政府、企业和消费者协同低碳的决策机制研究

——基于演化博弈视角

张舒彤[1]，关 欣[2]，黄桢晟[2]

（1. 中国科学院大学中丹学院，北京 100190；2. 中国科学院大学公共政策与管理学院，北京 100190）

摘要：在低碳经济背景下，为探讨如何充分发挥政府宏观调控作用并激发低碳消费市场活力，结合感知价值和演化博弈理论，梳理了低碳经济发展中各行为主体的相互关系，并据此构建了政府、企业、消费者的三方演化博弈模型。运用 MATLAB 2022a 对模型进行仿真，分析了政府宏观调控的对象及时期、消费者对于低碳溢价的接受水平对博弈系统的微观驱动机理及动态影响。研究结果表明：政府、企业和消费者之间的策略相互影响；在政府资源有限时，应优先推动企业绿色转型升级，并通过政策引导消费者积极参与低碳消费。

关键词：低碳经济；政策行为；低碳溢价；演化博弈

中图分类号：F224.3 **文献标志码**：A **文章编号**：1671－1807(2026)12－0075－11

随着全球气候变暖、环境污染等问题日益严重，低碳经济作为一种涵盖低碳产业、低碳技术等内容的新兴经济形态，引发了一场全球性变革[1]。其中，中国作为碳排放增长最快的新兴大国，其二氧化碳排放量占世界总排放量的比例迅速上升[2]。在这一全球性挑战面前，中央和地方政府通过设定合理目标，充分发挥政府宏观调控的作用以推进低碳经济的发展。

政府在低碳经济发展中发挥着有效推力，然而实现低碳经济的长足发展还需要引导市场中的各方积极响应，尤其是低碳消费这一有效拉力[3]。随着碳排放在消费领域的日益增加，消费者在购买产品和服务时对碳排放的关注度逐渐提高[4]，如何激发低碳消费市场活力以倒逼企业开展绿色生产等问题变得越发重要。在这一新的低碳经济发展模式下，政府、消费者和企业之间逐渐形成了一个复杂的博弈关系。

近年来，关于低碳经济的研究引起了国内外学者的广泛关注，主要集中在以下几个方面。首先，在低碳策略选择方面，针对如何提高低碳循环经济的内部协同效率，现有学者使用博弈方法从多方利益者参与的角度进行广泛研究，周泽辉等[5]构建了政府、企业及低碳服务提供商的三方演化博弈模型，分析了政府监管成本、处罚力度对于企业碳排放敏感性的影响。张金泉等[6]研究了低碳补贴政策、碳税政策、碳交易政策对闭环供应链运营决策的影响。Tian 和 Sun[7]构建了生产者、监管者、第三方认证者和消费者的四方演化博弈模型，证实了博弈者之间存在显著的相关性，其良性互动将有效推动全社会的低碳转型。此外，还有学者研究在政府和企业的基础之上，引入并研究第三方监管机构[8]、社会环保组织[9]等各主体在低碳供应链中的作用机理。近年来，相关学者进一步深化了多主体交互作用的研究。陈佳浩[10]建立了政府、制造业企业与消费者的三方演化博弈模型，发现三者博弈互动的最终结果是降低企业碳排放。许兰等[11]构建了“政府-能源企业-消费者”三方非合作动态演化博弈模型，提出了政府监管下能源企业发展智慧能源、消费者成为产消者的理想策略。然而，上述文献大多将政府的调控行为、企业的低碳选择与消费者的购买行为视为相对独立的决策变量，未能系统揭示三者之间的动态交互作用对低碳经济内部协同效率的影响机制。

值得注意的是，政府以社会公共利益最大化为目标进行决策，在演化博弈系统中扮演绿色低碳经济发展的主导者、引导者和维护者的角色。王辉等[12]在考虑碳限额及交易的背景下，针对零售商和企业构建了四种政府补贴博弈模型，并得出采取补贴企业策略的减排率最高，采取分别补贴策略时可以获得最优社会福利。陈婉婷和吴清燕[13]基于政

收稿日期：2026-04-01

作者简介：张舒彤(2001—)，女，河南郑州人，硕士研究生，研究方向为大数据分析；通信作者关欣(1981—)，女，辽宁沈阳人，博士，副教授，研究方向为数据治理；黄桢晟(2001—)，女，浙江杭州人，硕士研究生，研究方向为文本分析。

府碳税与补贴政策，建立了双寡头制造企业演化博弈模型，研究了碳税税率、低碳技术补贴与投入难度系数对企业低碳生产行为的影响。然而，现有文献主要关注政府在推动低碳经济中的宏观策略选择，却鲜有深入研究政府如何把握宏观调控的目标对象及时期，以实现效益最大化。

此外，针对影响消费者低碳消费意愿及行为的因素，国内外学者已展开大量研究。Zhao等[14]表明职业、人均收入和受教育程度对消费者的支付意愿有显著影响。Biswas和Roy[15]采用结构方程模型验证了价格认知和知识认知是影响绿色消费行为的主要因素，且绿色产品的价格认知直接影响了绿色价格溢价支付的行为意愿。此外，有学者指出低碳消费模式中碳标签的运用对消费者的购买意愿将产生显著影响。赵锐等[16]分析了产品价格及价格补贴对消费者群体选购碳标签产品的影响，其结果表明碳标签产品价格对消费者的购买行为有显著影响。康慧[17]基于行为经济学理论，通过山西省居民调研数据发现，低碳消费认知、社会规范和同群效应对低碳消费行为具有显著正向影响。纵观上述文献，已有成果主要从消费者个体特征和外部信息角度分析低碳消费意愿，但较少将消费者置于与政府、企业的共同演化框架中。

目前，国内外学者已经关注了低碳发展策略以及影响低碳消费的因素，然而对政府如何更好地发挥宏观调控作用及如何系统地激发低碳消费市场活力等方面的研究尚显不足。具体而言，现有研究主要集中在多方利益者对低碳经济发展的影响上，但未充分考虑主体间的相互关系，尤其是政府的政策、企业的低碳选择行为及消费者的购买决策之间的复杂相互作用对各主体策略选择的影响。其次，现有演化博弈研究主要关注了主体的策略选择和演化趋势，但对于关键因素，如政府宏观调控的对象及时期、消费者对于低碳溢价的接受水平、企业的寻租行为等研究较为欠缺。与上述研究不同，本文的创新点在于，结合感知价值和演化博弈理论，构建政府、企业、消费者的三方演化博弈模型，重点分析以下三个差异化的研究问题：政府宏观调控的激励分配结构与政策力度对系统演化稳定性的差异化影响；消费者对低碳产品额外成本的接受程度如何作为关键调节变量影响企业低碳策略和系统均衡；企业在监管环境下的机会主义行为对低碳消费市场可能产生的扭曲效应。通过演化博弈分析和参数敏感性分析，揭示三方主体的策略演化规律，并提出政府“前期靠引导，后期看需求”的动态调控策略，充分发挥政府宏观调控的推力及激发低碳消费所产生的拉力，从而为低碳经济的可持续发展提供坚实的理论基础和实际指导。

