

An Empirical Study on the Evaluation Index System of Circular Economy in Xuzhou

Aiwen Zhao, Dandan Wang, Hui Feng, Jinjin Tian

College of Economics, Xuzhou Institute of Technology, Xuzhou Jiangsu
Email: xzzhaoaiwen@163.com, 1302518865@qq.com

Received: Apr. 3rd, 2019; accepted: Apr. 18th, 2019; published: Apr. 25th, 2019

Abstract

Based on the rules of 3R-reducing, reusing and recycling, an evaluation index system of circular economy was proposed by Xuzhou municipal government in its "13th Five-Year" circular economy development plan. This system effectively combines actual needs and then is designed to cover 1 objective layer, 4 principle layers, and 23 index layers. This article made full use of linear weighted synthesis and developed the index of circular economy in the 13th Five-Year after the weights of rule layer and index layer were determined by using AHP and entropy method. Furthermore, an implementation path is explored regarding development of circular economy in Xuzhou city.

Keywords

Circular Economy, Evaluation Index System, AHP, Entropy Weight Algorithm

徐州市循环经济评价指标体系实证研究

赵爱文, 王丹丹, 冯 慧, 田金金

徐州工程学院, 经济学院, 江苏 徐州
Email: xzzhaoaiwen@163.com, 1302518865@qq.com

收稿日期: 2019年4月3日; 录用日期: 2019年4月18日; 发布日期: 2019年4月25日

摘 要

根据“3R”原则(减量化、再利用、资源化),按照实际和需要相结合,徐州市“十三五”循环经济发展规划中提出了包括1个目标层,4个准则层和23个指标层的徐州市循环经济评价指标体系。本文以2015年指标值为标准值,采用层次分析法和熵权算法确定准则层和指标层权重,最后通过线性加权合成徐州

市“十三五”期间循环经济发展指数，并结合徐州市实际情况，探讨徐州市循环经济实施路径。

关键词

循环经济，评价指标体系；层次分析法，熵权算法

Copyright © 2019 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

2015年国家统计局研究建立了循环经济综合评价指标体系，并据此对我国循环经济发展状况进行了测算[1]，结果表明：“十二五”期间我国循环经济发展成效明显。2016年徐州市正式获批成为国家循环经济示范城市建设城市[2]，为此，徐州市政府专门出台了《加快推进国家循环经济示范城市建设实施意见》，全面开启徐州市国家循环经济示范城市建设工作，循环经济的时代已经到来。2016年10月17日，《徐州市“十三五”循环经济发展规划(2016~2020年)》正式印发实施。发展循环经济是徐州市加快转变经济发展方式，建设资源节约型、环境友好型社会，实现可持续发展的必然选择。

20世纪80年代后期德国出现了循环经济的研究和评价，90年代出现大规模实践，以1996年实施的《循环经济与废物管理法》为标志；托宾等人(1972)提出净经济福利指标体系；Daly(1994)提出的“可持续经济福利指数”；Wackernage[3](1996)等提出的“生态足迹”概念，即“适当的承载力”。国内学者也从不同角度建立了循环经济指标体系，其中较为典型的有：牛桂敏[4](2005)提出了一个循环经济评价体系，该体系由3个层次、6大子模块及36个不同指标构成；钟太洋、黄贤金[5]等(2006)建立包括资源利用效率、资源减量化利用趋势、污染减量排放、资源再循环与再利用、产业循环结构、能源结构与安全和循环经济发展能力等7个方面的评价体系；计晓东[6]等(2011)提出循环度概念，以衡量循环经济发展水平。王茂祯[7]等(2012)提出循环经济创新评价指标体系等。董康银[8]等(2015)构建循环经济综合指标体系，采用DHGF法对循环经济指标给出有效评价。

2. 徐州市循环经济评价指标体系

目前，国内外对循环经济评价指标的研究颇多，尚无统一标准。本文在其他学者研究的基础上，结合《徐州市“十三五”循环经济发展规划(2016~2020年)》确定的指标，通过层次分析法、熵权算法、功效系数法和线性加权综合法计算“十三五”期间徐州市循环经济发展指数。

2.1. 指标体系设计

“十二五”期间，徐州市循环经济发展成效显著：资源综合利用水平不断提升，循环经济示范试点有序推进，资源节约型社会建设稳步推进，园区循环化改造成效显著，循环经济体制机制不断完善，循环经济意识不断增强。

《徐州市“十三五”循环经济发展规划(2016~2020年)》明确了“十三五”期间徐州市循环经济发展目标。在目标体系上，按照实际和需要相结合的原则，提出了4大类23个发展指标，如表1，其中核心指标资源产出率提高到4000元/吨，比2015年提高18.7%；单位GDP能耗完成国家和省下达指标；单位GDP用水量累计下降15%；单位GDP建设用地占用规模511亩/亿元。

