

绿色民航发展的三方演化博弈研究

文 军, 熊一夫

(中国民用航空飞行学院 机场学院, 四川 广汉 618307)

摘要:为推动我国民航绿色发展,实现碳达峰、碳中和目标,通过构建政府、机场企业和民航运输企业三方的演化博弈模型,研究不同情境下各方的稳定演化策略。数值仿真分析了关键参数变化对主体策略的影响。研究发现,政府的激励措施和惩罚力度能促进绿色发展,但补贴过高或过低不利于民航运输企业绿色策略。因此,根据机场企业和民航运输企业成本结构,建议政府制定差异化激励政策,有助于实现绿色民航的可持续发展。

关键词:民航发展;惩罚激励;绿色民航

中图分类号:F426.9 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2023)22-0176-07

航空业是全球温室气体排放的重要来源之一,对气候变化产生了显著影响。绿色民航是一个涵盖了环保和可持续发展原则的概念,旨在通过减少碳排放、使用可再生能源、采用节能技术和强化环境管理减少民航业对环境的负面影响,并提高其社会和经济可持续性。发展绿色民航是减少航空业碳排放的主要措施,有助于应对气候变化挑战,减少碳足迹。绿色民航推动航空业发展、改善资源利用效率,机场企业可以通过改善能源效率、推广可再生能源和使用低碳技术等手段,减少机场和民航运输企业运行的碳排放,两者的绿色改造对于应对气候变化具有重要意义。中国民航局出台《民用建筑节能标准》《绿色机场规划导则》(2018)等文件对绿色机场建设做出了相应要求。民航运输企业可以通过采用更节能的飞机、优化航线规划和提高航空公司运营效率等措施,减少能源消耗和温室气体排放。但是由于绿色民航技术的研发和应用通常需要巨额投资,并且在初期阶段可能面临高昂的成本,仅仅依靠机场企业和民航运输企业难以推动绿色民航的发展,所以需要政府出台支持绿色民航发展的相关政策,为机场和民航运输企业提供激励和指导。

王凡俊等^[1]从建筑产业链的角度考虑,运用演化博弈理论对目前装配式建筑产业链中三大主体(政府、开发商、制造商)的行为进行分析。田利军等^[2]分析了我国民航节能减排现状和国内外局势对民航发展的影响,提出相应的应对策略。李占五^[7]

认为我国民航业应主动应对节能减排挑战,积极发展绿色民航。耿宏等^[4]基于DEA模型构建航空公司碳减排效率评价模型,分析碳减排效率,评价公司能源效率发展趋势。章连标等^[5]认为绿色技术创新在温室气体减排和气候变化应对中发挥着促进作用,以民航业为研究对象,采用实验研究的方法,检验绿色发展政策对绿色技术创新的影响。Kumar等^[6]将最好最坏法(best-worst method, BWM)和多准则妥协解排序法(vise kriterijumski optimizacوني racun, VIKOR)方法混合用于计算不同标准的权重并相应地对机场进行排名,探索机场绿色绩效评估标准等。王任大和李海峰^[7]针对大数据技术对于网络谣言管理的作用,综合不同情境下三方博弈演化的结果条件,对现实中推进社交平台大数据建设给出合理建议。王伟等^[8]构建了包含政府、港口企业、承运商三方的演化博弈模型,研究了三方在绿色港口建设方面的决策行为演化规律,分析了港口企业与承运商“绿色改造”的驱动因素。邵筱宇等^[9]结合安徽电力现货市场试结算日的实际数据,分析市场主体交易策略的主要特征及未来各主体的博弈策略选择。通过整理已有文献发现,目前国内对于绿色民航的研究主要集中在具体技术的应用和整体评价指标体系的构建,而针对政府、机场、民航运输企业的博弈研究较少。

综合以上所述,本文以有限理性假设为基础,考虑政府、机场企业和民航运输企业作为主要利益相关者,从三方博弈的角度出发,构建了包含政府、

收稿日期:2023-08-23

作者简介:文军(1968—),男,四川成都人,中国民用航空飞行学院机场学院,教授,博士,研究方向为绿色机场发展;通信作者熊一夫(1995—),男,四川成都人,中国民用航空飞行学院机场学院,硕士研究生,研究方向为绿色机场发展。

机场企业和民航运输企业的演化博弈模型。该模型运用演化博弈理论来研究这三方之间动态博弈的过程,并建立了政府同时规制机场企业和民航运输企业的博弈框架;同时引入了补贴和罚金两种环保规制措施,分析了政府政策激励对机场企业和民航运输企业选择绿色发展策略的影响,并探讨了推动机场企业和民航运输企业主动采取“绿色发展”策略的主要因素。这些研究成果有助于降低环境保护领域的重复研究,并为实现可持续发展提供了有益的决策参考。

