

基于全局时域因子分析的绿色经济发展水平测度

高 意, 刘 胜, 李成易

汉江师范学院数学与计算机科学学院, 湖北 十堰

收稿日期: 2024年11月4日; 录用日期: 2024年11月19日; 发布日期: 2024年12月31日

摘 要

采用灰色关联分析法从经济发展、社会发展和资源环境三个方面筛选15个指标, 建立了绿色经济发展水平评价体系。利用全局时域因子分析法识别其中起作用的主要维度, 对我国31个省份绿色经济发展水平进行综合评价。结果表明, 经济与教育、环境保护、居民经济状况与生活水平、就业与医疗服务是影响绿色经济发展水平的四个主要维度; 全国各省市绿色经济发展水平不断提升, 但省份之间差异明显, 总体呈现出“东强西弱, 南强北弱”的特点; 西部部分省份发展缓慢, 长期位于较低水平, 建议通过强化教育与绿色经济融合发展、构建严格的生态环境保护体系等方式促进绿色经济发展。

关键词

绿色经济, 灰色关联分析, 全局时域因子分析, 评价体系

Measurement of Green Economy Development Level Based on Global Time Domain Factor Analysis

Yi Gao, Sheng Liu, Chengyi Li

College of Mathematics and Computer Science, Hanjiang Normal University, Shiyan Hubei

Received: Nov. 4th, 2024; accepted: Nov. 19th, 2024; published: Dec. 31st, 2024

Abstract

A green economy development level evaluation system was established by using grey relational

analysis to screen 15 indicators from three aspects: economic development, social development, and resource environment. Using the global time-domain factor analysis method to identify the main dimensions that play a role, a comprehensive evaluation of the development level of green economy in 31 provinces in China is conducted. The results indicate that the four main dimensions that affect the level of green economy development are economy and education, environmental protection, residents' economic status and living standards, and employment and medical services; The development level of green economy in various provinces and cities across the country continues to improve, but there are significant differences between provinces, showing an overall trend of "strong in the east and weak in the west, strong in the south and weak in the north". The development of some western provinces is slow and has been at a relatively low level for a long time. It is suggested to promote the development of green economy by strengthening the integration of education and green economy, and building a strict ecological environment protection system.

Keywords

Green Economy, Grey Correlation Analysis, Global Time-Domain Factor Analysis, Evaluation System

Copyright © 2024 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

中国式现代化的首要任务是推动建设经济高质量发展，而绿色发展是高质量发展的必然选择，也是我国未来长期的发展战略。国内许多学者对绿色经济相关问题进行了研究，主要集中在发展水平测度、经济效率提升、绿色经济转型等方面[1]-[3]。邵长花利用 PSR 模型分析了绿色经济发展的区域协同性与时空演进规律[4]。陈义菁等运用 ESDA 模型从绿色社会、经济、生态三个维度分析了武汉城市圈的绿色发展水平[5]。陈翰运用 BCC 和 SBM 模型对传统经济效率与绿色经济效率进行对比，并对绿色经济效率进行了时空分析[6]。

目前关于绿色经济发展水平的研究方法较为丰富，但指标体系各不相同。为确保评价体系的科学性和可靠性，提高评价结果的精准度，采用灰色关联分析法对十多个常见的高频指标进行筛选，优化了指标体系。与传统的因子分析不同，本文针对面板数据的特点，将时序数据加入二维数据中，构建全局时域因子分析模型，利用不同年份数据进行综合评价，保证了各年度测算结果的可比性。

2. 研究设计

2.1. 研究方法

2.1.1. 灰色关联分析

灰色关联分析是一种多因素分析模型，能够准确地反映各因素间的疏密程度。计算灰色关联系数和平均灰色关联度公式见(1)式及(2)式。

$$\xi(x_0(t), x_i(t)) = \frac{\min_i \min_j |x_{0j} - x_{ij}| + \rho \max_i \max_j |x_{0j} - x_{ij}|}{|x_{0j} - x_{ij}| + \rho \max_i \max_j |x_{0j} - x_{ij}|} \quad (1)$$

$$n_j = \frac{\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \xi(x_0(t), x_i(t))}{T}$$

(2)

