

# 基于无标度网络拓扑结构变化的舆论演化模型\*

何敏华<sup>1)</sup> 张端明<sup>2)†</sup> 王海艳<sup>2)</sup> 李小刚<sup>1)</sup> 方频捷<sup>2)</sup>

1) (武汉工程大学理学院, 武汉 430073)

2) (华中科技大学物理学院, 武汉 430074)

(2008 年 12 月 28 日收到; 2010 年 1 月 6 日收到修改稿)

基于 BA 无标度网络, 构建了舆论和网络结构相互影响的自适应舆论演化模型. 舆论的演化不仅受制于网络拓扑结构, 而且也导致拓扑结构的变化. 研究表明, 演化达到稳态后, 网络结构不再是初始的无标度网络而呈现泊松分布, 而且随着时间的推移, 系统中的舆论演化表现出很强的趋同效应, 原来初始状态的几十个舆论, 在长时间的演化后, 大部分舆论灭亡, 只有少数的舆论存留, 且发展壮大. 这种趋向与社会上的舆论、意见、信仰的演化大体上是符合的.

**关键词:** BA 无标度网络, 舆论演化, 幂率分布, 趋同效应

**PACC:** 0175

## 1 引 言

舆论是指社会公众意见的集合. 社会舆论是社会行为的基础, 能加速或阻碍社会问题的解决<sup>[1]</sup>. 社会是一个开放的复杂系统, 舆论是这个系统固有的特性, 舆论的传播呈现纷繁复杂的形式, 成为社会系统典型的复杂性问题. 信息时代, 传媒舆论的地位与作用日益突出, 深刻影响着国际社会的政治、经济、科技和文化等各个领域. 研究舆论在社会中传播以及传播的性质规律等, 进而研究如何控制、引导舆论, 具有非常重要的理论价值与现实意义.

近年来定量研究舆论的演化规律成为热点<sup>[2-10]</sup>, 实际上这属于自然科学和社会科学的交叉领域. 其中比较著名的舆论动力学模型有

1) S 模型 (Sznajd model)<sup>[11]</sup>: 描写两个具有相同舆论的个体说服其邻居也采取相同的舆论;

2) D 模型 (Deffuant model)<sup>[12]</sup>, 随机选择一个和他们合作者, 彼此调整自己的舆论以趋于某共同的舆论;

3) KH 模型 (Krause-Hegselmann model)<sup>[13]</sup>, 将舆论相近的个体分为若干小集团, 然后将每个小集团的平均舆论作为其下一时刻的舆论进一步研究.

一般来说, 社会网络趋向划分成若干信念相近的小集团. 有时由于人们彼此通过网络相连而变为信念相同, 有时人们由于信念相同而构成网络联系. 舆论动力学模型的舆论演化机制可分为两类, 1) 在彼此熟悉的个体构成的网络中, 每个个体的信念建立在他们邻居舆论的基础上; 2) 构建网络的许多小集团以信念相同来划分, 而不问彼此熟悉与否. 然而实际经验表明, 真实世界中的舆论演化机理并非单纯某一类, 而是上述两类机理的综合. Holme 和 Newman 在 2006 年提出一种新的模型<sup>[14]</sup>, 其演化机理就是综合演化机理.

近年来将动力学行为与复杂网络结合起来成为一种新的趋势<sup>[15-25]</sup>, 其主要精髓就是用复杂网络模拟社会动力学行为<sup>[23]</sup>. 例如文献[17-22]等研究了在规则网络、小世界网络上的舆论演化, 但是也有少数的利用 BA 无标度网络来研究它, 如无标度网络上的不可逆舆论传播<sup>[23]</sup>、无标度网络上的随机舆论动力学<sup>[24]</sup>等, 他们利用了类似 S 模型的机理, 且没有考虑网络拓扑结构和舆论的相互联系.

基于以上情况, 本文以 BA 无标度网络为背景, 采用动态演化的舆论演化机理<sup>[14]</sup>, 其特点是在演化的过程中, 网络结构不断变化, 并且用演化序参量  $\phi_0$  或随机演化序参量  $\phi_j$  刻画演化的过程. 得到了一系列有趣的结果. 研究发现: 1) 舆论的演化影响

\* 国家自然科学基金 (批准号: 10675048, 50872038), 华中科技大学社会信息科学研究中心资助的课题.

