

基于因子分析的中国省域生态文明建设评价

王梦媛, 方厚政

(上海理工大学 管理学院, 上海 200093)

摘要:生态文明建设已经成为衡量一个国家和地区可持续发展的重要因素之一。在借鉴已有生态文明建设指标体系研究的基础上,筛选出评价指标,采用因子分析模型对中国 31 个省区市的生态文明建设水平进行实证研究,基于因子得分及排名做出综合性评价。结果表明,中国各区域不同省份生态文明建设差异较大,生态文明建设水平相对较好的省份大多位于经济发达的东部地区,而生态文明建设水平相对较弱的省份大多位于西北部地区和部分南部地区。最后为推进中国各地区生态文明建设和高质量发展提出相关建议。

关键词:生态文明建设;生态文明建设评价;因子分析

中图分类号:F062.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2022)03-0102-06

生态文明建设关乎人类的生存和永续发展^[1]。进入 21 世纪以来,中国在保持经济快速稳定发展的同时,尤其注重加强资源能源节约利用、环境保护和治理以及生态保育,积极探索可持续的科学发展道路^[2]。党的十九大报告和“十四五”规划均对生态文明建设做出了一系列指示和要求。在此背景下,对于生态文明建设的研究尤为必要。

目前,国外对生态文明建设评价的研究大多从区域生态系统、可持续发展的角度展开讨论,主要形成了诸如环境绩效指标等较为权威的指标体系^[3];国内学者针对生态文明建设评价的研究大多从不同层面进行展开。中国相关部门先后提出了生态文明建设评价 ECCI2013 指标体系^[4]。随后,汪秀琼等基于“五位一体”总体布局从 5 个层面对中国区域生态文明建设进行了综合评价和聚类分析^[5]。在省域层面,黄娟等运用 TOPSIS 法对江苏省 13 个地级市的生态文明建设水平进行了定量评价^[6];贾海发等以及李小娟运用熵值法分别对青海省和陕西省的生态文明发展水平进行了综合评价^[7-8]。在特定区域层面,吴小节等对中西部地区生态文明建设状况进行了综合评价^[9];杨红娟等运用 AHP 法对构建的少数民族地区生态文明建设评价指标体系进行了研究^[10];王二威等基于熵权 TOPSIS 方法对珠三角地区的城市生态文明建设进行了评价研究^[2]。此外,还有一些学者将生态文明建设

评价研究聚焦在北京、上海和武汉等具体城市^[3,11]。通过阅读相关文献可以发现,学界研究较多的是从不同的评价指标体系、不同的评价方法以及评价层面来对生态文明建设进行评价并给出发展建议。

本文以中国 31 个省区市为研究对象,从 3 个层面构建生态文明建设综合评价指标体系,利用因子分析模型对各省的生态文明建设水平进行实证研究,并根据因子得分及排名做出分析和评价,并提出相关建议。

1 研究设计

1.1 评价指标的选取

在数据可获得的前提下,依据科学性、可操作性、准确性和系统性的原则,从生态经济发展、环境保护和资源能源利用 3 个层面选取了包含 9 个指标在内的生态文明建设综合评价指标,具体见表 1。

表 1 生态文明建设综合评价指标体系

一级指标	二级指标
生态经济发展	居民人均可支配收入 X_1 /(元/人)
	人均地区生产总值 X_2 /(元/人)
	第三产业增加值占地区生产总值比重 X_3 /%
生态环境保护	城市污水处理率 X_4 /%
	建成区绿化覆盖率 X_5 /%
资源能源利用	单位 GDP 工业 SO_2 排放量 X_6 /(t/亿元)
	单位 GDP 工业固体废物排放量 X_7 /(万 t/亿元)
	单位 GDP 电力消耗量 X_8 /(亿 kW·h/亿元)

收稿日期:2021-11-04

作者简介:王梦媛(1998—),女,河南郑州人,上海理工大学管理学院,硕士研究生,研究方向为技术与创新管理;方厚政(1975—),男,湖南吉首人,上海理工大学管理学院,副教授,博士,硕士研究生导师,研究方向为技术与创新管理、技术转移、知识产权融资。

1.2 研究方法

因子分析法的基本思想是通过降维的方法将多个可观测的原始变量综合为少数的几个不可观测的假想变量,在保留大部分信息的同时,用个数相对较少的假想变量(称之为因子)来替代众多原始变量^[12]。

