

第六届“认证杯”数学中国

数学建模网络挑战赛

承 诺 书

我们仔细阅读了第六届“认证杯”数学中国数学建模网络挑战赛的竞赛规则。

我们完全明白，在竞赛开始后参赛队员不能以任何方式（包括电话、电子邮件、网上咨询等）与队外的任何人（包括指导教师）研究、讨论与赛题有关的问题。

我们知道，抄袭别人的成果是违反竞赛规则的，如果引用别人的成果或其他公开的资料（包括网上查到的资料），必须按照规定的参考文献的表述方式在正文引用处和参考文献中明确列出。

我们郑重承诺，严格遵守竞赛规则，以保证竞赛的公正、公平性。如有违反竞赛规则的行为，我们将受到严肃处理。

我们允许数学中国网站(www.madio.net)公布论文，以供网友之间学习交流，数学中国网站以非商业目的的论文交流不需要提前取得我们的同意。

我们的参赛队号为：#1887

参赛队员（签名）：

队员 1：常晓璇

队员 2：马晴

队员 3：黄福芳

参赛队教练员（签名）： 卢福良

参赛队伍组别： 本科组

第六届“认证杯”数学中国

数学建模网络挑战赛

编号专用页

参赛队伍的参赛队号：
#1887

竞赛统一编号（由竞赛组委会送至评委团前编号）：

竞赛评阅编号（由竞赛评委团评阅前进行编号）：

2013 年第六届“认证杯”数学中国 数学建模网络挑战赛

题 目 公路运输业投资资金分配问题研究

关 键 词 公路运输业；模糊层次分析模型；BP 神经网络组合预测模型；GDP

摘 要

公路运输业是国民经济的基础性、服务性产业，其投资问题对我国经济、社会的发展起着显著的作用。结合某省主要城市的公路运输统计数据，本文通过对数据和分析和处理，运用模糊层次分析模型和BP神经网络组合预测模型，在给定的假设下，给出了该省在未来五年公路运输投资资金在各市的分配比例。

首先，我们用 MATLAB7.1 软件拟合了地区生产总值、平均人口等各方面发展情况的一次函数，再用运用模糊层次分析模型分析，得出投资资金在各城市的一种分配方案。如对城市 1 的投资最多，所占的比例为 20.90%，在城市 9 的投资最少，所占的比例为 3.099%（详见表 2），论文分别研究了 BP 神经网络模型预测组合，如灰色模型、一元线性回归和弹性系数模型，对客货运量预测的特点进行了研究，在此基础上对影响客货运量及地区 GDP 发展的主要因素进行了分析，调整了投资资金在各城市的分配比例。

鉴于问题一中所利用的传统方法的局限性和附件一所给抽样调查数据的不足，问题四利用附件三给出的数据，采用BP神经网络组合预测模型分别在公路运输业对GDP影响的直接贡献、波及效果、促进相关行业和促进就业四个方面计算出了更精确的数据，并详细陈述了修正的理由。

参赛队号：1887

所选题目： C 题

参赛密码 <u> </u> (由组委会填写)
--

英文摘要

The road transport industry is the basis of the national economy and service industries, the investment problem plays a significant role in our economic and social development. Through the use of fuzzy analytic hierarchy process model and BP neural network ensemble forecasting model, combined with the province's major city road transport statistics, excel software to draw a histogram, pie charts, line charts, and area charts and MATLAB7.1 calculation formula.

First, the paper uses fuzzy analytic hierarchy process model, the use of the MATLAB7.1 to calculate GDP, the slope of the average population, drawn from the investment of funds in proportion to the allocation of the cities, we can see that in the 2007-2011 road larger proportion of the transport investment in the City is 20.90 %, the proportion in the city 9 is 3.099%. Secondly, investigate the BP neural network model predictive combination, such as gray model, a linear regression coefficient and elasticity model ,use them to predict the characteristics of the passenger and cargo traffic, On this basis, the impact of passenger ,freight traffic and the development of regional GDP the main factors were analyzed. Finally, the thesis provided in annex three of the data of the province as an example, from passenger transport, cargo transport and the proportional relationship of the national economy, road transport industry output value and GDP ratio between these three perspectives to discuss the calculated results show that the road transport investment funds in the municipalities and in proportion to the allocation of a growing trend in five years.

In view of the lack of problems, in the use of the limitations of traditional methods and Annex one to the survey data, the problem of the use of Annex three to the data presented, the use of BP neural network combined forecasting model in the road transport industry to GDP directly contribution to the spill-over effects, promote related industries and the promotion of the four aspects of the employment calculated more accurate data and detailed statement of the grounds of the amendment.

Key words: Road transport; fuzzy analytic hierarchy process model; BP neural network combined forecasting model; GDP.

一 问题提出

大力发展公路运输业，了解公路运输投资资金的分配问题，对于促进国民经济发展、活跃城乡商品沟通等方面具有重要意义。交通运输是国民经济的先行官，发展经济、交通先行，是经济发展的内在规律。公路运输是在公路上运输旅客和货物的运输方式，是交通运输系统的组成部分之一，主要承担中短途运输。本文利用模糊层次分析模型和BP神经网络组合预测模型进行分析，要解决的问题是：

问题三：通过附件中给出的该省主要城市的公路运输统计数据，建立合理的数学模型，对公路运输业中客、货运输量及该省主要城市GDP进行预测，得出未来五年公路运输投资资金在各市的分配比例。

问题四：根据附件三给出的数据，对问题一的结果进行修正，在分析现有客运量预测模型不足和所给数据不准确的基础上，寻找提高预测精度的途径，研究模糊层次分析模型和BP神经网络组合预测模型，以对问题一的结果做出修正。

二 问题分析

基于2007-2011年的有关数据，我们采用多种方法对未来五年公路运输投资资金分配比例的进行了合理的分析。

2.1 解决问题的难点和关键

(1) 在题目给出的数据中，如何处理众多的指标，或应选择那些具有代表性的经济指标来分析问题；

(2) 如何合理查找并筛选数据以及建立怎样的数学模型。

2.2 解决问题的思路

1 利用模糊层次分析模型计算现阶段投资资金在各市的分配情况：

由方程 $y = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + \cdots + a_nx_n (i=1,2,\cdots,n)$ ， a_i 表示 x_i 在 y 中占的比重，

$\sum_{i=1}^n a_i = 1$ ， $a_i > 0$ ， x_i 表示附件3表中的某项。我们假设该省在未来五年公路运输投资

资金在各市的分配比例是按照如下原则分配：若某地区发展的速度越快，则投入越多。

为了单位的统一，我们用5年内变化一次函数的斜率来表示 x_i 。我们考虑了2007-2011

年间公路运输在地区生产总值、平均人口数、全社会客、货运量和公路里程五个方面的投资资金分配比例。

2 利用组合预测模型预测未来五年投资资金在各市的分配情况：

对客货运量传统预测理论与方法进行回顾，对国内交通规划中常用的预测模型，如：灰色模型、回归分析预测模型、弹性系数模型，对其特点进行总结，并分析了其在客货运量预测中存在的优缺点。通过对BP神经网络系统模型理论的研究，在查阅国内外关于BP神经网络在不同领域中运用的有关论文基础上，分析BP神经网络组合预测模型在未来五年公路运输投资资金在各市的分配比例预测中运用的优越性。

一般组合预测模型为 $\hat{y}_t = f(\hat{y}_{1t}, \hat{y}_{2t}, \cdots, \hat{y}_{pt})$ ，其建立的基础为：

(1) 灰色预测模型获得未来数据公式是：
$$b = \frac{1}{n-1} \left[\sum_{k=2}^n x^{(0)}(k) + a \sum_{k=2}^n z^{(1)}(k) \right]$$

$$a = \frac{\frac{1}{n-1} \sum_{k=2}^n x^{(0)}(k) \sum_{k=2}^n z^{(1)}(k) - \sum_{k=2}^n x^{(0)}(k) z^{(1)}(k)}{\sum_{k=2}^n (z^{(1)}(k))^2 - \frac{1}{n-1} \left(\sum_{k=2}^n z^{(1)}(k) \right)^2}$$

(2) 一元线性回归模型中长期趋势拟合直线方程为： $y = \alpha + \beta t$

(3) 弹性系数法预测公式为： $\hat{y}_t = ax_t^b$ 、 $\frac{\hat{y}_t}{\hat{y}_k} = \left(\frac{x_t}{x_k}\right)^b$ 、 $\frac{(\frac{\partial \hat{y}}{\partial t})_t}{\hat{y}_t} = \frac{b(\frac{\partial x}{\partial t})_t}{x_t}$

