

黑龙江省一次能源消费总量和消费结构预测研究

任继勤 武佳华 夏景阳 殷悦 周昭*

(北京化工大学 经济管理学院, 北京 100029)

摘要:以黑龙江省一次能源为研究对象,选取其1995~2014年一次能源消费的历史数据,构建了改进的BP神经网络模型来预测黑龙江省2015~2020年一次能源的消费总量;重构马尔科夫模型,预测黑龙江省2015~2020年一次能源的消费结构。结果表明:构建的模型模拟预测结果误差小,预测准确度良好。2015~2020年黑龙江省一次能源消费总量基本稳定在9200万吨标准煤;能源消费结构中煤炭、石油和天然气的份额均有所降低,清洁能源占比呈增长趋势;到2020年,一次能源消费结构中煤炭占比仍高达65.39%,清洁能源占比仍处于弱势。建议:降低一次能源的消费总量,尤其是煤炭和石油在一次能源消费中的占比;合理调整一次能源的消费结构,降低煤炭在能源消费结构中的占比;政府出台相关政策,引导消费理念,优先使用清洁能源。

关键词:一次能源消费总量;能源消费结构;清洁能源;改进的BP神经网络;马尔科夫模型

中图分类号: F127 **DOI:** 10.13543/j.bhxbzr.2018.02.015

引言

我国能源消费总量居世界首位,且煤炭资源丰富,表明未来经济增长过程中以煤炭为主导的一次能源消费还将持续。煤炭的大量使用对工业生产水平、人民生活质量提高有着巨大的促进作用,但环境污染与煤炭消费有着确凿的关系^[1]。黑龙江省是能源生产和消费的大省,且已由煤炭净输出省转化成净输入省^[2],能源消费总量位于全国各省的前列。在经济发展过程中黑龙江省面临着能源缺乏、能源消费结构调整等众多问题,而少有学者将能源消费总量和能源消费结构统筹进行研究。

目前普遍使用的能源消费预测方法有情景分析法^[3]、能源消费弹性系数法^[4]等,但这些方法的预测误差较大;在能源消费结构预测方面较多采用关联度模型^[5],但该模型优化结构的效果不理想。马尔科夫模型具有无后效性特征,能够进一步优化能源消费结构^[6-7];BP神经网络模型可以提高总量预测的精度和效率,且误差更小^[8-9]。本文对BP神经网络进行了改进,并结合构建的马尔科夫模型预

测黑龙江省一次能源消费总量和消费结构,为实现能源消费结构合理化提供依据,并为决策者把握能源消费走势,制定能源使用的整体规划提供数据支持。

1 BP神经网络模型和马尔科夫链

1.1 BP神经网络算法

BP神经网络是运用误差逆传播算法训练的多层前馈神经网络,是目前现实任务中应用最为广泛的神经网络学习算法^[10]。设其输入向量 $\mathbf{X} = (X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_m)$,输出向量 $\mathbf{Y} = (Y_1, Y_2, \dots, Y_j, \dots, Y_n)$,其中 (X_i, Y_j) 为当前样本;隐性神经元的输入 $\mathbf{C} = (C_1, C_2, \dots, C_h, \dots, C_p)$,其中 C_h 为第 h 个隐性神经元的输入。则第 h 个隐性神经元的输入和第 j 个输出层神经元接收到的输入分别如式(1)、(2)

$$\lambda_h = \sum_{i=1}^m V_{ih} X_i \quad (1)$$

$$\eta_j = \sum_{h=1}^p W_{hj} C_h \quad (2)$$

其中 V_{ih} 为输入层和隐层的连接权, W_{hj} 为隐层与输出层间的连接权。单隐含层的BP神经网络流程如图1^[11]。

1.2 改进的BP神经网络模型

本文假设黑龙江省对一次能源需要有重要影响的能源结构、产业结构、能效水平、GDP、人口规模等因素均保持平稳水平,没有不能预测的显著波动。

收稿日期: 2017-04-21

基金项目: 国家社会科学基金(16BGL007)

