

# 基于层次分析法的煤炭资源型城市 生态环境质量动态评价

李汉卿<sup>1</sup>, 陈立强<sup>1</sup>, 竹涛<sup>2</sup>

(1. 淮河水资源保护科学研究所, 安徽 蚌埠 233001; 2. 中国矿业大学(北京) 大气环境管理与污染控制研究所, 北京 100083)

**摘要:**煤炭资源型城市是指依托煤炭资源开发利用而兴建并发展起来的城市。随着长期的煤炭资源开发利用, 生态环境质量恶化逐渐成为制约煤炭资源型城市发展的重要因素。因此, 对煤炭资源型城市的生态环境质量进行动态评价, 能够使决策者明确煤炭资源型城市生态环境变化情况, 找出其制约因素, 为生态环境质量改善和城市转型发展提供技术支撑。以煤炭资源型城市淮南市为例, 采用层次分析法, 从自然环境、社会经济环境、环境污染治理 3 方面构建煤炭资源型城市生态环境质量动态评价指标体系和生态环境质量综合指数模型。在此基础上, 结合淮南市实际情况, 对淮南市 2010—2018 年生态环境质量进行动态评价, 根据评价结果提出进一步改善淮南市生态环境质量的建议。结果表明, 2010—2018 年淮南市生态环境质量综合指数总体呈现波动式上升趋势, 其中 2013—2015 年略微下滑, 2015 年以后逐渐上升。但总体上淮南市生态环境质量正趋于改善。为了进一步改善生态环境质量, 淮南市需立足“十四五”, 做好顶层设计, 优化产业结构, 构建双轮驱动的现代产业体系, 积极推进以采煤塌陷区治理为重点的生态环境建设, 将自然环境保护与环境污染治理并重, 从而保障生态环境质量的持续向好。

**关键词:**层次分析法; 煤炭资源型城市; 生态环境质量

**中图分类号:** X50 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-6772(2020)06-0053-05

## Dynamice valuation on eco-environmental quality of coal resource-based cities based on analytical hierarchy process

LI Hanqing<sup>1</sup>, CHEN Liqiang<sup>1</sup>, ZHU Tao<sup>2</sup>

(1. Institute of Huai River Water Resources Protection, Bengbu 233001, China; 2. Institute of Atmospheric Environmental Management and Pollution Control, China University of Mining & Technology-Beijing, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Coal resource-based cities refer to the cities built and developed relying on the exploitation and utilization of coal resources. With the long-term development and utilization of coal resources, the deterioration of the quality of the ecological environment has increasingly become an important factor restricting the development of coal resource-based cities. Therefore, the dynamic evaluation of the ecological environment quality of coal resource-based cities can enable decision-makers to clarify the changes in the ecological environment of coal resource-based cities, find out its restrictive factors, and provide technical support for the improvement of ecological environment quality and urban transformation and development. Taking Huainan City as an example, the dynamic evaluation index system and the comprehensive index model of ecological environment quality of coal resource-based cities were constructed from three aspects of the natural environment, social and economic environment, environmental pollution control by Using Analytic Hierarchy Process (AHP). On this

收稿日期: 2020-10-09; 责任编辑: 白娅娜 DOI: 10.13226/j.issn.1006-6772.EP20100901

基金项目: 中央引导地方科技发展专项资助项目(19943816G); 中央高校基本科研业务专项基金资助项目(2009QH03); 山西省揭榜招标项目(20191101007)

作者简介: 李汉卿(1990—), 男, 河南永城人, 工程师, 主要从事水资源保护、生态环境保护与污染治理等研究工作。E-mail: 529035982@qq.com.  
通讯作者: 竹涛, 教授, 博士生导师, 主要从事大气污染控制与固废资源化利用方面研究工作。E-mail: bambooz@cumb.edu.cn

引用格式: 李汉卿, 陈立强, 竹涛. 基于层次分析法的煤炭资源型城市生态环境质量动态评价[J]. 洁净煤技术, 2020, 26(4): 53-57.

LI Hanqing, CHEN Liqiang, ZHU Tao. Dynamice valuation on eco-environmental quality of coal resource-based cities based on analytical hierarchy process[J]. Clean Coal Technology, 2020, 26(4): 53-57.



