

# 基于意见气候的 Hegselmann–Krause 观点动力学建模与分析

徐涵,管安琪,李紫琦

(华中科技大学新闻与信息传播学院, 武汉 430074)

**摘要:** 研究公众舆论如何随着时间的推移而变化, 有利于解释如今在社交网络上观察到的信息传播现象, 也为舆情引导提供重要的思路。本文受沉默的螺旋理论启发, 针对人们在表达观点时对外界观点的敏感性, 引入“意见气候”这一参数, 提出了一个新的基于意见气候的 Hegselmann–Krause 观点动力学模型。该模型以 HK 模型为基础, 细化了观点更新主体, 通过统计持积极观点、持消极观点和中立观点的个体数量, 拓展了观点更新规则, 增加了意见气候的影响。最后, 通过在人工生成和真实网络数据集上的仿真实验验证了该模型的有效性。

**关键词:** HK 模型; 观点动力学; 意见气候; 沉默的螺旋; 社交网络

中图分类号: G206 文献标识码: A

## Modeling and Analysis of Opinion Climate-based Hegselmann–Krause Dynamics

XU Han, GUANG Anqi, LI Ziqi

(School of Journalism and Information Communication, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, 430074, China)

**Abstract:** Understanding how public opinion changes over time can help explain the communication phenomena we observed on modern social networks and provide important ideas for guiding public opinion. Inspired by the spiral of silence theory, this paper proposes a novel opinion climate-based Hegselmann–Krause dynamics model. In this model, the number of agents with positive, negative and neutral opinions are determined and opinion climate is considered as a criterion for the evolution of public opinions. Extensive experiments on artificially generated and real network datasets validate the effectiveness of this model.

**Key words:** Hegselmann-Krause model; opinion dynamics; opinion climate; the spiral of silence; social networks

### 1 引言<sup>1</sup>

在人类社会中, 个体的大部分日常行为和决定都是由其所持有的观点驱动的, 观点在由个体间的

相互影响和作用关系所构成的社会关系网 (social network) 中交互和传播<sup>[1]</sup>。在此期间, 个体可能会根据周围其他个体的观点不断调整自身观点, 从而表现出人类社会复杂的舆论演化传播现象。随着以 5G 为代表的信息技术飞速发展, 人类社会日益网络化, 每个个体都可以随时随地在线上表达自身观点。这一方面极大地改变了信息传播模式, 另一方

基金项目: 国家社会科学基金项目 18CXW028

作者简介: 徐涵 (1983-), 男 (汉族), 湖北武汉人, 华中科技大学新闻与信息传播学院副教授, xuh@hust.edu.cn。

面也给舆情监控和治理带来了挑战。从明星丑闻的公关到国家政策的制定，公众舆情的形成以及它随时间演变的过程，都对现实世界产生了重大影响。深入研究社会网络中观点或行为的产生、扩散和聚合，对网络舆情研究有着重要的现实意义，为社会治理中网络舆情的引导和监管提供特定程度的理论依据和价值<sup>[2]</sup>。在这方面，主要关注观点如何达成共识的观点动力学（opinion dynamics）成为了一种强有力的舆情分析工具<sup>[3-6]</sup>，它将人群中观点的共识、多极化和碎片化等现象建模和分析，通过模型演变的结果，预测最终观点的走向，不仅揭示人类社会发展的基本规律还推动了科学知识以及工程技术的发展。

## 2 相关研究

### 2.1 观点动力学

观点，即个体对特定的对象（人或事物）持有的认知取向。观点在社交关系网交互传播的过程也是每一个个体根据周围其他的观点不断调整身认知的过程。观点动力学是研究观点演化的重要学科，在其发展过程中，许多研究人员提出了不同的经典理论模型，例如：在每个更新时刻，个体观点更新为其所有邻居节点观点的加权平均的 DeGroot 模型<sup>[7]</sup>；在前者基础上，引入了“固执”个体概念的 Friedkin-Johnsen 模型<sup>[8]</sup>；由 Hegselmann 和 Krause 提出的经典连续意见模型——Hegselmann-Krause (HK) 模型<sup>[9]</sup>。在 HK 模型中，存在一个有限的置信范围做筛选条件，每个个体只与自身意见相差最近的邻居交流，并把这些人的平均意见作为自己的意见；如果没有符合条件的邻居，则个体会保留之前的意见。给定一个社交网络  $G=(V,E)$ ，则经典 HK 模型的表达式为如下：

$$O_i(t+1) = \begin{cases} \frac{1}{|N_i(t)|} \sum_{j \in N_i(t)} O_j(t), N_i(t) \neq \emptyset \\ O_i(t), N_i(t) = \emptyset \end{cases} \quad (1)$$