1 演化博弈模型构建

1.1 基本假设

将政府、机场企业、航空运输公司三方作为推动绿色民航发展建设的推动者与参与者,研究它们之间的决策行为演化策略。基本假设如下。

H1:政府面临两种行为策略,即“采取激励措施”和“不采取激励措施”。机场企业和民航运输企业也有两种行为策略,分别是“传统发展”和“绿色发展”。由于信息不完全,各方无法准确了解彼此的策略选择和可能的收益,因此无法直接做出完全理性的决策。取而代之的是,它们会通过多次博弈的试探和调整过程,逐步寻找达到均衡状态的最优决策。

H2:政府、机场企业、航空运输企业均为“有限理性”的决策主体,政府的收益更多来自环境改善后的社会声誉增加,这代表长期、隐性可持续的利益。航空运输企业和机场企业更多关注的是短期、显性的经济利益。

H3:机场企业采取“传统发展”模式时的收入与成本分别为 R_1 和 C_1 。若机场企业选择“绿色发展”策略,其“绿色发展”收入成本分别为 R_2 和 C_2 。民航运输企业采取“传统发展”模式时的收入与成本分别为 R_3 和 C_3 。若民航运输企业选择“绿色发展”策略,其“绿色发展”收入成本分别为 R_4 和 C_4 。若机场企业和民航运输企业同时选择“绿色发展”,会产生战略协同,节约的成本分别为 S_1 和 S_2 。

H4:当政府选择“采取激励措施”策略时,可以获得社会声誉 W 。政府为激励民航企业进行“绿色发展”,对进行“绿色发展”的民航企业根据其所承担的“绿色发展”成本 C_2 、 C_4 给予 αC_2 、 αC_4 的补贴 ($0 < \alpha < 1$)。同时会对采取“传统发展”策略的机场企业、民航运输企业收取罚金 P_1 、 P_2 。政府由于机场企业和民航运输企业选择“传统发展”策略时,额外产生的生态治理成本和声誉损失分别为 E_1 、 E_2 。

H5:政府选择“采取激励措施”策略、机场企业选择“绿色发展”策略、民航运输企业选择“绿色发展”策略的概率分别为 X 、 Y 、 Z ,且 $XYZ \in [0,1]$ 。参数说明如表 1 所示。并基于以上假设构建收益矩阵如表 2 所示。

表 1 基本假设所用参数含义

参数	含义
C_1	机场企业选择“传统发展”策略时的成本
C_2	机场企业选择“绿色发展”策略时的成本
C_3	民航运输企业选择“传统发展”策略的成本
C_4	民航运输企业选择“绿色发展”策略的成本
R_1	机场企业选择“传统发展”策略的收益
R_2	机场企业选择“绿色发展”策略的收益
R_3	民航运输企业选择“传统发展”策略的收益
R_4	民航运输企业选择“绿色发展”策略的收益
W	政府选择“采取激励措施”策略时获得的社会声誉收益
S	民航运输企业和机场企业同时选择“绿色发展”策略时因协同效应减少的成本
P_1	当政府选择“采取激励措施”策略时,机场企业选择“传统发展”策略政府对其收取的罚金
P_2	当政府选择“采取激励措施”策略时,民航运输企业选择“传统发展”策略政府对其收取的罚金
E_1	机场企业选择“传统发展”策略政府的生态治理成本
E_2	民航运输企业选择“传统发展”策略政府的生态治理成本

表 2 三方演化博弈收益矩阵

策略选择	政府收益	机场企业收益	民航运输企业收益
(1,1,1)	$W - \alpha(C_2 + C_4)R_2$	$R_2 + (1 - \alpha)C_2 - S$	$R_4 + (1 - \alpha)C_4 - S$
(1,0,1)	$W + P_1$	$R_1 - C_1 - P_1$	$R_4 + (1 - \alpha)C_4$
(1,1,0)	$W - \alpha C_2 + P_2$	$R_2 + (1 - \alpha)C_2$	$R_3 - C_3 - P_2$
(1,0,0)	$W + P_1 + P_2$	$R_1 - C_1 - P_1$	$R_3 - C_3 - P_3$
(0,1,1)	0	$R_2 - C_2$	$R_4 - C_4$
(0,0,1)	$-E_1$	$R_1 - C_1$	$R_4 - C_4$
(0,1,0)	$-E_2$	$R_2 - C_2$	$R_3 - C_3$
(0,0,0)	$-E_1 - E_2$	$R_1 - C_1$	$R_3 - C_3$

