

文章编号:1000-6788(2002)08-0140-03

灰色预测公式的理论缺陷及改进

张大海¹, 江世芳², 史开泉²

(1. 天津大学电力系, 天津 300072; 2. 山东大学电气工程学院, 济南 250061)

摘要: 分析 GM(1,1) 预测模型存在的理论缺陷, 指出在形成预测公式时规定 $\hat{X}^{(1)}(1)$ 为已知条件是不合理的, 应当根据实际情况选用其他数据. 本文对原公式进行修正和拓广, 提出了新的预测公式, 为提高预测精度提供了新的途径.

关键词: 灰色系统; GM(1,1); 预测

中图分类号: N941.5

文献标识码: A

Theoretical Defect of Grey Prediction Formula and Its Improvement

ZHANG Da-hai¹, JIANG Shi-fang², SHI Kai-quan²

(1. Dept of Electrical Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China; 2. Electrical Engineering College, Shandong University, Ji'nan, 250061, China)

Abstract: Analyzes the theoretical defect of grey prediction formula, and points out that $\hat{X}^{(1)}(1)$ shouldn't be limited as the only known condition when forming the prediction formula. Instead, other data could be used. This paper modifies and expands the old formula, proposing new formula, and gives new way to improve the prediction accuracy.

Keywords: grey system; GM(1,1); prediction

1 引言

灰色系统理论具有所需样本数据少, 不需要计算统计特征量等优点. 因此, 自 1982 年出现以来就得到了研究人员的重视, 已经在许多领域, 尤其在不确定性显著(如农业/生态环境)和缺乏数据(如地震预报)的状况中, 得到了成功的应用.

人们在应用 GM(1,1) 模型时, 也遇到了一些预测精度不高的例子. 研究人员已经提出许多改进预测精度的方法, 如残差修正/等维新息等^[1]. 但是从灰色理论本身来看, 其预测公式还存在重大缺陷, 必须加以改正; 否则就会引入理论误差, 使我们陷入无尽的修正工作中, 使预测变得繁琐而不可靠.

下面就从 GM(1,1) 建模的过程开始进行理论分析.

2 GM(1,1) 预测的一般过程

1) 累加生成. 已知原始数据序列 $X^{(0)} = \{X^{(0)}(1), X^{(0)}(2), \dots, X^{(0)}(n)\}$, 对 $X^{(0)}$ 进行一次累加生成, 得到生成序列 $X^{(1)} = \{X^{(1)}(1), X^{(1)}(2), \dots, X^{(1)}(n)\}$, 其中:

$$X^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k X^{(0)}(i), \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

2) 建模. 由 $X^{(1)}$ 构造背景值序列 $Z^{(1)} = \{Z^{(1)}(2), Z^{(1)}(3), \dots, Z^{(1)}(n)\}$.

其中

$$Z^{(1)}(k) = \alpha X^{(1)}(k-1) + (1-\alpha)X^{(1)}(k), \quad k = 2, 3, \dots, n. \text{ 一般取 } \alpha = 0.5$$

■ 收稿日期: 2001-01-12

作者简介: 张大海(1973—), 男, 山东大学教师, 天津大学博士研究生, 从事负荷预测与小波理论研究; 江世芳(1936—), 男, 山东大学教授, 博士生导师, 从事继电保护理论与应用研究; 史开泉(1945—), 男, 山东大学教授, 从事灰色理论/模糊理论等新理论的研究与教学.

假定 $X^{(1)}$ 具有近似指数变化规律,则白化方程(影子方程)为

$$\frac{dX^{(1)}}{dt} + aX^{(1)} = u \tag{2}$$

将上式离散化,微分变差分,得到 GM(1,1)灰微分方程如下:

$$X^{(0)}(k) + aZ^{(1)}(k) = u \tag{3}$$

3) 求解参数 a, u . 用最小二乘法,可以解得式(3)中的参数 a, u . 其中 a 称为发展系数,其大小反映了序列 $X^{(0)}$ 的增长速度; u 称为灰作用量(内生变量).

4) 建立预测公式. $X^{(1)}$ 的预测公式为

$$\hat{X}^{(1)}(k+1) = [X^{(0)}(1) - u/a]e^{-ak} + u/a \tag{4}$$

其中 $k=0,1,2,\dots$, $X^{(0)}$ 的预测公式为

$$\hat{X}^{(0)}(k+1) = X^{(1)}(k+1) - X^{(1)}(k) = (1 - e^a)[(X^{(0)}(1) - u/a)]e^{-a \cdot k} \tag{5}$$

其中 $k=1,2,\dots$. 并且规定 $\hat{X}^{(0)}(1)=X^{(0)}(1)$.

3 灰色预测公式存在的缺陷和修正方法

这里采用一个预测明显失效的实例. 全国 1972—1982 年电视机产量的数据见文献[2],采用传统 GM(1,1)预测时平均相对误差高达 263.1664%. 其原始数据序列 $X^{(0)}$,预测值 $\hat{X}^{(0)}$ 曲线如图 1 所示.

