

基于“压力-状态-响应”模型的江苏省环境绩效评估研究

王婷, 袁增伟*

(污染控制与资源化研究国家重点实验室, 南京大学环境学院, 南京 210023)

摘要 环境绩效评估通过量化环境管理效果和分析环境管理中的不足, 为改善环境管理水平提供依据。本研究依据压力-状态-响应(PSR)模型和主题框架法构建了包括环境效率、环境质量、环境治理3个二级指标和15个三级指标的市级环境绩效评估指标体系, 并运用目标渐进法和均权法计算了江苏省13个地级市2015年的环境绩效指数。结果显示, 江苏省各地级市综合环境绩效指数分布在58.41(连云港市)~74.98(苏州市)之间, 且与经济发展水平正相关。从空间分布来看, 位于苏中地区的城市综合环境绩效多为良好, 苏南和苏北各地之间的绩效差距较大; 在二级指标中, 苏南环境效率和环境治理绩效相对较好, 苏中环境效率和环境质量绩效较好, 苏北环境质量绩效较好。此外, 本研究认为三级指标中的单位GDP用水量、空气质量达标良好以上天数、工业用水重复利用率、一般工业固体废物利用率以及秸秆综合利用效率等是主要的限制性指标。

关键词 环境绩效; 环境管理; 环境效率; 环境质量; 环境治理

中图分类号: X321

文章编号: 1674-6252(2017)03-0059-07

文献标识码: A

DOI: 10.16868/j.cnki.1674-6252.2017.03.059

Environmental Performance Evaluation in Jiangsu Province Based on Pressure-State-Response Model

WANG Ting, YUAN Zengwei*

(State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse, School of the Environment, Nanjing University, Nanjing 210023)

Abstract: Environmental performance evaluation (EPE) can quantify the effects of environmental management and provide guidance for environmental planning and management. This research applied Pressure-State-Response (PSR) model and the theme framework to build the EPE indicator system on urban scale. We identified three 2nd class indicators: environmental efficiency, environmental quality, and environmental governance, with five 3rd class indicators under each. The proximity-to-target approach and average-weighted method were adopted to calculate the environmental performance indexes (EPIs) of 13 cities in Jiangsu province in 2015. The results showed that the EPIs of 13 cities ranged from 58.41 (Lianyungang) to 74.98 (Suzhou), and had significantly positive correlation with economic level (Gross Domestic Product, GDP). From the perspective of spatial distributions of EPIs, most of the cities, gathered in middle part of Jiangsu province, reached good level, but the rest cities shared big differences. For the EPIs of 2nd indicators, different regions have different performance. The southern regions performed well in environmental efficiency and environmental governance. The central regions got high scores in environmental efficiency and environmental quality generally, and the northern regions were the best performers of environmental quality. Furthermore, these 3rd indicators, including water consumption per 10,000 RMB GDP, days of $AQI \leq 100$, industrial water recycling rate, general industrial solid waste utilization rate, and straw comprehensive utilization rate, were the main limit factors to EPIs.

Keywords: environmental performance; environmental management; environmental efficiency; environmental quality; environmental governance

* 责任作者: 袁增伟(1975—), 男, 南京大学环境学院教授、博士生导师, 主要从事环境规划与管理研究, E-mail: yuanzw@nju.edu.cn。

作者简介: 王婷(1991—), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为环境管理。

引言

环境绩效评估 (environmental performance evaluation, EPE) 是管理组织人员依据环境绩效进行分析、决策的过程^[1], 其作为环境管理的方法之一, 首先在企业管理中得以应用及发展^[2]。1991年, 经济合作与发展组织 (OECD) 在全球范围内开展了区域环境绩效评估, 这标志着环境绩效评估的研究与应用由企业层面扩展到区域层面。此后, 一系列国际组织开始开展环境绩效评估研究, 如经济合作与发展组织 (OECD) 开展了国家层面的绩效评估、联合国欧洲经济委员会 (UN-ECE) 开展了欧洲国家环境绩效评估、耶鲁大学环境法律与政策中心和哥伦比亚大学国际地球科学信息网络中心每两年开展一次的全球环境绩效评估等, 旨在探究评估区域环境管理的成效和不足。

