

doi: 10.15936/j.cnki.1008-3758.2015.01.009

基于“3R”的生态工业园区 环境评价指标体系研究

沈 江, 宋叙言

(天津大学 管理与经济学部, 天津 300072)

摘 要: 从“3R”原则出发,建立了生态工业园区评价指标体系,以减量化、再使用、再循环为准则,具体设计了 18 个评价指标,并使用 AHP 层次分析法,通过专家打分,建立了两两比较判断矩阵,通过一致性检验得到各指标要素权重,为生态工业园区的评价建立了指标体系。研究表明:减量化是实现生态工业园区“3R”循环经济的首要条件,在较少的资源投入下最大实现效益,通过消耗更少资源,实现可持续发展,从而推动经济、环境、社会的协调发展。

关 键 词: 生态工业园; 3R 原则; 环境评价; 指标体系

中图分类号: F 205

文献标志码: A

文章编号: 1008-3758(2015)01-0051-05

The Environmental Evaluation Index System of Eco-industrial Parks: Based on the “3R” Principle

SHEN Jiang, SONG Xu-yan

(College of Management and Economics, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: Based on the Reduce, Reuse and Recycle (“3R” for short) Principle, this study established an evaluation system for eco-industrial parks including 18 evaluation indexes. The AHP (Analytic Hierarchy Process) analysis was given involving experts’ evaluation to establish the comparison and judgment matrix, and the weight of each index was acquired through the consistency test. The findings indicated that the Reduce is the precondition for realizing “3R” circular economy of eco-industrial parks. That is, smaller input may lead to more profit, and the sustainable development could be achieved by consuming fewer resources so as to build up an eco-friendly environment and coordinate the development of economy, environment and society.

Key words: eco-industrial park; “3R” principle; environmental evaluation; index system

一、问题的提出

20 世纪 70 年代,丹麦建立世界上第一个生态工业园——Kalunborg 生态工业园,此后出现的许多包含物质交换与废物循环的共生体项目和计划,都被称为生态工业园区^[1]。

为使园区实现经济、环境、社会效益的统一,国内外许多学者对生态工业园区的评价进行研究。从 1989 年 Frosch & Gallopoulos^[2]提出工业生态学以来,Jouni Korhonen^[3],David Gibbs & Pauline Deutz^[4]等从不同角度论述了工业生态系统特征,为开展生态工业园区评价奠定了基础。对生态工业园区评价的研究,一般是从绩效

收稿日期: 2014-03-10

作者简介: 沈 江(1957-),男,天津人,天津大学教授,博士生导师,主要从事信息系统与信息智能决策研究; 宋叙言(1988-),男,山东泰安人,天津大学博士研究生,主要从事工业工程理论与实践研究。

的角度,分析经济、环境、社会三个效益的指标。关于综合评价模型和方法,Jim Altham & Ren Van Berkel^[5]提出了三重底线法,对澳大利亚某生态工业园区进行了评价研究;Sumita Fons 等^[6]提出了模糊认识地图图(Fuzzy Cognitive Maps),以加拿大西部 Lloydminster 生态工业园区为例,构建了由环境影响因素和社会发展因素组成的,包括环境污染、废物处理、不可利用的副产品、道路面积、汽车数量、人口数等 18 个因素的模糊认知图。

近几年,国内生态工业园区的兴建与发展,使得国内很多学者对其评价问题进行了研究。雷明和钟书华对生态工业园区的评价进行了较为深入的研究。他们首先在 2009 年提出了要素、结构、管理、绩效四个维度的评价指标体系^[7];接着从生态工业园区评价内容、评价方法及评价指标三个方面,系统地介绍了国内外生态工业园区的研究现状,指出了存在的问题,预测了未来的发展趋势^[8];之后运用主成分分析和灰色关联度分析方法,建立生态工业园区综合评价模型,并对中国九个生态工业园区进行综合评价^[9]。此外,还有其他一些学者对生态工业园区的评价指标体系进行研究:刘景洋等^[10]基于经济发展、物质减量与循环、污染控制、园区管理四个准则构建了综合类生态工业园区评价指标体系;成贝贝等^[11]构建了基于产出体系、资源体系、生活指标、政策指标的评价指标体系。关于评价方法的研究,黄海凤等^[12]提出采用灰色聚类方法对生态工业园区进行科学的分析和综合评价;刘巍等^[13]基于生态效率理论和数据包络分析方法,提出四种不同模型,研究了 24 家综合类国家生态工业示范园区 2010 年的生态效率。

