

# 基于层次分析的环保产业发展评价指标体系与方法研究

苗永刚, 朱娜

(沈阳环境科学院研究院, 沈阳 110167)

**【摘要】**环保产业的快速发展需要良好的市场环境和政策引导。但由于环保产业的发展受跨领域、跨行业、跨部门等多因素影响,且大部分因素指标不在国民经济统计范畴,因此环保产业发展态势的评价一直是难点问题。本文从我国的环保产业定义出发,依据影响与制约环保产业的关键因素,结合层次分析法和综合评价法,构建定性与定量相结合的环保产业发展态势的科学评价方法和指标体系,并基于辽宁省沈阳、大连、朝阳三个典型城市环保产业调查数据开展实证分析,以期我国的环保产业发展评价提供技术手段,也为区域环保产业发展激励政策的制定提供科学依据。研究表明:本文构建的环保产业评价指标体系与评价方法,能够为环保产业的定性化与定量化评价提供参考。本文这套体系方法能够了解区域环保产业发展关键影响与制约因素提供依据,从而为促进该区域环保产业的发展制定精准的产业政策和战略。各指标权重赋值,结合了主观与客观因素,完全依据专家经验判定,期望能够为环保产业的发展评价提供科学依据。由于环保产业属于新兴产业,因此本文涉及环保产业的边界条件判定和环保产业发展的现状判断需结合各地实际情况不断完善与调整。

**【关键词】**环保产业;关键因素;评价指标体系;层次分析法

中图分类号:X22 文献标识码:A 文章编号:1673-288X(2021)04-0032-07 DOI:10.19758/j.cnki.issn1673-288x.202104032

本文从环保产业定义出发,在分析国内外产业发展评价模型和方法基础上,依据影响和制约环保产业发展的关键因素,提出了我国环保产业发展的评价指标体系和评价方法,并用实证分析进行方法验证,为国内环保产业发展现状以及发展趋势评价提供一种技术思路,也为各地环保产业政策、战略的制定提供一种定量化分析辅助手段。

## 1 文献综述

当前,我国经济快速发展造成的环境污染和生态退化,以及由此引发的水质恶化、水体黑臭、扬尘、雾霾等环境问题逐步暴露出来<sup>[1]</sup>。由于环保产业通过产品和服务输出为环境治理及生态环境的改善提供终端产品和技术保障,因此,环保产业快速发展是破解经济快速发展与生态环境恶化之间相互矛盾的重要手段<sup>[2]</sup>,环保产业发展

水平的高低直接影响生态环境治理的效果。

国际学术界对环保产业的分类标准、统计规范和评价方法相对缺乏<sup>[3]</sup>。我国环保产业概念与美、日、德等国家的环保产业概念的内涵与外延存在差异。依据定义,我国的环保产业是指在国民经济结构中,以防治环境污染、改善生态环境质量、保护自然资源为目的的技术产品开发、商业流通、资源利用、信息服务、工程承包等活动的总称。依据相关文献分析,国内环保产业缺乏科学的评价指标体系和技术方法,这与我国蓬勃发展的环保产业现状不相适应,严重制约着我国对环保产业的精准调查和定量分析,使决策者制定精准的产业扶持政策和发展战略成为共性的难题。本文探索用层次分析法建立环保产业发展态势评价方法,并构建评价指标体系以供参考,期望为环保产业发展评价提供参考。

## 2 判断评价体系的构建

### 2.1 评价方法

由于技术含量较高、发展潜力大并符合市场需求,环保产业作为战略新兴产业与高新技术产业一起被世界上大多数国家所重视,许多国家和地区都制定并出台激励政策促进环保产业快速发展。然而,如何通过科学方法对环保产业的发展态势进行定量化评价,仍是一项难题<sup>[4-6]</sup>。战略新兴产业与高新技术产业的判定和发展评价方法对于环保产业发展评价指标体系与方法的构建具有重要的借鉴意义。

在战略新兴产业发展评价研究上,国内外专家、学者的关注焦点主要集中在战略性新兴产业发展能力的评价上<sup>[5]</sup>,包括产业信息资源服务能力、技术服务能力和产业结构调整能力等,采用的评价方法包括全局性评价指标及标准、战略性新兴产业政策述评等新兴产业评价体系<sup>[7]</sup>。同时,由于高新技术产业申报与统计体系相对成熟、规范,根据企业申报过程中主动提交的企业研发(research and development, R&D)强度、科技竞争力等相关指标,管理部门通过关键性指标,不仅能够对申报企业是否属于高新技术企业进行判定,而且能够对产业发展态势给出精准评价与分析。因此,该指标体系的构成对环保产业发展评价指标体系构建也具有重要的参考意义。

