

6-20-2023

Evolution Analysis of Manufacturing Supply Chain Layout Considering Import Tax Burden and Customs Clearance Delay

Wuqiang Li

School of Economics and Management, Chang'an University, Xi'an 710064, China

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Evolution Analysis of Manufacturing Supply Chain Layout Considering Import Tax Burden and Customs Clearance Delay

Abstract

For foreign suppliers located in the special customs supervision area of free trade zone (FTZ), they can avoid the import tax burden of the remaining inventory can be avoided, but the import clearance may affect the timeliness of supply. *Considering the widespread application of pull production, evolutionary game is introduced to study the influence of import tax burden and customs clearance delay on supply chain layout in FTZ.* Three evolutionary stability strategies (ESS) are researched, which can be determined by the three conditions constructed by the import tax burden and customs clearance delay. The impact of import tax burden on the policy evolution speed of supplier and manufacturer is related to ESS. The impact of customs clearance delay on the layout evolution is uncertain. The research results can provide reference for the planning and management of free trade zones.

Keywords

free trade zone, import tax burden, customs clearance delay, the timeliness of supply, evolutionary game theory

Recommended Citation

Wuqiang Li. Evolution Analysis of Manufacturing Supply Chain Layout Considering Import Tax Burden and Customs Clearance Delay[J]. Journal of System Simulation, 2023, 35(6): 1322-1336.

考虑进口税负与通关延误的制造供应链布局演化分析

李武强

(长安大学 经济与管理学院, 陕西 西安 710064)

摘要: 国外供应商选址自贸区海关特殊监管区域能够避免剩余库存进口税负, 但“二线”通关可能影响供应及时性。以拉动式生产广泛应用为背景, 引入演化博弈研究进口税负和通关延误对自贸区供应链布局的影响。存在 3 种布局演化稳定策略, 并给出了基于进口税负与通关延误判定演化方向的 3 个条件; 进口税负对系统演化速度的影响与演化稳定策略相关; 通关延误对布局演化的影响具有不确定性。相关结果可以为自贸区规划管理提供参考。

关键词: 自贸区; 进口税负; 通关延误率; 供应及时性; 演化博弈

中图分类号: C93; TP391 文献标志码: A 文章编号: 1004-731X(2023)06-1322-15

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.23-0065

引用格式: 李武强. 考虑进口税负与通关延误的制造供应链布局演化分析[J]. 系统仿真学报, 2023, 35(6): 1322-1336.

Reference format: Li Wuqiang. Evolution Analysis of Manufacturing Supply Chain Layout Considering Import Tax Burden and Customs Clearance Delay[J]. Journal of System Simulation, 2023, 35(6): 1322-1336.

Evolution Analysis of Manufacturing Supply Chain Layout Considering Import Tax Burden and Customs Clearance Delay

Li Wuqiang

(School of Economics and Management, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: For foreign suppliers located in the special customs supervision area of free trade zone (FTZ), they can avoid the import tax burden of the remaining inventory can be avoided, but the import clearance may affect the timeliness of supply. Considering the widespread application of pull production, evolutionary game is introduced to study the influence of import tax burden and customs clearance delay on supply chain layout in FTZ. Three evolutionary stability strategies (ESS) are researched, which can be determined by the three conditions constructed by the import tax burden and customs clearance delay. The impact of import tax burden on the policy evolution speed of supplier and manufacturer is related to ESS. The impact of customs clearance delay on the layout evolution is uncertain. The research results can provide reference for the planning and management of free trade zones.

Keywords: free trade zone; import tax burden; customs clearance delay; the timeliness of supply; evolutionary game theory

0 引言

自 2013 年上海自贸区设立以来, 我国已经批复建设了 21 个自贸区, 为了加速高端制造业集群的发展, 促进贸易便利化, 各自贸区均划定了海

关特殊监管区域为企业提供保税服务^[1]。由于能避免因剩余库存所缴纳的进口相关税费损失(简称税负损失), 国外供应商通过设置在海关特殊监管区域的仓库向国内制造商供给物料的布局模式在国内许多情境下得到了应用^[2]。但这却带来了新的问

收稿日期: 2023-01-27

修回日期: 2023-03-25

基金项目: 教育部人文社会科学研究青年基金(21YJC630057); 陕西省社会科学基金(2018S38); 陕西省自然科学基金(2019JQ-500)

第一作者: 李武强(1984-), 男, 副教授, 博士, 研究方向为物流与供应链管理。E-mail: wuqiang1984@139.com

题: 随着订单拉动式生产的广泛应用, 制造商更加重视物料供给的及时性^[3], 而通关时间的波动则会对产生负面影响。此外, 我国关税政策、通关效率也在不断调整优化, 在此背景下是否存在其他可行的国际制造供应链布局模式?

技术更新的加速以及行业竞争, 导致终端产品需求的不确定性增加^[4], 为了应对剩余库存相关损失、降低运营成本, 国际企业在选址时越来越关注进口税负的影响^[5]。王圣池等^[6]构建了涉及关税、运输成本等因素的双目标规划模型, 发现若仅考虑网络运营收益, “两头在外”的跨国企业将优先选址自贸区外, 但如果取消“两头在外”的限制且增加物流绩效所占比重, 企业将会向自贸区转移。Wu等^[7]基于产品批次和批量两个角度将进口税负分为固定成本与变动成本, 并发现两类成本都足够高的情景下制造商选址发达国家较优, 而高固定成本与低变动成本情景下则应选址不发达国家。胡玉真等^[8]则以跨境电商平台的海外仓选址及运输规划问题为对象, 构建了最小化建仓及运输成本的两阶段数学规划模型, 并以日本地区建设海外仓为例验证了模型及相应求解算法的有效性。此外, 还有徐璐等^[9]关于国内外同类竞争企业选址的研究, Kchaou等^[10]对跨国企业动态选址的研究等, 以上均表明进口税负已经成为影响国际企业选址的重要因素。

需求的不确定性也导致了JIT生产、柔性制造等订单拉动式生产方式的广泛应用, 而这也使得制造商对供应及时性提出了更高的要求, 进而影响了企业的布局问题^[11]。在汽车制造领域, 循环取货模式已成为零部件的主要供货方式之一, 为了保障供货及时性, 其要求供应商就近布局且能够按照时间窗要求进行配货^[12-13], 相关学者以此为背景开展研究, 成果涉及节点选址-路径优化研究^[14]、考虑到达时间约束的物流成本优化研究^[15]等多个方面。在其他领域, 上述问题相关研究也逐步开展, 如王春阳等^[16]以供应商、制造商、配送中心、回收中心, 以及处理中心构成的多层次

闭环供应链网络为研究对象, 在综合考虑供给延迟成本、碳排放等因素影响的基础上, 探讨了网络内设施选址、设施间流量分配等网络资源配置优化问题。Tian等^[17]以能够及时响应顾客的定制化需求为目标, 在考虑制造任务、供应商位置, 以及风险等因素的基础上, 提出了一种基于图优化理论的成本模型, 并探讨了制造商的选址问题, 最后以笔记本制造供应链为对象进行了验证。

综上所述, 目前关于供应商或制造商选址问题的研究较少考虑合作企业设施位置的动态变化对决策的影响; 其次, 对进口税负以及供应及时性两个因素同时给予关注的研究不多。针对上述问题, 本文拟定以进口税负、与供应及时性密切相关的通关延误两因素为主对国际制造供应链布局演化问题展开研究。选择以上2个因素开展研究的主要原因有: ①从实践来看, 规避进口税负损失是企业选址海关特殊监管区域的主要原因; ②通关时间受疫情管控、设备故障等因素影响而发生的非正常波动均可能导致供给延误, 属于企业不可控因素, 相对于供需双方选址相同区域物流供给完全可控的情景, 选址不同区域的策略由于供给物流需要通关处于劣势, 通关延误成为影响企业选址的重要因素。

1 模型假设

在自贸区着力建设的高端产业集群中, 存在国外零部件供应商群体和制造商群体, 其运作方式为单个制造商向单个供应商采购零部件并制成成品向国内销售, 基于同一产业原因假设零部件和成品具有较强的替代性。供应商与制造商会根据现行政策与趋势确定选址、构建合作关系, 并在一个合作周期后通过合作伙伴评价以及自身收益与同类企业对比分析, 确定下个阶段的合作对象与选址改进策略, 在产业逐步发展过程中最终形成稳定的供应链布局。针对上述现象, 选择引入演化博弈进行研究, 主要原因: ①从国外历史

经验来看, 20世纪中期“自由区”“出口加工区”等形态的自贸区经历了长期发展^[18], 与其相关的供应链布局也是逐步演化的; ②现实中企业决策主体是有限理性的^[19]; ③演化博弈在供应链方向已有较多应用^[20], 相关研究主要考虑了上下游企业群体的有限理性与合作伙伴变更^[21]、策略借鉴与逐步改进^[22]等特点, 从自贸区及企业长期发展来看, 制造业集群背景下的制造商与供应商博弈合作也符合上述特点。

