

分 类 号_____

学号 M201772575

学校代码 10487

密级_____

华中科技大学

硕士学位论文

舆论演化中的回声室效应研究

学 位 申 请 人： 徐媛媛

学 科 专 业： 系统工程

指 导 教 师： 陈曦 教授

答 辩 日 期： 2020 年 7 月 16 日

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree for the Master of Engineering**

**Research on Echo Chamber Effect in the
Evolution of Public Opinion**

Candidate : Yuanyuan Xu

Major : Systems Engineering

Supervisor : Prof. Chen Xi

Huazhong University of Science and Technology

Wuhan, Hubei 430074, P.R.China

July 16,2020

独创性声明

本人声明所呈交的学位论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除文中已经标明引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的研究成果。对本文的研究做出贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

学位论文作者签名：

日期：年月日

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解学校有关保留、使用学位论文的规定，即：学校有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅。本人授权华中科技大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。

本论文属于 ☐ 保密，在年解密后适用本授权书。
☐ 不保密。

（请在以上方框内打“√”）

学位论文作者签名：

指导教师签名：

日期：年月日

日期：年月日

摘要

自 Web 2.0 革命以来,“回声室效应”这一概念的使用迅速兴起,被广泛应用于社会学中的同质性、心理学中的认知失调、以及传播学中的选择性接触等综合社会科学理论研究中。新兴社交媒体为了增强用户流量、提高用户黏性,根据用户的喜好推送或推荐与用户观点相似的内容,使得个体观点总能听见与自己意见相似的回应,自身观点、意见被不断强化,易于导致回声室效应的出现。在新兴信息运动方式下,探究舆论演化中回声室效应的内在机理和形成条件,可以促进对网络时代下新的社会现象的认识,对于舆论演化研究具有重要意义。

本文在社会学、传播学的最新理论研究成果基础上,引入个体同质性和选择性接触因素改进了舆论动力学模型,结合随机、转载、推荐三种网络连接策略,采用仿真的方法研究了回声室效应,探究了网络结构和意见动态共同作用下回声室效应的发生机制。面向舆论演化仿真的数据,本文提出了观点簇封闭度、极化系数和腔室密度等量化指标,分别反映了回声室效应的信息同质性、社会边界和用户相似性等特征。仿真实验结果表明,个体同质性倾向会加速回声室效应信息同质性现象的出现;基于推荐的选择性接触策略会加速观点极化,促进回声室效应中的社会边界的形成;基于转载的选择性接触策略相比于随机的选择性接触策略会大大提高网络中舆论传播的腔室密度。此外,当同质性和选择性接触两种因素共同作用时,会加快回声室效应的出现。

本文通过仿真实验证实了同质性和选择性接触因素对回声室效应产生的影响,验证了面向仿真数据的回声室效应度量指标的合理性,探究了回声室效应的形成机理,有望为有效的舆情治理提供辅助作用。

关键词: 回声室效应, 舆论动力学, 度量指标, 同质性, 选择性接触

Abstract

Since the revolution of Web 2.0, the use of the concept of "echo chamber effect" has risen rapidly and is widely used in comprehensive social sciences such as homogeneity in sociology, cognitive dissonance in psychology, and selective contact in communication. In order to increase user traffic and increase user stickiness, emerging social media pushes or recommends content that is similar to the user's opinion according to the user's preferences, so that individual opinions can always hear responses similar to their own opinions, and their own opinions are continuously strengthened, which is likely to cause the emergence of the echo chamber effect. As the movement of information method, exploring the internal mechanism and forming conditions of the echo chamber effect in the evolution of public opinion can promote the understanding of new social phenomena in the Internet age, and is of great significance to the study of public opinion evolution.

Based on the latest theoretical research results of sociology and communication, this paper introduces individual homogeneity and selective contact factors to improve the public opinion dynamics model, combining with three rewiring strategies based on random, reposting and recommendations, using simulation methods to study the echo chamber effect, and the mechanism of the echo chamber effect under the combined effect of network structure and opinion dynamics is explored. Facing the data of public opinion evolution simulation, this paper puts forward quantitative indexes such as viewpoint cluster closure, polarization coefficient and chamber density, respectively reflecting the characteristics of information homogeneity, social boundary and user similarity of the echo chamber effect. The results of simulation experiments show that individual homogeneity tends to accelerate the emergence of information homogeneity in the echo chamber effect; the selective contact strategy based on recommendations will accelerate the polarization of viewpoints and promote the formation of social boundaries

in the echo chamber effect; Compared with random rewiring strategy, the density of the chamber is greatly increased by the rewiring strategy based on recommendations. In addition, when the two factors of homogeneity and selective contact work together, it will accelerate the appearance of the echo chamber effect.

This paper confirms the effect of homogeneity and selective contact factors on the echo chamber effect through simulation experiments, verifies the rationality of the simulation data-oriented echo chamber effect measurement index, and explores the formation mechanism of the echo chamber effect, which is expected to play an auxiliary role in public opinion guidance strategies.

Key words: Echo chamber effect, Public opinion dynamics, Quantitative indicators, Homogeneity, Selective contact

目 录

摘要.....	I
Abstract.....	II
目 录	IV
1 绪论.....	1
1.1 研究背景、目的及意义	1
1.2 研究现状及分析	3
1.3 论文研究内容及研究框架	8
2 考虑个体同质性和选择性接触的舆论演化模型.....	11
2.1 个体同质性和选择性接触相关理论	11
2.2 考虑个体同质性和选择性接触的舆论演化模型设计	13
2.3 本章小结	17
3 回声室效应的度量方法研究.....	18
3.1 面向实际数据的回声室效应度量方法	18
3.2 面向仿真数据的回声室效应度量方法	23
3.3 面向仿真的回声室效应度量指标	24
3.4 本章小结	29
4 回声室效应仿真实验研究.....	30
4.1 仿真实验设计及参数说明	30
4.2 个体同质性对回声室效应的影响	32
4.3 选择性接触机制对回声室效应影响研究	34
4.4 个体同质性和选择性接触机制对回声室效应的共同影响	36
4.5 本章小结	40
5 总结与展望.....	41

5.1	总结	41
5.2	展望	42
	致谢.....	43
	参考文献.....	44
	附录 1 攻读学位期间发表论文	52
	附录 2 攻读学位期间参与科研项目	53

1 绪论

1.1 研究背景、目的及意义

舆论是指在一定空间和时间范围内，大众对于某一事件或问题的看法和态度^[1]，其研究涵盖多个学科领域，比如社会学和心理学等。由于舆论会对社会稳定和国家安定产生重要影响，越来越多的研究人员开始关注舆论的研究。舆论最重要的组成部分就是“观点”，研究舆论就是研究在一定情形下大众的观点如何进行交互、演化和发展^[2]，并对观点的演化结果进行分析解读，以发现其中的规律^[3]。

早在 1956 年就有学者关注到“回声室效应”这一现象，然而，由于当时研究水平和学科发展的限制，研究人员并没有给出具体的定义解释，只是发现在政治和经济领域中“个体总是倾向于与熟悉的人、朋友或者意见态度接近的人们进行交流互动”，这样的行为可能会导致个体接触的信息逐渐单一化，信息面也变窄。这种现象便是最初的“回声室效应”。

在 2016 年 11 月美国总统竞选活动中，传播学家和政治学家发现，新媒体平台根据用户先前活动记录和搜索词条的统计结果分析对用户接触信息进行筛选，使得用户越来越看不到与自己意见不同的观点和资讯，进而陷入“回声室”中，自身认知进一步窄化甚至单向化，导致了两党派支持者们的巨大意识形态冲突，甚至在多个州发生了有组织的政治暴乱和集体斗殴的恶性事件，诱发了全国性的激烈的社会矛盾。回声室效应作为一种特殊情形下的舆论演化现象，可能对社会稳定和国家安定产生重大影响，具有重要的研究价值。回声室效应可以理解为是发生在拥有相似观点的群体之间的一种观点交互现象。在回声室中，观点交流多发生在相似性高的群体之间，个体与他人进行意见互动的前提是基于双方对某一问题的共同看法或相似的兴趣习惯，而舆论演化的过程也是观点交互的过程，因此回声室效应可以视为当个体带有某种较强的目的性或受某种心理因素驱动时而产生的特殊情形下的舆论演化现象。此外，舆论演化的过程实质上是一个信息交换的过程，回声室效应的

形成是信息交换的产物，基于此，回声室效应可视为舆论演化中一种比较特殊的舆论交互情形，可以用舆论演化的研究方法去解释和探索其潜在机理研究。舆论动力学是研究社会舆论演化规律的重要方法，可以对舆论演化过程进行模拟实验研究，从而发现舆论演化机制和规律。随着互联网时代的出现，个性化推荐的内容智能分发平台主动将符合口味的信息推送给用户，帮助个体过滤掉不一致的“声音”，加强了回声室效应的产生，容易造成社会的不稳定。“回声室效应”概念，也被应用于多个综合社会科学理论研究中，不同领域的学者结合自身学科特色，尝试从不同角度探究影响回声室效应的因素，例如社会学中的同质性、心理学中的认知失调和传播学中的选择性接触等都被认为是可能造成回声室效应的驱动力。

由于国外互联网时代的起步先于国内，因此，国外学者对回声室效应这一现象的关注也早于国内的学者。目前，国内关于回声室效应的研究还停留在起步探索阶段，多集中在定性地讨论其存在上，关于回声室效应的形成机制以及影响因素都缺乏深层次的探讨，而国外关于回声室效应的研究相对成熟，已有学者从实证分析的角度出发，研究了回声室效应的产生和关键影响因素，并且掌握了回声室效应如何受到这些关键因素的影响。但是总的来看，现有的关于回声室效应的研究，还存在以下两个方面的不足：第一，现有关于回声室效应的研究虽从不同角度出发，但多基于在线实际数据，围绕特定事件背景下进行研究，且简化了真实世界的个体观点。第二，关于回声室的度量一直是不一致的，没有统一的标准和方法，较少从共性机制角度去量化研究回声室效应。

综上所述，本文将深度融合系统科学、新闻传播学、心理学和社会学等多门学科理论知识，充分考虑当前社会下新兴信息运动方式的影响，引入社会学和传播学中的因素改进现有的舆论动力学模型，提出面向仿真数据的回声室效应度量指标，通过重复性、大规模、有效的仿真实验方法，还原回声室效应的形成过程，尝试从精细化层面去量化回声室效应，发现其潜在机理，为现实社会治理舆情提供新的思路。

1.2 研究现状及分析

回声室效应是舆论演化过程中产生的一种特殊现象，关系到观点交互的过程，交互过程中会受到个体的心理因素、社会因素、以及社会网络的结构变化的影响。本文接下来将分别介绍回声室效应和舆论演化研究方法（舆论动力学）的研究现状。

1.2.1 回声室效应的研究现状

（1）回声室效应的定义

“回声室效应”这一概念最初是用来研究公民政治平等，形容公民在参与政治对话时，这种对话往往只出现在朋友和意见相似的人之中。这便是“回声室效应”的雏形，但当时并没有明确的概念界定。直到 Nicholas Negroponte^[4]在《数字化生存》这本书中设想智能计算机将为人类生活带来的巨大变化，他预言道，人类一定会步入一个极端个性化的后信息时代。在后信息时代中，社交媒体会根据用户的兴趣爱好对用户接触的信息进行筛选和过滤，从而为每一位用户生成一份“量身定制”报告。Nicholas Negroponte 将回声室效应的概念拓展到个体使用传统媒介的方式中，回声室效应不再仅仅体现在个体只与志同道合的人交流，也体现在个体通过媒介有选择性地阅读信息中，拓展了回声室效应的表现。

随着互联网技术的兴起，社交媒体逐渐取代传统媒体，改变了人们接触世界的方式。智能推荐算法根据用户兴趣和历史记录推送“定制化”的内容，这种看似开明的信息推送，实际上却使得用户沉浸在同质的信息中，反复接触某一观点，导致在线回声室效应越来越明显，再次引起了研究人员对它的关注。美国著名的传播学教授 Kathryn Jemison^[5]在其著作的《回声室效应：拉什·林博和保守主义媒体的建设》中正式定义了“回声室效应”——意见相近的声音在媒体营造的相对较为封闭的意见感知环境中，被不间断地反复、夸张和扭曲，导致这些夸张和扭曲的极端观点被处于这个封闭环境中的人越来越相信的现代传播学现象。“回声室效应”这一概念自此有了明确的界定。

国内对于“回声室效应”这一概念的研究较晚。我国学者胡泳^[6]在 2008 年首次将“回声室效应”这一概念引进到国内，并且于 2015 年再次发文进行详解。胡泳

认为,所谓的“回声室效应”就是在一定的网络空间内个体只能听见与自己意见相似的回响,从而造成个体对一般共识的认识扭曲。回声室效应的产生往往与信息选择有着紧密的联系,即个体通常倾向于接触与其认知相协调的信息,而避免接触那些与自身认知矛盾的信息。

“回声室效应”中最重要的部分就是回声室,回声室可以理解为在一个相对封闭的意见传播环境^[5]。传统的媒介时代下个体接触信息的方式受限,回声室主要是由现实生活中关系密切的亲朋、某一类型的报纸或某一主题的广播电视等组成。随着互联网技术的发展,人们获取信息的方式发生改变,即使足不出户,也可以很容易在网络上结识与自己志同道合的朋友。回声室逐渐转移到线上社交平台,比如 Twitter、Facebook、豆瓣、知乎和微博等,“物以类聚,人以群分”,基于相似兴趣爱好、持有相同看法的个体间逐渐聚集形成社区,构成了互联网中的回声室。在舆论演化中,回声室可以理解为观点簇,由同质性的信息聚集在一起而形成。

因此,关于“回声室效应”的概念可理解为,个体的信息或想法在相对封闭的环境中得到不断强化,从而加剧现有的观点和意见,导致扭曲甚至极化倾向的一种现象。以社交媒体为主的互联网时代相比于以传统媒体为主线的消费时代,更容易形成回声室效应,这是因为互联网是一个高度选择的环境,社交媒体为个体提供了结识来自世界各地相似的人的可能性。因此,研究回声室效应在互联网时代下的产生机制具有一定意义。

(2) 回声室效应的影响

在回声室中,与具有相同观点的个人重复交互而增强信念有可能会产生一定的弊端。从个体角度来看,个体自身意见被不断强化,从而排斥那些与自身价值观和兴趣喜好不同的信息,导致接触的信息单一化,信息面变窄,从而限制了个体视野。此外,个体的认知和行为也会受到回声室效应的影响,造成个体的判断力减弱甚至丧失。个体由于回声室壁垒的阻碍,在一定空间内只能“听见”与自己意见相近的信息,从而使得处于这一空间内的个体对自己所持的观点盲目自信,即使在面对真相时也很难接受。除此之外,回声室效应会阻碍个人的全面发展。从社会角度来看,回声室会加强群体分化,对社会稳定造成不利影响,各回声室中的个体只相信自己

所处回声室中的所谓真相，在某些情形下，可能会引起冲突，不利于社会团结，影响社会民主。此外，当虚假或误导性信息进入回声室内，并在志趣相投的个人网络中不受挑战地发挥极端作用，不仅会加剧极端主义导致两极分化，且由于回声室的特殊腔室结构，还会使得虚假信息被一直保留，进而助长谣言、网络暴力和不实报道的形成，阻碍真相的传播，影响社会公正，比如，“江歌案”，“杭州保姆纵火案”等。

（3）回声室效应度量方法

现有的回声室效应度量方法根据研究角度的不同可以分为定性度量方法和定量度量方法。定性度量方法主要是通过逻辑推理、历史比较等方法对历史事实、社会现象和生活经验等进行归纳总结，以发现事物规律。现有关于回声室效应的定性度量方法主要有文献分析法、案例分析法及深访法等。以文献分析法为例，主要通过总结比较现有关于“回声室效应”的研究资料或文献，以发现“回声室效应”的性质和现状。定性研究的方法主要从宏观角度发现社会现象，解释社会机理，但针对回声室效应的机理研究不够细致深入。

