

文章编号:1671-1637(2013)04-0087-07

## 基于指数平滑法和马尔科夫模型的 公路客运量预测方法

芮海田<sup>1</sup>, 吴群琪<sup>1</sup>, 袁华智<sup>2</sup>, 冯忠祥<sup>3</sup>, 朱文英<sup>1</sup>

(1. 长安大学 经济与管理学院, 陕西 西安 710064; 2. 长安大学 汽车学院, 陕西 西安 710064;  
3. 合肥工业大学 交通运输工程学院, 安徽 合肥 230009)

**摘要:**分析了常用的客运量预测方法,提出了一种新的基于指数平滑法和马尔科夫模型的公路客运量预测方法。基于公路客运量的实际值、线性拟合值与二次曲线拟合值,采用二次曲线拟合的方法计算了初始值与平滑系数。以安徽省2000~2009年相关数据为基础,应用指数平滑法预测了2010、2011年的公路客运量。以-11%、-5%、0、5%、11%为划分阈值,将指数平滑法预测结果的相对误差划分为4个状态区间,应用马尔科夫模型对指数平滑法的预测结果进行修正,并与模糊线性回归模型、指数平滑法的预测结果进行比较。分析结果表明:应用提出的方法,2010、2011年安徽省公路客运量的预测结果分别为14.209、15.712亿人,相对误差分别为1.195%、0.492%;应用指数平滑法,预测结果分别为13.468、14.893亿人,相对误差分别为-3.399%、-4.746%;应用模糊线性回归模型,预测结果分别为13.573、15.325亿人,相对误差分别为-2.647%、-1.983%。提出的方法精度较高,满足实际需求。

**关键词:**交通规划;公路客运量;预测方法;指数平滑法;马尔科夫模型;模糊线性回归模型

**中图分类号:**U491.1

**文献标志码:**A

### Prediction method of highway passenger transportation volume based on exponential smoothing method and Markov model

RUI Hai-tian<sup>1</sup>, WU Qun-qi<sup>1</sup>, YUAN Hua-zhi<sup>2</sup>, FENG Zhong-xiang<sup>3</sup>, ZHU Wen-ying<sup>1</sup>

(1. School of Economics and Management, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. School of Automobile, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 3. School of Transportation Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, Anhui, China)

**Abstract:** The usual prediction methods of passenger transportation volume were analyzed, a new prediction method of highway passenger transportation volume based on exponential smoothing method and Markov model was put out. Based on the actual value, linear fitting value and quadratic curve fitting value of highway passenger transportation volume, the initial value and smoothing coefficient were calculated by using quadratic curve fitting method. According to the related data of Anhui Province in 2000-2009, the highway passenger transportation volumes in 2010, 2011 were predicted by using exponential smoothing method. Taking -11%, -5%, 0, 5%, 11% as division threshold values, the relative errors of prediction results by using exponential smoothing method were divided into four state intervals, the prediction results of

收稿日期:2013-01-18

基金项目:交通运输部西部交通建设科技项目(2011 318 820 1420);中央高校基本科研业务费专项资金项目(2013G1221025, 2013G1502061, Q1105)

作者简介:芮海田(1973-),男,安徽芜湖人,长安大学工学博士研究生,从事道路规划研究。

导师简介:吴群琪(1956-),男,广东大埔人,长安大学教授,工学博士。

exponential smoothing method were modified by using Markov model, and the prediction results among the proposed method, fuzzy linear regression model and exponential smoothing method were compared. Analysis result shows that by using the proposed method, the prediction results of highway passenger transportation volumes in 2010, 2011 are  $1.420\ 9 \times 10^{10}$ ,  $1.571\ 2 \times 10^{10}$  persons, relative errors are 1.195% and 0.492% respectively. By using exponential smoothing method, prediction results are  $1.346\ 8 \times 10^{10}$ ,  $1.489\ 3 \times 10^{10}$  persons, relative errors are -3.399% and -4.746% respectively. By using fuzzy linear regression model, prediction results are  $1.357\ 3 \times 10^{10}$ ,  $1.532\ 5 \times 10^{10}$  persons, relative errors are -2.647% and -1.983% respectively. The proposed method has higher precision to meet the actual demands. 7 tabs, 1 fig, 23 refs.