目前, 国内外有关环境绩效评估的研究多集中于指标体系构建^[3-7], 以及企业环境绩效评估^[8-11]。企业环境绩效评估是区域环境绩效评估的组成部分。区域环境绩效评估是在区域层面衡量整个人类社会的共同作用, 包括政府、企业、公众等所有行为主体, 通过对评估结果的分析对比各区域环保政策和环境管理措施的优劣。以耶鲁大学和哥伦比亚大学的全球环境绩效评估^[12]为代表, 国际上有关区域环境绩效评估的应用研究已经发展形成了成熟的指标体系构建方法和评估方法, 并以报告或网页的形式发布结果。我国区域环境绩效评估研究多着眼于省级层面^[13-18], 探讨各省环境管理的差异和未来发展的方向。较大地理尺度的环境绩效评估需要选取更为宏观和抽象的指标, 忽视了区域间的差异性, 无法评估出各区域的环境需求。因此, 必须着眼于更小尺度的环境绩效, 有针对性地选择制约城市环境发展的指标, 考察环境质量状况, 为环境管理提供决策支撑。

江苏省作为经济大省, 2015年GDP排名全国 (除港、澳、台等地区) 第二, 人均GDP第四。虽然在经济发展的过程中, 资源浪费、环境污染以及生态破坏是不可忽视的问题, 但相关研究表明, 江苏省环境绩效较好, 在全国处于优秀水平^[13,14,17]。即使如此, 江苏省在经济发展和环境改善方面仍然有很大的上升空间, 而宏观尺度的研究无法分辨具体问题, 无法对今后的发展提供更为详细的指导和建议。城市的统计指标和数据相对完整, 能够有针对性地反映环境管理的问题和缺陷。因此本研究选择江苏省13个地级市为研究区域, 通过构建更加有实用性和适用性的指标体系完成2015年环境绩效评估, 识别环境管理中的短板并提出相应建议。

1 指标体系构建与评估方法

1.1 环境绩效评估指标体系构建

评估指标是反映某种环境问题最直观的方式^[6], 而

指标体系则是多个指标的逻辑集合, 是环境绩效评估的基础和前提^[19]。构建指标体系的方法主要分为三类: 主题框架模型 (theme framework)、投入产出框架模型 (input-output-outcome-impact, IOOI) 以及因果框架模型 (causal framework)^[14]。其中, 主题框架模型是依据不同的环境主题或政策偏向来选取相应的指标, 各个指标之间不存在逻辑关系。投入产出框架模型在应用时需要同时考虑投入 (input)、产出 (output)、结果 (results) 和影响 (impacts), 更适用于构建企业或组织的评估指标体系。因果框架模型是以“原因”和“结果”这一逻辑链为基础构建指标体系, 最具有代表性的方法为 OECD 在 1994 年提出的压力-状态-响应 (pressure-state-response, PSR) 模型^[20]。PSR 模型认为人类活动会对环境造成压力 (pressure), 改变了环境质量和自然资源的存量 (state), 社会通过实施环境、经济等政策 (response) 来应对这些改变和压力^[21]。

本研究依据 PSR 模型选取了 3 个二级指标, 包括环境效率、环境质量、环境治理。其中, “压力”对应环境效率, 是指经济发展引起的资源消耗和污染物排放, 大多以经济效益作为衡量、比较的标准; “状态”对应环境质量, “响应”对应环境治理。由于第三级指标直接反映环境问题, 因此结合主题框架法以及政策相关性、实用性、有效性、敏感性、时限性、数据可获得性等原则^[21,22]进行筛选。在环境效率的三级指标中, 选择水、能源的使用量来衡量经济发展过程中资源消耗情况, 选择 COD 和 SO₂ 排放强度表征污染物排放情况, 选择化肥使用强度表示农业生产对环境产生的影响。在环境质量的三级指标中, 最大限度兼顾了水、气、噪声、生态等方面, 尽可能选择对居民健康和社会生产有直接影响的指标。在环境治理的三级指标中, 主要考虑了水和固废等的处理处置情况。由于大气污染治理的相关指标仅有排放数据, 很难获得处理的过程数据, 因此本研究只能暂时舍弃如工业烟尘去除率等相关指标, 争取在以后的研究中能够将其完善。基于以上分析, 本研究选择了 15 个三级指标, 构建了一套完整的评估指标体系 (表 1)。

