

# 基于多群体演化博弈的巨灾保险市场均衡研究

王松, 侯吉成

北京信息科技大学理学院, 北京  
Email: [wsongsmile@163.com](mailto:wsongsmile@163.com)

收稿日期: 2021年9月18日; 录用日期: 2021年10月11日; 发布日期: 2021年10月19日

## 摘要

在自然灾害日渐频发的今天, 巨灾事件每年都会为国家和人民带来极其庞大的损失, 因此通过研究巨灾保险市场均衡, 建立一个相对完善的巨灾保险制度, 对于国家治理和人民的美好生活都是举足轻重的。基于此, 本文构建了政府、投保人、保险公司以及再保险公司的四群体非对称演化博弈模型, 分析影响各博弈群体策略选择的因素, 利用MATLAB进行仿真分析, 并给出优化建议。研究表明, 若想该模型达到演化稳定策略, 就要使四个博弈群体在巨灾保险市场运作过程中均保持活跃。

## 关键词

演化博弈, 巨灾保险, 复制动态

# The Equilibrium of Catastrophe Insurance Market Based on Multi-Group Evolutionary Game

Song Wang, Jicheng Hou

School of Applied Science, Beijing Information Science & Technology University, Beijing  
Email: [wsongsmile@163.com](mailto:wsongsmile@163.com)

Received: Sep. 18<sup>th</sup>, 2021; accepted: Oct. 11<sup>th</sup>, 2021; published: Oct. 19<sup>th</sup>, 2021

## Abstract

Now natural disasters are becoming more frequent, catastrophe brings great losses to the country and the people every year, it is very important for the governance of the country and the people to establish a relatively perfect catastrophe insurance system by studying the equilibrium of catastrophe insurance market. Based on the above, this paper constructs the four groups of non-symmetrical evolutionary game model of government, policyholder, insurance company and reinsurance company, analyzes the factors that affect the strategic choice of each group, uses MATLAB to perform

simulation analysis, and gives optimization suggestions. The result shows that if the model is to achieve evolutionary stable strategy, it is necessary to keep four groups active in the operation of the catastrophe insurance market.

## Keywords

Evolutionary Game, Catastrophe Insurance, Replicator Dynamics

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

“巨灾”是指对人民生命财产造成巨大的损失与破坏,对区域或者国家经济社会产生严重影响的自然灾害或人为事件,巨灾一旦发生,受灾地区通常没有办法自行解决,需要国家乃至国际社会的援助[1]。依据我国国情及巨灾保险的发展现状,本文将要讨论的“巨灾风险”特指极具破坏性的自然灾害所造成的风险,包括:地震、海啸、特大洪水、特大风暴等。我国幅员辽阔,地域覆盖面广且处于地震带之上,再加上气候因素所导致的旱涝灾害,使得中国成为全球范围内遭受巨灾损失最严重的国家之一。我国也一直对巨灾风险治理高度重视,特别在2008年“汶川大地震”之后,更加注重巨灾保险制度的建设[2],先后于深圳、宁波、云南等地区开展了巨灾保险试点工作,结合中国国情,力求建设具有中国特色的巨灾保险制度,进而建立起多层次、综合性的灾害防范和救助体系[3][4]。

据瑞士再保险公司(Swiss Re)2020年4月发布的sigma研究报告《经济积累和气候变化时期的自然灾害》(Natural Catastrophes in Times of Economic Accumulation and Climate Change)显示,2019年全球范围内自然灾害造成的经济损失为1370亿美元,源于自然灾害的保险损失为520亿美元,即保险的赔付额达到了自然灾害所造成经济损失的40%。对比国内,2019年因自然灾害造成的经济损失为3270.9亿元人民币,而保险赔付比例仅为10%左右。相比于十年前,如今的赔付比例已经有了很大的提升,但与国际上的赔付数据比对后容易发现,中国的巨灾保险仍然有很大的发展空间。

目前关于巨灾保险市场的均衡研究主要集中在政府与保险公司、保险公司与消费者或者政府作为隐性博弈方的三方博弈,而没有考虑再保险公司参与博弈[5][6]。伴随着再保险市场的快速发展,面对自然灾害发生后的巨大损失,保险公司为了自身生存,与政府、再保险公司合作也是大势所趋。因此本文通过构建政府、消费者、保险公司、再保险公司的四方演化博弈模型,对复制动态方程和均衡策略及其稳定性展开讨论,分析影响各个博弈方策略选择的主要因素,并提出相应的对策及建议。

## 2. 博弈模型构建

### 2.1. 问题描述

本文的讨论将在政府、消费者、保险公司和再保险公司四方博弈主体间进行,由于博弈方的决策行为均为有限理性且策略集也不尽相同,因此采用非对称演化博弈来进行分析更切合实际[7]。其中,博弈方的理性程度是根据博弈进程中的形势变化而不断进化的。本文主要探讨以下问题:1)在城市聚集风险和气候变化风险并存,自然灾害发生的强度和频率不断增加的当代,政府应从哪些角度入手,来引导保险市场参与进来,共担风险?2)如何让群众认识到巨灾风险是危及他们美好生活的潜在、巨大威胁,并发动企业和个人参与到巨灾风险分散机制中来?3)如何协调政府与市场间的关系,以达到更全面地整合

双方力量, 形成更有效的治理机制的目的?

## 2.2. 模型假设

本文假定所选取的四个博弈群体均为有限理性并以追求自身利益最大化为最终目标[8], 其中各方策略选择分别是: 政府灾前注入资金设立巨灾保险基金, 逐渐积累充足的风险保障资金(设立基金), 或者选择不设立基金, 而将更多的资金用作其他方面的投资以获取收益, 这样的决策以灾后的救助为主(救助为主); 消费者, 即投保人, 可以选择投保或不投保; 保险公司选择经营巨灾保险(经营)或不经营; 再保险公司考虑是否与保险公司合作, 分散巨灾风险(合作或不合作)。为构建并简化关于巨灾风险治理的各博弈群体间的演化博弈模型, 研究巨灾保险市场的均衡稳定策略, 特做出如下假设:

假设 1 非对称性假设。本模型分为四个不同的博弈群体, 他们的策略集均不相同。博弈信息也存在不对称现象, 这是由于目前我国的巨灾保险制度与市场并不完善, 也还没有完整的巨灾模型和数据库, 所以在博弈过程中信息的交流反馈会受到阻碍, 且博弈方也会有隐藏真实信息和策略选择的可能性。

