

# GM 组合模型用于城市生活用水量预测

王 涛, 张宏伟, 牛志广

(天津大学环境科学与工程学院, 天津 300072)

**摘要** :以天津市为例,采用 GM 组合模型预测城市生活用水量,力求提高预测的精度。首先,通过对往年城市用水特点的分析,运用多元逐步回归的方法和等维灰数递补动态模型对天津市城市生活用水量进行预测,预测的平均误差分别为 7.59% 和 11.55%;然后,采用上述两种模型的 GM 组合模型对天津市城市生活用水量进行预测,预测的平均误差降低为 5.06%。实践证明,GM 组合模型适用于城市生活用水量的预测,精度令人满意。

**关键词** :城市生活用水量;GM 组合模型;多元逐步回归模型;预测方法

中图分类号 :X321 文献标识码 :A 文章编号 :1004-693X(2007)05-0028-03

## Prediction of urban domestic water demand by GM integrated model

WANG Tao, ZHANG Hong-wei, NIU Zhi-guang

(School of Environmental Science and Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

**Abstract** :Taking Tianjin for example, urban domestic water demand was predicted by GM integrated model so as to improve prediction accuracy. Firstly, according to analysis of the characteristics of urban water usage in recent years, multiple stepwise regression method and the same dimensional gray recurrent dynamic model were applied to the prediction of urban domestic water demand in Tianjin City, and the average errors of the methods were 7.59% and 11.55% respectively. Then GM integrated model of the above two models was used and the error came down to 5.06%. It was proved that GM model was suitable for prediction of urban domestic water demand and the precision was satisfying.

**Key words** :urban domestic water demand; prediction; GM integrated model; multiple stepwise regression model; the same dimensional gray recurrent dynamic model

常用的水量预测方法可分为两类:一类是解释性预测方法,即找出被预测量的各影响因素,建立回归分析模型;另一类为时间序列分析方法,它只依赖于被预测量的历史观测数据及数据模式,通过序列分析,找出其顺序变化规律<sup>[1]</sup>。其中,因为城市生活用水量受经济、人口、生活水平等多种因素的影响,具有一定的灰色特征,根据近期数据和它们的发展态势,通过利用灰色系统模型进行预测,不失为一种有效的途径<sup>[2]</sup>。

本文以天津市为例,力求通过上述两种预测方法的组合运用,深入挖掘城市生活用水量的变化规律,提高预测的精度。

### 1 多元逐步回归模型的应用

首先采用多元线性回归的解释性预测方法对天津市的生活用水量进行预测,并且在建立预测模型时引入逐步回归分析的思想:即将变量逐个引入,引入变量的条件是其偏回归平方和经检验是显著的,同时每引入一个新变量后,对已选入的变量逐个检验,将不再显著的变量从方程中剔除,直到既不能引入又不能剔除变量时为止,从而保证最后所得到的变量子集中的所有变量都是显著的,此时回归方程为“最优”<sup>[3]</sup>。

城市化进程是影响城市生活用水量的关键因

素。影响城市化进程的诸因素中,城市化水平(以非农业人口计)、产业结构、服务设施、居民生活水平等4项指标具有代表性和易量化为数据变量的特点<sup>[4]</sup>,可作为反映城市化进程的指标。另一方面,由于1997年以后的连年干旱,天津市加大了节水力度并对水价进行大幅度调整,水价作为经济杠杆也成为影响城市生活用水的关键因素。

根据以上分析,本文以城市生活用水量(因变量),以城市用水人口(代表城市化水平)、人均居住面积、人均可支配收入(代表城市居民生活水平)、第三产业产值(代表城市服务设施水平)和城市生活用水加权综合水价为自变量,建立多元线性回归模型。并利用天津市1986~2000年的统计数据<sup>[5]</sup>,对模型进行了逐步回归,最终得到模型方程:

$$Y = (32.039X_1 + 4.987X_2 - 284.413X_3 + 6656.536) / 10000 \quad (1)$$

式中: $Y$ 为天津市城市生活用水量,亿t; $X_1$ 为天津市城市用水人口,万人; $X_2$ 为天津市第三产业产值,亿元; $X_3$ 为天津市城市生活用水加权综合水价,元。

然后,采用天津市2001~2004年的统计数据对模型进行检验,预测结果见表1。

表1 多元逐步回归模型预测用水量

年份	实际值/亿t	预测值/亿t	绝对误差/亿t	相对误差/%
2001	3.2569	2.9701	0.2868	8.81
2002	2.9881	3.1345	0.1464	4.90
2003	2.9829	3.1261	0.1432	4.80
2004	2.8807	3.2224	0.3417	11.86
平均值	3.03	3.11	0.23	7.59

