

基于灰色系统理论的黑龙江省万元GDP用水量分析预测

张 博, 付婷婷

黑龙江科技大学管理学院, 黑龙江 哈尔滨

收稿日期: 2023年10月7日; 录用日期: 2023年11月15日; 发布日期: 2023年11月24日

摘 要

文章阐述了灰色系统理论的预测原理及方法, 根据原有数据生成数列, 将原始序列变成准光滑序列, 建立黑龙江省万元GDP用水量的灰色预测模型, 求出预测值并检验模型的精确度, 发现灰色预测模型精确度高, 并对黑龙江省未来三年的用水量进行分析预测。为提高黑龙江省水资源利用效率, 提出了对策建议, 包括建立完善、严格的水资源管理制度; 发展新技术对水资源进行循环使用; 转变经济结构, 发展绿色环保及循环型经济; 呼吁民众有节水意识和环保意识。

关键词

万元GDP用水量, 灰色系统理论, 灰色预测模型, 分析预测, 水资源利用效率

Analysis and Forecast of Water Consumption of Ten Thousand GDP in Heilongjiang Province Based on Grey System Theory

Bo Zhang, Pingping Fu

School of Management, Heilongjiang University of Science and Technology, Harbin Heilongjiang

Received: Oct. 7th, 2023; accepted: Nov. 15th, 2023; published: Nov. 24th, 2023

Abstract

This paper expounds the prediction principle and method of the grey system theory, generates a series of numbers according to the original data, turns the original sequence into quasi-smooth sequence, establishes a grey model of the water consumption of ten thousand GDP in Heilongjiang

Province, calculates the predicted value and tests the accuracy of the model. It is found that the grey prediction model has high accuracy, and analyzes the water consumption of Heilongjiang Province in the next three years. In order to improve the utilization efficiency of water resources in Heilongjiang Province, countermeasures and suggestions are put forward, including establishing a perfect and strict water resources management system; developing new technologies to recycle water resources; transforming the economic structure and developing a green and recycling economy; and appealing to the public to have awareness of water conservation and environmental protection.

Keywords

Water Consumption for Ten Thousand GDP, Grey System Theory, Grey Prediction Model, Analytical Prediction, Utilization Efficiency of Water Resources

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

黑龙江省地处中纬度地带, 在欧亚大陆的东岸, 因此气候类型属于大陆性季风气候, 从东向西, 依其干燥度的程度可以分为湿润区、半湿润区和半干旱区。黑龙江省的夏季湿润多雨, 平均降水量可达 200~400 毫米, 占全年总降水量的 60%~70%, 而其他季度的平均降水量只有 50~80 毫米, 仅占全年总降水量的 15% 左右。水是人类生存和发展的一种重要资源, 在各区域现代化发展战略中处于关键资源地位, 对于社会经济发展、生态可持续性等方面都具有直接影响[1]。近年来, 黑龙江省的经济迅速发展, 人们的生活水平快速提高, 尤其是水资源短缺的现象与日俱增, 引起政府的高度重视。

万元 GDP 用水量是指某地区、行业、企业或单位在一定时段内每取得 1 万元增加值(GDP)的水资源取用量[2]。万元 GDP 用水量的计算公式为 $E = W/G$ 。其中, E 为万元 GDP 用水量, m^3 ; G 为国内(地区)生产总值, 万元; W 为用水总量, m^3 [3]。万元 GDP 用水量在横向上能宏观反映国家、地区或行业总体经济的用水情况, 纵向上可以反映国家、地区或行业总体经济用水效率的变化情况和节水发展成就[4]。为发展地区经济, 因而要寻求降低万元 GDP 用水量的方法。目前, 主要在万元 GDP 用水量的研究方法有灰色系统理论方法、主成分分析法等。由于使用灰色系统理论方法进行预测时, 运算较为方便, 同时也便于检验, 因此本文选取灰色系统理论方法对黑龙江省的万元 GDP 用水量进行预测分析。

