

文章编号: 1001-0920(2001)0S-0685-04

滇池流域可持续发展动态投入产出最优控制模型

李林红

(昆明理工大学 管理与经济学院, 云南 昆明 650093)

摘要: 根据包含了污染排放及治理、水资源使用等数据的昆明市环境保护投入产出表, 建立了一个最优控制模型, 该模型可用于求取滇池流域经济的最优发展轨迹及污染的最优治理水平。本研究有助于制订“十五”期间滇池流域可持续发展规划。

关键词: 可持续发展; 环境经济投入产出模型; 最优控制

中图分类号: N 945. 12

文献标识码: A

The Optimal Control Model for the Sustainable Development of Dianchi Lake Basin

LI Lin-hong

(The School of Management and Economy, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

Abstract: On the basis of the Kunming environmental protection input-output table containing the data of the pollution drain and control as well as water use, an optimal control model is established. The optimal track of the economic development and optimal control level of pollution in Dianchi Lake Basin are analyzed. The results are helpful to the sustainable development planning in Dianchi Lake Basin.

Key words: sustainable development; input-output model of environment and economy; optimal control

1 引言

人类在经历了“前发展时期、农业革命时期、工业革命时代”这一“发展 = 经济增长”时期后, 于 20 世纪 50 年代末进入了“发展 = 经济发展 + 工业污染控制”时期, 1972 年在斯德哥尔摩召开的人类环境会议, 标志着人类进入了“发展 = 经济社会发展 + 环境保护”时期, 1992 年以联合国环境与发展大会为标志, 人类社会进入了环境与发展密不可分的可持续发展阶段^[1]。

可持续发展就是“既满足当代人的需求, 又不损害子孙后代满足其需求能力的发展”, 其核心是不

仅要考虑我们这代人的发展, 而且要考虑环境的承受能力, 使其不影响下代人的发展。这一概念具有明显的动态特性。事实上, 一阶动态方程 $X(t+1) = X(t) + \Delta t \cdot F(x)$ 就很好地体现了这一概念: 我们这代人的发展是以上代人的发展为基础, 而下代人的发展又是以我们这代人的发展为基础, 如此反复。问题的关键在于, 经济增长必须建立在保护生态的基础之上, 以牺牲环境为代价来求得发展, 必然会导致生态系统的失衡或崩溃, 最终使得经济发展因失去健全的生态基础而难以持续^[2]。那么, 我们应以怎样的发展模式才能实现可持续发展? 显然, 采用静态模型是有局限性的, 必须使用能反映可持续发展规律

收稿日期: 2001-02-03

基金项目: 国家自然科学基金项目(79760008)

作者简介: 李林红(1963—), 男, 云南昆明人, 讲师, 从事信息管理及系统仿真的教学与研究。

的动态模型。本文以昆明市投入产出表为基础来建立滇池流域可持续发展最优控制模型。

2 昆明市与滇池流域的关系

从表1可以看出,滇池流域经济社会的发展在昆明市占有很高的份额:它位于昆明市南部,在不到昆明市面积五分之一的土地上,集中了昆明市54%的人口,而其中非农业人口更高达85%,农业人口则只占30%,说明滇池流域主要集中了昆明市的第二、第三产业的从业人员。工农业产值占全市产值的80%,说明昆明市的经济活动主要集中在滇池流域。因此,我们根据昆明市的投入产出表所作的分析很大程度上就是对滇池流域的分析。

滇池流域的社会经济状况主要有3个突出特点:1)人口增长快;2)城市发展迅速;3)工业生产集中。这3个因素不仅加剧了城市居住、交通、能源、生态资源和生活必需品供应的紧张状况,同时还加重了滇池流域的环境污染,使环境与经济的矛盾日益突出。

因此,在昆明市的发展中如何考虑滇池流域经济与环境的关系便成为一个重要问题。我们需要一种方法,能把经济与环境因素有机结合起来,并在此基础上寻求经济与环境协调发展的动态最优途径。基于环境保护投入产出表的最优控制模型不失为一种有效的方法。

投入产出表的特殊结构,使我们能在其中增加环境和资源因素,以分析在发展经济的同时考虑环

境与资源保护的可持续发展战略。

3 昆明市环境经济投入产出表

事实上,现行投入产出表中的数据中已包含了污染治理数据,要用表2进行动态分析,我们需用环境资源、废物排放及污染治理等统计数据将污染治理数据从产品部门的中间消耗中分离出来,将原表的中间投入分为投入到产品部门和投入到环保部门两个部分。另外,还要利用一定的技术手段将投资分为用于产品、资源和环保的投资。这样我们得到了一张类似表2的环境保护投入产出表(详细数据略)。