本文结合战略新兴产业和高新技术产业评价方法、指标体系及实践经验,对环保产业的产业结构、产业规模、产业竞争能力、产业集聚度等相关因素进行综合评价与分析。

### 2.2 构建原则

综合分析相关文献发现,影响和制约我国环保产业发展的因素众多,各因素间关系错综复杂,且多数指标属于定性非定量指标,单一层次、少数指标的评价方法难以衡量环保产业发展的状态和变化。因此,建立一个多指标的科学评价体系,客观准确地描述环保产业的发展态势,应遵循以下原则:

(1) 指标体系应能真实、客观、全面地反映环保产业的现状和发展潜力。

(2) 指标体系尽量采用现有的科技和经济

统计数据,且数据指标可调查、可统计、可查询、可连续。

(3) 评价体系能够定量化。对于无法定量的指标,可以定性比较分析,也可通过专家意见法赋值进而量化。

(4) 评价结果应具有可比性和通用性,既可与其他地区和行业横向对比,也可以进行纵向比较。

### 2.3 遴选指标

依据我国环保产业概念,结合评价指标及方法体系构建原则,从环保产业结构、产业规模与经济能力、产业创新与竞争力、产业集群情况4个方面对产业发展态势进行分析,能够满足对环保产业发展现状的定量化描述与评价。因此,遴选指标体系应包括销售产值、资金利润率、年研发人员投入总量、年研发资金支出总额、行业技术人员占比、技术人员中工程师占比、授权发明专利个数等30个因素。

指标体系中被遴选的指标多数属于统计范畴的基本概念,但部分指标为非统计称谓,属于定性描述指标,本文根据环保产业概念内涵与外延,将独有或特定的指标确定为关键性指标。

## 3 研究分析方法的选取

由于指标体系包含了定性概念,内涵与外延界限模糊,难以定量评价,因此通过指标体系精准判断产业发展水平和态势比较困难。

层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)是由美国运筹学家 T. L. Saaty 教授于 20 世纪 70 年代提出的,对定性问题进行定量分析的一种简便、灵活、实用的多准则决策方法<sup>[8]</sup>。该方法是根据系统工程对各要素排序的原理,将一个复杂问题条理化并划分为多层次结构,并对同层次元素进行定量描述,使非定量问题定量化的研究方法。

### 3.1 建立递阶层次结构

基于层次分析原则,将调查指标与相关问题条理化、层次化,构造一个递阶层次结构,包括指标层、准则层和目标层,从产业规模与经济能力、产业创新与竞争力、产业集群情况、产业结构4个方面描述环保产业发展态势,如图1所示。

