

吕若曦,肖思思,董燕红,等. 基于层次分析法的资源环境承载力评价研究——以镇江市为例[J]. 江苏农业科学,2018,46(9):268-272.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.09.064

基于层次分析法的资源环境承载力评价研究 ——以镇江市为例

吕若曦^{1,2},肖思思¹,董燕红³,吴向阳¹

(1. 江苏大学环境与安全工程学院,江苏镇江 212013; 2. 江苏省镇江市国土资源局润州分局,江苏镇江 212001;
3. 江苏农林职业技术学院,江苏句容 212400)

摘要:区域资源环境承载力评价是协调资源环境与社会经济协调发展的关键。采用 2009—2016 年数据,在选取典型指标及采用专家打分法对指标赋权的基础上,运用 AHP 层次分析法构建江苏省镇江市资源环境承载力评价指标体系,采用定性与定量相结合的方式,分析了镇江市 2009—2016 年 8 年间资源、环境、社会、经济的发展状况以及资源环境承载力的时间变化规律。结果显示,8 年间,资源环境承载力呈波动增长,总体增长 1.4 倍。资源、环境、社会、经济子系统均实现不同程度的增长。但系统及要素间承载力发展不均,资源、环境子系统的发展显著滞后于社会、经济子系统。据此提出相关政策建议,为镇江市资源环境的优化配置及资源环境承载能力的持续提升提供数据支撑与决策参考。

关键词:资源环境承载力;层次分析法;指标体系;镇江

中图分类号: F062.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)09-0268-05

社会、经济的迅速发展导致生产和消费过程中产生了严重的资源短缺和环境污染。然而由于生存和发展的需要,人类对资源、环境的索取仍在继续,资源环境与社会经济发展之间的矛盾越发凸显。如何使资源、环境与社会、经济发展相协调,成为国际国内学者争先关注的焦点。在此背景下,资源环境承载力及其评价研究作为协调资源、环境与社会、经济发展的关键,得到了迅速发展。资源环境承载力,实质上是对于特定的时间和区域范围内,以定性和定量相结合的方式,表现出区域资源环境系统所承受的人类社会经济活动的压力。除了人类赖以生存的资源、环境系统,资源环境承载力的评价亦是对资源、环境、社会、经济复合系统、众多要素的综合评价,其评价结果随地域差异、时间变化在不同阶段表现为不同的数量特征。关注资源环境承载力评价研究对于丰富、完善资源节约型、环境友好型社会可持续发展的基础研究具有重要的理论和现实意义。

目前,已有相关研究大部分仅针对单项要素的承载力评价展开,如水资源承载力评价^[1-3]、土地资源承载力评价^[4-8]、森林资源承载力评价^[9]、生态环境承载力评价^[10]等等,而针对资源、环境、社会、经济复合系统开展的综合承载力评价研究较少。研究方法上涵盖模糊物元法^[4]、TOPSIS 方法^[5,11]、系统动力学方法^[12]、状态空间法^[13]、均方差决策法^[14]、灰色关联分析法^[2]、主成分分析法^[15-16]以及层次分析法^[6,8,15,17]等多种分析方法。其中,层次分析法虽偏于主观,

但却因原理简单、可操作性与可实践性强而被广泛采用。就研究区域而言,目前相关研究主要集中在我国东部经济发达的省域层次和西部生态脆弱地区^[4,11,13,18],而对于江苏省镇江市地县级层次的研究鲜有报道。

基于此,在已有研究的基础上,构建镇江市资源环境承载力评价指标体系,综合采用专家打分法与层次分析法^[19-20]对 2009—2016 年镇江市资源环境承载力进行综合评价,旨在为镇江市资源环境的合理配置、资源环境与社会经济协调可持续发展的政策制定提供数据支撑与决策参考。