根据面向数据的不同，回声室效应的定量研究方法，可以分为面向实际数据度量方法和面向仿真数据的度量方法。面向实际数据的度量方法，多基于实际在线数据，比如 Facebook 或 Twitter，采用了面向特定事件的统计度量方法、基于网络结构的度量方法、以及面向二元观点的度量方法等。基于真实数据的度量方法，存在着一定的局限性。例如，基于特定事件的统计度量方法，多以某件社会事件为背景，针对特定事件而设计，不具有普适性。基于网络结构度量方法，在其数据集上存在可靠性和可推广性问题，不同的数据量级下对整个网络进行调查可能会得出完全不同的结果，该方法要求用户的数据必须齐全，否则就会产生较大的误差。基于二分法的划分，用于讨论的观点结论是预先确定的两类，没有考虑观点的多样性，仅表示过于简化的现实世界，不利于研究连续观点情形下的机理。面向仿真数据的度量方法，主要对基于 Agent 的建模方法 (Agent Based Modelling) 或舆论动力学 (Opinion Dynamics) 的研究结果进行量化度量分析。传统的社会科学研究方法通常依赖于有限数量的变量的线性联系，很难预测模拟多层次和非线性的相互作用。基于 Agent

的建模方法和舆论动力学可用于测试复杂的, 非线性的舆论演化理论假设建模, 可以模拟个体之间的交互以及观点变化过程。基于 Agent 的建模方法和舆论动力学的演化结果一般通过最终观点一致性、演化时间来度量, 缺乏对回声室效应有针对性的度量指标。

综上所述, 现有关于回声室效应的度量方法仍较欠缺, 没有形成统一的度量标准, 基于仿真数据的回声室效应度量方法较少, 对回声室效应的产生机理研究不够透彻, 有较大的研究空间。

1.2.2 舆论动力学研究现状

在舆论动力学模型研究中针对回声室效应的研究还是不足的。回声室效应的形成是由社会学中的同质性、心理学中的确认偏差和传播学中的选择性接触共同作用导致的, 而现有的舆论动力学模型中虽有考虑心理学和社会学等的因素, 但却没有将这些影响因素用于对回声室效应的研究中。传播学中的选择性接触机制在现有的舆论动力学中也被简化, 没有结合当前线社交媒体下信息的信息运动方式。

研究舆论演化规律的一个重要方法是舆论动力学。早在 1956 年, French^[7]为了研究团队行为的复杂性, 提出了一个离散的简单的数学模型。接下来有很多学者结合社会学和心理学理论知识, 对舆论动力学模型提出了改进。根据各种各样的规则, 提出了许多相应的舆论动力学模型。考虑到社会心理学中的“从众心理”^[8], 个体观点会受到周围朋友的影响, 有学者提出了根据单个邻居的意见来改变自身观点的 Voter 模型^[9]。与 Voter 模型不同, 在 Majority Rule 模型中, 个体在更新观点时, 不单一地以某一邻居的意见为依据, 而是综合了大多数邻居的意见作为依据, 来改变自身的观点^[10]。Sznajd 模型在 Voter 模型的基础上进行了改进, 考虑到“三人成虎”的现象, 多人的说服力强于单人, 因此当有两个或多个邻居对个体进行劝说时, 个体更容易相信并接收他们的观点^[11]。随后, 又有许多的学者对上述模型进行了更深层次的研究^[12-19]。以上这些模型中都是用离散的数值来表示个体意见态度, 例如数字+1 表示赞同、0 表示中立、-1 表示反对, 因此将这类模型统称为离散型的舆论动力学模型。

然而,在实际生活中,个体对于某一事件的看法并不那么绝对,只是一种倾向性的态度,因此用离散数值来表示,存在两点不足。一是将现实世界个体观点太过简化,二是将个体意见描述太过绝对。基于此,考虑连续观点值的舆论动力学模型被提出。在连续型舆论动力学模型中,个体的意见是用 $[0,1]$ 区间内任意数值来表示,例如 Deffuant 模型^[20]和 HK 模型 ((Hegselmann-Krause model)^[21]。在这两种模型中,考虑到边界信任的规则,个体具有信任阈值,只有当邻居的观点在个体信任阈值内,个体才会与之交流^[22],因此,也将 Deffuant 模型和 HK 模型称为边界信任模型。从社会心理学的角度来看,符合“选择性接触”。两者的不同之处在于,Deffuant 模型描述的是个体间两两交流的过程,而 HK 模型则描述的是多个个体之间的相互作用。由于边界信任模型更贴切真实生活中的舆论演化规则,因此得到了巨大的反响。众多学者在边界信任模型的基础上,考虑社会学和心理学的因素,进行了改进和优化。Lorenz^[23] 考虑到个体的性格特征会对个体观点更新产生影响,因此将保守心理和开放心理引入到 HK 模型中,将个体分为“保守型”个体和“开放型”个体,不同类型的个体其信任阈值也不同。苏炯铭等^[24]考虑到社会群体中总有一些较为“偏执”的个体,为了探究少数的偏执个体对整体社会舆论演化的影响,在模型中引入了“偏执”的心理因素。Li^[25]考虑到心理学中的“自我效能感”,在 HK 模型中引入了自信心的影响因素,个体的自信度不同,对待他人和自我的观点态度也不同。自信度高的个体更倾向于相信自己的观点,而自信度低的个体,则容易受到他人观点的影响从而动摇自身观点。心理学家发现,个体的行为在很大程度上会受到其同类或同伴的影响。如果个体发现某种行为已经在其同类中流行,那么个体往往也会跟着做。这种现象被称为“同伴影响力”(Peer Influence)^[26]。因此,Chen 等^[27]考虑了意见领袖在 HK 模型中的作用。还有学者考虑到个体的信任阈值会随邻居的影响力不同而改变,提出了信任阈值动态变化的演化模型^[28]。何建佳和刘举胜^[29]在 HK 模型的基础上考虑了意见领袖拥护者比例、观点坚持度、个体亲密度对舆论演化过程的影响。Chen 等^[30]在认知心理学的基础上,提出了基于个体认知方式的舆论演化模型,简称为 CS 模型 (Cognitive Styles Model)。在 CS 模型中,个体观点依据独立型认知和依存型认知两种认知方式来更新,其中,依存型认知部分是与

邻居个体交流的结果，独立型认知部分则考虑了个体通过网络推荐等方式获取的信息，体现了个体在自我感知和与外界交互两种方式结合下的观点演化情况。

上述关于舆论动力学模型的改进和研究，虽然从不同角度考虑到社会学和心理学的影响因素，但都没有应用于对回声室效应的研究中。此外，由于个体在现实的社会关系网络中，会与其他人产生千丝万缕的联系，“近朱者赤近墨者黑”，个体的亲人、朋友、同事等都会对个体的观点产生影响，因此在舆论演化过程中，考虑个体的社交关系对个体意见形成的影响很有必要。基于此，Boguna^[31]将社会关系引入到网络模型的构建中。Chen 等^[32]考虑到中国的社会背景下对传统社交关系的重视，引入了三种社交关系演化机制，分别是变异连接、遗传连接和基于相似性的断边，并基于此，提出了一种熟人网络模型 (Chinese Traditional Acquaintance Network, CTAN)。在现实社会中，个体之间既存在差异性，也具有相似性，但由于“道不同不相为谋”，个人与他人交往的前提多基于相似的兴趣爱好。个体倾向于与自己相似的个体建立社会关系便是同质性的表现^{[33][34]}。因此，Singh 等^[35]提出社会网络结构演变的动力之一是同质性，并在此基础上，构建了一种基于同质性的网络结构更新模型。然而，随着在线社交媒体的发展，个体与他人的交互也从线下发展到线上，上述模型中，没有结合当前线社交媒体下信息的信息运动方式，且传播学中的选择性接触机制在现有的舆论动力学中也被简化。

因此，现有的舆论动力学模型，从社会学、心理学和传播学角度分析，未考虑个体同质性和选择性接触回声室效应的影响；从社交关系网络角度分析，忽略了在线社交媒体下个体社交方式对回声室效应的影响。

1.3 论文研究内容及研究框架

为了深入研究回声室效应的形成机理，本文将个体同质性和选择性接触与舆论动力学深度融合，考虑意见观点演化和网络结构变化同时存在的机制，在改进的舆论动力学模型基础上，结合当今社会信息运动方式，设计了随机、基于转载和基于推荐这三种不同的社交网络上个体选择性接触的交互机制；同时，在总结的回声室效应的三个特征——信息同质性、社会边界和用户相似性的基础上，融合系统科学、

社会学、心理学、新闻传播学等学科基础理论,从舆论演化状态、网络结构和群体分布等角度出发,提出了观点簇封闭度、极化系数、以及腔室密度这三个面向仿真的回声室效应度量指标;最后,通过大量仿真计算实验,研究个体同质性和选择性接触对回声室效应的影响,验证面向仿真的回声室效应度量指标的合理性,探究回声室效应的潜在机理。

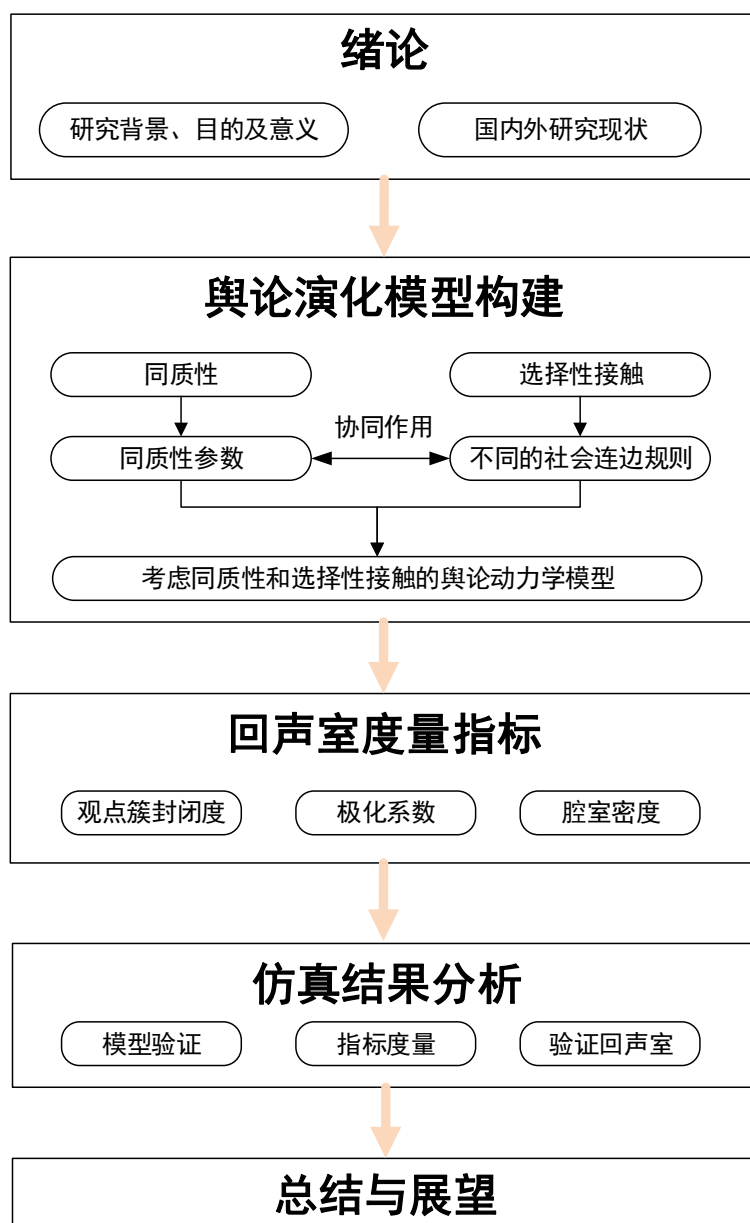


图 1-1 研究内容总体结构图

研究内容总体框架结构图如图 1-1 所示，具体细节如下：

第一章主要分为两个部分，一是介绍本文研究背景、目的及意义，二是对回声室效应和舆论动力学相关领域进行了现状分析。

第二章在经典舆论动力学模型的基础上，引入个体同质性和选择性接触两种影响因素，提出的考虑同质性和选择性接触的改进的舆论动力学模型，并结合当前社会的信息运动方式，设计了随机、基于转载、基于推荐这三种不同的社交网络连接规则，在意见动态演化和网络结构变化同时作用的舆论演化机制下构建了舆论演化模型。

第三章总结了现有面向实际数据的回声室效应度量方法及其不足，提出面向仿真的回声室效应度量方法，并针对回声室的信息同质性、社会边界、以及用户相似性三个方面的特征，从网络结构、意见演化和集群分布角度出发，提出细致的度量指标，为后续验证回声室效应的存在、探索其形成机理打下基础，有助于更客观地认识“回声室效应”。

第四章主要在前文提出的基于同质性和选择性接触机制的舆论动力学模型的基础上，结合回声室效应度量指标，探究意见动态和网络结构相互作用机制下的舆论演化研究，通过大量仿真计算实验，模拟不同情形下的社会舆论演化，研究个体同质性和选择性接触机制对舆论演化的影响，验证了面向仿真的回声室效应度量指标的合理性，探究回声室效应的潜在机理，并提出缓解建议。

最后一章是对全文的研究内容的总结，并对未来可扩展研究的方向进行展望。

2 考虑个体同质性和选择性接触的舆论演化模型

社会学中的同质性^[36]和传播学中的选择性接触^[37]被认为是促进回声室效应形成的主要驱动力。为了探究同质性和选择性接触因素对回声室效应的影响,本章引入了一种意见动态和网络协同演化的舆论动力学模型,在考虑个体同质性的基础上,结合新型信息运动方式,设计了三种不同的社交网络连接规则,探究选择性接触对回声室效应的影响。该舆论动力学模型可以在意见动态变化和网络结构变化同时作用下,通过舆论演化仿真来研究回声室效应,有助于研究回声室效应的产生机理。

2.1 个体同质性和选择性接触相关理论

研究发现,个体同质性是影响回声室效应形成的因素之一。个人倾向于与相似个体或共享兴趣的个体互动或建立友谊的这种趋势被称为同质性。在回声室效应中,个体同质性表现在个体倾向与观点相似的个体进行沟通。社会学中的同质性可以有效解释回声室效应中的社会边界特征和用户相似性特征。回声室效应的社会边界特征是指个体被限制接触相反观点,个体意见被约束在狭窄的团体或腔室内。回声室效应的用户相似性特征是指个体仅与志同道合,共享相似观点的群体交流互动。在现实生活中,个体是群体生活中的一部分,个体渴望得到他人认可或被接受的心理,被团体接纳的归属感,使得个体产生与相似的人建立联系的倾向^[34]以及在社会影响下,由于社会互动而变得与某人越来越相似的倾向^[38]。在线社交网络的特征之一是其明显的同质性。由于与具有相同观点的个人的反复互动而强化了自己的信念,同质性会导致社会自然分化为具有不同观点的群体。Boutyline^[39]发现网络中具有相似意识形态团体中的成员之间具有更多的联系,而与具有不同意识形态的个人之间的联系则较少,个体倾向于与自己在政治思想上选择相似的人交往。Shore^[40]发现网络中的高密度区域比其他区域具有更高的同质性。Miller^[34]指出同质性会促使两极分化和种族隔离的出现。特别

是在某些环境中，同质性可能是导致滤泡和回声室出现并因此导致群体极化效应的重要因素^[41]。

选择性接触是社会学实践中的一种理论，经常用于媒体和传播研究，是指人们为了达到特定目的而进行信息搜索的方式^{[42][43]}。更具体地说就是人们习惯根据他们现有的观点和兴趣来接触大众媒体而避免接触不愉快信息的倾向^{[44][45]}。这种有目的地选择符合其信念的消息的倾向，使得个体接触的信息片面化，将导致个体不断强化先前持有的观点。大多数学者引用 Festinger^[46]的认知失调(Cognitive Dissonance)理论来解释选择性接触发生的原因。个体如果遇到一种反态度的认知或一种违背他们先前决定的认知，就会产生某种心理上的不适，Festinger 将这种不适命名为“失调”(Dissonance)，选择性曝光是个体为了减少这种不适而采取的一种策略。根据该理论，当人们获得能够证实他们的决定是正确的信息时，他们会感受到积极的感觉，因此能够加强个体观点的信息会有更大的曝光的可能性。选择性接触的机制解释了回声室效应的信息同质性的特征，即个体仅接触符合其信念，与其意见相同或能够证实其持有的观点的信息。