由于 GM(1,1)预测实质上是一种外推法,是用指数曲线 $\hat{X}^{(1)}$ 去拟合序列 $X^{(1)}$. 拟合方法是最小二乘法,从最小二乘法的原理可知,拟合结果应当满足:

$$\sum_{i=1}^N (X^{(1)}(i) - \hat{X}^{(1)}(i)) = 0 \tag{6}$$

而从图中可以看出, $(X^{(1)}(i) - \hat{X}^{(1)}(i)) (i=2, \dots, 11)$ 全部为负数,拟合时存在明显的系统误差. 这种矛盾的出现就令人怀疑灰色预测方法还存在理论上的缺陷.

经过分析,发现这是由于在解微分方程时将 $\hat{X}^{(1)}(k) = X^{(1)}(1)=X^{(0)}(1)$ 作为已知条件造成的,分析如下:

$$\frac{dX^{(1)}}{dt} + aX^{(1)} = u \tag{7}$$

解如上微分方程,得到

$$X^{(1)} = \frac{u}{a} - \frac{C}{a}e^{-at} \tag{8}$$

将上式离散化,表达为

$$\hat{X}^{(1)}(k+1) = -\frac{C}{a}e^{-ak} + \frac{u}{a} \tag{9}$$

为了解出常数 C ,需要一个定解条件,GM(1,1)令 $\hat{X}^{(1)}(1) = X^{(1)}(1)=X^{(0)}(1)$,则有

$$\hat{X}^{(1)}(1) = -\frac{C}{a} + \frac{u}{a} = X^{(0)}(1) \tag{10}$$

$$-\frac{C}{a} = X^{(0)}(1) - \frac{u}{a} \tag{11}$$

所以

$$\hat{X}^{(1)}(k+1) = \left(X^{(0)}(1) - \frac{u}{a} \right) e^{-ak} + \frac{u}{a} \tag{12}$$

这就是我们所熟悉的 GM(1,1)的预测值 $\hat{X}^{(1)}(k+1)$ 的表达式.

这样得到的拟合曲线 $\hat{X}^{(1)}$ 在坐标平面 $(k, \hat{X}^{(1)}(k))$ 上必然通过点 $(1, X^{(1)}(1))$. 而由最小二乘法原理,拟合曲线并不一定通过第一个数据点,我们将 $\hat{X}^{(1)}(1) = X^{(1)}(1)$ 作为已知条件的理论依据并不存在. 另外应考虑到 $X^{(1)}(1)$ 是一个最旧的数据,与未来关系不密切,而且不是通过累加生成得到,规律性不强. 因此,我们有必要抛弃传统的以 $\hat{X}^{(1)}(1) = X^{(1)}(1)$ 为已知条件的解题方法,允许选用其他数据,例如以 $\hat{X}^{(1)}(m) = X^{(1)}(m) (m=2,3,\dots,n)$ 作为已知条件,从而解得新的预测公式.

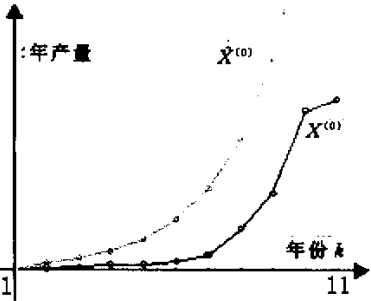


图 1 电视机产量预测曲线

所以
$$X^{(1)}(k+1) = \left(X^{(1)}(m) + \frac{u}{a} \right) e^{-ak+a(m-1)} + \frac{u}{a} = \left(X^{(1)}(m) - \frac{u}{a} \right) e^{-a(k-m+1)} + \frac{u}{a} \tag{13}$$

这里的 m 可以根据实际情况从 $1, 2, \dots, n$ 中选择. 新公式(13)可以作为原预测公式(4)的修正和拓广, 因为如果取 $m=1$, 则式(13)与式(4)等同.

由此得到新的预测方法, 基本过程如下:

- 1) 累加生成;
- 2) 建模;
- 3) 求解参数 a, u ;
- 4) 依次分别选用 $m=1, 2, \dots, n$ 建立预测公式, 计算预测误差;
- 5) 通过比较, 选取使预测误差最小的 m 值, 建立最佳预测公式.

4 实例分析

针对文献[2]的数据, 改用新的预测公式(13)进行预测. 依次取 $m=1, 2, \dots, 11$, 预测的平均相对误差 $e\%$ 列于表 1.

表 1

m	1	2	3	4	5	6
$e\%$	263.17	167.40	104.13	68.79	37.26	24.01
m	7	8	9	10	11	
$e\%$	24.36	23.79	26.91	42.89	36.94	

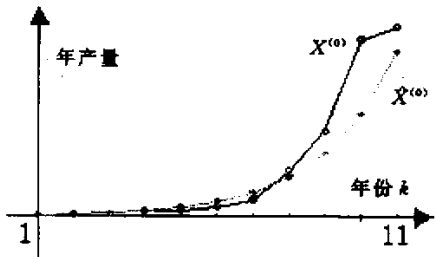


图 2 选 $m=8$ 时的预测曲线

观察上表可以看出:

- 1) 如果按传统的 GM(1,1)方法选用 $m=1$ 来预测, 精度最差, 证明传统方法存在不合理之处.
- 2) 文献[2]提出用 $\hat{X}^{(1)}(n)$ 作为已知条件来建立预测公式, 这种思路有其合理性, 因为 $X^{(1)}(n)$ 是最新的数据; 但对于具体情况, 由于可能存在的随机误差和坏数据, 选用 $X^{(1)}(n)$ 不一定最佳.

