

# 基于GM(1,1)模型的上海市婴幼儿死亡率预测分析

张尚文

上海工程技术大学管理学院, 上海

收稿日期: 2021年10月5日; 录用日期: 2021年10月26日; 发布日期: 2021年11月8日

---

## 摘要

目的: 分析上海市“十四五”时期上海市婴幼儿的健康水平, 对上海市的婴幼儿死亡率展开预测, 为促进上海市妇幼保健工作, 提高健康水平提供参考。方法: 通过选取2009~2018年间上海市婴儿死亡率、新生儿死亡率数据, 运用Excel2010软件建立GM(1,1)模型, 对2019~2025年上海市婴儿死亡率、新生儿死亡率, 展开预测。结果: 上海市婴幼儿死亡率呈现逐年下降趋势, 表明上海市医疗保障水平逐步提高, 居民健康得到有效保障, 符合《“健康上海2030”规划纲要》的目标要求。结论: “十四五”时期上海市仍需加大对儿童健康的关注, 切实保障儿童健康, 把婴儿死亡率、新生儿死亡率降到更低的水平。

## 关键词

婴幼儿死亡率, GM(1,1)模型, 预测分析

---

# Prediction of Infant Mortality Rate in Shanghai Based on GM(1,1) Model

Shangwen Zhang

School of Management, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai

Received: Oct. 5<sup>th</sup>, 2021; accepted: Oct. 26<sup>th</sup>, 2021; published: Nov. 8<sup>th</sup>, 2021

---

## Abstract

**Objective:** To analyze the health level of infants and children in Shanghai during the “14th Five-year Plan” period, and to predict the mortality rate of infants and children in Shanghai, so as to provide reference for promoting maternal and child health care in Shanghai and improving

**health level. Methods: By selecting the data of infant mortality and neonatal mortality in Shanghai from 2009 to 2018, Excle2010 software was used to establish GM(1,1) model, and to predict the infant mortality and neonatal mortality in Shanghai from 2019 to 2025. Results: The infant mortality rate in Shanghai showed a decreasing trend year by year, indicating that the level of medical security in Shanghai was gradually improved, the health of residents was effectively guaranteed, and it was in line with the goals and requirements of “Healthy China 2030” plan. Conclusion: During the 14th Five-year Plan period, Shanghai should pay more attention to children’s health, guarantee children’s health, and reduce infant mortality and neonatal mortality to a lower level.**

## Keywords

Infant Mortality Rate, GM(1,1) Model, Forecast Analysis

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

儿童是人类的未来，是社会可持续发展的重要资源。国务院颁布的《中国儿童发展纲要(2001-2010年)》[1](以下简称“纲要”)和《“健康中国 2030”规划纲要》将婴幼儿死亡率作为健康中国建设的主要指标，把儿童作为重点人群，实施健康儿童计划[2]。

婴儿死亡率(infant mortality rate, IMR)是指婴儿出生后不满周岁死亡人数同出生人数的比率[3]。一般以年度为计算单位，以千分比表示。新生儿死亡率是指妊娠 28 周后出生的活产儿，从出生到生后 28 天之内死亡人数同出生人数的比率。婴幼儿死亡率直接反映了一个国家或一个地区的妇幼卫生状况和医疗服务水平，是评价一个国家或地区卫生服务水平和经济发展水平状况的重要指标之一[4]。不同地区、不同时期的婴儿死亡率可以比较。在人民生活水平高，环境卫生条件和医疗保健服务好的地区，婴儿死亡率较低，反之，婴儿死亡率较高。在《“健康上海 2030”规划纲要》战略目标中指出到 2020 年[5]，上海的婴儿死亡率、新生儿死亡率要保持发达国家的水平，实现可持续的健康发展目标。

由于婴幼儿死亡受多种因素(经济、卫生、文化等)的影响，所以本文采用非线性时间序列预测方法中的灰色预测模型 GM(1,1)进行拟合预测，探讨该模型预测婴儿死亡率、新生儿死亡率的可行性，预测的结果也可有关部门制定相应的防治措施提供一定的依据。此方法对样本含量和数据的分布没有严格的要求，所需数据单一，原理简单，适用性强，其最大的特点是不需要大量的时间序列数据就能够进行预测，并取得较好的预测效果，在很多领域应用广泛。

