

张 兵,周丹丹,周 珣,等. 基于改进系统动力学模型的公路客运量预测[J]. 长安大学学报(自然科学版),2023,43(2):111-119.
ZHANG Bing,ZHOU Dan-dan,ZHOU Xun,et al. Forecast of highway passenger volume based on improved system dynamics model[J]. Journal of Chang'an University(Natural Science Edition),2023,43(2):111-119.

DOI:10.19721/j.cnki.1671-8879.2023.02.011

基于改进系统动力学模型的公路客运量预测

张 兵¹,周丹丹¹,周 珣²,张明阳³,钟 蒙¹

(1. 华东交通大学 交通运输工程学院,江西 南昌 330013; 2. 江西省综合交通运输发展研究中心,
江西 南昌 330013; 3. 江西省交通职业技术学院,江西 南昌 330013)

摘 要:为了确定公路客运的发展规模和规律,采用改进后的系统动力学模型对公路客运量进行预测。在传统的系统动力学(SD)模型中引入生态学中的种间竞争模型 Lotka-Volterra(LV)理论,首先通过定性分析与客运需求相关的经济、社会、交通环境及其他客运方式竞争等方面的影响因素,构建因果回路图对各因素与公路客运量进行因果反馈关系分析,同时引入 LV 理论判定系统中模糊的动态关系。接着通过交通化改造后的 LV 判定方程,确定反馈关系因子之间的相互作用系数及系统流图中微分方程,对各影响因素子模型中影响因子与公路客运关系进行量化分析,对传统的系统动力学模型进行改进优化,建立具有时变性的动态 LV-SD 模型。最后以江西省公路客运量预测为例,根据公路客运量与各影响因素模型中影响因子之间的相关系数,选择地区生产总值、第三产业产值、居民消费水平、公路里程、民航客运量、铁路客运量、人口数量及城市化率等影响因子作为量化指标代入预测模型,用 2013~2018 年历史数据对模型进行有效性验证。结合城市发展情况,利用 Vensim 软件分析预测了基于 LV-SD 模型下江西省 2019~2025 年经济高、中、低增长 3 种情景下的公路客运量。结果表明:LV-SD 模型预测精度高于 SD 模型,提高了近 7.2%。2021~2025 年江西省公路客运量呈现先增后减最后趋于平缓的趋势。

关键词:交通工程;需求预测;系统动力学模型;Lotka-Volterra 理论;公路客运量

中图分类号:U491.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-8879(2023)02-0111-09

Forecast of highway passenger volume based on improved system dynamics model

ZHANG Bing¹, ZHOU Dan-dan¹, ZHOU Xun², ZHANG Ming-yang³, ZHONG Meng¹

(1. School of Transportation Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, Jiangxi, China;
2. Jiangxi Comprehensive Transport Development Research Centre, Nanchang 330013, Jiangxi, China;
3. Jiangxi Vocational and Technical College of Transportation, Nanchang 330013, Jiangxi, China)

Abstract: In order to determine the development scale and law of highway passenger transportation, the improved system dynamics model was used to predict the highway passenger transportation volume. The Lotka-Volterra (LV) theory of ecology was introduced into the

收稿日期:2022-10-31

基金项目:国家自然科学基金项目(52162042,71961006);江西省教育厅科学技术研究项目(GJJ190331);

江西省交通运输厅科技项目(2020H0053)

作者简介:张 兵(1981-),男,山东济宁人,副教授,工学博士,E-mail:zhangbing@ecjtu.edu.cn。

traditional system dynamics (SD) model. Firstly, qualitative analysis was made on the economic, social, transportation environment and other influencing factors related to passenger transport demand, a causal loop diagram was constructed to analyze the causal feedback relationships between various factors and highway passenger capacity, and the fuzzy dynamic relationship in the LV theory was introduced to determine the system. Then, the interaction coefficients between the feedback relationship factors were determined through the LV decision equation after the traffic transformation, and the differential equations in the system flow diagram were used to quantitatively analyze the relationship between the influencing factors and the highway passenger transport in the sub-models of each influencing factor. The system dynamics model was improved and optimized, and a time-varying dynamic LV-SD model was established. The forecast of highway passenger traffic in Jiangxi Province was taken as an example, according to the correlation coefficients between the highway passenger traffic and the influencing factors in the influencing factor model, the regional GDP, the output value of the tertiary industry, the consumption level of residents, the highway mileage, the civil aviation passenger traffic, railway passenger volume, population number and urbanization rate were selected as quantitative indicators to be substituted into the prediction model, and historical data from 2013 to 2018 were analyzed to verify the validity of the model. Combined with the development of the city, the Vensim software was used to analyze and predict the highway passenger traffic volume of Jiangxi Province under the three scenarios of high, medium and low economic growth from 2019 to 2025 based on the LV-SD model. The results show that the prediction accuracy of the LV-SD model is higher than that of the SD model, it is improved by nearly 7.2%. From 2021 to 2025, highway passenger volume in Jiangxi Province will increase first, then decrease, and finally flatten out. 5 tabs, 4 figs, 32 refs.

