

基于组合模型的能源需求预测^{*}

周扬 吴文祥 胡莹 刘秀香

(中国科学院地理科学与资源研究所,北京 100101)

摘要 能源是人类生存和发展的重要物质基础,也是当今国际政治、经济、军事、外交关注的焦点。能源需求预测是合理制定能源规划的基础。能源需求预测的模型很多,总的来说,可以分为单一模型预测和组合模型预测。本文在分析几种常用单一模型的优缺点和适用范围的基础上,建立BP神经网络与灰色GM的优化组合模型,对江苏省未来十五年煤炭和石油的需求量进行预测。结果表明:①随着经济的发展,未来江苏省对煤炭和石油的需求量逐渐增加,其中煤炭从2008年的19 601.39万t标准煤增加到2020年的25 615.26万t标准煤,年均增长率为1.81%;石油从2008年的2 628.64万t标准煤增加到2020年的3 532.60万t标准煤,年均增长率为1.36%;②基于BP网络与GM(1,1)的组合模型克服了单一模型的缺点,实现了优化组合模型“过去一段时间内组合预测误差最小”的原则,且预测结果误差较小,不仅适用于能源的中长期预测,还可以推广到其他领域。

关键词 组合模型;需求预测;BP神经网络;灰色模型

中图分类号 TK01 **文献标识码** A **文章编号** 1002-2104(2010)04-0063-06 **doi**:10.3969/j.issn.1002-2104.2010.04.011

能源需求预测,是通过能源供需的历史和现状,预测未来的能源需求状况。能源需求预测是制定能源发展战略的基础,其预测结果的好坏直接与国家或地方经济发展息息相关,因此,做好能源需求预测对经济发展和社会的稳定有着重要意义。国外主要运用时间序列、混沌动力学理论及BESON模型、DESON模型、PILOT模型等对能源需求量及能源消费与经济增长之间的关系进行了预测分析^[1-4];国内能源需求预测大致可分为两类:一是采用单一模型预测;二是充分利用各种单一模型的信息,采用组合模型预测。单一模型中较常用的是灰色理论预测^[5]和人工神经网络预测^[6,7]。由于能源消费系统存在复杂性及非线性特征,单一模型不能很好的对其进行预测。组合预测是通过一定的数学运算,对所得到的众多单一预测模型结果进行组合,得到一个包含各种模型预测信息的新预测模型。实证表明,组合模型预测精度高于用单一模型预测时的精度。目前常见组合模型有:灰色GM与BP网络的组合模型^[8,9]、偏最小二乘回归与GM(1,1)优化组合建立组合模型(GM-PLS)^[10]、非线性回归与灰色预测优化组合预测模型^[11];AHP与GM(1,1)组合模型^[12];GM(1,1)与ANN优化组合预测模型^[13]等。本文在分析BP网络模型、灰色系统模型及其改进模型的优缺点和适用范围的基础

上,首先用历史数据建立GM(1,1)模型、动态等维灰数递补GM(1,1)模型、无偏GM模型、基于滑动平均法改进的GM(1,1)模型及BP网络模型。然后根据这几种单一模型的预测结果,建立BP与GM的优化组合模型,并对江苏省未来15年煤炭和石油的需求量进行预测,以期对江苏省制定能源规划提供科学依据。

1 预测模型的建立和分析

1.1 灰色GM(1,1)模型

利用灰色GM(1,1)模型建模,首先需将规律性不明显的离散序列 $\{X^{(0)}(i)\}_{i=1,2,\dots,n}$,用累加生成变换近似按指数规律变化生成序列

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

然后利用生成序列构造灰色常微分方程

$$dP[X] + aP[X] = u \quad (2)$$

上式中的 $dP[X]$ 是灰导数, $P[X]$ 是灰数,分别表示第*i*点的灰度和灰导数值,则(2)式可变成

$$\begin{aligned} X^{(1)} - X^{(1)}(i-1) + \frac{1}{2} a[X^{(1)}(i) + X^{(1)}(i-1)] \\ = u \quad i=2,3,\dots,n \end{aligned} \quad (3)$$

