

基于灰色神经网络模型的企业碳排放峰值预测

於慧琳, 肖铭哲

(南京农业大学 工学院, 南京 210031)

摘要: 为预测企业碳排放峰值, 帮助企业设计碳排放的减排路径, 需要对企业碳排放峰值预测方法进行研究; 当前采用基于 TFDI 模型的预测模型对企业碳排放峰值进行预测, 预测过程中无法全面考虑企业碳排放影响因素, 导致预测企业碳排放峰值出现误差; 为此, 提出一种基于灰色神经网络模型的企业碳排放峰值预测模型; 该模型是以灰色模型为基础, 与神经网络相融合构建的灰色神经网络, 将模型中企业碳排放原数据进行叠加, 并用微分方程表示, 将 VSTE 算法作为灰色神经网络模型预测的基础算法, 计算企业碳排放路径碳排放值, 满足高斯分布随机函数, 以此进行企业碳排放峰值的预测; 实验结果证明, 所提模型可以准确预测企业碳排放峰值, 有效帮助企业设计碳排放减排路径。

关键词: 灰色神经网络; 碳排放; 峰值预测

Grey Neural Network Model for Prediction of Carbon Emissions

Yu Huilin, Xiao Mingzhe

(College of Engineering, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, China)

Abstract: In order to predict the peak of carbon emissions, and to help enterprises design the path of carbon emission reduction, it is necessary to study the prediction method of carbon emissions. At present, the prediction model based on TFDI model is used to predict the peak of carbon emissions, which can not fully consider the influence factors of carbon emissions in the process of prediction, leading to the prediction of the peak value of carbon emissions. Therefore, this paper puts forward a new model of carbon emission prediction based on grey neural network model. The model is based on the grey model, and neural network by combining grey neural network model, the corporate carbon raw data are superimposed, and is represented by differential equations, the VSTE algorithm as the basic algorithm grey neural network prediction model, the calculation of corporate carbon emissions path of carbon emissions, to meet the random Gauss distribution function in order to forecast, corporate carbon emissions to peak. The experimental results show that the proposed model can accurately predict the peak of carbon emissions, and help enterprises to design a path of carbon emission reduction.

Keywords: grey neural network; carbon emission; peak prediction

0 引言

现阶段国内经济发展面临着诸多环境问题, 首当其冲的是企业碳排放问题^[1], 特别围绕企业的碳排放峰值能否尽早的出现和在何种排放水平出现进行重点研究^[2]。利用 TFDI 模型进行预测时, 无法全面地考量企业碳排放量相关影响因素, 容易在预测过程中出现误差^[3-4]。那么, 准确预测企业碳排放的峰值、帮助企业设计碳排放减排路径、尽可能地延长企业碳排放量达到峰值的时间成为当前需要解决的问题。该模型是以灰色模型为基础与神经网络相融合, 构建灰色神经网络, 将企业碳排放原数据输入到该模型中, 并对其进行叠加, 得到一个新的数据数列, 并用微分方程表示, 模型使用 VSTE 算法作为灰色神经网络模型预测的基础算法, 计算企业碳排放路径碳排放的平均值, 以此预测出企业碳排放峰值。针对企业碳排放隐性因素的复杂性和多样性, 研究人员建立的数学模型所考虑的因素也各不相同, 造成预测结果也各不相同, 误差较大, 而基于灰色神经网络模型的企业碳排放峰值预测模型, 是解决上述问题的有效途径, 得到许多学者的关注, 并得到一定的研究成果^[5-6]。

现有的企业碳排放峰值预测模型有: 文献 [7] 提出一种 STIRPAT 模型的企业碳排放峰值预测模型。首先, 通过分析企业近几年来碳排放的面板数据, 了解目前企业碳排放的基本

情况, 其次对近几年的时间序列数据进行回归, 分析企业总体碳排放的趋势, 最后, 以先前回归的基础对企业碳排放峰值出现时间进行预测, 并提出相应的减排措施与建议。该模型可以推断出企业碳排放峰值出现的时间范围, 但计算量过大, 每个步骤都会出现误差, 使得误差过大。文献 [8] 提出一种基于 IAMC 模型的企业碳排放峰值预测模型。首先考虑现阶段影响企业碳排放的因素有哪些, 并对该模型进行调整, 对企业碳排放路径和碳排放情景进行分析, 同时控制企业碳排放总量, 再根据已知条件对企业碳排放量峰值出现时间进行推算, 并提出现阶段合理的目标建议。该模型可以很好地控制企业年排放总量, 因此推算结果相对准确, 但在实际操作中不能融汇贯通使用。文献 [9] 提出一种基于 IPAT 模型的企业碳排放峰值预测模型。首先核算和评估企业历年来碳收支和碳足迹状况, 并通过 IPAT 模型和情景分析的方法对企业的碳排放峰值进行预测, 该模型有效的延长企业碳排放量峰值出现的时间区间, 但该模型很难预测到企业碳排放峰值将会在这一时间区间的前期、中期或是后期达到^[10]。

