doi:10.3772/j.issn.2095-915x.2020.01.006

开放科学
（资源服务）
标识码
（OSID）

网络舆情线上线下协同演化的系统动力学分析

姚翠友 崔亚群 张时雨

首都经济贸易大学管理工程学院 北京 100070

摘要：引入舆情演化的线下影响因素，探讨在线上、线下因素协同作用下网络舆情的演化趋势。通过探究网民、媒体和政府在线上、线下的活动表现，建立影响网络舆情热度的系统动力学模型，应用案例“天津滨海新区爆炸事件”进行了验证。在此基础上，对政府的线下活动和线上表现进行分析，结果显示减少政府响应时间、增大发声频率、增加信息公开程度和增加线下活动力度，能够提高政府对网络舆情的疏导力度，从而降低网络舆情热度。

关键词：网络舆情；线上线下；协同演化；系统动力学

中图分类号：G250

System Dynamic Analysis on Collaborative Evolution of Public Opinion for Online and Offline

YAO Cuiyou CUI Yaqun ZHANG Shiyu

School of Management and Engineering, Capital University of Economics and Business, Beijing 100070, China

Abstract: This paper introduces the offline influencing factors of public opinion evolution and discusses the evolution trend of online public opinion under the synergistic effect of online and offline factors. By exploring the online and offline activities of netizens, media and government, the system dynamics model of the popularity of online public opinion is established. The simulation experiment of explosion event of Tianjin Binhai New Area proves the validity of the model. Then, the paper explores the offline activities and the online performance of the government and reveals that by decreasing the government response time, increasing the voice frequency, increasing the degree of information disclosure, and increasing the strength of offline activities the government can strengthen the administration of network public opinion guidance and reduce the heat of the network public opinion.

Keywords: Online public opinion; online and offline; synergy; system dynamics

基金项目：国家社科基金重点项目“移动社交网络舆情线上线下相互作用机理及引导机制研究”（15AGL001）。

作者简介：姚翠友（1972-），博士，教授，研究方向：计算机仿真、社会网络分析，E-mail：ycy@cueb.edu.cn；崔亚群（1992-），硕士研究生，研究方向：计算机仿真、舆情分析；张时雨（1995-），硕士研究生，研究方向：数据挖掘、社会网络分析。

doi:10.3772/j.issn.2095-915x.2020.01.006

引言

社会事件往往具有爆发性、公共性、破坏性等特点，能够引起群众意见、态度、情绪的大量产生和快速传播[1]，加大了政府部门对网络舆情监管工作的难度。全面把握影响网络舆情演化因素，对于政府提高网络舆情监督和引导效率有着重要意义。国内外学者对网络舆情的研究主要集中在舆情演化和舆情管控两个方面[2]。其中，国外学者侧重于对舆情演化过程研究，并建立了一系列数学模型[3]，如基于观点变化的 Ising 模型[4-5]、Sznajd 模型[6-7]、HK 模型[8]、Deffuant 模型[9]、传染病模型[10-12]等；基于空间结构的元胞自动机模型[13-14]、无标度网络模型[15-16]、小世界网络模型[17-18]等。国内学者多基于这些经典模型，探究我国独特环境下舆情演化和管控机制。邓青等[19]认为网络舆情的演化是舆情传播参与者彼此影响并进行观点改变的过程，通过研究参与个体之间的相互作用，得到网络舆情的演化趋势。哈达等[20]在研究舆情传播参与者相互作用的基础上，考虑研究对象的参与状态，将参与者分为“参与传播”和“不参与传播”两种状态，基于“传染病模型”构建了参与者动态变化的舆情传播模型。高歌等[21]对网络舆情热度的影响因素进行了系统动力学分析，引入“角色”的概念，将舆情演化参与者分为网民、媒体和政府三类角色，基于拥有不同属性的角色在舆情产生和传播过程中会发出不同行为，构建了网络舆情演化模型。以上学者对舆情传播主体、传播过程等方面作了深入研究，对网络舆情演化机制进行了形象刻画，但其分析仅是针对舆情传播参与者在网络中的表现，没有考虑到参与者作为“社会人”，在线下同样会产生影响网络舆情传播活动。有少部分学者考虑到了线下因素会对网络舆情产生影响。王琳琳[22]在对网民、网络媒体、政府三类角色进行行为分析的基础上，引入“传统媒体”的角色，将媒体在线下传播活动引入到舆情演化影响因素中。李丹丹等[23]将社会网络分为线上社交网络和线下物理网络，通过建立双层网络舆情传播者的变化规则，得到了线上网络和线下网络传播者的传播率同网络舆情传播过程之间的关系。沈乾等[24]考虑到媒体的传播性，首次提出将舆情演化模型分为“媒体层 - 线上层 - 线下层”三层，探讨了线上层、线下层和媒体层在舆情演化过程中的角色和作用。以上研究比较重视媒体在线下的作用效果，对于政府、网民等其他参与角色的线下活动对舆情演化过程所产生影响的研究还需要深入。

