

# 政府奖惩激励机制下建筑企业碳排放监管的三方演化博弈分析

瓮知桦

重庆交通大学经济与管理学院, 重庆

收稿日期: 2024年11月18日; 录用日期: 2024年12月2日; 发布日期: 2025年1月13日

## 摘要

随着全球气候问题的日益严重, 碳排放监管已成为国际社会共同关注的焦点。二氧化碳的大量排放不仅导致全球变暖和各种极端天气事件频发, 也对人类社会的可持续发展构成了严重威胁。在这种背景下, 本研究聚焦于政府奖惩激励机制下建筑企业碳排放监管的三方演化博弈分析。通过构建涵盖政府、建筑企业和碳排放监测机构三方的演化博弈模型, 探讨不同策略组合对碳排放监管效果的影响。研究结果表明, 政府采取强监管策略, 结合显著的激励机制, 能够有效促进建筑企业采取积极减排策略, 同时激励碳排放监测机构提升监测能力, 形成良性的三方互动。相比之下, 政府若采取弱监管策略, 将导致建筑企业倾向于消极减排, 监测机构也缺乏提升监测能力的动力, 从而不利于碳排放的有效控制。

## 关键词

三方演化博弈, 奖惩机制, 碳排放, 监管

# The Triangular Evolutionary Game Analysis of Carbon Emission Supervision in Construction Enterprises under Government Incentive Mechanism

Zhihua Weng

School of Economics and Management, Chongqing Jiaotong University, Chongqing

Received: Nov. 18<sup>th</sup>, 2024; accepted: Dec. 2<sup>nd</sup>, 2024; published: Jan. 13<sup>th</sup>, 2025

## Abstract

As global climate issues become increasingly severe, carbon emission regulation has become a focal

point of common concern for the international community. The massive emission of carbon dioxide not only leads to global warming and the frequent occurrence of various extreme weather events but also poses a serious threat to the sustainable development of human society. In this context, this study focuses on the triangular evolutionary game analysis of carbon emission supervision in construction enterprises under government incentive mechanisms. By constructing an evolutionary game model that includes the government, construction enterprises, and carbon emission monitoring institutions, the study explores the impact of different strategy combinations on the effectiveness of carbon emission supervision. The research findings indicate that when the government adopts a strong regulatory strategy combined with a significant incentive mechanism, it can effectively encourage construction enterprises to adopt proactive emission reduction strategies and motivate carbon emission monitoring institutions to enhance their monitoring capabilities, forming a positive interaction among the three parties. In contrast, if the government adopts a weak regulatory strategy, it will lead construction enterprises to tend towards passive emission reduction, and monitoring institutions will lack the motivation to improve their monitoring capabilities, which is not conducive to the effective control of carbon emissions.

## Keywords

Triangular Evolutionary Game, Reward-Punishment Mechanism, Carbon Emissions, Supervision

Copyright © 2025 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

随着全球气候变化的加剧,二氧化碳排放量的急剧增加已成为全球关注的焦点[1]。据国际能源署(IEA)报告,建筑业的碳排放量占全球总碳排放量的约 30%至 40%,是仅次于能源行业的第二大碳排放源[2]。因此,有效控制建筑行业的碳排放,对于实现全球碳减排目标具有重要意义。

近年来,各国政府纷纷出台相关政策,旨在通过经济激励和法规约束,促进企业采取更加环保的建筑实践和材料,从而减少对环境的影响[3]。然而,政策的制定和执行之间往往存在差距。在实际操作中,建筑企业、核查机构以及政府部门之间的互动变得复杂[4]。这些实体的利益诉求并不完全一致,在执行政策时的行为选择和利益博弈,会对政策的最终效果产生显著影响[5]。赵红岩等学者在其研究中揭示,由于减排技术成本高昂、市场需求匮乏等多重因素的制约,建筑企业普遍面临减排动力与能力的双重缺失[6]。部分建筑企业存在监管漏洞,违规行为时有发生,不仅导致碳排放数据的不准确与不可靠,也给政府制定科学合理的碳排放控制政策带来了极大的困扰与挑战[7]。

