

云南省孕产妇死亡率预测模型的构建与评估

赵 珊¹⁾, 高 赛¹⁾, 李堂春¹⁾, 赵钟鸣²⁾, 吴亚婷²⁾, 郑 敏²⁾

(1)昆明医科大学公共卫生学院, 云南昆明 650500;

2)云南省妇幼保健院妇女群体保健科, 云南昆明 650051)

[摘要] **目的** 构建并评估云南省孕产妇死亡率预测模型, 预测 2024—2030 年云南省孕产妇死亡率。**方法** 基于 1994—2023 年云南省孕产妇死亡率, 构建灰色预测模型和差分自回归移动平均模型, 选择平均绝对误差、均方误差和均方根误差比较两种模型回代拟合效果, 使用最优模型预测 2024—2030 年云南省孕产妇死亡率。**结果** 1994—2023 年云南省孕产妇死亡率整体呈持续下降趋势($\chi^2 = 50170.0$, $P < 0.05$), 构建的灰色预测模型和差分自回归移动平均模型平均绝对误差、均方误差和均方根误差分别为 2.424、12.389、3.519 和 3.966、27.651、5.258, 灰色预测模型的预测效果优于差分自回归移动平均模型, 后验差比值 $C = 0.079$, 小概率误差 $P = 1$, 预测精确度为 1 级。用灰色预测模型预测 2024—2030 年云南省孕产妇死亡率分别为 10.05/10 万、9.16/10 万、8.34/10 万、7.59/10 万、6.91/10 万、6.30/10 万、5.73/10 万。**结论** 灰色预测模型对云南省孕产妇死亡率有较好预测效果。经预测, 云南省 2030 年孕产妇死亡率能达到《健康中国“2030”规划纲要》《中国妇女发展纲要(2021—2030 年)》《云南妇女发展规划(2021—2030 年)》中的孕产妇死亡率控制目标。

[关键词] 孕产妇死亡率; 灰色预测模型; 差分自回归移动平均模型; 预测

[中图分类号] R173 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 2095 - 610X(2025)02 - 0110 - 08

Construction and Evaluation of Maternal Mortality Prediction Model in Yunnan Province

ZHAO Shan¹⁾, GAO Sai¹⁾, LI Tangchun¹⁾, ZHAO Zhongming²⁾, WU Yating²⁾, ZHENG Min²⁾

(1) School of Public Health, Kunming Medical University, Kunming Yunnan 650500;

2) Department of Women's Group Health, Yunnan Maternal and Child Health Care Hospital, Kunming Yunnan 650021, China)

[Abstract] **Objective** To construct and evaluate the prediction model of maternal mortality in Yunnan Province, and predict the maternal mortality rate in Yunnan Province from 2024 to 2030. **Methods** Based on the maternal mortality rates in Yunnan Province from 1994 to 2023, a grey prediction model and a autoregressive integrated moving average model were constructed, The models were compared using mean absolute error, mean square error and root mean square error to assess their fitting performance, and the optimal model was used to predict the maternal mortality rate in Yunnan Province from 2024 to 2030. **Results** The maternal mortality rate in Yunnan Province showed a continuous decline from 1994 to 2023($\chi^2 = 50170.0$, $P < 0.05$). The mean absolute error, mean-square error and root mean-square error for the grey prediction model were 2.424, 12.389, 3.519, respectively, while for the differential autoregressive moving average model, they were 3.966, 27.651, 5.258, respectively. The prediction effect of the grey prediction model is superior to that of the autoregressive integrated moving average model, with a posterior difference ratio $C = 0.079$ and a low probability error $P = 1$, indicating a prediction accuracy of level 1. Using the grey prediction model, the maternal mortality rates for Yunnan Province

[收稿日期] 2024 - 10 - 08

[基金项目] 云南省“兴滇英才支持计划”名医专项支持项目 [(XDYC)-MY-2022-0073]; 昆明医科大学 2024 年研究生教育创新基金(2024S181)

[作者简介] 赵珊(2000~), 女, 云南保山人, 在读硕士研究生, 主要从事公共卫生研究工作。

[通信作者] 郑敏, E-mail: zhmin730@126.com

from 2024 to 2030 are 10.05/100 000, 9.16/100 000, 8.34/100 000, 7.59/100 000, 6.91/100 000, 6.30/100 000 and 5.73/100 000, respectively. **Conclusion** The grey prediction model has a good prediction effect on maternal mortality in Yunnan Province. It is predicted that the maternal mortality rate in Yunnan Province in 2030 can meet the control targets outlined in the “Healthy China 2030 Plan”, the “Outline of Chinese Women's Development (2021—2030)” and the “Yunnan Women's Development Plan (2021—2030)”.

