

基于灰色预测模型的武汉市商品房价格预测研究

荣超, 付淑敏, 杨光, 阎虎勤

厦门国家会计学院, 福建 厦门
Email: 1343922185@qq.com

收稿日期: 2021年5月15日; 录用日期: 2021年6月1日; 发布日期: 2021年6月16日

摘要

本文通过灰色预测模型, 收集2002~2019年武汉市住宅商品房平均价格作为基础数据, 构建了武汉市住宅商品房平均价格变化趋势预测模型, 本文运用了GM(1,1)模型、GM(2,1)模型和邓聚龙参数估计模型对武汉市住宅商品房平均价格进行预测, 通过对三种预测方式的检验指标和预测值与实际值的比较, 发现直接利用Python求解参数的GM(1,1)模型最终的预测结果对现场的参考意义更大; 最终运用GM(1,1)模型计算和预测2020~2030年武汉市住宅商品房平均价格走势, 从预测的结果来看, 武汉市商品房的价格在未来会保持上涨的趋势。

关键词

灰色预测模型, 房价, Python

Prediction and Analysis of Wuhan Commercial Housing Prices Based on Grey Prediction Model

Chao Rong, Shumin Fu, Guang Yang, Huqin Yan

Xiamen National Accounting Institute, Xiamen Fujian
Email: 1343922185@qq.com

Received: May 15th, 2021; accepted: Jun. 1st, 2021; published: Jun. 16th, 2021

Abstract

In this paper, the average price of residential commercial housing in Wuhan City from 2002~2019

文章引用: 荣超, 付淑敏, 杨光, 阎虎勤. 基于灰色预测模型的武汉市商品房价格预测研究[J]. 应用数学进展, 2021, 10(6): 1988-1999. DOI: 10.12677/aam.2021.106209

was collected as the base data through a gray forecasting model, and a forecasting model of the trend of the average price change of residential commercial housing in Wuhan City was constructed. The GM(1,1) model, GM(2,1) model and Deng Jurong parameter estimation model are applied to forecast the average price of residential commodity houses in Wuhan City. By comparing the test indexes and the predicted and actual values of the three forecasting methods, it is found that the final forecasting results of the GM(1,1) model, which directly uses Python to solve the parameters, are more meaningful for realistic reference. The GM(1,1) model was finally applied to calculate and predict the average price trend of residential commercial housing in Wuhan from 2020 to 2030, and from the predicted results, the prices of commercial housing in Wuhan will maintain an upward trend in the future.

Keywords

Grey Prediction Model, House Price, Python

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

自 2019 年新冠肺炎冲击以来, 我国经济均受到不同程度的冲击, 尤其是武汉市, 在疫情初期, 由于新冠肺炎病毒具有高传染性和高发病率, 武汉市需要通过阻止市民接触以进行疫情防控, 这对武汉市经济是一次致命的打击。而房地产行业作为第三产业中的中流砥柱, 更是受到极大冲击, 几乎陷入停滞。疫情发生以来, 党和国家积行动, 动员一切力量支持武汉疫后经济重建, 给武汉市发展注入新的动力。而房价作为一个城市衡量经济发展的重要风向标, 对房价进行研究具有重要意义。本文引入灰色预测模型对武汉市的商品房价格进行预测, 并根据预测的结果展开分析[1]。购房对于大多数中国人而言意义重大, 本文的预测及其结果, 对于有意向在武汉购房的消费者有一定的参考价值。

2. 湖北省房价发展状况

湖北省属于我国中部的经济大省, 其经济发展水平较高, 房价的关注度不低。从总体上看相较于东部省份湖北的房价并不算太高。在湖北十五市中, 除了武汉市平均超过了 1.60 万元每平方米, 其他城市都在 1 万以内。武汉各市房价差距并不显著, 其房价上涨趋势也较为相似。

武汉市经济发展程度位于省内首位, 基础设施完善, 城市规划日趋完善, 生活便利性高。除此之外武汉高校很多, 科教实力能排进全国前五, 知名大学例如武汉大学和华中科技大学, 更好的教育条件也因此吸引了更多人前来定居。