这里  $O_j(t)$  代表个体  $j$  在时间  $t$  的意见， $N_i(t)$  代表可以在时间  $t$  与  $i$  交流意见的邻居集合，邻居的意见范围必须在  $[O_i(t)-\sigma, O_i(t)+\sigma]$  之间， $\sigma$  的大小会严重影响  $O_i(t)$  的变化幅度。

目前，许多研究人员致力于通过引入新的有界置信条件和促进舆论演化的因素来改进经典的 HK

模型。Fu 等人认为个体的观点并不完全受邻居观点的影响，在某种程度上也受自己的影响。每个个体对自己的观点有不同程度的信心，因此他考虑将自信度添加到 HK 模型中，并提出了 MHK 模型<sup>[10]</sup>，表示为：

$$x_i(t+1) = \begin{cases} \lambda_i x_i(t) + \frac{(1-\lambda_i)}{|N_i(t)|} \sum_{j \in N_i(t)} x_j(t), N_i(t) \neq \emptyset \\ x_i(t), N_i(t) = \emptyset \end{cases} \quad (2)$$

这里， $x_i(t)$  代表个体  $i$  在时间  $t$  的意见， $\lambda$  代表个体  $i$  对自己观点的自信度。 $\lambda=1$  表示个体始终坚持自己的意见， $\lambda=0$  表示个体完全信任他人的意见， $\lambda$  影响意见达成一致所需的时间。

此外，Xiao<sup>[11]</sup>等人发现自然反转参数在观点的动态演化中起着重要作用，因此提出了基于 HK 模型的有意见领袖的观点自然逆转模型；Pineda<sup>[12]</sup>等人研究了环境噪声在 HK 模型中的影响，在一定的概率下，个体有机会自发地将他们的观点改变，成为在具有不同规则的观点空间中随机选择的另一种观点；Xu<sup>[13]</sup>等人在考虑社交网络中的普通个体也可以通过情感动员来改变意见领袖的观点后，提出了一种新的基于情感动员的 HK 模型（AMHK）。

综上所述，现有的 HK 模型往往更侧重个体间的影响，却忽略了在个体观点更新影响整体观点结果的同时，整体观点结果也会对个体产生潜移默化的影响。

### 2.2 意见气候

自 1974 年德国政治学家诺尔-纽曼<sup>[14]</sup>提出沉默螺旋理论以来，它已成为解释舆论形成和传播的最有影响力的理论之一<sup>[15]</sup>。沉默螺旋理论描述了民意的形成过程及其影响，揭示舆论的“寡头化铁律”。在孤立恐惧动机和意见气候的影响下，个人观点的表达会尽可能接近感知到的意见气候，如果人们认为自己没有得到大多数人的支持，他们更倾向于不表达或向主流观点调整自身观点。这导致了一个螺旋式上升的过程，多数人的观点越来越受欢迎，少数人的观点逐渐被压制。当这一过程稳定后，只有核心人物留下来为少数人的观点说话，而多数人的观点最终成为一种社会规范<sup>[16-18]</sup>。

意见气候即社会群体在一定时间的主流观点，在沉默螺旋效应中扮演着重要角色。人的社会性决定了人对意见气候的感知是人的本性，是一种自然的意愿，是一种主动的行为。因此，诺尔-纽曼认为

尽管不是所有人都可以通过科学调查的方式评估民意，但每个人都会通过自身拥有的准统计感官感知意见气候，普通个体感受社会意见气候的方式主要有三种：直接经验、人际传播和大众传播。