Table 1. Xuzhou City's "13th Five-Year Plan" circular economy development planning index system
表 1. 徐州市“十三五”循环经济发展规划指标体系

| 分类指标 | 具体指标 | 2015 年现状值 | 2020 年目标值 | 指标属性 |
|--------|--|-----------|-----------|------|
| 资源产出水平 | 资源产出率(元/吨) | 3250 | 4000 | 预期性 |
| | 单位地区生产总值能耗降低(%) | 6 | 完成省下达任务 | 约束性 |
| | 万元 GDP 用水量下降(%) | / | 15 (五年累计) | 约束性 |
| | 单位 GDP 建设用地占用规模(亩/亿元) | 753 | 511 | 约束性 |
| | 单位工业增加值用水量(立方米/万元) | 14.9 | 12.1 | 预期性 |
| | 工业固体废物综合利用率(%) | 92.5 | 98 | 预期性 |
| | 工业用水重复利用率(%) | 87 | 93 | 预期性 |
| | 城镇污水处理设施再生水利用率(%) | 16 | 22 | 预期性 |
| | 餐厨废弃物资源化利用率(%) | 45 | 70 | 预期性 |
| | 再生资源回收利用率(%) | 65 | 90 | 预期性 |
| 资源综合利用 | 秸秆综合利用率(%) | 90 | 98 | 预期性 |
| | 农业灌溉水有效利用系数 | 0.59 | 0.62 | 预期性 |
| | 煤矸石综合利用率(%) | 93 | 100 | 预期性 |
| | 矿产资源综合利用率(%) | 57 | 68 | 预期性 |
| | 建筑垃圾回收利用率(%) | 90 | 95 | 预期性 |
| | 非化石能源占一次能源消费比重(%) | 5.7 | 10 左右 | 预期性 |
| | 工业废水达标排放率(%) | 98.5 | 99.5 | 约束性 |
| | 生活垃圾无害化处理率(%) | 100 | 100 | 约束性 |
| | 主要污染物(SO ₂ , COD, NH ₃ -N, NO _x)减排率(%) | 完成省下达任务 | 完成省下达任务 | 约束性 |
| | 污泥资源化处置比例(%) | 93 | 100 | 预期性 |
| 基础设施 | 城区再生资源规范回收比例(%) | 76 | 88 | 预期性 |
| | 餐饮企业废弃物集中回收率(%) | 47 | 75 | 预期性 |
| | 城镇新型墙体材料的建筑应用比例(%) | 84 | 100 | 预期性 |

数据来源:《徐州市“十三五”循环经济发展规划(2016~2020 年)》。

2.2. 评价方法[9] [10]确定

2.2.1. 层次分析法

层次分析法(简称 AHP)是美国匹兹堡大学教授萨迪(A. L. Saaty)于 20 世纪 70 年代提出的一种进行方案比较排序的方法。该方法的基本思想是把一个复杂的问题分解为各组成因素,按支配关系分组,形成一个有序的递阶层次结构。通过两两比较的方式确定层次中各因素的相对重要性,然后综合判断确定决策诸因素相对重要性的总排序。

1) 构造层次分析结构

运用 AHP 法分析问题首先要对问题进行分层,即构建一个层次分析结构模型。层次分析结构模型共分三层,顶层为目标层,中间层为准则层,最后一层为方案层。各层次之间的元素的支配关系是不完全

相同的。见图 1。

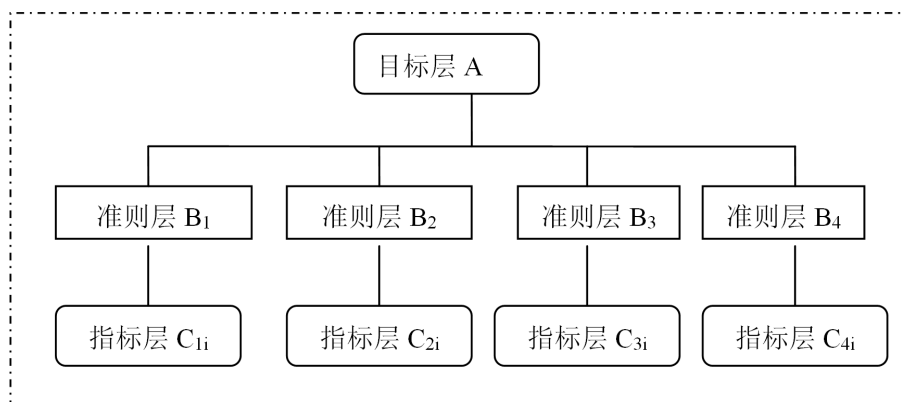


Figure 1. Hierarchical analysis structure of the indicator system
图 1. 指标体系的层次分析结构图

