

# 全球 COVID-19 疫情主要预测模型比较分析\*

陈雅霖<sup>1</sup> 洪秋棉<sup>1</sup> 温昊于<sup>1</sup> 刘艳<sup>1</sup> 喻勇<sup>2△</sup> 宇传华<sup>1△</sup>

**【摘要】** **目的** 新冠感染病死率预测对于深入理解新冠病毒严重性、合理配置医疗资源及开展针对性防疫策略有重大意义。**方法** 本研究依据新冠病毒变异优势株,将疫情发展划分四个时期,选取美国、印度、巴西、墨西哥、秘鲁、中国六个国家以及全球平均水平的病死率为研究对象。运用灰色模型、指数平滑模型、ARIMA 模型、支持向量机、Prophet 和 LSTM 模型六个模型进行拟合预测,探讨各模型的优缺点和适用性,选取效果最优的模型对全球和重点国家的病死率进行预测。**结果** 模型比较显示多种模型各有优缺点,经预测,多数国家的累计确诊人数和累计死亡人数增长速度减缓,发展趋势逐渐平稳。**结论** 传统时间序列模型适于发展趋势平稳、有限样本的预测;而机器学习模型更适用于波动型变化数据,可进行大样本预测,进一步外推,运用到其他卫生领域的研究。

**【关键词】** COVID-19 预测模型 病死率

**【中图分类号】** R181.2 **【文献标识码】** A **DOI** 10.11783/j.issn.1002-3674.2024.03.011

## Comparative Analysis of Prediction Models of Global COVID-19 Pandemic

Chen Yalin, Hong Qiumian, Wen Haoyu, et al (Department of Epidemiology and Biostatistics, School of Public Health, Wuhan University(430071), Wuhan)

**【Abstract】** **Objective** The prediction of the fatality rate of COVID-19 pandemic is of great significance for in-depth understanding of the severity of the new coronavirus, rational allocation of medical resources, and targeted epidemic prevention strategies. **Methods** This study divides the development of the epidemic into four periods based on the dominant strain of the new coronavirus variant. Six countries including the United States, India, Brazil, Mexico, Peru, China, and the global average case fatality rate were selected as study subjects. Six models including the Grey Model, Exponential Smoothing Model, ARIMA, SVM, Prophet and LSTM are used for fitting and forecasting, the advantages, disadvantages and applicability of each model are discussed, and the model with the best effect is selected to forecast the fatality rate in the world and key countries. **Results** Model comparison shows that various models have their own advantages and disadvantages. It is predicted that the growth rate of the cumulative number of confirmed cases and cumulative deaths in most countries has slowed down, and the development trend has gradually stabilized. **Conclusion** The study suggests that traditional time series model is suitable for the prediction of stable development trend and limited samples, and the machine learning model is more suitable for fluctuating data, which can be used for large sample predictions. Depending on the features of these models, application can be extended to other fields.

**【Key words】** COVID-19; Prediction models; Case fatality rate

2019 年 12 月,我国首次报告新冠感染病例,新冠感染疫情等传染病发展趋势预测意义重大。死亡病例的数量、影响因素与发展趋势<sup>[1-3]</sup>相较于确诊数据更具现实意义,本研究通过比较不同分期、不同国家各类模型的病死率预测效果,探讨模型的优缺点,选择效果较优模型预测全球和重点国家病死率。

### 资料与方法

#### 1. 研究对象

##### (1) 研究地区

综合考虑新冠感染死亡水平相关指标以及总人口数,选取美国、印度、巴西、墨西哥、秘鲁、中国六个国家

和全球平均水平为研究对象,对其新增确诊人数、新增死亡人数及病死率进行预测。

##### (2) 研究分期

根据变异毒株分为四期, I 期为疫情早期,指 WHO 尚未发布“值得世界关注的变异毒株”的时期, II 期指 Alpha, Beta, Gamma 期, III 期指 Delta 期, IV 期指 Omicron 期(图 1)。每一期的拟合时间始于当地每日新增死亡病例连续 7 天不为零之日,结束于该期优势毒株首次超过总毒株的 50%之日。

