鲁东大学学报(自然科学版)
Journal of Ludong University(Natural Science Edition) 2022,38(1):50—56

基于灰色马尔可夫模型的烟台市铁路客运量预测研究

彭丽洁,邵喜高,黄万明

(鲁东大学 数学与统计科学学院,山东 烟台 264039)

摘要:铁路客运量能够反应所在省市的人口流动量,是铁路经济效益计算的重要基础。本文将传统的灰色预测 GM(1,1)模型与马尔可夫链状态转移矩阵相结合,建立灰色马尔可夫预测模型,对2020—2024年烟台市铁路客运量进行预测。结果表明:所建立的模型实现了灰色预测模型和马尔可夫链的优势互补;将灰色预测模型与灰色马尔可夫模型进行对比,后者预测精度更高,模型参考价值得到有效提升,为烟台市铁路各线路计划的制定、掌握铁路客运量发展规律提供理论参考和数据支撑。

关键词:铁路客运量;灰色预测模型;马尔可夫链

中图分类号:O213.9 文献标志码:A 文章编号:1673-8020(2022)01-0050-07

铁路客运量能够反映所在地区经济增长的速度、人口密集程度和外来人口的流动密度。根据烟台市统计公报数据,铁路运输在铁路、公路和航空三大运输方式中占据重要作用,是旅客长途出行的首选方式。在国民经济中,铁路发挥着强有力的运送作用,落后的铁路运输会成为经济增长的瓶颈,而完善的铁路运输方式有利于该地区发展。铁路客运基础设施与客运量严重不相符,会导致铁路设施功能发挥不足[1—2]。

随着各种运输方式的不断发展,我国旅客运输市场的竞争日趋激烈。因此,掌握铁路客运量发展规律,合理配置铁路资源,可以为铁路工作者实施计划方案提供有效参考。

铁路客流量的有效预测能够更好地帮助工作人员疏通人流量,保证各线路有条不紊地运行,因此,关于铁路客运量预测方面的相关研究较多。Godfrey 等[3]应用指数平滑法模型对铁路客运量进行预测,但研究方法较为单一,未能融合组合模型的优势。尚庆松等[4]采用灰色马尔可夫预测模型对兰州站非高峰期的铁路客流量进行预测,预测结果较接近实际值。刘阳等[5]利用2005—2019年的全国铁路客运量数据,分别用 ARIMA 乘积季节模型和小波神经网络对2017—2019年全国铁路客运量数据进行拟合与误差分析,结果表明 ARIMA 乘积季节模型的拟合精度较高。刘琳玥[6]利用主成分分析和 BP 神经网络,提出基于 PCA-BP 神经网络的铁路客运量预测模型。郝军章等[7]利用2007年1月至2014年11月的全国铁路客运量数据,建立季节时间序列 SARIMA 模型进行预测,利用实例验证模型具有较强预测能力。冯冰玉等[8]结合灰色理论和 RBF 神经网络的特性,对铁路客流量进行预测,研究表明灰色 RBF 神经网络模型对客流量具有良好的预测性。彭珍瑞等[9]提出了基于最小二乘支持向量机(LS-SVM)的铁路客运量预测方法,利用1985—1999年客运量数据,建立 LS-SVM 客运量预测模型并用于实际预测。彭辉等[10]通过建立多元线性回归模型预测西宁市铁路客运量,验证所得模型有良好的预测效果。

以上研究大多采用常见的统计预测方法,结合铁路客运量变化趋势进行建模分析,有效提高了预测精确性。然而,实际应用中模型的预测精度一般较低。本文基于灰色预测模型,对2020—2024年烟台市铁路客运量进行灰色预测,根据数据波动的不确定性预计波动幅度,采用马尔可夫模型弥补灰色预测

收稿日期:2021-04-01;修回日期:2021-10-30

基金项目:山东省社会科学规划研究项目(20CSDJ10)