假设一共有 p 个可观测的变量,它们分别为 $X_1, X_2, \dots, X_p$, 最后浓缩提取出 m 个因子($m < p$), 因子分析的数学模型形式可表示^[13]为

$$\begin{cases} X_1 = \epsilon_1 + a_{11}F_1 + a_{12}F_2 + \dots + a_{1m}F_m + \mu_1 \\ X_2 = \epsilon_2 + a_{21}F_1 + a_{22}F_2 + \dots + a_{2m}F_m + \mu_2 \\ \vdots \\ X_i = \epsilon_i + a_{i1}F_1 + a_{i2}F_2 + \dots + a_{im}F_m + \mu_i \end{cases} \quad (1)$$

式中: $F_1, F_2, \dots, F_m$ 为公因子;等式右侧第 1 项 ϵ_i 为不可观测的变量;公因子前的系数 a_{ij} 为因子载荷量,它在统计学上称为权,即是第 i 个变量在第 j 个公共因子上的负荷或相对重要性;最后一项 μ_i 统计学上称其为特殊因子,它不能够被前 m 个公共因子所解释。

2 实证分析

2.1 数据来源与同向化处理

选取中国 31 个省区市(不包含港澳台)2017 年的各项指标数据,样本数据来源于《2018 年中国统计年鉴》和《2018 年中国环境统计年鉴》。由于本文原始指标数据的单位和正负取向不统一,为了使分析更加准确,避免结果具有误差,首先对原始指标数据进行无量纲化和同向化处理。正向指标和逆向指标计算公式为

$$x'_{ij} = (x_{ij} - x_{jmin}) / (x_{jmax} - x_{jmin}) \quad (2)$$

$$x'_{ij} = (x_{jmax} - x_{ij}) / (x_{jmax} - x_{jmin}) \quad (3)$$

式中: x'_{ij} 为正向化值; x_{ij} 、 x_{jmax} 和 x_{jmin} 分别为 j 项指标的第 i 个样本值、最大和最小样本值。

2.2 因子分析的适用性检验

需要进行 KMO 与 Bartlett's 球形检验,判断该数据是否适合做因子分析,结果见表 2, KMO = 0.689 > 0.5, 接近于 1, 且近似卡方统计值为 162.013, 显著性水平为 0.000, 原假设不成立, 故可采用因子分析且效果较好^[12]。

表 2 KMO 和 Bartlett's 球形检验

取样足够度的 Kaiser-Meyer-Olkin 度量	0.689	
Bartlett 球形度检验	近似卡方	162.013
	df	28.000
	Sig.	0.000

2.3 因子分析过程

1) 利用 SPSS21.0 软件进行因子分析得到总方

差解释表,见表 3。

表 3 总方差解释表

成分	初始情况			旋转后情况		
	特征值	方差贡献率/%	累积贡献率/%	特征值	方差贡献率/%	累积贡献率/%
1	3.823	47.792	47.792	2.623	32.781	32.781
2	1.84	22.999	70.792	2.334	29.176	61.958
3	1.04	13	83.792	1.747	21.835	83.792
4	0.49	6.129	89.921			
5	0.318	3.971	93.892			
6	0.271	3.392	97.284			
7	0.177	2.21	99.494			
8	0.04	0.506	100			

2) 依据累计贡献率达到 80%, 特征值均大于 1 的标准, 基于 SPSS21.0 结果(表 3)得出结论有, 特征值比 1 大的因子共有 3 个, 所以可提取 3 个公因子。观察表 3 中因子旋转后的情况可知, 前 3 个因子可解释的原始变量累计方差为 83.792%, 说明这 3 个因子解释了原始变量的大部分信息。通过因子碎石图(图 1)可以观察到前 3 个因子的特征值极高且变化剧烈, 在图中表现为陡峭的折线。自第 4 个因子起, 特征根逐渐减小, 折线的变化不显著, 故提取前 3 个因子较为合理。

