

# 基于投资分析的股票市场 投资者行为演化蚁群算法模型

孙永征<sup>1,2</sup>, 孙经先<sup>3</sup>, 刘亮<sup>4</sup>

(1. 中国矿业大学 理学院, 江苏 徐州 221008; 2. 复旦大学 非线性科学研究中心, 上海 200433; 3. 徐州师范大学 数学系, 江苏 徐州 221008; 4. 复旦大学 管理学院, 上海 200433)

**摘要:**文章根据股票市场投资者行为与蚁群觅食行为的相似性,建立了基于混合行为蚁群算法的股票市场投资者行为演化模型;研究了“熊市”与“牛市”时不同投资者行为与市场稳定性的关系;并利用 Matlab 进行了模拟,结果表明,投资者行为与股票价格及市场稳定性之间存在复杂的关系。

**关键词:**蚁群算法; 投资行为; 市场稳定性

中图分类号: N941.14

文献标识码: A

文章编号: 1003-5060(2008)2-0257-05

## Model for evolving simulation of investment behavior in a stock market based on investment analysis and the ant colony algorithm

SUN Yong-zheng<sup>1,2</sup>, SUN Jing-xian<sup>3</sup>, LIU Liang<sup>4</sup>

(1. School of Sciences, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China; 2. Research Center and Laboratory of Mathematics for Nonlinear Science, Fudan University, Shanghai 200433, China; 3. Dept. of Mathematics, Xuzhou Normal University, Xuzhou 221008, China; 4. School of Management, Fudan University, Shanghai 200433, China)

**Abstract:** In light of the similarity between the investment behavior in a stock market and the food-finding behavior of an ant colony, the evolving model of investment behavior in a stock market is formulated based on the hybrid behavior ant colony algorithm (HBACA). The relation between different investor's behavior and the stock market stability is researched in the case that the market is a bull one or a bear one. Simulation of the model is made by using the Matlab, and the results show that the relation is complicated.

**Key words:** ant colony algorithm; investment behavior; market stability

股票市场是一个复杂的、充满不确定性的市场,同时也是一个信息不对称的市场。投资者的行为具有很大的不确定性,如何分析模拟股票市场的投资者行为是近年来的研究热点。文献[1]开发了基于 Agent 的人工股票市场模型(ASM),并且开发了相应的模拟工具 SWARM。

文献[2~4]将元胞自动机的建模理论与方法应用于股票市场的复杂性研究,建立了基于元胞自动机的股票市场投资者行为演化模型,对股票市场上的投资者行为进行模拟。

蚁群算法是近年来出现的一种新型的仿生优化算法,是由文献[5]首先提出来的,他们充分利用蚁群搜索食物的过程与旅行商问题(TSP)之间的相似性,解决了 TSP 问题,取得了很好的结果。随后,蚁群算法被用来求解武器-目标分配问题<sup>[6]</sup>、指派问题<sup>[7]</sup>、频率分配问题<sup>[8]</sup>及电力系统故障诊断<sup>[9]</sup>等 NP 完全问题,显示出蚁群算法在求解复杂优化问题方面的优越性。近年来众多学者在蚁群算法的改进方面作了大量的研究工作,拓宽了蚁群算法的应用领域<sup>[10]</sup>。文献[11]提出了

基于混合行为的蚁群算法(HBACA)。该算法通过定义具有不同行为特征的蚂蚁,并通过调整不同行为蚁群的比例,保证了蚁群算法在避免停滞现象的同时具有较高搜索较好解的能力。

股票市场上投资者为了获取更高的收益,采取不同的投资方式买卖股票的行为与自然界中蚂蚁觅食存在许多相似之处。投资者对应着蚂蚁;股票对应着食物源;投资者寻找高收益率的股票对应着蚂蚁寻找距蚁穴最近的食物源;股票的人气吸引力对投资者的吸引对应着信息素对蚂蚁的吸引力;当投资者预期股票会下跌时出售当前持有股票转而购买新的股票,对应着当食物减少后蚂蚁陆续离开当前的食物转而去寻找新的食物源。基于这种相似之处,本文在分析了股票价格变动的规律以及股票市场上投资者的各种心理后,建立了基于混合行为蚁群算法的投资者行为演化模型。考虑到现实的股票市场中投资者的投资策略除了受“从众心理”、“贪婪心理”及“损失厌恶心理”等心理因素影响外,还会受到股票的技术分析与基本分析的影响。从而模型中引入了投资分析系数,最后用 Matlab 对投资者的行为进行模拟。