1 研究区域概况

镇江市位于 31°37'~32°19'N、118°58'~119°58'E,毗邻南京、常州,与扬州、泰州隔江相望,是长江三角洲地区、太湖流域的核心腹地。气候类型属亚热带季风气候,夏季高温炎热,冬季温和湿润,降水丰沛,四季分明。镇江地处江南平原与丘陵山地间的过渡地带,丘陵岗地面积占比 63.4%,圩区、洲地占 19.5%,平原占 17.1%,地形地貌较为复杂。2016 年,镇江市下辖京口、润州、丹徒 3 个区,代管句容、丹阳、扬中 3 个市。据 2016 年数据资料显示,镇江市全市土地总面积 3 848 km²,约占全国土地总面积的 0.04%;总人口 311 万人,人均土地面积 0.001 2 km²,仅为全国人均土地面积 0.007 0 km² 的 17%,人地矛盾突出。2016 年,镇江市人均及地均生产总值分别为 12.1 万元和 1 亿元,为同年国内人均及地均生产总值 5.4 万元和 775 万元的 224% 与 1 290%。与此同时,据 2016 年《镇江市环境状况公报》显示,镇江市空气环境、水环境、声环境等虽有所改善,但 7 个辖区环境空气质量仍未达到 2 级标准要求,地表水环境质量仍总体处于轻度污染状态,主要内陆河流底栖动物物种多样性评价等级均为贫乏,且全年接报 10 起突发环境污染事故。由此可见,镇江市社会经济的发展仍以对资源环境的过度占用为代价。

收稿日期:2018-03-26

基金项目:国家自然科学基金(编号:41501185,41571162)。

作者简介:吕若曦(1992—),女,江苏镇江人,硕士研究生,主要从事资源环境承载力相关研究。E-mail:lvruoxicici@126.com。

通信作者:肖思思,博士,副教授,主要从事自然资源与环境可持续发展研究。E-mail:xiao780@163.com。

2 研究方法

2.1 指标体系构建

资源环境承载力作为一个综合性的概念,涵盖了资源、环境、社会和经济等多方面的因素。基于资源环境承载力的内涵,本研究中资源环境承载力评价指标体系中指标的选取除应遵循科学性、系统性、可操作性3项普适性特征外,还应考虑镇江市资源、环境与社会、经济发展的自身特点以及数据的可获得性特征。

基于“长江经济带”与“宁镇扬一体化”等区域发展战略实施背景,参照历年《镇江市统计年鉴》《环境质量状况公报》,本研究构建了镇江市资源环境承载力评价指标体系。该指标体系将目标层资源环境承载力A分为准则层4项指标:资源承载力(B_1)、环境承载力(B_2)、社会承载力(B_3)和经济承载力(B_4);要素层8项指标:资源状况承载力(C_1)、水环境承载力(C_2)、大气承载力(C_3)、固废承载力(C_4)、生活水平承载力(C_5)、人口承载力(C_6)、基础设施承载力(C_7)、经济发展承载力(C_8);共涵盖指标层($D_1 \sim D_{47}$)47个具体指标(表1)。

2.2 数据标准化

本研究资源环境等原始数据主要来源于《镇江市环境质量状况公报》(2009—2016年),社会、经济等原始数据主要来源于《镇江市统计年鉴》(2010—2017年)。由于原始数据的量纲和数量级的不同,为保证各指标在综合分析中的可比性和分析结果的准确性,本研究采用Min—Max标准化方法对原始数据进行标准化处理,标准化后指标值介于0~1之间。

正向指标处理:

$$I_{ij} = \frac{R_{ij} - R_{j,\min}}{R_{j,\max} - R_{j,\min}} \quad (1)$$

负向指标处理:

$$I_{ij} = \frac{R_{j,\max} - R_{ij}}{R_{j,\max} - R_{j,\min}} \quad (2)$$

式中: I_{ij} 为经过标准化处理后的数据, $R_{j,\max}$ 和 $R_{j,\min}$ 分别为指标数据 R_j 的最大值和最小值。

2.3 评价指标权重

指标权重作为该指标对评价结果影响力的定量表达,对评价结果有着重要影响。确定评价指标权重的方法众多,AHP层次分析法因其原理简单、有较严格的数学依据,而被广泛应用于复杂系统的分析与决策。

基于资源环境承载力评价的系统性和综合性以及本研究指标体系中各指标间的相互影响,笔者采用AHP层次分析法进行权重赋值,具体步骤如下。(1)将指标分类,纳入A、B、C、D的递阶层次结构中,构造指标体系层次模型。(2)将每一层次各要素相对于上一层层次各要素按重要性程度进行两两比较判断,按照一定的标度理论,得到相对重要程度的比较权并建立判断矩阵,计算判断矩阵的最大特征值及其特征向量,进行层次单排序。(3)利用层次单排序的计算结果,进行层次总排序,即进一步综合出各层要素相对于上一层某要素的重要性排序,建立权重向量。(4)采用专家打分法,获得专家对各指标重要性的评分,确定各指标间的两两判断矩阵,并通过判断矩阵的一致性检验明确该指标体系中各指标的绝