† 通讯联系人. E-mail: zhangduanming@163.com

了网络结构,网络结构不再是初始的无标度网络;2)网络个体的邻居的相互联络的紧密性在增大,从而有利于舆论的趋同效应的增加;3)突出社团的总趋势在减少,小社团的平均个数在增加;4)随着时间的推移,舆论的演化表现出很强的趋同效应.原来初始状态的50个舆论,在舆论演化时间步 $\tau = 1 \times 10^8$ 时,只剩下11个,且有三个最大的社团网络,这一情况与社会上的舆论、意见、信仰的演化大体上是一致的.

## 2. 网络动态演化的舆论动力学模型

### 2.1. 关于舆论的假设

令 $g_h$ 表示节点 $h$ 具有的舆论的序号( $g_h = 1, \dots, M, M$ 为正整数),此舆论序号表示个体对某一话题的不同意见.本文取 $M = 50$ ,代表50种不同的意见.另总节点数用 $N$ 表示,在本文中 $N = 20000$ .

### 2.2. BA网络的构建

初始设定 $m_0$ 个孤立节点.然后不断引入新的节点.每次引入一个新的节点,均连接到 $m$ 个已经存在的节点上,这里的 $m \leq m_0$ .为确定起见,本文取 $m = m_0 = 4$ .

新节点和一个已经存在的节点 $i$ 相连的概率 $\Pi_i$ 采用优先连接机理,满足如下关系:

$$\Pi_i = \frac{k_i}{\sum_j k_j}, \quad (1)$$

其中节点 $i$ 的度为 $k_i$ 、节点 $j$ 的度为 $k_j$ .

### 2.3. 演化规则

在舆论演化的初始时刻,给定演化序参量 $\phi_0$ , $\phi_0$ 取值为0—1之间的某一确定实数.给网络中每个节点 $h$ 随机赋予舆论序号 $g_h$ .在以后的演化中,每一步我们都任意的选取一个节点 $i$ ,并随机的选择与它相连的另一个节点 $j$ ,如果这两个节点舆论序号相同,则不做任何事情.否则,给予我们选取的节点 $i$ 赋予一个随机演化序参量 $\phi_i$ ( $\phi_i$ 为0—1之间的随机数),比较 $\phi_i$ 与 $\phi_0$ 的大小,网络有两种可能的演化.

1)如果 $\phi_i \leq \phi_0$ ,则将节点 $i$ 与节点 $j$ 之间的连线去掉,并从剩余节点中(即不包括 $i, j$ 的节点)随机选择一个节点 $j'$ 与节点 $i$ 相连,对于随机选择的

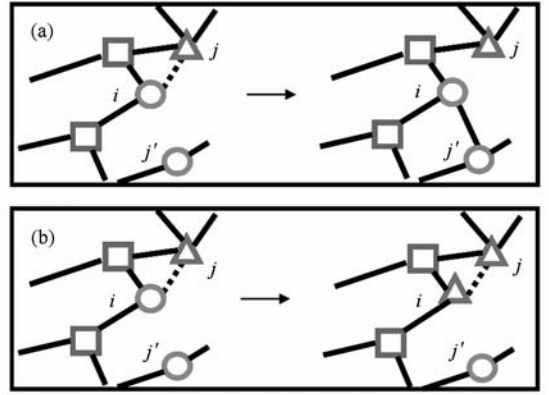


图1 舆论演化规则模型图解

这一节点 $j'$ ,要求此节点必须与节点 $i$ 具有相同舆论 $g_i$ 且此前并不相连.如图1(a)所示;

2)如果 $\phi_i > \phi_0$ ,则将节点 $j$ 的舆论序号赋予节点 $i$ .如图1(b)所示.

## 3. 模拟结果与分析

根据模型的演化规则进行模拟研究,文中总节点数用 $N$ 表示 $N = 20000$ ,节点度用 $k$ 表示, $\tau$ 代表舆论演化的时间步.模拟中参数 $m = m_0 = 4$ .发现当演化到时间 $\tau = 10^6$ 步后,网络结构度分布达到稳定,其基本保持不变,但不同舆论的分布要达到稳态,演化时间则要长得得多.下面将我们模拟的结果进行分析和讨论.以下我们采用独立重复1000次进行了系综平均得到的结果.

