

Research on Gross Marine Product Forecast of Circum-Bohai Sea Region Based on Grey Forecasting Method

Xuezhu Liu, Huqin Yan

Xiamen National Accounting Institute, Xiamen Fujian
Email: 1677643711@qq.com, yanhuqin@xnai.edu.cn

Received: May 21st, 2020; accepted: Jun. 5th, 2020; published: Jun. 12th, 2020

Abstract

Article using the grey forecasting method, selection of Bohai sea gross domestic product in 2003-2018 as basic data, marine economic development forecasting model is established, this paper tries three ways of grey prediction, based on three kinds of forecasting method of inspection and the actual and estimated values of indicators and comparison, found that direct use Python to solve the parameters of GM (1, 1) model the results more reliable. On this basis, the GM (1,1) model is used to calculate and predict the total Marine product of the Bohai rim economic zone from 2019 to 2030, and the conclusion is drawn that the Marine economy of the Bohai rim economic zone will maintain a steady growth.

Keywords

Grey Prediction, Marine Economy, Gross Marine Product, Marine Potestatem

基于灰色预测法的环渤海经济区海洋生产总值预测研究

刘雪竹, 阎虎勤

厦门国家会计学院, 福建 厦门
Email: 1677643711@qq.com, yanhuqin@xnai.edu.cn

收稿日期: 2020年5月21日; 录用日期: 2020年6月5日; 发布日期: 2020年6月12日

摘要

文章采用灰色预测法, 选取2003~2018年环渤海经济区海洋生产总值作为基础数据, 建立区域海洋经济发展预测模型。本文尝试了三种方式的灰色预测, 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)模型得出的结果相对更可靠; 在此基础上, 又运用GM(1, 1)模型计算和预测2019~2030年环渤海经济区海洋生产总值, 得出环渤海经济区海洋经济将保持稳步增长的结论。

关键词

灰色预测, 海洋经济, 海洋生产总值, 海洋强国

Copyright © 2020 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

随着陆域资源的日益紧张和科学技术的进步, 人们逐渐将目光转向海洋, 充分认识到海洋所蕴藏的丰富资源。21世纪是海洋的世纪, 海洋正成为沿海国家拓展经济和社会发展空间的新型载体, 也是世界各国进入全球经济的重要桥梁。中国作为海陆兼备的国家, 拥有300万平方千米的海域, 占陆地面积的1/3, 积极发展蓝色经济将有利于“两个一百年”目标和中华民族伟大复兴中国梦的实现, 建设海洋强国已成为全面建设社会主义现代化强国的重要组成部分。

近年来, 我国海洋经济发展态势良好, 总体实力得到进一步提升, 主要以环渤海经济区、长三角经济区、珠三角经济区为海洋经济发展主力区, 目前各经济区初步形成三次产业结构的三二一格局, 海洋新兴产业不断发展。但是三大经济区的产业发展进度不一, 却都呈现出发展模式单一粗放的现象。从世界范围来看, 世界经济处于深度调整期, 未摆脱低迷状态, 地缘政治关系复杂多变, 给我国海洋经济的对外投资带来诸多不确定性。

早在党的十四大报告中就提出要加快环渤海地区的开发、开放, 正式确立“环渤海经济圈”的概念, 并进行单独的区域规划。环渤海地区是指环绕着渤海全部及黄海的部分沿岸地区所组成的广大经济区域, 位于中国沿太平洋西岸的北部, 是中国北部沿海的黄金海岸, 在中国参与全球经济合作和协调南北经济发展中发挥了重要的作用。并且, 渤海和黄海的海洋资源非常丰富, 为环渤海经济发展提供了物质基础, 是中国海洋经济最新隆起地带, 其发展潜力也成为大家竞相研究的热点问题, 因此本文从《中国海洋经济统计公报》中获取2003~2018年环渤海经济区的海洋生产总值, 利用三种灰色预测模型对环渤海经济区2019~2030年的海洋生产总值进行预测, 以对环渤海经济区未来的海洋经济发展有一个比较直观的认识。

2. 文献回顾

2019年, 十九大报告中, 习近平总书记提出“坚持海陆统筹, 加快建设海洋强国。”海洋经济的发展也成为人们不断思考与探索的话题。王岳指出长期毫无节制、缺乏长远规划地开发海洋资源, 致使环渤海地区海洋环境污染日渐严重, 影响其可持续发展, 因此在发展过程中应保护海洋环境, 优化产业结构, 建立开发与保护的协调机制。[1]翟璐等应用灰色预测模型对未来4年的数据进行预测, 发现我国海

