

doi: 10.3724/SP.J.1201.2013.03006

# 湖南省农村水资源保护现状评价与趋势预测

朱金峰<sup>1</sup>, 梁忠民<sup>1</sup>, 汤晓芳<sup>2</sup>

(1. 河海大学 水文水资源学院, 南京 210098; 2. 中国农业节水和农村供水技术协会, 北京 100053)

**摘要:** 随着农村城镇化进程的加快和经济的持续较快发展, 农村水资源保护问题日益凸显。通过建立湖南省农村水资源保护评价指标体系, 采用基于最优组合权重的灰色关联度分析法, 对湖南省 2010 年农村水资源保护现状进行评价, 结果表明: 植被覆盖率、政策规划完备和执行度、农田有效灌溉比例、每公顷化肥施用量 4 个评价指标与湖南省农村水资源保护现状关联程度最大。最后, 采用 GM(1, 1) 改进模型预测了指标体系中 10 个主要评价指标在 2011 年- 2016 年的变化趋势, 模型检验参数到达合格等级, 预测结果可以为农村水资源保护提供决策依据。

**关键词:** 农村水资源保护; 评价指标体系; 灰色关联度分析; GM(1, 1) 改进模型; 最优组合权重

中图分类号: TV213.4 文献标识码: A 文章编号: 1672-1683(2013)03-0006-06

## Evaluation of Current Status and Trend Prediction of Rural Water Resources Protection in Hunan Province

ZHU Jinfeng<sup>1</sup>, LIANG Zhongmin<sup>1</sup>, TANG Xiaofang<sup>2</sup>

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. Chinese Agricultural Water-saving & Rural Drinking Water Supply Technology Association, Beijing 100053, China)

**Abstract:** With the increasing of urbanization and the rapid economic development, the rural water resources protection has more and more problems. In this paper, an evaluation index system of rural water resources protection in Hunan province was developed using the grey correlation degree approach based on the optimal combination weight method, and this evaluation index system was applied to investigate the status of rural water resources protection in Hunan province in 2010. The results showed that four indexes are the most relevant factors with rural water resources protection, including the vegetation coverage, the completeness and implementation of policies, the effective irrigation rate, and the average fertilizer application rate per hectare. Finally, the improved model of GM(1, 1) was used to predicate the variation trends of ten main indexes from 2011 to 2016. Model test parameters reached the qualified levels. The predicted results can offer decision making references for rural water resources protection.

**Key words:** rural water resources protection; evaluation index system; grey correlation degree analysis; improved GM(1, 1) model; optimal combination weight

农村水资源是从区域角度出发对水资源进行的划分。长期以来, 城市在社会、经济发展中发挥着重要的载体作用, 承受着巨大的资源和环境压力, 城市水资源一直是水资源保护的重点。但随着农村地区城镇化进程的加快和经济的持续较快发展, 农村有限的水资源大量由农村向城镇转移或由第一产业向第二、第三产业转移, 农村水资源污染、短缺、用水效率低等问题逐渐凸显, 加上农村人口居住分散、社会发展相对滞后以及水资源时空分布不均等因素的制约, 使得农村水资源成了水资源保护的盲点和难点<sup>[1-3]</sup>。然而, 研究农村水资源保护对于保障农村居民生命安全和农村社会

经济可持续发展有着重要意义。目前, 我国农村水资源保护研究正处于起步阶段, 研究主要针对农业节水<sup>[4]</sup>、农业污染防治<sup>[5]</sup>、农村饮水安全<sup>[6]</sup>、农村环境整治<sup>[7]</sup>等单个方面进行研究, 而注重从水质-水量-水生态环境的整体角度出发保护农村水资源的研究比较少。与农村水资源保护相关的基础理论、政策法规、技术措施等还有待进一步研究完善。农村水资源保护的内容<sup>[8]</sup>概括起来有水质保护、水量保护、水生态系统保护以及与水资源保护相关的环境保护。

本文建立了湖南省农村水资源保护评价指标体系, 采用基于最优组合权重<sup>[9]</sup>的灰色关联度分析法评价 2010 年湖南

收稿日期: 2012-12-30 修回日期: 2013-05-06 网络出版时间: 2013-05-18  
网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20130518.1744.028.html>  
基金项目: 水利部公益性行业科研专项基金资助项目(201001003)  
作者简介: 朱金峰(1986), 男, 陕西延安人, 硕士研究生, 现从事水文水资源方面的研究。E-mail: zhujinfeng1986@foxmail.com  
通讯作者: 梁忠民(1962), 男, 教授, 博士生导师, 从事水文水资源方面的研究。E-mail: zmliang@hhu.edu.cn

