

# 东北三省绿色住宅开发主体演化博弈

周鲜华,单晶

(沈阳建筑大学管理学院,辽宁沈阳110168)

**摘要:**引入前景理论构建了东北三省绿色住宅开发中3个主体的演化博弈模型,通过MATLAB仿真分析了政府、房地产企业与消费者在不同条件下的演化决策行为。研究表明:降低企业开发绿色住宅的增量成本,提高企业开发绿色住宅的增量收益,提高政府对企业不开发绿色住宅的单位惩罚系数,提高消费者购买绿色住宅的收益,保持消费者购买绿色住宅的支付成本在一定范围内更有利于复制动态系统达到采取措施,开发绿色住宅,购买绿色住宅的理想稳定状态。

**关键词:**绿色住宅;前景理论;演化博弈;仿真分析

**中图分类号:**F293.34

**文献标志码:**A

《中国建筑能耗研究报告(2020)》显示,2018年全国建筑全寿命周期能耗总量为 $6.29 \cdot 10^{19}$ J,占全国能源消耗总量的比例为46.5%,其中建筑运行阶段能耗总量为 $2.93 \cdot 10^{19}$ J,占建筑全寿命周期能耗46.6%<sup>[1]</sup>。因此在强调经济高质量发展的今天,以低碳节能为特点的绿色住宅成为建筑领域未来的发展趋势。然而在当前阶段,东北三省(黑龙江、吉林、辽宁)的绿色住宅的发展水平与全国绿色住宅发展的平均水平相比还有一定差距,加之东北三省的住宅因长时间供暖造成能源消耗与碳排放问题较为严重,因此亟需采取有效措施推动东北三省绿色住宅的开发。笔者采用演化博弈方法对绿色住宅开发过程中政府、房地产企业以及消费者的关系进行刻画,通过仿真分析来观察3个主体间的演化机制,从而找到阻碍东北三省绿色住宅开发的关键因素,提出针对性建议,协同推动东北三省绿色住宅的开发。

## 一、国内研究现状

近年来,关于绿色住宅相关利益主体间博弈策略的研究颇为丰富。李婉红等<sup>[2]</sup>探讨绿色技术创新活动中相关利益主体的角色和作用,得出了政府、企业及公众3个参与主体间行为选择策略是互相依存的。黄定轩等<sup>[3]</sup>建立了绿色建筑供给侧演化博弈模型,阐明了开发商与政府的行为演化特征。王志强<sup>[4]</sup>等构建了政府、开发商、购房者三方博弈模型,分析了政府激励与惩罚并行策略下被动式住宅市场中主体行为演化过程。与此同时,将前景理论引入演化博弈中去分析利益主体的行为选择的研究也层见叠出。冯琳云<sup>[5]</sup>将前景理论应用于演化博弈论中,构建了区别于传统期望收益矩阵的收益感知矩阵。陈艳等<sup>[6]</sup>将心理账户理论与前景理论相结合应用于PPP项目参与方风险管理行为演化博弈模型的构建。郭斌等<sup>[7]</sup>结合前景理论,对政府、社会资本、小区居民3个主

体在老旧小区增设电梯中的决策行为进行了演化博弈分析。

综上所述,目前将前景理论应用于演化博弈论中对决策主体决策行为进行分析的研究比较多,但将其应用于绿色住宅开发中的研究较少。前景理论考虑了参与者的主观认知,认为个人的主观偏好和期望目标是参与者策略选择的关键,其与演化博弈方法的结合可解决传统演化博弈方法没有考虑参与者主观认知的这一问题。因此笔者将前景理论引入博弈中,通过建立政府、房地产企业和消费者的博弈模型,探究3个主体在绿色住宅开发中行为策略的演化规律。

## 二、三方主体演化博弈模型构建及分析

### 1. 主体分析

依据文献[8],绿色住宅开发中涉及的核心利益主体包括政府、开发商和消费者。鉴于此,选取政府、房地产企业和消费者作为东北三省绿色住宅开发中的博弈主体,3个主体间的交互关系如图1所示。

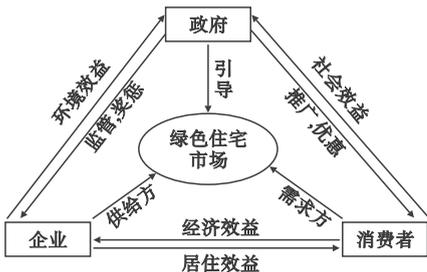


图1 三方主体的交互关系

由图1可知,房地产企业与消费者作为绿色住宅市场的供需两端,决定着绿色住宅的发展,政府作为第三方主要作用在绿色住宅市场失效时,采取引导措施来激发供给端与需求端。政府实施监管的成本、奖惩支出,以及促进绿色住宅开发后获得的效益会影响政府的策略选择。房地产企业决策的主要动因在于经济效益,企业开发绿色住宅所获收益以及付出的成本会影响企业的策略选择。消费者决策的主要动因包括成本与居住效益,而这两方面由房地产企业所决定,购房成本与入住后获得的居住效益会影响消费者的策略选择。

