

基于灰色GM(1,1)模型的云南省卫生总费用预测

黄 亮

上海工程技术大学, 上海

收稿日期: 2022年4月18日; 录用日期: 2022年5月13日; 发布日期: 2022年5月20日

摘 要

根据2009~2019年共十一年的云南省卫生总费用数据, 基于灰色系统理论, 建立云南省卫生总费用的GM(1,1)灰色预测模型。分析云南省卫生总费用筹资水平与筹资结构及其占GDP比重现状。预测2020~2026年共七年云南省卫生总费用及其筹资结构, 预测结果总体呈现出卫生总费用及其占GDP比重逐年增加, 政府、个人卫生支出比例不断降低, 社会卫生支出比例不断提高的趋势。为区域卫生健康费用管理、筹资水平与结构优化提供科学依据, 对云南省卫生健康事业的发展具有重要意义。

关键词

GM(1,1)模型, 灰色系统, 卫生总费用, 预测

Prediction of Total Expenditure on Health in Yunnan Based on Grey GM(1,1) Model

Liang Huang

Shanghai University of Engineering Science, Shanghai

Received: Apr. 18th, 2022; accepted: May 13th, 2022; published: May 20th, 2022

Abstract

Based on the data of the total health expenditure in Yunnan province from 2009 to 2019, a GM(1,1) grey prediction model of the total health expenditure in Yunnan province was established based on the grey system theory. To analyze the financing level and structure of total health expenditure in Yunnan province and its proportion to GDP. The total health expenditure and its financing structure of Yunnan province from 2020 to 2026 are predicted. The forecast results show that the

total health expenditure and its proportion in GDP increase year by year, the proportion of government and individual health expenditure decreases continuously, and the proportion of social health expenditure increases continuously. It is of great significance for the development of health cause in Yunnan province to provide scientific basis for regional health cost management, financing level and structure optimization.

Keywords

GM(1,1) Model, Gray System, Total Health Expenses, 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

卫生总费用是指一个国家或地区在一定时期内(通常指 1 年),全社会用于医疗卫生费用所消耗资源的货币总合[1]。

2020 年 10 月 29 日,《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》提出要全面推进健康中国建设。卫生总费用中政府、社会与个人卫生支出所占比重的不同能反映出卫生健康事业发展与经济、社会之间的关系,其占 GDP 比重能反映一个国家或地区卫生医疗筹资水平和利用程度[2]。据《云南统计年鉴》,云南省 GDP 2009 年到 2019 年年均增长率达 14.35%,数值从 6169.75 亿元增长到 23,223.75 亿元;卫生总费用同样增长迅速,数值从 427.48 亿元增长到 1801.8 亿元,GDP 年均增速比卫生总费用的年均增速高了近 3 个百分点。随着云南省卫生事业的发展,预测分析云南省卫生总费用是否与区域经济发展配速,筹资水平和筹资结构是否合理,对云南省卫生健康事业的发展具有意义。

目前,采用灰色 GM(1,1)模型对云南省卫生总费用进行分析的文献相对较少。为填补云南省卫生总费用预测空白,给区域医疗卫生费用管理提供科学依据,本研究选取了云南省 2009~2019 年共 11 年的卫生总费用及 GDP 相关数据,基于灰色 GM(1,1)模型,对云南省 2020~2026 年卫生总费用和筹资结构进行预测分析。

2. 资料来源与方法

2.1. 资料来源

数据来源:中国及云南省统计年鉴。

2.2. 研究方法

采用灰色 GM(1,1)模型对 2020~2026 年云南省卫生总费用及筹资结构进行预测。灰色系统由华中科技大学邓聚龙教授创立,是介于白色与黑色系统之间的适用于“少数据不确定”问题的系统[3]。本文对云南省卫生总费用预测采用的就是灰色系统 GM(1,1)数列预测模型。

1) 原始序列: $X^{(0)} = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)\}$, 对其进行一次累加处理, 得到 $X^{(0)}$ 的 1-AGO 序列 $X^{(1)} = \{x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n)\}$, 其中, $x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i)$, $k = 1, 2, \dots, n$

2) 对原始序列 $X^{(0)}$ 进行准光滑性检验,

$$\rho(k) = \frac{x^0(k)}{x^1(k-1)}$$

若原始序列 $X^{(0)}$ 满足:

$$\frac{\rho(k+1)}{\rho(k)} < 1$$

$$\rho(k) \in (0, 0.5)$$

则称 $X^{(0)}$ 为准光滑序列, 则可对 $X^{(0)}$ 建立 GM(1,1) 模型:

$$\frac{dx^{(1)}}{dk} + ax^{(1)} = b \quad (\text{其中, } a \text{ 和 } b \text{ 为待定参数})$$

3) 构造数据矩阵 B 和数据向量 Y :