根据预测的特点，通过实例说明，运用BP神经网络组合预测模型进行客货运量、地区GDP预测，可以获得较高的预测精度，从而预测出未来五年公路运输投资资金在各地的分配比例，并对问题一的结果进行修正。

三 模型假设

- 1 假设通过各种渠道收集到的数据和信息真实可靠；
- 2 不考虑在附件中数据之外的其他因素对结果的影响；
- 3 不考虑数据可能存在的误差；
- 4 假设未来 5 年内，该省各地区经济环境与当前发展趋势大致相同。

四 符号说明

y 表示投资资金在各地的分配

a_i 表示 x_i 在 y 中占的比重

α 为比例系数

x_i 表示表中的某项

T_{oj} 为连接权值

θ 为节点阈值

b 为 y 对 x 的弹性系数

X 表示某一时期 T 内发生的货物运输量

ΔX 表示某一时期 T 内发生的货运运输量的增量

五 模型建立与求解

对问题三，我们通过附件中给出的该省主要城市的公路运输统计数据，建立合理的数学模型，对公路运输业中客、货运输量及该省主要城市 GDP 进行预测，得出未来五年公路运输投资资金在各地的分配比例。此外，我们提出了社会经济、地区生产总值、公路运量等的评价指标，并运用模糊层次分析模型和 BP 神经网络组合预测模型进行了实例分析。

5.1 模糊层次分析模型

模糊层次分析法是模糊数和层次分析法的结合，它和层次分析法的区别在于构造判断矩阵的模糊性。

本论文仅列其构造模糊判断矩阵及确定权重排序的步骤，如下：设

$$a_{ij}^t = (l_{ij}^t, m_{ij}^t, u_{ij}^t) \quad (i, j = 1, 2, 3, \dots, n_k; t = 1, 2, 3, \dots, T) \quad (1)$$

表示第 t 位决策者对第 k 层第 i 个指标与第 j 个指标比较而给出的评价模糊数，第 t 位决策者对第 k 层各指标两两比较评价的结果就构成了模糊判断矩阵 $A = (a_{ij}^{-1})_{n_k \times n_k}$ ，模糊矩阵 A 为正反矩阵，即

$$a_{ij}^{-1} = a_{ji} = (l_t, l_m, l_u), \quad (2)$$

$$\text{第 } k \text{ 层的综合评价三角模糊数由下式求出: } M_{ij}^k = \frac{l}{T} \otimes (a_{ij}^1 + a_{ij}^2 + \dots + a_{ij}^T) \quad (3)$$

$$\text{再根据下式计算出综合模糊指数重要程度值: } S_i^k = \sum_{j=1}^{n_k} M_{ij}^k \otimes \frac{1}{\sum_{i=1}^{n_k} \sum_{j=1}^{n_k} M_{ij}^k} \quad (4)$$

$$\text{由运算法则计算: } V(S_i^k \geq S_j^k), (i, j = 1, 2, 3, \dots, n_k, i \neq j) \quad (5)$$

$$P_m^k(A_i^k) = \min V(S_i^k \geq S_j^k) \quad (6)$$

$$\text{经过归一化处理得到 } P_h^k = (P_{1h}^k, P_{2h}^k, \dots, P_{n_k h}^k)^T \quad (7)$$

表示第 k 层上各因素对第 $k-1$ 层上第 h 各因素的单排序。

如上所述，求出 $P_h^k = (P_{1h}^k, P_{2h}^k, \dots, P_{n_k h}^k)^T$ 后，当 $h=1, 2, \dots, n_{k-1}$ 时，可以得到 $n_k \times n_{k-1}$

$$\text{阶矩阵: } P_h^k = (P_{1h}^k, P_{2h}^k, \dots, P_{n_k h}^k)^T = \begin{bmatrix} P_{11}^k & P_{21}^k & \dots & P_{n_k 1}^k \\ P_{12}^k & P_{22}^k & \dots & P_{n_k 2}^k \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{1n_{k-1}}^k & P_{2n_{k-1}}^k & \dots & P_{n_k n_{k-1}}^k \end{bmatrix} \quad \text{如果第 } k-1 \text{ 层对总目标的排}$$

序权重为 $W^{k-1} = (W_1^{k-1}, W_2^{k-1}, \dots, W_{n_{k-1}}^{k-1})^T$ ，那么第 k 层上各指标对总目标的合成排序 W^k 可

$$\text{由下式求出: } W_i^k = \sum_{j=1}^{n_{k-1}} P_{ij}^k W_j^{k-1}, i = 1, 2, \dots, n_k \quad (8)$$

根据附件三选取了地区生产总值、城市人口数及客货运量等作为统计计算的数据，这些数据是选取的各自城市中县城的平均值。由于以上统计量都和公路运输投资资金有着相对的联系，可列出方程： $y = a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + \dots + a_i x_i (i = 1, 2, \dots, n)$ (9)

其中， y 表示投资资金在各市的分配， a_i 表示 x_i 在 y 中占的比重， $\sum_{i=1}^n a_i = 1$ ， $a_i > 0$ ， x_i

表示表中的某项，为了单位的统一，我们用 5 年内变化一次函数的斜率来表示 x_i ，根据

数据我们 MATLAB7.1 软件拟合了一次函数的斜率，取 $i=1, 2, 3, 4, 5$ ，其中 a_i 表示地区生产

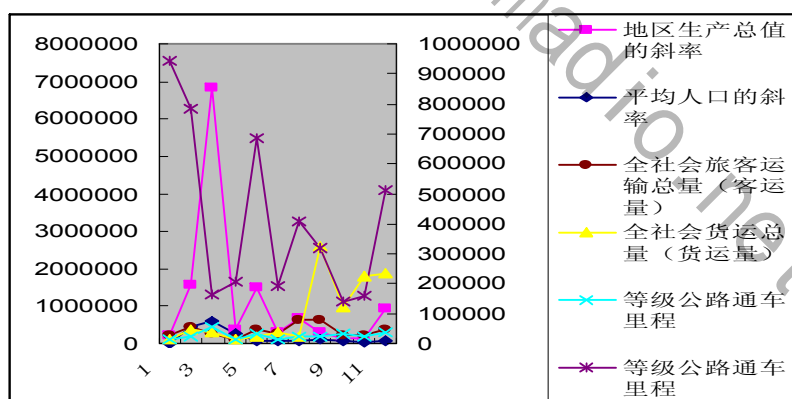
总值的斜率所占的比重，经过分析，地区生产总值对于公路运输投资的影响较大，所以取 $a_1=0.4$ ；以此类推，分别取 $a_2=0.1$ ， $a_3=0.2$ ， $a_4=0.2$ ， $a_5=0.1$

结果见下表：

表 1 公路运输投资在各市的分配表计算结果

城市	地区生产总值的斜率 x_1	平均人口的斜率 x_2	全社会旅客运输总量（客运量） x_3	全社会货运总量（货运量） x_4	等级公路通车里程 x_5	$y = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_5x_5$
1	209870	13572	237520	14698	13698	943650
2	1591800	46213	456985	46569	23654	786009.2
3	682.2509	59720	279502	36521	56351	163069.3
4	383480	25132	125402	13361	12365	207513.1
5	1488600	79084	365241	23654	32654	684392.8
6	308740	58903	265412	36542	12365	191013.6
7	665940	56922	654789	23651	23698	410126
8	289370	10959	635421	325461	23654	321248.8
9	145050	67842	236541	123541	32165	140037.1
10	156180	22543	236541	223361	23698	159076.5
11	952950	71612	365412	236512	36521	512378.1

图 1 公路运输投资在各市的分配折线图



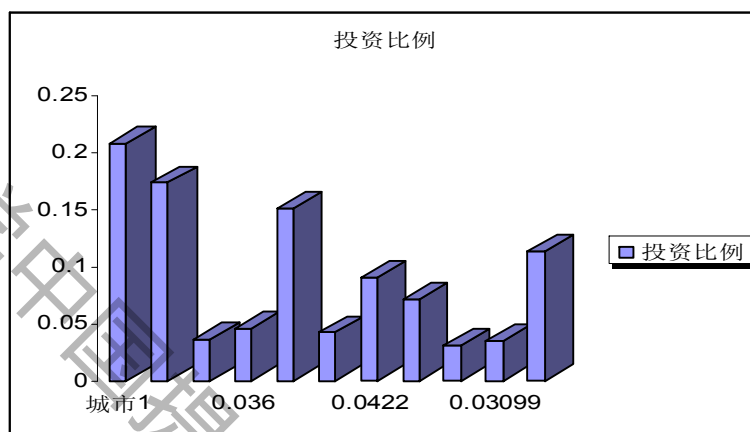
根据我们给出的权重，由表 1 可知，该省在未来五年公路运输投资资金在各市的分配比例如下表：