##### 2. 研究工具

目前,国内外有许多团队对新冠疫情发展进行预测。综合考虑数据准确性、操作方便性、对比统一性,本研究选取灰色模型、指数平滑模型、ARIMA 模型、支持向量机、Prophet 和 LSTM 6 个基于时间序列的模型<sup>[4]</sup>。其中前三者为传统时间序列模型,后三者为机器学习模型。

运用 excel 2016 软件进行数据整理清洗,运用 R 3.6.3 软件构建 ARIMA 模型、指数平滑模型、SVM 模

\* 基金项目:国家自然科学基金面上项目(82173626)

1. 武汉大学公共卫生学院流行病与卫生统计学系(430071)

2. 湖北医药学院公共卫生与健康学院

△通信作者:宇传华, Email: yuchua@whu.edu.cn; 喻勇, E-mail: yongyu@hbm.edu.cn

型、Prophet 模型,并绘制热图、折线图等,运用 MAT-

LAB R 2022a 软件构建灰色模型和 LSTM 模型。

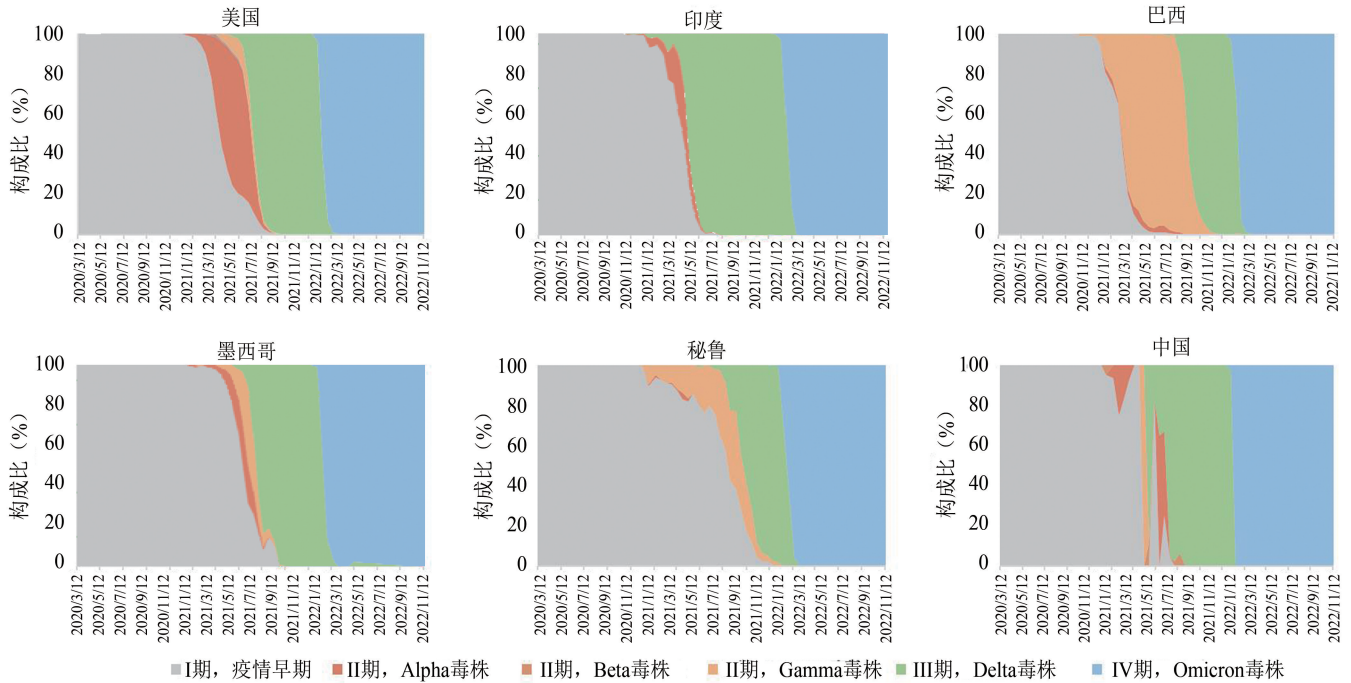


图 1 六个国家值得关注的新冠变异毒株及相应分期(2020/3/12—2022/11/23)

