

# 基于灰色GM(1, 1)模型的上海市卫生总费用预测分析

杨迎迎\*, 徐 昕, 常一凡

上海工程技术大学, 上海

收稿日期: 2022年6月4日; 录用日期: 2022年6月29日; 发布日期: 2022年7月6日

## 摘 要

目的: 预测上海市卫生总费用及筹资结构的变化情况, 为上海市相关部门制定和完善卫生政策提供参考。方法: 数据来源于2009~2019年上海市统计年鉴, 上海市卫生医疗资源和医疗服务情况简报, 采用GM(1, 1)模型, 对上海市卫生总费用及筹资结构的变化趋势进行分析。结论: 预测结果显示, 上海市卫生总费用仍呈上升趋势, 其中政府和个人卫生费用支出比例小幅度上升, 社会卫生费用支出比例有小幅度下降趋势。

## 关键词

灰色模型, 卫生总费用, 预测

## Forecasting Analysis of Total Health Costs in Shanghai Based on Grey GM(1, 1) Model

Yingying Yang\*, Xin Xu, Yifan Chang

Shanghai University of Engineering Science, Shanghai

Received: Jun. 4<sup>th</sup>, 2022; accepted: Jun. 29<sup>th</sup>, 2022; published: Jul. 6<sup>th</sup>, 2022

## Abstract

**Objective:** To predict the changes of total health costs and financing structure in Shanghai, and to provide reference for relevant departments in Shanghai to formulate and improve health policies. **Methods:** Data were obtained from the 2009~2019 Shanghai Statistical Yearbook, Shanghai Health and Medical Resources and Medical Services Briefing, and the GM(1, 1) model was used to analyze

\*通讯作者。

**the changing trends of the total cost of health and financing structure in Shanghai. Conclusion: The forecast results show that the total cost of health in Shanghai is still on an upward trend, with a small increase in the proportion of government and personal health expenditure and a small downward trend in the proportion of social health expenditure.**

## Keywords

Gray 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(total expenditure on health, THE)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]。是反映国家或地区医疗卫生投入水平或利用状况的重要指标。依据来源法核算卫生总费用,卫生总费用由政府卫生支出、社会卫生支出和个人卫生支出三个部分组成。其分别反映了政府、社会以及个人对卫生资源的投入占比以及变化趋势。我国现处于“十四五”(2020~2025)规划发展的重要阶段,是全面建设社会主义现代化强国的重要时期,对医疗卫生总费用的预测及调整对我国经济发展和人民自身卫生资源使用都具有重要意义。上海市是我国经济体量最大的城市,在直辖市中位居首位,如何有效抑制卫生总费用的不合理过快增长和优化卫生筹资结构,缓解人民群众就医难问题,成为政府部门亟待解决的重要民生课题。对上海市卫生总费用进行预测能及时发现卫生总支出的变化趋势,为医疗相关部门的决策调控提供依据。基于此,本文采用 GM(1, 1)模型对上海市卫生总费用及筹资结构,对政府、社会和个人卫生支出的变化进行科学预测和分析,为上海市相关部门在制定和调整卫生经济体制时,提供有效的数据支持和参考依据。

## 2. 数据来源于方法

### 2.1. 数据来源

本研究数据表来源于 2009~2020 年上海市统计年鉴,依据卫生总费用(来源法)(2009~2020 年)的数据,选用卫生总费用、政府卫生支出、社会卫生支出和个人卫生支出作为预测指标。

### 2.2. 研究方法

本研究采用灰色 GM(1, 1)模型对 2020~2027 年上海市卫生总费用及筹资结构的变动趋势进行预测,推断医疗费用总支付情况,分析存在问题,提出相对应的完善建议以促进医疗总费用的合理支出。灰色系统理论(Grey System Theory)由华中科技大学邓聚龙教授于 20 世纪 80 年代创立和发展,灰色系统,指既包含已知信息又包含不确定、未知信息的系统,通过对已知信息来研究和预测未知领域从而达到了解整个系统的目的[2]。其中“G”代表的是 Grey,表示灰色,“M”意为 Model,表示模型,两个“1”分别表示一阶和一个变量的微分方程模型。该方法具有以下优点:对样本数量要求较小、不需要大量的样本且样本不需要规律性分布、原理简单易懂,检验容易,且能取得较好的预测效果,可用于近期、短期和中长期预测,因此应用广泛。经过 40 多年的发展,如今灰色系统理论已经被广泛运用在社会、经济和生态的研究领域中。方法主要步骤如下:

1) 构建原始数据序列为:

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

对原始数据  $X^{(0)}$  做一次累加生成处理(1-AGO), 其累加生成序列为

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

2) 计算紧邻均值,  $Z^{(1)}$  为  $X^{(1)}$  的紧邻均值生成序列:

$$Z^{(1)}(k) = \frac{1}{2} [x^{(1)}(k) + x^{(1)}(k-1)]$$

建立灰色 GM(1, 1) 白化形式的微分方程:  $\frac{dx^{(10)}}{dt} + ax^{(1)} = \mu$ , 其中,  $a$  表示发展系数,  $\mu$  表示灰色作用量。

3) 利用  $X^{(0)}$  和  $X^{(1)}$  分别建立数据矩阵  $B$  和数据向量  $Y$ :

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

4) 采用最小二乘法计算原理, 求解  $a$  和  $\mu$ ;

$$a = \begin{pmatrix} a \\ \mu \end{pmatrix} = (B^T B)^{-1} B^T Y_n$$

5) 求解微分方程, 得出预测模型:

$$\hat{X}^{(1)}(k+1) = \left[ x^{(0)}(1) - \frac{\mu}{a} \right] e^{-ak} + \frac{\mu}{a}$$

6) 使用后验差检验方法进行模型精确度检验。

$$\text{残差: } E(k) = x^{(0)}(k) - \hat{x}^{(0)}(k)$$

$$\text{相对残差: } e(k) = \frac{x^{(0)}(k) - \hat{x}^{(0)}(k)}{x^{(0)}(k)}$$

$$x^{(0)} \text{ 的均值: } \bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N X^{(0)}(K)$$

$$x^{(0)} \text{ 的方差: } S_1 = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n [x^{(0)}(k) - \bar{X}]^2}$$

$$\text{残差的均值: } \bar{E} = \frac{1}{n-1} \sum_{k=2}^n E(k)$$

$$\text{残差的方差: } S_2 = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=2}^n [E(k) - \bar{E}]^2}$$

$$\text{后检验比值 } C: C = \frac{S_2}{S_1}$$

$$\text{小误差概率 } P = P\{|E(k) - \bar{E}| < 0.6745S_1\}$$

7) 模型等级划分条件。见表 1。

**Table 1.** Accuracy test comparison table

**表 1.** 精确检验对照表

模型等级	$C$	$P$
1 级(优秀)	$\leq 0.35$	$\geq 0.95$
2 级(合格)	0.36~0.50	0.80~0.94
3 级(勉强合格)	0.51~0.65	0.7~0.94
4 级(不合格)	$> 0.65$	$< 0.7$

### 2.3. 数据处理方法

本研究在 Microsoft Excel 软件中录入相关数据, 对 2009~2019 年共计 11 年间有关上海市卫生总费用及结构, 即政府卫生支出、社会卫生支出和个人卫生支出的变动情况进行描述性统计分析, 并同时在 Excel 内建立数据库, 构建了 4 种灰色 GM(1, 1) 预测模型。

## 3. 结果

### 3.1. 2009~2019 年上海市卫生总费用变化情况

2009 年~2019 年, 从卫生总费用支出来看, 卫生总费用支出呈逐年增长的趋势, 由 2009 年的 656.66 亿元, 增长到 2019 年的 2532.68 亿元, 增长了 3.85 倍。其中, 在政府卫生支出费用方面从 2009 年的 141.3 亿元增加到 2019 年的 564.16 亿元, 社会卫生支出费用和个人卫生支出费用分别从 2009 年的 366.9 亿元, 148.45 亿元增长到 2019 年的 1439.66 和 528.86 亿元。从统筹结构来看, 政府卫生支出占比在 20%~24% 之间上下波动, 2010 年至 2013 年呈小幅度下降趋势, 从 2010 年 20.5% 的占比下降至 2013 年的 20.1%。而从 2013 年至 2016 年又呈小幅度上涨趋势, 上涨到 2016 年的 23.4%, 之后呈波动趋势, 总体变化波动不大。社会卫生支出和个人卫生支出总体波动不大, 分别从 2009 年的 55.9%, 22.6% 变化到 2019 年的 56.8% 和 20.9%。见表 2。