Key words: traffic engineering; demand forecast; system dynamics model; Lotka-Volterra theory; highway passenger volume

0 引 言

随着火车、高铁的陆续开通,大量旅客转乘铁路出行,铁路沿线中长途客运量大幅下降,部分客运线路减少甚至停运,道路客运企业面临着前所未有的压力。针对此问题,国内外学者提出了道路客运转型发展^[1]、集约化发展^[2]、建立以客户为中心的发展战略^[3]等解决方法。公路客运量作为科学管理公路交通的基础数据,在提高公路管理水平和建立高效的公路交通运输体系中发挥着重要作用^[4]。因此,合理预测公路客运量并分析其发展变化规律对提高公路交通管理水平和公路运行效率、促进公路交通的可持续发展具有十分重要的现实意义。

公路客运量预测方法归结起来可分为 2 类:定性分析预测和定量分析预测^[5-6]。定性预测常用方法为德尔菲(Delphi)法;定量预测方法有多元回归分析法、马尔可夫分析法、弹性系数法、灰色关联度法、BP 神经网络法、时间序列法^[7]、组合型预测方法

等。以往只根据时间序列对公路客运量进行预测。鲁亚运用多元回归模型对公路客运量进行预测,得出多元回归适合进行公路客运量的中短期预测^[8]。徐森基于 BP 神经网络对甘肃省公路客运量进行预测,对比得出 BP 神经网络模型优于多元回归模型^[9]。程丽娟等基于灰色预测(GM)模型对公路客运量进行预测,预测过程中充分考虑了公路客运量的增长趋势,并利用马尔科夫模型对预测值进行修正^[10]。裴同松等利用 BP 神经网络对公路客运量进行预测,并利用马尔科夫模型对预测值进行修正,修正后模型预测精度更高^[11]。Zhao 应用 3 次平滑预测模型对公路客运量进行预测,得出该模型相对误差值均较小,更符合实际情况,有效性更高^[12]。Liu 等建立了 GM(1,1)灰色模型,对中国公路运输量进行预测,其结果误差也较小^[13]。Li 提出了基于最小二乘支持向量回归和蚁群优化算法的载客量预测。经检验测试得出蚁群算法优化最小二乘支持向量机(ACO-LSSVR)对公路客运量的预测能力优于最小

二乘支持向量机(LSSVR)和支持向量机(SVR)^[14]。

近年来研究多结合公路客运量影响因素使用单一模型或多模型组合对其进行预测分析。施薇等用灰色系统理论定量分析影响因素关联度,构建组合预测模型,研究指出如果公路客运量呈现负增长该模型将不再适用^[15]。王栋基于灰色关联度和BP神经网络对公路客运量进行了预测^[16]。孙涵莆等基于BP神经网络和灰色预测对公路客运量进行了预测,但是只采用了单隐含层模型,使得试验结果仍存在拟合程度和多属性方面的缺失^[17]。徐森等采用了基于softplus函数的双隐含层BP神经网络模型对公路客运量进行预测,提高了非线性学习和泛化能力及预测精度,改善了网络性能^[18]。Xu等分析了县域公路客运量的影响因素,量化了县级公路客运量与解释变量之间的关系,运用线性回归模型预测了未来几年的公路客运量^[19]。Roh等以首尔市区为例,分析了重型车辆对公路交通流量的影响^[20]。Roh等还用2层非参数统计分析诊断天气因素对寒冷地区公路交通运行的影响^[21]。He等考虑公路、铁路和航空3种不同出行方式之间的关系及相关影响因素,构建公路客运需求预测虚拟变量模型^[22]。Liu等利用最优加权原理,构建了基于灰色系统理论的三次指数平滑组合模型对公路客运量进行预测,其模型预测精度高于单一模型^[23]。

尽管这些模型都取得了较好的预测效果,但也存在一些不足,如仅从时间序列角度建模预测时,没有充分考虑各影响因素,会影响结果精度;有的模型选择影响因素覆盖的面域不够广泛;有的模型未充分考虑到客运量预测的非线性关系。

系统动力学(SD)是一种模拟复杂系统动态过程的仿真方法^[24],把整个系统作为一个反馈系统进行分析。反馈机制或互为因果效应,以及稳定性是系统动力学建模中的核心问题^[25]。系统动力学研究复杂问题的方法是综合定量与定性分析,可以很好解决非线性数据预测问题,被广泛应用于交通预测研究领域^[25-26]。张亚男等构建系统动力学模型,对海南自贸港背景下海口市对外客运量进行预测研究^[27]。陆华等综合考虑各方面因素,构建城市货运交通系统动力学模型,研究了共同配送对城市货运交通系统的效益^[28]。沈静瑶等研究了基于系统动力学模型的中国民航客运市场需求预测^[29]。牟振华等利用系统动力学进行了高铁客运需求预测^[30]。但系统动力学无法确定复杂系统中反馈关系不明显的反馈环之间的关系,故引入Lotka-Volterra(LV)

模型对其进行优化,LV模型定义了在不同环境容量下不同变量之间的交互关系,并且可以直观地反映不同变量之间的关系。Lotka-Volterra模型是阻滞增长(logistic)模型的延伸^[31],它可将不断变化的变量关系量化,具有时变性质。

在以上研究的基础上,本文通过分析与客运需求相关的经济、人口、环境及其他客运方式竞争等影响因素,引入LV理论判定系统中模糊的动态关系并确定其相互作用系数,建立具有时变性的动态LV-SD模型。以江西省公路客运量预测为例,首先通过历史数据对LV-SD模型和SD模型进行有效性验证和预测精度比较。最后结合城市发展情况,预测出江西省2019~2025年经济高、中、低增长3种情景下的公路客运量。

