

# 重大疫情防控中政府 与公众演化博弈策略分析<sup>\*</sup>

徐 明 钟德寿 盖 贇

---

**【摘 要】**针对重大疫情防控中地方政府与社会公众的行为策略选择和博弈过程，本文通过建立博弈模型进行仿真分析。研究表明：当地方政府采取严格防控的收益大于成本时，其策略选择会趋向于严格防控；而社会公众则关注选择主动隔离或自由流动策略造成的成本与产生的收益。因而，地方政府应完善重大疫情研判、评估、决策和协同防控机制，树立风险治理底线思维和兜底思维，以成本—收益原则为杠杆，积极引导公众科学、理性地应对疫情，并促进公众主动配合疫情防控措施的落实。

**【关键词】**重大疫情防控 公共安全 应急管理 演化博弈 仿真

**【作者简介】**徐明，经济学博士，中国社会科学院大学商学院教授、博士生导师，中国社会科学院大学国家治理现代化与社会组织研究中心执行主任，北京市习近平新时代中国特色社会主义思想研究中心特邀研究员；钟德寿，理学博士，中国社会科学院大学经济学院党总支书记，教授、博士生导师；盖贇，工学博士，中国社会科学院大学计算机教研部副教授。

**【中图分类号】** D630.1      **【文献标识码】** A

**【文章编号】** 2097 - 1125 (2022) 01 - 0126 - 16

---

---

\* 本文系北京市习近平新时代中国特色社会主义思想研究中心、北京市社会科学基金重大项目“统筹发展和安全研究”（21LLMLA009），中国社会科学院大学新文科学术卓越学者项目“基于社会计算的人工智能社会治理体系研究”（2020 - KYLX04 - 18），中国社会科学院大学卓越研究项目“中国共产党人才思想与人才治理体系创新研究”（2021 - KYLX02 - 04）的阶段成果。

重大传染病发生后，会在短时间内出现大量的病人或死亡病例，严重威胁公众健康和社会稳定，引发综合性社会危机。2019 年末，我国湖北省武汉市暴发了新冠肺炎疫情，并迅速席卷全国。从湖北武汉出现首例不明原因病例到 2021 年 6 月 29 日 24 时，全国 31 个省（自治区、直辖市）和新疆生产建设兵团累计报告确诊病例 91780 例、死亡病例 4636 例、治愈出院病例 86689 例，累计收到港澳台地区通报确诊病例 26723 例。<sup>①</sup> 新冠肺炎疫情对我国社会经济、人民生命安全造成重大损失和严重影响。习近平总书记在疫情发生以后多次发表重要讲话，强调要完善重大疫情防控体制机制，健全国家公共卫生应急管理体系，做好疫情防控工作，坚决遏制疫情蔓延势头。针对这次疫情暴露出来的问题，抓紧补短板、堵漏洞、强弱项，提高应对突发重大公共卫生事件的能力和水平，科学精准打赢疫情防控阻击战。<sup>②</sup>

## 一、问题的提出及文献综述

针对频发的重大传染病疫情，虽然我国相关法律规定各级政府和卫生部门要采取积极防控与救治措施，在进行流行病学调查的基础上，提出划定疫点疫区的建议，对病人、病原携带者予以隔离治疗，但在重大疫情防控实践中，仍然存在消极监测、推迟公布、谎报瞒报疫情信息等问题，以及应急决策出现重大失误导致疫情出现更严重的扩散，地方政府应对危机的底线思维不足影响重大疫情应急响应的效率。诸如此类的现象给地方政府的应急管理提出了严峻挑战。因此，有必要分析地方政府与社会公众之间的博弈演化行为，讨论二者的不同策略选择对疫情传播的影响，探索最有利于疫情防控和应急管理的策略，以进一步完善我国重大疫情防控的体制机制。

既有研究多从传染病疫情防控与应急管理、重大疫情防控中社会各方演化博弈等方面展开。一些学者从传染病学、人口学角度探讨了传染病疫情传播和防控机制，运用动力学原理建立了传染病 SIR 传播模型，<sup>③</sup> 提出了阈值理论，并利用数学模型分析了 HIV-1 病毒<sup>④</sup>和 1918 年西班牙

① 卫生应急办公室：《截至 6 月 29 日 24 时新型冠状病毒肺炎疫情最新情况》，<http://www.nhc.gov.cn/yjb/s7860/202106/af568961c754488484577f2476aa9276.shtml>，2021 年 6 月 30 日。

② 《习近平：完善重大疫情防控体制机制 健全国家公共卫生应急管理体系》，<http://jhsjk.people.cn/article/31588184>，2020 年 2 月 15 日。

③ W. O. Kermack and A. G. McKendrick, A Contribution to the Mathematical Theory of Epidemics, *Proceedings of the Royal Society of London (Series A)*, Vol. 115 (772), 1927, pp. 700 - 721.

④ Alan S. Perelson, Avidan U. Neumann and Martin Markowitz et al., HIV-1 Dynamics in Vivo: Virion Clearance Rate, Infected Cell Life-Span, and Viral Generation Time, *Science*, Vol. 271, 1996, pp. 15822 - 15861.

流感<sup>①</sup>的发病机制和传播规律。西尔克等从人口学理论出发,整合了流行病学研究和野生动物疾病的社会网络建模的最新成果,指出针对野生动物传染病防治的可持续战略仍然缺乏,由于人为驱动的环境变化会导致新病原体的出现或现有疾病流行病学的变化,因而利用公众行为和人口信息来有效预防或控制疾病的传播,对于有效防范这些疾病威胁至关重要。<sup>②</sup>林盾等提出重大疫情给人民的生命安全和社会稳定带来了巨大威胁,因而政府需要在救治、防控、宣传教育等方面对疫情防控进行精准干预;<sup>③</sup>宋春生提出应依托社会网络实施群防群控,明确管理要求,落实防疫责任,控制疫情输入;<sup>④</sup>高卫明认为公民作为直接或间接的利益攸关者,需要了解疫情发展动态,提高自我防范能力,与政府、社会组织等协同配合,在法规许可的范围内克减权利及自由,主动报告疫情,控制疫情传播,监督疫情防控。<sup>⑤</sup>谈谭等总结了全球援助抗击非洲埃博拉疫情的经验,认为任何国家都必须时刻准备应对传染病等疾病威胁,提高防控传染病的能力,引导和鼓励非政府组织和企业参与传染病防控行动,支持并参与国际公共卫生治理多边体系。<sup>⑥</sup>