假设 2 正外部性收益。保险公司和再保险公司分别在经营巨灾保险和选择与保险公司合作时得到正外部性收益, 这是由于保险公司经营该险不仅会连带着向投保人售出公司内的其他险种, 还会增加曝光度而收获更多的潜在消费者。相应的, 选择合作的再保险公司也会在业内增加曝光度, 占据更多的市场份额并获得更多的合作机会。对于消费者, 投保一方面会在巨灾发生后及时理赔获取赔偿, 可以更快地恢复常态; 另一方面购买巨灾保险时会了解更多相关知识, 风险意识增强, 从而购入更全面的险种来给自己充分的保障, 那么巨灾发生后也会得到更多的保险赔偿。而未投保巨灾保险消费者会从经营巨灾险的保险公司, 得到溢出效应, 但这部分收益相对较小。

假设 3 利用期望效用函数表示消费者的决策。针对巨灾保险, 消费者的选择只有是否投保, 此时消费者备选方案少, 会更倾向于认真比较, 相对准确地做出更加符合自己偏好的选择。因此本文中的消费者根据以自身的最终财富为自变量的期望效用函数(消费者选择投保巨灾险或者不投会产生不同的最终财富), 做出使得自身效用最大化的决策。

假设 4 对于选择不投保巨灾险的消费者, 在巨灾发生后无法获得足够的保险赔偿金, 有因灾致贫、因灾返贫的风险, 一方面政府会出于社会责任会通过公共财政给予一定补助, 这也导致消费者不投保情况下政府需要支付的救助比例相比于投保时会更高; 另一方面, 自身的财产安全缺少一个重要的保障, 因此这不投保巨灾险的消费者必须从其他方面投入成本来保障自身利益。在一些灾害频发的地区, 政府有关部门为了保障民生, 也会采取一些强制性措施来督促群众的减灾防备工作[9]。

## 2.3. 变量选取

$L$  为巨灾发生后造成的经济损失,  $L \in [0, \infty)$  是一个随机变量;

$Q$  为消费者选择投保时所需支付的保费;

$W_0, W_1, W_2$  分别为消费者、保险公司与再保险公司的初始财富;

$W_3, W_4$  分别为政府通过注入资金建立巨灾保险基金而得到的最终风险保障金和政府不建立基金而将资金用作其它用途而获取的最终收益;

$a_1, a_2$  分别为巨灾发生后, 政府在消费者投保和不投保巨灾险的情况下需要通过公共财政拨划给他们的救助比例, 其中  $0 \leq a_1 < a_2$ ;

$k_1, k_2$  分别为巨灾发生后, 经营巨灾保险的保险公司与再保险公司合作的情况下各自所需要的承担的赔偿比例, 当再保险公司选择不合作时, 保险公司需要承担的赔偿比例就为  $k_1 + k_2$ , 其中  $k_1, k_2 \in (0, 1)$ ;

$R$  为经营巨灾保险的保险公司将收取的保费(扣除相关费用后)作为本金投资运作, 所得的预期收益的现值, 可表示为所投入保费  $r \cdot Q$  的函数, 其中  $r \in [0, 1]$  为保费的投入比例;

$T$ 类似于 $R$ , 为选择合作的再保险公司将保险公司所支付的保费拿出一部分投资运作, 所得到的收益;  
 $b, h$ 分别为保险公司选择经营巨灾保险所产生的正外部性收益, 以及选择不经营时失去潜在消费者所产生收益的绝对值, 其中 $b, h > 0$ ;

$d, l$ 分别为再保险公司选择与保险公司合作时在业内产生的正外部性收益, 以及不合作时失去潜在合作方和市场份额所带来收益的绝对值, 其中 $d, l > 0$ ;

$Q_1$ 为再保险公司成功合作后得到的保险公司所支付的保费;

$C$ 为保险公司与再保险公司成功合作所需支付给再保险公司保费的结余, 即 $Q - Q_1$ ;

$s, \pi$ 为消费者选择投保、再保险公司选择合作而保险公司不经营导致的交易无法顺利进行所产生的额外成本, 其中 $s, \pi > 0$ ;

$t$ 为消费者需要自己承担的保费比例,  $t \in [0, 1]$ , 所以消费者需自己承担保费 $t \cdot Q$ , 政府补贴 $(1-t) \cdot Q$ ;

$c$ 为消费者选择不投保巨灾险时, 相比投保消费者需投入的更多的防备减灾成本,  $c > 0$ ;

$o$ 为巨灾发生后, 消费者虽未投保巨灾险但仍然可从经营巨灾险的保险公司处得到的溢出效应系数, 其中 $o \in (0, 1)$ ;

$f, g$ 为巨灾发生后, 消费者选择投巨灾保险比不投保时会得到更充分的赔偿而更快恢复常态, 和通过连带购买的其他险种得到的其他保险赔偿所带来的正向收益,  $f, g > 0$ ;

消费者选择投保巨灾保险时的期望效用为 $U_1 = EU[W_0 - Q - t \cdot Q + (k_1 + k_2)Q + a_1 \cdot Q]$ ;

消费者选择不投保巨灾保险时的期望效用为 $U_2 = EU(W_0 - Q + a_2 \cdot Q)$ 。

### 2.4. 构建得益矩阵

假设政府依概率 $\alpha$ 选择策略“设立基金”, 则选择“救助为主”的概率为 $(1-\alpha)$ ; 消费者依概率 $\beta$ 选择“投保”, 则选择“不投保”的概率为 $(1-\beta)$ ; 保险公司依概率 $\gamma$ 选择“经营”, 则“不经营”的概率为 $(1-\gamma)$ ; 再保险公司依概率 $\theta$ 选择“合作”, 则“不合作”的概率为 $(1-\theta)$ 。据此在不同的策略选择下, 四方博弈的得益矩阵如表1所示[10]。

