

# 考虑消费者低碳偏好和政府低碳补贴家电产品双渠道供应链决策研究

孙鸿飞 王艺林 武慧娟  
东北电力大学经济管理学院  
DOI:10.12238/pe.v3i3.13609

**[摘要]** 全球环境危机加剧背景下,绿色生产面临技术与市场双重风险,导致企业自主创新动力匮乏,政府补贴与市场需求成为驱动企业低碳转型的关键要素。本文构建双决策下的博弈分析框架:建立集中、分散决策的Stackelberg博弈模型,求解最优定价与碳减排策略;系统解析消费者低碳偏好动态及补贴政策对双渠道供应链绩效的影响机制,探究不同决策模式下各因素的交互效应,运用数值仿真验证。研究显示:在集中与分散决策下,双渠道家电产品的定价、减排、需求规模及利润等核心变量,均与消费者低碳偏好参数、政府补贴参数呈显著正相关。对供应链企业而言,需精准把握消费者偏好趋势,提前布局减排策略以提升整体盈利效能;对政府而言,应强化低碳补贴政策力度。

**[关键词]** 家电产品; 双渠道供应链; 政府补贴; 低碳偏好; Stackelberg博弈  
**中图分类号:** TF761+2 **文献标识码:** A

## Study the dual-channel supply chain decision of consumer green preference and government low-carbon subsidy for home appliances

Hongfei Sun Yilin Wang Huijuan Wu

School of Economics and Management, Northeast Electric Power University

**[Abstract]** In the context of intensifying global environmental crises, green production faces dual risks from technology and market, leading to a lack of motivation for corporate innovation. Government subsidies and market demand have become key drivers for corporate green transformation. This paper constructs a game analysis framework under a dual-decision architecture: first, it establishes a centralized/decentralized decision-making Stackelberg game model to solve for optimal pricing and carbon reduction strategies through mathematical optimization; second, it systematically analyzes the dynamic of consumer low-carbon preferences and the impact mechanisms of subsidy policies on dual-channel supply chain performance, focusing on the interactive effects of various factors under different decision-making models, and validates these with numerical simulations. The study shows that under both centralized and decentralized decision-making frameworks, core variables such as pricing, emission reduction, demand scale, and profit of dual-channel home appliances are significantly positively correlated with consumer low-carbon preference parameters and government subsidy parameters. For supply chain companies, it is essential to accurately grasp consumer preference trends and proactively plan emission reduction strategies to enhance overall profitability; for governments, they should strengthen the intensity of low-carbon subsidy policies.

**[Key words]** home appliance products; dual-channel supply chain; government subsidy; low carbon preference; Stackelberg game

### 引言

面对严峻的气候变化,我国政府通过鼓励低碳技术创新、能源结构转型升级等措施促进低碳产业进步,借助低碳消费补贴

等途径,提升消费者低碳认知,引导消费需求转型<sup>[1]</sup>。为提升市场竞争力,企业借助互联网与电子商务平台拓展销售网络,构建线上线下协同运作的家电双渠道营销体系。

国内外学者主要从政府对供应链成员补贴的定价和消费者低碳选择两方面入手。Ma等针对政府向消费者提供补贴的情境，探究了双渠道闭环供应链的最优定价策略<sup>[2]</sup>。考虑到消费者的购买意愿，朱庆华等针对无补贴、制造商低碳补贴及消费者补贴三种情形，系统构建最优决策分析框架<sup>[3]</sup>。

现有研究多聚焦政府补贴定价或消费者低碳选择，但家电供应链决策研究体系尚不健全。本文以单一制造商与零售商构成的两级双渠道供应链为对象，探究政府补贴与消费者低碳偏好协同下的决策机制。

### 1 问题描述与模型假设

构建单一生产商、零售商二级家电双渠道供应链模型，对比集中与分散决策的定价及碳减排策略。分散决策时形成Stackelberg主从博弈；市场需求由多因素驱动。符号说明如下表1所示。

表1 符号描述

变量	含义
$p$	线上线下销售价格
$w$	家电批发价格
$e$	家电碳减排量 $e > 0$
$k$	碳减排投资成本系数
$\lambda$	消费者低碳偏好系数
$\phi$	消费者对于零售商线下渠道的购买偏好
$a$	市场基本需求
$t$	政府补贴系数
$c_e$	碳减排成本
$D$	市场需求
$\Pi$	利润

变量上标“1”“2”对应零售商主导及生产商主导型双渠道模式；“i”“d”分别用于标识集中决策模式与分散决策模式。“\*”标识最优解集。下标“off”表征线下销售渠道，“on”对应线上销售渠道。下标“r”指零售商，“p”指生产商，“sc”指整个供应链。基于前文的问题阐述与符号说明，作出如下假设：