2. 灰色系统理论预测原理与步骤

灰色系统理论由邓聚龙教授于 1982 年创立, 是一种侧重于研究小样本和贫信息不确定性系统的新方法[5]。灰色系统即信息不完整的系统, 灰色系统方法主要是量化分析方法。灰色预测即指对含有不确定因素的系统进行预测的一种方法, 该方法通过对系统内各因素之间发展趋势相异程度的鉴别, 即进行关联分析, 并且对原有的数据进行处理并寻找其规律性, 生成一组较强规律的数据序列, 建立数学模型, 通过微分方程对未来事物发展进行预测[6]。本文采用基于时间序列的灰色系统理论模型[7], 采用灰色系统理论方法的好处是在计算过程中不需要特别多的样本数据, 因此计算工作量相对较小, 同时可用于对万元 GDP 用水量进行短期和中长期预测, 准确度高。本文选取黑龙江省近 12 年万元 GDP 用水量作为初始数据来对未来三年万元 GDP 用水量进行预测, 数据量少且需要预测精度高, 故而采用灰色系统理论。

采用灰色预测模型进行定量分析, 计算步骤如下:

第一步, 对原始数列 $X(j)$ 做一次累加生成。

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

$$x^{(1)}(j) = x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n)$$

$$x^{(1)}(j) = \sum_{i=1}^j x^{(0)}(i) (i=1, 2, \dots, n)$$

第二步, 检验 $x^{(0)}$ 序列是否为准光滑序列, 计算该序列的光滑比。

$$\rho(j) = \frac{x(j)}{\sum_{i=1}^{j-1} x(i)}$$

如果 $j > 1$ 时, $\rho(j) < 0.5 (j=2, 3, \dots, n)$ 成立, 则 $x^{(0)}$ 满足光滑条件, 为准光滑序列。

第三步, 求出 $x^{(1)}$ 的模型背景值。

$$z^{(1)}(j) = \frac{1}{2}x^{(1)}(j) + \frac{1}{2}x^{(1)}(j-1)$$

第四步, 构造矩阵 A 和 Y 。

$$A = \begin{bmatrix} -0.5(x^{(1)}(2) + x^{(1)}(1)) & 1 \\ -0.5(x^{(1)}(3) + x^{(1)}(2)) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -0.5(x^{(1)}(n) + x^{(1)}(n-1)) & 1 \end{bmatrix}$$

$$Y = [x^{(0)}(2) \quad x^{(0)}(3) \quad \dots \quad x^{(0)}(n)]^T$$

第五步, 模型系数向量的求解。

$$\begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = (A^T A)^{-1} A^T Y$$

式中, a 、 b 为待定系数。

第六步, 构建模型。

$$\frac{dx^{(1)}(k)}{dk} + ax^{(1)}(k) = b$$

第七步, 还原数列。

灰色预测理论建立的模型为生成数据模型, 通过差分方程然后进行累减还原, 即可求得模型预测结果。

$$x^{(1)}(k+1) = \left(x^{(0)}(1) - \frac{b}{a}\right)e^{-ak} + \frac{b}{a}$$

得出预测结果后, 还需对此模型的预测精度进行检验, 从而检验所得到的结果是否符合实际、符合我们所预期的结果。灰色理论模型一般有三种检验方法, 分别是参差检验、关联度检验以及后验差检验。参差检验是按点检验, 关联度检验是建立的模型与指定函数之间近似性的检验, 后验差检验是参差分布随即特性的检验。后验差检验是按照精度检验小误差概率 P 和后验差比值 C 两个指标进行检

验。

计算出原始数据与预测值的相对误差, 其中, 短期预测的相对误差范围为 2% 至 5%, 中期预测的相对误差范围为 10% 至 20%, 长期预测的相对误差范围为 30% 至 40%。

记原始数列及残差数列的方差分别是 S_1^2 和 S_2^2 , 则 $C = S_2/S_1$, $P = \{|e(j) - \bar{e}| < 0.6745S_1\}$ 。其中, 计算小误差概率 P 和后验差比值 C 的等级如表 1 所示, 分别分为 1 级(好)、2 级(合格)、3 级(勉强)和 4 级(不合格)四个等级。如果满足相应条件, 模型精度好则预测结果符合要求、符合实际, 如果不满足条件则需要对残差进行修正。

Table 1. Accuracy class table

表 1. 精度等级表

模型精度等级	P	C
1 级	$P \geq 0.95$	$C \leq 0.35$
2 级	$0.95 > P \geq 0.8$	$0.35 < C \leq 0.5$
3 级	$0.8 > P \geq 0.7$	$0.5 < C \leq 0.65$
4 级	$P < 0.7$	$C > 0.65$

