

江苏省三产业能源消耗量灰色预测比较研究

邵悦

上海理工大学管理学院, 上海

收稿日期: 2025年7月8日; 录用日期: 2025年8月1日; 发布日期: 2025年8月14日

摘要

在当今社会经济迅猛发展的大背景下, 能源消耗的规模与需求正呈现出不断攀升的态势, 与此同时, 生态环境问题也愈发严峻。为了切实贯彻绿色、低碳等全新的发展理念, 全力推动经济朝着绿色可持续发展的方向, 深入探究区域内各产业能源消耗量的发展趋势显得尤为必要。本文选取2014至2020年江苏省三大产业的能源消耗量数据作为基础, 运用灰色预测建模法, 分别构建了针对江苏省农业、工业以及服务业的能源消耗GM(1,1)模型, 并借此对2021至2025年江苏省三大产业的能源消耗量进行了科学预测, 同时对建模所得结果展开了深入的比较分析。研究结果显示, 该模型能够精准揭示江苏省总体能源消耗量以及各产业能源消耗量的发展趋势, 有望为管理部门制定相关能源发展规划、提供可靠的决策参考依据。

关键词

能源消耗, GM(1,1)模型, 灰色预测

A Comparative Study on Grey Prediction of Energy Consumption of the Three Major Industries in Jiangsu Province

Yue Shao

Business School of University of Shanghai for Science and Technology (USST), Shanghai

Received: Jul. 8th, 2025; accepted: Aug. 1st, 2025; published: Aug. 14th, 2025

Abstract

Against the backdrop of the rapid development of the society and economy, the scale and demand for energy consumption are constantly on the rise, and ecological and environmental problems are also becoming increasingly severe. In order to earnestly implement new development concepts such as

greenness and low carbon, and to promote the green and sustainable economic development, it is of vital importance to deeply explore the development trend of energy consumption in various regional industries. This paper selects the energy consumption data of Jiangsu Province's three main industries from 2014 to 2020 as the fundamental information. Then, it applies the grey prediction modeling method to construct the GM(1,1) models of energy consumption for agriculture, industry, and the service industry in Jiangsu Province, and forecasts the energy consumption of Jiangsu Province's three main industries from 2021 to 2025. Furthermore, it carries out an in-depth comparative analysis of the modeling results. The findings indicate that the models can accurately reveal the development trend of both the total energy consumption and that of each industry in Jiangsu Province, and are expected to offer a reliable basis for formulating relevant energy—development plans and providing decision-making references.

Keywords

Energy Consumption, GM(1,1) Model, Grey Prediction

Copyright © 2025 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

能源作为人类生存与发展的基础资源，在社会生产与生活中占据着极为重要的地位。随着经济社会的迅猛发展以及工业化、城市化进程的持续加速，能源消耗量呈现出不断攀升的趋势，生态环境保护所面临的压力也随之日益增大。自 20 世纪 90 年代始，可持续发展政策被正式确立为我国的基本国策，科学发展观的提出更是明确要求经济发展必须摒弃以牺牲环境价值为代价的模式，传统经济发展模式亟待向绿色可持续方向转变。在中国特色生态文明建设进程中形成的“绿水青山就是金山银山”发展理念，经由党的十八大以来的实践深化，已成为指导经济社会绿色转型的核心理论，推动形成了绿色发展新范式。

在这样的大背景下，精准把握各区域主要产业能源消耗的变化规律，对于提升能源利用效率、优化产业结构以及推动社会经济实现绿色可持续发展具有至关重要的意义。本研究聚焦于江苏省农业、工业、服务业这三大产业近十年来的能源消耗总量，运用灰色系统理论构建相应的灰色预测模型建模框架，基于近十年江苏省三大产业能源消耗总量的相关数据，对其未来能源消耗趋势作出科学合理的预测分析，旨在为江苏省能源领域的决策规划提供有力的理论支撑与实践参考。

