

doi:10.19920/j.cnki.jmsc.2026.07.008

政府绿色消费补贴模式研究^①

韩嘉源^{1,2}, 王文斌³, 魏 航^{3*}

(1. 杭州电子科技大学数据科学与智能决策实验中心, 杭州 310018; 2. 杭州电子科技大学
管理学院, 杭州 310018; 3. 上海财经大学商学院, 上海 200433)

摘要: 碳中和目标的实现离不开全社会的共同努力, 而消费补贴是引导社会树立绿色消费观念的重要手段。多地正在试点的绿色消费积分制是一种基于产品绿色度的可变补贴, 与固定补贴不同, 政府根据绿色消费的实际环境效益计算补贴。本研究构建“政府-企业”两阶段博弈模型, 分析比较了固定补贴和可变补贴两种消费补贴模式的最优设计及其影响。研究发现, 两种模式均能促进企业绿色产品研发, 但可变补贴在更多情景下有效。在政府选择补贴模式时, 当预算较低或较高时, 可变补贴的减排能力更强; 预算适中时, 固定补贴配合环保标准能实现更高碳减排。政策设计时补贴可能通过刺激消费增加碳排放, 但较大的市场规模和消费者对绿色产品的偏好可有效缓解这一现象。这些结论为政府设计绿色消费补贴政策提供了理论支持。

关键词: 绿色消费补贴; 绿色消费积分; 碳普惠制; 绿色产品研发; 碳减排

中图分类号: F722.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2026)07-0109-16

0 引 言

我国城镇居民消费产生的碳排放占全国碳排放总量的比例一度达到 30%^[1]。引导民众形成绿色消费习惯对实现社会低碳转型、推动经济高质量发展有重要的意义。消费补贴作为促进绿色消费的政策工具, 一直广泛应用于各级政府。在碳达峰、碳中和背景下, 我国对绿色消费补贴的财政支持显著增强。仅 2021 年度财政部提前下达的节能减排补助资金就达到 375 亿元^②, 是 2020 年总额的 3.34 倍。在补贴政策的支持下, 企业加大了绿色领域的投资研发, 纷纷推出低碳节能产品; 上

汽、广汽、长城等传统车企都制定了雄心勃勃的新能源汽车战略, 加快推出各自品牌的新能源车型^③; 格力、海尔、美的等家电巨头正共同推进行业绿色转型^④。

政策力度加强的同时, 上级政府对补贴资金使用成效的重视程度也在不断提升。自《节能减排补助资金管理暂行办法》出台以来, 上级政府在下达补贴预算资金时大都明确地提出了资金使用的环境效益目标, 例如资源节约和节能减排效果等。这些环境目标的出现对专项补贴资金的管理和运用提出了新的要求, 而选择合适的补贴形式是高效利用预算资金的先决条件。

① 收稿日期: 2021-07-17; 修订日期: 2024-10-08。

基金项目: 浙江省哲学社会科学规划课题资助项目(24NDQN002YB); 国家自然科学基金资助项目(72372096; 72571162); 上海市数据科技与决策前沿科学研究基地资助项目; 上海财经大学创新团队支持计划资助项目(2018110694)。

通讯作者: 魏 航(1976—), 男, 浙江绍兴人, 博士, 教授, 博士生导师。Email: weihang@mail.shufe.edu.cn

② 参见财政部经济建设司 http://jjs.mof.gov.cn/zxzyzf/jnjpbzj/202011/t20201120_3626829.htm。

③ 参见中工网 <https://www.workercn.cn/c/2022-04-14/6789166.shtml>。

④ 参见新华网 http://www.news.cn/fortune/2022-07/22/c_1128853077.htm。

传统的绿色消费补贴政策往往采用基于绿色度^⑤阈值的固定补贴模式。该模式下,政府事先确定对绿色消费的补贴数额。当购买的产品达到了补贴政策所要求的环保标准(绿色度阈值)时,消费者可获得固定数额的补贴^[2]。现实中,固定补贴一直被广泛地用于鼓励绿色消费^[2,3]。例如,自2009年启动节能减排惠民工程起,财政部等多部委在十多年时间内陆续发布了多项基于固定补贴模式的节能产品推广政策,涉及照明、空调、电视等多种高效节能产品。

近年来许多地方正试点推广基于产品绿色度水平的可变补贴模式。在这一模式下,政府根据消费者所购买产品的绿色度水平发放相应数额的补贴:产品的绿色度越高,消费者获得的补贴总量也越高。得益于绿色消费积分制的推行,可变补贴模式在全国多地得到了实践。北京、广东、成都等多个省市所试点推广的“碳普惠”项目全部采用了基于积分奖励的可变补贴模式。积分的引入使政府可以根据用户低碳消费行为的碳减排量发放补贴:参与这些项目的用户在购买低碳产品后可以获得碳积分,积分的数量由用户的具体减排量换算得到,可用于兑现相应价值的奖励。

固定补贴和可变补贴在结构上存在较大差异,评估比较其效果并非易事。尽管政府对固定补贴有丰富经验,但一些案例显示,在可变补贴模式下,相同的资金可能带来更高的环境效益。2020年,北京碳普惠项目利用一百多万元奖励补贴,达成了相当于一万辆新能源汽车一年碳减排量的效果^⑥,约每百元即可实现一辆新能源汽车一年的碳减排,而新能源汽车专项补贴推广一辆

新车则需花费上万元^⑦。若以碳减排量为补贴成效衡量,可变补贴的资金效率^⑧可达固定补贴的百倍以上。

决策者在设计补贴政策时,还需统筹多方面因素。首先,预算是影响政策的重要内部因素,决定了政策设计的空间。尽管财政支持不断增加,但补贴的执行主体仍主要为地方政府^[4],其预算受财政部门或上级政府限制^[5],各地和各部门获得的预算差异较大且规模有限^[6,7],因此决策者需根据实际预算情况设计政策。同时,消费者的环保意识不断增强,对绿色产品的偏好日益明显,这可能有利于提升补贴政策的效果。这些因素叠加使补贴政策的设计和选择更为复杂。

“环境结果导向的政策设计”已经成为地方职能部门的决策者必须解决的现实问题,因为与普通的消费补贴不同,绿色消费补贴具有明确的环境目标导向性^⑨,特别是在近年节能减排补助资金的绩效目标中,环境效益成为了主要的考核标准^⑩。为此,本研究试图回答的核心问题是:在不同补贴模式下,如何根据资金规模选择最合适的模式,制定最有效的条款,以最大化环境效益?具体而言,本研究将致力于解决以下研究问题。

1) 固定补贴和可变补贴模式分别将如何影响企业决策和碳排放量?

2) 在不同的补贴模式下,面对预算约束的政策设计者应该如何确定补贴的力度?

3) 政策设计者应该选择何种模式来最大限度地降低碳排放?

目前,有关绿色消费补贴的研究主要以两种

⑤ “绿色度”主要用于描述产品的环保性能,如零部件的可回收性、有毒有害物质含量、能耗水平等等。“绿色度”的概念在文献中得到了广泛的使用^[2-5]。

⑥ 参见新华网 http://www.bj.xinhuanet.com/2021-01/19/c_1126997606.htm。

⑦ 同年(2020年)新能源汽车销量136.7万辆,新能源汽车推广应用补助资金提前下达160.5亿元,参见工信部 https://www.miit.gov.cn/gxsj/tjfx/zhgy/qc/art/2021/art_80a68716879e4180a0dea39183b546cf.html 和财政部 http://jjs.mof.gov.cn/zxzyzf/jnjpbzzj/201911/t20191118_3424452.htm。

⑧ “资金效率”指每单位支出实现的污染物减少量^[8,9]。

⑨ 参见中国人大网 <http://www.npc.gov.cn/npc/c30834/201912/059cdcc614604b31ac3e1b9352b2e3b0.shtml>。

⑩ 例如,财政部提前下达的2024年节能减排补助资金的绩效目标中明确指出,效益指标包含节能减排效果、资源节约等环境绩效,参见财政部 http://jjs.mof.gov.cn/zxzyzf/jnjpbzzj/202405/t20240507_3934118.htm。

形式展开.其中一些学者聚焦单一补贴形式,探讨政府的最优补贴策略及其影响.这些研究大多假设绿色消费补贴会间接影响企业绿色产品研发或绿色技术投资决策,并基于这一逻辑建立了内生企业决策的理论模型.朱庆华和窦一杰^[8]研究了基于产品价格折扣的补贴政策,分析了环保意识和补贴下限对补贴系数、价格 and 市场份额的影响.郑艳芳等^[2]考虑了预算约束下的消费补贴策略优化问题,比较了最大化节能指数和总节能指数两种目标下政府的最优补贴策略及其对消费者剩余、企业利润的影响.Jørgensen 和 Zaccour^[9]探究了最大化绿色产品销量的补贴设计问题.Cohen 等^[10]提出了需求不确定环境下的最优消费补贴策略,发现若政府在决策时忽视了需求的波动性,可能会导致补贴量过低,无法实现绿色产品的销量目标.Chemama 等^[11]在此基础上考虑了两阶段补贴的决策问题,发现两阶段均承诺消费补贴量可以在有效地控制补贴成本的同时鼓励生产,而仅在第一阶段承诺消费补贴量则能够减轻需求不确定性带来的影响.这些学者对绿色消费补贴的作用效果进行了深入细致的探讨,取得了丰富的成果.但是上述研究大多关注于传统的固定补贴模式,而本研究则考察了基于产品绿色度水平的可变补贴模式.同时,这些文献关注于单一消费补贴模式的策略优化问题,而本研究则进一步比较了固定补贴和可变补贴两种模式,得到了不同预算规模下补贴的模式选择策略.最后,上述研究中的政府目标大多是节能指数、绿色产品销量之类的间接环境指标,而本研究则将直接环境指标(如碳减排量)作为政府的决策目标对两种补贴模式进行了优化和比较.特别是,本研究通过分析发现补贴会引发过度消费,进而可能导致负面的环境影响,并刻画了对环境最优的补贴策略,这补充了之前将间接环境指标视为政策效果的研究.