确认偏差也与选择性接触有相互关联的内容，确认偏差是指个体倾向于以确认或支持其先前信念并避免与之产生矛盾的方式来获取或处理新信息的趋势^[47]。它是认知偏见的一种重要类型，它会扭曲基于证据的决策，从而对社会的正常运作产生重大影响。人们选择性地收集或记住信息，或者以偏见的方式解释信息时，就会表现出这种偏见^[48]。例如，个体可能会挑选支持自己观点的经验数据，而忽略了不支持的其余数据。在确认偏差的作用下，个体还倾向于将模棱两可的信息解释为支持其现有立场的证据。对于期望的结果以及根深蒂固的信念，确认偏差的作用更强。确认偏差会让个体以不合逻辑的，有偏见的方式处理信息。许多未知的因素会影响个体处理信息的方式^[49]。有文献指出，个体一旦对某些问题持有意见，就很难以理性，公正的方式去处理相关的信息。当个体对某类问题不带有倾向时，则他们更能合理地处理信息，并赋予多个观点相同的权重。个体之所以容易产生确认偏差，是因为这在一定程度上可以帮助人们有效地处理信息。在社会世界中，人类被信息轰炸，无法花费时间仔细处理每条信息，以得出公正的结论^[50]。个体的决策和信息处

理通常带有偏见,因为个体仅限于从自己的观点来解释信息,以保护自己免受伤害。同质性和选择性接触与回声室效应的产生具有密切的联系,因此本章将这两种影响因素引入到舆论动力学模型中,以发现其对回声室效应影响的机理。

2.2 考虑个体同质性和选择性接触的舆论演化模型设计

个体间观点的交流和互动促进社会舆论的演化发展。例如在 HK 模型中,个体仅根据信任阈值内的邻居观点来更新自我的观点, HK 模型观点更新规则如公式 2.1 所示。

$$x_i(t+1) = \begin{cases} \frac{1}{|N_i(t)|} \sum_{j \in N_i(t)} x_j(t), & N_i(t) \neq \emptyset \\ x_i(t), & N_i(t) = \emptyset \end{cases} \quad (2.1)$$

$$N_i(t) = \{j \in V \mid |x_i(t) - x_j(t)| \leq \varepsilon_i\}$$

其中, $N_i(t)$ 是与个体观点差异在信任阈值 ε_i 内的邻居集合, $|N_i(t)|$ 表示交互观点的邻居个数, $\frac{1}{|N_i(t)|} \sum_{j \in N_i(t)} x_j(t)$ 是个体与邻居集合 $N_i(t)$ 中的个体交互之后的观点, 如果 $N_i(t)$ 为空, 则个体观点不变仍为 $x_i(t)$ 。经典 HK 模型中个体交互示意图如图 2-1 所示。

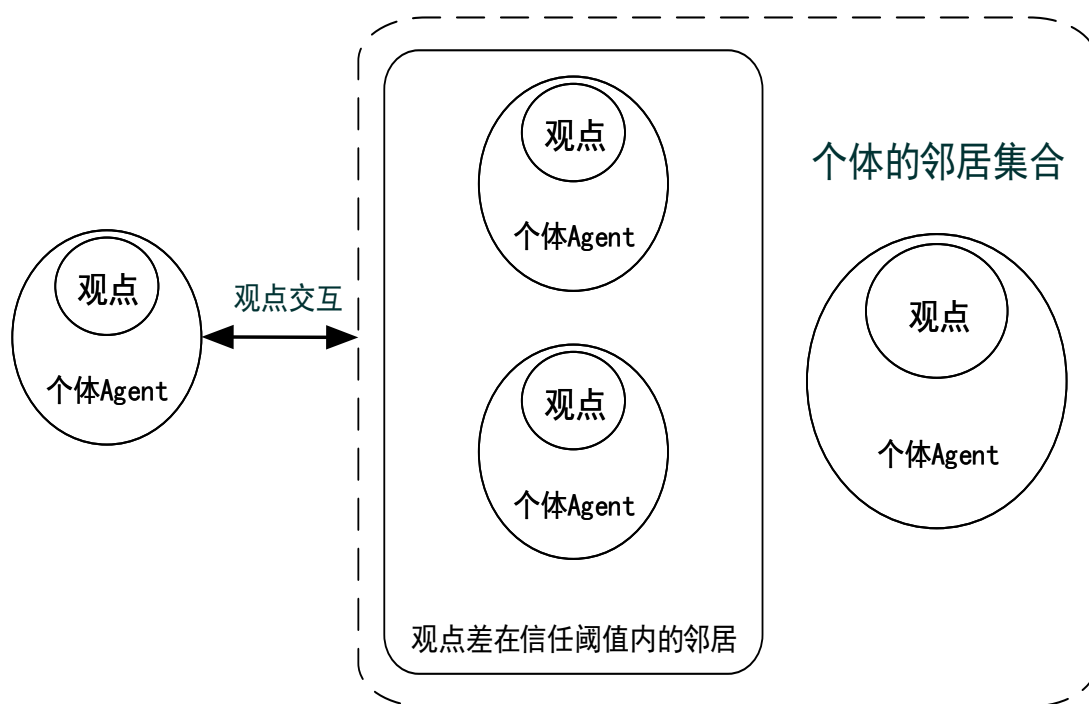


图 2-1 个体在经典 HK 模型中的交互示意图

同质性是指个体倾向于与相似的个体或共享兴趣的个体互动的倾向。而 HK 模型中，个体仅与观点相差在信任阈值内的个体来进行交互，反应了个体的同质性倾向，因此，本文视 HK 模型为个体同质性倾向驱动下的观点交互。但 HK 模型没有考虑到个体同质性倾向的强度会对回声效应产生怎样的影响。

此外，在现实社会中，个体由于工作、学习、娱乐等多种原因会与不同的人打交道，个体的社交关系也处于不断更新之中，而现有的舆论动力学模型大多是在静态网络中进行观点的演化，忽略了个体社交关系的更新导致网络结构的变化，因此应该考虑意见动态与网络结构协同演化的机制。HK 模型中没有考虑个体社交关系更新而导致的网络结构的变化，而回声室效应的产生与选择性接触有密切关联，选择性接触反应的就是个体的一种社交规则，因此 HK 模型没有考虑选择性接触机制造成的社交网络更新对回声室效应的影响。

基于此，本文在 HK 模型的基础上进行，引入同质性强度的影响因素，并引入考虑选择性接触的社交网络更新规则。考虑同质性和选择性接触的舆论演化模型构建过程为：考虑一个系统中有 n 个 Agent，集合为 $N = \{1, 2, 3, 4, \dots, n\}$ ， $\text{Agent } i \in N$ 。

Agent i 在 t 时刻的观点值为 $x_i(t)$, $x_i(t) \in (0,1)$ 。个体的初始观点分布设置为服从 $[0,1]$ 区间上的均匀分布。Agent i 的信任阈值记为 ε_i , 当个体与邻居的观点值之差的绝对值小于其信任阈值时, 才进行观点交互。改进后的模型的观点更新规则如公式 2.2 所示。

$$x_i(t+1) = (1-\mu) x_i(t) + \mu \frac{1}{|N_i(t)|} \sum_{j \in N_i(t)} x_j(t) \quad (2.2)$$

$$N_i(t) = \{j \in V \mid |x_i(t) - x_j(t)| \leq \varepsilon_i\}$$

其中, 我们定义 μ 为同质性强度度量参数, 其范围在 $[0,1]$ 之间, 越大表示个体的同质性倾向越强, 通过调整同质性参数, 探究同质性的强度对回声效应的影响。

选择性接触是指人们为了达到特定目的而进行信息搜索的方式。更具体地说就是人们习惯根据他们现有的观点和兴趣来接触大众媒体而避免不愉快信息的倾向。为了探究选择性接触机制对回声室效应的影响, 本文引入了随机、基于转载、基于推荐这三种不同的连接策略, 其中, 基于转载和推荐的重连机制模拟了选择性接触中个体有目的地与能够验证其历史观点的信息交互的倾向, 断边机制模拟了个体避免接触到与之观点矛盾的信息的倾向, 连断边的机制模拟了个体选择性接触信息的交互机制, 考虑选择性接触的社交关系网络更新规则如下:

- 随机连接策略: 个体 i 在网络中随机选择一个非好友节点, 进行连接;
- 基于转载的连接策略: 基于个体的人际关系, 从有共同的好友的节点中随机选择一个个体进行连接;
- 基于推荐的连接策略: 基于个体相似性, 根据个体上一时刻的观点, 从信任阈值内的所有非好友中随机选择一个个体进行连接。
- 断边机制: 个体 i 有 q 的断边概率与跟自身观点值相差最大并且个体观点差异在信任阈值 ε_i 外的个体发生断边, 如果个体 i 的邻居都满足交互条件, 则断边不发生。

因此, 任意时刻 t , 个体同步更新观点值和社交网络关系, 个体观点更新如图 2-2 所示。

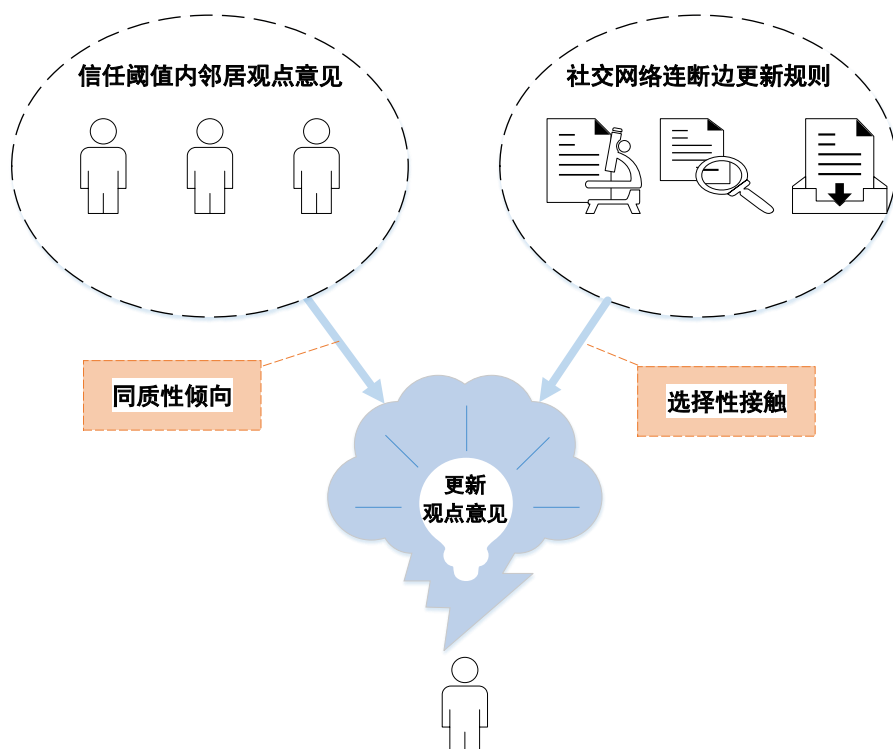


图 2-2 个体观点更新示意图

考虑个体同质性和选择性接触的模型演化步骤如下：

(1) 基础数据初始化，包括系统中个体的总数 N ，实验最大演化步长 T ；系统初始化，包括网络初始连边数 E ，个体初始观点值和连边情况；实验参数初始化，包括同质性参数 μ 、信任半径 ε 和断边概率 q 。

(2) 根据公式 (2.2) 进行观点更新。

(3) 根据动态网络协同演化的规则进行网络结构更新。

(4) 判断一轮演化后所有个体的观点值相比于演化前是否改变，如果没有改变，说明达到稳定状态，否则重复步骤 (2) 和步骤 (3)，直到模型达到稳定状态或演化步骤达到最大演化步长，演化结束。

模型算法流程图如图 2-3 所示。

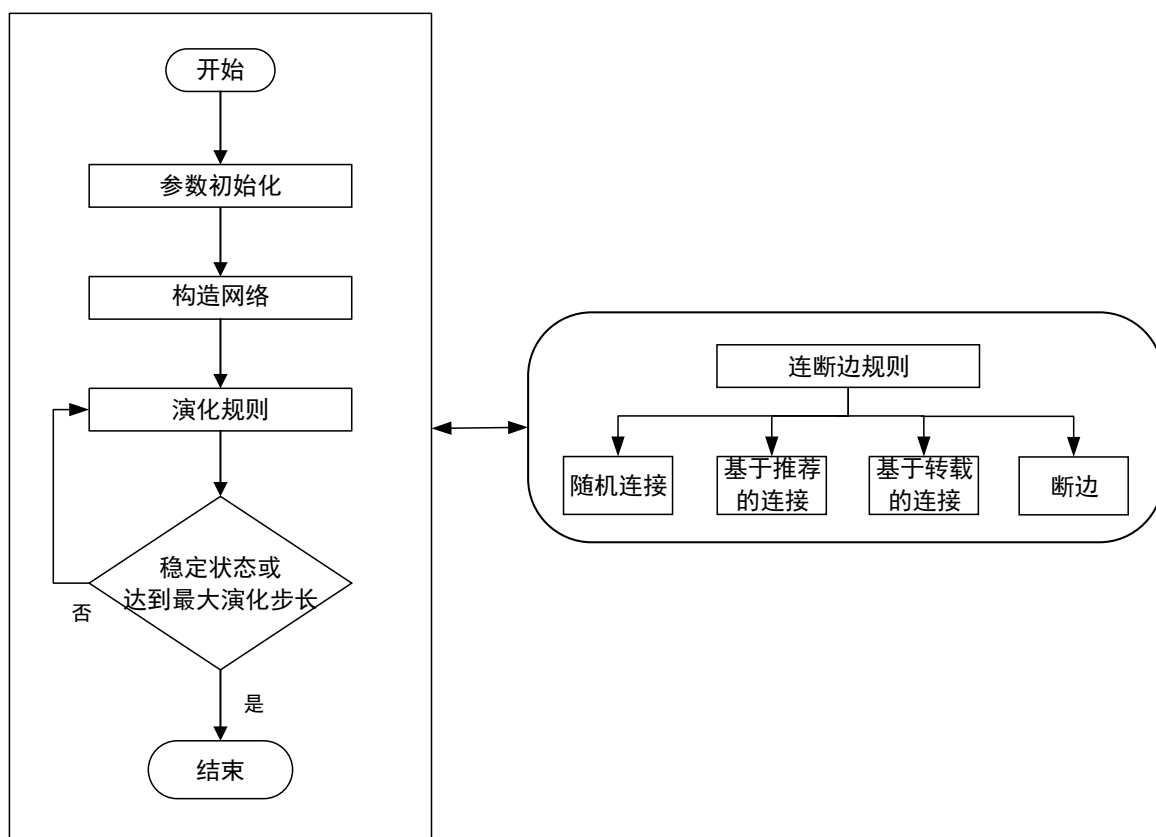


图 2-3 模型演化算法流程图

2.3 本章小结

本章在前文社会学、心理学和传播学理论知识的基础上，结合当今社会信息运动方式，设计了三种不同的社交网络连接规则，模拟选择性接触的机制，引入改进的考虑同质性和选择性接触性的舆论动力学模型，构建了意见动态演化和网络结构变化同时作用下的舆论演化机制，用于探究同质性和选择性接触对回声室效应的影响。

3 回声室效应的度量方法研究

现有回声室效应的度量方法多基于在线实际数据,具有普适性差、个体观点简化、数据不易追踪等局限性,较难使用精细化的方法探究回声室效应的深层次机理;而面向仿真数据的回声效应的量化度量方法缺乏统一的度量指标。因此,不管是面向实际数据还是仿真数据都缺乏统一的回声室效应度量指标。本章针对回声室效应的社会边界特征、信息同质性特征、用户相似性特征,提出面向仿真数据的回声室效应度量指标。