对权重(表1)。

2.4 评价模型

基于构建的评价指标体系以及数据、方法的选择,以下按加权法将权重矩阵与数据矩阵相乘,计算镇江市2009—2016年资源环境承载力数值。具体公式如下:

$$V = \sum I_{ij} \cdot W_j \quad (3)$$

式中: V 为承载力值计算结果, I_{ij} 为经过标准化处理的指标数据, W_j 代表该指标权重。

3 资源环境承载力评价及结果分析

3.1 要素层承载力评价

2009—2016年镇江市8项要素层承载力评价结果(表2)显示:

(1)2016年,各要素承载力按从大到小排序依次为经济发展>资源状况>水环境>基础设施>固废环境>大气环境>生活水平>人口。

(2)与2009年相比,2016年8项承载力中排序上升的是经济承载力、水环境承载力和基础设施承载力;排序下降的是资源承载力、固废承载力和大气承载力;承载能力较低且排名靠后的是生活承载力和人口承载力。

(3)8年间,承载能力持续增加的是水环境承载力、生活水平承载力、基础设施承载力及经济发展承载力,增加值分别为0.0901、0.0462、0.0748和0.2051;按增长程度排序依次表现为经济发展(2009年标准化后基数为0)>生活水平(11倍)>基础设施(9倍)>水环境(4倍)。其中,经济发展系统中地区生产总值、规模以上人均工业总产值、人均地方财政收入、人均R&D经费支出及城镇常住居民人均可支配收入的持续增长,是经济发展承载力增加的主要原因;城市工业污水处理量、城市污水COD、氨氮去除量及城市生活污水处理量的大幅、持续增长是水环境承载力增加的主要原因;生活水平承载力的增加主要得益于人均社会消费品总额及在岗职工平均工资2项指标;基础设施承载力的增加得益于人均固定资产投资、市区建成区绿化率及城市燃气普及率3项指标。

(4)8年间,人口承载力除2011—2013年间出现波动外,总体呈现持续增加的趋势。市区人口密度与城市化率是促使人口承载力持续增加的主要原因,而人口自然增长率的变动则导致2012年人口承载力拐点的出现。

(5)8年间,资源、大气及固废承载力呈现出波动变化。其中,资源承载力总体增加0.0093,大气和固废承载力总体下降0.0079和0.0056。分析发现:市区人均日生活用水量、耕地总面积、人均园林绿地面积、人均公园绿地面积的波动增加,是驱使资源承载力总体上升的主要原因;城市空气质量优良率、工业废气排放量、(工业)废弃治理设施处理能力以及工业危险废物处置率不同程度的波动下降则使得大气和固废承载力总体下降。

3.2 准则层承载力评价

2009—2016年镇江市4项准则层承载力评价结果如图1所示。

(1)2009年,准则层承载能力从大到小排序依次为环境子系统>资源子系统>社会子系统>经济子系统;2016年则表现为环境子系统>经济子系统>社会子系统>资源子系统。