一些学者通过比较不同的补贴形式来为政府决策提供参考.大多数文献比较了消费者补贴和生产者补贴,探讨其对产业发展和社会福利的影

响.朱庆华等^[12]在竞争环境下发现直接补贴生产者会比补贴消费者带来更高的企业利润,从而更有益于低碳企业的发展.杨晓辉和游达明^[13]在消费者存在产品绿色度偏好的情境下,比较了消费者补贴与生产者补贴对社会福利的影响,发现二者的效果相同.Wang 等^[14]进一步在再制造情景下考察了两种补贴的效果,发现生产者补贴收窄了可推出再制造产品的范围.Bian 等^[15]通过内生政府补贴决策发现尽管消费者补贴下排放量更高,但社会福利也随之增加.Krass 和 Ovchinnikov^[16]考虑了征税、固定厂商补贴和消费者返利三种政府干预手段,并且发现在征收排放税的同时引入消费者返利可以使社会福利达到更高的水平.鞠晴江等^[17]考察了政府厂商单位补贴和消费固定补贴的联合优化问题,并且在拓展中讨论了两级固定补贴的最优策略,比较了其与普通固定补贴的区别.上述文献主要研究了生产者和消费者补贴的差异,而本研究专注于比较不同形式的消费者补贴.同时这些研究大多将社会福利作为政府目标,而本研究则考虑到我国绿色消费补贴政策的环境导向,更具针对性地研究了环境目标下的补贴政策优化问题.最后,这些研究并没有涉及补贴的资金约束,而本研究将预算约束纳入了模型,探讨了在有限预算下的最优补贴策略及不同预算规模下的补贴模式选择问题.与本研究类似,Shao 等^[18]也比较了不同形式的消费者绿色补贴,考察了绿色消费补贴和折扣对经济和环境的影响.本研究区别于他们的研究,考察了基于绿色度阈值的固定补贴和基于绿色度水平的可变补贴,前者要求产品达到一定环保标准,后者则根据产品绿色度变化调整补贴.同时,在 Shao 等^[18]的模型中企业主要进行产品定价决策,而本研究则进一步考虑了企业的绿色产品研发决策,并且揭示了促进企业绿色产品研发是绿色消费补贴实现环境效益的重要方式.最后,相比于 Shao 等^[18],本研究通过考虑预算约束,分析得到了不同预算下的最优补贴模式,为政府补贴选择提供了新的管理见解.

表 1 本研究与过往绿色消费补贴相关研究的比较

Table 1 Comparison between previous studies on green consumer subsidy and this study

研究文献	涉及的补贴形式	政策比较	企业绿色产品研发	内生政府决策	政府预算约束	消费者绿色产品偏好
本研究	1. 消费可变补贴 2. 消费固定补贴	✓	✓	✓	✓	✓
朱庆华和窦一杰 ^[8]	1. 消费变动折扣补贴	—	✓	✓	—	✓
郑艳芳等 ^[2]	1. 消费固定补贴	—	✓	✓	✓	—
Jørgensen 和 Zaccour ^[9]	1. 消费固定补贴 2. 政府采购	—	—	✓	✓	—
Cohen 等 ^[10]	1. 消费固定补贴	—	—	✓	✓	—
Chemama 等 ^[11]	1. 消费固定补贴	✓	—	✓	—	—
朱庆华等 ^[12]	1. 消费固定补贴 2. 厂商单位补贴	✓	—	—	—	✓
杨晓辉和游达明 ^[13]	1. 消费可变补贴 2. 厂商单位补贴	✓	✓	—	—	✓
Wang 等 ^[14]	1. 消费固定补贴 2. 厂商单位补贴	✓	—	✓	—	✓
Bian 等 ^[15]	1. 消费固定补贴 2. 厂商投资补贴	✓	✓	✓	—	✓
Krass 和 Ovchinnikov ^[16]	1. 征税 2. 厂商总量补贴 3. 消费折扣补贴	—	✓	✓	—	—
鞠晴江等 ^[17]	1. 消费固定补贴 2. 厂商单位补贴	✓	—	✓	—	✓
Shao 等 ^[18]	1. 消费固定补贴 2. 消费折扣补贴	✓	—	✓	—	✓

本研究借鉴了现有文献的研究思路和方法,围绕政府的环境目标,全面分析并比较了固定补贴与可变补贴两种绿色消费补贴模式.表1直观展示了本研究与过往研究在理论层面的差异.本研究的创新之处主要体现在以下三点:第一,区分并分析了现实中常见的两种绿色消费补贴模式的经济与环境影响;第二,将环境目标和预算约束纳入模型,提供了制定补贴政策的理论支持;第三,明确了补贴政策对碳排放的直接影响,指出其可能引发过度消费、增加碳排放的风险,同时还明确了有利于补贴政策发挥正面作用的市场条件,从而帮助决策者加深对绿色消费补贴的理解,避免政策效果与目标背道而驰.

1 模型描述

1.1 参数和变量描述

在描述模型前,首先介绍参数与变量的定义.

i : 补贴模式 $i = L, G$ 分别表示固定补贴 (lump-sum subsidy) 与可变补贴 (greenness subsidy);

a : 潜在市场规模;

β : 消费者对产品绿色度的偏好系数;

B : 政府补贴预算;

$g_{\min}$: 固定补贴所采用的产品环保标准(绿色度阈值);

θ : 企业绿色度研发的成本系数;

p : 产品价格;

g : 产品绿色度水平(减排率);

R_i : 模式 i 下政府给出的补贴总量;

s : 固定补贴模式下政府为每单位产品消费发放的补贴量;

r : 可变补贴模式下政府所采用的补贴率;

π_i : 补贴模式 i 下企业的总利润;

E_i : 补贴模式 i 下产品消费产生的碳排放总量.

1.2 模型设定

本研究构建了一个博弈模型,参与者为补贴设计者(政府)和一家生产绿色产品的垄断企业(低碳企业)。为实现碳排放最小化,政府制定绿色消费补贴政策,将减碳作为政策目标,不仅符合财政部2019年提出的“以改善生态环境质量结果为导向”的要求,也契合我国环保专项资金的常用绩效指标^[19, 20]。

由于补贴资金通常由上级政府、财政部或地方财政厅预拨^[5, 6, 21],因此政府在制定补贴政策时必须考虑预算约束。设绿色消费补贴政策所能动用的最大资金量(预算量)为 B ,补贴政策所消耗的资金总量不能超过预算量。补贴政策分为固定补贴和可变补贴两种模式,具体介绍如下。

1) 固定补贴模式

在基于绿色度阈值的固定补贴模式下(lump-sum subsidy),政府确定向消费者发放的补贴量 s 。政府根据产品的绿色度水平 g 决定是否发放补贴:若产品达到绿色度阈值 $g_{\min}$,则向消费者发放总量为 s 的补贴。换言之,该模式下每位消费者可获得的补贴总量为

$$R_L(s, g; g_{\min}) = \begin{cases} s, & g \geq g_{\min} \\ 0, & g < g_{\min} \end{cases} \quad (1)$$

实践中,补贴政策的设计者一般直接采用其他权威部门(如国家标准化管理委员会)颁布的产品环保标准作为发放补贴的条件;即使需要专门制定补贴标准(如新能源汽车补贴标准^[22]),也需综合考量产业发展等外部因素。因此本研究将固定补贴模式中的绿色度阈值 $g_{\min}$ 视为外生参数。

