



DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2017.04.002

雷冠军, 殷峻暹, 刘惠敏, 等. 基于TOPSIS模糊综合评判的模糊推理模型在开河预报中的应用[J]. 南水北调与水利科技, 2017, 15(4): 07-12. LEI Guanjun, YIN Junxian, LIU Huimin, et al. Application of the fuzzy reasoning model based on TOPSIS-fuzzy comprehensive evaluation to ice forecast[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2017, 15(4): 07-12. (in Chinese)

基于TOPSIS-模糊综合评判的模糊推理模型在开河预报中的应用

雷冠军¹, 殷峻暹¹, 刘惠敏², 张丽丽¹

(1. 中国水利水电科学研究院 水资源研究所, 北京 100038; 2. 华北水利水电大学 水利学院, 郑州 450000)

摘要: 冰凌开封河受到较多自然和人为因素的影响, 具有较高的不确定性, 为了进一步提高冰凌开封河预测的精度, 考虑各因素的综合作用成为解决问题的关键。先采用主成分分析法初步确定冰凌开封河历时影响因子的权重, 运用模糊推理模型依据影响因子矩阵的相似性进行初步预测, 进而采用TOPSIS-模糊综合评判模型对预报因子进行识别, 筛选出合理的预报因子进行二次预测。运用实例对基于TOPSIS模糊综合评判模型冰凌预报因子识别的模糊推理模型的效果进行了检验, 同时与冰凌预报模糊优选神经网络BP模型进行对比, 结果表明本文在TOPSIS模糊综合评判模型因子进行识别基础上的模糊推理模型预测精度较高、效果较好, 既能够有效识别预报因子, 又能够更好地提高预报封河、开河历时的精度, 为凌汛预测提供了新的途径。

关键词: 模糊推理; 主成分分析法; TOPSIS 模糊综合评判; 凌汛

中图分类号: P338, TV882 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2017)04-0007-06

Application of the fuzzy reasoning model based on TOPSIS-fuzzy comprehensive evaluation to ice forecast

LEI Guanjun¹, YIN Junxian¹, LIU Huimin², ZHANG Lili¹

(1. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China;

2. North China University of Water Resources and Electric Power, School of Water Conservancy, Zhengzhou 450011, China)

Abstract: The break up and freeze up of the river is under the influence of various natural and human factors, and is an issue of great uncertainty. To further improve the accuracy of break up and freeze up forecasts, the key is to consider the combined action of various factors. First, we used the principal component analysis to preliminarily determine the weight of each factor that affects the break up and freeze up duration, and used the fuzzy reasoning model to conduct preliminary prediction according to the similarity of the impact factor matrix. Then we identified forecast factors using the TOPSIS fuzzy comprehensive evaluation model and selected reasonable forecast factors to conduct secondary prediction. The fuzzy reasoning model based on TOPSIS fuzzy comprehensive evaluation and ice forecast factor identification was tested in a case study and was compared with the fuzzy optimization neural network BP model. The results showed that the fuzzy reasoning model in this paper had high precision and good effects in prediction. It can effectively identify forecast factors, and can well improve the accuracy of freeze up and break up duration forecasts. It provides a new approach for ice run prediction.

Key words: fuzzy reasoning; principal component analysis; TOPSIS fuzzy comprehensive evaluation; ice run

收稿日期: 2016-2-25 修回日期: 2016-7-15 网络出版时间:

网络出版地址:

基金项目: 国家重点研究发展计划(973计划)(2013CB036400); 国家自然科学基金项目(51509088); 水利部公益性行业科研专项(201501008)

Funds: The National Basic Research Program of China (973 Program) (2013CB036400); National Natural Science Foundation of China (51509088); Special Research Program of Public Welfare Industries of the Ministry of Water Resources(201501008)

作者简介: 雷冠军(1988-), 男, 河南荥阳人, 博士生, 主要从事水文水资源系统分析研究。E-mail: leiguanjun521@126.com.