1.2 三方演化博弈模型分析

演化博弈假定博弈主体是有限理性的,“复制动态”是对有限理性的主体策略调整过程的动态描述。以下是政府、机场企业、民航运输企业的演化稳定策略分析。

根据表 2 的三方收益矩阵,得到 U_{11} 与 U_{12} 分别表示地方政府选择“采取激励措施”和“不采取激励措施”时的期望收益, $\bar{U}_1$ 代表政府的平均收益。

$$\begin{aligned}
 U_{11} &= yz[W - \alpha(C_2 + C_4)] + z(1 - y)(W + P_1) + \\
 &\quad y(1 - z)(-\alpha C_2 + P_2 + W) + \\
 &\quad (1 - z)(1 - y)(W + P_1 + P_2); \\
 U_{12} &= z(1 - y)E_1 - y(1 - z)E_2 + \\
 &\quad (1 - z)(1 - y)(-E_1 - E_2);
 \end{aligned}$$

$$\bar{U} = xU_{11} + (1-x)U_{12}。$$

政府行为策略的复制动态方程为

$$F(x) = \frac{dx}{dt} = x(U_{11} - \bar{U}_1) = x(1-x)(U_{11} - U_{12}) = x(1-x)[(-aC_4z - aC_2 - E_1 - P_1)y + (-P_2 - E_2)z + W + P_2 + E_1 + E_2 + P_1]。$$

分别对三方演化博弈不同主体稳定路径进行具体分析。

$$\text{若 } y = y^* = \frac{-E_2z - P_2z + E_1 + E_2 + P_1 + P_2 + W}{aC_4z + aC_2 + E_1 + P_1},$$

则 $F(x) = 0$ 。这意味着所有的水平都是稳定状态, 无论政府选择“激励措施”和选择“不采取激励措施”的比例如何, 其策略都不会随着时间的变化发生改变。

若 $y \neq y^*$, 令 $F(x) = 0$, 得 $x = 0$ 和 $x = 1$ 是 x 的两个稳定点, 即政府选择“采取激励措施”或者“不采取激励措施”, 只要没有出现使政府改变策略的突变因素, 则政府会稳定的选择是否采取激励。

对 $F(x)$ 求导可得:

$$\frac{dF(x)}{dx} = (1-2x)[(-aC_4z - aC_2 - E_1 - P_1)y + (-P_2 - E_2)z + W + P_2 + E_1 + E_2 + P_1]。$$

显然有 $-aC_4z - aC_2 - E_1 - P_1 < 0$ 。

对其进行演化稳定策略分析, 要求 $\frac{dF(x)}{dx} < 0$, 对不同情况进行分析, 其相位图如图 1(a) 所示, 分两种情况。

$$\text{当 } y > y^* \text{ 时, } \left. \frac{dF(x)}{dx} \right|_{x=0} < 0, \left. \frac{dF(x)}{dx} \right|_{x=1} > 0。$$

由图 1(b) 可知此时, $x = 0$ 为演化稳定策略点, 此时政府不会采取激励措施。

$$\text{当 } y < y^* \text{ 时, } \left. \frac{dF(x)}{dx} \right|_{x=0} > 0, \left. \frac{dF(x)}{dx} \right|_{x=1} < 0。$$

由图 1(c) 可知此时 $x = 1$ 为演化稳定策略点, 此时政府会采取激励措施。

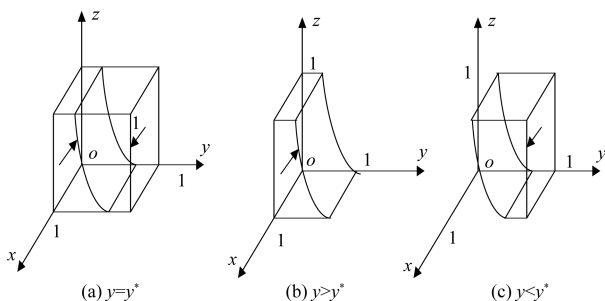


图1 政府相位

同理机场企业选择“绿色发展”的期望收益为

$$U_{21} = xz[R_2 - (1-a)C_2 - S] + x(1-z)(R_2 - (1-a)C_2) + z(1-x)(R_2 - C_2) + (1-z)(1-x)(R_2 - C_2)。$$

机场企业选择“传统发展”的期望收益为

$$U_{22} = xz(R_1 - C_1 - P_1) + x(1-z)(R_1 - C_1 - P_1) + z(1-x)(R_1 - C_1) + (1-x)(1-z)(R_1 - C_1),$$

$$\bar{U}_2 = yU_{21} + (1-y)U_{22}。$$

机场企业的复制动态方程为

$$F(y) = \frac{dy}{dt} = y(U_{21} - \bar{U}_2) = y(1-y)(U_{21} - U_{22}) = y(1-y)[(aC_2 - S_1z + P_1)x + C_1 - C_2 - R_1 + R_2]。$$

