崔胜辉, 石龙宇, 林剑艺. 2009. 城镇发展的可持续性评价方法及其应用 [J]. 环境科学学报, 29(8): 1757- 1764
Cui S H, Shi L Y, Lin J Y. 2009. Development and application of an assessment model to evaluate the sustainability of a town[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 29(8): 1757- 1764

城镇发展的可持续性评价方法及其应用

崔胜辉*, 石龙宇, 林剑艺

中国科学院城市环境与健康重点实验室, 城市环境研究所, 厦门 361021

收稿日期: 2008-11-06 修回日期: 2009-04-05 录用日期: 2009-06-09

摘要: 采用多目标评价方法构建以发展度、协调度和支撑度为评价指标的评价模型, 对城镇发展的可持续性进行评价. 运用层次分析法, 从人口、社会和经济等方面建立评价指标体系, 评估人工生态系统的发展度和协调度, 将资源和环境状况作为"支撑度"指标评估自然生态系统的可持续性, 进而计算城镇发展的综合可持续性水平. 以福建省铁山镇为例, 应用该模型进行评价. 结果表明, 铁山镇发展的可持续性水平为0.617(取值范围 0~ 1), 属于中等可持续水平, 水环境污染是最主要的瓶颈因素. 该评价方法可以辨识城镇发展的可持续性, 为城镇产业发展的方向和规模等提供决策依据.

关键词: 城镇发展; 可持续性评价; 评价方法; 瓶颈要素; 铁山镇

文章编号: 0253-2468(2009)08-1757-08 中图分类号: X171 文献标识码: A

Development and application of an assessment model to evaluate the sustainability of a town

CUI Shenghui*, SHI Longyu, LIN Jianyi

Key Lab of Urban Environment and Health, Institute of Urban Environment, CAS, Xiamen 361021

Received 6 November 2008; **received** in revised form 5 April 2009; **accepted** 9 June 2009

Abstract Sustainability assessment is a fundamental guide for the sustainable development of a town. Town ecosystems are comprised of both artificial ecosystems (such as population, society, economy, etc.) and natural ecosystems (such as resources, the environment, etc.) which form a unified whole through energy, material and information transmission and interaction. In this paper, we used three indexes-"development degree", "coordination degree" and "supporting degree"-in a multi-objective method to build a model to evaluate town sustainability. The AHP method was used to estimate the development and coordination degree for artificial ecosystems, while the situations of bottleneck elements in natural ecosystems were used to assess the supporting degree. In this way, integrated town sustainability was obtained. A case study of Tieshan Town, Fujian Province showed that the sustainability level of Tieshan Town was 0.617, which was in the moderate range. Water pollution was the most important bottleneck factor restricting sustainable development. The assessment method could directly identify the sustainable level of the town, and provide appropriate scale and decision-making directions for industrial development.

Keywords town development; sustainability assessment; assessment method; bottleneck element; Tieshan Town

1 引言 (Introduction)

城镇化是 20世纪人类发展的突出标志, 也是21世纪人类面临的重要机遇与挑战. 据联合国估计, 2007年底地球上已有超过一半的人口聚集在城镇区域内 (UN-Habitat, 2006), 而我国也已进入快速城镇化阶段, 城镇化率由 1978年的 17.4% 增加到2006年的 43.9% (国家统计局, 2007). 由于城镇发展带来的诸多环境问题, 城镇发展的可持续性成为全球关注的焦点.

尽管地理学、生态学、环境学和经济学等多学科的学者分别从不同的角度对城镇可持续发展的理论和实践进行了大量的研究 (Haughton, 1997; Riley, 2001; Button, 2002; Nichol *et al*, 2005; Cheng

基金项目: 国家自然科学基金项目 (No. 40701059); 厦门市科技计划项目 (No. 3502Z20072002)

Supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 40701059) and the Xiamen Science and Technology Project (No. 3502Z20072002)

作者简介: 崔胜辉 (1973—), 男, 副研究员, E-mail: shcui@iue.ac.cn; * 通讯作者 (责任作者)

Biography: CUI Shenghui (1973—), male, associate professor, E-mail: shcui@iue.ac.cn; * **Corresponding author**