由于受天气变化、河道冲淤、水库调度、河道工程等因素的影响,河流凌情形势变得更加复杂^[1],例如近年来黄河从宁夏的下河沿至内蒙古的河口镇的河段冰凌开河时间推迟,封、开河期水位偏高等现象,为凌汛中长期预报工作提出了更高的要求。1956 年水利部黄河水利委员会水文局^[2]采用指标法,根据已有的观测资料选出与冰情紧密相关的指标,对冰情的开河日期进行预报。陈守煜^[3]建立了模糊优选神经网络冰凌预测模型,能够很好地预测开封河日期,克服了热交换原理和冰水力学理论模型所需参数较多的缺陷。2004 年,王涛^[4]以统计相关预报模型和神经网络模型为基础,建立了完整的黄河从宁夏的下河沿至内蒙古的河口镇的河段冰情预报系统,可对冰凌的开封河日期等其他变量进行预报。2011 年,张傲姐^[5]利用多元回归模型对巴彦高勒、三湖口、头道拐站分别进行流凌、封河及开河日期预报,利用 SPSS 软件进行统计分析,预测结果较为理想。冀鸿兰^[6]研究了凌汛成因的物理因素,运用多元回归模型和神经网络对冰凌进行预测,结果表明神经网络预测结果较好。徐晶^[7]在分析凌汛的物理成因基础上建立了基于二元比较法确定权重的可变模糊综合分析冰凌预测模型,对开河过程的模糊性和渐变性作了很好地处理和反映。赵晓慎^[8]在分析冰凌基本成因的基础上选取一定的预报因子,基于模糊识别聚类理论确定权重,运用线性回归模型对冰凌进行了预测。韩宇平^[9]选定开河、封河历时影响因子后对众多预报因子进行归一化处理,采用粒子群神经网络对开封河历时进行预报,将各个预报因子看作是等权的。陈守煜^[10]在研究中长期水文预报的理论和方法时,将水文成因分析、模糊集分析有机地结合起来,分析认为水文现象的影响因素是对立统一的,进而采用加权的基本思想对水文现象影响因子的重要性进行表征,通过对权向量的检验和调整,在预报因子和预报对象之间建立明确的成因关系,为水文预测精度的提高提供了一条值得探索的新途径。以上冰凌开封河历时的预报都采用多因子的预报方法,依据经验以及预报因子与预报对象的相关系数选取流量均值、累计气温、水位均值为预报因子进行预报,缺乏预报因子的合理性进一步的识别,然而预报因子的选取是否合理直接关系到预测精度的高低。本研究选用基于相似关系的近似模糊推理法建立模型,计算出不同影响因子组合下的预测结果,采用 TOPSIS 模糊综合评判法判别预测结果的优劣,进而优选出对预报结果影响较大的预报因子,既实现了对预报因子的识别,又

进一步提高了预报结果的精度。

1 模糊推理预测模型

中长期径流预报的模糊推理预测模型能够综合考虑径流过程较多的复杂的影响因素。冰凌开封河影响因素复杂,因而开封河预报模型预报因子较多,为了综合考虑预报因子对冰凌开封河的影响,采用模糊推理预测模型,根据冰凌开封河与多个预报因子之间的相关关系综合预测,能够在获得预报结果的同时得出预测结果的不确定性,为管理者决策提供依据。模糊推理预测模型以预报因子级别特征值作为输入,采用加权法计算待预报因子与预报因子之间的相似关系,选取相似关系最大的预报因子系列对应的开河日期作为输出,输出值即为待预报因子所对应的开河日期。