表 1 镇江市资源环境综合承载力评价指标体系

A 层目标层及其权重	B 层准则层及其权重	C 层要素层及其权重	指标层	指标权重	指标性质	
资源环境承载力 A(1)	资源子系统承载力 (B ₁) (0.244 1)	资源状况 (C ₁) (0.244 1)	D ₁ 市区人均日生活用水量(L)	0.048 83	负向指标	
			D ₂ 全社会人均用电量(kW·h)	0.048 83	负向指标	
			D ₃ 耕地总面积(km ²)	0.048 83	正向指标	
			D ₄ 市区人均园林绿地面积(hm ²)	0.024 41	正向指标	
			D ₅ 市区人均公园绿地面积(m ²)	0.024 41	正向指标	
			D ₆ 人均原煤消费量(t)	0.048 83	负向指标	
	环境子系统承载力 (B ₂) (0.345 3)	水环境 (C ₂) (0.129 5)	D ₇ 单位工业产值工业废水排放量(t/元)	0.003 55	负向指标	
			D ₈ 污水处理厂集中处理率(%)	0.003 55	正向指标	
			D ₉ 城市污水 COD 去除量(t)	0.010 82	正向指标	
			D ₁₀ 城市污水氨氮去除量(t)	0.026 60	正向指标	
			D ₁₁ 城市生活污水处理量(t)	0.026 60	正向指标	
			D ₁₂ 城市工业污水处理量(t)	0.026 60	正向指标	
			D ₁₃ 饮用水源水质达标率(%)	0.013 68	正向指标	
			D ₁₄ 城市地面水质达标率(%)	0.010 99	正向指标	
			D ₁₅ 工业重复用水率(%)	0.003 48	正向指标	
			D ₁₆ (工业)废水治理设施处理能力(t/d)	0.003 60	正向指标	
			大气环境 (C ₃) (0.129 5)	D ₁₇ 单位工业产值工业二氧化硫排放量(t/元)	0.004 95	负向指标
				D ₁₈ 单位工业产值工业烟(粉)尘排放量(t/元)	0.004 95	负向指标
				D ₁₉ 城市空气质量优良率(%)	0.015 70	正向指标
				D ₂₀ 工业废气排放量(m ³ N)	0.016 59	负向指标
D ₂₁ 二氧化氮平均值(mg/m ³)	0.005 25	负向指标				
D ₂₂ 二氧化硫日平均值(mg/m ³)	0.013 43	负向指标				
D ₂₃ 可吸入颗粒物(PM ₁₀)日平均值(mg/m ³)	0.015 43	负向指标				
D ₂₄ 区域环境噪声平均值(昼)(dB)	0.014 40	负向指标				
固废环境 (C ₄) (0.086 3)	D ₂₅ 汽车尾气达标率(%)	0.005 01	正向指标			
	D ₂₆ (工业)废气治理设施处理能力(m ³ N/h)	0.033 77	正向指标			
	D ₂₇ 生活垃圾无害化处理率(%)	0.039 70	正向指标			
	D ₂₈ 工业废物综合利用率(%)	0.019 09	正向指标			
	D ₂₉ 工业危险废物处置率(%)	0.027 53	正向指标			
	社会子系统承载力 (B ₂) (0.205 3)	生活水平 (C ₅) (0.051 3)	D ₃₀ 人均社会消费品总额(元)	0.010 19	正向指标	
D ₃₁ 在岗职工平均工资(元)			0.017 80	正向指标		
D ₃₂ 恩格尔系数(%)			0.023 33	负向指标		
人口 (C ₆) (0.051 3)			D ₃₃ 人口自然增长率(%)	0.017 11	正向指标	
		D ₃₄ 市区人口密度(人/km ²)	0.017 11	正向指标		
		D ₃₅ 城镇化率(%)	0.017 11	正向指标		
基础设施 (C ₇) (0.102 6)		D ₃₆ 市区每万人拥有公共汽车(标台)(辆)	0.008 45	正向指标		
		D ₃₇ 市区建成区绿化率(%)	0.016 21	正向指标		
		D ₃₈ 人均固定资产投资(元)	0.028 67	正向指标		
		D ₃₉ 人均货运量(t)	0.008 45	正向指标		
	D ₄₀ 人均客运量(人)	0.008 45	正向指标			
	D ₄₁ 城市燃气普及率(%)	0.016 21	正向指标			
经济子系统承载力 (B ₁) (0.205 3)	经济发展 (C ₈) (0.205 3)	D ₄₂ 地方节能环保财政支出(元)	0.016 21	正向指标		
		D ₄₃ 人均 GDP(元)	0.080 88	正向指标		
		D ₄₄ 规模以上人均工业总产值(元)	0.025 45	正向指标		
		D ₄₅ 人均地方财政收入(元)	0.048 06	正向指标		
		D ₄₆ 人均研究与试验(R&D)经费支出(元)	0.025 45	正向指标		
		D ₄₇ 城镇常住居民人均可支配收入(元)	0.025 45	正向指标		