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

et al., 2006; Repetti *et al*., 2006), 但至今还没有形成一套成熟的评价指标和方法. 一些学者通过建立生态足迹模型来评估城镇的可持续性 (Jeroen *et al*., 1999; 李泽红等, 2008); 还有学者采用能值分析理论或灰色关联度方法对可持续性进行评价 (Jorgensen, 2006; 李金平等, 2006). 刘海清 (2008) 以兰州市为例, 采用能值分析理论, 对兰州市 1994 ~ 2004年的能值自给率、能值输出输入量比、能值投入率、环境负载率、能值-货币比、能值使用密度、可持续发展指数、人均能值用量和人口承载力等进行了计算和变化趋势分析, 并与其它地区和国家进行比较. 邢美华等 (2008)建立了适用于湖北省森林资源可持续利用的评价指标体系, 并采用灰色关联分析方法构建了湖北省森林资源可持续利用层次-灰色综合评判模型. 这些评价方法侧重于可持续性的某一方面, 未能反应城镇复合生态系统间的综合性和协调性. 还有学者采用多目标评价的方法构建指标体系来评价城镇发展的可持续性 (Huang *et al*., 1998; Meine *et al*., 2005; Lee *et al*., 2007; 许学强等, 2001). 王如松等 (2005)从发展状态、发展动态和发展实力 3方面对扬州市可持续发展进行了评价. 李锋等 (2007)采用全排列多边形综合图示法, 从经济发展、生态建设、环境保护和社会进步 4个方面评价济宁市在各个不同时段的建设成效. 与上述单目标评价方法相比, 多目标评价法具有操作简便、覆盖面广的特点, 可综合考虑到人口、经济、社会、资源和环境各个方面. 但是在实际工作中, 多目标评价法往往过分关注资源和环境系统的效用, 而忽略其供给阈值, 即自然系统的瓶颈效应, 不能给城镇未来的发展方向提供指导 (彭胜潮等, 2004; 王浩等, 2008).

由于城镇发展不可逆性, 为了避免盲目发展, 有必要根据城市发展态势和发展目标, 评价城镇生态支持系统综合支持能力, 找出制约城镇发展的瓶颈要素. 同时, 依此制定合理的调控策略和措施, 解除瓶颈要素对城镇发展的制约, 推动城镇可持续发展 (胡廷兰等, 2004). 因此, 本文运用多目标评价和瓶颈要素评价相结合方法, 建立了以人口、经济、社会、资源和环境为准则的可持续性评价模型, 并以福建省龙岩市铁山镇为例, 对该镇的可持续性进行实证研究, 以期为生态环境保护和指导城镇产业发展的方向、规模等提供决策依据.

2 理论与方法 (Theories and methods)

2.1 评价模型构建

城镇生态系统由人口、社会、经济、资源和环境等多个子系统组成, 它们通过能量、物质和信息流等的传输和相互作用, 形成一个多维的空间系统 (厉红梅, 2004). 在这个多维系统中, 人工生态系统 (人口、社会、经济)是发展和变化的主体, 其发展的强度 (发展度)以及各个子系统之间发展的均衡度 (协调度)是人们普遍关注的 2个重要指标; 自然生态系统的资源供给和环境调节功能是城镇区域生态系统得以发展的基础, 其对城镇系统的支持能力 (支撑度)是决定城镇可持续发展能力的关键因素. 因此, 本文选择城镇生态系统的发展度 (Dv)、协调度 (Co)和支撑度 (Sp)作为描述城镇可持续性的 3个指标.

2.2 发展度和协调度计算方法

在城镇人工生态系统中, 人口、社会和经济等多个子系统具有多个发展目标, 这些发展目标一起构成了人工系统的发展目标. 当城镇人工系统达到这个发展目标时, 可以认为它进入了理想的可持续发展状态. 以由人口、社会和经济 3个子系统构成的城镇三维生态系统为例, 可持续性评价即是对系统在三维空间中所处的几何位置 (状态点)进行的描述和评价, 如图 1所示.

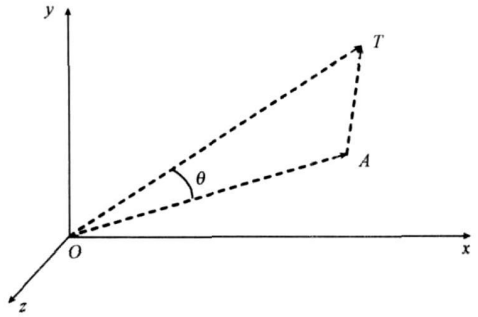

图 1 城镇人工生态系统发展空间

Fig. 1 Development space of the artificial ecosystems of a town

图 1中, x、y、z分别代表人口、经济和社会子系统的 3个维度; 坐标原点 O 是城镇人工系统的临界点, 当个别指标达到临界值时, 该指标的不可逆变化会导致整个系统的崩溃; 若通过临界点 O 作整个空间的割面, 位于割面以内的空间就是城镇人工系统的临界空间; A 为城镇系统发展过程中的某个状态; T 为实际的可持续发展目标状态, 目标值反映了

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

人们对可持续发展系统的期望, 引导人们向这一目标而努力; θ为系统发展状态向量 *OA* 与目标向量 *OT* 的夹角. 理论上讲, 城镇系统在任一时刻都存在一个状态点 (*A*)和目标点 (*T*), *OA* 代表系统发展相对临界点的距离, *AT* 代表系统距离可持续发展目标的距离, *OA* 和 *OT* 的长度可以反应城镇生态系统发展的程度, 即"发展度"; 在城镇系统中, 沿 *OT* 方向是可持续发展上升速度最快的方向, 各子系统的发展强度相对比较均衡. 越偏离该方向, 系统的"协调度"就越差. 因此, *OA* 相对 *OT* 偏离的角度可以反应城镇生态系统发展的方向, 即"协调度". 具体计算过程分为 4个步骤.

