

碳中和背景下跨境绿色投融资四方演化博弈及仿真分析

雷亚男

外交学院国际关系研究所, 北京

收稿日期: 2025年7月25日; 录用日期: 2025年8月27日; 发布日期: 2025年9月18日

摘要

面对全球气候治理新形势, 绿色投融资是推动实现低碳转型、推进碳中和进程的重要机制。绿色投资高投入、高风险、长周期等不确定性致使融资渠道狭窄, 投融资合作动力不足。本文将跨境绿色投融资四个主要相关主体“中国政府、东道国政府、中国金融机构和中国企业”置于统一框架下, 在引入公众意愿这一外部因素的基础上构建四方演化博弈模型, 基于Matlab进行数值仿真, 模拟关键参数对复制动态系统各主体稳定策略的影响。研究结果显示: 在四方演化博弈系统16组纯策略均衡点中有6组在一定条件下可形成渐进稳定策略组合; 初始意愿对演进路径有显著影响, 初始意愿较低时政府引导是绿色投融资发展行稳致远的保障; 公众意愿是博弈主体决策过程中的关键因素, 绿色投资运营收益提升是企业落实绿色投资的最强驱动力, 绿色投资预期风险损失降低增强了系统整体向理想稳定策略演进的倾向。

关键词

碳中和, 跨境绿色投融资, 演化博弈, 数值仿真

Quadrilateral Evolutionary Game and Simulation Analysis of Cross-Border Green Investment and Financing under the Background of Carbon Neutrality

Yanan Lei

Institution of International Relations, China Foreign Affairs University, Beijing

Received: Jul. 25th, 2025; accepted: Aug. 27th, 2025; published: Sep. 18th, 2025

Abstract

In the context of evolving global climate governance, green investment and financing serve as crucial mechanisms for driving low-carbon transformation and advancing carbon neutrality. However, the inherent uncertainties of green investment—characterized by high capital intensity, significant risks, and long payback periods—often lead to constrained financing channels and insufficient motivation for collaborative investment and financing. This study integrates the four key stakeholders in cross-border green investment and financing—namely, the Chinese government, host country governments, Chinese financial institutions, and Chinese enterprises—within a unified analytical framework. By introducing public preference as an external factor, a quadrilateral evolutionary game model is constructed. Numerical simulations, conducted using Matlab, simulate the impact of key parameters on the stable strategies of each stakeholder within the replicator dynamics system. The findings reveal that: Among the 16 pure-strategy equilibrium points in the quadrilateral evolutionary game system, 6 can form asymptotically stable strategy profiles under specific conditions; Initial willingness significantly influences evolutionary trajectories; government guidance is essential for the stable and sustainable development of green investment and financing when initial willingness is low; Public preference is a critical factor influencing stakeholders' decision-making; Increased operational returns from green investments represent the strongest driver for enterprises to implement such investments; and reducing the expected risk losses associated with green investments enhances the system's overall tendency to evolve towards the desired stable strategy.

Keywords

Carbon Neutrality, Cross-Border Green Investment and Financing, Evolutionary Game, Numerical Simulation

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

面对全球气候治理新形势，绿色产业及其相关投融资活动成为独立于意识形态和国际关系之外的重要合作领域[1]。跨境绿色投融资与联合国 2030 年可持续发展议程相互支撑，绿色低碳转型是疫后复苏的重要手段和必由之路[2]。在此背景下，探究政府、金融机构和企业绿色投融资合作的合理路径具有重要现实和理论意义。

在碳中和与气候治理背景下，跨境绿色投融资相关研究十分丰富。Fan 等[3]测度了中国跨境绿色投资效率，研究发现中国的总体绿色投资效率偏低，且东道国的投资环境对中国的绿色投资效率产生了负面影响。Li 等[4]研究发现中国绿色投资有利于减少东道国的碳排放、提高其绿色全要素生产率。明晰跨境绿色投融资合作机制需分析现状和问题，以提出合理建议。王文等[5]从供需双方剖析了绿色金融发展对各国绿色转型的重要意义。李玫等[6]研究了绿色金融体系的构建。王遥等[7]、王小艳[8]、蓝庆新等[9]指出绿色金融面临国际统一标准尚未建立、产品单一、供需失衡等问题，讨论了绿色金融赋能高质量发展的路径。王丽君[10]、郭道玥[11]通过分析绿色金融的发展现状，厘清阻碍绿色投融资发展的现有问题，提出了推动绿色金融发展的针对性建议。有些学者通过研究国际社会成功案例借鉴经验，并结合具体条件进行运用。郑竞等[12]回顾了绿色投融资理论的发展进程，分析了国际绿色投融资机制的政策指导

工具、技术支持工具、资金保障和机构设置,探讨了跨境绿色投融资机制构建的可行性和推进办法。刘援等[13]讨论了欧盟对外投资中环境和气候主流化经验,借鉴其投融资、监管工具,提出构建跨境绿色投融资的管理体系。绿色发展是宏大的时代命题,离不开多方协同合作。曹明弟[14]倡导中央政府加强引导、地方政府做好规划、金融机构强化绿色投融资、企业主动绿色转型以及消费者养成绿色消费意识,以凝聚多方力量促进跨境绿色投融资发展。

从研究框架来看,演化博弈模型被广泛应用于研究多主体协同的绿色金融发展和低碳转型问题。李程等[15]基于演化博弈理论和 DID (双重差分)模型探索了影响商业银行开展绿色金融业务的因素,认为应建立激励和约束机制以提升商业银行实施绿色信贷的意愿。王茹等[16]构建了政府、银行和企业之间关于绿色信贷的三方演化博弈模型,研究发现博弈主体三方的共同努力是绿色信贷政策充分发挥金融杠杆作用的保障。赵振宇等[17]基于演化博弈理论,探究了中国与绿色产品资源国之间绿色贸易与投资问题,认为双方只有采取积极合作策略才能促进绿色贸易与投资的自由化、便利化。李善民[18]基于绿色信贷困局现状和演化博弈思想推演了商业银行与金融监管部门策略的演进,以解决商业银行开展绿色信贷业务意愿较低的问题。Sun 等[19]研究了在政府补贴机制下两层供应链绿色投资演化博弈的稳定策略,认为绿色投资的初始比例对市场未来的演变趋势有影响,政府应积极对市场进行引导。此外多方演化博弈模型还推动了低碳技术研发与运营、环境治理与规制、碳交易等方面的研究。如赵昕等[20]通过构建能源企业、CCS (碳捕捉与封存技术)运营商和金融机构三方演化博弈模型,分析了 CCS 商业化运营的合理融资机制。Yuan 等[21]基于演化博弈理论构建了包含政府、企业和消费者的 LCTI (低碳技术创新)三方演化博弈模型,考察了动态系统中各方演进路径。潘峰等[22]建立了四方演化博弈模型,探索中央政府、地方政府、企业和公众在环境规制过程中的多主体治理模式。

基于前人研究,本文试图从以下三个方面作出有益探索: 1) 将跨境绿色投融资中四个主要相关主体“中国政府、东道国政府、中国金融机构和中国企业”置于统一分析框架下,在引入外部因素-公众意愿基础上构建四方演化博弈模型; 2) 根据 Lyapunov 第一法则判断在何种条件下可以实现理想稳定策略组合(1, 1, 1, 1); 3) 基于 Matlab 进行数值仿真,模拟关键参数对复制动态系统各主体稳定策略的影响。

2. 四方演化博弈模型构建

2.1. 问题描述及基本假设

绿色金融作为经济资源配置的关键要素,是推动跨境绿色投融资高质量发展和实现碳中和目标的强大助力,中国的金融开放为绿色产业领域对外投资营造了良好政策环境。但东道国发展水平和具体国情各异,存在诸如可持续发展意识较弱、绿色投资基础设施不完备等问题,绿色投融资活动面临机遇和挑战。中国政府、东道国政府、中国金融机构和中国企业在跨境绿色投融资合作决策过程中相互作用。

2.2. 模型基本假设

基于以上现实背景提出以下基本假设,其中涉及的参数设置及定义如表 1 所示。根据假设及参数设置,四方演化博弈支付矩阵如表 2 所示。

假设 1 四个博弈参与方分别为中国政府、东道国政府、中国金融机构和中国企业,均为有限理性。

假设 2 中国政府的策略选择为积极引导和消极引导。政府和企业积极参与绿色共建有助于提升国家形象从而获得整体收益 B_1 , 其中由投资友好政策环境带来的整体收益占比为 λ ; 有政策支持时绿色投资的总环境收益为 E , 无扶持政策时环境收益为 E_1 ($E_1 < E$), 其中中国收益占比为 α_1 ; 政府积极引导绿色投融资时因公众声誉提升获益 P_1 , 否则损失 P_1 ; 中国政府的监管成本和对绿色投资企业的补贴成本分别为 C_1 和 S_1 ; 企业进行绿色投资时面临的预期风险损失由政府、金融机构和企业三方分担, 政府占比 β_1 。

假设 3 东道国政府的策略选择为积极作为和消极作为。东道国政府整体收益为 B_2 ；环境收益占比 α_2 ；公众意愿对东道国政府的影响为 P_2 ；积极营造良好投资环境、提供绿色投资公共品的执行成本为 C_2 ；对选择绿色投资的企业进行补贴的成本为 S_2 。

Table 1. The definition of parameters

表 1. 参数定义

博弈主体	参数	定义
中国政府	E	总环境收益
	E_1	无政策支持时绿色投资的环境收益
	α_1	环境收益中国占比
	P_1	公众意愿
	B_1	整体收益
	λ	由良好政策环境带来整体收益的比例
	C_1	监管成本
	S_1	补贴成本
	β_1	企业绿色投资预期风险损失政府分担份额
东道国政府	α_2	环境收益东道国占比
	P_2	公众意愿
	B_2	整体收益
	C_2	执行成本
	S_2	补贴成本
中国金融机构	P_3	公众意愿
	W	央行绩效激励
	θ_1	绿色投资利率
	θ_2	传统投资利率
	C_3	提供绿色金融支持的业务成本
	C_4	不提供绿色金融支持的业务成本
	β_2	企业绿色投资预期风险损失金融机构分担份额
中国企业	π_1	绿色投资运营收益
	π_2	传统投资运营收益
	P_4	公众意愿
	C_5	绿色投资投入成本
	C_6	传统投资投入成本
	I	额外融资成本
	L_1	绿色投资预期风险损失
	L_2	传统投资预期风险损失