### 3.1. 度值分布

图2横坐标 $x$ 轴表示度值 $k$ ,纵坐标 $y$ 轴表示度分布 $P(k)$ . $P(k)$ 可指度值为 $k$ 的节点数占总节点数 $N$ 的比例在未演化前,网络的初始结构为无标度网络,因而其度分布满足幂率分布.图2(a)表示网络未演化前的度分布,取双对数坐标图.从图2(a)可看出,节点度在未演化前(即 $\tau = 0$ 时)满足幂律分布.

下面为舆论进行演化多个时间步后,网络结构度分布情况.如图2(b)所示,当 $\phi_0 = 0.5$ 时,取了四个不同时间的度分布图形,从图中可以看出,当进行舆论演化时,网络结构的度分布偏离幂率分布,而变为泊松分布.这是由于网络结构和网络上舆论动力学的相互影响而导致的结果.再比较四个不同时间步的图形,可以看出当 $\tau = 10^6, 10^7, 10^8$ 时

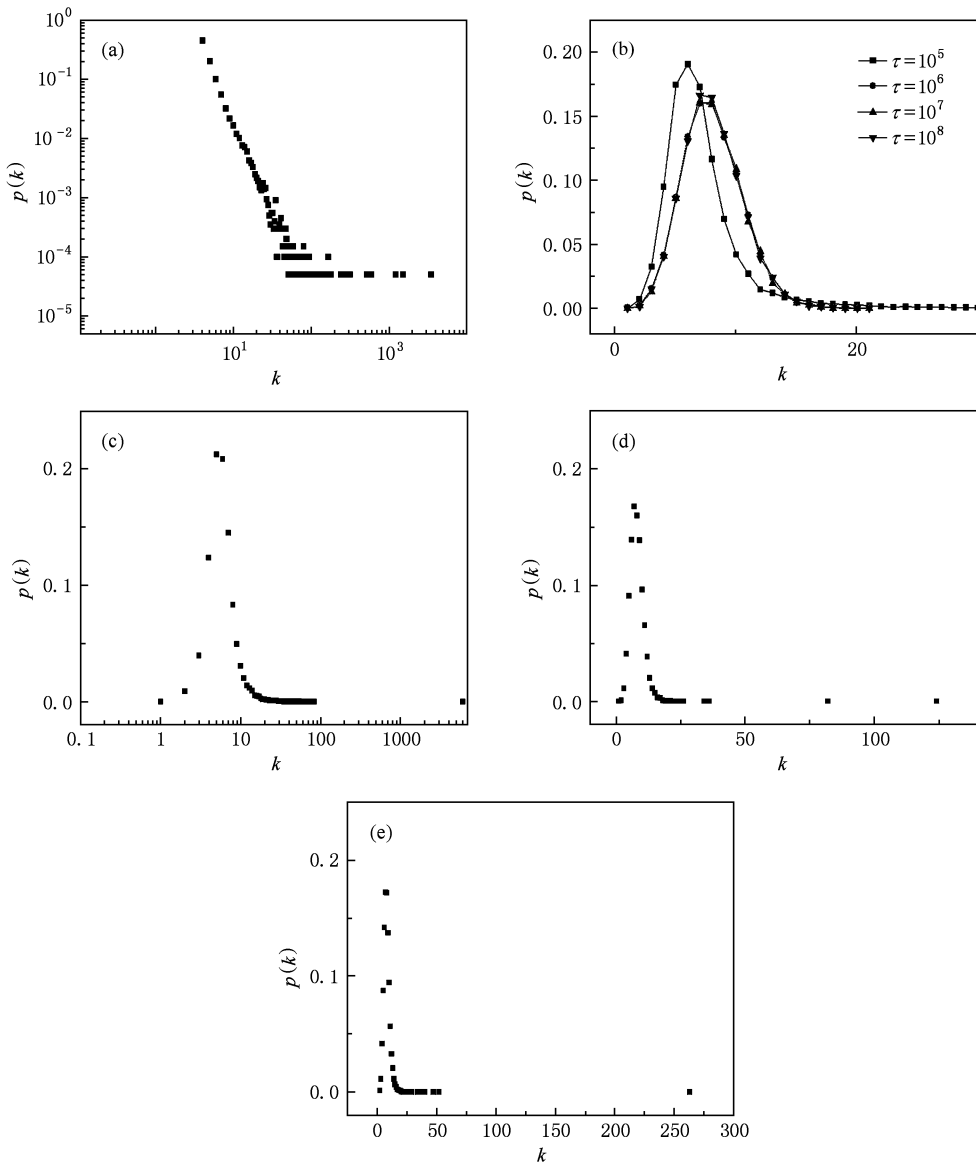


图2 度分布 (a)  $N=20000, \tau=0$ ; (b)  $N=20000, \phi_0=0.5$ ; (c)  $N=20000, \phi_0=0.01, \tau=10^8$ ; (d)  $N=20000, \phi_0=0.9, \tau=10^8$ ; (e)  $N=20000, \phi_0=0.99, \tau=10^8$