1)指标标准化

城镇人工系统的发展状态是由人口、社会和经济等子系统的状态决定的, 而每个子系统的发展状况又受到其内部各种指标的影响. 因此, 本文利用层次分析法对人工系统的发展状态进行评价, 其目标层为城镇人工生态系统的发展状态; 准则层为人口、社会和经济等子系统; 次准则层为人口总量、人均 GDP、城镇居民收入等各子系统内部具体的评价指标 (v_{ij})见表 2 为了消除评价指标 (v_{ij})间不同量纲的影响, 需要对指标进行标准化处理, 计算公式如下.

对正向指标:

$$N_{v_{ij}}=\begin{cases}0 & v_{ij}\leqslant C_{vij}\\ \dfrac{v_{ij}-C_{vij}}{T_{vij}-C_{vij}} & C_{vij}<v_{ij}<T_{vij}\\ 1 & T_{vij}\leqslant v_{ij}\end{cases} \tag{1}$$

对负向指标:

$$N_{vij}=\begin{cases}1 & v_{ij}\leqslant T_{vij}\\ \dfrac{C_{vij}-v_{ij}}{C_{vij}-T_{vij}} & T_{vij}<v_{ij}<C_{vij}\\ 0 & C_{vij}\leqslant v_{ij}\end{cases} \tag{2}$$

式中, v_{ij}代表城镇人工生态系统中第 *i*个子系统内部的第 *j*个评价指标的现状值; C_{vij}、T_{vij}和 N_{vij}, 分别代表 v_{ij}的临界值、目标值和规范化值. 当指标规范化后, 城镇发展的多维空间转化为单位多维空间, 规范化指标N_{vij}的变化范围在 0~ 1之间.

2)确定指标权重

采用专家打分法, 得到各个子系统及其内部指标两两比对的判断矩阵 $M=(m_{ij})$ ($i=j=1, 2, \cdots, n$). 采用和积法计算判断矩阵 *M* 的特征向量, 即评价指标 v_{ij}的权重向量 $W=(w_1, w_2, \cdots, w_n)$并对结果进行一致性检验. 具体计算公式如下:

$$b_{ij}=\frac{m_{ij}}{\sum_{i=1}^{n}m_{ij}};\quad w_i=\frac{\sum_{j=1}^{n}b_{ij}}{n} \tag{3}$$

$$\lambda_{max}=\sum_{i=1}^{n}\frac{\sum_{j=1}^{n}m_{ij}\times w_j}{n\times w_i};\quad CI=\frac{\lambda_{max}-n}{n-1};\quad CR=\frac{CI}{RI_n} \tag{4}$$

式中, m_{ij}表示判断矩阵 *M* 中第 *i*行第 *j*列的元素; b_{ij}是将矩阵 *M* 中的每一个元素进行归一化处理的值; *n* 代表矩阵 *M* 的行数或列数; w_i和 w_j表示权重向量 *W* 中第 *i*个或第 *j*个元素; λ_{max}表示矩阵 *M* 的最大特征值; CR 是一致性比率, CR < 0. 1表示计算得到的权重是合理的; RI_n是判断矩阵 $M=(m_{ij})_{n\times n}$的随机一致性指标, Saaty给出 *n* = 1~ 9的判断矩阵的 RI 值分别为 0、0、0. 58、0. 9、1. 12、1. 24、1. 32、1. 41和 1. 45(Satty, 2008).

3)计算各点之间的距离

根据公式 (1)和 (2)得到子系统内部评价指标的标准化数值 (N_{vij}), 根据专家评价法和公式 (3)得到各子系统的权重 (*K*), 同理也可以得到每个子系统内部各评价指标的权重 (*W*). 接下来, 可通过以下公式计算状态点 *A* 的坐标及其与目标点 *T* 和临界点 *O* 之间的距离:

$$a_i=\left(\sum_{j=1}^{n}(N_{vij}\times w_{ij})\right)\times k_i;\quad t_i=\left(\sum_{j=1}^{n}(1\times w_{ij})\right)\times k_i;$$

$$o_i=\left(\sum_{j=1}^{n}(0\times w_{ij})\right)\times k_i \tag{5}$$

$$|OA|=\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(a_i^2-o_i^2)};\quad |OT|=\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(t_i^2-o_i^2)};$$

$$|AT|=\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(t_i^2-a_i^2)} \tag{6}$$

式中, a_i代表坐标点 *A* 中第 *i*个元素, 即城镇人工系统中第 *i*个子系统的状态值; t_i代表坐标点 *T* 中第 *i*个元素, 即城镇人工系统中第 *i*个子系统的目标值; o_i代表坐标点 *O* 中第 *i*个元素, 即城镇人工系统中第 *i*个子系统的临界值; w_{ij}表示第 *i*个子系统内部第 *j*个评价指标的权重; *n*代表人工生态系统中子系统的数量; *m* 代表第 i个子系统中评价指标的数量; k_i表示第 *i*个子系统的权重.