1 公路客运量预测模型的构建

1.1 模型中影响因子关系分析

根据相关文献可得公路客运影响因素大致可分为以下4类:①经济因素,包括国民生产总值、居民收入水平、居民消费水平、经济产业结构等;②社会因素,包括人口数量、城市化程度等;③交通环境因素,包括公路网规模、公路基础设施完善程度、服务水平等;④与其他运输方式的竞争因素,包括与铁路客运的竞争、与民航客运的竞争等^[32]。通过分析各影响因素之间的关系构建SD模型的因果回路图,如图1所示,图中用虚线标注的为不明确反馈关系的影响因素,需借助LV理论对其进行判定。通过梳理因果关系图,可以得到主要反馈环有如下4个。

(1)反馈环1:地区生产总值→+居民收入水平→+私家车出行比例→-公路客运量→+行业利润→+地区生产总值。该反馈环为负反馈环,描述了经济因素对公路客运量(营运性)产生的负面作用。经济水平提高,选择小汽车出行的比例会增加,导致公路客运量会减少。

(2)反馈环2:交通设施投资→+运送速度→-运送时间→+服务水平→+公路客运量→+行业利润→+交通设施投资。该反馈环为正反馈环,体现了增加交通设施投资对公路客运量的促进作用。加大公路设施投入,必然增强其自身竞争力,提高公路客运服务水平和增加公路客运量。

(3)反馈环3:地区生产总值→+人口数量→+出行需求→+公路客运量→+行业利润→+地区生产总值。该反馈环为正反馈环,体现了人口数量增

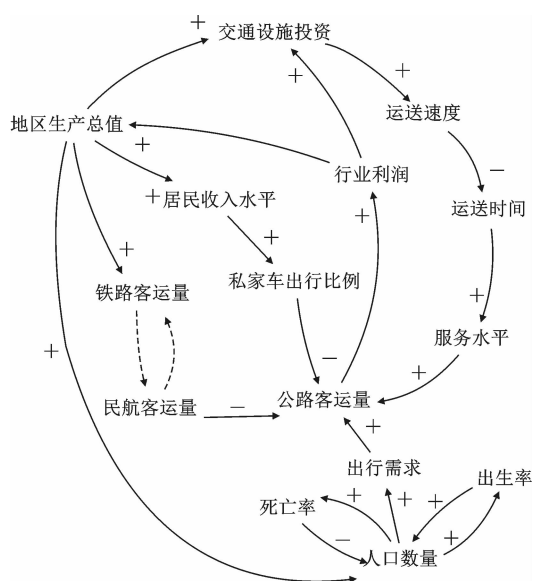


图1 公路客运需求因果关系

Fig. 1 Causality of highway passenger transport demand

加大对公路客运量的正面积作用,人口数量增加,会促进公路客运量的增加。

(4) 反馈环 4: 地区生产总值 → 铁路客运量 → 民航客运量 → 公路客运量 → 行业利润 → 地区生产总值。此反馈环中无法直接判断铁路客运量与民航客运量之间的反馈关系,地区生产总值的增加会增大总体的客运量,但该反馈环中各变量(即 3 种客运方式)间存在相互影响的关系,可表现为促进、竞争、单向影响,并处于动态变化,故单体变量的

发展情况则需要通过 LV 理论分析界定。

1.2 建立 LV-SD 模型

通过分析公路客运量的系统内部关系,借助 Vensim 软件构建公路客运量系统流程。系统模型中包含了 4 个子模型,分别为经济影响子模型、社会影响子模型、环境影响子模型和其他客运方式竞争影响子模型。其他客运方式竞争子模型中需要借助 LV 判定反馈环,求得相应的作用系数 f ,构造 LV-SD 模型如图 2 所示。