2) 构造判断矩阵

层次分析结构模型建立之后，接着在同一层的子目标中进行两两元素重要性比较，构造出比较判断矩阵。见表 2。

Table 2. Judgment matrix
表 2. 判断矩阵

| | | | | |
|-------|----------|----------|-----|----------|
| B_k | C_1 | C_2 | ... | C_n |
| C_1 | C_{11} | C_{12} | ... | C_{1n} |
| C_2 | C_{21} | C_{22} | ... | C_{2n} |
| ... | ... | ... | ... | ... |
| C_n | C_{n1} | C_{n2} | ... | C_{nn} |

判断矩阵的构造是采用了 T. L. Saaty 教授提出的“9 标度法”，即用 1、3、5、7、9 五个标度分别表示指标因素的五种重要性程度(同等重要，稍微重要，相当重要，明显重要，绝对重要)。因素自身的评分值为 1，即 C_{ij} 有如下性质：

- 1) $C_{ij} > 0$
- 2) $C_{ij} = \frac{1}{C_{ji}} (i \neq j)$
- 3) $C_{ii} = 1 (i, j = 1, 2, \dots, n)$

在层次分析法的运用中，为了能形成上述的判断矩阵，因而要在一定的比率标度的基础之上进行定量化判断。常用的是 1~9 标度方法，见表 3。

Table 3. The scale of the judgment matrix and its meaning
表 3. 判断矩阵的标度及其含义

| 序号 | 重要性等级 | C_{ij} 赋值 |
|----|-------------------|-------------|
| 1 | i, j 两元素同等重要 | 1 |
| 2 | i 元素比 j 元素稍重要 | 3 |

Continued

| | | |
|---|-------------------------------|-----|
| 3 | <i>i</i> 元素比 <i>j</i> 元素明显重要 | 5 |
| 4 | <i>i</i> 元素比 <i>j</i> 元素强烈重要 | 7 |
| 5 | <i>i</i> 元素比 <i>j</i> 元素极端重要 | 9 |
| 6 | <i>i</i> 元素比 <i>j</i> 元素稍不重要 | 1/3 |
| 7 | <i>i</i> 元素比 <i>j</i> 元素明显不重要 | 1/5 |
| 8 | <i>i</i> 元素比 <i>j</i> 元素强烈不重要 | 1/7 |
| 9 | <i>i</i> 元素比 <i>j</i> 元素极端不重要 | 1/9 |

3) 判断矩阵的一致性检验

由于各种原因, 判断矩阵并不一定会具有一致性的特点, 因此要对所建立的判断矩阵进行一致性检验。对于 AHP 法, 计算 CR 是判断矩阵是否具有一致性的最简便方法。通常认为 $CR \leq 0.1$, 认为判断矩阵基本上通过了判断矩阵的一致性检验, 否则需要调整判断矩阵赋值。

4) 层次单排序

根据判断矩阵来计算对于上一层某个元素来说, 本层次与之有联系的元素的重要性次序的权值称为层次单排序。简言之, 就是底层元素的权重排序。从理论上来说, 层次单排序的计算问题可以看作是计算判断矩阵的最大特征跟及其特征向量的问题。

5) 层次总排序

层次总排序就是沿着层次结构从最高层递减式的向最低层逐层进行计算, 即计算最底层因素相对于最高层的相对重要性。在实际使用过程中, 层次分析法一般没必要对总排序一致性进行检验。

2.2.2. 熵权算法

熵权法是一种客观赋权方法。在对指标层进行权重计算时, 应充分考虑各指标所涵盖的信息量; 若采用主观赋权法, 会丢失原有数据所包含的信息内容。熵权法原理是把评价中各个待评价单元的信息进行量化与综合后的方法; 采用熵权法对各因子赋权, 可以简化评价过程。因此, 本文采用熵值法对指标的权值进行确定。在具体使用过程中, 熵权法根据各指标的变异程度, 利用信息熵计算出各指标的熵权, 再通过熵权对各指标的权重进行修正, 从而得出较为客观的指标权重。

现有 m 个待评项目, n 个评价指标, 形成原始数据矩阵 $R = (r_{ij})_{m \times n}$:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix}_{m \times n} \quad (1)$$

其中 r_{ij} 为第 j 个指标下第 i 个项目的评价值。

求各指标值权重的过程为:

1) 计算第 j 个指标下第 i 个项目的指标值的比重: p_{ij}

$$p_{ij} = r_{ij} / \sum_{i=1}^m r_{ij} \quad (2)$$

2) 计算第 j 个指标的熵值: e_j

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} \cdot \ln p_{ij} \quad (3)$$

其中: $k = 1/\ln m$.

