

文章编号:1671-1637(2012)03-0080-06

基于模糊线性回归模型的公路货运量预测方法

赵建有,周孙锋,崔晓娟,王高青

(长安大学 汽车学院,陕西 西安 710064)

摘要:确定了公路货运量的影响因素分别为GDP、人口数量、社会消费零售总额和农副产品产值,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,1995~2004年的货运统计量作为因变量,确定了模型的模糊系数。以2005~2010年的货运统计量作为验证值,分析了模型的拟合精度,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。研究结果表明:在模糊线性回归模型中, t 检验的平均值为0.673 07,说明预测值与实际值差异不显著,模型预测效果较好;4种方法的平均相对误差分别为0.073 1、0.100 3、0.167 8、0.232 9,可见,本文方法误差最小。

关键词:交通规划;公路货运量;模糊线性回归;预测方法;拟合精度;影响因素

中图分类号:U491.13

文献标志码:A

Predictive method of highway freight volume based on fuzzy linear regression model

ZHAO Jian-you, ZHOU Sun-feng, CUI Xiao-juan, WANG Gao-qing

(School of Automobile, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: The influence factors of highway freight volume were determined, such as GDP, population quantity, the total amount of social consuming retails and the output value of sideline products, and a predictive method of highway freight volume based on fuzzy linear regression model was set up. The highway freight hub planning in Yan'an City was taken as an example, the statistical freight volumes from 1995 to 2004 were taken as dependent variables, and the fuzzy coefficients of fuzzy linear regression model were determined. The statistical freight volumes from 2005 to 2010 were taken as verified values, and the goodness of fit for fuzzy linear regression model was analyzed. The predictive results among fuzzy linear regression model, exponential smoothing method, grey model and elastic coefficient method were compared. Analysis result shows that in the fuzzy linear regression model, the average value of t test is 0.673 07, which shows that the difference between predictive value and actual value is not significant, and the prediction effect is better. The average relative errors of four methods are 0.073 1, 0.100 3, 0.167 8, 0.232 9 respectively, so the error of predictive method is smallest. 5 tabs, 16 refs.

Key words: traffic planning; highway freight; fuzzy linear regression; predictive method; goodness of fit; influence factor

Author resume: ZHAO Jian-you(1963-), male, professor, PhD, +86-29-82334371, jyzhao@chd.edu.cn.

收稿日期:2012-01-09

基金项目:国家自然科学基金项目(61101216,51178158);陕西省交通科技项目(07-10R);中俄国际道路运输发展研究项目(2011hj-08)

作者简介:赵建有(1963-),男,河南西峡人,长安大学教授,工学博士,从事道路交通规划研究。

0 引言

随着产业结构、技术结构、产品结构和需求结构的不断演变,交通运输业占 GDP 的比重稳步增长。与此同时,随着运输方式构成的持续调整,铁路运输的市场份额逐步下降,公路和航空运输的则快速上升。近年来,中国公路基础设施不断完善,截止到 2011 底,全国公路通车里程达到 4.05×10^6 km。预计到“十二五”末,中国公路总里程将达到 4.50×10^6 km;国家高速公路网基本建成,高速公路总里程将达到 1.08×10^5 km,将覆盖 90% 以上的 20 万人口以上的城市;二级及以上公路里程将达到 6.50×10^5 km,农村公路总里程将达到 3.90×10^6 km。公路建设的发展,伴随着现代电子商务的兴起,物流产业迎来了快速发展期,公路货运站和物流基地的合理布局成为公路和场站协调促进社会经济发展的必要条件。在进行城市交通规划时,首先要精确预测公路货运量,预测公路货运量首先应找到影响货运量的相关社会指标,然后构建合理的模型,因此,研究一种高精度模型来预测公路货运量十分必要。