系统流图所包含的微分方程、LV 判定方程和主要参数(表 1)如下所示

$$y_j = f_A z_A + f_B z_B + f_C z_C \quad (1)$$

$$z_B(t) = z_B(t-dt) + z_B dt \quad (2)$$

$$z_{Bz} = \frac{z_B z_{Br}}{100} \quad (3)$$

$$y_s = f_r z_r + f_m z_m \quad (4)$$

$$z_r(t) = z_r(t-dt)(r_c - r_s)dt \quad (5)$$

$$y_z = z_t(r_t \alpha + 1) + z_h(r_h \beta + 1) \quad (6)$$

$$z_t(t) = z_t(t-dt) + z_t(t-dt)r_t \quad (7)$$

$$z_h(t) = z_h(t-dt) + z_h(t-dt)r_h \quad (8)$$

$$r_k = f_j y_j + f_s y_s + f_h y_h + f_z y_z + c \quad (9)$$

$$k_n(t) = k_n(t-dt) + \frac{r_k k_n(t-dt)}{100} \quad (10)$$

需对系统微分方程中的民航客运和铁路客运 2 种客运方式之间的关系进行 LV 判定,对 LV 理论进行交通化改造。

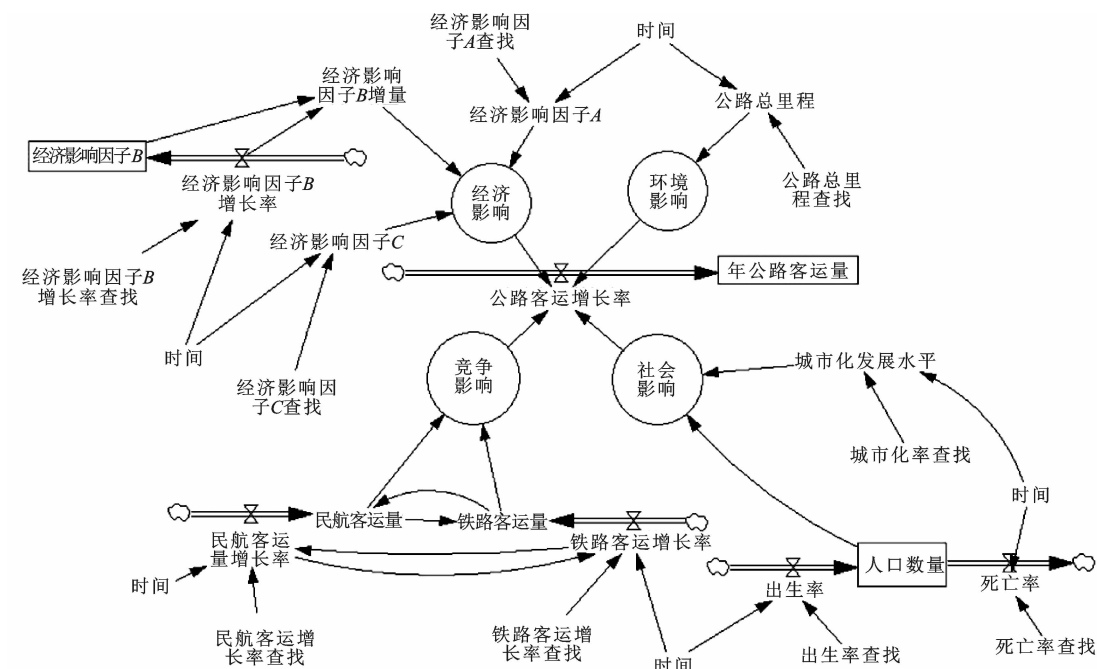


图2 LV-SD模型预测公路客运量系统流程

Fig. 2 System flow of highway passenger volume of LV-SD model predict

表 1 主要参数
Tab. 1 Main parameters

参数	含义	参数	含义
y_j	经济对公路客运增长率的影响	f_j	经济对公路客运增长率作用系数
y_s	社会对公路客运增长率的影响	f_s	社会对公路客运增长率作用系数
y_h	环境对公路客运增长率的影响	f_h	环境对公路客运增长率作用系数
y_z	竞争对公路客运增长率的影响	f_z	竞争对公路客运增长率作用系数
z_A	经济影响因子 A	f_A	经济影响因子 A 对经济作用系数
z_B	经济影响因子 B	f_B	经济影响因子 B 对经济作用系数
z_C	经济影响因子 C	f_C	经济影响因子 C 对经济作用系数
z_{Bz}	经济影响因子 B 的增量	z_{Br}	经济影响因子 B 的增长率
z_r	人口数量	f_r	人口数量对社会影响作用系数
z_m	城市化发展水平	f_m	城市化发展水平对社会影响作用系数
r_c	出生率	r_s	死亡率
z_t	铁路客运量	C	常数
z_h	民航客运量	r_t	铁路客运增长率
α	民航客运对铁路客运作用系数	r_h	民航客运增长率
k_n	公路客运量	β	铁路客运对民航客运作用系数
t	时间	r_k	公路客运增长率

根据 LV 模型,2 种运输方式随时间的演化情

$$\mathbf{Y}_{Ni} = [z_i(2) - z_i(1) \quad x_i(3) - z_i(2) \quad \cdots \quad z_i(n) - z_i(n-1)]^T$$
 (15)

$$\mathbf{B}_i = \begin{bmatrix} \frac{z_i(2)+z_i(1)}{2} & \left(\frac{z_i(2)+z_i(1)}{2}\right)^2 & \frac{z_h(2)+z_h(1)}{2} \frac{z_t(2)+z_t(1)}{2} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{z_i(n)+z_i(n-1)}{2} & \left(\frac{z_i(n)+z_i(n-1)}{2}\right)^2 & \frac{z_h(n)+z_h(n-1)}{2} \frac{z_t(n)+z_t(n-1)}{2} \end{bmatrix}$$
 (16)

在最小二乘准则下 $\hat{\mathbf{A}}_i = [a_i \quad b_i \quad c_i]^T = (\mathbf{B}_i^T \mathbf{B}_i)^{-1} \mathbf{B}_i^T \mathbf{Y}_{Ni}$,可得: $\alpha = c_h/b_h, \beta = c_t/b_t$ 。

2 案例分析

2.1 模型验证

以江西省公路客运量预测为例,建立 LV 判定铁路与航空之间相互作用关系下的 SD 模型,利用 Vensim 软件对 LV-SD 模型进行仿真分析。表 2 为江西省 2013~2018 年民航客运量与铁路客运量数据。

表 2 江西省 2013~2018 年民航客运量与铁路客运量数据
Tab. 2 Data of civil aviation passenger volume and railway passenger volume in Jiangxi Province from 2013 to 2018

年份	民航客运量/万人	铁路客运量/万人
2013	681	6 944.8
2014	930	7 839.6
2015	985	8 458.3
2016	1 050	9 249.0
2017	1 415	10 224.0
2018	1 734	11 131.0

注:数据信息来源于江西省统计年鉴。

民航客运量、铁路客运量白化值、背景值代入矩

阵存在下列关系

$$\frac{dz_i}{dt} = r_i z_i - \frac{r_i}{m_i} z_i^2 - \frac{r_i d_i}{m_i} z_h z_t$$
 (11)

令 $a_i = r_i, b_i = \frac{r_i}{m_i}, c_i = \frac{r_i d_i}{m_i}$,将公式简化得

$$\frac{dz_i}{dt} = a_i z_i - b_i z_i^2 - c_i z_h z_t$$
 (12)