针对上述产生的问题, 提出一种基于灰色神经网络模型的企业碳排放峰值预测模型。仿真实验证明, 所提模型可以准确地预测企业碳排放的峰值, 有效的帮助企业设计碳排放减排路径。

1 基于灰色神经网络模型的企业碳排放峰值预测模型

1.1 灰色原理及灰色神经网络模型

灰色模型是用来解决概率统计和模糊数学存在“小样本”、

收稿日期: 2017-05-09; 修回日期: 2017-05-26。

作者简介: 於慧琳(1995-), 女, 江苏南京人, 大学生, 主要从事系统工程方向的研究。

“贫信息”不确定性的问题，灰色模型的特点是少数据建模，可以根据数据处理推断现实规律。在回升模型中建立预测模型，则该模型为灰色预测模型。该模型是一种微分方程，是以原始数据序列建立的微分方程，叠加原始数据，使其呈现一定的规律，再用典型的曲线来体现叠加后数据呈现的曲线。假设有时间数据序列为：

$$x^{(0)} = (x_t^{(0)} \mid t = 1, 2, \dots, n) = (x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)}) \quad (1)$$

式中， $x^{(0)}$ 为灰色预测模型中原始数据；对灰色预测模型原始数据进行第一次叠加，得到一个新的数据序列 $x^{(1)}$ ：

$$x^{(1)} = (x_t^{(1)} \mid t = 1, 2, \dots, n) = (x_1^{(0)}, \sum_{i=1}^1 x_i^{(0)}, \sum_{i=1}^2 x_i^{(0)}, \dots, \sum_{i=1}^n x_i^{(0)}) \quad (2)$$

式中， t 为灰色预测模型新的数据序列中原始数据第 t 项， t 的取值范围为 $(0, 1, 2, \dots, n-1)$ ；用白化方程表示灰色预测模型新的数据序列，可以表示为：

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = u \quad (3)$$

解上述方程，可以得到公式 (4)：

$$x_t^{*(1)} = \left(x_1^{(0)} - \frac{u}{a}\right)e^{-a(t-1)} + \frac{u}{a} \quad (4)$$

式中， $x_t^{*(1)}$ 为灰色预测模型中新的数据序列的评估值，并对 $x_t^{*(1)}$ 做一次数据累减得到 $x^{(0)}$ 的预测值 $x_t^{*(0)}$ ：

$$x_t^{*(0)} = x_t^{*(1)} - x_{t-1}^{*(1)} \quad (5)$$

灰色预测模型对企业碳排放不确定特征值的发展变化进行预测，模型中原始数据的特征值不确定，经过一次数据叠加后得到一个随指数增长变化的数列，为了更好地表达微分方程的拟合和预测，将对上述符号进行重新定义，原始数据数列用 $x(t)$ 表示，灰色预测模型原始数据将进行第一次叠加，得到一个新的数据序列，将用 $y(t)$ 表示； $x^{(0)}$ 预测结果将用 $z(t)$ 表示。用微积分表达 n 个原始数据的灰色预测模型，可以表示为：

$$\frac{dy_1}{dt} + ay_1 = b_1y_1 + b_2y_3 + \dots + b_{n-1}y_n \quad (6)$$

式中， y_1, y_2, \dots, y_n 为灰色预测模型输入参数； y_1 为灰色神经网络预测模型输入的初始参数； $a, b_1, b_2, \dots, b_{n-1}$ 为灰色预测模型微分方程系数。则公式 (6) 的时间响应表达式为：

$$z(t) = \left[y_1(0) - \frac{b_1}{a}y_2(t) - \frac{b_2}{a}y_3(t) - \dots - \frac{b_{n-1}}{a}y_n(t) \right] e^{-at} + \frac{b_1}{a}y_2(t) + \frac{b_2}{a}y_3(t) + \dots + \frac{b_{n-1}}{a}y_n(t) \quad (7)$$

