

DOI:CNKI:61-1390/S.20111025.2133.038

网络出版时间:2011-10-25 21:33

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20111025.2133.038.html>

基于 AGA-Shepard 模型的黄河三湖河站 封开河日期预报

于庆峰^{1a}, 高瑞忠^{1b}, 李凤玲^{1b}, 冯国华², 冀鸿兰^{1b}

(1 内蒙古农业大学 a 职业技术学院, 内蒙古 包头 014109, b 水利与土木建筑工程学院, 内蒙古 呼和浩特 010018;

2 内蒙古水利厅, 内蒙古 呼和浩特 010020)

[摘要] 【目的】建立黄河内蒙古段主要水情控制断面冰情信息的预报模型, 为黄河内蒙古段的冰凌研究和灾害防治提供参考。【方法】选择黄河内蒙段三湖河站为研究对象, 运用数理统计中的互相关分析和显著性检验方法, 对黄河三湖河站封河日期、开河日期及影响因素的时间序列进行分析, 筛选封、开河日期的预报因子, 进而建立冰情信息预报的 AGA-Shepard 模型。【结果】依据《水文情报预报规范》, 所建立的 AGA-Shepard 模型对于三湖河站封、开河日期的预报精度达到 85.7% 和 83.3%, 属于甲等预报方案。【结论】建立的 AGA-Shepard 模型可以用于黄河三湖河站封河日期、开河日期的预报。

[关键词] AGA-Shepard 模型; 黄河三湖河站; 封、开河日期; 冰情预报

[中图分类号] P338⁺.4

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2011)12-0214-05

Prediction on the frozen-date and breakup-date of Sanhuhe Station on the Yellow River by AGA-Shepard Model

YU Qing-feng^{1a}, GAO Rui-zhong^{1b}, LI Feng-ling^{1b},
FENG Guo-hua², JI Hong-lan^{1b}

(1 Inner Mongolia Agricultural University a College of Vocational and Technical, Baotou, Inner Mongolia 014109, China;

b College of Water Conservancy and Civil Engineering, Hohhot, Inner Mongolia 010018, China;

2 Inner Mongolia Water Resources Department, Hohhot, Inner Mongolia 010020, China)

Abstract: 【Objective】By building the predicted model of ice information in mayor hydrologic information control section, the reference suggestions were presented for prevention and research of ice disasters in Inner Mongolia Reach of the Yellow River. 【Method】Sanhuhe Hydrologic Station was selected as the research object. By analyzing the time series of the Frozen-and -breakup-date and factors of Sanhuhe Hydrologic Station by the Cross-correlation Analysis and Distinctive Testing Method in Mathematical statistics, the predicted factors were shifted out to build the AGA-Shepard Predicting Model. 【Result】In accordance with the Norm of Hydrological Forecasting Specification, the predicted accuracy of the AGA-Shepard Model for the Frozen-and-breakup-date of Sanhuhe Hydrologic Station reached 85.7% and 83.3%, which was A-level prediction scheme. 【Conclusion】The AGA-Shepard Model we have built can be used to predict the

* [收稿日期] 2011-08-01

[基金项目] 内蒙古水利厅科技计划项目(201007); 国家自然科学基金项目(51060001); 内蒙古自然科学基金项目(2010MS0618); 黄河水利科学研究院中央级公益性科研院所专项(HKY-JBYW-2010-04)

[作者简介] 于庆峰(1976—), 男, 内蒙古赤峰人, 讲师, 工学硕士, 主要从事建筑工程及水工建筑物研究。

E-mail: yuqf523@126.com

[通信作者] 高瑞忠(1977—), 男, 内蒙古阿拉善人, 副教授, 博士, 硕士生导师, 主要从事水文水资源研究。

E-mail: Ruizhonggao@sina.com

Frozen-and-breakup-date of Sanhuhe Hydrologic Station.

