

# 灰色模型和 BP 神经网络模型在城市 时用水量预测中的应用比较

傅春<sup>1</sup>, 刘娟<sup>2</sup>

(1. 南昌大学 中国中部经济发展研究中心, 江西 南昌 330047; 2. 南昌大学 建筑工程学院, 江西 南昌 330031)

**摘要:** 在城市时用水量预测模型中, 灰色模型和 BP 神经网络模型是两个应用较为广泛的模型, 但是它们有着各自的优缺点, 预测精度也不相同。本文以南方某市为例, 基于两种模型的预测原理, 利用 MATLAB 数学软件对该市的时用水量进行了预测, 并对两个预测模型的预测结果进行了误差比较分析, 得出了 BP 神经网络模型是适合该市的时用水量预测模型。

**关键词:** 灰色模型; BP 网络模型; 时用水量; 用水量预测

中图分类号: TU991.31; TP183

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2009)01-0033-03

## Application Comparison of Grey and BP Neural Network Model to Forecast Hour Urban Water Consumption

FU Chun<sup>1</sup>, LIU Juan<sup>2</sup>

(1. China Central Economic Development Research Center, Nanchang University, Nanchang, Jiangxi 330047, China;

2. Civil Engineering College, Nanchang University, Nanchang, Jiangxi 330031, China)

**Abstract:** In the urban hourly water consumption forecasting model, the application of gray model and BP neural network model were more extensive, but it had one's own advantages and disadvantages, the forecast accuracy was not the same. As an example of the southern city, based on the principles of the gray model and BP neural network model, forecasted the urban hourly water consumption and analyzed both forecasting error, and obtained that the BP neural network model was suitable to forecast the hourly water consumption in this city.

**Key words:** gray model; BP model; hour water consumption; forecast of water consumption

城市时用水量预测是城市供水系统优化调度的基础和前提, 它的准确度直接影响着优化调度的可靠性和实用性, 因此城市时用水量预测模型的选择尤为重要。

### 1 灰色系统理论预测原理

灰色系统理论把信息完整, 数据完整的称为白色系统, 把信息很不确定, 数据很少的称为黑色系统, 把信息部分确定, 部分不确定; 部分完全, 部分不完全; 部分已知, 部分未知的称为灰色系统。研究灰色系统的建模、决策、预测、优化等问题的理论, 称为灰色系统理论。用灰色系统理论预测城市用水量, 首先通过对原有数据作累加生成, 使其随机性弱化, 然后对弱化的数据进行拟合, 建立预测模型。

设时间序列  $X^{(0)}$  有  $n$  个观察值,  $X^{(0)} =$

$\{X^{(0)}(1), X^{(0)}(2), \dots, X^{(0)}(n)\}$ , 通过累加生成新序列  $X^{(1)} = \{X^{(1)}(1), X^{(1)}(2), \dots, X^{(1)}(n)\}$ , 则 GM(1, 1) 模型相应的微分方程为:

$$\frac{dX^{(1)}}{dt} + aX^{(1)} = L \quad (1)$$

其中:  $a$  称为发展灰数;  $L$  称为内生控制灰数。

设  $\hat{A}$  为待估参数向量,  $\hat{A} = \begin{bmatrix} a \\ L \end{bmatrix}$ , 可利用最小二乘法求解。解得:

$$\hat{A} = (B^T B)^{-1} B^T Y_n \quad (2)$$

求解微分方程, 即可得预测模型:

$$\hat{X}^{(1)}(k+1) = [X^{(0)}(1) - \frac{L}{a}]e^{-ak} + \frac{L}{a} \quad (3)$$

$k = 0, 1, 2, \dots, n$

### 2 BP 神经网络预测法原理

BP 神经网络模型是神经网络模型中应用最为

广泛的模型, BP 网络即反向传播网络, 它包括输入层、输出层和一层或多层隐层, 每层由若干个神经元组成。信息通过输入层传递到隐层的神经元上, 然后经过各神经元特性为 Sigmoid 型作用函数运算后, 把隐层神经元的输信息输出到输出层的神经元上输出结果。BP 神经网络的训练过程分为正向和反向传递两个过程。在正向传递过程中, 输入信息经隐层传递到输出层, 若输出结果和期望值有误差, 则将误差信息沿原联通网络返回, 通过修改各神经元的权值, 再经过正向传递过程, 如此反复循环, 直至达到要求的性能指标为止。BP 神经网络采用误差反馈学习算法。假设输入层有 R 个输入标量 $[p^1, p^2, \cdots, p^R]$ , 则隐层的输入信息为:

