

我国海洋资源环境经济复合系统演化研究 ——基于 Logistic 模型的实证分析

宋泽明^{1,2}, 宁 凌²

(1. 广东工业大学管理学院, 广东 广州 510520; 2. 广东沿海经济带发展研究院 广东海洋大学, 广东 湛江 524088)

摘要: 随着我国各项海洋事业和活动有序推进, 实现海洋资源、环境、经济协调可持续, 对海洋高质量发展具有重要意义。从资源、环境和经济 3 个层面构建我国海洋复合系统, 运用熵权 TOPSIS 方法进行测算, 通过建立 Logistic 模型, 对我国海洋资源环境经济复合系统演化过程进行拟合分析和趋势预测。得到相关研究结论: 海洋资源环境经济复合系统是基于海洋资源、环境、经济相互作用、相互制约而形成的, 其系统演化过程受到经济增长机制和生态平衡机制的影响; 海洋资源环境经济复合系统及其子系统的演化规律符合 Logistic 法则, 海洋资源子系统最大演化度高于海洋环境、经济子系统; 海洋资源环境经济复合系统及海洋资源、经济子系统演化度的增长率较大, 正处于成熟阶段, 而海洋环境子系统演化度达到饱和状态, 正处于衰退阶段。基于上述研究结论, 提出有效措施建议。

关键词: 海洋资源环境经济复合系统; 演化; Logistic 模型

中图分类号: F124.5; F205 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2021)08-0021-13

DOI: 10.11759/hyxx20200625001

近年来, 习近平总书记多次在不同场合提及“海洋是高质量发展战略要地”的重要论述, 充分表明海洋经济高质量发展已经成为我国海洋工作的重要任务之一。然而, 在实践中, 我国海洋经济高质量发展仍面临许多问题, 包括资源协调不足、配套政策不完善、产能过剩、效益低下和环境污染等。因此, 通过研究海洋资源环境经济复合系统演化过程, 分析其演化机理, 进而探索我国海洋经济高质量发展、海洋生态文明建设未来方向。

1 研究概况

对于海洋复合系统相关研究, 国内研究成果比较丰富。在系统构建与评价方面, 高乐华等^[1]根据生态经济系统基本内涵, 展开系统研究; 李帅帅等^[2]研究海洋经济系统构成及其互动规律, 提出了蓝色经济空间拓展路径; 丁黎黎^[3]从“对象-理念-层次”三个维度阐述了海洋经济高质量发展的内涵, 构建海洋经济高质量发展评判体系。在系统协调与优化方面, 孙伯良等^[4]基于浙江省海洋经济、资源、环境现状, 测算其对应系统的协调水平; 盖美等^[5]借助三元协调发展模型对海洋资源环境经济复合系统承载力进行协调发展测度; 高强等^[6]基于协同学理论, 对海

南省海洋生态经济系统协调度进行测算, 明确海南省海洋生态经济系统协调发展阶段。在系统动力与稳定方面, 狄乾斌等^[7]将系统动力学模型应用到海洋研究领域; 姜旭朝等^[8]从系统论的角度深化研究海洋经济, 从微观、中观和宏观层面分析不同要素的海洋经济系统动力演进机制; 王泽宇等^[9]采用综合评估模型测算了中国沿海 11 个省市的海洋经济系统稳定性指数, 引入障碍度诊断模型, 有针对性地提出中国海洋经济发展方向。

综上所述, 国内学者以协同学、系统动力学为研究理论基础, 对我国海洋资源、环境和经济发展进行

收稿日期: 2020-06-25; 修回日期: 2020-10-08

基金项目: 2019 年广东省自然科学基金项目(2019A1515011886); 2019 年广东省科技计划项目(2019B101003022); 2019 年广东大学生科技创新培育专项资金项目(pdjh2019a0229)

[Foundation: 2019 Natural Science Foundation of Guangdong Province, No. 2019A1515011886; 2019 Science and Technology Plan of Guangdong Province, No. 2019B101003022; Special Funds for the Cultivation of Guangdong College Students' Scientific and Technological Innovation, No. pdjh2019a0229]

作者简介: 宋泽明(1996—), 男, 广东广州人, 博士研究生, 主要从事海洋区域经济、海洋管理与政策、颠覆性创新研究, E-mail: Song_zeming@126.com; 宁凌(1967—), 通信作者, 博士, 教授, 博士生导师, 广东海洋大学副校长, 广东沿海经济带发展研究院执行院长, 主要从事产业经济与发展、海洋经济与管理研究, E-mail: ningling00@126.com

了深入的探讨和研究。然而，现阶段大部分研究成果较少涉及海洋复合系统的演化规律、演化路径等领域。本文从资源、环境和经济 3 个层面构建我国海洋复合系统，运用熵权 TOPSIS 方法进行测算，通过建立 Logistic 模型，对我国海洋资源环境经济复合系统演化过程进行拟合分析和趋势预测。

2 海洋资源环境经济复合系统构建

2.1 海洋资源环境经济复合系统

海洋经济发展会对海洋资源和海洋环境带来影响，海洋资源和海洋环境也会在一定程度上对海洋经济发展产生作用。图 1 表示海洋资源环境经济复合系统概念模型，从相互作用、相互制约关系来说，海洋经济活动对海洋资源、环境的负面影响是复合系统的压力；海洋资源、环境为海洋经济发展提供的支持是复合系统的承压；而海洋资源和海洋环境的自身恢复、海洋经济的正向促进作用是复合系统的弹力。在压力-承压-弹力综合作用下，复合系统不断进行自我调整，保持系统稳定性。

深入研究海洋资源环境经济复合系统，一方面可以探索海洋资源、环境和经济的相互作用、相互制约关系，进而调控其协调发展模式，对于影响系统稳定性的干扰因素，采取合理科学措施，提高整体协调水平，实现海洋资源、环境和经济可持续发展；而另一方面，借助海洋资源环境经济复合系统能够反映海洋资源、环境和经济演化规律，从而进行拟合分析和趋势预测。在此基础上，通过对复合系统的结构进行调整和优化，转变传统单一的发展方式，实现海洋资源、环境和经济高质量发展。

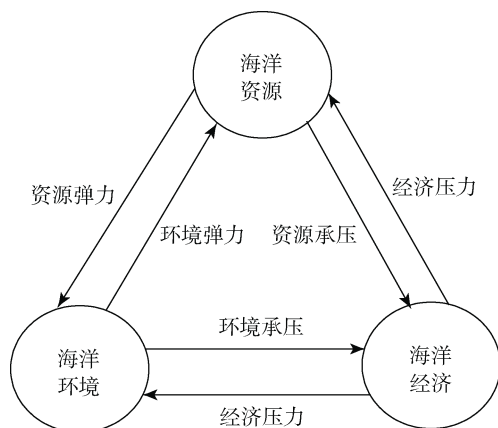


图 1 海洋资源环境经济复合系统

Fig. 1 Marine resources, environment, and economy complex system

2.2 评价指标的选取

在总结荀露峰等^[10]、鲁亚运等^[11]、赵玉杰^[12]等学者现有研究成果的基础上，结合经济的实际情况和发展阶段，遵循客观性、可行性和可比性的原则^[13]，构建评价指标体系，如表 1 所示。

在海洋资源方面，不仅包括自然资源，而且包括人为资源。选取人均海域面积、人均海洋捕捞量、人均海水养殖面积、人均沿海湿地面积、人均海洋渔业资源、人均海洋盐业资源和人均海洋矿业资源，反映海洋自然资源情况；选取港口码头长度、港口泊位个数和涉海就业人员指标，反映海洋人为资源情况。

在海洋环境方面，从环境污染、治理、保护和监测角度，综合反映海洋环境情况。具体而言，在环境污染上，根据污染种类分为固体污染和水污染，所以选取万元海洋生产总值工业废水排放量、万元海洋生产总值工业固体废物排放量等指标；在环境治理上，针对不同的污染以项目的形式推进污染的治理，因此选取治理固体废物当年竣工项目、治理废水当年竣工项目等指标；在环境保护上，自然保护区作为环境保护的直接表现形式，能够反映出环境保护的效果，因此选取自然保护区总面积、自然保护区个数等指标；在环境监测上，水质达标率是海洋环境重要监测指标之一，因此选取近岸海域功能区水质达标率、近岸海域一、二类海水比例、海洋工业废水排放达标率和海洋工业固体废物综合利用率等指标。

在海洋经济方面，选取能够反映海洋经济规模情况相关指标，包括人均海洋生产总值、人均海洋产业产值；选取能够反映海洋经济变化情况相关指标，包括海洋生产总值增长率、海洋产业产值增长率；选取能够反映海洋经济结构情况相关指标，包括海洋生产总值占地区生产总值比重、第三产业产值占海洋生产总值比重；选取能够反映海洋经济开放情况相关指标，包括地区沿海港口货物吞吐量、地区沿海港口旅客吞吐量、地区沿海港口集装箱吞吐量和地区沿海城市国际旅游收入。

2.3 数据的来源

本文以 2006—2018 年为研究时段，以我国 11 个沿海省市为研究对象，建立海洋资源环境经济复合系统。相关数据主要来源于《中国统计年鉴》《中国海洋统计年鉴》和 11 个沿海省市的地方统计年鉴、海洋环境状况公报等。个别数据经过相应的公式运算后得出。各指标的统计性描述结果，如表 2 所示。

表 1 海洋资源环境经济复合系统发展评价指标体系

Tab. 1 Evaluation index system for the development of marine resources, environment, and economy complex system

系统层	准则层	指标层	单位	正、逆向
海洋资源环境 经济复合系统 (A ₁)	海洋资源 (B ₁)	人均海域面积(C ₁)	m ² ·人 ⁻¹	正
		人均海洋捕捞量(C ₂)	t·人 ⁻¹	正
		人均海水养殖面积(C ₃)	m ² ·人 ⁻¹	正
		人均沿海湿地面积(C ₄)	m ² ·人 ⁻¹	正
		人均海洋渔业资源(C ₅)	t·人 ⁻¹	正
		人均海洋盐业资源(C ₆)	t·人 ⁻¹	正
		人均海洋矿业资源(C ₇)	t·人 ⁻¹	正
		港口码头长度(C ₈)	m	正
		港口泊位个数(C ₉)	个	正
		涉海就业人员(C ₁₀)	人	正
	海洋环境 (B ₂)	万元海洋生产总值工业废水排放量(C ₁₁)	t	负
		万元海洋生产总值工业固体废物排放量(C ₁₂)	t	负
		治理废水当年竣工项目(C ₁₃)	个	正
		治理固体废物当年竣工项目(C ₁₄)	个	正
		自然保护区个数(C ₁₅)	个	正
		自然保护区总面积(C ₁₆)	km ²	正
		近岸海域功能区水质达标率(C ₁₇)	%	正
		近岸海域一、二类海水比例(C ₁₈)	%	正
		海洋工业废水排放达标率(C ₁₉)	%	正
		海洋工业固体废物综合利用率(C ₂₀)	%	正
	海洋经济 (B ₃)	人均海洋生产总值(C ₂₁)	元·人 ⁻¹	正
		人均海洋产业产值(C ₂₂)	元·人 ⁻¹	正
		海洋生产总值增长率(C ₂₃)	%	正
		海洋产业产值增长率(C ₂₄)	%	正
		海洋生产总值占地区生产总值比重(C ₂₅)	%	正
		海洋第三产业产值占海洋生产总值比重(C ₂₆)	%	正
		地区沿海港口货物吞吐量(C ₂₇)	10 ⁴ t	正
		地区沿海港口旅客吞吐量(C ₂₈)	10 ⁴ 人次	正
		地区沿海港口集装箱吞吐量(C ₂₉)	10 ⁴ 标准箱	正
		地区沿海城市国际旅游收入(C ₃₀)	万美元	正

3 基于熵权 TOPSIS 的海洋资源环境经济复合系统发展指数测算

3.1 基于熵权法的指标权重确定

熵值法按照各个指标之间数值离散程度，计算对应权重，从而进行客观赋权^[14]。本文所选指标均为各沿海省市海洋领域重要指标，通过运用熵值法可以在实现客观评价的同时，避免重要信息的遗漏。因此，本文基于熵值法来确定海洋资源环境经济复合系统评价指标体系中不同评价指标的权重。

1) 标准化矩阵构建

X_{ij} 表示第*i*项指标的第*j*年的初始值, $i=1, 2, 3, \dots, n$, n 表示评价指标数; $j=1, 2, 3, \dots, m$, m 表示评价年份数。

$$X = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1m} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{n1} & X_{n2} & \dots & X_{nm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

各个被选取指标有不同量纲，难以简单比较，需要分为正向、逆向指标^[15]；然后，再运用极值变化法进行标准化处理。具体公式如下：

表 2 指标统计性描述结果

Tab. 2 Statistical description results of indicators

指标	观测值	平均值	标准差	最小值	最大值	变异系数
C ₁	143	22 814.58	65 539.55	94.28	239 234.50	2.87
C ₂	143	0.03	0.04	0.00	0.15	1.15
C ₃	143	0.03	0.03	0.00	0.11	0.98
C ₄	143	192.70	10.43	176.82	213.84	0.05
C ₅	143	0.08	0.05	0.01	0.22	0.65
C ₆	143	8.96	28.28	0.00	98.80	3.16
C ₇	143	16.60	36.70	0.00	98.60	2.21
C ₈	143	60 014.03	7 306.29	49 871.23	70 192.23	0.12
C ₉	143	454.16	30.04	410.27	503.71	0.07
C ₁₀	143	304.71	29.68	243.71	342.87	0.10
C ₁₁	143	8.22	9.41	1.15	57.05	1.14
C ₁₂	143	0.00	0.00	0.00	0.00	2.70
C ₁₃	143	158.32	154.82	1.00	710.00	0.98
C ₁₄	143	17.65	22.40	0.00	115.00	1.27
C ₁₅	143	13.50	15.80	1.00	68.00	1.17
C ₁₆	143	7 250.00	22 300.00	110.00	184 000.00	3.08
C ₁₇	143	68.07	28.69	2.35	97.10	0.42
C ₁₈	143	64.61	31.12	0.00	100.00	0.48
C ₁₉	143	96.33	3.41	84.90	100.00	0.04
C ₂₀	143	81.17	18.72	38.00	99.00	0.23
C ₂₁	143	12 430.77	4 152.93	6 495.56	19 402.66	0.33
C ₂₂	143	13.90	8.63	-35.31	40.01	0.62
C ₂₃	143	13.51	4.40	9.41	22.87	0.33
C ₂₄	143	15.06	7.87	4.92	25.84	0.52
C ₂₅	143	18.08	9.08	5.20	38.50	0.50
C ₂₆	143	47.40	7.94	19.40	67.30	0.17
C ₂₇	143	60 358.78	17 836.20	32 184.64	84 848.37	0.30
C ₂₈	143	717.25	30.43	666.55	754.82	0.04
C ₂₉	143	1 425.90	414.71	778.39	2 090.00	0.29
C ₃₀	143	293 476.20	87 381.68	151 821.90	407 689.20	0.30

正向指标: $X'_{ij} = (X_{ij} - X_{imin}) / (X_{imax} - X_{imin})$, (2)

负向指标: $X'_{ij} = (X_{imax} - X_{ij}) / (X_{imax} - X_{imin})$. (3)

其中, X_{imax} 表示第 i 个指标中所有年份的最大值; X_{imin} 表示在第 i 个指标中所有年份的最小值, X'_{ij} 表示 X_{ij} 经过标准化处理得到的数据。同时, 由于标准化处理后的 X'_{ij} 可能为零, 而对数的底数应非负数, 标准化结果需要进一步处理:

$$R_{ij} = X'_{ij} + 0.01. \quad (4)$$

根据标准化的结果, 构建标准化矩阵 R 。

$$R = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & \cdot & \cdot & R_{1m} \\ R_{21} & R_{22} & \cdot & \cdot & R_{2m} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ R_{n1} & R_{n2} & \cdot & \cdot & R_{nm} \end{bmatrix}. \quad (5)$$

2) 熵值法赋权

计算第 i 项指标在第 j 年的样本值比重:

$$p_{ij} = \frac{R_{ij}}{\sum_{j=1}^m R_{ij}} \quad (6)$$

计算第 i 项指标的熵值 e_i : m 是年数, n 是指标总数

$$e_i = -k \sum_{j=1}^m p_{ij} \ln p_{ij} \quad (7)$$

其中, $e_i > 0, k > 0$, 假设 R_{ij} 全部相等, 令 $k = \frac{1}{\ln m}$, 则此时的 e_i 为极大值:

$$e_i = -\frac{1}{\ln m} \sum_{j=1}^m p_{ij} \ln p_{ij} \quad (8)$$

计算信息权重 w_i :

$$w_i = \frac{1 - e_i}{\sum_{i=1}^n 1 - e_i} \quad (9)$$

3) 多层次评价系统的评价

由于熵具有可加性特征, 因此通过计算下层结构指标信息效用值, 得出上层结构权重。用 $H_k (k=1, 2, 3, \dots, k)$ 表示指标效用值, 用 H 表示全部指标效用值总和。

$$H = \sum_{k=1}^n H_k \quad (10)$$

则相应类指数的权重为:

$$w = H_k / H \quad (11)$$

4) 基于熵值的评价矩阵构建

$$Z = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} & \dots & z_{1m} \\ z_{21} & z_{22} & \dots & z_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ z_{n1} & z_{n2} & \dots & z_{nm} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{11} \cdot w_1 & R_{12} \cdot w_1 & \dots & R_{1m} \cdot w_1 \\ R_{21} \cdot w_2 & R_{22} \cdot w_2 & \dots & R_{2m} \cdot w_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{n1} \cdot w_n & R_{n2} \cdot w_n & \dots & R_{nm} \cdot w_n \end{bmatrix} \quad (12)$$

经过熵值法客观赋权后, 反映出各个评价指标之间不同的重要程度^[16], 得到不同指标权重下的海洋资源环境经济复合系统评价矩阵。

3.2 基于 TOPSIS 法的系统评价

TOPSIS 模型适用于对多项指标、多个方案进行选择^[17]。通过运用 TOPSIS 模型, 能够得到较为客观

的评价。

1) 正负理想解确定

z_i^+ 是第 i 个指标在 j 年期间的最大值, 将 z_i^+ 设定为正最理想解; z_i^- 是第 i 个指标在 j 年期间的最小值, 将 z_i^- 设定为负最理想解, 对应具体公式为:

$$z^+ = \left\{ \max_{1 \leq i \leq n} z_{ij} \mid i = 1, 2, \dots, n \right\} = \{z_1^+, z_2^+, \dots, z_n^+\} \quad (13)$$

$$z^- = \left\{ \min_{1 \leq i \leq n} z_{ij} \mid i = 1, 2, \dots, n \right\} = \{z_1^-, z_2^-, \dots, z_n^-\} \quad (14)$$

2) TOPSIS 确定指标到正、负理想值之间的距离

采用欧氏计算法, 确定指标到正、负理想值的距离, 令 D_j^+ 为第 i 个指标与 z_i^+ 的距离, 令 D_j^- 为第 i 个指标与 z_i^- 的距离, 计算公式为:

到正理想解之间的距离:

$$D_j^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^n (z_i^+ - z_{ij})^2} \quad (15)$$

到负理想解之间的距离:

$$D_j^- = \sqrt{\sum_{i=1}^n (z_i^- - z_{ij})^2} \quad (16)$$

3) 计算综合评价指数

M_j 代表第 j 年综合评价指数, 取值区间: (0, 1]。指数数值越接近 1 表示综合评价的得分越高, 而越接近 0 则表示综合评价得分越低。评价指数的计算公式如下所示:

$$M_j = \frac{D_j^-}{D_j^+ + D_j^-} \quad (17)$$

3.3 海洋资源环境经济复合系统综合指数测算

由于各个系统的综合指数对等, 可以进一步计算出海洋资源环境经济复合系统综合指数, 具体情况见表 3。

从上述海洋资源环境经济复合系统及其子系统综合指数的变化情况可知, 2006—2018 年期间, 我国海洋资源、经济子系统综合指数总体水平较高, 呈现明显上升趋势, 这表明由于我国各项海洋活动、事业快速推进, 海洋资源、经济发展取得显著成效。相比之下, 海洋环境子系统综合指数总体水平较低, 而且存在波动情况, 这表明我国海洋环境污染问题较为严重, 海洋生态调节功能弱化。因此, 在 3 个子系统相互作用下, 我国海洋资源环境经济复合系统综合指数不高, 状态较为稳定, 仍有一定的提升空间。

表 3 海洋资源环境经济复合系统及其子系统综合指数

Tab. 3 Composite system of marine resources, environment, and economy and its subsystems

年份	海洋资源子系统	海洋环境子系统	海洋经济子系统	海洋复合系统
2006	0.409 8	0.518 0	0.483 2	0.470 3
2007	0.495 5	0.547 0	0.542 7	0.528 4
2008	0.497 5	0.647 4	0.579 7	0.574 9
2009	0.524 4	0.695 4	0.580 7	0.600 1
2010	0.564 1	0.634 6	0.591 9	0.596 9
2011	0.600 1	0.601 1	0.590 3	0.597 2
2012	0.695 3	0.607 3	0.592 3	0.631 6
2013	0.689 1	0.619 8	0.593 0	0.634 0
2014	0.617 5	0.605 1	0.624 1	0.615 6
2015	0.661 7	0.635 4	0.560 4	0.619 2
2016	0.653 9	0.677 7	0.625 6	0.652 4
2017	0.686 8	0.605 5	0.648 5	0.646 9
2018	0.722 9	0.641 5	0.672 1	0.678 8

4 海洋资源环境经济复合系统演化实证研究

4.1 海洋资源环境经济复合系统的 Logistic 模型

Logistic 模型作为一种重要分析工具,能够描述一般系统发展演化过程^[18]。依据 Verhulst^[19]所构建的 Logistic 增长模型,参照陈海波等^[20]、周凌云等^[21]、周韬^[22]等学者的研究成果,海洋资源环境经济复合系统演化路径数学模型为:

$$\begin{cases} \frac{dX}{dt} = kX \times \left(1 - \frac{X}{N}\right), \\ X_{(0)} = X_0 \end{cases} \quad (18)$$

其中, dX/dt 表示海洋资源环境经济复合系统在 t 时刻下发展速度; k 表示为复合系统内在增长率,与内部耦合度具有关联性; N 为海洋资源经济复合系统最大承载值,与地区海洋经济、资源水平存在一定关系; 每个个体平均所占占有资源量为 $1/N$, X/N 为消耗总资源; $[1-X/N]$ 为剩余资源,代表 Logistic 系数; X_0 为初始时刻系统总量。

对其系数分析可知: 若海洋资源环境经济复合系统总量趋近于 0, 则 $[1-X/N]$ 就接近 1, 表明复合系统中资源尚未被利用, 系统演化趋势呈指数增长; 若复合系统总量 X 趋近于 N , 则 $[1-X/N]$ 就接近 0, 表明复合系统中资源被充分利用, 此时复合系统演化趋势呈饱和状态; 当复合系统总量由 0 逐渐上升到 N 时, $[1-X/N]$ 由 1 逐渐下降到 0, 表明剩余资源逐渐变小。

对公式(18)进行求解, 可得:

$$X = \frac{N}{1 + C \times \exp(-kNt)}. \quad (19)$$

其中, C 为常数, 数值随系统演化阶段的变化而变化。

设 $X(0)=\alpha$ 为初始状态, 其中 $0 < \alpha < N$, 则:

$$X = \frac{N}{1 + \frac{N}{\alpha - 1} \exp(-kNt)}. \quad (20)$$

公式(18)表示海洋资源环境经济复合系统在任一时刻的增长速度, 可称之为复合系统成长速度方程。公式(19)表示海洋资源环境经济复合系统演化动态变化轨迹, 是复合系统状态演化方程。

对公式(18)求导, 可得:

$$\frac{d^2X}{dt^2} = k^2 X \left(1 - \frac{X}{N}\right) \left(1 - \frac{2X}{N}\right). \quad (21)$$

公式(21)用来表示海洋资源环境经济复合系统任何一时刻加速度。令 $d^2X/dt^2=0$, 可以得到复合系统状态演化曲线拐点: $X_1=0$, $X_2=N/2$ 和 $X_3=N$ 。由于 $0 < X < N$, 所以拐点为 $X=N/2$ 。此时, 复合系统成长速度曲线达到最大值 $kN/4$ 。

对公式(21)求导, 可得:

$$\frac{d^3X}{dt^3} = k^3 X \left(1 - \frac{X}{N}\right) \left(\frac{6X^2}{N^2} - \frac{6X}{N} + 1\right). \quad (22)$$

令 $d^3X/dt^3=0$, 得到拐点 $(3-\sqrt{3})N/6$ 和 $(3+\sqrt{3})N/6$ 。此时, 复合系统成长速度曲线数值为 $kN/6$ 。经过推导, 复合系统成长速度曲线和状态演化曲线的特征, 如图 2 所示。

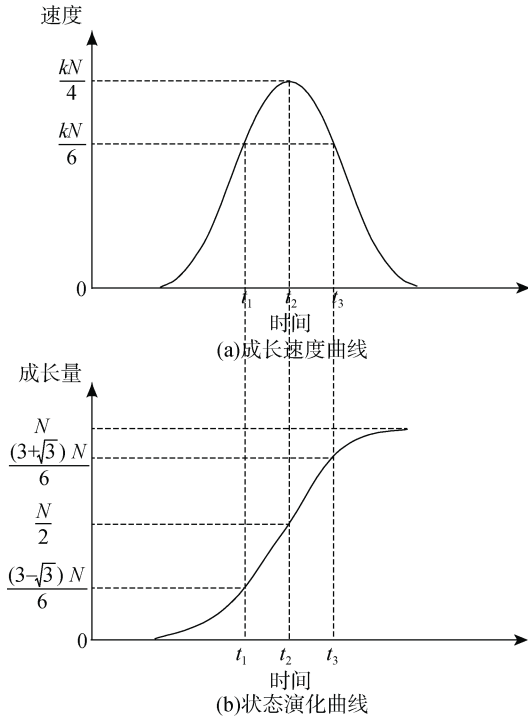


图2 海洋资源环境经济复合系统演化曲线和成长速度曲线
Fig. 2 Evolution curve and growth rate curve of marine resources, environment, and economy complex system

由图 2 可得, 海洋资源环境经济复合系统随着时间以 S 型曲线增长, 上界渐进线 $X=N(t, \infty)$, 根据增长情况, 可以将演化过程可以分为四个阶段, 其具体演化特征如表 4 所示。

表 4 海洋资源环境经济复合系统演化路径特征
Tab. 4 Evolution Path characteristics of marine resources, environment, and economy complex system

阶段	时间	X	dX/dt
初步	$0 < t < t_1$	缓慢上升	快速上升
	t_1	$\frac{(3-\sqrt{3})N}{6}$	$\frac{kN}{6}$
成长	$t_1 < t < t_2$	快速上升	缓慢上升
	t_2	$\frac{N}{2}$	$\frac{kN}{4}$
成熟	$t_2 < t < t_3$	快速上升	缓慢下降
	t_3	$\frac{(3+\sqrt{3})N}{6}$	$\frac{kN}{6}$
衰退	$t_3 < t < +\infty$	趋于平稳	快速下降

1) 第一阶段($0 < t \leq t_1$): 海洋资源环境经济复合系统限制较小, 虽然总体发展程度较低, 但发展速度逐步提升。在这一阶段, 复合系统成长量呈现指数增长。在 t_1 处, 速度为 $kN/6$, 此时加速度达到最大值,

影响海洋资源环境经济复合系统的各种因素累计最大, 系统成长量达到 $(3-\sqrt{3})N/6$, 系统处于发展的初步阶段。

2) 第二阶段($t_1 < t \leq t_2$): 海洋资源、环境、经济规模增加迅速, 复合系统活力增强、发展空间大。在这一阶段, 复合系统发展速度递增, 加速度减少, 属于准线性增长。在 t_2 处, 速度为 $kN/4$, 成长量为 $N/2$, 成长速度达到最大, 系统处于发展的成长阶段。

3) 第三阶段($t_2 < t \leq t_3$): 海洋资源环境经济复合系统增长动力减弱, 系统受到资源、空间制约。在这一阶段, 复合系统成长速度和加速度均减小, 但仍属于准线性增长。在 t_3 处, 速度为 $kN/6$, 成长量为 $(3+\sqrt{3})N/6$, 系统处于发展的成熟阶段。

4) 第四阶段($t_3 < t < +\infty$): 海洋资源环境经济复合系统趋于平稳, 接近市场需求最大值。在这一阶段, 复合系统成长速度递减, 加速度递增。在 t_3 处, 速度小于 $kN/6$, 成长量大于 $(3+\sqrt{3})N/6$, 逐渐达到极限值 N , 系统处于发展的衰退阶段。

4.2 海洋资源环境经济复合系统演化方程分析

为了进行 Logistic 法则参数估计, 将公式(20)进一步转换成:

$$E = a/[1 + b \exp(-ct)]. \quad (23)$$

E 代表我国 t 年的海洋资源环境经济系统演化程度, a 、 b 、 c 为待估参数: a 为复合系统演化度能够达到的最大值; b 为积分常数; c 为复合系统的增长率。通过三段和值法确定参数 a 、 b 和 c 的初始值, 使用计量经济软件 Origin 进行拟合和参数估计, 计算结果如表 5。

根据表 4 中的 Logistic 法则参数估计结果, 得到海洋资源环境经济复合系统及其子系统的估计方程。

海洋资源子系统:

$$X = \frac{0.7097}{1 + 0.9364 \times \exp[-0.2893 \times (t - 2005)]}. \quad (24)$$

海洋环境子系统:

$$X = \frac{0.6329}{1 + 0.7853 \times \exp[-1.1630 \times (t - 2005)]}. \quad (25)$$

海洋经济子系统:

$$X = \frac{0.6485}{1 + 0.3292 \times \exp[-0.2087 \times (t - 2005)]}. \quad (26)$$

表 5 Logistic 法则参数估计值

Tab. 5 Estimate of logistic rule parameters

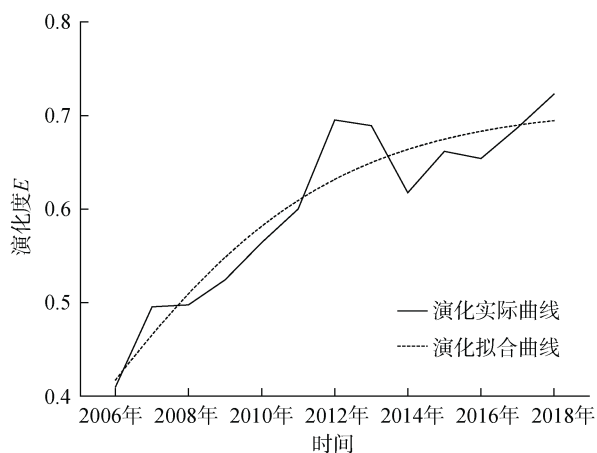
参数	海洋资源子系统			海洋环境子系统			海洋经济子系统			海洋资源环境经济复合系统		
	估计值	95%置信区间		估计值	95%置信区间		估计值	95%置信区间		估计值	95%置信区间	
		下限	上限		下限	上限		下限	上限		下限	上限
a	0.709 7	0.676 8	0.742 6	0.632 9	0.621 1	0.644 6	0.648 5	0.607 7	0.689 3	0.647 8	0.637 3	0.658 4
b	0.936 4	0.771 4	1.101 4	0.785 3	0.036 8	1.533 9	0.329 2	0.250 7	0.407 7	0.512 0	0.423 4	0.600 6
c	0.289 3	0.203 7	0.375 0	1.163 0	0.367 6	1.958 4	0.208 7	0.063 6	0.353 7	0.391 2	0.297 3	0.485 0
R^2	0.895 3			0.940 5			0.904 1			0.910 3		
Adjusted R^2	0.874 4			0.848 6			0.844 9			0.892 3		

海洋资源环境经济复合系统:

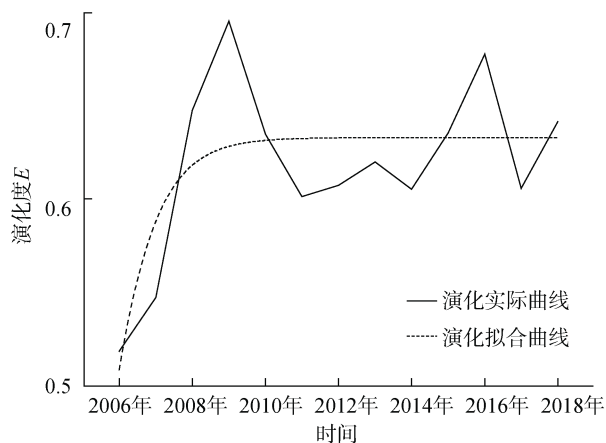
$$X = \frac{0.6478}{1 + 0.5120 \times \exp[-0.3912 \times (t - 2005)]} \quad (27)$$

由参数估计结果可知, 系统拟合度 R 分别为: 0.874 4、0.848 6、0.844 9、0.892 3, 参数检验比较显著, 拟合度比较理想, 分别绘制各系统的 Logistic 演化发展曲线。

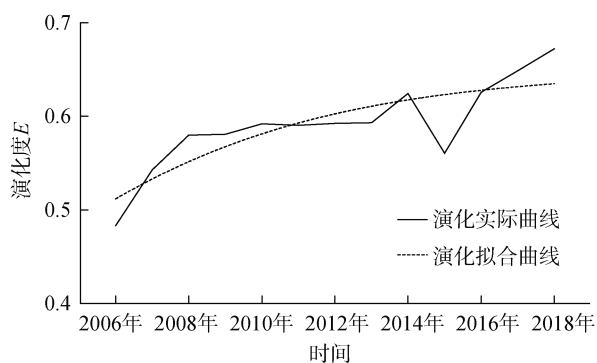
在图 3 中, 实线表示 2006—2018 年海洋资源环境经济复合系统及其子系统演化实际曲线, 反映出我国海洋资源、环境、经济实际演化过程; 而虚线则表示拟合曲线, 反映出海洋资源环境经济复合系统及其子系统的 Logistic 方程拟合结果。演化实际曲线、拟合曲线基本吻合, 这表明海洋资源环境经济复合系统及其子系统的演化规律符合 Logistic 法则。



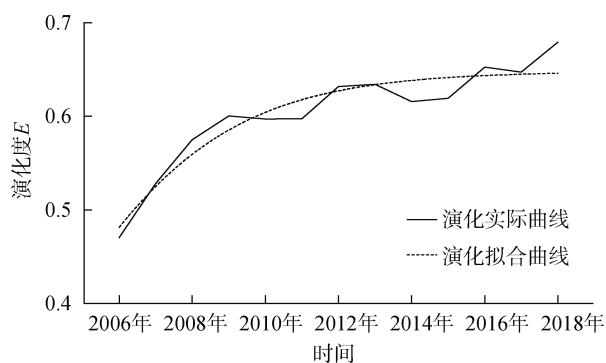
(a) 2006—2018年海洋资源子系统演化曲线



(b) 2006—2018年海洋环境子系统演化曲线



(c) 2006—2018年海洋经济子系统演化曲线



(d) 2006—2018年海洋资源环境经济复合系统演化曲线

图 3 2006—2018 年海洋资源环境经济复合系统及其子系统演化曲线

Fig. 3 Evolution curve of the marine resources, environment, and economy complex system and its subsystems from 2006 to 2018

通过比较可以发现, 2011—2013 年期间, 海洋资源子系统演化实际曲线明显高于演化拟合曲线, 这可能是我国 2011 年制定的《全国海洋功能区划》有效地指导沿海地区海洋资源开发活动。我国 11 个沿海省市陆续制定和公布地方海洋功能区划, 明确海洋资源开发利用的相关法律法规、管理制度、技术手段和监督评价机制, 海洋资源利用效率有所提高。因而, 在此期间我国海洋资源子系统的演化实际曲线高于拟合曲线。然而, 受制于传统治理观念、治理手段单一等因素的影响, 海洋功能区划的措施实施成效有待提高, 同时我国沿海地区海洋渔业过度捕捞问题越来越严峻, 大型海洋钻井平台数量不断增加。所以, 2014—2017 年海洋资源子系统的演化实际曲线低于拟合曲线。2018 年, 我国沿海省市加强对海洋生态红线监管力度, 有效引导海洋资源开发活动, 海洋资源子系统演化实际曲线呈现上升趋势。总体上看, 海洋资源开发利用仍有一定改善空间。

从 2008 年开始, 海洋环境子系统演化实际曲线明显波动, 这可能是由于赤潮等海洋环境灾害增多, 影响我国沿海海域生态健康。近年来, 我国近海海洋环境灾害呈现出增加趋势, 海上重大污染事故频发, 近海灾害性风暴潮偏多。2008—2013 年我国近岸海域四类和劣四类海水比例从 18.3% 上升到 25.6%, 海洋环境灾害造成部分沿海海域海水富营养化程度较为严重, 降低我国沿海海域水体质量。除此之外, 海洋污染过度排放等问题日益突显, 也造成了系统演化实际曲线的波动。2008 年直排海污染源污水排放总量为 45.65 亿吨; 2013 年为 63.84 亿吨, 上升幅度较大。海洋污染物过度排放超过海洋环境承载力, 造成海洋生物大量死亡, 降低海洋环境生态修复能力。从整体情况上看, 海洋环境问题不断凸显。

2014—2016 年, 海洋经济子系统的演化实际曲线明显低于演化拟合曲线, 这可能是我国海洋经济进入新常态, 增速有所放缓, 海洋产业转型升级紧迫, 海洋经济发展面临资源、劳动力、资金、环境等方面的压力。我国海洋产业主体仍是传统海洋产业, 海洋战略性新兴产业发展规模还比较小, 产值较低。过于依赖传统海洋产业的“粗放”型海洋经济发展模式, 导致海洋经济子系统演化实际曲线偏低。2016 年, 国家战略性新兴产业规划出台, 明确海水淡化、海洋生物医药、海洋工程装备等海洋战

略性新兴产业为今后海洋经济重点发展方向; 各沿海省市如广东省、福建省、上海市等也提出涉及海洋战略性新兴产业发展的相关规划和实施方案。2017—2018 年, 由于海洋战略性新兴产业的发展为我国海洋经济提供增长空间, 海洋经济子系统演化实际曲线上升。

海洋资源环境经济复合系统的演化实际曲线在 2006—2016 年期间, 总体低于演化拟合曲线。在此期间, 我国海洋经济的发展还处在初级阶段, 存在着海洋资源消耗较大和海洋环境污染严重等问题, 海洋生态环境承载能力整体较差。从 2016 年开始, 海洋资源环境经济复合系统中的演化实际曲线呈现出缓慢上升的趋势, 这可能是由于进入“十三五”时期, 各沿海省市合理配置海域资源、大力推进海洋生态文明建设, 加强完善近岸海域使用和管理, 通过建设“海洋生态文明示范区”和打造“美丽海湾”等一系列的措施和方法, 加大对海洋环境的保护和治理, 改善海洋环境质量, 有效促进海洋资源、环境、经济统筹协调发展。

4.3 海洋资源环境经济复合系统演化预测分析

根据海洋资源环境经济复合系统及其子系统的演化方程, 得出各系统到 2050 年的演化预测曲线, 如图 4 所示。

由海洋资源子系统演化预测曲线可知, 我国传统海洋资源开发已经进入成熟期, 总体发展速度缓慢; 在 2020—2050 年期间, 传统海洋资源开发利用将会达到饱和状态。目前, 我国各科研院所正积极对“可燃冰”等海洋蓝色能源的开采和利用展开技术攻关。2017 年, 我国已经掌握海洋“可燃冰”固态流化开采技术。但是, 现阶段的技术水平难以达到大量、高效、安全开采“可燃冰”的目标。随着未来技术发展和进步, 我国海洋资源开发将会从传统海洋资源转向蓝色海洋资源, “可燃冰”等海洋蓝色能源产业发展将会上升到国家战略高度, 最终实现工业化开采, 形成由浅海至深海的多层次立体海洋资源开发格局。

由海洋环境子系统演化预测曲线可知, 从 2010 年开始我国海洋环境子系统发展速度基本停滞, 这反映出我国海洋环境污染问题十分严峻、海洋生态调节功能弱化的现实情况; 在 2020—2050 年期间, 我国海洋环境子系统仍会处于成熟阶段。近些年来,

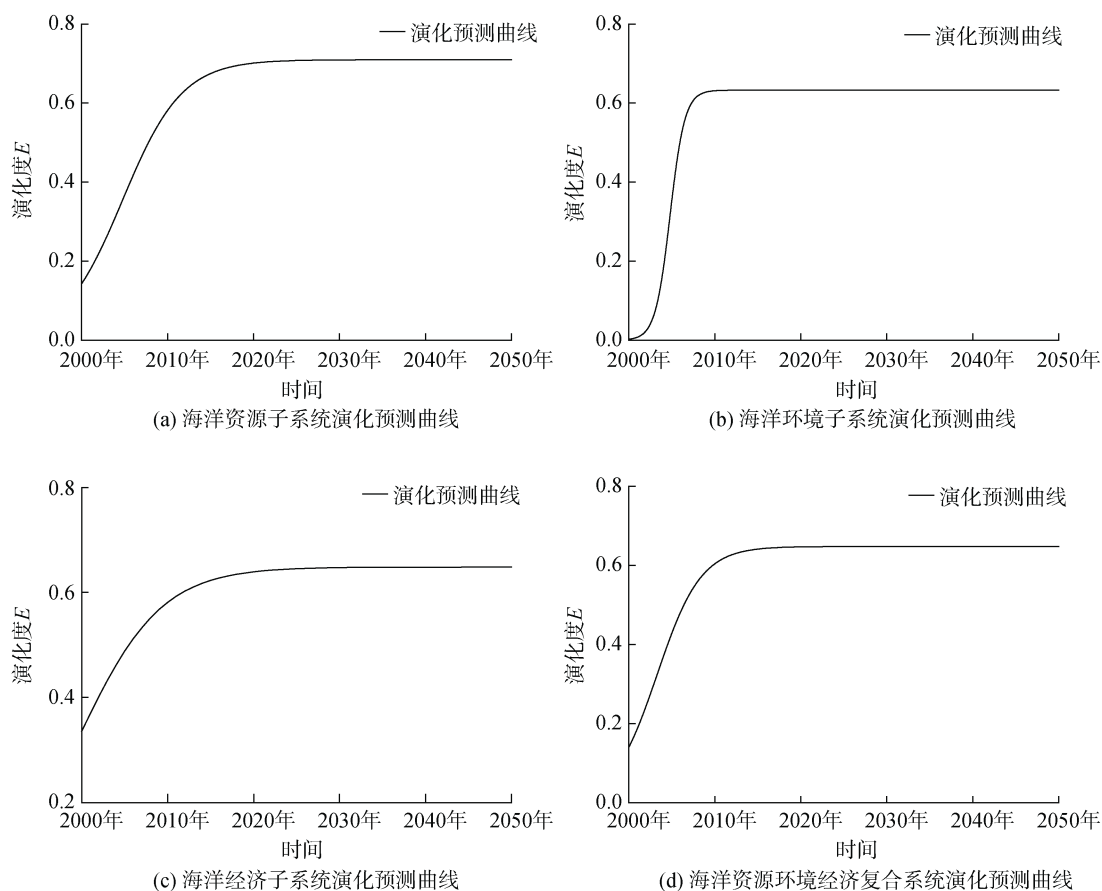


图4 海洋资源环境经济复合系统及其子系统演化预测曲线

Fig. 4 Evolution prediction curve of the marine resources, environment, and economy complex system and its subsystems

中央和地方政府积极加大海洋环境治理力度,通过制定海洋功能区划、划定海洋生态红线等一系列措施来改善海洋环境,但海洋生态环境承载能力整体仍然较差。随着政策工具和手段的丰富和发展,中央和地方将会继续出台海洋环境治理相关措施制度,以海洋环境治理修复工程为抓手,借助海洋环境税费、污染控制指标转让等市场激励型海洋环境规制工具,显著提升海洋环境治理成效。

由海洋经济子系统演化预测曲线可知,在新常态背景下,我国海洋经济发展增速放缓,海洋经济子系统也处于成熟阶段;在2020—2050年期间,我国传统海洋产业的发展已经达到饱和状态。“十二五”期间,我国已经基本形成海洋新兴产业体系,海洋战略性新兴产业链条不断延伸、产业规模日益扩大。在未来一段时间内,我国海洋生物医药、海洋电力、滨海旅游等海洋战略性新兴产业产值将会大幅度提高,同比增速将会维持在较高水平。借助海洋产业转型升级和现代海洋产业体系构建,依靠创

新驱动、技术引领,我国海洋经济将会迎来高质量发展时期。

从整体上看,在资源、环境、空间等基本条件不改变的前提下,我国海洋资源环境经济复合系统演化已经达到基本饱和。然而,随着我国陆海统筹、区域协调发展等国家战略的实施,陆海联系、区域联动将会得到加强。未来,为打破各行政区发展经济带的局限,将从国家层面统筹北部、东部、南部沿海经济带建设,形成自北向南连续、统一的海洋经济带发展新格局。随着现代化沿海经济带建设的推进,我国海洋资源、环境和经济的相互作用、协调耦合将会得到加强和改善,海洋资源环境经济复合系统的演化也会从较低层次向较高层次跃进。

5 结论与建议

5.1 结论

从资源、环境和经济三个层面构建我国海洋复合系统,运用熵权TOPSIS方法进行测算,通过建立

Logistic 模型,对我国海洋资源环境经济复合系统发展过程进行拟合分析和趋势预测。得到相关研究结论: 1) 海洋资源环境经济复合系统是基于海洋资源、环境、经济相互作用、相互制约而形成的,其系统演化过程受到经济增长机制和生态平衡机制的影响。2) 海洋资源环境经济复合系统及其子系统的演化规律符合 Logistic 法则,海洋资源子系统最大演化度高于海洋环境、经济子系统。3) 海洋资源环境经济复合系统及海洋资源、经济子系统演化度的增长率较大,正处于成熟阶段,而海洋环境子系统演化度达到饱和状态,正处于衰退阶段。

5.2 建议

基于上述研究结论,围绕均衡海洋资源开发利用、优化海洋空间规划体系、打造海洋特色产业集群和建立海洋互动协作机制这四个方面,提出以下措施建议:

从近海到深海,均衡海洋资源开发利用。各沿海省市应在开展海洋活动、推进海洋事业过程中,坚持合法、合理、科学原则,加大海岸、海岛等近海资源的开发利用,将海岸生态修复工程与滨海旅游产业相结合。海岸修复项目应该要结合海岸自然特征,以海岸空间养护、海岸自然景观恢复等为主,在修复生态环境的同时,提升旅游休闲功能。在深海资源方面,应该加大海洋资源开发技术研发投入力度,从单项开发转向立体开发、综合开发,丰富海洋资源利用手段、途径;从近海走向深海,通过借助深海勘探装备和工具,积极探索和开发各类深海资源。

积极探索“多规合一”,优化海洋空间规划体系。政府部门应该扮演“多规合一”的主导角色,制定、落实海洋区划配套支持制度,依靠政策工具和手段,积极对各类社会力量的涉海活动进行引导。“多规合一”的探索应该以省级规划试点展开,这样既能够将国家宏观规划具体化,又能够指导监督基层规划,将各类海洋规划向基层推进。优化海洋空间规划体系,应该理清海洋空间规划层级、主体之间关系,应该坚持海洋生态红线不动摇,通过上位规划指导下位规划,构建一个“多规合一”的海洋空间规划体系。

创新驱动海洋经济发展,打造海洋特色产业集群。各涉海主体应该通过推动海洋科技研发、体制机制、管理制度等方面的有效创新,为海洋经济注入新的活力。涉海部门、涉海企业应该加大科技研发投入,针对战略要求和市场需求,建设和发展一批

重点海洋高新技术产业,打造海洋特色产业集群。一方面,应该加快海洋经济三大产业协同发展,打造国际一流海洋服务业基地;另一方面,应该根据地方资源禀赋情况,打造海洋装备、海洋生物制药、滨海旅游等特色产业集群,形成较为完备的现代海洋产业组织和分工体系。

推动成立地方海洋委员会,建立海洋互动协作机制。各沿海省市应该成立地方海洋委员会,从而有效发挥协调和监管职能,实现区域海洋事务宏观管理,加强对区域海洋统筹发展的总体协调和战略指导。为了进一步建立海洋互动协作机制,在基础设施建设、生态环境治理等过程中,应该建立跨部门、跨省市的行政管理体制;在人才、资金等资源配置上,应该建立和完善区域内外交流网络,以推动区域间的交流与合作。各级地方海洋委员会应该通过相应的政策激励与约束手段,构建海洋开发深度合作平台,建立海洋互动协作机制,实现海洋持续健康发展。

参考文献:

- [1] 高乐华, 高强. 海洋生态经济系统界定与构成研究[J]. 生态经济, 2012(2): 62-66.
GAO Lehua, GAO Qiang. Research on the definition and composition of marine ecological economic system[J]. Ecological Economy, 2012(2): 62-66.
- [2] 李帅帅, 施晓铭, 沈体雁. 海洋经济系统构建与蓝色经济空间拓展路径研究[J]. 海洋经济, 2019, 9(1): 3-7.
LI Shuaishuai, SHI Xiaoming, SHEN Tiyan. Construction of marine economic system and research on spatial expansion path of blue economy[J]. Marine Economy, 2019, 9(1): 3-7.
- [3] 丁黎黎. 海洋经济高质量发展的内涵与评判体系研究[J]. 中国海洋大学学报(社会科学版), 2020(3): 12-20.
DING Lili. Connotation and evaluation system of high-quality development of marine economy[J]. Journal of Ocean University of China (Social Sciences), 2020(3): 12-20.
- [4] 孙伯良, 王爱民. 浙江省海洋经济-资源-环境系统协调性的定量测评[J]. 中国科技论坛, 2012(2): 95-101.
SUN Boliang, WANG Aimin. Quantitative evaluation of the coordination of marine economy-resource-environment system in Zhejiang Province[J]. Forum on Science and Technology in China, 2012(2): 95-101.
- [5] 盖美, 钟利达, 柯丽娜. 中国海洋资源环境经济系统承载力及协调性的时空演变[J]. 生态学报, 2018, 38(22): 7921-7932.
GAI Mei, ZHONG Lida, KE Lina. Spatial-temporal evolution of carrying capacity and coordination of China's

- marine resources, environment and economy system[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 38(22): 7921-7932.
- [6] 高强, 刘韬, 王妍, 等. 海洋生态经济系统协调发展评价研究——以海南省为例[J]. *海洋环境科学*, 2019, 38(4): 568-574.
GAO Qiang, LIU Tao, WANG Yan, et al. Evaluation of the coordinated development of marine ecological economic system—a case study of Hainan province[J]. *Marine Environmental Science*, 2019, 38(4): 568-574.
- [7] 狄乾斌, 徐东升, 周乐萍. 基于 STELLA 软件的海洋经济可持续发展系统动力学模型研究[J]. *海洋开发与管理*, 2012, 29(3): 90-94.
DI Qianbin, XU Dongsheng, ZHOU Leping. Dynamics model of sustainable development system of ocean economy based on STELLA software[J]. *Ocean Development and Management*, 2012, 29(3): 90-94.
- [8] 姜旭朝, 刘铁鹰. 海洋经济系统: 概念、特征与动力机制研究[J]. *社会科学辑刊*, 2013(4): 72-80.
JIANG Xuchao, LIU Tiejing. Marine economic system: concept, characteristics and dynamic mechanism research[J]. *Social Science Journal*, 2013(4): 72-80.
- [9] 王泽宇, 卢函, 孙才志, 等. 中国海洋经济系统稳定性评价与空间分异[J]. *资源科学*, 2017, 39(3): 566-576.
WANG Zeyu, LU Han, SUN Caizhi, et al. Stability evaluation and spatial differentiation of China's marine economic system[J]. *Resources Science*, 2017, 39(3): 566-576.
- [10] 荀露峰, 汪艳涛, 金炜博. 基于熵权 TOPSIS 模型的青岛市海洋资源环境承载力评价研究[J]. *海洋环境科学*, 2018, 37(4): 586-594.
GOU Lufeng, WANG Yantao, JIN Weibo. Evaluation of marine resources and environmental carrying capacity in Qingdao based on entropy Weight TOPSIS Model[J]. *Marine Environmental Science*, 2018, 37(4): 586-594.
- [11] 鲁亚运, 原峰, 李杏筠. 我国海洋经济高质量发展评价指标体系构建及应用研究——基于五大发展理念的视角[J]. *企业经济*, 2019, 38(12): 122-130.
LU Yayun, YUAN Feng, LI Xingyun. Construction and application of evaluation index system for high quality development of marine economy in China: from the perspective of five development concepts[J]. *Enterprise Economy*, 2019, 38(12): 122-130.
- [12] 赵玉杰. 基于生态文明建设的海洋经济发展研究[J]. *生态经济*, 2020, 36(1): 211-217.
ZHAO Yujie. Research on marine economic development based on ecological civilization construction[J]. *Ecological Economy*, 2020, 36(1): 211-217.
- [13] 殷克东, 房会会. 中国海洋综合实力测评研究[J]. *海洋经济*, 2012(4): 6-12.
YIN Kedong, FANG Huihui. Research on China's marine comprehensive strength evaluation[J]. *Marine Economy*, 2012(4): 6-12.
- [14] 高红贵, 王如琦. 我国省域生态文明建设与经济建设融合发展水平评价研究[J]. *生态经济*, 2017(9): 204-209.
GAO Honggui, WANG Ruqi. Research on integrated development level evaluation of China's provincial ecological civilization construction and economic construction[J]. *Ecological Economy*, 2017(9): 204-209.
- [15] 冯江茹, 范新英. 中国区域协调发展水平综合评价及测度[J]. *企业经济*, 2014(8): 136-139.
FENG Jiangru, FAN Xinying. Comprehensive evaluation and measurement of China's regional coordinated development level[J]. *Enterprise Economy*, 2014(8): 136-139.
- [16] 李旭辉, 朱启贵. 基于“五位一体”总布局的省域经济社会发展综合评价体系研究[J]. *中央财经大学学报*, 2018(9): 107-117.
LI Xuhui, ZHU Qigui. Research on the comprehensive evaluation system of provincial economic and social development based on the “Five-in-one” general layout[J]. *Journal of Central University of Finance & Economics*, 2018(9): 107-117.
- [17] 赵领娣, 王海霞, 乔石, 等. 用熵权的 TOPSIS 法评价城市经济实力[J]. *数学的实践与认识*, 2017(24): 301-306.
ZHAO Lingdi, WANG Haixia, QIAO Shi, et al. Evaluation of urban economic strength by TOPSIS method of entropy Weight[J]. *Mathematics in Practice and Theory*, 2017(24): 301-306.
- [18] 刘奕, 贾元华, 税常峰. 区域运输结构的自组织演化机制研究——基于 logistic 模型的分析[J]. *技术经济与管理研究*, 2011(9): 3-6.
LIU Yi, JIA Yuanhua, SHUI Changfeng. Study on self-organization evolution mechanism of regional transport structure—analysis based on Logistic Model[J]. *Journal of Technical Economics & Management*, 2011(9): 3-6.
- [19] VERHULST P F. Notice sur la loi que la population suit dans son accroissement[J]. *Correspondences Mathématiques et Physiques*, 1838(10): 113-121.
- [20] 陈海波, 李雨婧, 陈芳. 基于 Logistic 曲线模型的我国 R&D 投入规律及战略思考[J]. *科技管理研究*, 2010, 30(9): 25-27, 53.
CHEN Haibo, LI Yujing, CHEN Fang. Law of R&D investment and strategic thinking in China based on Logistic curve model[J]. *Science and Technology Management Research*, 2010, 30(9): 25-27, 53.
- [21] 周凌云, 周君. 基于复合 Logistic 发展机制的区域物流生态系统演化机理[J]. *生态经济*, 2014, 30(6): 142-145.
ZHOU Lingyun, ZHOU Jun. Evolution mechanism of regional logistics ecosystem based on composite Logistic development mechanism[J]. *Ecological Economy*,

2014, 30(6): 142-145.
 [22] 周韬. 基于 Logistic 模型的城市空间演化研究[J]. 生态经济, 2015, 31(8): 155-158, 172.