通过比较, 发现 $m=8$ 时预测误差最小, 为 23.79%, 相应的预测曲线如图 2. 可以看出, 拟合效果和预测精度都有了很大提高, 表明了本方法不但在理论上是合理的, 而且在实践中非常有效. 该预测精度优于采用改进 GM(1,1)模型的文献[3,4]的预测精度(分别为 30%和 24.1%).

5 结论

在传统的 GM(1,1)预测过程中, 用 $\hat{X}^{(1)}(1)$ 作为已知条件来求解预测公式缺乏严格的理论依据, 因此解出的不一定是最佳预测公式. 本文提出新的预测公式, 是对原方法的修正和拓广, 方法简便, 能够有效地提高预测精度. 根据最小二乘法理论, 最佳拟合曲线有可能不通过 $X^{(1)}$ 序列中的任何一个数据. 如何不局限于 $X^{(1)}$ 序列的数据, 从理论上直接找到最优已知条件, 有待进一步探讨.

参考文献:

- [1] 王成山, 杨军, 张崇见. 灰色系统理论在城市年用电量预测中的应用——不同预测方法的分析比较[J]. 电网技术, 1999, 23(2):15-18.
- [2] 李云贵, 李清富, 赵国藩. 灰色 GM(1,1)预测模型的改进[J]. 系统工程, 1992, 10(6):27-31.
- [3] 罗荣桂, 陈炜. 灰色系统模型的一点改进及应用[J]. 系统工程理论与实践, 1988, 8(2):46-52.
- [4] 于德江. 灰色系统建模方法的探讨[J]. 系统工程, 1991, 9(5):9-12.

灰色预测公式的理论缺陷及改进

作者：[张大海](#)，[江世芳](#)，[史开泉](#)

作者单位：[张大海\(天津大学电力系, 天津, 300072\)](#)，[江世芳, 史开泉\(山东大学电气工程学院, 济南, 250061\)](#)

刊名：[系统工程理论与实践](#)[ISTIC](#)[EI](#)[PKU](#)

英文刊名：[SYSTEMS ENGINEERING—THEORY & PRACTICE](#)

年，卷(期)：2002，22(8)

被引用次数：124次

参考文献(4条)

1. [王成山](#), [杨军](#), [张崇见](#) 灰色系统理论在城市年用电量预测中的应用—不同预测方法的分析比较[期刊论文]-[电网技术](#) 1999(02)
2. [李云贵](#), [李清富](#), [赵国藩](#) 灰色GM(1, 1) 预测模型的改进 1992(06)
3. [罗荣桂](#), [陈炜](#) 灰色系统模型的一点改进及应用 1988(02)
4. [于德江](#) 灰色系统建模方法的探讨 1991(05)

相似文献(10条)

