

淮南煤矿区生态环境综合评价

耿宜佳¹, 彭书传^{1*}, 王晓辉², 李如忠¹

(1. 合肥工业大学资源与环境工程学院, 安徽合肥 230009; 2. 安徽省环境科学研究院, 安徽合肥 230061)

摘要 [目的]了解淮南煤矿区生态环境质量状况。[方法]从自然环境、生态状况、环境污染和社会经济等方面,选取16个评价指标构建生态环境评价指标体系。在确定指标权重的基础上,利用生态环境质量综合评价模型对1986、1999和2012年淮南煤矿区生态环境状况进行综合评价。[结果]1986、1999和2012年淮南煤矿区生态环境综合评价指数分别为66.536、51.941和35.160,表明该区域生态环境质量呈现出逐渐恶化的趋势。[结论]景观破碎化指数、矿区土地塌陷面积和土地胁迫指数是对淮南煤矿区生态环境质量影响最为不利的主要指标,在矿区生态环境治理中应引起重视。

关键词 淮南矿区;生态环境质量;评价指标

中图分类号 S181.3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2016)17-073-04

Comprehensive Evaluation of Eco-environment in Huainan Coal Mining Area

GENG Yi-jia¹, PENG Shu-chuan^{1*}, WANG Xiao-hui² et al (1. School of Nature Resources and Environmental Engineering, Hefei University of Technology, Hefei, Anhui 230009; 2. Anhui Institute of Environmental Science, Hefei, Anhui 230061)

Abstract [Objective] To better understand the eco-environment quality in Huainan coal mining area. [Method] From the four aspects of natural environment, ecological status, environmental pollution and social economy, 16 evaluation indices were selected to construct the eco-environment evaluation system in Huainan mining area. Based on the index weight determination, comprehensive evaluation model of eco-environment quality was used to evaluate the eco-environment status in the years of 1986, 1999 and 2012. The eco-environment comprehensive evaluation indexes in Huainan Coal Mining Area in 1986, 1999 and 2012 were 66.536, 51.941 and 35.160, respectively, showing that eco-environment quality in this region presented the change trend of worsening. [Conclusion] Landscape fragmentation index, mining land collapse area and land stress index are the main negative indexes impacting the eco-environment quality of Huainan mining area. The Mining area eco-environment governance work in these areas should be given more attention in the future.

Key words Huainan mining area; Eco-environment quality; Evaluation index

煤炭资源是我国的主体能源,分别占一次性能源生产和消费总量的76%和69%,且在未来很长一段时期内,煤炭作为主体能源的地位不会被改变^[1]。由于煤矿区发展与煤炭资源的开采息息相关,而煤炭开采造成了诸如地表塌陷、大气污染、水土流失等一系列生态环境问题,这些问题在一定程度上引发了资源的浪费、经济发展速度的减缓、生态环境的破坏,加剧了矿区的社会问题,成为限制矿区可持续发展的重要因素^[2-3]。目前,国内关于区域生态环境评价已有大量研究,主要集中在流域、工业园区、城市等常规区域。徐兵兵等^[4]对南苕溪临安段水质进行了评价,李艳萍等^[5]对工业园区环境风险评价指标权重进行了分析,李崧等^[6]评价研究了黑龙江省生态环境质量。国内也有学者对淮南煤矿区生态环境进行了评价。王振红等^[7]研究了淮南煤矿区采煤塌陷积水区水生态环境,但仅对矿区采煤塌陷积水区的水生态环境进行评价,未考虑到矿区的整体性。鉴于此,笔者将淮南煤矿区作为整体,对矿区的生态环境进行全面系统的评价,以期对淮南煤矿区生态环境保护和规划的制订提供理论支持。

