

基于 SEEA 的绿色 GDP 核算相关性及预测分析

董涵¹, 邹明华², 李露², 李艳³

(1.厦门大学嘉庚学院信息科学与技术学院, 福建漳州 363105; 2.福州理工学院
计算与信息科学学院, 福建福州 350506; 3.福州理工学院经济管理学院, 福建福州 350506)

摘要: [目的] 探索环境变量与经济的相互影响关系, 研究绿色 GDP (GGDP) 和 GDP 的趋势关系并预测未来趋势变化, 分析 GGDP 替代 GDP 作为政策指标的可行性, 为推进区域可持续发展提供科学指导。[方法] 基于联合国综合环境与经济核算体系 (system of integrated environmental and economic accounting, SEEA), 采用相关性分析方法, 根据经济结构、发展水平和政策制度的不同选取了 6 个具有代表性国家的环境因素, 与 GDP 进行了相关性分析, 并使用一元线性回归方程对各国的 GDP 与 GGDP 进行拟合分析; 利用 ARIMA, Holt-Winters 和灰度 GM(1,1) 模型对 GGDP 和 GDP 数据进行预测分析。通过模型误差对比分析最优预测结果。[结果] 在经济发展的前期, GDP 与 GGDP、环境呈现负相关。随着可持续发展的经济结构完善, 负相关逐步趋于缓和, 最终实现回暖, 呈现 U 形趋势。预测分析结果得出 ARIMA 模型最适合预测 GDP, Holt-Winters 模型最适合预测 GGDP, 且两者均呈现增长趋势, 但 GGDP 增速不及 GDP 增速。[结论] 结合中国实际情况, 建议中国经济核算指标从 GDP 转向 GGDP, 且应加大环境经济投入, 有助于实现经济、社会和环境的可持续发展, 建设资源节约型和环境友好型的可持续发展社会。

关键词: 绿色 GDP (GGDP); 相关性分析; 可持续性理念; 未来预测; 环境与经济核算体系 (SEEA)

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2024)02-0187-09

中图分类号: X196, F062.2

文献参数: 董涵, 邹明华, 李露, 等. 基于 SEEA 的绿色 GDP 核算相关性及预测分析[J]. 水土保持通报, 2024, 44(2): 187-195. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2024.02.020; Dong Han, Zou Minghua, Li Lu, et al. Correlation and predictive analysis of green GDP accounting based on system of integrated environmental and economic accounting [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2024, 44(2): 187-195.

Correlation and Predictive Analysis of Green GDP Accounting Based on System of Integrated Environmental and Economic Accounting

Dong Han¹, Zou Minghua², Li Lu², Li Yan³

(1.School of Information Science & Technology, Xiamen University

Tan Kah Kee College, Zhangzhou, Fujian 363105, China; 2.School of Computing and

Information Science, Fuzhou Institute of Technology, Fuzhou, Fujian 350506, China;

3.School of Economics and Management, Fuzhou Institute of Technology, Fuzhou, Fujian 350506, China)

Abstract: [Objective] The interaction between environmental variables and economy was determined. The relationship between green GDP (GGDP) and GDP and future trend were studied, and the feasibility of replacing GDP with GGDP as a policy indicator was analyzed in order to promote the implementation of sustainable development. [Methods] Based on system of integrated environmental and economic accounting (SEEA), the correlations between environmental factors and GDP were determined for six representative countries differing in economic structure, development level, and policy system. A univariate linear regression equation was used to fit and analyze the GDP and GGDP of each country. The ARIMA, Holt-Winters, and grayscale GM (1,1) models were used to predict and analyze the GGDP and GDP data, and the optimal prediction results were analyzed by comparing the model errors. [Results] In the early stage of economic development, GDP showed a negative correlation with GGDP and environment. With the

收稿日期: 2023-06-07

修回日期: 2023-09-14

资助项目: 福建省中青年教育科研项目“基于稳定性分析的修改引力理论宇宙动力学演化研究”(JAT210609); 厦门大学嘉庚学院校级科研孵化项目(PY2023L01)

第一作者: 董涵(1986—), 男(汉族), 福建省福州市人, 硕士, 讲师, 主要从事人工智能和大数据分析方面的研究。Email: donghan@mail.nankai.edu.cn.

improvement of sustainable economic structure, the negative correlation gradually eased, and finally achieved recovery, showing a U-shaped trend. The results of the predictive analysis showed that the ARIMA model was best for predicting GDP, and the Holt-Winters model was best for predicting GGDP. Both GDP and GGDP showed a growth trend, but the growth rate of GGDP was not as fast as GDP. [Conclusion] It is suggested that, combined with China's actual situation, China's economic accounting indicator should shift from GDP to GGDP, and should increase environmental and economic investment, thereby achieving sustainable economic, social, and environmental development, and building a resource-saving and environment-friendly sustainable development society.

Keywords: Green GDP; correlation analysis; sustainability concept; future prediction; system of integrated environmental and economic accounting (SEEA)

在全球环境问题日益严重的背景下,绿色国民经济(简称“GGDP”)的核算方式越来越受到各国政府和学者的重视。将 GGDP 纳入国家治理体系可以提高国家治理能力的发挥,推动经济和环境的协调发展。中国作为制造业大国,在未来的经济发展中,很可能会受到环境和能源等多重因素的影响,因此发展绿色国民经济^[1]势在必行。20 世纪以来,不少学者对联合国的国民经济核算体系进行了许多改革和尝试。如考虑经济增长和资源耗损状况的国内生产净值(NDP)等^[2],为今后的 GGDP 核算积累了经验。经过长时间的研究,在 1993 年时,联合国综合环境与经济核算体系(SEEA)^[3]正式提出了“环境调整后的国内生产总值”概念,即“GGDP”,开启了 SEEA 核算体系的探索与建设之路。随后,联合国又分别在 2000,2003 和 2012 年发布了 SEEA(2000),SEEA(2003)和 SEEA(2012)等版本,不断完善和优化核算方法^[4]。其中,SEEA(2012)提出的 GGDP 核算体系被广泛采用。