供应商、制造商的策略集均为 $\{N, W\}$, 其中, N 表示选址自贸区海关特殊监管区域(简称区内); W 表示选址国内且自贸区海关特殊监管区域外(简称区外)。当二者选址不同时, 零部件经通关才能到达制造商。现实中, 进口企业往往会根据进口通关统计数据或业务经验确定提前开展业务, 但设备故障、货物抽检和通关需求陡增都可能导致通关时间超出正常估值范围, 最终造成供给延迟。本文将因通关可能发生的供给延误机率定义为通关延误率 α 。考虑到延误供给主要是供应商造成的, 假定延误供给发生后制造商、供应商造成的损失分别为 c_m 、 c_s , 且 $c_s \geq c_m \geq 0$ 。

制造商实行订单拉动式生产, 要求供应商以多频次、小批量的形式供应零部件。由于市场需求 D 不确定, 制造商无法提前告知供应商订货量, 仅知高需求 D_H 的概率为 β , 低需求 D_L 的概率为 $1-\beta$, 定义 $\Delta D = D_H - D_L$, $\bar{D} = \beta D_H + (1-\beta)D_L$ 。鉴于国际运输耗时较长, 生产周期内无法补货, 供应商需要提前确定库存 Q , 基于理性约束可知 $D_L \leq Q \leq D_H$, 实际供给量 $O = \min\{Q, D\}$ 。当供应商选址区外时, 若 $Q > D$ 则需将多余部分退回, 相比选址区内情景需要额外承担 $(Q-O)wt$ 的税负损失, 其中, w 为进口零部件的完税价格; t 为进口综合税率(简称税率), 表示进口税负高低。当供应商选址区内时, 无须承担剩余库存税负损失。

根据《中华人民共和国海关审定进出口货物完税价格办法》, 进口货物的完税价格由海关以该

货物的成交价格为基础确定, 成交价格不明确的根据相同或类似货物的成交价格进行估值。依据上述办法兼顾税负公平, 假定 w 为零部件成交价格, 进口税负由制造商承担, 即: 博弈双方均位于区内时, 制造商以单价 w 支付零部件费用; 当制造商位于区外时, 其实际支付单价为 $w(1+t)$, 不考虑供应商在区外存储零部件后和制造商重新议价的情况。

为了鼓励区内加工制造企业开拓国内市场, 推进区内、区外税负公平, 我国于2013年开始陆续在自贸区推广“选择性征收关税政策”, 该政策允许在区内生产、加工并经“二线”内销的货物, 可按其对应进口料件或实际报验状态征收关税。基于此, 将制造商成品销售价格 \hat{p} 分解为基础价格 p 和进口零部件综合税负 wt 两部分, 即 $\hat{p} = p + wt$ 。考虑到竞争者较多的环境下价格由市场决定的现象, 参考文献[23-24]假定 p 、 w 是外生的。

定义供应商、制造商群体中选址区内的比率分别为 x 、 y , 且 $x, y \in [0, 1]$ 。受特殊监管区域政策制约, 供应商、制造商选址区内时分别会有额外的运营成本 δ_s 、 δ_m , 相比供应商以仓配为主的业务内容, 制造商运营更加复杂, 涉及人员管理、物流运作、生产管理等内容, 成本更高, 因此定义 $\delta_m \geq \delta_s$ 。

2 策略组合与最优库存决策

2.1 不同策略组合下的收益分析

鉴于实际计税体系的复杂性, 在主要考虑进口税负的基础上, 基于税负公平与避免重复征税的原则, 简化了相关收益函数中税负成本描述。定义在策略组合 $\{i, j\}$ 情景下, 供应商、制造商的收益分别为 π_s^i 、 π_m^j , 其中, i 表示供应商策略, j 表示制造商策略, $i, j \in \{N, W\}$ 。

当策略组合为 $\{W, W\}$ 时, 供应商、制造商收益分别为

$$\pi_s^{WW} = Ow(1+t) - Qwt = Ow - (Q-O)wt \quad (1)$$

$$\pi_m^{WW} = O\hat{p} - Ow(1+t) = O(p-w) \quad (2)$$

式(1)中供应商以 $w(1+t)$ 的单价向制造商供应批量为 O 的零部件,同时上缴 Qwt 的综合进口税;式(2)中制造商以 \hat{p} 的价格售卖成品,以单价 $w(1+t)$ 支付零部件购入成本。

当博弈双方采用 $\{N,N\}$ 策略时,考虑制造商根据“选择性征收关税政策”对内销产品按进口料件报税,供应商、制造商收益分别为

$$\pi_s^{NN} = Ow - \delta_s \quad (3)$$

$$\pi_m^{NN} = O\hat{p} - Ow - Owt - \delta_m = O(p-w) - \delta_m \quad (4)$$

$\{N,N\}$ 策略组合中博弈双方均在区内,因此在式(3)、(4)中供应商以完税价格 w 向制造商供货,而制造商则在进口报关时按进口料件缴税 Owt 。

由式(1)~(4)的表述可知,实际供给的零部件进口税负通过价格体系传导,最终由消费者承担,基于完税价格 w 和基础价格 p 构建的收益函数与其无关。与上类似,可得其他策略组合中博弈双方的收益,见表1。定义 $D_L w - \delta_s > 0$ 、 $D_L(p-w) - \delta_m > 0$,表示供应商、制造商均有选址区内的可能。

表1 博弈收益矩阵
Table 1 Game payoff matrix

供应商	制造商	
	区内	区外
区内	$Ow - \delta_s, O(p-w) - \delta_m$	$Ow - ac_s O - \delta_s, O(p-w) - ac_m O$
区外	$Ow - ac_s O - (Q-O)wt, O(p-w) - ac_m O - \delta_m$	$Ow - (Q-O)wt, O(p-w)$

2.2 基于库存决策的税负水平划分

供应商的收益与其库存相关,基于收益最大化原则可得不同策略组合中供应商的最优库存 Q^* 。

引理1: 当供应商选址区内时, $Q^* = D_H$ 。

证明: 首先,求解 $\{N,N\}$ 策略组合中供应商的最优库存。

$$\pi_s^{NN} = Ow - \delta_s = \beta Qw + (1-\beta)D_L w - \delta_s$$

$$\pi_s^{NN} \text{ 关于 } Q \text{ 单调递增, 由约束条件 } D_L \leq Q \leq D_H$$

可知供应商的最优库存 $Q^* = D_H$ 。

同理,可证明 $\{N,W\}$ 策略组合中 $Q^* = D_H$ 。

引理1表明当供应商选址区内时,由于保税服务可以使其免受进口税负损失,因此,供应商库存决策以满足制造商订单为优先目标,会选择高库存。

$$\text{定义: } t_L(\alpha) = \frac{\beta(w-ac_s)}{(1-\beta)w}, t_H = \frac{\beta}{1-\beta}, \hat{\alpha} = \frac{w}{c_s}$$

与上类似,可得供应商选址区外的最优库存,如引理2、3所示。

引理2: 在 $\{W,W\}$ 策略组合中,当 $t < t_H$ 时, $Q^* = D_H$; 否则, $Q^* = D_L$ 。

引理2中 $t < t_H$ 即等价于 $(1-\beta)wt < \beta w$,结合理性约束 $D_L \leq Q \leq D_H$ 可知,当供应商在 D_L 的基础上每增加1单位的零部件库存,其带来的期望税负损失 $(1-\beta)wt$ 要小于期望收益 βw ,此时,供应商应增加库存至 D_H ;相反, $t \geq t_H$ 时供应商期望税负损失过高,应保留最低库存。

引理3: 在 $\{W,N\}$ 策略组合中,当 $t < t_L(\alpha)$ 时, $Q^* = D_H$; 否则 $Q^* = D_L$ 。

上述策略组合中 $t < t_L(\alpha)$ 等价于 $(1-\beta)wt < \beta(w-ac_s)$,其中, $\beta(w-ac_s)$ 表示供应商在 D_L 的基础上每增加1单位的零部件库存所带来的期望净收益,与引理2不同的是此时需要考虑通关延误损失。结合引理2、3总体来看,当供应商选址区外时,税率越高其越倾向于选择低库存。

此外,供应商的最优库存 $Q^* \in \{D_H, D_L\}$ 。当 $Q^* = D_H$ 时,制造商任何需求供应商均能满足,根据实际供给量定义可知 $O = \beta \min\{D_H, D_H\} + (1-\beta) \min\{D_H, D_L\} = \bar{D}$ 当 $Q^* = D_L$ 时,供应商仅能提供数量为 D_L 的零部件,相应可得 $O = D_L$ 。

易知 $t_L(\alpha)$ 是关于 α 的递减函数,且 $t_L(0) = t_H$, $t_L(\hat{\alpha}) = 0$ 。定义 $0 < t \leq t_L(\alpha)$, $t_L(\alpha) < t < t_H$ 以及 $t \geq t_H$ 分别为低、中、高税负水平。需要注意的是上述关于税负水平的划分主要是基于库存决策差异且与 α 相关,并非一般意义上的税负类型划分。

以 Q^{ij} 、 O^{ij} 表示在 $\{i,j\}$ 策略组合中供应商的最优库存与实际供给量。由于供应商在区内的库存均为 D_H 、实际供给为 \bar{D} ，因此，表 2 仅展示供应商在区外情况下的库存与实际供给。

表 2 供应商选址区外的最优库存与实际供给量
Table 2 Optimal inventory and actual supply when supplier selects policy N