于是由(1)、(2)、(3)式可推导出

收稿日期:2009-07-27

作者简介:周扬,硕士生,主要研究方向为能源需求预测及可再生能源潜力评估。

* 国家科技支撑计划课题(No.2006BAD20B06)资助。

$$X^{(0)}(i) + \frac{1}{2} a [X^{(1)}(i) + X^{(1)}(i-1)] = u \quad i=2,3,\dots,n \quad (4)$$

记

$$Y_n = \begin{bmatrix} X^{(0)}(2) \\ X^{(0)}(3) \\ \dots \\ X^{(0)}(n) \end{bmatrix},$$

$$B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2} [X^{(1)}(2) + X^{(1)}(1)] & 1 \\ -\frac{1}{2} [X^{(1)}(3) + X^{(1)}(2)] & 1 \\ \dots & \dots \\ -\frac{1}{2} [X^{(1)}(n) + X^{(1)}(n-1)] & 1 \end{bmatrix}, \alpha = \begin{bmatrix} a \\ u \end{bmatrix}$$

则上式可写成

$$Y_n = B\alpha \quad (5)$$

故

$$\alpha = (B^T B)^{-1} B^T Y_n \quad (6)$$

灰色常微分方程的解为

$$X^{(1)}(t) = [X^{(0)}(1) - \frac{u}{a}] e^{-a(t-1)} + \frac{u}{a} \quad (7)$$

GM(1,1)模型具有所需样本数量少、计算简单、可检验等优点,较适用于短期预测。用于长期预测时,仅最近几个数据有一定的实际意义和预测精度,而其较远的的数据只能反映趋势或作为规划值。

在利用 GM(1,1)模型进行预测时,也发现其存在的一些问题,如:预测误差受 $|a|$ 较大的影响;数据离散程度越大,预测精度越差;应用于长期预测时,会出现增长率过快等问题。

1.2 动态等维灰数递补 GM(1,1)模型

动态等维灰数递补模型是以 GM(1,1)模型为基础,建立 GM(1,1)模型群。其原理为:①用已知数据序列建立 GM(1,1)模型并预测出一组值;②将这个预测值补充到已知数列中,去掉最老的一个数据,使构成发展系列与原系列等维;③利用新生成的数列再建立一个 GM(1,1)模型,预测下一个值,将预测值再补充到数据序列之后,再去掉该数列的第一个值。据此逐步预测,依次递补,直到预测年限为止,主要步骤如下:

(1)根据原始数列建立 GM(1,1)模型,并对其精度进行检验;

(2)利用 GM(1,1)模型预测最近的一个数据 $x^{(0)}(n+1)$;

(3)将 $x^{(0)}(n+1)$ 作为新的信息加到原数列中,同时去掉第一个数据 $x^{(0)}(1)$,构成新的数列:

$$X(0) = [x^{(0)}(2) \dots x^{(0)}(n-1), x^{(0)}(n), x^{(0)}(n+1)] \quad (8)$$

上式中数列长度不变,即保持数列等维;

(4)利用新数列式(9)重新建立 GM(1,1)模型,对模型参数进行修正,对精度进行检验,转步骤2。重复此过程,直到完成预测目的为止。

在用普通 GM(1,1)进行长期预测时,预测值的灰色区间过大,精度随时间的延伸也逐渐降低,其主要原因是在模型应用过程中灰参数是静态的、固定的,忽视了其具动态变化特征^[14]。从灰平面上看,真正具有实际意义的、精度较高的预测值,仅仅是最近的一两个数据,其他数据仅反映一种趋势^[14]。因此,用动态等维灰数递补模型可以解决普通 GM(1,1)灰色区间过大的问题。动态等维灰数递补 GM(1,1)模型除具备基本灰色预测模型的优点外,还能使所建模型具有数据动态更新的能力,使预测更趋于合理。但同时也具有 GM(1,1)模型的缺点,即要求负荷严格按指数型增长,才能够进一步提高预测的精度^[15]。