房价在省内位于第二、第三名的城市分别是襄阳和宜昌。襄阳是三国文化的重要发源地之一, 吸引着各种古文化爱好者。襄阳自古以来就是兵家必争之地, 具有优越的地理位置, 也侧面说明了襄阳自古以来, 就是重要的交通枢纽, 是经济发展的中心。进入新世纪以来, 襄阳也在不断提高自身发展质量, 积极推进供给侧结构性改革, 打造高质量 GDP。2019 年, 襄阳市住宅商品房平均价格在一万元左右。宜昌是湖北省的第三大城市, 拥有三峡大坝等知名国家重点设施, 十里清江画廊、神农溪等景区也吸引着省内外游客, 带动了宜昌旅游业的发展, 成为附近区域的安居就业首选地。2019 年, 宜昌市住宅商品房的平均价格为 9000 元每平方米。

总体而言，湖北主要城市房价和其经济发展较为相符，并没有过分畸高。分析其原因，主要有三点。一是湖北的整体经济水平虽然在中部首屈一指，即使在全国范围也处于前十名的水平，但是武汉作为劳务输出大省，人口大量外流，导致购房群体偏少；二是湖北省的经济发展水平不均衡，武汉作为省会经济发展水平远远超过了其他城市，武汉的房价也远高于平均水平，其他城市的房价相对较低；三是武汉市的房地产市场供应较多，武汉市常年商品房供应量位居全国全列，过多的供给量导致武汉市房价长期处于一个较为合理的状态，购房者也相对理性。

3. 指标选取及研究方法

3.1. 指标选取

住宅商品房价格反映了一个地区的人口流动、经济水平、购买力水平等诸多重要因素，是衡量一个地区发展趋势的重要参考之一。本文选择了武汉市 2002~2019 年的全省住宅商品房平均价格作为研究数据进行预测和分析。首先选取 2002~2019 年武汉市住宅商品房平均价格的时间序列作为预测的基础，所数据都来源于国家统计局。获取的数据如表 1 所示。

Table 1. The average housing price of Hubei Province from 2002 to 2019
表 1. 湖北省 2002 年~2019 年的全省平均房价

年份	房价(元/m ²)	年份	房价(元/m ²)
2002	1916	2011	6675.99
2003	2023	2012	6895.35
2004	2462.73	2013	7238
2005	2986.2	2014	7399
2006	3535.26	2015	8404
2007	4515.76	2016	9819
2008	4681	2017	11453
2009	5199	2018	12,678.48
2010	5550	2019	12,834

数据来源：国家统计局。

3.2. 研究方法

3.2.1. GM(1,1)灰色预测模型

原始数据序列为 $X^{(0)} = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)\}$ ，其中， $X^{(0)}(k) \geq 0$ ， $k = 1, 2, \dots, n$ ，其中[2]，

$$x^{(0)}(k) + az^{(1)}(k) = b \tag{1}$$

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

紧邻均值生成序列中，

$$z^{(1)}(k) = \frac{x^{(1)}(k) + x^{(1)}(k-1)}{2}, k = 2, \dots, n \tag{3}$$

则均值 GM(1,1)模型为:

$$x^{(0)}(k) + az^{(1)}(k) = b \quad (4)$$

其中,

$$\frac{dx^{(1)}t}{dt} + ax^{(1)}t = b \quad (5)$$

其对应的时间响应式为:

$$\hat{x}^{(1)}(k) = \left[\hat{x}^{(0)}(1) - \frac{b}{a} \right] e^{-a(k-1)} + \frac{b}{a}, k = 2, \dots, n \quad (6)$$

其中, $\hat{x}^{(1)}(k)$ 为原始一阶累加生成(1-AGO)序列数据拟合值, a 、 b 为待定参数。

本文使用最小二乘法对方程求解, 若 $\hat{a} = (a, b)^T$ 为一参数序列[3], 且:

$$Y = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} -z^{(1)}(2)1 \\ -z^{(1)}(3)1 \\ \vdots \\ -z^{(1)}(n)1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