1. 期刊论文 [田光辉](#), [曾梅香](#), [程万庆](#), [赵苏民](#), [李俊](#), [贾志](#), [TIAN Guang-hui](#), [ZENG Mei-xiang](#), [CHENG Wan-qing](#), [ZHAO Su-min](#), [LI jun](#), [JIA zhi](#) 灰色系统GM(1, 1) 模型在天津地下水水位预测中的应用 -[地下水](#)2009, 31(6)
天津是我国开发利用地热资源较早的城市之一, 二十世纪九十年代开始大规模的将地热资源应用于供暖、洗浴、养殖等方面. 但随着地热资源开采规模的不断扩大, 地下水的水位正在逐年下降. 通过整理和分析以往的动态监测资料, 介绍了天津地区地热地质条件, 总结了天津地区地下水水位动态变化的基本特征, 并利用灰色系统GM(1, 1) 模型对地下热水的未来水位变化趋势进行了预测, 提出GM(1, 1) 模型在地下水水位短期预测中的优势和应用前景.
2. 期刊论文 [白建明](#), [王之琼](#), [姚树莲](#), [BAI Jian-ming](#), [WANG Zhi-qiong](#), [YAO Shu-lian](#) 灰色系统GM(1, 1) 模型预测流行性出血热发病趋势 -[黑龙江医药科学](#)2006, 29(2)
目的: 预测佳木斯市2006~2007年流行性出血热(EHF) 流行趋势, 为该市EHF防治工作提供科学的参考依据. 方法: 根据佳木斯市1996~2005年EHF发病率资料, 运用灰色系统GM(1, 1) 模型, 预测该市2006~2007年EHF的流行趋势. 结果显示, 佳木斯市此间EHF的发病率呈缓慢增加趋势.
3. 期刊论文 [张世强](#), [ZHANG Shi-qiang](#) 基于信息再利用的灰色系统GM(1, 1) 模型建模方法及应用 -[数学的实践与认识](#)2009, 39(13)
度优于其他改进方法建立的GM(1, 1) 模型, 因而具有广泛的应用价值.
4. 期刊论文 [笮秉宏](#), [元四华](#), [DA Bing-hong](#), [QI Si-hua](#) 基于GM(1, 1) 灰色系统的公路货运量预测模型的研究 -[安徽工程科技学院学报\(自然科学版\)](#) 2007, 22(2)
灰色系统理论已成功运用于工业、农业、经济、能源、交通等领域, 利用灰色系统理论建立的我国公路货运量预测模型精度高, 计算值和统计值吻合程度较好. 根据预测模型计算出的未来几年我国公路货运量对我国汽车工业、能源工业和交通部门都具有较高的参考价值.
5. 期刊论文 [刘海利](#), [朱谷昌](#), [张晋斌](#), [夏正清](#), [LIU Hai-li](#), [ZHU Gu-chang](#), [ZHANG Pu-bin](#), [XIA Zheng-qing](#) 灰色系统在赛什塘铜矿区Cu品位预测方面的应用 -[四川有色金属](#)2009, ""(2)
对于地学研究中的许多对象, 因已知的信息只有资料、经验及样品. 其它未知信息需要通过坑钻资料、物化探资料等已知信息来推断, 故可看成是灰色系统. 本文应用赛什塘铜矿区23勘探线上数个钻孔的Cu平均品位来估算该勘探线上其它设计钻孔的平均品位, 采用的模型为GM(1, 1) 及新陈代謝GM(1, 1), 对二者的拟合及预测精度作了分析.
6. 期刊论文 [胡建利](#), [梁祁](#), [吴莹](#), [张永杰](#), [艾静](#), [刘文东](#), [胡月梅](#) 应用灰色系统GM(1, 1) 模型预测甲型病毒性肝炎发病率 -[数理医药学杂志](#)2010, 23(2)
目的: 探讨预测江苏省甲肝发病率的数学模型, 为甲肝防控工作提供科学的参考依据. 方法: 利用1999~2007年江苏省甲肝的发病率资料建立GM(1, 1) 预测模型, 并进行模型评价. 结果: 甲肝发病率的GM(1, 1) 模型为 , 拟合效果较好, 同时利用模型外推预测了2008年的甲肝发病率, 预测准确. 结论: 如无较大规模的甲肝爆发, 运用此预测方法较为方便适用.
7. 期刊论文 [段琼虹](#), [聂绍发](#), [仇成轩](#), [施侣元](#) 灰色系统残差GM(1, 1) 模型应用于前列腺癌流行趋势预测 -[数理医药学杂志](#)2000, 13(5)
根据武汉市城区居民1990~1997年前列腺癌死亡资料建立灰色系统残差GM(1, 1) 模型, 预测1998~2000年该市居民前列腺癌流行趋势, 旨在评价灰色系统残差GM(1, 1) 的效果, 并为前列腺癌的人群防治提供依据. 拟和结果显示, 模型的平均误差率为6. 88%, 精度为优(C=0. 32, P=1). 预测结果表明, 武汉市城区居民(男性) 此间前列腺癌死亡率呈缓慢增加趋势.
8. 期刊论文 [李希灿](#), [Li Xican](#) 灰色系统GM(1, 1) 模型适用范围拓广 -[系统工程理论与实践](#)1999, ""(1)
研究了灰色系统GM(1, 1) 模型在建模过程中由于原始数列乘以不等于零的常数对模型值及预测值的影响, 得出GM(1, 1) 模型完全适用于负数据序列建模的结论.

9. 期刊论文 [李永锋, 皇甫娟, LI Yong-feng, HUANG Fu-juan](#) [基于GM\(1, 1\)灰色系统的纺织品市场预测模型研究-洛阳工业高等专科学校学报](#)2007, 17 (4)
应用GM(1, 1)建立了纺织品销售市场的动态灰色预测模型, 预测结果与精度检验表明, 该预测模型能够精确地反映纺织品销售市场的动态变化趋势, 对纺织品市场预测、纺织品公司的效益预测, 以及对纺织品销售市场宏观管理的决策均有参考价。
10. 期刊论文 [宁德煌, NING De-huang](#) [灰色系统GM\(1, 1\)模型及其在市场预测中的应用](#) -[昆明理工大学学报](#) 2000, 25 (3)
对灰色系统GM(1, 1)模型进行了讨论和分析, 探讨了灰色系统预测模型在市场预测中的应用。

引证文献(124条)