表 2 公路运输投资在各市的分配表

城市	投资比例
城市 1	0.209
城市 2	0.1739
城市 3	0.036
城市 4	0.046

城市 5	0.151
城市 6	0.0422
城市 7	0.09077
城市 8	0.07109
城市 9	0.03099
城市 10	0.03521
城市 11	0.1134

图 2 公路运输投资在各市的分配柱状图



5.2 基于 BP 神经网络的组合预测模型

BP 神经网络 (Back Propagation Neural Network) 是一种多层前馈神经网络, 本文探讨用基于 BP 神经网络的非线性组合模型来预测公路运输量、分配比例, 并通过实例分析和数理统计的方法证明了 BP 神经网络组合模型的可行性和适用性。

BP 网络的数学模型: 网络的输入为 \hat{y}_{it} (第 i 个预测模型时期 t 的预测值,

$$i=1, 2, 3, \dots, p), \text{ 隐层输入为 } a_j, \text{ 输出层的输出为 } o, \text{ 则 } a_j = f_1\left(\sum_i w_{ji} \hat{y}_{it} + \theta_j\right) \quad (10)$$

$$\text{其中, } w_{ji} \text{ 为连接权值, } \theta_j \text{ 为节点阈值; } o = f_2\left(\sum_j T_{oj} a_j + \theta\right) \quad (11)$$

其中 T_{oj} 为连接权值, θ 为节点阈值。

组合预测模型基本思想是采用某种恰当方法, 将不同预测模型的预测结果有机组合起来, 达到提高预测精度和增加预测结果可靠性的效果。组合预测原理表明: 在某种测度下, 组合模型的某种度量要比单一模型优越。

假设对于同一预测对象, 我们有 p 种不同的预测方法, 在时期 t , 每种预测方法的

$$\text{预测结果为 } \hat{y}_{1t}, \hat{y}_{2t}, \dots, \hat{y}_{pt}, \text{ 一般组合预测模型为 } \hat{y}_t = f\left(\hat{y}_{1t}, \hat{y}_{2t}, \dots, \hat{y}_{pt}\right) \quad (12)$$

在上式中, 若 f 为线性函数, 则此组合预测模型是线性组合预测模型; 若 f 为非线性函数, 则此组合预测模型是非线性组合预测模型。

从理论上讲, 可以尝试利用 BP 神经网络的这种高度非线性函数逼近能力来逼近式

中函数 $f(\hat{y}_{1t}, \hat{y}_{2t}, \dots, \hat{y}_{pt})$ 。

5.2.1 灰色预测模型

灰色系统理论是一种研究少数据、贫信息不确定性问题的方法。通过对小样本、不确定性系统的研究，建立数学模型，获得未来数据。

设 $X^{(0)}$ 为非负序列： $X^{(0)} = (X^{(0)}(1), X^{(0)}(2), \dots, X^{(0)}(n))$ ⑬

$X^{(0)}(k) \geq 0$, 其中, $k=1, 2, \dots, n$; $X^{(1)}$ 为 $X^{(0)}$ 的 1-AGO 序列： $X^{(1)} = (X^{(1)}(1), X^{(1)}(2), \dots,$

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

$Z^{(1)}$ 为 $X^{(1)}$ 的紧邻均值生成序列： $Z^{(1)} = (Z^{(1)}(1), Z^{(1)}(2), \dots, Z^{(1)}(n))$ ⑭

其中, $z^{(1)}(k) = 0.5(X^{(1)}(k) + X^{(1)}(k-1))$, $k=2, 3, \dots, n$, 称 $x^{(0)}(k) + \alpha x^{(1)}(k) = b$ 为 GM(1, 1) 模型的基本形式。

$$\text{若 } \hat{a} = [a, b]^T \text{ 为参数列, 且 } Y = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} -z^{(1)}(2) & 1 \\ -z^{(1)}(3) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -z^{(1)}(n) & 1 \end{bmatrix}$$

则 GM(1, 1) 模型： $x^{(0)}(k) + a z^{(1)}(k) = b$ 的最小二乘估计参数列满足 $a = (B^T B)^{-1} B^T Y$, 对于 a, b 的一对估计值, 以 $-a z^{(1)}(k) + b$ 代替 $x^{(0)}(k)$, $k=2, 3, \dots, n$, 可得误差序列 $\varepsilon = Y - Ba$

$$; s = \varepsilon^T \varepsilon = (Y - Ba)^T (Y - Ba) = \sum_{k=2}^n (x^{(0)}(k) + a z^{(1)}(k) - b)^2 \quad (15)$$

$$\text{使 } s \text{ 最小的 } a, b \text{ 满足 } \frac{\partial s}{\partial a} = 2 \sum_{k=2}^n (x^{(0)}(k) + a z^{(1)}(k) - b) * z^{(1)}(k) = 0 \quad (16)$$

$$\frac{\partial s}{\partial b} = -2 \sum_{k=2}^n (x^{(0)}(k) + a z^{(1)}(k) - b) = 0 \quad (17)$$

$$\text{从而解得 } b = \frac{1}{n-1} \left[\sum_{k=2}^n x^{(0)}(k) + a \sum_{k=2}^n z^{(1)}(k) \right]; a = \frac{\frac{1}{n-1} \sum_{k=2}^n x^{(0)}(k) \sum_{k=2}^n z^{(1)}(k) - \sum_{k=2}^n x^{(0)}(k) z^{(1)}(k)}{\sum_{k=2}^n (z^{(1)}(k))^2 - \frac{1}{n-1} \left(\sum_{k=2}^n z^{(1)}(k) \right)^2}$$

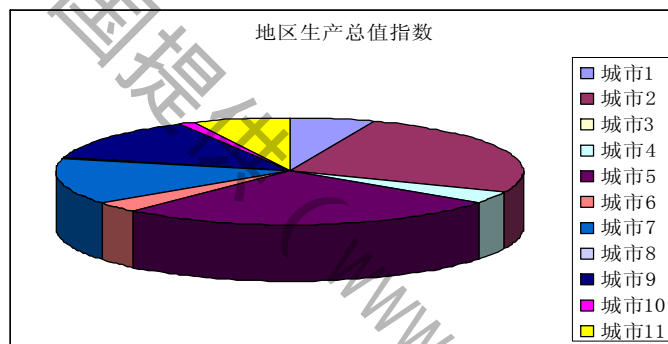
5.2.2 一元线性回归分析模型

根据该省公路运输调查数据显示, 城市 1~城市 11 该省地区生产总值 (按可比价格总指数计算)、公路通车里程及客运量发展情况见表 1。

表3 该省地区经济与公路交通发展情况统计表（城市1~城市11）

城市	地区生产总值指数	公路里程（公里）	全年客运量	全年货运量
1	1137506	10631	102237	2160.5
2	4988925	57804	105394	498892
3	10672.2	26239	22988	192234
4	68978.5	72947.04	142950.5	689784.5
5	5225413	7690	477	27892
6	554135	3728.7	42604.6	72360.5
7	275785	387.58	479.7	2108.8
8	10195.5	11237	57500.1	101952.5
9	253965	2914.135	984.9	963
10	192183	6078.84	45393.4	19218
11	132111	8215	70175	33611

图3 该省地区经济与公路交通发展情况饼图



利用直角坐标系对城市1——城市11年该省地区生产总值指数、公路通车里程与客货运输周转量发展情况按时间顺序进行排列，发现它们的分布散点基本接近一条直线，因此可用回归模型进行预测。设长期趋势拟合直线方程为：

$$y = \alpha + \beta t \quad (18)$$

式中， t 为时间，记 $t=1$ 表示年份2012， $t=2$ 表示年份2013，其余类推； a 、 b 为根据统计资料按最小二乘法确定的回归系数。由表1的实际统计数据经回归分析得：

国内生产总值指数得预测模型为： $y=607.7+202.6t$

公路通车里程的预测模型为： $y=37979.5+2275.0t$

全年客运量的预测模型为： $y=179.01+15.97t$

全年货运量的预测模型为： $y=148.45+21.50t$

预测值与实际值的比较见表3：

表4 预测值与实际值的比较表

年份	地区生产总值指数			公路里程（公里）			全年客运量			全年货运量		
	实际值	预测值	偏差%	实际值	预测值	偏差%	实际值	预测值	偏差%	实际值	预测值	偏差%
200		1823.	2.9	4970	5163	3.8	262.1	274.8	4.85	295.1	277.4	-6.0