当前学者在建筑业碳排放领域进行了广泛研究。一方面,学者们聚焦于监管机制的设计与优化,特别是第三方监管机构的引入及其作用[8]。研究表明,引入独立的第三方监管机构能够有效提升碳排放数据的准确性和可靠性,减少建筑企业的投机行为和违规行为,从而增强监管的公信力与有效性[9]。然而,第三方监管也面临着诸多困境,如监管成本高昂、监管标准不统一、以及监管过程中的信息不对称等问题,这些都需要进一步的研究与解决策略[10]。另一方面,学者们还关注于建筑企业投机行为的识别与防范。由于减排技术的高成本和市场需求的不足,部分建筑企业可能采取虚假报告、规避监管等手段来减少其减排责任,这不仅损害了监管的公正性,也严重阻碍了绿色低碳建筑的发展[11]。此外,学者们还深入探讨了监管缺失对环境和市场带来的危害。缺乏有效的碳排放监管不仅会导致碳排放数据的失真,影响全球碳减排目标的实现,还可能引发市场不公平竞争,挫伤那些积极履行减排责任的企业的积极性[12]。

因此，构建一个高效、透明、公正的碳排放监管体系，对于促进建筑业的可持续发展和应对全球气候变化具有重要意义[4]。

本文针对建筑企业碳排放监管及政策实施过程中可能面临的问题，从系统动力学视角出发构建涵盖建筑企业、碳排放监测机构和政府的三方演化博弈模型，考虑各参与方的策略互动与调整过程，深入分析在政府奖惩激励机制下，各参与方的策略选择及其演化稳定性。通过模型分析，为政府完善建筑施工碳排放监测监管机制提供科学的对策和建议，促进建筑业向更加绿色、低碳的方向发展。

## 2. 研究模型构建

### 2.1. 激励政策下各参与方关系

本研究博弈主体是政府、建筑企业和碳排放监测机构。其中政府在碳排放控制中起着核心监管和推动者的角色。其策略选择直接影响到建筑企业和碳排放监测机构的投机行为。当政府选择强监管策略时，意味着它致力于通过严格的法规、高额的惩罚和激励措施来推动建筑行业减少碳排放。这种策略能够形成强有力的压力，促使建筑企业积极采取减排措施，并与碳排放监测机构紧密合作。然而，强监管策略也可能带来额外的行政成本和监管难度。相反，弱监管策略虽然减轻了政府的监管压力，但可能不足以激发建筑企业的减排动力，导致碳排放控制效果不佳。

建筑企业作为碳排放的直接产生者，其策略选择对碳排放控制具有主要影响。在积极减排策略下，建筑企业将投入大量资源研发和应用低碳技术，严格执行政府的碳排放标准和要求，并与碳排放监测机构紧密合作。这种策略能够显著提升企业的环保形象和竞争力，同时获得政府的激励支持。然而，积极减排也意味着企业需要承担更高的成本。在消极减排策略下，建筑企业可能仅满足法规的最低要求，减少减排投入，对监测机构的合作态度也较为被动。这种策略虽然短期内能够降低企业成本，但长期来看可能损害企业的可持续发展能力。

碳排放监测机构在碳排放控制中扮演重要角色，其监测数据的准确性和可靠性直接影响到政府决策和建筑企业行为。在严格监测策略下，监测机构将严格按照政府要求采集、记录和分析建筑企业的碳排放数据，提供准确、可靠的监测报告。这种策略能够确保政府决策的科学性和有效性，促进建筑企业的减排动力。然而，严格监测也意味着监测机构需要投入更多的资源和技术支持。实际上，监测机构的人员配置及监管技术装备无法满足需求，即在宽松监测策略下，监管效能受到制约，导致监测结果存在偏差。这种策略虽然短期内能够减轻监测机构的压力，但可能损害其公信力和影响力。