当 $x = x^* = \frac{-C_1 + C_2 + R_1 - R_2}{aC_2 - S_1z + P_1}$ 时, 则 $F(y) \equiv 0$ 。

这意味着所有的水平都是稳定状态, 即无论机场企业选择“绿色发展”还是“传统发展”的比例如何, 其策略都不会随着时间的变化发生改变。

若 $x \neq x^*$, 令 $F(y) = 0$, 得 $y = 0$ 和 $y = 1$ 是 y 的两个稳定点。即机场企业选择“绿色发展”还是“传统发展”, 只要没有出现使机场企业改变策略的突变因素, 则机场企业会稳定地选择如何发展。对 $F(y)$ 求导可得 $\frac{dF(y)}{dy} = (1-2y)[(aC_2 - S_1z + P_1)x + C_1 - C_2 - R_1 + R_2]$ 。

对其进行演化稳定策略分析要求 $\frac{dF(y)}{dy} < 0$, 其相位图如图 2(a) 所示。对不同情况进行分析。

$$\text{当 } x > x^* \text{ 时, } \left. \frac{dF(y)}{dy} \right|_{y=0} > 0, \left. \frac{dF(y)}{dy} \right|_{y=1} < 0。$$

由图 2(b) 可知此时, $y = 1$ 是演化稳定点, 此时机场企业会选择“绿色发展”策略。

$$\text{当 } x < x^* \text{ 时, } \left. \frac{dF(y)}{dy} \right|_{y=0} < 0, \left. \frac{dF(y)}{dy} \right|_{y=1} > 0。$$

由图 2(c) 可知此时, $y = 0$ 是演化稳定点, 此时机场企业选择“传统发展”策略。

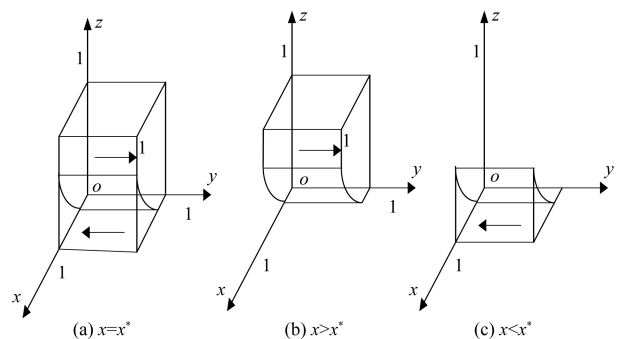


图2 机场企业相位

民航运输企业选择绿色发展的期望收益为

$$U_{31} = xy[R_4 - (1-a)C_4 - S_2] + x(1-y)[R_4 - (1-a)C_4] + y(1-x)(R_4 - C_4) + (1-x)(1-y)(R_4 - C_4)。$$

民航运输企业选择传统发展的期望收益为

$$U_{32} = xy(R_3 - C_3 - P_2) + x(1-y)(R_3 - C_3 - P_2) + y(1-x)(R_3 - C_3) + (1-y)(1-x)(R_3 - C_3),$$

$$\bar{U}_3 = zU_{31} + (1-z)U_{32},$$

$$F(z) = \frac{dz}{dt} = z(U_{31} - \bar{U}_3) = z(1-z)(U_{31} - U_{32}) = z(1-z)[(aC_4 - yS_2 + P_2)x + C_3 - C_4 - R_3 + R_4]。$$

若 $x = x^* = \frac{-C_3 + C_4 + R_3 - R_4}{aC_4 - yS_2 + P_2}$, 这意味着所有

的水平都是稳定状态,即无论民航运输企业选择“绿色发展”还是“传统发展”的比例如何,其策略都不会随着时间的变化发生改变。若 $x \neq x^*$, 令 $F(z) = 0$, 则 $z = 0$ 或 $z = 1$, 是 z 的两个稳定点,即无论企业选择“绿色发展”还是“传统发展”,只要没有出现使用民航运输企业改变策略的突变因素,民航运输企业会稳定地选择如何发展。

对 $F(z)$ 求导可得

$$\frac{dF(z)}{dz} = (1-2z)[(aC_4 - yS_2 + P_2)x + C_3 - C_4 - R_3 + R_4]。$$

其相位图如图 3(a)所示。

$$\text{当 } x < x^* \text{ 时, } \left. \frac{dF(z)}{dz} \right|_{z=0} > 0, \left. \frac{dF(z)}{dz} \right|_{z=1} < 0。$$

