

考虑积分交易的减排投入与积分调控策略研究

宋 帆, 李庆颖

东华大学旭日工商管理学院, 上海

收稿日期: 2026年6月28日; 录用日期: 2026年7月20日; 发布日期: 2026年7月30日

摘 要

针对“双积分”政策下政府政策参数优化与转型汽车制造商低碳转型管理决策问题, 本文构建政府与转型汽车制造商的三阶段决策模型, 分析积分交易条件下政策参数对制造商减排投入、产品定价、市场需求、利润和社会总福利的影响。研究表明, 制造商最优减排投入具有分段特征, 新能源汽车积分比例要求提高并不会持续增强对燃油车的减排投入, 而会促使制造商在燃油车减排与新能源汽车积分获取之间重新配置资源; 新能源乘用车积分值提高会降低新能源汽车价格、扩大市场需求并提高制造商利润; 政府最优积分调控存在适度区间, 其中积分比例要求主要影响燃油车减排投入与定价, 积分值主要影响新能源汽车定价与需求; 边际环境负效用的提高会提升最优积分比例要求并压缩制造商利润与社会总福利, 消费者低碳偏好增强则会降低最优积分比例要求并改善制造商利润与社会总福利。研究结果从政策参数优化、制造商低碳转型决策与社会福利协调角度, 为双积分政策管理和汽车制造商减排资源配置提供理论参考。

关键词

管理工程, 双积分政策, 减排投入, 积分交易, 社会福利

Study on Emission-Reduction Investment and Credit Regulation Strategies Considering Credit Trading

Fan Song, Qingying Li

Glorious Sun School of Business and Management, Donghua University, Shanghai

Received: June 28, 2026; accepted: July 20, 2026; published: July 30, 2026

Abstract

To address policy parameter optimization under China's "Dual-Credit" Policy and the low-carbon transition decisions of transforming automobile manufacturers, this study develops a three-stage decision model between the government and a transforming automobile manufacturer. It examines how policy parameters affect emission-reduction investment, product pricing, market demand, manufacturer profit, and social welfare under credit trading. The results show that the manufacturer's optimal emission-reduction investment exhibits a segmented pattern. Increasing the new energy vehicle credit ratio requirement does not continuously strengthen fuel-vehicle emission reduction, but induces the manufacturer to reallocate resources between fuel-vehicle emission reduction and new energy vehicle credit acquisition. A higher credit value for new energy passenger vehicles reduces new energy vehicle prices, expands demand, and increases manufacturer profit. The government's optimal credit regulation lies within an appropriate range: the credit ratio requirement mainly affects fuel-vehicle emission reduction and pricing, while the credit value mainly affects new energy vehicle pricing and demand. Moreover, higher marginal environmental disutility increases the optimal credit ratio requirement and reduces manufacturer profit and social welfare, whereas stronger consumers' low-carbon preference has the opposite effect. These findings provide theoretical references for the management of the dual-credit policy and manufacturers' emission-reduction resource allocation from the perspectives of policy parameter optimization, the manufacturer's low-carbon transformation transition decisions, and the coordination of social welfare.

Keywords

Management Engineering, Dual-Credit Policy, Emission-Reduction Investment, Credit Trading, Social Welfare

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

“双积分”政策是在新能源汽车补贴逐步退出背景下建立的重要市场化长效机制，其核心是将企业平均燃料消耗量积分与新能源汽车积分并行管理，通过对传统燃油汽车施加节能约束、对新能源汽车给予积分激励，引导汽车企业实现低碳转型。自实施以来，该政策已成为连接节能减排目标与产业转型要求的重要制度工具。近年来，随着政策修订和年度核算、积分池等管理安排的持续推进，双积分政策仍在动态实施之中，相关参数与管理规则也在根据产业发展和市场运行情况不断优化调整。

现有研究关注双积分政策的实施效果及其制度功能。Ou 等[1]量化分析了双积分政策对插电式混合动力汽车和纯电动汽车市场份额及企业利润的影响，指出在补贴退坡背景下，积分政策仍能持续发挥激励作用。Li 等[2]比较了补贴政策与双积分政策对新能源汽车发展的影响，认为双积分政策在长期更有利于激励企业降低成本并推动技术进步。张奇等[3]从生产商策略与社会福利角度考察了双积分政策的实施效果，表明政策参数变化会同时影响企业决策和福利水平。Li 等[4]分析了新能源汽车积分政策与燃料消耗量管理政策对绿色汽车补贴的替代关系，指出双积分政策能够在一定程度上替代传统补贴工具。Li 等[5]进一步从动态优化角度讨论了双积分政策参数的调整问题。Lou 等[6]则关注双积分政策对燃油经济性改进和传统燃油车生产的影响，说明该政策不仅作用于新能源汽车推广，也会改变燃油车生产与节能决策。

围绕企业减排与生产决策, 已有研究分析了双积分约束下企业在定价、减排和生产布局上的响应机制。卢超等[7]研究了双积分政策下汽车制造商的竞争定价与减排策略, 指出企业需要在燃油车减排、产品定价与新能源汽车布局之间进行综合权衡。程永伟等[8]分析了双积分制下汽车生产商的生产决策优化问题, 揭示了不同政策约束下企业最优价格与需求的变化规律。Cheng 等[9]进一步指出, 在积分交易风险存在时, 燃油车企业与新能源汽车企业的竞争与合作生产策略会发生调整。除双积分政策直接作用外, 低碳约束下企业减排投入的形成机制也受到关注。赵道致等[10]从低碳政策约束下的供应链决策出发, 研究了企业最优减排量与最优产量的形成机制, 指出消费者低碳偏好和减排成本会共同影响企业减排决策。梁开荣等[11]从不同博弈机制出发, 分析了零售商主导供应链中的低碳技术投资与成本分摊问题, 表明博弈结构会影响低碳投入激励及收益分配。贡文伟等[12]则在双积分政策背景下研究了考虑创新与销售努力的新能源汽车供应链协调策略, 说明积分交易价格、技术创新与销售努力之间存在联动关系。