1 多主体相互关系分析

政府、企业和消费者作为低碳经济发展过程中重要的利益主体，其行为目标和决策活动将直接影响低碳经济和生态可持续发展进程。政府以社会公共利益最大化为目标进行决策，担任协调者和监管者的角色，政府通过有效的政策规制与激励措施调控企业和消费者的绿色低碳行为。企业作为低碳产品主要的生产者和供给者，其决策通常以利润最大化为目标，根据市场偏好和政府政策决定其生产策略；消费者是绿色低碳市场的主要需求方，以消费者效用最大化为目标进行决策，依据产品效用和政府政策决定其消费行为。政府、企业和消费者间的决策互动是绿色低碳经济领域的关键动力，它们相互影响，共同推动着低碳生产和消费的发展，三方在低碳经济中的互动关系如图1所示。

政府通过政策引导和资金支持等宏观调控手段促使企业选择低碳策略，随着绿色低碳产品供给的增加，且伴随消费者感知价值的增加，其可能会选择低碳消费策略，从而带来社会公共利益的扩大，促进政府目标的实现。此外，若消费者主动选择低碳消费策略，在低碳产品需求增加的刺激下，企业将主动选择低碳策略并实施绿色低碳转型，从而增进社会公共利益，促进地方政府群体目标的实现。

2 低碳背景下多主体演化博弈模型构建

2.1 问题假设及模型参数

假设1：博弈主体策略选择。政府的策略空间为{积极调控，保守调控}，“积极调控”表明政府采取更积极的措施来推动绿色低碳产业的发展、鼓励绿色低碳消费，如对不符合绿色低碳标准的企业实施罚款或强制整改等监管措施，以及支持绿色低碳技术的研发和采用的激励措施；“保守调控”强调政府鼓励企业自愿采用绿色低碳技术，而不强制实施处罚措施。企业的策略空间为{低碳，不低碳}，“低碳”策略表示企业选择采用低碳技术，以减少碳排放，并推出绿色低碳产品，以满足绿色低碳消费者的需求；“不低碳”策略表明企业继续使用传统高碳技术，不特别关注环保和低碳发展。消费者的策略空间是{低碳消费，传统消费}。“低碳消费”意味消费者更倾向于购买绿色低碳示范店的产品或带有绿色低碳标签的商品，以减少对环境的负面影响；

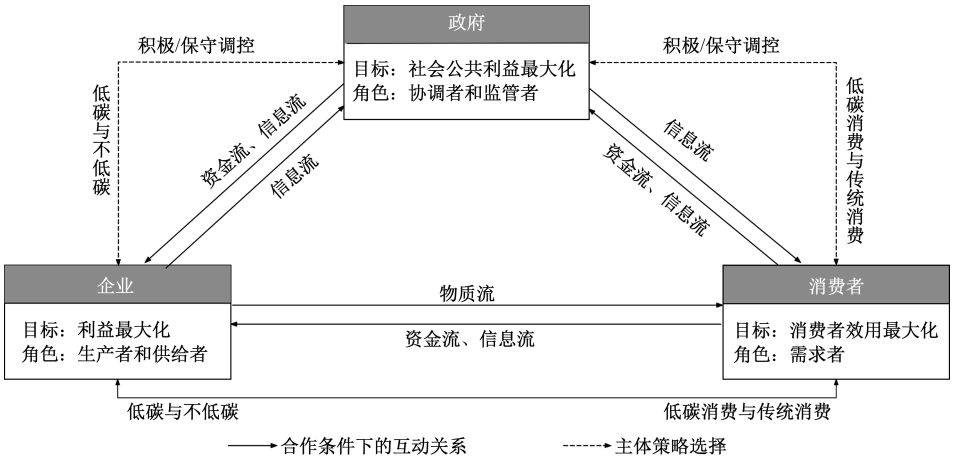


图 1　参与方的相互关系

“传统消费”策略表示消费者依然购买传统的产品，不特别考虑其环保和低碳性质。

假设 2:策略选择比例界定。政府选择“积极调控”的概率为 x，选择“保守调控”的概率为 $1-x$；企业选择“低碳”的概率为 y，选择“不低碳”的概率为 $1-y$；消费者选择“低碳消费”的概率为 z，选择“传统消费”的概率为 $1-z$。x、y、z 均为时间 t 的函数，且有 x、y、$z\in[0,1]$。

假设 3:考虑企业低碳转型的效益与风险。企业若选择“低碳”策略，需要投入额外的资金 C 用于新设备的购置、传统生产线的改造、绿色技术和产品的研发、环保技术人才的引进培训等[18]，同时会为企业带来额外的机会收益 M，如良好的企业声誉、品牌形象等。

假设 4:当企业选择“不低碳”策略时，其行为在现实中可能表现为多种机会主义形式，主要包括：一是通过夸大产品绿色属性或利用信息不对称进行价格操纵，以获取更高利润；二是通过虚假碳标签或环保宣传实施绿色漂白，以获取绿色溢价收益；三是通过偷排或隐瞒排放数据等方式进行规避监管，以降低合规成本。为保证模型的简洁性，将上述行为统一抽象为企业在“非低碳”策略下获得的额外收益 W。当政府采取“积极调控”策略时，将对企业的规避监管行为处以罚金 S，同时，企业因绿色漂白或未能满足消费者对低碳产品的预期，将产生声誉损失 R；此外，在企业实施非低碳生产的情况下，政府需承担额外的环境治理成本 L_1。因此，企业在“不低碳”策略下的实际收益由机会主义收益与罚金及声誉损失共同决定，从而更真实地反映企业行为与政府监管之间的互动关系。通过对不同类型机会主义行为的区分与抽象，在不增加模型复杂度的前提下，提高了模型假设与现实经济行为之间的契合度。

假设 5:考虑消费者的感知价值。消费者若“购买绿色产品”，则将获得环境效用 E。假设消费者感知价值为 β、对于绿色产品的需求度为 γ，因此消费者愿意为绿色产品花费的额外价格为 $(\beta+\gamma)P$，此时“企业”获得售卖绿色产品的额外收入为 P_1。

假设 6:考虑政府的激励、监管行为。政府若选择“积极调控”策略时，将会对企业和消费者的低碳行为进行激励，假设政府的激励力度为 ρ，激励金额为 Q，并以 Ω 和 $1-\Omega$ 分配至企业和消费者。此外，假设政府的监管力度为 α，监管成本为 L，同时政府的激励和监管行为将会产生的效益为 G。政府若选择“保守调控”策略时，会因公众问责、上级问责等造成损失 R_1。

具体参数及其含义如表 1 所示。

表 1　模型参数

参数	含义
C	企业选择低碳策略需要额外投入的成本
M	企业选择低碳策略带来的额外机会效益
W	企业寻租行为获得的额外收益
S	政府对企业的违规行为处以的罚金
R	企业因无法满足消费者期望造成的损失
L_1	当企业不低碳时，政府所承担的环境治理损失
E	消费者购买绿色产品获得的环境效用
β	消费者的感知价值
γ	消费者对于绿色产品的需求度
P	消费者购买绿色产品溢价
P_1	企业售卖绿色产品获得的额外收入
ρ	政府激励力度
Q	政府激励金额
Ω	政府激励金额对于企业的分配系数
α	政府的监管力度
L	政府的监管成本
G	政府的监管行为产生的额外效益
R_1	政府选择保守调控策略时造成损失

