

罗福周, 巨绍炜, 王腊银. 重大疫情衍生社会恐慌链式灾害应急策略研究——基于 COVID-19 疫情的 SD 分析[J]. 灾害学, 2021, 36(1): 183–191. [LUO Fuzhou, JU Shaowei and WANG Layin. Emergency Strategy Analysis for Chain Disaster of Major Epidemic – derived Social Panic——A SD Experimentation Based on “COVID-19” Outbreak[J]. Journal of Catastrophology, 2021, 36(1): 183 – 191. doi: 10. 3969/j. issn. 1000 – 811X. 2021. 01. 035. ]

# 重大疫情衍生社会恐慌链式灾害应急策略研究<sup>\*</sup>

## ——基于 COVID-19 疫情的 SD 分析

罗福周, 巨绍炜, 王腊银

(西安建筑科技大学 管理学院, 陕西 西安 710055)

**摘要:** 重大疫情传染的负外部性在严重损害公众健康的同时衍生社会恐慌, 这是保障人民生命安全和社会稳定的国家治理现代化背景下, 一个新风险源和应急管理难题。基于灾害链视角, 运用系统动力学(SD)方法对经典的传染病 SIR 模型进行升级与转化, 构建一个同时包含疫情动态传播及其衍生社会恐慌的链式灾害应急系统模型, 以 COVID-19 疫情为例进行模型参数估计和 MAPE 检验, 并通过数值仿真探明了应急策略。结果表明: 累计死亡病例和社会恐慌程度两个变量的 MAPE 值为 7.24% 和 24.71%, 说明模型能较为准确地刻画链式灾害演化过程, 具有较高的应用价值; 政府协同媒体及时、透明地发布疫情内容信息和政府行为信息, 并协助医疗机构扩充收治容量, 可有效实现对重大疫情衍生社会恐慌链式灾害的科学治理。

**关键词:** 重大疫情; 社会恐慌; 链式灾害; 应急策略; 系统动力学

**中图分类号:** X45; X915.5; R1; R18 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000 – 811X(2021)01 – 0183 – 09

doi: 10. 3969/j. issn. 1000 – 811X. 2021. 01. 035

重大疫情传染的负外部性在严重损害公众健康的同时衍生社会恐慌。譬如, 自新型冠状病毒肺炎(简称“新冠肺炎”“COVID-19”)<sup>[1]</sup>出现以来, 在党的集中统一领导下, 我国充分发挥中国特色社会主义制度和治理优势, 疫情防控阻击战取得重大战略成果, 维护了人民生命安全和身体健康, 为维护地区和世界公共卫生安全作出了重要贡献<sup>[2]</sup>。但由于新冠肺炎疫情具有隐匿性强、传染性强、蔓延迅速、危害面广的特点<sup>[3]</sup>, 截至北京时间 7 月 1 日 07:03, 其已累计造成全球 10 563 221 人确诊, 513 032 人死亡<sup>[4]</sup>。与此同时, 疫情期间 VIX 恐慌指数一度飙升 63%<sup>[5]</sup>, 我国群众抢购双黄连口服液<sup>[6]</sup>、英国的火烧 5G 基站<sup>[7]</sup>以及意大利民众出逃<sup>[8]</sup>等恐慌行为相继出现。因此, 为减少生命健康损失、维护社会秩序稳定, 亟需对重大疫情衍生社会恐慌的演化规律与应急策略进行研究。

在重大疫情应急防控方面, 国内外研究大多基于定量模型, SIR/SEIR 模型、Logistic 曲线、广义随机 Petri 网、复杂网络和系统动力学是几类主流建模手段: PREM 等利用包含年龄结构的改进 SEIR 模型验证了武汉市实施停课、停工和减少社区接触等保持物理距离(Physical Distancing)应急措施对 COVID-19 疫情的影响<sup>[9]</sup>; 有学者对甲型

H1N1 疫情传播进行 Logistic 曲线拟合, 据此探索防控策略<sup>[10]</sup>; 李建勇等构建重大传染病传播演化的广义随机 Petri 网模型, 为有效监控和应对疫情提供决策支持<sup>[11]</sup>; 基于复杂网络理论, 秦效宏和管玉娟建立一个甲型 H1N1 流感病毒传播小世界模型, 从接触程度、传染概率、潜伏期、个体免疫四个角度分析防控措施的有效性<sup>[12]</sup>; 系统动力学模型对 SIR/SEIR 模型进行扩充, 以将疫情病程与防控相结合, 通过情景仿真验证各种防控策略的联合作用<sup>[13]</sup>。

在重大疫情期间的恐慌研究方面, 探明恐慌成因并据此制定应对策略是基本研究逻辑: 研究发现对 COVID-19 疫情 48% 的恐慌可归因于缺乏可靠的信息<sup>[14]</sup>, 由于缺乏可靠的信息, 有关疫情的民间传闻通过口耳、手机短信、社交媒体等方式传播, 各种谣言的传播加剧了社会恐慌的蔓延<sup>[15]</sup>, 说明可靠信息的传递与沟通是应对疫情恐慌的关键措施。有学者指出风险感知强化心理恐慌<sup>[16]</sup>, 疫情风险以确诊、死亡病例数增加的直观形式进入公众感知, 使其产生对个人生命健康的担忧, 加剧恐慌情绪。此外, COVID-19 疫情期间三个主要事件可能引发了公众恐慌: ①1 月 20 日官方确

\* 收稿日期: 2020-07-01 修回日期: 2020-08-29

基金项目: 2020 年度西安建筑科技大学新型城镇化专项研究基金新冠肺炎应急研究专题(XGYJ202006)

第一作者简介: 罗福周(1963-), 男, 汉族, 陕西铜川人, 教授, 博士生导师, 主要从事产业经济与管理研究. E-mail: luofz@163.com  
通讯作者: 巨绍炜(1995-), 男, 汉族, 陕西西安人, 硕士研究生, 主要从事应急管理研究. E-mail: Jusw369@outlook.com

认 COVID-19 存在人传人<sup>[2]</sup>; ②1月 22 日对武汉实施严格的隔离<sup>[2]</sup>; ③1月 31 日世界卫生组织宣布实施 PHEIC(国际公共卫生紧急事件)<sup>[17]</sup>, 而公众恐慌程度降低的部分原因是中国政府采取了有效的预防和控制措施<sup>[18]</sup>。

总结以上, 国内外文献对重大疫情应急防控和疫情期间社会恐慌的成因及应对贡献了重要的理论依据, 从中可以发现: 重大疫情和社会恐慌之间存在一种因果型的链式关系: ①社会恐慌并非凭空产生, 而是由疫情谣言、公众的疫情风险感知和确认人传人等因素共同触发; ②由于防控措施控制了疫情发展态势, 社会恐慌也得到相应缓解。然而, 以往研究却很少注意到上述链式关系, 而是将两者割裂开来分别研究, 导致策略分析存在一定片面性, 且有悖于疫情防控和维护稳定“两手抓”<sup>[19]</sup>的政策话语。