我们以传统的投入产出表为准将产品部门加以划分,如农业、其它非金属矿采选业、纺织业、建筑业、商业、金融保险业等 n 类;污染物划分为总磷、总氮、COD等 m 类;环境资源划分为水、森林、矿、耕地等 p 类。

$$\begin{aligned} X_p &= [x_{ij}^p]_{n \times n}, & X_e &= [x_{ij}^e]_{p \times n}, & X_w &= [x_{ij}^w]_{m \times n} \\ Z_p &= [z_{ij}^p]_{n \times m}, & Z_e &= [z_{ij}^e]_{p \times m}, & Z_w &= [z_{ij}^w]_{m \times m} \\ I_{p1} &= [I_{ij}^{p1}]_{n \times n}, & I_{p2} &= [I_{ij}^{p2}]_{p \times n}, & I_{e1} &= [I_{ij}^{e1}]_{n \times p} \\ I_{e2} &= [I_{ij}^{e2}]_{p \times p}, & I_{w1} &= [I_{ij}^{w1}]_{n \times m}, & I_{w2} &= [I_{ij}^{w2}]_{p \times m} \\ D_p &= [d_{ij}^p]_{n \times 1}, & D_e &= [d_{ij}^e]_{p \times 1}, & D_w &= [d_{ij}^w]_{m \times 1} \\ Q_p &= [q_{ij}^p]_{n \times 1}, & Q_e &= [q_{ij}^e]_{p \times 1}, & Q_w &= [q_{ij}^w]_{m \times 1} \\ a_{ij}^p &= x_{ij}^p / q_{ij}^p, & a_{ij}^e &= x_{ij}^e / q_{ij}^e, & a_{ij}^w &= x_{ij}^w / q_{ij}^w \\ c_{ij}^p &= \frac{z_{ij}^p}{r_j^w q_j^p}, & c_{ij}^e &= \frac{z_{ij}^e}{r_j^w q_j^e}, & c_{ij}^w &= \frac{z_{ij}^w}{r_j^w q_j^w} \end{aligned}$$

表1 昆明市与滇池流域的关系

指 标	昆明市	滇池流域
地理位置	东经 102 10 ~ 103 40	东经 102 29 ~ 103 01
	北纬 24 23 ~ 26 22	北纬 24 29 ~ 25 28
面积(平方公里)	15 501	2 920
人口(万人, 1998年)	总人口 389.58	总人口 210.3599
	非农业人口 168.52	非农业人口 143.2058
	农业人口 221.05	农业人口 67.1541
国内生产总值(亿元)	1998年国内生产总值 547.91	1994年工农业总产值 352.70

表2 昆明市环境经济投入产出表

投 入	产品部门	环保部门	最终产品			市外调入	总产出	
			产品	资本形成资源	环保			
产品部门	X_p	Z_p	I_{p1}	I_{e1}	I_{w1}	D_p	In_p	Q_p
环境资源	X_e	Z_e	I_{p2}	I_{e2}	I_{w2}	D_e	In_e	Q_e
废物	X_w	Z_w				D_w	In_w	Q_w
新创造价值	N_p	N_e						

其中, $A_p = [a_{ij}^p]_{n \times n}$ 为中间产品间的直接消耗系数, $A_e = [a_{ij}^e]_{p \times n}$ 为中间产品对环境资源的直接消耗系数, $A_w = [a_{ij}^w]_{m \times n}$ 为中间产品的废物排放系数, $C_p = [c_{ij}^p]_{n \times m}$ 为环保部门对中间产品的治理消耗系数, $C_e = [c_{ij}^e]_{p \times m}$ 为环保部门对资源的治理消耗系数, $C_w = [c_{ij}^w]_{m \times m}$ 为环保部门治理排放系数, r_j^w 为对第 j 污染物的治理份额。

$$\begin{aligned} B_p &= [I_{ij}^{p1} / \Delta q_j^p], & B_e &= [I_{ij}^{e1} / \Delta q_j^e] \\ B_w &= [I_{ij}^{w1} / r_j^w \Delta q_j^w], & E_p &= [I_{ij}^{p2} / \Delta q_j^p] \\ E_e &= [I_{ij}^{e2} / \Delta q_j^e], & E_w &= [I_{ij}^{w2} / r_j^w \Delta q_j^w] \end{aligned}$$