在市场需求方面, Hidrue 等[13]发现消费者愿意为电动汽车的环保属性支付溢价, 说明低碳偏好会影响产品需求。秦宇兴等[14]基于政府、企业和消费者三方博弈分析了电动汽车市场推广问题, 指出稳健管制策略及基础设施投入对新能源汽车市场扩张具有重要的促进作用。李旭等[15]进一步指出, 双积分政策对企业经营绩效与环境绩效的影响具有阶段性特征。总体来看, 现有研究已从政策效果、企业减排和市场需求等方面为分析双积分政策提供了丰富建议, 然而多数文献将新能源汽车积分比例要求和新能源乘用车积分值视为外生给定, 更关注企业在既定政策约束下的响应, 对政府如何内生设定关键政策参数以实现社会福利最大化讨论较少; 此外现有研究较多关注不同企业之间围绕燃油车与新能源汽车展开的外部竞争, 或从供应链协调、技术投资等角度分析政策影响, 较少考察转型制造商在“油电并举”情境下如何在燃油车减排投入与新能源汽车积分获取之间进行内部资源配置。

基于此, 本文从转型汽车制造商的内部决策视角出发, 构建政府与制造商之间的三阶段博弈模型, 将双积分政策中的关键参数内生, 考察政策参数、减排投入与产品定价之间的联动关系。本文重点研究制造商最优定价与减排投入的形成机制、政策参数变化对企业利润与社会福利的影响, 以及政府在社会总福利最大化目标下的最优调控策略, 以为双积分政策参数的优化调整提供理论参考。

2. 问题描述与模型设定

本文考虑政府与转型汽车制造商之间的博弈决策问题。在“双积分”政策实施背景下, 政府通过设定新能源汽车积分比例要求和新能源乘用车积分值, 引导汽车产业节能减排与新能源汽车发展; 制造商则同时经营燃油汽车与新能源汽车, 并在给定政策参数下决定燃油车减排投入及两类产品定价, 见图1。对于处于转型阶段的制造商而言, 双积分政策不仅影响产品市场决策, 也会改变其在燃油车减排投入与新能源汽车积分获取之间的资源配置方式。

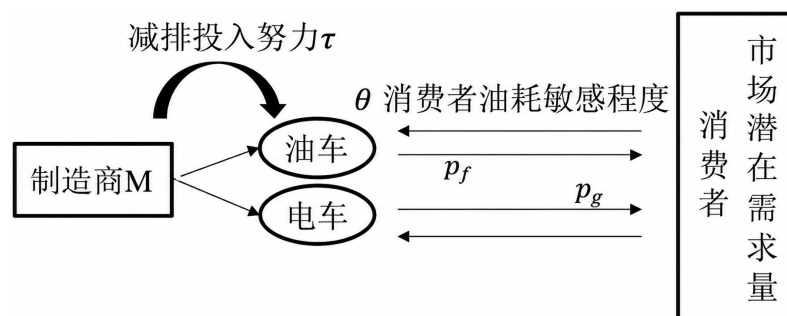


Figure 1. Market structure diagram under the “dual-credit” policy
图1. “双积分”政策下的市场结构图

为突出双积分政策参数对制造商内部决策的影响机制，本文在基础模型中考虑一家具有代表性的转型汽车制造商，相关符号及含义见表1。其中， $\tau \in [0,1)$ 表示燃油车减排努力水平，减排投入成本为 $\frac{1}{2}m\tau^2$ ， m 为减排成本系数； b 表示燃油车平均燃料消耗量实际值， a 表示国家规定的平均燃料消耗量达标值，且 $0 < a < b$ ； $\rho \in (0,1)$ 表示燃油车市场潜在需求权重， $1-\rho$ 表示新能源汽车市场潜在需求权重。在单一决策周期内，燃油车与新能源汽车的潜在需求结构具有一定稳定性，本文以 ρ 和 $1-\rho$ 刻画两类产品的基准市场分布； $\theta > 0$ 表示消费者对燃油车减排水平的敏感度； $\lambda > 0$ 表示新能源汽车积分比例要求， $e > 0$ 表示单位新能源汽车可获得的积分值， $r > 0$ 表示单位积分交易价格， $\varepsilon > 0$ 表示新增一辆燃油车带来的边际环境负效用。

Table 1. Main variables and their definitions
表 1. 主要变量及其含义

符号	含义
ρ	燃油汽车市场潜在需求量
θ	消费者对燃油汽车减排敏感度
τ	制造商对燃油汽车的减排努力
m	减排投资成本系数
b	燃油汽车平均燃料消耗量实际值
a	国家规定的燃油汽车平均燃料消耗量达标值
e	NEV 积分计算中生产每台新能源汽车可获得积分值
λ	国家规定的新能源汽车积分比例要求
r	积分交易市场中每一积分的交易价格
i	$i \in \{f, g\}$ ； $i = f$ 表示燃油车， $i = g$ 表示新能源车。
p_i	新能源汽车/燃油车的价格
c_i	新能源汽车/燃油车的制造成本
D_i	新能源汽车/燃油车的市场需求量
ε	新增一辆燃油车所带来的边际环境负效用
Π_M	汽车制造商的利润
F	社会总福利

在“双积分”政策下，制造商同时面临 CAFC 积分约束与 NEV 积分约束。若燃油车减排后的平均燃料消耗量仍高于政策标准，企业将形成 CAFC 负积分；若达到或低于标准，则不再承担相应的负积分压力。与此同时，制造商可通过销售新能源汽车获得 NEV 正积分，用于抵偿积分缺口或参与积分交易。结合本文研究重点，新能源汽车积分比例要求 λ 与新能源乘用车积分值 e 被视为政府调控的核心政策变量，它们共同影响制造商的积分达标成本与积分收益，并进一步影响制造商在燃油车减排投入和新能源汽车销售之间的选择。本文聚焦单一决策周期，不考虑 CAFC 正积分跨期结转。在单一周期中，NEV 正积分既可用于抵偿企业积分缺口，也可在交易平台获得收益；CAFC 负积分需要通过企业持有或购入的其他有效积分进行抵偿；CAFC 正积分仅作为内部积分抵偿处理，不直接形成当期市场收益。NEV 积分余额与 CAFC 积分余额分别表示为：

$$\xi_{\text{CAFC}} = (a-b)D_F,$$

$$\xi_{\text{NEV}} = eD_G - \lambda D_F.$$

记汽车制造商对应的 CAFC 积分余额为:

$$\Delta_{\text{CAFC}} = [a - (1-\tau)b]D_F$$

其中, 当 $\Delta_{\text{CAFC}} < 0$ 时, 表示汽车制造商存在 CAFC 负积分, 需要利用正积分或通过积分交易市场购买有效积分进行抵偿; 当 $\Delta_{\text{CAFC}} \geq 0$ 时, 表示汽车制造商达到 CAFC 积分标准并形成正积分, 但由于本文不考虑其出售与跨期结转, 该部分不形成当期额外收益。