1 材料与方

1.1 研究区概况 淮南煤矿区位于淮河中游,东西长约180 km,南北宽约20 km,面积为3 600.0 km²,淮南煤矿区煤炭远景

储量达到444亿t,已探明储量达到153亿t,总储量占整个华东地区的50%。全市总面积2 596.4 km²,地处亚热带与暖温带过渡区,属暖温带半湿润大陆性季风气候,年平均降水量970 mm,平均气温15.5℃^[8]。淮南市境位于淮河流域,主要河流为淮河,区域地貌形态分为丘陵、平原两大类型。将矿区土地利用类型分为城镇用地、耕地、林地、农村居民点、水域等。1986~2012年矿区的土地利用类型以耕地为主,其次是城镇用地、水域及农村居民点。随着煤炭资源的不断开发利用,煤矸石与粉煤灰大量增加,其长期堆存侵占了大量农田。淮南煤矿区煤矸石产量约占煤炭总产量的20.00%,煤矸石堆放已超过30余处,超过淮南市固体废物总面积的46.70%。煤矸石与粉煤灰历年堆存总量达到2 487.85万t,共占地621.0 km²^[9]。煤矸石在堆积过程中自然或风化所产生的气态污染物也会对人畜健康造成影响。矿区开采过程中产生的矿井水、选矿废水、废石淋滤水等废水中含有大量重金属污染成分,在影响地表水环境质量的同时还会通过渗透进入地下,污染地下水质量。煤矿的开采还会导致塌陷地面积不断扩大,截至2013年底,淮南煤矿区塌陷面积约220.0 km²,占全市总面积的8.5%。据预测,到2020年底,最终塌陷面积将达到687.0 km²。

虽然煤矿资源的开发利用带来了诸多问题,但煤炭开采已成为淮南市的重要经济支柱产业。据统计,1986年淮南市地区生产总值(GDP)为16.64亿元,1999年上升到132.82亿元,2012年达到781.80亿元。全市GDP年均增长15.00%左右,人均GDP年增长超过13.00%。1986年淮南市财政收入为1.34亿元,1999年上升到14.11亿元,2012年

基金项目 淮南矿业集团科学技术资助项目[HNKYJTJS(2013)31]。
作者简介 耿宜佳(1991-),女,安徽宣城人,硕士研究生,研究方向:环境评价理论与方法。*通讯作者,教授,硕士,硕士生导师,从事水污染与环境评价研究。
收稿日期 2016-04-27

达到98.61亿元。全市财政收入年均增长率达到17.68%，实现了社会经济快速增长。

1.2 评价指标体系的建立

1.2.1 指标筛选原则。为全面、有效地评价淮南矿区的生态环境特征,选择评价指标和方法时须遵循科学性原则、代

表性原则、系统性原则、可行性原则、主导因子原则^[10]。

1.2.2 评价指标体系构建。结合研究区域生态环境的特点,从自然环境、生态状况、环境污染和社会经济的角度,筛选评价指标,构建淮南矿区生态环境质量评价指标体系(图1)。

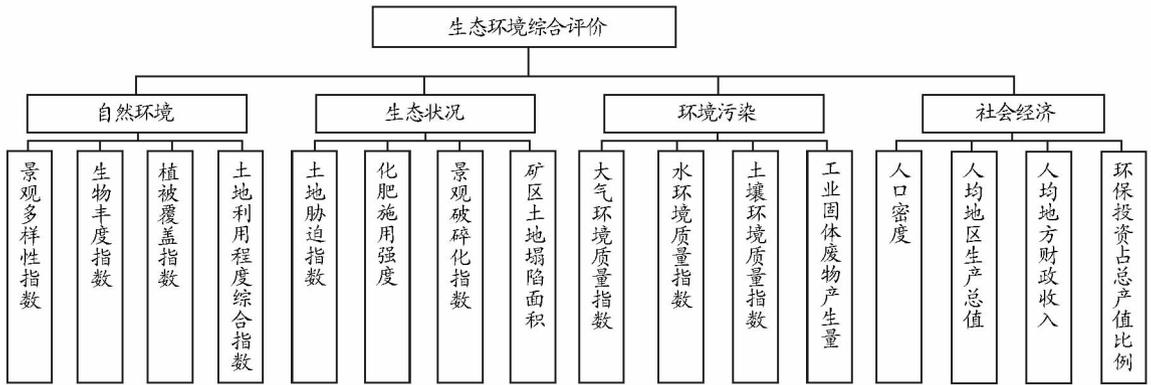


图1 淮南矿区生态环境综合评价指标分级

Fig.1 Eco-environment comprehensive evaluation index in Huainan coal mining area

(1)景观多样性指数。根据土地利用/覆盖分类数据基于Shannon-Weaner(Shannon's Diversity Index, SDI)指数计算,表达式见下^[11]:

$$SDI = \sum_{i=1}^m P_i \times \ln(P_i) \quad (1)$$

式中, P_i 为第*i*类土地利用/覆盖类型面积占区域总面积的比例; m 为研究区土地利用/覆盖类型总数; SDI 为多样性指数,数值越大,表示生态类型多样性越大。