### 3.数据来源

本研究所使用的全球及重点国家新冠感染死亡病例数、确诊病例数等来源于世界卫生组织(World Health Organization, WHO);总人口数、疫苗接种人数等来源于数据世界(Our World in Data, OWID);新冠病毒变异毒株相关数据来源于全球共享流感数据倡议组织(Global initiative on Sharing All Influenza Data, GISAID)。

### 4.评价指标

#### (1)病死率

分别预测某日新冠感染新增确诊人数和同日新增死亡人数,将预测值相除后得到病死率预测值。

#### (2)模型评价指标

模型评价指标选择了拟合优度(R-square,  $R^2$ )、平均绝对百分比误差(mean absolute percentage error, MAPE)和均方根误差(root mean squared error, RMSE)。

## 结 果

### 1.预测模型比较

指数平滑模型、ARIMA 模型、Prophet 模型和支持向量机对新增确诊人数、新增死亡人数以及病死率的拟合效果良好,LSTM 模型能够较好地进行训练,灰色模型拟合效果差,预测模型不同维度比较如下。

(1)传统时间序列模型与机器学习模型预测效果比较

图 2 为四个分期、六种模型对七个研究对象新冠

感染病死率预测的 MAPE 值热图。由此可见,灰色模型预测效果最差,SVM 模型效果较差。其余传统时间序列模型包括 ARIMA 模型和指数平滑模型相比机器学习模型如 Prophet 模型和 LSTM 色块预测效果更好。

#### (2)不同分期模型预测效果比较

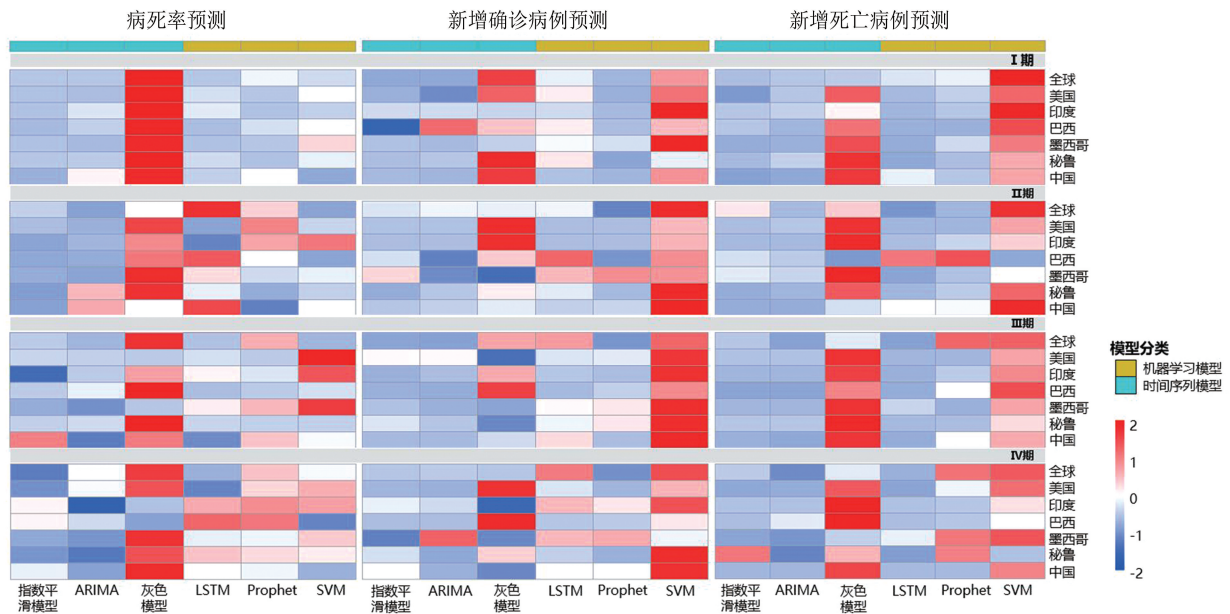
RMSE 表示预测值和观测值之间的误差, RMSE 越小,说明预测模型具有越好的精确度。各期 RMSE 数值比较发现,各模型对 IV 期的预测效果最差,其中墨西哥、秘鲁和中国 IV 期 RMSE 数值总体大于其他国家,这是由于这三个国家在 Omicron 期病死率下降快且幅度大,时间序列模型无法预测准确。

