

基于三方演化博弈的区域巨灾保险市场风险 管控与工程治理稳定性研究

罗惠玲, 魏龙飞*, 李昕芮, 王首力

辽宁师范大学管理学院, 辽宁 大连

收稿日期: 2026年6月15日; 录用日期: 2026年7月7日; 发布日期: 2026年7月20日

摘 要

近年来, 自然灾害频发对地方经济社会运行和居民财产安全造成持续影响, 完善区域巨灾保险风险管控机制、提升工程治理体系稳定性具有现实意义。本文基于地方政府、保险公司和居民三方主体, 构建演化博弈模型, 分析严格监管、积极经营和参与保险三类策略之间的互动关系, 并运用复制动态方程、均衡点稳定性分析和MATLAB数值仿真, 探讨成本因素、奖惩因素和收益感知因素对系统演化路径的影响。研究表明, 当政府严格监管收益、保险公司积极经营净收益和居民参保综合收益较高时, 系统能够向“严格监管 - 积极经营 - 参与保险”的稳定状态演化; 监管成本、经营成本和居民保费过高会削弱积极策略选择, 而补贴、奖励、处罚和安全感收益提升能够促进系统稳定。研究可为区域巨灾保险制度优化、风险管控能力提升和工程治理稳定性建设提供参考。

关键词

地方巨灾保险, 三方演化博弈, 策略稳定性, 数值仿真

Research on Risk Management and Engineering Governance Stability of Regional Catastrophe Insurance Market Based on Three-Party Evolutionary Game

Huiling Luo, Longfei Wei*, Xinrui Li, Shouli Wang

School of Management, Liaoning Normal University, Dalian Liaoning

Received: June 15, 2026; accepted: July 7, 2026; published: July 20, 2026

*通讯作者。

文章引用: 罗惠玲, 魏龙飞, 李昕芮, 王首力. 基于三方演化博弈的区域巨灾保险市场风险管控与工程治理稳定性研究[J]. 管理科学与工程, 2026, 15(4): 821-835. DOI: 10.12677/mse.2026.154080

Abstract

In recent years, frequent natural disasters have continuously affected local economic and social development and residents' property security. Therefore, improving the operating mechanism of local catastrophe insurance markets and enhancing the stability of the engineering governance system are of practical significance. Based on the three main participants—local government, insurance companies and residents—this paper constructs an evolutionary game model to analyze the interactions among strict supervision, active operation and insurance participation. By using replicator dynamic equations, equilibrium stability analysis and MATLAB numerical simulation, this paper further explores the effects of cost factors, reward and punishment factors, and perceived benefit factors on the evolutionary path of the system. The results show that when the benefits of strict government supervision, the net benefits of active operation by insurance companies and the comprehensive benefits of residents' participation in insurance are relatively high, the system can evolve toward the stable state of "strict supervision - active operation - insurance participation". Excessive supervision costs, operating costs and insurance premiums may weaken the choice of positive strategies, while subsidies, rewards, penalties and improved sense of security can promote system stability. This study provides a reference for optimizing local catastrophe insurance systems, enhancing risk management capabilities, and building the stability of engineering governance.

Keywords

Local Catastrophe Insurance, Three-Party Evolutionary Game, Strategy Stability, Numerical Simulation

Copyright © 2026 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

近年来,我国自然灾害风险呈现多灾种并发、区域影响广、损失链条长等特点。应急管理部资料显示,2019年各类自然灾害造成1.3亿人次受灾、直接经济损失3270.9亿元,其中超强台风“利奇马”造成直接经济损失515.3亿元[1];2020年全国自然灾害造成1.38亿人次受灾、直接经济损失3701.5亿元[2];2024年全国自然灾害造成9413万人次受灾、直接经济损失4011.1亿元,台风“摩羯”单次事件直接经济损失达720.3亿元[3]。巨灾风险具有低频高损、影响范围广和损失相关性强等特征,单纯依靠灾后财政救助和居民自担,难以形成稳定、可持续的风险分担机制。巨灾保险能够在政府、保险公司和居民之间转移和分散灾害损失,是完善灾害风险治理体系的重要工具。

巨灾保险不仅是灾后损失补偿工具,也是区域风险管控和工程治理体系的重要组成部分。一方面,巨灾保险能够通过风险转移、损失分担和经济补偿机制,缓解区域自然灾害对居民财产安全和地方财政稳定造成的冲击;另一方面,保险机制与政府监管、工程防灾减灾、基础设施韧性提升和居民风险防范行为之间存在密切联系。因此,从政府、保险公司和居民三方主体互动出发,分析区域巨灾保险市场的稳定演化机制,有助于揭示区域风险管控与工程治理协同运行的内在逻辑。

我国地方巨灾保险制度近年来不断探索,部分地区围绕地震、台风、洪涝、农业灾害等风险建立了政策性保险、共保体和财政补贴机制。但从运行效果看,巨灾保险市场仍存在供需两端约束:一方面,巨灾风险赔付集中、经营成本较高,保险公司若缺乏稳定补贴、再保险安排和监管约束,可能出现供给

不足或经营积极性不高；另一方面，居民对巨灾风险的发生概率和损失程度认知不足，且保费支出具有即时性、保险收益具有不确定性，容易导致参保意愿偏低。地方政府在其中既承担监管和财政支持职能，又需要考虑财政成本和治理绩效，因此三方行为并非静态决策，而是在政策激励、市场收益和风险感知变化中不断调整。

现有研究为分析巨灾保险市场提供了基础。卓志、段胜从政府主导和市场主导角度讨论巨灾保险制度演化，指出政府干预应与市场机制相协调[4]。孙武军、孙涵基于演化博弈模型分析巨灾保险市场均衡，认为政府补贴、保险公司收益和消费者投保收益会影响系统稳定[5]。卓志、邝启宇引入风险感知和前景理论，说明消费者行为偏差会影响巨灾保险市场均衡[6]。王增文等构建居民、地方政府和保险公司的三方随机演化博弈模型，分析初始意愿、补贴比例和惩罚机制对演化路径的作用[7]。其他研究结合预防性补贴、共保体机制和农业巨灾保险等场景，进一步拓展了演化博弈在巨灾保险研究中的应用[8]-[10]。国外研究也表明，巨灾保险市场容易受到相关索赔、政府干预和灾后激励安排影响[11]-[13]；演化博弈理论则为刻画有限理性主体的策略调整提供了方法基础[14]。

综合来看，已有研究已关注政府补贴、保险公司经营和居民投保行为，但仍有必要在统一框架下进一步分析地方政府、保险公司与居民三方的动态互动。尤其是地方巨灾保险兼具公共政策属性和市场交易属性，监管强度、财政补贴、处罚机制、经营收益、保费负担和居民安全感收益会共同影响系统演化方向。

基于此，本文构建地方政府、保险公司和居民三方演化博弈模型，分别设置两种策略，建立收益矩阵和复制动态方程，分析系统稳定条件，并通过数值仿真考察成本约束、激励约束和收益感知等因素对策略演化的影响。本文旨在从区域巨灾保险市场主体协同的角度，揭示风险管控机制和工程治理稳定性的形成条件，为完善政府监管机制、优化补贴与奖惩结构、提升保险公司服务供给能力、增强居民风险防范意识以及提高区域灾害治理韧性提供参考。

