

可持续发展的综合评价模型及其应用

——基于“两型社会”建设的视角

张陶新

(湖南工业大学, 湖南 株洲 412008)

摘要: 在体现“两型社会”建设战略思想的基础上, 兼顾中部区域发展系统的特性和现有的数据基础, 构建了中部区域可持续发展的指标体系, 提出了可持续发展的模糊层次分析模型, 选取中部6省为模型应用的具体实例, 说明了模型的应用。

关键词: 可持续发展; 模糊层次分析; 模型

中图分类号: O29

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2009)06-0056-05

Comprehensive Evaluation Model for Sustainable Development and Its Application

——Based on the “Two Types Social” Construction Perspective

Zhang Taoxin

(Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412008, China)

Abstract: On the basis of the expression of “two-type social” construction strategic thinking and taking into account the characteristics of the central region development system and the existing data base, develops the central regional sustainable development indicators system, and proposes fuzzy hierarchical analysis model of sustainable development. Selects 6 central provinces as specific examples to illustrate the application of the model.

Keywords: sustainable development; fuzzy analytical hierarchy process; model

0 引言

可持续发展作为一种新的发展观, 最基本的要点一是强调人类在追求健康而富有生产成果的生活权利时, 应当坚持其与自然保持和谐的关系; 二是强调当代人在创造和追求今世发展与消费的时候应承认并努力做到使自己的机会与后代人的机会相平等。中国经济社会可持续发展的核心任务就是建设“两型社会”(即资源节约型和环境友好型社会), 建设“两型社会”的目的就是要提高资源利用效率、减少污染物排放, 实现可持续发展^[1]。对可持续发展的状态和程度进行测度是人们普遍关注的热点问题^[2-4]。可持续发展的测

度包含2个核心内容, 即可持续发展指标体系和评价方法。虽然学者们已经提出了建立指标体系框架的较为成熟的方法^[5], 就指标问题也提出了一些基本原则^[6]和指标选取的方法^[7], 但目前国际上还无一套成熟的、被广泛接受的区域可持续发展指标体系。国内外学者已提出的较为常用的评价方法有: 专家调查法、层次分析法、模糊综合评价法、熵值法、因子分析法、主成分分析法、聚类分析法、综合指数法等, 这些方法各有利弊, 对同一批次的评价对象使用不同的评价方法经常会得到不同的评价结果^[8]。为了解决该问题, 减少评价过程中的随机误差和系统偏差, 本文将层次

收稿日期: 2009-08-31

基金项目: 湖南省教育厅科研基金资助项目(06C088)

作者简介: 张陶新(1964-), 男, 湖南华容人, 湖南工业大学研究员, 硕士, 主要研究方向为数理经济,

E-mail: taoxinzhang108@sina.com

分析法与模糊综合评判法进行有机结合，将评价指标体系分成递阶层次结构，将主观赋权与客观赋权方法结合起来确定权值，分层次进行模糊综合评判，最后综合出总的评价结果，这就缩小了主观认识和客观实际的差距，使模糊层次分析法更具科学性和可操作性。本文从系统观念出发，从建设资源节约型和环境友好型社会角度，力图克服已有可持续发展测度方法的不足，为全面真实测度中部区域可持续发展，构建一种可持续发展评价指标体系与评价的数学模型。

1 可持续发展指标体系模型

可持续发展指标体系根据空间尺度的不同可分为全球、国家和区域可持续发展等多个层次，国际上具

代表性的有人类发展指数、生态足迹等。中国科学院可持续发展战略研究组设计的国家层面的指标体系既体现了可持续发展的本质和内涵，也体现了“两型社会”建设的战略思想。但是，该指标体系的指标过于庞大，有些指标的可测性较差，而且有些指标出现交叉重复^[9]。本文在体现“两型社会”建设战略思想的基础上，兼顾中部区域发展系统的特性和现有的数据基础，遵循完备性、客观性、独立性、可测性、数据可获得性、动态性6个原则，参考已有的可持续发展评价指标体系^[1,9]，运用模糊层次分析法，兼顾中部区域发展系统的特性和现有的数据基础，构建了符合区情的中部区域可持续发展评价指标体系，如图1所示。