Key words: AGA-Shepard Model; Sanhuhe station on the Yellow River; frozen-and-breakup-date; ice condition prediction

河流中冰凌的出现是在寒冷地区水资源开发中应考虑的重要现象之一,河流冰凌的形成可能影响到水利工程设计、运行和维护^[1]。处于我国北方的黄河因其悠久的历史而闻名世界,但黄河凌汛也如同其伏秋洪水一样举世闻名。黄河冰凌灾害造成的损失格外严重,防治难度极大。黄河内蒙古段是黄河产生冰凌灾害的主要河段之一,几乎每年都产生凌汛,因此黄河内蒙古段的冰凌研究,对于冰凌灾害防治具有重要的实践意义^[2-4]。

许多学者和专家就河流冰凌进行了相关研究。如沈洪道^[1]综合了世界河冰研究的成果,系统论述了河冰研究历史、河冰水力学研究、河冰过程的模拟、河冰模拟和预报模型的应用等内容;蔡琳^[2]系统论述了中国江河冰凌的研究状况;可素娟等^[3]系统分析研究了黄河冰凌的灾害与预报;高瑞忠等^[4-5]对黄河内蒙古段冰情变化特性进行了统计分析;冯国华等^[6]、张泽中等^[7]、鲁仕宝等^[8]及孟闻远等^[9]分别讨论分析了黄河冰凌的特点及防治措施;李云鹏等^[10]应用遥感技术对黄河内蒙古段的凌汛进行了监测分析;王志兴等^[11]将投影寻踪回归模型引入到江段开河日期的预报;冀鸿兰等^[12]采用模糊优选神经网络组合预测模型对黄河内蒙古段封开河日期进行了预报。但纵观目前研究成果及工作实际,较高精度地分析预报河流冰情信息依然是当前冰凌研究的热点和难点。为此,本研究旨在引入遗传相似模型进行黄河内蒙古段主要水情控制断面封、开河日期的预报,以为河流冰情信息的预报提供一种新的思路,并为黄河内蒙古段的防凌工作提供参考依据。

1 分析方法

1.1 AGA-Shepard 模型

Shepard 模型是一种直观、可操作的相似预测方法。加速遗传算法^[13](Accelerating genetic algorithm, AGA)是一种在水学科中得到广泛认可和应用的优化方法。利用加速遗传算法求解 Shepard 相似预测模型就可构成遗传-相似模型(AGA-Shepard 模型),其计算步骤如下:

(1)确定预报因子集。冰情的变化是多种因子综合作用的结果,可以用冰情信息与各因子之间的

相关性来衡量各因子对冰情信息影响的大小。

假定序列 $[x_t]$ 和 $[y_t]$ ($t=1,2,\dots,n$)对于任何时移 k 彼此都有一定的关系,则此时对时移 k 的互相关系数 $r_k(x,y)$ 为^[14-15]:

$$r_k(x,y) = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} (x_t - \bar{x})(y_{t+k} - \bar{y})}{(\sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x})^2 (y_t - \bar{y})^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (1)$$

式中: $\bar{x}, \bar{y}$ 分别为序列 $[x_t]$ 和 $[y_t]$ 的均值, n 为序列样本数目。

金光炎^[16]给出了在置信水平 $p=(1-\alpha)$ ($\alpha=0.05$)时,所需的序列间互相关系数 $r_k(x,y)$ 最低值的计算公式为:

$$|r_{0k}|_{\min} = \frac{t_p}{\sqrt{t_p^2 + n - 2}} \quad (2)$$

式中: t_p 为分布双侧检验的临界值,其他符号意义同前。

通过分析黄河内蒙古段冰情信息与热力因素、动力因素、河道因素和人为因素的互相关性,从而可以确定进行冰情信息预报的因子。

(2)标准化处理。为了消除量纲的影响,需对各相关因素进行标准化处理,即有:

$$x(i,j) = |x'(i,j) - \bar{x}(j)| / S(j) \quad (3)$$

式中: $\bar{x}(j), S(j)$ 分别为第 j 个因子时序 $\{x'(i,j) | i=1 \rightarrow n\}$ 的均值和标准差。

(3)相似预报模型。在得到本次影响冰情信息的预报因子 $\{x(n+1,j) | j=1 \rightarrow m\}$ 后,利用上述的 n 个样本内插本次冰情信息 $y_c(n+1)$,使下式达到最小,即:

$$E = \sum_{i=1}^n \omega_i [y_c(n+1) - y(i)]^2 \quad (4)$$

式中: $\omega_i = \{\sum_{j=1}^m [x(i,j) - x(n+1,j)]^2\}^{-0.5b}$,为第 i 个样本对内插本次冰情信息 $y_c(n+1)$ 的贡献; b 为模型参数,一般为大于1的常数, b 取值越大,则在点 $\{x(n+1,j) | j=1 \rightarrow m\}$ 附近的拟合曲面将变得越平坦,而使远离点 $\{x(n+1,j) | j=1 \rightarrow m\}$ 处的拟合曲面变得越陡峻。

对公式(4)求导数并令其为0,可解得公式(4)的最小值为:

$$y_c(n+1) = \frac{\sum_{i=1}^n [\omega_i y(i)]}{\sum_{i=1}^n \omega_i} \quad (5)$$

所得 $y_c(n+1)$ 即为所求的对应点 $\{x(n+1,j) | j=1 \rightarrow m\}$ 的冰情信息预报值。

(4) 估计模型参数 b 。在预报因子历史样本序列中取样本 i , 由其他 $n-1$ 个样本进行插值预报, 得到相应冰情信息样本 $y(i)$ 的插值 $y_c(i)$, 由此建立如下优化目标函数来估计参数 b 。即:

$$\min f(b) = \sum_{i=1}^n |y_c(i) - y(i)|.$$

(6)

以 AGA 求解上式即可获得参数 b , 从而可以建立遗传-相似预报模型。

(5) 冰情信息预报。当得到相应待预报冰情信

息的预报因子值 $\{x(n+1,j) | j=1 \rightarrow m\}$ 后, 代入公式(5)即可得到冰情预报信息 $y_c(n+1)$ 。

1.2 预报效果的评价

依据《水文情报预报规范》^[17], 对所建立模型的预报效果进行评价, 《水文情报预报规范》SL250—2000 给出的冰情和春汛预报结果的评定标准如表 1 所示。

《水文情报预报规范》将预报方案分为 3 个等级: 甲等, 合格率 > 80.0%; 乙等, 70.0% < 合格率 < 80.0%; 丙等, 60.0% < 合格率 < 70.0%。

表 1 水文情报预报规范中的预报许可误差

Table 1 Permitted forecasting differences in hydrological forecasting specification

预见期 Leading time	≤2	3~5	6~10	11~13	14~15	>15
许可误差 Allowed error	1	2	3	4	5	7

2 黄河三湖河站封、开河日期预报

冰情一般由水文站开展观测工作, 而不专门设站。黄河内蒙古段上的控制水文站有石嘴山站(位于宁夏回族自治区)、头道拐站、巴彦高勒站、三湖河

站、昭君坟站共 5 个水文站, 其分布如图 1 所示。冰期观测项目主要有封河日期、开河日期、流凌日期、水位、河段冰厚、流量等项目。本研究主要选择三湖河水文站作为典型站进行封河日期、开河日期等的分析与预报。



图 1 黄河内蒙古段冰情观测水文站的分布

Fig.1 Position of hydrological station of ice observation on Inner Mongolian section of the Yellow River

通过冰情信息与影响因素的相关性分析及显著性检验, 对预报因子进行筛选, 可得三湖河站封、开河日期预报的冰情预报因子如表 2 所示。预报时间序列长度是 1961—1962 至 2006—2007 年共 46 年度资料。选择 1961—1962 至 1999—2000 年序列资料建立模型, 用 2000—2001 至 2006—2007 年序列

