

文章编号: 1674—8247(2024)05—0083—04

DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2024.05.014

基于改进灰色预测模型的铁路客运量预测研究

杨 飞

(中铁工程设计咨询集团有限公司, 北京 100055)

摘 要:为提高灰色预测模型在铁路客运量预测的精度,提出对样本数据的累加生成序列进行函数拟合,再通过求其函数定积分的方法来改进灰色预测模型背景值,并以上海市铁路客运量预测为研究对象,验证灰色预测模型的改进效果。研究表明,通过对累加生成序列进行函数求拟合,并求其定积分计算背景值的灰色预测模型具有更好的预测精度,相比于传统方法和指数函数积分法,改进方法得到背景值的平均相对预测误差减少 0.097%、0.183%。

关键词:灰色模型;背景值改进;函数拟合;铁路客运量;预测

中图分类号:U293.1

文献标志码:A

Study on Railway Passenger Volume Forecast Based on an Improved Grey Forecasting Model

YANG Fei

(China Railway Engineering Design Consulting Group Co., Ltd., Beijing 100055, China)

Abstract: To enhance the accuracy of grey forecasting models in forecasting railway passenger volume, this study proposed fitting the accumulated generating sequence of sample data with a function, followed by determining its definite integral to improve the background value within the grey forecasting model. With Shanghai's railway passenger volume serving as the subject of investigation, the efficacy of the enhanced grey forecasting model was verified. The results indicate that a grey forecasting model incorporating functional fitting of the accumulated generating sequence and the calculation of background values through definite integration exhibits superior forecast precision. Compared to conventional methods and the exponential integral approach, the proposed improvement yields average relative forecasting errors for background values reduced by 0.097% and 0.183% respectively.

Key words: grey model; background value improvement; function fitting; railway passenger volume; forecast

灰色预测模型对于数据量较小且规律不明显的样本数据具有非常好的预测效果,被广泛应用于农业、交通、经济等领域的预测。近年来,学者们针对灰色预测模型的运用及改进得到了丰富的研究成果。都晓艺^[1]基于新信息优先原理对 GM(1, N) 初始值进行优化,并将其应用于生活垃圾产量预测;黎湛明^[2]应用

更高次的柯特斯公式对灰色预测模型的背景值进行改进,将其应用于车站地下施工沉降数据预测;缪燕子^[3]等分析了背景值函数的几何意义,提出结构相容性的背景值改进方法;张丽洁^[4]等通过黄金分割思想和抛物线插值方法对灰色预测背景值进行改进,并应用于高校教师人数预测;杨建文^[5]提出了一种基于非齐

收稿日期:2023-04-01

作者简介:杨飞(1995-),男,工程师。

引文格式:杨飞. 基于改进灰色预测模型的铁路客运量预测研究[J]. 高速铁路技术, 2024, 15(5): 83-86.

YANG Fei. Study on Railway Passenger Volume Forecast Based on an Improved Grey Forecasting Model[J]. High Speed Railway Technology, 2024, 15(5): 83-86.

次指数函数求积分的方法来构造背景值;有学者基于新信息优先原理及信息充分利用原理对灰色预测初始值进行改进,并将其应用于航空货运量预测;姜永杰^[6]将灰色预测模型与神经网络相结合,应用于边坡变形预测领域。目前灰色预测模型的改进方法研究主要针对两个方面,其一是改进灰色预测初始值,即改进灰色序列的生成方法;其二是改进灰色预测背景值的取值方法,即改进紧邻均值序列的生成方法。周清^[7]等总结了学者们关于灰色预测背景值改进的3种方法,分别是区间面积和重构背景值、背景值最佳生成系数、积分法构建背景值。

积分法构建背景值时,考虑累加生成序列的增长规律和方便求解函数定积分,学者们将灰色预测累加生成序列视为以 e 为底的指数函数,并求解其定积分以构造背景值。但实际上,不同研究对象的样本数据序列呈现不同规律,累加后的数据序列并不一定是以 e 为底的指数函数增长趋势,用此法构造背景值仍然会造成一定的误差,甚至导致预测效果更差。因此,本文基于积分法构建背景值的思想,提出针对不同研究对象,对其累加生成序列进行函数拟合,使用拟合的函数求解定积分,以改进通过求解指数函数定积分构造灰色预测背景值的取值方法,并将该方法应用于铁路客运量预测领域。

