

西安城市生活需水量预测^①

叶文宇, 白丹, 高彬

(西安理工大学水资源所, 陕西西安 710048)

摘要:本文根据西安市过去若干年生活用水量的统计资料, 分别采用一元线性回归、生长曲线、G(1,1)灰色系统模型和人均综合生活用水定额法对西安 2010、2015 年城市生活需水量进行预测, 并对各种方法的预测结果进行分析比较, 认为生长曲线模型的预测结果比较合理, 确定西安 2010、2015 年城市生活需水量分别为 3.4658 亿 m³、3.6964 亿 m³。

关键词:需水量; 预测; 模型

中图分类号: P641

文献标识码: A

城市生活用水包括居住生活用水和城市公共设施用水。随着国民经济的发展, 城市人口的增长和人民生活水平的提高, 人们对生活用水的需求量会越来越大。目前, 西安市的供水与需求之间出现了比较严重的矛盾, 水资源总量不足。用水量预测在水资源规划和管理中起着重要作用。它是供水决策和水利投资时的重要参考指标。因此, 有必要对西安城市生活需水量进行预测, 以期揭示其未来的变化规律和发展趋势, 为有关部门科学制定水资源规划和采取切实可行的对策提供依据。

1 数学模型法

数学模型法是依据过去若干年的统计资料, 通过建立一定的数学模型进行自然回归模拟, 找出影响用水量变化的因素、时间因子与用水量之间的关系, 来预测城市未来的用水量。本文采用了一元线性回归、生长曲线和灰色系统预测模型分别对西安城市生活用水量进行了预测。

1.1 一元线性回归模型

由西安市 1990 ~ 1999 年生活用水量的统计资料(表 1), 采用适应性较强的线性回归模型来进行用水量的预测。

预测模型为:
$$Q = \beta_0 + \beta_1 T \quad (1)$$

Q —— 预测年生活用水量, 亿 m³;

T —— 预测年份, 年;

① 收稿日期: 2004-10-20

第一作者简介: 叶文宇(1979 ~), 女, 四川, 硕士研究生, 农业水土工程专业。

β_0 、 β_1 ——待定参数。

参数 β_0 、 β_1 可通过最小二乘估计获得

$$\beta_1 = \frac{\sum_{i=1}^n T_i Q_i - (\sum_{i=1}^n T_i \sum_{i=1}^n Q_i) / n}{\sum_{i=1}^n T_i^2 - (\sum_{i=1}^n T_i)^2 / n} \quad \beta_0 = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n} - \frac{b}{n} \sum_{i=1}^n T_i$$

根据西安城市生活用水资料(见表 1),可得模型为:

$$Q = 0.65844 + 0.17031T \tag{2}$$

相关系数 $R^2 = 0.891$ 。标准差 $S = 0.191276$ 。

表 1 西安历年城市生活用水量表(单位:亿 m^3)

Table 1 The statistic data of domestic water consumption of Xi'an in the past 10 years

年份	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
总量	1.0356	1.0364	1.0874	1.1516	1.2108	1.6791	2.1562	2.1345	2.0879	2.3716

1.2 生长曲线模型

把城市生活用水量增长按生长曲线规律对待,采用甘培茨公式

$$Q = L \times \exp(-b \times \exp(-Kt)) \tag{3}$$

式中: Q ——预测年生活用水量,亿 m^3 ;

b 、 k ——待定参数;

L ——预测量生活用水量的上限,亿 m^3 ;

t ——预测年份,年。

对(3)采用线性变换

$$\text{令 } Y = \ln\left(\frac{L}{Q}\right), B = \ln(b)$$

则式(3)变为线性函数

$$Y = B - kt \tag{4}$$

对于(4)式,采用最小二乘法确定模型中的参数。

生活用水上限界 L 的确定是根据城市用水可供水源量,按现有生活用水与工业用水的比例,在假定工业用水结构不变,对水源总量按这一比例分配得到的。

目前西安市水资源的总量为 26.66 亿 m^3 ,1999 年西安市工业用水 5.45 亿 m^3 ,城市生活用水 2.06 亿 m^3 ,工业与生活用水比例约为 2.5:1。考虑到西安作为重工业城市,工业用水要高于生活用水的发展速度,农业用水比重逐渐下降等情况,对水源总量进行分配,得到 $L = 3.999$ 亿 m^3 。

