

# 基于灰色预测模型GM(1,1)的幼童死亡率预测及分析研究

黄治瑜

上海工程技术大学, 上海

收稿日期: 2022年10月11日; 录用日期: 2022年11月4日; 发布日期: 2022年11月15日

## 摘要

目的: 分析我国五岁以下儿童死亡率, 通过构建GM(1,1)灰色预测模型预测我国五岁以下儿童健康水平的未来发展趋势, 并对预测结果进行分析, 以期政府及相关部门提供政策依据。方法: 根据2021年《中国统计年鉴》相关数据, 选取2016年~2020年五岁以下儿童死亡率作为指标, 构建GM(1,1)灰色预测模型, 对我国2021~2025年五岁以下儿童死亡率的发展趋势进行预测分析。结果: 根据各项指标所建立的灰色预测模型后验差比值均小于0.35、模型平均相对误差均小于20%, 模型精度较高、拟合度较好, 可用于短期预测; 2020~2025年我国五岁以下儿童死亡率不断降低, 分别为: 6.923%、6.478%、6.062%、5.672%、5.308%。城乡五岁以下儿童死亡率差距仍然过大, 2021~2025年城乡差距分别为4.485%、4.138%、3.818%、3.521%、3.246%。结论: 政府及有关部门应做好幼童健康保障工作, 终结可预防的儿童死亡, 同时解决新出现的儿童健康重点问题, 精准施策, 降低幼童死亡率; 推进全民健康覆盖工作, 缩小城乡差距, 解决城乡幼童保障工作不平等的问题; 加快识别新型冠状病毒肺炎对幼儿形成的危害, 做好预防与保护工作。

## 关键词

灰色预测, 社会保障, 死亡率, 儿童

# Prediction and Analysis of Infant Mortality Based on Grey Prediction Model GM(1,1)

Zhiyu Huang

Shanghai University of Engineering Science, Shanghai

Received: Oct. 11<sup>th</sup>, 2022; accepted: Nov. 4<sup>th</sup>, 2022; published: Nov. 15<sup>th</sup>, 2022

## Abstract

**Objective:** To analyze the mortality rate of children under five years of age in China, to predict the future development trend of the health level of children under five years of age in China by constructing GM(1,1) gray prediction model, and to analyze the prediction results, in order to provide policy basis for the government and relevant departments. **Methods:** Based on the relevant data of the 2021 China Statistical Yearbook, the under-five mortality rate from 2016 to 2020 was selected as the indicator, and a GM(1,1) gray prediction model was constructed to predict and analyze the development trend of under-five mortality in China from 2021 to 2025. **Results:** The posterior error ratios of the gray prediction model established according to various indicators are less than 0.35, the average relative error of the model is less than 20%, and the model accuracy is high and the fit degree is good, which can be used for short-term prediction. From 2020 to 2025, China's under-five mortality rate will continue to decrease, respectively: 6.923%, 6.478%, 6.062%, 5.672%, and 5.308%, and the gap between urban and rural under-five mortality is still too large, and the gap between urban and rural areas from 2021 to 2025 is 4.485%, 4.138%, 3.818%, 3.521%, and 3.246%, respectively. **Conclusion:** The government and relevant departments should do a good job in ensuring the health of young children, ending preventable child deaths, solving emerging key child health problems, and implementing precise policies to reduce child mortality. Promote universal health coverage, narrow the urban-rural gap, and address inequalities in safeguarding young children between urban and rural areas; Accelerate the identification of the harm caused by novel coronavirus pneumonia to young children, and do a good job in prevention and protection.

