

不同改进灰色模型在广西年用水量预测中的应用研究

杜懿^{1,2}, 麻荣永^{1,2}

(1. 广西大学 土木建筑工程学院, 广西 南宁 530004; 2. 广西防灾减灾与工程安全重点实验室, 广西 南宁 530004)

摘要:以广西全区 2005–2014 年的年用水量资料作为建模数据,采用灰色 GM(1,1) 模型进行预测研究。为了提高预测精度,分别对传统灰色 GM(1,1) 模型进行了不同方式的改进,通过比较发现 4 种灰色模型的预测结果均较理想,平均精度达到了 99.5%。其中传统灰色 GM(1,1) 模型为 99.0%、函数变换改进的灰色模型为 99.4%、残差修正后的灰色模型为 99.7%、经弱化算子处理后的灰色模型为 99.9%,同时也充分验证了灰色模型在广西年用水量预测中的可靠性。

关键词:用水量; 灰色模型; 函数改进; 残差修正; 弱化算子

中图分类号:TV21

文献标识码:A

文章编号:1672-643X(2017)03-0087-04

Application of different improved grey model on the water consumption prediction in Guangxi

DU Yi^{1,2}, MA Rongyong^{1,2}

(1. College of Architecture and Civil Engineering of Guangxi University, Nanning 530004, China;

2. Key Lab of Guangxi Disaster Prevention and Structural Safety, Nanning 530004, China)

Abstract: Based on the annual water consumption data from 2005 to 2014 in Guangxi, the gray GM (1, 1) model was used for prediction. In order to improve the prediction precision, the traditional grey GM (1,1) model was improved in different ways. It is found that the prediction results of the four grey models are ideal, and the average precision reached 99.5%. The precision of the traditional grey GM(1,1) model is 99.0%, the function transformation improved grey model is 99.4%, the revised residual grey model is 99.7%, and the weakening operator treated grey model is 99.9%, also the reliability of water consumption in Guangxi in grey model are fully verified.

Key words: water consumption; grey model; the function improvement; residual correction; weakening operator

1 研究背景

近年来,随着国家西部大开发战略的持续实施,广西经济得到飞速发展的同时也出现了许多问题,其中水资源问题首当其冲。工业规模的不断扩大、人口的急剧增加都对区域供水能力提出了更高要求,能够准确预测出未来用水量进而合理配置水资源对区域的可持续发展具有重大意义。

关于用水量的预测方法,国内外有关学者已进行了大量研究并取得了很多进展,传统预测方法主要有递增率法、线性拟合法、生长曲线法、双向差分

法^[1-3]等,这些方法的预测精度一般较好,但由于需要大量的历史资料,且对资料的完整性和可靠性要求较高^[4-5],实际应用中并不方便。而我国用水量系列资料一般较短,可靠性较差^[6],应用上述方法往往很难得到理想的预测结果,所以需要寻找另外合适的方法来开展预测工作。

灰色预测模型具有对数据要求限制少、中短期预测精度高等优点,从而显示出一定的优越性^[7-10],但模型本身仍存在一定缺陷,主要是当数据离散大时精度差^[11]。基于此,许多学者进行了灰色预测模型的改进研究,拜存有等^[12]曾利用灰色等

收稿日期:2017-01-18; 修回日期:2017-02-24

基金项目:国家自然科学基金项目(51369005); 广西防灾减灾与工程安全重点实验室系统性研究项目(2013ZDX04)

作者简介:杜懿(1994-),男,安徽定远人,硕士研究生,主要从事水文不确定性分析研究。

通讯作者:麻荣永(1955-),男,广西平果人,教授,硕士生导师,主要从事水文及水资源研究。

维新息对灌溉用水量进行了预测研究;柳焯等^[13]将微粒群算法与灰色模型结合来进行城市用水量预测;任晔等^[14]使用灰色神经网络组合模型对年降雨量进行了预测;赵宇哲等^[15]采用灰色振荡序列 GM(1,1)模型对城市用水量进行了预测;陈新国等^[16]利用残差修正的 GM(1,1)模型来预测年降雨量;唐万梅^[17]提出了一种新型的灰色支持向量机预测模型。笔者在前人的研究基础上进行概括总结,以广