模糊推理预测模型权重的确定采用主成分分析法,该方法是研究如何用多个指标(因子)来描述研究单位(个体)的一种统计分析方法,把原来多个彼此相关的指标(原变量)线性组合为少数几个彼此独立的综合指标(新变量),它提取出原指标主要成分的统计信息,能够有效反映该指标值个体的变异。

$$T_0 = [X, Y] = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1j} & \cdots & x_{1n} & y_1 \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2j} & \cdots & x_{2n} & y_2 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{i1} & x_{i2} & \cdots & x_{ij} & \cdots & x_{in} & y_i \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mj} & \cdots & x_{mn} & y_m \end{bmatrix}$$

$$T_1 = [X'] = [x_{m+11}, x_{m+12}, \cdots, x_{m+1n}]$$

基于统计分析的大样本原理,假定冰凌开封河历时 Y_i 的形成受到 n 个预报因子 $X_i = \{x_{i1}, x_{i2}, \cdots, x_{ij}, \cdots, x_{in}\}$ 的影响,现在有 m 年预报因子 X_i 及其相应开封河历时 Y_i 的实测值,组成矩阵 $T = [X, Y]$ 。为了预报第 $m+1$ 年在预报因子 $X' = [x_{m+11}, x_{m+12}, \cdots, x_{m+1n}]$ 作用下开封河历时 Y' 的值,现基于相似关系原理计算第 $m+1$ 年预报因子 X' 与已知 m 年的预报因子 X 的相似性,若第 p 年的相似性最大,则 Y' 就等于第 p 年的开封河历时 Y_p 。模糊推理法的实质是对预报因子相似性的计算^[12],预报因子的相似性采用 Turkmen 定义的相似关系^[11]进行确定,具体公式如下:

$$r_i = \begin{cases} \beta_i, & \text{if } (\beta \geq \gamma) \\ 0, & \text{if } (\beta < \gamma) \end{cases} \quad (1)$$

$$\beta_i = \frac{1}{1 + \left\{ \frac{\sum_j^m [l_j (c_j - c_{ij})^2]}{n} \right\}^{0.5}} \quad (2)$$

$$T(p) = \max(T), T = [\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n] \quad (3)$$

$$F_{\min} = \min(Y) + (\max(Y) - \min(Y)) * \gamma * \alpha(p)$$

$$F_{\max} = \min(Y) + (\max(Y) - \min(Y)) * (2 - \gamma) * \alpha(p) \quad (4)$$

$$F = [F_{\min}, F_{\max}] \quad (5)$$

式中: γ 为临界值, 取 0.9; l_j 为第 j 个预报因子 x_j 的权重; c_{ij} 为 x_{m+1j} (x_{m+1j} 为第 $m+1$ 年开封河历时的第 j 个预报因子) 的隶属度; c_{ij} 为 x_{ij} 的隶属度 (x_{ij} 为第 i 个样本的第 j 个影响因子); α 为 Y 的隶属度; β_i 为相似关系函数值; p 为 X' 与 X 相似性最大的年份; $\min()$, $\max()$ 分别为求最小值、最大值的函数; F 为预测区间。

当 x_j 与 Y 正相关时^[13-14]

$$c_{ij} = \left[\frac{x_{ij} - \min_j x_j}{\max_j x_j - \min_j x_j} \right]^q \quad (6)$$

当 x_j 与 Y 负相关时, $c_{ij} = \left[\frac{\max_j x_j - x_{ij}}{\max_j x_j - \min_j x_j} \right]^q \quad (7)$

其中: q 取大于零的正数, 本文取 1。

$$\alpha = \begin{cases} 0, & \text{if } (Y = \min(Y)) \\ \frac{Y - \min(Y)}{\max(Y) - \min(Y)}, & \text{if } (\min(Y) < Y < \max(Y)) \\ 1, & \text{if } (Y = \max(Y)) \end{cases} \quad (8)$$

l_j 采用主成分分析法求解^[15-17], 计算步骤如下:

步骤 1: 数据的标准化: 利用式(9)对预报因子的特征值进行标准化处理:

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j}{s_j} \quad (9)$$

式中: x_j 、 s_j 分别表示第 j 个指标的样本均值和标准差。

步骤 2: 相关系数矩阵 R 的计算:

$$r_{jq} = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m \alpha'_{ij} \alpha'_{iq} \quad (10)$$

$$R = (r_{jq})_{n \times n} \quad (11)$$

步骤 3: 贡献率的计算:

$$l_j = \frac{\lambda_j}{\sum_{q=1}^n \lambda_q} \quad (12)$$

式中: λ_j 相关系数矩阵的特征值, $j = 1, 2, \dots, n$ 。

2 TOPSIS-模糊综合评判对影响因子的识别

2.1 评判矩阵的建立

为了研究不同影响因子组合情况下预测效果的优劣, 设有 s 个评价对象, $t+1$ 个评价指标: 分别采

用评分法和相对误差法计算相应的特征值, 从而建立判断矩阵。

相对误差法: 采用相对误差即预测区间的中值与实测值之间的相对误差判别区间预测的合格程度。相对误差的计算公式如下:

$$\text{相对误差} = \frac{|\text{实测值} - \text{预测区间中值}|}{\text{实测值}} \quad (13)$$

评分法: 区间包括实测值的记为 1 分, 不包括实测值的记为 0 分, 计算同一影响因子组合情况下预测值的总分, 作为该组影响因子的得分。

利用上述方法可分别得到得分和相对误差组成的判断矩阵见表 1,

表 1 判断矩阵
Tab. 1 Judgment matrix

评价对象	总积分	相对误差 1	...	相对误差 t
1	x_{11}	x_{12}	...	$x_{1,t+1}$
2	x_{21}	x_{22}	...	$x_{2,t+1}$
...
s	x_{s1}	x_{s2}	...	$x_{s,t+1}$

2.2 影响因子的识别

根据以上判断矩阵, 采用 TOPSIS-模糊综合评判法^[18]对判断矩阵进行评判, 得到正负理想解确定的综合评判向量分别为:

$$u^+ = z^+ Y, u^- = z^- Y \quad (14)$$

式中: z^+ 、 z^- 分别为正负理想解的权重向量; Y 为原判断矩阵归一化后的矩阵。根据正负综合评判向量 u^+ 、 u^- 的大小得到评价对象的排序结果, 排序越靠前则表明预测结果越好^[19-20], 选择排序第一的因子组合方案作为预测方案的因子组合。

为了有效识别单个影响因子的优劣程度, 实验方案采取传统的组合方法, 分别计算在实验方案中不同因子的排名总和, 总排名越靠前的因子有效性越高, 即为合理因子, 排名越靠后的因子对预测结果精度的提高越不利, 则是预测方案中的非合理因子。

3 预测模型的建立

建模步骤如下:

步骤 1: 建立预报因子矩阵: 由样本 i 指标 j 的特征值 x_{ij} 组成指标特征值矩阵 X :

$$X = (x_{ij}) \quad (15)$$

步骤 2: 计算相对隶属度: 根据式(6) - 式(7)计算出预报因子的相对隶属度, 由公式(8)确定出待预报因子的相对隶属度, 分别作为模型的输入和输出向量。

步骤 3: 确定因子权重: 采用式(9) - 式(12)分别计算出预报方案中不同预报因子的贡献率-权重。

步骤 4: 预报因子的组合: 依据步骤 3 所得的因子权重, 确定出权重最大的因子, 将该因子与其他因子组合, 形成不同的预报因子组合方案, 转到步骤 3 计算新的各组因子组合方案中各因子的贡献率-权重, 转到步骤 5。

步骤 5: 初步预测: 由式(1) - 式(5) 计算出待预报因子的预测区间, 作为预报值。

步骤 6: 因子识别: 由式(13) 和评分法建立评判矩阵, 利用 TOPSIS 模糊综合评判法进行评判, 选取预报效果最佳的因子组合, 计算出有效排名, 根据有效排名评判结果选择出合理的预报因子。

Step7: 二次预测: 利用步骤 5 中选取出的合理因子, 运用步骤 2- 步骤 4 进一步预测出精度较高的预测值。

4 冰凌开封河历时预测与分析

4.1 影响因子分析

根据文献[3] 中的实测资料选取 1968 年 - 2001 年的开河、封河历时和四个预测因子, x_1 为各年气温稳定转正日期至开河日期的逐日累计正气温, x_2 为各年开河期平均水位、 x_3 为各年开河期的平均流量、 x_4 为上一年冰冻期最大冰厚。选取前 28 年资料用于建立预测模型, 后 5 年资料用于检验预测模型的精度。