1.3 基于滑动平均法改进的 GM(1,1)模型

鉴于 GM(1,1)所存在灰度过大的问题,本研究采用滑动平均法对原始数据进行处理,消减原始数据中极端值的影响,从而强化原始数据的变化趋势,尽可能将原始数据改造成递增变化的系列,从而构建 GM(1,1)模型^[16]。这样既增加了当年历史数据的权重,又避免了数值间的过度波动,使预测精度更为准确。数据处理过程如下:

设原始数列为 $x^{(0)}t, t=1,2,3,\dots,n$

用滑动平均公式对原始序列进行处理得到一组新的序列 $x^{(0)}t$,且

$$x^{(0)}(t) = \frac{x^{(0)}(t-1) + 2x^{(0)}(t) + x^{(0)}(t+1)}{4}。$$

根据所得到新序列算出 GM(1,1)模型中的参数 a 和 u ,建立灰色预测模型方程,由此所得到的即是基于滑动平均法改进后的 GM(1,1)模型。

1.4 无偏 GM(1,1)模型

应用灰色预测模型进行预测的前提是原始数据必须满足指数规律,并且数据序列变化速度不能太快,是一种有偏差的指数模型。鉴于此,无偏灰色模型是对传统灰色模型中的 a 和 u 两个参数进行修正。与 GM(1,1)模型相比,无偏 GM(1,1)模型本身不存在固有偏差,因而消除了 GM(1,1)模型对原始数据系列增长速度不能过快,预测长度不能过长的限制,应用范围有了很大扩展。

1.5 BP神经网络模型

神经网络模型是基于误差反向传播的一种方法,由输入层、输出层和一个或若干个隐层构成,而每一层包含若干神经元,层与层之间的神经元通过权重 W 及阈值 θ 来相互连接,常见为三层 BP 网络^[17]。BP 网络模型学习过程由正向和反向传播组成,正向传播输入样本的输入信息,反

向传播传递误差及调整信息。在正向传播时,输入信息在神经元中均由 S 型激励函数激活后输出,S 型激励函数为

$$f(x) = 1 / [1 + \exp(-x)]$$

BP 网络的输入节点一般没有阈值,也没有激励函数,对输入节点的输入就直接等于输入节点的输出。隐含层和输出层节点的阈值按权值处理。它们所采用的神经元模型为:

$$\text{隐含层 } O_j = f(\sum_{k=0}^n w_{jk} \cdot O_k), \text{输出层 } O_i = f(\sum_{j=0}^n w_{ij} \cdot O_j).$$

其中 $w_{io} = \theta_i, w_{jo} = \theta_j$, 通常的误差测度准则是平方误差最小,即能量函数 $E = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^m (y^k - c^k)^2$ 。

$$E = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^m (y^k - c^k)^2. \quad (9)$$

式中, y^k 为网络期望输出; c^k 为网络实际输出; m 为学习样本个数。

网络的学习就是利用梯度搜索技术调整 w_{ij} 和 w_{jk} , 使式(9) E 趋于最小。其思想是^[9]: 根据 BP 网络可以记忆复杂的非线性输入输出映射关系的特性, 选择适当的样本集来对其进行训练。

BP 神经网络预测模型用于中、短期预测, 可信度高。有关理论已经证明了任何一个非线性映射都可以用一个三层前向网络来很好的逼近。但实际计算中, BP 神经网络也存在收敛速度慢、局部极小值及隐层神经元个数和连接权选取困难等缺点。

