



双层社交网络上的企业舆情传播模型及控制策略研究

王家坤, 王新华

山东科技大学 经济管理学院, 山东 青岛 266500

摘要: 随着社会化媒体时代的到来, 社交网络中企业舆情的形成与传播为现代企业管理带来了深远影响。当前关于企业舆情传播的研究主要以在线社交网络为传播媒介展开, 鲜有研究考虑舆情在传统线下网络与在线社交网络的同时传播。此外, 通过识别社交网络中最具有影响力的权威节点以实现信息传播规模化是当前信息传播控制策略的主要思路, 而基于价值共创理论针对最小化负面舆情传播范围的控制策略相对较少。

基于此, 探索双层社交网络上的企业舆情传播规律和控制策略。考虑到线上、线下活动的相互依赖性, 基于复杂网络理论和传播动力学等方法, 构建双层社交网络上的舆情传播模型; 对传播模型进行仿真实验, 并将仿真结果与单层社交网络进行对比; 基于价值共创理论提出以减缓未知者向已知者转化为目的和以加速传播者向免疫者转化为目的的两类企业舆情的控制策略, 并利用仿真实验验证控制策略的有效性。

研究表明, ①在双层社交网络中, 舆情的传播同时具备线上网络和线下网络中的传播特征; ②双层社交网络层间的耦合连接模式对舆情的传播过程具有显著影响, 同配连接最利于舆情的传播, 而异配连接最不利于舆情的扩散; ③企业的第1类和第2类舆情控制策略对舆情传播的抑制效果具有阶段性, 即两类控制策略在舆情传播初期边际效用最大, 资源投入越多, 舆情传播的抑制效果越明显; 而在传播后期, 控制策略的边际效用趋近于0, 无法实现预期效果。

现代企业在网络舆情管理过程中, 除利用正面舆情树立企业形象外, 也应时刻关注负面舆情对企业发展带来的消极影响。为有效地规避负面舆情传播对企业带来的损失, 企业可通过在社交网络中投入资源, 如实施广告宣传、经济赔偿等价值共创策略来抑制舆情的传播, 但需要注意控制策略及实施控制时间点的选择。研究结论为企业正确应对网络舆情、保持竞争优势等方面提供了重要依据。

关键词: 舆情; 社交网络; 传播动力学; 价值共创理论; 控制策略

中图分类号: G20 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1672-0334.2019.01.003

文章编号: 1672-0334(2019)01-0028-14

引言

据中国互联网络信息中心发布的第41次《中国互联网络发展状况统计报告》显示, 截止到2017年12月, 中国网民规模达7.72亿人, 手机网民规模为7.53

亿人^[1]。随着信息技术的快速发展和互联网的普及, 信息的传播途径发生了巨大的变化。以互联网为主要媒介的信息传播, 可使公众突破时空限制, 以各种移动终端参与社区互动, 这种便捷的信息交互

收稿日期: 2018-07-04 **修返日期:** 2018-11-17

基金项目: 国家自然科学基金(51574157); 山东科技大学研究生科技创新项目(SDKDYC180228)

作者简介: 王家坤, 山东科技大学经济管理学院博士研究生, 研究方向为复杂网络与舆情传播等, E-mail: shandongwj@163.com

王新华, 工学博士, 山东科技大学经济管理学院教授, 研究方向为系统评价理论和技术等, 代表性学术成果为“Multiparty evolutionary game model in coal mine safety management and its application”, 发表在2018年第3期《Complexity》, E-mail: wangxinhua201@163.com

方式极大地提高了信息的传播速度,扩大了信息的传播范围。

在当前社会化媒体时代的背景下,社交网络中企业舆情、观点的形成与传播对现代企业管理产生了深远影响。一方面,扩大了企业的影响范围,拓展了企业与客户之间的互动,为塑造企业形象、改善客户关系提供了渠道;另一方面,对于企业而言,由于舆情的内容难以控制,传播中的部分信息对企业的发展并非完全有利,甚至威胁到企业的生存,社交网络则成为这些负面信息的“助推器”和“放大镜”,给企业带来巨大的损失^[2-3]。如2008年“三鹿奶粉污染事件”导致极具竞争力的“三鹿”企业被迫关停,2013年“优卡丹对儿童的肝肾有毒性”的微博导致仁和药业数十亿元的损失,2016年“三星手机爆炸事件”直接对三星造成80亿美元的经济损失,还有广告损失、股票下跌、企业形象受损等。

前景理论认为,消费者对损失比对收益更加敏感^[4]。与正面舆情相比,负面舆情更能影响消费者的行为,对企业造成严重的损失。虽然企业已经意识到需要在社交网络中积极与消费者进行沟通,但仍无法有效抵制负面舆情带来的冲击。为此,以企业负面舆情(下文简称舆情)为研究对象,剖析网络舆情的传播机制,构建传播模型,探索网络舆情的传播规律和控制策略,对提升现代企业网络舆情的管理水平具有重要的理论价值和实践意义。

1 相关研究评述

1.1 企业网络舆情的传播

随着“三鹿奶粉”和“三星手机”等重大事件的爆发,企业舆情逐渐进入公众的视野,并在网络中掀起舆论热潮,也引起了学术界的重点关注。在企业网络舆情的传播方面,基于传播主体的特性,林芹等^[5]利用系统动力学构建企业舆情的传播与演化模型,分析情感距离、信息风险感知、企业形象和企业舆情事件处理效果等对舆情传播过程的影响;屈启兴等^[6]构建一种基于马尔科夫链的企业网络舆情热度趋势分析模型,通过实际数据验证该方法能有效地预测企业网络舆情的发展趋势,为企业网络舆情提供了理论依据。

企业网络舆情一般是以与企业相关的突发事件为爆发点,以口碑讨论为主要形式,在内容上呈现出负面口碑的特点,因此,企业负面口碑的传播研究也为本研究提供了理论基础。针对企业负面口碑的社会化网络传播,蔡淑琴等^[7]提出一种基于线性阈值的负面口碑传播模型,描述了社会网络中负面口碑的传播过程。考虑到在线社交网络的小世界和无标度特性,张杨^[8]建立Multi-Agent负面口碑传播模型,并模拟不同网络拓扑与传播模式下的口碑传播规律;王家坤等^[9]在口碑传播过程中考虑正、负面口碑的对冲作用机制,对口碑传播过程进行更深入的分析。归纳发现,在已有的企业网络舆情传播模型中,多数研究偏好在已有传播模型的基础上考虑企业的

作用机制,而对企业网络舆情的传播过程以及控制策略缺少深入、系统的分析,研究结论难以直接应用到管理实践中。

1.2 单层网络中舆情的传播

企业网络舆情的研究虽逐渐兴起,但通过梳理已有研究发现有关企业网络舆情传播的研究仍相对较少,相对而言,网络舆情传播的研究成果较为丰富。网络舆情的传播往往涉及到大规模的用户,以节点代表用户、连边表示用户之间的社交关系,社交网络可被描述为具有特定拓扑结构的点和边的集合。目前,以复杂网络理论为基础,利用传播动力学的相关方法进行研究,是网络舆情传播领域研究的趋势。

网络舆情的传播过程在某种程度上与传染病和谣言的传播过程类似,是一个较为复杂的动力学过程,主要体现在网络结构、参与用户种类、传播模型与机制等方面。2000年后,随着复杂网络研究的兴起,ZANETTE^[10]率先在小世界网络中构建谣言传播模型,并证明了传播阈值的存在;此后,MORENO et al.^[11]和ZHOU et al.^[12]分别对比分析随机网络、小世界网络和无标度网络中的谣言传播过程,结果表明,随着社交网络从随机网络到小世界网络和无标度网络的变化,信息的传播规模逐渐下降,传播速度逐渐加快;潘灶峰等^[13]在经典传播模型的基础上,研究聚类系数可调的无标度网络上的谣言传播过程,发现社交网络的聚类系数越高,谣言的传播越可以得到抑制。考虑到网络结构的动态性,JIANG et al.^[14]探讨时变网络中的谣言传播过程。基于人类活动的相互依赖性,李丹丹等^[15]提出一种双层社交网络中的舆情传播模型,仿真实验结果表明,在线社交网络扩大了舆情的传播范围,加快了舆情的传播速度。已有研究表明,随着研究的深入,舆情传播的网络结构正由简单到复杂、静态到动态、单层到多层的转变。

网络舆情传播过程涉及到多类参与主体,梳理已有研究发现参与主体的划分主要存在两种方式,对应着两类传播模型。

第1种方式将网络舆情参与主体划分为网民、媒体和政府等,聚焦个体之间的交互关系对网络舆情传播的影响,这类模型包括以Ising模型^[16]、Sznajd模型^[17]、Deffuant模型^[18]为代表的一系列粒子交互模型以及Multi-agent仿真模型和元胞自动机模型等。陈春阳等^[19]和陈婷等^[20]引入Deffuant有限信任模型,对微博中舆情的生成机制和传播规律进行分析;李春发等^[21]构建政府干预下的舆情传播扩散模型,并重点分析政府干预的时间和强度对网络舆情传播过程的影响。以自发形成的网络舆情为传播对象,张耀峰等^[22]建立基于元胞自动机的复杂系统非线性涌现模型,揭示个体从众心理对网络舆情传播过程的影响。考虑到网民的情感倾向、自信心及网民之间的交互影响,CHEN et al.^[23]提出一种改进的元胞自动机模型,仿真结果表明该模型可以更好地揭示舆情的演化过程。其他类似的还有林芹等^[5]、胡珑瑛等^[24]和

