
湖北生态足迹和经济增长的协整关系分析

向书坚 卢小兰

(中南财经政法大学信息学院, 湖北武汉430073)

摘要:本文应用生态足迹理论计算了湖北省1980 ~ 2007 年的各类生态足迹, 运用协整理论和误差修正模型研究了GDP 与各类生态足迹之间的长期均衡和短期波动关系。结果表明GDP 分别与总生态足迹、耕地足迹、化石能源足迹和建筑用地足迹之间存在协整关系, 与草地足迹、水域足迹和林地足迹不存在协整关系。经Granger 因果检验, 存在从GDP 到总生态足迹、化石能源用地足迹和建筑用地足迹的单向Granger 因果关系, 以及从耕地足迹到GDP 的单向Granger 因果关系。这表明长期以来湖北省为保持一定的经济增长导致了过度的能源消费, 与此同时, 经济增长对生物资源具有较强的依赖性。为保证湖北省经济可持续发展, 需改变这种资源依赖型、能源消耗型经济增长方式。

关键词:生态足迹; 经济增长; Granger 因果检验; 误差修正模型

中图分类号:F061 .3 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-5230(2009)06-0029-06

一、引言

生态足迹是由加拿大生态经济学家William Rees 及其博士生Wackernagel 于20 世纪90 年代初提出的一种度量可持续发展程度的方法, 它是一组基于土地面积的量化指标^[1] (P12 —97) 。生态足迹主要核算生物资源消费和能源消费所占用的生物生态性土地。生态承载力是指特定区域实际提供给人类的生物生产土地面积的总和, 生态盈余或赤字是指生态承载力和生态足迹之间的盈余或不足。

资源利用和经济发展的关系既对立又统一, 一方面合理利用资源会促进经济社会发展, 另一方面, 资源的过度消耗会制约经济社会发展。随着经济社会的快速发展, 必然面临资源需求增长、能源短缺和环境污染等问题。正确处理生物资源和能源消费与经济增长的关系, 对于保证社会经济长期稳定可持续发展具有重要意义。诸多学者对中国能源消费与经济变量之间的关系进行了大量的实证检验。林伯强实证研究了中国电力需求与国民收入、价格、重工业在国民收入中所占比重等7个经济指标之间的长期均衡关系, 建立了描述变量间短期动态关系的误差修正模型, 并对未来电力需求进行了预测^{[2] [3]}。贾兴振利用中国

收稿日期:2009-08-05

基金项目:教育部新世纪优秀人才支持计划项目“基于循环经济的经济增长评价问题研究”(NCET20720855); 湖北省高等学校人文社会科学重点研究基地“WTO 与湖北发展研究中心”项目“湖北城乡消费模式研究”(W2008018)

作者简介:向书坚(1963—), 男, 湖南洞口人, 中南财经政法大学信息学院教授, 博士生导师;

卢小兰(1972—), 女, 湖北黄石人, 中南财经政法大学信息学院讲师, 博士生。

1953 ~ 2003 年的年度数据, 采用协整分析技术、误差修正模型和Granger 因果关系检验方法, 检验了中国的能源消费总量以及各组成部分(煤炭、石油、天然气、水电)的消费量和国内生产总值之间的关系, 结果表明, 中国的能源消费总量与GDP 之间存在协整关系^[4]。

但是综合讨论生物资源消费和能源消费与经济增长之间关系的文献并不多见。李中才综合应用生态足迹模型、协整理论及误差修正模型, 分析了我国生态足迹与经济增长之间的关系, 研究了GDP与各种生态足迹之间的长期均衡和短期波动关系。研究结果表明GDP 分别与总生态足迹、耕地足迹、能源足迹之间存在协整关系, 而GDP 与草地足迹、林地足迹、建筑足迹、水域足迹不存在协整关系。并由误差修正模型得到GDP 每增加1 %, 需要增加0.61 %的生态足迹, 2.38 %的能源足迹、1.28 %的耕地足迹^[5]。但本文认为, 该文根据以各种生态足迹为自变量, 以GDP 为因变量建立的误差修正模型经简单推算得到的以上数量关系只是短期波动关系, 而长期协整关系必须从相应的协整方程中得到。为区分短期波动关系和长期协整关系异同, 必须将短期乘数和长期乘数加以区分。