假设：

$$d = \frac{b_1}{a}y_2(t) - \frac{b_2}{a}y_3(t) - \dots - \frac{b_{n-1}}{a}y_n(t) \quad (8)$$

则根据公式 (8) 可将公式 (7) 转化为：

$$z(t) = \left\{ [y_1(0) - d] \cdot \frac{e^{-at}}{e^{-at} + 1} + d \cdot \frac{1}{e^{-at} + 1} \right\} (e^{-at} + 1) = \left\{ [y_1(0) - d] - y_1(0) \cdot \frac{1}{e^{-at} + 1} + 2d \cdot \frac{1}{e^{-at} + 1} \right\} (e^{-at} + 1) \quad (9)$$

将公式 (9) 映射到一个神经网络中，得到灰色神经网络模型，该模型中包含 n 个灰色神经网络模型输入参数，1 个灰色神经网络模型输出参数。即建立一个灰色的神经网络。

1.2 灰色神经网络模型预测算法

本文提出 VSTE 算法作为灰色神经网络模型企业碳排放峰值预测的基础算法，该算法随机选取企业碳排放的路径，选择碳排放量较少路径的，并调查影响该路径碳排放量的因素，并获取各个因素对应的影响值，计算该路径的碳排放值。

假设 x_i 为企业第 i 个碳排放路径位置， $L(\lambda)$ 为随机抽取碳排放路径的方式，则新建的碳排放路径的位置为：

$$x_{i+1} = x_i + \delta \oplus L(\lambda) \quad (10)$$

式中， δ 为灰色神经网络企业碳排放的影响参数； \oplus 为点乘符号； i 的取值范围为 $(1, 2, 3, \dots, size)$ 。

计算企业碳排放量的过程中，采用的是 VSTE 算法来计算企业碳排放量，并且满足高斯分布随机函数。则高斯分布随机函数可以表示为：

$$stepsize_i = \alpha \cdot step \oplus (x_i - x_{best}) \quad (11)$$

式中， α 表示灰色神经网络模型中相关系数； $step$ 表示企业碳排放步长，VSTE 算法采用的是随机抽取企业碳排放路径的方式，选取的路径取决于该路径碳排放量，碳排放量的影响因素，选择的最优碳排放路径是企业主要使用的碳排放路径，并且明确影响该路径碳排放的因素，在路径进行碳排放量最多与最少的时间段内进行采集，计算该企业一天平均排放量。具体操作步骤如下：

1) 假设企业原始碳排放量为 N ，企业每年碳排放量最大的迭代次数 NUM ，该企业覆盖面积为 $visual$ ，企业碳排放最大步长为 $step$ ，企业覆盖面积 S 内每平方米碳分子密度为 ρ 。随机采集企业某个碳排放路径的碳排放量，每个路径的碳排放量都为实数，利用灰微分方程参数 a, b 计算出灰色神经网络模型的权值，将权值输入到已经建构的灰色神经网络模型中。

2) 计算企业碳排放路径周围空气中碳含量 Y ，碳含量较高的数据输入到灰色神经网络模型中，同时输入碳含量较低的数据，其覆盖区域碳含量的平均值为：

$$\bar{Y} = \frac{Y_{max} + Y_{min}}{SE} \quad (12)$$

式中， E 表示企业碳排放量预测误差。

3) 每隔一段时间需要对企业碳排放量进行重新测量，并更新灰色神经网络模型中数据。

4) 在误差允许的范围对其迭代次数训练，利用训练好的灰色神经网络模型进行企业碳排放峰值的预测，则模型的最终预测结果为：

$$\hat{y}(i) = \hat{y}_0(i) + E \quad (13)$$

2 仿真实验结果与分析

为验证本文方法可以准确地预测企业碳排放峰值，并帮助企业设计碳排放的减排路径，需要进行一次仿真实验。该实验将在沈阳重工业区进行实验，实验数据以截至到 2016 年的数据统计档案和 1995~2016 年的《辽宁能源统计年鉴》

企业碳排放量的计算公式为：

$$C = \sum_{j=1}^8 E_j \times W_j \quad (14)$$

式中， C 表示企业碳排放量； E_j 表示企业第 j 种能源消耗量； W_j 表示企业第 j 种能源的碳排放系数。根据表 1 各种能源碳排放系数计算各种能源的碳排放量。