在市场需求方面, 消费者对燃油汽车的需求不仅受价格影响, 还受减排水平影响, 即燃油车减排水平越高, 消费者购买意愿越强; 新能源汽车需求主要受其价格影响。燃油汽车与新能源汽车的市场需求函数设为:

$$D_F = \rho - p_f + \theta\tau b,$$

$$D_G = (1-\rho) - p_g.$$

该假设表明, 燃油车减排努力一方面通过降低单位油耗改善积分状态, 另一方面通过提高市场接受度影响燃油车需求, 从而共同作用于制造商决策。

在上述积分核算设定下, 制造商利润中的积分项并非固定不变, 而是取决于燃油车在减排努力 τ 作用下是否达到 CAFC 达标要求。由此, 制造商利润函数呈分段形式:

$$\Pi_M = \begin{cases} (p_f - c_f)D_F + (p_g - c_g)D_G + (a - (1-\tau)b)D_F r + (eD_G - \lambda D_F)r - \frac{1}{2}m\tau^2, & 0 \leq \tau < 1 - \frac{a}{b}, \\ (p_f - c_f)D_F + (p_g - c_g)D_G + (eD_G - \lambda D_F)r - \frac{1}{2}m\tau^2, & 1 - \frac{a}{b} \leq \tau < 1. \end{cases} \quad (1)$$

式(1)表明, 制造商利润由产品销售收益、积分交易收益(或成本)以及减排投入成本共同构成。当减排努力不足以使燃油车达标时, 制造商需承担 CAFC 负积分带来的成本; 当减排努力达到达标区间后, 该项成本消失, 制造商决策重心将随之调整。

政府以社会总福利最大化为目标。本文将社会总福利表示为消费者剩余、制造商生产经营收益与环境效应之和, 其中环境效应用于刻画燃油车销售带来的环境损害。于是, 社会福利函数可表示为:

$$F = \frac{1}{2}D_F^2 + \frac{1}{2}D_G^2 + (p_f - c_f)D_F + (p_g - c_g)D_G - \frac{1}{2}m\tau^2 - \varepsilon D_F \quad (2)$$

式(2)表明, 社会总福利不仅取决于制造商的定价与减排投入决策, 也受到燃油车环境损害的直接影响, 因此边际环境负效用 ε 的变化将进一步作用于政府对双积分政策参数的最优决策。

为保证市场需求有效、最优解存在且相关决策结果具有经济意义, 本文假设参数满足

$$\rho - c_0 - (b-a)r > 0, \quad 2m > b^2(r+\theta)^2 \text{ 以及 } \frac{m(\rho - c_0)}{2m - b^2\theta^2} < \varepsilon < \rho - c_0 + \frac{(b-a)(b^2\theta(r+\theta) - m)}{b^2(r+\theta)}.$$

上述条件分别用于保证市场有效性、利润函数凹性及政府调控结果的可比较性, 为后续最优决策分析提供参数基础。

基于上述设定, 本文构建政府与制造商之间的三阶段 Stackelberg 博弈, 如图 2: 第一阶段, 政府决定新能源汽车积分比例要求 λ 与新能源乘用车积分值 e ; 第二阶段, 制造商决定燃油车减排努力水平 τ ; 第三阶段, 制造商决定燃油汽车与新能源汽车的销售价格 p_f 和 p_g 。由于燃油车是否达到 CAFC 达标要求会改变制造商的积分状态, 式(1)所示利润函数及其相应最优决策均呈分段特征。下文将在此基础上采用逆向归纳法开展最优决策分析。

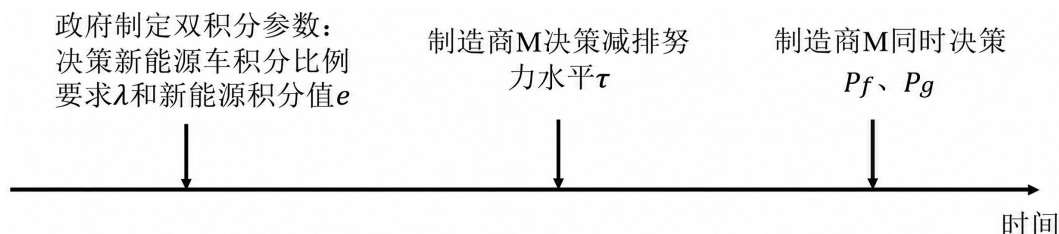


Figure 2. Game sequence diagram between the government and the manufacturer

图 2. 政府与制造商的博弈时序图

3. “双积分”政策下的最优决策分析

3.1. 制造商最优定价与减排投入

在给定新能源汽车积分比例要求和新能源乘用车积分值的条件下, 制造商首先面临燃油车是否达到 CAFC 达标要求的问题。由于不同减排投入区间对应不同积分状态, 利润函数呈分段形式, 故分别讨论低减排区间和高减排区间下的最优定价与最优减排投入。

当减排投入处于较低区间, 即 $0 \leq \tau < 1 - \frac{a}{b}$ 时, 燃油汽车未达到 CAFC 达标要求, 制造商形成 CAFC 负积分, 并需依靠新能源汽车正积分或积分交易进行抵偿。此时, 积分抵偿成本进入制造商利润函数, 对产品定价和减排投入同时形成约束, 相应利润函数为:

$$\Pi_m^L = (p_f - c_f)D_F + (p_g - c_g)D_G + (a - (1 - \tau)b)D_F \cdot r + (eD_G - \lambda D_F) \cdot r - \frac{1}{2}m\tau^2 \quad (3)$$