#### (3)不同地区模型预测效果比较

如图 3 所示,传统时间序列模型中,灰色模型预测结果与观察值普遍偏离较大、预测效果差;ARIMA 模型、指数平滑模型能够较好预测趋势,与观察值接近。机器学习模型中,支持向量机模型预测效果较差;由于 LSTM 的预测基于上一预测值,当某一趋势出现后将会得到延续和加强,故 LSTM 模型预测易出现回归趋势;Prophet 模型能准确预测中国和秘鲁的前三期病死率趋势,只在美国疫情趋势保持不变时预测效果良好,且其预测结果都有一定波动性,因此更适合有周期性、季节性的数据。

### 2.新冠感染病死率进一步预测

根据各模型特点和拟合效果,分别挑选新增死亡病例和新增确诊病例预测效果较好的模型,对七个研究对象 2022 年 9 月 22 日至 2022 年 12 月 31 日共 101 天的新冠感染病死率进行预测。



注:该图经过横向标准化处理,色块颜色越蓝,MAPE 值越小,表明模型预测准确性越好,色块颜色越红,MAPE 值越大,表明模型预测准确性越差。每一行依据分期进行分组,分为 I 期、II 期、III 期和 IV 期,每一列依据模型类型划分,分为时间序列模型和机器学习模型。

图 2 四个分期、六种模型对七个研究对象新冠病死率预测 MAPE 值热图

(1) 预测模型选择

综合考虑各类模型的适用性以及可能的发展趋势,选取以下预测模型。全球确诊病例:Prophet 模型,全球死亡病例:ARIMA(5,2,6)模型;美国确诊病例:Prophet 模型,美国死亡病例:ARIMA(6,2,6)模型;印度确诊病例:ARIMA(7,2,6)模型,印度死亡病例:LSTM 模型;巴西确诊病例:ARIMA(5,2,6)模型,巴西死亡病例:LSTM 模型;墨西哥确诊病例:ARIMA(6,2,6)模型,墨西哥死亡病例:ARIMA(7,2,9)模型;秘鲁确诊病例:ARIMA(7,2,6)模型,秘鲁死亡病例:ARIMA(2,2,8)模型;中国确诊病例:阻尼法指数平滑模型,中国死亡病例:阻尼法指数平滑模型。

(2) 新冠感染病死率预测结果

经预测,多数国家的累计确诊人数和累计死亡人数增长速度减缓,发展趋势逐渐平稳,每日新增水平相较于大幅度下降,从全球范围来看,疫情得到有效控制。七个研究对象接下来 101 天病死率预测结果如图 4 所示。

讨论与建议

1. 预测模型评价分析

本研究显示,对于新冠感染病死率的预测,传统时间序列模型优于机器学习模型。短期内,使用指数平滑法和 ARIMA 模型预测误差较小<sup>[5-7]</sup>,长期来看,可以根据发展趋势配合使用 ARIMA、Prophet、LSTM 和指数平滑模型<sup>[8-9]</sup>。总体而言,灰色模型更适用于预测短期、呈指数增减的数据。预测新增死亡人数和病死率的效果较差,而预测部分国家新增确诊人数效果较好<sup>[10-12]</sup>;ARIMA、指数平滑模型更适用于平稳发展

的数据,对数据要求较高,需要至少 30 个连续序列数据且经过处理后为平稳序列<sup>[13]</sup>;LSTM 适用于有回归趋势的数据<sup>[14-17]</sup>。另外,在对病死率进行预测时,SVR 预测结果为离散值,难以拟合出连续序列<sup>[18-19]</sup>;Prophet 模型较适用于波动型、有季节性和周期性的数据,功能强大,涉及领域广,可作为优化时间序列预测的重要方法<sup>[20-23]</sup>;支持向量机对于小样本和小数量级数据的时间序列预测情况较差。