## 1 基于 HBACA 的投资者行为演化模型

股票的内在投资价值  $pf$  是形成股价  $p$  的基础,股价只不过是其内在价值的外在表现,在信息充分的情况下,股票价格应该是其内在价值的无偏估计。股票价格总是围绕着其投资价值波动,但总不能摆脱内在价值对它的束缚。然而,在实践中要准确确定股票内在价值是完全不可能的。事实上,股票的内在价值的确定在很大程度上依赖于对发行该股票的公司业绩的预期。而预期是指向未来的,未来是不确定的,每个投资者对未来的判断可能都不一样。从而,股价则体现了众多投资者对股票内在投资价值的预期的综合。低买高卖是投资股票的重要法则,其核心是对股票进行估价。股票市场价格的高和低是相对其内在价值而言的。但投资者即使购买了自己评估其市场价格低于内在价值、预期其市场价格将要上涨的股票,实际上也不一定会上涨。此时投资者只有购买其他绝大多数投资者预期价格上涨的股票,购买后股价才有可能上涨。基于以上分析,假设股票价格的变化有如下的动态规律,即

$$dp/dt = \lambda\tau + \mu(pf - p) \quad (1)$$

其中,  $\tau$  为该股票的人气吸引力,用购买该股票的

人数减去出售该股票的人数表示;  $\lambda, \mu$  为速度调整系数。为了便于计算,本文采用(1)式的离散形式,即

$$p(t+1) = p(t) + \lambda\tau + \mu(pf - p(t)) \quad (2)$$

不同心理的投资者具有不同的投资策略与行为方式。具有“从众心理”的投资者以从众方式购买一只股票,即购买大部分投资者都在购买的股票;具有“贪婪心理”的投资者以贪婪的方式选择购买一只股票,即购买收益率高的股票;具有“损失厌恶心理”的投资者以稳健的方式选择他认为风险最低的股票。当然每个投资者的心理不仅很复杂而且也经常发生变化。为了便于分析,本文只考虑每种投资心理的投资者比例与市场稳定性的关系。

现实的股票市场中投资者的投资策略除了受心理因素影响外,还会受到股票的技术分析与基本分析的影响。技术分析指标主要有趋势型指标、超买超卖型指标、人气型指标及大势型指标等内容。例如股票人气型指标中的能量潮指标(OBV)通过统计成交量变动的趋势来推测股价趋势,即股价上升(下降),而 OBV 也相应上升(下降),则可确认当前上升(下降)趋势股价上升(下降),但 OBV 并未相应上升(下降),出现背离现象,则对目前上升(下降)趋势的认定程度要大打折扣。基本分析主要包括宏观经济分析、行业分析、地域分析及公司分析。最重要的是对拟投资公司的基本情况进行分析,包括公司的经营情况、管理情况、财务状况及未来发展前景等。股票的技术分析与基本分析的结果会影响投资者的投资策略,技术与基本分析的最终结论都是利多或利空,所引起的直接结果或是促进投资者作出买入决策或卖出决策,在模型中都是通过改变投资者的选择概率影响投资者的投资策略。本文中引入了投资分析系数  $A_i$ ,取值范围为  $[-1, 1]$ 。 $A_i > 0$  表示投资分析的结果利多,投资者作出买入决策的概率增加; $A_i < 0$  表示投资分析的结果利空,投资者作出卖出决策的概率增加;当投资分析结果对投资者的投资策略没有影响或投资者未作投资分析时  $A_i = 0$ 。本文假设所有投资者都具有相同的技术分析与基本分析能力,但不同的投资心理对投资分析的重视程度是不一样的。例如,“损失厌恶心理”的投资者比其他投资者更看重投资分析。

### 1.1 算法设计

设有  $n$  只股票  $m$  个投资者。股票的收益率

为  $R_i (i=1, 2, \dots, n)$ , 用  $p_i(t) - p_i(t-1)/p_i(t-1)$  计算。 $\tau_i$  为股票  $i$  上的人气吸引力, 并设每只股票的初始人气吸引力  $\tau_i(0) = \text{常数}$ 。设  $p_{ij}^k$  为第  $k$  个投资者按照一定的行为方式卖出股票  $i$  买进股票  $j$  的概率。根据前面对投资者行为的分析, 定义如下 3 种投资行为。

