

# 综合类生态工业园区效能评价指标体系探讨

翟大顺<sup>1</sup>, 曾青蓝<sup>2</sup>

(1.湖南农业大学生物科学技术学院, 湖南 长沙 410128; 2.西南财经大学金融学院, 四川 成都 610074)

**摘要:** 在全面梳理国内外相关研究成果的基础上, 运用层次结构模型建构了一个综合类生态工业园区效能评价指标体系。该效能评价体系分为目标层、准则层和指标层。其准则层包括经济运行、生态网络、资源利用、环境保护、科技支撑、社会发展、园区管理七个方面。指标层包括人均工业增加值、生态工业链条数量、主要污染物排放年削减率等 24 个具体指标。

**关键词:** 生态工业园区; 效能评价; 指标体系

中图分类号: F427; F205

文献标志码: A

文章编号: 1009-2013(2016)01-0094-06

## Discussion on efficiency evaluation index system of integrated eco-industrial park

ZHAI Dashun<sup>1</sup>, ZENG Qinglan<sup>2</sup>

(1.College of Biological Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China;

2.School of Finance, Southwest University of Finance and Economics, Chengdu 610074, China)

**Abstract:** On the basis of comprehensive analysis of relevant research results at domestic and abroad, a comprehensive evaluation index system for the effectiveness of the eco industrial park is constructed by using the hierarchical structure model. This system is divided into three levels: target layer, criterion layer and index layer. The criterion layer includes seven aspects of economic operation, ecological network, resource utilization, environmental protection, scientific and technological support, social development, park management. Index layer includes 24 specific indicators, including per capita industrial added value, the number of eco-industrial chain, the annual reduction rate of major pollutant emissions, etc.

**Keywords:** eco-industrial park; efficiency evaluation; index system

### 一、问题的提出

随着工业经济不断发展, 人类获得物质财富越来越多, 但也出现了生态破坏、环境污染、资源枯竭等一系列严重问题。生态工业园区作为一种区别于传统发展方式的新型工业化载体受到各国政府的青睐。进入 21 世纪后, 中国政府高度重视既有工业园区向生态工业园区的转型发展, 全国出现了加速发展生态工业园区的态势<sup>[1]</sup>。继 2001 年 8 月国家环保总局批准建设第一个国家级生态工业示范园区——广西贵港国家生态工业(制糖)园区后, 广东、内蒙古、山东、天津、江苏等省(市、区)分别

开展生态工业园区建设试点, 覆盖制糖、造纸、化工、水泥、冶金等传统行业, 以及电子、环保、汽车、生物化工等高科技产业。截止 2015 年 12 月, 已有 38 家园区通过国家生态工业示范园区验收命名, 77 家园区通过国家生态工业示范园区建设规划论证。

生态工业园区的迅速发展, 学界对生态工业园区评价及其指标体系展开了广泛探讨, 研究主要集中在循环经济评价、可持续发展评价、生态效率和运行效率评价、产业链柔性评价、承载力评价等几个维度。Anton Moser<sup>[2]</sup>和 Azapagi、Perda<sup>[3]</sup>先后建立可持续发展评价指标体系和、工业可持续发展评价指标体系框架。2002 年 C. Hardy 等从食物链理论中引入物种丰富度 S 和关联度 C 指标, 对 15 个生态工业园区的稳定性、高效性进行了评价<sup>[4]</sup>。2005 年 Biji Kurup 等构建一个包含动态和静态两个维度

收稿日期: 2015 - 11 - 14

基金项目: 湖南省发展改革委资助课题 (2013-1618)

作者简介: 翟大顺(1979—), 男, 陕西泾阳人, 博士, 经济师, 主要研究方向为生态经济。

24个指标的工业共生体评价体系,对经济、环境和社会效益进行了综合评价<sup>[5]</sup>。Fons S等学者则提出了由社会和环境因素两个方面构成的、包含基础设施、人口、交通工具、废旧物处理系统、生态污染等要素的模糊认知图,并利用该图对加拿大生态工业园区进行评价<sup>[6]</sup>。另外, Lowe, Brian, Oh Deog-Seong等还从园区规划定位、资源循环利用效果、周边社区及公众参与度等方面对园区评价指标体系进行了探讨<sup>[7-9]</sup>。