灰色预测法基于灰色理论，主要用于中短期预测。它在处理数据量小、信息不充分的系统时具有显著优势，尤其适用于指数增长模型，其中 GM(1,1)模型应用最为广泛。自 20 世纪 80 年代起，我国学者对 GM(1,1)模型展开了深入且广泛的研究与应用，该模型在经济、交通、环境、医疗、教育、能源等多个重要领域均得到了实践运用。在理论研究方面，国内学者相继提出了多种改进的 GM(1,1)模型，如基于小波分析的 GM(1,1)模型、基于模糊数学的 GM(1,1)模型等。张启敏[1]指出，灰色预测作为灰色系统理论的关键组成部分，自提出以来便在农村经济、农业生态、工业生产等多个领域得到了广泛应用。其对 GM(1,1)和 GM(2,1)模型的建模机理及缺陷进行了深入剖析，认为针对平稳数据序列，且数据变化幅度较小时，GM(1,1)模型更为适用；而对于非平稳数据序列，尤其当原始数据增长速度迅猛时，GM(2,1)模型则能发挥更佳的预测效果。程文荣[2]聚焦于江苏省，对三大产业及生活用能与能源消费之间的关系进行了灰色关联度研究分析。研究中得出了灰色绝对关联度、灰色相对关联度、灰色综合关联度等相关结论，并总结出第二产业与能源消费的关联度最为显著。在此基础上进一步运用对数回归分析法，深入探究了各大产业对能

源消费的具体影响程度,结果显示第二产业对能源消费总量的影响最为突出。基于此,其提出优化产业结构是提高江苏省整体能源消耗效率、实现可持续发展的关键路径。林建潮[3]以护理人力资源需求为例,利用 Excel 建构一套基于灰色 GM(1,1)的预测模型,并利用护理人力资源需求时间序列来验证该模型。研究表明该模型适合用于单调上升或单调下降的数据序列,并允许对较少的年度数据进行预测分析,具有计算量小、实用性强、对序列样本含量及概率分布无特殊要求等优势,获得广泛认可,并为广大医务工作者预测时间序列相关数据提供方法和便利。谢乃明[4]对灰色预测进行了深入的解构,归纳出了灰色预测模型建模分析步骤,并按照模型的形式将灰色预测模型归纳为具有线性结构特征和一些其他类型,并对其在相关领域的研究应用进行评述,希望能够呈现灰色预测模型和应用的最新发展趋势。苏琪[5]基于当前国际上使用最多的动态灰色预测模型 GM(1,1),将在实际优化问题中表现优良的新颖群体智能算法帝王蝶优化算法与灰色预测关键参数 α 和 u 相结合,构建了一种全新的灰色-帝王蝶优化预测模型,从而实现对天津能源供需及碳排放的准确预测,并依据预测结果制定天津 2030 年碳达峰的低碳转型路径,适越通[6]将现有的传统 GM(1,1)、基于缓冲算子和时间响应函数优化的 GM(1,1)、首输入 GM(1,1)、变权缓冲 GM(1,1),针对它们存在的问题,提出了一种新的预测模型—混合 GM(1,1)模型,引入粒子群优化算法、变权缓冲算子以及 FMG(1,1)模型,使拟合结果与实际结果的灰色关联度最大,从而实现最优参数。Xinbo He [7]建立了一种新的结构自适应新信息优先级离散灰色预测模型,引入分数式动态加权系数定义满足新信息优先原则的累加生成算子,实现信息不足的系统信息的有效利用,在模型结构上,引入非线性项和周期性波动项,模拟可再生能源发电数据的非线性和周期性波动趋势,提高了灰色预测模型对非线性和波动时间序列的适应性,对模型结构参数进行优化,使所提模型具有更高的灵活性和更强的适应性。

对江苏省三产业的能源消耗进行预测并比较分析,对于能源规划、经济发展、环境保护等具有重要意义。准确的能源消耗量预测有助于能源生产企业合理安排生产,优化资源配置,规划建设合理的基础设施以满足未来的能源需求;能源消耗与经济增长密切相关,能源消耗量的变化在一定程度上反映了经济活动的活跃程度和发展趋势,预测能源消耗量有助于为宏观经济决策提供支持、为产业政策调整提供依据;预测能源消耗量是推动节能减排的重要基础,制定合理的能源消耗控制目标和减排目标,实现经济与环境的协调发展。

