

城市用水量中长期预测模型的研究

袁一星^{1,2} 张杰¹ 徐洪福² 曲世琳²

(1 北京工业大学环境与能源工程学院,北京 100022; 2 哈尔滨工业大学市政环境工程学院,哈尔滨 150090)

摘要 城市用水量中长期预测结果,对于给水工程运行管理和城市基础设施规划有着重要的意义。认为城市中期用水量的预测应采用BP网络预测模型,长期用水量的预测应采用灰色预测模型,并通过实实验证了BP网络预测模型和灰色预测模型的合理性。

关键词 城市用水量 中长期 预测 模型

Study on medium and long-term forecasting model of urban water consumption

Yuan Yi-xing^{1,2}, Zhang Jie¹, Xu Hong-fu², Qu Shi-lin²

(1. College of Environmental and Energy Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China; 2. School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

Abstract: The result of medium and long-term forecast for water consumption is very significant for the operation of water supply system and the planning of urban infrastructure. The scientific rationality of BP forecast model and gray forecast model used for medium and long-term forecast respectively are verified in this paper by field test.

Keywords: Urban water consumption; Medium and long-term; Forecasting; Model

城市用水量是给水工程设计及运行管理的重要依据与参数,笔者根据多年的理论研究和实践,认为科学、合理地选择预测模型应首先考虑预测的时间间隔,不同的时间间隔选用不同的预测模型。根据给水系统的运行特点和影响城市用水量变化的多种因素,选择月(中期)和年(长期)作为城市用水量预测的时间间隔。

1 城市用水量中期预测模型

城市月用水量即中期用水量的预测应采用BP网络预测模型。

1.1 BP网络模型的建立

人工神经网络计算模型中,在工程界应用最为广泛的为反向传播模型,即BP网络模型。该模型不仅能够训练输出线性可分的处理单元(Processing Element, PE),而且对于复杂的非线性分类,则以多层网络隔开,对PE加以修正,得到满意的输出结

果。BP网络计算方式不仅具有输入输出层,而且有一层或多层隐含神经元,将输入的信息传递到隐层的神经元上,经过各神经元特性为Sigmoid型作用函数运算后,把隐层神经元的信息传递到输出神经元,最后给出结果。

在城市用水量预测问题上,存在着输入与输出的对应关系。这种对应关系并非线性关系,而是受多种复杂因素约束与影响。因此,人们称城市用水量预测问题是“多变量非线性离散排布”的因果关系。用人工神经网络理论建立预测模型,可以客观地描述这种复杂的因果关系。

一般地,在BP网络算法中,对于任意给定的函数 $f(X_1, X_2, \dots, X_n)$ 和误差精度 $\varepsilon > 0$,总存在一个网络,该网络的总输入输出关系 $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$ 均能以规定的精度逼近任意给定的函数 $f(X_1, X_2, \dots, X_n)$ 。在此,将已有实际用水量序列以及季

节、气温、节假日等影响因素定义为输入数据 $X_1, X_2, \dots, X_n$, 经过反复的训练, 得到一个网络, 寻求出往来的总输入与输出的关系 $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$ 。在规定的用水量预测精度 ε 以内, 可预测出 $f(X_1, X_2, \dots, X_n)$ 的用水量序列。这种运算过程用数学模型表示为

$$x_j^{[s]} = f \left[\sum W_j^{[s]} x_j^{[s-1]} - Q_j \right] \quad (1)$$

式中 $x_j^{[s]}$ ——网络中 s 层第 j 天的输出预测用水量, m^3/d ;

$W_j^{[s]}$ ——网络中 s 层第 j 天相关的气温与假日的影响因素;

$x_j^{[s-1]}$ ——网络中 $(s-1)$ 层第 j 天的输入实测用水量, m^3/d ;

Q_j ——网络中各层第 j 天的实测系统漏失量, m^3/d 。

$$O_I = \sum T_j^{[s]} x_j^{[s]} - Q_j \quad (2)$$

式中 O_I ——网络最终预测用水量, m^3/d ;

$T_j^{[s]}$ ——网络中 s 层第 j 天输出预测用水量修正值。

$$E = \sum_{k=1}^p e_{(k)} < \varepsilon \quad (3)$$

式中 E ——网络最终输出系统误差;