则灰色微分方程(1)中参数的最小二乘估计为:

$$\hat{a} = (B^T B)^{-1} B^T Y \quad (8)$$

还原值为:

$$\hat{x}^{(0)}(k) = \hat{x}^{(1)}(k) - \hat{x}^{(1)}(k-1) = (1 - e^a) \left[x^{(0)}(1) - \frac{b}{a} \right] e^{-a(k-1)}, k = 2, 3, \dots, n \quad (9)$$

3.2.2. GM(2,1)模型

设等时距原始序列为:

$$x^{(0)} = (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)) \quad (10)$$

对 $x^{(0)}$ 序列处理有:

$$x^{(1)} = (x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n)) \quad (11)$$

其中:

$$x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i), k = 2, 3, \dots, n \quad (12)$$

$$x^{(1)}(1) = x^{(0)}(1) \quad (13)$$

再进行累减处理有:

$$\alpha^{(1)} x^{(0)} = (\alpha^{(1)} x^{(0)}(2), \dots, \alpha^{(1)} x^{(0)}(n)) \quad (14)$$

$$\alpha^{(1)} x^{(0)}(k) = x^{(0)}(k) - x^{(0)}(k-1), k = 2, 3, 4, \dots, n \quad (15)$$

对 $x^{(1)}$ 求紧邻均值序列得到:

$$z^{(1)} = (z^{(1)}(2), z^{(1)}(3), \dots, z^{(1)}(n)) \tag{16}$$

其中:

$$z^{(1)}(k) = 0.5x^{(1)}(k) + (k-1), k = 2, 3, 4, \dots, n \tag{17}$$

则称:

$$\alpha^{(1)}x^{(0)}(k) + a_1x^{(0)}(k) + a_2z^{(1)}(k) = b \tag{18}$$

为 GM(2,1)模型。

3.2.3. 邓聚龙参数估计模型

根据邓聚龙研究假定原始非负离散序列为 $X^{(0)}$:

$$X^{(0)} = \{X_0^{(0)}, \dots, X_{n-1}^{(0)}\} \quad (n \geq 3; X_i^{(0)} \geq 0; i = 0, 1, 2, \dots, n-1) \tag{19}$$

一次累加序列为 $X^{(1)}$:

$$X_i^{(1)} = X_0^{(0)} + X_1^{(0)} + X_2^{(0)} + \dots + X_i^{(0)} = \sum_{l=0}^i X_l^{(0)} \tag{20}$$

假定 $Z^{(1)}$ 为一个均值序列:

$$\begin{aligned} Z^{(1)} &= \{Z_1^{(1)}, \dots, Z_{n-1}^{(1)}\} \quad (n \geq 3; i = 1, 2, \dots, n-1) \\ Z_i^{(1)} &= \frac{1}{2}(X_{i-1}^{(1)} + X_i^{(1)}) \end{aligned} \tag{21}$$

对 $X^{(0)}(t)$ 进行微分运算:

$$\frac{dx^{(0)}(t)}{dt} + ax^{(0)}(t) = b \tag{22}$$

以 y_N 为原始变量, 通过最小二乘法估计参数:

$$\hat{a} = \begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} = (B^T B)^{-1} B^T y_N \tag{22}$$

$$B = \begin{pmatrix} -Z_1^{(1)} & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -Z_{n-1}^{(1)} & 1 \end{pmatrix}, y_N = \begin{pmatrix} X_1^{(0)} \\ \vdots \\ X_{n-1}^{(0)} \end{pmatrix} \tag{23}$$

本文定义离散序列估计值解为:

$$\hat{X}_{k+1}^{(1)} = \left(X_1^{(0)} - \frac{b}{a} \right) e^{-ak} + \frac{b}{a} \tag{24}$$