由图 3(b)可知此时 $z = 0$ 是演化稳定点,民航企业选择“绿色发展”策略。

$$\text{当 } x > x^* \text{ 时, } \left. \frac{dF(z)}{dz} \right|_{z=0} < 0, \left. \frac{dF(z)}{dz} \right|_{z=1} > 0。$$

由图 3(c)可知此时 $z = 1$ 是演化稳定点,民航企业选择“传统发展”策略。

1.3 三方演化稳定性分析

1.3.1 稳定点

政府、机场企业、民航企业之间的博弈可以用由 $F(x)$ 、 $F(y)$ 、 $F(z)$ 三者组成的微分方程表示,

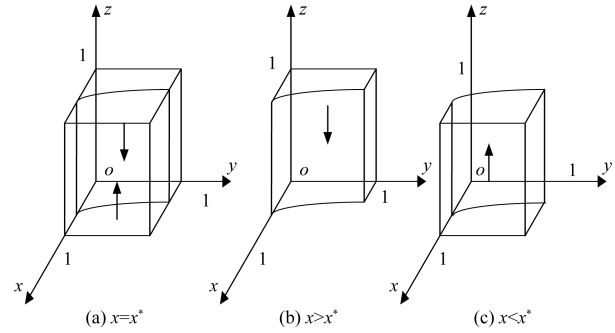


图 3 民航运输企业演化策略相位

得到系统的演化稳定策略,用 J 表示:

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

$$a_{11} = (1-2x)[(-aC_4z - aC_2 - E_1 - P_1)y + (-P_2 - E_2)z +$$

$$W + P_1 + P_2 + E_1 + E_2],$$

$$a_{12} = x(x-1)(aC_4z + aC_2 + E_1 + P_1),$$

$$a_{13} = x(x-1)(aC_4y + E_2 + P_2),$$

$$a_{21} = y(y-1)(aC_2 - S_1z + P_1),$$

$$a_{22} = (1-2y)[C_1 - C_2 - R_1 + R_2 + x(aC_2 - S_1z + P_1)],$$

$$a_{23} = S_1xy(y-1),$$

$$a_{31} = z(1-z)(aC_4 - S_2y + P_2),$$

$$a_{32} = z(1-z)(-xS_2),$$

$$a_{33} = (1-2z)[(aC_4 - S_2y + P_2)x + C_3 - C_4 - R_3 + R_4]。$$

政府、机场企业、民航企业之间的复制动态方程为 0, 可得到 8 个均衡解。在博弈论中, ESS(evolutionarily stable strategy) 点是指能够稳定存在下去的策略, 求解可得三者的均衡解分别为 $E_1(0, 0, 0)$ 、 $E_2(1, 0, 0)$ 、 $E_3(0, 1, 0)$ 、 $E_4(0, 0, 1)$ 、 $E_5(1, 1, 0)$ 、 $E_6(1, 0, 1)$ 、 $E_7(0, 1, 1)$ 、 $E_8(1, 1, 1)$ 。由均衡点条件得, 特征值为负, 所以不考虑 E_1 、 E_3 、 E_4 点。

表 3 均衡点稳定性分析

均衡点	λ_1	λ_2	λ_3	状态
(0, 0, 0)	$C_1 - C_2 - R_1 + R_2$	$C_3 - C_4 - R_3 + R_4$	$E_1 + E_2 + P_1 + P_2 + W$	鞍点
(1, 0, 0)	$-E_1 - E_2 - P_1 - P_2 - W$	$C_1 - C_2 + P_1 - R_1 + R_2 + aC_2$	$C_3 - C_4 + P_3 - R_3 + R_4 + aC_4$	ESS
(0, 1, 0)	$C_2 - C_1 + R_1 - R_2$	$C_3 - C_4 - R_3 + R_4$	$E_2 + P_2 + W - aC_2$	鞍点
(0, 0, 1)	$E_1 + P_1 + W$	$C_1 - C_2 - R_1 + R_2$	$C_4 - C_3 + R_3 - R_4$	鞍点
(1, 1, 0)	$aC_2 - P_2 - W - E_2$	$C_2 - C_1 - P_1 + R_1 - R_2 - aC_2$	$C_3 - C_4 + P_2 - R_3 + R_4 - S_2 + aC_4$	ESS
(1, 0, 1)	$aC_4 - E_1 - P_1 - W$	$C_1 - C_2 + P_1 - R_1 + R_2 - S_1 + aC_2$	$C_4 - C_3 - P_3 + R_3 - R_4 - aC_4$	ESS
(0, 1, 1)	$W - aC_2 - aC_4$	$C_2 - C_1 + R_1 - R_2$	$C_4 - C_3 + R_3 - R_4$	ESS
(1, 1, 1)	$aC_2 - W + aC_4$	$C_2 - C_1 - P_1 + R_1 - R_2 - S_1 - aC_2$	$C_4 - C_3 - P_2 + R_3 - R_4 - S_2 - aC_4$	ESS