本文首先计算湖北省1980 ~ 2007 年间各土地类型的生态足迹。然后对各生态足迹和经济增长进行平稳性检验、协整分析, 以发现经济增长与各生态足迹之间的长期协整关系。并进行Granger 因果检验, 以分析经济增长与生物资源消费和能源消费之间的Granger 原因和结果。最后由各协整方程计算误差修正项, 建立误差修正模型, 得到短期波动关系, 并对模型结果进行分析。

二、湖北省1980 ~ 2007 年生态足迹计算

1. 生态足迹模型

Wackernagel 等将“生态足迹”定义为:任何已知人口(某个人、一个国家或地区)的生态足迹是生产这些人口消费的所有资源及吸纳这些人口产生废弃物所必需的生物生产性土地面积和水域面积的总和, 它包括化石燃料用地、可耕地、林地、草地、建筑用地和水域等6 大类。其单位为“全球性公顷”(global hectare), 一个单位的“全球性公顷”相当于1 公顷具有全球平均产量的生态生产力空间。在生态足迹的计算中, 各种生物资源和能源消费项目被折算为上述6 类生物生产面积。由于这6 类土地单位面积的生物生产能力差距很大, 因而需赋予各类土地不同的均衡因子进行等量化处理。目前国际上普遍采用的均衡因子为:耕地和建筑用地为2.8, 林地与化石燃料用地为1.1, 草地为0.5, 水域为0.2。生态足迹的计算公式为:

$$EF = N \cdot ef = N \sum (a_i \cdot r_j) = N \sum (c_i / p_i \cdot r_j) \quad (1)$$

式中: i 为消费品的类型; j 为土地的类型; N 为人口总数; a_i 为第*i* 种消费品折算的人均生物生产面积; r_j 为第*j* 类土地的均衡因子; c_i 为第*i* 种消费品的人均消费量; p_i 为第*i* 种消费品的全球年均产量; ef 为人均生态足迹; EF 为总生态足迹。

此外, 关于生态承载力和生态盈余(赤字)的计算可参考文献^[1], 本文不在此赘述。

2. 基础数据

生态足迹的计算主要包括以下两部分:(1)生物资源的消费。本文该部分核算包括粮食、油料、棉花、麻类、糖类、蚕茧、烟叶、水果、肉类、禽蛋、奶类、水产品 and 木材等消费量。数据来源于《湖北统计年鉴》(1980 ~ 2008)、《湖北农村统计年

鉴》(1989 ~ 2008)和《新中国五十五年统计资料汇编》。生物资源生产面积折算采用联合国粮农组织(FAO)1993年计算的有关生物资源的世界平均产量资料。(2)能源的消费。该部分主要利用总能源消费(折标煤)和热力电力等主要消费数据,采用世界上单位化石燃料生产土地面积的平均发热量为标准,将区域的能源消费所消耗的热量换算成一定的化石燃料用地面积和建设用地面积。数据来源于《湖北统计年鉴》(1985 ~ 2008)、《湖北省四十年统计资料汇编》和《新中国五十五年统计资料汇编》。另外,由于生态足迹可以跨越区域界限,因而在生物资源和能源消费量的核算时应该考虑贸易的调整部分,但由于资料限制等原因,本文未核算贸易调整部分。

3. 计算结果

应用生态足迹模型,计算得到1980 ~ 2007年湖北省生态足迹时间序列,计算结果见表1。从表1中可看出,湖北省总生态足迹从1980年的3417.6万全球性公顷增加到2007年的12435.8万全球性公顷,28年间,生态足迹增加了近3倍。尽管湖北省总土地面积、6种类型的土地面积和每种生物资源单位面积的平均产量逐年发生变化,但总的来说,生态承载力波动不大,根据本文研究需要,未逐年计算湖北省生态承载力。以2007年为例,湖北省总土地面积为1859万公顷,利用各类土地面积数据折算得到,2007年湖北省生态承载力为2440.16万全球性公顷,生态赤字为9995.63万全球性公顷。意即要维持当下的消费水平,尚需4个湖北省总面积的生产性土地,可见,湖北省生物资源和能源过度消费状况堪为担忧。

表 1

1980~2007 年湖北省生态足迹

(单位: 万 hm^2)