洋渔业产量和产值保持稳步增长, 并探究这一结果的原因, 提出相应对策。[2]郑鹏等利用灰色系统理论对海洋经济进行动态研究, 不仅能够拓宽灰色系统理论的研究方向, 同时也为海洋经济研究提供了新方法。[3]李梁虹、董月娥运用 GM (1, 1)模型计算和预测 2017~2021 年我国海洋生产总值, 预测精度较高, 得出我国海洋经济将保持稳步增长的结论。[4]李志伟提出我们应培育强化海洋经济增长新动力、提升海洋科技自主创新能力, 积极探索蓝色经济持续健康发展的创新思路与现实路径。[5]吴英等认为灰色 GM(1,1)模型能够很好地预测六安市农产品在 2018~2022 年的发展趋势, 预测精度较好, 能为政府部门制订农产品冷链物流产业发展规划和进行物流决策提供参考。[6]卢俊岚、王明辉基于灰色预测法对 1978~2016 年数据进行分析, 建立 GM (1, 1)模型, 值仿真结果表明模型的拟合效果较好, 为广东省未来经济发展水平提供了一定参考。[7]钱冠文发现 2011 年到 2017 年工业产值发展平稳, 2018 年有一个较大的爬坡, 经济形势良好, 在 2018 年以及未来的几年之内都会有更好更快的发展节奏。[8]马睿、孟献刚建立灰色 GM(1,1)模型和改进数据序列光滑度的等维新息灰色模型, 对陕西省铁路货运量进行分析研究和预测, 通过分析两种模型的预测结果, 得出改进的灰色模型预测精度更高的结论。[9]由此可见, 灰色预测模型的应用非常广泛, 在海洋经济方面的应用效果也比较好, 本文对灰色预测模型进行改进, 发现改进后的灰色预测模型更加符合海洋经济发展的实际情况。

3. 数据来源及研究方法

3.1. 数据来源

海洋生产总值是国民经济中全部涉海经济活动的最终反映, 它是海洋经济发展的总指标, 最能反映海洋经济发展情况, 因此本研究选取环渤海经济区海洋生产总值为指标进行预测和分析。首先选取 2003~2018 年的环渤海经济区海洋生产总值的时间序列作为预测的基础, 该数据来源于历年《中国海洋经济统计公报》, 获取的数据如表 1 所示; 然后基于灰色预测模型对环渤海经济区未来 12 年的海洋生产总值进行预测, 以了解环渤海经济区海洋经济发展的前景。

Table 1. Total marine product of circum-Bohai Sea Region from 2003 to 2018

表 1. 2003~2018 年环渤海经济区海洋生产总值

年份	海洋生产总值 (亿元)	年份	海洋生产总值 (亿元)
2003	2778.5300	2011	16,442.0000
2004	4116.0000	2012	18,078.0000
2005	5510.0000	2013	19,734.0000
2006	6906.0000	2014	22,152.0000
2007	9542.0000	2015	23,437.0000
2008	10,706.0000	2016	24,323.0000
2009	12,015.0000	2017	24,638.9900
2010	13,271.0000	2018	26,219.0000

3.2. 理论基础

灰色预测法就是对既含有已知信息又含有未知信息的系统进行预测, 尽管这些信息表面上可能是杂乱无章、毫无规律的, 但却是有规律的, 具备潜在规律性的, 通过分析系统信息之间的潜在规律性来判定其中的发展趋势, 进而对原始数据序列进行生成处理, 利用原始数据体现的规律建立微分方程模型, 从

而预测未来发展趋势。灰色预测法比较适合小样本数据的分析, 对于数据的要求小, 对于中长期的经济发展预测有很好效果[10]。

3.2.1. 直接求解参数的 GM(1,1)模型

假设有一个变量 $x(t)$ 是时间变量 t 的函数, 它满足一阶常微分方程条件, 如(1)式, 从该微分方程所展示的函数关系来看, 该经济变量的规律中既考虑到原始数据的变化又考虑到数据增长的变化:

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

这里, 参数 a 和 b 是两个常系数, a 代表经济变量的发展灰数, b 代表经济变量的内生控制系数。假设参数 C 是任意常数, 那么, 该微分方程的解析解或者通解为:

$$x(t) = \frac{b + e^{a(C-t)}}{a} \quad (2)$$

如果 $x(t)$ 有一个初值, 在 $t=0$ 时, 初值为 $x(0)$, 那么, $x(0)$ 也满足这个解, 代入微分方程的通解, 就有:

$$x(t) = \frac{b}{a} + \left(x(0) - \frac{b}{a} \right) e^{-at} \quad (3)$$

该函数具有指数函数的特征, 由于其对于参数 a 和 b 的依赖性很强, 而参数 a 和 b 又是未知的, 且在正常情况下不易估计, 因此, 该模型也被称为灰色系统。由于只有一个变量 $x(t)$, 且是一阶微分, 所以记为 GM(1,1)。

