

# 基于二级修正的区域水资源需求量预测模型

吴 丹,吴凤平,陈艳萍

( 河海大学商学院 ,江苏 南京 210098 )

**摘要** 根据区域社会经济发展的用水现状以及水资源需求的总体变化趋势 ,将 Logistic 生长曲线模型和 GM( 1 , 1 ) 等维新息模型相结合 ,建立组合预测模型 ,组合预测区域水资源需求量 ,并利用 ARIMA 模型对区域水资源需求量的组合预测结果进行一级修正 ,在此基础上 ,根据区域节水规划的总体目标 ,剖析区域社会经济发展综合节水潜力 ,对区域水资源需求量的一级修正结果进行二级修正 ,最终得到区域水资源需求量的综合预测结果。算例分析结果表明 ,模型具有较高的预测精度。

**关键词** 水资源需求量 ;Logistic 生长曲线模型 ;GM( 1 , 1 ) 等维新息模型 ;ARIMA 模型 ;二级修正

**中图分类号** :TV213      **文献标识码** :A      **文章编号** :1004-693X( 2010 )03-0001-04

## Regional water demand forecast based on second-order modifying model

WU Dan , WU Feng-ping , CHEN Yan-ping

( Business School , Hohai University , Nanjing 210098 , China )

**Abstract** : The Logistic model and GM( 1 , 1 ) constant dimension new information model were combined to establish a comprehensive forecasting model to forecast regional water demand based on current water use and the total development trend of water demand in the course of regional socio-economic sustainable development. The forecast of regional water demand was modified using the ARIMA model for first-order modification. According to the overall objective of regional water resources planning and analysis of the comprehensive regional socio-economic water-saving potential , the first-order modification results of regional water demand were refined by second-order modification , and the final results of regional water demand were obtained. The results showed that the model had high predictive accuracy and actual effect.

**Key words** : water demand ; Logistic model ; GM( 1 , 1 ) constant dimension new information model ; ARIMA model ; second-order modification

随着区域社会经济的快速发展 ,水资源需求量不断增长 ,水资源的稀缺性已严重制约区域社会、经济以及生态环境之间的协调持续发展。区域水资源需求量预测是初始水权配置以及水资源优化配置的前提和基础 ,通过水资源需求量预测研究 ,提高区域水资源需求量预测精度 ,有利于协调区域水资源供需平衡。

目前 ,许多学者对区域水资源需求量预测模型进行了系统研究 ,王好芳等<sup>[1]</sup>建立了 GM( 1 , 1 ) 模型预测区域社会经济系统的水资源需求量 ;方浩等<sup>[2]</sup>将神经网络和模糊理论相结合 ,建立了模糊神经网络模型 ,从模糊神经网络角度并运用灰色系统理论预测区域水资源需求量 ;白雪华等<sup>[3]</sup>利用改进的 RBF 神经网络学习算法预测区域水资源需求量。郝转等<sup>[4]</sup>利用 GM( 1 , 1 ) 等维新息模型预测区域水资源需求量 ;罗利民等<sup>[5]</sup>将神经网络和小波分析理论相结合 ,建立了小波神经网络模型预测区域水资源需求量 ;陈坤<sup>[6]</sup>在系统阐述各类水资源需求量预测方法优缺点的基础上 ,通过分析区域各行业需水量的影响因素 ,建立了回归模型预测区域水资源需求量 ;左其亨等<sup>[7]</sup>提出了社会经济安全量化方法 ,将社会经济安全条件与需水量预测方法相结合 ,建立了社

络模型 ,从模糊神经网络角度并运用灰色系统理论预测区域水资源需求量 ;白雪华等<sup>[3]</sup>利用改进的 RBF 神经网络学习算法预测区域水资源需求量。郝转等<sup>[4]</sup>利用 GM( 1 , 1 ) 等维新息模型预测区域水资源需求量 ;罗利民等<sup>[5]</sup>将神经网络和小波分析理论相结合 ,建立了小波神经网络模型预测区域水资源需求量 ;陈坤<sup>[6]</sup>在系统阐述各类水资源需求量预测方法优缺点的基础上 ,通过分析区域各行业需水量的影响因素 ,建立了回归模型预测区域水资源需求量 ;左其亨等<sup>[7]</sup>提出了社会经济安全量化方法 ,将社会经济安全条件与需水量预测方法相结合 ,建立了社