的图形基本上重合,表明系统中其结构达到稳定状态.以后的时间步不会影响网络结构.因此,取  $\tau=10^8$  来研究舆论演化序参量  $\phi_0$  不同时对网络结构的影响.

图2(c),(d)和(e)分别表示舆论演化时间步  $\tau=10^8$  时的网络度分布情况.舆论传播演化多个时间步后,因为网络结构和网络上的动力学相互耦合,则度分布不再满足幂律分布,而是类似泊松分布,如图2(b)一(e)所示.当  $\phi_0=0.01$  时,舆论演化序参量较小,演化过程中执行第二步概率较大,即主要改变网络的舆论,而不是网络的结构,但从图2

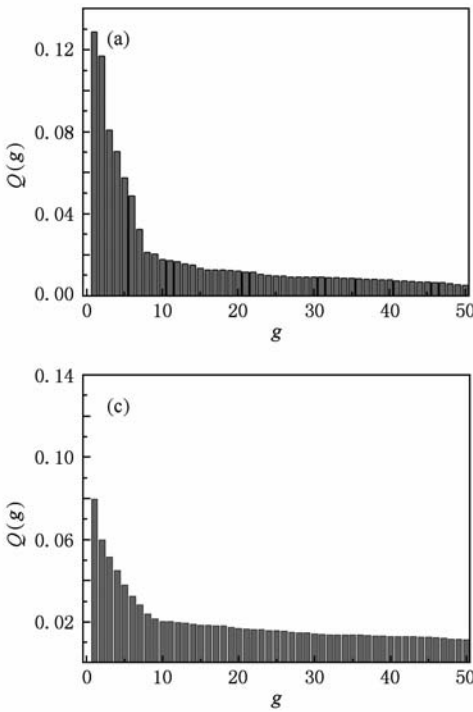
(c)中,可以看到与初始网络相比较,节点较小的度值增多,其中最多的节点度值为  $k_{\text{峰值}}=5$ ,所占比例  $P(k_{\text{峰值}})=0.2124$ ,在不同的节点上有一个较大的度值  $k_{\text{max}}=6080$ ,其大小远远大于其他节点.表明网络中断边都连接到度值较大的节点上,因而网络中出现了凝聚现象.图2(e)中  $\phi_0=0.99$  代表网络中舆论演化序参量较大,表明在演化过程中舆论改变的概率较小,而改变网络结构的概率比较大,因而在图2(e)中,可以看到网络结构有很大变化,与初始网络相比较,其中节点较小的度值在增多,最多的节点度值为  $k_{\text{峰值}}=6$ ,所占比例  $P(k_{\text{峰值}})=$

0.1722,在不同的节点上有一个较大的度值  $k_{\max} = 263$ ,表明  $\phi_0 = 0.99$  和  $\phi_0 = 0.01$  网络中也出现了凝聚现象.

综合图 2(a) — (e) 可见,舆论的演化明显的影响了网络的结构,网络不再满足幂率分布,而是泊松分布. 还发现度分布值与舆论的演化序参量存在密切的关系,表 1 给出了在不同  $\phi_0$  情况下的网络中的最大节点  $k_{\max}$ ,所占比例最多的节点度值  $k_{\text{峰值}}$  及其比例  $P(k_{\text{峰值}})$ .

表 1 不同  $\phi_0$  情况下的度分布

$\phi_0$	0.01	0.1	0.5	0.9	0.99
$k_{\text{峰值}}$	5	6	8	7	6
$k_{\max}$	6080	281	19	124	263
$P(k_{\text{峰值}})$	0.2124	0.1820	0.1609	0.168	0.1722



如表 1 所示,在几个不同的舆论演化序参量  $\phi_0$  中,  $\phi_0 = 0.5$  时,网络中的最大度值节点  $k_{\max} = 19$  是最小的,远小于初始无标度网络中的最大度值;所占比例最多的节点度值  $k_{\text{峰值}} = 8$  最大,为平均度值,其比例  $P(k_{\text{峰值}}) = 0.1609$  是几个中最小的. 这表明此时网络结构变化最大,说明舆论和网络结构的相互作用最强.