(2)土地利用程度综合指数。土地利用是人类以经济、社会发展为目标,根据土地的自然特征,对土地进行的管理改造活动,通常地面的覆盖类型会随着土地利用的变化而发生改变。该指数反映了土地利用的深度和广度,同时也显示了自然因素与人类因素的综合作用。该研究将淮南矿区土地利用概括为6种,分别为城镇用地、高覆盖度草地、耕地、林地、农村居民点和水域,分别根据卫星影像解译或者矢量数据归类得到1986、1999和2012年的土地利用情况。

(3)生物丰度指数。根据《生态环境状况评价技术规范》(HJ 192—2015),对淮南矿区的城镇用地、高覆盖度草地、耕地、林地、农村居民点和水域的生物丰度指数权重分别取值0.01、0.13、0.11、0.35、0.02和0.28。由此,计算生物丰度指数:生物丰度指数= $A_{bio} \times (0.01 \times \text{城镇用地} + 0.13 \times \text{高覆盖度草地} + 0.11 \times \text{耕地} + 0.35 \times \text{林地} + 0.02 \times \text{农村居民点} + 0.28 \times \text{水域}) / \text{区域面积}$,式中, A_{bio} 为生物丰度指数的归一化系数, $A_{bio} = 100 / A_{\text{最大值}}$, $A_{\text{最大值}}$ 指某指数归一化处理前的最大值。

(4)植被覆盖指数。矿区植被指数是评价矿区生态环境的重要指标,在很大程度上影响矿区生态环境质量。归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)能够准确反映研究区植被的覆盖程度和健康状况。笔者采用NDVI来反映研究区植被覆盖信息,进而反映研究区生态环境状况。

(5)土地胁迫指数。淮南矿区采矿活动的日趋剧烈也使其土地质量遭受不同程度的胁迫,该指数利用评价区域内单位面积上水土流失、土地沙化、土地开发等面积表示。

(6)大气环境质量指数。以淮南矿区主要大气污染物浓度表征大气环境质量,主要污染物为二氧化氮、二氧化硫、可吸入颗粒物。采用多因子赋分法计算大气环境质量指数,表达式^[12]见下:

$$I_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f(x_i) \quad (2)$$

式中, I_a 为矿山大气环境质量指数, $i=1,2,\dots,n$; $f(x_i)$ 为第*i*类大气污染物的年均浓度值对应的环境质量指数赋值。将《环境空气质量标准(GB 3095—1996)》中I、II、III级以及劣III级标准 $f(x_i)$ 分别赋值为1.0、0.7、0.5、0.1。

(7)水环境质量指数。淮南矿区废水主要包括矿区工业用水、选矿水、矿井水等。选取高锰酸盐指数、BOD₅和NH₃-N作为评价矿区地表水特征的污染指标,采用多因子赋分法计算水环境质量指数,表达式见下:

$$I_w = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f(x_i) \quad (3)$$

式中, I_w 为矿山水环境质量指数, $i=1,2,\dots,n$; $f(x_i)$ 为第*i*类水污染指标的浓度值对应的环境质量指数赋值。将《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中I、II、III、IV和V类标准 $f(x_i)$ 分别赋值为1.0、0.8、0.6、0.3、0.1。

(8)土壤环境质量指数。选取Hg、As、Pb、Cr4种重金属指标作为淮南矿区土壤污染物,根据不同年份矿区的土壤重金属浓度年均值作为评判矿区土壤环境质量的依据,采用内梅罗法进行土壤环境质量指数计算。

(9)景观破碎化指数。景观的破碎化是指景观被分割的破碎程度,与自然资源的保护密切相关,伴随着景观破碎化和斑块面积的不断缩小,生物生存的环境也在减少,将直接影响到物种的繁殖、迁移和保护^[13]。笔者采用单位面积中