其中， ρ 为关联系数，通常取 0.5， T 为时间间隔。

2.1.2. 全局时域因子分析法

将全局时序数据进行标准化，构建全局时序数据矩阵。然后建立因子分析模型，根据主成解释变量，最后计算绿色经济发展水平的综合得分。因子分析模型及综合评分公式如下：

$$X = VF + \varepsilon$$

(3)

$$A = \left(\sum_{j=1}^p VF_j \right) / C$$

(4)

其中， X 为绿色经济发展水平综合得分矩阵； V 为因子载荷矩阵； F 为潜在公因子矩阵； ε 为不被前 p 个公共因子所包含的部分； A 为综合得分向量； C 为提取公因子的累积方差贡献率。

2.2. 指标体系构建

结合绿色经济发展内涵，并总结相关文献出现的高频指标，兼顾统计数据的科学性、代表性和可获得性，构建初始指标体系，见表 1。18 个二级指标中， X_{12} ， X_{17} ， X_{18} 为负向指标，其余均为正向指标。利用(2)式计算各指标的灰色关联度(见表 1)，由于 X_5 ， X_{13} ， X_{14} 的关联度低于 0.75，与参考值之间的相关性相对较弱，故剔除上述 3 个指标，将剩余 15 项指标作为二级指标。

Table 1. Initial indicators and correlation degree
表 1. 初始指标以及关联度

一级	二级	单位	关联度
经济发展	地区生产总值 X_1	亿元	0.817
	第三产业增加值 X_2	亿元	0.809
	社会消费品零售总额 X_3	亿元	0.826
	居民人均消费支出 X_4	元	0.902
	地方财政科学技术支出 X_5	亿元	0.724
	固定资产投资年增长率 X_6	%	0.833
社会发展	普通高等学校在校学生数 X_7	人	0.891
	每万人医疗机构床位数 X_8	张	0.978
	全体居民人均可支配收入 X_9	元	0.892
	地方财政教育支出 X_{10}	亿元	0.849
	地方财政社保和就业支出 X_{11}	亿元	0.918
	城镇登记失业率 X_{12}	%	0.968
资源环境	人均水资源量 X_{13}	m ³ /人	0.358
	城市绿地面积 X_{14}	公顷	0.727
	工业污染治理完成投资额 X_{15}	万元	0.775
	生活垃圾无害处理率 X_{16}	%	0.996
	二氧化硫排放量 X_{17}	万吨	0.878
	氮氧化物排放量 X_{18}	万吨	0.869

3. 实证分析

3.1. 数据来源

以 2013~2022 年我国 31 个省市的面板数据为研究样本(因数据缺失, 不含港澳台地区), 数据主要来源于《中国统计年鉴》和《中国环境统计年鉴》, 部分缺失数据采用线性插值法填补。

3.2. KMO 检验和 Bartlett 检验

对标准化后的指标观测值进行 KMO 检验和 Bartlett 检验, 见表 2。KMO 检验值为 0.781 (>0.5), Bartlett 检验 $p = 0.000$ (<0.05), 适合做全局时域因子分析。

Table 2. KMO test and Bartlett's test

表 2. KMO 检验和 Bartlett 检验

检验方法		检验值	检验判定条件
KMO 检验		0.781	Kaiser 检验标准
Bartlett 球形度检验	近似卡方	7676.7	小于显著性水平 0.05
	自由度	105	
	显著性	0.000	

3.3. 公共因子个数的确定

按照公因子累计方差贡献率大于 80%的准则, 当选取 4 个公因子时, 累计方差贡献率为 81.169%, 且因子分析碎石图显示自第四个公共因子后, 其余公共因子的特征值彼此差异不大, 因此提取 4 个公因子, 结果见图 1 以及表 3。