高春风<sup>[10]</sup>、周强和高妍<sup>[11]</sup>分别构建了生态工业园区循环经济综合评价指标体系。郝艳红和王灵梅<sup>[12]</sup>、程磊<sup>[13]</sup>则通过对火电厂生态工业园区、化工生态工业园的分析,建立了可持续发展评价指标体系。商华,武春友提出了园区的生态效率评价体系,并利用该体系对相关园区生态效率进行了测度和分析<sup>[14]</sup>。孙晓梅等构建了包含经济运行、污染减排、生态工业、资源转换、管理系统5个方面的生态工业园区运行效率评价指标体系<sup>[15]</sup>。王艳丽、周美华提出了一个包括生态工业园区运营柔性和链接柔性的评价指标体系<sup>[16]</sup>。赵一平,朱庆华界定并分析了工业园区生态承载力的概念及内涵,构建了生态承载力评价指标体系<sup>[17]</sup>。陈习连等运用结构-功能模式构建了园区综合评价指数<sup>[18]</sup>。雷明从主体、结构、管理、绩效四个层面构建了包含26个指标的生态工业园区综合评价指标体系<sup>[19]</sup>。朱丽则利用可拓综合评价法分别建立园区项目准入指标体系、优化调控指标体系及综合评价指标体系<sup>[20]</sup>。王元亮提出了包括22个指标的生态工业园区共生评价指标体系<sup>[21]</sup>等。文献梳理表明,专门探讨综合类生态工业园区效能评价指标体系的文献阙如,而当下综合类生态工业园区发展迅速,亟待加强引导。基于此,笔者拟就综合类生态工业园区效能评价指标体系的建构开展专门探讨,以便为政府和园区的建设管理提供决策和参考。

## 二、综合类生态工业园区效能评价体系的建构

生态工业园区是依据循环经济理念、工业生态学原理和清洁生产要求而设计建立的一种新型工业园区。一般可分为综合类、行业类和静脉产业(资

源再生利用产业)类三大类型。2006年以来国家先后发布《行业类生态工业园区标准(试行)》(HJ/T 273-2006)、《静脉产业类生态工业园区标准(试行)》(HJ/T 275-2006)、《综合类生态工业园区标准》(HJ 274-2009)。这些标准包含经济发展、物质减量与循环、污染控制和园区管理等方面。基于中国综合类生态工业园区主要是在高新技术产业开发区、经济技术开发区等工业园区基础上改造而成的、由不同工业行业企业组成的工业园区,根据国内外对各类生态工业园区效能评价的实践,笔者认为衡量一个综合类生态工业园区效能应主要从经济运行、生态网络、资源利用、环境保护、科技支撑、园区管理、社会发展几个维度进行全面评估。

综合类生态工业园区是资金、土地、科学技术等生产要素的聚集洼地,作为区域经济助推器,肩负着经济提升、吸引外资、科技创新、推进城市化以及保护环境的重任。在当前经济发展进入新常态和经济下行压力非常大的背景下,综合类生态工业园区的经济运行效能理应成为园区效能评价的首要内容。只有园区经济运行效能高并取得良好经济效益,才能为其环境保护、社会发展等方面提供必要基础和保障,否则,其可持续发展必然会受到限制。

产业生态系统是生态工业园区最重要的构成系统,其生态化水平的高低一定程度上影响着整个工业园区的生态化水平。生态网络效能是园区企业之间或系统之间耦合共生,实现物质能源的闭合运行,最终实现经济资源环境社会协调发展水平的根本表征,因此,生态网络效能也是园区产业生态系统效能乃至园区整体最显著标志。笔者认为不少学者没有将其产业生态网络纳入其构建的评价体系是一个明显缺陷。

资源利用是生态工业园区基于生态学基本原理,通过工业共生网络实现物质资源的减量与循环利用。综合类生态工业园区资源利用效能主要体现园区单位产品的资源消耗、废物的资源化利用回收、生产的低碳水平,因此也是园区资源利用子系统和园区整体效能评价不可或缺的观测点。

环境保护是中国经济社会实现可持续发展的重大课题,推动普通工业园区向生态工业园区转型的重要目标之一就是减少污染和保护环境。中国综

合类生态工业园区大都由一般工业园区改造而成,因而对其效能评估和考核有利于促进其提高节能减排、污染物防控以及无害化处理的效能,进而提升工业园区在区域环境保护的正外部效应。

科技支撑是关系到综合类生态工业园区的长远发展,是其发展后劲和经济增长潜力的重要体现。特别是园区是否具有资源回收利用、物质最小消耗、环境治理等关键技术,是否能够不断实现技术更新升级,不仅关系到园区资源效率提高、产品成本降低、取得更好的经济效益,而且关系到园区及其所在区域的生态和环境保护。因此,将科技支撑效能综合类生态工业园区效能评价指标体系意义重大。