GGDP 是指综合环境经济核算体系中的核心指标,在 GDP 基础上融入资源和环境的因素^[5-6]。相比于 GDP 能够更好地体现出扣除由于环境治理的损耗、自然资源的退化、管理方法不善等因素引起的经济损失成本后的生产总值。在 2004 年,国家统计局和原环境保护部联合公布《中国绿色国民经济核算研究报告(2004 年)》^[7],正式开启了 GGDP 1.0 项目。这一项目旨在探索如何将环境因素纳入国民经济核算体系,以评估经济增长的环境效益和可持续性。随后,在 2016 年,原环境保护部宣布开展了 GGDP 2.0 研究,着重开展了环境成本与环境效益核算、环境容量核算、生态系统与生产总值核算以及经济绿色转型政策试点。2018 年发布了《2015 年中国经济—生态生产总值核算研究》^[8]。该研究报告对 2015 年中国经济的生态生产总值进行了核算和分析,以评估经济增长与生态环境之间的关系。2013 年起中国各级政府政绩考核将不能再唯 GDP 论英雄^[9],否决了 GDP 一

票论的做法。随着环境逐渐恶化,人们需要以 GGDP 去引导改变这一现状^[10-11]。这种迫切的需要让人们在发展经济的过程中不再只关注经济效益,同时需要对环境进行相应的保护^[12]。在这一背景下,本研究将从对环境危害缓解产生的显著性影响的角度出发^[13-15],以 SEEA 分析框架为基础进行 GGDP 核算,探索环境变化与经济相互影响关系;采用相关性分析模型,对 GGDP,GDP 与环境关系进行相关性分析。在此之上本文采用预测模型,对 GDP 和 GGDP 进行预测,并结合三者的关系,分析得出最终环境与经济的相互关系。

1 数据来源

本文是针对 GGDP,GDP 与环境关系的研究,根据经济水平和环境等因素选择具有代表性的国家作为研究对象。具体国家如表 1 所示。这些国家由于经济结构,发展水平和政策制度的不同,导致其 GGDP 和 GDP 的走势不同,分析这些国家的趋势对比有助于探索其背后的逻辑关系并以此制定适合中国的发展规划。

表 1 具有全球代表性的被研究国家名目

Table 1 Globally representative list of countries studied

国家名称	地区	国家发展类型
美国	北美洲	发达国家
中国	亚洲	发展中国家
日本	亚洲	发达国家
英国	欧洲	发达国家
印度	亚洲	发展中国家
澳大利亚	大洋洲	发达国家

数据来源于世界银行^[16]和 EPS 官网^[17]的统计,选取 1990—2020 年的 GGDP 评价指标体系数据,根据核算模型求解出 GGDP 数值。同时为了更好地研究 GGDP,将选取如下 11 项指标的相关数据(表 2)。

表 2 GGDP 评价指标体系
Table 2 Evaluation index system of GGDP

账户类型	指标	数据来源	指标属性	指标符号
传统国民经济	传统 GDP	世界银行	正向指标	—
	一氧化氮排放量(10^3 t 二氧化碳当量)	世界银行	负向指标	X_1
	二氧化碳排放量/ 10^3 t	世界银行	负向指标	X_2
	甲烷排放量(10^3 t 二氧化碳当量)	世界银行	负向指标	X_3
自然资源 耗减价值	森林面积减少量(占土地面积的百分比)	世界银行	负向指标	X_4
	森林资源净损耗(占 GNI 的百分比)	世界银行	负向指标	X_5
	森林租金(占 GDP 的百分比)	世界银行	负向指标	X_6
	耕地(占土地面积的百分比)	世界银行	负向指标	X_7
	农业用地(占土地面积的百分比)	世界银行	负向指标	X_8
环境治理投入	环境治理与保护/万元	EPS 官网	负向指标	—
	“三废”综合利用产品产值/万元	EPS 官网	正向指标	—
生态保护效益	工业固体废物综合利用量/ 10^4 t	EPS 官网	正向指标	—

2 理论分析框架

本研究基于联合国统计委员会 SEEA 框架,采用环境经济学和 GGDP 理论,旨在优化环境问题。通过主成分分析求解出能够对环境问题缓解产生可衡量的 GGDP 计算方式(即 GGDP 的计算方式)。将自然资源耗减价值方面的数据进行降维处理,同时给出了对应的权重系数。基于此计算方式,本文构建了一套综合环境影响指数体系。然后根据 SEEA 方法将各主要行业的环境影响指数转化为经济价值,从而得到该地区可衡量的 GGDP 计算结果。探索环境变化与经济相互影响关系;采用相关性分析模型,对 GGDP、GDP 与环境关系进行相关性分析。为了能够证实本文构建 GGDP 的通用性,将对选取的代表性国家进行相关关系的分析,接着对 GDP 与 GGDP 进行拟合处理,基于此得出 GDP、GGDP 与环境之间的关系。

为了能够验证用 GGDP 去取代 GDP 这一转变是值得的,根据收集到的数据,判断是否能够满足时间序列的平稳性,然后通过预测模型对未来的发展趋势进行预测。再通过线性回归方程来表示出在未来的 GDP 与 GGDP 的相关性,得出未来的绿色发展情况。

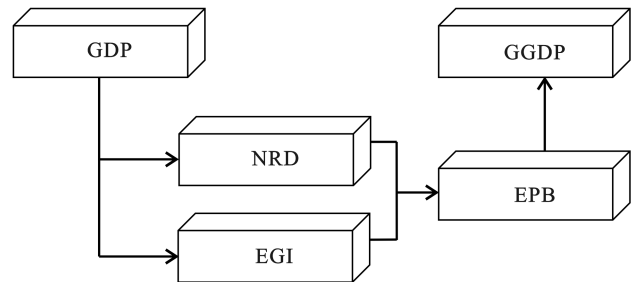
2.1 GGDP 计算公式

本研究将以 SEEA 分析框架为基础进行 GGDP 核算,具体计算公式为:

$$GGDP = GDP - NRD - EGI + EPB \quad (1)$$

式中:GGDP(green gross domestic product)为绿色国民经济;NRD(natural resource depletion of value)为自然资源耗减价值;EGI(environmental governance inputs)为环境治理投入;EPB(ecological protection bene-

fits)为生态保护效益。其计算体系如图 1 所示。对于 GDP、EGI、EPB 都可查询到直接评判的指标,而对于 NRD 则需要进一步的评估。考虑环境污染成本调整的 GGDP 核算体系^[7],本文将通过主成分分析模型求解出 NRD。