ZHOU Tao. Study on urban spatial evolution based on Logistic model[J]. Ecological Economy, 2015, 31(8): 155-158, 172.

Evolution of China's marine resources, environmental, and economic complex system —an empirical analysis based on the logistic model

SONG Ze-ming^{1, 2}, NING Ling²

(1. School of Management, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510520, China; 2. Guangdong Coastal Economic Belt Development Research Institute, Zhanjiang 524088, China)

Received: Jun. 25, 2020

Key words: marine resources and environmental economic complex system; evolution; Logistic model

Abstract: With the orderly progress of various marine undertakings and activities in China, the coordinated and sustainable development of marine resources, environment, and economy is of great significance to high-quality marine development. China's marine composite system is constructed from those three disciplines. Entropy weight TOPSIS method was used to calculate, and the logistic model was established to conduct fitting analysis and trend prediction on the evolution process of the composite system of marine resources, environment, and economy. The relevant research conclusions are as follows: the marine resources/environment/economy complex system is formed based on the interaction and mutual restriction of those three fields, and their evolutionary process is influenced by the mechanism of economic growth and ecological balance. The evolution of the composite system and its subsystems conforms to the logistic law, and the maximum evolutionary degree of the marine resources subsystem is higher than those of the environmental and economic subsystems. The marine resources/environment/economy complex system and the resources/economy subsystem show large growth rates and are in the mature stages, whereas the environment subsystem has reached a state of saturation and decline. Based on the above research conclusions, effective measures are proposed.

(本文编辑: 杨 悦)



华中师范大学学报(自然科学版)

Journal of Central China Normal University(Natural Sciences)

ISSN 1000-1190,CN 42-1178/N

《华中师范大学学报(自然科学版)》网络首发论文

题目: 农业经济系统与水资源环境系统耦合协调关系研究—以湖南省为例
作者: 田培, 韩昊廷, 李佳, 刘目兴, 许新宜
收稿日期: 2021-03-23
网络首发日期: 2021-05-18
引用格式: 田培, 韩昊廷, 李佳, 刘目兴, 许新宜. 农业经济系统与水资源环境系统耦合协调关系研究—以湖南省为例. 华中师范大学学报(自然科学版).
<https://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1178.N.20210518.1520.002.html>



网络首发: 在编辑部工作流程中, 稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定, 且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式(包括网络呈现版式)排版后的稿件, 可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定; 学术研究成果具有创新性、科学性和先进性, 符合编辑部对刊文的录用要求, 不存在学术不端行为及其他侵权行为; 稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准, 正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性, 录用定稿一经发布, 不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容, 只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认: 纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司签约, 在《中国学术期刊(网络版)》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版, 以单篇或整期出版形式, 在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊(网络版)》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物(ISSN 2096-4188, CN 11-6037/Z), 所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

农业经济系统与水资源环境系统耦合协调关系研究—以湖南省为例

田培^{1*}, 韩昊廷¹, 李佳², 刘目兴¹, 许新宜³

(1. 华中师范大学地理过程分析与模拟湖北省重点实验室/城市与环境科学学院, 武汉 430079; 2. 湖南大学金融与统计学院, 长沙 410006; 3. 北京师范大学水科学研究院, 北京 100875)

摘要: 该文综合考虑农业经济-水资源环境复合关系, 构建了由农业投入、产出、现代化以及水资源压力、状态、管理六个维度、19个指标组成的农业经济和水资源环境系统评价指标体系, 并基于客观组合赋权法确定指标权重, 采用耦合协调度和障碍度诊断模型识别两系统耦合协调程度及其主要影响因素。以湖南省为例, 分析其2008年—2019年农业经济和水资源环境耦合协调关系及其时空演变特征与影响因素。结果表明, 湖南省农业经济综合发展指数逐年增大, 水资源环境系统综合发展指数呈较剧烈波动状态; 各市州两系统的耦合协调度(0.362~0.947)呈显著的逐年上升趋势, 到2019年处于协调发展阶段(0.797~0.947); 两系统耦合协调度水平呈现由“中部>北部>南部”向“南部>中部>北部”变化趋势; 农业投入和产出是影响各市州耦合协调度的主要因素。提出了促进湖南省各市州农业经济和水资源环境系统耦合协调发展的对策。

关键词: 水资源环境; 农业经济; 时空变化; 客观组合赋权法; 耦合协调度

中图分类号: TV213.9

文献标志码: A

Research on the coupling coordinating relationship between agricultural economy system and water resources environment system: a case study of Hunan Province

TIAN Pei¹, HAN Haoting¹, LI Jia², LIU Muxing¹, XU Xinyi³

(1. Key Laboratory for Geographical Process Analysis & Simulation of Hubei Province/College of Urban and Environmental Sciences, Central China Normal University, Wuhan 430079, China;
2. College of Finance and Statistics, Hunan University, Changsha 410006, China;
3. College of Water Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Considering the complex relationship between agricultural economy and water resources environment, this paper constructs an evaluation index system of agricultural economy and water resources environment, which consists of six dimensions of agricultural input, output, modernization and water resources pressure, state and management, and 19 indexes. The index weight is determined based on the objective combination weighting method, and the coupling coordination degree and obstacle diagnosis model are used to identify the coupling coordination degree of the two systems and its main influencing factors. Taking Hunan Province as an example, this paper analyzes the coupling and coordination relationship between agricultural economy and water resources environment from 2008 to 2019, and its spatial and temporal evolution characteristics and influencing factors. The results show that the comprehensive development index of agricultural economy in Hunan Province increases year by year, and the comprehensive development index of water resources and environment system fluctuates violently. The coupling coordination degree of each city and state system (0.362~0.947) showed a significant upward trend year by year, and it was in the coordinated development stage (0.797~0.947) by 2019. The coupling coordination degree of the two systems showed a trend from “central>northern>southern” to “southern>central>northern”; Agricultural input and output are the main factors affecting the coupling coordination degree of cities and states. The countermeasures to promote the coupling and coordinated development of agricultural economy and water resources and environment system in cities and states of Hunan Province are proposed.

Key words: water resource environment; agricultural economy; spatial and temporal variations; objective combination weighting

收稿日期: 2021-03-23。

基金项目: 国家自然科学基金项目(41907061); 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室基金项目(A314021402-2005); 长江科学院水利部山洪地质灾害防治工程技术研究中心研究基金项目(CKWV2019761/KY)。

*通信联系人。E-mail: tianpei@mail.ccnu.edu.cn

水资源是关系国家可持续发展的基础性自然资源和战略性经济资源^[1]。党的十九大报告明确了生态文明建设是自然、经济、社会等多方面的协调^[2]，提出了以更高要求和标准对待水资源节约与保护工作^[3,4]。农业经济发展与水资源存在相互耦合关系，一方面我国农业可持续发展受到水资源数量的制约^[5]，良好的水资源环境可为农业经济发展提供支撑；另一方面，农业生产过程中农药和化肥超量使用威胁到了水资源的质量^[6]。因此开展水资源环境和农业经济系统之间的关系研究，探讨两系统的耦合协调发展水平及其时空演变趋势，对于农业经济发展及水资源可持续利用具有重要意义。

国内外学者对水资源与社会经济协调发展关系进行了较为丰富研究。邢霞等^[1]借助耦合协调度和障碍度模型探讨了黄河流域用水效率和经济发展之间的协调关系，认为经济发展滞后于用水效率。盖美等^[7]运用耦合协调模型对辽海经济带各市用水效率与经济协调发展的耦合协调度进行了评价。罗幸乐等^[8]利用耦合协调度模型研究了湘江流域城市化与水资源环境的耦合协调机制。郑德凤等^[9]从时空匹配趋势及数量协调发展两个角度评价城市化质量与水资源的协调发展状态。谈飞等^[10]、聂晓等^[11]、刘艺等^[12]运用耦合协调度模型分析区域水资源环境与社会经济的协调发展关系。Liu 等^[13]建立了改进的耦合协调度、剪刀差分析和基于遗传算法的投影寻踪模型，对中国社会经济与水环境系统耦合协调关系进行了研究。Luo 等^[14]将分布式社会经济-水生态模型（SEWE）与耦合协调模型相结合，提出了社会经济-水生态协调发展评价新框架。常玉苗^[6]研究了农业水资源、农业经济、水污染治理和水环境等四个子系统的耦合机理，但未对各系统的耦合过程进行定量分析。可以看出，水资源和社会经济耦合协调关系研究多聚焦于水资源与城镇化、用水效率或水环境与社会经济之间的关系，对水资源环境系统与农业经济系统耦合协调关系的研究鲜见报道。

部分学者对区域水资源与农业经济的关系也进行了研究。针对干旱地区，杜俊平等^[15]构建模糊综合评价模型对河西走廊五市 2003 年—2013 年水资源和农业经济系统的协调度进行了测度，认为协调度整体水平较低。谢文宝等^[16]运用 Tapio 模型研究新疆农业水资源利用与农业经济增长的脱钩关系，认为农业水资源灌溉效率的提高减弱了农业经济增长对水资源的依赖程度。Alrwis 等^[17]通过构建描述性回归模型研究沙特水资源对农业经济的影响，认为水资源短缺对农业经济有着较强负面影响。针对湿润地区，彭虹等^[18]对重庆市的农业用水量与农业经济发展之间的脱钩程度、时序演变和空间分布规律进行了分析，但其仅用农业用水量和农业 GDP 来分析水资源和农业经济之间的关系。潘丹和应瑞瑶^[19]通过构建水资源与农业经济增长的面板 VAR 模型，利用 1998 年—2009 年中国省级面板数据分析了水资源与农业经济增长的内在因果关系。He 等^[20]结合农业生产和水资源质量的实际情况以及农业水资源承载力评价，研究了农业水资源优化配置方法。由此可见，当前水资源与农业经济关系的研究多集中在干旱区，且多为农业用水量与农业产值的线性关系研究，对于水资源-农业经济系统耦合协调发展的实证研究相对较少。

综上所述，仅从产值和用水量角度研究水资源环境和农业经济系统间的关系并不全面。水资源丰富地区多集中于水资源与社会经济的协调发展研究，而探讨水资源环境与农业经济系统协调发展的研究相对较少。主导干旱区水资源与农业经济关系的因素是水资源数量，相关研究主要是为促进缺水地区水资源合理开发利用^[21]，而影响湿润地区水资源与农业经济系统间关系的是水资源质量、状态以及农业发展水平等因素。因此，本文以我国中部重要农业产区且水资源相对充沛的湖南省为例，深化水资源环境系统与农业经济系统耦合协调关系的研究，为当地水资源环境与农业经济系统的协调可持续发展提供科学依据。

1 研究方法

1.1 农业经济和水资源环境系统综合评价指标体系构建

本文在评价指标选取过程中遵循科学性、系统性、特殊性及可操作性等原则，对大量涉及水资源环境、农业经济系统评价指标的文献进行筛选，再结合研究区域实际状况和专家意见进行优化，最终保留 18 个指标，构成农业经济系统和水资源环境系统的综合评价指标体系，如表 1 所示。农业经济系统主要从农业投入、产出、现代化三个维度进行综合评价^[15, 22-25]，选取了农业财政支出、单位面积粮食产量、单位耕地面积机械动力等具有较强适用性的指标，以及有效灌溉农业面积这一反映水资源对湖南农业经济影响的指标。水资源环境系统涵盖水质与水量，从水资源压力、水资源状态以及水资源管理三个维度对其进行综合

评价^[26-29]。水资源压力是人类活动对水质、水量等产生的影响，用水量及废水量是其评价系统主要指标^[30]，为适应湖南省水资源较为丰富的状况，选取废水总量、人均用水量、农业用水总量和万元 GDP 用水量来评价湖南省水资源压力状况；水资源状态反映水资源系统在压力作用下的状态，其核心评价指标为水量^[31]；水资源管理反映对水资源的保护及可持续利用，为突出湖南地区农业活动对水资源环境的影响，选取了污水处理率、造林面积以及化肥施用量三项指标^[32]。

表 1 农业经济和水资源环境系统综合评价指标体系

Tab. 1 Comprehensive evaluation index system of agricultural economy and water resources environment system

系统	维度	评价指标	指标属性	单位
农业经济系统	农业投入	农业财政支出 (A1)	+	亿元
		农作物总播种面积 (A2)	+	万 hm ²
		有效灌溉农业面积 (A3)	+	万 hm ²
	农业产出	农业总产值 (A4)	+	亿元
		单位面积粮食产量 (A5)	+	t/ hm ²
		农村居民人均可支配收入 (A6)	+	元
	农业现代化	单位耕地面积机械动力 (A7)	+	kwh/ hm ²
		农业保险深度 (A8)	+	%
		农村人均用电量 (A9)	+	kwh/人
水资源环境系统	水资源压力	废水总量 (B1)	-	亿 m ³
		农业用水总量 (B2)	-	亿 m ³
		人均用水量 (B3)	-	m ³ /人
		万元 GDP 耗水量 (B4)	-	m ³ /万元
	水资源状态	降水量 (B5)	+	亿 m ³
		水资源总量 (B6)	+	亿 m ³
		单位面积水资源量 (B7)	+	m ³ /km ²
	水资源管理	污水处理率 (B8)	+	%
		造林面积 (B9)	+	万 hm ²
		化肥施用量 (B10)	-	万 t

注：“+”为正向指标，“-”为负向指标。农业保险深度：指农业保费收入与农林牧渔业产业增加值的比值，是反映农业风险防范能力和农业现代化的重要指标^[33]。

1.2 指标权重确定方法

农业经济和水资源环境系统综合评价指标体系是综合农业、经济、水资源和生态环境多方面、多学科的复合体系，涉及面广，研究时段长、样本数据多。为了克服主观赋权法客观性差的缺点，也为了减少单一客观赋权法本身的局限性和计算结果的差异，本文采用变异系数法、熵值法这两种客观赋权法相结合的客观组合赋权法确定指标的权重^[34]。

1.2.1 变异系数法

变异系数法是根据统计学方法计算出系统各指标变化程度的方法，变化差异较大的指标权重较大，变化差异较小的指标权重较小^[34]。计算过程如下：

$$\delta_i = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^n (X_{ij} - \bar{X})^2}, \quad (1)$$

$$v_j = (\delta_i / \bar{X}_j), \quad (2)$$

$$\omega_{1j} = \left(v_j / \sum_{j=1}^m v_j \right), \quad (3)$$

δ_i 为第 j 项指标的标准差； ω_{1j} 为第 j 项指标在所有指标中所占的权重； v_j 为第 j 项指标的变异系数。

1.2.2 熵值法

由于评价指标的原始数据量纲各不相同，为消除因量纲不同对评价结果的影响，运用熵值法求权重之前需要对数据进行标准化处理，采用极值标准化方法^[35]。

正向指标标准化处理：

$$\gamma_{ij} = \frac{X_{ij} - \min X_j}{\max X_j - \min X_j}, \quad (4)$$

负向指标标准化处理：

$$\gamma_{ij} = \frac{\max X_j - X_{ij}}{\max X_j - \min X_j}, \quad (5)$$

其中， X_{ij} 为第 i 年第 j 个指标的原始数据； γ_{ij} 为第 i 年第 j 个指标标准化后的数据； $\max X_j$ 、 $\min X_j$ 分别表示第 j 项指标的最大值、最小值。

$$f_{ij} = \left(\gamma_{ij} / \sum_{i=1}^n \gamma_{ij} \right), \quad (6)$$

$$E_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{j=1}^m f_{ij} \ln(f_{ij}), \quad (7)$$

$$d_j = 1 - E_j, \quad (8)$$

$$\omega_{2j} = \left(d_j / \sum_{j=1}^m d_j \right), \quad (9)$$

f_{ij} 为第 i 年第 j 项指标的比重； E_j 为指标的信息熵；式中假定 $f_{ij}=0$ 时， $f_{ij} \ln(f_{ij})=0$ ； d_j 为指标的差异性系数，即信息的重复度； ω_{2j} 为第 j 项指标的权重。

1.2.3 客观组合赋权法

将变异系数法和熵值法得到的权重结果进行组合^[36]，得到指标的最终权重 ω_j 。

$$\omega_j = \alpha \omega_{1j} + (1 - \alpha) \omega_{2j}, \quad (10)$$

ω_j 为组合权重； ω_{1j} 为变异系数法求得的指标权重； ω_{2j} 为熵值法求得的权重。 α 的取值借鉴有关研究^[37]，计算方法如下：

$$\alpha = \frac{R_{EN} * n}{n - 1}, \quad (11)$$

R_{EN} 为差异程度系数， $R_{EN} \in [0, 1)$ 。

$$R_{EN} = \frac{2}{n} (1 * p_1 + 2 * p_2 + \dots + n * p_n) - \frac{n+1}{n}, \quad (12)$$

N 为指标的个数; p_1, p_2, \dots, p_n 是将变异系数法所得指标的权重按照从小到大的顺序进行排序。

1.3 综合评价函数

借鉴物理学中容量耦合内容, 构建农业经济与水资源环境系统耦合协调度模型, 首先对两系统各自的评价函数进行计算:

$$K = \sum_{j=1}^m W_j^K \gamma_{ij}^k, \quad (13)$$

$$Z = \sum_{j=1}^m W_j^Z \gamma_{ij}^z, \quad (14)$$

其中, K 和 Z 分别为农业经济系统和水资源系统的综合评价函数, 其物理意义为各指标对系统的贡献程度; W_j^K 、 W_j^Z 分别为农业经济系统和水资源系统各指标权重; γ_{ij}^K 、 γ_{ij}^Z 分别为农业经济系统和水资源系统各指标标准化的数值。本文对两系统的综合评价函数数值 (综合发展指数) 进行了评价等级划分^[38], 以 Z 为代表设定评价等级, 如表 2 所示。

表 2 综合发展指数等级
Tab. 2 Grade of comprehensive development index

综合发展指数	$Z \geq 0.750$	$0.500 \leq Z < 0.750$	$0.250 \leq Z < 0.500$	$Z < 0.250$
等级	优秀	良好	一般	差

1.4 耦合协调度模型

根据两系统综合评价函数的计算结果进一步建立耦合协调度模型, 具体如下:

$$C = \left[(K \times Z) / \left(\frac{K + Z}{2} \right)^2 \right]^{1/2}, \quad (15)$$

$$D = \sqrt{C \times T}, \quad \text{其中 } T = aK + bZ, \quad (16)$$

式中, C 为耦合度, T 为水资源系统与农业经济系统综合评价指数, a 、 b 为待定系数, 借鉴有关研究^[21], 本文认为农业经济系统与水资源系统同等重要, 因此取 $a=b=0.5$ 。 D 为耦合协调度, 将农业经济系统和水资源系统的耦合协调发展情况分为了 3 个阶段、10 个类型^[39], 如表 3 所示。

表 3 耦合协调度的分类体系和判别标准
Tab. 3 Classification system and criterion of the coupling coordination degree

阶段	耦合协调度 D	协调类型
发展失调阶段	0.000~0.090	极度失调衰退
	0.100~0.190	严重失调衰退
	0.200~0.290	中度失调衰退
	0.300~0.390	轻度失调衰退
过渡阶段	0.400~0.490	濒临失调衰退
	0.500~0.590	勉强失调衰退
协调发展阶段	0.600~0.690	初级耦合协调
	0.700~0.790	中级耦合协调
	0.800~0.890	良好耦合协调
	0.900~1.000	优质耦合协调

1.5 障碍度诊断模型

为进一步识别评价指标对湖南各市州农业经济系统与水资源环境系统耦合协调度的影响程度, 从而提出有针对性的发展农业经济和提升水资源环境的措施, 利用障碍度诊断模型诊断和测算影响两系统耦合协

调度的障碍因素及障碍度，某项指标的障碍度越小，表明耦合协调度受该项指标的阻碍作用越弱，反之亦然。具体计算过程参考相关文献^[40]：

$$M_j = (w_j \times w_i) \times (1 - r_{ij}) / \sum_j^n (w_j \times w_i) \times (1 - r_{ij}) \times 100\% , \quad (17)$$

w_i 为维度权重； w_j 为指标权重； r_{ij} 为第*i*年第*j*个指标标准化后的数据；*n*为指标个数； M_j 为单项指标对农业经济系统和水资源环境系统耦合协调度的障碍度。

2 研究区概况与数据来源

2.1 研究区概况

湖南省地处中国中南部、长江中游南部，位于 108°47′~114°15′E，24°38′~30°08′N 之间，是我国中部重要的农业和水资源大省。全省划分为 1 个自治州和 13 个地级市。属于大陆型亚热带季风湿润气候，四季分明，日照充足，年降雨量 1 200~1 500 mm，2019 年全省耕地面积为 461.64 万 hm²，农林牧渔业增加值为 3 850.2 亿元，比上年增长 3.5%。近年来，随着农业的不断发展及省内水资源时空分布的不均，农业发展与水资源供需矛盾日益突出^[41]。

2.2 数据来源

A1、A2、A3、A4、A5、A6、A7、A8、A9、B9、B10 指标数据来源于 2008 年—2019 年的《湖南统计年鉴》《湖南省国民经济和社会发展统计公报》以及湖南省各市州的统计年鉴；B1、B2、B3、B4、B5、B6、B7、B8 指标数据来源于《湖南省水资源公报》《湖南省环境公报》、水资源公报和环境公报。

3 结果与讨论

3.1 指标权重分析

湖南农业经济与水资源环境系统评价指标权重系数分别如图 1 所示。在农业经济系统中，农业财政支出（A1）权重最高（0.155），其次是有效灌溉农业面积（A3）的 0.151 和农村居民人均可支配收入（A6）的 0.13，因此农业投入的主要指标权重最大，其对农业经济的影响最大。在水资源环境系统中，化肥施用量（B10）的权重最高（0.189），其次是人均用水量（B3）的 0.159 和废水总量（B1）的 0.113，可见水资源管理和水资源压力是影响水资源环境的重要因素。

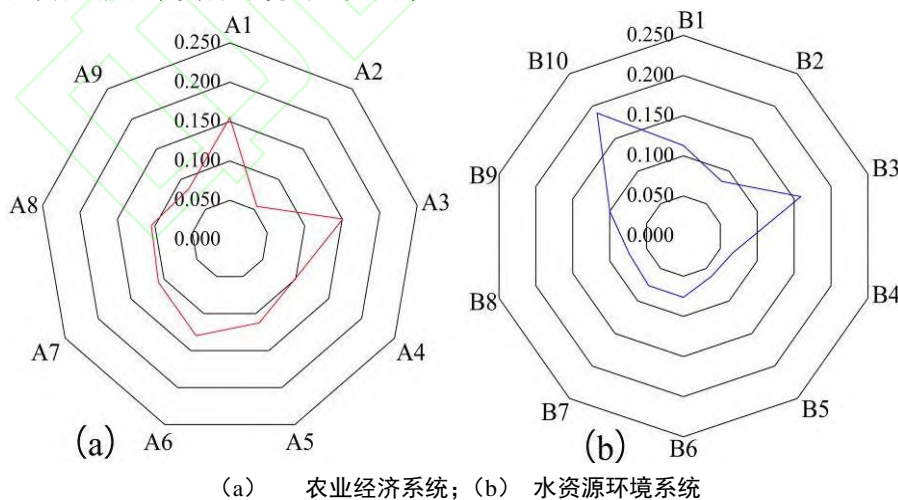


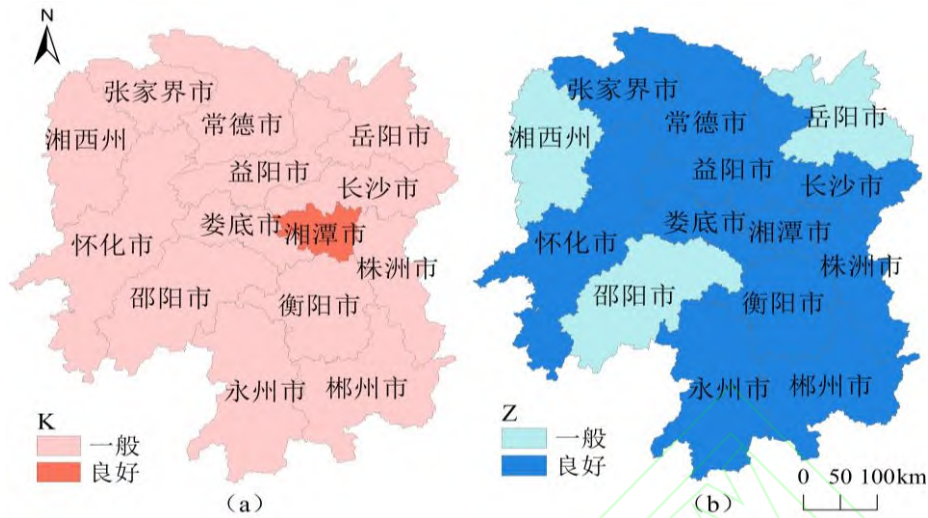
图 1 评价指标权重系数

(a) Agricultural economy subsystem (b) water resources environmental system

Fig. 1 Weight coefficient of evaluation index

3.2 农业经济和水资源环境系统综合发展水平

湖南省各市州 2008 年—2019 年农业经济系统与水资源环境系统平均综合发展指数的空间分布见图 2 所示。



(a) 农业经济系统；(b) 水资源环境系统

图 2 两系统综合发展指数的空间分布.

(a) Agricultural economy subsystem (b) water resources environmental system

Fig. 2 Spatial distribution of comprehensive development index of the two systems.

从空间角度看，湘潭市两系统综合发展水平均表现为“良好”，处于领先地位，尤其是农业经济系统。表明湘潭市作为长株潭经济区重要的农产品生产供应区，区位优势明显，使其农业经济系统综合发展指数表现突出。在农业经济系统中，除湘潭市之外，其余地区表现为“一般”；在水资源环境系统中，岳阳市、邵阳市和湘西州的综合发展水平表现为“一般”，其余市皆表现“良好”。岳阳的水资源环境系统平均综合发展指数为 0.452，与表现“良好”地区差距较大，仍具有较大的发展空间；邵阳与湘西州分别为 0.463、0.477，平均发展水平优于岳阳，与其他城市差距较小。

湖南省农业经济系统和水资源环境系统综合发展指数的年变化情况如图 3。由图 3 可知，湖南省农业经济系统综合发展指数呈线性增长趋势，主要得益于农业投入的增长。2008 年—2019 年，湖南省持续加大对农业的支持，农业财政支出从 2008 年的 176.38 亿元增加到 2019 年的 265.47 亿元，增长了 1.5 倍，有效灌溉农业面积连年增长，从 2008 年的 270.92 万 hm^2 增长到 2019 年的 317.61 万 hm^2 ，农村居民人均可支配收入增长了 3.4 倍，以及农业机械化现代化水平不断提升，使农业经济有较快发展。研究期内，湖南省农业经济系统综合发展水平平稳增长，只 2013 年小幅下跌，主要因为有效农业灌溉面积的减少，进而导致单位粮食产量下降，造成发展水平波动，2014 年—2019 年保持增长趋势，说明湖南省农业经济整体上保持稳定增长态势。

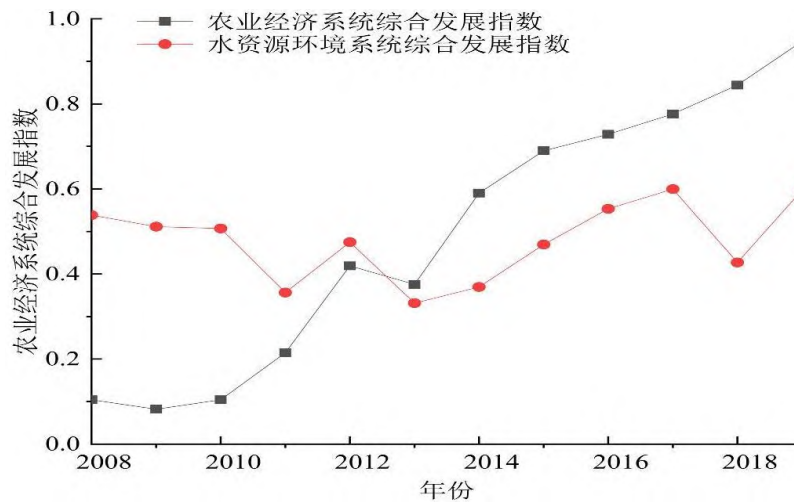


图 3 湖南省农业经济与水资源环境系统综合发展水平变化趋势

Fig. 3 Trend of comprehensive development level of agricultural economy and water resources environment system in Hunan Province

由图 3 可知，研究期间，湖南省水资源环境系统综合发展指数呈波动状态，2008 年—2010 年，水资源环境系统综合发展指数较为平稳，该阶段水资源压力较小，废水总量和人均用水量的增量较少；2011 年—2013 年，综合发展指数连续波动，主要是该阶段降水量变化较大，2011 年降水量仅为 2 227 亿 m^3 ，较 2010 年减少了 1.5 倍，2012 年降水量回升到 3 585 亿 m^3 ，而 2013 年又下降到 2 868 亿 m^3 ，降水量的明显波动影响了水资源环境综合发展水平的变化；2013 年—2017 年，水资源环境系统综合发展指数呈上升趋势，主要原因水资源管理的提升，水资源压力不断降低，湖南省 2013 年印发《湖南省最严格水资源管理制度实施方案》，提出严格实行用水总量控制、全面推进节水型社会建设、严格控制入河湖排污总量等方案，湖南省人均用水量由 2013 年的 497 m^3 减少到 2017 年的 476 m^3 ，万元 GDP 耗水量由 2013 年的 136 立方米降到 2017 年的 94.52 m^3 ，提高了水资源的利用效率，化肥施用量逐年下降，减少了面源污染源，造林面积从 2013 年的 34.98 提升到 2017 年的 55.41，改善了水环境质量，有效促进了湖南省水资源环境系统综合发展水平的提升。2018 年—2019 年呈现波动，主要原因是 2018 年降水量有所下降，且废水总量较高，水资源压力较大，2019 年废水总量控制较好，由 2018 年 32.47 亿 m^3 降到 30 亿 m^3 ，2019 年化肥施用量相较于 2018 年减少 13.6 万 t，因此 2019 年水资源环境系统综合发展水平有所上升。

3.3 耦合协调度及其时空演变特征

为进一步分析湖南省农业经济和g水资源环境系统耦合协调度的时序及空间变化，利用 ArcGis10.4 对湖南省 2008 年—2019 年两系统耦合协调度进行了可视化处理，如图 3 所示。

湖南各市州的农业经济系统与水资源环境系统耦合协调度在时间序列上呈现出增长趋势，但空间演变的差异性较为明显，总体演变趋势是随着时间的变化耦合协调水平由“中部>北部>南部”向“南部>中部>北部”转变。2008 年长沙处在初级耦合阶段，永州和衡阳两系统的耦合协调度处于发展失调阶段，其余市州处于过渡阶段。2009 年湖南各市州耦合协调度均处于过渡阶段。2010 年娄底、常德和长沙处于初级耦合阶段，其余市州处在过渡阶段，但处于勉强失调阶段的市州显著增加。2011 年长沙、娄底和常德三市处于初级耦合阶段，其余市州处于勉强失调阶段。2008 年—2011 年，湖南省各市州农业经济系统综合发展水平滞后于水资源环境系统综合发展水平。2012 年株洲、湘潭、常德和永州 4 市处于中级耦合阶段，其余地区均处于初级耦合阶段。《湖南省人民政府关于推进农业科技创新加快农业现代化建设的意见》中明确提出提升湖南农业现代化水平，促进农业增效和农民增收，收到较好成效，2012 年农业经济综合发展指数明显提高，《湖南省“十二五”水利发展规划》对农村水利建设、水资源开发利用、水资源保护等方面进行了规划，有效地提升了水资源环境的发展水平。

2013 年，湘西州处在过渡阶段，其余市两系统耦合协调度均已处在协调发展阶段。2014 年永州、怀化、娄底、湘潭、株洲、常德以及岳阳市处于中级耦合阶段，其余市州处于初级耦合阶段，从空间上看，

处于中级耦合阶段的地区呈现出“中部>北部>南部”。2015年，永州市处在良好耦合阶段，湘西州处在初级耦合阶段，其余市处于中级耦合阶段。2016年，永州、郴州、株洲、湘潭、长沙、常德和张家界处在中级耦合阶段，湘西州两系统的协调发展程度仍落后于其余市，主要原因是湘西州地理位置以及自然环境不理想，不利于农业的进一步发展。2016年两系统耦合协调水平整体处于协调发展阶段，高耦合协调水平已表现出南移趋势，永州和郴州表现突出。2017年，怀化、益阳、常德、岳阳和长沙处于中级耦合，其余市州处在良好耦合阶段，耦合协调度空间分布呈现出“南部>西部>中北部”，表明由于快速城镇化和人口数量增多等原因导致中部城市水资源压力较大，水资源环境综合发展水平不高。2018年和2019年耦合协调水平空间分布已呈现“南高北低”态势，永州、衡阳从2008年的失调阶段发展到了2019年的优质耦合阶段，除岳阳处于中级耦合阶段之外，其余市州都发展到良好耦合阶段。主要原因在于农业经济发展水平的显著提升，表明“十四五”规划和乡村振兴战略的实施，促进了湖南省农业经济的发展。湖南省2013年印发《湖南省最严格水资源管理制度实施方案》，提出严格实行用水总量控制、全面推进节水型社会建设、严格控制入河湖排污总量等方案，加快了水资源环境综合发展水平的提升，促进了两系统的耦合协调。



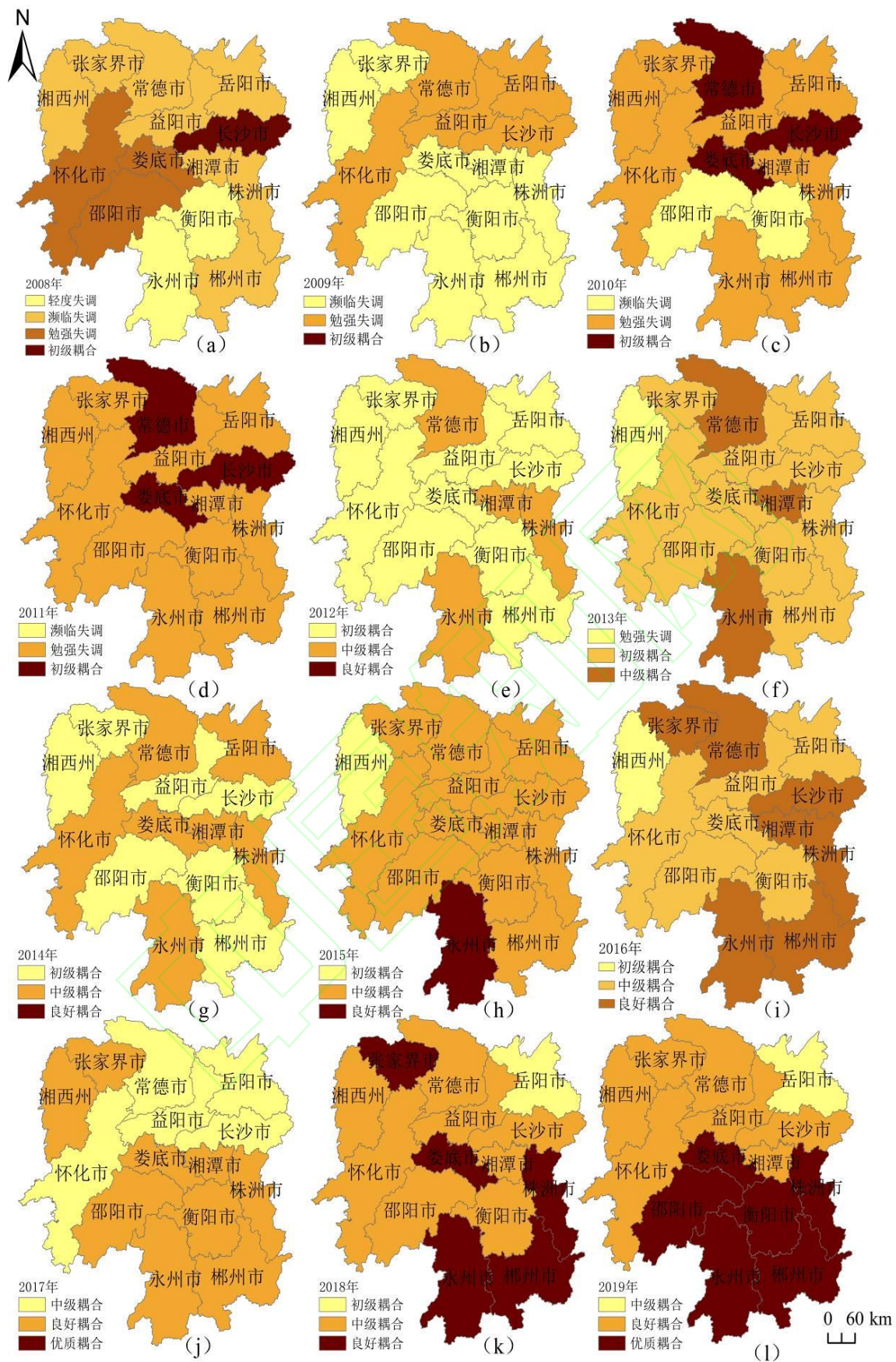


图 4 农业经济系统与水资源系统耦合协调度的时空演变趋势

Fig. 4 The spatial-temporal evolution trend of coupling coordination degree between agricultural economic system and water resources system

3.4 耦合协调度的影响因素分析

根据障碍度模型分别计算 2008 年—2019 年湖南省各市州农业经济系统与水资源环境系统耦合协调度的障碍度，对历年障碍度取平均值进行排序，筛选出各市州影响显著的障碍因素 ($M_j \geq 6\%$)，并列各市州障碍度前 4 位的障碍因素，见表 4。除衡阳的第一障碍因素为造林面积 (B9)，其余市州的第一障碍因素为农业财政支出 (A1)，在 14 个市州中作为障碍因素出现频次最高的指标有农业财政支出 (A1) 和农村居民人均可支配收入 (A6)，出现频次均为 14 次，其余为造林面积 (B9) 9 次、农业总产值 (A4) 5 次、废水总量 (B1) 2 次以及污水处理率 (B8) 1 次。可见影响湖南各市州农业经济系统与水资源环境系统耦合协调度的障碍因素主要为农业财政支出、农村居民人均可支配收入、造林面积以及农业总产值，因此湖南各市州需加大对农业的投入，深化农业的财政支持力度，提高农村居民人均收入水平，缩小地域之间农业经济发展的差距。此外，衡阳需要进一步加大对水资源的管理，不断加大造林力度，提高水资源环境，长沙和郴州需减少废水总量，提高水资源质量。

表 4 湖南省各市州主要障碍因素及障碍度

Table 4 Main obstacle factors and obstacle degree in Hunan Province								%
城市	第一障碍因素	障碍度	第二障碍因素	障碍度	第三障碍因素	障碍度	第四障碍因素	障碍度
长沙	A1	11.380	B1	10.588	A6	9.247	A4	6.632
株洲	A1	11.370	A6	8.442	B9	7.593	A9	6.734
湘潭	A1	11.606	A6	8.461	B9	7.467	A9	7.332
衡阳	B9	11.819	A1	9.666	A6	7.516	A9	7.082
邵阳	A1	11.700	B9	11.61	A6	8.744	A4	6.153
岳阳	A1	11.477	A6	8.503	B9	7.848	A4	6.374
常德	A1	11.036	B9	8.681	A6	8.349	A9	6.939
张家界	A1	12.255	B9	9.959	A6	8.269	A9	6.681
益阳	A1	11.252	A6	8.371	B9	8.018	A9	6.935
郴州	A1	9.881	A6	8.826	B9	8.152	B1	6.965
永州	A1	11.713	A6	8.332	B9	7.644	B8	6.615
怀化	A1	12.850	A6	8.653	B9	6.834	A4	6.617
娄底	A1	10.684	A6	10.224	B9	9.666	A9	6.858
湘西	A1	10.131	A6	8.715	B9	8.633	A4	6.271

4 结论与建议

4.1 结论

本文构建了农业经济和水资源环境系统综合评价指标体系及其耦合协调度的评价方法，并以湖南省为例开展了应用研究，主要结论如下。

1) 本文构建的评价指标体系及评价方法可综合考虑两系统的复杂性和协调性，可以合理评价农业经济和水资源环境系统的耦合协调关系，以湖南省为例的评价结果符合当地实际情况。评价指标体系具有较好代表性和适用性，评价方法简便有效，可为区域农业经济和水资源环境耦合协调关系研究提供参考。

2) 农业经济和水资源环境系统的年均综合发展水平的地域分布类似，湘潭农业经济年均综合发展指数处于领先地位，岳阳、邵阳和湘西州水资源环境年均综合发展水平排名靠后。2008 年—2019 年，湖南省农业经济系统综合发展水平整体处于平稳上升趋势，而水资源环境系统综合发展水平整体不高且呈波动变化状态，主要体现在废水总量、人均用水量高使得水资源压力较大。

3) 2008 年—2019 年湖南省农业经济和水资源环境系统耦合协调度的空间差异明显，耦合协调水平明显地呈现出由“中部>北部>南部”向“南部>中部>北部”转变发展的态势，原因在于随着湖南南部区域农业投入和农业现代化水平的提升，南北农业经济发展水平较为一致，但水资源环境综合发展水平差异较大。南部地区位于湘江流域上游且人口较少，废水总量和人均用水量较少，有利于两系统的协调发展。

4) 14个市州农业经济与水资源环境系统的耦合协调度在时间序列上呈现显著上升趋势,2019年各市州农业经济与水资源环境系统耦合协调度发展水平均达到协调发展阶段;影响各市州两系统耦合协调度的障碍因素主要为农业财政支出、农村居民人均可支配收入、造林面积以及农业总产值,且各地区主要影响因素差异不明显。

4.2 建议

湖南省长沙、岳阳、湘潭、株洲、益阳和娄底等市进一步加大废水处理力度,提升公众节水意识和水资源重复利用率。湘江流域上游水资源压力小于下游,因此要合理规划上下游流域的用水;永州、郴州、怀化、衡阳、邵阳、张家界、常德和湘西州需控制污水排放,进一步扩大造林面积,减少化肥施用量,深化水资源管理和水环境保护,实施流域精细化管理,缓解下游地区水资源压力大的状况。农业现代化对农业发展支撑作用不明显,湘中和湘北粮食主产区应加大农业科技投入,提高机耕和有效灌溉农业面积,深化农业保险参保力度。湘西及湘南地区需提高稻田机械化水平,以增强农业经济可持续发展能力。各市州农业经济与水资源环境系统耦合协调度的空间差异明显主要与农业投入及产出的差异性有关,建议湘西州、娄底、张家界加大农业投入,深化农业的财政支持力度,缩小地域之间农业经济发展的差距。

参考文献:

- [1] 邢霞,修长百,刘玉春. 黄河流域水资源利用效率与经济耦合协调关系研究[J]. 软科学, 2020, 34(8): 44-50.
XING X, XIU C B, LIU Y C. Research on coupling and coordination relationship between water resources utilization efficiency and economic development[J]. Soft Science, 2020, 34(8): 44-50.
- [2] 葛世帅,曾刚,杨阳,等. 黄河经济带生态文明建设与城市化耦合关系及空间特征研究[J]. 自然资源学报, 2021, 36(1): 87-102.
GE S H, ZENG G, YANG Y, et al. The coupling relationship and spatial characteristics analysis between ecological civilization construction and urbanization in the Yellow River Economic Belt[J]. Journal of Natural Resources, 2021, 36(1): 87-102.
- [3] 杨胜苏,张利国,喻玲,等. 湖南省社会经济与水资源利用协调发展演化[J]. 经济地理, 2020, 40(11):86-94.
YANG S S, ZHANG L G, YU L. The coordinated development and evolution of social economy and water resources utilization in Hunan Province[J]. Economic Geography, 2020, 40(11): 86-94
- [4] TIAN P, WU H, YANG T, et al. Evaluation of urban water ecological civilization: a case study of three urban agglomerations in the Yangtze River Economic Belt, China[J]. Ecological Indicators, 2021, 123: 107351.
- [5] 闫桂权,何玉成,张晓恒. 绿色技术进步、农业经济增长与污染空间溢出——来自中国农业水资源利用的证据[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(12): 2921-2935.
YAN G Q, HE Y C, ZHANG X H. Green technology progress, agricultural economic growth and pollution space spillover effect: evidence of agricultural water utilization process in China[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2019, 28(12): 2921-2935.
- [6] 常玉苗. 水资源环境与农业经济的系统耦合及协调发展[J]. 水电能源科学, 2017, 35(11): 115-118.
CHANG Y M. System coupling and coordinated development of water resources environment and agricultural economy[J]. Water Resources and Power, 2017, 35(11): 115-118.
- [7] 盖美,王宇飞,马国栋,等. 辽宁沿海地区用水效率与经济的耦合协调发展评价[J]. 自然资源学报, 2013,28(12):2081-2094.
GAI M, WANG Y F, MA G D, et al. Evaluation of the coupling coordination development between water use efficiency and economy in Liaoning Coastal Economic Belt[J]. Journal of Natural Resources, 2013, 28(12): 2081-2094.
- [8] 罗幸乐,蒋智美,郑楚菁,等. 湘江流域城市化与水资源环境交互耦合机制研究[J]. 水资源研究, 2018, 7(11):84-96.
LUO X L, JIANG Z M, HENG C J, et al. Analysis of interactive coupling mechanism between urbanization and water resource environment in the Xiangjiang River Basin[J]. Journal of Water Resources Research, 2018, 7(11): 84-96.
- [9] 郑德凤,徐文瑾,姜俊超,等. 中国水资源承载力与城镇化质量演化趋势及协调发展分析[J]. 经济地理, 2021: 1-10.
ZHENG D F, XU W J, JIANG J C, et al. Evolutionary trend and coordinated development between water resources carrying capacity and urbanization quality in China[J]. Economic Geography, 2021: 1-10.