假设 4 中国金融机构的策略选择为提供绿色金融支持和不提供绿色金融支持。金融机构开展绿色金融业务时，绿色投资利率为 θ_1 ，传统投资利率为 θ_2 ($\theta_1 < \theta_2$)；绿色金融业务成本为 C_3 ，不提供绿色金融

支持时业务成本为 C_4 ($C_4 < C_3$); 可获得来自政府的绩效激励 W ; 来自公众的收益 P_3 ; 企业绿色投资预期风险损失金融机构分担份额为 β_2 。

假设 5 中国企业的策略选择为绿色投资和传统投资。在消费者具有绿色产品偏好的前提下, 企业选择绿色投资和传统投资的运营收益分别为 π_1 和 π_2 ($\pi_1 > \pi_2$); 绿色投资和传统投资的运营成本分别为 C_5 和 C_6 ($C_5 > C_6$); 两种投资情形下预期风险损失分别为 L_1 和 L_2 ($L_1 > L_2$); 公众意愿对企业的影响为 P_4 ; 当金融机构不提供绿色金融支持时, 企业的额外融资成本为 I 。

假设 6 中国政府积极引导的概率为 x ($0 < x < 1$), 消极引导的概率为 $1 - x$; 东道国政府积极作为的概率为 y ($0 < y < 1$), 消极作为的概率为 $1 - y$; 中国金融机构提供绿色金融支持的概率为 z ($0 < z < 1$), 不提供绿色金融支持的概率为 $1 - z$; 中国企业以概率 v ($0 < v < 1$) 选择进行绿色投资, 则有 $1 - v$ 的概率选择传统投资。

Table 2. The payment matrix of the four-party evolutionary game
表 2. 四方演化博弈支付矩阵

		中国金融机构			
		提供绿色金融支持		不提供绿色金融支持	
		中国企业		中国企业	
		绿色投资	传统投资	绿色投资	传统投资
东道国政府积极引导	积极作为	$K_1 = \alpha_1 E + P_1 + B_1 - C_1 - S_1 - W - \beta_1 L_1$	$K_2 = P_1 + \lambda B_1 - C_1 - W$	$K_3 = \alpha_1 E + P_1 + B_1 - C_1 - S_1 - W - \beta_1 L_1$	$K_4 = P_1 + \lambda B_1 - C_1$
		$H_1 = \alpha_2 E + P_2 + B_2 - C_2 - S_2$	$H_2 = P_2 + \lambda B_2 - C_2$	$H_3 = \alpha_2 E + P_2 + B_2 - C_2 - S_2$	$H_4 = P_2 + \lambda B_2 - C_2$
		$M_1 = \theta_1 C_5 + P_3 + W - C_3 - \beta_2 L_1$	$M_2 = \theta_2 C_6 + P_3 + W - C_3$	$M_3 = -P_3$	$M_4 = \theta_2 C_6 - P_3 - C_4$
		$N_1 = \pi_1 + S_1 + S_2 + P_4 - C_5 - \theta_1 C_5 - (1 - \beta_1 - \beta_2)L_1$	$N_2 = \pi_2 - P_4 - C_6 - \theta_2 C_6 - L_2$	$N_3 = \pi_1 + S_1 + S_2 + P_4 - C_5 - \theta_1 C_5 - I - (1 - \beta_1)L_1$	$N_4 = \pi_2 - P_4 - C_6 - \theta_2 C_6 - L_2$
东道国政府消极作为	积极作为	$K_5 = \alpha_1 E + P_1 + B_1 - C_1 - S_1 - W - \beta_1 L_1$	$K_6 = P_1 + \lambda B_1 - C_1 - W$	$K_7 = \alpha_1 E + P_1 + B_1 - C_1 - S_1 - \beta_1 L_1$	$K_8 = P_1 + \lambda B_1 - C_1$
		$H_5 = \alpha_2 E + (1 - \lambda)B_2 - P_2$	$H_6 = -P_2 - B_2$	$H_7 = \alpha_2 E + (1 - \lambda)B_2 - P_2$	$H_8 = -P_2 - B_2$
		$M_5 = \theta_1 C_5 + P_3 + W - C_3 - \beta_2 L_1$	$M_6 = \theta_2 C_6 + P_3 + W - C_3$	$M_7 = -P_3$	$M_8 = \theta_2 C_6 - P_3 - C_4$
		$N_5 = \pi_1 + S_1 + P_4 - C_5 - \theta_1 C_5 - (1 - \beta_1 - \beta_2)L_1$	$N_6 = \pi_2 - P_4 - C_6 - \theta_2 C_6 - L_2$	$N_7 = \pi_1 + S_1 + P_4 - C_5 - \theta_1 C_5 - I - (1 - \beta_1)L_1$	$N_8 = \pi_2 - P_4 - C_6 - \theta_2 C_6 - L_2$
中国政府积极引导	积极作为	$K_9 = \alpha_1 E + (1 - \lambda)B_1 - P_1$	$K_{10} = -P_1 - B_1$	$K_{11} = \alpha_1 E + (1 - \lambda)B_1 - P_1$	$K_{12} = -P_1 - B_1$
		$H_9 = \alpha_2 E + P_2 + B_2 - C_2 - S_2$	$H_{10} = P_2 + \lambda B_2 - C_2$	$H_{11} = \alpha_2 E + P_2 + B_2 - C_2 - S_2$	$H_{12} = P_2 + \lambda B_2 - C_2$
		$M_9 = \theta_1 C_5 + P_3 - C_3 - \beta_2 L_1$	$M_{10} = \theta_2 C_6 + P_3 - C_3$	$M_{11} = -P_3$	$M_{12} = \theta_2 C_6 - P_3 - C_4$
		$N_9 = \pi_1 + S_2 + P_4 - C_5 - \theta_1 C_5 - (1 - \beta_2)L_1$	$N_{10} = \pi_2 - P_4 - C_6 - \theta_2 C_6 - L_2$	$N_{11} = \pi_1 + S_2 + P_4 - C_5 - \theta_1 C_5 - I - L_1$	$N_{12} = \pi_2 - P_4 - C_6 - \theta_2 C_6 - L_2$
中国政府消极作为	积极作为	$K_{13} = \alpha_1 E_1 + (1 - \lambda)B_1 - P_1$	$K_{14} = -P_1 - B_1$	$K_{15} = \alpha_1 E_1 + (1 - \lambda)B_1 - P_1$	$K_{16} = -P_1 - B_1$
		$H_{13} = \alpha_2 E_1 + (1 - \lambda)B_2 - P_2$	$H_{14} = -P_2 - B_2$	$H_{15} = \alpha_2 E_1 + (1 - \lambda)B_2 - P_2$	$H_{16} = -P_2 - B_2$
		$M_{13} = \theta_1 C_5 + P_3 - C_3 - \beta_2 L_1$	$M_{14} = \theta_2 C_6 + P_3 - C_3$	$M_{15} = -P_3$	$M_{16} = \theta_2 C_6 - P_3 - C_4$
		$N_{13} = \pi_1 + P_4 - C_5 - \theta_1 C_5 - (1 - \beta_2)L_1$	$N_{14} = \pi_2 - P_4 - C_6 - \theta_2 C_6 - L_2$	$N_{15} = \pi_1 + P_4 - C_5 - \theta_1 C_5 - I - L_1$	$N_{16} = \pi_2 - P_4 - C_6 - \theta_2 C_6 - L_2$

3. 各博弈主体策略稳定性分析

3.1. 中国政府策略稳定性分析

中国政府选择积极引导和消极引导策略的期望收益分别是 U_{11} 和 U_{12} ，平均期望收益为 U_1 ，则其行为策略的复制动态方程 $F(x)$ 和一阶导数 $F'(x)$ 如下。中国政府的策略选择取决于其他三方决策的概率以及不同策略的成本和收益。根据微分方程稳定性定理，中国政府决策概率处于稳定状态须满足 $F(x) = 0$ 且 $F'(x) < 0$ 。

$$U_{21} = xzvH_1 + xz(1-v)H_2 + x(1-z)vH_3 + x(1-z)(1-v)H_4 + (1-x)zvH_9 + (1-x)z(1-v)H_{10} + (1-x)(1-z)vH_{11} + (1-x)(1-z)(1-v)H_{12} \quad (1)$$

$$U_{22} = xzvH_5 + xz(1-v)H_6 + x(1-z)vH_7 + x(1-z)(1-v)H_8 + (1-x)zvH_{13} + (1-x)z(1-v)H_{14} + (1-x)(1-z)vH_{15} + (1-x)(1-z)(1-v)H_{16} \quad (2)$$

$$U_2 = yU_{21} + (1-y)U_{22} \quad (3)$$

$$F(y) = dy/dt = y(U_{21} - U_2) = y(1-y)B(x, v) \quad (4)$$

$$F'(y) = (1-2y)B(x, v) \quad (5)$$

$$B(x, v) = v\alpha_2(E - E_1) - v(B_2 + S_2) - xv\alpha_2(E + E_1) + (B_2 + \lambda B_2 + 2P_2 - C_2) \quad (6)$$

命题 1 当 $y < y_1$, $z < z_1$, $v < v_1$ 时，中国政府的稳定策略是积极引导；当 $y > y_1$, $z > z_1$, $v > v_1$ 时，中国政府的策略是消极引导；当 $y = y_1$, $z = z_1$, $v = v_1$ 时，不能确定中国政府的稳定策略。命题 1 表明，若东道国政府积极作为和中国金融机构提供绿色金融支持的概率下降，且中国企业进行绿色投资的积极性较低，中国政府更倾向于承担起积极引导的责任；反之，中国政府将转向消极引导策略，以维护公平市场秩序为基础，为中国企业和金融机构自主参与海外建设创造条件。绘制中国政府决策相位图如图 1 所示。