(1) “从众心理”的投资者按(3)式选择下一只要购买的股票, 即

$$p_{ij}^k = \tau_j^a(t) / \sum_{i=1}^n \tau_i^a(t) + \theta_1 A_i \quad (3)$$

其中,  $\tau_i(t)$  为  $t$  时股票  $i$  的人气吸引力;  $\alpha$  为信息启发因子;  $\theta_1$  为“从众心理”投资者的理性因子。

(2) “贪婪心理”投资者以贪婪方式选择下一只要购买的股票, 即

$$p_{ij}^k = \begin{cases} \eta_{ij}^\beta / \sum_{s=1}^n \eta_{is}^\beta + \theta_2 A_i & (\eta_{ij} > 0) \\ 0 & (\text{其他}) \end{cases} \quad (4)$$

其中, 启发函数  $\eta_{ij}$  由下式给出, 即

$$\eta_{ij} = R_j - R_i \quad (5)$$

其中,  $\beta$  为期望启发因子;  $\theta_2$  为“贪婪心理”投资者的理性因子。

(3) “损失厌恶心理”投资者以(6)式选择下一只要购买的股票, 即

$$p_{ij}^k = \begin{cases} \frac{p_f(j) - p(j)}{\sum_{i=1}^n p_f(i) - p(i)} + \theta_3 A_i & (p_f(j) > p(j)) \\ 0 & (\text{其他}) \end{cases} \quad (6)$$

其中,  $\theta_3$  为“损失厌恶心理”投资者的理性因子。

当所有的投资者都做一次选择, 也即在一个循环结束后, 要对所有股票的人气吸引力按如下规则进行调整, 即

$$\tau_j(t+1) = \rho \tau_j(t) + \Delta \tau_j \quad (7)$$

其中

$$\Delta \tau_j = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m \Delta \tau_{ij}^k - \sum_{i=1, i \neq j}^n \sum_{k=1}^m \Delta \tau_{ij}^k \quad (8)$$

$$\Delta \tau_{ij}^k = \begin{cases} 1 & (i \neq j) \\ 1 - \rho & (i = j) \\ 0 & (\text{其他}) \end{cases} \quad (9)$$

其中,  $i \neq j$  表示第  $k$  个投资者在本次循环中卖出股票  $i$  买进股票  $j$ ;  $i = j$  表示第  $k$  个投资者在本次循环中继续持有股票  $j$ ;  $\rho$  为信息素挥发系数。

由于这里定义了投资者的 3 种行为, 因此可以将投资者按投资行为分成 3 个子群, 每个子群中的投资者具有相同的行为特征。设各子群中投

资者数目的比例为  $r_1 : r_2 : r_3$ 。

## 1.2 算法具体步骤

(1) 参数初始化。设股票数为  $n$ ; 投资者人数为  $m$ ; 最大循环次数为  $N_{\max}$ ; 不同投资者数目的比例为  $r_1 : r_2 : r_3$ ; 每只股票的基础价值为  $p_i(f)$ ; 初始交易价格为  $p_i(0)$ ; 股票的投资分析系数为  $A_i$ ; 每只股票的初始人气吸引力为  $\tau_i(0)$ ; 信息素挥发系数为  $\rho$ ; 信息启发因子为  $\alpha$ ; 期望启发因子为  $\beta$ ; 3 类投资者的理性因子为  $\theta_i (i=1, 2, \dots, n)$ 。

(2) 生成  $m$  个投资者, 其中,  $mr_1/(r_1+r_2+r_3)$  个采取行为 1, 另外  $mr_2/(r_1+r_2+r_3)$ 、 $mr_3/(r_1+r_2+r_3)$  个分别采取行为 2、行为 3。

(3) 每个投资者群体中的投资者, 在  $n$  只股票中随机地选择一只。

(4) For 每个投资者 do;

Repeat 按自己的行为规则选择下一只要购买的股票;

End for

(5) 按(7)~(9)式更新每只股票的人气吸引力, 按(2)式计算本次循环之后每只股票的价格, 并求每只股票的收益率。

(6) 置  $N_c = N_c + 1$ ;