- [10] 谈飞, 史玉莹. 江苏省水资源环境与经济发展耦合协调度测评[J]. 水利经济, 2019, 37(3): 8-12, 19.
TAN F, SHI Y Y. Evaluation of coupling coordination degree between water resource environment and economic development in Jiangsu Province [J]. Journal of Economics of Water Resources, 2019, 37(3): 8-12, 19.
- [11] 聂晓, 张中旺. 湖北省水资源环境与经济发展耦合关系时序特征研究[J]. 灌溉排水学报, 2020, 39(2): 138-144.
NE X, ZHANG Z W. Temporal characteristics of the coupling relationship between water resources environment and economic development in Hubei Province [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2020, 39(2): 138-144.
- [12] 刘艺, 张郑贤, 张锋贤, 等. 济南市水资源环境与经济发展耦合关联性测度及前景预测[J]. 长江科学院院报, 2020, 37(2): 28-33.
LIU Y, ZHANG Z X, ZHANG F X, et al. Coupling correlation measure and prospect forecast of water resources environment and economic development in Jinan[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2020, 37(2): 28-33.
- [13] LIU Y, YANG L, JIANG W. Coupling coordination and spatiotemporal dynamic evolution between social economy and water environmental quality—A case study from Nansi Lake catchment, China[J]. Ecological Indicators, 2020, 119:106870.
- [14] LUO Z, ZUO Q. Evaluating the coordinated development of social economy, water, and ecology in a heavily disturbed basin based on the distributed hydrology model and the harmony theory[J]. Journal of Hydrology, 2019, 574: 226-241.
- [15] 杜俊平, 陈年来, 叶得明. 基于模糊评价的干旱区水资源与农业经济协调发展研究——以河西走廊五市为例[J]. 西华大学学报(哲学社会科学版), 2017, 36(2): 37-45.
DU J P, CHEN N L, YE D M. On coordinated development of water resources and agricultural economy in arid areas based on fuzzy evaluation: a case study of Hexi Corridor[J]. Journal of Xihua University (Philosophy & Social Sciences), 2017, 36(2): 37-45.
- [16] 谢文宝, 陈彤, 刘国勇. 新疆农业水资源利用与经济增长脱钩关系及效应分解[J]. 节水灌溉, 2018(4): 69-72, 77.
XIE W B, CHEN T, LIU G Y. Decoupling relationship and effect decomposition of agricultural water resources utilization and economic growth in Xinjiang[J]. Water Saving Irrigation, 2018: 69-72, 77.
- [17] ALREIS K N, GHANEM A M, ALNASHWAN O S, et al. Measuring the impact of water scarcity on agricultural economic development in Saudi Arabia[J]. Saudi Journal of Biological Sciences, 2021, 28(1): 191-195.
- [18] 彭虹, 黄攀攀, 张万顺, 等. 重庆市农业用水量与农业经济发展脱钩程度的时空变化[J]. 水资源保护, 2020, 36(2): 13-20.
PENG H, HUANG P P, ZHANG W S, et al. Spatial-temporal change characteristics of decoupling between agricultural water consumption and agricultural economic development in Chongqing [J]. Water Resources Protection, 2020, 36(2): 13-20.
- [19] 潘丹, 应瑞瑶. 中国水资源与农业经济增长关系研究——基于面板VAR模型[J]. 中国人口·资源与环境, 2012, 22(1): 161-166.
PAN D, YING R Y. Relationship between water resource and agricultural economic growth in China: research based on panel VAR. China Population, Resources and Environment, 2012, 22(1): 161-166.
- [20] HE L, DU Y, WU S, et al. Evaluation of the agricultural water resource carrying capacity and optimization of a planting-raising structure[J]. Agricultural Water Management, 2021, 243: 106456.
- [21] 喻笑勇, 张利平, 陈心池, 等. 湖北省水资源与社会经济耦合协调发展分析[J]. 长江流域资源与环境, 2018, 27(4): 809-817.
YU X Y, ZHANG L P, CHEN X C, et al. Analysis of coupling and coordinated development between water resources and social economy in Hubei Province[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2018, 27: 809-817.
- [22] 蒋云云. 湖南省农业绿色发展水平测度及发展路径选择研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2018.
JIANG Y Y. Level of development of Hunan agricultural green measure and development path selection research[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2018.
- [23] SALIMOVE G, ABLEEVA A, KHABIROV G, et al. Evaluation of level of agricultural development based on integration index[J]. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 2020, 19(5): 319-325.
- [24] QINX, LI Y, LU Z, et al. What makes better village economic development in traditional agricultural areas of China? Evidence from 338 villages[J]. Habitat International, 2020, 106: 102286.
- [25] 邸菲, 胡志全. 我国农业现代化评价指标体系的构建与应用[J]. 中国农业资源与区划, 2020, 41(6): 46-56.

- DI F, H Z Q. Construction and application of China's agricultural modernization evaluation index system[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2020, 41: 46-56.
- [26] 张旭, 董前进, 许银山, 等. 基于分层聚类的中国省际水资源复合系统状态辨识[J]. 武汉大学学报(工学版), 2020,53(01):16-22.
ZHANG X, DONG Q J, XU X S, et al. State identification of China interprovincial water resources composite system based on hierarchical clustering[J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2018, 27: 809-817
- [27] Zhu H, Zhu J, Zou Q. Comprehensive Analysis of Coordination Relationship between Water Resources Environment and High-Quality Economic Development in Urban Agglomeration in the Middle Reaches of Yangtze River[J]. Water, 2020,12(5):1301.
- [28] 田培, 张志好, 许新宜, 等. 基于变权TOPSIS模型的长江经济带水资源承载力综合评价. 华中师范大学学报(自然科学版), 2019,53(5):755-764.
TIAN P, ZHANG Z H, XU X Y, et al. Comprehensive evaluation of water resources carrying capacity in the Yangtze River economic belt based on variable weight TOPSIS model[J]. 2019, 53(5): 755-764.
- [29] 金菊良, 徐新光, 周戎星, 等. 基于联系数和耦合协调度的水资源空间均衡评价方法[J]. 水资源保护, 2021,37(01):1-6.
JIN J L, XU X G, ZHOU R X, et al. Water resources spatial balance evaluation method based on connection number and coupling coordination degree[J]. Water Resources Protection, 2021,37(01):1-6.
- [30] 贾学秀, 严岩, 朱春雁, 等. 区域水资源压力分析评价方法综述[J]. 自然资源学报, 2016,31(10):1783-1791.
JIA X X, YAN Y, ZHU C Y, et al. Approaches for regional water resources stress assessment: a review[J]. Journal of Natural Resources, 2016,31(10):1783-1791.
- [31] 王建华, 姜大川, 肖伟华, 等. 水资源承载力理论基础探析:定义内涵与科学问题[J]. 水利学报, 2017,48(12):1399-1409.
WANG J H, JIANG D C, XIAO W H, et al. Study on theoretical analysis of water resources carrying capacity: definition and scientific topics[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2016, 31(10): 1783-1791.
- [32] GENG Y, MAIMAITUERXUN M, ZHANG H. Coupling coordination of water governance and tourism: measurement and prediction[J]. Discrete Dynamics in Nature and Society, 2020,2020:1-13.
- [33] 宋丽智, 韩晓生, 王研. 我国农业保险发展影响因素研究——基于地区面板数据的实证分析[J]. 宏观经济研究, 2016(11):122-130.
SONG L Z, HAN X S, WANG Y. Research on influencing factors of agricultural insurance development in China -- empirical analysis based on regional panel data[J]. Macroeconomics, 2016(11): 122-130.
- [34] 周玲玲, 王琳, 刘伟峰, 等. 基于客观组合赋权法的即墨市水资源可持续利用评价[J]. 水资源与水工程学报, 2014,25(04):50-55.
ZHOU L L, WANG L, LIU W F, et al. Assessment of sustainable use of water resources based on combination of weighting method in Jimo[J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2014, 25(04): 50-55.
- [35] 窦圣超, 孙丕苓, 王世清. 土地生态功能与经济发展水平的耦合协调研究——以鲁南经济带为例[J]. 资源开发与市场, 2020:1-13.
DOU S C, SUN P L, WANG S Q. Research on the coupling and coordination relationship between land ecological function and economic development in—— taking Lunan Economic Belt as an example[J]. Resource Development & Market, 2020: 1-13.
- [36] 周玲玲, 王琳, 余静. 基于水足迹理论的水资源可持续利用评价体系——以即墨市为例[J]. 资源科学, 2014,36(05):913-921.
ZHOU L L, WANG L, YU J. Assessment system of water resource sustainable utilization based on water footprint theory: a case study of Jimo[J]. Resources Science, 2014, 36(05): 913-921.
- [37] 范春梅. 物流企业绩效评价方法及实证分析[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2005.
FAN C M. Method of logistics enterprises performance evaluation and its positive study[D]. Changsha: Changsha University of Science and Technology, 2005.
- [38] GENG Y, ZHANG H. Coordination assessment of environment and urbanization: Hunan case[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2020, 192(10): 637.

- [39] 赵良仕, 刘思佳, 孙才志. 黄河流域水-能源-粮食安全系统的耦合协调发展研究[J]. 水资源保护, 2021, 37(1): 69-78.
ZHAO L S, LIU S J, SUN C Z. Study on coupling and coordinated development of water-energy-food security system in the Yellow River Basin [J]. Water Resources Protection, 2021, 37(1): 69-78.
- [40] 庞冬彦, 赵林, 于伟, 等. 山东省旅游经济系统韧性测度与障碍因素分析[J]. 资源与产业, 2021: 1-14.
PANG D Y, ZHAO L, YU W, et al. The Measurement of the resilience of tourism economic system in Shandong Province and the analysis of obstacle factors [J]. Resources & Industries, 2021: 1-14.
- [41] 张宇驰. 湖南农业循环经济发展问题研究: 战略分析与模式构建[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2017.
ZHANG Y C. Research on Hunan agricultural circulation economy development: strategic analysis and mode construction[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2017.



文章编号: 1000-6788(2002)12-0067-06

人口-资源-环境-经济系统分析模型体系

姜涛, 袁建华, 何林, 许屹

(北京信息与控制研究所, 北京 100037)

摘要: 在进行定性分析的基础上, 建立了基于动态投入产出原理的可持续发展多目标最优规划模型, 以研究各种经济要素变动和经济结构转变、发展战略和目标之间的相互关系, 分析模拟中国中长期可持续发展状况。

关键词: 可持续发展; 优化模型; 投入产出

中图分类号: C92-03

文献标识码: A

An Analyzing Model System on Population, Resources, Environment and Economics

JIANg Tao, YUAN Jian-hua, HE Lin, XU Yi

(Beijing Institute of Information and Control, Beijing 100037, China)

Abstract Base on the qualitative analysis of China's Situation, multi-objective optimized model of sustainable development based on dynamic input-output is set up for studying the relationship between economic essentials alteration and economic structure adjustment, development strategies and objectives, and the interactive relationship among population, resources, environment and economics, to analyze and simulate China's medium and long-term sustainable development.

Key words: sustainable development; optimized model; input-output

1 可持续发展模型研究方法及国内外研究现状

人类社会发展到今日, 越来越面临着一系列的严重挑战, 其中特别突出的是人口激增、环境污染和资源短缺, 这已经成为全世界人们共同关注的重大问题。

从系统学观点来看, 地球表层是一个系统, 它包括了非生物、生物和人, 三部分之间互相关联、作用和制约, 我们把这个系统称做地球表层系统或地理系统。人类社会系统是从地理系统输入物质和能量, 经过加工、处理和转化来满足人类自身发展的需要。同时, 人类社会系统也向地理系统输出物质和能量, 其结果改变乃至破坏了地理系统的结构和正常功能, 形成了对地理系统的污染。这种输入-输出关系就是人类社会系统和地理系统的相互关系问题, 也就是通常所说的人与自然的关系或人与环境的关系。今天人类所面临的人口激增、环境污染、资源短缺等等, 都是这两个系统之间关系恶化和紧张的表现, 其根源皆来自人类社会系统本身活动。根据系统科学的理论, 我们应从地理系统整体演化规律, 系统组成部分之间相互作用规律, 特别是人类活动对地理系统相互影响出发, 来处理人类社会系统和地理系统的关系, 要使它们之间相互协调发展, 形成良性循环, 既能保证社会系统长期稳定发展, 又能实现环境优化。

因此, 研究包括人口、资源、环境、生态、经济、社会等诸多因素在内的可持续发展系统问题, 不能只根据还原论的观点, 就人口论人口, 就环境论环境, 就经济论经济, 必须从系统的角度出发, 在分解还原的基础上, 从自上而下, 到自下而上, 在总体的层次上进行把握, 着重把握各分系统之间的相互关联、作用和制

收稿日期: 2001-06-19

资助项目: 国家自然科学基金(79930800)

作者简介: 姜涛(1968-), 女, 高级工程师, 主要从事可持续发展和经济系统建模研究

约,才能更透彻地理解和解决问题。

可持续发展系统包含的因素众多,规模庞大,其内部结构复杂,功能综合,各元素之间关系较为模糊,因此是一类开放的复杂巨系统。钱学森指出,处理复杂巨系统的方法论是“从定性到定量综合集成方法”(meta-synthesis)。这种方法论的特点是把科学理论、经验和专家判断(专家的知识、智慧和创造力)相结合,形成和提出经验性假设(猜想、判断和方案等),通过人(专家)与机(计算机)结合,将不同领域的科学和经验知识、定量与定性的知识、理性与感性的知识结合起来,经过反复对比逐次逼近,实现从定性到定量的转化,达到最后的重新认识,从而对经验性假设的正确与否作出明确结论。这种研究方法的工作程序可用如图1来说明。

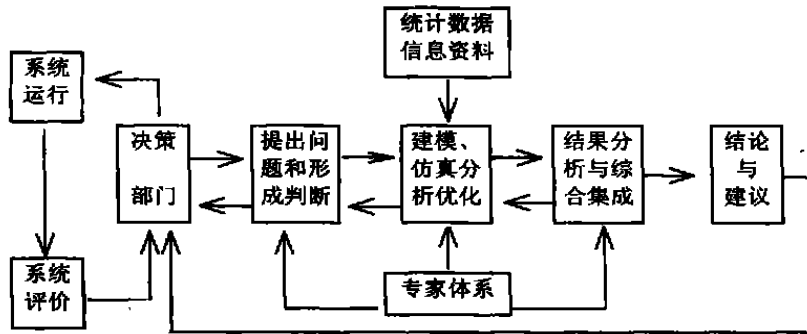


图1 “从定性到定量综合集成”方法工作程序

在这种研究方法中,建模是一个重要的过程和步骤。模型就是对系统的特征要素、各要素之间的相互关系、系统与其所处的环境之间的相互作用等有关信息和变化规律的一种抽象描述。通过建立适当的模型,人们可以借助它来分析问题并使之形式化,而且可用来探讨和设计解决问题的具体路径。

从20世纪60年代起,为研究可持续发展问题,不少研究者从各个不同角度建立了各种模型,进行了研究。由于出发点和目标不同,模型的结构有很大的差别。

Meadows等曾以罗马俱乐部名义发表了“增长的极限”(1972, L M ITS TO GROW TH),和“超越极限”(1992, BEYON GD THE L M ITS)等著作,在世界上引起较大反响。其使用的模型是采用系统动力学思想建立的,把世界当成一个整体,将5部分内容(人口、农业、经济、污染和不可再生资源),通过正负反馈,建立起复杂联系,并对各方面因素在各种条件下的变化进行探索;他们最初的结论有很浓的悲观色彩,以后逐渐有所改变。

IIASA从系统科学观点研究可持续发展问题,认为其基本框架是一个包括社会、生态和经济三个子系统的社会生态系统。多年来IIASA研制了不少模型,用来分析能源、污染、生态环境等问题,还研制了一些便于应用的计算机软件。

针对温室气体,特别是CO₂的排放造成全球变暖问题,国际上一些研究机构也建立了大规模的数学模型加以研究,其中较有影响的模型有经济合作与发展组织(OECD)的GLOBAL 2100, GREEN,以及布鲁金斯研究所的G-CUBED等模型。其中GREEN模型(Burniaux, 1992)包括全球12个区域和11个生产部门,是一种递推动态的一般均衡模型(CGE),其主要目的是为定量分析减少CO₂排放的经济效果,主要政策变量包括能源税、排放税和排放权的交易等。

自20世纪80年代以来,国际上还有许多研究单位应用模糊数学、突变理论等数学工具,对未来可能发生的各种事件、灾害等进行分析,得到了许多有趣的结果。

在我国,近年来在可持续发展模型研究方面主要研究成果有,国务院发展研究中心(李善同、翟凡1997)与OECD发展中心合作,以OECD发展中心贸易与环境项目的原型CGE为基础,形成了动态递推的中国经济-环境可计算一般均衡模型(CGE),以定量分析中国产业结构变动与污染排放的关系和相关政策影响。中国社会科学院数量经济和技术经济研究所(郑玉歆、樊明太,1999)与澳大利亚莫纳什大学政策研究中心合作构建的PRCGEM模型为基础构建了中国CGE模型,并应用该模型对中国环境政策进

行了分析. 中国社会科学院数量经济和技术经济研究所(贺菊煌, 姚愉芳, 1993)以系统动力学为主, 结合投入产出方法建立了中国经济、社会发展的系统动力学模型, 该模型围绕经济增长为核心, 考虑了生产与需求, 同时也研究了人口、环境、资源、科技等相互间关系, 并针对能源的可持续发展问题进行了案例分析.

这些研究都有助于增加我们对可持续发展过程的认识, 对实施可持续发展战略起到了极大的推动作用.

2 模型的设计

本项研究从我国的基本国情出发, 在进行定性分析的基础上, 建立了基于动态投入产出原理的可持续发展多目标发展最优规划框架模型, 以分析、模拟中国中长期可持续发展状况, 研究各种经济要素变动和经济结构转变、发展战略和目标之间的相互关系, 以及人口、资源、环境、经济相互之间的作用和影响.

投入产出分析法是利用投入产出表和投入产出核算把国民经济中各部门之间的相互依存关系系统地数量化的一种方法. 投入产出表反映了各部门生产中的投入来源和产品(或服务)的分配使用去向之间的平衡关系, 充分揭示了国民经济各部门间相互依赖的技术经济联系, 体现了社会再生产的全过程, 可以利用它从生产、交换、分配、使用等不同方面来研究国民经济, 其中既有总量指标, 又有结构指标, 因此利用投入产出表进行投入产出分析是对宏观经济进行定性定量分析的有效途径.

线性规划方法应用到模型设计中的优点之一是能够把与人口、资源、环境、经济等有关的多重政策目标明确地纳入到分析中去, 通过数学规划找到一个最优方案, 该最优方案在资源、环境、人口、经济等约束下, 使互相矛盾的目标实现了最佳的权衡. 数学规划方法在评价和设计的反复过程中, 为决策和方案选择提供了有意义的起始点, 其中灵敏度分析对于帮助判断关于各种约束的限制, 提供了合理的权衡范围. 现在先进的计算机技术和软件也为进行大规模线性规划运算提供了有利条件.

因此投入产出技术与线性规划方法以及计量经济学分析相结合构建出的人口-资源-环境-经济总体分析框架模型, 可以帮助我们对可持续发展问题进行系统、深入的研究, 利用模型, 通过不断地进行数据处理、目标选择、方案设定、策略选择、结果评价、信息反馈和沟通等一系列仿真优化过程, 以及定性定量相结合的系统分析, 可以对不同的发展战略进行比较和鉴别, 从而提出更适合中国国情的优化方案.

3 模型总体结构

可持续发展的研究对象是一个相互关联相互作用的整体. 模型的核心就是表达这一相互关联相互作用关系的要素和产业关联矩阵. 模型经过合理的抽象形成下述基本内容: 1. 要素生产力, 2. 要素投入和分配, 3. 产业结构, 4. 中间消耗结构, 5. 消费需求结构, 6. 投资结构, 7. 外贸进出口结构, 8. 投入产出平衡, 9. 收入, 10. 国际收支平衡, 11. 资本积累, 12. 劳动就业, 13. 资源、环境要素的损耗折旧和更新. 模型着重考了影响长期经济发展与结构变动的四大类基本要素: 资本、资源、环境和劳动, 而对其它一些短期性因素未予考虑. 因此, 本模型并不适用于中短期经济分析. 图 2 为模型结构概念框图.

建模过程中运用了系统论控制论思想方法, 模型中方程分为状态方程、观测方程、控制方程、约束方程、优化指标等, 其中变量划分为状态变量、观测变量、控制变量.

模型的运行机制模拟了经济发展中各变量相互关系以及发展战略目标和发展轨迹的相互关系. 优化目标函数提供发展战略导向和资源配置的方向, 需求结构导向和供给因素制约以及其它因素的结构区区别与差异将导致系统发展的结构性变化, 不同的发展战略目标最终导致了不同的经济结构和发展轨迹.

4 模型系统描述

模型系统包括经济子系统、人力资源子系统、资源子系统、环境子系统及优化目标等五个部分, 各子系统之间通过输入输出变量紧密衔接, 并通过优化目标的引导, 结合为一个整体.

在经济子系统中, 主要是根据西方经济学理论新古典的结构主义观点, 认为经济增长是结构转变的体现, 结构转变一般是在非均衡条件下发生. 因此, 除了要素投入之外, 要素在部门之间的流动, 资源在部门之间的再配置, 即经济资源要素流向生产率较高的部门, 是经济增长的直接动因之一. 模型的核心就是反映经济资源要素的投入及其在部门之间的配置和再配置机制, 通过表征发展战略发展道路的优化指标来

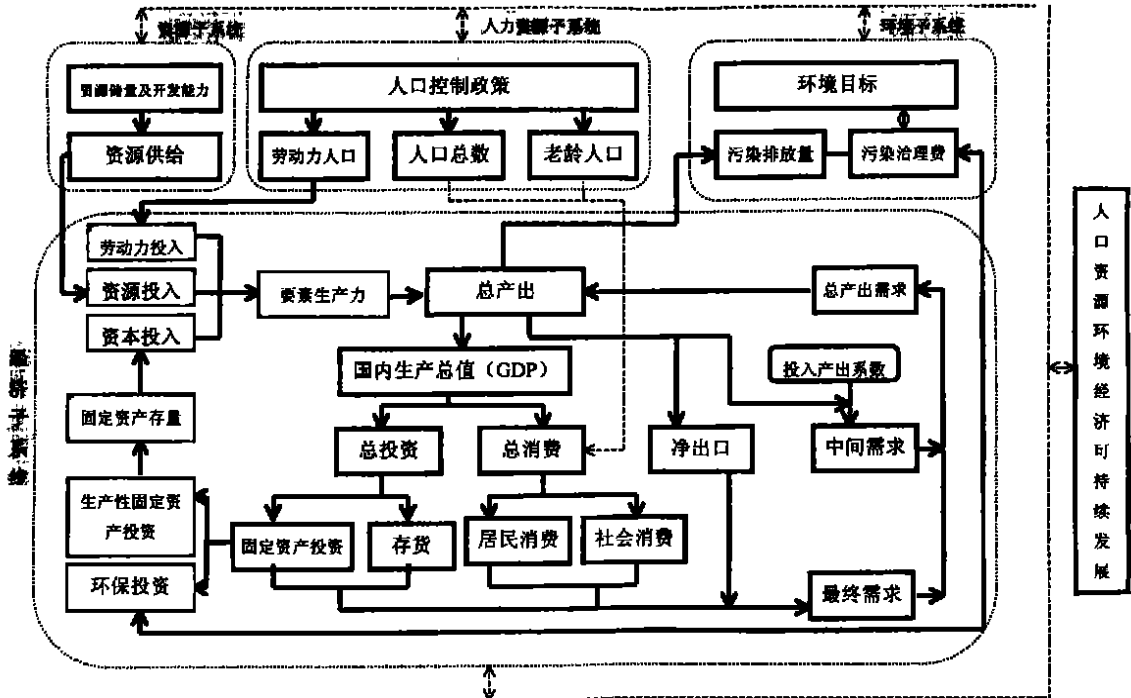


图 2 模型结构概念框图

引导经济资源要素的投入及其在部门之间的配置和再配置。

经济子系统模型中在确定的经济资源要素生产率下,经济增长率主要由经济资源要素的投入量及其在部门之间的配置和再配置效率来决定,其中人力资源的供给量由人力资源子系统给出,资源的供给量由资源子系统给出。同时,根据我国经济的实际设置了不同的情景,每一情景下诸资源要素具有不同程度的流动性。一般来说,经济资源要素的存量流动性较差,而其新增量则流动性较强。经济资源要素的投入量取决于诸资源要素的存量状态,经济过程中的损耗,资源要素再生产周期内各年度资金投入量以及供求均衡等因素。经济资源要素在部门之间的配置和再配置效率取决于诸资源要素对优化目标函数的边际贡献率。

主要包括

1) 要素生产力

要素生产力一般方程、可替代性生产要素的道格拉斯型生产函数方程、不可替代性生产要素的生产函数方程。

2) 分类资源供给约束。

不可流动分类劳动力的供给约束方程、可流动分类劳动力的供给约束方程、分类资源供给约束方程、不可流动资本供给方程、可流动资本供给方程。

3) 综合平衡

投入产出约束、投资率约束。

4) 国际交换

进口方程、进口变动的约束条件、资源进口方程、出口方程、国际收支平衡约束。

5) 收入

名义 GNP 方程、政府部门收入、企业部门收入、居民收入。

6) 需求

农村居民消费需求、非农村居民消费需求、社会需求、固定资产投资需求。

7) 资本再生产状态方程

新增固定资产方程、固定资产存量方程、总量约束型全社会固定资产投资方程。

在人力资源子系统中,重点考虑了就业机制,中国人口与劳动存在极大的矛盾:人口数量多与文化水平低,低素质劳动力大量过剩,形成沉重的就业压力;高素质劳动力和劳动技能严重短缺,人才供给不足,严重制约了经济增长.模型中就业机制有两个方面:单纯就业型和劳动技能约束型.单纯就业型对应于低素质劳动力,其本质上不构成劳动要素.按照各产业部门资本有机构成(资本劳动比例)的一般变动规律以及政策因素确定劳动力就业安置量.劳动技能约束型对应于高素质劳动力和劳动技能,定义了劳动技能指标,并与其它不可替代要素构成对产出的约束.

主要包括以下方程:

1) 城市、农村人口预测

城市、农村多状态人口发展方程, t 年度城市、乡村人口总数量, t 年度城市、乡村劳动年龄人口总数量, t 年度城市、乡村老龄人口总数量.

2) 人口文化水平

人口文化水平状态方程, 人口文化总水平.

3) 劳动就业方程

劳动就业方程, 各类就业劳动需求量、总就业劳动需求量、无业劳动数量.

4) 老年人口养老消费需求模型

人均非农村居民消费需求方程, 非农村居民养老消费需求方程, 人均农村居民消费需求方程, 农村居民养老消费需求方程.

在资源子系统中,诸资源要素的存量状态表现为一系列数量及质量指标.模型中引入诸资源要素的再生产概念和再生产过程.资源要素的新增为其再生产周期内各年度资金投入经过一段时滞逐步形成.诸资源要素的存量状态的变动由经济过程中的要素损耗和新增决定.

主要包括:

年度资源消耗量方程, 年度资源(工业可开采)储量方程, 资源开发静态年限评价模型, 资源供给能力方程, 资源开发准动态年限评价模型, 年度资源(工业可开采)储量价值评价方程, 年度资源消耗量价值评价方程, 年度资源状况质量评价方程.

在环境子系统中,对于大气污染物排放,水污染物排放,固体污染物排放,模型假定了生产过程中所需排放的污染物结构是固定不变的,同时还假定产出与污染物排放的关系是比例关系,即引入了污染物排放系数的概念.为了对各种污染物排放造成的环境影响的效果进行综合描述和评价,也引入了等标污染负荷和等标污染负荷比等指标,建立污染物排放等标污染负荷系数(单位产值的污染物排放等标污染负荷).这实际上也是忽略了技术变动,替代效应等难以准确把握的因素.

污染物排放系数和污染物排放等标污染负荷系数,在初始年份根据历史统计数据确定,在后续年份则或者采用固定化方法,或者采用逐年下降的方法,下降速率一般要根据大量资料类比,经验判断,大量试算调整来最终确定.

主要包括:

年度污染物排放量(实物量)方程, 年度污染物排放等标污染负荷量方程, 各产业污染排放评价, 年度污染物排放及其等标污染负荷量的累积量方程, 工业污染治理能力方程, 工业污染治理投资方程, 年度环境污染损失量价值评价方程, 年度环境状况质量评价方程.

各类发展战略与发展道路在模型中定量化为优化目标函数集.优化目标函数有:

1) 消费极大优化目标

$$J_1 = \sum_t \alpha \{C_r + C_c + C_s\}(t) = \max, \quad t = 1, \dots, T \quad (1)$$

式中 α 为消费计算贴现率系数,给出当前消费与长期消费的权重选择, T 为计算终止年限.

2) 终止年固定资产存量极大优化目标

$$J_2 = \sum_i \zeta_i K_i(T) = \max \quad (2)$$

式中 ζ 为权系数.

3) 优化目标选择为计算期按贴现率为权加总国民生产总值和目标期(计算终期)生产性固定资产存量之和为最大

$$J_3 = \sum_t (1 + \epsilon)^{-t} \text{GDP}(t) + \xi_3 J_2 = \max \quad (3)$$

式中 ϵ 为国民收入计算贴现率; ξ_3 为权系数。这一目标函数通过贴现率因子的选择体现了现期经济和远期经济的关系。在确定的资本产出率之下,规划了积累率并间接影响经济增长率。

模型根据中国经济运行状况假定固定资产存量只在产业部门内部流动,而没有跨产业的流动。资本在产业部门内的配置主要通过流量实现。在优化过程中年度固定资产投资流向对目标函数边际贡献率最大的产业部门。各产业部门固定资产存量的多少,也通过本模型体系中就业方程决定了劳动在产业部门间的配置。因而资本与劳动的配置机制是相同的,即流向对优化目标边际贡献率最大的产业部门。

4) 资源集约型经济增长极大优化目标

$$J_4 = \zeta_4 \sum_T (1 + \epsilon_4)^{-T} \{EV_E(T) + EV_{RC}(T)\} + \xi_4 \{EE_R(T) + EE_E(T)\} + \pi_4 J_3 = \max \quad (4)$$

式中 ϵ_4 为资源环境损耗价值计算贴现率, ζ_4 , ξ_4 , π_4 为权系数。

这一优化目标通过贴现率因子和各权系数的选择能够引导经济资源在各要素体系间的分配,协调各要素发展与全局发展、短期发展与长期发展的关系。

(由于篇幅所限,模型的具体方程略)

致谢 作者感谢于景元教授对本项研究的指导。

参考文献:

- [1] 于景元, 王寿云, 汪成为. 社会主义建设的系统理论和系统工程[N]. 科技日报, 1991-01-21(23).
- [2] 于景元. 面对复杂的现实[J]. 科学决策, 1998, (2): 29- 33.
- [3] 钱学森. 发展地理科学的建议[J]. 大自然探索, 1987, (1): 1- 5.
- [4] 710 所研究报告. 实施可持续发展战略研究——面向 21 世纪我国人口控制对策研究[R], 1999.
- [5] 汪同三, 沈利生. 经济模型集[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2001.
- [6] 王慧炯, 李泊溪, 李善同. 中国宏观经济模型[M]. 北京: 中国财政经济出版社, 1999.

(上接第 66 页)

理的支持,体现在两者的有机结合上。这是一个反复循环的过程。基于以上分析,本文提出了基于智能 agent 的复合知识获取框架。限于篇幅,还有许多问题,如利用 CORBA 技术实现 agent 的协作值得讨论。

参考文献:

- [1] 曹存根. 从专家分析实例中学习知识[J]. 软件学报, 1994, 5(6): 7- 12.
- [2] 曹存根. 知识云及其在知识获取中的意义[J]. 软件学报, 1995, 6(3): 179- 185.
- [3] 赵卫东, 盛昭瀚. 基于形象思维的实时专家系统[J]. 系统工程理论方法应用, 2000, 9(2): 113- 119.
- [4] Kolbner J L. Improving human decision making through case-based decision aiding [J]. A IM agazine, 1991, 12(2): 52- 68.
- [5] Babka, Otakar, Whar, Si Yain. Case-based reasoning and decision support systems [A]. Proceedings of the IEEE International Conference on Intelligent Processing Systems[C], ICIPS, 1997. 28- 31.
- [6] Shoham Y. Agent oriented programming [J]. Artificial Intelligence, 1993, 60: 51- 92.
- [7] Kaelbling L P, Littman M L, Moor A W. Reinforcement learning: a survey [J]. Journal of Artificial Intelligence, 1996, 4: 237- 285.
- [8] 盛昭瀚, 赵卫东, 陈国华. 面向专家的知识库优化[J]. 管理科学学报, 2001, 4(3): 66- 68.
- [9] 赵卫东, 李旗号, 盛昭瀚. 基于案例推理的决策问题求解研究[J]. 管理科学学报, 2000, 3(4): 29- 36.

广西人口、资源环境与经济系统协调发展评估与分析

余娟¹, 吴玉鸣^{1,2}

(1. 广西师范大学经济管理学院, 广西 桂林 541004; 2. 清华大学公共管理学院, 北京 100084)

[摘要] 通过建立综合评价指标体系, 利用主成分分析法, 对广西1990-2005年人口、资源环境与经济系统的综合发展水平进行了评估, 并运用模糊数学模型测度了广西人口系统、资源环境系统与经济系统三者间的协调程度, 进而评估分析了广西人口、资源环境与经济系统的协调发展水平。结果发现, 1990年以来, 广西经济发展较为迅速, 经济系统的综合水平不断提高。同时, 人口系统的综合水平也处于不断发展之中, 资源环境系统综合水平不断下降。经济的发展大多以牺牲资源环境为代价, 资源环境系统与经济系统、人口系统发展的协调性较差。

[关键词] 人口; 资源环境; 经济; 协调度; 广西

[中图分类号] F127 [文献标识码] A [文章编号] 1002-736X(2007)04-0093-04

一、指标体系与研究方法

(一) 指标体系的建立

对广西可持续发展评价指标的选取, 主要基于以下三方面的考虑: 一是利用CNKI数据库对近年来有关人口、资源环境及经济的设计指标进行频度统计, 选出研究者使用频率较高的指标, 充分反映广西可持续发展的一般性; 二是针对广西可持续发展的基础和环境特点, 充分反映其特殊性; 三是尽可能选取《中国统计年鉴》、《广西统计年鉴》等文献资料中可以查到或可以计算得到的指标, 充分体现其可操作性原则。按上述原则, 确立以下反映广西人口、资源环境、以及经济系统发展状况的指标体系(见表-1)。

表-1 广西人口、资源环境、经济系统发展状况的指标体系

系统	因子
人口系统(X)	年末总人口 x_1 , 人口自然增长率 x_2 , 人口密度 x_3 , 年末社会劳动者人数 x_4 , 非农业人口比例 x_5 , 每万人受高等教育人数 x_6 , 每万人拥有医院病床数 x_7
资源环境系统(Y)	耕地面积 y_1 , 森林覆盖率 y_2 , 人均公共绿地面积 y_3 , 国民生产总值能源消费总量 y_4 , 污染施工项目本年完成投资额 y_5 , 工业废水排放总量 y_6 , 工业废气排放总量 y_7 , 工业固体废物排放总量 y_8 , 三废综合利用产品产值 y_9
经济系统(Z)	GDP z_1 , 人均GDP z_2 , 第一产业占GDP比例 z_3 , 第三产业占GDP比例 z_4 , 国民生产总值社会劳动生产率 z_5 , 实际利用外资额 z_6

(二) 研究方法

1. 数据的标准化处理。为消除指标之间量纲和数量级的影响, 有必要对指标进行标准化处理。指标值越大对系统发展越有利时, 采用正向指标计算公式进行处理, 即: 转换后的指标值 = (原指标值 - 各指标值中最小值) / (各指标值中的最大 - 最小)。指标值越小对系统发展越好时, 采用负向指标计算公式进行处理, 此时, 转换后的指标值 = (各指标值中最大值 - 原指标值) / (各指标值中的最大 - 最小)。

2. 综合水平的计算。对于指标综合水平的计算方法, 常见的有层次分析法、专家咨询法、模糊综合评判、主成分分析法

[基金项目] 国家自然科学基金项目(70463001)、广西科学基金项目(桂科基0448034)。

[作者简介] 余娟(1982-), 女, 河南南阳人, 广西师范大学经济管理学院2005级硕士研究生, 研究方向: 少数民族地区区域经济研究; 吴玉鸣(1968-), 男, 甘肃定西人, 清华大学公共管理学院博士后研究生, 广西师范大学经济管理学院副教授, 研究方向: 区域经济学、数量经济技术经济、空间计量经济与数据挖掘、非线性数量经济分析、生态经济模拟与管理决策支持系统。

等多种分析方法。主成分分析法可在保证原始数据信息丢失最小的情况下,对高维变量空间进行降维处理。在此,我们利用已经标准化处理的指标数据,选用主成分分析方法。具体分析方法如下:利用SPSS软件对标准化处理后的数据进行主成分分析,得到相关矩阵的特征根,各指标的贡献率、累计贡献率、凡累计贡献率大于90%的前K个成分已基本反映了原变量的主要信息。因此,选取前K个指标作为主成分。将标准化后的原始数据代入公式中,求得各主成分得分,计算公式为:

$$F_k = C_{k1}X_1 + C_{k2}X_2 + \dots + C_{kp}X_p \quad (1)$$

式中: $C_{k1}, C_{k2}, \dots, C_{kp}$ 为第 k 个主成分的载荷值, X_1, X_2, \dots, X_p 为标准化后的指标值。然后将各个主因子的贡献率作为权重,对三个主因子进行加权求和,计算系统综合得分,求得各年的系统综合评价指数。

3. 人口、资源环境与经济系统协调度的定量评价方法。所谓协调值就是某一系统与其他系统相适应的数值。在评价某一系统的协调发展状况时,不能仅仅用协调和不协调来衡量。事实上,更多系统的协调发展状况都处于协调与不协调之间。因此,协调发展是一个内涵明确而外延不明确的模糊概念,可应用模糊集合论对它进行测度。在模糊数学中,描述域中某一元素 X 隶属于模糊集 A 程度的是隶属度指标,它是一个在 [0, 1] 区间上的实数,可称之为协调系数。协调系数可以用与协调值的接近程度来表示,根据模糊数学建模方法,借用隶属度函数中的分布密度函数对协调性进行描述,其计算公式为(王维国, 1995):

$$C(i/j) = \exp[-k(u_i - u'_{ij})^2] \quad (2)$$

式中:(1) $C(i/j)$ 表示第 i 系统对第 j 系统的协调系数,即第 i 系统的实际观测值与第 j 系统对其所要求的协调值接近程度的定量描述;(2) u_i 表示第 i 系统的实际发展水平,笔者用第 i 系统的主成分综合得分来表示;(3) u'_{ij} 表示第 i 系统与第 j 系统协调发展时第 i 系统的协调发展水平,即当第 j 系统的发展水平为 u_j 时,为了保持与第 j 系统协调发展时,第 i 系统所应达到的发展水平;(4) $k=1/s^2$, s^2 是 u_i 的方差。要研究两个系统之间综合得分的比例关系,就要考察其数量依存关系。这里,通过建立一个系统对另一个系统的回归方程来探究其数量依存关系。运用SPSS统计分析软件,可以得出系统 i 与系统 j 的回归模型: $u_i = a + bu_j$ 此模型表明,要做到系统 i 与系统 j 之间的协调发展, u_j 每变化一个单位就要求 u_i 变化 b 个单位,这样就可以确定协调值 $u'_{ij} = b$ 。根据上述公式可以发现:当 u_i 越接近 u'_{ij} 时,协调系数 $C(i/j)$ 越大,协调程度越高;当 u_i 越远离 u'_{ij} 时,协调系数 $C(i/j)$ 越小,协调程度越低。

二、广西人口、资源环境与经济系统可持续发展评估与分析

(一) 广西人口、资源环境与经济系统发展水平的综合评估

根据前面所列的指标,笔者从1990—2005年的《广西统计年鉴》和《中国统计年鉴》搜集广西壮族自治区人口、资源环境与经济三个系统的一系列指标数据。为消除指标之间量纲和数量级的影响,根据前面的分析方法,首先对指标数据进行标准化处理,并利用主成分分析法的公式(1)得出指标体系的综合评估得分(见表-2),作为广西人口、资源环境与经济三个系统1990—2005年的综合发展水平的代表。

表-2 广西人口、资源环境与经济系统综合评估得分

年份	人口	资源环境	经济	年份	人口	资源环境	经济
1990	-1.6477	0.7289	-1.4205	1998	0.2671	0.1945	0.1849
1991	-1.4699	0.7051	-1.3046	1999	0.4038	0.2486	0.1615
1992	-1.1344	0.6065	-1.1133	2000	0.4864	0.3254	0.2294
1993	-0.7103	0.4429	-0.4584	2001	0.6835	-0.3212	0.3605
1994	-0.6052	0.5076	-0.2155	2002	0.7735	-0.4218	0.5818
1995	-0.3414	0.3676	-0.1415	2003	0.8593	-0.9716	0.7597
1996	-0.0452	0.3292	-0.0437	2004	1.0977	-1.3086	0.9339
1997	0.1123	0.1853	0.1107	2005	1.2704	-1.6182	1.3751

表-3 广西人口系统、资源环境系统与经济系统的协调度情况

人口系统与经济系统				资源环境系统与经济系统				人口系统与资源环境系统			
年份	协调度	年份	协调度	年份	协调度	年份	协调度	年份	协调度	年份	协调度
1990	0.3714	1998	0.8445	1990	0.0204	1998	0.0479	1990	0.4222	1998	0.1015
1991	0.4125	1999	0.8724	1991	0.0213	1999	0.0442	1991	0.3807	1999	0.0893
1992	0.4949	2000	0.8883	1992	0.0251	2000	0.0393	1992	0.3081	2000	0.0825
1993	0.6047	2001	0.9225	1993	0.0327	2001	0.0986	1993	0.2288	2001	0.0680
1994	0.6321	2002	0.9363	1994	0.0295	2002	0.1123	1994	0.2114	2002	0.0621
1995	0.7004	2003	0.9483	1995	0.0368	2003	0.2133	1995	0.1719	2003	0.0569
1996	0.7738	2004	0.9754	1996	0.0390	2004	0.2993	1996	0.1341	2004	0.0442
1997	0.8105	2005	0.9890	1997	0.0486	2005	0.3937	1997	0.1168	2005	0.0366

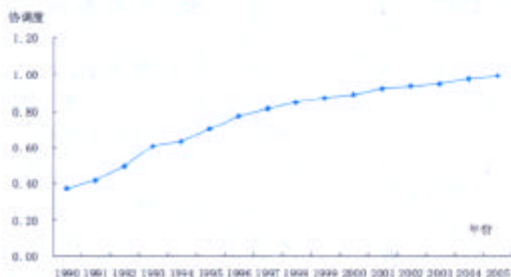


图-1 广西人口与经济协调度曲线

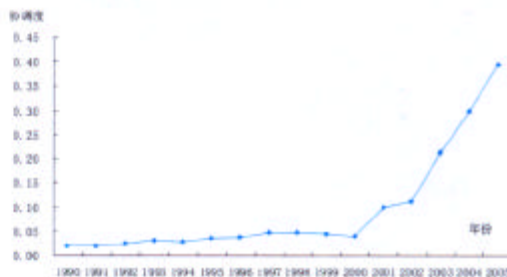


图-2 广西资源环境与经济协调度曲线



图-3 广西人口与资源环境协调度曲线

由表-2可以看出：广西1990-2005年人口与经济系统综合发展水平基本呈上升趋势，但也有个别系统在个别年份综合发展水平出现下滑的趋势。如经济系统的发展水平在1999年由1998年的0.1849下降为0.1615。但从资源环境的综合发展水平来看，1990-2000年资源环境的综合发展水平虽然有所下降，但都处在零以上的波动之中。2000-2005年资源环境的发展水平则急剧下降，处于经济增长伴随生态环境污染加剧的发展阶段。可能是由于资源环境的指标选取比较侧重于对资源的利用和环境破坏方面，从数据上看其下降的幅度过大，但还是能够反映出资源利用和生态环境不容乐观的趋势。从总体上来看，人口与经济的发展较为同步，且在1996年以后人口与经济的发展都在平均水平零以上。说明这些年来，广西人口与经济的综合水平有了较大的提高。但从资源环境与经济发展的综合水平来看，一直处在经济发展、资源环境水平下降的趋势之中。例如在2005年，当经济的综合水平在1.3751时，资源环境的综合水平下降为-1.6182，经济发展给资源环境带来了沉重的压力。

(二) 广西人口系统与经济系统、资源环境系统与经济系统以及人口系统与资源环境系统的协调度分析

以上仅仅介绍广西的人口、资源环境与经济各系统的综合发展水平，并不能反映这三个系统是否处于协调发展状态。因此，根据模糊数学原理，将表-2中的数据利用SPSS软件可以建立广西人口系统与经济系统、资源环境系统与经济系统以及人口系统与资源环境系统的回归分析模型，根据两系统间的回归模型计算出系统间的比例关系，再用各系统的协调值与实际发展水平值进行比较，根据公式(2)计算出协调系数，可以得到广西人口系统、资源环境系统和经济系统三者间的协调度情况(见表-3)。根据表-3可绘制广西1990-2005年人口系统、资源环境系统与经济系统间协调度的水平曲线图(如图-1、图-2、图-3所示)。

由图-1可以看出，广西经济发展和人口增长具有一定的同步性，总体来看两者还是协调发展的，处于不同程度的协调水平，说明广西经济发展提高了人民的生活水平和人口发展水平，同时，人口的发展对经济也有较为明

显的推进作用。从图-2的协调度状况来看,广西的资源环境系统与经济系统的协调程度在不断改善和上升,但与人口系统和经济系统的协调度相比,其协调度非常低,基本处于失调状态。说明广西处在经济增长伴随资源大量消耗、生态环境污染加剧的发展阶段。2001年以来,资源环境与经济的协调度有所上升和改善,这与近年来的产业结构调整,以及政府加大环保投资和环境治理力度有很大关系。根据图-3的协调度状况可以看出,广西的人口与资源环境的协调度处于较低的水平,且呈现不断下降的趋势。广西总人口的不断增加,必然对本身就脆弱的生态环境产生压力。同时,由于人口素质相对较低、生态意识较为淡薄,其经济增长基本上是以高消耗资源和牺牲生态环境为代价,必然造成资源的过度利用。

三、结果分析与讨论

从以上评估结果可以看出,1990年以来,广西经济发展较为迅速,经济系统的综合水平不断提高。同时,人口系统的综合水平也处在不断发展之中。但经济的发展大多以牺牲资源环境为代价,资源环境系统综合水平不断下降,与经济系统发展的协调性较差。同时,人口的增加对资源环境产生较大压力,人口系统与资源环境系统的协调度也在不断下降。

对于广西人口系统的发展,从原始数据来看,2000-2004年广西人口自然增长率稳定在8%以下的水平,2005年为8.17%,广西的人口再生产已经处于低死亡率、低生育率和低自然增长率的现代型模式。这与其他地区的人口增长过快,对区域经济、环境造成压力过大形成对比,这也是广西的人口系统与经济系统的协调度状况较好的主要原因。但是相对于耕地、林地、矿产等资源条件来看,广西的人口总量过于庞大,其经济活动对生态环境的影响程度较深。同时,广西的人力资源状况较差,人口的整体素质偏低,远不能适应经济发展和社会进步的需要。由于指标的选取有限,这也是前面数据分

析中不能够反映的问题。因此,积极发展教育事业,加大对教育的投资仍然是政府制定和实施人口政策的重点。另外一个影响人口素质的主要因素是广西的城镇化水平太低,城镇化是实现农业人口向非农人口转化、提高人口整体水平的重要方式,较低的城镇化水平已成为广西经济持续发展的重要障碍。

从资源环境方面来看,按照广西目前的发展模式,这种经济增长越迅速、环境污染问题就越突出的状况在较长的时间内仍将存在,特别是工业经济发展中的“三废”污染还将保持较大的排放量。但这并不意味着为了良好的生态环境就必须减缓经济发展速度,而是需要通过技术创新、工艺改造等科技含量高的技术手段的先进化和精细化,使工业经济发展步入低消耗、高效益的良性发展轨道,把对生态环境的破坏和污染降到最低。同时,根据OECD市场经济国家和经济转型国家的环境管理经验,政府在环境保护中应发挥应有的监管作用,同时提供必要的环境公共物品。

为及时、科学地评价广西可持续发展能力与水平,应建立可持续发展框架下的人口、资源环境与经济发展状况的绿色统计,围绕人口、资源环境与经济的协调发展来设计相应的可持续发展统计指标体系,同时结合SNA框架体系建立广西国民经济绿色核算制度,通过这些绿色统计和核算制度的建立,将能提供各个发展时期的人口、资源环境与经济发展和运行状况的综合信息,为政府和相关部门评估、预警和调控广西可持续发展能力、水平及其进程提供必要的基础数据,为其制度安排、管理激励机制的设计提供决策依据。

[参考文献]

- [1]李志辉,罗平.SPSS统计分析教程[M].北京:电子工业出版社,2005.
- [2]王维国.论国民经济协调系数体系的建立[J].统计研究,1995,(4):66-68.
- [3]吴跃明,郎东锋,张子琦,张翼.环境——经济系统协调度模型及其指标体系[J].中国人口·资源与环

境,1996,(2):47-50.

- [4]于瑞峰,齐二石,毕星.区域可持续发展状况的评估方法研究及应用[J].系统工程理论与实践,1998,(5):1-6.

- [5]陈浩.建立人口、资源、环境协调发展系统[J].中南财经大学学报,1999,(1):14-17.

- [6]唐伟光.广西人口与资源、环境、经济发展问题及协调对策[J].广西师院学报(自然科学版),1999,(3):19-25.

- [7]申金山,宋建民,关柯.城市基础设施与社会经济协调发展的定量评价方法与应用[J].城市环境与城市生态,2000,(5):10-12.

- [8]严登华,何岩,邓伟,于振汉,张平宇.生态环境与社会经济发展协调性模型研究[J].环境与开发,2000,(3):5-7.

- [9]张晓东,池天河.90年代中国省级区域经济与环境协调度分析[J].地理研究,2001,(4):506-515.

- [10]张晓东,朱德海.中国区域经济与环境协调度预测分析[J].资源科学,2003,(2):1-6.

- [11]潘新华.论西部地区人口、资源、环境与经济的协调发展[J].开发研究,2003,(15):41-43.

- [12]陈孝胜.西部地区人口、资源、环境与经济可持续发展对策[J].经济论坛,2004,(19):21-22.

- [13]吴文恒,牛叔文.甘肃省人口与资源环境耦合的演进分析[J].中国人口科学,2006,(2):81-86.

- [14]李雪铭,李婉娜.1990年以来大连城市人居环境与经济协调发展定量分析[J].经济地理,2005,(3):383-390.

- [15]周鸿,李冠军.广西人口与经济互动的互动分析[J].南方人口,2006,(3):26-31.

- [16]肖彦,王金叶,胡新添,李勇汉.广西环境库兹涅茨曲线研究[J].西北林学院学报,2006,(4):9-12.