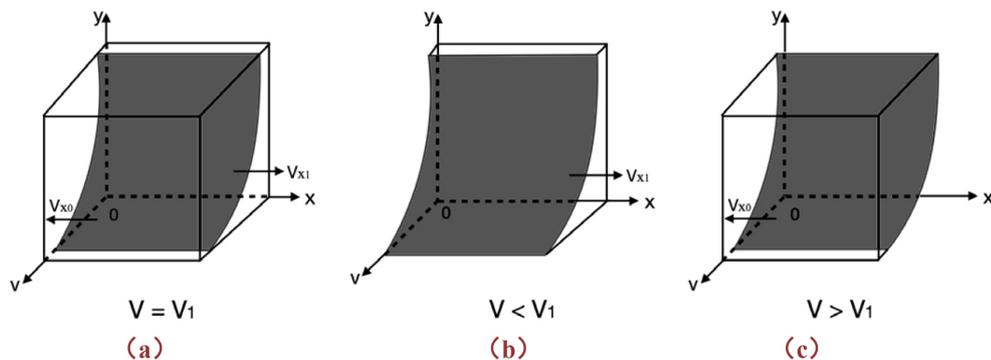


Figure 1. Decision-making phase diagram of the Chinese government
图 1. 中国政府决策相位图

3.2. 东道国政府策略稳定性分析

东道国政府选择积极作为和消极作为策略的期望收益分别是 U_{21} 和 U_{22} ，平均期望收益为 U_2 ，则其行为策略的复制动态方程 $F(y)$ 和一阶导数 $F'(y)$ 如下所示。根据微分方程稳定性定理，东道国政府决策处于稳定状态须满足 $F(y) = 0$ 且 $F'(y) < 0$ 。

$$U_{21} = xzvH_1 + xz(1-v)H_2 + x(1-z)vH_3 + x(1-z)(1-v)H_4 + (1-x)zvH_9 + (1-x)z(1-v)H_{10} + (1-x)(1-z)vH_{11} + (1-x)(1-z)(1-v)H_{12} \quad (7)$$

$$U_{22} = xzvH_5 + xz(1-v)H_6 + x(1-z)vH_7 + x(1-z)(1-v)H_8 + (1-x)zvH_{13} + (1-x)z(1-v)H_{14} + (1-x)(1-z)vH_{15} + (1-x)(1-z)(1-v)H_{16} \tag{8}$$

$$U_2 = yU_{21} + (1-y)U_{22} \tag{9}$$

$$F(y) = dy/dt = y(U_{21} - U_2) = y(1-y)B(x, v) \tag{10}$$

$$F'(y) = (1-2y)B(x, v) \tag{11}$$

$$B(x, v) = v\alpha_2(E - E_1) - v(B_2 + S_2) - xv\alpha_2(E + E_1) + (B_2 + \lambda B_2 + 2P_2 - C_2) \tag{12}$$

命题 2 当 $x < x_2$, $v < v_2$ 时, 东道国政府的稳定策略是积极作为; 当 $x > x_2$, $v > v_2$ 时, 东道国政府的稳定策略是消极作为; 当 $x = x_2$, $v = v_2$ 时, 不能确定其稳定策略。命题 2 表明, 若中国政府积极引导和中国企业进行绿色投资的概率降低, 则东道国政府为推进本国绿色转型和完成碳中和目标, 更倾向于选择积极作为; 反之则倾向于消极作为。因此, 在中国政府和企业积极行动时, 为激励东道国政府提供良好政策环境和绿色投资基础设施, 还应考虑公众意愿等约束因素。东道国政府决策相位图如图 2 所示。

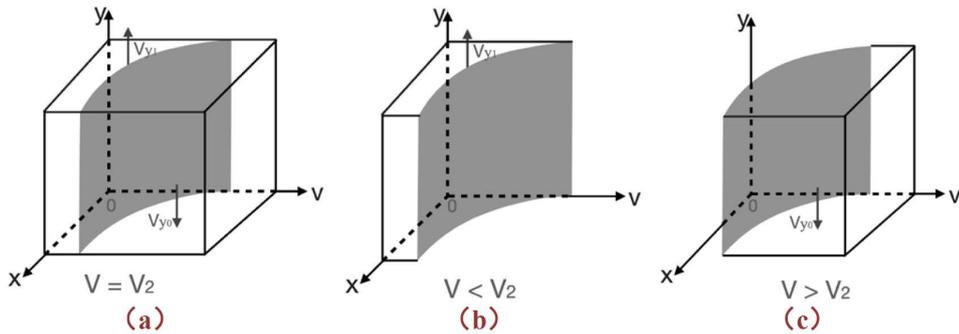


Figure 2. Decision-making phase diagram of the host governments
图 2. 东道国政府决策相位图

3.3. 中国金融机构策略稳定性分析

中国金融机构选择提供绿色金融支持和不提供绿色金融支持策略的期望收益分别是 U_{31} 和 U_{32} , 平均期望收益为 U_3 , 则其行为策略的复制动态方程 $F(z)$ 和一阶导数 $F'(z)$ 如下所示。根据微分方程稳定性定理, 中国金融机构决策处于稳定状态须满足 $F(z) = 0$ 且 $F'(z) < 0$ 。

$$U_{31} = xyvM_1 + xy(1-v)M_2 + x(1-y)vM_5 + x(1-y)(1-v)M_6 + (1-x)yvM_9 + (1-x)y(1-v)M_{10} + (1-x)(1-y)vM_{13} + (1-x)(1-y)(1-v)M_{14} \tag{13}$$

$$U_{32} = xyvM_3 + xy(1-v)M_4 + x(1-y)vM_7 + x(1-y)(1-v)M_8 + (1-x)yvM_{11} + (1-x)y(1-v)M_{12} + (1-x)(1-y)vM_{15} + (1-x)(1-y)(1-v)M_{16} \tag{14}$$

$$U_3 = zU_{31} + (1-z)U_{32} \tag{15}$$

$$F(z) = dz/dt = z(U_{31} - U_3) = z(1-z)C(x, v) \tag{16}$$

$$F'(z) = (1-2z)C(x, v) \tag{17}$$

$$C(x, v) = xW + v(\theta_1 C_5 - \beta_2 L_1 - C_4) + (2P_3 + C_4 - C_3) \tag{18}$$

命题 3 当 $x < x_3$, $v > v_3$ 时, 中国金融机构的稳定策略是不提供绿色金融支持; 当 $x > x_3$, $v < v_3$ 时, 中国金融机构的稳定性策略是提供绿色金融支持; 当 $x = x_3$, $v = v_3$ 时, 无法确定其稳定策略。命题 3 说

明当中国政府出台激励政策积极引导中国金融机构的概率提升、中国企业因资金问题等不确定性对绿色投资的积极性不高时，中国金融机构更倾向于提供绿色金融支持，助力东道国碳中和进程的推进。中国金融机构决策的相位图如图 3 所示。

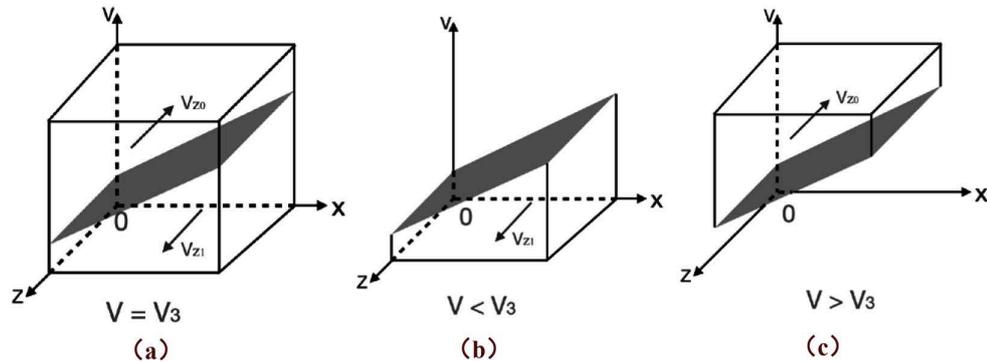


Figure 3. Decision-making phase diagram of Chinese financial institutions
图 3. 中国金融机构决策相位图

3.4. 中国企业策略稳定性分析

中国企业选择绿色投资和传统投资策略的期望收益分别是 U_{41} 和 U_{42} ，平均期望收益为 U_4 ，则其行为的复制动态方程 $F(v)$ 和一阶导数 $F'(v)$ 如下所示。根据微分方程稳定性定理，中国企业决策处于稳定状态须满足 $F(v) = 0$ 且 $F'(v) < 0$ 。

$$U_{41} = xyzN_1 + x(1-y)zN_5 + (1-x)yzN_9 + (1-x)(1-y)zN_{13} + xy(1-z)N_3 + x(1-y)(1-z)N_7 + (1-x)y(1-z)N_{11} + (1-x)(1-y)(1-z)N_{15} \quad (19)$$

$$U_{42} = xyzN_2 + x(1-y)zN_6 + (1-x)yzN_{10} + (1-x)(1-y)zN_{14} + xy(1-z)N_4 + x(1-y)(1-z)N_8 + (1-x)y(1-z)N_{12} + (1-x)(1-y)(1-z)N_{16} \quad (20)$$

$$U_4 = vU_{41} + (1-v)U_{42} \quad (21)$$

$$F(v) = dv/dt = v(U_{41} - U_4) = v(1-v)D(x, y, z) \quad (22)$$

$$F'(v) = (1-2v)D(x, y, z) \quad (23)$$

$$D(x, y, z) = x(S_1 + \beta_1 L_1) + yS_2 + z(I + \beta_2 L_1) + (1 + \theta_2)C_6 - (1 + \theta_1)C_5 + 2P_4 + (\pi_1 - \pi_2) - (L_1 - L_2) \quad (24)$$

