

# 考虑滞后效应和吸收能力的电商供应链低碳发展策略研究

施溢婷

江苏大学管理学院, 江苏 镇江

收稿日期: 2025年5月8日; 录用日期: 2025年5月22日; 发布日期: 2025年6月23日

## 摘要

在“双碳”目标背景下, 减排研发已成为电商平台推动低碳转型的关键途径。本文构建包含供应商、低碳型电商平台与传统型电商平台的供应链结构, 基于纵向、横向、双向三种吸收方向, 构建微分博弈模型, 研究不同情形下滞后效应和吸收能力对电商平台低碳发展策略的影响。研究发现: 1) 纵向吸收下, 低碳平台的研发投入随滞后时间增加而上升, 受供应商吸收能力正向影响; 传统平台的研发投入则受吸收能力调节, 且与低碳竞争强度相关, 当低碳竞争强度较低时, 传统制造商的研发努力投入与供应商的吸收能力呈正相关, 反之则负相关。2) 横向与双向吸收下, 传统平台吸收能力在特定阈值内时, 低碳平台研发随滞后时间增加而增强, 超出阈值则受抑制, 且其研发努力整体上受传统平台吸收能力负向影响; 3) 双向情形下, 当低碳竞争强度在特定阈值内时, 传统平台的研发努力投入与供应商的吸收能力呈正相关, 超出阈值时, 供应商的吸收能力会抑制其研发努力。本文旨在为电商平台制定低碳发展策略和技术扩散路径提供决策参考, 也为政府制定差异化减排激励政策、构建低碳协同创新生态体系提供理论依据。

## 关键词

滞后效应, 吸收能力, 减排研发, 微分博弈, 研发策略, 供应链

# Research on Low-Carbon Development Strategies of E-Commerce Supply Chain Considering Lag Effect and Absorptive Capacity

Yiting Shi

School of Management, Jiangsu University, Zhenjiang Jiangsu

Received: May 8<sup>th</sup>, 2025; accepted: May 22<sup>nd</sup>, 2025; published: Jun. 23<sup>rd</sup>, 2025

文章引用: 施溢婷. 考虑滞后效应和吸收能力的电商供应链低碳发展策略研究[J]. 电子商务评论, 2025, 14(6): 2314-2327. DOI: 10.12677/ec.2025.1461993

## Abstract

Under the background of the “dual carbon” goals, emission reduction R&D has become a key approach for e-commerce platforms to promote low-carbon transformation. This paper constructs a supply chain structure consisting of a supplier, a low-carbon e-commerce platform, and a traditional e-commerce platform. Based on three technology absorption directions—vertical, horizontal, and bidirectional—we develop a differential game model to examine how lag effects and absorptive capacity influence low-carbon development strategies of e-commerce platforms under different scenarios. The results show that: 1) Under vertical absorption, the low-carbon platform’s R&D efforts increase with longer lag time and are positively influenced by the supplier’s absorptive capacity. The traditional platform’s R&D input is regulated by the supplier’s absorptive capacity and varies with the intensity of low-carbon competition. When competition is weak, the traditional platform’s R&D effort is positively correlated with the supplier’s absorptive capacity, and negatively correlated when competition is strong. 2) Under horizontal and bidirectional absorption, the low-carbon platform’s R&D increases with lag time only when the traditional platform’s absorptive capacity remains within a certain threshold; exceeding this threshold suppresses its R&D efforts. In general, the low-carbon platform’s R&D is negatively affected by the traditional platform’s absorptive capacity. 3) In the bidirectional case, the traditional platform’s R&D effort is positively related to the supplier’s absorptive capacity when the low-carbon competition intensity is within a specific range, but this relationship becomes negative once the intensity exceeds the threshold. This study aims to provide decision-making references for e-commerce platforms in formulating low-carbon strategies and technology diffusion paths, and offers theoretical guidance for policymakers to design differentiated emission reduction incentives and build a collaborative low-carbon innovation ecosystem.

## Keywords

Lag Effect, Absorptive Capacity, Emission Reduction Research and Development, Differential Game Theory, R&D Strategy, Supply Chain

Copyright © 2025 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

当前，全球气候变化持续加剧，碳减排已成为企业可持续发展的重要议题。作为现代供应链的关键环节，电商平台不仅承载商品流通功能，也需承担起推动绿色转型与减碳治理的责任。在“双碳”目标背景下，越来越多的电商平台企业将低碳发展纳入核心战略，并通过绿色物流、包装减量、智能配送等方式推动减排活动。与此同时，政府政策、行业规范与消费者绿色偏好等因素，也促使传统型平台响应减排要求，探索自身的低碳转型路径。然而，减排技术投入是一个长期且动态的过程，当期技术投入往往难以立即产生显著的减排效果，存在明显的滞后性效应[1]，如果平台的吸收能力较弱，这种滞后效应会更强，可能导致“搭便车”现象的产生[2]，进而影响其减排研发的积极性和实际减排效果，最终影响电商平台的低碳发展策略。因此，如何在考虑滞后效应与吸收能力的前提下，引导平台企业选择合理的低碳发展策略，成为当前亟需研究的问题。

现有学者针对企业减排问题做了大量研究工作，刘名武等(2016) [3]、李友东等(2017) [4]、梁喜等(2020)

[5]、Zhao 等(2024) [6]学者分别从低碳偏好、渠道偏好、心理预期、社会责任等视角就消费者行为对企业减排策略的影响展开了研究,研究表明,消费者的行为决策会影响企业的减排决策,刺激低碳产业的发展。Wu 等(2018) [7]、Yu 等(2019) [8]等学者探究了成本分担对碳减排水平及供应链利润的影响。在研发投入问题上,王道平等(2024) [9]、刘丽等(2020) [10]等学者分别通过博弈机制从纵向、横向等角度展开研究。还有一些学者分析不同研发模式对供应链减排策略的影响,如:魏守道(2018) [11]以碳交易政策为背景,比较了研发竞争、横向合作研发、纵向合作研发、全面合作研发四种研发形式的效果,从而得出供应链减排研发的策略。王玉燕等(2021) [12]基于电商平台公平关切视角,研究低碳闭环供应链的最优决策问题。

对吸收能力的研究可以追溯至二十世纪九十年代, Cohen 和 Levinthal (1990)最早提出吸收能力的概念,认为吸收能力是企业一种识别、消化和利用外部新知识的能力[13]。此后,杨仕辉等(2003) [14]、秦玮等(2011) [15]、张军果等(2007) [16]、夏晶等(2022) [17]等学者将技术溢出与吸收能力引入到供应链管理研究中,讨论竞合企业的研发投资策略问题,包括对研发方式、合作伙伴行为、企业利润等的影响。

基于此,本文构建由一个上游供应商、一个低碳型电商平台和一个传统型电商平台组成的供应链,建立基于产品减排量的微分博弈模型,并将滞后效应与平台企业的吸收能力纳入到该模型中。研究三种不同情形(纵向吸收、横向吸收、双向吸收)下的最优减排研发投入策略,并分析滞后效应和吸收能力对电商平台低碳发展决策和利润的影响。

## 2. 问题描述与模型假设

### 2.1. 问题描述

本文假设市场中存在一个低碳型电商平台  $M_A$ 、一个传统型电商平台  $M_B$  和一个供应商  $S$  组成的电商供应链。考虑到在绿色消费日益增长的市场中,低碳电商平台可能更具市场需求和品牌优势,且在低碳研发方面具有较高的优势,因此选择低碳型电商平台作为 Stackelbeg 领导者,供应商  $S$  负责为两个平台提供所需的产品,电商平台  $M_i$  负责销售最终产品  $i$ 。低碳型电商平台通过自主研发、绿色基础设施建设等方式主动推进低碳转型,具备较强的减排能力与技术积累。相比之下,传统型电商平台虽起步较晚,但在政策压力与市场趋势的推动下,也逐渐迈入低碳发展阶段。基于此,本文探究在供应链中三种不同吸收方向下的企业减排研发决策。

### 2.2. 模型假设

本研究的相关假设如下:

1) 假定两电商平台均选择进行低碳发展投入,投入为  $C_i(t) = \frac{1}{2} \mu_i E_i^2(t)$ , 其中  $E_i(t)$  为平台  $M_i$  的低碳努力程度,  $\mu_i$  为平台的低碳投入成本系数。供应商  $S$  只提供产品,本身不进行减排研发。平台在进行低碳努力时存在一定的技术溢出,供应链成员对技术溢出有一定的吸收能力。 $\theta_s$ 、 $\theta_b$  分别为供应商和传统型电商平台对研发溢出的吸收能力,  $0 < \theta_s < 1$ ,  $0 < \theta_b < 1$  (本文不考虑无溢出吸收和完全溢出吸收两种极端情况)。

2) 在情形 1 纵向溢出中,两平台进行减排研发,仅考虑来自供应商的纵向吸收能力。将产品减排量的动态方程刻画为

$$\dot{T}_A(t) = (1 + \theta_s) \gamma_A E_A(t-d) + \theta_s \gamma_B E_B(t-d) - \delta T_A(t) \quad (1)$$

$$\dot{T}_B(t) = (1 + \theta_s) \gamma_B E_B(t-d) + \theta_s \gamma_A E_A(t-d) - \lambda T_B(t) \quad (2)$$

式中,  $T_i(t)$  表示  $t$  时刻单位产品的减排量, 假设平台在初始时刻之前从未进行过减排活动, 即有初始减排量  $T_i(0)=0$ ;  $\gamma_A$ 、 $\gamma_B$  为平台的减排研发努力对单位产品减排量的影响系数;  $\delta > 0$ 、 $\lambda > 0$  分别表示产品减排量的自然衰减率;  $d$  表示平台的低碳努力投入的延迟时间。

在情形 2 横向溢出中, 不考虑来自供应商的纵向吸收。两平台均进行低碳投入, 考虑到低碳型平台通常具有更强的技术研发能力, 在研发上投入更多资源, 取得领先优势, 因此仅考虑来自传统型平台的横向吸收能力。将减排量的动态方程分别刻画为

$$\dot{T}_A(t) = \gamma_A E_A(t-d) - \delta T_A(t) \quad (3)$$

$$\dot{T}_B(t) = \gamma_B E_B(t-d) + \theta_B \gamma_A E_A(t-d) - \lambda T_B(t) \quad (4)$$

在情形 3 双向溢出中, 同时考虑传统平台对低碳平台的横向吸收, 以及供应商对两平台研发溢出的纵向吸收, 分别为  $\theta_B$ 、 $\theta_S$ 。将产品 A 和 B 减排量的动态方程分别刻画为

$$\dot{T}_A(t) = (1+\theta_S)\gamma_A E_A(t-d) + \theta_S \gamma_B E_B(t-d) - \delta T_A(t) \quad (5)$$

$$\dot{T}_B(t) = (1+\theta_S)\gamma_B E_B(t-d) + (\theta_B + \theta_S)\gamma_A E_A(t-d) - \lambda T_B(t) \quad (6)$$

3) 假设市场需求与减排量有关, 将低碳竞争关系通过市场需求函数进行表示, 即产品  $i$  的市场需求函数刻画为

$$D_i(t) = D_0 + \alpha T_i(t) - \beta \alpha [T_j(t) - T_i(t)] \quad (7)$$

式中,  $D_0$  为市场原始需求,  $\alpha > 0$  表示减排量对市场需求的影响因子, 即消费者的低碳偏好系数。  $0 < \beta \leq 1$  表示平台之间的低碳竞争强度;  $i, j = A, B$ , 且  $i \neq j$ 。

4) 平台和供应商的利润函数分别为:

$$J_A = \max \int_0^\infty e^{-\rho t} \pi_A \cdot D_A(t) - C_A(t) dt \quad (8)$$

$$J_B = \max \int_0^\infty e^{-\rho t} \pi_B \cdot D_B(t) - C_B(t) dt \quad (9)$$

$$J_S = \max \int_0^\infty e^{-\rho t} \pi_S \cdot [D_A(t) + D_B(t)] dt \quad (10)$$

5) 平台  $M_i$  的边际利润为  $\pi_i > 0$ , 供应商  $S$  从两产品中获取的边际利润相等, 均为  $\pi_S > 0$ 。设平台和供应商的贴现率相同, 均为  $\rho$  且  $\rho$  大于 0。

## 2.3. 模型求解

### 2.3.1. 纵向溢出情形下的均衡解

在纵向溢出情形下(用上标  $V$  表示), 运用最优控制理论, 采用哈密顿 - 雅克比 - 贝尔曼(HJB)方程进行求解。考虑到低碳平台  $M_A$  作为 Stackelberg 领导者先进行研发努力程度  $E_A(t)$  的决策, 而传统平台  $M_B$  作为跟随者决定自身的研发努力程度  $E_B(t)$ , 因此采用逆向归纳法求解最优决策。

定理 1 纵向溢出情形下, 平台的微分博弈均衡策略为

$$E_A^{V*} = \frac{\pi_A \cdot \alpha \gamma_A e^{\delta d}}{\mu_A} \left[ \frac{(1+\theta_S)(1+\beta)}{\rho+\delta} - \frac{\beta \theta_S}{\rho+\lambda} \right]$$

$$E_B^{V*} = \frac{\pi_B \cdot \alpha \gamma_B e^{\delta d}}{\mu_B} \left[ \frac{(1+\theta_S)(1+\beta)}{\rho+\lambda} - \frac{\beta \theta_S}{\rho+\delta} \right]$$

单位产品减排量的最优轨迹为

$$T_A^V(t) = \frac{\alpha e^{\delta t} [\gamma_B^2 \pi_B \theta_s \mu_A \cdot G_1 + \pi_A \gamma_A^2 (1 + \theta_s) \mu_B \cdot G_2]}{\delta \mu_A \mu_B (\rho + \delta)(\rho + \lambda)} + \left( T_{A0}^V - \frac{\alpha e^{\delta t} [\gamma_B^2 \pi_B \theta_s \mu_A \cdot G_1 + \pi_A \gamma_A^2 (1 + \theta_s) \mu_B \cdot G_2]}{\delta \mu_A \mu_B (\rho + \delta)(\rho + \lambda)} \right) e^{-\delta t}$$

$$T_B^V(t) = \frac{\alpha e^{\delta t} [\gamma_B^2 \pi_B (1 + \theta_s) \mu_A \cdot G_1 + \pi_A \gamma_A^2 \theta_s \mu_B \cdot G_2]}{\delta \mu_A \mu_B (\rho + \delta)(\rho + \lambda)} + \left( T_{B0}^V - \frac{\alpha e^{\delta t} [\gamma_B^2 \pi_B (1 + \theta_s) \mu_A \cdot G_1 + \pi_A \gamma_A^2 \theta_s \mu_B \cdot G_2]}{\delta \mu_A \mu_B (\rho + \delta)(\rho + \lambda)} \right) e^{-\delta t}$$

其中,  $G_1 = (1 + \beta + \theta_s)(\rho + \delta) + \theta_s \beta (\delta - \lambda)$ ;  $G_2 = (1 + \beta + \theta_s)(\rho + \lambda) - \theta_s \beta (\delta - \lambda)$ 。