注:GGDP 为绿色国民经济;NRD 为自然资源耗减价值;EGI 为环境治理投入;EPB 为生态保护效益。下同。

图 1 GGDP 计算体系流程图

Fig.1 Flowchart of GGDP calculation system

2.2 构建主成分分析模型评估 NRD

主成分分析^[18](PCA)一种降维算法,能将多个指标转换为少数几个主成分,这些主成分是原始变量的线性组合,且彼此之间互不相关,因此可以用在对指标赋权的方向上。而主成分法赋权主要是通过数据自身的特征情况来确定权重大小,是一种完全客观的定量分析方法。对于自然资源耗减价值(NRD)我们选取表 2 中的 8 项指标 $X_1 - X_8$,分别是一氧化氮排放量、二氧化碳排放量、甲烷排放量、森林面积减少量、森林资源净损耗、森林租金、耕地、农业用地来做主成分分析。

2.3 构建相关性系数与回归方程

为了能够使 GGDP 能够作为衡量一个国家经济

健康的重要指标,对表 1 中具有代表的国家的 GDP 和 GGDP 的各项指标进行相关性分析,并研究 GGDP 对减缓气候变化产生的影响。探究它们环境量与经

济的相关性关系,接着通过线性回归方程对 GDP 和 GGDP 进行拟合,得出其环境与 GGDP 的线性关系,具体流程如图 2 所示。

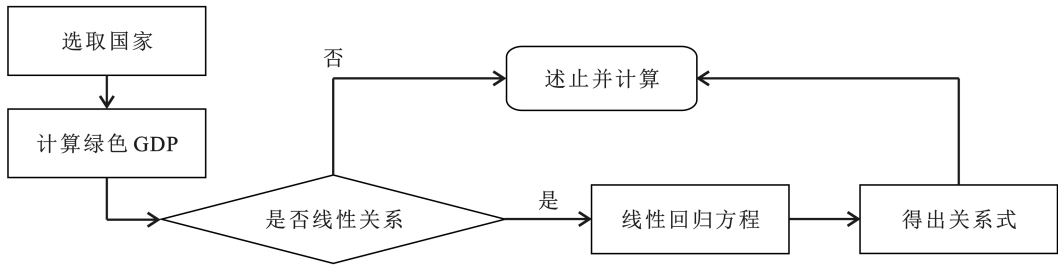


图 2 探究 GGDP 与 GDP 关系的流程图

Fig.2 Flowchart of exploring relationship between GGDP and GDP

2.3.1 Kendall's tau-b 等级相关系数 Kendall's Tau-b 等级相关系数^[19]用来检验两个随机变量的相关性,通过使用计算得到的相关系数来检验两个随机变量的依赖性。

$$\text{Tau-b} = \frac{C - D}{\sqrt{(N_3 - N_1)(N_3 - N_2)}} \quad (2)$$

$$N_1 = \sum_{i=1}^s \frac{1}{2} U_i (U_i - 1) \quad (3)$$

$$N_2 = \sum_{i=1}^s \frac{1}{2} V_i (V_i - 1) \quad (4)$$

$$N_3 = \frac{1}{2} N(N - 1) \quad (5)$$

式中: C 为向量 X_i 中一致性元素的对数; D 为向量 X_i 中不一致性元素的对数; U 代表不一致的对数等级差数对数量; V 代表一致的对数等级差数对数量; N 代表总共的对数等级差数对数量。

2.3.2 一元线性回归方程 如果只有一个自变量 x_i , 而且因变量 y_i 和自变量 x_i 之间的数量变化关系呈近似线性关系, 就可建立一元线性回归方程, 由自变量 x_i 的值来预测因变量 y_i 的值, 这就是一元线性回归预测^[20]。 y_i 和 x_i 之间的依存关系可表示为:

$$y_i = \alpha + \beta x_i + \epsilon_i \quad (6)$$

公式(6)是总体的一元线性回归模型。其中 α, β 是常数。随机扰动项 ϵ_i 是无法直接预测的随机变量。在此将 GGDP 与 GDP 分别设为 y_i 与 x_i 的样本回归方程, 其表达式为:

$$y_i = a + b x_i \quad (7)$$

3 结果计算与方法对比

3.1 理论框架的结果计算

本文将收集数据进行主成分分析, 其根据 KMO 检验结果 0.875, 和 Bartlett 球形检验结果中显著性 p 值为 0.000, 呈现显著性, 说明各指标之间具有相关

性。主成分对于变量解释的贡献率, 一般都要达到 85% 以上才可以, 否则就要重新调整因子数据, 其方差解释率如表 3 所示。

表 3 主成分分析法的方差解释

Table 3 Variance explanation in principal component analysis

成分符号	特征根		
	特征根	方差解释率/%	累积方差解释率/%
X_1	4.282	53.528	53.528
X_2	2.478	30.976	84.503
X_3	0.554	6.925	91.428
X_4	0.326	4.071	95.499
X_5	0.240	3.000	98.499
X_6	0.062	0.774	99.274
X_7	0.038	0.476	99.749
X_8	0.020	0.251	100.000

得出特征根对应的数据, 而特征根是将每一个主成分为一个点, 通过“坡度趋于平缓”的未知判断确定主成分的数量。为了更好地体现出“坡度”的倾斜程度, 将特征根的数据, 通过碎石图(图 3)来展示。

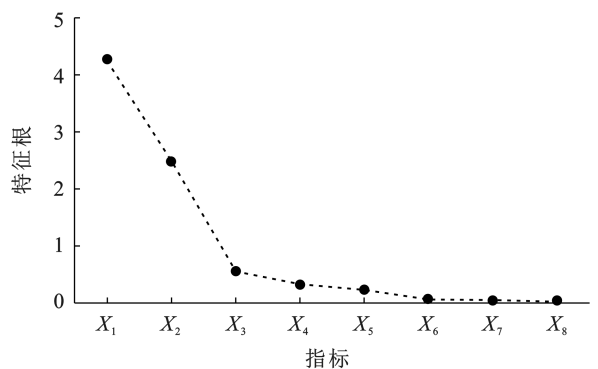


图 3 特征根碎石图

Fig.3 Characteristic root gravel diagram

根据方差解释表 3 和碎石图 3 可得, 当成分为 X_3 时, 变量解释的贡献率达到 91.428%。最终得出模型公式, 即自然资源消耗价值(F)为:

$$F = 0.178X_1 + 0.005X_2 + 0.054X_3 + 0.023X_4 + 0.218X_5 + 0.219X_6 + 0.227X_7 + 0.226X_8 \quad (8)$$