**Key words:** traffic planning; highway passenger transportation volume; prediction method; exponential smoothing method; Markov model; fuzzy linear regression model

**Author resumes:** RUI Hai-tian(1973-), male, doctoral student, +86-29-82334385, rht1973@chd.edu.cn; WU Qun-qi(1956-), male, professor, PhD, +86-29-82334528, wqq@chd.edu.cn.

## 0 引 言

随着城市化进程的加快,机动车数量的不断增长,城市基础设施建设滞后,出现了交通拥挤与阻塞等交通问题。为促进交通系统的可持续发展,公路交通以其大运量、高效率、低污染等优点,成为解决交通问题的重要途径。公路客运量作为公路交通科学管理的基础数据,对提高公路管理水平和建立高效公路交通系统具有重要作用。公路管理者大多无法科学地制定营运生产计划,从而导致营运计划与实际营运结果有较偏差,因此,分析公路客运量的发展变化规律,对提高公路交通的管理水平和公路营运效率具有非常重要的实际意义,从而促进公路交通事业的持续发展。

国外客运量预测理论的研究开展较早,主要从影响运输需求的因素分析入手,利用西方经济学中的需求原理,确定运输需求函数,进而通过旅客运输需求曲线的趋势外延来描述客运量的发展变化。国外对客运量影响因素的分析主要可以分为经济因素、政治体制因素、政策因素、技术因素、运输网布局与运输能力因素及市场价格因素等 6 方面,从上述 6 方面分别确定相应的运输弹性函数,以此来反映客运量的变动率与发展趋势。Garrido 等针对运输需求的时空高度变化性建立了一种多项概率模型,并采用蒙特卡洛方法评价了模型的准确性<sup>[1]</sup>;Godfrey 等应用指数平滑法建立了客运量预测模型,发现这种方法在实际操作相对简单,预测误差也比较精确<sup>[2]</sup>;Dantas 等利用四阶段法对公路交通量的需求生成、交通分布、交通方式的选择和交通分配进行了预测和分析<sup>[3]</sup>;Chiou 等分析了采用传统预测方

法预测台湾海军武器装备库存不准确的原因,并提出一种全新的灰色预测模型<sup>[4]</sup>;Suryani 等建立了一个系统动力学框架模型来预测客运需求,凭借系统动力学的物理特性和信息流反馈控制连续决策和行动,可以用来模拟、分析和仿真以提高模型的预测水平<sup>[5]</sup>。国内关于客运量预测的研究较多,常用的传统预测方法可分为定性分析法和定量分析法。定性分析法是以逻辑判断为主的预测方法,在广泛的搜集、了解对象基础资料的基础上,分析、研究对象的发展规律,判断其在一定时期内的发展趋势,由此做出预测。定性预测的具体方法主要包括 Delphi 法、专家会议法、头脑风暴法、个人判断法等。定量分析法是运用预测理论,借助数学手段,在对原始数据进行整理、加工、分析、模拟的基础上建立数学模型,最后利用数学模型进行预测。彭辉等划分了各个运输线路影响区域的交通小区,提出了利用既有不同线路上各个调查点的调查结果,采用合并、拆分的方法构造通道 OD 的基本原理与旅客中长距离出行 OD 模型约束条件和修正方法,推算通道内公路旅客中长距离出行的分段客运量<sup>[6]</sup>;李明伟等基于高斯分布和精英局部搜索对加速遗传算法进行改进,提出了新的混沌加速遗传算法,建立了 NCAGA-PPPR 混合优化城市客运量预测模型,并结合某市统计资料进行了仿真预测,结果表明该方法的平均绝对相对误差小于 3.1%<sup>[7]</sup>;陈鹏等将铁路客运量预测分为运量趋势预测和运量波动预测,分别采用灰色 GM(1,1)模型和马尔科夫模型进行预测,并将两者结合形成一种新的灰色马尔科夫铁路客运量预测方法<sup>[8]</sup>;吴伟等在对运输通道客运量影响因素进行定性分析的基础上,运用灰色关联度理论对各个

