

· 论 著 ·

5种时间序列模型预测肺结核发病比较

王迎丹¹, 高春洁¹, 王蕾²

1.新疆医科大学公共卫生学院, 新疆 乌鲁木齐 830011; 2.新疆医科大学, 新疆 乌鲁木齐 830011

摘要: **目的** 比较季节性差分自回归滑动平均(SARIMA)模型、Holt-Winters加法模型、Holt-Winters乘法模型、GM(1, 1)模型和线性组合预测模型预测肺结核发病的效果。**方法** 通过公共卫生科学数据中心收集2004—2018年新疆维吾尔自治区肺结核月发病数资料, 采用2004年1月—2018年6月肺结核发病数分别拟合SARIMA模型、Holt-Winters加法模型、Holt-Winters乘法模型、GM(1, 1)模型和线性组合预测模型, 预测2018年7—12月肺结核发病数; 采用绝对百分比误差(APE)、平均绝对百分比误差(MAPE)和均方根误差(RMSE)比较模型拟合预测效果, 根据APE、MAPE和RMSE最小原则选择最优预测模型。**结果** SARIMA模型拟合预测肺结核的APE最小, 为10.94%, 拟合和预测阶段MAPE分别为11.01%和7.96%, RMSE分别为564和419; 线性组合预测模型的APE为13.71%, 拟合和预测阶段MAPE分别为12.01%和7.94%, RMSE分别为600和447; Holt-Winters加法模型的Holt-Winters乘法模型、GM(1, 1)模型的预测效果相对较差。**结论** SARIMA模型和线性组合预测模型预测肺结核发病效果优于Holt-Winters加法模型、Holt-Winters乘法模型和GM(1, 1)模型。

关键词: 肺结核; 预测; 季节性差分自回归滑动平均模型; Holt-Winters加法模型; Holt-Winters乘法模型; GM(1, 1)模型; 线性组合预测模型

中图分类号: R521 文献标识码: A 文章编号: 2096-5087(2022)12-1194-07

Comparison of the effectiveness of five time series models for prediction of pulmonary tuberculosis incidence

WANG Yingdan¹, GAO Chunjie¹, WANG Lei²

1.School of Public Health, Xinjiang Medical University, Urumqi, Xinjiang 830011, China;

2.Xinjiang Medical University, Urumqi, Xinjiang 830011, China

Abstract: Objective To compare the effectiveness of seasonal autoregressive integrated moving average (SARIMA) model, additive Holt-Winters model, Holt-Winters' multiplicative model, GM(1, 1) model and linear combination prediction model for prediction of pulmonary tuberculosis incidence. **Methods** Data pertaining to monthly incidence of pulmonary tuberculosis in Xinjiang Uyghur Autonomous Region from 2004 to 2008 were captured from Public Health Sciences Data Center. The SARIMA model, additive Holt-Winters model, Holt-Winters' multiplicative model, GM(1, 1) model and linear combination prediction model were created based on the incidence of pulmonary tuberculosis from January 2004 to June 2018, to predict the incidence of pulmonary tuberculosis from July to December 2018. The predictive value of each model was evaluated using absolute percentage error (APE), mean APE (MAPE) and root mean square error (RMSE), and the best model was selected based on minimum APE, MAPE and RMSE. **Results** The SARIMA model showed the minimum APE (10.94%), 11.01% and 7.96% MAPE and 564 and 419 RMSE at the model-fitting and prediction phases; followed by the linear combination prediction model, with 13.71% APE, 12.01% and 7.94% MAPE and 600 and 447 RMSE at the model-fitting and prediction phases, while the additive Holt-Winters model, Holt-Winters'

DOI: 10.19485/j.cnki.issn2096-5087.2022.12.002

基金项目: 国家自然科学基金(12061079); 新疆维吾尔自治区自然科学基金(2019D01C206)

作者简介: 王迎丹, 硕士研究生在读

通信作者: 王蕾, E-mail: wlei81@126.com

multiplicative model and GM (1, 1) model showed a low predictive value. **Conclusion** The SARIMA and linear combination prediction models are superior to additive Holt-Winters model, Holt-Winters' multiplicative model and GM (1, 1) model for prediction of pulmonary tuberculosis incidence.