2. 模型假设与构建

巨灾保险作为一种准公共产品，其供给主体主要为政府和保险公司，需求主体主要为居民。一方面，居民作为巨灾保险的需求方，其参与购买意愿和参与行为变动对巨灾保险市场的供给产生直接影响；另一方面，地方政府和保险公司的行为变化也会直接影响居民参与购买巨灾保险意愿和应对风险行为的策略选择。为简化分析框架，本文从巨灾保险市场的供需视角将地方政府、保险公司、居民抽象成 3 个独立主体；同时，考虑到居民、地方政府和保险公司可以通过不断学习和试错过程，对自身行为策略进行调整。因此为构建博弈模型，分析各方策略和均衡点的稳定性以及各要素的影响关系，作出如下假设：

假设 1：参与主体。考虑一个由“地方政府”、“保险公司”和“居民”组成的三方博弈模型，且三方在有限理性的前提下进行策略选择。

假设 2：策略空间。地方政府的策略空间为严格监管和宽松监管，并以 x 的概率选择严格监管和 $(1-x)$ 的概率选择宽松监管。保险公司的策略空间为(积极运营，消极运营)，并以 y 的概率选择积极运营和 $(1-y)$ 的概率选择消极运营。居民的策略空间为(参与保险，不参与保险)，并以 z 的概率选择参与保险和 $(1-z)$ 的概率选择不参与保险，其中， x 、 y 、 z 均属于 $[0,1]$ 。

假设 3：成本。地方政府严格监管通常需要更多的人力、物力和时间投入，以确保保险公司的合规性和服务质量，从而导致运营成本的增加。严格监管的运营成本为 C_1 要高于宽松监管的运营成本为 C_2 ($C_1 > C_2 > 0$)；保险公司积极经营需要更多资源投入到产品开发、风险管理和客户服务中，本文设定在积极经营状态下的成本为 C_3 ，消极经营的成本为 C_4 ($C_3 > C_4 > 0$)；对于居民而言，参保时的保费为 I ，未参保时面临的自负成本为 C_5 。

假设 4：补贴。政府为了鼓励保险公司提升服务质量和创新能力，会对保险公司给予一定的补贴，在

严格监管环境下,政府对保险公司的积极经营补贴为 S_1 ,高于宽松监管下的补贴 S_2 ($S_1 > S_2 > 0$);同时,政府在严格监管下对参保居民的补贴为 S_3 ,在宽松监管下的补贴为 S_4 ($S_3 > S_4 > 0$),以增强居民的参保意愿,提升保险体系的整体稳健性。保险公司为了推销保险产品,增加居民参保的动力,会通过对产品进行优惠、赠送礼品等活动对参保居民进行补贴 F ($F > 0$),这些补贴措施构成了激励机制,促进各方采取有利于保险市场稳定发展的行为。

假设 5: 奖惩。为了激励地方政府持续推行严格监管策略,上级政府会给予地方政府一定的奖励 A ($A > 0$),此外,地方政府为有效遏制保险公司的消极经营行为,会对消极经营的保险公司进行一定的经济处罚,严格监管下对保险公司消极经营的惩罚为 P_1 ,宽松监管下的惩罚为 P_2 ($P_1 > P_2 > 0$),奖惩机制不仅约束了保险公司的消极行为,也增强了政府严格监管的执行力度,从而维护市场秩序和居民利益。

假设 6: 收益。保险公司在积极经营和消极经营状态下的收益分别记为 R_1 和 R_2 ;地方政府在严格监管和宽松监管情形下获得的声誉收益分别记为 G_1 和 G_2 ;居民参保后获得的安全感收益记为 L_1 ,在宽松监管和保险公司消极经营情形下,居民安全感分别减少 L_2 和 L_3 。

根据上述假设,构建地方政府、保险公司与居民的混合策略博弈矩阵,如表 1 所示。

Table 1. Payoff matrix of the tripartite evolutionary game
表 1. 三方演化博弈支付矩阵

保险公司		居民		
		参与保险 (z)	不参与保险 ($1-z$)	
政府	严格监管 (x)	积极经营 (y)	$G_1 - C_1 - S_1 - S_3 + A$ $R_1 - C_3 + S_1 + I - F$ $L_1 - I + S_3 + F$	$G_1 - C_1 - S_1 + A$ $R_1 - C_3 + S_1$ $-C_5$
		消极经营 ($1-y$)	$G_1 - C_1 - S_3 + P_1 + A$ $R_2 - C_4 - P_1 + I$ $L_1 - I + S_3 - L_3$	$G_1 - C_1 + P_1 + A$ $R_2 - C_4 - P_1$ $-C_5$
	宽松监管 ($1-x$)	积极经营 (y)	$G_2 - C_2 - S_2 - S_4$ $R_1 - C_3 + S_2 + I - F$ $L_1 - I + S_4 - L_2 + F$	$G_2 - C_2 - S_2$ $R_1 - C_3 + S_2$ $-C_5$
		消极经营 ($1-y$)	$G_2 - C_2 - S_4 + P_2$ $R_2 - C_4 - P_2 + I$ $L_1 - I + S_4 - L_2 - L_3$	$G_2 - C_2 + P_2$ $R_2 - C_4 - P_2$ $-C_5$

3. 模型分析

3.1. 政府的策略稳定性分析

由表 1 可得到政府采取严格监管和宽松监管策略下的期望收益 E_{G1} 和 E_{G2} 以及相应的平均期望收益 E_G :

$$\begin{aligned} E_{G1} = & yz(G_1 - C_1 - S_1 - S_3 + A) + y(1-z)(G_1 - C_1 - S_1 + A) \\ & + (1-y)z(G_1 - C_1 - S_3 + P_1 + A) + (1-y)(1-z)(G_1 - C_1 + P_1 + A) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
E_{G2} &= yz(G_2 - C_2 - S_2 - S_4)(1-z)(G_2 - C_2 - S_2) \\
&\quad + (1-y)z(G_2 - C_2 - S_4 + P_2) + (1-y)(1-z)(G_2 - C_2 + P_2) \\
E_G &= xE_{G1} + (1-x)E_{G2}
\end{aligned}$$

由此可得地方政府选择严格监管策略的复制动态方程为：

$$\begin{aligned}
F(x) &= \frac{dx}{dt} = x(E_{G1} - E_G) = x(1-x)(E_{G1} - E_{G2}) \\
&= x(1-x)[G_1 - G_2 + C_2 - C_1 + A + (S_2 - S_1)y + (P_1 - P_2)(1-y) + (S_4 - S_3)z] \\
\frac{dF(x)}{dx} &= (1-2x)[G_1 - G_2 + C_2 - C_1 + A + (S_2 - S_1)y + (P_1 - P_2)(1-y) + (S_4 - S_3)z]
\end{aligned}$$

令

$$G(z) = G_1 - G_2 + C_2 - C_1 + A + (S_2 - S_1)y + (P_1 - P_2)(1-y) + (S_4 - S_3)z$$

根据微分方程稳定性定理，地方政府选择严格监管的概率处于稳定状态需满足： $F(x) = 0$ 且

$$dF(x)/dx < 0, \text{ 由 } G(z_1^*) = 0, \text{ 可得 } z_1^* = \frac{G_2 - G_1 + C_1 - C_2 - A + (S_1 - S_2)y + (P_2 - P_1)(1-y)}{S_4 - S_3}, \text{ 由此可见, 居}$$