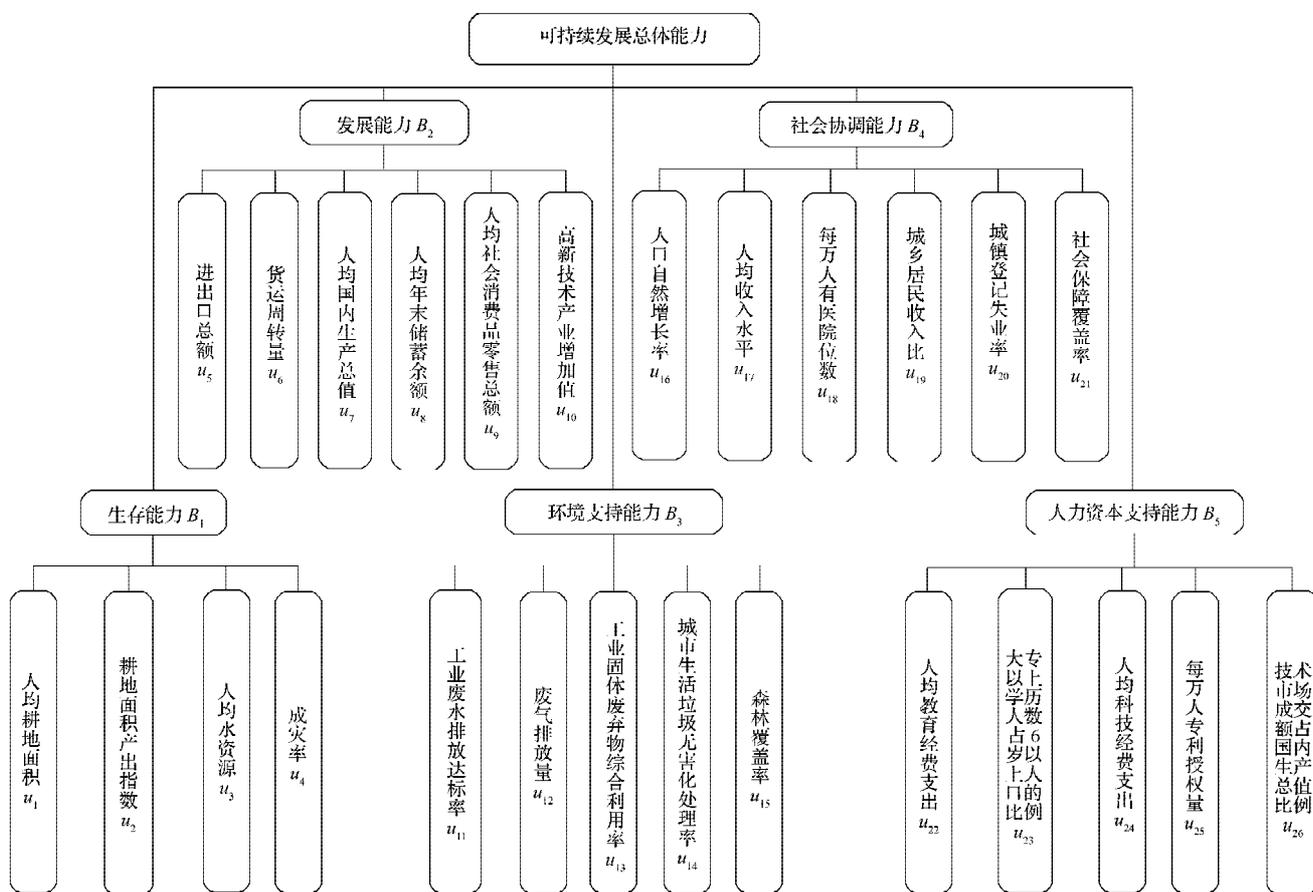


图 1 中部区域可持续发展综合测度指标体系

Figure 1 Comprehensive evaluation index system of Central China sustainable development

2 可持续发展评价的数学模型

设评价集 $Y = \{y_1, \dots, y_n\}$ ，其中 y_1, \dots, y_n 表示需要进行可持续发展评价的各省市。为了评价各个区域可持续发展的总体能力，首先要确定每个评价因素的相对重要性，也就是要求出每个评价因素的权重之比，然后求出子目标 B 层的单层排序权值向量 W ，以及因素层各因素 u_1, u_2, \dots, u_{26} 。

为了求单层排序权值向量，首先建立模糊判断矩阵。设子目标层 B 中 B_k 与指标因素层 U 中的 u_1, u_2, \dots, u_m 元素有关联（例如图1中 u_1, u_2, u_3, u_4 都与 B_1 有关联，而其余 $u_i (i=5, \dots, 26)$ 与 B_1 没有关联），则模糊判断矩阵可表示为： $R_k = (r_{ij})_{m \times m}$ ， $k=1, 2, 3, 4, 5$ ，其中 r_{ij} 表示元素 u_i 与元素 u_j 相对于元素 B_k 进行比较时的相对权重，本文 r_{ij} 值的确定方法是将评估指标体系和各指标因素相对重要性制成两两比较表后分发给有关专

