

基于压力—状态—响应模型的榆林市 可持续发展评价及预测

冯惠娟, 杨海娟

(西北大学 城市与环境学院, 陕西 西安 710127)

摘要: 选取国家能源重化工基地陕西省榆林市为研究区,应用“压力—状态—响应”(PSR)模型构建了榆林市可持续发展综合评价指标体系,运用基于熵值法的可持续发展模糊综合评价法对榆林市 1996—2010 年可持续发展状况进行了评估分析。利用系统协调度来衡量 PSR 系统协调性,并采用灰色系统预测模型 GM(1,1)对榆林市未来 10 a 的可持续发展状况进行了预测。结果显示:(1) 1996—2010 年榆林市可持续发展综合评价值从 1996 年的 0.109 8 增长至 2010 年的 0.672 2,可持续发展水平在不断提高,但总体水平比较低。(2) 榆林市可持续发展系统协调度呈上升趋势,系统总体协调性较好。(3) 基于现状响应的预测,2011—2020 年榆林市可持续发展综合评价值持续上升,至 2020 年达到 1.434 5,将进入可持续发展阶段。

关键词: 可持续发展; 榆林市; PSR 模型; 灰色系统预测

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)04-0064-06

中图分类号: X171.1

Sustainable Development of Yulin City and Its Evaluation and Forecast by Pressure—State—Response Model

FENG Hui-juan, YANG Hai-juan

(College of Urban and Environment, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710127, China)

Abstract: A regional evaluation index system of sustainable development for Yulin City, the state base of energy and heavy chemical industry, was established using PSR model (pressure—state—responses), the sustainable development of Yulin City during the period of 1996—2010 was analyzed and evaluated with the method of fuzzy comprehensive evaluation, the PSR coordination character for Yulin City was valued with the system coordination index and the future sustainable development in 10 years was forecasted using grey system budget model GM(1,1). The results indicated that: (1) Since 1996, the sustainable development of Yulin City had been improved remarkably with the comprehensive evaluation value of sustainable development increased from 0.109 8 to 0.672 2 though it was still low in 2010; (2) The sustainable development system was in a good condition with the coordination degree on the up trend; (3) During 2010—2020 the comprehensive evaluation value of sustainable development would continue to increase and reach at 1.434 5 in 2020 when entering into a stage of sustainable development.

Keywords: sustainable development; Yulin City; pressure—state—response model; grey system model

随着人口的快速增长和社会经济的高速发展,全球性和区域性的环境问题不断加剧,人地矛盾日益突出,严重威胁着人类生存环境和经济社会的可持续发展。1987 年,联合国世界环境与发展委员会 (WECD) 提出可持续发展的概念,从此可持续发展这

一主题便成为国内外学者研究的重要课题之一。

20 世纪 80 年代到 90 年代中期,国内外关于城市可持续发展的研究以静态、定性研究为主,近几年则以城市可持续发展的定量评价研究,其主要侧重于农业、人口、环境承载力等具体方面。在可持续发展

收稿日期:2012-12-07

修回日期:2013-01-03

资助项目:国家自然科学基金项目“多元化利用方式下的农村生活能源消费行为与区域模式研究”(41101555)

作者简介:冯惠娟(1988—),女(汉族),陕西省榆林市人,硕士研究生,主要从事区域经济发展与土地利用规划方面研究。E-mail: fj880312@126.com。

通信作者:杨海娟(1965—),女(汉族),陕西省铜川市人,副教授,主要从事土地利用与规划、房地产估价等方面的研究。E-mail: xayhj@126.com。

理论研究方面具有代表性意义的有,国外学者 Daly^[1]提出了从环境影响、可再生资源的利用、人类产生的废物以及不可再生资源的利用这4方面测评可持续发展政策目标的标准。Odum^[2]则建立了能值理论与分析方法对可持续发展进行定量分析研究。在可持续发展评价方面,国外学者侧重于构建可持续发展评价指标体系框架,进行指标比较分析和计算。目前,国内学者对可持续发展研究则主要是在借鉴国外研究成果基础上不断创新改进,从经济学、生态学、地理学等方面进行研究。如一些学者^[3]引入生态经济学的能值分析方法,进行了区域水资源生态经济系统可持续发展评价;一些学者^[4]利用能值模型对农业生态系统演替及可持续性进行评估;有些学者^[5]则应用生态足迹思想方法,构建了生态足迹模型,对该地区地生态安全与可持续发展进行评估;彭建等学者^[6]从生态胁迫、生态系统健康和生态可持续能力3方面构建了一个具有鲜明生态意义的区域生态持续性评价概念模型。