省农村水资源保护现状,采用GM(1,1)改进模型预测指标体系中10个时序性较好的指标在2011年-2016年的变化趋势。

## 1 湖南省农村水资源保护评价指标体系

通过分析湖南省农村水资源的水质保护、水量保护、水生态系统保护以及与水资源保护相关的环境保护方面的具体情况和收集的基础资料,按照层次法的基本思想,充分考虑指标体系的整体性和层次性,构建了包括目标层(A)、准则

层(B)和指标层(C)的湖南省农村水资源保护评价指标体系,见表1。指标体系的准则层(B)包括农村生活用水及污染、农业用水及污染、乡镇工业用水及污染、水生态环境和农村水资源管理5个系统。指标层(C)按照指标选取原则和专家意见筛选出18个评价指标,指标选取的主要原则有:(1)定量和定性相结合。尽量采用定量指标,少量采用定性指标;(2)科学性。评价指标要基于科学严谨的数据,并尽可能覆盖所有的评价内容;(3)可操作性。指标的数量要少而精,基础资料的收集要具有一定的可行性和便捷性。

表1 湖南省农村水资源保护评价指标体系

Table 1 The evaluation index system of rural water resources protection in Hunan province

目标层	准则层	指标层	指标计算方法
湖南省农村水资源保护 A	农村生活用水及污染 B1	农村生活用水比例 C1(%)	生活用水量/农村用水量
		农村饮用水安全达标比例 C2(%)	饮用水安全评价 <sup>[10]</sup> 达标人数/人口总数
		农村生活垃圾处理率 C3(%)	生活垃圾处理量/生活垃圾总量
		农村生活污水处理率 C4(%)	生活污水处理量/生活污水总量
农业用水及污染 B2	农业用水比例 C5(%)	农业用水量/农村总用水量	
	农田有效灌溉比例 C6(%)	农田有效灌溉面积/耕地面积	
	化肥施用量 C7/(kg·hm <sup>2</sup> )	年农药施用量/耕地面积	
	农药施用量 C8/(kg·hm <sup>2</sup> )	年化肥施用量/耕地面积	
	禽畜粪便的耕地负荷 C9/(t·hm <sup>-2</sup> )	禽畜粪便排泄总量/耕地面积	
	水产养殖面积比 C10	水产养殖面积/水域总面积	
乡镇工业用水及污染 B3	乡镇工业用水比例 C11(%)	乡镇工业用水量/农村总用水量	
	工业用水重复利用率 C12(%)	工业重复利用水量/工业用水量	
	入河排污口达标排放比 C13(%)	入河排污口达标数量/入河排污口总数	
水生态环境 B4	植被覆盖率 C14(%)	森林面积/全省面积	
	水功能区水质达标率 C15(%)	水功能区水质达标 <sup>[11]</sup> 数/水功能区总数	
	水土流失比例 C16(%)	水土流失面积/全省面积	
农村水资源管理 B5	政策规划完备和执行度 C17(%)	定性打分评价	
	农民用水户协会覆盖人口比例 C18(%)	参加农民用水户协会人数/农村人口总数	

## 2 湖南省农村水资源保护现状评价

### 2.1 基于最优组合权重的灰色关联度分析法

灰色关联度分析主要是用灰色系统理论方法对系统发展态势的相互关系进行分析,该方法的实质是将无限空间问题用有限数值关系取代,根据曲线间的相似程度大小来判断各因素的关联程度。农村水资源系统可以作为灰色系统(系统内部特征信息部分已知,部分未知)来研究。

选取n个对象m个指标,  $x_{ij}$  为第i个对象第j个指标的数值( $i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m$ ), 则评价矩阵为  $\mathbf{X}=(x_{ij})_{n \times m}$ , 对原数据无量纲化处理后得到标准化矩阵  $\mathbf{Y}=(y_{ij})_{n \times m}$ 。基于最优组合权重的灰色关联度的步骤如下。

(1) 计算最优组合权重。令  $\omega_1$  表示层次分析法(AHP)计算得到的指标主观权重向量,  $\omega_2$  表示熵值法计算得到的指标客观权重向量,  $w_c$  表示最优组合权重向量,  $\alpha=(\alpha_1, \alpha_2)^T$  表示最优组合权重向量的线性表出系数组成的二维列向量。则计算最优组合权重向量表达式为<sup>[12]</sup>:

$$W_c = \alpha_1 \omega_1 + \alpha_2 \omega_2 \quad (1)$$

式中:  $\alpha_1, \alpha_2$  为线性表出系数, 满足单位化约束条件:  $\alpha_1 + \alpha_2 = 1$  且  $\alpha_1, \alpha_2 \geq 0$ 。根据总离差最大化原理<sup>[13]</sup>, 选择的最优组合权重向量应使所有评价指标的评价结果的总离差最大。于