**Table 1.** The benefit matrix of the four-party game

**表 1.** 四方博弈的得益矩阵

			消费者				
			投保( $\beta$ )		不投保( $1-\beta$ )		
			再保险公司		再保险公司		
			合作( $\theta$ )	不合作( $1-\theta$ )	合作( $\theta$ )	不合作( $1-\theta$ )	
政府	设立基金 ( $\alpha$ )	保险公司	经营( $\gamma$ )	$W_3 - a_1 E(L) - (1-t)C,$ $U_1 + f + g,$ $W_1 + C + R + b - k_1 E(L),$ $W_2 + Q_1 + T + d - k_2 E(L)$	$W_3 - a_1 E(L) - (1-t)C,$ $U_1 + f + g,$ $W_1 + C + R + b + Q_1 + T - (k_1 + k_2)E(L),$ $W_2 - l$	$W_3 - a_2 E(L),$ $U_2 + oE(L),$ $W_1 - oE(L),$ $W_2 + d$	$W_3 - a_2 E(L),$ $U_2 + oE(L),$ $W_1 - oE(L),$ $W_2 - l$
		不经营 ( $1-\gamma$ )	$W_3 - a_2 E(L),$ $U_2 - s,$ $W_1 - h,$ $W_2 - \pi$	$W_3 - a_2 E(L),$ $U_2 - s,$ $W_1 - h,$ $W_2$	$W_3 - a_2 E(L),$ $U_2,$ $W_1,$ $W_2 - \pi$	$W_3 - a_2 E(L),$ $U_2,$ $W_1,$ $W_2$	

Continued

		$W_4 - a_1 E(L) - (1-t)C,$	$W_4 - a_1 E(L) - (1-t)C,$	$W_4 - a_2 E(L),$	$W_4 - a_2 E(L),$
		$U_1 + f + g,$	$U_1 + f + g,$	$U_2 + oE(L),$	$U_2 + oE(L),$
	经营( $\gamma$ )	$W_1 + C + R + b - k_1 E(L),$	$W_1 + C + R + b + Q_1 + T - (k_1 + k_2)E(L),$	$W_1 - oE(L),$	$W_1 - oE(L),$
救助为主 ( $1-\alpha$ )	保险公司	$W_2 + Q_1 + T + d - k_2 E(L)$	$W_2 - l$	$W_2 + d$	$W_2 - l$
		$W_4 - a_2 E(L),$	$W_4 - a_2 E(L),$	$W_4 - a_2 E(L),$	$W_4 - a_2 E(L),$
	不经营 ( $1-\gamma$ )	$U_2 - s,$	$U_2 - s,$	$U_2,$	$U_2,$
		$W_1 - h,$	$W_1 - h,$	$W_1,$	$W_1,$
		$W_2 - \pi$	$W_2$	$W_2 - \pi$	$W_2$

### 3. 巨灾保险市场四方博弈均衡分析

由如上得益矩阵, 可得政府、消费者、保险公司、再保险公司四方博弈主体的复制动态方程, 再根据复制动态方程进行渐进稳定性分析[11]。

政府部门选择“设立基金”时的期望收益为  $u_{11}$ , 选择“救助为主”时为  $u_{12}$ :

$$\begin{cases} u_{11} = W_3 + [\beta\gamma(a_2 - a_1) - a_2]E(L) - \beta\gamma(1-t)C \\ u_{12} = W_4 + [\beta\gamma(a_2 - a_1) - a_2]E(L) - \beta\gamma(1-t)C \end{cases} \quad (1)$$

政府的期望收益为:

$$\begin{aligned} \bar{u}_1 &= \alpha u_{11} + (1-\alpha)u_{12} \\ &= \alpha W_3 + (1-\alpha)W_4 + [\beta\gamma(a_2 - a_1) - a_2]E(L) - \beta\gamma(1-t)C \end{aligned} \quad (2)$$

则政府的复制动态方程为:

$$F = \frac{d\alpha}{dt} = \alpha(u_{11} - \bar{u}_1) = \alpha(1-\alpha)(W_3 - W_4) \quad (3)$$

同理, 可得到消费者的复制动态方程为:

$$G = \frac{d\beta}{dt} = \beta(1-\beta)[\gamma(U_1 + f + g) + (1-\gamma)(U_2 - s) - \gamma oE(L) - U_2] \quad (4)$$

保险公司的复制动态方程为:

$$\begin{aligned} H = \frac{d\gamma}{dt} &= \gamma(1-\gamma)\{\beta[W_1 + C + R + b - k_1 E(L) + (1-\theta)(Q_1 + T - k_2 E(L))]\} \\ &\quad + (1-\beta)[W_1 - oE(L)] - W_1 + \beta h \end{aligned} \quad (5)$$

再保险公司的复制动态方程为:

$$K = \frac{d\theta}{dt} = \theta(1-\theta)\{\gamma[\beta(Q_1 + T - k_2 E(L)) + d + \pi + l] - \pi\} \quad (6)$$

式(3)~(6)就构成了该四方演化博弈的复制动态系统。

### 3.1. 各博弈群体的策略稳定性分析

#### 3.1.1 政府部门的策略稳定性分析

令式(3)  $F(\alpha) = \frac{d\alpha}{dt} = 0$ , 得到两个稳定点  $\alpha = 0$  和  $\alpha = 1$ , 而

$$\frac{dF}{d\alpha} = (1 - 2\alpha)(W_3 - W_4) \tag{7}$$

则有, 当  $W_3 > W_4$  时,  $\left. \frac{dF}{d\alpha} \right|_{\alpha=0} > 0$ ,  $\left. \frac{dF}{d\alpha} \right|_{\alpha=1} < 0$ , 由微分方程稳定性理论可知, 此时  $\alpha = 1$

为稳定策略, 政府部门会选择“设立基金”的策略;

当  $W_3 < W_4$  时,  $\left. \frac{dF}{d\alpha} \right|_{\alpha=0} < 0$ ,  $\left. \frac{dF}{d\alpha} \right|_{\alpha=1} > 0$ , 此时  $\alpha = 0$  为稳定策略, 政府部门会选择策略“救援为主”,

倾向于事后援救。

#### 3.1.2. 消费者的策略稳定性分析

若  $\gamma = \frac{s}{U_1 + f + g + s - U_2 - oE(L)}$ , 则  $G(\beta) \equiv 0$ , 这说明此时所有的  $\beta \in [0, 1]$  都是稳定状态, 无法确定稳定策略。

若  $\gamma \neq \frac{s}{U_1 + f + g + s - U_2 - oE(L)}$ , 由于  $\gamma \in [0, 1]$ , 所以  $U_1 + f + g + s - U_2 - oE(L) > 0$ , 即消费者成功投保巨灾险所得收益要大于不投保或投保不成功情况下的收益, 则有:

1) 当  $\gamma < \frac{s}{U_1 + f + g + s - U_2 - oE(L)}$  时,  $\left. \frac{dG}{d\beta} \right|_{\beta=0} < 0$ ,  $\left. \frac{dG}{d\beta} \right|_{\beta=1} > 0$ , 此时  $\beta = 0$  为稳定策略, 消费者会选择“不投保”巨灾保险;

2) 当  $\gamma > \frac{s}{U_1 + f + g + s - U_2 - oE(L)}$  时,  $\left. \frac{dG}{d\beta} \right|_{\beta=0} > 0$ ,  $\left. \frac{dG}{d\beta} \right|_{\beta=1} < 0$ , 此时  $\beta = 1$  为为稳定策略, 消费者会选择“投保”巨灾保险。

#### 3.1.3. 保险公司的策略稳定性分析

若  $\beta = \frac{oE(L)}{C + R + b + h + oE(L) - k_1E(L) + (1 - \theta)[Q_1 + T - k_2E(L)]}$ , 则  $H(\gamma) \equiv 0$ , 这说明此时所有的  $\gamma$  都是稳定状态, 无法确定稳定策略。

若  $\beta \neq \frac{oE(L)}{C + R + b + h + oE(L) - k_1E(L) + (1 - \theta)[Q_1 + T - k_2E(L)]}$ , 则有:

1) 当  $\beta > \frac{oE(L)}{C + R + b + h + oE(L) - k_1E(L) + (1 - \theta)[Q_1 + T - k_2E(L)]}$  时,  $\left. \frac{dH}{d\gamma} \right|_{\gamma=0} > 0$ ,  $\left. \frac{dH}{d\gamma} \right|_{\gamma=1} < 0$ , 所以此时  $\gamma = 1$  为稳定策略, 保险公司会选择“经营”巨灾保险;

2) 当  $\beta < \frac{oE(L)}{C + R + b + h + oE(L) - k_1E(L) + (1 - \theta)[Q_1 + T - k_2E(L)]}$  时,  $\left. \frac{dH}{d\gamma} \right|_{\gamma=0} < 0$ ,  $\left. \frac{dH}{d\gamma} \right|_{\gamma=1} > 0$ , 所以此时  $\gamma = 0$  为稳定策略, 保险公司会选择“不经营”巨灾保险。

#### 3.1.4. 再保险公司的策略稳定性分析

若  $\theta = \frac{\pi}{\beta[Q_1 + T - k_2E(L)] + d + l + \pi}$ , 则  $K(\theta) \equiv 0$ , 这表明此时所有的  $\theta$  都是稳定状态, 无法确定稳



定策略。

若  $\gamma \neq \frac{\pi}{\beta[Q_1+T-k_2E(L)]+d+l+\pi}$ , 则有:

1) 当  $\gamma > \frac{\pi}{\beta[Q_1+T-k_2E(L)]+d+l+\pi}$  时,  $\left. \frac{dK}{d\theta} \right|_{\theta=0} > 0$ ,  $\left. \frac{dK}{d\theta} \right|_{\theta=1} < 0$ , 此时  $\theta=1$  为稳定策略, 再保险公司会选择与保险公司“合作”的策略;

2) 当  $\gamma < \frac{\pi}{\beta[Q_1+T-k_2E(L)]+d+l+\pi}$  时,  $\left. \frac{dK}{d\theta} \right|_{\theta=0} < 0$ ,  $\left. \frac{dK}{d\theta} \right|_{\theta=1} > 0$ , 此时  $\theta=0$  为稳定策略, 再保险公司选择“不合作”策略。

由以上分析可知, 各博弈群体的进化稳定状态与其余博弈群体的决策密切相关, 一个群体的策略选择是多方博弈的结果。

### 3.2. 演化博弈均衡的渐进稳定性分析

在政府、消费者、保险公司和再保险公司四方博弈的复制动态系统中, 各个博弈群体的平衡点的稳定性可以依据李亚普洛夫第一法则进行判断。由于多群体演化博弈的演化稳定策略一定是严格的纳什均衡, 而严格的纳什均衡又是纯策略纳什均衡, 因此本文所讨论的四群体非对称演化博弈的均衡稳定性, 只需要在其纯策略内部均衡点处展开[12] [13]。下面, 本文将分析该四方演化博弈的 16 个纯策略内部均衡点处的渐进稳定性。

根据(3)~(6)式所示的各博弈主体的复制动态方程, 可以得到复制动态系统的 Jacobian 矩阵:

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial F}{\partial \alpha} & \frac{\partial F}{\partial \beta} & \frac{\partial F}{\partial \gamma} & \frac{\partial F}{\partial \theta} \\ \frac{\partial G}{\partial \alpha} & \frac{\partial G}{\partial \beta} & \frac{\partial G}{\partial \gamma} & \frac{\partial G}{\partial \theta} \\ \frac{\partial H}{\partial \alpha} & \frac{\partial H}{\partial \beta} & \frac{\partial H}{\partial \gamma} & \frac{\partial H}{\partial \theta} \\ \frac{\partial K}{\partial \alpha} & \frac{\partial K}{\partial \beta} & \frac{\partial K}{\partial \gamma} & \frac{\partial K}{\partial \theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{22} & a_{23} & 0 \\ 0 & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ 0 & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{bmatrix}$$

其中:

$$\begin{aligned} a_{11} &= (1-2\alpha)(W_3 - W_4), \\ a_{22} &= (1-2\beta)[\gamma(U_1 + f + g) + (1-\gamma)(U_2 - s) - \gamma oE(L) - U_2], \\ a_{23} &= \beta(1-\beta)[U_1 + f + g + s - U_2 - oE(L)], \\ a_{32} &= \gamma(1-\gamma)\{C + R + b + h - k_1E(L) + (1-\theta)[Q_1 + T - k_2E(L)] + oE(L)\}, \\ a_{33} &= (1-2\gamma)\{\beta[W_1 + C + R + b - k_1E(L) + (1-\theta)[Q_1 + T - k_2E(L)]] \\ &\quad + (1-\beta)[W_1 - oE(L)] - W_1 + \beta h\}, \\ a_{34} &= \gamma(1-\gamma)\beta[k_2E(L) - Q_1], \\ a_{42} &= \theta(1-\theta)\gamma[Q_1 + T - k_2E(L)], \\ a_{43} &= \theta(1-\theta)\{\beta[Q_1 + T - k_2E(L)] + d + \pi + l\}, \end{aligned}$$

$$a_{44} = (1 - 2\theta) \left\{ \gamma \left[ \beta \left[ Q_1 + T - k_2 E(L) \right] + d + \pi + l \right] - \pi \right\}.$$