[**Key words**] Maternal mortality; Grey prediction model; Autoregressive integrated moving average model; Prediction

孕产妇死亡率(maternal mortality rate, MMR)是反映国家或地区经济、教育、卫生等社会因素的敏感指标,也是衡量母婴安全、妇女健康状况和生存质量的重要尺度^[1],也被列入联合国千年发展目标(Millennium Development Goals, MDGs)和可持续发展目标(Sustainable Development Goals, SDGs)的具体指标之一^[2]。我国政府高度重视孕产妇死亡控制工作,先后颁布的《“健康中国2030”规划纲要》《中国妇女发展纲要(2021—2030年)》对孕产妇健康提出高要求^[3]。云南省政府颁布《云南妇女发展规划(2021—2030年)》提出“2030年全省MMR下降至9/10万”的目标^[4]。

通过构建统计模型来预测事物的发生发展趋势是认识事物发展规律及制定决策的一个重要手段和措施^[5]。国内学者使用不同预测模型对全国或部分省份的孕产妇死亡率进行了预测及模型评估,其中,差分自回归移动平均模型(auto regressive integrated moving average model, ARIMA)和灰色预测模型GM(1, 1)适用于短、中长或长期时间序列数据预测。ARIMA模型作为一个经典的时间序列预测模型,经验证对MMR的预测精度较好^[6-7]。GM(1, 1)模型是较为常见、且比较成熟的时间序列预测模型,因模型构建过程简单,只需要历史数据即可进行建模预测,可行性较高。两类模型均被广泛应用于疾病发病率和死亡率预测、妇幼保健指标预测、卫生人力资源和卫生费用预测、药品价格预测、门诊量预测等医疗卫生领域,为医疗决策的有效制定提供了科学依据^[8]。

孕产妇死亡率影响因素多、地区差异大,不同预测模型对不同地区的预测效果可能不同。尚无学者对云南省孕产妇死亡率预测模型构建和模型预测效果比较的相关研究报道,本研究基于1994—2023年云南省MMR,构建ARIMA和GM(1, 1)模型,并对模型拟合效果进行比较,选择最优模型对2024—2030年云南省MMR进行预测,为我省卫生行政部门制定年度MMR控制目标和实现2030年MMR目标保障政策提供参考依据。

1 资料与方法

1.1 资料来源

本研究数据来源于云南省妇幼卫生年报(1994—2023年),收集1994—2023年共30年云南省MMR数据。

1.2 研究方法

灰色预测模型(GM(1, 1)) GM(1, 1)的理论步骤^[9-11],见图1。

ARIMA模型ARIMA(p, d, q)模型由3个主要参数决定, q为滑动平均系数,表示误差项滞后q阶。q参数由偏自相关函数(partial auto correlation function, PACF)决定, p参数由自相关函数(auto correlation function, ACF)决定。参数d指的是实现平稳性所需的差异,根据数据的性质来确定的。运用SPSS 26.0软件进行ARIMA模型构建,确定时间序列的性质是否平稳,如果时间序列不平稳,则进行差分处理,直到序列平稳;通过Ljung-BoxQ检验判断数据是否为白噪声序列。根据ACF和PACF的图形走向,确定自回归项和移动平均项的阶数;建立ARIMA模型,进行参数估计和模型检验。

1.3 模型对比评价指标

经过计算不同模型的平均绝对误差(mean absolute error, MAE)、均方误差(mean squared error, MSE)和均方根误差(root mean squared error, RMSE)来进行模型间的比较,误差越小拟合数据越好^[9]。

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - x_i|}{N} \quad (8)$$

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2}{N} \quad (9)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2}{N}} \quad (10)$$