3.2.2. 邓聚龙参数估计模型

根据邓聚龙文献“Introduction to Grey System Theory (Deng Julong, The Journal of Grey System 1, 1989, 1-24)”, 灰色系统 GM(1,1)参数可以通过一个近似矩阵求解的方式来估计。

假设变量 $x(t)$ 的原始离散序列为 $X^{(0)}$, 是一个非负序列, 具有形式:

$$X^{(0)} = \{X_0^{(0)}, \dots, X_{n-1}^{(0)}\} \quad (n \geq 3; X_i^{(0)} \geq 0; i = 0, 1, 2, \dots, n-1) \quad (4)$$

假设离散序列 $X^{(1)}$ 为序列 $X^{(0)}$ 的一次累加序列(Accumulating Generation Operation, AGO), 具有如下形式:

$$X_i^{(1)} = X_0^{(0)} + X_1^{(0)} + X_2^{(0)} + \dots + X_i^{(0)} = \sum_{l=0}^i X_l^{(0)} \quad (5)$$

假设离散序列 $Z^{(1)}$ 为一个均值序列:

$$Z^{(1)} = \{Z_1^{(1)}, \dots, Z_{n-1}^{(1)}\} \quad (n \geq 3; i = 1, 2, \dots, n-1) \quad (6)$$

$$Z_i^{(1)} = \frac{1}{2} (X_{i-1}^{(1)} + X_i^{(1)}) \quad (7)$$

那么, 对于一阶微分方程:

$$\frac{dx^{(0)}(t)}{dt} + ax^{(0)}(t) = b \quad (8)$$

其参数 (a, b) 可以根据最小二乘法来估计, y_N 为原始变量:

$$\hat{a} = \begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} = (B^T B)^{-1} B^T y_N \quad (9)$$

$$B = \begin{pmatrix} -Z_1^{(1)} & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -Z_{n-1}^{(1)} & 1 \end{pmatrix}, \quad y_N = \begin{pmatrix} X_1^{(0)} \\ \vdots \\ X_{n-1}^{(0)} \end{pmatrix} \quad (10)$$

相应于等价微分方程, 离散序列 $X^{(1)}$ 的估计值解可以由下式定义:

$$\hat{X}_{k+1}^{(1)} = \left(X_1^{(0)} - \frac{b}{a} \right) e^{-ak} + \frac{b}{a} \quad (11)$$

由于 $\hat{X}_i^{(1)}$ 是原始数据的累加序列, 因此如果知道 $\hat{X}_i^{(1)}$ 的数值就可以通过累减的方式得到原始数据序列 $\hat{X}_i^{(0)}$:

$$\hat{X}_{k+1}^{(0)} = \hat{X}_{k+1}^{(1)} - \hat{K}_k^{(1)} \quad (12)$$

3.2.3. GM(2,1)模型

假设变量 $x(t)$ 是关于时间 t 的二阶常微分方程的解, 二阶导数代表增长的加速度, 一阶导数代表增长速度, 因此该模型既考虑到经济变量的增长加速度又考虑到变量的增长速度:

$$\frac{d^2x(t)}{dt^2} + a \frac{dx(t)}{dt} + bx(t) = 0 \quad (13)$$

则该微分方程的通解为:

$$x(t) = C_1 e^{\frac{(-a - \sqrt{a^2 - 4b})t}{2}} + C_2 e^{\frac{(-a + \sqrt{a^2 - 4b})t}{2}} \quad (14)$$

为了编程方便, 我们对该关系式予以简化:

$$x(t) = C_1 e^{mt} + C_2 e^{nt} \quad (15)$$

这里, 存在关系式:

$$m = \frac{-a - \sqrt{a^2 - 4b}}{2} \quad (16)$$

$$n = \frac{-a + \sqrt{a^2 - 4b}}{2} \quad (17)$$

令 $t=0$, $t=1$ 可以得到一个关于 C_1, C_2 的方程组, 从而求得 C_1, C_2 的表达式:

$$C_1 = \frac{x(0)e^n - x(1)}{e^n - e^m} \quad (18)$$

$$C_2 = \frac{x(1) - x(0)e^m}{e^n - e^m} \quad (19)$$

3.3. 模型拟合结果

对环渤海经济区 2003~2018 年的海洋生产总值分别应用三种灰色预测方法得出的参数指标如表 2 所示, 直接求解参数的 GM(1,1)模型和邓聚龙参数估计模型是利用一阶常微分方程的解对环渤海经济区海洋生产总值进行拟合得到的, GM(2,1)则是利用二阶常微分方程的解对获取的数据进行拟合得到的。首先根据相关系数(R^2)和均方根误差(RMSE)可以看出一阶常微分方程的解更适合对环渤海经济区海洋生产总值进行拟合; 然后根据附录中所显示的 2003~2018 年真实值与预测值的比较可以看出直接求解参数的一阶灰色预测模型预测效果更好。