库存与供给	低税负	中等税负	高税负
决策	$t \leq t_L(\alpha)$	$t_L(\alpha) < t < t_H$	$t \geq t_H$
$\{Q^{WN}, O^{WW}\}$	$\{D_H, D_H\}$	$\{D_L, D_H\}$	$\{D_L, D_L\}$
$\{O^{WN}, O^{WW}\}$	$\{\bar{D}, \bar{D}\}$	$\{D_L, \bar{D}\}$	$\{D_L, D_L\}$

3 演化博弈分析

按照低、中、高 3 种税负情景的顺序对系统演化进行分析，最后对 3 种情况进行整合。

3.1 低税负情景博弈演化分析

结合表 1~2，可得低税负情景供应商、制造商收益矩阵，如表 3 所示。

表 3 低税负情景博弈收益矩阵
Table 3 Game payoff matrix in low tax burden scenario

供应商	制造商	
	区内	区外
区内	$\bar{D}w - \delta_s, \bar{D}(p-w) - \delta_m$	$\bar{D}w - ac_s \bar{D} - \delta_s, \bar{D}(p-w) - ac_m \bar{D}$
区外	$\bar{D}w - ac_s \bar{D} - (1-\beta)\Delta Dwt, \bar{D}(p-w) - ac_m \bar{D} - \delta_m$	$\bar{D}w - (1-\beta)\Delta Dwt, \bar{D}(p-w)$

供应商选址区内、区外的收益 E_s^N 、 E_s^W 和平均收益 \bar{E}_s 分别为

$$E_s^N = y(\bar{D}w - \delta_s) + (1-y)(\bar{D}w - ac_s \bar{D} - \delta_s)$$

$$E_s^W = y[\bar{D}w - ac_s \bar{D} - (1-\beta)\Delta Dwt] + (1-y)[\bar{D}w - (1-\beta)\Delta Dwt]$$

$$\bar{E}_s = xE_s^N + (1-x)E_s^W$$

制造商选址区内、区外的收益 E_m^N 、 E_m^W 和平均收益 \bar{E}_m 分别为

$$E_m^N = x[\bar{D}(p-w) - \delta_m] + (1-x)[\bar{D}(p-w) - ac_m \bar{D} - \delta_m]$$

$$E_m^W = x[\bar{D}(p-w) - ac_m \bar{D}] + (1-x)\bar{D}(p-w)$$

$$\bar{E}_m = yE_m^N + (1-y)E_m^W$$

根据演化博弈理论，可得供应商、制造商采用 N 策略的复制动态方程：

$$\frac{dx}{dt} = F_L(x) = x(E_s^N - \bar{E}_s)$$

$$\frac{dy}{dt} = G_L(y) = y(E_m^N - \bar{E}_m)$$

由上可得布局演化二维动力系统 Z_1 ：

$$\begin{cases} F_L(x) = x(1-x)[(1-\beta)\Delta Dwt - \delta_s - ac_s \bar{D} + 2ac_s \bar{D}y] \\ G_L(y) = y(1-y)(-ac_m \bar{D} - \delta_m + 2ac_m \bar{D}x) \end{cases}$$

令 $F_L(x) = 0$ ， $G_L(y) = 0$ 可求得系统 Z_1 的均衡点 $(0,0)$ 、 $(0,1)$ 、 $(1,0)$ 、 $(1,1)$ 、 (\hat{x}_L, \hat{y}_L) 。其中：

$$\hat{x}_L = \frac{1}{2} + \frac{\delta_m}{2ac_m \bar{D}}$$

$$\hat{y}_L = \frac{1}{2} + \frac{\delta_s - (1-\beta)\Delta Dwt}{2ac_s \bar{D}}$$

构建系统 Z_1 的 Jacobian 矩阵：

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial F_L(x)}{\partial x} & \frac{\partial F_L(x)}{\partial y} \\ \frac{\partial G_L(x)}{\partial x} & \frac{\partial G_L(y)}{\partial y} \end{bmatrix}$$

当 $\det J > 0$ 且 $\text{tr} J < 0$ 时，矩阵 J 的均衡点具有局部稳定性，为演化稳定策略(ESS)。对矩阵 J 进行稳定性分析，如表 4 所示。

表 4 低税负情景均衡点局部稳定性分析
Table 4 Local stability analysis of equilibrium point in low tax burden scenario

均衡点	局部稳定性	条件	备注
$(0,0)$	ESS	$(1-\beta)\Delta Dwt < \delta_s + ac_s \bar{D}$	
$(1,1)$	ESS	$\begin{cases} ac_m \bar{D} > \delta_m \\ (1-\beta)\Delta Dwt > \delta_s - ac_s \bar{D} \end{cases}$	可简化为 $ac_m \bar{D} > \delta_m$
$(1,0)$	ESS	$\begin{cases} ac_m \bar{D} < \delta_m \\ (1-\beta)\Delta Dwt > \delta_s + ac_s \bar{D} \end{cases}$	
$(0,1)$	不稳定		$\text{tr} J > 0$
(\hat{x}_L, \hat{y}_L)	不稳定		$\det J < 0$

均衡点 $(0,0)$ 具有局部稳定性的条件中， $(1-\beta)\Delta Dwt$ 为高库存情况下，供应商选址区外的期望税负损失； $\delta_s + ac_s \bar{D}$ 为 $\{N,W\}$ 策略组合下供应商的综合损失，包括额外运营成本与通关延误

损失两部分。这一条件表示当供应商在 $\{W, W\}$ 策略组合中的期望税负损失小于在 $\{N, W\}$ 策略组合中的综合损失时, 选址区外成为博弈双方的有效方案之一。

均衡点 $(1, 1)$ 具有局部稳定性的限定条件有 2 个, 但由假设可知 $\delta_m/c_m > \delta_s/c_s$, 因此, 当 $\alpha \geq \delta_m/(c_m \bar{D})$ 时, 必然存在 $(1-\beta)\Delta Dwt > \delta_s - \alpha c_s \bar{D}$ 。由此, 有效条件仅为 $\alpha c_m \bar{D} - \delta_m > 0$ 。这也说明在供应商选择高库存的情况下, 当制造商的通关延误损失大于其区内额外运营成本时, 与供应商同时选址区内是更优的策略。

均衡点 $(1, 0)$ 具有局部稳定性的条件有 2 个, 其中, $\alpha c_m \bar{D} < \delta_m$ 表示在 $\{N, W\}$ 策略组合中制造商承担的通关延误损失要小于其在区内的额外运营成本, 因此, 制造商选址区外更有利; 第 2 个条件与均衡点 $(0, 0)$ 具有局部稳定性的条件相反, 表明供应商倾向于选址区内。

均衡点 $(0, 1)$ 不具有局部稳定性, 这是因为此情景下不仅博弈双方均须承担通关延误损失, 而且供应商还需承担税负损失, 成本最高。而均衡点 (\hat{x}_L, \hat{y}_L) 为不稳定点, 其演化方向不确定。

综上所述, 系统 Z_1 是否存在 ESS 的边界条件仅与 $(1-\beta)\Delta Dwt = \delta_s + \alpha c_s \bar{D}$ 、 $\alpha c_m \bar{D} = \delta_m$ 相关。

定义: $t_b(\alpha) = \frac{\delta_s + \alpha c_s \bar{D}}{(1-\beta)\Delta Dw}$, $\bar{\alpha} = \frac{\delta_m}{c_m \bar{D}}$, 易知 $\bar{\alpha} < \hat{\alpha}$ 。

命题 1: 低税负情景 ($t \leq t_L(\alpha)$), 系统 Z_1 的 ESS

存在 4 种情景

(1) 当 $t < t_b(\alpha)$ 时, 若 $\alpha \leq \bar{\alpha}$ 则 ESS 为 $\{W, W\}$, 若 $\alpha > \bar{\alpha}$ 则 ESS 为 $\{W, W\}$ 或 $\{N, N\}$;

(2) 当 $t > t_b(\alpha)$ 时, 若 $\alpha < \bar{\alpha}$ 则 ESS 为 $\{N, W\}$, 若 $\alpha > \bar{\alpha}$ 则 ESS 为 $\{N, N\}$ 。

命题 1 给出了 α 与 t 组合条件下系统 Z_1 的 ESS。为了便于描述, 定义 A、B、C、D 为由 α 与 t 组成的二维平面中的相关区域, 其中: 若 $(\alpha, t) \in A$, 则 ESS 为 $\{W, W\}$; 若 $(\alpha, t) \in B$, 则 ESS 为 $\{N, W\}$; 若 $(\alpha, t) \in C$, 则 ESS 为 $\{N, N\}$; 若 $(\alpha, t) \in D$, 则 ESS 为 $\{W, W\}$ 或 $\{N, N\}$ 。下文表述与此类似, 不再赘述。

由于 $t_b(\alpha)$ 是关于 α 的递增函数, 且 $t_b(0)$ 与 $t_b(\bar{\alpha})$ 、 $t_L(\bar{\alpha})$ 、 t_H 的大小关系由需求状况、额外运营成本等参数决定, 因此, 在给定相关参数的情景下, 在由 α 与 t 组成的二维平面中 A、B、C、D 4 个区域并不一定都会出现, 具体如图 1 所示。