三方具体关系如图 1 所示：

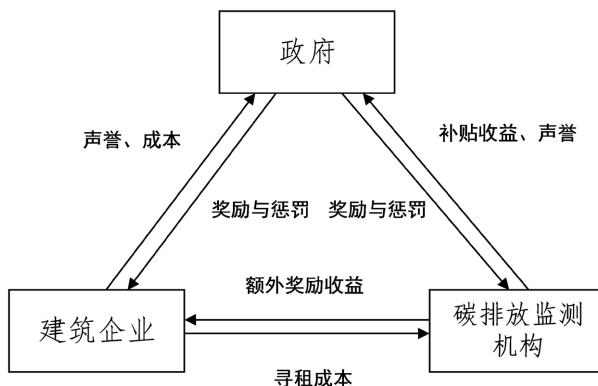


Figure 1. Interest relationship diagram

图 1. 利益关系图

## 2.2. 模型假设

**Table 1.** Model parameters  
**表 1.** 模型参数

参数	表达含义
$C$	建筑企业选择积极减排时的高质量减排成本
$C_1$	建筑企业选择消极减排时的低成本
$C_2$	建筑企业通过碳排放监测机构伪造数据所需支付的寻租成本
$F$	建筑企业因伪造数据被政府发现而面临的潜在罚款
$R$	建筑企业因高质量减排而获得的政府奖励收益
$C_3$	碳排放监测机构严格监测时所需花费的成本
$P$	碳排放监测机构为政府提供监测服务获得的服务收益
$R_1$	碳排放监测机构因严格监测而获得的政府奖励
$C_4$	碳排放监测机构宽松监测时所需花费的成本
$F_1$	碳排放监测机构因宽松监测而导致建筑企业伪造数据被政府发现而面临的潜在罚款
$C_5$	政府选择强监管时所需花费的成本
$C_6$	政府选择弱监管时所需花费的成本

本文模型基于以下假设：

假设 1：假设政府、建筑企业、碳排放监测机构三个主体均为有限理性，且策略随着时间的演化最终趋向最优策略。政府的策略集(强监管  $GS$ , 弱监管  $GW$ ), 实施概率分别为  $x$ 、 $1-x$ ; 其中强监管代表政府制定严格的碳排放法规和标准，设立高额的碳排放超标惩罚措施，提供显著的减税、补贴或奖励等激励机制，加大对碳排放监测机构的监管和支持力度。弱监管表示政府制定相对宽松的碳排放法规和标准，设定较低的碳排放超标惩罚措施，提供有限的减税、补贴或奖励等激励机制，对碳排放监测机构的监管和支持力度较小。建筑企业策略集(积极减排  $BA$ , 消极减排  $BP$ ), 实施概率分别为  $y$ 、 $1-y$ ; 其中积极减排指建筑企业投入大量资源研发和应用低碳技术，严格执行政府的碳排放标准和要求，与碳排放监测机构紧密合作，确保碳排放数据的准确性，寻求政府的激励措施，如减税、补贴或奖励。消极减排指建筑企业在满足法规要求的基础上尽量减少减排投入，仅在必要时采取减排措施，对碳排放监测机构的合作态度较为被动，采取一些策略规避政府的惩罚。碳排放监测机构策略集(严格监测  $MS$ , 宽松监测  $ML$ )实施概率分别为  $z$ 、 $1-z$ ; 其中严格监测表示碳排放监测机构严格按照政府要求采集、记录和分析建筑企业的碳排放数据，提供准确、可靠的碳排放监测报告，积极参与政府和企业之间的沟通和协调。宽松监测表示在满足基本要求的前提下，对监测数据的准确性和可靠性要求较低，对政府和企业之间的沟通和协调态度较为被动，对监测技术和能力的提升投入有限。

假设 2：在政府奖惩机制建筑企业碳排放领域，建筑企业面临着是否积极减排这一重要决策。这一决策在建筑企业而言，具有双重深远的影响：一方面，它直接影响着企业的财务健康和长期发展，因为有效的减排措施可能会转化为经济收益；另一方面，它承载着企业对环境可持续性和社会责任的承诺，体现了企业对于环境保护的积极态度和行动。如果建筑企业选择积极减排，则需要承担高质量减排成本  $C$ ，该成本包括低碳技术研发技术成本、设备更新成本、运营维护成本和培训成本，同时高质量碳减排会得到政府的奖励收益  $R$ ，这奖励包括减税收益、补贴收益、奖金、声誉收益。反之，建筑企业选择消极减排策略时，此时的减排成本将会大幅度降低，其成本为  $C_1$ ,  $C_1 < C$ ；但建筑企业可以向碳排放监测机构支付寻租成本  $C_2$ (即通过碳排放监测机构伪造数据使其达标)，同时存在被政府发现的可能，潜在罚款为  $F$ 。

