

doi: 10.12068/j.issn.1005-3026.2017.08.030

生态城市评价指标的筛选模型及应用

易平涛, 李 雪, 周 莹, 李伟伟
(东北大学 工商管理学院, 辽宁 沈阳 110169)

摘 要: 针对城市发展过程中出现的问题,深入分析了生态城市的内涵,结合 DPSIR 模型,从经济水平、环境问题、社会问题、城市现状以及政府控制等方面给出了构建生态城市指标体系的逻辑框架.面对数量众多的评价指标,提出了一种兼顾指标的“重要性”、“相关性”和“区分度”等多个因素的指标筛选方法.主要运用德尔菲方法、改进的熵值法及 Person 相关系数法对核心指标进行筛选,并进一步通过指标信息贡献率这一度量标准反映指标构建的合理性.最后,以辽宁省 8 个主要城市为例,验证了指标筛选方法的有效性.

关 键 词: 综合评价;指标筛选;生态城市;DPSIR 模型

中图分类号: C 934 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-3026(2017)08-1211-06

Selection Model of Eco-city Evaluation Indexes and Its Application

YI Ping-tao, LI Xue, ZHOU Ying, LI Wei-wei
(School of Business Administration, Northeastern University, Shenyang 110169, China. Corresponding author: LI Xue, E-mail: lixue19921012@126.com)

Abstract: Based on the problems emerging in the process of urban development, the connotations of eco-city were explored and a new index system in combination with the DPSIR model was established from such perspectives as economic level, environmental problems, social issues, urban current status and government control. Faced with a large number of evaluation indexes, a new method of index selection was proposed by taking multiple factors such as importance, correlation and discrimination. Specifically, the Delphi method, the improved entropy method and the Person correlation theory were used to select the core indexes, and the rationality of index construction were confirmed by the measurement criterion, i. e., index information contribution rate. Finally, eight cities in Liaoning Province were taken as the research objects in order to verify the validity of the proposed method.

Key words: comprehensive evaluation; index selection; eco-city; DPSIR model

“生态城市”是在联合国教科文组织发起的“人与生物圈(MAB)”计划研究过程中提出的,强调调用跨学科的方式阐述在人与自然关系方面所产生的议题和问题的政府间计划,该计划的理念旨在根据国际社会环境方面实际所发生的问题,作出与时俱进的调整^[1-2].对生态城市建设成效的科学评价可为中国现阶段生态城市的建设提供参考价值,而构建科学合理的生态城市评价指标体系是进行生态城市建设成效评价的基本前提.在构建科学的评价指标体系时,选取的指标应当

尽可能地全面,但当指标个数太多时,就会存在信息冗余进而影响评价的质量.因此,在初步建立生态城市评价指标体系的基础上,需要进一步对评价指标进行筛选.

通过文献梳理可以发现,指标设置通常是在逻辑框架中展开,专门针对指标筛选问题展开的定量研究相对较少,目前关于指标筛选模型主要有以下几种情况:基于指标重要性的评价指标筛选模型,如文献[3]基于指标重要性建立指标动态循环筛选模型,但该模型存在的不足是筛选出

的指标对评价对象的区分度不大,并且指标间可能存在信息冗余;基于指标相关性和区分度的评价指标筛选模型,如文献[4]通过信息显著性差异和信息冗余筛选指标,建立了大连市绿色产业评价指标体系,具有很好的实用价值,但该方法可能会导致筛选出的区分度较大的指标不一定是重要指标;常见的基于熵值理论的评价指标筛选模型,该模型的不足是忽略了指标极端值对于熵值结果的影响.因此,本文针对以上问题,综合考虑指标的“重要性”、“相关性”和“区分度”等三个方面,构建一种新的评价指标筛选模型,并将其应用于生态城市评价指标体系的构建.

1 生态城市的内涵及指标选取原则

1.1 生态城市内涵

生态城市产生和发展的目的是指导各城市系统和谐、可持续地发展,它是城市发展的高级状态.