是求解最优组合权重向量的问题归结于求解最优化问题:

$$\begin{cases} \max F(W) = \sum_{j=1}^m h_j(W_c) = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n |y_{ij} - y_{kj}| W_{cj} \\ s. t. \sum_{j=1}^m w_{cj}^2 = 1 \end{cases} \quad (2)$$

式中:  $h_j(W_c)$  为第j个评价指标结果与其他指标评价结果的总离差;  $W_{cj}$  为第j个指标的最优组合权重。求解此最优化问题得到式(2)的解  $\alpha_1^*, \alpha_2^*$ , 作归一化处理:  $\alpha_1 = \alpha_1^* / \sum_{k=1}^2 \alpha_k^*, \alpha_2 = \alpha_2^* / \sum_{k=1}^2 \alpha_k^*$ , 得到线性表出系数  $\alpha_1, \alpha_2$ 。

(2) 计算关联系数  $\delta_i(j)$ 。选取最优序列作为参考数列, 参考数列  $y_0$  与各比较数列  $y_1, y_2, \dots, y_n$  的关联系数  $\delta_i(j)$  计算公式<sup>[14]</sup>为:

$$\delta_i(j) = \frac{\min_i \min_j |y_0(j) - y_i(j)| + \rho \max_i \max_j |y_0(j) - y_i(j)|}{|y_0(j) - y_i(j)| + \rho \max_i \max_j |y_0(j) - y_i(j)|} \quad (3)$$

式中:  $\rho$  为分辨系数,  $\rho \in [0, 1]$ , 通常取  $\rho = 0.5$ 。

(3) 计算基于最优组合权重的灰色关联度  $r_j$ 。计算公式<sup>[15]</sup>如下:

$$r_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \delta_i(j) W_{cj} \quad (4)$$

### 2.2 计算结果及分析

以2010年湖南省6个县市(长沙县、韶山市、华容县、平

江县、桃源县、临澧县)的评价指标数据为样本,对 2010 年湖南省水资源保护现状进行评价。用 AHP 和熵值法分别计算各指标的主观、客观权重向量。求解此最优化问题(2),得到线性表出系数  $\alpha_1 = 0.6008$ ,  $\alpha_2 = 0.3992$ , 代入公式(1)可得湖南省农村水资源保护现状评价指标的最优组合权重向量,结果见表 2。以 2010 年湖南全省的农村水资源保护评价指标数据为参考序列,6 个县市的农村水资源保护评价指标数据为比较序列,由公式(3)计算参考序列与各比较序列的关联系数,由公式(4)计算评价体系中指标层 18 个指标与目标层的基于最优组合权重的灰色关联度,并进行排序,结果见表 3。

表 2 最优组合赋权结果

Table 2 Results from the optimal combination weight method

准则层	权重			指标层	权重		
	AHP	熵值法	最优组合		AHP	熵值法	最优组合
B1	0.1091	0.0992	0.1051	C1	0.0089	0.0326	0.0184
				C2	0.0489	0.0043	0.0311
				C3	0.0256	0.0137	0.0208
				C4	0.0256	0.0486	0.0348
				C5	0.1185	0.0184	0.0785
B2	0.3197	0.3953	0.3499	C6	0.0641	0.0908	0.0748
				C7	0.0641	0.0869	0.0732
				C8	0.0360	0.0886	0.0570
				C9	0.0224	0.0473	0.0323
				C10	0.0147	0.0634	0.0341
B3	0.0680	0.1730	0.1099	C11	0.0115	0.0607	0.0311
				C12	0.0263	0.1058	0.0580
				C13	0.0301	0.0065	0.0207
B4	0.3197	0.1557	0.2542	C14	0.1725	0.0948	0.1415
				C15	0.0949	0.0127	0.0621
				C16	0.0522	0.0482	0.0506
B5	0.1836	0.1768	0.1809	C17	0.1224	0.0830	0.1067
				C18	0.0612	0.0938	0.0742

表 3 基于最优组合权重的灰色关联度及其排序

Table 3 The grey correlation degree and sequence based the optimal combination weight