Keywords: pulmonary tuberculosis; prediction; seasonal autoregressive integrated moving average (SARIMA) model; additive Holt-Winters model; Holt-Winters' multiplicative model; GM (1, 1) model; linear combination prediction model

时间序列模型可以从序列中找出变量变化的特征、趋势及发展规律,从而对变量的未来变化进行预测,因此被广泛应用于传染病预测中。例如季节性差分自回归滑动平均(seasonal autoregressive integrated moving average, SARIMA)模型是根据既往序列值预测未来值,常用于预测具有季节性特征的传染病流行趋势,其过程简单、经济、预测精度高,但对于非线性部分的考虑较少^[1]。Holt-Winters 季节指数平滑模型的基本思想是用序列以往实际观测值的加权平均值预测未来值,根据计算策略的不同可分为加法模型和乘法模型,其优点在于可以同时修正时间序列数据的季节性和趋势性,主要用于中短期预测^[2-3]。GM (1, 1)模型是灰色系统预测理论的基本模型,其基本思想是将观察到的时间序列转化为微分方程,从而建立起抽象系统的发展变化动态模型,预测未来某一时刻的特征量,具有短期预测精度高且可检验的优点,适用于小样本、对样本分布没有要求的序列^[4]。线性组合预测模型可以将不同的模型用适当加权的方式进行组合,将各种单一预测模型兼收并蓄,集中更多信息,减少预测的系统误差^[5]。

本研究基于新疆维吾尔自治区肺结核历史数据,采用 SARIMA 模型、Holt-Winters 加法模型、Holt-Winters 乘法模型、GM (1, 1)模型和线性组合预测模型预测肺结核发病数,比较这 5 种模型的预测效果,为肺结核发病预测提供参考。

1 资料与方法

1.1 资料来源 2004—2018 年新疆肺结核月发病数资料来源于公共卫生科学数据中心 (<http://www.phsciencedata.cn>)。

1.2 方法

1.2.1 SARIMA 模型 SARIMA 模型一般表达形式为 ARIMA (p, d, q) (P, D, Q)_s, p、q 分别为自回归项与移动平均项的阶数; P、Q 分别为季节自回归项与移动平均项的阶数; d、D 分别为简单、季节差分次数; S 为季节周期长度。建模步骤如下: (1) 序列预处理,根据序列图或 ADF 检验 (augmented Dickey-Fuller test) 对肺结核发病序列进行平稳性检验,若

不平稳则将其处理为平稳序列; (2) 模型定阶,根据平稳序列的自相关函数 (autocorrelation function, ACF) 值与偏自相关函数 (partial autocorrelation function, PACF) 值确定模型的阶数,采用最小二乘法进行参数估计,采用 Ljung-Box 检验进行模型残差检验; (3) 模型优化,根据赤池信息准则 (Akaike information criterion) 和贝叶斯信息准则 (Bayesian information criterion) 评价模型拟合效果, AIC、BIC 最小的模型为最优模型。

1.2.2 Holt-Winters 加法模型 Holt-Winters 加法模型序列通常表达为:

$$x_t = a_0 + b_t + c_t + \varepsilon_t$$

式中, a_0 为截距; b 为斜率; c_t 为 t 时刻由季节效应造成的序列偏差; ε_t 为随机波动。分别使用指数平滑的方法,迭代递推参数 $\hat{a}(t)$ 、 $\hat{b}(t)$ 、 $\hat{c}(t)$ 的值,递推公式如下:

$$\begin{aligned} \hat{a}(t) &= \alpha [x_t - c(t-m)] + (1-\alpha) [\hat{a}(t-1) + \hat{b}(t-1)] \\ \hat{b}(t) &= \beta [\hat{a}(t) - \hat{a}(t-1)] + (1-\beta) \hat{b}(t-1) \\ \hat{c}(t) &= \gamma [x_t - \hat{a}(t)] + (1-\gamma) c(t-m) \end{aligned}$$

式中, x_t 为序列在 t 时刻的观察值; m 为季节效应的周期长度; α 、 β 、 γ 均为平滑系数,满足 $0 < \alpha$ 、 β 、 $\gamma < 1$ 。向前 k 期的预测公式为:

$$\hat{x}_{t+k} = \hat{a}(t) + \hat{b}(t)k + \hat{c}(t)(t+k), \forall k \geq 1$$

1.2.3 Holt-Winters 乘法模型 Holt-Winters 乘法模型序列通常表达为:

$$x_t = (a_0 + b_t + \varepsilon_t) c_t$$

式中, a_0 、 b 、 c_t 、 ε_t 含义与 1.2.2 中加法模型相同。参数 $\hat{a}(t)$ 、 $\hat{b}(t)$ 、 $\hat{c}(t)$ 的递推公式如下:

$$\begin{aligned} \hat{a}(t) &= \alpha [x_t / c(t-m)] + (1-\alpha) [\hat{a}(t-1) + \hat{b}(t-1)] \\ \hat{b}(t) &= \beta [\hat{a}(t) - \hat{a}(t-1)] + (1-\beta) \hat{b}(t-1) \\ \hat{c}(t) &= \gamma [x_t / \hat{a}(t)] + (1-\gamma) c(t-m) \end{aligned}$$