1.2 环境绩效评估方法

本研究的数据转化方法采用了“目标渐进法” (proximity-to-target approach)。该方法依据各指标值与目标值的接近程度, 将指标值转换为 0~100 之间的环境绩效指数^[23,24] (图 1)。其中, 0 表示为环境绩效的最差值, 100 表示为环境绩效目标。

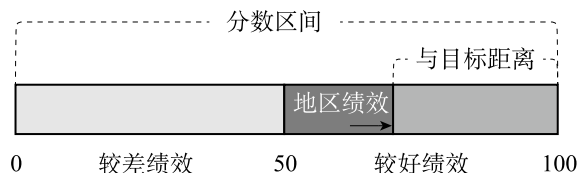


图 1 “目标渐进法”原理示意^[26]

表 1 环境绩效评估指标体系、标准值与权重

二级指标	三级指标	单位	指标 / 标准值出处	标准值	权重 (%)
环境效率	单位 GDP 用水量	t/ 万元	国家环境保护模范城市考核指标	最优	6.6667
	规模以上工业企业单位产值能耗	tce/ 万元	国家环境保护模范城市考核指标	最优	6.6667
	废水 COD 排放强度	kg/ 万元	国家级生态县建设指标	3.5	6.6667
	工业 SO ₂ 排放强度	kg/ 万元	国家级生态县建设指标	4.5	6.6667
	化肥施用强度 (折纯)	kg/hm ²	国家级生态县建设指标	250	6.6667
环境质量	酸雨发生率	%	江苏省环境质量公报	0	6.6667
	空气质量达良好以上天数	天	国家生态园林城市分级考核标准	300	6.6667
	区域环境噪声值	dB	国家生态园林城市分级考核标准	54	6.6667
	建成区绿化覆盖率	%	国家生态园林城市分级考核标准	40	6.6667
	地表水质监测断面水质达Ⅲ类以上比例	%	江苏省环境质量公报	最优	6.6667
环境治理	工业用水重复利用率	%	国家级生态县建设指标	100	6.6667
	生活污水处理率	%	国家级生态村创建标准	100	6.6667
	生活垃圾无害化处理率	%	国家级生态县建设指标	100	6.6667
	一般工业固体废物利用率	%	国家环境保护模范城市考核指标	100	6.6667
	秸秆综合利用率	%	“十三五”循环经济发展规划	100	6.6667

1.2.1 数据标准化

在计算时, 首先需要将指标分为正向和负向两类, 正向指标是指数值越大绩效越好的指标, 负向指标反之。对于正向指标:

$$t_{ij} = \begin{cases} 1 & a_{ij} \geq a \\ \frac{a_{ij} - a_{\min}}{a - a_{\min}} & a_{ij} < a \end{cases} \quad (1)$$

对于负向指标:

$$t_{ij} = \begin{cases} 1 & a_{ij} \leq a \\ \frac{a_{ij} - a_{\max}}{a - a_{\max}} & a_{ij} > a \end{cases} \quad (2)$$

式中: t_{ij} 为标准值; a_{ij} 为基础数据; $a_{\min}$ 为指标的最小值; $a_{\max}$ 为指标的最大值; a 为目标值; i 为第 i 个地区; j 为第 j 个指标。

1.2.2 指标赋权与 EPI 计算

指标赋权方法一般分为主观赋权法、客观赋权法和组合赋权法三种。其中, 主观赋权法是依据评估者的个人经验或认识对指标进行赋权, 具有较强的主观性。而客观赋权法是通过数理计算得出指标权重, 更能反映指标的原始信息。组合赋权法将不同的赋权方法得到的权重进行综合集成, 能够有效规避不同赋权方法本身的缺陷, 但其运算过程一般较为复杂。