2. 灰色 GM(1,1)预测模型

2.1. GM(1,1)建模机理

通常情况下,我们将信息完全明确的系统称为白色系统,信息完全不明确的系统称为黑色系统,信息部分明确、部分不明确的系统称为灰色系统。其中,最重要的部分是基于对原始数据的处理以及对灰色模型的创建来挖掘系统的发展规律。1982 年,我国著名学者邓聚龙教授首次提出灰色系统理论,其内容包含了灰色系统基础理论,灰色预测模型属于灰色系统理论的重要分支之一。GM(1,1)模型在灰色预测模型中是应用最为广泛的模型,它是一种时间序列预测模型,与其他预测方法相比,具有三个重要特征:一、不同于其他预测模型,依靠直接数据进行建模,而是通过对数据序列的映射及处理,为微分拟合建模提供中间信息;二、通过数据序列,生成弱化于原始数据序列的随机性,尤其是弱化非平稳数据序列的随机性;三、提出累加生成思想,并进行建模。

其建模机理有:(1) 基于关联度收敛原理、生成数、灰导数、灰微分方程等方法建立微分方程的模型;(2) 将一切随机变量看作是一定范围内变化的灰色作用量,对灰色量用数据处理的方法,将杂乱无序的原始数据整理成有规律可循的生成数列,再对其进行研究;(3) 通过模型计算值与实际值之差建立 GM(1,1)的残差模型,使其作为提高模型精度的主要途径;(4) 三种检验方法一般为残差大小检验、后验差检验和关联度检验;(5) 灰色理论的预测数据不是直接从生成模型得到的数据,而是需要经过累减还原。

GM(1,1)模型的优点在于对数据的处理和建模过程比较简单,适用于数据量较小,且数据呈现一定的规律性和趋势性的情况。

2.2. GM(1,1)模型的建立

GM(1,1)模型由一个单变量的一阶微分方程构成, 设原始数据列为

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

则一次累加序列为

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

其中

$$x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i), \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

对 $x^{(1)}(t)$ 建立 GM(1,1)模型, 其对应的微分方程为

$$\frac{dx^{(1)}(t)}{dt} + ax^{(1)}(t) = u \quad (4)$$

记参数列为 $\hat{a}$, 且 $\hat{a} = (a, u)^T$,

$$B = \begin{pmatrix} -\frac{(x^{(1)}(1) + x^{(1)}(2))}{2}, & 1 \\ -\frac{(x^{(1)}(2) + x^{(1)}(3))}{2}, & 1 \\ \dots & \dots \\ -\frac{(x^{(1)}(n-2) + x^{(1)}(n-1))}{2}, & 1 \end{pmatrix} \quad (5)$$

$$Y_n = (x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), \dots, x^{(0)}(n))^T \quad (6)$$

由最小二乘法得:

$$\hat{a} = (B^T B)^{-1} B^T Y_n \quad (7)$$

因此, 方程(4)的解为

$$\hat{x}^{(1)}(t+1) = \left(x^{(0)}(1) - \frac{u}{a}\right)e^{-at} + \frac{u}{a} \quad (8)$$

对模型值进行累减运算得到原始序列的预测值

$$\hat{x}^{(1)}(t+1) = \left(x^{(0)}(1) - \frac{u}{a}\right)(e^{-a} - 1)e^{-a(t-1)} \quad (9)$$

由此可以看出, 在建立 GM(1,1)模型时, 是用

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

代替 $t+1$ 时刻的灰导数 $dx^{(1)}/dt$, 用均值生成的

$$w^{(1)}(t+1) = \frac{1}{2}(x^{(1)}(t+1) + x^{(1)}(t)) \quad (11)$$

代替背景值 $ax^{(1)}(t+1)$ 中的 $x^{(1)}(t+1)$ ，设

$$w^{(1)}(t+1) = a\hat{x}^{(1)}(t+1) + (1-a)\hat{x}(t+1) \tag{12}$$

$$\hat{x}^{(1)}(t+1) = -a\hat{w}^{(1)}(t+1) + u \tag{13}$$

$$\hat{x}^{(1)}(t+1) = \left(x^{(0)}(1) - \frac{u}{a}\right)e^{-at} + \frac{u}{a} \tag{14}$$