第一作者: 女,1963年生,博士

* 通讯联系人

E-mail: 62872645@163.com

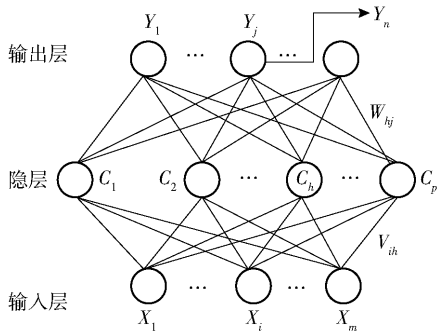


图1 BP神经网络流程

Fig. 1 Flow chart of the BP neural network

采用BP神经网络模型进行能耗预测时,本文利用附加动量法对BP神经网络作出改进,具体步骤为:将上一步连接权值调整量的一部分累加到此次误差计算所得的连接权值调整量上,然后将相加后的连接权调整量作为本次实际连接权调整量。实际调整量 $\Delta W_{hj}(b)$ 的计算公式为

$$\Delta W_{hj}(b) = \beta \Delta W_{hj}(b-1) + (1-\beta) \mu \nabla f(\Delta W_{hj}(b-1)) \quad (3)$$

式中, $\nabla f(\Delta W_{hj}(b-1))$ 代表误差梯度, β 代表动量因子, b 代表训练次数, μ 代表学习率。

1.3 马尔科夫链原理

马尔科夫链是指在事件发生过程中,任意状态的转移仅与前一时刻的情况有关,历史的状态对预测未来不造成影响;未来的情况只与当前有关,其状态转移的过程是无后效性的。假设马尔科夫链 $\{Z(t), t \in S\}$, $S = \{0, 1, 2, \dots, N\}$ 为离散的时间集合, $Z(t)$ 为 t 时刻的状态值, N 为状态空间数量, $N > 0$ 时,空间状态包含的时间序列为 $t_1 < t_2 < \dots < t_N$,对应得到 N 个状态值 $Z(t_1), Z(t_2), \dots, Z(t_N)$ 。

假设 m 和 $m+1$ 时刻的状态分别记为 $Z_m = i$ 和 $Z_{m+1} = j$,则从状态 i 转移到状态 j 的条件概率为^[7]

$$p_{ij} = \{Z_{m+1} = j | Z_m = i\} \quad i, j = t_1, t_2, \dots, t_N; i, j \in S \quad (4)$$

由条件概率组成的矩阵如式(5)所示

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1j} \\ p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2j} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ p_{i1} & p_{i2} & \cdots & p_{ij} \end{bmatrix} \quad (5)$$

其中, $p_{ij} \geq 0$,矩阵每一行的元素之和为1。

当矩阵 P 只与 Z_m 及 Z_{m+1} 有关而与 t 无关时,则称 P 为转移矩阵。

1.4 马尔可夫模型构建

能源的消费者在进行能源选择时,其选择行为会发生变化,这种变化出现的可能性大小即为能源使用转移概率。不同能源结构之间相互转移的概率就形成了转移概率矩阵。

记条件概率 $p_{ij}^{(k)}$ 为系统从状态 i 经过 k 步转移到状态 j 的 k 步转移概率,通过一步转移矩阵 P 独自相乘 k 次,则可得到第 k 步转移矩阵 P^k 。

假设 t 时刻一次能源的消费结构状态向量为

$$U(t) = \{U_c(t), U_o(t), U_g(t), U_e(t)\} \quad (6)$$

式中, $U_c(t)$ 、 $U_o(t)$ 、 $U_g(t)$ 、 $U_e(t)$ 分别代表煤炭、石油、天然气、清洁能源(包括可再生能源、水风电能等)在一次能源消费总量中所占的比例。则黑龙江省的一次能源消费结构从 m 时刻到 $m+1$ 时刻的一步转移概率矩阵如式(7)

$$P(t) = \begin{bmatrix} p_{c \rightarrow c}(t) & p_{c \rightarrow o}(t) & p_{c \rightarrow g}(t) & p_{c \rightarrow e}(t) \\ p_{o \rightarrow c}(t) & p_{o \rightarrow o}(t) & p_{o \rightarrow g}(t) & p_{o \rightarrow e}(t) \\ p_{g \rightarrow c}(t) & p_{g \rightarrow o}(t) & p_{g \rightarrow g}(t) & p_{g \rightarrow e}(t) \\ p_{e \rightarrow c}(t) & p_{e \rightarrow o}(t) & p_{e \rightarrow g}(t) & p_{e \rightarrow e}(t) \end{bmatrix} \quad (7)$$

式(7)中: c 表示煤炭、 g 表示天然气、 o 表示石油、 e 表示清洁能源,箭头代表转移的方向,每行元素之和为1。主对角线上的概率为保留概率,是指其能源维持不变的概率;对角线之外的行元素是指该能源向其他能源转移的概率;对角线之外的列元素是指其他的能源向该能源转移的概率。