## 2 动态GM(1,1)模型的应用

灰色系统模型对城市生活用水量的短期预测较为成功,为减少未来的扰动或随机因素对系统产生的影响,进一步采用等维灰数递补模型对天津市生活用水量进行预测<sup>[6]</sup>。等维灰数递补动态模型是以GM(1,1)模型为基础,建立GM(1,1)模型群。将已知数列建立的GM(1,1)模型产生的第1个预测值补充在已知数列之后,同时为不增加数据序列的长度,去掉原始数列的第1个数据,保持数列中元素个数始终不变,即是等维的。利用新生成的数列再建立1个GM(1,1)模型,预测下1个值,依此类推<sup>[7]</sup>。GM(1,1)模型是最常用的一种灰色系统模型,其通式:

$$\hat{X}^{(0)}(t+1) = -a \left[ \hat{X}^{(0)}(1) - \frac{u}{a} \right] e^{-at} \quad (2)$$

式中: $\hat{X}^{(0)}(t+1)$ 为第 $(t+1)$ 年用水量的预测值; $\hat{X}^{(0)}(1)$ 为第1年的基准值; $a$ 、 $u$ 为模型参数。

将获得的预测数据,如 $\hat{X}^{(0)}(n+1)$ ,充实到原始数列中,并去掉最老的数据,如 $\hat{X}^{(0)}(1)$ ,形成等维

的新数列用以建模,并预测下一步:

$$X^{(0)} = \{X^{(0)}(k) | k = 2, 3, \dots, n+1\} \quad (3)$$

采用等维灰数递补动态模型对天津市城市生活用水量进行预测,得到天津市2001~2004年的预测结果(表2)。

表2 动态GM(1,1)模型预测用水量

年份	实际值/亿t	预测值/亿t	绝对误差/亿t	相对误差/%
2001	3.2569	2.6346	0.6223	19.11
2002	2.9881	2.6587	0.3294	11.02
2003	2.9829	2.6830	0.2999	10.05
2004	2.8807	2.7076	0.1731	6.01
平均值	3.03	2.67	0.36	11.55

从两种模型原理来看,多元回归模型揭示机理,能够反映各因素对因变量,即城市生活用水量的影响,但自变量的预测精度会影响因变量的预测结果。而灰色模型结构简单,受外界因素影响较小,能够反映变化趋势,但抗干扰能力较差,不能体现异常结果。从两种模型的预测结果看,逐步回归模型较动态GM(1,1)模型更接近实际情况,但随着预测年份的增长,城市生活用水量的波动会因其他因素的影响而趋于平缓,此时动态GM(1,1)模型更符合实际<sup>[8]</sup>。

## 3 GM组合模型的应用

从预测的结果来看,逐步回归模型的预测值普遍偏高,而动态GM(1,1)模型的预测值偏低,所以组合预测的方法有可能降低预测误差。为了从多个角度挖掘数据特征,提高预测精度,本文将上述两种模型进行组合,以寻求达到更好的效果<sup>[9]</sup>。设 $X_1^{(0)}(t)$ 和 $X_2^{(0)}(t)$ 是同一现象 $X^{(0)}(t)$ 采用不同预测模型的两预测值,则称

$$\hat{X}^{(0)}(t) = \rho X_1^{(0)}(t) + (1 - \rho) X_2^{(0)}(t) \quad (4)$$

为两项GM组合模型。对于式(4), $X_1^{(0)}(t)$ 和 $X_2^{(0)}(t)$ 中至少有一个用GM方法得到。

当 $0 < \rho < 1$ ,可通过式(5)确定:

$$\rho = \frac{D(e_2)}{D(e_1) + D(e_2)} \quad (5)$$

式中: $e_1$ 为多元逐步回归模型的预测值; $e_2$ 为等维灰数递补动态模型的预测值; $D(e)$ 为方差; $\rho$ 为GM组合模型系数。

同样,采用1986~2000年的统计数据算得 $\rho = 0.6$ 。最终得到的GM组合模型为

$$\hat{X}^{(0)}(t) = 0.6X_1^{(0)}(t) + 0.4X_2^{(0)}(t) \quad (6)$$

采用上述GM组合模型式(6),得到的预测结果见表3。

由表3可见,GM组合模型预测结果的平均相

表3 GM组合模型预测用水量

年份	实际值/亿t	预测值/亿t	绝对误差/亿t	相对误差/%
2001	3.2569	2.8359	0.4210	12.93
2002	2.9881	2.9442	0.0439	1.47
2003	2.9829	2.9488	0.0341	1.14
2004	2.8807	3.0165	0.1358	4.71
平均值	3.03	2.94	0.16	5.06