当减排投入处于较高区间, 即 $1 - \frac{a}{b} \leq \tau < 1$ 时, 燃油汽车达到 CAFC 达标要求, 不再产生 CAFC 负积分。考虑到 CAFC 正积分在该设定下不形成当期市场收益, 此时制造商利润函数为:

$$\Pi_m^H = (p_f - c_f)D_F + (p_g - c_g)D_G + (eD_G - \lambda D_F)r - \frac{1}{2}m\tau^2. \quad (4)$$

在给定减排投入和政策参数条件下, 式(3)和式(4)关于燃油汽车价格 p_f 与新能源汽车价格 p_g 均为二次凹函数。根据一阶最优条件, 可得制造商在两类减排区间下的最优定价。

命题 1: 在给定减排努力水平和政策参数条件下, 当 $0 \leq \tau < 1 - \frac{a}{b}$ 时, 制造商进行低减排区间的减排投入, 最优定价为 $p_f^L = \frac{\rho + c_f + r\lambda + b\theta\tau - b\tau\tau + (b-a)r}{2}$, $p_g^L = \frac{1 - \rho + c_g - er}{2}$; 当 $1 - \frac{a}{b} \leq \tau < 1$ 时, 制造商进行高减排区间的减排投入, 最优定价为 $p_f^H = \frac{\rho + c_f + r\lambda + b\theta\tau}{2}$, $p_g^H = \frac{1 - \rho + c_g - er}{2}$ 。

命题 1 表明, 制造商的最优定价取决于减排努力后的燃油汽车是否达到 CAFC 达标要求。当减排努力不足时, 制造商需要承担额外的积分抵偿成本, 因而燃油汽车与新能源汽车的最优定价均会受到积分约束的影响; 当减排努力达到较高水平后, 制造商不再承担额外积分成本, 此时产品定价更多取决于市场需求与生产成本。因此, 减排投入不仅影响制造商技术成本, 也会通过积分核算机制进一步作用于产品定价。

将命题 1 中的最优价格分别代入式(3)与式(4), 可得制造商利润关于减排努力的分段函数。由于不同积分参数组合会改变制造商的边际减排收益与积分抵偿成本, 制造商在不同参数区间内将采取不同的减排投入策略。由此可得以下命题。

命题 2: 在给定政府政策参数条件下, 制造商最优减排投入为:

$$\tau^* = \begin{cases} \frac{b\theta(\rho - c_f - r\lambda)}{2m - b^2\theta^2}, & 0 < \lambda < \lambda_1 \\ 1 - \frac{a}{b}, & \lambda_1 \leq \lambda \leq \lambda_2 \\ \frac{b(r+\theta)(\rho - c_f - (b-a+\lambda)r)}{2m - b^2(r+\theta)^2}, & \lambda_2 < \lambda < \lambda_3 \end{cases} \quad (5)$$

$$\text{其中, } \lambda_1 = \frac{b^2\theta(\rho - c_f + b\theta - a\theta) - 2m(b-a)}{b^2r\theta}, \quad \lambda_2 = \frac{b^2(r+\theta)(\rho - c_f + b\theta - a\theta) - 2m(b-a)}{b^2r(r+\theta)},$$

$$\lambda_3 = \frac{\rho - c_f - (b-a)r}{r}.$$

命题 2 表明, 在“双积分”政策约束下, 制造商的最优减排投入具有明显的分段特征, 如图 3。具体而言, 当积分比例要求处于较低区间时, 制造商更倾向于在达标区间内选择内部最优减排投入; 当积分比例要求进一步提高并进入中间区间后, 最优减排投入稳定在 $\tau^* = 1 - \frac{a}{b}$; 当积分比例要求继续提高后, 制造商转而在未达标区间内重新配置资源, 最优减排投入随 λ 的增加再次下降。可见, 积分比例要求的提高并不会持续增强制造商对燃油汽车减排技术的投入, 而是会促使制造商在燃油车减排与新能源汽车积分获取之间重新权衡。

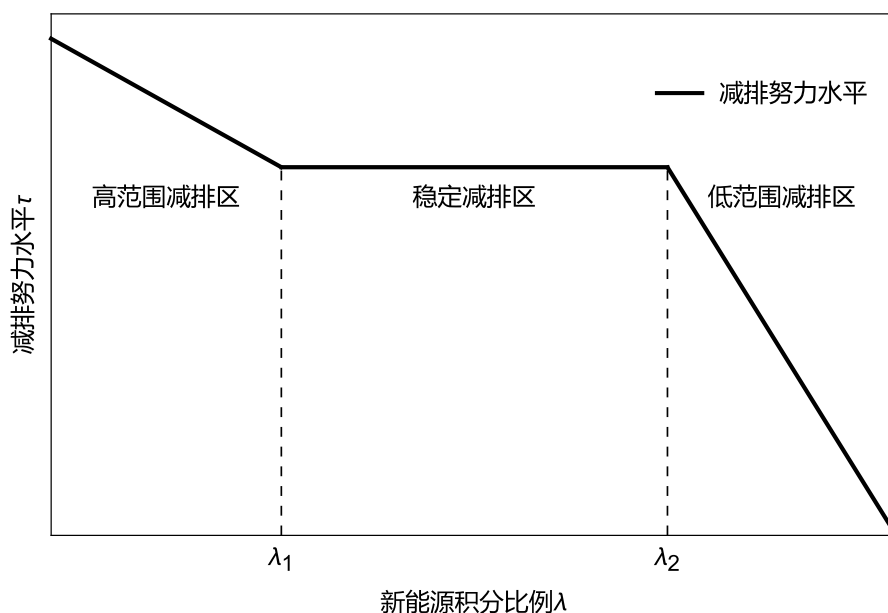


Figure 3. Effect of the new energy vehicle credit ratio requirement on optimal emission-reduction investment
图 3. 新能源汽车积分比例要求对最优减排投入的影响

3.2. 政府最优积分调控策略

在已知制造商最优定价与减排投入决策的基础上, 可进一步从政府视角分析“双积分”政策参数的最优设定。政府以社会总福利最大化为目标, 决定新能源汽车积分比例要求 λ 与新能源乘用车积分值 e 。