网络舆情在演化过程中不仅受到网民、媒体、政府等用户基于互联网的线上因素的作用，还会受到如传统媒体播报、政府召开发布会、群众口口相传等线下行为的影响。线下因素的作用效果不是孤立的，而是会对线上因素进一步产生影响，从而对网络舆情的演化产生作用。本文在已有研究成果的基础上，对影响网络舆情演化的线上线下因素进行分析，探索舆情参与主体的线上、线下行为同舆情演化过程的关系，建立了舆情演化的线上线下协同作用模型。在此基础上，分析了政府线上线下活动效果对网络舆情热度的影响，探索了政府改进舆情监管工作的有效途径。系统动力学能够建立复杂系统内部之间的逻辑关系[25]，实现多种主体线上线下

协同行为的刻画，本文应用系统动力学对网络舆情演化过程进行模型构建和研究。

1 模型构建

网络舆情热度即社会事件爆发后所引起网络舆情的高涨程度[26]，是对群众所产生的线上情感、意见、态度总和的量化反映。因此，本文选取网络舆情热度作为网络舆情大小的评价指标。设定网络舆情热度的取值区间为[0,1]，数值越大，表示舆情热度越高，其具体取值由网络舆情传播者的传播活动所决定。网络舆情传播者按角色属性的不同分为网民、媒体、政府三类，分别产生网民作用力、媒体作用力、政府疏导力，推动网络舆情的演化。此外，事件自身的影响力也将对网络舆情产生影响。

1.1 影响因素分析

1.1.1 事件影响力

社会事件自身的敏感性、破坏性会刺激社会群众发生反应，进而产生网络舆情。因此，事件影响力是影响舆情热度的一个重要因素，通过引起网民关注进而刺激网民产生线上和线下反应，促进网络舆情演化，并间接对政府和媒体线上线下活动产生影响。随着时间推移，事件得到相关部门处理，事件影响力将会逐渐减小。通过对事件性质的分析，本文取定事件敏感度和事件破坏力共同构成事件影响力，具体影响因素参见表 1。

表 1 事件影响力影响因素

参数名称	含义	值域
事件敏感度	事件对执政党的负面影响程度或对社会观点产生的影响程度。	[0,10]
事件破坏力	事件对社会中有形或者无形的事物所造成的破坏程度和影响范围。	{0,1,2,3,4}

1.1.2 网民作用力

社会事件发生后，其影响力会引起民众在线上和线下的关注和讨论[27]。在线上，网民对事件关注度的增加会提高网民对相关网络文章的阅读量和发言量。在线下，网民关注度的增加会促使网民产生更多的线下行为，包括投诉、请愿、庆演、聚会、游行等。网民线上和线下参与度的增加会导致网络舆情热度的增加，进而对网民关注度产生正反馈，进一步促进网民产生线上线下的行为活动。选取网民浏览量和网民发言量作为衡量网民线上参与度的因素，同网民影响力共同决定网民线上作用力的大小；网民的线下作用力大小由网民对事件的关注度决定。具体影响因素参见表 2。

表 2 网民作用力影响因素

参数名称	含义	值域
网民数量	网民注册用户人数。	非负整数
网民受众量	网民人均传播信息的接受者人数。	非负整数
博文点击量	网民在单位时间（天）内的人均博文阅读条数。	非负整数
博文回应率	网民对所阅读博文的转发/评论/回复的概率。	[0,1]
博文沉寂率	单位时间（天）内因内容失效或不存在趣味性而不再被其他网民阅读的博文条数占当前博文条数的比率。	[0,1]
网民线下活动	网民线下活动（投诉、请愿、庆演、聚会、游行等）所产生的影响力。	[0,10]

doi:10.3772/j.issn.2095-915x.2020.01.006

1.1.3 媒体作用力

网民对事件关注度的增加会促使媒体提高对事件相关内容的报道频率，从而促进媒体在线上、线下报道量的增加，继而引起网络舆情热度的增加。本文选取影响网络舆情热度的媒体作用因素有媒体（包括线上网络媒体和线下传统媒体）的播报量和媒体自身的影响力。其中，网络媒体是指基于互联网传输平台传播新闻、信息的传播媒介，包括网络新闻网站、时事论坛、博客、BBS 及网络社区等；传统媒体又被称作平面媒体，指基于非互联网的传统途径进行新闻传播的媒介，主要包括报刊、广播、电视等三种媒体。具体影响因素参见表 3。

表 3 媒体作用力相关影响因素

参数名称	含义	值域
网媒数量	网络媒体的个数。	非负整数
传媒数量	传统媒体的个数。	非负整数
网媒受众量	网媒传播信息的接受者人数。	非负整数
传媒受众量	传媒传播信息的接受者人数。	非负整数
网媒报道频率	网媒单位时间（天）的报道条数。	非负数
传媒报道频率	传媒单位时间（天）的报道条数。	非负数
线上报道沉寂率	单位时间（天）内因内容失效或不存在趣味性而不再被网民阅读的网媒报道条数占当前网媒报道条数的比率。	[0,1]
线下报道沉寂率	单位时间（天）内因内容失效或不存在趣味性而不再被网民阅读的传媒报道条数当前传媒报道条数的比率。	[0,1]

1.1.4 政府疏导力

政府对网络舆情的作用力体现在对舆情的疏导上，网民对事件关注度的增加会引起政府的重视。政府通过线上新闻发布、举办线下活动进行信息公开，从而解答民众对事件的疑惑，减小民众对事件的关注度，降低民众对事件的关注热度。影响政府疏导力的因素有线上网络新闻的发布量、新闻报道质量、政府的线上影响力、响应时间和线下的政府活动效果。其中，政府报道质量受到政府工作能力的影响，具体包括政府对事件的调查能力、对涉事人员的问责奖惩能力以及政府信息公开程度。具体影响因素参见表 4。