1.6 BP 网络与 GM(1,1) 组合预测模型

对同一问题采用不同的预测方法, 提供不同的有用信息, 其使用范围和预测精度也往往不同。本研究中, 所构建的组合预测模型能综合利用各种单项预测方法所提供的信息, 克服单一模型的局限性, 能更有效地提高预测精度。BP-GM 优化组合目的是充分利用与能源相关的信息(包括人口、GDP 等), 借助单一模型的预测信息, 并发挥单一模型在能源需求预测中的优势, 使所建模型更适合于能源的中长期预测。它比单个预测模型考虑问题更系统、更全面、更科学, 能有效地减少单一模型预测过程中一些环境因素的影响。因此, 鉴于上述对 BP 网络、GM(1,1) 及其各种改进模型优缺点与适用范围的分析的基础上, 构建了 BP 网络与 GM 的优化组合预测模型, 建模基本思路如下:

①采用历史数据分别建立 GM(1,1) 模型、动态等维灰数递补 GM(1,1) 模型、基于滑动平均法处理的 GM 模型和无偏 GM 模型, 预测出 4 组数据; ②将预测得到的 4 组灰色预测结果作为 BP 网络的输入向量, 以原始序列作为 BP 网络的输出向量, 建立 GM 与 BP 的优化组合模型并进行预测(其拓扑结构见图 1)。

输入层和输出层神经元的数目分别根据输入和输出的变量个数确定。本文中, 建立具有 4 层神经网络, 2 个隐含层的 BP 网络模型。建模时考虑江苏省人口、GDP 及原

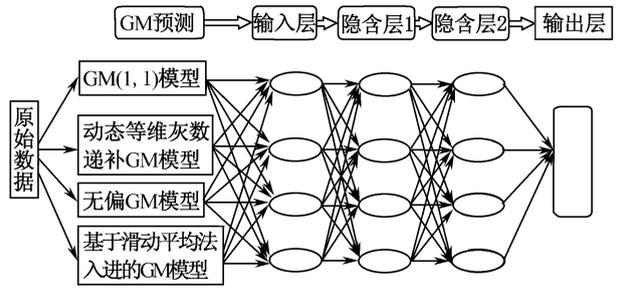


图 1 组合预测模型拓扑结构

Fig. 1 Topological structure of combination forecasting model of gray neural network

煤或原油的消费量 3 个主要影响能源需求的因子作为输入层的输入, 输出层为江苏省能源需求量, 因此, 输入层节点数 $m=3$, 输出层节点数 $n=1$ 。隐层神经元的节点数按经验公式计算^[18]:

$$s = \sqrt{0.43 m^2 + 0.12 n^2 + 2.54 m + 0.77 n + 0.35 + 0.51}$$

式中, s 为隐层神经元节点个数, m 、 n 分别为输入层和输出层的节点数。

由此, 经过四舍五入确定 $s=7$ 。训练的最大次数设为 7 126 次, 经过多次训练迭代网络收敛, 网络收敛误差平方和指标取为 0.004 达到最优, 确定最终模型, 其输出即为煤炭或石油的预测值。

2 实例分析

2.1 模型精度检验及误差分析

本研究以江苏省 1995—2002 年的煤炭和石油消费量作为历史数据, 借助能源消费主要相关因子如人口和 GDP 等历史数据分别建立单项模型和组合预测模型, 并对拟合

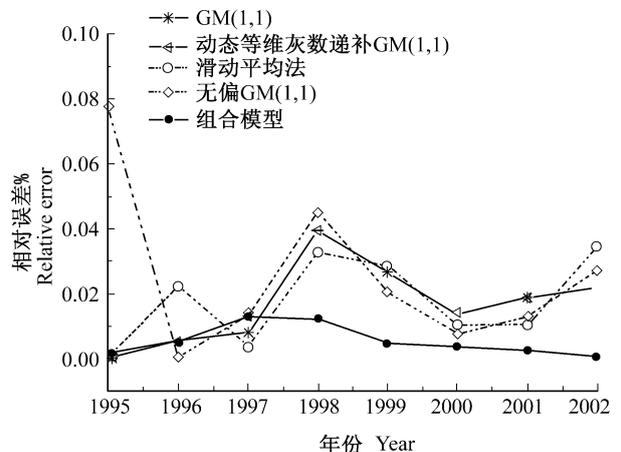


图 2 基于煤炭消费量预测的各种模型误差对比
Fig. 2 Error comparison of forecasting models based on coal consumption