表2 要素层承载力值计算结果

要素	不同年份要素层承载力值							
	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年
资源状况(C_1)	0.113 4	0.125 9	0.162 8	0.116 8	0.104 6	0.104 5	0.159 4	0.122 7
水环境(C_2)	0.025 0	0.046 8	0.069 4	0.085 8	0.099 8	0.111 9	0.109 6	0.115 1
大气环境(C_3)	0.070 4	0.055 1	0.080 1	0.090 7	0.036 9	0.035 2	0.053 9	0.062 5
固废环境(C_4)	0.072 8	0.071 4	0.082 8	0.081 4	0.081 2	0.084 1	0.086 3	0.067 2
生活水平(C_5)	0.004 6	0.002 9	0.011 2	0.016 1	0.024 9	0.042 6	0.046 3	0.050 8
人口(C_6)	0.004 6	0.020 6	0.017 0	0.037 8	0.027 2	0.028 0	0.032 2	0.034 3
基础设施(C_7)	0.008 4	0.032 5	0.038 6	0.053 0	0.059 0	0.058 7	0.065 4	0.083 2
经济发展(C_8)	0.000 0	0.033 1	0.074 5	0.098 5	0.138 3	0.162 3	0.187 2	0.205 1

与2009年相比,2016年经济、社会子系统承载能力排序上升,而资源子系统排序下降,环境子系统排序不变。

(2)整体而言,资源子系统承载力从2009年的0.113 4增加至2016年的0.122 7,增加值为0.009 3,增长率为8.21%,年均增长率1.13%,呈现出先上升、后下降、再上升、再下降的波动变化趋势。如前所述,驱使资源子系统承载力增长的主要原因为市区人均日生活用水量、耕地总面积、人均园林绿地面积、人均公园绿地面积4个指标;而全社会人均用电量及人均原煤消耗量的变化,是驱使该系统承载力波动变化的主要原因。

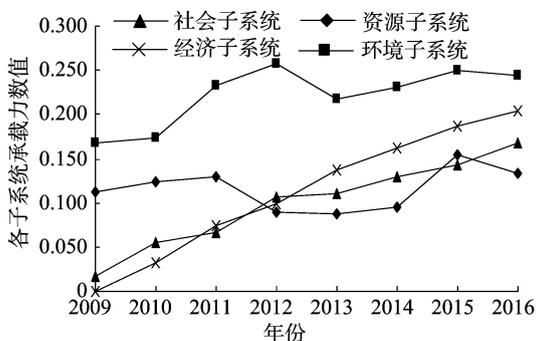


图1 不同年份镇江市各子系统承载力

(3)环境子系统承载力从2009年的0.162 8增加至2016年的0.244 7,增加值为0.076 5,增长率为45.54%,年均增长率5.51%,同样呈现出先上升、后下降、再上升、再下降的波动变化趋势。水环境承载力的持续增加是环境子系统承载力提升的主要贡献者,而大气与固废承载能力的变化是环境子系统承载力呈现波动变化的主要原因。

(4)社会子系统承载力从2009年的0.017 5增加至2016年的0.168 3,增加值为0.150 8,年均增长率达到38.15%,总体增长接近9倍,且呈现持续增长态势。生活水平(C_2)与基础设施水平(C_4)的持续增长以及人口指标(C_3)的波动上升是社会子系统承载力变化的主要原因。

(5)经济子系统承载力呈现大幅上升趋势,其所有指标均呈持续上升态势。

3.3 目标层承载力评价

据式(3)计算镇江市资源环境承载力,计算结果(图2)显示:镇江市资源环境承载力从2009年的0.299 0增长至2016年的0.740 8,增加值为0.441 8,总体增长1.4倍,呈现出波动上升态势。综合分析发现,镇江市资源环境承载力的整体提升主要得益于社会、经济子系统及水环境要素承载力

的持续增加,而其波动变化主要受资源系统承载力及大气、固废环境要素承载力变化影响所致。分析发现,镇江市资源环境与社会经济的发展主要存在如下问题:

(1)四大子系统承载力发展不均。经济、社会子系统承载力的增长速率明显高于同期环境、资源子系统。资源、环境子系统发展的相对滞后凸显了镇江市资源、环境与社会、经济发展的不相适应问题。

(2)要素子系统及各指标承载力同样发展不均。在环境子系统中,大气、固废承载力的年均增长率分别为-1.69%和-1.13%,相对于水环境承载力年均增长率24.37%发展偏缓。社会子系统中,生活水平、基础设施承载力年均增长率分别为41.09%、38.75%,其增幅明显大于人口承载力年均增长率33.41%。针对资源状况,市区人均日生活用水量、耕地总面积、人均园林绿地面积、人均公园绿地面积4个指标的发展变化优于全社会人均用电量、人均原煤消耗量的变化。针对水环境,城市工业污水处理量、城市污水COD、氨氮去除量及城市生活污水处理量的进步显著优于该系统中其他指标的发展,等等。