家。本文根据表1的数量标度,确定15位专家(分别来自于从事可持续发展研究的学者及有关政府官员)填写的两两比较表的数量值,并对同一指标的数量值

计算其加权平均值,得到 r_{ij} 的值,从而得到模糊判断矩阵 $R=(r_{ij})_{m \times m}$ 。

表1 数量标度
Table 1 Scale of number

标度	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.1~0.4
标定	同等重要	稍微重要	明显重要	重要得多	极端重要	反比较,若元素 u_i 与元素 u_j 相比较得判断 r_{ij} ,则元素 u_j 与元素 u_i 相比较得的判断 $r_{ji}=1-r_{ij}$

类似地建立目标 A 与子目标层 B 的模糊判断矩阵 R_0 。根据公式^[11]

$$W = \frac{1}{n(n-1)} \left(2 \sum_{j=1}^n r_{ij} - 1 \right), \quad (1)$$

求得子目标层 B 层的单层排序权值向量 $W=(0.270, 0.200, 0.195, 0.155, 0.180)$,以及指标因素层各因素对于 B_j 的单层排序权值向量 W_j ($j=1, 2, 3, 4, 5$):

$$\begin{aligned} W_1 &= (0.30, 0.25, 0.25, 0.20); \\ W_2 &= (0.198, 0.166, 0.174, 0.170, 0.146, 0.146); \\ W_3 &= (0.243, 0.183, 0.178, 0.198, 0.198); \\ W_4 &= (0.19, 0.166, 0.14, 0.17, 0.174, 0.16); \\ W_5 &= (0.269, 0.174, 0.184, 0.164, 0.209). \end{aligned}$$

为了在总体上进行可持续发展水平的动态对比和区域间的对比,深入刻画可持续发展系统的本质特征,本文利用模糊隶属度函数,将原始数据进行无量纲化处理。对于正指标(其数值的大小与可持续发展水平成正比的指标,如人均国内生产总值),采用半升梯形模糊隶属度函数进行量化:

$$d_{ij} = \frac{x_{ij} - m_{ij}}{M_{ij} - m_{ij}}, \quad (2)$$

对于逆指标(其数值的大小与可持续发展水平成反比的指标),采用半降梯形模糊隶属度函数进行量化:

$$d_{ij} = \frac{M_{ij} - x_{ij}}{M_{ij} - m_{ij}}, \quad (3)$$

其中: x_{ij} 为第 i 区域的第 j 个指标值($i=1, 2, \dots, 6; j=1, 2, \dots, 26$),其数值可从统计年鉴得到;

M_{ij} 和 m_{ij} 分别表示同一时期各区域统一指标(第 j 个指标)中的最大值和最小值;

d_{ij} 为第 i 区域的第 j 个指标的隶属度,其值介于0~1之间。

这样就得到了第 i 区域可持续发展的模糊评判矩阵 $D_{ik}=(d_{ij})_{m \times 1}$,其中 $k=1, 2, 3, 4, 5$ 是子目标层的数目, m 为指标因素层因素数目。因此,第 i 区域可持续发展的综合评价模型为:

$$\begin{aligned} A_i &= W \circ D_i = \\ & W \circ (W_1 \circ D_{i1}, W_2 \circ D_{i2}, W_3 \circ D_{i3}, W_4 \circ D_{i4}, W_5 \circ D_{i5})^T, \end{aligned} \quad (4)$$

其中算子“ \circ ”取普通矩阵乘法。

将可持续发展综合能力分为4级,指标区域分为优良、较好、一般、较差4个区域,分别代表可持续发展能力由强变弱的状况,参照国内外的一般标准,制定可持续发展综合能力分级标准如表2。

表2 可持续发展综合能力分级标准

Table 2 Classification criterion of sustainable development ability

等级	指标评价数值	可持续发展能力定性评价
I	>0.75	优良
II	0.50~0.75	较好
III	0.25~0.50	一般
IV	<0.25	较差

3 应用实例

本文选取湖南、湖北、江西、河南、安徽、山西6省作为本模型应用的具体实例。根据统计数据,对中部地区2007年的可持续发展状况进行综合评价。相关的统计数据及利用无量纲化公式(2)和(3)标准化后的结果见表3。