$$n^1 = \sum_{i=1}^R w_{ij} p^i + b_j \tag{4}$$

式中:  $w_{ij}$  为第 i 个输入标量到隐层第 j 个神经元的权重;  $b_i$  为第 i 个输入标量到隐层第 j 个神经元的阈值。

该输入信息经过传递函数的处理, 输出隐层的结果, 传递函数可以是阶跃函数(hardlim)、线性函数(purelin) 和非线性函数, BP 网络算法采用 S (sigmoid) 型函数:

$$f(x) = 1/(1 + e^{-x}) \tag{5}$$

$$n^2 = 1/(1 + \exp(-n^1)) \tag{6}$$

隐层的输出即为输出层的输入, 输入信息为:

$$n^3 = \sum_{j=1}^s w_{jk} n^j + b_k \tag{7}$$

式中: s 为隐层的神经元数;  $w_{jk}$  为第 j 个输入量到输出层第 k 个神经元的权重;  $b_k$  第 j 个输入量到输出层第 k 个神经元的阈值。

输出层的输出结果为:

$$n^4 = 1/(1 + \exp(-n^3)) \tag{8}$$

调整权重:

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + \alpha \delta_j n^i \tag{9}$$

对于隐单元:

$$\delta_j = f'(n^1) \sum \delta_k w_{jk} \tag{10}$$

对于输出单元:

$$\delta_j = f'(n^3)(d_{pj} - n^2) \tag{11}$$

式中: t 为学习次数; G 为学习因子。

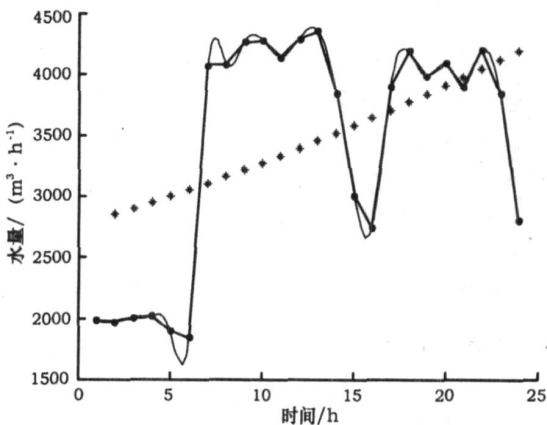
3 两种模型的应用实例分析

已知南方某市供水管网2005年4月18日24小时用水量的实际运行数据, 采用灰色预测法和 BP 网络预测法进行预测, 并用 Matlab 语言编程进行预测

计算。

3.1 两种模型的预测结果及精度比较

图1为两种模型的预测结果。表1为两种模型的预测相对误差比较。



δ代表实际用水量值; \* 代表灰色预测模型预测值  
—代表 BP 网络模型预测值

图1 灰色模型和 BP 网络模型的预测结果

表1 灰色模型和 BP 网络模型预测  
结果的相对误差比较表

| 序列 | 实际<br>用水量 | 灰色模型   |        | BP 网络模型 |       |
|----|-----------|--------|--------|---------|-------|
|    |           | 预测值    | 相对误差   | 预测值     | 相对误差  |
| 1  | 1989      | 1890.0 | 0      | 1990.0  | 5.29  |
| 2  | 1972      | 2844.2 | 44.23  | 1980.3  | 0.42  |
| 3  | 2003      | 2894.5 | 44.51  | 2009.4  | 0.32  |
| 4  | 2018      | 2945.6 | 45.97  | 2020.5  | 0.12  |
| 5  | 1901      | 2997.6 | 57.69  | 1900.6  | -0.02 |
| 6  | 1846      | 3050.6 | 65.25  | 1840.1  | -0.32 |
| 7  | 4069      | 3104.5 | -23.0  | 4070.6  | 0.04  |
| 8  | 4078      | 3159.3 | -22.53 | 4078.0  | 0     |
| 9  | 4267      | 3215.1 | -24.65 | 4260.8  | -0.15 |
| 10 | 4277      | 3271.9 | -23.50 | 4277.9  | 0.02  |
| 11 | 4135      | 3329.7 | -19.48 | 4140.7  | 0.14  |
| 12 | 4289      | 3388.5 | -21.00 | 4290.0  | 0.02  |
| 13 | 4357      | 3448.4 | -20.85 | 4350.2  | -0.17 |
| 14 | 3842      | 3509.3 | -8.66  | 3850.3  | 0.22  |
| 15 | 3004      | 3571.3 | 18.88  | 3010.7  | 0.22  |
| 16 | 2737      | 3634.3 | 32.78  | 2730.2  | -0.25 |
| 17 | 3887      | 3698.5 | -4.85  | 3890.1  | 0.08  |
| 18 | 4187      | 3763.9 | -10.11 | 4180.0  | -0.17 |
| 19 | 3977      | 3830.3 | -3.69  | 3980.6  | 0.09  |
| 20 | 4087      | 3898.0 | -4.62  | 4080.9  | -0.15 |
| 21 | 3890      | 3966.9 | 1.98   | 3890.7  | 0.02  |
| 22 | 4199      | 4036.9 | -3.86  | 4200.0  | 0.02  |
| 23 | 3840      | 4108.2 | 6.98   | 3830.3  | -0.25 |
| 24 | 2802      | 4180.8 | 49.21  | 2794.9  | -0.25 |