Al-deek 采用反向神经网络(BPN)和时间序列相结合的方法来预测港口出港和入港重型卡车的流量,并在迈阿密港、坦帕、杰尔逊维尔港等港口进行实例验证^[1]; Garrido 等针对货运需求的时空变化性,提出了一种基于时空误差相互关联的多项概率模型(MNP),并采用蒙特卡洛方法评价了 MNP 的准确性^[2]; Babcock 等运用时间序列模型对农产品产量物流进行了季节性预测^[3]; Godfrey 等研究了基于指数平滑的预测模型,并与 ARIMA 方法进行了比较^[4]; Dantas 等利用四阶段法对交通出行需求进行预测^[5]; Chiou 等针对台湾海军武器装备库存管理,提出了灰色预测模型^[6]; 杨铭等采用调查手段,找出货物周转量的拆分方法,按路网和车辆结构进行细化,获得具体路网上不同车辆完成的货物量与结构比例^[7]; 崔淑华等基于主成分分析了公路货运量的影响因素,为货运量的预测提供了科学依据^[8]; 任其亮针对公路运量预测中弹性波动问题,建立了灰色马尔可夫预测模型,提高公路量预测中弹性系数的预测精度^[9]; 田智慧等运用四阶段预测分析理论研究适合河南省实际状况的公路交通量预测模型和方法,并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^[10]; 魏艳强等利用 MATLAB 软件提出了一种 RRF 神经网络直接预测法^[11]; 周志娟等运用灰色

模型和一次指数平滑方法预测了中国的公路货运量^[12]; 马昌喜等采用带波动的多项式与马尔可夫链建立了改进的灰色-马尔可夫链预测模型^[13]; Freitas 等分析了不同的神经网络预测模型,利用高斯径向基函数网络,拓展了常用的线性联合估计模型的框架^[14]。

上述研究大多采用神经网络、时间序列、灰色预测和趋势外推等模型算法对货运量进行定量预测,缺少定性分析预测。公路货运量受社会发展指标影响很大,不确定因素较多,完全依靠模型算法无法反应实际情况。本文通过定性分析公路货运量的相关社会指标,采用灰色关联度定量计算了公路货运量与相关社会指标的关联程度,从而确定公路货运量的影响因素,构建了模糊线性回归模型,并分析模型的拟合精度;将模糊线性回归模型与其他常用预测方法进行对比。

1 公路货运量影响因素的确定

公路货运量的大小与当地相关社会指标有着密切的关系,要建立公路货运量的回归预测模型,必然要考虑到货运量的影响因素。从理论上来说,影响因素越多,模型的预测效果会更精确,但实际上选取的因素越多,预测模型就会越复杂,无法解决实际问题。另外由于选取因素过多可能使彼此之间不完全独立而引起计算困难,所以在筛选影响因素时,要尽可能使这些因素少一些,并使彼此之间能够相互独立。按照实际要求,选取与公路货运量的相关指标分别为 GDP、人口数量、社会消费零售总额、全社会固定资产投资额、农副产品产值、工业总产值。本文应用灰色关联度进行分析,找出上述 6 个因素中与公路货运量关联度较好的因素。具体计算步骤如下。

第 1 步:将原始 m 组公路货运量与 6 个因素的值作量纲为 1 处理,令

$$Y = \left\{ \frac{y_1}{y_1}, \frac{y_2}{y_1}, \dots, \frac{y_i}{y_1}, \dots, \frac{y_m}{y_1} \right\}$$

$$P_j = \left\{ \frac{x_{j1}}{x_{j1}}, \frac{x_{j2}}{x_{j1}}, \dots, \frac{x_{ji}}{x_{j1}}, \dots, \frac{x_{jm}}{x_{j1}} \right\}$$

式中: Y 为公路货运量量纲为 1 的参考序列; P_j 为第 j 个因素量纲为 1 的比较序列; y_i 为第 i 组公路货运量实际值; x_{ji} 为第 j 个因素在第 i 组的值, $1 \leq i \leq m$, $1 \leq j \leq 6$, i 和 j 均取整数。

第 2 步:求参考序列与比较序列对应值的差,即

$$\Delta_{ji} = |Y_i - P_{ji}|$$

$$Y_i = \frac{y_i}{y_1}$$

$$P_{ji} = \frac{x_{ji}}{x_{j1}}$$

式中: Y_i 为参考序列中的第 i 组值; P_{ji} 为比较序列中第 j 个因素在第 i 组的值; Δ_{ji} 为参考序列中第 i 组值与比较序列中第 j 个因素在第 i 组的值之差的绝对值。

第 3 步: 求关联系数, 即

$$\epsilon_{ji} = \frac{\Delta_{\min} + \rho \Delta_{\max}}{\Delta_{ji} + \rho \Delta_{\max}}$$