接下来在该复制动态系统的所有纯策略内部均衡点处讨论系统的长期演化均衡特性。以点  $(0,0,0,0)$  为例, 展开讨论复制动态系统在该均衡点处的渐进稳定性。由上述讨论可知此时的 Jacobian 矩阵:

$$J = \begin{bmatrix} W_3 - W_4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -s & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -oE(L) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\pi \end{bmatrix},$$

特征值分别为  $W_3 - W_4$ ,  $-s$ ,  $-oE(L)$ ,  $-\pi$ , 当  $W_3 < W_4$  时, 即政府通过注入资金建立巨灾保险基金而得到的最终风险保障金要小于政府不建立基金而将资金用作其它用途而获取的最终收益时, 四个特征值均小于 0, 由李亚普洛夫第一法则可知, 演化博弈均衡  $(0,0,0,0)$  为该系统的一个 ESS。可以看到, 这时的消费者选择不投保, 保险公司选择不经营巨灾保险, 再保险公司选择不与保险公司建立合作, 对于我们建立的博弈模型来说, 这是一个非常不理想的结果。

同理, 可以得到在其余 15 个均衡点处的渐进稳定性:

由表 2 可知, 政府、消费者、保险公司和再保险公司组成的这个博弈模型, 存在 7 种可能的稳定策略,  $(0,0,0,0)$ ,  $(1,0,0,0)$ ,  $(0,1,1,0)$ ,  $(1,1,1,0)$ ,  $(0,1,1,1)$  和  $(1,1,1,1)$ 。

$(1,0,0,0)$  表示政府选择注资设立巨灾保险基金, 消费者选择不投保巨灾保险, 保险公司选择不经营巨灾保险, 再保险公司选择不与保险公司建立合作, 同样是一个不理想的结果。而想要达到这个结果, 需要满足条件:  $W_3 > W_4$ , 即政府通过注入资金建立巨灾保险基金而得到的最终风险保障金要大于政府不建立基金而将资金用作其它用途而获取的最终收益。面对其余三个博弈群体相对“不配合”的策略选择, 政府通过建立巨灾保险基金所获得的收益也很难持续向好, 当  $W_3$  不再高于  $W_4$  时, 复制动态系统将偏离  $(1,0,0,0)$ , 甚至稳定于  $(0,0,0,0)$ 。

$(0,1,1,0)$  表示政府选择不设立巨灾保险基金, 消费者选择投保巨灾保险, 保险公司选择经营巨灾保险, 再保险公司选择不与保险公司建立合作, 想要达到这个结果, 需要满足条件 1)。随着愿意参保巨灾险的消费者以及经营巨灾险的保险公司数目逐步增多, 政府设立基金所得收益不会一直低迷, 当  $W_3$  不再低于  $W_4$  时, 复制动态系统将偏离  $(0,1,1,0)$ 。

$(1,1,1,0)$  表示政府选择建立巨灾保险基金, 消费者选择投保巨灾保险, 保险公司选择经营巨灾保险, 再保险公司选择不与保险公司建立合作, 要达到这个结果, 需要满足条件 2)。与再保险公司合作是保险公司为了自身生存, 进行风险转移的一个重要选择。为了避免该均衡成为一个演化稳定策略, 政府、保险公司双方都应该做相应的努力, 比如政府可以为愿意在巨灾保险方面合作的再保险公司减少该部分的税收, 保险公司可以协调减少合作时再保险公司需要承担的赔偿比例等。

$(0,1,1,1)$  表示政府选择不建立巨灾保险基金, 消费者选择投保巨灾保险, 保险公司选择经营巨灾保险, 再保险公司选择与保险公司建立合作, 想要达到这个结果, 需要满足条件 3)。同  $(0,1,1,0)$  中的讨论, 随着愿意参保巨灾险的消费者以及经营巨灾险的保险公司数目逐步增多, 政府设立基金所得收益不会一直低迷, 当  $W_3$  不再低于  $W_4$  时, 复制动态系统将偏离  $(0,1,1,1)$ 。

$(1,1,1,1)$  表示政府选择建立巨灾保险基金, 消费者选择投保巨灾保险, 保险公司选择经营巨灾保险, 再保险公司选择与保险公司建立合作, 想要达到这个结果, 需要满足条件 4)。该策略组合中, 消费者、保险公司、再保险公司群体都积极参与巨灾保险博弈, 那么政府设立基金所得收益就会稳定的使得  $W_4 < W_3$ , 复制动态系统将稳定于  $(1,1,1,1)$ , 这是一个本文期望得到的、理想的 ESS。