民参保概率的临界值 z_1^* 取决于多个因素，受到政府监管收益差异 $G_1 - G_2$ 、政府监管成本差异 $C_1 - C_2$ 、上级政府奖励 A 、保险公司补贴差异 $S_1 - S_2$ 、保险公司惩罚差异 $P_1 - P_2$ ，以及政府对居民补贴差异 $S_3 - S_4$ 等因素影响。

由于严格监管下政府对居民的补贴高于宽松监管下的补贴，即 $S_3 > S_4$ ，因此有 $\frac{dG(z)}{dz} = S_4 - S_3 < 0$ ，

所以 $G(z)$ 是关于 z 的减函数。当 $z < z_1^*$ 时， $G(z) > G(z_1^*) = 0$ ，因此 $F(x) = x(1-x)G(z) > 0$ ，系统将向

$x=1$ 演化，并且： $\left. \frac{dF(x)}{dx} \right|_{x=1} = -G(z) < 0$ ，因此， $x=1$ 是演化稳定策略，即地方政府倾向于选择严格监

管。当 $z > z_1^*$ 时，有 $G(z) < G(z_1^*) = 0$ ，此时 $F(x) = x(1-x)G(z) < 0$ ，系统将向 $x=0$ 演化，

$\left. \frac{dF(x)}{dx} \right|_{x=0} = G(z) < 0$ ，此时 $x=0$ 是演化稳定策略，即地方政府倾向于选择宽松监管。

3.2. 保险公司的策略稳定性分析

由表 1 可得到保险公司采取积极经营和消极经营策略下的期望收益 E_{I1} 和 E_{I2} 以及相应的平均期望收益 E_I ：

$$\begin{aligned}
E_{I1} &= xz(R_1 - C_3 + S_1 + I - F) + x(1-z)(R_1 - C_3 + S_1) \\
&\quad + (1-x)z(R_1 - C_3 + S_2 + I - F) + (1-x)(1-z)(R_1 - C_3 + S_2) \\
E_{I2} &= xz(R_2 - C_4 - P_1 + I) + x(1-z)(R_2 - C_4 - P_1) \\
&\quad + (1-x)z(R_2 - C_4 - P_2 + I) + (1-x)(1-z)(R_2 - C_4 - P_2) \\
E_I &= yE_{I1} + (1-y)E_{I2}
\end{aligned}$$

由此可以得到保险公司的复制动态方程为：

$$F(y) = \frac{dy}{dt} = y(E_{I1} - E_I) = y(1-y)(E_{I1} - E_{I2}) \\ = y(1-y)[R_1 - R_2 - C_3 + C_4 + xS_1 + (1-x)S_2 + xP_1 + (1-x)P_2 - zF]$$

令 $H(z) = R_1 - R_2 - C_3 + C_4 + xS_1 + (1-x)S_2 + xP_1 + (1-x)P_2 - zF$ ，则 $F(y) = y(1-y)H(z)$ 。其关于 y 的一阶导数为： $\frac{dF(y)}{dy} = (1-2y)H(z)$ ，由 $H(z_2^*) = 0$ ，可得居民参保概率的临界值为：

$$z_2^* = \frac{R_1 - R_2 - C_3 + C_4 + xS_1 + (1-x)S_2 + xP_1 + (1-x)P_2}{F}$$

由于 $F > 0$ ，有： $\frac{dH(z)}{dz} = -F < 0$ ，因此， $H(z)$ 是关于 z 的减函数。根据微分方程稳定性定理，保险公司选择积极经营的概率处于稳定状态需满足：

$$F(y) = 0, \frac{dF(y)}{dy} < 0, \text{ 当 } z = z_2^* \text{ 时, 有: } H(z) = H(z_2^*) = 0, \text{ 此时 } F(y) = 0, \text{ 系统处于临界状态。当 } z < z_2^* \text{ 时, 由于 } H(z) \text{ 为减函数, 有: } H(z) > H(z_2^*) = 0, \text{ 因此: } F(y) > 0, \text{ 保险公司选择积极经营的概率 } y \text{ 随}$$

时间增加, 并逐渐趋向于 $y = 1$ 。此时 $\left. \frac{dF(y)}{dy} \right|_{y=1} = -H(z) < 0$ ，因此， $y = 1$ 为演化稳定策略，保险公司倾向于选择积极经营。当： $z > z_2^*$ 时, 有 $H(z) < H(z_2^*) = 0$ ， $F(y) < 0$ ，保险公司选择积极经营的概率 y 随

时间下降, 并逐渐趋向于 $y = 0$ 。此时 $\left. \frac{dF(y)}{dy} \right|_{y=0} = H(z) < 0$ ，因此 $y = 0$ ，为演化稳定策略，保险公司倾向于选择消极经营。

结果表明，居民参保概率 z 对保险公司经营策略的影响主要通过保险公司对居民的补贴 F 体现。当居民参保概率较低时，保险公司积极经营所承担的补贴支出较少，积极经营更容易成为稳定策略；当居民参保概率较高且补贴支出较大时，保险公司的积极经营成本相应增加，可能削弱其继续积极经营的动力。因此，仅依靠居民参保规模扩大并不必然促使保险公司积极经营，还需要通过提高积极经营收益、降低经营成本或优化补贴分担机制，引导保险公司持续选择积极经营。

3.3. 居民的策略稳定性分析

由表 1 可得到居民采取参与保险和不参与保险策略下的期望收益 E_{C1} 和 E_{C2} 以及相应的平均期望收益 E_C ：

$$E_{C1} = xy(L_1 - I + S_3 + F) + x(1-y)(L_1 - I + S_3 - L_3) + (1-x)y(L_1 - I + S_4 - L_2 + F) \\ + (1-x)(1-y)(L_1 - I + S_4 - L_2 - L_3) \\ E_{C2} = xy(-C_5) + x(1-y)(-C_5) + (1-x)y(-C_5) + (1-x)(1-y)(-C_5) = -C_5 \\ E_C = zE_{C1} + (1-z)E_{C2}$$

由此可得居民选择参与保险策略的复制动态方程为：

$$F(z) = \frac{dz}{dt} = z(E_{C1} - E_C) = z(1-z)(E_{C1} - E_{C2}) \\ = z(1-z)[L_1 - I + C_5 + xS_3 + (1-x)S_4 - (1-x)L_2 + yF - (1-y)L_3]$$