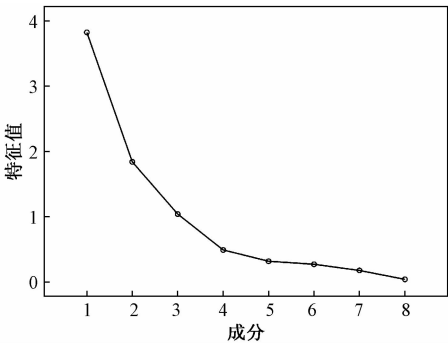


图 1 碎石图

3) 在确定了 3 个公因子之后, 通过因子旋转得到旋转成分矩阵(表 4), 进一步对因子进行命名和解释。

表 4 旋转成分矩阵

变量	成分		
	1	2	3
X_1	0.940	0.112	0.258
X_2	0.902	0.107	0.236
X_3	0.894	0.153	-0.085
X_4	0.019	0.395	0.773
X_5	0.271	0.083	0.877
X_6	0.069	0.725	0.393
X_7	0.152	0.857	0.308
X_8	0.164	0.929	-0.035

由表 4 可知:第 1 个公因子在 X_1 、 X_2 和 X_3 指标上有较大的载荷量,考虑到 $X_1 \sim X_3$ 均为生态经济发展指标,所以将公因子 1 命名为“生态经济发展因子”;第 2 个公因子在 $X_6 \sim X_7$ 和 X_8 指标上有较大的载荷量,考虑到 $X_6 \sim X_8$ 均为资源能源利用指标,所以将公因子 2 命名为“资源能源利用因子”;第 3 个因子在 X_4 和 X_5 指标上有较大的载荷量,同时 X_4 和 X_5 两指标反映了生态环境保护水平,故将第 3 类因子命名为“生态环境保护因子”。

2.4 因子分析的结果

通过 SPSS21.0 处理得到成分得分系数矩阵(表 5)。

由表 5 进一步得到因子得分函数:

$$F_1=0.368 X_1+0.355 X_2+0.391 X_3-0.126 X_4-0.005 X_5-0.079 X_6-0.041 X_7+0.004 X_8;$$
$$F_2=-0.080 X_1-0.074 X_2+0.039 X_3+0.012 X_4-0.210 X_5+0.295 X_6+0.385 X_7+0.516 X_8;$$

$$F_3=0.043 X_1+0.032 X_2-0.226 X_3+0.486 X_4+0.617 X_5+0.099 X_6-0.013 X_7-0.298 X_8。$$

根据表 3 每个因子所占 3 个因子累计方差贡献率的比例,可总结得出生态文明建设评价的综合得分公式,即

$$F=0.391 2F_1+0.348 2F_2+0.260 6F_3。$$

利用 SPSS21.0 软件进一步求得各省区市生态文明建设综合得分以及排名,见表 6。

表 5 成分得分系数矩阵

变量	成分		
	1	2	3
X_1	0.368	-0.080	0.043
X_2	0.355	-0.074	0.032
X_3	0.391	0.039	-0.226
X_4	-0.126	0.012	0.486
X_5	-0.005	-0.210	0.617
X_6	-0.079	0.295	0.099
X_7	-0.041	0.385	-0.013
X_8	0.004	0.516	-0.298

