

基于灰色GM(1,1)模型的山东省卫生总费用预测分析

李蒙¹, 刘芳²

¹上海工程技术大学管理学院, 上海

²上海工程技术大学马克思主义学院, 上海

收稿日期: 2022年3月14日; 录用日期: 2022年4月8日; 发布日期: 2022年4月18日

摘要

基于2011~2019年山东省卫生总费用相关数据, 分析山东省卫生总费用现状, 运用GM(1,1)模型, 预测2020年至2030年山东省卫生总费用的变化趋势。数据显示, 模型的精确度都达到了95%以上, 说明模型的拟合效果好、精确度高, 可以对山东省卫生费用进行预测。2020~2030年山东省卫生总费用及其占GDP比重总体呈上升趋势, 医疗卫生水平不断提高, 今后山东省不仅进一步加大卫生投入, 也应尽量做到卫生总费用的投入与国民经济发展水平相适应, 满足新时代人民对医疗卫生资源的需求。

关键词

GM(1,1)模型, 卫生总费用, 预测

Analysis of Total Health Cost in Shandong Province Based on Grey GM(1,1) Model

Meng Li¹, Fang Liu²

¹School of Management, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai

²School of Marxism, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai

Received: Mar. 14th, 2022; accepted: Apr. 8th, 2022; published: Apr. 18th, 2022

Abstract

Based on the data related to total health costs in Shandong Province from 2011 to 2019, the current situation of total health costs in Shandong Province was analyzed, and the GM(1,1) model was used to predict the change trend of total health costs in Shandong Province from 2020 to 2030.

文章引用: 李蒙, 刘芳. 基于灰色 GM(1,1)模型的山东省卫生总费用预测分析[J]. 应用数学进展, 2022, 11(4): 1650-1656. DOI: 10.12677/aam.2022.114179

The data show that the accuracy of the model has reached more than 95%, indicating that the model has good fitting effect and high accuracy, which can predict the health cost in Shandong Province. From 2020 to 2030, the total health cost and its proportion to GDP in Shandong province are on the rise, and the medical and health level is constantly improving. In the future, Shandong province should not only further increase the health investment, but also try to adapt the total health cost to the national economic development level, so as to meet the people's needs for medical and health resources in the new era.

Keywords

GM(1,1) Model, Total Health Cost, Forecast

Copyright © 2022 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

卫生总费用反映国家或地区一定时期内在卫生服务方面消耗的货币总额,也映射出从政府、社会到个人对卫生健康的重视程度以及费用负担状况[1]。我国的“十四五”规划明确提出要全面推进健康中国建设,山东省作为全国人口大省,目前正处于全面落实“十四五规划”的关键时期,因此预测分析山东省卫生总费用的未来发展趋势非常重要。对卫生总费用的预测有灰色 GM(1,1)模型、BP 神经网络法以及 ARIMA 模型法等方法,如戴泽阳等人利用灰色 GM(1,1)模型预测江苏省卫生总费用及其筹资结构情况[2];王高玲等运用 ARIMA 模型来预 2017~2021 年我国卫生总费用的变化及构成[3]。基于此,本研究选取山东省 2011~2019 年卫生总费用及其占 GDP 比重作为研究对象,建立灰色 GM(1,1)模型对山东省卫生总费用进行预测,以期有关部门的相关决策提供数据支撑。

2. 资料来源与研究方法

2.1. 资料来源

本研究采用山东省统计局公布的 2011~2021 年《山东省统计年鉴》中相关数据作为数据来源,数据来源真实、可靠。

2.2. 研究方法

本研究通过对 2011~2019 年山东省卫生总费用的数据进行整理,并构建灰色 GM(1,1)模型对 2020~2030 年山东省卫生总费用发展趋势进行预测。灰色系统理论由邓聚龙教授在 20 世纪 80 年代提出,经过四十多年的发展,现在被广泛应用在自然科学和社会经济等众多领域中。灰色 GM(1,1)预测模型具有需要的样本量较少、运算简便、精确度高的特点,可以用来预测未来中短期的发展态势。

