

上升性理论在经济系统中的应用

——以甘肃省为例

黄茄莉 ,徐中民\*

(中国科学院寒区旱区环境与工程研究所寒旱区流域水文及应用生态实验室 ,甘肃 兰州 730000 )

**摘要** 如何定量地判断增长与发展之间的关系 ,是生态学、经济学及可持续发展相关学科讨论的一个重要问题。Ulanowicz 从生态系统的角度出发 ,提出用上升性这个宏观指标对增长与发展进行定量描述。以甘肃省为例讨论了上升性理论在经济系统中的应用。研究表明 ,在 1987 ~ 1995 年甘肃省系统总吞吐量 (实物型 )年均增加 6.30% ,上升性 (A )增加近 2 倍 ,但是平均相互信息却从 0.460 比特降到 0.336 比特 ,这表明在这 8a 间甘肃省处于不可持续的发展状况。在 1995 ~ 2002 年 ,甘肃省系统总吞吐量 (实物型 )仍不断增加 ,但年均增加率从 1987 ~ 1995 年的 6.30% 降到 2.13% ,上升性 (A )增加了 2 倍多 ,平均相互信息从 0.336 比特增加到 0.499 比特 ,这表明在这 7a 间甘肃省朝着可持续的方向发展。根据 Ulanowicz 对系统进化阶段的划分 ,甘肃省在 1987 ~ 2002 年处于增长阶段即处于进化的初级阶段。对研究结果的分析表明 ,要实现甘肃省的可持续发展 ,需提高资源的利用效率 ,实现资源的循环利用 ,并加强资源在部门之间的流通性及分配的公平性。

**关键词** 上升性 ;网络流 ;增长 ;发展 ;发展能力

文章编号 :1000-0933 (2007 )11-4785-08 中图分类号 :F062.2 文献标识码 :A

The ascendancy formula and its application in economic systems : take Gansu Province as a case study

HUANG Jia-Li , XU Zhong-Min \*

Laboratory of Watershed Hydrology and Ecology , CAREERI , CAS Lanzhou Gansu 730000 , China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (11 ) :4785 ~ 4792.

**Abstract** :The relationship between growth and development has been a hot topic in ecology , economics and some relative disciplines for nearly a century and an half. Flow networks are convenient representation of complex material and information transactions. Based on flow network analysis , Ulanowicz treated the average mutual information as a cardinal attribute of a developing network and developed the ascendancy formula , which offers a comprehensive way of quantitatively analyzing the relationship between growth and development. A basic result is that  $C$  , “the development capacity” , serves as an upper bound on ascendancy where  $C = E \times H$  ,  $H$  is system diversity and  $E$  is total system throughput. We introduce the concept here and outline the cash flows among six fundamental sector of the Gansu province economy : (1 ) agriculture ; (2 ) industry ; (3 ) construction ; (4 ) transportation , post and telecommunication ; (5 ) commerce and catering trade ; (6 ) other services. To investigate the development status of Gansu province , we use time-series data from 1987 to 2002 to quantify economic system ’s performance according to Ulanowicz ’s ascendancy formula. The results show that the annual total system

基金项目 国家自然科学基金资助项目 (40671076 ) ;中国科学院西部行动计划项目 (KZCX2-XB2-04-04 )

收稿日期 2007-06-22 ;修订日期 2007-09-18

作者简介 黄茄莉 (1982 ~ ) ,女 ,四川成都人 ,硕士生 ,主要从事生态经济研究. E-mail :jialih@lzb.ac.cn

\* 通讯作者 Corresponding author.

**Foundation item** The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 40671076 ) ; The innovation project of Chinese Academy of Sciences (No. KZCX2-XB2-04-04 )