设从初始时刻到 m 时刻的转移矩阵分别为 $P(1), P(2), \dots, P(m)$,则一次能源的消费结构矩阵的平均转移矩阵 \bar{P} 如式(8)

$$\bar{P} = [P(1)P(2)P(3) \cdots P(m)]^{\frac{1}{m}} \quad (8)$$

如已知 m 时刻的能源消费结构 $u(m)$ 和平均转移矩阵,则 $m+k$ 时刻一次能源消费结构矩阵如式(9)

$$U(m+k) = u(m) \times \bar{P}^k \quad (9)$$

其中 \bar{P}^k 为 $m+k$ 时刻的平均转移矩阵。

2 一次能源消费总量预测

2.1 数据选取及模拟设置

以黑龙江省1995~2014年一次能源消费总量为输入节点进行预测,数据来源于《黑龙江省统计年鉴》。改进的BP神经网络模型训练样本为

1995 ~ 2011 年的数据,节点选取 5 年滚动预测,通过前 5 年能源消耗数据来预测后一年的数据,如用 1995 ~ 1999 年的数据为输入项,则输出 2000 年的预测数据。将 1995 ~ 2011 年的数据作为样本集进行批量训练,直至达到设置的期望误差;保存训练结果并用该预测结果进行下一次能源消总量预测;2012 ~ 2014 年的数据作为检测样本,不参与学习。设置训练次数为 10000 次,迭代收敛曲线显示周期 50,动量因子 0.9,训练速度 0.05,全过程利用 MATLAB 拟合完成^[7]。

2.2 预测结果分析

2.2.1 预测误差

采用改进的 BP 神经网络模型,根据训练样本的情况进行预测模拟,得出 2000 ~ 2011 年的训练值与目标值的拟合情况,如图 2 所示。可见训练值与目标值拟合较好,二者的最大相对误差为 8.8%,最小误差接近 0,平均相对误差为 1.3%,训练结果误差在合理范围内,表明模拟输出的训练值与现实情况的目标值误差较小。

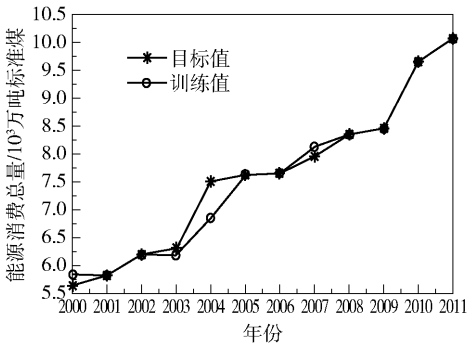


图 2 训练值与目标值拟合情况

Fig.2 Fitting graph of training value and target value

将 2012 ~ 2014 年的数据作为检测样本,通过采用改进的 BP 神经网络模型的循环迭代计算,得出一次能源 2012 ~ 2014 年消费总量预测值(表 1),与其对应的实际值相比较,相对误差在 0.2% ~ 4% 之间,误差较小,说明预测结果与实际检测样本吻合度高。因此,利用该模型构建的一次能源消费总量的预测模型对未来几年的一次能源消费总量进行预测是可行的。本文预测一次能源 2015 ~ 2020 年消费总量的结果见表 1。

2.2.2 结果分析

由表 1 可见,2014 ~ 2016 年黑龙江省一次能源消费总量预测值出现较大降幅,其中 2015 年较 2014 年

下降了 3.08%,2016 年较 2015 年下降了 2.66%;2016 年之后开始呈现出小幅上升趋势。预计到 2020 年黑龙江省一次能源消费量比 2010 ~ 2014 年平均消费量下降 7% 左右,2015 ~ 2020 年整体趋势为先下降后平稳上升,且 2020 年的一次能源消费总量预测值小于 2015 年,维持在 9200 万吨标准煤左右。

表 1 2012 ~ 2020 年一次能源年消费总量预测值与实际值
Table 1 Forecast value and actual value for the years 2012 – 2020

年份	实际值/ 万吨标准煤	预测值/ 万吨标准煤	相对误差/ %
2012	10041.7	10062.0	0.20
2013	9715.0	10105.0	4.01
2014	9322.0	9626.2	3.26
2015	–	9329.8	–
2016	–	9081.9	–
2017	–	9169.5	–
2018	–	9170.6	–
2019	–	9250.3	–
2020	–	9294.6	–