对 $\hat{X}_i^{(1)}$ 进行累减还原得到 $\hat{X}_i^{(0)}$:

$$\hat{X}_{i+1}^{(0)} = \hat{X}_{i+1}^{(1)} - \hat{K}_i^{(1)} \tag{25}$$

4. 结果拟合和分析

通过三种灰色预测方法对武汉市 2002~2019 年的住宅商品房平均价格进行预测, 预测结果如表 2 所示, 通过比较相关系数(R^2)和均方根误差(RMSE)本文发现对于武汉商品房平均价格来说, 一阶常微分方程具有更为精确的拟合效果; 对照附录中的详细数据, 印证了这一比较结果。

Table 2. Fitting result comparison chart
表 2. 拟合结果对照图

指标	GM (1, 1)模型	GM (2, 1)模型	邓聚龙参数估计模型
a	-0.07	10,598.0629	-0.1004
b	193.57	-1285.3065	2383.5514
C_1	-	124.0481	-
C_2	-	1791.9519	-
R^2	0.9950	0.975	0.9473
RMSE	413.04	722.3975	863.3962
2019 年真实值	12,834.00	12,834.00	12,834.00
2019 年预测值	13,087.62	14,083.45	12,272.17

a : 发展灰数; b : 内生控制灰数; C_1 : GM(2,1)模型第一个系数; C_2 : GM(2,1)模型的第二个系数; R^2 : 相关系数; RMSE: 均方根误差, 代表实际值与预测值之间的偏差。

4.1. 基于 GM(1,1)灰色预测模型分析

运用 GM(1,1)解析解拟合武汉市住宅商品房平均价格, 在这个模型的基础上, 本文以 python 语言进行分析。本文设置模型为: 随机从[1, 1000]中选取两个数字, 并分别赋值 a 、 b , 经过重复 5 次拟合, 对比五次拟合结果[4], 假定误差最小的参数即为 a 、 b , 如图 1 所示。基于拟合结果, 对武汉市未来 11 年的住宅商品房平均价格进行预测, 预测值如附表 1 所示。2019 年武汉市住宅商品房平均价格的实际值为 12,834.00 元/平方米, 预测值为 13,087.62 元/平方米左右, 该模型为:

$$X(t) = -2765.29 + 4681.29e^{0.07t} \quad (26)$$

从图 1 可以看出, 经过 5 次拟合后的相关系数 R^2 为 0.995, 其相关性高, 拟合度好; RMSE 为 413.04, 误差值较小, 适应性较好, 比较适合住宅商品房价格等系列指标的预测。拟合效果如图 1 所示。

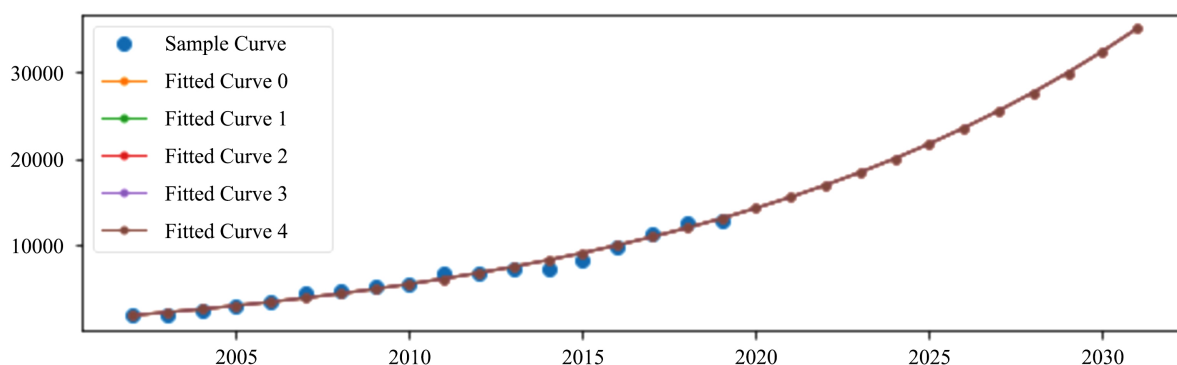


Figure 1. Fitting analysis and prediction based on GM(1,1) model

图 1. 基于 GM(1,1)模型的拟合分析及预测

4.2. 基于 GM(2,1)灰色预测模型分析

本部分是使用 GM(2,1)灰色预测模型来对武汉市住宅商品房平均价格进行拟合, GM(2,1)模型综合考虑了武汉商品房平均价格的增长加速度和增长速度[5]。利用 python 语言在五次模拟之后能直接得到 a 、 b