3. 黑龙江省万元 GDP 用水量预测

我国现行的用水统计中, 用水总量由生活用水、工业用水、农业生产用水、人工生态环境补水组成 [8]。通过在国家统计局搜集到黑龙江省 2011 年至 2022 年, 这 12 年间的国民生产总值及总用水量相应数据, 因而可以求出 2011 年至 2022 年黑龙江省万元 GDP 用水量数据结果, 如表 2 所示。以这 12 年的万元 GDP 用水量数据作为原始数据, 来进行灰色理论预测分析, 同时将预测结果与原始数据进行比较, 检验模型预测的精确度。

Table 2. Data table of water consumption of ten thousand GDP in Heilongjiang Province from 2011 to 2022

表 2. 2011 年至 2022 年黑龙江省万元 GDP 用水量数据表

年份	总用水量/亿 m^3	国民生产总值/亿元	万元 GDP 用水量/ m^3
2011	352.4	12503.83	281.83
2012	358.9	13691.57	262.13
2013	362.3	14382.9	251.9
2014	364.1	15039.38	242.1
2015	355.3	15083.67	235.56
2016	352.6	15386.09	229.17
2017	353.1	16199.88	217.97
2018	343.9	12846.48	267.7
2019	310.4	13544.43	229.17
2020	314.1	13633.43	230.39
2021	324.5	14879.2	218.09
2022	304	15901	191.18