尽管由于技术发展，媒体环境发生了变化，但众多学者们通过模拟实验、问卷调查和对真实信息传播数据集的研究，验证了沉默螺旋理论在社交网络中的适用性<sup>[19-22]</sup>。这也为我们后续在两个人工生成的网络数据集和一个真实追踪网络数据集上验证新模型的有效性提供了理论支持。

### 3 模型的引入和构建

本文根据沉默的螺旋理论，引入“意见气候”这一变量，作为整体观点结果对个体产生影响的参数。假设每个个体在社交网络上持有积极或消极或中立的观点，可以通过计算持有不同观点的个体相对比例来量化意见气候。所提出意见气候的公式如下：

$$O_c = \frac{|m-n|}{m-n} \times \frac{|m-n|}{M} \quad (3)$$

式中， $m$  代表此时持有积极观点的个体数量， $n$  代表此时持有消极观点的个体数量， $M$  代表网络中个体总数。意见气候中观点的相对比例会对个体观点造成不同程度的影响——当个人所在群体能为少数意见提供有力支持时，沉默的螺旋出现的机会将会减少。由此可见，个体意见更新受个体自身、邻居观点和意见气候的影响。鉴于沉默螺旋理论本质上是一种中长期的媒介效应，而不是一种短期的观点表达，同时考虑到在现实中，人们往往受意见气候长期潜移默化的影响，因此在模型中，为意见气候赋予的权重要远小于个体观点和邻居观点。

为了更贴近实际情况，本研究保留了 Fu 提出的个体存在自信度对观点更新的影响，提出了我们改进后的模型，表达式为：

$$o_p(t+1) = \begin{cases} \alpha O_p(t) + \frac{\beta}{|N_p(t)|} \sum_{q \in N_p(t)} O_q(t) + \gamma O_c, m \neq n, N_p(t) \neq \emptyset \\ \alpha O_p(t) + \frac{\beta}{|N_p(t)|} \sum_{q \in N_p(t)} O_q(t), m = n, N_p(t) \neq \emptyset \\ \alpha O_p(t) + \gamma O_c, m \neq n, N_p(t) = \emptyset \\ \alpha O_p(t), m = n, N_p(t) = \emptyset \end{cases} \quad (4)$$

式中，个体的观点在 $[-1,1]$ 区间内取值。当观点值

大于 0 时，代表个体持积极观点；当观点值小于 0 时，代表个体持消极观点；当观点值等于 0 时，代表个体持中立观点。这里  $O_p(t)$  代表节点  $p$  在  $t$  时刻的观点， $N_p(t)$  代表  $t$  时刻可以和  $p$  进行观点交流的邻居集合。 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  分别代表个体更新观点时受个体观点、邻居观点、意见气候的影响程度，且  $\alpha + \beta + \gamma = 1$ 。其中需要注意两个问题：

一、关于  $\frac{|m-n|}{m-n}$  的值：当  $m > n$  时，环境中积极观点的个体数大于消极观点的个体数， $\frac{|m-n|}{m-n} = 1$ ，个体

感知到意见气候偏向积极观点，所以观点向正偏；当  $m < n$  时，环境中积极观点的个体数小于消极观点的个体数， $\frac{|m-n|}{m-n} = -1$ ，个体感知到意见气候中偏向消极

观点，所以观点向负偏。由沉默螺旋理论可知，当用户感知到意见气候的趋势后，为了避免受到社会孤立，一般人会屈于环境压力而转向沉默或附和。因此，个体在根据邻居观点和自身观点进行更新后，还会受到环境的影响向人数多的一方观点偏移。

二、关于  $\frac{|m-n|}{M}$  的值：该值是用持有积极观点的个体数和消极观点个体数的差值除以总个体数，也就是说，在总个体数不变的情况下，积极与消极观点人数的差值越大，则  $\frac{|m-n|}{M}$  越大。在网络环境中，积极与消极观点人数的差值越大，说明意见气候中的意见偏向更明显，用户更容易受到意见气候压力的影响而改变自己的观点。

