

灰色等维新息模型在灌溉用水量 预测中的应用研究*

拜存有, 冯旭, 张升堂, 李德君

(杨凌职业技术学院, 陕西 杨凌 712100)

[摘要] 在分析现有灌溉用水量预测方法的基础上, 运用灰色系统理论建立了等维新息模型 GM (1, 1), 并用同步残差等维新息模型进行修正。结果表明, 该模型能够及时更新数据信息, 使模型保持良好的适应性, 有效提高了预测精度。最后应用该模型对宝鸡峡灌区灌溉用水量进行预测检验, 结果表明模型具有较高的预测精度。

[关键词] 灰色系统; 等维新息模型; 灌溉用水量预测; 宝鸡峡灌区

[中图分类号] S11⁺7

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2004)09-0115-04

灌溉用水量是灌区经营管理的一个主要经济指标, 灌溉用水量的预测对于编制灌区用水计划、预算当年经济收入、指导水库蓄水、安排工程项目等灌区管理工作具有重要的指导意义, 对指导灌区农业生产也有一定的借鉴作用。但影响灌溉用水量预测的因素较多, 除了降水量、有效灌溉面积两个主要因素外, 还有种植作物的种类、种植面积、灌溉制度、灌水方式、用水价格、灌溉管理水平等诸多其他因素, 因此属于信息不完全的灰色系统问题。

多年来, 国内外学者对灌溉用水量的预测进行了不少研究, 取得了一些创造性成果^[1]。现行的灌区灌溉用水量预测主要有3种方法: 回归分析法^[1-3]、灰色模型 GM (1, 1) 法^[3,4]、水量平衡法^[5]。回归分析法是建立灌溉用水量与主要因素间的多元回归方程, 应用时依赖于影响因子的统计或预测, 预测精度受影响因子作用较大; 灰色模型法利用灰色系统理论, 建立灌溉用水量的预测模型 GM (1, 1), 虽然建模需要数据少, 预测简单, 但随实测值序列的增长, 不仅计算量增大, 而且系统特性也有可能发生改变, 使预测精度降低, 不适宜作长期预测; 水量平衡法物理概念明确, 对于小区域适应性较好, 而对于大灌区适应性较差。因此, 有必要对灌区灌溉用水量预测方法进行研究改进。

灰色等维新息模型是灰色模型的一种^[6], 它是通过数据序列等维更新使系统具有良好的适应性, 而灌溉用水量系统主要影响因素是降水量和灌溉面

积^[7], 降水量在时间上的变化表现为随机性, 并无明显的趋势; 灌溉面积则受政策影响明显, 不同时期灌区的作物种植结构会随政府农业政策不同而调整, 使灌溉用水量系统具有不断更新的特性, 符合灰色等维新息模型对数据序列等维更新的特点, 因此本研究采用等维新息模型预测灌溉用水量, 以比较客观地反映灌溉用水量系统在时间上的变化特性。

1 灰色等维新息预测模型的建立

1.1 建立 GM (1, 1) 模型^[4,6,8-13]

设原始序列为

$$x^{(0)} = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), \dots, x^{(0)}(n-1), x^{(0)}(n)\}.$$

将 $x^{(0)}$ 作一次累加生成 (1-A GO) 得到

$$x^{(1)} = \{x^{(1)}(k) \mid k = 1, 2, \dots, n\},$$

其中 $x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i) = x^{(0)}(k-1) + x^{(0)}(k) (k = 1, 2, \dots, n)$, 则一次累加生成序列 $\{x^{(1)}(k) \mid k = 1, 2, \dots, n\}$ 的规律, 可以通过求解下面一阶线性微分方程得到。

$$\frac{dx^{(1)}(t)}{dt} + ax^{(1)}(t) = b, \quad (1)$$

式中, a, b 为待定参数, a 称为发展系数, b 称为灰色作用量。

用最小二乘法求解微分方程(1), 估计出参数 a, b 后, 则方程(1)的解, 即时间响应函数为

* [收稿日期] 2004-02-16
[基金项目] 陕西省水利厅科技计划项目(2003SK-23)
[作者简介] 拜存有(1964-), 男, 陕西商州人, 讲师, 主要从事农业水土工程研究。