4)计算城镇生态系统的发展度和协调度

城镇生态系统的发展度 (D_v)和协调度 (C_o)计算公式为:

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

$$D_v = \frac{|OA|}{|OA| + |AT|} \quad (7)$$

$$C_o = \cos\theta = \frac{|OT|^2 + |AT|^2 - |OA|^2}{2|OT| \times |AT|} \quad (8)$$

式中, $|OA|$、$|AT|$和 $|OT|$分别代表向量 OA、AT 和 OT 的长度; θ为系统发展状态向量 OA 与目标向量 OT 的夹角.

2.3 支撑度计算方法

城镇人工生态系统作为人口聚集地和高强度经济活动的主体, 具有旺盛的资源和环境质量需求, 这些需求只能从自然生态系统中得到满足. 城镇自然生态支持系统由诸多要素组成, 每种要素都具有"瓶颈效应"的特点, 即每一种要素都可能成为阻碍或制约城镇社会经济系统发展的"瓶颈要素"(如水资源、土地资源和大气环境等). 瓶颈要素分析首先需要了解各要素的供需平衡状态(供大于求、供小于求、供求平衡), 找出处于供小于求状态的关键要素. 然后了解每种关键要素的供给与需求的的缺口究竟有多大, 进而辨识最关键的瓶颈因子, 以最小资源成本(包括人力、物力、财力、科学技术和情报信息等)实施生态调控策略, 提升城镇发展的支撑能力(胡廷兰等, 2004). 在对各种影响城镇自然生态系统的各种资源和环境要素(R_i)进行分析之前, 需要进行标准化处理, 计算公式如下:

资源要素:

$$R_i = \begin{cases} \dfrac{D_i - S_i}{D_i} & D_i > S_i \\ 0 & D_i \leqslant S_i \end{cases} \quad (9)$$

环境要素:

$$R_i = \begin{cases} \dfrac{H_i - E_i}{E_i} & H_i > E_i \\ 0 & H_i \leqslant E_i \end{cases} \quad (10)$$

式中, R_i代表某种资源或环境要素 i的标准化数值, 即是要素的瓶颈指数, 数值范围在 0和 1之间, R_i越大说明要素对生态环境的制约作用越强; S_i为供需均衡状况下资源要素 i的可持续供给量; D_i为城镇发展过程中对资源要素 i的实际需求量, 如果 $D_i \leqslant S_i$则瓶颈指数为 0, 表示该要素对生态环境没有制约作用; 反之, 如果 $D_i > S_i$则表示该要素对城市发展产生影响, 且需求量距离供给量差距越大, 瓶颈指数越高; H_i为环境要素 i的环境质量状况; E_i为环境要素 i的环境质量标准, 如果某种环境要素达到或高于其环境标准, 则瓶颈指数为 0, 反之, 某种环境要素的现状值距离环境标准越远, 瓶颈指数越高.

根据木桶原理(weakest-link principle), 当木桶的桶身由长短不一的木板组成时, 可装水的多少是由最短的那块木板决定的. 同样的, 在各种资源环境瓶颈要素中, 影响自然生态系统对城镇发展支撑能力的是瓶颈效应最大的要素. 因此, 城镇发展的支撑度(S_p)可表示为:

$$S_p = 1 - R_{i\max} \quad (11)$$

式中, $R_{i\max}$代表各种资源或环境要素瓶颈指数中的最大值.

2.4 计算综合可持续发展水平

城镇生态系统的可持续性(SD)是以上 3个描述指标的函数:

$$SD = D_e \times w_1 + C_o \times w_2 + S_p \times w_3 \quad (12)$$

式中, w_1、w_2和 w_3分别代表发展度、协调度和支撑度 3个指标的权重. 发展度和协调度用来评价人口、社会、经济等人工子系统; 支撑度用来评价资源和环境等自然子系统. 本文认为, 城镇人工生态系统的发展和自然生态系统的支撑对于城镇可持续发展来说具有同等重要的地位, 且人工系统中社会经济发展强度和均衡度的重要性也不分伯仲. 因此, 本文设定 $w_1 = w_2 = 0.25$, $w_3 = 0.50$. 城镇发展的可持续性指标变化范围在 0~1之间, 可根据区域发展的实际需求或当地政府的发展规划需要, 对可持续发展水平划分等级. 例如, 可采用等距离的方法划分为 4个等级, 如表 1所示.