对误差为5.06%,小于多元逐步回归模型的7.59%和等维灰数递补动态模型的11.55%。而且,除了2001年外,其他年份的预测精度均有所提高。GM组合模型充分利用了原始数据的信息,吸取了两组模型的优点,避免了单一模型的局限性,更为客观地反映了生活用水变化的规律,达到了满意的预测效果。

## 4 结 语

城市生活用水量受诸多因素的影响,在不同的历史阶段呈现出不同的特征,有一定波动性。要精确地描述其发展和变化规律存在一定的困难,通常采用几种预测方法组合的方式提高预测模型的精度。本文通过对多元逐步回归模型和等维灰数递补动态GM模型的组合,不仅考虑了多种因素对系统建模的影响,而且充分挖掘数据本身的特点。通过对天津市城市生活用水量预测的实际考核,GM组

(上接第27页)

载体,以“郑和下西洋”为主题,以浩淼长江风情为特色的历史与现代交相辉映的水景观。

## 3 结 语

城市景观水系规划涉及自然、经济、社会多要素,它是多学科相结合的综合结果。本文以景观生态学的尺度原理为指导,对市域景观水系进行规划。景观水系的“水体、过渡域和陆域”三个部位的结构、特点和规划的侧重点各不相同。其中,水体的规划奠定了景观水系结构与格局的基础,具有极为重要的地位。规划时,应充分运用水文、水利、景观生态、环境等多学科理论知识和现代科技手段,使规划的水系结构科学合理,能满足包括水景观在内的各种水资源功能的需求。过渡域属于生态交错带,生态脆弱性明显,规划中应以保护、保留和恢复为主。陆域景观的规划应区别于通常意义上的陆地景观,突出临水陆地的特性,在维护河流生态系统健康的前提下,创建丰富多彩的滨水景观,为市民提供休闲娱乐的场所,为优秀水文化的继承和发扬提供载体。

总之,市域景观水系规划是一项综合性强、难度大的工作,但从维护全市水景观生态平衡及对局部

合模型预测结果平均相对误差为5.06%,优于单一模型的预测结果,能够用于预测城市生活用水量。

## 参考文献:

- [1] 潘敏,范庆来.灰色模型在城市用水量预测中的应用[J].浙江水利科技,2004(1):21-22.
- [2] 高桂芝,刘俊良,田智勇,等.城市水资源利用与城市化的关系[J].中国给水排水,2002,18(2):32-34.
- [3] 楼玉,张清,刘国华,等.城市用水量预测中的多变量灰色预测模型[J].水资源保护,2005,21(1):11-13.
- [4] 张兴芳.城市需水量预测方法的研究[J].太原理工大学学报,2000,31(2):159-161.
- [5] 周纪芾.回归分析[M].上海:华东师范大学出版社,1993:96-111.
- [6] 李晓峰,刘光中,贺昌政.成都市居民未来生活用水量预测模型的选择[J].四川大学学报:工程科学版,2001,33(6):104-107.
- [7] 高传昌,刘新阳,等.维灰数递补动态模型在城市生活用水量预测中的应用[J].灌溉排水学报,2005,24(6):71-73.
- [8] 天津市统计局.天津市统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2005.
- [9] 谭永基.数学模型[M].上海:复旦大学出版社,1997:76-90.

(收稿日期:2006-09-18 编辑:高渭文)

水景观规划设计的重要指导意义角度来说,这是一项必需的工作。它不仅仅是一个规划阶段,更重要的是一种观念,是面对日益重要的城市滨水空间的开发而产生的规划对策,需要综合审视认识城市滨水空间景观资源,更科学理性地开发利用大自然赐予人类的这一生态资源。

## 参考文献:

- [1] 孙鹏,王志芳.遵从自然过程的城市河流和滨水区景观设计[J].城市规划,2000,24(9):19-22.
- [2] 金云峰,徐振.苏州河滨水景观研究[J].城市规划汇刊,2004(2):76-80.
- [3] 王薇,李传奇.城市河流景观设计之探析[J].水利学报,2003(8):117-121.
- [4] 杨冬辉.因循自然的景观规划[J].中国园林,2002(3):12-15.
- [5] 郭红雨.城市滨水景观设计研究[J].华中建筑,1998,16(3):75-77.
- [6] 岳隽,王仰麟,彭建.城市河流的景观生态学研究:概念框架[J].生态学报,2006,26(6):1422-1429.
- [7] 刘树坤.水利建设中的景观和水文化[J].水利水电技术,2003,34(1):30-32.
- [8] 徐慧,徐向阳,崔广柏.景观空间结构分析在城市水系规划中的应用[J].水科学进展,2007,18(1):108-113.

(收稿日期:2006-06-15 编辑:高渭文)