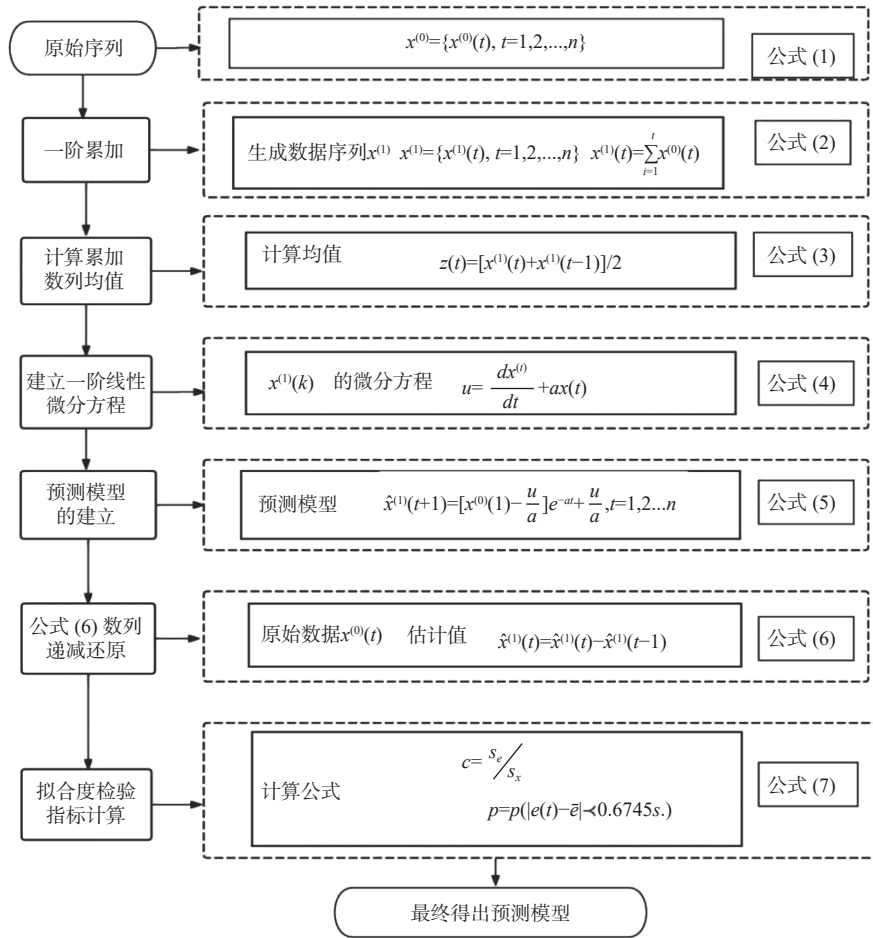


图 1 GM(1, 1)模型建立流程图

Fig. 1 Flowchart for the establishment of the GM(1, 1) model

其中， y_i 为真实数据， x_i 为预测数据， n 为数据个数。

1.4 统计学分析

用趋势卡方检验分析近 30 年云南省 MMR 变化趋势， α 取 0.05。用 R 4.3.1 软件建立 GM(1, 1)模型并进行拟合精度检验。用 SPSS 26.0 软件进行 ARIMA 模型建立、预测和分析拟合效果。

2 结果

2.1 MMR 变化趋势描述

云南省 MMR 从 1994 年的 149.19 / 10 万下降到 2023 年的 9.70 / 10 万，下降了 139.49 / 10 万，降幅为 93.5%，整体呈持续下降趋势($\chi^2 = 50170.0, P < 0.05$)，见图 2。

2.2 GM(1, 1)的构建与评估

1994—2023 年云南省 MMR 的 GM(1, 1)预测结果计算得 $\alpha = 0.094, u = 172.865$ 。所以 GM(1, 1)为：

$$x(1)(t+1) = -1697.96e^{-0.094t} + 1847.15$$

发展系数 $-a < 0.3$ ，说明模型适用于中长期预测。经拟合优度检验，后验差比值 $C = 0.079$ ，小概率误差 $P = 1$ ，预测精确度为 1 级，模型可进行外推。据数据分布散点图判断，其拟合效果较为接近真实值，但 1997、2001 和 2006 年预测值与真实值之间偏差分别为 8.19/10 万、8.37/10 万和 9.84/10 万，其他年份偏差则均小于 5/10 万，见图 3。