2.2　模型建立

根据上述分析，得到不同参与主体的收益支付矩阵，如表 2 所示。

(1)根据马尔萨斯动态方程原理，政府选择“积极调控”“保守调控”策略的期望收益为 V_1 和 V_2，平均期望收益为 $\overline{V}$，如式(1)所示。可得政府选择“积极调控”策略时对应的复制动态方程为 $F(x)$，如式(2)所示。

$$\begin{cases} V_1 = yz(-\rho Q+G-\alpha L)+(1-y)z[S-L_1+G-\alpha L-(1-\Omega)\rho Q]+y(1-z)\times(G-\alpha L-\Omega\rho Q)+(1-y)(1-z)\times(S-L_1+G-\alpha L) \\ V_2 = yz(-R_1)+(1-y)z(-L_1-R_1)+y(1-z)(-R_1)+(1-y)(1-z)\times(-L_1-R_1) \\ \overline{V} = xV_1+(1-x)V_2 \end{cases} \tag{1}$$

$$\begin{aligned} F(x) = \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} &= x(V_1-\overline{V}) = x(1-x)(V_1-V_2) \\ &= x(1-x)[G+R_1+S-\alpha L-(S+\Omega\rho Q)y-(1-\Omega)\rho Qz] \end{aligned} \tag{2}$$

(2)企业选择“低碳”“不低碳”策略的期望收益为 U_1 和 U_2，平均期望收益为 $\overline{U}$，如式(3)所示。根据马尔萨斯动态方程原理，可得企业选择“低碳”策略时对应的复制动态方程的导数为 $F(y)$，如式(4)所示。

$$\begin{cases} U_1 = xz(M-C+P_1+\Omega\rho Q)+(1-x)z(M-C+P_1)+x(1-z)(M-C+\Omega\rho Q)+(1-x)(1-z)(M-C) \\ U_2 = xz(W-S-R)+(1-x)z(W-R)+x(1-z)(W-S)+(1-x)(1-z)(W) \\ \overline{U} = yU_1+(1-y)U_2 \end{cases} \tag{3}$$

$$\begin{aligned} F(y) = \frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t} &= y(U_2-\overline{U}) = y(1-y)(U_1-U_2) \\ &= y(1-y)[M-C-W+(P_1+R)z+(S+\Omega\rho Q)x] \end{aligned} \tag{4}$$

(3)消费者选择“低碳消费”“传统消费”策略的期望收益为 W_1 和 W_2，平均期望收益为 $\overline{W}$，如式(5)所示。根据马尔萨斯动态方程原理，可得消费者选择“合作”策略时对应的复制动态方程的导数为 $F(z)$，如式(6)所示。

$$\begin{cases} W_1 = xy[E-(\beta+\gamma)P+(1-\Omega)\rho Q]+(1-x)y[E-(\beta+\gamma)P]+x(1-y)\times[E-(\beta+\gamma)P+(1-\Omega)\rho Q]+(1-x)(1-y)[E-(\beta+\gamma)P] \\ W_2 = xy(-P)+(1-x)y(-P)+x(1-y)\times(-P)+(1-x)(1-y)(-P) \\ \overline{W} = zW_1+(1-z)W_2 \end{cases} \tag{5}$$

$$\begin{aligned} F(z) = \frac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}t} &= z(W_2-\overline{W}) = z(1-z)(W_1-W_2) \\ &= -z(z-1)[E-(\beta+\gamma)Py-(1-\Omega)\rho Qx] \end{aligned} \tag{6}$$

2.3　均衡点求解与分析

结合上述三方的复制动态方程，令 $F(x)=0$，$F(y)=0$，$F(z)=0$，得到 8 个局部均衡点为 $E_1(0,0,0)$、$E_2(1,0,0)$、$E_3(0,1,0)$、$E_4(0,0,1)$、$E_5(1,1,0)$、$E_6(1,0,1)$、$E_7(0,1,1)$、$E_8(1,1,1)$，以及 6 个混合策略均衡点。根据 Friedman[19] 提出判断演化博弈均衡策略(ESS)的方法，上述系统的雅克比矩阵 $\boldsymbol{J}$ 如式(7)～式(16)。

$$\boldsymbol{J} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial F(x)}{\partial x} & \frac{\partial F(x)}{\partial y} & \frac{\partial F(x)}{\partial z} \\ \frac{\partial F(y)}{\partial x} & \frac{\partial F(y)}{\partial y} & \frac{\partial F(y)}{\partial z} \\ \frac{\partial F(z)}{\partial x} & \frac{\partial F(z)}{\partial y} & \frac{\partial F(z)}{\partial z} \end{bmatrix} \tag{7}$$

$$\frac{\partial F(x)}{\partial x} = -(2x-1)[G+R_1+S-\alpha L-(S+\Omega\rho Q)y-(1-\Omega)\rho Qz] \tag{8}$$

$$\frac{\partial F(x)}{\partial y} = x(x-1)(S+\Omega\rho Q) \tag{9}$$

表 2　模型收益矩阵

企业	政府积极调控(x)		政府保守调控($1-x$)	
	消费者 低碳消费(z)	消费者 传统消费($1-z$)	消费者 低碳消费(z)	消费者 传统消费($1-z$)
低碳 (y)	$-\rho Q+G-\alpha L$	$G-\alpha L-\Omega\rho Q$	$-R_1$	$-R_1$
	$M-C+P_1+\Omega\rho Q$	$M-C+\Omega\rho Q$	$M-C+P_1$	$M-C$
	$E-(\beta+\gamma)P+(1-\Omega)\rho Q$	0	$E-(\beta+\gamma)P$	0
不低碳 ($1-y$)	$S-L_1+G-\alpha L-(1-\Omega)\rho Q$	$S-L_1+G-\alpha L$	$-L_1-R_1$	$-L_1-R_1$
	$W-S-R$	$W-S$	$W-R$	W
	$E+(1-\Omega)\rho Q$	0	E	0

$$\frac{\partial F(x)}{\partial z}=x(x-1)[(1-\Omega)\rho Q] \tag{10}$$

$$\frac{\partial F(y)}{\partial x}=-y(y-1)(S+\Omega\rho Q) \tag{11}$$

$$\frac{\partial F(y)}{\partial y}=-(2y-1)(M-C-W+[P_1+R)z+(S+\Omega\rho Q)x] \tag{12}$$

$$\frac{\partial F(y)}{\partial z}=-y(y-1)(P_1+R) \tag{13}$$

$$\frac{\partial F(z)}{\partial x}=-z(z-1)[(1-\Omega)\rho Q] \tag{14}$$

$$\frac{\partial F(z)}{\partial y}=z(z-1)[(\beta+\gamma)P] \tag{15}$$

$$\frac{\partial F(z)}{\partial z}=(2z-1)[E-(\beta+\gamma)Py-(1-\Omega)\rho Qx] \tag{16}$$

将均衡点代入上式,对角线元素即为矩阵对应的特征值,如表 3 所示。

基于此判断特征值:①$E-(\beta+\gamma)P+(1-\Omega)\rho Q$;②$E-(\beta+\gamma)P$;③$R_1+G-\alpha L-\rho Q$;④$M-C-W$;⑤$R_1+G-\alpha L-\Omega\rho Q$ 的正负情况并分析各均衡点的博弈稳定性,结果如表 4 所示。

