

应用实用动态组合模型预测城市日用水量

赵 明, 袁一星

(哈尔滨工业大学 市政环境工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090)

摘 要: 将时间序列中的日用水量历史数据引入以温度等作变量的回归分析模型,建立了日用水量非线性回归组合预测模型,同时为进一步提高预测精度,用 4 阶自回归模型对回归残差序列进行时间序列分析,建立了日用水量预测实用动态组合模型。以华北某市日用水量的实测数据对其进行检验,结果表明该模型具有较高的预测精度。

关键词: 日用水量; 组合模型; 预测; 残差序列分析

中图分类号: TU991 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000 - 4602 (2007) 03 - 0078 - 03

Application of Practical Dynamic Combined Model for Predicting Urban Daily Water Consumption

ZHAO Ming, YUAN Yi-xing

(School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

Abstract: A nonlinear combined regression model for predicting daily water consumption was developed by introducing history data of daily water consumption in time series into regression analysis model using temperature and other parameters as variables. Meanwhile, to increase the prediction accuracy, the residual series were analyzed using AR (4) model, and a practical dynamic combined model for predicting daily water consumption was built. The dynamic combined model was verified using the measured daily water consumption in a city of North China region. The results show that the model has a high prediction accuracy.

Key words: daily water consumption; combined model; prediction; residual series analysis

城市日用水量预测对城市水资源的规划、管理和供水优化调度具有重要意义。传统的预测方法总体上可分为回归分析法和时间序列分析方法。由于城市日用水量受社会经济活动(工业总产值、人口、人均收入、水价等)和气象(气温、降雨等)等诸多因素的影响,采用传统的用水量预测方法进行预测往往得不到满意的结果,因此有关对城市日用水量预测的研究一直受到人们的关注。将传统的日用水量预测模型进行改进,通过对华北某市的实测日用水

量进行拟合,以期探索一种具有较高预测精度并可应用于生产实践的城市日用水量预测方法。

1 日用水量非线性回归组合预测模型

1.1 模型的建立

传统的用水量预测方法总是把回归分析法^[1,2]和时间序列分析法^[3]严格地区分开来。时间序列分析法没有充分利用预测日的气象和节假日等影响因素,导致预测结果不甚理想;而回归分析法则没有充分利用以往的用水量观测数据,且不能避免某些

基金项目: 黑龙江省自然科学基金资助项目(ZJG0503)

未预见因素的影响。此外,回归预测的结果很大程度上取决于温度等气象预报资源的准确性。为此,在总结前人研究成果的基础上,通过分析华北某市的用水量变化规律和影响因素,建立用水量预测非线性回归组合模型。该模型将时间序列中的日用水量历史数据引入到考虑温度等影响因素的回归分析模型中,避免了时间序列分析法不能考虑温度等显著影响因素和回归分析法不能利用相邻日用水量以及不能考虑未预见影响因素的缺点。该模型考虑了基准日的实际日用水量,预测日和基准日的最高温差、最低温差以及节假日影响因素差等条件,采用高斯—牛顿法直接建立非线性回归模型:

$$Q_d = Q_e + Y = A_0 + A_1 Q_p + A_2 \operatorname{sgn}(T_{\max} - T_{p\max}) |T_{\max} - T_{p\max}|^{A_3} + A_4 \operatorname{sgn}(T_{\min} - T_{p\min}) |T_{\min} - T_{p\min}|^{A_5} + A_6 \operatorname{sgn}(H - H_p) |H - H_p|^{A_7} + Y \quad (1)$$

