

# 东海县需水量预测研究

王萍<sup>1</sup>, 朱庆文<sup>2</sup>, 何书清<sup>3</sup>

(1. 河海大学 水利与社会发展研究所, 南京 210098; 2. 河海大学 商学院, 南京 211100; 3. 东海县水务局, 连云港 222300)

**摘要:** 为了提高对东海县需水量的预测精度, 将比重较大且表现出很高随机性的灌溉需水量从需水总量中单独划出, 采用定额法按不同频率年型对其进行预测; 以灰色预测模型和三次指数平滑模型的组合预测法对非灌溉需水量进行预测, 在确定单个模型的权重时更多地考虑了近期残差对预测值的影响; 将灌溉需水量和非灌溉需水量汇总即可得到最终的预测值。该方法对数据要求不高并且能够按照不同的概率给出相应的需水量范围, 从东海县需水量的历史数据可以判断最终的预测成果比较合理。

**关键词:** 需水量; 定额分析法; 灰色预测模型; 三次指数平滑; 组合预测; 东海县

**中图分类号:** S274      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1672-643X(2013)02-0103-06

## Prediction of water demand in Donghai County

WANG Ping<sup>1</sup>, ZHU Qingwen<sup>2</sup>, HE Shuqing<sup>3</sup>

(1. Institute of Water Resources and Social Development, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Business School of Hohai University, Nanjing 211100, China; 3. Bureau of Water Resources of Donghai, Lianyungang 222300, China)

**Abstract:** In order to enhance the prediction accuracy of water demand in Donghai County, this paper extracted irrigation water demand quantity which counted high proportion and showed strong randomness from the total water demand. Quota analysis method was taken to predict irrigation water demand quantity on the basis of different frequency years. Compound prediction method composed with the smooth model SM2 and the grey prediction model was taken to predict non-irrigation water demand. When the weight of each single model was set, the impacts in residual errors in recent periods on the prediction value were more considered. Final prediction could be available by summing the quantity of irrigation and non-irrigation water demand. This method requires less data and can give ranges of water demand quantity based on different probabilities. The final prediction result was reasonable judged by the history data of water demand in Donghai County.

**Key words:** water demand; quota analysis method; grey prediction method; smooth model SM2; compound prediction; Donghai county

## 1 研究背景

水利是国民经济的一项重要基础产业, 水资源既是重要的自然资源, 也是不可缺少的经济资源<sup>[1]</sup>, 我国水资源人均占有量仅为世界人均水平的1/4, 且时空分布不均和污染严重, 严重影响了经济社会的可持续发展<sup>[2]</sup>, 因此水资源需求管理必须成为水利行政管理的重心。而水资源需求的管理离不开对水资源数量的准确掌握, 是其他类别水资源管理的重要基础<sup>[1]</sup>; 已有的需水量预测方法达300多种, 按照对历史数据处理的方式可划分为时间序列法(如指数平滑法等)、结构分析法(如定额分析法等)和系统分析法(如系统动力学法和灰色预测法

等)三类, 每种方法都有各自的适用条件<sup>[3]</sup>。需水量预测方法的选取对于预测结果会产生直接影响<sup>[4]</sup>, 然而学术界在该方面的研究偏向于追求复杂的数理模型以及模型对历史数据的拟合效果, 对区域水资源需求量变化的内因和各种方法的局限性并不重视, 故本文对区域需水量结构特点进行分析并指出预测方法的选择原则。

## 2 文献回顾

### 2.1 需水量预测的基础

需水量是指合理的用水要求的水量, 应当按水资源分区进行预测<sup>[5]</sup>, 在实践中一般以行政区划为单位, 且以地级市的需水量研究最常见<sup>[4, 6-11]</sup>。在预测