### 4 实验仿真和结果分析

在本节中，我们将介绍所提出的观点动力学模型在不同的网络中的仿真结果。所有的仿真均是在 DELL 服务器上通过 Matlab R2019b 执行。

#### 4.1. 实验设定

**数据集：**为了证明模型的有效性，我们在两个人工生成的网络（BA 无标度网络和 WS 小世界网络）中进行了观点演化实验。WS 网络节点分布均匀，具有较高的聚类系数，与熟人社交平台为代表的微信网络类似；而 BA 网络的节点分布不均匀，影响信息传播的枢纽节点为 hub 节点，与开放式社交平台微博的网络

类似。同时，我们通过对本文作者之一的社交关系进行广度优先遍历，建立具有 400 位用户的小型真实社交关系网络，并在该网络中也进行了上述实验。

**实验参数：**仿真实验中使用的参数如下：

- 初始观点：在[-1,1]之间均匀随机分布
- 观点更新次数： $T=500$ 、 $T=1000$
- 邻居意见差异阈值： $\epsilon=0.4$
- 对自身观点的自信度： $\alpha=0.6$

网络参数设置及其度分布如表 1 所示：

**表 1 三种复杂网络的参数设置**

类型	节点数	边数(平均值)	平均度	聚类系数
WS 小世界网络	200	4000	40	1.799
	400	8000	40	0.097
	1024	20480	40	0.039
BA 无标度网络	200	1536	15.36	0.154
	400	3136	15.68	0.102
	1024	8128	15.875	0.055
真实社交网络	400	5670	14.175	0.626

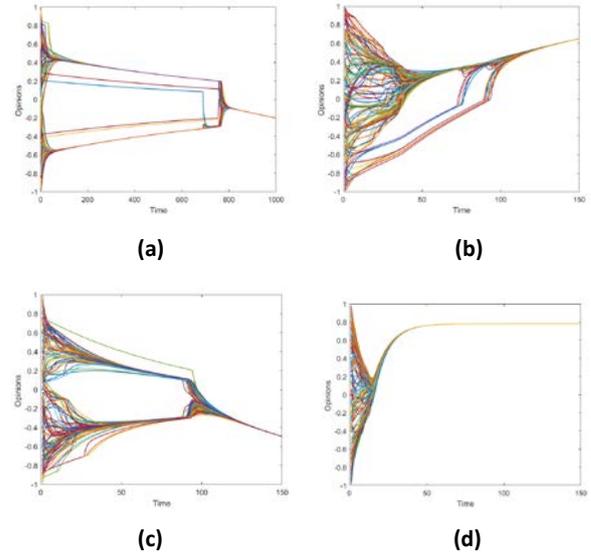
#### 4.2. 在 BA 网络中的仿真结果

图 1(a) 图 1(b) 都是在 200 个节点的 BA 网络中的仿真结果，意见气候的权值  $\gamma$  为 0.01，此条件下意见气候对个体观点的更新影响占比较小。图中可以看到在最初的一段时间，个体之间自由交换观点，共识尚未形成；随着观点的不断更新，个体观点开始有共识产生，此时仍然是自身观点和邻居观点对观点更新结果的影响占主要因素。图 1(a)形成了三个观点共识束，图 1(b)形成了两个观点共识束。当观点更新次数为 100 左右时，此时的意见气候的影响已经随着更新次数的积累逐渐变大，使得个体观点达到一种共识并往一端靠近。

关于图 1(b)个体观点为什么在更新次数 100 左右的时候突然达成共识：在观点更新的前期，意见气候对个体观点更新的影响较小，且个体的观点处于还未稳定的变动当中。很有可能第一次观点更新时的意见气候中是积极观点个体多于消极观点个体，而第一次观点更新后意见气候就变成了积极观点个体少于消极观点个体。当个体观点随着更新次数的增加逐渐达到稳定状态后，个体观点会形成明显的共识或分裂，此时意见气候对个体观点的影响明显且稳定（如前一次更新时意见气候中是积极观点个体多于消极观点个

体，后面的每一次更新后的意见气候都会是积极观点个体多于消极观点个体，且差值会不断变大，直到所有人的观点都达成一致且往一个方向偏移），会持续将个体的观点往大多数人的观点方向偏移。意见气候发挥明显作用的时间点就是所有观点突然达成共识的时间点，也就是图 1(b)中在  $T=500$  是观点突然汇聚的时间点。