资料进行模型检验。

由于冰期时间跨越 2 个年度, 即当年的 11, 12 月和次年的 1, 2, 3 月, 为了便于分析计算, 对于冰期时间以年序来表示, 即如果 1961—1962 的年序为 1, 那么 1962—1963 的年序为 2, 1963—1964 的年序为 3, 其余依次类推。

表 2 黄河三湖河站封、开河日期预报的冰情预报因子
Table 2 Predicted factors of Sanhuhe Station of the Yellow River

项目 Item	预报因子 Predicted factor
封河日期 Freeze-up date	流凌日期、气温转负日期至 11 月下旬的累积负气温、11 月下旬流量、11 月下旬气温 Flow date,accumulated negative temperature value from the date when temperature becomes negative to late November,flow in late November,temperatures in late November
开河日期 Break-up date	气温转正日期、日平均气温转正至 3 月上旬的正气温累积值、最大冰厚、3 月上旬流量、2 月中旬至 3 月上旬气温 The date when temperature becomes positive,accumulated positive temperature value from the date when daily average temperature becomes positive to early March,maximum ice thickness,flow values in early March,temperatures from mid-March to early February

对于封河日期和开河日期,分别以第 1 年的 11-01 为基准,以日序数来表示,如 11-01 的日序数为 1,11-02 的日序数为 2,11-03 的日序数为 3,其余依次类推,直到次年 3 月或 4 月开河日期。

AGA-Shepard 模型中父代群体数目选择 300,优秀个体数目选择 20,父代与子代相比不再进化时就停止迭代计算,参数 b 的优化范围选择(0,10)。

对于封河日期,经过 AGA 加速迭代 5 次,获得模型优化参数 b 为 4.13,将检验样本代入预报模型计算封河日期预报值,图 2 给出了模型建立过程和检验过程封河日期计算值与实际值的对比。由图 2

可以看出,无论模型建立阶段还是检验预报阶段均取得了较好的效果。表 3 给出了黄河三湖河站封河日期的检验预报结果,从表 3 可以看出,检验预报的合格率为 85.7%,属于甲等预报方案。

对于开河日期,经过 AGA 加速迭代 2 次,获得模型优化参数 b 为 8.98,将检验样本代入模型,计算开河日期预报值,图 2 给出了模型建立过程和检验过程计算值与实际值的对比。由图 2 可以看出,模型建立阶段和检验预报阶段均取得了较好的效果。由表 3 三湖河站封河日期的预报结果可以看出,检验预报的合格率为 83.3%,属于甲等预报方案。