2) 可变补贴模式

在基于绿色度水平的可变补贴模式(greenness subsidy)下,政府根据产品绿色度水平向消费者发放补贴。绿色度水平越高,消费者获得的补贴总额也越高。这一设计可以通过绿色消费积分实现。例如广东省和成都市的碳普惠项目根据用户数据和产品信息核算碳减排量,将碳减排量转换为积分发放给用户^①。在可变补贴模式下,政府需要确定为每单位产品绿色度发放的补贴量 r (补贴率):当消费者购买了绿色度为 g 的产品时,该消费者可以获得的总额为 $r \cdot g$ 的补贴,即

$$R_G(r, g) = r \cdot g \quad (2)$$

两种补贴模式下的决策情况如图1所示。

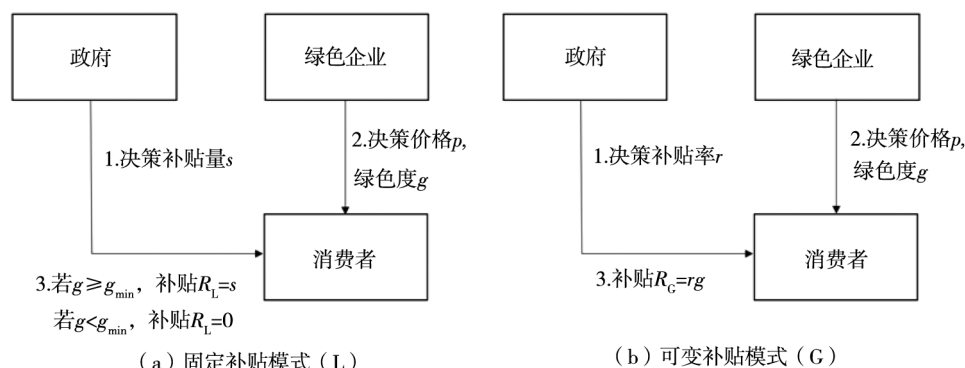


图1 不同补贴模式下的决策过程

Fig. 1 Decision-making processes under different subsidy modes

在补贴政策颁布后,企业研发生产绿色度为 g 的产品,并以价格 p 出售。设市场需求具有线性形式,且与产品价格 p 负相关,与政府提供的补贴总量 R_i 正相关^[23, 24],消费者对绿色低碳的产品有所偏好^[8, 25, 26]。综上,需求函数可以表示为

$$q(p, g, R_i) = a - p + \beta g + R_i \quad (3)$$

其中 a 为潜在市场大小, β 反映了消费者对产品

绿色度的偏好程度。 β 越大,消费者对绿色产品的偏好越强烈,产品绿色度提升带来的需求增幅更大。与Murali等^[25]相同,将产品生产的变动成本标准化为0,并且设企业在研发绿色产品时需要承担二次函数形式的研发成本 $c(g) = \frac{1}{2}\theta g^2$,这体现了绿色减排技术边际投入递增的特点,其中

① 参见广东省碳普惠创新发展中心 <https://www.tanph.cn/modules/aboutUs/aboutUs.html> 和《成都市人民政府公报》2020年第4期 http://www.chengdu.gov.cn/chengdu/c136121/2020-04/24/content_e849ca395eee4e7ca16c7f32ec9d2c5b.shtml。

θ 为绿色度研发的成本系数^[25, 27, 28].

产品在生产使用中会产生碳排放. 为了契合研究情境, 本研究将产品绿色度 g 视为单位产品碳排放降低的比率, 即绿色产品相对于普通产品碳排放减少的百分比^[15, 25, 29], 其取值范围为 $0 \leq g \leq 1$. 不失一般性地, 设绿色度 $g = 0$ 的产品会产生 1 单位碳排放, 故生产消费一单位绿色度为 g 的产品将产生 $1 - g$ 单位的碳排放量. 产品消费带来的碳排放总量可表示为单位产品碳排放量与产品销量的乘积

$$E_i = (1 - g) \cdot q(p, g, R_i) \quad (4)$$

1.3 决策顺序

政府与企业进行 Stackelberg 博弈. 政府作为领导者制定绿色消费补贴政策, 企业作为追随者

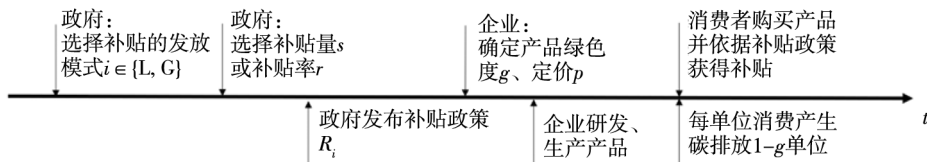


图 2 事件顺序

Fig. 2 Sequence of events

1.4 模型假设

为了确保模型中的产品绿色度符合减排率的设定, 参数需满足以下假设.

假设 1 绿色度的研发成本系数 θ 满 $\theta \geq \frac{a\beta + \beta^2}{2}$. 该假设保证了在无补贴情况下, 开发无碳排放产品 ($g = 1$) 不具经济性, 符合现实中环保研发成本与收益的关系.

假设 2 政府预算参数 B 不超过上限 $\bar{B}$ (定义参见附录⑫). $B < \bar{B}$ 确保了均衡的产品绿色度小于 100%^[25, 29].

2 企业策略

首先考虑补贴政策对企业决策的影响. 给定政府的补贴政策, 企业通过产品绿色度研发和产品定价来最大化利润

$$\max_{\substack{p \geq 0 \\ g \geq 0}} \pi_i = p \cdot q(p, g, R_i) - \frac{1}{2}\theta g^2 \quad (5)$$

确定产品绿色度和价格. 事件顺序如图 2 所示.

步骤 1 政府选择固定补贴模式或可变补贴模式来设计补贴政策. 若采用固定补贴模式, 则根据既定绿色度阈值 $g_{\min}$ 确定补贴量 s , 并向企业和消费者公布; 若选择采用可变补贴模式, 则确定补贴率 r 并公布.

步骤 2 企业确定产品的绿色度 g 并承担研发成本 $c(g)$, 为产品定价 p 并投放至市场.

步骤 3 消费者根据产品价格、绿色度及补贴政策决定是否购买, 形成市场需求 $q(p, g, R_i)$; 企业得到销售收入 $p \cdot q(p, g, R_i)$. 在固定补贴模式下, 若产品的绿色度 g 不低于绿色度阈值 $g_{\min}$, 则消费者获得总额为 s 的补贴, 否则无法获得政府补贴; 在可变补贴模式下, 消费者获得总额为 $r \cdot g$ 的补贴.

其中当政府所选的补贴模式为固定补贴 ($i = L$) 时, 消费者获得的补贴量 R_L 为

$$R_L(s, g; g_{\min}) = \begin{cases} s, & g \geq g_{\min} \\ 0, & g < g_{\min} \end{cases} \quad (6)$$

当政府所选的补贴模式为可变补贴 ($i = G$) 时, 消费者获得的补贴量 R_G 为

$$R_G(r, g) = r \cdot g \quad (7)$$

2.1 无补贴情景

为了方便后续的分析比较, 首先考虑无补贴情景. 此情景下不存在任何形式的补贴, 故需求函数为

$$q(p, g, 0) = a - p + \beta g \quad (8)$$

企业通过产品绿色度研发和定价来最大化利润

$$\max_{p, g} \pi = p \cdot (a - p + \beta g) - \frac{1}{2}\theta g^2 \quad (9)$$

求解这一优化问题可以得到企业在无补贴时的最优决策.

引理 1 当政府不提供任何补贴时, 企业的

⑫ 相关内容可向作者索取.

最优定价为 $p_0 = \frac{\theta a}{2\theta - \beta^2}$, 产品绿色度为 $g_0 = \frac{\beta a}{2\theta - \beta^2}$, 销量为 $q_0 = \frac{\theta a}{2\theta - \beta^2}$, 利润为 $\pi_0 = \frac{\theta a^2}{2(2\theta - \beta^2)}$; 此时产品消费所造成的碳排放量为 $E_0 = \frac{\theta a}{2\theta - \beta^2} \times (1 - \frac{\beta a}{2\theta - \beta^2})$.

引理表明, 只要消费者对产品绿色度有所偏好 ($\beta > 0$), 企业就会推出具备一定绿色度的产品 ($g_0 > 0$), 且消费者偏好越强, 产品绿色度越高. 换言之, 企业会主动研发绿色产品以回应市场需求, 从而提高利润. 这说明引导消费者树立绿色消费观的重要性: 即使没有补贴, 绿色消费观也能激励企业研发绿色产品.

2.2 固定补贴模式

固定补贴模式下, 给定政府的补贴策略, 企业通过产品绿色度研发和定价最大化利润. 为了表述上的简洁, 定义两个补贴量 $\underline{s}$ 和 $\hat{s}$, 其表达式见附录.