$e_{(k)}$ ——第 k 个样本系统误差, $e_{(k)} =$

$$\sum_{i=1}^n |t_i^{(k)} - Q_i^{(k)}|;$$

p ——用水量实测样本数;

ε ——系统误差允许值;

$t_i^{(k)}$ ——第 k 个样本, 网络最终输出期望值, m^3/d ;

$O_i^{(k)}$ ——第 k 个样本, 网络最终预测用水量, m^3/d ;

n ——网络节点数。

1.2 计算程序

计算程序框图见图 1 和图 2。

1.3 BP 网络模型应用

以华北某市 1999 年 3~6 月份用水量数据进行网络训练(见表 1)。

训练结果将用水量预测 BP 网络结构设计为隐层数 $s=1$; 网络节点数 $n=40$; 作用函数 Sigmoid; 目标输出误差 0.08; 最大循环计算次数 2 500。

利用 BP 网络模型对某市 1999 年 7 月份用水量

进行了预测, 见表 2。

2 城市用水量长期预测模型

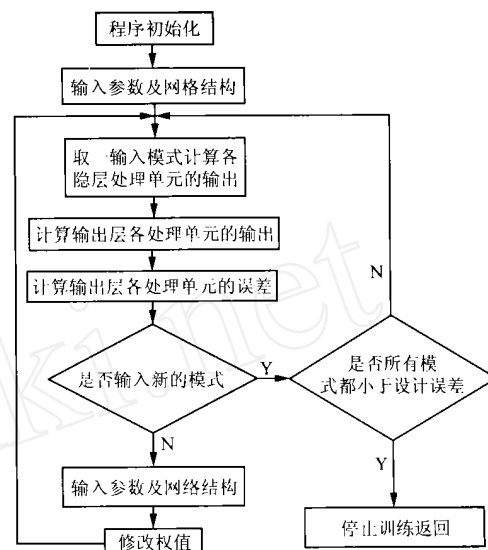


图 1 BP 算法训练程序框图

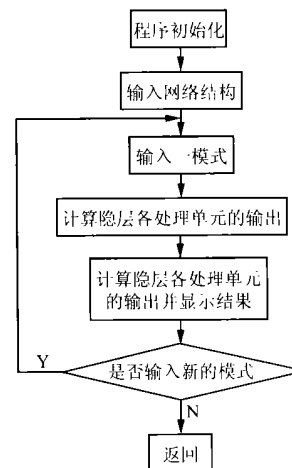


图 2 BP 算法网络验证程序框图

城市年用水量即长期用水量的预测应采用灰色预测模型。

2.1 灰色模型的建立

城市中长期用水序列存在两种基本情况, 一是用水量序列记录时间较长, 历史数据较多; 另一是用水量序列记录时间较短, 历史数据较少。由于社会发展等多方面的原因, 使得两类用水量序列在数据模式、变化趋势诸方面都存在较大差异。就目前我国城市用水量序列的特点而言多数属于后者, 而灰色系统预测方法特别适用于这类用水量序列的分析。GM(1, 1) 模型是灰色预测的基础, 下面是对中

表 1 某市 1999 年 3~6 月部分用水量数据

日期	实际水量 / m ³ /d	最高气温 /	最低气温 /	节假日影 响因数
19990301	1 169 700	11	0	0
19990302	1 165 750	10	1	0
19990303	1 178 360	11	2	0
...	...	...	...	...
19990427	1 184 390	20	9	0
19990428	1 185 420	26	13	0
19990429	1 196 030	28	14	0
19990430	1 193 730	23	10	0
19990501	1 105 220	21	12	1
19990502	1 104 920	17	10	1
19990504	1 223 620	8	14	1
...	...	...	...	...
19990627	1 329 290	36	24	1
19990628	1 355 230	32	22	0
19990629	1 339 190	36	24	0
19990630	1 339 290	35	23	0