### 2. 基本假设与参数设定

应用前景理论与演化博弈论建立模型要有一定的前提假设,因此基于东北三省政府、房地产企业和消费者之间的关系提出相应假设,并对涉及的参数进行设置。

假设1:政府、房地产企业和消费者都是有限理性的,三者的策略选择受自身的主观偏好以及信息的掌握情况影响。

假设2:假设在东北三省绿色住宅开发过程中只有政府、房地产企业及消费者3个主体的参与,其中政府可以采取相关措施促进绿色住宅的供需两端,也可以不对绿色住宅市场进行引导即不采取任何措施,因而政府的策略集为{采取,不采取};假设房地产企业只提供绿色住宅和传统住宅两种产品,则房地产企业的策略集为{开发绿色住宅,开发传统住宅};无论房地产企业开发何种类型住宅,消费者都有权选择购买或不购买,所以消费者的策略集为{购买,不购买}。

假设3:假设价值函数中损益参照点的价值为0。

假设4:假定政府采取措施的概率为 $x$ ,不采取的概率为 $1-x$ ;企业开发绿色住宅的概率为 $y$ ,开发传统住宅的概率为 $1-y$ ;消费者购买绿色住宅的概率为 $z$ ,不购买的概率为 $1-z$ ,其中, $x, y, z \in [0, 1]$ 。

假设5:假设各参数均大于0且为常数。

参数设置为: $R_g$ 为政府的基础收益,主要来自于传统住宅供求两端的税收; $\Delta R_g$ 为政府采取措施后促进绿色住宅开发所获得的额外期望收益,包括增量税收、社会效益和环境效益; $C_g$ 为政府采取措施后需要付出的成本; $C_{eg}$ 为企业不开发绿色住宅引起的环境问题给政府带来的环境整治成本; $R_e$ 为企业开发传统住宅的收益; $\Delta R_e$ 为企业开发绿色住宅的增量收益; $C_e$ 为企业开发传统住宅的成本; $\Delta C_e$ 为企业为开发绿色住宅所付出的增量成本; $R_c$ 为消费者购买传统住宅的收益; $\Delta R_c$ 为相较于购买传统住宅而言,消费者购买绿色住宅获得的增量收益,包括使用过程中减少的能耗费用以及居住舒适性带来的增

量居住效益; $C_c$  为消费者购买传统住宅的支付成本; $\Delta C_c$  为相较于购买传统住宅,消费者购买绿色住宅多支付的成本; $C_{ec}$  为企业不开发绿色住宅引起的环境问题给消费者带来的环境影响损失; $l$  为政府对企业开发绿色住宅的单位补贴系数,以企业开发绿色住宅成本为基数; $m$  为政府对购买绿色住宅的消费者的单位补贴系数,以消费者购买绿色住宅成本为基数; $n$  为政府对企业不开发绿色住宅

的单位惩罚系数,以企业开发传统住宅成本为基数。为表示参数之间的传递关系,每个参数均由不同系数表示(见图 2), $w_1, w_2, w_3, w_4, w_5, u_1, u_2, u_3$  分别为等号前后两个参数的比例关系; $u_4$  为房地产税率,其中, $w_1, w_2, w_4, w_5 \geq 1; w_3 \leq 1; u_1, u_2, u_3, u_4 < 1$ 。