移动阅读

basis, combined with the actual situation of Huainan City, the ecological environment quality of Huainan City from 2010 to 2018 was dynamically evaluated. According to the evaluation results, suggestions for further improving the ecological environment quality of Huainan City were put forward. The results show that the ecological environment quality of Huainan City shows a fluctuating upward trend from 2010 to 2018, which declines slightly from 2013 to 2015, and gradually increases after 2015. But overall, the ecological environment quality of Huainan City is improving. In order to further improve the quality of the ecological environment, Huainan needs to be based on the "14th Five-Year Plan", completes the top-level design, optimize the industrial structure, build a two-wheel drive modern industrial system, and actively promote the ecological environment construction focusing on the treatment of coal mining subsidence areas, pay equal attention to natural environmental protection and environmental pollution control, so as to guarantee the quality of the ecological environment continues to improve.

**Key words:** analytical hierarchy process (AHP); coal resource-based city; eco-environmental quality

## 0 引言

生态环境是人类赖以生存的基础,不仅为人类社会提供物质产品,也提供了诸多的生态服务,生态环境的好坏直接关系到人类福祉<sup>[1]</sup>。城市生态环境质量评价是指对影响城市生态环境质量的自然环境、社会经济环境以及人类生产活动能够引起的诸多生态环境问题,通过恰当的方法对研究区域进行定量评价,从而说明该区域的城市生态环境质量优劣及其影响<sup>[2]</sup>。对于煤炭资源型城市来讲,煤炭资源在开采、加工和利用过程中会产生一系列生态环境问题,如地表塌陷、地表裂缝、水资源枯竭、大气污染、水土流失等。因此,对煤炭资源型城市的生态环境质量进行动态评价,能够使决策者明确煤炭资源型城市生态环境的基本情况,找出影响城市生态环境质量的制约因素,为煤炭开采的污染防治和提高城市生态环境质量提供技术支撑。

国内许多学者将层次分析法应用于区域生态环境质量动态评价。朱晓华等<sup>[3]</sup>应用层次分析法对1990—1999年江苏省生态环境质量的动态变化进行系统评价,指出江苏省生态环境质量存在客观的空间分区特征和总体上存在变坏的态势。芦彩梅等<sup>[4]</sup>对1997—2001年山西省生态环境综合质量的动态变化进行系统评价,结果表明,山西省生态环境综合质量、社会经济条件、抗逆水平呈渐好的态势,但自然条件、环境水平呈下降趋势。杨秀春等<sup>[5]</sup>应用层次分析法,系统评价出南通市1990—1999年生态环境质量总体上呈变坏的态势。宁小莉等<sup>[6]</sup>运用层次分析法对包头市城市生态环境质量动态变化进行研究,数据表明1992—2006年包头市城市生态环境质量总体水平较低。周铁军等<sup>[7]</sup>评价了盐池县1991—2000年的生态环境质量动态变化状况,表明该县的自然灾害和环境污染情况逐年变好,呈现良性发展势头。喻良等<sup>[8]</sup>运用层次分析法对福州市1996—2000年生态环境质量进行了综合评分,结

果显示福州市生态环境质量有了很大进步,但与厦门市还有一定差距。杨承刚<sup>[9]</sup>运用层次分析法对2012—2015年合肥市生态环境质量进行了评价,结果表明生态环境质量总体呈上升趋势。

采用层次分析法进行煤炭资源型城市生态环境质量动态评价的研究相对较少。本文采用层次分析法,构建煤炭资源型城市生态环境质量动态评价模型,在此基础上对2010—2018年淮南市生态环境质量进行动态评价,并提出进一步改善生态环境质量的建议。

## 1 研究区概况

淮南市位于淮河中游,安徽省中北部,东经116.35°~117.21°,北纬31.90°~33.01°,地处暖温带半湿润季风气候区,年均降水量893.4 mm,平均气温16.6℃,四季分明,气候温和,雨量适中,光照充足,无霜期长。地貌兼有平原和丘陵的特点,淮河以南为丘陵,属于江淮丘陵的一部分;北、中部为平原;东南部为岗地。淮南市是沿淮城市群的重要节点,合肥都市圈核心城市。