**Received date** 2007-06-22 ; **Accepted date** 2007-09-18

**Biography** HUANG Jia-Li , Master candidate , mainly engaged in ecological economics. E-mail :jialih@lzb.ac.cn

throughput (material representation ) rises from  $8510.06 \times 10^4$  tons of SCE in 1987 to  $12800.86 \times 10^4$  tons of SCE in 1995. The system ascendancy in 1995 is thrice that of 1987 ,but the average mutual information decreases from 0.460 bits in 1987 to 0.336 bits in 1995. The increase of system ascendancy may be attributed to two factors : the increase of system throughput (material representation ) and the decrease of average mutual information. The results show that Gansu's economic system is on an unsustainable road during 1987 — 1995. The system ascendancy also increases twice times from 1995 to 2002. The corresponding total system throughput (material representation ) is still arising from 1995 to 2002 ,but the year increasing rate dropped from 6.30% during 1987 — 1995 to 2.13% during 1995 — 2002 ,but that ,the system ascendancy gradually increases during this period ,it rises from 0.336 bits in 1995 to 0.449 bits in 2002. The results suggest that Gansu's economy is moving toward the sustainable road during 1995 — 2002. These analysis results can be taken as evidence to classify the system evolutionary stage. According to Ulanowicz's evolutionary mode ,Gansu's economy is still in the first stage ,that is ,growth stage. And the increase of ascendancy from 1995 to 2002 demonstrates that Gansu's economy have begun its transition from the young growth economy to the mature growth economy ,that is to say ,approximate to development stage. A sustainable development stage relies on increasing development capacity or average mutual information with decreasing or stable throughput (material representation ). Development capacity and diversity provide guides to determine whether a country or district's development is sustainable. According to our analysis of Gansu over period of 1987 — 2002 ,Gansu's economy is not sustainable as evidenced by increasing system throughput during 1987 — 1995 ,but there have evidences show that it is moving toward sustainable road as evidenced by improvement of average mutual information from 1995 to 2002. Considering the actual situation of Gansu Province ,the more sustainable approach is to increase our own resources utilization efficiency ,enhance information communication among industries. Such countermeasures can increase average mutual information ,and can improve Gansu's development capacity.

**Key Words** : ascendancy ; flow networks ; growth ; development ; development capacity

增长与发展现象在生活中随处可见 ,小到细胞大到生态系统、经济系统甚至整个宇宙系统都经历着增长与发展。如何定量地判断增长与发展之间的关系 ,是生态学、经济学及可持续发展相关学科讨论的一个重要问题。生物学中 ,生物学家更偏向于从更小尺度或微观领域来寻求对所发生现象的解释。对于增长与发展 ,生物学家认为只能在分子领域寻求答案 ,这使增长与发展仍难以解释<sup>[1]</sup>。因为成熟的生命体通常是非常复杂的系统 ,很难用分子理论解释 ,当研究对象是生态系统、社会结构、文化运动等系统时情形更是如此。因此 ,Ulanowicz 从宏观角度出发 ,以热力学、信息论、网络分析等为基础 ,提出用上升性这种新的形式来量化生态系统的增长与发展<sup>[1]</sup>。

本文简要介绍上升性理论 ,并用该理论结合投入产出表计算甘肃省在 1987 ~ 2002 年 15a 间的增长与发展情况 ,分析了在此 15a 间甘肃省的可持续发展状况及所处的进化阶段 ,最后给出了利于甘肃省可持续发展的政策建议。这对明晰增长与发展之间的关系 ,尤其对量化经济发展具有重要的借鉴意义。

1 上升性理论简介

1.1 上升性理论

上升性理论是以网络流为对象定量研究增长与发展的理论。增长通常暗含增加或扩张 ,可能是空间范围的扩大也可能是流量媒介的扩大<sup>[1]</sup>。网络流量的增长可通过测量分室数目  $n$  和系统总吞吐量  $T$  来衡量。一般来说 ,系统总吞吐量  $T$  更为重要<sup>[1]</sup>。

发展的含义比增长深刻一些。在这里发展的解释集中在独立于系统大小的成分 ,定义为系统组织的增强<sup>[1]</sup>。从网络流的角度看 ,发展意味着各结点之间能进行清晰明确的物质、信息和能量交换<sup>[1]</sup>。当已知事件  $b_i$  发生的不确定性及事件  $a_j$  发生时  $b_i$  发生的不确定性时 ,事件  $b$  的不确定性经事件  $a$  改进后得到的平均相互信息  $A$  可用 (1)式表示。