3. 模型构建

根据以上假设和参数设定构建  $3 \times 3$  非对称博弈模型,收益感知矩阵如表 1 所示。

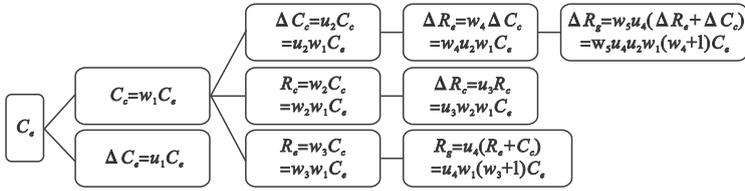


图 2 参数的传递关系

表 1 政府、房地产企业和消费者收益感知矩阵

博弈主体		策略选择	政府	
			采取(x)	不采取(1-x)
房地 产企 业	开发绿 色住宅 (y)	消费者 购买 (z)	$v(R_g) + v(\Delta R_g) + v(-C_g) + v(-l(C_e + \Delta C_e)) + v(-m(C_c + \Delta C_c));$ $v(R_e) + v(\Delta R_e) + v(l(C_e + \Delta C_e)) + v(-C_e) + v(-\Delta C_e);$ $v(R_c) + v(\Delta R_c) + v(m(C_c + \Delta C_c)) + v(-C_c) + v(-\Delta C_c)$	$v(R_g);$ $v(R_e) + v(\Delta R_e) + v(-C_e) + v(-\Delta C_e);$ $v(R_c) + v(\Delta R_c) + v(-C_c) + v(-\Delta C_c)$
		不购买 (1-z)	$v(-C_g) + v(-l(C_e + \Delta C_e));$ $v(l(C_e + \Delta C_e)) + v(-C_e) + v(-\Delta C_e);$ 0	0; $v(-C_e) + v(-\Delta C_e);$ 0
开发传 统住宅 (1-y)	消费 者	购买 (z)	$v(R_g) + v(nC_e) + v(-C_g) + v(-C_{eg});$ $v(R_e) + v(-C_e) + v(-nC_e);$ $v(R_c) + v(-C_c) + v(-C_{ec})$	$v(R_g) + v(-C_{eg});$ $v(R_e) + v(-C_e);$ $v(R_c) + v(-C_c) + v(-C_{ec})$
		不购买 (1-z)	$v(nC_e) + v(-C_g) + v(-C_{eg});$ $v(-C_e) + v(-nC_e);$ $v(-C_{ec})$	$v(-C_{eg});$ $v(-C_e);$ $v(-C_{ec})$

4. 演化稳定策略分析

(1) 稳定点求解

根据收益感知矩阵,可以求得政府不同策略选择的期望感知价值。令政府采取措施的期望感知价值为  $U_{G1}$ ,不采取措施的期望感知价值为  $U_{G2}$ 。

其中, $U_{G1}$ 与  $U_{G2}$ 分别为

$$U_{G1} = yz(v(R_g) + v(\Delta R_g) + v(-C_g) + v(-l(C_e + \Delta C_e)) + v(-m(C_c + \Delta C_c))) + y(1-z)(v(-C_g) + v(-l(C_e + \Delta C_e))) + (1-y)z(v(R_g) + v(nC_e) + v(-C_g) +$$

$$v(-C_{eg})) + (1-y)(1-z)(v(nC_e) + v(-C_g) + v(-C_{eg})) \quad (1)$$

$$U_{G2} = yzv(R_g) + (1-y)z(v(R_g) + v(-C_{eg})) + (1-y)(1-z)v(-C_{eg}) \quad (2)$$

政府的平均期望感知价值  $U_G$  为

$$U_G = xU_{G1} + (1-x)U_{G2} = x[yz(v(R_g) + v(\Delta R_g) + v(-C_g) + v(-l(C_e + \Delta C_e)) + v(-m(C_c + \Delta C_c))) + y(1-z)(v(-C_g) + v(-l(C_e + \Delta C_e))) + (1-y)z(v(R_g) + v(nC_e) + v(-C_g) + v(-C_{eg})) + (1-y)(1-z)(v(nC_e) + v(-C_g) + v(-C_{eg}))] +$$

$$(1-x)[yzv(R_g) + (1-y)z(v(R_g) + v(-C_{eg})) + (1-y)(1-z)v(-C_{eg})] \quad (3)$$

政府的复制动态方程为

$$F(x) = dx/dt = x(U_{G1} - U_G) = x(1-x)[yz(v(\Delta R_g) + v(-m(C_c + \Delta C_c))) + y(v(-l(C_e + \Delta C_e)) - v(nC_e)) + v(nC_e) + v(-C_g)] \quad (4)$$

同理可得房地产企业复制动态方程为

$$F(y) = dy/dt = y(U_{E1} - U_E) = y(1-y)[x(v(l(C_e + \Delta C_e)) - v(-nC_e)) + zv(\Delta R_e) + v(-\Delta C_e)] \quad (5)$$

消费者的复制动态方程为

$$F(z) = dz/dt = z(U_{C1} - U_C) = z(1-z)[xy(v(m(C_c + \Delta C_c)) + y(v(\Delta R_c) + v(-\Delta C_c)) + v(R_c) + v(-C_c))] \quad (6)$$