榆林市是我国重要的能源化工基地,而且是国家可持续发展实验区,故选取榆林市作为研究区,利用“压力—状态—响应”(PSR)系统模型,结合榆林市的实际情况建立评价指标体系,应用模糊综合评判方法以及灰色系统预测方法对榆林市1996—2010年的可持续发展状况及其基于现状的发展趋势进行综合评价,以期为该市的可持续发展提出合理的政策建议,也为其他同类城市的可持续发展提供借鉴。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

榆林市位于陕西省最北部,地处陕甘宁蒙晋五省(区)交界接壤地带,地理坐标为 $36^{\circ}57'—39^{\circ}34'N$, $107^{\circ}28'—115^{\circ}15'E$ 。该市总面积 $43\,578\text{ km}^2$,气候属半湿润半干旱大陆性季风气候,气象灾害较多。该地区能源及矿产资源极其丰富,截至2011年,GDP总量达2 292.25亿元。但在经济快速发展的同时,由于区内煤炭、石油、天然气等能源的大规模开发,促使该区成为农牧与工矿的过渡带,加之榆林市地处毛乌素沙漠和黄土高原过渡地带,风蚀沙化和水土流失严重,基于多种因素的影响,促使其生态环境呈现出较大的脆弱性,严重制约了区域的可持续发展。因此,研究评价以资源开采为主导产业的榆林市可持续发展状况具有重要实践意义。

1.2 数据来源及处理

采用的数据主要来源于1996—2010年榆林市统

计年鉴,部分数据则来源于陕西省统计年鉴以及中国城市统计年鉴(1997—2011年)。由于不同变量具有不同的单位和不同的变异程度,为了消除量纲影响和变量自身变异大小和数值大小的影响,故采用极差法对数据进行标准化。

2 研究方法

2.1 PSR模型及指标体系构建

2.1.1 压力—状态—响应(PSR)模型 PSR模型是由经济合作发展组织(OECD)与联合国合作开发署(UNEP)在20世纪80年代末提出的一种用于评价资源利用和持续发展的模式,其中压力指标P用来表征造成不可持续发展的人类经济生产活动和消费模式,状态指标S用来表征可持续发展过程中的系统状态,响应指标R则用来表征人类为促进可持续发展进程所采取的响应对策^[6-8]。因其能够较好地反映自然、经济、社会之间相互作用的因果关系,从人类经济、社会、环境的相互作用与影响出发,进而对各个指标进行组织分类,具有较强的系统性,并可应用于不同的空间尺度和范畴,所以被普遍应用于各个领域^[9-10]。

2.1.2 指标体系及权重 参考国内外相关研究成果^[11-14],在科学性、完整性、目标性、可行性及数据可获得等原则指导下,结合榆林市的实际情况,运用PSR系统模型,以压力因子、状态因子和响应因子作为目标模块层,分别从经济、社会和资源环境三要素出发选取指标类,从而建立起榆林市可持续发展评价指标体系。指标权数的确定,最常见的方法主要有特尔菲法、熵值法和AHP法,由于熵值法受主观因素影响小,所以采用熵值法来确定各个指标权重^[15]。评价指标体系及各指标权重详见表1。