也有研究者从演化博弈的角度关注重大疫情防控时期不同主体博弈互动的过程。李燕凌等基于博弈论的视角,以2013年H7N9型禽流感疫情为例,对政府实施的救治、防控、宣传三类干预行为及其效果进行分析,指出在疫情防控中政府应以人为本,提高干预行为的精准度。<sup>⑦</sup>重大疫情防控需要政府动员各方力量积极参与,胡联等采取演化博弈的方法分析重大疫情防控中政府和非政府组织的行为,将疫情防控中政府的支持与非政府组织的参与看

① Jeffery K. Taubenberger, Ann H. Reid and Raina M. Lourens et al., Characterization of the 1918 Influenza Virus Polymerase Genes, *Nature*, Vol. 437, 2005, pp. 889 - 893.

② Matthew J. Silk, David James Hodgson and Carly Rozins et al., Integrating Social Behaviour, Demography and Disease Dynamics in Network Models: Applications to Disease Management in Declining Wildlife Populations, *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences*, Vol. 374, 2019, p. 1781.

③ 林盾、李建生、张伟平:《重大疫情应急响应信息平台建构研究》,《现代教育技术》2009年第11期,第123~128页。

④ 宋春生:《北京市流动人口“非典”疫情与防控》,《人口研究》2003年第4期,第56~58页。

⑤ 高卫明:《论突发传染病疫情防控中的公民义务》,《法商研究》2010年第1期,第20~29页。

⑥ 谈谭、王蔚:《中国提供全球卫生公共产品的路径分析——以中国援助西非国家抗击埃博拉疫情为例》,《国际观察》2017年第5期,第113~127页。

⑦ 李燕凌、王雯哲、王健:《重大疫情防控的政府干预行为与优化策略——基于博弈论视角和中国2013年H7N9防控实践》,《湖南农业大学学报》(社会科学版)2018年第2期,第61~66页。

作动态博弈过程，指出信任是政府和非政府组织行为博弈的关键因素，政府对非政府组织的信任和支持能够促进非政府组织有效参与疫情防控。<sup>①</sup> 新冠肺炎疫情防控期间政府的管制措施和民众的出行行为构成政府和民众之间的博弈关系，田永杰运用演化博弈模型研究政府和民众在疫情防控期间的博弈的动态演化路径，分析疫情防控期间政府管制与民众出行的异质性，并对其演化稳定策略进行仿真分析。<sup>②</sup> 还有研究者指出，在各类突发事件的应急管理过程中，存在信息传播与利益博弈之间的协同演化现象。<sup>③</sup> 随着互联网的快速发展，在重大疫情暴发后，公共危机信息在网络上迅速传播，增加了危机的复杂性，并可能造成社会恐慌。李燕凌等以动物疫情公共危机为例，构建了政府、网络媒体、公众三方演化博弈模型，研究政府、网络媒体、公众等主体在公共危机治理中的策略行为演化趋势、相互影响及均衡状态，分析各主体策略行为对社会信任修复的作用机理。<sup>④</sup> 目前，运用演化博弈理论分析新冠肺炎疫情防控中地方政府和社会公众不同行为选择的研究仍然较少。本文构建了以地方政府和社会公众为博弈方的动态非对称演化博弈模型，分析疫情防控中地方政府与其所辖区内社会公众的博弈演化机制，并仿真模拟这一过程，以期进一步认识地方政府和社会公众在重大疫情中的行为规律，为完善重大疫情防控机制提出对策建议。

## 二、重大疫情防控中的演化博弈策略分析

我国《宪法》规定政府行政组织在纵向结构上分为四级，即中央—省/自治区/直辖市—县/自治县/市—乡/民族乡/镇。<sup>⑤</sup> 中央通过对不同层级间政府权责的科学划分及施政资源的合理分配，吸纳相关资源支持地方政府施政。<sup>⑥</sup> 按照我国公共安全和应急管理体系“一案三制”的要求，地方各级政府作

① 胡联、缪宁、陈天：《重大疫情防控中非政府组织作用的优化——基于政府和非政府组织的演化博弈分析》，《江汉大学学报》（社会科学版）2021年第1期，第55~64页。

② 田永杰：《疫情期间的政府管制与民众出行异质性分析》，《统计管理》2021年第5期，第40~46页。

③ 刘德海：《信息交流在群体性突发事件处理中作用的博弈分析》，《中国管理科学》2005年第3期，第95~102页。

④ 李燕凌、丁莹：《网络舆情公共危机治理中社会信任修复研究——基于动物疫情危机演化博弈的实证分析》，《公共管理学报》2017年第4期，第91~101页。

⑤ 石佑启、杨治坤：《论我国行政组织结构的优化》，《湖北民族学院学报》（哲学社会科学版）2010年第1期，第100页。

⑥ 夏能礼：《府际权力配置运行与纵向府际关系治理——基于A、B、C三县市的案例比较》，《中国行政管理》2020年第11期，第25页。

为地方各级国家行政机关,根据“属地管理”的原则,承担辖区内公共安全和应急管理职责。本文所研究的政府系指地方政府,主要指省级地方政府。在重大疫情的防控过程中,省级政府发挥着重要作用。在中央政府发挥自上而下的指挥协调和资源配置作用的同时,省级政府是对地方疫情防控开展管理的关键行动者和责任者。<sup>①</sup>其他级别地方政府,如县/自治县/市政府、乡/民族乡/镇政府,虽然在疫情期间与公众演化博弈的机理同省级政府一致,但其影响范围、规模较小,不如省级政府更具有代表性。在重大传染病疫情防控过程中,地方政府、社会公众是最重要的博弈行为主体。从演化博弈的角度分析,重大传染病疫情的防控、传播、救治过程也是政府和社会公众进行应急处置,并通过观察、学习不断调整各自行为的互动过程。运用演化博弈理论建立重大疫情防控动力学模型,可以揭示地方政府、社会公众在重大疫情防控中的行为规律,为应急管理策略的完善提供帮助。