(2) 稳定策略分析

令  $F(x) = F(y) = F(z) = 0$ , 求得系统的均衡点。如果演化博弈均衡  $x$  是渐近稳定点, 则  $x$  一定是纯策略纳什均衡<sup>[9]</sup>。因此, 只有  $(0, 0, 0), (1, 0, 0), (0, 1, 0), (0, 0, 1), (1, 1, 0), (1, 0, 1), (0, 1, 1), (1, 1, 1)$  这 8 个点符合条件。接着通过雅克比矩阵对这 8 个点的稳定性进行判断, 雅克比矩阵为

$$J = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}$$

其中, 各项分别为

$$a_{11} = (1-2x)[yz(v(\Delta R_g) + v(-m(C_c + \Delta C_c))) + y(v(-l(C_e + \Delta C_e)) - v(nC_e)) + v(nC_e) + v(-C_g)]$$

$$a_{12} = x(1-x)[z(v(\Delta R_g) + v(-m(C_c + \Delta C_c))) + v(-l(C_e + \Delta C_e)) - v(nC_e)]$$

$$a_{13} = x(1-x)y(v(\Delta R_g) + v(-m(C_c + \Delta C_c)))$$

$$a_{21} = y(1-y)(v(l(C_e + \Delta C_e)) - v(-nC_e))$$

$$a_{22} = (1-2y)[x(v(l(C_e + \Delta C_e)) - v(-nC_e)) + zv(\Delta R_e) + v(-\Delta C_e)]$$

$$a_{23} = y(1-y)v(\Delta R_e)$$

$$a_{31} = z(1-z)y(v(m(C_c + \Delta C_c)))$$

$$a_{32} = z(1-z)[x(v(m(C_c + \Delta C_c)) + v(\Delta R_c) + v(-\Delta C_c))]$$

$$a_{33} = (1-2z)[xy(v(m(C_c + \Delta C_c)) + y(v(\Delta R_c) + v(-\Delta C_c)) + v(R_c) + v(-C_c))]$$

若均衡点的特征值  $\lambda$  全部小于 0, 则该点为演化博弈的稳定点<sup>[10]</sup>。8 个均衡点的特征值及正负情况如表 2 所示。

表 2 各均衡点特征值及正负情况

均衡点	特征值及正负情况					结果
	$\lambda_1$	正负情况	$\lambda_2$	正负情况	$\lambda_3$	
$E_1(0, 0, 0)$	$v(nC_e) + v(-C_g)$		$v(-\Delta C_e)$	-	$v(R_c) + v(-C_c)$	不确定
$E_2(1, 0, 0)$	$-v(nC_e) - v(-C_g)$		$v(l(C_e + \Delta C_e)) - v(-nC_e) + v(-\Delta C_e)$		$v(R_c) + v(-C_c)$	不确定
$E_3(0, 1, 0)$	$v(-l(C_e + \Delta C_e)) + v(-C_g)$	-	$-v(-\Delta C_e)$	+	$v(\Delta R_c) + v(-\Delta C_c) + v(R_c) + v(-C_c)$	不稳定
$E_4(0, 0, 1)$	$v(nC_e) + v(-C_g)$		$v(\Delta R_e) + v(-\Delta C_e)$		$-v(R_c) - v(-C_c)$	不确定
$E_5(1, 1, 0)$	$-v(-l(C_e + \Delta C_e)) - v(-C_g)$	+	$-v(l(C_e + \Delta C_e)) + v(-nC_e) - v(-\Delta C_e)$		$v(m(C_c + \Delta C_c)) + v(\Delta R_c) + v(-\Delta C_c) + v(R_c) + v(-C_c)$	不稳定
$E_6(1, 0, 1)$	$-v(nC_e) - v(-C_g)$		$v(l(C_e + \Delta C_e)) - v(-nC_e) + v(\Delta R_e) + v(-\Delta C_e)$		$-v(R_c) - v(-C_c)$	不确定
$E_7(0, 1, 1)$	$v(\Delta R_g) + v(-m(C_c + \Delta C_c)) + v(-l(C_e + \Delta C_e)) + v(-C_g)$		$-v(\Delta R_e) - v(-\Delta C_e)$		$-v(\Delta R_c) - v(-\Delta C_c) - v(R_c) - v(-C_c)$	不确定
$E_8(1, 1, 1)$	$-v(\Delta R_g) - v(-m(C_c + \Delta C_c)) - v(-l(C_e + \Delta C_e)) - v(-C_g)$		$-v(l(C_e + \Delta C_e)) + v(-nC_e) - v(\Delta R_e) - v(-\Delta C_e)$		$-v(m(C_c + \Delta C_c)) - v(\Delta R_c) - v(-\Delta C_c) - v(R_c) - v(-C_c)$	不确定