表 4 政府疏导力相关影响因素

参数名称	含义	值域
政府用户数量	政府线上注册用户的个数。	非负整数
政府用户受众量	政府用户传播信息的接受者人数。	非负整数
新闻发布频率	政府用户单位时间（天）内的线上新闻报道条数。	非负数
新闻沉寂率	单位时间（天）内因内容失效或不存在趣味性而不再被网民阅读的政府报道条数占当前政府新闻报道条数的比率。	[0,1]
政府响应时间	自事件发生到政府初次向大众进行信息公开的时间长度（天）。	非负数
政府应急响应时间	自事件发生到政府初次对事件做出反应的时间长度（天）。	非负数
信息公开程度	政府通过互联网向民众公开事件相关信息的数量占政府所拥有的事件相关信息数量的比例。	[0,1]
政府线下活动	政府线下行为（举行新闻发布会等）所产生的影响力。	[0,10]

1.2 因果关系图构建

网络舆情演化的因果关系如图 1 所示，按照舆情传播主体分为网民、媒体和政府三个子系统。

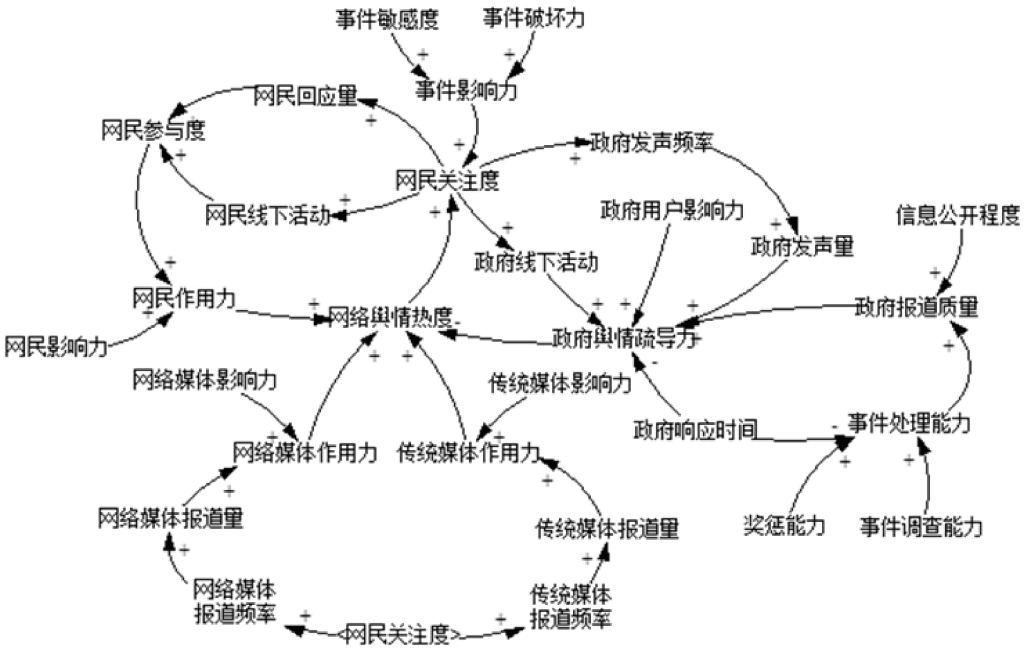


图 1 舆情演化因果关系图

1.3 存量流量图构建

以舆情演化的因果关系为基础，构建舆情演化的存量流量图，参见图 2。

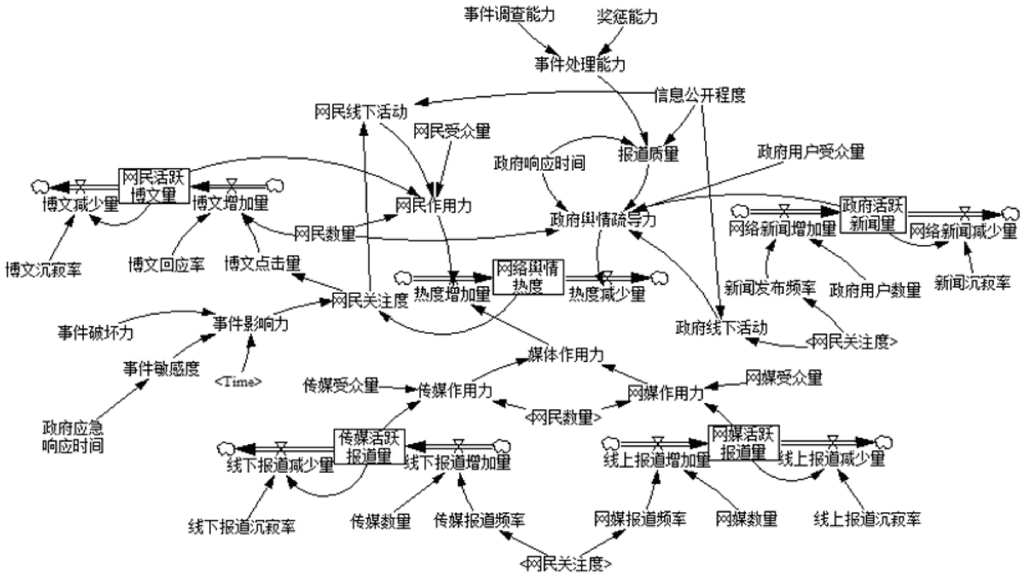


图 2 舆情演化存量流量图

doi:10.3772/j.issn.2095-915x.2020.01.006

网络舆情热度由网民作用力、媒体作用力和政府疏导力共同决定。本文中网络舆情热度通过如下表达式进行计算：

网络舆情热度 =INTEG(0.494* 网民作用力 +0.187* 媒体作用力 -0.319* 政府舆情疏导力 ,0)