时间序列预测模型有以下不足之处:①对原有趋势依赖性较大。从 IV 期预测情况可见,时间序列模型较好拟合保持平稳的数据,但无法判断骤降的发展趋势。②对数据要求较高。传统时间序列模型适用于一定样本数量,且要求数据连续变化,发展相对平稳。③无法综合考虑社会因素。许多疾病均受到人为因素影响而改变,在不考虑这类因素时,时序预测的准确性难以保证。

病死率预测需注意:①资料的完整性、连续性和可信度,除了连续的确诊、死亡病例资料,还可引入疫情防控措施量化、疫苗接种比例等指标;②模型的选择和优化,在选择模型时,应结合模型的优缺点和适用性,观察资料类型、样本数量,判断可能的发展趋势,选择较优的模型;③预测的及时性,预测是决策的基础,对于突发公共卫生事件或具有周期变化的传染性疾病,应注重预测的及时性,提高预测结果的现实意义。

2. 不足与局限性

本研究存在一定局限:①病死率指某疾病导致死亡人数与患该病人数之比,而疾病的死亡具有滞后性,运用同时期的新增死亡人数除以新增确诊人数无法准确反映疾病导致的死亡情况;②本研究运用时间序列

对新冠感染病死率进行预测,但病死率受到社会因素的影响较大,应纳入一定的协变量实现更好的预测效

果;③本研究在选择地区时,主要依据累计确诊人数和死亡水平,没有选择非洲和欧洲国家。

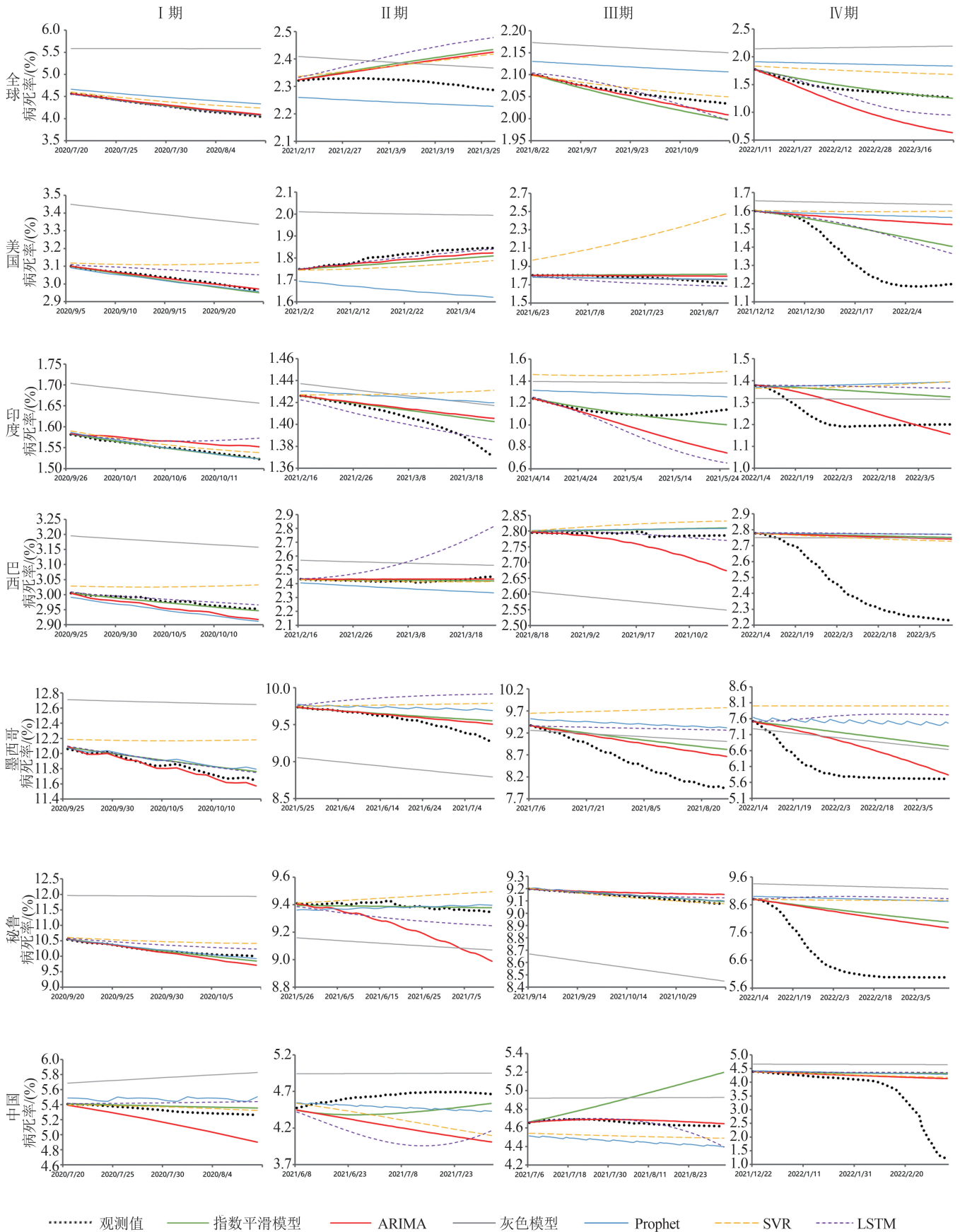


图3 全球及重点国家不同分期、不同模型病死率预测效果比较