本研究使用客观赋权法中的均权法, 并自下而上对指标进行赋权。具体来说, 本研究认为 15 个三级指标的重要性相同, 即对环境绩效指数的影响相同, 所以每个

三级指标的权重均为 6.6667% (在实际计算时, 0.066667 取 1/15)。然后再将三级指标的权重线性相加得出二级指标的权重 (表 1)。

环境绩效指数 (environmental performance index, EPI) 是将所有指标绩效值的线性加和的结果, EPI 越高, 则环境绩效越好。

$$EPI = \sum_{j=1}^n (t_{ij} \times E_j) \quad (3)$$

式中: t_{ij} 为第 i 个地区第 j 个指标的标准值; E_j 为第 j 个指标的标重; n 为三级指标个数, 15。

1.3 数据与目标值来源

本研究以江苏省 2015 年的数据为基础, 所采用的指标数据基本来自于江苏省官方公开的权威数据, 其中包括江苏省统计年鉴、各市县统计年鉴、各市县的国民经济和社会发展统计公报、政府工作报告、环境质量公报、水资源公报、“十三五”循环经济发展规划、“十三五”生态环境保护规划、“十三五”现代农业发展规划以及固体废物污染环境防治信息公告等。大部分评估指标数据可直接从统计年鉴或已发布的报告直接得到, 部分数据需要将统计年鉴数据进行处理后获得, 如规模以上工业企业单位产值能耗、废水 COD 排放强度、工业 SO₂ 排放强度、化肥施用强度等。

本研究指标体系中的目标值均来自于国家或地方颁发的相关测评指标, 如《国家环境保护模范城市考核指标》《国家生态文明建设试点示范区》《国家生态县建设指标》《国家生态乡镇建设指标》《国家生态园林城市分级考核标准》等。