7		3	4	7	0	7	1	3		8	5	1
200		2025.	0.4	5090	5390	5.8	289.6	290.8	0.40	326.1	298.9	-8.3
8		9	2	7	5	9	5	0		6	5	4
200		2228.	0.0	5501	5618	2.1	314.2	306.7	-2.3	352.7	320.4	-9.1
9		5	6	5	0	2	6	7	8	4	5	5
201		2431.	0.4	5717	5845	2.2	320.9	322.7	-0.5	355.4	341.9	-3.8
0		1	2	2	5	4	3	4	6	8	5	1
201		2633.	0.7	6033	6073	0.6	342.5	338.7	-1.1	363.5	363.4	-0.0
1		7	3	0	0	6	6	1	2	6	5	3

如预测某城市 2013 年的趋势值：

国内生产总值指数： $y_{2013} = 607.7 + 202.6t = 607.7 + 202.6 \times 2 = 1012.9$ 亿元

公路通车里程： $y_{2013} = 37979.5 + 2275t = 37979.5 + 2275 \times 2 = 42529$ 公里

客运周转量： $y_{2013} = 179.01 + 15.97t = 179.01 + 15.97 \times 2 = 3802455$

货运周转量： $y_{2013} = 148.45 + 21.50t = 148.45 + 21.50 \times 2 = 191.45$

5.2.3 弹性系数法：

弹性系数法在对一个因素发展变化的基础上，通过弹性系数对另一个因素的发展变化作出预测的一种间接预测方法。弹性系数法适用于两个因素 y 和 x 之间有指数关系

$y_t = a x_t^b$ ，式中 a 为比例系数， b 为 y 对 x 的弹性系数。

$$\text{弹性的预测公式：} \hat{y}_t = a x_t^b \quad (19) \quad \frac{\hat{y}_t}{\hat{y}_k} = \left(\frac{x_t}{x_k} \right)^b \quad (20)$$

$$\frac{(\frac{\partial y}{\partial t})_t}{\hat{y}_t} = \frac{b(\frac{\partial x}{\partial t})_t}{x_t} \quad (21) \quad \frac{\Delta \hat{y}_t}{\hat{y}_t} = b \frac{\Delta x_t}{x_t} \quad (22)$$

（近似公式为 $\frac{\Delta \hat{y}_t}{\hat{y}_t} = b \frac{\Delta x_t}{x_t}$ ）式中 k 为基期， t 为预测期。

相应地弹性系数 b 也有 3 种估值方法：

$$\log v_t = b \log x_t + \log a \quad (22) \quad b = \frac{\log \frac{y_2}{y_1}}{\log \frac{x_2}{x_1}} \quad (23) \quad b = \frac{(\frac{\partial y}{\partial x})_t}{x_t} \quad (24)$$

从 y 同 x 的函数关系中求得。当弹性系数为常数时，称为恒弹性系数，否则为变弹性系数。称为弹性充足； $|b| < 1$ ，当 $|b| > 1$ ，称为弹性充足； $|b| < 1$ ，称为弹性不足。

表 5 该省公路货运量单项预测模型

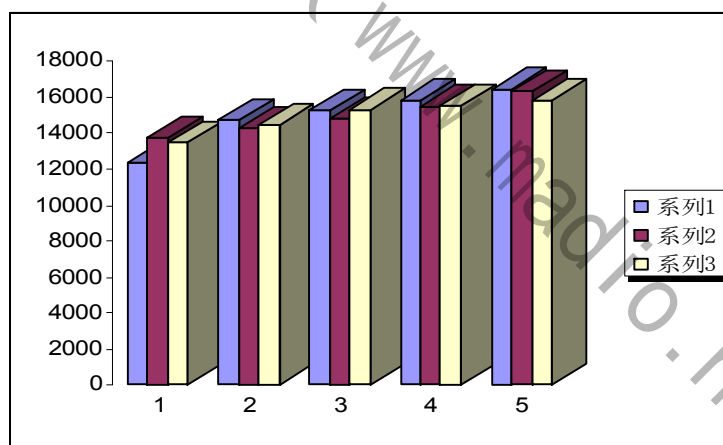
方法	预测模型	变量解释	检验指标
灰色 GM(1, 1) 模型	$y_{t+1}^{(1)} = 396432.45e^{0.2443t} - 384063.45$	y ：公路货运量（万吨） t ：时间序列	$C=0.2433$ （好） $P=1$ （好） $r=0.6703$

二元线性回归模型	$y = -23836.0 + 2.808x_1 + 15.959x_2$	y : 公路货运量(万吨) x_1 : 国内生产总值(亿元) x_2 : 总人口(万人)	$R=0.967$ $t_1 = 2.03$ $t_2 = 2.168$
弹性系数法	$\ln y = 8.11 + 0.257 \ln x$	y : 公路货运量(万吨) x : 国内生产总值(亿元)	$R=0.96$ $t=11.90$

表 6 单一预测模型的预测结果及相对误差比较

年份	实际统计量(万吨)	灰色 GM (1,1) 模型(万吨)	一元回归模型(万吨)	弹性系数法(万吨)	相对误差(%)		
					灰色 GM (1,1) 模型	一元回归模型	弹性系数法
2007	12369	12369	13752	13486	0.00	11.18	-9.03
2008	15311	14722	14286	14454	3.85	6.69	5.60
2009	15980	15269	14820	15271	4.45	7.26	4.44
2010	14076	15836	15492	15512	-12.50	10.06	-10.20
2011	17005	16424	16302	15847	3.42	4.13	6.81

图 4 单一预测模型的预测结果及相对误差比较



注：系列 1 灰色系统法；系列 2 一元回归模型；系统 3 弹性系数法

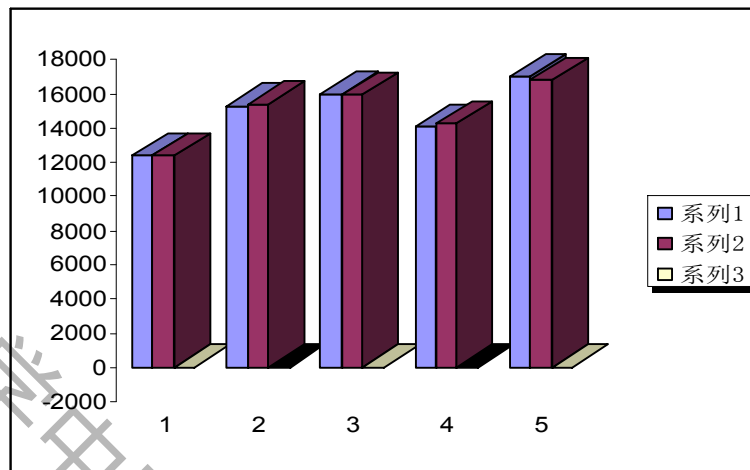
从表中可以看出来，2007 年和 2008 年三种单一预测误差较大，最大相对误差值达 12.50%，而相应年份组合模型的最大相对误差的绝对值只有 1.15%。组合模型的所有误差都在 2% 以内，整体上优于三个单一预测模型中的任何一个。

表 7 基于 BP 神经网络的组合预测模型的预测结果

年份	实际统计量 $y(t)$ (万吨)	基于 BP 神经网络的组合预测 $\hat{y}(t)$ (万吨)	相对误差 $Z(t)(\%)$
2007	12369	12398	-0.23
2008	15311	15400	-0.58

2009	15980	15927	0.33
2010	14076	14238	-1.15
2011	17005	16837	0.99

图 5 基于 BP 神经网络的组合预测模型的预测结果



注：系列 1 实际统计量；系列 2 基于 BP 神经网络的组合预测；系列 3 相对误差

5.3 未来五年公路运输投资资金在各市的分配预测比例

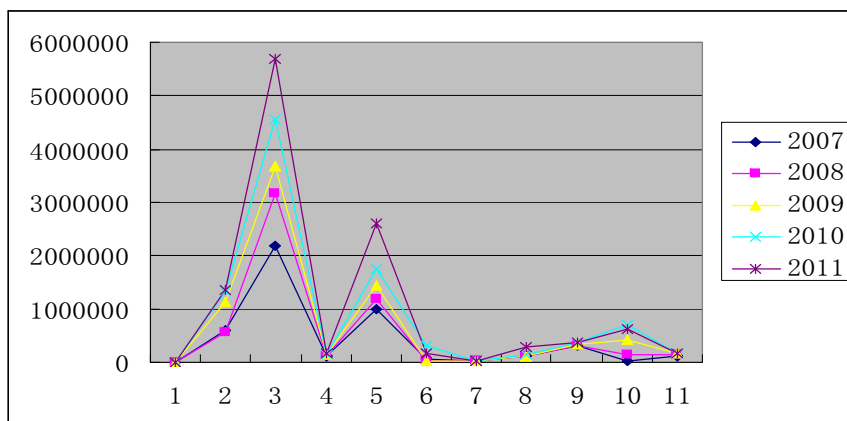
现在分别从客、货运输与国民经济比例关系、公路运输业产值与 GDP 的比例关系这三个角度来讨论。