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

4) 用最小二乘法计算参数向量。

$$\hat{a} = \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = (B^T B)^{-1} B^T Y$$

5) 建预测模型。

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

6) 模型精度检验。灰色 GM(1,1) 预测模型使用方差比 C 和小误差概率 P 来进行精度检验,

$$C = \frac{S_2}{S_1}$$

$$P = \left\{ \left| q^{(0)} - \bar{q}^{(0)} \right| \right\}$$

$$S_1 = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[x^{(0)} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x^{(0)} \right]^2}$$

$$S_2 = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[q^{(0)} - \bar{q}^{(0)} \right]^2}$$

$$q^{(0)} = x^{(0)} - \hat{x}^{(0)}$$

$$\bar{q}^{(0)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q^{(0)}$$

其中 P 和 C 的精度等级按表 1 对照。

Table 1. Accuracy test comparison table
表 1. 精度检验对照表

| 模型精度等级 | <i>P</i> | <i>C</i> |
|----------|----------|----------|
| 1 级(好) | >95% | <0.35 |
| 2 级(合格) | >80% | <0.50 |
| 3 级(勉强) | >70% | <0.65 |
| 4 级(不合格) | ≤70% | >0.65 |

2.3. 数据处理方法

运用 Excel 录入有关数据,并在 Excel 内建立数据库,构建了云南省卫生总费用、政府、社会和个人卫生支出共 4 种灰色 GM(1,1)预测模型。

3. 结果

3.1. 2009~2019 年云南省卫生总费用变化状况

从云南省卫生总费用近 11 年的变化来看,总体上呈现出了明显的增长趋势,平均每一个五年就是上一个五年的两倍。人均卫生总费用方面,从 2009 年的 935.19 元提升到了 2019 年的 3708.8 元,2019 年的人均费用是 2009 年的近四倍。此外,政府、社会和个人卫生支出三方面的总费用也高速上涨。在其筹资结构方面,呈现出政府、个人卫生支出占比不断降低,社会卫生支出占比不断增加的变化。见表 2。

Table 2. Present situation of total expenditure and composition of Yunnan Province
表 2. 云南省卫生总费用支出及构成现状

| 年份 | 卫生总费用 | | | | | | 总费用/ 亿元 | 人均/元 |
|------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|------------|---------|
| | 政府卫生支出 | | 社会卫生支出 | | 个人卫生支出 | | | |
| | 总费用/亿元 | 占比(%) | 总费用/亿元 | 占比(%) | 总费用/亿元 | 占比(%) | | |
| 2009 | 167.34 | 39.2 | 103.15 | 24.1 | 156.98 | 36.7 | 427.48 | 935.19 |
| 2010 | 199.38 | 39.1 | 147.3 | 28.9 | 162.79 | 32 | 509.47 | 1107.15 |
| 2011 | 255.78 | 37.6 | 205.23 | 30.2 | 218.66 | 32.2 | 679.67 | 1467.66 |
| 2012 | 288.23 | 38 | 211.84 | 28 | 257.6 | 34 | 757.67 | 1626.26 |
| 2013 | 322.14 | 38 | 241.43 | 28.5 | 284.09 | 33.5 | 847.66 | 1808.68 |
| 2014 | 359.63 | 38.78 | 271.81 | 29.31 | 295.86 | 31.91 | 927.3 | 1967.16 |
| 2015 | 425.76 | 38.88 | 338.2 | 30.88 | 331.22 | 30.24 | 1095.19 | 2309.65 |
| 2016 | 473.34 | 36.03 | 463.17 | 35.25 | 377.35 | 28.72 | 1313.85 | 2754.12 |
| 2017 | 553.8 | 36.63 | 535.28 | 35.41 | 422.78 | 27.96 | 1511.85 | 3149.36 |
| 2018 | 583.73 | 35.28 | 614.88 | 37.17 | 455.75 | 27.55 | 1654.35 | 3425.52 |
| 2019 | 646.47 | 35.88 | 663.59 | 36.83 | 491.83 | 27.3 | 1801.89 | 3708.89 |

3.2. 2009~2019 年云南省卫生总费用占 GDP 比重变化状况

2009~2019 年,云南省卫生总费用占国内生产总值(GDP)的比重呈前期迅猛增长后期疲软回落的趋势。云南省卫生总费用与 GDP 的增长速度基本一致,卫生总费用年平均增长率略高于 GDP 年平均增长率。

云南省卫生总费用占 GDP 比重呈上涨趋势, 比重从 6.93% 增长至 7.76%。政府、社会卫生支出的费用占 GDP 比重分别从 2.71%、1.67% 增至 2.78% 和 2.86%, 个人卫生支出占 GDP 比重从 2.54% 下降到 2.12%。见表 3。