3.1 面向实际数据的回声室效应度量方法

3.1.1 面向特定事件的统计度量方法

基于特定事件的统计度量方法,需要预先提出各种假设,然后收集数据,对结果进行数理统计分析,计算各影响因素间相关度,从而发现并度量回声室效应。基于特定事件的度量方法可以分为线上的度量方法和线下的度量方法。其中,线上度量方法,主要围绕 Facebook 和 Twitter 这两个大型在线社交网络^[51],但由于 API 的可访问性,主要研究集中在 Twitter 上。基于特定事件的线上度量方法,对于数据的依赖性很高,且当需要大量基于用户的私人信息数据时,很难通过公共 Twitter API 获取^[52]。由于隐私的限制,研究人员不能拿到全面的数据,所以只能针对特定的事件进行局部的分析。由于获得数据方式局限性,实证研究通常只涉及部分事件。线下度量方法主要通过问卷设计调查法进行,能够较为真实地反应和度量回声室效应,有利于发现影响回声室效应各因素间的相关性,但这种测量方法往往是基于某一话题或事件进行度量,度量方法可能适用性不够广泛,预先提出假设的方法,考验研究者的捕捉信息敏感度和经验储备,受个人主观影响较大,且在线收集网络数据或设计问卷调查的工作量较大,需要耗费较多的人力和物力资源。Dubois^[53]为了探究政治倾向和媒体多样性和回声室之间的关系,对英国成年人进行问卷调查,利用李克特量表(Likert Scale),提出了五个离散的可衡量回声室不同方面层度的因变量,

分别是 Disagree——是否阅读与自己意见不一致的信息、Different——是否检查不同于平常的新闻来源、Confirm——是否尝试通过其他来源来确认发现的政治信息、Offline——是否尝试通过检查主要的离线新闻媒体来确认政治信息、以及 Changed——有几次在使用搜索引擎进行信息搜索后改变了已有对政治问题的看法,并通过 Pearson 乘积矩来分析政治利益和媒体多样性对回声室的影响, Pearson 乘积矩越小,则相关性越低。Fisher^[54]通过收集听证会的证词构成的数据集,使用话语网络分析器(DNA)程序对文章和陈述进行定性编码,并将数据进行网络分析和可视化,以便可以映射每个“话语”中参与者之间的关系,量化这些联系的强度,以二进制关系矩阵将单变量网络(基于单个问题的共现网络)的极化和参与者组成进行比较,来检测特定话题下的观点极化度量。李卫东^[55]运用统计分析的方法,研究了社交网络平台中社会网络结构属性与回声室效应强度的关系,深入认识回声室效应的规律性。Jasny 等人^[56]采用指数随机图模型(ERGM)来测量回波腔的形成,证明信息的同质性(回声)和多径信息传输(腔室)在政策沟通中都扮演着重要的角色,以区分三元闭合中来自腔的回波。Wesley 等^[57]将回音室与政治话语中的两极分化联系起来,并定义了一个与网络结构无关的连续的政治倾向参数量化网络的强连通组件中回声腔的存在。Wesley 认为在政治上,回声室的特点是用户共享相似的观点,并以相似的政治观点交换消息。因此, Wesley 通过分析用户的政治立场与他/她最近的邻居的政治立场的相关性,以及用户的政治立场与其收到的推文的内容之间的相关性,来量化政治话语中回声室的存在。

基于特定事件的统计度量方法,多以某件社会事件为背景,且由于对数据的依赖性较高,其应用范围有较大的局限性,统计方法是针对特定事件而设计的,不具有普适性。

3.1.2 基于网络结构的度量方法

回声室会限制个体接触不同观点,导致个体意见被约束在一定的网络空间内,持有相似观点的个体聚集起来,彼此间的联系不断加强,而逐渐与其他个体划清界限,个体间联系的增加或减弱(即网络结构)会对回声室效应产生重要的影响。“物

以类聚，人以群分”，这种聚集现象反映出了回声室的社会边界、信息同质性和用户相似性特征。网络中的这种聚类现象就是形成社区。社区是包含一组节点的图形的一部分，这些节点与图的其余部分稀疏连接^[58]，但彼此之间紧密联系^[59]。评估一组节点是否为社区有两个主要组成部分：其节点之间的密度以及与组外节点的联系。网络理论已经发展了许多方法来检测社区，所以，可以利用社区检测来发现网络中的回声室。通常通过最小化混合参数来通过算法完成识别^[60]。混合参数表示群组的外部连接与总连接之间的比例，一般认为当混合参数大于 0.5 表示超过一半的连接是对外的，则这组用户不能被视为一个社区^[61]。已有研究发现，通过检测社交网络中的社区，可以探测群体间的界限^[62]。基于网络理论，提出利用模块化结构去度量个体间的这一聚集现象。如果一个网络可以被划分成内部紧密相连、与其它组松散相连的组，那么它就是一个模块化结构。社区检测的目的就是对发现这些模块化结构并进行划分，为了评估社区结构划分的质量，Newman^[63]引入了模块度 (Modularity) 的概念，并用 Q 来表示，模块度的计算是将网络中连接社区结构内部顶点的边所占的比例与另外一个随机网络中连接社区结构内部顶点的边所占比例的期望值相减得到的差值。模块度的大小可以反映社区划分效果的好坏，模块度越大，代表社区划分越清晰，反之则代表社区划分越模糊。在任意网络中，寻找具有最大模块度的分区称为社区检测问题。Garcia^[64]认为网络极化是将政治人物划分为不同的群体，考虑到个体的党派关系，网络极化可以通过模块化度量来计算。因此 Garcia 用模块度 Q 量化分区，将 Q 模块度量应用于衡量政治家与同一群体中的其他政客联系的趋势，通过政党标签的模块度计算沿着政党路线的网络极化，分析了政治网探讨网络互动中意识形态与社会结构的关系。Josep^[65]通过对 Twitter 和 Orkut 这两个流行的大型社交网络的测量，提出了鉴于社会网络图的独特性质（存在集群或社区、倾斜度分布、与地理的相关性）的社区算法提取社交网络中的分区。为了解决选择正确的社区检测算法的问题，Lancichinetti 和 Fortunato^[58]以及 Yang 等^[61]引用了由多达 32,000 个节点组成的基准图来进行评估。但有学者指出，与对网络核心进行分析相比，不同的数据量级下对整个网络进行调查会得出完全不同的结果，因此不建议减少节点数量。由于从在线社交网络导出的图形通常包含比测试的 32000 个节点更多

的节点，研究人员在选择算法时不能完全依靠现有的评估方法。Williams^[66]使用 Louivan^[67]方法在社区之间移动节点从而找到满足最大模块度的局部最优解，成功完成了在具有超过 32,000 个节点的图中检测社区的工作。除 Louivan 方法外，Fastgreedy^[68]方法是另一种在非常大规模节点中确定社区的算法，该算法使用贪婪的分层集聚过程来最大化图的模块化。虽然 Louivan 方法和 Fastgreedy 方法可以解决在非常大规模节点中检测社区的问题，但上述两种算法具有不确定性，有研究人员在讨论了社区检测算法以及评估措施^[58]后发现不同算法可能会得出不同的结果，产生的社区差异很大，因此建议对各类社区检测算法进行单独评估。也有研究指出，尽管最大化模块化的算法通常可以准确地识别社区^[69]，但在大规模节点中识别小社区方面存在弱点^{[70][71]}。

基于网络结构度量方法中，采用不同的社区检测算法在不同的数据量级下对整个网络进行调查会得出完全不同的结果，该方法要求用户的数据齐全，不能减少节点的数量，否则就会产生较大的误差。

3.1.3 面向二元观点的度量方法

非黑即白的二元化思维，又称二分法，它是用语言把事物或概念简简单单的分成两个对立面，然后用这两个对立面进行思考。生活中的二元对立处处可见、不胜枚举。例如：邪恶/善良、痛苦/快乐、填满/留白、失败/成功、男人/女人、老板/员工、理性/感性、自己人/外人、富人/穷人等。回声室是在一个相对封闭的意见传播环境，在舆论演化中，回声室可以理解为观点簇，由同质性的信息聚集在一起而形成。这种观点簇反应在政治中就是不同的政治党派。考虑到一些国家是两党制，且为了简化数据，在关于政治党派回声室效应研究中，也有学者采用二分的思想，来对个体进行划分。但在回声室中有多种观点的碰撞融合，由于观点间的类似，最后会统一成一类观点，而面向二元观点的度量方法没有反应出多元观点的交流。

Quattrociocchi^[62]认为当某一用户有 95% 的“喜欢”或点赞的都是针对某个类别的帖子时，该用户将被标记为该类别的支持者。Colleoni 等^[72]依据用户只关注 Twitter 上民主党人物或共和党人物的举动，将用户归类为民主党人或共和党人，对于其他

用户，他们将先前分类的用户用作训练数据集，并应用机器学习方法将其余的用户归为这两种党派。**Halberstam** 和 **Knight**^[73]依据个体跟随哪个政党的政客比例较高，将使用者归类为民主党或共和党的支持者。**Williams**^[66]向专家展示了用户的文本内容，其中包括推文和个人资料信息，以便手动对用户进行分类。

上述这些方法都有一个共同点，即用于讨论的观点的结论是预先确定的两类，忽略了摇摆不定的选民或独立人士，没有考虑观点的多样性。因此，二分分类仅表示过于简化的现实世界。当考虑到全世界的政治制度时，在多党制盛行的欧洲，这种限制变得更加明显，例如，德国（欧盟最大的民主国家）有六个政党组成了联邦议会。因此，显然有必要摆脱二分法假设。

Barberá^[74]提出了一种可能的解决方案，他开发了一种贝叶斯模型，根据 **Twitter** 追踪的数据，使用从自由到保守的连续模型对 **Twitter** 用户进行分类。此外，**Shore**^[40]通过分析个人共享新闻链接的来源数量来度量其政治倾向，对个体进行分类。但是，这两种方法仅考虑了自由派和保守派，而忽略了存在着更加多样化的意识形态的现实，例如在多党制中的情形^[75]。因此，上述的方法都无法正确表示多党制情形下的全部政治观点。基于二分法的划分，一是因为现有的政治体制上大多是两党制，二是为了简化数据，采用基于离散数据的分析方法，可以减少工作量，但却不利于研究连续观点情形下的机理。

综上，当前面向实际数据的回声室的研究多集中在数量有限的社交媒体平台比如 **Twitter** 或 **Facebook** 上，然而由于在线 **API** 的限制，数据不易追踪，同时，面向实际数据的度量方法多围绕特定事件进行度量，普适性较差，对数据的依赖性较强，不同数量级下的研究可能会得出不同的结果，简化了真实世界的情况，不利于发现回声室效应的内在机理，而面向仿真的度量方法，不必针对特定事件，可以用连续变量来代表个体观点，考虑观点的多样性，且可追踪数据的变化，有利于发现回声室的深层机理。

3.2 面向仿真数据的回声室效应度量方法

由于面向实际数据的回声室效应度量方法存在针对特定事件普适性较差、个体观点简化、数据不易追踪等不足，本节围绕面向仿真数据的度量方法开展研究。面向仿真的度量方法不针对某一特定事件背景，且个体观点是连续的，数据变化可追踪，更易于从细致化的层面对回声室效应进行综合研究。

现有的面向仿真数据的回声室效应研究方法，主要采用基于 Agent 的建模方法（Agent Based Modelling）或舆论动力学（Opinion Dynamics）。传统的社会科学研究方法通常依赖于有限数量的变量的线性联系，因此很难预测模拟多层次和非线性的相互作用。基于 Agent 的建模方法和舆论动力学可用于测试复杂的，非线性的舆论演化理论假设建模，可以模拟个体之间的交互以及观点变化过程。基于 Geschke 等^[76]使用基于个体的建模方法在个体思想，社会群体和技术的层面上提出了三重过滤器泡沫框架下的 ABM 模型，模拟个体间的交互，关注个体属性而非宏观层面的社会属性，实验结果表明个体的认知强化对回声室效应的形成具有十分积极的作用，在实验中，模型一旦引入社会偏见机制，回声室往往更容易在社会两级分化的情况下出现。Madsen 等^[77]在基于 Agent 的建模基础上，引入贝叶斯信念修正规则，个体通过与他人形成链接来交换信息，改变自身信念，发现网络结构本身有助于回声室效应的形成。Dandekar^[78]通过在 DeGroot 模型的基础上进行改进，引入偏见，来研究社会两极分化问题。在 DeGroot 的模型中，个人在社交网络中相互连接。网络的边缘具有关联的权重，这些权重表示邻居对彼此意见的影响程度。个人将他们的意见更新为当前意见和邻居意见的加权平均值。此模型演化了许多改进版本，如通过在原始模型中引入顽固的个体（即观点不变的个体）来解释在许多问题上根据经验观察到的持续性分歧^{[79][80]}。但 Dandekar 发现在同质网络中，个体偏见会加速两极化，这是因为当在复杂问题上出现矛盾或无定论时，由于个体偏见，个人会对其初始立场产生不适当的支持，从而得出更极端的观点。

但是上述方法一般都是通过观点的一致、稳定时间等指标对演化结果去进行度量，缺乏对回声室共性特征的度量方法。现有指标主要可以总结为以下几种：

(1) 观点一致率: 当舆论演化模型中所有个体的观点值都达到了一个稳定的情况时, 即所有个体的观点值都会保持不变, 则其中持有相同观点的最大集群人数和个体总数的比例被称为观点一致率。

(2) 时效性: 舆论演化到最终的一个稳态时, 所有个体的观点值都会保持不变 (观点值相差在 10^{-4} 以内的被视为同一观点), 那么达到这一稳态所需的演化步长就是收敛时间, 收敛时间的长短就是时效性。

(3) 观点多样性: 当舆论演化到达稳态时, 最终的观点集群数的数量可以体现出观点多样性, 观点集群数越多, 则说明观点多样性越大。如果最终只有一个观点集群, 那么说明所有个体的观点达成一致, 个体之间不存在观点多样性。

基于 Agent 的建模方法和舆论动力学的演化结果一般通过最终观点一致性、演化时间来度量, 缺乏对回声室效应共性特征的度量指标。因此, 面向仿真数据的回声室效应研究方法, 虽然可以研究个体间的交互机制, 发现非线性变量之间的相互作用, 但缺乏针对回声室效应的统一的度量指标。

3.3 面向仿真的回声室效应度量指标

为了更好地度量回声室效应, 本章针对回声室效应的信息同质性、社会边界、用户相似性这三个共性特征, 提出面向仿真数据的度量指标, 用于对回声室效应的研究, 下面将具体介绍。

3.3.1 观点簇封闭度

信息同质性是指个体仅接触或利用符合其信念, 与其历史观点一致或传递相同观点信息的情况。回声室效应的信息同质性特征, 反应了个体所接触的信息大都是与自己观点相似或相同的信息。当舆论演化达到稳定的状态后, 所有个体的观点值不再发生变化, 且观点会分化为不同的观点簇, 在同一个观点簇内, 个体所持有的观点是很相似, 甚至是相同的, 即观点为同质的。而不同的观点簇之间, 观点存在较大的差异性, 即观点为异质的。在同一个观点簇形成的群体内, 个体只与其所在群体内部的其他个体进行交流, 而与外部群体交流较少, 即只与同质的观点交流时,

则可以说明信息同质性很强。个体与其他个体交流的情况可以通过网络结构上个体之间的连边来反映,因此通过统计群体的连边情况,可以观测群体的信息交流情况更集中在群体内部还是群体外部,即个体接触与自己意见观点相似的信息较多还是接触与自己意见观点不同的信息更多,而信息同质性特征描述的就是个体与同质类信息接触的情况,故可以通过计算某一群体内连边占该群体内外连边数总数的比值来间接地度量信息同质性的特征。

本文定义舆论演化稳定后,在某一个观点簇形成的群体内,其内部连边与该群体对内和对外的连边之和的比值定义为观点簇封闭度,表示为 D ,观点簇封闭度 D 的计算如公式 3.1 所示。

$$D = \frac{l_{in}}{l_{in}+l_{out}} \quad (3.1)$$

其中, l_{in} 代表当前观点簇的群体内部连边数, l_{out} 代表当前观点簇的群体对外连边数,观点簇封闭度指标 D 越接近于 1,则表明群体内部连边所占的比重越多,群体交流多发生在内部相似观点之间,观点簇的封闭性也就越强,间接反映了当前观点簇的信息同质性也就越强。系统中可能会形成多个观点簇,因此本文以拥有最多个体观点簇的观点簇封闭度来作为系统的观点簇封闭度,表示为 D_S ,用来间接度量系统中回声室的信息同质性特征。