区域 A 中 $\{W, W\}$ 是唯一的 ESS, 在其范围内制造商选址区外所承担的通关延误成本不大于其区内的额外运营成本 ($\alpha c_m \bar{D} \leq \delta_m$), 因此, 无论供应商如何选择, 制造商都会选址区外, 而条件 $t < t_b(\alpha)$ 决定了供应商选址区外的收益要优于区内。区域 B 中 $\{N, W\}$ 是唯一的 ESS, 与区域 A 相比, 其要求 $(1-\beta)\Delta Dwt > \delta_s + \alpha c_s \bar{D}$ 。区域 C 中 $\{N, N\}$ 是唯一的 ESS, 与表 4 不同之处在于增加了限定条件 $t > t_b(\alpha)$, 其明确了供应商选址区内的收益要优于区外。

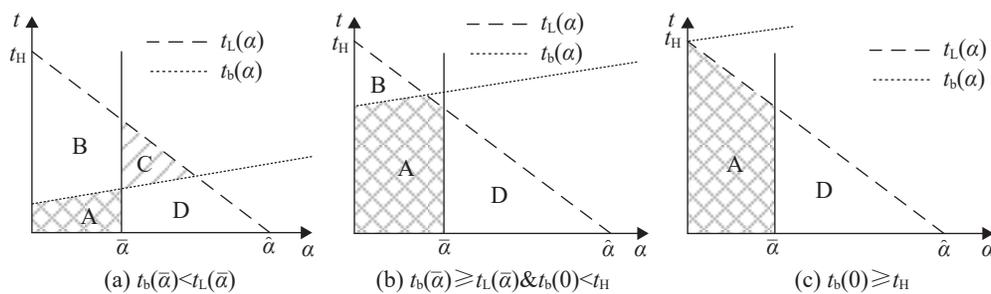


图1 低税负情景 ESS 分区
Fig. 1 ESS-based zoning in low tax burden scenario

基于命题 1 管理部门不仅可以在调研基础上对供应链布局的演化方向进行预判,同时也可以主动控制税率或者通关延误率的变化使其跨越命题 1 中相关边界,从而形成新的 ESS。由图 1(a)所示,若最初的税率与通关延误率位于区域 D,则管理者可以提高通关效率使通关延误率 $<\bar{\alpha}$,藉此引导布局向博弈双方均选址区外演化;同样,若关税上升使税率 $>t_b(\alpha)$,此时布局向博弈双方均选址区内演化。若最初的税率与通关延误率位于区域 B,当税率下降并低于 $t_b(\alpha)$ 则会导致 ESS 由 $\{N, W\}$ 向 $\{W, W\}$ 转变。

区域 D 中,通关延误成本相对较高,博弈双方倾向于选址相同区域。基于命题 1 中区域 D 的范围,可知 $0.5 < \hat{x}_L < 1, 0 < \hat{y}_L < 1$,系统 Z_1 的 ESS 为 $\{W, W\}$ 或 $\{N, N\}$,进一步分析可得演化动态相位图(图 2)及命题 2。

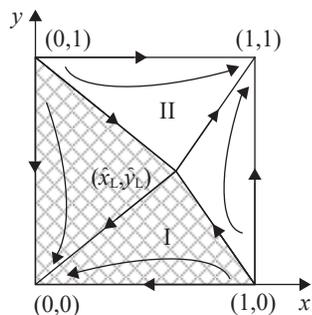


图 2 低税负情景区域 D 中系统演化相位图
Fig. 2 Evolutionary phase diagram of region D in low tax burden scenario

命题 2: 当 $t \leq \min\{t_b(\alpha), t_L(\alpha)\}$ 且 $\alpha > \bar{\alpha}$ 时,系统 Z_1 的 ESS 取决于博弈双方的策略比率 (x, y)

(1) 若 (x, y) 位于图 2 中的区域 I,则 ESS 为 $\{W, W\}$;

(2) 若 (x, y) 位于图 2 中的区域 II,则 ESS 为 $\{N, N\}$ 。

上述命题表明,虽然区域 D 的 ESS 存在 2 种可能,但其由供应商群体与制造商群体选择不同策略的比率决定,在一定的市场环境下布局演化方向是确定的,可在对相关产业中企业选址调研

的基础上进行预判。定义图 2 中区域 I 的面积为 S_L^I ,区域 II 的面积为 S_L^{II} ,易知 $S_L^I = 0.5(\hat{x}_L + \hat{y}_L)$, $S_L^{II} = 1 - S_L^I$ 。由 $\frac{\partial S_L^I}{\partial t}, \frac{\partial S_L^I}{\partial \alpha}$ 可知, S_L^I 关于税率 t 单调递减,而通关延误率 α 对 S_L^I 的影响则与 t 相关。令 $\bar{t} = \frac{c_m \delta_s + c_s \delta_m}{(1-\beta)\Delta D w}$,可得命题 3。

命题 3: 当 $t \leq \min\{t_b(\alpha), t_L(\alpha)\}$ 且 $\alpha > \bar{\alpha}$

(1) 若税率增加,供应商、制造商选址区外(区内)的概率变小(变大);

(2) 通关延误率对选址演化的影响与税率相关,若通关延误率降低,当 $t < \bar{t}$ 时,供应商、制造商选址区外(区内)的概率增大(变小),当 $t = \bar{t}$ 时,供应商、制造商选址区外概率为 50%,当 $t > \bar{t}$ 时,供应商、制造商选址区外(区内)的概率变小(增大)。

当税率与通关延误率变化时,图 2 系统演化相位图中区域 I、II 的边界线会发生移动,从而使系统布局演化方向发生改变。此外,由于区域 D 中 $0.5 < \hat{x}_L < 1, 0.5 < \hat{y}_L < 1$,因此,无论税率与通关延误率在域内如何变化,区域 I、II 都必然存在,即当供应商和制造商 2 群体均选址区内(区外)的比率过高时,仅在区域 D 内控制税率或通关延误率的变化无法达到改变布局演化方向的目的。

3.2 中等税负情景博弈演化分析

与 3.1 类似,将供应商在中等税负情境下的库存决策代入表 1 可得博弈双方收益,由此可得二维动力系统 Z_2 :

$$\begin{cases} F_M(x) = x(1-x)\{(1-\beta)\Delta D w t - \delta_s - ac_s \bar{D} + y[ac_s(\bar{D} + D_L) + (\bar{D} - D_L)w - (1-\beta)\Delta D w t]\} \\ G_M(y) = y(1-y)\{(\bar{D} - D_L)(w-p) - \delta_m - ac_m D_L + x[(\bar{D} - D_L)(p-w) + ac_m(\bar{D} + D_L)]\} \end{cases}$$

令 $F_M(x) = 0, G_M(y) = 0$ 可求得系统 Z_2 的均衡点 $(0, 0), (1, 0), (0, 1), (1, 1), (\hat{x}_M, \hat{y}_M)$ 。其中:

$$\hat{x}_M = 1 + \frac{\delta_m - ac_m \bar{D}}{(\bar{D} - D_L)(p - w) + ac_m(D_L + \bar{D})}$$

$$\hat{y}_M = \frac{\delta_s + ac_s \bar{D} - (1 - \beta)\Delta Dwt}{ac_s(\bar{D} + D_L) + (\bar{D} - D_L)w - (1 - \beta)\Delta Dwt}$$

对系统 Z_2 进行稳定性分析, 可知仅 (0, 0)、(1, 1)、(1, 0) 具有局部稳定性, 对应条件如表 5 所示。

表5 中等税负情景均衡点局部稳定性分析
Table 5 Local stability analysis of equilibrium point in medium tax burden scenario

均衡点	局部稳定性	条件	备注
(0, 0)	ESS	$(1 - \beta)\Delta Dwt < \delta_s + ac_s \bar{D}$	
(1, 1)	ESS	$\begin{cases} ac_m \bar{D} > \delta_m \\ ac_s D_L > \delta_s - (\bar{D} - D_L)w \end{cases}$	可简化为 $\alpha > \bar{\alpha}$
(1, 0)	ESS	$\begin{cases} ac_m \bar{D} < \delta_m \\ (1 - \beta)\Delta Dwt > \delta_s + ac_s \bar{D} \end{cases}$	

均衡点 (1, 1) 具有局部稳定性的条件有 2 个, 其分别要求供应商、制造商承担的通关延误成本大于一定的阈值。由供应商参与约束 $\bar{D}w - \delta_s > 0$ 可证得 $\frac{\delta_s - (\bar{D} - D_L)w}{c_s D_L} < \frac{\delta_s}{c_s \bar{D}}$, 又因为 $\frac{\delta_s}{c_s \bar{D}} < \frac{\delta_m}{c_m \bar{D}}$, 因此可知 $ac_m \bar{D} > \delta_m$ 是更为严格的条件约束, 即 $\alpha > \bar{\alpha}$ 。

表 4~5 对比可知, 中等税负情景系统 Z_2 的 ESS 以及对应的约束条件与系统 Z_1 的情况是相同的, 可直接得出命题 4。

命题 4: 中等税负情景 ($t_L(\alpha) < t < t_H$), 系统 Z_2 的 ESS 存在 4 种情景

(1) 当 $t < t_b(\alpha)$ 时, 若 $\alpha \leq \bar{\alpha}$, ESS 为 $\{W, W\}$; 若 $\alpha > \bar{\alpha}$, ESS 为 $\{W, W\}$ 或 $\{N, N\}$;

(2) 当 $t > t_b(\alpha)$ 时, 若 $\alpha < \bar{\alpha}$, ESS 为 $\{N, W\}$; 若 $\alpha > \bar{\alpha}$, ESS 为 $\{N, N\}$ 。