### 3.2. 舆论演化序参量 $\phi_0$ 对不同舆论社团的影响

进一步研究了网络序参量  $\phi_0$  对舆论演化动力学的影响. 图 3 横坐标  $x$  轴表示舆论序号  $g$ ,纵坐标  $y$  轴表示舆论分布  $Q(g)$  ( $Q(g)$  表示舆论序号为  $g_j$  对应的节点数在总结点数中所占的比例数). 图 3 (a), (b), (c), (d) 是在时间演化到  $\tau = 10^6$  步,模拟 1000 次得到的不同舆论平均分布.

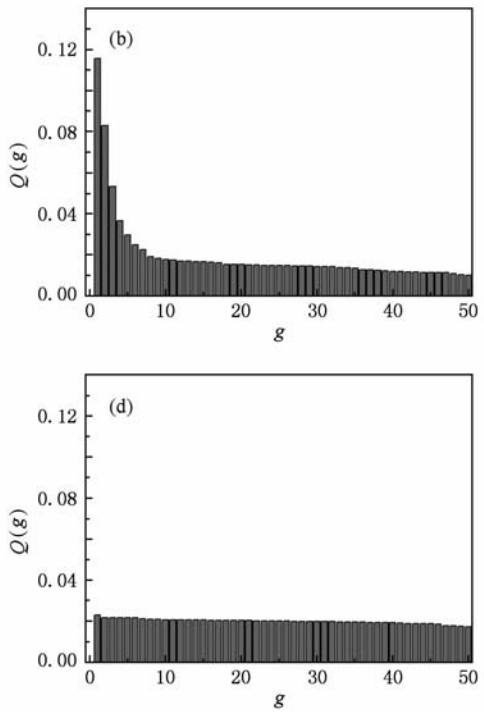


图 3 随  $\phi_0$  变化的舆论社团分布 (a)  $N = 20000, \phi_0 = 0, \tau = 10^6$ ; (b)  $N = 20000, \phi_0 = 0.4, \tau = 10^6$ ; (c)  $N = 20000, \phi_0 = 0.7, \tau = 10^6$ ; (d)  $N = 20000, \phi_0 = 1, \tau = 10^6$

我们把网络中具有相同舆论的节点看作一个社团,则图 3 所表示的是具有相同舆论社团大小随时间的演化规律. 图 3(a) 表明在  $\phi_0 = 0$  时,大舆论社团所占比例极多,而小舆论社团的比例则很少,最大的舆论社团分布为 0.1317,而其余的小舆论社团分布均约在 0.013,两者所占比例悬殊;图 3(b)

论分布最大值为 0.1253,而其余的小社团舆论分布约在 0.014;图 3(c) 表明在  $\phi_0 = 0.7$  时,最大的社团的舆论分布为 0.068,而其余的小社团舆论分布在 0.017 左右,相应的分布比例的差别已大为减少. 图 3(d) 表明在  $\phi_0 = 1$  时,各个舆论社团的分布已大体均匀,趋于平均值 0.02,其原因是舆论动力学与网络相互作用下,演化只执行第二步,即网络结构的

变化,网络中的舆论不发生变化,因而其舆论和初始态一样.

总的来看,在  $\tau = 10^6$  时间步时,整个网络中舆论呈现明显的趋同化,但随着  $\phi_0$  的增大,较大社团的总趋势在减少,较小社团的平均个数在增加,表明趋同化减弱:1) 各个社团的个数趋于平均;2) 最大社团和最小社团的舆论差值在减小.

### 3.3. 时间对舆论个数的影响

由图 3 知道舆论有趋同效应产生,进而研究舆论个数随时间的演化规律,发现与度分布不同,舆论的演化很难达到稳态. 图 4 横坐标  $x$  轴表示舆论  $g$ ,纵坐标  $y$  轴表示舆论分布  $Q(g)$ ,模拟中参数  $m =$

$m_0 = 4$ . 图 4 (a), (b), (c), (d) 分别表示  $\tau = 10^5, 10^6, 10^7$  和  $10^8$  的情况.

