

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2018.05.020

基于演化博弈理论的农村客运服务供给行为分析

葛晓鹏¹, 张 艺², 赵晋宇²

(1. 北京交通大学 经济管理学院, 北京 100044; 2. 交通运输部规划研究院, 北京 100028)

摘要: 为进一步提高农村客运服务供给的针对性和有效性, 不断改善农村客运服务供给质量, 需对农村客运服务供给过程中相关主体的决策行为进行深入研究。农村客运服务供给涉及政府、企业和公众等3类利益相关主体, 虽然政府处于“元治理”地位, 但是农村客运服务的最终供给方式和供给效果均受三者博弈行为影响。基于参与人的有限理性和参与人之间信息不对称的基本假设, 采用演化博弈理论, 构建政府、企业和公众三者之间的效益模型, 寻求社会福利最大化条件下的演化稳定均衡。研究表明: (1) 政府在促进三方博弈均衡的过程中主导作用明显, 其补贴决策会对企业生产行为和公众决策行为产生极大影响; (2) 企业以追求利益最大化为目标, 政府增加补贴可以提高企业的期望收益; (3) 公众以自身效用最大化为标准选择具体出行方式, 而公众对于效用的识别和衡量来源于其基于自身状况的主观判断; (4) 即使政府通过对农村客运服务的补贴可以增进社会福利, 但并不代表政府选择了最优的农村客运服务供给方式。同时, 研究提出引入市场机制遴选农村客运生产企业、通过凭单制给予公众更大选择权、加大政府财政补贴力度、加强事中事后监管等政策建议。

关键词: 运输经济; 供给行为; 演化博弈理论; 农村客运服务; 社会福利最大化

中图分类号: F542

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268(2018)05-0151-08

Analysis on Supply Behavior of Rural Passenger Transport Service Based on Evolutionary Game Theory

GE Xiao-peng¹, ZHANG Yi², ZHAO Jin-yu²

(1. School of Economics and Management, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China;

2. Transport Planning and Research Institute, Ministry of Transport, Beijing 100028, China)

Abstract: In order to strengthen the pertinence and effectiveness of rural passenger transport service (RPTS) provision, and improve the quality of RPTS provision, it is necessary to conduct in-depth research on the decision-making behavior of related stakeholders in the process of RPTS provision. The RPTS provision involves 3 stakeholders, including government, enterprises and public. Although the government acts as “domination governance”, the ultimate supply mode and supply effect of RPTS are determined by the game behaviors of the 3 stakeholders. Based on the assumption of the limited rationality of participants and the information asymmetry among participants, a benefit model among 3 stakeholders is built with the evolutionary game theory to seek the steady and gradual equilibrium under the condition of maximizing social welfare. The research result shows that (1) the government plays a dominant role in the process of promoting the game equilibrium of the 3 stakeholders, and the subsidy decision would have a great impact on the enterprises' production behavior and the public's decision-making behavior; (2) enterprises aim at pursuing the maximization of profits, and the expected benefits would be increased with more government subsidies; (3)

收稿日期: 2018-01-24

作者简介: 葛晓鹏 (1983-), 男, 天津人, 博士研究生. (chris_1226@126.com)

the public selects the specific travel mode for the maximization of their own utility, and their identification and measurement of utility derived from the subjective judgment of their own conditions; (4) even though the government promotes social welfare by subsidizing RPTS, it does not mean that the government has chosen the optimal supply mode of RPTS. Furthermore, several policy suggestions are put forward, including the introduction of market mechanism to select rural passenger transport enterprises, the introduction of voucher system to provide the public more choice, strengthening government financial subsidies, strengthening supervision in the course and afterwards.

Key words: transport economics; supply behavior; evolutionary game theory; rural passenger transport service; maximization of social welfare

0 引言

农业农村农民问题是关系国计民生的根本性问题。长期以来,由于农村地区经济社会发展相对滞后、市场化程度不高、公共服务设施薄弱等,农村居民很难享受到与城市居民相近水平的运输基本公共服务。当前农村客运服务中的低端供给、同质供给、无效供给问题十分突出。具体表现为农村客运班线密度低、发车频率低、实载率低、运营车辆老旧、运营不规范等。总体上看,在农村客运服务领域,供给端总体运力短缺、但局部运力闲置,需求端农村居民基本运输权益得不到有效保障、而个性化运输需求更未能有效满足。

农村客运服务事关广大农村地区居民日常生活出行,特别是随着新农村建设的深入推进,农村居民生活水平大幅提升,运输需求呈现出日益多样化、个性化的特征,因此,应将农村客运服务作为一项遍及广大农村地区、特别是贫困地区的基本公共服务来提供,并逐步提高供给的针对性和有效性。在我国的农村客运服务供给中,虽然政府处于“元治理”地位,但是其决策过程也会受到企业和公众策略选择的影响。因此,构建政府、企业、公众三方博弈分析模型,对于农村客运供给行为研究具有重要意义。