以上国内外对生态工业园区评价的研究,取得了一定的成果,为生态工业园区的建设提供了有益的指导。经济效益、环境效益、社会效益三类评价准则,虽然系统综合考虑了生态工业园区的功能和目标,但仍将三者对立,并且强调经济规模、发展速度等非集约性指标,无法使生态工业园区充分发挥经济、社会、环境可持续发展的功能。因此,本文在前人研究基础上,打破经济、环境、社会独立考量评价园区的思路,基于循环经济的“3R”原则,提出侧重经济发展的内在潜力、资源的有效利用及再生能力、环境友好和保护的执行力的评价指标体系,使用 AHP 层次分析法得到

各指标要素的权重,最终为生态工业园区集约循环可持续发展提供有益思路。

二、“3R”视角下生态工业园区评价指标体系构建

“3R”是减量化(Reduce)、再使用(Reuse)、再循环(Recycle)英文首字母的简称,是循环经济的三个重要原则,即在最少的自然资源消耗下,通过节约、回收及再利用废旧资源,最大程度地开发和利用资源的价值,以满足经济社会的发展需要。

以“3R”为视角构建生态工业园区评价指标体系更加符合工业园区生态集约可持续发展的要求。以往的生态工业园区评价指标体系中,虽然考虑到环境和社会效益的需求,但是将经济的规模和发展速度,即工业产值增长速度、人均收入增长速度、工业年产值等指标也列入评价范畴。这些指标只能衡量经济总量,无法衡量经济发展的循环能力和内生动力。“3R”要求关注经济发展与资源消耗和环境破坏的比值,这个比值衡量了生态工业园区可持续发展能力,用于评价生态工业园区的循环能力和内生动力。

1. 减量化

减量化原则,要求用较少的原料和能源投入来达到既定的生产目的或消费目的,进而从经济活动的源头注意节约资源和减少污染。在生产中,减量化原则常常表现为要求产品小型化和轻型化。此外,减量化原则要求产品的包装应该追求简单朴实而不是豪华浪费,从而达到减少废物排放的目的。减量化对于生态工业园区的评价是一个非常重要的准则,对其最直接的理解是以较少的资源投入和较小的环境破坏获得较大的经济和社会效益,用于衡量生态工业园区的内生动力。当生态工业园区达到减量化的要求,在一定的经济规模和工业产值下,消耗更少的资源,更小的损害环境,当扩大产能或者移植园区时,该内生动力仍能保证园区在资源和环境上的高效性。根据前人研究和本文归纳,衡量减量化的指标有万元工业增加值新鲜水耗、万元工业增加值固体废物排放量、万元工业增加值 COD 排放量、万元工业增加值二氧化硫排放量、万元工业增加值粉尘排放量、万元工业增加值综合能耗、万元工业增加值产品包装消耗、单位工业用地工业产值、基础设施共享率等九个。可以看出,这九个指标都显示了对

减少资源消耗、减少环境破坏的评价。

2. 再使用

再使用原则,要求制造产品和包装容器能够以初始的形式被反复使用。再使用原则要求抵制当今世界一次性用品的泛滥,生产者应该将制品及其包装当做一种日常生活器具来设计,使其像餐具和背包一样可以被再三使用。再使用原则还要求制造商应该尽量延长产品的使用期,而不是非常迅速地更新换代。再使用指的是对于生态工业园区内企业的产品和使用的包装形式能够重复使用,最大限度地实现其设计功能。这个原则是对产品使用价值的考量,即生产产品具有实用性、创新性和科技性,从而使产品实现最大的性价比和价值。因此,产品及包装可重复使用的种类占总数的百分比成为衡量再使用原则的重要指标。同时,由于研发经费支出对于改善产品的可重复使用功能具有重大作用,以及高新技术产业对于提升产品使用价值和创新性的推动作用,也将这两项作为评价指标。