灾害链理论为两个或多个灾种之间存在的因果链式关系提供了解释, 认为原生灾害是次生灾害的诱发因素或是必要条件。李萧薇等从危险化学品技术灾害引发公众心理变化, 从而产生社会灾害的角度, 构建了“危化品技术灾害→社会灾害”链<sup>[20]</sup>。相类似地, 重大疫情衍生的公众恐慌心理与恐慌行为(抢购、出逃和骚乱), 在对社会环境产生破坏性影响的同时, 造成严重的社会经济损失, 属于一类人为的社会灾害。并且, 社会恐慌对重大疫情原生灾害的影响与冲击具有放大效应, 符合灾害链的性质<sup>[21]</sup>。譬如, 对药品、口罩及酒精的恐慌性抢购会加剧疫情重灾区的物资紧缺程度, 降低救援效率, 加重疫情造成的生命损失; 出逃恐慌行为促使病毒承载体跨地理及社会隔离边界流动, 延伸疫情传播链。因此, 从灾害链的视角来看, 重大疫情衍生社会恐慌是一种链式灾害。

灾害链是一个复杂的反馈系统<sup>[22]</sup>, 系统动力学(System Dynamics, SD)在分析复杂反馈系统方面有很好的效果<sup>[23]</sup>, 适合剖析重大疫情衍生社会恐慌链式灾害系统的内部机制与微观结构, 并且该方法较一般的回归方法有着更强的数值仿真和预测能力, 可以更加详细地模拟出变量的变化趋势<sup>[24]</sup>, 在避免人力和物力应急资源实际试错的情况下, 实现策略的评估及优化。因此, 采用系统动力学作为本文的研究方法。

在以往研究基础之上, 本文创新性地从研究视角上, 基于灾害链视角, 将重大疫情和社会恐慌视为一个链式灾害, 探索整体性减灾思路与应对策略, 以理论研究深刻贯彻习近平总书记“从应对单一灾种向综合减灾转变”<sup>[25]</sup>的重要论述; 从研究模型上, 运用系统动力学方法对经典的传染病 SIR(易感个体 - 感染个体 - 移出个体)模型进行两处拓展与升级: 一是增加无症状感染、发病感染、境外输入感染、治愈和病死等个体细分, 使模型更加切合流行病学规律, 增强策略分析的实际性。二是对重大疫情和社会恐慌进行联合建模, 提出一个同时包含疫情动态传播及其衍生社会恐慌的链式灾害应急系统模型与一类建模新思路; 从模型仿真上, 基于多主体仿真理论, 实现政府、医疗机构、媒体和公众多元主体应急联动机制设计, 突破以往研究仅注重政府单方应急的局限。在实

证对象选择上, 以蔓延至 6 大洲、200 多个国家和地区<sup>[26]</sup>的全球性灾害——新冠肺炎(COVID-19)重大疫情为例, 进行模型参数估计与检验, 并通过数值仿真探明应急策略, 为我国重大疫情应急预案体系完善及国家治理能力提升贡献科学决策。

## 1 重大疫情衍生社会恐慌链式灾害应急系统模型

### 1.1 模型假设

为确定系统边界, 在文献研究的基础上提出如下模型假设:

假设 1: 社会恐慌由疫情谣言、公众疫情风险感知(确诊、死亡病例的函数)和确认人传人三个因素共同触发, 不考虑公众自身心理素养和人格特质对其恐慌情绪的内生性作用。

假设 2: 无症状感染者具有传染性; 发病感染者均可被检测为阳性, 成为确诊病例; 不存在疫苗接种与个体免疫屏障; 不考虑季节变化对疫情传播速率的影响。

假设 3: 相关应急主体包括政府、医疗机构、媒体和公众, 民间应急救援队伍等其他主体不予考虑。此外, 各应急主体之间沟通渠道畅通, 虽然客观存在信息延迟(模型已考虑), 但不存在信息锁闭。

### 1.2 因果链分析

因果链是灾害链的一种<sup>[27]</sup>。依据模型假设所确定的系统边界, 基于多主体仿真理论框架<sup>[28]</sup>, 梳理政府、医疗机构、媒体和公众在重大疫情衍生社会恐慌链式灾害中的应急行为关联机制, 借助 VENSIM 平台分别建立疫情演化子系统和社会恐慌子系统, 继而通过子系统内部及子系统间逻辑关系构建模型因果链(图 1)。

#### (1) 疫情演化子系统: 组块 A ∪ 组块 B

组块 A 展示一条涵盖易感者、无症状感染者、发病感染者、境外输入感染者、治愈和病死者的疫情动态传播因果链, 组块 B 描述政府和医疗机构二元主体应急行为及其对疫情传播的反馈抑制效应。

组块 A 中, 新增感染使无症状感染者及发病感染者增多, 增加了接触感染事件, 形成两条新增感染循环加剧的正反馈回路: ①感染→无症状感染者→接触感染→感染; ②感染→无症状感染者→发病→发病感染者→接触感染→感染。易感者越多, 易感率就越高, 导致接触率上升, 疫情传播速率进一步加快, 进而加剧新增感染, 形成一条易感者循环减少的负反馈回路: 易感→易感率→接触率→传播速率→感染→易感者。此外, 境外输入感染者将直接使新增感染增多。组块 B 中, 发病感染者的增加为医疗机构带来压力, 而由于医疗机构收治发病感染者对政府隔离措施起到等效替代作用, 所以政府隔离措施与医疗机构压力之间存在负相关, 政府隔离措施强度下降导致接触感染事件局部增多, 新增感染局部加剧, 最终形成一条发病感染者循环增加的正反馈回路: 发病感染者→医疗机构压力→政府隔离措施→接触感染→感染→无症状感染者→发病→发病感染者。