情形 1:当特征值①小于零且④、⑤大于零,即 $E-(\beta+\gamma)P+(1-\Omega)\rho Q<0$;$M-C-W>0$;$R_1+G-\alpha L-\Omega\rho Q>0$。此时,政府选择“积极调控”所产生的额外效益与成本之差大于政府选择“保守调控”时的成本利益之差,因此政府倾向于选择积极调控策略。在此背景下,由于企业的低碳行为产生的效益大于其选择不低碳策略下的投机行为与成本之差,在利润最大化目标下,企业会选择低碳策略获得更多收益,而消费者由于获得的效用与政府补贴之和小于其为低碳产品获得的价格,因此演化趋向于传统消费。为进一步分析各参数对系统演化的影响机制,对上述不等式进行重构,可得关键参数的临界条件,当 $W<M-C$ 时,企业低碳行为的净收益高于其采取非低碳策略下的机会主义收益;当 $R_1+G>\alpha L+\Omega\rho Q$ 时,政府实施积极调控所带来的综合收益高于其成本支出;当 $E<(\beta+\gamma)P-(1-\Omega)\rho Q$ 时,消费者选择低碳产品所获得的效用不足以弥补其支付成本。因此,在上述参数区间内,政府倾向于选择“积极调控”策略,企业倾向于选择“低碳”策略,而消费者趋于“传统消费”。此时,系统演化收敛至稳定均衡点 $E_5(1,1,0)$,对应策略组合为(积极调控,低碳,传统消费)。进一步地,当关键参数达到临界值(如 $W=M-C$ 或 $R_1+G=\alpha L+\Omega\rho Q$)时,系统演化路径可能发生改变,表明不同主体策略选择存在显著的阈值效应。

情形 2:当特征值②、④大于零且③小于零,即 $E-(\beta+\gamma)P>0$;$M-C-W>0$;$R_1+G-\alpha L-\rho Q<0$。在此情境下,消费者因购买低碳商品所获得的环境效用超过支付的费用,因此更倾向于选择低碳产品。在市场供需关系下,企业在综合考虑了不低

表 3 特征值

均衡点	λ_1	λ_2	λ_3
$E_1(0,0,0)$	E	$M-C-W$	$G+R_1+S-\alpha L$
$E_2(1,0,0)$	$E+(1-\Omega)\rho Q$	$M-C-W+S+\Omega\rho Q$	$-(G+R_1+S-\alpha L)$
$E_3(0,1,0)$	$E-(\beta+\gamma)P$	$-(M-C-W)$	$R_1+G-\alpha L-\Omega\rho Q$
$E_4(0,0,1)$	$-E$	$-[\alpha L-R_1-S-G+(1-\Omega)\rho Q]$	$M-C-W+P_1+R$
$E_5(1,1,0)$	$E-(\beta+\gamma)P+(1-\Omega)\rho Q$	$-(M-C-W+S+\Omega\rho Q)$	$-(R_1+G-\alpha L-\Omega\rho Q)$
$E_6(1,0,1)$	$-[E+(1-\Omega)\rho Q]$	$\alpha L-R_1-S-G+(1-\Omega)\rho Q$	$M-C-W+P_1+R+S+\Omega\rho Q$
$E_7(0,1,1)$	$-(E-(\beta+\gamma)P)$	$R_1+G-\alpha L-\rho Q$	$-(M-C-W+P_1+R)$
$E_8(1,1,1)$	$-[E-(\beta+\gamma)P+(1-\Omega)\rho Q]$	$-(R_1+G-\alpha L-\rho Q)$	$-(M-C-W+P_1+R+S+\Omega\rho Q)$

表 4 演化稳定性分析

均衡点	情形 1				情形 2				情形 3			
	λ_1	λ_2	λ_3	稳定性	λ_1	λ_2	λ_3	稳定性	λ_1	λ_2	λ_3	稳定性
$E_1(0,0,0)$	+	+	+	鞍点	+	+	+/−	不稳定	+	+	+	鞍点
$E_2(1,0,0)$	+	+	−	不稳定	+	+	+/−	不稳定	+	+	−	不稳定
$E_3(0,1,0)$	+/−	−	+	不稳定	+	−	+/−	不稳定	+/−	−	+	不稳定
$E_4(0,0,1)$	−	+/−	+	不稳定	−	+/−	+	不稳定	−	+/−	+	不稳定
$E_5(1,1,0)$	−	−	−	ESS	+	−	+/−	不稳定	+	−	−	不稳定
$E_6(1,0,1)$	−	+/−	+	不稳定	−	+/−	+	不稳定	−	+/−	+	不稳定
$E_7(0,1,1)$	+/−	+/−	−	不稳定	−	−	−	ESS	+/−	+	−	不稳定
$E_8(1,1,1)$	+	+/−	−	不稳定	−	+	−	不稳定	−	−	−	ESS

碳策略下的额外成本和寻租行为所带来的风险后，选择采取低碳策略。在市场机制的调节下，消费者和企业实现了局部均衡。与市场的看不见的手相比，政府作为有形的干预者，在进行调控所带来的额外效益与成本之差相对于政府选择“保守调控”时的成本利益之差较小，因此更倾向于采取保守调控策略。这一决策使得市场主体在市场机制和政府调控之间达成一种相对平衡，此时点 $E_7(0,1,1)$ 为演化博弈的稳定均衡点，对应策略组合为（保守调控，低碳，低碳消费）。为进一步分析关键参数的作用机制，将其转化为参数临界形式如下：当 $R_1+G<\alpha L+\rho Q$ 时，政府采取“积极调控”所带来的综合收益低于其成本支出，因此更倾向于选择“保守调控”策略；当 $W<M-C$ 时，企业实施低碳策略的净收益高于其采取非低碳行为所获得的机会主义收益，因此企业倾向于选择低碳生产；当 $E>(\beta+\gamma)P$ 时，消费者购买低碳产品所获得的环境效用超过其支付成本，因此更倾向于选择低碳消费。因此，在上述参数区间内，政府、企业与消费者分别演化至“保守调控—低碳—低碳消费”的策略组合，系统最终收敛于稳定均衡点 $E_7(0,1,1)$。进一步地，当关键参数达到临界状态[如 $E=(\beta+\gamma)P$、$W=M-C$ 或 $R_1+G=\alpha L+\rho Q$]时，各主体策略选择可能发生转变，表明系统演化过程具有显著的参数阈值特征。

情形 3：当特征值①、③、④均大于零，即 $E-(\beta+\gamma)P+(1-\Omega)\rho Q>0$；$R_1+G-\alpha L-\rho Q>0$；$M-C-W>0$。此时，政府选择“积极调控”所产生的额外效益与成本之差大于政府选择“保守调控”时的成本利益之差，因此政府倾向于选择积极调控策略。在政府的激励与监管下，由于企业的低碳行为产生的效益大于其选择不低碳策略下的投机行为与成本之差，在利润最大化目标下，企业会选择低碳策略来获得更多收益。同时，消费者因购买低碳商品所获得的环境效用与政府对于低碳购买行为的补贴超过支付的费用，因此点 $E_8(1,1,1)$ 为演化博弈的稳定均衡点，对应策略组合为（积极调控，低碳，低碳消费）。为进一步分析关键参数的作用机制，将其转化为参数临界形式如下：当 $R_1+G>\alpha L+\rho Q$ 时，政府采取“积极调控”所带来的综合收益高于其成本支出，因此倾向于选择积极调控策略；当 $W<M-C$ 时，企业实施低碳策略的净收益高于其采取非低碳行为所获得的机会主义收益，因此倾向于选择低碳生产；当 $E>(\beta+\gamma)P-(1-\Omega)\rho Q$ 时，消费者购买低碳产品所获得的环境效用与政府补贴之和超过其支付成本，因此更倾向于选择低碳消费。因此，在上述参数区间内，政府、企业与消费者分别演化至“积极调控-低碳-低碳消费”的策略组合，系统最终收敛于稳定均衡点 $E_8(1,1,1)$。进一步地，当关键参数达到临界状态，如 $W=M-C$、$R_1+G=\alpha L+\rho Q$ 或 $E=(\beta+\gamma)P-(1-\Omega)\rho Q$ 时，系统演化路径可能发生跃迁，表明各主体策略选择具有显著的阈值特征。