令： $J(y) = L_1 - I + C_5 + xS_3 + (1-x)S_4 - (1-x)L_2 + yF - (1-y)L_3$ ，则： $F(z) = z(1-z)J(y)$ ，其关于

z 的一阶导数为: $\frac{dF(z)}{dz} = (1-2z)J(y)$, 根据微分方程稳定性定理, 居民选择参与保险的概率处于稳定

状态需满足: $F(z)=0$, $\frac{dF(z)}{dz} < 0$, 由 $J(y^*)=0$, 可得保险公司积极经营概率的临界值为

$$y^* = \frac{L_3 + (1-x)L_2 - [L_1 - I + C_5 + xS_3 + (1-x)S_4]}{F + L_3}.$$

由于 $\frac{dJ(y)}{dy} = F + L_3 > 0$, 因此 $J(y)$ 是关于 y 的增函数, 当 $y = y^*$ 时, 有: $J(y) = J(y^*) = 0$, 系统处于临界状态, 此时 $F(z)=0$; 当 $y < y^*$ 时, 由于 $J(y)$ 是关于 y 的增函数, 有 $J(y) < J(y^*) = 0$, 因此 $F(z) < 0$, 居民选择参与保险的概率 z 随时间下降, 并逐渐趋向于 $z=0$ 。此时 $\left. \frac{dF(z)}{dz} \right|_{z=0} = J(y) < 0$, 因此, $z=0$ 为演化稳定策略, 即居民倾向于不参与保险; 当 $y > y^*$ 时, $J(y) > J(y^*) = 0$, 因此 $F(z) > 0$, 居民选择参与保险的概率 z 随时间上升, 并逐渐趋向于 $z=1$ 。此时 $\left. \frac{dF(z)}{dz} \right|_{z=1} = -J(y) < 0$, 因此, $z=1$ 为演化稳定策略, 即居民倾向于参与保险。

结果表明, 保险公司积极经营概率是影响居民参保行为的重要因素。当保险公司积极经营概率低于临界值 y^* 时, 居民参保收益不足, 参与保险的概率将逐渐下降; 当保险公司积极经营概率高于临界值 y^* 时, 居民参保收益增加, 参与保险的概率将逐渐上升。由此可见, 保险公司积极经营能够通过提升服务质量、增强产品吸引力和提高居民保障感受, 促进居民参与巨灾保险。

3.4. 三方演化博弈系统均衡点的稳定性分析

上述内容仅从单个博弈主体分析了博弈主体达到稳定策略的均衡条件, 但系统是否达到最终稳定状态受到三个博弈主体的共同作用。基于演化稳定性理论, 以下内容为通过构建 Jacobian 矩阵求特征值来判断均衡点的稳定性, 令 $F(x)=0$, $F(y)=0$, $F(z)=0$, 可得演化博弈系统 8 个纯策略纳什均衡点和 6 个混合策略纳什均衡点:

$$E_1(0,0,0), E_2(0,0,1), E_3(0,1,0), E_4(1,0,0), E_5(1,1,0), E_6(1,0,1), E_7(0,1,1), E_8(1,1,1),$$

$$E_9\left(0, \frac{L_2 + L_3 - L_1 + I - C_5 - S_4}{F + L_3}, \frac{R_1 - R_2 - C_3 + C_4 + S_2 + P_2}{F}\right),$$

$$E_{10}\left(1, \frac{L_3 - L_1 + I - C_5 - S_3}{F + L_3}, \frac{R_1 - R_2 - C_3 + C_4 + S_1 + P_1}{F}\right)$$

$$E_{11}\left(\frac{L_2 + L_3 - L_1 + I - C_5 - S_4}{S_3 - S_4 + L_2}, 0, -\frac{G_1 - G_2 + C_2 - C_1 + A + P_1 - P_2}{S_4 - S_3}\right),$$

$$E_{12}\left(-\frac{L_1 - I + C_5 + S_4 - L_2 + F}{S_3 - S_4 + L_2}, 1, -\frac{G_1 - G_2 + C_2 - C_1 + A + S_2 - S_1}{S_4 - S_3}\right)$$

$$E_{13}\left(-\frac{R_1 - R_2 - C_3 + C_4 + S_2 + P_2}{S_1 - S_2 + P_1 - P_2}, -\frac{G_1 - G_2 + C_2 - C_1 + A + P_1 - P_2}{S_2 - S_1 - P_1 + P_2}, 0\right),$$

$$E_{14} \left(-\frac{R_1 - R_2 - C_3 + C_4 + S_2 + P_2 - F}{S_1 - S_2 + P_1 - P_2}, -\frac{G_1 - G_2 + C_2 - C_1 + A + P_1 - P_2 + S_4 - S_3}{S_2 - S_1 - P_1 + P_2}, 1 \right)$$

以及三方演化的 Jacobian 矩阵:

$$J = \begin{pmatrix} \frac{\partial F(x)}{\partial x} & \frac{\partial F(x)}{\partial y} & \frac{\partial F(x)}{\partial z} \\ \frac{\partial F(y)}{\partial x} & \frac{\partial F(y)}{\partial y} & \frac{\partial F(y)}{\partial z} \\ \frac{\partial F(z)}{\partial x} & \frac{\partial F(z)}{\partial y} & \frac{\partial F(z)}{\partial z} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} J_{11} & J_{12} & J_{13} \\ J_{21} & J_{22} & J_{23} \\ J_{31} & J_{32} & J_{33} \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} (1-2x)[G_1 - G_2 + C_2 - C_1 + A + (S_2 - S_1)y + (P_1 - P_2)(1-y) + (S_4 - S_3)z] & x(1-x)(S_2 - S_1 - P_1 + P_2) & x(1-x)(S_4 - S_3) \\ y(1-y)(S_1 - S_2 + P_1 - P_2) & (1-2y)[R_1 - R_2 - C_3 + C_4 + xS_1 + (1-x)S_2 + xP_1 + (1-x)P_2 - zF] & -y(1-y)F \\ z(1-z)(S_3 - S_4 + L_2) & z(1-z)(F + L_3) & (1-2z)[L_1 - I + C_5 + xS_3 + (1-x)S_4 - (1-x)L_2 + yF - (1-y)L_3] \end{pmatrix}$$

为判断三方演化博弈系统各均衡点的稳定性, 本文将均衡点代入 Jacobian 矩阵, 并依据矩阵特征值对系统局部稳定性进行分析(见表 2)。当某一均衡点对应的全部特征值均为负时, 系统在该点附近具有局部渐近稳定性; 当存在正特征值时, 系统会偏离该点, 该均衡点为不稳定点或鞍点; 当存在零特征值时, 仅依靠一阶线性化结果无法直接判断其稳定性。由于本文重点关注三方策略能否收敛到明确稳定状态, 后文仅对 8 个纯策略静止点进行稳定性分析, 不再展开讨论混合策略静止点。

Table 2. Eigenvalues of the Jacobian matrix and equilibrium points

表 2. Jacobian 矩阵的特征值及均衡点

均衡点	Jacobian 矩阵特征值	稳定性	条件
$E_1(0,0,0)$	$\lambda_1 = (G_1 - G_2) + (C_2 - C_1) + A + (P_1 - P_2)$ $\lambda_2 = R_1 - R_2 - C_3 + C_4 + S_2 + P_2$ $\lambda_3 = L_1 - I + S_4 - L_2 - L_3 + C_5$	ESS	a
$E_2(0,0,1)$	$\lambda_1 = (G_1 - G_2) + (C_2 - C_1) + A + (P_1 - P_2) + (S_4 - S_3)$ $\lambda_2 = R_1 - R_2 - C_3 + C_4 + S_2 + P_2 - F$ $\lambda_3 = -(L_1 - I + S_4 - L_2 - L_3 + C_5)$	ESS	b
$E_3(0,1,0)$	$\lambda_1 = (G_1 - G_2) + (C_2 - C_1) + A + (S_2 - S_1)$ $\lambda_2 = -(R_1 - R_2 - C_3 + C_4 + S_2 + P_2)$ $\lambda_3 = L_1 - I + S_4 - L_2 + F + C_5$	ESS	c
$E_4(1,0,0)$	$\lambda_1 = -[(G_1 - G_2) + (C_2 - C_1) + A + (P_1 - P_2)]$ $\lambda_2 = R_1 - R_2 - C_3 + C_4 + S_1 + P_1$ $\lambda_3 = L_1 - I + S_3 - L_3 + C_5$	ESS	d