（1）网民子系统

网民作用力由网民线上作用力和线下活动效果共同决定。网民线上作用力同网民发布的博文量和网民受众率之间具有一定的关系，具体如下：

网民作用力 =0.56*(网民活跃博文量 * 网民受众量 / 网民数量 *0.109)+0.44* 网民线下活动

由于网络能够在一定程度上减弱信息传播的时空限制，增大信息传输效果，因此设定线上、线下用户行为以不同的作用效果构成网民作用力。

事件影响力和当前事件网络舆情热度的大小共同决定网民对事件关注度的大小，继而影响网民的点击率和评论转发量，具体如下：

（a）网民关注度 =SMOOTHI((1+ 网络舆情热度)* 事件影响力 , 网民接收信息延迟时间 ,0)

（b）博文点击频率 =72.694*LN(网民关注度 +1)

（c）博文增加量 =INTEGER(网民数量 * 博文点击频率 * 博文回应率)

网民活跃博文量将以一定比率沉寂，当网民发文率大于沉寂率时，网民活跃博文量增多，舆情热度增加；当网民发文率小于沉寂率时，网民活跃博文量减少，舆情热度降低，具体如下：

（a）博文减少量 =INTEGER(网民活跃博文量 * 博文沉寂率)

（b）网民活跃博文量 =INTEG(博文增加量 - 博文减少量 ,0)

（c）网民线下活动 =DELAY1I(10*(1-EXP(-(1- 信息公开程度)* 网民关注度)), 线下活动反应延迟时间 ,0)

事件影响力的大小同事件敏感度和破坏力呈正相关关系，并随着时间的推移有所减弱，具体如下：

（a）事件影响力 =SQRT(事件敏感度 * 事件破坏力)/10*EXP(-Time)

（b）事件敏感度 =10*EXP(- 政府应急响应时间 /3)

（2）媒体子系统

媒体作用力由网络媒体和线下媒体的作用力共同构成，变量间的数值关系具体为：

媒体作用力 =0.44*(传媒活跃报道量 * 传媒受众量 / 网民数量 *0.109)+0.56*(网媒活跃报道量 * 网媒受众量 / 网民数量 *0.109)

媒体的报道频率受网民关注度的影响，当网民关注度增大时，网媒和传媒的报道频率也会增大。媒体在接收信息时具有时间延迟性，具体关系如下：

（a）媒体报道频率 =SMOOTHI(媒体单位时间平均发布量 * 网民关注度 , 媒体信息延迟时间 ,0)

（b）报道增加量 =INTEGER(媒体数量 * 报道频率)

（c）报道减少量 =INTEGER(活跃报道量 * 报道沉寂率)

（d）活跃报道量 =INTEG(报道增加量 - 报道减少量 ,0)

（3）政府子系统

政府通过线上线下活动进行信息公开和舆情疏导之前，需要对事件进行调查处理，因此政府对事件的响应具有一定的延迟。政府的响应时间、事件处理能力、信息公开程度以及线上、线下的活动效果都将影响政府对于舆情的疏导力度，各变量之间的关系，具体如下：

（a）政府舆情疏导力 =DELAY1I((0.56*(政府活跃新闻量 * 政府用户受众量 / 网民数量 * 报道质量 *0.109)+0.44* 政府线下活动), 政府响应时间 ,0)

（b）报道质量 =SQRT(事件处理能力 * 信息公开程度)/ 政府响应时间

（c）事件处理能力 =0.65* 事件调查能力 +0.35* 奖惩能力

（d）新闻发布频率 =SMOOTHI(政府单位时间平均发布量 * 网民关注度 , 政府信息延迟时间 ,0)

（e）网络新闻增加量 =INTEGER(政府用户数量 * 新闻发布频率)

（f）网络新闻减少量 =INTEGER(政府活跃新闻量 * 新闻沉寂率)

（g）政府活跃新闻量 =INTEG(网络新闻增加量 - 网络新闻减少量 ,0)

（h）政府线下活动 =DELAY-1I(10*(1-EXP(- 信息公开程度 * 网民关注度)), 线下活动反应延迟时间 ,0)

2 实证研究

据《2015 年微博热门话题盘点报告》，“8·12 天津滨海新区爆炸事故”微博话题阅读数超过 13 亿，位列 2015 年微博社会新闻类热门话题阅读榜首。该事件不但在发生时引起了大量的网络舆情，网民、媒体和政府通过线上、线下对话题的参与活动亦堪称典型 [28]。因事件对天津市民的日常生活受到影响，网民的线上线下活跃度都较高；政府对该事件的关注度也比较高，仅爆炸发生后的 10 天内就举行多达 13 次新闻发布会。因此，本文选取该事件为典型案例，对模型进行实证研究。新浪微博作为重要的线上交流平台，线上用户访问量众多，是线上社交平台的重要代表，且相关数据易于获取 [29]。因此，本文将新浪微博作为线上数据的获取来源。