[责任编辑:陈雪梅]

区域人口、资源、环境与经济系统协调发展的定量评价

刘小林

一、区域可持续发展评价指标体系与方法

(一) 区域人口、资源、环境与经济系统可持续发展评价指标体系

本文将借鉴国内外研究的成果,根据区域性和可操作性等原则,来设计区域可持续发展指标体系。本文认为可持续发展系统应包含人口系统(R)、资源系统(Z)、环境系统(H)和经济系统(J)四个子系统,在每一个子系统中又包括若干个指标。

1. 人口系统(R)

人口是生活在一定社会生产方式下,在一定时间、一定地域内,由一定社会关系联系起来的,由一定数量和质量的有生命的个人所组成的不断运动的社会群体。人口是协调发展系统的主体和核心要素,是协调发展系统中最积极、最活跃的要素。人口增长对经济发展起着双重作用,它既可以促进也可以阻碍经济的增长和发展。发达国家与发展中国家都根据具体国情制定相关的人口政策。我们国家人口形势十分严峻,对各方面压力很大,因此国家制定了计划生育的基本国策,其目的是控制人口数量,提高人口质量,改善人口结构。本文选用的人口系统的指标有:总人口、人口自然增长率、人口密度、平均每万人受高等教育人数、城镇失业率、每万人拥有病床数。

2. 资源系统(Z)

自然资源与人类的关系非常密切。自然资源是社会物质财富的源泉,是社会在生产过程中不可或缺的物质要素,是人类赖以生存的自然基础。人类社会每时每刻都在消耗着自然资源,大量的不可再生资源的数量在减少;一些再生资源的生产条件在恶化,生产能力在减弱。保护和节约使用各种自然资源,提高各种自然资源的使用效率,使各种自然资源能够永续地为人类的子孙后代所利用,是摆在当代人面前的一项十分紧迫而艰巨的任务。根据《中国21世纪议程》第14章设计的方案,结合可操作性原则,资源系统选用以下指标:耕地面积、林地面积、能源消费总量和活立木蓄积量。

3. 环境系统(H)

环境指的是人类社会居住且赖以生存和发展的自然环境,包括大气、水、土、海洋、森林等生态环境。优美适宜的生态环境可为人类的可持续发展和进步提供有力的保障,而生态的破坏和环境的污染则会制约人类的发展。环境和生态的保护是实现可持续发展的前提,环境质量的好坏是可持续发展与否的主要标志。由于近年来大气污染、水污染、温室效应、臭氧层破坏、水土流失、草原退化等生态环境恶化问题日益严重,严重威胁着人类社会的生存和发展,成为制约可持续发展的关键问题。环境系统的指标有:森林覆盖率、工业废水排放总量、工业废气排放总量、工业固体废物排放量、三废综合利用产品产值、城市人均公共绿地面积。

4. 经济系统(J)

经济发展的目标就是为了发展生产,扩大生产规模,改善经济结构,提高生产率,提高经济效益,更好的满足人们日益增长的物质和文化生活需要。

经济系统主要包括生产和发展经济为主体的指标,反映经济发展总体水平、总量规模、经济结构、经济效益等各个方面,主要有以下指标:国内生产总值、人均国内生产总值、社会消费品零售总额、第一产业产值占GDP比重、第三产业产值占GDP比重、人均实际利用外资、全员劳动生产率。

(二) 区域人口、资源、环境与经济系统可持续发展状况综合评价

运用主成分分析方法,对反映各子系统发展状况的指标体系进行评估,确定各子系统的综合发展水平。

1. 用 Z-score 方法对分指标进行无量纲化处理

设原始数据矩阵为 $X=(x_{ij})_{m \times n}$, 标准化后的矩阵为 $Y=(y_{ij})_{m \times n}$, 则:

$$y_{ij}=(x_{ij}-\bar{x}_j)/s_j$$

式中: \bar{x}_j 为第 j 个指标的平均数: $\bar{x}_j=\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_{ij}$

s_j 为第 j 个指标的标准差:

$$s_j=\sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (x_{ij}-\bar{x}_j)^2}$$

2. 求标准化数据矩阵的相关系数矩阵 $R=(r_{ij})_{n \times n}$

$$r_{ij}=\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m y_{i0}y_{ij} \quad (i,j=1,2,\dots,n)$$

式中: r_{ij} 为指标 i 与指标 j 相关系数

3. 计算相关系数矩阵的特征根和特征向量:

令 $|I-R|=0$, 可求出 R 的全部特征值: $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ (其中: $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$), 以及各特征值所对应的单位正交特征向量 $a_i=(a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in})$ 。

4. 计算各主成分的贡献率,并按累计贡献提取主成分,一般以累积贡献率达到 85% 为准则,提取前 k 个主成分。

由于相关系数矩阵 R 的特征值 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ 正是对应主成分 F_1, F_2, \dots, F_n 的方差,而方差越大,包含的信息就越多,对综合评价的贡献就越大。因此定义主成分 F_i 的贡献率 b_i 为:

$$b_i=\frac{\lambda_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i}$$

前 k 个主成分的累积贡献率 B_k 为:

$$B_k=\sum_{i=1}^k \frac{\lambda_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i}$$

当前 k 个主成分的累积贡献率达到 85% 时,就可以确定该系统分指标的主成分为: $F=(F_1, F_2, \dots, F_k)$

5. 分别计算人口、资源、环境和经济四个子系统的综合得分值 u_i 。

$$u_i=\sum_{j=1}^k b_j F_j$$

二、区域人口、资源、环境与经济系统协调发展的定量评价方法

(一) 区域人口、资源、环境与经济系统的协调系数

区域可持续发展实现的手段是区域人口、资源、环境与经济协调发展,即从传统的偏重数量增长的经济发展模式转向强调改善发展质量的协调发展模

式。这需要通过产业结构的调整、合理布局、开发应用高新技术、实施清洁生产和文明消费、适度控制人口,以提高效益,节约资源和能源,减少废物排放。在发展经济的同时,切实保护人类赖以生存的环境和子孙后代发展所需的资源,从而实现人口、资源、环境与经济之间的协调发展,以达到整体效益最优。因此,可持续发展与协调发展的关系体现了目的和手段的关系,协调就是为了保证实现可持续性发展目标,凡一切偏离目标的行为都应以协调为手段进行调节和控制,在发展的同时使自然资源得到合理地综合开发和永续利用,使生态环境系统得到保护。

然而,什么是协调发展,以及如何对人口、资源、环境与经济系统的协调发展程度进行定量的描述和评价?

协调发展程度的评估就是对可持续发展各子系统的实际观测值与其协调值接近程度的定量描述。所谓协调值就是某一系统与其它系统相适应的数值。在评价某一系统的协调发展状况时,不能仅仅用协调和不协调来衡量。事实上,更多系统的协调发展状况都处于协调与不协调之间。因此,协调发展是一个内涵明确而外延不明确的模糊概念,可以应用模糊集合论对它进行研究。在模糊数学中,描述论域中某一元素 X 隶属于模糊集 A 程度的是隶属度指标,它是一个闭区间上的实数,称之为协调系数。其计算公式为:

$$C(i/j) = \exp[-k(u_i - u_{ij})^2] \quad (1)$$

式中: $C(i/j)$ 表示第 i 系统对第 j 系统的协调发展系数;

u_i 表示第 i 系统的实际发展水平;

u_{ij} 表示第 i 系统与第 j 系统协调发展时,第 i 系统的协调发展水平;

$k=2/s^2$, s^2 为方差。

根据上述公式,我们可以发现:

当 u_i 越接近 u_{ij} 时,协调系数 $C(i/j)$ 越大,协调程度越高;

当 u_i 越远离 u_{ij} 时,协调系数 $C(i/j)$ 越小,协调程度越低。

下面将具体介绍协调系数的确定方法:

(1) 实际值 u_i 的确定:

u_i 表示第 i 系统的实际发展水平,本文就用第 i 系统的主成分综合得分来表示。

(2) 协调值 u_{ij} 的确定:

u_{ij} 表示第 i 系统与第 j 系统协调发展时,第 i 系统的协调发展水平,即当第 j 系统发展水平为 u_j 时,为了保持与第 j

系统协调发展时,第 i 系统所应达到的发展水平。

协调值的大小由两个因素来决定:一是 u_i 的大小;二是 i, j 两个系统之间综合得分的比例关系。

要研究两个系统之间综合得分的比例关系,就要考察其数量依存关系。这里,通过建立一个系统对另一个系统的回归方程来探究其数量依存关系。运用 SPSS 软件,可以得出系统 i 与系统 j 的回归模型:

$$u_i = a + bu_j$$

式中: a, b 为要估计的参数

上述回归模型表明,要做到系统 i 与系统 j 之间的协调发展, u_i 每变化一个单位就要求 u_j 变化 b 个单位。这样就可以确定协调值 $u_{ij} = bu_j$ 。这里仅介绍一个系统对另一个系统的协调值确定方法,至于一个系统对另外多个系统的协调值的确定方法同理可推。

由于可持续发展系统是一个庞大而又复杂的系统,它包括人口、资源、环境与经济四个子系统。在计算协调系数时,有一个系统对另一个系统的协调系数,还有一个系统对另外多个系统的协调系数,所有这些协调系数构成一个协调系数体系。主要包括:

$C(i/j)$ ——表示系统 i 对系统 j 的协调系数;

$C(i/j, k)$ ——表示系统 i 对系统 j 和 k 两系统的协调系数;

$C(i/j, k, l)$ ——表示系统 i 对系统 j, k 和 l 三系统的协调系数。

以上所介绍的协调系数只是描述一系统对另一个或多个系统的协调系数,并没有反映两个或多个系统之间的协调程度,因此有必要进一步介绍:

两系统间的协调系数—— $C(i/j)$, 其计算公式为:

$$C(i, j) = [C(i/j) + C(j/i)] / 2 \quad (2)$$

三系统间的协调系数—— $C(i, j, k)$, 其计算公式为:

$$C(i, j, k) = \frac{[C(i/j, k)C(j, k) + C(j/i, k)C(i, k) + C(k/i, j)C(i, j)]}{C(j, k) + C(i, k) + C(i, j)} \quad (3)$$

四系统间的协调系数—— $C(i, j, k, l)$, 其计算公式可以依照三系统间的协调系数公式类推。

(二) 区域人口、环境与经济系统的协调发展系数

协调系数反映了系统之间的协调程度,但不能反映系统当时所处的发展水平。通过以下例子可以看出这一点:当 u_i

$i=0.5, u_{it}=0.5$ 时,系统 i 与系统 j 的协调系数为 1; 而当 $u_{it}=0.9, u_{jt}=0.9$ 时,系统 i 与系统 j 的协调系数也为 1, 显然,虽然两者的协调系数均为 1, 但后者的发展水平显然高于前者。为此,本文将协调系数与系统的综合发展水平结合起来,表示系统的协调发展系数,用 CD_t 表示,并定义:

$$CD_t(i, j) = [C_t(i, j)u_{it}u_{jt}]^{1/2} \quad (4)$$

式中: $CD_t(i, j)$ ——表示系统 i 与系统 j 在时刻 t 的协调发展系数;

$C_t(i, j)$ ——表示在时刻 t 系统 i 与系统 j 之间的协调系数;

u_{it} ——表示系统 i 在时刻 t 的综合得分,即系统 i 在时刻 t 的综合发展水平。

u_{jt} ——表示系统 j 在时刻 t 的综合得分,即系统 j 在时刻 t 的综合发展水平;

α, β 为权重,且 $\alpha + \beta = 1$

协调发展系数是反映系统 i 与系统 j 协调发展水平的综合性指标,它揭示出系统当时的协调程度和发展水平。协调发展系数是一个正指标,越大越好。

上面介绍的是两个系统之间的协调发展系数,同理也可以表示三个或四个系统之间的协调发展系数,三个系统之间的协调发展系数用 $CD_t(i, j, k)$ 来表示:

$$CD_t(i, j, k) = [C_t(i, j, k)u_{it}u_{jt}u_{kt}]^{1/3} \quad (5)$$

式中: α, β, γ 为权重,且 $\alpha + \beta + \gamma = 1$

四系统间的协调发展系数 $CD_t(i, j, k, l)$ 可依此类推。

(三) 区域人口、资源、环境与经济系统的协调发展趋势指数

系统 i 与 j 在时刻 t 的协调发展系数 $CD_t(i, j)$ 反映出系统在某一时刻的协调程度和发展水平,但不能反映出其协调发展的动态发展趋势。为此,定义协调发展趋势指数 $_{t-1}(i, j)$, 用来反映系统协调发展趋势。设系统 i 和系统 j 在时刻 t-1 和时刻 t 的协调发展系数分别为 $CD_{t-1}(i, j)$ 和 $CD_t(i, j)$, 则系统 i 和系统 j 在时刻 t 的协调发展趋势指数可表示为:

$$_{t-1}(i, j) = CD_t(i, j) / CD_{t-1}(i, j) \quad (6)$$

$_{t-1}(i, j) > 1$, 说明系统的协调发展趋势处于增长状态;

$_{t-1}(i, j) = 1$, 说明系统的协调发展趋势处于平稳状态;

$_{t-1}(i, j) < 1$, 说明系统的协调发展趋势处于衰减状态。

(作者单位/江西财经大学统计学院)

(责任编辑/易永生)

东北地区资源型城市转型过程中社会—经济—环境 协调演化特征

陈妍¹, 梅林^{1,2}

(1. 东北师范大学地理科学学院, 长春 130024; 2. 东北师范大学人文学院, 长春 130017)

摘要: 借鉴协调发展相关理论, 构建综合评价资源型城市社会、经济和环境转型的指标体系, 利用面板数据回归模型测算 2000-2014 年系统内各要素对资源型城市协调转型的作用, 对东北地区资源型城市转型以来协调发展的时空格局进行分析。研究发现: ① 东北地区资源型城市转型协调水平呈现波动式缓慢上升的走势, 共出现四次较大幅度的波动, 空间上差异性先减弱后加剧, 协调程度较高的地区主要集中在辽宁省南部, 失调城市分布在黑龙江省北部边缘地区, 无论是协调度水平变化或是空间分布上这种“两极”分化的趋势越来越明显。② 东北地区资源型城市协调转型发展总体水平不高, 从划分类型看, 协调发展型城市在社会—经济—环境各方面作用力均衡较好, 对社会服务设施完善等方面投入强于发展调和型城市和失调衰退型城市, 钢铁型城市协调转型水平强于石油型城市和冶金型城市, 森工型城市表现最弱。③ 第三产业发展、教育、技术、非国营经济、生产生活环境等因素对协调转型的促进作用显著, 但历史遗留问题、产业结构升级等仍待进一步解决, 同时也对实践创新、体制机制改革提出了高要求。

关键词: 资源型城市; 协调转型; 经济; 社会; 环境; 东北地区

DOI: 10.11821/dljy201802006

1 引言

协调发展是体现系统间及系统内部是否配合得当, 和谐一致的程度, 是事物由低级到高级、由量变到质变的趋势, 对于提升系统内的良性循环方面具有重要的实践意义^[1]。在国内经济快速增长的背景下, 许多地区出现发展水平与转型不相适应的现象, 无论是落后的基础设施、社会服务设施和资金、人力资本抑或是转型的滞后, 过渡的建设造成资源浪费, 城市功能得不到充分发挥等现象, 均会随着改革开放和对外开放程度的不断加深而日益严重^[2,3]。其中资源型城市作为特殊城市类型之一, 区域资源环境与经济社会发展的不协调、不可持续性矛盾突出, 城市转型过程中虽然取得了一定的成绩, 但深受计划经济体制影响, 仍然缺乏对环境改善、社会服务等方面的关注, 亟需根本性、结构性的改革创新^[4,5]。如何从“协调”的角度对资源型城市中社会、经济、环境系统发展水平差异进行刻画分析, 系统地反映综合实力水平, 寻找切实可行的转型路径是推进资源型城市振兴发展的关键, 不仅对促进可持续发展具有重要的推动作用, 也将有助于区域内各系统、要素间的和谐发展, 提高研究成果的实用性。

东北地区在中国工业化进程中起步较早。在计划经济体制和重化工业优先发展的战

收稿日期: 2017-08-15; 修订日期: 2017-11-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(41471111)

作者简介: 陈妍 (1990-), 女, 吉林抚松人, 博士研究生, 研究方向区域经济和城乡规划。E-mail: chenyl662@nenu.edu.cn

通讯作者: 梅林 (1962-), 女, 吉林长春人, 教授, 研究方向人文地理、旅游管理和城乡区域规划。

E-mail: meil682@nenu.edu.cn

307-318 页

略背景下，依靠丰富的农、林、矿等资源，为新中国的经济建设作出巨大贡献。然而长期粗放式的发展模式使得经济社会发展与资源枯竭的矛盾日益尖锐，资源型城市经济发展滞缓、隐形失业问题严重、居民生活水平下降、生态恶化趋势加剧等一系列经济、社会、环境问题接踵而至^[6,7]。2000年国家提出东北地区资源型城市转型发展战略。然而，在原来高强度、高速度的发展背景下，东北地区城市形成了“资源高度依赖型”的经济结构，加上计划经济体制退出晚、市场化和对外开放程度低等条件约束，实现城市转型、可持续发展面临巨大的挑战^[8-10]。目前，东北地区经济疲软，城市转型发展步入深化阶段，产业结构亟待调整升级^[11,12]。十八大以来，全面振兴东北已进入关键时期，转变传统观念，实施创新政策，为新时期区域发展提出了新的要求。系统分析东北地区资源型城市协调发展类型、演变特征、影响指标，可为其他类似城市转型、国家和地区发展决策提供借鉴。

地区转型协调发展研究逐渐受到各界学者的重视，并开展了不同地域尺度层面的评估和研究。从学科划分的角度来看可以大致为两大类，一是经济学视角下注重构建指标评价体系，对其进行协调发展类型划分，探究时间序列下各影响因素的因果关系^[13-18]；二是地理学视角下，以城市和乡村作为两条研究主线，系统分析单一指标或者指标体系间两两互动关系，通常结合耦合协调度模型作为切入点协调发展现状和建议等方面进行分析探讨^[19-26]。这些研究对整体把握全国到乡村层面的问题具有指导意义，但是协调发展水平与区域发展状态对应分析相对薄弱，难以深刻认识转型发展中的区域问题，并且现有文献中缺乏对资源型城市的协调发展分析。作为全国重要的一类特殊性城市，东北地区资源型城市受计划经济体制影响较深，自然地理环境、经济发展基础存在明显的区域性特征，有必要在研究尺度和机理分析上进行深入探讨。本文综合参考经济学和地理学的学科视角以及模型方法，构建社会、经济和环境子系统指标体系，建立协调转型度模型，分析东北地区资源型城市转型以来协调发展水平演变，并结合面板数据回归模型对社会、经济和环境系统之间的协调性进行定量考察和有效评价，探索资源型城市协调发展的影响因素，以期增进对资源型城市转型的认识，为进一步深化发展提供实质性对策建议。

2 研究方法与数据来源

2.1 数据来源与指标体系

依据《全国资源型城市可持续发展规划（2013-2020）》中资源型城市的概念和划分标准，即资源型城市（包括资源型地区）是以本地区矿产、森林等自然资源开采、加工为主导产业的的城市类型。本文研究对象为东北地区20个资源型地级城市（不包括大兴安岭地区，图1），其中黑龙江省包括鸡西、鹤岗、双鸭山、大庆、伊春、七台河、牡丹江、黑河；吉林省包括吉林、辽源、通化、白山、松原、延边州；辽宁省包括鞍山、抚

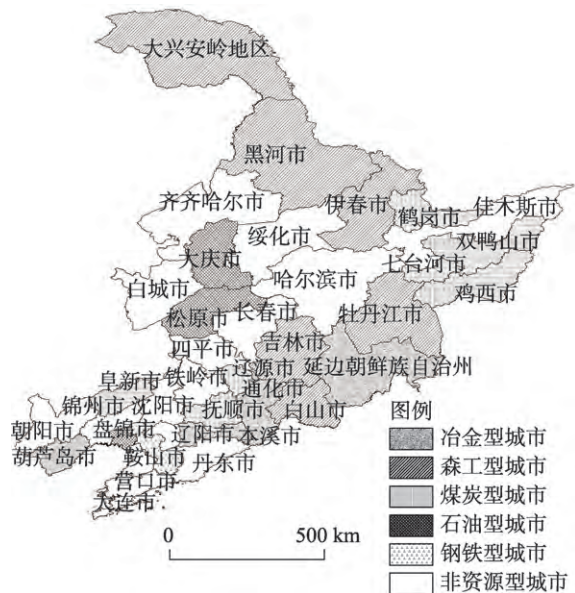


图1 东北地区资源型城市空间分布图
Fig. 1 Spatial distribution of resource-based cities in Northeast China

顺、本溪、阜新、盘锦、葫芦岛。根据资源类型划分为5类,分别为有色冶金型城市、森工型城市、煤炭型城市、石油型城市和钢铁型城市。选取2000-2014年各资源型城市社会经济发展相关的面板数据指标。基础数据来自于2001-2015年《吉林省统计年鉴》《黑龙江省统计年鉴》《辽宁省统计年鉴》《中国区域经济统计年鉴》《中国城市统计年鉴》^①以及各城市国民经济和社会发展统计公报。

社会转型、经济转型和环境转型各自发展水平的衡量指标很多,本文借鉴现有文献的梳理,依据各个指标被使用频次以及指标的重要性和可获得性,结合研究目的,采用人口密度、非国营经济从业人员占比、教育支出占比、科技支出占比和社会保障支出占比等5项作为评价资源型城市社会转型水平的指标,采用工业产值、第三产业产值占比、在岗平均工资、货运量和当年实际利用外资等5项作为评价资源型城市经济转型水平的指标,采用建成区绿化覆盖率、工业废水处理达标率、生活垃圾无害化处理率、清扫保洁面积和空气质量好于二级天数等5项作为评价资源型城市环境转型水平的指标,建立转型系统协调度测度指标体系(表1)。

由于各项指标的量纲、数量级和指标的正负取向存在差异,在进行评价前对数据进行无量纲化处理,利用功效函数测度子系统中单个指标的变化对该系统的影响。具体方法如下:

$$\begin{cases} Z_{ij} = \frac{(X_{ij} - \text{Min}_{ij})}{(\text{Max}_{ij} - \text{Min}_{ij})}, & X_{ij} \text{正作用指标} \\ Z_{ij} = \frac{(\text{Max}_{ij} - X_{ij})}{(\text{Max}_{ij} - \text{Min}_{ij})}, & X_{ij} \text{适度作用指标} \\ Z_{ij} = \frac{|M_{ij} - X_{ij}|}{(\text{Max}_{ij} - \text{Min}_{ij})}, & X_{ij} \text{负作用指标} \end{cases} \quad (1)$$

式中: X_{ij} 是第 i 个系统中的第 j 个指标; Z_{ij} 为指标 X_{ij} 对系统 i 的影响程度; Min_{ij} 、 Max_{ij} 是系统 i 到达稳定临界点时指标 X_{ij} 的下限和上限值; M_{ij} 为适度指标的临界阈值, $0 \leq X_{ij} \leq 1$ 。

对社会转型、经济转型、环境转型子系统内各个指标的影响程度通过线性加权求和实现,避免人为主观性,更加客观地反映各指标所产生的作用,即:

$$U_i = \sum_{j=1}^n \lambda_{ij} z_{ij}, \quad \sum_{j=1}^n \lambda_{ij} = 1 \quad (2)$$

式中: U_i ($i=1,2,3$) 是社会、经济、环境对资源型城市转型系统的影响, λ_{ij} 是指标权重。

① 《中国城市统计年鉴》中不包括延边州的相关数据,因此文中数据主要是以各省、市的统计年鉴为依据。

2.2 模型设定

2.2.1 协调转型度模型 转型度 U 是度量系统或者要素转型程度的定量指标, $U=T_1+T_2+T_3$, $T=aX(\rho)+bY(\rho)+cZ(\rho)+dG(\rho)+eH(\rho)$, T 是社会、经济或环境转型水平, $X(\rho)$ 、 $Y(\rho)$ 、 $Z(\rho)$ 、 $G(\rho)$ 、 $H(\rho)$ 是三个子系统的5个评价指标, a 、 b 、 c 、 d 、 e 是相应的权重, ρ 是指标的功效系数值, 协调度 $C=[(U_1 \times U_2 \times U_3) / ((U_1+U_2+U_3)/3)]^3$, 反映社会、经济和环境三者之间转型协调程度, C 取值在 0~1 之间, C 值越大代表三者协调性越好; 反之, 说明三者协调性越差。协调度 C 往往难以反映三者的发展水平, 引入协调转型度进一步度量系统的协调发展水平, $D=\sqrt{C \times U}$, 式中 D 是协调转型度。

2.2.2 回归模型 面板数据是同时在时间和截面空间上取得的二维数据。与截面数据相比大幅提高了样本容量, 在线性回归模型的估计中能有效缓解多重共线性, 提高模型参数估计的精确度, 尤其是当存在不可观测的异质性而引起内生性时, 采用面板数据可以消除这种异质性, 得到回归系数的一致估计^[27]。

面板数据模型形式: $y_{it}=\alpha_i+\chi_i\beta+u_{it}$, 式中: $i=1,2,\dots,N$, 表示截面数量; $t=1,2,\dots,T$, 代表时间标示; x_{it} 是 $k \times 1$ 解释变量; β 是 $k \times 1$ 系数数量向量; α_i 是个体 i 不随时间改变的影响因素; u_{it} 是随着截面和时间变化的不可观测的影响因素^[20]。以协调转型度 D 作为被解释变量, 将影响东北地区资源型城市转型协调发展的因素 ($X_1 \sim X_{15}$) 作为解释变量。依据变量干扰项的处理方式建立的模型可分为混合估计模型、固定效用模型和随机效应模型。

3 结果分析

3.1 东北地区资源型城市协调转型时空变化特征

2000-2014年, 东北地区资源型城市协调转型水平呈现波动式缓慢上升的走势(图2)。其中, 2000-2002年各资源型城市协调度系数普遍下降, 主要源于国家提出资源型城市转型发展的初试阶段, 经验技术匮乏, 社会、经济和环境各系统打破原有的均衡发展状态, 短时间内无法完全适应新的政策环境和发展结构转变; 2003-2007年延长产业链、大力发展第三产业、优化产业结构等措施和国家财政转移支付的大力实施, 以经济增长为主要力量带动转型发展, 资源型城市协调转型水平波动上升; 然而前期依靠经济增长为主要目的来拉动转型发展并不具有全面性, 2008-2010年协调转型水平再一次出现下降, 一方面伴随

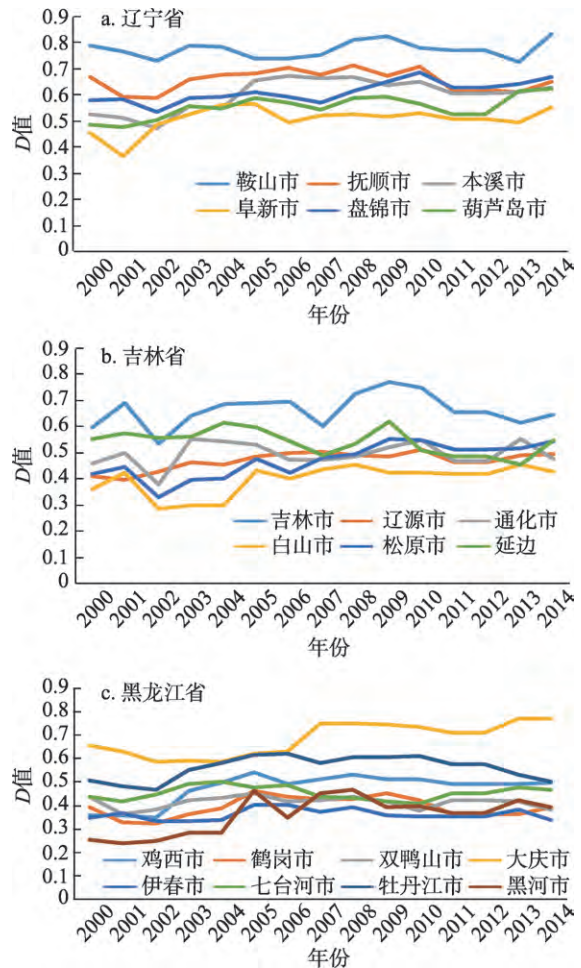


图2 东北地区资源型城市D值变化
Fig. 2 The change of "D" of resource-based cities in Northeast China

随着国家经济社会的快速发展和东北地区资源型城市转型的深化,原有的转型模式已经不能满足当前阶段社会、经济和环境发展的诉求,另一方面,在此时期东北地区整体经济疲软,转型动力不足,国家对于东北区域政策由原先的“输血”功能为主转变为“造血”功能为主,减少了金融财税等多方面的直接补偿,发展出现瓶颈;2011-2014年, D 值变化幅度较小,超过60%的资源型城市协调转型水平出现小幅上升。伊春、牡丹江、白山等森工型城市呈现下降趋势,部分源于大多数城市在前期转型的基础上探寻出适合自身发展的路径,而对于森工型城市以旅游转型为主的发展方式提出较晚,试行时间不长,效果有待于后续观测。整体上,15年来东北地区资源型城市协调转型水平出现四次较大幅度的波动,水平值以缓慢式上升为主,再一次佐证了转型过程的阶段性和曲折性。

在东北地区资源型城市协调转型水平时间变化的基础上,选取2000年、2005年、2010年和2014年四个典型年份的 D 值进行空间分层设色分析(图3)。①2000年东北地区资源型城市中鞍山、抚顺和大庆 D 值范围0.6~0.8,协调发展水平高于其他城市,12个资源城市协调水平在0.4~0.6间,鸡西、黑河、鹤岗、伊春和白山水平值在0.2~0.4间,属

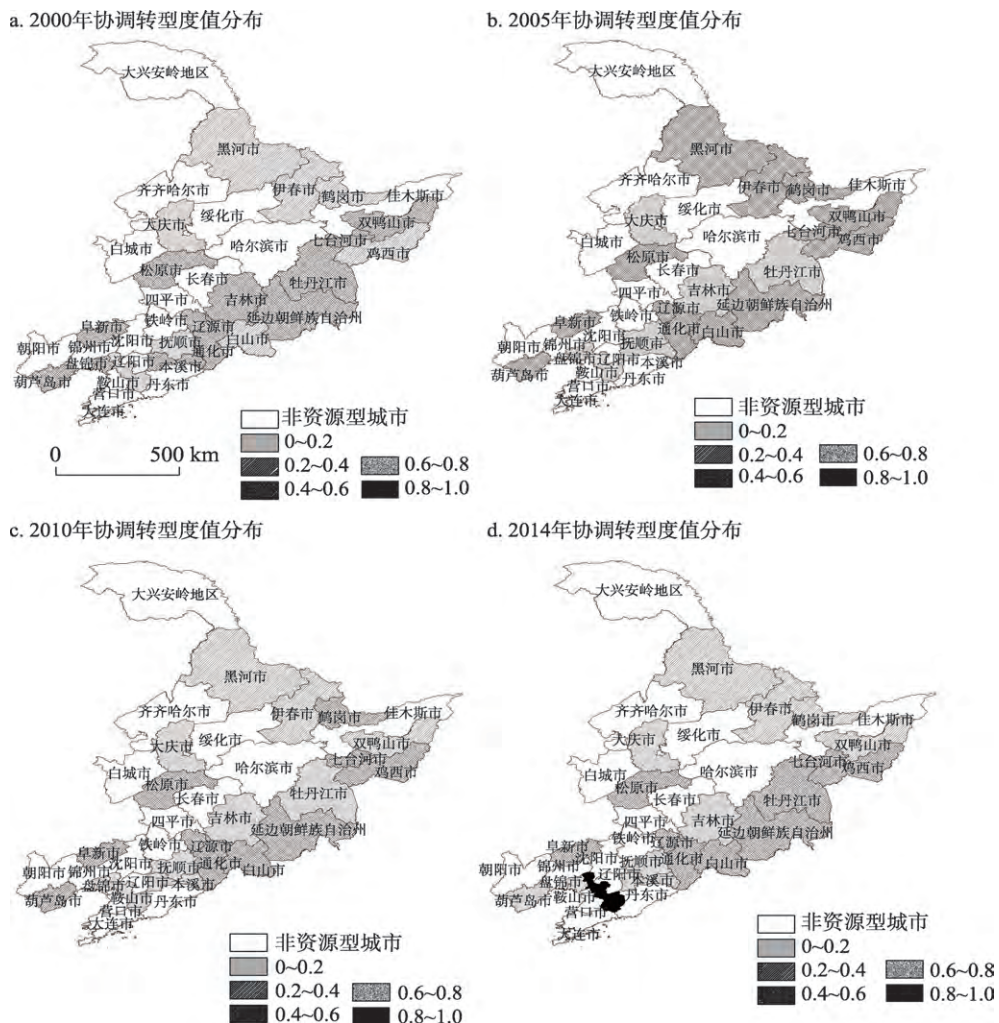


图3 2000年、2005年、2010年和2014年东北资源型城市 D 值的空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of “ D ” of resource-based cities in 2000, 2005, 2010 and 2014

于失调状态。② 2005年 $D>0.6$ 的资源型城市有大庆、吉林、牡丹江、抚顺、本溪、盘锦和鞍山，数量上有所增加。20个资源型城市 D 值均超过0.4，东北地区资源型城市转型整体处于协调状态，各城市差异不大。③ 2010年大庆、鞍山、盘锦、抚顺、吉林、本溪和牡丹江协调程度依次降低， D 值均大于0.6。黑河、伊春和双鸭山三个城市 $D<0.4$ ，再一次出现失调状态，各资源型城市转型协调差距拉大。④ 2014年，鞍山 D 值超过0.8，成为东北地区资源型城市中第一个高度协调转型的城市， $0.6<D<0.8$ 的有大庆、吉林、抚顺、盘锦、本溪和葫芦岛，黑河、伊春、鹤岗和双鸭山仍是协调水平较低的地区。

东北地区各资源型城市协调转型发展水平空间上差异性先减弱后加剧，协调程度较高的地区主要集中在辽宁省南部，以鞍山、盘锦、本溪为代表，黑河、伊春、鹤岗等失调城市分布在黑龙江省北部边缘地区，无论是协调度水平变化时间或是空间分布上这种“两极”分化的趋势越来越明显。

3.2 东北地区资源型城市协调转型发展类型分析

3.2.1 基于城市资源属性的分类特征 结合相关文献和研究结果^[28,29]，将东北地区20个资源型城市协调转型发展度划分为三大类，分别是协调发展型 ($0.6<D\leq 1$)，发展调和型 ($0.4<D\leq 0.6$) 以及失调衰退型 ($0<D\leq 0.4$)。协调发展类型中若 $0.8<D\leq 1$ 为高度协调， $0.6<D\leq 0.8$ 划分为初级协调，失调衰退类型中若 $0.2<D\leq 0.4$ 是轻度失调，当 $0<D\leq 0.2$ 时属于严重失调。以2000-2014年研究对象的 D 值平均值为基准，并参考各城市的资源属性，进行更细致的分类（表2）。

煤炭型城市中，抚顺属于初级协调发展类型，阜新、辽源、双鸭山、鸡西和七台河差距较小，属发展调和型，而鹤岗 D 值仅为0.39是轻度失调型；石油型城市 D 均高于0.4，盘锦和大庆分别为0.61和0.68，初级协调发展类型，松原0.47，略低于前两者，属发展调和型；森工型城市中60%是轻度失调发展，白山0.40，伊春0.36，黑河0.36，只有吉林属于协调发展，其 D 值0.66，仅次于鞍山，牡丹江 D 值0.56属发展调和型；冶金型城市共有4个，本溪 D 值最高0.60，其次是葫芦岛0.55，延边0.54，通化0.50，未有失调衰退型城市；钢铁型城市仅鞍山一座，也是东北地区20个资源型城市中协调转型水平最好的，属于初级协调型，平均 D 值0.77，超过黑河、伊春等地区的2倍及以上。

根据2000-2014年资源型城市协调转型度的平均值看，并不存在高级协调和严重失调两种类型。钢铁型城市协调转型水平强于石油型城市和冶金型城市，煤炭型城市以发展调和型为主，森工型城市表现最弱。失调衰退型中的鹤岗、伊春、黑河等城市集中于黑

表2 资源型城市协调转型发展分类

Tab. 2 Different types of resource-based cities in transition development

协调发展型($0.6<D\leq 1$)		发展调和型($0.4<D\leq 0.6$)					失调衰退型($0<D\leq 0.4$)		
煤炭型城市	抚顺	阜新	辽源	双鸭山	鸡西	七台河	鹤岗		
	0.65	0.51	0.47	0.42	0.48	0.46	0.39		
石油型城市	盘锦 大庆	松原							
	0.61 0.68	0.47							
森工型城市	吉林	牡丹江					白山	伊春	黑河
	0.66	0.56					0.40	0.36	0.36
冶金型城市	本溪	葫芦岛	通化	延边					
	0.60	0.55	0.50	0.54					
钢铁型城市	鞍山								
	0.77								

龙江最北部，尽管自然资源丰富，但交通便捷程度不高，产业升级困难，区域内部社会、经济和环境矛盾突出，相比之下鞍山、抚顺、盘锦等协调发展水平较高的城市依靠经济区腹地的地理位置，加强高新技术产业投入，促进第三产业发展，转型进程相对较快。东北地区资源型城市协调转型发展总体水平不高，不同资源属性的城市间差距较大。

3.2.2 基于子系统驱动下的分级特征 资源型城市协调发展类型不仅是指水平值大小的分类，系统间作用力的分级也是其重要表现，不同视角下对整体和内部的划分进行综合考虑，才能较全面地反映出转型过程中不同城市协调发展类型间的差异和原因。在上述资源属性分类特征的基础上，利用SPSS对20个研究对象回归分析，以资源型城市协调转型度作为被解释变量，社会、经济和环境子系统作为解释变量，对三种协调分类的地区按照各子系统驱动强度大小分成不同作用级别，探寻转型发展过程中社会、经济和环境三大系统间的影响力。图4表示社会、经济和环境三个子系统回归的标准化系数，系数越大代表作用效果越强，反之说明在转型过程中该系统的发展速度较慢，作用强度较弱。

东北地区资源型城市转型过程中对经济发展的重视程度强于环境优化和社会转型。其中协调发展型城市在社会—经济—环境相互作用的均衡性较好，对社会服务设施完善等方面投入强于发展调和型城市，失调衰退型城市的社会子系统作用系数小于0.3，仅是发展调和型城市的二分之一。经济总量增加不再是衡量转型成果的唯一指标，尤其是人们对高生活质量的诉求增加，使城市建设中社会和环境问题得到更多关注。系统内部社会、经济和环境间的均衡性越强，协调转型效果越好，鞍山、抚顺各子系统均衡发展强于其他城市，协调转型水平亦优于其他城市，这种趋势会随着转型的深化而进一步凸显。

大庆是典型的社会转型驱动型城市，辽源和伊春属于经济转型驱动型，本溪、阜新、吉林、通化、白山、鸡西和双鸭山是环境转型驱动型，这10个资源型城市均是单系统引导作用为主；盘锦、延边和牡丹江是由社会转型和经济转型为主导，葫芦岛、松原、鹤岗、七台河和黑河属于经济转型和环境转型共同作用，共8个资源型城市属于双系统协同作用类型；鞍山和抚顺的社会、经济和环境三者发展作用力强度相差不大，是多系统均衡作用型城市。另一方面，根据地区转型过程中发展的实际情况，东北地区资源型城市转型具有特殊性和差异性，例如森工型城市中吉林和白山均为环境系统占主导地位，但是吉林发展的协调性明显强于白山地区，说明白山在转型过程中应注重社会和经济的发展，促进社会服务设施体制的完善以及加强经济增长的引导作用，资源型城市应根据自身的实际需要采取针对性措施才能有效的协调系统内各要素均衡发展。

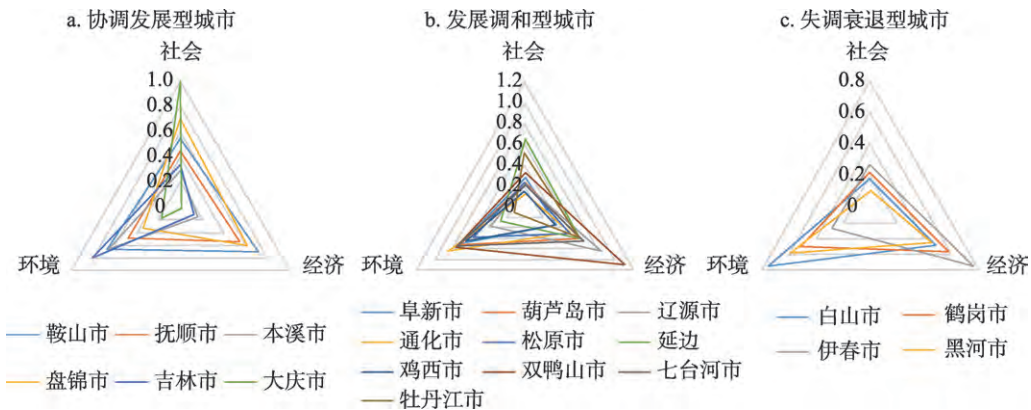


图4 东北地区资源型城市协调转型系统影响分布

Fig. 4 Distribution of systems influencing the resource-based cities in Northeast China

表3 面板数据回归结果

Tab. 3 Regression result of *D* growth and driving factors

被解释变量	资源型城市协调转型度 (<i>D</i>)		
	混合模型	固定效应模型	随机效应模型
模型设定			
人口密度	0.0749*** (10.55333)	0.0807** (2.214886)	0.0728*** (13.06485)
非国营经济从业人口	0.2713*** (10.24817)	0.1407*** (5.976517)	0.2653*** (13.16686)
教育事业支出占比	0.2951*** (4.046505)	0.2435*** (3.771541)	0.2771*** (4.945308)
科学技术支出占比	0.4408*** (4.158973)	0.325** (2.383748)	0.4164*** (5.154141)
社会保障支出占比	0.13** (2.24556)	0.598 (1.20829)	0.1227*** (3.019892)
工业产值	0.00923*** (7.175209)	0.0119 (-0.858595)	0.00913*** (9.812395)
第三产业产值占比	0.26789*** (5.34968)	0.138464** (2.187461)	0.249207*** (6.015458)
在岗平均收入	-0.0000254 (-0.500953)	0.000471*** (4.806558)	-0.0000271 (-0.74326)
货运量	0.000792*** (4.617614)	0.000381*** (2.818286)	0.000807*** (6.484118)
当年实际利用外资金额	-0.00000895*** (-4.953234)	-0.00000471 (-0.39205)	-0.0000874*** (-6.636889)
建成区绿化覆盖率	-0.0457** (-2.508385)	-0.0568 (-1.440034)	-0.0442*** (-3.350828)
工业废水处理达标率	0.0278* (1.907039)	0.0541*** (5.226361)	0.0294*** (2.763163)
生活垃圾无害化处理率	0.0239** (5.780248)	0.00937*** (3.28412)	0.0237*** (7.955119)
清扫保洁面积	0.00102** (2.203185)	0.000851*** (2.806396)	0.00106*** (3.152491)
空气质量好于二级天数	0.0424*** (6.931728)	0.0351*** (3.86893)	0.0377*** (5.539586)
常数项	1.517545*** (5.23549)	0.390618*** (5.786463)	0.027812 (0.912815)
参数联合检验		Prob(F-stat)=0	Prob(F-stat)=0
<i>R</i> ² 检验	0.783465	0.928906	0.783031
观测数量	300; 组数20		

注：*、**和***分别表示在10%、5%和1%水平上显著。

模型； H_1 ：个体固定效应模型，Hausman统计量值282.8，对应的 P 值是0.000，即拒绝原假设。与其他回归模型系数相比，随机效应 R^2 检验值为0.78，小于固定效应 R^2 值0.93，说明就描述东北地区资源型城市协调转型的动态变化影响来看，不适合建立随机效应模

3.3 东北地区资源型城市协调转型影响因素分析

3.3.1 模型设定检验

在探讨东北地区资源型城市协调转型特征的基础上，进一步分析其与各系统内影响因素间的定量关系。利用EViews软件分别建立基于面板数据的混合估计模型、固定效应模型和随机效应模型，结果如表3所示。混合估计模型默认不同个体和截面之间不存在显著性差异， R^2 检验值为0.78，模型可成立。

固定效应的假设条件是各城市间存在明显的差异性，对不同截面或时间序列，模型的截距项不同。采用在模型中加虚拟变量的方法估计回归参数，分为个体固定效应模型、时刻固定效应模型和个体时刻固定效应模型，其中个体时刻固定效应模型就是对不同截面、不同个体都有不同的截距模型，通过三种固定效应模型模拟结果对比，选用个体时刻效应模型。

利用 F 统计量检验选择建立混合回归模型，还是个体时刻固定效应回归模型。

$$H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_{20} \quad (3)$$

对模型检验：

$$F = \frac{(RRSS - URSS)/(T + N - 2)}{URSS/(NT - T - N - K + 1)} \quad (4)$$

式中： $RRSS$ 和 $URSS$ 分别是约束模型和无约束模型的残差平方和（ $N=20$ ； $T=15$ ； $K=15$ ）。经计算 $F=40.6 > F_{0.01}$ ，所以推翻原假设，可以建立个体时刻固定效应模型。

与固定效用相比，随机效应模型相当于将固定效应中的截距分解为截面随机误差项和时间随机误差项，即各城市具有相同的截距项，个体差异主要反映在随机干扰项。利用Hausman统计量检验， H_0 ：个体随机效应

型,应该选择固定效应模型。

3.3.2 估计结果分析 在综合考虑各参数和检验结果后,选取个体时刻固定效应模型的估计结果为基础进行实证分析(表3)。其中,东北地区资源型城市人口密度、非国营经济从业人员占比、教育支出占比、科技支出占比、第三产业产值占比、在岗平均工资、货运量、工业废水处理达标率、生活垃圾无害化处理率、清扫保洁面积和空气质量好于二级天数等11项指标对协调转型产生一定影响,而工业产值、社会保障服务水平、建成区绿化覆盖率以及当年实际利用外资等指标并没有形成显著作用,社会保障服务水平和工业产值影响系数为正,当年实际利用外资和建成区绿化覆盖率的参考系数为负,结果均未通过检验,不是驱动资源型城市协调转型的有效指标。

社会系统影响因素中,人口密度、非国营经济从业人口、教育事业支出占比和科学技术支出占比等指标在检验通过的情况下对东北地区资源型城市协调转型均起到促进作用,其中科学技术占比系数最高0.33,其次是教育事业支出占比系数0.24,人口密度和非国营经济从业人口的估计值分别是0.08和0.14。科学技术和教育事业是提高生产力和社会素质的根本保障,在资源型城市转型过程中能够带动地区由粗放式发展模式向技术型经济转变,随着城市产业结构升级,科学技术和专业人才可以带动创新、寻求发展的新思路和新方法,协调经济增长和环境保护间关系,在转型中起到越来越重要的地位和作用。非国营经济从业人口数量是社会活力和就业能力的体现,增加民营和个体经营企业发展可以丰富社会结构的多样性和稳定性,而人口密度是劳动力资源的直接反映,扩大人口规模依然会对资源型城市社会转型依然起到促进作用。社会保障支出占比并没有对社会转型起到显著作用,主要在于早期计划经济体制下社会保障以企业为主体,市场经济改革中遗留问题突出,至今未有效解决。

经济系统影响因素中,第三产业产值占比、在岗平均工资和货运量等指标在检验通过的情况下对东北地区资源型城市协调转型均起到促进作用,其中第三产业产值占比系数最高0.14,其次是在岗平均工资和货运量估计值为0.0005和0.0004。服务产业发展是经济转型的主导力量,对其影响效果也较明显,符合理论预期。在岗平均工资的增加也会积极带动资源型城市经济与社会、环境系统的协调发展,截止2014年,东北老工业基地城镇非私营单位就业人员工资水平46512元,低于全国平均水平近6000元,提高工资水平不仅能够吸引劳动力还是人民生活水平的基本保障。经济系统指标要素中,货运量对协调转型有显著的正向促进作用,而工业产值影响不明显,主要是许多原有的重化工企业在转型后破产或倒闭,剩存的企业依然面临产能过剩、创新能力弱等问题,对于促进经济转型作用效果与第三产业相比较差。当年实际利用外资的水平高低直接决定区域竞争力强弱,正向相关性检验未通过,表明外商的介入并未在东北地区资源型城市中形成竞争优势,由于技术层次低,产业结构变化过程中可能形成挤出效应,制约了经济转型的协调发展。

环境系统影响因素中,工业废水处理达标率、生活垃圾无害化处理率、清扫保洁面积和空气质量好于二级天数等指标在检验通过的情况下对东北地区资源型城市协调转型均起到促进作用,其中工业废水处理达标率系数最高0.05,其次空气质量好于二级天数系数0.04,清扫保洁面积和生活垃圾无害化处理率估计值分别是0.0009和0.0009。东北地区早期的资源开发利用是以牺牲环境为代价,生产环境和生活环境质量都大大降低,由估计系数值变化可以看出,尽管与社会或经济系统下指标影响值相比作用程度较小,但是生产环境和生活环境的改善也会有效地推动区域转型系统间的协调发展。许多城市在发展进程中选择先发展后治理的道路,环境系统往往成为薄弱环节,东北地区转型以

来上至政府机构下至工厂企业加大了环境工程的改善投入,个人对环境质量的要求也逐渐加强,这对于协调转型的作用效果势必会更加明显。建成区绿化覆盖率与协调转型成负相关关系,但固定效用模型下检验未通过,可能是源于建成区绿化面积大小更新较慢,对于城市整体的转型发展作用效果并不明显。

社会、经济和环境三者之间相互促进又相互制约,东北地区资源型城市在今后协调转型过程中应在保障生产和生活环境的基础上继续推进服务业发展、合理规划工业企业规模,减少产能过剩、提高在岗工资、完善社会各项服务设施体系和保障系统,只有兼顾系统内发展的协调性才能更好促进有效转型。

4 结论与讨论

(1) 运用协调转型度模型,测算东北地区资源型城市2000-2014年社会、经济和环境子系统综合评价价值。结果显示,资源型城市协调转型波动式增强,共经历4次较大波动,分别为2000-2002年、2003-2007年、2008-2010年和2011-2014年,协调水平值无论是空间或是时间变化上方面,存在“两极分化”的特征,水平值较高的区域鞍山、抚顺和盘锦等集中在辽宁省南部,而协调转型较差的城市伊春、七台河、黑河主要分布于黑龙江省北部边缘。

(2) 东北地区资源型城市协调转型类型可以大致分为协调发展型、发展调和型和失调衰落型三大类,其中根据资源属性差异,钢铁型城市强于石油型城市,森工型城市协调转型能力较差;从系统驱动力角度来看,目前除鞍山与抚顺的社会、经济和环境三者作用力均衡发展之外,剩余18个城市中,有10个资源型城市主要是靠单一子系统驱动,8个资源型城市以双系统协同作用促进转型发展。

(3) 通过面板数据回归,发现社会系统中教育和技术对于协调转型有较强的促进作用,并且影响系数值大于非国营从业人口和地区人口密度;经济系统中第三产业发展、平均工资水平和货运量的增加是提升协调转型水平的有效途径;环境系统中工业废水、生活垃圾、空气质量已经成为转型过程中不可或缺的衡量标准,并且有较大的提升空间。转型期间市场经济运行体制和许多历史遗留问题均有待解决完善,工业产值、社会保障等对于协调转型水平提高贡献不大。

(4) 东北地区资源型城市转型过程中应避免照搬照抄,协调地区子系统间的均衡发展,不能仅仅追求经济总量的提升,社会需求和环境改善也同样是保障居民生活水平和转型成效的关键。未来要依据自身发展的实际情况,推进服务业发展、合理规划工业产业规模,避免产能过剩、提高在岗工资、完善社会各项服务设施体系和保障系统。

参考文献(References)

- [1] 张颖翰,张锋.城市可持续发展:理论·实践·评价.北京:中国工商出版社,2005. [Zhang Jinghan, Zhang Feng. Sustainable Development in Cities: Theory·Practice·Evaluation. Beijing: Chinese Gongshang Press, 2005.]
- [2] 齐建珍.资源型城市转型学.北京:人民出版社,2004. [Qi Jianzhen. The Study on Cities' Transition. Beijing: Renmin Press, 2004.]
- [3] Long H L, Zou J, Pykett J, et al. Analysis of rural transformation development in China since the turn of the new millennium. *Applied Geography*, 2011, 31(3): 1094-1105.
- [4] 袁祖怀,周敏,余卉,等.资源型城市工业化和城市化协调发展研究:以淮南市为例.学术界,2011,(6): 174-182. [Yuan Zuhuai, Zhou Min, Yu Hui, et al. Research on the coordinating development of industrialization and urbanization in resource-based cities. *Academics*, 2011, (6): 174-182.]
- [5] Dale B. An institutionalist approach to local restructuring the case of four norwegian mining towns. *European Urban & Regional Studies*, 2011, 9(1): 5-20.