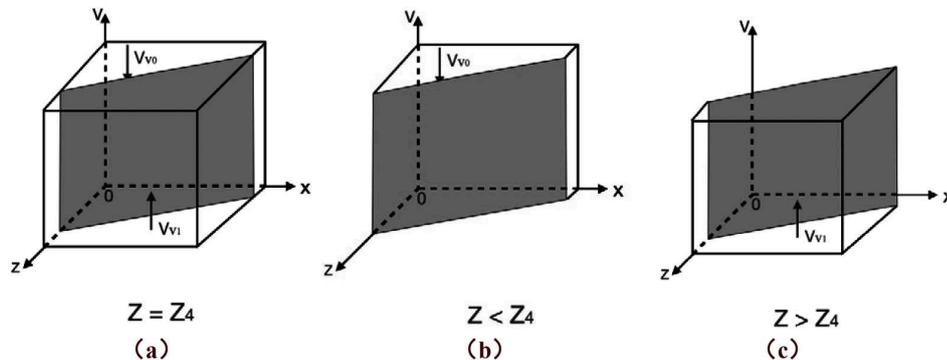


Figure 4. Decision-making phase diagram of Chinese enterprises
图 4. 中国企业决策相位图

命题 4 当 $x > x_4, y > y_4, z > z_4$ 时, 中国企业的稳定策略是选择绿色投资; 当 $x < x_4, y < y_4, z < z_4$ 时, 中国企业的稳定策略是选择传统投资; 当 $x = x_4, y = y_4, z = z_4$ 时, 不能确定其稳定策略。命题 4 说明若中国政府选择积极引导、东道国政府积极作为、中国金融机构选择提供绿色金融支持的概率提升, 此时绿色投资带来的不确定性由四方共担, 中国企业的最佳策略选择是进行绿色投资。中国企业决策相位图如图 4。

4. 策略组合稳定性分析

为厘清跨境绿色投融资演化博弈稳定策略形成的条件及过程, 本文构建并求解中国政府、东道国政府、中国金融机构及中国企业四方博弈的复制动态系统。根据四个博弈主体的复制动态方程, 得出复制动态系统的 Jacobian 矩阵为:

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial F(x)}{\partial x} & \frac{\partial F(x)}{\partial y} & \frac{\partial F(x)}{\partial z} & \frac{\partial F(x)}{\partial v} \\ \frac{\partial F(y)}{\partial x} & \frac{\partial F(y)}{\partial y} & \frac{\partial F(y)}{\partial z} & \frac{\partial F(y)}{\partial v} \\ \frac{\partial F(z)}{\partial x} & \frac{\partial F(z)}{\partial y} & \frac{\partial F(z)}{\partial z} & \frac{\partial F(z)}{\partial v} \\ \frac{\partial F(v)}{\partial x} & \frac{\partial F(v)}{\partial y} & \frac{\partial F(v)}{\partial z} & \frac{\partial F(v)}{\partial v} \end{bmatrix} \quad (25)$$

Table 3. Stability analysis of pure strategy equilibrium solutions in four-party evolutionary games

表 3. 四方演化博弈纯策略均衡解的稳定性分析

均衡点	特征值 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$	正负性	稳定性及条件	理想性
E ₁ (0, 0, 0, 0)	$A_{11} - C_1; A_{21} - C_2; 2P_3 - T_{31}; A_{41} - T_{41}$	(+, +, +, ×)	不稳定	不理想
E ₂ (0, 0, 0, 1)	$A_{12} - T_{13}; A_{22} - T_2; A_{31} - \beta_2 L_1; T_{41} - A_{41}$	(×, ×, +, ×)	不稳定	不太理想
E ₃ (0, 0, 1, 0)	$A_{11} - (C_1 + W); A_{21} - C_2; T_{31} - 2P_3; A_{41} - T_{42}$	(+, +, -, ×)	不稳定	不太理想
E ₄ (0, 0, 1, 1)	$A_{12} - T_{14}; A_{22} - T_2; T_{32} - A_{31}; T_{42} - A_{41}$	(×, ×, ×, ×)	ESS (条件 1)	理想
E ₅ (0, 1, 0, 0)	$A_{11} - C_1; C_2 - A_{21}; 2P_3 - T_{31}; A_{42} - T_{41}$	(+, -, +, ×)	不稳定	不理想
E ₆ (1, 0, 0, 0)	$C_1 - A_{11}; A_{21} - C_2; A_{32} - T_{31}; A_{43} - T_{43}$	(-, +, +, ×)	不稳定	不理想
E ₇ (1, 0, 0, 1)	$T_{13} - A_{12}; A_{23} - T_2; A_{33} - T_{32}; T_{43} - A_{43}$	(×, ×, +, ×)	不稳定	不太理想
E ₈ (0, 1, 0, 1)	$A_{13} - T_{13}; T_2 - A_{22}; A_{31} - T_{32}; T_{41} - A_{42}$	(×, ×, ×, ×)	ESS (条件 2)	不太理想
E ₉ (0, 1, 1, 0)	$A_{11} - (C_1 + W); C_2 - A_{21}; T_{31} - 2P_3; A_{42} - T_{42}$	(+, -, -, ×)	不稳定	不太理想
E ₁₀ (1, 0, 1, 0)	$(C_1 + W) - A_{11}; A_{21} - C_2; T_{31} - A_{32}; A_{43} - T_{44}$	(-, +, -, ×)	不稳定	不太理想
E ₁₁ (0, 1, 1, 1)	$A_{13} - T_{14}; T_2 - A_{22}; T_{32} - A_{31}; T_{42} - A_{42}$	(×, ×, ×, ×)	ESS (条件 3)	理想
E ₁₂ (1, 0, 1, 1)	$T_{14} - A_{12}; A_{23} - T_2; T_{32} - A_{33}; T_{44} - A_{43}$	(×, ×, -, ×)	ESS (条件 4)	理想
E ₁₃ (1, 1, 0, 1)	$T_{13} - A_{13}; T_2 - A_{23}; A_{33} - T_{32}; T_{43} - A_{44}$	(×, ×, +, ×)	不稳定	不太理想
E ₁₄ (1, 1, 0, 0)	$C_1 - A_{11}; C_2 - A_{21}; A_{32} - T_{31}; A_{44} - T_{43}$	(-, -, +, ×)	不稳定	不理想
E ₁₅ (1, 1, 1, 0)	$(C_1 + W) - A_{11}; C_2 - A_{21}; T_{31} - A_{32}; A_{44} - T_{44}$	(-, -, -, ×)	ESS (条件 5)	不太理想
E ₁₆ (1, 1, 1, 1)	$T_{14} - A_{13}; T_2 - A_{23}; T_{32} - A_{33}; T_{44} - A_{44}$	(×, ×, -, ×)	ESS (条件 6)	理想

注: ×表示特征值正负性不确定。条件 1: $A_{12} < T_{14}, A_{22} < T_2, T_{32} < A_{31}, T_{42} < A_{41}$; 条件 2: $A_{13} < T_{13}, T_2 < A_{22}, A_{31} < T_{32}, T_{41} < A_{42}$; 条件 3: $A_{13} < T_{14}, T_2 < A_{22}, T_{32} < A_{31}, T_{42} < A_{42}$; 条件 4: $T_{14} < A_{12}, A_{23} < T_2, T_{44} < A_{43}$; 条件 5: $A_{44} < T_{44}$; 条件 6: $T_{14} < A_{13}, T_2 < A_{23}, T_{44} < A_{44}$ 。

根据 Lyapunov 第一法则, Jacobian 矩阵所有特征值均具有负实部时, 均衡点为渐进稳定点; 特征值中具有正实部时均衡点为不稳定点; 当特征值实部为零, 其他为负实部时, 该均衡点的稳定性无法由特征值决定。令 $F(x) = 0$ 、 $F(y) = 0$ 、 $F(z) = 0$ 、 $F(v) = 0$, 可以得到多组可行解, 由 Ritzberger 等和 Selten 的研究可知, 多种群演化博弈的稳定解为严格纳什均衡, 即一定为纯策略。因此本文仅对其中 16 组纯策略均衡点的稳定性加以分析, 如表 3 所示; 参数定义见表 4。

Table 4. Parameter expression

表 4. 参数表达式

参数	表达式	参数	表达式	参数	表达式
A_{11}	$(1 + \lambda)B_1 + 2P_1$	A_{12}	$\lambda B_1 + 2P_1 + \alpha_1(E - E_1)$	A_{13}	$\lambda B_1 + 2P_1$
A_{21}	$(1 + \lambda)B_2 + 2P_2$	A_{22}	$\lambda B_2 + 2P_2 + \alpha_2(E - E_1)$	A_{23}	$\lambda B_2 + 2P_2$
A_{31}	$\theta_1 C_5 + 2P_3$	A_{32}	$2P_3 + W$	A_{33}	$\theta_1 C_5 + 2P_3 + W$
A_{41}	$(\pi_1 - \pi_2) + 2P_4$	A_{42}	$(\pi_1 - \pi_2) + 2P_4 + S_2$	A_{43}	$(\pi_1 - \pi_2) + 2P_4 + S_1$
A_{44}	$(\pi_1 - \pi_2) + 2P_4 + S_1 + S_2$	T_{11}	$C_1 + S_1$	T_{12}	$C_1 + S_1 + W$
T_{13}	$C_1 + S_1 + \beta_1 L_1$	T_{14}	$C_1 + S_1 + W + \beta_1 L_1$	T_2	$C_2 + S_2$
T_{31}	$C_3 - C_4$	T_{32}	$C_3 + \beta_2 L_1$	T_{41}	$(C_5 - C_6) + (\theta_1 C_5 - \theta_2 C_6) + (L_1 - L_2) + I$

16 组纯策略均衡点中有 6 组在一定条件下可以形成渐进稳定策略组合, 根据跨境绿色投融资实际情况, 本文认为中国企业选择绿色投资且中国金融机构选择提供绿色金融支持为“理想”状态; 中国企业选择传统投资且中国金融机构选择不提供绿色金融支持为“不理想”状态; 二者中有一方选择积极参与跨境绿色投融资为“不太理想”状态。则在 6 组稳定策略组合中, 有 4 组理想组合、2 组不太理想组合。