根据企业 1995 年~2016 年碳排放量、企业工人、企业碳排放强度和企业生产结构的时间序列数据，分析工人、企业发

表 1 各种能源的碳排放量系数

能源种类	煤炭	焦炭	原油	汽油	煤油	柴油	燃料油	天然气
碳排放系数	0.6524	0.8654	0.5248	0.5248	0.5274	0.63581	0.2685	0.43568

展、技术的因素对企业排放量的影响。对灰色神经网络模型进行回归, 可以得到下列计算结果:

$$\ln I_t = 1.004 \ln P_t + 0.994 \ln T_t - 0.075 \ln I_t - 8.265 + h_t \quad (15)$$

式中, I 表示企业碳排放总量, p 表示企业工人数目, T 表示企业拥有的技术, 根据灰色神经网络模型回归方程变量系数可知, 工人数量是驱动碳排放量的驱动力, 其次是企业碳排放量强度, 企业生产结构一般情况下只起到辅助作用, 所以影响企业碳排放量的主要因素还是企业工人数量与企业碳排放强度。

根据 1995~2016 年的检测数据可知, 企业在此期间内生产结构维持在区间 [36.25%, 54.21%] 内, 如果将 2017~2035 年企业工人与企业排放量强度维持在目前的发展趋势。假设企业每年碳排放量按照 1995~2016 年的年增长率增长, 并将企业生产的上限值与下限值输入到灰色神经网络模型中, 从而推算出 2017~2035 年企业年碳排放量预估值范围, 如图 1 所示。

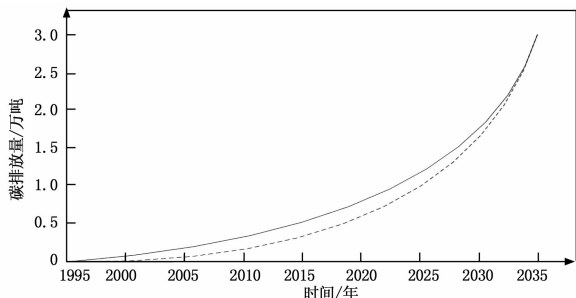


图 1 维持现状下 2017~2035 年企业碳排放量预测

由图 1 可知, 如果企业维持现状, 无论是企业生产结构的上限还是下线, 还是企业的碳排放量都呈现上升的趋势, 灰色神经网络模型在预测企业碳排放峰值期间内不会出现碳排放峰值, 表明在 2035 年企业碳排放不能达到峰值。所以需要企业的碳排放要在 2035 年内达到碳排放峰值, 需要对企业工人、企业生产结构和碳排放强度进行相应的控制。

为更准确地预测 2017 年~2035 年企业碳排放峰值, 下列实验采用了不同的模式, 从中找出最优的发展模式, 确定影响企业碳排放量的影响因素的发展情况, 从而对其进行控制。

影响企业碳排放量的主要因素为企业工人、碳排放量强度、企业生产结构, 但控制企业工人人数从而控制碳排放量, 并不是有效的办法, 所以在维持企业工人人数的情况下, 并根据企业 1995 年~2016 年的碳排放的发展趋势, 计算企业碳排放量增长率的变化范围, 该范围在 0.6%~1.2% 之间。通过控制企业碳排放强度实现控制企业碳排放量, 设 T 为企业碳排放量强度, 将影响企业碳排放量因素的分为高、中、低三种变化速率, 以中等变化速率模式为基准。

根据公式 (15) 分析, 假设企业经济在低基准变化速率模式的情况下各个变量以低速度增长, 企业经济在中等基准变化速率模式的情况下, 各个变量以适中的速度增长; 企业经济在高等变换速率的模式下, 各个变量以高速的速度增长; 根据上

述三种模式, 设定了 5 种情景模式, 如表 2 所示。

表 2 各个情景模式说明

情景模式	企业工人 / 个	企业碳排放量强度 / Mpa	企业生产结构 / 种类
低等基准变化速率模式	低速	低速	低速
中等基准变化速率模式	中速	中速	中速
高等基准变化速率模式	高速	高速	中速
节能情景模式	高速	中速	高速
失控情景模式	高速	中速	低速
环保情景模式	低速	低速	低速
低碳情景模式 A	中速	中速	高速
低碳情景模式 B	中速	中速	低速

表 2 中节能情景企业生产结构以高速增长, 而碳排放强度以中速增长, 失控情景企业生产结构以低速增长, 而碳排放强度以中速增长, 环保情景企业生产结构以低速增长, 而碳排放强度以低速增长, 低碳情景 A 企业生产结构以高速增长, 而碳排放强度以中速增长, 低碳情景 A 企业生产结构以低速增长, 而碳排放强度以中速增长, 探讨影响企业碳排放量各个因素按照不同的增速变化对碳排放量峰值出现时间的影响, 为灰色神经网络模型预测企业碳排放峰值出现的时间。