ALVES et al.^[25]的研究。该类模型可较好地反映舆情传播过程中各类用户之间的交互作用,但传播规则相对简单,与真实的传播过程仍存在出入。

第2种方式在传染病传播模型^[26]的基础上,构建一种网络舆情传播仓室模型,从宏观层面上重点分析各类群体数量随时间的变化过程,进而分析舆情传播规律并进行预测。将舆情传播过程中的网络用户划分为未接触到舆情的易染用户、正在传播舆情的传播用户、对舆情无兴趣传播的免疫用户。赵剑华等^[27]和CUYPERE et al.^[28]构建SIR网络舆情传播模型,对预测和引导舆情传播趋势具有重要意义;考虑到网络舆情的及时性、爆发性、聚敛性等特征,张敏等^[29]提出一种时间敏感型网络舆情的传播模型ICSR,较好地解释了网络舆情的若干传播特征;陈波等^[30]在网络舆情传播过程中定义了已知、但尚未传播舆情的潜伏类人群,克服已有传播模型的缺点,建立带直接免疫的SEIR网络舆情传播模型,并提出在舆情传播初期进行干预的控制策略。此外,在陈波等^[30]研究的基础上,林晓静等^[31]和陈福集等^[32]分别提出具有饱和接触率和饱和发生率的传播模型,更具体地描述网络舆情的演化过程。类似的还有ZAN et al.^[33]和XIA et al.^[34]的研究。这类基于微分方程的传播模型具有较强的数学严密性,可较为准确地描述真实的舆情传播过程,但由于考虑的影响因素相对单一,仍需要更进一步的扩展。

随着研究的深入,有研究表明网络舆情的传播不仅涉及到网络结构、用户种类和状态的复杂性,还汇聚了人类行为的属性,其传播特性与传染病的扩散存在一定差异^[35],国内外研究者逐渐将这些差异作为独立的机制融入到舆情传播模型中进行分析,以揭示网络舆情传播的内在规律。考虑到信息内容的模糊度及对用户的吸引力不同,XIA et al.^[34]提出一种带有犹豫机制的信息传播模型,结果表明信息的模糊度降低可提高信息的传播阈值,降低传播范围;NEKOVEE et al.^[36]和ZHAO et al.^[37]根据舆情传播过程中个体行为的差异,提出考虑记忆机制和遗忘机制的信息传播模型SIHR,对传播过程的描述更符合实际情况。基于用户对信息不同反应,ZAN et al.^[33]构建一种考虑用户反击机制和自制机制的传播模型SICR,并证明两种机制的引入可有效地减缓信息的传播速度。

同时,刘泉等^[38]针对在线社交网络中舆情传播具有多层影响力的特点,将网络用户的自信程度与网络结构结合起来,提出一种结合信息传播与观点交互的舆情传播模型;王金龙等^[39]基于用户之间地位的不对称性,提出一种考虑用户相对权重的信息传播模型,并分别在具有不同结构的网络中进行仿真实验;王辉等^[40]将社会强化效应定义为用户接受信息的累计次数,提出CSR信息传播模型,并研究社会强化作用对信息传播过程的影响。另外,用户的信息甄别能力、心理距离、信息异质性^[41]等因素也逐渐被加入到网络舆情传播模型中,理论模型对实

际传播过程的描述愈加完善。

1.3 多层网络中舆情的传播

上述关于网络舆情传播模型的研究主要寄托于单层网络模型,而基于多层网络的舆情传播研究相对较少。随着传播动力学的发展,研究者提出信息可以在多个“位面(信息传播的空间)”同时传播^[42],并尝试利用多层网络、超网络和相依网络对信息、疾病或信息-疾病传播模型进行扩展。由于疾病的传播需要个体之间的物理接触,而疾病信息在社交网络中的传播显著影响个体的行为,如注意卫生、注射疫苗等,进而影响疾病的传播。显然,疾病与信息的传播过程并不是完全独立的,存在较强的交互性。因此,GRANELL et al.^[43]、ZANG^[44]和KAN et al.^[45]在物理接触-通信网络中构建疾病-信息耦合传播模型,研究双层网络中疾病与信息交互影响下的动力学过程。另外,考虑到舆情信息在线下与线上网络的同时传播,于凯等^[46]和李丹丹等^[15]研究物理接触网络(线下网络)与在线社交网络(线上网络)同时作用下的舆情传播过程,并进行仿真实验。但上述研究对用户状态以及状态转移概率的定义相对简单,传播模型的适用性较差。

1.4 简要评述

目前关于企业舆情传播的研究主要集中在单层社交网络,即以在线社交网络为信息传播媒介。而近年来,企业舆情传播呈现出线上决定线下、实情决定舆情的特点^[46],表明企业舆情的形成与传播并不是通过单一渠道实现,而是在线下社交网络与线上社交网络中同时进行。因此,为更准确地描述企业舆情的传播过程,需要从传统线下网络与在线社交网络两个角度入手,考虑双层社交网络下的舆情传播模型。

在网络舆情传播过程中,多数研究采用的状态转移概率相对固定,与实际的传播过程仍存在一定出入,研究结论难以直接应用到实践管理中。同时,在层间关联节点耦合模式方面,多层网络中的传播研究假设双层网络中节点一对一随机关联耦合。然而,根据实际舆情传播的特点,线下网络中的权威节点(节点度较高)可能分别对应线上网络中的任意、一般或重要账号,即需要分别考虑层间关联节点的同配连接、异配连接和随机连接模式对社交网络中舆情传播过程的影响。

另外,在企业网络舆情的控制策略方面,当前研究多默认以正面舆情为研究对象,通过识别社交网络中最具有影响力的多个权威用户,以实现最大化的信息传播规模,然而针对最小化负面舆情传播范围的企业控制策略研究相对较少。

针对上述问题,首先,本研究通过分析双层网络中的舆情传播过程和传播机制,提出双层社交网络上的舆情传播模型,并对舆情传播过程中的相关参数进行分析,定义各类节点的状态转移概率;其次,对双层社交网络上的舆情传播过程进行仿真实验,并将其与单层社交网络下的传播过程进行对比,总

结网络舆情的传播规律;最后,基于价值共创理论提出企业网络舆情传播的控制策略,并利用仿真模拟验证控制策略的控制效果,为现代企业开展舆情管理提供科学依据。

2 双层社交网络上的舆情传播模型

2.1 传播模型的构建

本研究分析发现,舆情在人群之间的扩散可通过线上网络和线下网络两种渠道实现。线上网络代表用户借助通信工具产生的在线社交网络(online social network, OSN)平台,节点表示在线社交网络中的用户,节点之间的连边代表用户之间的虚拟社交关系;线下网络刻画了真实世界中的人际社交关系,节点表示个体,节点之间的连边对应实际的人际关系。在线上网络中,信息主要通过微博、微信、Facebook、Twitter等在线社交平台进行传播;而线下网络中,信息主要通过个体之间的面对面交流、口口相传等方式进行扩散。

图1给出双层社交网络中的主体状态,假设线上网络A中的用户与线下网络B中的个体一一对应,暂不考虑网络A中的多个节点对应网络B中的一个节点,即同一线下个体同时注册多个线上账号,以及网络A中的一个节点对应网络B中的多个节点,即多个线下个体共同使用同一线上账号的情况。

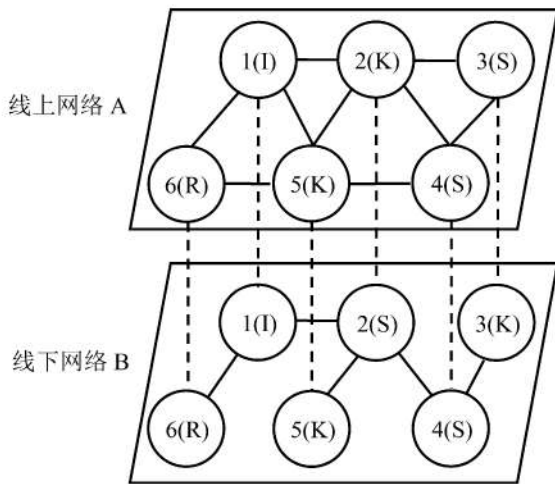


图1 双层社交网络中主体状态
Figure 1 Principal State in Two-layer Social Networks

在谣言和传染病等传播模型的基础上,结合实际的网络传播过程,将单层社交网络中的用户(个体)划分为未知者、已知者、传播者和免疫者4类。未知者(ignorant, I)指从未接受到舆情的用户,已知者(knower, K)指已经接受舆情但尚未传播的用户,传播者(spreaders, S)指接受舆情并在社交网络中传播的用户,免疫者(recover, R)指对网络中传播的舆情丧失传播兴趣或能力且不再继续传播舆情的用户。见图1。

由于线上网络中的用户与线下网络中的个体均表示同一主体,结合单层社交网络中节点的状态定义,双层社交网络中舆情传播主体的状态可划分为 $I^A I^B$ 、 $K^A K^B$ 、 $S^A K^B$ 、 $K^A S^B$ 、 $S^A S^B$ 、 $R^A R^B$ 。 $I^A I^B$ 表示主体在双层社交网络中均为未知者(图1中的节点1),简记为 I ; $K^A K^B$ 表示主体在双层网络中均为已知者(图1中的节点5),简记为 K ; $S^A K^B$ 表示主体仅在线上网络中传播舆情,在线下网络中不传播舆情(图1中的节点3),简记为 SK ; $K^A S^B$ 表示主体在线上网络中不传播舆情,仅在线下网络中传播舆情(图1中的节点2),简记为 KS ; $S^A S^B$ 表示主体在双层社交网络中均传播舆情(图1中的节点4),简记为 S ; $R^A R^B$ 表示主体在双层社交网络中均为免疫者(图1中的节点6),简记为 R 。

根据实际的传播过程,定义双层社交网络中舆情传播规则如下。

(1) 当未知者在线上网络或线下网络接触到传播者时,其在线上、线下网络传播者的共同影响下以概率 δ 接受舆情成为已知者。

(2) 在用户接受舆情后,一部分主体由于对传播的舆情不感兴趣,不进行传播或转发,以概率 θ 退出传播过程,直接进入免疫状态。其余主体则根据自身社交偏好以概率 η_1 在线上网络传播舆情,成为线上传播者;以概率 η_2 在线下网络传播舆情,成为线下传播者。

(3) 对于线上传播者而言,以概率 μ_1 继续发展到线下传播舆情,成为同时传播者;由于失去兴趣以概率 γ_1 退出传播过程,成为免疫者。对于线下传播者而言,以概率 μ_2 向线上传播舆情,成为同时传播者;以概率 γ_2 退出传播过程,成为免疫者。