图 1(c) (a) (d) 都是在 200 个节点的 BA 网络中的仿真结果，且意见气候的权值  $\gamma$  分别为 0.1、0.01、0.001。图 1(c)的  $\gamma$  为 0.1，此时当更新次数为 20 左右就达到了共识并开始往一端靠近；图 1(a) 的  $\gamma$  为 0.01，达到共识时的更新次数为 100；图 1(d) 的  $\gamma$  为 0.001，当更新次数为 800 时观点才达到共识。对比可以看到，随着意见气候的影响权重不断减小，达到最终的共识所需要的时间也在不断变大。但最终的结果都是会达成一个共识并不断靠近两端。



**图 1 不同权重的意见气候对 BA 网络中意见演变的影响。**

(a)  $\alpha=0.6$ ,  $\beta=0.39$ ,  $\gamma=0.01$ 。(b)  $\alpha=0.6$ ,  $\beta=0.39$ ,  $\gamma=0.01$ 。  
(c)  $\alpha=0.6$ ,  $\beta=0.3$ ,  $\gamma=0.1$ 。(d)  $\alpha=0.6$ ,  $\beta=0.399$ ,  $\gamma=0.001$ 。

如果采用节点个数为 1024 的 BA 网络，对应的仿真结果如图 2 所示。其中图 2(a)、(b)、(c)的  $\gamma$  值分别为 0.1、0.01、0.001。同样也可以看出随着意见气候的影响权重不断减小，达到最终的共识所需要的时间也在不断变大，且共识的结果不断靠近一端。同时对比 200 个节点的 BA 网络的仿真结果和 1024 个节点的 BA 网络的仿真结果可知，网络节点的个数并不会影响观点最终达到共识且靠近一端的这一结果，但是会一定程度观点共时的时间。

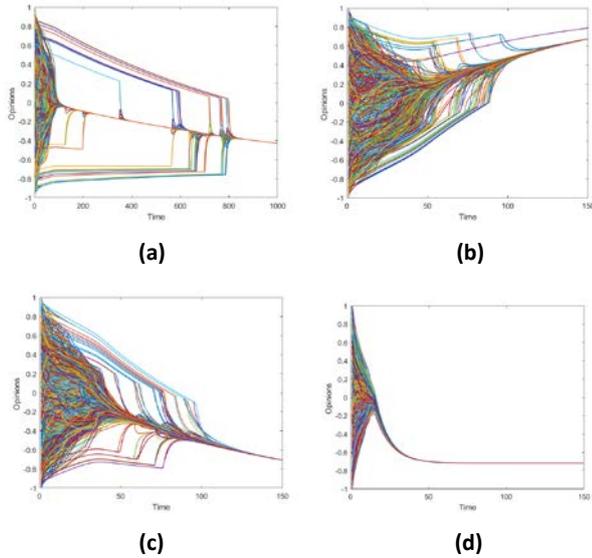


图 2 不同权重的意见气候对 BA 网络中意见演变的影响。  
 (a)  $\alpha=0.6, \beta=0.3, \gamma=0.1$ 。(b)  $\alpha=0.6, \beta=0.39, \gamma=0.01$ 。  
 (c)  $\alpha=0.6, \beta=0.399, \gamma=0.001$ 。(d)  $\alpha=0.6, \beta=0.39, \gamma=0.01$ 。

#### 4.3. 在 WS 小世界网络中的仿真结果

图 3(a)、(b)、(c)分别显示了当  $\gamma$  值为 0.1、0.01、0.001 时，在拥有 200 个节点的 WS 网络进行仿真实验的结果。可以发现实验结果和同样节点数的 BA 网络的实验结果没有明显区别，个体的观点在意见气候的影响下最终都会达成一个共识且往一端靠近；同时，随着意见气候的影响权重不断减小，达到最终的共识所需要的时间也在不断变大。