If  $N_c > N_{\max}$  then 输出结果; 退出算法  
else 转第(4)步

End if

## 2 模拟结果与分析

(1) 模型基本参数。在模拟试验中股票的数量越多投资者的数量越大, 就越能看出股票市场稳定性与投资者行为的关系, 但考虑到计算机的速度, 本文取股票数量  $n=3$ , 蚂蚁数量  $m=100$ , 最大循环次数  $N_{\max}=100$ 。根据蚁群算法参数最优组合的三步走方法<sup>[10]</sup>, 经过反复模拟取  $\rho=0.8$ ,  $\alpha=1.5$ ,  $\beta=3$ ,  $\lambda=0.0005$ ,  $\mu=0.05$ 。

3 只股票的基础价值  $p(f)=[12, 17, 19]$ , 3 只股票的初始价格  $p(0)=[15, 15, 15]$ 。由于“从众心理”投资者主要是跟风购买, 所以在这 3 类投资者中他最不看重投资分析, 也是最缺乏理性的。而“损失厌恶心理”的投资者比其他投资者更看重投资分析也就更理性。故应有  $\theta_1 < \theta_2 < \theta_3$ , 在模拟时取  $\theta_1=0.1$ ,  $\theta_2=0.3$ ,  $\theta_3=0.5$ 。股票的投资分析系数  $A_i$  可以在  $[-1, 1]$  区间中随机选取。本文中只考虑  $A_i=-1$  与  $A_i=1$  的情形, 其他情形可类似讨论。其中,  $A_i=-1$  表示股票市场行情

普遍看涨,延续时间较长的大升市,即所谓“牛市”; $A_i=1$  表示股票市场行情普遍看跌,延续时间较长的大跌市,即所谓“熊市”。

(2) “熊市”与“牛市”时各种投资行为与股票市场稳定性的关系。本文用股票价格序列的方差  $var(p)$  衡量市场的稳定性。只给出第 2 只股票的价格方差  $var(p_2)$ ,对于其他 2 只股票的有类似结论。当所有的投资者都以随机的方式选择购买一只股票,此时的模拟结果如图 1 所示。可以看出,此时股票的成交量在 35 附近波动。股票的价格围绕其根本价值波动,股价相对稳定。可见投资者的随机购买行为对市场稳定性影响较小。为了便于分析,在分析其余几种投资行为与市场稳定性的关系时,取  $r_i=1-r_0, r_j=0, i \neq j (i, j=2, 3, 4, 5)$ ,其中  $r_0$  表示采取随机购买行为的投资者比例,当然在真实的股票市场中几乎没有投资者采用随机的方式购买股票,这里只是为了便于讨论。表 1、表 2 分别给出了“熊市”、“牛市”时  $r_i$  分别取 0.1,0.2,...,1.0 时,第 2 只股票的价格波动方差  $var_i(p_2)(i=1,2,3,)$ 。

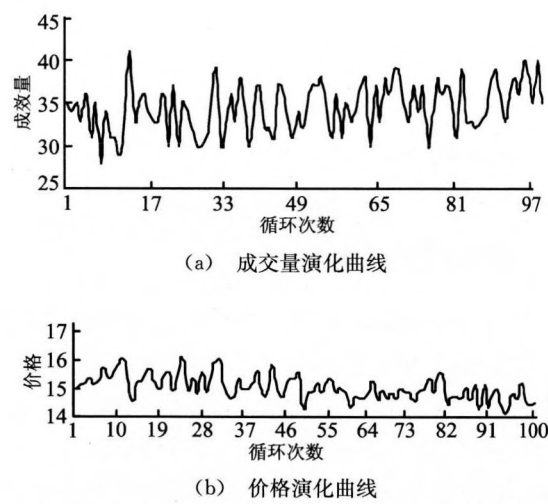


图 1  $r_0=1$  时第 2 只股票成交量与价格的演化曲线

表 1 “熊市”时  $var_i(p_2)$  与  $r_i$  的关系( $i=1,2,3$ )

| $r_i(i=1,2,3)$ | $var_1(p_2)$ | $var_2(p_2)$ | $var_3(p_2)$ |
|----------------|--------------|--------------|--------------|
| 0.35           | 0.1          | 0.42         | 0.64         |
| 0.2            | 0.78         | 1.02         | 0.56         |
| 0.3            | 1.23         | 1.46         | 1.00         |
| 0.4            | 1.47         | 2.18         | 1.41         |
| 0.5            | 2.10         | 2.65         | 2.43         |
| 0.6            | 2.32         | 2.68         | 1.62         |
| 0.7            | 2.89         | 2.95         | 0.33         |
| 0.8            | 2.61         | 3.16         | 0.25         |
| 0.9            | 2.23         | 3.43         | 2.34         |
| 1.0            | 0.24         | 3.50         | 0.27         |