3) 计算第 j 个指标的熵权: w_j

$$w_j = (1 - e_j) / \sum_{j=1}^n (1 - e_j) \tag{4}$$

2.2.3. 功效系数法

本研究所确定的指标体系中, 不同指标量纲不同, 无法直接综合, 为消除不同量纲的影响, 需要对指标进行标准化处理。常用的无量纲化方法很多, 本研究采取功效系数法对指标数据进行无量纲化处理。功效系数法对每一项评价指标确定一个满意值和不允许值, 以满意值为上限, 以不允许值为下限, 计算各指标评价价值。本研究指标分为两类: 一类是正向指标, 这类指标数值越大越有利于循环经济发展; 另一类是逆向指标, 指标数值越小越有利于循环经济的发展。具体标准化处理如下面公式所示, 数值在 0~1 之间。

正向指标:

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \min x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} \quad (0 \leq x'_{ij} \leq 1) \tag{5}$$

逆向指标:

$$x'_{ij} = \frac{\max x_{ij} - x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} \quad (0 \leq x'_{ij} \leq 1) \tag{6}$$

2.2.4. 线性加权综合法

本文采用线性加权法对徐州市循环经济发展水平进行评价。假设徐州市循环经济综合评价的结果即循环经济发展指数为 y , 第 j 个指标的熵权 w_j , 则徐州市循环经济发展的评价公式见式(7)。

$$y = \sum_{j=1}^m w_j \cdot x_j \tag{7}$$

3. 徐州市循环经济发展水平实证研究

3.1. 数据来源

《徐州市“十三五”循环经济发展规划(2016~2020年)》提出了 4 大类 23 个发展指标。目标层为循环经济发展综合评价 A, 准则层包括资源产出水平 B₁、资源综合利用 B₂、污染控制 B₃、基础设施 B₄ 这四个方面。指标层一共有 23 个指标组成, 见表 4。

Table 4. Indicator layer data (2016-2020)

表 4. 指标层数据(2016~2020)

| 目标层 | 准则层 | 指标层 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
|--------------|-----------------------|---------------------------------------|--------|--------|--------|--------|------|
| 循环经济发展综合评价 A | 资源产出水平 B ₁ | 资源产出率(元/吨) C ₁₁ | 3323.4 | 3536.3 | 3762.7 | 4003.7 | 4400 |
| | | 单位地区生产总值能耗降低(%) C ₁₂ | 8.92 | 10.68 | 12.77 | 15.28 | 18 |
| | | 万元 GDP 用水量下降(%) C ₁₃ | 4.45 | 6.11 | 8.4 | 11.55 | 15 |
| | | 单位 GDP 建设用地占用规模(亩/亿元) C ₁₄ | 707.09 | 653.11 | 603.25 | 557.19 | 511 |
| | | 单位工业增加值用水量(立方米/万元) C ₁₅ | 14.34 | 13.76 | 13.2 | 12.66 | 12.1 |

Continued

| | | | | | | | |
|------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-----|
| 循环经济发展 综合评价 A | 工业固体废物综合利用率(%) C ₂₁ | 93.61 | 94.69 | 95.79 | 96.89 | 98 | |
| | 工业用水重复利用率(%) C ₂₂ | 88.21 | 89.39 | 90.58 | 91.79 | 93 | |
| | 城镇污水处理设施再生水利用率(%) C ₂₃ | 17.27 | 18.36 | 19.52 | 20.75 | 22 | |
| | 餐厨废弃物资源化利用率(%) C ₂₄ | 50.43 | 54.79 | 59.54 | 64.7 | 70 | |
| | 再生资源回收利用率(%) C ₂₅ | 70.31 | 74.83 | 79.65 | 84.78 | 90 | |
| | 资源综合利用 B ₂ | 秸秆综合利用率(%) C ₂₆ | 91.62 | 93.18 | 94.77 | 96.38 | 98 |
| | 农业灌溉水有效利用系数 C ₂₇ | 0.596 | 0.602 | 0.608 | 0.614 | 0.62 | |
| | 煤矸石综合利用率(%) C ₂₈ | 94.41 | 95.78 | 97.17 | 98.58 | 100 | |
| | 矿产资源综合利用率(%) C ₂₉ | 59.27 | 61.36 | 63.51 | 65.75 | 68 | |
| | 建筑垃圾回收利用率(%) C _{2,10} | 91 | 91.99 | 92.98 | 93.99 | 95 | |
| | 非化石能源占一次能源消费比重(%) C _{2,11} | 6.65 | 7.37 | 8.18 | 9.07 | 10 | |
| | 工业废水达标排放率(%) C ₃₁ | 98.69 | 98.89 | 99.09 | 99.29 | 99.5 | |
| | 污染控制 B ₃ | 生活垃圾无害化处理率(%) C ₃₂ | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | 主要污染物 COD 减排率(%) C ₃₃ | 5.04 | 6.17 | 7.55 | 9.23 | 11.08 | |
| | 污泥资源化处理处置比例(%) C ₄₁ | 94.41 | 95.78 | 97.17 | 98.58 | 100 | |
| | 基础设施 B ₄ | 城区再生资源规范回收比例(%) C ₄₂ | 78.47 | 80.76 | 83.12 | 85.56 | 88 |
| 餐饮企业废弃物集中回收率(%) C ₄₃ | 53.1 | 57.95 | 63.25 | 69.04 | 75 | | |
| 城镇新型墙体材料的建筑应用比例(%) C ₄₄ | 87.3 | 90.33 | 93.47 | 96.72 | 100 | | |