指标	灰色关联度 $r_j$	排序	指标	灰色关联度 $r_j$	排序
C1	0.0146	16	C10	0.0200	14
C2	0.0232	13	C11	0.0186	15
C3	0.0128	18	C12	0.0478	6
C4	0.0242	11	C13	0.0132	17
C5	0.0482	5	C14	0.1001	1
C6	0.0544	3	C15	0.0403	8
C7	0.0511	4	C16	0.0331	10
C8	0.0441	7	C17	0.0629	2
C9	0.0237	12	C18	0.0333	9

根据基于最优组合权重的灰色关联度计算结果,将指标层 18 个指标根据灰色关联度大小划分为三级<sup>[16]</sup>:重要指标 ( $r_j > 0.05$ ), 一般指标 ( $0.02 \leq r_j \leq 0.05$ ), 次要指标 ( $r_j < 0.02$ ), 见图 1。重要指标为: C6, C7, C14, C17; 一般指标为: C2, C4, C5, C7, C8, C9, C10, C12, C15, C16, C18; 次要指标为: C1, C3, C11, C13。

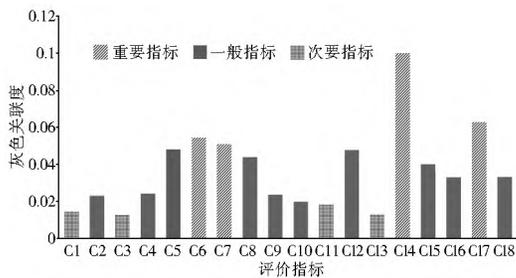


图 1 湖南省农村水资源保护评价指标划分

Fig. 1 Classification of the evaluation indexes of rural water resources protection in Hunan Province

可以得出,4 个重要指标植被覆盖率(C14)、政策规划完备和执行度(C17)、农田有效灌溉比例(C6)、每公顷化肥施用量(C7)与湖南省农村水资源保护关联程度最大。其原因是:河道采砂、围湖造田、开荒造田等现象造成农村水域水面萎缩和植被退化;农村水资源保护的主体是政府,政府制定可行的政策和规划对农村水资源保护至关重要;农民身处“水乡”,节水意识淡薄,农业灌溉用水效率低;农民通过大量使用化肥农药来达到增产增收产生的农业面源污染和大规模水产养殖造成的水体污染严重。因此,建议重点从植被恢复及水源涵养、完善政策规划并贯彻落实、农业节水灌溉、农业面源污染防治等方面着手改善农村水资源保护现状。一般性指标中,农业用水比例(C5)、工业用水重复利用率(C12)、每公顷农药施用量(C8)、水功能区水质达标比例(C15)、农民用水户协会覆盖人口比例(C18)、水土流失比例(C16)、生活污水处理率(C4)等指标的关联程度较大,这些方面也应引起足够重视。乡镇工业用水比例(C11)、生活用水比例(C1)、入河排污口达标排放比例(C13)、生活垃圾处理率(C3)4 个次要指标与湖南省农村水资源保护现状关联程度最小。但随着农村社会经济的发展,这些次要指标与农村水资源保护的关联度很有可能会增大。

### 3 湖南省农村水资源保护评价指标变化趋势预测

灰色预测是通过原始数据携带的信息和灰色模型,寻找灰色系统演变规律,对系统的未来状态做出定量推测。本文采用优化了背景值和初始条件的 GM(1,1) 改进模型来预测评价指标变化趋势。

#### 3.1 GM(1,1) 改进模型

##### 3.1.1 GM(1,1) 模型的改进

令初始非负序列为  $x^{(0)} = (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n))$ , 则  $x^{(0)}$  的一次累加生成数(1-AGO)序列为  $x^{(1)} = (x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n))$ , 其中  $x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i)$ , ( $k = 1, 2, \dots, n$ )。  $x^{(1)}$  的背景值序列  $z^{(1)} = (z^{(1)}(2), z^{(1)}(3), \dots, z^{(1)}(n))$ , 优化构造得到的背景值邻近生成公式<sup>[17]</sup>:

$$z^{(1)}(k) = (x^{(1)}(k) - x^{(1)}(k-1)) / (\ln x^{(1)}(k) - \ln x^{(1)}(k-1))$$

优化的背景值可以消除 GM(1,1) 模型中用  $z^{(1)}(k) = 0.5x^{(1)}(k) + 0.5x^{(1)}(k-1)$  代替  $\int_{k-1}^k x^{(1)}(t) dt$  产生的误差,