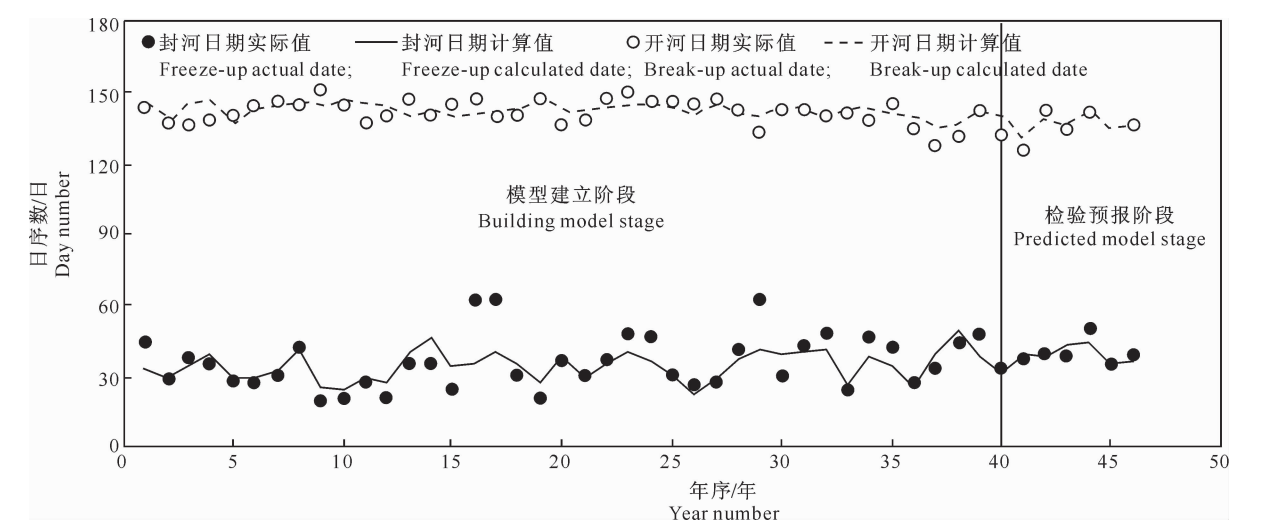


图 2 黄河三湖河站封、开河日期模拟预报结果与实际值的比较

Fig. 2 Comparison between the actual value with the predicted results on freeze-up date and break-up date of the Sanhuhe Station of the Yellow River

表 3 黄河三湖河站冰情信息相似预报模型预报结果的分析

Table 3 Forecasting results of the similar model on the ice-condition information of Sanhuhe Station of the Yellow River							
项目 Item	序号 Number	年度/年 Time	实际值(月-日) Actual value	预报值(月-日) Predicted value	预报误差/d Predicted error	预见期/d Leading time	是否合格 Acceptable judge
封河日期 Freeze-up date	1	2000—2001	12-03	12-02	1	3	合格 Qualified
	2	2001—2002	12-08	12-10	2	8	合格 Qualified
	3	2002—2003	12-10	12-08	2	10	合格 Qualified
	4	2003—2004	12-09	12-13	4	9	不合格 Failure
	5	2004—2005	12-20	12-14	6	20	合格 Qualified
	6	2005—2006	12-05	12-05	0	5	合格 Qualified
	7	2006—2007	12-09	12-06	3	9	合格 Qualified

续表 3 Continued table 3

项目 Item	序号 Number	年度/年 Time	实际值(月-日) Actual value	预报值(月-日) Predicted value	预报误差/d Predicted error	预见期/d Leading time	是否合格 Acceptable judge
开河日期 Break-up date	1	2000—2001	03-12	03-20	8	2	合格 Qualified
	2	2001—2002	03-06	03-11	5	—	不合格 Failure
	3	2002—2003	03-23	03-20	3	13	合格 Qualified
	4	2003—2004	03-15	03-17	2	5	合格 Qualified
	5	2004—2005	03-21	03-22	1	11	合格 Qualified
	6	2005—2006	—	03-14	—	—	—
	7	2006—2007	03-17	03-17	0	7	合格 Qualified

注:表中“—”表示未收集到数据或预报过程无预见期。
Note:“—”refer to uncollected figures or no predictable date.

3 结 论

本研究基于时间序列互相关分析筛选出黄河内
蒙古段三湖河站封、开河日期的预报因子,引入
AGA-Shepard 模型,建立了三湖河站封、开河日期
AGA-Shepard 预报模型,取得了较好的预报效果。
依据《水文情报预报规范》对预报效果进行评价,可
知基于本研究预报模型得到的三湖河站封、开河日
期预报结果均达到了甲等预报方案标准,表明所建
立的 AGA-Shepard 预报模型能较好地反映封、开河
日期与其影响因素的非线性函数关系,预报结果具
有一定的实用意义。

通过对三湖河站封、开河日期的预报,提示可以
通过加强水文气象要素(径流、水位、气温、水温、流
量等)观测,进一步筛选或增加预报因素,通过增加
模型建立样本和检验样本的数目等方法来提高模型
的预报效果。

[参考文献]

[1] 沈洪道. 河冰研究 [M]. 河南郑州:黄河水利出版社,2010.
Sheng H D. River-ice research [M]. Zhengzhou, He’nan: The
Yellow River Water Conservancy Press,2010. (in Chinese)