1 研究方法

1.1 理论基础

在农村客运服务供给中,政府、企业、公众中任何一方的收益都会受到另外两方策略选择的影响。由于三方参与人都是具有学习能力的有限理性人,所以在信息不完全的情况下,三方在做出各自的决策时很难确认他们的选择是否最大化自己的收益,但三方参与人具有学习模仿的能力,他们会不断地学习以往收益大的策略不断调整自己的策略,最终

实现最优均衡。因此,由这些主体在不同阶段重复地进行博弈便构成了演化博弈。农村客运服务供给机制的形成是由博弈参与人的预期决定的,且与博弈参与人对其他参与人的预期大小有关。

演化博弈理论是近年来博弈理论发展最为迅速的一门分支学科,史密斯和普瑞斯(Smith&Price, 1973)结合生物进化论与传统博弈理论,在研究生态演化现象的基础上提出了演化博弈理论的基本均衡概念^[1]。该理论将演化理论与博弈理论相结合,着重分析博弈行为策略的相互作用与迭代过程。不同于经典博弈理论中对参与人完全理性的假设,演化博弈理论假设参与人是有限理性的,这充分考虑到现实的经济社会环境中决策者理性的局限。博弈方由于有限理性,往往不会一开始找到最优策略,而是通过反复博弈过程中不断地学习博弈,最终寻找到最优均衡,此时所有博弈方都趋向于选择某个稳定的策略。

正是由于演化博弈理论对参与人的理性要求较少与现实更为接近,因而被广泛应用于生物学、社会学、经济学、管理学等领域^[2]。程远^[3]研究大规模人群的群体行为的演化规律,发现了疏散群体的合作机制,并得到与心理学研究相一致的结果。Feng等^[4]分析了生产者之间的伙伴关系演化趋势,并阐述了在惩罚和激励条件下生产者之间协调合作的机制。刘旭旺^[5]分析了技术和商务评标专家评标行为的演化路径以及影响演化的因素,揭示了评标专家个体间的策略选择对群体行为的影响。王健等^[6]基于演化博弈论,分析了汽车共享引入后与私家车的博弈过程,并为汽车共享出行方式的推广和政府相关政策制定提供理论支撑。关宏志等^[7]基于数学归纳法的思路,从理论上证明演化方法对交通选择行为分析的适用性。杨露^[8]建立了快递企业与第三方智能快递柜企业、学校与第三方智能快递柜企业之间的演化博弈模型。齐宝库等^[9]建立绿色采

购政企博弈模型, 将相关各方即采购方和政府方的博弈收益进行了定性分析, 计算了绿色采购中采购方和政府的行为均衡点。张国兴^[10]通过构建演化博弈模型分析了第三方监督对食品企业与政府监管部门行为的影响机理。潘峰^[11]构建了地方规制部门与排污企业的博弈模型, 分别研究了未引入地方政府干扰和中央环保部门约束以及引入干扰和约束的博弈方决策演化规律及其影响因素。赵昕^[12]探讨在政府参与下新能源产业和传统能源产业的合作竞争发展关系, 并证明政府参与能源结构调整和发展新能源产业是最优均衡策略选择。李越川^[13]以现代企业理论为基点, 结合演化博弈模型的方法对中国铁路运输企业产权制度变迁进行了分析。

1.2 基本假设

1.2.1 参与人的有限理性

传统的博弈理论一般假设参与人是完全理性的, 且参与人是在完全信息条件下进行博弈的。但是, 强假设条件在现实经济生活中难以实现。尽管可以假定人们主观上追求理性, 而由于环境的不确定性、信息不完全性以及参与人对环境与信息的计算能力和掌握能力的有限性, 现实中参与人难以具备完全理性。有限理性意味着博弈方不会一开始就找到最优策略, 而是有一个学习、试错的过程。在农村客运服务供给中, 相关参与人受到有限理性限制, 在博弈过程中, 通过感知其他参与人的决策对自身收益的影响, 而调整自身策略选择, 进而倾向于选择自身认为最有效的策略。

1.2.2 参与人之间信息不对称

信息不对称是指各方博弈参与人所掌握的信息不同, 在博弈过程中参与人的自利性行为导致其会隐瞒真实信息甚至提供虚假信息而造成相关方的利益失衡。信息不对称时, 占有信息的一方具有优势, 可以获得信息租金。农村客运服务的生产和交易过程相对复杂, 需要多个参与人分工协作来实现, 在研究过程中, 假定各参与人掌握的信息不对称。政府作为制度安排的制定者, 可以根据市场和公众的状况, 通过测定自身支付函数值的大小来决定相关供给政策^[14]。因此, 政府在大多数情况下作为信息的制造者, 在行动上占有主动地位。对于作为市场上供需双方的企业和公众而言, 只能在政府的供给政策框架下, 根据市场状况调整各自的决策行为, 两者的信息是不充分的。同时, 相关供给政策出台后的效果如何、是否需要进行调整等都应根据供需双方的决策行为做出, 而一般情况下, 政府是无法