2.3 ARIMA 的构建与评估

2.3.1 平稳性检验 通过原始时序图 4 可知序列有长期递减趋势，进行 ACF、PACF 图检验，可判定原始时间序列为非平稳序列，见图 5、图 6。

2.3.2 ARIMA 模型构建 模型识别因 1994—2023 年云南省 MMR 的时间序列是非平稳序列，需要对原始序列差分消除趋势性影响。经过一次差分后，时间序列没有达到平稳化进行两次差分，在两次差分后，时间序列达到了平稳化，见图 7。

进行 ACF 和 PACF 图检验，观察截尾性，可以

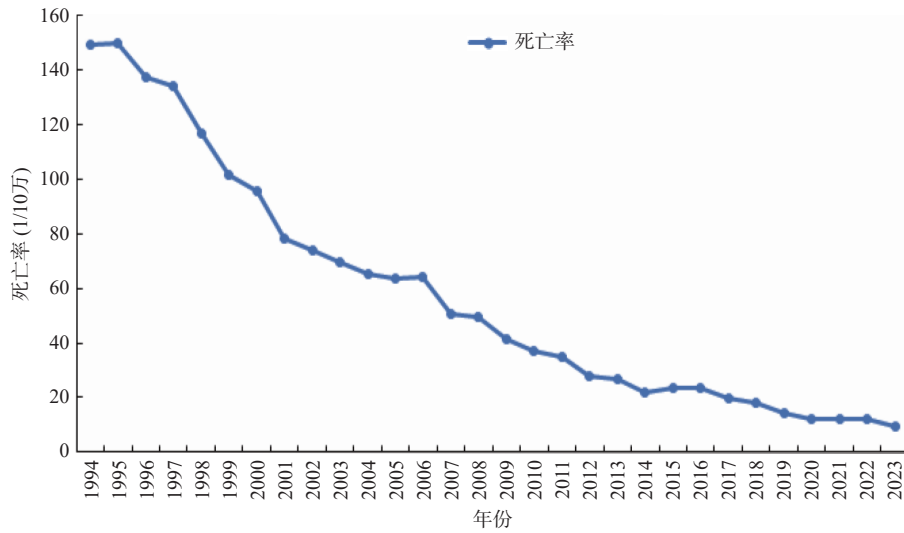


图 2 1994—2023 云南省孕产妇死亡率变化趋势

Fig. 2 Trend of maternal mortality in Yunnan Province from 1994 to 2023

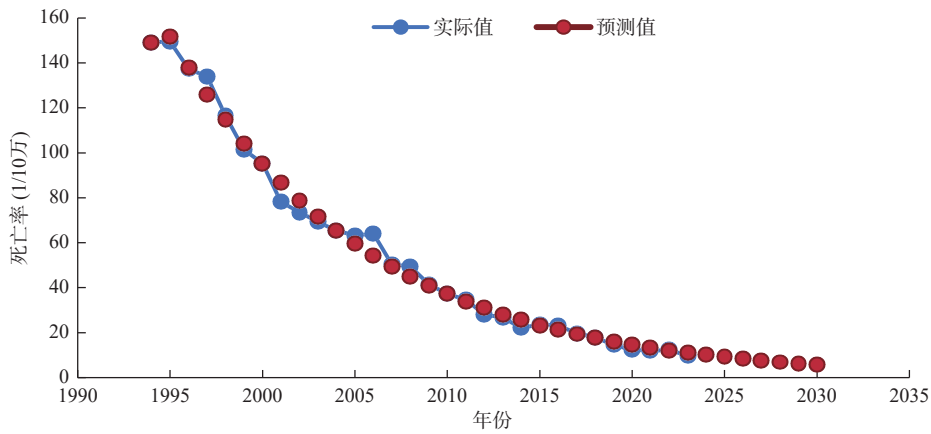


图 3 GM(1, 1) 预测值与真实值的散点图分布

Fig. 3 Scatter plot distribution of GM(1, 1) predicted values and the actual values