收稿日期: 2012-10-16; 修回日期: 2013-03-01

作者简介: 王萍(1963-), 女, 江苏无锡人, 硕士, 教授, 主要从事公共经济研究。

通讯作者: 朱庆文(1986-), 男, 江苏徐州人, 博士研究生, 研究方向为水资源技术经济及管理。

具体区域的需水量时应根据预测期限长短,历史数据的充分与否和相关规划政策的科学程度等实际要求和条件<sup>[3]</sup>,合理地按需水量进行分类,避免重复和遗漏<sup>[5]</sup>。需水类别划分的越细致则可以运用的预测方法越多<sup>[3]</sup>,但对各类数据的准确性要求也越高;区域需水量的统计数据或资料的完整性和详实程度,对于需水量的分类和预测方法的选择有着重要的决定作用:当数据充分时则需水量的分类可以有多种划分方法,也可以进行多层次的细致划分<sup>[5]</sup>,而数据不够完整时,只能进行较为宏观的划分,可选择的预测方法也比较少<sup>[3]</sup>。目前,有关县级地域的需水量预测研究比较少;并且按照常规方法对县级区域需水量进行分类,则有很多数据缺失或需要通过已有统计体系之外的调查去获得,关于如何在数据不足时对需水量进行分类的研究比较缺乏。

## 2.2 需水量预测方法

最常用的需水量预测方法包括用水定额法、时间序列法、灰色系统法、生长曲线法、生产函数法、回归分析法和系统动力学法等<sup>[3]</sup>。其中用水定额法适用性最广<sup>[12]</sup>,如果能够准确获取各类需水量的定额标准,则可依据定额分析法预测出区域需水总量<sup>[5]</sup>,但有些类别需水量的定额数据通常缺失或者只能估算(如生态需水量<sup>[9, 13]</sup>)。时间序列法根据历年用水量随时间变化的规律研究用水趋势<sup>[3]</sup>(如指数平滑法),若该规律没有发生较大变动则预测效果是可以接受的。灰色系统法通过累加生成寻找系统规律,不需要较多的数据<sup>[12]</sup>,通常预测效果较好<sup>[4]</sup>,但当需水量序列零增长、负增长<sup>[12]</sup>或数据不平稳时,预测效果并不理想;运用灰色预测模型时应当进行关联度、方差比和小误差概率检验<sup>[14]</sup>。生长曲线法使用已有的经典生长函数去拟合具体的用水量序列,以最优拟合原则求得参数进行需水量预测<sup>[7]</sup>,该方法要求所预测的对象类似符合某种生长规律。生产函数法将科布道格拉斯函数应用于工业需水量预测<sup>[3]</sup>,通常不适用于其他类别需水量的预测。回归分析法利用需水量同影响因素之间的因果关系建立回归模型,关于该方法适用的预测期限存在不同的意见,有研究认为影响因素在长期过程中会发生变化,因此适合短期预测<sup>[13]</sup>,另有学者认为在系统发生变化时模型可以根据变化因素修正预测值,因此适用于长期预测<sup>[12]</sup>;在实践中利用回归模型进行长期和短期预测的研究均较少,通常认为如果可获得足够长的时间序列,则可以进行长期预测,否则只适宜进行短期预测。系统动力学法通过系统

分析绘制出表示系统结构和动态特征的流程图,然后把各变量之间的关系定量化,建立系统的结构方程式,以便运用计算机语言进行仿真试验,从而预测系统未来。该方法认为系统内部存在某种规律<sup>[12]</sup>,缺点是模型过于复杂,如果数据缺乏或者预测者对各类用水规律的认识不充分<sup>[12]</sup>,则该方法可能产生较大误差。

在单一方法基础上,有学者采用多种方法预测区域需水量,对各方法得到的结果进行比较分析后确定最终的预测值<sup>[4]</sup>,对比分析的过程大多是定性分析,故最终的预测值有一定的主观性;也有研究建立多个数学模型进行组合预测,其拟合效果通常比单个模型好<sup>[7, 9]</sup>,但在确定单个模型权重时一般以组合模型各期误差绝对值之和或平方和最小为目标,该优化目标忽视了各期误差对预测结果的借鉴意义可能不同。