掌握相关信息的。

1.3 模型概述

演化稳定策略 (Evolutionarily Stable Strategy) 和复制动态 (Replicator Dynamics) 是演化博弈理论的核心概念, 它们分别反映了稳定状态和向这种稳定状态收敛的动态过程。演化稳定策略概念的数学描述如下:

如果 $\forall y \in A, y \neq x$, 存在某个 $\bar{\varepsilon}_y \in (0, 1)$ 使得不等式:

$$u[x, \varepsilon y + (1 - \varepsilon)x] > u[y, \varepsilon y + (1 - \varepsilon)x], \quad (1)$$

对于所有的 $\varepsilon \in (0, \bar{\varepsilon}_y)$ 都成立, 那么 $x \in A$ 是个演化稳定策略。

式中, A 为群体中个体博弈时的支付矩阵; y 为突变策略; $\bar{\varepsilon}_y$ 为一个与突变策略 y 有关的常数, 称之为侵入界限; $\varepsilon y + (1 - \varepsilon)x$ 为选择进化稳定策略群体与选择突变策略群体所组成的混合群体^[15]。上述定义的意义在于, 假设一个所有成员采用相同策略的群体中, 出现一个采取不同策略的个体, 如果该个体只有较低的增值成功率, 那么该群体中的大部分个体所采用的策略相对于变异个体的策略是稳定的^[13]。

演化稳定策略和复制动态分别反映了稳定状态和向这种稳定状态收敛的动态过程, 演化博弈理论的稳定性求解过程可通过微分方程实现。达庆利等^[16]基于博弈方有限理性假设, 运用生物进化的“复制动态”机制对同质两群体 3×3 对称博弈中博弈方的学习和策略动态调整进行了模拟, 建立了其复制动态系统, 并完整地给出了系统的全部动力学行为。魏芳芳等^[17]运用演化博弈论中的“复制动态”思想, 对三方非对称的 $2 \times 2 \times 2$ 演化博弈进行了渐进稳定性分析, 为快速找到三方非对称博弈不同情况下参与主体的行为趋势提供了理论依据。

2 建立模型

2.1 行为描述

农村客运服务供给的博弈过程涉及政府、企业、公众等 3 个主体。其中: 政府主要是指政府相关管理部门, 这些部门担负农村客运服务供给义务、对农村客运服务市场进行监管; 企业主要是指农村客运服务市场上的各类运输生产企业, 它们直接为公众生产农村客运服务产品; 公众是农村客运的服务对象。

对于政府, 可以依据供给偏好和财政能力选择

对农村客运服务进行补贴（以下简称“补贴”），也可以选择将农村客运服务供给完全交给市场而对农村客运服务不予补贴（以下简称“不补贴”）。对于企业，可以为获取利润选择生产农村客运服务产品（以下简称“生产”），也有可能因为不能获得期望的收益而选择不生产农村客运服务产品（以下简称“不生产”）。对于公众，可以在出行中选择农村客运服务（以下简称“乘坐”），也可以选择不接受农村客运服务（以下简称“不乘坐”）而选择其他出行方式。

政府在农村客运服务供给中处于“元治理”地位。由于农村客运服务具有典型的地域特征，不同地区由于经济社会发展水平和基础条件的不同，地方政府对农村客运服务治理的目标和模式也不相同。但总体上看，政府一般以追求社会福利最大化为基本政策取向。对于企业而言，在博弈过程中以自身经济效益的最大化为目标；而对于公众而言，则是以自身效用最大化为目标（这里的效用是指公众在消费一定数量的农村客运服务时获得的满足程度的一个度量，一般是用效用函数或以某种基于效用函数的代表某种价值或收益形式的公众支付来表达）。

2.2 建立博弈树

分别设博弈参与者政府、企业、公众为 A, B, C ，根据行为描述，每个参与者均有 2 个策略可供选择，设参与者 A 的策略集为 $\{A_1, A_2\}$ ，参与者 B 的策略集为 $\{B_1, B_2\}$ ，参与者 C 的策略集为 $\{C_1, C_2\}$ 。设 x 和 $(1-x)$ 分别为参与者 A 在博弈中采取策略 A_1 和 A_2 的概率，设 y 和 $(1-y)$ 分别为参与者 B 在博弈中采取策略 B_1 和 B_2 的概率，设 z 和 $(1-z)$ 分别为参与者 C 在博弈中采取策略 C_1 和 C_2 的概率。