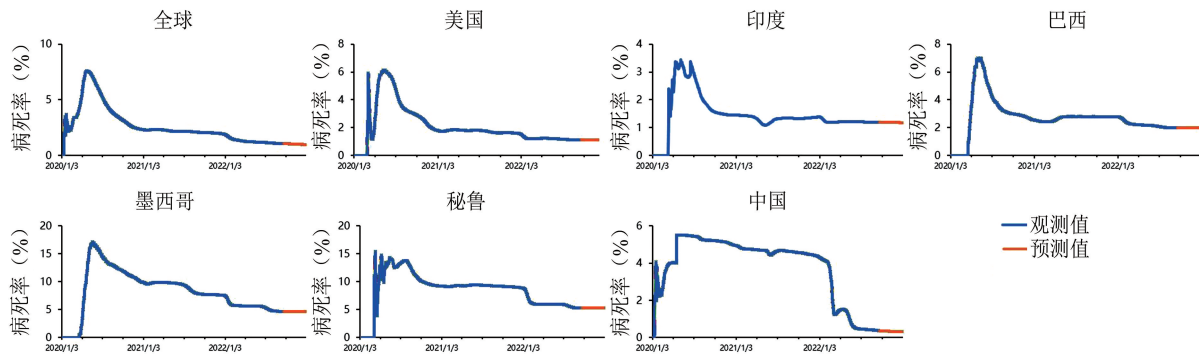


图 4 七个研究对象新冠感染病死率预测(2022/9/22—2022/12/31)

### 结 论

新冠感染病死率预测对于深入理解新冠病毒严重性、合理配置医疗资源、开展不同人群针对性防疫策略有重大意义。本研究构建六个模型,划分四个分期,对七个研究对象的病死率进行预测比较,拟合效果总体较好。其中,传统时间序列模型更适于发展趋势平稳、有限样本的预测;而机器学习模型更适用于波动型变化数据,可进行大样本预测,进一步外推,运用到其他卫生领域的研究。

(由于篇幅受限,有关数据与信息获取可联系作者)

### 参 考 文 献

[ 1 ] Azofeifa A, Valencia D, Rodriguez CJ, et al. Estimating and characterizing COVID-19 deaths, Puerto Rico, March-July 2020. *Public Health Reports*, 2021, 136(3): 354-360.

[ 2 ] Ioannidis JPA. Over- and under-estimation of COVID-19 deaths. *European Journal of Epidemiology*, 2021, 36(6): 581-588.