式中: z_i, r_i 分别为客运量、客运增长率, i 为 h 或 t 时分别为民航客运和铁路客运; m_i 分别为民航客运或铁路客运在现有环境下的饱和容量指标,大于零为未饱和,小于零为过饱和; d_i 分别为民航客运对铁路客运的作用系数或铁路客运对民航客运的作用系数。

按照灰色模型的直接建模法,以 $z_i(t+1) - z_i(t), [z_i(t+1) + z_i(t)]/2$ 作为 dz_i/dt 的白化值、背景值($i=h, t$)进行离散化,将 $t=1, 2, \cdots, n-1$ 时的数据依次代入上述方程组,用矩阵表示为

$$\mathbf{Y}_{Ni} = \mathbf{B}_i \hat{\mathbf{A}}_i$$
 (13)

$$\hat{\mathbf{A}}_i = [a_i \quad b_i \quad c_i]^T$$
 (14)

阵中,经 MATLAB 计算得出结果如下

$$\mathbf{Y}_{Ni} = [0.249 \ 0.055 \ 0.065 \ 0.365 \ 0.319]^T$$

$$\mathbf{Y}_{Ni} = [0.895 \ 0.619 \ 0.791 \ 0.975 \ 0.907]^T$$

$$\mathbf{B}_1 = \begin{bmatrix} 0.805 \ 5 & 0.648 \ 83 & 5.954 \ 417 \\ 0.957 \ 5 & 0.916 \ 806 & 7.802 \ 62 \\ 1.017 \ 5 & 1.035 \ 306 & 9.008 \ 589 \\ 1.232 \ 5 & 1.519 \ 056 & 12.000 \ 24 \\ 1.574 \ 5 & 2.479 \ 05 & 16.811 \ 72 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{B}_2 = \begin{bmatrix} 7.392 \ 2 & 54.644 \ 62 & 5.954 \ 417 \\ 8.148 \ 95 & 64.405 \ 39 & 7.802 \ 62 \\ 8.853 \ 65 & 78.387 \ 12 & 9.008 \ 589 \\ 9.736 \ 5 & 94.799 \ 43 & 12.000 \ 24 \\ 10.677 \ 5 & 114.009 & 16.811 \ 72 \end{bmatrix}$$

$$\hat{\mathbf{A}}_1 = [0.009 \ 6 \quad -0.003 \ 6 \quad 0.019 \ 7]^T$$

$$\hat{\mathbf{A}}_2 = [0.120 \ 2 \quad -0.001 \ 0 \quad -0.0152]^T$$

将结果整理得出民航客运对铁路客运的作用系数 $\alpha = c_h/b_h = -5.472$,铁路客运对民航客运的作用系数 $\beta = c_t/b_t = 15.2$ 。

根据公路客运量与经济影响子模型中各影响因子的相关系数,选择相关系数较大的经济影响因子

代入系统流的经济影响因子进行定量分析,选择的经济影响因子分别为地区生产总值、第三产业产值

及居民消费水平,得到江西省公路客运量预测系统流如图 3 所示,其他预测基础数据如表 3 所示。

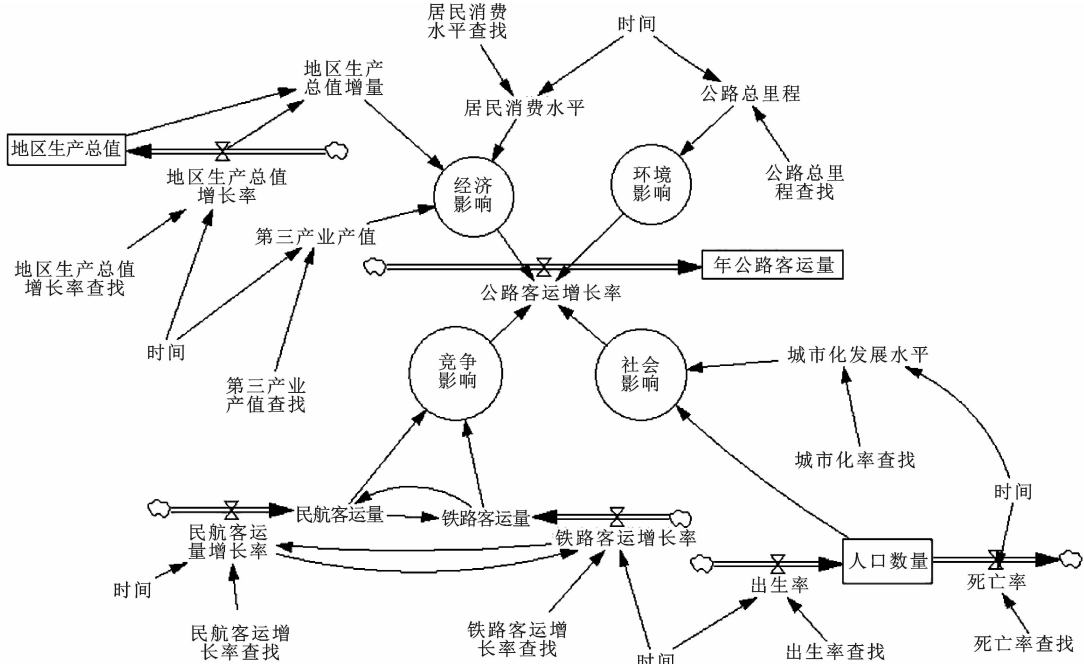


图 3 LV-SD 模型预测江西省公路客运量系统流程

Fig. 3 System flow of highway passenger volume in Jiangxi Province of LV-SD model predict