续表

$E_5(1,1,0)$	$\lambda_1 = -[(G_1 - G_2) + (C_2 - C_1) + A + (S_2 - S_1)]$ $\lambda_2 = -(R_1 - R_2 - C_3 + C_4 + S_1 + P_1)$ $\lambda_3 = L_1 - I + S_3 + F + C_5$	不稳定	
$E_6(1,0,1)$	$E_6(1,0,1) \lambda_1 = -[(G_1 - G_2) + (C_2 - C_1) + A + (P_1 - P_2) + (S_4 - S_3)]$ $\lambda_2 = R_1 - R_2 - C_3 + C_4 + S_1 + P_1 - F$ $\lambda_3 = -(L_1 - I + S_3 - L_3 + C_5)$	不稳定	
$E_7(0,1,1)$	$\lambda_1 = (G_1 - G_2) + (C_2 - C_1) + A + (S_2 - S_1) + (S_4 - S_3)$ $\lambda_2 = -(R_1 - R_2 - C_3 + C_4 + S_2 + P_2 - F)$ $\lambda_3 = -(L_1 - I + S_4 - L_2 + F + C_5)$	不稳定	
$E_8(1,1,1)$	$\lambda_1 = -[(G_1 - G_2) + (C_2 - C_1) + A + (S_2 - S_1) + (S_4 - S_3)]$ $\lambda_2 = -(R_1 - R_2 - C_3 + C_4 + S_1 + P_1 - F)$ $\lambda_3 = -(L_1 - I + S_3 + F + C_5)$	ESS	e

注：a: $(G_1 - G_2) + (C_2 - C_1) + A + (P_1 - P_2) < 0$, $R_1 - R_2 - C_3 + C_4 + S_2 + P_2 < 0$, $L_1 - I + S_4 - L_2 - L_3 + C_5 < 0$;

b: $(G_1 - G_2) + (C_2 - C_1) + A + (P_1 - P_2) + (S_4 - S_3) < 0$, $R_1 - R_2 - C_3 + C_4 + S_2 + P_2 - F < 0$, $L_1 - I + S_4 - L_2 + L_3 + C_5 > 0$;

c: $(G_1 - G_2) + (C_2 - C_1) + A + (S_2 - S_1) < 0$, $R_1 - R_2 - C_3 + C_4 + S_2 + P_2 > 0$, $L_1 - I + S_4 - L_2 + F + C_5 < 0$;

d: $(G_1 - G_2) + (C_2 - C_1) + A + (P_1 - P_2) > 0$, $R_1 - R_2 - C_3 + C_4 + S_1 + P_1 < 0$, $L_1 - I + S_3 - L_3 + C_5 < 0$;

e: $(G_1 - G_2) + (C_2 - C_1) + A + (S_2 - S_1) + (S_4 - S_3) > 0$, $R_1 - R_2 - C_3 + C_4 + S_1 + P_1 - F > 0$, $L_1 - I + S_3 + F + C_5 > 0$ 。

从经济含义上看，第一项条件表明，地方政府选择严格监管所获得的综合收益应高于宽松监管，即严格监管带来的声誉收益、上级奖励和治理效益能够弥补监管成本以及补贴支出；第二项条件表明，保险公司积极经营的净收益应高于消极经营，即积极经营收益、政府补贴和处罚约束能够抵消经营成本及对居民补贴支出；第三项条件表明，居民参与保险的综合收益应高于不参与保险，即安全感收益、政府补贴、保险公司补贴以及避免自负损失的收益能够覆盖保费支出。

因此，地方巨灾保险市场能否稳定运行，并不取决于单一主体的行为选择，而是取决于地方政府、保险公司和居民三方收益结构是否能够相互协调。当严格监管具有足够激励、积极经营具有合理收益、居民参保具有实际保障时，系统更容易向 $E_8(1,1,1)$ 演化，从而形成政府有效监管、保险公司积极供给、居民主动参与的稳定运行状态。

3.5. 次优稳定状态与混合策略均衡的现实意义

除 $E_8(1,1,1)$ 这一理想稳定状态外，地方巨灾保险市场还可能在一定条件下陷入边界型次优稳定状态。例如， $E_1(0,0,0)$ 可解释为“宽松监管 - 消极经营 - 不参与保险”的低水平均衡：政府因监管成本较高或治理收益不足而选择宽松监管，保险公司因经营净收益不足而消极供给，居民因风险保障感受较弱或保费负担较重而不参与保险。该状态具有明显的路径锁定风险，一旦形成，单一主体短期内改变策略难以带动整体系统转向理想状态。

E_2 等其他边界均衡则反映了三方主体策略不协同的风险。即使某一主体愿意采取积极策略，只要其他主体的收益结构未被同步改善，系统仍可能停留在政府监管不足、保险公司供给不足或居民参保不足的次优状态。其政策含义在于，地方巨灾保险市场不能仅依靠单一工具推动，而应通过监管、补贴、处

罚、服务供给和风险教育的组合机制，使三方收益同时满足向积极策略转换的条件。

针对次优稳定状态，应设计“逃逸机制”。一是建立动态财政补贴机制，在市场推广初期适当提高对保险公司和居民的补贴强度，待参保规模扩大和经营收益改善后逐步转向绩效补贴；二是强化监管与处罚联动，对保险公司消极经营、理赔服务不足和信息披露不充分等行为形成稳定约束；三是降低监管和经营成本，通过数字化监管、共保体、再保险和标准化产品设计提高制度运行效率；四是增强居民风险认知和获得感，通过灾害风险宣传、理赔案例公开和保障责任说明，提高居民对巨灾保险价值的理解。

此外，混合策略均衡具有一定现实意义。由于混合策略均衡通常对应各主体收益差异较小、策略选择尚未稳定的状态，可将其理解为地方巨灾保险推广初期或政策调整期的过渡状态。在这一阶段，政府监管强度、保险公司经营投入和居民参保意愿可能频繁波动，市场尚未形成稳定预期。因此，政策设计应重视初始阶段的预期引导和制度承诺，通过连续稳定的补贴、明确的处罚规则和可验证的服务质量提升，促使系统跨越混合策略波动区间，并最终向 $E_8(1, 1, 1)$ 收敛。

4. 仿真分析

为验证演化稳定性分析结论，本文利用 MATLAB R2024a 对三方演化博弈系统进行数值仿真，考察地方政府、保险公司和居民在不同参数条件下的策略演化路径。仿真围绕成本约束、激励约束和收益感知三类因素展开分析，基准参数赋值见表 3，后续敏感性分析中除被考察参数外，其余参数均保持不变。