## 2. 资料来源和方法

### 2.1. 资料来源

本研究数据来源于 2009~2018 年《上海市统计年鉴》，其中选取 2009~2018 年婴儿死亡率、新生儿死亡率作为分析和预测的指标。数据来源真实、可靠。

### 2.2. 研究方法

本文通过灰色预测系统理论对上海市婴幼儿死亡率进行预测，灰色预测系统理论具有原始数据样本

量小、拟合度高、预测效果好、实用性强等特点,在医药卫生领域,更是被广泛应用于门诊量预测、疾病发病率和死亡率预测、卫生人力和卫生费用的预测等,具有较高的预测精度,表现出较好的预测水平[6]。本文选取上海市2009~2018年婴幼儿死亡率数据,运用Excel2010完成对数据的统计、处理、分析等过程,并建立灰色GM(1,1)预测模型,对上海市的婴幼儿死亡率进行预测分析。

级比检验及建模可行性分析:

有些数列运用灰色预测模型预测可能会产生很大的误差,这样的序列就不适合运用GM(1,1)建模,因此在建模之前要进行级比的检验。设原始数据序列为 $x^{(0)} = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(t)\}$ , 级比 $\sigma(k) \in \frac{x^{(0)}(k-1)}{x^{(0)}(k)}$ ,  $k = 2, 3, 4, \dots$ , 级比判断 $\sigma(k) \in \left\{e^{-\frac{2}{n+1}}, e^{\frac{2}{n+1}}\right\}$ , 如果 $\sigma(k)$ 能够落在该区间,就可以用GM(1,1)来预测。否则,就需要对该数列做适当的变换处理,使得该数列的级比 $\sigma(k)$ 都落在可覆盖区间内。

GM(1,1)建模:

GM(1,1)模型是灰色预测模型的核心点,其建模的过程为:首先,设原始数列为 $x^{(0)}(k)$ ,对原始数列做一次累加形成新的数列为 $x^{(1)}(k) = \sum_{n=1}^k x^{(0)}(t)$ ,  $k = 1, 2, 3, \dots, n$ 。构建数据矩阵 $B$ 级数据向量 $Y$ ,利用最小二乘法求参数 $P = (a, b)^T = (BB^T)^{-1} B^T Y$ , 求出 $a, b$ 。最后求得GM(1,1)的具体数学表达式。求出对应的预测值。再进行模型精度检验,模型精度等级见表1。

**Table 1.** Precision grade table of GM(1.1) model

**表 1.** GM(1,1)模型精度等级表

精度等级	$P$	$C$	$\varepsilon$ (avg)
I 级(好)	>95%	<0.35	≤0.01
II 级(合格)	>80%	<0.50	≤0.10
III 级(勉强合格)	>70%	<0.65	≤0.20
IV 级(不合格)	≤70%	>0.65	>0.20

模型的预测:

利用检验好的灰色预测模型进行预测,对未来的数列进行预测。

### 2.3. 统计分析

所建的GM(1,1)模型,其中的参数计算、预测值以及图形的绘制均由Excel软件编辑完成。

## 3. GM(1,1)模型预测过程及结果

### 3.1. 婴儿死亡率

#### 3.1.1. 建立原始数据列

$X^{(0)} = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(10)\} = (2.89, 5.97, 5.7, 5.04, 5.73, 4.83, 4.58, 3.76, 3.71, 3.52)$ , 经过计算,该数列所有的级比数值都落入在区间 $\sigma(k) \in \frac{x^{(0)}(k-1)}{x^{(0)}(k)}$ 内,即区间(0.833752918, 1.199396120)内,可以进行模型的建立。

### 3.1.2. 累加构造生成列

$$X^{(1)} = (2.89, 8.86, 14.56, 19.6, 25.33, 30.16, 34.74, 38.5, 42.21, 45.73)$$

### 3.1.3. 构造数据矩阵 $B$ 和数据向量 $Y$

$$B = \begin{Bmatrix} -\frac{1}{2}[x^{(1)}(1) + x^{(1)}(2)] & 1 \\ -\frac{1}{2}[x^{(1)}(2) + x^{(1)}(3)] & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -\frac{1}{2}[x^{(1)}(9) + x^{(1)}(10)] & 1 \end{Bmatrix}, Y = \begin{Bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(10) \end{Bmatrix}$$