通过对已有关于生态城市内涵研究成果^[5-15]的分析,本文主要围绕以下两个方面界定中国现阶段生态城市的内涵:在以经济发展为驱动力的基础上,以生态理念指导人及城市的社会生活,运用现代科学技术手段协调人类社会活动与自然生态系统的关系,发展绿色高新技术产业,减小社会系统和环境系统压力,从而实现各城市系统的和谐,实现政府的高效管理,实现经济、自然、社会、政府的“四位一体”、互惠共生;实现各城市系统的可持续发展,即以循环经济为核心,强调资源高效利用,在生态系统承载能力范围之内运用生态学原理来改变生产和消费方式,建设适合中国国情的可持续发展的宜居生态城市系统.

1.2 评价指标选取原则

根据现阶段生态城市的内涵、特征以及生态城市建设的目标和生态城市发展能力的现状,确定建设生态城市指标体系的原则如下.

1.2.1 科学完整性原则

指标体系建立在科学的基础上,既能准确、全面、系统地体现生态城市社会、经济、自然等各方面发展的主要特征和状态以及相互协调的动态变化和发展趋势,又要突出生态城市建设的目标,使评价指标能够准确反映评价目的.

1.2.2 可操作性原则

生态城市评价指标体系最终为城市建设的决策者使用,为政府政策制定和科学管理提供指导作用,指标的选取要具有可取性、可比性、可测性

和可控性等,选取具有代表性的核心指标,有利于问题的分析.

1.2.3 定量与定性相结合原则

生态城市建设过程中的影响因素存在很多不能量化的因素,单一的定性指标或者定量指标不能全面地评价生态城市的建设能力和状况,应将定性描述和定量描述二者有机结合起来.

1.2.4 以人为本原则

生态城市的建设就是在“以人为本”的基础上进行的,构建生态城市指标体系要反映人在生态城市建设中的影响和地位,以人与自然的和谐相处为准则,以实现人的全面发展为目标,构建宜居生态城市的评价指标体系.

2 生态城市指标体系的构建

DPSIR 概念模型是由经济合作与发展组织(OECD)在 1993 年提出,并为欧洲环境局(EEA)所发展.该模型已逐渐成为判断环境状态和环境问题因果关系的有效工具,具有综合性、系统性、整体性、灵活性等特点^[7-8].基于生态文明建设的内涵,本文借鉴 DPSIR 模型,构建生态城市评价指标体系.

2.1 指标体系构建的逻辑框架

本文在生态城市建设内涵的基础上,深入探讨建立生态城市指标体系的基本框架和原则,提出了 DPIGA “驱动力(Driving)–压力(Pressure)–影响(Impact)–治理(Govern)–成果(Achievement)”这一拓展模型,以建立适合现阶段发展特征的中国生态城市指标体系.

“驱动力”是指城市问题出现的潜在原因,主要是指经济活动现状和发展趋势;“压力”一方面指经济活动对环境和社会的需求,另一方面指经济活动的结果对环境和社会造成的压力;“影响”是指城市在环境问题、社会问题以及经济发展下的状态,主要是以人的生活质量为主;“治理”是指政府对城市发展中出现的上述问题采取的改进措施及其效果;“成果”主要是根据上述各过程得到的综合指数来体现生态城市建设的成效,主要应用于综合评价^[10]过程.

2.2 初始指标体系构建

根据指标选取原则及指标体系构建的逻辑框架,在对已有研究进行全面梳理的基础上^[11],借鉴专家意见,从经济、社会、自然和政府四个方面出发建立初选指标体系.具体指标如表 1 所示.