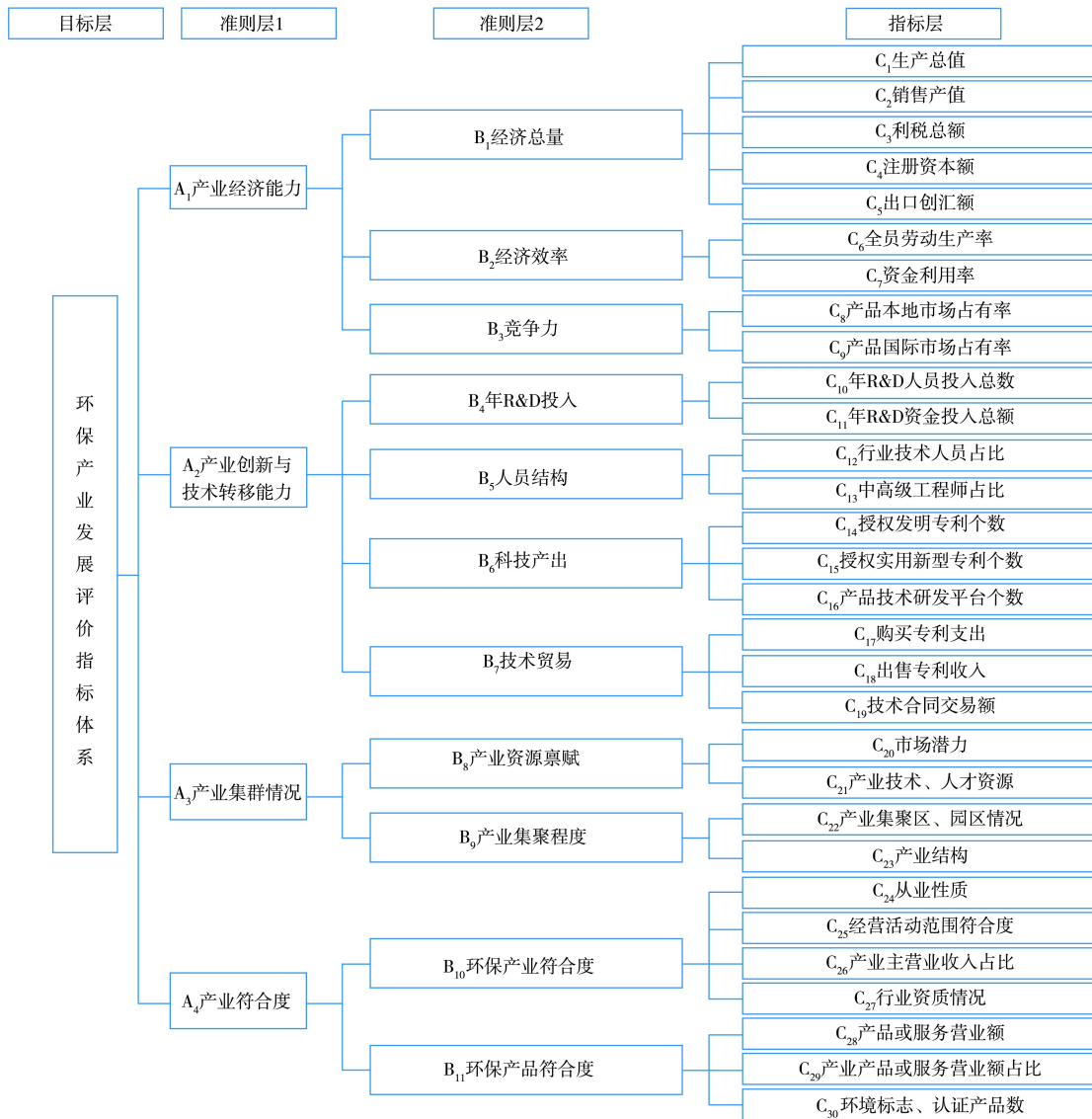


图1 环保产业评价递阶层次图

递阶层次表构建后,各层次指标之间的隶属关系随之确定。采用 AHP 法对指标层的各因素进行比较后,对定性指标科学赋值,将定性、定量指标归一化处理,以便于对环保产业发展态势进行定量化分析评价。

### 3.2 构建判断矩阵

依据递阶层次图对指标体系中的所有指标进行重要性比较。设定 1~9 为两指标相互比较时重要程度逐渐变强的标度,比较结果用  $e$  或  $1/e$  表示。其中,  $e \in (1, 2, \dots, 9)$ 。则所有影响因素之间构成一个两两比较的判断矩阵  $E = (e_{ij})_{n \times n}$ ,  $e_{ij}$  是指标层影响因素相对于准则的重要性比例标度,比例标度的每一个值由专家判断得到。因此,针对指标层所有指标构造的判断矩阵如表 1

所示。

表 1 环保产业评价体系指标判断矩阵结构表

$e$	$e_1$	$e_2$	...	$e_j$
$e_1$	$e_{11}$	$e_{12}$	...	$e_{1j}$
$e_2$	$e_{21}$	$e_{22}$	...	$e_{2j}$
...	...	...	...	...
$e_i$	$e_{i1}$	$e_{i2}$	...	$e_{ij}$

### 3.3 权重确定和一致性检验

指标体系中所有指标的相对权重可以通过判断矩阵的特征向量、特征根和一致性检验计算。特征根法计算公式为:

$$W_{ij} = \frac{(\prod_{j=1}^n E_{ij})^{1/n}}{\sum_{k=1}^n (\prod_{j=1}^n E_{kj})^{1/n}} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

每一层指标按行相乘得到新的特征向量,将特征向量的每个分量开  $n$  次方,归一化后即权重向量  $W_i$ ,矩阵最大特征根为:

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\sum_{j=1}^n E_{ij} w_j}{w_i} \quad (2)$$