Table 3. Values of simulation parameters
表 3. 仿真参数赋值

参数	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	I	S_1	S_2	S_3	S_4	A
赋值	110	60	105	55	70	85	60	40	35	20	70
参数	P_1	P_2	F	G_1	G_2	R_1	R_2	L_1	L_2	L_3	
赋值	45	25	25	145	100	135	100	85	45	55	

4.1. 成本因素

成本因素直接影响三方主体采取积极策略的相对收益，分别考察政府监管成本 C_1 、 C_2 、保险公司经营成本 C_3 、 C_4 ，以及居民保费 I 与不参保自负成本 C_5 对系统演化路径的影响，仿真结果如图 1 所示。

由图 1(a)可知，政府监管成本变化会明显影响地方政府策略演化路径。当严格监管成本 C_1 提高时，系统向 $x=1$ 收敛的速度下降；当宽松监管成本 C_2 提高时，地方政府更容易选择严格监管策略。说明在地方巨灾保险市场中，降低严格监管的执行成本、提高宽松监管可能带来的治理损失，有助于增强政府持续监管动力，并通过政府监管行为进一步影响保险公司经营和居民参保决策。由图 1(b)可知，积极经营成本 C_3 提高会降低保险公司积极经营的净收益，使 y 的上升速度减缓；消极经营成本 C_4 提高则会压缩消极经营空间，促使保险公司更快向积极经营方向演化。由图 1(c)可知，居民保费 I 提高会增加参保成本，抑制居民参与保险；自负成本 C_5 提高则会增强居民对灾害损失的风险感知，提高参保意愿。总体来看，降低积极行为成本、提高消极行为或不参保行为的相对成本，有助于推动系统向 E_8 的理想状态演化。

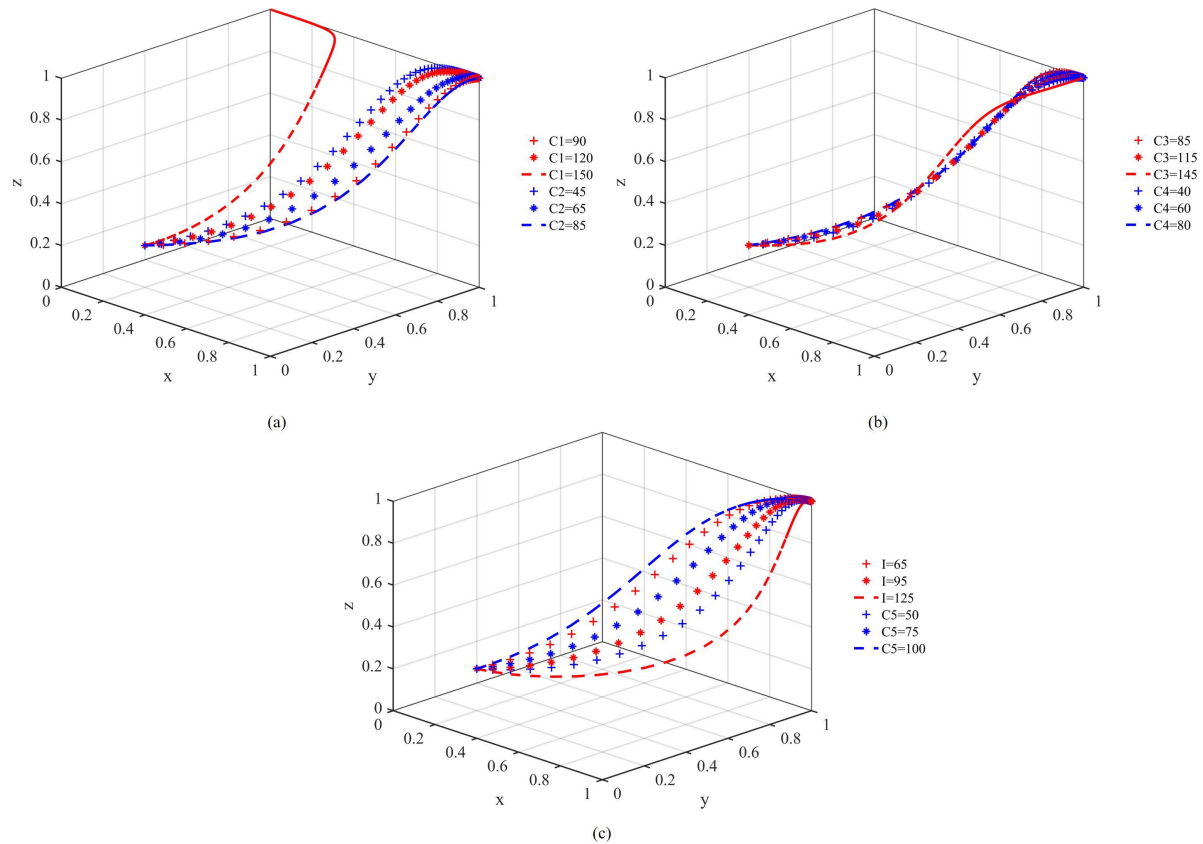


Figure 1. Effects of cost factors on the system evolutionary path (x : probability of strict government supervision; y : probability of active operation of insurance company; z : probability of residents' participation in insurance)

图 1. 成本因素对系统演化路径的影响(x 为政府严格监管概率, y 为保险公司积极经营概率, z 为居民参与保险概率)

4.2. 激励与约束因素

奖惩因素主要通过改变政府、保险公司和居民的收益结构, 影响三方策略演化方向。本文分别考察政府对保险公司的补贴 S_1 、 S_2 、政府对居民的补贴 S_3 、 S_4 、保险公司对居民的补贴 F 、上级政府奖励 A 的影响结果, 如图 2 所示。

由图 2(a)可知, 政府对保险公司的补贴提高后, 系统更容易向积极经营方向演化。相比宽松监管下的补贴 S_2 , 严格监管下的补贴 S_1 对演化路径的推动作用更明显, 说明补贴政策需要与监管强度配合, 才能更好地提高保险公司的经营积极性。由图 2(b)可知, 政府对居民参保补贴提高后, 居民参保概率上升更快, 系统更容易向 $z=1$ 收敛。其中, 严格监管下的居民补贴 S_3 作用更直接, 说明财政补贴能够降低居民参保成本, 提高居民参与巨灾保险的意愿。由图 2(c)可知, 保险公司对居民的补贴 F 提高后, 居民参保意愿增强。但由于 F 同时也是保险公司的支出, 补贴水平应控制在保险公司能够承受的范围内。由图 2(d)可知, 上级政府奖励 A 提高后, 地方政府选择严格监管的动力增强, 系统更快向严格监管方向演化。这说明适当的上级奖励能够弥补地方政府监管成本, 提高地方政府持续监管的积极性。

处罚因素仿真结果同样表明, 提高处罚力度 P_1 、 P_2 能够抑制保险公司的消极经营行为, 使系统更容易向积极经营方向演化。其中, 严格监管下的处罚 P_1 效果更明显, 说明处罚机制只有在监管有效的条件下才能充分发挥作用。

总体来看, 补贴、奖励和处罚均能促进系统向 E_8 的方向演化。其中, 补贴主要提高参与积极性, 奖励主要增强政府监管动力, 处罚主要约束保险公司消极经营行为。三类机制配合使用, 比单独依靠某一