### (一) 演化博弈分析框架

要进行演化博弈分析,首先需要有一个博弈框架。这个博弈框架主要是指博弈的结构和规则。演化博弈总是在特定的博弈结构和规则下进行的,而特定的技术和制度条件决定了特定的博弈结构和规则。这也意味着演化博弈只能在特定技术和制度条件下进行。博弈的参与者并不拥有博弈结构和规则的全部知识,相反,参与者的知识是相当有限的。而且,参与者通常是通过某种传递机制而非理性选择获得策略。尽管博弈的次数可能是无穷的,但是,在每次博弈中,参与者通常是从大群体中随机选择出来的。参与者之间缺乏了解,再次博弈的概率也较低。<sup>②</sup>

在疫情冲击下,地方政府通常先于社会公众行动,所以博弈双方的选择行为不仅有先后次序,而且后选择、后行动的博弈方在自己选择、行动之前可以看到其他博弈方已经进行的选择和行动,甚至还可以看到本方其他个体的选择和行动。很显然,这种博弈无论在哪种意义上都无法看作同时决策的静态博弈,而属于动态博弈。<sup>③</sup>由于动态博弈中各个博弈方的选择行为有先后顺序,后行动者能够观察到此前已经做出选择的博弈方的行为,且策略选择和收益情况也不对称,所以动态博弈中各博弈方的地位是非对称的,即双方的博弈是动态非对称博弈。

此外,理性和能力决定了博弈方的行为逻辑。理性的有限性意味着博弈方往往不会一开始就找到最优策略,他们需要在博弈过程中学习博弈,经过

① 张玉磊:《重大疫情防控中的府际合作——兼论新冠肺炎疫情防控》,《上海大学学报》(社会科学版)2020年第6期,第21页。

② 黄凯南:《演化博弈与演化经济学》,《经济研究》2009年第2期,第134页。

③ 谢识予:《经济博弈论》,复旦大学出版社2003年版,第38~39页。

试错找到较好的策略。因此，博弈均衡是不断调整和改进的而不是一次性选择的结果。在有限理性博弈框架中，地方政府和社会公众作为有差别的有限理性博弈方群体的成员，相互之间随机配对博弈。他们在博弈中不仅会向单次博弈中两个被随机选中的个体学习，而且也会向群体中的其他个体学习，其策略的调整可以用演化的“复制动态”机制模拟。

基于上述分析，本文运用 $2 \times 2$ 双矩阵动态非对称演化博弈模型来模拟在疫情防控过程中地方政府和社会公众之间的博弈情境。相较传统博弈理论，演化博弈模型对博弈主体行为选择的理论解释更符合实际。

## （二）博弈模型假设

假设1：在不考虑其他约束条件的情况下，地方政府及社会公众双方能够组成一个完整的区域公共卫生系统。这一系统中的社会人口总数记为 $M$ 。地方政府和社会公众是参与博弈的两类有差别的“有限理性”群体。随着疫情的发展和人们对新冠肺炎疫情认知的不断更新，地方政府、社会公众采取的具体应对措施也处于动态调整中。双方在利益博弈过程中经过不断试错和持续学习，不断调整自身策略，以期形成最优的策略组合来达到均衡解。

假设2：地方政府有两种行动方案，其策略集合 $S_1 = \{\text{严格防控}(Y), \text{常规应对}(N)\}$ 。其中，“严格防控”策略 $Y$ （以下简称 $Y$ 策略）是指地方政府了解了疫情的真实情况，按照《国家突发公共卫生事件应急预案》《中华人民共和国突发事件应对法》等法规要求公布相关疫情信息，将公共卫生响应级别调整到相应级别，对疫情采取果断措施进行严格防控的策略行为。“常规应对”策略 $N$ （以下简称 $N$ 策略）则是指地方政府由于对疫情的状况认识不够，或者专家判断结果有误，导致应急决策失灵而做出的策略选择。地方政府选择 $Y$ 策略的概率为 $x$ ，选择 $N$ 策略的概率为 $1-x$ 。

假设3：社会公众也有两种行动方案，策略集合 $S_2 = \{\text{主动隔离}(I), \text{自由流动}(F)\}$ 。其中，“主动隔离”策略 $I$ （以下简称 $I$ 策略）是指社会公众积极执行政府有关规定，从疫情发生地归来主动居家隔离两周；有发热（体温高于 $37.3^{\circ}\text{C}$ ）或急性呼吸道疾病症状的人员，以及与患者、疑似患者有过密切接触者，主动联系定点医疗机构进行医学排查和治疗，积极做好自身防护工作等策略行为。“自由流动”策略 $F$ （以下简称 $F$ 策略）是指一些新冠肺炎患者、疑似患者、密切接触者等无视我国政府有关法律和防控规定，或者一些处于潜伏期的患者，由于未能发现自身的异常症状，依然乘坐公交、地铁、大巴等公共交通工具自由流动的策略选择。社会公众选择 $I$ 策略的概率为 $y$ ，选择 $F$ 策略的概率为 $1-y$ （见表1）。

假设4：人们对于病毒和疫情的知识是经历一个认识—再认识的过程而取得的。当区域公共卫生系统中出现若干零星病患时，地方政府并未了解疫情危害而采取 $N$ 策略，其成本假设为 $0$ ；社会公众在没有可靠信息源的情况

下选择  $F$  策略。由于公众将自己暴露于疫情面前，因而增加了染病的风险，个人感染病毒的概率为  $\beta$ ，由于被传染而给自己带来的损失记为  $G_1$ ，给社会带来的损失记为  $G_2$ 。

表1 地方政府与社会公众的演化博弈策略集合及选择概率

参与主体	参与主体的策略组合	选择概率
地方政府	$S_1$ {严格防控 ( $Y$ ), 常规应对 ( $N$ )}	$(x, 1-x)$
社会公众	$S_2$ {主动隔离 ( $I$ ), 自由流动 ( $F$ )}	$(y, 1-y)$