由定理 1, 在纵向溢出情形下, 供应链成员的最优利润分别为

$$J_A^V = \frac{\pi_A}{2\rho(\rho + \delta)^2 \mu_A \mu_B (\rho + \lambda)^2} \left( 2D_0 (\rho + \delta)^2 \mu_A \mu_B (\rho + \lambda)^2 + 2\alpha\rho(\rho + \delta) \mu_A \mu_B (T_{A0} + T_{A0}\beta - T_{B0}\beta)(\rho + \lambda)^2 \right. \\ \left. - \alpha^2 e^{\delta t} \left( -2\gamma_B^2 \pi_B \mu_A (\theta_s - \beta)(\rho + \lambda) G_1 + \pi_A \gamma_A^2 \mu_B G_2 \left( -2(1 + \theta_s + \beta)(\rho + \lambda) + e^{\delta t} G_2 \right) \right) \right)$$

$$J_B^V = \frac{\pi_B}{2\rho(\rho + \delta)^2 \mu_A \mu_B (\rho + \lambda)^2} \left( 2D_0 (\rho + \delta)^2 \mu_A \mu_B (\rho + \lambda)^2 + 2\alpha\rho(\rho + \delta) \mu_A \mu_B (T_{B0} - T_{A0}\beta + T_{B0}\beta)(\rho + \lambda)^2 \right. \\ \left. - \alpha^2 e^{\delta t} \left( -2\pi_A \gamma_A^2 \mu_B (\theta_s - \beta)(\rho + \lambda) G_2 + \gamma_B^2 \pi_B \mu_A G_1 \left( -2(1 + \theta_s + \beta)(\rho + \lambda) + e^{\delta t} G_1 \right) \right) \right)$$

$$J_S^V = \frac{\pi_s}{\rho(\rho + \delta)^2 \mu_A \mu_B (\rho + \lambda)} \left( 2D_0 (\rho + \delta)^2 \mu_A \mu_B (\rho + \lambda) + \alpha\rho(\rho + \delta) (T_{A0} + T_{B0}) \mu_A \mu_B (\rho + \lambda) \right. \\ \left. + \alpha^2 e^{\delta t} (1 + 2\theta_s) (\gamma_B^2 \pi_B \mu_A G_1 + \pi_A \gamma_A^2 \mu_B G_2) \right)$$

推论 1 纵向溢出情形下, 低碳平台  $M_A$  的研发努力投入与研发效果的滞后时间、供应商  $S$  的吸收能力呈正相关关系; 当吸收能力  $0 < \theta_s < \frac{(1 + \beta)(\rho + \delta)}{\beta(\lambda - \delta) - (\rho + \delta)}$  时, 传统平台  $M_B$  的研发努力投入与研发效果的滞后时间呈正相关关系, 当  $\frac{(1 + \beta)(\rho + \delta)}{\beta(\lambda - \delta) - (\rho + \delta)} < \theta_s < 1$  时, 研发努力与滞后时间呈负相关关系; 当  $0 < \beta < \frac{\rho + \delta}{\lambda - \delta}$  时, 传统平台  $M_B$  的研发努力投入与供应商  $S$  的吸收能力呈正相关关系, 当  $\frac{\rho + \delta}{\lambda - \delta} < \beta \leq 1$  时, 研发努力与供应商  $S$  的吸收能力呈负相关关系。

证明 纵向溢出情形下, 将最优减排研发努力投入对滞后时间、吸收能力的变量求偏导, 可得

$$\frac{\partial E_A^{V*}}{\partial d} = \frac{\alpha \pi_A e^{\delta t} \delta \gamma_A}{\mu_A} \left[ \frac{(1 + \theta_s)(1 + \beta)}{\rho + \delta} - \frac{\beta \theta_s}{\rho + \lambda} \right] > 0; \quad \frac{\partial E_A^{V*}}{\partial \theta_s} = \frac{\alpha \pi_A e^{\delta t} \gamma_A}{\mu_A} \left( \frac{1 + \beta}{\rho + \delta} - \frac{\beta}{\rho + \lambda} \right) > 0$$

$$\frac{\partial E_B^{V*}}{\partial d} = \frac{\alpha \pi_B e^{\delta t} \delta \gamma_B}{\mu_B} \left[ \frac{(1 + \theta_s)(1 + \beta)}{\rho + \lambda} - \frac{\beta \theta_s}{\rho + \delta} \right]; \quad \frac{\partial E_B^{V*}}{\partial \theta_s} = \frac{\alpha \pi_B e^{\delta t} \gamma_B}{\mu_B} \left( \frac{1 + \beta}{\rho + \lambda} - \frac{\beta}{\rho + \delta} \right)$$

证毕。

推论 1 表明, 在仅考虑纵向溢出情形时, 对于低碳平台来说, 滞后时间或供应商吸收能力的增加,

会促进其增加研发努力投入。对于传统平台,当市场低碳竞争较弱时,供应商吸收能力越强,传统平台的研发努力投入就越大,此时供应链可以形成协同效应;但当市场竞争较强时,供应商吸收能力越强,传统平台的研发努力反而越小,因为较高的吸收能力可能会削弱传统平台的技术专属性,从而影响其研发积极性。

### 2.3.2. 横向溢出情形下的均衡解

在横向溢出情形下(用上标  $H$  表示)供应链参与者仅考虑平台  $M_i$ , 两平台之间有竞争关系。

定理 2 横向溢出情形下, 平台的微分博弈均衡策略为

$$E_A^{H*} = \frac{\pi_A \cdot \alpha \gamma_A e^{\delta d}}{\mu_A} \left[ \frac{1+\beta}{\rho+\delta} - \frac{\beta \theta_B}{\rho+\lambda} \right]$$

$$E_B^{H*} = \frac{\pi_B \cdot \alpha \gamma_B e^{\delta d} (1+\beta)}{\mu_B (\rho+\lambda)}$$

单位产品减排量的最优轨迹为

$$T_A^H(t) = \frac{\pi_A \alpha \gamma_A^2 e^{\delta d} [(1+\beta)(\rho+\lambda) - \theta_S \beta (\rho+\delta)]}{\delta \mu_A (\rho+\delta)(\rho+\lambda)} + \left( T_{A0}^H - \frac{\pi_A \alpha \gamma_A^2 e^{\delta d} [(1+\beta)(\rho+\lambda) - \theta_S \beta (\rho+\delta)]}{\delta \mu_A (\rho+\delta)(\rho+\lambda)} \right) e^{-\delta t}$$

$$T_B^H(t) = \frac{\alpha e^{\delta d} \gamma_B^2 \pi_B (1+\beta)}{\delta \mu_B (\rho+\lambda)} + \frac{\alpha e^{\delta d} \pi_A \gamma_A^2 \theta_B [(1+\beta)(\rho+\lambda) - \theta_B \beta (\rho+\delta)]}{\delta \mu_A (\rho+\delta)(\rho+\lambda)} + \left( T_{B0}^H - \frac{\alpha e^{\delta d} \gamma_B^2 \pi_B (1+\beta)}{\delta \mu_B (\rho+\lambda)} - \frac{\alpha e^{\delta d} \pi_A \gamma_A^2 \theta_B [(1+\beta)(\rho+\lambda) - \theta_B \beta (\rho+\delta)]}{\delta \mu_A (\rho+\delta)(\rho+\lambda)} \right) e^{-\delta t}$$

由定理 2, 在横向溢出情形下, 成员的最优利润分别为

$$J_A^H = \frac{\pi_A}{2\rho(\rho+\delta)^2 \mu_A \mu_B (\rho+\lambda)^2} \left( 2D_0(\rho+\delta)^2 \mu_A \mu_B (\rho+\lambda)^2 + 2\alpha\rho(\rho+\delta) \mu_A \mu_B (T_{A0} + T_{A0}\beta - T_{B0}\beta)(\rho+\lambda)^2 - \alpha^2 e^{\delta d} (2\gamma_B^2 \pi_B (\rho+\delta) \mu_A \beta (1+\beta)(\rho+\lambda) + \pi_A \gamma_A^2 \mu_B G_3 (-2(-1+\beta(-1+\theta_B))(\rho+\lambda) + e^{\delta d} G_3)) \right)$$

$$J_B^H = \frac{\pi_B}{2\rho(\rho+\delta)^2 \mu_A \mu_B (\rho+\lambda)^2} \left( 2D_0(\rho+\delta)^2 \mu_A \mu_B (\rho+\lambda)^2 + \alpha\rho(\rho+\delta) \mu_A \mu_B (T_{B0} - T_{A0}\beta + T_{B0}\beta)(\rho+\lambda)^2 - \alpha^2 e^{\delta d} (2\pi_A \gamma_A^2 \mu_B (\beta(-1+\theta_B) + \theta_B)(\rho+\lambda) G_3 + \gamma_B^2 \pi_B (\rho+\delta) \mu_A (1+\beta)^2 (e^{\delta d}(\rho+\delta) - 2(\rho+\lambda))) \right)$$

$$J_S^H = \frac{\pi_S}{\rho(\rho+\delta)^2 \mu_A \mu_B (\rho+\lambda)} \left( 2D_0(\rho+\delta)^2 \mu_A \mu_B (\rho+\lambda) + \alpha\rho(\rho+\delta) (T_{A0} + T_{B0}) \mu_A \mu_B (\rho+\lambda) + \alpha^2 e^{\delta d} (\gamma_B^2 \pi_B (\rho+\delta) \mu_A (1+\beta) - \pi_A \gamma_A^2 \mu_B (1+\theta_B) G_3) \right)$$