根据主成分分析法求得四个预测因子对应特征值的权重分别为: 0.1026、0.1295、0.2999、0.4680, 冰冻期最大冰厚权重最大, 为主要影响因子。

4.2 预测方案

主成分分析法中主成分个数的选取, 主要根据主成分的累积贡献率来决定, 这样才能保证综合变量能包括变量的绝大多数信息。为了遵循上述原则, 则累积贡献率大的因子必须予以考虑, 因此将最大冰厚 x_4 这一因子与逐日累计正气温 x_1 、开河期平均水位 x_2 、平均流量 x_3 , 分别结合建立实验方案: $x_4, x_4 + x_1, x_4 + x_2, x_4 + x_3, x_4 + x_1 + x_2, x_4 + x_1 + x_3, x_4 + x_2 + x_3, x_4 + x_1 + x_2 + x_3$, 对上述方案按顺序进行编号 1~ 8, 八个方案分别进行冰凌开封河时间预测, 得到八组预测区间。

4.3 误差评定与优选判别

由评分法和相对误差法建立判断矩阵, 结果见表 2, 运用 TOPSIS 模糊综合评判法进行评判, 评判结果见表 3。将预测值的评价结果综合列于表 4, 为了说明累积贡献率和因子个数在挑选因子组合方案时的作用, 由表 4 作出预测结果的排名与因子个数

和累积贡献率的关系图。

表 2 考虑预测因子的方案预测结果

Tab. 2 Forecast results by considering the predictors

方案	总分	相对误差 1(%)	相对误差 2(%)	相对误差 3(%)	相对误差 4(%)	相对误差 5(%)
1	3	16.67	5.00	11.36	2.50	2.33
2	4	14.29	5.00	2.27	2.50	2.33
3	2	7.14	5.00	4.55	10.00	6.98
4	4	0.00	5.00	11.36	5.00	2.33
5	3	16.67	2.50	2.27	7.50	2.33
6	5	0.00	5.00	2.27	5.00	2.33
7	4	11.90	2.50	2.27	2.50	2.33
8	3	14.29	10.00	2.27	5.00	2.33

相对误差 1 代表第一个预测年份即 1996 年 - 1997 年在各个组合方案中的相对误差。以次类推。

表 3 TOPSIS 模糊综合评判法评价结果

Tab. 3 Evaluation results of the TOPSIS fuzzy comprehensive evaluation

方案	U^+	排序	U^-	排序
1	0.092	7	0.093	7
2	0.128	4	0.128	4
3	0.089	8	0.089	8
4	0.135	3	0.135	3
5	0.102	5	0.102	5
6	0.212	1	0.212	1
7	0.143	2	0.143	2
8	0.098	6	0.098	6

表 4 方案汇总对比

Tab. 4 Contract of the object

序号	累积正气温 x_1	开河期平均水位 x_2	平均流量 x_3	最大冰厚 x_4	方案累积贡献率	预测因子个数	排名	因子个数
1				★	0.468	8	1	7
2	★			★	0.57	7	2	4
3		★		★	0.60	6	2	8
4			★	★	0.77	5	2	3
5	★	★		★	0.70	4	3	5
6	★		★	★	0.87	3	3	1
7		★	★	★	0.90	2	3	2
8	★	★	★	★	1.00	1	4	6

贡献率 0.1026 0.1295 0.2999 0.468

总排名数 16 21 12

有效性排名 2 3 1

总排名数为该因子所在方案排名之和, 总排名

越靠后,说明该因子的预测结果的精度越低,即因子的

的有效性越差。最大冰厚因子 x_1 累积贡献率最大,各个方案均予以考虑,不再计算其总排名数。

定最优的方案。
(3) 累积贡献率相近的因子组合需进一步深入探讨:通过方案 2,方案 3 和方案 6,方案 7 的对比发现,累积贡献率相近的情形下,需要综合评价因子组合以进一步找到最佳的预测因子组合。