表 3 江西省公路客运量预测基础数据

Tab. 3 Basic data of highway passenger volume forecast in Jiangxi Province

年份	公路客运量/ 万人	公路里程年底 到达数/km	地区生产总值/ 亿元	地区生产总值 增长率/%	第三产业/ 亿元	居民消费/ 元	总人口/ 万人	城市化率/ %
2013	57 915	152 067	14 338.50	10.73	5 030.63	10 052	4 522	48.9
2014	59 676	155 515	15 714.63	9.59	5 782.98	11 088	4 542	50.2
2015	53 687	156 625	16 723.78	6.42	6 539.23	14 489	4 565	51.6
2016	53 364	161 909	18 499.00	10.61	7 764.93	16 040	4 592	53.1
2017	52 506	162 285	20 006.31	8.15	8 543.07	17 290	4 622	54.6
2018	49 302	161 941	21 984.78	9.89	9 857.24	19 299	4 647	56.0

注:数据信息来源于江西省统计局。

将 LV 判定环中计算出的作用系数代入系统动力学方程中,以 2013 年为基准年,应用 SPSS 和 Vensim 软件对各影响因子量化结果与公路客运增长率进行分析仿真,得出预测结果及与真实值的相对误差如表 4 所示,结果表明:从总体来看, LV-SD 模型对公路客运量预测的相对误差小于 SD 模型。SD 模型平均相对误差为 1.64%, LV-SD 模型平均相对误差为 0.44%, LV-SD 模型预测精度提高了近 1.2%,总而言之, LV-SD 模型预测精度提高了近 7.2%。

2.2 多情景预测

根据中国和江西省现行的相关方针政策,同时考虑疫情对经济社会造成的影响,预判江西省未来

表 4 公路客运量预测结果对比
Tab. 4 Comparison of prediction results of highway passenger volume

年份	公路 客运量	LV-SD		SD	
		预测值	相对误差/%	预测值	相对误差/%
2013	57 915	57 795	0.21	59 780	3.22
2014	59 676	59 240	0.73	61 258	2.65
2015	53 687	53 908	0.41	52 698	1.84
2016	53 364	53 205	0.30	53 495	0.24
2017	52 506	53 019	0.98	51 628	1.67
2018	49 302	49 319	0.03	49 417	0.23
平均值			0.44		1.64

的社会发展趋势,分析确定未来江西省公路客运需求量的系统动力学预测模型的相关参数值,主要是经济、人口增长率和疫情等其他方面影响因子的

确定。

在经济方面,结合《江西蓝皮书:江西经济社会发展报告(2020)》《交通强国战略研究》以及历史统计数据分析,预计 2020~2021 年地区生产总值降至 2.5%~6.5%,2022~2025 年间的地区生产总值增长率为 6%~8%。

在人口方面,统计数据显示,近 2 年出生率接近 14‰。然而,从长远来看,由于生育选择行为的改变,育龄妇女人数的减少以及人口的老龄化,出生率下降,死亡率上升,人口增长潜力将会减弱。基于分析,结合历史统计数据,预计 2020~2025 年间的出生率为 12‰~13‰,死亡率为 6‰~7‰。

疫情等其他方面影响因子的取值由已经发布的 2020 年公路客运量数据与预测结果确定。得出 2020~2021 年疫情影响因子取值为 0.8~0.9,2022~2025 年疫情影响因子为 0.9~1.0。

本研究考虑经济高、中、低增长速率 3 种状态的情景,公路客运市场需求量预测 LV-SD 模型的参数取值见表 5。

表 5 公路客运量预测参数取值范围

Tab. 5 Range of prediction parameters for highway passenger volume

变量名称	2020~2021 年 参数值范围	2022~2025 年 参数值范围
疫情影响因子	0.8~0.9	0.9~1.0
地区生产总值增长率/%	2.5~6.5	6.0~8.0
居民消费水平/元	20 000~25 000	20 000~25 000
第三产业产值/亿元	10 000~15 000	10 000~15 000
出生率/‰	12~13	12~13
死亡率/‰	6~7	6~7
铁路客运量/万人	8 000~12 000	10 000~20 000
民航客运量/万人	1 800~2 000	1 900~2 500
公路总里程/km	210 000~250 000	210 000~300 000

输入分析确定的参数值,以 2019 年为仿真起点,2025 年为终点,取 1 年为模拟时间步长,运行 LV-SD 模型,得到未来高、中、低 3 种方案下江西公路客运量市场需求预测结果及变化趋势见图 4(由于 2019 年统计年鉴口径发生变化,故图 4 为同比例换算之后的结果)。预测结果显示,从总量上来看,2021~2025 年,随未来经济社会发展,江西省公路客运市场需求总量变化趋势为先增后减,最后趋于平缓。经济高、中、低 3 种增长方案条件下,到 2025 年江西省公路客运量分别减少至 2.83、2.96、3.13 亿人。