5.3.1 货运运输与国民经济的比例关系主要有以下四个方面：

表 8 全年货运总量统计表

年份 城市	全社会货运总量（万吨）				
	2007	2008	2009	2010	2011
1	2421.1	2979.05	3442.32	4115.41	4581.6
2	583634	572481	1138367	1337986	1356457
3	2177066	3156745	3665702	4543735	5690200
4	116776.8	127308.9	135544.7	146730.2	163423.9
5	987427	1200500	1440044	1761248	2594112
6	43504	37210	31700	303710	163561
7	18230	21130	17850	19630	23620
8	120520	118960	123650	136500	285600
9	312500	316890	330000	356520	368960
10	35344	131555	437352	705087	612495
11	125285	131525	166300	170058	172232

图 6 全年货运总量折线图



(1) 货运运输增长速度与国民经济增长速度的比例关系

货运运输增长速度与国民经济增长速度的比例关系用货物运输弹性系数表示，可以分为货运量弹性系数和货物周转量弹性系数。

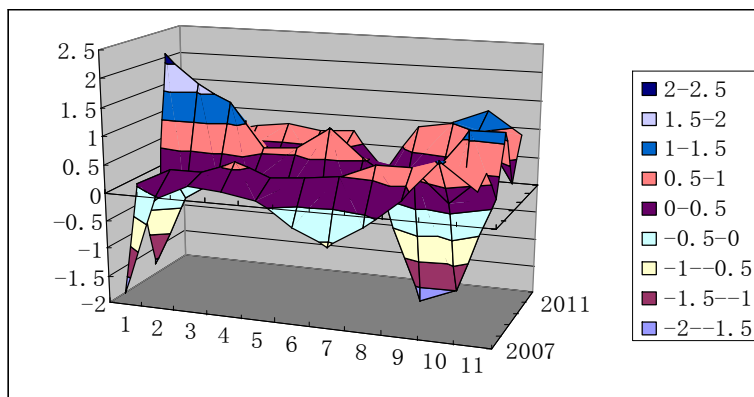
货运量弹性系数的计算公式可以归纳为： $E = \frac{V_1}{V_2} = \frac{\Delta X/X}{\Delta Y/Y}$ ②③，其中 X、 ΔX 分别

表示某一时期 T 内发生的货物运输量及其增量，可分别选用货运量和货物周转量；Y、 ΔY 分别表示与 X 同时期内发生的国内生产总值（GDP）及其增量。

表 9 货运弹性系数表（货运量）

年份 城市	公路					
	2007	2008	2009	2010	2011	全部
1	-1.79614	0.05244	-1.58883	2.15765	0.04211	-0.18774
2	-0.04647	0.35427	-0.29881	1.66264	0.25427	0.54365
3	0.25572	0.37076	0.08195	1.35578	0.34567	0.69752
4	0.21544	0.59040	0.08326	0.57897	0.23565	0.77256
5	0.11407	0.36955	-0.13138	0.61341	0.36241	0.69545
6	-0.28365	0.40589	-0.45553	1.02545	0.40589	0.73648
7	-0.56811	0.49087	-0.30450	0.53419	-0.35689	0.03894
8	-0.17375	0.74595	-0.15542	0.14514	0.23456	0.89790
9	0.33185	0.74496	-1.75280	0.38569	0.33185	1.00960
10	1.04061	0.18876	-1.49380	1.14161	1.04061	1.27161
11	0.59263	0.73796	0.15377	1.18506	0.15377	0.87578

图 7 货运弹性系数面积图



由表 9 和图 7 可以看出，公路运输的货运弹性系数除了在 2005 年小于 1 以外，其他年度都在横轴以上，说明除了这个年度以外，其他年度货物运输量增长速度大于国民经济增长速度。该省 2011 年的数据表明公路运输业除了在个别年度没有起到先导的作用以外，其增长速度是超前的，但弹性系数变化起伏较大。

(2) 产品产量与产量的比例关系

产品运量与产量的比例关系即用产运系数反映。可以计算某些产品在公路运输中的产运系数，借以反映各个产品在公路运输的比例大小。

运输系数是指通过公路运输的某种产品的数量占其总产量的比值，计算公式：公路

$$\text{运输产运系数} = \frac{\text{某产品公路运输货运量（吨）}}{\text{该产品总产量}} \times 100\%$$

(3) 货物运输量与生产产值的比例关系

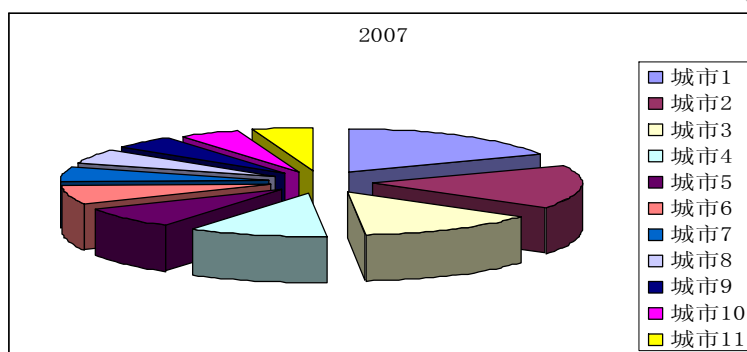
货物运输量与生产产值的比例关系通常采用货运强度来描述。货运强度是表明货物运输与经济总量的常用指标，通过货运强度的变化可以间接的看出工业产品结构的变化。计算公式：货运强度 =

$$\text{货运强度} = \frac{\text{货运量（货物周转量）}}{\text{GDP}}$$

表 10 该省各时期的货运强度（货运量）（万吨亿元）

年份 城市	公路					
	2007	2008	2009	2010	2011	全部
1	0.54902	0.17356	0.59913	0.23542	0.33241	1.85452
2	0.48597	0.15183	0.57382	0.32445	0.22751	1.73956
3	0.41993	0.13624	0.48090	0.44449	0.22238	1.65996
4	0.32403	0.11020	0.37524	0.44445	0.11646	1.32638
5	0.24835	0.08934	0.31237	0.33337	0.11219	1.16261
6	0.20642	0.07427	0.27765	0.30005	0.10933	0.96803
7	0.17672	0.06757	0.24085	0.30789	0.20034	0.99337
8	0.16250	0.06456	0.23555	0.20709	0.10036	0.77006
9	0.14515	0.06337	0.22426	0.30700	0.20039	1.10170
10	0.14193	0.06293	0.23375	0.06292	0.30256	0.74588
11	0.13945	0.06207	0.24035	0.30644	0.23056	0.94882

图 8 该省各时期的货运强度（货运量）（万吨亿元）



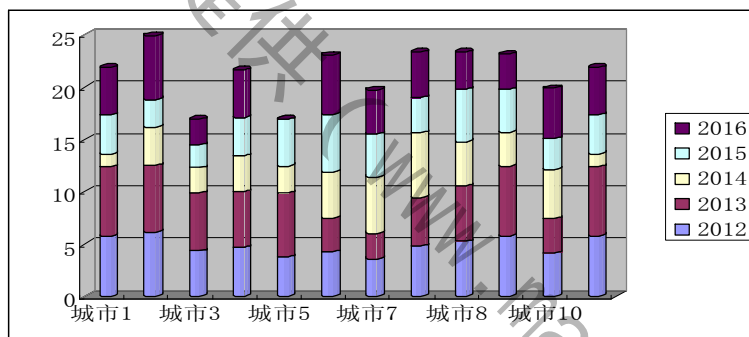
从表 10 和图 8 可以看出，以货运量表示的运输强度，逐年下降幅度较大，这是由于我国工业结构和产品结构逐渐向高度化发展，即价值底的长、大、重、厚的产品所占的比重逐步减少，而价值高的短、小、轻、薄的产品所占比重逐步增加，这也反映了工