Table 2. The fitting results of three types of models**表 2.** 三种模型的拟合结果

指标	直接求解参数的 GM(1,1)	邓聚龙参数估计模型	GM(2,1)模型
a	0.0046	-0.0990	14,760.7278
b	1694.0544	6876.2657	-2159.8732
C_1	--	--	-777.1901
C_2	--	--	3555.7201
R^2	0.9491	0.9307	0.6897
RMSE	730.4144	1989.8675	3377.6188
2018 年真实值	26,219.0000	26,219.0000	26,219.0000
2018 年预测值	27,145.6492	27,727.4201	31,925.7531

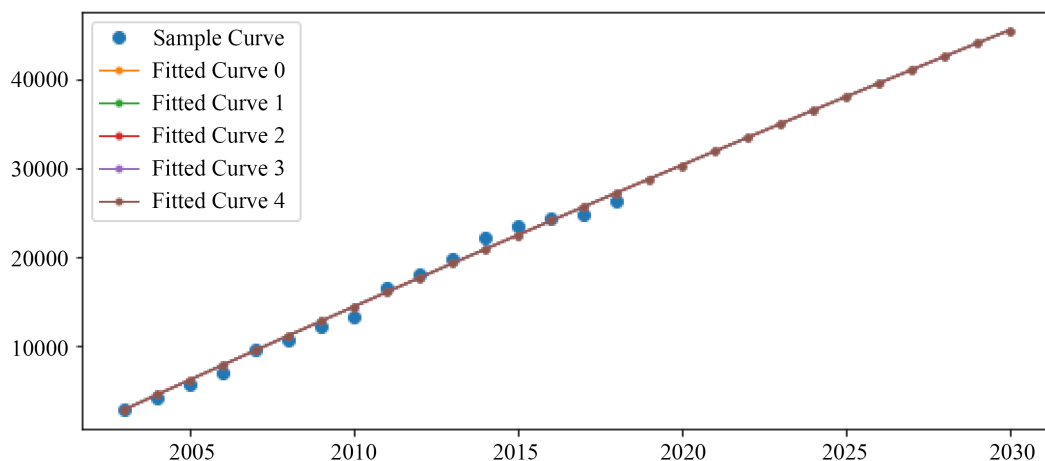
a : 代表发展灰数; b : 代表内生控制灰数; C_1 : 代表 GM(2,1)模型的第一个系数; C_2 : 代表 GM(2,1)模型的第二个系数; R^2 : 相关系数; RMSE: 均方根误差, 代表实际值与预测值之间的偏差。

3.3.1. 直接求解参数的 GM(1,1)模型

该模型是利用一阶常微分方程的解析解来对环渤海经济区海洋生产总值进行拟合, 在这个模型下, 我们利用 Python 语言直接对解析解进行拟合, 本文所构建的模型在[1,1000]之间选取两个随机数, 分别赋予 a 、 b , 随后进行 5 次拟合, 在不断地迭代优化后找到误差最小的参数 a 、 b , 如表 2 所示。再利用寻找到的参数预测未来 12 年环渤海经济区海洋生产总值的发展, 预测值如附表 1 所示, 2018 年环渤海经济区海洋生产总值的实际值为 26,219 亿元左右, 预测值为 27,145 亿元左右。该模型为:

$$X(t) = -365494.1657e^{-0.0046t} + 368272.6957$$

从表 2 可以看出, 经过五次拟合后的相关系数(R^2)为 0.9491, 相关性非常好, 拟合度非常高; 均方根误差(RMSE)为 730.4144, 相对于以亿元为单位的海洋经济生产总值来说, 实际值与预测值的误差已经非常小了, 并且在五次的拟合过程中, 已经对参数进行适当的修正, 因此得到的模型与该经济区海洋生产总值的适用性非常好, 比较适合这类数据的分析, 拟合效果如图 1 所示, 从图中可以看出, 曲线呈上升趋势, 但是曲线斜率有所减小, 说明未来 12 年环渤海经济区海洋生产总值虽然呈增长态势, 但是增长速度有所下降。