3.3.2 极化系数

社会边界是指个体被限制接触相反观点的机会,从而使得个体意见被约束在狭窄的团体或腔室内。社会边界导致持有相同观点的个体不断聚集,彼此间的联系不断加强,而逐渐与他人划清界限,形成隔离,造成群体间的极化。因此通过度量群体间的极化程度,可以反映群体间的隔离程度,从而量化回声室的社会边界特征。热力学中的熵是表示分子状态混乱程度的物理量,香农引用热力学中熵的定义,提出了“信息熵”的概念,解决了对信息的量化问题,用信息熵来描述信源的不确定度^[81]。从信息熵的方向来看,当系统出现两个持有不同观点的集群时,在两者的人数越接近的情况下,系统会体现出一种更加有序的状态,两者人数相差的越小,那么群体的观点极化现象也会越明显。在连续性舆论动力学模型中,往往都是用 0

到 1 之间的数值来表示个体的观点。当两个群体对某类事件持有相似看法时，两者的观点值就会越接近，相反当两者的观点值相差的越大时，群体之间的极化现象越明显。本文基于此，使用极化群体的观点值和其群体人数的比例来作为极化系数的构建条件。

本文将舆论演化后群体个体数最多的两个群体间的极化系数，作为系统的极化系数，定义和计算过程如下：假设舆论演化达到稳态后，取群体个体数最多的两个观点极化群体 a 和 b ，其中两个群体的观点值分别用 X_a 和 X_b 表示，而这两个群体的个体数量分别用 N_a 和 N_b 表示。由上文可知，系统极化程度是与极化群体的观点值之差 $|X_a - X_b|$ 以及极化集群的人数比例 $\frac{\min\{N_a, N_b\}}{\max\{N_a, N_b\}}$ 相关，那么系统极化系数 P 的计算如公式 3.2 所示。

$$P = \frac{|X_a - X_b|}{\min\{N_a, N_b\}} \cdot \frac{\min\{N_a, N_b\}}{\max\{N_a, N_b\}} \quad (3.2)$$

由公式 3.2 可知，极化系数 P 的大小与群体间的极化程度呈正相关，即群体间的极化程度越大，极化系数 P 越大，因此可以通过观察极化系数 P 的数值来评价群体间的极化程度的情况。同时，极化系数越大，群体间的差异程度越大，两个群体之间相对独立性就越强，社会边界特征越明显。因此，本文提出的极化系数可以度量网络中观点的隔离程度，反映回声室效应的社会边界特征。

3.3.3 腔室密度

回声室的用户相似性是指个体仅与志同道合、共享相似观点的群体交流互动程度。“回声”是在相关问题上有着相同的看法或意见的个体之间的信息共享。特征相似的用户间更容易形成“回声”。回声室的机制是形成“腔室”，即为信息提供回声所需空间的结构^[56]。选择性接触使得个体倾向于与自己志同道合的人建立联系，方便了信息在相似的个体之间传播，从而促进腔室的形成，加强回声。因此，通过度量网络中腔室的密度，可以衡量回声程度的强弱，由于回声是在相似的个体之间的信息共享，因此腔室密度也可以反映用户的相似性的大小，即腔室密度越大，网络中相似的用户聚集的情况越明显。“腔室”为相同的信息通过不同的路径从一个源传

输到一个接收者提供了条件，其至少包括三个部分：一个发出信息者、一个接收信息者和一个中介角色，信息可以通过中介角色传播。例如，用户 A 发布一条原创信息，经过多种途径到达用户 C，在用户 C 的角度来看，似乎是从若干个不同的来源接收到了这条信息，但其实真正的信息来源只有用户 A。由于“三人成虎”的现象，即使是虚假的信息，若是经过多人的重复传播，那么信息接收者就会给予这条信息较高的信任度。这种定向多径传输将回声室与其他观点极化机制^{[82][83][84][85]}区分开来。可以描述此过程的最小结构是可传递三元组^[56]，其示意图如图 3-1 所示。因此，腔室的形成是由于相似的用户间的信息共享所造成的，度量网络中的腔室密度就可以间接度量用户相似性的特征。

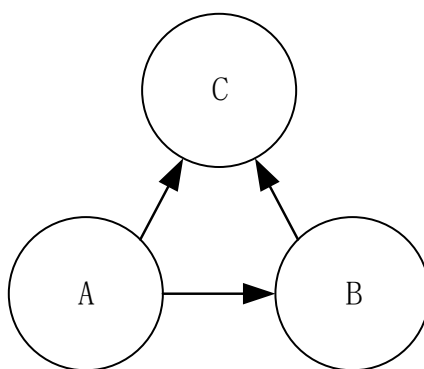


图 3-1 回声室的网络“腔室”的最小示例——可传递三元组

1998 年 Duncan J. Watts 和 Steven Strogatz^{[86][87]}提出小世界网络模型，小世界网络的特征是具有较短的平均路径长度和较高的聚集系数。聚类系数也称为聚集系数，分为局部聚类系数和平均聚类系数。平均聚类系数亦被称为全局聚类系数 (Global Clustering Coefficient)，简称为 GCC，源自于社会学中的“可传递三元组比率”，故全局集聚系数是基于三元组的，是封闭的三元组数目除以封闭三元组和开放三元组数目之和的比值，其值在 0-1 之间。封闭三元组和开放三元组的示意图如图 3-2 所示。其中数字代表节点，字母代表节点间连边。

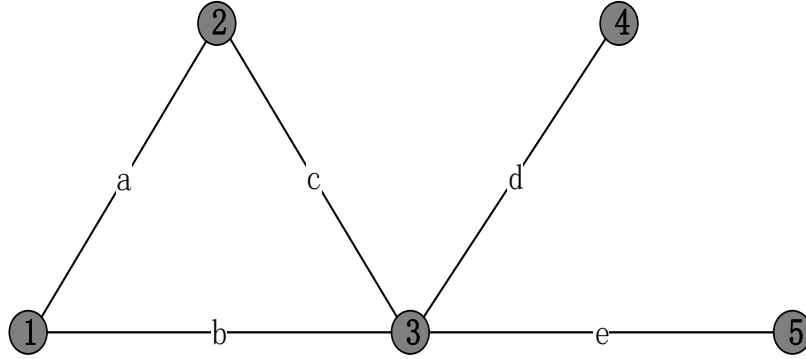


图 3-2 封闭三元组和开放三元组示意图

例如， $\{1, (2,3)\}$ ， $\{2, (1,3)\}$ ， $\{3, (1,2)\}$ 均为封闭三元组。 $\{3, (2,4)\}$ ， $\{3, (4,5)\}$ ， $\{3, (1,5)\}$ ， $\{3, (2,5)\}$ ， $\{3, (1,4)\}$ 均为开放三元组。

全局聚类系数描述了网络中个体的邻居节点也互为邻居的可能性，反应了个体关系的紧密程度。数值越大，表示聚类程度越高。全局聚类系数的计算如公式 3.3 所示。

$$G_{total} = \frac{3 * G_{\Delta}}{3 * G_{\Delta} + G_{\wedge}} \quad (3.3)$$

其中， G_{total} 来表示整体聚类系数， G_{Δ} 代表封闭三元组（Closed Triplet）的个数， G_{\wedge} 代表开放三元组（Open Triplet）的个数。

本文在此基础上，进行一定的改进得出腔室密度的计算方法。定义 T_C^n 表示 n 元闭合多元组，其数量用 N_{TC}^n 表示， T_O^n 表示 n 元开放多元组，其数量用 N_{TO}^n 表示。本文将在舆论演化稳定后，形成的闭合多元组占整体多元组的比例定义为腔室密度。腔室密度的计算如公式 3.4 所示。

$$f_T = \frac{\sum_{i=1}^n n * N_{TC}^n}{\sum_{i=1}^n (n * N_{TC}^n + N_{TO}^n)} \quad (3.4)$$

计算闭合多元组的比例，不仅能够证明“回声”和“室”这两种机制的存在，而且还可以帮助探究闭合多元组形成是由于同质性造成的，即具有相似想法的同质群体中，回声现象更有可能发生。腔室密度间接反映了回声室的用户相似性特征，即信息是由志同道合，思想上相似的他人提供的，个体共享来自相似的群体的观点。

3.4 本章小结

本章进一步探讨了回声室效应的定义和详细内容,针对现有定量度量方法多基于实际在线数据,而未达到模型机理层面的不足,在查阅文献资料的基础上,针对回声室定义中的社会边界、信息同质性、用户相似性的三个方面的特征,从网络结构、意见演化和集群分布角度出发,提出更为细致的度量指标,并进行解释阐述,为后续验证回声室效应的存在,探索其形成机理打下基础,有助于更客观地认识“回声室效应”。

4 回声室效应仿真实验研究

本章结合了考虑同质性和选择性接触的舆论演化模型和前文提出的回声室效应度量指标,设计了一系列的仿真实验,采用了仿真模拟的方法,进而研究同质性以及选择性接触会对回声室效应造成的影响,验证度量指标的合理性。

4.1 仿真实验设计及参数说明

首先,本文的实验需要对系统的系统参数进行初始化,包括系统的个体总数 N 以及仿真演化的最大步长 T 。其次,需要对数据进行初始化,即个体之间的初始连边数 E 和个体的观点值的初始化。然后,需要对演化模型的参数进行设置,主要是指同质性参数 μ 、断边概率 q 、信任半径 ε 这三个演化参数的设置,这三个演化参数会对个体在舆论演化过程中观点值和网络连边情况产生影响。当以上所有参数都设置完成后,这个系统就会根据所设定好的演化规则进行相应的演化,当系统演化达到稳定或者演化时间达到最大演化步长时,则视为系统演化结束。最有本文回对演化的最终结果进行研究和分析。本文的仿真实验和数据均在 MATLAB 上进行初始化和演化,仿真流程图如图 4-1 所示。

接下来将根据仿真流程图中的顺序,依次说明各个系统参数和实验数据的配置情况。

网络个体总数 N : 网络个体总数的多少会影响到舆论演化结果的时效性和可信度,设置过多,舆论演化时间过长,实验的时效性降低,设置过少,舆论演化可信度不高,基于此,本文设置网络个体总数 N 为 1000。

初始网络设置: 个体初始化连边会形成一个初始的网络拓扑结构,舆论演化会受到网络拓扑结构的影响,所以想要合理研究舆论演化现象,就需要选择合适的网络拓扑结构。舆论演化模型经常采用的网络拓扑结构由小世界网络、随机网络、无标度网络和规则网络等。研究表明无标度和扁平化时线上社交网络的显著特点,考虑到无标度网络的节点之间度分度和连边都存在着异质性,而且节点之间的平均路

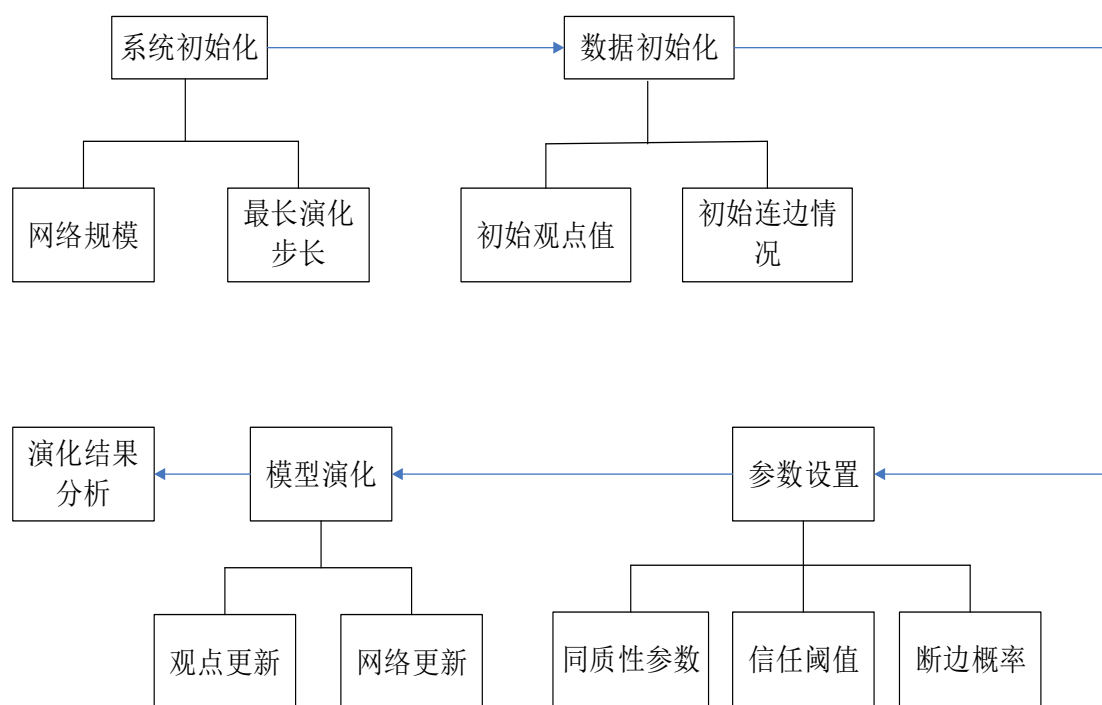


图 4-1 仿真流程图

径长度都较小，所以本文采用无标度网络来模拟线上社交网络^{[88][89]}，网络中平均度为 $k=8$ ，服从标度指数 $m=4$ 的幂律分布，初始连边数为 4000。

信任阈值 ε ：经典的 HK 模型中，系统在信任阈值较大，大于 $\varepsilon = 0.25$ 时，稳定后会呈现一致状态，结果差异小，研究意义小。当信任阈值过小时，系统内个体交流较少，会处于难以一致的发散状态。过大或者过小的信任阈值的研究意义较小。为此，为了避免信任阈值对仿真结果的影响，本文将信任阈值 ε 设置为 0.2 进行实验研究。

最长演化步长 T ：由于不同参数情况下，系统演化到稳定状态时，所用的时间可能会有较大的差异，本文为了能够让所有的参数设置情况下都能够达到最终的稳定状态，将实验最大演化步长设置为 $T=10000$ ，保证在绝大多数参数设置情况下系统能够达到稳定状态。

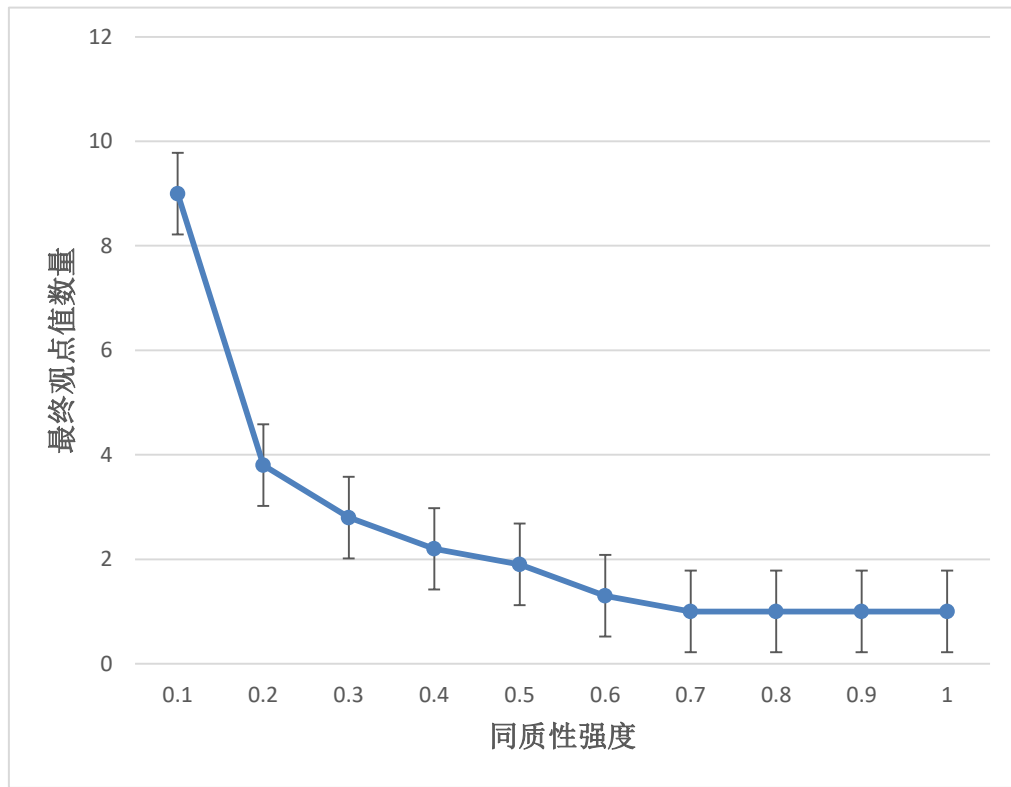
初始观点分布：在现实社会舆论中，个体的初始观点受多种因素的影响，无法通过实验完全模拟，且不同的话题中，不同观点在整体中的分布情况也不可能是完