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = \left[x^{(0)}(1) - \frac{b}{a} \right] e^{-ak} + \frac{b}{a}, \quad (k = 0, 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

由式(2)可对 $x^{(1)}$ 作出预测,并由累减生成得到原始数据序列 $x^{(0)}$ 的预测值,即

$$\hat{x}^{(0)}(k+1) = \hat{x}^{(1)}(k+1) - \hat{x}^{(1)}(k), \quad (k = 0, 2, \dots, n).$$

1.2 模型检验

灰色 GM(1,1) 模型的检验一般用 3 种方法^[6,10-13],即残差检验、关联度检验和后验差检验。本文用残差检验和关联度检验。

1.2.1 残差检验 模型残差序列为

$$\epsilon^{(0)} = \{\epsilon^{(0)}(1), \epsilon^{(0)}(2), \dots, \epsilon^{(0)}(n)\}, \quad (3)$$

式中, $\epsilon^{(0)}(i) = x^{(0)}(i) - \hat{x}^{(0)}(i), i = 1, 2, \dots, n_0$

则相对误差为

$$\Delta(i) = \frac{\epsilon^{(0)}(i)}{x^{(0)}(i)}, i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

平均相对误差为

$$\bar{\Delta} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} \Delta(i), \quad i = 1, 2, \dots, n_0.$$

1.2.2 关联度检验 设年实测灌溉用水量序列为参考序列 $y(t)$, 预测灌溉用水量序列为 $x(t)$, 则速率关联系数^[11]为

$$\xi_{yx}(t) = \frac{1}{1 + \left| \frac{\Delta x(t)}{x(t)\Delta t} - \frac{\Delta y(t)}{y(t)\Delta t} \right|}, \quad (5)$$

式中, $\frac{\Delta y(t)}{y(t)\Delta t}$ 为实测序列的相对速率, $\frac{\Delta x(t)}{x(t)\Delta t}$ 为预测序列的相对速率, $t = 1, 2, \dots, n-1, \Delta t = 1$ 。

速率关联度的计算公式为

$$r_{yx} = \frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^n \xi_{yx}(t). \quad (6)$$

残差检验与关联度检验的等级标准^[13]见表 1。

表 1 模型检验标准

Table 1 The verified standard of the model

精度等级 Precision grade	相对误差 Relative error	关联度 Relation grade	精度等级 Precision grade	相对误差 Relative error	关联度 Relation grade
一级 First grade	0.01	0.90	三级 Third grade	0.10	0.70
二级 Second grade	0.05	0.80	四级 Fourth grade	0.20	0.60

1.3 建立残差 GM(1,1) 模型对原模型进行修正

残差模型 GM(1,1)^[6,10-13]为

$$\hat{\epsilon}^{(1)}(k+1) = (\epsilon^{(0)}(1) - \frac{b_1}{a_1}) e^{-a_1 k} + \frac{b_1}{a_1}. \quad (7)$$

修正后预测值为

$$\hat{x}^{(0)}(k+1) = \hat{x}^{(0)}(k+1) + \hat{\epsilon}^{(0)}(k+1), \quad (8)$$

式中, $\hat{x}^{(0)}(k+1)$ 为修正后的预测值, $\hat{x}^{(0)}(k+1)$ 为修正前的预测值, $\hat{\epsilon}^{(0)}(k+1)$ 为残差的预测值, $k \leq 5$ 。

2 应用实例

2.1 工程概况^[7]

宝鸡峡灌区位于关中西部,灌溉宝鸡、杨凌、咸阳、西安 4 市(区) 14 个县(区)的 20 万 hm^2 农田。灌区分为塬上塬下两大系统,均于渭河筑坝引水,设计流量 95 m^3/s ,校核流量 115 m^3/s 。灌区共有干支渠建筑物 5 362 座;国营抽水站 22 座,总装机容量 2 5 万 kW,水电站 6 座,总装机容量 3 39 万 kW;大中型水库 6 座,总库容 31 523 万 m^3 ,现有有效库容 17 216 万 m^3 。作为关中平原最大的灌区,宝鸡峡引渭工程在陕西农业生产中发挥着巨大的作用,灌区现粮食产