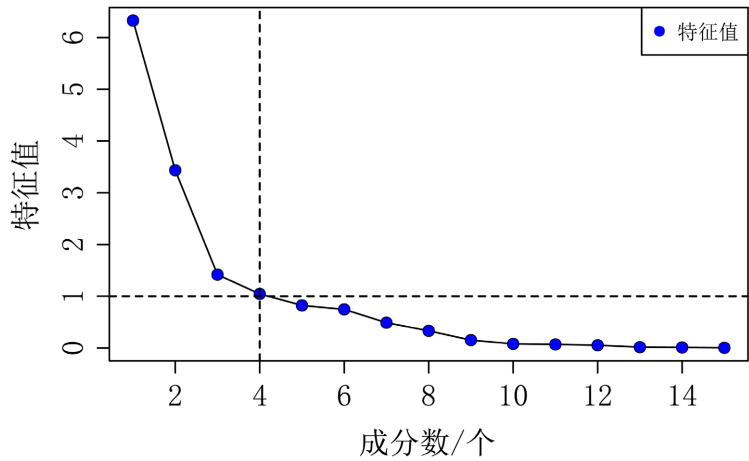


Figure 1. Scree plot in factor analysis
图 1. 因子分析碎石图

3.4. 因子载荷系数

采用最大方差法进行因子旋转得到载荷矩阵, 见表 4。公共因子 F_1 的 X_{10} 、 X_7 、 X_3 、 X_1 载荷较大, 且 X_{10} 、 X_7 , 均超过 0.93, 解释能力强, 因此将 F_1 命名为经济与教育因子; X_{18} 、 X_{17} 、 X_{15} 在 F_2 有较大载荷, 均在 0.83 以上, 将 F_2 命名为环境保护因子; X_9 、 X_4 在 F_3 载荷值均在 0.90 以上, 将 F_3 命名为居民经济状

Table 3. Total variance explained table
表 3. 总方差解释表

成分	初始特征值			提取载荷平方和			旋转载荷平方和		
	总计	方差贡献率(%)	累积方差贡献率(%)	总计	方差贡献率(%)	累积方差贡献率(%)	总计	方差贡献率(%)	累积方差贡献率(%)
1	6.251	41.676	41.676	6.251	41.676	41.676	5.515	36.769	36.769
2	3.353	22.351	64.027	3.353	22.351	64.027	2.655	17.697	54.466
3	1.482	9.882	73.909	1.482	9.882	73.909	2.567	17.112	71.577
4	1.089	7.260	81.169	1.089	7.260	81.169	1.439	9.592	81.169
5	0.821	5.471	86.640						
6	0.799	5.327	91.967						
7	0.519	3.463	95.431						
8	0.292	1.949	97.380						
9	0.162	1.080	98.459						
10	0.080	0.531	98.991						
11	0.066	0.438	99.429						
12	0.054	0.358	99.787						
13	0.017	0.112	99.900						
14	0.011	0.072	99.972						
15	0.004	0.028	100.000						

Table 4. Rotated loading matrix
表 4. 旋转后的载荷矩阵

指标	F_1	F_2	F_3	F_4	指标	F_1	F_2	F_3	F_4
X_1	0.917	-0.166	0.287	0.115	X_{10}	0.946	-0.128	0.163	0.080
X_2	0.877	-0.097	0.416	0.146	X_{11}	0.873	0.097	0.132	-0.337
X_3	0.917	-0.176	0.266	0.119	X_{12}	0.143	0.290	0.105	0.700
X_4	0.268	0.164	0.909	0.037	X_{15}	0.298	-0.832	0.051	0.022
X_6	0.091	-0.116	-0.445	0.518	X_{16}	0.270	0.169	0.359	-0.211
X_7	0.931	-0.196	-0.086	-0.108	X_{17}	0.035	0.834	0.367	-0.020
X_8	0.290	0.486	-0.013	-0.670	X_{18}	-0.349	0.850	0.245	0.058
X_9	0.270	0.146	0.910	0.044					

况与生活水平因子； F_4 在 X_{12} 、 X_8 上有较大载荷，因此命名为就业状况与医疗服务因子。

3.5. 因子得分系数

采用回归估计计算各个因子得分，以公共因子表示原变量的线性组合，得到因子得分函数如下：

$$F_1 = 0.161X_1 + 0.136X_2 + 0.164X_3 - 0.087X_4 + 0.114X_6 + 0.228X_7 + 0.124X_8 - 0.089X_9 \\ + 0.197X_{10} + 0.203X_{11} + 0.082X_{12} - 0.051X_{15} + 0.015X_{16} + 0.054X_{17} - 0.017X_{18}$$