综合类生态工业园区发展存在差异的一个重要原因在于其园区管理是否强调通过自身生态管理系统和生态管理创新实现有效的园区治理。综合类生态工业园区只有通过设计、开发、实施不同层次的生态管理系统,才能整合内部和外部资源要素,为生态工业园区各子系统的持续有效运转提供重要保障,促进园区健康持续发展。园区管理效能是园区管理子系统绩效的重要体现,更是园区效能评价的重要观测点。

综合类生态工业园区发展最终目的是促进社会进步,因而其效能不能仅要体现在经济运行、环境保护方面,还应体现于其效益扩散效应,包括推动当地社会(社区)发展层面,如园区利用其具有明显的资源集聚优势,为当地社会(社区)发展提供社区公共服务(产品),给区域(社区)的就业、培训、科普等社会事业发展带来诸多外部效应。

基于上述分析,并借鉴相关研究成果,笔者采用层次结构模型,将综合类生态工业园区效能评价体系分为目标层、准则层和指标层。目标层(A)即综合类生态工业园区园效能,准则层(B)主要是基于综合类生态工业园区结构、功能而确定的园区效能的主要观测维度或层面,包括经济运行、生态网络、资源利用、环境保护、科技支撑、园区管理、社会发展七个层面。指标层则(C)是对准则层内涵的具体定量化和定性化描述,是准则层的进一步细化,以更加直观地表现评价体系的核心价值追求和导向。

### 三、综合类生态工业园区效能评价指标的选择

根据层次分析法和上述评价体系框架,借鉴前人有关循环经济、区域可持续发展、工业园区建设评价体系采选指标的经验,笔者在广泛收集Springer Link、Web of science、Google Scholar、Academic Search Premier (ASP)、CNKI等数据库既有统计资料信息,对园区效能评价相关指标进行相关性分析,将高度相关的指标进行整合的基础上,对综合类生态工业园区效能评价指标层(C)的具体指标,现按准则层(B)确定的7个方面分述如下:

(1)经济运行效能的评价指标选择。对既有文献有关工业园区经济绩效评价指标出现频次统计后发现,观测生态工业园区经济运行效能或绩效的指标主要有GDP年均增长率、人均GDP、单位面积工业产值、工业增加值年均增长率、人均工业增加值、工业产品产销率、经济外向度等。笔者认为,在诸多经济运行评价指标中,GDP年均增长率、人均GDP指标不仅包含园区工业增加值,而且还包含了第一产业增加值和第三产业增加值,反映工业经济的指标集中度不高;园区产品类型多,产销有时受多种因素影响,故工业产品产销率指标也存在局限性。经济外向度则主要反映园区经济与国际的联系紧密程度,因综合类园区产业、产品类型多样,外向度差异大,且代表性不强。而人均工业增加值、工业增加值年均增长率能够从人均、增长率视角综合反映园区经济运行效能,而且是具有普适性的典型指标。其中人均工业增加值(C1)主要指园区从业职工人均创造的工业增加值。工业增加值是扣除了物质产品与劳务成本后的剩下的价值,是生产活动中新增价值。其计算式可以确定为:园区工业增加值/综合类园区年末从业职工数量。工业增加值年均增长率(C2)一般指园区近期(3年)工业增加值的年人平均增长率,其计算式可以确定为:(园区工业增加值(万元)/园区年末从业人数(人)-1) $^{1/3}$ ×100%。

(2)一般观测工业园区生态网络建设效能的指标主要有生产设备及工艺的先进性、产业集群度、企业生态关联度、企业多样性指数、生产原料可替代率、生态工业链条数量等。笔者认为,对于综合

类生态工业园而言,生产设备及工艺的先进性、产业集群度指标属于描述性的定性指标,具有较强的主观性;企业多样性指数主要反映企业群落种类和数量,但不足以体现园区企业生态关联程度;生产原料可替代率则存在数据统计和计算难度大、数据可得性较差的缺陷。从数量和关联度两个角度而言,企业生态关联度、生态工业链条数两个指标无疑具有典型代表性。生态工业链条数(C3)即生态工业链的形态为两个分别传送和接受废物或低位能量的生产单元,即两个通过利用废物或低位能量建立关联的生态工业节点。应根据生态工业链的基本特征进行筛选、判别和确定。计入该指标的均应为实际已经存在,能够连续正常稳定运行的生态工业链,且生态工业节点应全部位于工业园区内。若两个生态工业节点间同时具有传递废物和能量的功能,其生态工业链条数为2。企业生态关联度(C4)是反映企业之间在整个园区企业之间的紧密度程度,其计算公式可以确定为:(生产工业链条数/企业数量(企业数量-1)/2)×100%。单位工业用地面积工业增加值(C5)的计算式可以确定为:园区工业增加值/园区工业用地面积。综合能耗弹性系数(C6)计算公式可以确定为:园区相关单位综合能耗年增长率/园区相关单位工业增加值年增长率。

