ij} - a_{i,j+1} < 0$  且  $b_j - b_{j+1} <$   
 $0$ , 或  $a_{ij} - a_{i,j+1} > 0$  且  $b_j - b_{j+1} > 0$ , 则趋势值  $k_{i,j+1} =$   
 $1/(n - 1), j = 1, 2, \dots, n - 1$ , 否则趋势值  $k_{i,j+1} = 0$ 。

例如,  $a_{1,2}$  与  $b_2, a_{1,4}$  与  $b_4, a_{1,6}$  与  $b_6$  的符号相同,  
而  $a_{1,3}$  与  $b_3, a_{1,5}$  与  $b_5$  的符号相反, 则  $K_1 = \sum_{j=1}^{n-1} K_{1,j+1} =$   
 $1/(6 - 1) + 0 + 1/(6 - 1) + 0 + 1/(6 - 1) = 0.6$

#### 2.1.3 贴近度计算

例,  $\rho(A_1, B) = 1/2[A_1 \otimes B + (1 - A_1 \odot B)]$ , 其  
中,内积  $A_1 \otimes B = (0.74 \wedge 0.53) \vee (0.63 \wedge 0.15)$   
 $\vee (0.00 \wedge 0.42) \vee (0.51 \wedge 0.69) \vee (0.75 \wedge 0.17)$   
 $\vee (0.71 \wedge 0.17) = 0.53$ ; 外积  $A_1 \odot B = (0.74 \vee$   
 $0.53) \wedge (0.63 \vee 0.15) \wedge (0.00 \vee 0.42) \wedge (0.51 \vee$   
 $0.69) \wedge (0.75 \vee 0.17) \wedge (0.71 \vee 0.17) = 0.42$ ;  
 $\rho(A_1, B) = 1/2[A_1 \otimes B + (1 - A_1 \odot B)] = 1/2[0.53$   
 $+ (1 - 0.42)] = 0.55$

#### 2.1.4 基于非凸模糊集择近原则的预测成果

$K_L = \max_{1 \leq i \leq S} (\sum_{j=1}^{n-1} K_{i,j+1})$ , 且  $\rho(B, A_p) = \max_{1 \leq l \leq S} \rho(B,$   
 $A_l)$ , 则  $B$  与  $A_p$  的模式最贴近。计算结果为:因为  $K_2$   
 $= 1, \rho(A_2, B) = 0.77; K_6 = 1, \rho(A_6, B) = 0.55$ 。所  
以  $B$  与  $A_2$  最贴近,故 2000 年预报入库水量近似等于  
1959 年,即 24.28 亿  $m^3$ 。陆水水库水量预报模式识

别法计算成果见表 1。

表 1 陆水水库年入库水量预报模式识别法计算过程

首年号	年来水量 $W_i / \text{亿 m}^3$	$U(W_i)$	$i$	$A_{ij}$						末年号	趋势值 $K_i$	贴适度 $(B, A_i)$
				$a_{i1}$	$a_{i2}$	$a_{i3}$	$a_{i4}$	$a_{i5}$	$a_{i6}$			
1952	22.420	0.74	1	0.74	+0.63	+0.00	-0.51	-0.75	+0.71	1957	0.6	0.55
1953	27.400	0.63	2	0.63	+0.00	-0.51	-0.75	+0.71	+0.60	1958	1	0.77
1954	56.130	0.00	3	0.00	-0.51	-0.75	+0.71	+0.60	-0.70	1959	0.4	0.59
1955	33.110	0.51	4	0.51	-0.75	+0.71	+0.60	-0.70	-0.73	1960	0	0.54
1956	22.010	0.75	5	0.75	+0.71	+0.60	-0.70	-0.73	+0.71	1961	0.6	0.55
1957	23.940	0.71	6	0.71	+0.60	-0.70	-0.73	+0.71	+0.67	1962	1	0.55
1958	28.980	0.60	7	0.60	-0.70	-0.73	+0.71	+0.67	-0.89	1963	0.4	0.55
1959	24.280	0.70	8	0.70	-0.73	+0.71	+0.67	-0.89	+0.61	1964	0.2	0.53
1960	23.120	0.73	9	0.73	+0.71	+0.67	-0.89	+0.61	-0.73	1965	0.6	0.54
1961	23.590	0.71	10	0.71	+0.67	-0.89	+0.61	-0.73	+0.73	1966	0.6	0.47
1962	25.510	0.67	11	0.67	-0.89	+0.61	-0.73	+0.73	+0.35	1967	0.6	0.67
1963	15.450	0.89	12	0.89	+0.61	-0.73	+0.73	+0.35	-1.00	1968	0.6	0.67
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1993	34.989	0.46	42	0.46	-0.53	+0.15	-0.42	-0.69	+0.17	1998	0.4	0.65
1994	32.225	0.53	B	0.53	+0.15	-0.42	-0.69	+0.17	+0.17	1999		
1995	49.474	0.15										
1996	37.214	0.42										
1997	24.863	0.69										
1998	48.259	0.17										
1999	48.391	0.17										