(4) 对于同时在线上、线下网络传播舆情的主体,则以概率 γ_3 退出传播过程。此外,免疫者作为舆情传播过程中的最终状态,其状态不再发生变化。

主体状态变化过程见图2。

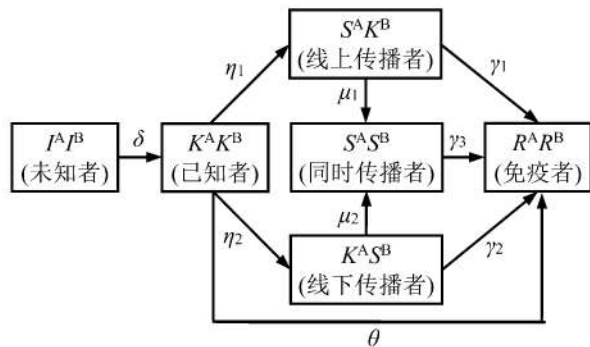


图2 主体状态变化
Figure 2 Principal State Change

定义线上网络A中的用户规模为 N^A ,对应着线下网络B中 N^B 个个体,即 $N^A = N^B$ 。假设各状态用户数量为连续可微,因此,可通过微分方程表示各类主体数量随时间变化的动力学方程,对应的微分方程组和约束条件可表示为

$$\begin{cases} \frac{dI(t)}{dt} = \delta I(t) \\ \frac{dK(t)}{dt} = \delta I(t) - (\theta + \eta_1 + \eta_2) K(t) \\ \frac{dSK(t)}{dt} = \eta_1 K(t) - (\mu_1 + \gamma_1) SK(t) \\ \frac{dKS(t)}{dt} = \eta_2 K(t) - (\mu_2 + \gamma_2) KS(t) \\ \frac{dS(t)}{dt} = \mu_1 SK(t) + \mu_2 KS(t) - \gamma_3 S(t) \\ \frac{dR(t)}{dt} = \gamma_1 SK(t) + \gamma_2 KS(t) + \gamma_3 S(t) \\ I(t) + K(t) + SK(t) + KS(t) + S(t) + R(t) = N \\ \eta_1 + \eta_2 + \theta = 1, \eta_1 > 0, \eta_2 > 0, \theta > 0 \\ \mu_1 + \gamma_1 < 1, \mu_1 > 0, \gamma_1 > 0 \\ \mu_2 + \gamma_2 < 1, \mu_2 > 0, \gamma_2 > 0 \\ \delta > 0, \gamma_3 > 0 \end{cases} \quad (1)$$

其中,在双层社交网络中,在 t 时刻, $I(t)$ 为未知者的数量, $K(t)$ 为已知者的数量, $SK(t)$ 为线上传播者的数量, $KS(t)$ 为线下传播者的数量, $S(t)$ 为同时传播者的数量, $R(t)$ 为免疫者的数量; N 为网络中所有用户, $N = N^A = N^B$;上半部分6个子式依次表示处于I态、K态、SK态、KS态、S态和R态的主体数量随时间的变化率。特别地,当 $\mu_1 = \mu_2 = 0$ 时,线上网络A与线下网络B之间不存在交互关系,该模型则成为单层网络中的舆情传播模型。

2.2 舆情传播过程中的参数分析

相对于单层网络,双层社交网络中的舆情传播过程更加复杂。主体的状态转移概率是描述舆情传播过程的重要参数,为清晰地描述双层社交网络中的舆情传播过程,本研究对模型中的主要参数进行分析。

(1) 未知节点状态变化分析

根据本研究定义的传播规则可知,当未知者与传播者接触时,其会以概率 δ 相信并接受信息,成为已知者。但由于社交网络中主体在知识结构、主观偏好^[6-8]等方面的差异性,不同的未知者与传播者接触后,发生状态变化的概率也会有所不同。因此,本研究假设,对于未知者 n_i ,其转化为已知者的概率服从正态分布,即 $\delta \sim N(\bar{\delta}, \sigma^2)$, $\bar{\delta}$ 为 δ 的均值, σ 为 δ 的标准差。设 δ_i 为第 i 个未知者转化为已知者的概率,网络中的1个主体即为1个节点。当 $\delta_i \geq 1$ 时,未知者选择相信传播者所传播的信息,直接进入已知状态;当 $\delta_i \leq 0$ 时,未知者不接受所传播的信息,继续留在未知状态。 δ_i 越大,表明未知者进入已知状态的概率越大,即

$$\delta = \begin{cases} 1 & \delta_i \geq 1 \\ Ber(\delta_i) & 0 < \delta_i < 1 \\ 0 & \delta_i \leq 0 \end{cases} \quad (2)$$

其中, $Ber(\delta_i)$ 为在集合 $\{0,1\}$ 中随机抽样试验的结果,服从以 $\bar{\delta}$ 为参数的0-1分布。

另外,与单层网络不同,在双层社交网络中,未知者获取信息的渠道有3种,即仅通过线上网络获取、仅通过线下网络获取和同时通过两种网络获取。因此,当未知者通过不同的渠道获取信息时,其转化为已知者的概率也有所不同。具体定义为

$$\delta = \begin{cases} \delta_{11} & n_s^A > 0, n_s^B = 0 \\ \delta_{22} & n_s^A = 0, n_s^B > 0 \\ \delta_{33} & n_s^A > 0, n_s^B > 0 \end{cases} \quad (3)$$

其中, n_s^A 为未知者 n_i 在线上网络A中所有邻居节点中传播者的数量, n_s^B 为未知者 n_i 在线下网络B中所有邻居节点中传播者的数量, δ_{11} 为未知者 n_i 在仅有线上传播者的好友情景下进入已知状态的概率, δ_{22} 为未知者 n_i 在仅有线下传播者的好友情景下进入已知状态的概率, δ_{33} 为未知者 n_i 同时拥有线上和线下传播者的好友情景下进入已知状态的概率。

一般而言,由于线上网络中相邻用户的信任度较低^[47],对于未知者而言,其更愿意相信并接受由线下网络中邻居传播的信息。因此,本研究假设未知者通过不同渠道获取信息后转化为已知者的概率均值之间满足

$$\bar{\delta}_3 > \bar{\delta}_2 > \bar{\delta}_1 \quad (4)$$

其中, $\bar{\delta}_1$ 为 δ_{11} 的均值, $\bar{\delta}_2$ 为 δ_{22} 的均值, $\bar{\delta}_3$ 为 δ_{33} 的均值。

综上所述,在双层社交网络中,未知者 n_i 转化为已知者 n_k 的状态转移概率可表示为

$$\delta_{n_i \rightarrow n_k} = \begin{cases} \delta_{11} & n_s^A > 0, n_s^B = 0, \delta_{11} \sim N(\bar{\delta}_1, \sigma_1^2) \\ \delta_{22} & n_s^A = 0, n_s^B > 0, \delta_{22} \sim N(\bar{\delta}_2, \sigma_2^2) \\ \delta_{33} & n_s^A > 0, n_s^B > 0, \delta_{33} \sim N(\bar{\delta}_3, \sigma_3^2) \end{cases} \quad (5)$$

其中, σ_1 为 δ_{11} 的标准差, σ_2 为 δ_{22} 的标准差, σ_3 为 δ_{33} 的标准差。

由于线上网络A中用户和线下网络B中个体均对应同一主体,故一旦线上(线下)网络中节点状态由未知态变为已知态,则线下(线上)网络中对应节点的状态也随之发生变化。

(2) 已知节点状态变化分析

考虑到社交网络用户可能对传播的信息缺乏传播能力或兴趣,故假设社交网络中的已知节点 n_k 以概率 θ 转化为免疫节点 n_R ,直接退出传播过程。

考虑到舆情传播的两种渠道,在社交网络中主体由未知态转化为已知态后,会根据自身的社交偏好选择在线上或线下网络中进行传播。本研究将主体的社交偏好定义为在线上或线下网络中的相邻节点数与双层社交网络中相邻节点总数的比值。因此,社交网络中的已知节点 n_k 转化为传播节点 n_{SK} 和 n_{KS} 的状态转移概率分别为

$$\eta_{n_k \rightarrow n_{SK}} = (1 - \theta) \frac{k^A(i)}{k^A(i) + k^B(j)} \quad A_i \leftrightarrow B_j \quad (6)$$

$$\eta_{n_k \rightarrow n_{KS}} = (1 - \theta) \frac{k^B(j)}{k^A(i) + k^B(j)} \quad A_i \leftrightarrow B_j \quad (7)$$

其中, i 和 j 为节点, $\eta_{n_k \rightarrow n_{SK}}$ 为已知节点 n_k 转化为传播节点 n_{SK} 的状态转移概率, $\eta_{n_k \rightarrow n_{KS}}$ 为已知节点 n_k 转化为传播节点 n_{KS} 的状态转移概率, $k^A(i)$ 为 i 节点在线上网

络A中的度, $k^B(j)$ 为 j 节点在线下网络B中的度, $A_i \leftrightarrow B_j$ 为线上网络A中的 i 节点与线下网络B中的 j 节点相对应。

(3) 传播节点状态变化分析

社交网络中主体的信息传播行为更多地源自该行为带来的心理上的满足,如引起他人的关注、情绪的宣泄、满足自身的社会归属感等^[24,48],但传播者无法对信息持续保持兴趣,会在情感宣泄、经济补偿、心理变化等多因素的影响下退出传播过程^[6,19],进入免疫状态。本研究定义参数 γ 来描述上述因素的综合影响, $\gamma \sim N(\bar{\gamma}, v^2)$, $\bar{\gamma}$ 为 γ 的均值, v 为 γ 的标准差。 γ 越大,传播者以更大概率退出传播过程,进入免疫状态。 s 为传播者,若 $\gamma_s \geq 1$,传播者得到情绪的宣泄或经济补偿,直接退出传播过程;若 $\gamma_s \leq 0$,传播者难以得到情绪释放或经济补偿,将继续在社交网络中传播舆情;若 $0 < \gamma_s < 1$,传播者以概率 γ 得到情绪宣泄或经济补偿,退出传播过程。则

$$\gamma = \begin{cases} 0 & \gamma_s \leq 0 \\ Ber(\gamma_s) & 0 < \gamma_s < 1 \\ 1 & \gamma_s \geq 1 \end{cases} \quad (8)$$