由表3可知,对于山西省来说,

$$\begin{aligned} D_{11} &= (1, 0, 0, 1), \\ D_{12} &= (0.5475, 0.4746, 1, 1, 0.5560, 0), \\ D_{13} &= (0, 0, 0.3, 0, 0), \\ D_{14} &= (0.5489, 0.7416, 1, 0, 1, 0.7010), \\ D_{15} &= (1, 0.4766, 1, 0.1739, 0). \end{aligned}$$

因此,根据公式(4)可算得山西省子目标层的评价值,以及可持续发展能力综合评价值:

$$\begin{aligned} W_1 \circ D_{11} &= (0.30, 0.25, 0.25, 0.20)(0, 0, 0.3, 0, 0)^T = 0.5, \\ W_2 \circ D_{12} &= (0.198, 0.166, 0.174, 0.170, 0.146, 0.146) \cdot \\ & (0.5475, 0.4746, 1, 1, 0.5560, 0)^T = 0.6124, \end{aligned}$$

同样地 $W_3 \circ D_{13} = 0.0534$,

$$W_4 \circ D_{14} = 0.6536,$$

$$W_5 \circ D_{15} = 0.5644,$$

从而 $D_1 = (0.5, 0.6124, 0.0534, 0.6536, 0.5644)$,

$$A_1 = W \circ D_1 = (0.270, 0.200, 0.195, 0.155, 0.180)(0.5, 0.6124, 0.0534, 0.6536, 0.5644)^T = 0.4708。$$

类似地可求得其它5省子目标层的评价值以及可持续发展能力综合评价值,见表4。

表3 各省指标原始值及标准化值

Table 3 Original value and standardization value of index of central china sustainable development

省份	指标层指标													
	$u_1/(\text{hm}^2 \cdot \text{人}^{-1})$		$u_2/(\text{万元} \cdot \text{hm}^{-2})$		$u_3/(\text{m}^3 \cdot \text{人}^{-1})$		$u_4/\%$		$u_5/\text{万美元}$		$u_6/(\text{亿t} \cdot \text{km}^{-1})$		$u_7/\text{元}$	
	指标	隶属度	指标	隶属度	指标	隶属度	指标	隶属度	指标	隶属度	指标	隶属度	指标	隶属度
山西	0.119 5	1	0.795 8	0	305.6	0	36.0	1	562 048	0.547 5	1 839.7	0.474 6	16 945	1
安徽	0.093 6	0.567 6	1.840 0	0.4202	1 165.3	0.3819	53.4	0.4511	726 111	0.9931	1 988.7	0.5619	12 045	0
江西	0.064 7	0.085 1	2.197 9	0.564 2	2 556.5	1	45.3	0.706 6	484 917	0.338 1	1 029.1	0	12 633	0.120 0
河南	0.084 7	0.419 0	2.844 4	0.824 3	496.1	0.084 6	45.7	0.694 0	510 753	0.408 2	2 736.9	1	16 012	0.809 6
湖北	0.081 8	0.370 6	2.470 5	0.673 9	1 782.1	0.656 0	43.1	0.776 0	728 668	1	1 644.7	0.360 5	16 206	0.849 2
湖南	0.059 6	0	3.281 0	1	2 247.1	0.862 5	67.7	0	360 417	0	1 922.3	0.523 0	14 492	0.499 4

省份	$u_8/(\text{元} \cdot \text{人}^{-1})$		$u_9/(\text{元} \cdot \text{人}^{-1})$		$u_{10}/\text{亿元}$		$u_{11}/\%$		$u_{12}/\text{万t}$		$u_{13}/\%$		$u_{14}/\%$	
	指标	隶属度	指标	隶属度	指标	隶属度	指标	隶属度	指标	隶属度	指标	隶属度	指标	隶属度
	山西	15 981	1	5 641	0.556 0	37.06	0	88.23	0	21 429	0	46.06	0.3	38.2
安徽	7 431	0	3 929	0.0236	73.23	0.2038	94.77	1	13 254	0.5334	76.95	1	49.1	0.337 5
江西	7 694	0.030 8	3 853	0	106.95	0.3937	93.89	0.865 4	6 103	1	32.82	0	70.5	1
河南	8 346	0.107 0	4 912	0.329 3	159.15	0.687 8	94.03	0.886 9	18 890	0.165 7	63.15	0.687 2	54.9	0.517 0
湖北	9 529	0.245 4	7 069	1	214.56	1	93.64	0.827 2	10 373	0.721 4	66.4	0.760 9	41.9	0.114 6
湖南	8 374	0.110 3	5 138	0.299 6	84.38	0.266 6	89.83	0.244 6	8 762	0.826 5	63.61	0.697 7	52.8	0.452 0