西年用水量预测为研究对象,以拟合误差最小为准则,综合使用以上改进方法,选取其中精度最高的几种改进模型进行应用研究。

2 数据收集

本文采用的广西全区 2005 – 2014 年年用水量数据来自于广西水利信息网提供的水资源公报,具体数据见表 1。

表 1 广西全区 2005 – 2014 年年用水量

年份	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
用水量/ 10^8m^3	312.86	314.40	310.40	310.11	303.36	301.58	302.72	303.01	308.15	307.60

3 灰色预测模型

3.1 传统灰色 GM(1,1)模型

灰色模型中的 GM(1,1)模型具有建模原理简单,可操作性强等优点,因而在实际应用中最广泛,笔者在此采用的几种预测模型均是在传统灰色 GM(1,1)模型的基础上进行的改进。其原理主要是先对原始数据序列进行一次累加生成(1 – AGO),以降低原始数据序列的离散性,使其初步具有弱指数律特点,然后建立一阶灰色模型微分方程,并以最小二乘法作为求解原则,解参数矩阵得到时间响应函数进而对序列做出预测。关于灰色 GM(1,1)模型的原理和建模步骤相关文献^[18–20]已有详细介绍,笔者在此不多赘述。

此外,在对原始序列建模之后,需要进行模型精度检验,如果精度不够,则说明建模不合理,须另寻他法。灰色 GM(1,1)模型一般采用 3 种检验方法,即残差检验、关联度检验和后验差检验^[18]。精度由后验差比值 C 和小误差概率 P 共同划分,通常分为四级。由于篇幅限制,具体检验步骤在此不再详述。

3.2 函数变换改进的灰色 GM(1,1)模型

针对传统灰色 GM(1,1)模型无法反映出序列的随机波动性或对波动强烈的数据序列预测精度低这一缺点,有关学者提出了函数变换改进的 GM(1,1)模型。其特点主要是先对原始振荡序列进行函数变换,弱化其离散性,降低数据波动幅度。

至于具体的函数变化方式的选择则取决于原始数据序列的特点,实际应用中为求方便一般采用数学中的平移和几何变换^[15]。

3.3 残差修正改进的灰色 GM(1,1)模型

传统灰色 GM(1,1)模型适用条件严苛,对于波

动小、规律强、发展趋势明显且成严格指数规律的序列往往具有较好的预测效果。但在许多情况下,样本数据很难有如此明显的规律,尤其是具有波动特点的序列。为了提高预测精度,相关学者提出了在 GM(1,1)模型的基础上进行残差修正,多次利用样本来挖掘数据序列更深层次的规律^[21]。

一般情况下采用两种残差修正模型,一是采用原始数据与 GM(1,1)模型预测值残差做一次修正,即一阶残差修正^[22–23];一种是采用原始数据一次累加生成值与 GM(1,1)模型白化微分方程的解之间的残差做一次修正,即二阶残差修正^[22–23]。本文分别利用了两种修正模型对广西年用水量序列进行了预测,比较发现前者较之后者具有更高的预测精度。

以上 3 种灰色预测模型的预测结果及相对误差大小参见表 2。

3.4 弱化算子处理后的灰色 GM(1,1)模型

该灰色模型的主要优点是在使用一次累加生成法之前先对原始数据进行弱化算子变换处理。设 $X^{(0)}$ 是原始数据序列, d 是缓冲算子,当 $X^{(0)}$ 为单调递增、递减或波动序列时,若缓冲序列 X_d 比原始序列 $X^{(0)}$ 的递增速度(或递减速度)减缓,就将缓冲算子 d 称作弱化算子^[24]。

令 $X_d = \{X_d(1), X_d(2), \cdots, X_d(n)\}$ (1)

其中: $X_d(t) = \frac{1}{n - t + 1} [X^{(0)}(t) + X^{(0)}(t + 1) + \cdots + X^{(0)}(n)]$, $t = 1, 2, \cdots, n$, X_d 是经过一阶弱化后的缓冲序列。

若令 $X_{d^2} = \{X_{d^2}(1), X_{d^2}(2), \cdots, X_{d^2}(n)\}$

其中 $X_{d^2}(t) = \frac{1}{n - t + 1} [X_d(t) + X_d(t + 1) + \cdots + X_d(n)]$, $t = 1, 2, \cdots, n$, X_{d^2} 是经过二阶弱化