3. 再循环

再循环原则,要求生产出来的物品在完成其使

用功能后能重新变成可以利用的资源,而不是不可恢复的垃圾。按照循环经济的思想,再循环有两种情况,一种是原级再循环,即废品被循环用来产生同种类型的新产品,例如报纸再生报纸、易拉罐再生易拉罐等等;另一种是次级再循环,即将废物资源转化成其他产品的原料。原级再循环在减少原材料消耗上达到的效率要比次级再循环高得多,是循环经济追求的理想境界。次级再循环原则对于生态工业园区来说,要求对废水废物等废弃资源进行再次利用,以及其产生的无法使用的产品和包装的再次加工使用。利用资源加工生产产品产生废弃资源,产品多次使用后其使用价值已经耗尽,对于这些已经无法发挥其原有价值资源及产品,作为原料投入新的生产循环中,使其继续发挥原有价值或产生新的价值。因此,在指标体系中,采用工业用水重复利用率、中水重复利用率、工业固体废物再利用率来衡量废弃资源的循环能力,采用产品及包装原级、次级循环率来衡量产品的循环能力。

这样,得到如图 1 所示的生态工业园区“3R”评价指标体系。在指标体系中,各个指标的代号及单位如表 1 所示。

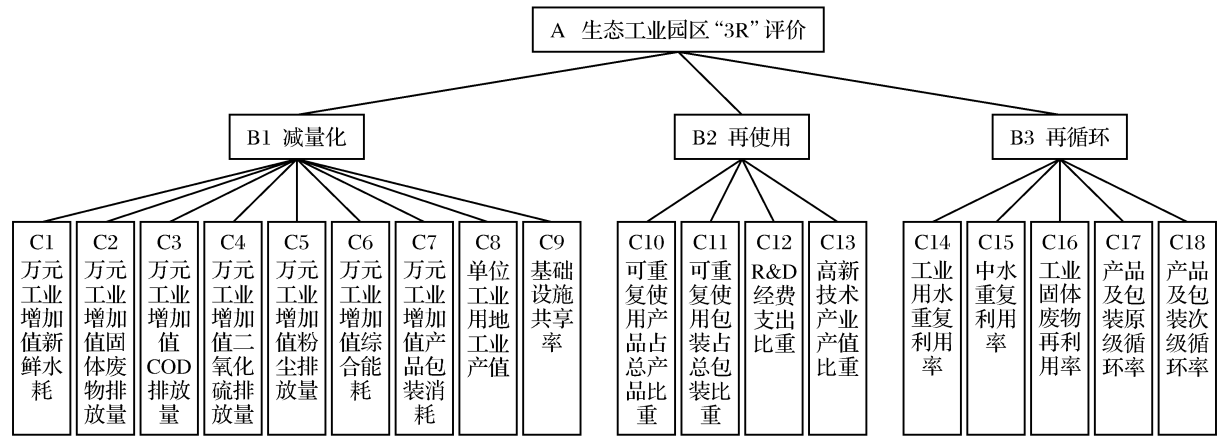


图 1 生态工业园区“3R”评价指标体系

表 1 生态工业园区“3R”评价指标体系单位

指 标 名 称	单 位	指 标 名 称	单 位
C1 万元工业增加值新鲜水耗	立方米/万元	C10 可重复使用产品占总产品比重	%
C2 万元工业增加值固体废物排放量	吨/万元	C11 可重复使用包装占总包装比重	%
C3 万元工业增加值 COD 排放量	千克/万元	C12 R&D 经费支出比重	%
C4 万元工业增加值二氧化硫排放量	千克/万元	C13 高新技术产业产值比重	%
C5 万元工业增加值粉尘排放量	千克/万元	C14 工业用水重复利用率	%
C6 万元工业增加值综合能耗	吨标煤/万元	C15 中水重复利用率	%
C7 万元工业增加值产品包装消耗	元/万元	C16 工业固体废物再利用率	%
C8 单位工业用地工业产值	万元/平方公里	C17 产品及包装原级循环率	%
C9 基础设施共享率	%	C18 产品及包装次级循环率	%