省份	$u_{15}/\%$		$u_{16}/\%$		$u_{17}/(\text{元} \cdot \text{人}^{-1})$		$u_{18}/\text{张}$		u_{19}		$u_{20}/\%$		$u_{21}/\%$	
	指标	隶属度	指标	隶属度	指标	隶属度	指标	隶属度	指标	隶属度	指标	隶属度	指标	隶属度
	山西	13.29	0	5.33	0.548 9	7 144	0.741 6	32.05	1	3.154	0	3.2	1	23.1
安徽	24.03	0.252 3	6.35	0.327 5	7 846	1	22.82	0.106 5	2.065	1	4.1	0.181 8	22.2	0.608 2
江西	55.86	1	7.87	0	6 993	0.686 1	25.59	0.374 6	2.831	0.296 6	3.4	0.818 2	26.0	1
河南	16.19	0.074 0	4.94	0.631 5	6 509	0.507 9	21.72	0	2.980	0.159 8	3.4	0.818 2	16.3	0
湖北	26.77	0.316 7	3.23	1	5 129	0	26.43	0.456 0	2.873	0.258 0	4.2	0.090 9	24.7	0.866 0
湖南	40.63	0.624 4	5.25	0.564 7	7 298	0.798 3	27.13	0.523 7	3.149	0.004 6	4.3	0	18.4	0.216 5

省份	$u_{22}/(\text{元} \cdot \text{人}^{-1})$		$u_{23}/\%$		$u_{24}/(\text{元} \cdot \text{人}^{-1})$		$u_{25}/\text{件}$		$u_{26}/\%$	
	指标	隶属度	指标	隶属度	指标	隶属度	指标	隶属度	指标	隶属度
	山西	648	1	7.19	0.476 6	465	1	0.59	0.173 9	0.144
安徽	454	0.093 2	3.93	0	320	0.487 6	0.56	0.130 4	0.359	0.509 5
江西	507	0.340 2	7.22	0.481 0	182	0	0.47	0	0.181	0.088 9
河南	434	0	10.77	1	236	0.190 8	0.75	0.405 8	0.174	0.071 2
湖北	510	0.354 1	8.16	0.618 4	380	0.706 7	1.16	1	0.566	1
湖南	525	0.424 0	6.17	0.327 5	233	0.180 2	0.89	0.608 7	0.501	0.846 0

注：表中数据来源于2008年的《中国统计年鉴》、《中国高技术产业统计年鉴》和《中国劳动统计年鉴》，其中社会保障覆盖率=养老保险覆盖率×0.4+医疗保险覆盖率×0.3+失业保险覆盖率×0.2。

表4 各省可持续发展能力综合评价

Table 4 Evaluation of Central China sustainable development ability

省份	子目标层指标的隶属度 d_{ij}					可持续发展能力综合评价
	生存能力	发展能力	环境支持能力	社会协调能力	人力资本支持能力	
山西	0.500 0	0.612 4	0.053 4	0.653 6	0.564 4	0.470 8
安徽	0.461 0	0.323 1	0.635 4	0.542 1	0.242 7	0.440 7
江西	0.557 4	0.150 5	0.789 3	0.519 1	0.193 8	0.449 9
河南	0.491 7	0.554 4	0.485 2	0.373 8	0.290 5	0.448 5
湖北	0.598 9	0.739 3	0.553 9	0.452 1	0.705 9	0.614 7
湖南	0.465 6	0.275 1	0.548 0	0.348 6	0.480 8	0.428 2

由表4可知，从生存能力来看，山西省、江西省和湖北省处于较好状态的II级水平，安徽省、河南省和湖南省属于一般状态的III级水平；从发展能力来看，山西省、河南省和湖北省处于较好状态的II级水平，安徽省和湖南省属于一般状态的III级水平，而江

西省处于较差状态的IV级水平；从环境支持能力来看，江西省处于优良状态的I级水平，安徽省、湖北省和湖南省处于较好状态的II级水平，河南省属于一般状态的III级水平，山西省处于较差状态的IV级水平；从社会协调能力来看，山西省、安徽省和江西省