参数的值，而 C1、C2 又是由 a、b 进行表达，基于此，得到如下函数模型，拟合结果如图 1 所示，模型为：

$$X(t) = 124.0481e^{-10598.2t} + 1791.952e^{0.1213t} \quad (27)$$

根据拟合结果，相关系数 R^2 为 1.18，显然是不符合统计学规律的。通过调整，运用 EXCEL 中 RSQ 函数进行测算，得出相关系数 R^2 为 0.975，相关性较好，拟合度符合要求；均方根误差 RMSE 为 722.40，使用本模型的拟合结果及预测如图 2 所示。

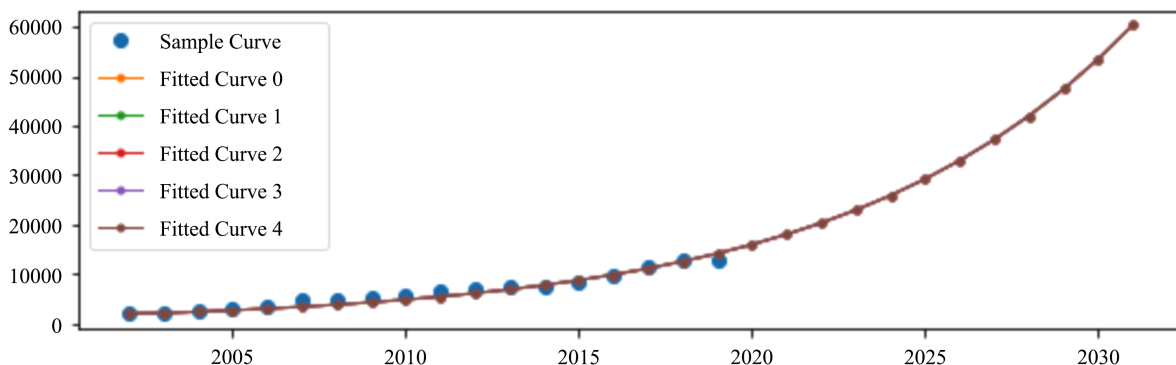


Figure 2. Fitting analysis and prediction based on GM(2,1) model

图 2. 基于 GM(2,1)模型的拟合分析及预测

4.3. 基于邓聚龙参数估计模型分析

本文最终的预测结果如附表 A3 所示，20189 年武汉市住宅商品房平均价格为 12,834.00 元/平方米，预测值为 12,272.1658 元/平方米左右。根据图 1 信息，基于 Python 语言得到的 $a = -0.1004$, $b = 2383.5514$ ，由此，该部分模型可以记为：

$$\begin{aligned} \hat{X}_{i+1}^{(1)} &= 25656.5518e^{0.1004i} - 23740.5518 \\ \hat{X}_{i+1}^{(0)} &= \hat{X}_{i+1}^{(1)} - \hat{K}_i^{(1)} \end{aligned} \quad (28)$$

根据预测结果，相关系数 R^2 为 0.947，均方根误差(RMSE)为 863.40，总体来看该模型的预测结果较为理想。拟合效果如图 3 所示。但是，因参数 a、b 是由最小二乘法得出的，天然存在误差，在此基础上进行预测，结果的误差会加大。因此，根据本组数据，本文认为使用邓聚龙模型的误差会更大[6]。