2 江苏省环境绩效评估

计算得到 2015 年江苏省 13 个地级市的环境绩效指数后, 本研究通过空间分析、Rearson 相关性分析、雷达

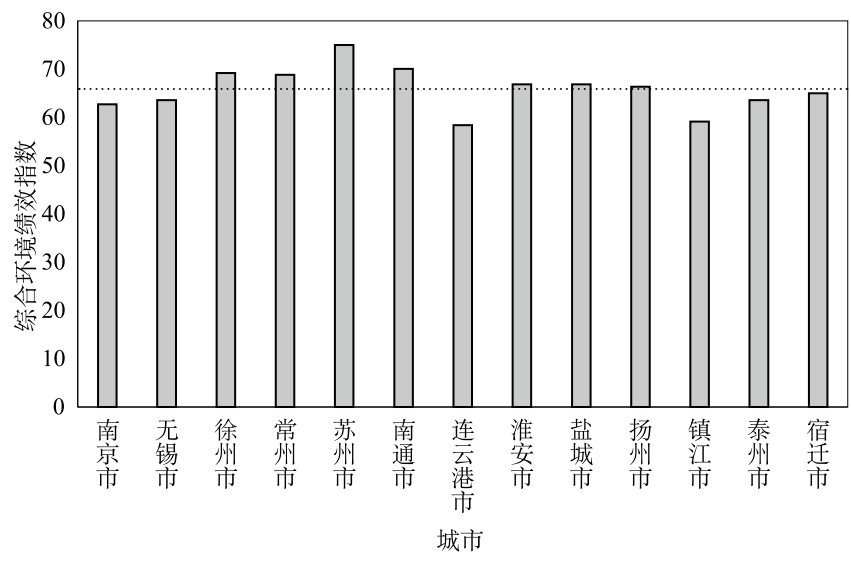


图2 江苏省各地级市 2015 年环境绩效指数（虚点线表示平均值）

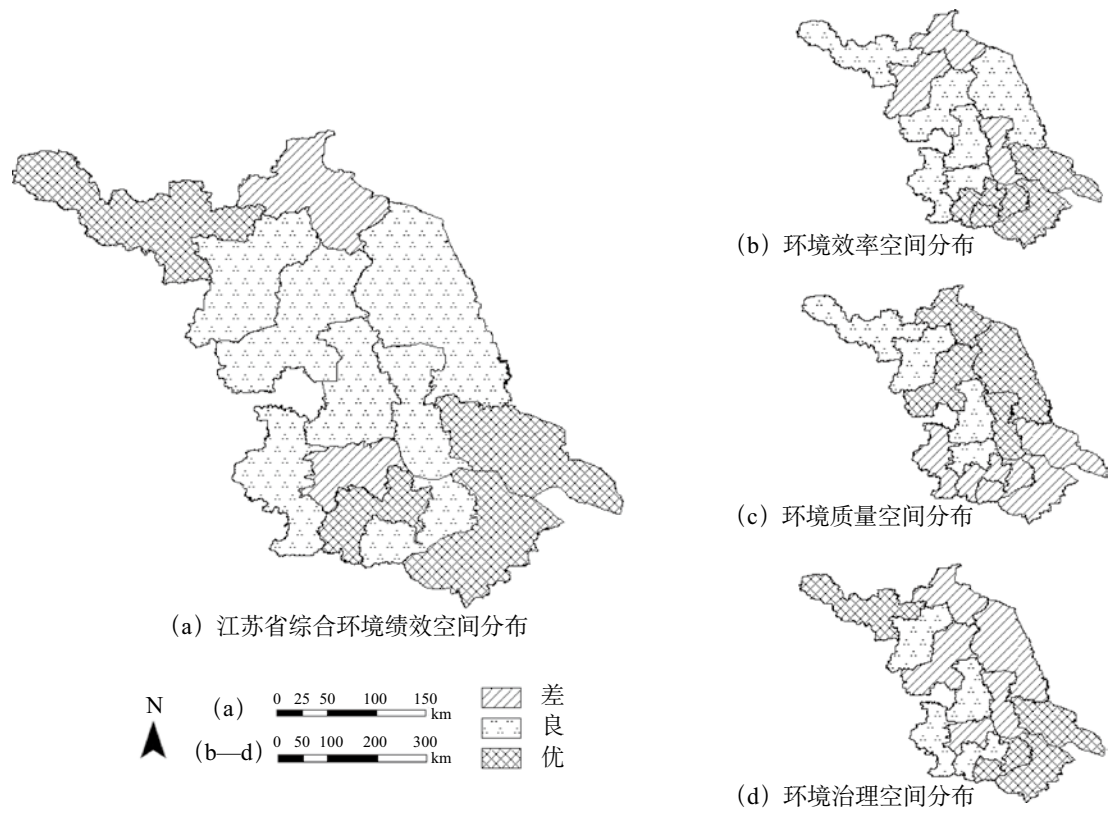


图3 江苏省环境绩效空间分布图

图分析等展示分析方法，分别从指标和空间分异的角度对各市环境绩效进行比较研究。

2.1 江苏省分指标环境绩效评估

经过计算，2015 年江苏省 13 个地级市的综合环境绩效指数（EPI）如图 2 所示。总体来看，江苏省 13 个地级市的综合环境绩效指数基本在 60 分以上，整体达到了较好水平。苏州市、南通市、徐州市、常州市、淮安市、盐城市和扬州市 7 地的综合环境绩效达到了平均值

（65.82 分）以上；连云港市、镇江市、南京市、无锡市、泰州市等地的综合环境绩效明显低于平均值，这类地区占 38.5%。苏州市的综合环境绩效最好，为 74.98 分；镇江市的环境绩效最差，为 59.15 分。各地市之间的环境绩效水平存在着较大的差异，说明各地社会发展和环境情况不尽相同，环境绩效有待进一步改善。

从空间分布图（图 3）来看，江苏省地级市综合环境绩效基本呈现出苏中良好、苏北和苏南差异较明显的趋势，其中南通市和徐州市综合环境绩效水平为优，镇

表 2 江苏省环境绩效与 GDP、人均 GDP 的相关性

		EPI	环境效率	环境质量	环境治理	GDP	人均 GDP
EPI	Person 相关性	1	0.664*	-0.304	0.768**	0.544	0.207
	显著性 (双侧)		0.013	0.313	0.002	0.055	0.498
	N	13	13	13	13	13	13
环境效率	Person 相关性	0.664*	1	-0.787**	-0.665*	0.626*	0.677*
	显著性 (双侧)	0.013		0.001	0.013	0.022	0.011
	N	13	13	13	13	13	13
环境质量	Person 相关性	-0.304	-0.787**	1	-0.725**	-0.605**	-0.679**
	显著性 (双侧)	0.313	0.001		0.005	0.028	0.011
	N	13	13	13	13	13	13
环境治理	Person 相关性	0.768**	0.665*	-0.725*	1	0.672*	0.366
	显著性 (双侧)	0.002	0.013	0.005		0.012	0.218
	N	13	13	13	13	13	13
GDP	Person 相关性	0.544	0.626*	-0.605**	0.672*	1	0.784**
	显著性 (双侧)	0.055	0.022	0.028	0.012		0.002
	N	13	13	13	13	13	13
人均 GDP	Person 相关性	0.207	0.677*	-0.679*	0.366	0.784**	1
	显著性 (双侧)	0.498	0.011	0.011	0.218	0.002	
	N	13	13	13	13	13	13