表 1 城镇发展的可持续性强度等级

Table 1 Classification levels of the sustainabiliky of town development

不可持续	低等可持续	中等可持续	高等可持续
$0 \leqslant SD \leqslant 0.25$	$0.25 < SD \leqslant 0.50$	$0.50 < SD \leqslant 0.75$	$0.75 < SD \leqslant 1$

3 案例研究(Case study)

3.1 铁山镇概况

铁山镇位于福建省龙岩市新罗区东郊, 地处城乡结合部地带, 距龙岩市城区 4.5km, 交通便捷. 镇域总面积 125km^2, 常住人口 1.35万. 境内拥有丰富的煤炭、石灰石、高岭土等矿产资源. 矿山开采残留的废弃物、企业排放的废水以及生猪养殖业产生的污水是铁山镇主要的污染源. 改革开放以来, 铁山镇经济保持快速增长, 已建成集郊区、矿区、工业区、物流区为一体的综合型小城镇. 2006年全镇社会总产值 10.2亿元, 人均 GDP达 7.56万元/人, 居福建省前列. 农业生产以养殖业和种植业为中心,

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

发展农林牧渔多种经营. 工业以煤炭深加工业、生物燃料等为骨干, 以发展高新科技技术产业为动力.

3.2 人工生态系统可持续性评价

本着系统性、科学性、动态性和可操作性原则, 在借鉴相关研究的基础上 (叶文虎, 1997; 章牧等, 2001; 葛大兵等, 2006), 参考《国家可持续发展示范区管理办法》, 结合铁山镇发展目标和功能定位, 采用层次分析法从人口、经济和社会 3个方面构建了铁山镇人工生态系统可持续性评价指标体系, 见表 2. 其目标层为铁山镇人工生态系统的发展状态; 准则层为人口、社会和经济 3个子系统; 次准则层为人口总量、社会保险覆盖率和人均 GDP 等 16个评价指标. 指标的现状值来源于《龙岩市新罗区 2006年国民经济和社会发展年鉴》, 目标值来自《龙岩市新罗区铁山镇可持续发展实验区建设规划 (2007)》, 参考区域生物多样性的阈值 (Amar, 1999), 本文将每个正向指标状态值的 10%设定为临界值; 对于负向指标, 将 10倍的状态值设定为临界值.

表 2　铁山镇人工生态系统可持续性评价指标体系

Table 2　Sustainability assessment indicators for the artificial ecosystems of Tieshan town

目标层 A	准则层 B_1 (权重 K)	次准则层 B_2	单位	指标权重 W	现状值 v_{ij}	指标性质	临界值 C_{vij}	目标值 T_{vij}
铁山镇人工生态系统发展状态	人口子系统 (0.26)	婴儿死亡率	–	0.20	8.4‰	负向	84‰	5‰
		人口自然增长率	–	0.17	4.8%	正向	0.48%	7%
		城镇人口比例	–	0.34	23.9%	正向	2.39%	30.0%
		总人口	万人	0.29	1.35	正向	0.14	1.37
		每千人口大学生数	人	0.04	2.5	正向	0.25	4.0
	社会子系统 (0.41)	社会保险覆盖率	–	0.36	15%	正向	1.5%	45%
		农村卫生厕所普及率	–	0.07	75%	正向	7.5%	88%
		自来水普及率	–	0.17	85%	正向	8.5%	95%
		城镇登记失业率	–	0.21	4.03%	负向	40.3%	3.00%
		万人刑事案件发案率	起	0.15	21.5	负向	215	19
	经济子系统 (0.33)	矿业总产值	亿元	0.16	2.46	正向	0.25	3.00
		非矿业产值比重	–	0.18	36.3%	正向	3.6%	45.0%
		农村居民纯收入	元	0.19	6416	正向	641.6	10181
		第三产业增加值比重	–	0.05	1.6%	正向	0.16%	2.5%
		地方财政收入增长率	–	0.12	15%	正向	1.5%	20%
		人均 GDP	万元	0.29	7.56	正向	0.76	16.5