- [6] He Li, Kevin Lo, Mark Wang. Economic transformation of mining cities in transition economies: Lessons from Daqing, Northeast China. *International Development Planning Review*, 2015, 37(3): 311-328.
- [7] 郑文升, 丁四保, 王晓芳, 等. 中国东北地区资源型城市棚户区改造与反贫困研究. *地理科学*, 2008, 28(2): 156-161. [Zheng Wensheng, Ding Sibao, Wang Xiaofang, et al. Shantytown reconstruction and city antipoverty in resources dependent cities in Northeast China. *Scientia Geographica Sinica*, 2008, 28(2): 156-161.]
- [8] 李汝资, 宋玉祥, 李雨婷, 等. 吉林省资源型城市转型阶段识别及其特征成因分析. *地理科学*, 2016, 36(1): 90-98. [Li Ruzi, Song Yuxiang, Li Yuting, et al. The identification of transition stages and causes of resource-based cities in Jilin province. *Scientia Geographica Sinica*, 2016, 36(1): 90-98.]
- [9] 金凤君. 东北地区振兴与可持续发展. 北京: 商务印书馆, 2006. [Jin Fengjun. *Revitalization and Sustainable development of Northeast China*. Beijing: The Commercial Press, 2006.]
- [10] 安树伟, 魏后凯. 东北资源型城市的产业结构转型. *经济管理*, 2006, (3): 6-9. [An Shuwei, Wei Houkai. Industrial structure transformation of resource-based cities. *Economic Management*, 2006, (3): 6-9.]
- [11] 耿建忠, 吴殿廷, 赵小芳. 东北老工业基地资源型城市旅游发展研究. *城市发展研究*, 2010, 17(4): 95-101. [Geng Jianzhong, Wu Dianting, Zhao Xiaofang. Tourism development of resource-based cities of the Northeast old industrial base. *Urban Studies*, 2010, 17(4): 95-101.]
- [12] 国务院振兴东北地区等老工业基地领导小组办公室综合组. 振兴东北重大课题研究成果汇编(中). 北京: 中国财政经济出版社, 2006. [The Leading Office Group to Revitalize the Resource-based Cities in Northeast China of the State Council. *The Major Research Achievements in Northeast China: II*. Beijing: China Financial Economy Press, 2006.]
- [13] 谢福泉, 胡锈腾, 黄佳裕. 中等收入阶段城镇化和工业化的协调及其影响指标研究: 基于长三角城市群面板数据. *中国经济问题*, 2015, (3): 15-28. [Xie Fuquan, Hu Xiuteng, Huang Jiayu. The research on the coordination and impact indicators of urbanization and industrialization in the middle income stage: Based on the panel data of Yangtze River Delta urban agglomerations. *China Economic Studies*, 2015, (3): 15-28.]
- [14] 李茜, 毕如田. 基于“两型”社会背景下资源型经济转型的资源环境经济协调发展. *科学决策*, 2012, (4): 56-68. [Li Qian, Bi Rutian. Study on resources, environment and economy of resource-based economy transformation in Two Oriented Society. *Scientific Decision*, 2012, (4): 56-68.]
- [15] 洪开荣, 皖晓旭, 孙倩. 中部地区资源—环境—经济—社会协调发展的定量评价与比较分析. *经济地理*, 2013, 33(12): 16-23. [Hong Kairong, Huan Xiaoxu, Sun Qian. Quantitative evaluation and comparative analysis for coordinated development of resource, environment, economy and society in Central China. *Economic Geography*, 2013, 33(12): 16-23.]
- [16] 刘静岩. 房地产投资与区域经济的可持续协调发展. *特区经济*, 2006, (5): 267-278. [Liu Jingyan. Real estate investment and regional economic development in harmonious development. *Zone Economy*, 2006, (5): 267-278.]
- [17] 乔标, 方创琳. 城市化与生态环境协调发展的动态耦合模型及其在干旱区的应用. *生态学报*, 2005, 25(11): 3003-3009. [Qiao Biao, Fang Chuanglin. The dynamic coupling model of the harmonious development between urbanization and eco-environment and its application in arid area. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(11): 3003-3009.]
- [18] Walton J S. Integrated assessment of urban sustainability. *Proceeding of the Institution of Civil Engineers Sustainability*, 2005, 158(2): 57-65.
- [19] 冷志明. 武陵山经济协作空间协调发展程度评价. *地理研究*, 2012, 31(3): 521-533. [Leng Zhiming. Evaluation of spatial coordinated development of Wuling Economic Cooperation Zone. *Geographical Research*, 2012, 31(3): 521-533.]
- [20] 黄木易, 程志光. 区域城市化与社会经济耦合协调发展度的时空特征分析: 以安徽省为例. *经济地理*, 2012, 32(2): 77-81. [Huang Muye, Cheng Zhiguang. Analysis on spatial-temporal characteristics of the coordinated development degree between regional urbanization and social economy: A case study on Anhui province. *Economic Geography*, 2012, 32(2): 77-81.]
- [21] 曹文莉, 张小林, 潘义勇, 等. 发达地区人口、土地与经济城镇化协调发展度研究. *中国人口·资源与环境*, 2012, 22(2): 141-146. [Cao Wenli, Zhang Xiaolin, Pan Yiyong, et al. Coordinate development among population land and economy urbanization in developed area: the case of Jiangsu province. *China Population Resources and Environment*, 2012, 22(2): 141-146.]
- [22] 朱江丽, 李子联. 长三角城市群产业—人口—空间耦合协调发展研究. *中国人口·资源与环境*, 2015, 25(2): 75-84. [Zhu Lijiang, Li Zilian. Coupling coordination development of industry-population-space in city cluster of Yangtze River-Delta Region. *China Population Resources and Environment*, 2015, 25(2): 75-84.]
- [23] 张明发, 王强, 曾月娥. 厦门市生态环境与社会经济协调发展研究. *福建师范大学学报: 自然科学版*, 2015, 31(6): 99-108. [Zhang Mingfa, Wang Qiang, Zeng Yue'e. Research on coordinated development of eco-environment and socio-economy in Xiamen city. *Journal of Fujian Normal University: Natural Science Edition*, 2015, 31(6): 99-108.]
- [24] Hanley N. Measuring sustainability: A time series of alternative indicators for Scotland. *Ecological Economics*, 1999, 28(1): 55-73.
- [25] 孙才志, 张坤领, 邹玮, 等. 中国沿海地区人海关系地域系统评价及协同演化研究. *地理研究*, 2015, 34(10): 1824-

1838. [Sun Caizhi, Zhang Kunling, Zou Wei, et al. Study on regional system of man-sea relationship and its synergetic development in the coastal regions of China. *Geographical Research*, 2015, 34(10): 1824-1838.]
- [26] 李玉恒, 陈聪, 刘彦随. 中国城乡发展转型衡量及其类型: 以环渤海地区为例. *地理研究*, 2014, 33(9): 1595-1602. [Li Yuheng, Chen Cong, Liu Yansui. Assessment and classification of urban-rural development transformation in China: The study of Bohai Rim. *Geographical Research*, 2014, 33(9): 1595-1602.]
- [27] 樊欢欢, 刘荣. *EViews 统计分析与应用*. 北京: 机械工业出版社, 2014. [Fan Huanhuan, Liu Rong. *Statistics analysis and application on EVIEWS*. Engineering Industry Press, 2014.]
- [28] 李裕瑞, 王婧, 刘彦随, 等. 中国“四化”协调发展的区域格局及其影响因素. *地理学报*, 2014, 69(2): 199-212. [Li Yurui, Wang Jing, Liu Yansui, et al. Spatial pattern and influencing factors of the coordination development of industrialization, information, urbanization and agricultural modernization in China: A prefecture level exploratory spatial data analysis. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(2): 199-212.]
- [29] 李婷婷, 龙花楼. 山东省乡村转型发展时空格局. *地理研究*, 2014, 33(3): 490-500. [Li Tingting, Long Hualou. Study on the spatio-temporal pattern of rural transformation development in Shandong province. *Geographical Research*, 2014, 33(3): 490-500.]

Coordination of the "economy-society-environment" triad in the transition development of resource-based cities in Northeast China

CHEN Yan¹, MEI Lin^{1,2}

(1. School of Geographical Science, Northeast Normal University, Changchun 130024, China;

2. College of Humanities & Science, Northeast Normal University, Changchun 130017, China)

Abstract: This article examines the coordinating rules of economy, society, and environment of resource-based cities during the process of transition development. The study constructs indicators for the economy, society, and environment based on the coordinated development theory with referring data. The spatio-temporal pattern and the effects of economic, social, and environmental factors are examined at the city level in resource-based cities in Northeast China from 2000 to 2014. The main conclusions can be drawn as follows: (1) The coordinated level of the "economy-society-environment" triad increases slowly in four stages with cyclical volatility. The spatial pattern appears to be unbalanced with the high-level coordinated cities located in the south of Liaoning province and the low-level coordinated cities mostly situated in the north of Heilongjiang province. (2) Three types of cities can be identified according to their coordinating level. The first type consists of cities with the highest score in society transition development; they contribute to the economy, society, and environment systems equally. The second type are cities that usually invest less in both social and environmental development. The third type, which includes most forest cities, obtained the lowest score with the social development far below the other two types. (3) The development of a service industry, education level, and technology were found to make significant contributions to the coordinated development during the transition process in resource-based cities; however, heavy industry was not found to be as effective as other factors. Overall, transition development in resource-based cities demands higher standards in this new period with historical problems still needing to be solved.

Keywords: resource-based cities; coordinating transition; economy; society; environment; Northeast of China

新疆人口、资源、环境与经济系统的综合评价

——基于主成分分析方法

胡国良 朱晓

(新疆财经大学, 乌鲁木齐 830012)

摘要: 文章建立了人口、资源、环境与经济系统的评价指标体系, 运用主成分分析方法, 对新疆1985~2006年期间四个子系统进行了综合评价。结果表明, 新疆的各子系统综合得分的变化趋势具有显著差异。经济系统和人口系统呈显著上升趋势, 特别是经济系统, 提高幅度最大; 资源子系统相对于其他系统发展较为缓慢, 具有明显的阶段性; 环境系统存在的问题最大, 前10年得分上升, 随后不断下降。因此, 各系统不平衡发展将导致整体的发展水平受到影响。

关键词: 人口; 资源; 环境; 经济; 主成分分析

Comprehensive Evaluation of Population, Resources, Environment and Economic System of Xinjiang: Based on the Principal component analysis

HU Guoliang, ZHU Xiao

(Xinjiang University of Finance & Economics, Urumqi 830012, China)

Abstract: This paper establishes Evaluation index system of population, resources, environment and economic system to evaluate the four subsystems of Xinjiang comprehensively from 1985 to 2006. The result shows that, the various subsystems of Xinjiang have significant differences in the changing of integrated score. Economic system and population system go up remarkable, especially the economic system; compared to other systems, sub-systems of resources are slower, and have the characteristic of phase; environmental system exists the biggest problem which the scores rise in the first 10 years, and Then declines. Hence, the unbalances of each system would influent the level of overall development.

改革开放以来, 新疆经济发展迅速, 结构不断优化, 人均收入不断提高。与此同时, 人口数量稳步增长, 素质不断提高, 结构逐渐合理; 但环境状况也逐步恶化, 生态退化日趋严重; 资源生产与消费高速增长, 清洁能源比重增加, 人均农业资源减少。中央提出的和谐发展的核心就是以人为本, 实现人口、资源、环境与经济系统的协调发展。有关这方面的理论成果已有不少^[1-4]。本文就是借鉴相关研究成果, 对最近20多年来新疆人口、资源、环境与经济系统进行量化评价, 以期对新疆各子系统协调发展的政策提供参考依据。

1 建立各子系统评价指标体系

区域协调发展要求协调好人口、资源、环境与经济之间的关系, 作为一种政策导向的这一评价指标体系必须体现这一主导思想。一是尽量将人口、环境和资源评价放到与经济评价同等重要的位置上; 二是既要重视数量指标, 也要兼顾质量指标; 三是将静态评价和动态评价相结合; 四是注重发展水平评价和发展能力评价; 五是指标体系具有可操作性,

要全面, 但要避免过于庞杂。在具体构建评价指标体系时要注意重视区情分析, 用发展的观点来考察经济发展引起的资源环境问题, 还要充分考虑各子系统之间的动态特征和阶段性。按照以上原则, 借鉴国内外研究成果, 根据新疆地域特征, 考虑到数据可得性, 构建各子系统的指标体系。具体指标见下页表1。

人口子系统涉及协调发展系统主体和其他子系统的人力资源的规模、结构、质量及变动情况。用总人口和绿洲人口密度两个指标代表人口规模。考虑到新疆绿洲经济的特征以及人口数量增长率比较高, 劳动力资源相对充裕, 人口规模还远未达到不足以支撑经济社会的程度, 因此, 将总人口确定为逆指标。由于经济活动人口与被供养人口比重变化更好地反映了一地区的人口系统本身的状况以及与其他系统的联系程度, 因此, 用劳动力资源占人口的比重反映年龄结构。

对于资源子系统, 主要从资源总量、各类资源人均占有水平和资源的使用效率等几方面来描述。需要指出的是, 新疆作为国家重要的矿产资源大区和农牧大区, 与能源资源一

基金项目: 国家社会科学基金项目“新疆少数民族地区人口、环境与经济协同发展研究”(06XRK002)阶段性成果

作者简介: 胡国良(1972~), 男, 新疆伊犁人, 讲师, 研究方向为区域经济、国际贸易; 朱晓(1967~), 男, 河南唐人, 副教授, 研究方向为会计理论、区域经济。

表1 人口、资源、环境与经济系统指标体系

系统	一级指标	二级指标
人口	规模	年末总人口 (P ₁), 绿洲人口密度 (P ₂)
	变化	人口自然增长率 (P ₃)
	结构	性别对比指数 (男=100) (P ₄), 年龄结构 (P ₅), 农业非农业人口对比指数 (P ₆)
	质量	万人拥有教师人数 (P ₇), 万人拥有病床数 (P ₈)
资源	总量及人均占有量	能源生产总量 (R ₁), 耕地面积 (R ₂), 人均耕地面积 (R ₃), 草地面积 (R ₄), 人均草地面积 (R ₅), 水资源总量 (R ₆), 人均水资源 (R ₇), 林木蓄积量 (R ₈), 人均林木蓄积量 (R ₉)
	效率	清洁能源消费比重 (R ₁₀), 单位产值能耗 (R ₁₁), 能源消费弹性系数 (R ₁₂)
环境	承载力	平均每万人绿地面积 (H ₁), 森林覆盖率 (H ₂)
	污染排放	废水排放量 (H ₃), SO ₂ 排放量 (H ₄), 烟尘排放量 (H ₅), 工业粉尘排放量 (H ₆), 工业固体废物排放量 (H ₇)
	污染治理	“三废”综合利用产品产值 (H ₈), 环境污染治理投资 (H ₉)
经济	水平	生产总值 (E ₁), 人均生产总值 (E ₂), 财政自给率 (E ₃), 人均固定资产投资额 (E ₄), 人均社会消费品零售额 (E ₅)
	结构	非农产值比重 (E ₆), 城乡收入对比指数 (E ₇), 劳动参与率 (E ₈),
	效益	工业企业资金利税率 (E ₉), 劳动生产率 (E ₁₀)
	活力	人均外商投资额 (E ₁₁), 经济外向度 (E ₁₂)

样, 耕地、水资源、森林资源的拥有量及变化对新疆经济社会的协调发展和可持续发展具有同样重要的意义。为了突出能源的使用效率以及可持续性, 引入了清洁能源消费比重和单位产值能耗等指标。

环境子系统从环境承载力、污染物排放和污染治理等几个方面来描述。

经济子系统包括生产和经济发展为主体的指标, 反映经济发展的水平、结构、效益和经济活力几个方面。与已有研究不同, 这里把财政自给率列入经济发展水平指标, 以反映资源省区可能存在的人均GDP很高而但自我发展能力严重不足的问题。按常理, 劳动参与率作为人口指标更合适, 但考虑到该指标在某一发展阶段非正常变动, 其背后的原因很可能是经济结构问题, 因此, 作为经济指标更合适^⑥。

2 数据来源与实证方法

改革开放以来, 随着经济社会的全面进步, 人口、资源、环境的方方面面都发生了很大变化, 为从动态上全面地考察这些系统之间的关系, 本文选取的基础数据时间跨度是1985~2006年。个别指标名称或统计口径发生变化, 按统一口径进行了调整, 保证数据的连续性, 并对缺失年份按一定方法予以补充。比如, 考虑到年龄构成在短期内变化不大, 可以根据总人口和劳动力资源 (1985~2002年两者最优拟合) 的关系预测出2003~2006年的劳动力资源数。本文的数据来源包括《新疆统计年鉴》、《新疆五十年》、《中国统计年鉴》、《新疆环境状况公报》(相关年份)等。

确定某区域人口、资源、环境与经济系统的综合发展水

平, 必须借助科学合理、切实可行的评价方法。与其他综合评价方法相比, 主成分分析法具有许多优点。比如, 消除了原始指标间的相关影响, 降维处理简化了原始指标体系, 且能尽可能多地反映原始指标的统计特性和信息量, 而且选取的主成分权重取决于原始数据, 不能人为调整^①。这些优点有助于客观地反映变量之间的现实关系。

基于以上分析, 本文采用主成分分析方法, 对反映各子系统发展状况的指标体系进行评估, 确定各子系统的综合发展水平。

3 新疆人口、资源、环境与经济子系统综合发展水平评价

利用SPSS16.0软件的Factor子过程, 对新疆人口、资源、环境与经济系统的指标数据进行主成分分析, 求得各子系统的综合评价, 该评价可以代表各子系统的综合发展水平。以人口子系统为例, 具体步骤为:

首先对标准化处理后的数据进行分析, 从输出结果的方差分析表可看出相关系数矩阵特征值和方差贡献率。前三个特征值的方差解释率超过85%, 故选取前三个主成分即可, 作为人口子系统评价的综合指标。

利用初始因子载荷矩阵求得三个特征值对应的单位特征向量 $e_i (i=1, 2, 3)$, 见表2。

确定人口系统的主成分表达式为:

$$F_{i1} = -0.423ZP_1 - 0.423ZP_2 + 0.415ZP_3 + 0.409ZP_4 - 0.362ZP_5 + 0.352ZP_6 - 0.011ZP_7 + 0.217ZP_8$$

$$F_{i2} = -0.186ZP_1 - 0.187ZP_2 + 0.146ZP_3 + 0.159ZP_4$$

表2 相关系数矩阵R的单位特征向量

	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈
e ₁	-0.423	-0.423	0.415	0.409	-0.362	0.352	-0.011	0.217
e ₂	0.186	0.187	-0.146	0.159	-0.055	0.057	0.751	0.560
e ₃	0.120	0.120	-0.203	-0.042	0.074	0.201	-0.624	0.702

表3 新疆人口、资源、环境与经济系统的综合发展评价价值

年份	1985	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
人口	-0.429	-0.598	0.444	-0.947	0.789	0.144	0.208	0.782	0.939	2.098
资源	-0.221	-0.330	-0.601	0.285	0.485	0.534	0.355	0.738	0.913	1.021
环境	0.110	-0.280	0.776	0.450	0.108	-0.096	0.040	0.012	0.048	-0.434
经济	-2.063	-0.915	-0.661	0.954	1.039	1.070	1.448	2.104	2.450	2.678

$$F_{i3} = -0.055ZP_5 + 0.057ZP_6 - 0.751ZP_7 + 0.560ZP_8 \\ - 0.120ZP_1 - 0.120ZP_2 + 0.203ZP_3 + 0.042ZP_4 \\ - 0.074ZP_5 + 0.201ZP_6 - 0.624ZP_7 + 0.702ZP_8$$

式中, $ZP_j(j=1, 2, \dots, 8)$ 为原始指标标准化变换后的无量纲值。利用上式可以计算出人口系统的单项评价价值。

利用 $F_i = \sum_{j=1}^3 W_j \cdot F_{ij}$, 写出综合评价表达式为:

$$F_i = 0.722F_{i1} + 0.177F_{i2} + 0.100F_{i3} (i=1985, 1986, \dots, 2006)$$

其中, 主成分指标的权重 $W_l = \lambda_l / \sum_{l=1}^3 \lambda_l$ ($l=1, 2, 3$)。从而计算出人口子系统的综合评价价值, 即可从综合水平上衡量人口子系统的发展程度, 其数值越高, 说明该系统综合现状也越好。

同理, 可求出资源、环境和经济子系统的主成分方程。

资源系统可提取三个主成分, 综合评价值的表达式为:

$$F_i = 0.788F_{i1} + 0.116F_{i2} + 0.096F_{i3} (i=1985, 1986, \dots, 2006)$$

环境系统同样提取三个主成分, 综合评价值的表达式为:

$$F_i = 0.745F_{i1} + 0.154F_{i2} + 0.101F_{i3} (i=1985, 1986, \dots, 2006)$$

经济子系统只需提取两个主成分即可, 综合评价值的表达式为:

$$F_i = 0.814F_{i1} + 0.186F_{i2} (i=1985, 1986, \dots, 2006)$$

各系统综合发展评价价值如表3所示。

各子系统的综合得分反映了各系统的发展水平。由表3可以看出, 总体上, 新疆的人口、资源、环境和经济系统的综合得分的变化趋势是不同的。从1985~2006年, 经济系统和人口系统呈显著上升趋势, 特别是经济系统, 提高幅度最大, 从-2.063上升到2.678。分析各因子得分后发现, 经济系统得分提高主要归因于人均收入水平的提高, 反映在投入和消费增加、经济效益的提高、经济活力增强多方面, 而不利因素主要表现在财政能力薄弱和城乡之间非均衡发展等。

人口系统得分提高主要原因在于人口的年龄结构优势显现, 稳定的人口产业结构和人口空间的变化以及人口素质的提高等, 而不利的因素有较高的人口自然增长率、人们的医疗条件的改善缓慢等。

资源子系统相对于其他系统的发展较为缓慢, 具有明显的阶段性。20世纪80年代后半期其得分呈下降趋势, 从90年代上半期开始在波动中上升, 说明资源对于新疆来说仍存在一定问题, 主要反映在土地资源中耕地、草地和水资源的人均占用不断趋于下降。需要说明的是, 资源系统综合评价得分的阶段性特征, 与原始数据的质量有一定关系。除耕地外, 其他农业

资源(草地、森林、水资源等)的测度都存在技术上的难度, 部分数据连续多年不变, 可能与实际情况不符。

环境系统存在的问题最大。在20世纪90年代中期之前, 环境子系统的得分在波动中上升, 从90年代中期以后, 得分不断下降, 到2006年已回落到1986年的水平。说明新疆的环境近十几年来不断恶化, 反映在一方面, 虽然通过植树造林、退耕还林等措施, 生态环境和城市的人居环境有一定改善, 但另一方面, 污染排放的较快增加, 特别是废水和工业固体废物的排放较快增加, 以及环境治理投入增长速度减缓。因此, 尽管经济和人口子系统呈现较大幅度上升趋势, 但是受到资源、环境子系统发展的制约, 整体的发展水平将会受到影响。

4 结论

根据以上的评价结果, 得到如下结论:

(1) 新疆的经济系统发展状况良好。除20世纪90年代中后期综合评价得分有所下降外, 绝大多数年份上升趋势非常显著。因子分析表明了新疆经济发展主要依靠“三驾马车”拉动的特征。新疆经济更好更快地发展还要改变增长方式, 减少能耗, 提高与其他系统的协调程度, 不断缩小城乡差距, 改善产业内部结构, 加强产业间联系, 提高工业企业的效益等等。

(2) 人口系统发展状况仅次于经济系统, 其综合评价得分在波动中上升。因此, 在控制人口过快增长取得明显效果的前提下, 继续改善人们的生活质量、提高健康水平, 继续加大教育投入, 以适应快速发展的经济发展。

(3) 资源是新疆的优势所在, 尤其是矿产资源在全国占有重要地位, 其生产和消费的增速在全国居前列。虽然各类资源的总量不同程度增加, 但是人均占有量明显减少。按传统增长方式, 无法支撑经济可持续发展。因此, 必须统筹安排, 严格实施资源开发的长远规划, 加大矿产资源开发利用的监管力度, 制定与实施完善的资源产地回补政策, 提高清洁能源的投入开发比重, 控制草地退化, 加强基本农田保护, 推进国土资源的节约和集约利用。

(4) 比较而言, 新疆的环境状况在四个系统中最差, 特别是20世纪90年代中期以来, 其综合评价得分持续下降, 且未见止跌回升的迹象。由于污染排放增加、资源开发速度

(下转77页)

生态重建一体化技术。

(2) 洁净煤技术。洁净煤技术是旨在减少污染和提高煤炭利用效率的加工、燃烧、转化和污染控制等技术的总称。它涉及煤炭加工、煤炭高效洁净燃烧和煤炭转化三大领域,包括9种技术。其一,煤炭加工领域包括煤炭洗选技术、型煤技术和水煤浆技术;其二,煤炭高效洁净燃烧领域包括循环硫化床发电技术、高效低污染粉煤燃烧技术和燃煤联合循环发电技术;其三,煤炭转化领域包括煤炭气化技术、煤炭液化技术和燃料电池技术。

2.4 生态还原策略

生态还原策略是清洁生产的补充和完善。煤炭城市应建立生态还原体系,不断提高生态还原力,建立能源经济和生态环境协调发展的经济高效、生产低耗、污染物低排放、环境优美的生态经济型矿区。

煤炭城市的生态环境治理是影响城市可持续发展的重要因素之一。淮南矿区因煤炭资源开采造成环境污染和生态破坏主要表现为:地表塌陷和煤矸石压占土地造成的土地资源破坏以及水土流失等次生环境的变化;对水资源及水文地质条件的破坏和污染;大量煤矸石、粉煤灰、煤泥、生活垃圾等固体废物;煤炭燃烧烟气、瓦斯、粉尘污染;矿井水、选煤水、生活污水等污水的污染以及矿区噪声污染。为解决老矿区历史遗留的环境与生态保护欠账问题,应建立煤炭企业生态损害专项补偿基金,或煤炭产品环境资源补偿基金。通过结构调整和技术进步,提高老矿的清洁生产水平。煤炭工业长期受计划经济的影响,重生产、轻治理,重开采、轻恢复,尤其是开采历史较长的老矿区,长期积累、遗留的欠账很多,急需综合治理,但经济能力严重不足。应建立煤炭生态损害专项补偿基金,开征煤炭产品环境资源补偿基金,多方开辟环境资金渠道,

(上接69页)

加快,造成较严重的环境污染和生态破坏。而且经济发展和人类活动空间的扩张造成的这种影响存在一定时滞,影响将是长期的。因此,应严格控制污染排放的增加,健全并落实排污制度,扩大环保检测的范围,特别是治理难度大的水源地、绿洲与荒漠过渡地带,生态造林与经济造林并举,加大沙尘天气、地质灾害的预报与防治力度,加大环保投入。

(5) 尽管经济和人口子系统呈现较大幅度上升趋势,但是受到资源、环境子系统发展的制约,整体的发展水平将会受到影响。总的来说,资源环境系统的退化与经济发展和人类其他活动密切相关,当资源环境系统超出了其承载力,必然会制约经济发展,这种发展的不协调必须引起足够的重视。[2]

用政策加经济的双重杠杆切实保证煤炭环境保护落到实处,有效补偿历史欠账^[1]。同时,用好国家的“三高—优”等政策,大力扶持老矿区的技术改造,使老矿区通过结构调整和技术进步,提高其清洁生产水平。

3 结语

本文提出的能源与环境可持续互动发展模式是一种新的发展模式,它追求能源开发与环境等多种目标的和谐发展,是一种科学的、和谐的发展观。该模式将能源与环境可持续发展分为合理开发和有效利用两个环节,将清洁生产技术应用到这两个环节中,以预防能源开发利用过程中的环境污染,并利用生态还原策略保证能源开发利用过程中生态环境的更新还原,从而使能源可持续发展与环境可持续发展形成互动,可以实现能源与环境的协调持续发展。[2]

参考文献:

- [1] 刘全根. 国家能源结构调整的战略选择[J]. 地球科学进展, 2000, 15 (2): 164~165.
- [2] 崔龙鹏, 丰年. 淮南矿产资源态势与可持续发展战略思考[J]. 中国煤炭, 2007 (10): 22~26.
- [3] 李世涌, 施国庆, 陈兆开. 矿区生态经济系统中的利益冲突分析[J]. 生态经济, 2008 (2): 54~57.
- [4] 郭青霞, 白中科, 吉谦, 等. 大型露天矿区农村生态经济系统重建模式研究——以平朔矿为例[J]. 生态经济, 2006 (5): 32~35.
- [5] 李廷江. 煤炭资源型城市可持续发展[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2003.
- [6] 赵文玉. 环境可持续发展理论体系框架的构建[J]. 四川环境, 2004, 23 (1): 100~104.
- [7] 汤姆·惕藤伯格. 环境经济学与政策[M]. 朱启贵, 译. 上海: 上海财经大学出版社, 2003.

注:

①当前新疆劳动年龄人口比重较高,可供利用的人口红利不断增加。但同时,劳动参与率不断下降,就业问题突出,反映了发展战略和经济结构上存在一定问题。

参考文献:

- [1] 郭志刚. 人口、资源、环境与经济发展之间关系的初步理论思考[J]. 人口与经济, 2000 (6): 12~16.
- [2] 张效莉, 王成璋, 王野. 人口、经济发展与生态环境系统协调性测度研究——以新疆为例[J]. 生态经济, 2006 (11): 123~126.
- [3] 韩桂兰. 新疆人口素质及其变化对区域经济发展的影响研究[J]. 生态经济, 2008 (5): 65~67.
- [4] 李秀霞. 资源约束条件下人口城市化模型研究[J]. 生态经济, 2008 (3): 40~43.
- [5] 邱东. 多指标综合评价方法的系统分析[M]. 北京: 中国统计出版社, 1991.

矿产资源最优开采问题研究

——环境约束、后备替代与 Hotelling 法则

The Study on Optimal Exploitation of Mineral Resource: Environment Constraint, Backstop and Hotelling Rule

仓定帮 魏晓平 曹明

CANG Ding-bang WEI Xiao-ping CAO Ming

【摘要】 矿产资源最优开采研究对资源的优化配置和社会可持续发展至关重要。经典的 Hotelling 模型是研究矿产资源最优开采的主要工具，但是 Hotelling 法则在现实中并不总是成立，一个主要原因是模型中没有考虑矿产资源开采中的环境外部性及后备替代问题。本文建立的相关数学模型，利用动态最优化方法系统地研究了在环境约束及后备替代条件下矿产资源最优开采路径，对 Hotelling 模型进行拓展。结果发现：不考虑环境约束、矿产资源储量较少时，资源价格路径遵循 Hotelling 法则，在高于后备替代价格后退出市场，并且矿产资源成本、后备替代成本等因素都会对替代节点产生影响。考虑环境因素时，若污染未达阈值，资源储量较少时，价格的变化体现了环境外部性和稀缺性，变化率高于贴现率；当污染达到阈值，并且资源储量较丰富时，价格先保持不变，体现能源消费总量控制，然后由于稀缺性促使价格上升，遵循 Hotelling 法则；当污染达到阈值、存在资源进口时，价格的变化与资源出口国贴现率密切相关。

【关键词】 矿产资源 最优开采 外部性 环境 后备替代

【中图分类号】 F407 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-1549(2019)03-0085-07

DOI:10.19681/j.cnki.jcufe.2019.03.007

Abstract: The optimal exploitation of mineral resources is very important to the allocation of resources and the sustainable development. Classic Hotelling model was a major means to discuss the optimal mining of mineral resources, but it was found that Hotelling rule was not always true in the reality. A main reason was that the model did not consider externalities of environment and backstop substitution. In this paper, some mathematical models were established to study the optimal exploitation path by dynamic optimization under the constraints of environment and backstop. The results shown that when the environmental constraint was not taken into account and the reserves of mineral resources was small, the resource price path follows the Hotelling principle and exits the market after higher than the reserve replacement price. In addition, the cost of mineral resources, reserve replacement cost had an impact on the substitution node. When considering environmental factors, if the pollution did not reach the threshold and the resource reserves were small, the price change reflected the environmental externality and scarcity, and the change rate was higher than the discount rate. When pollution reached the threshold and resources was abundant, the price remained unchanged to reflect the total energy consumption control, and then increased due to scarcity, following the Hotelling principle. Finally, when pollution reached the threshold and resource import existed, the price change was closely related to the discount rate of resource exporting country.

Key words: Mineral resource Optimal exploitation Externality Environment Backstop substitution

【收稿日期】 2018-07-21

【作者简介】 仓定帮，男，1980年8月生，中国矿业大学管理学院博士研究生，华北科技学院理学院副教授，研究方向为资源优化配置；魏晓平，女，1953年6月生，中国矿业大学管理学院教授，研究方向为资源优化配置及数量经济学研究；曹明，男，1977年1月生，中国矿业大学公共管理学院副教授，研究方向为资源优化配置。本文通讯作者为魏晓平，邮箱为 Wei_xp@163.com。

【基金项目】 国家社会科学基金一般项目“矿产资源跨期优化配置的政策工具研究”（项目编号：15BGL175）；河北省数据科学与应用重点实验室开放课题“分数阶灰色预测模型及其应用研究”（项目编号：HBSJQ0707）；煤炭协会指导类项目“煤炭产能过剩机理及去产能路径分析——基于信息不完全视角”（项目编号：MX2017HK021）。

感谢匿名评审人提出的修改建议，笔者已做了相应修改，本文文责自负。

一、引言

矿产资源是经济发展和社会进步的重要物质基础，其最主要的特点是具有不可再生性。如何对矿产资源进行最优开采，实现代际均衡，促进可持续发展一直是能源经济学研究的重要内容。1931年美国数理经济学家 Hotelling 发表了《可耗竭资源经济学》^[1]一文，讨论了在完全竞争条件下耗竭资源的最优利用问题，理论上说明要使得矿产资源的社会价值达到最大，该耗竭资源的净价格增长速度等于社会效益贴现率，即著名的“Hotelling”法则。该文被视作能源经济学诞生的标志。

但是此后长达 40 年的时间里，很少再有学者对该问题做深入研究。直到 20 世纪七八十年代全球范围的石油危机和环境恶化等问题日益突出，掀起了能源经济研究的热潮，推动了耗竭资源的最优配置理论的新发展，研究内容涉及市场类型、资源的储量、资源税等因素^[2-44]。

Hotelling 法则对研究资源最优开采有很大的借鉴作用，但是在实际问题中发现，资源开采可能并不满足 Hotelling 法则。其中一个原因是矿产资源开采外部性的影响没有被考虑在内。魏晓平等 (2013)^[15]建立了相关计量模型，结果显示我国的矿产资源的供给和价格指数相关性不显著，与 Hotelling 法则不吻合，并指明主要原因是外部性造成的非市场因素没有体现在模型中。

外部性又称为溢出效应、外部影响等，指一个人或一群人的行动和决策使另一个人或一群人受损或受益的情况，分为负外部性和正外部性。外部性问题是矿产资源最优配置理论研究中的一个重要方面，主要包括储量外部性、环境外部性和代际外部性。储量外部性主要指矿产资源是典型的可耗竭资源，储量必将越来越少，稀缺性程度将越来越高，从而产生代际公平问题；环境外部性是指矿产资源在生产利用过程中会造成环境污染，形成负效用；代际外部性指如何能够在现代人和后代人之间进行资源分配，不影响后代人的福利。

为了解决资源使用过程中出现的代际公平和环境污染问题，本文拟在资源开采中纳入环境约束与后备替代因素，建立相关数学模型，给出资源开采的最优路径，拓展 Hotelling 法则的应用范围。

二、Hotelling 模型与后备替代

假设 t 时刻的资源价格为 $p(t)$ ，资源的开采量为 q

(t)，资源的储量记为 $S(t)$ 。边际开采成本假设为 c ， ρ 为贴现率。理性的社会决策者要选择最优的开采路径使得收益的现值最大化，即有下面的最优化问题：

$$\max_{q(t)} \int_0^{\infty} [U(q(t)) - cq(t)] e^{-\rho t} dt$$

$$\text{s. t. } \dot{S}(t) = -q(t)$$

求解该优化问题，构造现值 Hamilton 函数如下：

$$H(t) = U(q(t)) - cq(t) - \lambda q(t)$$

其中 λ 是资源的影子价格，也称为资源租。据最优化理论，最优化条件为：

$$\frac{\partial H}{\partial q(t)} = U'(q(t)) - c - \lambda = 0, \dot{\lambda} = r\lambda - \frac{\partial H}{\partial S(t)} = r\lambda$$

计算可知 $U'(q(t)) = c + \lambda_0 e^{\rho t}$ ， λ_0 为初始值，与资源储量有关。

在上式中若定义资源的价格 $p(t) = U'(q(t))$ ，则有 $p(t) = c + \lambda_0 e^{\rho t}$ ，即矿产资源价格增长的速度等于贴现率，此为 Hotelling 法则。资源价格变化路径如图 1。

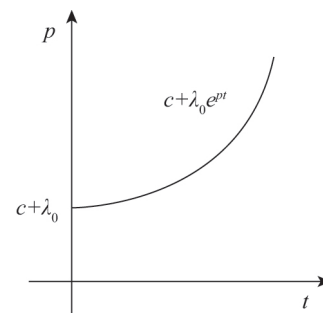


图 1 资源的价格变化路径 (Hotelling)

若市场上后备替代技术 (可再生资源) 的单位开采成本为常数 c_r ，显然当矿产资源的价格高于 c_r 时，可再生资源进入市场，实现完全能源替代，此时资源的价格变化可由图 2 表示。

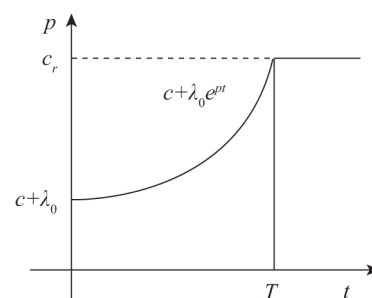


图 2 资源的价格变化路径

下面通过数值模拟说明矿产资源成本、后备替代成

本、贴现率及矿产资源初始储量对矿产资源的影子价格和替代时间的影响。Tahvonon (1996)^[16] 将效用函数设为二次函数形式，本文类似设为 $U(q) = aq - bq^2$ ，相关

参数的取值为： $a = 800, b = 40, c = 100, c_r = 140, \rho = 0.03, S_0 = 1000$ 。计算得到 $T = 116.59, \lambda_0 = 1.51$ ，进一步进行灵敏度分析，得到表 1 中的结果。

表 1 灵敏度分析结果

	c		c _r		ρ		S ₀	
	+5%	-5%	+5%	-5%	+5%	-5%	+5%	-5%
T	117.20 0.52%	116 -0.51%	116.94 0.30%	116.25 -0.29%	116.50 -0.08%	116.70 0.09%	122.32 4.91%	110.87 -4.91%
λ ₀	1.34 -12.69%	1.69 10.65%	1.72 12.21%	1.30 -16.15%	1.27 -18.90%	1.80 16.11%	1.27 -18.90%	1.80 16.11%

从上表的结果可以发现，相关参数变动正负 5% 后，四个参数中对替代节点影响最小的是贴现率，最大的是资源的初始储量，后备替代成本对替代节点的影响程度要小于矿产资源的成本，但是对资源的影子价格的影响要高于矿产资源的成本。贴现率越低，替代节点越延迟，后备替代成本和矿产资源成本越低则替代节点越提前。

三、环境约束下能源开采问题研究

在 t 时刻矿产资源开采量为 $q = q(t)$ ，当矿产资源的价格达到后备替代价格 c_r 时，实现能源完全替代。考虑能源消费带来的环境负面效用， $Z = Z(t)$ 表示污染存量，满足动态变化方程 $\dot{Z} = kq - \theta Z$ ，即污染存量变化由两部分构成：一部分为能源消费带来的污染，为能源消费的线性函数；一部分为环境的自净能力， $k > 0, \theta \geq 0$ 为比例系数。 \bar{Z} 表示环境污染的阈值，资源开采面临的优化问题为：

$$\begin{aligned} \text{问题 1} \quad & \max_{q, \lambda} W = \int_0^{\infty} (U(q) - cq) e^{-\rho t} dt \\ \text{s. t.} \quad & \dot{Z} = kq - \theta Z, S(t) = -qZ(t) \leq Z_0 \end{aligned}$$

构造 Hamilton 函数为：

$$H_1(Z, S) = U(q) - cq + \mu_1(kq - \theta Z) - \lambda_1 q + v(\bar{Z} - Z) \quad (1)$$

其中 λ 表示资源租， $U(\cdot)$ 为效用函数， $v \geq 0$ 是关于 $\bar{Z} - Z \geq 0$ 的共积变量，满足 $v(\bar{Z} - Z) = 0$ ，当 $\bar{Z} > Z$ 时， $v = 0$ 。问题 1 的最优化条件为：

$$U'(q) - c + \mu_1 k - \lambda_1 = 0 \quad (2)$$

$$\dot{\lambda}_1 = \rho \lambda_1 - \frac{\partial H}{\partial S} = \rho \lambda_1, \lambda_1 = \lambda_{10} e^{\rho t} \quad (3)$$

$$\dot{\mu}_1 = \rho \mu_1 - \frac{\partial H}{\partial Z} = \rho \mu_1 + \theta \mu_1 + v \quad (4)$$

由条件 (4) 可得 $\mu_1 = \mu_{10} e^{(\rho + \theta)t}$ 。其中 λ_{10}, μ_{10} 表示变量的初始值，与资源的储量及污染的阈值密切相关。

定义矿产资源的价格为其边际效用 $U'(q)$ ，记为 $p_i = c + \lambda_1 - k\mu_1$ ，即资源的价格由三部分组成：开采成本、资源租、环境的外部性成本。由污染存量的约束条件 $\dot{Z} = kq - \theta Z, \bar{Z} > Z$ ，可知最大的能源投入量为 $\bar{q} = \frac{\theta \bar{Z}}{k}$ ，对应的资源价格 $\bar{p} = U'(\bar{q})$ 。下面分两种情况分析能源价格变化路径。

1. $Z = \bar{Z}$ ，即环境污染已经达到阈值。此时资源的投入总量不能超过 \bar{q} ，因此可知资源租的一个最小值应为 $\lambda_{10} = \bar{p} - c$ ，否则过多的能源投入会使得环境污染超过阈值。再考虑资源储量的影响，假设资源储量较少， λ_{10} 与储量呈反向变动关系，所以资源租的初始值应当介于 $\bar{p} - c$ 与 c_r 之间，此时资源的价格变化路径可由图 3 表示。

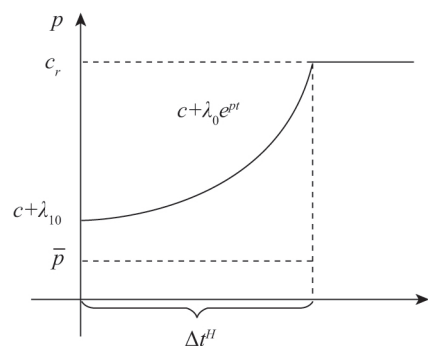


图 3 资源的价格变化路径

图 3 中资源的价格完全按照 Hotelling 规制进行变动，当价格达到 c_r 时，后备技术进入市场。这段时间记为 Δt^H ，上标 H 表示 Hotelling 路径，在此过程中消费的资源总量记为 $S = S^H$ 。

若资源的储量大于 S^H ，由于环境污染阈值的存

在，此时影响资源价格的主要因素为环境外部性，而储量的外部性并没有体现。为了使得环境污染不超过阈值，资源的投入只能为 \bar{q} ，随着时间的推移，资源储量逐渐减少，资源储量的外部性逐渐体现，此时由于 Hotelling 规则的存在，资源投入量逐渐减少，资源价格上涨直到后备技术进入市场。资源价格和污染变化路径分别为图 4 和图 5。图 4 中 t_1 至 t_2 时段的价格按 Hotelling 规则变化。

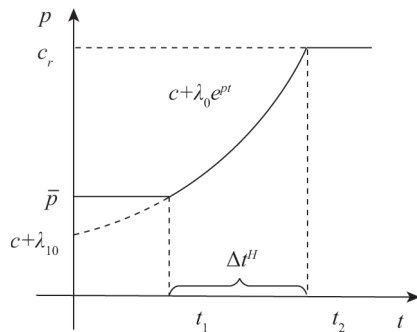


图 4 资源的价格变化路径

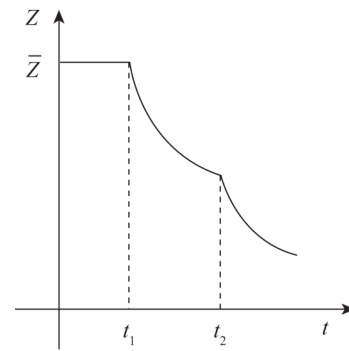


图 5 污染存量的变化路径

下面通过数值模拟对两个时间节点 t_1 和 t_2 进行分析。仍然假设效用函数为 $U(q) = aq - bq^2$ ，相关参数的取值为： $a = 800, b = 40, c = 100, c_r = 140, \rho = 0.03, S_0 = 2000, \theta = 0.02, \bar{Z} = 50, k = 0.12$ 。计算得到 $t_1 = 120, t_2 = 236.59, \lambda_0 = 1.51$ ，进一步进行灵敏度分析，得到表 2 中的结果。

表 2 灵敏度分析结果

	\bar{Z}		k		ρ		S_0	
	+5%	-5%	+5%	-5%	+5%	-5%	+5%	-5%
t_1	114.29	126.32	126	114	120	120	132	108
	-5.00%	5.00%	+4.7%	-5.3%	0	0	9.09%	-11.11%
t_2	231.49	242.32	242.54	230.59	236.5	236.7	254.32	218.87
	-2.20%	2.36%	2.45%	-2.60%	-0.04%	0.05%	6.97%	-8.10%

从上面结果可以看出，环境阈值与能源总量控制的时间呈反向变动关系，环境阈值越大，能源总量控制时间越短。环境阈值与环境规制强度密切相关。现实中环境规制强度越高，能源消费总量控制的时间应该越长。另外，资源储量与两个时间节点呈正向变动关系，说明可用储量越大，能源消费总量控制时间越长，替代节点越延后。现实中，如果后备替代能力不足，则应该加大矿产资源间的相互替代能力，为后备规模替代提供时间保障。另外，技术进步可以有效地降低单位资源消耗产生的污染，技术进步程度越高， k 值越小，总量控制的时间和替代到达的时间越短。

2. $Z < \bar{Z}$ 。此时环境污染未达到阈值，若污染的排放速度大于环境的自净能力，此时随着时间推移，污染将会增大。假设资源总量较少，在环境达到污染阈值前就消耗结束，资源的价格变化路径为 $p = c + \lambda_{10} e^{\rho t} - k\mu_{10} e^{(\rho+\theta)t}$ ，价格的上升同时体现了环境外部

性和资源的稀缺性，变化的速度高于贴现率，并在价格高于 c_r 时退出市场。

若资源总量较大，此时初始时刻价格逐渐增加主要体现环境的外部性，变化的速度为 $\rho + \theta$ ，直到环境污染达到阈值，开始实行资源消费总量控制。初始值 $\lambda_{10} = \lambda_{10}(S), \mu_{10} = \mu_{10}(Z_0, \bar{Z})$ ， Z_0 为初始时刻的污染量。价格的变化路径如图 6，污染的变化路径如图 7。

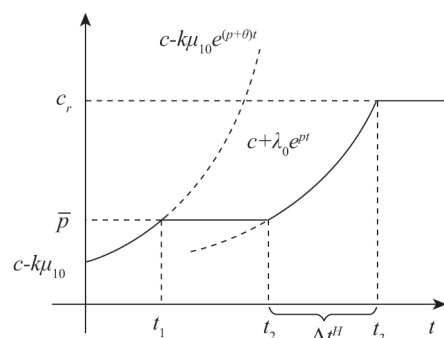


图 6 资源价格的变化路径图

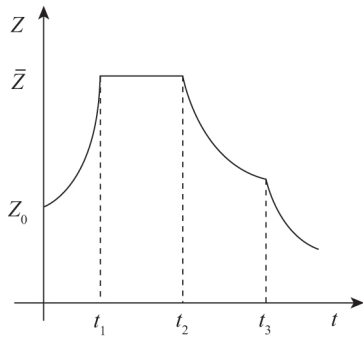


图 7 污染存量的变化路径图

四、开放经济下能源开采问题研究

对于储量外部性问题，可通过能源替代缓解资源稀缺问题，其中能源进口是常用手段之一，比如我国的石油对外依存度已经超过了 68%。本节研究在开放经济条件下，存在能源进口时，资源价格的变化路径，采用博弈方法进行分析。

博弈分析经常被用于分析能源市场的均衡。Salant (1976)^[17] 假设市场由一个占统治地位的企业和其他若干个完全竞争的边缘企业构成。在不考虑开采成本的前提下给出了企业开采行为的均衡结果。该文说明了均衡开采路径由两个阶段构成。在第一阶段，耗竭资源的价格以市场率上升。在第二阶段，市场上只剩下占统治地位的企业，并且该企业的边际收益在两个时间段是相同的。Ulph 和 Folie (1980)^[18] 对 Salant 的模型加以改进，在模型中考虑了不变的边际开采成本。Gilber (1978)^[19] 考虑了市场存在卡特尔和边缘企业的情况，并认为卡特尔在市场中处于领导者地位，而边缘企业处于从属者地位，卡特尔先做出决策，而边缘企业根据卡特尔的决策决定自己的行为。Loury (1986)^[20] 研究了市场中存在 N 个寡头垄断的情况，给出了各个主体的最优开采路径。Lewis (1980)^[21] 考虑了企业的开采成本不同的情形。结果显示，在开放的纳什均衡中低成本储量不会先被耗竭。Polasky (1992)^[22] 假设资源开采市场由两个企业群组构成，同组之间的企业类型相同，不同组之间企业的边际成本和储量不同，得到的一个有趣的结果是低成本的储量可能不会被首先耗竭，而转向高成本开采的企业数量却会越来越多。Long 和 Soubeyran (1998)^[23] 指出高成本的企业会有动机去增加市场份额，从而导致资源配置的无效率和社会福利的损失。