表 2 某市 1999 年 7 月部分用水量预测结果

日期	最高 气温 /	最低 气温 /	节假日 影响 因数	实际水量 / m ³ /d	预测水量 / m ³ /d	相对误差/%
19990701	36	23	0	1 409 430	1 362 650	- 3.318 631 8
19990702	36	23	0	1 386 100	1 362 656	- 1.691 649 3
19990703	37	24	1	1 362 190	1 337 747 8	- 2.088 038 4
19990704	33	23	1	1 357 120	1 318 176	- 2.869 414 7
...	...	...	...	...	...	...
19990728	35	26	0	1 392 210	1 374 774	- 1.254 404 4
19990729	37	27	0	1 403 190	1 375 620	- 1.964 788 8
19990730	36	24	0	1 408 820	1 373 984	- 2.472 690 5
19990731	31	22	1	1 289 370	1 287 392	- 0.153 440 5

长期用水量序列建立模型的过程。

将已有用水量序列数据表示为

$$Q^{(0)} = \{ Q^{(0)}(1), Q^{(0)}(2), \dots, Q^{(0)}(n) \} \quad (4)$$

对 $Q^{(0)}$ 作一次累加处理,生成一阶灰色模块

$$Q^{(1)} = \{ Q^{(1)}(1), Q^{(1)}(2), \dots, Q^{(1)}(n) \} \quad (5)$$

式中

$$Q^{(1)}(1) = Q^{(0)}(1)$$

$$Q^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k Q^{(0)}(i) \quad (k = 1, \dots, n) \quad (6)$$

对式(5)建立 GM(1,1) 模型,其形式为

$$\frac{dQ^{(1)}}{dt} + \alpha Q^{(1)} = u \quad (7)$$

式中 α ——系统的发展灰数;

u ——系统的内生控制灰数。

令 $\alpha = (\alpha, u)^T$ 为模型识别系数

$$\alpha = (B^T B)^{-1} B^T Y_N \quad (8)$$

其中 $Y_N = \{ Q^{(0)}(1), Q^{(0)}(2), \dots, Q^{(0)}(n) \}^T$

$$B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}(Q^{(1)}(2) + Q^{(1)}(1)) & 1 \\ -\frac{1}{2}(Q^{(1)}(3) + Q^{(1)}(2)) & 1 \\ \dots & \dots \\ -\frac{1}{2}(Q^{(1)}(n) + Q^{(1)}(n-1)) & 1 \end{bmatrix}$$

这是一阶一个变量的微分方程模型,故记为 GM(1,1)。求解式(7),得时间响应函数为

$$\hat{Q}^{(1)}(k+1) = \left[Q^{(0)}(1) - \frac{u}{\alpha} \right] e^{-\alpha k} + \frac{u}{\alpha} \quad (9)$$