**Figure 1.** The fitting curve of the GM (1,1) model of directly solve parameters**图 1.** 直接求解参数的 GM(1,1)模型的拟合曲线

3.3.2. 邓聚龙参数估计模型

邓聚龙参数估计模型是利用最小二乘法求解发展灰数 a 和内生控制灰数 b , 首先我们假设环渤海经济区海洋生产总值的原始离散序列为 $X_i^{(0)}$, 它是一个非负序列, 然后我们对该非负序列做一次累加, 形成序列 $X_i^{(1)}$, 再对 $X_i^{(0)}$ 的相邻值做均值, 得到均值序列 $Z_i^{(1)}$, 利用该均值序列与原始离散序列通过最小二乘法估算出参数 a 、 b , 知道 a 、 b 后就可以求出一次累加序列的值, 在经过一次累减的变化从而求解出原始离散序列的数据, 这样我们就可以通过类似的过程来对环渤海经济区未来 12 年的海洋生产总值进行预测, 该模型的预测值如附表 2 所示, 2018 年环渤海海洋生产总值为 26,219 亿元, 预测值为 27,727 亿元左右。从表 2 可以看出, 我们利用 Python 语言计算出的发展灰数为 -0.0990, 内生控制灰数为 6876.2657, 因此模型为:

$$\hat{X}_{k+1}^{(1)} = 72235.7593e^{0.0990k} - 69457.2293$$

$$\hat{X}_{k+1}^{(0)} = \hat{X}_{k+1}^{(1)} - \hat{K}_k^{(1)}$$

从表 2 可知, 该模型的相关系数(R^2)为 0.9307, 该模型的相关性比较高, 拟合度较好; 均方根误差(RMSE)为 1989.8675, 相对于以亿元为单位的海洋生产总值来说, 误差值较小, 拟合效果如图 2 所示, 从图中可以看出, 拟合曲线呈上升趋势, 且曲线斜率逐渐变大, 说明未来 12 年环渤海经济区海洋生产总值呈现快速增长态势。但是, 因参数 a 、 b 是由最小二乘法得出的, 其本身便存在误差, 再利用一个有误差的参数进行预测时, 会使得预测出的数值误差更大, 相对于直接利用 Python 语言进行参数求解的灰色模型来说, 该模型的误差相对比较大。

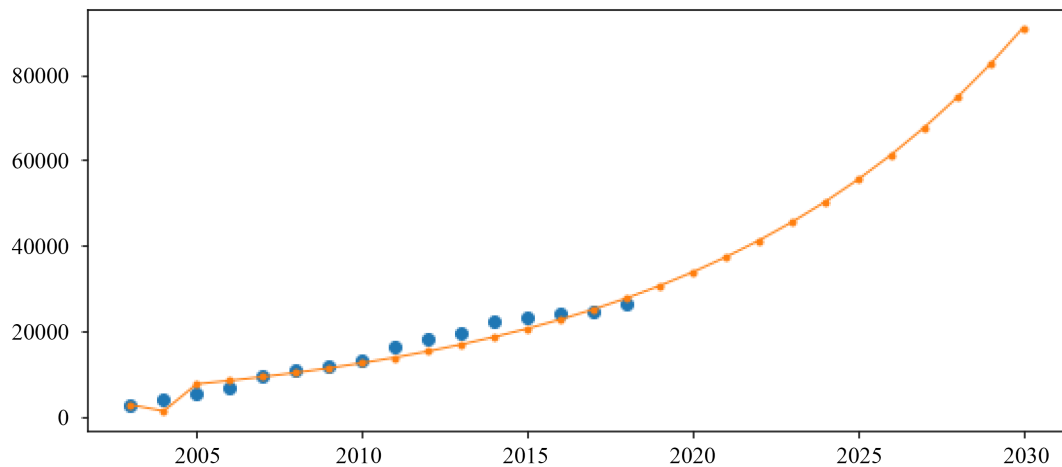


Figure 2. Fitting curve of Julong Deng parameter estimation model
图 2. 邓聚龙参数估计模型拟合曲线

3.3.3. GM(2,1)模型

该模型是利用二阶常微分方程的解析解来对环渤海经济区海洋生产总值进行拟合, 该模型既考虑到增长的加速度, 又考虑了增长速度。运用 Python 程序在五次模拟的过程中直接求解出参数 a 、 b 的值, C_1 、 C_2 又是关于 a 、 b 的表达式, 这样就可以得到 GM(2,1)模型, 拟合结果如表 2 所示, 该模型为:

$$X(t) = -777.1901e^{-14760.8741t} + 3555.7201e^{0.1463t}$$

该模型的相关系数(R^2)值为 0.6897, 相关性较好, 拟合度较高; 均方根误差(RMSE)为 3377.6188, 相对于以亿元为单位的海洋经济总值来说误差相对较小, 拟合效果如图 3 所示, 拟合曲线呈明显上升趋势,

斜率增加明显, 说明未来 12 年间环渤海海洋生产总值呈高速增长态势。预测值如附表 3 所示, 2018 年环渤海海洋生产总值为 26,219 亿元, 预测值为 31,925 亿元左右。但是该模型与前述两种模型相比, 相关性更差一些, 误差也更大一些。