用 $q^i = q^i(t)$ 、 $q = q(t)$ 分别表示矿产资源的进口量与国内开采量。 $p^i = p^i(t)$ 表示进口国际市场资源的价格，因国内资源与进口资源属于替代品，所以可设国内市场的需求价格函数为 $p^i = a_1 - b_1q - dq^i$ 。假设能源出口国有定价权，在市场中处于领导者 (leader) 位置，进口国为跟随者 (follower)，下面研究两者的 Stackelberg 反馈博弈均衡。

令进口国消费资源的效用函数为 $U = U(q^i + q)$ 。进口资源和国内资源的单位消费造成的污染为 k_1 、 k_2 ，则污染变化方程表示为 $\dot{Z}(t) = (k_1q^i + k_2q) - \theta Z$ 。

假设国内环境污染未达到阈值，不考虑国内储量的影响，资源进口国面临的优化问题为：

$$\begin{aligned} \text{问题 2} \quad \max_{q^i, q} W_b &= \int_0^{\infty} \{ U_c(q^i + q) - cq \\ &\quad - p^i q^i \} e^{-\rho_1 t} dt \\ \text{s. t.} \quad \dot{Z}(t) &= (k_1 q^i + k_2 q) - \theta Z \end{aligned}$$

其中， ρ_1 为贴现率， $S(t)$ 为国内资源存量。求解问题 2，构造 Hamilton 函数为：

$$H_2(Z, S) = U(q^i + q) - cq - p^i q^i + \mu_2(k_1 q^i + k_2 q) \tag{5}$$

$$U'(q^i + q) - c + b q^i + \mu_2 k_2 = 0 \tag{6}$$

$$\dot{\mu}_2 = \rho \mu_2 - \frac{\partial H}{\partial Z} = \rho_1 \mu_2 + \theta \mu_2 \tag{7}$$

通过表达式 (6) 可确定隐函数：

$$q = f(q^i, \mu_2) \tag{8}$$

此即为国内资源开采量对进口量的最优反应，若令国内资源价格为：

$$p = U'(q^i + q) = c - b_1 q^i - \mu_2 k_2$$

此时资源的价格受到三个因素影响：开采成本，环境外部性及进口量，且

$$p^i = a_1 - b_1 f(q^i, \mu_2) - c q^i \tag{9}$$

再分析资源出口国行为，不考虑资源出口国国内的能源消费问题，其单位开采成本为 $h > 0$ 。资源出口国面临如下优化问题：

$$\text{问题 3} \quad \max_{p^i} W_s = \int_0^{\infty} \{ p^i q^i - h q^i \} e^{-\rho_2 t} dt$$

$$\text{s. t.} \quad \dot{N}(t) = -q^i$$

其中， ρ_2 为贴现率， $N(t)$ 为国内资源存量。

求解问题 3，构造 Hamilton 函数为：

$$H_3(Z, S) = (a_1 - b_1 f(q^i, \mu_2) - dq^i) q^i - hq^i - \lambda_3 q^i$$

$$\frac{\partial H_3}{\partial q^i} = (a_1 - b_1 f(q^i, \mu_2) - dq^i) + (a_1 - b_1 f(q^i, \mu_2) - d) q^i - h - \lambda_3 = 0 \quad (10)$$

$$\dot{\lambda}_3 = \rho_2 \lambda_3 - \frac{\partial H_3}{\partial N} = \rho_2 \lambda_3, \lambda_3 = \lambda_{30} e^{\rho_2 t} \quad (11)$$

其中 λ_{30} 为 λ_3 的初始值。式 (9) ~ 式 (11) 构成了一个动态微分博弈系统，刻画了资源国内产量与进口量的动态变化，再据 $p = U'(q^i + q)$ 及 $p^i = a_1 - b_1 q - dq^i$ 可以得到国内资源价格和国外资源价格的变化路径。

1. 特殊效用函数下的资源价格变化路径。

假设效用函数为二次函数形式，表达式为：

$$U(q^i + q) = A(q^i + q) - B(q^i + q)^2 \quad (12)$$

设问题 2 的 Hamilton-Jacobi-Bellman 方程为：

$$V_2(S) \rho_1 = \max_q \{ U(q^i + q) - cq - (a_1 - b_1 q - dq^i) q^i - V_2(S) (k_1 q^i + k_2 q^e) \} \quad (13)$$

假设式 (13) 的值函数为 $V_2(S) = \frac{1}{2} A_1 S^2 + B_1 S + C_1$ ，则有：

$$q = \frac{A - 2Bq^i - k_2(A_1 S + B_1) - c}{2B - b} \quad (14)$$

此即为国内产量对污染和进口量的最优反应函数。式 $V_2(S) = \frac{1}{2} A_1 S^2 + B_1 S + C_1$ 中的系数可以将式 (14) 代入式 (13) 中采用待定系数法获得，限于篇幅，不再给出。问题 3 的 Hamilton-Jacobi-Bellman 方程为：

$$V_3(S, N) \rho_2 = \max_{p^i} \{ (a_1 - b_1 q - dq^i) q^i - hq^i - V_3(S, N) \}$$

$$= \max_{p^i} \{ (a_1 - b_1 \frac{A - 2Bq^i - k_2(A_1 S + B_1) - c}{2B - b_1} - dq^i) q^i - hq^i - V_3(S, N) q^i \} \quad (15)$$

假设式 (15) 的值函数为 $V_3(S, N) = \frac{1}{2} A_2 S^2 +$

$B_2 S + C_2 + \frac{1}{2} A_3 N^2 + B_3 N + C_3 SN$ ，则有：

$$q^i = \left(\frac{4b_1 B}{2B - b_1} - 2d \right)^{-1} (-a$$

$$- \frac{b_1 k_2 (A_1 S + B_1) + b_1 c - Ab_1}{2B - b_1} + h + A_3 N + B_3 + C_3 S) \quad (16)$$

此即为进口量对污染和国外储量的最优反应函数。 $V_3(S, N)$ 中的系数可将式 (16) 代入式 (15) 中采用待定系数法求得。

2. 环境达到阈值资源开采路径分析。

当国内环境达到阈值，且国外资源储量较大，此时的能源投入量为 q^i ， q 满足 $k_1 q^i + k_2 q = \theta \bar{Z}$ ，国内开采量对进口量的最优反应为：

$$q = \frac{\theta \bar{Z} - k_1 q^i}{k_2} \quad (17)$$

再求解问题 3，其 Hamilton 函数为：

$$H'_3(Z, S) = (a_1 - b_1 \frac{\theta \bar{Z} - k_1 q^i}{k_2} - dq^i) q^i - hq^i - \lambda'_3 q^i$$

最优性条件为：

$$\frac{\partial H'_3}{\partial q^i} = (a_1 - b_1 \frac{\theta \bar{Z} - k_1 q^i}{k_2} - dq^i) + (a_1 + b_1 \frac{k_1}{k_2} - d) q^i - h - \lambda'_3 = 0 \quad (18)$$

$$\dot{\lambda}'_3 = \rho_2 \lambda'_3 - \frac{\partial H'_3}{\partial N} = \rho_2 \lambda'_3, \lambda'_3 = \lambda'_{30} e^{\rho_2 t} \quad (19)$$

由式 (18) 得到最优进口量及国内产量为：

$$q^i = (a_1 + b_1 \frac{k_1}{k_2} + \frac{b_1 k_1}{k_2} - 2d)^{-1} (h + \lambda'_{30} e^{\rho_2 t} - a_1 + \frac{b_1 \theta \bar{Z}}{k_2}) \quad (20)$$

$$q = \frac{\theta \bar{Z}}{k_2} - \frac{k_1}{k_2} (a_1 + b_1 \frac{k_1}{k_2} + \frac{b_1 k_1}{k_2} - 2d)^{-1} (h + \lambda'_{30} e^{\rho_2 t} - a_1 + \frac{b_1 \theta \bar{Z}}{k_2}) \quad (21)$$

由式 (20)、式 (21) 可以看出此时资源价格变化遵循 Hotelling 法则，但是变化率为资源出口国贴现率， λ'_{30} 与可供出口的资源总量有关。

五、一个贴现率的选择方法

在上面的分析中可知，贴现率是 Hotelling 法则的重心，贴现率取值的大小实际上反映了当代人如何看待后代人的利益。因此贴现率的取值关系到后代人的福利，涉及代际公平问题。贴现率越小，越看重后代

人的利益。虽然矿产资源是典型的耗竭资源，当代人用得，后代人就用得少，但是后代人利用后备替代技术的机会要大于当代人，所以在考虑资源的跨期配置的时候应该把后备资源替代因素考虑在内。下面部分在考虑能源替代的基础上给出了一个贴现率的选择方法。

由 Hotelling 法则知道不同的贴现率表现为不一样的资源开采路径，假设在资源价格达到替代能源价格时，资源恰好消耗完毕，则可以通过选择合适的贴现率使得资源价值现值取得最大。若效用函数 $U(q) = Aq - Bq^2$ ， $p = A - 2Bq$ ，根据 Hotelling 法则 $p = c + \lambda_0 e^{\rho t}$ ，从而 $q = \frac{A - c - \lambda_0 e^{\rho t}}{2B}$ 。令 $p = c_r$ ，则

$$\rho T = \ln \frac{c_r - c}{\lambda_0} \quad (22)$$

又因为 $\int_0^T q dt = S_0$ ，即 $\int_0^T \frac{A - c - \lambda_0 e^{\rho t}}{2B} dt = S_0$ ，得到 $\frac{A - c}{2B} T - \frac{\lambda_0 e^{\rho T} - 1}{2B \rho} = S_0$ ，结合式 (22) 有

$$\lambda_0 = \rho(A - c) - (c_r - c) - 2B\rho S_0 \quad (23)$$

$$q = \frac{A - c - (\rho(A - c) - (c_r - c) - 2B\rho S_0) e^{\rho t}}{2B} \quad (24)$$

$$T = \frac{1}{\rho} \ln \frac{c_r - c}{(\rho(A - c) - (c_r - c) - 2B\rho S_0)} \quad (25)$$

此时在 $[0, T]$ 时间段中，令 $V = \int_0^T p(t) q(t) dt$ ，

据 $p = A - 2Bq$ ，再代入式 (24)、式 (25) 可知 $V = V(\rho)$ ，因而选择合适的贴现率可使得 $V(\rho)$ 取得最大值，即最优贴现率 ρ^* 应满足 $V'(\rho^*) = 0$ 。

六、结论

本文在经典 Hotelling 模型的基础上，讨论了储量、环境、代际公平等非市场因素的约束下矿产资源的最优开采路径，拓展了 Hotelling 法则的应用范围，以期能够更贴近实际。结果发现：考虑后备资源替代时，资源的价格增长以后备替代资源价格为上限；考虑污染存量限制时，价格只是在某个时间段中符合 Hotelling 法则；在开放经济条件下，国内外资源价格变化更加复杂，均衡价格的水平受到进口国的环境污染水平及出口国资源存量水平的影响，当国内环境达到阈值时，国内外资源价格变化遵循 Hotelling 法则，变化率为资源出口国贴现率。文中最后将替代因素考虑在内，给出一种贴现率的选择方法。

矿产资源最优开采是一个复杂系统工程，涉及的宏观因素、微观变量较多，完全模拟矿产资源价格变化路径也存在很多困难，本文对技术进步、环境规制等考虑不够深入，这将是今后的研究方向。另外本文以理论分析为主，今后需要进一步进行实证分析，提高模型的实际指导意义。

参考文献

- [1] Hotelling H. The Economics of Exhaustible Resources [J]. Journal of Political Economy, 1931, 39 (2): 137 - 175.
- [2] Gerard G. On Comparing Monopoly and Competition in Exhaustible Resource Exploitation [J]. Journal of Environment Economics and Management, 1988, 15: 412 - 418.
- [3] Lewis T R, Matthews S A, Burness H S, Monopoly and the Rate of Extraction of Exhaustible Resources: Note [J]. 1979, 69 (1): 227 - 230.
- [4] Villamor G. The Taxation of Exhaustible Resources [J]. The Quarterly Journal of Economics, 1985, 100 (1): 165 - 181.
- [5] Im J B. Optimal Taxation of Exhaustible Resource Under Monopoly [J]. Energy Economics, 2002, 24 (3): 183 - 197.
- [6] Hung N M, Quyen N Y. Specific or Ad Valorem Tax for an Exhaustible Resource? [J]. Economics Letters, 2009, 102 (2): 132 - 134.
- [7] Stiglitz J E. Monopoly and the Rate of extraction of an Exhaustible Resource [J]. The American Economic Review, 1976, 66 (4): 655 - 661.
- [8] Salant S. Exhaustible Resource and Industrial Structure: A Nash-Cournot Approach to the World Oil Market [J]. Journal of Political Economy, 1976, 84 (5): 1079 - 1094.
- [9] Im J B. Optimal Taxation of Exhaustible Resource Under Monopoly [J]. Energy Economics, 2002, 24 (3): 183 - 197.
- [10] 魏晓平, 王立杰. 市场经济条件下矿产资源价值与最佳配置研究 [J]. 系统工程理论与实践, 1997, 17 (6): 26 - 29.
- [11] 魏晓平, 王新宇. 矿产资源最适耗竭经济分析 [J]. 中国管理科学, 2002, 10 (5): 78 - 81.
- [12] 王新宇, 魏晓平. 具有多元经营主体的矿产资源开发动态决策研究 (I) ——理论模型 [J]. 预测, 2002, 21 (2): 63 - 66.
- [13] 周德群, 葛世龙. 可耗竭资源跨期配置中不确定问题研究进展 [J]. 经济学动态, 2008 (3): 91 - 96.
- [14] 葛世龙, 周德群, 陈洪涛. 储量不确定对可耗竭资源优化开采的影响研究 [J]. 中国管理科学, 2008, 16 (6): 137 - 141.

(下转第 102 页)

- [19] 邱栋桦, 伏润民. 财政分权、政府竞争与地方政府债务——基于中国西部 D 省的县级面板数据分析 [J]. 财贸研究, 2015, 26 (3): 97 - 103.
- [20] Porter M E. The Competitive Advantage of Nations [J]. Competitive Intelligence Review, 1990, 1 (1): 14 - 14.
- [21] Arrow K J. The Economic Implications of Learning by Doing [J]. The Review of Economic Studies, 1962, 29 (3): 155 - 173.
- [22] 李平, 简泽, 江飞涛. 进入退出、竞争与中国工业部门的生产率——开放竞争作为一个效率增进过程 [J]. 数量经济技术经济研究, 2012 (9): 3 - 21.
- [23] Conrad K, Wastl D. The Impact of Environmental Regulation on Productivity in German Industries [J]. Empirical Economics, 1995, 20 (4): 615 - 633.
- [24] Greenstone M, List J A, Syverson C. The Effects of Environmental Regulation on the Competitiveness of US Manufacturing [R]. National Bureau of Economic Research, 2012.
- [25] 陈勇, 李小平. 中国工业行业的技术进步与工业经济转型——对工业行业技术进步的 DEA 法衡量及转型特征分析 [J]. 管理世界, 2007 (6): 56 - 63.
- [26] 张军, 高远, 傅勇, 张弘. 中国为什么拥有了良好的基础设施? [J]. 经济研究, 2007 (3): 4 - 19.
- [27] 樊纲, 王小鲁, 朱恒鹏. 中国市场化指数——各地区市场化相对进程 2011 年报告 [M]. 北京: 经济科学出版社, 2011.
- [28] Olley G S, Pakes A. The Dynamics of Productivity in the Telecommunications Equipment Industry [R]. National Bureau of Economic Research, 1992.
- [29] Levinsohn J, Petrin A. Estimating Production Functions Using Inputs to Control for Unobservables [J]. The Review of Economic Studies, 2003, 70 (2): 317 - 341.
- [30] Banker R D, Charnes A, Cooper W W. Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis [J]. Management science, 1984, 30 (9): 1078 - 1092.
- [31] 蒋萍, 王勇. 全口径中国文化产业投入产出效率研究——基于三阶段 DEA 模型和超效率 DEA 模型的分析 [J]. 数量经济技术经济研究, 2011 (12): 69 - 81.
- [32] Färe R, Grosskopf S, Lindgren B, et al. Productivity Changes in Swedish Pharmacies 1980—1989: A Non-parametric Malmquist Approach [J]. Journal of Productivity Analysis, 1992, 3 (1/2): 85 - 101.
- [33] 鲁晓东, 连玉君. 中国工业企业全要素生产率估计: 1999—2007 [J]. 经济学 (季刊), 2012 (2): 541 - 558.
- [34] Hansen B E. Threshold Effects in Non-dynamic Panels: Estimation, Testing, and Inference [J]. Journal of econometrics, 1999, 93 (2): 345 - 368.
- [35] Hansen B E. Sample Splitting and Threshold Estimation [J]. Econometrica, 2000, 68 (3): 575 - 603.

(责任编辑: 李 晟 张安平)

(上接第 91 页)

- [15] 魏晓平, 周肖肖, 程晓娜. 中国能源矿产开采路径与最优开采路径相悖原因 [J]. 北京理工大学学报 (社会科学版), 2013, 15 (3): 1 - 7.
- [16] Tahvonen O. Trade with Polluting Nonrenewable Resources [J]. Journal of Environmental Economics and Management, 1996, 30 (1): 1 - 17.
- [17] Salant S. Exhaustible Resource and Industrial Structure: A Nash-Cournot Approach to the World Oil Market [J]. Journal of Political Economy, 1976, 84 (5): 1079 - 1094.
- [18] Ulph A, Folie G M. Exhaustible Resources and Cartels: An Intertemporal Nash-Cournot Model [J]. Canadian Journal of Economics, 1980, 13 (4): 645 - 658.
- [19] Gilber R. Dominant Firm Pricing Policy in a Market for an Exhaustible Resource [J]. The Bell Journal of Economics, 1978, 9 (2): 385 - 395.
- [20] Loury G C. A Theory of Oiligopoly: Cournot Equilibrium in Exhaustible Resource Market with Fixed Supplies [J]. International Economic Review, 1986, 27 (2): 285 - 301.
- [21] Lewis T R, Schmalensee R. On Oligopolistic Market for Non-renewable Natural Resources [J]. The Quarterly Journal of Economics, 1980, 93 (3): 295 - 410.
- [22] Polasky S. Do Oil Producers Act as Oligopolists? [J]. Journal of Environmental Economics and Management, 1992, 23: 216 - 247.
- [23] Long N V, Soubeyran A. Cost Manipulation in Oligopoly: A Duality Approach [J]. International Economic Review, 1998, 42 (2): 505 - 533.

(责任编辑: 李 晟 张安平)

文章编号: 1003 - 7578(2013) 11 - 001 - 08

甘肃省中部贫困地区资源 - 环境 - 经济系统的 耦合演进分析*

——以定西市为例

陈兴鹏^{1 2} 郭晓佳^{1 2 3} 王国奎^{1 2} 张子龙^{1 2} 鹿晨昱⁴ 李恒吉^{1 2}

(1. 兰州大学资源环境学院, 兰州 730000; 2. 兰州大学中国西部循环经济研究中心, 兰州 730000;

3. 密歇根州立大学林业系, 兰辛 48824; 4. 西北师范大学地理与环境科学学院, 兰州 730070)

提 要: 定西市位于我国甘肃省中部, 属生态环境脆弱区, 又是西北乃至全国典型的贫困地区, 社会经济发展缓慢, 对其资源 - 环境 - 经济耦合系统的演进分析迫在眉睫。文中通过主成分分析法建立定西资源 - 环境 - 经济系统的人类活动指数、生态环境指数、政府干扰指数; 在此基础上, 构建文化影响和政策干扰下的非参数回归模型, 实现对研究区域资源 - 环境 - 经济的耦合演进分析。结果表明: 1980 - 2008 年间, 定西生态环境和人类活动及政策干扰关系呈倒 U 型曲面, 目前定西市社会经济的发展是以牺牲环境资源为代价的, 急需转变发展路径。政府注重经济发展时也应致力于环保工作, 优化产业结构, 推进清洁生产和节能减排工作, 加强环保监督检查, 使整个社会经济与自然环境和谐良性发展。

关键词: 贫困地区; 资源 - 环境 - 经济系统; 主成分分析; 非参数模型; 耦合演进; 定西

中图分类号: F062. 2

文献标识码: A

人与自然关系的内涵随着人类社会的发展而发生变化, 人地关系研究是近代地理学发展的基础^[1]。人口、资源、环境与发展问题是人地关系的核心问题^[2]。资源 - 环境 - 经济(REE)的耦合系统研究是当前国内外学术界的重要研究内容, 其中, 区域生态环境演变与人类活动和经济系统过程的耦合与反馈关系研究已成为国际性前沿领域^[3-7]。定西市位于我国甘肃省中部, 为典型黄土高原丘陵沟壑区地貌类型, 又是甘肃乃至西北典型的贫困地区, 自然条件差、经济总量小、人均水平低、农村贫困面大, 社会经济发展缓慢^[8-9], 历来就以“苦甲天下”而闻名; 所辖安定区、通渭、陇西、渭源、临洮、漳县、岷县 6 县 1 区均为“国家八七扶贫攻坚计划”划定的国定扶贫县。从甘肃省整体情况来看, 其自然环境酷劣, 地貌沟壑纵横, 地瘠民贫, 自然灾害频繁, 联合国有关专家指出“这里不具备人类生存的基本条件”; 因此经济发展与资源环境之间的矛盾比其他市州的情况更为严重, 而恶劣、脆弱的生态环境又严重束缚了社会经济的发展, 其资源 - 环境 - 经济耦合系统的演进分析非常必要。为此, 文中对定西市 1980 - 2008 年 29 年的人类活动指数, 生态环境指数以及政策干扰指数指标数据进行主成份分析, 进一步构建文化影响和政策干扰下的非参数回归模型, 实现对研究区域资源 - 环境 - 经济的耦合演进分析。结果表明: 1980 - 2008 年间, 定西生态环境和人类活动及政策干扰关系呈倒 U 型曲面, 人类活动和宏观政策与生态环境呈现先协同攀升后不断下降的趋势。由此可见, 目前定西市社会经济的发展是以牺牲原本就匮乏的环境资源为代价的, 急需转变发展路径。

1 研究理论与方法

1.1 研究理论

* 收稿日期: 2012 - 9 - 6; 修回日期: 2012 - 11 - 14。

基金项目: 国家自然科学基金(40871061); 国家自然科学基金(41261112) 资助。

作者简介: 陈兴鹏(1963 -), 男, 甘肃庆阳人, 教授, 博士生导师, 主要从事生态经济、区域可持续发展等研究。

通讯作者: 郭晓佳(1984 -), 女, 甘肃榆中人, 博士研究生, 研究方向为生态经济。E-mail: guoxiaojia.dream@gmail.com

人指的是人类或人类社会;地指地理环境,广义的为自然界。人与自然界息息相关,随着社会生产力、科学技术和哲学思潮的发展过程中人地思想的发展,我们可以更好地认识人地关系,特别是协调论的观点,从人地关系的相互联系方面探讨人与自然界的一致^[1]。人地关系思想的演变经历了:古代天命论、环境决定论、或然论、征服论、协调论的发展。天命论认为人和自然都是上帝的造物,人类在强大的自然力量面前显得微不足道,对环境不会产生太大的影响,人对自然界是一种恐惧和依赖的关系^[10]。环境决定论是由德国地理学家拉采尔第一个系统地引入地理学的,认为地理环境从多方面控制人类,对人类生理机能、心理状态、社会组织 and 经济发达状况均有影响,并决定着人类迁移和分布^[11]。或然论是在本世纪初由法国学者 P·维达尔和 J·白吕纳提出的,其主要观点是人与自然环境是相互作用的,认为环境对人类有促进或制约作用,但并不能支配人的行为,它只给人提供场所和可能性,人类是按自己的意志来选择自己的生活方式并充分利用自然所提供的客观环境的^[12]。征服论认为自然界的运动和变化有自己的客观规律,不会以人类社会的统治者对社会治理的好坏为转移;但同时强调,人在地理环境中居于主动的地位,人类对自然不是无能为力的,人类社会改造自然发展生产有无穷的潜能,可以制天命而为我所用^[13]。协调论主张通过分析人与环境间的关系,求得人与环境的相互和谐,认为人类活动要更能顺应自然界的发展规律,更充分合理地利用自然界;同时还要调整被破坏了的自然环境,使生态恢复平衡,人地关系得以协调^[1]。

近 20 年来国内学者主要从事的人地关系论的回顾、评价、反思以及对“人与自然关系”的哲学思考和理论研究;同时亦从定量模型、采用各种数学模型、指标体系和地理信息系统技术对特定的 REE 系统进行研究^[14-17]。贫困地区 REE 系统相对复杂特殊,需以人、地、文化的三元结构模式为基础,从其独特的文化出发,努力寻求文化与人、地的耦合关系,寻求多要素作用的融合点,探索其持续发展路径^[18]。

1.2 研究方法

主成分分析首先是由 K. 皮尔森对非随机变量引入的,尔后 H. 霍特林将此方法推广到随机向量的情形。通过对现实数据资料的分析,采用数学降维的方法,把多个复杂的因素归一为几个主要因素(主成分或主因子)原则上,提取的主成分应该保证累计贡献率在 85% 以上,提取的主要因素可以尽可能多地保留原始因素所表示的信息,并具有较强的可解释性^[19, 20]。非参数密度估计和非参数回归函数估计方法是近 20 年来,现代统计学发展的一个重要方向,它改变了传统的统计学格局,对未知分布数据模型的处理以及不完全数据的处理等问题,提供了一种新的统计方法^[21, 22]。由于实际经济环境中往往存在一些不确定的因素,非参数模型主要是基于样本数据本身的特征来进行估计,并不事先把模型假定为线性或非线性,这就在一定程度上避免了模型错误设定问题,并且在估计函数的同时可以估计各影响因素的弹性系数,从而可以分析这些线性或非线性影响因素的影响效应,从而避免对实际经济趋势产生误导^[23]。所以 20 世纪 80 年代后期以来,已有学者开始把非参数密度估计的方法引入计量经济学,并已取得一定的成果。对于实际曲线形式无定型(数据参数分布未知)的经济模型,如收入分布、恩格尔曲线的理论和应用研究、资产价格变动的函数分量估计以及微观经济需求理论的实证等方面都有了突破性的进展,其相关课题的研究也有了一定的结果,这些研究为新古典经济模型的理论研究和实证分析开创了新的发展局面^[21]。

2 指标体系

资源-环境-经济系统是我们对人与地相互作用所涉及的诸因素固有的系统特征进行模拟分析的概念模式^[2],涉及到地区人类经济社会活动、生态环境、政策导向多方面的因素。文章结合地方实际本着下述五项基本原则,选取了 26 项反映人类活动情况的指标,3 项反映地区生态环境状况的指标,5 项反映政策执行实施情况的指标,构建了 REE 系统耦合演进指标体系(表 1),作为对定西地区资源、经济、环境演变轨迹模拟的基础。其中,人类活动指数 Y 反映了人类经济社会活动对生态系统的干扰强度,是指由于人类生产、生活和其他社会活动对自然环境和生态系统施加的各种影响,指数越大说明人类对生态系统干扰的作用力越大和影响范围越广;生态环境指数 P 反映了被评价区域生态环境状况,和对因资源的开发利用和废弃物排放而造成的环境损失给予保护、恢复和建设的力度的一系列指标的综合,指数越大生态状况越良好;政策干扰指数 Z 反映了国家宏观政策对地区社会经济和自然生态的干扰影响程度,指数越大说明政府宏观调控能力越强,对经济社会及环境的干扰也越大。

(1) 系统性原则。资源 - 环境 - 经济系统是一个由资源、环境、社会子系统构成的复杂巨系统, 经验判定指标的选择和设计必须建立在充分认识系统和研究系统特征的基础上, 指标概念的内涵和外延及其与系统的关系明确, 实现资源 - 环境 - 经济系统经验判定发展指标的规范化。

(2) 时效性原则。资源 - 环境 - 经济系统是不断发展变化的系统, 不同的时期系统的主要矛盾问题也在变化, 指标体系还要具有一定的时效性来研究系统的演变过程。

(3) 政策相关性原则。指标体系要与已有的政策目标相关, 反应目前的政策导向及其对地区经济社会发展及资源环境的干扰作用。

(4) 简洁性原则。要选取能反映主题并具有区域特色的代表性指标, 避免指标间的重复选择。一般选取农村农民人均纯收入和城镇居民人均可支配收入两个数据来体现人民生活水平, 但研究区多年来城市化率不到 20%, 以农牧民为主, 故文中仅选取农村农民人均纯收入来研究人民生活水平。

(5) 可操作性原则。数据的收集、管理、可理解性和可获得性是研究问题的核心, 故指标选取要考虑到数据来源真实及可获取性。因研究区偏远贫困计算机互联网用户普及率很低, 且仅有 2000 年以来的统计数据, 文中以全年订销报纸累计量来研究农牧民信息获取及学习知识情况。

表 1 REE 系统耦合演进指标体系

Tab. 1 The coupling evolution indices of resources environmental economic - system

指数	具体指标	指标功能意义
	总人口(万人)	描述研究区人口总体基本状况
	生产总值(万元)	衡量地区经济状况, 体现地区经济实力。实力越雄厚, 经济系统运行的稳定性越高, 自然产生的经济效益也就越好。
	工业增加值(万元)	
	农民人均纯收入(元)	反应地区农村居民收入的平均水平及生活消费支出水平, 体现了人民生活质量。
	一产(%)	
	二产(%)	产业结构主要体现了地区经济增长方式和主导产业所在, 以及一定投资总量中的合理分配问题, 直接涉及的是投资本身的问题和投资效率问题。
	三产(%)	
	农业产值(万元)	
	林业产值(万元)	
	牧业产值(万元)	体现农业生产效益, 实现经营的多样化, 当地农业抵御市场风险的能力增强。
	渔业产值(万元)	
人类 活动 指数	粮食(t)	
	油料(t)	反映农业种植结构变化, 农民收入渠道来源变化, 例如研究区药材产量急剧攀升, 2008 年产量可达到 1980 百倍至多, 农民收入主要来源于此。
	药材(t)	
	蔬菜(t)	
	肉类(t)	
	大牲畜(万头)	
	羊(万只)	一方面体现草场、牧场利用情况, 载畜情况, 另一方面反映了地区养殖结构。
	猪(万头)	
	农业机械总动力(kw)	
	农村化肥使用实物量(t)	反映农业生产水平, 具体指农业机械化、化学化、电气化、水利化情况。
	农村用电量(万 kwh)	
	有效灌溉面积(万亩)	
	旅客周转量(万人)	反应经济联系, 物流流通, 市场繁荣等情况。
	货物周转量(万 t)	
	邮电业务总量(万元)	反映一定时期内信息流通及人民物质文化生活水平的提高情况。
生态 环境 指数	当年造林面积(万亩)	
	当年种草面积(万亩)	自然资源是社会在生产过程中不可或缺的物质要素, 该指标表示对因资源的开发利用和废弃物排放而造成的环境损失给予保护、恢复和建设的力度, 及环境的承载情况。
	人均耕地面积(亩/人)	
	人口自然增长率(‰)	反映人口发展速度和制定人口计划, 以及生育国策落实推行情况。
政策 干扰 指数	城镇登记失业率(%)	评价地区失业状况, 反应扩大内需、加强培训、扶贫开发和农村劳务输出等系列政策实施。
	城镇化率(%)	衡量地区社会组织程度和管理水平, 反映推进小城镇建设、新农村建设, 社会福利平等。
	电视人口覆盖率(%)	体现村村通惠民工程实施情况及信息化建设。
	学龄儿童入学率(%)	反应国家义务教育国策落实情况。

文中所选取指标原数据来源于中国统计年鉴(1981 - 2006)、甘肃统计年鉴(1984 - 2009)、定西统计年鉴(2002 - 2008)、甘肃农村经济年鉴(1990 - 2000)、甘肃农村年鉴(2001 - 2009); 甘肃省、定西环境质量公报; 甘肃省、定西社会经济信息网等相关网站以及大量相关的文献资料。另外, 部分数据是在实地调

研时由当地发改委、环保局、统计局、农牧局等部门提供。

3 模型构建

3.1 指数构造

(1) 数据无量纲化和相关系数矩阵 $R: r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n (x_{ki} - \bar{x}_i)(x_{kj} - \bar{x}_j)}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (x_{ki} - \bar{x}_i)^2} \sqrt{\sum_{k=1}^n (x_{kj} - \bar{x}_j)^2}}$

(2) 计算 R 的特征值与特征向量: 根据 $|R - \lambda I| = 0$ 求出特征值 $\lambda_i (i = 1, 2, \dots, n)$; 解方程组 $Rb = \lambda_i b$ 特征向量 $a_i = (a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in})^T$

(3) 计算主成分贡献率及得分: 主成分 F_i 贡献率: $b_i = \lambda_i / \sum_{k=1}^n \lambda_k (i = 1, 2, \dots, n)$ 前 m 个累计贡献率: $B_m = \sum_{k=1}^m \lambda_k / \sum_{k=1}^n \lambda_k$ 。根据 $P(F_{k x_i}) = \sqrt{\lambda_k} a_{ki} (i, k = 1, 2, \dots, L, n)$ 可进一步计算主成分得分。

(4) 构造主因子函数: 根据累计贡献率达 $B_m \geq 85\%$ 的标准, 以前 m 个主成分所对应的特征值占所提取主成分总的特征值之和的比例 $b_i = \lambda_i / \sum_{k=1}^m \lambda_k (i = 1, 2, \dots, L, m)$ 作为权重, 构造一个评价各指标的主因子函数: $Q = b_1 F_1 + b_2 F_2 + \dots + b_m F_m$ 。

3.2 非参数方程构建

基于已建立人类活动指数、生态环境指数、政策干扰指数, 构建文化影响和政策干扰下的资源环境经济演进耦合模型:

$$P_t = \delta Z_t + g(Y_t) + u$$

式中: P_t 为第 t 年表征生态环境指标的数值; Z_t 为其他控制变量, 可以反映政策制度等因素对贫困地区社会经济和生态环境的影响; Y_t 代表 t 年表征文化影响下的人类社会经济活动指数, 需要进行核函数回归估计出该函数; u 为扰动项。

(1) 本模型采用核函数回归估计: $g_n(Y) = \sum_{i=1}^n W_i(Y) P_i - \delta \sum_{i=1}^n W_i(Y) Z_i$

(2) 权函数: $W_i(Y) = \frac{K(\frac{Y - Y_i}{h})}{\sum_{j=1}^n K(\frac{Y - Y_j}{h})}$

式中: $K(\cdot)$ 为核函数: $K(x) = \frac{3}{4}(1 - x^2), |x| < 1$

(3) δ, u 是通过普通最小二乘法得到的, 公式如下:

$$P_t - \sum_{i=1}^n W_i(Y_t) P_i = (Z_t - \sum_{i=1}^n W_i(Y_t) Z_i) \delta + u$$

(4) 最后得到非参数回归方程: $P = \delta Z_t + \sum_{i=1}^n W_i(Y) P_i - \delta (\sum_{i=1}^n W_i(Y) Z_i) + u$

4 实证分析

4.1 人类活动指数、生态环境指数、政策干扰指数

资源 - 环境 - 经济系统是涉及到地区人类资源、生态环境、经济社会等多个子系统的复杂巨系统, 涉及到人们衣食住行生产生活活动及国家宏观政策方方面面的因素。文章在选取 26 项反映人类活动情况的指标, 3 项反映地区生态环境状况的指标, 5 项反映政策执行实施情况指标的基础上, 通过主成分分析法权重的确定有效解决了各指标间的相关性, 避免了指数函数的信息重叠问题。具体运用 SPSS 统计分析 Factor 过程, 对定西市 1980 - 2008 年 29 年的人类活动指数、生态环境指数以及政策干扰指数指标数据进行标准化处理并计算相关系数矩阵 R, 计算贡献率 b_i 和累计贡献率 B_j , 主成分和主成份得分矩阵, 最后根据公式, 计算人类活动指数 Y、生态环境指数 P、政策干扰指数 Z^[24]。

$$Y = 0.042y_1 + 0.049y_2 - 0.055y_3 + 0.045y_4 + 0.055y_5 + 0.04y_6 + 0.041y_7 - 0.006y_8 + 0.057y_9 + 0.04$$

$$y_{10} + 0.03y_{11} + 0.031y_{12} + 0.021y_{13} + 0.008y_{14} + 0.052y_{15} + 0.057y_{16} + 0.056y_{17} + 0.01y_{18} + 0.035y_{19} + 0.047y_{20} + 0.043y_{22} + 0.04y_{23} + 0.052y_{24} + 0.022y_{25} + 0.039y_{26}$$

$$P = 0.435 p_1 + 0.278 p_2 + 0.464 p_3$$

$$Z = 0.095 z_1 - 0.261 z_2 + 0.129z_3 + 0.261z_4 + 0.217 z_5$$

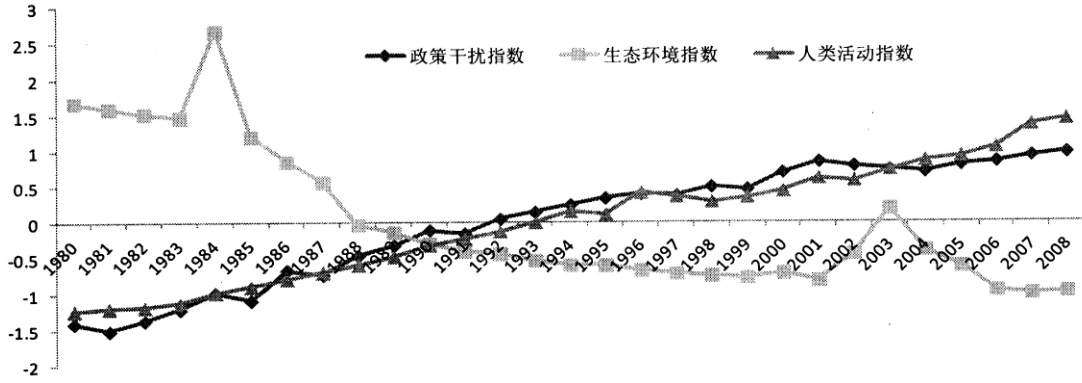


图 1 1980 - 2008 年定西政策干扰指数、生态环境指数和人类活动指数变化趋势图

Fig. 1 The trends of policy interference , ecological environment and human activity indices in Dingxi (1980 - 2008)

由图 1 知 ,1980 - 2008 年间 ,定西人类活动指数呈快速上升趋势 ,这主要由于 2008 年定西市经济总量较 1980 年增长了近 50 倍 ,人口增加了约 70 万人 ,农民人均纯收入增长了近 15 倍;反映出社会经济稳步上升 ,人民生活水平不断提高 ,人类生产、生活和其他社会活动对自然环境和生态系统施加的各种影响不断加强 ,人类活动对生态系统干扰的作用力不断扩大和影响范围不断延展。生态环境指数整体波动下降 ,反映了随着经济市场日益繁荣 ,社会生产、消费水平的提高 ,由于对资源的过度开发利用和废弃物排放 ,环境造成极大破坏 ,生态环境质量不断下降;虽然对生态环境给予保护、恢复和建设 ,致使生态环境恶化趋势并未得到遏制 ,只是减缓了下降速度 ,并没有从根本上解决问题。于此期间 ,政策干扰指数不断上升 ,主要由于近 29 年来人口增长率与城镇登记失业率稳定下降 ,学龄儿童入学率和电视人口覆盖率不断上升;反映出国家计划生育、西部大开发、义务教育及近年来各种解决" 三农" 问题等相关对策的开展落实 ,尤其是针对贫困地区的特惠政策实施 ,国家宏观政策对地区社会经济和自然生态的干扰影响程度逐渐加强 ,政府对经济社会各个方面的调控能力不断加强。

4.2 资源 - 经济 - 环境耦合系统的演进分析

在构造人类活动指数 ,生态环境指数以及政策干扰指数的基础上 ,采用非参数回归模型 ,构建定西市文化影响和政策干扰下的资源环境经济演进耦合模型如下:

$$P_i - \sum_{i=1}^n W_i(Y_i) P_i = (z_i - \sum_{i=1}^n W_i(Y_i) Z_i) \delta + u$$

$$\text{式中: } W_i(y) = \frac{h^2 - y^2 + 2yY_i - Y_i^2}{nh^2 - ny^2 + \sum_{j=1}^n Y_j(2y - Y_j)}$$

代入 4.1 所构建的指数 ,利用 maple12 计算得到:

$$W_i(y) = \frac{-7.500 * 10^7 + 1.418 * 10^9 y^2 - 2.837 * 10^9 y Y_i + 1.418 * 10^9 y_i^2}{2.320 * 10^9 + 4.113 * 10^{10} y^2 - 9491y}$$

进一步 ,最小二乘法回归得到 $\delta: = -1.084287784; u: = -0.1104735305$

表 2 模型有效性检验

Tab. 2 Model validity test

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	0.956 (a)	0.914	0.911	0.437587535018	0.914	287.234	1	27	0.000

其中 $R^2 = 0.914$,说明模型的拟合度非常好 ,自变量能够解释 91.4% 的因变量的变化; $F = 287.23$,用来验证回归模型比较有显著的效果 ,且 $\text{Sig. } F = 0$ 小于 0.05 ,则说明模型受误差因素干扰很小 ,可以接受。

故非参数回归方程为:

$$P = \frac{-5.46y - 251.55z - 445.99zy^2 + 0.0001zy - 45.45y^2 + 17.34}{441.32y^2 - 0.0001y + 231.99} \quad (1)$$

$$P_z = \frac{-445.99y^2 + 0.0001y - 251.55}{441.32y^2 - 0.0001y + 231.99} \approx -1 \quad (2)$$

由模型知,1980-2008年间,定西生态环境指数和人类活动指数及政策干扰指数关系呈倒U型曲面,人类活动和宏观政策与生态环境呈现先协同攀升后不断下降的趋势;与环境库兹涅茨曲线假说对经济自然演进规律的描绘相符,即经济发展必须需要经过清洁的农业经济、污染的工业经济以及清洁的服务型经济^[25]。这种演变趋势主要由于定西市经济发展的初期阶段且很长一段时间以清洁的农业为主的低层次产业结构,工业基础薄弱,少量的污染对人类生存环境的影响相对较小^[26];但当经济发展到某一阶段处于高污染的工业经济时,其现有的农产品加工、中医药以及其他行业的发展,普遍以原材料生产和初加工为主,产业层次低、链条短,资源的大量消耗和废弃,人类活动对生态环境干扰作用加强;且由于其地域偏僻、人才稀缺、科技不发达、投资力度小、地方经济薄弱和扩大再生产以外延为主等因素,致使生态环境恶化趋势并未得到遏制,环境问题显得日益突出。此外,由(2)式知,生态环境指数对政策干扰指数的偏导为-1,政策干扰指数在整个模型中起负效应,这主要由于定西市7个县区均为“国家八七扶贫攻坚计划”划定的国定扶贫县,相对于发达地市,受制于基础薄弱、深居内陆、交通不便等因素,政策开展落实相对困难,政府工作更侧重于当地经济发展和人民生活水平提高,环保工作相对次之。

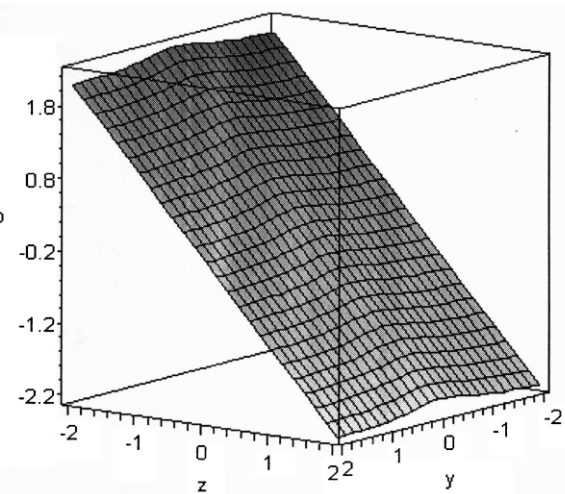


图2 定西市资源环境经济系统演进耦合分析
Fig. 2 The coupling evolution analysis of resources environmental economic - system in Dingxi

5 讨论

(1) 方法选择上,主成分分析法权重的确定有效解决了各指标间的相关性,避免了指数函数的信息重叠问题。非参数密度估计和非参数回归函数估计方法对未知分布数据模型的处理以及不完全数据的处理等不确定的因素问题,是基于样本数据本身的特征来进行估计的,它并不事先把模型假定为线性或非线性,可以在一定程度上避免了模型错误设定问题,从而避免对实际经济趋势产生误导。文中的模型估计显示为非线性,三者的耦合关系呈倒U型曲面,可视化更强,这与定西近30年来资源环境、经济系统的发展实际相吻合,一定程度印证了环境库兹涅茨曲线假说;使区域人地系统的研究更全面,为区域经济社会环境发展研究提供了新的方法。

(2) 指标体系设计上,人类活动指数涉及生产生活各个方面,但是考虑到数据的可获得性,文章主要选取了工农业生产数据,生活数据相对薄弱;而在生态环境指数上,考虑到时间跨度近30年,受制于统计数据欠缺,所以主要选取了耕地面积、当年造林及种草等恢复保护性措施的数据,并且这些数据比起单纯的污染数据包含更多信息。目前国内外的研究主要侧重于人口、经济、资源的定量耦合分析,对于文化政策等方面的量度相对较少,而政策干扰指数选取了人口自然增长率、城镇登记失业率、城镇化率、学龄儿童入学率、电视人口覆盖率等五个因素,它侧面反映了人口计划以及生育国策,地区失业状况、城镇建设、信息化建设和教育国策的落实开展情况,从而实现了对国家宏观政策对地区社会经济和自然生态的干扰影响程度的定量分析。

(3) 在结果分析上,不仅要考虑到构成指数函数各指标所产生的效果,而且也要注意特殊重大事件的影响,例如生态环境指数2003年拐点的出现,是由于非典爆发和蔓延,让人们开始用严肃的态度审视我们生存环境,它唤醒了民众的环保意识,从而各地全面整治环境卫生,使得环境质量有所改善;然而随着疫情逐步被控制,环境卫生工作有所松懈,环境问题日益突出。同时也要考虑到当地的实际情况,例如政策干扰指数中城镇化率在近29年虽然有所上升,但截至2008年依然只是达到12% 相较其他市州低很多,

贫困和民生问题依然是政府面临的首要问题。

(4) 文中虽然对近 29 年来定西市资源、环境、经济三者的耦合演进关系进行了分析,模拟了其演变路径,但由于涉及 34 项不同指标,独立解构每项指标在本文中尚无法实现,具体指标的作用及贡献率仍有待进一步比较分析。而且,未来可以拓展研究如何定量文化因素,讨论其对人们生产生活的影响,以及其在经济社会和生态环境中重要度。

6 结论

基于主成分分析的定西市资源环境经济非参数耦合演进模型表明:主成分分析法权重的确定有效解决了各指标间的相关性,避免了指数函数的信息重叠问题;进一步模拟了近三十年来定西市资源环境经济三者耦合演进关系,即,1980-2008 年间定西生态环境指数和人类活动指数及政策干扰指数关系呈倒 U 型曲面,人类活动和宏观政策与生态环境呈现先协同攀升后不断下降的趋势;此外,人地关系演变进程中的主导因素是人类活动指数,政策干扰指数次之。可见,定西市社会经济的发展是以牺牲环境资源为代价的,未来急需转变发展路径;政府注重经济发展时也应致力于环保工作,优化产业结构,推进清洁生产和节能减排工作,加强环保监督检查,使整个社会经济与自然环境和谐良性发展。

参考文献

- [1] 蔡运龙. 人地关系思想的演变[J]. 自然辩证法研究, 1989, 5(5): 48-53.
- [2] 王黎明. 面向 PRED 问题的人地关系系统构型理论与方法研究[J]. 地理研究, 1997, 16(2): 38-44.
- [3] LIU Jianguo, Dietz T, Carpenter S R, et al. Complexity of coupled human and natural systems[J]. Science, 2007, 317(5844): 1513-1516.
- [4] Messerli B, Grosjean M, Thomas H, et al. From nature dominated to human dominated environmental changes[R]. IGU Bulletin, 2000, 50(1): 23-38.
- [5] 郑度. 21 世纪人地关系研究前瞻[J]. 地理研究, 2002, 21(1): 9-13.
- [6] 吴传钧. 论地理学的研究核心 - 人地关系地域系统[J]. 经济地理, 1991, 11(1): 1-5.
- [7] 史培军, 王静爱, 陈婧, 等. 当代地理学之人地相互作用研究的趋向 - 全球变化人类行为计划第六届开放会议透视[J]. 地理学报, 2006, 61(2): 115-126.
- [8] 王新. 贫困地区经济与环境互动机理研究 - 以甘肃省定西地区为例[J]. 中国生态农业学报, 2004, 12(3): 5-8.
- [9] 邵波, 李勇进, 陈兴鹏. AHP 法在可持续发展支撑体系构建中的应用 - 以甘肃省定西县为例[J]. 水土保持研究, 2005, 12(2): 22-24.
- [10] 刘毅, 金凤君. 沿海地区人地关系协调发展战略[M]. 北京: 商务印书馆, 2005.
- [11] 鲁西奇. 人地关系理论与历史地理研究[J]. 史学理论研究, 2001(2): 36-46.
- [12] 钱今昔, 王慧敏. 现代国外人文地理研究的中心课题[J]. 人文地理, 1986, 1(1): 17-20.
- [13] 张世禄. 人地关系思想发展论略及可持续发展观的提出[J]. 渝西学院学报, 2004, 3(2): 93-96.
- [14] 王爱民, 刘加林. 我国人地关系研究进展评述[J]. 热带地理, 2001(4): 364-368.
- [15] 薛冰, 张子龙, 郭晓佳, 陈兴鹏, 耿涌. 区域生态环境演变与经济增长的耦合效应分析 - 以宁夏回族自治区为例[J]. 生态环境学报, 2010, 19(5): 1125-1131.
- [16] 吕金兴, 周忠学. 陕西省人口与资源环境协调演进分析[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(4): 16-21.
- [17] 郭晓佳, 陈兴鹏, 张满银. 甘肃少数民族地区人地系统的物质代谢和生态效率研究 - 基于能值分析理论[J]. 干旱区资源与环境, 2010, 24(7): 27-33.
- [18] 吕拉昌. 人地关系与我国西部民族地区的可持续发展[J]. 经济地理, 1997, 17(3): 100-104.
- [19] 徐建华. 现代地理学中的数学方法[M]. 北京: 高等教育出版社, 1994.
- [20] 张宝成, 曹军骥, 白艳芬, 等. 环境变化对青海湖天然草场牧草产量的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(3): 127-130.
- [21] 高丽娟. 中国进口贸易与经济增长的关系 - 基于非参数回归模型的实证分析[J]. 统计与咨询, 2008(3): 22-24.
- [22] 沈晓栋, 赵卫亚. 我国城镇居民消费与收入动态关系 - 基于非参数回归模型的实证分析[J]. 经济科学, 2005(1): 18-22.
- [23] 陈文静, 何刚. 石油消费及其影响因素: 基于非参数模型的研究[J]. 管理工程学报, 2009(4): 170-173.
- [24] 陈兴鹏, 郭晓佳, 王国奎, 等. 1980 年以来西北贫困地区人地系统演变轨迹 - 以定西市为例[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2012, 48(4): 27-32.
- [25] Arrow K, Bolin B, Costanza R, Dasgupta P, Folke C, Holling C S, Jansson B O, Levin S, Mler K G, Perrings C, Pimentel D, Economic Growth, Carrying Capacity, and the Environment[J]. Science, 1995, 268: 520-521.
- [26] Dasgupt S, Laplant B, Wang H, Wheeler D. Confronting the environmental Kuznet's curve[J]. The Journal of Economic Perspectives, 2002, 16(1): 147-168.