由表2可知,由于存在特征值大于0的情况,因此点 $E_3(0,1,0)$ 与点 $E_5(1,1,0)$ 为不稳定点;其余6个点由于特征值正负情况无法完全确定,因此稳定性无法确定。当消费者决定购买传统住宅时,其对所获收益的感知价值必定大于支出成本的感知价值,即 $v(R_c) > -v(-C_c)$ ,这与实际情况相符,因此点 $E_1(0,0,0)$ 和点 $E_2(1,0,0)$ 为不稳定点。对于剩余4个点,由于点 $E_4(0,0,1)$ 与点 $E_6(1,0,1)$ 所达到的稳定状态为企业开发传统住宅,与本研究探讨的企业开发绿色住宅的条件无关,故不予讨论。当 $-v(-m(C_c + \Delta C_c)) - v(-l(C_e + \Delta C_e)) - v(-C_g) > v(\Delta R_g)$ ,  $v(\Delta R_e) > -v(-\Delta C_e)$ ,且 $v(R_c) + v(\Delta R_c) > -v(-C_c) - v(-\Delta C_c)$ 时,点 $E_7(0,1,1)$ 为稳定点,此时即使政府不采取措施,房地产企业依旧会选择开发绿色住宅,消费者也会选择购买绿色住宅,但这种条件在现实中很难实现。当 $-v(-m(C_c + \Delta C_c)) - v(-l(C_e + \Delta C_e)) - v(-C_g) < v(\Delta R_g)$ ,  $v(\Delta R_e) + v(l(C_e + \Delta C_e)) - v(-nC_e) > -v(-\Delta C_e)$ ,且 $v(m(C_c + \Delta C_c)) + v(\Delta R_c) + v(R_c) > -v(-C_c) - v(-\Delta C_c)$ 时,点 $E_8(1,1,1)$ 为稳定点,此时政府会采取措施,房地产企业会开发绿色住宅,消费者会购买绿色住宅,这是既符合现实亦是最理想的情况。

### 三、仿真分析

#### 1. 参数赋值与仿真模拟

由上述分析可知,当参数取值符合不同的条件时,最终的演化稳定策略是不同的。为观察参数取值变化对演化路径的影响,对各参数进行赋值并进行仿真分析,其中, $u_4 = 0.11$ ,  $w_5 = 1.5$ ,  $C_g = 2$ ,  $w_4 = 1.2$ ,  $C_e = 5\ 500$ ,  $u_1 = 0.1$ ,  $w_2 = 1.7$ ,  $u_3 = 0.003$ ,  $w_1 = 1.5$ ,  $u_2 = 0.05$ ,  $l = 0.003$ ,  $m = 0.002$ ,  $n = 0.04$ ,  $\theta = 0.88$ ,  $\lambda = 1.5$ 。参数 $C_e$ 的取值是根据国家统计局中2019—2020年东北三省的房地产数据得到; $u_1$ 、 $u_2$ 的取值是通过查阅文献得到<sup>[11-12]</sup>;  $u_4$ 、 $l$ 、 $m$ 、 $n$ 的取值是根据相关政

策文件得到; $\theta$ 、 $\lambda$ 是前景价值函数中的系数,前景价值函数为

$$v(x) = \begin{cases} (x)^\theta, & x \geq 0 \\ -\lambda(-x)^\theta, & x < 0 \end{cases} \quad (7)$$

其中, $\theta$ 取值是由Tversky等专家经测算所得; $C_g$ 、 $C_e$ 的量纲为元/ $m^2$ 。运用MATLAB仿真工具进行仿真分析,结果如图3所示。

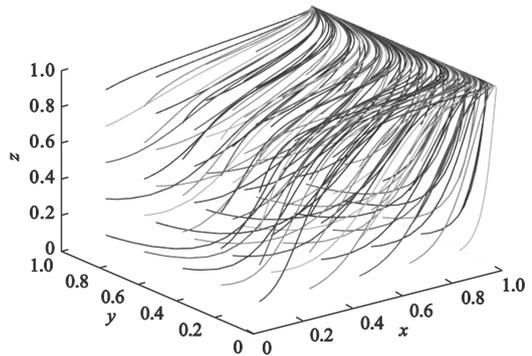


图3 仿真模拟结果

从图中可以看出在该组赋值中,无论 $x$ 、 $y$ 、 $z$ 初始值为多少,最终的演化稳定点都是 $(1,1,1)$ ,但当 $x$ 、 $y$ 、 $z$ 增大时,演化到稳定状态的时间将随之缩短。说明当参数取值符合一定条件时,无论政府、房地产企业与消费者选择采取措施、开发绿色住宅与购买的初始概率为多少,最终的演化稳定策略都为{采取措施,开发绿色住宅,购买},但当初始概率越大时,演化到这一稳定状态的时间就越短。