1 GM(1,1)预测模型

GM(1,1)模型表示用1阶微分方程对1个变量建立灰色预测模型,具有无需大量数据样本,短期预测效果好,运算过程简单等特点。GM(1,1)模型具体预测过程如下^[8-12]:

设原始时间序列为 $x^{(0)} = (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n))$,做一次累加生成(1-AGO):

$$x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i) \quad (k = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

根据式(1)得到累加生成序列: $x^{(1)} = (x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n))$ 。

对一次累加生成序列构建白化微分方程:

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = b \quad (2)$$

式中: a, b ——白化微分方程参数。

生成紧邻均值序列:

$$Z^{(1)}(k) = \frac{1}{2} (x^{(1)}(k-1) + x^{(1)}(k)) \quad (3)$$

构建矩阵 B 与向量 Y ,利用最小二乘法求解参数

a, b :

$$[a, b]^T = (B^T B)^{-1} B^T Y \quad (4)$$

其中:

$$B = \begin{bmatrix} -Z^{(1)}(2) & 1 \\ -Z^{(1)}(3) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -Z^{(1)}(n) & 1 \end{bmatrix} \quad Y = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix} \quad (5)$$

综上,求解白化微分方程得:

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = \left(x^{(0)}(1) - \frac{b}{a} \right) e^{-ak} + \frac{b}{a} \quad (6)$$

对式(6)做累减还原,得到原始数据的预测值:

$$\hat{x}^{(0)}(k+1) = \hat{x}^{(1)}(k+1) - \hat{x}^{(1)}(k) \quad (7)$$

2 灰色预测模型背景值改进方法

2.1 背景值改进方法

积分法计算背景值的公式^[7]为:

$$Z^{(1)}(k) = \int_{k-1}^k x^{(1)}(k) dk \quad (8)$$

由式(3)可知,灰色预测背景值传统计算方法是图1中 $k-1, k, x^{(1)}(k-1), x^{(1)}(k)$ 所构成的梯形面积近似代替式(8)的积分值。此法计算过程中会存在图中阴影部分面积的误差,影响灰色模型的预测精度。

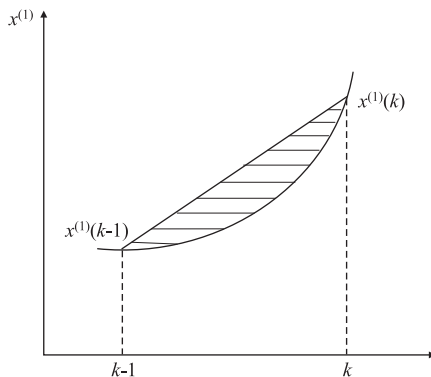


图1 背景值误差来源图

为消除阴影部分的误差,有学者将 $x^{(1)}(k)$ 视为以 e 为底的指数函数,即:

$$x^{(1)}(k) = B \times e^{Ak} \quad (9)$$

式中, B, A 为指数函数的参数。

基于式(8)计算式(9)的定积分,有:

$$Z^{(1)}(k) = \int_{k-1}^k B \times e^{Ak} dk = \frac{x^{(1)}(k) - x^{(1)}(k-1)}{\ln x^{(1)}(k) - \ln x^{(1)}(k-1)} \quad (10)$$

明显可见,以 e 为底的指数函数进行定积分计算背景值具有单一适应性的缺点。若 $x^{(1)}(k)$ 属于指数函数的分布规律,则式(10)具有计算简单且预测精度

高的优点,但实际研究中 $x^{(1)}(k)$ 并不一定严格服从以 e 为底的指数函数的分布规律;若 $x^{(1)}(k)$ 的分布属于其他函数的分布规律,则式(10)计算背景值的方法仍然存在不小的误差,甚至预测结果的精度较传统背景值的计算方法更差。