分别为产品与资源投资系数矩阵。

4 基于投入产出表的最优控制模型

根据昆明市环境经济投入产出表的平衡关系, 可推导出表 2 的投入产出差分方程为

$$\begin{aligned} Q_p(t) - A_p(t)Q_p(t) - C_p(t)R_w Q_w(t) - \\ B_p(t)(Q_p(t+1) - \hat{Q}_p(t)) - B_e(t)(Q_e(t+1) - Q_e(t)) + B_w(t)R_w(Q_w(t+1) - Q_w(t)) = D_p(t) \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} Q_e(t) - A_e(t)Q_p(t) - C_e(t)R_w Q_w(t) - \\ E_p(t)(Q_p(t+1) - \hat{Q}_p(t)) - E_e(t)(Q_e(t+1) - Q_e(t)) + E_w(t)R_w(Q_w(t+1) - Q_w(t)) = D_e(t) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} Q_w(t) - A_w(t)Q_p(t) - \\ C_w(t)R_w Q_w(t) = D_w(t) \end{aligned} \quad (3)$$

其中 R_w 为污染治理份额 $m \times m$ 对角矩阵。

设 $D_p(t), D_e(t), D_w(t)$ 分别为期望产品最终需求、期望资源最终需求和期望最终污染物排放量。我们希望通过改变产品产出水平的速度 $Q_p(t+1) - Q_p(t)$, 资源产出水平的速度 $Q_e(t+1) - Q_e(t)$, 以及治理水平的速度 $\hat{R}_w Q_w(t+1) - \hat{R}_w Q_w(t)$, 使 $D_p(t) - \hat{D}_p(t), D_e(t) - \hat{D}_e(t), D_w(t) - \hat{D}_w(t)$ 尽可能小。

$$U_p(t) = Q_p(t+1) - Q_p(t) \quad (4)$$

$$U_e(t) = Q_e(t+1) - Q_e(t) \quad (5)$$

$$U_w(t) = \hat{R}_w Q_w(t+1) - \hat{R}_w Q_w(t) \quad (6)$$

又令

$$A = \begin{bmatrix} A_p & 0 & C_p \hat{R}_w \\ A_e & 0 & C_e \hat{R}_w \\ A_w & 0 & C_w \hat{R}_w \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} B_p & B_e & B_w \\ E_p & E_e & E_w \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$U(t) = \begin{bmatrix} U_p(t) \\ U_e(t) \\ U_w(t) \end{bmatrix}, \quad Q(t) = \begin{bmatrix} Q_p(t) \\ Q_e(t) \\ Q_w(t) \end{bmatrix}$$

$$D(t) = \begin{bmatrix} D_p(t) \\ D_e(t) \\ D_w(t) \end{bmatrix}, \quad \hat{D}(t) = \begin{bmatrix} \hat{D}_p(t) \\ \hat{D}_e(t) \\ \hat{D}_w(t) \end{bmatrix}$$

则式(4) ~ (6) 变为

$$Q(t+1) = Q(t) + U(t)$$

显然该系统是完全能达、能控与能观的。

构造二次型目标函数

$$\min J = \frac{1}{2} \sum_{t=0}^{N-1} [(D(t) - \hat{D}(t))^T P(t)(D(t) - \hat{D}(t)) + U^T(t)R(t)U(t)]$$

$$\text{s. t. } Q(t+1) = Q(t) + U(t)$$

$$Q(0) = Q_0$$

其中, N 为计划期年限, $P(t)$ 为 n 阶半正定矩阵, $R(t)$ 为 n 阶正定矩阵。目标函数的意义是希望不用过分的控制力就可使状态向量逼近状态空间的原点, $P(t)$ 和 $R(t)$ 为加权矩阵, 通常可取为对角矩阵, 即

$$P(t) = \begin{bmatrix} p_1(t) & & & \\ & p_2(t) & & \\ & & \ddots & \\ & & & p_n(t) \end{bmatrix}$$

$$R(t) = \begin{bmatrix} r_1(t) & & & \\ & r_2(t) & & \\ & & \ddots & \\ & & & r_n(t) \end{bmatrix}$$

根据文献[3], 我们可求得

$$\begin{aligned} U^*(t) &= K(t)B^T P(t)(A - I)Q(t) + \\ &K(t)V(t+1)Q(t+1) + \\ &K(t)B^T P(t)\hat{D}(t) + K(t)J(t+1) \\ &t = 0, 1, 2, \dots, T-1 \end{aligned}$$

其中

$$\begin{aligned} K(t) &= -[B^T P(t)B + R(t)]^{-1} \\ S(t) &= I + K(t)B^T P(t)(A - I) \\ Z(t) &= (A - I)^T P(t)[I + BK(t)B^T P(t)] \\ V(t) &= Z(t)(A - I) + S^T(t)V(t+1)[I - K(t)V(t+1)]^{-1}S(t) \\ J(t) &= S^T(t)V(t+1)[I - K(t)V(t+1)]^{-1} \times \\ &K(t)[J(t+1) + B^T P(t)\hat{D}(t)] + \\ &S^T(t)J(t+1) + Z(t)\hat{D}(t) \end{aligned}$$