1.3.2 稳定点分析

$E_2(1,0,0)$: 当 $W > -E_1 - E_2 - P_1 - P_2, C_2 + R_1 > C_1 + P_1 + R_2 + \alpha C_2, C_4 + R_3 > C_3 + P_3 + R_4 + \alpha C_4$ 时, E_2 为演化稳定策略。此时尽管机场企业、民航运输企业采取“传统发展”策略, 由于此时较高的环境治理成本和罚金大于获得的声誉, 政府依然选择“采取激励措施”的策略。对于机场企业和民航运输企业, 由于选择“绿色发展”策略时的收益加上罚金也无法覆盖补贴过后的额外成本, 机场和民航运输企业此时不会选择“绿色发展”。

$E_5(1,1,0)$: 当 $P_2 + W + E > \alpha C_2, C_1 + P_1 + R_2 + \alpha C_2 > C_2 + R_1, C_4 + S_2 > C_3 + P_2 + R_4 + \alpha C_4$ 时 E_5 为演化稳定策略。由于政府可以获得声誉和罚金收益、环境治理成本大于给付与企业的激励, 此时政府会选择“采取激励措施”的策略。机场企业补贴过后的收益大于因采取“绿色发展”策略产生的额外的成本, 机场企业会选择“绿色发展”策略; 而民航运输企业选择“绿色发展”策略时的收益加上罚金和协同收益也无法覆盖补贴过后的额外成本, 民航运输企业此时会选择“传统发展”策略。

$E_6(1,0,1)$: 当 $P_2 + W + E > \alpha C_4, C_3 + S_1 > C_1 + P_2 + R_3 + \alpha C_4, C_4 + R_3 > C_3 + P_3 + \alpha C_4 + R_4$ 时, E_6 为演化稳定策略。政府选择“采取激励措施”的策略, 民航运输企业选择“绿色发展”策略, 机场企业此时会选择“传统发展”策略。与情景2类似, 此时机场的“绿色发展”成本较高。

$E_7(0,1,1)$: 当 $\alpha C_2 + \alpha C_4 > W, C_1 + R_2 > C_2 + R_1, C_3 + R_4 > C_4 + R_3$ 时, E_7 为演化稳定策略。由于政府获得的声誉小于给付与企业的激励, 此时政府会选择“不采取激励措施”的策略。对于机场企业和民航运输企业, 即使政府未采取激励措施, 但由于机场企业、民航运输企业选择“绿色发展”策略时的增加的收益加上罚金和协同收益也无法覆盖补贴过后的额外成本, 民航运输企业此时会选择“传统发展”策略。

$E_8(1,1,1)$: 当 $W > \alpha C_2 + \alpha C_4, C_2 + P_2 + R_3 + \alpha C_2 + S_1 > C_2 + R_1, C_3 + S_2 + R_4 + \alpha C_4 > C_4 + R_3$ 时, E_8 为演化稳定策略。此时由于政府的声誉收益大于给付与企业的激励, 政府会选择“采取激励措施”的策略; 机场企业、民航运输企业补贴过后的收益大于因采取“绿色发展”策略产生的额外的成本, 均会选择“绿色发展”策略。

2 仿真分析

结合现实实际情况, $E_8(1,1,1)$ 是比较合适的

选择, 即政府选择“采取激励措施”策略, 机场企业选择“绿色发展”策略, 民航运输企业选择“绿色发展”策略。

保持其他参数不变, 研究政府惩罚和补贴系数变化来分析其对机场企业、民航运输企业的演化均衡的影响。赋值如下: $C_1 = 3, C_2 = 5, C_3 = 7, C_4 = 12, R_1 = 6, R_2 = 7, R_3 = 10, R_4 = 12, W = 2, S = 1.2, S_2 = 2.5, P_1 = 1.5, P_2 = 2.2, E_1 = 3, E_2 = 5$ 。

图4是当政府对机场企业惩罚金额 P_1 从1.5增大至2.5时其演化策略的变化情形。由图4可知, 随着 P_1 的增加, 其演化的速率加快, 以更快的速率演化至稳定状态即政府选择“采取激励政策”, 机场企业、民航运输企业均选择“绿色发展”。因此, 惩罚增加时, 机场企业的收益减少, 会选择“绿色发展”。