图 4 (a) 表明在  $\tau = 10^5$  时,所有舆论都存在,且大部分社团的舆论分布在 0.015 左右,最大社团的舆论分布为 0.08; 图 4 (b) 表明在  $\tau = 10^6$  时,所有舆论仍然存在,但大部分社团的舆论分布在 0.010 左右,最大社团的舆论分布为 0.151; 图 4 (c) 表明在  $\tau = 10^7$  时,舆论个数只有 39 个,已有一部分社团灭亡,最大社团的舆论分布为 0.164; 图 4 (d) 表明在  $\tau = 10^8$  时,舆论数目只剩下 11 个,大部分舆论趋向灭亡,并出现三个很大的社团网络,对应的舆论分布为 0.217, 0.213, 0.177.

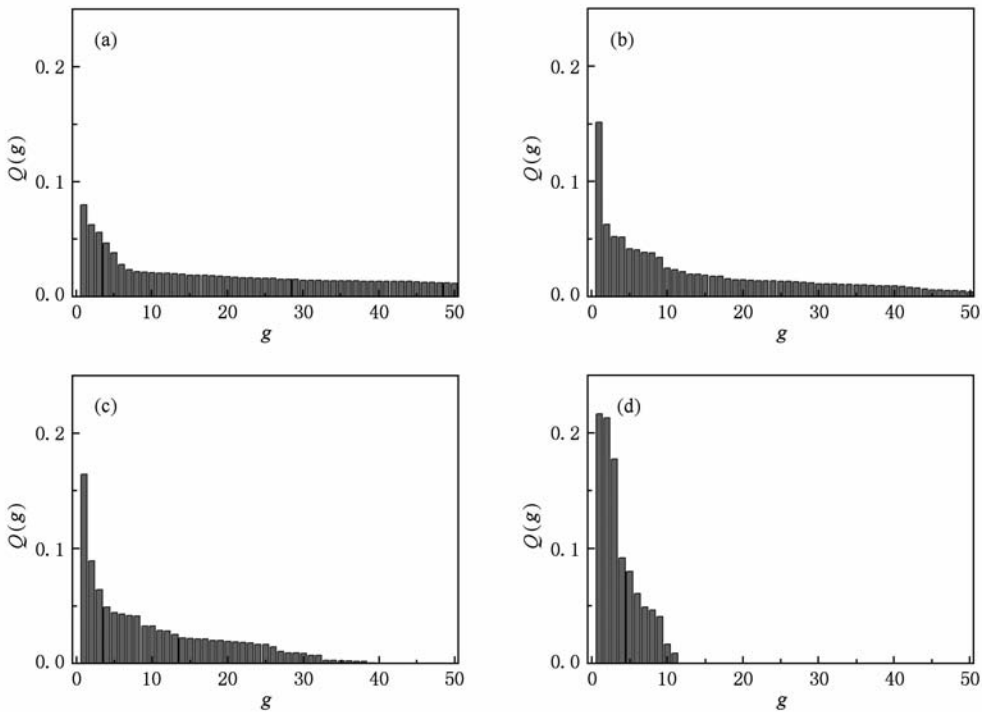


图 4 (a)  $N = 20000, \phi_0 = 0.5, \tau = 10^5$ ; (b)  $N = 20000, \phi_0 = 0.5, \tau = 10^6$ ; (c)  $N = 20000, \phi_0 = 0.5, \tau = 10^7$ ; (d)  $N = 20000, \phi_0 = 0.5, \tau = 10^8$

总之,图 4 表明,在我们的模型中,随着时间的推移,舆论的演化趋同效应表现出越明显. 原来初始状态的 50 种舆论,在  $\tau = 10^8$  时,只剩下 11 个,且三个最大的,其他的舆论湮没了. 这一点也与 3.2 的分析结果是一致的,进一步证明了网络与舆论的相互作用会使舆论产生趋同化.

图 4 说明了时间的演化对舆论存在的种类有很大的影响,下面进一步研究了舆论演化序参量  $\phi_0$  分别为 0.01, 0.1, 0.5 时,时间演化步对舆论种类的影响,

如在图 5 (a) 所示. 从图 5 (a) 中可看出,在  $\phi_0 = 0.01$ , 演化时间步达到  $\tau = 10^7$  时,网络的舆论个数只剩下一个,即此时舆论演化达到稳定状态,系统中所有节点的舆论都相同;对于  $\phi_0 = 0.1$ , 当时间步为  $\tau = 10^8$ , 系统才能达到稳定;但对于  $\phi_0 = 0.5$  来说,要达到稳态则需要更长的时间,所需时间步远大于  $10^8$ . 总的来说演化序参量  $\phi_0$  越小,舆论湮没的速度越快,系统的舆论越快达到同一,即趋同效应越强.