影响因素的关联度进行定量计算,构建了基于多影响因素的BP神经网络模型,并对运输通道客运量进行预测<sup>[9]</sup>;王玉萍等针对目前城市轨道交通客流预测精度较低的状况,分析了轨道交通沿线用地、交通衔接、轨道交通服务水平以及票价政策变化对客流的影响机理和影响程度,并对国内外一些典型线路的客流增长趋势进行了统计分析<sup>[10]</sup>;黄邦菊等从机场旅客吞吐量的可能影响因素出发,分析了各个影响因素与旅客吞吐量之间的相关性,并以西南地区某枢纽运输机场为例,建立了机场旅客吞吐量的多元线性回归预测模型,预测该机场未来年份的旅客吞吐量,并利用时间序列法对所得的预测值进行验证<sup>[11]</sup>;赵建有等构建了基于模糊线性回归模型的公路货运量预测方法,以延安市公路货运枢纽规划为实例,并将模糊线性回归模型的预测结果与指数平滑法、灰色模型、弹性系数法3种常见预测方法的预测结果进行比较<sup>[12]</sup>;赵淑芝等概述了公路运输量组合预测的基本思想,建立了基于BP神经网络的组合预测模型,并以吉林省公路运输量为例进行预测<sup>[13]</sup>;孙煦等针对公路客运量预测难以建立精确预测模型的问题,引入了基于蚁群优化的支持向量机算法对公路客运量进行预测,以北京市的数据作为应用算例,并与BP神经网络及传统SVM的预测结果进行对比分析<sup>[14-15]</sup>;田智慧等运用四阶段预测分析理论,研究和建立了适合河南省特点的公路交通量预测模型和方法,对河南省公路交通量的需求生成、交通分布、交通方式的选择和交通分配进行了预测<sup>[16]</sup>。

以上研究大多是经过多年的资料积累,摸索客货运量的特征和规律,不断地积累经验,尽可能地使客货运量预测的可信度提高,但实际运用中要达到较高的精度,仍存在较大的难度。本文应用指数平滑方法对公路客运量进行初步预测,并应用马尔科夫模型对初步预测结果进行修正,并对比分析了几种方法的预测精度。

## 1 应用指数平滑法的公路客运量预测

公路客运量受众多因素影响,如国民经济发展水平、客运车辆数量、居民出行频率、出行服务水平、出行管理对策等。各个因素与公路客运量间的关系难以用数学模型精确定量,且各个因素自身的发展状况也较为模糊,所以以众多因素来预测未来公路客运量,势必难以准确。美国学者布朗最早提出指数平滑法,他认为时间序列的态势具有稳定性或规则性,所以时间序列可被合理地顺势推延,且最近的

过去态势在某种程度上会持续到最近的未来态势,所以将较大的权数放在最近的数据中。在实际计算中,利用全部数据信息,依时间顺序加权,使用逐步衰减的不等权办法,即渐消记忆的方式进行处理。应用指数平滑法对公路客运量进行预测,通过对既往数据的分析和计算,获得目标年份的预测值,可避免各个因素模糊导致的预测值不准确的情况。

### 1.1 方法基础

设公路客运量时间序列为  $y_1, y_2, y_3, \dots, y_t$ , 第  $t$  年一次指数平滑值记为  $s_{t,1}$ , 二次指数平滑值记为  $s_{t,2}$ , 三次指数平滑值记为  $s_{t,3}$ , 各指数平滑值计算公式为

$$\begin{cases} s_{t,1} = \alpha y_t + (1-\alpha)s_{t-1,1} \\ s_{t,2} = \alpha s_{t,1} + (1-\alpha)s_{t-1,2} \\ s_{t,3} = \alpha s_{t,2} + (1-\alpha)s_{t-1,3} \end{cases} \quad (1)$$

式中:  $y_t$  为第  $t$  年的实际客运量;  $\alpha$  为平滑系数,  $0 < \alpha < 1$ 。

三次指数平滑法的数学式为

$$\hat{y}_{t+T} = a_t + b_t T + c_t T^2 \quad (2)$$

$$\begin{cases} a_t = 3s_{t,1} - 3s_{t,2} + s_{t,3} \\ b_t = \frac{\alpha}{2(1-\alpha)} [(6-5\alpha)s_{t,1} - 2(5-4\alpha)s_{t,2} + (4-3\alpha)s_{t,3}] \\ c_t = \frac{\alpha^2(s_{t,1} - 2s_{t,2} + s_{t,3})}{2(1-\alpha)^2} \end{cases} \quad (3)$$