处于较好状态的 II 级水平,河南省、湖北省和湖南省属于一般状态的 III 级水平;从人力资本支持能力来看,山西省和湖北省处于较好状态的 II 级水平,河南省和湖南省属于一般状态的 III 级水平,而安徽省和江西省处于较差状态的 IV 级水平。

从表 4 还可以看出,湖北省可持续发展综合能力位列中部 6 省首位,发展能力和人力资本支持能力较强,主要应加强社会协调能力建设;山西省可持续发展综合能力位列中部 6 省第 2,应发挥社会协调能力较好的优势,加强环境治理以提高环境治理能力;江西省可持续发展综合能力位列中部 6 省第 3,应发挥环境支持能力优良的优势,着力加强人力资本支持能力的建设;河南省可持续发展综合能力位列中部 6 省第 4,安徽省排中部 6 省可持续发展能力第 5,应加强人力资本支持能力的建设;湖南省位于中部 6 省第 6,各方面不是很突出,主要应加强发展能力建设,其次还要加强社会协调能力建设。

4 结语

本文基于建设“两型社会”的战略思想,运用模糊层次分析法,构建适合于中部地区的可持续发展综合测度的数学模型,本文的测度方法避免了单一评价法的局限,特别是对各指标权值的确定,避免了单一的主观或客观赋权所产生的偏差。作为一个实例,对 2007 年中部 6 省可持续发展状况进行了测度。需要指出的是,本文仅是对中部 6 省内部的比较,测度的结果只是反映了中部 6 省可持续发展中的内部优势与劣势,其结果与放在国家层次中去测度的结果会有所差异,这是应用中应注意的。

参考文献:

- [1] 中国科学院可持续发展战略研究组. 中国可持续发展战略报告[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
Sustianable Development Strategic Research Group of Chinese Academy of Sciences. China Sustianable Development Strategy Report[M]. Beijing: Science Publishing, 2006.
- [2] Colvile R N, Kaur S, Britter R, et al. Sustainable Development of Urban Transport Systems and Human Exposure to Air Pollution[J]. Science of the Total Environment, 2004, 3342335: 4812487.
- [3] 李 锋, 刘旭升, 胡 聘, 等. 城市可持续发展评价方法及其应用[J]. 生态学报, 2007(11): 4793-4802.
Li Feng, Liu Xusheng, Hu Dan, et al. Evaluation Method and Its Application for Urban Sustainable Development[J]. Acta Ecologica Sinica, 2007(11): 4793-4802.
- [4] 苏振民, 林炳耀. 城市可持续发展度及其相态的量化分析[J]. 地域研究与开发, 2006, 25(1): 10-12.
Su Zhenmin, Lin Bingyao. Quantitative Analysis on Urban Sustainable Development Degree and Its Phase States[J]. Areal Research and Development, 2006, 25(1): 10-12.
- [5] Peter Hardiand Stephan Barg. Measuring Sustainable Development: Review of Current Practice[J]. Occasional Paper, 1997(17): 1-51.
- [6] Adrián Barrera-Roldán. Proposal and Application of a Sustainable Development Index[J]. Ecological Indicators, 2002(2): 251-256.
- [7] Bell Simon Stephen. Experiences with Sustainability Indicators and Stakeholder Participation: A Case Study Relating to a 'Blue Plan' Project in Malta[J]. Sustainable Development Dev., 2004(12): 1-14.
- [8] 乔家君, 许叔明. 区域可持续发展度量方法比较分析[J]. 地域研究与开发, 2003, 22(4): 9-12.
Qiao Jiajun, Xu Shuming. The Assessing Method of Comparison of Regional Sustainable Development[J]. Areal Research and Evelopment, 2003, 22(4): 9-12.
- [9] 郑 锋. 可持续城市理论与实践[M]. 北京: 人民出版社, 2005.
Zheng Feng. A Research on Sustainable Urban Development [M]. Beijing: People Press, 2005.
- [10] 张陶新. 融资租赁合同风险评估的模型和算法[J]. 湘潭大学自然科学学报, 2003(3): 14-16.
Zhang Taoxin. Model Algorithm to Evaluate the Risk of Financial Lease Contract[J]. Natural Science Journal of Xiangtan University, 2003(3): 14-16.
- [11] 吕跃进. 基于模糊一致矩阵的模糊层次分析法的排序[J]. 模糊系统与数学, 2002, 16(2): 79-85.
Lv Yuejin. Weight Calculation Method of Fuzzy Analytical Hierarchy Process[J]. Fuzzy Systems and Mathematics, 2002, 16(2): 79-85.

(责任编辑: 张亦静)