## 2.3 灌溉需水量的随机性

灌溉需水量是指在土壤水分和有效降雨量不能满足植物生长时通过灌溉补充的水量<sup>[15]</sup>,主要受降雨量<sup>[16]</sup>,土壤条件、作物种类<sup>[17]</sup>和灌溉排水措施等因素的影响<sup>[15]</sup>;目前我国农业水利设施趋于完善,土壤条件较为稳定<sup>[1]</sup>且实行耕地保护政策<sup>[18]</sup>,故灌溉需水量主要受降雨量的影响。而降雨量在年度之间的变化并没有确切的规律<sup>[10]</sup>,有学者通过几十年的历史数据分析(如小波分析等)也仅能得知未来若干年内气候偏旱或者偏涝,无法得到精确的概率,也难以对旱涝程度进行准确的量化界定<sup>[8, 19-21]</sup>。由于降雨量主要受周期性因素(如太阳黑子活动)、随机性因素(如大气环流、海温等)和流域性因素(如地理位置、下垫面情况、气候条件等)影响,各因素的作用机理极其复杂,并且大气环流系统的记忆力仅有1个月<sup>[22]</sup>,故脱离物理过程的数学分析难以准确预测年度水平的降雨量,从而未来具体年份的灌溉需水量也表现出较大的随机性。

为了克服灌溉需水量随降雨量而呈现的随机性,比较合理的方法是按照不同的频率年型或典型年以定额法预测其范围<sup>[1, 5, 16]</sup>。灌溉作物因其自身的生长规律及外在物理作用机理比较明确<sup>[16, 23]</sup>,其不同保证率的需水定额通常可以准确获得(精确度大于90%)<sup>[16]</sup>,再根据规划水平年的作物面积和灌溉设施条件进行定额分析即可准确预测灌溉需水量。但该方法亦存在不足,如果研究的区域范围太大则不同地带的降雨量会出现明显的差异<sup>[24]</sup>,利用区域内各降雨站数据求得不同频率年的降雨量是区

域平均值,无法反映区域内每个地带的真实降雨水平<sup>[25]</sup>;此时应将区域划分成更小的单元,有研究建议以行政建制为基本区域单位,如果仍有不同降雨特征的区域,可再划分成更小单元的区域<sup>[24]</sup>。

#### 2.4 已有研究的不足

关于区域需水量预测的研究以各种数学模型方法为主,这些模型重视分析区域用水数据规律,追求对历史数据的拟合程度最优化,却忽视区域的用水结构和各类需水量趋势变化的内因;在城镇化率比较高的区域,受居民生活水平提高,城市化和工业化的发展,区域需水总量通常呈生长曲线增长趋势<sup>[7]</sup>,但如果区域城镇化率并不高则灌溉需水量占需水总量的比重较大,因灌溉需水量的随机性,区域需水总量亦会呈现随机性,此时若以区域需水总量的历史数据建立数学预测模型则很可能出现严重误差。在预测灌溉需水量时应当区分不同频率年型的灌溉定额,通常是对特定试验田逐日平衡分析的结果或者是根据当地水文数据推算的结果<sup>[16]</sup>,故一个具体的灌溉定额并不适用于大范围区域(如地级市或省),然而已有的研究却倾向于预测地级市或更大范围的需水量。

### 3 东海县需水量预测

东海县灌溉需水量多年平均值占需水总量比例超过65%,该部分需水量主要受降雨量,作物布局和灌溉条件影响,应当以定额分析法进行预测;而其他类别的需水量通常由较高保证率的供水工程来满足,受经济、人口和水资源管理水平的影响通常呈递增趋势演变,故可以直接利用趋势法或模型法进行预测。因此,以定额法预测东海县灌溉需水量,以趋势法和模型法组合预测其他类别的需水量,汇总后可求得该县需水总量,最后检验该方法的可靠性。

#### 3.1 东海县灌溉需水量

以《东海县节水型社会建设规划》(下文简称《规划》)依据实验研究得到的定额为基础,以文献<sup>[17]</sup>介绍的简化法对主要的定额进行复核,从而确保所得定额的精确性;各类作物的种植面积和灌区条件以相关的规划政策为基础,并通过分析经济发展的实际趋势和规划政策的科学合理性,对未来作物种植面积和灌溉水利用系数等数据进行预测;在灌溉定额、作物面积等变量已确定的前提下,灌溉需水量的预测公式为<sup>[1]</sup>:

$$W_{\text{灌}} = \sum \sum \omega_y m_y \eta_y / \lambda_i \quad (1)$$

式中: $\omega_y$ 表示某作物灌溉面积, $10^3 \text{ hm}^2$ ;  $m_y$ 为某作物的灌溉定额, $\text{m}^3/\text{hm}^2$ ;  $\eta_y$ 表示某作物的耗水率;  $\lambda_i$ 为平均灌溉水利用系数。