种政策工具更有利于系统稳定。

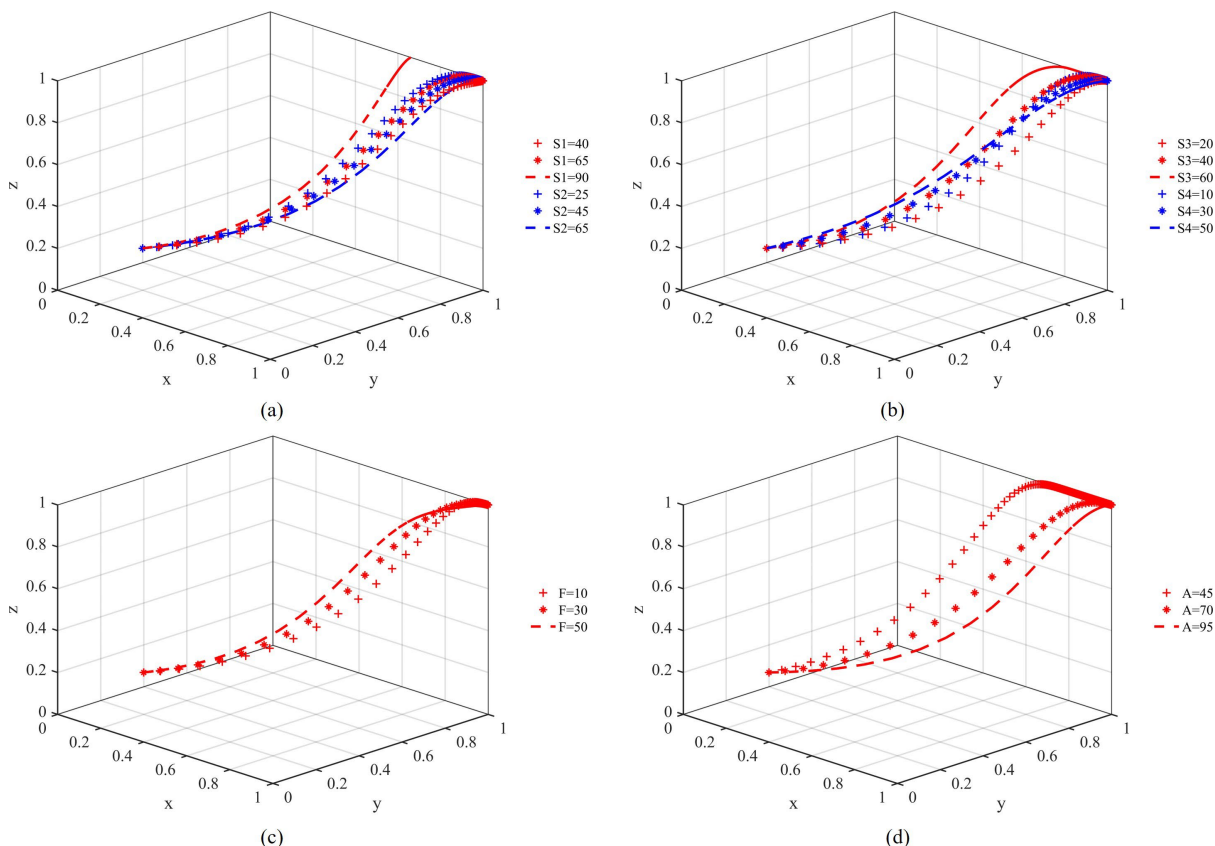


Figure 2. Effects of incentive factors on the system evolutionary path (x : probability of strict government supervision; y : probability of active operation of insurance company; z : probability of residents' participation in insurance)

图 2. 激励因素对系统演化路径的影响(x 为政府严格监管概率, y 为保险公司积极经营概率, z 为居民参与保险概率)

4.3. 收益感知因素

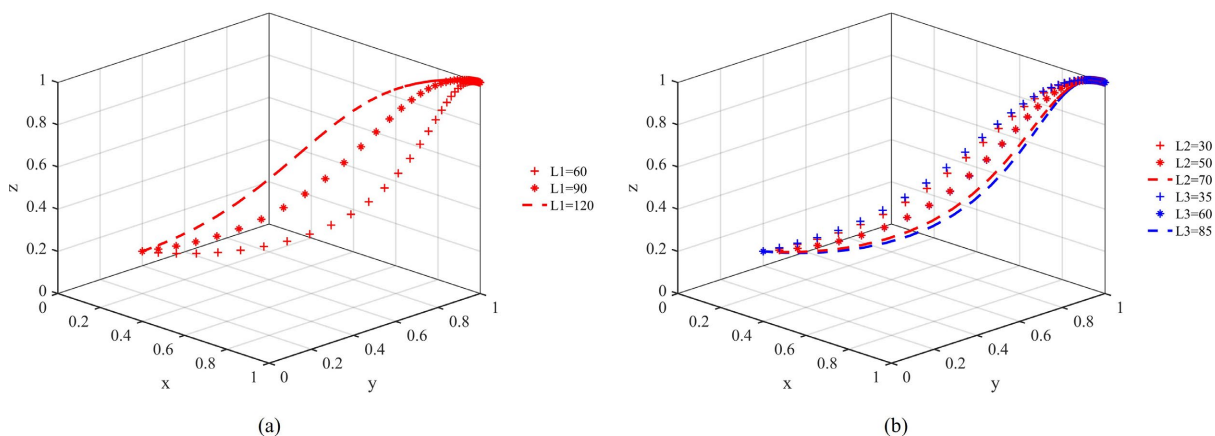


Figure 3. Effects of residents' risk perception factors on the system evolutionary path (x : probability of strict government supervision; y : probability of active operation of insurance company; z : probability of residents' participation in insurance)

图 3. 居民风险感知因素对系统演化路径的影响(x 为政府严格监管概率, y 为保险公司积极经营概率, z 为居民参与保险概率)

收益感知因素会影响三方主体对不同策略的判断。本文主要考察居民参保安全感收益 L_1 以及安全感损失 L_2 、 L_3 对系统演化路径的影响, 结果如图 3 所示。

由图 3(a)可知, 居民参保安全感收益 L_1 提高后, 居民参与保险的意愿明显增强, 系统更快向 $z=1$ 演化。由图 3(b)可知, 宽松监管造成的安全感损失 L_2 和保险公司消极经营造成的安全感损失 L_3 增大时, 居民参保收益会受到影响, 系统演化速度有所变化。尤其是在政府监管不足或保险公司经营不积极的情况下, 居民对保险制度的信任容易下降, 从而影响参保意愿。因此, 提升居民风险感知的同时, 也要保证监管和服务质量, 否则居民可能不会持续参与。

总体来看, 收益感知因素会通过改变三方主体的策略收益影响系统演化。提高严格监管收益、积极经营收益和居民参保安全感收益, 有助于推动系统向 E_8 的方向演化; 而宽松监管收益、消极经营收益和安全感损失过高, 则可能削弱系统稳定运行。

4.4. 博弈演化策略分析

为进一步检验系统在不同初始状态下的演化结果, 本文设置 50 组不同初始策略组合, 对三方演化路径进行仿真, 结果如图 4 所示。图中不同颜色曲线表示不同初始状态下地方政府、保险公司和居民策略概率的变化路径。