2.4　演化稳定策略分析

上述理论分析无法直观地反映系统中各个参数对于系统的演化稳定性的影响，因此运用 MATLAB 2022a 软件对主体的策略演化轨迹进行仿真模拟，以验证演化博弈模型的有效性。以下三种情形所采用的参数并非具体现实统计数据，而是基于模型稳定性条件所确定的满足约束关系的一组代表性取值。考虑到演化博弈模型更侧重于刻画各变量之间的相对关系及其对策略演化的影响机制，相关参数主要通过规范化处理，以反映收益与成本之间的相对大小关系，而非其绝对数值。因此，在不同情形下分别选取满足相应不等式约束条件的参数组合，以验证理论分析所得稳定均衡的存在性与演化路径的收敛性。需要说明的是，以下参数取值并非唯一解，而是在可行参数空间中的代表性样本。

（1）当参数设置满足情形 1 时，假设 $C=2$，$M=3.1$，$W=1$，$S=3$，$R=1$，$E=0.5$，$\beta=05$，$\gamma=0.5$，$P=5$，$P_1=2$，$\rho=0.5$，$Q=2$，$\Omega=0.6$，$\alpha=0.5$，$L=2$，$G=4$，$R_1=2$ 符合上述要求，三方的初始比例设为 $(0.5,0.5,0.5)$，系统收敛于点 $(1,1,0)$，仿真结果如图 2 所示。

（2）当参数设置满足情形 2 时，假设 $C=2$，$M=4$，$W=1$，$S=3$，$R=1$，$E=3$，$\beta=0.4$，$\gamma=0.6$，$P=3$，$P_1=2$，$\rho=0.5$，$Q=5$，$\Omega=0.6$，$\alpha=0.5$，$L=2$，$G=2$，

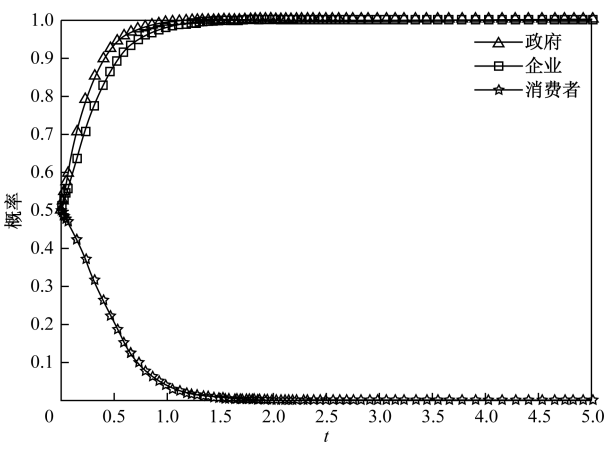


图 2　情形 1 主体演化路径

$R_1=1$ 符合上述要求,三方的初始比例设为(0.5,0.5,0.5),系统收敛于点(0,1,1),仿真结果如图 3 所示。

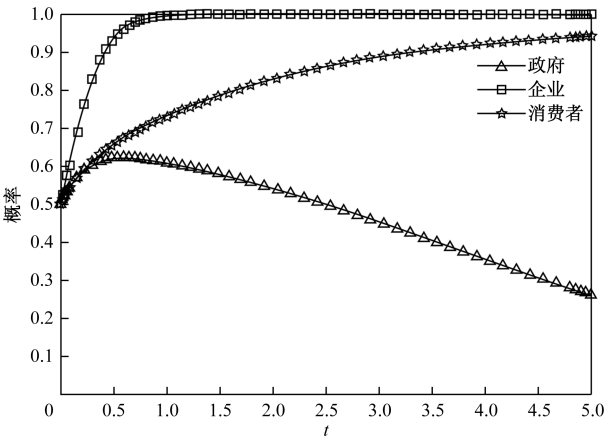


图 3 情形 2 主体演化路径

(3)当参数设置满足情形 3 时假设 $C=2$,$M=4$,$W=1$,$S=3$,$R=1$,$E=3$,$\beta=0.4$,$\gamma=0.6$,$P=3$,$P_1=2$,$\rho=0.5$,$Q=5$,$\Omega=0.6$,$\alpha=0.5$,$L=2$,$G=4$,$R_1=2$ 符合上述要求,三方的初始比例设为(0.5,0.5,0.5),系统收敛于点(1,1,1),仿真结果如图 4 所示。

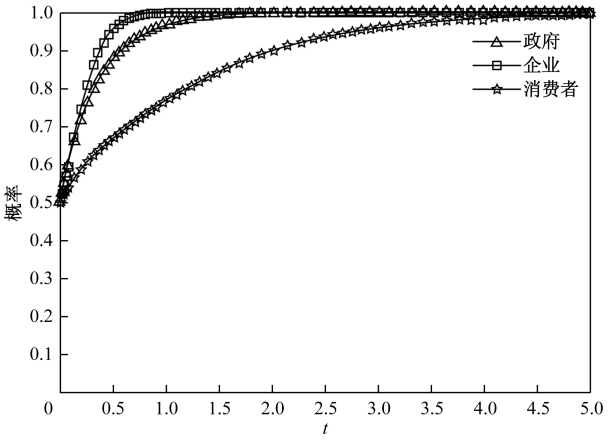


图 4 情形 3 主体演化路径

3 参数敏感性分析

为进一步研究各参数对结果的影响,分析政府宏观调控的对象及时期、消费者对于低碳溢价的接受水平对于三方演化均衡策略的影响。基于上文稳定性条件,结合现实情景并参考李晓华等[3]、丁黎黎等[20]的研究成果中仿真参数的设置方式,进行参数赋值:$C=2$,$M=3.1$,$W=4$,$S=3$,$R=1$,$E=5$,$\beta=0.5$,$\gamma=0.5$,$P=6$,$P_1=2$,$\rho=0.5$,$Q=5$,$\Omega=0.5$,$\alpha=0.5$,$L=2$,$G=1.5$,$R_1=2$。政府、企业、消费者的初始意愿为:$x=y=z=0.5$。

3.1 政府激励敏感性分析

为说明政府激励参数取值范围的合理性,选取政府对低碳生产与消费的综合激励强度作为关键变量,并在满足模型稳定性约束条件的前提下,将其设定为由低到高的三个代表性水平(0.8、2.0、3.2)。上述取值覆盖“低激励-中等激励-高激励”的典型区间,能够反映不同政策强度下系统演化路径的变化特征。需要说明的是,该参数并非具体现实货币量,而是经过规范化处理后的相对强度指标,其变化主要体现政府激励在收益函数中的相对权重。因此,在该区间内进行参数扰动,有助于刻画政府政策强度变化对企业与消费者策略选择的边际影响,从而验证模型结论在不同政策情境下的稳健性。