后的缓冲序列。

本次预测应用中,取原始非负时间序列为:
 $X^{(0)} = \{312.86, 314.4, 310.4, 310.11, 303.36, 301.58, 302.72; 303.01, 308.15, 307.6\}$
对原序列进行一阶缓冲算子作用,得到:
 $X_d = \{307.42, 306.81, 305.87, 305.22, 304.40, 304.61, 305.37, 306.25, 307.88, 307.60\}$
再对其进行二阶缓冲算子作用,得到:
 $X_{d^2} = \{306.14, 306.00, 305.90, 305.90, 306.02, 306.34, 306.77, 307.24, 307.74, 307.60\}$
序列的级比为:

$\sigma = \{1.0005, 1.0003, 1.0000, 0.9996, 0.9989, 0.9986, 0.9985, 0.9984, 1.0004\}$
由于序列的级比满足 $\sigma(t) \in (0.833753, 1.199396)$,故序列可用于建模。预测模型为:
 $\hat{X}^{(1)}(k+1) = \left[X_{d^2}(1) - \frac{b}{a}\right]e^{-ak} + \frac{b}{a} \quad (2)$
通过累减生成还原值:
 $\hat{X}^{(0)}(1) = X^{(1)}(1) = 306.14 \quad (3)$
 $\hat{X}^{(0)}(k+1) = \hat{X}^{(1)}(k+1) - \hat{X}^{(1)}(k) = 305.3365674e^{0.000834206k}, k = 1,2,\cdots,9$ (4)
最终结果见表 3。

表 2 3 种不同灰色模型预测结果比较							10^8 m^3
年份	用水量	传统 GM(1,1)		函数变换		残差修正	
		模拟值	相对误差/%	模拟值	相对误差/%	模拟值	相对误差/%
2005	312.86	312.86	0	312.86	0	312.86	0
2006	314.40	310.11	1.365	314.55	-0.047	312.97	0.454
2007	310.40	309.28	0.361	309.86	0.175	312.25	-0.595
2008	310.11	308.45	0.534	307.76	0.757	311.53	-0.457
2009	303.36	307.63	-1.407	306.01	-0.873	304.44	-0.357
2010	301.58	306.81	-1.733	304.61	-1.005	303.50	-0.638
2011	302.72	305.99	-1.079	303.58	-0.283	302.57	0.051
2012	303.01	305.17	-0.713	302.92	0.030	301.62	0.457
2013	308.15	304.35	1.232	302.65	1.785	308.03	0.039
2014	307.60	303.54	1.319	302.78	1.566	307.35	0.082

表 3 弱化算子处理后的 GM(1,1) 模型预测结果 10^8 m^3					
序号	年份	作用值	预测值	残差	相对误差/%
1	2005	306.14	306.14	0	0
2	2006	306.00	305.59	0.41	0.134
3	2007	305.90	305.85	0.05	0.017
4	2008	305.90	306.10	-0.20	-0.064
5	2009	306.02	306.36	-0.34	-0.111
6	2010	306.34	306.61	-0.27	-0.088
7	2011	306.77	306.87	-0.09	-0.031
8	2012	307.24	307.12	0.12	0.038
9	2013	307.74	307.38	0.36	0.116
10	2014	307.60	307.64	-0.04	-0.012

4 模型精度比较

本文采用平均相对误差和模型精度百分比作为

评价指标,平均相对误差越小,模型精度百分比越高,说明模型在此次预测中的表现越好。计算公式分别为: $\bar{e}(t) = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |e(t)|, P = (1 - \bar{e}(t))$ 。

由表 4 可知,4 种灰色模型的预测精度都较高,其中函数变换法改进达到 99.4%,残差修正改进达到 99.7%、弱化算子法达到 99.9%,说明改进模型合理可靠。

此外,相较于人工神经网络等智能算法对灰色模型的改进,本文列举的几种数学改进方法原理更简单,操作更方便,值得推广使用。

表 4 4 种灰色预测模型精度比较 %		
灰色预测模型	平均相对误差	模型精度
传统灰色预测	0.97	99.0
函数变换改进	0.65	99.4
残差修正改进	0.31	99.7
弱化算子处理	0.06	99.9