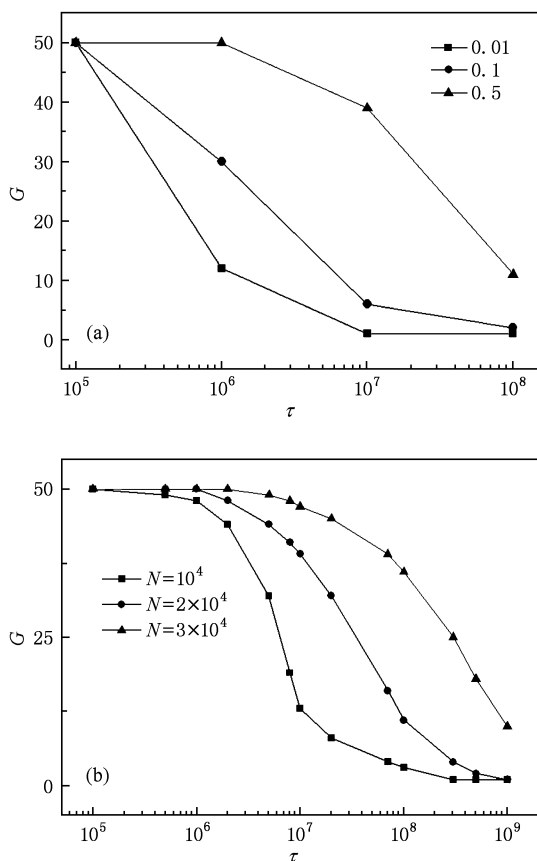


图5 舆论个数随时间的演化规律. (a)演化序参量不同  $\phi_0 = 0.01, 0.1, 0.5$ ; (b)  $\phi_0 = 0.5$  网络尺寸大小  $N = 10000, 20000, 30000$

在图5(b)中讨论了网络尺寸对舆论时间演化传播的影响,在不同网络尺寸下,  $N = 10000, 20000, 30000$  时研究发现舆论数目随时间的演化总体趋势不变,舆论数目逐渐减少;但是网络尺寸对舆论减少的快慢有很大影响,网络尺寸越大,减少越慢. 必须指出,从图5(b)可以清楚看出,讨论的舆论总数随时间演化过程中具有明显的相变行为,网络越小,弛豫时间越短.

实际上,真实的社会上的舆论、意见和宗教信仰的演化大体上的确如此,例如宗教信仰,原始宗

教(拜物教、偶像崇拜等)在世界上数量极大,但是演化到现在,世界上现存的宗教数量已大大减少:真正世界性的宗教不过基督教、伊斯兰及佛教等而已.

## 4. 结 论

提出了基于BA网络的拓扑结构变化的舆论演化模型. 在这个模型中,网络结构和舆论演化相互适应,是一个动态的演化过程. 利用计算机模拟我们重点研究舆论演化序参量对网络结构、不同舆论分布的影响,以及网络尺寸和时间演化对不同种类舆论分布的影响.

研究表明,舆论的演化影响了网络结构,网络中的度分布不再满足幂律分布,网络结构不再是初始的无标度网络.

从不同种舆论分布随时间演化的规律分析,舆论的演化表现出很强的趋同效应. 原来初始状态的50个舆论,在长时间的演化后,大部分舆论灭亡,只有少数的舆论存留,且发展壮大. 这一种情况与社会上的舆论、意见、信仰的演化大体上是符合的. 通过对舆论分布随舆论演化序参量变化规律的研究表明,总的来看,整个网络中舆论呈现明显的趋同效应,但随着演化序参量  $\phi_0$  越大,系统中趋同效应产生越慢. 还有就是网络尺寸的大小也影响了舆论产生趋同效应的快慢,网络尺寸越大,系统中趋同效应现象产生越慢,舆论达到统一所需时间越长.

我们的模型从本质上来说是一种自由演化模型,只考虑舆论演化与网络结构之间的联系,而没有考虑在实际生活中存在的许多外界因素(例如政府的政策、媒体的影响、甚至战争等强制手段)对于舆论的影响. 深入研究外界因素对于舆论的影响,这是我们以后的工作.