注:  $\max W = 56.130$ (1954 年),  $\min W = 10.600$ (1968 年)。

### 2.2 2000 ~ 2012 年逐年入库水量预报结果

按照上述方法,可以得出 2001 ~ 2012 年逐年入库水量预报结果,具体计算过程不再赘述。预报结果参见表 2。

表 2 陆水水库年入库水量预报模式识别法计算结果

年份	预测近似年份	预报数值	实际值	相对实际值 误差/%	预报评定
2000	1959	24.280	23.411	4	合格
2001	1960	23.120	19.846	16	合格
2002	1961	23.590	42.282	-44	不合格
2003	1958	28.980	36.414	-20	合格
2004	1985	21.211	22.544	-6	合格
2005	1986	20.730	22.026	-6	合格
2006	1987	31.985	19.127	67	不合格
2007	1974	20.260	13.589	49	不合格
2008	2005	22.026	21.292	3	合格
2009	2008	21.292	19.783	8	合格
2010	1975	36.830	41.057	-10	合格
2011	1976	26.610	20.655	29	不合格
2012	1977	33.870	34.861	-3	合格

参照《水文情报预报规范》(GB/T 22482 - 2008) 的有关规定<sup>[5]</sup>, 预报取实际值的 20% 作为许可误差, 综合合格率约为 70%。

### 3 结语

从计算实例可以看出,本方法在满足趋势一致的前提下,以贴适度最大原则选择模式并开展水库中长期水文预报。从预报结果可以看出,方法的预报合格率尚可,弥补了历史演变法由于对水文要素历史演变特征判断不清、预报结果因人而异的不足,方法具有一定可行性。但方法缺点在于单个预报结果精度不高,原因是水文要素的模糊模式类型(即演变周期)的选择有待商榷,对此可以尝试用模糊周期分析等方法加以解决。

在水文中长期预报中,常见的历史演变法等方法虽然应用广泛,但通常需要在绘制历史演变过程线后加以分析,然后根据预报员的经验,目估演变周期,并在此基础上找出要预报年所在周期的贴近期,最后参考贴近期水文要素值及变化趋势做出预报。这种传统预报方法的经验性很强,而将模糊模式识别方法引入预报后,很好地解决了经验性难以把握的问题。通过编制计算机程序,可在实际作业预报中分析更多的复杂因子,将专家的经验机器化,提高预报精度。

### 参考文献:

[1] 陈守煜. 水文水资源系统模糊识别理论[M]. 大连:大连理工大学出版社,1992.

[2] 王本德. 水文中长期预报模糊数学方法[M]. 大连:大连理工大学出版社,1993.

[3] 余玉梅,熊汉. 模糊模式识别方法研究[J]. 云南民族学院学报:自然科学版,1998,7(1):14-20.

[4] 陈振华,余永权,张瑞. 模糊模式识别的几种基本模型研究[J]. 计算机技术与发展,2010,20(9):32-35.

[5] GB/T 22482-2008 水文情报预报规范[S].