由于在两两判断时,专家难以精准地对每个指标赋予重要性值,实际标度与精准值之间可能存在偏差,因此需要对矩阵进行一致性检验。

一致性指标  $C \cdot I \cdot$  计算公式为  $C \cdot I \cdot = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$ 。查找相应的平均随机一致性指标  $R \cdot I \cdot$ ,计算一致性比例  $C \cdot R \cdot = \frac{C \cdot I \cdot}{R \cdot I \cdot}$ 。当  $C \cdot R \cdot < 1$  时,则判断矩阵一

致性可以接受;当  $C \cdot R \cdot \geq 1$  时,应该对判断矩阵进行修正。

通过一致性检验后,计算准则层的指标并合成权重。在进行环保产业类企业判定和产业发展现状评价时,用加权算数平均综合向量法计算综合权重,同时对各个专家的同一判断矩阵计算出的权向量进行算术平均,以求得判断矩阵的最终权向量,然后合成计算指标层各影响因素的综合权向量。

### 3.4 权重赋值与计算

本文基于环保产业调查数据库,请专家组对指标体系内的 30 个影响因素进行比较赋值,经数据分析软件计算处理,并经判断矩阵进行权重确定和一致性检验,对每一个影响因素进行了权重综合赋值。权重赋值取整数,见表 3。

表 3 环保产业评价体系指标权重赋值表

目标层	权重	准则层	权重	指标层	权重
E <sub>1</sub> 产业经济能力	30%	B <sub>1</sub> 经济总量	20%	C <sub>1</sub> 生产总值	6%
				C <sub>2</sub> 销售产值	4%
				C <sub>3</sub> 利税总额	4%
		B <sub>2</sub> 经济效率	6%	C <sub>4</sub> 注册资本额	3%
				C <sub>5</sub> 出口创汇额	3%
				C <sub>6</sub> 全员劳动生产率	3%
				C <sub>7</sub> 资金利润率	3%
				C <sub>8</sub> 产品本地市场占有率	2%
				C <sub>9</sub> 产品国际市场占有率	2%
E <sub>2</sub> 产业创新与技术转移能力	20%	B <sub>4</sub> 年研发投入	8%	C <sub>10</sub> 年研发人员投入总数	4%
				C <sub>11</sub> 年研发资金支出总额	4%
				C <sub>12</sub> 行业技术人员占比	3%
		B <sub>5</sub> 人员结构	5%	C <sub>13</sub> 中高级工程师占比	2%
				C <sub>14</sub> 授权发明专利个数	2%
				C <sub>15</sub> 授权实用新型专利个数	1%
		B <sub>6</sub> 科技产出	4%	C <sub>16</sub> 产品技术研发平台个数	1%
				C <sub>17</sub> 购买专利支出	1%
				C <sub>18</sub> 出售专利收入	1%
B <sub>7</sub> 技术贸易	3%	C <sub>19</sub> 技术合同交易额	1%		
		C <sub>20</sub> 市场潜力	4%		
		C <sub>21</sub> 产业技术、人才资源	4%		
E <sub>3</sub> 产业集群情况	15%	B <sub>8</sub> 产业资源禀赋	8%	C <sub>22</sub> 产业集聚区、园区情况	4%
				C <sub>23</sub> 产业结构	3%
		B <sub>9</sub> 产业集聚情况	7%	C <sub>24</sub> 从业性质	6%
E <sub>4</sub> 产业符合度	35%	B <sub>10</sub> 环保产业符合度	20%	C <sub>25</sub> 经营活动范围符合度	6%
				C <sub>26</sub> 产业主营业务收入占比	5%
				C <sub>27</sub> 行业资质情况	3%
		B <sub>11</sub> 环保产品符合度	15%	C <sub>28</sub> 产品或服务营业额	6%
				C <sub>29</sub> 产业产品或服务营业额占比	5%
				C <sub>30</sub> 环境标志、认证产品数	4%

根据影响因素综合权向量大小,可以判断哪些影响因素是制约环保产业发展的关键因子,并可以通过该表对不同区域环保产业发展态势进行评价,从而为产业政策与产业战略的制定提供量化的关键信息支持。