表 6 因子得分及排名

省区市	F_1 得分	排名	F_2 得分	排名	F_3 得分	排名	综合得分	综合排名
北京	3.224	1	0.081	20	1.279	2	1.620	1
上海	2.821	2	0.442	12	-0.453	24	1.140	2
江苏	0.764	5	0.187	18	0.888	7	0.600	3
浙江	0.988	4	0.214	17	0.342	13	0.550	4
天津	1.552	3	0.496	10	-1.027	25	0.510	5
广东	0.544	6	0.294	15	0.735	9	0.510	6
山东	-0.119	14	0.247	16	0.971	6	0.290	7
福建	0.174	8	0.095	19	0.650	10	0.270	8
湖南	-0.440	20	0.733	5	0.391	12	0.190	9
湖北	-0.373	16	0.726	6	-0.128	21	0.070	10
江西	-0.852	28	0.053	21	1.366	1	0.040	11
安徽	-0.924	31	0.302	14	1.096	5	0.030	12
海南	0.149	9	0.642	7	-1.038	26	0.010	13
辽宁	0.086	10	-0.213	24	0.131	15	-0.010	14
河南	-0.906	30	0.517	9	0.510	11	-0.040	15
四川	-0.422	18	0.593	8	-0.321	23	-0.040	16
河北	-0.821	26	-0.219	25	1.176	4	-0.090	17
陕西	-0.653	24	0.441	13	0.053	17	-0.090	18
重庆	0.030	11	-0.269	26	-0.059	19	-0.100	19
吉林	-0.417	17	0.831	3	-1.087	27	-0.160	20
黑龙江	-0.040	13	0.758	4	-1.567	29	-0.160	21
广西	-0.880	29	0.487	11	0.068	16	-0.160	22
内蒙古	0.006	12	-1.293	29	0.819	8	-0.230	23
西藏	-0.487	22	1.110	1	-1.767	30	-0.260	24
甘肃	-0.570	23	0.971	2	-1.564	28	-0.290	25
山西	-0.314	15	-0.790	27	0.219	14	-0.340	26
云南	-0.706	25	-0.109	22	-0.089	20	-0.340	27
贵州	-0.849	27	-0.152	23	-0.276	22	-0.460	28
新疆	-0.422	19	-1.109	28	-0.036	18	-0.560	29
宁夏	-0.449	21	-2.284	30	1.278	3	-0.640	30
青海	0.303	7	-3.783	31	-2.561	31	-1.870	31

从表 7 中可以看出,生态文明建设综合得分较高的是北京、上海等大城市和东南沿海地区的省份,处于中游地区的基本上为中部和东北地区,这些区域生态文明建设发展水平处于中等;处于下游地区的大多为西北地区和南部地区的部分省份,生态文明建设水平相对滞后。从整体来看,国内生态文明建设水平呈现省市分布的不平衡性,生态文明建设在经济发达地区较为突出,西北部和南部地区的生态文明建设呈不断追赶趋势。

表 7 按区域划分各省区市生态文明建设得分排名情况					
区域	省区市	F ₁ 排名	F ₂ 排名	F ₃ 排名	综合排名
东部沿海地区	北京	1	20	2	1
	上海	2	12	24	2
	江苏	5	18	7	3
	浙江	4	17	13	4
	天津	3	10	25	5
	广东	6	15	9	6
	山东	14	16	6	7
	福建	8	19	10	8
	海南	9	7	26	13
	河北	26	25	4	17
中部地区	湖南	20	5	12	9
	湖北	16	6	21	10
	江西	28	21	1	11
	安徽	31	14	5	12
	河南	30	9	11	15
	山西	15	27	14	26
东北地区	辽宁	10	24	15	14
	吉林	17	3	27	20
	黑龙江	13	4	29	21
西部地区	四川	18	8	23	16
	陕西	24	13	17	18
	重庆	11	26	19	19
	广西	29	11	16	22
	内蒙古	12	29	8	23
	西藏	22	1	30	24
	甘肃	23	2	28	25
	云南	25	22	20	27
	贵州	27	23	22	28
	新疆	19	28	18	29
	宁夏	21	30	3	30
	青海	7	31	31	31

在东部沿海地区,各省份的生态文明建设综合排名整体靠前。在生态经济发展方面,除山东和河北两省排名相对靠后之外,其他省份均位居全国前列。东部地区各省份沿海,经济发达,工农业、科技等基础雄厚,此外政府对生态文明建设投入的人力物力财力等资源也多,所以其投入与产出能力也会相对较强;在资源能源利用方面,东部沿海地区各省份处在全国中游位置,且彼此之间差距较小,可

能与东部地区人口密集、能源资源不够充足以及东部地区产业结构有一定的联系,其中,河北和北京两地排名相对靠后;在生态环境保护方面,东部沿海地区各省份因子得分排名比较分散,其中,海南、天津和上海相对靠后;因此,山东、河北等生态经济发展相对落后的省份应当充分借鉴北京、上海等大城市的经验加大对生态文明建设的人力物力和财力的投入,增强生态经济投入与产出能力,进一步提升自身生态经济发展水平;而海南、天津等生态环境保护相对落后的省份可以通过加大城市污水和生活垃圾处理力度,增加绿化覆盖率等措施来提升自身生态环境保护水平。