全相同的。仿真实验中很难完全还原个体真实生活中的观点分布，因此本文将个体的观点初始值设置为区间为 $[0,1]$ 的均匀分布。

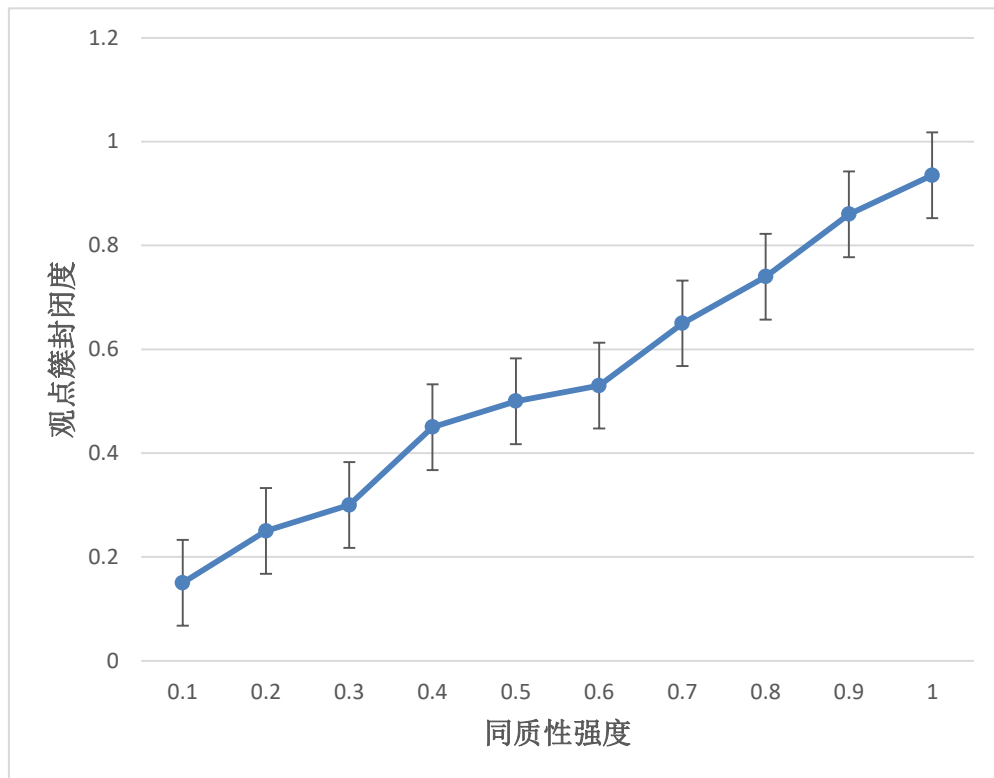
系统稳定度量指标：系统在进行舆论演化时，最终都会达到一个稳定的状态，即所有个体的观点值和连边不再发生改变。当系统的最终观点集群数量等于 1 时，表示该系统达到观点一致，对应着社会中个体的观点达到统一；而当系统的最终观点集群数量等于 2 时，表示社会中出现两个持有不同观点的两类人群，这也就是舆论演化的观点极化；如果系统的最终观点集群数量达到 2 以上时，说明社会中个体之间的观点不统一且分散，这也就是舆论演化的观点发散现象。在舆论演化过程中，当两个个体之间的观点值差距在 10^{-4} 以内时，被视作为同一观点。而达到这个稳态所需要的演化步长被视作系统稳定时间。因为舆论演化最终观点集群数量和系统稳定时间被视为度量舆论演化的两个重要指标。

4.2 个体同质性对回声室效应的影响

本文在经典 HK 模型的基础上，引入了同质性的影响因素，同质性是指个体只与观点意见相差在阈值范围内的个体进行交流，换言之，个体只与观点与其相近或类似的个体进行交流。其强度由参数 μ 控制， μ 越大表示用户的信念越强，则个体的同质性倾向越强烈。通过调整同质性参数 μ ，探究不同强度的同质性趋向对舆论演化的影响。其中，同质性参数代表了个体对于信息的可接受范围，即对信息的感知和接收能力，同质性越强，则个体越渴望与他人交流，渴望得到他人的认可，个体的同质性越高。为了探究同质性对回声室效应产生的影响，本文首先研究同质性大小对观点簇封闭度指标的影响。在初始条件设置为 $N = 1000$ ， $E = 4000$ ， $\varepsilon = 0.2$ 和 $q = 0.5$ 的前提下，探究了不同的同质性参数 $\mu \in [0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0]$ 对观点簇封闭度指标的影响，实验结果如图 4-2 所示。



(a) 最终意见峰值数量



(b) 观点簇封闭度

图 4-2 同质性对回声室效应的影响

由图 4-2(a)所示,随着个体同质性趋向的加强,最终稳定时的意见峰值数量逐渐呈现下降的趋势,这是因为同质性越强,个体越渴望与他人交流,则个体在交流中,对信息的包容性越强,对于信息的可接受范围越广,个体可交互的邻居范围也越大,因此接触信息的多样性就越大,最终稳定时,意见峰值的数量就越少。而由图 4-2(b)可知,随着同质性加强,观点簇封闭度也呈现下降的趋势,观点簇封闭度反应了回声室的信息同质性特征,个体倾向于与证实其先前持有的观点或表达相同观点的信息接触。同质性越强,观点簇封闭度越大,回声室效应的信息同质性特征明显。由此可知,同质性意愿越不强烈,个体对信息的包容程度越小,越不利于相互之间的观点交流,信息共享和融合的程度也就越差,最终意见聚类越多,意见的异质性越强。如果同质性意愿足够强烈,则在观点簇内的个体越倾向于与同一观点簇内部的其他个体进行交流,而减少与观点簇外部的个体进行交流,越容易促进回声室的信息同质形成。因此,同质性的影响因素会加快回声室效应中的信息同质性现象的出现,这是因为个体的同质性越强,其渴望得到他人认可和找寻社会归属感的愿望越强烈,其与意识形态相似的群体互动的概率就越高,这种趋势会导致个体自身的观点不断加强,并提高个体对所属团体的信赖度,从而加剧舆论的分化,促进对集体行动的参与。

4.3 选择性接触机制对回声室效应影响研究

选择性接触是指人们为了达到特定目的而进行信息搜索的方式。更具体地说就是人们习惯根据他们现有的观点和兴趣来接触大众媒体而避免不愉快信息的倾向。因此,为了探究选择性接触机制对回声室效应的影响,本文引入了三种不同的重连策略,其中基于转发和推荐的重连机制模拟了个体倾向于与能够验证先前观点的信息交互的倾向,断边机制模拟了个体避免接触到与之观点矛盾的信息的倾向,连断边的机制模拟了个体选择性接触信息的交互机制。在初始条件为 $N = 1000$, $E =$

4000, $\varepsilon=0.2$, $\mu=0.5$ 的情况下, 进行实验。实验结果如图 4-3 所示, 基于推荐和基于转载的连接策略(这两种都是在社交媒体中常见的机制)下网络的腔室密度比随机连线策略高得多, 尤其是基于转载的重连策略下网络的腔室密度是随机重连策略下网络腔室密度的两倍。

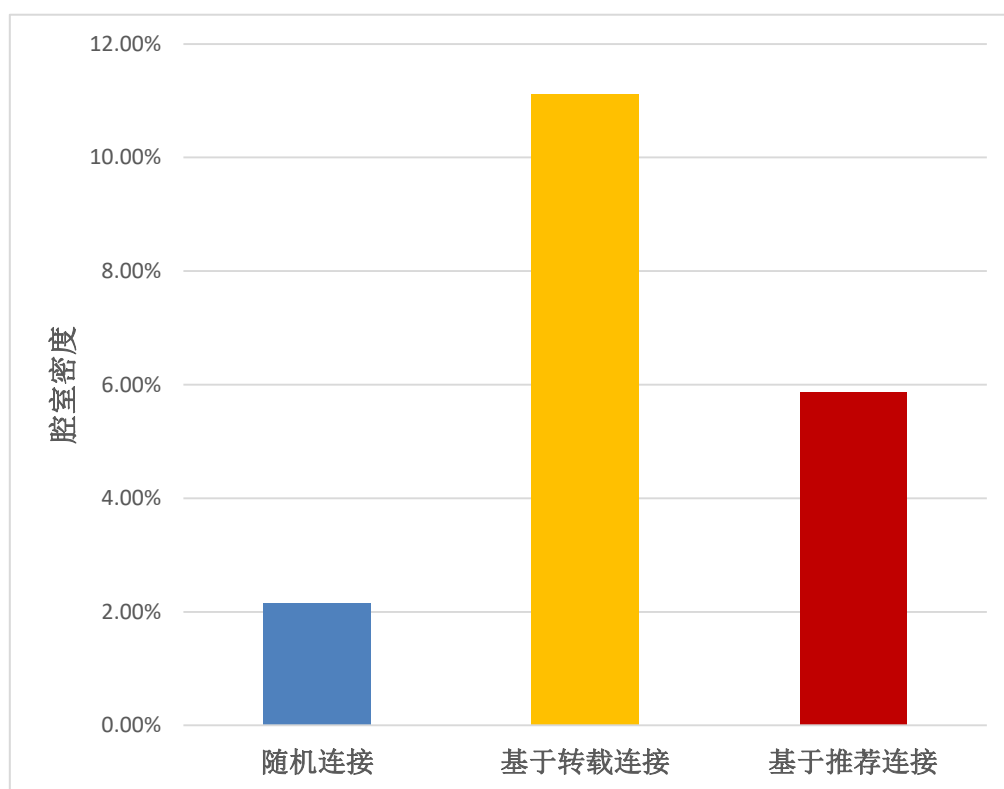


图 4-3 不同连接策略下网络的腔室密度

在随机连接策略中, 个体在网络中尚未成为自己好友的所有节点中随机选择一个用户, 并与之连接。选择随机连接的策略的个体, 其在交互过程中, 对于信息的选择性不那么强烈, 其对信息的捕捉和交流更倾向于一种开放性的态度, 乐于接受与其他意见不同个体交流所带来的信息新鲜感和猎奇感, 随机连接对于网络结构的改变会带来更多未可知的可能性, 随机与他人进行交流的方式, 有助于在舆论环境中信息的充分交流和碰撞, 因此, 对于形成闭合多元组的作用并不明显。而基于转载的机制, 会帮助个体去连接信息发布的初始者, 但初始者的观点却不会受关注者

的影响，这样的一种连接可能会导致以某一原创作者为核心的小团体。第三种，基于用户推荐的连接策略，符合现在大多数社交媒体平台运营的规则，允许个体从最近发布一致消息的非好友中随机选择一个用户。个体选择与其观点一致的非好友进行连接，是一种目的性较强的连边方式。这种有目的地选择符合其信念的消息的好友交往的倾向，使得用户更可能受到来自多个来源的相同意见的影响，导致个体不断听见自己意见的回声，从而持续强化先前持有的观点，验证了回声室效应中的用户相似性特征。只与观点一致的个体进行交流，可能会导致个体的信息闭塞，由于人们反复接触同质信息，避免接触信念不一致的信息，一旦个体接触到阴谋论或虚假信息时，即使在存在大量相反证据的情况下，也很难改变自己的观点。其次，这样的连接方式可能会促进羊群效应，这可能导致对复杂问题的次优解和复杂问题的简单解释的快速过早收敛^{[90][91]}。再者，这些信息是由志同道合，思想上相似的其他人提供的，会加速用户相似性的特征出现，从而促进回声室效应的形成。

对上述的实验结果进行分析可以发现，通过管理用户所接触到的信息，并促进他们对社交关系的管理，社交媒体平台可以增强同质性和确认偏差。这会产生一种净效应，即导致用户优先与志趣相投的个人建立联系，从而导致个体仅选择性地接触那些符合他们先前的信念的信息，进入只听见与自己意见相近的声音的封闭房间，导致回声室的形成。因此，基于用户推荐的机制将推动社交媒体的用户走向两极化和隔离，而不是像在如电视，广播或报纸这样的传统媒体中，社交共享和推荐管理机制无法发挥作用。

4.4 个体同质性和选择性接触机制对回声室效应的共同影响

接下来本文将探讨同质性和重连机制的共同影响。在没有考虑重新布线，仅考虑同质性的情况下，实验结果如图 4-4（a）所示，网络结构不会受到影响，但是经过很长时间，意见可能会变得两极分化。在仅考虑进行重新布线的情况下，实验结果如图 4-4（b）所示，意见演化变化较小，但是志同道合的用户会聚在一起，并且在很长一段时间后网络可能会分离。同质性趋向和重新连线的策略共同作用加速了两极分化和网络隔离的出现，如图 4-4（c）所示。

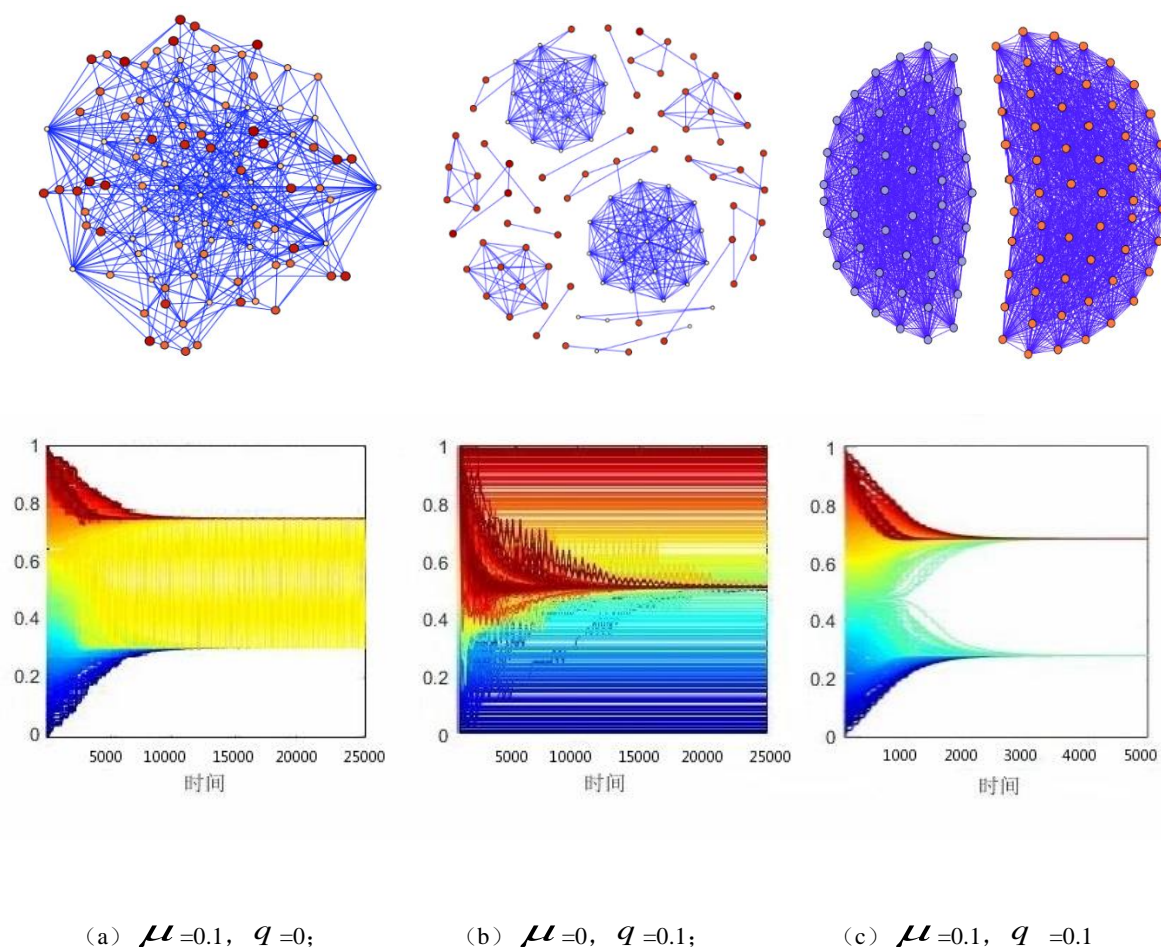


图 4-4 意见极化（上）和网络隔离（下）共同演化的条件

在图 4-4 中，节点代表个体，并且如果个体 j 接收了个体 i 的观点，则从节点 i 到节点 j 有一个定向边缘。圆点的颜色越深，面积越大代表个体的观点值越大。可以看出，网络最后演化为多个小集群共存或几个大集群共存的情况。因此，网络中个体在进行观点演化时，会出现集群的划分，这在现实生活中是可以找到佐证的，“物以类聚，人以群分”描述的就是这样的现象，对于某一话题或事件，拥有相似或相同看法的个体会“抱团”，最终出现类似于社区划分^{[92][93]}的情况。其实在网络空间诞生之初，人们就意识到了在线通信网络可能会存在将群体分裂为不同“部落”的风险，并以网络巴尔干化的名称作为对文化，种族和种族隔离的众所周知现象的类比，这与众所周知的文化、种族和种族隔离现象类似。也与本文在前文中提到的回