$$A (b_i/a_j) = K \sum_i \sum_j p (a_j/b_i) \log [p (b_i/a_j)/p (b_i)] \tag{1}$$

对一个组织结构功能完好的网络流系统 ,如果知道时间  $t$  离开结点  $j$  的流量 ,就可以得出很多结点  $i$  在时间  $t + \theta$  所接受的信息量。用  $p (a_j)$  代表一定数量的流量媒介在时间  $t$  离开结点  $j$  的概率 ,即  $T_j/T$  ,其中  $T_j = \sum_i T_{ji}$  , $T_{ji}$  表示从结点  $j$  流入结点  $i$  的流量 ;用  $p (b_i)$  代表一定数量的流量媒介在时间  $t + \theta$  进入结点  $i$  的可能性 ,即  $T'_i/T$  ,其中  $T'_i = \sum_j T_{ji}$  , $T = \sum_j T_j = \sum_i T'_i$  。这样 ,由信息的定义可知在时间  $t + \theta$  结点  $i$  所接受的由结点  $j$  在时间  $t$  流出的信息量为  $K \log [p (b_i/a_j)/p (b_i)]$  ,即  $K \log (T_{ji}T/T_jT'_i)$  ,此即测量出了从一个结点流出的信息对另一个结点的影响。而  $p (a_j/b_i)$  可用  $T_{ji}/T$  表示 ,因此将用流量表示的概率代入 (1) 式即可得网络流平均相互信息为 (2) 式 ,详见文献 [1]。

$$A = K \sum_{i=0}^{n+2} \sum_{j=0}^{n+2} f_{ji} Q_j \log (f_{ji}/Q'_i) \tag{2}$$

式中  $f_{ji} = T_{ji}/T_j$  表示由  $j$  室流入  $i$  室的量占有所有从  $j$  室流出的量的份额 ; $Q_j = T_j/T$  表示所有从  $j$  室流出的量占系统总吞吐量的份额 ; $Q'_i = T'_i/T$  表示所有流入  $i$  室的量占系统总吞吐量的份额。

$K$  的引入是为了标度参数的尺度 [1]。由于在网络流分析中 ,系统总吞吐量已经用来表征网络的大小。因此 ,用  $T$  取代  $K$  , (2) 式可变为 (3) 式。

$$A = T \sum_{i=0}^{n+2} \sum_{j=0}^{n+2} f_{ji} Q_j \log (f_{ji}/Q'_i) \tag{3}$$

(3) 式中的  $A$  即 Ulanowicz 定义的上升性 [1]。在 (3) 式中 ,网络流量系统的大小用分室数目  $n$  和系统总吞吐量  $T$  表示 ,而组织则以平均相互信息  $\sum_{i=0}^{n+2} \sum_{j=0}^{n+2} f_{ji} Q_j \log (f_{ji}/Q'_i)$  表示。由于增长与发展在网络流量系统中可用网络的大小和组织表示 ,因此 ,可用上升性定量解释增长与发展。在生态系统的实例研究中 ,Ulanowicz 发现上升性  $A$  同 Odum 关于成熟的生态系统的 24 个属性的相关性很好 [2]。这表明 ,在缺乏明显干扰的情况下 ,系统是按照上升性增加的方向发展的 [2]。

对 (3) 式变形可得 (4) 式 ,

$$A = - T \sum_{j=0}^n Q_j \log Q_j - [- T \sum_{i=0}^{n+2} \sum_{j=0}^{n+2} f_{ji} Q_j \log (f_{ji} Q_j/Q'_i)] \tag{4}$$

Ulanowicz 进一步定义 (4) 式右边第一项为系统的发展能力 ( $C$ ) ,见 (5) 式。影响发展能力  $C$  增长的因素是系统总吞吐量  $T$  和多样性  $H$  ,多样性  $H$  通常采用熵指数即 (6) 式测算。

$$C = - T \sum_{j=0}^n Q_j \log Q_j \tag{5}$$

$$H = - \sum_{j=0}^n Q_j \log Q_j \tag{6}$$

系统总吞吐量  $T$  和多样性  $H$  同时也限制上升性  $A$  的提高。根据对数函数的凹度 , $C$ 、 $A$  及 (4) 式右边中括号内的部分均为非负 ,可得  $C \geq A \geq 0$  ,也就是说 , $C$  可以作为  $A$  的一个上限。因此 ,一个系统的演化总是朝其理论上限  $C$  的方向发展 ,但因各种各样的原因 ,上升性和发展能力之间总存在一个差距 ,这个差距称为杂项开支 [1]。

Ulanowicz 还进一步对上升性、发展能力和系统的杂项开支等分输入、输出、和中间过程等阶段进行了区分 ,并探讨了如上升性、发展能力和系统的杂项开支的完整性、对称性等很多有用的性质 [1]。