黑龙江省总用水量

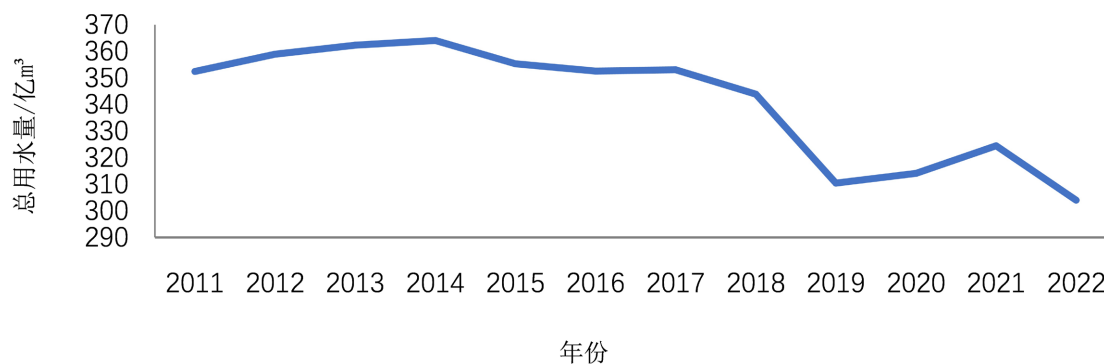


Figure 1. Total water consumption in Heilongjiang Province

图 1. 黑龙江省总用水量

黑龙江省国民生产总值

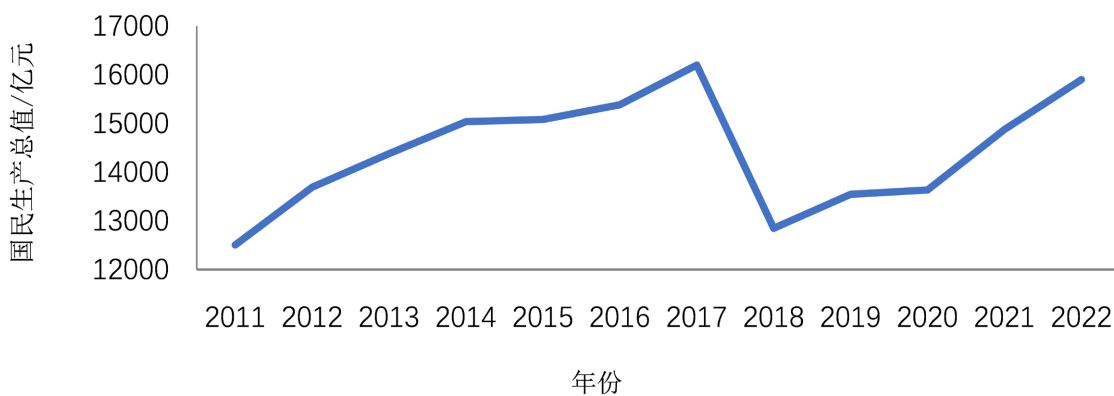


Figure 2. Gross national product of Heilongjiang Province

图 2. 黑龙江省国民生产总值

黑龙江省万元GDP用水量

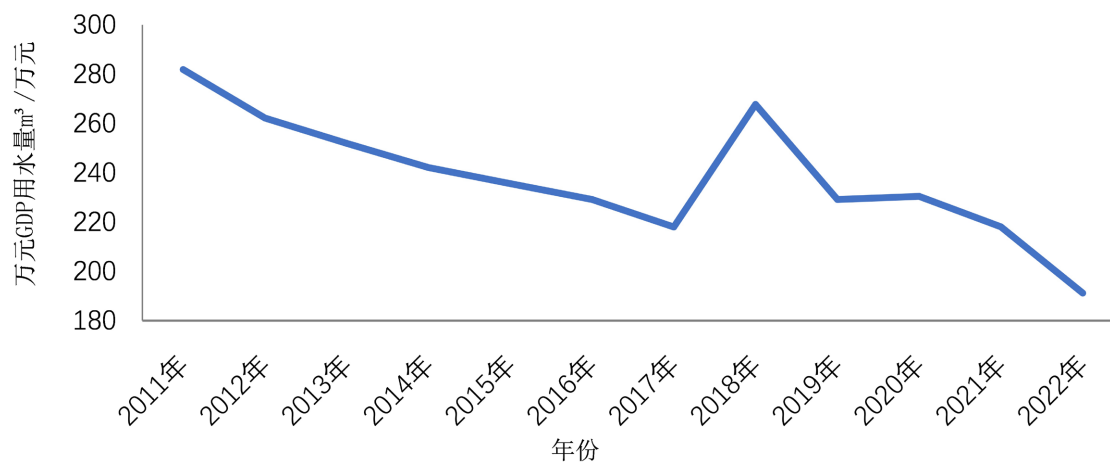


Figure 3. Water consumption of ten thousand GDP in Heilongjiang Province

图 3. 黑龙江省万元 GDP 用水量

根据对黑龙江省过去 12 年的总用水量和国民生产总值的数据进行统计分析可以得出,如图 1~3 所示的结果,从 2011 年至 2014 年总用水量呈上升趋势,从 2015 年至 2019 年总用水量呈下降趋势,2020 年至 2022 年总用水量先增后降。国民生产总值从 2011 年至 2017 年逐年上升,而在 2018 年出现下降,从 2019 年开始呈上升趋势。

国民生产总值和万元 GDP 用水量呈反比例关系,换言之,经济发展越迅速,万元 GDP 用水量下降越快,因此可以看出,黑龙江省近几年经济发展比较可观。根据 2021 年全国水资源公报数据显示,2021 年全国万元 GDP 用水量为 51.8 立方米,用水量较大的省份有新疆(359.1 m³)、黑龙江(218.1 m³) [9]。由此可以看出,黑龙江省万元 GDP 用水量在全国来看仍然较高,高于全国平均水平。从 2011 年至 2017 年,黑龙江省万元 GDP 用水量逐年下降,从 281.83 m³下降到 217.97 m³,说明在这 7 年间黑龙江省的经济发展越来越好。但是在 2018 年,黑龙江省国民生产总值大幅度下降,与 2017 年相比,下降约为 20.7%,总用水量变化不大,因此该年份的万元用水量较前年相比增加了约 49.74 m³。自 2020 年起,黑龙江省国民生产总值稳步增加,总用水量变化不大,万元 GDP 用水量逐渐下降。

采用灰色预测模型进行预测步骤如下:

1) 将黑龙江省 12 年间的万元 GDP 用水量作为原始数据输入模型中,通过一次累加得到 1-AGO,结果如表 3 所示。

Table 3. Cumulative result table

表 3. 累加结果表

序号	年份	$x^{(0)}$	$x^{(1)}$
1	2011	281.83	281.83
2	2012	262.13	543.96
3	2013	251.9	795.86
4	2014	242.1	1037.96
5	2015	235.56	1273.52
6	2016	229.17	1502.69
7	2017	217.97	1720.66
8	2018	267.7	1988.36
9	2019	229.17	2217.53
10	2020	230.39	2447.92
11	2021	218.09	2666.01
12	2022	191.18	2857.19

2) 对每一年万元 GDP 用水量进行光滑性检验,比值分别 0.930、0.463、0.304、0.227、0.180、0.145、0.156、0.115、0.104、0.089、0.072。从第二项开始比值均小于 0.5,因此满足序列为准光滑序列的条件。

