

# 辽西北半干旱区煤炭资源型城市环境容量评价

冯思静<sup>1</sup>, 姜滢<sup>2</sup>, 张新联<sup>1</sup>, 刘朝<sup>3</sup>

(1. 辽宁工程技术大学 环境科学与工程学院, 辽宁 阜新 123000;

2. 东北大学 理学院, 辽宁 沈阳 110004; 3. 长城钻探工程有限公司 钻井技术服务公司, 辽宁 盘锦 124000)

**摘要:**以中国辽西北地区煤炭资源型城市阜新市为研究对象,对该市生态环境特点进行了分析。采用层次分析法和生态环境容量指数法,建立了生态环境容量评价指标体系及评价权重,计算了生态环境容量现状值,并对该市当前所处的生态环境状态进行了评价。结果表明,阜新市目前的生态环境容量评价值为 0.316 7,属于生态环境容量分级标准中的第 4 级,说明阜新市当前的生态环境容量处于较低状态,自然生态系统承载能力已经接近极限。这与城市多年来的煤炭开采活动密不可分。未来应关注经济开发活动和自然生态环境的协调发展,从而改善城市生态环境,促进城市可持续发展。

**关键词:**半干旱区;煤炭资源型城市;生态环境容量;层析分析法;辽西北

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2013)04-0018-08

中图分类号: X8

## Evaluation of Ecological Environmental Capacity in Coal-based City in Semi-arid Area of Northwest Liaoning Province

FENG Si-jing<sup>1</sup>, JIANG Ying<sup>2</sup>, ZHANG Xin-lian<sup>1</sup>, LIU Chao<sup>3</sup>

(1. School of Environmental Science and Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin,

Liaoning, 123000, China; 2. School of Sciences, Northeastern University, Shenyang, Liaoning 110004, China;

3. Drilling Technology Services, Great Wall Drilling Engineering Company Limited, Panjin, Liaoning 124000, China)

**Abstract:** Taking Fuxin City of Northwest Liaoning Province as a study object of typical coal-based city, the paper made an evaluation on the ecological environmental situation through establishing an indicator system of ecological environmental evaluation and calculated the capacity value of the ecological environment by adopting the methods of analytic hierarchy process(AHP) and ecological environmental capacity index. The result indicated that evaluation value of the present ecological environment capacity in Fuxin is 0.316 7, which fell into the fourth grade of the ecological environment capacity grading standard and showed that the current ecological environment capacity of Fuxin City is at relatively low level, its carrying capacity of natural ecosystem is close to its limit and is inseparable from the long time coal mining activities of Fuxin City, therefore attention should be paid to the coordination of economic development and natural ecological environment to improve the environment of the city and prompt the sustainable development.

**Keywords:** semi-arid region; coal-based city; ecological environment capacity; analytical hierarchy process; Northwest Liaoning Province

任何地区的产业都有赖以形成、存在与发展的条件,分析所研究地区的基本状况是解决地区问题的前提,也是制定该地区各项政策的基础。随着社会经济的发展,城市中逐渐出现各种生态环境问题,因此,对城市的生态环境状况进行科学的评估显得尤为重要<sup>[1]</sup>。生态环境容量是指在不损害生态系统的生产力和功能完整的前提下,可无限持续的最大资源利用

和废物产生率<sup>[2]</sup>。通常,生态环境容量主要指生态承载力,是生态系统的自我维持、自我调节的能力,资源与环境的供容能力<sup>[3]</sup>。煤炭资源型城市的生态系统与外界存在物质流、能量流、信息流的交换关系,其生态环境容量具有资源性、有限性、变异性、客观性和可控性的特征<sup>[1]</sup>。对这类城市生态环境容量进行科学合理的评价对于掌握城市当前资源开采与自然生态

收稿日期:2012-09-26

修回日期:2012-12-17

资助项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项课题“河口区大型湿地演化过程与退化机制研究:辽河河口区大型湿地生态修复关键技术与示范研究”(2012ZX07505-005);辽宁省环保局生态功能区划建设系列课题“辽西北生态城市规划建设”;辽宁省教育厅项目(2008289)

作者简介:冯思静(1979—),女(汉族),河北省沧州市人,博士,讲师,研究方向为矿业经济与管理与矿山环境工程。E-mail:fengsijing2003@163.com。