中等税负情景中系统演化稳定状态下的供应商库存均为 D_H , 库存 D_L 为次优决策被排除。基于命题 4 绘制中等税负情景演化博弈 ESS 分区示意图, 如图 3 所示。

图 3 展示了中等税负情景 A、B、C、D 共 4 个区域在不同条件下的分布情况。与图 1 对比可知, 不同税负情景下具有相同 ESS 的区域相邻且可以合并, 且符合命题 1 与命题 4。图 3(a) 和图 1(a)、图 3(d) 和图 1(c) 的条件一样, 可合并; 图 1(b) 的条件包含了 $t_L(\bar{\alpha}) \leq t_b(\bar{\alpha}) < t_H$ 和 $t_b(0) < t_H \leq t_b(\bar{\alpha})$ 2 种情况, 其分别对应于图 3(b) 和图 3(c), 也可以合并。由于中等税负情景下的 ESS 边界条件与低税负情景相同, 略去图 3 分析。

区域 D 中存在 2 个 ESS, 系统 Z_2 的演化受到博弈群体选址初始状态的影响。由区域 D 的限制条件可知, 存在 $0 < \hat{x}_M < 1, 0 < \hat{y}_M < 1$ 。与图 2 类似, 以供应商选址区内的比率 x 为横坐标、以制造商选址区内的比率 y 为纵坐标, 可得在由点 (0, 0)、(1, 0)、 (\hat{x}_M, \hat{y}_M) 、(0, 1) 构成区域 I 中, 系统 Z_2 向 $\{W, W\}$ 演进, 其面积 $S_M^I = 0.5(\hat{x}_M + \hat{y}_M)$; 在由点 (1, 0)、(1, 1)、(0, 1)、 (\hat{x}_M, \hat{y}_M) 构成的区域 II 中, 系统 Z_2 向 $\{N, N\}$ 演进, 其面积 $S_M^{II} = 1 - S_M^I$ 。

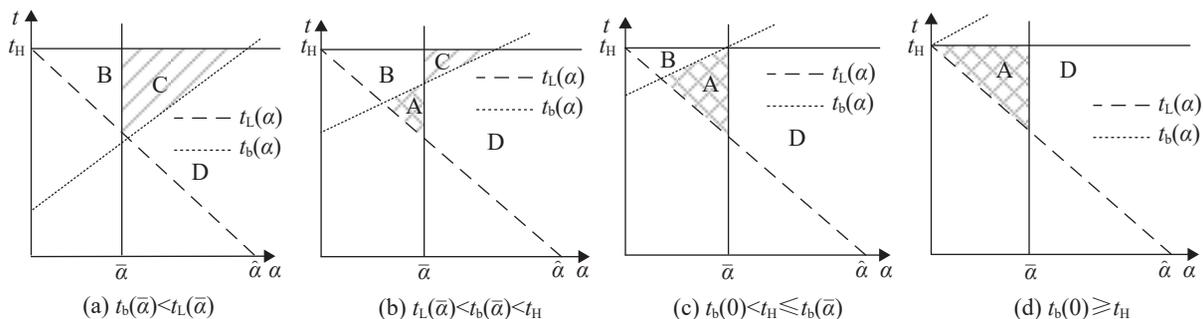


图3 中等税负情景 ESS 分区
Fig. 3 ESS-based zoning diagram in medium tax burden scenario

由 $\frac{\partial S_M^I}{\partial \alpha}$ 可知 S_M^I 与 α 的相关性存在不确定性。

此外, 直接观察可知 S_M^I 关于税率 t 单调递减。

命题5: 当 $t_L(\alpha) < t < \min\{t_b(\alpha), t_H\}$ 且 $\alpha > \bar{\alpha}$

(1) 当税率增加时, 供应商、制造商选址区外(区内)的概率变小(变大);

(2) 通关延误率对系统演化的影响存在不确定性, 与税率及其他市场环境参数相关。

中等税负情景, 由于供应商在不同策略组合下的库存决策存在差异, 导致系统动力方程相比低税负情景更为复杂, D 区域中通关延误率对 ESS 的影响需要结合具体的市场环境进行判断。

3.3 高税负情景博弈演化分析

将供应商在高税负情境下的最优库存决策代入表1可得博弈收益矩阵, 构建二维动力系统 Z_3 :

$$\begin{cases} F_H(x) = x(1-x)[(\bar{D}-D_L)w - \delta_s - ac_s\bar{D} + ac_m(D_L + \bar{D})y] \\ G_H(y) = y(1-y)[-ac_m D_L - \delta_m + ac_m(D_L + \bar{D})x] \end{cases}$$

令 $F_H(x) = 0$, $G_H(y) = 0$ 可得系统 Z_3 的均衡点 $(0, 0)$ 、 $(1, 1)$ 、 $(1, 0)$ 、 $(0, 1)$ 、 (\hat{x}_H, \hat{y}_H) 。其中:

$$\hat{x}_H = \frac{ac_m D_L + \delta_m}{ac_m(D_L + \bar{D})}$$

$$\hat{y}_H = \frac{ac_s \bar{D} + \delta_s - (\bar{D} - D_L)w}{ac_s(D_L + \bar{D})}$$

对系统 Z_3 进行稳定性分析, 可知仅 $(0, 0)$ 、 $(1, 1)$ 、 $(1, 0)$ 具有局部稳定性, 对应条件如表6所示。

表6 高税负情景均衡点局部稳定性分析

Table 6 Local stability analysis of equilibrium point in high tax burden scenario

均衡点	局部稳定性	条件	备注
$(0, 0)$	ESS	$ac_s \bar{D} > (\bar{D} - D_L)w - \delta_s$	
$(1, 1)$	ESS	$\begin{cases} ac_m \bar{D} > \delta_m \\ ac_s D_L > \delta_s - (\bar{D} - D_L)w \end{cases}$	可简化为 $\alpha > \bar{\alpha}$
$(1, 0)$	ESS	$\begin{cases} ac_m \bar{D} < \delta_m \\ ac_s \bar{D} < (\bar{D} - D_L)w - \delta_s \end{cases}$	

由表6可知, 判定各均衡点是否具有局部稳定性的边界有2个: 第1个边界条件 $ac_m \bar{D} = \delta_m$ 与低、

中等税负情景下的边界条件相同; 第2个边界条件 $ac_s \bar{D} = (\bar{D} - D_L)w - \delta_s$, 等同于低、中等税负情景下 $t = t_H$ 时的边界条件 $(1 - \beta)\Delta Dwt = \delta_s + ac_s \bar{D}$ 。根据第

2个条件定义 $\alpha' = \frac{(\bar{D} - D_L)w - \delta_s}{c_s \bar{D}}$ 。

均衡点 $(0, 0)$ 具有局部稳定性的条件 $\alpha > \alpha'$, 其意义在于当制造商选择区外时, 要求供应商选址区内的收益小于其选址区外的收益; 而制造商选址区外还可以规避额外运营成本, 因此, 当 $\alpha > \alpha'$ 时博弈双方均有选址区外的倾向。

均衡点 $(1, 0)$ 具有局部稳定性的条件有2个: 第1个条件 $\alpha < \alpha'$, 表明当制造商选择区外时, 要求供应商选址区内的收益大于其选址区外的收益; 第2个条件 $\alpha < \bar{\alpha}$, 表明当供应商选址区内时, 制造商选址区外所承担的供应延误损失要小于其选址区内的额外运营成本。在上述2个条件下, 博弈双方均有选择策略组合 $\{N, W\}$ 的意愿, 但2个条件中有效的仅有1个, 其由 α' 、 $\bar{\alpha}$ 的大小决定。

其余均衡点局部稳定性的判定与低、中等税负情景下的相似。综上所述, 可得命题6。

命题6: 高税负情景 ($t \geq t_H$), 系统 Z_3 的 ESS 存在的状况

(1) 当 $0 \leq \alpha < \min\{\alpha', \bar{\alpha}\}$ 时, ESS 为 $\{N, W\}$;

(2) 当 $\min\{\alpha', \bar{\alpha}, 0\} < \alpha \leq \max\{\alpha', \bar{\alpha}\}$ 时, 若 $\alpha' \leq \bar{\alpha}$, ESS 为 $\{W, W\}$, 否则 ESS 为 $\{N, N\}$;

(3) 当 $\alpha > \max\{\alpha', \bar{\alpha}\}$ 时, ESS 为 $\{W, W\}$ 或 $\{N, N\}$ 。

图4展示了命题6对应的3种情况, 其本质上与图1中的3种情况是一致的。由于 $\alpha' = t_b^{-1}(t_H)$, 因此, 当 $t_b(\bar{\alpha}) < t_L(\bar{\alpha})$ 时, $\alpha' > \bar{\alpha}$; 当 $t_b(\bar{\alpha}) \geq t_L(\bar{\alpha})$ 且 $t_b(0) < t_H$ 时, $0 < \alpha' \leq \bar{\alpha}$; 当 $t_b(0) \geq t_H$ 时, $\alpha' \leq 0 < \bar{\alpha}$ 。

因为高税负情况下选址区外的供应商采用了低库存策略, 不会有剩余库存, 因此在高税负范围内对税率进行调整不会改变布局演化的结果。而对于初始供给延误率较高的情景, 如图4(a)中 $\alpha > \alpha'$ 时, 当管理者逐步降低通关延误率并跨越相关阈值时, 布局演化 ESS 也相应转变为 $\{N, N\}$ 、 $\{N, W\}$ 。