第一作者简介:彭丽洁(1997—),女,甘肃白银人,硕士研究生,研究方向为应用统计、纵向数据分析。E-mail:penglij@163.com

通信作者简介:邵喜高(1978—),男,山东莱阳人,硕士研究生导师,博士,研究方向为应用统计、纵向数据分析。E-mail:shaoxg1011@163.com

过程存在的不足，并通过比较修正后的结果科学预测烟台市未来 5 年的铁路客运量。

1 灰色预测模型理论

1.1 GM(1,1) 模型

灰色预测是利用不规则的无序的时间序列数据构造灰色预测模型，预测未来所要研究的数据，而该数据对于决策者实施方案有重大意义[1]。在运用灰色预测时，GM(1,1) 模型是最常见的研究模型，具体建模过程如下：

给定观测数据列 $x^{(0)}=\{x^{(0)}(1),x^{(0)}(2),\cdots,x^{(0)}(N)\}$，经一次累加，得 $x^{(1)}=\{x^{(1)}(1),x^{(1)}(2),\cdots,x^{(1)}(N)\}$。设 $x^{(1)}$ 满足微分方程 $\frac{\mathrm{d}x^{(1)}}{\mathrm{d}t}+ax^{(1)}=u$，其中 a 是发展灰数，u 是内生控制灰数。解得：

$$x^{(1)}(t)=\left[x^{(1)}(t_0)-\frac{u}{a}\right]\mathrm{e}^{-a(t-t_0)}+\frac{u}{a}, \tag{1}$$

对式(1) 进行等间隔取样(注意到 $t_0=1$)，则得到：

$$x^{(1)}(k+1)=\left[x^{(1)}(1)-\frac{u}{a}\right]\mathrm{e}^{-ak}+\frac{u}{a}。 \tag{2}$$

通过灰色预测计算 u,a。因 $x^{(1)}(1)$ 留作初值用，将 $x^{(1)}(2),x^{(1)}(3),\cdots,x^{(1)}(N)$ 分别代入微分方程，且用差分代替微分。因为 $\Delta t=(t+1)-t=1$，故得

$$\frac{\Delta x^{(1)}(2)}{\Delta t}=\Delta x^{(1)}(2)=x^{(1)}(2)-x^{(1)}(1)=x^{(0)}(2)。$$

类似可得到，$\frac{\Delta x^{(1)}(3)}{\Delta t}=x^{(0)}(3),\cdots,\frac{\Delta x^{(1)}(N)}{\Delta t}=x^{(0)}(N)$。将 $x^{(i)}(i)$ 表示为 $\frac{1}{2}[x^{(i)}(i)+x^{(i)}(i-1)]$ $(i=2,3,\cdots,N)$，令 $\boldsymbol{y}=[x^{(0)}(2)\quad x^{(0)}(3)\quad\cdots\quad x^{(0)}(N)]^{\mathrm{T}}$，$\boldsymbol{U}=[a\quad u]^{\mathrm{T}}$，则矩阵表达式为 $\boldsymbol{y}=\boldsymbol{BU}$，其中

$$\boldsymbol{B}=\begin{bmatrix} -\frac{1}{2}[x^{(1)}(2)+x^{(1)}(1)] & 1 \\ -\frac{1}{2}[x^{(1)}(3)+x^{(1)}(2)] & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -\frac{1}{2}[x^{(1)}(N)+x^{(1)}(N-1)] & 1 \end{bmatrix}。$$

得到最小二乘估计为 $\hat{U}=[\hat{a}\quad\hat{u}]^{\mathrm{T}}=(\boldsymbol{B}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{B})^{-1}\boldsymbol{B}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{y}$。将估计值 $\hat{a}$ 与 $\hat{u}$ 代入式(2)，得时间响应方程：

$$\hat{x}^{(1)}(k+1)=\left[x^{(1)}(1)-\frac{\hat{u}}{\hat{a}}\right]\mathrm{e}^{-\hat{a}k}+\frac{\hat{u}}{\hat{a}}。 \tag{3}$$