依据当地的规划政策<sup>[26]</sup>,充分考虑城市化发展速度并经向该县相关部门的专家咨询,可认为2015年和2020年不同作物的种植面积和耗水率保持不变,灌溉水利用系数分别为0.55和0.58;《规划》中通过平衡分析法得到的灌溉定额经复核调整后如表1;根据式(1)可预测未来不同保证率条件下灌溉需水量,具体预测值见表3。

表1 东海县主要农作物种植面积与灌溉用水明细表  
 $10^3 \text{ hm}^2$ , %,  $\text{m}^3/\text{hm}^2$

|    | 面积   | 耗水率 | 不同保证率条件下的灌溉定额 |        |        |
|----|------|-----|---------------|--------|--------|
|    |      |     | 50%           | 75%    | 95%    |
| 水稻 | 53.3 | 65  | 5852.1        | 6352.2 | 7953.0 |
| 小麦 | 70.0 | 100 | 1275.0        | 1668.0 | 1837.2 |
| 玉米 | 11.3 | 100 | 873.0         | 1035.0 | 1455.0 |
| 豆类 | 6.7  | 100 | 975.0         | 1560.0 | 2130.0 |
| 花生 | 11.3 | 100 | 525.0         | 720.0  | 1005.0 |
| 蔬菜 | 21.3 | 100 | 795.0         | 960.0  | 1365.0 |
| 其他 | 0.3  | 100 | 450.0         | 555.0  | 795.0  |

#### 3.2 东海县非灌溉需水量

东海县除灌溉定额有着实验数据外,其余类别的定额或者直接使用省水利研究部门编制的代表省平均水平的定额,或者直接利用特定年份的相关数据计算求得,两者均未能全面反映东海县的非灌溉需水量的变化趋势,并且该县暂未进行广泛细致的需水定额调研,目前可靠的数据仅有2004年以来宏观类别的用水量。非灌溉需水量受经济发展和公众生活水平影响显著,根据已有数据,该县各类非灌溉需水量均呈波动上升趋势,但各类非灌溉需水量之和随经济发展而稳定增长,呈不太规则的指数形态(参见表2中的 $y_0$ ),因此可选择灰色预测模型和三次指数平滑模型的组合预测方法。

组合预测通常可减少预测不确定性,提高预测精度<sup>[7]</sup>,关键是要恰当地确定单个预测模型的加权系数。本次组合预测方法用公式表示如下:

$$y_t = p \cdot y_{1t} + q \cdot y_{2t} \quad (2)$$

式中: $y_{1t}$ 和 $y_{2t}$ 分别表示GM(1,1)模型和三次指数平滑模型第 $t$ 年的预测值; $p$ 和 $q$ 代表两者的权重,满足条件:

$$p + q = 1, p \geq 0, q \geq 0.$$

(1) 灰色预测模型。在数据比较缺乏但呈近似指数增长趋势时,常用的灰色预测模型是一元一阶

微分GM(1,1)模型,其原理是将随机的原始时间序列按时间累加,所生成新的时间序列展现的规律可用一阶线性微分方程的解来逼近<sup>[14]</sup>。GM(1,1)模型能够充分吸纳靠近即期的数据所补充的信息,很好地确定时间序列的发展趋势。得到灰色预测值 $y_{1t}$ 的具体步骤为<sup>[14]</sup>:

第一步,记录原始时间序列:

$$X^{(0)} = (X_1^{(0)}, X_2^{(0)}, \dots, X_{(t)}^{(0)}, \dots, X_n^{(0)}) \quad (3)$$

经一阶累加(1-AGO)原始时间序列,生成新的数列:

$$X^{(1)} = (X_1^{(1)}, X_2^{(1)}, \dots, X_{(t)}^{(1)}, \dots, X_n^{(1)}) \quad (4)$$

$$X_i^{(1)} = \sum_{k=1}^i X_k^{(0)}, \quad i = 1, 2, \dots, t \quad (5)$$

第二步,采用一阶单变量微分方程进行拟合,得到白化方程的GM(1,1)模型:

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + \alpha x^{(1)} = \mu \quad (6)$$