做 1-AGO 还原则生成预测序列为

$$\hat{Q}^{(0)}(k+1) = \hat{Q}^{(1)}(k+1) - \hat{Q}^{(1)}(k) \quad (10)$$

式(9)和式(10)即为用水量预测 GM(1,1) 模型的时间响应函数及预测序列计算公式。

该方法尤其适用于计算机程序求解,据此编制了预测计算应用程序。计算框图见图 3。

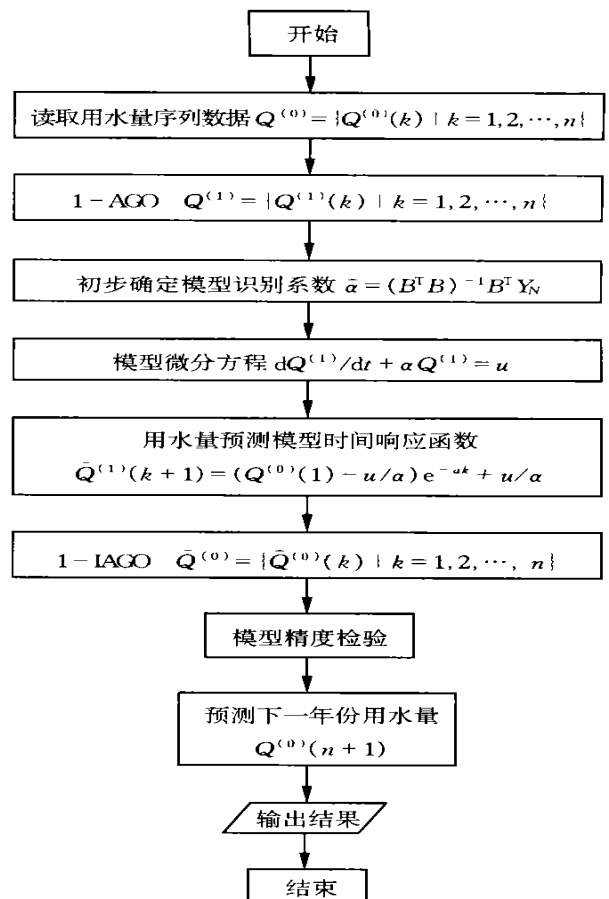


图 3 程序流程

现代信息技术在深圳水务集团的应用

梁相钦 林 峰

摘要 介绍了现代信息技术在深圳水务集团的实际应用,讨论了 MIS 系统,MPLS VPN,N 层架构等技术,最后总结了水务企业信息化应该重视的几个关键因素。

关键词 信息技术 水务 系统 MIS 网络

1 现代信息技术

现代信息技术包括 Intranet/ Internet,电子商务,微电子,多媒体,系统/ 应用软件,信息安全等。运用现代信息技术,对企业信息资源进行开发和利用,提高企业生产、设计、经营、服务、管理、决策的效率和水平,加强企业运作的控制能力,进而提高企业经济效益和企业竞争力,这就是企业信息化过程。

表 1 显示了信息技术在企业中的应用层次,由低到高依次为基础应用、生产设计、经营管理和辅助决策。基础应用技术普遍用于个人日常办公,为了提高工作效率,采用 Word 等办公软件进行文字处

表 1 信息技术在企业的应用层次

项目	应用范围	主要技术(系统)
基础应用	文字处理,查阅资料	Word,Excel,Internet 等
生产设计	自动化生产,建筑设计,工艺设计	SCADA, GIS, CAD/ CAM, CIMS 等
经营管理	办公、人事、财务等管理,电子商务	OA, MIS, CRM, SCM, KM, ERP 等
辅助决策	自动化决策支持	数据中心, DSS, BI 等

理,通过 Internet 查阅资料等;生产和设计领域的技术比较成熟,已经在制造、设计工作中得到了广泛的应用;国内企业这几年较多地在经营、管理和服务领域增加信息化应用,因此相关信息技术发展也最

2.2 灰色模型的应用

利用东北某市 1987~1997 年 11 年的实际用水量数据建立 GM(1,1)模型进行预测,其模型为

$$\begin{cases} \hat{Q}^{(1)}(k+1) = 961\,837.704e^{0.024\,687k} - 93\,904.804 \\ \hat{Q}^{(0)}(k) = \hat{Q}^{(1)}(k) - \hat{Q}^{(1)}(k+1) \end{cases}$$

模型预测结果见表 3。

表 3 模型预测结果

年份	实际用水量 / 万 m ³	计算用水量 / 万 m ³	误差 / 万 m ³	相对误差 / %
1987	2 476.8	2 404.1	72.7	2.9
1988	2 606.5	2 464.1	142.4	5.5
1989	2 413.3	2 525.7	- 112.4	- 4.7
1990	2 585.6	2 588.9	- 3.3	- 0.1
1991	2 637.2	2 653.6	83.6	3.1
1992	2 596.3	2 719.9	- 123.6	- 4.8
1993	2 784.5	2 787.9	- 3.4	- 0.1
1994	2 618.4	2 857.6	- 239.2	- 9.1
1995	2 896.7	2 929	- 32.3	- 1.1
1996	3 035.3	3 002.2	33.1	1.1
1997	3 266.3	3 077.2	189.1	5.8

3 结论

通过上述分析与应用实测,表明城市用水量中期预测模型在样本数据连续的情况下,具有较高的精度与可靠性,其预测结果可作为供水企业生产调度或月成本计算的依据;城市用水量长期预测模型可视为一个灰色系统,可将随机变量当作灰色变量,这样就克服了由于预测周期长而出现的不确定因素对预测精度的影响,其预测结果可作为城市基础设施规划和给水系统优化改扩建的依据。

参考文献

- 1 单金林. 利用 BP 网络建立预测城市用水量模型. 中国给水排水,2001,17(8):61~64
- 2 周继成. 人工神经网络. 北京:科学普及出版社,1993
- 3 徐洪福,等. 灰色预测模型在年用水量预测中的应用. 哈尔滨建筑大学学报,2001,(8):61~64

○通讯处:150090 哈尔滨工业大学市政环境学院

电话:(0451)86282735

E-mail:yyx1957@163.com