各种斑块的总个数作为景观破碎度的判别指标:

$$C = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^n n_i \quad (4)$$

式中, C 为景观的破碎度; $\sum_{i=1}^n n_i$ 为景观中所有景观类型斑块的总个数; A 为景观的总面积。

1.3 指标权重的确定 层次分析法是一种应用较为广泛

的指标权重确定方法^[14-15]。传统的层次分析法采用九标度法构造判断矩阵,由于主观因素影响较大,使得判断结果片面性较强^[16-17]。九标度法在精确赋值方面存在较大难度,为此有学者提出采用三标度法确定指标权重^[18]。笔者采用改进的层次分析法,确定各层次因素和指标权重,结果见表 1。

表 1 淮南矿区生态环境综合评价指标权重

Table 1 Weight of eco-environment comprehensive evaluation index in Huainan coal mining area

目标层 Target layer	准则层 Criterion layer		指标层 Index layer		总权重 Total weight	类型 Type	
	指标 Index	权重 Weight	指标 Index	权重 Weight			
生态环境综合评价 Eco-environment comprehensive evaluation (A)	自然环境 (B ₁)	0.298	景观多样性指数(C ₁)	0.221	0.066	正	
			生物丰度指数(C ₂)	0.270		0.081	正
			植被覆盖指数(C ₃)	0.327		0.097	正
			土地利用程度综合指数(C ₄)	0.182		0.054	负
	生态破坏 (B ₂)	0.298	土地胁迫指数(C ₅)	0.209	0.062	负	
			化肥施用强度(C ₆)	0.182		0.054	负
			景观破碎化指数(C ₇)	0.311		0.093	负
			矿区土地塌陷面积(C ₈)	0.298		0.089	负
	环境污染 (B ₃)	0.221	大气环境质量指数(C ₉)	0.277	0.061	正	
			水环境质量指数(C ₁₀)	0.277		0.061	正
			土壤环境质量指数(C ₁₁)	0.238		0.053	负
			工业固体废弃物产生量(C ₁₂)	0.208		0.046	负
	社会经济 (B ₄)	0.183	人口密度(C ₁₃)	0.227	0.042	负	
			人均地区生产总值(C ₁₄)	0.311		0.057	负
			人均地方财政收入(C ₁₅)	0.162		0.030	负
			环保投资占总产值比例(C ₁₆)	0.300		0.055	正

1.4 指标归一化 为消除各指标量纲差异和数值悬殊带来的影响,用如下数学模型对各指标数值进行标准化处理。由于各指标性质不同,对矿区生态环境质量的作用不同,不同的指标标准化方法也不同。

$$F_i = \begin{cases} 100 \times (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) & \text{正向指标} \\ 100 - 100 \times (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) & \text{负向指标} \end{cases} \quad (5)$$

式中, F_i 为某指标的标准化值; X_i 、 X_{\min} 、 X_{\max} 分别为评价因素的指标值、最小值和最大值。正向指标表示指数越大,对生态环境质量影响越好的指标;负向指标表示指数值越大,对生态环境质量影响越差的指标。

1.5 评价模型 根据建立的生态环境质量综合评价指标以及各指标的权重,建立评价模型:

$$EQI = \sum_{i=1}^n (U_i \times a_i) \quad (6)$$

式中, EQI 为生态质量综合评价指数; U_i 为第 i 各生态质量评价指标的赋值; a_i 是评价指标 U_i 的权重。

2 结果与分析

2.1 矿区生态环境评价指标信息提取 该研究采用的数据来源主要包括遥感数据、基础地理数据、专题数据及统计数据。遥感数据主要采用法国 SPOT6 影像数据,空间分辨率可达 1.5 m,影像数据的获取时间为 2012 年。基础地理数据主要是研究区 1:5 万数字化地形图数据。专题数据主要是研究区 1986 和 1999 年土地利用类型矢量数据。统计数据包括研究

区的自然、社会和经济方面的统计数据,如统计年鉴、环境质量报告书、环境质量监测数据等。

根据卫星影像解译得到淮南矿区 1986、1999 和 2012 年土地利用状况(图 2)。

2.2 矿区生态环境质量评价指数 由卫星影像解译得到 1986、1999 和 2012 年淮南矿区土地利用状况的数据,经过归一化处理,不同年度生态环境质量评价指标的计算结果见表 2。

根据式(6)的评价模型,得到 1986、1999、2012 年淮南矿区环境质量评价指数分别为 66.536、51.941、35.160。可见,淮南矿区环境质量指数呈下降趋势,总体上环境质量逐渐变差。