2.1 参数设定

天津爆炸事件发生于 12 日晚 23:30 左右，本文选定 8 月 12 日作为模型的 0 时，模型以“天”为单位。相关参数设定如表 5 所示。

2.2 模型测试

本文通过真实性测试和敏感性测试两种方法，对模型的有效性进行检验。

2.2.1 真实性测试

本文主要揭示网络舆情线上线下的协同演化机理，关注网络舆情热度的走向。“百度搜索指数”能够反映某时间段内百度平台关于事件的搜索趋势，侧面体现某事件的网络舆情热度。本文选取“舆情热度”为测试对象，将模拟结果与百度舆情搜索指数进行趋势比较。

由图 3 可以看出，在很短的时间内，网络舆情热度急剧上升，到达一个峰值后，开始缓慢下降直至一个稳定值。将网络舆情热度趋势模拟结果（图 3）与“百度搜索指数”趋势图（图

doi:10.3772/j.issn.2095-915x.2020.01.006

4）进行比较，可验证本文模型模拟现实数据趋势具有可靠性。

表 5 天津爆炸事件相关参数设定

名称（单位）	取值	名称（单位）	取值
网民数量（人）	1.39*10^8	传媒信息延迟时间（天）	0.5
传媒数量（个）	4483	网媒信息延迟时间（天）	0.2
网媒数量（个）	3.4*10^5	政府信息延迟时间（天）	0.1
政府用户数量（个）	2.77*10^5	政府应急响应时间（天）	0.1
网民受众量（人）	450	政府响应时间（天）	3
网媒受众量（人）	10000	博文沉寂率（Dmnl）	0.4
传媒受众量（人）	105000	线下报道沉寂率（Dmnl）	0.25
政府用户受众量（人）	100000	线上报道沉寂率（Dmnl）	0.373
博文回应率（条/次）	0.00035	新闻沉寂率（Dmnl）	0.35
传媒单位时间平均发布量（条/天）	0.4	事件调查能力（Dmnl）	7
网媒单位时间平均发布量（条/天）	0.9	奖惩能力（Dmnl）	8
政府单位时间平均发布量（条/天）	0.3	信息公开程度（Dmnl）	0.43
网民接收信息延迟时间（天）	0.2	事件破坏力（Dmnl）	3

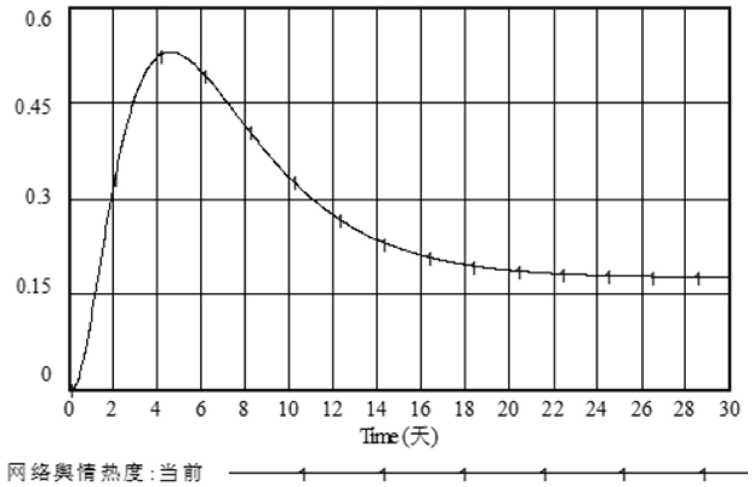


图 3 网络舆情热度趋势图

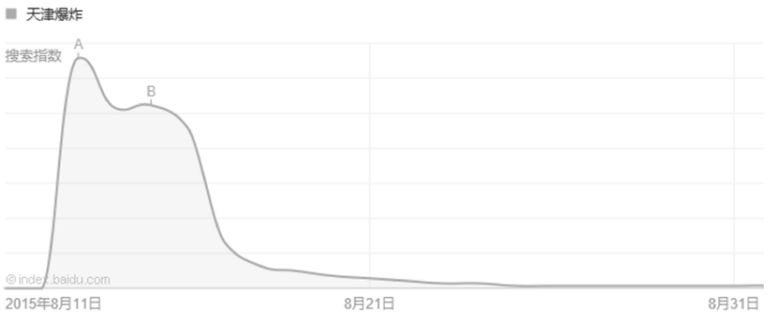
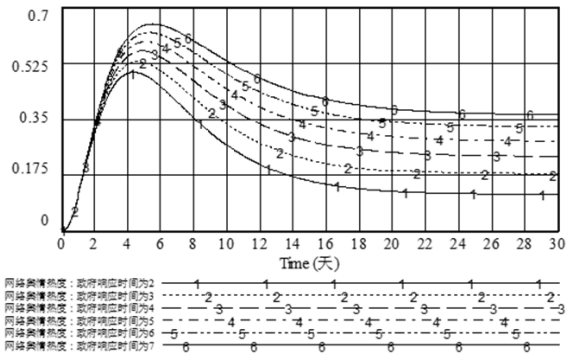