表1 煤炭与石油消费量预测误差对比(2003—2006)

Tab.1 Comparison of forecasting errors of coal and oil consumption (2003—2006)

年份 Year	GM(1,1)		动态等维 Dynamic Grey Model		滑动平均 Sliding Average		无偏 GM(1,1) Unbiased GM(1,1)		组合模型 Combination Forecasting	
	煤 Coal	石油 Oil	煤 Coal	石油 Oil	煤 Coal	石油 Oil	煤 Coal	石油 Oil	煤 Coal	石油 Oil
	2003	0.075	0.108	0.075	0.108	0.091	0.120	0.080	0.112	0.043
2004	0.187	0.135	0.189	0.139	0.205	0.150	0.192	0.139	0.004	0.038
2005	0.237	0.240	0.239	0.242	0.258	0.256	0.242	0.244	0.021	0.020
2006	0.231	0.210	0.227	0.216	0.256	0.229	0.235	0.213	0.056	0.012

表2 不同组合模型误差对比

Tab.2 Errors of different combination models

万吨标准煤

 10^4 tons of SCE

年份 Year	实际值 Actual Value	GM-PLS		GM-ANN		AHP-GM		BP-GM	
		预测值 Predict Value	误差 Error						
		2003	1 705.02	1 543.75	-0.162	1 861.36	-0.156	1 584.47	-0.121
2006	2 293.19	2 503.87	-0.211	2 116.58	-0.177	2 431.36	-0.138	2 320.67	-0.027

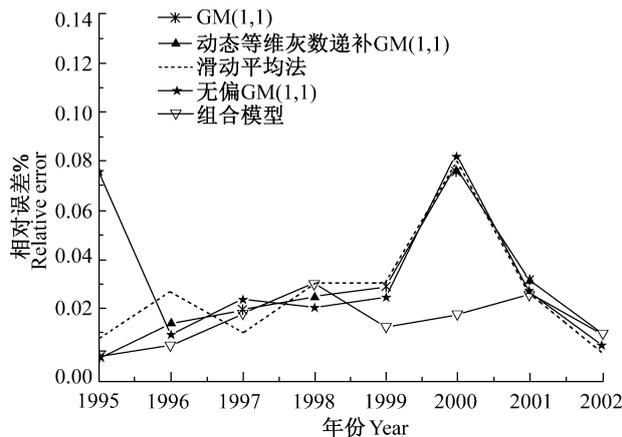


图3 基于石油消费量预测的各种模型误差对比

Fig.3 Error compassion of forecasting models based in oil consumption

结果进行分析,各种模型预测相对误差见图2、图3。同时,为了验证所建模型的有效性,将所构建的模型对江苏省2003—2006年煤炭和石油的消费量进行了预测,预测值与实际值之间相对误差见表1。上述模型的建立、编程及预测等工作均使用Matlab7.1软件完成。

由表1,图2,图3可知,比较五种预测模型的相对误差,发现GM(1,1)模型及其各种改进的单项模型预测误差较大,个别时点波不稳定,而由BP网络模型与4种灰色模型组合而成的BP-GM(1,1)的优化组合模型,综合了各种单一模型的优点,其预测精度显著提高,预测结果更加接

近实际消费情况,适宜能源需求的中长期预测。

此外,分别采用目前运用较为广泛的几组组合模型对江苏省2006年石油的消费量进行了预测(其中包括GM-PLS模型、GM(1,1)与ANN优化组合及AHP与GM(1,1)组合模型等)并与当年石油的实际消费量进行了比较,结果表明BP-GM(1,1)的优化组合模型的预测误差较小、精度较高,预测结果更加接近实际消费量(见表2)。