根据主成分的方差贡献率,再进行归一化得到各指标权重。

根据各项指标权重表 4 可知,森林租金、耕地、农业用地是在选取的 8 项指标中,所占比例较大的。对于自然资源耗减价值起到关键的影响。根据 SEEA 框架,自然资源是计算 GGDP 的重要组成部分之一。

而森林租金、耕地、农业用地是自然资源耗减价值的主要影响因素,它们的变化直接影响到自然资源的总量和质量。

根据 GGDP 核算公式(1)可知森林租金、耕地、农业用地也将会影响到 GGDP 的发展。根据公式(2)一(5)计算 Kendall's Tau-b 等级相关系数,计算求得各国环境情况与 GDP 相关性,通过 Origin 软件进行可视化处理(如图 4 所示)。

表 4 基于主成分分析算法的各项指标权重
Table 4 Various index weights accounted with PCA algorithm

指标	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8
权重	0.154 8	0.004 3	0.047 0	0.020 0	0.189 6	0.190 4	0.197 4	0.196 5

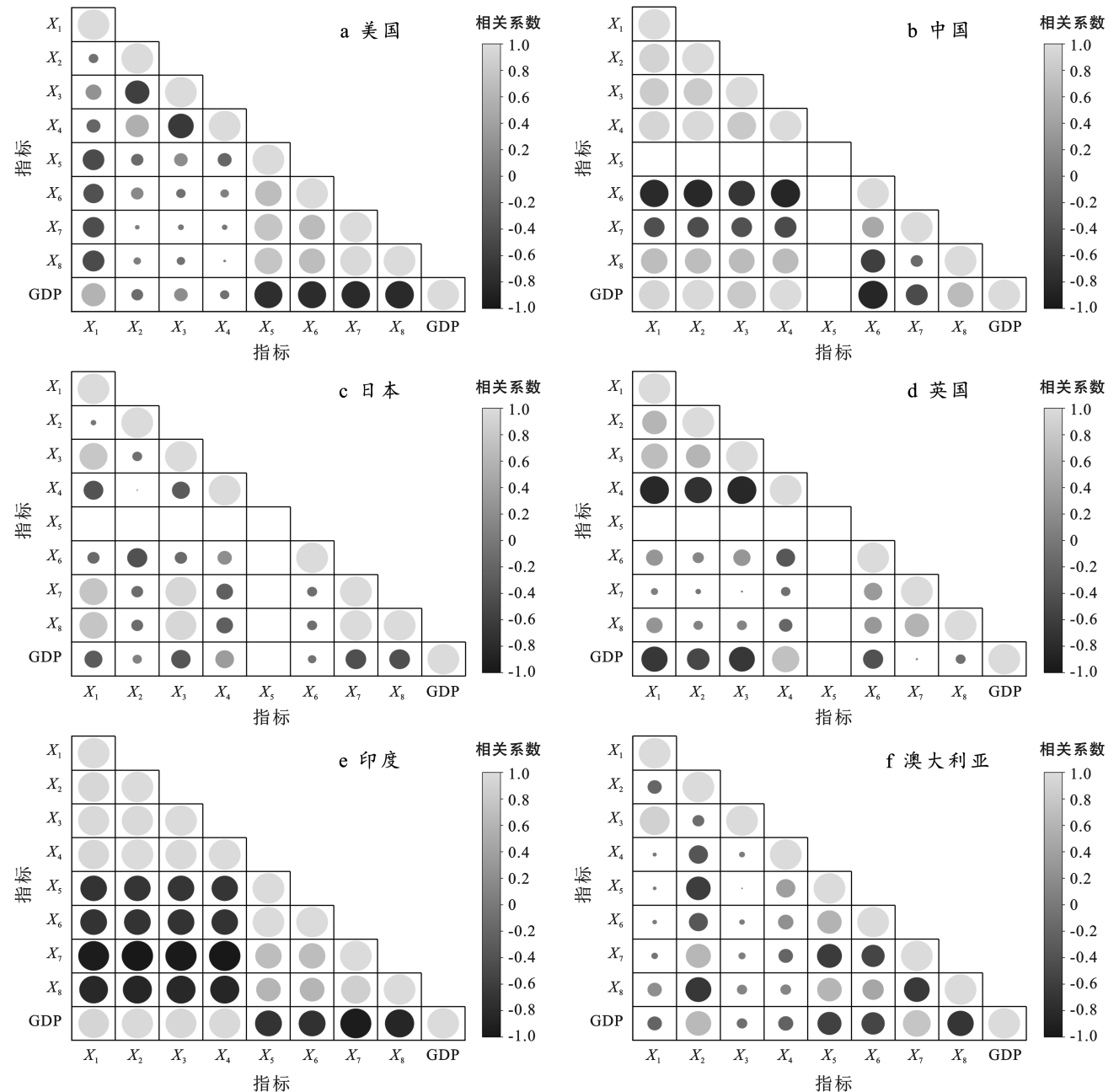


图 4 各国环境情况与其 GDP 的相关性分析热力图
Fig.4 Heat maps of correlation analysis between environment and its GDP of different countries

通过分析可知,在所选取的国家中,几乎每个国家的 GDP 都与环境量呈现出负相关。其中较为明显的是美国和英国。在此分析中我们发现了一个异常的现象,对于中国来说其 GDP 与环境量 X_1-X_8 整体呈现正相关。因此得到以下的结论:发达国家已经经过了污染时期,所以他们的环境量呈现关系不明显,而发展中国家正经历经济发展和环境污染的矛盾问题,所以发展中国家都在大力投入环境治理。使用一元线性回归方程对各国的 GDP(x)与 GGDP(y)进行拟合分析,根据公式(7)计算回归方程:

$$\text{美国: } y = -1.001x + 0.053 \quad (9)$$

$$\text{中国: } y = -0.076x + 0.033 \quad (10)$$

$$\text{日本: } y = -0.455x + 0.045 \quad (11)$$

$$\text{英国: } y = -0.390x + 0.042 \quad (12)$$

$$\text{印度: } y = -0.109x + 0.041 \quad (13)$$

$$\text{澳大利亚: } y = -0.359x + 0.049 \quad (14)$$

根据拟合图 5 分析得知,GGDP 与 GDP 呈现负相关,GGDP 相对 GDP 都在低位,若以 GGDP 为评判标准,将有助于推动对环境问题的干预作用。各国由于经济结构和发展水平不同,其走势也不尽相同。像日本经济平稳,环保技术发达,澳大利亚资源丰富,技术先进,对自然资源的破坏降低,GGDP 上升;中国、美国和印度大力发展经济导致 GGDP 被压低;而英国基于各种因素,比如脱欧,环保问题,导致其 GDP 与 GGDP 双双萎靡。这些国家的走势分析对中国可持续发展实现 GDP 与 GGDP 双增有指导意义,在环保和自然资源技术上向发达国家学习,不能过分依赖自然资源换取经济发展。