其中,  $G_3 = \rho(-1+\beta(-1+\theta_B)) + \delta\beta\theta_B - (1+\beta)\lambda$ 。

推论 2 横向溢出情形下, 当吸收能力  $0 < \theta_B < \frac{(1+\beta)(\rho+\lambda)}{\beta(\rho+\delta)}$  时, 低碳平台  $M_A$  的研发努力投入与研发

效果的滞后时间呈正相关关系, 当  $\frac{(1+\beta)(\rho+\lambda)}{\beta(\rho+\delta)} < \theta_B < 1$  时, 研发努力与滞后时间呈负相关关系; 低碳平



台  $M_A$  的研发努力投入与传统平台  $M_B$  的吸收能力呈负相关关系；传统平台  $M_B$  的研发努力投入与研发效果的滞后时间呈正相关关系。

证明 横向溢出情形下，将最优减排研发努力投入对滞后时间、吸收能力的变量求偏导，可得

$$\frac{\partial E_A^{H*}}{\partial d} = \frac{\alpha\pi_A e^{\delta d} \delta\gamma_A}{\mu_A} \left[ \frac{1+\beta}{\rho+\delta} - \frac{\beta\theta_B}{\rho+\lambda} \right]; \quad \frac{\partial E_A^{H*}}{\partial \theta_B} = -\frac{\alpha\pi_A e^{\delta d} \gamma_A \beta}{\mu_A(\rho+\lambda)} < 0; \quad \frac{\partial E_B^{H*}}{\partial d} = \frac{\alpha\pi_B e^{\delta d} \delta\gamma_B(1+\beta)}{\mu_B(\rho+\lambda)}.$$

证毕。

推论 2 表明，① 当  $\theta_B$  较小，即传统平台的吸收能力较弱时，随着滞后时间的增加，低碳平台会增加其研发努力投入。这是由于较长的技术转化窗口期能够有效延长低碳平台的技术领先优势，不容易被传统平台赶超，此时低碳平台具有较高的研发回报，激励其增加研发投入。② 当  $\theta_B$  较大，即传统平台的吸收能力较强时，低碳平台的技术优势会被迅速模仿和吸收，导致研发回报下降，从而削弱其研发动力。③ 对传统平台而言，滞后时间越长，意味着其拥有更宽松的技术吸收窗口期，对低碳技术进行学习、模仿，从而更好地利用技术溢出效应，对自身工艺及相关技术进行低碳化的适应性改进和再开发，提升其低碳竞争力。此时，传统平台会增加其研发投入。但如果滞后时间过短，传统平台可能会减少自主研发，更多依赖于吸收低碳平台的成果，从而导致供应链整体创新能力的下降。

### 2.3.3. 双向溢出情形下的均衡解

在双向溢出情形下(用上标  $B$  表示)，同时考虑平台  $M_i$  和供应商  $S$ ，平台之间有竞争关系。

定理 3 双向溢出情形下，平台的微分博弈均衡策略为

$$E_A^{B*} = \frac{\pi_A \cdot \alpha\gamma_A e^{\delta d}}{\mu_A} \left[ \frac{(1+\beta)(1+\theta_s)}{\rho+\delta} - \frac{\beta(\theta_B+\theta_s)}{\rho+\lambda} \right]$$

$$E_B^{B*} = \frac{\pi_B \cdot \alpha\gamma_B e^{\delta d}}{\mu_B} \left[ \frac{(1+\beta)(1+\theta_s)}{\rho+\lambda} - \frac{\beta\theta_s}{\rho+\delta} \right]$$

单位产品减排量的最优轨迹为

$$T_A^B(t) = \frac{\alpha e^{\delta d} \gamma_B^2 \pi_B \theta_s \cdot G_1}{\delta\mu_B(\rho+\delta)(\rho+\lambda)} + \frac{\alpha e^{\delta d} \pi_A \gamma_A^2 (1+\theta_s) \cdot [G_2 - \beta\theta_B(\rho+\delta)]}{\delta\mu_A(\rho+\delta)(\rho+\lambda)}$$

$$+ \left( T_{A0}^B - \frac{\alpha e^{\delta d} \gamma_B^2 \pi_B \theta_s \cdot G_1}{\delta\mu_B(\rho+\delta)(\rho+\lambda)} - \frac{\alpha e^{\delta d} \pi_A \gamma_A^2 (1+\theta_s) \cdot [G_2 - \beta\theta_B(\rho+\delta)]}{\delta\mu_A(\rho+\delta)(\rho+\lambda)} \right) e^{-\delta t}$$

$$T_B^B(t) = \frac{\alpha e^{\delta d} \gamma_B^2 \pi_B (1+\theta_s) \cdot G_1}{\delta\mu_B(\rho+\delta)(\rho+\lambda)} + \frac{\alpha e^{\delta d} \pi_A \gamma_A^2 (\theta_B+\theta_s) [G_2 - \beta\theta_B(\rho+\delta)]}{\delta\mu_A(\rho+\delta)(\rho+\lambda)}$$

$$+ \left( T_{B0}^B - \frac{\alpha e^{\delta d} \gamma_B^2 \pi_B (1+\theta_s) \cdot G_1}{\delta\mu_B(\rho+\delta)(\rho+\lambda)} - \frac{\alpha e^{\delta d} \pi_A \gamma_A^2 (\theta_B+\theta_s) [G_2 - \beta\theta_B(\rho+\delta)]}{\delta\mu_A(\rho+\delta)(\rho+\lambda)} \right) e^{-\delta t}$$

由定理 3，在双向溢出情形下，供应链成员的最优利润分别为

$$J_A^B = \frac{\pi_A}{2\rho(\rho+\delta)^2 \mu_A \mu_B (\rho+\lambda)^2} \left( 2D_0(\rho+\delta)^2 \mu_A \mu_B (\rho+\lambda)^2 + 2\alpha\rho(\rho+\delta) \mu_A \mu_B (T_{A0} + T_{A0}\beta - T_{B0}\beta)(\rho+\lambda)^2 \right.$$

$$\left. - \alpha^2 e^{\delta d} \left( -2\gamma_B^2 \pi_B \mu_A (\theta_s - \beta)(\rho+\lambda) G_1 + \pi_A \gamma_A^2 \mu_B G_4 \left( -2(1+\theta_s + \beta - \beta\theta_B)(\rho+\lambda) + e^{\delta d} G_4 \right) \right) \right)$$

$$J_B^B = \frac{\pi_B}{2\rho(\rho+\delta)^2 \mu_A \mu_B (\rho+\lambda)^2} \left( 2D_0(\rho+\delta)^2 \mu_A \mu_B (\rho+\lambda)^2 + 2\alpha\rho(\rho+\delta) \mu_A \mu_B (T_{B0} - T_{A0}\beta + T_{B0}\beta)(\rho+\lambda)^2 \right.$$

$$\left. + \alpha^2 e^{\delta d} \left( 2\pi_A \gamma_A^2 \mu_B (\theta_s + \beta(-1+\theta_B) + \theta_B)(\rho+\lambda) G_4 - \gamma_B^2 \pi_B \mu_A G_1 \left( -2(1+\theta_s + \beta)(\rho+\lambda) + e^{\delta d} G_1 \right) \right) \right)$$

$$J_S^B = \frac{\pi_s}{\rho(\rho+\delta)^2 \mu_A \mu_B (\rho+\lambda)} \left( 2D_0(\rho+\delta)^2 \mu_A \mu_B (\rho+\lambda) + \alpha \rho(\rho+\delta)(T_{A0} + T_{B0}) \mu_A \mu_B (\rho+\lambda) \right. \\ \left. + \alpha^2 e^{\delta d} (\gamma_B^2 \pi_B (1+2\theta_s) \mu_A G_1 + \pi_A \gamma_A^2 \mu_B (1+2\theta_s + \theta_B) G_4) \right)$$