1. [雷鸣雳, 冯祖仁](#) [一种内涵式参数辨识的GM\(1, 1\)新模型](#)[期刊论文]-[系统工程与电子技术](#) 2010(2)
2. [门可佩, 唐沙沙, 蒋梁瑜, 刘静](#) [基于新优化灰色模型的江苏人口发展预测研究](#)[期刊论文]-[南京信息工程大学学报](#) 2010(1)
3. [李晓花](#) [基于残差修正的GM\(1, 1\)模型在农业用水量预测中的应用](#)[期刊论文]-[水科学与工程技术](#) 2010(1)
4. [石为人, 王燕霞, 唐云建, 范敏](#) [小样本跳变水质时序数据预测方法](#)[期刊论文]-[计算机应用](#) 2010(2)
5. [胡玉琢, 张云怀, 肖鹏, 曹六俊, 卢露, 张小宁](#) [改进型灰色神经网络模型在水质预测中的应用](#)[期刊论文]-[黑龙江大学自然科学学报](#) 2009(5)
6. [姚颖康, 张春艳, 张坤](#) [改进的GM\(1, 1\)模型在滑坡变形预测中的应用](#)[期刊论文]-[水文地质工程地质](#) 2009(5)
7. [张世强](#) [基于信息再利用的灰色系统GM\(1, 1\)模型建模方法及应用](#)[期刊论文]-[数学的实践与认识](#) 2009(13)
8. [杨知, 任鹏, 党耀国](#) [反向累加生成与灰色GOM\(1, 1\)模型的优化](#)[期刊论文]-[系统工程理论与实践](#) 2009(8)
9. [张奎, 李高祥, 郑良飞](#) [汨罗市308线公路某滑坡变形监测及预测研究](#)[期刊论文]-[中国新技术新产品](#) 2009(13)
10. [钟昌宝, 聂茂林, 徐永其](#) [基于灰色马尔柯夫改进模型预测供应链独立需求](#)[期刊论文]-[情报杂志](#) 2009(7)
11. [黄继, 种晓丽](#) [广义累加灰色预测控制模型及其优化算法](#)[期刊论文]-[系统工程理论与实践](#) 2009(6)
12. [石为人, 王燕霞, 唐云建, 范敏](#) [基于灰色神经网络建模的水质参数预测](#)[期刊论文]-[计算机应用](#) 2009(6)
13. [马亮, 魏光辉, 杨昕馨](#) [GM\(1, 1\)模型在阿瓦提灌区干旱预测中的应用](#)[期刊论文]-[节水灌溉](#) 2009(6)
14. [姚纪明, 于炳松, 车长波, 张道勇](#) [组合法在塔里木盆地石油产量预测中的应用](#)[期刊论文]-[自然资源学报](#) 2009(5)
15. [李国成, 吴涛, 徐沈](#) [灰色人工神经网络人口总量预测模型及应用](#)[期刊论文]-[计算机工程与应用](#) 2009(16)
16. [肖燕彩, 陈秀海](#) [多变量灰色预测公式的改进](#)[期刊论文]-[数学的实践与认识](#) 2009(6)
17. [苏安玉, 李衡, 濮励杰, 彭补拙, 付强](#) [基于RAGA-BP神经网络模型的三江平原地下水资源预测研究](#)[期刊论文]-[地理科学](#) 2009(2)
18. [张静](#) [基于Box-Jenkins建模法对中国人口增长率预测及结果分析](#)[期刊论文]-[黑龙江科技信息](#) 2009(14)
19. [刘乐, 王洪国, 王宝伟](#) [基于背景值构造方法的GM\(1, 1\)模型优化](#)[期刊论文]-[统计与决策](#) 2009(1)
20. [张晓伟, 沈冰, 黄领梅](#) [基于BP神经网络的灰色自记忆径流预测模型](#)[期刊论文]-[水力发电学报](#) 2009(1)
21. [赵岚, 王国体, 许小健](#) [微分进化算法在单桩极限承载力灰色优化预测中的应用](#)[期刊论文]-[合肥工业大学学报\(自然科学版\)](#) 2009(2)
22. [张欢勇, 戴文战](#) [灰色GM\(1, 1\)预测模型的改进](#)[期刊论文]-[浙江理工大学学报](#) 2009(1)
23. [宣平, 刘建宁](#) [灰色人工神经网络组合预测模型及其应用研究](#)[期刊论文]-[宿州教育学院学报](#) 2008(6)
24. [王培光, 李扬, 宗晓萍](#) [一种基于支持向量机与灰色的组合预测新方法](#)[期刊论文]-[河北省科学院学报](#) 2008(4)
25. [向良, 陈炳初](#) [基于Verhulst模型的软土路基沉降分析](#)[期刊论文]-[湖南交通科技](#) 2008(4)