* 表示在 0.05 水平 (双侧) 上显著相关。

** 表示在 0.01 水平 (双侧) 上显著相关。

江市和连云港市为差。综合环境绩效与经济发展指标之间为正相关关系 (表 2), 可以说经济发展较好的地区, 综合环境绩效普遍较好。从二级指标来看, 各指标绩效的空间分布情况、与经济指标的相关性均不相同 (图 3、表 2)。其中, 环境效率绩效呈现出由南向北逐渐递减的趋势, 宿迁市和连云港市最差; 环境效率绩效与经济发展指标存在显著的正相关关系, 这说明经济发展状况较差的地区可能仍然存在依靠资源能源的过量投入来提高经济水平等问题。在环境质量绩效的空间分布中, 苏南地区得分普遍较低, 而苏中、苏北则较好。相关性分析表明, 环境质量绩效与环境效率绩效、经济指标均为显著负相关关系。苏南地区虽然经济总量大、资源能源的利用效率较高, 但排放的污染物总量可能也较大, 因而导致环境质量相对较差。从环境治理来看, 绩效较低的地区大多分布在江苏中部, 且该指标与经济指标、环境效率为正相关关系, 与环境质量为显著负相关关系。

2.2 江苏省分区域环境绩效评估

将江苏省 13 个地级市的二级环境绩效指数分别制成雷达图 (图 4), 从“压力”、“状态”、“响应”三个方面来分析各地的环境绩效情况, 通过追溯三级指标绩效来识别制约因素并提出相应建议。

首先, 在“压力”方面, 连云港市、宿迁市环境效率绩效较低。在 5 个三级指标中, 单位 GDP 用水量是最主要的限制性因素。连云港市、镇江市和宿迁市单位 GDP 用水量最高, 超过了 110m³/万元。这三地水资源较为丰富, 生产生活过程中可能存在水资源浪费等问题。因此可以通过收严梯度用水标准、提高最高等级收费标准等逐步降低用水总量。

其次, 在“状态”方面, 无锡市和南通市环境质量绩效较低, 主要的限制性指标为空气质量达良好以上天数和区域环境噪声值。其中, 2015 年无锡市的空气质量达良好以上天数为 234 天, 酸雨发生率为 28.3%。虽然空气质量状况很难从单一角度阐释, 但无锡市仍然需要从 SO₂ 等大气污染物排放总量等方面入手改善空气质量。2015 南通市区域环境噪声值达到了 57.7dB, 在 13 个地区中噪声值最高, 因此需要进一步关注噪声来源, 以便从源头控制。

最后, 在“响应”方面, 连云港市、淮安市、镇江市、泰州市环境治理绩效较低。与其他指标相比, 秸秆综合利用率绩效普遍较低, 是最主要的限制性指标。苏州市秸秆利用效率最高, 2015 年达到了 99%; 其余 12 个地区中, 利用率最低的为泰州市 (88%)。工业用水重复率是第二个主要的限制性指标, 13 个地区无一达到目标值, 结合单位 GDP 用水量这一指标来看, 江苏省新鲜用水量仍然较大, 需要不断提高工业企业的水循环效率和循环水使用量。一般工业固体废物利用率也是主要的限制性指标, 13 个地区指标绩效差异较大, 2015 年镇江市的指标值仅为 88.88%。由以上分析可知, 江苏省各地市环境治理仍需加强, 环境质量也存在较大的提升空间。

3 结论

本研究构建了江苏省环境绩效评估体系, 包括环境效率、环境治理和环境质量 3 个二级指标和 15 个三级指标, 运用目标渐进法和均权法对江苏省 13 个地级市 2015 年的环境绩效进行了评估, 研究发现江苏省环境绩效基本达到及格 (60 分) 以上水平, 其中苏州市、南