(3)评估工业园区资源利用水平的指标相对较多,主要有万元GDP能耗及新鲜水耗、单位工业增加值的综合能耗(标煤)、综合能耗弹性系数、工业用水重复利用率、工业固体废物利用率、中水回用率、单位工业增加值新鲜水耗、工业用新鲜水耗弹性系数、园区废水产生量、固体废弃物产生量、单位工业用地工业增加值等。笔者认为,万元GDP能耗、万元GDP新鲜水耗指标涵盖第一、三产业的能耗和新鲜水耗,指标集中度不高,而工业用新鲜水耗弹性系数、单位工业增加值新鲜水耗和综合能耗弹性系数等指标,与工业增加值综合能耗(标煤)、工业固体废物利用率和单位工业增加值的固体废物产生量等指标有重叠,可予以合并。在工业重复用水率、中水回用率、单位工业增加值废水产生量等水资源指标中,中水回收率只反映了水处理后的可回收水量的比率,且包含工业、其他生产生活用水等,单位工业增加值废水产生量指标仅体

现废水排放数量,没有体现其再利用性。从资源的利用效用角度,可以将工业用地面积工业增加值、综合能耗弹性系数、工业用新鲜水量弹性系数、工业用水重复利用率以及工业固体废物利用率具有典型代表意义,能较好地反映综合类生态工业园区资源能源利用效能。工业用新鲜水量弹性系数(C7)的计算式可以确定为:园区相关单位工业用新鲜水量年增长率(%)/园区相关单位工业增加值年增长率(%).工业用水重复利用率(C8)指标主要反映工业用水循环性,其计算式可以确定为:(园区相关单位工业重复用水量(吨)/园区相关单位工业用水总量(吨))×100%。工业固体废物利用率(C9)计算式可以确定为:(园区相关单位工业废弃物利用量(吨)/园区相关单位工业废弃物产生量(吨))×100%。

(4)工业园区环境保护效能的观测指标一般有主要污染物排放量削减率、单位工业增加值COD排放量、环保违法事件数量、清洁生产审核事项实施率、COD排放弹性系数、危险废弃物无害化处置率、单位工业产值SO<sub>2</sub>排放量、SO<sub>2</sub>排放弹性系数、排污单位排放达标率、生活垃圾无害化处理率、废物收集和集中处理处置能力、园区绿化覆盖率、人均公共绿地、环境空气质量优良率、环保经费的GDP占比等。综合类生态工业园区的环境保护效能评价应反映综合类生态工业园环境保护、生态环境改善力度和效果。笔者认为主要污染物排放量削减率、园区内排污单位排放达标率涵盖了单位工业增加值COD排放量、COD排放弹性系数、单位工业产值SO<sub>2</sub>排放量、SO<sub>2</sub>排放弹性系数指标;而危险废弃物无害化处置率涵盖了废物收集和集中处理处置能力和生活垃圾无害化处理率指标;由于生态工业园区相比城市居民区人数少,故人均公共绿地面积不如园区绿化覆盖率更能反映绿化方面的绩效。因此,环境保护效能最终优选出主要污染物排放量年削减率、排污单位排放达标率、危险废弃物无害化处置率、企业清洁生产审核事项实施率、企事业单位环保违法事件数量、环境空气质量优良率、园区绿化覆盖率以及环保经费占GDP比重8个典型指标,重点观测园区空气环境质量、园区对环境保护投入、企业清洁生产水平。主要污染物排放年削减率(C10)即国家所要求的各类主要污