式中: ρ 为分辨系数, 是为了减少 Δ_{\max} 过大引起的失真, 本文中 ρ 取 0.5; ϵ_{ji} 为第 j 个因素在第 i 组的值与第 i 组公路货运量的关联系数; Δ_{\max} 为 Δ_{ji} 所有取值中的最大值; Δ_{\min} 为 Δ_{ji} 所有取值中的最小值。

第 4 步: 求灰色关联度, 即

$$\epsilon_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \epsilon_{ji}$$

式中: ϵ_j 为第 j 个因素与公路货运量 y 之间的灰色关联度。

2 模糊线性回归模型

2.1 模型构建

参考文献[15-16], 本文将模糊线性回归模型演化为适用于公路货运量的预测模型。在经典的线性回归分析中, 预测值和实际值之间的偏差被认为是

$$\mu_{y_i} = \begin{cases} 1 - \frac{|y_i - \sum_{j=1}^6 \alpha_j x_{ji}|}{\sum_{j=1}^6 c_j |x_{ji}|} & \sum_{j=1}^6 \alpha_j x_{ji} - \sum_{j=1}^6 c_j |x_{ji}| \leq y_i \leq \sum_{j=1}^6 \alpha_j x_{ji} + \sum_{j=1}^6 c_j |x_{ji}| \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

2.2 模型求解

利用式(1)对已知的 m 组数据进行分析, 还需要同时满足 2 个假定。

(1) 对于任意一组变量 $(y_i, x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{ji}, \dots, x_{6i})$ 而言, 设有参数 $H, 0 \leq H \leq 1$, 则有

$$\mu_{y_i} \geq H \quad (4)$$

(2) 模糊系数 A_j 的模糊幅度 D 为

$$D = \sum_{j=1}^6 c_j x_{ji}$$

利用以上 2 个假定计算模糊系数 A_j 的问题即变成求解最小 D 值的问题, 由于 D 受假定条件(1)的约束, 从而则有

$$\min D = \sum_{j=1}^6 c_j x_{ji} \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^6 \alpha_j x_{ji} - (1-H) \sum_{j=1}^6 c_j |x_{ji}| \leq y_i$$

观测误差。在模糊线性回归分析中, 这种偏差可被处理为模型的模糊性误差, 即输入数据和输出数据都是模糊的。假设公路货运量 y 与社会相关指标的关系为

$$y = A_1 x_1 + A_2 x_2 + A_3 x_3 + A_4 x_4 + A_5 x_5 + A_6 x_6 \quad (1)$$

式中: x_1 为 GDP; x_2 为人口数量; x_3 为社会消费零售总额; x_4 为全社会固定资产投资额; x_5 为农副产品产值; x_6 为工业总产值; $A_1 \sim A_6$ 分别为与 $x_1 \sim x_6$ 对应的回归系数。

经典的回归分析的问题是已知公路货运量和各因素数据来确定回归系数 A_j , 将式(1)当成模糊线性回归分析时, 回归系数 A_j 是模糊系数, 则模型的预测值与实际值之间的偏差是由系数的模糊性引起的。模糊系数 A_j 也为三角模糊数 $(A_j(\alpha_j, c_j))$, 隶属函数为

$$\mu_{A_j} = \begin{cases} 1 - \frac{|z - \alpha_j|}{c_j} & \alpha_j - c_j \leq z \leq \alpha_j + c_j \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

式中: z 为模糊系数 A_j 的精确值; α_j 为模糊系数 A_j 的中心值; c_j 为模糊系数 A_j 的模糊度。

由式(1)、(2)即可以得到第 i 组公路货运量 y_i 的隶属函数 μ_{y_i} 为

$$\sum_{j=1}^6 \alpha_j x_{ji} + (1-H) \sum_{j=1}^6 c_j |x_{ji}| \geq y_i$$

2.3 模型评价

当求解式(1)时, 可按一定的标准去评价公路货运量预测模型拟合的优劣, 即隶属函数 μ_{y_i} , 一般认为 $\mu_{y_i} > 0.5$ 时, 拟合精度较高。预测值和实际值的相对偏差与模糊幅度对实际值的比值 Φ_1 与 Φ_2 分别为

$$\Phi_1 = \frac{|y_i - \sum_{j=1}^6 \alpha_j x_{ji}|}{y_i}$$

$$\Phi_2 = \frac{\sum_{j=1}^6 c_j |x_{ji}|}{y_i}$$

当 Φ_1 和 Φ_2 均在 30% 以内, 拟合结果是可以接受的。同时, 还可通过 t 检验来考察模拟结果与实际值的差异性是否显著, t 检验的计算式为

$$t = \frac{|\bar{y} - \bar{y}_0|}{S} \quad (6)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m d_i^2 - (\sum_{i=1}^m d_i)^2 / m}{(m-1)m}}$$