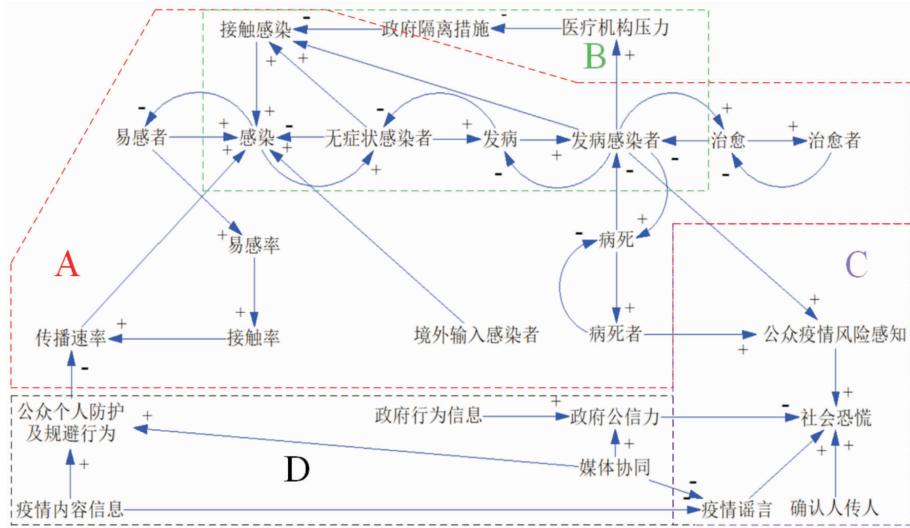


图1 模型因果链

## (2) 社会恐慌子系统: 组块 C ∪ 组块 D

组块 C 表征重大疫情对社会恐慌的衍生机理, 组块 D 反映政府、媒体和公众三元主体应急行为及其对社会恐慌的反馈调节效应。

组块 C 中, 发病感染者(确诊病例)和病死者 的增加导致公众的疫情风险感知加强, 进而触发其恐慌情绪, 确认人传人和疫情谣言同样可以触发并加剧社会恐慌。组块 D 中, 一方面, 提升政府公信力可以化解社会恐慌: 如果公众相信政府能够对他们的生命健康及生活秩序提供有效保障, 则会消除内心的不安全感和焦虑感, 缓解恐慌情绪。政府行为信息的发布可以提升政府公信力, 政府行为信息包括: ①领导人行动及话语, 诸如习近平总书记亲赴基层一线调研指导新型冠状病毒肺炎疫情防控工作, 并鼓励社区居民: “一定要有信心, 咱们一定可以克服这场疫情。”<sup>[29]</sup>; ②疫情防控部署、措施及成效, 譬如“新冠肺炎”疫情期间国务院先后几十次召开新闻发布会, 介绍疫情防控工作实施细节及进展情况, 并多次对疫情防控成效做出研判; ③其他行政保障类信息, 例如商务部发布的市场保供稳价信息, 财政部推行的新冠肺炎患者医保报销和财政兜底政策等。媒体既是官方信息的传递者, 也可能是谣言的放大器。因此, 媒体协同对政府良好形象树立、公信力提升具有促进作用, 媒体亦能够协同开展不实信息的筛查、过滤及屏蔽以大幅减少疫情谣言。另一方面, 疫情内容信息的发布可以直接消除疫情谣言, 进而化解社会恐慌。此外, 疫情内容信息的发布促使公众建立危机意识, 从而主动采取戴口罩、消毒及远离人员聚集地等个人防护及规避行为, 这将大幅降低疫情传播速率。同时, 媒体协同开展疫情内容信息的整合及报道, 扩大信息受众面, 使得更多的公众积极采取个人防护及规避行为。疫情内容信息包括: ①疑似、确诊、死亡、治愈、扩散及分布情况等疫情演化发展统计数据; ②传播途径、传染源、临床症状及预防护理方法等流行病学信息。

## 1.3 模型方程推演

基于因果链分析, 将经典的 SIR 模型<sup>[30]</sup>中 I(感染者)进一步细分为 IA(无症状感染者)、IS

(发病感染者)和 II(境外输入感染者), R(移出者—Removed)进一步细分为 D(病死者)和 R(治愈者—Recovered), 结合不同仓室间个体转移的速率变量, 生成如下积分方程组:

$$\begin{cases} S(t) = \int_0^t (-i_A) dt + S_0; \\ IA(t) = \int_0^t (i_A - i_S) dt + IA_0; \\ IS(t) = \int_0^t (i_S - o_r - o_D) dt + IS_0; \\ II(t) = \int_0^t i_I dt + II_0; \\ R(t) = \int_0^t o_R dt + R_0; \\ D(t) = \int_0^t o_D dt + D_0; \end{cases} \quad (1)$$

式中:  $i_A$ 、 $i_S$ 、 $i_I$ 、 $o_D$  和  $o_R$  依次表示感染、发病、境外输入、病死和治愈速率变量。其中,  $i_A$  由传播速率  $TR$ 、接触感染  $CI$  和  $i_I$  决定,  $i_S$  表达无症状感染者在发病周期  $p_A$  内的移出速率,  $i_I$  即为新增境外输入感染序列  $seq$  的  $time$  影子变量函数,  $o_D$  和  $o_R$  取决于病死率  $mr$  和感染周期  $p_I$ , 得出如下方程组:

$$\begin{cases} i_A = TR(t) \times CI(t) + i_I; \\ i_S = IA(t)/p_A; \\ i_I = seq(time); \\ o_D = [IS(t) \times mr]/p_I; \\ o_R = [IS(t) \times (1 - mr)]/p_I. \end{cases} \quad (2)$$

式中: 传播速率  $TR$  由接触率  $CR$ 、初始传播速率  $ITR$ 、易感率  $SR$  和公众个人防护及规避行为  $PAE$  决定。

$$TR(t) = CR(t) \times ITR(t) \times SR(t) \times (1 - PAE(t)). \quad (3)$$

式中: 接触率  $CR$  为易感率  $SR$  上升时考虑接触率下降系数  $d$  后的递增函数, 初始传播速率  $ITR$  与  $R0$  值和感染周期  $p_I$  之间存在转换关系, 易感率  $SR$  是易感染者占疫区人口  $pop$  的比重, 公众个人防护及规避行为  $PAE$  是考虑了行为时滞  $\tau$  和行为松懈系数  $r$  后疫情内容信息透明度  $it_{EC}$  在媒体协同率  $mcr$  持续增强作用下与疫情内容信息发布时间  $int_{EC}$  构成的三阶信息延迟函数:

$$CR(t) = 1/[1 + d \times (1 - SR(t))]; \quad (4)$$

$$ITR(t) = R0/p_I; \quad (5)$$

$$SR(t) = S(t)/pop; \quad (6)$$

$$PAE(t) = Smooth3[Step[(mcr \cdot t - mcr \cdot int_{EC} + it_{EC}) \times (1 - r), int_{EC}], \tau]. \quad (7)$$

感染者数量快速增加导致医疗机构现有的基础收治容量不足以承载病患，需要政府协调扩充收治容量以缓解医疗机构压力。譬如，新冠肺炎疫情期间我国新设火神山医院、雷神山医院及方舱医院<sup>[31]</sup>作为临时收治场所，为病患的快速、集中安置与救治提供空间保障。因此，以医疗机构基础收治容量为初始值，第*i*座新设医院启用时间*t<sub>i</sub>*及其收治容量*c<sub>i</sub>*组成间断点，构造收治容量变量TC的分段递增函数：

$$TC(t) = \begin{cases} c_0, & 0 \leq t \leq t_1; \\ c_0 + c_1, & t_1 \leq t < t_2; \\ c_0 + c_1 + c_2, & t_2 \leq t < t_3; \\ c_0 + \sum_{i=1}^n c_i, & t \geq t_i. \end{cases} \quad (8)$$