表 2 “牛市”时  $var_i(p_2)$  与  $r_i$  的关系( $i=1,2,3$ )

| $r_i(i=1,2,3)$ | $var_1(p_2)$ | $var_2(p_2)$ | $var_3(p_2)$ |
|----------------|--------------|--------------|--------------|
| 0.1            | 0.54         | 0.72         | 0.67         |
| 0.2            | 0.81         | 1.13         | 1.01         |
| 0.3            | 1.45         | 1.67         | 1.20         |
| 0.4            | 1.74         | 2.13         | 2.01         |
| 0.5            | 2.35         | 2.55         | 2.50         |
| 0.6            | 2.72         | 2.74         | 1.62         |
| 0.7            | 3.21         | 3.30         | 0.44         |
| 0.8            | 2.76         | 3.36         | 0.35         |
| 0.9            | 2.23         | 3.62         | 3.30         |
| 1.0            | 0.41         | 3.83         | 0.33         |

从表 1、表 2 可见,随着采取从众行为投资者的比例  $r_1$  的增加,第 2 只股票的价格方差  $var_1(p_2)$  也随之增大。说明采取从众行为的投资者越多,市场越不稳定。同样随着采取贪婪行为的投资者的比例  $r_2$  的增加,第 2 只股票的价格方差  $var_2(p_2)$  先增大后减小。比较  $var_1(p_2)$  与  $var_2(p_2)$  可见,由贪婪行为引起股价的波动大于由从众行为引起的股价的波动。而且当市场上所有的投资者都采取从众行为时,市场突然变得很稳定。如表 1、表 2 所示,当有 60%~90% 的投资者采取从众行为时价格出现较大波动,市场不稳定;当所有的投资者都采取从众行为时,第 2 只股票的价格波动较小,很快便稳定在 15 左右。这与文献[3]中得到的市场稳定性与从众概率成反比结论不同。这是由于当所有的投资者都采取从众行为,购买某一只股票的人数明显大于购买其它股票的人数时,从众行为使购买其他股票的投资者转而购买该股票,所以最后所有的投资者都购买了同一只股票。当  $r_1 \neq 1$  时,由于有些投资者随机地选择一只股票,随机购买的投资者的行为会对从众投资者的选择产生影响。从表 1、表 2 的  $var_3(p_2)$  可以看出,市场的稳定性与“损失厌恶心理”投资者的比例的关系是非单调的。与  $var_i(p_2)(i=1,2)$  相比,不同机构投资者比例所对应的第 2 只股票价格的波动较小。也即“损失厌恶心理”投资者的存在有利于市场的稳定。这是由于“损失厌恶心理”投资者更具理性,在作出投资决策时会更多地参考对股票的技术分析与基本面分析。

比较表 1 与表 2 的结果可见,“熊市”时的市场比“牛市”时稳定。这是由于“牛市”时股市成交量不断增加。越来越多的投资人进入市场。股市的每次回落不但不会使投资人退出市场,反而吸引更多的投资人加入。市场情绪高涨,充满乐观

气氛。相反,“熊市”时整个股票市场弥漫着悲观气氛,投资者缺乏信心,成交量不断缩小。

### 3 结束语

本文将蚁群算法应用到股票市场复杂性研究中,研究了“熊市”与“牛市”时不同投资者行为与市场稳定性的关系,所得到的结论有一定的应用价值。另外,本文是对蚁群算法应用范围的拓展,同时也是对金融市场的复杂性研究方法的创新,具有重要的理论意义。研究结果表明,蚁群算法作为研究复杂性系统的一项重要工具,在金融市场的复杂性研究中将展现出其巨大的潜能。

### 参 考 文 献

- [1] Brian A W, Durlauf S N, Lane D A, et al. The economy as an evolving complex system II [M]. Reading: Addison-Wesley, 1997: 50—150.
- [2] 应尚军, 魏一鸣, 范英, 等. 基于元胞自动机的股票市场投资行为模拟[J]. 系统工程学报, 2001, 16(5): 382—388.
- [3] 应尚军, 魏一鸣, 范英, 等. 基于元胞自动机的股票市场复杂性研究——投资者心理与市场行为[J]. 系统工程理论与实践, 2003, (12): 18—24.
- [4] 应尚军, 魏一鸣, 范英, 等. 基于投资分析的股票市场演化

元胞自动机模型[J]. 管理评论, 2004, 16(11): 4—9.