2.2 数值预测

根据上述预测过程,我们采用江苏省1995—2006年煤炭和石油的历史数据对江苏未来15年煤炭与石油的需求量,分别得到4组预测值。然后根据1995—2006年的人口、GDP的历史数据,利用动态等维灰数递补GM(1,1)模型对江苏省未来15年人口与GDP进行了预测,得到2组预测值。

最后,将这6组预测值作为BP的输入样本,对BP进行网络训练,BP的输出即为江苏省未来15年内煤炭和石油的需求量(见表3)。

由表3可以看出,江苏省未来10年煤炭和石油消费量呈缓慢上升的趋势,其中煤炭的消费量将由2008年的19 601.39万t标准煤上升到2020年的25 615.26万t标准煤,以年均1.82%的增长速度增长;石油由2008年的2 628.64万t标准煤上升至2020年的3 585.67万t标准煤,年均增长率为1.36%。因此,江苏省未来15年内能源需求增长速度对一个能源依存度高的进口大省来说将面临着一场严峻的挑战,同时,为实现江苏节能减排的目标、

表3 未来15年江苏煤炭、石油需求量(万吨标准煤)

 Tab.3 Demand of the coal and oil in Jiangsu Province in the next fifteen years 10^4 tons of SCE

年份 Year	煤炭 Coal	石油 Oil	年份 Year	煤炭 Coal	石油 Oil
2007	18 757.07	2 453.07	2015	22 145.62	3 294.13
2008	19 601.39	2 628.64	2016	22 743.24	3 344.81
2009	20 146.28	2 782.43	2017	23 434.37	3 395.13
2010	20 483.68	2 910.88	2018	24 188.71	3 440.51
2011	20 742.92	3 016.44	2019	24 935.87	3 484.86
2012	20 970.14	3 105.06	2020	25 615.26	3 532.6
2013	21 259.93	3 177.51	2021	26 168.49	3 585.67
2014	21 645.76	3 238.83			

改变传统能源在能源消费结构中的比例及能源可持续发展仍需要进一步努力和研究。

3 结论与展望

本文中通过一定的方法将灰色系统理论的四种GM模型与BP网络模型相整合,建立BP-GM(1,1)模型的优化组合模型。模型充分利用了BP网络较强的非线性映射能力和GM及各种改进模型建模所需信息少、方法简单等优点,克服了相关数据不足的缺陷,既避免人为因素的影响,又综合了更多相关因素,提高了预测精度,这种将GM及其多种改进模型与BP网络的组合,在能源消费系统预测中是一种新的尝试。其利用神经网络的函数逼近特性,实现了预测值与观察值的最佳拟合。

综上所述,所建组合模型的预测误差较小,预测结果更接近于实际情况,实现了优化组合模型“过去一段时间内组合预测误差最小”的原则,模型精度更高,这表明:基于灰色理论的多种改进模型与神经网络的组合模型,不仅能较好的运用于能源的中长期预测,还可以推广到其他领域,为决策者提供科学的、有价值的参考依据。

(编辑:王爱萍)

参考文献 (Reference)

[1] Weigend A S. Time Series Analysis and Prediction Using Gated Experts with Application to Energy Demand Forecasts [J]. Applied Artificial Intelligence, 1996, 10(6): 583-624.

[2] Gevorgian V, Kaiser M. Fuel Distribution and Consumption Simulation in the Republic of Armenia [J]. Simulation, 1998, 71(3): 154-167.

[3] John Asafu-Adjaye. The Relationship between Energy Consumption, Energy Price and Economic Growth: Time Series Evidence from Asian Developing Countries [J]. Energy Economics, 2000, 22(6): 615-625.