淮南市作为典型的煤炭资源型城市,煤炭资源丰富。目前,淮南煤田探明储量180亿t,远景储量444亿t,占安徽省的70%,占华东地区的32%,素有“百里煤城”、“华东工业粮仓”的称誉。

## 2 生态环境质量动态评价模型的构建

### 2.1 评价指标体系的建立

#### 1) 层次分析法

层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)<sup>[10]</sup>是美国著名运筹学家Saaty等在20世纪70年代提出的一种定性和定量相结合的综合决策方法<sup>[11]</sup>。是将决策问题的各种要素分解成目标层、准则层、方案层,用1~9标度法对人的定性判断进行客观量化的一种系统分析和科学决策方法<sup>[12]</sup>。

层次分析法主要分为以下4个步骤<sup>[7]</sup>:①构造

层次结构;②建立判断矩阵;③层次单排序及一致性检验;④层次总排序。

## 2) 煤炭资源型城市生态环境质量动态评价指标体系的构建

煤炭资源型城市的生态环境是随着人类对煤炭资源的开发和利用而形成的人工生态系统<sup>[13]</sup>。生态环境具有复杂性和整体性,其主要包括自然环境、社会经济环境,其相互影响、相互依赖、相互制约。本文参考煤炭资源型城市生态环境质量评价指标体系的相关研究成果<sup>[13]</sup>,遵循科学性、代表性、可操作性

性等原则<sup>[14]</sup>,结合淮南市的实际情况和数据资料的可获得性,从自然环境、社会经济环境、环境污染治理3个层面选取了17个指标,构建了淮南市生态环境质量动态评价指标体系。

在每一层次上,对该层因素进行比较,采用1~9标度法进行定量化,构造判断矩阵,采用方根法计算判断矩阵的最大特征值和特征向量。在满足一致性原则前提下,进行层次单排序,最后将各层次下因素的排序逐层汇总后,给出总目标下因素的层次总排序。各指标的各级权重计算结果见表1。

表1 淮南市生态环境质量评价指标体系及权重

Table 1 Assessment index system and weights of the eco-environment quality of Huainan City

目标层	准则层(B)		方案层(C)		综合权重
	指标	权重	指标	权重	
生态环境质量(A)	自然环境(B1)	0.332 5	人均水资源量	0.172 6	0.057 4
			森林蓄积量	0.096 8	0.032 2
			公园面积	0.105 0	0.034 9
			空气质量达到及好于二级的天数比例	0.415 6	0.138 2
			农村自来水普及率	0.210 0	0.069 8
	社会经济环境(B2)	0.139 7	人均GDP	0.218 2	0.030 5
			GDP增长率	0.130 7	0.018 3
			城镇居民人均住房面积	0.047 8	0.006 7
			煤炭行业增加值	0.130 7	0.018 3
			工业煤炭消费总量	0.071 0	0.009 9
			原煤	0.080 4	0.011 2
			煤炭开采和分选业万元产值综合能耗	0.321 2	0.044 9
	环境污染治理(B3)	0.527 8	万元工业总产值废气排放量	0.297 0	0.156 8
			万元工业产值废水排放量	0.297 0	0.156 8
			废水治理设施处理能力	0.180 7	0.095 4
			工业固体废物综合利用率	0.088 3	0.046 6
			造林面积	0.137 0	0.072 3

### 3) 一致性检验

一致性检验,是指对判断矩阵是否具有一致性进行检验。当一致性指标  $CR < 0.1$  时,则认为判断矩阵具有满意的一致性,层次排序的计算结果可以接受。无论是层次单排序还是层次总排序,都要对其结果进行一致性检验。

利用方根法计算各评价指标数据权重和一致性检验。经检验,自然环境、社会经济环境、环境污染治理层次单排序  $CR$  分别为 0.015 2、0.024 1、0.016 0,都小于 0.1,满足一致性检验。层次总排序  $CR = 0.046 2 < 0.1$ ,亦满足一致性检验。