2.2 可持续发展水平模糊综合评价法

模糊综合评价法是一种运用模糊变换原理分析和评价模糊系统的方法,它是模糊推理为主的定性与定量相结合、精确与非精确相统一的分析评判方法^[16-17]。

(1) 确定评价指标集。该指标集可以产生如表1所示的2级评价指标体系:

$$X=(x_1, x_2, x_3)$$

其中, $x_i=(x_{m1}, x_{m2}, x_{m3})$, $i=1, 2, 3$; $n_1=11$, $n_2=9$, $n_3=18$ 。

(2) 确定各指标层的权重。运用熵值法,确定出二级评价指标集 (x_1, x_2, x_3) 对一级评价指标集X的权重分别为 $W=(W_1, W_2, W_3)$,具体评价指标集 $(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in})$ 对二级评价指标集的权重分别为 $W_i=(W_{i1}, W_{i2}, \dots, W_{in})$ 。

表 1 榆林市可持续发展评价指标体系及其权重

目标层	模块层	要素层	指标层	权重
可持续发展水平	系统压力 ($X_1, 0.189\ 1$)	社会($X_{11}, 0.069\ 1$)	X_1 人口出生率/%	0.006 4
			X_2 人口总规模	0.006 1
			X_3 农村人均住房面积/ m^2	0.026 5
			X_4 城镇人均住房面积/ m^2	0.030 1
		资源环境($X_{12}, 0.120\ 0$)	X_5 人均耕地面积(m^3 /人)	0.016 1
			X_6 人均供水量/ m^3	0.012 2
			X_7 万元 GDP 工业固废排放量/t	0.050 1
			X_8 万元 GDP 工业废水排放量/t	0.013 6
			X_9 万元 GDP 工业废气排放量/t	0.008 8
			X_{10} 万元 GDP 工业 SO_2 排放量/t	0.008 6
			X_{11} 万元 GDP 烟尘排放量/t	0.010 6
	系统状态 ($X_2, 0.238\ 8$)	经济($X_{21}, 0.153\ 0$)	X_{12} 人均 GDP/万元	0.050 4
			X_{13} 农业在 GDP 比重/%	0.008 4
			X_{14} 第三产业占 GDP 比重/%	0.013 2
			X_{15} 城镇居民人均可支配收入/元	0.035 4
		社会($X_{22}, 0.036\ 7$)	X_{16} 农民人均纯收入/元	0.045 6
			X_{17} 恩格尔系数	0.008 6
	资源环境($X_{23}, 0.0491$)	X_{18} 单位面积国土承载人口	0.014 4	
		X_{19} 单位面积耕地粮食产量/($t \cdot hm^{-2}$)	0.013 7	
		X_{20} 人均公园绿地面积/ m^2	0.032 3	
	经济($B_{31}, 0.057\ 3$)	经济($B_{31}, 0.057\ 3$)	X_{21} 人均拥有道路面积/ m^2	0.016 8
			X_{22} GDP 增长率/%	0.012 5
			X_{23} 固定资产投资增长率/%	0.011 2
		社会($X_{32}, 0.129\ 8$)	X_{24} 社会消费品零售总额增长率/%	0.033 6
			X_{25} 公路密度/($km \cdot km^{-2}$)	0.009 0
			X_{26} 每万人拥有邮电局所数/个	0.020 5
	系统响应 ($X_3, 0.572\ 1$)	社会($X_{32}, 0.129\ 8$)	X_{27} 学龄儿童入学率/%	0.016 2
			X_{28} 每万人高等学历人数/人	0.034 5
			X_{29} 每万人拥有床位数/张	0.038 9
			X_{30} 每万人拥有公交车数量/标台	0.010 7
		资源环境($X_{33}, 0.385\ 0$)	X_{31} 三废综合利用产品产值/万元	0.078 7
			X_{32} 工业固废综合利用量/ $10^4\ t$	0.066 7
			X_{33} 工业废水排放达标率/%	0.014 6
			X_{34} 工业用水重复利用率/%	0.006 4
			X_{35} 生活垃圾清运量/ $10^4\ t$	0.020 5
			X_{36} 有效灌溉面积/ $10^3\ hm^2$	0.054 4
			X_{37} 水土保持治理面积/ $10^3\ hm^2$	0.062 5
	X_{38} 退耕还林面积/ hm^2	0.059 8		
	X_{39} 造林草面积/ $10^3\ hm^2$	0.021 4		

(3) 确定模糊隶属度矩阵。单独考虑指标 x_{ij} , 区域从属于“可持续发展”的隶属度矩阵为:

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{i11} & r_{i12} & \cdots & r_{i1n} \\ r_{i21} & r_{i22} & \cdots & r_{i2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{ij1} & r_{ij2} & \cdots & r_{ijn} \end{bmatrix}$$

其中

$$r_{ijn} = \begin{cases} \frac{u_{ijn} - \min(u_{ijn})}{\max(u_{ijn}) - \min(u_{ijn})} & (u_{ijn} \text{ 越大越优}) \\ \frac{\max(u_{ijn}) - u_{ijn}}{\max(u_{ijn}) - \min(u_{ijn})} & (u_{ijn} \text{ 越小越优}) \end{cases}$$

(4) 确定模糊评价矩阵。对二级评价指标集合 x_i 建立模糊评价矩阵 $V_i = W_{ij} \cdot R_{ij} \quad (i = 1, 2, 3; j = 1, \dots, n_i)$

(5) 计算综合评价矩阵, 得出模糊综合评价结果, 即为: $V = W(V_1, V_2, V_3)$ 。

2.3 可持续发展水平等级划分

目前,关于城市可持续发展水平等级划分尚未有明确标准,本研究在综合考虑研究区特点的基础上借鉴相关可持续发展研究成果^[18],将可持续发展综合评价由低到高划分为 5 级(表 2)。

表 2 可持续发展水平评判标准

综合评估值	评判标准	描述
<0.5	极不可持续	传统发展
0.5~0.8	不可持续	由传统向可持续发展过渡
0.8~0.9	临界不可持续	初级可持续发展
0.9~1	临界可持续	中级可持续发展
>1	可持续	可持续发展

2.4 系统协调度计算

可持续发展是一个动态的系统过程,PSR 模型能够揭示一定时期内社会、经济、生态环境间的相互作用及关系。一定时期内,可持续发展的压力状况将导致其状态和政策的相应变化。因此引入协调指数来评价 PSR 模型中压力、状态与响应各子系统之间的相互作用,从而进一步衡量系统内部的协调程度。协调指数是根据系统间距离大小和离散程度判断其协调性的^[19-20],其计算公式为:

$$C = \frac{X+Y+Z}{\sqrt{X^2+Y^2+Z^2}}$$

式中:C——协调指数;X,Y,Z——压力、状态、响应系统的得分值。当压力、状态和响应系统的得分值越接近时,C 值越接近 1.732,表明协调度越高,反之则越低。

2.5 可持续发展动态预测

对可持续发展动态预测采用灰色系统预测方法。基于灰色建模理论的灰色预测法,按照预测问题的特征,可分为 5 种基本类型,即数列预测、灾变预测、季节灾变预测、拓扑预测和系统综合预测。这 5 种预测都是地理学中重要且常用的预测方法。本研究对榆林市可持续发展动态预测运用灰色系统预测的数列预测法,其预测的基础是基于累加生成数列的 GM(1,1)模型^[7,16]。

(1) 对原始数据一阶累加生成数列

$$X^{(1)}(n) = \sum_{i=1}^n X^{(0)}(i)$$

(2) 构造数据矩阵

$$B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}[X^{(1)}(1)+X^{(1)}(2)] & 1 \\ -\frac{1}{2}[X^{(1)}(2)+X^{(1)}(3)] & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -\frac{1}{2}[X^{(1)}(n-1)+X^{(1)}(n)] & 1 \end{bmatrix}$$

和 $Y_n = [x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), \dots, x^{(0)}(n)]^T$

代入 B, Y_n, 用最小二乘法估计参数

$$\alpha = (B^T B)^{-1} B^T Y_n$$

(3) 建立可持续评价预测模型,可解一阶微分方程:

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + \alpha x^{(1)} = \mu$$

由于序列 $X^{(1)}(k)$ 具有指数增长规律,而一阶微分方程的解恰是指数增长形式的解,因此可以认为 $X^{(1)}$ 序列满足上述一阶线性微分方程模型,得到 GM(1,1)的时间响应函数

$$x^{(1)}(t+1) = [x^{(0)}(1) - \frac{\mu}{\alpha}]e^{-\alpha t} + \frac{\mu}{\alpha}$$