1.2 上升性理论在生态学中的应用

上升性理论自提出以来 ,在生态系统中得到了广泛应用 ,如富营养化状态的评价。富营养化可刺激生态系统增长 ,但是会降低系统的组织功能。用上升性理论语言对富营养化进行确定定量的描述即 :系统上升性的增加是由系统总吞吐量增加及与之伴随的网络流平均相互信息的降低所引起的 ,则系统处于富营养状态 [1]。以 Baird 和 Ulanowicz 1989 年研究的由 36 个基本成分组成的 Chesapeake 生态系统网络氮流动为例 ,假

定氮流入使生态系统的上升性从  $8593800\text{ mg C}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$  比特增加到  $10136400\text{ mg C}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$  比特,如果这种增加是由于系统总吞吐量  $T$  的增加及与之伴随的网络流平均相互信息的降低所引起,则该生态系统已由原来的状态转变成了富营养状态。在实际应用方面,J. Patricio 等人用上升性理论研究了 Mondego 河口的脉冲富营养化<sup>[4]</sup>,这是一种在进化过程中系统总吞吐量和网络流平均相互信息均降低的富营养化现象。

除此之外,上升性理论还可用于测量干扰对生态系统的影响<sup>[1]</sup>,评价生态系统的健康性、整体性<sup>[2]</sup>以及对不同生态系统进行比较<sup>[3]</sup>等。但是,上升性理论在经济系统中的应用研究较少<sup>[5][6]</sup>。本文以甘肃省为例,用上升性理论计算了甘肃省 1987~2002 年 15a 间增长与发展的情况,分析了在此 15a 间甘肃省的可持续发展情况及所处的进化阶段,给出了利于甘肃省可持续发展的政策建议。

2 上升性理论在经济系统中的应用

从进化论的角度看,经济系统和生态系统存在类质同像现象,经济发展也是一个进化过程,能量流动和信息的反馈使经济系统的自组织结构发生变化<sup>[5][7]</sup>。因此,可将上升性理论用于经济系统中。Ulanowicz 的工作主要集中在生态系统,但是他认为其理论适用于所有的系统,包括经济系统<sup>[1]</sup>。Templet 也有同样的观点,并且他将上升性理论用于经济系统的实证分析结果也支持这种结论<sup>[7]</sup>。在经济系统中,将系统划分为不同的部门,部门之间以及部门与外界系统之间进行物质、货币交换及能量流动等,这样就形成了经济系统的网络流(物质流、货币流及能量流等)。

2.1 甘肃省 1987~2002 年上升性及相关数据计算

在经济系统货币网络流中,网络中的结点代表各个部门,和生态系统相同结点的数目可根据需要而定,且可将每个结点称为一个室。根据投入产出基本流量表( $n$  部门)经济系统货币网络流可分为 4 类:① $i$  部门的进口量,用  $T_{oi}$  表示;②由  $j$  部门流入  $i$  部门的量,用  $T_{ji}$  表示;③ $i$  部门的增加值,用  $T_{n+1,i}$  表示;④ $i$  部门的最终使用,用  $T_{i,n+2}$  表示。根据投入等于产出,可得:

$$T_{n+1,i} + T_{ji} + T_{oi} = T_{i,n+2} + T_{ij}$$

根据甘肃省 1992 年 6 部门投入产出基本流量表(价值型),可勾勒出甘肃省 1992 年由 6 部门组成的经济系统的货币网络流(见图 1)。

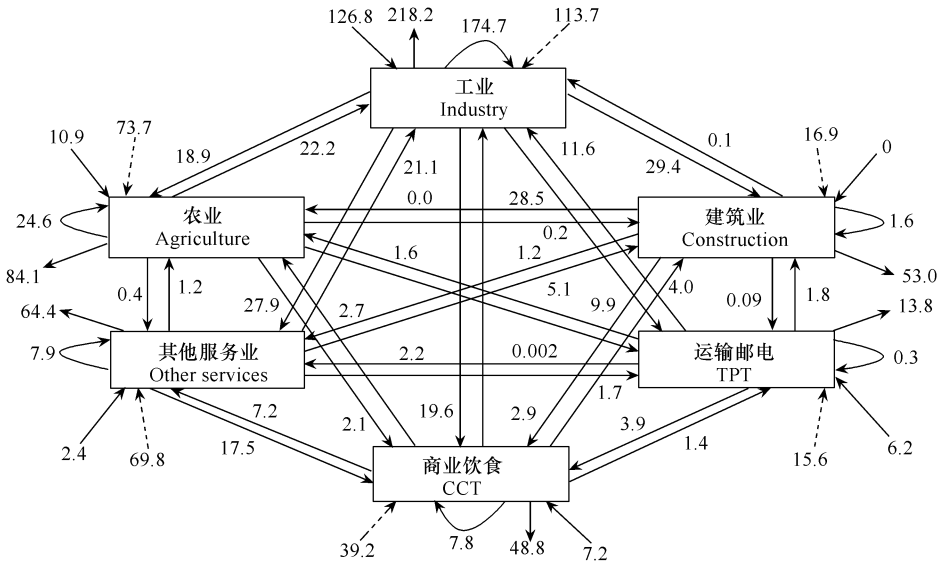


图 1 甘肃省 1992 年 6 部门组成的经济系统的货币网络流

Fig. 1 The currency network of 6 sectors economical systems of Gansu in 1992 (10<sup>8</sup>yuan/a)

TPT 代表运输邮电 TPT represents transportation , post and telecommunications ; CCT 代表商业饮食 CCT represents commercial and catering trade

图 1 中,由系统外指向部门的箭头中,实线箭头表示部门的进口量,虚线箭头表示部门的增加值。由部门

指向系统外的箭头表示部门的最终使用。弧线箭头表示部门对自身的投入。其他箭头则代表部门之间的相互流动。由图 1 ,可将货币网络流用矩阵形式表达 (表 1 )。表 1 清楚地将图 1 中的流量信息用矩阵形式表达出来。由表 1 并据  $T = \sum_j T_j = \sum_i T'_i$  ,可求得甘肃省 1992 年系统总吞吐量  $T$  为 1428.0 亿元 ,据  $f_{ji} = T_{ji}/T_j$  可求得  $f_{ji}$  (表 2 ) ,据  $Q_j = T_j/T$  可求得  $Q_j$  ,据  $Q'_i = T'_i/T$  可求得  $Q'_i$  (表 3 )。

表 2 的横行可反映由  $j$  室流入  $i$  室的量占有从  $j$  室流出的量的份额 ,即各部门及系统总进口和总增加值的使用情况。以农业为例 ,总供应中 0.184 用于对自身投入 ,0.166 用于工业 ,0.001 用于建筑业 ,0.016 用于商业饮食 ,0.003 用于其他服务业 ,0.629 用于最终消费。可见 ,农业总供应大部分用于最终消费。

表 3 中 , $Q_j$  表明了从  $j$  室流出的量在系统总吞吐量中所占的份额 , $Q'_i$  表明了流入  $i$  室的量在系统总吞吐量中所占的份额。以工业为例 ,所有从工业部门流出的量占系统总吞吐量的 0.349 ,所有流入工业部门的量也占系统总吞吐量的 0.349。

参考表 1 ~ 3 ,根据 (2 )式可求得平均相互信息为 0.408 比特 ,据 (3 )式可求得上升性  $A$  为  $582.6 \times 10^8 \text{ yuan}/(\text{a} \cdot \text{比特})$  ,根据 (5 )式可求得发展能力  $C$  为  $3238.4 \times 10^8 \text{ yuan}/(\text{a} \cdot \text{比特})$  ,根据 (6 )式可求得多样性  $H$  为 2.268 比特。在计算  $H$  的过程中 ,流入和增加值两部分之和作为外界输入的汇。

同理 ,可求得以甘肃省 1987 、1995、1997 及 2002 年 6 部门作为研究系统时得到的上升性及相关数据 (表 4 )。

2.2 结果分析

2.2.1 甘肃省 1987 ~2002 年间经济可持续发展情况

类似生态系统中关于富营养化状态的定义 ,在经济系统中当上升性  $A$  的增加是由系统总吞吐量  $T$  的增加及与之相伴随的平均相互信息  $I$  的降低所引起的 ,则系统处于富营养状态。用经济学语言来说即系统处于不可持续的发展状态。而当上升性  $A$  的增加是由系统总吞吐量  $T$  及平均相互信息  $I$  的增加共同引起的 ,则可通过  $T$  的增加率的变化来看系统的发展轨迹。