为了确保惩罚高于寻租作假, 这里默认  $F > C_2$ 。

假设 3: 碳排放监测机构作为建筑企业与政府沟通的主要桥梁, 有着重要的连接作用。碳排放监测机构严格监测时, 需要花费成本  $C_3$ , 该成本包括监测设备成本、人力成本、技术研发成本; 监测机构为政府提供监测服务会获得一定的服务收益  $P$ , 同时会获得一定的奖励  $R_1$ ; 碳排放监测机构宽松监测时, 需要花费成本  $C_4$ , 监测机构为政府提供监测服务会获得一定的服务收益  $P$ , 存在潜在建筑企业寻主收益  $C_2$ , 同时也存在潜在罚款  $F_1$ 。

假设 4: 政府在选择强监管时, 需要花费的强监管成本为  $C_5$ , 在强监管下, 会对碳排放监测机构和建筑企业进行奖励与罚款, 奖励分别为  $R$ 、 $R_1$ , 罚款分别为  $F$ 、 $F_1$ 。在弱监管下, 需要花费的强监管成本为  $C_6$ , 基本不会进行奖惩。

具体模型参数见表 1。

### 2.3. 模型构建

**Table 2.** Table of game player's payoff matrix

**表 2.** 博弈主体收益矩阵表

博弈策略组合	政府收益	建筑企业收益	碳排放监测机构收益
$(GS, BA, MS)$	$R - C_5$	$R - C$	$P + R_1 - C_3$
$(GS, BA, ML)$	$-F_1 - C_5$	$-F$	$P - C_4 + C_2 - F_1$
$(GS, BP, MS)$	$F - C_5$	$C_1 - C_2 - F$	$P - C_3$
$(GS, BP, ML)$	$-F_1 - C_5$	$C_1 - C_2$	$P - C_4 + C_2 - F_1$
$(GW, BA, MS)$	$-C_6$	$R - C$	$P + R_1 - C_3$
$(GW, BA, ML)$	$-C_6$	$R - C$	$P - C_4$
$(GW, BP, MS)$	$-C_6$	$C_1 - C_2$	$P - C_3$
$(GW, BP, ML)$	$-C_6$	$C_1 - C_2$	$P - C_4$

表 2 所示的博弈主体收益矩阵表详细展示了政府、建筑企业和碳排放监测机构在八种不同策略组合下的收益情况。在强监管 ( $GS$ ) 的情境下, 如果建筑企业选择积极减排 ( $BA$ ) 并与碳排放监测机构紧密合作 ( $MS$ ), 政府将获得因奖励而带来的收益减去监管成本 ( $R - C_5$ ), 建筑企业将获得政府的奖励减去减排成本 ( $R - C$ ), 而碳排放监测机构则通过提供严格监测服务获得服务收益和奖励 ( $P + R_1 - C_3$ )。然而, 如果建筑企业选择消极减排 ( $BP$ ) 且碳排放监测机构宽松监测 ( $ML$ ), 政府将面临罚款和监管成本的双重损失 ( $-F_1 - C_5$ ), 建筑企业可能会通过寻租避免部分成本但同样面临罚款 ( $C_1 - C_2$ ), 而监测机构则面临罚款和成本扣除 ( $P - C_4 + C_2 - F_1$ )。在弱监管 ( $GW$ ) 的情境下, 政府的收益始终为负, 因为监管成本高于潜在的罚款或奖励。建筑企业则根据其减排策略获得相应的收益, 而碳排放监测机构则根据其监测严格程度获得服务收益, 但不受奖惩机制的直接影响。总的来说, 这个矩阵揭示了政府监管力度、建筑企业减排意愿和碳排放监测机构监测严格程度之间的相互作用和收益关系, 展示了在碳排放监管过程中, 各方策略选择对彼此收益的深远影响。

## 3. 演化博弈模型分析

### 3.1. 三方博弈函数

根据以上矩阵和定义, 政府、建筑企业和碳排放监测机构分别有两种策略选择, 即政府有强监管 ( $GS$ )