在标准化后的生态质量评价指数的基础上,把研究区按照国家环境保护局的分级标准进行划分($EQI \geq 75$ 为优, $55 \leq EQI < 75$ 为良, $35 \leq EQI < 55$ 为一般, $20 \leq EQI < 35$ 为较差, $EQI < 20$ 为差)。由分级标准可知,1986 年的生态环境为良,1999 年为一般,2012 年为较差。

3 讨论

(1)1986 年对淮南矿区生态环境质量不利影响较大的指标是景观破碎化指数和矿区土地塌陷面积,主要原因是在矿山开采过程中,不免会砍伐树木,造成植被种类减少,覆盖度降低,从而降低自然环境的承载能力。由于长期的资源开发,造成水土流失、土地塌陷等生态环境问题。

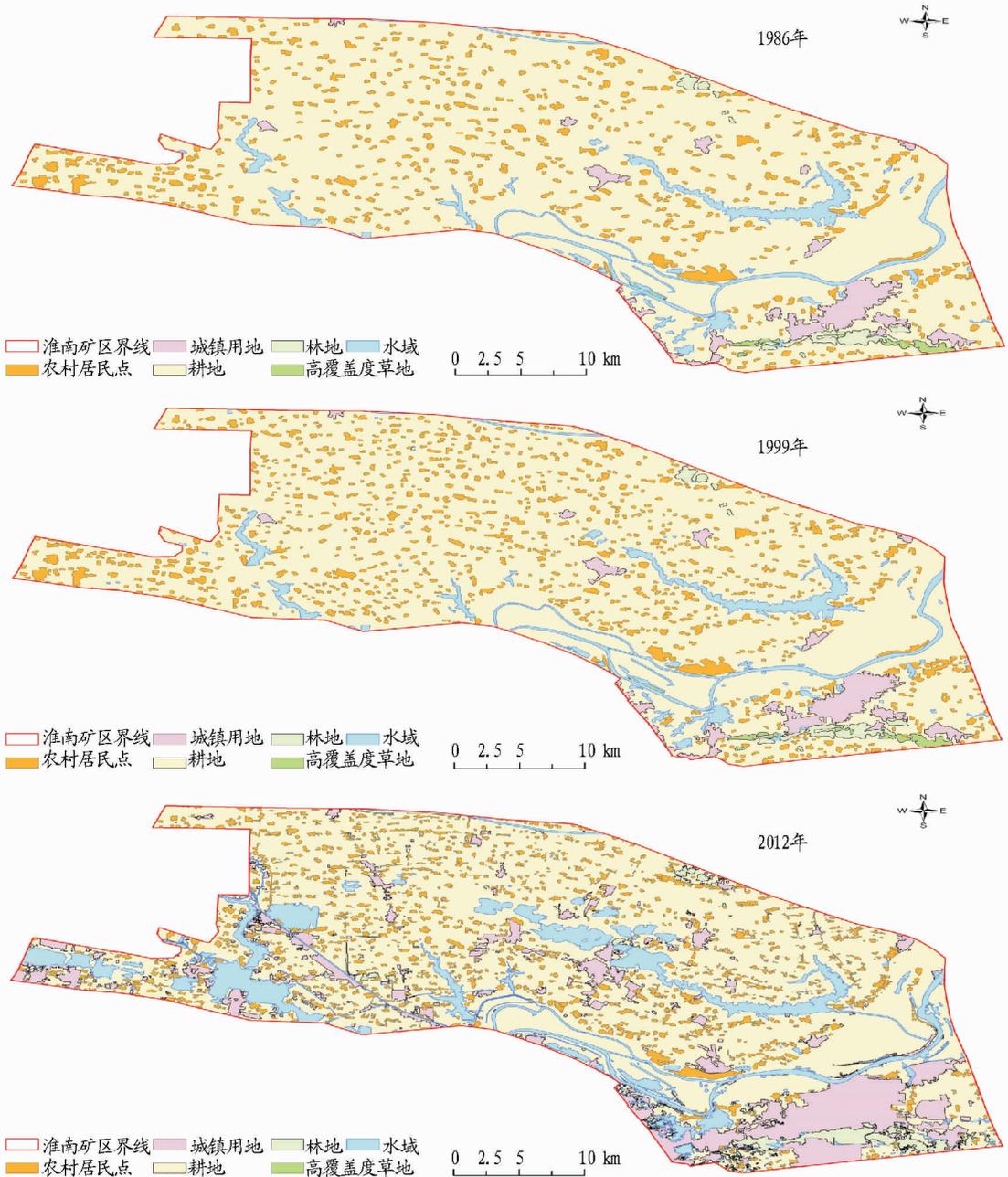


图2 不同年度淮南矿区土地利用状况

Fig.2 Land use status of Huainan coal mining area in different years

(2)1999年对淮南矿区生态环境质量不利影响的指标与1986年大致相同,主要原因是改革开放以来,经济增长需要资源为依托,煤炭开采程度加大。开采过程中,矿区建设会占用土地,对原有生态系统造成破坏,包括对土地、植被、水系和大气等生态环境造成影响,导致矿区生态环境持续恶化。

(3)2012年对淮南矿区生态环境质量不利影响最大的指标是土地胁迫指数,有利影响较大的指标为环保投资占总产值比例。造成这一变化的原因是近年来国家对矿区生态环境保护与治理的高度重视,生态环境质量恶化速度放缓,并朝着好的方向发展。政府加强对采煤塌陷区的复垦工作,将原来塌陷所损毁的土地改造为耕地、植物景观区、湿地公园等,从而改善了矿区的生态环境。

4 结论

(1)用改进的层次分析法确定各项指标的权重,通过构造判断矩阵、层次单排序及一致性检验等步骤,确定在16项指标中,前3位的是植被覆盖指数、景观破碎化指数和生物丰度指数,权重分别为0.097、0.093和0.081。