如图 5~图 7 所示,当政府激励总金额为 0.8 时,企业逐渐趋向于低碳策略,随着政府激励力度的逐渐增强,企业在采纳低碳策略方面的速度增快,这一趋势的背后根植于政府实施的一系列激励措施,如对低碳技术的资助、税收激励及市场准入的便利化等,这些措施使得企业在低碳发展中能够更为有效地平衡经济利益和环保责任。与此同时,消费者和企业按照 Ω 的比例共享政府的激励总金额。在激励力度相对较低的阶段,消费者注重环保因素因而倾向于选择低碳消费,然而随着时间的推移,消费者逐渐意识到获得的效用与政府补贴之和小于其为低碳产品支付的额外费用,基于理性人的假说,因此消费者逐渐回归到传统消费行为。随着政府在激励低碳消费方面的力度提升,消费者对环保因素的认知逐渐深化,强化其对可再生能源的支持、对环保产品的偏好,促使消费者逐步趋向于低碳消费。

然而,政府在积极调控方面的风险也逐步显现。随着激励力度的提升,政府由于其积极调控所承担的风险逐步上升,且超过了选择保守调控时由于环境问题、上级问责等带来的损失。这使得政府在决策时更加谨慎地平衡激励政策的实际效果与可能带来的负面影响。

因此,在调控力度方面,政府需谨慎权衡激励政策的实际效果与可能带来的负面影响。随着激励力度的增强,政府面临更大的环境和上级问责风险,要确保激励政策能有效推动低碳发展,同时避免可能引发的市场不稳定和资源浪费。政府需建立有效监管机制、透明传递政策信息,以及科学评

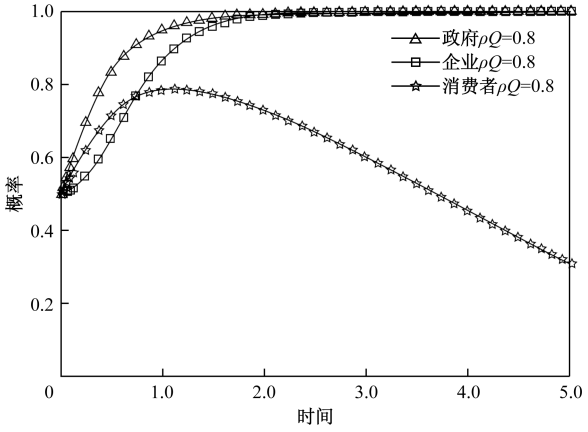


图 5　ρQ＝0.8 时主体演化路径

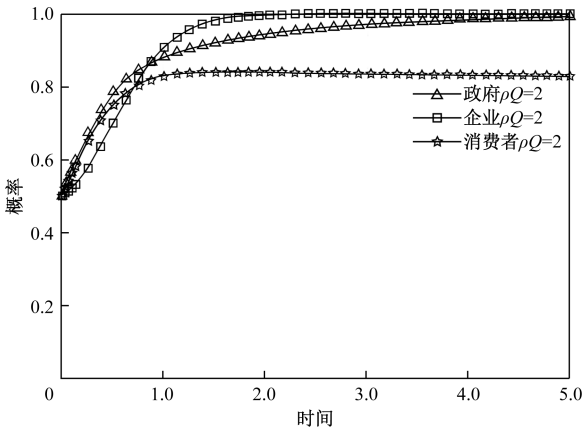


图 6　ρQ＝2 时主体演化路径

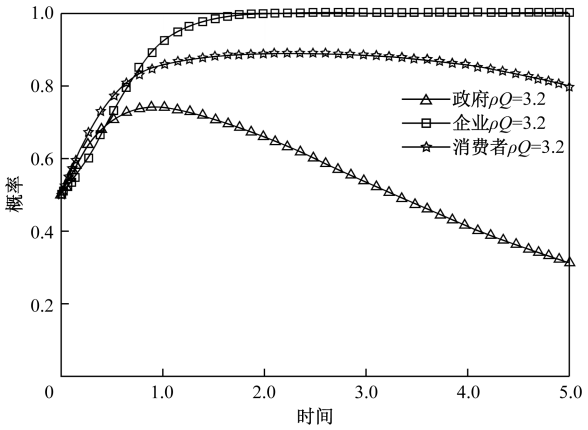


图 7　ρQ＝3.2 时主体演化路径

估激励政策的执行，以维持良好的环保与经济平衡，在提高激励力度的同时，政府应谨防过度激励可能带来的负面效应，通过综合施策实现环保和经济可持续发展的共赢。

为深入分析政府在调控时期和对象选择上的最佳策略，将上述三张图片中企业和消费者的演化路径整合至图 8。随着政府激励力度的逐渐增大，对企业和消费者的演化路径均产生显著影响。具体而言，政府的激励加速了企业趋向低碳生产的演化速度，同时减缓了消费者趋向于传统消费的速度。此外，消费者的演化趋势变化拐点（$t\approx1$）相较于企业的拐点（$t\approx1.5$）更为提前，这可能是由于消费者在购买决策中受到个体经济利益和环保因素的双重影响，其对低碳消费的感知效益变化更为敏感且更为迅速，表明政府在激励政策中需要关注消费者对于低碳消费态度变化趋势，以便更及时地调整和优化激励政策，实现环保和经济的良性互动。

在政府不同激励力度下，企业的演化趋势斜率大于消费者的演化斜率，揭示了在低碳经济的前期发展过程中，政府对于企业引导调控相较于消费者有更为显著的效益。在资源有限的情况下，政府应优先考虑激励企业采取低碳发展策略。同时，消费者演化路径的变化程度较大，表明消费者对于政府激励力度的敏感性较高，可能反映其在购买决策中更加注重个体经济利益和环保因素的平衡，在资源充足的情况下，政府对于消费者的激励效用更为显著。

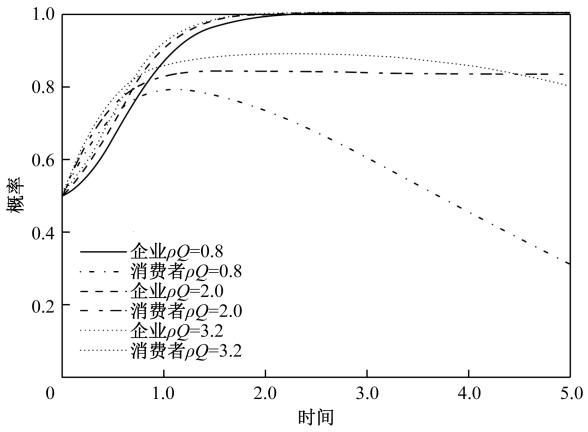


图 8　企业和消费者演化路径

为说明政府激励在企业与消费者之间的分配结构对系统演化的影响，选取政府激励收益分配系数 Ω 作为关键参数进行敏感性分析。考虑到 Ω 取值范围为（0，1），其数值反映政府激励在企业与消费者之间的分配比例，因此选取 $\Omega=0.2$、0.5、0.8 三个具有代表性的取值，分别对应“激励主要倾向企业”“激励均衡分配”“激励主要倾向消费者”三种典型情形，从而刻画不同分配结构下系统演化路径的差异。该参数为比例系数，经过规范化处理后不对应具体货币量，其变化主要体现政府政策在不同