假设一：供应链主体具完全信息、风险中性及理性决策。

假设二：碳减排投入属一次性资本支出。设定单位产品生产

成本 $c=0$ 。碳减排成本函数可为： $c_e = \frac{ke^2}{2}$ 。生产商存在减排量的非负下限阈值。

假设三：线上线下同价，零售商有终端定价权，消费者价格敏感系数标准化为1。在参数约束方面，设定 $p \geq w \geq c$ ，以规避负利润情形。

假设四：供应链聚焦单品类家电，碳排放主要源自生产制造环节。消费者可通过产品碳标签获取碳减排信息。

### 2 模型建立和求解

#### 2.1 需求及利润函数构建

##### (1) 需求函数

$$D_{sc}^1 = D_{r-off}^1 + D_{r-on}^1 = a - 2p + 2\lambda e \quad (1)$$

##### (2) 利润函数

$$\Pi_p^1(w, p, e) = w(a - 2p + 2\lambda e) - (1-t) \frac{ke^2}{2} \quad (2)$$

$$\Pi_r^1(w, p, e) = (p - w)(a - 2p + 2\lambda e) \quad (3)$$

#### 2.2 集中决策模型

##### (1) 利润模型构建

$$\Pi_{sc}^{1i}(p, e) = p(a - 2p + 2\lambda e) - (1-t) \frac{ke^2}{2} \quad (4)$$

##### (2) 模型求解

$$p^{1i*} = \frac{(1-t)k\alpha}{4[(1-t)k - \lambda^2]} \quad e^{1i*} = \frac{\lambda\alpha}{2[(1-t)k - \lambda^2]}$$

$$D_{sc}^{1i*} = \frac{(1-t)k\alpha}{2[(1-t)k - \lambda^2]} \quad \Pi_{sc}^{1i*} = \frac{(1-t)k\alpha^2}{8[(1-t)k - \lambda^2]}$$

#### 2.3 分散决策模型

##### (1) 利润模型构建

$$\Pi_{sc}^{1d}(w, p, e) = \Pi_p^{1d}(w, p, e) + \Pi_r^{1d}(w, p, e) \quad (5)$$

##### (2) 模型求解

$$w^{1d*} = \frac{(1-t)k\alpha}{4k(1-t) - 2\lambda^2} \quad e^{1d*} = \frac{\alpha\lambda}{4k(1-t) - 2\lambda^2}$$

$$p^{1d*} = \frac{3\alpha(1-t)k}{8(1-t)k - 4\lambda^2} \quad D_{sc}^{1d*} = \frac{(1-t)k\alpha}{4(1-t)k - 2\lambda^2}$$

$$\Pi_p^{1d*} = \frac{(1-t)k\alpha^2}{16(1-t)k - 8\lambda^2} \quad \Pi_r^{1d*} = \frac{(1-t)^2 k^2 \alpha^2}{8[-2(1-t)k + \lambda^2]^2}$$

$$\Pi_{sc}^{1d*} = \frac{(1-t)k[3(1-t)k - \lambda^2]\alpha^2}{8[-2(1-t)k + \lambda^2]^2}$$

命题一：当消费者线上购买偏好参数 $\phi$ 突破既定阈值

$0 < \phi < \min(\phi_1, 1)$ ，零售商即构建双渠道销售架构。其中

$$\phi_1 = \frac{5\alpha(1-t)k - 2\alpha\lambda^2}{4\alpha[2(1-t)k - \lambda^2]}$$

证明：对于零售商来说，需要满足特定条件 $p^{1d*} - w^{1d*} > 0$ 。

零售商线上销售的市场需求 $D_{r-on}^1 > 0$ ，可推出

$$\phi < \frac{5\alpha(1-t)k - 2\alpha\lambda^2}{4\alpha[2(1-t)k - \lambda^2]} = \phi_1$$

该命题表明，当参数 $\phi$ 低于阈值时，零售商因存在线上

需求而开通渠道;若 $\varphi$ 高于阈值,则因无需求而不开通。

### 3 模型分析及数值模拟

#### 3.1 消费者低碳偏好系数对供应链的影响

推论1:集中决策下,家电售价、碳减排规模、市场需求及供应链利润随 $\lambda$ 递增而正相关。

证明:(1)在 $p^{1i*}$ 、 $e^{1i*}$ 中对 $\lambda$ 求偏导均为正;(2)在 $D_{sc}^{1i*}$ 中对 $\lambda$ 求偏导为正;(3)在 $\Pi_{sc}^{1i*}$ 中对 $\lambda$ 求偏导为正。

此推论表明:双渠道集中决策模式下生产商提升产品碳减排量,短期成本上升,但集中决策通过信息共享使零售商按需求弹性定价,将部分减排成本转嫁给消费者。同时,低碳偏好形成正向需求反馈,扩大市场规模并降低固定成本,最终实现价格与需求双增,政策补贴进一步缓解成本压力,共同推动供应链利润大幅提升,达成低碳转型与高效运营的协同。

推论2:分散决策下,上述变量及批发价、成员收益均与 $\lambda$ 正相关。

证明:(1)在 $p^{1d*}$ 、 $e^{1d*}$ 、 $w^{1d*}$ 中对 $\lambda$ 求偏导均为正;(2)在 $D_{sc}^{1d*}$ 中对 $\lambda$ 求偏导为正;(3)在 $\Pi_p^{1d*}$ 、 $\Pi_r^{1d*}$ 、 $\Pi_{sc}^{1d*}$ 中对 $\lambda$ 求偏导均为正。