和弱监管( $GW$ )，建筑企业有积极减排( $BA$ )和消极减排( $BP$ )，碳排放监测机构有严格监测( $MS$ )和宽松监测( $ML$ )。政府选择强监管的概率为( $x$ )，则选择弱监管的概率为( $1-x$ )；建筑企业选择积极减排的概率为( $y$ )，则选择消极减排的概率为( $1-y$ )；碳排放监测机构选择严格监测的概率为( $z$ )，则选择宽松监测的概率为( $1-z$ )。由此可以得出以下博弈函数。

政府期望收益方程： $GS = y(R - C_5) + (1 - y)(F - C_5)GW = -C_6$

平均期望收益方程： $H = xGS + (1 - x)GW$

$$F(x) = dx/dt$$

$$\begin{aligned} \text{动态函数方程:} \quad &= x(1-x)(GS - GW) \\ &= x(1-x)[(F+R)y - F_1 - C_5 + C_6] \end{aligned}$$

同理，建筑企业期望收益方程：

$$BA = xz(R - C) + x(1 - z)(R - C) + (1 - x)z(R - C) + (1 - x)(1 - z)(R - C)$$

$$BP = xz(C_1 - C_2 - F) + x(1 - z)(C_1 - C_2) + (1 - x)z(C_1 - C_2) + (1 - x)(1 - z)(C_1 - C_2)$$

$$F(y) = dy/dt$$

$$\begin{aligned} \text{复制动态函数方程:} \quad &= y(1 - y)(BA - BP) \\ &= y(1 - y)(F - C_2) \end{aligned}$$

碳排放监测机构期望收益方程：

$$MS = xy(P + R_1 - C_3) + x(1 - y)(P - C_3) + (1 - x)y(P + R_1 - C_3) + (1 - x)(1 - y)(P - C_3)$$

$$ML = xy(P - C_4 + C_2 - F_1) + x(1 - y)(P - C_4) + (1 - x)y(P - C_4 + C_2 - F_1) + (1 - x)(1 - y)(P - C_4)$$

$$F(z) = dz/dt$$

$$\begin{aligned} \text{复制动态函数方程:} \quad &= z(1 - z)(MS - ML) \\ &= z(1 - z)(R_1y + F_1z - C_3 + C_4) \end{aligned}$$

### 3.2. 博弈路径分析

对于政府而言，当 $(F+R)y - F_1 - C_5 + C_6 > 0$ 时，即建筑企业积极减排的概率 $y$ 足够大时， $(dx/dt > 0)$ ，政府选择强监管 $GS$ 的概率 $x$ 会增加。当 $(F+R)y - F_1 - C_5 + C_6 < 0$ 时，政府选择弱监管 $GW$ 的概率 $1-x$ 会增加。而当 $(F+R)y - F_1 - C_5 + C_6 = 0$ 时，表示政府选择强监管和弱监管的概率相等时的建筑企业积极减排的概率，没有明显倾向；对于建筑企业， $F - C_2 = 0$ 时，表示建筑企业选择积极减排和消极减排的概率相等时的罚款和寻租成本的平衡。当 $F - C_2 > 0$ 时，即政府对消极减排的罚款 $F$ 大于建筑企业的寻租成本 $C_2$ 时， $(dy/dt > 0)$ ，建筑企业选择积极减排 $BA$ 的概率 $y$ 会增加。当 $F - C_2 < 0$ 时，建筑企业选择消极减排 $BP$ 的概率 $1-y$ 会增加。对于碳排放监测机构而言，当 $R_1y + F_1z - C_3 + C_4 = 0$ 时，表示监测机构选择严格监测和宽松监测的概率相等时的建筑企业积极减排概率和自身严格监测概率的平衡，无明显倾向。当 $R_1y + F_1z - C_3 + C_4 > 0$ 时，即建筑企业积极减排的概率 $y$ 和监测机构自身选择严格监测的概率 $z$ 足够大时， $(dz/dt > 0)$ ，监测机构选择严格监测 $MS$ 的概率 $z$ 会增加。当 $R_1y + F_1z - C_3 + C_4 < 0$ 时，监测机构选择宽松监测 $ML$ 的概率 $1-z$ 会增加。