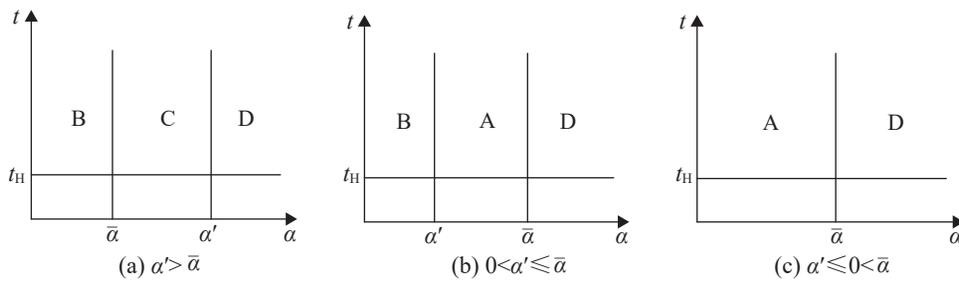


图4 高税负情景演化博弈ESS分区
Fig. 4 ESS-based zoning in high tax burden scenario

区域D中系统 Z_3 的演化受到供应商群体、制造商群体选址初始状态的影响。由区域D的限制条件可知, $0 < \hat{x}_H < 1$, $0 < \hat{y}_H < 0.5$ 。与3.2部分区域D分析类似, 可得系统 Z_3 向 $\{W, W\}$ 演进的概率 $S_H^I = 0.5(\hat{x}_H + \hat{y}_H)$ 。求导可知, 当 $\gamma > 0$ 时向选址区外演化的概率关于通关延误率递减, 当 $\gamma < 0$ 时情况则相反, 其中 $\gamma = c_s \delta_m + c_m \delta_s - c_m (\bar{D} - D_L)w$ 。

3.4 综合分析

对命题1、4和6综合分析的基础上, 可发现在由 α 与 t 组成的二维平面内, 高、中、低3种税负情景中具有相同ESS的区域均是相邻的, 藉此可以将相同类型区域合并, 如表7所示。

表7 系统演化稳定策略与对应条件
Table 7 ESS and corresponding requirements

分类	条件	ESS
$\alpha' > \bar{\alpha}$	$\alpha \leq \bar{\alpha}, t < t_b(\alpha)$	$\{W, W\}$
	$\alpha < \bar{\alpha}, t > t_b(\alpha)$	$\{N, W\}$
	$\bar{\alpha} < \alpha \leq \alpha', t > t_b(\alpha)$	$\{N, N\}$
	$\begin{cases} \bar{\alpha} < \alpha \leq \alpha' \\ t < t_b(\alpha) \end{cases}$ 或 $\alpha > \alpha'$	$\{W, W\}$ 或 $\{N, N\}$
$\alpha' \leq \bar{\alpha}$	$\begin{cases} 0 \leq \alpha \leq \max\{\alpha', 0\} \\ t \leq t_b(\alpha) \end{cases}$ 或 $\alpha > \max\{\alpha', 0\}$	$\{W, W\}$
	$0 \leq \alpha < \max\{\alpha', 0\}, t > t_b(\alpha)$	$\{N, W\}$
	$\alpha > \bar{\alpha}$	$\{W, W\}$ 或 $\{N, N\}$

由表7可知, 区分不同区域的边界条件主要有3个, 具体如下:

(1) $\alpha = \bar{\alpha}$, 即 $ac_m \bar{D} = \delta_m$, 表示当制造商需求完全被满足的情况下, 其承担的通关延误损失等

于其选址区内的额外运营成本, 是判断制造商选址的重要条件。

(2) $t = t_b(\alpha)$, 即 $(1 - \beta)\Delta Dwt = \delta_s + ac_s \bar{D}$, 表示供应商选择库存 D_H 时, 其选址区外的期望税负损失等于其选址区内的额外运营成本与通关延误成本之和, 是中、低税负情景中判断供应商选址的重要条件。

(3) $\alpha = \alpha'$, 即 $\bar{D}w - ac_s \bar{D} - \delta_s = D_L w$, 表示当制造商选址区外时, 供应商选址区内的收益 $\bar{D}w - ac_s \bar{D} - \delta_s$ 等于其选址区外的收益 $D_L w$, 是高税负情景判断供应商选址的重要条件。

基于上述3个条件, 管理部门可以对供应链布局演化方向进行预测。海关统计显示2022年12月全国进口整体通关时间比2017年压缩67%, 而随着信息技术的应用与流程改进, 可以预见我国通关效率将继续提升。如表7所示, 当通关延误率低于 $\bar{\alpha}$ 时国内制造商必然选址区外。在此基础上, 如果关税继续下调使得税率 $< t_b(\alpha)$, 则布局演化将趋向于 $\{W, W\}$; 如果税率 $> t_b(\alpha)$, 则布局演化趋向于 $\{N, W\}$ 。鉴于海关特殊监管区域是采取封闭围网管理的特定经济功能区域, 其扩建、审批影响因素较多, 难度较大, 因此, 及时分析布局演化方向, 对判断当前规划是否能够满足产业发展需要, 以及调整优化策略的制定都具有重要意义。

命题7: 在低或中等税负情景, 税率 t 对系统演化速度的影响与ESS类型相关

(1) 若ESS为 $\{W, W\}$, 当税率提高时, 博弈双

方演化至均衡状态的速度降低;

(2) 若ESS为 $\{N, W\}$, 当税率提高时, 供应商演化至均衡状态的速度增加, 制造商演化至均衡状态的速度降低;

(3) 若ESS为 $\{N, N\}$, 当税率提高时, 博弈双方演化至均衡状态的速度增加。

命题7给出了税率在局部范围内变动且不改变ESS的情况下对系统演化速度的影响。结合税率的调整方向, 管理部门可判断出企业进入或退出区内的速率变化情况。相关结论可通过税率变化对二维动力系统的影响得出, 以低税负情景ESS为 $\{W, W\}$ 为例进行说明: 由二维动力系统 Z_1 中供应商的复制动态方程 $F_L(x)$ 可知, 税率的增加必然会导致单位周期后供应商选址区内比率 x 高于原情景, 降低了供应商向区外演化的速度; 由ESS为 $\{W, W\}$ 的限制条件可知对于任意的 $x \in [0, 1]$, 制造商的复制动态方程 $G_L(y) < 0$, 且相对较高的 x 也会使 $G_L(y)$ 更高, 降低制造商向区外演化的速度。同理, 可证得其他情景下税负对系统演化速度的影响。

从博弈方的收益来看, 当税率增加时, 区外供应商的剩余库存税负损失增加、收益减少, 使得选址区外的优势减少, 降低了(提升了)供应商向区外(区内)演化的速度。而这一状况, 将会以通关延误损失的方式间接影响制造商的演化速度: 对于ESS中博弈双方选址区域相同的情景(如 $\{W, W\}$ 、 $\{N, N\}$), 为了减少通关延误损失, 制造商演化速度的变化方向与供应商相同; 对于ESS为 $\{N, W\}$ 情景, 由于更多的供应商向区内转移, 降低了区内制造商通关延误期望成本, 对制造商向区外转移的速度形成了负效应。

最后, 通关延误率对博弈双方演化的影响依赖于具体情况, 存在不确定性。由二维动力系统可知, 通关延误率直接影响博弈双方的复制动态方程, 其作用方式取决于市场环境, 包括各参数

取值以及博弈双方选择不同策略的初始比率。

4 仿真分析

为相关参数赋值, 令 $P=2$, $w=1$, $c_m=1$, $c_s=1.5$, $\delta_m=1.5$, $\delta_s=1$, $D_H=20$, $D_L=10$, $\beta=0.4$ 。由于通关延误率与税率一般都有限制, 因此, 假定 $0 \leq \alpha \leq 30\%$, $0 \leq t \leq 80\%$ 。

4.1 布局演化仿真分析

由引理2、3可得低、中、高3种不同的税负水平临界线 $t_L(\alpha) = 66.7\% - \alpha$, $t_H = 66.7\%$ 。同时计算可得 $\alpha' = 14.3\% > \bar{\alpha} = 10.7\%$, 由表7可知存在4种ESS类型。据此, 将税率与通关延误率区间构成的二维平面分为A、B、C、D共4个区域(图5), 其中DL、DM、DH分别表示低、中、高税负水平下的D区域。

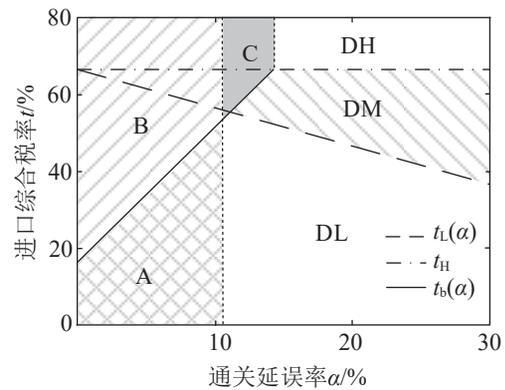


图5 演化博弈ESS分区

Fig. 5 ESS-based zoning of evolutionary game

以期初供应商、制造商群体中选址区内的比率 $(x_0, y_0) = \{(0.2, 0.8), (0.4, 0.8), (0.8, 0.4), (0.8, 0.2)\}$ 4种情景对ESS验证。由图6可知, A、B、C 3个区域中系统分别向 $\{W, W\}$ 、 $\{N, W\}$ 、 $\{N, N\}$ 演化。区域D中的演化方向由初始状态决定且存在3种演化机制, 以细分区域DL为例, 可知图6(d)中虚线左下区域向 $\{W, W\}$ 演化, 右上区域向 $\{N, N\}$ 演化, DM、DH细分区域与此类似, 略去相关仿真。