当 $k=1,2,\cdots,N-1$ 时，通过式(3) 计算得出拟合值 $\hat{x}^{(1)}(k+1)$。

1.2 灰色预测模型检验

对灰色预测模型进行检验，原理如下：

1) 相对误差检验

设初始序列为 $x^{(0)}=\{x^{(0)}(1),x^{(0)}(2),\cdots,x^{(0)}(n)\}$，响应的灰色预测模型模拟序列为 $\hat{x}^{(0)}=\{\hat{x}^{(0)}(1),\hat{x}^{(0)}(2),\cdots,\hat{x}^{(0)}(n)\}$，残差序列为：

$$\varepsilon^{(0)}=\{\varepsilon(1),\varepsilon(2),\cdots,\varepsilon(n)\}=\{x^{(0)}(1)-\hat{x}^{(0)}(1),x^{(0)}(2)-\hat{x}^{(0)}(2),\cdots,x^{(0)}(n)-\hat{x}^{(0)}(n)\},$$

则相对残差序列为 $\Delta=\left\{\left|\frac{\varepsilon(1)}{x^{(0)}(1)}\right|,\left|\frac{\varepsilon(2)}{x^{(0)}(2)}\right|,\cdots,\left|\frac{\varepsilon(n)}{x^{(0)}(n)}\right|\right\}$。给定 $\alpha>0$，当相对残差小于 α 时，

GM(1,1)模型为残差合格模型。

2) 后验差比值检验

$x^{(0)}$ 的均值 $\bar{x}$、标准差 S_1 的计算公式分别为:$\bar{x}=\frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}x^{(0)}(k)$,$S_1=\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}(x^{(0)}(k)-\bar{x})^2}$,残差 $\varepsilon^{(0)}$ 的均值 $\bar{\varepsilon}$、标准差 S_2 分别为 $\bar{\varepsilon}=\frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}\varepsilon(k)$,$S_2=\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}(\varepsilon(k)-\bar{\varepsilon})^2}$,则后验差比值为:$C=\frac{S_2}{S_1}$。评定预测模型的相关评判标准,模型精度检验等级对照如表1所示。

表1 精度检验等级对照

Tab.1 Comparison of accuracy test grades

检验等级	相对误差	后验差比值	检验等级	相对误差	后验差比值
一级	0.01	[0,0.35]	三级	0.10	(0.5,0.65]
二级	0.05	(0.35,0.5]	四级	0.20	>0.65

2 改进灰色马尔可夫预测模型

2.1 马尔可夫过程

在很多研究者的预测方法中,大多使用马尔可夫模型进行修正预测,这种预测方法能够有效提升模型的预测精度。当随机过程在给定现在状态及所有过去状态情况下,未来状态的条件概率分布仅依赖于当前状态,将具有这种特性的随机过程称之为马尔可夫过程[12—13]。

一般将随机过程 $\{X_n,n=0,1,2,\cdots\}$ 称为马尔可夫链,对任意的 $n\geqslant 0$,任意状态 $i,j,i_0,i_1,\cdots,i_{n-1}$,有

$$P\{X_{n+1}=j\mid X_n=i,X_{n-1}=i_{n-1},\cdots,X_1=i_1,X_0=i_0\}=P\{X_{n+1}=j\mid X_n=i\},\tag{4}$$

式(4)中,$X_n=i$ 表示马尔可夫过程在时刻 n 处于状态 i,$\{0,1,2,\cdots\}$ 为该过程的状态空间,记为 S;当对马尔可夫过程给定过去的状态空间 $X_0,X_1,\cdots,X_{n-1}$ 时,状态 X_n,X_{n+1} 的条件分布与过去的状态不相关。式(4)中的条件概率 $P\{X_{n+1}=j\mid X_n=i\}$ 为马尔可夫链的一步转移概率,记为 p_{ij},代表状态 i 下一步转移到状态 j 的概率。令

$$\boldsymbol{P}=\begin{bmatrix}p_{00} & p_{01} & \cdots & p_{0n}\\ p_{10} & p_{11} & \cdots & p_{1n}\\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots\\ p_{n0} & p_{n1} & \cdots & p_{nn}\end{bmatrix}。$$