(2)1986、1999和2012年淮南矿区的生态环境综合评价指标分别为66.536、51.941和35.160;生态环境质量分别属于良、一般和差。总体上,环境质量呈现逐渐变差的趋势。其中对环境质量指数影响最大的景观破碎化指数、矿区土地塌陷面积和土地胁迫指数均呈现下降趋势,今后淮南矿区的生态环境治理应当偏重于此。

(下转第82页)

在城镇污水收集、提标处理、尾水净化等方面还存在短板,在清水廊道保护、美好乡村建设、节水减排示范等方面还存在空白。

(2) 该研究主要针对污染源调查分析结果提出了巢湖流域治理的总体措施,具体工程措施的提出应在此基础上细化和论证建设内容、设计方案和投资估算,并与各级政府区进行对接和确认,从而形成认同一致、切实可行的项目建设内容。

(3) 经过多年研究,巢湖流域基本形成了“治理西北、保护西南、防治东北、连通东南、修复环湖”的治理策略,未来将以小流域为治理单元,突出水污染防治,实现“水质改善、国控断面达标及蓝藻抑制”的总体目标,达到生态系统良性循

环以及人水和谐发展。

参考文献

- [1] 单平,殷福才. 巢湖水污染防治回顾评价及对策研究[J]. 安徽师范大学学报(自然科学版),2003,26(3):289-291.
- [2] 李雷,戴万宏. 巢湖水体富营养化污染现状及防治对策[J]. 中国水土保持,2009(7):55-57.
- [3] 苏保林,袁军营,李卉,等. 赣江下游平原圩区农村生活污染入河系数研究[J]. 北京师范大学学报(自然科学版),2013,49(3):256-260.
- [4] 程红光,郝芳华,任希岩,等. 不同降雨条件下非点源污染氮负荷入河系数研究[J]. 环境科学学报,2006,26(3):392-397.
- [5] 吴蕾,朱慧变. 巢湖流域城市型重污染河流综合治理技术研究:以合肥市十五里河为例[J]. 安徽农业科学,2015,43(30):206-209.
- [6] 张广萍,周美正,张延,等. 安徽派河流域水污染特征及原因分析[J]. 人民长江,2003,45(18):20-24.
- [7] 石健,石润圭. 治理巢湖流域农业面源污染的基本思路[J]. 安徽农学通报,2006,12(12):44-46.