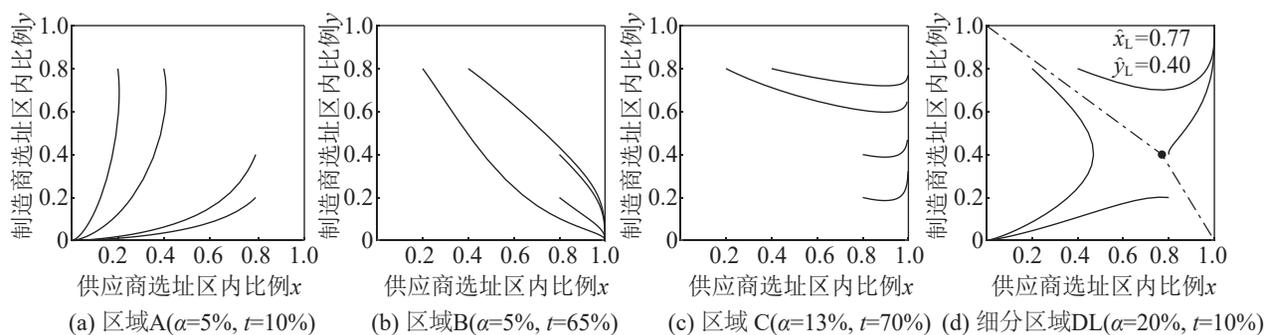


图 6 不同区域的系统演化仿真
Fig. 6 System evolution simulation in different regions

4.2 唯一 ESS 区域税率影响分析

如图 5 所示具有唯一 ESS 的区域为 A、B、C。由于 C 区演化分析与 A 区类似，因此，仅对 A、B 区域进行验证，令演化初始状态 $(x_0, y_0) = (0.5, 0.5)$ 。

4.2.1 A 区分析

由图 5 可知 A 区域从属于低税负情景，令 $\alpha = 5\%$ ，对税率 $t = 5\%$ 、 10% 、 15% 3 种情况进行仿真。当税率由 5% 提升到 10% 时，供应商演化至全部选址区外所需要的时间由 4 个周期增加到 5 个周期，演化速度变慢，如图 7(a) 所示；与此类似，制造商演化至均衡状态的速度也变慢了，如图 7(b) 所示。

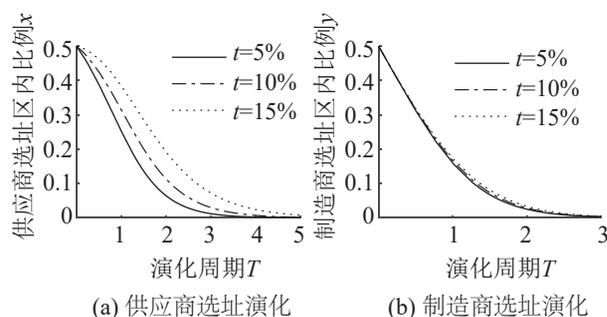


图 7 A 区域关于不同税率的演化仿真
Fig. 7 Evolution simulation of different tax rates in region A

4.2.2 B 区分析

B 区域存在唯一 ESS $\{N, W\}$ ，但包含低税负区域(BL)、中等税负区域(BM)、高税负区域(BH) 3 个细分区域。由于细分区域的二维动力系统各不相

同，当 t 跨越细分区域时，其对系统演化的影响具有不确定性，因此，仅讨论各细分区域内税率对系统演化的影响。此外，由于高税负情景系统演化不受税率的影响，因此省去 BH 细分区域仿真。

令 $\alpha = 8\%$ ，对 BL 细分区域内 $t = 50\%$ 、 55% ，BM 细分区域内 $t = 60\%$ 、 65% 情景进行仿真。对于 BL 细分区域，当税率由 50% 提升到 55% 时，供应商演化至全部选址区内所需要的时间由 12 个周期缩短到 7 个周期，演化速度变快，如图 8(a) 所示；制造商策略演化至均衡状态的时间由 13 周期增加到 17 个周期，演化速度变慢，如图 8(b) 所示。由图 8 可以看出细分区域 BM 存在相同结论，不再赘述。

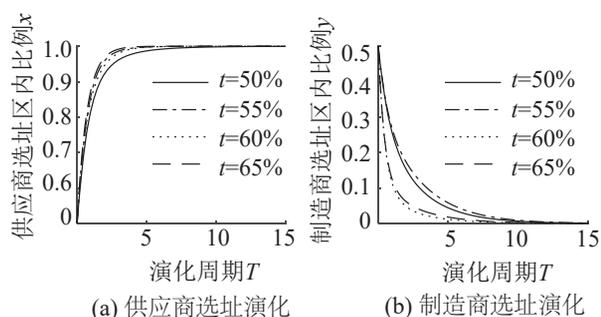


图 8 BL、BM 细分区域关于不同税率的系统演化仿真
Fig. 8 Evolution simulation of different tax rates in subdivision region BL and BM

4.3 D 区参数影响仿真分析

为了验证通关延误率对系统演化影响的多样性，本文在 DL、DM 细分区域内选取了特定税率

进行分析。各细分区域内通关延误率取值范围受税负水平影响，具体分析如下：

(1) 低税负情景，计算可得 $\bar{t}=54.2\%$ ，如图 9(a) 所示。当 $t=54\% < \bar{t}$ 时，选址区内的概率随 α 递增；而当 $t=54.5\% > \bar{t}$ 时情况则相反；当 $t=\bar{t}$ 时，选址区内、外的概率均为 50%。

(2) 中等税负情景，如图 9(b) 所示。当 $t=45\%$ 时，选址区内的概率随 α 递增；当 $t=50\%$ 时 $\alpha \in [17\%, 30\%]$ ，且 $\alpha \in [17\%, 25\%]$ 时选址区内的概率

随 α 递减， $\alpha \in [25\%, 30\%]$ 时则随 α 递增；当 $t=55\%$ 时，选址区内的概率随 α 递减。

(3) 高税负情景，计算可得 $\gamma=-0.75$ ，选址区内的概率随 α 增加而减少，如图 9(c) 所示。

税率对博弈双方选址的影响在低、中税负情景都是一致的。低税负情景，随着 t 由 54% 增长至 54.2%、54.5%，博弈双方均选址区内的概率 S_L^H 逐步上升，中等税负情景与此类似。最后，高税负情景税率对于 ESS 没有影响，略去相关仿真。

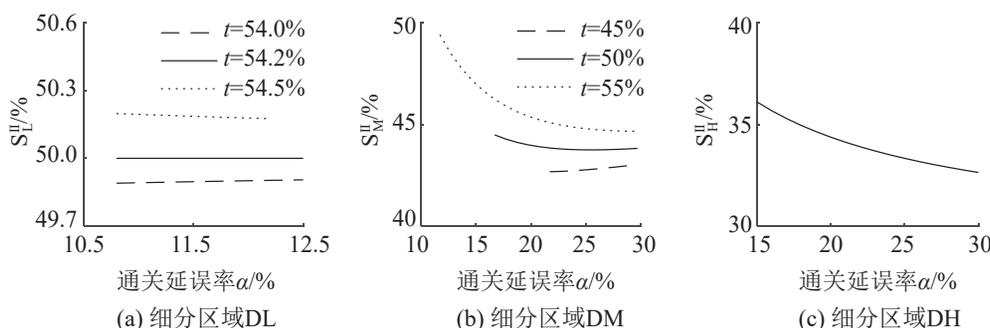


图 9 D 区域中向区内演化概率的仿真

Fig. 9 Evolutionary simulation of probability of selecting policy N in region D

5 结论

从已发布的 21 个自贸区总体方案来看，各方均提出了发展高端制造业集群的目标。例如，上海自贸区重点发展集成电路综合性产业、打造人工智能创新以及民用航空产业集聚区等；西安则集中于新材料、生物医药等产业，这些目标的实现都需要国内外企业的共同参与。从历史经验来看供应链上下游企业的合作关系是动态的，其布局也会不断演化。在不确定的市场环境中，国外供应商是优先考虑选址自贸区海关特殊监管区域规避税负损失，还是就近选址保障及时供应是需要考虑的问题。本文对此进行研究，主要结论有：

(1) 证明了国外供应商选址区内、国内制造商选址区外并非唯一的演化结果，同时还存在 {区内, 区内}、{区外, 区外} 2 种演化结果，并给出了判定演化稳定策略的 3 个边界条件。自贸区管