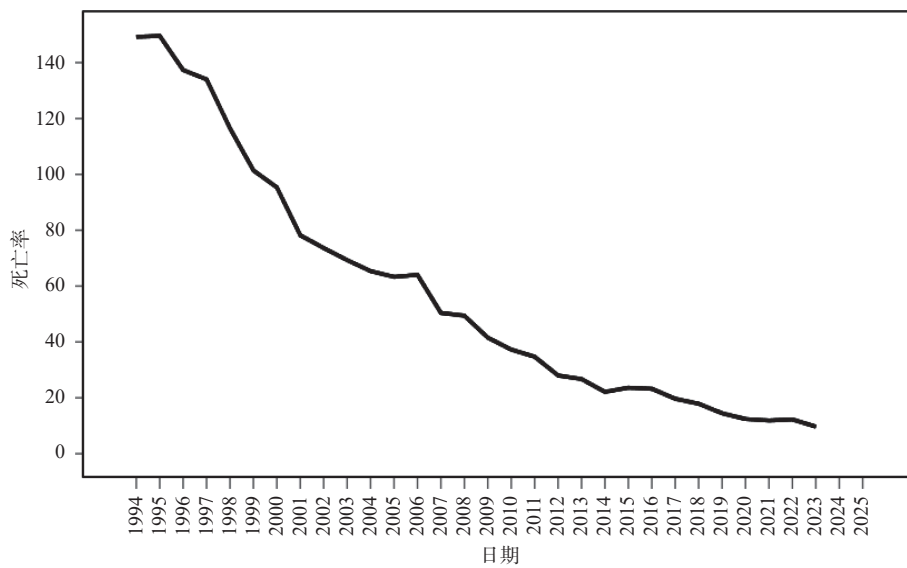


图 4 原始时间序列

Fig. 4 Original time series

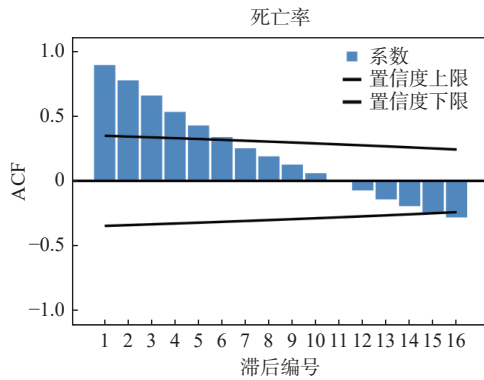


图 5 原始时间序列 ACF 图

Fig. 5 ACF plot of the original time series

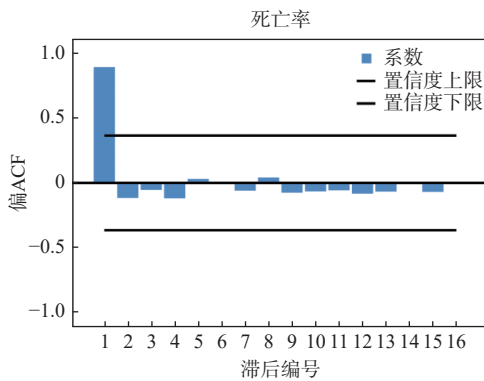


图 6 原始时间序列偏 ACF 图

Fig. 6 Partial ACF plot of the original time series

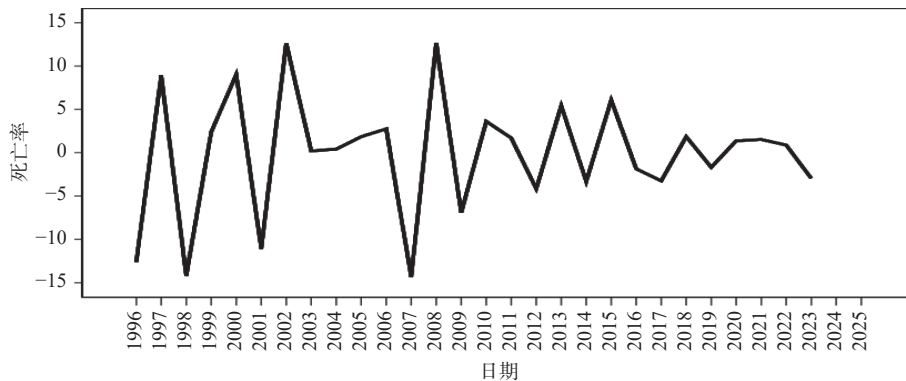


图 7 二阶差分序列

Fig. 7 Second-order difference sequence

3 讨论

3.1 1994—2023 年云南省 MMR 整体呈持续下降趋势

自 2000 年 MDGs 提出“2015 年 MMR 较 1990 年降低 3/4, 实现普遍享有生殖保健”以来, 全球孕产妇死亡率呈明显下降趋势。我国 2014 年 MMR 下降至 21.7/10 万, 较 1990 年 88.8/10 万相比, 下降了 75.6%, 提前 1 年实现 MDGs^[12]。2015 年 9 月联合国可持续发展峰会上 193 个成员

看到二阶差分后的 ACF 和 PACF 呈现不规则变化, 回归系数 $p = 1$, 移动平均值 $q = 1$, 见图 8、图 9。

根据确定的 p , d , q 3 个参数确定 ARIMA(1, 2, 1)Ljung-BoxQ(LBQ) = 22.087, $P = 0.14 > 0.05$, 差异无统计学意义, 残差序列不存在自相关。构建的 ARIMA(1, 2, 1)为最优模型, 拟合后的残差项为白噪声序列, 无须继续建模, 见图 10。最终拟合效果显示: ARIMA 模型拟合值与实际值之间存在一定偏差, 2005 年前较为明显, 见图 11。

2.4 两种不同模型拟合和预测结果比较

从两个模型对比来看, GM(1, 1)灰色预测模型的整体偏差率低于 ARIMA(1, 2, 1)模型, 模型预测效果更好, 见表 1。

经模型构建, GM(1, 1)和 ARIMA 预测拟合效果不同, 见图 12。

经过构建预测效果比较, GM(1, 1)的 MAE、MSE、RMSE 均比 ARIMA 小, 可以说明 GM(1, 1)比 ARIMA 预测效果好, 见表 2。

2.5 2024—2030 年云南省 MMR 预测

选用 GM(1, 1)对云南省 2024—2030 年 MMR 进行预测, 结果显示 2024—2030 年的孕产妇死亡率依然呈下降趋势, 见图 13。

国正式通过的 SDGs 中, 第 3 项提出“2030 年将全球 MMR 降至 70/10 万, 所有国家 MMR 均不超过全球平均水平的 2 倍(140/10 万)。2010 年 420/10 万及以下的国家 2030 年 MMR 较 2010 年下降 2/3”^[13]。但全球各地孕产妇死亡下降情况各异, 不同发达地区 MMR 也各不相同, 2010—2020 年高收入国家 MMR 的平均水平为 12.3/10 万, 中高收入国家的平均水平为 44.1/10 万。发达国家中 42 个国家孕产妇死亡率呈现不同程度下降, 下降速度最快的是塞舌尔(年平均变化速度 8.6%)。