式中: \bar{y} 与 \bar{y}_0 分别为 m 组公路货运量的实际均值与预测均值; d_i 为第 i 组公路货运量实际值与预测值的差。

2.4 误差分析

在比较模糊线性回归模型与其预测方法的预测误差时,本文采用平均绝对误差、最大相对误差、平均相对误差进行对比。

在模糊线性回归模型中,平均绝对误差 $|\bar{e}|$ 为

$$|\bar{e}| = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m |e_i| = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m |y_i - y_{0i}| \quad (7)$$

式中: e_i 为第 i 组公路货运量的绝对误差; y_{0i} 为第 i 组公路货运预测值。

平均相对误差 $\bar{\epsilon}$ 为

$$\bar{\epsilon} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left| \frac{e_i}{y_i} \right| = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left| \frac{y_i - y_{0i}}{y_i} \right| \quad (8)$$

表1 统计数据

Tab. 1 Statistics data

年份	公路货运量/ 10^4 t	GDP/亿元	人口数量/万人	社会消费零售总额/亿元	全社会固定资产投资额/亿元	农副产品产值/亿元	工业总产值/亿元
1995	531	52.43	189.09	9.315 6	13.912 0	27.190 3	44.017 0
1996	503	63.58	190.38	10.155 6	14.375 3	32.166 1	60.414 2
1997	511	71.76	191.64	16.295 6	22.104 1	27.517 6	80.530 4
1998	540	83.68	192.63	17.127 1	26.799 2	34.951 2	78.213 7
1999	490	91.86	193.88	18.576 2	39.800 0	34.133 3	72.856 1
2000	577	130.63	196.64	19.507 3	48.098 5	35.232 6	135.749 3
2001	870	158.33	198.15	21.172 5	56.553 9	36.138 5	165.667 9
2002	1 025	179.71	200.74	23.407 4	65.284 2	32.810 8	193.565 3
2003	800	218.33	205.61	25.025 1	106.122 5	37.261 0	268.921 8
2004	1 119	265.19	208.80	32.704 7	149.940 5	44.060 3	352.795 3
2005	1 191	370.62	210.70	46.094 2	160.185 5	51.985 8	542.711 3
2006	1 336	453.11	215.08	51.431 7	200.857 0	57.443 6	771.053 2
2007	1 507	594.03	213.49	60.040 0	315.330 0	70.406 4	911.256 4
2008	1 758	713.27	214.49	74.970 0	406.350 0	90.858 1	1 106.602 7
2009	3 733	720.52	215.18	89.660 0	557.479 4	96.410 0	1 222.796 0
2010	4 172	885.42	218.73	110.620 0	724.530 0	125.160 0	1 837.246 0

通过灰色关联度计算可以得出每个指标与公路货运量的关联度,计算结果见表2。

表2 关联度

Tab. 2 Correlation degrees

指标	GDP	人口数量	社会消费零售总额	全社会固定资产投资额	农业副产品产值	工业总产值
关联度	0.86	0.94	0.92	0.74	0.97	0.76

相对误差 ϵ_i 与最大相对误差 ϵ_{\max} 分别为

$$\epsilon_i = \frac{y_i - y_{0i}}{y_i} \quad (9)$$

$$\epsilon_{\max} = \max(\epsilon_i) \quad (10)$$

3 计算结果分析

3.1 研究实例概况

2007年4月,交通运输部在《全国公路主枢纽总体布局规划》的基础上,制定了《国家公路运输枢纽总体布局规划》,规定拟建179个国家级公路运输枢纽,涉及196个城市,其中包括延安市。延安市区位优势明显,处于陕西省“三纵四横五辐射”公路网络的北线枢纽中心,是西部输入及输出资源的重要通道。

3.2 影响因素的选取

在进行货运站规划时,要对延安公路货运量进行科学预测,公路货运量不仅与GDP息息相关,还与人口数量、社会消费零售总额、全社会固定资产投资额、农副产品产值和工业总产值等社会经济指标有密切的关系。1995~2010年,延安市公路货运量与主要社会经济指标统计数据见表1。