年度	耕地足迹 GD	草地足迹 CD	水域足迹 SY	林地足迹 LD	化石能源 用地足迹 NY	建筑用地足迹 JZ	生态足迹 ZZ
1980	1 710.4	402.6	93.6	67.1	1 138.2	5.7	3 417.6
1981	1 932.2	396.3	104.0	55.3	1 236.9	6.7	3 731.4
1982	2 261.0	442.4	120.8	53.7	1 326.3	10.4	4 214.5
1983	2 237.7	463.9	144.7	55.8	1 427.2	10.5	4 339.8
1984	2 615.5	550.4	196.6	72.5	1 533.1	11.5	4 979.6
1985	2 604.2	747.7	258.6	76.3	1 728.8	11.9	5 427.5
1986	2 662.6	843.8	321.8	70.4	1 841.5	12.3	5 752.4
1987	2 677.6	883.3	401.9	72.8	2 001.8	14.4	6 051.8
1988	2 571.6	968.0	426.4	67.6	2 148.8	16.8	6 199.1
1989	2 693.3	964.6	458.6	75.3	2 229.6	19.4	6 440.8
1990	2 878.8	1 006.3	489.5	68.7	2 213.4	18.6	6 675.4
1991	2 649.5	1 082.8	480.2	123.5	2 311.3	18.0	6 665.4
1992	2 868.4	1 188.1	563.0	261.9	2 490.9	18.3	7 390.6
1993	2 737.7	1 329.2	698.6	73.8	2 398.6	20.7	7 258.5
1994	2 871.1	1 556.9	892.5	82.4	2 646.1	20.4	8 069.4
1995	3 036.3	1 818.7	1 040.8	100.9	2 834.5	22.3	8 853.4
1996	3 008.9	2 007.1	1 204.4	123.4	3 007.4	22.7	9 373.9
1997	3 241.1	1 642.3	1 395.7	149.9	3 118.6	24.8	9 572.4
1998	3 028.7	1 645.5	1 505.7	143.3	3 083.2	26.4	9 432.7
1999	3 011.7	1 669.3	1 579.1	139.9	3 110.8	32.5	9 543.3
2000	2 841.5	1 564.0	1 616.1	135.0	3 319.4	40.5	9 516.5
2001	2 787.4	1 646.9	1 670.2	265.9	3 360.6	38.7	9 769.7
2002	2 632.1	1 763.8	1 876.1	124.9	3 749.3	41.4	10 187.7
2003	2 540.9	1 911.7	1 977.7	138.9	3 829.8	44.3	10 443.3
2004	2 803.0	1 940.2	2 082.3	242.4	3 768.7	56.0	10 892.7
2005	2 851.2	2 054.9	2 194.5	255.4	4 875.8	64.6	12 296.4
2006	2 889.3	2 047.8	2 285.5	275.3	5 311.1	61.6	12 870.6
2007	2 848.5	1 912.0	2 055.2	297.4	5 249.4	73.4	12 435.8

三、湖北省生态足迹和经济增长关系的计量分析

1. 变量选择 and 数据处理

从各年度《湖北统计年鉴》中获得按当年价格计算的1980 ~ 2007 年间地区生产总值(GDP), 将各年的GDP 数据用GDP 平减指数换算成按1980 年不变价格计算的实际GDP。本文采用的变量有: 实际GDP、耕地足迹GD、草地足迹CD、水域足迹SY、林地足迹LD、化石能源用地足迹NY、建筑用地足迹JZ 和总生态足迹ZZ。为克服数据的剧烈波动和异方差的影响, 对上述各变量取对数并分别记为LGDP、LGD、LCD、LSY、LLD、LNY、LJZ 和LZZ。

2. 协整检验和格兰杰因果检验

(1) 平稳性检验。在对时间序列数据建立模型之前，必须对时间序列的平稳性进行单位根检验，以了解变量的平稳性情况和单整阶数。这里采用ADF 检验法对LGDP、LGD、LCD、LSY、LLD、LNY、LJZ 和LZZ 等序列进行单位根检验，检验结果见表2。结果表明，在1%或5%的显著水平下，序列LLD 平稳，序列LSY 为2 阶单整序列，而序列LGDP、LGD、LCD、LNY、LJZ 和LZZ 均为1 阶单整序列。