表 1 生态城市评价的初始指标
Table 1 Initial index of eco-city evaluation

准则一	准则二	指标
驱动力 D	经济水平	GDP D_1 、GDP 增长率 D_2 、人均 GDP D_3 、全员劳动生产率 D_4 、第三产业增加值指数 D_5 、固定资产投资占 GDP 比重 D_6 、社会消费品零售总额 D_7 、人均固定资产投资 D_8 、居民消费水平 D_9 、工业经济效益综合指数 D_{10} 、出口额占 GDP 比重 D_{11}
压力 P	环境问题	废气排放量、固体废弃物排放量、单位面积 SO ₂ 排放量、单位 GDP 能耗、生活垃圾产生量、工业固体废弃物排放量、地区生产总值能耗、工业用水量、平均气温
	社会问题	基尼系数、城镇失业率、城市化率、人口密度、交通密度、人均能源占有量、城镇建设面积占市域面积的比例
影响 I	城市状态	城市居民人均可支配收入、通货膨胀率、社会劳动生产率、建成区绿地覆盖率、人均绿地面积、人均能源占有量、人均预期寿命、居民幸福指数、人均拥有医生数、万人拥有公交车辆数、刑事案件处理量
治理 G	政府治理	政府环保资金投入占 GDP 比重、社会保障和就业支出、创新技术研发投入量、人均教育经费支出、工业固体废弃物处理量、废气处理率、污染治理投入量、新能源利用率、森林覆盖率、清洁能源补贴占 GDP 比重、财政收入占 GDP 比重、更新改造投资占固定资产投资比重、人口增长率、市控监测站总数、每亿元 GDP 中 ISO14001 认证企业数量
成果 A	指数	经济发展指数、社会压力指数、环境压力指数、政府治理指数

3 评价指标的筛选

现有的关于指标的筛选方法有很多,文献[4]通过变异系数法求解指标信息含量,根据信息熵最大和冗余信息剔除原则定量筛选指标,并采用 R 聚类减小指标的重复度,但是该方法没有考虑指标的主观重要性,存在遗漏重要指标的风险.文献[3,12]采用层次分析法对指标进行筛选,通过主观判断对指标的重要性进行打分,具有很大的主观性.因此,本文为了解决指标筛选方法存在的问题,兼顾指标的“重要性”、“相关性”和“区分度”三方面的因素,综合主、客观角度构建指标筛选模型.

3.1 指标重要性测度

指标的重要性是指标对于评价结果在逻辑意义上的重要程度,是指标筛选的一个重要因素.指标重要性通常是由评价主体主观决定,假设共有 n 个被评价对象和 m 个评价指标,下面基于评价者的意见可信度给出一种测度指标重要性的方法.

定义 1 设有 q 个评价者,若 $\omega_v(v=1,2,\cdots,q)$ 表示评价者 s_v 给出评价指标重要性判断信息的可信程度,则有

$$\omega_v = 1/\mu_v. \tag{1}$$

式中, $\mu_v = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m |a_{vj} - y_j|, j = 1, 2, \cdots, m; a_{vj}$ 是

评价者 v 给出指标 x_j 的重要性分值, $y_j = \frac{1}{q} \sum_{v=1}^q a_{vj}$ 表示 q 个评价者对指标 x_j 的重要性分值的平均水平.

定义 2 若 a_{vj} 表示第 v 个专家关于第 j 个指标的重要性打分值, ω_v 表示评价者 s_v 给出评价指标重要性判断信息的可信程度,称 $\bar{\omega}_j$ 为指标 x_j 的重要性程度,则有

$$\bar{\omega}_j = \sum_{v=1}^q a_{vj} \omega_v / \sum_{j=1}^m \sum_{v=1}^q a_{vj} \omega_v. \tag{2}$$

当有多个评价群体参与评价指标重要性的判断时,不失一般性,设共有 z 个评价群体 $S_l, l=1, 2, \cdots, z$,可按以下步骤计算不同指标的重要性程度.

步骤 1 评价主体按照某打分原则(如 1~9 分的打分原则)给出评价指标重要性的分值,构造评价矩阵,分值越高,指标的重要性越大.

步骤 2 根据式(1)计算评价者 S_i 的话语权重 ω_i .

步骤 3 计算第 l 个评价群体评价给出的指标 x_j 重要性系数 $\bar{\omega}_{lj}$,则 z 个评价群体下的指标 x_j 的最终重要性系数为

$$\bar{\omega}_j = \frac{1}{z} \sum_{l=1}^z \bar{\omega}_{lj}. \tag{3}$$

3.2 指标区分度测度

指标区分度是指评价指标能够拉开不同评价对象的评价结果之间差距的大小,这里引用熵的思想来判断指标的区分度,具体如下.