染物削减指标落实效果,其计算式可以确定为: $(\text{上年主要污染物排放总量}-\text{本年主要污染物排放总量})/\text{本年主要污染物排放总量}\times 100\%$ 。排污单位排放达标率(C11)的计算式为: $(\text{排污单位总数}-\text{超标单位个数})/\text{排污单位总数}\times 100\%$ 。危险废弃物无害化处置率(C12)的计算式为: $(\text{园区危险废弃物无害化处置量(吨)}/\text{园区危险废弃物产生量(吨)})\times 100\%$ 。企业清洁生产审核事项实施率(C13)计算式可以确定为: $(\text{已实施清洁生产企业数量}/\text{应进行清洁生产企业总量})\times 100\%$ 。企事业单位环保违法事件数量(C14)指园区内企事业单位在报告期内发生的违反国家环境保护、污染防治法律法规,受到行政机关处罚的情况。环境空气质量优良率(C15)指报告期内园区全年环境空气污染指数(API)达到二级和优于二级的天数占全年天数的比率,其计算式可以确定为: $(\text{全年环境空气污染指数二级以上天数}/\text{全年天数})\times 100\%$ 。园区绿化覆盖率(C16)指园区已开发范围内绿化覆盖面积占园区实际开发面积,其计算式可以确定为: $(\text{园区已开发范围内绿化覆盖面积}/\text{园区实际开发面积})\times 100\%$ 。环保经费占GDP比重(C17)指报告期内园区用于环境保护的经费占报告期内园区GDP的比重,其计算式可以确定为: $(\text{报告期内环境保护经费投入}/\text{报告期内GDP})\times 100\%$ 。

(5)观测工业园区科技支撑效能的指标有科技投入的GDP占比、GDP的科技贡献率、科技人才比例、高新技术产业产值比重、技术研发能力、专业技术人员比例、科技成果转化等。基于指标代表性和数据可获得性,笔者认为,科技投入经费支出占GDP比重、高新技术产业产值比重2个指标能够反映综合类生态工业园的科技支撑效能。科技投入经费占GDP比重(C18)指报告期内园区科技创新投入经费在报告期内园区GDP的占比,其计算式可以确定为: $(\text{报告期内科技创新经费投入}/\text{报告期内GDP})\times 100\%$ 。高新技术产业产值比重(C19)的计算式可以确定为: $(\text{园区高新技术产业产值}/\text{园区工业总产值})\times 100\%$ 。

(6)生态工业园区管理效能的观测指标一般有一企业环境管理标准化认证率、环境制度完善率、环境风险防范应急体系、生态工业信息平台完善度等。笔者认为,园区环境管理制度与能力、环境风

险防范应急体系建设2个指标相关度比较高。故选取环境管理制度的制定与实施、生态工业信息平台完善度、规模以上企业环境管理标准化认证率3个典型指标。生态环境管理制度的制定与实施(C20)主要观测园区生态环境管理制度是否健全,是否具备应急反应能力,是否建立了生态环境应急预案等;生态工业信息平台完善度(C21)主要反映园区内有关生态工业的网络平台是否完善,是否经常发布有关园区污染物、废弃物流向信息,是否发布了相关的生态技术、清洁技术的指导信息等;规模以上企业环境管理标准化认证率(C22)指园区内规模以上企业通过ISO14000认证的数量占规模以上企业的比例,其计算式可以确定为: $(\text{规模以上企业环境管理标准化认证个数}/\text{规模以上企业总数})\times 100\%$ 。

(7)工业园区的社会(社区)发展效能方面的观测指标主要有园区群众对生态工业认知度、园区就业率、园区从业人员年均收入、万人拥有病床数、人均受教育年限、公众(从业人员)对环境、生活配套设施的满意程度等。笔者认为,从业人员对生活配套设施的满意度涵盖了对于医疗、教育、交通等生活服务设施的需求满足度,而公众对于生态工业的认知率的确定具有较强的主观性和随机性。园区从业人员年均收入指标则相关性不够。因而选取从业人员对生活配套设施的满意程度和公众对环境的满意度2个指标作为园区社会(社区)发展效能评价指标。从业人员对生活配套设施的满意度(C23)指园区内的从业人员对园区教育、医疗、餐饮、娱乐、文化等生活配套设施的认同人数占被抽查从业人员总人数的占比;公众对环境的满意度(C24)指被园区公众对于生态环境认可的数量占总人口数量的比值,其计算式可以确定为: $(\text{园区从业人员对生活配套设施(环境)满意的人数}/\text{被抽查从业人员总人数})\times 100\%$ 。

至此,基于层次分析法建构的综合类生态工业园区效能评价指标体系可以整理为表1。这一评价体系指标的选取体现了通用性、代表性、创新性,且各项指标内涵明确、表达简洁、能以合理成本获取且易于计算,降低了评价的复杂程度。通过多名生态学专家咨询、环境保护管理部门负责人和与多家园区管理部门交流,均认为可在园区规划建设、