量 9 945 kg/hm^2 ,粮食总产量和商品粮供应量分别占全省的 1/7 和 1/4,是陕西省目前最大的粮油菜果生产基地,被称为陕西“第一大粮仓”,名列全国十大灌区之一。

2.2 预测过程

选用宝鸡峡灌区 1991~2003 年的灌溉用水量资料,经优选以 5 年作为一个数据序列,按照 1.1 步骤建立 8 个等维新息模型,并由每个模型对第 6 年灌溉用水量进行预测,结果见表 2。用残差检验,平均相对误差为 $\bar{\Delta} = 0.079 < 0.10$,属于三级,精度较低。用关联度检验,实际序列与预测序列的速率关联度为 $r_{yx} = 0.90$,为一级精度,说明预测序列的变化趋势与实际序列基本一致。为了提高预测的精度,根据表 2 中预测误差建立残差等维新息 GM(1,1) 模型,进行残差预测,结果见表 3,并将残差进行平均作为修正原预测值的依据,具体修正结果见表 4。

由修正后的预测值计算平均相对误差为 $\bar{\Delta} = 0.045 < 0.05$,精度达到二级;计算速率关联度为 $r_{yx} = 0.917 > 0.90$,达到一级的精度。

表2 等维新息GM(1,1)模型预测结果

Table 2 The prediction result of the gray equal-dim and new-info model GM(1,1)

模型序号 Model No.	数据序列 Data serial	预测年份 Prediction years	模型参数 Model parameters		预测值/ (亿m ³) Prediction value	实测值/ (亿m ³) Observation value	相对误差/% Relative error
			a	b			
1	1991~ 1995	1996	0.040 0	2.924 6	2.354	2.352	0.08
2	1992~ 1996	1997	0.043 4	2.809 2	2.213	2.101	5.3
3	1993~ 1997	1998	0.152 8	3.577 5	1.626	1.523	6.7
4	1994~ 1998	1999	0.076 0	2.552 8	1.633	1.951	16.3
5	1995~ 1999	2000	0.102 8	2.582 4	1.498	1.679	10.8
6	1996~ 2000	2001	0.048 0	2.106 0	1.606	1.516	5.9
7	1997~ 2001	2002	0.008 8	1.719 7	1.636	1.765	7.3
8	1998~ 2002	2003	0.045 0	1.946 0	1.533	1.383	10.8

表3 残差等维新息GM(1,1)模型预测结果

Table 3 The prediction result of the gray equal-dim and new-info model GM(1,1)

数据序列 Data serial	模型参数 Model parameters		预测年份 Prediction years	残差预测值 Prediction error			
	a ₁	b ₁		1996~ 2000	1997~ 2001	1998~ 2002	1999~ 2003
1996~ 2000	- 0.106 5	0.828 5	1996	- 0.002			
1997~ 2001	- 0.011 6	1.173 7	1997	- 0.113	- 0.112		
1998~ 2002	0.071 4	1.494 1	1998	- 0.001	0.08	- 0.103	
1999~ 2003	0.066 9	1.426 0	1999	0.124	0.094	0.270	0.318
			2000	0.263	0.108	0.176	0.134
			2001		0.123	0.087	0.052
			2002			0.005	- 0.027
			2003				- 0.099

表4 用残差等维新息GM(1,1)模型修正预测结果

Table 4 The modified prediction result of the gray equal-dim and new-info model GM(1,1)

数据序列 Data serial	预测年份 Prediction years	预测值/ (亿m ³) Prediction value	平均残差 Average error	修正后预测值 Modified prediction value	实测值/ (亿m ³) Observation value	相对误差/% Relative error
1991~ 1995	1996	2.354	- 0.002	2.352	2.352	0
1992~ 1996	1997	2.213	- 0.112	2.101	2.101	0
1993~ 1997	1998	1.626	- 0.008	1.618	1.523	6.2
1994~ 1998	1999	1.633	0.202	1.835	1.951	5.9
1995~ 1999	2000	1.498	0.170	1.668	1.679	0.6
1996~ 2000	2001	1.606	0.087	1.693	1.516	11.7
1997~ 2001	2002	1.636	- 0.011	1.625	1.765	7.9
1998~ 2002	2003	1.533	- 0.099	1.434	1.383	3.7