- [5] Dorigo M, Maniezzo V, Colnari A. Ant system: optimization by a colony of cooperating agents[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B, 1996, 26(1): 29—41.
- [6] Lee Z J, Lee C Y, Su S F. An immunity-based ant colony optimization algorithm for solving weapon-target assignment problem[J]. Applied Soft Computing, 2002, 2(1): 39—47.
- [7] Talbi E G, Roux O, Fonlupt C, et al. Parallel ant colonies for the quadratic assignment problem[J]. Future Generation Computer Systems, 2001, 17(4): 441—449.
- [8] Maniezzo V, Carbonaro A. An ANTS heuristic for the frequency assignment problem[J]. Future Generation Computer Systems, 2000, 16(8): 927—935.
- [9] Chang C S, Tian L, Wen F S. A new approach to fault section in power systems using ant system[J]. Electric Power Systems Research, 1999, 49(1): 63—70.
- [10] 段海滨. 蚁群算法原理及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 34—36.
- [11] 胡小兵, 黄席樾. 基于混合行为蚁群算法的研究[J]. 控制与决策, 2005, 20(1): 69—71.

(责任编辑 张 翎)

(上接第 256 页)

表 2 模拟结果

|              | 多主体组织 A | 多主体组织 B |
|--------------|---------|---------|
| 100 期的平均产出   | 0.356   | 2.507   |
| 100 期的平均效用   | 0.647   | 1.988   |
| 100 期的平均努力水平 | 0.199   | 0.492   |
| 100 期的平均规模   | 3.01    | 8.51    |

### 4 结 论

分配方式的不同,主体的努力水平对他人的努力水平的依赖程度也不同。平均分配方式下,主体的努力水平对他人的努力水平具有较强的依赖关系,他人越努力,自己就可以越不努力。而在按劳分配方式条件下,主体的努力水平对他人的努力水平的依赖程度较低,每个主体得到收入多少与自己的努力水平具有较强的正相关关系;按劳分配方式下主体的平均效用水平也要高于平均分配下的主体的平均效用水平。因此在制定产出分配政策时,把主体的收入与自身的努力水平挂钩,可以得到更好的激励效果。

本文的研究是建立在一系列假设条件下的,因此模型存在诸多扩展之处,比如主体偏好的多样性、产出函数中的协同效应以及分配方式复杂

性等等,这些都有待于以后进一步的研究。

### [参 考 文 献]

- [1] 谭跃进, 邓宏钟. 复杂适应系统理论及其应用研究[J]. 系统工程, 2001, 19(5): 1—6.
- [2] Duffy J, Papageorgiou C. A cross-country empirical investigation of the aggregate production function specification [J]. Journal of Economic Growth, 2000, 5(1): 87—120.
- [3] 张 龙, 刘 洪. 组织内收入偏好分布及主体激励: 模型构建与模拟[J]. 复杂系统与复杂性科学, 2006, 3(1): 21—28.
- [4] 孙俊锁. Gamma 分布的特征函数及其点估计[J]. 鞍山钢铁学院学报, 2001, 24(2): 125—129.
- [5] Green W H. 计量经济分析[M]. 北京: 中国社会科学出版社, 1998: 20—150.
- [6] 刘 洪. 涌现与组织管理[J]. 研究与发展管理, 2002, 14(4): 40—45.
- [7] 张 龙, 刘 洪. 多智能体组织中个体行为的影响因素研究——分配政策、协同作用的影响分析[J]. 复杂系统与复杂性科学, 2004, 1(4): 53—61.
- [8] 姚 立, 刘 洪. 自组织团队的建设[J]. 系统辩证学学报, 2003, 11(4): 66—72.
- [9] 刘 洪. 经济系统预测的混沌理论原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 50—100.

(责任编辑 张 翎)