从而提高了模型模拟和预测精度。

GM(1, 1)模型的灰微分方程为  $x^{(0)}(k) + \alpha x^{(1)}(k) = b$ , 式中,  $a$  称为发展系数,  $b$  为灰色作用量。将模型的初始条件由  $x^{(0)}(1)$  改为  $x^{(1)}$  的第  $n$  个分量  $x^{(1)}(n)$ , 则灰微分方程的时间响应序列变为<sup>[18]</sup>:

$$X^{(1)}(k+1) = (X^{(1)}(n) - b/a)e^{-\alpha(k-n+1)} + b/a \quad (2)$$

(k = 1, 2, ..., n)

用  $x^{(1)}(n)$  作为初始条件, 克服了以  $x^{(0)}(1)$  为初始条件时不能充分利用最新信息的缺点, 从而一定程度上提高了模型预测精度。

### 3.1.2 模型检验

(1) 残差检验。令残差  $\Delta^{(0)}$ , 相对误差  $\varphi(k) = |\Delta^{(0)}| / x^{(0)}(k) \times 100\%$  (k = 1, 2, ..., n)。

(2) 后验差检验。令  $S_1$  为初始序列  $x^{(0)}$  的均方差,  $S_2$  为残差的均方差, 则后验差比  $C = S_2 / S_1$ 。  $p = P(|\Delta^{(0)}(k) - \bar{\Delta}| < 0.6745S)$  为小概率误差, 其中  $\Delta^{(0)}(k)$  为绝对残差序列,  $\bar{\Delta}$  为残差均值。给定相对误差  $\varphi(k)$ 、小误差概率  $P$ 、后验差比  $C$  的值, 参照表 4 就可确定模型精度等级。

表 4 模型精度等级

Table 4 Model accuracy level

模型精度等级	相对误差 $\varphi(k)$	小误差概率 $P$	后验差比 $C$
优秀(I)	0.01	0.95	0.35
良好(II)	0.05	0.80	0.50
合格(III)	0.10	0.70	0.65
不合格(IV)	0.20	0.60	0.80

## 3.2 GM(1, 1)模型的应用

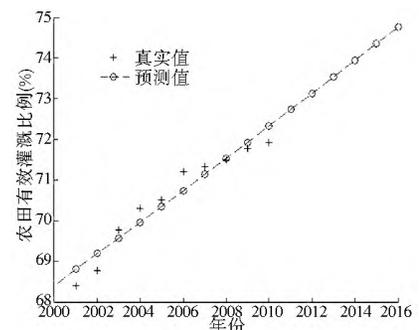
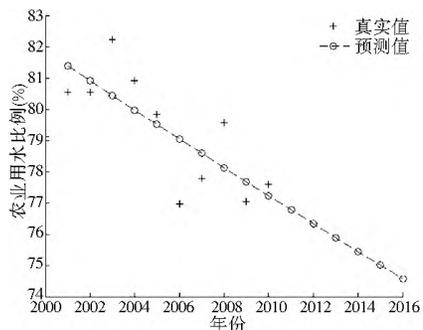
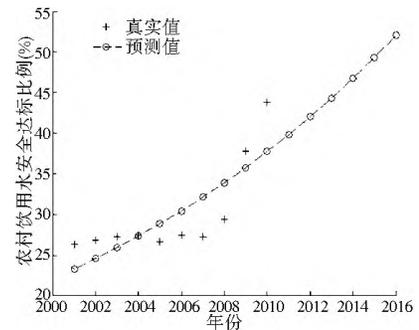
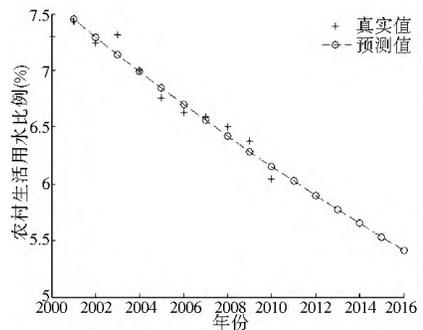
以 2000 年- 2010 年湖南省农村水资源保护评价指标数据作为预测样本, 数据来源于湖南统计年鉴(2001- 2011)、湖南省水资源公报(2000- 2010)、湖南省环境公报(2000- 2010)以及实地调研收集的基础资料。由于 GM(1, 1)模型适合预测呈指数趋势变化的时间序列, 所以从湖南农村水资源保护评价指标体系中选取了 10 个时序性较好的指标进行变化趋势预测, 预测区间为 2011 年- 2016 年。预测指标包括: 农村生活用水比例( $C_1$ )、农村饮用水安全达标比例( $C_2$ )、农业用水比例( $C_5$ )、农田有效灌溉比例( $C_6$ )、化肥施用量( $C_7$ )、农药施用量( $C_8$ )、禽畜粪便的耕地负荷( $C_9$ )、水产养殖面积比( $C_{10}$ )、乡镇工业用水比例( $C_{11}$ )、植被覆盖率( $C_{14}$ )。