业化过程的一般规律。

表 11 未来五年货运运输投资资金在各市的分配比例

年 份 城 市	2012	2013	2014	2015	2016
城市 1	5.77	6.66	1.19	3.75	4.50
城市 2	6.10	6.45	3.61	2.68	6.11
城市 3	4.32	5.55	2.45	2.15	2.44
城市 4	4.68	5.31	3.46	3.64	4.57
城市 5	3.77	6.10	2.58	4.45	3.88
城市 6	4.25	3.25	4.37	5.56	5.66
城市 7	3.56	2.44	5.41	4.13	4.21
城市 8	4.79	4.68	6.16	3.38	4.37
城市 9	5.24	5.32	4.23	5.00	3.56
城市 10	5.79	6.68	3.24	4.11	3.34
城市 11	4.12	3.31	4.68	2.98	4.79
城市 11	5.77	6.66	1.19	3.75	4.50

图 9 未来五年货运运输投资资金在各市的分配比例圆柱图



(4) 货物周转量与公路长度的比例关系

货物周转量与公路长度的比例关系用货运密度表示，表明一定时期内在公路上平均每公里线路通过的货运周转量。

$$\text{计算公式为：货运密度} = \frac{\text{货运周转量}}{\text{公路长度}}$$

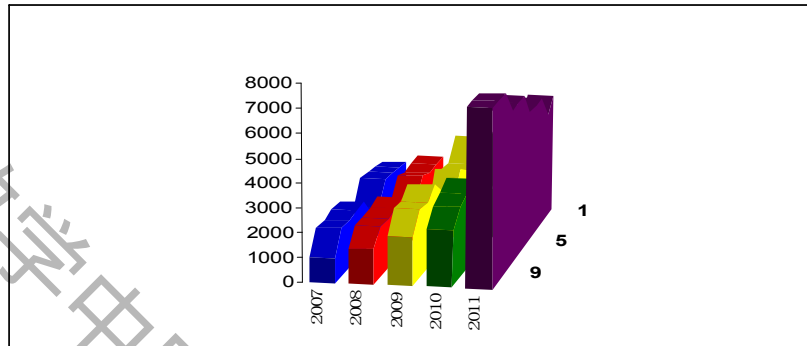
货运密度是反映公里运输线路上货物运输繁忙程度的主要指标，是平衡运输线路运输能力和通过能力，规划线路建设及改造，研究运输网布局的重要依据。

表 12 货运密度表（万吨/公里）

年 份 城 市	公路				
	2007	2008	2009	2010	2011
1	1837.782	2132.6568	3061.529	3265.68	4943.396
2	1898.27	2132.92	2180.985	2362.9267	4383.33
3	1992.349	2035.5389	2208.405	2645.5389	5388.0503
4	2042.47	2237.56	2557.786	3247.56	5370.73
5	1113.797	1440.13	1527.42	2140.1351	5364.2857

6	1185.846	1440.57	1586.998	2140.5782	6343.0233
7	2019.445	2242.2601	2612.139	3142.2601	6303.1088
8	2010.591	2142.9835	3171.821	3442.9835	6283.8235
9	1891.581	2042.8892	2759.365	3142.8892	7262.3377
10	1915.475	2042.3489	2825.15	2942.3489	7252.1807
11	1004.44	1443.6972	1989.455	2343.6972	7258.0122

图 10 货运密度（万吨公里）



由表 12 和图 10 可以看出，公路运输的发展呈现一个明显的上升的阶段，与公路运输的改革是相适应的。

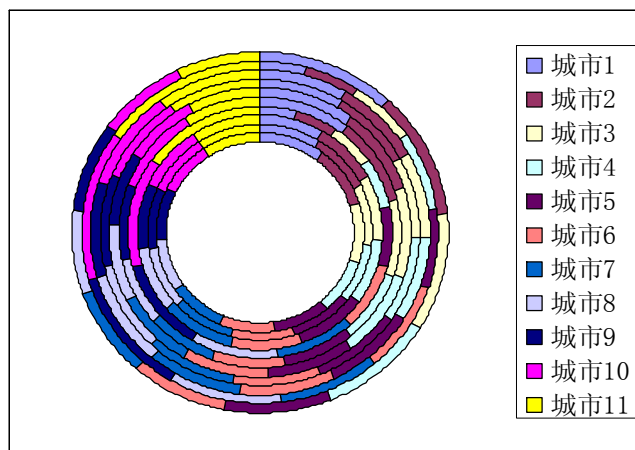
（5）各城市运输方式的分析

随着经济的发展、产业结构和产品结构的变化、科学技术的进步、人民生活水平的提高，为了适应运输要求，运输分工和货运量分配比重也发生了变化。

表 13 货运结构统计表（%）

年份 城市	货运量					货运周转量				
	2007	2008	2009	2010	2011	2007	2008	2009	2010	2011
1	15.524	74.597	8.252	0.004	1.623	40.533	12.814	44.232	0.031	2.392
2	15.510	74.448	8.457	0.005	1.580	39.205	12.249	46.292	0.036	2.219
3	14.589	74.667	8.843	0.005	1.413	39.618	12.853	45.370	0.046	2.112
4	13.827	75.298	8.777	0.006	1.330	39.210	13.335	45.408	0.054	1.992
5	13.441	75.815	9.072	0.007	1.279	37.480	13.483	47.143	0.056	1.839
6	13.172	76.149	9.166	0.008	1.237	36.341	13.074	48.880	0.062	1.643
7	13.468	75.774	9.814	0.009	1.232	35.819	13.696	48.818	0.068	1.599
8	12.964	76.398	8.872	0.010	1.252	34.571	13.733	50.111	0.076	1.508
9	12.958	77.007	8.644	0.011	1.374	32.976	14.396	50.949	0.088	1.591
10	13.144	76.600	8.864	0.013	1.565	31.824	14.110	52.413	0.104	1.548
11	13.782	76.457	9.008	0.014	1.376	31.070	13.830	53.551	0.113	1.435

图 11 货运结构图（%）



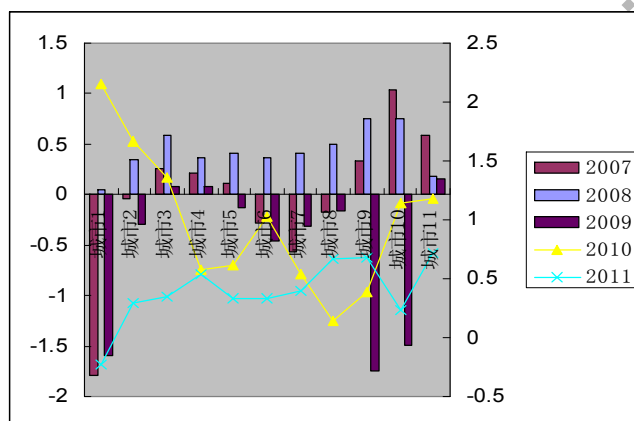
5.3.2 客运运输与国民经济的比例关系

(1) 客运运输增长速度与国民经济增长速度的比例关系用客物运输弹性系数表示。客运量弹性系数和货运量弹性系数类似。

表 14 旅客运输弹性系数表（客运量）

年份 城市	公路				
	2007	2008	2009	2010	2011
1	-1.79614	0.05244	-1.58883	2.15765	-0.22985
2	-0.04647	0.35427	-0.29881	1.66246	0.28938
3	0.25572	0.59040	0.08195	1.35578	0.35185
4	0.21544	0.36955	0.08326	0.57897	0.53691
5	0.11407	0.40589	-0.13138	0.61341	0.33304
6	-0.28365	0.36955	-0.45553	1.02545	0.33059
7	-0.56811	0.40589	-0.30450	0.53419	0.39583
8	-0.17375	0.49087	-0.15542	0.14514	0.66334
9	0.33185	0.74595	-1.75280	0.38569	0.67775
10	1.04061	0.74496	-1.49380	1.14161	0.23100
11	0.59263	0.18876	0.15377	1.18506	0.72201

图 12 旅客运输弹性系（客运量）



如表 14 和图 12 所示，公路的旅客运输弹性系数出个别大于 1 以外，其他年度均小于 1，说明该省的旅客运输增长速度低于国民经济增长速度。

(2) 公路运输方式客运量与总人口的比例关系可以用公路运输方式客运量与总人

口的比值表示，也可以成为公路运输方式的旅客运输系数。

$$\text{计算公式：公路运输方式旅客运输系数} = \frac{\text{公路运输方式客运量}}{\text{常住人口数}} \times 100\%$$

表 15 旅客运输系数统计表（万人/亿人公里）

年份 城市	公路				
	2007	2008	2009	2010	2011
1	0.01452	0.23812	5.66840	0.83713	2.23812
2	0.01880	0.22542	5.89417	0.82091	1.22542
3	0.02463	0.22618	6.24535	0.85083	3.22618
4	0.02854	0.22844	7.26241	0.88981	1.22844
5	0.03369	0.21831	7.95945	0.90728	0.21831
6	0.04225	0.19752	8.59314	0.84828	3.19752
7	0.04539	0.18707	9.16839	0.77455	4.18707
8	0.04554	0.18259	9.74377	0.75476	2.18259
9	0.04613	0.16467	10.07792	0.76214	6.16467
10	0.04845	0.15225	10.08859	0.79630	2.15525
11	0.05304	0.15296	10.63090	0.82902	3.15296