定义 3 若指标 x_j 的熵值为 H_j , 熵权值为 w_j , 则称 η_j 为指标 x_j 的区分度, 有

$$\eta_j = \frac{w_j}{H_j} . \tag{4}$$

求解 η_j 的计算步骤如下:
步骤 1 对原始指标值 x_{ij} 进行预处理, 目的是为了缩小指标极端值对熵值的影响. 预处理分为两种情况:

$$U_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij} - m_j}{M_j - m_j} + k, \text{指标为极大型指标;} \\ \frac{M_j - x_{ij}}{M_j - m_j} + k, \text{指标为极小型指标.} \end{cases} \tag{5}$$

其中, M_j, m_j 分别为指标 x_j 的最大值和最小值, $k(0 < k \leq 5)$ 为平移常数.

步骤 2 用 U_{ij} 代替原始指标值, 分别求各评价指标的熵值 H_j 和熵权 w_j :

$$H_j = -k \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{ij} . \tag{6}$$

$$w_j = (1 - H_j) / (m - \sum_{j=1}^m H_j) . \tag{7}$$

其中, $k = 1 / \ln m, p_{ij} = U_{ij} / \sum_{i=1}^n U_{ij}$.

步骤 3 根据公式(4)计算指标 x_j 的区分度 η_j .

3.3 指标相关性测度

指标相关性是指不同评价指标之间的关联程度, 对于同一评价对象, 评价指标之间的关联性越大, 该指标层反映的信息能力就越弱, 反之则越强.

定义 4 若指标 x_i 与指标 x_j 之间的 Person 相关系数为 $r_{ij}, i, j = 1, 2, \cdots, m$, 指标 x_j 与 m 个指标之间的相关系数总和越小, 表明指标 x_j 的独立性越高, 该指标所含有的信息的价值量就越大, 用 d_j 表示指标 x_j 的独立性程度, 则有

$$d_j = e^{(1-b_j)} / \sum_{j=1}^m e^{(1-b_j)} . \tag{8}$$

其中, $b_j = \sum_{i=1}^m |r_{ji}|$ 表示指标 j 与 m 个指标的相关程度.

指标相关性计算模型步骤如下.

步骤 1 按照公式(5)对原始指标数据进行无量纲化处理, 计算同一子系统内的指标间 Person 相关系数:

$$r_{ij} = \frac{\sum_{t=1}^n (x_{ti}^* - \bar{x}_i)(x_{tj}^* - \bar{x}_j)}{\sqrt{\sum_{t=1}^n (x_{ti}^* - \bar{x}_i)^2 (x_{tj}^* - \bar{x}_j)^2}} . \tag{9}$$

式中: x_{ti}^* 表示第 t 个评价对象第 i 项指标的无量纲化值; $\bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n x_{tj}^*, n$ 为被评价对象个数.

步骤 2 选出相关系数比较大的指标, 并根据公式(9)计算表示 x_j 独立性程度的 d_j .

3.4 核心指标筛选模型

定义 5 指标影响度 γ_j 是指标对于评价对象的重要性 \bar{w}_j 和区分度 η_j 的度量($j = 1, 2, \cdots, m$):

$$\gamma_j = \bar{w}_j \eta_j / \sum_{j=1}^m \bar{w}_j \eta_j . \tag{10}$$

定义 6 指标优化度 O_j 是指标的影响度 γ_j 和独立性程度 d_j 的综合值

$$O_j = \alpha \gamma_j + \beta d_j . \tag{11}$$

其中, $\alpha, \beta(0 < \alpha < 1, 0 < \beta < 1, \alpha + \beta = 1)$ 分别为决策者对指标影响度和指标独立性的偏好程度.

在上述分析的基础上, 将指标优化度按照从大到小的顺序排列(O_1, O_2, \cdots, O_m), 选取指标优化度之和大于某阈值(如 80%)的前 $k(k$ 为最小值)个数据对应的指标即为核心指标.

3.5 指标体系合理性检验

指标体系的合理性判定标准: 筛选出的指标能够反映 90% 以上的原始信息, 则认为指标体系构建合理.

信息贡献率^[4]: 根据指标数据标准差反映指标信息量的原理, 用最终筛选出的指标数据的标准差与初选指标数据的标准差作比, 即为筛选出的指标体系的信息含量.

信息贡献率的计算公式如下:

$$IN = \frac{1}{s} \sum_{j=1}^s \sigma_j / \frac{1}{h} \sum_{j=1}^h \sigma_j^2 . \tag{12}$$

式中: σ_j^2 为指标 x_j 的方差; s 为筛选后的指标个数; h 为海选指标个数. 公式含义为筛选后的 s 个指标所能够反映的 h 个初选指标的信息. 需要说明的是, 本文采用 90% 作为阈值, 是以普通人的思维习惯为标准设置的, 实际工作中可结合具体情况进行调整.