从表2可以看出,上述6个指标与公路货运量的相关性比较强(关联度大于0.80)的有GDP、人口数量、社会消费零售总额和农副产品产值,所以可以选择上述4个指标作为自变量来预测公路货运量。

3.3 模型计算

本文以1995~2004年延安市货运量与相关影响因素数据建立模糊线性回归模型,则有

$$y = A_1 x_1 + A_2 x_2 + A_3 x_3 + A_5 x_5$$

将 1995~2004 年的相关数据代入到模糊线性回归模型中,取 H 为 0.8,利用 Lingo 软件,解得模糊系数 A_1 为(3.720,0.000), A_2 为(1.119,0.821), A_3 为(0.000,0.000), A_5 为(0.000,0.000)。具体分析可知,当 A_j 中的第 1 项为 0.000 时,表示第 j 个因素 x_j 与 y 不相关,经过整理可得

$$y = A_1 x_1 + A_2 x_2$$

3.4 拟合精度评价

在模糊线性回归模型建立后,将 1995~2004 年

的相关数据代入模型中,由于 1999 年和 2003 年的数据出现异常,在计算时应将其剔除。将隶属函数值作量纲为 1 处理,预测值与实际值见表 3,从中可知,除了 Φ_2 有几个值超过了 30%, Φ_1 全都小于 30%,隶属函数 μ_{y_i} 的大部分值超过了 0.50,模型的拟合精度高。 t 检验的平均值为 0.673 07,说明模糊线性回归分析模型预测值与实际值之间差异性不显著,拟合效果较好。

利用模糊线性回归模型可预测 2005~2010 年延安市公路货运量(单位为 10^4 t),分别为 1 252.76、

表 3 预测值与实际值

Tab. 3 Predictive values and actual values

年份	实际值/ 10^4 t	拟合值/ 10^4 t			评价指标		
		中心值	模糊度	区间范围	隶属函数值	$\Phi_1/\%$	$\Phi_2/\%$
1995	531	406.80	155.24	[251.56,562.04]	0.20	23.38	29.23
1996	503	449.72	156.31	[293.41,606.03]	0.67	10.59	31.07
1997	511	481.56	157.34	[324.22,638.90]	0.81	5.76	30.79
1998	540	527.01	158.15	[368.86,685.16]	0.91	2.40	29.28
2000	577	706.16	161.45	[544.71,867.61]	0.19	22.38	27.89
2001	870	810.89	162.68	[648.21,973.57]	0.64	6.79	18.69
2002	1 025	893.33	164.81	[728.52,1 058.14]	0.57	12.84	16.08
2004	1 119	1 220.34	171.42	[1 048.92,1 391.76]	0.41	9.06	15.32

1 409.12、1 590.21、1 831.62、2 958.32、4 055.24。

4 方法比较

预测方法归纳起来大体上有 2 类,一类是定性分析预测法,另一类是定量分析预测法。在定量分析预测方法中,时间序列法又分为指数平滑法、趋势预测法、灰色预测法;回归分析法又分为一元回归、多元回归、逐步回归等。本文选取灰色模型、弹性系数法、指数平滑法 3 种常见的预测方法与模糊线性回归模型进行比较。

4.1 预测结果

采用上述 4 种常用方法预测 2005~2010 年延安市公路货运量,预测结果见表 4。

表 4 四种方法预测值

Tab. 4 Predictive values of four methods 10^4 t

年份	方法			
	灰色模型	弹性系数法	指数平滑法	模糊线性回归模型
2005	966.43	1 353.41	1 319.98	1 252.76
2006	1 217.59	1 568.18	1 472.81	1 409.12
2007	1 534.02	2 064.82	1 656.13	1 590.21
2008	1 932.69	2 718.75	1 919.84	1 831.62
2009	2 434.96	3 579.78	3 488.79	2 958.32
2010	3 067.76	4 713.49	4 735.78	4 055.24

4.2 结果比较

根据平均绝对误差、最大相对误差、平均相对误差的计算式,将计算值均作量纲为 1 处理。模糊线性回归模型以预测值的中心值计算,4 种预测模型结果比较见表 5。

表 5 结果比较

Tab. 5 Comparison of results

预测方法	评价指标		
	平均绝对误差	平均相对误差	最大相对误差
灰色模型	491.15	0.167 8	0.347 7
弹性系数法	434.64	0.232 9	0.546 5
指数平滑法	230.79	0.100 3	0.092 0
模糊线性回归模型	197.19	0.073 1	0.207 5