表 2 ADF 单位根检验

变量	检验类型(C, T, L)	T 统计量	1%临界值	5%临界值	结论
LGDP	(C, T, 1)	-2.864	-4.356	-3.595	非平稳
DLGDP	(C, 0, 0)	-3.913	-3.711	-2.981	平稳
LGD	(C, T, 0)	-3.522	-4.339	-3.588	非平稳
DLGD	(C, 0, 0)	-5.615	-3.711	-2.981	平稳
LCD	(C, T, 0)	-0.792	-4.339	-3.588	非平稳
DCD	(C, T, 0)	-4.020	-4.356	-3.595	平稳
LSY	(C, T, 6)	-2.479	-4.468	-3.645	非平稳
DLSY	(C, T, 1)	-2.664	-4.356	-3.595	非平稳
D ² LSY	(0, 0, 0)	-4.728	-2.661	-1.955	平稳
LLD	(C, T, 1)	-4.956	-4.356	-3.595	平稳
LNY	(C, T, 0)	-2.537	-4.339	-3.588	非平稳
DLNY	(C, 0, 0)	-5.357	-3.711	-2.981	平稳
LJZ	(C, T, 0)	-2.955	-4.339	-3.588	非平稳
DLJZ	(C, 0, 0)	-4.838	-3.711	-2.981	平稳
LZZ	(C, T, 0)	-2.520	-4.339	-3.588	非平稳
DLZZ	(C, 0, 0)	-4.252	-3.711	-2.981	平稳

注：①检验类型(C, T, L)分别代表是否包含常数项、趋势项以及滞后阶数。

②滞后阶数利用EViews6.0 根据AIC 信息准则确定。

(2) 协整检验。协整是指若同阶单整的两个或多个非平稳的变量序列，若其某个线性组合后的序列呈平稳性，则称这些变量序列间协整关系存在。检验变量间是否存在协整关系最常用的方法有两种：一种是基于回归系数的协整检验，如JJ 检验法(Johansen-Juselius)；另一种是基于回归残差的协整检验，如Engle 和Granger 提出的EG 两步法^[6] (50—61)^[7] (P154—165)。JJ 检验法是一种以VAR 模型为基础的检验回归系数的方法，是一种进行多变量协整检验的方法，EG 两步法适用于单方程的协整检验。鉴于本文研究目的和模型中选用的变量个数，采用EG 两步法进行检验^[8]。

由于序列LGDP、LGD、LCD、LNY、LJZ 和LZZ 同为1 阶单整序列，可以进一步检验它们之间是否存在长期协整关系。先分别建立LGDP-LGD、LGDP-LCD、LGDP-LNY、LGDP-LJZ、LGDP-LZZ的静态回归方程，再对静态回归所得到的残差进行单位根检验，检验结果见表3。

表 3

回归方程和协整检验

变量	模型(2) LGD	模型(3) LCD	模型(4) LNY	模型(5) LJZ	模型(6) LZZ
C	7.149 8 (42.516)	2.904 4 (9.127)	4.393 7 (37.890)	-2.342 3 (-10.518)	5.909 0 (49.580)
LGDP	0.113 9 (4.440)	0.636 9 (13.138)	0.529 2 (29.920)	0.835 1 (24.587)	0.461 7 (25.340)
R ²	0.431	0.869	0.972	0.959	0.961
DW	0.383	0.1861	0.592	0.665	0.2785
F	19.714	172.617	859.190	604.497	645.150
残差序列 单位根检验	平稳	非平稳	平稳	平稳	平稳

由表3可知,在5%的显著性水平下, LGDP 分别和LGD、LNY、LJZ、LZZ之间存在协整关系, LGDP和LCD之间不存在协整关系。意即从长期来看,湖北省地区生产总值和能源消费、生物资源消费存在长期稳定的正向相关关系。

(3) 格兰杰(Granger)因果检验。Granger指出,如果变量之间是协整的,那么至少存在一个方向上的Granger原因。LGDP分别和LGD、LNY、LJZ、LZZ之间协整关系成立,隐含着它们之间一定存在某种因果关系。至于因果关系的方向如何,下面用Granger因果检验来判断。由于Granger因果关系检验对滞后阶数的选择非常敏感,本文采用AIC准则确定最优滞后阶数。检验结果见表4。从表4可以看出在5%的显著性水平下,存在从LGDP到LNY和从LGDP到LJZ的单向格兰杰因果关系;在10%的显著性水平下,还存在从LGD到LGDP和从LGDP到LZZ的单向格兰杰因果关系。这说明构成生物资源消费主要部分的耕地足迹Granger单向因果影响湖北经济增长,而湖北经济增长Granger单向因果影响湖北能源消费足迹。