式中:t——时间序列的项数;α,μ——中间转变量。

3 结果分析

3.1 可持续发展综合评价

运用可持续发展“压力—状态—响应”模型及基于熵值法的模糊综合评价法对榆林市 1996—2010 年可持续发展的程度与水平进行综合评价计算(表 3)。从表 3 可以看出,近 15 a 来榆林市可持续发展水平总体较低,其综合评估值呈逐年上升趋势,从 1996 年的 0.109 8 上升到 2010 年的 0.672 2,但依然处于较弱的可持续发展阶段,直至 2008 年由极不可持续发展状态进入不可持续发展状态。系统状态、系统响应、系统压力层与系统综合水平呈现出同步上升趋势,且 1999—2007 年间各系统评估值及综合评估值均保持相对稳定,可持续发展状况改善缓慢;在 2007 年之前系统压力评估值一直处于较高值,2007 年以后系统状态评估值则相对处于较高值,由 2007 年的 0.475 6 上升到 2010 年的 0.912 8。同时,通过对压力、状态和响应层各指标的可持续发展评价价值进行分析,可以看出有关经济的指标评价价值相对较高,而有关资源环境的指标评价价值则普遍较低。这主要是由于 1998 年以来随着榆林市作为国家能源重化工基地,面临着资源的过度开发,工业废水、废气、固废的大量排放以及其人口的过快增长,因此造成对生态环境、经济社会等方面的较大压力,因而可持续发展的必要性和紧迫性很高,在压力的驱使下,可持续发展的状态受到制约因而表现为系统状态层低于系统压力层的极不可持续发展。从系统响应层来看,基于可持续发展所表现的较大压力,政府管理者采取了一系列响应措施,积极实施退耕还林政策,加大水土流失治理力度,有效处理工业固废、废水、废气及粉尘等的排放,改善生

态环境,提高资源利用率。因此,至 2007 年以后,系统状态层可持续发展显著提高,由不可持续状态跨越临界不可持续进入临界可持续状态,社会经济出现快速增长,人民生活水平得到较大提高,社会公共服务设施和生态环境有所改善,其主要表现在人均 GDP、人均纯收入、恩格尔系数、单位面积粮食产量、人均绿地面积及人均拥有道路面积等方面的评估值呈现逐年上升趋势且相对较大。综合系统压力、系统状态、系统响应 3 模块层,系统响应层评估值是 3 大模块中

最低的,至 2010 年仅为 0.572 9,说明系统响应能力仍然较弱,其主要表现在社会消费品零售总额增长率、固定资产投资增长率、工业固废综合利用率、工业废水排放达标率、三废综合利用率、水保治理面积等方面评估值较低。因此,政府及各级部门应积极采取加速产业结构调整,提高资源利用率,加强劳动力文化素质教育,改善基础设施水平,重视生态环境治理等一系列有效措施,以有效地提高榆林市可持续发展能力。

表 3 榆林市可持续发展综合评价结果

年份	系统压力	系统状态	系统响应	综合水平	综合可持续能力
1996	0.168 8	0.075 2	0.104 8	0.109 8	极不可持续
1997	0.089 9	0.125 9	0.155 8	0.136 2	极不可持续
1998	0.275 7	0.108 1	0.233 7	0.211 6	极不可持续
1999	0.654 8	0.173 4	0.287 2	0.329 6	极不可持续
2000	0.481 4	0.229 8	0.327 0	0.333 0	极不可持续
2001	0.424 9	0.259 9	0.264 4	0.293 7	极不可持续
2002	0.509 4	0.267 9	0.272 4	0.316 1	极不可持续
2003	0.491 9	0.287 3	0.328 1	0.349 3	极不可持续
2004	0.479 2	0.317 5	0.269 0	0.320 3	极不可持续
2005	0.472 7	0.332 1	0.271 3	0.323 9	极不可持续
2006	0.471 6	0.374 6	0.302 9	0.351 8	极不可持续
2007	0.462 9	0.475 6	0.418 2	0.440 3	极不可持续
2008	0.512 1	0.650 1	0.533 5	0.557 2	不可持续
2009	0.636 2	0.791 6	0.585 7	0.644 4	不可持续
2010	0.669 0	0.912 8	0.572 9	0.672 2	不可持续