经计算,  $B^T B$ ,  $(B^T B)^{-1}$ ,  $(B^T B)^{-1} B^T$ ,  $(B^T B)^{-1} B^T Y$ , 得到:  $a = 0.066916686$ ,  $b = 0.504680109$ , 最终得到预测模型为:

$$\hat{X}^{(1)}(k+1) = -94.7176745e^{-0.066916686k} + 97.60767454$$

### 3.1.4. 模型检验及预测结果

经过计算, 平均相对误差为 4.87%, 后验差值  $C$  为 0.286564259,  $C$  小于 0.35, 模型的精度  $P$  约为 1, 表明模型的精度较高, 所预测出的数据较为精确。因此得到预测值与实际值的结果比较如表 2。拟合效果图见图 1:

**Table 2.** Comparison of actual and predicted infant mortality rates in Shanghai

**表 2.** 上海婴儿死亡率实际值与预测值对比

年份	实际值	预测值	残差	相对残差
2009	2.89	-	-	-
2010	5.97	6.13	-0.16	-0.02
2011	5.7	5.73	-0.03	-0.01
2012	5.04	5.36	-0.32	-0.06
2013	5.73	5.02	0.71	0.12
2014	4.83	4.69	0.14	0.03
2015	4.58	4.39	0.19	0.04
2016	3.76	4.10	-0.34	-0.09
2017	3.71	3.84	-0.13	-0.03
2018	3.52	3.59	-0.05	-0.07
<b>2019</b>		<b>3.36</b>		
<b>2020</b>		<b>3.14</b>		
<b>2021</b>		<b>2.94</b>		
<b>2022</b>		<b>2.75</b>		
<b>2023</b>		<b>2.57</b>		
<b>2024</b>		<b>2.40</b>		
<b>2025</b>		<b>2.25</b>		

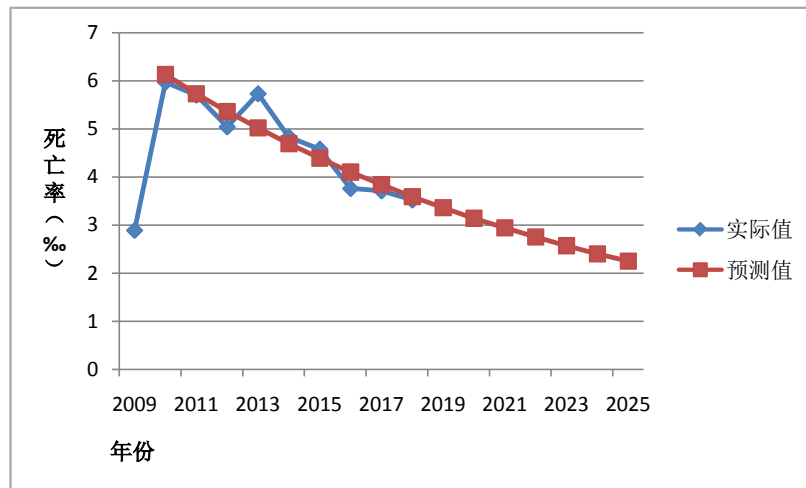


Figure 1. Infant mortality rate fitting in Shanghai

图 1. 上海市婴儿死亡率拟合

## 3.2. 新生儿死亡率

### 3.2.1. 建立原始数据列

$X^{(0)} = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(10)\} = (2.63, 2.73, 2.96, 2.58, 2.85, 2.58, 2.28, 2.05, 2.12, 2.17)$ , 经过计算,

该数列所有的级比数值都落入在区间  $\sigma(k) \in \frac{x^{(0)}(k-1)}{x^{(0)}(k)}$  内, 即区间(0.833752918, 1.199396102)内, 可以进行模型的建立。

### 3.2.2. 累加构造生成列

$$X^{(1)} = (2.63, 5.36, 8.32, 10.9, 13.75, 16.33, 18.61, 20.66, 22.78, 24.95)$$

### 3.2.3. 构造数据矩阵 $B$ 和数据向量 $Y$

$$B = \begin{Bmatrix} -\frac{1}{2}[x^{(1)}(1) + x^{(1)}(2)] & 1 \\ -\frac{1}{2}[x^{(1)}(2) + x^{(1)}(3)] & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -\frac{1}{2}[x^{(1)}(9) + x^{(1)}(10)] & 1 \end{Bmatrix}, Y = \begin{Bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(10) \end{Bmatrix}$$