3 一次能源消费结构预测

本文采用构建的马尔科夫链模型预测黑龙江省一次能源的消费结构。

3.1 消费结构模拟

选取 2010 ~ 2014 年的黑龙江省一次能源消费总量,经计算得到一次能源消费结构数据见表 2。以此计算转移矩阵,预测 2015 ~ 2020 年黑龙江省一次能源的消费结构。

表 2 2010 ~ 2014 年一次能源消费结构
Table 2 Primary energy consumption structure of Heilongjiang province in 2010 – 2014

年份	消费结构/%			
	煤炭	石油	天然气	清洁能源
2010	67.4	26.2	4.1	2.3
2011	68.0	25.6	4.1	2.3
2012	68.4	25.2	3.6	2.7
2013	66.8	25.6	3.8	3.8
2014	66.5	25.7	3.9	3.9

以煤炭为例计算转移矩阵, m 时刻煤炭的保留概率 $p_{c \rightarrow c}(m)$, 当一次能源的消费结构从 m 时刻变化到 $m+1$ 时刻, 若煤炭的份额不变或增加, 则其保留概率记为 1; 若份额减少, 则保留概率为

$$p_{c \rightarrow c}(m) = \frac{u_c(m+1)}{u_c(m)}$$

(10)

其中 u_c 表示煤炭的能源结构占比。如保留概率为

$$p_{c \rightarrow o}(m) = \frac{[1 - p_{c \rightarrow c}(m)] \times [u_o(m+1) - u_o(m)]}{[u_o(m+1) - u_o(m)] + [u_g(m+1) - u_g(m)] + [u_e(m+1) - u_e(m)]}$$

(11)

同理, 得到煤炭转向天然气和清洁能源的转移概率以及各类能源间的转移概率, 进而得到 2010 ~ 2011 年、2011 ~ 2012 年、2012 ~ 2013 年、2013 ~ 2014 年黑龙江省能源转移概率矩阵, 结果如式(12)

$$\begin{aligned} P_{2010-2011} &= \begin{bmatrix} & \text{煤炭} & \text{石油} & \text{天然气} & \text{清洁能源} \\ \text{煤炭} & 1 & 0 & 0 & 0 \\ \text{石油} & 0.0221 & 0.9765 & 0 & 0.0014 \\ \text{天然气} & 0.0075 & 0 & 0.9920 & 0.0005 \\ \text{清洁能源} & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ P_{2011-2012} &= \begin{bmatrix} & \text{煤炭} & \text{石油} & \text{天然气} & \text{清洁能源} \\ \text{煤炭} & 1 & 0 & 0 & 0 \\ \text{石油} & 0.0072 & 0.9864 & 0 & 0.0064 \\ \text{天然气} & 0.0621 & 0 & 0.8823 & 0.0555 \\ \text{清洁能源} & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ P_{2012-2013} &= \begin{bmatrix} & \text{煤炭} & \text{石油} & \text{天然气} & \text{清洁能源} \\ \text{煤炭} & 0.9764 & 0.0047 & 0.0030 & 0.0159 \\ \text{石油} & 0 & 1 & 0 & 0 \\ \text{天然气} & 0 & 0 & 1 & 0 \\ \text{清洁能源} & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ P_{2013-2014} &= \begin{bmatrix} & \text{煤炭} & \text{石油} & \text{天然气} & \text{清洁能源} \\ \text{煤炭} & 0.9957 & 0.0016 & 0.0013 & 0.0015 \\ \text{石油} & 0 & 1 & 0 & 0 \\ \text{天然气} & 0 & 0 & 1 & 0 \\ \text{清洁能源} & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

(12)

由式(12)可见, 2010 ~ 2011 年、2011 ~ 2012 年煤炭转移到煤炭的概率为 1, 说明煤炭的能源占比无下降趋势, 石油和天然气向煤炭转移比例均不为 0, 因此煤炭在 2010 ~ 2012 年期间能源消耗占比有所提高。2012 ~ 2013、2013 ~ 2014 年煤炭向自身转移的比例小于 1, 且其他能源转向煤炭的比例均为 0, 表明煤炭占总能耗比例减小。2010 ~ 2014 年清洁能源转到其本身的概率一直为 1, 其他能源转移

1, 表明在下一阶段内煤炭不会向其他能源转移, 那么在转移矩阵的行列式中 $p_{c \rightarrow o}(m)$, $p_{c \rightarrow g}(m)$, $p_{c \rightarrow e}(m)$ 均为零。如果保留概率小于 1, 表明下一时间段内其他能源向煤炭转移的概率 $p_{o \rightarrow c}(m)$ 、 $p_{g \rightarrow c}(m)$ 、 $p_{e \rightarrow c}(m)$ 均为 0, 此时煤炭会向其他能源转移^[12]。煤炭转向石油的概率由式(11)计算