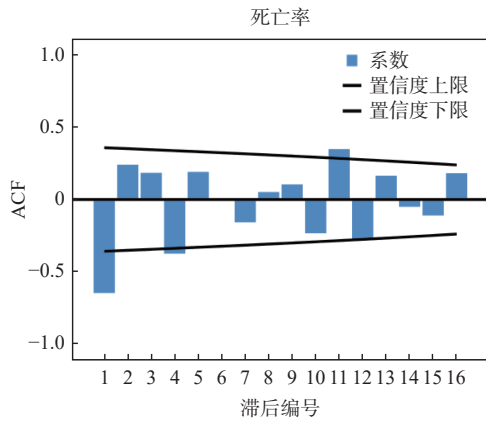


图 8 二阶差分序列 ACF 图

Fig. 8 ACF plot of the second-order difference sequence

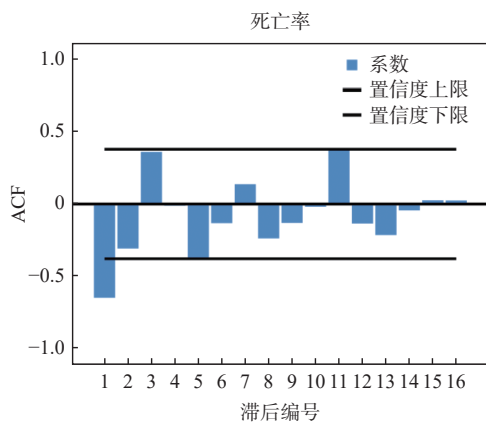


图 9 二阶差分序列 PACF 图

Fig. 9 PACF plot of the second-order difference sequence

发展中国家中 35 个国家 MMR 呈现不同程度下降, 下降最快的是白俄罗斯(年平均变化速度为8.0%),

2 个国家几乎没有变化, 14 个国家呈上升趋势^[14]。2020 年, 我国 MMR 为 16.9/10 万, 比 2010 年降低 43.7%, 指标水平居全球中高收入国家前列, 被世界卫生组织评定为“全球十个妇幼健康高绩效国家之一”^[15-17]。1991—2021 年我国 MMR 呈现明显的下降趋势, 年平均下降速度为 5.00%, 平均下降速度明显高于世界及中高等收入国家的平均水平^[18-19]。

1994—2023 年云南省 MMR 从 149.19/10 万下降至 9.7/10 万, 年平均下降速率为 8.86%, 高于我国 1991—2021 年 MMR 年平均下降速率 5.00%, 也高于海南省 2003—2022 年 MMR 年平均下降速率 4.13%^[20]。2023 年, 云南省 MMR 低于全国平均水平, 母婴安全核心指标创云南最优水平^[21]。云南省在国家母婴安全工作总体部署下, 结合本省实际, 加强顶层设计, 巩固完善制度, 优化资源配置, 出台有关制度规范持续推进孕产妇健康管理和危重救治服务网络建设, 提升服务质量, 促进了云南省 MMR 持续降低。同时, 提示云南省 MMR 在经过快速下降后, 当前已到达低位, 随着生育政策调整, 云南省 MMR 保持低位且稳中有降面临较大挑战, 要进一步下降难度可能有所增加, 仍需继续加强孕产妇健康管理工作。

3.2 GM(1, 1)对云南省MMR的预测效果优于 ARIMR

MMR 受经济社会发展状况、居民健康意识、医疗资源分配、服务公平性、可及性和服务质量等因素影响, 而不同地区的影响因素各不相同。因此, 不同预测模型在不同地区的预测效果可能

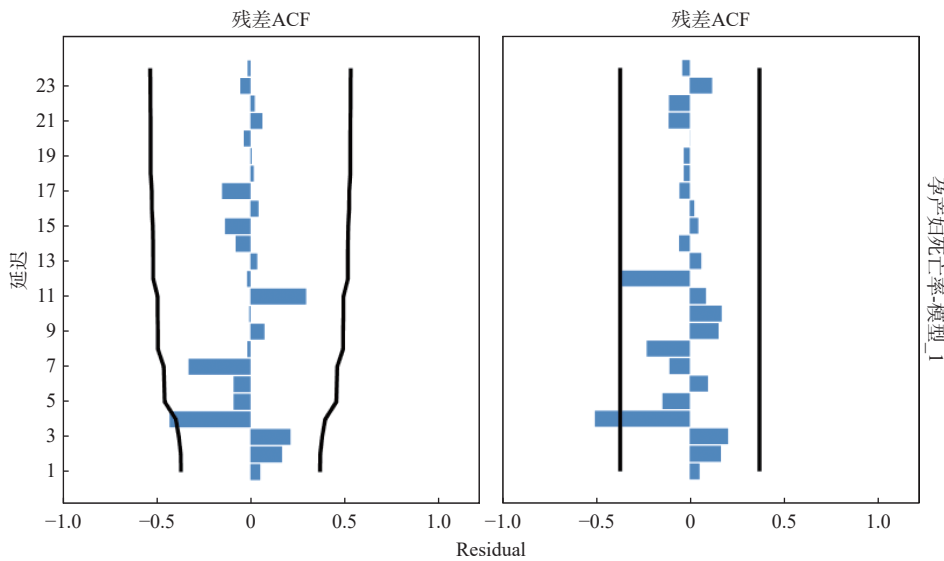


图 10 白噪声检验图

Fig. 10 White noise test plot

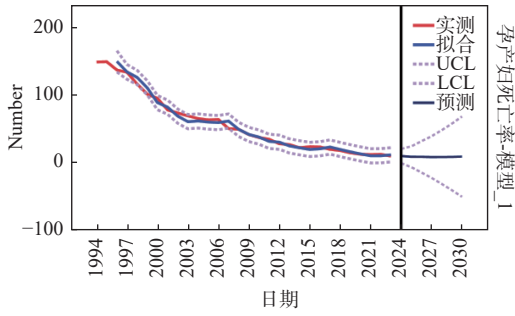


图 11 ARIMA 拟合效果

Fig. 11 ARIMA fitting results

存在不同。本研究显示 GM(1, 1)对云南省MMR的预测效果较好, 与张亚慧^[22]对中国孕产死亡率预测和张彬等^[23]对我国农村预测结果相同。可能由于 GM(1, 1)模型精度较高, 运算简便, 建模所需信息少, 对原始数据资料的限制较少, 运用比较灵活, 可被广泛运用于短期预测^[10]。用该模型预测云南省 2030 年 MMR 为 5.73/10 万, 可达到《健康中国“2030”规划纲要》《中国妇女发展纲要(2021—2030 年)》《健康云南“2030”规划纲要》中的 MMR 控制目标。