[4] Soytas U, Sari R. Energy Consumption and GDP: Causality Relationship

in G-7 Countries and Emerging Markets [J]. Energy Economics, 2003, 25(1): 33-37.

[5] 邓聚龙. 灰色预测与决策 [M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1992. [Deng Julong. Gray Forecast and Decision-making [M]. Wuhan: Press of Huazhong University of Science and Technology, 1992.]

[6] 方卫华. 人工神经网络模型用于水电能源科学的问题探讨 [J]. 水电能源科学, 2004, 22(3): 71-73. [Fang Weihua. Application of Artificial Neural Network Model to Hydroelectric Energy [J]. Hydroelectric Energy, 2004, 22(3): 71-73.]

[7] 吴建生, 周优军, 金龙. 神经网络及其研究进展 [J]. 广西师范学院学报: 自然科学版, 2005, 22(1): 92-97. [Wu Jiansheng, Zhou Youjun, Jin Long. The Neural Network and Its Research Development [J]. Journal of Guangxi Teachers College, 2005, 22(1): 92-97.]

[8] 李亮, 孙廷容, 黄强, 等. 灰色GM(1,1)和神经网络组合的能源预测模型 [J]. 能源研究与利用, 2005, (1): 110-113. [Li Liang, Sun Tingrong, Huang Qiang, et al. Combined Energy Forecasting Model of Gray GM(1,1) and Neural Networks [J]. Energy Research & Utilization, 2005, (1): 110-113.]

[9] 付加锋, 蔡国田, 张雷, 等. 基于GM和BP网络的我国能源消费量组合预测模型 [J]. 水电能源科学, 2006, 24(2): 1-4. [Fu Jiafeng, Cai Guotian, Zhang Lei, et al. Combination Forecasting Model of China Energy Consumption Based on Gray Model and Back-Propagation Network [J]. Water Resources and Power, 2006, 24(2): 1-4.]

[10] 张小梅, 张数深, 张芸, 等. 基于GM-PLS组合模型预测一次能源消费 [J]. 辽宁工程技术大学学报, 2006, (25): 287-289. [Zhang Xiaomei, Zhang Shushen, Zhang Yun, et al. Combining Grey Model with Partial Least Squares Regression [J]. Journal of Liaoning Technical University, 2006, (25): 287-289.]

[11] 卢奇, 顾培亮, 邱世明. 组合预测模型在我国能源消费系统中的建构及应用 [J]. 系统工程理论与实践, 2003, 23(3): 24-30. [Lu Qi, Gu Peiliang, Qiu Shiming. The Construction and Application of Combination Forecasting Model in Chinese Energy Consumption System [J]. Systems Engineering theory & Practice, 2003, 23(3): 24-30.]

[12] 邢棉. 能源发展趋势的非线性优化组合预测模型研究 [J]. 华北电力大学学报, 2002, 29(3): 64-67. [Xing Mian. Researches on Forecasting Model of Energy Development Tendency based on Nonlinear Combined Optimization [J]. Journal of North China Electric Power University, 2002, 29(3): 64-67.]

[13] 张翎. 用统计分析方法预测能源需求量 [J]. 数理统计与管理, 2001, 20(6): 27-30. [Zhang Ling. Energy Demand Forecast by Using Statistical Analysis [J]. Application of Statistics and Management, 2001, 20(6): 27-30.]

[14] 李雁, 岑慧贤, 等. 维灰数递补动态模型在生活垃圾产生量预测中的应用 [J]. 环境污染与防治, 2001, 23(1): 42-43. [Li Yan, Chen Huixian. Prediction of Rubbish Output with Dynamic Grey Model GM(1,1) [J]. Environmental Pollution & Control, 2001, 23(1): 42-43.]

[15] 张其敏, 蒋晓蓉. 城市燃气负荷灰色组合预测模型研究 [J]. 洁净煤技术, 2008, (2): 63-65. [Zhang Qimin, Jiang Xiaorong.