由均衡点 $E_{15}(1, 1, 0)$ 和 $E_{16}(1, 1, 1)$ 的比较分析可知, 在中国政府、东道国政府和金融机构三个博弈主体都倾向于选择积极参与绿色共建时, 中国企业的决策取决于 A_{44} 与 T_{44} 之间的大小关系。其中 $A_{44} = (\pi_1 - \pi_2) + 2P_4 + S_1 + S_2$, 即在其他三方积极参与影响下, 中国企业绿色投资相对于传统投资的额外收益; $T_{44} = (C_5 - C_6) + (\theta_1 C_5 - \theta_2 C_6) + [(1 - \beta_1 - \beta_2) L_1 - L_2]$, 即在此背景下中国企业绿色投资相对于传统投资的额外成本。可见, 在中国政府采取补贴、共担风险等方式进行积极引导, 东道国政府营造良好政策环境和搭建绿色投资基础设施, 中国金融机构提供绿色金融支持时, 若激励中国企业从传统投资转向绿色投资, 则需要关注公众意愿 P_4 的作用和投资预期风险损失 (L_1 及 L_2) 这一不确定性。随着公众可持续发展意识不断增强、气候治理参与度不断提高, 公众对企业形象的评价可以带来更高的收益或损失, 使得 A_{44} 扩大; 当低碳生产技术及项目发展持续完善、运营体系更加高效、上下游合作越发畅通以及配套措施愈加健全, 绿色投资预期风险损失 L_1 随之下降; 而全球气候治理成为国际社会的重要议题, 境外传统投资伴随的气候风险、法律风险和政策风险使传统投资预期风险损失 L_2 有上升的趋势。这使得 $A_{44} > T_{44}$ 得以实现, 并且二者差距不断扩大, 成为激励中国企业转向绿色投资的助推力。

由均衡点 $E_8(0, 1, 0, 1)$ 和 $E_{11}(0, 1, 1, 1)$ 的比较分析可知, 在同样的政策背景下, 中国金融机构的决策取决于 A_{31} 和 T_{32} 。根据其表达式, 不太理想状态 E_8 向理想状态 E_{11} 的过渡, 除了需要如上述分析一样注重公众意愿的力量和控制投资预期风险损失外, 还应考虑预期风险损失金融机构分担份额 β_2 参数的影响。当中国政府选择积极引导策略, 同金融机构和企业一同解决绿色投资所面临预期风险时, 金融机构提供绿色金融的不确定性降低, 进而使得 T_{32} 有所减小。此外, 政府应加强对金融机构的引导, 通过设置相应的激励约束制度, 营造支持可持续发展的社会氛围, 以减少金融机构对不确定性的顾虑。

由均衡点 $E_4(0, 0, 1, 1)$ 和 $E_{12}(1, 0, 1, 1)$ 的比较分析可知, 在推进跨境绿色投融资的初期, 政府的引导、政策的扶持对于推进绿色投资项目走向正轨是具有重要意义的。当低碳发展和气候治理理念深入人心, 市场机制调节下的绿色投资和绿色金融自发性增强, 企业和金融机构参与跨境绿色投融资不再依赖于政府及政策的辅助, 以最高运行效率和最低社会成本助力碳中和目标的实现。

5. 仿真分析

为直观分析复制动态系统中关键因素对跨境绿色投融资四方博弈演化过程及结果的影响, 本文运用 Matlab_R2021b 对各方演化轨迹进行仿真模拟。均衡点 $(1, 1, 1, 1)$ 表示中国政府选择积极引导、东道国政府选择积极作为、中国金融机构选择提供绿色金融支持、中国企业进行绿色投资, 四方博弈主体形成了跨境绿色投融资的强大合力, 此时系统实现了当前一个阶段理想的稳定状态, 因此本文选择在 $(1, 1, 1, 1)$ 情景下对各参数影响博弈主体策略选择的过程进行仿真分析。

5.1. 系统仿真初始设置

假设中国政府、东道国政府、中国金融机构和中国企业选择积极引导、积极作为、提供绿色金融支持和绿色投资的初始意愿为 $[0.5, 0.5, 0.5, 0.5]$ 。借鉴 Liu 等人(2020)的赋值方式[23], 本文各参数初始值设定如下: $E = 50$, $E_1 = 30$, $\alpha_1 = 0.3$, $\alpha_2 = 0.5$, $P_1 = 15$, $P_2 = 18$, $P_3 = 20$, $P_4 = 30$, $B_1 = 100$, $B_2 = 120$, $\lambda = 0.4$, $C_1 = 10$, $C_2 = 15$, $C_3 = 36$, $C_4 = 35$, $C_5 = 114$, $C_6 = 86$, $S_1 = 16$, $S_2 = 16$, $\beta_1 = 0.3$, $\beta_2 = 0.3$, $W = 3.6$, $\theta_1 = 0.4$, $\theta_2 = 0.5$, $\pi_1 = 200$, $\pi_2 = 150$, $I = 20$, $L_1 = 100$, $L_2 = 50$ 。令横轴表示时间 (t) , 纵轴表示中国政府 (x) 、东道国政府 (y) 、中国金融机构 (z) 和中国企业 (v) 选择各自策略的概率 (p) , 则初始情景下系统演化博弈仿真如图 5(a) 所示。

由图 5(a) 可知, 在满足条件 6 的参数设置下, 四方博弈主体最终实现了 $(1, 1, 1, 1)$ 的稳定演化状态。中国政府在环境收益、整体收益和公众意愿激励下不断向积极引导策略演进, 并最终在 $t = 0.25$ 时积极引导概率达到 1; 东道国作为绿色投资的流入地, 政府在多方助力其实现碳中和目标的过程中收益增加, 因此开始向积极作为转变的倾向就更为明显, 于 $t = 0.22$ 时稳定在 $y = 1$; 鉴于绿色投资的不确定性和补贴激励的不完善, 金融机构提供绿色金融支持的动力较其他三方偏弱, 但仍不断向 $z = 1$ 策略演进, 且于 $t = 0.3$ 时稳定下来; 虽然绿色投资面临的投入成本和运营成本较传统投资更高, 以及因技术开发等因素带来的不确定性较高, 但在各方支持下中国企业有更强的驱动力迅速向 $v = 1$ 演进, 率先在 $t = 0.06$ 时实现理想策略稳定状态。

5.2. 关键参数变化对系统影响

5.2.1. 初始意愿变动

为探究初始意愿对演化过程和结果的影响, 本文分别另选 $[0.2, 0.2, 0.2, 0.2]$ (如图 5(b))、 $[0.8, 0.8, 0.8, 0.8]$ (如图 5(c)) 与初始意愿 $[0.5, 0.5, 0.5, 0.5]$ (如图 5(a)) 进行对比分析。可见当各方参与跨境绿色投融资意愿较低即为 $[0.2, 0.2, 0.2, 0.2]$ 时, 中国政府 and 东道国政府的政策引导作用凸显, 尤其是在该动态系统初期。说明在绿色转型发展前期, 政府的引导力度和政策环境的友好性对后期市场主体的参与度有着至关重要的作用, 政府应设置完善合理的激励机制、提供便利科学的绿色投资基础设施, 除此之外政府还应引导企业根据东道国资源禀赋和经济发展水平, 着眼长远地进行绿色投资布局, 以降低投资损失的风险。而当初始意愿较为强烈即为 $[0.8, 0.8, 0.8, 0.8]$ 时, 企业作为绿色投资的实施主体在 $t = 0.05$ 时便实现了策略稳定, 其他三方演化路径较另外两种情形相比, 也都更倾向于理想状态。且当参与主体初始意愿提高时, 市场带给金融机构的不确定性和预期风险损失减少, 在整体演化过程中金融机构提供绿色金融支持的动

力增强。

5.2.2. 关键参数对中国政府决策的影响

考察企业绿色投资预期风险损失政府分担份额 β_1 、环境收益中国占比 α_1 和公众意愿 P_1 对中国政府决策的影响机制，演化路径分别如图 6(a)、图 6(b)、图 6(c)所示，各系统最终都可以达到理想稳定状态。当政府分担投资风险的比例由 $\beta_1 = 0.3$ 降至 $\beta_1 = 0.2$ 时，中国政府决策演化路径较初始情景发生了明显变化，由于承担风险的压力减小，提高了其积极参与绿色共建的意愿，甚至以高于东道国的速率提前达成 $x = 1$ 稳定策略。同时发现虽然此时中国企业自身承担的风险有所增加，但企业和金融机构趋向理想策略的力度和速度没有降低反而提前实现稳定。说明当政府因共担投资损失的压力减轻而提高了制定积极引导政策的概率时，使企业和金融机构两个市场主体有了主心骨和保障，进而改善了博弈结果。提高环境收益中国占比也促使中国政府提高积极引导的意愿，但该参数受东道国同中国的相对距离等客观因素制约，变动的自由度较低。公众意愿 P_1 的变动对中国政府决策的影响在三个参数中最为明显，当 P_1 从 15 提升至 30，中国政府在 $t = 0.1$ 达到了 $x = 1$ ，说明公众意愿对激励政府选择积极引导，进而实现系统的良态互动具有显著作用。

5.2.3. 关键参数对东道国政府决策的影响

各国作为绿色投资对环境改善的受益方，当环境收益 E 从 50 提升至 75，中国和东道国政府皆提前分别于 $t = 0.15$ 和 $t = 0.2$ 实现了积极引导和作为的稳定策略，如图 7(a)所示；同时公众意愿 P_2 的增加也促使东道国更倾向于选择积极作为，如图 7(b)所示。在全球气候治理成为重要议题的背景下，国际社会对各国形象的评价，会基于其国家自主贡献目标的实现以及碳中和进程的推进程度等方面来进行相关考察，而国际声誉对国家经济发展、政治地位和话语权的整体利益至关重要。政府和企业绿色建设中的表现共同决定了国家绿色转型的方向和力度，当国家可持续发展整体收益中受政府政策制约的比例提高，即 λ 由 0.4 提升至 0.6，则中国和东道国政府积极参与绿色共建的倾向进一步增强，但此时对中国金融机构和企业演化路径的影响不明显，如图 7(c)所示。跨境绿色投融资东道国多为发展中国家，而在碳中和及全球气候治理下，发展中国家面临的减排压力远超发达国家，同时东道国绿色基础设施不完备等问题也减弱了对绿色投资的吸引力，因此东道国政府应基于自身资源禀赋和发展特征，制定符合国情的绿色转型规划，为吸引境外绿色金融和投资提供友好的政策环境。