向前 k 期的预测公式为:

$$\hat{x}_{t+k} = [\hat{a}(t) + \hat{b}(t)k] \hat{c}(t+k), \forall k \geq 1$$

Holt-Winters 加法和乘法模型含有 3 项核心参数: 水平平滑系数 α , 趋势平滑系数 β 和季节平滑系数 γ , 取值为 $[0, 1]$, 在建模过程中综合考虑以上 3 项参数分别进行拟合,根据 AIC、BIC 最小准则

寻求最优组合。

1.2.4 GM (1, 1) 模型 GM (1, 1) 模型是一种单变量一阶线性的微分方程模型，表达式为：

$$\frac{dX^{(1)}}{dt} + aX^{(1)} = \mu$$

将 2004 年 1 月—2018 年 6 月新疆肺结核发病序列一次累加形成具有一定规律性的新序列，再通过 GM (1, 1) 模型还原预测值。采用后验差比 C 和小误差概率 P 评价模型拟合精度，评价标准见表 1。

表 1 GM (1, 1) 模型精度评价标准

Table 1 Accuracy evaluation standards of the GM (1, 1) model

精度等级 Accuracy grade	小误差概率 Small error probability (P)	后验差比值 Posteriori error ratio (C)
优秀 Excellent	> 0.95	< 0.35
合格 Qualified	> 0.80	< 0.50
基本合格 Basically qualified	> 0.70	< 0.65
不合格 Unqualified	≤ 0.70	≥ 0.65

1.2.5 线性组合预测模型 综合上述 4 种模型，对不同的模型赋予适当的权重，构建线性组合预测模型，模型基本表达式为：

$$y_{0t} = W_1y_{1t} + W_2y_{2t} + \dots + W_ny_{nt}$$

式中， y_{0t} 为 t 期的组合预测值； y_{nt} 为 n 种不同单项预测模型在 t 期的预测值； W_n 为相应的 n 种组合权重。模型权重依据组合预测误差的方差最小确定^[5]：

$$W_i = \frac{\frac{1}{Q_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{Q_i}}, (i=1, 2, \dots, n)$$

式中， Q_i 为第 i 种单项预测模型的残差平方和。

1.2.6 模型拟合与预测效果评价 以 2004 年 1 月—2018 年 6 月新疆肺结核发病数拟合模型，预测 2018 年 7—12 月新疆肺结核发病数，并与实际值比较，采用绝对百分比误差 (absolute percentage error, APE)、平均绝对百分比误差 (mean absolute percentage error, MAPE) 和均方根误差 (root mean square error, RMSE) 评价 5 种模型拟合与预测效果，其中 MAPE、RMSE 分为拟合值 (MAPES、RMSES) 和预测值 MAPE (MAPEP、RMSEP)。预测模型的最大 APE 越小，模型越稳定；RMSES、RMSEP、MAPES 和 MAPEP 越小，模型的预测精度越高。表达式如下：

$$APE = \left| \frac{x_t - \hat{x}_t}{x_t} \right| \times 100\%$$

$$MAPES = \left(\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{x_t - \hat{x}_t}{x_t} \right| \right) \times 100\%$$

$$MAPEP = \left(\frac{1}{h} \sum_{t=n}^{n+h} \left| \frac{x_t - \hat{x}_t}{x_t} \right| \right) \times 100\%$$

$$RMSES = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (\hat{x}_t - x_t)^2}$$

$$RMSEP = \sqrt{\frac{1}{h} \sum_{t=n}^{n+h} (\hat{x}_t - x_t)^2}$$

式中， n 为拟合数据集的大小； h 为预测长度； x_t 为实际值； \hat{x}_t 为预测值。

1.3 统计分析 采用 Excel 2010 软件建立数据库，建立线性组合模型，采用 R 4.0.3 软件构建 SARIMA 模型、Holt-Winters 加法模型、Holt-Winters 乘法模型、GM (1, 1) 模型，肺结核发病趋势分析采用 Mann-Kendall 趋势检验。检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 2004—2018 年新疆肺结核发病时间分布 2004 年新疆报告肺结核发病数为 26 421 例，发病率为 142.02/10 万；2018 年报告肺结核发病数 74 548 例，发病率为 304.95/10 万。2017 年以前，肺结核发病较平稳，2018 年肺结核发病数明显升高，2018 年 1 月达到峰值。发病呈现以年为周期的周期性波动，具有明显的季节性，高峰期在 3 月，冬季发病数较低。Mann-Kendall 趋势检验结果显示肺结核发病数呈上升趋势 ($Z=4.985>0$)，见图 1。