3.2 系统协调度趋势分析

从榆林市可持续发展协调度评价结果来看(图 1),1996—2010 年榆林市可持续发展系统协调度总体在 1.65~1.73,接近 1.732 最优值。从变化趋势来看,1999 年以来系统协调度总体呈现上升趋势,从 2003 年起逐年大于 1.680,处于较优值,说明系统整体协调性较好,同时可以看出可持续发展与 PSR 系统协调度显著相关,PSR 系统协调度越高,城市可持续发展水平也会相对较高,但也会有所例外,如 1999 年 PSR 系统协调度达到最低值 1.516,这主要是由于 1999 年是榆林被定为国家能源化工基地的第一年以及国家大力实施退耕还林,西部大开发,土地利用政策调整等措施而导致系统压力同系统状态响应间的不协调性,故系统整体协调性较弱。

3.3 可持续发展动态预测结果

利用榆林市 1996—2010 年的可持续发展综合评价,应用灰色系统理论进行可持续发展灰色系统预测,得出可持续发展综合评价时间动态模型:

$$X_{(t+1)} = 2.397 7 \exp(0.092 4t) - 2.287 9$$

对当前模型进行经度检验结果为 $C=0.499 3$, $p=0.783 3$,则有 $C < 0.65$, $p > 0.7$,根据灰色预测精度检验等级标准,该模型灰色预测精度检验合格,故得出的可持续发展时间动态预测模型(1)成立。 C 表示由得出的模型计算所得的原始数列的还原值与实际观测值间的残差值的方差, p 表示最小误差概率。运用该模型可以计算出榆林市 2011 年起未来 10 a 的可持续发展综合评价预测值(图 2)。

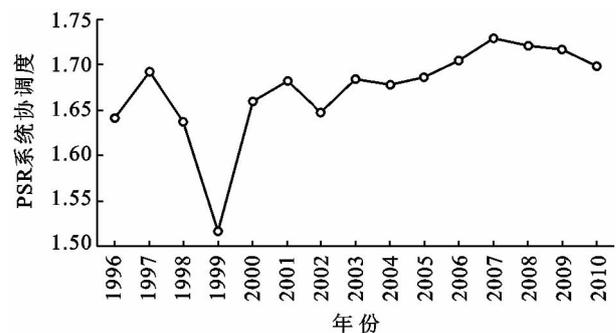


图 1 榆林市 1996—2010 年可持续发展 PSR 协调度变化

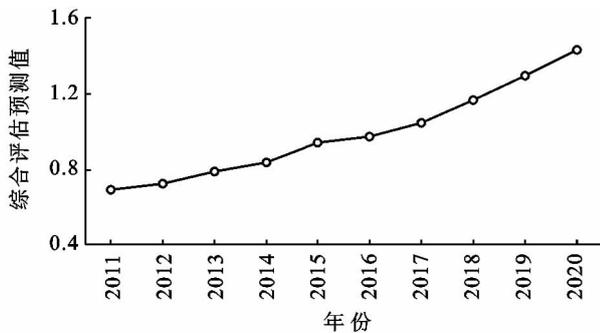


图2 榆林市 2011—2020 年可持续发展综合评估预测值

4 结论

(1) 1996—2010 年以来榆林市可持续发展综合评价变化幅度较大,由传统发展的极不可持续发展转变为由传统发展向可持续发展过渡的不可持续发展。从系统内部来看,系统压力、状态、响应 3 模块可持续发展评价与综合评价相协调呈同步上升趋势,且在 1999—2007 年榆林市可持续发展处于稳定的低可持续发展状态。

(2) 榆林市可持续发展的 PSR 系统协调度总体呈现上升趋势,其压力—状态—响应系统总体协调性较好,且系统协调度同可持续发展显著相关。同时,对榆林市 2011 年以后未来 10 a 的可持续发展评估值预测结果表明,2011—2020 年该地区可持续发展状态逐年有所改善,从 2011—2015 年由不可持续发展状态进入临界不可持续状态,到 2017 年以后将进入可持续发展阶段。