2.3. GM(1,1)模型的适用范围

GM(1,1)模型的适用范围如表 1 所示。

Table 1. Applicability of the GM(1,1) model
表 1. GM(1,1)模型的适用范围

a 的范围	适用情形
$-0.3 \leq a$	中长期预测
$-0.5 \leq a \leq -0.3$	短期预测
$-0.8 \leq a \leq -0.5$	慎用短期预测
$-1 \leq a \leq -0.8$	适合残差修正模型
$a \leq -1$	不适用 GM(1,1)模型

2.4. GM(1,1)模型的检验

在使用 GM(1,1)模型对系列进行预测前，通常采用残差检验法和后验差检验法来对模型进行精度检验。

残差检验法：设残差序列为 $E = [e(1), e(2), \dots, e(k)]$ ，其中 $E(k) = x^0(k) - \hat{x}^{(1)}(k), k = 1, 2, 3, \dots, n$ 。计算出

$$\tau(k) = \frac{|E(k)|}{x^{(1)}(k)}, k = 1, 2, 3, \dots, n \tag{15}$$

对于 $\tau(k)$ ，一般要求 $\tau(k) < 20\%$ 为合格， $\tau(k) < 10\%$ 为优秀。

后验差检验法：GM(1,1)模型的后验差检验以残差序列的分布作为研究对象，检验其概率分布特征。 $x(0)$ 的方差用 s_1^2 表示， E 的方差用 s_2^2 表示，求出后验差比值 C 和小误差概率 P ：

$$C = \frac{S_1}{S_2} \tag{16}$$

$$P = P\{ |e(k-e)| < 0.6745S_1 \} \tag{17}$$

C 和 P 的取值是评判 GM(1,1)模型的重要指标。原始序列 $S^{(0)}$ 的离散程度由 S_1 反映出来，预测值序列 $\hat{x}^{(0)}$ 的离散程度由 S_2 反映出来。根据 C 和 P 的取值大小，可以综合地判断 GM(1,1)模型地预测精度，具体对应精度如表 2 所示。

Table 2. Accuracy classification reference table of the GM(1,1) model
表 2. GM(1,1)模型的精度等级参照表

级别	后验差比值 C	小误差概率 P
良好	<0.35	>0.95
合格	<0.50	>0.80

续表

基本合格	<0.65	>0.70
不合格	≥0.65	≤0.70

如果 GM(1,1)模型的拟合检验值比较好,说明其预测精度比较好,就可以使用该模型预测新的数据;反之,不能使用 GM(1,1)模型预测数据。

3. 江苏省农工服三产业能源消耗量预测及分析

3.1. 江苏省农工服三产业能源消耗量模型的构建

根据国家统计局中国统计年鉴数据的显示,2014~2020 年期间江苏省三产业的能源消耗总量如下表 3 所示(单位:万吨标准煤)。

由图表可以绘制成如图 1 的折线图。

Table 3. Total energy consumption of the three major industries in Jiangsu Province from 2014 to 2020 (Unit: 10,000 Tons of Standard Coal)

表 3. 江苏省 2014 年~2020 年三产业能源消耗总量(单位:万吨标准煤)

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
第一产业	462.61	518.11	535.70	546.02	564.25	550.24	542.54
第二产业	23495.75	23633.8	23937.52	23830.06	23294.72	23900.93	23902.59
第三产业	5904.67	6222.23	6736.49	7226.23	7776.23	8074.80	8227.36