称 $\boldsymbol{P}$ 为状态转移概率矩阵。其中 p_{ij} 满足:当 $p_{ij}\geqslant 0,i,j\in S$ 时,$\sum_{j\in S}p_{ij}=1,\forall i\in S$。马尔可夫预测过程必须通过转移概率矩阵 P 计算得出预测值,且一个状态不能永久停留在该状态中,必须转移到下一个状态或者相同的状态。

2.2 灰色马尔可夫预测模型

利用马尔可夫模型特性对灰色预测模型的误差进行修正,对趋势做出估计,可以有效提高预测精度。

1) 确定状态。计算灰色预测值与实际值的相对误差 $c_k=|\varepsilon_k|/x^{(0)}(k)\times 100\%$,其中灰色预测的残差序列 $\varepsilon_k=x^{(0)}(k)-\hat{x}^{(0)}(k)$,$k=1,2,\cdots,n$;根据相对误差的大小将马尔可夫状态区间 $E_{ij}=[L_{ij},U_{ij}]$ 划分为 n 个状态,L_{ij} 和 U_{ij} 分别表示状态的上、下界。

2）计算状态转移概率矩阵。由状态 E_i 经过 n 步转移至状态 E_j 的次数记为 M_{ij}，状态 E_i 出现的次数记为 M_i。设 $p_{ij}=\frac{M_{ij}}{M_i}$ 为数据从状态 E_i 转变成状态 E_j 的一步转移概率，进一步可得系统的状态转移概率矩阵 $\boldsymbol{P}$。

3）计算预测值。利用灰色马尔可夫状态转移概率对灰色预测方法得出的预测值进行修正，根据相对误差状态区间，将状态区间中值作为灰色预测的修正值，计算公式为 $\frac{\hat{x}^{(0)}(k)}{1\pm 0.5(L_{ij}+U_{ij})}$。需注意，当预测值高于实际值时，取正号; 低于实际值时，取负号。

3　灰色马尔可夫模型在铁路客运量中的应用

为提高和完善烟台市交通系统质量，交通管理人员需要预测未来某段时期内客流量的发展趋势，便于及时调整运行方案。本文将 2010-2019 年的烟台市铁路客运量数据作为原始数据，预测烟台市未来 5 年的铁路客运量。数据来源于烟台市统计局官网。

3.1　建立 GM(1,1) 模型

根据烟台市铁路客运量原始数列，计算累加序列如下:

$$x^{(1)}=\{x_1(1),x_2(1),\cdots,x_{10}(1)\}=$$
$$\{374.20,409.20,442.20,464.00,437.97,628.23,701.70,871.11,1\,006.60,1\,095.45\}。$$

计算矩阵 $\boldsymbol{B}$ 以及累加序列 $\boldsymbol{y}$，计算结果如下:

$$\boldsymbol{B}=\begin{bmatrix}-578.8 & -1\,004.5 & -1\,457.6 & -1\,908.585 & -2\,441.685 & -3\,106.65 & -3\,893.055 & -4\,831.91 & -5\,882.935\\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1\end{bmatrix}^{\mathrm{T}},$$

$$\boldsymbol{y}=[409.20\quad 442.20\quad 464.00\quad 437.97\quad 628.23\quad 701.70\quad 871.11\quad 1\,006.60\quad 1\,095.45]^{\mathrm{T}}。$$

根据 $\hat{\boldsymbol{U}}=(\boldsymbol{B}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{B})^{-1}\boldsymbol{B}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{y}$，计算得出 $\hat{a}=-0.143\,9$，$\hat{u}=271.645\,7$。将 $\hat{a}$ 和 $\hat{u}$ 代入式(3)，根据 $\hat{x}^{(1)}(1)=978.51$ 得时间响应方程为:

$$\hat{x}^{(1)}(k+1)=2\,612.548\,6\mathrm{e}^{0.143\,9k}-1\,888.296。\tag{5}$$

根据式(5)计算得到 2010—2019 年烟台市铁路客运量的预测值，计算结果如表 2 所示。从表 2 中可以看出，灰色预测模型的实际值与预测值之间存在误差，不同年份对应误差不同，但总体而言，误差较小。当预测波动性比较大的数据时，灰色预测本身带有一定的局限性，所以预测分析的准确性有待进一步研究。