经计算,  $B^T B$ ,  $(B^T B)^{-1}$ ,  $(B^T B)^{-1} B^T$ ,  $(B^T B)^{-1} B^T Y$ , 得到:  $a = 0.04248742$ ,  $b = 3.096067587$ , 最终得到预测模型为:

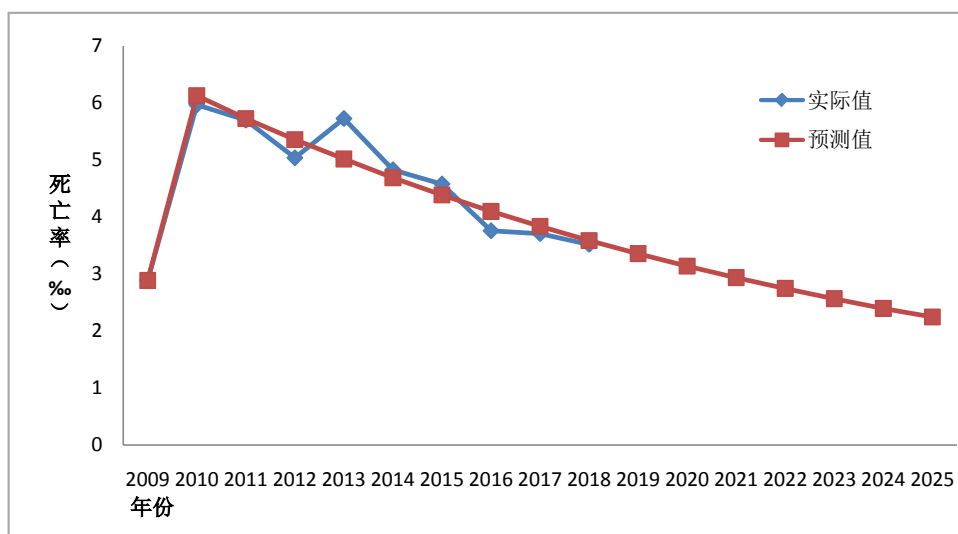
$$\hat{X}^{(1)}(k+1) = -70.2402191e^{-0.04248742k} + 72.87021909$$

### 3.2.4. 模型检验及预测结果

经过计算, 平均相对误差为 4.86%, 后验差值  $C$  为 0.496408256,  $C$  小于 0.50, 模型的精度  $P$  大于 85%, 表明模型的精度合格, 所预测出的数据较为精确。因此得到预测值与实际值的结果比较如表 3。拟合效果图见图 2:

**Table 3.** Comparison of actual and predicted neonatal mortality in Shanghai**表 3.** 上海新生儿死亡率实际值与预测值对比

年份	实际值	预测值	残差	相对残差
2009	2.63	-	-	-
2010	2.73	2.92	-0.19	-0.07
2011	2.96	2.80	0.16	0.05
2012	2.58	2.68	-0.10	-0.04
2013	2.85	2.57	0.27	0.09
2014	2.58	2.47	0.11	0.04
2015	2.28	2.36	-0.08	-0.03
2016	2.05	2.26	-0.21	-0.10
2017	2.12	2.17	-0.05	-0.05
2018	2.17	2.08	0.09	0.09
<b>2019</b>		<b>1.99</b>		
<b>2020</b>		<b>1.91</b>		
<b>2021</b>		<b>1.83</b>		
<b>2022</b>		<b>1.75</b>		
<b>2023</b>		<b>1.68</b>		
<b>2024</b>		<b>1.61</b>		
<b>2025</b>		<b>1.54</b>		

**Figure 2.** Fitting of neonatal mortality in Shanghai**图 2.** 上海市新生儿死亡率拟合

## 4. 讨论

### 4.1. GM(1,1)模型的预测结果较准确

目前，虽然有许多预测的方法，但是它们对于数据资料的要求有特定的限制和要求。灰色系统理论

是 1982 年由邓聚龙教授提出的, 现在已经被国内外学者广泛的应用到众多领域中, 其具有的原始数据样本量小, 拟合度高, 预测效果好, 实用性强等特点, 在医药领域特别是预测疾病发病率、死亡率等方面应用较多。由于婴幼儿死亡率收到社会、经济、文化等多方面因素的影响, 所以本文采用非线性时间序列预测方法中的灰色预测模型 GM(1,1)进行拟合预测。本研究中, GM(1,1)模型预测上海市婴儿死亡率、新生儿死亡率的方差和小误差概率 P 均达到较好的拟合水准, 精度等级为好(I 级)。