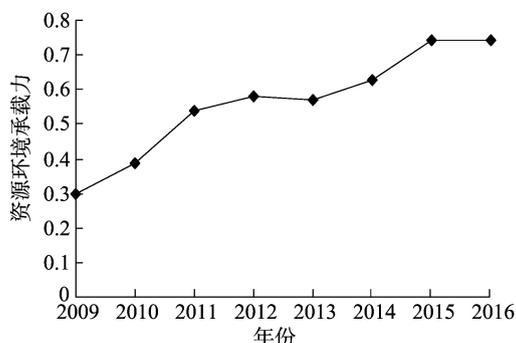


图2 不同年份镇江市资源环境承载力

(3)资源子系统发展的相对滞后引发资源枯竭。相较于其他子系统的发展,资源子系统的增加值、增长速度和增长幅度均相对缓慢。伴随镇江市GDP从 1.672×10^{11} 元增加至 3.843×10^{11} 元,万元GDP能耗虽从0.557 4 t标准煤降至0.543 9 t标准煤,但综合能源消费总量却从 9.32×10^6 t标准煤迅速升至 2.09×10^7 t,能源消耗依然以原煤、石油等不可再生资源为主,清洁能源所占比重有待提高。随着工业化、城市化进一步推进,镇江市资源能源约束不断加剧。

(4)大气与固废要素发展的相对滞后引发环境污染。如镇江市的城市空气质量优良率从2009年的89%波动下降至2016年的76%,工业废气排放量(D_{31})同期从 $1.894 \times$

$10^{11} \text{ m}^3 \text{ N}$ 增加至 2016 年的 $2.439 \times 10^{11} \text{ m}^3 \text{ N}$, 工业废气治理设施处理能力 (D_{40}) 则在增加至 $0.61 \times 10^4 \text{ m}^3 \text{ N/h}$ 后又持续降至 2016 年的 $0.28 \times 10^4 \text{ m}^3 \text{ N/h}$ 。在经济总量持续增长、煤炭用量和污染物产生量持续增加的情况下, 污染物排放强度和能耗强度下降的速度难以维持, 低效能高污染的工业发展仍然是镇江环境污染的主要来源之一。

4 结论

2009—2016 年 8 年间, 镇江市资源环境承载力从 0.299 0 波动增长至 0.740 8, 总体增长 1.4 倍。其中, 资源、环境子系统分别从 0.113 4、0.168 2 波动变化至 0.122 7、0.244 7, 社会、经济子系统从 0.017 5、0 分别持续增长至 0.168 3、0.205 1。全社会人均用电量、人均原煤消耗量 2 项指标是拉慢资源子系统发展, 促使其波动变化的主要原因。城市空气质量优良率、工业废气排放量、(工业) 废弃治理设施处理能力及工业危险废物处置率 4 项指标是驱使大气和固废承载力总体下降、环境子系统承载力波动的主导要素。资源、环境子系统的发展显著滞后于社会、经济子系统。低效能、高污染的工业发展仍然是引发承载力系统发展不均的主要原因。据此并结合“十三五”期间镇江市环境保护工作的开展, 针对镇江市资源环境与社会经济发展过程中存在的突出问题, 笔者给出如下对策建议:

(1) 协调发展, 互利共赢。加速对“一带一路”倡议以及长江经济带、长三角区域发展一体化等国家重大战略的融入与实施, 主动适应经济发展新常态, 推动经济发展方式从规模速度型转向节约集约型, 正确处理环境保护与经济社会发展的关系, 将资源环境承载能力作为发展的重要约束, 加快走出一条经济发展和生态文明相辅相成、相得益彰的路子。

(2) 稳强扶弱, 补充短板。重点提升镇江市资源环境承载力系统中发展落后的要素子系统与指标, 及时补充短板。对于大气、固废和人口等发展相对落后的要素和指标, 从源头出发发现问题、解决问题, 提出相应对策并严格执行。