$$\begin{aligned} F_2 &= -0.008X_1 - 0.007X_2 - 0.008X_3 - 0.089X_4 + 0.107X_6 + 0.045X_7 + 0.224X_8 - 0.097X_9 \\ &\quad + 0.04X_{10} + 0.11X_{11} + 0.206X_{12} - 0.382X_{15} + 0.019X_{16} + 0.333X_{17} + 0.322X_{18} \\ F_3 &= 0.018X_1 + 0.083X_2 + 0.008X_3 + 0.434X_4 - 0.269X_6 - 0.186X_7 - 0.154X_8 + 0.438X_9 \\ &\quad - 0.067X_{10} - 0.108X_{11} - 0.062X_{12} + 0.164X_{15} + 0.122X_{16} + 0.012X_{17} + 0.011X_{18} \\ F_4 &= 0.087X_1 + 0.11X_2 + 0.09X_3 + 0.017X_4 + 0.378X_6 - 0.06X_7 - 0.422X_8 + 0.02X_9 \\ &\quad + 0.071X_{10} - 0.206X_{11} + 0.527X_{12} - 0.054X_{15} - 0.139X_{16} + 0.051X_{17} + 0.1X_{18} \end{aligned}$$

3.6. 综合评价模型及评价结果

将公共因子的方差贡献率作为权重，结合(4)式计算各省份综合得分。为方便比较，将各省市综合得分进行标准化处理，见表 5。

Table 5. Comprehensive score of green economic development
表 5. 绿色经济发展综合得分

省市	2014	2016	2018	2020	2022	省市	2014	2016	2018	2020	2022
广东	0.475	0.632	0.760	0.849	0.931	云南	0.219	0.326	0.396	0.398	0.429
江苏	0.388	0.451	0.557	0.696	0.846	贵州	0.230	0.348	0.390	0.358	0.377
北京	0.461	0.508	0.525	0.503	0.576	甘肃	0.283	0.344	0.329	0.363	0.401
湖北	0.370	0.483	0.559	0.462	0.594	新疆	0.196	0.280	0.293	0.434	0.418
四川	0.311	0.434	0.549	0.585	0.662	海南	0.320	0.328	0.289	0.333	0.312
河南	0.254	0.407	0.559	0.635	0.712	河北	0.082	0.265	0.277	0.466	0.511
浙江	0.292	0.400	0.530	0.542	0.632	吉林	0.229	0.280	0.320	0.385	0.356
湖南	0.307	0.379	0.479	0.596	0.578	辽宁	0.219	0.161	0.364	0.365	0.431
山东	0.147	0.291	0.477	0.629	0.731	西藏	0.317	0.328	0.298	0.290	0.244
安徽	0.300	0.329	0.455	0.509	0.565	青海	0.270	0.269	0.302	0.324	0.276
广西	0.269	0.355	0.448	0.453	0.462	黑龙江	0.154	0.237	0.296	0.410	0.386
重庆	0.291	0.361	0.434	0.376	0.447	天津	0.223	0.293	0.266	0.294	0.276
江西	0.276	0.313	0.370	0.455	0.502	山西	0.115	0.206	0.276	0.356	0.417
陕西	0.254	0.341	0.414	0.416	0.481	宁夏	0.155	0.180	0.164	0.228	0.236
上海	0.270	0.304	0.418	0.439	0.411	内蒙古	0.024	0.186	0.168	0.280	0.360
福建	0.261	0.294	0.378	0.383	0.460						

自 2013 以来，我国绿色经济发展水平总体上有显著提高。2013 年至 2022 年，东部及中部地区绿色经济发展迅速，发展水平综合得分分别由 0.292、0.271 增至 0.569、0.561，东北及西部地区发展相对缓慢，分别由 0.201、0.235 增至 0.400 及 0.309。2013 年，各地区绿色发展水平差距较小，随着绿色发展理念的普及及绿色发展措施的稳步推进，各地区差异化逐渐明显，呈现出“东强西弱，南强北弱”的特征。十年以来，东部地区绿色发展水平一直处于领先地位，中部地区次之。2021 年中央颁布《中共中央 国务院关于新时代推动中部地区高质量发展的意见》，提出的一系列措施促进了绿色生产生活方式形成，推动了中部地区绿色经济进一步发展，至 2022 年中部地区几乎达到与东部地区相同水平。西部地区在 2016 年前的增长迅速，2016 年后趋于平缓；东北地区 2016 年之前增长相对缓慢，2016 年至 2020 年间发展速