运行管理中得到普遍应用。

表 1 综合类生态工业园区效能评价指标体系

目标层 A	准则层 B	指标层 C
综合类生态工业园区效能评价指标体系	经济运行B1	人均工业增加值C1
		工业增加值年均增长率C2
	生态网络B2	生态工业链条数量C3
		企业生态关联度C4
	资源利用B3	单位工业用地面积工业增加值C5
		综合能耗弹性系数C6
		工业用新鲜水量弹性系数C7
		工业用水重复利用率C8
		工业固体废物利用率C9
	环境保护B4	主要污染物排放年削减率C10
		排污单位排放达标率C11
		危险废弃物无害化处置率C12
		企业清洁生产审核事项实施率C13
		企事业单位环保违法事件数量C14
		环境空气质量优良率C15
		园区绿化覆盖率C16
		环保经费占GDP比重C17
	科技支撑B5	科技投入经费占GDP比重C18
		高新技术产业产值比重C19
	园区管理B6	生态环境管理制度的制定与实施C20
		生态工业信息平台完善度C21
		规模以上企业环境管理标准化认证率C22
	社会发展B7	从业人员对生活配套设施的满意程度C23
		公众对环境的满意度C24

参考文献:

[1] 赵兴, 忠宝, 毛延发. 生态工业园—工业可持续发展之路[J]. 西安建筑科技大学学报, 2003, 35(1): 85-88.

[2] Anton M. Ecotechnology in industrial practice: implementation using sustainability indices and case studies[J]. Ecological Engineering, 1996(7): 117-138.

[3] Azapagic A, Perdan S. Indicators of sustainable development for industry: A general framework[J]. Institution of Chemical Engineers, 2000(78): 243-261.

[4] Hardy C, Graedel T E. Industrial ecosystem and food web theory[J]. Journal of Industrial Ecology, 2002, 6(1): 29-38.

[5] Biji Kurup, William Altham, R van Berkel. Triple bottom line accounting applied for industrial symbiosis[R]. Sydney: ALCAS conference, 2005: 1-14.

[6] Fons S, Achari G, Ross T. A fuzzy cognitive mapping analysis of the impacts of an eco-industrial park[J]. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 2005, 15(2): 75-88.

[7] Lowe Ernest A. Creating by-product resource exchanges strategies for eco-industrial Parks[J]. Cleaner reduction, 1997, 5(1): 57-65.

[8] Roberts Brian H. The application of industrial ecology principles and planning guidelines for the development of eco-industrial parks: An Australian case study[J]. Cleaner Production, 2004(12): 997-1010.

[9] Oh Deog-seong, Kim Kyung-Bae, Jeong Sook-Young. Eco-industrial park design: A Daedeok Technovalley case study[J]. Habitat International, 2005(29): 269-284.

[10] 高春风. 生态工业园区评价指标体系的建立与应用[J]. 辽宁城乡环境科技, 2006, 26(5): 45-47.

[11] 周强, 高妍. 生态工业园区评价指标体系构建的研究[J]. 商业经济, 2007(8): 3-5.

[12] 郝艳红, 王灵梅. 火电厂生态工业园评价指标体系研究[J]. 环境科学与技术, 2006, 29(2): 70-74.

[13] 程磊. 化工生态工业园区规划设计与可持续发展评价[D]. 大连理工大学, 2007.

[14] 商华, 武春友. 基于生态效率的生态工业园评价方法研究[J]. 大连理工大学学报, 2007, 28(2): 25-29.

[15] 孙晓梅, 崔兆杰, 朱丽. 生态工业园运行效率评价指标体系的研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20(1): 124-128.

[16] 王艳丽, 周美华. 生态工业园柔性模型的建立及评价[J]. 东华大学学报(自然科学版), 2006, 32(6): 47-51.

[17] 赵一平, 朱庆华. 工业园区生态系统承载力评价方法研究[J]. 工业技术经济, 2007(6): 42-45.

[18] 陈习连. 生态工业园评价体系及实证研究[D]. 广西师范大学, 2007.

[19] 雷明. 生态工业园区综合评价研究[D]. 华中科技大学, 2010.

[20] 朱丽. 综合类生态工业园区指标体系及稳定机制研究[D]. 山东大学, 2011.

[21] 王元亮. 生态工业园区共生评价指标体系的构建[J]. 安阳师范学院学报, 2015(2): 71-74.

责任编辑: 黄燕妮