4 指标筛选模型的应用

4.1 指标筛选

为了建立符合实际情况并且使政府和公众满意的生态城市评价指标体系, 需要从不同的角度对生态城市评价指标的重要性给出判断. 本文通过问卷调查, 从专家、政府和公众角度获得评价指标重要性判断, 如矩阵 R_1 、矩阵 R_2 、矩阵 R_3 所示.

根据指标重要性模型计算步骤可得指标重要

性系数,见表 2.

表 2 经济水平下各指标度量表
Table 2 Metric of each index in terms of economic level

系数	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D_6	D_7	D_8	D_9	D_{10}	D_{11}
专家 $\bar{\omega}_{1j}$	0.11	0.10	0.09	0.09	0.10	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0.09
政府 $\bar{\omega}_{2j}$	0.11	0.09	0.08	0.09	0.10	0.08	0.09	0.08	0.09	0.09	0.10
公众 $\bar{\omega}_{3j}$	0.11	0.09	0.09	0.09	0.09	0.08	0.09	0.08	0.10	0.09	0.09
$\bar{\omega}_j$	0.11	0.09	0.09	0.09	0.10	0.08	0.09	0.08	0.09	0.09	0.09
η_j	0.15	0.06	0.08	0.10	0.07	0.10	0.13	0.08	0.09	0.09	0.07
γ_j	0.18	0.06	0.08	0.10	0.08	0.09	0.12	0.07	0.08	0.08	0.07
d_j	0.00	0.29	0.01	0.03	0.42	0.03	0.00	0.00	0.00	0.21	0.01
O_j	0.11	0.15	0.05	0.07	0.21	0.06	0.08	0.04	0.05	0.13	0.00

本文以辽宁省的 8 个城市(沈阳、大连、鞍山、抚顺、本溪、丹东、锦州、营口)作为评价对象,以经济水平模块为例,根据指标区分度计算步骤可得各指标重要性、区分度、影响度、独立性及优化度如表 2 所示(取 $\alpha=0.6,\beta=0.4$).

指标优化度 O_j 按照从大到小的顺序排列为:(0.214 9, 0.150 0, 0.134 0, 0.106 8, 0.075 6, 0.069 7, 0.062, 0.051 6, 0.048 8, 0.044 0, 0.042 1). 指标优化度之和大于等于 80% 的最小指标数 $k=7$,前 7 个指标优化度对应的指标即为核心指标,核心指标分别是:GDP、GDP 增长率、全员劳动生产率、第三产业增加值指数、固定资产投资占 GDP 比重、社会消费品零售总额、工业经济效益综合指数.

4.2 指标体系合理性判定

将筛选出的指标的标准差之和与初选指标的标准差之和作比可得到指标的信息贡献率为

$$IN = (\frac{0.044\ 8}{0.048\ 1}) \times 100\% = 93.25\%,$$

说明筛选出的指标符合标准.

文献[6]中的指标体系合理性判断标准是在原始指标数量较多的基础上建立的,指标数量较少时,该标准会发生相应变化.因此,本文筛选出的指标体系信息贡献率在 93% 以上即为合理.

专家给出的经济水平评价指标打分矩阵 R_1 :

$$R_1 = \begin{bmatrix} 9 & 8 & 7 & 7 & 8 & 7 & 8 & 6 & 8 & 8 & 6 \\ 8 & 7 & 8 & 7 & 9 & 7 & 6 & 7 & 8 & 7 & 8 \\ 9 & 8 & 7 & 8 & 7 & 6 & 7 & 5 & 7 & 7 & 5 \\ 9 & 6 & 7 & 6 & 8 & 6 & 8 & 7 & 6 & 9 & 8 \\ 8 & 9 & 8 & 9 & 7 & 5 & 7 & 8 & 8 & 8 & 6 \\ 8 & 8 & 7 & 8 & 9 & 5 & 5 & 6 & 7 & 6 & 7 \\ 9 & 7 & 9 & 8 & 7 & 8 & 7 & 8 & 8 & 9 & 8 \\ 9 & 9 & 6 & 7 & 8 & 6 & 6 & 7 & 9 & 7 & 9 \end{bmatrix}.$$