1) 构造原始时间序列:

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

其中, n 代表有 n 个观测值。然后进行建模可行性分析,当级比的计算值全部都落入可行区域范围内才能建模。当 $k = 2, 3, \dots, n$ 时,级比值为 $\sigma(k) = \frac{X^{(0)}(k-1)}{X^{(0)}(k)}$, $\sigma(k) \in \left(e^{-\frac{2}{n+1}}, e^{\frac{2}{n+1}} \right)$ 。

2) 对原始数据进行一次累加, 得到累加生成序列为: $X^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k X^{(0)}(i) (i=1, 2, \dots, n)$ 。

令 $Z^{(1)}(k) = \frac{1}{2} X^{(1)}(k) + \frac{1}{2} X^{(1)}(k-1) (k=2, 3, \dots, n)$ 。

故可以求得 GM(1,1)模型的微分方程为:

$$\frac{dX^{(1)}}{dt} + \alpha X^{(1)} = b$$

其中 α 和 b 是待定参数, α 称为发展灰数, b 称为内生控制灰数。

3) 建立数据矩阵 B 和数据向量 Y :

令 $Z^{(1)}(k) = \frac{1}{2} X^{(1)}(k) + \frac{1}{2} X^{(1)}(k-1) (k=2, 3, \dots, n)$

$$B = \begin{bmatrix} -Z^{(1)}(2) & 1 \\ -Z^{(1)}(3) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -Z^{(1)}(n) & 1 \end{bmatrix}, \quad Y_n = \begin{bmatrix} X^{(0)}(2) \\ X^{(0)}(3) \\ \vdots \\ X^{(0)}(n) \end{bmatrix}$$

4) 设 $\hat{\mu}$ 为待估参数, $\hat{\mu} = \begin{bmatrix} \alpha \\ b \end{bmatrix}$, 根据最小二乘法原理求出 α 和 b , 进而可以得到 $\hat{\mu} = (B^T B)^{-1} B^T Y_n$ 。

5) 通过对微分方程求解, 可以得到预测模型:

$$\hat{X}^{(1)}(k+1) = \left(X^{(0)}(1) - \frac{b}{\alpha} \right) e^{-\alpha k} + \frac{b}{\alpha}, \quad (k=0, 1, 2, \dots, n)$$

6) 再进行累减后就可以得到原始数据的还原值:

$$\hat{X}^{(0)} = (\hat{X}^{(0)}(1), \hat{X}^{(0)}(2), \dots, \hat{X}^{(0)}(n-1))$$

7) 模型检验

平均相对误差和精度检验的公式分别为:

$$\varepsilon(\text{avg}) = \frac{1}{n-1} \sum_{k=2}^n \varepsilon(k), \quad P^0 = (1 - \varepsilon(\text{avg})) \times 100\%$$

后验差比值是 $C = \frac{S_2}{S_1}$, 其中, S_2 对残差的标准差, S_1 是原始序列的标准差

$$S_2 = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=2}^n (E(k) - \bar{E})^2}, \quad S_1 = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=2}^n (X^{(0)}(k) - \bar{X})^2}$$

模型精度检验等级表见表 1。

Table 1. GM(1,1) model accuracy inspection grade table
表 1. GM(1,1)模型精度检验等级表

精度等级	$\varepsilon(\text{avg})$	P^0	C
1 级(优秀)	≤ 0.01	$> 95\%$	> 0.35
2 级(良好)	≤ 0.10	$> 80\%$	< 0.5
3 级(合格)	≤ 0.20	$> 70\%$	< 0.65
4 级(不合格)	> 0.20	$< 70\%$	> 0.65

2.3. 数据处理方法

运用 Excel 2016 对原始数据进行录入,对山东省 2011~2019 年卫生总费用的现状进行分析,并在 SPSS 软件中分别对卫生总费用以及卫生总费用占 GDP 的比重建立灰色 GM(1,1)模型。