由于当企业选择“不生产”策略时，公众无法选择“乘坐”策略。因此，本研究中 3 个参与主体的策略组合共有 6 种，分别为：

策略 1（补贴，生产，乘坐）、策略 2（补贴，生产，不乘坐）、策略 3（补贴，不生产，不乘坐）、策略 4（不补贴，生产，乘坐）、策略 5（不补贴，生产，不乘坐）、策略 6（不补贴，不生产，不乘坐）。

通过以上的概念界定和模型假设，构建出政府、企业、公众三方演化博弈的博弈树，如图 1 所示。

2.3 参数设置

根据模型假设和博弈树确定出各参与主体的支付函数，如表 1 所示。该表中的博弈策略和收益结

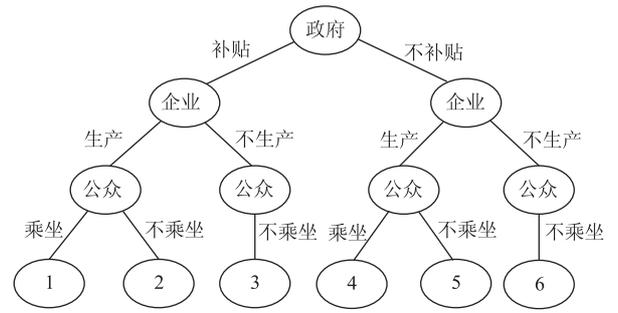


图 1 政府、企业、公众三方博弈树
Fig. 1 Tripartite game tree of government, enterprises and public

果分别对应政府、企业、公众。参数具体含义见表 2。

表 1 政府、企业、公众的支付函数

Tab. 1 Payoff function of government, enterprises and public

策略	政府	企业	公众
1	$B(V) - C(V)$	$P(S) \cdot V(P) - C(V) + S$	$B(V) - P(S) \cdot V(P)$
2	$-C(0) + B_e - D_e$	$-C(0) + S$	$B_e - D_e$
3	$B_e - D_e$	S	$B_e - D_e$
4	$B(V_0) - C(V_0)$	$P_0 \cdot V_0 - C(V_0)$	$B(V_0) - P_0 \cdot V_0$
5	$-C(0) + B_e - D_e$	$-C(0)$	$B_e - D_e$
6	$B_e - D_e$	0	$B_e - D_e$

根据经济学相关理论，由于公众效用 $B(V)$ 、生产成本 $C(V)$ 均遵循规模经济，随着运量 V 的增长而增长，但边际效应会逐步递减。同时，农村客运服务的运价 P 由企业确定，并随着企业获得的补贴 S 的增加而降低；运量 V 受运价 P 影响，随着运价 P 的降低会有所提升。因此，设：

$$B(V) = B_0 + \alpha V + \beta V^2, \tag{2}$$

式中， B_0 为不随 V 运量变化的公众效用， $B_0 = B(0)$ ， α, β 为设置参数，且 $B(V)$ 的一阶导数大于 0，二阶导数小于 0；

$$C(V) = C_0 + \sigma V + \delta V^2, \tag{3}$$

式中， C_0 为不随运量 V 变化的生产成本， $C_0 = C(0)$ ， σ, δ 为设置参数，且 $C(V)$ 的一阶导数大于 0，二阶导数小于 0；

$$V(P) = \frac{a}{P + b}, \tag{4}$$

$$P(S) = \frac{d}{S + c}, \tag{5}$$

式中， $a > 0, b > 0, c > 0, d > 0$ ，且 a, b, c, d 为常数；

不失一般性地设： $S > 0, V > V_0 > 0, P_0 > P > 0, B_0 > 0, C_0 > 0$ 。

表2 参数设定说明
Tab.2 Parameter definition

参数	含义
S	政府对农村客运服务提供的补贴
V	政府进行补贴时的农村客运量
V_0	政府不予补贴时的农村客运量
P	政府进行补贴时农村客运服务的价格
P_0	政府不予补贴时农村客运服务的价格
$B(V)$	公众乘坐农村客运出行所获得的效用
$C(V)$	农村客运企业的生产成本
B_e	公众使用其他方式出行获得的收益
D_e	公众使用其他方式出行支付的成本
x	政府选择补贴策略的概率
y	企业选择生产策略的概率
z	公众选择乘坐策略的概率

3 计算分析

3.1 政府博弈行为分析

3.1.1 模型求解

设: U_{A_1} 表示政府采取“补贴”策略时的期望收益, U_{A_2} 表示政府采取“不补贴”策略时的期望收益, $\overline{U_A}$ 表示政府的平均收益。