- Research of Gray Combined Forecasting Model for Town Gas Load[J]. Clean Coal Technology, 2008, (2):63-65.]
- [16]王玉平,蔡立红.滑动平均法改进型灰色预测模型在德山开发区电力负荷预测中的应用[J].电力科学技术学报,2007,22(2):76-79.[Wang Yuping, Cai Lihong. Application of Grey Prediction Model Modified by Slip Average Method in Predicting Electric Power Demand of Deshan Development Area[J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2007, 22(2):76-79.]
- [17]韩超,车永才,王继波.改进的BP神经网络煤炭需求预测模型[J].辽宁工程技术大学学报:自然科学版,2005,24:290-292.[Han Chao, Che Yongcai, Wang Jibo. Coal Requirement Forecasting Model of Improved BP Neural Network[J]. Journal of Liaoning Technical University: Natural Science, 2005, 24:290-292.]
- [18]王磊,姚恒申.时间序列和神经网络的组合预测及其应用[J].统计与决策,2005,(6):17-18.[Wang Lei, Yao Hengshen. The Combined Model Based on the Time Series and Neural Network and its Application[J]. Statistics and Decision, 2005, (6):17-18.]
- [19]朱永彬,王铮,庞丽,等.基于经济模拟的中国能源消费与碳循环排放高峰预测[J].地理学报,2009,64(8):935-944.[Zhu Yongbin, Wang Zheng, Pang Li, et al. Simulation on China's Economy and Prediction on Energy Consumption and Carbon Emission under Growth Path. Acta Geographica Sinica. 2009, 64(8):935-944.]
- [20]吕振东,郭菊娥,席西民.中国能源CES生产函数的计量估算及选择[J].中国·人口资源与环境,2009,19(4):156-160.[Lu Zhongdong, Guo Jue, Xi Youmin. Econometric Estimate and Selection on China Energy CES Production Function. China Population, Resources and Environment, 2009, 19(4):156-160.]
- [21]Jebaraj S, Iniyar S. A Review of Energy Models[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2006, 10(4):281-311.
- [22]张雷,刘慧.中国国家资源环境安全问题初探[J].2002,12(1):41-46.[Zhang Lei, Liu Hui. An Issue on the National Security of Natural Resources and Environment for China. China Population, Resources and Environment, 2002, 12(1):41-46.]
- [23]金磊.资源与环境约束下的中国工业发展[J].中国工业经济,2005,(4):5-14.[Jin Pei. China's Industrial Development under the Binding of Resource and Environment. China Industry Economy, 2005, (4):5-14.]

Energy Demand Forecasting Based on Combined Model

ZHOU Yang WU Wen-Xiang HU Ying LIU Xiu-Xiang

(Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Beijing 100101, China)

Abstract Energy is the basis of human's survival and development, and it is also the focus in the international political, military and diplomatic fields. Energy demand forecast is the basis for establishing energy program. At present, there are many energy demand forecasting models. In general, they can be divided into two forecasting models; one is the single forecasting model and the other is the combined model. Based on the analysis of advantages and disadvantages of some common single models and the applicable scale, one optimized combination forecast model which is composed of BP neural network and gray model is set up. At last, we apply this method to predict the demand for coal and oil of Jiangsu Province from 2007 to 2021. The article drew following conclusions: On the one hand, with the development of economy of Jiangsu Province, the demand of coal and oil will gradually increase. Coal increases from 196.013 9 tons in 2008 to 256.152 6 tons 2020, and oil increases from 26.286 4 tons in 2008 to 35.326 0 tons in 2020, with an annual increase of about 1.81% and 1.36% respectively. On the other hand, the combined model can overcome the shortcomings of single model, and realize the principle that the combined errors are the smallest over a period. Meanwhile, the combined model can not only be used to the mid-long term forecasting of energy, but also to extend to other areas due to its accurate forecasted results.

Key words combined model; demand forecast; artificial neural network; gray model