由于制造商的最优减排投入具有分段特征, 社会福利函数关于政策参数的表达也为分段形式, 因此政府的最优积分调控策略需结合不同减排区间分别讨论。

将命题 1 和命题 2 中的最优结果代入社会福利函数, 并分别对 λ 和 e 求解, 可得以下命题。

命题 3: 在社会福利最大化目标下, 政府的最优新能源汽车积分比例要求和新能源乘用车积分值分别为 $e^* = \frac{1-\rho-c_g}{r}$, 且

$$\lambda^* = \begin{cases} \frac{m(-\rho+c_0)+\varepsilon(2m-b^2\theta^2)}{r(m-b^2\theta^2)}, & \varepsilon < \varepsilon_0, \\ \frac{2\varepsilon-(\rho-c_f+(b-a)\theta)}{r}, & \varepsilon \geq \varepsilon_0, \end{cases} \quad (6)$$

其中, $\varepsilon_0 = \frac{b^2\theta(\rho-c_f)-(b-a)(m-b^2\theta^2)}{b^2\theta}$ 。

命题 3 表明, 政府对双积分政策的最优调控, 本质上取决于社会福利函数对政策变量的边际响应。新能源汽车积分比例要求 λ 不仅会影响制造商减排投入与产品定价, 还会进一步通过制造商决策传导至市场需求、制造商利润和社会福利, 因此其最优水平具有明显的区间特征。当边际环境负效用较低时, 政府更倾向于在制造商内部最优减排响应的基础上调节积分比例要求; 当边际环境负效用较高时, 政府则会通过提高积分比例要求强化对燃油车的约束。相比之下, 新能源乘用车积分值 e 主要通过新能源汽车市场端发挥激励作用, 其最优值在本模型下可由式(6)直接给出。

进一步地, 将命题 1~3 中的最优解代入需求函数、利润函数和社会福利函数, 可得政府最优调控下制造商的最优决策结果, 如表 2 所示。

Table 2. Manufacturer's optimal decision results under the government's optimal regulation

表 2. 政府最优调控下制造商的最优决策结果

情形	$\varepsilon < \varepsilon_0$	$\varepsilon \geq \varepsilon_0$
车企最优决策	$p_f^* = c_f + \varepsilon, \quad p_g^* = c_1, \quad \tau^* = \frac{b\theta(\rho-c_f-\varepsilon)}{m-b^2\theta^2}$	$p_f^* = c_f + \varepsilon, \quad p_g^* = c_g, \quad \tau^* = 1 - \frac{a}{b}$
市场需求	$D_f^a = \frac{m(\rho-c_f-\varepsilon)}{m-b^2\theta^2}, \quad D_g^a = (1-\rho)-c_1$	$D_f^b = \rho-c_f+(b-a)\theta-\varepsilon, \quad D_g^b = (1-\rho)-c_g$
制造商利润	$\Pi_m^a = (1-\rho-c_g)^2 + \frac{m(2m-b^2\theta^2)(\rho-c_f-\varepsilon)^2}{2(m-b^2\theta^2)^2}$	$\Pi_m^b = [\rho-c_f-\varepsilon+(b-a)\theta]^2 + (1-\rho-c_g)^2 - \frac{m(a-b)^2}{2b^2}$
社会总福利	$F^a = \frac{1}{2}(1-\rho-c_g)^2 + \frac{m(\rho-c_f-\varepsilon)^2}{2(m-b^2\theta^2)}$	$F^b = \frac{1}{2}[\rho-c_f-\varepsilon+(b-a)\theta]^2 + \frac{1}{2}(1-\rho-c_g)^2 - \frac{m(b-a)^2}{2b^2}$

4. 敏感性分析

为进一步验证前文最优决策分析的主要结论, 本节围绕关键参数变化开展敏感性分析。具体而言,

首先考察边际环境负效用 ε 和消费者低碳偏好 θ 对最优新能源汽车积分比例要求 λ^* 与最优减排投入 τ^* 的影响; 其次分析二者对制造商利润和社会总福利的作用; 最后讨论减排成本系数 m 与燃油车平均燃料消耗量达标值 a 对利润和社会福利的影响。为保证图形之间的可比性, 数值分析统一采用同一组基准参数。除图中所示变量外, 其余参数固定不变, 且均满足模型可行性条件、最优解存在条件和二阶最优条件。基准参数为满足 $\rho = 0.6$, $\theta = 0.4$, $c_f = 0.1$, $c_g = 0.2$, $a = 0.35$, $b = 0.4$, $r = 0.5$, $m = 0.25$ 。

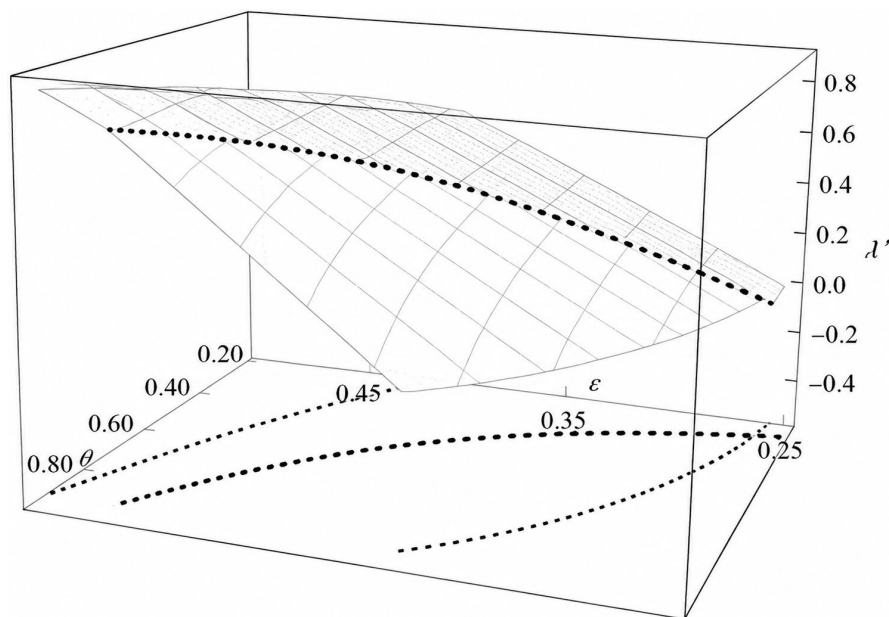


Figure 4. Effects of ε and θ on the optimal credit ratio requirement
图 4. ε 和 θ 对最优积分比例要求的影响