但是当用吞吐量评价经济系统的运行情况时需考虑当年商品价格及资源使用情况 ,因此需要将价值型的系统总吞吐量转变为实物型。这可以通过将价值型系统总吞吐量乘以该年单位 GDP 能耗得出<sup>[7]</sup> ,详见表 5。

由表 5 可见 ,在 1987 ~1995 年 8a 间系统总吞吐量 (实物型 )从 8510.06 万吨标准煤/年增加到 12800.86 万 t 标准煤/a ;由表 4 系统上升性  $A$  增加了近 2 倍 (从  $322.5 \times 10^8 \text{ yuan}/(\text{a} \cdot \text{比特})$  到  $921.2 \times 10^8 \text{ yuan}/(\text{a} \cdot \text{比特})$  ) ,而系统的平均相互信息  $I$  从 1987 年的 0.460 比特降到了 1995 年的 0.336 比特。由上述可见 ,在 1987 ~1995 年 8a 间系统上升性的增加是由系统总吞吐量 (实物型 )的增加和与之相伴随的平均相互信息的降低所引起。因此 ,系统处于一种不可持续的发展状态。1987 ~1995 年 8a 间系统进化的过程中只注重了增加投入 ,即仅使系统产生了量的扩张 ,而没有使系统组织得到改善即没有使系统产生质的变化 ,而且由于资源的有限性尤其是稀缺和不可重复利用的资源的有限性 ,仅靠增加投入来提高上升性是不合理的 ,是不可持续的。要使经济系统可持续发展 ,需要降低系统总吞吐量 (实物型 )对上升性的贡献即相对提高系统平均相互信息对上升性的贡献。而要提高平均相互信息则需提高资源在部门之间的流通性。

在 1995 ~2002 年 7a 间 ,系统总吞吐量  $T$  (实物型 )仍不断增加 ,从 12800.86 万 t 标准煤/年增加到 14707.92 万 t 标准煤/年 ,但是增加率从 1987 ~1995 年间的年均 6.30% 降到了 1995 ~2002 年间的年均 2.13% ,系统的平均相互信息在这 7a 间从 0.336 比特增加到了 0.499 比特。上升性  $A$  在这 7a 间从 921.1 亿元/ (a· 比特) 增加到 2826.6 亿元/ (a· 比特) 。在系统总吞吐量 (实物型 )和平均相互信息增加的情况下 ,目前还不能判断该系统是否处于不可持续状态 ,但可以肯定的是系统总吞吐量 (实物型 )增加率的降低及系统平均相互信息的增加表明系统朝着可持续的方向进化。

2.2.2 甘肃省 1987 ~2002 年所处进化阶段

Ulanowicz 将系统进化的模式分为 4 个阶段 :第 1 阶段为增长阶段 ,由于在这个阶段系统的资源非常丰富 ,因此系统表现为以最快的速度提高系统总吞吐量 (实物型 )。第 2 阶段为发展阶段 ,在该阶段由于相对可

接表 1 表 2

表 3 甘肃省 1992 年 6 部门  $Q_j$  及  $Q'_i$  值

Table 3 The value of  $Q_j$  and  $Q'_i$  of 6 sectors of Gansu Province in 1992

	进口 Import	农业 Agriculture	工业 Industry	建筑业 Construction	运输邮电 Transportation , post and telecommunications	商业饮食 Commercial and catering trade	其他服务业 Other services	增加值 Value added	最终使用 Final demand
$Q_j$	0.108	0.094	0.349	0.041	0.025	0.070	0.083	0.230	0.000
$Q'_i$	0.000	0.094	0.349	0.041	0.025	0.070	0.083	0.000	0.338

表 4 甘肃省 1987 ~ 2002 年 6 部门的上升性及相关数据

Table 4 The ascendancy and relative data of 6 sectors of Gansu Province in 1987 ~ 2002

项目 Item	1987	1992	1995	1997	2002
$T$ $10^8$ yuan/a	700.6	1428.0	2744.2	4163.8	5659.7
$I$ 比特 Bits	0.460	0.408	0.336	0.397	0.499
$A10^8$ yuan/ (a bits )	322.5	582.6	921.2	1653.5	2826.6
$C10^8$ yuan/ (a bits )	1540.9	3238.4	6068.4	9374.8	13037.5
$H$ 比特 Bits	2.199	2.268	2.211	2.251	2.304