#### 2. 参数取值对稳定策略的影响

##### (1) 政府层面参数

政府所能控制的参数对演化路径的影响如图4所示,对三方演化策略的分析如表3所示。

##### (2) 房地产企业层面参数

房地产企业所能控制的参数对演化路径的影响如图5所示,对三方演化策略的分析如表4所示。

##### (3) 消费者层面参数

消费者所能控制的参数对演化路径的影响如图6所示,对三方演化策略的分析如表5所示。

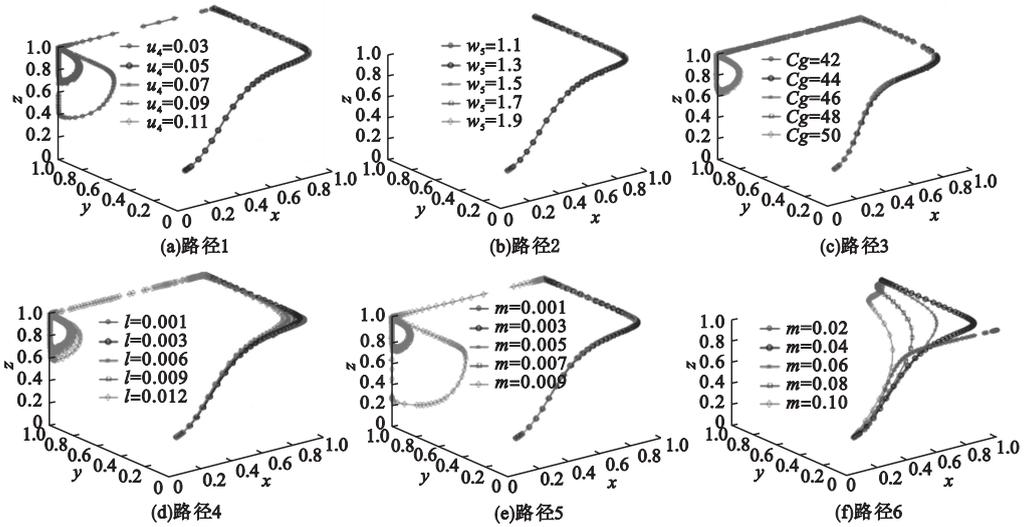


图 4 政府参数对演化路径的影响

表 3 政府参数变化对三方演化策略的影响

影响因素	演化路径	x	y	z	临界值
房地产税	路径 1	小于临界值 $a_1$ , 不采取措施	小于临界值 $a_1$ , 不稳定	小于临界值 $a_1$ , 不稳定	$0.05 > a_1 > 0.03$ ; $u_4 \geq a_1$
政府采取措施后促进绿色住宅开发所获得的额外期望收益	路径 2	采取措施	开发绿色住宅	购买	—
政府采取措施后需要付出的成本	路径 3	大于临界值 $b_1$ , 不采取措施	大于临界值 $b_2$ , 不稳定	大于临界值 $b_2$ , 不稳定	$48 > b_1 > 46$ ; $50 > b_2 > 48$ ; $C_g \leq b_1$
政府对企业开发绿色住宅的单位补贴系数	路径 4	大于临界值 $c_1$ , 不采取措施	大于临界值 $c_1$ , 不稳定	大于临界值 $c_1$ , 不稳定	$0.012 > c_1 > 0.009$ ; $l \leq c_1$
政府对购买绿色住宅消费者的单位补贴系数	路径 5	大于临界值 $d_1$ , 不采取措施	大于临界值 $d_1$ , 不稳定	大于临界值 $d_1$ , 不稳定	$0.009 > d_1 > 0.007$ ; $m \leq d_1$
政府对企业不开发绿色住宅的单位惩罚系数	路径 6	采取措施	小于临界值 $e_1$ , 开发传统住宅	购买	$0.04 > e_1 > 0.02$ ; $n \geq e_1$