定理 1 在固定补贴模式下, 给定补贴量 s , 企业的最优产品绿色度水平 $g_L^*(s)$ 和产品定价 $p_L^*(s)$ 为: 若补贴量 $s \in [0, \underline{s})$, 则 $g_L^*(s) = g_0, p_L^*(s) = p_0$; 若补贴量 $s \in [\underline{s}, \hat{s})$, 则 $g_L^*(s) = g_{\min}, p_L^*(s) = \frac{a + s + \beta g_{\min}}{2}$; 若补贴量 $s \geq \hat{s}$, 则 $g_L^*(s) = \frac{\beta(a + s)}{2\theta - \beta^2}, p_L^*(s) = \frac{\theta(a + s)}{2\theta - \beta^2}$. 将结果代入利润和需求函数可以得到最优策略下的企业利润 $\pi_L^*(s)$ 和产品销量 $q_L^*(s)$.

固定补贴模式下企业的最优决策与补贴量 s 和绿色度阈值 $g_{\min}$ 密切相关, 因为消费者补贴会通过刺激市场需求使企业间接获益, 从而影响企业的决策. 给定绿色度阈值 $g_{\min}$, 当补贴量较低时, 企业不愿增加研发投入, 产品绿色度维持无补贴情景下的水平, 即 $g_L^*(s) = g_0$, 消费者无法获得补贴. 补贴量达到中等水平时 (即 $s \in [\underline{s}, \hat{s})$), 企业会将产品绿色度提升至阈值水平, 消费者获得补贴, 但企业仅会满足而不会超越绿色度阈值, 因为进一步提升绿色度的边际收益低于成本. 最后, 当补贴量足够高时 (即 $s > \hat{s}$), 固定补贴将通

过刺激市场需求给企业带来较高的收益, 企业进一步提升产品绿色度的边际收益较高, 最终产品绿色度将高于阈值, 即 $g_L^*(s) = \frac{\beta(a + s)}{2\theta - \beta^2} > g_{\min}$.

将定理 1 中的结果与无补贴情景下的企业决策相比较, 可以得到以下推论.

推论 1 当补贴量 $s > \underline{s}$, 产品最优绿色度水平、定价、销量和企业利润均高于无补贴情景, 即 $g_L^*(s) > g_0, p_L^*(s) > p_0, q_L^*(s) > q_0, \pi_L^*(s) > \pi_0$.

结合推论 1 和定理 1 可知, 固定补贴模式只有在补贴量足够大时, 才能有效促进产品绿色度研发, 同时提高产品定价、销量和企业利润. 由于绿色度阈值是获得补贴的硬性条件, 小额补贴带来的收益不足以覆盖研发绿色度的额外成本, 因此, 当补贴力度较小时, 固定补贴无法激励企业提高产品的绿色度.

另一方面, 固定补贴对绿色度研发的激励作用并非完全依赖于绿色度阈值. 当补贴量足够高时 ($s > \hat{s}$), 定理 1 表明企业研发的产品绿色度水平甚至会高于绿色度阈值, 即 $g_L^*(s) > g_{\min}$. 这一激励效果的产生依赖于消费者对产品绿色度的偏好.

推论 2 当消费者绿色度偏好 $\beta = 0$ 时, 对任意补贴量 $s \geq 0$, 企业的最优产品绿色度水平 $g_L^*(s) \leq g_{\min}$, 且对于 $s \neq \underline{s}$ 有 $dg_L^*(s)/ds = 0$.

由推论 2 可知, 固定补贴模式对绿色度研发的促进作用取决于消费者对绿色产品的偏好: 如果消费者对绿色度毫无偏好, 无论补贴总量多高, 企业只会选择不研发更高绿色度的产品, 或仅研发达到阈值的产品, 即 $g_L^*(s) = 0$ 或 $g_{\min}$, 而不会研发超过阈值的产品.

2.3 可变补贴模式

可变补贴模式不将绿色度阈值作为补贴发放的硬性条件, 而是根据产品绿色度水平确定补贴量, 因此对企业决策的影响方式不同.

定理 2 给定可变补贴的补贴率 r , 企业的最优产品绿色度 g_G^* 和产品定价 p_G^* 为

$$\begin{aligned} g_G^*(r) &= \frac{(\beta + r)a}{2\theta - (\beta + r)^2} \\ p_G^*(r) &= \frac{\theta a}{2\theta - (\beta + r)^2} \end{aligned} \quad (10)$$

将其代入利润函数和需求函数,可以得到最优策略下的企业利润 $\pi_G^*(r) = \frac{\theta a^2}{2[2\theta - (\beta + r)^2]}$ 和需求 $q_G^*(r) = \frac{\theta a}{2\theta - (\beta + r)^2}$.

可变补贴模式下,消费者获得的补贴总量取决于产品的绿色度水平,这使得可变补贴对企业的激励更加直接和连续.与固定补贴相比,尽管两种模式都能促使企业研发更绿色的产品,但可变补贴的作用范围更广泛,如以下推论所示.

推论 3 对于任何 $\beta \geq 0$,可变补贴对于产品绿色度研发总有促进效果,即 $dg_G^*(r)/dr > 0$.

与推论 2 相比,推论 3 表明,即使消费者没有绿色度偏好,可变补贴仍能激励企业研发绿色产品.由于可变补贴直接与产品绿色度挂钩,其促进效果不依赖消费者的偏好或硬性绿色度阈值.

将定理 2 中的结果与无补贴情景下的企业决策比较,容易得到以下结论.

推论 4 对任意补贴率 $r > 0$,产品最优绿色度水平、定价、销量和企业利润均高于无补贴情景,即有 $g_G^*(r) > g_0$, $p_G^*(r) > p_0$, $q_G^*(r) > q_0$, $\pi_G^*(r) > \pi_0$ 对于任意 $r > 0$ 均成立.

这表明,可变补贴总能带来更高的产品绿色度、价格和销量,并使低碳企业获得更高利润.由于可变补贴不依赖绿色度阈值,而是根据产品绿色度水平确定补贴总量,较固定补贴模式更为灵活,因此即使设定较低的补贴率,仍能影响企业决策.

3 政府补贴策略

本章将刻画政府在不同模式下的最优补贴策略.基于对企业决策的预期,政府将在固定补贴模式或可变补贴模式下 ($i = L, G$),通过确定补贴量 s 或补贴率 r 来最小化碳排放量 E_i^* ,同时维持其总支出 $TS_i^* = q_i^* \cdot R_i$ (销量与补贴量的乘积)不超过预算 B .固定补贴模式下政府的优化问题为

$$\begin{aligned} \min_{s \geq 0} E_L^*(s) &= [1 - g_L^*(s)] \cdot q_L^*(s) \\ \text{s. t. } TS_L^*(s) &\leq B \end{aligned} \quad (11)$$

可变补贴模式下政府的优化问题为

$$\begin{aligned} \min_{r \geq 0} E_G^*(r) &= [1 - g_G^*(r)] \cdot q_G^*(r) \\ \text{s. t. } TS_G^*(r) &\leq B \end{aligned} \quad (12)$$

在某些情况下,政府可能希望在实现环境效益的同时,支持低碳企业发展或提升社会福利.因此,本研究在附录中通过扩展模型,进一步探讨了兼顾低碳企业利润增长的政府决策问题;此外,还分析了将经济效益纳入政府决策目标后,不同补贴模式的经济和环境的影响.

3.1 固定补贴模式

在展示固定补贴模式下政府的最优策略前,首先需要厘清补贴对碳排放的影响机制,这有助于决策者在设计时抓住主要矛盾,做出科学决策.固定补贴通过两种途径影响碳排放:一方面,补贴激励企业推出更绿色的产品,降低单位产品的碳排放;另一方面,补贴刺激市场需求,引发额外消费和碳排放.当后者的影响更大时,增加补贴反而会导致碳排放上升.本研究将这种随补贴水平递增的碳排放现象称为“过量消费效应”.

引理 2 在固定补贴模式下,当补贴量 $s \in [\underline{s}, \hat{s}]$ 时,碳排放量 $E_L^*(s)$ 关于补贴量 s 递增.

在引理所描述的情况下,补贴量单方面刺激市场需求,导致了过量消费效应.当补贴量介于 $\underline{s}$ 和 $\hat{s}$ 之间时,根据定理 1,企业将会研发绿色度恰好达到阈值的产品.此时继续增加补贴量无法进一步激励产品研发,但补贴对市场需求的刺激仍然存在:随着补贴量增加,产品销量上升,进而导致碳排放增加.

在过量消费效应下,一味地增加补贴量可能会导致碳排放量高于无补贴情景 ($E_L^* > E_0$),而一些市场条件的存在可以消除这一可能性,使固定补贴发挥理想的效果.

引理 3 当 $2a\beta + \beta^2 \geq 2\theta$ 时,固定补贴总能降低碳排放,即对于任意 $s \geq 0$ 有 $E_L^*(s) \leq E_0$.