### 3.2.1 预测结果及分析

10 个指标趋势预测结果见图 2, 结果表明: 农村生活用水、农业用水占农村用水总量的比例逐渐降低, 分别从 2010 年的 6.04% 和 77.59% 降到 2016 年的 5.42% 和 74.57%; 乡镇工业用水占农村用水总量的比例逐渐升高, 从 2010 年的 15.07% 升高到 2016 年的 20.08%; 化肥施用量从 2010 年的 624.29 kg/hm<sup>2</sup> 升高到 2016 年的 760.70 kg/hm<sup>2</sup>, 2010 年全国化肥施用量 456.94 kg/hm<sup>2</sup> (2011 中国农村统计年鉴数据); 农药施用量从 2010 年的 31.32 kg/hm<sup>2</sup> 升高到 2016 年的 40.58 kg/hm<sup>2</sup>, 2010 年全国农药施用量 14.45 kg/hm<sup>2</sup>

(2011 中国农村统计年鉴数据); 禽畜粪便的耕地负荷从 2010 年的 24.78 t/hm<sup>2</sup> 升高到 2016 年的 28.46 t/hm<sup>2</sup>, 接近禽畜粪便的还田限量 30 t/hm<sup>2</sup>[19]; 农村饮用水安全达标比例、农田有效灌溉比例、植被覆盖率等指标逐渐升高, 分别从 2010 年的 43.79%、71.91%、57.01% 升高到 2016 年的 52.10%、74.77%、60.15%; 水产养殖面积比从 2010 年的 29.22% 降到 2016 年的 25.77%。

从总体趋势来看, 2011 年- 2016 年湖南农村生活、农业、乡镇工业用水结构趋于合理, 农村生活用水、农业用水比例逐渐降低, 乡镇工业用水比例逐渐升高; 农业污染源有增加趋势, 每公顷化肥施用量、每公顷农药施用量均大大超过全国平均值, 禽畜粪便的耕地负荷接近禽畜粪便的还田限量; 农村居民饮水状况得到改善, 农业节水抗旱能力和植被的水源涵养能力逐步提高; 水产养殖面积比例减少, 养殖产生的废弃物对水体直接污染有所降低。



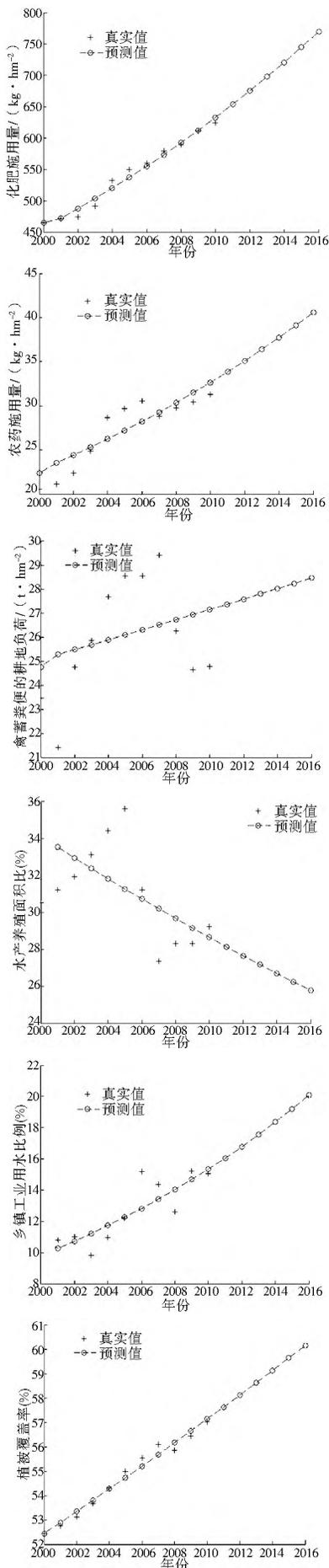


图 2 评价指标的预测结果

Fig. 2 The predicted results of evaluation indexes

### 3.2.2 模型检验

GM(1, 1) 改进模型经过残差检验和后验差检验, 相对误差  $\varphi(k)$  达到模型精度等级合格 ( $\hat{0}$ ), 小误差概率  $P$  达到模型精度等级良好 ( $\hat{0}$ ), 后验差比  $C$  达到模型精度等级合格 ( $\hat{0}$ ), 整体表明 GM(1, 1) 改进模型达到合格等级, 模型可以合格运行, 预测结果可靠性高, 检验结果见表 5。