**Table 2.** Total health expenses and current composition in Shanghai Province

**表 2.** 上海市卫生总费用支出及构成现状

年份	政府卫生支出		社会卫生支出		个人卫生支出		卫生总费用(亿元)	人均(元)	GDP(亿元)	卫生总费用占 GDP 比重(%)
	费用(亿元)	占比(%)	费用(亿元)	占比(%)	费用(亿元)	占比(%)				
2009	141.3	21.5%	366.9	55.90%	148.45	22.60%	656.66	3418	15742.44	4.17%
2010	177.2	23.60%	419.82	55.80%	154.98	20.60%	751.99	3266	17915.41	4.20%
2011	215.7	23.20%	521.62	56.00%	193.68	20.80%	931	3966	20009.68	4.65%
2012	232.49	21.20%	646.51	59.20%	213.35	19.50%	1092.35	4589	23105.59	5.13%
2013	250.82	20.10%	740.42	59.30%	257.44	20.60%	1248.68	5170	23204.12	5.38%
2014	275.29	20.40%	792.51	58.80%	279.99	20.80%	1347.79	5556	25269.75	5.33%

Continued

2015	319.94	20.80%	882.39	57.40%	334.27	21.80%	1536.6	6362	26887.02	5.72%
2016	430.73	23.40%	1061.74	57.80%	345.53	18.80%	1838	7596	32925.01	5.58%
2017	449.64	21.50%	1209.53	58.00%	427.92	20.50%	2087.09	8611	36011.82	5.80%
2018	507.92	22.00%	1326.42	57.60%	467.26	20.30%	2301.6	9496	37987.55	6.06%
2019	564.16	22.30%	1439.66	56.80%	528.86	20.90%	2532.68	10183	38700.58	6.54%

### 3.2. 上海市卫生总费用预测模型

本研究利用 2008~2018 年上海市卫生总费用及筹资结构，建立 GM(1, 1)模型。

$$B = \begin{bmatrix} -1032.7 & 1 \\ -1874.2 & 1 \\ -2885.8 & 1 \\ -4056.3 & 1 \\ -5354.6 & 1 \\ -6796.8 & 1 \\ -8484.1 & 1 \\ -10447 & 1 \\ -12641 & 1 \\ -15058 & 1 \end{bmatrix}, Y = \begin{bmatrix} 751.99 \\ 931 \\ 1092.35 \\ 1248.68 \\ 1347.79 \\ 1536.6 \\ 1838 \\ 2087.09 \\ 2301.6 \\ 2532.68 \end{bmatrix}$$

1) 构建原始数据序列为

$$X^{(0)} = \{656.66, 751.99, 931.00, 1092.35, 1248.68, 1347.79, 1536.60, 1838.00, 2087.09, 2301.60, 2532.68\}$$

2) 对  $X^{(0)}$  做 1-AGO，得到：

$$X^{(1)} = \{656.66, 1408.65, 2339.65, 3423, 4680.68, 6028.47, 7565.07, 9403.03, 11490.16, 13791.76, 16324.44\}$$

3) 利用  $X^{(0)}$  和  $X^{(1)}$  分别建立数据矩阵  $B$  和数据向量  $Y$ ：

$$B^T B = \begin{bmatrix} 671879704.6 & -68630.06 \\ -68630.06 & 10 \end{bmatrix}$$

$$(B^T B)^{-1} = \begin{bmatrix} 4.97831E-09 & 3.4166E-05 \\ 3.41662E-05 & 0.33448286 \end{bmatrix}$$

计算  $B^T B$ ， $(B^T B)^{-1}$ ， $B^T Y$  得到：

$$(B^T B)^{-1} B^T Y_n = \begin{bmatrix} -0.126947031 \\ 695.5397641 \end{bmatrix}$$

得出： $a = -0.126947031$ ； $\mu = 695.5397641$ ， $\mu/a = -5478.9762$  得到上海市卫生总费用的经计算预测模型为： $X^{(1)}(k+1) = 6135.64 * e^{0.1269k} - 5478.976$ 。