3 结论

(1) 灰色等维新息模型能及时去掉系统中旧信息, 同时增加新信息, 使系统始终保持比较好的适应性, 纠正系统在时间变化上的偏差, 比较客观地反映了灌溉用水量系统在时间上的变化特性, 因此, 可以收到良好的效果, 不失为灌区预测灌溉用水量的一种新方法。

(2) 影响灌溉用水量的因素很多, 而且部分主要因素在一定时段具有相对的稳定性, 利用灰色等维新息模型对灌溉用水量进行预测, 不仅要求样本数据少、原理简单、运算方便, 而且预测结果精度较高, 是灌区管理中一种行之有效的方法。

(3) 对预测值用同期的等维新息残差模型GM(1,1)进行修正, 可以提高预测的精度。

[参考文献]

- [1] 康绍忠 农田灌溉原理研究领域几个问题的思考与探索[J]. 灌溉排水, 1992, (3): 1- 7.
- [2] 王蕊莲 宝鸡峡引渭灌区灌溉用水量与降水量的相关分析[J]. 防渗技术, 2001, (3): 42- 47.
- [3] 朝伦巴根, 刘廷玺, 贾德彬, 等 通辽地区工农业需水量的现状分析与预测[J]. 内蒙古农业大学学报, 2002, (2): 95.
- [4] 邵东国, 郭元裕, 沈佩君 区域农业灌溉用水量长期预报模型研究[J]. 灌溉排水, 1998, (3): 26- 31.
- [5] 陈乐湘, 钟平安, 陆宝宏 旱作物灌溉用水预测公式[J]. 水文, 2002, (6): 26- 31.
- [6] 满林, 刘建永, 孟昭菅, 等 灰色军事领域[M]. 北京: 解放军出版社, 1988 8- 23.
- [7] 张瑞玲 宝鸡峡灌区灌溉用水量变化趋势分析与思考[J]. 杨凌职业技术学院学报, 2004, (2): 42- 47.
- [8] 门宝辉, 陈会秋, 刘庆华 灰色系统理论在井灌水稻区渠道水温预测中的应用[J]. 东北水利水电, 2003, (1): 46- 48.
- [9] 郝永红, 黄登宇, 张文忠, 等 山西神头泉流量的灰色预测模型研究[J]. 水利学报, 2004, (2): 111- 115.
- [10] 蒋洪江, 傅国伟 需水量的灰色预测[J]. 中国环境科学, 1990, (5): 339- 342.
- [11] 张升堂, 拜存有, 万三强 黄土高原水土保持措施强化降雨入渗分析及灰色预测[J]. 水土保持通报, 2004, (2): 29- 33.
- [12] 曹鸿兴, 郑耀文, 顾今, 等 灰色系统理论浅述[M]. 北京: 气象出版社, 1988 26- 34.
- [13] 刘思锋, 郭天榜, 党耀国, 等 灰色系统理论及应用[M]. 北京: 科学出版社, 1999 44- 70.

The application research on the gray equal-dimension and new-info model in the prediction of irrigation water consumption

BAI Cun-you, FENG Xu, ZHANG Sheng-tang, LI De-jun

(Yangling Vocational and Technical College, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The prediction of irrigation water quantity is a dynamic and non-balance process. Presently, the prediction uses the regression analysis and water balance theory. However, the factors have great effects on the prediction. In the paper, the equal-dimension and new-info model GM (1, 1), which could be applied to predicting the consumption of irrigation water, was developed according to the gray system theory firstly; then it was modified with residual theory. The model can refresh data in time, can keep adaptability, and has higher precision. This model was used to predict the irrigation water consumption in Baojixia irrigation region, the result shows the model has higher precision.

Key words: gray system; the equal-dimension and new-info model; irrigation water consumption prediction; Baojixia irrigation region