环境的依存关系,了解城市生态环境污染与破坏的现状,制定环境保护政策具有重要作用。在生态环境影响评价方面,美国开展的比较早,1985年 Westman<sup>[4]</sup>给出了生态影响评价的定义。目前,国外生态环境评价方法主要有:能值分析法,生命周期分析法,生态控制论分析法,基于土地利用的生态足迹法和生态风险分析法等<sup>[5-9]</sup>。随着地理信息系统的发展,国外的一些学者开始将3S技术应用到生态环境评价中来,从生态保护和开发利用协调发展的角度对的环境敏感性进行了评估,加快了数据获取的速度,提高了数据精度<sup>[10-13]</sup>。我国生态环境评价始于20世纪60年代对建设项目的环境影响评价开始的。但直到80年代,生态环境质量评价才开始引起人们的重视。研究重点起初是针对农业生态系统,其次是城市环境质量综合评价,进而涉及到区域环境规划,土地可持续利用评价和区域生态综合评价等。生态环境评价的结果主要受指标体系的构建和研究方法选取两个方面的因素的影响<sup>[14]</sup>。随着国家和社会对环境问题的重视,环境影响评价在评价对象、评价范围、评价程序和评价方法等方面研究和实践成果不断涌现,生态环境评价逐渐成为环境影响评价的核心内容<sup>[15]</sup>。经过二十多年的实践与理论探索,开始形成有中国特色的环境影响评价理论体系,经验模型法、遥感方法、系统动力学方法等成为国内生态环境评价的主要方法<sup>[16]</sup>。但是,目前国内外的许多生态环境评价方法大多是考虑土地的承载力来评价环境的容量,以研究城市的生态系统结构优化,提高城市生态系统整体功能为目的。对欠发达地区中小城市的生态环境评价还处于起步阶段<sup>[17]</sup>。从现实情况来看,对于中小城市发展过程中的环境容量问题,不仅要综合考虑土地优化、生态承载力的赤字等环境现状问题,还应建立基于可持续发展的城市环境容量评价体系和生态环境保障机制,这对于生态市的规划和建设更具参考价值。

## 1 研究区概况

阜新市是中国辽宁省西北部的一个小城市,地处辽宁西部的低山丘陵区,位于内蒙古高原和辽河平原的中间过渡带,属典型半干旱半湿润大陆性季风气候,具有气候干燥,风沙大,水土流失严重等气候特点。阜新是新中国成立后最早建立起来的重要煤炭能源基地之一,为新中国的发展做出了巨大贡献。建国60多年来,累计生产煤炭 $5.3 \times 10^8$  t,拥有国家统配煤矿、地方国营煤矿、集体和个体等各类矿井400多个。自20世纪80年代开始,阜新的煤炭资源开始相对枯竭,截止到2010年底,在已探明的煤炭保有储

量 $7.9 \times 10^8$  t中93%以上得已到开发利用<sup>[18-20]</sup>。随着城市煤炭资源的日益枯竭,许多煤矿已经闭坑,在城市中形成了许多污染严重,生态环境较差的工业带。而随着城市人口的迅速增长,更加剧了城市生态环境恶化的势头。因此,阜新市的生态环境在中国的矿业城市中极具复杂性和典型性,该地区的环境污染与生态破坏具有自大气、地表到地下的空间特征。主要环境问题表现为二氧化硫、氮氧化物和粉尘等大气污染,水资源的污染与破坏,地表沉陷,土地占压与土壤污染,露天滑坡及水土流失和荒漠化等<sup>[21]</sup>。2001年,国家将阜新市列为我国第一个资源枯竭型城市经济转型试点城市,对该城市的生态环境的修复治理和经济可持续发展给予了极大关注,同时在资金和政策上给予了较大的扶持,截至2010年,阜新矿区废弃土地复垦率达40%,城市水源工程建设工程解决了23万居民的饮水安全问题<sup>[22]</sup>。本研究立足阜新市生态问题现状,结合该市生态系统特征,通过应用层次分析法和生态容量指数法对阜新市生态环境容量进行计算和评价。从而明确当前城市生态环境现状,转变当前资源开发模式,在科学、高效利用矿产资源发展经济的同时,保护生态环境,促进该地区环境和经济可持续发展,为该地区城市生态补偿与生态规划的建设提供科学依据。

## 2 数据来源及处理

主要以阜新地区各指标值的实际监测数据和统计数据为基础依据,选取2005—2008年阜新市统计年鉴,2005—2008年辽宁统计年鉴和2005—2008年中国统计年鉴中的部分实际数值确定阜新市生态环境容量评价现状值;选取《全国环境优美乡镇考核指标》中的部分数据作为生态环境容量评价目标值。在整个计算过程中主要采用层次分析法建立评价指标体系,建立判断矩阵,进而求出权重进行比较分析。由于判断矩阵的计算过程较复杂,对判断矩阵中最大特征值和评价权重的计算主要借助数学计算软件Maple 13.0进行。对于评价体系中不同单位数据评价指标值的比较和计算,未对数据做标准化及量纲化处理,而是直接依据现有生态环境容量评价公式进行(公式(1)~(2)),与模糊数学评价、灰色系统理论等利用数学模型作为评价方法相比节省了大量繁琐的计算工作,这也正是层次分析法与其他评价方法相比的另一个主要优点。

## 3 研究方法

层次分析法(analytic hierachy process, AHP)