则根据支付函数可以得出:

$$U_{A_1} = yz(B_0 + \alpha V + \beta V^2 - C_0 - \sigma V - \delta V^2) + y(1-z)(-C_0 + B_e - D_e) + (1-y)(B_e - D_e), \quad (6)$$

$$U_{A_2} = yz(B_0 + \alpha V_0 + \beta V_0^2 - C_0 - \sigma V_0 - \delta V_0^2) + y(1-z)(-C_0 + B_e - D_e) + (1-y)(B_e - D_e), \quad (7)$$

$$\overline{U_A} = xU_{A_1} + (1-x)U_{A_2}. \quad (8)$$

根据演化博弈理论, 构建政府采取“补贴”策略的复制动态方程:

$$F(x) = \frac{dx}{dt} = x(U_{A_1} - \overline{U_A}) = x(1-x)(U_{A_1} - U_{A_2}). \quad (9)$$

将 U_{A_1} , U_{A_2} 的表达式代入式 (9) 并整理可得:

$$F(x) = x(1-x) \cdot yz[(\alpha - \sigma)(V - V_0) + (\beta - \delta)(V^2 - V_0^2)], \quad (10)$$

若 $yz[(\alpha - \sigma)(V - V_0) + (\beta - \delta)(V^2 - V_0^2)] = 0$, 则 $F(x) \equiv 0$, 此时任何 x 都是稳定状态, 没有讨论的意义。

若 $yz[(\alpha - \sigma)(V - V_0) + (\beta - \delta)(V^2 - V_0^2)] \neq 0$, 令 $F(x) = 0$, 得 $x = 0$ 和 $x = 1$ 是 x 的 2 个平衡点。

对式 (10) 求导得:

$$\frac{dF(x)}{dx} = (1-2x)yz[(\alpha - \sigma)(V - V_0) + (\beta - \delta)(V^2 - V_0^2)]. \quad (11)$$

根据演化博弈理论, 当 $\left. \frac{dF(x)}{dx} \right|_{x=x_0} < 0$ 时, x_0 为渐进稳定点。

式 (11) 中, $0 < y \leq 1$, $0 < z \leq 1$, 所以 $yz > 0$, 同时可简化为:

$$\frac{1}{2}(V - V_0) \{ [(\alpha + 2\beta V) - (\sigma + 2\delta V)] + [(\alpha + 2\beta V_0) - (\sigma + 2\delta V_0)] \}, \quad (12)$$

(1) 若 $\alpha + 2\beta V > \sigma + 2\delta V$, 则 $(\alpha - \sigma)(V - V_0) + (\beta - \delta)(V^2 - V_0^2) > 0$,

此时, $\left. \frac{dF(x)}{dx} \right|_{x=1} < 0$, $x = 1$ 为渐进稳定点。

(2) 若 $\alpha + 2\beta V < \sigma + 2\delta V$, 则 $(\alpha - \sigma)(V - V_0) + (\beta - \delta)(V^2 - V_0^2) < 0$,

此时, $\left. \frac{dF(x)}{dx} \right|_{x=0} < 0$, $x = 0$ 为渐进稳定点。

其他条件下, $(\alpha - \sigma)(V - V_0) + (\beta - \delta)(V^2 - V_0^2)$ 的正负与参数设定有关, 在此不再深入讨论。

3.1.2 主要结论

(1) 当公众的边际效用增量大于企业的边际成本增量时, 政府采取“补贴”策略会增进社会福利。反之, 即使政府采取“补贴”策略也不会增进社会福利。

(2) 政府在对农村客运服务进行补贴后, 有可能出现成本节约、效率提升、服务改善进而提升社会福利水平的情况, 但这也是基于特定供给方式, 而不是对不同供给方式的比较。因此, 即使政府通过对农村客运服务进行补贴而增进了社会福利水平, 也不代表政府选择了最优的农村客运服务供给方式。

3.2 企业博弈行为分析

3.2.1 模型求解

根据演化博弈理论, 构建企业采取“生产”策略的复制动态方程:

$$F(y) = y(1-y) \{ z[x(P \cdot V - C_0 - \sigma V - \delta V^2 + S) + (1-x)(P_0 \cdot V_0 - C_0 - \sigma V_0 - \delta V_0^2)] - z[x(-C_0 + S) + (1-x)(-C_0)] - C_0 \}, \quad (13)$$

式中, $x(P \cdot V - C_0 - \sigma V - \delta V^2 + S) + (1-x)(P_0 \cdot V_0 - C_0 - \sigma V_0 - \delta V_0^2)$ 为企业选择“生产”策略、公众选择“乘坐”策略时企业的期望收益, 设为 EE_1 ; $x(-C_0 + S) + (1-x)(-C_0)$ 为企业选择“生产”策略、公众选择“不乘坐”策略时企业的期望收益,