式中: $\alpha$ 为发展系数, $\mu$ 为灰色作用量,可利用最小二乘法进行估计。解上述微分方程得时间响应函数:

$$\hat{x}^{(1)}(t+1) = \left[ x_1^{(0)} - \frac{\mu}{\alpha} \right] e^{-\alpha t} + \frac{\mu}{\alpha} \quad (7)$$

$t = 0, 1, 2, \dots, n$

第三步,对 $X^{(1)}$ 进行紧邻均生成 $Z_t$ ,即:

$$Z_t = \frac{1}{2} (X_t^{(1)} + X_{t-1}^{(1)}) \quad (8)$$

构造矩阵: $Y_0 = (X_2^{(0)}, X_3^{(0)}, \dots, X_n^{(0)})^T$

$$B = \begin{bmatrix} Z_2 & 1 \\ Z_3 & 1 \\ \vdots & \vdots \\ Z_t & 1 \end{bmatrix}$$

进而得到:

$$\hat{a} = \begin{bmatrix} \alpha \\ \mu \end{bmatrix} = (B^T B)^{-1} B^T Y \quad (9)$$

第四步,累减后得到原始数据序列的预测公式:

$$y_{1t} = \hat{x}^{(0)}(t+1) = \hat{x}^{(1)}(t+1) - \hat{x}^{(1)}(t) \quad (10)$$

$t = 1, 2, \dots, n$

并且规定 $\hat{x}_1^{(0)} = x_1^{(0)}$ 。

(2) 三次指数平滑曲线模型。东海县2004-2011年非灌溉用水量时间序列在靠近即期(2011年)部分近似呈二次曲线趋势,可选用三次指数平滑法对其进行拟合从而预测未来需水量。

一、二、三次指数平滑值分别如下:

$$S_t^{(1)} = \alpha y_t + (1 - \alpha) S_{t-1}^{(1)} \quad (11)$$

$$S_t^{(2)} = \alpha S_t^{(1)} + (1 - \alpha) S_{t-1}^{(2)} \quad (12)$$

$$S_t^{(3)} = \alpha S_t^{(2)} + (1 - \alpha) S_{t-1}^{(3)} \quad (13)$$

加权系数 $\alpha \in (0, 1)$ ,其值的选择一般要遵循:如果序列的基本趋势比较平稳,则 $\alpha$ 的取值应取小一些;如果预测目标的基本趋势已发生系统性的变化,则 $\alpha$ 应取得大一些。本文采取试算的方法,比较均方误差的大小选定合适的 $\alpha$ 后可以得到预测模型为:

$$\hat{y}_{t+T} = a_t + b_t T + c_t T^2 \quad (14)$$

其中: $\alpha_t = 3S_t^{(1)} - 3S_t^{(2)} + S_t^{(3)}$

$$b_t = \frac{\alpha}{2(1-\alpha)^2} [(6-5\alpha)] S_t^{(1)} - 2(5-4\alpha) \cdot S_t^{(2)} + (4-3\alpha) S_t^{(3)}$$

$$c_t = \frac{\alpha^2}{2(1-\alpha)^2} [S_t^{(1)} - 2S_t^{(2)} + S_t^{(3)}]$$

$t = 1, 2, \dots, n$

当 $T$ 取不同值时即可对未来某些规划期的递增需水量进行预测。

(3) 组合模型权重的确定。本次组合预测中单个模型的权重以组合后的各期预测误差绝对值加权之和最小为目标来确定,根据距离即期越近对预测的影响越大的原则赋予各期误差相应的权重,即目标函数中各期误差绝对值的权重为该期距离初期的步长占总步长之和的比:

$$\min F = \frac{\sum_{t=t_0}^N (t-t_0+1) |y_{0t} - py_{1t} - qy_{2t}|}{(N-t_0+1) + (N-t_0) + \dots + 1}$$

其中: $t_0$ 为灰色预测模型和三次指数平滑模型共同的初期, $N$ 为即期序号, $t$ 期步长为 $t-t_0+1$ 并规定初期 $t_0$ 的步长为1,各期步长之和为 $(N-t_0+1) + (N-t_0) + \dots + 1$ , $y_{0t}$ 为 $t$ 期观测值; $t = t_0, t_0+1, \dots, N$ ,故 $\frac{t-t_0+1}{(N-t_0+1) + (N-t_0) + \dots + 1}$ 为 $t$ 期误差