图 13 旅客运输系数饼状图（万人/亿人公里）

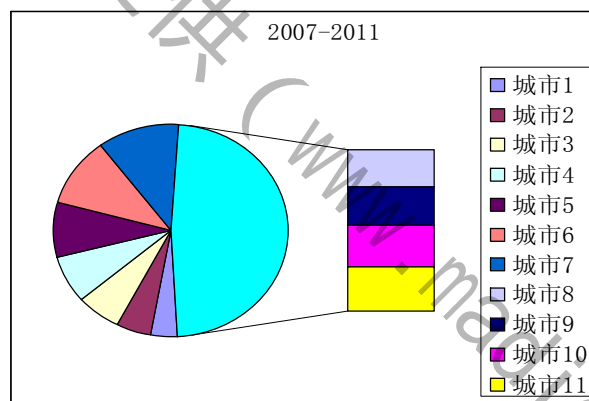
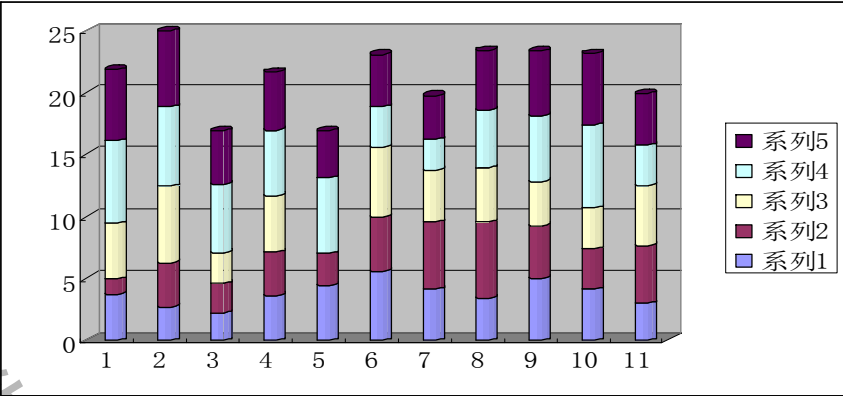


表 16 未来五年公路客运运输投资资金在各市的分配比例（%）

年份 比例	2012	2013	2014	2015	2016
城市 1	3.75	1.19	4.50	6.66	5.77
城市 2	2.68	3.61	6.11	6.45	6.10
城市 3	2.15	2.45	2.44	5.55	4.32
城市 4	3.64	3.46	4.57	5.31	4.68
城市 5	4.45	2.58	3.88	6.10	3.77
城市 6	5.56	4.37	5.66	3.25	4.25
城市 7	4.13	5.41	4.21	2.44	3.56
城市 8	3.38	6.16	4.37	4.68	4.79
城市 9	5.00	4.23	3.56	5.32	5.24
城市 10	4.11	3.24	3.34	6.68	5.79

城市 11	2.98	4.68	4.79	3.31	4.12
-------	------	------	------	------	------

图 14 未来五年公路客运运输投资资金在各市的分配比例柱状图（%）



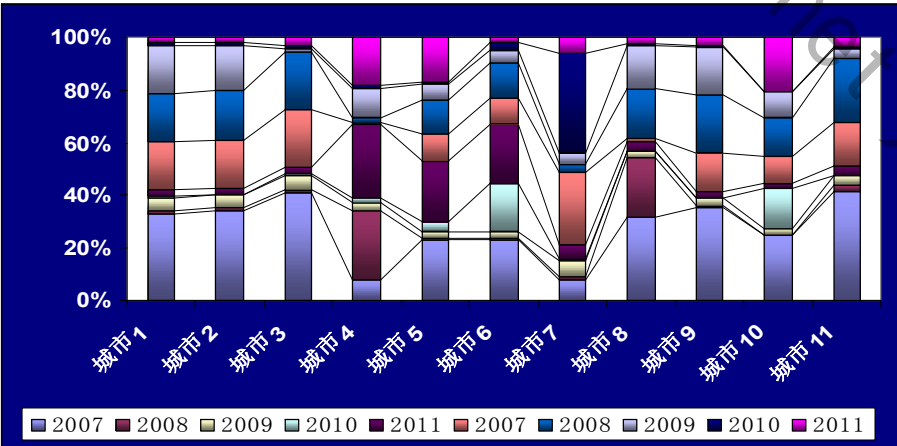
(3) 各城市运输方式的分析

随着经济的发展、产业结构和产品结构的变化、科学技术的进步、人民生活水平的提高，为了适应运输要求，运输分工和客运量分配比重也发生了变化。

表 17 客运结构统计表（%）

年份 城市	客运量构成					旅客周转量				
	2007	2008	2009	2010	2011	2007	2008	2009	2010	2011
1	83.87	3.52	12.39	0.21	6.26	46.42	46.56	47.56	2.93	4.10
2	84.69	3.24	11.80	0.27	6.32	45.77	46.48	42.48	2.87	4.88
3	85.01	2.72	11.58	0.34	6.13	45.36	45.94	2.36	2.85	5.84
4	26.36	85.36	10.58	6.58	91.13	2.32	7.09	36.56	2.50	60.80
5	87.29	2.39	9.95	13.65	88.76	39.39	49.12	23.58	2.14	64.20
6	88.76	2.04	8.76	69.26	86.36	36.53	51.13	16.65	11.91	7.57
7	10.10	1.84	7.61	0.42	7.04	35.65	3.65	5.69	47.75	8.16
8	90.84	65.36	7.04	0.36	9.95	3.54	55.11	46.34	1.55	7.69
9	91.20	1.32	6.90	0.45	6.57	36.60	55.87	48.12	1.13	7.52
10	91.01	1.22	7.18	56.39	7.04	36.97	54.86	34.15	0.95	75.90
11	91.13	5.36	7.11	0.75	7.18	36.24	54.30	7.69	0.82	8.30

图 15 客运结构图（%）



5.3.3 公路运输业产值与 GDP 的比例关系

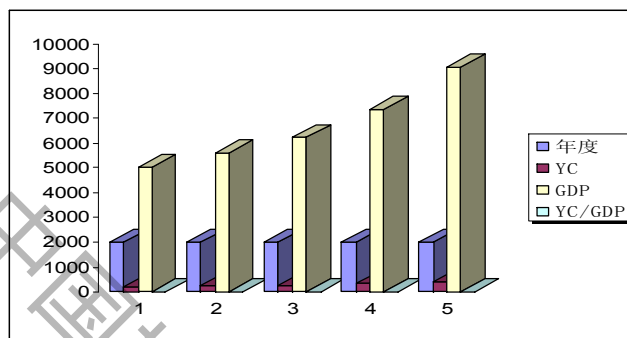
公路运输业产值与 GDP 的比例关系主要反映公路运输业在该省国民经济中所占

的地位。

表 18 公路运输业占该省 GDP 比重统计表

年度	YC	GDP	YC/GDP
2007	211.10	5008.80	0.042146
2008	236.70	5590.00	0.042343
2009	264.90	6216.20	0.042614
2010	327.10	7362.70	0.044427
2011	406.90	9076.70	0.044829

图 16 公路运输业占该省 GDP 比重图

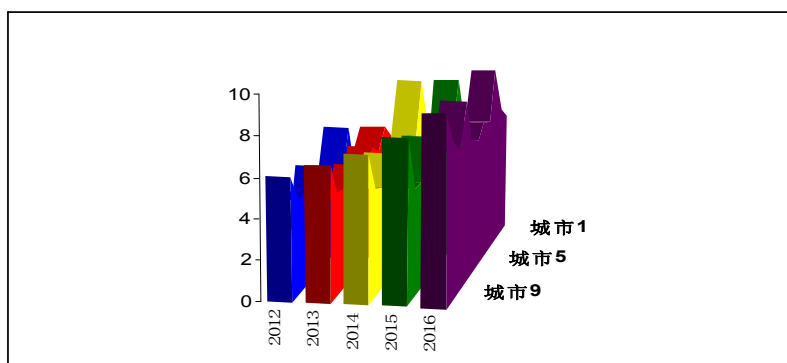


由以上可以看出，自 2007-2011 的五年间，该省的公路运输业占国内生产总值的比重一直徘徊在 4%—8% 之间，2007 和 2008 这两年指标一般在 5% 以下。这与当时的公路运输业发展水平严重之后，在 2009 和 2010 年，比重指标急剧下降，由占 GDP 的 7.6% 下降到 5.6%，下降了两个百分点，这与交通运输业发展速度相对于国民经济发展有所放缓相联系。