### 3.3. 博弈稳定性分析

在分析政府、建筑企业和碳排放监测机构之间的博弈均衡点时，可以将三者的复制动态方程 $F(x) = 0$ ，

$F(y)=0$ , 和  $F(z)=0$  联合考虑, 从而识别出潜在的均衡点。这些均衡点包括  $(0, 0, 0)$ 、 $(1, 0, 0)$ 、 $(0, 1, 0)$ 、 $(1, 1, 0)$ 、 $(0, 0, 1)$ 、 $(1, 0, 1)$ 、 $(0, 1, 1)$ 、 $(1, 1, 1)$ , 代表三个参与者在不同策略组合下的稳定状态。本文应用 Lyapunov 稳定性理论评估这些均衡点的稳定性, 由前文分析可得雅克比矩阵如下:

$$J = \begin{bmatrix} (1-2x)[(F+R)y - F_1 - C_5 + C_6] & x(1-x)(F+R) & x(1-x)(F+R) & 0 \\ 0 & (1-2y)(F-C_2) & 0 \\ 0 & z(1-z)R_1 & (1-2z)(-R_1y + F_1z + C_4 - C_3) \end{bmatrix}$$

在稳定性分析中, 判断一个均衡点是否稳定通常取决于雅克比矩阵在该点处特征值的实部符号。如果所有特征值的实部都为负, 那么该均衡点是局部渐近稳定的。如果至少有一个特征值的实部为正, 那么该均衡点是不稳定的。具体均衡点稳定性分析如表 3 所示。

**Table 3.** Analysis of equilibrium point stability

**表 3. 均衡点稳定性分析**

均衡点	特征值 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$	实部符号	稳定性结论	条件
$(0, 0, 0)$	$-F_1 - C_5 + C_6; F - C_2; C_4 - C_3$	$(1-x)$	不稳定点	/
$(1, 0, 0)$	$F_1 + C_5 - C_6; F - C_2; C_4 - C_3$	$(x, +, -)$	不稳定点	/
$(0, 1, 0)$	$F + R - F_1 - C_5 + C_6; C_2 - F; -R_1 - C_3 + C_4$	$(x, -, -)$	ESS	/
$(1, 1, 0)$	$F_1 + C_5 - C_6 - F - R; C_2 - F; -R_1 - C_3 + C_4$	$(x, -, -)$	ESS	/
$(0, 0, 1)$	$-F_1 - C_5 + C_6; F - C_2; F_1 + C_3 - C_4$	$(x, +, +)$	不稳定点	/
$(1, 0, 1)$	$F_1 + C_5 - C_6; F - C_2; F_1 + C_3 - C_4$	$(x, +, +)$	不稳定点	/
$(0, 1, 1)$	$F + R - F_1 - C_5 + C_6; C_2 - F; -F_1 + C_3 + R_1 - C_4$	$(x, -, x)$	ESS	/
$(1, 1, 1)$	$F_1 + C_5 - C_6 - F - R; C_2 - F; -F_1 + C_3 + R_1 - C_4$	$(x, -, x)$	ESS	/

注:  $(x, -, +)$  实部符号分别表示不确定、负、正。

在考虑上述均衡点的稳定性时,  $(0, 1, 0)$  和  $(1, 1, 0)$  均衡点由于至少有两个特征值的实部为负, 可能更趋近于稳定性。尽管其中一个特征值的实部符号不确定(标记为  $x$ ), 但如果这个不确定的特征值在实际参数下也表现为负实部, 那么这两个点就可能是进化稳定策略(ESS), 即系统在这些点附近受到扰动后能够恢复到这些状态。因此, 在这些给出的均衡点中,  $(0, 1, 0)$  和  $(1, 1, 0)$  均衡点相较于其他点更趋近于稳定性。

#### 4. 博弈演化仿真分析

**Table 4.** Description of equilibrium point assignment

**表 4. 均衡点赋值情况描述**

变量	$C$	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$F$	$F_1$	$R$	$R_1$	$P$
赋值	14	8	4	18	10	12	7	6	7	12	6	14

在进行博弈演化仿真分析时, 需要明确各个变量的赋值情况, 这些赋值反映了不同参数在博弈过程中的具体数值。根据表 4 给出的均衡点赋值情况描述, 可以看到变量  $C$ 、 $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$ 、 $C_4$ 、 $C_5$ 、 $C_6$ 、 $F$ 、 $F_1$ 、 $R$ 、 $R_1$  以及  $P$  分别被赋予了具体的数值。这些数值的设定不仅反映了博弈参与者的成本、收益和策略选择, 也体现了博弈环境的特定条件和约束。在仿真分析的过渡阶段, 这些赋值将作为初始参数输入到博弈模型中, 通过迭代计算和模拟演化, 来观察和分析不同均衡点的稳定性和演化路径。随着博