是一种有效的多目标评价规划方法,由 Saaty<sup>[23]</sup> 提出。该方法擅于处理多目标、多因素、多层次的复杂问题,是制定经济社会和科技政策与规划等工作的一种辅助工具,也是一种最优化技术。该方法将定量分析与定性分析结合起来,用决策者的经验判断各衡量目标能否实现的标准之间的相对重要程度,并合理地给出每个决策方案的每个标准的权数,利用权数求出各方案的优劣次序,比较有效地应用于那些难以用定量方法解决的课题。由于城市生态环境是一个自然、环境、社会复合而成的巨大系统,具有多层次结构的特点,故本研究采用层次分析建立评价指标体系,确定各指标的权重,然后采用城市生态环境容量指数法计算各指标组的生态容量及综合生态容量值,最后根据生态环境容量分级的指数划分最终确定被评价城市生态容量所属级别。

### 3.1 评价指标体系的构建

目前我国欠发达地区中小城市建设生态环境容量评价的指标,国家还没有规范性的标准或规范性的文本,本研究根据国内外大量文献研究<sup>[24-32]</sup>,结合对阜新市作为半干旱地区煤炭资源型城市所特有的干旱少雨、矿产开发土地破坏严重、煤炭资源逐步枯竭、水土流失较严重的特点,参照层次分析法的基本原理,分为 3 个层次,建立了阜新市生态环境容量评价指标体系,确定阜新市生态环境容量评价作为递阶层次结构的目标层(A 层),提取人口容量、资源容量、土地容量、废物消纳容量作为准则层(B 层),选择人口自然增长率、人口密度、非农业人口比例、就业率、人均 GDP、人均耕地面积、水域面积、人均建成地面积、人均森林覆盖率、可开发荒地面积、能源利用率、粮食综合生产能力、人均淡水资源、万元产值能耗、节能效率、可再生能源利用率、废水处理率、生活垃圾处理率、建成区人均绿化面积、环保投入占 GDP 的百分比和秸秆综合利用率共 21 项指标作为指标层(C 层)。阜新市生态环境容量评价递阶层次结构如图 1 所示。

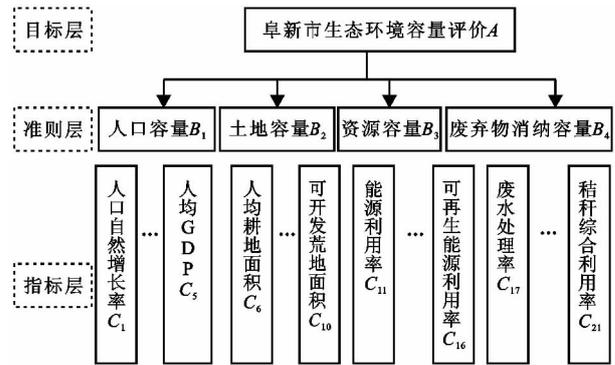


图 1 阜新市生态环境容量评价指标体系

### 3.2 指标权重的确定

阜新市生态环境评价体系中的各个指标有着不同的重要性,确定各指标的权重是进行综合评价的基础。主要采用层次分析法进行指标权重的确定。根据生态环境容量评价指标体系的递阶层次结构明确各层次间的隶属关系(图 1),对各层次内各元素进行判断比较,结合实地调查,确定各元素之间的相对重要性,分别构造出准则层对目标层、指标层对准则层的判断矩阵  $A-B, B_1-C, B_2-C, B_3-C$  和  $B_4-C$ 。在构造判断矩阵的过程中以 Lsatty<sup>[33]</sup> 的 1—9 标度法表示(表 1)为参考,由于篇幅有限,各层次之间的判断矩阵此处省略。

### 3.3 层次排序及一致性检验

根据矩阵理论,求出判断矩阵的最大特征根  $\lambda_{max}$  及其相应的特征向量,对特征向量进行归一化处理并表示为  $W$ ,即为同一层次各指标对于上一层次某一准则相对重要性的排序权值。为保证层次分析法分析得到的结论合理,要对构造的判断矩阵进行一致性检验。当判断矩阵阶数为 1 或 2 时,判断矩阵总是一致的,具有满意的一致性,当判断矩阵阶数大于 2 时,计算一致性指标  $CI$  为:

$$CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1) \quad (1)$$

引入判断矩阵的平均随机一致性指标  $RI$  值,对于 1—8 阶判断矩阵的  $RI$  值详见表 2。

表 1 Lsatty 的 1—9 标度法

标值 $a_{ij}$	含义 $x_i/x_j$
1	表示 2 个指标相比,具有同样重要性
3	表示 2 个指标相比,1 个指标比另 1 指标稍微重要
5	表示 2 个指标相比,1 个指标比另 1 指标明显重要
7	表示 2 个指标相比,1 个指标比另 1 指标强烈重要
9	表示 2 个指标相比,1 个指标比另 1 指标极端重要
2,4,6,8	上述相邻判断的中值,需要这种时采用
倒数	若因素 $i$ 与因素 $j$ 的重要性之比为 $a_{ij}$ ,那么因素 $j$ 与因素 $i$ 重要性之比为 $a_{ij} = 1/a_{ij}$