(3) 影响榆林市可持续发展水平的因素主要表现为城市经济投资效率较低,产业结构调整缓慢,资源利用率低,劳动力文化素质相对较低,人力资本积累少,基础设施较差,生态环境差,政府效应较低。

(4) 由于数据的可获得性限制,本研究所构建的可持续发展水平指标体系有待进一步改善。此外,对研究区可持续发展水平的预测是基于该区的发展现状进行的,当该区的压力、状态、响应各因素发生重大变化时,其预测结果将大为不同。因此,政府及各级部门应继续实施积极有效的政策措施,从根本上解决榆林市社会经济与环境发展中存在的问题,以不断提高城市的可持续发展水平。

[参 考 文 献]

[1] Daly H, Cobb J B. For the Common Good[M]. Boston: Beacon Press, 1989.

- [2] Odum H T. Self-organization, transformity and information[J]. Science, 1988, 242(4882): 1132-1139.
- [3] 吕翠美, 吴泽宁. 区域水资源生态经济系统可持续发展评价的能值分析方法[J]. 系统工程理论与实践, 2010, 30(7): 1293-1298.
- [4] 张洁瑕, 郝晋珉, 瑞娟. 黄淮海平原农业生态经济系统演替及其可持续性的能值评估[J]. 农业工程学报, 2008, 24(6): 102-108.
- [5] 肖建红, 于庆东, 刘康, 等. 海岛旅游地安全与可持续发展评估: 以舟山群岛为例[J]. 地理学报, 2011, 66(6): 842-852.
- [6] 彭建, 吴健生, 潘雅婧, 等. 基于 PSR 模型的区域生态持续性评价概念框架[J]. 地理科学进展, 2012, 31(7): 933-940.
- [7] 蒙晓, 任志远, 戴睿. 基于压力—状态—响应模型的宝鸡市生态安全动态评价及预测[J]. 水土保持通报, 2012, 32(3): 231-235.
- [8] 齐振宏, 喻宏伟. 我国循环经济发展的 PSR 模型诠释[J]. 生态经济, 2009(3): 67-70.
- [9] 高珊, 黄贤金. 基于 PSR 框架的 1953—2008 年中国生态建设成效评价[J]. 自然资源学报, 2010, 25(2): 341-349.
- [10] 冯科, 郑娟尔, 韦仕川. GIS 和 PSR 框架下城市土地集约利用空间差异的实证研究: 以浙江省为例[J]. 经济地理, 2007, 27(5): 811-818.
- [11] 段澈. 区域可持续发展评价指标体系及综合评价[J]. 技术经济与管理研究, 2005(3): 27-28.
- [12] 乔家君, 李小建. 区域可持续发展指标体系的建立与实证分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2003, 18(1): 82-88.
- [13] 余丹林. 区域可持续发展评价指标体系的构建思路[J]. 地理科学进展, 1998(2): 84-89.
- [14] 冷疏影, 刘燕华. 中国脆弱生态区可持续发展指标体系框架设计[J]. 中国人口·资源与环境, 1999, 9(2): 40-45.
- [15] 余敬, 姚书振. 资源型城市可持续发展模糊综合评价模型[J]. 科技进步与对策, 2001, 18(12): 70-71.
- [16] 徐建华. 现代地理学中的数学方法[M]. 北京: 高等教育出版社, 2005.
- [17] 高长波, 陈新庚, 韦朝海. 熵权模糊综合评价法在城市生态安全评价中的应用[J]. 应用生态学报, 2006, 17(10): 1923-1927.
- [18] 李琳, 陈东. 贫困地区可持续发展指标体系及其综合评估: 以湖南湘西贫困地区为例[J]. 中国人口·资源与环境, 2004, 14(3): 69-74.
- [19] 邓玲, 张文博. 基于 PSR 模型的西部地区可持续发展评价[J]. 宁夏社会科学, 2012(5): 33-38.
- [20] 许学强, 张俊军. 广州城市可持续发展的综合评价[J]. 地理学报, 2001, 56(1): 54-63.