会经济安全条件下的区域水资源需求量预测模型。续续等<sup>[8]</sup>将城区用水量的非平稳时序分解为趋势项和残差项两部分,采用 Logistic 成长曲线函数拟合趋势项,采用 ARIMA 模型拟合残差项,建立了城市水资源需求量的 Logistic-ARIMA 耦合预测模型。

鉴于国内外相关研究成果,针对区域水资源需求量的预测,用水定额法、人均综合用水量法、指标分析法、回归分析法、时间序列法、灰色预测法以及人工神经网络法等理论方法都得到了广泛应用。但是,用水定额法、人均综合用水量法以及指标分析法的用水定额难以精确计量,回归分析法仅考虑了预测对象与影响因素之间的因果关系,时间序列法仅考虑了预测对象随时间变化的发展趋势,灰色预测法未考虑系统内各变量之间的相互关系和相互作用,人工神经网络等其他方法往往分析过程比较复杂。鉴于此,基于各类水资源需求量预测方法存在的不足之处,为提高预测的准确性和精度,可结合 2 种或多种预测方法,建立组合预测模型,对区域水资源需求量进行组合预测。本文根据区域社会经济发展的用水现状以及水资源需求的总体变化趋势,将 Logistic 生长曲线模型和 GM(1,1)等维新息模型相结合,建立组合预测模型,组合预测区域水资源需求量。在此基础上,利用 ARIMA 模型对区域水资源需求量进行一级修正;并根据区域节水规划的总体目标,剖析区域社会经济发展综合节水潜力,对区域水资源需求量一级修正结果进行二级修正,以确定区域水资源需求量的综合预测结果。

### 1 基于组合预测模型的区域水资源需求量预测

组合预测是用 2 个或 2 个以上不同预测模型对同一预测对象进行预测,然后将各个单独的预测结果进行加权,作为组合预测结果。组合预测可适度减少预测风险,提高预测精度,其关键是恰当确定单个预测模型的权重系数。基于国内外相关研究成果,本文将 Logistic 生长曲线模型和 GM(1,1)等维新息模型相结合,建立组合模型,对区域水资源需求量进行组合预测。

区域水资源需求量预测的组合预测模型可表述为

$$\hat{y}_t = w_1 y_{1t} + w_2 y_{2t} \tag{1}$$

式中: $\hat{y}_t$ 为区域水资源需求量第  $t$  年的组合预测值; $y_{1t}$ 为 Logistic 生长曲线模型第  $t$  年的预测值; $y_{2t}$ 为 GM(1,1)等维新息模型第  $t$  年的预测值; $w_1$ 、 $w_2$ 分别为 Logistic 生长曲线模型和 GM(1,1)等维新息模型的权重, $w_1 + w_2 = 1$ 。

#### 1.1 组合预测模型 $y_{1t}$ 预测值的确定

Logistic 生长曲线是比利时数学家维哈尔斯特(P. F. Verhulst)发现的一种特殊曲线。皮尔(R. Pearl)和里德(L. J. Reed)曾经应用这一曲线研究人口增长规律,所以 Logistic 生长曲线又称为 Pearl-Reed 曲线。由于区域水资源需求量的总体变化趋势与 Logistic 生长曲线模型的变化趋势相吻合,因此,可采用 Logistic 生长曲线模型预测区域水资源需求总量的发展趋势,提高区域水资源需求总量预测的准确性。

Logistic 生长曲线模型确定区域水资源需求量  $y_{1t}$  预测值的表达式为

$$y_{1t} = \frac{k}{1 + ae^{-bt}} \tag{2}$$

式中: $k$ 、 $a$ 、 $b$ 为 Logistic 生长曲线模型的参数。

#### 1.2 组合预测模型 $y_{2t}$ 预测值的确定

灰色系统预测理论对于信息不完整或不完整的实际情况具有良好的适用性,其中 GM(1,1)模型具有充分利用“少数据”进行预测的优点,在区域水资源需求量预测中得到了较为广泛的运用。GM(1,1)等维新息模型在不断补充新信息的同时,及时去掉老化信息,更好地揭示了区域水资源需求量的发展趋势,由于 GM(1,1)等维新息模型能够获得较高的区域水资源需求量预测精度。因此,采用 GM(1,1)等维新息模型对区域水资源需求量进行预测。