**Table 2.** The asymptotic stability analysis of the equilibrium point  
**表 2.** 复制动态系统均衡点渐进稳定性分析

均衡点	特征值	特征值符号	稳定性
(0,0,0,0)	$W_3 - W_4, -s, -oE(L), -\pi$	$W_3 < W_4$ 时均为负值	渐进稳定, 为系统的一个 ESS
(1,0,0,0)	$W_4 - W_3, -s, -oE(L), -\pi$	$W_3 > W_4$ 时均为负值	渐进稳定, 为系统的一个 ESS
(0,1,0,0)	$W_3 - W_4, s, C + R + b + h - k_1E(L) + Q_1 + T - k_2E(L), -\pi$	有正值	不稳定
(0,0,1,0)	$W_3 - W_4, U_1 + f + g - U_2 - oE(L), oE(L), d + l$	有正值	不稳定
(0,0,0,1)	$W_3 - W_4, -s, -oE(L), \pi$	有正值	不稳定
(1,1,0,0)	$W_4 - W_3, s, C + R + b + h - k_1E(L) + Q_1 + T - k_2E(L), -\pi$	有正值	不稳定
(1,0,1,0)	$W_4 - W_3, U_1 + f + g - U_2 - oE(L), oE(L), d + l$	有正值	不稳定
(1,0,0,1)	$W_4 - W_3, -s, -oE(L), \pi$	有正值	不稳定
(0,1,1,0)	$W_3 - W_4, U_2 + oE(L) - U_1 - f - g, k_1E(L) + k_2E(L) - C - R - b - h - Q_1 - T, Q_1 + T - k_2E(L) + d + l$	满足条件 1) 时均为负值	渐进稳定, 为系统的一个 ESS
(0,1,0,1)	$W_3 - W_4, s, C + R + b + h - k_1E(L), \pi$	有正值	不稳定
(0,0,1,1)	$W_3 - W_4, U_1 + f + g - U_2 - oE(L), oE(L), -d - l$	有正值	不稳定
(1,1,1,0)	$W_4 - W_3, U_2 + oE(L) - U_1 - f - g, k_1E(L) + k_2E(L) - C - R - b - h - Q_1 - T, Q_1 + T - k_2E(L) + d + l$	满足条件 2) 时均为负值	渐进稳定, 为系统的一个 ESS
(1,1,0,1)	$W_4 - W_3, s, C + R + b + h - k_1E(L), \pi$	有正值	不稳定
(1,0,1,1)	$W_4 - W_3, U_1 + f + g - U_2 - oE(L), oE(L), -d - l$	有正值	不稳定
(0,1,1,1)	$W_3 - W_4, U_2 + oE(L) - U_1 - f - g, k_1E(L) - C - R - b - h, k_2E(L) - Q_1 - T - d - l$	满足条件 3) 时均为负值	渐进稳定, 为系统的一个 ESS
(1,1,1,1)	$W_4 - W_3, U_2 + oE(L) - U_1 - f - g, k_1E(L) - C - R - b - h, k_2E(L) - Q_1 - T - d - l$	满足条件 4) 时均为负值	渐进稳定, 为系统的一个 ESS

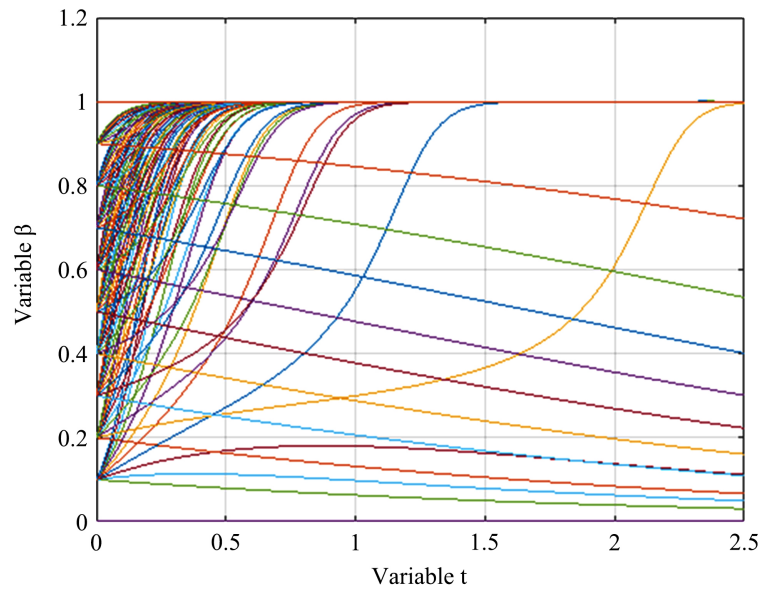
注: 条件 1) 为  $W_3 < W_4, U_2 + oE(L) < U_1 + f + g, k_1E(L) + k_2E(L) < C + R + b + h + Q_1 + T, Q_1 + T + d + l < k_2E(L)$ ; 条件 2) 为  $W_4 < W_3, U_2 + oE(L) < U_1 + f + g, k_1E(L) + k_2E(L) < C + R + b + h + Q_1 + T, Q_1 + T + d + l < k_2E(L)$ ; 条件 3) 为  $W_3 < W_4, U_2 + oE(L) < U_1 + f + g, k_1E(L) < C + R + b + h, k_2E(L) < Q_1 + T + d + l$ ; 条件 4) 为  $W_4 < W_3, U_2 + oE(L) < U_1 + f + g, k_1E(L) < C + R + b + h, k_2E(L) < Q_1 + T + d + l$ 。

#### 4. 仿真分析

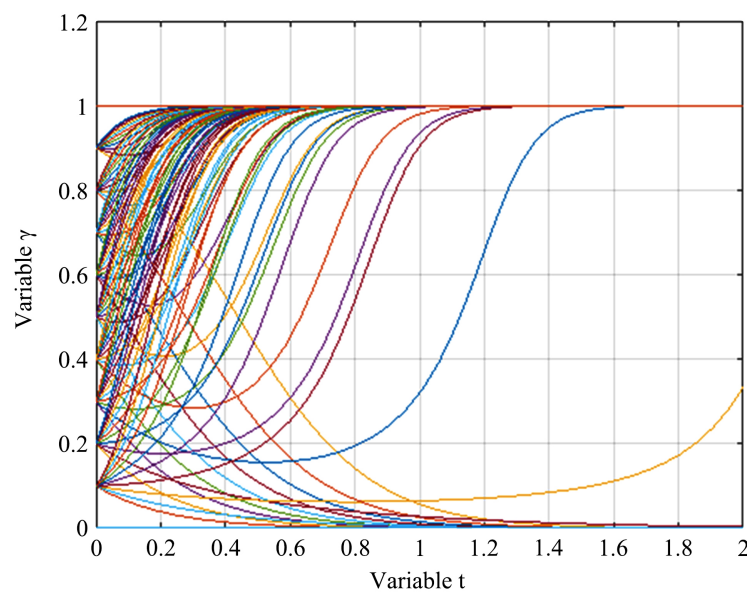
为了可以更准确、直观的对各个博弈群体的策略选择进行稳定性分析, 本文选择使用 MATLAB R2016b 模拟仿真各策略的动态变化过程, 验证前文所得 ESS, 依此论证得到更有效的结论。考虑到政府的决策受  $W_3, W_4$  的控制, 根据上一章的讨论以及政府在模型中的引导者身份, 本章将基于  $W_3 > W_4$ , 即政府选择设立基金积累财富的情形展开讨论。

依据现有数据, 设置  $W_0 = 20$ ,  $W_1 = 100$ ,  $W_2 = 100$ ,  $f, g, d, l, \pi = 5$ ,  $s = 0.5$ ,  $E(L) = 100$ ,  $Q = 60$ ,  $C = 36$ ,  $Q_1 = 24$ ,  $R = 1.8$ ,  $T = 1.2$ ,  $b, h = 2$ ,  $U_1 = 5$ ,  $U_2 = -4$ ,  $o = 0.05$ ,  $k_1 = 0.35$ ,  $k_2 = 0.25$ ,  $a_1 = 0.3$ ,  $a_2 = 0.4$ ,  $t = 0.5$ , 满足条件 4) 中的不等式。