其中, $Ber(\gamma_s)$ 为在集合 $\{0,1\}$ 中随机抽样试验的结果,服从以 $\bar{\gamma}$ 为参数的0-1分布。

类似地,根据舆情的传播渠道,传播节点可划分为仅在线上网络中传播舆情的SK节点、仅在线下网络中传播舆情的KS节点和在双层社交网络中传播舆情的S节点3类,并且假设其具有不同的退出概率,分别为 γ_{s1} 、 γ_{s2} 、 γ_{s3} 。一般而言,传播者的传播行为难度越大,退出传播过程的概率就越小^[6]。本研究假设3类传播者的退出概率均值满足

$$\bar{\gamma}_1 > \bar{\gamma}_2 > \bar{\gamma}_3 \quad (9)$$

其中, $\bar{\gamma}_1$ 为 γ_{s1} 的均值, $\bar{\gamma}_2$ 为 γ_{s2} 的均值, $\bar{\gamma}_3$ 为 γ_{s3} 的均值。

对于仅在线上网络A中传播舆情的SK节点,定义其以概率 μ_1 发展到线下继续传播舆情,成为同时传播者;对于仅在线下网络B中传播舆情的KS节点,定义其以概率 μ_2 发展到线上继续传播舆情,成为同时传播者。 μ_1 称为舆情传播的下载率, μ_2 称为舆情传播的上传率。

2.3 双层社交网络层间连接模式

在双层社交网络结构模型构建过程中,由于双层网络之间的节点是一一对应的,根据双层社交网络对应节点的连接模式,可划分为层间同配连接、层间异配连接和层间随机连接3种不同的连接模式。

(1) 层间同配连接 (assortative link, AL)

将线上网络A中用户的度与线下网络B中个体的度分别进行降序排列,当节点度相同时,进行随机排序,然后依次进行连接,即线上网络A中最高度的用户与线下网络B中最高度的个体进行连接,又称度度正相关连接。

(2) 层间异配连接 (dsassortative link, DL)

与层间同配连接相反,将线上网络A中用户的度与线下网络B中个体的度分别进行降序和升序排列,然后依次进行连接,即线上网络A中最高度的用户与线下网络B中最低度的个体进行连接,又称度度负相关连接。

(3) 层间随机连接 (random link, RL)

将线上网络A中用户与线下网络B中个体随机进行排序,然后依次连接,构成线上线下网络节点一一对应的耦合网络模型。

3 仿真实验及分析

3.1 实验环境、数据和初始化设置

为分析企业网络舆情在双层社交网络中的传播过程,探索其传播规律,本研究对构建的舆情传播模型进行仿真模拟。对于双层社交网络的结构,已有研究表明,线下网络相对均匀^[15],而线上网络的异质性较为明显^[49],在线社交网络中存在少量用户(如大V和名人等)拥有数量较多的关注者。因此,在已有研究基础上^[15,46,49],本研究选择ER随机网络模拟线下网络,选择BA无标度网络模拟线上网络,两种网络的拓扑结构参数见表1,度分布见图3(坐标为双对数坐标)。

根据2.2的参数分析和已有研究结果^[6,8,15,46],其余主要参数设置为, $\bar{\delta}_1 = 0.200$, $\bar{\delta}_2 = 0.300$, $\bar{\delta}_3 = 0.500$, $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = 0.100$, $\theta = 0.100$, $\bar{\gamma}_1 = 0.600$, $\bar{\gamma}_2 = 0.400$, $\bar{\gamma}_3 = 0.300$, $v_1 = v_2 = v_3 = 0.100$, $\mu_1 = 0.200$, $\mu_2 = 0.300$ 。

初始时刻,在线上网络A中随机选取一个节点作为舆情传播源,进入SK状态,其余节点均设定为I状态。在舆情传播过程中,传播节点的数量越多,网络舆情对企业直接的冲击越显著;另外,免疫节点由传播节点和已知节点转化而来,即所有接受到网络舆情的用户,体现了网络舆情的传播规模。因此,将每一仿真时间步数 t 中处于传播状态的节点数量记作 $\rho_s(t)$,将每一仿真时间步数 t 中处于免疫状态的节点数量记作 $\rho_r(t)$,识别舆情在双层社交网络中的传播过程。同时,为降低实验结果的随机性导致的误差,

表1 线上网络和线下网络的结构参数

Table 1 Structural Parameters of Online and Offline Networks

网络名称	节点个数	边数	节点平均度	节点最大度数	聚类系数	度相关系数
ER 随机网络	1 000	9 978	9.980	21	0.011	-0.035
BA 无标度网络	1 000	11 924	10.936	122	0.042	-0.024

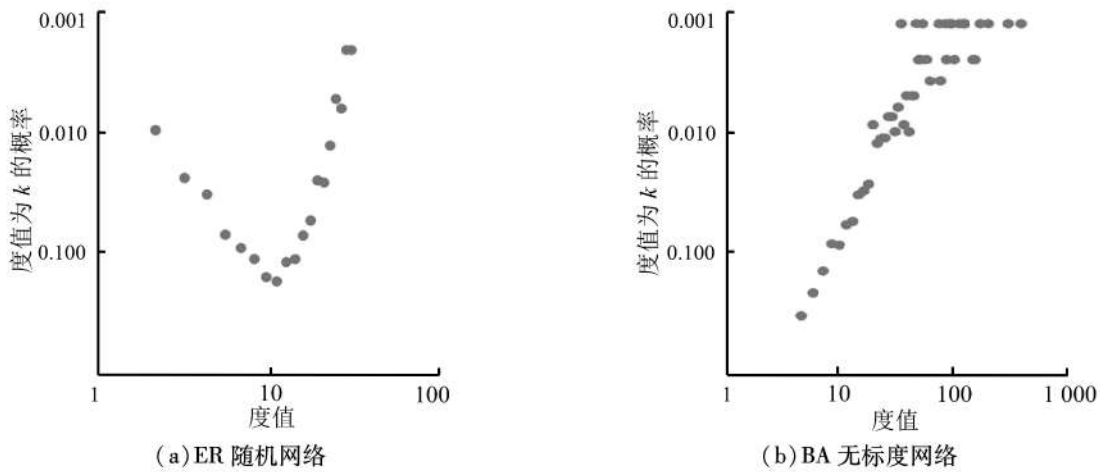


图3 网络度分布

Figure 3 Network Degree Distribution

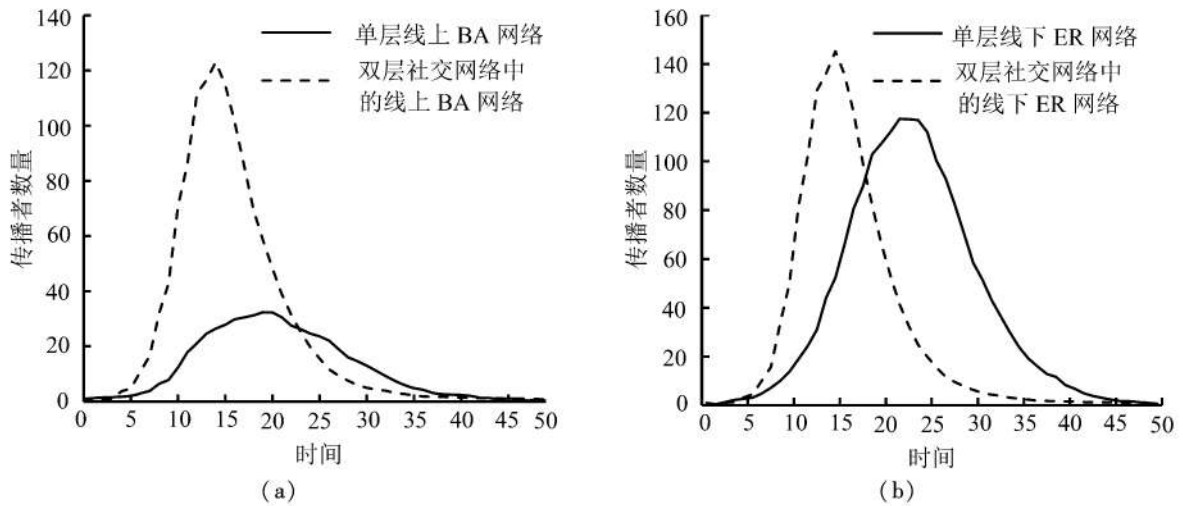


图4 传播者数量在单、双层社交网络中随时间变化对比结果

Figure 4 Comparison Results for the Number of Spreader over Time in Single and Two-layer Social Networks

提高实验结果的稳定性,每次实验重复100次,采用100次实验结果的平均值作为最终的结果进行分析。

3.2 舆情在单、双层社交网络中传播过程对比

一般而言,在线社交网络中度值高的节点往往在现实社会中仍具有一定的社会影响力,为对比分析舆情在单、双层社交网络上的传播过程,将线上网络A与线下网络B按照同配连接的模式进行连接。本研究分别在单层线上BA网络、单层线下ER网络、BA-ER双层社交网络进行传播仿真实验,实验结果见图4和图5。将单层线上BA网络与BA-ER双层社交网络中线上BA网络中的传播者数量进行对比,对比结果见图4(a);将单层线下ER网络与BA-ER双层社交网络中线下ER网络中的传播者数量进行对比,对比结果见图4(b);将单层线上BA网络、单层线下ER网络、BA-ER双层社交网络中的免疫者数量进行对比,对比结果见图5。

由图4(a)可知,在双层社交网络传播模型中,舆情在BA-ER双层社交网络中的线上BA网络中的传播规模远远大于单层线上网络,但舆情传播速度的差

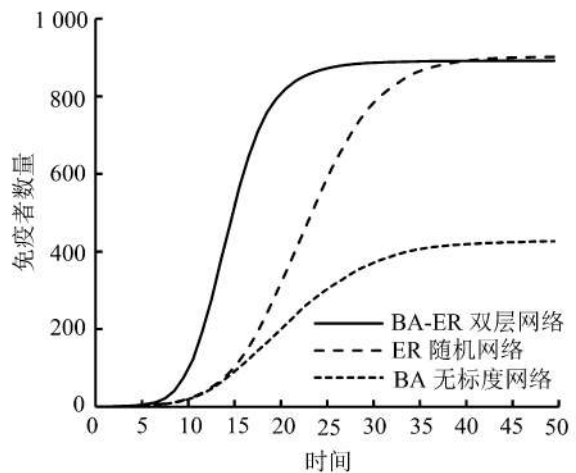


图5 免疫者数量在单、双层社交网络中随时间变化对比结果

Figure 5 Comparison Results for the Number of Recover over Time in Single and two-layer Social Networks