该引理表明,在较大的潜在市场规模 a 或消费者强烈的产品绿色度偏好 β 下,政府可以通过固定补贴模式有效降低碳排放.这是因为较大的市场规模能够充分发挥单位产品绿色度提升的减排效果.同时,消费者的绿色偏好能够强化补贴对

企业绿色研发的激励作用. 因此, 在适宜的市场条件下, 政府制定补贴政策时无需担心政策效果与目标相悖.

为了最大程度地降低碳排放, 政府的主要任务是在尽可能控制过量消费效应的同时, 发挥补贴政策对绿色产品研发的激励作用. 为了方便表述, 定义“顶格补贴量” $s_B = \frac{1}{2} \left[\sqrt{\frac{4B}{\theta}(2\theta - \beta^2) + a^2} - a \right]$ 为在预算 $B \geq TS_L^*(\hat{s})$ 时政府所能提供的最大补贴量.

定理3 在固定补贴模式下, 政府的最优补贴量可能有三种取值, $s^* \in \{0, \underline{s}, s_B\}$. 政府应根据预算量, 比较各补贴量下的碳排放水平选出最优补贴量

$$s^* = \begin{cases} 0, & 0 \leq B < TS_L^*(\underline{s}) \\ \arg \min_{s \in \{0, \underline{s}\}} E_L^*(s), & TS_L^*(\underline{s}) \leq B < TS_L^*(\hat{s}) \\ \arg \min_{s \in \{0, \underline{s}, s_B\}} E_L^*(s), & TS_L^*(\hat{s}) \leq B \end{cases} \quad (13)$$

上述定理表明, 政府在决策时只需评估特定补贴水平下的碳排放情况. 最优补贴选择策略反映了预算规模和过量消费效应的重要性. 首先, 若过量消费效应过大或预算不足, 政府可能会选择不提供固定补贴($s^* = 0$). 其次, 当预算充足时, 政府可以通过顶格补贴($s^* = s_B$) 最大程度激励企业进行绿色度研发, 使企业研发高减排率产品, 从而消除过量消费效应. 最后, 有时政府的最优补贴策略是提供补贴量 $\underline{s}$, 让企业恰好愿意研发绿色度达到阈值的产品(即 $g_L^*(s) = g_{\min}$), 因为继续增加补贴只会导致碳排放增加(见引理2). 通过将补贴量设定为 $\underline{s}$, 政府可以既控制过量消费, 又调动企业产品研发的积极性. 相比于倾尽所有预算提供顶格补贴 s_B , 这种适度的补贴策略有时反而能实现更好的效果.

3.2 可变补贴模式

在可变补贴模式下也可能存在过量消费效应. 为了方便表述, 定义 $a_1 = \sqrt{\frac{8}{9}(2\sqrt{3}-3)\theta}$, 定

义 β_1 和 β_2 分别为方程 $2\beta^3 + 3a\beta^2 - 4\theta\beta + 2a\theta = 0$ 第二大和最大的实根.

引理4 当且仅当潜在市场规模 a 满足 $a < a_1$ 且消费者绿色度偏好满足 $\beta < \beta_2$ 时, 存在区间 $I \subset \mathbb{R}_+$, 当补贴率 $r \in I$ 时可变补贴模式下的碳排放量 $E_G^*(r)$ 关于补贴率 r 递增.

引理4表明, 当潜在市场规模较小且消费者绿色度偏好较弱时, 可变补贴会引发过量消费效应. 作为绿色消费的激励手段, 可变补贴通过影响企业研发和市场需求来影响碳排放. 当市场需求的刺激作用更大时, 过量消费效应会出现. 同时, 若市场规模较大或消费者绿色度偏好较强, 可变补贴则能有效降低碳排放. 对比引理2和引理3, 可见可变补贴和固定补贴对碳排放的影响机制相似. 两种模式作为绿色消费的激励手段, 都可能引发过量消费, 增加碳排放. 然而, 较大的市场规模和强烈的消费者绿色偏好有助于缓解这一效应, 使补贴政策更好地发挥作用.

同时, 由于补贴形式的不同, 可变补贴模式具有一些独特特性, 合理利用这些特性将帮助决策者制定更有效的政策.

引理5 当潜在市场规模 $a < a_1$ 且消费者绿色度偏好 $\beta < \beta_1$ 时($\beta_1 < \beta_2$), 存在 $r_1 > 0$, 当补贴率 $r \in [0, r_1]$ 时, 碳排放量 $E_G^*(r)$ 关于补贴率 r 递减.

该引理表明, 可变补贴模式在补贴率较低时可能不会引发过量消费效应. 这是因为当市场规模较小且消费者绿色度偏好较低时, 产品的绿色度水平 g_G^* 较低. 而可变补贴与产品绿色度直接相关($R_G = r \cdot g_G^*$), 所以在绿色度较低时, 提高补贴率对需求的刺激作用较为温和. 因此, 较低水平的可变补贴可能不会导致过量消费效应.

在可变补贴模式下, 政府的决策要点同样是在控制过量消费效应的同时, 尽可能发挥可变补贴对企业绿色产品研发的激励作用. 为了方便表述, 首先定义一些变量. 定义“顶格补贴率” r_B 为预算 B 下政府所能提供的最大补贴率, 即方程 $TS_G^*(r) = B$ 的正根. 当 $a < a_1$ 时, 用 r_1 和 r_2 分别表示排放量函数 $E_G^*(r)$ 两个较大的极值点, $r_1 <$

r_2 , 其中 r_1 为极小值点, r_2 为极大值点; 换言之, r_1 和 r_2 分别为方程 $dE_G^*(r)/dr = 0$ 第二大和最大的实根. 图 3 展示了 r_1 和 r_2 的分布情况.

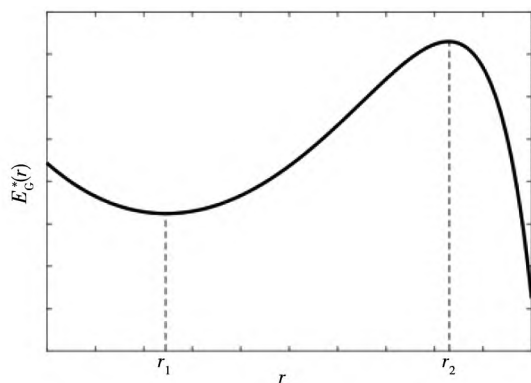


图 3 极值点位置

Fig. 3 The location of extreme points

定理 4 在可变补贴模式下, 当潜在市场规模 $a \geq a_1$ 时, 政府应选择顶格补贴率 $r^* = r_B$; 当潜在市场规模 $a < a_1$ 时,

1) 当消费者绿色度偏好 $\beta \geq \beta_2$ 时, 政府应选择顶格补贴率 $r^* = r_B$;

2) 当消费者绿色度偏好满足 $\beta_1 \leq \beta < \beta_2$ 时, 若预算 $B \leq TS_G^*(r_n^{eq})$, 则政府应放弃补贴 $r^* = 0$; 若预算 $B > TS_G^*(r_n^{eq})$, 政府应选择顶格补贴率 $r^* = r_B$, 其中 r_n^{eq} 为与无补贴情景排放量相同的最大补贴率, 即 $r_n^{eq} = \max\{r \mid E_G^*(r) = E_0\}$;

3) 当消费者绿色度偏好 $\beta < \beta_1$ 时, 若预算量 $B \in (TS_G^*(r_1), TS_G^*(r_1^{eq})]$, 则政府应选择适中的补贴率 $r^* = r_1$; 若预算 $B \leq TS_G^*(r_1)$ 或 $B > TS_G^*(r_1^{eq})$, 则政府应选择顶格补贴率 $r^* = r_B$, 其中 r_1^{eq} 为碳排放量与 r_1 相等的最高补贴率, 即 $r_1^{eq} = \max\{r \mid E_G^*(r) = E_G^*(r_1)\}$.

在可变补贴模式下, 政府决策同样需综合考虑预算规模和市场反应. 当潜在市场规模 a 或消费者绿色度偏好 β 较大时, 政府可以在预算允许的范围内提供顶格补贴率 r_B , 以充分激励企业研发高减排产品, 实现碳排放总量的下降. 当绿色产品的潜在市场规模 a 较小且消费者绿色度偏好 β 中等时, 政府需要根据预算量 B 制定补贴策略: 若预算量较高, 政府可以在预算允许的范围内提供顶格补贴率; 若预算较低, 因过量消费效应的存

在, 政府应放弃补贴以避免负面环境影响. 当消费者的绿色度偏好 β 较低时, 政府可以在预算量较小的情况下通过设定顶格补贴率 r_B 来实现碳减排, 因为此时可变补贴对市场需求的刺激作用较为温和, 过量消费效应不明显(引理 5). 若预算量中等, 则政府不应倾尽所有预算来提供补贴, 而应选择适中的补贴率 r_1 来实现最小的碳排放. 因为过高的补贴率对市场有较大的刺激作用, 反而会弱化政策的减排效果. 最后, 若预算量较大, 则政府可以再次选择提供顶格补贴率 r_B 来最大程度地激励企业研发绿色产品并降低碳排放. 值得一提的是, 即使政府在提升环境效益的同时需兼顾低碳企业的经济增长, 上述固定补贴模式和可变补贴模式下的最优补贴策略结构依然适用. 这表明, 政府在决策时应广泛考虑预算规模、市场状况和消费者的绿色偏好, 平衡对企业绿色研发的激励与对过量消费的控制.