各年投入产出表均来自甘肃省统计局 ,其中 1987、1995 年 6 部门投入产出表是由 33 部门合并得到 ,2002 年 6 部门由 2002 年 10 部门合并得到 ;计算过程中对数底数均取 2 ,将平均相互信息用  $I$  表示 ,记作  $I = \sum_{i=0}^{n+2} \sum_{j=0}^{n+2} f_{ji} Q_j \log (f_{ji}/Q'_i)$  I-O tables are from statistical bureau of Gansu Province ; We get the I-O tables of 6 sectors of the year 1987 and 1995 by merging I-O table of 33 sectors respectively ;The base of logarithm is 2 ;Note average mutual information as  $I$  , $I = \sum_{i=0}^{n+2} \sum_{j=0}^{n+2} f_{ji} Q_j \log (f_{ji}/Q'_i)$

表 5 系统总吞吐量从价值型到实物型的转化

Table 5 The conversion of system throughput from value representation to material representation

项目 Item	1987	1992	1995	1997	2002
能源消费总量 (万 t 标准煤)	1937.66	2253.5	2581.21	2809.74	3018.22
GDP	159.52	317.79	553.35	781.34	1161.43
T	700.6	1428	2744.2	4163.8	5659.7
能源消费总量/GDP (万 t 标准煤/亿元)	12.15	7.09	4.66	3.60	2.60
T. 能源消费总量/GDP (万 t 标准煤/a)	8510.06	10126.18	12800.86	14973.25	14707.92

表中能源消费总量和 GDP 数据来自《甘肃年鉴》 The data on total energy consumption and GDP were drawn from Gansu yearbook ;能源消费总量 total energy consumption ;万 t 标准煤  $10^4$  tons of SCE ;万 t 标准煤/亿元  $10^4$  tons of SCE/ $10^8$  yuan ;万 t 标准煤/年  $10^4$  tons of SCE/a

获得资源的降低 ,系统总吞吐量 (实物型)开始下降。在增长和发展阶段发展能力和上升性都提高 ,但上升性的增加量不如发展能力大。第 3 阶段为成熟阶段 ,在此阶段发展能力达到最大值后开始下降 ,而上升性以减少杂项开支为代价缓慢上升。第 4 阶段为衰老阶段 ,发展能力和上升性均降低<sup>[3]</sup>。

甘肃省 1987 ~ 2002 年间发展能力  $C$  和上升性  $A$  的进化轨迹如图 2 所示。由图 2 可见 ,在 1987 ~ 2002 年间 ,甘肃省发展能力和上升性一直增加 ,且发展能力的增加值大于上升性的增加值 ,并且由表 5 可见 ,这 15a 间甘肃省系统总吞吐量 (实物型)一直不断增加。因此 ,根据 Ulanowicz 对系统进化的阶段划分 ,可知甘肃省在 1987 ~ 2002 年间还处于增长阶段 ,主要以提高系统总吞吐量使系统向前发展。考虑到甘肃省资源的有限性 ,应使其尽快进入发展阶段以减轻对资源的压力。由 (4)式  $A = C - [-T \sum_{i=0}^{n+2} \sum_{j=0}^{n+2} f_{ji} Q_j \log (f_{ji} Q_j / Q'_i)]$  可知提高发展能力是提高系统上升性的途径之一。

2.3 政策建议

甘肃省经济要向前发展就要提高系统的上升性。考虑到甘肃省地理条件差 ,资源不丰富并且还处于进化的初级阶段的特点要使其实现可持续发展需要从以下方面着手。

首先 ,由于受到资源的限制 ,上升性的提高需要以保持系统总吞吐量 (实物型 )不变或降低为前提。系统总吞吐量 (实物型 )的不变或降低 ,可以通过提高资源的利用效率、实现资源的循环利用等实现。

其次 ,在使系统总吞吐量 (实物型 )保持不变或降低的情况下要提高系统的上升性 ,可以从提高系统的平均相互信息及发展能力入手。提高系统的平均相互信息需要加强部门之间资源的流通性。而系统发展能力的提高 ,由  $C = TH$  可知 ,在资源受限情况下要提高系统的发展能力必须提高系统的多样性。系统多样性的提高可以通过公平地分配资源和增加新的经济活动部门来实现 ,但是增加新的经济活动部门对经济系统的影响比较复杂 ,且实现起来比较困难 ,因此应从公平性方面着手 ,即可通过提高资源分配的公平性来提高系统的上升性。