式中 Q_d ——预测日的实际日用水量

Q_e ——预测日的预测日用水量

Q_p ——基准日(一般取预测日的前一天)的实际日用水量

sgn ——符号函数

Y ——残差

H ——预测日的节假日量,根据影响程度取 $[0, 3]$

H_p ——基准日的节假日量,根据影响程度取 $[0, 3]$

$A_0, A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7$ ——系数

T_{\min}, T_{\max} ——分别为预测日的最低和最高温度

$T_{p\min}, T_{p\max}$ ——分别为基准日的最低和最高温度

1.2 用 Gauss - Newton 法拟合回归模型参数

为获取式(1)中的各个参数,采用华北某市某年3月—6月的实测数据,以 Gauss - Newton 法进行非线性最小二乘拟合。在给定模型未知参数初始值的基础上进行反复迭代,修正估计值,直至算法收敛为止。为保证获得最优解,采用了不同的初始参数估计值进行拟合,拟合过程中发现,节假日的指数关系对预测结果的影响不大,所以固定参数 $A_7 = 1$ 。其余参数的计算结果为: $A_0 = 77\ 909.0, A_1 = 0.936, A_2 = 5\ 254.1, A_3 = 0.491\ 5, A_4 = 1\ 748.2, A_5 =$

$1\ 198.2, A_6 = -15\ 177.0$ 。

2 日用水量实用动态组合预测模型

2.1 模型的建立

如果一个时间序列的前20个自相关系数全部在 $[-1.96/\sqrt{n}, 1.96/\sqrt{n}]$ 内,则有95%的置信度认为所有的自相关系数 R_n 与0没有显著性差异,可以断定这个时间序列是一个随机实际序列。计算式(1)的回归残差序列的前20个自相关系数,结果见图1。

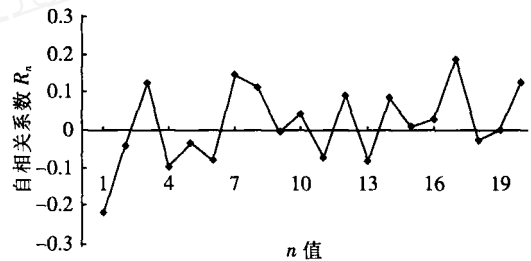


图1 非线性回归组合模型残差序列的自相关系数

Fig 1 Self-correlation coefficients of residual series in nonlinear combined regression model

由图1可见,除第一个自相关系数 R_1 外,其余19个自相关系数均在 $[-0.195, 0.195]$ 之间,由此显示出模型具有良好的预测能力。为进一步提高预测精度,对日用水量进行统计分析,建立4阶自回归模型对回归残差序列 Y_t 进行预测。

$$Y_t = 1_t Y_{t-1} + 2_t Y_{t-2} + 3_t Y_{t-3} + 4_t Y_{t-4} + \varepsilon_t \quad (2)$$

式中 $Y_{t-1}, Y_{t-2}, Y_{t-3}, Y_{t-4}$ ——分别为 $t-1, t-2, t-3, t-4$ 时刻的预测残差

$1_t, 2_t, 3_t, 4_t$ ——分别为 $t-1, t-2, t-3, t-4$ 时刻的自回归系数

ε_t ——白色噪音

将式(2)代入式(1),即可得到日用水量预测的实用动态组合模型。根据回归残差序列特征,可采用递推最小二乘法(RLS)动态估计式(2)中的自回归系数,其转置矩阵以 (t) 形式表示:

$$(t) = [1_t, 2_t, 3_t, 4_t]^T \quad (3)$$

对上述4个月(3月—6月)的动态回归预测残差数据,采用递推最小二乘法求解参数 (t) ,结果为 $(t) = [-0.131\ 5, 0.233\ 7, 0.198\ 0, -0.030\ 9]^T$ 。这样,就由式(1)和式(2)建立了完整的对日

用水量预测的实用动态组合模型,其残差均在 95% 的置信区间内,残差自相关曲线见图 2。

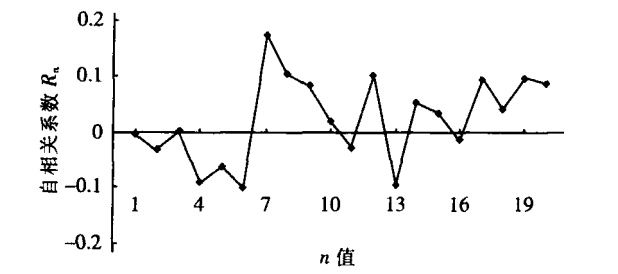


图 2 实用动态组合模型残差序列自相关系数

Fig 2 Self-correlation coefficients of residual series in practical dynamic combined model
对上述方法采用计算机编程求解,其流程如图 3 所示。