26. [万星, 李伟, 乐丰](#) [基于灰色网络的流域年均径流量模型研究](#)[期刊论文]-[人民黄河](#) 2008(12)
27. [钱龙霞, 刘明国, 黄占峰, 高雄, 王红瑞](#) [基于自相关性分析的等维灰数递补动态预测模型及其应用](#)[期刊论文]-[北京师范大学学报\(自然科学版\)](#) 2008(6)
28. [骆公志, 崔杰, 谢乃明](#) [灰色GM\(1, 1\)模型新的改进方法](#)[期刊论文]-[统计与决策](#) 2008(22)
29. [石红艳, 甘淳静, 王志彬, 薛旭艳, 侯晓森](#) [基于复化Simpson公式和插值的管道腐蚀速率预测](#)[期刊论文]-[天然气与石油](#) 2008(5)
30. [张宝泉, 俞宏, 杨国军](#) [改进灰色预测模型在灌溉用水量建模中的应用](#)[期刊论文]-[节水灌溉](#) 2008(12)
31. [刘粤钊, 姚红玉](#) [基于标准化高斯PLSA协同过滤的用电量预测模型](#)[期刊论文]-[控制理论与应用](#) 2008(5)
32. [谢正文, 孔凡玉, 曲方](#) [灰色支持向量机在疲劳裂纹扩展预测中的应用](#)[期刊论文]-[湖北工业大学学报](#) 2008(4)
33. [徐晖, 谢正文, 孔凡玉](#) [疲劳裂纹扩展预测模型及其应用](#)[期刊论文]-[中国计量学院学报](#) 2008(3)
34. [叶谦](#) [GM\(1, 1\)模型的改进及其在银行贷款预测中的应用](#)[期刊论文]-[数学的实践与认识](#) 2008(18)
35. [牛东晓, 贾建荣](#) [改进GM\(1, 1\)模型在电力负荷预测中的应用](#)[期刊论文]-[电力科学与工程](#) 2008(4)
36. [江南, 刘小洋](#) [基于Gauss公式的GM\(1, 1\)模型的背景值构造新方法与应用](#)[期刊论文]-[数学的实践与认识](#) 2008(7)
37. [刘仁涛, 付强, 冯艳, 盖兆梅, 李国良, 李伟业](#) [基于RAGA的灰色BP神经网络预测模型及其对三江平原地下水埋深的动态预测](#)[期刊论文]-[系统工程理论与实践](#) 2008(5)
38. [刘俊民, 苗正伟, 崔娅茹](#) [GM\(1, 1\)模型在宝鸡峡灌区干旱预测中的应用](#)[期刊论文]-[人民黄河](#) 2008(3)
39. [陈霞, 邱桃荣, 蔡洪, 魏玲玲](#) [AGM\(1, 1\)模型的研究及应用](#)[期刊论文]-[计算机工程](#) 2008(10)
40. [马萍, 张迎辉, 岳强, 杨印生](#) [集成灰色GM\(1, 1\)模型研究](#)[期刊论文]-[长春理工大学学报\(自然科学版\)](#) 2008(2)
41. [李辉涛, 谢正文](#) [改进的矿区地面沉降灰色预测模型](#)[期刊论文]-[采矿技术](#) 2008(2)
42. [吴卢荣](#) [最佳灰色回归组合模型及其在中国火灾预测中的应用](#)[期刊论文]-[数学的实践与认识](#) 2008(6)
43. [程继红, 石磊, 于乐](#) [导弹电子设备故障的组合预测方法研究](#)[期刊论文]-[海军航空工程学院学报](#) 2008(1)
44. [魏道江, 陈进, 李华](#) [基于GM\(1, 1\)包络模型的施工生产能力的确定](#)[期刊论文]-[工程建设与设计](#) 2008(2)
45. [肖燕彩, 陈秀海, 朱衡君](#) [改进的离散灰色模型及其应用](#)[期刊论文]-[北京交通大学学报\(自然科学版\)](#) 2008(1)
46. [刘娜, 孙晚华, 何峤](#) [提高GM\(1, 1\)模型拟合预测精度的研究](#)[期刊论文]-[数学的实践与认识](#) 2008(4)
47. [刘志平, 何秀凤](#) [无偏扩展灰色模型及其在高边坡形变预测中的应用](#)[期刊论文]-[大地测量与地球动力学](#) 2008(1)
48. [刘志平, 何秀凤](#) [无偏扩展灰色模型及其在高边坡形变预测中的应用](#)[期刊论文]-[大地测量与地球动力学](#) 2008(1)
49. [刘树, 王燕, 胡凤阁](#) [对灰色预测模型残差问题的探讨](#)[期刊论文]-[统计与决策](#) 2008(1)
50. [晏艳, 周勇](#) [基于拓广的GM\(1, 1\)的土地利用变化情景研究](#)[期刊论文]-[数学的实践与认识](#) 2007(3)
51. [郑良飞, 折学森](#) [地面沉降的GM\(2, 1\)模型预测研究](#)[期刊论文]-[中国地质灾害与防治学报](#) 2007(4)
52. [饶从军, 王成, 涂火年](#) [一种新的预测模型及其应用](#)[期刊论文]-[武汉理工大学学报\(交通科学与工程版\)](#) 2007(6)