2.2 预测模型构建结果

2.2.1 SARIMA 模型构建结果 建立 ARIMA(p, d, q) (P, D, Q)₁₂ 模型，经 1 阶差分平稳化后，结合差分后序列 ACF 与 PACF 值，确定 p 可取 0、1、 P, q, Q 可取 0、1、2，根据 t 检验、Ljung-Box 检验、AIC 和 BIC 最小原则，最终确定 SARIMA (1, 1, 1) (1, 1, 1)₁₂ 为最优模型 ($\chi^2=5.000, P=0.543, AIC=2 542, BIC=2 558$)。采用 SARIMA (1, 1, 1)(1, 1, 1)₁₂ 拟合预测 2004—2018 年肺结核发病数，拟合预测值与实际值吻合程度较好，见图 2。

2.2.2 Holt-Winters 季节指数平滑模型构建结果 采用 2004 年 1 月—2018 年 6 月肺结核发病数据构建 Holt-Winters 季节指数平滑模型，并预测 2018 年 7—9 月发病数。Holt-Winters 加法模型的 3 个平滑系数 α, β 和 γ 分别为 0.282、0.458 和 0.728；Holt-Winters 乘

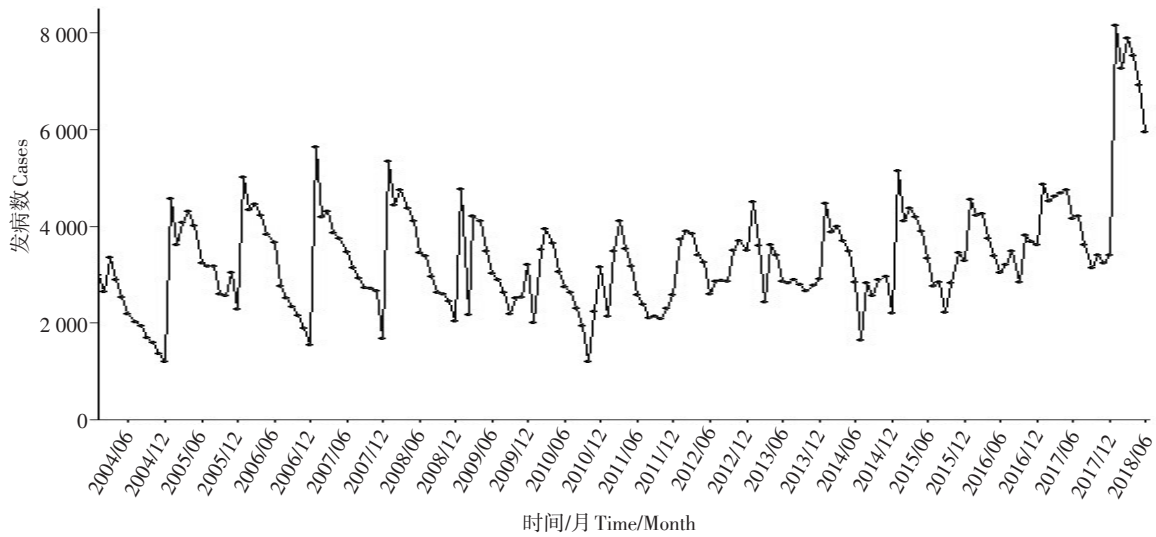


图 1 2004年1月—2018年6月新疆维吾尔自治区肺结核发病时间序列

Figure 1 Time series of pulmonary tuberculosis incidence in Xinjiang Uygur Autonomous Region from January 2004 to June 2018