为解决这一问题,本文提出将累加生成序列 $x^{(1)}$ 的数据序列进行函数拟合,选择拟合效果最好的函数记为 $f(k)$,再对其求定积分得到背景值更准确的构造值,即:

$$Z^{(1)}(k) = \int_{k-1}^k f(k) dk \quad (11)$$

式(11)可以根据不同累加生成序列 $x^{(1)}$ 中的数据序列特点拟合出其函数分布规律,求出不同分布规律下更精确的背景值,弥补以 e 为底的指数函数进行定积分计算背景值单一适应性的缺点。

2.2 基于灰色预测模型背景值改进的铁路客运量预测方法

应用背景值改进的灰色预测模型进行铁路客运量预测的具体步骤有:

步骤1:将一组铁路客运量数据 $x^{(0)}$ 进行累加,得到累加生成序列 $x^{(1)}$ 。

步骤2:将累加生成序列 $x^{(1)}$ 进行函数拟合,选择拟合效果最好的函数 $f(k)$ 。

步骤3:根据式(11)对函数 $f(k)$ 求其在 $k-1 \sim k$ 的定积分,计算 $Z^{(1)}(k)$ 。

步骤4:根据式(4)~式(7)运用灰色预测模型对铁路客运量进行预测。

3 实例研究

以上海市2004—2016年铁路客运量数据为训练样本,以2017—2019年客运量为测试样本进行预测,通过MATLAB2019编程仿真实现灰色预测过程。

3.1 改进背景值计算

将上海市2004—2016年铁路客运量数据进行累加,对累加生成序列进行拟合发现其属于二次多项式函数分布,如图2所示,拟合 $R^2=0.9992$,可见拟合效果非常好,拟合函数为:

$$f(k) = 288.0769k^2 + 2512.0879k + 2282.9231 \quad (12)$$

令 $a=288.0769$ 、 $b=2512.0879$ 、 $c=2282.9231$,则求定积分有:

$$\begin{aligned} Z^{(1)}(k) &= \int_k^{k+1} f(k) dk = \\ &= \int_k^{k+1} ak^2 + bk + c dk = \end{aligned} \quad (13)$$

$$ak^2 + bk + c + ak + \frac{a}{3} + \frac{b}{2}$$

对比式(13)与式(10)可知, $x^{(1)}(k)$ 属于二次多项式分布时背景值的积分法计算结果与其属于指数函数规律差异非常大。由图2可知,本文研究对象的样本累加生成数据序列是二次多项式函数的拟合效果,较指数函数分布规律更好。

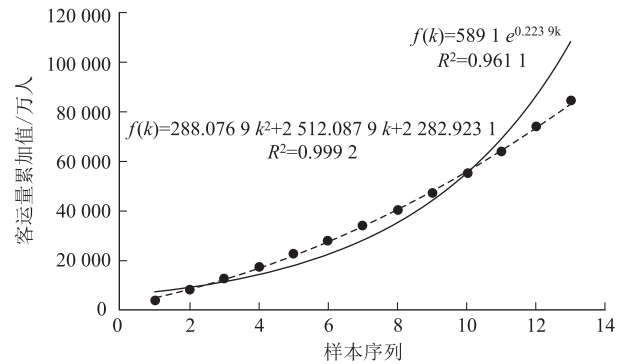


图2 累加生成序列函数拟合效果图

3.2 基于灰色预测模型背景值改进的铁路客运量预测

为了对比本文提出的“对样本数据的累加生成序列进行函数拟合,再通过求其函数定积分的方法来改进背景值”计算方法的精确性,将其与传统背景值计算方法(式(3))和指数函数积分法(式(10))的灰色模型预测效果对比,预测结果如图3~图5所示。