三、评价指标体系权重确定

在确定生态工业园区“3R”评价指标体系后,还需要确定每个指标相对于总体的权重,这里用常用的 AHP 层次分析法来确定各指标的权重系数。

1. 层次分析法

层次分析法(the analytic hierarchy process,简称 AHP)是美国运筹学家 T. L. Saaty 于 20 世纪 70 年代提出的一种将定性定量分析相结合的决策分析方法。AHP 法最大的特征是通过将总体分割为各个层次,对每个层次之间的重要程度进行定性和定量的排序比较,通过判断矩阵得到各个要素所占权重,从而逐层相乘得到每个层次相对于总体的权重。一般来说,AHP 有四个步骤:一是构造层次结构模型,二是建立各层次判断矩阵,三是层次单排序及一致性检验,四是层次总排序及总体一致性检验。

构建 AHP 层次结构模型,一般需要三个层次:目标层、准则层、方案层,弄清各个要素的关系,并将之连接就构成了 AHP 层次结构模型。

构造判断矩阵,需要对矩阵中两两要素进行重要程度比较,对重要性程度按 1~9 赋值,判断的标准是对上层次要素的影响大小。一般通过专家的选择确定判断矩阵,并计算各要素权重,其中需要对每个判断矩阵及总排序结果进行一致性检验,使专家的选择符合一致性标准,以最终得到合理的要素权重。

2. 使用 AHP 确定评价指标体系权重

根据上文生态工业园区“3R”评价指标体系,目标层是生态工业园区“3R”评价,准则层是“3R”准则,方案层是“3R”准则下具体可量化指标要素。首先构建两两比较判断矩阵(A-B),并计算权重,如表 2 所示。

表 2 A-B 判断矩阵

A	B1	B2	B3	W _i
B1	1	2	2	0.500
B2	1/2	1	1	0.250
B3	1/2	1	1	0.250

由表 2 得到 $\lambda_{\max} = 3.000$,一致性比例为 0.000,一致性检验通过。

之后构建两两比较判断矩阵(B1-C)、(B2-C)、(B3-C),如表 3,表 4,表 5 所示。

表 3 B1-C 判断矩阵

B1	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	W _i
C1	1	2	2	2	3	1	2	1	3	0.176
C2	1/2	1	1	1	2	1/2	1	1/3	1	0.085
C3	1/2	1/2	1	1	2	1/3	1	1/2	2	0.093
C4	1/2	1	1	1	1	1/2	1	1/2	1	0.080
C5	1/3	1/2	1/2	1	1	1/2	1	1/2	1	0.068
C6	1	2	3	2	2	1	3	1	2	0.179
C7	1/2	1	1	1	1	1/3	1	1/2	1	0.077
C8	1	3	2	2	2	1	2	1	2	0.170
C9	1/3	1	1/2	1	1	1/2	1	1/2	1	0.072

由表 3 得到 $\lambda_{\max} = 9.167$,一致性比例为 0.014,一致性检验通过。

0.031,一致性检验通过。

表 4 B2-C 判断矩阵

B2	C10	C11	C12	C13	W _i
C10	1	3	1	1	0.305
C11	1/3	1	1/3	1/2	0.113
C12	1	3	1	1	0.305
C13	1	2	1	1	0.277

由表 4 得到 $\lambda_{\max} = 4.021$,一致性比例为 0.008,一致性检验通过。

由表 5 得到 $\lambda_{\max} = 5.137$,一致性比例为

表 5 B3-C 判断矩阵

B3	C14	C15	C16	C17	C18	W _i
C14	1	2	1/2	1/2	1/2	0.145
C15	1/2	1	1/2	1/2	1/2	0.109
C16	2	2	1	1/2	1	0.211
C17	2	2	2	1	2	0.324
C18	2	2	1	1/2	1	0.211

可以得到层次总排序如表 6 所示。对层次总排序进行一致性检验,得到 C. R. = 0.012 < 0.100,层次总排序满足一致性检验,因此,本文构

建的生态工业园区“3R”评价指标体系是合理的。

表 6 层次总排序				
层次	B1	B2	B3	层次总排序
	0.500	0.250	0.250	结果
C1	0.176			0.088
C2	0.085			0.043
C3	0.093			0.047
C4	0.080			0.040
C5	0.068			0.034
C6	0.179			0.090
C7	0.077			0.039
C8	0.170			0.085
C9	0.072			0.036
C10		0.305		0.076
C11		0.113		0.028
C12		0.305		0.076
C13		0.277		0.069
C14			0.145	0.036
C15			0.109	0.027
C16			0.211	0.053
C17			0.324	0.081
C18			0.211	0.053