Table 3. The proportion of total health expenses in Yunnan Province accounts for GDP
表 3. 云南省卫生总费用占 GDP 的比重

| 年份 | GDP/ 亿元 | 卫生总费用 | | | | | | 总费用占比 (%) |
|------|------------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|--------------|
| | | 政府卫生支出/亿元 | 占比(%) | 社会卫生支出/亿元 | 占比(%) | 个人卫生支出/亿元 | 占比(%) | |
| 2009 | 6169.75 | 167.34 | 2.71 | 103.15 | 1.67 | 156.98 | 2.54 | 6.93 |
| 2010 | 7224.18 | 199.38 | 2.76 | 147.3 | 2.04 | 162.79 | 2.25 | 7.05 |
| 2011 | 8893.12 | 255.78 | 2.88 | 205.23 | 2.31 | 218.66 | 2.46 | 7.64 |
| 2012 | 10309.47 | 288.23 | 2.80 | 211.84 | 2.05 | 257.6 | 2.50 | 7.35 |
| 2013 | 11832.31 | 322.14 | 2.75 | 241.43 | 2.06 | 284.09 | 2.42 | 7.23 |
| 2014 | 12814.59 | 359.63 | 2.81 | 271.81 | 2.12 | 295.86 | 2.31 | 7.24 |
| 2015 | 13619.17 | 425.76 | 3.13 | 338.2 | 2.48 | 331.22 | 2.43 | 8.04 |
| 2016 | 14788.42 | 473.34 | 3.20 | 463.17 | 3.13 | 377.35 | 2.55 | 8.88 |
| 2017 | 16376.34 | 553.8 | 3.38 | 535.28 | 3.27 | 422.78 | 2.58 | 9.15 |
| 2018 | 17881.12 | 583.73 | 2.80 | 614.88 | 2.94 | 455.75 | 2.18 | 7.92 |
| 2019 | 23223.75 | 646.47 | 2.78 | 663.59 | 2.86 | 491.83 | 2.12 | 7.76 |

3.3. 云南省卫生总费用预测模型

(1) 建立时间序列:

$$X^{(0)} = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(11)\} = \{427.48, 509.47, \dots, 1801.8\}$$

原始数据一阶累加生成得:

$$X^{(1)} = \{427.48, 936.95, \dots, 11526.38\}$$

(2) 进行准光滑性检验。经计算得: $\rho(2) = 0.46$, $\rho(3) = 0.32$, $\rho(4) = 0.29$, $\rho(5) = 0.24$, $\rho(6) = 0.20$, $\rho(7) = 0.18$, $\rho(8) = 0.17$, $\rho(9) = 0.16$, $\rho(10) = 0.16$, $\rho(11) = 0.14$, 所有数据皆满足准光滑条件。故可以利用 GM(1,1) 模型建模。

(3) 通过计算可以得出:

$$B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}(427.48+936.95) & 1 \\ -\frac{1}{2}(936.95+1616.62) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -\frac{1}{2}(9724.49+11526.38) & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -682.22 & 1 \\ -1276.79 & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -10625.44 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Y = \begin{bmatrix} 509.47 \\ 679.67 \\ \vdots \\ 1801.89 \end{bmatrix}$$

4) 参数向量计算:

经计算 $(B^T B)^{-1} B^T X$, 得到: $a = -0.131047683$, $b = 482.5208412$, $\frac{b}{a} = -3682.024976$

5) 得云南省卫生总费用的预测模型:

$$\hat{X}^{(1)}(k+1) = 4109.504976e^{0.131047683k} - 3682.024976$$

6) 模型精度检验

经计算, 云南省卫生总费用的平均相对误差为 0.034; C 为 0.095551163, 小于 0.35; P 为 96.59%, 模型精度好。见表 4。

Table 4. Inspection of forecast model of health total prediction of Yunnan Province

表 4. 云南省卫生总费用预测模型检验

| 年份 | 实际值 | 预测值 | 残差 | 相对误差 | P | S_1 | S_2 |
|------|---------|-------------|----------|---------|--------|-------------|-------------|
| 2009 | 427.48 | 427.48 | 0 | 0 | 96.59% | 444.5419391 | 42.47649949 |
| 2010 | 509.47 | 575.4216791 | 65.9517 | 0.12945 | | | |
| 2011 | 679.67 | 655.9934537 | -23.6765 | 0.03484 | | | |
| 2012 | 757.67 | 747.8470606 | -9.8229 | 0.01296 | | | |
| 2013 | 847.66 | 852.562206 | 4.9022 | 0.00578 | | | |
| 2014 | 927.3 | 971.9397902 | 44.6398 | 0.04814 | | | |
| 2015 | 1095.19 | 1108.032879 | 12.8429 | 0.01173 | | | |
| 2016 | 1313.85 | 1263.182013 | -50.6680 | 0.03856 | | | |
| 2017 | 1511.85 | 1440.055462 | -71.7945 | 0.04749 | | | |
| 2018 | 1654.35 | 1641.695108 | -12.6549 | 0.00765 | | | |
| 2019 | 1801.89 | 1871.56877 | 69.6788 | 0.03867 | | | |