3.3 统计模型的应用分析

本研究发现, GM(1, 1)对云南省MMR的预测拟合优度较好, 可进一步将该统计模型应用于婴儿死亡率、5 岁以下儿童死亡率等妇幼健康核心指标, 为该省 2030 年实现可持续发展目标中的妇幼健康指标控制目标提供对策与建议。本次构建的 GM(1, 1)中仅有 3 个年份预测值与真实值之间差异略高, 提示单一的时间趋势预测模型难以对波动较大的时间点进行更精准的预测, 后续研究可加入更多孕产妇死亡率影响因素进行预测模

表 1 两种模型预测结果

Tab. 1 Prediction results of the two models

年份	GM(1, 1) 偏差率(%)	平均偏 差值(%)	ARIMA (1, 2, 1) 偏差率(%)	平均偏 差值(%)
1994	/		/	
1995	-2.14		/	
1996	-0.84		-12.81	
1997	8.19		-0.45	
1998	1.93		-9.79	
1999	-2.94		-9.39	
2000	0.30		6.38	
2001	-8.37		-3.99	
2002	-5.18		4.73	
2003	-2.47		8.62	
2004	0.03		3.59	
2005	3.82		3.18	
2006	9.84		4.71	
2007	1.05		-11.31	
2008	4.47	4.15	0.13	6.01
2009	0.61		-0.26	
2010	0.00		-0.53	
2011	0.77		3.16	
2012	-2.90		-2.29	
2013	-1.41		1.97	
2014	-3.49		0.11	
2015	0.29		4.02	
2016	2.01		2.71	
2017	0.29		-3.5	
2018	0.27		-1.57	
2019	-1.58		-1.58	
2020	-2.20		-0.45	
2021	-1.41		1.8	
2022	0.15		2.12	
2023	-1.34		-1.93	

型的构建。

综上所述, 统计模型在 MMR 变化趋势和预测应用具有良好的效果和较强的现实意义, 可为卫生健康行政部门判断妇幼健康政策效果, 为未来妇幼健康指标发展趋势提供理论依据。

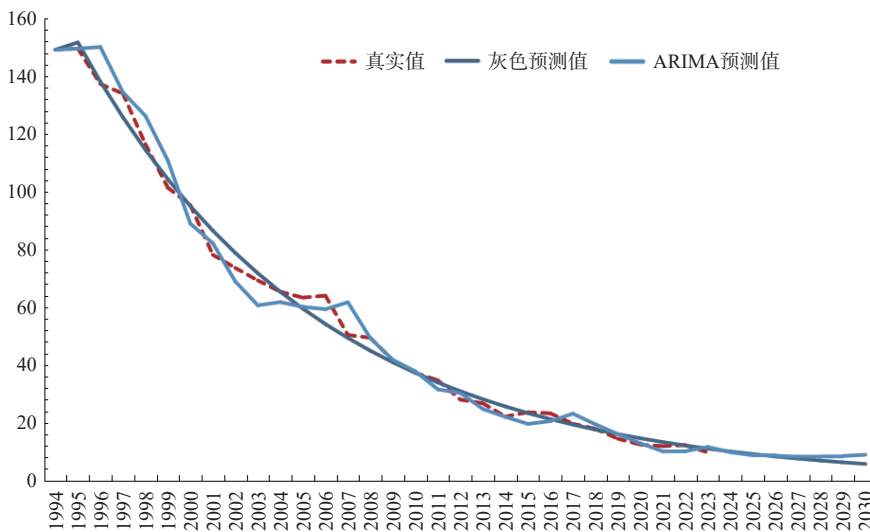


图 12 两种模型的预测效果趋势

Fig. 12 Trend of prediction effects of the two models

表 2 两种模型的指标数据值比较

Tab. 2 Comparison of indicator data values between the two models

模型	指标数据值比较		
	MAE	MSE	RMSE
GM(1, 1)	2.4238	12.39	3.52
ARIMA	3.9659	27.65	5.25

MAE, 平均绝对误差; MSE, 均方误差; RMSE, 均方根误差。

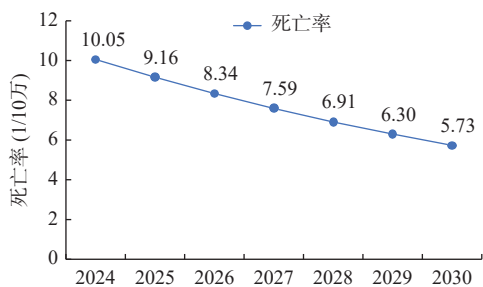


图 13 2024—2030 年云南省孕产妇死亡率预测值 (1/10 万)

Fig. 13 Predicted maternal mortality rate in Yunnan province in 2024—2030 (1/100000)

[参考文献]

[1] 尹小兰, 何芯芯, 杜林, 等. RNN、JPR 及 ARIMA 3 种模型预测中国农村孕产妇死亡率的比较 [J]. 中华疾病控制杂志, 2023, 27(11): 1308–1313.