理部门可在调研基础上对布局情况进行预测，判断当前区域规划是否满足产业发展需求，并适时调整。

(2) 一方面，进口综合税率对系统演化速度的影响与演化稳定策略相关；另一方面，对于同时存在 2 种演化方向的情景，在低、中等税负水平下税率增加会导致系统向 {区内, 区内} 演化的概率，主管部门可结合关税改革趋势引导企业布局。国际政治经济环境日益复杂：一方面，中美贸易摩擦背景下，部分产品关税上调；另一方面，我国与韩国、瑞士等国家或海合会等组织展开自由贸易协定谈判，相关产品关税有望下降。关税是进口税负的主要构成，主管部门可结合关税变动的中长期趋势引导企业布局，避免企业误判导致的搬迁成本。

(3) 通关延误率对系统演化的影响具有不确定性，可结合具体市场环境判定其影响规律。此外，

由于供应企业通关经验的局限性以及外部数据获取的困难, 往往难以精准优化供货提前期。海关部门可精准统计自贸区高端产业相关产品的通关时间数据, 并做好应急预案降低通关时间过长事件的概率, 引导供应商做好供给计划, 减少通关延误率。

参考文献:

- [1] 匡海波, 刘天寿, 刘家国, 等. 基于PCA-TOPSIS的自贸区开放水平测度研究[J]. 科研管理, 2018, 39(3): 69-79.
Kuang Haibo, Liu Tianshou, Liu Jianguo, et al. A Research on the Open Level of Foreign Trade Zone Based on PCA-TOPSIS[J]. Science Research Management, 2018, 39(3): 69-79.
- [2] 任再萍, 黄成, 施楠. 上海自贸区金融创新与开放对经济增长贡献研究—基于金融业政策效应视角[J]. 中国软科学, 2020(9): 184-192.
Ren Zaiping, Huang Cheng, Shi Nan. Study on the Contribution of Financial Innovation and Opening to Economic Growth in Shanghai FTZ: From the Perspective of Policy Effect of Financial Industry[J]. China Soft Science, 2020(9): 184-192.
- [3] Iqbal T, Huq F, Bhutta M K S. Agile Manufacturing Relationship Building with TQM, JIT, and Firm Performance: An Exploratory Study in Apparel Export Industry of Pakistan[J]. International Journal of Production Economics, 2018, 203: 24-37.
- [4] 胡万杰, 董建军, 任睿, 等. 考虑模糊不确定的地铁货运系统成网布局规划[J]. 系统仿真学报, 2022, 34(8): 1725-1740.
Hu Wanjie, Dong Jianjun, Ren Rui, et al. Layout Planning of Metro-based Underground Logistics System Network Considering Fuzzy Uncertainties[J]. Journal of System Simulation, 2022, 34(8): 1725-1740.
- [5] Dong Lingxiu, Kouvelis P. Impact of Tariffs on Global Supply Chain Network Configuration: Models, Predictions, and Future Research[J]. Manufacturing & Service Operations Management, 2020, 22(1): 25-35.
- [6] 王圣池, 杨斌, 许波桅, 等. 考虑自贸区的再制造物流网络设计[J]. 计算机集成制造系统, 2015, 21(6): 1609-1616.
Wang Shengchi, Yang Bin, Xu Bowei, et al. Remanufacturing Logistics Network Design Considering FTZ[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2015, 21(6): 1609-1616.
- [7] Wu Peng, Jin Ying, Shi Yongjiang, et al. The Impact of Carbon Emission Costs on Manufacturers' Production and Location Decision[J]. International Journal of Production Economics, 2017, 193: 193-206.
- [8] 胡玉真, 闵锐, 李倩倩. 考虑区位协同的海外仓选址及运输规划研究[J/OL]. 中国管理科学: 1-13[2021-09-22]. <https://doi.org/10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2020.1948>.
Hu Yuzhen, Min Rui, Li Qianqian. Research on Location Selection of Overseas Warehouses Considering Location Coordination[J/OL]. Chinese Journal of Management Science: 1-13[2021-09-22]. <https://doi.org/10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2020.1948>.
- [9] 徐璐, 叶光亮, 刘诚. 寡头市场中最优贸易政策与企业竞争地位[J]. 经济学动态, 2019(10): 64-78.
Xu Lu, Ye Guangliang, Liu Cheng. Optimal Trade Policy and Endogenous Timing in an Oligopoly[J]. Economic Perspectives, 2019(10): 64-78.
- [10] Kchaou Boujelben M, Boulaksil Y. Modeling International Facility Location under Uncertainty: A Review, Analysis, and Insights[J]. IISE Transactions, 2018, 50(6): 535-551.
- [11] Chen Jingchuan, Jia Zhiyang, Huang Longzhu. Multi-type Products and Dedicated Buffers-based Flexible Production Process Analysis of Serial Bernoulli Lines[J]. Computers & Industrial Engineering, 2021, 154: 107167.
- [12] Ranjbaran F, Husseinzadeh Khashan A, Kazemi A. Mathematical Formulation and Heuristic Algorithms for Optimisation of Auto-part Milk-run Logistics Network Considering Forward and Reverse Flow of Pallets[J]. International Journal of Production Research, 2020, 58(6): 1741-1775.
- [13] 张涛, 徐莉莉, 吴珍华. 汽车零部件入厂物流中物联网采纳影响因素研究[J]. 系统管理学报, 2018, 27(2): 254-263.
Zhang Tao, Xu Lili, Wu Zhenhua. Factors Influencing the Adoption of the Internet of Things in Inbound Logistics of Automobile Parts[J]. Journal of Systems & Management, 2018, 27(2): 254-263.
- [14] Chan Yupo, Carter W B, Burnes M D. A Multiple-depot, Multiple-vehicle, Location-routing Problem with Stochastically Processed Demands[J]. Computers & Operations Research, 2001, 28(8): 803-826.
- [15] 黄肖玲, 陈焕平, 高晓楠, 等. 需求可拆分Milk-run与Supply-hub协同的汽车零部件入厂物流优化[J]. 中国管理科学, 2022, 30(7): 59-68.
Huang Xiaoling, Chen Huanping, Gao Xiaonan, et al. Delivery-split Milk-run and Supply-hub Collaborate to Optimize Automobiles Parts Inbound Logistics[J]. Chinese Journal of Management Science, 2022, 30(7): 59-68.
- [16] 王春阳, 杨斌, 朱小林. 基于低碳理念的多目标闭环供

- 应链网络设计[J]. 工业工程, 2016, 19(3): 37-44.
- Wang Chunyang, Yang Bin, Zhu Xiaolin. Optimization of Multi-objective Closed-loop Supply Chain Network Based on Low Carbon Concept[J]. Industrial Engineering Journal, 2016, 19(3): 37-44.
- [17] Tian Qi, Guo Weihong. Reconfiguration of Manufacturing Supply Chains Considering Outsourcing Decisions and Supply Chain Risks[J]. Journal of Manufacturing Systems, 2019, 52, Part B: 217-226.
- [18] 韩民春, 张燕玲. 中国内陆自由贸易试验区发展模式研究-基于国际比较视角[J]. 价格月刊, 2018(2): 51-56.
Han Minchun, Zhang Yanling. Research on Development Mode of Free Trade Trial Zone of Inland Regions of China-based on Perspective of International Comparison [J]. Prices Monthly, 2018(2): 51-56.
- [19] 黄海涛, 刘勤明, 叶春明, 等. 基于区块链技术的政府采购合同融资博弈分析[J]. 系统仿真学报, 2021, 33(8): 1947-1958.
Huang Haitao, Liu Qinming, Ye Chunming, et al. Game Analysis of Government Procurement Contract Financing Based on Blockchain Technology[J]. Journal of System Simulation, 2021, 33(8): 1947-1958.
- [20] 孙冬石, 谢旦岚, 关峰, 等. 双驱动式废弃物逆向供应链激励机制仿真[J]. 系统仿真学报, 2020, 32(11): 2272-2281.
Sun Dongshi, Xie Danlan, Guan Feng, et al. Simulation of Incentive Mechanism Simulation on Reverse Supply Chain of Waste Products Based on Dual Drive[J]. Journal of System Simulation, 2020, 32(11): 2272-2281.
- [21] 刁姝杰, 匡海波, 孟斌, 等. 基于前景理论的LSSC服务质量管控策略的演化博弈分析[J]. 中国管理科学, 2021, 29(7): 33-45.
Diao Shujie, Kuang Haibo, Meng Bin, et al. Evolutionary Game Analysis of LSSC Service Quality Control Strategy Based on Prospect Theory[J]. Chinese Journal of Management Science, 2021, 29(7): 33-45.
- [22] 彭本红, 谷晓芬, 鲁倩. 服务型制造项目治理中利益相关者演化博弈研究[J]. 系统仿真学报, 2017, 29(3): 595-608, 617.
Peng Benhong, Gu Xiaofen, Lu Qian. Analysis of Evolutionary Game of Stakeholders in Service-oriented Manufacturing Project Governance[J]. Journal of System Simulation, 2017, 29(3): 595-608, 617.
- [23] Dong Lingxiu, Rudi N. Who Benefits from Transshipment? Exogenous vs. Endogenous Wholesale Prices[J]. Management Science, 2004, 50(5): 645-657.
- [24] 李海南, 邱晗光. 基于有限理性的需求模型与承诺交付时间研究[J]. 系统工程学报, 2018, 33(4): 453-460.
Li Hainan, Qiu Hanguang. Bounded-rationality-based Demand and Promised Delivery Time[J]. Journal of Systems Engineering, 2018, 33(4): 453-460.