同理，重复上述步骤分别建立灰色 GM(1, 1)模型，可得出政府卫生支出、社会卫生支出和个人卫生支出的拟合方程。见表 3。

**Table 3.** GM(1, 1) model fitting equation  
**表 3.** GM(1, 1)模型拟合方程

预测项目	参数值	GM(1, 1)模型
卫生总费用	$a = -0.126947$ $\mu = 695.5397$	$\hat{X}^{(1)}(k+1) = 6135.64e^{0.1269k} - 5478.976$
政府卫生支出	$a = -0.130951$ $\mu = 146.8356$	$\hat{X}^{(1)}(k+1) = 1262.6e^{0.1309k} - 1121.3$
社会卫生支出	$a = -0.125077$ $\mu = 409.6107$	$\hat{X}^{(1)}(k+1) = 3641.75e^{0.1251k} - 3274.853$
个人卫生支出	$a = -0.128023$ $\mu = 138.9810$	$\hat{X}^{(1)}(k+1) = 1234.04e^{0.1280k} - 1085.6$

### 3.3. 上海市卫生总费用预测模型的检验结果

经计算,上海市卫生总费用均方差比值  $C$  为 0.075460721, 小于 0.35, 平均相对误差 0.74%,  $e < S_0$ , 因此  $\rho = 1$ , 见下表。因此可得均方差比值等级为优秀, 小误差概率为优, 该模型运行效果可信较高, 可以使用该模型进行预测。重复以上步骤, 可以得出政府卫生支出、社会卫生支出和个人卫生支出的均方差比值  $C$  分别为 0.127897763, 0.101295169, 0.081279137。预测所有模型  $C$  均小于 0.35 且小误差概率  $P$  均为 1, 因此模型检验效果均较佳, 数据可信。由此表明, 上海市卫生总费用及筹资结构模型拟合效果均为优, 等级为 1 级, 而且各个模型- $\alpha$  均小于 0.3, 均可用于上海市卫生总费用中长期预测。见表 4。

**Table 4.** Test table for prediction error of GM(1, 1) prediction model on total health expenditure in Shanghai Province  
**表 4.** GM(1, 1)预测模型对上海市卫生总费用预测误差检验表

年份	卫生总费用实际值	卫生总费用预测值	残差	相对误差
2009	656.66	656.66	0	0
2010	751.99	830.50	-78.51	-10.44%
2011	931.00	942.91	-11.91	-1.28%
2012	1092.35	1070.54	21.81	2.00%
2013	1248.68	1215.45	33.23	2.66%
2014	1347.79	1379.97	-32.18	-2.39%
2015	1536.60	1566.76	-30.16	-1.96%
2016	1838.00	1778.83	59.17	3.22%
2017	2087.09	2019.61	67.48	3.23%
2018	2301.60	2292.97	8.63	0.37%
2019	2532.68	2603.34	-70.66	-2.79%

### 3.4. 2020~2027 年上海市卫生总费用预测结果分析

通过对建立的模型进行检验, 得到模型均属于一级模型, 模型预测结果可信度较高, 能够对上海市卫生总费用进行合理的中长期预测, 文章预测周期为 2020 年~2027 年。见表 5。

**Table 5.** Forecast of total health cost and composition in Shanghai from 2020 to 2027 based on GM(1, 1) model  
**表 5.** 基于 GM(1, 1)模型的 2020~2027 年上海市卫生总费用及构成预测

上海市卫生总费用预测							
年份	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(%)	总费用 (亿元)
2020	574.07	22.05%	1495.61	57.45%	533.47	20.49%	2603.344
2021	654.39	22.14%	1694.88	57.34%	606.33	20.51%	2955.724
2022	745.95	22.23%	1920.70	57.24%	689.15	20.54%	3355.802
2023	850.31	22.32%	2176.60	57.13%	783.27	20.56%	3810.032
2024	969.28	22.41%	2466.61	57.02%	890.25	20.58%	4325.747
2025	1104.90	22.50%	2795.25	56.92%	1011.84	20.60%	4911.266
2026	1259.48	22.59%	3167.68	56.81%	1150.03	20.62%	5576.04
2027	1435.70	22.68%	3589.73	56.70%	1307.11	20.65%	6330.795

从预测结果来看,未来上海市卫生总费用及其筹资结构呈现上升的趋势。基于 GM(1, 1)模型 2020~2027 年上海市卫生总费用将由 2603.34 亿元增长到 6330.795 亿元,增加了约 2.43 倍,年均增加量约为 532.49 亿元。从卫生筹资结构来看政府卫生支出占比和个人卫生支出占比有小幅提升趋势,政府卫生支出占比从 2020 年的 22.05% 小幅度上升到 22.68%;个人卫生支出从 2020 年的 20.49% 小幅度上升到 20.65%。而三个指标中社会卫生支出是唯一一个下降的指标 2020~2027 年间从 57.45% 下降至 56.70%,但整个卫生筹资构成比变化不明显。政府卫生支出和个人卫生支出占比上涨受多因素的影响,人口老龄化是其中一个较为重要的因素,上海市我国最早进入老龄化社会的城市,也是我国老龄化程度最大的大型城市。据统计局调查显示,截止到 2020 年底,上海市 60 岁及以上老年人口 533.49 万人,占总人口的 36.1%,如此庞大的老年人口基数,给医疗卫生资源供给水平提出不小的挑战。