假设5：随着被感染的病例数增加，疫情的危害逐渐显露，并引发中央政府的高度关注，各方压力迫使地方政府重新审视疫情信息，并采取  $Y$  策略。地方政府实施严格防控措施的成本记为  $C_1$ （其中除了疫情防控的必要支出，还包括由严格防控导致停工停产带来的机会成本，以及地方政府税收的减少等。另外，财政部明确规定新冠肺炎患者发生的医疗费用，在基本医保、大病保险、医疗救助等按规定支付后，个人负担部分由财政给予补助，即在医疗保险以外的部分由财政负担<sup>①</sup>）。由于政府采用  $Y$  策略，对传染源展开排查，要求居民居家隔离以切断传染源与传播途径，除了对患者加以救治外，政府对疑似患者、密切接触者均进行大范围的跟踪和排查；社会公众严格遵守政府部门的防控措施，根据国家发布的新冠肺炎诊疗方案，到过疫区人员或密切接触者主动居家隔离。公众因为隔离期间无法办公、聚会、出游和社交等造成的人均损失记为  $A_1$ ，由此降低了疫情进一步扩散的可能，给政府带来的正向收益记为  $V_1$ ；如果一些社会公众仍然无视政府部门有关全民防控的部署而选择自由流动，按相关法律规定，“患有突发传染病或者疑似突发传染病而拒绝接受检疫、强制隔离或者治疗，过失造成传染病传播，情节严重，危害公共安全的，依照刑法第一百一十五条第二款的规定，按照过失以危险方法危害公共安全罪定罪处罚”，<sup>②</sup> 该处罚行为给因违反防疫规定而被处罚的公众带来的人均损失记为  $A_2$ 。在此情形下，个人感染病毒的概率为  $\alpha$ 。显然， $\beta > \alpha$ 。

根据上述假设，博弈主体的支付矩阵如表2所示。

### （三）演化博弈策略分析

根据表2所示的在重大疫情防控中地方政府和社会公众的支付矩阵，可

① 《财政支持新冠肺炎疫情防控政策措施问答》，[http://www.gov.cn/fuwu/2020-03/21/content\\_5493863.htm](http://www.gov.cn/fuwu/2020-03/21/content_5493863.htm)，2021年9月10日。

② 《最高人民法院、最高人民检察院关于办理妨害预防、控制突发传染病疫情等灾害的刑事案件具体应用法律若干问题的解释》，<http://m.law-lib.com/law/law-view.asp?id=74649>，2021年9月10日。

表 2 重大疫情防控中地方政府和社会公众博弈支付矩阵

地方政府	社会公众	
	主动隔离 ( $I$ )	自由流动 ( $F$ )
严格防控 ( $Y$ )	$(V_1 - C_1 - \alpha MG_2, -MA_1 - \alpha MG_1)$	$(V_1 - C_1 - \beta MG_2, -MA_2 - \beta MG_1)$
常规应对 ( $N$ )	$(-\beta MG_2, -MA_1 - \beta MG_1)$	$(-\beta MG_2, -\beta MG_1)$

得到各策略的收益和混合策略的收益,进而可以确定地方政府的策略集合  $S_1 = \{\text{严格防控}(Y), \text{常规应对}(N)\}$  的期望收益以及平均收益,如式(1)所示:

$$\begin{aligned} U_{CY} &= y(V_1 - C_1 - \alpha MG_2) + (1 - y)(V_1 - C_1 - \beta MG_2) \\ U_{CN} &= y(-\beta MG_2) + (1 - y)(-\beta MG_2) \\ \overline{U}_C &= xU_{CY} + (1 - x)U_{CN} \end{aligned} \quad (1)$$

同时,可以得到社会公众的策略集合  $S_2 = \{\text{主动隔离}(I), \text{自由流动}(F)\}$  的期望收益以及平均收益,如式(2)所示:

$$\begin{aligned} U_{PI} &= x(-MA_1 - \alpha MG_1) + (1 - x)(-MA_1 - \beta MG_1) \\ U_{PF} &= x(-MA_2 - \beta MG_1) + (1 - x)(-\beta MG_1) \\ \overline{U}_P &= yU_{PI} + (1 - y)U_{PF} \end{aligned} \quad (2)$$

运用非对称复制动态演化方式,得到重大疫情防控中地方政府和社会公众的演化复制动态方程:

$$F_C(x) = \frac{dx}{dt} = x(U_{CY} - \overline{U}_C) = x(1 - x)[y(\beta - \alpha)MG_2 + V_1 - C_1] \quad (3)$$

$$F_P(y) = \frac{dy}{dt} = y(U_{PI} - \overline{U}_P) = y(1 - y)\left\{x[(\beta - \alpha)MG_1 + MA_2] - MA_1\right\} \quad (4)$$

式(3)表明,仅当  $x=0, 1$  或  $y^* = \frac{V_1 - C_1}{-(\beta - \alpha)MG_2}$  时,地方政府选择  $Y$  策略的比例是局部稳定的;式(4)表明,仅当  $y=0, 1$  或  $x^* = \frac{MA_1}{(\beta - \alpha)MG_1 + MA_2}$  时,社会公众选择  $I$  策略的比例是局部稳定的。

复制动态模型描述了在重大传染病疫情防控过程中,地方政府与社会公众作为博弈双方的策略调整的动态关系。对于两群体演化博弈模型,趋于稳定性状态要求:

令  $F_C(x) = 0$  且  $F_P(y) = 0$ , 在平面  $H = [(x, y) | 0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1]$  上可得五个局部均衡点,即  $E_1 = O(0, 0)$ ,  $E_2 = C(0, 1)$ ,  $E_3 =$

$$A(1, 0), E_4 = B(1, 1), E_5 = D(x^*, y^*).$$

$$\text{其中, } x^* = \frac{MA_1}{(\beta - \alpha) MG_1 + MA_2}, y^* = \frac{V_1 - C_1}{-(\beta - \alpha) MG_2}.$$

**(四) 博弈均衡点稳定性分析**

根据弗里德曼提出的雅可比 (Jacobian) 矩阵的局部稳定分析法可以判定, 以上这些均衡点并不一定是系统演化稳定策略。雅可比矩阵的基本行列式为:

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix}$$

$$\text{其中, } a_{11} = (1 - 2x) [y(\beta - \alpha) MG_2 + V_1 - C_1];$$

$$a_{12} = x(1 - x) [(\beta - \alpha) MG_2];$$

$$a_{21} = y(1 - y) [(\beta - \alpha) MG_1 + MA_2];$$

$$a_{22} = (1 - 2y) \left\{ x [(\beta - \alpha) MG_1 + MA_2] - MA_1 \right\}.$$

根据弗里德曼提出的判定标准, 当行列式  $\det(J) = a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21} > 0$ , 迹  $\text{tr}(J) = a_{11} + a_{22} < 0$  时, 该系统的均衡点将成为演化稳定策略, 即 ESS 点。通过五个局部均衡点, 并结合雅可比矩阵的稳定性进行分析, 结果如表 3 所示。

**表 3 演化稳定性分析结果**

		$E_1$ (0, 0)	$E_2$ (0, 1)	$E_3$ (1, 0)	$E_4$ (1, 1)	$E_5$ ( $x^*, y^*$ )
情形 1	$V_1 - C_1 > 0$ $[(\beta - \alpha) MG_1 + MA_2] - MA_1 < 0$ $(\beta - \alpha) MG_2 + V_1 - C_1 > 0$	不稳定	不稳定	ESS	不稳定	不存在
情形 2	$V_1 - C_1 > 0$ $[(\beta - \alpha) MG_1 + MA_2] - MA_1 > 0$ $(\beta - \alpha) MG_2 + V_1 - C_1 > 0$	不稳定	不稳定	不稳定	ESS	不存在
情形 3	$V_1 - C_1 < 0$ $[(\beta - \alpha) MG_1 + MA_2] - MA_1 > 0$ $(\beta - \alpha) MG_2 + V_1 - C_1 > 0$	ESS	不稳定	不稳定	ESS	鞍点
情形 4	$V_1 - C_1 < 0$ $[(\beta - \alpha) MG_1 + MA_2] - MA_1 > 0$ $(\beta - \alpha) MG_2 + V_1 - C_1 < 0$	ESS	不稳定	不稳定	不稳定	不存在

续表 3

		$E_1$ (0, 0)	$E_2$ (0, 1)	$E_3$ (1, 0)	$E_4$ (1, 1)	$E_5$ ( $x^*$ , $y^*$ )
情形 5	$V_1 - C_1 < 0$ $[(\beta - \alpha) MG_1 + MA_2] - MA_1 < 0$ $(\beta - \alpha) MG_2 + V_1 - C_1 < 0$	ESS	不稳定	不稳定	不稳定	不存在
情形 6	$V_1 - C_1 < 0$ $[(\beta - \alpha) MG_1 + MA_2] - MA_1 < 0$ $(\beta - \alpha) MG_2 + V_1 - C_1 > 0$	ESS	不稳定	不稳定	不稳定	不存在

推论 1: 当  $V_1 > C_1$ ,  $V_1 - C_1 - \alpha MG_2 > -\beta MG_2$  且  $-MA_1 - \alpha MG_1 < -MA_2 - \beta MG_1$  时,  $A(1, 0)$  是模型的演化稳定点。此时, 地方政府采取  $Y$  策略的收益大于采取  $N$  策略的收益, 因而地方政府会采取严格防控的行为策略。然而, 对于一些社会公众来说, 他们采取  $F$  策略的收益大于采取  $I$  策略的收益, 因此, 他们仍然会选择自由流动。比如, 在疫情防控时期郭某鹏乘飞机去意大利看球, 被感染后没有按规定采取隔离措施, 依然上班活动, 导致多人被感染, 最终郭某鹏因为妨害传染病防治罪被依法判处有期徒刑 18 个月。<sup>①</sup> 一些公众之所以在政府选择严格防控时仍然选择自由流动, 是因为他们希望自己侥幸没有患病, 或者没有考虑到最终被查出来的一系列成本以及被判刑的后果, 包括在确诊、救治至痊愈的整个过程中, 除了身体所遭受的病痛折磨以外, 由于媒体等的报道, 其个人及其家庭还将背负的沉重道德成本。这些都是选择  $F$  策略的社会公众所始料未及的, 同时也说明有限理性的假设是符合现实情况的。因此,  $A(1, 0)$  是模型的不稳定点。

推论 2: 当  $V_1 > C_1$ ,  $V_1 - C_1 - \alpha MG_2 > -\beta MG_2$  且  $-MA_1 - \alpha MG_1 > -MA_2 - \beta MG_1$  时,  $B(1, 1)$  是模型的演化稳定点。此时, 地方政府采取  $Y$  策略的收益大于采取  $N$  策略的收益, 因而地方政府会采取严格防控的行为策略。同时, 公众充分认识到了病毒的危害, 以及不采取主动隔离措施有可能带来的社会危害和自身需要承担的责任。在此情况下, 公众选择  $I$  策略的收益大于采取  $F$  策略的收益, 因而他们会选择与政府合作的  $I$  策略。均衡点  $B(1, 1)$  是模型的演化稳定点, 在给定条件下也是原动态博弈唯一的子博弈完美均衡点。

推论 3: 当  $V_1 < C_1$  时, 无论  $V_1 - C_1 - \alpha MG_2$  大于还是小于  $-\beta MG_2$ , 也无论  $-MA_1 - \alpha MG_1$  大于还是小于  $-MA_2 - \beta MG_1$ ,  $O(0, 0)$  都是模型的演化稳定点。

<sup>①</sup> 《最高人民法院、公安部依法惩治涉境外输入型疫情防控违法犯罪典型案例（全国检察机关依法办理涉新冠肺炎疫情典型案例 第八批）》，[https://www.spp.gov.cn/xwfbh/wsfbt/202004/t20200403\\_457905.shtml#1](https://www.spp.gov.cn/xwfbh/wsfbt/202004/t20200403_457905.shtml#1), 2021 年 9 月 10 日。