感谢社会信息中心对本课题的资助.

[1] Qin X D, Rao D J 1989 *Public Opinion Tutorial* (Wuhan: Wuhan University Press) p89—102 (in Chinese) [秦希德、饶德江 1989 舆论学教程 (武汉: 武汉大学出版社) 第89—102页]  
 [2] Sznajd W K 2002 *Phys. Rev. E* **66** 046131  
 [3] Elgazzar A S 2003 *Physica A* **324** 402  
 [4] Schulze C 2004 *Int. J. Mod. Phys. C* **15** 569  
 [5] Sznajd W K, Weson R 2003 *Physica A* **324** 437

[6] Tu Y S, Sousa A O, Kong L J, Liu M R 2005 *Int. J. Mod. Phys. C* **16** 1149  
 [7] Ben N E, Krapivsky P, Redner S 2003 *Physica D* **183** 190  
 [8] Amblard F, Deffuant G 2004 *Physica A* **343** 725  
 [9] Stauffer D, Meyer O H 2004 *Int. J. Mod. Phys. C* **15** 241  
 [10] Fortunato S 2005 *Int. J. Mod. Phys. C* **16** 259  
 [11] Sznajd W K, Sznajd J 2000 *Int. J. Mod. Phys. C* **11** 1157

- [12] Deffuant G, Neau D, Amblard F, Weisbuch G 2000 *Adv. Complex Systems* **3** 87
- [13] Hegselmann R, Krause U 2002 *J. Arti. Soc. Social Simul.* **5** 3
- [14] Holme P, Newman M E J 2006 *Phys. Rev. E* **74** 056108
- [15] Zhang H F, Small Michael, Fu X C, Wang B H 2009 *Chin. Phys. B* **18** 3639
- [16] Song Y R, Jiang G P 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 5911 (in Chinese) [宋玉蓉、蒋国平 2009 物理学报 **58** 5911]
- [17] Guo L, Cai X 2008 *Commun. Comput. Phys.* **5** 1045
- [18] Li P P, Zheng D F, Hui P M 2006 *Phys. Rev. E* **73** 056128
- [19] Toral R, Tessone C J 2007 *Commun. Comput. Phys.* **2** 177
- [20] Chen P, Redner S 2005 *Phys. Rev. E* **71** 036101
- [21] Bordogna C M, Albano E V 2007 *Phys. Rev. E* **76** 061125
- [22] Ni S J, Weng W G, Fan W C 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 3707 (in Chinese) [倪顺江、翁文国、范维澄 2009 物理学报 **58** 3707]
- [23] Candia J 2007 *Phys. Rev. E* **75** 026110
- [24] Bartolozzi M, Leinweber D B, Thomas A W 2005 *Phys. Rev. E* **72** 046113
- [25] Pei W D, Liu Z X, Chen Z Q, Yuan Z Z 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 6777 [裴伟东、刘忠信、陈增强、袁著祉 2008 物理学报 **57** 6777]

## Public opinion evolution model with the variable topology structure based on scale free network<sup>\*</sup>

He Min-Hua<sup>1)</sup> Zhang Duan-Ming<sup>2)†</sup> Wang Hai-Yan<sup>2)</sup> Li Xiao-Gang<sup>1)</sup> Fang Pin-Jie<sup>2)</sup>

1) (School of science, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China)

2) (School of Physics, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

(Received 28 December 2008; revised manuscript received 6 January 2010)

### Abstract

Based on scale free network, the public opinion evolution model is constructed, in which the public opinion changes with topology (the relationship and the influence between the individual). The model features that the network structure constantly changes in the process of evolution with evolution parameter  $\phi_0$ . It is found that the evolution of the public opinion not only is controlled by the topological structure, but also induces the change of the topological structure: the network structure is no longer the initial scale-free network, but it has a Poisson distribution. With the time evolution in system, there is obvious convergence effect of the public opinions. The dozens of opinions in initial state evolve with time, but most of them perish and only a few of them can survive and develop for a long time. The evolution trend is coincident with that of the public opinions, views and beliefs in society.

**Keywords:** BA scale-free network, public opinion evolution, power-law, convergence effect

**PACC:** 0175

<sup>\*</sup> Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 10675048, 50872038), the research center of Social Information Science in Huazhong University of Science and Technology.

<sup>†</sup> Corresponding author. E-mail: zhangduanming@163.com