The coupling evolution analysis of resource – environment – economic system in the poor areas of Gansu

CHEN Xingpeng^{1 2}, GUO Xiaojia^{1 2 3}, WANG Guokui^{1 2}, ZHANG Zilong^{1 2}, LU Chenyu⁴, LI Hengji^{1 2}

(1. College of Earth and Environment Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, P. R. China;

2. Institute of Tourism Planning & Design, Lanzhou University, Lanzhou 730000, P. R. China;

3. Department of Forestry, Michigan State University, EAST Lansing, MI 48823, America;

4. College of Geography and Environment Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, P. R. China)

Abstract: Dingxi City located in central Gansu province is the poorest area in China, the contradiction between the economic development and the environment resources is even more serious than others, therefore studies imminently to coupled evolution analysis of this area resources – environment – economy system is urgent and necessary. Using principal component analysis method, human activity index, ecological environment index and government interference index, we built a non – parameter regression model under cultural impact and policy interference condition to study the coupling evolution of resources – environment – economy systems of Dingxi. The results indicate that from 1980 to 2008, the relationship of ecological environment and human activities and government interfere was inverted U – shaped surface. The current social and economic development of Dingxi was at the expense of environmental resources, the urgent need is to change the development path, must optimize the industrial structure, promoting clean production and energy conservation, and strengthen environmental supervision and inspection, so that the whole socio – economic could be in harmony with the natural environment.

Key words: poor areas; resources – environment – economy system; principal component analysis; non – parametric model; coupling evolution; Dingxi

黄河三角洲地区资源-环境-经济系统 可持续性的能值分析

段晓峰, 许学工

(北京大学环境学院 地表过程分析与模拟教育部重点实验室, 北京 100871)

摘 要:黄河三角洲地区位于沿海开放地带, 经济地位特殊而重要。而三角洲又是生态环境脆弱带, 在资源开发中承受着巨大的环境压力。环境与经济的协调发展是黄河三角洲永恒的主题。基于能值理论与方法, 通过一系列能值指标的建立, 对黄河三角洲地区环境经济系统进行了分析评估, 结果表明该地区能值用量较大, 经济迅速增长的同时, 资源消耗与环境问题日益突出。在此基础上, 通过可持续性能值指标的动态分析为该地区实现可持续发展提出建议。

关 键 词:黄河三角洲; 环境经济系统; 能值分析; 可持续发展

中图分类号: X144; F062.1

随着人口增长与科技进步, 经济发展与资源基础的协调状态已经成为各国和地区社会经济持续发展的首要任务和基本目标^[1]。备受关注的资源与生态安全以及可持续发展, 均涉及自然环境与社会经济两大系统的冲突与协调。

自然生态系统和人类社会经济系统各组分及其作用, 均涉及能量的流动、转化和贮存, 但是传统的能量分析具有忽视地球基本能量(太阳能)以及忽视能量品质特征的缺陷。美国生态学家 H.T.Odum 于 20 世纪 80 年代创立了能值分析理论和方法。应用能值这一新的科学概念和度量标准及其转换单位——能值转换率, 可将生态经济系统内流动和储存的各种不同类别的能量和物质转换为同一标准的能值, 进行定量分析研究。环境-经济系统本身是一种自组织的能量等级系统, 随着能量从低等级的太阳能转化为生产者的潜能, 再到各级消费者, 能量数量不断减少, 能质却不断增加。因而, 高等级的能量具有较高的能质, 其能值转换率较高, 在系统中的作用也大^[2-4]。

人类生存的一定区域是环境-经济复合系统。能值分析解决了用货币体现的国民生产总值所不能衡量的自然界对人类社会经济发展的贡献, 对自然环境资源的价值合理地定量评估, 以实现对环境-经济系统的更精确研究。因此, 该理论和方法不仅可以应用于生态经济系统结构功能的定量分析、自然资源的评估利用等, 还可应用于环境经济系统可持续发展的研究。本文拟以黄河三角洲为例, 对该地区资源-环境-经济系统的可持续性进行能值分析研究。

收稿日期: 2005-05; 修订日期: 2005-10.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(NO.40271001).

作者简介: 段晓峰(1981-), 男, 博士研究生, 研究方向为资源开发与区域发展.

1 能值分析的方法论基础

环境和人类经济社会中的系统过程具有等级关系,其能量传递与转换,均类似食物链的特性,具有低能质的能量如太阳能、风能、雨能等,经食物链的传递与转换而成为较高能质的能量如生物有机能、电能等,维持人类的生存活动。根据热力学第二定律,在这种传递和转换过程中有许多能量耗散流失,能量的数量递减,但能质和能级在此过程中提高了。在热力学定律和能量等级原理的基础上,H.T.Odum 提出了能值(emergy)的概念;能值实质上是一种包被能(embodied energy,emergy 一词即由此而来),即“一种流动或储存的能量所包含另一类别能量的数量”(H.T.Odum,1987)^[2-4],并提出了在不同能质的能量之间的转换关系——能值转换率。从而形成了能值理论的一套基本概念(表 1)。

表 1 能值分析的基本概念^[2-3]

Tab.1 Basic concepts of emergy analysis

概 念	定 义
能值	产品形成所需要直接和间接投入的有效能总量。实际中用太阳能值(Solar Emergy),即产品形成所需直接和间接应用的太阳能总量,单位为太阳能焦耳(sej)
太阳能值转换率	单位能量(物质)所含的太阳能值之量 单位为 sej/j 或 sej/g
能值货币比率	单位货币相当的能值量;由一个国家年能值利用总量除以当年 GNP 而得
能值-货币价值	能值相当的市场货币价值,即以能值来衡量财富的价值或称宏观经济价值

2 研究区概况

近代黄河三角洲主要位于东营市境内,考虑到数据资料的成果应用方便,以东营市行政区划代表黄河三角洲作为研究区范围。东营市位于北纬 36°55′~38°10′,东经 118°07′~119°10′,土地总面积 7923 km²,负 10m 等深线以内浅海面积 4800 km²,北、东两面濒临渤海湾与莱州湾,海岸线长 350.34 km。属暖温带半湿润半干旱大陆性季风气候;四季分明,雨热同期;多年平均气温 12.8℃,无霜期 206 天;年平均降水量 555.9mm,多集中在夏季。黄河三角洲地区自然资源丰富,主要有土地资源,以石油天然气为主的矿产资源,海洋资源,黄河水沙资源,风能资源和生物资源等。目前行政上包括东营区、河口区、广饶县、利津县、垦利县 2 区 3 县,2003 年年末总人口 176.81 万人^[5]。

3 黄河三角洲地区资源-环境-经济系统的能值分析

3.1 黄河三角洲地区资源-环境-经济系统的能值流动

能值流动关系图反映了系统能量流动的基本情况(图 1),在此基础上进行能值计算与分析,结果列于表 2~5 中。

文中计算所用数据来自东营市历年的统计年鉴,为该地区农业局、气象局、林业局、胜利油田管理局等部门提供的统计和观测资料^[6-9]。

黄河三角洲地区 2003 年的总能值使用量为 $176.07E+20\text{sej/a}$,包括可更新资源(雨水、潮流等)、不可更新资源(燃料、表土等)和进口能值投入。可更新环境资源(包括雨水、地球循环)的能值占总能值使用量的 7.33%,表明该地区无需付费的可更新自然资源并不丰富,投入比例较低。

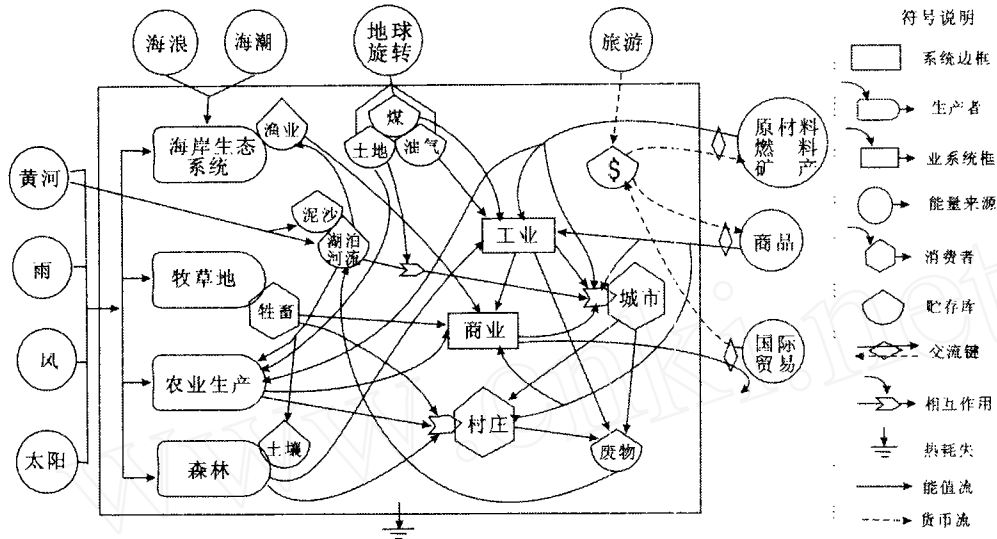


图 1 黄河三角洲环境经济系统能值流动图

Fig.1 Emery flow diagram of the environment-economic system in the Yellow River Delta

在可更新资源产品中,水产品的能值输出量最大($30.69E+20\text{ sej/a}$),占 42.88%,这是由于黄河三角洲地区濒临渤海湾和莱州湾,具有丰富的海洋渔业资源。其次为畜产品,特别是肉类产品能值输出较高,一部分用于出口。农产品的能值输出占总产品的比例较小(23.93%)。2003 年黄河三角洲地区消耗的不可更新资源中,电力用量最大($3.58E+21\text{sej/a}$),占 36.33%,其次为煤炭,占 31.97%。作为农业利用的表土资源消耗并不大,说明该地区农业资源利用强度并不高。废弃物能值流动量很大,占总能值用量的 32.63%,这是由于东营作为新兴工业城市,目前强调工业化与经济的发展速度,对环境保护还不够重视造成的,这也是多数新兴城市发展过程中的一个特点。

区外流入该地区的能值来自原材料与燃料、商品、外商投资及旅游的贡献。其中,原材料、燃料与矿物流入量占区外流入能值总量的比例最大,为 48.68%;外商投资所占比例较小,仅为 9.13%。研究区在 2003 年输出的资源能值为 $85.85E+20\text{ sej/a}$,出口能值高于进口能值,两者比值为 1.33。在出口能值中,石油的能值含量所占比例高达 83.63%。

3.2 黄河三角洲地区主要储存资源的能值评估

黄河三角洲地区储存的资源蕴涵着巨大的财富。其中煤的能值储量最大,发育面积达

630 万 km²,但由于埋藏深,尚未开发利用;石油、天然气是该地区的优势能源矿产,储量十分丰富,区内有全国第二大油田——胜利油田;此外,地热成为该地区仅次于油、气的能源矿产,其能值储量较高;由于黄河三角洲特殊的地理位置,同样有着丰富的海洋渔业、地下卤水等资源,区内分布大量的渔场、盐场;黄河三角洲水资源的能值储量较低,水资源缺乏是该地区最主要的问题之一。区内主要储存资源的宏观经济价值高达 44490 亿美元,相当于当年(2003 年)研究区国内生产总值的 529 倍,是黄河三角洲地区持续发展的重要后备资源。从表 5 可知,黄河三角洲的开发蕴涵着巨大的潜力。

表 2 黄河三角洲环境经济系统的能值分析评估(2003 年)

Tab.2 Emergy evaluation for the environment-economic system in the Yellow River Delta

编号和项目	原始数据 (J 或 g)	能值转换率 (sej/单位)	太阳能值 (sej)	能值货币价值 (US\$)
可更新资源				
1 太阳辐射能	5.38E+19 j	1	5.38E+19	2.57E+07
2 雨水势能	9.57E+14 j	1.05E+04	1.00E+19	4.78E+06
3 雨水化学能	4.83E+16 j	1.82E+04	8.79E+20	4.20E+08
4 地球转动能	1.27E+16 j	2.90E+04	3.69E+20	1.76E+08
5 海浪能	8.39E+15 j	3.0E+04	2.52E+20	1.20E+08
6 潮汐能	2.53E+15 j	1.7E+04	4.31E+19	2.06E+07
7 风能	6.69E+16 j	1.5E+03	1.00E+20	4.78E+09
小计(3、4、6项)			12.91E+20	6.17E+08
可更新资源产品				
8 木材	2.09E+14 j	4.40E+04	9.18E+18	4.38E+06
9 农产品			17.13E+20	8.18E+08
(1) 谷物	8.77E+15 j	8.30E+04	7.28E+20	3.48E+08
(2) 豆类	5.05E+14 j	6.90E+05	3.48E+20	1.66E+08
(3) 油料	2.03E+14 j	6.90E+05	1.40E+20	6.69E+07
(4) 棉花	2.80E+14 j	8.60E+05	2.41E+20	1.15E+08
(5) 蔬菜	8.65E+15 j	2.70E+04	2.34E+20	1.12E+08
(6) 水果	4.09E+14 j	5.30E+04	2.17E+19	1.04E+07
10 畜产品			23.66E+20	1.13E+09
(1) 肉类	6.16E+14 j	1.70E+06	1.05E+21	5.02E+08
(2) 奶类	1.85E+14 j	2.00E+06	3.69E+20	1.76E+08
(3) 禽蛋	4.09E+14 j	2.00E+06	8.19E+20	3.91E+08
(4) 毛类	2.98E+13 j	4.40E+06	1.31E+20	6.26E+07
11 水产品	1.53E+15 j	2.00E+06	30.69E+20	1.47E+09
小计(8-11项)			71.57E+20	3.42E+09
不可更新资源消耗				
12 原煤	7.91E+16 j	3.98E+04	3.15E+21	1.50E+09
13 原油	2.82E+16 j	5.30E+04	1.50E+21	7.16E+08
14 天然气	1.65E+16 j	4.80E+04	7.90E+20	3.77E+08
15 原盐	1.68E+11 g	1.00E+9	1.68E+20	8.02E+07
16 电力用量	2.25E+16 j	1.59E+05	3.58E+21	1.71E+09
17 化肥用量	1.12E+11 g	4.77E+09	5.34E+20	2.55E+08
18 表土净损耗	1.77E+15 j	7.40E+04	1.31E+20	6.26E+07
小计(12-18项)			98.53E+20	4.71E+09
19 废物流			57.42E+20	2.74E+09
(1) 废气	3.55E+15 j	6.66E+05	2.37E+21	1.13E+09
(2) 废水	2.58E+15 j	8.60E+05	2.21E+21	1.06E+09
(3) 废固	6.45E+14 j	1.80E+06	1.16E+21	5.54E+08

注 1: 降水、海浪与风能均由自太阳能转化而成,因此只将其中能值最大项计入可更新资源能值总量。

注 2: 能值货币价值=能值量×东营市能值货币比率。

注 3: 表中原始能量由《东营市统计年鉴 2004》中的基础数据计算而得,计算公式参考文献[2,3]。

表 3 黄河三角洲地区商品交易能值评估

Tab.3 Emergy evaluation for merchandise business in the Yellow River Delta

编号和项目	原始数据 (J 或 US\$)	能值转换率 (sej/单位)	太阳能值 (sej)
进口及外界流入资源			64.63E+20
1 国内贸易			
(1) 木材	1.24E+15 j	4.40E+04	5.45E+19
(2) 原煤	7.77E+16 j	3.98E+04	3.09E+21
(3) 煤炭	4.40E+13 j	1.06E+04	4.66E+17
(4) 其他燃料	2.22E+13 j	4.40E+04	9.75E+17
(5) 食品及其他	2.24E+8 \$	8.67E+12	1.94E+21
2 进口资源			
(1) 商品	3.92E+8 \$	2.00E+12	7.84E+20
(2) 外商投资	2.63E+8 \$	2.00E+12	5.27E+20
(3) 对外借贷	2.90E+7 \$	2.00E+12	5.80E+19
(4) 旅游收入	2.29E+6 \$	2.00E+12	4.58E+18
出口			85.85E+20
(1) 原料			
原油	1.36E+17 j	5.30E+04	7.18E+21
天然气	1.38E+16 j	4.80E+04	6.65E+20
(2) 初级产品	3.50E+7 \$	1.67E+12	5.84E+19
(3) 工业制品	4.09E+8 \$	1.67E+12	6.82E+20

注 1：国内贸易流入能值=金额×中国能值货币比率。注 2：进口资源能值=进口商品等的金额×世界能值/货币比率。注 3：出口=出口商品等的金额×东营市能值/货币比率。

黄河三角洲地区的主要能值流和货币流的综合图解如图 2 所示。

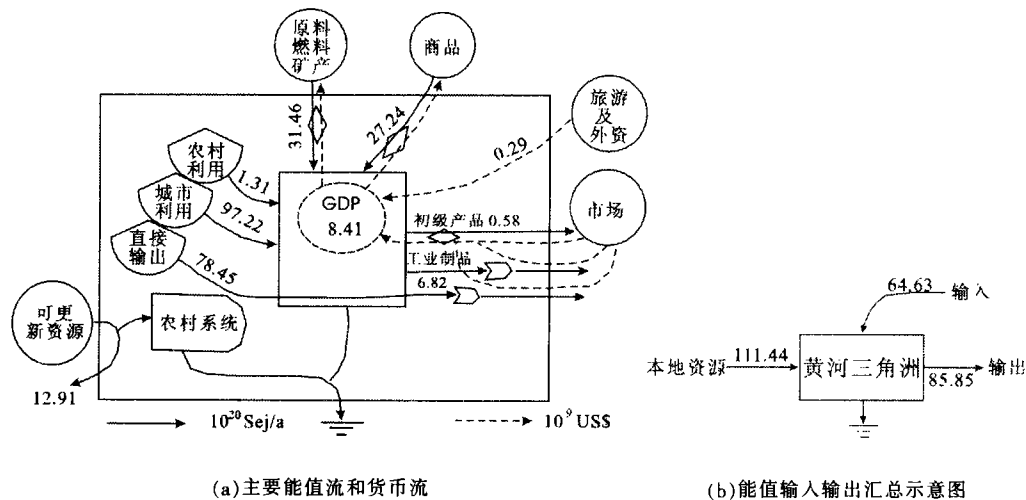


图 2 黄河三角洲地区环境经济系统能值流、货币流综合图解

Fig.2 Overview system diagram of energy and monetary flows in the Yellow River Delta (实线为能值流动路线,虚线为货币流动路线,线上数字分别为其数量,能值单位为 $\times 10^{20}$ sej/a,货币单位为 $\times 10^9$ US\$。GDP 数字为货币量。)

表 4 2003 年黄河三角洲主要资源类别的能值流动汇总
Tab.4 Summary of major emergy flows in the Yellow River Delta (2003)

变量	项 目	太阳能值(sej)	市场价值(US\$)	能值货币比率(sej/US\$)
R	可更新资源	12.91E+20		
N	不可更新资源	176.98E+20		
	N ₀ 粗放使用的资源	1.31E+20		
	N ₁ 集约使用的资源	97.22E+20		
	N ₂ 直接输出资源	78.45E+20		
F1	进口原材料、燃料和矿产品	31.46E+20	1.50E+09	
G1	进口商品(不包括F)	27.24E+20	1.30E+09	
I	外商投资等	5.90E+20	2.82E+08	
IMP	总进口	64.63E+20	3.09E+09	
F2	出口原料	78.45E+20	3.75E+09	
G2	出口商品(不包括F2)	7.40E+20	3.53E+08	
EXP	总出口	85.85E+20	4.10E+09	
X	国内生产总值(8.28 元/美元)		8.41E+9	
P1	东营市能值货币比率			2.09E+12

注 1: 可更新资源来自降水、地球旋转和潮汐的贡献,避免重复计算,其他可更新资源包含其中。

注 2: 不可更新资源为(N₀+N₁+N₂), N₀:表土净损耗; N₁:原煤用量+石油消耗+天然气消耗+原盐+用电+化肥用量; N₂:原油及天然气输出。

注 3: 外商投资等包括旅游收入和对外借贷。

表 5 黄河三角洲储存能值评估表

Tab.5 Emergy evaluation for resources reserves in the Yellow River Delta

项 目	原始数据	能值转换率(sej/单位)	太阳能值(sej)	能值货币价值(US\$)
地热	3.83E+18 j	1.20E+04	4.60E+22	2.20E+10
煤	6.00E+19 j	3.98E+04	2.39E+24	1.14E+12
石油	1.84E+19 j	5.30E+04	9.75E+23	4.66E+11
天然气	1.19E+18 j	4.80E+04	5.71E+22	2.73E+10
地下卤水	74.80E+13 g	1.00E+09	7.48E+23	3.57E+11
浅海区鱼类	4.49E+14 j	2.00E+06	8.97E+20	4.28E+08
贝壳	1.00E+11 g	1.00E+09	1.00E+20	4.78E+07
木材生物量	8.41E+15 j	4.40E+04	3.70E+20	1.77E+08
表土	6.96E+17 j	6.30E+04	4.38E+22	2.09E+10
水资源储量	2.09E+15 j	4.11E+04	8.60E+19	4.11E+07
经济财富	1.68E+11 \$	8.67E+12	1.46E+24	6.97E+11
人口	5.48E+7 人·a	3.10E+16	1.70E+24	8.12E+11

注 1: 含煤层主要集中在东营市垦利县,但埋深 2000m 以上,尚未开发利用。

注 2: 东营市浅层卤水(埋深<60m)含量为 9.6 亿 m³,按 50g/L 的矿化度计算地下卤水的含盐量为 4.80×10¹³g;深层卤水含量约为 35 亿 m³,按 200g/L 的矿化度计算地下卤水的含盐量为 7.00×10¹⁴g。

注 3: 表土=表土有机质含量×能量密度

注 4: 经济财富=(GDP)/(1/每年折旧率)。

注 5: 人口=(人口)/(平均年龄)。

4 黄河三角洲系统能值指标及区域比较研究

表 6 中的计算结果,将系统作为整体进行分析并建立了能值指标体系,可把资源-环境-经济复合系统的能流、物流、货币流、信息流等在能值尺度上统一起来,定量分析系统的结构与功能,认识自然环境生产的价值与人类经济的关系,为环境与经济协调、可持续发展提供理论依据。通过与其他国家或地区的相应能值指标比较(表 7),能更好地了解其环境、经济等所处的地位及一个国家或地区的潜力。

表 6 2003 年黄河三角洲地区系统能值指标一览表
Tab.6 Energy indices for overview of the Yellow River Delta (2003)

指 标	表达式	数值或比率
可更新资源能值	R	12.91E+20 sej/a
不可更新资源能值	N	176.98E+20 sej/a
进口资源能值	IMP	64.63E+20 sej/a
年能值总流入量	R+N+IMP	254.52E+20 sej/a
年能值总用量 (U)	$N_0+N_1+R+IMP$	176.07E+20 sej/a
总出口能值	EXP	85.85E+20 sej/a
能值自给率	$(N_0+N_1+R)/U$	63.29%
净进口能值量	IMP-EXP	-21.22E+20 sej/a
进口与出口能值比	IMP/EXP	0.75
本土可更新资源能值/总能值用量	R/U	7.33%
能值产出率	U/IMP	2.72
无需付费能值占总能值用量的比例	$(N_0+R)/U$	8.08%
集约使用能值占总能值用量的比例	N_1/U	55.22%
能值投资率	IMP/(R+N)	34.04%
人均能值用量	U/人口	9.96E+15 sej/人·a
能值使用强度	U/面积	2.22E+12 sej/m ²
目前生活水平下可更新资源的人口承载力	$(R/U) \times \text{人口}$	1.30E+5 人
目前生活水平下被开发资源的人口承载力	$8(R/U) \times \text{人口}$	1.04E+6 人
人均电力用量	电力/人口	2.02E+15 sej/人
电力使用占总能值用量的比例	电力/U	20.33%
人均燃料用量	$(54.4E+20\text{sej}) / \text{人口}$	3.08E+15 sej/人
能值与国内生产总值的比率 (P1)	U/GDP	2.09E+12 sej/\$
废弃物占可更新资源的能值比	W/R	4.45
废弃物占总能值用量的比例	W/U	32.63%
环境负载率	$(U-R)/R$	12.64

能值货币比率是每年能值应用总量与当年国民生产总值的比率。以农业为主的发展中国家或地区,直接使用很多无需付费的本地自然资源,较少用货币购买其他国家或地区的资源产品,同时 GNP 较低,经济领域流通的货币量较少,因而具有较高的能值货币比率,在这些国家或地区,可用较少的货币购买到较多的能值财富;反之,发达国家或地区具有较低的

能值货币比率,因为他们购买其他地区资源所付的货币具有的能值远远低于资源本身含有的能值,所以这些国家或地区习惯于从区外购入资源。黄河三角洲地区的能值货币比率低于一些发展中国家或地区,如印度和中国的海南、西藏等,而高于发达国家或地区,如美国、荷兰与中国的广州等。江苏省 GDP 很高,但其能值应用量非常大,从能值角度分析,江苏尚处于发展阶段。

表 7 黄河三角洲地区系统能值指标与一些国家或地区的比较

Tab.7 Comparisons indices based for emergy analysis in the Yellow River Delta and other area (2003)

国家或地区	总能值用量 (sej/a)	能值货币比率 (sej/\$)	年能值使用强度 (sej/m ²)	年人均能值用量 (sej/人)	能值自给率 (%)	进出口能值比	用电占总能值用量比 (%)	环境负载
黄河三角洲	1.76E+22	2.09E+12	2.22E+12	9.96E+15	63.29	0.75	20.33	12.64
广州市	1.97E+23	0.56E+12	26.51E+12	33.49E+15	59.60	7.61	11.07	69.63
江苏省	5.79E+23	3.85E+12	5.64E+12	7.82E+15	74.85	1.69	18.72	43.53
海南省	4.77E+22	5.71E+12	1.35E+12	6.04E+15	22.97	2.21	7.18	0.27
西藏自治区	2.46E+23	15.26E+12	0.20E+12	92.18E+15	98.18	5.13	0.23	0.43
中国 (大陆)	8.94E+24	6.35E+12	0.93E+12	6.92E+15	90.76	0.30	10.46	9.89
印度	1.31E+24	2.85E+12	0.40E+12	1.27E+15	93.82	1.45	5.63	2.92
美国	8.50E+24	0.88E+12	0.88E+12	29.79E+15	77.18	1.75	19.52	9.32
澳大利亚	0.93E+24	2.40E+12	0.12E+12	47.96E+15	92.39	0.39	1.09	1.03
荷兰	0.39E+24	0.96E+12	11.41E+12	24.31E+15	26.29	4.30	3.87	16.66

注 1: 西藏自治区为 2002 年数据;印度、美国、澳大利亚以及荷兰为 2000 年数据;其余为 2003 年数据。数据由各省市区统计年鉴以及中国统计年鉴和国际统计年鉴的统计资料计算得出。

注 2: 考虑燃料、矿物等不可更新资源消耗量的变化对能值用量的贡献,在各地区(国家)已有的能值评估研究的基础上^[2,3,10-12],加以修改更新,得到表中数据。

能值使用强度和人均能值用量比人均燃料用量更能有效地反映经济发展强度以及资源、财富和商品等真正的可利用程度。经济发达地区,能值使用强度和人均能值用量一般较高,如美国、澳大利亚以及荷兰的人均能值用量普遍高于其他国家和地区,但由于国土面积和人口并不具有绝对可比性,因此这两项指标适合在面积与人口的规模相近的国家或地区间比较,例如中国的西藏地区,能值使用强度很低,但由于其人口密度过小,人均能值用量却很高。黄河三角洲地区的能值使用强度和人均能值用量均远远低于广州市,一方面体现了经济水平的差异,另一方面说明资源的开发利用还具有很大的潜力。

一个系统总能值用量中自身不可更新资源能值和可更新资源能值所占比例的高低,反映其自给自足能力的大小。一般情况下,能值自给率越高,则该地区的自给自足能力越强,对内部资源开发程度也越高。通常,国家或地区的面积越大,所蕴涵的不可更新资源越多,接收的可更新资源量也越大,其能值自给率也高,说明系统自身资源相对比较丰富,例如西藏的能值自给率要高于国内其他地区,而荷兰的能值自给率远远低于中国、美国、澳大利亚等国国土面积较大的国家。但同时,对本地不可更新资源过多地开发,并且购入能值投入不足,可能会使本地资源得不到最佳利用,使得经济发展程度不高,这在发展中国家和地区较明显。从进出口能值比例可以看出,发展中国家或地区该指标较低(西藏地区例外,由于国家的援助

和支持)。黄河三角洲地区的进出口能值比例较低,而能值自给率低于全国平均水平,在自身资源并不十分丰富的情况下,发展经济需加强购入资源的利用。电能具有较高的能值转换率,是高品质的能量。黄河三角洲地区电能使用量占总能值用量的比例很高,这与其产业结构有关,黄河三角洲地区工业产值占整个地区总产值的70%以上,而工业耗电量很大。而发达国家,第二产业所占比重较低,电力用量占总能值用量的比例相对黄河三角洲地区偏低。

环境负载率是购入能值与自产的不可更新资源能值的总和与无需付费的环境能值的比率。一般,较高的环境负载率说明社会经济发展水平较高,同时环境承受的压力也较大。黄河三角洲地区环境负载率与全国平均水平相近,低于广州等经济发达地区,而高于西藏、海南等以农业为主的不发达地区。说明黄河三角洲地区正处在发展中阶段,而目前生活水平下被开发资源的人口承载力为104万人,而实际人口为177万人,因此环境承受一定的压力。

5 黄河三角洲地区资源-环境-经济系统可持续发展的动态分析

Odum 提出的能值指标体系中,能值产出率(emergy yield ratio,EYR)用以评价系统的产出效率,环境负载率(environment load ratio,ELR)用以评价系统的环境压力。两者分别评价了系统可持续发展性能的两个方面,Brown.M.T 和 Ulgiati.S (1998) 提出了能值可持续指标 ESI(emergy sustainable indices),定义为 EYR/ELR ,填补了原能值指标体系中对可持续发展性能的综合评价指标的空缺。如果一个国家或地区的环境经济系统能值产出率高而环境负载率又相对较低,则它是可持续的,反之是不可持续的。但并不是 ESI 值越大,可持续性越高。ESI 值在 1 和 10 之间表明系统富有活力和发展潜力,ESI>10 则是经济不发达的象征,当 $ESI<1$ 时,为资源消费型系统^[3,13]。根据表 5 中能值产出率和环境负载率的计算公式,由东营市历年统计年鉴和政府部门提供的相关数据计算出东营市从建市以来(1983~2003)的逐年 ESI,并同时计算出每年的能值货币比率(P1),见图 3。

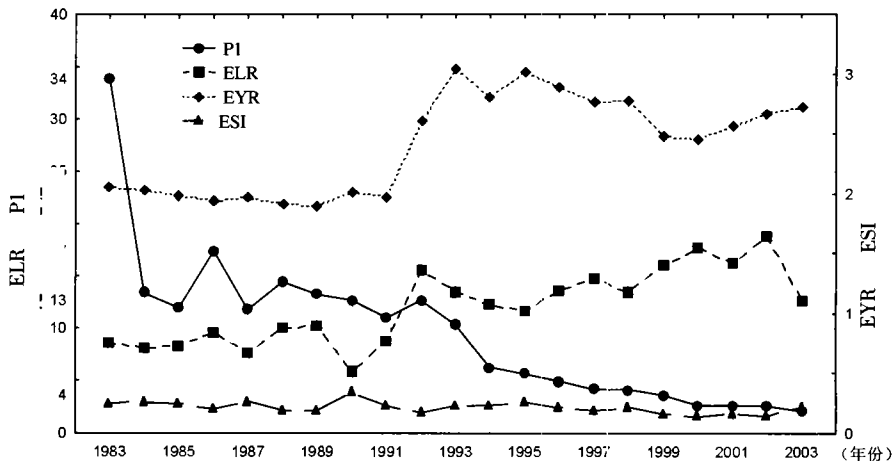


图3 黄河三角洲 20 年来环境经济系统能值指数变化趋势

Fig.3 Trend of emery indices of the environment-economic system in the Yellow River Delta from 1983 to 2003

注:P1-能值货币比率;ELR-环境负载率;EYR-能值产出率;ESI-能值可持续指标。

从图 3 反映的变化趋势看,1983~2003 年的能值货币比率(P1)曲线整体呈下降趋势,表明黄河三角洲地区经济发展迅速,GDP 增长速度要快于能值应用量增加的速度。从 ELR 曲线的变化趋势可以看出,经济增长的同时,环境承受的压力也在稳步的增加。受系统能值产出率(EYR 曲线)与环境负载率(ELR 曲线)的影响,能值可持续指数(ESI 曲线)基本保持平稳,并且稳定的停留在消费型阶段,经济发展较大程度上依赖资源的投入量,相信在该地区产业结构不发生大的变化的情况下,ESI 指数不会有明显的波动。

6 结论与讨论

本文以 Odum 的能值分析为理论依据,通过计算若干个基于能值流的指数,表征和度量了黄河三角洲地区资源-环境-经济系统的运行特征和发展的可持续性。结果表明:

(1)黄河三角洲地区投入系统的能值中,不可更新资源所占比重很大,而为农业生产所需的可更新资源用量较少,因此,农产品的能值输出相对较低。该地区环境经济系统的能值货币比率较低,说明工业发展速度相对较快,而农业相对并不发达,这点在同其他国家或地区的比较中可以很明显的看出。同时应该看到,大量的矿石燃料等不可更新资源投入,使得工业废弃物排放量剧增,长期下去,环境承受与吸纳污染的能力必然达到极限,将造成严重的后果,因此,要在提高能源利用率的同时,减少污染物的排放,开发废弃物回收利用的潜力。(2)通过能值动态分析表明,该地区在 20 年来能值货币比率呈降低的趋势,说明该地区经济在迅速地发展,但在经济发展,特别是工业化的同时,环境承受的压力越来越大,从长远的角度来看,这种发展态势并不是可持续的。尽管该地区投入的能值总量日益增多,但能值产出率并没有明显的增加,这与引进外界的能值量逐渐增多有关,也与石油开采进入中后期,开采难度增大有关,应该对资源科学合理加以利用,提高资源利用率并考虑发展石油的替代产品。此外,黄河三角洲地区本地资源较为丰富,其能值蕴含量巨大,而现有的技术和资金尚无法对某些资源进行开发利用,但丰富的资源储存量将在今后的可持续发展中起到至关重要的作用。(3)尽管能值分析将不同类型不同等级的能量转换为统一的标准,便于系统的定量分析研究,但仍有许多问题亟待解决。例如,在环境经济系统纷繁复杂的情况下,许多资源或产品使用单一的能值转换率是不准确的,而能值转换率的计算十分复杂且需要大量的实例验证,这都为精确的定量分析带来不便。资源-环境-经济系统的可持续性受到市场、文化、伦理、政策等方面的制约,需要在能值分析的基础上对这些方面的影响进行解释和订正,其定量难度很大。另外,虽然能值理论考虑不同类型能量之间质的差别,但在复杂的数据计算中,仍会出现重复计算的情况。总之,虽然能值分析方法还不够完善,但较之单纯的货币或能量的衡量方法,特别对于复杂的资源-环境-经济系统可持续发展的分析评估,能值分析方法无疑是更为合理和有效的。

致谢:东营市各政府部门在原始资料的收集中给予了大力协作,在此致谢!

参考文献

- [1] 张雷,沈叙建,杨荫凯等. 中国区域发展的资源环境协调问题. 地理科学进展, 2004, 23(6):10~19.
- [2] 严茂超著. 生态经济学新论——理论、方法与应用. 北京:中国致公出版社, 2001.
- [3] 蓝盛芳,钦佩,陆宏芳著. 生态经济系统能值分析. 北京:化学工业出版社,环境科学与工程出版中心, 2002.

- [4] H T Odum, E C Odum 著, 严茂超, 毛志峰译, 繁荣地走向衰退——人类在能源危机笼罩下的行为选择. 北京: 中信出版社, 2002.
- [5] 许学工. 黄河三角洲地域结构, 综合开发与可持续发展. 北京: 海洋出版社, 1998.
- [6] 中国海湾志编纂委员会. 中国海湾志(第三分册). 北京: 海洋出版社, 1991.
- [7] 张洪卫, 马立娟, 张立清. 东营市风能资源探讨. 陕西气象, 2000, (6): 8~11.
- [8] 何庆成等. 黄河三角洲海岸带综合管理——从地学角度展望 21 世纪. 北京: 海洋出版社, 1999.
- [9] 李荣升, 赵善伦. 山东海洋资源与环境. 北京: 海洋出版社, 2002.
- [10] 张耀辉, 蓝盛芳, 陈飞鹏. 海南省资源环境与经济发展的能值分析研究. 农业现代化研究, 1998, (19): 24~31.
- [11] 李加林, 许继琴, 张正龙. 基于能值分析的江苏生态经济系统发展态势及持续发展对策. 经济地理, 2003, 23(5): 615~620.
- [12] 隋春花, 蓝盛芳. 广州城市生态系统能值分析研究. 重庆环境科学, 2001, 23(5): 4~6.
- [13] Uigati S, Brown M T. Monitoring Patterns of Sustainability in Natural and Man-made Ecosystems. Ecological Modelling, 1998, 108: 23~36.

Emergy Analysis for Sustainable Development of Resources-Environment-Economy System in the Yellow River Delta

DUAN Xiaofeng, XU Xuegong

(College of Environment, Peking University; The Main Lab of Ministry of Education Research on Analysis and Simulation of The Earth's Surface Process, Beijing 100871, China)

Abstract: As an ecologically vulnerable region where atmosphere, hydrosphere, geosphere and biosphere interact, the Yellow River Delta plays an important role both in economy and environment in China. The emergy theory is based on the theory and methods of the System Ecology. Forming 1J higher quality energy will need a large amount of lower quality energy. In other words, different forms of energy have different attributions. By dealing with the energy-value-process of ecosystem, the theory provides us with a new approach to the economic ecology. Based on emergy analysis, this article systematically analyzes energy, resource flowage and condition of eco-economy system in the Yellow River Delta. On the basis of the evaluation indicator system, resources-environment-economy system in the Yellow River Delta is assessed comprehensively. The results indicate that the total emergy consumption of the study region is about 1.76×10^{22} sej, or about US\$ 8.42×10^9 . The waste emergy evacuated from the study region reaches about 5.74×10^{21} sej, or about US\$ 2.74×10^9 , which indicates that environment in the Yellow River Delta degenerates rapidly because of the industrialization and economic increasing. Finally, based on the calculation of the emergy sustainable indices (ESI), we find that economy increasing of the study region depends on resources consumption. Although the value of resource reserves in the Yellow River Delta reaches US\$ 4.45×10^{12} (about 529 times larger than GDP), it is difficult to use it adequately because of technical limits. So enhancing the resources utilization efficiency and reducing waste are the primary tasks in the future in order to realize sustainable development in the Yellow River Delta.

Key word: the Yellow River Delta; environment-economic system; emergy analysis; sustainable development

区域矿产资源开发对社会经济与生态环境系统的约束与支撑 ——以吉林省为例

刘兆顺¹, 李淑杰¹, 尚金城²

(1. 吉林大学 地球科学学院, 吉林 长春 130061; 2 东北师范大学
城市与环境科学学院, 吉林 长春 130024)

摘要:基于吉林省 1997 和 2002 年价值型投入产出表以及绿色投入产出表构建,对矿产资源在社会经济发展和生态环境建设过程中的约束和支撑作用进行了动态分析,结果表明:(1)矿产资源开采业是吉林省附加值率最高的行业部门,但开发投入水平过低,削弱了矿产资源对社会经济持续发展的保障能力;(2)吉林省矿业为运输指向的行业,矿业的产出带动能力、居民收入带动能力以及劳动力吸引能力不高;(3)吉林省非金属矿产资源开发利用的产业关联与波及效应潜力较大;油页岩、非金属矿产资源等优势矿种的开发利用,能够缓解能源瓶颈问题并带动社会经济发展;(4)吉林省考虑环境治理成本的产品价格变化幅度在 0.26% - 5.63% 之间;受影响最大的是金属冶炼及压延、非金属矿物制品业和金属制品业等重污染行业;随着社会经济的发展,环境投入对各部门产品价格影响减小。

关键词:矿产资源开发;社会经济;生态环境;吉林省

中图分类号: TD98 **文献标识码:** B

文章编号: 1005 - 2763 (2008) 06 - 0091 - 04

conomy; the mining industry is fundamental industry to which pointed by transport, and its capacities of improving output and resident's income and attracting labors is not enough; the exploitation and utilization of non - metallic mineral resources has larger potentialities of industry relating and affecting, the exploitation and utilization of such dominant mineral resources as oil shale and non - metallic minerals can alleviate the bottleneck problem of energy resource and drive the development of the social economy; the change scale of the price which reckons in the cost of environmental pollution control is between 0.26% and 5.63%, and for metal smelting and rolling, non - mental mineral and mental products industries, the change of price is more obvious because of their more serious environmental pollution, but the impact of environmental input to the products and prices is decreasing while the development of society and economy.

Key Words: Mineral resources exploitation, Social economy, Eco - Environment, Jilin province

Constraint and Support Power of Regional Mineral Resource Exploitation on Social Economy and Eco - Environmental System in Jilin Province

Liu Zhaoshun¹, Li Shujie¹, Shang Jincheng²

(1. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun, Jilin 130061, China; 2. College of Urban and Environment, Northeast Normal University, Changchun, Jilin 130024, China)

Abstract: Based on the valued input - output table of Jilin province in 1997 and 2002, the green input - output table was constructed, and the dynamic constraint and support powers of mineral resources exploitation on social economy and eco - environmental system were analyzed. It was found that in Jilin province, the mining industry has become the industry which of added - value ratio is highest, but the input level of mining industry is too low to support the sustaining development of the social e-

1 问题的提出与分析方法选择

矿产资源开发是现代区域经济的“初始发动机”,直接影响矿产资源加工业和相关服务业的发展^[1]。中国经济的快速增长是以较高的矿产资源消耗为代价的^[2]。中国多年能源、原材料消耗量的增幅远高于同期 GDP 增幅^[3],经济的高速增长加剧了经济社会与资源环境的矛盾,区域矿产资源对社会经济发展与生态环境建设的支撑能力与约束程度,成为中国可持续发展的重要前提和瓶颈因素。

吉林省是中国矿业大省之一,根据 2004 年矿产资源年报,吉林省已发现矿产 137 种,其中油页岩、硅藻土、火山渣、硅灰石等 10 种矿产资源储量居全国第一;钼、石墨、磷矿等 5 种矿产资源储量居全国

收稿日期: 2008 - 03 - 10

基金项目: 国家 973 计划项目子课题 (2005CB724207)。

作者简介: 刘兆顺 (1972 -), 男, 山东临朐人, 博士, 讲师, 主要从事环境规划与评价方面研究与工作, Email: zhaoshun@jlu.edu.cn。

第二;镍、金、沸石等 36种矿产储量居全国前 10位。丰富的矿产资源为吉林省经济社会发展提供了必要的资源保障,吉林省 66%以上的一次能源,80%以上的工业原料、农业生产资源和 1/3的饮用水都取自矿产资源,近年来平均每年投入国民经济运转的固体矿产达 7256万 t,石油和天然气 407万 t(油气当量)。目前吉林省经济社会进入快速发展时期,定量地分析吉林省矿业在区域经济快速发展中的作用,以及矿产资源开发、社会经济发展和生态环境建设的动态响应,能够为吉林省可持续发展战略的制订与实施提供科学依据。

本文基于投入产出表编制,采用投入产出技术方法,对矿产资源开发在经济社会发展与生态环境建设中的支撑与约束作用进行系统分析。该方法的主要优点是可以提供矿业在区域经济发展中的具体作用或准确位置,并分析其影响程度,为经济社会分析、预测和决策提供技术手段^[4,5]。随着环境污染与治理成为现代社会经济系统的组成部分,将环境治理的投入与产出数据从传统的投入产出表中分离出来,构建绿色投入产出表,可以系统地研究区域社会经济对环境污染与治理的响应,为实现区域社会经济与生态环境协调发展提供决策支撑^[6]。

2 数据构成与处理

本文采用吉林省 1997年和 2002年价值型投入产出表对矿业开发的社会经济影响进行动态分析;并采用 RAS投入产出系数修正法^[7],对 2007年吉林省矿业开发的社会经济影响进行预测。将环境治理的投入产出数据从传统投入产出表中分离出来,作为独立的行业部门即环境治理部门参与国民经济系统运行,构建绿色投入产出表,对矿业开发与环境建设之间的响应进行分析。

吉林省 1997年和 2002年投入产出表中,社会产业划分不尽相同,本文对 1997年和 2002年吉林省价值型投入产出表进行行业归并,编制矿业投入产出价值型表(见表 1)。

3 矿产资源对社会经济的支撑与约束

3.1 产业关联分析

3.1.1 中间投入率与中间需求率

吉林省矿业 1997年和 2002年的中间投入率分别为 54.21%和 29.87%(见表 1),即同期产业增加值为 45.79%和 70.13%,矿业成为吉林省附加值率

表 1 吉林省 5部门中间投入率和中间需求率

行业	1997年		2002年	
	中间投入率	中间需求率	中间投入率	中间需求率
农业	0.3705	0.3127	0.4233	0.4092
矿产资源开采业	0.5421	1.2493	0.2987	2.2967
矿产资源加工业	0.7363	1.2934	1.1120	1.9366
其它二产业	0.7003	0.6245	0.6669	0.5162
三产业	0.5525	0.4610	0.5163	0.4457

最高的行业部门。根据矿产资源开发与社会经济发展的一般规律^[8],吉林省进入矿产资源快速消耗的社会经济发展阶段,但长期矿业投入不足将导致矿产资源保障困难,成为影响社会经济持续稳定发展的资源因素。1997年吉林省矿业的中间需求率为 1.2493,而 2002年则高达 2.2967,显示出强劲的增长势头;一方面反映了吉林省社会经济发展对矿产资源的旺盛需求,另一方面表明吉林省矿业在产值上成为净调入区域。吉林省矿业的高附加值率主要来自石油和天然气开采业;煤炭、非金属矿以及石油和天然气 1997年至 2002年间的消费需求旺盛,为主要调入矿产品种。

吉林省经济的快速发展带动能源消费需求的强势增长。从资源禀赋上看,吉林省油页岩储量占全国总储量的 54%。随着社会经济发展对能源资源的需求,以及国家矿产资源战略储备政策的调整,吉林省油页岩开发已在全球范围内寻求合作,ICP(地下转换工艺)开发技术具备 500~1500万 t石油的年生产能力,可以极大缓解吉林省社会经济发展过程中的能源瓶颈。

吉林省非金属矿产资源丰富,多种非金属矿产资源储量居全国第一位,但由于开发利用水平低,产业链过短,矿产品技术与资金附加值低,导致非金属矿产资源在产值上成为调入矿产品种。应通过科学规划,合理开发非金属矿产资源,满足经济社会发展需求,将资源优势转化为经济优势。

3.1.2 分配系数

吉林省矿业分配系数最高的行业为其它二产业和矿产资源加工业,说明矿产资源开采业在工业生产中的基础地位未发生改变(见表 2)。2002年 122部门分配系数的计算表明:吉林省矿业为运输指向为主的行业;金属矿产资源储量与生产能力不足;同时受优势矿种资源结构影响,非金属矿物制品业对矿产资源开采业产品消耗较大。

3.2 产业波及效应分析

表 2 吉林省 5 部门分配系数表

农业		矿产资源开采业		矿产资源加工业		其它二产业		三产业	
1997	2002	1997	2002	1997	2002	1997	2002	1997	2002
0.319	0.214	0.001	0.001	0.001	0.000	0.302	0.241	0.184	0.123
0.024	0.013	0.015	0.012	0.184	0.164	0.312	0.206	0.071	0.080
0.012	0.016	0.019	0.004	0.125	0.113	0.432	0.322	0.075	0.074
0.062	0.036	0.019	0.003	0.032	0.033	0.351	0.223	0.146	0.065
0.051	0.027	0.049	0.005	0.059	0.064	0.324	0.218	0.390	0.315

3.2.1 影响力系数

吉林省矿业的波及影响程度低于平均水平,而且在时间序列上有持续降低趋势。矿产资源加工业对社会经济拉动力较大,与吉林省老工业基地的社会经济特征相吻合(见表3)。非金属矿开采业在矿产资源开采业中影响力最大,尤其是与非金属矿物制品业间的波及影响力大,且在时间上拉动作用有加强趋势。作为吉林省优势矿种,非金属矿产资源开发利用能够带动相关产业的形成与发展,拉动吉林省社会经济发展。

表 3 吉林省 5 部门感应度系数和影响力系数

产业	感应度系数		影响力系数		
	1997	2002	1997	2002	2007
农业	1.14	1.08	0.75	0.75	0.67
矿产资源开采业	0.86	0.95	0.97	0.65	0.50
矿产资源加工业	0.91	0.99	1.18	1.65	2.02
其它二产业	0.89	0.84	1.15	1.11	1.05
三产业	1.20	1.14	0.96	0.85	0.75

3.2.2 感应度系数

吉林省能源矿产资源开采业感应度高于平均水平,并在时间上对国民经济推动力加大,表明受社会经济发展与能源需求一般规律影响^[9,10],能源矿产已成为社会经济发展的瓶颈因素。受资源储量不足以及产业结构调整等因素影响,金属矿产资源开采业感应度低于全省平均水平,而且呈减小趋势,对经济推动力减弱。

3.2.3 产出乘数

吉林省矿业 1997年、2002年和 2007年的产出乘数分别为 2.52、1.97和 2.54(见表4),与同期中国矿业产出乘数 2.22相当。受投入水平影响,矿业在吉林省国民经济系统中的产出带动能力不高;受能源瓶颈和吉林省优势矿种结构影响,能源矿产资源和非金属矿产资源开采业产出乘数相对较高。

3.2.4 收入乘数

作为国民经济中的基础产业,吉林省矿业收入乘数较低;但高于同期中国矿业平均水平(1.07)。

这与目前中国“四矿”问题(矿山、矿工、矿业和矿城)的突显是相呼应的。受资源禀赋影响,非金属矿产资源开采业收入乘数相对较高。

表 4 吉林省 5 部门产出、收入和劳动力乘数

产业	1997年		2002年		2007年	
	产出乘数	收入乘数	产出乘数	收入乘数	劳动力乘数	产出乘数
农业	1.95	1.12	2.27	1.16	1.15	3.38
矿产资源开采业	2.52	1.13	1.97	1.10	1.02	2.54
矿产资源加工业	3.08	1.17	5.01	1.45	1.07	10.19
其它二产业	2.99	1.16	3.38	1.23	1.07	5.31
三产业	2.50	1.15	2.60	1.18	1.07	3.78

3.2.5 劳动力乘数

矿业与农业同为劳动力密集型产业,但受开发投入水平过低以及老工业基地的“四矿”问题影响,吉林省矿业对劳动力的吸引能力不高;煤炭和非金属矿开采业在各矿产资源开采业中,劳动力乘数相对较高。

4 矿产资源开发与生态环境的响应分析

本文基于绿色投入产出表的构建,计算各部门产出乘数及价格系数,对比分析环境治理投入对矿业部门的产出及产品价格影响。结果表明:环境治理投入带来的产品需求导致各产业部门的产出带动能力增加,其中影响最大的是能源加工业、金属冶炼及压延业等重污染行业;从 1997年到 2002年的产出乘数变化来看,受社会经济发展总量的影响,环境治理投入导致的产出带动影响减弱,反映了环境治理投入与经济发展的不对称性(见表5)。

环境治理投入作为成本纳入核算体系后,各产业部门产品价格均有不同程度的增加。吉林省 1997年和 2002年各部门产品价格在考虑环境治理成本后的变化幅度分别在 0.34%~5.63%和 0.26%~4.30%,明显低于 1997~2002年间平均 8.88%的经济增长速度。其中影响最大的是金属冶炼及压延业、非金属矿物制品业和金属制品等重污染

行业;同时受经济总量增长的影响,环境治理投入对产品价格的影响作用减小。

表 5 吉林省环境治理投入对各部门产出乘数与价格系数的影响

产业	1997年		2002年		1997年		2002年	
	传统产出乘数	绿色产出乘数	传统产出乘数	绿色产出乘数	传统产出乘数	绿色产出乘数	传统产出乘数	绿色产出乘数
农业	1.91	1.92	1.45	1.45	0.89	0.90	1.15	1.15
矿产资源开采业	2.54	2.55	2.33	2.33	0.96	0.96	0.83	0.84
能源加工业	2.69	2.77	1.38	1.39	0.81	0.86	0.63	0.63
金属冶炼及压延业	3.12	3.17	2.03	2.03	0.90	0.93	1.02	1.04
金属制品业	3.68	3.72	3.84	3.85	0.93	0.95	0.93	0.94
非金属矿制品业	2.92	2.95	2.37	2.37	0.97	0.99	1.03	1.07
电力热力水	2.88	2.89	2.62	2.62	0.90	0.90	0.80	0.81
机械设备制造业	3.39	3.41	1.96	1.96	0.89	0.90	0.97	0.98
其它二产业	2.79	2.81	1.63	1.63	0.88	0.89	1.43	1.44
三产业	2.51	2.52	1.59	1.59	0.93	0.94	0.98	0.99

5 结 论

(1) 矿业是吉林省附加值率最高的行业,主要来自石油和天然气开采业;对矿产资源开发投入水平过低,导致矿产资源保障程度下降,成为影响社会经济持续发展的资源因素。

(2) 吉林省矿业在工业中的基础地位未变,且为运输指向的行业;能源矿产与非金属矿产开采业对国民经济推动力大;油页岩、非金属矿产资源等优势矿种的开发利用,能够缓解能源瓶颈问题并推动社会经济发展。

(3) 吉林省矿业的产出带动能力、居民收入带动能力以及劳动力吸引能力不高;非金属矿物制造业与矿产资源开采业间的产业关联较大,应加大非金属矿产资源的开发利用深度,延长产业链,提高非金属矿产品的资金与技术附加值,将资源优势转化为经济优势。

(4) 考虑环境治理成本的各产业产品价格变化幅度在 0.26% - 5.63%之间;受影响最大的是金属冶炼及压延业、非金属矿物制品业和金属制品等重污染行业;同时受经济总量增长的影响,环境治理投

入对产品价格升高的影响作用减小。

参考文献:

- [1] 周宏春. 中国矿产资源形势与对策研究 [M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [2] 郎一环, 周萍, 沈镭. 中国矿产资源节约利用潜力分析 [J]. 资源科学, 2005, 27(6): 23 ~ 27.
- [3] 杨璐. 论矿产资源的保护与综合利用 [J]. 中国矿业, 2004, (10): 1 ~ 4.
- [4] C Spörri, M Borsuk, I Peters. The economic impacts of river rehabilitation: A regional Input - Output analysis [J]. Ecological Economics, 2007, 62(2): 341 ~ 351.
- [5] Fatemeh Bazzazan, Peter WJ Batey. The development and empirical testing of extended input - output price models [J]. Economic Systems Research, 2003, 15(1): 69 ~ 73.
- [6] 雷明. 地区绿色投入产出核算 [J]. 统计研究, 2000, (5): 50 ~ 60.
- [7] 李景华. 用 RAS 方法修订投入产出表第一象限系数 [J]. 统计与决策, 2003, (8): 6.
- [8] 闫军印, 赵国杰. 区域社会经济可持续发展的矿产资源需求分析 [J]. 石家庄经济学院学报, 2006, 29(4): 421 ~ 429.
- [9] 沈镭, 何贤杰, 张新安, 等. 我国矿产资源安全战略研究 [J]. 矿业研究与开发, 2004, 24(5): 6 ~ 12.
- [10] 程叶青. 矿业区域矿产资源开发与经济持续发展研究 [J]. 资源科学, 2004, 26(6): 131 ~ 136.