式中:  $\hat{y}_{t+T}$  为第  $t+T$  年的客运量预测值;  $a_t, b_t, c_t$  均为第  $t$  年的参数。

指数平滑是一个迭代计算的过程,应用三次指数平滑法进行预测时,须首先估算初始值  $s_{0,1}$ , 它实质上应该是序列起点以前所有历史数据的加权平均值。由于经过多期平滑,特别是观测期较长时,  $s_{0,1}$  的影响作用就相当小,故在实践中,一般选用的方法为,当时间序列期数在 20 个以上,初始值对观测结果的影响很小,可用第 1 期的观测值代替;当时间序列期数在 20 个以下时,初始值对观测结果有一定影响,可取前 3~5 个观测值的平均值代替。但该方法欠精确,可以采用二次曲线拟合计算的方法来获得初始值<sup>[17]</sup>。

实际应用时,  $\alpha$  的取值范围为  $(0.1, 0.8)$ ,  $\alpha$  较大表明对新数据较重视,算得的  $s_{t,1}$  反映了较多的新信息,但受随机因素干扰的程度也较大。如果数据有较大的变化时,  $\alpha$  取值区间为  $(0.3, 0.5)$ , 而有上升或下降的斜坡趋势,则  $\alpha$  取值区间为  $(0.6, 0.8)$ 。

## 1.2 预测过程

2000~2009 年安徽省公路客运量见表 1。

表 1 安徽省公路客运量

Tab. 1 Highway passenger transportation volumes in

Anhui Province

亿人

年份	客运量	年份	客运量
2000	5.80	2005	6.93
2001	5.98	2006	7.50
2002	6.20	2007	8.20
2003	6.34	2008	9.01
2004	6.51	2009	10.61

### 1.2.1 确定平滑指数次数

不同次数的指数平滑法预测精度不同,根据实际客运量变化数据,如果呈现水平趋势时,可用一次指数平滑值作为预测值;而呈现线性趋势时,应使用二次指数平滑值;如果具有二次曲线趋势时,则应使用三次指数平滑值。应用 SPSS 分析软件对客运量数据进行回归,发现呈现二次曲线趋势的拟合程度较高,见图 1。故建立式三次指数平滑模型,能较好地反映客运量数据的变化趋势。

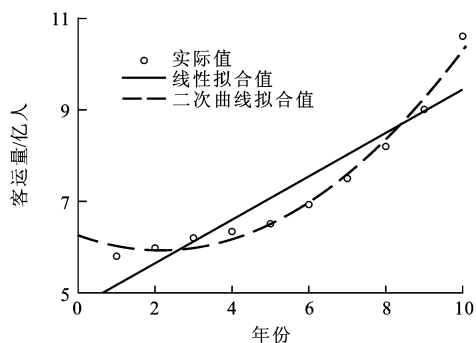


图 1 数据拟合过程

Fig. 1 Data fitting process

### 1.2.2 估算初始值

选择二次曲线拟合的方法,计算  $s_{0,1}$ 、 $s_{0,2}$ 、 $s_{0,3}$ 。

根据式(2),对表 1 中前 3 个数据进行拟合。当  $t=0$  时,将  $T=1,2,3$  分别代入式(2)中,用客运量实际值代替预测值,即可得到

$$\begin{cases} a_0 + b_0 + c_0 = y_1 = 5.80 \\ a_0 + 2b_0 + 4c_0 = y_2 = 5.98 \\ a_0 + 3b_0 + 9c_0 = y_3 = 6.20 \end{cases}$$

由上式可计算出(单位为亿人,下同)

$$\begin{cases} a_0 = 5.66 \\ b_0 = 0.12 \\ c_0 = 0.02 \end{cases}$$

再根据式(3)可求得  $s_{0,1}$ 、 $s_{0,2}$ 、 $s_{0,3}$  分别为

$$\begin{cases} s_{0,1} = a_0 - \frac{1-\alpha}{\alpha} b_0 + \frac{(1-\alpha)(2-\alpha)}{\alpha^2} c_0 \\ s_{0,2} = a_0 - \frac{2(1-\alpha)}{\alpha} b_0 + \frac{2(1-\alpha)(3-2\alpha)}{\alpha^2} c_0 \\ s_{0,3} = a_0 - \frac{3(1-\alpha)}{\alpha} b_0 + \frac{3(1-\alpha)(4-3\alpha)}{\alpha^2} c_0 \end{cases} \quad (4)$$