## Keywords

Grey Predictions, Social Security, Mortality, Children

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

儿童，是国家的希望和民族的未来，党的十八大以来，习近平总书记多次就未成年人保护工作作出重要指示批示。习近平总书记指出：“让孩子们健康成长关系祖国和民族未来，也是每个家庭最大的愿望和期盼[1]。”儿童健康是全民健康的基石，是衡量社会文明进步的标尺，是人类可持续发展的基础和前提[2]。统计数据显示，2021年，我国出生人口为1062万人，人口出生率仅为7.52‰，出生人口数自2016年以来连续5年减少，出生率自2020年跌破10‰之后继续下降，2021年人口净增长仅48万人，照此下去，我国将很快进入人口负增长时代[3]。

《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》提出：“深入实施儿童发展纲要，优化儿童发展环境，切实保障儿童生存权、发展权、受保护权和参与权。完善儿童健康服务体系，预防和控制儿童疾病，减少儿童死亡和严重出生缺陷发生，有效控制儿童肥胖和近视，实施学龄前儿童营养改善计划。保障儿童公平受教育权利，加强儿童心理健康教育和保护[4]。”儿童有着天然的脆弱性与较强的依赖性，在其成长过程中存在诸多风险，五岁以下儿童有着最大的死亡风险。

儿童死亡率显示着一个国家的未成年人健康保障工作水平。可持续发展目标设定“到2030年，消除新生儿和5岁以下儿童可预防的死亡[5]”。自1990年以来，全球在降低儿童死亡率方面取得了重大进展，

但每年还是有大量的儿童死亡；国家、地区之间五岁以下儿童死亡率存在极大的差距，保障幼儿健康水平并不平衡。新冠肺炎疫情已具有大流行特征，新冠肺炎已经是一个儿童死亡的主要原因之一[6]。

## 2. 灰色预测方法

### 2.1. 模型选择

灰色理论是研究和解决现实世界不确定性问题的主要方法之一，以 GM(1,1)模型为基础的灰色预测模型是灰色理论的重要组成部分[7]。灰色预测是一种对含有不确定因素的系统进行预测的方法，相比于其他预测方法，其优势在于可用灰色数学处理不确定量使之量化，然后充分利用已知信息寻求系统的运动规律。五岁以下儿童死亡率具有不确定、小样本、贫信息的特点，可使用灰色数学处理使其量化，充分利用已知数据来预测未来数据。

### 2.2. 预测原理

灰色预测通过鉴别系统因素之间发展趋势的相异程度进行关联分析，并对原始数据进行生成处理来寻找系统变动的规律，生成有较强规律性的数据序列，然后建立相应的微分方程模型，从而预测事物未来发展趋势的状况。灰色数列预测其用等时距观测到的反映预测对象特征的一系列数量值构造灰色预测模型，预测未来某一时刻的特征量，或达到某一特征量的时间。

### 2.3. 模型建立

建立 GM(1,1)模型：

第一步，对选取的指标进行级比检验确定选取模型的可行性。记原始数据为  $x^{(0)}$ ，记级比值，级比值公式为：

$$\lambda(k) = \frac{x^{(0)}(k-1)}{x^{(0)}(k)}, k = 2, 3, \dots, n$$

若所有的级比值  $\lambda$  都位于区间  $\left( e^{-\frac{2}{n+1}}, e^{\frac{2}{n+1}} \right)$  内，说明数据适合模型构建。

第二步，构造累加序列制造规律。对原始数据进行累加并记为  $x^{(1)}$ ，累加生成序列公式为：

$$x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i)$$

累加生成序列里的第  $k$  个数，是原始序列前  $k$  个数相加之和。新的序列和年份的图像看起来像是一条直线把这个“规律”用数学表达式写出来，就能求出  $x^{(1)}$  下一年的预测值；求出预测值后再将相邻两个  $x^{(1)}$  相减(累加生成序列的逆过程)，就能得到预测值。

第三步，微分方程拟合新序列，构造新序列和年份的一阶微分方程。设  $x^{(1)}$  满足： $\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = u$ ；求解出  $a, u$  就能预测出下一年的数值。