扩充收治容量可以缓解医疗机构压力，所以医疗机构压力PMI为发病感染者数量IS与收治容量TC的比值：

$$PMI(t) = IS(t)/TC(t-1). \quad (9)$$

为了描述诸如武汉市采取严格的封闭式管理<sup>[2]</sup>和全国联防联控机制<sup>[2]</sup>等政府隔离措施实施前后接触感染CI的变化，令政府隔离措施GIM为措施起始时间st<sub>GIM</sub>、措施强度SG<sub>GIM</sub>的阶跃函数，结合医疗机构压力PMI的负相关关系确定其变量方程：

$$GIM(t) = Step(s_{GIM}, st_{GIM})/(1 + PMI(t)); \quad (10)$$

$$CI(t) = (IS(t) + IA(t)) \times (1 - GIM(t)). \quad (11)$$

借鉴GHAFFARZADEGAN等<sup>[13]</sup>将公众风险感知表示为病死者数量一阶滞后变量的做法，令公众疫情风险感知ERP为现存确诊病例(即发病感染者数量IS)与累计死亡病例(即病死者数量D)引入公众感知时滞τ'=1后的一阶物质延迟函数：

$$ERP(t) = Delay1(0.7 \times D(t) + 0.3 \times IS(t), 1). \quad (12)$$

疫情谣言ER、公众疫情风险感知ERP和确认人传人PTP三个变量共同触发并加剧社会恐慌SP，由此构建恐慌产生速率变量PG方程：

$$PG(t) = (a \cdot ERP(t) + b) \times (1 + ER(t)) + \begin{cases} \Delta ptp, & t = t_{ptp}; \\ 0, & t \neq t_{ptp}. \end{cases} + \begin{cases} \Delta other, & t = t_{other}; \\ 0, & t \neq t_{other}. \end{cases} \quad (13)$$

式中：t<sub>ptp</sub>为人传人确认时间，Δptp为确认人传人对社会恐慌产生变量的瞬时增加量。Δother为其他偶发事件对社会恐慌产生的瞬时增加量，t<sub>other</sub>为事件发生时间，可依据实际情况进行增补，a、b为调节参数。

疫情谣言强度在疫情内容信息发布之后大幅降低，并受到媒体协同率的持续削减作用，由此可知疫情谣言强度ER变量方程：

$$ER(t) = \begin{cases} 1 - it_0, & t \leq int_{EC}; \\ -mcr \cdot t + mcr \cdot int_{EC} + it_{EC}, & t < int_{EC}. \end{cases} \quad (14)$$

式中：it<sub>0</sub>为信息初始透明度。政府公信力GC对社会恐慌自然衰减起到加强作用，由此构建恐慌衰减PD速率变量方程：

$$PD(t) = SP(t) \times d' \times (1 + GC(t)). \quad (15)$$

式中：d'为恐慌自然衰减率。恐慌产生PG和恐慌

衰减PD两个速率变量形成社会恐慌程度SP变量的积分方程：

$$SP(t) = \int_0^t [PG(t) - PD(t)] dt. \quad (16)$$

政府公信力在政府行为信息发布时间int<sub>GB</sub>之前保持在基准值gc<sub>0</sub>水平，政府行为信息发布之后提升至与信息透明度it<sub>GB</sub>相当的水平，并受到媒体协同的持续提升作用，由此得出政府公信力GC变量方程：

$$GC(t) = \begin{cases} gc_0, & t \leq int_{GB}; \\ mcr \cdot t - mcr \cdot int_{GB} + it_{GB}, & t > int_{GB}. \end{cases} \quad (17)$$

借助DYNAMO语言将模型方程写入VENSIM平台，生成重大疫情衍生社会恐慌链式灾害应急系统模型(图2)。

## 2 基于COVID-19疫情的实证仿真

### 2.1 模型参数估计

研究期设定为初始时间=2020年1月10日，结束时间=2020年4月16日。为提高模型精度，流行病学参数来源于国内外已发表的COVID-19疫情专题权威文献及国家卫健委疫情统计数据，应急措施描述性参数依据政府在疫情中的应急表现专家打分得出(表1)。

此外，从国家卫生健康委员会官方网站2020年3月3日至2020年4月16日(研究期末)的“新型冠状病毒肺炎疫情最新情况”每日疫情通报<sup>[43]</sup>中搜集整理新增境外输入病例数据，以τ'=4 d的时间间隔重新归总计算，据此得出新增境外输入感染序列参数。采用同样的方法，搜集整理2020年1月10日(研究零期)至2020年4月16日(研究期末)的“累计死亡病例及累计确诊病例数据，据此测算死亡率参数(图3)，以上两项模型参数均以表函数的形式给出：

$$\text{新增境外输入感染序列} = [(0, 0) - (100, 400)], (54, 18), (58, 45), (62, 22), (66, 38), (70, 105), (74, 199), (78, 222), (82, 157), (90, 190), (94, 275), (98, 171); \quad (18)$$

$$\text{病死率} = [(0, 0) - (97, 10)], (2, 2.44\%), (6, 4.88\%), (10, 1.45\%), (14, 2.99\%), (18, 2.34\%), (22, 2.19\%), (26, 2.02\%), (30, 2.18\%), (34, 2.28\%), (38, 2.51\%), (42, 2.95\%), (46, 3.43\%), (50, 3.57\%), (54, 3.71\%), (58, 3.83\%), (62, 3.92\%), (66, 3.97\%), (70, 4\%), (74, 4.02\%), (78, 4.02\%), (82, 4.02\%), (86, 4.03\%), (90, 4.02\%), (94, 4.01\%), (98, 4\%)). \quad (19)$$

### 2.2 模型检验

由重大疫情衍生社会恐慌链式灾害的结构特征可知，模型的关键描述变量应为D(病死者数量)和SP(社会恐慌程度)。因此，模型检验即是对上述两个变量的真实值与仿真值进行统计与对比：变量D(病死者数量)的真实值即为国家卫健委累计死亡病例统计数据，而变量SP(社会恐慌程度)的真实值难以直接测度，不妨借鉴相关文献<sup>[44-46]</sup>的做法，借助拥有数据来源全面性和客观性优点的百度指数大数据平台抓取全网范围内有关“恐慌”的各类信息条目，得出研究期内“恐慌”百度指数统计结果如图4所示。