表 2 判断矩阵的 RI 值

矩阵阶数	1	2	3	4	5	6	7	8
RI 值	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41

计算判断矩阵的一致性比率 CR 为:

$$CR = CI / RI \quad (2)$$

当  $CR < 0.1$  时,认为判断矩阵的一致性是可以接受的,否则需要调整判断矩阵的取值。

按照以上方法,对判断矩阵  $A-B, B_1-C, B_2-C, B_3-C$  和  $B_4-C$  进行层次单排序并进行一致性检验。根据计算结果可以看出,层次总排序结果具有满意的一致性,可以接受其总排序权值。各指标对于阜新市生态环境容量评价总目标所占权重值详见表 3。

### 3.4 评价标准的划分

由于当前缺少针对矿业城市的生态评价标准,主要参考《全国环境优美乡镇考核指标》及国内外其他中小城市的生态环境容量评价标准来确定阜新市主要评价指标标准值<sup>[34-37]</sup>。综合拟定阜新市生态环境容量评价标准体系(表 4)。

## 4 生态环境容量评价方法

### 4.1 基本评价公式

阜新市生态环境容量评价指标体系中的第三级指标数值(Q)是评价指标体系的基础。在 3 级指标数值中,有的是越大越有利于生态环境容量的扩大,有的是越小越有利于环境容量的扩大。

表 3 阜新市准则层和指标层指标权重

准则层	权重	指标层	权重
人口容量	0.221 9	人口自然增长率	0.250 3
		人口密度	0.262 8
		非农业人口比例	0.125 8
		就业率	0.148 5
		人均 GDP	0.212 6
土地容量	0.268 8	人均耕地面积	0.289 5
		水域面积	0.187 6
		人均建成地面积	0.262 2
		人均森林覆盖率	0.151 5
		可开发荒地、草地面积	0.109 1
资源容量	0.381 3	能源利用率	0.253 3
		粮食综合生产能力	0.230 1
		人均淡水资源	0.154 3
		万元产值能耗	0.185 9
		节能效率	0.101 4
		可再生能源利用率	0.075 0
废弃物消纳容量	0.128 1	废水处理率	0.252 1
		生活垃圾处理率	0.277 1
		建成区人均绿化面积	0.190 3
		环保投入占 GDP 比例	0.133 6
		秸秆综合利用率	0.146 9

表 4 阜新市生态环境容量评价标准

准则层 (B 层, II 级)	指标层(C 层, III 级)	目标值	等级划分				
			好	较好	一般	较差	差
B <sub>1</sub> 人口容量	C <sub>1</sub> 人口自然增长率/%	3	3	5	7	9	11
	C <sub>2</sub> 人口密度/(人·km <sup>-2</sup> )	1 500	1 500	1 000	500	>1 500	<500
	C <sub>3</sub> 非农业人口比例/%	50	60	50	40	30	20
	C <sub>4</sub> 就业率/%	96	95	90	85	80	70
	C <sub>5</sub> 人均 GDP/10 <sup>3</sup> 元	40	25	20	15	10	5
B <sub>2</sub> 土地容量	C <sub>6</sub> 人均耕地面积/hm <sup>2</sup>	0.263	0.333	0.263	0.193	0.123	0.053
	C <sub>7</sub> 水域面积比例/%	10	12	10	8	6	4
	C <sub>8</sub> 人均建成地面积(m <sup>2</sup> /人)	100	150	130	100	80	60
	C <sub>9</sub> 人均森林覆盖率/%	20	25	20	15	10	5
	C <sub>10</sub> 可开发荒地、草地面积/10 <sup>4</sup> hm <sup>2</sup>	13.33	20.00	13.33	6.67	5.33	3.33
B <sub>3</sub> 资源容量	C <sub>11</sub> 能源利用率/%	60	80	60	40	30	10
	C <sub>12</sub> 粮食综合生产能力/10 <sup>4</sup> t	2 000	3 000	2 000	1 500	1 000	500
	C <sub>13</sub> 人均淡水资源/m <sup>3</sup>	3 000	3 000	2 000	1 000	500	100
	C <sub>14</sub> 万元产值能耗(t/万元)	1.7	1.2	1.7	2.2	2.7	3.2
	C <sub>15</sub> 节能效率/%	65	65	50	40	30	10
	C <sub>16</sub> 可再生能源利用率/%	40	50	40	30	20	10
B <sub>4</sub> 废弃物消纳容量	C <sub>17</sub> 废水处理率/%	100	70	60	50	40	30
	C <sub>18</sub> 生活垃圾处理率/%	100	90	80	70	60	50
	C <sub>19</sub> 建成区人均绿化面积(m <sup>2</sup> /人)	11	12	10	8	6	4
	C <sub>20</sub> 环保投入占 GDP 的百分比/%	2.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
	C <sub>21</sub> 秸秆综合利用率/%	80	100	80	60	50	40