(编辑:郑毅)

(下转第 65 页)

水反压,导渗台,对于较大的管涌、流土等险情编制相应的专项抢险预案。⑤ 漂浮物的抢护方法:及时打捞,或使用拦污装置阻止其靠近闸门,对较大漂浮物(包括失控船只等),可使用船只迅速将其拖走。⑥ 当有可能发生恐怖袭击、战争、小于 6 级的地震,可能危及大坝安全的,按上级指示执行预案,如要泄洪,按上级指令组织做好相应的泄洪工作。

#### 4.4 应急保障

(1) 组织保障。根据《防洪法》的规定,防洪抢险实行行政首长负责制,陆水防汛指挥长为第一责任人,负责陆水防汛工作的全面指挥。设立防汛领导小组,成立防汛办公室,负责陆水防汛期间的日常工作。

(2) 物资保障。根据国家防总《防汛物资储备定额编制规程》(SL298-2004,国家防汛抗旱总指挥部办公室主编)的要求,结合陆水水库防汛工作实际情况,按照“安全第一、常备不懈、以防为主、全力抢险”的防汛工作方针和“宁可备而不用、不可用时无备”的原则,物资储备重点用于应对水库主副坝等水工建筑物的突发事件和紧急情况。

陆水水库防汛物资实行“定量采购、定点放置、专人管理、定期检查”的制度,安排专人负责管理。抢险

物资的调用原则是:先近后远,保证急需;先主后次,保证重点。

(3) 通讯保障。陆水水库的水文测报由长江委陆水水文自动测报实验站承担,上游崇阳以上的降雨和水文测站由湖北省咸宁水文水资源勘测局负责。通讯联络以现有的程控电话、手机为主。同时,为应对可能发生的意外情况,另备无线对讲机 5 部。

(4) 救灾与卫生防疫保障。① 救灾物资由防汛指挥部设立专门人员进行储备和调拨,设立后勤保障中心负责抗洪抢险期间的后勤保障工作。② 卫生防疫由防汛指挥部办公室负责联系落实医疗救护和卫生防疫小组,做好抗灾救灾的救护工作及灾后防洪管理责任区内的防病、治病及防疫工作。

#### 4.5 防洪应急演练

防汛指挥部不定期地组织相关单位进行防汛抗洪演练,模拟可能发生的突发事件,按照相应的应对措施进行抢护,有效地检验了防汛预案的相关措施,同时,锻炼了防抢险应急队伍的快速反应和执行任务能力,为陆水水库防汛抢险工作打下了坚实的基础。

(编辑:赵凤超)

## Analysis and countermeasures for flood emergencies of Lushui Reservoir

ZHANG Junwen, YANG Yafeng

(Bureau of Lushui Experimental Hydropower Complex Management, Changjiang Water Resources Commission, Chibi 437300, China)

**Abstract:** With the consideration of operation status of Lushui Hydropower Complex, together with the key protective objects and local flood control standards, the critical emergencies to be likely to arise in flood season are analyzed, and the extent of their damages are also analyzed on the basis of flood routing for dam failure. In order to handle with the contingent dangers, the paper presents several countermeasures such as strengthening monitoring and patrol for dangerous situation, reporting and dealing with the dangers promptly and effectively, enhancing emergency drills and exercises for flood control, all of which can reduce the impacts of the emergencies to the maximum extent.

**Key words:** emergency; countermeasure; emergency support; Lushui Reservoir

(上接第 55 页)

## Application of fuzzy pattern recognition method in annual runoff forecast of Lushui Reservoir

ZHENG Guiping

(Bureau of Lushui Experimental Hydropower Complex Management, Changjiang Water Resources Commission, Chibi 437300, China)

**Abstract:** Medium and long-term hydrological forecast results are important basis for optimized operation of a hydropower station. We present an application of fuzzy mathematics methodology in medium and long-term hydrological forecast, focusing on the theoretical principles of direct method and indirect method of fuzzy pattern recognition as well as its application in annual inflow forecast of Lushui Reservoir. The results show that the qualified forecast rate of the fuzzy recognition method is acceptable, and the method overcomes the traditional method's disadvantage of mainly depending on forecast experiences. It is pointed out that there is much optimization space for type selection of fuzzy pattern.

**Key words:** medium and long-term hydrological forecast; fuzzy mathematics; pattern recognition; optimized operation; Lushui Reservoir