(上接第76页)

表2 不同年度淮南矿区生态环境质量评价指标计算结果

Table 2 Result of eco-environment quality evaluation index in Huainan coal mining area in different years

准则 Criterion	指标 Index name	1986年	1999年	2012年
自然环境 Natural environment	景观多样性指数	0	0.851	6.600
	生物丰度指数	0	0.445	8.100
	植被覆盖指数	9.700	8.331	0
	土地利用程度综合指数	5.400	1.396	0
生态破坏 Ecological damage	土地胁迫指数	0	0.276	5.800
	化肥施用强度	4.100	2.788	0
	景观破碎化指数	8.200	6.042	0
	矿区土地塌陷面积	6.900	5.748	0
环境污染 Environmental pollution	大气环境质量指数	0	0	3.900
	水环境质量指数	0	0	3.900
	土壤环境质量指数	0	3.000	2.651
	工业固体废物产生量	4.800	4.362	0
社会经济 Social economy	人口密度	6.100	2.784	0
	人均国民生产总值	7.500	6.239	0
	人均地方财政收入	4.800	4.078	0
	环保投资占总产值比例	0	2.077	7.023

参考文献

- [1] 张彪,李岱青,高吉喜,等. 我国煤炭资源开采与转运的生态环境问题及对策[J]. 环境科学研究,2004,17(6):35-38.
- [2] GHOSE M K, MAJEE S R. Assessment of the impact on the air environment due to opencast coal mining an Indian case study [J]. Atmospheric environment,2007,34:2791-2796.
- [3] 范英宏,陆兆华,程建龙,等. 中国煤矿区主要生态环境问题及生态重

- 建技术[J]. 生态学报,2003,23(10):2144-2152.
- [4] 徐兵兵,张妙仙,王肖肖. 改进的模糊层次分析法在南苕溪临安段水质评价中的应用[J]. 环境科学学报,2011,31(9):2066-2072.
- [5] 李艳萍,乔琦,柴发合,等. 基于层次分析法的工业园区环境风险评价指标权重分析[J]. 环境科学研究,2014,27(3):334-340.
- [6] 李崧,邱微,赵庆良,等. 层次分析法应用于黑龙江省生态环境质量评价研究[J]. 环境科学,2006,27(5):1031-1034.
- [7] 王振红,桂和荣,罗专溪. 淮南矿区采煤塌陷积水区水生态环境研究[J]. 资源调查与环境,2004,25(4):269-275.
- [8] 黄家政,赵萍,郑刘根,等. 淮南矿区土地利用/覆盖时空变化特征及预测[J]. 合肥工业大学学报,2014,37(8):981-986.
- [9] 蔡峰,刘泽功,林柏泉,等. 淮南矿区煤研布中微量元素的研究[J]. 煤炭学报,2008,33(8):892-897.
- [10] 张禾裕,彭鹏,肖武,等. 基于 AHP 和 GIS 的矿区生态环境现状评价[J]. 煤炭科学技术,2008,36(9):102-105.
- [11] 罗光杰,李阳兵,王世杰,等. 岩溶山区景观多样性变化的生态学意义对比:以贵州四个典型地区为例[J]. 生态学报,2011,31(14):3882-3889.
- [12] 赵萍,胡友彪,桂和荣. 基于 GIS 技术的城市大气环境质量评价:以淮南市为例[J]. 环境科学与技术,2002,25(4):21-23.
- [13] 王云才. 基于景观破碎度分析的传统地域文化景观保护模式:以浙江诸暨市直埠镇为例[J]. 地理研究,2011,30(1):10-22.
- [14] SAATY T L. Decision making with the analytic hierarchy process[J]. International journal of services sciences,2008,1(1):83-98.
- [15] YEDLA S, SHRESTHA R M. Multi-criteria approach for the selection of alternative options for environmentally sustainable transport system in Delhi [J]. Transportation research part A policy and practice,2003,37(8):717-729.
- [16] 薛念涛,张国臣,陈坚,等. 层次分析-灰色关联分析法评价黄姜皂素生产工艺[J]. 环境科学研究,2014,27(1):99-105.
- [17] DSHIYA S, SINGH B, GAUR S, et al. Analysis of groundwater quality using fuzzy synthetic evaluation[J]. Journal of hazardous materials,2007,147(3):938-946.
- [18] 段若晨,王丰,顾承昱,等. 采用改进层次分析法综合评估 500 kV 输电线路防雷改造效果[J]. 高电压技术,2014,40(1):131-137.