[2] 国家卫生计生委妇幼健康服务司, 全国妇幼卫生监测办公室. 中国妇幼卫生监测工作手册 (2013 版) [Z]. 2013

[3] 国务院. 国务院关于印发中国妇女发展纲要和中国儿童发展纲要的通知 [EB/OL]. (2021-09-08) [2024-06-26]. https://www.gov.cn/gongbao/content/2021/content_5643262.htm

[4] 云南省人民政府. 《云南妇女发展规划 (2021—2030 年)》 [EB/OL] (2022-05-31) [2024-06-26] <https://www.ynzx.gov.cn/gwfb/264869.jhtml>

[5] 王嫚, 杨伟康. 基于 ARIMA 模型与 GM(1, 1) 模型的深圳市 5 岁以下儿童死亡率的预测研究 [J]. 现代预防医学, 2024, 51(3): 466–470+506.

[6] 刘洁, 高茵茵, 曲波, 等. 应用 ARIMA 模型预测我国孕产妇死亡率 [J]. 中国医科大学学报, 2011, 40(2): 107–108+121.

[7] 庞艳蕾. 孕产妇、婴儿及 5 岁以下儿童死亡率分析与预测 [D]. 潍坊: 潍坊医学院, 2016.

[8] 邵升清, 夏桂梅. ARIMA 模型与 GM(1, 1) 模型在传染病发病率中的预测效果比较 [J]. 宁夏师范学院学报, 2021, 42(7): 13–18.

[9] Yan J M, Li Y B, Zhou P Y. Impact of COVID-19 pan-

demicon the epidemiology of STDs in China: Based on the GM(1, 1) model [J]. BMC Infect Dis, 2022, 22(1): 519.

[10] Zeng B, Yang Y J, Gou X. Research on physical health early warning based on GM(1, 1) [J]. Comput Biol Med, 2022, 143(1): 105256.

[11] Cheng T, Bai Y, Sun X, et al. Epidemiological analysis of varicella in Dalian from 2009 to 2019 and application of three kinds of model in prediction prevalence of varicella [J]. BMC Public Health, 2022, 22(1): 678.

[12] 张悦, 郭海强. 1991—2017 年我国妇幼保健主要统计指标趋势分析 [J]. 中国卫生统计, 2019, 36(5): 642–643.

[13] 联合国可持续发展峰会. 变革我们的世界: 2030 年可持续发展议程: [EB/OL]. (2015-09-27) [2024-06-28] <https://www.un.org/zh/conferences/environment/newyork2015>

[14] 世界卫生组织. 2000 年至 2020 年孕产妇死亡率趋势: 世界卫生组织、儿童基金会、人口基金、世界银行集团和经社部/人口司的估计数 [EB/OL]. (2023-02-23) [2024-6-28]. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240068759>

[15] 刘昶荣. 我国妇幼健康核心指标达到历史最好水平 [N]. 中国青年报, 2022-08-23(004).

[16] Samuel, O, Zewotir, T, North, D. Decomposing the urban-rural inequalities in the utilisation of maternal health care services: Evidence from 27 selected countries in Sub-Saharan Africa [J]. Reprod Health, 2021, 18(1): 216.

[17] 陈敦金, 贺芳. 中国孕产妇死亡率极大程度降低——对世界的最大贡献 [J]. 中国实用妇科与产科杂志, 2019, 35(10): 1076–1080.

[18] 苏燕燕, 神艳, 聂雷, 等. 1991—2021 年我国孕产妇死亡率变化情况分析 [J]. 中国初级卫生保健, 2024, 38(1): 54–58.

[19] 王震坤, 王子伟, 沈霞, 等. 1992—2017 年中国孕产妇死亡趋势及年龄-时期-队列模型分析 [J]. 中华预防医学杂志, 2021, 55(6): 742–746.

[20] 黄翠敏, 吴桂花, 粘惠瑜, 等. 海南省 2003—2022 年孕产妇死亡率变化趋势及预测分析 [J]. 中国热带学, 2023, 23(11): 1164–1168+1179.

[21] 谭晓萍. 云南省实现联合国可持续发展目标中的妇幼保健和生殖健康相关目标研究 [D]. 昆明: 昆明医科大学, 2019.

[22] 张亚慧, 张荣, 贾素红, 等. 灰色预测模型 GM(1, 1) 和残差自回归模型在中国孕产妇死亡率预测中的应用 [J]. 中国妇幼保健, 2023, 38(10): 1747–1752.

[23] 张彬, 张龙秀, 王瑞, 等. 基于 ARIMA 和 GM(1, 1) 模型的我国农村 MMR、IMR、NMR 及 U5MR 趋势预测 [J]. 中国医药科学, 2023, 13(14): 7–10+15.