3. 结果分析

3.1. 山东省卫生总费用现状

由表 2¹可以看出,总体来看,2011~2019 年间山东省卫生总费用及占国民经济的比例逐年增长,其中,卫生总费用的筹资总额由 2011 年的 1648.65 亿元上升到 2019 年的 4284.04 亿元,年平均增长率为 12.79%;卫生总费用占 GDP 比例由 3.63%增加到了 6.03%,年均增长率达到 6.62%。2019 年,全国卫生总费用占国内生产总值的比例为 6.67%,相比较可知山东省卫生总费用占 GDP 的比例在全国水平之下。

Table 2. Raw data of the total health cost and its proportion in GDP in Shandong Province from 2011 to 2019

表 2. 2011~2019 年山东省卫生总费用及其占 GDP 比重的原始数据

年份	卫生总费用(单位: 亿元)	占 GDP 比重(%)
2011	1648.65	3.63
2012	1928.88	3.86
2013	2245.97	4.11
2014	2484.16	4.18
2015	2844.96	4.52
2016	3354.70	4.93
2017	3570.82	4.92
2018	4140.82	5.41
2019	4284.04	6.03
年平均增长率(%)	12.79	6.62

注: 本文数据来源于《山东省统计年鉴(2012~2020)》。

3.2. 山东省卫生总费用预测模型

1) 建立时间序列:

$$\begin{aligned} X^{(0)} &= (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(9)) \\ &= (1648.65, 1928.88, 2245.97, 2484.16, 2844.96, 3354.70, 3570.82, 4140.82, 4284.04) \end{aligned}$$

经计算,该数列所有级比值均落在区间(0.818730753, 1.221402758)内,通过级比检验,能够用于建立 GM(1,1)模型。

2) 对数据进行一次累加,构造生成列:

$$(1928.88, 3577.53, 4174.85, 4730.13, 5329.12, 6199.66, 6925.52, 7711.64, 8424.86)$$

3) 通过建立灰色微分方程,可以求得发展系数 $a = -0.1130$, 灰色作用量 $b = 1726.6382$, $b/a = -15,279.9840$, 最终得到山东省卫生总费用的预测模型:

¹数据来源于《山东省统计年鉴》<http://tj.shandong.gov.cn/col/col6279/index.html>。

$$X^{(1)}(k+1) = 16928.634e^{0.1150k} - 15279.9840$$

同理, 重复以上步骤计算出山东省卫生总费用占 GDP 比重的 $\alpha = -0.0621$, $b = 3.4352$, $b/\alpha = -55.3172$, 得到山东省卫生总费用占 GDP 比重的拟合方程为:

$$X^{(1)}(k+1) = 58.9472e^{0.0621k} - 55.3172$$

4) 模型检验

结果显示, 在关于山东省卫生总费用及其占 GDP 比重的预测模型中, 平均相对误差分别为 0.0239、0.0204, 后验差比值 C 分别为 0.014、0.027, 模型精度 P 分别为 97.61%、97.96%, 结合模型精度检验等级表可知模型精度较高, 能够进行科学预测。另外, 由计算结果可知, 两者模型的 $-\alpha$ 均小于 0.3, 因此可以构建灰色预测模型对山东省卫生总费用及其占 GDP 比重来进行中长期预测。原始与得到的预测值见表 3, 表 4, 模型的拟合效果见图 1, 图 2。

Table 3. Comparison of the original value and the predicted value of the total health cost in Shandong Province

表 3. 山东省卫生总费用原始值与预测值对比

年份	卫生总费用(单位: 亿元)		
	原始值	预测值	相对误差
2011	1648.65	/	/
2012	1928.88	2025.10	4.989%
2013	2245.97	2267.29	0.949%
2014	2484.16	2538.44	2.185%
2015	2844.96	2842.01	0.104%
2016	3354.7	3181.89	5.151%
2017	3570.82	3562.42	0.235%
2018	4140.82	3988.45	3.680%
2019	4284.04	4465.44	4.234%

Table 4. Comparison between the original and predicted values of the proportion of total health cost in GDP in Shandong Province