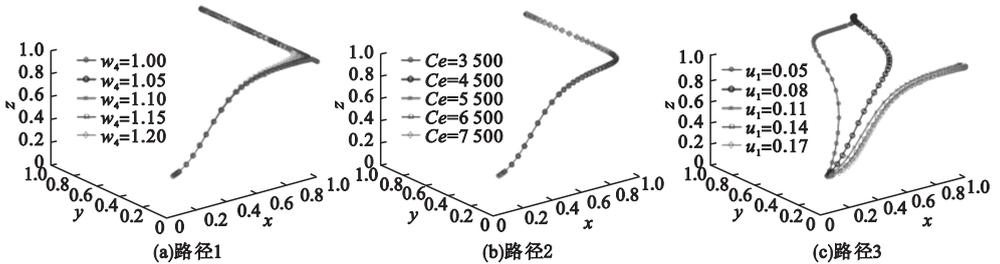


图 5 房地产企业参数对演化路径的影响

表 4 房地产企业参数变化对三方演化策略的影响

影响因素	演化路径	x	y	z	临界值
企业开发绿色住宅的增量收益	路径 1	采取措施	小于临界值 $f_1$ , 开发传统住宅	购买	$433 > f_1 > 413$ ; $\Delta R_e \geq f_1$
企业开发传统住宅的成本	路径 2	采取措施	开发绿色住宅	购买	—
企业为开发绿色住宅所付出的增量成本	路径 3	采取措施	大于临界值 $g_1$ , 开发传统住宅	购买	$605 > g_1 > 404$ ; $\Delta C_e \leq g_1$

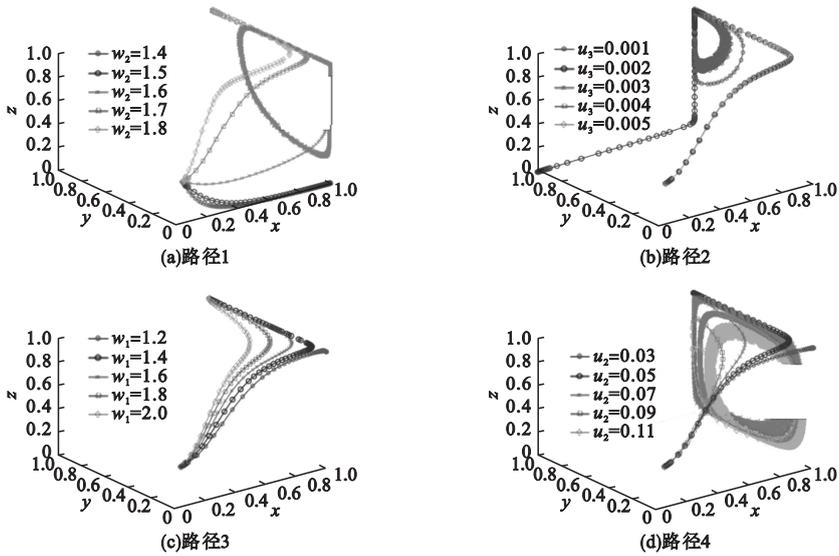


图 6 消费者参数对演化路径的影响

表 5 消费者参数变化对三方演化策略的影响

影响因素	演化路径	x	y	z	临界值
消费者购买传统住宅的收益	路径 1	采取措施	大于临界值 $h_1$ , 开发绿色住宅	大于临界值 $h_1$ , 购买	$14\ 025 > h_1 > 13\ 200$ ; $R_c \geq h_1$
消费者相较于购买传统住宅 购买绿色住宅获得的增量收益	路径 2	大于临界值 $i_1$ , 采取措施	大于临界值 $i_2$ , 开发绿色住宅	大于临界值 $i_1$ , 购买	$48 > i_1 > 28$ ; $28 > i_2 > 14$ ; $\Delta R_c \geq i_1$
消费者购买传统住宅 支付的成本	路径 3	采取措施	大于临界值 $j_1$ , 开发绿色住宅	购买	$7\ 700 > j_1 > 6\ 600$ ; $C_c \geq j_1$
消费者购买绿色住宅时 支付的高于传统住宅的成本	路径 4	采取措施	大于临界值 $k_1$ , 开发绿色住宅	大于临界值 $k_2$ , 不稳定	$413 > k_1 > 248$ ; $578 > k_2 > 413$ ; $k_2 \geq \Delta C_c \geq k_1$

## 四、结论与建议

### 1. 结论

将前景理论应用于政府、房地产企业和消费者三方演化博弈模型的构建中,得到了演化稳定策略以及实现最优稳定状态的条件,并通过 MATLAB 对演化路径进行仿真分析,得到了对东北三省绿色住宅开发中 3 个主体策略选择产生影响的关键因素。就政府而言,对企业与消费者的经济补贴不宜过高,对企业不开发绿色住宅的惩罚系数应提高;就房地产企业而言,策略选择的关键在于开发绿色住宅的增量收益与增量成本;就消费者而言,消费者购买绿色住宅的收益不仅会影响其自身策略选择,而且会间接影响政府与企业的策略选择,消费者购买绿色住宅的成本是企业开发绿色住宅收益的重要组成部分,因此要控制在合理范围内。