图 4 天津爆炸事件百度搜索指数①

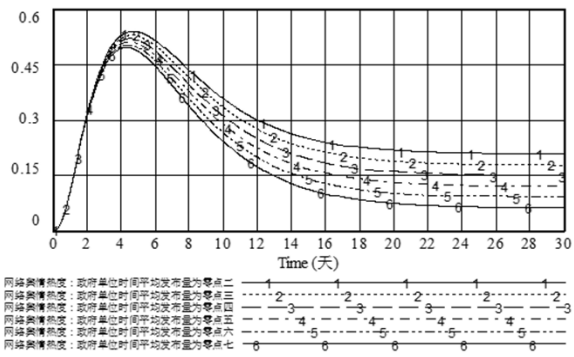
① 数据来自 http://index.baidu.com/

2.2.2 敏感性测试

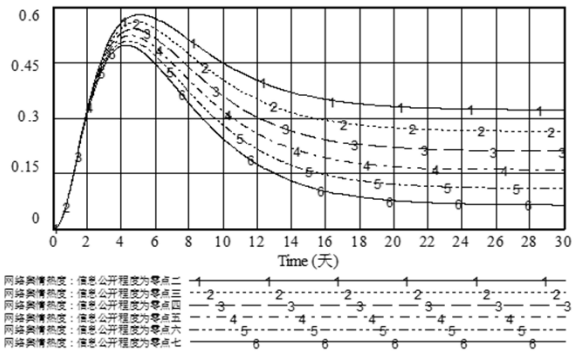
分别令政府响应时间取 {2,3,4,5,6,7}、政府单位时间平均发布量取 {0.2,0.3,0.4,0.5,0.6,0.7}、信息公开程度取 {0.2,0.3,0.4,0.5,0.6,0.7}、政府线下活动取 {2,3,4,5,6,7}，对模型的敏感性进行测试。测试结果如图 5 所示。



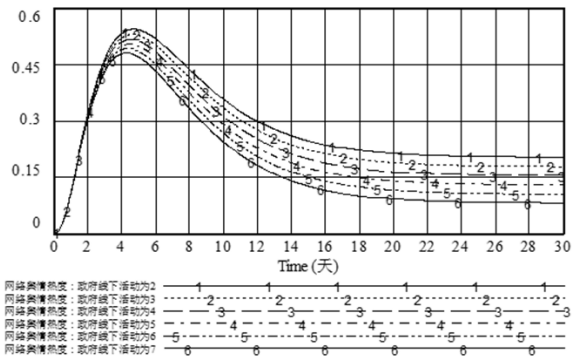
（1）政府响应时间测试



（2）新闻发布频率测试



（3）信息公开程度测试



（4）政府线下活动测试

图 5 敏感性测试结果

由模型敏感性测试结果（图 5）可以看出，通过改变政府响应时间、新闻发布频率、信息公开程度、政府线下活动等四个关键变量的取值，网络舆情热度曲线存在位置的移动，但是整体演化趋势相一致。这说明关键变量在其值域范围内具有较好的敏感性，关键变量能够对模型起到重要影响作用。

2.3 仿真结果及分析

本文模拟了网络舆情热度以及网民、媒体和政府三类主体作用力随时间变化的趋势，如图 6 所示。

从图 6 可以看出，网络舆情热度、网民作用力、媒体作用力和政府舆情疏导力的变化趋势大致相同，都是在短时间内快速增加，到峰值之后开始缓慢降低并趋于稳定。网络舆情的演化趋势符合社会事件的特点，事件发生后较短时间内，事件的破坏性和敏感性较强，能够引起网民强烈的反应，从而爆发网络舆论。经过一段时间，政府对事件有了初步的调查结果，公开相关信息，消除民众的好奇和质疑。随着时间推移，政府对事件

doi:10.3772/j.issn.2095-915x.2020.01.006

得到恰当处理，并对相关信息充分披露，事件影响力逐渐减弱，网民对事件的关注度逐渐降低。当政府的舆情疏导力度大于网民和媒体对舆情产生的作用力度之和时，网络舆情从上升趋势转变为下降趋势，并逐渐稳定于某一数值。

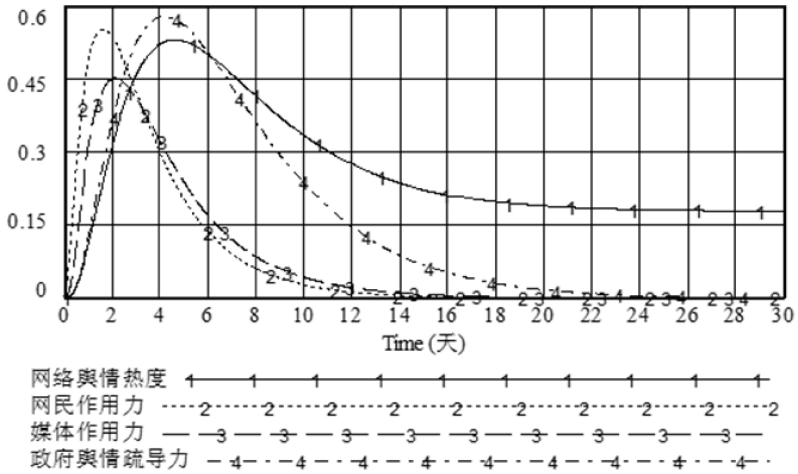


图 6 网络舆情热度及其作用力变化趋势图

对政府响应时间、新闻发布频率、信息公开程度和线下活动等参数分别进行调整，探求政府的工作改进机制。分别将政府响应时间缩短为 2.5、政府单位时间平均发布量增加到 0.45、信息公开程度增加到 0.55、政府线下活动增加为原来的 1.2 倍，得到舆情热度变化趋势和政府疏导力变化趋势，分别如图 7、图 8 所示。