注:2021 年后官方数据未发布。

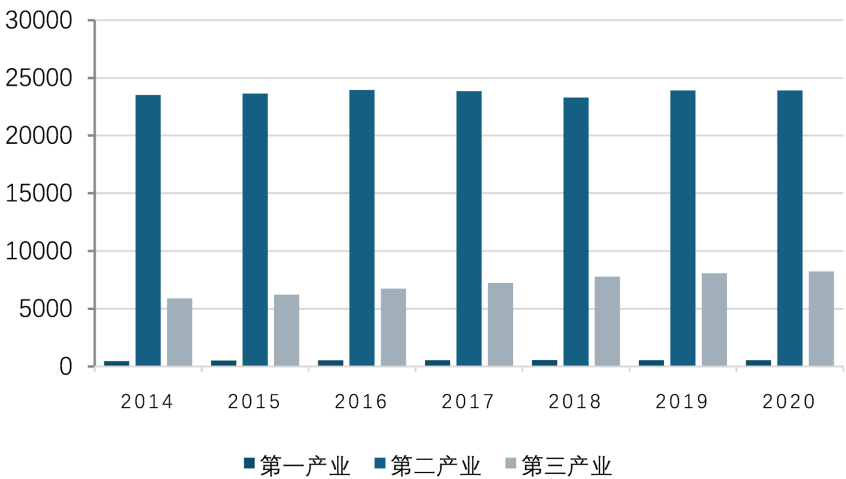


Figure 1. Total energy consumption of the three major industries in Jiangsu Province from 2014 to 2020 (Unit: 10,000 Tons of Standard Coal)

图 1. 江苏省 2014 年~2020 年三产业能源消耗总量(单位:万吨标准煤)

- (1) 原始序列: $x^{(0)} = (29863.03, 30374.14, 31209.71, 31602.09, 31635.2, 32525.97, 32672.49)$;
- (2) 将原始序列 $x^{(0)}$ 进行一次累加运算后得到累加序列:
 $x^{(1)} = (29863.03, 60237.17, 91446.88, 123048.97, 154684.17, 187210.14, 219882.63)$;
- (3) 将 $x^{(0)}$ 和 $x^{(1)}$ 代入模型的矩阵中,用最小二乘法可求出发展系数 $a = -0.013934086$, 灰色作用量 $u = 29947.912$, 代入公式,得到江苏省三产业能源消耗量灰色预测模型为:

$$\hat{x}^{(1)}(t+1)=2179118.56e^{-0.013934086t}-2149255.53$$

(4) 模拟值 = (29863.03, 30576.55965, 31005.59826, 31440.65698, 31881.82027, 32329.1738, 32782.80443), 残差 = 2.986608875, 评价相对误差 0.010001%。

3.2. 江苏省农工服三产业能源消耗量模型的检验

由上述分析结果可知，GM(1,1)模型的发展系数 $-0.3 \leq a$ 之间，适合中长期预测。根据模拟值和原始数据列所求残差检验，得到检验结果如表 4。模型的 $\tau(k)$ 为 0.010001%，因此相对误差小，适合用于江苏省三产业能源消耗预测。

Table 4. Error test table of prediction model for Jiangsu Province’s three industries energy consumption data from 2014 to 2020
表 4. 江苏省 2014~2020 年三产业能源消耗总量数据预测模型误差检验表

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
实际值	29863.03	30374.14	31209.71	31602.09	31635.2	32525.97	32672.49
预测值	29863.03	30576.56	31005.60	31440.66	31881.82	32329.17	32782.80
残差	0	-202.42	204.11	161.43	-246.62	196.80	-110.31
相对误差	0	0.007	0.007	0.005	0.008	0.006	0.003

根据模拟值和原始数据计算后验差比值 C 和小误差概率 P ，得到检验结果如表 5。三产业后验差比值 C 分别满足合格、良好、良好的级别，小误差概率 P 分别满足合格、良好、基本合格的级别，而三产业总量后验差比值 C 和小误差概率 P 满足良好、合格的级别，各产业间的误差存在抵消效应，使总量预测更加稳定，总量预测显著高于单产业预测。整体来看，预测模型精度较高，适合用于江苏省三产业能源消耗预测。

Table 5. Posterior difference ratio and small error probability of the prediction model for the total energy consumption of the three industries in Jiangsu Province from 2014 to 2020
表 5. 江苏省 2014~2020 年三产业能源消耗总量数据预测模型后验差比值和小误差概率表