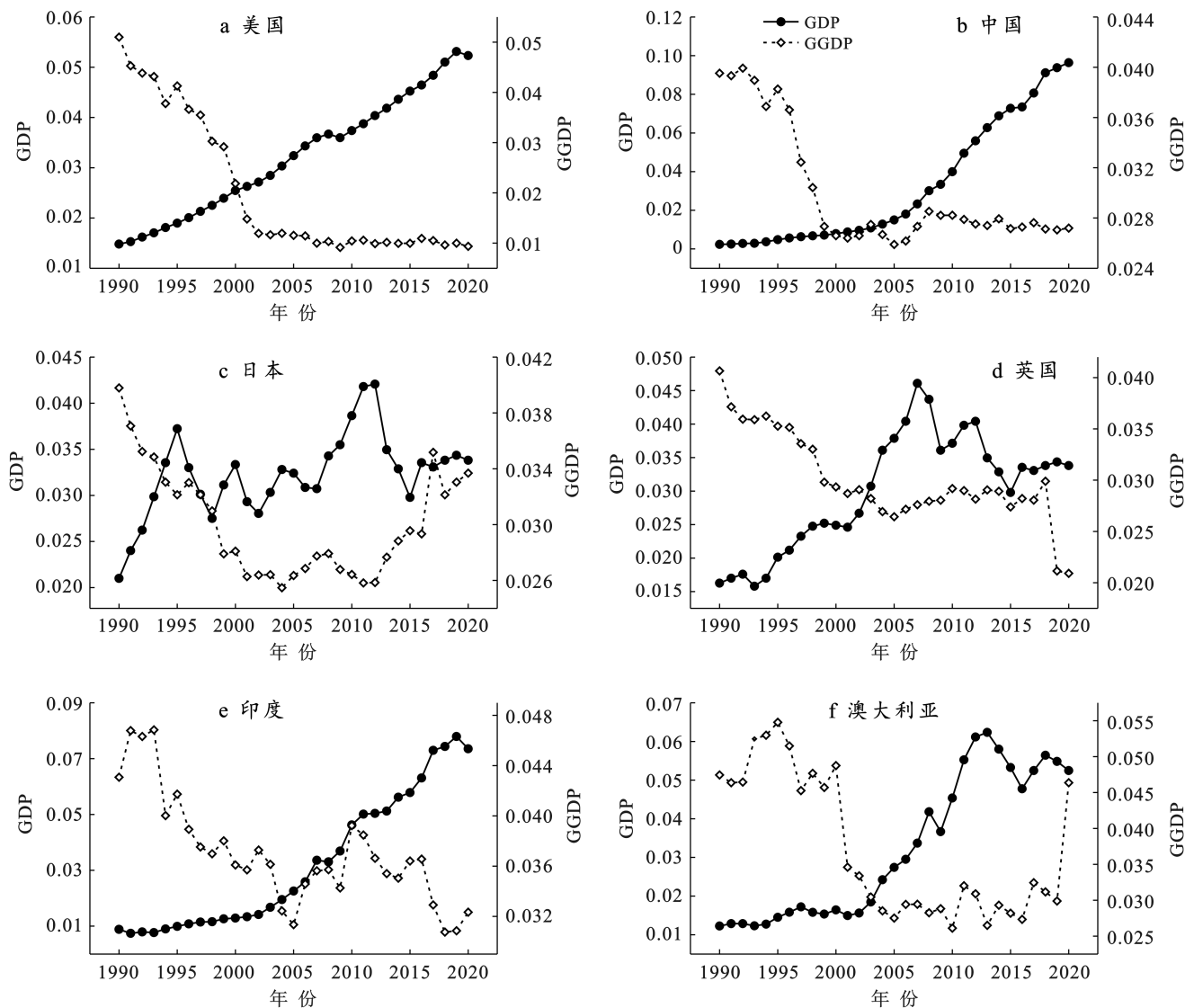


图 5 1990—2020 年各国 GDP 与 GGDP 的变化趋势

Fig.5 Changing trend of GDP and GGDP in different countries during 1990—2020

3.2 对比主成分分析模型与算术运算的差异

为了能够更确切地对比出结果,本文把主成分分析求解出的结果,与每一项的直接算术求和解出的结果的基本走势做对比。结果如图 6 所示。根据求解出的结果,发现主成分分析结果呈现出上涨的趋势,而算术求和结果却出现波折情况。因此我们猜测,在 1990—2020 年期间,出现了自然资源耗减价值的偶然现象,该现象将会直接影响到结果。而使用主成分分析法,能够确保每一个成分对于目标的影响大小,

从而求解出系数。为了能够验证猜想,本文查阅了历史资料,发现在 1994 年中国第一个外汇交易中心——深圳外汇交易中心成立,2000 年美股科网牛市走向泡沫破裂,以及 2007 年和 2016 年发生了金融大危机事件。在时间上,均与本文算术运算结果出现异常事件吻合。这些事件的发生,都会直接对自然资源耗减价值有着直接影响。因此为了能够避免在运算当中出现偶然性的发生,应当使用主成分分析求解。