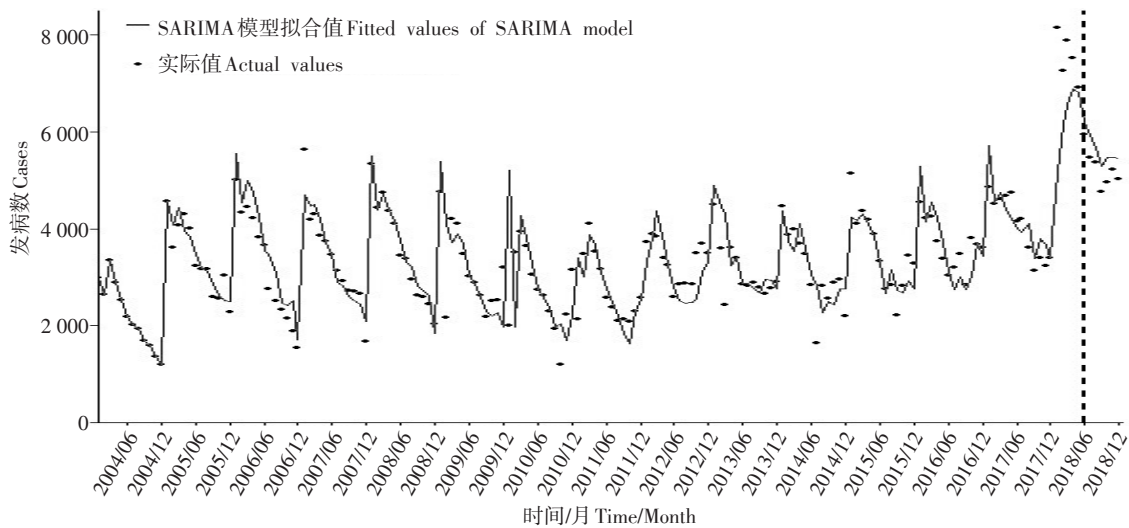


图 2 SARIMA(1, 1, 1)(1, 1, 1)₁₂ 模型拟合预测值

Figure 2 Fitting and prediction of the SARIMA(1, 1, 1)(1, 1, 1)₁₂ model

法模型的 α 、 β 和 γ 分别为 0.201、0.058 和 0.505。根据 AIC、BIC 最小原则，Holt-Winters 加法模型 (AIC=2 126, BIC=2 131) 优于 Holt-Winters 乘法模型 (AIC=2 128, BIC=2 136)。Holt-Winters 乘法模型与 Holt-Winters 加法模型拟合效果均较好；Holt-Winters 乘法模型在拟合阶段拟合值与实际值相差较大，而预测阶段与实际值相差较小；Holt-Winters 加法模型在拟合阶段拟合值与实际值相差较小，而预测阶段与实际值相差较大。见图 3。

2.2.3 GM (1, 1) 模型构建结果 建立预测模型 $X^{(1)}(k+1) = 2\ 990e^{6.834k} - 1\ 011\ 088$ ($k=0, 1, 2, \dots, n$), $P=0.91, C=0.59$, 模型基本合格, 可用于外推预测。

GM (1, 1) 模型拟合值单调递增, 没有周期性特征, 拟合效果较差, 见图 4。

2.2.4 线性组合预测模型构建结果 综合上述 4 种模型, 得到线性组合模型为 $y_0 = 0.385y_{1t} + 0.212y_{2t} + 0.291y_{3t} + 0.109y_{4t}$ 。该模型对 2004 年 1 月—2018 年 6 月肺结核发病数的拟合结果与实际情况相吻合, 效果较好, 见图 5。

2.3 5 种模型预测肺结核发病的效果评价 5 种模型对新疆肺结核发病数的预测结果见表 5。SARIMA (1, 1, 1)(1, 1, 1)₁₂ 模型的预测精度较高, MAPES 和 MAPEP 分别为 11.01% 和 7.96%; APE 最小, 为 10.94%, 模型稳定性较好。线性组合预测模型对肺

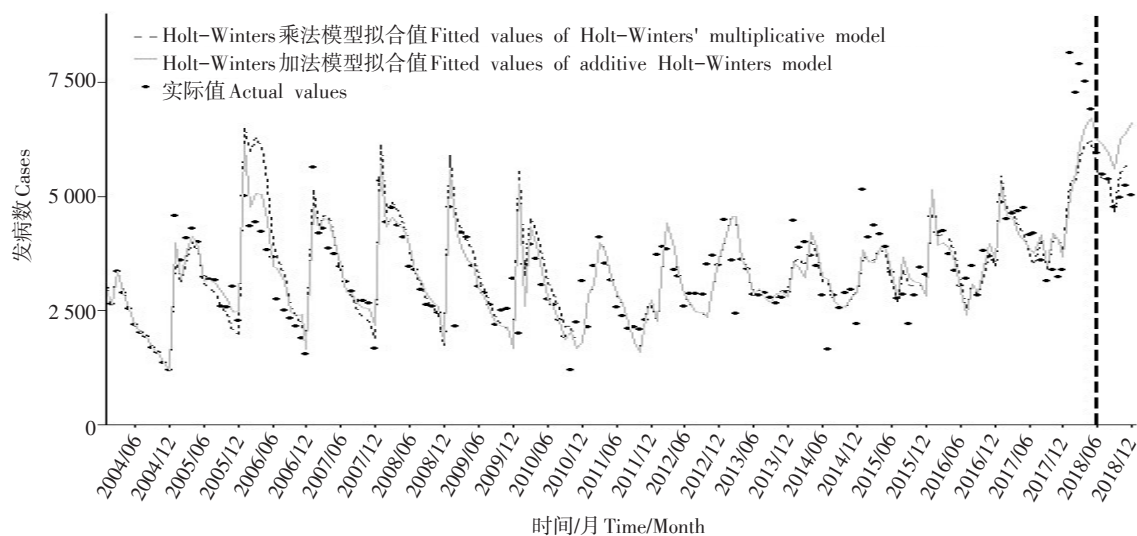


图3 Holt-Winters 季节指数平滑模型拟合预测值

Figure 3 Fitting and prediction of the Holt-Winters seasonal exponential smoothing model