主体之间的倾斜程度。因此,通过在整个定义域内选取具有代表性的离散点进行分析,有助于揭示激励分配结构对三方策略演化的影响机制,并验证模型结论的稳健性。

三方的演化趋势如图 9 所示。政府的补贴作用的分配系数对于政府本身的影响较小,而对于消费的影响相对较大。因此,在调控时期和调控对象选择方面,首先,由于消费者的演化趋势拐点相对提前,政府密切关注消费者对绿色低碳产品的心理感知价值,以更准确地满足其购买需求,并促使市场更快速地向环保产品转变。其次,在资源有限的情况下,鉴于企业对政府宏观调控的敏感性较高,政府在社会公共利益最大化的目标下,适时优先推动企业绿色转型,以实现整个产业链的低碳升级。最后,在资源较为充裕的情况下,消费者对政府的调控敏感度较高,因此可以通过针对性的引导和激励,引导消费者更加积极地参与低碳消费,进一步推动市场向可持续和环保方向发展。

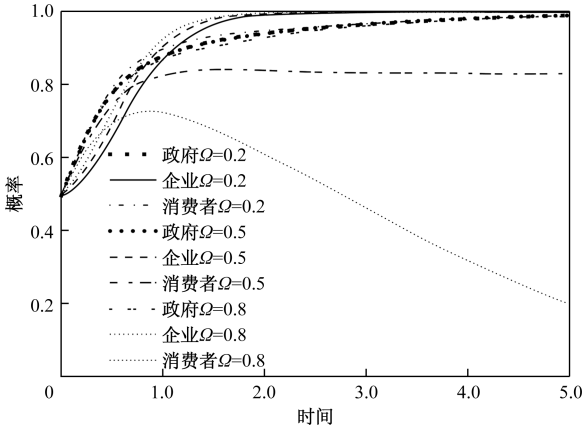


图 9　不同分配系数下主体演化路径

3.2　消费者价格敏感性分析

消费者对于绿色低碳产品的决策受其感知价值 β 和对于产品的需求度 γ 等多维度因素的影响,消费者购买绿色低碳产品所需支付的额外溢价应当控制在合理范围内,过高的低碳消费价格会让消费者望而却步。部分学者已对绿色低碳产品溢价支付意愿进行调查,研究发现碳标签苹果溢价支付比为 35%[21],低碳竹(木)地板溢价支付比为 22.05%[22],低碳蔬菜溢价支付比仅为 6%[23]。

以绿色家电为例,结合家电行业年度报告数据[24],设定传统家电产品均价为 2 200 元/台,并根据格力、美的和松下空调能效价格差,分别设定消费者购买绿色产品溢价 $P=4$、6、12,主体演化趋势如图 10～图 12 所示。当绿色产品的溢价逐步上升时,消费者对绿色低碳产品的需求并未足以抵消价格上的差异,因而消费者购买低碳产品的意愿逐渐下降。

为进一步分析消费者对于绿色产品溢价的接受程度,仿真消费者在溢价 $P=3$～6 时的演化路径,如图 13 所示。结果表明,为达到环保目标,消费

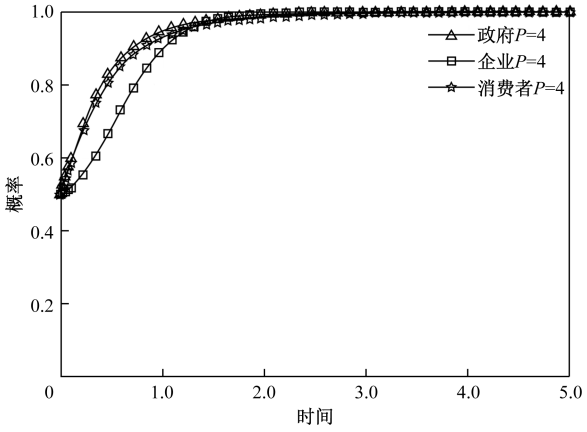


图 10　$P=4$ 时主体演化路径

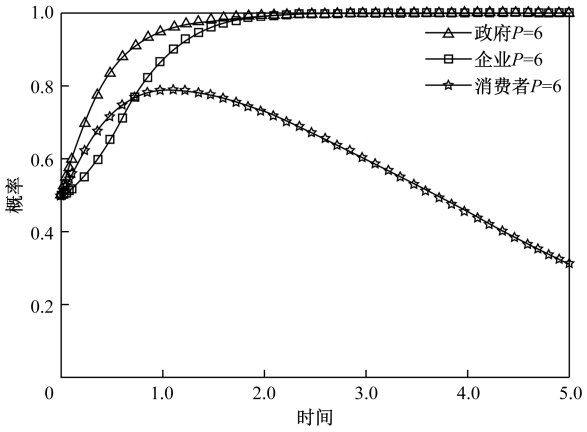


图 11　$P=6$ 时主体演化路径

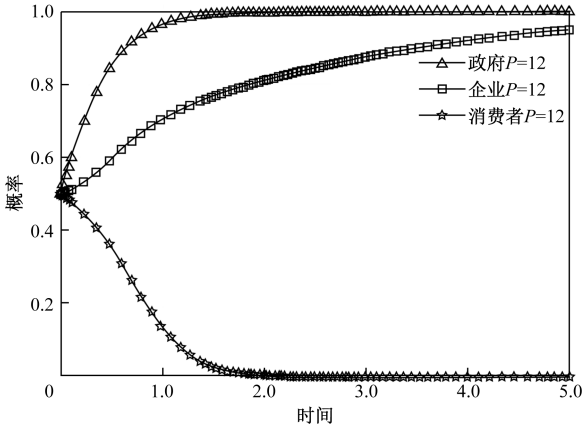


图 12　$P=12$ 时主体演化路径

者愿意在一定程度上支付额外费用，且当绿色产品的溢价小于 5 时，消费者的演化趋势倾向于选择低碳消费。此外，结合家电行业年度报告中的相关描述可以发现，消费者在绿色产品消费中仍存在一定程度的支付约束，其实际支付意愿与产品溢价之间存在差距。这一现象在一定程度上与本文模型分析所得结论相一致，即消费者在进行低碳消费决策时，会在环境效用与经济成本之间进行权衡。

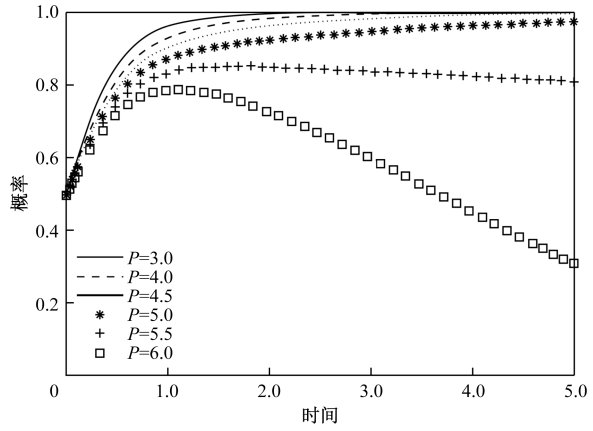


图 13　不同 *P* 时消费者演化路径

4　结论与启示

在绿色低碳经济背景下，政府激励、企业低碳转型、消费者购买决策形成一个复杂的博弈互动体系。通过对政府宏观调控的对象及时期、消费者对于低碳溢价的接受水平等多方面因素的深入研究，本文在政府、企业和消费者三者之间建立了协同演化模型，从而揭示了不同因素对于博弈演化的影响。