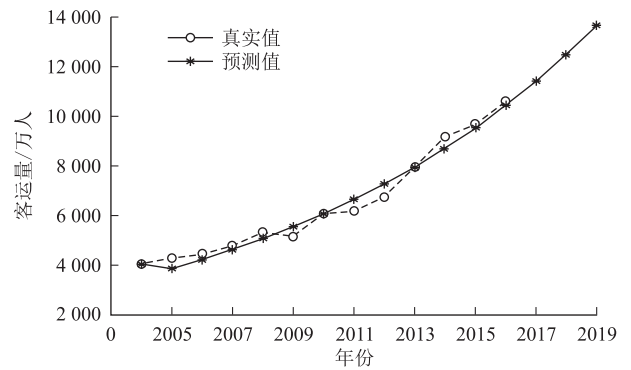


图3 传统背景值构造方法预测结果图

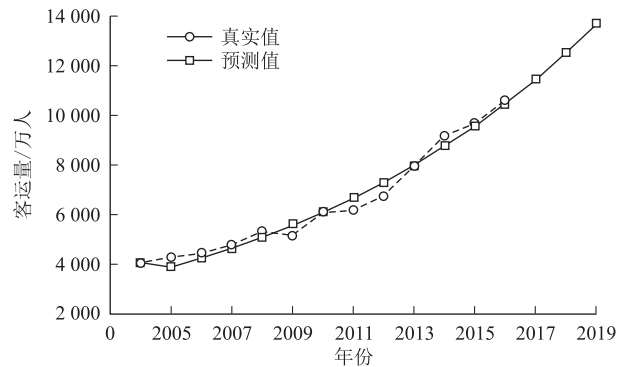


图4 指数函数积分法构造背景值预测结果图

不同背景值构造方法下,灰色预测模型 2017—2019 年测试样本的预测结果及误差如表 1 所示。

表 1 不同背景值的灰色模型预测结果表

年份	客运量实际值 /万人	传统背景值构造方法		指数函数积分法构造背景值		二次多项式函数积分法构造背景值	
		预测值/万人	预测相对误差 绝对值/%	预测值/万人	预测相对误差 绝对值/%	预测值/万人	预测相对误差 绝对值/%
2017	11 617	11 433	1.584	11 463	1.326	11 422	1.678
2018	12 267	12 511	1.992	12 543	2.249	12 492	1.835
2019	12 834	13 691	6.681	13 725	6.940	13 662	6.454

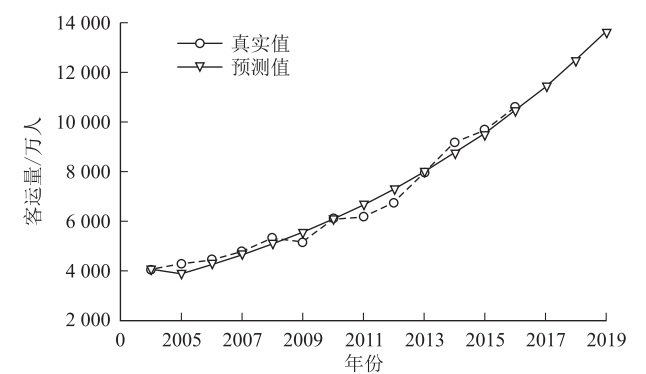


图 5 二次多项式函数积分法构造背景值预测结果图

后通过积分法构造背景值”的方法具有更高的预测精度,2017—2019 年平均预测相对误差较传统背景值构造方法和指数函数积分法构造背景值的相对预测误差分别减少 0.097%、0.183%。

(2)指数函数积分法构造背景值的预测结果相比于传统背景值构造方法预测效果更差,2017—2019 年平均预测相对误差高了 0.086%,这是因为累加生成序列并不是呈指数函数增长规律,因此该方法计算背景值的预测误差更大。

(3)不同背景值构造方法下,灰色预测模型的预测效果有一定的差异,但差距不大,这也足以证明灰色预测模型中,传统背景值的构造方法具有较好的预测精确性和稳定性。

4 结论

本文针对指数函数积分法构造背景值单一适应性的缺点,提出对样本数据的累加生成序列进行函数拟合,再通过求其函数定积分的方法来改进灰色预测模型背景值,并将其应用于铁路客运量预测领域。得到主要结论如下:

(1)相比于传统背景值构造方法和指数函数积分法构造背景值方法,提出灰色预测模型背景值的改进方法具有更好的预测精度。

(2)指数函数积分法计算背景值的预测效果具有一定的单一性。当数据样本的累加生成序列符合指数

由图 3~图 5 及表 1 可知:
(1)本文提出的“对累加生成序列进行函数拟合

增长规律时具有非常好的预测效果,但对于非指数增长型的累加生成序列,预测效果不太理想,甚至较传统背景值计算方法的预测效果更差。

参考文献:

[1] 都晓艺. 基于初始值与背景值双重优化的 GM(1, N) 幂模型构建研究[D]. 无锡: 江南大学, 2022.
DU Xiaoyi. Research on Construction of a New GM(1, N) Power Model Based on Double Optimization of Initial Value and Background Value[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2022.

[2] 黎湛明. 基于背景值优化改进的灰色沉降预测模型研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2022, 45(12): 243-244, 249.
LI Zhanming. Research on Grey Subsidence Prediction Model Based on Optimization and Improvement of Background Value[J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2022, 45(12): 243-244, 249.

[3] 缪燕子, 王志铭, 李守军, 等. 基于背景值和结构相容性改进的多维灰色预测模型[J]. 自动化学报, 2022, 48(4): 1079-1090.
MIAO Yanzi, WANG Zhiming, LI Shoujun, et al. Improved Multi-Dimensional Grey Prediction Model Based on Background Value and Structural Compatibility[J]. Acta Automatica Sinica, 2022, 48(4): 1079-1090.

[4] 张丽洁, 沙秀艳, 尹传存, 等. 基于变权优化背景值改进的 GM(1, 1) 灰色预测模型及其应用[J]. 计算机与现代化, 2021(1): 1-6, 27.
ZHANG Lijie, SHA Xiuyan, YIN Chuancun, et al. Improved GM(1, 1) Grey Prediction Model Based on Background Value of Variable Weight Optimization and Its Application[J]. Computer and Modernization, 2021(1): 1-6, 27.

[5] 杨建文, 杨德宏, 罗文生. 基于非齐次指数函数的灰色预测模型背景值重构方法研究[J]. 工程勘察, 2014, 42(7): 64-68.
YANG Jianwen, YANG Dehong, LUO Wensheng. Study on the Reconstructed Method of Background Value in Gray Predictive Model Based on Non-homogeneous Exponential Function[J]. Geotechnical Investigation & Surveying, 2014, 42(7): 64-68.

[6] 姜永杰, 张书豪, 吴光, 等. 基于灰色系统及 BP 神经网络算法的边坡变形预测精确度影响分析[J]. 高速铁路技术, 2020, 11(5): 13-19.
JIANG Yongjie, ZHANG Shuhao, WU Guang, et al. Influence Analysis of Slope Deformation Prediction Accuracy Based on Grey System and BP Neural Network Algorithm[J]. High Speed Railway Technology, 2020, 11(5): 13-19.

(下转第 112 页)