数据来源: 根据《徐州市“十三五”循环经济发展规划(2016~2020年)》的数据整理计算得到。

3.2. 权重确定

1) 准则层权重的确定——AHP

结合徐州市循环经济发展基本情况, 建立层次结构模型来评价其发展水平。利用层次分析法(AHP)对准则层指标进行权重排序, 可以得到各指标对徐州市循环经济的影响程度排序。通过 *Matlab2014R* 计算出 λ_{\max} 、*CI* 和 *CR*。见表 5。

Table 5. Judgment matrix

表 5. 判断矩阵表

| A-B | 资源产出水平 B ₁ | 资源综合利用 B ₂ | 污染控制 B ₃ | 基础设施 B ₄ | 优劣顺序 |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|--------|
| 资源产出水平 B ₁ | 1 | 2 | 3 | 1 | 0.3630 |
| 资源综合利用 B ₂ | 1/2 | 1 | 3 | 2 | 0.3020 |
| 污染控制 B ₃ | 1/3 | 1/3 | 1 | 1/2 | 0.1060 |
| 基础设施 B ₄ | 1 | 1/2 | 2 | 1 | 0.2290 |

对于 A-B 矩阵, 通过计算得出: $\lambda_{\max} = 4.1707$, $CI = 0.0569$, $CR = 0.0639 < 0.10$ 。同时得出各评价指标的权重系数, 见表 5 的最后一列。重要性排序为: 资源产出水平 B₁ (0.3630), 资源综合利用 B₂ (0.3020), 基础设施 B₃ (0.2290), 污染控制 B₄ (0.1060)。

2) 指标层权重的确定——熵权法

通过 *Matlab2014R* 计算可得指标层的权重, 如表 6, 分别为:

Table 6. Target layer and indicator layer weights

表 6. 目标层和指标层权重

| 目标层 | 准则层 | 权重 WB_i | 指标层 | 权重 WC_{ij} | W_j | | |
|------------------|-----------------------------|-----------|--------------------------------|--------------|-----------------------------|--------|--------|
| 循环经济发展 综合评价 A | 资源产出水平 B_1 | 0.3630 | 资源产出率(元/吨) C_{11} | 0.8549 | 0.3103 | | |
| | | | 单位地区生产总值能耗降低(%) C_{12} | 0.0029 | 0.0011 | | |
| | | | 万元 GDP 用水量下降(%) C_{13} | 0.0020 | 0.0007 | | |
| | | | 单位 GDP 建设用地占用规模(亩/亿元) C_{14} | 0.1372 | 0.0498 | | |
| | | | 单位工业增加值用水量(立方米/万元) C_{15} | 0.0030 | 0.0011 | | |
| | | | 工业固体废物综合利用率(%) C_{21} | 0.1365 | 0.0412 | | |
| | | | 工业用水重复利用率(%) C_{22} | 0.1291 | 0.0390 | | |
| | | | 城镇污水处理设施再生水利用率(%) C_{23} | 0.0277 | 0.0084 | | |
| | | | 餐厨废弃物资源化利用率(%) C_{24} | 0.0847 | 0.0256 | | |
| | | | 再生资源回收利用率(%) C_{25} | 0.1132 | 0.0342 | | |
| | | | 秸秆综合利用率(%) C_{26} | 0.1350 | 0.0408 | | |
| | | | 农业灌溉水有效利用系数 C_{27} | 0.0009 | 0.0003 | | |
| | | | 煤矸石综合利用率(%) C_{28} | 0.1384 | 0.0418 | | |
| | | | 矿产资源综合利用率(%) C_{29} | 0.0904 | 0.0273 | | |
| | | | 建筑垃圾回收利用率(%) C_{210} | 0.1325 | 0.0400 | | |
| | 非化石能源占一次能源消费比重(%) C_{211} | 0.0116 | 0.0035 | | | | |
| | 污染控制 B_3 | 0.1060 | 工业废水达标排放率(%) C_{31} | 0.4794 | 0.0508 | | |
| | | | 生活垃圾无害化处理率(%) C_{32} | 0.4839 | 0.0513 | | |
| | | | 主要污染物 COD 减排率(%) C_{33} | 0.0367 | 0.0039 | | |
| | | | 污泥资源化处置比例(%) C_{41} | 0.2919 | 0.0668 | | |
| | | | 基础设施 B_4 | 0.2290 | 城区再生资源规范回收比例(%) C_{42} | 0.2476 | 0.0567 |
| | | | | | 餐饮企业废弃物集中回收率(%) C_{43} | 0.1828 | 0.0419 |
| | | | | | 城镇新型墙体材料的建筑应用比例(%) C_{44} | 0.2776 | 0.0636 |