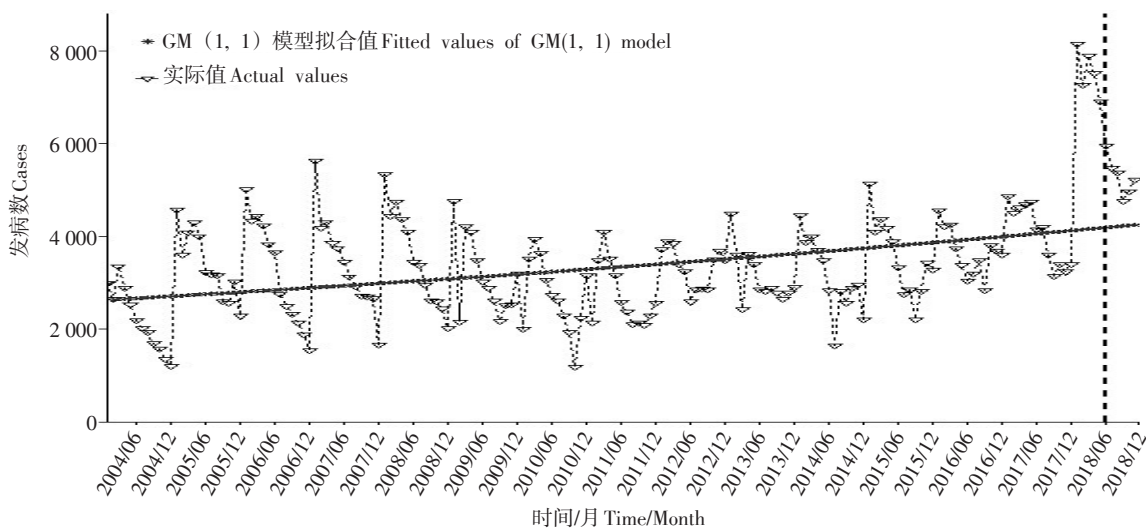


图4 GM(1,1)模型拟合预测值

Figure 4 Fitting and prediction of the GM(1,1) model

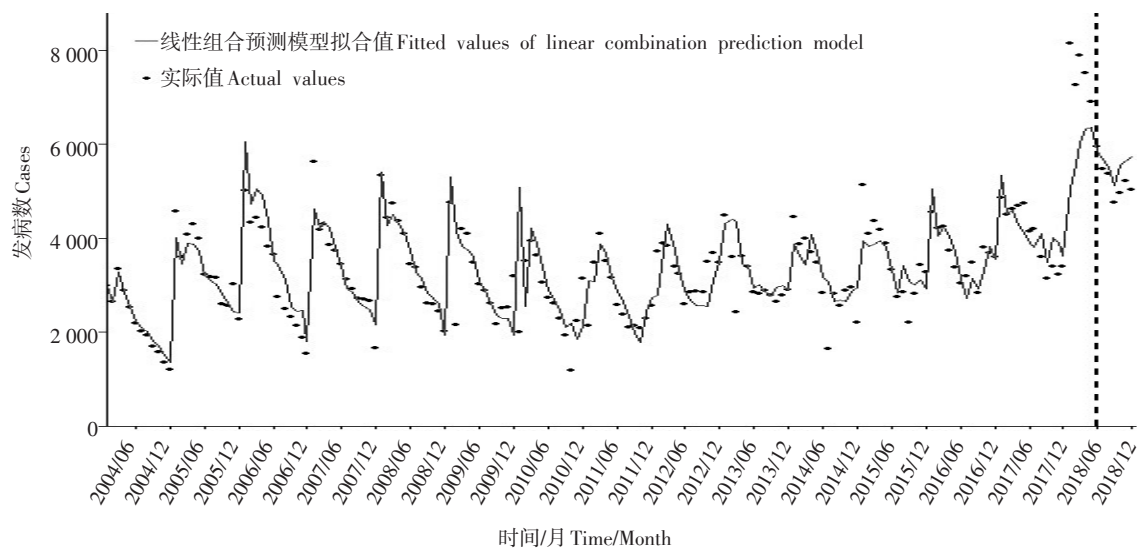


图5 线性组合预测模型拟合预测值

Figure 5 Fitting and prediction of the linear combination prediction model

结核发病数的预测精度仅次于 SARIMA (1, 1, 1) (1, 1, 1)₁₂ 模型, MAPES 和 MAPEP 分别为 12.01% 和 7.94%。虽然 Holt-Winters 乘法模型的 MAPES 和 RMSES 均高于其他模型, 但 MAPEP 和 RMSEP 最低, 说明该模型具有稳定、准确的预测能力。Holt-Winters 加法模型的预测值与实际值偏差较大, MAPEP 和 RMSEP 较高, 即预测精度较低, 对肺结核发病的季节性和非线性趋势的描述能力不足, 不适合预测肺结核发病数。GM (1, 1) 模型拟合预测误差较大, 效果最差。