设为 EE_2 。

式(13)可化简为:

$$F(y) = y(1-y)[z(EE_1 - EE_2) - C_0], \quad (14)$$

若 $z(EE_1 - EE_2) - C_0 = 0$, 即 $z = \frac{C_0}{EE_1 - EE_2}$ 时,

则 $F(y) \equiv 0$, 即任何 y 都是稳定状态, 没有讨论的意义。

若 $z(EE_1 - EE_2) - C_0 \neq 0$, 即 $z \neq \frac{C_0}{EE_1 - EE_2}$ 时,

令 $F(y) = 0$, 得 $y = 0$ 和 $y = 1$ 是 y 的 2 个平衡点。

对式(14)求导得:

$$\frac{dF(y)}{dy} = (1-2y)[z(EE_1 - EE_2) - C_0], \quad (15)$$

此时有以下情况:

(1) 若 $EE_1 - EE_2 > 0$, 则:

当 $z > \frac{C_0}{EE_1 - EE_2}$ 时, $z(EE_1 - EE_2) - C_0 > 0$, 则

$$\left. \frac{dF(y)}{dy} \right|_{y=1} < 0, \quad y=1 \text{ 为渐进稳定点};$$

当 $z < \frac{C_0}{EE_1 - EE_2}$ 时, $z(EE_1 - EE_2) - C_0 < 0$, 则

$$\left. \frac{dF(y)}{dy} \right|_{y=0} < 0, \quad y=0 \text{ 为渐进稳定点}。$$

(2) 若 $EE_1 - EE_2 < 0$, 则:

$$z(EE_1 - EE_2) - C_0 < 0, \text{ 则 } \left. \frac{dF(y)}{dy} \right|_{y=0} < 0, \quad y=0$$

为渐进稳定点。

将 $EE_1 - EE_2$ 对 S 求一阶导数:

$$\frac{d(EE_1 - EE_2)}{dS} = \frac{-xad}{[b(S+c)+d]^2} \cdot (b + \sigma + 2\delta V), \quad (16)$$

由于 $\sigma + 2\delta V > 0$, 所以 $\frac{d(EE_1 - EE_2)}{dS} < 0$ 。

将 $EE_1 - EE_2$ 对 S 求二阶导数:

$$\frac{d^2(EE_1 - EE_2)}{dS^2} = \frac{2xad}{[b(S+c)+d]^3 b} \cdot (b + \sigma + 2\delta V) - \frac{2xa^2 d^2 \delta}{[b(S+c)+d]^4}, \quad (17)$$

由于 $\sigma + 2\delta V > 0, \delta < 0$, 所以 $\frac{d^2(EE_1 - EE_2)}{dS^2} > 0$ 。

3.2.2 主要结论

(1) 企业选择“生产”策略与公众选择“乘坐”策略的概率相关, 公众选择“乘坐”策略的概率越大, 企业越可能选择“生产”策略。

(2) 当公众选择“乘坐”策略时企业生产的期

望收益小于公众选择“不乘坐”策略时企业生产的期望收益, 企业会选择不生产。

(3) 若企业的固定成本越高, 则越倾向于不生产。

(4) 当企业选择“生产”策略时, 随着补贴的增加, 政府补贴能够增加企业的期望收益, 但是企业期望收益对于票价收入的依赖逐步减小。同时, 企业选择“生产”策略的意愿也逐步降低。

3.3 公众博弈行为分析

3.3.1 模型求解

根据演化博弈理论, 构建公众选择“乘坐”策略的复制动态方程:

$$F(z) = z(1-z)[xy(B_0 + \alpha V + \beta V^2 - P \cdot V) + (1-x)y(B_0 + \alpha V_0 + \beta V_0^2 - P_0 \cdot V_0) - (B_e - D_e)], \quad (18)$$

式中, $x(B_0 + \alpha V + \beta V^2 - P \cdot V) + (1-x)(B_0 + \alpha V_0 + \beta V_0^2 - P_0 \cdot V_0)$ 为企业选择“生产”策略, 公众选择“乘坐”策略的期望收益, 设为 EM_1 ; $(B_e - D_e)$ 为公众选择“不乘坐”策略时的期望收益, 设为 EM_2 。

则式(18)可以简化为:

$$F(z) = z(1-z)(yEM_1 - EM_2)。 \quad (19)$$

当 $y = 0$, 即企业选择“不生产”策略时, 公众必然无法选择“乘坐”策略。因此, 以下仅需讨论 $y = 1$ 时的情况, 即:

$$F(z) = z(1-z)(EM_1 - EM_2)。 \quad (20)$$

若 $EM_1 = EM_2$, 则 $F(z) \equiv 0$, 即任何 z 都是稳定状态, 没有讨论的意义。

若 $EM_1 \neq EM_2$, 令 $F(z) = 0$, 得 $z = 0$ 和 $z = 1$ 是 z 的 2 个平衡点。

对式(20)求导得:

$$\frac{dF(z)}{dz} = (1-2z)(EM_1 - EM_2), \quad (21)$$

此时有以下情况:

(1) 若 $EM_1 - EM_2 > 0$, 则 $\left. \frac{dF(z)}{dz} \right|_{z=1} < 0, z = 1$ 为渐进稳定点。