	三产业总量	第一产业	第二产业	第三产业
后验差比值 C	0.16	0.42	0.18	0.38
小误差概率 P	0.86	0.86	0.95	0.78

3.3. 江苏省农工服三产业能源消耗量预测

根据模型对江苏省 2021~2025 年三产业能源总消耗量和三产业各自消耗量分别进行预测，结果如下表 6 所示。

Table 6. Forecast of energy consumption for the three major industries in Jiangsu Province from 2021 to 2025 (Unit: 10,000 Tons of Standard Coal)
表 6. 江苏省 2021~2025 年三产业能源消耗预测表(单位：万吨标准煤)

年份	三产业总量预测量	第一产业预测量	第二产业预测量	第三产业预测量
2021	33242.80022	561.1520566	23780.23958	8922.529334
2022	33709.2505	566.5275953	23800.28344	9433.263684
2023	34182.24583	571.9546289	23820.34419	9973.23297
2024	34661.87806	577.4336505	23840.42186	10544.11063
2025	35148.2403	582.9651582	23860.51644	11147.66589

由表可以得出江苏省三产业能源消耗的灰色预测模型如表 7 所示。

Table 7. Grey prediction model of energy consumption for the three major industries in Jiangsu Province from 2021 to 2025
表 7. 江苏省 2021~2025 年三产业能源消耗灰色预测模型

产业	灰色预测模型
第一产业	$\hat{x}^{(1)}(k) = 55321.7696e^{0.009533877(k-2014)} - 54859.15965$
第二产业	$\hat{x}^{(1)}(k) = 28117849.6e^{0.000842524(k-2014)} + 28094353.83$
第三产业	$\hat{x}^{(1)}(k) = 106218.73e^{0.055662669(k-2014)} - 105714.0306$

3.4. 江苏省农工服三产业能源消耗量预测结果比较分析

从 2021 年至 2025 年，江苏省三产业能源消耗总量呈现持续增长趋势，年均增长率约为 1.4%。预测总量从 2021 年的 33,242.80 万吨标准煤增至 2025 年的 35,148.24 万吨标准煤，反映了经济活动的持续扩张和能源需求的刚性增长。

第一产业能耗预测量从 561.15 万吨增长至 582.97 万吨，年均增长率约 0.96%。增速平缓，表明农业领域的能耗受技术升级或规模限制，增长空间有限。第二产业能耗预测量从 23,780.24 万吨增至 23,860.52 万吨，年均增长率仅 0.08%。几乎停滞的增长趋势可能源于工业结构调整(如高耗能产业减产)、能效提升或绿色转型政策的推进。第三产业能耗预测量从 8,922.53 万吨大幅增至 11,147.67 万吨，年均增长率约 5.7%。增速最快，凸显服务业(如金融、物流、数字经济等)成为能源消耗的新增长点，可能与城市化进程加速、消费升级密切相关。其中第二产业占比下降，从 2021 年的 71.5%降至 2025 年的 67.9%，反映工业在经济中的比重可能降低。而第三产业占比上升，从 26.8%提升至 31.7%，与江苏省“服务业强省”战略相符，符合经济转型的典型特征。