由表 5 可以看出,模糊线性回归模型平均相对误差较小,为 0.073 1;指数平滑法的次之,为 0.100 3;灰色模型的和弹性系数法的误差较大,分别为 0.167 8 和 0.232 9。可见,在公路货运量预测时应优先采用模糊线性回归模型。

5 结 语

(1)本文以延安市公路枢纽规划为例,定性分析了公路货运量相关的社会指标,关联程度,由此确定公路货运量的影响因素为 GDP、人口数量、社会消

费零售总额和农副产品产值。建立公路货运量与相关影响因素之间的模糊线性回归模型,并进行预测,然后与实际值进行比较。

(2)采用平均绝对误差、最大相对误差、平均相对误差3种指标对传统的灰色模型、弹性系数、指数平滑法与模糊线性回归预测模型进行分析。模糊线性回归模型预测误差最少、精度高。由此可见,利用模糊线性回归模型预测公路货运量有一定的实用价值。

参考文献:

References:

- [1] AL-DEEK H M. Use of vessel freight data to forecast heavy truck movements at seaports[J]. Transportation Research Board, 2002(1804): 217-224.
- [2] 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.
- [3] BABCOCK M W, LU Xiao-hua, NORTON J. Time series forecasting of quarterly railroad grain carloadings[J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 1999, 35(1): 43-57.
- [4] GODFREY G A, POWELL W B. An adaptive dynamic programming algorithm for dynamic fleet management, II: multiperiod travel times [J]. Transportation Science, 2002, 36(1): 40-54.
- [5] 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.
- [6] 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 World Automation Congress. Hsinchu: National Chiao Tung University, 2004: 315-320.
- [7] 杨 铭,秦华荣,陈荫三.区域公路货运周转量结构分析与推算方法[J]. 交通运输工程学报, 2011, 11(5): 93-100.
YANG Ming, QIN Hua-rong, CHEN Yin-san. Structure analysis and calculation method of freight turnover for regional highway[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2011, 11(5): 93-100. (in Chinese)
- [8] 崔淑华,王 娜,胡亚南.基于主成分分析的公路货运量预测影响因素研究[J]. 森林工程, 2005, 21(5): 65-67.
- CUI Shu-hua, WANG Na, HU Ya-nan. Influencing factors of forecasting highway freight volume based on principal components analysis[J]. Forest Engineering, 2005, 21(5): 65-67. (in Chinese)
- [9] 任其亮.灰色马尔可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)
- [10] 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)
- [11] 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. Measurement 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)
- [12] 周志娟,陈森发.组合预测方法在我国公路货运量预测中的应用[J]. 中国水运, 2010, 10(5): 166-167.
ZHOU Zhi-juan, CHEN Sen-fa. Combination forecasting method of highway freight volume forecasting in our country[J]. China Water Transport, 2010, 10(5): 166-167. (in Chinese)
- [13] 马昌喜,郭坤卿,马永红.基于改进灰色-马尔可夫链方法的公路货运量预测[J]. 兰州交通大学学报, 2009, 28(4): 124-127.
MA Chang-xi, GUO Kun-qing, MA Yong-hong. Prediction of highway freight volumes based on improved gray-Markov chain [J]. Journal of Lanzhou Jiaotong University, 2009, 28(4): 124-127. (in Chinese)
- [14] FREITAS P S A, RODRIGUES A J L. Model combination in neural-based forecasting[J]. European Journal of Operational Research, 2006, 173(3): 801-814.
- [15] 曾文艺,李洪兴,施 煜.模糊线性回归模型(I)[J]. 北京师范大学学报:自然科学版, 2006, 42(2): 120-125.
ZENG Wen-yi, LI Hong-xing, SHI Yu. Fuzzy linear regression model (I) [J]. Journal of Beijing Normal University: Natural Science, 2006, 42(2): 120-125. (in Chinese)
- [16] 曾文艺,李洪兴,施 煜.模糊线性回归模型(II)[J]. 北京师范大学学报:自然科学版, 2006, 42(4): 334-338.
ZENG Wen-yi, LI Hong-xing, SHI Yu. Fuzzy linear regression model (II) [J]. Journal of Beijing Normal University: Natural Science, 2006, 42(4): 334-338. (in Chinese)