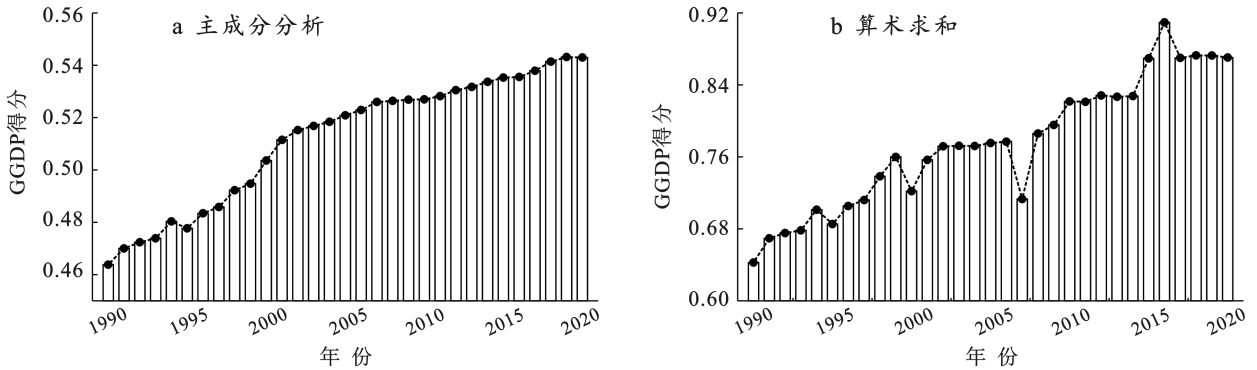


图 6 GGDP 主成分分析结果和算术求和结果

Fig.6 Results of principal component analysis and arithmetic sum on GGDP

4 预测分析

为了能够预测未来情况,在此将构建预测模型。基于 GDP 原始数据与主成分模型计算到的 GGDP 值(数据区间为 1990—2020 年)。由于数据量少,机器学习无法有效地进行学习,不能够有效地进行预测,故不能使用机器学习。为了能够对比出更加贴合事实结果,将采用多个算法,从 MAE, MSE 和 RMSE

三个角度来比较误差大小。相关的预测步骤如图 7 所示。

通过世界银行和 EPS 官网获取到的 GDP 数值,与通过 GGDP 核算公式求得到的数值,进行 ADF 检验。ADF 检验结果如表 5 所示。

对于 ADF 检验的结果,呈现显著性($p < 0.05$),该序列为一个平稳的时间序列。而传统的预测模型中,误差对比结果如表 6 所示。

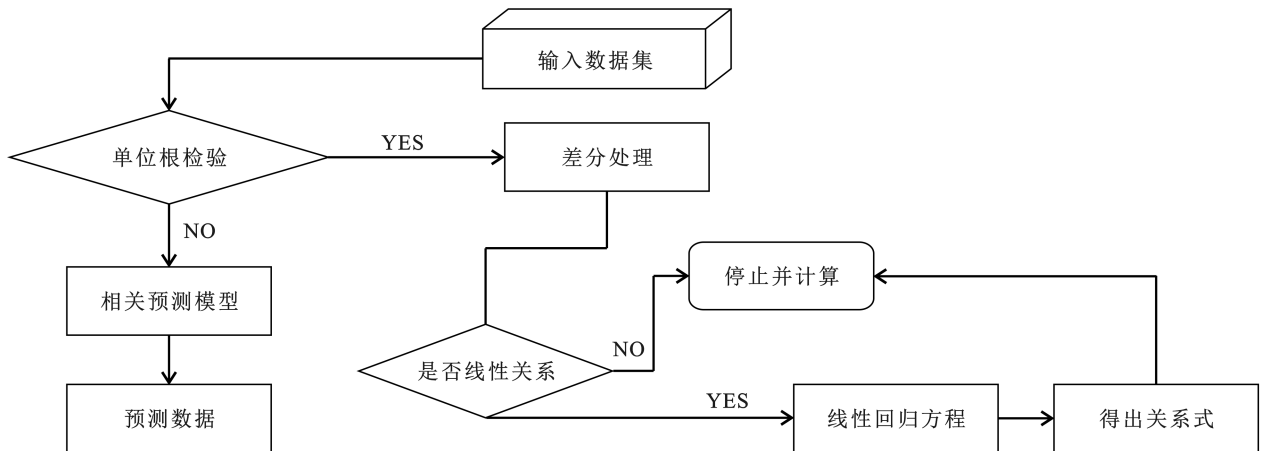


图 7 GDP 和 GGDP 的预测分析步骤流程图

Fig.7 Flow chart of predictive analysis steps of GDP and GGDP

表 5 对 GDP 和 GGDP 进行 ADF 检验的结果
Table 5 Results of ADF test for GDP and GGDP

项目	差分阶数	t	p	AIC	临界值		
					1%	5%	10%
GDP	0	0.541	0.986	-126.388	-3.689	-2.972	-2.625
	1	-3.970	0.002	-121.683	-3.689	-2.972	-2.625
	2	-4.046	0.001	-108.360	-3.738	-2.992	-2.636
GGDP	0	-2.483	0.120	-152.463	-3.670	-2.964	-2.621
	1	-0.993	0.756	-133.720	-3.711	-2.981	-2.630
	2	-4.984	0.000	-131.635	-3.711	-2.981	-2.630

表 6 多类型主流拟合算法的误差分析结果对比
Table 6 Comparison of error analysis results of various mainstream fitting algorithms

变量名称	算法名称	MAE	MSE	RMSE
GDP	Holt-Winters	0.009 3	0.002 1	0.011 5
	ARIMA	0.001 9	0.000 4	0.002 1
	GM(1,1)	0.014 5	0.003 1	0.017 2
GGDP	Holt-Winters	0.006 5	0.001 4	0.007 9
	ARIMA	0.015 3	0.002 8	0.015 6
	GM(1,1)	0.016 5	0.003 6	0.019 8

根据表 6 可得,对于 GDP, ARIMA^[21] 的误差最小;对于 GGDP, Holt-Winters^[22] 的误差最小,所以通过这两个算法来分别预测未来趋势,结果如图 8 所示。根据图 8 分析可得,在 GDP 呈上升趋势的环境下,GGDP 在 2010 年以前整体处于下降趋势,呈现出 U 形左半部分,意味着在经济快速增长的背景下,环境问题得到了较少的关注和重视。然而 2010—2020 年,中国各级政府提出了不再唯 GDP 论英雄的政策,开始更加注重环境保护和可持续发展。这些政策的实施促使中国的 GGDP 呈现出平缓回暖的趋势。并预估在 2020 年后,中国 GGDP 将呈现出上升趋势,出现如同澳大利亚国家一样的 U 形发展趋势。虽然 GGDP 增速远不及 GDP 增速,但对环境和经济的协同发展意义重大,改变了牺牲环境换取经济增速的模式,初步验证可持续发展的设想,未来更有必要加强环境产业来提高 GGDP 的增速。