边界条件为

$$V(N) = 0, \quad J(N) = 0$$

由于昆明地区人口、工业、商业等集中在滇池流

表3 计算结果

年度	第一产业		第二产业		第三产业		水资源		总磷		总氮		COD	
	优化值 (亿元)	增长率 (%)	优化值 (亿元)	增长率 (%)	优化值 (亿元)	增长率 (%)	优化值 (亿吨)	增长率 (%)	优化值 (吨)	增长率 (%)	优化值 (吨)	增长率 (%)	优化值 (吨)	增长率 (%)
1997	63.34		631.86		452.30		9.80		1 026.35		9 007.98		46 676.35	
1998	72.85	15.01	744.21	17.78	537.01	18.73	11.61	18.46	1 031.50	0.50	10 081.61	11.92	52 156.78	11.74
1999	80.79	10.90	840.78	12.98	616.75	14.85	13.53	16.56	1 088.13	5.49	11 544.72	14.51	58 266.69	11.71
2000	87.78	8.65	920.10	9.43	690.03	11.88	15.32	13.20	1 200.26	10.31	13 036.73	12.92	64 112.04	10.03
2001	93.93	7.01	980.15	6.53	754.91	9.40	16.80	9.64	1 299.04	8.23	14 567.57	11.74	69 628.43	8.60
2002	99.08	5.48	1 018.57	3.92	808.99	7.16	17.21	2.43	1 377.24	6.02	16 159.18	10.93	74 858.89	7.51
2003	102.39	3.34	1 031.31	1.25	848.76	4.92	17.95	4.35	1 430.65	3.88	17 740.14	9.78	79 485.26	6.18
2004	102.45	0.06	1 014.28	- 1.65	870.26	2.53	18.43	2.67	1 448.36	1.24	18 069.76	1.86	83 477.89	5.02
2005	95.86	- 6.44	962.19	- 5.14	868.22	- 0.23	18.96	2.87	1 640.04	13.23	18 207.86	0.76	89 343.02	7.03
平均 增长率		1.89		0.98		4.76		4.39		6.52		7.01		6.87

域,而对滇池的主要影响是水污染,因此,我们重点考虑水资源及3种主要水的污染物:总磷、总氮和COD。

5 结果分析

根据昆明市现有的1997年投入产出表,以及滇池流域环保统计整理得到的有关数据,计算结果如表3所示。

从表3可看出:在“十五”期间,为了把污染物的排放限制在合理的范围内,必须降低第一、二、三产业的发展速度,特别是第二产业的发展速度,而这与我们发展经济的目标相违背,说明滇池流域经济与环境的矛盾非常突出,已到了难以调和的地步。上面的计算是以1997年对总磷、总氮、COD的治理份额分别为20%、17%、39%的基础进行的,进一步的实验表明,要使环境与经济协调发展,即污染物的排放增长率保持在10%以内,经济发展的速度保持在10%左右,污染物的治理份额应提高到55%~70%;适度加大环保投资是有益的,一方面可以拉动第二产业的发展,另一方面可以提高污染治理份额;从三产业的结构来看,优先发展第三产业有利于可持续发展。

本方法具有普适性:投入产出表的编制已形成制度,对环境保护活动的监测与管理逐渐规范,因此,该模型有持续的数据支持,只要有两年以上的投入产出表及主要污染物排放及治理数据的地区,就可以建立类似的最优控制模型,为区域可持续发展服务。

参考文献:

- [1] 刘培哲. 可持续发展概念与《中国21世纪议程》[J]. 新疆环境保护, 1996, (6): 2.
- [2] 曲格平. 论可持续发展与城市发展战略[J]. 上海环境科学, 1997, (1): 1-3.
- [3] 黄学良. 环境经济投入产出模型的最优控制[J]. 中国管理科学, 1997, (2): 62-64.
- [4] 王翼. 离散控制系统[M]. 北京: 科学出版社, 1987. 44-80, 155-258.
- [5] 云南省国民经济核算领导小组. 云南省国民经济核算文献1978-1998[M]. 昆明: 云南科技出版社, 1999. 45-52.
- [6] 张慧勤, 过孝民. 环境经济系统分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 1993. 100-110.
- [7] [美] 沃西里·里昂惕夫. 投入产出经济学[M]. 北京: 中国统计出版社, 1990. 279-330.