在中部地区,除山西外,其他各省份生态文明建设综合排名整体处在全国中等水平,且各省份差距较小。而在生态经济发展方面,中部六省排名整体处于中下游,可能与其各地人口密度、绿色经济发展水平息息相关,可见这些省份需要加大生态文明投入,进行绿色科技创新,增强投入产出能力,提高生态经济发展水平。在资源能源利用和生态环境保护方面,中部六省排名差距参差不齐,其中,山西和江西两省需要加大资源能源利用效率,湖北和山西需要采取相关措施提升生态环境保护水平,争取在各方面与其他省份齐头并进。

在东北地区,东北三省的生态文明建设综合排名居于全国中等偏下位置。其中,辽宁的生态文明建设位居三省之首,但在资源能源利用方面远落后于其他两省,因此辽宁需进一步提高资源能源利用率。而吉林和黑龙江在生态环境保护因子得分上排名靠后,两省需要进一步加大其生态环境保护力度。总体来看,东北地区的生态环境保护因子得分排名远落后于其生态经济发展因子和资源能源利用因子得分排名,因此当地政府应采取相关措施加大对生态环境的保护力度。

在西部地区,各省份的生态文明建设综合排名整体靠后,西北地区尤为突出。西部地区有得天独厚的矿产、石油、天然气各种资源能源,开发潜力大。但可能由于其特殊的地理位置和自然条件,使得西部各省份的生态文明建设成效还与中、东部存在一定的差距。其中,西藏在资源能源利用方面排名位居全国首位,从选取的指标分析来看,西藏每单位 GDP 工业SO₂排放量、工业固体废物排放量和电力消耗量相对来说是最低的。而综合得分排名位居末位的青海,在资源能源利用和生态环境保护方面也不容乐观,其原因可能是受其自身经济结

构、自然条件的约束或是面临着资源开发与环境保护之间的矛盾的影响。因此,青海应把握住机遇,创新能源发展方式,协调资源开发和环境保护统一发展,努力提高资源能源利用率和环境保护水平。

3 结论与建议

在新发展理念背景下,利用因子分析模型对中国31个省区市的生态文明建设水平进行实证研究,进一步分析和评价了不同区域各省份的生态文明建设差异。研究结果发现中国各区域不同省份生态文明建设差距较大,不同层面发展不均衡。具体结论如下:

1)运用因子分析法所构建的生态文明建设评价指标体系具有可行性,其信息贡献率高达83.792%;生态经济发展、资源能源利用和生态环境保护因子三者占总体解释力度的比重分别为32.781%、29.176%和21.835%。

2)中国生态文明建设水平呈现地区发展的不平衡性,生态文明建设在经济发达的东部地区较为突出,西北部和南部地区的生态文明建设呈不断追赶趋势。

3)在生态经济发展方面,以北京、上海等为代表的大城市以及东部沿海地区排名位居全国前列,而以广西、安徽和河南为代表的中西部地区各省份排名较为靠后。在资源能源利用方面,西藏、甘肃排在第1、2位,而宁夏和青海位居倒数。在生态环境保护方面,江西、北京排在全国前列,西藏和青海位居末位。

结合以上结论,提出以下推进中国各地区生态文明建设的相关建议:

1)东部地区虽然生态文明建设综合得分位居全国前列,但各层面因子得分差距较大,各方面发展不均衡。东部地区各省份应进一步提高资源能源利用效率和环境保护水平。政府可以采取适当的引导,给予相关政策支持,引进相关技术改善生产工艺,以提高资源利用率;同时加强群众关于生态文明建设的宣传和教育工作,提高公民环保意识,从自身做起,进一步提高当地的生态环境保护水平。

2)中部地区各省份生态经济发展因子得分排名较生态文明建设综合得分排名有所下降,同时其生态经济发展因子得分也明显低于其他两层因子得分。因此,中部地区在生态文明建设中应进一步提升生态经济发展水平、统筹经济与生态协调发展。各省份可以以改善生态为导向开展经济工作,鼓励推动绿色创新、生态创新,不断优化调整各产

业结构和各生产要素的投入比,努力推动经济、社会和生态协调发展进一步实现良性循环^[14]。

3)东北地区各省份生态环境保护发展因子得分较生态文明建设综合得分排名有所下降,同时其生态环境保护因子得分低于其他两层因子得分。因此,东北三省应进一步加大环境保护力度。政府各部门可以加大环保监督和宣传教育工作,使得公众树立起绿色消费和绿色出行环保观念,使得企业积极承担社会责任。同时开拓广大群众监督的渠道,努力发挥各方主体的监督作用,让全社会各个公民都积极投身参与到生态文明建设当中^[15]。