由于本文的数据变化程度不大,经过试算,取  $\alpha=0.3$ ,则可计算得(单位为亿人,下同)

$$\begin{cases} s_{0,1} = 5.644 \\ s_{0,2} = 5.847 \\ s_{0,3} = 6.297 \end{cases}$$

### 1.2.3 计算指数平滑值

根据式(1)计算一次、二次和三次指数平滑值,结果见表 2。

表 2 指数平滑值

Tab. 2 Exponential smoothing values

亿人

$t$	$y_t$	$s_{t,1}$	$s_{t,2}$	$s_{t,3}$
0		5.644	5.847	6.297
1	5.80	5.705	5.804	6.149
2	5.98	5.787	5.799	6.038
3	6.20	5.911	5.833	5.992
4	6.34	6.040	5.895	5.963
5	6.51	6.181	5.981	5.968
6	6.93	6.406	6.046	5.991
7	7.50	6.734	6.252	6.069
8	8.20	7.174	6.529	6.207
9	9.01	7.725	6.889	6.412
10	10.61	9.446	7.656	6.785

### 1.2.4 计算平滑系数

将表 2 中相关数据代入式(3),计算  $a_t$ 、 $b_t$  和  $c_t$ , 本文主要预测 2009 年以后的公路客运量,取  $t=10$ , 则有

$$a_{10} = 3s_{10,1} - 3s_{10,2} + s_{10,3} = 3 \times 9.466 - 3 \times 7.656 + 6.785 = 12.215$$

$$b_{10} = \frac{\alpha}{2(1-\alpha)} [(6-5\alpha)s_{10,1} - (10-8\alpha)s_{10,2} + (4-3\alpha)s_{10,3}] = \frac{0.3}{1.4} (4.5 \times 9.466 - 7.6 \times 7.656 + 3.1 \times 6.785) = 1.167$$

$$c_{10} = \frac{\alpha^2}{2(1-\alpha)^2} (s_{10,1} - 2s_{10,2} + s_{10,3}) = \frac{0.3^2}{2 \times 0.7^2} \cdot (9.466 - 2 \times 7.656 + 6.785) = 0.086$$

故公路客运量三次平滑预测式为

$$\hat{y}_{10+T} = 12.215 + 1.167T + 0.086T^2 \quad (5)$$

## 1.2.5 预测结果

根据式(5),应用三次指数平滑法预测2010、2011年安徽省公路客运量值,并与2010、2011年安徽省公路客运量的实际值进行对比,结果见表3。

表3 指数平滑法预测结果

Tab. 3 Prediction results by using exponential smoothing method

年份	预测值/亿人	实际值/亿人	相对误差/%
2010	13.468	13.942	-3.399
2011	14.893	15.635	-4.746

尽管上述预测相对误差在 $\pm 5\%$ 以内,但预测精度一般,实际应用时应进一步提高预测精度。

## 2 马尔科夫模型修正

马尔科夫模型是一种随机时间序列分析法。当一个随机过程在现在的状态与所有过去的状态情况下,其未来状态的条件概率分布仅依赖于当前状态,与过去状态是条件独立的,那么此随机过程即具有马尔科夫性质。马尔科夫模型是通过对事物不同状态的初始概率与状态之间的转移概率的研究来预测事物未来状态的一种数学方法,具有较高的科学性、准确性、适应性。针对上述指数平滑法公路客运量法预测精度一般的实际情况,可以应用马尔科夫模型对精度进行修正<sup>[18-23]</sup>。

设公路客运量预测误差的变化是个随机过程,记为 $Z_n(n=1,2,\dots,N)$ ,误差所处于状态为 $E_n$ ,对于 $N$ 和所有的状态 $E_1, E_2, \dots, E_N$ ,当前状态 $E_i$ 的概率只与前一个状态 $E_{i-1}$ 有关,且状态发生转移是随机的,因此,必须用概率来描述状态转移可能性的大小,将这种转移的可能性用概率描述,就是状态转移概率。从状态 $E_i$ 经过一步转变成状态 $E_j$ 的概率 $P_{ij}$ 称为一步转移概率。在所有状态下, $P_{ij}(i, j=1, 2, \dots, n)$ 排成的矩阵为

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \cdots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \cdots & P_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ P_{n1} & P_{n2} & \cdots & P_{nm} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$P$ 为转移矩阵,由概率转移矩阵便可以对公路客运量在一定时期内的变化进行分析。