的权重,距离初期步长越大(即越靠近即期)权重越大,体现了优先考虑近期时间序列影响的原则。运用迭代算法可快速确定两个模型的权重值 $p$ 和 $q$ 。

(4) 组合预测的实际应用。据东海县2004-2011年非灌溉用水数据(表2),由式(3)~(9)得到灰色预测模型的 $\hat{a}$ 向量:

$$\hat{a} = \begin{bmatrix} \alpha \\ \mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.0366 \\ 1.0707 \end{bmatrix} \quad y_{1t} = 1.091 e^{0.0366t}$$

在关联系数取0.5时模型的关联度为0.57,方差比(预测误差标准差与原始序列标准差之比) $C = 0.1227$ ,小误差概率 $P = 1$ ,模型精度为一级<sup>[14]</sup>,尽管

关联度稍微偏弱一些,但是经过仔细对比东海县经济发展趋势和规划政策的影响,该模型可以用于当地递增需水量的预测;而三次指数平滑预测模型为:

$$y_{2t} = 1.1993 + 0.0440T + 0.0032T^2$$

模型方差比  $C$  为 0.099,拟合效果较优;通过 Matlab 编程以迭代算法得到  $p = 0.59, q = 0.41$ ,由式(2)可得组合模型为:

$$y_t = 0.51y_{1t} + 0.49y_{2t}$$

由组合模型得到具体的非灌溉需水量预测结果见表 2。

表 2 东海县递增部分(非灌溉水)需水量的实际值与预测值对比 亿  $m^3$

| 年份       | 2004   | 2005  | 2006  | 2007  | 2008  | 2009  | 2010  | 2011  | 2012  |
|----------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $y_0$    | 1.1100 | 1.140 | 1.190 | 1.210 | 1.240 | 1.300 | 1.370 | 1.420 |       |
| $y_{1t}$ | 1.1100 | 1.132 | 1.174 | 1.218 | 1.263 | 1.310 | 1.359 | 1.410 | 1.462 |
| $y_{2t}$ |        |       |       |       | 1.246 | 1.300 | 1.360 | 1.427 | 1.500 |
| $y_t$    |        |       |       |       | 1.256 | 1.306 | 1.359 | 1.417 | 1.478 |
| 年份       | 2013   | 2014  | 2015  | 2016  | 2017  | 2018  | 2019  | 2020  |       |
| $y_{1t}$ | 1.517  | 1.574 | 1.632 | 1.693 | 1.756 | 1.822 | 1.889 | 1.960 |       |
| $y_{2t}$ | 1.579  | 1.665 | 1.757 | 1.855 | 1.961 | 2.072 | 2.190 | 2.314 |       |
| $y_t$    | 1.542  | 1.611 | 1.683 | 1.759 | 1.840 | 1.925 | 2.012 | 2.105 |       |

### 3.3 需水总量的预测

将灌溉需水量和非灌溉需水量的预测值汇总即可得到东海县需水总量的预测值,该县 2015 年和 2020 年需水量汇总的预测成果如表 3 所示。

表 3 东海县中期规划水平年区域需水总量预测值 亿  $m^3, \%$

| 年份   | 灌溉需水量  |        |        | 递增部分<br>(非灌溉需水量) | 需水总量   |        |        |
|------|--------|--------|--------|------------------|--------|--------|--------|
|      | $P=50$ | $P=75$ | $P=95$ |                  | $P=50$ | $P=75$ | $P=95$ |
| 2015 | 6.03   | 7.05   | 8.65   | 1.683            | 7.713  | 8.733  | 10.333 |
| 2020 | 5.72   | 6.69   | 8.20   | 2.105            | 7.823  | 8.790  | 10.308 |

## 4 结 语

以往的灌溉需水量预测研究只给出唯一的预测值(如文献[12]),或者直接将包含比重较大的灌溉需水量的区域需水总量作为分析依据,利用复杂的模型进行预测(如文献[11]),两者均不能克服灌溉需水量的随机性,从而预测精度难以保证。为避免该不确定性,将东海县多年来平均占总需水量 65% 以上的灌溉需水量按照不同频率年型以定额法进行预测,所用的灌溉定额系《规划》对试验田逐日调节计算所得,并经简化法复核,不仅可以确保灌溉需水量预测值的精度,还可以掌握各预测结果出现的概率(如 2015 年灌溉需水量不超过 8.65 亿  $m^3$  的概率