到清洁能源的比例一直大于 0, 说明清洁能源在能源消耗总量中占比不断提高。

利用式(8)和(12)计算出 2010 ~ 2014 年能源消费结构的平均转移矩阵为

$$\bar{P}_{2010-2014} = \begin{bmatrix} & \text{煤炭} & \text{石油} & \text{天然气} & \text{清洁能源} \\ \text{煤炭} & 0.9931 & 0.0015 & 0.0010 & 0.0044 \\ \text{石油} & 0.0074 & 0.9906 & 0 & 0.0019 \\ \text{天然气} & 0.0182 & 0 & 0.9627 & 0.0146 \\ \text{清洁能源} & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

(13)

式(13)表明, 平均转移矩阵中主对角线上煤炭的保持概率最高为 0.9931, 且天然气、石油转移到煤炭的概率分别为 0.0182、0.0074, 表明消费者选择煤炭作为主要能源, 预示煤炭仍然是主要的能耗来源。平均转移矩阵中主对角线上清洁能源保持概率为 1, 煤炭、石油和天然气转移到清洁能源的贡献率分别为 0.0044、0.0019 和 0.0146, 表明未来清洁能源是能源需求发展的主要增长源。

3.2 能源结构预测及结果分析

在 2014 年一次能源的消费结构基础上, 利用平均转移矩阵(式(8))和能源消费结构(式(9))预测出 2015 ~ 2020 年一次能源消费结构比例见表 3。

表 3 2015 ~ 2020 年一次能源消费结构

Table 3 Primary energy consumption structure of Heilongjiang province for the years 2015 - 2020

年份	消费结构/%			
	煤炭	石油	天然气	清洁能源
2015	66.39	25.49	3.81	4.30
2016	66.19	25.35	3.75	4.69
2017	65.99	25.21	3.69	5.09
2018	65.79	25.07	3.64	5.48
2019	65.59	24.93	3.58	5.87
2020	65.39	24.80	3.53	6.26

表3数据显示,清洁能源占比预计将从2014年的3.9%上升到2020年的6.26%,涨幅2.36%,相对增长率高达61%,表明未来清洁能源是能源需求的主要增长源;煤炭、石油、天然气的占比均出现下降趋势,降幅分别为1.11%、0.9%、0.37%,但煤炭和石油的消费整体占比居高不下,二者占一次能源结构的90.19%,煤炭占比从2014年的66.5%下降到2020年65.39%,仅下降1.11%左右,表明煤炭仍然是主要的能耗来源。

4 结束语

研究结果显示,2020年能源消费总量基本维持在9200万吨标准煤左右,因此降低一次能源的消费总量难度较大。煤炭、石油、天然气三者消耗量占比在总能源消耗中都有下降,但到2020年煤炭占比仍然高达65.39%,相比“十三五”规划中2020年中国煤炭使用比例60%仍有一定差距。建议转变经济增长方式,调节省内产业结构比例,减少煤炭和石油使用量;重视节能减排技术的应用以及管理创新,加大对清洁能源的开发和利用能力,特别是要提高天然气和清洁能源的使用比例。积极引导用能单位和公民合理消费能源的理念,优先使用清洁能源。

参考文献:

- [1] 任继勤,梁策,白叶.北京市终端能源消费与GDP和大气环境的关联分析[J].北京交通大学学报(社会科学版),2015,14(1):45-51.
Ren J Q, Liang C, Bai Y. An analysis of the correlation between terminal energy consumption, GDP and atmospheric environment in Beijing[J]. Journal of Beijing Jiaotong University: Social Sciences Edition, 2015, 14(1): 45-51. (in Chinese)
- [2] 李力,周广惠,王春海.黑龙江省能源消费与经济增长的现状分析[J].经济师,2015(5):166-167.
Li L, Zhou G H, Wang C H. Analysis of the current situation of energy consumption and economic growth in Heilongjiang province[J]. China Economist, 2015(5): 166-167. (in Chinese)
- [3] 刘卫东,仲伟周,石清.2020年中国能源消费总量预测——基于定基能源消费弹性系数法[J].资源科学,2016,38(4):658-664.
Liu W D, Zhong W Z, Shi Q. Estimation of total energy consumption in China in 2020—Based on elasticity coefficient method of base consumption[J]. Resources Sci-