- on Slopes[D]. Changsha: Central South University, 2008.
- [13] 魏栋华, 许多, 曹云勇. 识别隐伏岩溶的魏格纳-威尔分布改进方法[J]. 地球物理学进展, 2020, 35(6): 2397-2401.
- WEI Donghua, XU Duo, CAO Yunyong. Hidden Karst Identification with Modified Wigner-Ville Distribution Method[J]. Progress in Geophysics, 2020, 35(6): 2397-2401.
- [14] 魏栋华. 地震映像高精度时频分析方法在铁路隧底隐伏岩溶识别中的应用研究[J]. 物探化探计算技术, 2023, 45(1): 46-52.
- WEI Donghua. Application of Seismic Image High-precision Time-frequency Analysis Method in Identification of Hidden Karst at the Bottom of Railway Tunnel[J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2023, 45(1): 46-52.
- [15] 唐宇豪, 魏栋华, 索朗, 等. 地震映像法和地质雷达法在铁路隧底岩溶探测中的应用[J]. 工程地球物理学报, 2021, 18(5): 665-670.
- TANG Yuhao, WEI Donghua, SUO Lang, et al. Application of Seismic Imaging Method and Ground Penetrating Radar Method in Karst Detection at the Bottom of Railroad Tunnels[J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2021, 18(5): 665-670.
- [16] 许强. 对地质灾害隐患早期识别相关问题的认识与思考[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2020, 45(11): 1651-1659.
- XU Qiang. Understanding and Consideration of Related Issues in Early Identification of Potential Geohazards[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2020, 45(11): 1651-1659.
- [17] TB 10005-2010 铁路混凝土结构耐久性设计规范[S].
- TB 10005-2010 Durability Design Code for Railway Concrete Structures[S].
- [18] 齐永正, 张航, 马文刚, 等. 复杂工况土质边坡的失稳破坏特征[J]. 科学技术与工程, 2023, 23(14): 6190-6196.
- QI Yongzheng, ZHANG Hang, MA Wengang, et al. Characteristics of Soil Slope Collapse under Complex Conditions[J]. Science Technology and Engineering, 2023, 23(14): 6190-6196.
- [19] 周孝鑫, 谭钦文, 林志果, 等. 京广铁路 K1219 路基土质边坡深层滑移失稳机制与整治对策[J]. 地质科技通报, 2022, 41(6): 85-94.
- ZHOU Xiaoxin, TAN Qinwen, LIN Zhiguo, et al. Deep Sliding Instability Mechanism and Remediation Measures: The Subgrade Soil Slope along the Jingguang Railway at K1219[J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 2022, 41(6): 85-94.
- [20] 连继峰, 罗强, 蒋良滩, 等. 雨水浸润软化下路基土质边坡浅层稳定分析[J]. 铁道学报, 2017, 39(4): 101-108.
- LIAN Jifeng, LUO Qiang, JIANG Liangwei, et al. Stability Analysis of Shallow Soil Slope under Effect of Rainfall Infiltration[J]. Journal of the China Railway Society, 2017, 39(4): 101-108.

(上接第86页)

- [7] 周清, 王奉伟. 灰色预测模型背景值改进方法比较分析[J]. 东华理工大学学报(自然科学版), 2015, 38(2): 231-234.
- ZHOU Qing, WANG Fengwei. Comparison and Analysis of Background Value Optimization for Grey Prediction Model[J]. Journal of East China Institute of Technology (Natural Science), 2015, 38(2): 231-234.
- [8] 严雪晴. 基于灰色模型的广州港吞吐量预测[J]. 天津航海, 2023(1): 28-30.
- YAN Xueqing. The Throughput Forecasting of Guangzhou Port Based on Grey Model[J]. Tianjin of Navigation, 2023(1): 28-30.
- [9] 邢笑琦, 刘海峰. 基于灰色预测模型对J省大病保险基金的现状分析[J]. 内蒙古科技与经济, 2022(22): 57-60.
- XING Xiaoqi, LIU Haifeng. Analysis on the Current Situation of Serious Illness Insurance Fund in J Province Based on Grey Prediction Model[J]. Inner Mongolia Science Technology & Economy, 2022(22): 57-60.
- [10] 徐庆儒. 基于灰色预测模型的农村居民人均可支配收入预测研究[J]. 农业与技术, 2022, 42(18): 171-174.
- XU Qingru. Study on the Prediction of Rural Residents' Per Capita Disposable Income Based on Grey Prediction Model[J]. Agriculture and Technology, 2022, 42(18): 171-174.
- [11] 柴乃杰, 周文梁. 基于无偏灰色组合动态模型的铁路客运量预测研究[J]. 铁道标准设计, 2023, 67(2): 10-15.
- CHAI Naijie, ZHOU Wenliang. Research on Forecasting Railway Passenger Flow Based on Unbiased-gray Combined and Dynamic Model[J]. Railway Standard Design, 2023, 67(2): 10-15.
- [12] 潘丽, 李林. 基于灰色马尔科夫模型的上海铁路客运量预测[J]. 物流科技, 2019, 42(3): 99-102.
- PAN Li, LI Lin. Passenger Traffic Forecast of Shanghai Railway Based on Grey Markov Model[J]. Logistics Sci-Tech, 2019, 42(3): 99-102.