3.3. 循环经济发展指数计算

3.3.1. 数据的标准化处理

根据徐州市“十三五”循环经济发展规划(2016~2020)的指标, 初步确定 2020 年的目标值为满意值, 2015 年的现状值为不允许值。如表 7, 鉴于数据的可得性, 主要污染物(SO_2 , COD, NH_3-N , NO_x)减排率用 COD 减排率替代。指标层 23 个指标中, 单位 GDP 建设用地占用规模(亩/亿元)和单位工业增加值用水量(立方米/万元)为负相指标, 其余 21 个指标为正项指标。

Table 7. The satisfaction value and the lowest value of each evaluation index
表 7. 各评价指标的满意值和最低值

| 目标层 | 准则层 | 指标层 | 满意值 | 不允许值 | 指标属性 |
|------------------|-----------------------|---------------------------------------|-------|------|------|
| 循环经济发展 综合评价 A | 资源产出水平 B ₁ | 资源产出率提高 C ₁₁ | 4400 | 3250 | + |
| | | 单位地区生产总值能耗降低(%) C ₁₂ | 18 | 6 | + |
| | | 万元 GDP 用水量下降(%) C ₁₃ | 15 | 0 | + |
| | | 单位 GDP 建设用地占用规模(亩/亿元) C ₁₄ | 511 | 753 | - |
| | | 单位工业增加值用水量(立方米/万元) C ₁₅ | 12.1 | 14.9 | - |
| | 资源综合利用 B ₂ | 工业固体废物综合利用率(%) C ₂₁ | 98 | 92.5 | + |
| | | 工业用水重复利用率(%) C ₂₂ | 93 | 87 | + |
| | | 城镇污水处理设施再生水利用率(%) C ₂₃ | 22 | 16 | + |
| | | 餐厨废弃物资源化利用率(%) C ₂₄ | 70 | 45 | + |
| | | 再生资源回收利用率(%) C ₂₅ | 90 | 65 | + |
| | | 秸秆综合利用率(%) C ₂₆ | 98 | 90 | + |
| | | 农业灌溉水有效利用系数 C ₂₇ | 0.62 | 0.59 | + |
| | | 煤矸石综合利用率(%) C ₂₈ | 100 | 93 | + |
| | | 矿产资源综合利用率(%) C ₂₉ | 68 | 57 | + |
| | | 建筑垃圾回收利用率(%) C ₂₁₀ | 95 | 90 | + |
| | 污染控制 B ₃ | 非化石能源占一次能源消费比重(%) C ₂₁₁ | 10 | 5.7 | + |
| | | 工业废水达标排放率(%) C ₃₁ | 99.5 | 98.5 | + |
| | | 生活垃圾无害化处理率(%) C ₃₂ | 100 | 100 | + |
| | | 主要污染物 COD 减排率(%) C ₃₃ | 11.08 | 0 | + |
| | | 污泥资源化处置比例(%) C ₄₁ | 100 | 93 | + |
| | 基础设施 B ₄ | 城区再生资源规范回收比例(%) C ₄₂ | 88 | 76 | + |
| | | 餐饮企业废弃物集中回收率(%) C ₄₃ | 75 | 47 | + |
| | | 城镇新型墙体材料的建筑应用比例(%) C ₄₄ | 100 | 84 | + |