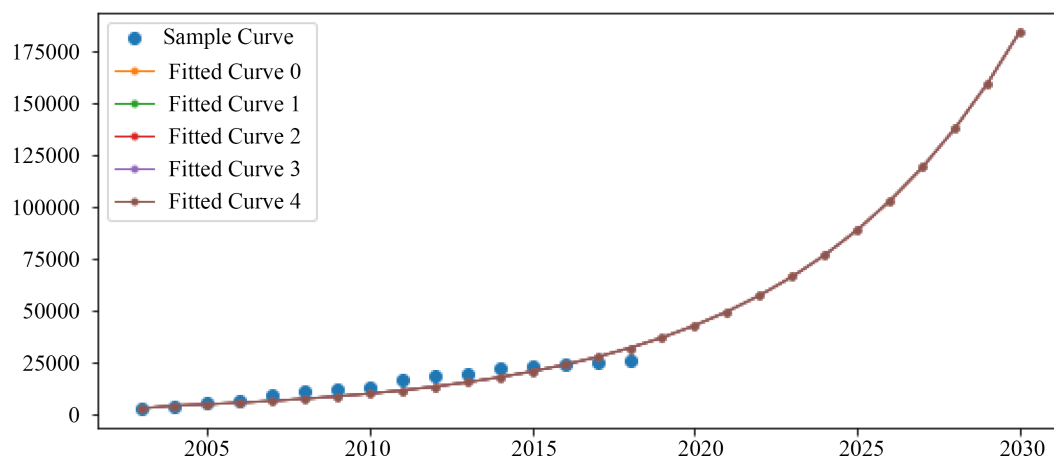


Figure 3. The fitting curve of GM(2,1) model
图 3. GM(2,1)模型的拟合曲线

4. 结论

通过对前述三种灰色预测模型的相关性、误差和预测值的对比, 我们可以发现, 直接求解参数的 GM(1,1)模型的相关性更好, 误差更小, 图形拟合效果也更好, 对比实际值和预测值发现, 直接求解参数的 GM(1,1)模型的预测值更加符合实际情况, 因此采用直接求解参数的 GM(1,1)模型来对环渤海经济区 2019~2030 年的海洋生产总值进行预测, 其预测值如表 3 所示。

Table 3. Forecast of gross Marine product of Circum-Bohai Sea Region in 2019-2030

表 3. 2019~2030 年环渤海经济区海洋生产总值预测

年份	海洋生产总值 (亿元)	年份	海洋生产总值 (亿元)
2019	28711.0306	2025	37953.3707
2020	30269.2168	2026	39469.0744
2021	31820.2408	2027	40977.8111
2022	33364.1354	2028	42479.6130
2023	34900.9336	2029	43974.5118
2024	36430.6678	2030	45462.5393

从拟合图 1 和表 3 来看, 基于对 2003~2018 年的原始数据所反映出来的潜在规律来预测 2019~2030 年环渤海经济区海洋生产总值, 结果显示未来 12 年环渤海经济区海洋生产总值将保持稳步增长, 直到 2030 年, 海洋生产总值预计将达到 45,462 亿元左右, 但是在这期间海洋生产总值的增长速度有微弱的减缓趋势, 说明在当前鼓励海洋经济发展的大环境下, 环渤海区经济总体呈增长趋势, 但是值得注意和警示的是在增长的背后却表现出增长放慢的迹象。或许如何保持住或提升环渤海区海洋生产总值的增长速度才是我们当前最应该思考的问题。

5. 建议

环渤海经济区处在跨越式发展阶段, 在滨海新区、曹妃甸工业区的带动和京津冀、鲁北地区沿海经济走廊的协作下, 未来环渤海经济在全国经济中的比重会进一步增大, 环渤海五省市的增速发展将会愈加明显。为了极大地促进环渤海经济区的海洋经济发展, 抓住海洋强国的发展机遇, 我们应从海洋环境、产业结构、港口建设等方面来发展壮大环渤海经济体系。

5.1. 发展海洋产业的同时, 注重海洋环境保护

渤海是我国最大的内海, 深入大陆, 属于浅海, 仅有渤海海峡与黄海相连, 因此海洋环境易受污染, 且其自身生态系统的自我调节能力比较弱, 一旦环境受到破坏, 便很难恢复。因此, 环渤海区域的环境保护将是未来发展过程中最重要的一环。只有良好的环境基础, 才能为海洋经济又好又快发展提供保障。

然而在海洋产业方面有许多行业, 如海洋交通运输业、海洋石油和天然气的开采、海洋工程建筑等, 很容易在操作过程中发生漏油情况, 造成污染, 因此, 应加强海域污染防治, 防止海上溢油漏油、超标排放, 严格控制海洋倾废行为。