53. 门可佩, 官琳琳, 尹逊震 基于两种新型灰色模型的中国人口预测[期刊论文]-经济地理 2007(6)
54. 邹长武, 李祚泳, 倪长健 GM(1, 1) 的改进及其在经济发展预测中的应用[期刊论文]-数学的实践与认识 2007(22)
55. 门可佩, 官琳琳, 尹逊震 中国人口发展预测研究[期刊论文]-统计与决策 2007(22)
56. 郑良飞, 叶万军, 折学森 铜黄公路某滑坡安全监测及预测研究[期刊论文]-工程地质学报 2007(5)
57. 单汧源, 汪玉, 吴娟 基于双重优化GM(1, 1) 模型的MC多项目进度预测研究[期刊论文]-科学技术与工程 2007(19)
58. 董奋义 基于新改进GM(1, 1) 模型的中国企业债券融资发展预测[期刊论文]-中国管理科学 2007(4)
59. 严修红, 许伦辉, 董世畅 基于数据预处理灰色神经网络组合和集成预测[期刊论文]-智能系统学报 2007(4)
60. 李生潜 GM(1, 1) 模型在甘肃灌溉用水量建模中的应用[期刊论文]-人民黄河 2007(7)
61. 赵明华, 陈炳初, 刘建华 基于Verhulst模型的软土路基沉降预测[期刊论文]-沈阳建筑大学学报(自然科学版) 2007(4)
62. 陈剑峰, 李俊峰 基于五点插值求导公式的灰色GM(1, 1) 改进模型及在我国人均钢产量数学建模中的应用[期刊论文]-职业时空(综合版) 2007(3)
63. 董奋义, 田军 背景值和初始条件同时优化的GM(1, 1) 模型[期刊论文]-系统工程与电子技术 2007(3)
64. 张怡, 魏勇, 熊常伟 灰色模型GM(1, 1) 的一种新优化方法[期刊论文]-系统工程理论与实践 2007(4)
65. 赵琰, 郭科 基于灰色系统算法在攀枝花钒钛磁铁矿预测中的应用[期刊论文]-物探化探计算技术 2007(4)
66. 万星, 周建中 改进灰色神经网络模型在电量预测中的应用[期刊论文]-水力发电 2007(6)
67. 张文, 温荣生, 邱淑芳 基于背景值重构的灰色-马尔柯夫模型及其应用[期刊论文]-东华理工学院学报 2007(1)
68. 姚纪明, 于炳松, 车长波, 刘亚静 修正的GM模型在塔里木盆地石油产量预测中的应用[期刊论文]-大庆石油地质与开发 2007(1)
69. 张子培, 胡毅夫 软土路基分级加载沉降预测模型及应用[期刊论文]-中南公路工程 2006(3)
70. 唐万梅, 向长合 基于二次插值的GM(1, 1) 模型预测方法的改进[期刊论文]-中国管理科学 2006(6)
71. 马咏真, 吴卢荣 中国火灾最佳灰色回归组合预测模型[期刊论文]-中国安全科学学报 2006(1)
72. 唐万梅 基于灰色支持向量机的新型预测模型[期刊论文]-系统工程学报 2006(4)
73. 何文章, 吴爱弟 估计Verhulst模型中参数的线性规划方法及应用[期刊论文]-系统工程理论与实践 2006(8)
74. 魏利胜, 费敏锐, 张波 一种基于数据融合的新型GM(1, 1) 建模研究[期刊论文]-系统仿真学报 2006(z2)
75. 贾凌云, 门可佩 上海人口发展预测研究[期刊论文]-统计与决策 2006(6)
76. 刘从柱, 费良军, 赵新宇, 刘健雄 正弦修正灰色模型在灌区引水量预测上的应用[期刊论文]-人民黄河 2006(12)
77. 韩肖重 灰色理论在中长期负荷预测中的应用[期刊论文]-科技情报开发与经济 2006(4)
78. 孔光, 张海燕 残差修正DGM模型在公路客运量预测中的应用[期刊论文]-交通与运输 2006(z1)
79. 严修红, 许伦辉 基于数据修正的改进型灰色-RBF网络预测[期刊论文]-华东交通大学学报 2006(5)
80. 肖燕彩, 陈秀海, 朱衡君 用改进的灰色多变量模型预测变压器油中溶解气体的浓度[期刊论文]-电网技术 2006(10)
81. 任震, 吴敏栋, 黄雯莹 电力系统可靠性原始参数的滚动预测和残差修正[期刊论文]-电力自动化设备

82. 肖燕彩. 朱衡君. 陈秀海. [用灰色多变量模型预测变压器油中溶解的气体浓度](#)[期刊论文]-[电力系统自动化](#)
2006(13)

83. 李彤. [地面沉降灰色预测模型研究及风险评价](#)[学位论文]硕士 2006

84. 周晓琦. [物流中心规模及功能与需求的关系研究](#)[学位论文]硕士 2006

85. 贾凌云. [人口预测的灰色增量模型及其应用](#)[学位论文]硕士 2006

86. 翟希东. [港口集装箱吞吐量预测模型研究](#)[学位论文]硕士 2006

87. 种晓丽. [混合型多属性灰决策与模型的矩阵研究](#)[学位论文]硕士 2006

88. 饶从军. [灰生成技术及其应用研究](#)[学位论文]硕士 2006

89. 董奋义. [我国企业债券融资发展理论研究](#)[学位论文]博士 2006

90. 万星. [水电科学中若干新方法应用研究](#)[学位论文]博士 2006

91. 万星. [水电科学中若干新方法应用研究](#)[学位论文]博士 2006

92. 万星. [水电科学中若干新方法应用研究](#)[学位论文]博士 2006

93. 唐天国. 万星. 刘浩吾. [高边坡安全监测的改进GM模型预测研究](#)[期刊论文]-[岩石力学与工程学报](#) 2005(2)