企业的碳排放强度正在不断的下降, 最近 5 年企业碳排放强度下降的速率已经累计下降 18%, 每年平均下降的速率为 3.6%, 以此为企业碳排放强度下降的最低速率, 以企业 1995~2016 年企业碳排放强度平均下降速率 8% 为企业碳排放强度下降的最高速率, 中速率在高速率与低数据之间。

根据图 2 的预测结果可知, 在低等基准变化速率情景模式、环保情景模式和低碳情景 A 模式下企业的碳排放在预测年限间出现峰值, 出现的时间分别为 2020 年、2030 年、2025 年; 在另外 5 种情景模式下均没有出现碳排放峰值, 企业碳排放强度对企业碳排放峰值出现有着重要的影响, 企业生产结构增长速度比碳排放强度下降的速度快, 所以其他 5 中情景模式在 2035 年内不会出现碳排放量峰值。相反, 如果企业生产结构增长速度比企业工人增长的速度较快, 会推动企业碳排放量尽早达到峰值, 由低等基准变化速率模式与环保情景模式对比可知, 在企业经济和工人人数不变的情况下, 企业碳排放强度增长速率较慢, 则企业碳排放峰值出现的时间越晚, 而且企业碳排放峰值额相对较大。分析表 3 灰色神经网络模型预测结果可知, 在企业经济发展的过程中, 如果适当的控制企业工人数

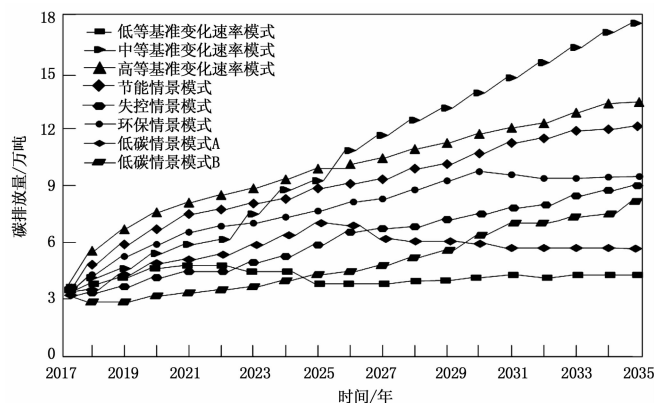


图 2 不同情景下 2017~2035 年企业碳排放峰值预测

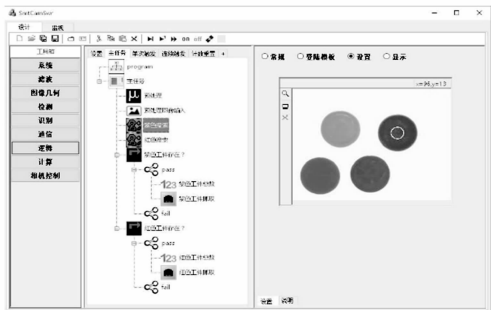


图 4 工件分拣编程界面

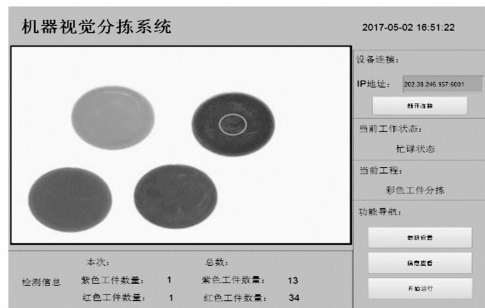


图 5 工件分拣监控界面

(上接第 179 页)

量与经济的快速增长, 并通过企业技术进步保持企业碳排放强度的合理下降, 则企业碳排放峰值出现的时间在 2030 年~2035 年之间。如果企业在经济发展时企业碳排放强度降低, 会延后企业碳排放峰值出现时间。

从表 3 可以看出灰色神经网络可以全面考虑影响企业碳排放峰值的因素, 并且准确地预测出企业碳排放峰值出现的时间与峰值额。仿真实验证明, 本文所提模型可以准确预测企业碳排放峰值, 并有效帮助企业设计碳排放减排路径。