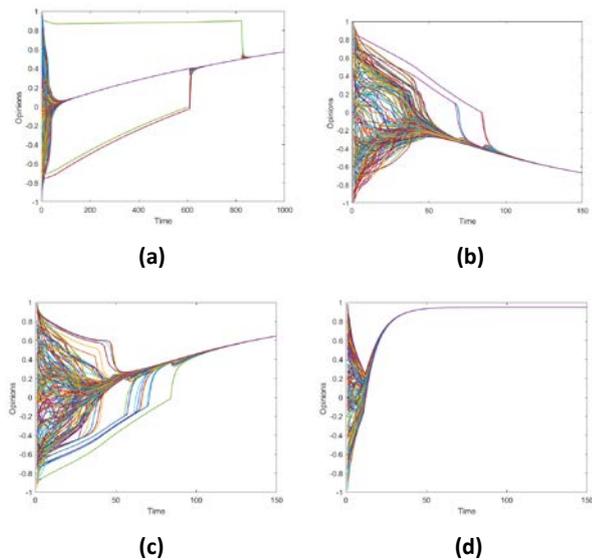


图 3 不同的意见气候权重对 WS 网络中观点演化的影响。  
 (a)  $\alpha=0.6, \beta=0.3, \gamma=0.1$ 。(b)  $\alpha=0.6, \beta=0.39, \gamma=0.01$ 。  
 (c)  $\alpha=0.6, \beta=0.399, \gamma=0.001$ 。(d)  $\alpha=0.6, \beta=0.39, \gamma=0.01$ 。

根据在 BA 网络和 WS 网络上的仿真结果，提出假设：初始意见气候中持有积极与消极观点个体数的差值越大，整体达到共识所需要的时间越短。

下面四个图分别是在拥有 200 个节点的 WS 网络上， $\gamma=0.01$  时的不同仿真结果。为了使网络初始意见气候中积极与消极观点个数差距可控，我们给网络节点采用了偏态分布的随机赋值方法。图 4(a)、(b)、(c) 的积极与消极观点差值分别为 0、50、70，结果三个图中整体观点达到共识的时间都在 95 左右。同时，当积极与消极观点个数差值相同时，整体达到共识的时间也会不同，如图 4(b) 和图 4(d) 中，积极与消极观点的差值都是 50，但是达到共识的时间分别为 95 和 105。说明初始意见气候中的积极与消极观点数的差值，对整体达到共识所需要的时间并没有决定性的影响。因为在网络环境中，意见气候的影响并不是绝对的，个体观点的更新是受到个体初始观点、能与其交流的邻居的观点、意见气候和网络结构等多重影响。

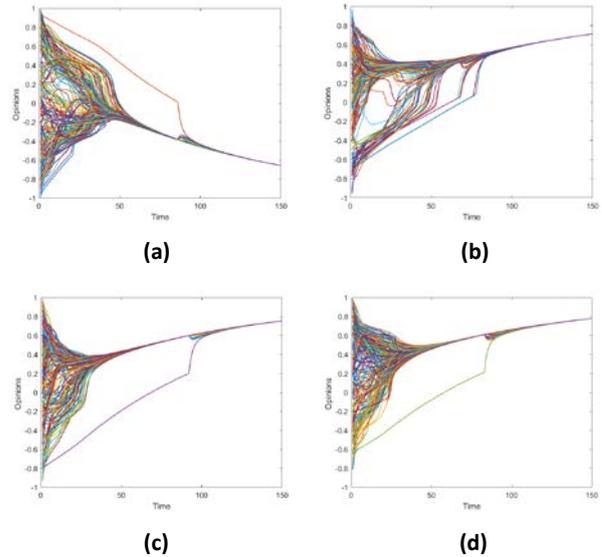


图 4 观点气候的不同权重对 WS 网络中观点演化的影响。  
 (a)  $\alpha=0.6, \beta=0.39, \gamma=0.01$ 。(b)  $\alpha=0.6, \beta=0.39, \gamma=0.01$ 。  
 (c)  $\alpha=0.6, \beta=0.39, \gamma=0.01$ 。(d)  $\alpha=0.6, \beta=0.39, \gamma=0.01$ 。