折线图如图 2 所示：

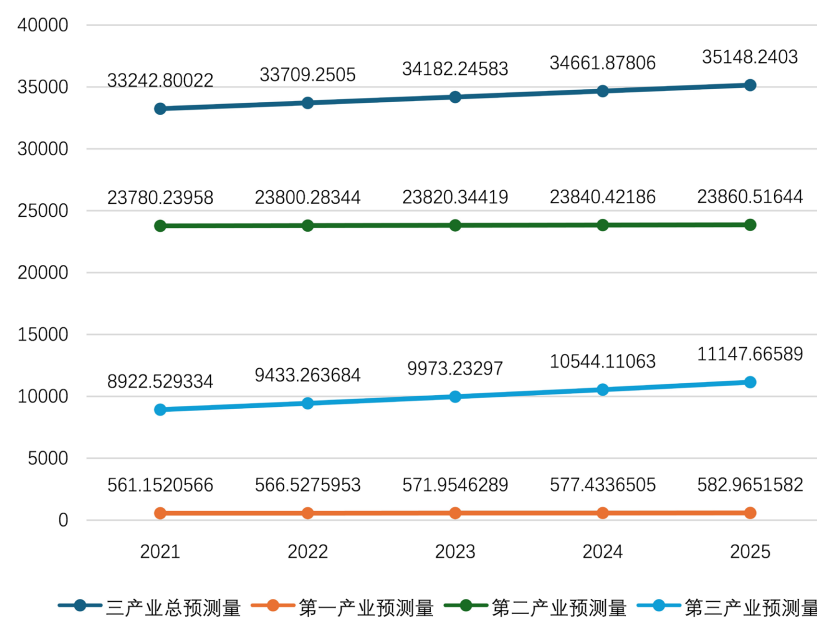


Figure 2. Forecast of energy consumption of the three major industries in Jiangsu Province from 2021 to 2025

图 2. 江苏省 2021~2025 年三大产业能源消耗预测图

由图 2 可以看出, 各产业能源消耗呈稳步增长趋势, 各产业能源消耗占比也相对稳定, 没有明显起伏, 预测未来几年也将会保持这样的发展趋势, 将能源更充分高效利用。

江苏省三大产业所得出的预测值基本保持稳定趋势, 其所占比例也相对稳定不变。农业作为第一产业, 其能源消耗量始终保持在一个较低的水平, 大约占三产业总能源消耗水平 1.67%, 其趋势略有降低, 第二产业工业占据三产业总能源消耗的大部分, 大约占 70%, 随着绿色发展要求的普及, 第二产业能源消耗趋势也略有降低, 最后是第三产业, 主要为服务业, 服务业近年来保持持续发展的趋势, 占据不到 20% 的比例。江苏省三大产业总能源消耗量略有上升, 但是涨幅不大, 保持水平稳定。

4. 结论

本文基于 2014~2020 年《中国统计年鉴》中江苏省三大产业的能源消耗量数据, 运用灰色 GM(1,1) 预测模型对其未来发展趋势进行建模分析。结果显示, 近年来各产业能源消耗量呈现稳定增长态势, 且在总消耗量中的占比相对均衡, 预判未来几年江苏省能源消耗水平将在现有基础上逐步上扬。鉴于此, 本文提出以下政策建议: 一是政府应引导产业结构向低能耗、低污染、高附加值方向转型, 降低能源密集型产业占比; 二是大力推广节能技术和设备, 提高太阳能、风能、生物质能等清洁能源及可再生能源的利用率; 三是科学规划城市交通、绿化等基础设施, 完善能源管理体系; 四是提升公众节能与环保意识及责任感, 以实现能源利用效率最大化, 促进经济效益与生态效益协同发展。

参考文献

- [1] 张启敏. 灰色预测模型[J]. 宁夏大学学报(自然科学版), 2002, 23(2): 147-149.
- [2] 程文荣, 姚天祥. 产业结构对能源消费的影响分析——以江苏省为例[J]. 能源研究与信息, 2015, 31(3): 162-167.
- [3] 林建潮. 灰色预测模型在 Excel 中的实现及运用[J]. 中国医院统计, 2021, 28(3): 286-288.
- [4] 谢乃明. 灰色预测: 思想、方法与应用[J]. 南京航空航天大学学报(社会科学版), 2022, 24(4): 11-18.
- [5] 苏琪, 王海波, 施晓辰, 等. 基于灰色预测模型的参数寻优方法及能源预测应用[J]. 南昌大学学报(理科版), 2022, 46(3): 371-378.
- [6] 适越通, 秦华, 白成昊, 等. 混合灰色预测模型 HGM(1, 1) [J]. 山东理工大学学报(自然科学版), 2022, 36(3): 82-86.
- [7] He, X.B., Wang, Y., Zhang, Y.Y., Ma, X., Wu, W.Q. and Zhang, L. (1999) A Novel Structure Adaptive New Information Priority Discrete Grey Prediction Model and Its Application in Renewable Energy Generation Forecasting. *Economic Systems Research*, 11, 423-438.