5.2. 对各省市进行专业化分工

对各省市有一个比较精准的专业化分工, 有利于提高经济的发展效率, 充分利用各省市的优势行业, 避免资源浪费, 更快更好地促进海洋经济的发展。天津在发展海洋石油与天然气方面一直是领头羊, 因此天津应该集中力量做好该行业的技术研发, 以提高开采的效率和质量, 避免因技术原因导致资源的浪费; 辽宁是老工业基地, 拥有比较雄厚的产业基础, 其行业发展应该更加偏向重工业, 如海洋化工业和船舶业; 山东省的沿海城市比较多, 海岸线比较长, 在海盐方面有其先天的优势, 因此应着重开发海洋旅游业和海洋盐业。当然, 各地除根据自身先天优势外, 还应该积极地发展自身的科学技术, 科技是第一生产力, 科技的落后会降低自身的优势。

5.3. 科学规划, 引导港口群良性发展

在环渤海区域, 腹地相近、货源也相近的情况下, 应该从合作共赢, 而不是打价格战, 最后落得两败俱伤的结局, 因此环渤海区域应该对港口进行合理布局, 理清层次, 完善功能, 引导港口群良性发展。

基金项目

本论文得到了厦门国家会计学院 2019 年“云顶课题: Python 财务数据分析”项目的支持。

参考文献

- [1] 王岳. 环渤海地区海洋渔业经济可持续发展对策探讨[J]. 现代商业, 2020(10): 104-105.
- [2] 翟璐, 孙兆群, 王波, 韩立民. 基于灰色预测模型的我国海洋渔业发展趋势研究[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(13): 342-346.
- [3] 郑鹏, 孟晓雯, 吕雨婷. 海洋经济理论发展的灰色研究[J]. 海洋经济, 2019, 9(5): 3-7.
- [4] 李梁虹, 董月娥. 基于 GM(1,1)模型的海洋经济发展预测研究[J]. 海洋开发与管理, 2018, 35(2): 3-6.
- [5] 李志伟. 创新驱动环渤海地区海洋经济发展[J]. 人民论坛, 2019(16): 88-89.
- [6] 吴英, 甘霖, 刘猛. 基于灰色 GM(1,1)模型的六安市农产品冷链物流需求预测[J]. 阜阳师范学院学报(自然科学版), 2019, 36(4): 89-93.
- [7] 卢俊岚, 王明辉. 基于灰色预测法对广东省地区生产总值的预测分析[J]. 高师理科学刊, 2019, 39(1): 10-12+17.

- [8] 钱冠文. 基于灰色 MGM(1,n)模型的福建工业产值预测分析[J]. 现代商贸工业, 2020, 41(3): 194.
- [9] 马睿, 孟献刚. 基于灰色模型的铁路货运量预测——以陕西省铁路货运为例[J]. 物联网技术, 2020, 10(4): 109-111.
- [10] 阎虎勤. Python 财务数据分析讲义[M]. 厦门: 厦门国家会计学院, 2020.

附录

Table A1. The real and predicted values of the GM(1,1) model of directly solved parameters
附表 1. 直接求解参数的 GM(1,1)模型的真实值与预测值

年份	真实值	预测值				
		F ₀	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄
2003	2778.5300	2778.5300	2778.5300	2778.5300	2778.5300	2778.5300
2004	4116.0000	4455.9151	4455.9165	4455.9155	4455.9167	4455.9167
2005	5510.0000	6125.5900	6125.5927	6125.5907	6125.5929	6125.5930
2006	6906.0000	7787.5903	7787.5939	7787.5912	7787.5942	7787.5943
2007	9542.0000	9441.9512	9441.9554	9441.9523	9441.9558	9441.9559
2008	10706.0000	11088.7078	11088.7123	11088.7090	11088.7127	11088.7129
2009	12015.0000	12727.8950	12727.8997	12727.8963	12727.9001	12727.9003
2010	13271.0000	14359.5478	14359.5522	14359.5490	14359.5526	14359.5528
2011	16442.0000	15983.7006	15983.7046	15983.7017	15983.7049	15983.7050
2012	18078.0000	17600.3880	17600.3912	17600.3889	17600.3915	17600.3916
2013	19734.0000	19209.6443	19209.6465	19209.6449	19209.6467	19209.6467
2014	22152.0000	20811.5037	20811.5046	20811.5039	20811.5046	20811.5046
2015	23437.0000	22406.0001	22405.9994	22405.9999	22405.9993	22405.9992
2016	24323.0000	23993.1674	23993.1649	23993.1667	23993.1646	23993.1645
2017	24638.0000	25573.0392	25573.0346	25573.0380	25573.0342	25573.0340
2018	26219.0000	27145.6492	27145.6423	27145.6473	27145.6416	27145.6413
2019	--	28711.0306	28711.0211	28711.0281	28711.0203	28711.0198
2020	--	30269.2168	30269.2045	30269.2135	30269.2033	30269.2027
2021	--	31820.2408	31820.2253	31820.2367	31820.2239	31820.2232
2022	--	33364.1354	33364.1167	33364.1305	33364.1150	33364.1141
2023	--	34900.9336	34900.9112	34900.9277	34900.9092	34900.9082
2024	--	36430.6678	36430.6416	36430.6609	36430.6393	36430.6381
2025	--	37953.3707	37953.3404	37953.3626	37953.3377	37953.3363
2026	--	39469.0744	39469.0398	39469.0652	39469.0367	39469.0351
2027	--	40977.8111	40977.7720	40977.8008	40977.7685	40977.7668
2028	--	42479.6130	42479.5691	42479.6013	42479.5652	42479.5632
2029	--	43974.5118	43974.4629	43974.4988	43974.4585	43974.4563
2030	--	45462.5393	45462.4851	45462.5249	45462.4803	45462.4779