5 结语

冰凌开封河历时预测精度关系到防凌减灾工作的开展,直接关系到人民生命财产安全。冰凌开封河历时受到众多影响因素的制约,传统的预测方法不能对影响因子进行有效地识别,大大限制了冰凌预测的工作精度的提高。本文提出的基于 TOPSIS-模糊综合评判法冰凌预报因子识别的模糊推理模型能够在对预报因子进行识别的基础上,运用合理因子建立模型对冰凌开封河历时进行预报,与模糊优选神经网络 BP 模型相比精度有了极大的提高,为凌汛预报提供了一个新的有效途径。

参考文献: (References)

- [1] 刘吉峰,杨健,霍世青,等.黄河宁蒙河段冰凌变化新特点分析[J].人民黄河,2012,11,34(11):12-14. (LIU Ji feng, YANG Jian, HUO Shi qing, et al. Analysis on some new ice characteristics in Ningxia Inner Mongolia reach of the Yellow River. [J] Yelow River. 2012, 11, 34(11): 12 14. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j. issn. 1000 1379. 2012. 11. 004
- [2] 可素娟,王敏,饶素秋,等.黄河冰情研究[M].郑州:黄河水利出版社,2005. (KE Su juan, WANG M in, RAO Su qiu. The Yellow River ice stdy[M]. Zhengzhou: The Yelow River Conservancy Press, 2005. (in Chinese))
- [3] 陈守煜,冀鸿兰.冰凌预报模糊优选神经网络 BP 方法[J].水利学报,2004,35(6):114-118. (CHEN Shou yu, JI Hong lan. Fuzzy optimization neural network BP approach for ice forecasting[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2004, 35(6): 114-118. (in Chinese)) DOI: 10.3321/j. issn: 0559-9350. 2004. 06. 020
- [4] 王涛,杨开林,郭永鑫,等.神经网络理论在黄河宁蒙段冰情预报中的应用[J].水利学报,2005,36(10):1042-1208. (WANG Tao, YANG Kai lin, GUO Yong xin. Appication of artificial neural networks to forecasting of river ic condition. Journal of Hydraulic Engineering, 2005, 36(10): 1042 1208. (in Chinese))
- [5] 张傲姐.黄河内蒙古段冰情特点及预报模型研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2011. (ZHANG Ao da. Research on the characteristics and the prediction model of ice regime in the Inner Mongolia Reach of the Yellow River. [D] Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University. 2011. (in Chinese))
- [6] 冀鸿兰,张傲姐,高瑞忠,等.黄河内蒙古段开河日期预报模型及应用[J].水利水电科技进展,2012,4,32(2):42-45. (JI Hong lan, ZHANG Ao da, GAO Rui zhong, et al. Application of the break up date prediction model in the Inner Mongolia

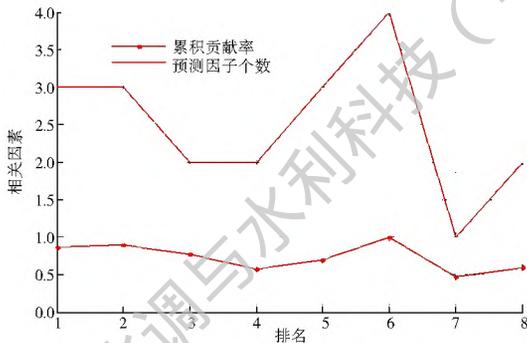


图1 排名与相关因素的关系

Fig. 1 Rank relations with related factors

表5 基于TOPSIS模糊综合评判因子识别的模糊推理模型与神经网络法对比表

Tab. 5 Contrast table of the fuzzy inference model based on TOPSIS- fuzzy comprehensive evaluation method of factor identification and neural network

序号	年份	实测值	模糊推理预测区间	预报误差	模糊优选神经网络预报值	预报误差
1	1996-1997	42	[39.6, 44.4]	0	35	16.6%
2	1997-1998	40	[39.6, 44.4]	5.0%	39	2.5%
3	1998-1999	44	[40.45, 45.55]	2.27%	42	4.55%
4	1999-2000	40	[39.6, 44.4]	5.0%	46	15%
5	2000-2001	43	[41.3, 46.7]	2.33%	44	2.3%