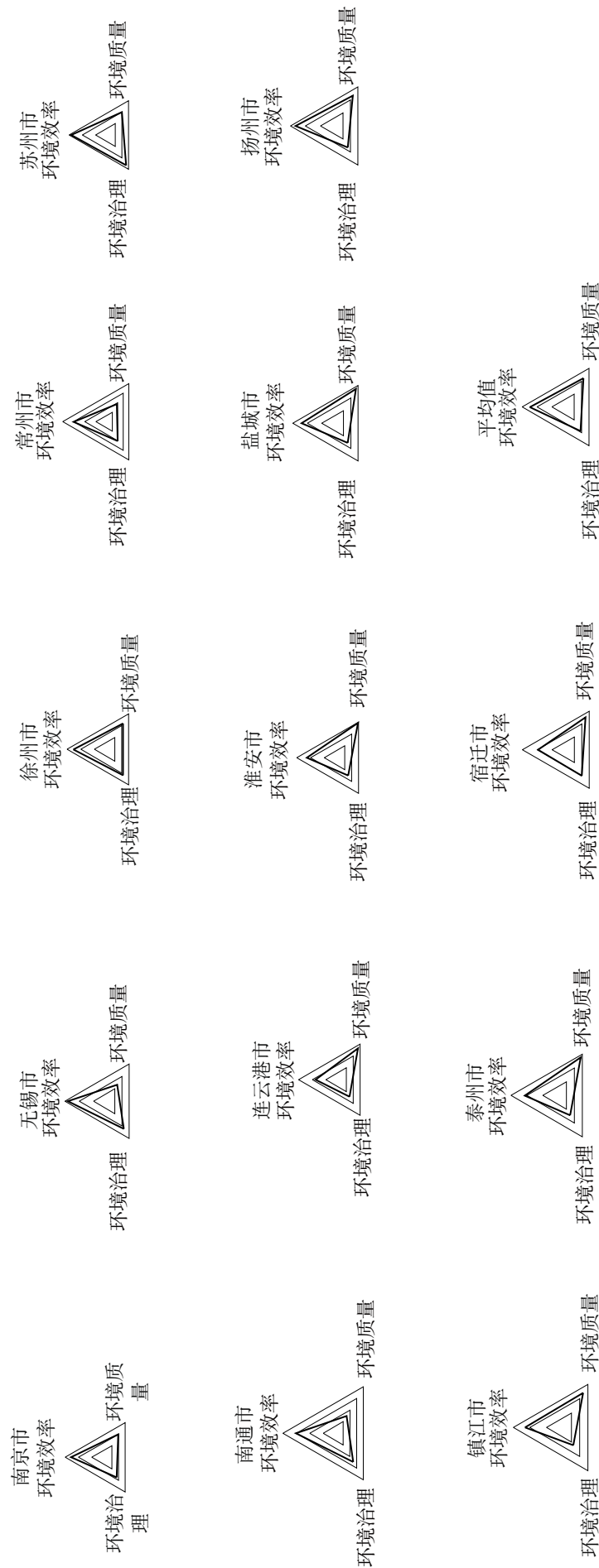


图 4 江苏省 13 个地级市二级指标绩效雷达图

通市和徐州市的环境绩效指数分别占据前三位, 而连云港市、镇江市、南京市的环境绩效较差, 亟需改善。从空间分布来看, 苏中各地的综合环境绩效多为良好, 苏北和苏南各地之间差距较大; 各二级指标绩效的空间分布均各不相同, 苏南环境效率和环境治理绩效相对较好, 苏中环境效率和环境质量绩效较好, 苏北环境质量绩效较好。从城市自身环境绩效来看, 各地限制性指标各不相同, 二级指标中, 环境治理绩效普遍较低, 是综合环境绩效的主要限制因素; 三级指标中, 单位 GDP 用水量、空气质量达良好以上天数、工业用水重复利用率、一般工业固体废物利用率以及秸秆综合利用率等是主要的限制性指标。

基于以上分析, 江苏省各地市在水资源利用方面需要更加重视工业用水的循环利用, 提高相关梯级用水标准, 适当调整用水费用, 降低对新鲜水的消耗和依赖。在空气质量方面, 要进一步收严 SO_2 、氨氮、烟尘以及可吸入颗粒物等大气污染物的排放总量标准, 减少酸雨发生率, 以降低对人民健康和社会生产带来的负面效应。在工业固体废物利用方面, 应加大对固废处置利用方法的探索, 提高一般工业固体废物利用率, 严格管理危险固体废物, 做到安全无污染处置及排放。