声室效应中的社会边界特征相对应，即对网络内话语的限制，使得个体进入狭窄的团体或房间。需要注意的是在仿真实验中所呈现的舆论演化达到稳定状态时所形成的社区划分，并不是指个体在实际生活中的社交关系形成了这样的格局，而是指个体对待某一事件所持有的观点出现了划分。

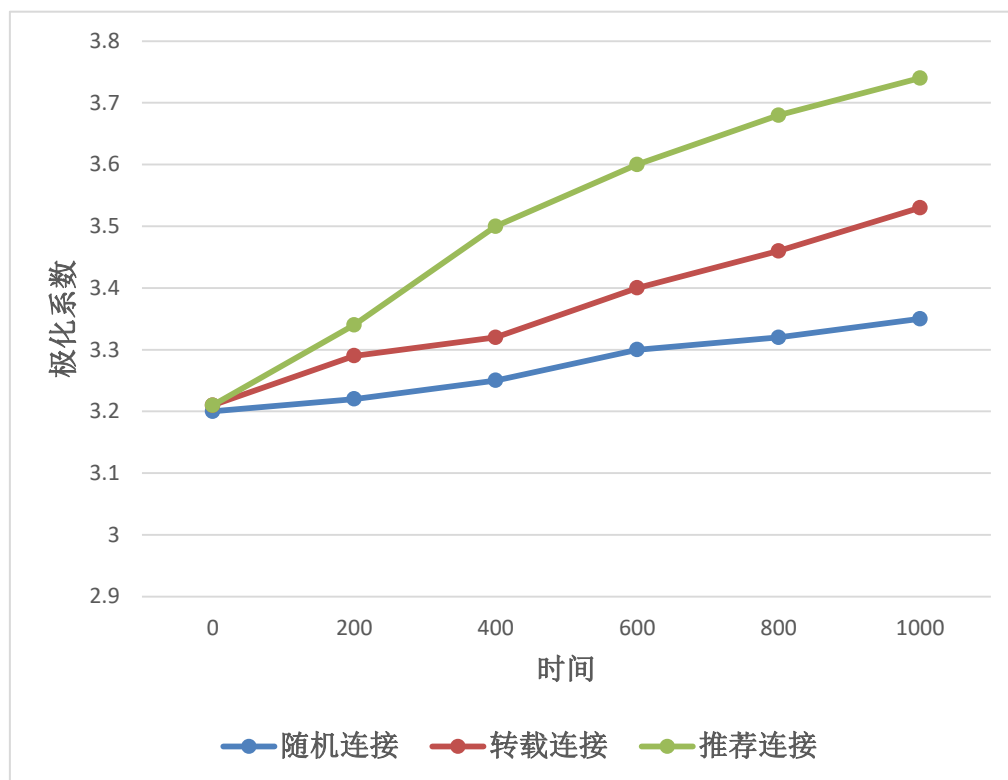


图 4-5 不同重连机制下的极化系数趋势

对比不同连接策略下的网络极化系数趋势，可以看出随着演化时间的推进，个体在进行观点交互后，网络的极化系数开始发生变化，且极化的数值均呈现上升的趋势，也就意味群体极化程度越来越强。但相对于随机连接策略，转载连接和基于推荐的连接策略下极化的趋势更加快速明显，也就意味群体极化程度更加强烈，因此，表明回声室效应越明显。基于推荐的连接方式，更容易造成个体间形成信息封闭的小团体，使得社会分裂加快，从会导致群体观点极化程度更深，进入回声室的腔室空间越大，影响个体数量更多，则回声室效应越明显。

为了进一步探讨同质性和选择接触机制如何共同影响回声室的出现速度，图 4-6 展示了回声室出现的时间与同质性强度 μ 和重新布线速率 q 的关系。其中

$\mu, q \in [0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0]$ 区间, $N = 1000$, $E = 4000$, $\varepsilon = 0.2$, 最大运行步长 $T=100000$ 。

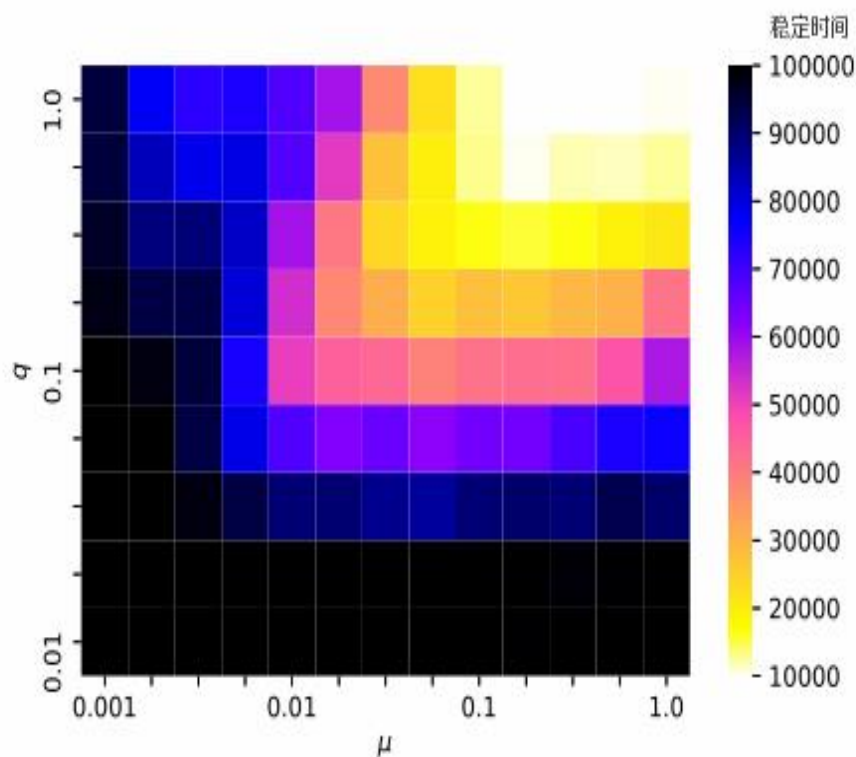


图 4-6 最终舆论演化时间与影响强度 μ 和重连概率 q 的关系

实验发现当断边概率 q 和同质性参数 μ 都大于 0.1 时, 会加快回声室的形成。这是因为个体的同质性越强, 其渴望得到他人认可和找寻社会归属感的愿望越强烈, 其与意识形态相似的群体互动的概率就越高, 因此个体受网络中邻居的影响越大, 个体的观点值受邻居的影响越强烈, 即受外在环境影响越大, 被他人同化的速度越快, 因此, 容易跟随舆论趋势, 加快回声室效应的出现。而对于选择性接触的断边概率 q 决定了个体与意见不一致的关注者断开联系的概率, 当选择性接触中的断边概率越大, 表示个体越抵触接触相反的意见, 越容易闭塞在自我认知中, 因此随着选择性回避的意愿越强烈, 越容易加快回声室效应的形成。

同质性会加快回声室效应中的信息同质性现象的出现, 选择性接触信息的机制中, 基于推荐的连接会加速网络极化, 促进社会边界的形成, 而基于转载的连接相

比于随机连接大大提高了网络的腔室密度。当同质性和选择性接触两种机制共同作用时，会加快回声室的出现。

本文的研究结果为社交媒体上出现回音室提供了可能的缓解策略。通常推荐的解决方案包括内容曝光，从而增加用户与其偏好之间的社交距离。然而，本文的研究结果提出了一个新的思路，即在建议建立新的社会关系时，不鼓励闭合三元组的形成。此外，不鼓励与那些不同意见的用户完全解除联系或关注，例如引入如“打盹”机制的方式，或者只允许用户屏蔽某些类型的信息，而不屏蔽其他类型的信息。还有一种方法是在社交媒体平台引入提醒机制，当用户将要取消对某些特定渠道或某些信息来源关注的用户，提醒用户避免进入获取信息单一化的情境中。

4.5 本章小结

本章主要在前文提出的基于同质性和选择性接触机制的舆论动力学模型的基础上，结合提出的回声室效应度量指标，模拟仿真不同情形下的社会舆论演化，探究意见动态和网络结构相互作用机制下，同质性和选择性接触机制对回声室效应的影响，验证了度量指标的合理性，探索了回声室效应的形成机理。实验结果表明，同质性和选择性接触机制对回声室效应的形成有促进作用。

5 总结与展望

5.1 总结

同质性和选择性接触是个体在与他人交互中自我保护的两种机制，渴望得到他人的认可，渴望证实自己观点的正确性，会导致个体在筛选信息时出现确认偏差，加速观点的极化和网络的隔离，不利于社会稳定。因此，本文改进了舆论动力学模型，引入同质性和选择性接触两种影响因素，并结合信息运动方式，设计了三种不同的社交网络连接规则模拟个体对信息的选择接触机制，结合提出的回声室效应度量指标，通过设置不同参数，模拟仿真不同情形下的社会舆论演化，探究意见动态和网络结构相互作用机制下，同质性和选择性接触机制对回声室效应的影响，验证了度量指标的合理性，探索了回声室效应的形成机理，提出了建议缓解策略，对于社会舆情治理有辅助指导作用。全文的研究工作总结如下：

（1）在经典舆论动力学模型的基础上，引入同质性和选择性接触两种影响因素，改进了舆论动力学模型，并结合当前社会的信息运动方式，设计了三种不同的社交网络连接规则，构建了意见动态演化和网络结构变化同时作用下的舆论演化机制。

（2）总结归纳了现有的回声室效应度量方法，在回声室效应的三个特征，即社会边界、信息同质性、用户相似性基础上提出面向仿真的度量方法，并从网络结构、意见演化和集群分布角度出发，提出更为细致的度量指标，为后续验证回声室效应的存在，探索其形成机理打下基础，有助于更客观地认识“回声室效应”。

（3）在考虑同质性和选择性接触的改进的舆论动力学模型的基础上，结合提出的回声室效应度量指标，通过设置不同参数，模拟仿真不同情形下的社会舆论演化，探究意见动态和网络结构相互作用机制下，同质性和选择性接触机制对回声室效应的影响，验证了度量指标的合理性。

综上,本文提出的考虑同质性和选择性接触的舆论演化模型,能够真实地模拟个体社交动态;针对回声室三个共性特征所提出的度量指标,能够有效度量回声室效应,探索了回声室效应的形成机理,在一定程度上反映了真实世界中的舆论演化规律。

5.2 展望

现实生活中,舆论演化传播会受到经济、政治、文化等多种因素的影响,因此十分复杂。同时,个体的外在行为和内在心理状态也充满了不确定性和未知性。随着信息技术的发展,人们获取信息的方式也越来越多元化,个体与外界的交流也不仅仅限于线下,网络的发展使得人们很容易在线上找到与自己相似的个体,或者反复接触到某类同质性的信息,因而导致在线回声室效应。因此,结合当下时代的特征,挖掘回声室效应的形成机理仍具有重要意义。然而,目前关于回声室效应的测量指标,还未有统一标准。本文的研究还存在进一步拓展和完善的空间:

(1) 本文简化了舆论传播演化中的个体社会属性特征,未充分考虑如个体性格特点、社会影响力、权威度、受教育水平等特质。在后续研究中,应该考虑个体的异质性属性,使舆论动力学模型更加丰富且切合现实。

(2) 本文仅研究了同质性和选择接触机制对回声室效应的影响,没有探究心理学、社会学和传播学中其他影响因素对回声室效应的影响,考虑还不够全面,随着多学科理论知识的发展,有必要将回声室效应的研究融入到更多的学科背景中。

(3) 考虑结合回声室效应的度量指标,根据实验仿真结果,提出不同情形下的回声室效应缓解策略,并进行仿真实验验证。为社会舆情治理提供辅助指导作用,避免现实生活中回声室效对个人和社会产生的不利影响。

致谢

时光匆匆，三年的研究生生活就要落下帷幕。

度过了无数科研时光的南一楼，毛主席像耸立威严，西十二楼的清脆铃声，图书馆的咖啡浓香，梧桐道银杏林，片片落叶牵挂着我的心；东操场挥洒的汗水，百景园可口的饭菜，不仅强壮了我们的身体，同样也滋养着我们的灵魂，也许学校对于每一位学子的烙印，已经深深印在我们的身体中，三年的时光，许多的感慨要浓缩在这一段文字中。首先感谢我的导师陈曦教授，有幸入您门下，成为您的学生，您以身作则用严谨认真的科研作风为我们树立榜样，生活中也给予我们帮助和关心，您认真负责，幽默风趣，让我们每一位同门都发自内心的敬爱您。

接着感谢我的父母和弟弟。感谢父母二十多年的养育和照顾，激励我在困境中永不放弃，你们的期望是我前行的动力；感谢我的弟弟，你的可爱率真，是我疲惫时的一汪清泉，让我祛除疲乏。

感谢陪伴在我身边的挚友们。有幸能认识这样一群有趣的灵魂，并收获与大家的友谊。感谢我的室友徐琳，在我身体不适时对我体贴照顾。

其次，感谢实验室课题组的同学们，我们是一个友爱的团队。感谢大家平时对我的关爱与帮助，与你们的在实验室的生活是我宝贵的财富。

同时感谢在百忙之中抽出宝贵时间参与论文评审以及答辩的专家和老师们！

最后感谢在这次疫情中，奋斗在一线的全行业的最可爱的人们，因为有你们，我们才有这现下的安稳与健康，前路漫漫，愿我们齐心协力共渡难关！

祝愿大家在今后的日子里都能平安健康，收获幸福。

徐媛媛

参考文献

- [1] 曾庆香.对“舆论”定义的商榷 [J]. 新闻与传播研究, 2007,14(4): 47-50.
- [2] 卢丽华.浅议基础教育课程改革过程中的家长参与问题[J].教育探索,2012,31(5): 40-42.
- [3] 邵华.面向特定事件的网络舆情分析方法研究 [D].大连理工大学,2018.
- [4] 尼葛洛庞帝.《数字化生存》[M].胡泳,译.海口:海南出版社,1996.
- [5] Jamieson K H , Cappella J N . Echo Chamber: Rush Limbaugh and the Conservative Media Establishment[M]. Oxford University Press ,2008.
- [6] 胡泳. 新词探讨:回声室效应[J]. 新闻与传播研究, 2015, (6):111-117.
- [7] French R P. A Formal Theory of Social Power [J]. Psychological Review, 1956, 63(3): 181-194.
- [8] Bikhchandani S, Hirshleifer D A, Welch I, et al. Learning from the Behavior of Others: Conformity, Fads, and Informational Cascades[J]. Journal of Economic Perspectives, 1998, 12(3): 151-170.
- [9] Richard A. Holley, Thomas M. Liggett. Ergodic Theorems for Weakly Interacting Infinite Systems and the Voter Model [J]. Annals of Probability, 1975, 3(4): 643-663.
- [10] S. Galam. Minority Opinion Spreading in Random Geometry [J]. The European Physical Journal B - Condensed Matter and Complex Systems, 2002, 25(4): 403-409.
- [11] Katarzyna Sznajd-Weron,JÓzef Sznajd. Opinion Evolution in Closed Community [J]. International Journal of Modern Physics C, 2000, 11(6): 1157-1165.
- [12] Berenbrink P, Giakkoupis G, Kermarrec A, et al. Bounds on the Voter Model in Dynamic Networks[J]. Social and Information Networks, 2016, 9(24):345-353.
- [13] Richard D, Gleeson J P, Lloyd A L, et al. Graph Fission in An Evolving Voter Model [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2012, 109(10): 3682-3687.
- [14] Wołoszyn M, Stauffer D, Kułakowski K. Phase Transitions in Nowak – Sznajd Opinion Dynamics [J]. Physica A Statistical Mechanics & Its Applications, 2006, 378(2): 453-458.