## 2.1 划分状态区间

根据指数平滑法的初步预测结果,可获得2000~2009年公路客运量预测结果的相对误差,见表4,以 $-11\%、-5\%、0.5\%、11\%$ 为划分阈值,则相对误差序列可划分为4个状态区间,状态区间划分见表5。2000~2009年的相对误差所在状态区间见表6。

表4 相对误差

Tab. 4 Relative errors

年份	客运量/亿人	预测值/亿人	相对误差/%
2000	5.80	5.47	-5.69
2001	5.98	5.59	-6.52
2002	6.20	5.93	-4.35
2003	6.34	6.87	8.36
2004	6.51	7.17	10.14
2005	6.93	7.44	7.36
2006	7.50	7.89	5.20
2007	8.20	8.37	2.07
2008	9.01	9.64	6.99
2009	10.61	11.22	5.75

表5 状态区间划分

Tab. 5 Division of state intervals

状态	相对误差区间
$E_1$	$(-11\%, -5\%]$
$E_2$	$(-5\%, 0]$
$E_3$	$(0, 5\%]$
$E_4$	$(5\%, 11\%]$

表6 相对误差和状态区间

Tab. 6 Relative errors and state intervals

年份	相对误差/%	所处状态区间
2000	-5.69	$E_1$
2001	-6.52	$E_1$
2002	-4.35	$E_2$
2003	8.36	$E_4$
2004	10.14	$E_4$
2005	7.36	$E_3$
2006	5.20	$E_3$
2007	2.07	$E_3$
2008	6.99	$E_4$
2009	5.75	$E_4$

## 2.2 构建状态矩阵

由状态 $E_i$ 转移到状态 $E_j$ 的次数为 $m_{ij}$ ,由状态 $E_i$ 开始转移出现的总次数为 $M_{ij}$ ,则状态 $E_i$ 转移到 $E_j$ 的频率为 $\frac{m_{ij}}{M_{ij}}$ 。由状态 $E_i$ 转移到状态 $E_j$ 的一步转移概率的近似值 $P_{ij}$ 可记为 $\frac{m_{ij}}{M_{ij}}$ 。构建状态转移概率矩阵,获得一步和二步状态转移概率矩阵分别为

$$P = \begin{bmatrix} 1/2 & 1/2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 2/3 & 1/3 \\ 0 & 0 & 1/3 & 2/3 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{P}^2 = \begin{bmatrix} 1/4 & 1/4 & 0 & 1/2 \\ 0 & 0 & 1/3 & 2/3 \\ 0 & 0 & 5/9 & 4/9 \\ 0 & 0 & 4/9 & 5/9 \end{bmatrix}$$

### 2.3 马尔科夫模型修正

转移矩阵确定后,便可根据某一年份所处状态来预测下一年份可能出现的状态,再对各个状态所处区间范围进行加权平均。设初始时刻的状态概率向量为  $\mathbf{P}^T(0) = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ ,则下一时刻的系统分布为  $\mathbf{P}^T(1) = \mathbf{P}^T(0)\mathbf{P}$ ,第2期的为  $\mathbf{P}^T(2) = \mathbf{P}^T(1)\mathbf{P} = \mathbf{P}^T(0)\mathbf{P}^2$ ,依此类推。利用概率向量的值进行加权运算,最终得到马尔科夫模型修正值。

由于2009年的状态为  $E_4$ ,经过1年的转换,转为状态  $E_4$  的概率为  $2/3$ ,则认为2010年的公路客运量预测值最有可能处于状态  $E_4$ 。由指数平滑法预测得到2010年公路客运量为13.468亿人,利用马尔科夫模型修正,2010年公路客运量预测修正值为14.209亿人。同理,经过二步转移矩阵可得经马尔科夫模型修正的2011年公路客运量预测值为15.712亿人。指数平滑法、模糊线性回归模型与本文方法的预测结果比较见表7。

表7 预测结果比较

Tab. 7 Comparison of prediction results

方法	年份	预测值/亿人	实际值/亿人	相对误差/%
指数平滑法	2010	13.468	13.942	-3.399
	2011	14.893	15.635	-4.746
模糊线性回归模型	2010	13.573	13.942	-2.647
	2011	15.325	15.635	-1.983
本文方法	2010	14.209	13.942	1.915
	2011	15.712	15.635	0.492