灌区的生态环境需水状况主要受生态环境因素影响, 其次是水资源因素, 再次是社会因素, 影响最小的是自然因素。由于生态环境因素和水资源因素是影响灌区生态环境需水的关键因素, 在灌区的管理建设方面应注重生态环境方面的改善与保护和水资源方面的规划管理与合理利用。反映生态环境方面且权重较大的指标有生物丰度指数、植被覆盖指数、干旱指数; 反映水资源状况且权重较大的指标有径流系数。因此应加强生物多样性、植被覆盖率及水资源的规划管理和保护利用。综合上述, 要从植被建设和水资源合理开发利用两方面来进行, 以改善灌区生态环境状况和水资源状况。

3 结 语

通过建立基于层次分析法的评价模型, 对灌区生态环境需水进行评价, 评价指标中生物丰度指数、径流系数、植被覆盖指数、亩均水资源量、干旱指数为影响生态环境需水的重要指标, 同时得到对于灌

区生态环境需水的影响程度, 生态环境因素影响最大, 水资源因素和社会因素次之, 影响最小的是自然因素。评价结果显示灌区2005年的生态环境需水状况比2000年有所改善, 说明灌区近年来治理方法得当, 技术路线合理, 与灌区实际情况相符, 表明本文评价模型的合理有效性。

参考文献:

[1] 贾宝全, 张志强, 张红旗, 等. 生态环境用水研究现状问题分析与基本探索[J]. 生态学报, 2002, 22(10): 1734-1740.  
[2] 杨志峰, 崔保山, 等. 生态环境需水量理论、方法与实践[M]. 北京: 科学出版社, 2003.  
[3] 郭亚军. 综合评价理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2002.  
[4] 杜 栋, 庞庆华. 现代综合评价方法与案例精选[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.  
[5] 舒卫萍, 崔远来. 层次分析法在灌区综合评价中的应用[J]. 中国农村水利水电, 2005, (6): 109- 111.

(上接第34页)

3.2 两种模型的预测结果分析

灰色预测方法的优点是所需数据较少, 计算比较方便, 缺点是只适用于呈近似指数增长规律的序列, 而且求解参数  $a, L$  的算法也有一些缺陷, 并且未考虑天气、温度的变化等因素。由图1也可以看出, 预测结果呈逐渐增长的趋势, 从表1可知这种模型的预测精度较低, 对于城市的时用水量预测, 该模型不太适合; 而 BP 神经网络模型具有强大的非线性映射能力, 从图1和表1看出, 该模型的预测结果精度高, 较适合该城市时用水量的预测。

4 结 语

通过对两种预测模型的预测结果分析比较, 灰色预测模型不适用于城市时用水量的预测, 由于它的预测结果呈指数上升趋势, 而对以长期的年用水量预测, 可以考虑用该模型。BP 网络模型的拟合效果好, 并且在预测前不需要建立数学模型, 对于该市更适合用该模型预测城市用水量。城市时用水量是工程设计的前提, 因此该预测结果给工程设计提供

了很大的帮助, BP 神经网络模型也成为城市时用水量预测的首选模型。

参考文献:

[1] 俞国平, 段焕丰. 优化城市用水量预测模型的探讨[J]. 城市给排水, 2006, 20(2): 17- 20.  
[2] 周开利, 康耀红. 神经网络模型及其 MATLAB 仿真程序设计[M]. 清华大学出版社, 2005.  
[3] 赵 明, 袁一星. 应用实用动态组合模型预测城市日用水量[J]. 中国给水排水, 2007, 23(3): 78- 80.  
[4] Liu Hongbo, Zhang Hongwei. Comparison of the City Water Consumption Short-Term Forecasting Methods[J]. Transactions of Tianjin University, 2002, 8(3): 211- 215.  
[5] 汪明文. 城市用水量组合预测模型的应用与研究[D]. 哈尔滨工业大学硕士论文, 2006. 6.  
[6] 欧阳小琴. 基于供水安全的中小工业城市供水管网优化调度[D]. 南昌大学硕士论文, 2006. 6.  
[7] 邓聚龙. 灰理论基础[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2002.