对于(4)、(5)两式, 令  $\theta = 1$ , 消费者群体和保险公司群体策略的动态变化分别如图 1、图 2 所示:



**Figure 1.** Changes in tactics by consumers  
**图 1.** 消费者的策略演化



**Figure 2.** Changes in tactics by insurance companies  
**图 2.** 保险公司的策略演化

由图 1、图 2 可以看出, 当政府和再保险公司均积极参与该巨灾保险博弈时, 消费者选择“投保”的概率与保险公司选择“经营”巨灾险的概率, 除极少部分变异体外都是趋向并稳定于 1 的。

对于(4)、(6)两式, 令  $\gamma=1$ , 消费者群体和再保险公司群体策略的动态变化分别如图 3、图 4 所示:

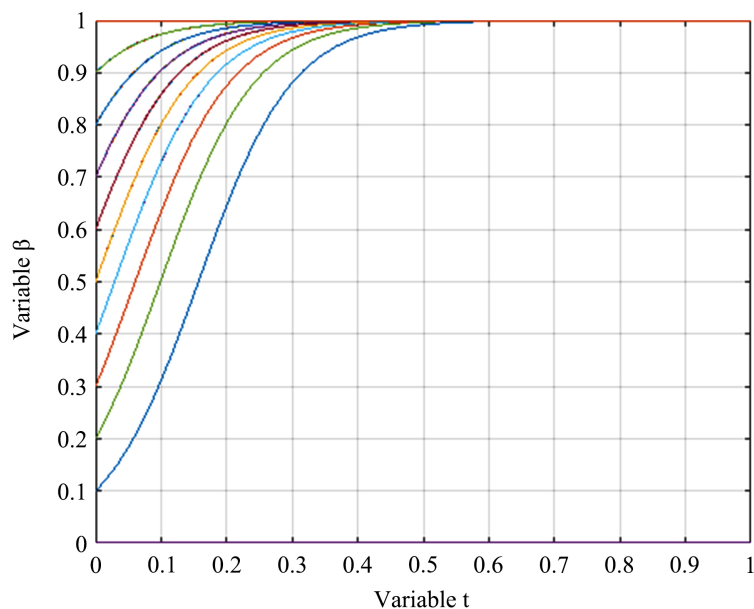


Figure 3. Changes in tactics by consumers

图 3. 消费者的策略演化

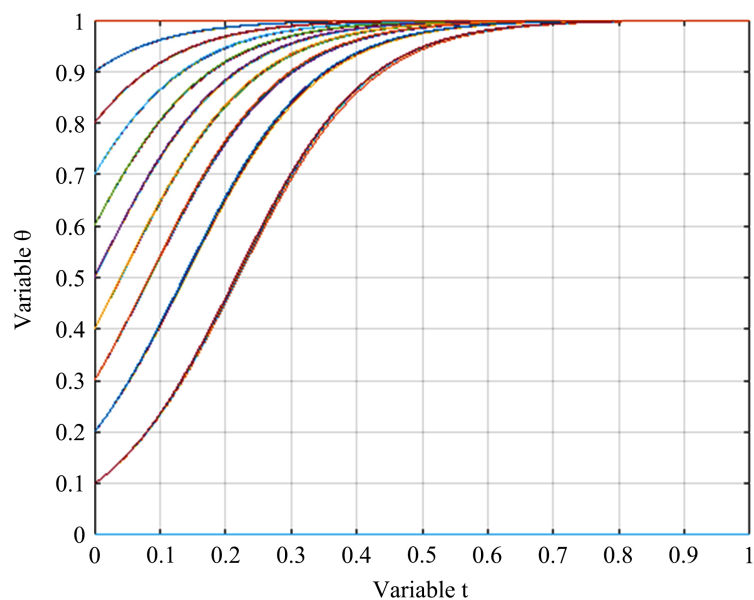


Figure 4. Changes in tactics by reinsurance companies

图 4. 再保险公司的策略演化

由图 3、图 4 可以看出, 当政府和保险公司均积极参与该巨灾保险博弈时, 消费者选择“投保”的概率与再保险公司选择“合作”经营的概率, 也均是趋向并稳定于 1 的。

对于(5)、(6)两式, 令  $\beta=1$ , 保险公司群体和再保险公司群体策略的动态变化分别如图 5、图 6 所示:

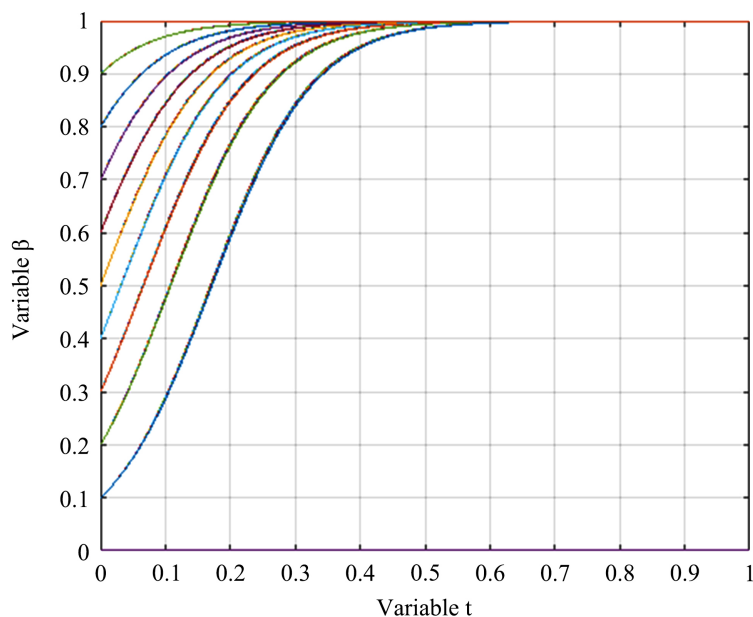


Figure 5. Changes in tactics by insurance companies

图 5. 保险公司的策略演化

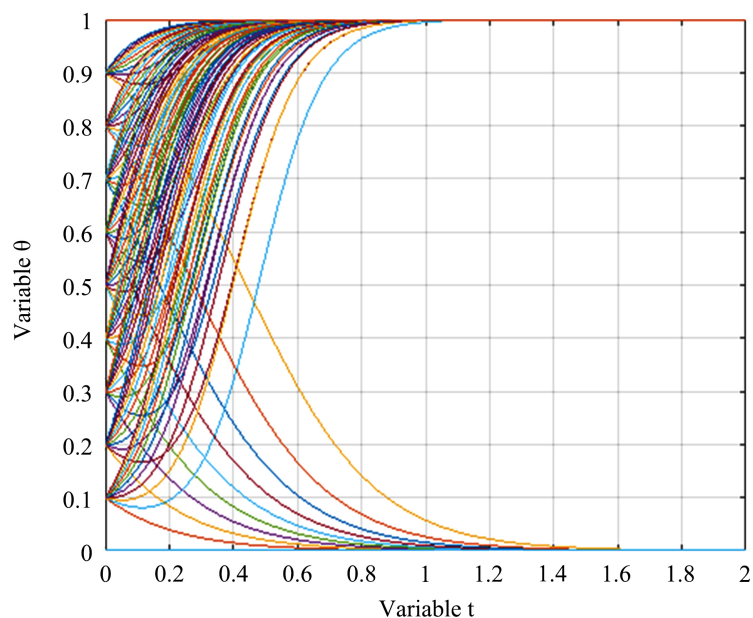


Figure 6. Changes in tactics by reinsurance companies

图 6. 再保险公司的策略演化

由图 5、图 6 可以看出, 当政府和消费者均积极参与该巨灾保险博弈时, 保险公司选择“经营”巨灾保险的概率与再保险公司选择“合作”经营巨灾险的概率, 同样除极少部分变异体外都是趋向并稳定于 1 的。

根据上述六个策略演化图所显示的结果, 证明了前文所得到的 ESS (1,1,1,1) 是正确的, 也是与现实相符的。下面我们就可以据此得到结论。

## 5. 结论

本文构建了政府、消费者、保险公司和再保险公司为主体的四方演化博弈模型, 通过建立得益矩阵、复制动态系统, 利用雅克比矩阵和李亚普洛夫第一法则, 分别研究分析了四个群体的策略稳定性和整个复制动态系统的渐进稳定性, 得到了该演化博弈模型的演化稳定策略。从而证实了政府的角色转变和再保险公司的加入, 对建立更加完善的巨灾保险制度来说是不可或缺的, 据此我们来解决在第二章开始处所提到的 3 个问题。

第一, 政府想要引导保险市场参与进来, 就需要保证积极经营巨灾保险的保险公司和与之合作的再保险公司, 均得到相应利益。因此政府可以减少对保费收入的征税, 即减少对  $C$  与  $Q_1$ , 甚至  $R$ ,  $T$  部分的税收。

第二, 应当大力宣传巨灾带来的沉痛损失, 包括巨灾发生后对人们日常生活所带来的损害, 以及巨灾保险制度的重要性, 通过制作播放公益短片、社区公益讲座、印发宣传册等方式, 让广大群众逐渐理解巨灾影响的普遍性、灾前防范的必要性, 缩小群众与政府、保险行业之间的信息差, 才能更好地发动企业和个人加入巨灾保险。当然, 在保险机制运作前期, 还是应当由政府出资补贴一定的保费, 待受众群体规模逐步扩大, 就可以逐渐减少保费补贴, 保障该机制独自正常运转。

第三, 为了整合政府与市场双方的力量, 需要建立合作互补的新型机制, 将灾前防范、灾中抢救、灾后重建三个阶段中可以分配给市场的职能, 如灾前的宣传、灾中配合物资供给和灾后重建资金保障、保险制度的完善等, 循序渐进的交给市场。这样政府不仅能够充分发挥主导、协调作用, 还可以引导市场发挥专业性和能动性, 优化巨灾风险治理效率。

当然, 以上问题的解决方案是相辅相成的。当政府开始重新为自己的角色“定位”, 引导保险市场在巨灾风险治理机制中发挥作用, 希望从中获利的保险公司和再保险公司必然会选择共担风险。同样, 引导群众去了解巨灾, 强化大家的风险主体意识, 群众和企业作为消费者也会接受并自愿购买巨灾保险, 使得巨灾保险市场更具活力。

## 参考文献

- [1] 陈明之. 我国巨灾保险经营模式路径选择研究[J]. 西南金融, 2019(7): 87-96.
- [2] 卓志, 段胜. 巨灾保险市场机制与政府干预: 一个综述[J]. 经济学家, 2010(12): 88-97.
- [3] 王和. 我国巨灾保险的定位、创新与路径[J]. 保险研究, 2020(6): 29-40.
- [4] 袁临江. 发挥再保险在新发展格局中的独特作用[J]. 中国金融, 2020(21): 12-14.
- [5] 李志锋, 孙华. 再保险在我国巨灾保险中的作用与机遇[J]. 中国保险, 2019(12): 37-40.
- [6] 谢识予. 经济博弈论[M]. 上海: 复旦大学出版社, 2017.
- [7] 孙武军, 孙涵. 巨灾保险市场的均衡影响因素分析——基于演化博弈模型的研究[J]. 中国经济问题, 2016(2): 99-111.
- [8] 郝伯特·金迪斯, 著. 演化博弈论——问题导向的策略互动模型[M]. 第 2 版. 王新荣, 译. 北京: 中国人民大学出版社, 2015.
- [9] 万鹏. 构建四位一体巨灾债券机制[N]. 中国银行保险报, 2020-09-03(002).
- [10] 孙淑慧, 苏强. 重大疫情期医药研究报道质量监管四方演化博弈分析[J]. 管理学报, 2020, 17(9): 1391-1401.
- [11] 郭本海, 王涵. 多方博弈情景下我国自主品牌轿车价值重构问题研究[J]. 中国管理科学, 2018, 26(10): 140-151.
- [12] Friedman, D. (1991) Evolutionary Games in Economics. *Econometrica*, **59**, 637-666.  
<https://doi.org/10.2307/2938222>
- [13] 程乐峰, 杨汝, 刘贵云, 王建晖, 陈洋, 王晓刚, 张杰, 余涛. 多群体非对称演化博弈动力学及其在智能电网电力需求侧响应中的应用[J]. 中国电机工程学报, 2020, 40(S1): 20-36.