这是因为，虽然地方政府采取  $Y$  策略的收益大于采取  $N$  策略的收益，但是地方政府的收益和成本相比，成本超过了收益，如果地方政府采取严格防控  $Y$  策略，就会导致入不敷出，因而该策略不是地方政府的最优策略。出于自利性避责动机，地方政府最终会选择  $N$  策略。社会公众作为后选择者，如果选择  $I$  策略将不得不待在家中，无法获得收入来源，而选择  $F$  策略，虽然有被感染的可能，但只需要做好自身防护就有可能不被感染，所以选择  $F$  策略是公众的最优策略。这就能够说明为什么西方很多国家政府选择  $N$  策略，民众选择  $F$  策略。

但  $O(0, 0)$  作为模型的演化稳定点，并不适用于我国的国情。在我国，党和政府以人民利益为最高宗旨，坚持人民至上原则。当疫情危害超出地方政府自主应对能力的范围，或者地方政府关于疫情防控的决策对国家全局影响较大时，党中央和中央政府会强化权力集中程度，对中央政府与地方政府之间的权力分配关系作出暂时性调整，以有效应对危机爆发时期的紧急治理需求。这是我国政府调整权力分配关系的一种特殊方式，即在新冠肺炎疫情紧急防控状态下的中央“接管”地方模式。比如，在疫情期间中央督导组赴湖北指导湖北省抗疫，此时，湖北省地方政府暂时“丧失”了对于本地疫情防控事务的领导权和决策权，更多地扮演中央决策安排的服从者与执行者角色，希望借助中央的权威和力量及时化解本地危机。<sup>①</sup> 同时，我国的举国体制在中央政府的协调指挥下发挥巨大作用，“一方有难，八方支援”，会使  $V_1 < C_1$  的情况发生根本性改变。因而，在我国的国情条件下， $O(0, 0)$  是模型的不稳定点，地方政府和社会公众的策略集合为 {严格防控 ( $Y$ ), 主动隔离 ( $I$ )}。

根据以上推论，我们发现，在重大疫情防控过程中地方政府与社会公众的博弈有三个演化稳定策略，即  $O(0, 0)$ 、 $A(1, 0)$  和  $B(1, 1)$ 。在演化博弈相位图中（见图 1），当演化策略收敛于  $O(0, 0)$  时，多边形  $OADC$

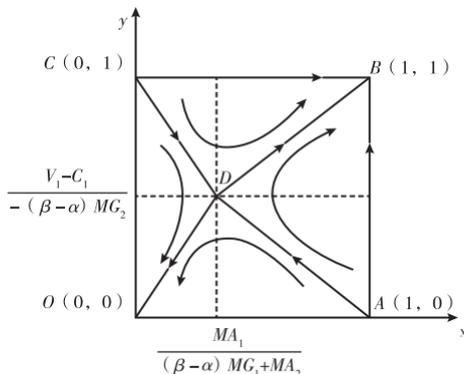


图 1 系统动态非对称演化相位图

① 参见孙德超、钟莉莉：《疫情防控中央地关系动态调整的基本逻辑与创新意义》，《理论探讨》2021年第4期，第145~146页。

区域表示地方政府与社会公众策略集合 {常规应对 ( $N$ ), 自由流动 ( $F$ )} 成为常态; 当演化策略收敛于  $B(1, 1)$  时, 多边形  $ABCD$  区域表示地方政府与社会公众策略集合 {严格防控 ( $Y$ ), 主动隔离 ( $I$ )} 成为稳定状态。多边形面积的大小表示博弈双方选择相应策略的可能性。其中, 多边形  $ABCD$  区域的面积越大, 地方政府选择  $Y$  策略、社会公众选择  $I$  策略的概率越大。

### 三、数值仿真

为直观地刻画重大疫情防控中地方政府与社会公众博弈行为的演化过程, 我们使用 MATLAB 软件对重大疫情防控应急管理中海方政府与公众之间的策略选择的演化博弈进行仿真分析。在图 2~6 中, 横轴代表时间, 纵轴分别代表地方政府 ( $x, 1-x$ ) 与社会公众 ( $y, 1-y$ ) 的策略选择比例。

根据第七次全国人口普查结果, 我国总人口为 14.43 亿人,<sup>①</sup> 其中大陆 31 个省、自治区、直辖市人口为 14.12 亿人, 各省、自治区、直辖市平均人口为 4554 万人, 人口最多的广东省有 1.26 亿人, 人口最少的西藏自治区有 364.81 万人。<sup>②</sup> 综合考虑各省、自治区、直辖市人口平均值和人口规模效应, 本文选择了 6000 万人作为地方政府所辖人口模拟数值。为了确保模型的收敛性, 本文用“千万”作为人口的数量单位。

参数  $\alpha$  和  $\beta$  的数值是通过微分方程反推出来的, 这两个参数代表不同策略条件下的染病概率。这样做的意义在于可以分析演化博弈模型在面临什么样的染病概率时是有效的。

$A_1$  表示主动隔离对个人造成的损失。

$A_2$  表示被惩罚造成的个人损失。

其他参数说明 (数量单位是 10 万元):

$G_1 = 1$ , 表示感染病毒对自己造成的损失。被感染者一年无法上班, 但有基本工资。

$G_2 = 7$ , 表示个人被病毒感染对社会造成的损失。根据相关报道, 新冠肺炎轻症患者需花费千元至几万元不等, 重症患者需花费几万元至上百万元不等。综合考虑各种因素并经过试算, 我们最终选取 70 万元作为对社会造

① 《第七次全国人口普查公报 (第二号)》, [http://www.stats.gov.cn/tjsj/tjgb/rkpcgb/qgrkpcgb/202106/t20210628\\_1818821.html](http://www.stats.gov.cn/tjsj/tjgb/rkpcgb/qgrkpcgb/202106/t20210628_1818821.html), 2021 年 10 月 11 日。

② 《第七次全国人口普查公报 (第三号)》, [http://www.stats.gov.cn/tjsj/tjgb/rkpcgb/qgrkpcgb/202106/t20210628\\_1818822.html](http://www.stats.gov.cn/tjsj/tjgb/rkpcgb/qgrkpcgb/202106/t20210628_1818822.html), 2021 年 10 月 11 日。