4 两种补贴模式的比较分析

对于任何绿色消费补贴模式, 预算越高, 政策空间越大, 能实现的环境效益也越显著. 现实中, 各地的补贴项目财政支持力度不同, 因此根据预算选择合适的补贴模式是政策制定的首要且关键一步. 本部分旨在对固定补贴和可变补贴模式进行定量分析与对比.

4.1 理论分析

分析将在相同的预算量 B 下展开, 以确保对比的公平性. 为了方便比较和展示, 定义补贴模式 $i \in \{L, G\}$ 下的均衡减排量 ER_i^e 为补贴政策导致的碳排放减少量, 即 $ER_i^e = E_0 - E_i^e$, 其中 E_i^e 为模式 i 下的均衡碳排放量. 减排量 ER_i^e 越高意味着补贴政策带来的环境效益越大. 此外, 记模式 i 在均衡下的产品绿色度、价格、销量和企业利润分别为 g_i^e 、 p_i^e 、 q_i^e 、 π_i^e , $i \in \{L, G\}$. 为了结论表述的清晰性, 仅考虑消费者具备绿色度偏好的情况, 即假设 $\beta > 0$. 最后, 定义一个预算水平 B_1 , 表达式见附录.

定理 5 对任意预算 $0 < B < B_1$, 在均衡状

态下,可变补贴模式总能比固定补贴模式产生更大的碳减排量,且对产品绿色度、价格和销量的提升效果大于固定补贴模式,即 $ER_L^e \leq ER_G^e$, $g_L^e \leq g_G^e$, $p_L^e \leq p_G^e$, $q_L^e \leq q_G^e$; 而企业均衡利润的大小关系则不确定:当 $g_{\min} \leq g_0$ 且 $2\alpha\beta + \beta^2 \geq 2\theta$ 时,有 $\pi_L^e > \pi_G^e$; 否则,有 $\pi_L^e \leq \pi_G^e$.

定理5表明,在预算较小时,可变补贴模式不仅能实现更高的碳减排量,还能促使企业研发更绿色的产品并推动更多绿色消费.其原因有两个方面.首先,可变补贴对企业研发和定价的影响更直接,不依赖绿色度阈值,因此在预算较小时能更灵活地发挥作用.其次,根据引理5和定理4,当市场规模较小且消费者绿色度偏好较弱时,可变补贴在较低补贴率下对市场需求的刺激较为温和,不会出现过量消费效应.这一特性为预算较小的决策者提供了通过低补贴率实现碳减排的机会.

另一方面,在预算量较大时比较两种补贴模式可以得到以下结论.

定理6 存在 $B_2 > 0$, 当 $B > B_2$ 时,在均衡状态下,可变补贴模式能够比固定补贴模式产生更大的碳减排量,且对产品绿色度、价格和销量的提升效果大于固定补贴模式,即 $ER_L^e \leq ER_G^e$, $g_L^e < g_G^e$, $p_L^e \leq p_G^e$, $q_L^e \leq q_G^e$; 而固定补贴模式则会给企业带来更高的利润,即 $\pi_L^e > \pi_G^e$.

该定理指出,当预算规模较大时,可变补贴模式的环境效益、产品绿色度、价格和销量均高于固定补贴模式.然而,与低预算情况不同,预算较大时,固定补贴下的企业利润必然高于可变补贴模式.这是因为当预算充裕时,政府在两种补贴模式下都会选择顶格补贴,即 $s^* = s_B$ 和 $r^* = r_B$, 以促使企业研发高减排率(甚至接近100%)的产品.而在可变补贴模式中,为了让消费者获得更高补贴并刺激市场需求,企业需要研发更高绿色度的产品并承担更高的研发成本,因为补贴总量与产品绿色度直接挂钩,导致其利润不如固定补贴模式下高.

定理5和定理6分别展示了低预算和高预算情景下的结果,表明在预算较低或较高时,可变补贴模式都能带来更高的环境效益.那么,固定补贴

模式的减排能力是否总是弱于可变补贴模式呢?考察 B_1 和 B_2 之间的预算水平可以发现,在一定条件下固定补贴也可以实现比可变补贴更高的碳减排量.

定理7 当固定补贴下的绿色度阈值具有约束力时($g_{\min} > g_0$),若消费者绿色度偏好 $\beta \geq \beta_1$ 且固定补贴能够在 $s = \underline{s}$ 处实现碳减排,即 $E_L^*(\underline{s}) < E_0$, 则存在 $B_m > B_1$, 对于任意预算量 $B \in [B_1, B_m)$, 在均衡状态下固定补贴模式的碳减排量比可变补贴模式更高,即 $ER_G^e < ER_L^e$, 其中 β_1 与引理5和定理4中相同.

固定补贴在中等预算下实现更大减排量的原因在于,政府可以通过补贴量和绿色度阈值这对“组合拳”精准施策,既促使企业研发达到阈值的绿色产品,又有效控制过量消费效应.为了让产品获得补贴支持,企业需要将产品的绿色度提升到阈值以上.当政府将补贴量设为 $\underline{s}$ 时,企业会设计绿色度恰好达到阈值 $g_{\min}$ 的产品,并且获得与无补贴情景下相同的利润 π_0 . 此时研发绿色度更高或更低的产品只会使其利润下降.相比可变补贴,此时固定补贴模式在控制过量消费效应方面更有优势,因此碳减排效果更好.

除了比较环境导向政府在两种补贴模式下的影响外,本研究在附录进一步考虑了政府在推动节能减碳的同时提升低碳企业经济效益的需求,并在这一情景下对两种补贴模式进行了对比分析.这些分析呈现了与前文类似的结果,即最优设计下的可变补贴在预算量较低和较高时更优,而经过最优设计的固定补贴模式可以在一些中等预算水平下实现更好的表现.这表明,不同预算下两种补贴模式的选择策略在结构上具有一定的稳健性.

4.2 数值分析

本节将基于理论分析的结果,以数值实验的形式进一步分析和比较两种补贴模式的环境影响.在附录中,本研究进一步探讨了两种补贴策略的经济影响.假设企业绿色度研发的成本系数 $\theta = 4$. 为了展示更丰富的情景,参数 α (潜在市场规模)和参数 β (消费者绿色度偏好系数)将取不

同的数值组合,在各算例中标明了具体的参数取值;同时,设固定补贴模式中所采用的产品环保标准(绿色度阈值) $g_{\min} = 0$ 或 $g_{\min} = 0.6$, 这分别代表固定补贴绿色度阈值不具备和具备约束力的情形(即 $g_{\min} \geq g_0$ 和 $g_{\min} < g_0$). 图 4 和图 5 分别展现了绿色度阈值不具备约束力($g_{\min} < g_0$)和具备约束力($g_{\min} \geq g_0$)时,两种补贴模式在相同预算下的均衡碳减排量 ER_i^* .

当绿色度阈值不具备约束力时(图 4),消费者在购买低碳企业生产的产品时总能得到补贴.但是由于过量消费可能会带来负面效应,政府的最优选择可能是放弃提供补贴并维持现状($s^* = 0$ 或 $r^* = 0$). 因此在图 4(b)、图 4(c)、图 4(d)中

存在固定补贴(虚线)或可变补贴(实线)的减排量持续为 0 的情况. 当预算足够大时,政府能够通过提供补贴促使企业研发具有更高绿色度的产品,从而实现更高的单位产品减排量. 此时,政府的最优策略是提供补贴,甚至提供顶格补贴. 在图 4(a)、图 4(b)中,政府在预算充足时均会提供补贴;而在图 4(c)、图 4(d)中,考虑到过量消费效应的影响,政府在固定补贴模式下会选择不提供补贴. 图 4(d)中可变补贴模式的碳减排量在中等预算水平上没有随着预算量增加而提升,因为此时政府的最优补贴策略是提供适中的补贴率 r_1 , 进一步提高补贴率只会削弱政策的减排效果(见定理 4 中的相关讨论).