其中,  $G_4 = -\delta\beta(\theta_s + \theta_B) + \rho(1+\theta_s + \beta - \beta\theta_B) + (1+\theta_s)(1+\beta)\lambda$

推论 3 双向溢出情形下, ① 对低碳平台: 当吸收能力  $0 < \theta_B + \theta_s < \frac{(1+\beta)(\rho+\lambda)(1+\theta_s)}{\beta(\rho+\delta)}$  时, 低碳平

台  $M_A$  的研发努力投入与研发效果的滞后时间呈正相关关系, 当  $\frac{(1+\beta)(\rho+\lambda)(1+\theta_s)}{\beta(\rho+\delta)} < \theta_B + \theta_s < 1$  时,

研发努力与滞后时间负相关; 低碳平台  $M_A$  的研发努力投入与传统平台  $M_B$  的吸收能力呈负相关, 与供应商的吸收能力呈正相关; ② 对传统平台: 产品减排量的自然衰减率会影响其研发努力投入与研发效果的

滞后时间之间的关系, 当  $0 < \lambda \leq \frac{(2+\beta)(\rho+\delta)+\beta\delta}{\beta}$ ,  $0 < \theta_s < 1$  或  $\lambda > \frac{(2+\beta)(\rho+\delta)+\beta\delta}{\beta}$ ,

$0 < \theta_s < \frac{(1+\beta)(\rho+\delta)}{\beta(\lambda-\delta)-(\rho+\delta)}$  时, 二者正相关, 当  $\lambda > \frac{(2+\beta)(\rho+\delta)+\beta\delta}{\beta}$ ,  $\frac{(1+\beta)(\rho+\delta)}{\beta(\lambda-\delta)-(\rho+\delta)} < \theta_s < 1$  时, 二

者呈负相关。当  $0 < \beta < \frac{\rho+\delta}{\lambda-\delta}$  时, 传统平台  $M_B$  的研发努力投入与供应商的吸收能力呈正相关关系, 当

$\frac{\rho+\delta}{\lambda-\delta} < \beta \leq 1$  时, 呈负相关关系。

证明 双向溢出情形下, 将最优减排研发努力投入对滞后时间、吸收能力的变量求偏导, 可得

$$\frac{\partial E_A^{B*}}{\partial d} = \frac{\alpha \pi_A e^{\delta d} \delta \gamma_A}{\mu_A} \left[ \frac{(1+\beta)(1+\theta_s)}{\rho+\delta} - \frac{\beta(\theta_B + \theta_s)}{\rho+\lambda} \right]; \quad \frac{\partial E_A^{B*}}{\partial \theta_B} = -\frac{\alpha \pi_A e^{\delta d} \gamma_A \beta}{\mu_A (\rho+\lambda)} < 0;$$

$$\frac{\partial E_A^{B*}}{\partial \theta_s} = \frac{\alpha \pi_A e^{\delta d} \gamma_A}{\mu_A} \left[ \frac{1+\beta}{\rho+\delta} - \frac{\beta}{\rho+\lambda} \right] > 0; \quad \frac{\partial E_B^{B*}}{\partial d} = \frac{\alpha \pi_B e^{\delta d} \delta \gamma_B}{\mu_B} \left[ \frac{(1+\theta_s)(1+\beta)}{\rho+\lambda} - \frac{\beta\theta_s}{\rho+\delta} \right];$$

$$\frac{\partial E_B^{B*}}{\partial \theta_s} = \frac{\alpha \pi_B e^{\delta d} \gamma_B}{\mu_B} \left( \frac{1+\beta}{\rho+\lambda} - \frac{\beta}{\rho+\delta} \right)。$$

证毕。

推论 3 表明, 供应商和传统平台的吸收能力在一定范围内时, 随着滞后时间的增加, 低碳平台可以在较长时间内独享技术研发的红利, 维持其技术领先的优势, 因此能够激励低碳平台加大研发投入来扩大其市场份额, 减少因技术溢出而导致的竞争压力。反之, 滞后时间对低碳平台的研发投入具有抑制效应。这是由于当供应链中其他主体具备较强的技术吸收能力时, 低碳平台的技术溢出速度加快, 减弱了其技术的垄断优势, 降低了研发投入的预期回报, 此时研发努力投入反而会产生“搭便车”效应, 促进竞争平台进行技术追赶, 从而削弱低碳平台的市场主导地位。

定理 4 比较三种溢出情形下, 平台的最优研发努力水平满足  $E_A^H(t) < E_A^B(t) < E_A^V(t)$ ,  $E_B^B(t) = E_B^V(t) > E_B^H(t)$ 。

定理 4 说明, 对低碳平台而言, 其研发在仅横向溢出情形下受到“搭便车效应”的影响最大, 面临较大的研发外部性损失, 因此, 在这种情形下, 研发努力水平最低; 在考虑双向溢出时, 虽然低碳平台依旧受到“搭便车效应”的影响, 但由于供应商的吸收在一定程度上可以形成回报机制, 使低碳平台能够间接受益, 因此, 会增加其研发努力; 在仅考虑纵向溢出情形时, 低碳平台的研发努力投入会最高, 因为供应商的技术吸收会带来更高质量的原材料, 且大大降低了传统平台“搭便车效应”, 从而提高了



低碳平台的研发积极性。

对于传统平台而言,在仅考虑横向溢出的情形下,传统平台自身研发对供应链的反馈较小,因此会更倾向通过“搭便车”,来降低自身的研发投入,主要依赖吸收低碳平台的研发;在纵向溢出和双向溢出情形下,由于供应商能够通过吸收研发成果来改进中间产品或生产技术,使得传统平台在供应链的优化中获益,因此,传统平台会增加其研发努力水平。且在双向情形下,虽然传统平台吸收了低碳平台的研发,但此时供应链整体研发水平较高,会激励传统平台继续进行减排研发投入;在纵向情形下,传统平台的研发会被供应商吸收一部分,并反过来改善其生产,因此,传统平台依然愿意保持较高的研发努力水平。在这两种情形下,传统平台的研发努力水平相对较高,且无显著差异。

### 3. 数值分析

本节从单位产品减排量随时间的变化、滞后时间对供应链利润和均衡策略的影响以及关键参数对均衡策略的影响三个方面进行数值分析,以验证上述推论结果。借鉴杨仕辉等人[14]的相关参数设置,假设模型中贴现率 $\rho=0.9$ ,衰减率 $\delta=\lambda=0.3$ ,单位产品减排量初始值 $T_{A0}=30$ , $T_{B0}=20$ ,市场原始需求 $D_0=15$ ,减排努力成本系数 $\mu_A=\mu_B=1$ ,影响因子 $\alpha=0.4$ , $\gamma_A=\gamma_B=2$ ,竞争强度 $\beta=0.7$ ,吸收能力 $\theta_S=0.4$ , $\theta_B=0.6$ ,产品边际利润 $\pi_A=8$ , $\pi_B=7$ , $\pi_S=5$ 。