#### 4.4. 在真实网络中的仿真结果

图 5(a)、(b)、(c) 显示了当  $\gamma=0.1$ 、0.01、0.001 时，在拥有 400 个节点的真实社交网络的仿真结果。为了方便对比，图 5(e)、(f) 分别显示了节点数为 400， $\gamma=0.01$  时 BA 和 WS 网络的仿真结果。可以看到与 BA、WS 网络的仿真结果相比，现实网络的仿真结果略有不同。在  $\gamma=0.01$  时，现实网络的观点演化过程比 BA 和 WS 网络的情况更复杂，个体观点较分散且达到共识所

需要的时间更长。但同时，现实网络也和 BA、WS 网络一样，在意见气候的影响下，个体的观点都会达到共识，逐渐靠近一端；意见气候的影响权重不断减小，达到最终的共识所需要的时间也在不断变大。

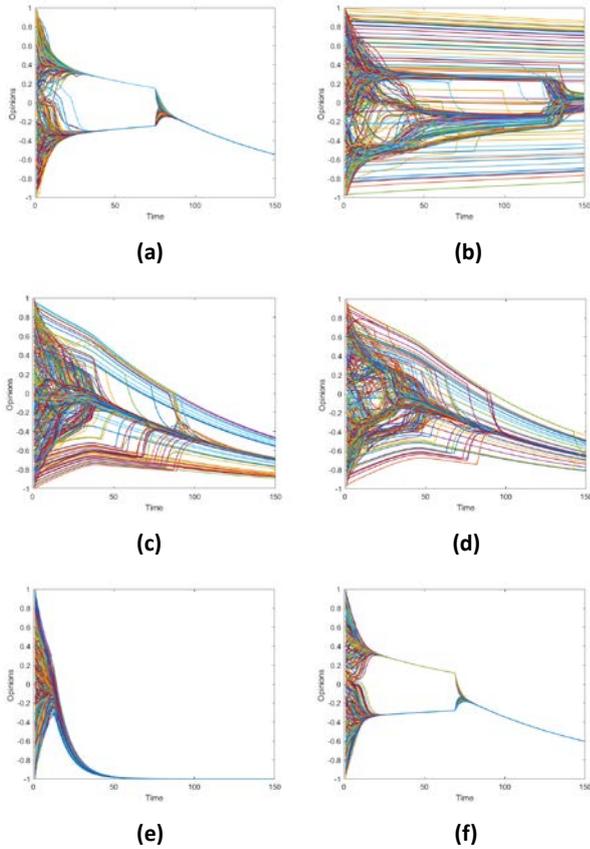


图 5.在真实网络、BA 网络和 WS 网络中，意见气候的不同权重对意见演变的影响。

(a)  $\alpha=0.6$ ,  $\beta=0.3$ ,  $\gamma=0.1$ 。(b)  $\alpha=0.6$ ,  $\beta=0.39$ ,  $\gamma=0.01$ 。  
(c)  $\alpha=0.6$ ,  $\beta=0.399$ ,  $\gamma=0.001$ 。(d)  $\alpha=0.6$ ,  $\beta=0.39$ ,  $\gamma=0.01$ 。  
(e)  $\alpha=0.6$ ,  $\beta=0.39$ ,  $\gamma=0.01$ 。(f)  $\alpha=0.6$ ,  $\beta=0.39$ ,  $\gamma=0.01$ 。

## 5 结语

本文根据沉默螺旋理论对大众观点形成的研究，引入了意见气候参数作为个体观点更新的影响因素之一，结合现实网络情况，提出了基于意见气候影响的 HK 模型。在 BA 网络、WS 网络和现实网络的仿真结果表明，当个体观点更新受到意见气候的影响时，无论网络结构和节点数量如何，观点最终都能达成共识，并且不断靠近积极或者消极的一端；同时，意见气候的影响权重越小，达到共识所需要的时间越大。

本模型的局限性在于将所有的个体视作普通个体，

在更新观点的时候都会受到意见气候的影响，且影响程度相同。然而在现实网络中，大多数情况下群体中都不是只有普通个体，还会存在意见领袖和一些中坚个体，他们的观点不会简单地受意见气候的影响，他们的影响力也远大于普通个体；在一些中坚个体的影响下，最终的观点可能并不会达到共识，也有可能出现反沉默螺旋的效果。这些情况都还未考虑进模型中。在后续工作中，可以考虑个体的类别以及不同个体对意见气候敏感度的变化，从而更准确地模拟观点演化过程。