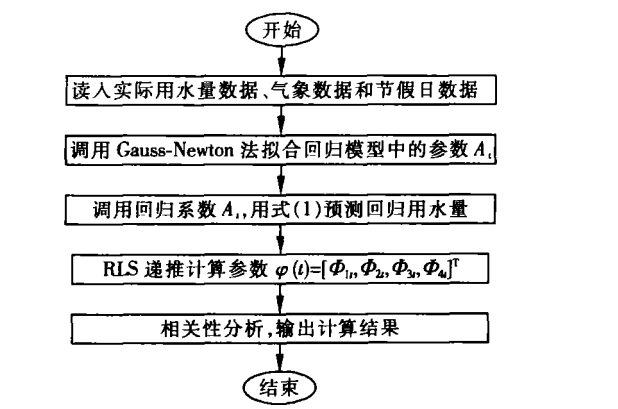


图 3 实用动态组合预测模型计算流程图

Fig 3 Flow chart of the practical combined forecasting model

2.2 模型的应用

为检验模型的预测精度,用上述模型预测华北某市日用水量变化最大的 1 个月(某年 7 月)的用水量,结果见图 4,实测值与各模型预测值的误差如表 1 所示。

由图 4 可见,组合模型的预测结果较为理想,仅因发生事故导致日用水量变化过大的几天的预测结果不够理想,但也基本达到要求。由表 1 可知,实用动态组合模型的预测误差较非线性回归组合模型的预测误差减小了近 30%。

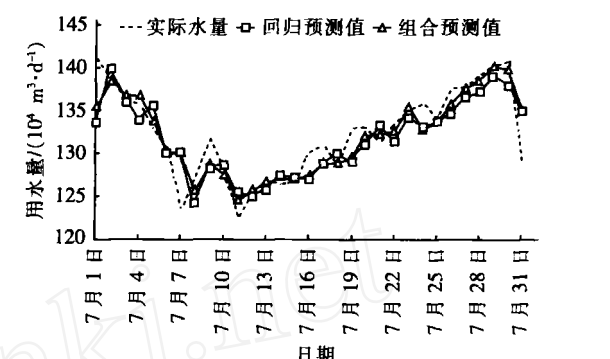


图 4 日用水量预测值与实测值

Fig 4 Predicted and observed water consumption

表 1 预测误差比较

Tab 1 Comparison of forecast error %		
项目	非线性回归组合模型的预测误差 A	实用动态组合模型的预测误差 B
范围	- 5. 16 ~ 5. 50	- 3. 96 ~ 5. 39
均值	1. 71	1. 20
注: 月平均预测精度的提高度为 29. 82%。		

3 结论

笔者建立的非线性回归组合模型采用 Gauss - Newton 法拟合华北某市用水量的实测数估计模型参数,预测月平均误差为 1. 71%;对其残差序列建立 4 阶自回归模型,采用 RLS 法估计模型中的参数,建立了实用动态组合预测模型,从而进一步提高了模型精度。对华北某市日用水量的预测结果表明,实用动态组合模型较回归模型的预测精度提高了近 30%,显示了该模型具有良好的实用性。

参考文献:

[1] A laa H Aly, Nisai Wanakule Short-term forecasting for urban water consumption[J]. Journal of Water Resources Planning and Management, 2004, 130 (5): 405 - 410.
[2] 吕 谋,赵洪宾,李红卫. 时用水量预测的自适应组合动态建模方法 [J]. 系统工程理论与实践, 1998, 18 (8): 102 - 109.
[3] Fortner B. Climate change report predicts water supply challenges[J]. J Civil Eng, 2001, 71 (2): 16 - 21.

电话: (0451) 86282332
E - mail: zhb169@mail. hl. cn
收稿日期: 2006 - 09 - 05