当指标数值越大越好时,计算公式为:

$$Q_i = 1 - \frac{S_i - C_i}{S_i - \min} \quad (3)$$

当指标数值越小越好时,计算公式为:

$$Q_i = 1 - \frac{C_i - S_i}{\max - S_i} \quad (4)$$

式中: $S_i$ ——某三级指标的标准值; $C_i$ ——某三级指标的现状值; $\max$ ——所选相关中小城市指标中最大值乘以 1.05; $\min$ ——所选相关中小城市指标中最小值除以 1.05。

评价指标体系中的二级指标数值( $V_i$ )是根据其所属三级指标数值的算术平均值计算而得,计算公式为:

$$V_i = \sum_{j=1}^m Q_j W_j \quad (5)$$

式中: $Q_j$ ——某 3 级指标指数值; $W_j$ ——某三级指标的权重; $m$ ——该二级指标所属三级指标的项数。

#### 4.2 生态环境容量指数计算

为更好地评价城市生态环境容量,应用生态综合指数(ecological comprehensive index, ECI)计算方法计算生态环境容量值。生态综合指数是综合反映一个国家或地区生态状况的量化指标,也是用于判断生态治理与生态破坏处于何种阶段的量化的、内在的和综合性的指标,是城市生态环境容量评价中重要的指示参数。表征着生态环境容量各个因子的综合容量大小,其数值可以表示生态环境的好坏<sup>[38]</sup>。ECI 的计算方法是将各二级指标数值乘以各自的权重,再进行一次加和,计算公式为:

$$ECI = \sum_{i=1}^n V_i W_i \quad (6)$$

式中: $V_i$ ——二级指标数值; $W_i$ ——某二级指标的权重; $n$ ——二级指标的项数。

在计算各级指标数值和生态综合指数时,权值的确定非常重要,本研究权值的确定是采用层次分析法中两两比较得出的。

按公式即可计算得出各级指标评价结果。然后对综合指数再进行分级,以最终确定阜新市的生态容量程度。参照国际国内评估生态状况的做法<sup>[39-45]</sup>,结合我国生态建设的现状,生态综合指数的指标选取,需要从系统性、层次性、现实性、重要性 4 个方面来考虑,针对生态环境容量指数设计出五级分级标准,并给出相应的分级评语(表 5)。

## 5 结果与分析

### 5.1 生态环境容量现状值及目标值评价

根据评价体系选定的标准,以 2005—2008 年阜

新市统计年鉴、2005—2008 年辽宁统计年鉴和 2005—2008 年中国统计年鉴确定阜新市的 21 个生态环境容量评价现状值及目标值,并进行计算,计算结果详见表 6。

表 5 生态环境容量分级

分级	生态环境容量指数(ECI)	生态环境容量评语
1	>0.75	处于很好的状态
2	0.5~0.75	处于较好的状态
3	0.35~0.5	处于一般的状态
4	0.25~0.35	状态较低
5	<0.25	状态较差

### 5.2 生态环境容量指数计算

根据公式(3)~(4)的计算方法,结合表 6 数据计算三级指标数  $Q_1 \sim Q_{21}$ ,然后根据公式(5)计算各二级指标数  $V_1 \sim V_4$ ,结果详表 7—8。根据公式(6)和表 8 的二级指标数  $V$  的计算结果,计算一级指标生态环境容量指数 ECI 为 0.316 7。

### 5.3 结果讨论

以阜新统计年鉴中的相关原始数据为依据,采用层次分析法建立了阜新市生态容量评价指标体系,通过建立判断矩阵结合数学计算软件 Maple 13.0 计算权重值,并进行一致性检验。最后采用生态环境容量指数法计算出阜新市生态环境现状值为 0.316 7。根据生态环境容量分级(表 5)的指数划分,阜新市的生态环境容量指数值范围为:0.25 < 0.316 7 < 0.35,属于评价等级中的第 4 级。表明阜新市生态环境容量处于较低的状态,自然生态系统承载力已经接近极限,生态环境容量明显不足。

(1) 根据生态容量指数计算结果来看,当前阜新市的生态环境容量值 0.316 7 与评价等级中的第三级下限 0.35 仅相差 0.033 3,即距离评价等级中城市正常的生态环境状态评价价值并不是很大。其中,从指标层权重计算值可以看出,阜新的资源容量最丰富,其权重值为 0.381 3,其次为土地容量和人口容量,容量最低的是废弃物消纳容量,其权重值为 0.128 1,说明阜新市的自然生态资源较丰富,但环境纳污能力较低。今后工作的重点应主要围绕城市中受损土壤、水资源和植被的修复和治理方面展开,同时要已有自然生态环境资源进行科学的维护,只要采取科学的治理和保护手段,是可以使城市的生态环境状态达到评价标准中的正常范围的。