3) 计算模型背景值,构造矩阵 A 和 Y ,并采用最小二乘法求出参数 a 、 b 。

通过公式求得的模型背景值分别为 412.895、669.91、916.91、1155.74、1388.105、1611.675、1854.51、2102.945、2332.725、2556.965、2761.6,因此可以构造矩阵 A 和 Y 。

$$A = \begin{bmatrix} -412.895 & 1 \\ -669.91 & 1 \\ -916.91 & 1 \\ -1155.74 & 1 \\ -1388.105 & 1 \\ -1611.675 & 1 \\ -1854.51 & 1 \\ -2102.945 & 1 \\ -2332.725 & 1 \\ -2556.965 & 1 \\ -2761.6 & 1 \end{bmatrix} \quad Y = \begin{bmatrix} 262.13 \\ 251.90 \\ 242.10 \\ 235.56 \\ 229.17 \\ 217.97 \\ 267.70 \\ 229.17 \\ 230.39 \\ 218.09 \\ 191.18 \end{bmatrix}$$

4) 求出 $a = 0.0192$, $b = 265.0725$, 将 a 、 b 代入式中, 并进行累减还原, 得到结果如表 4 所示。

Table 4. Cumulative reduction result table

表 4. 累减还原结果表

序号	年份	$X^{(0)}$ 实际值	$X^{(0)}$ 计算
1	2011	281.83	281.83
2	2012	262.13	257.2
3	2013	251.9	252.32
4	2014	242.1	247.53
5	2015	235.56	242.83
6	2016	229.17	238.22
7	2017	217.97	233.7
8	2018	267.7	229.26
9	2019	229.17	224.91
10	2020	230.39	220.64
11	2021	218.09	216.45
12	2022	191.18	212.34

5) 对模型的精度进行分析。

计算出残差, 然后求出相对误差如表 5 所示。相对误差最大值为 14.35%, 最小值为 0.16%, 均小于 20%, 可以进行准确预测。

Table 5. Relative error table

表 5. 相对误差表

年份	实际值	预测值	残差	相对误差/%
2011	281.83	281.83	0	0
2012	262.13	257.2	4.93	1.88
2013	251.9	252.32	0.42	0.16
2014	242.1	247.53	5.43	2.24
2015	235.56	242.83	7.27	3.08

Continued

2016	229.17	238.22	9.05	3.94
2017	217.97	233.7	15.73	7.21
2018	267.7	229.26	38.44	14.35
2019	229.17	224.91	4.26	1.85
2020	230.39	220.64	9.75	4.23
2021	218.09	216.45	1.64	0.75
2022	191.18	212.34	21.16	11.06

计算得出 $S_1 = 567.070$ 、 $S_2 = 109.63$, 根据公式求出 $C = 0.19$, 并依据公式求出 $P = 1.145$, 比较模型精度预测等级可以得出, 该预测等级为一级, 所以采用该模型进行预测符合实际、符合预期, 可以对黑龙江省未来三年万元 GDP 用水量进行较为精准的预测。

因此, 用该模型对黑龙江省未来三年的万元 GDP 用水量进行预测, 可以得出 2023 年将达到 208.31 m^3 , 2024 年将达到 204.26 m^3 , 2025 年将达到 200.48 m^3 。

4. 结论及建议

1) 在数据量较少的前提下, 使用灰色预测模型进行预测可以在操作简单的前提下达到较好的精确度, 能够符合实际、符合预期。以黑龙江省 12 年间的万元 GDP 用水量作为模型的原始数据, 验证该序列为准光滑序列后进行计算, 得出的预测等级为一级, 因此该模型可以精准地对黑龙江省未来三年万元 GDP 用水量进行预测, 分别为 208.31 m^3 、 204.26 m^3 和 200.48 m^3 。

2) 在 2011 年至 2022 年 12 年间, 黑龙江省总用水量从 2011 年至 2019 年呈下降趋势, 至 2021 年总用水量虽有上升, 但是幅度不大, 2021 年后开始递减。这 12 年间黑龙江省的国民生产总值从 2011 年至 2018 年稳步上升, 而后开始递减, 说明 2018 年黑龙江省经济不景气, 2018 年后逐渐恢复经济, 国民生产总值不断上升。

在用水量变化不大的前提下, 万元 GDP 用水量与国民生产总值呈反比例关系状态, 同时可以看出, 这 12 年间黑龙江省万元 GDP 用水量从 2011 年至 2017 年逐渐递减, 幅度较大, 2018 年经济不景气出现上升趋势, 而后经济稳定发展则又出现下降趋势。