GM(1,1)等维新息模型确定区域水资源需求量  $y_{2t}$  预测值的具体步骤为:

步骤 1,记区域现状用水量按照时间的先后顺序排列而成的原始数列为  $x^{(0)}$ :

$$x^{(0)} = (x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)}) \tag{3}$$

根据灰色系统理论对区域现状用水量的原始数列进行一阶累加(1-AGO)生成后,得生成列  $x^{(1)}$ ,即

$$x^{(1)} = (x_1^{(1)}, x_2^{(1)}, \dots, x_t^{(1)}, \dots, x_n^{(1)}) \tag{4}$$

其中  $x_t^{(1)} = \sum_{i=1}^t x_i^{(1)} \quad (t = 1, 2, \dots, n)$

$z^{(1)}$ 为  $x^{(1)}$ 的紧邻均值生成数列:

$$z^{(1)} = (z_2^{(1)}, z_3^{(1)}, \dots, z_t^{(1)}, \dots, z_n^{(1)}) \tag{5}$$

其中  $z_t^{(1)} = 0.5x_t^{(1)} + 0.5x_{t-1}^{(1)}$

步骤 2,令

$$Y = \begin{bmatrix} x_2^{(0)} \\ x_3^{(0)} \\ \vdots \\ x_n^{(0)} \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} -z_2^{(1)} & 1 \\ -z_3^{(1)} & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -z_n^{(1)} & 1 \end{bmatrix}$$

灰微分方程  $x_t^{(0)} + az_t^{(1)} = b$  的最小二乘估计参数满足

$$\hat{a} = \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = (B^T B)^{-1} B^T Y \quad (6)$$

灰微分方程  $x_t^{(0)} + ax_t^{(1)} = b$  的白化方程  $\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = b$  的时间响应式为

$$\hat{x}_{t+1}^{(1)} = \left( x_1^{(0)} - \frac{b}{a} \right) e^{-at} + \frac{b}{a} \quad (t = 1, 2, \dots, n) \quad (7)$$

步骤 3, 令

$$\hat{x}_{t+1}^{(0)} = \hat{x}_{t+1}^{(1)} - \hat{x}_t^{(1)} \quad (t = 1, 2, \dots, n) \quad (8)$$

对式(8), 当  $t < n$  时, 称  $\hat{x}_{t+1}^{(0)}$  为区域现状用水量的模拟值; 当  $t \geq n$  时, 称  $\hat{x}_{t+1}^{(0)}$  为区域水资源需求量的预测值。令

$$y_{2t} = \hat{x}_t^{(0)} \quad (9)$$

步骤 4, 将最新信息  $x_{n+1}^{(0)}$  加入到区域现状用水量的原始数列, 并去掉信息  $x_1^{(0)}$ , 利用新数列  $(x_2^{(0)}, x_3^{(0)}, \dots, x_{n+1}^{(0)})$  确定区域水资源需求量预测值  $y_{2t}$ 。

### 1.3 组合预测模型权重 $w_1$ 与 $w_2$ 的确定

式(1)中权重  $w_1$  与  $w_2$  可采用误差平方和或误差绝对值和最小准则确定。本文采用误差平方和最小准则, 即

$$\min Z_t = \sum_{i=1}^n (y_t - w_1 y_{1t} - w_2 y_{2t})^2 \quad (10)$$

式中  $y_t$  为第  $t$  年区域实际用水量, 目标函数  $Z_t$  是一个二次函数, 并且是一个凸函数, 由 Kuhn-Tucker 条件可知, 它的任意一个 Kuhn-Tucker 点就是整体最小点。建立广义拉格朗日函数:

$$Z(\lambda, w) = \sum_{i=1}^n (y_t - w_1 y_{1t} - w_2 y_{2t})^2 + \lambda (w_1 + w_2 - 1) \quad (11)$$

该广义拉格朗日函数的 Kuhn-Tucker 点应满足  $\nabla Z(\lambda, w) = 0$ , 因此, 广义拉格朗日函数的解为

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n (w_1 y_{1t} y_{jt} + w_2 y_{2t} y_{jt}) + \frac{\lambda}{2} = \sum_{i=1}^n y_t y_{jt} \\ (j = 1, 2) \\ w_1 + w_2 = 1 \end{cases} \quad (12)$$