通过专家对子系统及其内部各指标两两比较得到准则层 B_1的判断矩阵 K, 和次准则层 B_2中的 3组判断矩阵 W_1、W_2和 W_3, 如下所示:

$$K=\begin{bmatrix}1 & 1/2 & 1\\ 2 & 1 & 1\\ 1 & 1 & 1\end{bmatrix}$$

$$W_1=\begin{bmatrix}1 & 1 & 1/2 & 1\\ 1 & 1 & 1/2 & 1/2\\ 2 & 2 & 1 & 1\\ 1 & 2 & 1 & 1\end{bmatrix}$$

$$W_2=\begin{bmatrix}1 & 1/7 & 1/3 & 1/4 & 1/6 & 1/4\\ 7 & 1 & 4 & 2 & 4 & 2\\ 3 & 1/4 & 1 & 1/2 & 1/3 & 1/4\\ 4 & 1/2 & 2 & 1 & 1/2 & 2\\ 6 & 1/4 & 3 & 2 & 1 & 2\\ 4 & 1/2 & 4 & 1/2 & 1/2 & 1\end{bmatrix}$$

$$W_3=\begin{bmatrix}1 & 1 & 1 & 4 & 1 & 1/2\\ 1 & 1 & 2 & 4 & 1 & 1/2\\ 1 & 1/2 & 1 & 5 & 3 & 1/2\\ 1/4 & 1/4 & 1/5 & 1 & 1/3 & 1/3\\ 1 & 1 & 1/3 & 3 & 4 & 1/3\\ 2 & 2 & 2 & 3 & 3 & 4\end{bmatrix}$$

根据公式 (3)和 (4)得到每组判断矩阵的权重和一致性检验系数 (CR), 结果见表 3. 从中可以看出, 每组权重的 CR值都小于 0.1, 说明这些结果都是合理的. 根据公式 (5) ~ (8), 计算得到铁山镇人

表 3　铁山镇人工生态系统可持续性评价指标的权重

Table 3　Indicator weights for artificial ecosystems of Tieshan town

判断矩阵	指标权重						一致性检验 CR
	W_1	W_2	W_3	W_4	W_5	W_6	
K	0.26	0.41	0.33				0.078
W_1	0.20	0.17	0.34	0.29			0.022
W_2	0.04	0.36	0.07	0.17	0.21	0.15	0.063
W_3	0.16	0.18	0.19	0.05	0.12	0.29	0.057

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

工生态系统的发展度指数为 0.701; 协调度指数为 0.966 说明铁山镇可持续发展系统内部人口、社会、经济系统发展达到了一定的规模, 并且各子系统之间相互配合, 协调发展.

3.3 自然生态系统可持续性评价

结合铁山镇的实际情况, 将自然生态系统的瓶颈要素分为资源和环境两大类, 构建评价指标体系见表 4 资源要素的需求量、供给量以及环境要素的现状数据来自《龙岩市新罗区铁山镇可持续发展实验区建设规划 (2007)》和实地调查结果. 环境标准参考国家《大气环境质量标准 GB3095-82》《地表水环境质量标准 GB3838-2002》和《土壤环境质量标准 GB15618-1995》中的 2级标准制定. 根据公式 (9) 和 (10)计算资源和环境要素的瓶颈指数, 结果见表 4 可见, 水环境要素的瓶颈指数最大, 为 0.60 根据公式 (11)得到铁山镇自然生态系统的支撑度指数为 0.40, 说明当地可持续发展建设面临着资源和环境要素的制约作用. 从资源要素来看, 土地资源和淡水资源相对不足, 矿山资源处于富余状态, 具有极强的支撑能力. 通过土地资源向集约型利用转变和跨流域引水可以满足城镇供需平衡, 未来瓶颈制约状态可逐步缓解. 从环境要素来看, 水环境污染是最重要的瓶颈因素, 土壤环境也受到一定程度的污染, 显著地制约铁山镇整体可持续发展水平.

表 4 铁山镇资源、环境要素瓶颈指数

Table 4 Bottleneck index of resource and environment elements in Tieshan town

指标类型	指标名称及单位	需求	供给	瓶颈指数
资源要素		资源需求量	资源供给量	
水资源	人均水资源 /(吨·人$^{-1}$)	440.0	252.7	0.43
土地资源	耕地面积 /亩	20437	9963	0.51
森林资源	森林覆盖率	63%	78%	0.00
矿产资源	人均煤炭量 /(吨·人$^{-1}$)	1.3	66.7	0.00
环境要素		环境现状	环境标准	
大气环境	大气环境质量 等级	2	2	0.00
水环境	地表水质量 等级	5	2	0.60
土壤环境	土壤环境质量 等级	3	2	0.33

3.4 铁山镇综合可持续性评价结果

根据公式 (12)得到铁山镇城镇发展的综合可持续性为 0.617, 见表 5 按照表 1中可持续性等级划分方法, 铁山镇属于中等可持续水平. 从表 5可以看出, 铁山镇生态系统发展的运行状态尚佳, 其中人工生态系统的发展度和协调度较高, 自然生态系统的支撑力度较低. 为实现铁山镇的可持续发展, 应因地制宜进行水污染治理和环境保护, 调整矿产资源利用结构, 废弃物的资源化利用, 建立环境友好型产业.