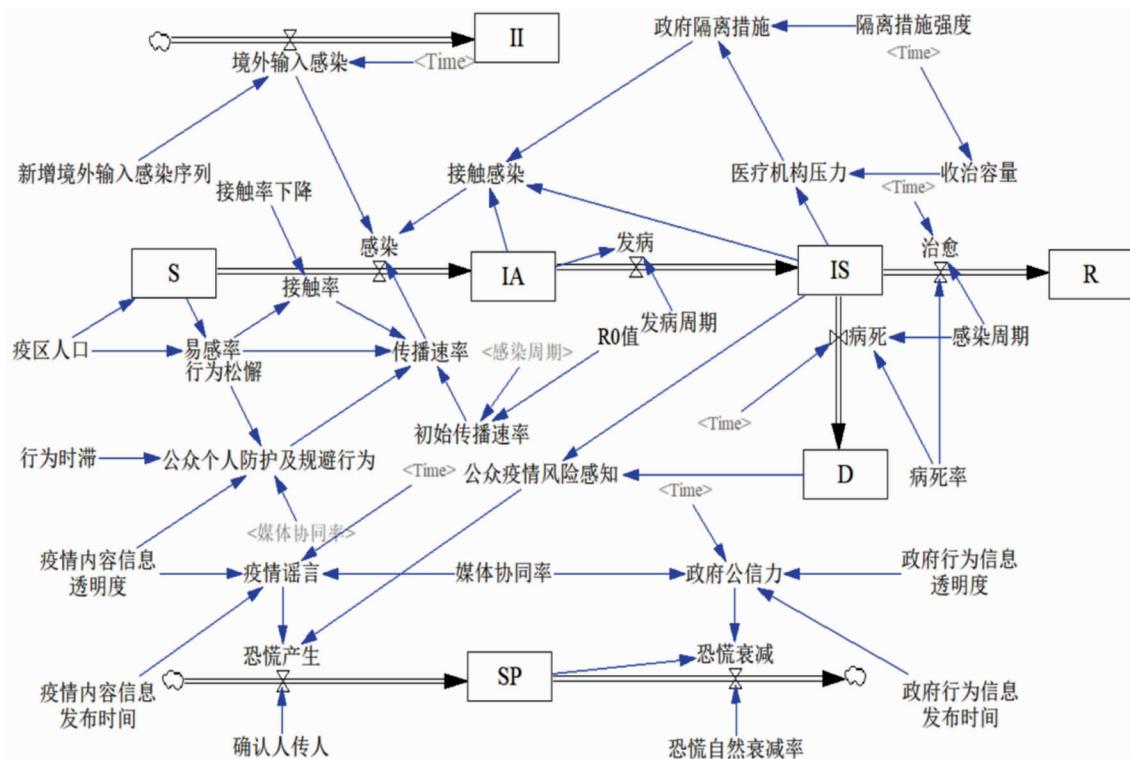


图 2 重大疫情衍生社会恐慌链式灾害应急系统模型

表 1 参数取值及来源

参数	取值	来源
R0 值	3.11	READ 等 <sup>[32]</sup> 。
感染周期	RANDOM NORMAL(10, 12, 11, 2, 1)	在 CHEN 等 <sup>[33]</sup> 的研究结论: 均值为 11, 95% 置信区间为 [10, 12] 的基础之上, 引入正态随机分布描述个体差异性。
确认人传人时间	10	国家卫健委于 2020 年 1 月 20 日组织召开记者会, 高级别专家组首次通报新冠病毒已出现人传人现象 <sup>[2]</sup> , 距研究零期 10 d。
新增收治容量	$c_1 = 1\,000$ $t_1 = 23$ $c_2 = 1\,600$ $t_2 = 29$ $c_3 = 10\,000$ $t_3 = 26$	2020 年 2 月 4 日, 火神山医院开始收治病患 <sup>[34]</sup> , 距研究零期 25 d, 火神山医院共编设床位 1 000 张 <sup>[35]</sup> 。 2020 年 2 月 8 日, 雷神山医院开始收治病患 <sup>[36]</sup> , 距研究零期 29 d, 雷神山医院共编设床位 1 600 张 <sup>[37]</sup> 。 依据官方媒体报道 <sup>[38]</sup> , 建成并投入使用的方舱医院有 14 座, 从 2020 年 2 月 5 日开始收治病患, 距研究零期 26 d, 共编设床位逾 10 000 张。
发病周期	RANDOM NORMAL(0.8, 3, 2.3, 1, 1)	在 HE 等 <sup>[39]</sup> 的研究结论: 均值为 2.3, 95% 置信区间为 [0.8, 3.0] 基础之上, 引入正态随机分布描述个体差异性。
信息初始透明度	$0.2 \in [0, 1]$	武汉市长周先旺: “这次疫情其实各方面对我们信息的披露是不满意的, 我们既有披露的不及时的一面, 也有利用有效信息来完善工作不到位的地方。” <sup>[40]</sup>
信息发布时间	11	武汉市新型冠状病毒感染的肺炎疫情防控指挥部于 2020 年 1 月 21 日召开首次发布会, 解答疫情的相关问题 <sup>[41]</sup> , 距研究零期 11 d。
疫区人口	14.0005 亿	国家统计局, 2019 年末数据 <sup>[42]</sup> 。



图3 研究期内病死率及新增境外输入感染人数



图4 研究期内“恐慌”百度指数统计图

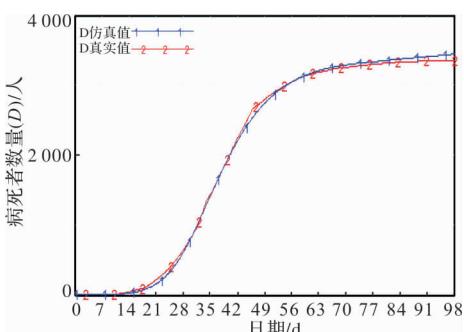


图5 变量D(病死者数量)真实值与仿真值对比

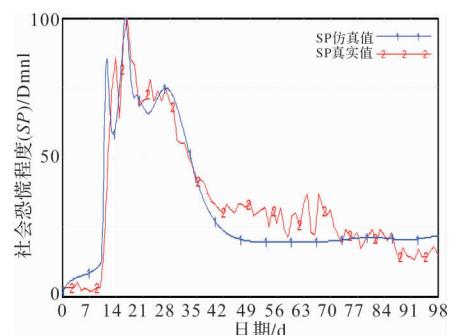


图6 变量SP(社会恐慌程度)真实值与仿真值对比

由图4可知，该指标对实际中引发社会恐慌的链节点事件及变化情况刻画准确，说明“恐慌”百度指数可以作为模型中社会恐慌程度变量  $SP$  真实值的客观表征。变量  $D$  (病死者数量) 仿真值与真实值的统计与对比结果如图5所示，统一标准化至  $[0, 100]$  的变量  $SP$  (社会恐慌程度) 仿真值与真实值的统计与对比结果如图6所示。

利用平均绝对百分误差 (Mean Absolute Percentage Error, MAPE) 检验法量化上述对比结果，作为模型精度及有效性的检验手段。平均绝对百分误差 MAPE 检验法不仅考虑了真实值与仿真值的误差，还兼顾到了误差与真实值之间的比例，是一类性能优良的检验工具。平均绝对百分比误差 MAPE 的计算公式<sup>[50]</sup>如下：

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|x_i - y_i|}{x_i} \times 100\% \quad (20)$$

式中： $n$  表示数值个数， $x$  表示真实数值， $y$  表示仿真数值，也为模型预测数值。

当  $0\% \leq MAPE < 10\%$  时，为非常准确预测；当  $10\% \leq MAPE < 20\%$  时，为相对准确预测；当  $20\% \leq MAPE < 50\%$  时，为合理预测；当  $50\% > MAPE$  时，为不准确预测<sup>[51]</sup>。本次平均绝对百分比误差 MAPE 检验的结果如表2 所示。

表 2 模型平均绝对百分比误差 MAPE 检验结果

检验变量	MAPE 值/%	检验结论
病死者数量( $D$ )/人	7.24	非常准确预测
社会恐慌程度( $SP$ )/Dmnl	30.59; 修正后为 24.71	合理预测, 接近相对准确预测