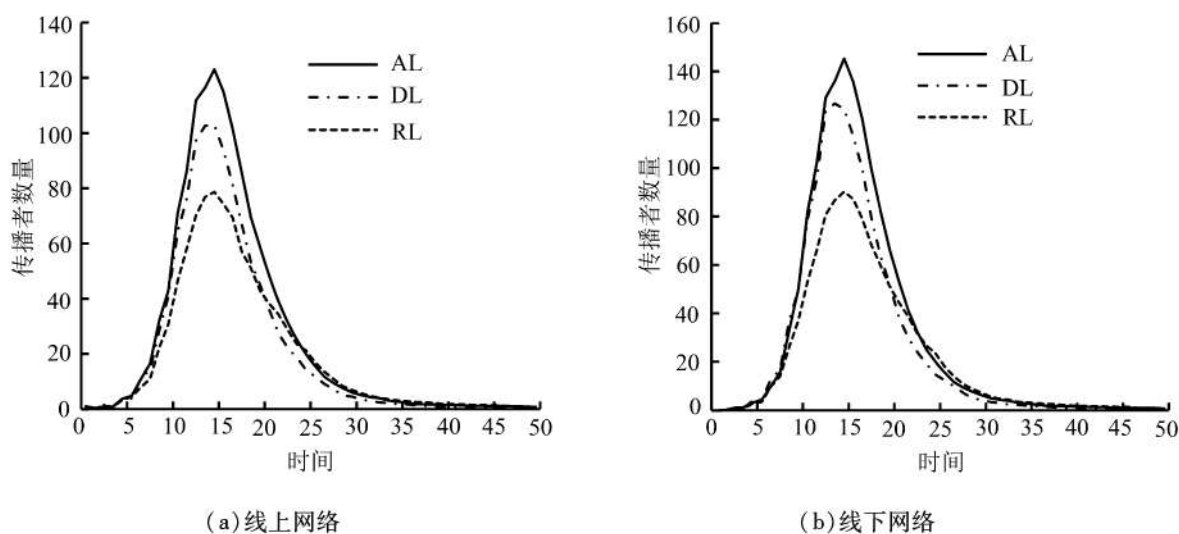


图6 传播者数量在3种耦合模式下随时间变化对比结果

Figure 6 Comparison Results for the Number of Spreader over Time under Three Kinds of Coupling Modes

异性并不显著。换言之,在BA-ER双层社交网络中线下网络的作用下,与单层线上网络相比,舆情在双层社交网络中的传播改变了传播规模小的特征。

由图4(b)可知,在双层社交网络传播模型中,舆情在双层线下网络中的传播速度显著快于单层线下网络,并且舆情传播者的数量也呈现一定幅度增加。结果表明,与单层线下网络相比,双层社交网络加速了舆情的传播、扩大了舆情的传播范围。由于空间位置的限制,个体在单层线下网络中只能以口口相传的方式进行传播,舆情的传播能力有限。随着在线社交网络平台的发展,个体之间的信息交流逐渐突破了空间的限制,极大地提高了舆情在社交网络中的传播速度。

由图5可知,系统稳态时,舆情在单层BA无标度网络中具有较快的传播速度,在单层ER随机网络中具有较大的传播规模,符合相关研究结论^[39-40]。而通过对比单、双层社交网络中的传播过程发现,在相同参数设置下,双层社交网络中的舆情传播同时具备了线上网络和线下网络的传播特征,既具有较快的传播速度,也具有较大的传播规模。

3.3 双层社交网络层间连接模式对传播过程的影响

为研究双层社交网络之间连接模式对舆情传播过程的影响,设计以下仿真实验:层间耦合连接模式分别选择为同配(AL)、异配(DL)和随机(RL)连接,其余参数设置保持不变。仿真结果见图6和图7。

结合图6和图7可知,在参数设置相同的情况下,当双层社交网络同配连接时,线上网络和线下网络中,传播者的数量最多,舆情可基本覆盖整个社交网络;在异配连接模式下,传播者的数量最少,舆情的传播规模被限制在较小范围内;在随机连接模式下,舆情传播者的数量和传播范围介于同配连接与异配连接之间。实验结果表明,在3种连接模式中,同配连接最有利于舆情的传播,异配连接最不利于舆情的扩散。

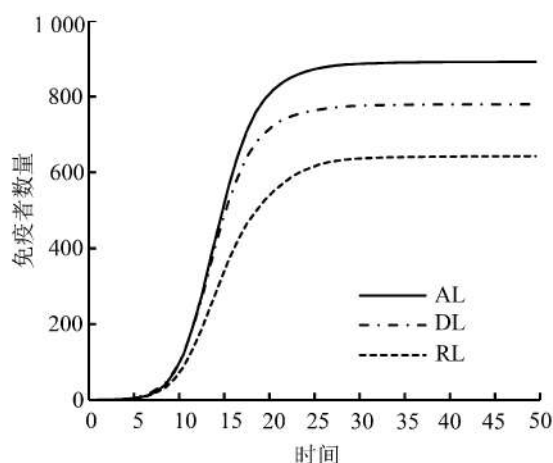


图7 免疫者数量在3种耦合模式下的变化对比结果
Figure 7 Comparison Results for the Number of Recover over Time under Three Kinds of Coupling Modes

4 控制策略和仿真实验

通过上述分析发现,企业网络舆情在双层社交网络中传播迅速,短时间内可覆盖大量用户,给企业带来巨大的负面影响。企业为规避损失,需在社交网络中投入资源,实施舆情控制策略,以求最小化舆情影响力(减少传播者数量和免疫者数量)。基于价值共创理论^[50-51],企业的舆情控制策略可分为局部策略和全局策略。局部策略是针对社交网络中的局部主体而言,通过改变少量主体的传播行为进而最大化控制主体的影响力,适用于舆情初始传播阶段,但在舆情传播过程中,企业难以有效地控制舆情传播源。全局策略是针对社交网络中的全部主体而言,通过改变主体对企业舆情的认知进而影响其传播行为。考虑到社交网络中舆情的传播特征以及企业控制策略的可行性,本研究将研究对象限定为企业

业的全局策略,并假设控制策略可取得预期效果。结合本研究提出的双层社交网络舆情传播模型,从未知者向已知者转化和传播者向免疫者转化两个思路提出社交网络中舆情传播的控制策略。

4.1 网络舆情传播控制策略

(1)第1类控制策略

第1类控制策略是以减缓未知者向已知者转化为目的的控制策略,如企业可通过广告投入,加强对企业产品的宣传,降低未知者转化为已知者的概率,具体为

$$\bar{\delta} = \begin{cases} \bar{\delta}_h - \Delta\delta & t \geq T_0 \\ \bar{\delta}_h & t < T_0 \end{cases} \quad h = 1, 2, 3 \quad (10)$$

其中, $\bar{\delta}$ 为实施第1类控制策略时未知者转化为已知者的概率; T_0 为企业实施第1类控制策略的时间点; $h = 1$ 表示未知者通过线上网络渠道获取信息, $h = 2$ 表示未知者通过线下网络渠道获取信息, $h = 3$ 表示未知者通过双层网络渠道获取信息。 $\Delta\delta$ 为状态转移概率下降幅度, 正比于企业资源投入, $\Delta\delta > 0$ 。当 $t < T_0$, 企业尚未实施控制策略, 未知者的状态转移概率服从以 $\bar{\delta}_h$ 为均值、 σ_h 为标准差的正态分布; 当 $t \geq T_0$, 企业实施第1类控制策略, 未知者的状态转移概率服从以 $(\bar{\delta}_h - \Delta\delta)$ 为均值、 σ_h 为标准差的正态分布。

需要注意的是, 第1类控制策略虽然从整体上降低了未知者的状态转移概率, 但对于每个未知者而言, 无法保证其状态转移概率一定降低, 这也符合主体行为的复杂性。企业的宣传策略无法保证在所有用户处都取得成效, 部分用户甚至对企业的宣传策略产生反感, 控制策略的实施反而会加速其向已知者转化。

(2)第2类控制策略

第2类控制策略是以加速传播者向免疫者转化为目的的企业策略。当舆情在社交网络中开始扩散后, 企业可通过经济赔偿、公开道歉等方式, 改变影

响传播者退出行为的因素, 加速传播者向免疫状态转化, 具体为

$$\bar{\gamma} = \begin{cases} \bar{\gamma}_m + \Delta\gamma & t \geq T_1 \\ \bar{\gamma}_m & t < T_1 \end{cases} \quad m = 1, 2, 3 \quad (11)$$

其中, $\bar{\gamma}$ 为实施第2类控制策略时传播者转化为免疫者的概率; T_1 为企业实施第2类控制策略的时间点; $m = 1$ 表示线上网络中的传播者, $m = 2$ 表示线下网络中的传播者, $m = 3$ 表示双层网络中的传播者。 $\Delta\gamma$ 为状态转移概率增长幅度, 正比于企业资源投入, $\Delta\gamma > 0$ 。当 $t < T_1$, 企业尚未实施控制策略, 传播者的状态转移概率服从以 $\bar{\gamma}_m$ 为均值、 v_m 为标准差的正态分布; 当 $t \geq T_1$, 企业实施第2类控制策略, 传播者的状态转移概率服从以 $(\bar{\gamma}_m + \Delta\gamma)$ 为均值、 v_m 为标准差的正态分布。类似于第1类控制策略, 第2类控制策略仍无法保证在所有用户处均取得成效。

4.2 企业控制策略仿真实验

为验证第1类控制策略和第2类控制策略, 以及企业实施控制策略的时间点 (T_0 和 T_1) 对舆情传播过程的影响, 本研究以社交网络中舆情传播者和免疫者数量的最大值作为测量指标。由上述分析可知, 线上网络与线下网络中传播者数量的变化类似、免疫者数量的变化一致。因此, 为简化分析过程, 本研究均以线上BA无标度网络中传播者的最大值和免疫者的最大值作为测量指标。