与实际客运量相比,经马尔科夫模型修正后,2010、2011年公路客运量预测值的相对误差分别为1.915%和0.492%;单纯使用指数平滑法的相对误差分别为-3.399%与-4.746%,使用模糊线性回归模型的相对误差分别为-2.647%与-1.983%。使用马尔科夫模型修正后,方法精度较高,可满足实际需求。

## 3 结 语

指数平滑法作为一种预测方法,其预测过程较为理论,实际情况远比模型复杂的多,且易受政策、社会发展、经济活动等因素影响,所以预测结果往往仅能起参考作用。本文应用该方法对公路客运量进行初步预测,再结合马尔科夫模型对初步预测结果

进行修正,并与2010、2011年实际结果进行对比,相对误差较小,可满足实际应用需求。在后续的研究中,可以在考虑多次平滑与多种方法的结合的基础上,设置多重指标,更好地提高预测精度。

### 参考文献:

### References:

- [1] GARRIDO R A, MAHMASSNI H S. Forecasting freight transportation demand with the space-time multinomial probit model[J]. Transportation Research Part B: Methodological, 2000, 34(5): 403-418.
- [2] 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.
- [3] DANTAS A, YAMAMOTO K, LAMAR M V, et al. Neural network for ravel demand forecast using GIS and remote sensing[C]// University of Canterbury. Proceedings of the IEEE-INNS-ENNS International Joint Conference on Neural Networks. Como: University of Canterbury, 2000: 435-440.
- [4] CHIOU H K, TZENG G H, CHENG C K, et al. Grey prediction model for forecasting the planning material of equipment spare parts in navy of Taiwan[C]// National Chiao Tung University. Proceedings of the 5th Word Automation Congress. Hsinchu: National Chiao Tung University, 2004: 315-320.
- [5] SURYANI E, CHOU S Y, CHEN C H. Air passenger demand forecasting and passenger terminal capacity expansion: a system dynamics framework [J]. Expert Systems with Applications, 2010, 37(3): 2324-2339.
- [6] 彭 辉,魏金丽,陈宽民. 运输通道公路旅客中长距离 OD 模型构造及分段客运量预测[J]. 中国公路学报, 2006, 19(2): 101-105.  
PENG Hui, WEI Jin-li, CHEN Kuan-min. Construction of OD model of middle and long distance highway trips and prediction of segment passenger volume of transport corridor[J]. China Journal of Highway and Transport, 2006, 19(2): 101-105. (in Chinese)
- [7] 李明伟,康海贵,周鹏飞. 基于 NCAGA-投影寻踪混合优化城市客运量预测[J]. 系统工程理论与实践, 2012, 32(4): 903-910.  
LI Ming-wei, KANG Hai-gui, ZHOU Peng-fei. Urban passenger prediction based on hybrid algorithm of new chaos accelerating genetic algorithm and PPPR model[J]. Systems Engineering—Theory and Practice, 2012, 32(4): 903-910. (in Chinese)
- [8] 陈 鹏,孙全欣. 基于灰色马尔柯夫过程的铁路客运量预测方法研究[J]. 铁道运输与经济, 2005, 27(4): 65-67.  
CHEN Peng, SUN Quan-xin. Study of railway passenger volume forecast method based on grey-Markov process[J]. Railway Transport and Economy, 2005, 27(4): 65-67. (in Chinese)