3) 本文采用灰色预测模型预测出黑龙江省未来三年万元 GDP 用水量, 为黑龙江省水系统的运行提供了一定的参考。黑龙江省受地理因素等的影响属于国家水资源相对匮乏的省份, 因此政府应大力发展节水型城市, 对总用水量进行监督和管理。同时, 对黑龙江省降低万元 GDP 用水量、提高水资源利用效率, 提出以下建议:

(一) 建立完善、严格的水资源管理制度

建立完善、严格的水资源管理制度是保障水资源能够进行可持续利用的基础。因此, 政府应充分了解农业用水量、工业用水量和居民生活用水量等, 依据相应的制度标准, 严格控制用水总量。在现有的水资源管理制度的基础上, 根据各市县用水总量的实际情况进行完善, 确保工业用水、农业用水和居民生活用水量不超过标准。同时, 加强对用水总量超过标准的用水户的监督与管理并严格取水审批。应尽快建立健全非常规水资源利用和管理的各项法规规章, 强制配套建设再生利用及输配设施, 明确非常规水资源的建设、运营、监督等管理主体, 并划分权责职能[10]。

(二) 发展新技术对水资源进行循环使用

目前对于黑龙江省来说, 水资源供不应求、供需矛盾与日俱增, 要想建设节水型城市, 关键就要发

展新技术。提高科技创新能力, 大力发展新技术, 从而对水资源进行循环使用, 最大限度减少总用水量。利用新技术合理配置水资源, 做到水资源多用, 提升水资源利用效率。

(三) 转变经济结构, 发展绿色环保及循环型经济

在社会生产活动中, 从资源流程和经济增长对资源、环境影响的角度来看, 大多数的生产方式对资源的利用常常是粗放型的和一次性的, 这种传统的经济模式将会导致各类自然资源的枯竭并对环境造成一定的恶劣影响。因此, 黑龙江省应及时转变经济结构, 大力发展绿色环保和循环型经济。循环型经济是把物质、能量、水资源等进行可持续利用, 使得各类资源得到充分合理的利用, 对降低万元 GDP 用水量、充分利用各类自然资源起着重要作用。

(四) 呼吁民众有节水意识和环保意识

建设节水型城市离不开全体民众的共同努力, 因此政府不仅要建立完善的节水制度体系、发展新技术循环利用水资源、发展循环型经济等, 同时也要呼吁民众有节水意识和环保意识。政府应让民众了解目前的水资源供不应求的情况, 呼吁民众履行节水责任义务、强化节水观念意识并养成节水习惯, 共同对黑龙江省节水用水做出贡献。

参考文献

- [1] 张晴晴, 胡安妮, 隋佳楠, 等. 内蒙古地区万元 GDP 用水量影响因素研究[J]. 上海商业, 2023(5): 214-216.
- [2] 张鹏程, 张维江, 陆军, 司建宁. 基于灰色系统理论的宁夏万元 GDP 用水量预测[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(1): 384-385.
- [3] 黄昌硕, 耿雷华, 赵志轩, 杨军飞, 盖永伟, 左光祥. 非常规水源利用量在用水总量考核与万元 GDP 用水量核算中的应用[J]. 中国水利, 2023(1): 37-40.
- [4] 李治军, 姚蓉. 基于主成分分析和多元线性回归的黑龙省用水效率研究[J]. 水利科技与经济, 2023, 29(2): 60-64.
- [5] 刘思峰. 灰色系统理论及其应用[M]. 第 9 版. 北京: 科学出版社, 2021: 8.
- [6] 石丽忠, 席璐. 基于灰色系统理论对辽宁省万元 GDP 用水量分析预测[J]. 沈阳大学学报(自然科学版), 2017, 29(5): 380-383.
- [7] 杨波, 王文. 万元 GDP 用水量预测方法比较分析[J]. 绿色科技, 2022, 24(13): 205-209.
- [8] 唐明, 周涵杰, 许文涛, 等. 区域用水效率综合评价: 新方法研究及其应用[J]. 节水灌溉, 2022(5): 89-96.
- [9] 李爱香. 张掖万元 GDP 用水量影响因素分析与应对措施建议[J]. 黑龙江粮食, 2023(2): 108-110.
- [10] 黄瑜琪, 余东升, 沈春山, 等. 贵阳市非常规水资源利用现状及对策建议[J]. 中国资源综合利用, 2021, 39(1): 83-85.