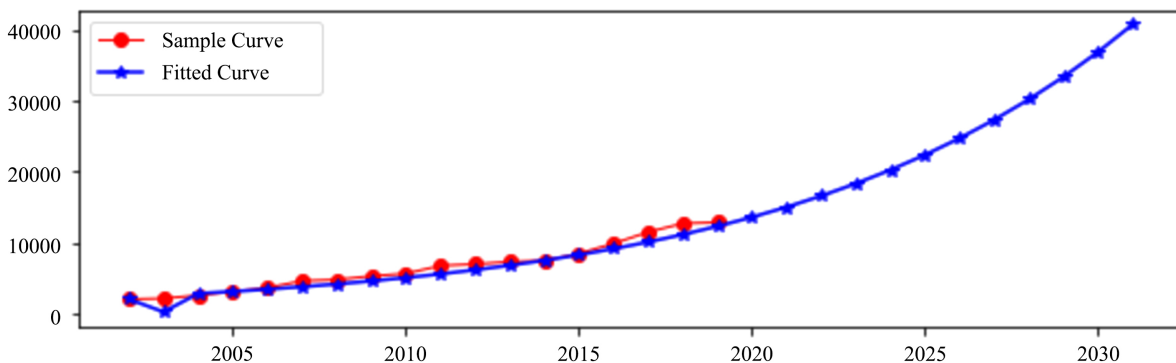


Figure 3. Fitting analysis and prediction based on Deng Julong parameter estimation model

图 3. 基于邓聚龙参数估计模型的拟合分析及预测

5. 结论和建议

5.1. 结论

后疫情时代在党中央和国务院各部门的支持政策的帮助下，武汉未来的经济发展值得期待。因此，武汉市住宅商品房的价格上涨趋势更为明显。本文选取了 GM(1,1)、GM(2,1)和邓聚龙参数估计模型三种方法对武汉市未来 10 年的住宅商品房价进行预测，三种方法的预测结果均认为武汉市住宅商品房在未来 10 年将稳步上涨，在 2030 年将达到 35,000 元/平方米左右，相比于国内其他主流城市仍处于一个较低水平，表现武汉市在未来经济也将稳步发展，具有较强的经济韧性和发展活力[7]。

5.2. 建议

在后疫情时代，保持武汉房价稳定小幅上涨，避免出现大规模浮动，是武汉市政府的重要任务，针对本文分析结果，提出以下建议：

其一，控制土地拍卖。1994 年分税制改革之后，归属于地方政府的税收种类较为匮乏，2016 年的“营改增”税制改革，使得地方政府的财政收入进一步缩水。最终导致大多数地方政府拍卖土地获取财政收入[8]。

其二，加大人才吸引力度。武汉作为拥有百万大学生的城市，应该积极留住大学生在汉创业就业。人才对于一个城市实现良性发展至关重要，通过留住人才，可以增加武汉的核心竞争力。构建良好的营商环境，在一定程度上对于房价管控也能起到相应作用[9]。

其三，推进房地产税等政策工具落地。房价可以通过各种税收等财政政策加以控制，例如房地产税。该税种在上个世纪都被提出，但受限于各种原因至今未在我国落地实践。要进一步把控房价，打击“炒房客”等不理性的非正常购房行为，需要运用财政手段[10]。

致 谢

在此本文向厦门国家会计学院信息管理处的阎虎勤老师表示诚挚的谢意。在相关知识学习及本文的写作过程中，阎虎勤老师无论是从计算机语言原理上，还是数量方法上，都给予我们详细的指导，使我们不仅仅是掌握一门计算机语言，更是教会我们如何去使用这门语言，和我们的实际学习生活联系起来，真正做到学以致用。正式有阎老师的坚定支持，我们才能完成本文的写作。