表 5 GM(1, 1) 改进模型检验结果

Table 5 The verification results of the improved GM (1, 1) model

预测指标	相对误差 $\varphi(k)$ (%)	小误差概率 $P$	后验差比 $C$
农村生活用水比例 C1	1.13	1.0	0.21
农村饮用水安全达标比例 C2	8.87	1.0	0.42
农业用水比例 C5	1.26	0.9	0.44
农田有效灌溉比例 C6	0.38	1.0	0.23
化肥施用量 C7	1.28	1.0	0.15
农药施用量 C8	6.10	1.0	0.43
禽畜粪便的耕地负荷 C9	7.30	1.0	0.56
水产养殖面积比 C10	5.35	1.0	0.58
乡镇工业用水比例 C11	7.34	0.8	0.45
植被覆盖率 C14	0.36	1.0	0.15

## 4 结论

(1) 采用基于最优组合权重的灰色关联度分析法进行现状评价, 基于最优组合权重的灰色关联度既保留了原始数据传递的客观信息, 又可以通过经验判断修正客观信息的不足, 更加直观地体现了参考数列与各比较数列的关联程度, 提高了评价的科学性。

(2) 对湖南省农村水资源保护现状评价结果表明, 指标层中植被覆盖率(C14)、政策规划完备和执行度(C17)、农田有效灌溉比例(C6)、化肥施用量(C7) 4 个指标与湖南省农村水资源保护现状关联程度最大, 表明植被恢复及水源涵养、完善政策规划并贯彻落实、农业节水灌溉、农业面源污染防治是湖南省农村水资源保护的重点。乡镇工业用水比例(C11)、生活用水比例(C1)、入河排污口达标排放比例(C13)、生活垃圾处理率(C3) 4 个指标与湖南省农村水资源保护现状关联程度最小。

(3) 采用 GM(1, 1) 改进模型, 预测了评价指标体系中 10 个时序性较好指标在 2011 年- 2016 年变化趋势。模型检验参数相对误差  $\varphi(k)$ 、小误差概率  $P$ 、后验差比  $C$  都达到合格等级, 预测精度较高, 预测结果可以为未来湖南农村水资源保护提供决策依据。

### 参考文献(References):

[1] 李传彬. 农村水资源现状及对策分析[J]. 水利科技, 2012: 105. (LI Chuan bin. Current Situation of Rural Water Resources and Analysis on Corresponding Policies[J]. Hydraulic Science and Technology, 2012: 105. (in Chinese))

[2] 钱珊. 我国农村水资源保护面临的问题及政策建议—基于公共物品管理理论的研究[J]. 经济论坛, 2009, (20): 40-42. (QIAN Shan. Problems of Rural Water Resources Protection in China and Suggestions for the Policies Based on the Study on the