[2] 蔡琳. 中国江河冰凌 [M]. 河南郑州:黄河水利出版社,
2008.
Cai L. Chinese rivers ice [M]. Zhengzhou, He’nan: The Yellow
River Water Conservancy Press,2010. (in Chinese)

[3] 可素娟,王敏,饶素秋. 黄河冰凌研究 [M]. 河南郑州:黄河
水利出版社,2002.
Ke S J, Wang M, Rao S Q. The research of Yellow River ice
[M]. Zhengzhou, He’nan: The Yellow River Water Conservan-
cy Press,2002. (in Chinese)

[4] 高瑞忠,冯国华,朝伦巴根,等. 黄河内蒙古段冰情变化特性的
统计分析 [J]. 人民黄河,2010,32(4):53-54,58.
Gao R Z, Feng G H, Chaolun B G, et al. Statistical analysis on
characteristics of ice regime variation at Inner Mongolia section
of the Yellow River [J]. Yellow River,2010,32(4):53-54,58.
(in Chinese)

[5] 高瑞忠,李凤玲,李和平,等. 黄河内蒙古段冰情信息变化特性
的小波分析 [J]. 中国农村水利水电,2010(3):32-35.
Gao R Z, Li F L, Li H P, et al. Research on ice-conditions infor-
mation in Inner Mongolia Reach of the Yellow River based on
Wavelet Analysis [J]. China Rural Water and Hydropower,
2010(3):32-35. (in Chinese)

[6] 冯国华,朝伦巴根,高瑞忠,等. 黄河内蒙古段防凌对策研究
[J]. 水文,2009,29(1):47-49.
Feng G H, Chaolun B G, Gao R Z, et al. Research on ice flood
control strategy for Inner Mongolia reach of Yellow River [J].
Journal of China Hydrology,2009,29(1):47-49. (in Chinese)

[7] 张泽中,徐建新,彭少明,等. 黄河宁蒙河段冰塞增多冰坝减少
的成因分析 [J]. 人民黄河,2010,32(10):31-33.
Zhang Z Z, Xu J X, Peng S M, et al. Analysis on contributing
factors of increased ice jam and decreased ice bar at Ning-Meng
Section of the Yellow River [J]. Yellow River,2010,32 (10):
31-33. (in Chinese)

[8] 鲁仕宝,黄强,吴成国,等. 黄河宁蒙段冰凌灾害及水库防凌
措施 [J]. 自然灾害学报,2010,19(4):43-47.
Lu S B, Huang Q, Wu C G, et al. Ice jams disaster in Ningxia-
Inner Mongolia reaches of the Yellow River and its prevention
by reservoirs [J]. Journal of Natural Disasters,2010,19(4):
43-47. (in Chinese)

[9] 孟闻远,郭颖奎,王璐. 黄河冰凌特点及防治措施 [J]. 华北
水利水电学院学报,2010,31(6):27-29,42.
Meng W Y, Guo Y K, Wang L. Ice Flood characteristics and
prevention measures in Yellow River [J]. Journal of North
China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Pow-
er,2010,31(6):27-29,42. (in Chinese)

[10] 李云鹏,乌日娜,杨晓华. EOS/MODIS 资料在监测黄河内蒙
古段凌汛中的应用 [J]. 内蒙古气象,2011(1):27-31.
Li Y P, Wu R N, Yang X H. Application on EOS/MODIS Da-
ta in monitoring the ice run of the Yellow River of Inner Mon-
golia [J]. Meteorology Journal of Inner Mongolia,2011(1):
27-31. (in Chinese)

[11] 王志兴,李成振,陈刚,等. 冰情预报的投影寻踪回归模型
[J]. 自然灾害学报,2009,18(5):174-177.
Wang Z X, Li C Z, Cheng G, et al. Projection pursuit regres-
sion model for ice situation forecast [J]. Journal of Natural
Disasters,2009,18(5):174-177. (in Chinese)