对表 7 的数据进行无量纲化处理如表 8。

Table 8. Dimensionless data
表 8. 无量纲化数据

| | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
|---------------------------------------|--------|--------|--------|--------|------|
| 资源产出率提高 C ₁₁ | 0.0638 | 0.2490 | 0.4458 | 0.6554 | 1 |
| 单位地区生产总值能耗降低(%) C ₁₂ | 0.2433 | 0.3900 | 0.5642 | 0.7733 | 1 |
| 万元 GDP 用水量下降(%) C ₁₃ | 0.2967 | 0.4073 | 0.5600 | 0.7700 | 1 |
| 单位 GDP 建设用地占用规模(亩/亿元) C ₁₄ | 0.1897 | 0.4128 | 0.6188 | 0.8091 | 1 |
| 单位工业增加值用水量(立方米/万元) C ₁₅ | 0.2 | 0.4071 | 0.6071 | 0.8 | 1 |
| 工业固体废物综合利用率(%) C ₂₁ | 0.2018 | 0.3982 | 0.5982 | 0.7982 | 1 |
| 工业用水重复利用率(%) C ₂₂ | 0.2017 | 0.3983 | 0.5967 | 0.7983 | 1 |

Continued

| | | | | | |
|-------------------------------------|--------|--------|--------|--------|---|
| 城镇污水处理设施再生水利用率(%) C ₂₃ | 0.2117 | 0.3933 | 0.5867 | 0.7917 | 1 |
| 餐厨废弃物资源化利用率(%) C ₂₄ | 0.2172 | 0.3916 | 0.5816 | 0.788 | 1 |
| 再生资源回收利用率(%) C ₂₅ | 0.2124 | 0.3932 | 0.586 | 0.7912 | 1 |
| 秸秆综合利用率(%) C ₂₆ | 0.2025 | 0.3975 | 0.5963 | 0.7975 | 1 |
| 农业灌溉水有效利用系数 C ₂₇ | 0.2033 | 0.4000 | 0.5967 | 0.8000 | 1 |
| 煤矸石综合利用率(%) C ₂₈ | 0.2014 | 0.3971 | 0.5957 | 0.7971 | 1 |
| 矿产资源综合利用率(%) C ₂₉ | 0.2064 | 0.3964 | 0.5918 | 0.7955 | 1 |
| 建筑垃圾回收利用率(%) C _{2,10} | 0.2 | 0.398 | 0.596 | 0.798 | 1 |
| 非化石能源占一次能源消费比重(%) C _{2,11} | 0.2209 | 0.3884 | 0.5767 | 0.7837 | 1 |
| 工业废水达标排放率(%) C ₃₁ | 0.19 | 0.39 | 0.59 | 0.79 | 1 |
| 生活垃圾无害化处理率(%) C ₃₂ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 主要污染物 COD 减排率(%) C ₃₃ | 0.4549 | 0.5569 | 0.6814 | 0.8330 | 1 |
| 污泥资源化处置比例(%) C ₄₁ | 0.2014 | 0.3971 | 0.5957 | 0.7971 | 1 |
| 城区再生资源规范回收比例(%) C ₄₂ | 0.2058 | 0.3967 | 0.5933 | 0.7967 | 1 |
| 餐饮企业废弃物集中回收率(%) C ₄₃ | 0.2179 | 0.3911 | 0.5804 | 0.7871 | 1 |
| 城镇新型墙体材料的建筑应用比例(%) C ₄₄ | 0.2063 | 0.3956 | 0.5919 | 0.7950 | 1 |

3.3.2. 循环经济发展指数的计算

根据线性加权法的公式, 利用 Matlab 计算出“十三五”期间徐州市循环经济发展指数, 以及各准则层指标所占权重, 具体数据见表 9。

Table 9. Xuzhou circular economy development index and criteria layer index (2016-2020)

表 9. 徐州市循环经济发展指数及准则层指数(2016~2020)

| 年份 | 循环经济发展指数 | 资源产出水平 | 资源综合利用 | 污染控制 | 基础设施 |
|------|----------|--------|--------|-------|-------|
| 2016 | 0.202 | 0.030 | 0.062 | 0.063 | 0.047 |
| 2017 | 0.383 | 0.099 | 0.120 | 0.073 | 0.091 |
| 2018 | 0.569 | 0.171 | 0.179 | 0.084 | 0.135 |
| 2019 | 0.763 | 0.246 | 0.240 | 0.095 | 0.182 |
| 2020 | 1.000 | 0.363 | 0.302 | 0.106 | 0.229 |

如图 2, 通过计算可知, “十三五”期间徐州市循环经济发展指数稳步上升, 徐州市循环经济发展状况良好。

3.4. 实证小结

从实证模拟分析的结果看, 20016 年~2020 年徐州市循环经济发展的总体水平良好, 循环经济发展指数、资源产出水平、资源综合利用水平、污染控制和基础设施均呈现平稳上升趋势。符合《徐州市“十三五”循环经济发展规划(2016~2020 年)》的要求。