中国(长沙)钻凿产业技术联盟正式成立

10月20日,在长沙市政府的引导下,由长沙市科技局、湖南有色重机牵头筹备的中国(长沙)钻凿产业技术联盟正式成立。联盟的宗旨是:加快相关技术、成果的产业化,整合及协调产业资源和社会资源,协助政府实现行业自律,提升成员在矿山机械领域的研发、制造水平,有序拓展市场,提高产业竞争水平,促进产业集群的形成,在短时期内形成钻凿机械产品的系列化,推动钻凿机械产业相关产品在中国及全球的应用及推广。联盟理事长由湖南有色重型机器有限责任公司副总经理王毅担任,副理事长单位有:湖南山河智能机械股份有限公司、中南大学机电学院。秘书长由湖南有色重型机器有限责任公司矿山机械事业部技术部姜超副部长担任。市科技局副局长长宁枫、技术成果与技术市场处处长范建凯和各联盟单位领导出席了联盟成立大会。

长沙市在采矿技术及采矿装备领域处于国内领先地位,集中了长沙矿山研究院(国家金属采矿工程技术研究中心)、长沙有色冶金设计研究院、长沙冶金设计研究院和中南大学等众多科研院所和高等院校,以及湖南有色重型机器有限责任公司、湖南山河智能机械股份有限公司、长沙黑金刚实业有限公司、长沙华信合金机电有限公司等钻具或材料生产企业,具有技术开发和产业化的强大优势。

区域资源环境与社会经济系统的非连续运动分析

——以吉林省为例

刘兆顺^{1, 2, 3}, 尚金城¹, 王冬艳², 姚文贵²

1. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 吉林 长春 130012; 2. 吉林大学地球科学学院, 吉林 长春 130061;

3. 北京师范大学环境学院, 北京 100875

摘要:针对区域资源环境与社会经济系统的非连续运动特征,基于尖点突变理论构建数学模型对区域资源环境与社会经济系统的突变过程及其响应机制进行定量描述与分析。吉林省社会经济进入快速发展时期,以吉林省作为研究区域进行实例分析,能够为区域社会经济与资源环境协调发展战略的制定与筛选提供技术手段和决策依据。研究结果表明,吉林省经济进入快速增长阶段;矿业的衰退将成为影响吉林省经济持续稳定发展的重要因素;吉林省资源消耗总量与万元产值消耗量的突变,标志着吉林省对钢铁和水泥等大宗固体矿产的消费进入快速增长阶段;受生态省建设战略影响,固体废物、SO₂、粉尘的排放总量与万元产值 SO₂ 及固体废弃物排放量发生根本性转变,吉林省生态环境进入新的发展时期。

关键词:吉林省;资源环境;社会经济;尖点突变模型;非连续运动

中图分类号: X820.3

文献标识码: B

文章编号: 1672-2175 (2007) 02-0579-05

资源环境与社会经济系统是一个复杂的巨系统,该系统的稳定性、鲁棒性及可控性决定了地球生命支持系统与人类社会经济可持续发展目标能否实现,因此对于资源环境与社会经济系统的研究成为自然与社

会科学领域学者共同关注的焦点^[1]。目前从已有的研究成果来看,如何对资源环境与社会经济进行量化仿真与推演研究还不十分成熟,对于该系统的非连续性运动这一系统基本特征的定量描述也不多见。本文尝试采用尖点突变理论及技术方法对该系统的非连续性运动特征进行定量描述与分析,为决策者制订科学的社会经济发展与资源环境开发战略提供技术手段与决策依据。

1 系统变量与分析模型

1.1 系统变量分析

资源环境与社会经济系统发展中的非连续方式的质变过程,可以应用突变理论建立相应的数学模型进行状态描述与分析^[2]。根据初等突变理论,涉及两个状态变量和四个控制变量以内的初等突变函数共有 7 类,只要确立了存在突变现象的系统的状态变量和控制变量数量,就可以选择相应的突变模式进行系统非连续运动分析。

资源开发与社会经济发展的一般规律表明,决定资源开发与社会经济发展的是因素可以分为技

术政策与资源投入^[3]。在应用突变理论分析社会经济发展规律时,如果将 P 作为技术政策控制变量, Q 作为资源投入控制变量,那么社会经济发展产生飞跃的条件就是技术政策能否实现资源的优化配置的变化。为验证上述控制变量的设定,利用系统特性转化突变模型分析方法^[4],对折迭突变、尖点突变和燕尾突变三种模式进行数据拟合,结果表明尖点突变模式的数据拟合程度最好。因此,本文选用包括一个状态变量与两个控制变量的尖点突变模式分析吉林省资源环境与社会经济系统的非连续运动特征。

1.2 分析方法

尖点突变模型的势函数通常表述为:

$$V(x) = \frac{1}{4}x^4 + \frac{1}{2}Px^2 + Qx$$

式中: x 为状态变量, P, Q 为控制变量。对 $V(x)$ 求导,得平衡曲面方程 M

$$M = V'(x) = x^3 + Px + Q \quad (1)$$

再次求导,得奇点集 S :

$$S = V''(x) = 3x^2 + P \quad (2)$$

公式 (1) (2) 求解,消去 x ,得分歧点集 B :

$$B = 4P^3 + 27Q^2 \quad (3)$$

基金项目: 国家 973 计划项目子课题 (2005CB724203); 吉林省环保局科技项目 (2005-03)

作者简介: 刘兆顺 (1972 -), 男, 讲师, 博士, 从事环境规划与评价研究。E-mail: zhaoshun@jlu.edu.cn

收稿日期: 2006-08-18

在分歧点集 B 中, P 称为分裂因子, Q 称为正则因子。当 $P > 0$ 时, P 、 Q 的连续变化引起 x 变化的轨迹是一条连续的光滑曲线, 称之为正则性态; 当 $P < 0$ 时, 平衡曲面 M 就发生分裂。从而会导致 x 变化的不连续性, 即有可能发生突变^[5]。

$P < 0$, 只表明突变有可能发生, 确定突变是否一定发生, 还应对系统进行稳定性分析, 而稳定性分析的关键是求出控制参数的临界点。势函数 $V(x)$ 的临界点是平衡曲面 $M = 0$ 时的解, 其实根的数目可由分歧点集 B 作为判别式, 即:

$$\Delta = 4P^3 + 27Q^2 \quad (4)$$

当 $\Delta > 0$ 时, 平衡曲面 M 有一个实根, 表示控制变量 P 、 Q 的连续变化只能引起状态变量 x 的平稳变化, $V(x)$ 为稳定平衡。

当 $\Delta = 0$ 时, 平衡曲面 M 有两个相同的根 ($P \neq 0, Q \neq 0$ 时) 或三个相同的根 ($P = Q = 0$ 时)。当 $P = Q = 0$, 状态变量 x 处在尖角点上, $V(x)$ 为临界平衡。

当 $\Delta < 0$ 时, 方程有三个实根, P 、 Q 均处在分歧点集内, 表示相点由曲面回折形成的中叶跳到另一页上, $V(x)$ 为不稳定平衡, 即引起了状态的突跳。

因此, 只有在 $P < 0$, 同时 $\Delta < 0$ 时突变才能发生。而 Δ 是否小于 0, 又取决于 P 、 Q 两变量间的相互作用关系。

要建立尖点突变模型分析资源开发与社会经济发展规律, 需要将技术政策变量 P 与资源投入变量 Q 进行量化, 而将技术政策变量 P 进行量化是十分困难的。为此通过考察尖点突变势函数的形式, 考虑建立资源开发与社会经济发展总量 (y) 与时间 (t) 的多项式回归模型:

$$y = a_0 + a_1t + a_2t^2 + a_3t^3 + a_4t^4 \quad (5)$$

令

$$A = [a_0, a_1, a_2, a_3, a_4]^T$$

$$Y = [y_1, y_2, y_3, y_4]^T$$

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 4 & 8 & 16 \\ 1 & 3 & 9 & 27 & 81 \\ 1 & 4 & 16 & 64 & 256 \\ 1 & 5 & 25 & 125 & 625 \end{bmatrix}$$

则 $Y = TA$

为消去 (5) 式中的三次项, 可设 $t = x - q$

($q = \frac{a_3}{4a_4}$), 将 (5) 式转化为:

$$F = b_4x^4 + b_2x^2 + b_1x + b_0 \quad (6)$$

其中:

$$\begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ b_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q^4 & -q^3 & q^2 & -q & 1 \\ -4q^3 & 3q^2 & -2q & 1 & 0 \\ 6q^2 & -3q & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} [a^4 \ a^3 \ a^2 \ a^1 \ a^0]^T$$

将 (6) 式进一步整理为:

$$V(x) = \frac{1}{4}x^4 + \frac{1}{2}Px^2 + Qx + C \quad (7)$$

其中: $V(x) = \frac{F}{4b_4}, P = \frac{2b_2}{4b_4}, Q = \frac{b_1}{4b_4}, C = \frac{b_0}{4b_4}$

(7) 式即为尖点突变模型的势函数。

因此, 在对资源开发与社会经济发展的多项式回归模型经过变换后可以得到突变模型, 这样就可以应用突变理论对资源开发与社会经济发展规律进行分析。

根据突变理论, 要确定资源环境与社会经济系统突变区域的边界, 只须令:

$$\Delta = (P/2)^2 + (Q/3)^3 = 0, \text{ 即 } (P/2)^2 = -(Q/3)^3.$$

满足上述条件的时间点都在尖点区域的边界上^[2, 6]。

但如前所述, 技术政策变量 P 的量化是十分困难的。因此要想完全预测资源开发与社会经济系统突变的时间边界也是十分困难的。因此, 本文仅对描述资源开发与社会经济系统的若干指标是否发生突变以及发生突变的原因进行定量与定性分析。

2 数据的来源与处理

2.1 数据来源

根据尖点突变模型, 对吉林省经济总量 (GDP、工业总产值、人均 GDP), 经济结构 (农业产值比重、工业产值比重、矿业产值比重、矿业占工业产值比重), 污染总量 (废水排放总量、SO₂ 排放总量、粉尘排放总量、固体废弃物排放总量), 资源环境绩效 (能源消费总量、万元产值能耗、万元产值钢铁消费、万元产值水泥消费、万元产值废水排放量、万元产值 SO₂ 排放量、万元产值粉尘排放量、万元产值固体废弃物排放量) 等进行分析, 研究一定时期内吉林省社会经济发展与资源环境保护的状态与趋势。为了更加全面地反映吉林省社会经济和资源环境的发展状态, 本文选择全国作为背景进行对比。

上述指标数据取值时间范围为 1992—2001 年, 数据来源主要有: 《吉林省统计年鉴》、《吉林省环境

表 1 社会经济与资源环境发展突变分析结果
Table 1 the mutation of society-economy and resource-environment in Jilin province

		吉林省			中国		
指标		p	A		p	A	
经济总量	GDP	-124	2 945 517	突变	-23	407 141	未突变
	工业产值	-11	998 704	未突变	-502	-425 606 420	突变
	人均 GDP	-121	3 569 380	突变	-25	315 152	未突变
	矿业产值	-9	6 873	未突变	-61	1 281 950	未突变
经济结构	农业产值比重	-2 104	359 264 312	未突变	-2 104	359 264 312	未突变
	矿业产值比重	-17	-8 512	突变	-98	-3 666 549	突变
	矿业占工业产值比重	-17	-7 212	突变	-87	-2 639 670	突变
	工业产值比重	-22	15 554	未突变	-44	-157 985	突变
污染总量	废水排放总量	-84	2 630 674	未突变	-24	140 190	未突变
	SO ₂ 排放总量	-98	-1 792 973	突变	-22	-39 848	突变
	粉尘排放总量	-23	-50 668	突变	-23	-7 876	突变
	固体废物排放总量	-216	-16 394 787	突变	-23	-756	突变
资源绩效	能源消耗总量	2	32	未突变	-26	-41 368	突变
	万元产值能耗	331	1 730 526 735	未突变	-58	-39 038	突变
	万元产值钢铁消费	-16	-12 030	突变	-50	-378 306	突变
	万元产值水泥消费	-18	-5 692	突变	-49	-295 632	突变
环境绩效	万元产值废水排放量	-34	279 106	未突变	-30	-1 324	突变
	万元产值 SO ₂ 排放量	-170	-16 344 500	突变	-35	45 491	未突变
	万元产值粉尘排放量	-35	119 130	未突变	-72	194 581	未突变
	万元产值固废排放量	-40	-255 416	突变	-26	-11 811	突变

统计数据》、《吉林省国矿产资源年报》、《中国统计年鉴》、《中国环境统计公报》、《中国环境状况公报》、《中国国土资源公报》和《中国矿产资源年报》等。

2.2 数据处理

利用 SPSS 进行数据分析, 建立各指标的多项式回归模型, 其中在模型的建立过程中, 利用 MATLAB 软件进行辅助计算, 取得尖点突变模型的势函数参数。从模型计算的结果看, 各指标数据拟合程度较好, F 检验和 t 检验显著。

3 结果与分析

吉林省和中国社会经济与资源环境发展的尖点突变分析计算结果见表 1。

从经济总量指标上看, 吉林省 GDP 增长出现突变, 标志着吉林省经济进入快速增长阶段; 而中国经济仍旧持续增长; 吉林省人口增长低于全国平均水平, 更远低吉林省 GDP 增长速度, 因此吉林省 GDP 的突变, 带动了吉林省人均 GDP 增长的突变; 而中国人口、经济的持续增长决定了人均 GDP 的持续增长; 吉林省作为中国工业老基地, 工业基础好, 工业化水平起点高, 工业产值持续稳定增长; 中国工业产值的突变说明中国工业发展由轻工业向重工业的过渡; 矿业的发展在吉林省和中国均未

发生突变, 呈持续增长状态。

从经济结构指标上看, 农业在吉林省和中国的产值比重均未发生突变, 农业在国民经济中的基础地位没有发生变化; 受工业产值变化的影响, 吉林省和中国工业产值比重的变化与工业产值是一致的; 矿业产值在国民经济中的比重及在工业中的比重在吉林省和中国均发生突变, 但需要注意的是, 两种突变性质存在差异, 而中国矿业的突变是由于矿业与工业的产业关联性决定的, 即中国工业的突变带动了中国的矿业突变。吉林省矿业的突变, 是由吉林省矿业的衰退造成的。目前吉林省 66% 以上的一次能源, 80% 以上的工业原料、大部分农业生产资源和 1/3 的饮用水都取自矿产资源, 每年投入国民经济运转的固体矿产达 7 256 万 t, 石油和天然气 407 万 t (油气当量), 因此矿业的衰退将影响吉林省社会经济持续稳定发展所必要的资源保障。

从污染总量上看, 受工业废水治理程度加强和生活污水排放总量增加的联合影响, 废水排放总量在吉林省和中国均未发生突变, 总量持续增加, 这也导致了水环境的持续恶化^[7]; 随着生态省建设战略的实施, 吉林省对固体废物、SO₂、粉尘等污染排放治理力度的加强, 吉林省固体废物、SO₂、

粉尘的排放量发生了突变,大气污染与固体废弃物污染得到改善。

从资源绩效指标上看,中国能耗总量的突变是与社会经济发展规律相对应的,中国已进入快速工业化阶段,能源的消费速度与经济发展速度同步,甚至出现能源消费增速大于经济发展增速,能源在未来一段时期内将成为决定中国经济尤其是工业发展地首要因素。吉林省能耗总量及万元产值能耗均未产生突变。由于能源结构的调整与利用技术的提高,吉林省万元产值能耗 1994 年以来呈持续下降态势,但仍高于全国平均水平。在今后一段时期内,受社会经济快速发展影响,吉林省能耗总量将持续增长。万元产值的钢铁和水泥消费量的突变,是由国民经济的快速发展所带来的产业升级决定得,标志着吉林省和中国对钢铁和泥等大宗固体矿产的消费进入快速增长阶段。

从环境绩效指标上看,吉林省万元产值废水排放量持续降低,但并未出现突变;中国经济的快速发展以及水环境质量的总体恶化,促使中国政府对水污染的控制力度加大,因此中国万元产值废水排放量出现突变。受生态省建设及大气污染治理力度加大的影响,吉林省万元产值 SO₂ 及固体废弃物排放量均出现突变,而万元产值粉尘排放量未出现突变且高于中国平均水平。中国万元产值 SO₂ 和值粉尘排放量均未发生突变,大气污染仍将是影响中国生态环境的主要因素。

4 结论

(1) 吉林省经济进入快速增长阶段; GDP 的突变带动了吉林省人均 GDP 增长的突变;工业与矿业产值持续稳定增长;矿业产值比重的突变是受吉林省矿业的衰退所致。

(2) 吉林省能耗总量持续增长,而万元产值能耗持续下降,但仍高于全国平均水平。万元产值的钢铁和水泥消费量的突变,标志着吉林省对钢铁和泥等大宗固体矿产的消费进入快速增长阶段。

(3) 吉林省废水排放总量、万元产值废水排放量持续增加,同时受社会经济与环境政策影响,吉

林省固体废物、SO₂、粉尘的排放总量与万元产值 SO₂ 及固体废弃物排放量均出现突变,环境绩效进入新的发展时期。

参考文献:

- [1] 高长波,陈新庚,韦朝海,等. 区域生态安全: 概念及评价理论基础[J]. 生态环境, 2006, 15(1): 169-174.
GAO Changbo, CHEN Xingeng, WEI Caohai et al. Regional ecological security: The concept and assessment theoretical basis[J]. Ecology and Environment, 2006, 15(1): 169-174.
- [2] 都家富. 突变理论在经济领域的应用[M]. 成都: 电子科技大学出版社, 1991: 127-130.
DU Xingfu. The application of catastrophe theory to economic realm[M]. Chengdu: University of electronic science and technology Press, 1991: 127-130.
- [3] 王家枢,张新安,张小枫. 矿产资源与国家安全[M]. 北京: 地质出版社, 2000:18-24.
WANG Jiashu, ZHANG Xingan, ZHANG Xiaofeng. Mineral resources and national security[M]. Beijing: Geology Press, 2000: 18-24.
- [4] 姜璐,于连宇. 初等突变理论在社会科学中的应用[J]. 系统工程理论与实践, 2002,10:113-117.
JIANG Lu, YU Lianyu. The application of primary catastrophe theory to social science[J]. Systems Engineering Theory and Practice. 2002, 10: 113-117.
- [5] 凌复华. 突变理论及其应用[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1987: 119-129.
LING Fuhua. Theory and application of mutation[M]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University Press, 1987: 119-129.
- [6] 汤洁,林年丰,黄奕龙. 尖点突变模型在研究洪水引起环境突变中的应用[J]. 环境科学学报, 2002, 22(4): 443-447.
Tang Jie, LIN Nianfeng, HUANG Yilong. The application of needle mutation model to the study of environmental mutation for flood[J]. Journal of Environmental Sciences, 2002, 22(4): 443-447.
- [7] 黄虹,邹长伟,陈新庚. 中国非点源污染研究评述[J]. 生态环境, 2004, 13(2): 255-257.
HUANG Hong, ZOU Changwei, CHENG Xingeng. Review of the researches on non-point source pollution in China[J]. Ecology and Environment, 2004, 13(2): 255-257.

Study on the discontinuous motion of regional resource-environment and society-economy system: A case study of Jilin province

LIU Zhaoshun^{1, 2, 3}, SHANG Jincheng¹, WANG Dongyan³, YAO Wengui²

1. Northeast Institute of Geography and Agriculture Ecology, CAS, Changchun 130012, China;

2. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China;

3. School of environment, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

Abstract: The mathematic model was set up for the description of discontinuous motion of regional resource-environment and society-economy system based on needle mutation theory, and the procedure and response mechanism was researched by taken Jilin province as a case. The results showed that the economy of Jilin province has been in the stage of rapidly developing, and the sustainable development of social economy would be effected by the declined of mining industry. The mutation of total resource consumption and resource consumption per ten thousand product values showed that the consumption of solid mineral resources has been in the stage of rapidly increasing in Jilin province. Total discharge volume of solid waste, SO₂, powder dust, and the discharge volume per ten thousand product values of solid waste, SO₂ has been mutation. The eco-environment system of Jilin province has been in a new stage by implementing the strategy of eco-province. This study provides technical measure and scientific basis for social economy and resource-environment sustains development.

Key words: Jilin province; resource-environment; society-economy; needle mutation model; discontinuous motion

资源 - 环境 - 经济系统协调发展策略研究*

——以山东省为例

冯久田¹ 尹建中²

(1. 山东鲁北化工股份有限公司, 山东 无棣 251909; 2. 山东师范大学, 山东 济南 250014)

摘要 缓解资源与环境问题对经济社会发展的瓶颈制约是关系全局的战略课题, 本文从现代化建设的实际出发, 分析了山东省经济、资源、环境协调发展的主要问题, 提出了 21 世纪山东省经济、资源、环境协调发展的目标任务和政策措施。

关键词 山东; 经济; 资源; 环境; 协调发展

中图分类号 X24 **文献标识码** A **文章编号** 1002 - 2104(2005)03 - 0135 - 05

改革开放以来, 山东省国民经济迅速发展, 经济实力显著增强, 经济总量和规模跃居全国前列。在大力发展经济的同时, 认真贯彻了环境保护基本国策, 不断加强资源、环境管理, 在资源保护和污染防治方面取得了很大成绩。但由于长期沿袭高投入、高消耗、高速度、低效益的粗放型经济增长方式, 加上人口基数大, 造成资源过度开发、生态环境恶化, 经济建设与资源、环境之间的矛盾日益突出。

1 资源 - 环境 - 经济系统协调发展的主要问题

1.1 经济增长粗放, 经济效益不高

改革开放以来, 山东省经济发展处于快速增长时期。1980~2000 年, 全省国内生产总值以年均 11.55% 的速度增长, GDP 由 292.13 亿元增加到 8542.42 亿元, 人均 GDP 由 400.40 元增加到 9494.24 元。按可比价格计算, 1993 年全省经济总量已实现了第二个翻番。在经济总量快速增长的同时, 三次产业结构由 1980 年的 36:50:14 升级为 2000 年的 15:50:35, 实现了从“二一三”向“二一三”的历史性转变。但是, 目前传统粗放型经济增长仍占主导地位, 尚未走出“高投入、低产出、高速度、低效益”的老路, 资源与环境压力大, 经济社会发展受到严重制约。

工业生产对自然资源的依赖性强, 生态环境面临巨大的压力。从工业结构看, 2000 年占工业总产值比重最大的五个产业部门是纺织业、食品加工业、非金属矿物制品业、化工原料制造业、造纸及纸制品业, 其产值总和占工业总

产值的 1/3 以上, 这些都是资源依赖性强、环境污染贡献率较大的产业。目前, 山东省工业能源利用效率仅为 30% 左右, 工业用水重复利用率只有 50%, 能源、钢材、木材、水泥的消耗强度分别为发达国家的 4~6 倍、6~9 倍、5~10 倍和 10~30 倍, 矿山“三率”普遍偏低。由于资源利用效率低, 大量的资源转化为危害环境的“三废”物质, 加剧了工业发展与资源、环境的矛盾。

农业资源利用效率偏低, 经营方式粗放。山东是农业大省, 但农业浇灌方式落后, 水资源利用率只有 45%。农业生产靠过量使用化肥、农药、地膜来增加产量, 1990~2000 年全省粮食总产量以 1.15% 的年增长速度缓慢递增, 但化肥使用量、农药使用量、地膜覆盖面积却分别以 5.77%、12.5%、12.67% 的年递增率快速增长。化肥、农药、地膜的大量使用, 虽然在短期内使粮食产量有所增加, 但土壤却日渐板结, 肥力逐渐降低, 水体遭受污染, 农作物质量下降, 种植业投入产出效益不断下降。

GDP 增长较快, 但经济效益增长乏力。全省地方财政收入占 GDP 的比重仅为 5% 左右, 明显低于北京、上海和广东, 甚至低于全国平均水平, 人均 GDP 和全员劳动生产率分别列全国第 9 位。

经济发展的地区差异: 2000 年, 济南、青岛、淄博、烟台、潍坊、威海、东营、日照等 8 市人均 GDP 为 14002.54 元, 枣庄、泰安、莱芜、济宁、临沂、德州、聊城、滨州、菏泽等 9 市人均 GDP 仅为 5996.96 元, 东西部相差 1.33 倍。从产业结构上看, 东部地区为“二一三”格局, 第二产业比重约

收稿日期: 2004 - 11 - 06

作者简介: 冯久田, 高级工程师, 研究方向为生态工业和循环经济。

* 本文为山东省软科学项目“山东省经济资源环境协调发展策略研究”的成果之一。

为 50% 左右, 占绝对优势; 西部地区的产业结构虽然也呈现出“二一三”格局, 但第一产业比重相对较大, 产业结构较为落后。

1.2 自然资源相对短缺, 保障程度下降

总体来讲, 山东省自然资源种类比较齐全, 总量较大, 但人均占有量不足, 水、土地等重要资源严重短缺, 资源结构不合理, 后备资源不足, 自然资源开发利用过程中浪费、破坏较为严重, 资源保障程度下降。

水资源: 山东省水资源总量多年平均为 310.24 亿 m^3 , 仅占全国总量的 1.1%, 人均占有量不足全国平均水平的 1/6, 居国内第 25 位, 是水资源特贫省份之一。占全省总用水量 75% 的农业灌溉用水, 水利用系数仅为 0.45, 每亩用水在 350 m^3 左右, 造成水资源的严重浪费。水资源污染呈加重趋势, 全省近一半的水资源受到严重污染, 已基本失去利用价值。目前全省年缺水 50 亿 ~ 100 亿 m^3 , 水资源短缺成为制约经济社会发展的“瓶颈”。

土地资源: 20 世纪 80 年代以来, 随着工业化和城镇化发展, 山东省城镇及工业用地、交通用地日趋增加, 大量耕地被占用, 全省耕地面积由 1980 年的 724.14 万 hm^2 降至 2000 年的 660.70 万 hm^2 , 年均减少 3.17 万 hm^2 , 人均耕地面积仅为 0.0734 hm^2 , 低于全国平均水平, 今后建设用地增量仍将占用大量耕地, 人多地少的矛盾将进一步加剧。山东省土地资源开发力度大, 土地利用率已达 87% 以上, 垦殖率达 49%, 高于全国平均水平, 土地后备资源匮乏。

矿产资源: 山东省矿产资源总量比较丰富, 到 2000 年底已探明储量居全国前 10 位的矿产有 58 种, 全省矿产资源潜在总值为 4.51 万亿元, 为全国矿产资源潜在总值的 4.98%, 但人均只有 5.02 万元, 仅为全国平均水平的 65%, 属人均矿产资源偏少省份。矿产资源开发利用过程中浪费、破坏现象较为严重, 采矿损失率较高, 伴生、共生矿产综合开发利用水平低, 同时, 地质环境污染及地质灾害呈加重趋势。随着工业化进程的加快, 山东省将处于矿产需求增长最快的时期, 根据山东省矿产资源论证成果, 到 2010 年 45 种主要矿产能满足需求的仅有 8 种, 不能保证或有一定缺口的矿产有 27 种, 短缺矿产有 10 种。

海洋资源: 山东省海洋资源丰富, 大陆海岸线总长度达 3000 多 km, 约占全国海岸线总长的 1/6, 居国内第 3 位, 沿海滩涂资源、生物资源和海洋矿产资源十分丰富。但是, 由于在海洋资源开发中重用轻养、掠夺式经营, 造成海洋资源质量下降、生物种类和数量锐减、生态功能衰退、环境污染严重等问题。据省近岸海域环境综合调查, 距岸 3000m 以内的近岸海域一类海水仅占 7.7%, 超过三类水质标准的已占 29.6%, 尤以临海排污河口附近海域污染最为严重。

森林资源: 2000 年, 全省林地面积为 278 万 hm^2 , 森林覆盖率为 17.8%, 人均林木蓄积量为 0.7 m^3 , 仅为全国人均水平的 8%, 在全国处于下游水平, 且林地质量差, 单位面积蓄积量仅为全国平均水平的 1/6。“九五”期间全省共造林 90 万 hm^2 , 比“八五”减少 40%, 全省人均林木蓄积量增长较慢, 森林资源严重短缺, 与经济建设及生态需求不相适应。据林业部门预测, 到 2010 年全省年需木材量为 2000 万 m^3 ~ 3000 万 m^3 , 自产木材只能满足 800 万 m^3 , 缺口达 60% 以上。

资源问题的地区差异: 由于自然条件的差别和区域经济发展不平衡, 在资源禀赋和利用方面也存在较大差异。从耕地占有量看, 鲁西和鲁北地区人均耕地面积较多, 一般大于 900 hm^2 /万人; 鲁中地区人均耕地面积最少, 一般少于 600 hm^2 /万人。从水资源分布格局看, 威海、临沂等市人均水资源量在 500 m^3 以上, 相对丰富; 德州、东营、滨州、聊城、菏泽、济宁等市一般在 300 m^3 以下, 较为贫乏。从水资源有效利用方面来看, 济南、青岛、淄博、烟台、威海等 5 市, 单位 GDP 耗水量在 250 m^3 /万元以下, 属全省较好水平; 德州、滨州、聊城、菏泽等 4 市则大于 650 m^3 /万元, 居全省下游; 其它城市在 250 ~ 550 m^3 /万元之间, 属中等水平。

1.3 环境污染重, 生态破坏加剧

主要污染物排放量: 2000 年, 全省工业废水排放总量为 11.03 亿 t, 工业废气排放总量为 12178.86 亿标 m^3 ; 二氧化硫、工业烟尘、工业粉尘排放量分别为 146.09 万 t、54.31 万 t、505.97 万 t, 分别居全国第 1 位、第 7 位和第 1 位, 主要污染物产生量大, 排放总量居高不下。

地面水污染: 2000 年, 省控 20 条河流除源头河段和部分出境断面外, 大部分河段水质超过国家地表水环境质量类标准, 其中符合 I 类以上水质标准的仅占 17%, 超过 II 类水质标准的占 62%, 地面水污染严重, 加剧了水资源的短缺。

大气污染: 2000 年, 全省 17 个主要城市的空气质量超过国家二级标准的有 12 个, 超过国家三级标准的有 3 个, 3 个城市有酸雨检出, 城市大气污染严重, 对城市发展和居民健康造成严重的危害。

固体废弃物污染: 2000 年, 全省工业固体废弃物产生量为 5407 万 t, 累积堆存量已达 3.07 亿 t, 占地 23 km^2 , 城市生活垃圾大多没有得到有效处理, 堆存于城郊, 形成垃圾围城之势, 固体废弃物产生量不断增加, 污染不断加剧。

生态环境问题: 目前全省有 3 万 km^2 的水土流失面积需要治理, 因长期超采地下水造成的地下水漏斗区已达 1.8 万 km^2 , 莱州湾地区海水入侵面积已达 1100 多 km^2 。由于生态失调, 环境调节能力差, 导致自然灾害频繁发生, 每年造成的直接经济损失高达 100 ~ 200 亿元, 生态环境

问题十分突出。

环境问题的地区差异:从工业废水污染看,2000年淄博市、枣庄市工业废水排放密度为 $15\ 000\text{t}/\text{km}^2$ 左右,为重污染区;聊城、威海、临沂、菏泽等4市在 $5\ 000\text{t}/\text{km}^2$ 以下,为较轻污染区;其它城市在 $5\ 000\sim 10\ 000\text{t}/\text{km}^2$ 之间,为中等污染区。从工业废气污染看,莱芜市单位GDP的 SO_2 和烟尘排放量分别为 $592.29\text{t}/\text{亿元}$ 和 $278.19\text{t}/\text{亿元}$,分别为全省平均水平的1.71和4.38倍,居各市之首;淄博市、枣庄市分别为 $350\text{t}/\text{亿元}$ 和 $100\text{t}/\text{亿元}$ 左右,居中等;其它城市则分别在 $300\text{t}/\text{亿元}$ 和 $100\text{t}/\text{亿元}$ 以下。

2 资源 - 环境 - 经济系统协调发展的目标任务

从国内外的形势来看,21世纪初我们处于社会主义现代化建设的战略机遇期,目前山东省已迈入工业化中期阶段,完成了现代化建设的前两步战略目标,预计到2020年全省国内生产总值将达到37 500亿元,人均国内生产总值将达到3.9万元,实现全面建设小康社会的目标,并提前基本实现现代化。同时,21世纪初又是山东省资源、环境压力最大的历史时期,目前全省主要自然资源的人均占有量不足,环境污染和生态破坏加重的趋势尚未得到有效遏制,传统粗放型经济增长方式还没有根本转变。面对发展的战略机遇和严峻的资源、环境压力,要实现建设“大而强、富而美”社会主义新山东的发展目标,就必须转变传统落后的发展模式,确立可持续发展的经济、资源、环境协调发展方针,以较小的资源、环境代价获得较大的发展效益和发展空间,这是关系山东省今后长期发展的重大战略性课题。

推进经济建设与资源、环境协调发展是一项跨部门、跨行业、跨地区的战略工程,必须树立全面、协调、可持续发展的科学发展观,按照“统筹城乡发展、统筹区域发展、统筹经济社会发展、统筹人与自然和谐发展、统筹国内发展和对外开放”的要求,深化改革,加快建设与发展。为此,我们在调查研究的基础上,提出关于经济、资源、环境协调发展目标任务的建议:

正确把握新时期国内外经济社会发展与资源环境问题的态势和规律,立足于山东省现代化建设的实际,贯彻全面、协调、可持续发展的科学发展观,充分考虑资源与环境的承载能力,以优化资源利用方式为核心,以提高资源生产率和降低废弃物排放为目标,以技术创新和制度创新为动力,综合运用经济、法律、行政等手段,推进经济结构的战略性调整,加快新型工业化和中国特色城镇化的进程,大力发展循环经济,提高国民经济的运行质量和效益,实现经济结构的优化升级和增长方式的根本转变,同时,加强

资源可持续利用和环境保护的机制创新,合理开发利用与保护自然资源,减轻环境污染,探索建立高效运行的经济、资源、环境协调发展调控管理体系,有效遏制自然资源无序、无度、无偿使用和生态环境继续恶化的趋势,形成资源消耗少、环境污染轻、运行质量高、经济效益好的协调发展格局,为山东向经济强省跨越发展、实现全面建设小康社会目标、提前进入现代化奠定基础。

3 资源 - 环境 - 经济系统协调发展的政策措施

3.1 优化经济结构,促进经济增长方式向集约型转变

农业调整方向。合理调整农业生产布局,以优化品种、提高质量、增加效益为中心,大力调整农产品结构,加快发展畜牧业、水产业,提高农产品的深加工水平和效益。同时,大力推广节水灌溉技术,合理使用农药、化肥、地膜,加强农业废弃物资源化利用,促使农业增长方式向低耗、少污、高效方向转移。

工业调整方向。加快工业结构调整,大力发展资源消耗少、环境污染轻、产品附加值高的电子信息、生物工程、新材料和海洋等高新技术产业,形成工业发展的新的增长点。同时,采用高新技术和先进适用技术加快传统产业改造,紧紧围绕增加品种、改善质量、节能降耗、防治污染和提高劳动生产率,在传统工业行业中重点改造一批骨干企业,提高工艺技术和装备水平。

服务业调整方向。大力发展信息、金融、会计、咨询、法律服务等现代服务业,提高技术含量和服务水平,带动服务业整体水平的提高。积极发展文化产业和社区服务产业,引导教育培训、旅游、文化娱乐、体育健身、卫生保健等产业发展。运用现代经营方式和服务技术改造传统服务业,推行连锁经营、物流配送、多式联运、网上销售等组织形式和服务形式,提高服务质量和效益。

3.2 优化资源配置,可持续利用自然资源

合理开发利用水资源,有效缓解水资源短缺的瓶颈制约。一是建立节水型经济社会。在农业推广防渗和低压管输水技术,逐步推广粮田喷灌、果树微灌、蔬菜滴灌为主的节水灌溉技术,提高农业用水的有效利用系数;优化调整工业结构和布局,发展低耗水工业,限制高耗水工业,严格以水定产、以水定点、以水定规模,提高工业用水重复利用率,降低万元产值耗水量;适当提高水价,增强人们的节水意识,实行集中供水,重视管网节水,推广使用中水,在沿海城镇大力推广海水利用技术。二是充分拦蓄地表水。对现有水库和灌区进行除险加固、更新和配套改造,新建、扩建大中型水库,兴建小型水库和塘坝,增加供水量。三是合理调整地下水开采布局。地下水超采地区要严格控

制开采量,合理调整井点布局和取水层,使漏斗区逐步得到恢复。对已发生严重地质灾害、地下水持续下降的永久漏斗区,列为禁止开采区。四是实施跨流域调水。实施省内西水东调工程,引蓄并重合理利用黄河水,尽快建设南水北调工程,最终形成横贯齐鲁的调、供水格局。五是加强非常规水源的开发利用。加大人工增雨的力度,加强污染水体的综合整治和利用,加快矿坑水和地下空间开发排水的综合利用,扩大海水淡化利用规模,充分利用微咸水资源。

在城市化进程中集约利用土地资源,提高土地利用效益。一是科学地规划城市化进程,充分考虑资源、环境的承载能力,使城镇建设、经济建设、环境建设同步规划、同步实施、同步发展。二是深化土地使用权制度改革,实行城市土地资产化管理,使土地作为生产资料在市场作用下合理流动,以利于优化土地资源,盘活存量资产,提高土地利用效益。三是充分挖掘城镇建设用地的潜力,积极组织实施旧城改造、土地功能置换、企业土地资产重组等,逐步对城镇中闲置土地、低效利用土地进行深度开发利用。四是实行集中型工业化和城镇化模式,使城镇建设规划与二、三产业布局有机结合起来,降低乡镇工业和城镇化的土地占用量。五是按照经济发展规律,科学地合村并镇,合理调整城镇发展方向,节约居住用地,挖掘耕地潜力。

充分利用国内、国外两种资源、两个市场,保证能源、矿产的优化配置和有效供应。一是建立国外优质能源供应渠道。应克服省内资源条件的限制,不失时机地向世界能源主流靠拢,采取有效措施介入世界能源共享体系,使进口石油、天然气成为山东能源供应的重要渠道。二是建立省外、国外矿产资源供应基地。抓住国内、国际矿产资源市场不断扩大的有利时机,扩大富铁矿、铜矿、钾矿、铝矿等矿产的购进,弥补紧缺矿产的供应缺口。三是发展以进口矿物原料为主的临海加工产业群。充分发挥我省港口众多的优势,在沿海城市积极构建“两头在外”的钢铁、化工、造船等临海工业,推进经济资源优化配置的国际化,拓展发展空间。四是积极开展跨国经营。以我省的优势产业为主、以生产企业为主、以投向发展中国家为主,加快培育自己的跨国公司,利用国际资源实现跨国经营。

开发与保护并重,探索海洋资源可持续利用的新路子。一是加强海洋国土意识和海洋环境意识的宣传教育,引导人们自觉地投入到适度开发海洋资源、珍惜保护海洋环境的行动中来。二是实行依法管海、治海。建立配套的海洋法规体系和海洋资源有偿使用制度,严格实行海洋捕捞许可证制度和休渔制度,使海洋开发利用无序、无度、无偿的状况得到根本转变。三是优化海洋产业结构。大力

促进传统海洋产业的技术升级,加快培育新兴海洋产业,积极发展海上交通运输、滨海旅游、海洋技术服务等第三产业,使海洋产业结构基本实现合理化。四是加强海洋科学技术研究。重点研究开发养殖新品种的引进、培育与繁殖技术,水产品加工及废弃物综合利用技术,海洋保健食品、海洋药物开发技术,海洋精细化工产品开发及三废处理技术,海洋清洁能源开发利用技术,海水综合利用与淡化技术等,为海洋资源可持续利用提供技术支持。五是实施海洋生态环境保护计划。以陆源防治和入海污染物总量控制为重点,搞好近岸海域和河流入海口的环境保护,着重抓好黄河、小清河和莱州湾、胶州湾的污染防治。完善海上环境污染事故应急处理系统,加强对海洋污染事件的监督与查处。

实行林业分类经营,推进林业产业化。按照森林用途和生产经营目的地划分为公益林和商业林,采取不同的投入机制和经营方针。公益林包括水源涵养林、水土保持林、农田防护林、自然保护森林等,以公益需要为主,列为公益事业,由各级政府通过财政统筹建设资金,组织全社会力量实施建设和管理。商业林以产业政策为指导,按照市场需求组织生产。为此,应按照林业分类经营方针制定林业发展规划,以法规文件的形式保证其连续实施。坚持以市场为导向,合理调整商业林布局,围绕木材、果品、花卉等林业主导产业,大力推行贸工林、产加销一体化经营,通过参股、控股等多种形式组建大型企业集团,提高林业产业化水平,培植林业经济增长点。

3.3 深化污染防治措施,加快生态建设

加强重点流域水环境污染综合防治。重点治理“三河、两湖”水环境,使南四湖、沂沭河达到国家规定的水质标准,小清河、东平湖达到省综合防治规划确定的水质标准,徒骇马颊河基本恢复饮用水功能。一是进一步完善和实施流域环境综合防治规划。制定流域污染物排放总量控制计划和削减计划,合理安排重点污染防治工程。二是调整优化流域产业结构和工业布局。严禁新建能耗物耗高、污染重的企业,对现有污染重、治理难、效益差、规模小的企业依法予以关停并转。三是实施流域重点污染行业改造工程。对严重污染水环境的造纸、酿造行业实施技改工程,5万t以下的造纸企业应逐步停止草浆生产线,建设一批15万t以上规模的大型造纸生产线和碱回收配套工程,建设一批5万t以上规模的酒精生产线和饲料蛋白配套工程,从根本上消除污染。

加强城市环境综合整治。重点解决主要城市的大气污染问题,使所有大中城市的空气环境质量达到国家二级以上标准,建成一批经济快速发展、环境清洁优美、生态良性循环的示范城市。一是加快环保模范城市建设。将城

市环境综合整治重点工程纳入经济社会发展规划和城市建设总体规划。二是调整优化城市工业结构。大力发展低能耗、低污染的高新技术项目,运用高新技术改造传统产业,强制搬迁污染重、能耗水耗高的企业。同时,大力调整优化城市能源结构,提高天然气、石油、电力的消费比重,大幅度削减SO₂和烟尘的排放量。三是加快城市工业污染源治理。积极开发、应用清洁煤技术和烟气净化技术,确保工业锅炉、工业窑炉烟气排放稳定达标,限期改造、治理10万以下火力发电设施。四是加强城市基础设施建设。大力发展城市集中供热和燃气设施,使城市燃气普及率达到90%以上;推广、普及城市给排水系统,实现所有城市都建有污水处理厂;推广城市生活垃圾分类收集、分类回收、集中处理方式,建设城市生活垃圾减量化、资源化、无害化、产业化示范工程。五是加强机动车辆尾气污染防治。严格机动车辆尾气排放监管,开发、推广先进适用的尾气污染防治技术,控制大中城市机动车辆的数量,积极发展城市公共交通。六是加快城市绿化工程建设,要求建城区绿化覆盖率达到40%以上。

加快生态建设。加强生态建设的组织领导,开展生态现状调查、评价,进行生态设计和生态功能区区划,制定实施生态保护行动计划,使重点资源开发区、生态功能区和生物多样性保护区的生态环境都得到恢复和重建。一是加强水、土、矿产、海洋、森林、旅游等重点资源开发项目的监管。严格禁止造成不可逆转的区域性、长期性生态破坏影响的开发建设项目,对于造成局部或短期生态环境影响

的开发建设项目,要求生态恢复工程与资源开发工程同步设计、同步施工、同步检查验收,建立“谁开发、谁保护,谁破坏、谁补偿”的生态补偿机制。二是实施黄河(山东段)治理工程。黄河高堤悬河、尾间摆动、河口不稳,应采取稳定黄河现行流路与分流超标洪水相结合的工程措施,尽快实施挖沙降河工程,建设河口双导堤工程、西河口高位分流工程和黄河三角洲平原水库,防止河床进一步淤积抬高,形成有效的防洪调控系统。三是加快国土绿化工程建设。对自然林实行禁伐保护,对25°以上陡坡耕地实行退耕还林、还草,大力开展工程造林和居民点造林绿化,组织实施生态林建设工程,使全省森林覆盖率达到30%以上。四是加强自然保护区建设与管理。积极开展自然保护区建设,探索以生态保护为主导的具有科研、教育、生产、生态旅游等多种功能的自然保护区建设模式。

(编辑:田红)

参考文献(References)

[1]张林泉,尹建中等.山东省可持续发展战略简论[M].北京:科学出版社,2001. [Zhang Linquan, Yin Jianzhong. Brief Introduction of Sustainable Development Strategy in Shandong Province[M]. Beijing: Science Press, 2001.]

[2]山东省环境保护局.山东省2000年环境状况公报[R].2001. [Shandong Environmental Protection Agency. Environmental State Communiqué of Shandong in 2000[R]. 2001.]

[3]山东省统计局.山东统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,1981~2001. [Statistics Bureau of Shandong. Statistical Yearbook of Shandong [M]. Beijing: China Statistics Press, 1981~2001.]

Harmonious Strategy Study On Economy , Resources And Environment Develop Ment Of Sshandong

FENG Jiur-tian¹ YIN Jian-zhong²

(1. Shandong Lubei Chemical Co. ,Ltd , Wudi Shandong 251909 ,China ;2. Shandong Normai Univercity , Jinan Shandong 250014 ,China)

Abstract Alleviating the bottleneck effect of resources and environment is a strategic task relating to the overall economic and social development of Shandong Province. From the point of modernization construction , this paper analyses the main problems of resources , environment and development of Shandong Province , and advances some strategic ways and measures for coordinating economic construction with resources and environment in the 21st century.

Key words Shandong ;economy ;resources ;environment ;develop harmoniously