由图 4 可知, 虽然不同初始策略组合的起点存在差异, 但随着博弈次数增加, 各条演化轨迹最终均逐渐向 $(1,1,1)$ 附近收敛。说明在当前参数条件下, 系统能够稳定趋向于“严格监管-积极经营-参与保险”的状态, 即地方政府倾向于选择严格监管, 保险公司倾向于选择积极经营, 居民倾向于参与保险。

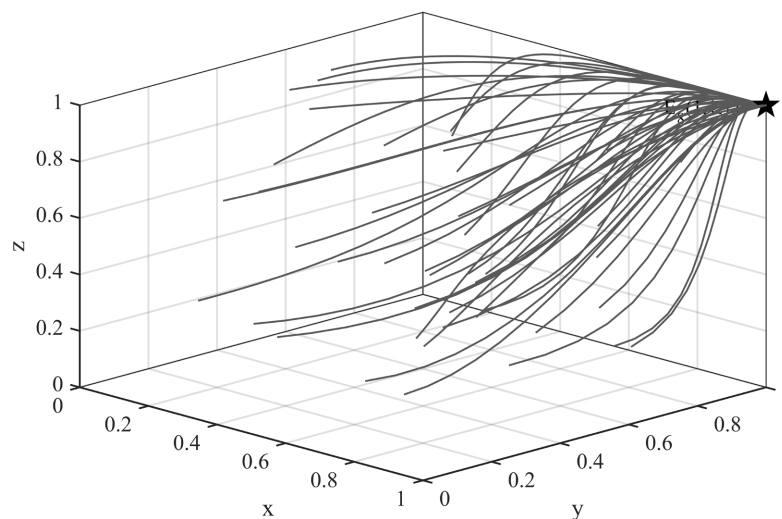


Figure 4. Tripartite evolutionary paths under different initial strategy combinations (x : probability of strict government supervision; y : probability of active operation of insurance company; z : probability of residents' participation in insurance)

图 4. 不同初始策略组合下的三方演化路径(x 为政府严格监管概率, y 为保险公司积极经营概率, z 为居民参与保险概率)

从演化过程看, 三方策略并不是独立变化的。地方政府严格监管能够增强保险公司积极经营的约束和激励, 也能提高居民对制度的信任; 保险公司积极经营提高居民参保意愿; 居民参保概率提高后, 又会增强保险公司持续经营和政府完善监管的动力。三方之间形成相互促进关系, 使系统最终向理想稳定状态收敛。因此, 数值仿真结果与前文稳定性分析结论基本一致。在合理的补贴、奖励、处罚和收益结构下, 地方巨灾保险市场能够形成较稳定的运行机制。

5. 结论

本文基于地方政府、保险公司和居民三方主体,构建了地方巨灾保险市场演化博弈模型,分析了监管行为、经营行为和参保行为之间的相互影响,并通过数值仿真验证了系统演化规律。研究表明,地方巨灾保险市场的稳定运行并非由单一主体决定,而是取决于政府监管、保险公司经营和居民参保三者之间的协调关系。

从稳定性分析结果看,当地方政府严格监管的综合收益高于宽松监管,保险公司积极经营的净收益高于消极经营,居民参与保险的综合收益高于不参与保险时,系统能够逐渐收敛于“严格监管-积极经营-参与保险”的理想稳定状态。该状态说明,政府有效监管、保险公司积极供给和居民主动参与是推动地方巨灾保险市场稳定发展的关键。

总体来看,区域巨灾保险市场应通过降低参与成本、完善补贴与处罚机制、提升保险服务质量和增强居民风险保障感受,促进政府、保险公司和居民三方主体形成稳定互动关系。进一步看,巨灾保险不仅影响灾后损失补偿,也关系到区域风险管控和工程治理体系的稳定运行。政府严格监管能够提升区域灾害治理能力,保险公司积极经营能够强化风险转移和保障供给,居民主动参保能够增强社会整体风险分担能力。三方协同作用有助于形成“风险识别-风险转移-损失补偿-治理反馈”的稳定机制,从而推动区域巨灾保险制度、风险管控体系和工程治理能力的协调发展。

基金项目

辽宁省社会科学规划基金项目(L24CGL029)。

参考文献

- [1] 救灾和物资保障司. 应急管理部公布 2019 年全国十大自然灾害[EB/OL]. https://www.mem.gov.cn/xw/bndt/202001/t20200112_343410.shtml, 2020-01-12.
- [2] 应急管理部. 应急管理部发布 2020 年全国自然灾害基本情况[EB/OL]. https://www.mem.gov.cn/xw/yjglbgzdt/202101/t20210108_376745.shtml, 2021-01-08.
- [3] 国家防灾减灾救灾委员会办公室 应急管理部发布 2024 年全国自然灾害基本情况[EB/OL]. https://www.mem.gov.cn/xw/yjglbgzdt/202501/t20250117_516032.shtml, 2025-01-17.
- [4] 卓志, 段胜. 中国巨灾保险制度: 政府抑或市场主导?——基于动态博弈的路径演化分析[J]. 金融研究, 2016(8): 85-94.
- [5] 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.
- [6] 卓志, 邝启宇. 巨灾保险市场演化博弈均衡及其影响因素分析——基于风险感知和前景理论的视角[J]. 金融研究, 2014(3): 194-206.
- [7] 王增文, 吴健, 李晓琳. 巨灾保险参与主体行为的演化路径研究[J]. 保险研究, 2022(9): 39-53.
- [8] 李嘉浩, 王国军. 中国地震保险市场的演化博弈均衡——政府预防性补贴和救济性给付分析[J]. 运筹与管理, 2022, 31(2): 48-53.
- [9] 刘玮, 孙丽兵, 刘帆. 共保体下的巨灾保险产品市场参与主体行为研究——一个演化博弈视角[J]. 未来与发展, 2021, 45(6): 76-83, 95.
- [10] 王晓岚, 王静, 王新利. 应对农业巨灾保险市场失衡问题的演化博弈策略分析[J]. 金融理论与实践, 2024(8): 106-118.
- [11] Raykov, R.S. (2015) Catastrophe Insurance Equilibrium with Correlated Claims. *Theory and Decision*, **78**, 89-115. <https://doi.org/10.1007/s11238-013-9403-2>
- [12] Wu, Y. (2020) Equilibrium in Natural Catastrophe Insurance Market under Disaster-Resistant Technologies, Financial Innovations and Government Interventions. *Insurance: Mathematics and Economics*, **95**, 116-128. <https://doi.org/10.1016/j.insmatheco.2020.08.006>

-
- [13] Eid, M.S., El-adaway, I.H. and Coatney, K.T. (2015) Evolutionary Stable Strategy for Postdisaster Insurance: Game Theory Approach. *Journal of Management in Engineering*, **31**, Article ID: 04015005. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)me.1943-5479.0000357](https://doi.org/10.1061/(asce)me.1943-5479.0000357)
- [14] Taylor, P.D. and Jonker, L.B. (1978) Evolutionary Stable Strategies and Game Dynamics. *Mathematical Biosciences*, **40**, 145-156. [https://doi.org/10.1016/0025-5564\(78\)90077-9](https://doi.org/10.1016/0025-5564(78)90077-9)