该推论表明:零售商双渠道分散决策中,生产商按市场导向提升碳减排量,边际成本上升,通过生产商提高批发价传导成本、零售商依需求弹性调价实现成本转嫁。价格协同与低碳属性强化形成双重激励,促成价格与需求双增。零售商实现利润增长,供应链利润跃升是分散决策自主优化与低碳红利叠加的结果:低碳偏好既驱动生产商减排,又为零售商创造溢价空间。

#### 3.2 政府补贴系数对供应链的影响

推论3:集中决策下,家电售价、碳减排规模、市场需求及供应链利润随 $t$ 上升而正相关。

证明:(1)在 $p^{1i*}$ 、 $e^{1i*}$ 中对 $t$ 求偏导均大于0;(2)在 $D_{sc}^{1i*}$ 中对 $t$ 求偏导大于0;(3)在 $\Pi_{sc}^{1i*}$ 中对 $t$ 求偏导大于0。

该推论说明:政府补贴系数越高,生产商低碳减排力度会变大。推进低碳减排举措可催生更广的市场需求。零售商为攫取更多利润,会提高商品售价。售价的攀升与需求规模扩张驱动供应链利润增长。

推论4:分散决策下,上述变量及批发价、成员收益均与 $t$ 正相关。

证明:(1)在 $p^{1d*}$ 、 $e^{1d*}$ 、 $w^{1d*}$ 中对 $t$ 求偏导均大于0;(2)在 $D_{sc}^{1d*}$ 中对 $t$ 求偏导大于0;(3)在 $\Pi_p^{1d*}$ 、 $\Pi_r^{1d*}$ 、 $\Pi_{sc}^{1d*}$ 中对 $t$ 求偏导均大于0。

此推论表明:政府补贴系数攀升时,生产商会开展低碳减排行动,此行动能催生更大市场需求。生产商为逐利提高批发价,零售商为增益提升售价。在生产商减排与涨价的双重作用下,市场需求与利润均实现增长。

#### 3.3 数值模拟

取 $\alpha = 100$ ,  $\lambda = 0.5$ ,  $k = 2.5$ ,  $\varphi = 0.45$ ,  $t = 0.3$ ,通过Matlab仿真验证:

##### (1) 消费者低碳偏好系数对供应链的影响

消费者低碳偏好系数 $\lambda$ 取在0至1之间,通过Matlab仿真可得到 $\lambda$ 变化时,可以看到:消费者低碳偏好系数 $\lambda$ 提升驱动售价、减排量、需求及利润增长。该结论印证前期推论1、2,验证了消费者低碳偏好的正向激励效应。

##### (2) 政府补贴系数对供应链的影响

设定补贴系数 $t$ 取值范围在0至0.8之间,通过Matlab仿真可得到政府补贴系数 $t$ 提高同样促进各变量上升,且集中决策下指标优于分散决策,该结果与推论3、4相契合。

集中决策模式下,生产商碳减排量、市场需求、供应链利润优于分散决策且增速更高,随政府补贴与消费者低碳偏好系数上升,两者指标差值持续扩大,说明集中决策让供应链成员能快速响应需求变化。

## 4 结论

在消费者低碳偏好及政府补贴情境下,构建零售商双渠道销售模型,分析消费者低碳偏好系数、政府补贴系数及渠道偏好系数对供应链成员的作用。

主要结论如下:

(1)集中决策框架下,生产商碳减排规模、市场需求量与供应链利润水平均优于分散决策,且增长速率亦更高。因此,两级家电供应链企业宜采用集中决策以提升利润,供应链成员需强化信息共享以趋近该模式。

(2)集中与分散决策情境中,家电产品售价、碳减排量、市场需求、成员利润及供应链总利润,均与消费者低碳偏好系数、政府补贴系数呈正相关关系。

供应链企业需精准把握消费者偏好,制定针对性减排策略以提升利润。从政府视角看,消费者低碳偏好的增强有利于达成低碳减排目标。因此,政府有必要强化低碳补贴力度,以推动减排目标的实现。

本文假设双渠道定价统一,而现实中家电产品存在线上线下差异化定价。未来可研究双渠道非统一定价情形下的供应链决策。

本文系吉林省教育厅2024年度社会科学研究项目“吉林省智慧养老中健康信息微阅读用户画像及个性化信息服务模式研究(JJKH20240162SK)”和吉林省教育厅2025年度社会科学研究项目“吉林省智慧养老视域下公共图书馆适老化信息服务模式研究(JJKH20250892SK)”研究成果之一。

### [参考文献]

- [1]潘冬阳,陈川祺,Grubb M.金融政策与经济低碳转型——基于增长视角的研究[J].金融研究,2021(12):1-19.
- [2]Fogarty J J, Sagerer S. Exploration externalities and government subsidies:The return to government [J]. Resources Policy,2016,47:78-86.
- [3]孙迪,余玉苗.绿色产品市场中政府最优补贴政策的确定[J].管理学报,2018,15(01):118-126.

### 作者简介:

孙鸿飞(1974--),男,汉族,吉林长春人,博士,教授,硕士生导师,研究方向:电力经济,工业工程。