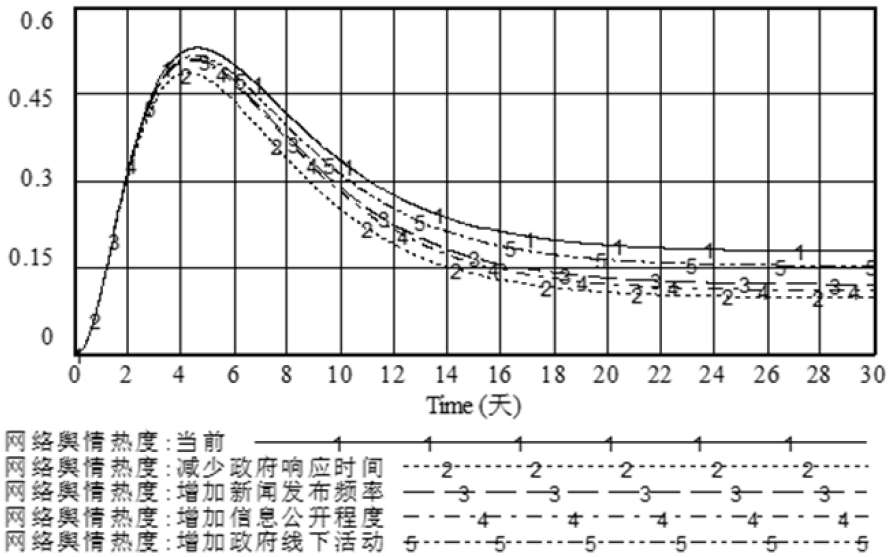


图 7 改进政府参数后的网络舆情热度趋势图

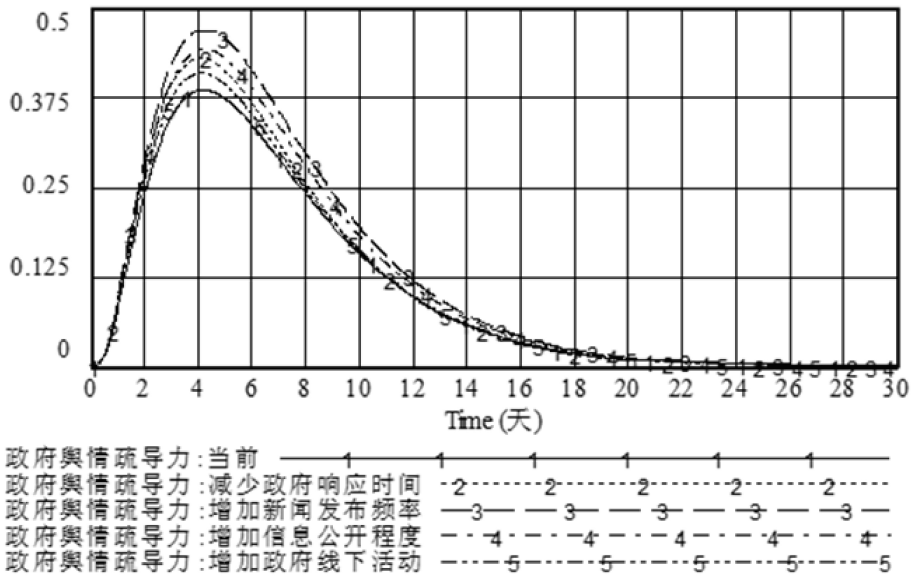


图 **8** 改进政府参数后的政府疏导力趋势图

分别对政府工作改进前后的舆情热度演变趋势（图 7）和政府舆情疏导力大小趋势（图 8）进行对比。可以得出，减少政府响应时间、增加新闻发布频率、增加信息公开程度和增加政府线下活动都将增加政府对网络舆情的疏导作用力度，从而减少网络舆情热度。因此，政府可以通过增加信息发布质量和发布速度来降低网络舆情热度，避免网络舆情秩序的混乱。

3 结论

本文以网络舆情的线上、线下协同演化过程为研究对象，通过研究舆情热度同网民、媒体和政府之间的影响和作用关系，建立了包含网民子系统、媒体子系统和政府子系统的因果关系图。基于所建立的因果关系图，在参考相关文献的基础上，对实际案例进行分析，建立了舆情热度同影响因素之间的变量关系式，得到舆情热度的存量流量图。通过对“天津滨海新区爆炸事故”进行实证分析，证实了模型的有效性。最后，对政府子系统的相关参数进行调整，得出了政府可以通过提高线上响应速度、发声频率、信息公开程度以及增加线下活动的方式，有效提高政府对网络舆情的疏导力度，避免网络舆论危机的产生。

参考文献

[1] 刘波维，曾润喜．网络舆情研究视角分析 [J]. 情报杂志，2017(2): 91-96.

[2] 陈波，于泠，刘君亭，等．泛在媒体环境下的网络舆情传播控制模型 [J]. 系统工程理论与实践，2011, 31(11): 2140-2150.