第四步，利用最小二乘法求出未知参数，最小二乘法是使拟合函数求的值与已知数据的平方差最小。

把  $\frac{dx^{(1)}}{dt}$  写做  $\frac{\Delta x^{(1)}}{\Delta t}$ ，根据累加生成序列公式可知

$$\Delta x^{(1)} = x^{(1)}(t) - x^{(1)}(t-1) = x^{(0)}(t)$$

由上述公式可得

$$x^{(0)}(t) + ax^{(1)}(t) = u$$

移项得

$$x^{(0)}(t) = -ax^{(1)}(t) + u$$

得到方程后, 用最小二乘法参数  $a$  和  $u$ 。方程矩阵形式  $Y = BU$ ,  $U$  内包含所要求的  $a$  和  $u$ , 如下:

$$\begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(N) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}[x^{(1)}(2) + x^{(1)}(1)] & 1 \\ -\frac{1}{2}[x^{(1)}(3) + x^{(1)}(2)] & 1 \\ \vdots & 1 \\ -\frac{1}{2}[x^{(1)}(N) + x^{(1)}(N-1)] & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ u \end{bmatrix}$$

$$\hat{U} = [\hat{a}, \hat{u}]^T = (B^T B)^{-1} B^T Y$$

第五步, 求解微分方程得出参数  $a$  和  $u$  的估计值, 把  $a$ ,  $u$  带入公式得到累加序列的预测值, 并根据累加序列公式求得原序列值的预测值结果, 就能预测所求数值。

## 2.4. 模型检验

模型需要做拟合精度检验, 模型拟合精度高, 方可用于外推预测。检验指标: 后验差比值  $C$ , 后验差比值  $C$  可以验证灰色预测的精度, 后验差比值越小, 则说明灰色预测精度越高。一般后验差比值  $C$  值小于 0.35 则模型精度高,  $C$  值小于 0.5 说明模型精度合格,  $C$  值小于 0.65 说明模型精度基本合格, 如果  $C$  值大于 0.65, 则说明模型精度不合格。符合率, 即预测值与实际值相符合程度, 用该年的预测值与实际值的百分数表示相对误差值越小越好, 一般情况下小于 20% 即说明拟合良好。

## 3. 预测的必要性分析

基于儿童发展的角度。儿童, 是祖国的希望民族的未来, 保护儿童成长, 是体现国家责任与担当的重要工作。儿童基于当前时代发展成长, 社会经济发展水平、幼儿健康保障水平是儿童健康成长的关键因素; 儿童是祖国未来发展的基石, 保障儿童健康成长就是保障祖国的未来。我国很快进入人口负增长时代, 保障每一位幼童的成长至关重要。五岁以下儿童死亡率作为衡量人群健康水平的敏感指标, 其变化情况不仅反映了全民健康水平, 更在一定程度上反映了社会发展程度。

基于保护与预防的角度。运用 GM(1,1) 模型, 对 2021~2025 年城市、农村儿童死亡率进行预测, 有利于分析儿童健康水平发展趋势, 为幼儿健康保障工作的规划与发展提供政策参考依据。

## 4. 五岁以下儿童死亡率预测

### 4.1. 数据来源

论文研究数据来自于 2021 年中国统计年鉴, 选取 2016~2020 年五岁以下儿童死亡率作为预测指标, 在预测总体情况的基础上还将分别预测城市儿童与农村儿童死亡率。数据如表 1。

### 4.2. 预测结果

#### 4.2.1. 合计预测结果

使用 2016~2020 年所有五岁儿童死亡率为参数, 构建 GM(1,1) 模型。首先对指标进行级比检验。结

果如表 2。

**Table 1.** The mortality rate of children under the age of five

**表 1.** 五岁以下儿童死亡率

| 年份   | 5 岁以下儿童死亡率% |     |      |
|------|-------------|-----|------|
|      | 合计          | 城市  | 农村   |
| 2016 | 10.2        | 5.2 | 12.4 |
| 2017 | 9.1         | 4.8 | 10.9 |
| 2018 | 8.4         | 4.4 | 10.2 |
| 2019 | 7.8         | 4.1 | 9.4  |
| 2020 | 7.5         | 4.1 | 8.9  |