3 结 语

(1)LV 理论优化判定了 SD 模型反馈环中无法

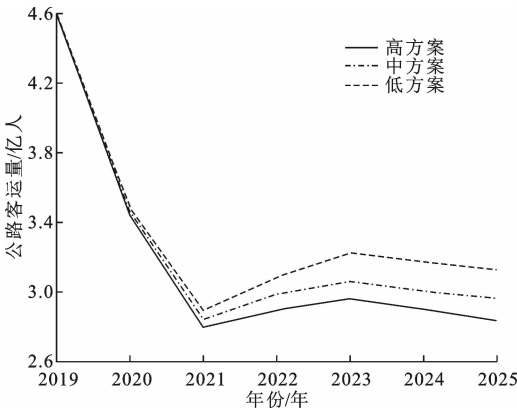


图 4 公路客运量预测结果

Fig. 4 Forecast results of highway passenger volume

直接确定关系的变量,根据历史数据对模型的检验,表明 LV-SD 模型对公路客运量的预测精度高于 SD 模型。

(2)LV-SD 模型还可应用于其他地区的公路客运量预测。经济影响子模型中,根据不同地区的发展情况及各影响因子与公路客运量相关性大小,可选择更具有代表性的影响因子代入模型中。

(3)根据经济增速设置了 3 种不同情景的 LV-SD 模型参数值进行预测,预测结果显示江西省公路客运量呈现先增后减并趋于平缓的趋势,原因是疫情影响逐渐变小,在短时间内公路客运量相较于前一年会有增加的趋势。未来随着社会经济的发展,人们倾向于选择更高质量的出行方式。选择小汽车和铁路出行的比例增加,对公路营业性客运的需求减少,并且公路客运的增长趋于饱和。

(4)在考虑影响因素时,目前本文模型研究了经济、社会、公路里程及其他客运方式竞争对公路客运需求的影响,如何有效结合天气、气候、道路状况等因素对公路客运量进行预测,将会提高预测的准确性。

参考文献:

References:

[1] CHEN L L, YI Z J, DI X F. Research and analysis on the transformation of road passenger transport industry[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2019, 1187(5):052065.

[2] GONG L Y, SHI Q, KONG Q F, et al. Study on the policy of Chinese road passenger transport intensification[J]. Applied Mechanics and Materials, 2014, 505/506:759-766.

[3] LIU J. Customer base-centered development strategy of road passenger transport enterprise in China[C]//

- Intelligent Information Technology Application Association, Proceedings of 2011 International Conference on Applied Social Science(ICASS 2011 V4). Texas city: ICASS, 2011; 533-536.
- [4] 芮海田, 吴群琪, 袁华智, 等. 基于指数平滑法和马尔科夫模型的公路客运量预测方法[J]. 交通运输工程学报, 2013, 13(4): 87-93.
- RUI Hai-tian, WU Qun-qi, YUAN Hua-zhi, et al. Prediction method of highway passenger transportation volume based on exponential smoothing method and Markov model[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2013, 13(4): 87-93.
- [5] 焦萍, 张帅, 赵小曼. 基于第三方的政府与道路运输企业安全监管演化博弈[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2021, 41(3): 106-115.
- JIAO Ping, ZHANG Shuai, ZHAO Xiao-man. Evolutionary game of safety supervision between government and road transport enterprises based on third-party[J]. Journal of Chang'an University(Natural Science Edition), 2021, 41(3): 106-115.
- [6] 胡凡. 公路客运量预测方法对比分析[D]. 长春: 长春工业大学, 2015.
- HU Fan. Comparative analysis on prediction methods of highway passenger transportation volume [D]. Changchun: Changchun University of Technology, 2015.
- [7] 李苑辉, 刘夏, 欧志鹏. 基于 ARIMA 模型的三亚机场客流量预测. [J]. 软件, 2018, 39(7): 42-47.
- LI Yuan-hui, LIU Xia, OU Zhi-peng. Passenger flow forecast of Sanya Airport based on ARIMA model. [J]. Computer Engineering & Software, 2018, 39(7): 42-47.
- [8] 鲁亚. 基于多元回归模型的公路客运量预测分析[J]. 重庆理工大学学报(自然科学版), 2016, 30(8): 152-155.
- LU Ya. Prediction of traffic volume based on multiple regression model[J]. Journal of Chongqing University of Technology (Natural Science), 2016, 30(8): 152-155.
- [9] 徐森. 基于 BP 神经网络的甘肃省公路客运量预测方法[J]. 交通与运输, 2019, 35(5): 28-31.
- XU Sen. Prediction method of highway passenger transportation volume based on BP neural network in Gansu Province[J]. Traffic & Transportation, 2019, 35(5): 28-31.
- [10] 程丽娟, 张仲荣. 基于 GM 模型和马尔科夫模型的公路客运量预测[J]. 黑龙江交通科技, 2018, 41(3): 162-164.
- CHENG Li-juan, ZHANG Zhong-rong. Prediction of highway passenger traffic volume based on GM model and Markov model[J]. Communications Science and Technology Heilongjiang, 2018, 41(3): 162-164.
- [11] 裴同松, 裴彧. 基于马尔科夫链-BP 神经网络模型对公路运量的预测研究[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2021, 40(2): 35-41.
- PEI Tong-song, PEI Yu. Prediction of highway traffic volume based on Markov chain-BP neural network model[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Science), 2021, 40(2): 35-41.
- [12] ZHAO X W. Markov modified exponential smoothing forecast of highway passenger volume[J]. Applied Mechanics and Materials, 2014, 556/557/558/559/560/561/562: 3714-3721.
- [13] LIU X F, WU J, SUN X. Application of Grey model GM (1,1) to highway transportation estimation[C]//ZHU K, ZHANG H. Proceedings of the 4th International Institute of Statistics and Management Engineering Symposium (IISMES). Sydney: Aussino Academic Publishing House, 2011: 1192-1195.
- [14] LI D P. Passenger capacity prediction based on least squares support vector regression with continuous ant colony optimization algorithm[C]//STEVEN G, ANDREW K, SHUENG-HAN G C. Proceedings of 2016 International Conference on Information System and Artificial Intelligence (ISAI). New York: IEEE, 2016: 427-431.
- [15] 施薇, 赖军, 李远辉. 基于灰色关联度的公路客运量预测研究[J]. 公路与汽运, 2015(6): 67-70.
- SHI Wei, LAI Jun, LI Yuan-hui. Research on highway passenger traffic forecast based on grey correlation [J]. Highways & Automotive Applications, 2015(6): 67-70.
- [16] 王栋. 基于 BP 神经网络的公路客运量预测方法[J]. 计算机技术与发展, 2017, 27(2): 187-190.
- WANG Dong. Prediction method of highway passenger transportation volume based on BP neural network[J]. Computer Technology and Development, 2017, 27(2): 187-190.
- [17] 孙涵青, 胡鑫泽, 张琪虹, 等. 基于 BP 神经网络与灰色预测模型的公路运量预测[J]. 科技与创新, 2020(3): 31-33.
- SUN Han-pu, HU Xin-ze, ZHANG Qi-hong, et al. Prediction of highway traffic volume based on BP neural network and grey prediction model[J]. Science and Technology & Innovation, 2020(3): 31-33.
- [18] 徐森, 崔舒为. 基于 Softplus 函数的双隐含层 BP 神经网络的公路客运量预测[J]. 南华大学学报(自然科