(2) 从表 6 中的单项评价结果可以看出,阜新市的人均耕地面积、水域面积比率、森林覆盖率和秸秆

综合利用率等与正常目标值差距很小,特别是森林覆盖率为 30.8%,甚至远远高于目标值 20%。说明阜新市在可开发用地、水域容量和森林容量上都有较大的发展潜力,未来可利用的环境资源较丰富,可适当开发这几种生态环境资源。而工业废水达标排放率、

建成区人均绿化面积和环保投资比例与目标值差距较大,表明城市对于废水的无害化处置水平较低,对人工绿地建设和环境保护治理投资重视程度还需进一步提高,以逐步改善城市整体废物的消纳容量系统。

表 6 阜新市生态环境容量评价指标值

准则层(B层, II级)	指标层(C层, III级)	现状值 $C_i$	目标值 $S_i$	最小/最大值
$B_1$ 人口容量	$C_1$ 人口自然增长率/%	1.52	3	11
	$C_2$ 人口密度/(人·km <sup>-2</sup> )	186	1 500	750
	$C_3$ 非农业人口比例/%	44.75	50	20
	$C_4$ 就业率/%	53.61	96	70
	$C_5$ 人均 GDP/元	10 126	40 000	5 000
$B_2$ 土地容量	$C_6$ 人均耕地面积/hm <sup>2</sup>	0.193	0.263	0.053
	$C_7$ 水域面积比例/%	8.22	10	4
	$C_8$ 人均建成地面积(m <sup>2</sup> /人)	27.47	100	60
	$C_9$ 人均森林覆盖率/%	30.8	20	5
	$C_{10}$ 可开发荒地、草地面积/10 <sup>4</sup> hm <sup>2</sup>	20.49	200	50
$B_3$ 资源容量	$C_{11}$ 能源利用率/%	9.4374*	60	10
	$C_{12}$ 粮食综合生产能力/10 <sup>4</sup> t	175.8	2 000	500
	$C_{13}$ 人均淡水资源/m <sup>3</sup>	436.11	3 000	100
	$C_{14}$ 万元产值能耗(t/万元)	1.3	<1.7	3.2
	$C_{15}$ 节能效率/%	45*	65	10
	$C_{16}$ 可再生能源利用率/%	16.5	40	10
$B_4$ 废弃物消纳容量	$C_{17}$ 废水处理率/%	72.65	100	30
	$C_{18}$ 生活垃圾处理率/%	100	100	50
	$C_{19}$ 建成区人均绿化面积(m <sup>2</sup> /人)	7.86	>11	4
	$C_{20}$ 环保投入占 GDP 的百分比/%	1.299	2.5	1
	$C_{21}$ 秸秆综合利用率/%	65*	80	40

注:表中现状值数据主要来源于阜新统计年鉴,带\*标记阜新市统计年鉴未进行统计的均来源于辽宁统计年鉴。

表 7 阜新市生态环境容量评价体系中 3 级指标数值  $Q_i$  的计算结果

$Q_1$	$Q_2$	$Q_3$	$Q_4$	$Q_5$	$Q_6$	$Q_7$
1.185 0	-0.752 0	0.825 0	-0.630 4	0.146 5	0.667 1	0.703 3
$Q_8$	$Q_9$	$Q_{10}$	$Q_{11}$	$Q_{12}$	$Q_{13}$	$Q_{14}$
-0.813 3	1.720 0	-0.196 7	-0.011 3	-0.216 1	0.115 9	1.266 7
$Q_{15}$	$Q_{16}$	$Q_{17}$	$Q_{18}$	$Q_{19}$	$Q_{20}$	$Q_{21}$
0.636 4	0.216 7	0.609 3	1	0.551 4	0.199 3	0.625 0

表 8 二级指标数  $V$  计算结果

$V_1$	$V_2$	$V_3$	$V_4$
0.140 4	0.350 9	0.281 6	0.654 0

(3) 该评价结果与阜新市多年以煤炭开采为主的经济发展模式密不可分。阜新市作为以煤炭采掘为主的资源型城市,多年来的采煤活动对城市土壤、水资源和大气带来扰动和破坏。多年的采煤活动对土壤资源的影响主要表现为耕地损毁、山体滑坡和地面开裂,进而造成水土流失和土壤质量下降;对水资