## 2.2 数据的标准化处理

各要素统计数据来自《安徽省统计年鉴年鉴》

(2011—2019)、《淮南市统计年鉴》(2011—2019)、《淮南市环境质量公报》(2011—2019)等统计资料以及政府相关网站。统计数据量纲不统一,无法直接用于计算。采用极差法进行标准化处理,即

$$\text{正向指标: } E_{ij} = \frac{X_{ij} - \min(X_{ij})}{\max(X_{ij}) - \min(X_{ij})}, \quad (1)$$

$$\text{负向指标: } E_{ij} = 1 - \frac{X_{ij} - \min(X_{ij})}{\max(X_{ij}) - \min(X_{ij})}, \quad (2)$$

式中, $E_{ij}$ 为 $X_i$ 的无量纲值; $X_{ij}$ 为第 $i$ 个评价单元 $j$ 个指标的原始值; $\min(X_{ij})$ 为第 $i$ 个评价单元 $j$ 个指标的最小值; $\max(X_{ij})$ 为第 $i$ 个评价单元 $j$ 个指标的最大值; $i$ 为各评价指标的序号, $i=1,2,3,\dots,n$ 。

## 2.3 生态环境质量综合指数模型构建

各准则层指标生态环境质量分指数  $E_i$  计算式为

$$E_i = \sum_{j=1}^n E_{ij} W_{ij}, \quad (3)$$

式中,  $E_{ij}$  为方案层各指标的无量纲值;  $W_{ij}$  为方案层各指标的权重。

生态环境质量综合指数  $E$  的计算公式为

$$E = \sum_{i=1}^3 E_i W_i, \quad (4)$$

式中,  $W_i$  为各准则层指标的权重。

按照上述计算方法首先计算出各准则层指标生态环境质量分指数, 然后再计算出生态环境质量综合指数。

## 3 淮南市生态环境质量动态评价结果

基于上述评价指标及各指标权重, 对淮南市 2010—2018 年的生态环境质量综合指数进行计算, 结果如图 1 所示。

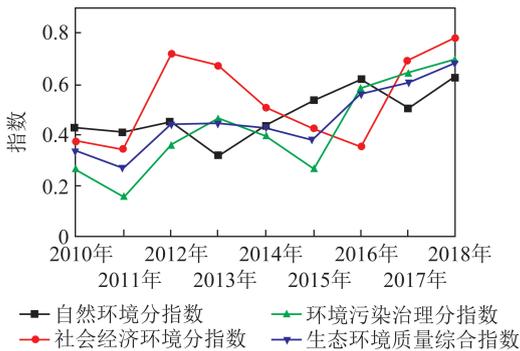


图 1 淮南市生态环境质量评价结果随年份变化

Fig.1 Variation of ecological environment quality evaluation results with the year in Huainan City

由图 1 可知, 对于淮南市 2010—2018 年生态环境质量综合指数, 2011 年为研究时段最小值 0.267 0, 2018 年为研究时段最大值 0.687 8, 其较 2011 年增加了 0.420 8。为了分析淮南市生态环境综合指数的动态变化趋势, 对图 1 进行回归分析, 即

$$E = 0.043 4t + 0.243 6, \quad (5)$$

其中,  $t$  为时间。式(5)的斜率值(0.043 4)为正, 表明淮南市生态环境质量综合指数呈现上升趋势。2011 年, 该市生态环境质量最差, 2012 年明显改善, 2013—2015 年略微下滑, 2015—2018 年持续改善。因此, 淮南市生态环境质量综合指数数值在 2010—2018 年总体呈现波动式上升。总体上, 淮南市 2010—2018 年生态环境质量趋于改善。

根据图 1, 进一步对准则层指标生态环境质量分指数随时间变化进行回归分析。

$$N = 0.027 6t + 0.344 7, \quad (6)$$

式中,  $N$  为自然环境分指数。

$$S = 0.028t + 0.401 1, \quad (7)$$

式中,  $S$  为社会经济环境分指数。

$$P = 0.057 5t + 0.138 2, \quad (8)$$

式中,  $P$  为环境污染治理分指数。

根据以上计算结果, 自然环境分指数与时间之间回归方程式的斜率值为 0.027 6, 表明自 2010 年以来淮南自然环境总体变好; 社会经济环境分指数与时间之间回归方程式的斜率值为 0.057 5, 表明该市社会经济分指数随时间总体变大, 该市自 2010 年以来社会经济条件总体增长。环境污染治理分指数与时间之间回归方程式的斜率值为 0.057 5, 表明该市环境污染治理分指数随时间总体变大, 淮南市自 2010 年以来环境污染治理状况总体变好。