[ 3 ] Grippo F, Navarra S, Orsi C, et al. The Role of COVID-19 in the death of SARS-CoV-2-positive patients: a study based on death certificates. *Journal of Clinical Medicine*, 2020, 9(11): 3459.

[ 4 ] Ma N, Ma W, Li Z. Multi-model selection and analysis for COVID-19. *Fractal and Fractional*, 2021, 5(3): 120.

[ 5 ] 孔德川, 潘浩, 郑雅旭等. 指数平滑模型在上海市猩红热发病率预测中的应用. *疾病监测*, 2019, 34(10): 932-936.

[ 6 ] 陈亮, 连巧龄, 刘美增, 等. ARIMA 模型在预测福建省新报告 HIV/AIDS 病例中的适用性. *中国艾滋病性病*, 2021, 27(12): 1353-1357.

[ 7 ] 姜超, 刘文东, 胡建利, 等. 丙肝疫情 3 种不同疾病预测预警方法比较. *中国公共卫生*, 2015, 31(4): 390-393.

[ 8 ] 卢普庆. ARIMA 模型与指数平滑法在新冠肺炎疫情传播中的应用. *价值工程*, 2020, 39(23): 164-167.

[ 9 ] Barria-Sandoval C, Ferreira G, Benz-Parra K, et al. Prediction of confirmed cases of and deaths caused by COVID-19 in Chile through time series techniques: A comparative study. *Plos One*, 2021, 16(4): e0245414.

[ 10 ] 汤云. 应用灰色理论预测病毒性肝炎发病情况研究. 重庆: 第三军医大学, 2009.

[ 11 ] 梁会营, 李雪莲, 郭军巧等. 指数平滑灰色预测模型在 HFRS 发病率预测中的应用. *中国热带医学*, 2009, 9(2): 351-353.

[ 12 ] 董选军, 余运贤, 朱列波. 义乌市手足口病流行趋势组合预测模型研究. *中国卫生统计*, 2013, 30(4): 594-595.

[ 13 ] 赵俊琴, 李建国, 赵春香. 三种时间序列模型在尘肺发病预测中的适用性研究. *中国工业医学杂志*, 2017, 30(3): 168-171.

[ 14 ] Iqbal M, Al-Obeidat F, Maqbool F, et al. COVID-19 patient count prediction using LSTM. *IEEE Transactions on Computational Social Systems*, 2021, 8(4): 974-981.

[ 15 ] 冯驰宇. 长短期记忆网络在脑疾病诊断中的应用. 深圳: 深圳大学, 2020.

[ 16 ] 费珊珊. 基于 LSTM 模型的气象因素与慢性疾病关系研究. 兰州: 兰州交通大学, 2020.

[ 17 ] 李雪. 基于 LSTM 的心律失常分类研究. 兰州: 兰州大学, 2018.

[ 18 ] 曹莉, 陆秋娟, 黄靖宇. 支持向量机和 logistic 回归在 MSM 人群艾滋病患病风险预测中的应用. *中国健康教育*, 2020, 36(4): 332-335.

[ 19 ] 黄英辉, 李立奇, 罗万春. 支持向量机在临床疾病诊断中的应用. *数学的实践与认识*, 2008, 38(23): 101-103.

[ 20 ] 许浩然, 陈中举, 杨兆前等. 基于 Prophet 模型的湖北省月降水量预测. *节水灌溉*, 2022, 2022(2): 7-12, 20.

[ 21 ] 王晓, 揣锦华, 张立恒. 基于 Prophet 算法的铁路客流量预测研究. *计算机技术与发展*, 2020, 30(6): 130-134, 150.

[ 22 ] 李顺勇, 张钰嘉. LSTM 和 Prophet 模型在肺结核发病数预测中的应用. *河南科学*, 2020, 38(2): 173-178.

[ 23 ] 常恬君, 过仲阳, 徐丽丽. 基于 Prophet-随机森林优化模型的空气质量指数规模预测. *环境污染与防治*, 2019, 41(7): 758-761, 766.

(责任编辑:郭海强)