表 4. 山东省卫生总费用占 GDP 比重原始值与预测值对比

年份	卫生总费用占 GDP 比重(%)		
	原始值	预测值	相对误差
2011	3.63	/	/
2012	3.86	3.78	2.158%
2013	4.11	4.02	2.222%
2014	4.18	4.28	2.301%
2015	4.52	4.55	0.668%
2016	4.93	4.84	1.790%
2017	4.92	5.15	4.715%
2018	5.41	5.48	1.332%
2019	6.03	5.83	3.261%

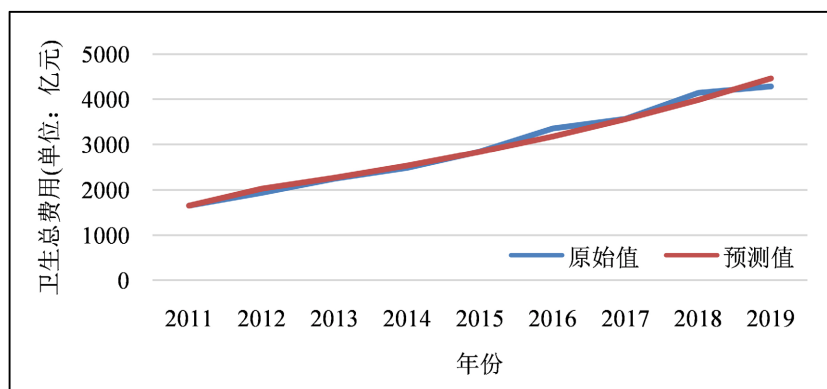


Figure 1. Fitting situation of the total health expenses in Shandong Province

图 1. 山东省卫生总费用支出拟合情况

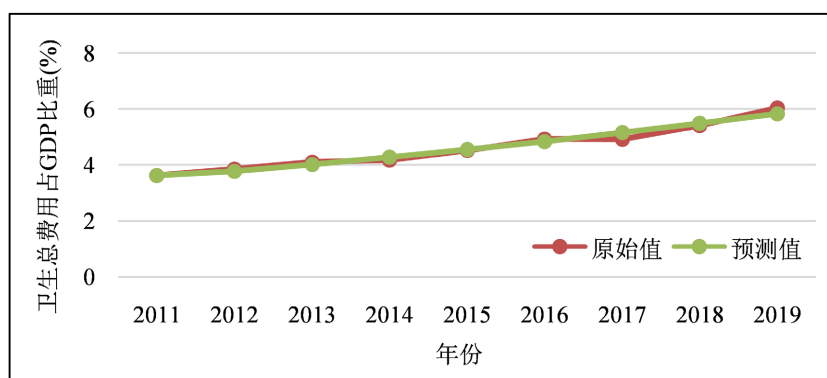


Figure 2. Fitting of the proportion of total health cost in GDP in Shandong Province

图 2. 山东省卫生总费用占 GDP 比重拟合情况

3.3. 山东省卫生总费用预测结果

由预测数据可知, 2020~2030 年山东省卫生总费用及其占 GDP 的比重将继续上升, 见表 5、图 3。具体来说, 卫生总费用将由 2020 年的 4999.46 亿元增加至 2030 年的 15,471.00 亿元, 增加约 3 倍。从卫生总费用占 GDP 比重来看, 在 2020~2030 年的十一年间, 由 6.21% 增至 11.55%。