1) 单位产品减排量的最优轨迹随时间变化如下图1所示(取 $d=2$ , $0\leq t\leq 30$ )。

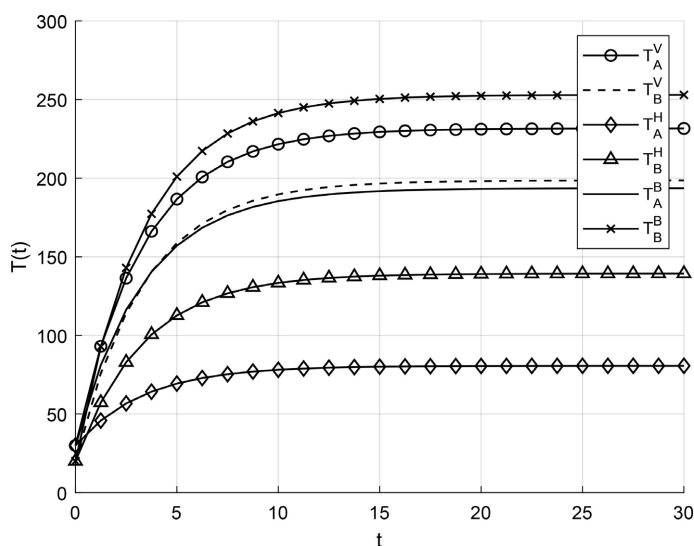
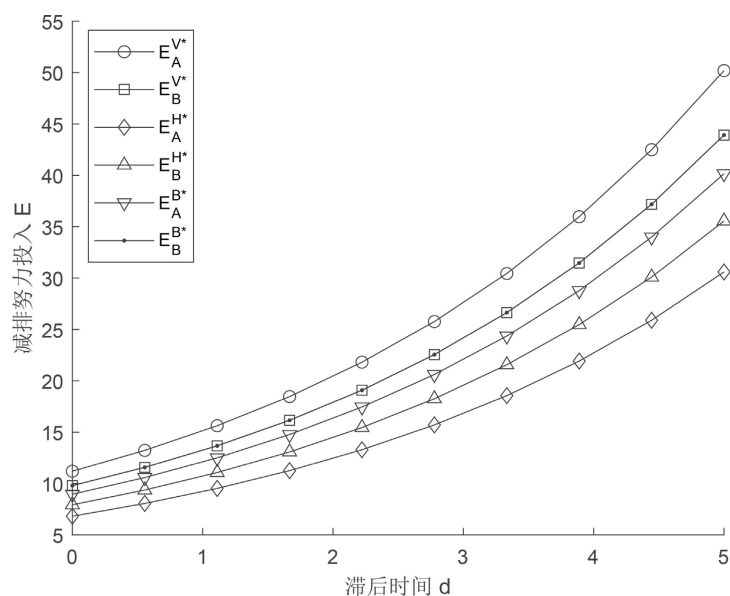


Figure 1. The evolution process of product emission reduction  
图 1. 产品的减排量演化过程

由图1可知,在三种情形下,单位产品减排量均随时间的增加而增加,且逐渐趋于稳定,这一结果与游达明等[18]的研究结论相同。这一变化趋势表明,技术吸收与溢出效应在初期对减排量的提升具有显著的推动作用,且随着时间的增加边际效应递减,趋于稳定。在纵向溢出情形下,由于供应商吸收两平台的低碳技术,有助于形成供应链减排协同机制,在该情形下,低碳平台的减排能力明显高于传统平台,其单位减排量及其稳定值始终处于较高水平。这反映出,低碳平台由于其技术成熟度更高,在供应链纵向合作中能够与供应商进行更加高效的匹配,获得更多效益,从而进一步增强其减排优势。在横向溢出情形中,传统平台的单位减排量高于低碳平台。这说明,当传统平台吸收能力较强时,能够通过“搭便车”实现技术追赶,而低碳平台为了降低“搭便车”对其带来的负面影响,会抑制自身的研发投入。在双向

向溢出情形下, 传统平台的单位减排量达到最高值, 这表明, 当双向溢出时, 在供应链协同与竞争机制的共同作用下, 平台的减排潜力能够被最大程度激发。

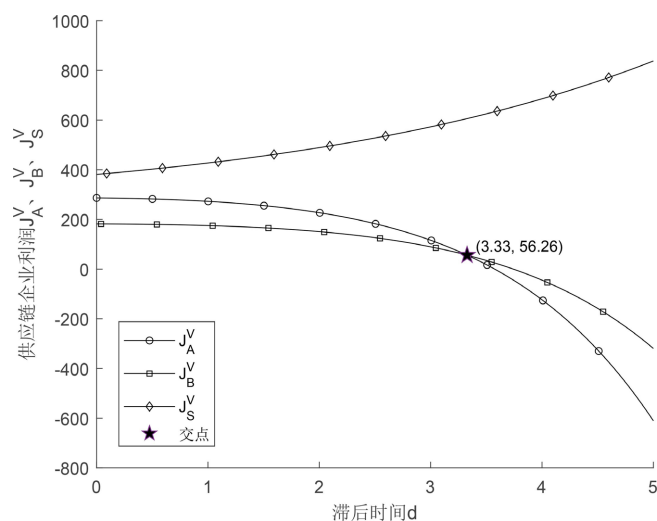


**Figure 2.** The influence of lag time on the equilibrium strategy of differential games

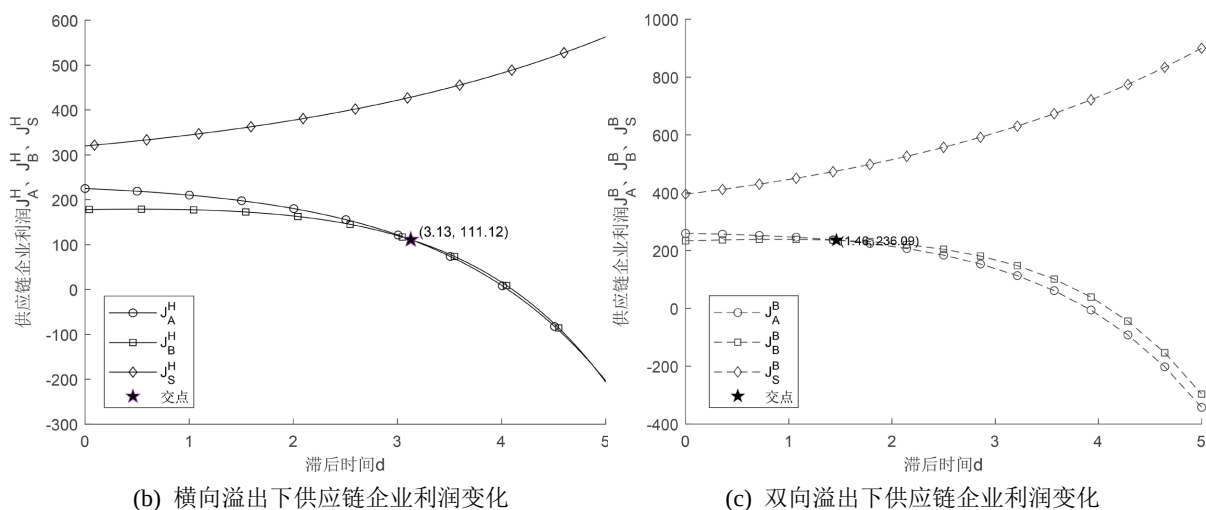
**图 2.** 滞后时间对微分博弈均衡策略的影响

2) 微分博弈均衡策略随滞后时间变化图像如图 2 所示。由图可知, 不论何种溢出情形, 随着滞后时间的增加, 平台投入的减排努力越高。这说明, 当滞后时间在一定范围内时, 反而能对平台的减排研发努力起到激励作用, 平台必须加大前期的研发投入来应对滞后效应带来的影响。在纵向吸收情形下, 平台的减排研发投入水平整体高于其他情形, 这说明供应链纵向吸收能够促使平台提高研发投入, 从而获得更高的协同效益。