因此, 淮南市 2010—2018 年生态环境质量综合指数和各分项指数呈波动式上升趋势, 淮南市生态环境质量总体趋于改善。

## 4 结论与建议

根据淮南市生态环境质量动态评价发现, 淮南市 2010—2018 年生态环境质量总体趋于改善。为进一步改善淮南市生态环境质量, 建议如下:

### 1) 立足“十四五”, 做好顶层设计

“十四五”时期, 是淮南开启全面建设社会主义现代化新征程的关键时期, 也是实现高质量发展, 加快建设现代化五大发展美好淮南的重要时期。为此, 淮南市应在全面增强创新能力、构建现代产业体系、推动高质量转型发展、推进社会治理能力现代化、构建生态空间新体系等重点方面主动谋划, 落实新发展理念, 将生态环境质量的提升融入“十四五”发展的总体思路和目标任务中, 做好顶层设计。

### 2) 优化产业结构, 构建双轮驱动的现代产业体系

优化产业结构是煤炭资源型城市可持续发展的必经之路。针对淮南市的发展特征, 淮南市应继续坚持煤与非煤“双轮”驱动的发展战略, 走出煤炭资源特色城市产业结构转型升级之路。坚持“立足煤、延伸煤、不唯煤、超越煤”的转型战略, 做精做优煤炭、电力两大产业, 延长煤炭产业上下游产业链, 实现煤电产业集群。同时, 重点发展现代服务业、旅游产业、新一代信息技术等产业, 构建双轮驱动下的淮南特色现代产业体系。

### 3) 积极推进以采煤塌陷区治理为重点的生态环境建设

据统计,到2016年底,淮南市采煤塌陷面积278.6 km<sup>2</sup>,据预测,最终沉陷面积将达682.8 km<sup>2</sup>[15]。为此,淮南市应总结已有的“泉大模式”、“后湖模式”、“鑫森模式”等成功经验基础上,继续探索采煤塌陷区多元的治理与开发模式。通过采煤塌陷区治理,将煤炭资源开发、水土流失防治、生态环境修复、社会民生改善等有机结合,创造出淮南特色的生态文明之路。

#### 4) 自然环境保护与环境污染治理并重

坚持绿色发展理念,保护自然环境就是尊重自然规律,将资源禀赋和环境容量作为国土空间开发的基础条件,在此基础上划定生态保护红线、资源利用上线、环境准入负面清单,明确禁止开发区域,优化生态功能布局,促进人与自然和谐共生。

环境污染治理就要落实最严格水资源管理制度,强化淮河水资源保护,积极整治河湖水体,努力提高城市“三废”等环境污染的治理能力,加强土壤污染和扬尘污染防治,落实基本农田保护制度等。同时,结合退耕还林等重点项目,切实加大植树造林力度,提高森林覆盖率和城镇绿地面积,建造绿色矿山、湿地公园、城市绿地等生态景观,提高城市景观生态质量,保障生态环境质量的持续改善。

#### 参考文献(References):

[1] 中国环境监测总站.中国生态环境质量评价研究[M].北京:中国环境科学出版社,2004:1-21.  
China National Environmental Monitoring Centre. Research on ecological environment quality evaluation in china[M].Beijing:China Environmental Press,2004:1-21.

[2] 李帅,魏虹,倪细炉,等.基于层次分析法和熵权法的宁夏城市人居环境质量评价[J].应用生态学报,2014,25(9):2700-2708.  
LI Shuai, WEI Hong, NI Xilu, et al. Evaluation of urban human settlement quality in Ningxia based on AHP and the entropy method[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2014, 25(9): 2700-2708

[3] 朱晓华,扬秀春,谢志仁.江苏省生态环境质量动态评价研究[J].经济地理,2002,22(1):97-100.  
ZHU Xiaohua, YANG Xiuchun, XIE Zhiren. The danamaia evaluation for eco - environmental quality of Jiangsu province [ J ]. Economic Geography, 2002, 22(1): 97-100.