### 2. 建议

基于前面的分析,分别就影响 3 个主体策略选择的关键因素提出如下建议。

对于东北三省的政府而言,首先应调整向房地产企业与消费者所征收的房地产税率。其次应降低对企业与消费者的补贴系数,对于企业可以拓展激励渠道如推动绿色金融、提供贷款优惠、降低绿色住宅认证费等;对于消费者可以采取贷款优惠、使用过程中降低水电费,减少采暖费等激励措施。最后应提高对企业不开发绿色住宅的单位惩罚系数,起到反向促进企业开发绿色住宅的目的。

对于东北三省的房地产企业而言,首先要提高企业开发绿色住宅的增量收益,房地产企业应起带头作用,主动整合绿色供应链。作为政府可对实施绿色住宅的企业年检、企业资质升级方面予以优先。其次要降低企业开发绿色住宅的增量成本,具体措施包括加

强技术研发推广、因地制宜进行设计、加强 BIM 技术的应用、加快形成绿色住宅产业化等。

对于东北三省的消费者而言,要提高消费者购买绿色住宅的收益,作为政府可通过加强宣传以向消费者科普绿色住宅的增量效益、完善绿色住宅的评价标准、提高绿色住宅健康性能;作为企业可以完善绿色住宅的节能设计、提高消费者对绿色住宅的价值感知性、优化绿色住宅的相关配套服务。

### 参考文献:

- [1] 中国建筑能耗研究报告 2020 [J]. 建筑节能(中英文),2021,49(2):1-6.
- [2] 李婉红,李娜,刘芳.绿色技术创新利益相关者的三群体演化博弈及其仿真[J].运筹与管理,2021,30(9):216-224.
- [3] 黄定轩,陈梦娇,黎昌贵.绿色建筑项目供给侧主体行为演化博弈分析[J].桂林理工大学学报,2019,39(2):482-491.
- [4] 王志强,刘硕,张樵民.基于三方博弈的被动式住宅市场主体行为研究[J].沈阳建筑大学学报(社会科学版),2020,22(5):485-493.
- [5] 冯琳云.基于前景理论的绿色技术创新主体行为博弈及演化研究[D].成都:四川师范大学,2021.
- [6] 陈艳,吕云翔,谢运慧.基于 PT-MA 理论的 PPP 项目风险管理行为演化博弈分析[J].系统科学学报,2020,28(4):65-70.
- [7] 郭斌,信小涛,宋禹均,等.前景理论视角下社会资本参与老旧小区增设电梯路径研究[J].工程管理学报,2021,35(1):83-88.
- [8] 姚浩娜.利益相关者视角下绿色住宅推广机制研究[D].济南:山东建筑大学,2020.
- [9] 陈立文,张孟佳.基于前景理论的既有建筑绿色改造多主体演化博弈[J].土木工程与管理学报,2021,38(5):7-15.
- [10] 魏益华,陈旭琳,邹晓峰.数据共享、企业策略和政府监督激励:基于演化博弈分析[J].财经科学,2020(4):107-120.
- [11] 薛凡,申玲,钱经.绿色住宅建筑增量成本影响因素[J].土木工程与管理学报,2019,36(1):194-200.
- [12] 杨木旺,侯盼龙,叶雨晨.中国高星级绿色住宅溢价的影响因素及其区域异质性:基于 Hedonic 模型的实证研究[J].华东师范大学学报(哲学社会科学版),2020,52(2):181-192.

## Evolutionary Game of Green Housing Development Subject in Three Northeast Provinces

ZHOU Xianhua, SHAN Jing

(School of Management, Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110168, China)

**Abstract:** The prospect theory is introduced to construct the evolutionary game model of the three subjects in the green housing development in the three northeastern provinces, and this paper analyzes the evolutionary decision-making behaviors of the government, real estate enterprises and consumers under different conditions through MATLAB simulation. Research indicates reducing the incremental cost of developing green housing for enterprises, increasing the incremental income of developing green housing for enterprises, increasing the unit penalty coefficient of government on enterprises without developing green housing, improving the income of consumers buying green housing, and keeping the payment cost of consumers buying green housing within a certain range, which is more conducive to the game to the reasonably stable status of copying dynamic system to take measures, developing green housing and purchasing green houses.

**Key words:** green house; prospect theory; evolutionary game; simulation analysis

(责任编辑:徐聿聪 英文审校:林昊)