(1)第1类控制策略对舆情传播过程的影响

为分析企业实施第1类控制策略对舆情传播过程的影响, 在其他参数保持不变的基础上, 分别选择 $\Delta\delta = \{0.020, 0.050, 0.080, 0.100\}$ 表示企业不同程度的资源投入。图8(a)和图8(b)分别给出舆情传播过程线上网络中舆情传播者和免疫者数量的最大值随企业实施第1类控制策略的时间点和资源投入的变化过程, 并将其与企业不实施控制策略的情形 ($\Delta\delta = 0$) 进行对比。

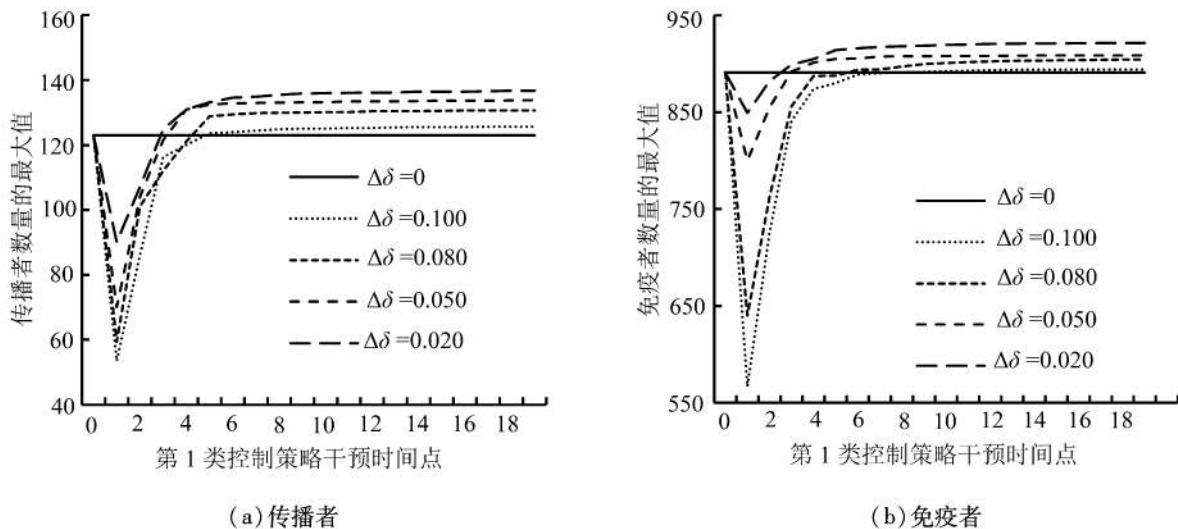


图8 线上网络中传播者和免疫者数量随第1类控制策略和 T_0 的变化

Figure 8 Change of the Number of Spreader and Recover in Online Networks over the First Control Strategy and T_0

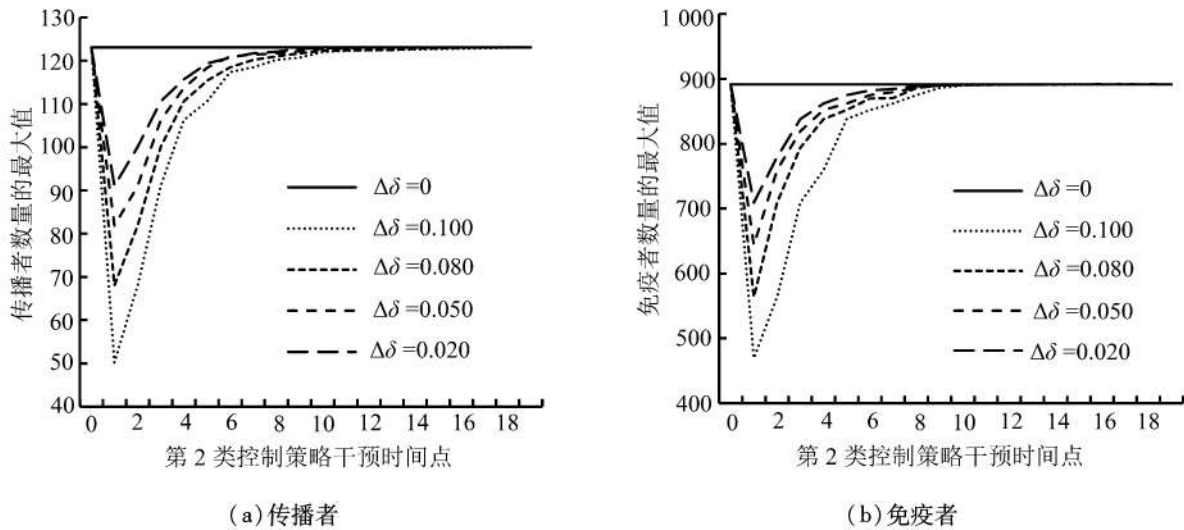


图9 线上网络中传播者和免疫者数量随第2类控制策略和 T_1 的变化

Figure 9 Change of the Number of Spreader and Recover in Online Social Networks over the Second Control Strategy and T_1

实验结果表明,企业实施控制策略的时间点和资源投入显著影响舆情的传播过程。由图8(a)和图8(b)可知,当 $T_0 \leq 6$ 时,企业的第1类舆情控制策略可取得显著效果,社交网络中传播者的数量减少,舆情的传播规模被控制在较小范围;并且企业的资源投入越多,舆情传播的规模越小。在传播初期,第1类控制策略降低了未知者转化为已知者的概率,使社交网络中的主体难以感知舆情,舆情在社交网络中难以扩散。当 $T_0 > 6$ 时,随着企业实施第1类控制策略时间点的推迟,舆情的传播被进一步恶化,传播范围比未实施控制策略呈现小幅度增长,舆情被更多主体感知。在传播中后期,虽然企业的第1类控制策略从整体层面上降低了未知者转化为已知者的状态转移概率,但由于未知者的数量减少,舆情传播已经形成规模,企业的控制策略非但没有实现预期的效果,反而使舆情传播情况进一步“恶化”。

由上述分析可知,在社交网络舆情传播初期($T_0 \leq 6$),企业的资源投入越多($\Delta\delta$ 越大),舆情传播者数量越少,传播规模被限制在较小范围内;而企业的响应策略越迟($T_0 > 6$),由于社交网络中多数主体已经感知到舆情,企业的资源投入无法实现预期效果,舆情传播反而被“恶化”。

(2)第2类控制策略对舆情传播过程的影响

为分析企业实施第2类控制策略对舆情传播过程的影响,在其余参数保持不变的基础上,分别选择 $\Delta\gamma = \{0.020, 0.050, 0.080, 0.100\}$ 代表不同程度的资源投入。图9(a)和图9(b)分别给出线上网络中传播者和免疫者的数量的最大值随企业实施第2类控制策略的时间点和资源投入的变化过程,并将其与企业不实施控制策略的情形($\Delta\gamma = 0$)相对比。

实验结果表明,社交网络中舆情传播者和免疫者数量的最大值与企业实施第2类控制策略的时间点和资源投入呈非线性关系。首先,当 $T_1 \leq 10$ 时,企

业的第2类控制策略可取得预期的效果,舆情传播规模被限制在较小范围内。在舆情传播初期,实施第2类控制策略可加速舆情传播者向免疫者的转化,减少社交网络中信息的传播源,进而缩小了舆情的传播规模。并且,社交网络中舆情传播者和免疫者的数量随着企业资源投入的增加而减少。

然而,在 $T_1 > 10$ 后,企业的第2类控制策略取得的效果不显著,传播结果趋近于未实施控制策略的情形。在舆情传播后期,虽然企业的第2类控制策略提高了社交网络中传播者向免疫者转化的状态转移概率,但由于多数个体已经感知到舆情的存在,转化为已知状态,而企业的第2类控制策略无法有效地影响已知者向传播状态转化,进而无法有效地抑制社交网络中舆情的传播和扩散。最后,社交网络中舆情传播者和免疫者的数量趋近于未实施控制策略的情形。

结果表明,在舆情传播初期($T_1 \leq 10$),企业在实施第2类控制策略的过程中,资源投入越大($\Delta\gamma$ 越大),对舆情的控制效果就越明显;若企业实施控制策略的时间点较迟(舆情传播中后期或舆情传播已经进入稳态)($T_1 > 10$),社交网络中多数主体已经感知到舆情成为已知者,企业继续实施控制策略虽然会促进传播者向免疫状态转化,但不会显著抑制舆情在社交网络中的传播规模。

5 结论

5.1 研究结果

为了更准确地把握企业网络舆情的传播过程,本研究基于复杂网络理论,从线下舆情传播网络和线上舆情传播网络两方面入手,构建一种双层社交网络中的舆情传播模型,并基于价值共创理论,提出企业应对社交网络中舆情传播的两类控制策略。主要研究结果如下。

(1)在双层社交网络舆情传播模型中,双层社交网络提高了舆情的传播速度,同时扩大了舆情的传播规模。本研究选择ER随机网络作为线下网络的拓扑结构,选择BA无标度网络作为线上网络的拓扑结构,并将单、双层社交网络中舆情的传播结果进行对比。仿真结果表明,在单层线下网络中,舆情传播速度较慢,但是传播规模广泛;在单层线上网络中,舆情具有更快的传播速度,但传播规模较小,结果与相关研究结论一致。然而,在BA-ER双层社交网络中,舆情的传播既具有线上网络传播速度快的属性,也具有线下网络传播范围广的属性。

(2)双层社交网络层间的耦合连接模式对舆情传播过程具有显著的影响。在3种连接模式中,当线上网络与线下网络同配连接时,线上(线下)网络中传播节点数量最多,舆情的传播规模最大,最有利于舆情的传播;在异配连接模式下,网络节点之间的负相关性较强,舆情传播者的数量最少,传播规模最小,最不利于网络中舆情的扩散。

(3)企业的两类舆情控制策略在舆情传播初期边际效用最大,资源投入越多,舆情传播的抑制效果越明显;在传播后期,控制策略的边际效用趋近于0。通过对企业两类控制策略的仿真实验表明,企业实施控制策略的时间点越早,舆情的传播规模越可以得到有效的控制;若因信息收集失败等原因,企业无法做出有效决策或实施控制策略的时间点太迟,舆情的传播可能反被“恶化”,无法实现预期效果。