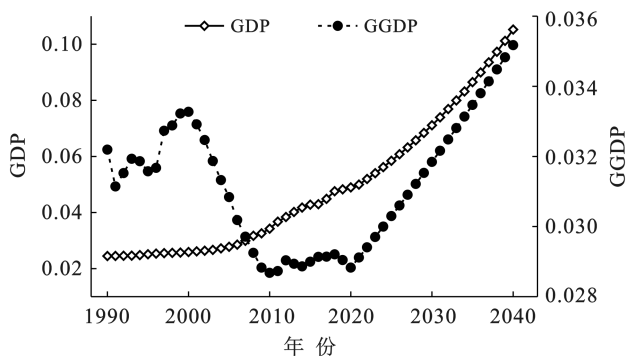


图 8 中国的 GDP 与其 GGDP 的预测走势

Fig.8 Forecasted trend of China's GDP and its GGDP

将这两组数据,通过线性回归模型分析。把传统 GDP 作为自变量,而将 GGDP 作为因变量进行求解,其 F 检验的显著性 p 值为 0.000,呈现显著性,回归系数不为 0,而对于变量共线性全部小于 10,因此没有多重共线性问题,模型成立且公式为:

$$y = -0.161x + 0.219 \quad (15)$$

5 结论

本研究根据联合国综合环境与经济核算体系 (SEEA),基于 1990—2020 年期间,对比分析发达国家和发展中国家近年来的 GGDP 变化情况得到以下结论:发达国家由于已经经过了严重污染时期,其环境和经济的相关性并不明显。例如日本和澳大利亚,在经济平稳下,减少对自然资源的破坏,从而提升了 GGDP。而发展中国家正处在经济高速发展阶段,面临经济发展和环境污染的矛盾。中国、印度等国家经济增长依赖于大量资源消耗,导致 GGDP 增长受到抑制。为此,发展中国家都在加大环境治理力度,实现经济可持续发展。英国作为发达国家,但近年来受脱欧等因素影响,其 GDP 和 GGDP 同时出现下滑。美国虽作为发达国家,但要实现经济高速发展,也不得不牺牲环境,其 GGDP 被压低。

对未来趋势的预测来看,中国的 GGDP 将实现 U 形上升,并与 GDP 一起增长,实现经济与环境的和谐发展,但 GGDP 的增速不及 GDP 增速。在 GGDP 的核算构成中,生态保护效益 (EPB) 是影响 GGDP 变化的主要因素。EPB 对于 GGDP 的发展起到积极推动的作用。绿色发展的关键还在于将生态资源价值进行经济转化,这符合中央从 1997 年的中共“十五大”到 2002 年中共“十六大”一直强调的可持续发展理念。因此,未来在推行 GGDP 政策的过程中,需要注重生态保护效益的提升以及生态资源的合理利用,以实现经济和环境的协调发展。

参考文献 (References)

- [1] 汪彬,刘晓阳,古晨光,等.创新要素对绿色经济的影响及空间效应研究[J].华东经济管理,2022,36(8):1-12.

- Wang Bin, Liu Xiaoyang, Gu Chenguang, et al. Research on the impact and spatial effect of innovative elements on green economy [J]. *East China Economic Management*, 2022, 36(8):1-12.
- [2] Callent. *Gross Domestic Product: An Economy's All* [M]. Washington D C, USA: International Monetary Fund, 2012.
- [3] 联合国.国民经济核算体系[M].国家统计局国民经济核算司译.北京:中国统计出版社,1995.
The United Nations. *System of National Economic Accounts* [M]. Translated by the National Economic Accounting Department of the National Bureau of Statistics. Beijing: China Statistics Press, 1995.
- [4] 邢琦,朱道林,王健.基于 SEEA 的自然资源资产核算指标的国际比较[J].*中国环境管理*, 2022, 14(1):68-77.
Xing Qi, Zhu Daolin, Wang Jian. International comparison of natural resource assets accounting indicators based on SEEA [J]. *Chinese Journal of Environmental Management*, 2022, 14(1):68-77.
- [5] 王红兵,刘怡君,宋大伟.运用智库双螺旋法构建绿色 GDP 评价体系[J].*中国科学院院刊*, 2022, 37(6):783-793.
Wang Hongbing, Liu Yijun, Song Dawei. Constructing green GDP evaluation system by using think tank double helix methodology [J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2022, 37(6):783-793.
- [6] 刘哲,裴云霞,包美玲,等.生态产品价值实现机制问题研究与案例剖析[J].*环境科学与技术*, 2022, 45(增刊 1):337-344.
Liu Zhe, Pei Yunxia, Bao Meiling, et al. Research and case analysis on the mechanism of realizing the value of ecological products [J]. *Environmental Science & Technology*, 2022, 45(S1):337-344.
- [7] 王金南,於方,曹东.中国绿色国民经济核算研究报告 2004[J].*中国人口·资源与环境*, 2006(6):11-17.
Wang Jinnan, Yu Fang, Cao Dong. Study report 2004 for green national economic accounting [J]. *China Population Resources and Environment*, 2006, 16(6):11-17.
- [8] 王金南,马国霞,於方,等.2015 年中国经济—生态生产总值核算研究[J].*中国人口·资源与环境*, 2018, 28(2):1-7.
Wang Jinnan, Ma Guoxia, Yu Fang, et al. Study on China's gross economic-ecological product accounting in 2015 [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2018, 28(2):1-7.
- [9] 中国各级政府政绩考核将不能再唯“GDP”论英雄[OL]. (20231116)[20231214]. http://www.gov.cn/zhengce/2013-11/16/content_2603691.htm?from=groupmessage&isappinstalled=0.
- The performance assessment of Chinese governments at all levels will no longer be based on GDP: http://www.gov.cn/zhengce/2013-11/16/content_2603691.htm?from=groupmessage&isappinstalled=0.
- [10] Hoff J V, Rasmussen M M B, Sørensen P B. Barriers and opportunities in developing and implementing a Green GDP [J]. *Ecological Economics*, 2021, 181:106905.
- [11] 郭丽华,陈立铭.绿色经济发展路径研究:基于“区块链—绿色资源币”视角[J].*税务与经济*, 2022(4):83-89.
Guo Lihua, Chen Liming. Research on the development path of green economy based on the perspective of “block chain-green resource currency” [J]. *Taxation and Economy*, 2022(4):83-89.
- [12] 李婉红,李娜.绿色技术创新、智能化转型与制造企业环境绩效:基于门槛效应的实证研究[J].*管理评论*, 2023, 35(11):90-101.
Li Wanhong, Li Na. Green technology innovation, intelligent transformation and manufacturing companies' environmental performance: Empirical research based on threshold effect [J]. *Management Review*, 2023, 35(11):90-101.
- [13] 余焕,雷敏,马金晶,等.基于绿色 GDP 和生态效率的区域可持续发展研究:以陕西省为例[J].*干旱区地理*, 2023, 46(2):284-293.
Yu Huan, Lei Min, Ma Jinjing, et al. Regional sustainable development based on green GDP and ecological efficiency: A case of Shaanxi Province [J]. *Arid Land Geography*, 2023, 46(2):284-293.
- [14] 何玉梅,吴莎莎.基于资源价值损失法的绿色 GDP 核算体系构建[J].*统计与决策*, 2017, 33(17):5-10.
He Yumei, Wu Shasha. Construction of green GDP accounting system based on resource value loss method [J]. *Statistics and Decision Making*, 2017, 33(17):5-10.
- [15] 高锡荣,赵欣越,柴程昕.基于资源环境价值补偿的绿色 GDP 核算:以重庆市为例[J].*生态经济*, 2023, 39(5):148-153.
Gao Xirong, Zhao Xinyue, Chai Chengxin. Construction of a green GDP accounting system based on resource and environmental value compensation: Taking Chongqing as an example [J]. *Ecological Economy*, 2023, 39(5):148-153.
- [16] 世界银行. (20020609) [20231011]. <https://www.worldbank.org/en/home>. The World Bank: <https://www.worldbank.org/en/home>.
- [17] EPS 官网. (20200203) [20231111]. <https://www.epsnet.com.cn/index.html#/Index>. EPS official website: <https://www.epsnet.com.cn/index.html#/Index>.