为 95%)。在分离具有随机性的灌溉需水量后,该县的非灌溉需水量表现出一定的指数增长趋势,为提高精度选择了组合模型进行预测,其中灰色预测模型的发展系数为 -0.0366,依灰色预测理论其预测精度较高<sup>[27]</sup>,而三次指数平滑模型也取得了较好的拟合精度。在确定单个模型在组合预测中的权重时,考虑了近期影响大于远期影响这一经验规律。以距离初期的步长占总步长的比值赋予各期误差权重,以各期加权误差绝对值之和最小为目标,利用迭代法计算出单个模型的权重,与常用的直接以误差平方和最小化为目标得到单个模型权重相比(如文献[7]),本方法在区域需水量趋势发生小幅变化时更有优势。

本文不足之处在于,预测非灌溉需水量时使用的三次指数平滑模型虽然具有较好拟合优度,但在进行长期预测时可能会产生较大误差,因为受市场、水价和水资源禀赋影响,长期非灌溉需水量的增长趋于缓和,而三次指数平滑模型长期预测值会迅速增长,故只能进行中短期预测。以文献[23]的检验思路,本次预测成果并未超出东海县历史用水量极限值;本次预测成果亦符合该县节水型社会建设关于降低灌溉需水量以实现全县水资源可持续发展的目标,故本研究的组合预测方法是有效的。在未来的研究中,剔除灌溉需水量的影响之后可根据区域非灌溉需水量的特点以及可获得数据的详实程度有更多的预测方法。

### 参考文献:

- [1] 于万春,姜世强,贺如泓. 水资源管理概论[M]. 北京:化学工业出版社,2007.
- [2] 王 雷,汪恕诚,仇保兴,等. 水的忧患——关注我们的水环境[J]. 城乡建设,2005(8):40-47.
- [3] 彭晨蕊,高 斌,刘 星,等. 城市规划中的需水量预测方法研究[C]//. 规划创新——2010 中国城市规划年会,中国:重庆,2010.
- [4] 孙增峰,孔彦鸿,姜立晖,等. 城市需水量预测方法及应用研究——以哈尔滨需水量预测为例[J]. 水利科技与经济,2011,17(9):60-62.
- [5] 水利部南水北调规划设计管理局. SL 429-2008 水资源供需预测分析技术规范[S].
- [6] 张雪花,张宏伟,张宝安. SD 法在城市需水量预测和水资源规划中的应用研究[J]. 中国给水排水,2008,24(9):42-46.
- [7] 吴 丹,吴凤平,陈艳萍. 基于二级修正的区域水资源需求量预测模型[J]. 水资源保护,2010,26(3):1-4.
- [8] 佟长福,史海滨,包小庆,等. 基于小波分析理论组合