由表 2 的模型平均绝对百分比误差 MAPE 检验结果可知, 变量  $D$  仿真结果的 MAPE 值处于 20% 以下, 为非常准确预测; 变量  $SP$  仿真结果的 MAPE 值为 30.59%, 预测精度不高, 原因是“恐慌”百度指数受部分时点信息沉寂或信息爆发的影响存在较大波动和异常值。因此, 对“恐慌”百度指数进行平滑处理后, 重新计算得到变量  $SP$  仿真结果的修正 MAPE 值为 24.71%, 为合理预测, 接近相对准确预测。由此可以判断, 本文提出的模型能较为准确地刻画灾害演化过程, 模型检验通过, 可用于后续数值仿真。

### 2.3 数值仿真

“以人为本, 减少危害”是我国应急管理的首要原则<sup>[52]</sup>。在重大疫情衍生社会恐慌链式灾害应急管理进程中, 如何最大限度地减少病死者数量从而挽救人民群众生命, 以及如何降低民众恐慌程

度从而消减链式灾害的社会危害性, 是能否有效遵循“以人为本, 减少危害”这一原则的集中体现。因此, 为了探明减灾效果最佳的应急策略, 需要为数值仿真试验设置一个表述如下的目标函数: 在最大限度减少变量  $D$ (病死者数量)取值的同时, 降低变量  $SP$ (社会恐慌程度)取值。

鉴于已经有学者围绕隔离(措施)强度、隔离起始时间<sup>[53]</sup>两个参数进行仿真并给出了相应策略, 本文不再赘述, 但学界对于: ①疫情内容信息与政府行为信息, ②收治容量相关的应急策略探索尚缺。因此, 以下将通过数值仿真重点探索上述两方面的应急策略。

#### (1) 疫情内容信息与政府行为信息发布策略

如前文分析, 疫情内容信息的发布促使公众积极采取个人防护及规避行为、消除疫情谣言, 政府行为信息的发布提升政府公信力, 这两类信息的减灾效应受媒体协同的影响。对疫情内容信息发布时间及透明度、政府行为信息发布时间及透明度、媒体协同率五项参数进行浮动取值, 生成如表 3 所示的策略情景设计, 不同策略情景的数值仿真结果如图 7 所示。

表 3 疫情内容信息与政府行为信息策略情景设计

编号	情景说明	参数浮动值
1	基准情景	/
2	提早发布信息, 信息透明度不变	信息发布时间下浮 100%
3	提高信息透明度, 信息发布时间不变	信息透明度上浮 100%
4	提早发布信息, 提高信息透明度	信息发布时间下浮 100%, 信息透明度上浮 100%
5	提早发布信息, 提高信息透明度, 媒体加强协同	信息发布时间下浮 100%, 信息透明度上浮 100%, 媒体协同率上浮 100%

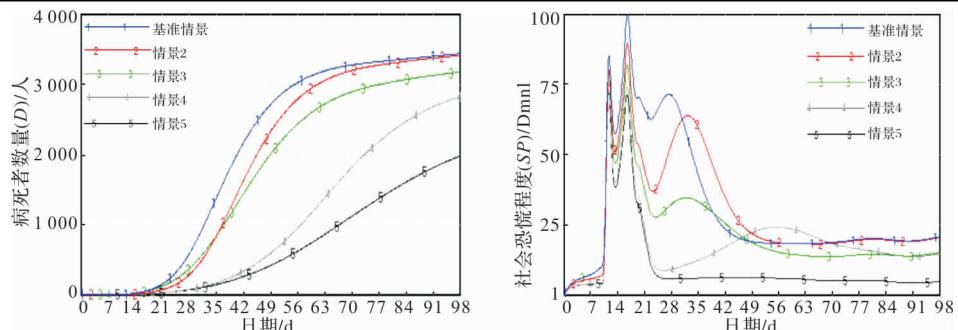
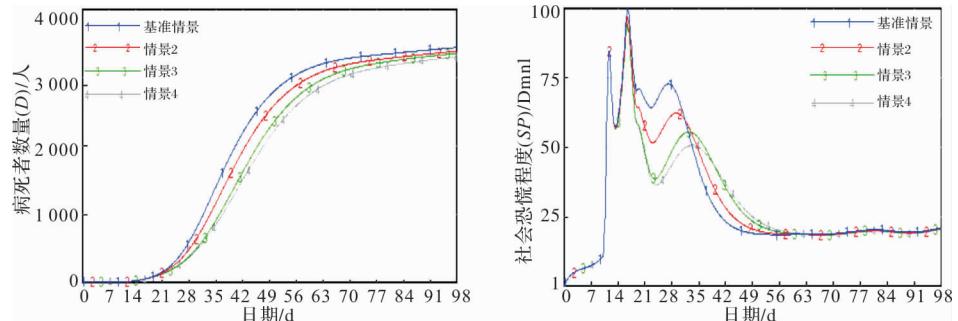
图 7 不同信息发布策略情景下目标变量  $D$  和  $SP$  的变化情况图 8 不同收治容量扩充策略情景下目标变量  $D$  和  $SP$  的变化情况

表 4 收治容量策略情景设计

编号	情景说明	参数浮动值
1	基准情景	/
2	增设临时收治场所, 基础收治容量不变	新增收治容量共上浮 9 000 个单位
3	临时收治场所数量不变, 扩充基础收治容量	基础收治容量上浮 9 000 个单位
4	增设临时收治场所, 扩充基础收治容量	新增收治容量共上浮 9 000 个单位, 基础收治容量上浮 9 000 个单位

数值仿真结果表明：政府提早发布疫情内容信息和政府行为信息并增强信息透明度，媒体在上述环节中加强协同，可有效减少病死者数量、降低社会恐慌程度，单方面地提早发布信息或增强信息透明度的减灾效果并不显著。

### (2) 收治容量扩充策略

如前文分析，新设方舱医院等临时收治场所和扩充基础收治容量均可以缓解医疗机构压力，在避免病患滞留的同时为医疗干预的实施提供空间保障。此处，对基础收治容量和新增收治容量两项参数进行浮动取值，生成如表4所示的策略情景设计，不同策略情景下的数值仿真结果如图8所示。

数值仿真结果表明：扩充收治容量可有效减少病死者数量、降低社会恐慌程度，从而实现对重大疫情衍生社会恐慌链式灾害的科学治理，并且，扩充基础收治容量的减灾效果比新设方舱医院等临时收治场所的减灾效果好。

## 3 结语

本文以灾害链观点审查重大疫情衍生社会恐慌的演化规律，运用系统动力学方法对经典的传染病SIR模型进行升级与转化，构建一个同时包含重大疫情动态传播及其衍生社会恐慌的链式灾害应急系统模型，以COVID-19疫情为例探明了重大疫情对社会恐慌的衍生机制及整体性减灾策略，为重大疫情衍生社会恐慌链式灾害中的应急管理者如何“断链”以及如何预防“成链”提供决策参考，同时也为学界补充了一个可供借鉴的链式灾害多元主体协同应急模型与一类建模新思路。研究结论如下：