政府给出的经济水平评价指标的打分矩阵 R_2 :

$$R_2 = \begin{bmatrix} 9 & 8 & 8 & 7 & 8 & 7 & 9 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ 9 & 7 & 8 & 7 & 9 & 7 & 6 & 7 & 8 & 7 & 8 \\ 9 & 8 & 6 & 8 & 7 & 6 & 7 & 5 & 7 & 7 & 6 \\ 8 & 6 & 7 & 6 & 8 & 6 & 8 & 7 & 7 & 5 & 8 \\ 8 & 7 & 8 & 9 & 7 & 9 & 7 & 8 & 8 & 8 & 6 \\ 9 & 8 & 7 & 8 & 9 & 5 & 8 & 6 & 7 & 6 & 7 \\ 9 & 7 & 7 & 8 & 7 & 8 & 7 & 8 & 8 & 9 & 8 \\ 8 & 7 & 6 & 7 & 8 & 6 & 6 & 7 & 6 & 7 & 9 \end{bmatrix}.$$

公众给出的经济水平评价指标的打分矩阵 R_3 :

$$R_3 = \begin{bmatrix} 9 & 8 & 7 & 6 & 6 & 7 & 8 & 6 & 7 & 8 & 7 \\ 9 & 7 & 8 & 7 & 9 & 7 & 6 & 8 & 9 & 7 & 8 \\ 9 & 8 & 6 & 8 & 7 & 6 & 7 & 5 & 8 & 7 & 6 \\ 8 & 6 & 7 & 6 & 8 & 6 & 8 & 7 & 9 & 5 & 8 \\ 8 & 7 & 9 & 7 & 7 & 9 & 5 & 8 & 8 & 8 & 6 \\ 9 & 8 & 7 & 8 & 6 & 5 & 8 & 6 & 7 & 6 & 7 \\ 9 & 7 & 7 & 8 & 7 & 8 & 7 & 6 & 8 & 9 & 8 \\ 8 & 9 & 6 & 7 & 8 & 6 & 6 & 7 & 6 & 7 & 8 \end{bmatrix}.$$

4.3 最终指标体系的建立

用同样的方法对其余几个子系统的指标进行筛选,最终得到生态城市评价指标体系见表 3.

表 3 辽宁省生态城市评价指标体系

Table 3 Eco-city evaluation index system of Liaoning Province

准则一	准则二	指标
驱动力 <i>D</i>	经济水平	GDP、GDP 增长率、全员劳动生产率、第三产业增加值指数、固定资产投资占 GDP 比重、社会消费品零售总额、工业经济效益综合指数
压力 <i>P</i>	环境问题	废气排放量、单位 GDP 能耗、生活垃圾产生量、地区生产总值能耗、工业用水量、平均气温
	社会问题	基尼系数、城镇失业率、城市化率、人口密度、人均能源占有量、城镇建设面积占市域面积的比例
影响 <i>I</i>	城市状态	人均可支配收入、通货膨胀率、社会劳动生产率、建成区绿地覆盖率、人均绿地面积、人均能源占有量、人均期望寿命、居民幸福指数、人均拥有医生数
治理 <i>G</i>	政府治理	政府环保资金投入占 GDP 比重、创新技术研发投入量、工业固体废弃物处理量、污染治理投入量、森林覆盖率、清洁能源补贴占 GDP 比重、财政收入占 GDP 比重、更新改造投资占固定资产投资比重、人口增长率、每亿元 GDP 中 ISO14001 认证企业数量
成果 <i>A</i>	指数	经济发展指数、社会压力指数、环境压力指数、政府治理指数

5 结 论

本文针对生态城市指标体系给出的指标筛选方法有以下特征：

- 1) 考虑的指标信息更加全面,兼顾了现有研究基于“指标重要性和区分度”、“指标负载系数和指标冗余分析”等指标筛选方法的特点.
- 2) 通过指标的信息贡献率对筛选的指标进行合理性检验,保证了所构建指标体系的科学性和合理性. 需要说明的是,虽然文中给出的筛选方法针对生态城市问题提出,但在机理上具有通用性,因而可对其他的指标体系构建及筛选问题提供有益参考.