根据西安城市生活用水资料(表 1),可得生长曲线模型为

$$Q = 3.999 \times \exp(-1.763499 \times \exp(-0.1196 \times t)) \tag{5}$$

相关系数 $R^2 = 0.892$ 。标准差 $S = 0.188502$ 。

1.3 GM(1,1)灰色系统模型

灰色系统模型 GM 用来预测城市用水量,要建立城市用水量 and 时间的函数关系。

将已有用水量序列数据表示为

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

对 $Q^{(0)}$ 作一次累加处理,生成一阶灰色模块

$$Q^{(1)} = \{Q^{(1)}(1), Q^{(1)}(2), \dots, Q^{(1)}(n)\} \quad (6)$$

式中: $Q^{(1)}(1) = Q^{(0)}(1)$, $Q^{(1)}(t) = \sum_{i=1}^t Q^{(0)}(i)$

对(6)式建立 GM(1,1)模型,其形式为

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

式中: α 为系统的发展灰数; μ 为系统的内生控制灰数。

这是一阶一个变量的微分方程模型,记为 GM(1,1)。

求解式(7),得时间响应函数为

$$\hat{Q}^{(1)}(t+1) = (Q^{(0)}(1) - \frac{\mu}{\alpha})e^{-\alpha t} + \frac{\mu}{\alpha} \quad (8)$$

作 1-IAGO 还原,则生成预测序列为

$$\hat{Q}^{(0)}(t) = \hat{Q}^{(1)}(t) - \hat{Q}^{(1)}(t-1) \quad (9)$$

式(8)、(9)即为需水量预测 GM(1,1)模型的时间响应函数及预测序列计算公式。

根据表 1 中西安城市综合生活用水情况建立的 GM(1,1)模型为

$$\begin{cases} \hat{Q}^{(1)}(t) = 8.72606e^{0.111(t-1)} - 7.69054 \\ \hat{Q}^{(0)}(t) = \hat{Q}^{(1)}(t) - \hat{Q}^{(1)}(t-1) \end{cases} \quad (10)$$

上述模型经精度检验,得到方差比 $C=0.31$,小误差概率 $p=0.9$ 。模型精度等级为合格。

2 人均综合生活用水定额法

人均综合生活用水定额法是以人均综合用水定额为主要参数,预测城市生活用水量的一种微观预测方法。预测公式为:

$$Q_z = N \times q_z \times 3.65 \times 10^{-5} \quad (11)$$

式中 Q_z ——城市综合生活用水量,亿 m^3 ;

N ——规划期末用水人口数,万人;

q_z ——规划期的城市生活用水综合定额, $L/人 \cdot d$ 。

由式(11)可以看出,预测城市综合生活用水,关键是确定预测年城市生活综合定额 q_z ,现根据西安市历年城市综合生活用水定额情况(表 2)来对其进行预测。

表 2 西安市历年城市综合生活用水定额(单位: $L/人 \cdot d$)

Table 2 The statistic data of domestic water quota of Xi'an in the past 10 years

年份	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
定额	125	123	126	131	133.6	179.9	226.1	218.6	210.5	235.3

对西安市生活用水综合定额采用生长曲线公式(3),其中生活用水指标上界 L 的确定,主要考虑到综合生活用水量会随着人民生活水平的提高逐渐增加,但增速会越来越缓慢,由此可确定一个上限值。参考水利部水资源司有关规定,2010 年我国北方特大城市人均综合生活用水定额指标为 187~288 $L/人 \cdot d$ 。在定额选取时,考虑到西安市作为省会城市及重要

万方数据

的旅游城市等因素,确定西安市城市人均综合生活用水量上限值为 300 L/人·d。得到预测西安市生活用水定额见表 3。

表 3 西安市生活用水定额(单位:L/人·d)
Table 3 The domestic water quota of Xi'an

模型	综合生活用水指标 (L/人·d)		相关系数 R	标准差 S	上限值 L
	2010	2015			
甘培茨生长曲线	287.3	294.3	0.8401	7.6067	300
数学表达式	$Q = 300\exp[-1.2945\exp(-0.162T)]$				