表 4

格兰杰因果检验

变量关系	零假设	滞后阶数	F 统计量	零概率
LGDP-LGD	LGDP不是LGD的Granger原因 LGD不是LGDP的Granger原因	5	0.522 75 2.499 62	0.754 9 0.089 9
LGDP-LNY	LGDP不是LNY的Granger原因 LNY不是LGDP的Granger原因	1	6.245 57 0.306 63	0.019 7 0.584 9
LGDP-LJZ	LGDP不是LJZ的Granger原因 LJZ不是LGDP的Granger原因	2	6.668 06 0.714 54	0.005 7 0.500 9
LGDP-LZZ	LGDP不是LZZ的Granger原因 LZZ不是LGD的Granger原因	1	2.773 19 0.035 95	0.108 9 0.851 2

3. 误差修正模型分析

根据格兰杰(Granger)定理,一组具有协整关系的变量可建立误差修正模型(ECM),该模型可对短期波动和长期均衡进行直接描述。单方程的误差修正模型的估计可用EG两步法,其基本思路如下:(1)经上一步协整回归得到残差序列 μ_t 。(2)从滞后阶数2阶开始,逐步去掉不显著的变量及滞后项,建立如下误差修正模型:

$$\Delta y_t = \alpha_0 + \sum_{i=0}^2 \phi_{t-i} \Delta x_{t-i} + \sum_{i=1}^2 \varphi_{t-i} \Delta y_{t-i} + \alpha_1 ECM_{t-1} + \varepsilon_t \quad (7)$$

这里 $ECM_{t-1} (ECM_{t-1} = y_{t-1} - \beta_0 - \beta_1 x_{t-1})$ 称为误差修正项,其中 β_0 和 β_1 称为长期均衡系数。参数 α_1 称为调整系数($\alpha_1 < 0$),表示在 $t-1$ 期 y_{t-1} 相对于 $\beta_0 + \beta_1 x_{t-1}$ 之间的偏差的调整速度。由于湖北省耕地足迹、能源用地足迹、建筑用地足迹、总生态足迹和经济增长之间存在协整关系,可建立误差修正模型。由模型(2)、(4)、(5)、(6)得到残差序列,利

用模型(7)逐步去掉不显著的变量和滞后项,分别建立如下的误差修正模型。

$$\begin{aligned} \text{DLGD} = & 0.2592\text{DLGDP} - 0.3475\text{ECM}_{2,t-1} + \varepsilon_{1t} & (8) \\ & (2.564) \quad (-3.453) \end{aligned}$$

$$R^2 = 0.371 \quad \text{DW} = 2.017$$

$$\begin{aligned} \text{DLNY} = & 0.5653\text{DLGDP} - 0.3448\text{ECM}_{4,t-1} + \varepsilon_{2t} & (9) \\ & (5.869) \quad (-2.497) \end{aligned}$$

$$R^2 = 0.260 \quad \text{DW} = 2.014$$

$$\begin{aligned} \text{DLJZ} = & 0.8610\text{DLGDP} - 0.4122\text{ECM}_{5,t-1} + \varepsilon_{3t} & (10) \\ & (4.521) \quad (-2.875) \end{aligned}$$

$$R^2 = 0.175 \quad \text{DW} = 1.516$$

$$\begin{aligned} \text{DLZZ} = & 0.5342\text{DLGDP} - 0.2471\text{ECM}_{6,t-1} + \varepsilon_{4t} & (11) \\ & (8.044) \quad (-2.614) \end{aligned}$$

$$R^2 = 0.443 \quad \text{DW} = 1.632$$

模型(8)、(9)、(10)和(11)分别表明了耕地足迹、化石能源用地足迹、建筑用地足迹和总生态足迹的短期波动是如何被决定的。一方面,它们受到GDP短期波动的影响。短期内,当GDP每增加1%时,耕地足迹增加0.2592%,化石能源用地足迹增加0.5653%,建筑用地足迹增加0.8610%,总生态足迹增加0.5342%。另一方面,它们还取决于各生态足迹在短期波动中偏离长期均衡关系的程度。以上4个模型的误差修正系数均显著小于零,符合反向修正机制。意即当上一期各生态足迹高于(低于)均衡值时,本期该生态足迹就会下降(上升)。其中,耕地足迹偏离均衡状态的34.75%部分会在一年之内得以调整,化石能源用地足迹偏离均衡状态的34.48%部分会在一年之内得以调整,建筑用地足迹偏离均衡状态的41.22%部分会在一年之内得以调整,调整的幅度很大。而总生态足迹短期波动偏离长期均衡时的24.71%部分也会在一年之内得以调整,调整的幅度较大。