表 5 5 种时间序列模型对肺结核发病数的预测效果比较
Table 5 Comparison of the effectiveness of five time series models for prediction of pulmonary tuberculosis incidence

模型 Model	APE/%	MAPES/ %	MAPEP/ %	RMSES	RMSEP
SARIMA 模型	10.94	11.01	7.96	564	419
Holt-Winters 乘法模型 Multiplicative model	14.12	15.75	4.80	801	416
Holt-Winters 加法模型 Addition model	31.40	13.87	19.86	676	1 073
GM (1, 1)模型	23.25	26.58	17.46	1 063	942
线性组合预测模型 Linear combination pre- diction model	13.71	12.01	7.94	600	447

3 讨论

本研究比较 SARIMA 模型、Holt-Winters 加法模型、Holt-Winters 乘法模型、GM (1, 1)模型和线性组合预测模型对 2018 年 7—12 月新疆肺结核发病数的预测效果, 发现 SARIMA(1, 1, 1)(1, 1, 1)₁₂ 模型可以较好地拟合新疆肺结核月发病数, 预测精度较高 (MAPEP=7.96%, RMSEP=419), 模型较稳定 (APE=10.94%)。SARIMA 模型可通过分析每个季节周期内同时间点的序列值及其变化趋势, 分别提取时间序列的季节成分和非季节成分对未来值进行预测, 具有较高的短期预测精度 [6]。傅颖等 [7] 也发现 SARIMA 模型可应用于肺结核月发病数的短期预测。

Holt-Winters 乘法模型虽然拟合阶段的 MAPE 和 RMSE 值均高于其他 4 个模型, 但预测阶段的 MAPE 和 RMSE 值最低 (MAPE=4.8%, RMSE=416), 提示该模型具有对肺结核发病进行建模的潜力, 这与使用该模型预测丙型肝炎 [8]、流行性感冒 [9-10] 等传染病的研究结论一致。Holt-Winters 加法模型的拟合值、

预测值与实际值的偏差较大, 拟合与预测精度较低, 这可能是因为指数平滑模型应用的前提是趋势外延性, 当肺结核发病数保持较长时间的稳定后, 突然出现上升或下降趋势, 指数平滑模型就难以适应, 因此不适用于拟合预测有突然波动的肺结核发病数据。

GM (1, 1)模型实际为指数曲线, 对线性变化数据的处理能力较强, 用于建模数据量较小的研究 [11]。官陈平等 [12] 利用 GM (1, 1)模型预测福州市肺结核的发病趋势, 平均相对误差为 4.416, 模型拟合精度较好。但 GM (1, 1)模型更适用于拟合单调递增或递减的序列, 新疆肺结核发病波动较大, 影响因素多, 其流行曲线并非随时间呈线性变化, 因此拟合精度欠佳。

任何一个模型都是对实际系统的简化和抽象, 所包含的变量十分有限, 组合预测模型可以充分利用各种单一预测模型提供的信息, 达到提高预测精度, 增强预测稳定性的目的, 具有较好适应未来预测环境变化的能力。线性组合预测模型在拟合预测阶段与肺结核发病实际值吻合良好 (MAPEP=7.94%, RMSEP=447), 可作为次优预测模型。

此外, 研究发现 5 种模型的拟合和预测主要在 1 月和 12 月产生偏差, 可能是因为 1 月为肺结核发病高峰, 12 月为肺结核发病低谷, 发病数波动较大, 导致拟合预测效果不佳。

由于本研究仅采用单一的时间序列模型, 若外界影响因素突然变化或引入新的变量, 比如气温、室外活动量、人群聚集情况等 [13], 都会影响模型的预测效果。因此, 纳入气象、地理、人口密集程度等对肺结核发病有影响的因素构建组合模型或多元时间序列模型 [14], 可能会得到更准确的预测结果, 值得进一步研究探讨。

参考文献

[1] BROWN J S, BATESON T F, MCDONNELL W F. Effects of exposure to 0.06 ppm ozone on FEV1 in humans: a secondary analysis of existing data [J]. Environ Health Perspect, 2008, 116 (8): 1023-1026.
[2] 赵棋锋, 马珊珊, 王吉玲, 等. 指数平滑法与 ARIMA 模型对流感样病例流行趋势的预测效果比较 [J]. 预防医学, 2020, 32 (4): 381-383, 387.
ZHAO Q F, MA S S, WANG J L, et al. Comparison of exponential smoothing method and ARIMA model on epidemic trends in influenza-like cases [J]. Prev Med, 2020, 32 (4): 381-383, 387.
[3] 孙振球. 医学统计学 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 2005: 461.
SUN Z Q. Medical Statistics [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2005: 461.
[4] 徐国祥. 统计预测和决策 [M]. 上海: 上海财经大学出版社,