表 5 铁山镇可持续性评价结果

Table 5 Results of sustainability assessment of Tieshan town

发展度	协调度	支撑度	综合可持续性	可持续性等级
0.701	0.966	0.400	0.617	中等可持续

4 讨论 (Discussion)

1)本文指标选取在理论上应涵盖影响城镇可持续发展的各个方面. 然而, 在本文的案例分析中, 由于受到数据的限制, 评价指标仅包含人口、社会、经济、资源和环境 5个方面, 尚缺乏交通扩张、外商投资、基础设施建设以及产业政策等方面的指标. 另外, 本文在指标临界值的确定上过于主观, 致使人工生态系统可持续性的评价结果偏高.

2)本文计算得到的城镇发展可持续性仅是静态的结果, 无法体现城镇发展的动态变化过程和趋势. 未来应及时对数据进行更新和跟踪分析调查, 建立城镇可持续发展的纵向数据库. 另外, "可持续发展"的内涵也是不断变化的, 对于不同的发展阶段, 人口、经济、社会、资源和环境子系统对城镇可持续发展的影响会产生变化, 应及时调整指标体系及权重组合.

5 结论 (Conclusions)

1)本文构建的 3个描述性指标都具有很强的操作性, 便于决策者快速、直观地发现城镇发展过程中存在的问题, 对于经济快速发展地区的城镇可持续性评价, 以及区域生态环境保护工作具有现实的指导意义. 发展度是针对社会经济系统发展程度

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

的指标, 发展度越高表示社会经济发展水平越高; 协调度针对社会经济发展的方向, 个别子系统的发展不均衡会导致整个系统相对最适发展方向的偏离, 协调度越高说明子系统之间的发展越均衡; 支撑度是相对自然生态系统而言的, 支撑度越高代表资源和环境要素对城镇发展的服务功能越强. 本文构建的评价方法适用于同一区域, 不同城镇间可持续发展水平的比较. 例如处在同一省份或同一流域的, 具有类似社会经济背景的一组城镇, 可以通过制定相同的评价指标和目标值, 比较可持续发展能力在城镇间的区域差异.

2)案例分析结果表明, 该模型的评价结果与铁山镇发展的客观实际相符, 具有一定的合理性. 铁山镇作为矿产资源丰富、临近中心城区的城镇, 其经济、社会发展水平较高, 各子系统发展较为均衡. 但是, 当地环境污染问题严重, 水环境污染是当地实现可持续发展的主要制约因素.

参考文献 (**References**):

Button K. 2002. City management and urban environmental indicators [J]. Ecological Economics, 40: 217—233

Cheng J Q, Turkstra J, Peng M J, *et al*. 2006. Urban land administration and planning in China: opportunities and constraints of spatial data models [J]. Land Use Policy, 23: 604—616

Fairweather P G. 1999. Determining the 'health' of estuaries: priorities for ecological research [J]. Australian Journal of Ecology, 24(4): 441—448

葛大兵, 吴小玲, 邹冬生. 2006. 生态示范区可持续性评价——以湖南省绥宁县生态示范区为例 [J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 32(6): 637—640

Ge D B, Wu X L, Zhou D S. 2006. Evaluation of the sustainability of ecological demonstration zones-Suining County of Hunan Province as an example [J]. Hunan Agricultural University (Natural Science), 32(6): 637—640 (in Chinese)

国家统计局. 2007. 中国统计年鉴(2007) [M]. 北京: 中国统计出版社, 104—105

National Bureau of Statistics. 2007. China Statistical Yearbook (2007) [M]. Beijing: China Statistics Press, 104—105(in Chinese)

Inamdar A, Jode H, Lindsay K, *et al*. 1999. Capitalizing on nature: Protected area management [J]. Science, 283(5409): 1856—1857

Haughton G. 1997. Developing sustainable urban development models [J]. Cities, 14(4): 189—195

胡廷兰, 何孟常, 杨志峰. 2004. 城市生态支持系统瓶颈分析方法及应用研究 [J]. 生态学报, 24(7): 1493—1499

Hu T L, He M C, Yang Z F. 2004. Research on bottlenecks in the city's ecological support system and its application [J]. Acta Ecologica Sinica, 24(7): 1493—1499 (in Chinese)

Huang S L, Wong J H, Chen T C. 1998. A framework of indicator system for measuring Taipei's urban sustainability [J]. Landscape and Urban Planning, 42: 15—27

Jorgensen S E. 2006. Eco-energy as sustainability [M]. Southampton: WIT Press

李锋, 刘旭升, 胡聃, 等. 2007. 城市可持续发展评价方法及其应用 [J]. 生态学报, 27(11): 4793—4802

Li F, Liu X S, Hu D, *et al*. 2007. Evaluation of urban sustainable development and its application [J]. Acta Ecologica Sinica, 27(11): 4793—4802 (in Chinese)