对规划年人口预测采用递增率法进行预测。预测公式为:

$$N = N_0(1 + r)^t$$

(12)

- N——规划期末用水人口数,万人;
- N₀——预测起始年用水人口数,万人;
- r——人口递增率;
- t——预测年与预测起始年的时间差,年。

参考《西安市国民经济与社会发展第十个五年计划和到 2010 年规划》,1999 年西安市非农业人口为 276.14 万人,1999 年至 2015 年人口数量以 4.61‰的速度递增。则规划年 2010 年、2015 年的非农业人口数分别为 290.47 万人、297.23 万人。

则由(11)式可求得规划年 2010 年、2015 年西安城市生活需水量分别为 3.045999 亿 m³,3.19283 亿 m³。

3 预测结果分析

运用已建立的数学模型和人均综合生活用水定额法来预测西安城综合生活需水量,结果见表 4。

表 4 预测结果表(单位:亿 m³)
Table 4 The result of forecast domestic water demand(×10⁸m³)

	一元线性回归	数学模型		定额法
		生长曲线	GM(1,1)	
2010 年	4.2350	3.4658	8.4410	3.0460
2015 年	5.0865	3.6964	14.7037	3.1928

从以上采用的各个数学模型的检验结果表明,模拟都达到了一定的精度要求。但仍应看到,所依据的样本系列是十分有限的。各种预测模型都有其基本假设,预测的精度取决于所应用的样本系列对未来的代表性。

就所用的各种数学分析方法看,一元线性回归以等差规律模拟事物的增长速度,这在用水量增长的某些阶段可能是合理的,但用水量的增长不可能按线性规律无限制外延,因此该方法适宜于生活需水量的长期预测。

增长曲线模型一般能符合综合生活用水量增长率的"S"状变化过程,此方法的关键是能选择合适的方程并确定合理的极限值,从使用该方法的预测结果看,预测值比较合理。

灰色预测通过对已知用水数据的随机性加以弱化,来建立模型。然而从使用的 GM(1,1)模型可以看出,其本身是一个指数模型,其预测效果在很大程度上取决于原始数据的特
万万数据

点,而指数规律变化使得用水量的增长受时间影响很大,从预测结果可以看出,它的预测值都高于其他预测方法,尤其是 2015 年的预测结果,由此可以看出 GM(1,1) 模型不适用于西安生活需水量的中长期预测。

人均综合生活用水定额法是从影响用水量的因素上进行用水量预测的,它的主要参数为人均综合用水定额。由于该参数是一个综合性的参数,其变化是有规律可循的。因此,根据历史数据,参考国外经验,并结合用水趋势情况,选用了生长曲线对用水定额进行预测。该方法与数学模型的预测结果比较定额法的预测结果偏低。

综合比较以上各种预测方法的预测结果,选择生长曲线模型的预测结果,即规划年 2010 年、2015 年西安城市综合生活需水量分别为 3.465 8 亿 m^3 、3.696 4 亿 m^3 。

参考文献

- [1] 张俊良. 城市节制用水规划原理与技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 90-92.
- [2] 王彬, 等. 城市生活用水预测方法的探讨[J]. 中国给水排水, 1990, 6(6): 12-15.
- [3] 班国德, 等. 平阳县工业供水中长期计划灰色预测[J]. 中国农村水利水电, 2003(2): 37-38.
- [4] 西安市统计局. 西安市统计年鉴 2000[M]. 中国统计出版社, 2000: 327.

Forecast of urban domestic water demand in Xi'an

YE Wen-yu, BAI Dan, GAO Bin

(Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract

Based on the statistic data of domestic water consumption of Xi'an in the past 10 years, by using linear regression model, growth curve model, grey system model and average domestic water consumption quota per capita method, the domestic water demand of 2010 and 2015 in Xi'an was forecasted. The result shows the growth curve is rational and the domestic water demands of 2010 and 2015 in Xi'an are predicted to be 3.4658 hundred million m^3 and 3.6964 hundred million m^3 respectively.

Key words: water demand; forecast; model