成的损失。

情形1, 在条件为  $V_1 - C_1 > 0$ ,  $[(\beta - \alpha)MG_1 + MA_2] - MA_1 < 0$ ,  $(\beta - \alpha)MG_2 + V_1 - C_1 > 0$  时, 在参数为  $\beta = 0.03$ ,  $\alpha = 0.002$ ,  $M = 6$ ,  $V_1 = M \times 10/14$ ,  $C_1 = M \times 0.6/14$ ,  $A_1 = 5$ ;  $A_2 = 2.5$ ,  $G_1 = 1$ ,  $G_2 = 7$  的情况下, 只有地方政府的收益大于成本, 个人感染造成的损失在自由流动情况下与主动隔离情况下的期望之差, 加上由地方政府严控个人自由流动造成的损失小于主动隔离的个人的损失时, 地方政府选择严格防控和个人选择自由流动是稳定的。这也说明在地方政府严控政策下之所以仍然有人选择自由流动, 主要是由于地方政府的处罚措施给个人带来的损失  $A_2$  小于公众主动隔离给个人带来的损失  $A_1$ , 使得  $(\beta - \alpha)MG_1 < M(A_1 - A_2)$ 。也就是说, 这种情况是由管控没有强制性, 或者惩罚措施执行的力度不够造成的 (见图2)。

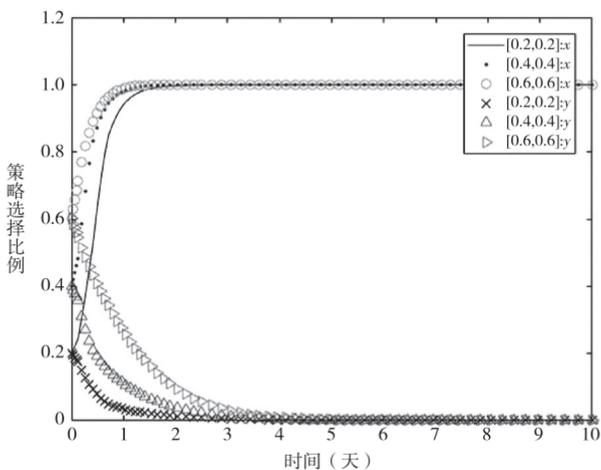


图2 情形1 (1, 0) 点均衡

情形2, 在条件为  $V_1 - C_1 > 0$ ,  $[(\beta - \alpha)MG_1 + MA_2] - MA_1 > 0$ ,  $(\beta - \alpha)MG_2 + V_1 - C_1 > 0$  时, 在参数为  $\beta = 0.3$ ,  $\alpha = 0.002$ ,  $M = 6$ ,  $V_1 = M \times 10/14$ ,  $C_1 = M \times 0.6/14$ ,  $A_1 = 0.2$ ,  $A_2 = 2.5$ ,  $G_1 = 1$ ,  $G_2 = 7$  的情况下, 地方政府的收益大于成本, 个人感染造成的损失在自由流动情况下与主动隔离情况下的期望之差, 加上由地方政府严控自由流动造成的个人损失大于主动隔离的个人的损失时, 地方政府选择严格防控和个人选择主动隔离是稳定的。这种情况在国内比较常见, 由于人员自由流动的感染率远远高于人员主动隔离的感染率, 在地方政府严控政策下个人采取自由流动策略所受到的惩罚对个人造成的损失大于主动隔离对个人造成的损失。因此, 个人会在地方政府严格防控的政策下选择主动隔离 (见图3)。

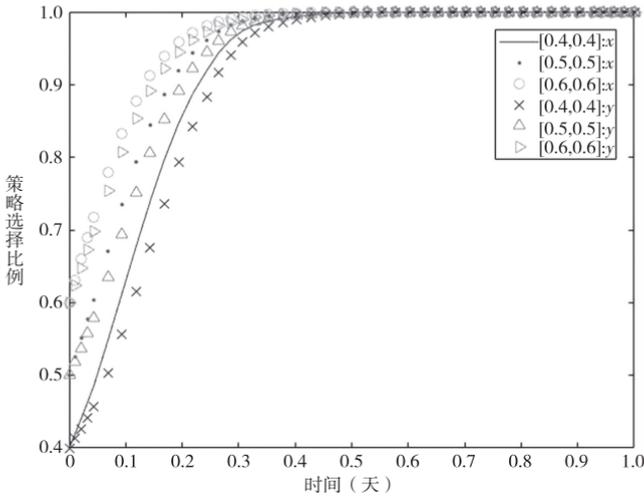


图3 情形2 (1, 1) 点均衡

情形3, 在条件为  $V_1 - C_1 < 0$ ,  $[(\beta - \alpha) MG_1 + MA_2] - MA_1 > 0$ ,  $(\beta - \alpha) MG_2 + V_1 - C_1 > 0$  时, 在参数为  $\beta = 0.3$ ,  $\alpha = 0.002$ ,  $M = 6$ ,  $V_1 = M \times 2/14$ ,  $C_1 = M \times 3/14$ ,  $A_1 = 0.1$ ,  $A_2 = 2.5$ ,  $G_1 = 1$ ,  $G_2 = 7$  的情况下, 地方政府的收益小于成本, 个人感染造成的个人损失在自由流动情况下与主动隔离情况下的期望之差, 加上由地方政府严控自由流动造成的个人损失大于主动隔离的个人的损失; 同时, 个人感染对社会造成的损失在自由流动情况下与主动隔离情况下的期望之差足够大时, 地方政府仍然会采取严格控制措施 (见图4)。这一点, 体现了不同的社会体制对成本与收益的衡量标准也有所不同。在只看重政府利益而非人民利益的国家, 这种情况很难出现。在我国的社会主义制度下, 政府坚持人民至上原则, 在疫情面前, 将保护人民生命健康作为首要目标加以考量。因而, 政府选择严格防控和个人选择主动隔离是稳定的 (见图5)。