3) 供应链成员利润随滞后时间的变化情况(见图 3)。



(a) 纵向溢出下供应链企业利润变化

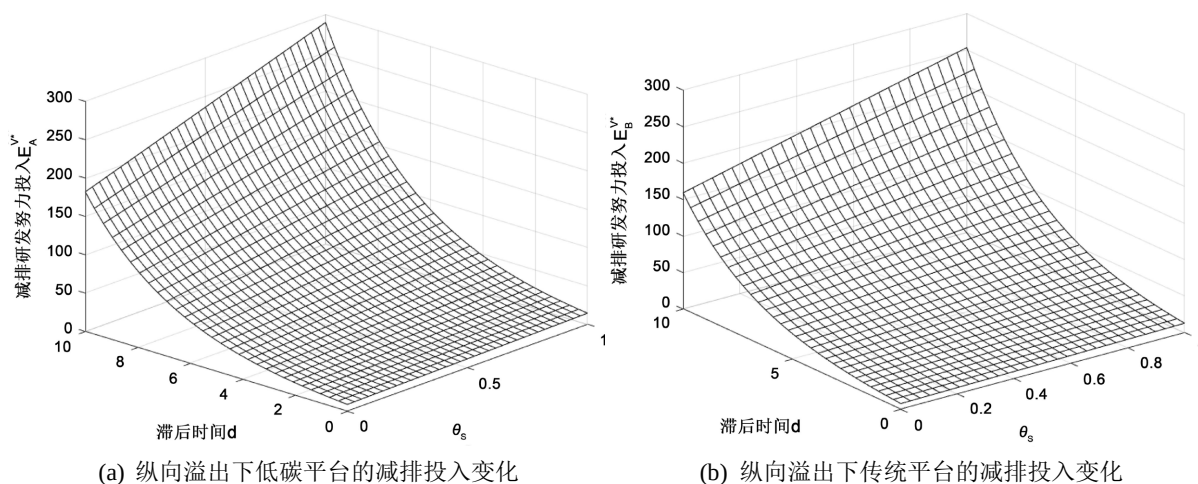


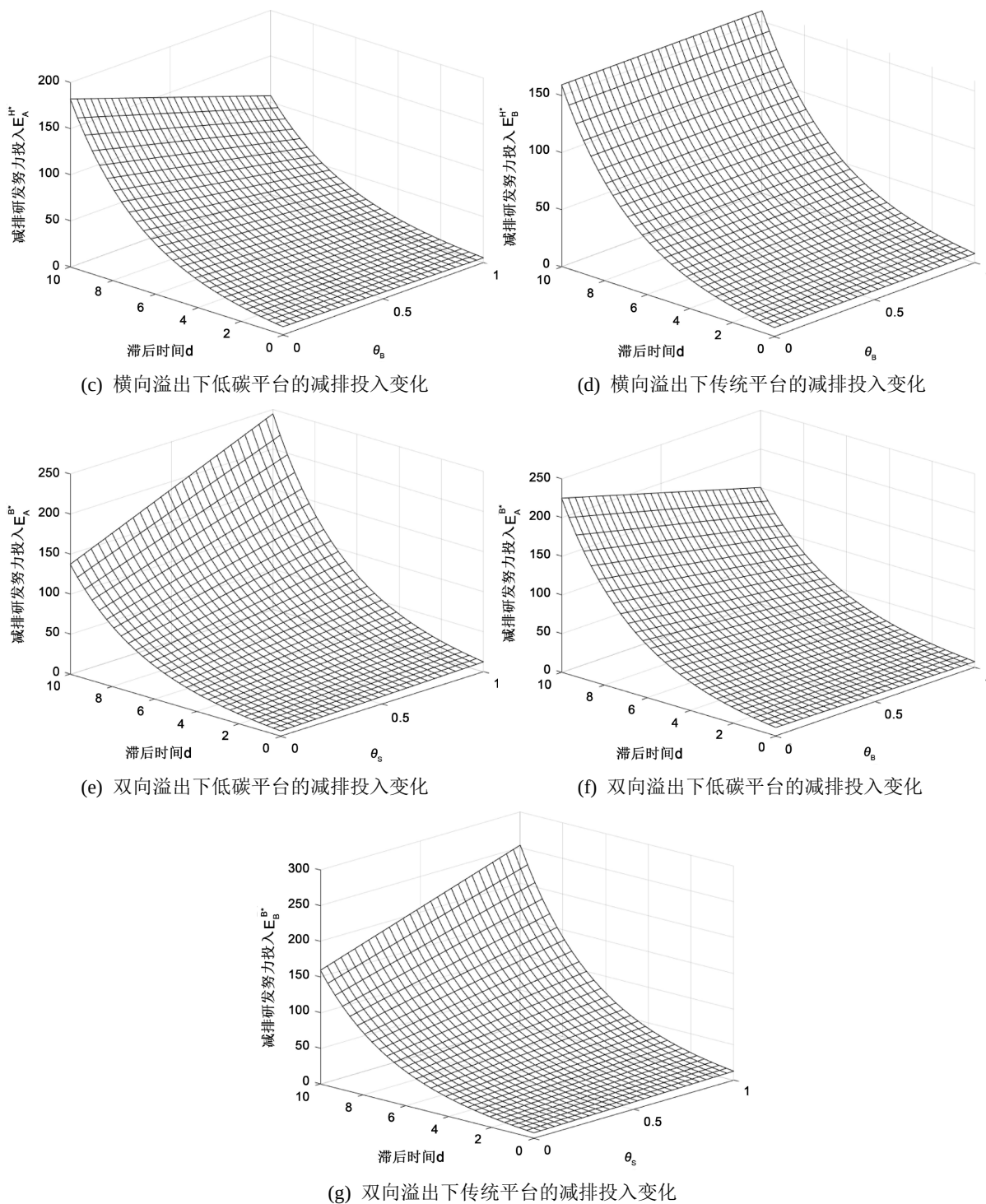
**Figure 3.** The impact of lag time on the profits of supply chain members  
**图 3.** 滞后时间对供应链成员利润的影响

由图 3 可知, 1) 在三种情形下, 平台的利润随着减排研发效果滞后时间的增加, 呈现出下滑的趋势。这一结果与杨仕辉等人[14]的研究结论相吻合, 进一步印证了减排效果的滞后时间与供应链收益效果之间存在负相关性。虽然随着滞后时间的增加, 平台会加大减排研发投入。但是研发往往高风险性, 且其效果难以得到即时体现, 因此, 平台  $M_A$  的投入未能有效转化为其收益的增加。2) 供应商的利润反而呈现出上升趋势。这表明平台的减排研发投入虽然增加了自身的成本, 但一定程度上提高了低碳产品的市场需求, 从而对供应商的利润起到间接促进的作用。3) 当滞后时间在一定范围内时, 三种情形下低碳平台的利润均高于传统平台, 超过该阈值, 传统平台的利润会实现反超, 且这一范围在纵向情形下最大, 在双向情形时最小。这一发现表明, 在市场对低碳产品有较强偏好的情况下, 传统平台虽然一开始低碳竞争水平较低, 但滞后时间的增加, 为其提供了吸收的时间窗口, 从而增加其利润。

4) 滞后时间与吸收能力相关因素对最优减排研发努力投入的影响(见图 4)。

图 4 表明, 1) 在三种溢出情形下, 滞后时间均正向影响平台的减排研发投入, 这一结果与陈东彦[19]的研究结论相同。随着时间的推移, 市场对低碳产品的认可度和需求可能会不断上升, 同时减排技术、政府政策等也在持续进步和推广。考虑到这些因素的影响, 平台会加大对减排研发的投入, 以期





**Figure 4.** The impact of supply chain members' absorptive capacity on manufacturers' emission reduction investment  
**图 4.** 供应链成员吸收能力对制造商减排投入的影响

尽早实现技术红利和收益回报。2) 供应商的吸收能力对平台的减排研发投入具有正向作用。这是因为供应商较高的吸收能力能够与平台的减排研发进行更好的匹配, 推动供应链之间更加紧密的协作, 从而整体提升产品的减排水平, 增强平台的低碳竞争优势, 为了保持或增强这一优势, 平台会增加其减排研发



努力投入。3) 传统平台的吸收能力负向影响低碳平台的减排研发投入。这是因为在低碳竞争环境下, 平台如果发现其他横向竞争的企业能够通过吸收和模仿迅速获得其减排研发成果, 这可能会使其原有的减排研发投入难以获得足够的回报, 研发成果无法有效转化为实际的竞争优势, 这种收益的不确定性会削弱其继续进行减排研发投资的意愿。4) 在横向溢出情形下, 传统平台的研发投入不受吸收能力的影响。尽管吸收能力能够帮助其提高对外部技术的理解与应用, 但考虑到研发投入的回报相对不确定, 因此在这一情形下, 传统平台更多扮演的是技术“接收者”的角色, 其技术来源主要依赖于低碳平台的外溢成果, 而非自主创新, 因此在这一情形下, 传统平台的减排研发投入与其吸收能力之间缺乏显著关联。