弈过程的进行,这些参数值可能会根据参与者的策略调整、环境变化或外部干扰而发生变化,从而影响博弈的均衡结果。

根据表4中给出的均衡点赋值情况描述,可以对博弈模型的参数进行初步分析,通过变换不同数,可以得出下图2仿真结果。可以看到成本( $C$ 、 $C_1$ 、 $C_2$ 等)和收益( $C_3$ 、 $C_4$ 、 $R$ 、 $R_1$ 等)的赋值,这些值反映了博弈参与者在不同策略下的成本支出和潜在收益。例如,  $C_2$ 的赋值为4,相对于其他成本变量来说较低,意味着某种策略的成本较低,从而可能吸引参与者选择该策略。同样,  $C_3$ 的赋值为18,相对较高,可能意味着某种策略带来的收益较高,但也可能伴随着较高的风险。罚款( $F$ 和 $F_1$ )的赋值(分别为6和7)表明,在博弈过程中,如果参与者违反了某种规则或条件,他们将面临一定的经济惩罚。这种惩罚机制有助于维护博弈的公平性和稳定性。接下来,可以推测这些赋值对博弈均衡点的影响。最终可以发现,在(1,1,0)和(1,1,1)点,策略收益趋于平稳,且达到最高点。而在(1,1,0)和(1,1,1)这两个稳定点中,策略收益均趋于平稳且达到较高水平,尤其是(1,1,1)点代表了博弈中最理想的合作与协调状态,实现了整体收益的最大化。