4)西部地区生态文明建设较为落后,各省份统筹生态经济、资源能源利用与环境保护各方面协调发展。加快转变经济增长方式,缓解环境和资源压力,以改善生态为导向开展经济工作,对传统和高污染产业进行减产、技术改造和现代化升级,减少有害物排放;大力发展绿色产业,在税收等多方面给予优惠扶持政策,通过政府引导和政策激励进一步推动绿色产业发展。

参考文献

- [1] 习近平. 推动我国生态文明建设迈向新台阶[R/OL]. (2019-01-31) [2020-04-20]. http://www.qstheory.cn/dukan/qs/2019-01/31/c_1124054331.htm.
- [2] 王二威,朱宝文,崔春生. 基于熵权 TOPSIS 方法的珠三角地区城市生态文明建设评价[J]. 数学的实践与认识, 2020, 50(12): 28-37.
- [3] 钱敏蕾,李响,徐艺扬,等. 特大型城市生态文明建设评价指标体系构建:以上海市为例[J]. 复旦学报(自然科学版), 2015, 54(4): 389-397.
- [4] 严耕,林震,吴明红. 中国省域生态文明建设的进展与评价[J]. 中国行政管理, 2013(10): 7-12.
- [5] 汪秀琼,彭韵妍,吴小节,等. 中国生态文明建设水平综合评价与空间分异[J]. 华东经济管理, 2015, 29(4): 52-56, 146.
- [6] 黄娟,邢雅因,冯彬. 区域生态文明建设状态评估及发展潜力分析:以江苏省为例[J]. 环境保护科学, 2019, 45(3): 33-39.
- [7] 贾海发,邵磊,罗珊. 基于熵值法与耦合协调度模型的青海省生态文明综合评价[J]. 生态经济, 2020, 36(11): 215-220.
- [8] 李小娟. 基于熵值法的陕西省生态文明建设评价与对策研究[J]. 环境保护科学, 2020, 46(4): 35-40.
- [9] 吴小节,杨书燕,汪秀琼,等. 中西部地区生态文明建设水平综合评价与空间分异研究[J]. 环境科学与管理, 2014, 39(12): 155-159.
- [10] 杨红娟,夏莹,官波. 少数民族地区生态文明建设评价指标体系构建:以云南省为例[J]. 生态经济, 2015, 31(4):

170-173.

[11] 张欢,成金华,冯银,等. 特大型城市生态文明建设评价指标体系及应用:以武汉市为例[J]. 生态学报,2015,35(2):547-556.

[12] 刘芊,蓝国赓. 基于 SPSS 软件的因子分析法及实证分析[J]. 科技信息(学术研究),2008(36):102-103,105.

[13] 薛薇. 统计分析与 SPSS 的应用[M]. 北京:中国人民大学出版社,2017:251-252.

[14] 张月梅. 当代“两山理论”与生态经济发展关系研究[J]. 西部林业科学,2020,49(2):165-168.

[15] 张琴. 新时代生态文明建设的困境及对策探讨[J]. 时代报告,2021(3):24-25.

The Evaluation of Ecological Civilization Construction in Provinces of China Based on Factor Analysis

WANG Mengyuan, FANG Houzheng

(Business School,Shanghai University for Science and Technology,Shanghai 200093,China)

Abstract: Ecological civilization construction has become one of the important factors to measure the sustainable development of a country or region. In drawing based on the research of the index system of ecological civilization construction, screening evaluation index, the factor analysis model is used to analyze the ecological civilization construction level of 31 provinces, regions and cities for empirical research. Based on the factor score and ranking to make comprehensive evaluation. The results show that there are differences in different provinces in each region of ecological civilization construction in China, Provinces with relatively good levels of ecological civilization construction are mostly located in the economically developed eastern regions. The provinces with relatively weak levels of ecological civilization construction are mostly located in the northwest and part of the south. Finally, relevant suggestions are put forward for promoting ecological civilization construction and high-quality development in various regions of China.

Keywords: ecological civilization construction;evaluation of ecological civilization construction;factor analysis