Table A2. Real and predicted values of Deng Julong parameter estimation model
附表 2. 邓聚龙参数估计模型的真实值与预测值

年份	真实值	预测值
2003	2778.5300	2778.5300
2004	4116.0000	1337.4700
2005	5510.0000	7656.4165
2006	6906.0000	8453.1119
2007	9542.0000	9332.7083
2008	10706.0000	10303.8318
2009	12015.0000	11376.0065
2010	13271.0000	12559.7473
2011	16442.0000	13866.6633
2012	18078.0000	15309.5717
2013	19734.0000	16902.6233
2014	22152.0000	18661.4413
2015	23437.0000	20603.2747
2016	24323.0000	22747.1673
2017	24638.0000	25114.1447
2018	26219.0000	27727.4201
2019	--	30612.6223
2020	--	33798.0469
2021	--	37314.9337
2022	--	41197.7734
2023	--	45484.6456
2024	--	50217.5922
2025	--	55443.0298
2026	--	61212.2053
2027	--	67581.6975
2028	--	74613.9731
2029	--	82377.9987
2030	--	90949.9170

Table A3. Real and predicted values of GM(2,1) model
附表 3. GM(2,1)模型的真实值与预测值

年份	真实值	预测值				
		F ₀	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄
2003	2778.5300	2778.5300	2778.5300	2778.5300	2778.5300	2778.5300
2004	4116.0000	4116.0000	4116.0000	4116.0000	4116.0000	4116.0000
2005	5510.0000	4764.5695	4764.5682	4764.5706	4764.5613	4764.5631
2006	6906.0000	5515.3358	5515.3329	5515.3385	5515.3170	5515.3211
2007	9542.0000	6384.4025	6384.3975	6384.4071	6384.3698	6384.3769
2008	10706.0000	7390.4104	7390.4026	7390.4175	7390.3599	7390.3709
2009	12015.0000	8554.9378	8554.9265	8554.9480	8554.8647	8554.8806
2010	13271.0000	9902.9630	9902.9473	9902.9772	9902.8614	9902.8835
2011	16442.0000	11463.4002	11463.3790	11463.4193	11463.2631	11463.2929
2012	18078.0000	13269.7198	13269.6917	13269.7451	13269.5384	13269.5778
2013	19734.0000	15360.6661	15360.6296	15360.6991	15360.4299	15360.4813
2014	22152.0000	17781.0887	17781.0417	17781.1311	17780.7848	17780.8509
2015	23437.0000	20582.9039	20582.8440	20582.9579	20582.5170	20582.6012
2016	24323.0000	23826.2088	23826.1333	23826.2771	23825.7203	23825.8266
2017	24638.0000	27580.5703	27580.4755	27580.6559	27579.9576	27580.0909
2018	26219.0000	31926.5169	31926.3987	31926.6236	31925.7531	31925.9193
2019	--	36957.2662	36957.1197	36957.3986	36956.3190	36956.5250
2020	--	42780.7246	42780.5437	42780.8881	42779.5550	42779.8095
2021	--	49521.8014	49521.5789	49522.0025	49520.3629	49520.6759
2022	--	57325.0883	57324.8156	57325.3348	57323.3252	57323.7088
2023	--	66357.9607	66357.6275	66358.2618	66355.8063	66356.2750
2024	--	76814.1676	76813.7616	76814.5345	76811.5426	76812.1137
2025	--	88917.9880	88917.4945	88918.4339	88914.7974	88915.4915
2026	--	102929.0407	102928.4422	102929.5815	102925.1715	102926.0133
2027	--	119147.8537	119147.1294	119148.5081	119143.1711	119144.1899
2028	--	137922.3097	137921.4349	137923.1002	137916.6537	137917.8842
2029	--	159655.1086	159654.0537	159656.0618	159648.2886	159649.7724
2030	--	184812.4046	184811.1347	184813.5522	184804.1941	184805.9804