表 2　2010—2019 年烟台市铁路客运量预测值

Tab.2 The forecast of railway passenger volume in Yantai from 2010 to 2019

年份	实际值/万人	预测值/万人	相对误差	年份	实际值/万人	预测值/万人	相对误差
2010	374.20	374.20	0.00	2015	628.23	622.36	0.93
2011	409.20	350.05	14.45	2016	701.70	718.65	2.41
2012	442.20	404.21	8.59	2017	871.11	829.84	4.73
2013	464.00	466.75	0.59	2018	1 006.60	958.23	4.81
2014	437.97	538.97	23.06	2019	1 095.45	1 106.49	1.03

3.2　基于灰色马尔可夫模型对铁路客运量预测

3.2.1　灰色马尔可夫预测

通过 3.1 节建立的 GM(1,1) 模型得到 2011—2019 年烟台市铁路客运量模拟值，并根据相对误差划分状态，得到马尔可夫预测所需状态。状态划分一般为 3~5 个。本文利用相对误差数据将其划分为 4 个状态，划分情况如表 3 所示。

表3 相对误差状态划分

Tab.3 State division of relative error

状态	E_1	E_2	E_3	E_4
相对误差	[0,1]	(1,5]	(5,15]	(15,25]

对各年份进行状态区间划分,如表4所示:

表4 各年份对应状态

Tab.4 The state interval corresponding to year

年份	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
状态	E_3	E_3	E_1	E_4	E_1	E_2	E_2	E_2	E_2

根据2011—2019烟台市铁路客运量所处的状态分布情况,计算一步转移概率矩阵如下:

$$\boldsymbol{P}^{(1)}=\begin{bmatrix}0 & 0.5 & 0 & 0.5\\ 0 & 1 & 0 & 0\\ 0.5 & 0 & 0.5 & 0\\ 1 & 0 & 0 & 0\end{bmatrix}。$$

由于$\boldsymbol{P}^{(1)}$中部分行元素无法确定最大值,状态转移概率均等。因此,需要计算n步转移概率矩阵,直至可以确定各行最大值。经计算,当$n=4$时达到计算要求,4步转移概率矩阵为

$$\boldsymbol{P}^{(4)}=\begin{bmatrix}0.25 & 0.75 & 0 & 0\\ 0 & 1 & 0 & 0\\ 0.187\,5 & 0.562\,5 & 0.062\,5 & 0.187\,5\\ 0 & 0.75 & 0 & 0.25\end{bmatrix}。$$

以2012年的灰色预测值为例,计算经马尔可夫修正后的预测值。由于2011年的预测值相对误差状态属于E_3,经过一年转换,转换为E_1和E_2的概率分别为0.187 5和0.562 5,则认为2012年的状态最有可能转移至E_2。已知2012年的灰色预测值为404.21万人,利用马尔可夫进行修正得到预测值为$\hat{y}(2012)=416.71$。同理,通过上述方法可得出其他年份马尔可夫修正值。需注意,当相对误差处于[0,1]时,本文不做修正。

3.2.2 模型比较与模型检验

通过计算得出灰色马尔可夫预测值,并与GM(1,1)模型预测值进行比较,对比数据如表5所示。

表5 GM(1,1)模型与灰色马尔可夫模型预测结果比较

Tab.5 The comparison of prediction between GM (1,1) and Grey Markov model

年份	实际值/万人	GM(1,1)预测值/万人	相对误差	灰色马尔可夫预测值/万人	相对误差
2010	374.20	374.20	0.00	374.20	0.00
2011	409.20	350.05	14.45	360.88	11.81
2012	442.20	404.21	8.59	416.71	5.76
2013	464.00	466.75	0.59	466.75	0.59
2014	437.97	538.97	23.06	520.27	18.79
2015	628.23	622.36	0.93	622.36	0.93
2016	701.70	718.65	2.41	697.22	0.44
2017	871.11	829.84	4.73	855.51	0.64
2018	1 006.60	958.23	4.81	987.87	1.79
2019	1 095.45	1 106.49	1.01	1 106.49	1.01