#### 4. 结论

本文针对一个供应商与两个平台组成的两级低碳电商供应链, 构建纵向溢出、横向溢出和双向溢出三种情形下的微分博弈模型, 综合考虑减排效果的滞后效应以及吸收能力, 对电商供应链减排研发决策的影响, 得到以下结论:

1) 减排研发效果的滞后效应对平台的减排研发投入存在促进作用, 且在纵向溢出情形下, 平台的减排研发投入最高。但这种投入的增加并不是没有限制的, 当滞后时间达到特定范围时, 投入的成本开始产生较大的负效用。当投入成本超过绩效时, 基于成本效益原则, 平台会选择降低研发努力投入。因此, 对平台而言, 减排研发效果的滞后效应既是一种考验, 也是一种激励。由于存在滞后时间, 平台的减排研发效果难以得到即时体现, 这加大了平台研发的不确定性, 需要平台具有敏锐的洞察力, 在制定减排研发决策时, 必须综合考虑市场需求、竞争环境、技术发展水平、自身经济实力、抗风险能力等因素, 从而使决策既符合实际又具有一定的前瞻性, 能够适应市场变化。

2) 由于研发活动存在溢出效应, 因此, 平台的减排研发成果不仅可以提升自身的低碳竞争力, 还能通过供应链传递给其他成员, 有助于提升整个供应链的低碳水平, 为整个供应链带来积极影响, 进一步促进平台进行减排研发投入。然而另一方面, 来自不同供应链成员的吸收能力以及吸收能力的强弱, 会影响平台的减排研发投入决策。总的来说, 供应商的吸收能力对平台的减排研发努力具有促进作用。当供应商具备较高的吸收能力时, 能够更好地理解和吸收平台的减排研发成果, 这种知识传递不仅能够提高供应商自身的减排水平, 也有助于平台进一步完善减排技术, 形成知识的良性循环, 在整个供应链中提升产品的减排效果, 为平台带来更大的市场竞争力。而传统平台的吸收能力对低碳平台的减排研发努力存在抑制作用, 且对其自身的减排研发努力没有显著关联。一方面, 当横向竞争企业具备较强的吸收能力时, 平台面临着较高的技术泄露风险, 为防止竞争企业搭便车, 平台会在研发投入决策中更加谨慎、保守。另一方面, 拥有高吸收能力的竞争企业能够更快地吸收掌握和应用新技术, 从而在市场上推出更具竞争力的产品, 以此来获得消费者的认可与支持。这种不公平现象会削弱平台在减排研发上的动力。

综上所述, 本文的管理学意义主要有:

1) 作为研发企业, 在制定减排研发策略时, 一方面要考虑到滞后效应的影响, 及时预测市场变化并做出调整; 另一方面要在技术保护与溢出之间寻找一个合理的平衡点, 如通过技术许可、合作研发等方式, 既能够保护自身研发成果, 维护经济利益, 又能够促进研发成果的共享, 达到整体效益的最大化。

2) 作为供应商, 要意识到自身减排行为对整体供应链的碳排放有着重要影响。因此, 除了要加强自身的减排能力, 还应与供应链其他成员建立合作关系, 协同减排。

3) 作为横向竞争企业, 一方面要通过不断地学习和积累, 提升自身吸收能力以更好地掌握和应用先进的减排技术, 从而提升减排水平。另一方面要兼顾研发企业的公平关切心理, 认识到供应链企业是相互依存、共同发展的, 应加强与其他企业的合作与协调, 为企业长期发展奠定基础。

4) 政府部门应建立“分类施策、协同共治”的低碳转型政策体系。一方面, 针对电商平台发展特征

实施差异化激励机制,通过财税杠杆引导低碳技术研发与应用,例如,对低碳型电商平台给予税收优惠,鼓励传统型电商平台进行低碳技术改造等;另一方面,推动构建多方参与的协同创新生态,整合产业链上下游资源,建立覆盖技术研发、成果转化和商业应用的全周期支持机制。同时完善碳效动态评估机制,将减排绩效与市场准入、信用评价等制度相衔接,形成政策引导与市场驱动相结合的可持续发展格局。

## 参考文献

- [1] Liu, Q. and Zhu, X. (2023) Carbon Reduction Decisions in Green Technology Collaborative R&D and Spillover Time Lag Effects. *Journal of Cleaner Production*, **429**, Article 139595. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139595>
- [2] 李金溪, 易余胤. 考虑溢出效应的双寡头绿色研发时机选择[J/OL]. 系统管理学报, 2024: 1-20. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/31.1977.N.20241008.1659.002.html>, 2024-12-28.
- [3] 刘名武, 吴开兰, 许茂增. 面向消费者低碳偏好的供应链减排成本分摊与协调[J]. 工业工程与管理, 2016, 21(4): 50-57.
- [4] 李友东, 谢鑫鹏. 考虑消费者低碳偏好的供应链企业减排成本分摊比较研究[J]. 运筹与管理, 2017, 26(10): 65-73.
- [5] 梁喜, 张余婷. 基于消费者偏好的低碳双渠道供应链定价与减排策略[J]. 运筹与管理, 2020, 29(12): 107-117.
- [6] Zhao, J., Zhang, R., Wang, Z. and Cui, S. (2024) Low-Carbon Supply Chain Decision-Making and CSR Strategy Evolution Analysis Considering Heterogeneous Consumer Preferences. *Systems*, **12**, Article 283. <https://doi.org/10.3390/systems12080283>
- [7] Wu, P., Yin, Y., Li, S. and Huang, Y. (2018) Low-Carbon Supply Chain Management Considering Free Emission Allowance and Abatement Cost Sharing. *Sustainability*, **10**, Article 2110. <https://doi.org/10.3390/su10072110>
- [8] Yu, B., Wang, J., Lu, X. and Yang, H. (2020) Collaboration in a Low-Carbon Supply Chain with Reference Emission and Cost Learning Effects: Cost Sharing versus Revenue Sharing Strategies. *Journal of Cleaner Production*, **250**, Article 119460. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119460>
- [9] 王道平, 常敬雅, 郝玫. 碳交易政策下基于技术投资的供应链纵向合作动态减排研究[J]. 控制与决策, 2024, 39(5): 1654-1664.
- [10] 刘丽, 张再生, 王哲. 基于双边匹配-动态博弈的碳减排技术投资决策[J]. 运筹与管理, 2020, 29(8): 20-26.
- [11] 魏守道. 碳交易政策下供应链减排研发的微分博弈研究[J]. 管理学报, 2018, 15(5): 782-790.
- [12] 王玉燕, 梁佳平, 申亮, 等. 电商平台公平关切下低碳 E-CLSC 的决策研究[J]. 中国管理科学, 2021, 29(4): 115-125.
- [13] Cohen, W.M. and Levinthal, D.A. (1990) Absorptive Capacity: A New Perspective on Learning and Innovation. *Administrative Science Quarterly*, **35**, 128-152. <https://doi.org/10.2307/2393553>
- [14] 杨仕辉, 熊艳, 王红玲. 吸收能力、研发合作创新激励与补贴政策[J]. 中国管理科学, 2003(1): 95-100.
- [15] 秦玮, 徐飞, 宋波. 研发联盟合作伙伴行为演化博弈分析——吸收能力的视角[J]. 工业工程与管理, 2011, 16(6): 16-20.
- [16] 张军果, 任浩. 吸收能力与竞争企业研发投入及方式选择[J]. 系统工程, 2007(4): 64-68.
- [17] 夏晶, 牛文举. 考虑非对称溢出效应的竞争企业研发投入[J]. 科研管理, 2022, 43(2): 108-117.
- [18] 游达明, 朱桂菊. 低碳供应链生态研发, 合作促销与定价的微分博弈分析[J]. 控制与决策, 2016, 31(6): 1047-1056.
- [19] 陈东彦, 黄春丽. 滞后效应影响下低碳供应链减排投入与零售定价[J]. 控制与决策, 2018, 33(9): 1686-1692.