- Chinese)
- [9] 吴伟,符卓,王晓. 运输通道客运量预测方法[J]. 铁道科学与工程学报, 2012, 9(5): 96-102.  
WU Wei, FU Zhuo, WANG Xiao. Passenger volume forecast method for transport corridor[J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2012, 9(5): 96-102. (in Chinese)
- [10] 王玉萍,马超群. 城市轨道交通客运量影响因素与成长规律[J]. 长安大学学报:自然科学版, 2013, 33(3): 69-75.  
WANG Yu-ping, MA Chao-qun. Influencing factors and development trends of urban rail transit passenger flow[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2013, 33(3): 69-75. (in Chinese)
- [11] 黄邦菊,林俊松,郑潇雨,等. 基于多元线性回归分析的民用运输机场旅客吞吐量预测[J]. 数学的实践与认识, 2013, 43(4): 172-178.  
HUNG Bang-ju, LIN Jun-song, ZHENG Xiao-yu, et al. The prediction for civil airport passenger throughput based on multiple linear regression analysis[J]. Mathematics in Practice and Theory, 2013, 43(4): 172-178. (in Chinese)
- [12] 赵建有,周孙锋,崔晓娟,等. 基于模糊线性回归模型的公路货运量预测方法[J]. 交通运输工程学报, 2012, 12(3): 80-85.  
ZHAO Jian-you, ZHOU Sun-feng, CUI Xiao-juan, et al. Predictive method oh highway freight volume based on fuzzy linear regression model[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2012, 12(3): 80-85. (in Chinese)
- [13] 赵淑芝,田振中,张树山,等. 基于BP神经网络的组合预测模型及其在公路运输量预测中的应用[J]. 交通运输系统工程与信息, 2006, 6(4): 108-112.  
ZHAO Shu-zhi, TIAN Zhen-zhong, ZHANG Shu-shan, et al. Combination forecast model by using BP neural network and its application in highway transportation volume forecast[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2006, 6(4): 108-112. (in Chinese)
- [14] 孙煦,陆化普,吴娟. 基于蚁群优化支持向量机模型的公路客运量预测[J]. 合肥工业大学学报:自然科学版, 2012, 35(1): 124-129.  
SUN Xu, LU Hua-pu, WU Juan. Passenger traffic volume forecasting based on support vector machine model optimized by ant colony algorithm[J]. Journal of Hefei University of Technology: Natural Science, 2012, 35(1): 124-129. (in Chinese)
- [15] 魏艳强,刘海琳,宁红云. 基于RBF神经网络的公路货运量预测方法研究[J]. 天津理工大学学报, 2008, 24(1): 17-20.  
WEI Yan-qiang, LIU Hai-lin, NING Hong-yun. Measure-ment study of highway transportation volume forecast based on RBF neural network[J]. Journal of Tianjin University of Technology, 2008, 24(1): 17-20. (in Chinese)
- [16] 田智慧,王世杰. 基于四阶段预测理论的公路交通量预测研究[J]. 郑州大学学报:工学版, 2008, 29(3): 133-136.  
TIAN Zhi-hui, WANG Shi-jie. Research on the forecast of the highway traffic volume based on the theory of the four stages forecast[J]. Journal of Zhengzhou University: Engineering Science, 2008, 29(3): 133-136. (in Chinese)
- [17] 马晓珂,王慈光. 三次指数平滑法在大秦铁路运量预测中的应用[J]. 华东交通大学学报, 2005, 22(3): 8-11.  
MA Xiao-ke, WANG Ci-guang. The application of the cubic exponential smoothing method on volume forecasting of Da-Qin Railway[J]. Journal of East China Jiaotong University, 2005, 22(3): 8-11. (in Chinese)
- [18] MALYSHKINA N V, MANNERING F L. Markov switching multinomial logit model: an application to accident-injury severities[J]. Accident Analysis and Prevention, 2009, 41(4): 829-838.
- [19] RABINER L R. A tutorial on hidden Markov models and selected applications in speech recognition[J]. Proceedings of the IEEE, 1989, 77(2): 257-286.
- [20] RABINER L R, JUANG B H. An introduction to hidden Markov models[J]. IEEE ASSP Magazine, 1986, 3(1): 4-16.
- [21] 任其亮. 灰色马尔科夫模型在公路运量弹性系数预测中的应用[J]. 重庆交通大学学报:自然科学版, 2009, 28(2): 290-293.  
REN Qi-liang. Study on application of grey-Markov model to forecasting elastic coefficients in highway transportation volume[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University: Natural science, 2009, 28(2): 290-293. (in Chinese)
- [22] 李大伟,徐浩军,刘东亮,等. 改进的灰色马尔科夫模型在飞行事故率预测中的应用[J]. 中国安全科学学报, 2009, 19(9): 53-57.  
LI Da-wei, XU Hao-jun, LIU Dong-liang, et al. Improved grey Markov model and its application in prediction of flight accident rate[J]. China Safety Science Journal, 2009, 19(9): 53-57. (in Chinese)
- [23] 吕岸,胡振程,陈慧. 基于高斯混合隐马尔科夫模型的高速公路超车行为辨识与分析[J]. 汽车工程, 2010, 32(7): 630-634.  
LU An, HU Zhen-cheng, CHEN Hui. Recognition and analysis on highway overtaking behavior based on Gaussian mixture-hidden Markov model[J]. Automotive Engineering, 2010, 32(7): 630-634. (in Chinese)