参考文献：

[1] 李文华. 人与生物圈计划对生态研究的影响[J]. 人与生物圈,2011,1(3):44-47.
(Li Wen-hua. Effects of man and the biosphere program on ecology[J]. *Man and the Biosphere*,2011,1(3):44-47.)

[2] 吴琼,王如松,李宏卿,等. 生态城市指标体系与评价方法[J]. 生态学报,2005,25(8):2090-2095.
(Wu Qiong,Wang Ru-song,Li Hong-qing,et al. The indices and the evaluation method of eco-city[J]. *Acta Ecologica Sinica*,2005,25(8):2090-2095.)

[3] 张恒巍,张健,韩继红,等. 一种基于动态循环筛选模型的指标体系建立方法[J]. 火力与指挥控制,2015,40(4):42-44.
(Zhang Heng-wei,Zhang Jian,Han Ji-hong,et al. An index system establish method based on dynamic circulation filter model[J]. *Fire Control & Command Control*,2015,40(4):42-44.)

[4] 石宝峰,迟国泰. 基于信息含量最大的绿色产业评价指标筛选模型及应用[J]. 系统工程理论与实践,2014,34(7):1800-1805.
(Shi Bao-feng,Chi Guo-tai. Green industry evaluation indicators screening model based on the maximum information content and its application [J]. *Systems Engineering Theory and Practice*,2014,34(7):1800-1805.)

[5] 孙菲,罗杰. 低碳生态城市评价指标体系的设计与评价

[J]. 辽宁工程技术大学学报(社会科学版),2011,13(3):258-261.
(Sun Fei,Luo Jie. Design and appraisal of assessment index system of low-carbon eco-cities [J]. *Journal of Liaoning Technical University(Social Science Edition)*,2011,13(3):258-261.)

[6] Dale V H,Beyeler S C. Challenges in the development and use of ecological indicators[J]. *Ecological Indicators*,2001,1(1):3-10.

[7] Huang G Y. Evolution of ecocity planning and construction in China[J]. *Urban Environment & Urban Ecology*,2001,14(3):6-8.

[8] Mukuvari I,Mafwila S K. Measuring the recovery of the northern Benguela current large marine ecosystem (BCLME): an application of the DPSIR framework [J]. *Ocean & Coastal Management*,2016,119:227-233.

[9] 朱霞,路正南. 基于 DPSIR 模型的低碳城市发展评价研究——以江苏省为例[J]. 技术经济与管理研究,2013,6(1):116-118.
(Zhu Xia,Lu Zheng-nan. Evaluation on the low-carbon city development based on DPSIR model—the case of Jiangsu Province [J]. *Technoeconomics & Management Research*,2013,6(1):116-118.)

[10] 郭亚军. 综合评价理论、方法及应用 [M]. 北京:科学出版社,2007:1-90.
(Guo Ya-jun. Comprehensive evaluation theory,method and application[M]. Beijing:Science Press,2007:1-90.)

[11] Manica L,Rocca P,Martini A,et al. An innovative approach based on a tree-searching algorithm for the optimal matching of independently optimum sum and difference excitations [J]. *IEEE Transactions on Antennas Propagation*,2008,56(1):58-66.

[12] 周荣义,张诺曦,周瑛. 基于 AHP 与重要性指标筛选的神经网络评价模型与应用[J]. 中国安全科学学报,2007,17(4):44-47.
(Zhou Rong-yi,Zhang Nuo-xi,Zhou Ying. ANN assessment model and its application based on AHP and the sieving of important index [J]. *China Safety Science Journal*,2007,17(4):44-47.)

[13] Zhu J,Chen Z,Sun L J. A method of construction of index system for highway maintenance management [J]. *Procedia—Social and Behavioral Sciences*,2013,96:1593-1602.

[14] Talebi Z A,Chirkova R,Fathi Y. An integer programming approach for the view and index selection problem[J]. *Data & Knowledge Engineering*,2013,83:111-125.

[15] Marull J,Pino J,Mallareh J M,et al. A land suitability index for strategic environmental assessment in metropolitan areas [J]. *Landscape and Urban Planning*,2007,81(3):200-212.