四、结论

本文综合应用生态足迹理论、协整理论、误差修正模型和Granger因果检验方法,研究了湖北省各类生态足迹与经济增长长期均衡和短期波动关系。

通过协整分析可以看出,湖北省的经济增长与总生态足迹、能源足迹、耕地足迹和建筑用地足迹之间具有协整关系,与草地足迹、林地足迹和水域足迹不存在协整关系。Granger因果检验表明,存在从GDP到化石能源用地足迹、建筑用地足迹和总生态足迹的单向Granger因果关系,以及从耕地足迹到GDP的单向Granger因果关系。这表明长期以来湖北省的经济增长带来了过度的能源消费,与此同时,经济增长对生物资源具有很强的依赖性。协整模型(2)、(4)、(5)和(6)说明长期均衡状态下,GDP每增加1%,耕地足迹增加0.1139%,化石能源用地足迹增加0.5292%,建筑用地足迹增加0.8351%,总生态足迹增加0.4617%。误差修正模型(8)~(11)表明短期内,GDP每增加1%,耕地足迹将增加0.2592%,化石能源用地足迹增加0.5653%,建筑用地足迹增加0.8610%,总生态足迹增加0.5342%。而且,短期内耕地足迹、化石能源用地足迹、建筑用地足迹和总生态足迹相对于长期均衡状态的偏离能分别以34.75%、34.48%、41.22%和24.71%的比例在一年之内得以调整。

由以上分析可以看出,长期来看,湖北省经济增长方式为生物资源依赖和能源过度消耗型,短期内,这种生物资源依赖和能源过度消耗更为严重。因此,湖北省的经济要保持长期稳定协调发展,必须改变现有的经济增长方式。本文认为应注意以下几个方面:(1)进一步降低单位GDP能耗,优化能源结构,发展替代能源,提高利用效率。有序开发水电,适度发展火电,加快发展核电;因地制宜开发风能、太阳能、生物质能等可再生能源;努力建立煤炭供应长效机制和能源储备机制,扭转能源对地区

经济发展的束缚现状。(2)严格保护耕地，特别是加强基本农田保护，适度提高复种指数，增强土地利用效率。切实保护生态环境、农业资源和农业景观，依靠农业科技进步，提高湖北农业竞争力和可持续发展能力。(3)转变消费习惯，建立清洁高效的能源消费结构和健康合理的生活消费结构，大力提倡和树立和谐消费观念，构建资源节约型和环境友好型的和谐消费模式。

参考文献:

- [1] Wackernagel, Rees W E .Our Eco logical Footprint: Reducing Human Impact on the Earth[M] .GabriolaIsla nd :New Society Publishers , 1996 .
- [2] 林伯强. 中国能源需求的计量经济分析[J] . 统计研究, 2001 , (10):34 — 38 .
- [3] 林伯强. 结构变化效率改进与能源需求预测[J] . 经济研究, 2003 , (5):57— 65.
- [4] 贲兴振, 杨宝臣. 中国能源消费和经济增长的协整关系分析[J] . 哈尔滨理工大学学报, 2005, 10(4):116— 120.
- [5] 李中才, 王广成, 关晓吉. 中国生态足迹与经济成长的协整与误差修正[J] . 资源科学, 2008, 30(2):261 — 266.
- [6] 李子奈, 叶阿忠. 高级计量经济学[M] . 北京:清华大学出版社, 2000.
- [7] 高铁梅. 计量经济分析方法与建模[M] . 北京:清华大学出版社, 2005 .
- [8] 马超群, 储慧斌, 李科, 等. 中国能源消费与经济成长的协整与误差校正模型的研究[J] . 系统工程, 2004, 22(10):47 — 50.