由表 6 可以看出,对生态工业园区“3R”评价影响最大的前三个要素是 C6 万元工业增加值综合能耗,C1 万元工业增加值新鲜水耗,C8 单位工业用地工业产值,都出现在 B1 减量化准则层。这是因为减量化是实现生态工业园区“3R”循环经济的首要条件,通过消耗更少资源,实现可持续发展,形成环境友好,经济、环境、社会的协调发展。在实现减量化的过程中,首要的是在较少的资源投入情况下尽可能地实现效益,从根本上减少了工业三废的排放,为实现后续的再使用和再循环创造条件。

四、结 语

我国经济发展转型进入关键时期,生态工业园区作为国家经济发展的重要载体,能否实现其经济、环境、社会协调发展的功能关乎我国经济可持续发展的成败。对于生态工业园区的评价研究,可以为其发展提供科学指导,国内外关于生态工业园区的评价取得了一定的成果,但是仍没有摆脱经济的规模和发展速度等指标,没有重点关注其循环能力和内生动力,而这也是其科学发展的关键因素。本文从“3R”原则出发,建立生态工业园区评价指标体系,以减量化、再使用、再循环

为准则,具体设计了 18 个评价指标,并使用 AHP 层次分析法,通过专家打分,建立两两比较判断矩阵,通过一致性检验得到各指标要素权重。最后的结果显示,减量化是实现生态工业园区“3R”循环经济的首要条件,通过消耗更少资源,实现可持续发展,从而推动经济、环境、社会的协调发展。本文的研究,为生态工业园区的评价建立了指标体系并计算权重,为后续的评价模型构建奠定了基础。

参考文献：

[1] 毛瑜,张龙江,张永春,等. 生态工业园区研究进展及展望[J]. 生态经济, 2010(12):113-116.

[2] Frosch R A, Gallopoulos N E. Strategies for Manufacturing[J]. Scientific American, 1989,261(3): 144-152.

[3] Korhonen J. Four Ecosystem Principles for an Industrial Ecosystem[J]. Journal of Cleaner Production, 2001,19(3):253-259.

[4] Gibbs D, Deutz P. Reflections on Implementing Industrial Ecology Through Eco-industrial Parks Development[J]. Journal of Cleaner Production, 2007,15:1683-1695.

[5] Altham J, Van Berkel R. Industrial Symbiosis for Regional Sustainability: An Update on Australian Initiatives [C] // Manchester: The International Sustainable Development Research Society, 2004:29-30.

[6] Fons S, Achari G, Ross T. A Fuzzy Cognitive Mapping Analysis of the Impacts of an Eco-industrial Park[J]. Journal of Intelligent and Fuzzy Systems, 2004,15(2):75-88.

[7] 雷明,钟书华. 生态工业园区综合评价指标体系研究[J]. 中国科技论坛, 2009,11:110-115.

[8] 雷明,钟书华. 生态工业园区评价研究述评[J]. 科技进步与对策, 2010,27(6):156-160.

[9] 雷明,钟书华. 生态工业园区综合评价模型研究[J]. 科技管理研究, 2010,16:50-53.

[10] 刘景洋,乔琦,姚扬,等. 生态工业园区评价指标体系研究——综合类生态工业园区[J]. 现代化工, 2007,27(7):58-61.

[11] 成贝贝,汪鹏,赵黛青,等. 低碳工业园区规划方法和评价指标体系研究[J]. 产业观察, 2013,5:126-135.

[12] 黄海凤,张宏华,蔡文祥,等. 基于灰色聚类法的生态工业园区评价[J]. 浙江工业大学学报:社会科学版, 2005,33(4):379-382.

[13] 刘巍,田金平,李星,等. 基于 DEA 的中国综合类生态工业园生态效率评价方法研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2012,22(5):93-97.