度加快,受到疫情的影响,产业结构转型升级推进难度增加,2020年后又趋于平缓。

从省域看,广东省及江苏省长期处于高发展水平,平均年增长率分别为7.6%、9.4%绿色经济实现了高质量快速发展,位于第一梯队;其次是北京、湖北、四川、河南、浙江和湖南,绿色经济发展水平较高,位于第二梯队;陕西、福建、江西、重庆等省份绿色经济达到中等水平,位于第三梯队;黑龙江、新疆、西藏等省份相对靠后,位于第四梯队;内蒙古和宁夏位于第五梯队,属于欠发展地区。西藏和海南发展水平波动较小,且在2018年至2022年间多次出现负增长。其主要原因是,海南自2018年开始建设自由贸易试验区,经济发展重心向进出口贸易转移,这意味着与本文选取指标之间联系稀疏,绿色经济水平测度小幅波动的结果允许存在;而西藏地广人稀,基础设施水平低,经济基础较薄弱,加之疫情影响,绿色经济发展相对缓慢甚至滞后。所涉及31个省份中,13个省份的绿色经济发展综合得分超过均值,占比41.93%,且部分省份绿色经济发展综合得分偏低,说明少数省份绿色经济发展不充分,各省市绿色经济发展差异性显著。

4. 总结与建议

我国31个省份绿色经济发展水平不断向好,但同时存在明显差异,主要表现为“东强西弱,南强北弱”。经济与教育、环境保护、居民经济状况与生活水平、就业状况与医疗服务是主要影响绿色经济发展水平的四个维度。为提升我国绿色经济发展水平,提出以下建议:

1) 强化教育与绿色经济融合发展。增加教育投入,特别是绿色经济相关领域的教育资源,培养具备绿色经济理念和技能的专业人才。同时,推动产业结构向绿色化、智能化方向转型,鼓励绿色技术的研发和应用,实现教育与经济的良性互动。

2) 构建严格的生态环境保护体系。加大环境保护力度,制定并执行严格的环保法规。同时,加强生态保护和修复工作,提升生态系统的稳定性和服务功能,为绿色经济发展提供坚实的生态基础。

3) 提升居民绿色消费水平。通过完善社会保障体系,提高居民收入水平,增强其绿色消费能力。此外,加强绿色消费理念的宣传和教育,引导居民选择环保、节能的产品和服务,推动绿色消费市场的形成和发展。

4) 提升医疗服务水平,保障人民健康。加强医疗卫生体系建设,提高医疗服务质量,保障人民健康权益;探索绿色医疗模式,降低医疗过程中的环境污染和资源消耗。鼓励和支持传统产业与绿色产业的融合发展,推动产业链的延伸和拓展,提高整个产业的绿色化水平。

5) 促进区域绿色经济协调发展。加强区域间的合作与交流,推动资源共享和优势互补,实现绿色经济的均衡发展。对于绿色经济发展滞后的地区,应制定针对性的扶持政策,提供资金、技术和人才支持,帮助其加快绿色经济的发展步伐。

致 谢

本论文是在覃晓琼老师的悉心指导下,严格按照要求完成的。因团队成员专业知识在完成任务时还有所欠缺,在此对指导老师的细心教导和辛勤付出表示深深的感谢。

基金项目

2024年大学生创新创业训练省级项目《绿色经济发展水平测度及影响因素分析》(S202410518044)。

参考文献

- [1] 龙海雯. 中国绿色现代化水平测度及时空特征研究[J]. 管理现代化, 2024(2): 157-170.
- [2] 巩灿娟, 张晓青. 中国区域间环境规制对绿色经济效率的空间效应及其分解[J]. 现代经济探讨, 2020(4): 41-

47+58.

- [3] 张林, 屈影. 绿色金融发展与经济绿色转型: 系统耦合及动态演进[J]. 杭州师范大学学报(社会科学版), 2024, 46(2): 120-136.
- [4] 邵长花. 中国绿色经济高质量发展水平、区域差异与时空演进[J]. 统计与决策, 2024, 40(6): 110-115.
- [5] 陈义菁, 梅琳, 张涛, 等. 武汉城市圈绿色发展时空演变及影响因素[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2023, 57(4): 589-598.
- [6] 陈翰. 黄河流域内蒙古段绿色经济效率测度及提升研究[D]: [硕士学位论文]. 呼和浩特: 内蒙古师范大学, 2021.