## 4. 讨论

### 4.1. 选择合理的预测方法

运用数理统计学和计量经济学的方法预测卫生总费用发展趋势已经非常普遍,但多数都是以卫生总费用总额为时间序列数据进行预测[3][4]。而本研究选用 GM(1, 1)模型对上海市卫生总费用进行预测,主要有以下原因,其一,灰色 GM(1, 1)是医疗卫生领域常用的预测模型,对短期预测能够取得较好的预测效果。且从预测上海市已知年份的卫生总费用及政府、社会和个人卫生支出的实际值与预测值误差较小,均符合模型检验的优秀等级,因此采用 GM(1, 1)模型的预测效果较好。由于预测结果受预测对象及周期等因素的影响,在今后的预测中,要根据预测对象的特征属性和研究目的,选择合适预测模型进行分析,同时还可采取多种方法相结合的方式比较分析,再对各部分数据相加汇总,使得到的预测结果精确性更高,合理分析卫生筹资构成,更好地为卫生政策服务。

### 4.2. 上海市卫生总费用继续呈逐年增长态势

卫生总费用是经济发展的必然趋势。随着老龄化加剧,以及健康中国战略的推进,全民的健康意识加强,国家对医疗卫生事业的发展越来越重视,医疗服务资源多样化供给满足多元化需求。由近几年的



数据可知上海市卫生总费用支出占 GDP 的比重在逐年提高, 2019 年已达 6.54%。

### 4.3. 上海市卫生总费用中个人支出比重逐步上升

从预测结果来看, 从 2020 年到 2027 年上海市卫生总费用中个人卫生支出占比有小幅上升趋势, 到 2027 年, 个人卫生支出占比达 20.65%。个人卫生支出占比作为约束性指标, 要建立健全防范机制抑制其过快增长, 避免因病致贫等问题的发生。

## 5. 建议

### 5.1. 合理加大政府投入, 降低个人卫生支出

我国当前正处于推进“健康中国”建设和深化医改、解决群众看病贵的关键时期。向世界卫生组织提倡的“全民健康覆盖”的目标奋进, 我国仍然还需要充足、稳定、可持续的政府卫生投入来为健康发展提供保障和支持。因此政府应通过增加卫生投入、完善医保支付方式等多种手段降低个人卫生支出[5], 提高政府卫生支出占比。

### 5.2. 增强民众预防意识, 降低大病风险支出

根据文献报道, 机构法测算卫生费用中医疗机构费用达 80% 以上, 民众对疾病预防意识不够, 对疾病处于“事后”阶段, 容易导致大量卫生支出, 应该加强普及预防知识, 增强疾病预防卫生投入, 减少大病风险经济隐患, 降低卫生支出[6]。

## 参考文献

- [1] 张平, 甘筱青. 我国卫生总费用增长率周期性波动研究[J]. 中国卫生统计, 2015, 32(1): 153-155.
- [2] 仇丽霞. 医学统计学[M]. 第 3 版. 北京: 中国协和医科大学出版社, 2018: 479.
- [3] 张天懿. 计量经济学模型在卫生资源配置效率中的应用: 以天津市为例[J]. 中国卫生资源, 2013, 16(3): 171-173.
- [4] 徐融飞. 基于主成分神经网络模型的我国卫生总费用发展趋势及预测研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东大学, 2013.
- [5] 袁磊, 朱勃睿, 段光锋, 吴昊远, 赵娜, 段增杰, 田文华. 上海市八所三级综合性医院 2012~2015 年经济运行分析[J]. 解放军医院管理杂志, 2018, 25(3): 259-262. <https://doi.org/10.16770/j.cnki.1008-9985.2018.03.019>
- [6] 王常颖, 王力男, 李芬, 李潇骁, 胡善联, 金春林. 2013 年上海市卫生总费用核算研究[J]. 中国卫生经济, 2015, 34(10): 25-30.