(1) 累计死亡病例和社会恐慌程度两个变量的MAPE值分别为7.24%和24.71%，说明本文提出的模型能够较为准确地刻画重大疫情衍生社会恐慌链式灾害的演化过程，具有较高的应用价值。

(2) 重大灾害期间政府应披露两方面的信息：①疫情内容信息，即疫情演化发展统计数据以及传播途径、传染源、临床症状及预防护理方法等流行病学信息；②政府行为信息，包括领导人行动及话语、疫情防控措施与成效以及市场保供稳价、财政兜底等行政保障类信息。政府及时、透明地发布上述两方面的信息，媒体加强协同，可减少病死者数量、降低社会恐慌程度，从而实现对重大疫情衍生社会恐慌链式灾害的有效治理。

(3) 政府协助医疗机构扩充收治容量，可减少病死者数量、降低社会恐慌程度，从而实现对重大疫情衍生社会恐慌链式灾害的有效治理。并且，扩充基础收治容量的减灾效果比新设方舱医院等临时收治场所的减灾效果好。

## 参考文献：

- [1] WHO. 2019 Novel coronavirus global research and innovation forum: towards a research roadmap [EB/OL]. (2020-02-07) [2020-02-28]. [https://www.who.int/docs/default-source/coronavirus/situation-reports/20200701-COVID-19-sitrep-163.pdf?sfvrsn=c202f05b\\_2](https://www.who.int/docs/default-source/coronavirus/situation-reports/20200701-COVID-19-sitrep-163.pdf?sfvrsn=c202f05b_2).
- [2] 中华人民共和国国务院新闻办公室. 抗击新冠肺炎疫情的中  
国行动 [N]. 人民日报, 2020-06-08(010).
- [3] 颜晓峰. 中国制度和国家治理在抗疫斗争中经受大考 [J]. 思想理论教育导刊, 2020(4): 4-10.
- [4] WHO. WHO coronavirus disease (COVID-19) dashboard [EB/OL]. (2020-07-01) [2020-07-01]. <https://covid19.who.int/>.
- [5] 周艾琳, 冯迪凡, 高雅. 恐慌指数VIX两日飙升63% WHO: 已有9国控制住疫情 [EB/OL]. (2020-02-27) [2020-03-02]. <http://finance.sina.com.cn/roll/2020-02-27/doc-imxxsf4648416.shtml>.
- [6] 黄楚新. 强信心、暖人心、聚民心 疫情中的公众心态与网络舆论 [J]. 人民论坛, 2020(5): 36-38.
- [7] 央视网. 英国多个基站遭纵火 [EB/OL]. (2020-04-06) [2020-05-26]. <http://jingji.cctv.com/2020/04/06/ARTlxmfDTvix3oUge8Hzl9F200406.shtml>.
- [8] 中国日报网. 意大利学者: 中国抗疫实践给世界上三堂课 [EB/OL]. (2020-03-26) [2020-04-18]. <https://world.chinadaily.com.cn/a/202003/26/WS5e7c504ba3107bb6b57a8e6b.html>.
- [9] PREM K, LIU Y, RUSSELL T W, et al. The effect of control strategies to reduce social mixing on outcomes of the COVID-19 epidemic in Wuhan, China: A modelling study [J]. The Lancet Public Health, 2020, 5(5): 261-270.
- [10] 刘德海, 王维国, 孙康. 基于演化博弈的重大突发公共卫生事件情景预测模型与防控措施 [J]. 系统工程理论与实践, 2012, 32(5): 937-946.
- [11] 李勇建, 王循庆, 乔晓娇. 基于广义随机Petri网的重大传染病传播演化模型研究 [J]. 中国管理科学, 2014, 22(3): 74-81.
- [12] 秦效宏, 管玉娟. 基于复杂网络的甲型H1N1流感病毒传播研究 [J]. 统计与信息论坛, 2010, 25(5): 86-90.
- [13] GHAFFARZADEGAN N, RAHMADAD H. Simulation-based estimation of the early spread of COVID-19 in Iran: Actual versus confirmed cases [J]. System Dynamics Review, 2020, 36(1): 101-129.
- [14] COSTA K. The cause of panic at the outbreak of COVID-19 in south africa - A comparative analysis with similar outbreak in China and New York [R]. Available at SSRN 3613597, 2020.
- [15] WUQI Q, CORDIA C, AYAN M, et al. The impacts on health, society, and economy of SARS and H7N9 outbreaks in China: A case comparison study [J]. Journal of Environmental & Public Health, 2018, 2018: 1-7.
- [16] 王治莹, 梁敬, 刘小弟. 突发事件情境中公众的风险感知研究综述 [J]. 情报杂志, 2018, 37(10): 161-166.
- [17] 陈萍, 孙启获, 陈炜, 等. 新型冠状病毒肺炎专科医院医务人员与患者感染防控对策 [J]. 中华医院感染学杂志, 2020, 30(10): 1490-1493.
- [18] QIU J, SHEN B, ZHAO M, et al. A nationwide survey of psychological distress among Chinese people in the COVID-19 epidemic: Implications and policy recommendations [J]. General Psychiatry, 2020, 33(2): e100213.
- [19] 人民网. 坚决贯彻习近平总书记重要指示精神 全力确保各族群众生命安全和身体健康 [EB/OL]. (2020-01-24) [2020-03-29]. <http://epc.people.com.cn/n1/2020/0124/c64094-31561886.html>.
- [20] 李萧薇, 刘铁忠, 张湖波. 危险化学品技术灾害链构建研究 [J]. 灾害学, 2019, 34(3): 172-177.
- [21] 文传甲. 广义灾害、灾害链及其防治探讨 [J]. 灾害学, 2000, 15(4): 14-19.
- [22] 哈斯, 张继权, 佟斯琴, 等. 灾害链研究进展与展望 [J]. 灾害学, 2016, 31(2): 131-138.
- [23] 刘晓然, 苏经宇, 王威, 等. 城市抗震防灾能力评估的系统动力学模型 [J]. 自然灾害学报, 2013, 22(5): 71-76.
- [24] 朱墨蕤, 严明义. 人口老龄化与财政支出结构——基于中国经验的SD分析 [J]. 统计与信息论坛, 2019, 34(11): 50-58.
- [25] 中共中央总书记、国家主席、中央军委主席习近平赴河北唐山市进行调研考察 [J]. 中国减灾, 2016(15): 7-9.
- [26] WHO. Coronavirus disease (COVID-19) situation report - 163 [EB/OL]. (2020-07-01) [2020-07-01]. [https://www.who.int/docs/default-source/coronavirus/situation-reports/20200701-COVID-19-sitrep-163.pdf?sfvrsn=c202f05b\\_2](https://www.who.int/docs/default-source/coronavirus/situation-reports/20200701-COVID-19-sitrep-163.pdf?sfvrsn=c202f05b_2).
- [27] 郭增建, 秦保燕. 灾害物理学简论 [J]. 灾害学, 1987(2): 25-33.
- [28] 尹儒鹏, 徐选华, 陈晓红. 基于多主体仿真的大群体应急决