94. 何文章. 宋国乡. [基于遗传算法估计灰色模型中的参数](#)[期刊论文]-[系统工程学报](#) 2005(4)

95. 李俊峰. 戴文战. [GM\(1, 1\)改进模型的研究及在上海市发电量建模中的应用](#)[期刊论文]-[系统工程理论与实践](#)
2005(3)

96. 何文章. 宋国乡. 吴爱弟. [估计GM\(1, 1\)模型中参数的一族算法](#)[期刊论文]-[系统工程理论与实践](#) 2005(1)

97. 吴斐. 孙晓东. 胡劲松. [机场货物吞吐量的灰色预测方法研究](#)[期刊论文]-[物流技术](#) 2005(7)

98. 刘发全. 职承杰. [灰色预测GM\(1, 1\)模型的一点改进](#)[期刊论文]-[数学的实践与认识](#) 2005(11)

99. 万星. 丁晶. 廖杰. [水库流域年均径流模型的灰色神经网络分析](#)[期刊论文]-[水力发电](#) 2005(4)

100. 张艳芳. [基于GM\(1, 1\)的残差修正模型及应用](#)[期刊论文]-[水科学与工程技术](#) 2005(6)

101. 陈继光. 李瑞平. [基于网络基坑沉降预测的马尔可夫修正模型](#)[期刊论文]-[公路交通科技](#) 2005(4)

102. [改进的灰GM\(1, 1\)模型在灌区水文年型中长期预报中的应用](#)[期刊论文]-[灌溉排水学报](#) 2005(5)

103. 于倩秀. 郑云萍. [油气管道腐蚀速度灰色动态多级残差模型的确立及应用](#)[期刊论文]-[管道技术与设备](#)
2005(5)

104. 曹艳平. [灰色时间序列理论及应用的研究](#)[学位论文]硕士 2005

105. 张睿鹏. [团队知识存量的相对度量方法研究——以我国移动通信终端制造业研发团队为例](#)[学位论文]硕士
2005

106. 张睿鹏. [团队知识存量的相对度量方法研究——以我国移动通信终端制造业研发团队为例](#)[学位论文]硕士
2005

107. 刘文文. [马龙地区马铃薯晚疫病预警系统的研制](#)[学位论文]硕士 2005

108. 何文章. [数值计算在石油勘探开发中的应用研究](#)[学位论文]博士 2005

109. 刘元元. [2010年我国孕产妇、婴儿及5岁以下儿童死亡率的统计预测研究](#)[学位论文]硕士 2005

110. 张丽萍. [灰色理论在智能控制中的应用](#)[学位论文]硕士 2005

111. 王小忠. [物流量预测方法研究](#)[学位论文]硕士 2005

112. 谢乃明. [序列算子与灰色预测模型研究](#)[学位论文]硕士 2005

113. 张丽萍, 李宏光 改进的灰色预测算法在工业应用中的评价[期刊论文]-仪器仪表学报 2004(z1)
114. 麻兴斌, 郑艳琳, 刁柏青, 唐林炜 修正的GM(1, 1)残差模型在原煤销售量预测中的应用[期刊论文]-运筹与管理 2004(4)
115. 何文章, 宋国乡, 吴爱弟 估计GM(1, 1)模型中参数的线性规划方法[期刊论文]-系统工程与电子技术 2004(12)
116. 张大海, 毕研秋, 毕研霞, 毕研梅, 牛兆水, 洛鲁宁 基于串联灰色神经网络的电力负荷预测方法[期刊论文]-系统工程理论与实践 2004(12)
117. 李俊峰, 戴文战 基于插值和Newton-Cotes公式的GM(1, 1)模型的背景值构造新方法与应用[期刊论文]-系统工程理论与实践 2004(10)
118. 何海, 陈绵云 GM(1, 1)模型预测公式的缺陷及改进[期刊论文]-武汉理工大学学报 2004(7)
119. 杨保华, 韩光, 刘燕 灰色GM(1, 1, (\sqrt{t}))模型及在药动学中的应用[期刊论文]-数学的实践与认识 2004(1)
120. 郑艳琳, 刘保东 预测酸雨频率的双残差GM(1, 1)模型及其应用实例[期刊论文]-山东大学学报(工学版) 2004(2)
121. 梅振宇, 王炜, 李铭, 陈峻 高速公路交通生成预测的改进灰色马尔可夫模型[期刊论文]-公路交通科技 2004(12)
122. 何海 灰色动态建模技术与应用[学位论文]硕士 2004
123. 于义彬 水资源系统风险管理与优化决策理论及应用研究[学位论文]博士 2004
124. 邹长武, 贺孝刚, 丁晶 GM(1, 1)预测效果数值试验[期刊论文]-成都信息工程学院学报 2003(4)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_xtgcllys200208023.aspx

授权使用: 北京邮电大学(byab), 授权号: 48da5717-516a-4ad6-9743-9de600cef0d7

下载时间: 2010年9月3日