参考文献

- [1] ISO. Environmental management systems-requirements with guidance for use: ISO 14001: 2015[S/OL]. [2017-02-23]. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14001:ed-3:v1:en>.
- [2] PEARCE D MARKANDYA A, BARBIER E. Blueprint for A Green Economy[M]. London: Earthscan Publications, 1989.
- [3] AZZONE G, NOCI G, MANZINI R, et al. Defining environmental performance indicators: an integrated framework[J]. Business strategy and the environment, 1996, 5(2): 69-80.
- [4] JOHNSON S D. Identification and selection of environmental performance indicators: application of the balanced scorecard approach[J]. Corporate environmental strategy, 1998, 5(4): 34-41.
- [5] 曹颖. 环境绩效评估指标体系研究——以云南省为例[J]. 生态经济, 2006(5): 330-332.
- [6] NIEMEIJER D, DE GROOT R S. A conceptual framework for selecting environmental indicator sets[J]. Ecological indicators, 2008, 8 (1): 14-25.
- [7] 曹颖, 曹东. 中国环境绩效评估指标体系和评估方法研究[J]. 环境保护, 2008(14): 36-38.
- [8] FÄRE R, GROSSKOPF S, TYTECA D. An activity analysis model of the environmental performance of firms—application to fossil-fuel-fired electric utilities[J]. Ecological economics, 1996, 18(2): 161-175.
- [9] 林逢春, 陈静. 企业环境绩效评估指标体系及模糊综合指数评估模型[J]. 华东师范大学学报(自然科学版), 2006(6): 59-66.
- [10] 陈静, 林逢春, 曾智超. 企业环境绩效模糊综合评价[J]. 环境污染与防治, 2006, 28(1): 37-40.
- [11] 谢卫平, 焦涛. 江苏省企业环境绩效评估方法及指标体系研究[J]. 污染防治技术, 2009, 22(4): 32-34.
- [12] Yale University. Environmental performance index[EB/OL].(20) [2017-02-23]. <http://epi.yale.edu/>.
- [13] 刘佳. 基于生态文明理念的中国省级环境绩效评估实证研究[D]. 天津: 南开大学, 2014.
- [14] 郝春旭, 董战峰, 葛察忠, 等. 基于聚类分析法的省级环境绩效动态评估与分析[J]. 生态经济, 2015, 31(1): 154-157.
- [15] 郝春旭, 翁俊豪, 董战峰, 等. 基于主成分分析的中国省级环境绩效评估[J]. 资源开发与市场, 2016, 32(1): 26-30.
- [16] 董战峰, 郝春旭, 王婷, 等. 中国省级区域环境绩效评价方法研究[J]. 环境污染与防治, 2016, 38(2): 86-90.
- [17] 董战峰, 郝春旭, 刘倩倩, 等. 基于熵权法的中国省级环境绩效指数研究[J]. 环境污染与防治, 2016, 38(8): 93-99.
- [18] ZUO X, HUA H, DONG Z F, et al. Environmental performance index at the provincial level for China 2006-2011[J]. Ecological indicators, 2017, 75: 48-56.
- [19] 曹东, 宋存义, 曹颖, 等. 国外开展环境绩效评估的情况及对我国的启示[J]. 价值工程, 2008, 27(10): 7-12.
- [20] Organisation for Economic Co-operation and Development. OECD Environmental Indicators Development, Measurement, and Use[R]. Paris: OECD, 2003.
- [21] Organisation for Economic Co-operation and Development. OECD Core Set of Indicators for Environmental Performance Reviews: A Synthesis Report by the Group on the State of the Environment[R]. Paris: OECD, 1993.
- [22] SCHOMAKER M. Development of environmental indicators in UNEP[J]. Fao Land and Water Bulletin.
- [23] ESTY D C, LEVY M A, SREBOTNJAK T, et al. Pilot 2006 Environmental Performance Index[R]. New Haven: Yale Center for Environmental Law and Policy, 2006.
- [24] ESTY D C, LEVY M A, KIM C H, et al. 2008 Environmental Performance Index[R]. New Haven: Yale Center for Environmental Law and Policy, 2008.
- [25] HSU A, JOHNSON L A, LLOYD A. Measuring Progress: A Practical Guide From the Developers of the Environmental Performance Index (EPI)[R]. New Haven: Yale Center for Environmental Law and Policy, 2013.