- 策风险致因分析 [J]. 中国管理科学, 2020, 28(2): 208–219.
- [29] 央视网. 习近平: 咱们一定可以克服这场疫情 [EB/OL]. (2020-02-10) [2020-03-29]. <http://news.cctv.com/2020/02/10/ARTIEKyvt8LqOIZOg1CVNU200210.shtml>.
- [30] KERMACK W O, MCKENDRICK A G. A contribution to the mathematical theory of epidemics [J]. Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character, 1927, 115(772): 700–721.
- [31] 孙德顺, 段莉, 王大平, 等. 新型冠状病毒肺炎感染的数学建模与控制策略 [J]. 中华疾病控制杂志, 2020, 24(5): 523–528.
- [32] READ J M, BRIDGEN J R E, Cummings D A T, et al. Novel coronavirus 2019-nCoV: Early estimation of epidemiological parameters and epidemic predictions [M]. MedRxiv, 2020.
- [33] CHEN J, QI T, LIU L, et al. Clinical progression of patients with COVID-19 in Shanghai, China [J]. Journal of Infection, 2020, 85(2): 1–6.
- [34] 程远州.“火神山”里探神兵 [N]. 人民日报, 2020-02-23 (006).
- [35] 新华网. 火神山医院收治患者总数超过 900 人 [EB/OL]. (2020-02-12) [2020-03-22]. [http://www.xinhuanet.com/2020-02/12/c\\_1125562832.htm?spm=C73544894212.P59511941341.0.0.1](http://www.xinhuanet.com/2020-02/12/c_1125562832.htm?spm=C73544894212.P59511941341.0.0.1).
- [36] 人民日报客户端. 武汉雷神山医院今天收治第一批患者 30 名 [EB/OL]. (2020-02-08) [2020-03-29]. <https://news.sina.cn/gn/2020-02-08/detail-iimxxste9887059.d.html>.
- [37] 央视网. 直击现场: 雷神山医院开始逐步移交 将可提供 1600 张床位 [EB/OL]. (2020-02-07) [2020-03-29]. <http://news.cctv.com/2020/02/07/ARTljkXFnU9yxk0VYbjKKZOU200207.shtml>.
- [38] 中国青年报. 方舱医院为世界抗疫贡献中国经验 [EB/OL]. (2020-04-08) [2020-03-29]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1663391500218533735&wfr=spider&for=pc>.
- [39] HE X, LAU E H Y, WU P, et al. Temporal dynamics in viral shedding and transmissibility of COVID-19 [J]. Nature medicine, 2020, 26(5): 672–675.
- [40] 央视网. 战疫情特别报道 武汉直播间: 专访武汉市市长周先旺 [EB/OL]. (2020-01-27) [2020-04-02]. <http://tv.cctv.com/2020/01/27/VIDEOUNLoFIYTjPJcqXLRCo200127.shtml>.
- [41] 新京报. 武汉疫情防控指挥部首次发布会: 感染患者救治由政府买单 [EB/OL]. (2020-01-21) [2020-04-02]. <http://www.bjnews.com.cn/news/2020/01/21/677560.html>.
- [42] 国家统计局. 总人口年度数据 [EB/OL]. (2019-10-06) [2020-03-29]. <http://data.stats.gov.cn>.
- [43] 国家卫生健康委员会官方网站. 截至 3 月 4 日 24 时新型冠状病毒肺炎疫情最新情况 [EB/OL]. (2020-03-05) [2020-03-05]. <http://www.nhc.gov.cn/xcs/yqtb/202003/6e02433f7786402d8ea162fb5b80b5a0.shtml>.
- [44] 王治莹, 王伟康. 考虑舆情衍生抢购的链式危机系统动力学模型与仿真 [J]. 情报杂志, 2019, 38(11): 119–125.
- [45] 谢起慧, 彭宗超. 网民负面情绪与心态风险感知实证研究——重大决策社会稳定风险评估视角 [J]. 科学决策, 2018(4): 36–53.
- [46] 王治莹, 王伟康, 岳朝龙. 政府干预下多种舆情信息交互传播模型与仿真 [J]. 系统仿真学报, 2020, 32(5): 956–966.
- [47] 央视新闻. 网传感染病例在 10 万例左右? 国家卫健委回应 [EB/OL]. (2020-01-28) [2020-04-02]. <https://new.qq.com/omn/20200128/20200128A05TB900.html?pc>.
- [48] 国务院新闻办公室. 新闻办就新型冠状病毒感染的肺炎疫情防控联防联控工作有关情况举行发布会 [EB/OL]. (2020-01-26) [2020-04-02]. <http://www.scio.gov.cn/xwfbh/xwfbh/wqfbh/42311/42478/index.htm>.
- [49] 邹全明, 李海波, 曾浩. 新型冠状病毒肺炎治疗药物的研究现状及对策建议 [J]. 第三军医大学学报, 2020, 42(9): 861–866.
- [50] 郑海山, 周建. 煤矿深层开采地质沉陷灾害信息整合技术 [J]. 灾害学, 2020, 35(2): 22–25.
- [51] JEON J W, WANG Y, YEO G T. Ship safety policy recommendations for Korea: Application of system dynamics [J]. The Asian Journal of Shipping and Logistics, 2016, 32(2): 73–79.
- [52] 马宝成. 党的十七大以来行政管理体制改革的主要成效评价 [J]. 上海行政学院学报, 2011, 12(6): 4–14.
- [53] CASARES M, KHAN H. A dynamic model of COVID-19: Contagion and implications of isolation enforcement [R]. Carleton University, Department of Economics, 2020.

## Emergency Strategy Analysis for Chain Disaster of Major Epidemic-derived Social Panic ——A SD Experimentation Based on “COVID-19” Outbreak

LUO Fuzhou, JU Shaowei and WANG Layin

(School of Management, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

**Abstract:** The negative externality of major epidemic infection causes social panic while seriously damaging public health, this is a new risk source and emergency management problem under the background of national governance modernization to ensure people's life safety and social stability. Based on the perspective of disaster chain, the system dynamics (SD) method is used to upgrade and transform the classical SIR model of infectious diseases. Taking “COVID-19” epidemic as an example, the model parameters are estimated and MAPE test is carried out, then the emergency strategy is explored by numerical simulation. The study finds that the MAPE values for the two variables of cumulative deaths and social panic level are 7.24% and 24.71%, indicating that the model could accurately portray the process of chain disaster evolution and the simulation results have strong strategic guidance. The government, in collaboration with the media, releasing timely and transparently information on the content of the epidemic details and government actions, and assisting medical institutions to expand the capacity of treatment, which could effectively realize the scientific management of the chain disaster of major epidemic-derived social panic.

**Key words:** major epidemic; social panic; chain disaster; emergency strategy ; system dynamics