首先，政府政策、企业低碳选择与消费者购买行为三者之间存在紧密的博弈耦合关系。企业低碳转型的演化过程不仅依赖于政府的监管和激励政策，还受到环境效用的影响。低碳产品为消费者带来的额外收益越高，消费者的购买决策越偏向于低碳产品。因此，政府的监管和激励政策需要不断优化，在前期引导企业低碳转型的同时，满足市场需求，实现整条产业链的低碳升级。这呼唤着政府在政策制定中更加注重不同阶段的调控策略，实现“前期靠引导，后期看需求”的理想模式化。

其次，在政府激励层面，在资源有限的情况下，优先考虑激励企业采取低碳发展策略，这表明政府在实施激励政策时，应根据产业链的发展阶段和资源分配情况，有针对性地引导企业进行低碳转型。这也强调了政府在调控时期和对象选择方面需要谨慎权衡，以实现环保和经济的双赢。

最后，在低碳溢价层面，消费者对绿色产品溢价存在可接受的区间。研究发现，消费者对低碳产品普遍具有正向支付意愿，但溢价超出一定阈值后会显著抑制低碳消费行为。因此，应加强对消费者感知价值的教育和培训，以提高其对绿色产品的认知和理解，通过引导消费者更积极地参与低碳消费，推动市场向可持续和环保方向发展，形成一个符合低碳经济理念的消费格局。

本文基于演化博弈模型进行理论分析，相关结论侧重于揭示变量之间的作用机制，而未对具体数值进行实证测度。因此，未来研究可进一步融合微观调研数据或企业面板数据，对消费者绿色支付行为、企业寻租敏感度等关键参数进行量化测度，以提升研究结论的现实解释力和政策指导价值。

综合而言，政府、企业和消费者之间的博弈互动在绿色低碳经济中显得尤为重要。政府在制定激励政策时需谨慎平衡实际效果与可能带来的负面影响。通过细致的调控策略，政府可以在促进低碳发展的同时避免市场不稳定和资源浪费，有效的激励政策将加速企业低碳转型，促使消费者更积极地参与低碳消费，从而实现环保和经济可持续发展的共赢。

参考文献

[1] 邬彩霞. 中国低碳经济发展的协同效应研究[J]. 管理世界，2021，37(8)：105-117.

[2] 马丽梅，史丹，裴庆冰. 中国能源低碳转型(2015—2050)：可再生能源发展与可行路径[J]. 中国人口·资源与环境，2018，28(2)：8-18.

[3] 李晓华，邵举平，孙延安. 基于 SD 及三方博弈的低碳供应链消费市场活力激发研究[J]. 工业工程，2021，24(4)：150-159.

[4] ZOU B，JU C，BAO F，et al. Exploring an efficient evolutionary game model for the government-enterprise-public during the double carbon policy in China[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health，2022，19(8)：4607.

[5] 周泽辉，张桂涛，尹晓娜. 低碳背景下政府、企业与低碳服务提供商的演化博弈[J]. 运筹与管理，2023，32(4)：35-40.

[6] 张金泉，温素彬，吕欣，等. 低碳经济下闭环供应链的三方博弈分析[J]. 工业工程与管理，2023，28(4)：60-69.

[7] TIAN T，SUN S. Low-carbon transition pathways in the context of carbon-neutral：a quadrilateral evolutionary game analysis[J]. Journal of Environmental Management，2022，322：116105.

[8] 张凯泽，沈菊琴，徐沙沙，等. 碳排放监管中政府与企业演化博弈及策略研究：基于第三方监督视角[J]. 重庆大

学学报(社会科学版)，2020，26(4)：82-92.
[9] 郑敏娜，任广乾. 企业绿色创新行为的演化博弈分析——基于环保社会组织参与的视角[J]. 运筹与管理，2021，30(3)：15-21.
[10] 陈佳浩. “双碳”目标下政府、制造业企业与消费者的三方博弈[J]. 中国商论，2023(12)：75-78.
[11] 许兰，杨俊，杨丁鉴. 基于演化博弈的智慧能源政策协同关系研究[J]. 中国人口·资源与环境，2025，35(6)：88-99.
[12] 王辉，甘玮，王翔，等. 碳限额及交易下同时考虑制造商和零售商的中小企业低碳供应链补贴策略[J]. 科技管理研究，2023，43(8)：193-202.
[13] 陈婉婷，吴清燕. 政府碳税与补贴政策下双寡头制造企业低碳行为决策研究[J]. 科技与经济，2025，38(3)：76-80.
[14] ZHAO R，GENG Y，LIU Y，et al. Consumers' perception，purchase intention and willingness to pay for carbon-labeled products：a case study of Chengdu in China [J]. Journal of Cleaner Production，2018，171：1664-1671.
[15] BISWAS A，ROY M. Leveraging factors for sustained green consumption behavior based on consumption value perceptions：testing the structural model[J]. Journal of Cleaner Production，2015，95：332-340.
[16] 赵锐，周晓，闵雪峰. 基于系统动力学的碳标签产品购买行为博弈分析[J]. 系统科学学报，2021，29(2)：111-115.
[17] 康慧. 行为经济学视域下山西省居民低碳消费行为研究[J]. 科技和产业，2023，23(23)：52-56.
[18] 罗兴鹏，张向前. 福建省推进绿色转型建设生态文明的演化博弈分析[J]. 华东经济管理，2016，30(9)：19-25.
[19] FRIEDMAN D. Evolutionary games in economics[J]. Econometrica，1991，59(3)：637-666.
[20] 丁黎黎，赵忠超，张凯旋. 感知价值对个人碳账户绿色信贷发展的作用机制研究[J]. 中国管理科学，2025，33(5)：344-355.
[21] 刘鹤，范莉莉. 碳标签产品“溢价”支付意愿及其影响因素研究[J]. 价格理论与实践，2018(5)：123-126.
[22] 彭维亮，顾蕾，胡晨沛，等. 碳标签情景模拟下的消费者低碳竹(木)地板支付意愿[J]. 浙江农林大学学报，2015，32(5)：655-660.
[23] 张孝宇，马佳，张继宁，等. 城市居民低碳农产品支付意愿及影响因素研究——基于上海市低碳蔬菜的实证[J]. 农业现代化研究，2019，40(1)：89-97.
[24] 中国家电行业半年度报告(2023)[J]. 家用电器，2023(9)：16-36.

Research on the Decision-making Mechanism for Collaborative Low-carbon Actions Among Government，Enterprises and Consumers：Based on an Evolutionary Game Perspective

ZHANG Shutong[1]，GUAN Xin[2]，HUANG Zhensheng[2]

(1. Sino-Danish College，University of Chinese Academy of Sciences，Beijing 100190，China；
2. School of Public Policy and Management，University of Chinese Academy of Sciences，Beijing 100190，China)

Abstract：In the context of the low-carbon economy，to explore how to fully leverage the government's macro-control role and stimulate the vitality of the low-carbon consumer market，perceived value and evolutionary game theory were integrated to sort out the interrelationships among the key actors in low-carbon economic development. Based on this，a tripartite evolutionary game model involving the government，enterprises and consumers was constructed. The model was simulated using MATLAB 2022a to analyze the objects and stages of government macro-control，as well as the impact of consumers' acceptance level of low-carbon premiums on the micro-level driving mechanisms and dynamic effects of the game system. The results indicate that the strategies of the government，enterprises and consumers influence each other. When government resources are limited，priority should be given to promoting the green transformation and upgrading of enterprises，while guiding consumers to actively participate in low-carbon consumption through policy measures.

Keywords：low-carbon economy；policy behavior；low-carbon premium；evolutionary game