#### 4 实证分析

基于2015年辽宁省环保产业调查报告和沈阳市环保产业调查数据及公开的信息资料,对沈

阳、大连、朝阳三市的环保产业发展态势进行分析比较。由于环保产业判定与评价指标体系中被调查的影响因素所属领域不同且量纲多样,因而无法相互比较。依据环保产业评价体系指标权重赋值表,对2个以上区域环保产业进行比较时,首先对比较值进行无量纲归一化处理,其公式为:

$$Y_i = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

其中,  $X_i$  为指标值,  $X_{\max}$  为指标最大值,  $X_{\min}$  为

表4 不同区域环保产业评价得分表

	沈阳				大连				朝阳			
	指标值	指标层	准则层	目标层	指标值	指标层	准则层	目标层	指标值	指标层	准则层	目标层
C <sub>1</sub>	313.1 亿	6			420.4 亿	3			54.2 亿	0		
C <sub>2</sub>	80.5 亿	2			104.0 亿	4			17.9 亿	0		
C <sub>3</sub>	—	—	11		—	—	13		—	—	0	
C <sub>4</sub>	177.8 亿	1.5		14	220 亿	3		19	12.1 亿	0		0
C <sub>5</sub>	11.4 亿	1.5			32.7 亿	3			0	0		
C <sub>6</sub>	262.4 万	1.5	3		300.1 万	3	6		274 万	0	0	
C <sub>7</sub>	5.8%	1.5			7.3%	3			4.5%	0		
C <sub>8</sub>	70%	1	2		78%	2	4		40%	0	0	
C <sub>9</sub>	14.1%	1			20.58%	2			0	0		
C <sub>10</sub>	11930 人	2	4		13991	4	8		1978	0	0	
C <sub>11</sub>	1.37 亿	2			2.32 亿	4			0.05 亿	0		
C <sub>12</sub>	13.63%	3	3		11.97%	0	1		12.74%	1.5	3.5	
C <sub>13</sub>	6.31%	0		13.5	8.41%	1		19	8.94%	2		3.5
C <sub>14</sub>	86 件	1			178 件	2			23 件	0		
C <sub>15</sub>	284 件	0.5	2.5		623 件	1	3.5		97 件	0	0	
C <sub>16</sub>	16 个	1			14 个	0.5			0 个	0		
C <sub>17</sub>	0.63 亿	0.5			1.02 亿	1			0	0		
C <sub>18</sub>	0.15 亿	0.5	2		0.98	1	2.5		0	0	0	
C <sub>19</sub>	0.4 亿	1			0.38	0.5			0	0		
C <sub>20</sub>	960 亿	4	8		680 亿	2	4		540 亿	0	0	
C <sub>21</sub>	70 分	4			60 分	2			30 分	0		
C <sub>22</sub>	6 个	4		12	4 个	2		9	2 个	0		6
C <sub>23</sub>	122:80	—	4		183:92	—	5		42:21	—	6	
C <sub>24</sub>	65 分	0			72 分	3			80 分	6		
C <sub>25</sub>	—	—			—	—			—	—		
C <sub>26</sub>	81.63%	5	9.5		73.25%	2.5	11.5		46.3%	0	0	
C <sub>27</sub>	18 个	1.5		18.5	21 个	3		16	8 个	0		0
C <sub>28</sub>	21.9 亿	3			22.8 亿	6			0.36 亿	0		
C <sub>29</sub>	27.2%	5	9		23.2%	2.5	4.5		21.3%	0	0	
C <sub>30</sub>	64 个	4			45 个	2			7 个	0		

指标最小值,  $Y_i$  值区间在 0 与 1 之间。结合无量纲归一化处理后的综合指标值, 可以通过线性加权和法计算指标的评分值, 然后量化地判断和评价目标层、准则层、指标层各指标, 指标评分值的计算公式为:

$$F = \sum_{i=1}^N W_i \times Y_i \quad (4)$$

$F$  为指标最终评分值,  $Y_i$  为指标评分值,  $W_i$  为指标权重。通过对目标层、准则层和指标层各元素指标评价值的比较, 可以把不同区域环保产业优势及不足量化描述出来(表 4)。

评价结果如下:通过量化对比分析, 可以看到大连市环保产业发展态势得分为 63, 要好于沈阳市环保产业发展态势 58 分。如果对目标层指标进行考察, 则大连市的环保产业经济能力和产业创新与技术转移能力均为 19 分, 强于沈阳市的 14 分和 13.5 分; 但大连市产业集群情况和产业符合度得分分别为 9 分和 16 分, 弱于沈阳市的 12 分和 18.5 分。三个区域中, 沈阳市环保产业发展最好, 大连市环保产业发展较好, 朝阳市的环保产业发展水平较差。