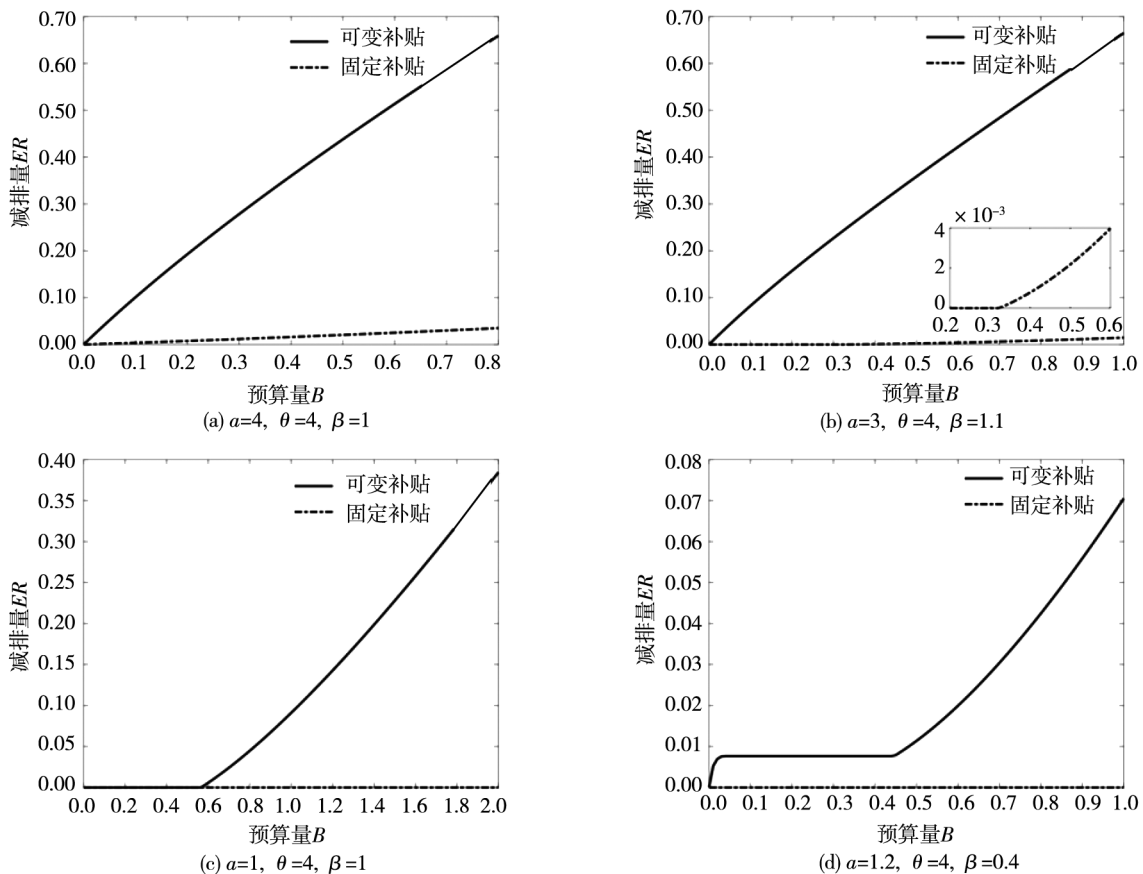


图 4 不同预算下两种模式的碳减排量, $g_{\min} = 0$

Fig. 4 Carbon reduction of two subsidy modes under different budget levels: $g_{\min} = 0$

当绿色度阈值具备约束力时(图 5),固定补贴模式的碳减排表现与图 4 不同. 此时,在预算量到达 B 前,固定补贴的减排量始终维持在 0 的水平;而当预算超过 B 后,固定补贴的减排量发生了

跃升,且在一段区间内保持不变. 预算量 B 为能够支持政府提供补贴量 s 的最小预算水平. 根据定理 3,在预算较小时,任何预算允许的补贴量都无法激励企业研发绿色度达到阈值的产品,所以政

府此时只能放弃补贴. 当预算足够大时, 政府可以给出补贴量 $\underline{s}$. 由于这一补贴量既能促使企业研发绿色度达到阈值的产品, 又能控制过量消费效

应, 所以即使政府拥有更充足的预算也不会提供更高的补贴量. 因此政府的决策在预算量高于 $\underline{B}$ 的一段区间内保持不变.

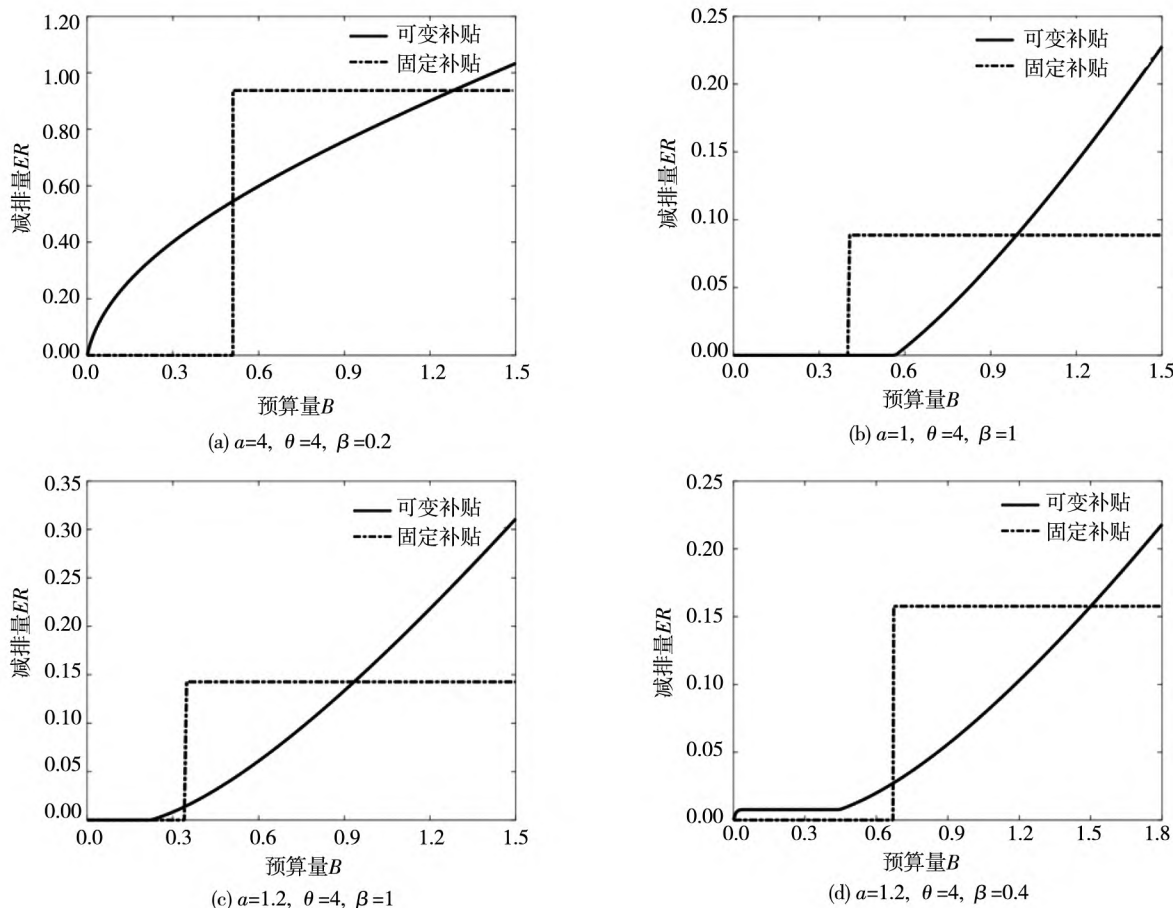


图5 不同预算下两种模式的碳减排量, $g_{\min} = 0.6$

Fig. 5 Carbon reduction of two subsidy modes under different budget levels: $g_{\min} = 0.6$

图4和图5中不同补贴模式在减排表现上的差异印证了理论分析的结论. 当固定补贴模式的绿色度阈值不具约束力时(图4), 在较高和较低的预算水平下, 可变补贴相对于固定补贴必然有更好的碳减排效果, 这与定理5和定理6中的结论一致. 而在预算量适中时, 本研究尝试的数值实验均表明可变补贴同样能实现更高的碳减排量. 这些数值实验的结果对理论分析起到了一定的补充作用.

当绿色度阈值具备约束力时(图5), 正如定理5和定理6所展示的, 可以观察到在较高和较低的预算水平下, 可变补贴有更出色的减排表现. 同时, 在图5所展示的四种情况中, 固定补贴均在中等的预算水平上实现了比可变补贴更高的碳减

排量, 这与定理7的结论一致. 另外, 图5(d)并不符合定理7的条件(此时 $\beta < \beta_1$), 但本研究尝试的所有算例均展现了与定理7一致的结果. 因此当预算水平中等时, 政府可以通过采取合适的固定补贴策略在更多的场景中实现较高的环境效益.

附录还将经济效益纳入政府决策目标, 考虑了两种补贴模式的影响. 结果表明, 上述主要结论在此情况下依然具有稳健性.