- ence, 2016, 38(4): 658-664. (in Chinese)
- [4] 刘俊杰,李树林,范浩杰,等.情景分析法应用于能源需求与碳排放预测[J].节能技术,2012,30(1):70-75.
Liu J J, Li S L, Fan H J, et al. Application of scenario analysis to prediction of energy demand and carbon emissions[J]. Energy Saving Technology, 2012, 30(1): 70-75. (in Chinese)
- [5] 任继勤,祁士伟,殷悦.基于环境保护视角的北京市工业产业升级的路径研究[J].资源开发与市场,2017,33(4):436-441.
Ren J Q, Qi S W, Yin Y. Research on path of industrial upgrading in Beijing based on environmental protection[J]. Resource Development & Market, 2017, 33(4): 436-441. (in Chinese)
- [6] 谢乃明,刘思峰.能源消费总量与结构预测分析——以江苏省为例[J].工业技术经济,2009,28(1):46-49.
Xie N M, Liu S F. Analysis of energy consumption and its structure: a case study of Jiangsu province[J]. Journal of Industrial Technological Economics, 2009, 28(1): 46-49. (in Chinese)
- [7] 华林香,肖秀钦,钱庆荣,等.马尔可夫模型在一次能源消费预测中的应用——以福建省为例[J].福建师范大学学报:自然科学版,2013,29(5):78-86.
Hua L X, Xiao X Q, Qian Q R. Application of the theory of Marko to predict primary energy consumption—take the example of Fujian Province[J]. Journal of Fujian Normal University: Natural Science, 2013, 29(5): 78-86. (in Chinese)
- [8] Ren C, An N, Wang J Z, et al. Optimal parameters selection for BP neural network based on particle swarm optimization: a case study of wind speed forecasting[J]. Knowledge-Based Systems, 2014, 56: 226-239.
- [9] 周荣喜,蔡小龙,崔清德,等.基于ARMA与BP神经网络模型的产品质量安全风险预测[J].北京化工大学学报:自然科学版,2015,42(6):115-119.
Zhou R X, Cai X L, Cui Q D, et al. Safety risk prediction of product quality based on the ARMA model and the BP neural networks model[J]. Journal of Beijing University of Chemical Technology: Natural Science, 2015, 42(6): 115-119. (in Chinese)
- [10] 李剑锋,吴林弟,胡伍生,等.基于BP神经网络算法的对流层湿延迟计算[J].东南大学学报:自然科学版,2013(增刊2):355-359.
Li J F, Wu L D, Hu W S, et al. Calculation of tropo-

- spheric wet delay based on BP neural algorithm [J]. Journal of Southeast University: Natural Science, 2013 (s2): 355–359. (in Chinese)
- [11] 刘天舒. BP 神经网络的改进研究及应用[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2011.
- Liu T S. The research and application on BP neural network improvement [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2011. (in Chinese)
- [12] 王锋. 中国碳排放增长的驱动因素及减排政策评价[M]. 北京: 经济科学出版社, 2011: 29–44.
- Wang F. China's carbon emissions growth drivers and emission reduction policy evaluation [M]. Beijing: Economic Science Press, 2011: 29–44. (in Chinese)

Primary energy consumption and its structure in Heilongjiang province

REN JiQin WU JiaHua XIA JingYang YIN Yue ZHOU Zhao*

(College of Economics and Management, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: In this work we selected historical data for primary energy consumption and its structure in Heilongjiang province from 1995 to 2014 and adopted an improved BP neural network model to forecast the primary energy consumption from 2015 to 2020, volume and the Markov model to forecast primary energy consumption structure from 2015 to 2020. The results show that the primary energy consumption of Heilongjiang province in 2015–2020 will remain essentially constant, at 92 million tons of standard coal. The share of coal, oil and natural gas in the energy consumption structure will reduce year by year, while that of clean energy will increase. However, by 2020, the proportion of coal in the primary energy consumption structure will still be as high as 65%, and the proportion of clean energy will still be relatively low. The results suggest it is necessary to reduce the total amount of primary energy consumption, especially the proportion of coal and oil in primary energy consumption by rationally adjusting the primary energy consumption structure. The government should promulgate relevant policies to guide the concept of energy consumption and give priority to the use of clean energy.

Key words: total primary energy consumption; energy consumption structure; clean energy; improved BP neural network; Markov model

(责任编辑: 汪 琴)