5.2.4. 关键参数对中国金融机构决策的影响

基于初始情景的演化路径可知，中国金融机构提供绿色金融的倾向较弱，为四方主体中向理想稳定策略演进速度最慢，约于 $t = 0.3$ 时实现稳定，而绿色金融作为促进绿色投资的关键因素，在跨境绿色投融资实践中有着不可忽视的作用。因此本文从绩效激励 W 增加、公众意愿 P_3 提高和绿色投资预期风险损失金融机构分担份额 β_2 降低三个方面考察对金融机构决策过程的影响，演化路径分别如图 8(a)、图 8(b)、图 8(c)所示。由演化结果可知，三个参数的变动都增强了金融机构提供绿色金融支持的倾向，其中综合改善作用最明显的是公众意愿 P_3 。当 P_3 由 20 提升至 30，金融机构向理想稳定策略(1, 1, 1)演化的速度超过了中国和东道国政府，于 $t = 0.15$ 实现了稳定，较初始情景缩短了一半时间。 W 和 β_2 的变动虽然也对金融机构的参与有促进作用，但同时因增加绩效激励和增加预期损失风险使中国政府的监督成本扩大，减弱了其参与绿色共建的积极性，两种情形下中国政府实现策略稳定的用时大幅增加，致使复制动态系统最终分别于 $t = 0.5$ 和 $t = 0.4$ 达到理想策略稳定，可见这两种对金融机构的激励方式整体效率较低。

5.2.5. 关键参数对中国企业决策的影响

图 9(a)为绿色投资运营收益 π_1 由 200 提至 250 时的四方博弈演化路径，企业作为追求经济利益的市

场主体，盈利扩大促使企业和金融机构参与绿色投资的自发性提高。政府补贴、政策扶持和消费者偏好引导等因素皆为企业布局绿色产业的驱动力，当绿色投资项目受市场认可度普遍提高、预期回报增加、运营的不确定减少时，中国金融机构和企业策略演化趋势改变，选择提供绿色金融支持和进行绿色投资的概率明显提升，稳定在理想纯策略上的时间延长。当金融机构选择不提供绿色金融支持时，企业进行绿色投资的投入不仅需支付原本的融资成本，还需为寻找其他融资途径花费额外成本 I 。当 I 增加至 30，企业进行绿色投资的倾向有所减弱，中国和东道国政府为推动绿色转型进程，提高了选择积极参与的概率，如图 9(b) 所示。由图 9(c) 可知，当绿色投资预期风险损失提高，中国政府的演进路径发生明显变化，在政府充分运用补贴和激励措施的前提下，演化结果没有因预期损失而增加恶化。明朗的发展前景和切实的利润回报是绿色投资长期运行的保障，为确保企业和金融机构有进行绿色投资的持续动力，政府的积极引导成为动态系统良性互动的关键。政府应在绿色投资初期引导企业分析东道国市场现状、相关法律法规，以及国际绿色投资原则等客观因素。此外，鉴于跨境绿色投融资流入的国家和地区宗教文化差异较大，社会和政治因素也应纳入决策过程，以降低绿色投资带来的预期风险损失。