图 4 展示了边际环境负效用 ε 和消费者低碳偏好 θ 对最优积分比例要求 λ^* 的影响。结果表明, λ^* 随 ε 的提高而上升, 随 θ 的增强而下降。说明边际环境负效用提高会强化政府对燃油车的约束需求, 而消费者低碳偏好增强会提升市场自身对新能源汽车扩张的推动作用, 从而降低继续提高积分比例要求。图 4 结果仅在满足模型条件的参数范围内成立, 分界线对应 λ^* 表达式的切换条件。当 ε 与 θ 的组合跨过该边界时, 政府最优积分比例要求的形成机制随之改变。由此可见, 积分比例要求并非固定不变的政策参数, 其设定应同时考虑环境损害程度和市场低碳偏好水平, 而不宜简单采取单向提高的调控方式。

图 5 展示了消费者低碳偏好 θ 变化下最优减排投入 τ^* 的参数区域划分及分段切换特征。图中两条虚线 $\varepsilon_{\min}(\theta)$ 和 $\varepsilon_{\max}(\theta)$ 给出了边际环境负效用的有效取值范围, 实线 $\varepsilon_0(\theta)$ 为最优减排投入的分段切换边界。

当 $\varepsilon \geq \varepsilon_0(\theta)$ 时, $\tau^* = 1 - \frac{a}{b}$; 当 $\varepsilon < \varepsilon_0(\theta)$ 时, $\tau^* = \frac{b\theta(\rho - c_f - \varepsilon)}{m - b^2\theta^2}$ 。可以看出, 当 θ 较低时, 切换边界位于有效参数范围之外, 最优减排投入主要由固定分支决定; 随着 θ 提高, $\varepsilon_0(\theta)$ 进入有效参数范围, 减排决策由单一分支转向分段决策。进一步地, 在给定 ε 的条件下, θ 的提高可能使参数组合跨越切换边界, 从而改变 τ^* 的决定方式; 在给定 θ 的条件下, 当 $\varepsilon < \varepsilon_0(\theta)$ 时, τ^* 随 ε 提高而下降, 当 $\varepsilon \geq \varepsilon_0(\theta)$ 时, τ^* 稳定在边界值 $1 - \frac{a}{b}$ 。因此, 消费者低碳偏好和边际环境负效用不仅影响减排投入水平, 还会改变制造商减排投入的分段结构。

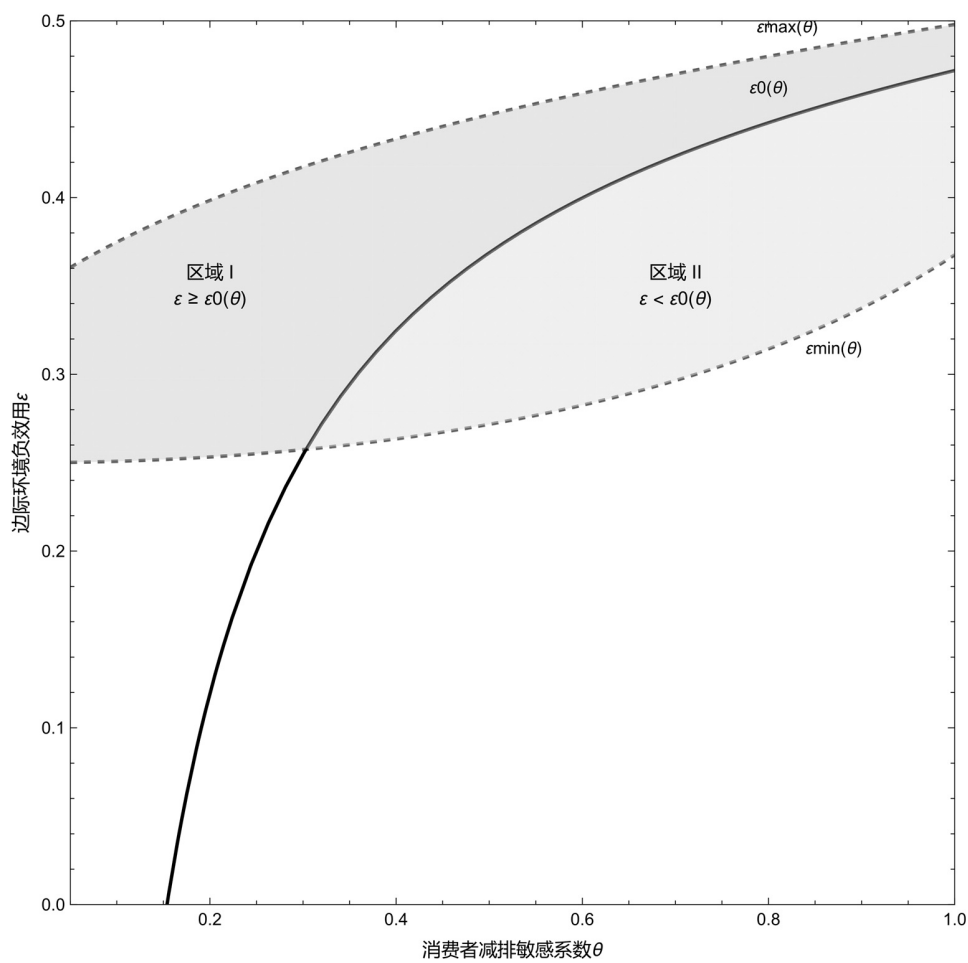


Figure 5. Parameter regions and segment switching of optimal emission-reduction investment under changes in θ
图 5. θ 变化下最优减排投入的参数区域与分段切换