李泽红, 董锁成, 汤尚颖, 等. 2008. 基于生态足迹模型的石嘴山市生态经济可持续性评价 [J]. 中国地质大学学报(社会科学版), 8(3): 41—45

Li Z H, Dong S C, Tang S Y, *et al*. 2008. Based on the ecological footprint model of the city of Shizuishan evaluation of the ecological and economic sustainability [J]. Journal of Geosciences University of China (Social Science), 8(3): 41—45 (in Chinese)

李金平, 陈鹏飞, 王志石. 2006. 城市环境经济能值综合和可持续性分析 [J]. 生态学报, 26(2): 439—448

Li J P, Chen P F, Wang Z S. 2006. Integrated energy value of urban economy and environment and sustainability analysis [J]. Acta Ecologica Sinica, 26(2): 439—448 (in Chinese)

刘海清. 2008. 兰州市生态经济系统能值分析及其可持续性评价 [J]. 干旱区资源与环境, 22(5): 15—19

Liu H Q. 2008. Analysis on energy value of Lanzhou eco-economic system and its sustainability assessment [J]. Arid Resources and Environment, 22(5): 15—19 (in Chinese)

历红梅. 2004. 可持续发展多目标综合评价方法的研究 [J]. 中国环境科学, 24(3): 367—371

Li H M. 2004. multi-objective evaluation method of Sustainable development[J]. China Environmental Science, 24(3): 367—371 (in Chinese)

Lee Y J, Huang C M. 2007. Sustainability index for Taipei [J]. Environmental Impact Assessment Review, 27: 505—521

Meine P D, Zhang M S. 2005. Sustainability indices as a tool for urban managers: evidence from four medium-sized Chinese cities [J]. Environmental Impact Assessment Review, 25: 667—688

Nichol J, Wong M S. 2005. Modeling urban environmental quality in a tropical city[J]. Landscape and Urban Planning, 73: 49—58

彭胜潮, 刘卓澄. 2004. 城市生态可持续发展规划 [M]. 北京: 科学出版社

Peng S C, Liu Z C. 2004. Sustainable Development Planning of Urban Ecology[M]. Beijing: Science Press(in Chinese)

Repetti A, Desthieux G. 2006. A relational indicator set model for urban land-use planning and management methodological approach and application in two case studies[J]. Landscape And Urban Planning, 77: 196—215

Riley J. 2001. Indicator quality for assessment of impact of multidisciplinary systems [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 87: 121—128

Saaty T L. 2008. Decision making with the analytic hierarchy process [J]. International Journal of Services Sciences, 1(1): 83—98

UN-Habitat. 2006. State of the World's Cities 2006/7: The Millennium

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Development Goals and Urban Sustainability—30 Years of Shaping the Habitat Agenda [M]. London and Nairobi: UN-Habitat and Earthscan, 1—15

王如松, 徐洪喜. 2005. 扬州生态市建设规划方法研究 [M]. 北京: 中国科学技术出版社

Wang R S, Xu H X. 2005. A comprehensive approach for Yangzhou eco-city development[M]. Beijing: China Science and Technology Press (in Chinese)

王浩, 霍文冕. 2008. 兰州市城市生态支持系统研究 [J]. 安徽农业科学, 36(8): 3304—3306

Wang H, Huo W M. 2008. Study on the urban ecological supporting system of Lanzhou city[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 36(8): 3304—3306

许学强, 张俊军. 2001. 广州城市可持续发展的综合评价 [J]. 地理学报, 56(1): 54—63

Xu X Q, Zhang J J. 2001. Guangzhou city comprehensive evaluation of sustainable development [J]. Journal of Geographical Sciences, 56(1): 54—63(in Chinese)

邢美华, 黄光体, 张俊飚. 2008. 基于灰色系统方法的湖北省森林资源可持续性评价[J]. 林业调查规划, 33(2): 52—57

Xing M H, Huang G T, Zhang J B. 2008. Evaluation on sustainability of forest resources in Hubei Province based on the method for grey system[J]. Forest Inventory and Planning, 33(2): 52—57

叶文虎. 1997. 联合国可持续发展指标述评[J]. 中国人口·资源与环境, 7(3): 83—87

Ye W H. 1997. Review on sustainable development indicators of the United Nations Commission [J]. China Population Resources and Environment, 7(3): 83—87 (in Chinese)

章牧, 朱鹤健. 2001. 福建省农业生产系统可持续评价指标体系研究 [J]. 福建师范大学学报(自然科学版), 17(2): 92—98

Zhang M, Zhu H J. 2001. Research on assessment indicator system of Fujian sustainable agricultural production [J]. Fujian Normal University (Natural Science), 17(2): 92—98 (in Chinese)

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net