(2) 若 $EM_1 - EM_2 < 0$, 则 $\left. \frac{dF(z)}{dz} \right|_{z=0} < 0, z = 0$ 为渐进稳定点。

由于 EM_2 与补贴 S 无关, EM_1 与运价 P 、运量 V 、政府补贴 S 有关。

将 $EM_1 - EM_2$ 对 S 求一阶导数得:

$$\frac{d(EM_1 - EM_2)}{dS} = \frac{xad}{[b(S+c)+d]^2} \cdot (b + \alpha + 2\beta V), \quad (22)$$

由于 $\alpha + 2\beta V > 0$, 所以 $\frac{d(EM_1 - EM_2)}{dS} > 0$ 。

将 $EM_1 - EM_2$ 对 S 求二阶导数得:

$$\frac{d^2(EM_1 - EM_2)}{dS^2} = -\frac{2xad}{[b(S+c)+d]^4} - \frac{2xad}{[b(S+c)+d]^3b} \cdot (\alpha + 2\beta V) + \frac{2xa^2d^2\beta}{[b(S+c)+d]^4}, \quad (23)$$

由于 $\alpha + 2\beta V > 0$, $\beta < 0$, 所以 $\frac{d^2(EM_1 - EM_2)}{dS^2} < 0$ 。

3.3.3 主要结论

(1) 公众对出行方式的选择取决于不同出行方式期望收益之间大小的比较。在给予公众充分选择权的情况下, 公众会期望政府对能为自身带来最大效用的出行方式进行补贴。

(2) 政府对农村客运服务的补贴能够提升公众乘坐农村客运服务时的期望收益, 但增加幅度随着补贴的增加而减小。

4 结论

通过对政府、企业、公众三方博弈行为的分析, 可以发现: 政府在促进三方博弈均衡的过程中主导作用明显, 其补贴决策会对企业生产行为和公众决策行为产生极大影响。尽管实际制度安排要比任何博弈结构都要复杂^[18], 但通过演化博弈分析, 也可得出以下政策建议:

(1) 政府的治理水平和治理能力直接决定政府行为动机和演化博弈结果。通过公平公正的政府补贴机制约束政府寻租行为并引入市场机制以公开招标的方式遴选农村客运服务生产企业或给予公众自由选择农村客运出行方式的选择权(如通过凭单制的运用)可以有效改善农村客运服务的供给质量并提高供给效率。

(2) 规模经济和范围经济是运输企业非常显著的技术经济特征, 达到一定的运量水平是运输企业决策生产的必要条件。考虑到农村客运服务极强的公益性和不均衡的客流特征, 政府有必要给予一定的补贴并选择恰当的补贴方式以诱使运输企业提供符合规模经济要求的农村客运服务。

(3) 公众效用水平由公众主观衡量并受到多种因素影响, 除了本博弈分析中重点研究的价格外, 运输服务的覆盖范围、发车频率、准点率、服务质量等也会影响公众对农村客运服务的选择。因此, 政府对农村客运服务的制度安排除了关注补贴和价

格政策外, 对于运输服务的范围、频率和质量等也应提出相关要求并加强对服务的事中事后监管。

参考文献:

References:

- [1] 谢识予. 经济博弈论 [M]. 上海: 复旦大学出版社, 2001.
XIE Shi-yu. Economic Game Theory [M]. Shanghai: Fudan University Press, 2001.
- [2] 张良桥. 进化稳定均衡与纳什均衡——兼谈进化博弈理论的发展 [J]. 经济科学, 2001, 28 (3): 103 - 111.
ZHANG Liang-qiao. Evolutionary Stability Equilibrium and Nash Equilibrium: Development of Evolutionary Game Theory [J]. Economic Science, 2001, 28 (3): 103 - 111.
- [3] 程远. 基于演化博弈论的群体疏散行为研究 [D]. 北京: 北京化工大学, 2012.
CHENG Yuan. Research on Crowd Evacuation Behaviors Based on Evolutionary Game Theory [D]. Beijing: Beijing University Chemical Technology, 2012.
- [4] FENG T, TAI S, SUN C, et al. Study on Cooperative Mechanism of Prefabricated Producers Based on Evolutionary Game Theory [J]. Mathematical Problems in Engineering, 2017, 2017 (4): 1 - 6.
- [5] 刘旭旺, 汪定伟. 分组评标专家行为的演化博弈分析 [J]. 管理科学学报, 2015, 18 (1): 50 - 61.
LIU Xu-wang, WANG Ding-wei. Analysis of Referee Experts' Behaviors for Grouped Bid Evaluation Based on Evolutionary Game [J]. Journal of Management Sciences in China, 2015, 18 (1): 50 - 61.
- [6] 王健, 程苑, 张哲宁. 基于演化博弈论的汽车共享与私家车博弈研究 [J]. 交通信息与安全, 2017, 35 (2): 89 - 93.
WANG Jian, CHENG Yuan, ZHANG Zhe-ning. A Game Analysis between Carsharing and Private Cars Based on Evolutionary Game Theory [J]. Journal of Transport Information and Safety, 2017, 35 (2): 89 - 93.
- [7] 关宏志, 浦亮. 基于演化博弈理论的有限理性交通选择行为模型 [J]. 北京工业大学学报, 2010, 37 (8): 1077 - 1083.
GUAN Hong-zhi, PU Liang. A Drivers' Choice Behavior Model Based on Evolutionary Game Theory [J]. Journal of Beijing University of Technology, 2010, 37 (8): 1077 - 1083.
- [8] 杨露. 基于演化博弈的校园快递参与主体合作机制研究 [D]. 郑州: 郑州大学, 2017.
YANG Lu. Study on Cooperation Mechanism among