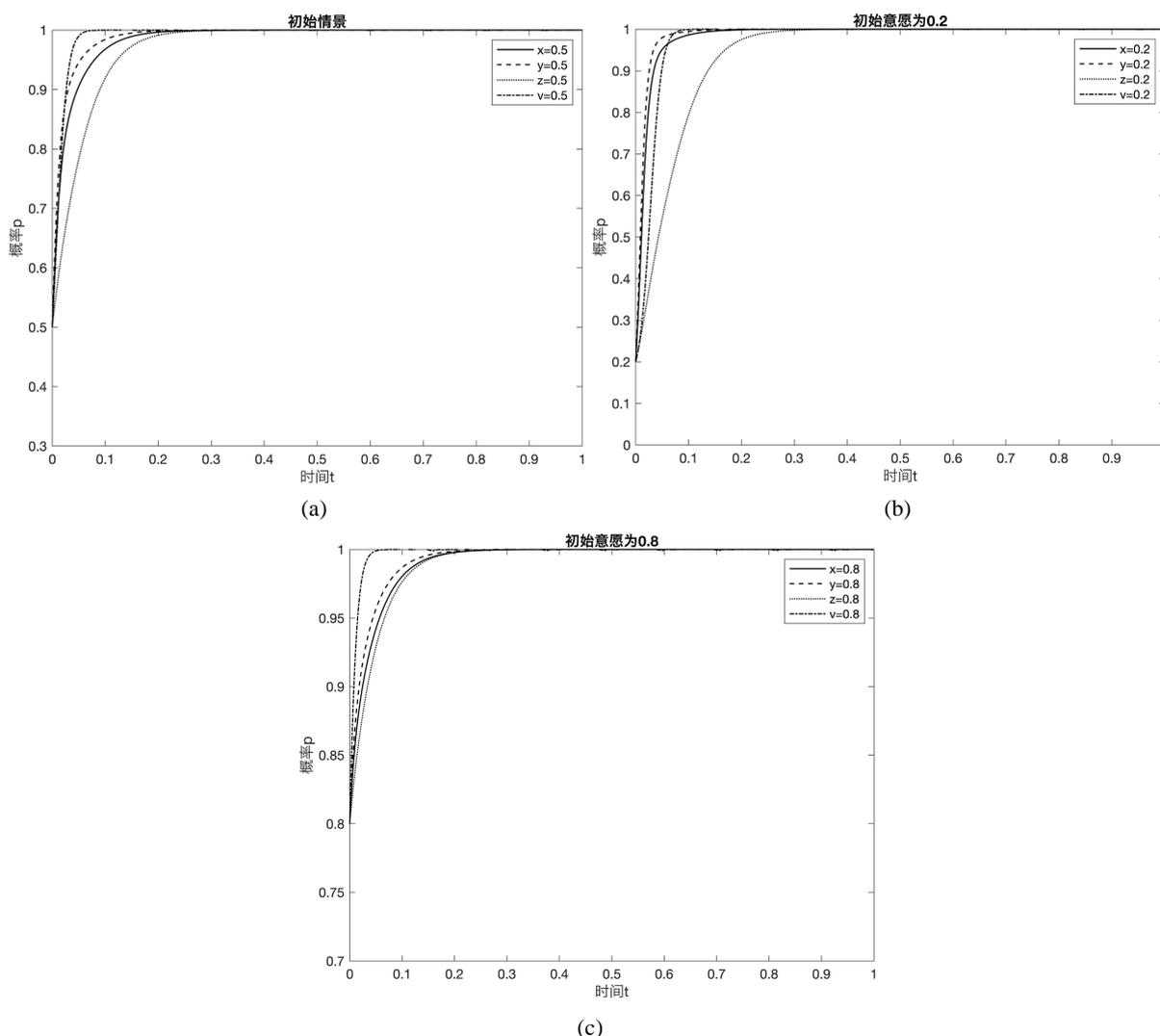


Figure 5. The impact of initial intention changes
图 5. 初始意愿变动的影响

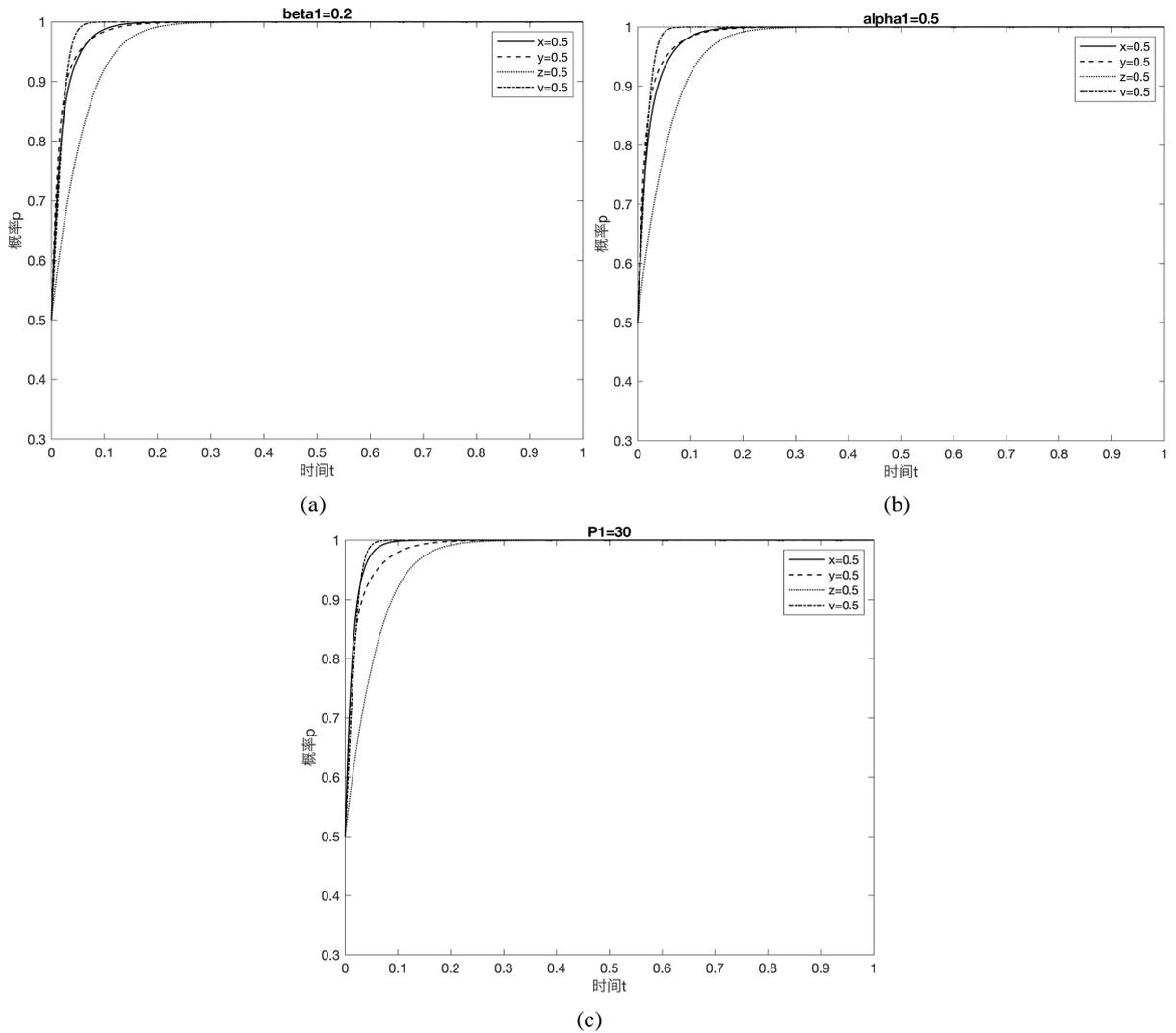
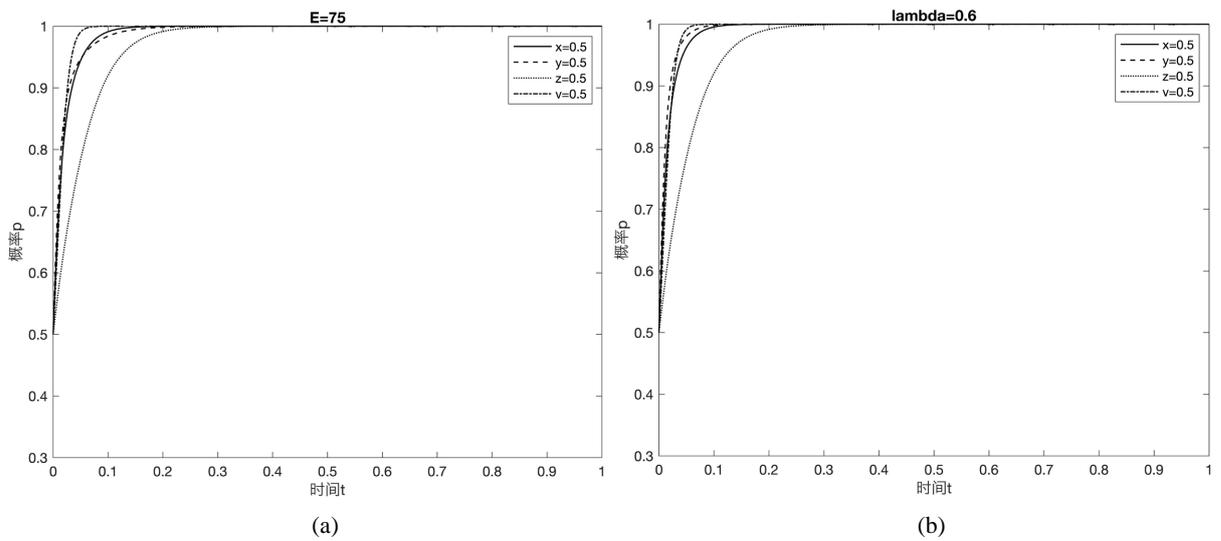
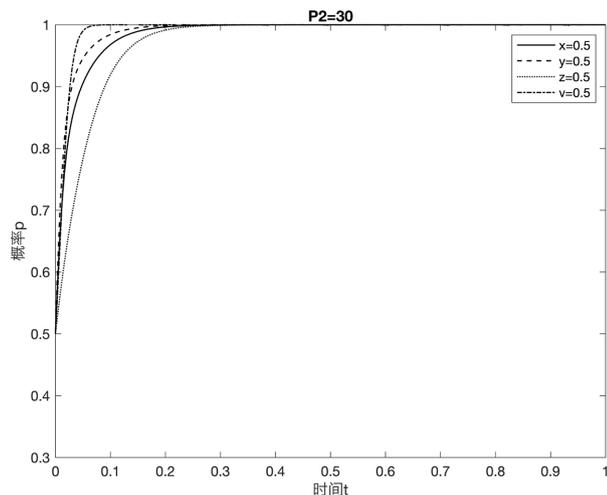


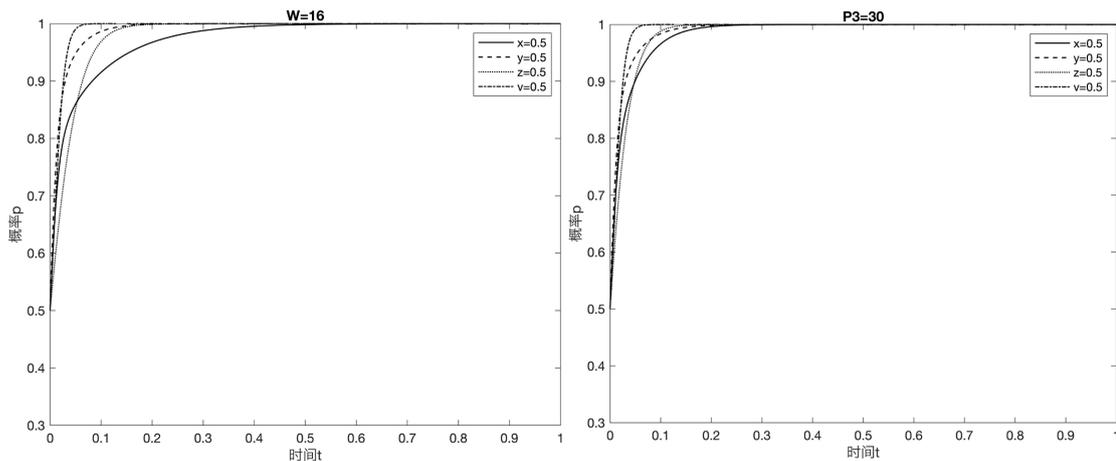
Figure 6. The impact on the decisions of the Chinese government
图 6. 对中国政府决策的影响





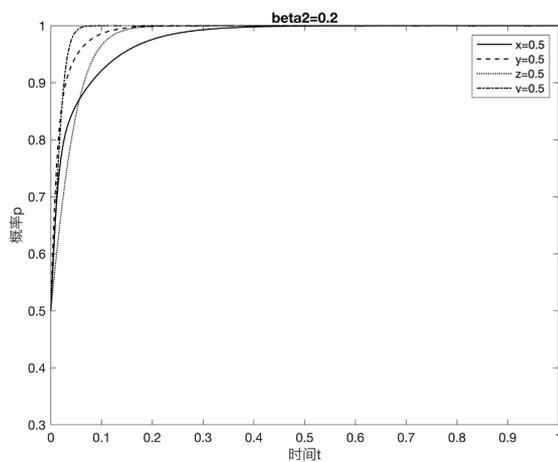
(c)

Figure 7. The impact on the decision-making of the host country's government
图 7. 对东道国政府决策的影响



(a)

(b)



(c)

Figure 8. The impact on the decision-making of Chinese financial institutions
图 8. 对中国金融机构决策的影响

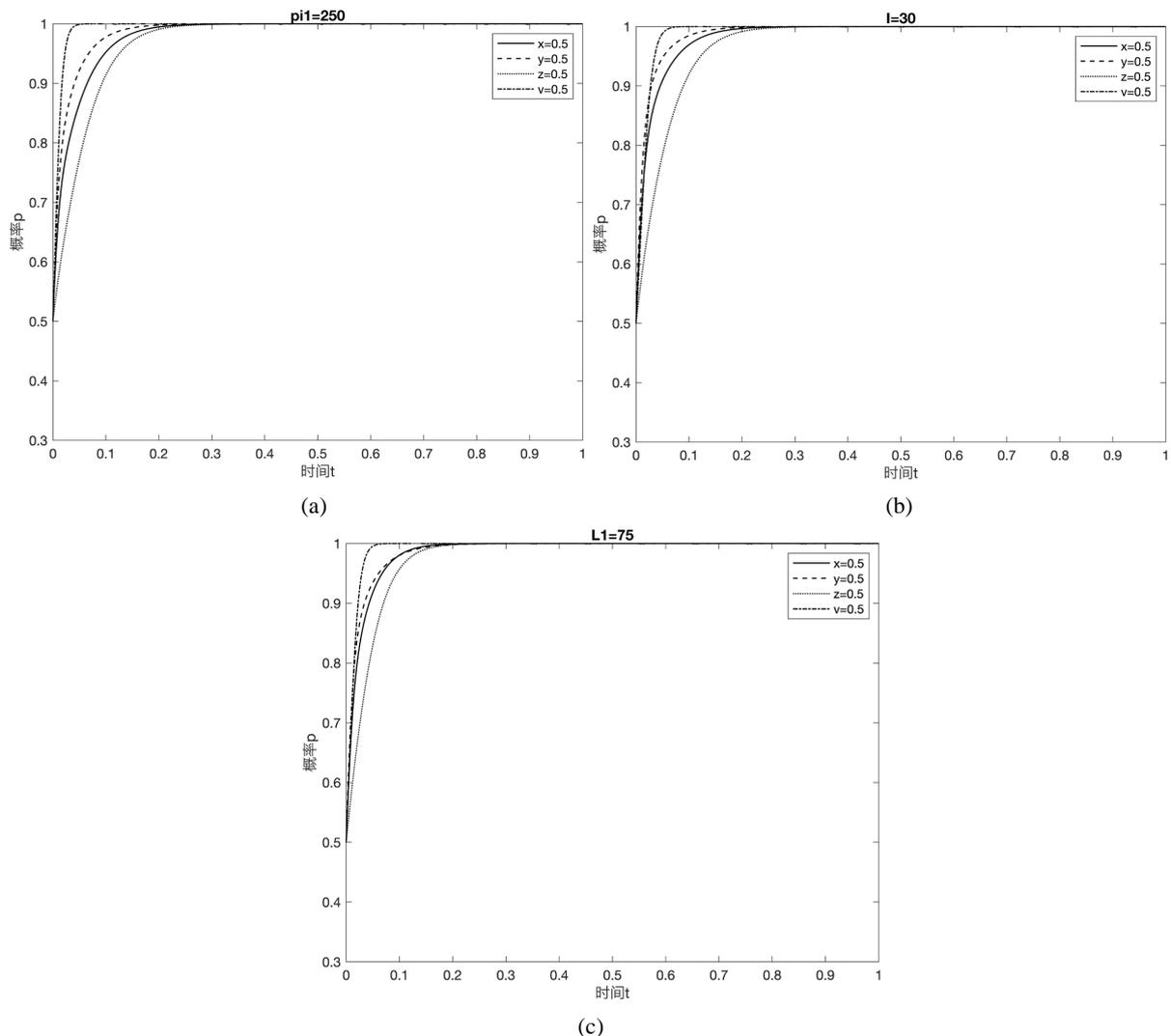


Figure 9. The impact on the decision-making of Chinese enterprises
图 9. 对中国企业决策的影响