- Wang Dianxi, Yang Bo, Cheng Baozhong, et al. Optimization of parameter coupling change propagation path based on elite backtracking-simulated annealing hybrid algorithm[J]. Journal of Mechanical Engineering, 1-18. (2023-09-22)[2024-05-12].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2187.TH.20230922.1511.050.html>.
- [19] 孙嘉豪, 张伟, 施鉴芬, 等. 光谱数据预处理策略选择及应用[J]. 计量学报, 2023, 44(8): 1284-1292.
- Sun Jiahao, Zhang Wei, Shi Jianqin, et al. Selection and application of spectral data preprocessing strategy [J]. Acta Metrologica Sinica, 2023, 44(8): 1284-1292.
- [20] 阚相成, 李耀翔, 王立海, 等. 基于光谱预处理的低温水曲柳原木含水率检测[J]. 中南林业科技大学学报, 2022, 42(11): 154-163.
- Kan Xiangcheng, Li Yaoxiang, Wang Lihai, et al. Moisture content detection of Fraxinus mandshurica logs at low temperatures based on different spectrum pretreatments [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2022, 42(11): 154-163.
- [21] 陈晓红, 王辉, 李喜华. 基于 KPCA-CNN-DBiGRU 模型的短期负荷预测方法[J]. 管理工程学报, 2024(2): 221-231.
- Chen Xiaohong, Wang Hui, Li Xihua. A short-term load forecasting method based on KPCA-CNN-DBiGRU model [J]. Journal of Industrial Engineering and Engineering Management, 2024(2): 221-231.
- [22] 葛盼猛, 陈波, 刘庭赫, 等. 基于 KPCA-ICFSFDP-MOGP 的拱坝多测点变形数据预处理及预测方法[J]. 水利水
- 电科技进展, 2023, 43(4): 92-97.
- Ge Panmeng, Chen Bo, Liu Tinghe, et al. Preprocessing and prediction method for multi-point deformation data of arch dams based on KPCA-ICFSFDP-MOGP [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2023, 43(4): 92-97.
- [23] 谢金燕, 刘丽星, 杨欣, 等. 改进粒子群优化算法的果园割草机作业路径规划[J]. 中国农业大学学报, 2023, 28(11): 182-191.
- Xie Jinyan, Liu Lixing, Yang Xin, et al. Orchard lawn mower operation path planning based on improved particle swarm optimization algorithm [J]. Journal of China Agricultural University, 2023, 28(11): 182-191.
- [24] 刘孝保, 严清秀, 易斌, 等. 基于集成学习和改进粒子群优化算法的流程制造工艺参数优化[J]. 中国机械工程, 2023, 34(23): 2842-2853.
- Liu Xiaobao, Yan Qingxiu, Yi Bin, et al. Optimization of process parameters in process manufacturing based on ensemble learning and improved particle swarm optimization algorithm [J]. China Mechanical Engineering, 2023, 34(23): 2842-2853.
- [25] 邵宁宁, 王英. 基于 Adam 优化的改进 PSO-RBF 牵引变压器故障诊断研究[J]. 电气工程学报, 2023, 18(4): 209-216.
- Shao Ningning, Wang Ying. Research on PSO-RBF traction transformer fault diagnosis based on Adam optimization [J]. Journal of Electrical Engineering, 2023, 18(4): 209-216.

(上接第 195 页)

- [18] 杜永强, 王悦, 李晶洁等. 基于主成分分析的经济绿色发展评价研究[J]. 科技和产业, 2018, 18(10): 50-59.
- Du Yongqiang, Wang Yue, Li Jingjie, et al. Research on economic green development evaluation based on principal component analysis [J]. Science Technology and Industry, 2018, 18(10): 50-59.
- [19] 贾科, 杨哲, 魏超, 等. 基于斯皮尔曼等级相关系数的新能源送出线路纵联保护[J]. 电力系统自动化, 2020, 44(15): 103-111.
- Jia Ke, Yang Zhe, Wei Chao, et al. Pilot protection based on spearman rank correlation coefficient for transmission line connected to renewable energy source [J]. Automation of Electric Power Systems, 2020, 44(15): 103-111.
- [20] 李久龙, 李玲, 刘瑞敏, 等. 一元线性回归分析方法在压力传感器数据拟合中的应用[J]. 计测技术, 2022, 42(2): 40-49.
- Li Jiulong, Li Ling, Liu Ruimin, et al. Application of univariate linear regression analysis in data fitting of pressure sensor [J]. Metrology & Measurement Technology, 2022, 42(2): 40-49.
- [21] 荀梦君, 李进岚, 黄爱菊, 等. ARIMA 模型和 Holt-Winters 指数平滑法在贵州省肺结核发病预测中的应用[J]. 中国预防医学杂志, 2023, 24(7): 678-682.
- Xun Mengjun, Li Jinlan, Huang Aiju, et al. Application of ARIMA and Holt-Winters exponential smoothing in the prediction of tuberculosis in Guizhou Province [J]. Chinese Preventive Medicine, 2023, 24(7): 678-682.