根据表 5 及图 1 可知,2010—2019 年烟台市铁路客运量呈显著上升趋势,铁路客运量由 2010 年的 374 万人上升至 2019 年的 1095 万人,充分显示了烟台市近 10 年铁路管理系统的不断成熟与发展,基本符合烟台市铁路客运量的发展趋势,预测数据具有较高可信度。同时,对比灰色预测模型及融合后的灰色马尔可夫模型,除不需要修正的年份外,就相对误差而言,灰色马尔可夫模型显著低于灰色预测相对误差。如 2017 年模型相对误差由 4.73 降至 0.64,模型修正后预测效果显著。表 5 表明经马尔可夫修正后的模型预测精度较高,更加贴合实际值。另外,由图 1 得出,除 2014 年模型预测值与实际值相差略大,其它年份模型拟合效果均良好;分析灰色预测模型及灰色马尔可夫模型的拟合曲线走势得出,优化的灰色马尔可夫动态模型预测值更接近实际值。对这两种模型预测结果进行精度检验,如表 6 所示。

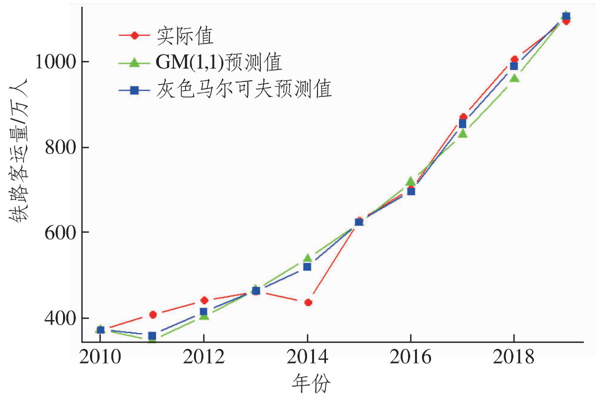

图 1　模型预测结果比较

Fig.1 The comparison of model prediction

表 6　模型精度检验结果

Tab.6 The test results of model accuracy

模型	平均相对误差	后验差比值	模型	平均相对误差	后验差比值
GM(1,1)模型	0.067	0.126	灰色马尔可夫模型	0.042	0.103

由表 6 可以看到:灰色马尔可夫模型的平均相对误差为 0.042,误差低于 GM(1,1)模型,表明前者预测误差较小、误差范围降低;灰色马尔可夫预测模型的后验差比值为 0.103,灰色预测模型后验差比值为 0.126,表明前者的预测精度较高,模型参考价值提升。同时,优化后的灰色马尔可夫预测模型计算过程也便于理解,可以较好地预测烟台市铁路客运量。

3.2.3　未来 5 年客运量预测

通过灰色预测计算得到未来 5 年的烟台市铁路客运量预测值,利用马尔可夫模型进行修正。以 2020 年烟台市铁路客运量为例,灰色预测值为1 277.681万人,下面利用马尔可夫模型修正 2020 年铁路客运量的灰色预测值。

已知 2019 年所处马尔可夫状态为 E_2,故下一步对应最大概率的转移状态为 E_2;计算得到 2020 年铁路客运量预测区间为(1 240.47,1 317.20),预测中值为1 278.84。根据灰色马尔可夫模型,预测 2020—2024 年烟台市铁路客运量,如表 7 所示。

表 7　烟台市 2020—2024 年铁路客运量灰色马尔可夫预测值

Tab.7 The Grey Markov forecast of railway passenger volume in Yantai from 2020 to 2024

预测年份	2020	2021	2022	2023	2024
灰色马尔可夫预测值/万人	1 278.84	1 476.69	1 705.17	1 968.99	2 273.63