#### 4.2. 上海婴幼儿死亡率呈现逐年下降趋势

2009~2018 年期间, 除了 2009~2010 年的婴儿死亡率、新生儿死亡率变化较大外, 整体上呈现下降趋势, 说明上海市儿童的保健工作取得了一定的成效, 这个也与国家、政府在顶层设计方面高度重视儿童保健工作密不可分。婴幼儿死亡趋势的变化与医疗卫生服务可及性、公平性和卫生服务质量等因素密不可分。近年来国家对儿童保健方面投入了大量的人力、财力、物资和技术等, 同时颁布了一系列的促进儿童健康的卫生政策, 特别是《中国儿童发展纲要(2011-2020)》的实施, 有力的保障了儿童保健工作的有序进行。上海市也积极响应国家政策, 出台了一系列相应的措施与政策。综上所述, 上海婴幼儿死亡率呈现逐年下降趋势。

在 2019~2025 年上海市婴幼儿死亡趋势发展趋势预测中发现: 尽管婴幼儿的死亡率呈下降的趋势, 且预测值在《“健康中国 2030”规划纲要》的控制值范围之内, 但是我们也不能忽视儿童保健工作的重要性。随着中国社会主义现代化进程的发展, 越来越多的人员外出打工, 大部分留守儿童没有稳定健康的成长环境[7]; 加之二胎政策的实施, 高危孕产妇在不断地加剧, 因此婴幼儿死亡危险因素的检测和控制还需要继续加强[8]。

相关研究显示: 新生儿窒息是导致新生儿死亡的主要原因之一, 婴幼儿死亡主要是因为儿童伤害和意外发生[9]。因此在今后的儿童保健工作中, 应继续出台和落实儿童保健相关政策, 针对新生儿则应继续加强适宜技术的开发和推广培训, 婴幼儿则重视营养不良和意外伤害, 以提高儿童健康水平。

### 5. 结语

综上所述, 本研究利用 GM(1,1)模型预测了上海市婴幼儿死亡趋势, 对上海市保健工作的开展仅提供数据参考, 因为本研究还存在不足。GM(1,1)模型是数学模型, 以历史数据的挖掘来拟合未来数据变化发展趋势, 无法将社会、经济、教育、医疗等影响儿童保健的外部因素纳入预测模型, 因此在具体实践中需要多次收集数据, 不断修正模型, 以取得更为准确的预测结果, 更好地指导儿童保健工作。

### 参考文献

- [1] 中国政府网. 国家卫生计生委关于加强母婴安全保障工作的知[EB/OL]. [http://www.gov.cn/gongbao/content/2018/content\\_5265003.htm](http://www.gov.cn/gongbao/content/2018/content_5265003.htm), 2017-07-31.
- [2] 中共中央国务院印发《“健康中国 2030”规划纲要》[EB/OL]. [http://www.gov.cn/zhengce/2016-10/25/content\\_5124174.htm](http://www.gov.cn/zhengce/2016-10/25/content_5124174.htm), 2016-10-25.
- [3] 朱春梅. 灰色 GM(1,1)模型在孕产妇和新生儿死亡率预测研究中的应用[J]. 中国妇幼保健, 2016, 31(3): 455-457.
- [4] 袁成菊, 余昌胤, 张年, 等. 贵州省孕产妇和 5 岁以下儿童死亡率预测及分析[J]. 贵州医药, 2019, 43(8): 1323-1326.
- [5] 青浦区体育局. “健康上海 2030”规划纲要[EB/OL]. <https://www.shqp.gov.cn/sport/tyzwwgk/ml/gh/20190829/553621.html>, 2018-09-17.
- [6] 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.
- [7] 许磊, 张丽珊, 孙恩, 等. 2011~2017 年上海市浦东新区 5 岁以下儿童死亡情况调查[J]. 中国妇幼保健, 2019,

34(20): 4772-4774.

- [8] 杨海云, 李云霞, 李琳, 等. 昆明市“全面二孩”政策实施后妇幼保健对策研究[J]. 中国妇幼保健, 2019, 34(18): 4122-4124.
- [9] 顾宇静. 儿童意外死亡和伤害的研究进展[J]. 中国妇幼保健, 2018, 33(5): 1197-1200.