将权重  $w_1, w_2$  代入式(1), 可确定第  $t$  年区域水资源需求量的组合预测值  $\hat{y}_t$ 。

## 2 基于二级修正的区域水资源需求量预测

### 2.1 区域水资源需求量的一级修正结果

基于组合预测模型, 组合预测得到区域水资源需求量。为进一步减少预测误差, 提高预测精度, 利用 ARIMA 模型<sup>[9]</sup>对组合预测值  $\hat{y}_t$  进行一级修正, 修正与实际水资源需求量的差值  $Y_t = y_t - \hat{y}_t$ , 从而确定组合预测模型和 ARIMA 模型的叠加预测值。

ARIMA 模型由美国学者 George Box 和英国统计学家 Gwilym Jenkinsy 于 20 世纪 70 年代首次提出。它是利用自回归模型(auto regressive 模型, 简称 AR 模型)与移动平均模型(moving average 模型, 简称 MA 模型)搭配形成的随机型时序 ARIMA 模型; ARIMA 模型中有多个参数, 无季节成分时可记为 ARIMA( $p, d, q$ )模型, 其中  $p$  为自回归过程阶数,  $d$  为差分的阶数,  $q$  为移动平均过程阶数。ARIMA( $p, d, q$ )模型经  $d$  阶差分之后成为 ARMA( $p, q$ )模型, 采用极大似然法、矩估计法和最小二乘法等参数估计方法, 对 ARMA( $p, q$ )模型进行参数估计, 将估计参数和最佳模型阶数代入随机差分方程, 可确定 ARMA( $p, q$ )模型。

设  $(Y_1, Y_2, \dots, Y_t, \dots, Y_n) (t = 1, 2, \dots, n)$  表示组合预测值与实际水资源需求量结果的差值  $Y_t$  经  $d$  阶差分后组成的平稳时间序列  $(Y_1, Y_2, \dots, Y_t, \dots, Y_n)$  可拟合成具有  $p$  阶自回归部分、 $q$  阶移动平均部分的 ARMA( $p, q$ )模型随机差分方程:

$$Y_t = \theta_0 + \varphi_1 Y_{t-1} + \varphi_2 Y_{t-2} + \dots + \varphi_p Y_{t-p} + \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \theta_2 \varepsilon_{t-2} + \dots + \theta_q \varepsilon_{t-q} \quad (13)$$

式中:  $\varphi_i (i = 1, 2, \dots, p)$  为自回归系数;  $\theta_i (i = 0, 1, \dots, q)$  为移动平均系数;  $\varepsilon_t$  为零均值、方差为  $\delta_{pq}^2$  的白噪声序列。ARMA( $p, q$ )模型参数估计的具体计算步骤可参考文献[8-9]。

### 2.2 区域水资源需求量的二级修正结果

基于区域水资源需求量的一级修正结果, 根据区域节水规划的总体目标, 采用区域各用水行业节水潜力的计量方法<sup>[10]</sup>, 剖析区域生活、生态环境以及生产等“三生”用水行业发展的节水潜力以及区域社会经济发展综合节水潜力, 通过专家咨询, 从定性和定量相结合的角度分析规划年区域综合节水潜力的取值范围, 对区域水资源需求量一级修正结果进行二级修正, 得到规划年区域水资源需求量的取值范围。

## 3 算例分析

以 2000—2005 年 H 市城区用水量数据(表 1)为依据, 基于二级修正的水资源需求量预测模型, 预测规划年 H 市城区水资源需求量。

表 1 2000~2005 年 H 市城区用水量 万  $m^3$

年份	用水总量	年份	用水总量
2000	8 820	2004	8 272
2001	9 654	2005	8 649
2002	8 810	2006	9 272
2003	8 026		

根据表 1 中的数据, 利用 Logistic 生长曲线模型

与 GM(1,1)等维新息模型,组合预测 2010 年、2015 年、2020 年 H 市城区水资源需求量,见表 2。

表 2 规划年 H 市城区需水量 万 m <sup>3</sup>			
规划年份	Logistic 模型	GM(1,1)等维新息模型	组合预测模型
2010	11 929	8 533	11 250
2015	16 011	8 289	14 467
2020	21 489	8 107	18 813