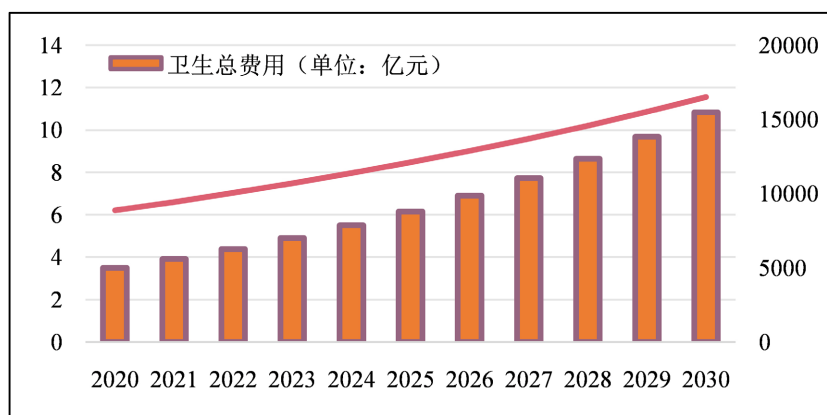


Figure 3. The forecast trend of the total health cost and its proportion in GDP in Shandong Province

图 3. 山东省卫生总费用及其占 GDP 比重的预测趋势

Table 5. Precast results of total health cost and its proportion in GDP in Shandong Province
表 5. 山东省卫生总费用及其占 GDP 比重的预测结果

年份	卫生总费用(单位: 亿元)	占 GDP 比重(%)
2020	4999.46	6.21
2021	5597.36	6.61
2022	6266.75	7.03
2023	7016.20	7.48
2024	7855.28	7.96
2025	8794.70	8.47
2026	9846.47	9.01
2027	11,024.02	9.59
2028	12,342.39	10.20
2029	13,818.44	10.86
2030	15,471.00	11.55

4. 讨论

由计算得到, 在卫生总费用和卫生总费用占 GDP 比重的预测模型中, 平均相对误差分别为 2.39%、2.04%, 均低于 3%, 表明模型的精度较高, 未来可以对山东省卫生总费用进行中长期的预测。预测结果表明, 山东省卫生总费用继续呈现上升趋势但增速有所放慢, 一方面是因为新常态下经济趋于平稳发展影响卫生总费用的增速; 另一方面源于资源有限, 卫生总费用的增速会达到一个阈值[4]。

根据世界卫生组织 WHO 发布的要求, 发展中国家卫生总费用占 GDP 总费用一般不低于 5% [5]。2011~2019 年, 山东省卫生总费用占 GDP 的比重呈现逐年上升的趋势, 在 2018 年就已经符合世界卫生组织发布的最低标准, 并通过建立预测模型可以看出卫生总费用占 GDP 比重逐年上升, 在 2030 年该比重达到 11.55%。同时, 目前山东省卫生总费用的年平均增长率为 11.96%, 而山东省 GDP 的年平均增长速度仅有 6.41%。由此可以看出, 山东省卫生总费用的增长速度明显超过 GDP 的增速, 卫生总费用这一刚性增长现状, 如果任其自由发展不加以干预, 长此以往将会给整个社会经济发展带来压力。因此, 今后山东省有关部门应采取有效措施, 将卫生总费用的增长控制在合理范围内, 确保卫生总费用与 GDP 的增长速度在合理区间内进行, 最终尽量达到相对均衡的状态。

参考文献

- [1] 丁海峰, 高凯, 姜茂敏. 基于灰色 GM(1,1)模型的上海市卫生总费用预测研究[J]. 医学与社会, 2020, 33(6): 42-46. <https://doi.org/10.13723/j.yxysh.2020.06.011>
- [2] 戴泽阳, 徐爱军, 乔学斌. 基于不同 GM(1, 1)模型的江苏省卫生总费用趋势预测及分析[J]. 现代预防医学, 2021, 48(19): 3549-3553+3564.
- [3] 王高玲, 张怡青. 基于 ARIMA 模型的我国卫生总费用趋势及构成预测分析[J]. 中国卫生统计, 2019, 36(1): 121-125.
- [4] 井淇, 马安宁, 高倩倩, 蔡伟芹, 王培承, 郑名贵, 盛红旗, 马桂峰. 灰色增量模型在山东省卫生总费用预测中的应用[J]. 中国卫生统计, 2019, 36(2): 285-287.
- [5] 辛怡, 马蔚姝, 李惠, 聂存虎, 魏巍. “十三五”时期我国卫生总费用占国内生产总值比重预测[J]. 现代预防医学, 2018, 45(10): 1804-1808.