图5是当政府对民航企业惩罚金额 P_2 增大时其演化策略的变化情形。由图5可知, 随着 P_2 的增

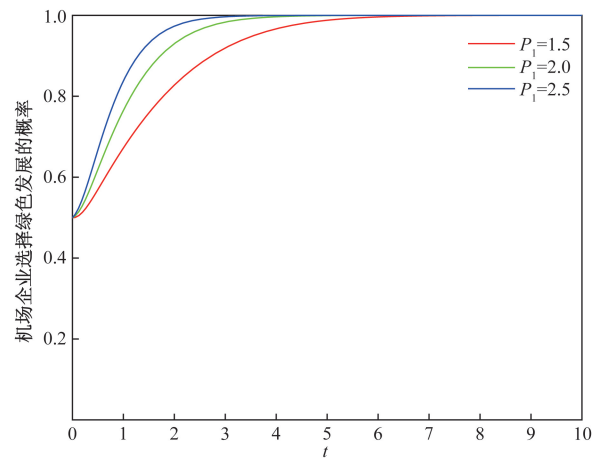


图4 政府对机场企业惩罚改变时机场企业策略选择的演化过程

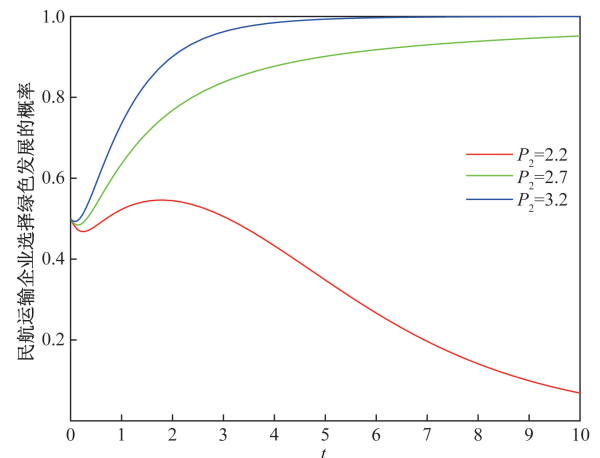


图5 政府对民航企业惩罚改变时民航企业策略选择的演化过程

加,其演化的速率加快,并且从 0 演化至 1,即从传统发展模式转向绿色发展。因此,惩罚可以促进民航运输企业的绿色发展。

图 6 是当政府对机场企业补贴系数 α 增大时其演化策略的变化情形。由图 6 可知,随着奖励系数的增加,其演化的速率加快,以更快的速率演化至稳定状态。因此,奖励系数增加时,机场企业的收益增加,会选择“绿色发展”。

由图 7 可知,当补贴系数 $\alpha = 0.2$ 时,民航运输企业选择传统发展;随着补贴系数 α 增加至 0.5 时,民航运输企业的策略概率在传统发展与绿色发展之间波动,随着演化时间的增加,并没有任何收敛域任何一种策略;随着补贴系数 α 进一步增加至 0.8 时,民航运输企业的策略选择的概率仍然在传统发展与绿色发展之间波动,但波动幅度小于 $\alpha =$