[3] 尚明生，邱晓刚．社会网络及其上的传播动力学集成研究 [J]. 系统工程理论与实践，2015, 35(10): 2557-2563.

[4] Afrasiabi M H, Guerin R, Venkatesh S S. Opinion formation in Ising networks[C]. 2013 Information Theory and Applications Workshop, ITA 2013 - Conference Proceedings. 2013:1-10.

[5] Grabowski A, Kosi ń ski R A. Ising-based model

doi:10.3772/j.issn.2095-915x.2020.01.006

of opinion formation in a complex network of interpersonal interactions[J]. Physica A Statistical Mechanics & Its Applications, 2006, 361(2):651-664.

[6] Sznajd Weron K, Sznajd J. Opinion Evolution in Closed Community[J]. International Journal of Modern Physics C, 2000, 11(6): 1157-1165.

[7] Elgazzar A S. Application of the Sznajd Sociophysics Model to Small-WorldNetworks[J]. International Journal of Modern Physics C, 2001, 12(10): 1537-1544.

[8] Hegselmann R, Krause U. Opinion Dynamics and Bounded Confidence Models, Analysis and Simulation[J]. Journal of Artificial Societies & Social Simulation, 2002, 5(3): 2.

[9] Deffuant G, Neau D, Amblard F. Mixing beliefs among interacting agents[J]. Advances in Complex Systems, 2000(3): 87-98.

[10] Sudbury A. The Proportion of the Population Never Hearing a Rumour[J]. Journal of Applied Probability, 1985, 22(2): 443-446.

[11] Leskovec J, Mcglohon M, Faloutsos C, et al. Patterns of Cascading Behavior in Large Blog Graphs[C]. Proc of the Siam International Conference on Data Mining, New York. ACM Press, 2007: 551-556.

[12] Gruhl D, Guha R, Liben-Nowell D, et al. Information diffusion through blogspace[C]. Proc of the 13th International Conference on World Wide Web, New York. ACM Press, 2004: 491-501.

[13] Schulze C. Sznajd opinion dynamics with global and local neighborhood[J]. International Journal of Modern Physics C, 2004, 15(6): 1079-1106.

[14] Sznajd-Weron K. Sznajd model and its applications[J]. Acta Physica Polonica, 2005, 36(8): 2537-2547.

[15] Gandica Y, Castillo-Mussot M D, Vázquez G J, et al. Continuous opinion model in small-world directed networks[J]. Physica A Statistical Mechanics & Its Applications, 2012, 389(24): 5864-5870.

[16] Fortunato S. Damage spreading and opinion dynamics on scale-free networks[J]. Physica A Statistical Mechanics & Its Applications, 2004, 348: 683-690.

[17] Newman M E, Watts D J. Scaling and percolation in the small-world network model[J]. Physical Review E Statistical Physics Plasmas Fluids & Related Interdisciplinary Topics, 1999, 60(6): 7332-7342.

[18] Gandica Y, Castillo-Mussot M D, Vázquez G J, et al. Continuous opinion model in small-world directed networks[J]. Physica A Statistical Mechanics & Its Applications, 2012, 389(24): 5864-5870.

[19] 邓青 , 刘艺 , 马亚萍 , 等 . 基于元胞自动机的网络信息传播和舆情干预机制研究 [J]. 管理评论 , 2016(8): 106-114.

[20] 哈达 , 吴强 . 基于传染病模型的舆情传播预测研究 [J]. 指挥与控制学报 , 2017(1): 57-60.

[21] 高歌 , 张艺炜 , 丁宇 , 等 . 基于系统动力学的网络舆情演进机理及影响力研究 [J]. 情报理论与实践 , 2016, 39(12): 39-45.

[22] 王琳琳 . 基于系统动力学的突发公共事件网络舆情传播与政府应对研究 [D]. 上海 : 华东师范大学 , 2016.

[23] 李丹丹 , 马静 . 双层社会网络上的舆情传播动力学分析 [J]. 系统工程理论与实践 , 2017, 37(10): 2672-2679.

[24] 沈乾 , 刘怡君 . 多层同步网络在舆情仿真研究中的应用 [J]. 系统工程理论与实践 , 2017, 37(1): 182-190.

[25] 余乐安 , 李玲 , 武佳倩 , 等 . 基于系统动力学的危化品水污染突发事件中网络舆情危机应急策略研究 [J]. 系统工程理论与实践 , 2015, 35(10): 2687-2697.

[26] 张一文 , 齐佳音 , 方滨兴 , 等 . 非常规突发事件网络舆情热度评价指标体系构建 [J]. 情报杂志 , 2010, 29(11): 71-75.

[27] 宋彪 , 朱建明 , 黄启发 . 基于群集动力学和演化博弈论的网络舆情疏导模型 [J]. 系统工程理论与实践 , 2014, 34(11): 2984-2994.

[28] 丁晓蔚 , 高淑萍 . 大数据与重大公共危机事件舆情研判——基于对天津港爆炸事件相关舆情信息的分析 [J]. 中国出版 , 2016(22): 26-30.

[29] 黄远 , 沈乾 , 刘怡君 . 微博舆论场 : 突发事件舆情演化分析的新视角 [J]. 系统工程理论与实践 , 2015, 35(10): 2564-2572.