- Campus Express Entities Based on Evolutionary Game Theory [D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2017.
- [9] 齐宝库, 蔚筱偲, 郭亮亮. 基于演化博弈理论的绿色采购政府激励模型构建与应用 [J]. 沈阳建筑大学学报: 自然科学版, 2010, 26 (4): 813-816.
 QI Bao-ku, WEI Xiao-si, GUO Liang-liang. Establishment and Application of Green Procurement Model in Government Incentives Based on Evolutionary Game Theory [J]. Journal of Shenyang Jianzhu University: Natural Science Edition, 2010, 26 (4): 813-816.
- [10] 张国兴, 高晚霞, 管欣. 基于第三方监督的食品安全监管演化博弈模型 [J]. 系统工程学报, 2015, 30 (2): 153-164.
 ZHANG Guo-xing, GAO Wan-xia, GUAN Xin. Evolutionary Game Model of Food Safety Supervision Based on the Third-party Intendance [J]. Journal of Systems Engineering, 2015, 30 (2): 153-164.
- [11] 潘峰, 王琳. 环境规制中地方规制部门与排污企业的演化博弈分析 [J]. 西安交通大学学报: 社会科学版, 2018, 38 (1): 71-81.
 PAN Feng, WANG Lin. Evolutionary Game Analysis of Local Regulatory Department and Pollutant Enterprises in Environmental Regulation [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University: Social Science Edition, 2018, 38 (1): 71-81.
- [12] 赵昕, 朱连磊, 丁黎黎. 能源结构调整中政府、新能源产业和传统能源产业的演化博弈分析 [J]. 武汉大学学报: 哲学社会科学版, 2018, 71 (1): 145-156.
 ZHAO Xin, ZHU Lian-lei, DING Li-li. Evolutionary Game Analysis of Government, New Energy Industry and Traditional Energy Industry in Energy Structure Adjustment [J]. Wuhan University Journal: Philosophy & Social Science Edition, 2018, 71 (1): 145-156.
- [13] 李越川. 中国铁路运输企业产权制度的变迁——一种演化博弈理论的分析框架 [D]. 北京: 北京交通大学, 2008.
 LI Yue-chuan. Institutional Change of China Railway Transportation Enterprises Property Rights: An Analysis Framework of Evolutionary Game Theory [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2008.
- [14] 张薇. 房地产市场中政府与投机者的行为博弈分析 [J]. 金融与经济, 2006, 21 (2): 26-29.
 ZHANG Wei. Analysis of Behavioral Gambling of Government and Speculators in Real Estate Market [J]. Journal of Finance and Economics, 2006, 21 (2): 26-29.
- [15] 张良桥. 论进化稳定策略 [J]. 经济评论, 2003, 14 (2): 70-74.
 ZHANG Liang-qiao. On Evolutional Stabilization Strategy [J]. Economic Review, 2003, 14 (2): 70-74.
- [16] 达庆利, 张骥骧. 有限理性条件下进化博弈均衡的稳定性分析 [J]. 系统工程理论方法应用, 2006, 15 (3): 279-284.
 DA Qing-li, ZHANG Ji-xiang. Stability of Evolutionary Equilibrium under Bounded Rationality [J]. Journal of Systems & Management, 2006, 15 (3): 279-284.
- [17] 魏芳芳, 陈福集. 三方非对称进化博弈行为分析 [J]. 浙江大学学报: 理学版, 2013, 40 (2): 146-151.
 WEI Fang-fang, CHEN Fu-ji. A Behavior Analysis of Evolutionary Game under Three Asymmetric Parties [J]. Journal of Zhejiang University: Science Edition, 2013, 40 (2): 146-151.
- [18] 埃莉诺·奥斯特罗姆. 公共事务的治理之道: 集体行动制度的演进 [M]. 上海: 上海译文出版社, 2012.
 ELINOR O. Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action [M]. Shanghai: Shanghai Transition Publishing House, 2012.