本文在采用 TOPSIS-模糊综合评判法对影响因子进行筛选识别后,采用模糊推理法对开封河历时进行预报,与陈守煜、冀鸿兰^[3]运用模糊优选神经网络 BP 模型进行预报的结果对比表明,基于 TOPSIS-模糊综合评判法冰凌预报因子识别的模糊推理模型的 5 个预测值的误差都在误差允许范围内,相对误差较小,预报结果精度大大优于模糊优选神经网络模型,对比结果见表 5。

4.4 结果分析

(1) 冰凌开封河历时是个多因子综合作用的过程,由表 4、图 1 可知,单一考虑最大冰厚因子,所得到的预测结果排名在第 7 位,考虑最大冰厚因子与其他因子相结合的方案,有 6 个排在前 6 位,说明冰凌开封河预报历时应该考虑多个因子的影响。

(2) 冰凌开封河历时预测的影响因子根据累积贡献率初步确定后应进一步筛选:由表 4、图 1 可知,方案 7、方案 6 的累积贡献率大于方案 5,而方案 5 的精度却是最好的,同时方案累积贡献率的排名和预测结果精度的排名并没有对应关系,说明累积贡献率确定后因子组合方案还需进一步识别才能确

- Reach of the Yellow River[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources. 2012, 4, 32(2): 42-45. (in Chinese) DOI: 10.3880/j.issn.10067647.2012.02.010
- [7] 徐晶, 冀鸿兰, 张宝森, 等. 基于可变模糊综合分析的冰凌预测模型[J]. 水利水电科技进展, 2011, 31(3): 68(26). (XU Jing, JI Hong-lan, ZHANG Bao-sen. Ice forecast model based on variable fuzzy synthetic analysis [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources. 2011, 31(3): 68(26). (in Chinese) DOI: 10.3880/j.issn.10067647.2011.03.002
- [8] 赵晓慎, 李倩, 王文川. 基于成因综合分析的冰凌预测模型[J]. 人民黄河, 2011, 33(1). (ZHAO Xiao-shen, LI Qian, WANG Wei-chuan. The ice prediction model based on the general analysis of the causes. [J] Yellow River. 2011, 33(1). (in Chinese) DOI: 10.3969/j.issn.1000-7709.2011.03.011
- [9] 韩宇平, 蔺冬, 王富强, 等. 基于粒子群算法的神经网络在冰凌预报中的应用[J]. 水电能源科学, 2012, 30(3). (HAN Yu-ping, LIN Dong, WANG Fu-qiang, et al. Application of neural networks to ice forecasting based on particle swarm optimization[J]. Water Resources and Power. 2012, 30(3). (in Chinese) DOI: 10.3969/j.issn.1000-7709.2012.03.011
- [10] 陈守煜, 薛志春, 李敏, 等. 基于可变集的年净流预测方法[J]. 水利学报, 2014, 45(8). (CHEN Shou-yu, XU E-zhi-chun, LI Min, et al. Annual runoff prediction method based on the variable sets[J]. Journal of Hydraulic Engineering. 2014, 45(8). (in Chinese) DOI: 10.3969/j.issn.1000-7709.2014.08.011
- [11] 李敏. 可变模糊近似推理方法在径流中长期预报中的应用[J]. 水电能源科学, 2010, 28(2): 16-18. (LI Min. Variable fuzzy approximate reasoning method and its application in mid and long term runoff forecasting [J]. Water Resources and Power. 2010, 28(2): 16-18. (in Chinese) DOI: 10.3969/j.issn.1000-7709.2010.02.006
- [12] 王永县, 朱涛, 李飞. 基于相似关系的广义近似推理方法[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2002, 42(10): 128-1288, 1308. (WANG Yong-xian, ZHU Tao, LI Fei. General similarity-based approximate reasoning method [J]. Journal of Tsinghua University: Natural Science. 2002, 42(10): 128-1288, 1308. (in Chinese) DOI: 10.3321/j.issn:1000-0054.2002.10.004
- [13] 陈守煜. 基于可变模糊集的辩证法三大规律数学定理及其应用[J]. 大连理工大学学报, 2010, 50(5): 838-844. (CHEN Shou-yu. Three mathematical theorems of dialectics based on variable fuzzy sets and their application [J]. Journal of Dalian University of Technology. 2010, 50(5): 838-844. (in Chinese) DOI: 10.3969/j.issn.1000-7709.2010.05.011