(3) 节约资源, 循环高效。大力发展循环经济和生态产业, 提高资源能源的利用效率, 构建绿色生产生活体系, 鼓励高消耗、高污染的企业主动采取节约资源能源的举措, 全面推进资源节约型社会建设。保护耕地、林地, 严守耕地红线的基本国策, 在建设用地大力开发的背景下, 严格落实耕地补偿政策。

(4) 抑制增量, 削减存量。针对大气污染, 镇江市应从优化能源结构、开展工业废气污染防治、加强机动车排气污染治理、控制秸秆焚烧污染、加强大气污染源管控几个方面着手, 切实实现对工业烟尘、粉尘及其他工业废气的防治与削减。针对固废污染, 则应加强综合利用和安全处置设施建设, 确保危险废物得到安全处置, 进一步提高工业固体废物、生活垃圾、电子垃圾及污水处理厂处置水平。最终实现以环保倒逼经济转型、镇江市产业低碳绿色发展的新格局。

参考文献:

[1] 李新, 石建屏, 曹洪. 基于指标体系和层次分析法的洱海流

域水环境承载力动态研究[J]. 环境科学学报, 2011, 31(6): 1338-1344.

[2] 康艳, 宋松柏. 水资源承载力综合评价的变权灰色关联模型[J]. 节水灌溉, 2014(3): 48-53.

[3] Sărbu C, Pop H F. Principal component analysis versus fuzzy principal component analysis a case study: the quality of danube water (1985—1996)[J]. Talanta, 2005, 65(5): 1215-1220.

[4] 田静宜, 王新军. 基于熵权模糊物元模型的干旱区水资源承载力研究——以甘肃民勤县为例[J]. 复旦学报(自然科学版), 2013, 52(1): 86-93.

[5] 孙钰, 李新刚, 姚晓东. 基于 TOPSIS 模型的京津冀城市群土地综合承载力评价[J]. 现代财经(天津财经大学学报), 2012, 32(11): 71-80.

[6] 张红, 张毅, 张洋, 等. 基于修正层次分析法模型的海岛城市土地综合承载力水平评价: 以舟山市为例[J]. 中国软科学, 2017(1): 150-160.

[7] 詹长根, 邢玉玲, 杨如军. 广西城市土地综合承载力时空差异分析[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(6): 281-285.

[8] 温亮, 游珍, 林裕梅, 等. 基于层次分析法的土地资源承载力评价——以宁国市为例[J]. 中国农业资源与区划, 2017, 38(3): 1-6.

[9] 冀冰. 基于生态足迹模型的山西省森林资源可持续发展评价[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2014.

[10] 熊建新, 陈端吕, 彭保发, 等. 洞庭湖区生态承载力系统耦合协调度时空分异[J]. 地理科学, 2014, 34(9): 1108-1116.

[11] 姜长军, 李贻学. 基于熵值法 TOPSIS 模型的陕西省资源环境承载力研究[J]. 资源与产业, 2017, 19(3): 53-59.

[12] Fang C, Liu X. Comprehensive measurement for carrying capacity of resources and environment of city clusters in central China[J]. Chinese Geographical Science, 2010, 20(3): 281-288.

[13] 诸宁扬, 丁生喜, 葛丽亚. 基于人口资源环境承载力评价的青海省重点开发区域新型城镇化问题[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(1): 279-285.

[14] Cheng J, Zhou K, Chen D, et al. Evaluation and analysis of provincial differences in resources and environment carrying capacity in China[J]. Chinese Geographical Science, 2016, 26(4): 539-549.

[15] 董燕红, 钟定胜, 卢小丽. 主成分与层次分析法在区域可持续发展能力评价中的应用对比[J]. 安全与环境学报, 2016, 16(1): 359-365.

[16] 郑敏, 李陇堂, 王燕华. 主成分分析法用于可持续发展综合评价中的探讨——以河南省为例[J]. 商丘师范学院学报, 2009, 25(6): 110-114.

[17] 张静超, 戴明宏, 王腊春, 等. 太原市城市综合承载力评价研究[J]. 生态科学, 2016, 35(6): 46-52.

[18] 郎涛, 吴才武, 邓群, 等. 基于 P-E-R 区域匹配模式的可持续发展评价——以新疆阿勒泰地区为例[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(10): 264-267.

[19] 沈继红. 数学建模[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 1998.

[20] Saaty T. Fundamentals of decision making and priority theory with the AHP[M]. Pittsburgh: RWS Publications, 1994.