- 模型的农业需水量预测[J]. 农业工程学报, 2011, 27(5): 93-98.
- [9] 蒋剑勇. 基于组合预测法的台州市需水量预测研究[J]. 浙江水利水电专科学校学报, 2011, 23(2): 37-41.
- [10] 王洋, 吴家阳, 王敏. 加权马尔可夫链在泰安地区年降雨量预测方面的应用[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(6): 3577-3579.
- [11] 贾仁甫, 陈守伦, 丁鑫. 需水量预测的线性测量误差模型[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2008, 36(4): 488-490.
- [12] 张雅君, 刘全胜. 需水量预测方法的评析与择优[J]. 中国给水排水, 2001, 17(7): 27-29.
- [13] 常淑玲, 尤学一. 天津市需水量预测研究[J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(2): 14-19.
- [14] 唐丽芳, 贾冬青, 孟庆鹏. 用 Matlab 实现灰色预测 GM(1,1) 模型[J]. 沧州师范专科学校学报, 2008, 24(2): 35-37.
- [15] 谢春燕, 倪九派, 魏朝富. 节水灌溉方式下作物需水量和灌溉需水量研究综述[J]. 中国农学通报, 2004, 20(5): 143-147.
- [16] 姚礼伦. 计算水稻灌溉定额的简化方法[J]. 农田水利与小水电, 1982(4): 6-8.
- [17] 钟兆站, 赵聚宝, 郁小川, 等. 中国北方主要旱地作物需水量的计算与分析[J]. 中国农业气象, 2000, 21(2): 2-5.
- [18] “加大农村土地整治力度 严守耕地红线”纪念第 21 次全国“土地日”[EB/OL]. [2012-08-31]. [http://www.landjs.com/web/ftzt/2011zxft\\_zt\\_xh/2011zxft\\_zt\\_xh.html](http://www.landjs.com/web/ftzt/2011zxft_zt_xh/2011zxft_zt_xh.html).
- [19] 牛佳田, 邵学礼, 邹秋菊, 等. 三江平原东部典型地区旱涝规律初步研究[J]. 国土与自然资源研究, 2011(3): 45-47.
- [20] 缪驰远, 汪亚峰, 郑袁志. 基于小波分析的嫩江、哈尔滨夏季降雨规律研究[J]. 生态与农村环境学报, 2007, 23(4): 29-32.
- [21] 王军. 五莲县旱涝规律分析[J]. 现代农业科技, 2008(16): 338-341.
- [22] 杨金玲, 吴亚楠, 谢森, 等. 蒙特卡罗法在嫩江流域汛期降雨量预测中的应用[J]. 南水北调与水利科技, 2011, 9(3): 28-32.
- [23] 宋慧欣, 叶彩华, 王克武, 等. 京郊不同生态区玉米雨养旱作生产降雨保证率分析[J]. 作物杂志, 2010(1): 36-39.
- [24] 郭营之, 夏桂亮, 耿升明, 等. 半干旱、半湿润地区旱涝规律研究[J]. 沈阳农业大学学报, 1995, 26(2): 25+216-220.
- [25] 李素霞. 河北省年降水量参数等值线图的编制及分析[J]. 水资源研究, 2009, 30(1): 18-19.
- [26] 东海县政府信息公开[EB/OL]. [2012-04-19]. [2011-09-02]. <http://xxgk.jsdh.gov.cn/zhengfuxinxigongkai/xianzhengfubangongshi//1760.html>.
- [27] 刘思峰, 邓聚龙. GM(1,1)模型的适用范围[J]. 系统工程理论与实践, 2000, 21(5): 121-124.

(上接第 102 页)

## 5 结 语

本文基于 CFD 模拟技术, 模拟出了在不同速度下不同布设间距的三棱柱形人工鱼礁的周围流场运动规律。结果表明, 在一定范围内, 布设间距的增大导致其内部涡旋的增大, 若继续增大有可能出现 2 个涡旋。不同的来流速度下, 相同布设间距内产生的涡旋尺寸相同。不同的来流速度不会改变第二个鱼礁尾涡的尺寸。不同布设间距内速度的分布规律为从中间向四周速度越来越小, 但不会超过鱼礁高度。本文的结果期望能给实际的人工鱼礁布设提供参考。

### 参考文献:

- [1] 李珺, 章守宇. 米字型人工鱼礁流场数值模拟与水槽实验的比较[J]. 水产学报, 2010, 34(10): 1587-1593.
- [2] 刘洪生, 马翔, 章守宇, 等. 人工鱼礁流场风洞实验与数值模拟对比分析[J]. 中国水产科学, 2009, 16(3): 365-371.
- [3] 黄远东, 赵树夫, 姜剑伟, 等. 多孔方型人工鱼礁绕流的数值模拟研究[J]. 水资源与水工程学报, 2012, 23(5): 15-18.
- [4] 黄远东, 姜剑伟, 赵树夫. 方型人工鱼礁周围水流运动的数值模拟研究[J]. 水资源与水工程学报, 2012, 23(3): 1-3.
- [5] 崔勇, 关长涛, 万荣, 等. 人工鱼礁流场效应的数值模拟与仿真研究[J]. 系统仿真学报, 2009, 21(23): 7393-7396.
- [6] 崔勇, 关长涛, 万荣, 等. 布设间距对人工鱼礁流场效应影响的数值模拟[J]. 海洋湖沼通报, 2011(2): 59-65.
- [7] Yakhot V, Orzag S A. Renormalization group analysis of turbulence: basic theory [J]. Scientific Computer, 1986(1): 3-11.
- [8] Versteeg H K, Malalasekera W. An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method [M]. Wiley, New York, 1995: 150-169.