源的影响主要表现为矿井酸性排水污染、地下水位下降和矸石山淋滤水的污染,进而导致城市水资源紧缺和水污染的加剧;对大气质量的影响主要表现为矿山燃煤锅炉和矸石山自燃排放的 H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub> 等有毒有害气体污染以及煤矸石运输、装卸过程中的粉尘污染。此外,矿山工业建设、矸石堆放、开山修路、露天采矿剥离等活动,改变了矿区内以及周边地区水体、土壤等环境的初始条件,破坏了区域内营养元素的循环与更新,使生物的活动范围受到限制,生物生存活力受到严重影响,导致生物多样性受损。同

时,由于城市位于半干旱地区,其干旱、少雨、多风的自然生态环境气候特点更加剧了脆弱的生态系统的污染和破坏,造成生态承载能力的不断下降。

## 6 建议

(1) 加大生态环保投资,建立生态补偿机制具有重要性与必要性。阜新市是以煤炭的生产和加工为主导产业的资源型城市,半个多世纪的煤矿工业粗放经营的经济增长模式,导致了该地区矿产资源的极大浪费和自然生态环境的不断恶化。特别是该城市所处的地理位置属于半干旱地区的风沙地带,人为工业化扰动和自然气候特点共同加剧了该市生态系统的压力。通过选择恰当的评价和计算方法对煤炭资源型城市的生态环境容量进行分析和评价,不仅是生态补偿可行性研究的必然条件,更是生态补偿内容和补偿标准确定的核心和关键。根据评价结果,若继续维持阜新市的可持续发展就必须对生态环境进行修复和治理,而制定合理的生态补偿方案是推进生态环境修复和治理的重要保障,因此,按照市场经济原则建立生态补偿机制对投入者进行补偿是非常重要与必要的。

(2) 合理开发现有优势自然资源,推进城市成功转型。根据评价结果显示,阜新市的水域、林地等资源较丰富,因此,可以适当开发这些土地类型的利用途径,利用阜新本身良好的自然资源和地理优势,坚持优先发展生态农业、绿色能源生产和景观旅游产业,以加快阜新市从资源枯竭型城市向以农业、种植业和畜牧业为主的轻工业城市转型,并逐步实现城市环境与经济的协调发展。

(3) 加大环境治理力度,鼓励多样化产业并存,促进生态可持续发展。阜新市目前发展仍然主要依靠矿业资源的开采和消耗以及农产品的产出,综合产业发展明显不足,不利于带活经济,应该更好地利用其土地资源。在经济水平有限的条件下应加大环保宣传和环保投资治理,发展多样化环保措施,在能源利用上开发可再生资源的利用,在以矿业资源为主,农业和风景旅游为辅的路线下,适当鼓励发展多样化的产业结构,生产性和服务型的产业并行,有利于阜新市的长远稳定发展和生态环境容量的可持续改善。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 周华荣. 新疆生态环境质量评价指标体系研究[J]. 中国环境科学, 2000, 20(2): 150-153.
- [2] 吴丽丽. 小城镇生态环境容量评价研究[D]. 湖北武汉: 华中科技大学, 2007.
- [3] 李金昌, 姜文来, 靳乐山. 生态价值论[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1999: 61-89.
- [4] 赵雪雁. 甘肃省生态承载力评价[J]. 干旱区研究, 2006, 23(3): 506-512.
- [5] Gouyon A. Rewarding the Upland Poor for Environmental Services: A Review of Initiatives from Developed Countries[R]. Bogor Indonesia; Southeast Asia Regional Office, World Agroforestry Centre, 2003.
- [6] Jack B K, Kouskya C, Sims K R E. Designing payments for ecosystem services: Lessons from previous experience with incentive-based mechanisms[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2008, 105(28): 9465-9470.
- [7] Sebestova E, Machovic V, Pavlikova H, et al. Environmental impact of brown coalmining in Sokolovo basin with especially trace metal mobility[J]. Journal of Environmental Science and Health (Part A), 1996, 31(10): 2453-2463.
- [8] McGee T G. Urbanisasi or Kotadesas? Evolving Patterns of Urbanization in Asia[C]. Honolulu: University of Hawaii Press, 1989: 55-60.
- [9] Senbel M, McDaniels T, Dowlatabadi H. The ecological footprint: A non-monetary metric of human consumption applied to North America [J]. Global Environmental Change, 2003, 13(2): 83-100.
- [10] Smith W, Meredith T C, Johns T. et al. Exploring methods for rapid assessment of woody vegetation in the Batemi Valley, North-central Tanzania[J]. Biodiversity and Conservation, 1999, 8(4): 447-470.
- [11] Robin S R, Russell L K, Nyawira M, et al. Land-use and land-cover dynamics in response to changes in climatic, biological and socio-political forest: The case of Southwestern Ethiopia[J]. Landscape Ecology, 2000, 15(4): 339-355.
- [12] Daniel T H, Curtis M E, Anne C N, et al. A landscape ecology assessment of the Tensas River Basin [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2000, 64(1): 41-54.
- [13] Richard G. Applying GIS and landscape ecological principles to evaluate land conservation alternatives [J]. Landscape and Urban Planning, 1998, 41(1): 27-41.
- [14] 高占慧. 区域生态环境评价中统计数据空间化方法研究: 以山东省为例[D]. 山东 济南: 山东师范大学, 2012.
- [15] 中国 21 实际议程管理中心可持续发展战略研究组. 发展的基础: 中国可持续发展的资源、生态基础评价 [M]. 北京: 社会科学出版社, 2004: 132-135.
- [16] 赵运林, 邹冬生. 城市生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 31-35.