**Table 2.** Table of test results of the total mortality scale ratio

**表 2.** 合计死亡率级比检验结果表

| 索引项  | 原始值  | 级比值   |
|------|------|-------|
| 2016 | 10.2 | -     |
| 2017 | 9.1  | 1.121 |
| 2018 | 8.4  | 1.083 |
| 2019 | 7.8  | 1.077 |
| 2020 | 7.5  | 1.04  |

从上表分析可以得到，原序列的所有级比值都位于区间(0.717, 1.396)内，说明原序列适合构建灰色预测模型。

灰色模型构建。发展系数表示数列的发展规律和趋势，灰色作用量反映数列的变化关系。后验差比值可以验证灰色预测的精度，后验差比值越小，则说明灰色预测精度越高。发展系数、灰色作用量、后验差比值见表 3。

**Table 3.** Grey Model Construction

**表 3.** 灰色模型构建

| 发展系数 $a$ | 灰色作用量 $b$ | 后验差比 $C$ 值 |
|----------|-----------|------------|
| 0.066    | 10.012    | 0.006      |

分析数值，后验差比值为 0.006 小于 0.35，说明模型精度高。

使用 GM(1,1)对现有结果进行预测，结果如下表 4。

**Table 4.** Model fitting results

**表 4.** 模型拟合结果

| 索引项  | 原始值  | 预测值   | 残差     | 相对误差(%) |
|------|------|-------|--------|---------|
| 2016 | 10.2 | 10.2  | 0      | 0       |
| 2017 | 9.1  | 9.031 | 0.069  | 0.757   |
| 2018 | 8.4  | 8.451 | -0.051 | 0.602   |
| 2019 | 7.8  | 7.907 | -0.107 | 1.377   |
| 2020 | 7.5  | 7.399 | 0.101  | 1.345   |