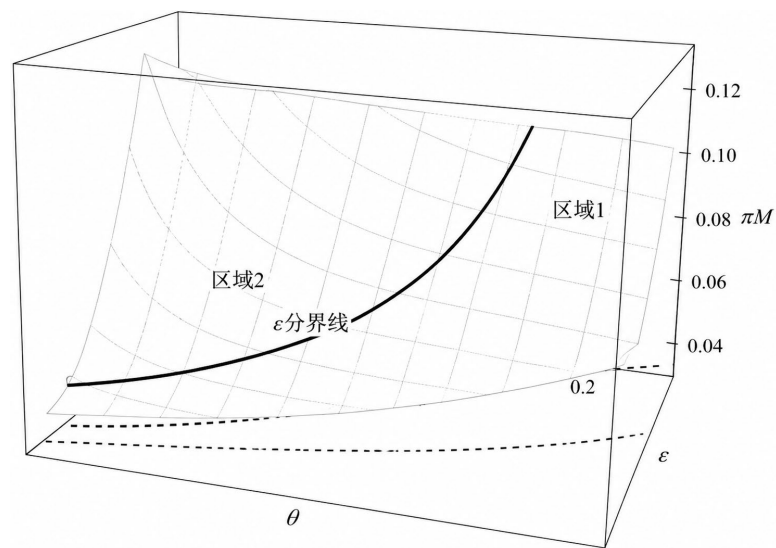


Figure 6. Effects of ε and θ on manufacturer profit
图 6. ε 和 θ 对制造商利润的影响

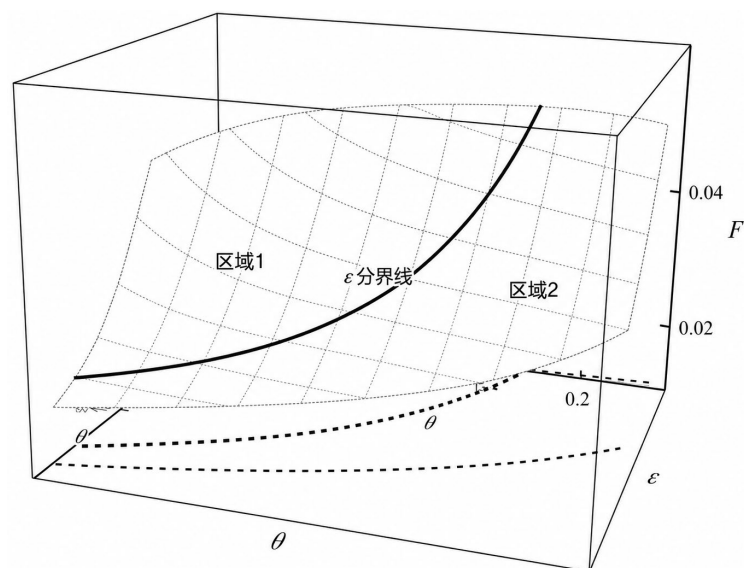


Figure 7. Effects of ε and θ on social welfare

图 7. ε 和 θ 对社会福利的影响

图 6 和图 7 分别给出了 ε 和 θ 对制造商利润与社会总福利的影响。结果显示, 在满足模型条件的参数范围内, 制造商利润和社会总福利均随 ε 的提高而下降, 随 θ 的增强而上升。其原因在于, 边际环境负效用提高会强化燃油车环境损害的福利扣减, 并压缩制造商利润空间; 消费者低碳偏好增强则会改善燃油车减排后的市场接受度, 从而提高需求和收益水平。图中的分界线对应最优减排投入的切换条件, 参数组合跨过该边界后, 利润函数和社会福利函数的表达式发生变化。比较图 6 和图 7 可知, 制造商利润曲面的变化幅度更大, 说明制造商利润对参数变化更敏感; 社会总福利曲面相对平缓, 表明其同时受到制造商利润、消费者剩余和环境效应的综合影响。因此, 评价双积分政策效果时, 需要同时考虑环境参数和市场偏好参数的组合变化。