- 学版),2020,34(1):88-92.
- XU Sen, CUI Shu-wei. Highway passenger traffic forecast based on double implicit layer BP neural network based on Softplus function[J]. Journal of University of South China (Science and Technology), 2020,34(1):88-92.
- [19] XU S Y, ZHANG L, MA J. Study on linear regression prediction model of county highway passenger transport volume [M]//AINSC. Advances in Computer Science, Intelligent System and Environment. Berlin: Springer, 2011:151-156.
- [20] ROH C G, PARK B J, KIM J. Impact of heavy vehicles on highway traffic flows; Case study in the Seoul metropolitan area[J]. Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems, 2017, 143(9):05017008.
- [21] ROH H J. Diagnosing the effects of weather factors on cold region highway traffic operation with two layers of nonparametric statistical analysis[J]. Journal of Cold Regions Engineering, 2021, 35(2):04021005.
- [22] HE N, LI J T. Highway passenger travel demand forecasting incorporating relationships among travel modes[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development (English Edition), 2018, 12(3):90-96.
- [23] LIU W W, QIN Y, DONG H H, et al. Highway passenger traffic volume prediction of cubic exponential smoothing model based on grey system theory[C]//CHANG T, ANDREW H. Proceedings of the 2nd International Conference on Soft Computing in Information Communication Technology, Advances in Intelligent Systems Research. Paris: Atlantis Press, 2014: 186-190.
- [24] 高妍南,郝 晴. 低碳经济下城市交通系统动力学模型及政策仿真[J]. 公路交通科技, 2021, 38(3): 96-104.
- GAO Yan-nan, HAO Qing. A system dynamics model and simulation of policy for urban traffic system under low carbon economy[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2021, 38(3):96-104.
- [25] OUD J H L. System dynamics modeling[J]. Encyclopedia of Quality of Life and Well-Being Research, 2014, 6555-6558.
- [26] LU X J, HUANG M H. Modeling, analysis and control of hydraulic actuator for forging[M]. Singapore: Springer, 2017.
- [27] 张亚男,席 洋,杨嘉钰,等. 海南自贸港背景下海口市对外客运量预测研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2021, 21(3):260-267, 281.
- ZHANG Ya-nan, XI Yang, YANG Jia-yu, et al. Forecast of Haikou external passenger volume considering Free Trade Port in Hainan Province[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2021, 21(3):260-267, 281.
- [28] 陆 华,袁 敏,刘玉霞,等. 共同配送对城市货运交通系统的效益研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2019, 19(6):6-12, 19.
- LU Hua, YUAN Min, LIU Yu-xia, et al. Benefits of common distribution to urban freight transportation system[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2019, 19(6):6-12, 19.
- [29] 沈静瑶,曾小舟,邬国祥. 中国民航客运市场需求预测的系统动力学模型研究[J]. 华东交通大学学报, 2019, 36(4):57-66.
- SHEN Jing-yao, ZENG Xiao-zhou, WU Guo-xiang. Research on dynamics model of China's civil aviation passenger transport market demand forecast[J]. Journal of East China Jiaotong University, 2019, 36(4): 57-66.
- [30] 牟振华,李克鹏,陈艳艳,等. 基于系统动力学的高铁客运需求预测[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(1): 387-394.
- MOU Zhen-hua, LI Ke-peng, CHEN Yan-yan, et al. Ridership forecast of high-speed railway based on the system dynamics[J]. Science Technology and Engineering, 2021, 21(1):387-394.
- [31] 唐秋生,汪 勇,聂化东. 基于“灰色 L-V”模型的综合交通竞合体系预判[J]. 公路工程, 2017, 42(1):96-100, 114.
- TANG Qiu-sheng, WANG Yong, NIE Hua-dong. Forecast on the cooperation relationship between modes of transportation based on “Gray L-V” Model[J]. Highway Engineering, 2017, 42(1):96-100, 114.
- [32] 任其亮. 公路运输需求影响因素和机理分析[J]. 交通标准化, 2009, 37(9):127-131.
- REN Qi-liang. Influence factor and mechanism of highway transportation demand[J]. Transport Standardization, 2009, 37(9):127-131.