根据预测结果,烟台市 2020 年铁路客运量的灰色马尔可夫预测值约为 1278 万人,2024 年预测值约 2273 万人,预测值逐年增加且增长态势明显。由此可见,未来烟台市铁路客运量必然呈稳步增长趋势。

4　结论

本文综合考虑了铁路客运量的增长趋势和不规则随机变动,使预测模型更具可信度。烟台市铁路客运量受多个因素影响,且含有的不确定信息较多,为此利用灰色预测系统理论进行预测分析。由于数

据波动的不确定性,所得模型的相对误差较大,故融合马尔可夫链优化灰色预测模型。将灰色预测模型与灰色马尔可夫模型进行对比,得出灰色马尔可夫模型的精度检验较高,提高了预测准确性,有助于及时掌握客运量发展态势和发展速度,从而更好地为铁路行业和相关部门提供合理的决策依据和建议。

参考文献:

[1] 袁丽军.铁路基础设施建设项目中铁路客运量预测模型研究[J].项目管理技术,2016,14(7):77-81.

[2] 薛锋,吕丹,罗建.铁路交通基础设施对区域经济发展的支撑力研究:基于西部地区面板数据[J].综合运输,2018,40(1):5-10.

[3] GODFREY G A,POWELL W B.An adaptive dynamic programming algorithm for dynamic fleet management,II:multi-period travel times[J].Transportation Science,2002,36(1):40-54.

[4] 尚庆松,石庆升,崔炳谋.基于灰色-马尔可夫预测模型的售票窗口客流量预测研究[J].铁道运输与经济,2019,41(1):85-89.

[5] 刘阳,纪跃芝.基于 ARIMA 乘积季节模型和小波神经网络的全国铁路客运量分析[J].科技风,2020(28):150-151.

[6] 刘琳玥.基于 PCA-BP 神经网络的铁路客运量预测模型研究[J].综合运输,2016,38(8):43-47.

[7] 郝军章,崔玉杰,韩江雪.基于 SARIMA 模型在我国铁路客运量中的预测[J].数学的实践与认识,2015,45(18):95-104.

[8] 冯冰玉,鲍学英,王起才.基于灰色和神经网络的铁路客运量预测研究[J].铁道科学与工程学报,2015,12(5):1227-1231.

[9] 彭珍瑞,孟建军,祝磊,等.基于支持向量机的铁路客运量预测[J].辽宁工程技术大学学报,2007(2):269-272.

[10] 彭辉,赵亚军,胡章浩.应用多元线性回归模型的铁路客运量预测[J].重庆理工大学学报(自然科学版),2018,32(9):190-193.

[11] 朱文亭,刘海林.基于灰色-马尔可夫链理论的公路客运量预测[J].交通科技与经济,2009,11(6):12-13.

[12] 纪兆南.基于 Gray-Markov 的贵州省物流量预测[J].物流科技,2019,42(2):145-149.

[13] 田雪,王丹丹,付帅帅,等.北京市交通运输、仓储和邮政业增加值的灰色马尔可夫预测模型[J].数学的实践与认识,2019,49(8):56-62.

Prediction of Yantai Railway Passenger Volume Based on Gray Markov Model

PENG Lijie, SHAO Xigao, HUANG Wanming

(School of Mathematics and Statistics Science,Ludong University,Yantai 264039,China)

Abstract: The railway passenger volume can reflect the population flow of the province and city,which is an important basis for the calculation of highway economic benefits.In this paper,based on the grey system theory, a grey prediction model was established.And the traditional grey prediction model was combined with Markov shift matrix to establish the grey Markov prediction model.The model was applied to the forecast of railway passenger volume in Yantai from 2020 to 2024.The results show that the grey prediction model and the grey Markov model can make up each other and overcome both deficiencies.By comparing these two models,the latter has higher prediction accuracy and better prediction effect,and the reference value of the model has been effectively improved.Then,this model can provide theoretical reference and data support for the planning of each railway line and the development law of railway passenger volume in Yantai.

Keywords: railway passenger volume; gray forecast model; the Markov chain

(责任编辑 顾建忠)