3.4. 云南省卫生总费用预测结果

同上, 对政府、社会、个人卫生费用建立预测模型。经计算, 均通过准光滑性检验, 其 a 分别为: -0.12033399 、 -0.16703996 、 -0.10490741 , b 分别为: 192.6462854 、 126.0015929 、 170.5599717 。因此, 可以得出 GM(1,1)模型分别是:

政府卫生费用支出:

$$\hat{X}^{(1)}(k+1) = 1768.269987e^{0.120333985k} - 1600.929987$$

社会卫生费用支出:

$$\hat{X}^{(1)}(k+1) = 857.470045e^{0.167039964k} - 754.320045$$

个人卫生费用支出:

$$\hat{X}^{(1)}(k+1) = 1782.794362e^{0.104907409k} - 1625.814362$$

经计算,求得政府、社会和个人卫生支出的方差比 C 分别为:0.095047705、0.134093207、0.125176835,均小于 0.35。根据表 1 精度表,对照所建立模型的精度检验,云南省卫生总费用、政府、社会和个人卫生费用支出模型精度较高,均属于一级模型。见表 5。

Table 5. 2020~2026 Yunnan Province health total prediction results based on GM(1,1) model
表 5. 基于 GM(1,1)模型的 2020~2026 年云南省卫生总费用预测结果

| 时间(年) | 政府卫生支出 | | 社会卫生支出 | | 个人卫生支出 | | 总费用(亿元) |
|-------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|
| | 费用(亿元) | 占比(%) | 费用(亿元) | 占比(%) | 费用(亿元) | 占比(%) | |
| 2020 | 753.24 | 35.12% | 828.44 | 38.63% | 562.98 | 26.25% | 2133.63 |
| 2021 | 849.56 | 34.62% | 979.05 | 39.90% | 625.25 | 25.48% | 2432.39 |
| 2022 | 958.19 | 34.10% | 1157.05 | 41.18% | 694.41 | 24.72% | 2772.97 |
| 2023 | 1080.72 | 33.57% | 1367.40 | 42.47% | 771.22 | 23.96% | 3161.25 |
| 2024 | 1218.92 | 33.02% | 1615.99 | 43.78% | 856.52 | 23.20% | 3603.90 |
| 2025 | 1374.79 | 32.46% | 1909.78 | 45.09% | 951.26 | 22.46% | 4108.52 |
| 2026 | 1550.58 | 31.88% | 2256.99 | 46.40% | 1056.47 | 21.72% | 4683.80 |

4. 讨论

1) 目前针对卫生总费用的预测,学者采用了很多模型,包括 ARIMA 模型、GM(1,1)模型、马尔可夫模型和 BP 神经网络模型,其中 GM(1,1)模型因其计算方便、原始数据要求低等优点在各领域广泛应用。从本次研究来看,云南省卫生总费用及政府、社会、个人卫生支出已知年份的实际值与预测值误差小,都符合精度检验最高一级。GM(1,1)模型在本次云南省卫生总费用的预测中效果良好。

2) 根据 2020~2026 年云南省卫生总费用预测值,卫生总费用将会继续逐年增长,平均年增长率达 14%。有研究显示,人口老龄化的不断加深或是导致卫生总费用不断增长的重要因素[4]。据近几年数据,云南省卫生总费用的增长率已高于其 GDP 增长速度,过于激进的卫生总费用支出可能会给社会经济发展带来更大的压力。

3) 据表 4 可见,2020~2026 年间云南省政府、社会、个人卫生支出结构将会更不平衡。政府和个人卫生支出比例进一步缩小,政府财政和家庭个人经济压力进一步降低。但是个人卫生支出占卫生总费用的比重仍然高于世界卫生组织(WHO)提出消除“因病致贫”问题应处的 15%~20%的理想区域[5]。此外,社会卫生支出比重进一步提高,社会负担的卫生费用越来越重。

参考文献

- [1] 黄晓光,周绿林,王悦. 卫生经济学[M]. 北京:人民卫生出版社,2006:155.
- [2] 洪媛媛. 广东省卫生总费用影响因素主成分回归分析[J]. 卫生软科学,2015,29(12):756-759.
- [3] 邓聚龙. 灰理论基础[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2002.
- [4] 刘泉红,刘方. 中国医药产业发展及产业政策现状、问题与政策建议[J]. 经济研究参考,2014(32):39-67.
- [5] 张芳芳,廖瑞斌,宫晓,等. 基于 ARIMA 模型的广东省卫生总费用趋势预测及构成分析[J]. 现代预防医学,2019,46(2):289-293.