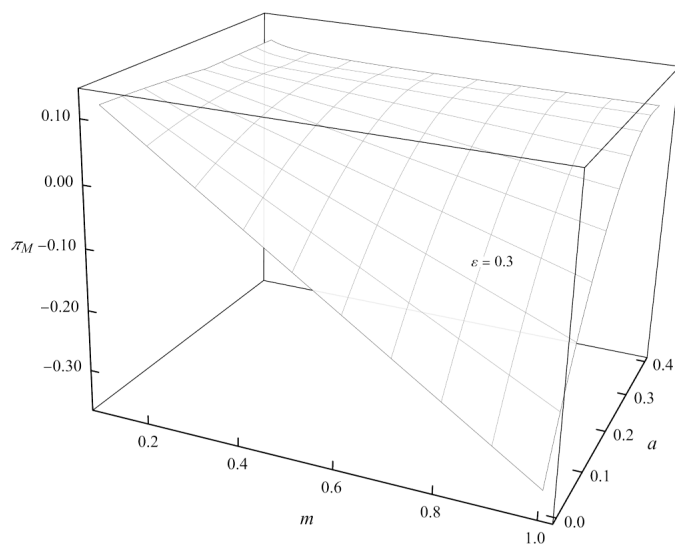


Figure 8. Effects of m and a on manufacturer profit

图 8. m 和 a 对制造商利润的影响

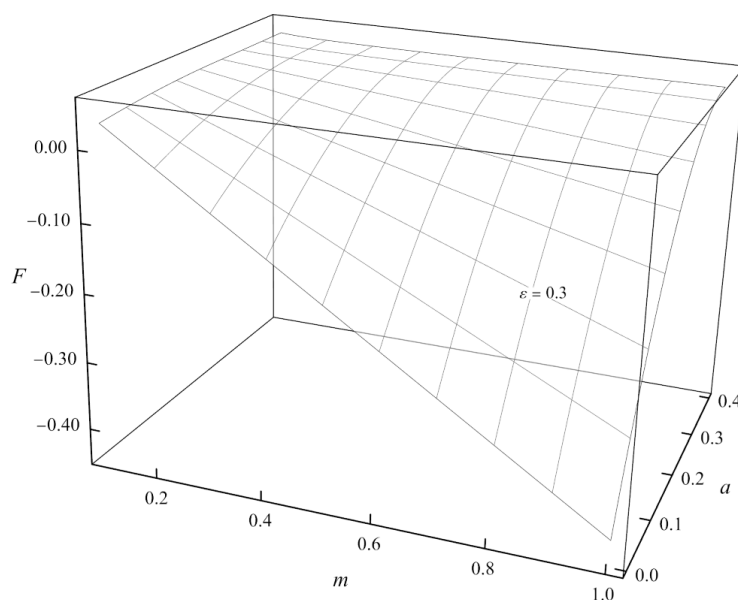


Figure 9. Effects of m and a on social welfare

图 9. m 和 a 对社会福利的影响

图 8 和图 9 反映了减排成本系数 m 和燃油车平均燃料消耗量达标值 a 对制造商利润与社会总福利的影响。考虑到 $\varepsilon < \varepsilon_0$ 与 $\varepsilon \geq \varepsilon_0$ 两类分段情形下图像变化趋势基本一致, 图中以 $\varepsilon = 0.3$ 作为示意值进行分析。结果表明, 制造商利润和社会总福利总体上随 m 的提高而下降, 说明减排成本上升会削弱制造商减排投入的收益空间, 并降低政策实施下的整体福利水平。与此不同, a 的影响具有区间差异: 在不同分段条件下, 制造商利润和社会总福利沿 a 方向的变化趋势并不一致, 且社会总福利的先升后降特征更为明显。图中的边界线对应不同分段情形的切换条件, 表明成本参数和技术标准参数共同决定目标函数的变化形式。由此可见, 减排成本系数主要表现为成本抑制作用, 而燃油车达标值的政策效果取决于其所处的分段区间及成本条件。因此, 在双积分政策调控中, 技术标准参数的调整应结合制造商减排成本进行判断, 以避免过严或过松的标准设置造成制造商利润损失和福利下降。

5. 结论与启示

本文围绕“双积分”政策下制造商减排投入与政府积分调控问题, 分析了新能源汽车积分比例要求和新能源乘用车积分值对制造商减排投入、产品定价、市场需求、利润和社会福利的影响。研究表明: 第一, 制造商最优减排投入呈分段特征, 新能源汽车积分比例要求提高并不会持续强化燃油车减排投入, 而会促使制造商在燃油车减排与新能源汽车积分获取之间重新配置资源; 第二, 新能源乘用车积分值主要通过新能源汽车市场端发挥作用, 其提高会降低新能源汽车价格、扩大市场需求并提高制造商利润; 第三, 在社会总福利最大化目标下, 新能源汽车积分比例要求主要影响燃油车减排投入与定价, 新能源乘用车积分值主要影响新能源汽车定价与需求, 两类政策参数均存在适度区间, 而非越高越优。进一步的参数分析表明, 边际环境负效用提高会推动政府提高最优积分比例要求, 并压缩制造商利润和社会福利; 消费者低碳偏好增强则会降低最优积分比例要求, 并改善制造商利润和社会福利。上述结果说明, 双积分政策的作用机制并不只是单纯提高制造商达标成本, 更重要的是改变了制造商在两类减排路径之间的最优配置方式。

本文模型存在一定局限。模型仅考虑单一转型制造商、单一决策周期和完全信息情形, 未将两类汽

车之间的交叉价格影响纳入需求函数。后续研究可在本文的基础上引入交叉价格弹性、多企业竞争、积分价格波动以及积分跨期结转等因素, 进一步对双积分政策的影响进行研究。

参考文献

- [1] Ou, S., Lin, Z., Qi, L., *et al.* (2018) The Dual-Credit Policy: Quantifying the Policy Impact on Plug-In Electric Vehicle Sales and Industry Profits in China. *Energy Policy*, **121**, 597-610.
- [2] Li, J., Ku, Y., Liu, C., *et al.* (2020) Subsidy or Dual Credit Policy? Incentive Policy Choice for New Energy Vehicle Development. *Journal of Cleaner Production*, **258**, Article ID: 120712.
- [3] 张奇, 李曜明, 唐岩岩, 等. 新能源汽车“双积分”政策对生产商策略与社会福利影响研究[J]. 系统工程理论与实践, 2020, 40(1): 150-169.
- [4] Li, Y., Zhang, Q., Liu, B., McLellan, B., Gao, Y. and Tang, Y. (2018) Substitution Effect of New-Energy Vehicle Credit Program and Corporate Average Fuel Consumption Regulation for Green-Car Subsidy. *Energy*, **152**, 223-236. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.03.134>
- [5] Li, Y., Zhang, Q., Tang, Y., *et al.* (2020) Dynamic Optimization Management of the Dual-Credit Policy for Passenger Vehicles. *Journal of Cleaner Production*, **249**, Article ID: 119384.
- [6] Lou, G., Ma, H., Fan, T., *et al.* (2020) Impact of the Dual-Credit Policy on Improvements in Fuel Economy and the Production of Internal Combustion Engine Vehicles. *Resources, Conservation & Recycling*, **156**, Article ID: 104712.
- [7] 卢超, 王倩倩, 赵梦园, 等. “双积分”政策下汽车制造商竞争定价与减排策略研究[J]. 中国管理科学, 2022, 30(1): 64-76.
- [8] 程永伟, 穆东. 双积分制下汽车生产商生产决策优化[J]. 系统工程理论与实践, 2018, 38(11): 2817-2830.
- [9] Cheng, Y. and Fan, T. (2021) Production Coopetition Strategies for an FV Automaker and a Competitive NEV Automaker under the Dual-Credit Policy. *Omega*, **103**, Article ID: 102391. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2020.102391>
- [10] 赵道致, 王楚格. 考虑低碳政策的供应链企业减排决策研究[J]. 工业工程, 2014, 17(1): 105-111.
- [11] 梁开荣, 胡渝婕, 陈丽强, 等. 不同博弈机制下零售商主导供应链的低碳技术投资与成本分摊决策[J]. 工业工程, 2025, 28(2): 129-140.
- [12] 贡文伟, 王素文, 丁凡, 等. 双积分政策下考虑创新与销售努力的新能源汽车供应链协调策略[J]. 工业工程, 2026, 29(2): 43-53.
- [13] Hidrue, M.K., Parsons, G.R., Kempton, W. and Gardner, M.P. (2011) Willingness to Pay for Electric Vehicles and Their Attributes. *Resource and Energy Economics*, **33**, 686-705. <https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2011.02.002>
- [14] 秦字兴, 朱阁. 基于政府、企业和消费者三方博弈的电动汽车市场推广分析[J]. 工业工程, 2015, 18(4): 1-8.
- [15] 李旭, 熊勇清. 新能源汽车“双积分”政策影响的阶段性特征——经营与环境双重绩效视角[J]. 资源科学, 2021, 43(1): 1-11.