6. 结论与建议

为探究推动跨境绿色投融资主体积极参与绿色投融资合作的有效路径，本文在有限理性条件下构建了中国政府、东道国政府、中国金融机构和中国企业四方演化博弈模型，并结合数值仿真模拟技术，分析了关键参数对各方决策过程和演进结果的影响。研究结论如下：1) 复制动态系统可以实现理想的条件稳定点(1, 1, 1, 1)，即四方策略为积极引导、积极作为、提供绿色金融支持、绿色投资。2) 博弈主体决策受彼此初始意愿影响，若在绿色投融资布局初期参与实践的初始意愿较低，此时政府作为引导者对金融机构和企业的战略选择具有带动作用。3) 绿色投资预期风险损失分担机制显然降低了投融资活动给企业和金融机构带来的不确定性，但分担比例应适中，数值仿真结果说明政府承担比重与稳定状态并非正相关。政府的工作重点应在于加强跨境绿色投融资的政策支持、对标国际相关规则为企业和金融机构提供实践指导等方面。4) 绿色投资运营收益提升是企业落实绿色投资的最强驱动力，绿色投资预期风险损失降低增强了系统整体向理想稳定策略演进的倾向。5) 公众意愿在加速实现理想稳定策略组合、提升四方主体参与度方面发挥了重要作用。

结合以上结论,本研究提出以下建议:1) 中国政府应加快形成支持跨境绿色投融资的政策体系,积极发挥政府在宏观布局、平台建设、政策对接及统筹协调方面的引导作用,带动企业和金融机构“走出去”参与绿色共建;推动绿色转型发展,不仅需要激励企业落实绿色投资,还需解决绿色投资成本、风险和收益不匹配的问题,以吸引资本自发流向绿色产业[24]。除此之外有效的绿色宣传是绿色投融资合作可持续性的重要保障,中国在推动跨境绿色投融资发展过程中,不仅具体项目的运营需要符合东道国法律法规、风俗习惯,还应加强跨文化沟通与共识构建,促进不同群体间的相互理解,从而减少因价值理念差异引发的分歧[25]。2) 在全球碳中和进程中,发展中国家所面临的减排压力远高于发达国家,而跨境绿色投融资东道国多为发展中国家,经济发展和减排之间的矛盾更为突出,不能照搬发达国家转型的成功经验。因此,东道国政府应积极探索适合自身国情的发展道路,营造绿色投资友好的政策环境,凝聚社会力量提供绿色基础设施,以吸引外国绿色资本流入。3) 应倡导构建涵盖银行、证券、保险、担保等多主体的“金融全业态联盟”[20],为推动跨境绿色投融资发展提供持续可靠的金融服务支持,发挥绿色信贷、债券和保险等金融工具在其中的独特作用[26]。金融机构作为共建中的重要主体,应积极研判跨境绿色投融资中潜在的气候风险和转型风险,结合东道国碳中和目标动态调整规划布局,完善包含气候环境相关风险信息投资决策过程,完善绿色评级和认证制度,以把握碳中和进程中跨境绿色投融资机遇,发挥其在助力跨境绿色投融资建设中的稳健作用。4) 中国企业应在严格遵守国际绿色投资原则的条件下,结合东道国资源禀赋和市场条件合理布局绿色产业,扩大绿色技术创新资金投入,有序参与市场竞争提高绿色投资收益。同时加强与东道国政府、公众和相关部门的交流,切实履行社会责任提升企业声誉,将绿色理念贯穿至对外投资全过程。降低绿色投资的社会风险、政策风险、气候风险等预期损失,为项目稳定推进营造良好外部环境。5) 重视公众参与对跨境绿色投融资良性发展的作用,落实跨境绿色投融资活动要充分借助公众意愿的力量,营造公众可持续发展意识强、公众参与广、公众行动自觉、公众意愿传导畅通的社会环境[27]。

基金项目

本研究得到外交学院研究生科研创新 A 类重点项目“基于博弈多智能体的全球价值链重构中的国家产业政策研究”的资助,谨此致谢。

参考文献

- [1] 王文,刘锦涛.碳中和视角下中国与东盟绿色金融合作路径分析[J].学术论坛,2021,44(6):36-47.
- [2] 赵爱玲.后疫情时代,中企参与一带一路建设向绿色项目扩展[J].中国对外贸易,2022(3):20-21.
- [3] Fan, Q., Liu, J., Zhang, T. and Liu, H. (2022) An Evaluation of the Efficiency of China's Green Investment in the "Belt and Road" Countries. *Structural Change and Economic Dynamics*, **60**, 496-511. <https://doi.org/10.1016/j.strueco.2022.01.003>
- [4] Li, Z., Li, R.Y.M., Malik, M.Y., Murshed, M., Khan, Z. and Umar, M. (2021) Determinants of Carbon Emission in China: How Good Is Green Investment? *Sustainable Production and Consumption*, **27**, 392-401. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.11.008>
- [5] 王文,曹明弟.绿色金融与“一带一路”[J].中国金融,2016(16):25-27.
- [6] 李玫,丁辉.“一带一路”框架下的绿色金融体系构建研究[J].环境保护,2016,44(19):31-35.
- [7] 王遥,范高雁,夏晗玮.绿色金融支持“一带一路”建设与发展的路径研究[J].环境保护,2017,45(12):56-59.
- [8] 王小艳.绿色金融赋能高质量共建“一带一路”:理论逻辑与实践路径[J].改革与战略,2020,36(4):57-64.
- [9] 蓝庆新,唐琬.绿色金融赋能“一带一路”高质量发展[J].油气与新能源,2022,34(1):48-55.
- [10] 王丽君.“一带一路”倡议下绿色金融发展的路径探析[J].中国商论,2022(5):84-86.
- [11] 郭道玥.“一带一路”倡议下绿色金融的可持续发展[J].时代金融,2020(23):14-15.

- [12] 郑竟, 陈明, 柴伊琳, 刘援. “一带一路”绿色投融资机制构建探讨[J]. 环境保护, 2017, 45(19): 42-45.
- [13] 刘援, 郑竟, 于晓龙. 欧盟环境和气候主流化及其对“一带一路”投融资绿色化的启示[J]. 环境保护, 2019, 47(5): 64-70.
- [14] 曹明弟. 论“一带一路”绿色金融相关主体行为要领[J]. 环境保护, 2017, 45(16): 12-18.
- [15] 李程, 白唯, 王野, 李玉善. 绿色信贷政策如何被商业银行有效执行?——基于演化博弈论和 DID 模型的研究[J]. 南方金融, 2016(1): 47-54.
- [16] 王茹, 龚玉霞, 张新, 塞尔沃. 政府、银行、企业三者之间绿色信贷演化博弈分析[J]. 科技与管理, 2017, 19(5): 108-113.
- [17] 赵振宇, 汪宝. “一带一路”背景下绿色产品合作发展路径探究[J]. 财会月刊, 2019(12): 128-136.
- [18] 李善民. 奖惩机制下绿色信贷的演化博弈分析[J]. 金融监管研究, 2019(5): 83-98.
- [19] Sun, H., Wan, Y., Zhang, L. and Zhou, Z. (2019) Evolutionary Game of the Green Investment in a Two-Echelon Supply Chain under a Government Subsidy Mechanism. *Journal of Cleaner Production*, **235**, 1315-1326. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.329>
- [20] 赵昕, 白雨, 丁黎黎. 碳捕捉与封存技术(CCS)商业化运营的融资激励机制[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2022, 24(1): 24-38+120.
- [21] Yuan, X. and Zheng, C. (2022) Evolutionary Game and Simulation Analysis of Low-Carbon Technology Innovation with Multi-Agent Participation. *IEEE Access*, **10**, 11284-11295. <https://doi.org/10.1109/access.2022.3143869>
- [22] 潘峰, 刘月, 王琳. 四方主体参与下的环境规制演化博弈分析[J]. 运筹与管理, 2022, 31(3): 63-71.
- [23] Liu, L., Zhu, Y. and Guo, S. (2020) The Evolutionary Game Analysis of Multiple Stakeholders in the Low-Carbon Agricultural Innovation Diffusion. *Complexity*, **2020**, Article ID: 6309545. <https://doi.org/10.1155/2020/6309545>
- [24] 莫凌水, 翟永平, 张俊杰. “一带一路”绿色投资标尺和绿色成本效益核算[J]. 中国人民大学学报, 2019, 33(4): 23-35.
- [25] 杨达. 绿色“一带一路”治理体系探索与深化方位透视[J]. 政治经济学评论, 2021, 12(5): 165-187.
- [26] 王文, 杨凡欣. “一带一路”与中国对外投资的绿色化进程[J]. 中国人民大学学报, 2019, 33(4): 10-22.
- [27] 史亚东. 公众环境关心对我国社会责任投资指数的影响[J]. 中国地质大学学报(社会科学版), 2018, 18(3): 34-45.