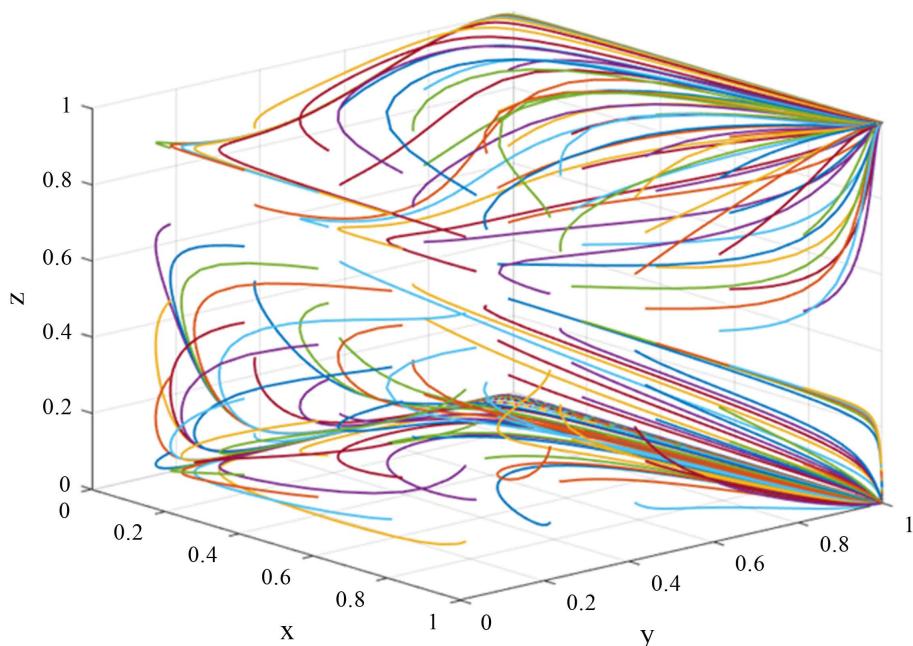


Figure 2. Assignment evolution 50 times result graph

图2. 赋值演化 50 次结果图

## 5. 结论

本论文通过深入剖析博弈模型的参数特性与仿真实验数据,明确揭示了成本、收益及罚款等关键要素对博弈均衡状态的显著影响。具体研究结论包括以下几点:1)研究深入分析了不同策略组合下的收益矩阵,涉及的成本、收益和监管力度等因素对各方的行为选择有着显著影响。通过揭示各主体在碳排放监管过程中的行为逻辑和决策机制,为研究减排政策提供了新的研究思路。2)降低减排成本、提高建筑租成本与伪造数据面对的惩罚能够影响建筑企业的投机倾向,提高减排政府奖励收益,使企业更倾向于绿色生产,监测机构的服务净收益是否采取严格监管的主要影响因素。3)通过对博弈均衡点的稳定性分析发现(1,1,1)和(1,1,0)均衡点趋近于稳定。政府实施积极的激励政策体系同时采用强监管策略有利于减少排放主体的道德风险,也推动其采取积极的减排措施,而建筑企业低碳转型又能够反过来促进监

管机构提供更严格的检测服务，实现良性循环。(1, 1, 1)点说明引入第三方监管机构能够提升排放监测的准确性和可靠性，减少企业的投机行为，增强监管的公信力。

针对研究给出建议如下：1) 加大监管力量投入。制定严格的碳排放法规和标准，明确建筑企业在节能减排方面的责任和义务。对于违反法规的企业，应实施高额的惩罚措施，包括罚款、吊销执照等，遏制消极减排行为。对于实现显著减排效果的企业，可以给予税收减免、资金补贴或荣誉奖励等。2) 提升碳排放监测技术和能力。引进先进的监测设备和技术，培训专业的监测人员，以及建立科学的监测方法和标准。通过提高监测数据的准确性和可靠性，可以为政府制定更加精准的减排政策提供有力支持，同时也能够确保建筑企业的碳排放数据真实可信。3) 引导企业建立绿色发展长效机制。鼓励和支持建筑企业采用绿色建筑技术和材料，推广使用可再生能源、节能材料和设备，以及优化建筑设计等。通过政策引导和资金支持，推动绿色建筑技术的研发和应用，促进建筑行业的可持续发展。

## 参考文献

- [1] 孟庆成, 胡垒, 李明健, 齐欣. 建筑废弃物拆除阶段碳排放及碳补偿分析[J]. 环境工程, 2023, 41(7): 45-52.
- [2] 余少乐, 陈新喜, 张玉建, 吴玮珍, 周祎, 徐俊豪, 张营营. 基于 CiteSpace 的国内外建筑碳排放可视化分析[J]. 建筑结构, 2023, 53(S2): 418-425.
- [3] 何寿奎, 丘康尧. 国家中心城市建筑业碳排放效率及影响研究[J]. 环境科学与技术, 2024, 47(2): 195-205.
- [4] 吕雨彤, 仇湘湘. 基于不完全信息重复博弈的装配式建筑碳排放激励机制研究[J]. 上海节能, 2022(8): 983-989.
- [5] 陆菊春, 欧阳寒旭, 韩璐. 多主体互动博弈下建筑企业低碳转型的演化机理[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2019, 21(1): 17-26.
- [6] 赵红岩, 霍正刚, 查晓庭, 张森森. 建筑碳排放影响因素分析及情景预测[J]. 扬州大学学报(自然科学版), 2022, 25(6): 65-70.
- [7] 朱泓宇, 肖敏, 张嘉敏. 基于建筑碳排放与室内舒适度双目标优化方法的研究[J]. 湖南师范大学自然科学学报, 2023, 46(6): 93-102.
- [8] 向鹏成, 谢怡欣, 李宗煜. 低碳视角下建筑业绿色全要素生产率及影响因素研究[J]. 工业技术经济, 2019, 38(8): 57-63.
- [9] 李晨阳, 何元斌, 包广静. 建筑业碳排放效率的空间分布及溢出效应分析[J]. 建筑经济, 2023, 44(S2): 383-388.
- [10] 张时聪, 王珂, 徐伟. 建筑碳排放标准化计算的电力碳排放因子取值研究[J]. 建筑科学, 2023, 39(2): 46-57.
- [11] 常莎莎, 冯国会, 崔航, 张磊, 李奇岩. 建筑行业碳排放特征及减排潜力预测分析[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2023, 39(1): 139-146.
- [12] 徐天昊, 胡姗, 杨子艺, 江亿. 中国瑞典建筑碳排放对比及对中国建筑碳中和路径的启示[J]. 气候变化研究进展, 2023, 19(3): 305-319.