- [15] Sampaio Filho C I N,Dos Santos T B,Moreira A A, et al. Majority-Vote Model on Spatially Embedded Networks: Crossover from Mean-Field to Ising Universality Classes.[J]. Physical Review. E, 2016, 93(5): 5210-5219
- [16] Fortunato S. The Sznajd Consensus Model with Continuous Opinions [J]. International Journal of Modern Physics C, 2005, 16(1): 17-24.
- [17] Rozanova L, Boguna M. Dynamical Properties of the Herding Voter Model with and without Noise [J]. Physreve, 2017, 96(1): 1231-1239.
- [18] Krawiecki A. Stochastic Resonance in the Majority Vote Model On Regular and Small-World Lattices [J]. International Journal of Modern Physics B, 2017, 31(29): 175-214.
- [19] F. W. S. Lima. Transition Under Noise in the Sznajd Model on Square Lattice [J]. International Journal of Modern Physics C, 2016, 27(3): 16526-16533.
- [20] Deffuant G, Neau D, Amblard F. Mixing Beliefs Among Interacting Agents [J]. Advances in Complex Systems, 2000, 3(4): 87-98.
- [21] Hegselmann R, Krause U. Opinion Dynamics and Bounded Confidence Models, Analysis and Simulation [J]. Journal of Artificial Societies & Social Simulation, 2002, 5(3): 181-214.
- [22] Lorenz J. Continuous Opinion Dynamics Under Bounded Confidence: A Survey [J]. International Journal of Modern Physics C, 2007, 18(12): 1819-1838.
- [23] Lorenz J. Heterogeneous Bounds of Confidence: Meet, Discuss and Find Consensus! [J]. Complexity, 2010, 15(4): 43-52.
- [24] 苏炯铭, 刘宝宏, 李琦, 等. 社会群体中观点的信任、演化与共识 [J]. 物理学报, 2014, 63(5): 36-43.
- [25] 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 & Its Applications, 2015, 419(419): 558-565.
- [26] Sinan Aral, Lev Muchnik, Arun Sundararajan, et al. Distinguishing Influence-Based Contagion from Homophily-Driven Diffusion in Dynamic Networks[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2009,106(51):21544-21549.

- [27] Chen S, Glass D H, McCartney M. Characteristics of Successful Opinion Leaders in A Bounded Confidence Model [J]. *Physica A Statistical Mechanics & Its Applications*, 2016, 449(10):426-436.
- [28] Zhang Y, Liu Q, Zhang S. Opinion Formation with Time-Varying Bounded Confidence [J]. *Plos One*, 2017, 12(3): 982-1003.
- [29] 何建佳, 刘举胜. 基于扩展 Hegselmann-Krause 模型的舆论演化模式研究[J]. *情报科学*, 2018, 36(1): 158-163.
- [30] Chen X, Zhao S ,Li W . Opinion Dynamics Model Based on Cognitive Styles: Field-Dependence and Field-Independence[J]. *Complexity*, 2019, 19(3):1-12.
- [31] Davidsen J, Ebel H, Bornholdt S. Emergence of A Small World from Local Interactions: Modeling Acquaintance Networks[J]. *Physical Review Letters*, 2001, 88(12):1287-1291.
- [32] Chen X, Zhang X, Wu Z, et al. Opinion Evolution in Different Social Acquaintance Networks [J]. *Chaos*, 2017, 27(11): 113-125.
- [33] Lazarsfeld, Paul F., Robert K. Merton. Friendship as A Social Process: A Substantive and Methodological Analysis [J]. *Freedom and Control in Modern Society* ,1954,18 (1): 18-66.
- [34] Miller Mcpherson, Lynn Smith-Lovin, James M Cook. Birds of A Feather: Homophily in Social Networks. *Annual Review of Sociology*, 2001, 27(1):415–444.
- [35] Singh P, Sreenivasan S, Szymanski B K, et al. Accelerating Consensus on Co-Evolving Networks: the Effect of Committed Individuals[J]. *Physical Review E*, 2011, 85(4):4610-4633.
- [36] Olson J M, Zanna M P, Olson J M, et al. New Look at Selective Exposure [J]. *Journal of Experimental Social Psychology*, 1979, 15(1): 221-235.
- [37] Pineda M, Toral R, HernÁNdez-GarcÍA E. Diffusing Opinions in Bounded Confidence Processes [J]. *European Physical Journal D*, 2011, 62(1): 109-117.
- [38] Noah E Friedkin. A Structural Theory of Social Influence[M]. Cambridge University Press, 2006.
- [39] Boutyline A, Willer R. The Social Structure of Political Echo Chambers: Variation in Ideological Homophily in Online Networks[J]. *Political Psychology*, 2017, 38(3): 551-569.

- [40] Shore J, Baek J, Dellarocas C, et al. Network Structure and Patterns of Information Diversity On Twitter[J]. Management Information Systems Quarterly, 2018, 42(3): 849-872.
- [41] Vinokur A, Burnstein E. Novel Argumentation And Attitude Change: the Case of Polarization Following Group Discussion[J]. European Journal of Social Psychology, 1978, 8(3): 335-348.
- [42] Kunda Z. The Case For Motivated Reasoning.[J]. Psychological Bulletin, 1990, 108(3): 480-498.
- [43] Lazarsfeld P F , Berelson B , Gaudet H . The Peoples Choice: How the Voter Makes Up His Mind in A Presidential Campaign[M]. New York Columbia University Press, 1948.
- [44] Vicario M D, Bessi A, Zollo F, et al. The Spreading of Misinformation Online[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2016, 113(3): 554-559.
- [45] Joseph T. Klapper. The Effects of Mass Communication[M]. Free Press, 1960.
- [46] Festinger, Leon. A Theory of Cognitive Dissonance[M]. Stanford University Press, 1962.
- [47] Nickerson R S. Confirmation Bias: A Ubiquitous Phenomenon in Many Guises:[J]. Review of General Psychology, 1998, 2(2): 175-220.
- [48] Messing S, Westwood S J. Selective Exposure in the Age of Social Media: Endorsements Trump Partisan Source Affiliation When Selecting News Online[J]. Communication Research, 2014, 41(8): 1042-1063.
- [49] An J, Quercia D, Cha M, et al. Sharing Political News: the Balancing Act of Intimacy and Socialization in Selective Exposure[J]. EPJ Data Science, 2014, 3(1):12-14.
- [50] Bakshy E, Messing S, Adamic L A, et al. Exposure to Ideologically Diverse News and Opinion on Facebook[J]. Science, 2015, 348(6239): 1130-1134.
- [51] Conover M, Ratkiewicz J, Francisco M R, et al. Political Polarization on Twitter[C]. International Conference on Weblogs And Social Media, 2011:89-96.
- [52] Barbera P, Jost J T, Nagler J, et al. Tweeting from Left to Right: Is Online Political Communication More Than An Echo Chamber?[J]. Psychological Science, 2015, 26(10): 1531-1542.
- [53] Dubois E, Blank G. The Echo Chamber Is Overstated: the Moderating Effect of Political Interest And Diverse Media[J]. Information, Communication & Society, 2018, 21(5): 729-745.

- [54] Fisher D R , Waggle J , Leifeld P . Where Does Political Polarization Come from? Locating Polarization within the U.S. Climate Change Debate[J]. American Behavioral Scientist, 2013, 57(1):70-92.
- [55] 李卫东, 彭静. 社交网络平台信息传播的回声室效应仿真实验分析[J]. 现代传播, 2019, 41(4):142-149.
- [56] Jasny, L., Waggle, J., Fisher, D..An Empirical Examination of Echo Chambers in US Climate Policy Networks[J].Nature Climate Change,2015,5(8):782-786.
- [57] Cota W, Ferreira S C, Pastorsatorras R, et al. Quantifying Echo Chamber Effects in Information Spreading over Political Communication Networks[J]. EPJ Data Science,2019, 8(1): 111-113.
- [58] Fortunato S. Community Detection in Graphs[J]. Physics Reports,2010, 486(3): 75-174.
- [59] Newman M E, Girvan M. Finding and Evaluating Community Structure in Networks[J]. Physical Review E, 2004, 69(2): 26113-26129.
- [60] Lancichinetti A , Fortunato S . Community Detection Algorithms: A Comparative Analysis[J]. Physical Review E Statl Nonlinear & Soft Matter Physics, 2009, 80(5):56117-56128.
- [61] Yang Z, Algesheimer R, Tessone C J, et al. A Comparative Analysis of Community Detection Algorithms on Artificial Networks.[J]. Scientific Reports, 2016, 6(1): 3075-3093.
- [62] Walter Q , Antonio S , Sunstein C R . Echo Chambers on Facebook[J]. Ssrn Electronic Journal, 2016, 10(3): 2139-2152.
- [63] Newman M E. Modularity and Community Structure in Networks.[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2006, 103(23): 8577-8582.
- [64] Garcia D, Abisheva A, Schweighofer S, et al. Ideological and Temporal Components of Network Polarization in Online Political Participatory Media[J]. Policy & Internet, 2015, 7(1): 46-79.
- [65] Pujol J M, Erramilli V, Rodriguez P, et al. Divide and Conquer: Partitioning Online Social Networks[J]. Arxiv: Networking and Internet Architecture, 2009, 5(2): 4918-4925.
- [66] Williams H T, McMurray J R, Kurz T, et al. Network Analysis Reveals Open Forums And Echo Chambers in Social Media Discussions of Climate Change[J]. Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions, 2015,32(4): 126-138.

- [67] Blondel V D, Guillaume J, Lambiotte R, et al. Fast Unfolding of Communities in Large Networks[J]. Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment, 2008(10):10008-10020.
- [68] Clauset A, Newman M E, Moore C, et al. Finding Community Structure in Very Large Networks[J]. Physical Review E, 2004, 70(6): 66111-66116.
- [69] Lancichinetti A, Fortunato S, Radicchi F, et al. Benchmark Graphs for Testing Community Detection Algorithms[J]. Physical Review E, 2008, 78(4):46110-46115.
- [70] Kumpula J M, Saramaki J, Kaski K, et al. Limited Resolution in Complex Network Community Detection with Potts Model Approach[J]. European Physical Journal B, 2007, 56(1): 41-45.
- [71] Traag V A, Van Dooren P, Nesterov Y, et al. Narrow Scope for Resolution-Limit-Free Community Detection[J]. Physical Review E, 2011, 84(1): 16114-16127.
- [72] Colleoni E, Rozza A, Arvidsson A, et al. Echo Chamber or Public Sphere? Predicting Political Orientation and Measuring Political Homophily in Twitter Using Big Data[J]. Journal of Communication, 2014, 64(2): 317-332.
- [73] Halberstam Y, Knight B G. Homophily, Group Size, and the Diffusion of Political Information in Social Networks: Evidence from Twitter[J]. Journal of Public Economics, 2016, 143(2): 73-88.
- [74] BarberÁ P. Birds of the Same Feather Tweet Together: Bayesian Ideal Point Estimation Using Twitter Data[J]. Political Analysis, 2015, 23(1): 76-91.
- [75] Eccleshall, Robert, Finlayson, Alan, Geoghegan, Vincent. Political Ideologies: An Introduction [J]. Routledge Chapman & Hall, 2003, 39(3):181-184.
- [76] Geschke D, Lorenz J, Holtz P, et al. The Triple - Filter Bubble: Using Agent - Based Modelling to Test A Meta - Theoretical Framework for the Emergence of Filter Bubbles and Echo Chambers[J]. British Journal of Social Psychology, 2019, 58(1): 129-149.
- [77] Madsen J K, Bailey R M, Pilditch T D. Large Networks of Rational Agents form Persistent Echo Chambers[J]. Scientific Reports, 2018, 8(1):12391-12399.
- [78] Dandekar P, Goel A, Lee D T. Biased Assimilation, Homophily, and the Dynamics of Polarization[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2013, 110(15):5791-5796.

- [79] Friedkin N E , Johnsen E C . Social Influence And Opinions[J]. Journal of Mathematical Sociology, 1990, 15(3):193-206.
- [80] Acemoglu D, Como G, Fagnani F, et al. Opinion Fluctuations and Disagreement in Social Networks[J]. Mathematics of Operations Research, 2013, 38(1): 1-27.
- [81] Shannon C E. A Mathematical Theory of Communication[J]. Bell System Technical Journal, 1948, 27(3): 379-423.
- [82] Arceneaux K. Niche News: the Politics of News Choice, By Natalie Jomini Stroud[J]. Political Communication, 2011, 28(4): 466-468.
- [83] Jamieson K H , Hardy B W . Leveraging Scientific Credibility about Arctic Sea Ice Trends in A Polarized Political Environment[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2014, 111(4):13598-13605.
- [84] Knoke, D. Political Networks: the Structural Perspective [M]. Cambridge Univ.Press,1990.
- [85] Ronald Brelger, Kathleen Carley,Philippa Pattison.Dynamic Social Network Modeling and Analysis: Workshop Summary and Papers[M]. National Academy Press, 2014.
- [86] Watts D J, Strogatz S H. Collective Dynamics of Small World Networks[J]. Nature, 1998, 393(6684):440-442.
- [87] Newman M E, Watts D J. Renormalization Group Analysis of the Small-World Network Model[J]. Physics Letters A, 1999, 263(4): 341-346.
- [88] Stauffer D, Sousa A, Schulze C, et al. Discretized Opinion Dynamics of the Deffaut Model on Scale-Free Networks[J]. Journal of Artificial Societies and Social Simulation, 2004, 7(3): 111-117.
- [89] He M , Xu H , Sun Q . Opinion Evolution on A Scale-Free Network with Leaders[J]. International Journal of Modern Physics C, 2004, 15(07):947-953.
- [90] Hills T T. The Dark Side of Information Proliferation[J]. Perspectives on Psychological Science, 2019, 14(3): 323-330.
- [91] Ciampaglia G L, Nematzadeh A, Menczer F, et al. How Algorithmic Popularity Bias Hinders Or Promotes Quality[J]. Scientific Reports, 2018, 8(1):5951-5957.

- [92] Murata T. Community Division of Heterogeneous Networks[C]. International Conference on Complex Sciences, 2009: 1011-1022.
- [93] Li, Lingjuan, W. Wang. A Similarity Based Community Division Algorithm[C]. International Conference on Information Science and Electronic Technology, 2015: 207-209.

附录 1 攻读学位期间发表论文

- [1] Xu Y , Wu Z, Chen X. Research on Public Opinion Guidance Strategy based on Interaction Constraints [C].2020 IEEE 5th Information Technology and Mechatronics Engineering Conference,2020:308-315.

附录 2 攻读学位期间参与科研项目

[1] 参与国家自然科学基金项目——不同文化背景下的舆论演化传播机理模型与舆情治理策略研究(No. 71974063)。