相对误差值越小越好，一般情况下小于 20%即说明拟合良好。模型平均相对误差为 0.816%，意味着模型拟合效果良好。

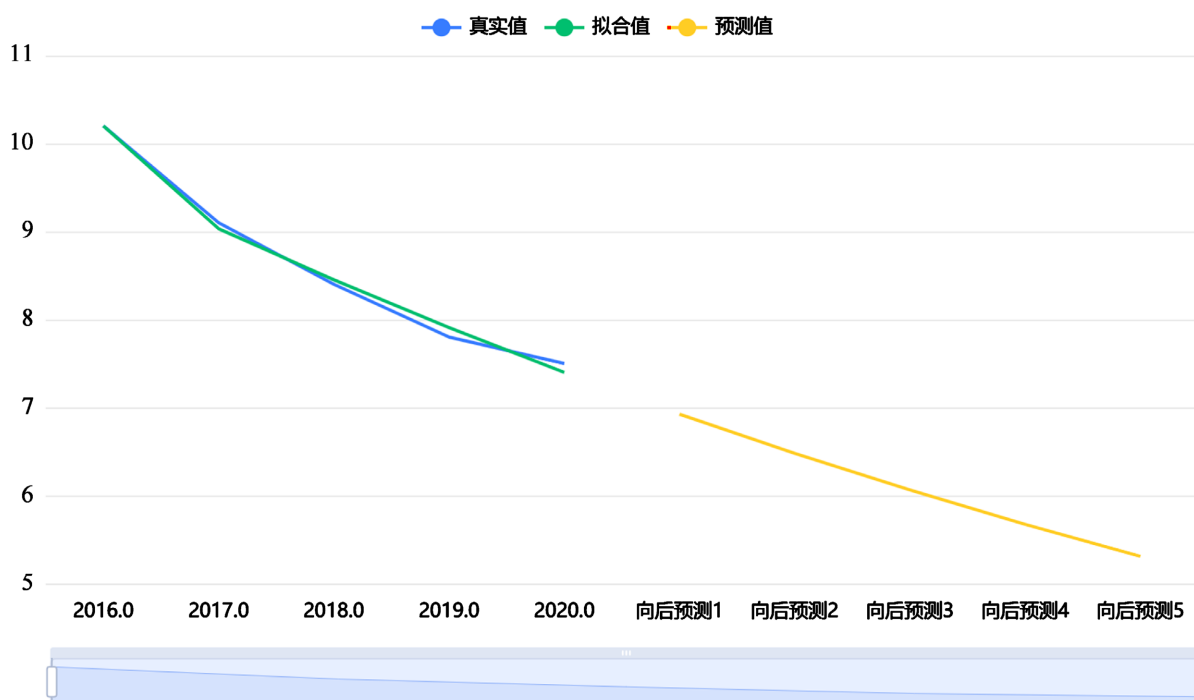
GM(1,1)模型预测结果如下表 5。

**Table 5.** From 2021 to 2025 children under the age of five mortality prediction results

**表 5.** 2021~2025 年五岁以下儿童死亡率预测结果

| 预测年份 | 预测值   |
|------|-------|
| 2021 | 6.923 |
| 2022 | 6.478 |
| 2023 | 6.062 |
| 2024 | 5.672 |
| 2025 | 5.308 |

五岁以下儿童死亡率模型拟合预测图，“见图 1”。



**Figure 1.** Model fitting prediction graph of children under the age of five mortality rate

**图 1.** 五岁以下儿童死亡率模型拟合预测图

### 3.2.2. 城市儿童预测结果

使用 GM(1,1)模型方法对 2021~2025 年五岁以下城市儿童死亡率进行预测，结果如下，表 6。后验差比值为 0.041，模型精度高。模型平均相对误差为 1.741%，意味着模型拟合效果良好。

### 3.2.3. 农村儿童预测结果

使用 GM(1,1)模型方法对 2021~2025 年五岁以下城市儿童死亡率进行预测，结果如下，表 7。后验差比值为 0.001，模型精度高。模型平均相对误差为 0.38%，意味着模型拟合效果良好。

**Table 6.** Prediction results of the under-five urban child mortality model**表 6.** 五岁以下城市儿童死亡率模型预测结果

| 预测年份 | 预测值   |
|------|-------|
| 2021 | 3.772 |
| 2022 | 3.566 |
| 2023 | 3.371 |
| 2024 | 3.187 |
| 2025 | 3.013 |

**Table 7.** Prediction results of the under-five rural child mortality model**表 7.** 五岁以下农村儿童死亡率模型预测结果

| 预测年份 | 预测值   |
|------|-------|
| 2021 | 8.257 |
| 2022 | 7.704 |
| 2023 | 7.189 |
| 2024 | 6.708 |
| 2025 | 6.259 |

#### 4. 结语

对以上数据结果进行分析,可以得到两个明显的结论。第一,5岁以下儿童死亡率呈现逐年下降的趋势,但可以看到预测结果,至2025年仍然有5.308%的儿童活不过5岁。据2021年中国统计年鉴,2020年0~4岁人口总计77,883,888人,如此比例预示还有大量儿童将面临死亡风险。第二,我国城乡儿童死亡率存在过大差距。至2025年,预测城市5岁以下儿童死亡率为3.013%,农村为6.259%,意味着我国城乡幼童健康保障工作还存在巨大差距,2021~2025年城乡差距分别为4.485%、4.138%、3.818%、3.521%、3.246%。