- Management Theory of Public Goods[J]. Economic Forum, 2009, (20): 40-42. (in Chinese)
- [3] 李明, 高树云. 农村水资源供给恶化的危害与治理[J]. 科技资讯, 2010: 155. (LI Ming, GAO Shuyun. Harms and Countermeasures of the Deterioration of Rural Water Supply[J]. Science & Technology Information, 2010: 155. (in Chinese))
- [4] 何淑媛, 方国华. 农业节水综合效益评价指标体系构建[J]. 中国农村水利水电, 2007, (7): 44-50. (HE Shuyuan, FANG Guohua. Construction of Appraisal Index System of Comprehensive Agricultural Water Saving Benefits[J]. China Rural Water and Hydropower, 2007, (7): 44-50. (in Chinese))
- [5] 郭廷忠, 张起, 张丽君. 中国农业污染问题研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(4): 1773-1775. (GUO Tingzhong, ZHANG Chao, ZHANG Lijun. On Agricultural Pollution in China[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2009, 37(4): 1773-1775. (in Chinese))
- [6] 陆建红, 丁立杰, 徐建新. 模糊综合评价模型在农村饮水安全评价中的应用[J]. 水电能源科学, 2011, 29(2): 99-102. (LU Jianhong, DING Lijie, XU Jianxin. Application of Fuzzy Comprehensive Evaluation Model to Safety of Rural Drinking Water[J]. Water Resources and Power, 2011, 29(2): 99-102. (in Chinese))
- [7] 国家环保总局. 关于加强农村环境保护工作的意见[J]. 环境保护, 2007, (9): 21. (Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. Opinions on Strengthening the Rural Environmental Protection[J]. Environmental Protection, 2007, (9): 21. (in Chinese))
- [8] 程晓. 水资源保护概况[J]. 水资源保护, 2001, (4): 8-12. (CHENG Xiao. Overall Situation of Water Conservation[J]. Water Resources Protection, 2001, (4): 8-12. (in Chinese))
- [9] 陈伟, 夏建华. 综合主、客观权重信息的最优组合权重方法[J]. 数学的实践与认识, 2007, 37(1): 17-22. (CHEN Wei, XIA Jianhua. Optimal Combination Weighting Method in Synthesize with Subjective and Objective Weight Information[J]. Mathematics in Practice and Theory, 2007, 37(1): 17-22. (in Chinese))
- [10] 水利部, 卫生部. 农村饮用水安全卫生评价指标体系[J]. 中国农村水利水电, 2005. (Ministry of Water Resources of the PRC, Ministry of Health of the PRC. Evaluation Index System of Rural Drinking Water Safety[J]. China Rural Water and Hydropower, 2005. (in Chinese))
- [11] SL 395-2007, 地表水资源质量评价技术规程[S]. (SL 395-2007, Technological Regulations for Surface Water Resource Quality Assessment [S]. (in Chinese))
- [12] 刘成栋, 马福恒, 王献辉. 大坝安全评价中的组合融合赋权方法[J]. 水电能源科学, 2005, 23(4): 35-37. (LIU Chengdong, MA Fuheng, WANG Xianhui. Method of Combined Weighting of Dam Safety Evaluation[J]. Water Resources and Power, 2005, 23(4): 35-37. (in Chinese))
- [13] 买生, 匡海波, 顾雪松. 基于离差最大化一灰色关联分析的商业银行竞争力评价研究[J]. 数学的实践与认识, 2011, 41(24): 44-53. (MAI Sheng, KUANG Haibo, GU Xuesong. Evaluation Research on Competitiveness of Commercial Bank Based on the Maximizing Deviation Method Grey Correlation Analysis[J]. Mathematics in Practice and Theory, 2011, 41(24): 44-53. (in Chinese))
- [14] 曹明霞. 灰色关联分析模型及其应用的研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2007. (CAO Mingxia. Research on Grey Incidence Analysis Model and Its Application[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2007. (in Chinese))
- [15] 赵珊珊. 基于灰色关联分析的城市生态适宜度评价研究—以山东半岛城市群为例[D]. 上海: 华东师范大学, 2010. (ZHAO Shanshan. Ecological Suitability Evaluation of Shandong Peninsula Urban Agglomeration Based on Grey Relation Analysis [D]. Shanghai: East China Normal University, 2010. (in Chinese))
- [16] 曹永强, 游海林, 罗麟, 等. AHP 在省界缓冲区水资源保护方案评价中的应用[J]. 长江科学院院报, 2009, 26(12): 26-28. (CAO Yongqiang, YOU Hailin, LUO Lin, et al. Application of AHP in the Evaluation on Water Conservation Program Province Boundary Buffers[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2009, 26(12): 26-28. (in Chinese))
- [17] 谭冠军. GM(1, 1) 模型的背景值构造方法和应用(Ñ)[J]. 系统工程理论与实践, 2000, (4): 99-103. (TAN Guanjun. The Structure Method and Application of Background Value in Grey System GM(1, 1) Model (Ñ)[J]. Systems Engineering Theory & Practice, 2000, (4): 99-103. (in Chinese))
- [18] 党耀国, 刘思峰, 刘斌. 以  $x^{(1)}(n)$  为初始条件的 GM 模型[J]. 中国管理科学, 2005, 13(1): 132-135. (DANG Yaoguo, LIU Sifeng, LIU Bin. The GM Models that  $x^{(1)}(n)$  be Taken as Initial Value[J]. Chinese Journal of Management Science, 2005, 13(1): 132-135. (in Chinese))
- [19] 王方浩, 马文奇, 窦争霞, 等. 中国畜禽粪便产生量估算及环境效应[J]. 中国环境科学, 2006, 26(5): 614-617. (WANG Fanghao, MA Wenqi, DOU Zhengxia, et al. The Estimation of the Production Amount of Animal Manure and Its Environmental Effect in China[J]. China Environmental Science, 2006, 26(5): 614-617. (in Chinese))