表 3 灰色神经网络模型在各种模式下峰值预测结果

情景模式	峰值出现的年份/年	峰值额/万吨	碳排放量强度/万吨
低等基准变化速率模式	2020	523 154.22	86 497.3
中等基准变化速率模式	2035 年内没有出现峰值	—	—
高等基准变化速率模式	2035 年内没有出现峰值	—	—
节能情景模式	2035 年内没有出现峰值	—	—
失控情景模式	2035 年内没有出现峰值	—	—
环保情景模式	2030	376 856.34	46 537.67
低碳情景模式 A	2025	465 745.23	105 647.45
低碳情景模式 B	2035 年内没有出现峰值	—	—

3 结束语

采用当前的预测模型 TFDI 模型对企业碳排放峰值进行预

4 结语

本文基于图形化编程思想与网络通讯方式, 开发了一套智能相机管理系统。该系统集相机图形化编程、相机运行管理、相机监控等功能于一身, 通过拖放式的编程方式进行智能相机编程, 通过网络通讯方式实现数据同步、远程监控等, 为用户提供一套操作简单便捷、功能完整的智能相机编程管理系统。经实验验证, 该系统在生产应用中具有良好的实用价值, 值得进一步推广应用。

参考文献:

[1] 裴志军, 曹继华, 张骥祥. 嵌入式机器视觉中的智能相机技术 [J]. 天津工程师范学院学报, 2008, 18 (2): 5-8.

[2] 刘 伟. 一种基于智能相机的机器视觉系统的设计 [J]. 重庆工商大学学报: 自然科学版, 2013, 30 (11): 66-69.

[3] 吕 敏, 沙 莎. 可视化编程数字图像处理平台的界面设计与实现 [J]. 计算机系统应用, 2010, 19 (9).

[4] 王腾腾. 基于图编程的嵌入式机器视觉算法平台研究 [D]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2016.

[5] 杨林蛟, 张 鑫. 基于 JGraph 的图像处理编程平台的实现 [J]. 机电工程, 2011, 28 (8): 978-982.

[6] 杨林蛟, 张 鑫. 基于组件的医学影像处理算法平台的实现 [J]. 微处理机, 2010 (2): 97-100, 104.

测, 由于预测过程中无法全面考虑企业碳的排放影响因素, 容易使企业碳排放的预测出现误差。提出一种基于灰色神经网络模型的企业碳排放峰值预测模型。并通过仿真实验证明, 所提模型可以准确地预测企业碳排放的峰值, 有效地帮助企业设计碳排放减排路径。

参考文献:

[1] 朱宇恩, 李丽芬, 贺思思, 等. 基于 IPAT 模型和情景分析法的山西省碳排放峰值年预测 [J]. 资源科学, 2016, 38 (12): 2316-2325.

[2] 陈 盈, 李函昱, 田立新. 江苏省能源消费结构对碳排放影响的效应与趋势——基于 LMDI 和 Logistics 模型的实证研究 [J]. 数学的实践与认识, 2016, 46 (21): 158-170.

[3] 王秋平, 舒 勤, 黄宏光, 等. 含有误差校正的小波神经网络交通流量预测 [J]. 计算机测量与控制, 2016, 24 (2): 168-170.

[4] 侯连浪, 梁利喜, 刘向君, 等. 基于 BP 神经网络的页岩静弹性模量预测研究 [J]. 科学技术与工程, 2016, 16 (30): 176-180.

[5] 贺永俊, 杨 珊. 基于 QPSO 灰色神经网络的基坑锚固荷载预测 [J]. 科技通报, 2016, 32 (1): 109-113.

[6] 刘晓辉, 闫二旺. 能源与产业结构调整下我国工业碳排放峰值调节机制研究 [J]. 工业技术经济, 2016, 35 (12): 107-114.

[7] 周晨吕, 胡 静, 李立峰. 崇明岛中长期碳排放预测及其影响因素分析 [J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24 (4): 632-639.

[8] 朱松丽. 基于国土空间开发格局的城市化地区和其他功能区碳排放现状——黔粤案例研究 [J]. 气候变化研究进展, 2016, 12 (2): 132-138.

[9] 郭 斌, 许江宁, 何泓洋, 等. 基于微分器与 RBF 神经网络补偿的 PID 控制 [J]. 计算机仿真, 2016, 33 (6): 294-297.

[10] 朱卫平, 汪志成, 袁晓冬, 等. 一种光伏功率预测的 RBF 神经网络校正模型 [J]. 电子设计工程, 2016, 24 (13): 113-115.