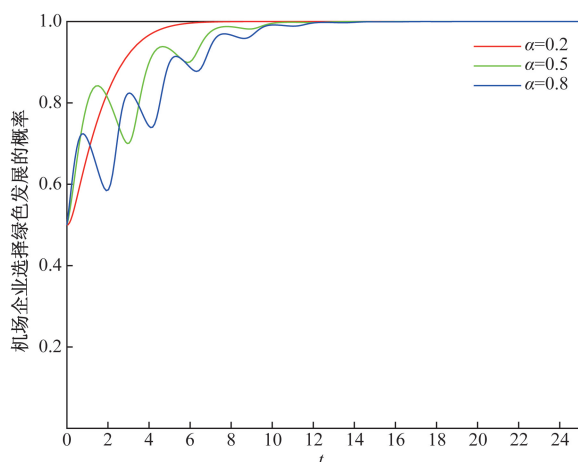


图 6 政府对机场企业补贴系数改变时机场企业策略选择的演化过程

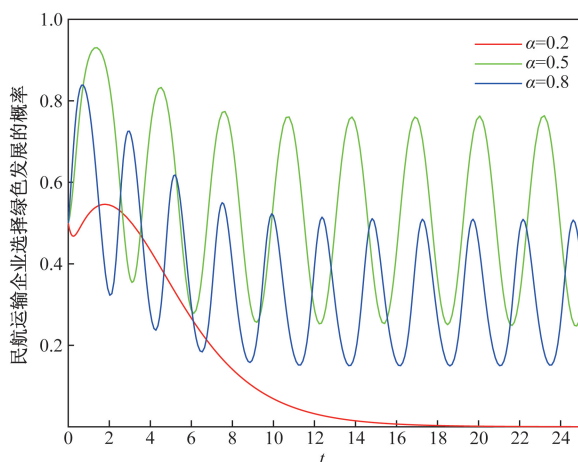


图 7 政府对民航企业补贴系数改变时机场企业策略选择的演化过程

0.5 时的幅度,且演化轨迹整体偏向于传统发展策略。因此,过高的补贴和过低的补贴均不利于民航运输企业选择绿色发展策略,而应该根据企业不同的实际情况制定补贴。

3 结论

本文采用有限理性行为假设,构建了一个由政府、机场企业和民航运输企业组成的三方演化博弈模型,重点分析政府采取不同激励措施及其不同强度对机场企业和民航运输企业绿色发展所产生的影响。然而,需要指出的是,绿色民航发展在我国仍处于起步阶段,因此相关的实际数据支持相对较少。同时,一些成本和收益因素可能难以准确量化,或者目前尚缺乏被广泛认可的量化标准。随着绿色民航发展进程的逐步推进,期待能够获得更加客观准确的研究结论。综合考虑研究的方法和局限性,本文不仅提供了有益的分析框架,还为未来更深入的研究提供了方向。随着相关数据的积累和绿色民航发展的演进,期待能够进一步完善这一领域的理论和实证研究,以更好地支持绿色民航的可持续发展。

参考文献

- [1] 王凡俊,陈德凡,赵宝库.基于演化博弈理论的装配式建筑激励策略[J].科技和产业,2023,23(9):81-89.
- [2] 田利军,王皓羽,王丹阳.绿色发展政策与技术创新关系研究-基于民航业的实验研究证据[J].价格理论与实践,2020(9):144-147.
- [3] 李占五.我国应对欧盟拟征航空碳税的举措[J].中外能源,2011,16(11):20-24.
- [4] 耿宏,贾海娟,陈静杰.基于 DEA 的航空公司碳减排效率评价方法[J].环境工程,2014,32(6):144-147.
- [5] 章连标,张黎,徐捷.实施节能减排,营造绿色民航[J].中国民用航空,2009(12):10-13.
- [6] KUMAR A, ASWIN A, GUPTA H. Evaluating green performance of the airports using hybrid BWM and VIKOR methodology[J]. Tourism Management, 2020, 76:103941.
- [7] 王任大,李海峰.信息时代背景下社交平台技术革新——基于三方演化博弈分析[J].科技和产业,2023,23(13):139-147.
- [8] 王伟,索金涛,韩凌辉,等.政府规制下绿色港口建设的演化博弈分析[J].系统工程学报,2023,38(1):30-45.
- [9] 邵筱宇,叶钰童,任曦骏,等.安徽电力现货市场主体交易策略及演化博弈分析[J].科技和产业,2023,23(12):84-90.
- [10] 李达.农业供应链金融主体策略演化博弈协调分析[J].科技和产业,2023,23(13):148-156.
- [11] 代春泉,刘浩,李海生,等.政府激励下的建筑废弃物资

- 源化博弈研究[J]. 科技和产业, 2023, 23(7): 23-28.
- [12] 牛鑫淼, 孟庆光. 体育产品制造利益相关方行为策略选择机理研究[J]. 科技和产业, 2023, 23(5): 147-152.
- [13] 杨晨曦. 政府参与下零担企业参与共同配送的三方演化博弈[J]. 科技和产业, 2022, 22(9): 72-80.
- [14] 周雪亮, 张纪海. 政府支持下的军工供应链金融信息合作主体关系演化博弈研究[J]. 科技和产业, 2022, 22(4): 53-62.
- [15] 华东, 史安娜. 中药产业协同创新组织合作伙伴选择的演化博弈分析[J]. 科技和产业, 2021, 21(10): 229-233.

A Study of Tripartite Evolutionary Game in Green Civil Aviation Development

WEN Jun, XIONG Yifu

(School of Airport, Civil Aviation Flight University of China, Guanghan 618307, Sichuan, China)

Abstract: This study aims to promote the green development of China's civil aviation and achieve carbon peak and carbon neutrality goals. By constructing an evolutionary game model involving the government, airport enterprises, and civil aviation transport enterprises, different scenarios were investigated to identify stable evolutionary strategies for each party. Numerical simulations were used to analyze the impact of key parameter changes on strategic choices. The research indicates that government incentive measures and penalty strength can facilitate green development, but excessively high or low subsidies are detrimental to the adoption of green strategies by civil aviation transport enterprises. Therefore, tailored incentive policies should be formulated by the government based on the cost structures of airport enterprises and civil aviation transport enterprises to support the sustainable development of green civil aviation.

Keywords: civil aviation development; penalty incentive; green aviation