3 结语

上升性理论从宏观上对增长与发展进行了定量描述。它从生态学中发展而来 ,但仍然可用于个体发生学、经济学等可将现象用网络流表示的系统。本文简单介绍了上升性理论及其在生态系统中的一些应用 ,并用上升性理论计算了甘肃省在 1987 ~ 2002 年间的增长与发展情况 ,讨论了在此 15a 间甘肃省的可持续发展情况及所处的发展阶段。研究表明 ,甘肃省在 1987 ~ 1995 年 8a 间处于不可持续发展状况 ,在 1995 ~ 2002 年 7a 间朝着可持续的方向发展。据 Ulanowicz 对系统进化阶段的划分甘肃省在 1987 ~ 2002 年 15a 间处于进化的初级阶段即增长阶段。要使甘肃省实现可持续发展 ,需要在系统总吞吐量 (实物型 )保持不变或降低的情况下提高系统的上升性 ,这可以通过提高资源的利用效率、实现资源的循环利用、提高资源在部门之间的流通性及在部门之间分配的公平性等实现。

References :

[1 ] Ulanowicz R E. Growth and Development Ecosystems phenomenology. New York Springer-Verlag , 1986.

[2 ] Ulanowicz R E. Toward the measurement of ecological integrity. Washington D C : Island Press , 2000. 99 — 113.

[3 ] Ulanowicz R E. Ecology , the Ascendent Perspective. New York : Columbia University Press , 1997.

[4 ] Patricio J , Ulanowicz R , Pardal M A , *et al.* Ascendency as an ecological indicator : a case study of estuarine pulse eutrophication. Estuarine , Coastal and Shelf Science 2004 , 60 ( 1 ) 23 — 35.

[5 ] Templet P H. Energy , diversity and development in economic systems : an empirical analysis. Ecology Economics , 1999 , 30 ( 2 ) 223 — 233.

[6 ] Xu Z M , Cheng G D , Chen D J , *et al.* Development capacity and sustainable development of China. Ecology Economics , 2002 , 40 ( 3 ) 369 — 378.

[7 ] Xu Z M , Zhang Z Q , Cheng G D. Methods and applications of the theory of ecological economics. Zhengzhou : Yellow River Water Conservancy Press , 2003.

[8 ] Ulanowicz R E , Norden J S. Symmetrical overhead in flow networks. Int. J. Syst. Sci. , 1990 21 ( 2 ) 429 — 437.

参考文献 :

[7 ] 徐中民 , 张志强 , 程国栋. 生态经济学理论方法与应用. 郑州 : 黄河水利出版社 2003.

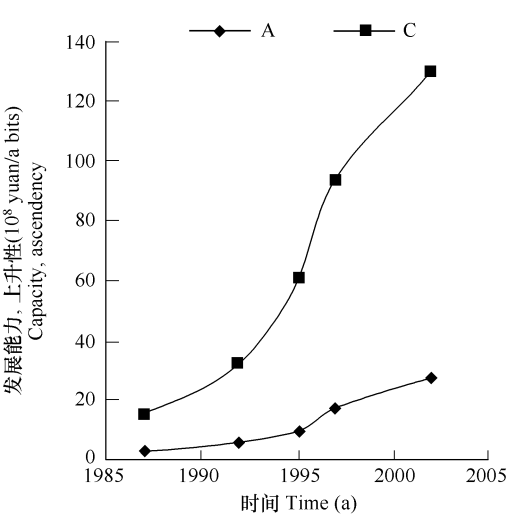


图2 C 和 A 的进化轨迹

Fig. 2 The evolving track of C and A



**Table 1** The flows information matrix of Gansu Province in 1992 ( $10^8$  yuan/a )

表中  $j$  和  $i$  的取值均为 0, 1, 2, ..., 8; 其中 0 代表进口, 1 ~ 6 依表中顺序代表各个部门, 7 代表增加值, 8 代表最终使用。The values of  $j$  and  $i$  are 0, 1, 2, ..., 8; Where 0 represents import, 1 ~ 6 represent sectors, 7 represents value added, 8 represents final demand.

**Table 2** The value of  $f_{ji}$  of 6 sectors of Gansu Province in 1992

[illegible]