表 19 未来五年公路运输投资资金在各市的分配比例 (%)

年份 城市	2012	2013	2014	2015	2016
城市 1	3.80	4.06	4.27	5.06	5.66
城市 2	2.66	4.77	5.24	5.43	6.37
城市 3	5.54	5.65	8.05	8.16	8.68
城市 4	3.24	4.79	5.13	5.24	6.47
城市 5	4.28	5.38	5.39	5.99	6.78
城市 6	2.57	2.74	4.29	5.02	6.26
城市 7	5.08	5.22	5.54	6.75	6.67
城市 8	2.34	3.79	6.21	7.11	8.89
城市 9	4.61	4.87	4.95	5.27	6.89
城市 10	4.60	4.99	5.26	5.37	7.64
城市 11	6.11	6.70	7.28	8.16	9.36

图 17 未来五年公路运输投资资金在各市的分配比例蜡笔图



问题四：由于附件一给出的是抽样调查所得的数据，精确度不高，而附件三是官方给出的数据，相对权威，利用上文中所给的模型及附件三的数据，对该省公路运输业对于 GDP 的影响作出了修正。结果如下：

公路运输对国民经济影响主要表现在直接贡献，波及作用中的后向波及、前向波及、消费波及和就业机会的影响。

(1) 直接贡献方面

表 20 2007 年公路运输业增加值及构成

单位：万元

增加值构成	增加值	占总增加值的比重 (%)
劳动者报酬	524803.07	67.99
生产税净额	95757.85	12.41
固定资产折旧	58203.61	7.54
营业盈余	93102.10	12.06
增加值合计	771867.53	100

(2) 促进相关行业方面主要选取影响较大的后向波及作用，后向波及作用主要利用直接消耗系数和完全消耗系数来体现。

表 21 2007 年公路运输业直接消耗系数

行向		列向	
行业	直接消耗系数	行业	直接消耗系数
批发和零售业	0.2631	石油加工、炼焦及核燃料加工业	0.4519
非金属矿物制品业	0.1240	公路运输业	0.0608
电力热力的生产和供应业	0.0869	建筑业	0.0474
交通运输设备制造业	0.0406	水的生产和供应业	0.1067
租赁和商务服务业	0.0848	化学工业	0.0392

表 22 2007 年公路运输业安全消耗系数

行向		列向	
行业	完全消耗系数	行业	完全消耗系数
批发和零售业	0.3326	石油加工、炼焦及核燃料加工业	0.1012
非金属矿物制品业	0.1947	公路运输业	0.1064
电力热力的生产和供应业	0.1400	建筑业	0.0687
交通运输设备制造业	0.0604	水的生产和供应业	0.1632
租赁和商务服务业	0.1601	化学工业	0.0942

由 2007 年公路运输业直接消耗系数，公路运输业对石油及核燃料加工业的直接消耗系数最高，表明了公路运输业对石油及核燃料加工业的高度依赖，这主要取决于公路运输业使用的交通工具，说明了公路运输业的发展和石油及核燃料加工业有着很大的关联。

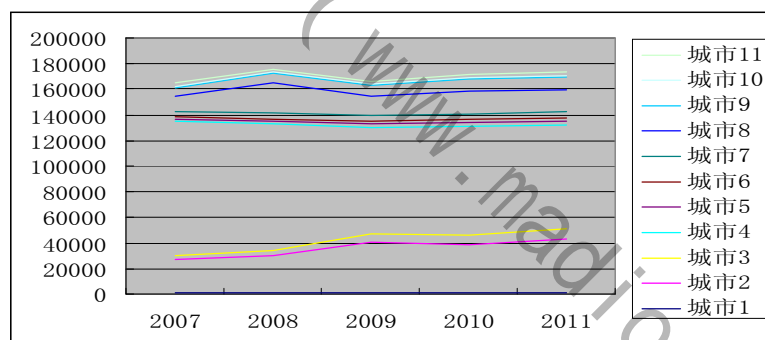
(3) 促进就业方面

由于附件一所提供的数据不足，直接就业机会数值不能测算，通过附件三给出的有关道路从业人员的人数统计可计算出对就业机会的影响价值。

表 23 道路从业人员统计表

城市	2007	2008	2009	2010	2011
城市 1	850	930	960	990	1050
城市 2	26316	29085	39776	37705	41997
城市 3	2850	4390	6199	7383	8270
城市 4	104690	98193	83227	85142	80861
城市 5	1945	2207	2561	2698	2860
城市 6	1945	2207	2561	2698	2860
城市 7	4112	4130	4140	4160	4156
城市 8	12042	23520	15378	18125	16960
城市 9	6987	7825	8556	9364	10528
城市 10	833	749	750	755	1328
城市 11	2156	2287	2314	2385	2392

图 18 道路从业人员折线图



由图 18 可看出道路从业人员人数在 2007-2011 年间呈上升趋势，可表明公路运输业对国民生产总值的直接就业机会方面有显著影响。

综上是利用层次分析模型和 BP 神经网络组合模型所修正的结果，其修正的原因可以从宏观和微观两个层面进行说明：

从对不同预测模型的预测结果和检验比较可以看出：

(1) 分析公路运输业对 GDP 的影响是对客运系统进行规划的前提，但常常由于样本数据稀少，对于数据样本要求较高的统计预测模型很难获得较高的预测精度。模糊层次分析模型较好的解决了这个问题，无论在对历史数据的拟合，还是在模型外推检验方面都具有更高的精度。

(2) 由于神经网络预测模型均较好的反映了该省公路运输业对国内生产总值的非线性变化影响趋势，与传统的投入产出和相关分析模型相比，具有更高的拟合精度。

(3) 由于附件一给出的是抽样调查所得的数据，精确度不高，而附件三是官方给出的数据，相对权威，若仍依据附件一给出的数据计算，必然出现较大的误差，因此需要我们不断改进，寻找最佳的数学模型和更精确的统计数据。

六 结果分析

本论文以该省2007-2011年间的公路客货运量数据作为建模样本，分别建立模糊层次分析模型和基于BP神经网络的灰色预测模型、一元回归分析模型和弹性系数模型，对不同模型的预测能力进行了检验，结果显示，模糊层次分析模型、BP神经网络组合预测模型比一元回归分析等传统模型更为深入，无论在对历史数据的拟合还是在模型外推检验方面都具有更高的精度，此结果证明了神经网络组合预测模型的有效性。

七 模型评价与改进

从对不同预测模型的预测结果和检验比较可以看出：

(1)在客货运量及地区GDP预测中，常常由于样本数据稀少，对于数据样本要求较高的统计预测模型很难获得较高的预测精度。模糊层次分析模型、基于BP神经网络组合预测（灰色、一元线性回归、弹性系数）模型，较好的解决了小样本条件下的预测精度问题，无论在对历史数据的拟合，还是在模型外推检验方面都具有更高的精度。

(2)BP神经网络和组合预测模型克服了线性回归预测模型的局限性，较好的反映了在综合交通系统中，客货运量与影响因素之间的复杂非线性关系。在实例中，模糊层次分析模型、神经网络预测组合模型具有良好的非线性映射能力，在实例中三种神经网络预测模型均较好的反映了该省公路客货运量及投资资金的非线性变化趋势，与传统的回归分析预测模型相比，具有更高的拟合精度。

(3)因为由于我国近年来交通行业发展较快，综合交通系统逐步完善，客货运量的增长趋势发生了很大的变化，若仍依据传统的方法，必然出现较大的预测误差，因此需要我们不断改进，寻找最佳的数学模型。

参考文献

- 【1】刘志杰 基于BP神经网络客运量的分析与预测 贵州工业大学学报（自然科学版）2005
- 【2】崔德光，吴淑宁，徐冰 交通流量预测的人工神经网络和回归组合方法 清华大学学报（自然科学版）2005
- 【3】赵淑芝，田振中，张树山 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 交通运输系统工程与信息 2006
- 【4】综合运输与区域经济 北京 中国铁道出版社 1995
- 【5】元秀林 河南省国民经济与公路交通发展趋势预测及相关性分析论文 2009
- 【6】统计分析教程 北京希望电子出版社，2002（18页）
- 【7】道路运输业对民警的贡献的测量及实证分析论文 长安大学 2003
- 【8】黄民生 福建省交通运输与经济发展关系的定量分析论文 福建师范大学 2005