对比结果说明, 沈阳市环保产业目前处于快速发展期, 但产业技术成果转化、科技投入与产出能力都有待提高。与大连市环保产业发展状况比, 沈阳市环保产业的技术创新与扩散能力有待提高, 沈阳市应加大对技术创新的投入和产出力度。而大连市由于经济总量、产业集群情况指标较沈阳市低, 其产业创新与技术转移能力强, 产业环境支撑能力强, 应增强对中小企业的扶持, 扩大产业集聚能力。

## 5 结论

以上研究表明:(1) 本文构建的环保产业评价指标体系与判定、评价方法体系, 能够为环保产业的定性化与定量化评价提供参考。(2) 本文这套体系方法能够了解区域环保产业发展关键影响与制约因素提供依据, 从而为促进该区域环保产业的发展制定精准的产业政策和战略。(3) 各指标权重赋值, 结合了主观与客观因素, 完全依据专家经验判定, 期望能够为环保产业的发展评价提供科学依据。

由于环保产业属于新兴产业, 因此本文涉及环保产业的边界条件判定和环保产业发展的现状判断需结合各地实际情况不断完善与调整。

### 参考文献:

- [1] 卜姝华, 林卓玲. 多维邻近性与区域新兴产业技术创新网络演化研究: 以广东环保产业为例[J]. 科技与经济, 2020, 33(03): 11-15.
- [2] 王劲峰. 中日两国环境保护产业分类的比较分析[J]. 中国环保产业, 2002(04): 34-36.
- [3] 王渊奇. 粤港澳大湾区环保产业利用外资的路径研究[J]. 中国经贸导刊(中), 2020(07): 27-28.
- [4] 李学良. 高技术产业发展评价指标体系研究[D]. 沈阳: 沈阳药科大学, 2001: 16-21.
- [5] 常杪, 杨亮, 陈青, 等. 我国环保产业园的发展与新时期面临的挑战[J]. 中国环保产业, 2020(06): 12-17.
- [6] 苗永刚, 赵玉强, 崔涤尘, 等. 沈阳市环保产业市场发展需求与发展策略研究[J]. 环境保护科学, 2017(02): 81-84.
- [7] 吴声凤. 层次分析法在喀斯特地区退耕适宜性评价中的应用[J]. 绿色经济, 2009(10): 52-55.
- [8] 林锋古. 以智慧化重构产业生态以特色化引领产业发展: 基于宜兴环保产业的调查研究[J]. 江南论坛, 2020(06): 38-40.

## Study on evaluation index system of comprehensive judgment and development of environmental protection industry

MIAO Yonggang, ZHU Na

(Shenyang Academy of Environmental Science, Shenyang 110167, China)

**Abstract:** The rapid development of environmental protection industry needs a good market environment and favorable policy guidance. However, because the development of the environmental protection industry is affected by many factors such as cross-field, cross-industry and cross-department, and most of the factors are not in the scope of national economic statistics, the evaluation of the development situation of the environmental protection industry has always been a difficult problem. This paper, starting from the definition of environmental protection industry of our country, on the basis of the key factors influencing and restricting the environmental

protection industry, combined with Analytic Hierarchy Process (AHP) and comprehensive evaluation method, builds the scientific evaluation method and index system of the development situation of environmental protection industry which combines qualitative with quantitative. Through the investigation data of environmental protection industry in three typical cities of Shenyang, Dalian and Chaoyang of Liaoning Province, the empirical analysis is carried out, in order to provide technical means for the evaluation of the development of environmental protection industry in China, and also provide scientific basis for the formulation of incentive policies for the development of regional environmental protection industry. The research shows that the evaluation index system, evaluation method of environmental protection industry constructed in this paper can provide reference for qualitative and quantitative evaluation of environmental protection industry. This system method can provide a basis for understanding the key influence and restriction factors of the development of regional environmental protection industry, so as to formulate precise industrial policies and strategies for promoting the development of the regional environmental protection industry. The weight assignment of each index combines subjective and objective factors and is determined entirely based on expert experience, which is expected to provide a scientific basis for the development evaluation of the environmental protection industry. As the environmental protection industry is an emerging industry, the boundary conditions and the development status of the environmental protection industry in this paper need to be constantly improved and adjusted according to the actual situation of each region.

**Keywords:** environmental protection industry; key factors; evaluation index system; Analytic Hierarchy Process (AHP)