## 参考文献

- [1] 王龙, 田野, 杜金铭, 社会网络上的观念动力学[J], 中国科学:信息科学. 2018, 48(1): 3-23.
- [2] Lzaer D, Pentland A, Adamic L, et al. Social science. Computational social science [J]. Science, 2009, 323(5915): 721-3.
- [3] Xia H, Wang H, Xuan Z. Opinion Dynamics: A Multidisciplinary Review and Perspective on Future Research[J], International Journal of Knowledge and Systems Science. 2011, 2(4): 72-91.
- [4] Dong Y, Zhan M, Kou G, et al. A survey on the fusion process in opinion dynamics [J]. Information Fusion. 2018, 43: 57-65.
- [5] Semonsen J, Griffin C, Squicciarini A, et al. Opinion Dynamics in the Presence of Increasing Agreement Pressure[J], IEEE Transactions on Cybernetics. 2019, 49(4): 1270-8.
- [6] Etesami S R, Bolouki S, Nedic A, et al. Influence of Conformist and Manipulative Behaviors on Public Opinion[J], IEEE Transactions on Control of Network Systems. 2019, 6(1): 202-14.
- [7] DeGroot M H, Reaching a consensus[J], Journal of the American Statistical Association. 1974, 69(345): 118-21.
- [8] Friedkin N E, Johnsen E C, Social Influence Networks and Opinion Change[J], Advances in Group Processes. 1990, 15(3-4): 193-206.
- [9] Hegselmann R, Krause U, Opinion dynamics and bounded confidence models, analysis, and simulation[J], Journal of Artificial Societies & Social Simulation. 2002, 5(3).
- [10] Fu G, Zhang W, Li Z, et al. Opinion dynamics of modified Hegselmann-Krause model in a group-based population with heterogeneous bounded confidence[J], Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. 2015, 419: 558-65.
- [11] Yu T, Xiao R, Hou J, Modeling and Simulation of Opinion Natural Reversal Dynamics with Opinion Leader Based on HK Bounded Confidence Model[J]. Complexity, 2020.
- [12] Pineda M, Toral R, Hernandez-Garcia E. The noisy Hegselmann-Krause model for opinion dynamics[J], The European physical journal, B. Condensed matter physics. 2013, 86(12): 490.
- [13] Xu H, Ai K, Cai H, et al. AMHK: A Novel Opinion Dynamics Affection Mobilization Based Hegselmann Krause Model[C]; Proceedings of the 2020 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC). IEEE.
- [14] Noelle-Neumann E. The Spiral of Silence A Theory of Public Opinion[J], Journal of Communication. 1974, 24(2): 43-51.
- [15] Kenamer J D, Self-serving biases in perceiving the opinions of others: Implications for the spiral of silence [J], Communication Research, 1990, 17(3): 393-404.
- [16] Noelle-Neumann E. The Theory of Public Opinion: The Concept of the Spiral of Silence[J] Annals of the International Communication Association. 1991, 14(1): 256-87.
- [17] Scheufle D A, Patricia M. Twenty-five years of the spiral of silence: A conceptual review and empirical outlook [J]. International Journal of Public Opinion Research, 2000, 12(1): 3-28.
- [18] Hampton K N, Rainie H, Lu W, et al. Social media and the'spiral of silence' [J]. PewResearchCenter, 2014.
- [19] Luo L, Li M, Wang Q, et al. Spiral of silence in social networks: A data-driven approach[C]. Proceedings of the IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining (ASONAM), 2016.
- [20] Lin C, Liu D, Xiao Y, et al. Spiral of Silence and Its Application in Recommender Systems [J]. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 2020.
- [21] Liu X, Fahmy S. Exploring the Spiral of Silence in the Virtual World: Lndividuals' Willingness to Express Personal Opinions in Online Versus Offline Settings[J], Journal of Media and Communication Studies. 2011, (2).
- [22] 谢新洲. “沉默的螺旋”假说在互联网环境下的实证研究[J]. 现代传播. 2003, (06): 17-22.