- [17] 毛洪章,陈军. 武汉市环境承载力研究[J]. 理论与实践, 2006(1):76-77.
- [18] 徐理超,李艳霞,苏秋红,等. 阜新市农田土壤重金属含量及其分布特征[J]. 应用生态学报, 2007, 18(7): 1510-1517.
- [19] 阜新市国土资源局. 2006—2010年阜新市矿产资源开发规划[M]. 辽宁 阜新:阜新市人民政府, 2007.
- [20] 许丕伟,张欣宇. 阜新矿区煤矸石对地下水污染及综合治理措施初探[J]. 中国新技术新产品, 2009(23):119-120.
- [21] 刘滨霞. 阜新地区生态环境破坏复杂性的调查与分析[J]. 煤矿开采, 2004, 9(2):10-13.
- [22] 阜新市统计局. 阜新统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社, 2008:33-60.
- [23] Zhao Xueyan. Evaluation on the ecological carrying capacity in Gansu Province[J]. Arid Zone Research, 2006, 23(3):506-512.
- [24] Johst K D, Watzold F. An ecological-economic modeling procedure to design compensation payments for the efficient spatio-temporal allocation of species protection measures[J]. Ecological Economics, 2002, 41(1):37-49.
- [25] 刘光中. 发展战略与数学模型[M]. 四川 成都:四川科学技术出版社, 1989:118-1219.
- [26] 2008年中国生态城市发展评价及设计研究报告[OB]. 中国报告大厅市场研究报告网. (2008-01-06)[2010-06-03]. <http://www.chinabgao.com/reports/43953.html>, 2008.
- [27] 中国21实际议程管理中心可持续发展战略研究组. 发展的基础:中国可持续发展的资源、生态基础评价[M]. 北京:社会科学出版社, 2004.
- [28] 李新. 苏南人口密集地区城镇化过程中的环境特征分析[J]. 长江流域资源与环境, 2005, 14(5):595-599.
- [29] 包景岭,骆中钊,李小宁. 小城镇生态建设与环境保护设计[M]. 北京:化学工业出版社, 2005:43-47.
- [30] 王韩民. 生态安全系统评价与预警研究[J]. 环境保护, 2003(11):30-34.
- [31] 窦君鸿. 基于支持向量机分类的生态环境预警[J]. 农机化研究, 2004(6):95-97.
- [32] Muniz I, Galindo A. Urban form and the ecological footprint of commuting: The case of Barcelonan[J]. Ecological Economics, 2005, 55(4):499-514.
- [33] Donald M, Patterson M G. Ecological footprints and interdependencies of New Zealand regions[J]. Ecological Economics, 2004, 50(1/2):49-67.
- [34] Buyantuyeva A, Wu Jianguo, Gries C. Multiscale analysis of the urbanization pattern of the Phoenix metropolitan landscape of USA: Time, space and thematic resolution[J]. Landscape and Urban Planning, 2010, 94(3/4):206-217.
- [35] Svirjeva H A. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences[M]// Encyclopedia of Ecology. Elsevier Science Ltd, 2008: 3672-3678.
- [36] 张海兰,郝丹. 中部地区城市边缘带小城镇发展模式探析[J]. 小城镇规划, 2004(1):19-23.
- [37] 袁中金,王勇. 小城镇发展规划[M]. 江苏 南京:东南大学出版社, 2001.
- [38] 崔功豪. 中国城镇发展研究[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 1992.
- [39] McGee T. The Southeast Asian City[M]. London: G Bellandson, Ltd, 1967.
- [40] John N Thompson. Rapid evolution as an ecological process[J]. Trends in Ecology & Evolution, 1998, 13(8):329-332.
- [41] 李世东,张大红,翟洪波. 生态综合指数及其在生态状况评估中的应用研究[J]. 自然资源学报, 2006, 31(5): 782-789.
- [42] 姜春云. 中国生态演变与治理方略[M]. 北京:中国农业出版社, 2004.
- [43] 国家环保总局. 全国生态现状调查与评估[M]. 北京:中国环境科学出版社, 2005.
- [44] John H. Heinz III Center for Science, Economics and Environment. The State of The Nation's Ecosystems [C]. New York, USA: Cambridge University Press, 2002.
- [45] World Resources Institute. Millennium ecosystem assessment [C] // Millennium Ecosystem Assessment Board. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Washington, DC: Island Press, 2005.