- [14] 王文川, 徐冬梅, 陈守煜, 等. 可变模糊集理论研究进展及其在水科学中的应用[J]. 水利水电科技进展, 2012, 32(5): 89-94. (WANG Wei-chuan, XU Dong-mei, CHEN Shou-yu, et al. Research Advances and application in water science of variable fuzzy set theory. [J] Advances in Science and Technology of Water Resources. 2012, 32(5): 89-94. (in Chinese) DOI: 10.3880/j.issn.10067647.2012.05.023
- [15] 傅湘, 纪昌明. 区域水资源承载力综合评价 主成分分析法的应用[J]. 长江流域资源与环境, 1999(2): 168-173 (FU Xiang, JI Chang-ming. A comprehensive evaluation of the regional water resource carrying capacity [J]. Resources and Environment in the Yangtze River. 1999(2): 168-173 (in Chinese) DOI: 10.3969/j.issn.1673-1212.2007.12.052
- [16] 盛周君, 孙世群, 王金城, 等. 基于主成分分析的河流水环境质量评价研究[J]. 环境科学与管理, 2007, 32(12): 172-175. (SHENG Zhou-jun, SUN Shi-qun, WANG Jin-cheng, et al. Comprehensive evaluation of river water environmental quality based on the principal component analysis [J]. Environmental Science and Management. 2007, 32(12): 172-175. (in Chinese) DOI: 10.3969/j.issn.1673-1212.2007.12.052
- [17] 欧阳铭, 白若男, 朱国宇. 成都市水资源承载力动态变化及成因[J]. 南水北调与水利科技, 2012(6): 110-114. (OUYANG Ming, BAI Ruonan, ZHU Guoyu. Dynamic variation of water resources carrying capacity and its causes in Chengdu [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology. 2012(6): 110-114. (in Chinese) DOI: 10.3969/j.issn.1673-1212.2012.06.011
- [18] 雷冠军, 王文川, 刘宽, 等. TOPSIS-模糊综合评判法在优选水文频率参数估计方法中的应用[J]. 水资源研究, 2015(4): 200-207. (LEI Guan-jun, WANG Wei-chuan, LIU Kuan, et al. The application of the TOPSIS-fuzzy comprehensive evaluation method used in the method of optimizing the hydrologic frequency parameter estimation. [J] Journal of Water Resources Research. 2015(4): 200-207. (in Chinese) DOI: 10.3969/j.issn.1673-1212.2015.04.011
- [19] 张晓华, 毕生, 曹永潇. 基于TOPSIS法的陕西省黄河流域干旱综合评价模型[J]. 南水北调与水利科技, 2015(2): 211-213. (ZHANG Xiao-hua, BI Sheng, CAO Yong-xiao. Comprehensive evaluation model of drought in the Yellow River of Shaanxi province based on TOPSIS method [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology. 2015(2): 211-213. (in Chinese) DOI: 10.3969/j.issn.1673-1212.2015.02.011
- [20] 许峰, 秦成. 地下水环境质量评价—基于粗糙集理论和灰色关联系数矩阵的TOPSIS模型[J]. 南水北调与水利科技, 2015(6): 1097-1100, 1109. (XU Feng, QIN Cheng. Evaluation of groundwater environment quality based on rough set and TOPSIS method gray correlation coefficient matrix [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology. 2015(6): 1097-1100, 1109. (in Chinese) DOI: 10.3969/j.issn.1673-1212.2015.06.011