针对组合预测模型得到的 H 市城区需水量,采用 ARIMA(1,0,1)模型对其差值进行拟合分析,差值拟合后的变化趋势见图 1。

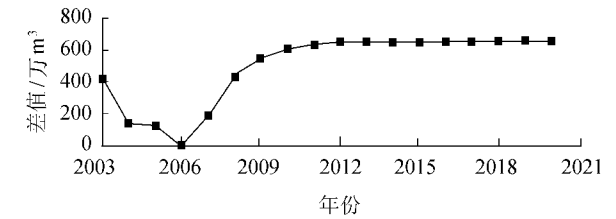


图 1 ARIMA(1,0,1)模型需水量差值拟合

图 1 表明,利用 ARIMA(1,0,1)模型对 H 市城区需水量的差值进行拟合时,2000—2010 年差值的变化表现出大幅度的波动现象,而 2010—2020 年差值的变化趋于平稳。这说明 H 市城区的需水量预测值基本符合 Logistic 生长曲线的变化趋势,H 市城区需水量的变化仍然处于 Logistic 生长曲线的上升阶段,即在 2010—2020 年 H 市城区需水量将继续保持持续增长的趋势。将组合预测模型和 ARIMA 预测模型进行耦合,可进一步提高 H 市城区需水量预测的精度,得到 H 市城区各规划年需水量的一级修正结果,根据规划年 H 市城区水资源需求量一级修正结果,结合 H 市城区节水规划的总体目标,分析 H 市城区规划年综合节水潜力,得到 H 市城区各规划年需水量的二级修正结果,见表 3。

表 3 规划年 H 市城区需水量的修正结果 万 m <sup>3</sup>		
规划年份	一级修正结果	二级修正结果
2010	11 855.25	[ 11 455.25 ,11 655.25 ]
2015	15 120.04	[ 14 320.04 ,14 520.04 ]
2020	19 467.45	[ 18 467.45 ,18 667.45 ]

表 3 结果表明,H 市城区水资源需求量预测值与其水资源需求量的发展趋势相吻合。通过与文献[8]建立的 Logistic-ARIMA 耦合模型的预测结果进行对比可知,基于二级修正的区域水资源需求量预测模型的预测结果相对偏低,根本原因在于,模型是在采用 Logistic 生长曲线模型和 GM(1,1)等维新息模型对 H 市城区水资源需求量进行组合预测的基础上,采用 ARIMA 模型,并结合 H 市城区节水规划总体目标,分析综合节水潜力,对 H 市城区水资源

需求量预测值进行二级修正,因此,其需水量预测结果更加符合发展趋势。

4 结 语

结合 Logistic 生长曲线模型和 GM(1,1)等维新息模型,建立了区域水资源需求量组合预测模型,在此基础上,采用 ARIMA 模型,根据区域节水规划的总体目标,对区域水资源需求量组合预测值进行修正,确定基于二级修正的区域水资源需求量综合预测值。结合 H 市城区社会经济用水量数据进行算例分析,研究结果表明,预测模型具有较高的预测精度。

参考文献:

[1] 王好芳,董增川.区域经济-人口系统需水量的灰色预测方法研究[J].西北水资源与水工程,2001,12(2):53-54.

[2] 方浩,李蓓,石娜,等.基于模糊神经网络的区域需水预测计算模型[J].西北水资源与水工程,2003,14(4):1-3.

[3] 白雪华,郭旭颖.改进的 RBF 网络在区域需水预测中的应用[J].青岛建筑工程学院学报,2005,26(3):87-89.

[4] 郝转,张文鸽.GM(1,1)等维新息模型在区域需水量预测中的应用[J].东北水利水电,2006,24(4):6-8.

[5] 罗利民,方浩,仲跃,等.小波神经网络算法在区域需水预测中的应用[J].计算机工程与应用,2006(3):200-201.

[6] 陈坤.上海水资源可持续利用的经济学研究[M].上海:上海人民出版社,2007:49-55.

[7] 左其亭,李琳.社会经济安全条件下区域需水量预测方法[J].水资源保护,2008,24(1):6-11.

[8] 续滨,郭立山.城市水资源需求量预测 Logistic-ARIMA 耦合模型[J].水利经济,2008,26(5):14-16.

[9] 宁宣熙,刘思峰.管理预测与决策方法[M].北京:科学出版社,1997:98-100.

[10] 宋长虹,高淑红,胡志亮.节水潜力的计算方法与应用[J].黑龙江水利科技,2008,36(1):18.

(收稿日期:2008-12-04 编辑:熊水斌)