5.2 理论贡献和实践意义

本研究对于揭示复杂网络中的舆情传播规律,以及单、双层社交网络中舆情传播过程的差异等具有重要的理论贡献。①与已有研究主要考虑单层社交网络中的舆情传播不同,本研究重点考虑线上与线下活动的相互依赖性,构建双层社交网络中的舆情传播模型,补充和丰富了复杂网络中传播动力学的研究成果。研究发现,舆情在双层社交网络中的传播同时具有线上和线下网络中的传播属性。②丰富了价值共创理论在企业网络舆情传播过程中作用的研究结论。价值共创理论从营销学和心理学角度描述企业和用户的行为,解释企业的资源投入对企业和用户行为的影响,为企业的舆情控制策略提供了理论基础。本研究重点探究企业的控制策略对舆情传播过程的影响,即控制策略的预期效果。研究发现,在舆情传播过程中,企业通过广告宣传、经济补偿等控制策略抑制舆情扩散,其效果具有阶段性。在舆情传播初期,企业的资源投入可以实现预期的效果,可有效地抑制社交网络中舆情的传播和扩散,并且控制效果正比于企业的资源投入;然而,在舆情传播中后期,企业的资源投入非但无法实现预期的效果,甚至可能将舆情传播状况进一步“恶化”。

本研究的实践管理意义在于:①在当前通信技术快速发展的背景下,社交网络中舆情传播速度快和传播规模广的特点给现代企业管理带来了深远的影响。企业在舆情管理过程中,除了要利用正面舆

情扩大企业影响范围、树立企业形象外,也要时刻注意负面舆情给企业发展带来的消极影响。②为有效地规避负面舆情传播给企业带来的损失,企业可通过在社交网络中投入资源(如广告宣传和经济赔偿)等价值共创策略抑制舆情的传播。但企业在实施控制策略过程中需要注意以下问题:①应慎重选择实施策略的时间点,尽可能在舆情传播初期实施控制策略;②若舆情传播进入中后期,企业应慎重选择控制策略和资源投入强度,消极地等待舆情传播过程结束可能是企业最优的应对策略。

5.3 研究局限和展望

本研究仍存在一些局限性,需要在未来进行拓展。①舆情传播过程中,在个体状态转移过程中会受到多种因素的影响,如信息内容、用户之间的相对地位、用户的心理特征、预期收益等。因此,在未来研究中,关于个体概率的设定应逐步考虑上述因素的作用。②本研究基于企业负面舆情展开,然而由于社交网络中舆情的复杂性,多种信息之间的交互作用显著影响个体对一类信息的传播行为。未来研究可从舆情本质上将舆情划分为正面舆情和负面舆情,研究两类信息在社交网络中的作用机制和传播规律。③真实的社交网络具有庞大的规模和复杂的拓扑结构,与之相比,本研究构建的双层社交网络模型仍相对简单。另外,本研究的相关结果主要是通过构建的社交网络中的舆情传播模型进行仿真模拟得到,在后续研究中应尝试从理论层面寻找舆情传播模型的解析解,并根据真实的网络舆情传播数据对研究结果的有效性进行更加深入的验证。

参考文献:

- [1] 中国互联网络信息中心. 第41次中国互联网络发展状况统计报告. 北京:中国互联网络信息中心,2018. CHINA INTERNET NETWORK INFORMATION CENTER. *The 41st China internet network development state statistical report*. Beijing: China Internet Network Information Center, 2018. (in Chinese)
- [2] 吴璇,田高良,司毅,等. 网络舆情管理与股票流动性. *管理科学*, 2017,30(6):51-64. WU Xuan, TIAN Gaoliang, SI Yi, et al. Internet media management and stock liquidity. *Journal of Management Science*, 2017,30(6):51-64. (in Chinese)
- [3] 刘蕾,于春玲,赵平. 图文信息对消费者互动行为及品牌关系的影响. *管理科学*, 2018,31(1):90-100. LIU Lei, YU Chunling, ZHAO Ping. Impact of picture-word information on consumer engagement behavior and consumer-brand relationship. *Journal of Management Science*, 2018, 31(1):90-100. (in Chinese)
- [4] KAHNEMAN D, TVERSKY A. Prospect theory: an analysis of decision under risk. *Econometrica*, 1979,47(2):263-292.
- [5] 林芹,郭东强. 企业网络舆情传播的系统动力学仿真研究:基于传播主体特性. *情报科学*, 2017,35(4):54-60,67. LIN Qin, GUO Dongqiang. System dynamics simulation research of enterprise network public opinion dissemination:

- based on the characteristics of dissemination subject. *Information Science*, 2017, 35(4):54-60, 67. (in Chinese)
- [6] 屈启兴, 齐佳音. 基于微博的企业网络舆情热度趋势分析. *情报杂志*, 2014, 33(6):133-137.
QU Qixing, QI Jiayin. Trend analysis of enterprise internet public opinion based on microblog. *Journal of Intelligence*, 2014, 33(6):133-137. (in Chinese)
- [7] 蔡淑琴, 袁乾, 周鹏. 企业响应下负面口碑线性阈值传播模型研究. *系统工程学报*, 2017, 32(2):145-155.
CAI Shuqin, YUAN Qian, ZHOU Peng. Research on linear threshold diffusion model for negative word-of-mouth under enterprises response. *Journal of Systems Engineering*, 2017, 32(2):145-155. (in Chinese)
- [8] 张杨. 基于Multi-Agent模型的在线负面口碑传播与治理机制. *复杂系统与复杂性科学*, 2014, 11(4):23-28, 91.
ZHANG Yang. Multi-Agent modeling on the spread and governance mechanism of negative online word-of-mouth. *Complex Systems and Complexity Science*, 2014, 11(4):23-28, 91. (in Chinese)
- [9] 王家坤, 王新华. 基于对冲作用的社交网络中口碑传播模型及控制策略研究. *现代情报*, 2018, 38(10):99-107.
WANG Jiakun, WANG Xinhua. Research on word-of-mouth propagation model and control strategy in social network based on hedging effect. *Journal of Modern Information*, 2018, 38(10):99-107. (in Chinese)
- [10] ZANETTE D H. Dynamics of rumor propagation on small-world networks. *Physical Review E*, 2002, 65(4):041908-1-041908-9.
- [11] MORENO Y, NEKOVEE M, PACHECO A F. Dynamics of rumor spreading in complex networks. *Physical Review E*, 2004, 69(6):066130-1-066130-7.
- [12] ZHOU J, LIU Z H, LI B W. Influence of network structure on rumor propagation. *Physics Letters A*, 2007, 368(6):458-463.
- [13] 潘灶峰, 汪小帆, 李翔. 可变聚类系数无标度网络上的谣言传播仿真研究. *系统仿真学报*, 2006, 18(8):2346-2348.
PAN Zaofeng, WANG Xiaofan, LI Xiang. Simulation investigation on rumor spreading on scale-free network with tunable clustering. *Journal of System Simulation*, 2006, 18(8):2346-2348. (in Chinese)
- [14] JIANG P, YAN X B. Stability analysis and control models for rumor spreading in online social networks. *International Journal of Modern Physics C*, 2017, 28(5):1750061-1-1750061-22.
- [15] 李丹丹, 马静. 双层社会网络上的舆情传播动力学分析. *系统工程理论与实践*, 2017, 37(10):2672-2679.
LI Dandan, MA Jing. Public opinion spreading dynamics in a two-layer social network. *Systems Engineering - Theory & Practice*, 2017, 37(10):2672-2679. (in Chinese)
- [16] GRABOWSKI A, KOSIŃSKI R A. Ising-based model of opinion formation in a complex network of interpersonal interactions. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 2006, 361(2):651-664.
- [17] SZNAJD-WERON K, SZNAJD J. Opinion evolution in closed community. *International Journal of Modern Physics C*, 2000, 11(6):1157-1165.
- [18] DEFFUANT G, NEAU D, AMBLARD F, et al. Mixing beliefs among interacting agents. *Advances in Complex Systems*, 2000, 3(1):87-98.
- [19] 陈春阳, 黄秀玲. 微博舆情的生成机制和传播规律研究. *情报科学*, 2018, 36(4):32-37.
CHEN Chunyang, HUANG Xiuling. A research on the generation mechanism and propagation law of microblog public opinion. *Information Science*, 2018, 36(4):32-37. (in Chinese)
- [20] 陈婷, 曲霏, 陈福集. 突发事件网络舆情扩散的政府应对仿真描述: 基于三方博弈视角. *图书馆杂志*, 2017, 37(2):79-86, 94.
CHEN Ting, QU Fei, CHEN Fuji. Simulation of government response to online public opinions based on three-side game. *Library Journal*, 2017, 37(2):79-86, 94. (in Chinese)
- [21] 李春发, 刘凯, 王晟锴. 基于Multi-Agent的政府干预下虚假舆情传播规律与控制决策. *现代情报*, 2018, 38(5):53-59.
LI Chunfa, LIU Kai, WANG Shengkai. Propagation law and control decision of false public opinion in the government intervention based on Multi-Agent. *Journal of Modern Information*, 2018, 38(5):53-59. (in Chinese)
- [22] 张耀峰, 肖人彬. 基于元胞自动机的网络群体事件舆论同步的涌现机制. *系统工程理论与实践*, 2014, 34(10):2600-2608.
ZHANG Yaofeng, XIAO Renbin. Emergence mechanism of consensus synchronization in internet collective behavior based on cellular automata. *Systems Engineering - Theory & Practice*, 2014, 34(10):2600-2608. (in Chinese)
- [23] CHEN T, LIN J. A novel model for the evolution of online public opinion based on fuzzy cellular automata rules in directed world networks. *Applied Mathematics & Information Sciences*, 2013, 7(6):2335-2343.
- [24] 胡珑瑛, 董靖巍. 网络舆情演进过程参与主体策略行为仿真和政府引导. *中国软科学*, 2016(10):50-61.
HU Longying, DONG Jingwei. The participators behavior simulation and the government guidance in the progress of web public opinion evolution. *China Soft Science*, 2016(10):50-61. (in Chinese)
- [25] ALVES S G, OLIVEIRA N M, MARTINS M L. Electoral surveys' influence on the voting process: a cellular automata model. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 2002, 316(1/4):601-614.
- [26] KERMACK W O, MCKENDRICK A G. Contributions to the mathematical theory of epidemics-III. Further studies of the problem of endemicity. *Bulletin of Mathematical Biology*, 1991, 53(1/2):89-118.
- [27] 赵剑华, 万克文. 基于信息传播模型-SIR传染病模型的社交网络舆情传播动力学模型研究. *情报科学*, 2017, 35(12):34-38.
ZHAO Jianhua, WAN Kewen. Research on the communication dynamics model of social network public opinion based on the SIR model. *Information Science*, 2017, 35(12):34-38. (in Chinese)