《儿童:提高存活率和增进福祉》中指出在全球范围内,肺炎、腹泻和疟疾等传染病,早产、出生窒息和创伤,以及先天性畸形,仍是5岁以下儿童的主要死亡原因。《国家卫健委:2020年全国婴儿死亡率下降到5.4》中提到我国儿童死亡率降低主要有三点原因:第一,儿童健康保护与发展工作取得成效。全国建立了危重新生儿救治中心3070个,省级和地市级基本实现全覆盖,县级覆盖率达到90%以上。为了改善贫困地区儿童营养状况,实施了儿童营养改善项目。第二,扎实推进了儿童常见和重大疾病防治;2020年,0~6岁儿童眼保健和视力检查覆盖率达到91.8%,儿童血液病、恶性肿瘤医疗救治和保障得到加强,儿童血液病、恶性肿瘤救治管理病种范围逐渐扩大;第三,疫情期间儿童新冠肺炎防治得到重视。国家卫生健康委高度重视疫情期间儿童等重点人群的健康保护工作,第一时间制定印发了《关于做好儿童和孕产妇新型冠状病毒感染的肺炎疫情防控工作的通知》。

结合GM(1,1)预测结果与目前时代发展现状,对于0~5岁儿童健康保障工作有以下三点建议:

第一,加强幼童保障工作。有关部门应做好幼童健康保护工作,终结可预防的儿童死亡,同时解决新出现的儿童健康重点问题,精准施策,降低幼童死亡率。有关部门应制定相关政策,针对降低儿童死亡率制定本国的具体战略,并监测这方面的工作进展,加速推进幼儿健康保障工作。有关部门应优化幼童健康服务体系建设、优化幼童健康资源的配置;提升幼儿健康机构的服务能力,实现幼儿健康服务人



才队伍增量提质。

第二，缩小城乡差距，重视农村基层儿童医疗健康服务，解决城乡幼童保障工作不平等的问题。缩小差距，可以通过全民健康覆盖工作，使所有儿童都能获得基本卫生服务。应持续、高度关注农村地区儿童健康问题，尤其是贫困地区儿童健康[8]。政府及有关部门应从目前现状出发聚焦儿童主要死因，找准差距形成原因，并积极缩小差距制定相应的政策措施，提高儿童保健服务的可及性、覆盖面和质量，提高农村地区基层卫生服务能力，将儿童需要转变为政策方向，落实农村儿童健康保障制度，联合社会力量参与度，与家庭共同守护儿童健康成长，寻求公平与效率的最佳组合，降低农村儿童死亡率。

第三，在新冠肺炎疫情全球大流行的时代，应加快识别危害幼童健康成长的新困境，并对儿童健康进行精准化保障。应重视新冠肺炎疫情对儿童健康成长造成的新障碍，针对新冠肺炎疫情，相关部门应做好精准化预防与保障工作。

## 致 谢

感谢给予转载和引用权的资料、数据、图片、文献、研究思想和设想的所有者。

## 参考文献

- [1] 中共中央文献研究室. 习近平关于青少年和共青团工作论述摘编[M]. 北京: 中央文献出版社, 2017.
- [2] 聂雷. 山东省妇幼健康服务体系建设的[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东大学, 2018.
- [3] 尹吉东. 从适度普惠走向全面普惠: 中国儿童福利发展的必由之路[J]. 社会保障评论, 2022, 6(2): 122-143.
- [4] 新华社. 中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要[N]. 人民日报, 2021-03-13(001).
- [5] United Nations South Africa. (2010) Sustainable Development Goal 3: Good Health and Well-Being. Ensure Healthy Lives and Promote Well-Being for All at All Ages. <https://southafrica.un.org/en/sdgs/3>
- [6] Li, L., et al. (2019) National, Regional, and State-Level All-Cause and Cause-Specific under-5 Mortality in India in 2000-15: A Systematic Analysis with Implications for the Sustainable Development Goals. *The Lancet Global Health*, 7, e721-e734. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(19\)30080-4](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(19)30080-4)
- [7] 杨孝良, 周猛, 曾波. 灰色预测模型背景值构造的新方法[J]. 统计与决策, 2018, 34(19): 14-18.
- [8] 郭虹, 朱玲, 郝丽婷, 穆文娟, 杨光, 蔚京京, 杨建平, 张华, 李娟. 2010 年~2019 年山西省 5 岁以下儿童死亡率及主要死因分析[J]. 护理研究, 2022, 36(6): 1077-1082.