基金项目

本论文得到了厦门国家会计学院“云顶课题：Python 财务数据分析”项目和大米(厦门)科技股份有限公司的支持。

参考文献

- [1] 王洋, 王咏. 基于组合预测模型在成都市房价预测中的应用研究[J]. 佛山科学技术学院学报(自然科学版), 2017, 35(4): 28-30+35.
- [2] 宋达霞, 冯孝周, 朱雅敏. 基于 GM(1,1)模型的陕西省农村居民收入的预测分析[J]. 农业与技术, 2020, 40(9): 142-144.
- [3] 勾国华. 灰色 BP 神经网络在河南煤炭需求预测中的应用[J]. 河南城建学院学报, 2013, 22(2): 52-55.
- [4] 易嗣鑫, 段建南. 限购令环境下基于灰色预测模型的地价预测[J]. 经济研究导刊, 2012(12): 149-151.
- [5] 饶军. 滑坡灾害定量评估方法研究及应用[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 武汉大学, 2017.
- [6] 陈乐. 新型煤化工产业发展规划研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国矿业大学, 2015.
- [7] 舒服华, 杨东旭. 基于等维新息 GM(2,1)的河南粮食产量预测[J]. 河南牧业经济学院学报, 2019, 32(1): 8-14.

- [8] 于海妹, 蔡吉花, 杨敏. 灰色模型在武汉市商品房价格预测中的应用[J]. 高师理科学刊, 2014, 34(2): 17-20+31.
- [9] 吴迎雷, 王志超, 陈超. 地铁车站监测与数据预测分析[J]. 工程与建设, 2017, 31(3): 341-343.
- [10] 阎虎勤. Python 财务数据分析[M]. 厦门: 厦门国家会计学院, 2021.

附表

Table A1. Comparison of predicted value and true value based on GM(1,1) model

表 A1. 基于 GM(1,1)模型的预测值和真实值对比

序号	年份	原始值	预测值				
			F0	F1	F2	F3	F4
0	2002	1916	1916	1916	1916	1916	1916
1	2003	2023	2261.177	2261.177	2261.177	2261.178	2261.177
2	2004	2462.73	2632.369	2632.369	2632.369	2632.37	2632.369
3	2005	2986.2	3031.537	3031.537	3031.537	3031.538	3031.537
4	2006	3535.26	3460.788	3460.788	3460.788	3460.79	3460.788
5	2007	4515.76	3922.391	3922.391	3922.391	3922.393	3922.391
6	2008	4681	4418.783	4418.783	4418.783	4418.785	4418.783
7	2009	5199	4952.586	4952.587	4952.587	4952.589	4952.587
8	2010	5550	5526.621	5526.621	5526.621	5526.624	5526.621
9	2011	6675.99	6143.918	6143.919	6143.919	6143.921	6143.919
10	2012	6895.35	6807.74	6807.74	6807.74	6807.742	6807.74
11	2013	7238	7521.591	7521.591	7521.591	7521.593	7521.591
12	2014	7399	8289.242	8289.243	8289.242	8289.244	8289.243
13	2015	8404	9114.749	9114.75	9114.749	9114.75	9114.749
14	2016	9819	10,002.47	10,002.47	10,002.47	10,002.47	10,002.47
15	2017	11453	10,957.1	10,957.1	10,957.1	10,957.1	10,957.1
16	2018	12678.48	11,983.67	11,983.67	11,983.67	11,983.67	11,983.67
17	2019	12834	13,087.62	13,087.62	13,087.62	13,087.61	13,087.62
18	2020	-	14,274.76	14,274.76	14,274.76	14,274.76	14,274.76
19	2021	-	15,551.38	15,551.38	15,551.38	15,551.37	15,551.38
20	2022	-	16,924.21	16,924.21	16,924.21	16,924.19	16,924.21
21	2023	-	18,400.5	18,400.5	18,400.5	18,400.49	18,400.5
22	2024	-	19,988.06	19,988.06	19,988.06	19,988.04	19,988.06
23	2025	-	21,695.27	21,695.27	21,695.27	21,695.24	21,695.27
24	2026	-	23,531.14	23,531.14	23,531.14	23,531.11	23,531.14
25	2027	-	25,505.38	25,505.38	25,505.38	25,505.34	25,505.38
26	2028	-	27,628.41	27,628.41	27,628.41	27,628.36	27,628.41
27	2029	-	29,911.45	29,911.44	29,911.44	29,911.39	29,911.44
28	2030	-	32,366.55	32,366.54	32,366.54	32,366.48	32,366.54