- [28] CUYPERE E D, TURCK K D, WITTEVRONGEL S, et al. Markovian SIR model for opinion propagation // *Proceedings of the 2013 25th International Teletraffic Congress*. Shanghai, 2013:1-7.
- [29] 张敏, 霍朝光, 吴郁松. 时间敏感型舆情网络的ICSR传播模型构建与仿真. *图书馆学研究*, 2015(21):40-48.
ZHANG Min, HUO Chaoguang, WU Yusong. Construction and simulation research of ICSR propagation model based on time sensitive online public opinion network. *Research on Library Science*, 2015(21):40-48. (in Chinese)
- [30] 陈波, 于冷, 刘君亭, 等. 泛在媒体环境下的网络舆情传播控制模型. *系统工程理论与实践*, 2011, 31(11):2140-2150.
CHEN Bo, YU Ling, LIU Junting, et al. Dissemination and control model of internet public opinion in the ubiquitous media environments. *Systems Engineering - Theory & Practice*, 2011, 31(11):2140-2150. (in Chinese)
- [31] 林晓静, 庄亚明, 孙莉玲. 具有饱和和接触率的SEIR网络舆情传播模型研究. *情报杂志*, 2015, 34(3):150-155.
LIN Xiaojing, ZHUANG Yaming, SUN Liling. Research on network public opinions based on SEIR model with saturating incidence rate. *Journal of Intelligence*, 2015, 34(3):150-155. (in Chinese)
- [32] 陈福集, 张金华. 具有饱和和发生率的SIQR网络舆情传播模型研究. *图书馆学研究*, 2018(2):84-91.
CHEN Fuji, ZHANG Jinhua. Research on network public opinions based on SIQR model with saturated incidence rate. *Research on Library Science*, 2018(2):84-91. (in Chinese)
- [33] ZAN Y L, WU J L, LI P, et al. SICR rumor spreading model in complex networks: counterattack and self-resistance. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 2014, 405:159-170.
- [34] XIA L L, JIANG G P, SONG B, et al. Rumor spreading model considering hesitating mechanism in complex social networks. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 2015, 437:295-303.
- [35] HILL A L, RAND D G, NOWAK M A, et al. Infectious disease modeling of social contagion in networks. *PLOS Computational Biology*, 2010, 6(11):1-15.
- [36] NEKOVEE M, MORENO Y, BIANCONI G, et al. Theory of rumor spreading in complex social networks. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 2007, 374(1):457-470.
- [37] ZHAO L J, QIU X Y, WANG X L, et al. Rumor spreading model considering forgetting and remembering mechanisms in inhomogeneous networks. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 2013, 392(4):987-994.
- [38] 刘泉, 荣莉莉, 于凯. 考虑多层邻居节点影响的微博网络舆论演化模型. *系统工程学报*, 2017, 32(6):721-731.
LIU Quan, RONG Lili, YU Kai. Public opinion model of micro-blog network with influence of multi-layered neighbor nodes considered. *Journal of Systems Engineering*, 2017, 32(6):721-731. (in Chinese)
- [39] 王金龙, 刘方爱, 朱振方. 一种基于用户相对权重的在线社交网络信息传播模型. *物理学报*, 2015, 64(5):050501-1-050501-11.
WANG Jinlong, LIU Fang'ai, ZHU Zhenfang. An information spreading model based on relative weight in social network. *Acta Physica Sinica*, 2015, 64(5):050501-1-050501-11. (in Chinese)
- [40] 王辉, 韩江洪, 邓林, 等. 基于移动社交网络的谣言传播动力学研究. *物理学报*, 2013, 62(11):110505-1-110505-12.
WANG Hui, HAN Jianghong, DENG Lin, et al. Dynamics of rumor spreading in mobile social networks. *Acta Physica Sinica*, 2013, 62(11):110505-1-110505-12. (in Chinese)
- [41] 金晓玲, 冯慧慧, 周中允. 微信朋友圈中健康信息传播行为研究. *管理科学*, 2017, 30(1):73-82.
JIN Xiaoling, FENG Huihui, ZHOU Zhongyun. An empirical study on healthcare information diffusion behavior in wechat moments. *Journal of Management Science*, 2017, 30(1):73-82. (in Chinese)
- [42] SHU K, WANG S H, TANG J L, et al. User identify linkage across online social networks: a review. *ACM SIGKDD Explorations Newsletter*, 2017, 18(2):5-17.
- [43] GRANELL C, GÓMEZ S, ARENAS A. Competing spreading processes on multiplex networks: awareness and epidemics. *Physical Review E*, 2014, 90(1):012808-1-012808-7.
- [44] ZANG H J. The effects of global awareness on the spreading of epidemics in multiplex networks. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 2018, 492:1495-1506.
- [45] KAN J Q, ZHANG H F. Effects of awareness diffusion and self-initiated awareness behavior on epidemic spreading: an approach based on multiplex networks. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 2017, 44:193-203.
- [46] 于凯, 荣莉莉, 郭文强, 等. 基于线上线下网络的舆情传播模型研究. *管理评论*, 2015, 27(8):200-212.
YU Kai, RONG Lili, GUO Wenqiang, et al. A model of public opinion dissemination on online-offline networks. *Management Review*, 2015, 27(8):200-212. (in Chinese)
- [47] 尤薇佳, 李红, 刘鲁. 突发事件Web信息传播渠道信任比较研究. *管理科学学报*, 2014, 17(2):19-33.
YOU Weijia, LI Hong, LIU Lu. Comparison of web channels for unconventional emergency events information dissemination. *Journal of Management Sciences in China*, 2014, 17(2):19-33. (in Chinese)
- [48] 洪巍, 李青, 吴林海. 考虑信息真伪的食品安全网络舆情传播仿真与管理对策研究. *系统工程理论与实践*, 2017, 37(12):3253-3269.
HONG Wei, LI Qing, WU Linhai. Food safety internet public opinion transmission simulation and management countermeasures considering information authenticity. *Systems Engineering - Theory & Practice*, 2017, 37(12):3253-3269. (in Chinese)
- [49] LI D D, MA J, TIAN Z H, et al. An evolutionary game for the diffusion of rumor in complex networks. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 2015, 433:51-58.
- [50] VARGO S L, MAGLIO P P, AKAKA M A. On value and value co-creation: a service systems and service logic per-

spective. *European Management Journal*, 2008, 26(3): 145-152.

[51] MCCOLL-KENNEDY J R, VARGO S L, DAGGER T S, et

al. Health care customer value cocreation practice styles. *Journal of Service Research*, 2012, 15(4): 370-389.

Research on the Enterprise Public Opinion Spreading Model and Control Strategy in Two-layer Social Networks

WANG Jiakun, WANG Xinhua

College of Economics & Management, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266500, China

Abstract: With the advent of the social media era, the formation and spreading of public opinion in social networks has brought about far-reaching effects on modern enterprise management. The current research on the spreading of public opinion mainly takes online social networks as the communication medium, and few studies have considered public opinion to propagate on both traditional offline networks and online social networks. In addition, identifying the most influential authoritative nodes in social networks to maximize the scale of information dissemination is the main idea of current information propagation control strategies, and there is relatively little research conducted on control strategies that minimize the scope of negative public opinion spreading, based on the value co-creation theory.

Based on this, this paper discusses the spreading laws and control strategies of public opinion on two-layer social networks. Considering the dependence of human online and offline activities, using the complex network theory and the method of spreading dynamics, the public opinion spreading model on two-layer social networks is constructed, and the spreading model is discussed through numerical simulation. And the simulation results are compared with the single-layer social networks. Then, the control strategies of two types of enterprise public opinion spreading are proposed based on the value co-creation, and the effectiveness of the control strategies are verified by simulation experiments.

The results show that: In a two-layer social networks, the spreading of public opinion has the characteristics of both online and offline networks. And the coupling connection model between two layers of social networks has significant impact on the process of public opinion spreading. The assortative link is most conducive to the spreading of public opinion, and the disassortative link is the most unfavorable to the propagation of public opinion. The two types of control strategies of enterprise have phased effects on the suppression of public opinion spreading. That is, the two types of control strategies have the largest marginal utility in the early stage of public opinion transmission, and in the later stage of the dissemination, the marginal utility of control strategies approaches zero, and the expected effect cannot be achieved.

In the process of online public opinion management, modern enterprises not only use positive emotions to establish corporate image, but they also should always pay attention to the negative impact of negative public opinion on the development of enterprise. In order to effectively avoid the losses caused by public opinion spreading, enterprises can reduce the propagation of public opinion by investing resources in social network, such as advertising and economic compensation, as well as to pay attention to control strategies and time points for implementation control time. The research in this paper provides an important basis for enterprises to correctly deal with network public opinion and maintain competitive advantage.

Keywords: public opinion; social networks; spreading dynamics; value co-creation theory; control strategy

Received Date: July 4th, 2018 **Accepted Date:** November 17th, 2018

Funded Project: Supported by the National Natural Science Foundation of China (51574157) and the Graduate Science and Technology Innovation Project of the Shandong University of Science and Technology (SDKDYC180228)

Biography: WANG Jiakun is a Ph. D candidate in the College of Economics & Management at Shandong University of Science and Technology. His research interest focuses on complex networks and public opinion propagation. E-mail: shandongwj@163.com

WANG Xinhua, doctor in engineering, is a professor in the College of Economics & Management at Shandong University of Science and Technology. His research interest focuses on systematic evaluation theory and technology. His representative paper titled "Multiparty evolutionary game model in coal mine safety management and its application" was published in the *Complexity* (Issue 3, 2018). E-mail: wangxinhua201@163.com □