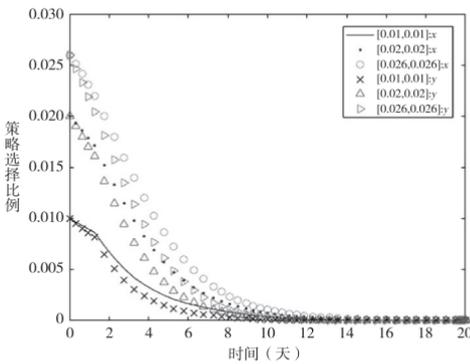


图4 情形3 (0, 0) 点均衡

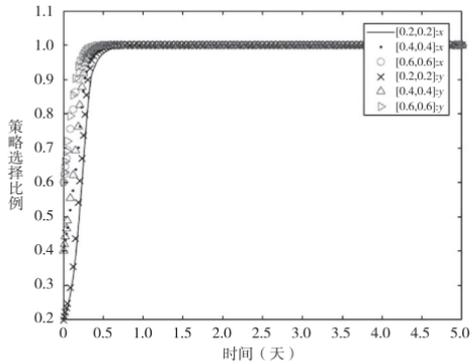


图5 情形3 (1, 1) 点均衡

另外，在地方政府的收益小于成本时（情形4，5，6），多数情况是地方政府选择常规应对，也就是不作为，而社会公众无论如何是不会选择主动隔离的。这样，政府选择常规应对和社会公众选择自由流动是稳定的。这种情况说明了西方多数国家出现的疫情没有得到很好控制的局面（见图6）。

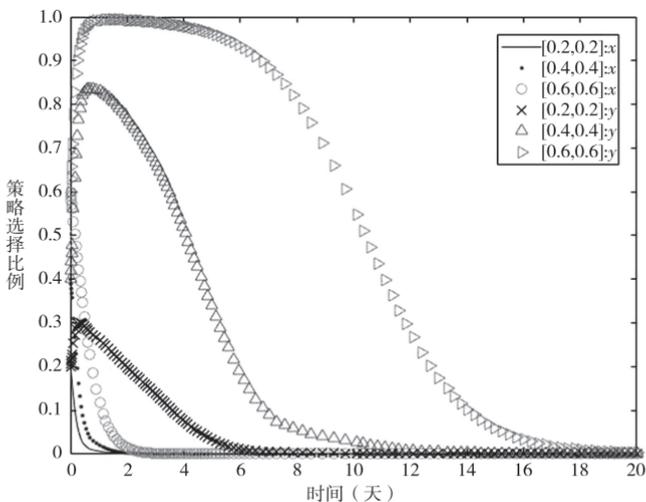


图6 情形4，5，6 (0,0)点均衡

#### 四、总结与启示

通过以上分析，我们得出以下结论：在疫情发生后，当地方政府采取严格防控措施的收益大于成本时，基于利益驱动，地方政府的选择不倾向于严格防控。当地方政府采取严格防控措施的收益小于成本时，选择严格防控的一个前置条件是我国政府是人民的政府，坚持人民至上原则。前文的分析表明，通过相关机制，中央政府运用举国体制帮助地方政府渡过难关，会使地方政府采取严格防控措施的收益小于成本的情况在很大程度上得以改观，进而采取措施进行严格防控；减少社会公众被病毒感染得到的收益与政府严格防控带来的收益越能抵消政府采取严格防控的成本，政府的选择越倾向于严格防控。另外，虽然从短期来看地方政府采取严格防控的成本大于收益，但是，从长期来看，越早控制住疫情，越有利于生产、生活和消费活动的正常化，越有利于经济社会的重启和复苏，从而使严格防控的成本小于收益。这就是政府更倾向于采取严格防控措施的原因。

与政府的选择相对应，社会公众更关注选择主动隔离或自由流动造成的成本与收益。公众个人选择自由流动而非主动隔离导致增加被感染风险造成的

损失和在政府严控下因自由流动而受到惩罚造成的损失之和越趋近于或大于主动隔离造成的损失，社会公众的选择越趋向于主动隔离。在新冠肺炎疫情发生初期，社会公众之所以未选择主动隔离，是因为“理性有限”以及对自由的追求，使得公众认为主动隔离的损失远大于自由流动。由于信息不对称，公众对疫情一知半解甚至一概不知，认为自由流动也不会有被感染的风险；当时恰逢春运，公众选择主动隔离会使自身自由受限，难以及时返乡与家人团圆。这就是疫情暴发初期出现大量聚集性感染的原因。当疫情发生大规模扩散，出现大量被感染病例和死亡病例后，公众意识到被感染会威胁生命健康，且在政府严防措施下若自由流动会受到法律的惩罚，自由流动带来的损失远大于主动隔离带来的损失，因此更倾向于配合政府工作，进行主动隔离。

根据本文的主要结论，我们的具体政策建议如下：

第一，地方政府要完善重大疫情研判、评估、决策和协同防控机制，对公共卫生安全风险进行及时预警、实时监控，积极履行公共安全风险治理的责任。在疫情发生初期，即使疫情在区域系统中只是零星存在，也要及时、快捷、准确地把握并研判疫情可能造成的破坏，不能只看到常规应对所花费成本的“小”，而看不到疫情扩散后造成的停工停产、医疗救治所花费成本的“大”，从而科学地选择应对策略。

第二，地方政府应树立风险治理的底线思维和兜底思维。在我国，政府在面对疫情进行策略选择时，不仅要考虑成本、收益和最优策略选择的条件，还要坚持人民至上原则，将保障人民生命健康作为最重要的目标加以考虑。对于地方政府来说，一旦疫情超出地方政府控制，中央政府“接管”地方的模式就会启动。虽然这一模式能快速有效应对疫情，但地方政府将面临巨大的信任成本和能力危机。因此，在疫情暴发后，地方政府应具有底线思维，积极采取严格防控策略。

第三，地方政府要积极引导公众科学、理性地应对疫情。在疫情防控中，社会公众的策略选择在一定程度上会受到政府策略选择的引导。因而，政府应及时通过信息公开与防控政策宣传，加强对疫情的信息通报与病毒知识的普及，使社会公众对疫情会造成的损失有科学的认知，能够清楚地认识到由染病带来的损失远大于主动隔离造成的损失，从而选择主动隔离，配合政府的疫情防控工作；同时，政府须依照法律法规，对违反疫情防控规定而自由流动的人员给予严厉的法律处罚，以警示社会公众并促使其认真做好疫情防控时期的主动隔离与防护工作。如果政府的惩罚性政策对个人造成的损失大于主动隔离对个人造成的损失，就能够有效督促社会公众选择主动隔离，减少感染他人或被感染的风险。