Table A2. Comparison of predicted value and true value based on GM(2,1) model
表 A2. 基于 GM(2,1)模型的预测值和真实值对比

序号	年份	原始值	预测值				
			F0	F1	F2	F3	F4
0	2002	1916	1916	1916	1916	1916	1916
1	2003	2023	2023	2023	2023	2023	2023
2	2004	2462.73	2283.839	2283.839	2283.839	2283.839	2283.839
3	2005	2986.2	2578.31	2578.309	2578.309	2578.31	2578.31
4	2006	3535.26	2910.749	2910.747	2910.747	2910.749	2910.748
5	2007	4515.76	3286.051	3286.048	3286.049	3286.052	3286.051
6	2008	4681	3709.744	3709.739	3709.741	3709.745	3709.743
7	2009	5199	4188.067	4188.06	4188.063	4188.067	4188.065
8	2010	5550	4728.062	4728.054	4728.057	4728.063	4728.06
9	2011	6675.99	5337.683	5337.672	5337.677	5337.684	5337.681
10	2012	6895.35	6025.907	6025.893	6025.898	6025.908	6025.904
11	2013	7238	6802.868	6802.85	6802.857	6802.869	6802.864
12	2014	7399	7680.008	7679.985	7679.994	7680.009	7680.002
13	2015	8404	8670.243	8670.215	8670.227	8670.245	8670.237
14	2016	9819	9788.156	9788.122	9788.136	9788.159	9788.148
15	2017	11453	11,050.21	11,050.17	11,050.18	11,050.21	11,050.2
16	2018	12,678.48	12,474.99	12,474.94	12,474.96	12,474.99	12,474.98
17	2019	12834	14,083.47	14,083.41	14,083.44	14,083.48	14,083.46
18	2020	-	15,899.35	15,899.28	15,899.31	15,899.35	15,899.33
19	2021	-	17,949.36	17,949.27	17,949.31	17,949.37	17,949.34
20	2022	-	20,263.69	20,263.59	20,263.63	20,263.7	20,263.67
21	2023	-	22,876.43	22,876.31	22,876.35	22,876.44	22,876.4
22	2024	-	25,826.04	25,825.9	25,825.95	25,826.05	25,826.01
23	2025	-	29,155.96	29,155.79	29,155.86	29,155.98	29,155.93
24	2026	-	32,915.24	32,915.04	32,915.12	32,915.26	32,915.19
25	2027	-	37,159.22	37,158.99	37,159.08	37,159.24	37,159.17
26	2028	-	41,950.41	41,950.14	41,950.25	41,950.44	41,950.35
27	2029	-	47,359.37	47,359.04	47,359.17	47,359.39	47,359.29
28	2030	-	53,465.73	53,465.35	53,465.5	53,465.76	53,465.64

Table A3. Comparison of predicted value and true value based on Deng Julong parameter estimation model
表 A3. 基于邓聚龙参数估计模型的预测值和真实值对比

序号	年份	原始值	预测值
0	2002	1916	1916
1	2003	2023	107
2	2004	2462.73	2721.043
3	2005	2986.2	3008.484
4	2006	3535.26	3326.29
5	2007	4515.76	3677.668
6	2008	4681	4066.164
7	2009	5199	4495.7
8	2010	5550	4970.61
9	2011	6675.99	5495.688
10	2012	6895.35	6076.234
11	2013	7238	6718.106
12	2014	7399	7427.784
13	2015	8404	8212.429
14	2016	9819	9079.962
15	2017	11, 453	10, 039.14
16	2018	12, 678.48	11, 099.64
17	2019	12834	12, 272.17
18	2020	2020	13, 568.56
19	2021	2021	15, 001.89
20	2022	2022	16, 586.64
21	2023	2023	18, 338.79
22	2024	2024	20, 276.04
23	2025	2025	22, 417.93
24	2026	2026	24, 786.09
25	2027	2027	27, 404.4
26	2028	2028	30, 299.31
27	2029	2029	33, 500.03
28	2030	2030	37, 038.85