5 结 论

(1) 对于区域用水量预测工作中存在的可用数据样本少、信息不充分等问题,灰色 GM(1,1) 模型是一种有效的预测方法。

(2) 利用简单函数变换处理用水量初始数据,再对振荡序列进行拟合建模,能有效地弱化原始序列的随机性,提高预测精度。

(3) 当传统灰色 GM(1,1) 模型预测结果不理想时,可通过残差修正的方式来处理序列以提高精度。

(4) 对用水量初始数据进行弱化算子变换,再对变换后的数据进行 GM(1,1) 建模,得到的预测结果平均误差仅为 0.06%,精度为 99.9%,充分表明优化后的灰色模型具有更高的预测效果。

参考文献:

- [1] 程银才,李明华. 灰色双向差分模型在地下水动态预测中的应用[J]. 地下水, 2008,30(1):9-11.
- [2] 李红伟,毛文晋. 基于双向差分建模的优化 GM(1,1) 模型及其在中长期电力负荷预测中的应用[J]. 电力系统保护与控制,2011,39(13):53-58.
- [3] 王君,王迪吉. 应用等维新息双向差分灰色模型进行趋势分析的新发现[J]. 新疆师范大学(自然科学版), 2005,24(2):15-19.
- [4] 陈梓玄,李占斌,李鹏,等. 灰色最小二乘支持向量机在灌溉用水量预测中的应用[J]. 水资源与水工程学报, 2010,21(1):75-78.
- [5] 刘全胜. 需水量预测方法研究及北京市需水量预测[D]. 北京:北京建筑工程学院, 2001.
- [6] 刘思峰. 灰色系统理论及其应用[M]. 3版. 北京:科学出版社,2004:10-15.
- [7] 赖一峰,高亚静. 基于灰色预测改进模型的配电网可靠性指标预测[J]. 陕西电力,2012,40(4):68-71.
- [8] 冯蕾,王效华. 江苏省农作物秸秆资源量的灰色预测[J]. 能源研究与利用,2010(4):1-3.

- [9] 李又君,孙培良,孙青然,等. 灰色预测模型及干旱预测[J]. 山东气象,2012,32(1):6-11.
- [10] 宋强,王立新,李华. 加工中心主轴热误差的灰色残差修正模型研究[J]. 制造技术与机床,2009(2):27-30.
- [11] 罗松,孙传斌. 改进灰色预测模型在城市用水量预测中的应用[J]. 江西建材,2014(23):294-295.
- [12] 拜存有,冯旭,张升堂,等. 灰色等维新息模型在灌溉用水量预测中的应用研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2004,32(9):115-118.
- [13] 柳烨,王孔锋,陈帝伊. 灰色模型结合微粒群算法的城市用水量预测[J]. 人民黄河,2012,34(3):42-44.
- [14] 任晔,徐淑琴. 灰色神经网络组合模型在庆安县年降雨量预测中的应用[J]. 节水灌溉,2012(9):24-25+29.
- [15] 赵宇哲,武春友. 灰色振荡序列 GM(1,1) 模型及在城市用水中的应用[J]. 运筹与管理, 2010,19(5):155-159.
- [16] 陈新国,訾丽. 基于残差修正 GM(1,1) 模型的年降雨量预测研究[J]. 水资源研究, 2014,35(4):4-6.
- [17] 唐万梅. 基于灰色支持向量机的新型预测模型[J]. 系统工程学报,2006,21(4):410-413.
- [18] 张鹏程,张维江,陆军,等. 基于灰色系统理论的宁夏万元 GDP 用水量预测[J]. 安徽农业科学,2011,39(1):384-385.
- [19] 房明惠,张国义,赵丽,等. 基于灰色模型的合肥市用水量预测[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2009,41(6):862-866.
- [20] 苗志刚,付强. 基于灰色支持向量机的城市用水量预测研究[J]. 计算机仿真,2012,29(8):196-199.
- [21] 陈秀锋,孟红. 灰色残差修正模型在区域物流量预测中的应用研究[J]. 商业经济研究,2011(32):34-35.
- [22] 韩卫红,李丽. 灰色残差修正模型在中长期负荷预测中的应用[J]. 科技资讯,2010(7):124-125.
- [23] 李秀珍,孔纪名,王成华. 灰色 GM(1,1) 残差修正模型在滑坡预测中的对比应用[J]. 山地学报,2007,25(6):741-746.
- [24] 向宇,吴琴. 改进的灰色预测模型在全国用水量预测中的应用[J]. 湖北民族学院学报(自然科学版), 2015,33(1):25-30.