[4] 芦彩梅,郝永红,王丽平.山西省生态环境质量动态评价研究[J].中国水土保持,2004(1):16-26.  
LU Caimei, HAO Yonghong, WANG Liping. Study on dynamic evaluation of ecological environment quality of Shanxi Province [ J ]. Soil and Water Conservation in China, 2004(1): 16-26.

[5] 杨秀春,朱晓华.江苏省南通市生态环境质量动态评价与整治研究[J].城市管理与科技,2004,4(3):32-35.  
YANG Xiuchun, ZHU Xiaohua. Evaluation of the ecological envi-

ronment status in Jiangsu Province's Nantong City [ J ]. Municipal Administration & Technology, 2004, 4(3): 32-35.

[6] 宁小莉,同丽嘎,朱丽.包头市城市生态环境质量动态变化研究[J].内蒙古农业大学学报,2011,32(4):47-50.  
NING Xiaoli, TONG Liga, ZHU Li. Dynamal changes of quality on the urban ecological environment in Baotou city [ J ]. Journal of Inner Mongolia Agricultural University, 2011, 32(4): 47-50.

[7] 周铁军,赵廷宁,戴怡新,等.毛乌素沙地县域生态环境质量评价研究[J].水土保持研究,2006,13(1):156-164.  
ZHOU Tiejun, ZHAO Tingning, DAI Yixin, et al. The assessment for ECO-environmental quality in county of Maowusu sandy land [ J ]. Research of Soil and Water Conservation, 2006, 13(1): 156-164.

[8] 喻良,伊武军.层次分析法在城市生态环境质量评价中的应用[J].四川环境,2002,21(4):38-40.  
YU Liang, YI Wujun. Application research of analytic hierarchy process(AHP) in urban ecotope quality evaluation [ J ]. Sichuan Environment, 2002, 21(4): 38-40.

[9] 杨承刚.层次分析法应用于合肥市生态环境质量评价研究[J].产业与科技论坛,2018,17(24):81-82.  
YANG Chenggang. Application research of analytic hierarchy process(AHP) in evaluation of ecological environment quality in Hefei [ J ]. Industrial & Science Tribune, 2018, 17(24): 81-82.

[10] SAATY T L. Decision making with the analytic hierarchy process [ J ]. International Journal of Services Sciences, 2008, 1(1): 83-98.

[11] SATTY T L. A scaling method for priorities in hierarchical Structures [ J ]. Journal of Mathematical Psychology, 1977, 15(3): 234-281.

[12] 杜栋,庞庆华,吴炎.现代综合评价方法与案例精选[M].北京:清华大学出版社,2015:14-15.  
DU Dong, PANG Qinghua, WU Yan. Modern comprehensive evaluation methods and selected cases [ M ]. Beijing: Tsinghua University Press, 2015: 14-15.

[13] 吕连宏,张征,李道峰,等.应用层次分析法构建中国煤炭城市生态环境质量评价指标体系[J].能源环境保护,2005,19(5):53-56.  
LYU Lianhong, ZHANG Zheng, LI Daofeng, et al. Application of analytic hierarchy process to construct the ecological environment quality assessment index system in Chinese coal city [ J ]. Energy Environmental Protection, 2005, 19(5): 53-56.

[14] 叶亚平,刘鲁军.中国省域生态环境质量评价指标体系研究[J].环境科学研究,2000,13(3):33-36.  
YE Yaping, LIU Lujun. A preliminary study on assessment indicator system of provincial eco - environmental quality in China [ J ]. Research of Environmental Sciences, 2000, 13(3): 33-36.

[15] 李妍.煤炭城市循环经济发展评价研究—以淮南市为例[J].安徽理工大学学报(社会科学版),2018,20(4):11-18.  
LI Yan. Study on the evaluation of the development of circular economy in coal cities; Taking Huainan City as an example [ J ]. Journal of Anhui University of Science and Technology (Social Science), 2018, 20(4): 11-18.