- 2012: 164.
- XU G X. Statistical forecasting and decision making [M]. Shanghai: Shanghai University of Finance and Economics Press, 2012: 164.
- [5] 刘超, 孟园园, 张庆雯. 手足口病发病预测 4 种时间序列预测模型比较 [J]. 中国公共卫生, 2022, 38 (2): 218-223.
- LIU C, MENG Y Y, ZHANG Q W. Comparison of four time series prediction models for the incidence of hand-foot-and-mouth disease [J]. Chin J Public Health, 2022, 38 (2): 218-223.
- [6] 竺盛波, 沈妙儿, 周聪盛, 等. 奉化区缺血性脑卒中发病季节的 SARIMA 模型预测 [J]. 预防医学, 2018, 30 (2): 176-178, 181.
- ZHU S B, SHEN M E, ZHOU C S, et al. SARIMA model prediction of ischemic stroke season in Fenghua area [J]. Prev Med, 2018, 30 (2): 176-178, 181.
- [7] 傅颖, 张晓龙, 蒋骏, 等. SARIMA 模型在苏州市肺结核发病预测中的应用 [J]. 中国热带医学, 2020, 20 (4): 339-342.
- FU Y, ZHANG X L, JIANG J, et al. Application of SARIMA model in the prediction of tuberculosis incidence in Suzhou [J]. Chin J Trop Med, 2020, 20 (4): 339-342.
- [8] 张鲁玉, 孙亮, 马兰, 等. SARIMA 模型和 Holt-Winters 模型在我国丙肝月报告发病人数预测中的应用比较 [J]. 现代预防医学, 2020, 47 (21): 3855-3858, 3951.
- ZHANG L Y, SUN L, MA L, et al. Comparison of SARIMA model and Holt-winters model in the prediction of the number of reported cases of hepatitis C in China [J]. Mod Prev Med, 2020, 47 (21): 3855-3858, 3951.
- [9] 汪鹏, 彭颖, 杨小兵. ARIMA 模型与 Holt-Winters 指数平滑模型在武汉市流感样病例预测中的应用 [J]. 现代预防医学, 2018, 45 (3): 385-389.
- WANG P, PENG Y, YANG X B. Application of ARIMA model and Holt-Winters exponential smoothing model in the prediction of influenza-like cases in Wuhan [J]. Mod Prev Med, 2018, 45 (3): 385-389.
- [10] 赵棋锋, 马珊珊, 王吉玲, 等. 指数平滑法与 ARIMA 模型对流感样病例流行趋势的预测效果比较 [J]. 预防医学, 2020, 32 (4): 381-383, 387.
- ZHAO Q F, MA S S, WANG J L, et al. Comparison of the effect of exponential smoothing method and ARIMA model on the prediction trend of influenza-like cases [J]. Prev Med, 2020, 32 (4): 381-383, 387.
- [11] 刘天, 王芸, 姚梦雷, 等. GM (1, 1) 灰色模型、马尔可夫链模型及其组合模型和 SARIMA 模型在甲肝发病数预测中的应用效果比较 [J]. 华南预防医学, 2019, 45 (2): 128-132.
- LIU T, WANG Y, YAO M L, et al. Comparison of the application effect of GM (1, 1) grey model, Markov chain model and its combination model and SARIMA model in predicting the incidence of hepatitis A [J]. South China J Prev Med, 2019, 45 (2): 128-132.
- [12] 官陈平, 傅发源, 王依妹, 等. 灰色预测模型 GM (1, 1) 在肺结核发病趋势预测中的应用 [J]. 医学动物防制, 2021, 37 (10): 931-935.
- GUAN C P, FU F Y, WANG Y M, et al. Application of grey predictive model GM (1, 1) in prediction of pulmonary tuberculosis incidence trend [J]. Med Anim Control, 2021, 37 (10): 931-935.
- [13] 张伟文, 贺湘焱, 古丽娜扎尔·艾克拜尔, 等. 季节时间序列分析在新疆地区涂阳结核疫情预测预警中的应用 [J]. 实用预防医学, 2019, 26 (1): 26-29.
- [14] 王华, 田昌伟, 王文明, 等. 应用 SARIMA-GRNN 组合模型分析肺结核流行的季节性特征 [J]. 预防医学, 2019, 31 (1): 55-58.
- WANG H, TIAN C W, WANG W M, et al. Application of SARIMA-GRNN combination model to analyze the seasonal characteristics of tuberculosis epidemic [J]. Prev Med, 2019, 31 (1): 55-58.

收稿日期: 2022-07-06 修回日期: 2022-10-21 本文编辑: 徐文璐