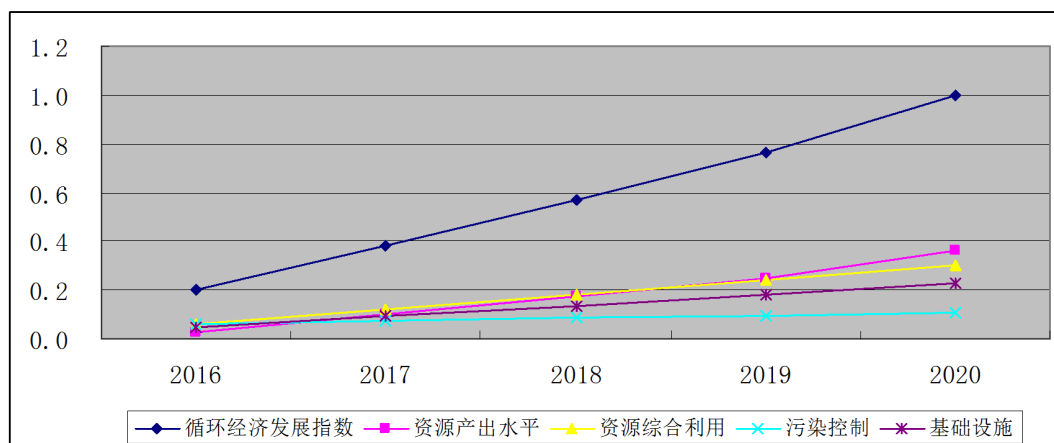


Figure 2. Xuzhou Circular Economy Development Index and Criteria Layer Index (2016~2020)

图 2. 徐州市循环经济发展指数及准则层指数(2016~2020)

4. 徐州市发展循环经济的实施路径

建立循环型企业、循环型园区、循环型产业和循环型社会“四位一体”的循环经济体系；不断推进循环经济体制机制的创新；优化财政金融政策，促进循环经济的发展。

4.1. 建立“四位一体”的循环经济体系

徐州市发展循环经济在借鉴国内外成功案例的基础上，结合徐州市实际情况，不能重蹈“先污染、后治理”的老路，必须通过建立循环型企业、循环型园区、循环型产业和循环型社会“四位一体”的循环经济体系，构建工业、农业、服务业领域的重点循环产业链条，建立社会层面资源循环利用体系，提高资源产出水平和资源利用效率，实现徐州市绿色发展。

4.2. 推进循环经济体制机制创新

徐州市发展循环经济要不断推进体制机制的创新。“十三五”期间，将开展核心指标的统计核算，建立循环经济的“互联网+”平台，创新服务机制和模式，推行生产者责任延伸、再生产品和再生原料推广使用制度，不断推进徐州循环经济体制机制的创新。

4.3. 优化财政金融政策

创新财政资金支持方式。利用现有资金渠道对循环经济予以支持，提高资金利用效率和使用效益。创新融资方式，积极提供包括银行信贷、外国ZF转贷款、债券承销、保理、融资租赁等多重融资方式。落实绿色信贷指引，促进银行业金融机构大力发展绿色信贷。支持符合条件的资源循环利用企业通过境内外上市、在全国股转系统和区域性股权交易市场挂牌等方式融资。积极落实绿色债券指引，健全绿色评级体系。支持保险资金支持资源循环利用项目建设。鼓励社会资本成立各类绿色产业基金。

基金项目

2015 年国家社科基金项目(15BGL144)，2016 年徐州软科学项目(KC16RH132)，徐州工程学院 2017 年大学生创新创业训练计划项目：“徐州市循环经济发展水平综合评价研究”(XCX2017211)。

参考文献

- [1] 循环经济发展评价指标体系(2017 年版) [S].

-
- [2] 徐州市“十三五”循环经济发展规划(2016-2020) [Z].
- [3] Wackernagel, R.W. (1996) Our Ecological Foot Print: Reducing Human Pacteaeth. New Society Publisher, Gabriela Island BC.
- [4] 牛桂敏. 循环经济评价体系的构建[J]. 城市环境与城市生态, 2005(4): 4-7.
- [5] 钟太洋, 黄贤金, 等. 区域循环经济发展评价: 方法, 指标体系与实证研究——以江苏省为例[J]. 资源科学, 2006, 28(2): 154-163.
- [6] 计晓东, 杨玉凤. 循环经济的循环度及其相关问题研究[J]. 资源科学, 2011, 33(6): 1126-1130.
- [7] 王茂祯, 冯之浚. 循环经济创新评价指标体系研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2012, 22(4): 163-167.
- [8] 董康银, 孙仁金, 李慧. 炼油企业循环经济综合评价方法研究[J]. 生态经济, 2015, 12(3): 74-79.
- [9] 张炳江. 层次分析法及其应用案例[M]. 北京: 电子工业出版社, 2014.
- [10] 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.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2164-5485, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: aep@hanspub.org