5 结束语

绿色消费补贴是引导绿色消费和支持绿色产业发展的重要手段. 本研究考察了基于绿色度阈

值的固定补贴和基于绿色度水平的可变补贴两种模式,结果显示:1)两种补贴均能激励企业研发绿色产品;2)由于补贴增加了产品销量,可能加重环境负担,较大的市场规模和消费者的绿色偏好有助于消除这一风险;3)政府在两种补贴模式下均要平衡过量消费的负面效应与促进绿色研发的正面效应;4)针对不同的补贴模式需要采取不同的补贴策略:固定补贴模式下,政府有时可以通过绿色度阈值和补贴量的配合实现最大的环境效益,而可变补贴模式下有时可以利用补贴对产品销量和产品绿色度研发之间不对等的刺激作用,以较低的补贴水平实现最优的环境效益;5)预算较低或较高时,可变补贴效果更好,预算适中时,固定补贴结合恰当的绿色度阈值可实现更大减排效果。

以上的研究结果表明:无论是传统的固定补贴还是可变补贴的绿色消费积分制,都能引导绿

色消费升级并推动企业转型。但是,补贴可能引发过量消费,加重环境负担,因此补贴设计者需具备全局意识,根据市场状况动态调整激励力度,防止负面效应。在选择补贴模式时,对于预算特别充裕或预算特别紧张的政策制定者而言,绿色消费积分制是一种合适的激励方式;对于预算规模适中的政策制定者而言,基于特定环保标准所构建的绿色消费固定补贴则可以实现更好的政策效果。

未来研究可进一步探索多企业竞争环境下的最优补贴策略,实证检验创新性绿色消费补贴的实际效果,评估其对消费者行为和企业绿色创新的影响,并提出优化建议。此外,还应结合绿色投资、绿色出行等不同类型的绿色行为,分析如何通过综合激励机制最大化社会效益。这些研究将为政策制定者提供全面参考,帮助其在复杂市场和社会环境中制定更有效的绿色消费补贴政策,实现环境保护、经济增长与可持续发展的多重目标。

参 考 文 献:

- [1] Yan W, Minjun S. CO₂ emission induced by urban household consumption in China[J]. Chinese Journal of Population Resources and Environment, 2009, 7(3): 11-19.
- [2] 郑艳芳, 周文慧, 黄伟祥. 绿色耐用产品的节能补贴合同设计[J]. 管理科学学报, 2016, 19(3): 1-14.
Zheng Yanfang, Zhou Wenhui, Huang Weixiang. Design energy-saving subsidy contract for green durable product[J]. Journal of Management Sciences in China, 2016, 19(3): 1-14. (in Chinese)
- [3] 李晓萍, 张亿军, 江飞涛. 绿色产业政策: 理论演进与中国实践[J]. 财经研究, 2019, 45(8): 4-27.
Li Xiaoping, Zhang Yijun, Jiang Feitao. Green industrial policy: Theory evolution and Chinese practice[J]. Journal of Finance and Economics, 2019, 45(8): 4-27. (in Chinese)
- [4] 曹蒲菊, 刘朝. 排污权交易是否驱动了经济高质量发展? ——基于中国地级及以上城市层面的研究[J]. 管理科学学报, 2023, 26(6): 39-56.
Cao Puju, Liu Zhao. Does emission trading promote high-quality economic development? Evidence from prefecture-level and above cities in China[J]. Journal of Management Sciences in China, 2023, 26(6): 39-56. (in Chinese)
- [5] 刘键. 中央财政专项资金安排和使用管理中存在的问题及改进建议[J]. 财政研究, 2013, (10): 33-36.
Liu Jian. Problems and improvement suggestions in the arrangement and use management of special funds of the central government[J]. Public Finance Research, 2013, (10): 33-36. (in Chinese)
- [6] 钱巨炎. 浙江省生态文明建设的财税实践与探索[J]. 财政研究, 2014, (3): 55-60.
Qian Juyan. Practice and exploration of finance and taxation in the construction of ecological civilization in Zhejiang Province[J]. Public Finance Research, 2014, (3): 55-60. (in Chinese)
- [7] Yu J J, Tang C S, Shen Z J M. Improving consumer welfare and manufacturer profit via government subsidy programs: Subsidizing consumers or manufacturers? [J]. Manufacturing & Service Operations Management, 2018, 20(4): 752-766.
- [8] 朱庆华, 窦一杰. 基于政府补贴分析的绿色供应链管理博弈模型[J]. 管理科学学报, 2011, 14(6): 86-95.
Zhu Qinghua, Dou Yijie. A game model for green supply chain management based on government subsidies[J]. Journal of Management Sciences in China, 2011, 14(6): 86-95. (in Chinese)

- [9] Jørgensen S, Zaccour G. Price subsidies and guaranteed buys of a new technology[J]. *European Journal of Operational Research*, 1999, 114(2): 338–345.
- [10] Cohen M C, Lobel R, Perakis G. The impact of demand uncertainty on consumer subsidies for green technology adoption[J]. *Management Science*, 2016, 62(5): 1235–1258.
- [11] Chemama J, Cohen M C, Lobel R, et al. Consumer subsidies with a strategic supplier: Commitment vs. Flexibility[J]. *Management Science*, 2019, 65(2): 681–713.
- [12] 朱庆华, 夏西强, 王一雷. 政府补贴下低碳与普通产品制造商竞争研究[J]. *系统工程学报*, 2014, 29(5): 640–651.
- Zhu Qinghua, Xia Xiqiang, Wang Yilei. Study of the competition between low carbon products and ordinary products manufacturer based on government subsidies[J]. *Journal of Systems Engineering*, 2014, 29(5): 640–651. (in Chinese)
- [13] 杨晓辉, 游达明. 考虑消费者环保意识与政府补贴的企业绿色技术创新决策研究[J]. *中国管理科学*, 2022, 30(9): 263–274.
- Yang Xiaohui, You Daming. Research on enterprises green technology innovation decisions: Under the perspective of consumer environmental awareness and government subsidies[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2022, 30(9): 263–274. (in Chinese)
- [14] Wang Z, Huo J, Duan Y. Manufacturers' strategy for introducing remanufactured products under a government subsidy: Introduce or not? [J]. *Journal of Management Science and Engineering*, 2023, 8(1): 128–148.
- [15] Bian J, Zhang G, Zhou G. Manufacturer vs. consumer subsidy with green technology investment and environmental concern[J]. *European Journal of Operational Research*, 2020, 287(3): 832–843.
- [16] Krass D, Nedorezov T, Ovchinnikov A. Environmental taxes and the choice of green technology[J]. *Production and Operations Management*, 2013, 22(5): 1035–1055.
- [17] 鞠晴江, 鞠鹏, 代文强, 等. 新能源汽车补贴政策与保有量影响研究: 单位补贴销售奖励与产品差异化[J]. *管理科学学报*, 2021, 24(6): 101–116.
- Ju Qingjiang, Ju Peng, Dai Wenqiang, et al. Adoption of new energy vehicles under subsidy policies: Unit subsidies, sales incentives and product differentiation[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2021, 24(6): 101–116. (in Chinese)
- [18] Shao L, Yang J, Zhang M. Subsidy scheme or price discount scheme? Mass adoption of electric vehicles under different market structures[J]. *European Journal of Operational Research*, 2017, 262(3): 1181–1195.
- [19] 葛秋易, 宋雷蕾, 梁冬梅, 等. 环保专项资金审查管理工作及相关绩效评价体系探讨[J]. *环境保护与循环经济*, 2020, 40(7): 87–90.
- Ge Qiuyi, Song Leilei, Liang Dongmei, et al. Discussion on the review and management of environmental protection special funds and related performance evaluation system[J]. *Environmental Protection and Circular Economy*, 2020, 40(7): 87–90. (in Chinese)
- [20] 谢妍. 完善绿色发展的财政支持政策[J]. *中国财政*, 2014, (20): 68–69.
- Xie Yan. Improve fiscal support policies for green development[J]. *China State Finance*, 2014, (20): 68–69. (in Chinese)
- [21] 汤天滋. 地方环保专项资金使用与管理刍议[J]. *财政研究*, 2004, (12): 36–39.
- Tang Tianzi. Discussion on the use and management of local environmental protection special funds[J]. *Public Finance Research*, 2004, (12): 36–39. (in Chinese)
- [22] 沈峰, 马铁驹, 赵兴荣, 等. 激励政策退坡下私家电动汽车扩散分析——以上海市为例[J]. *管理科学学报*, 2021, 24(9): 79–104.
- Shen Feng, Ma Tieju, Zhao Xingrong, et al. Diffusion of private electric vehicles with the fade out of incentive policies: The case of Shanghai[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2021, 24(9): 79–104. (in Chinese)
- [23] Banker R D, Khosla I, Sinha K K. Quality and competition[J]. *Management Science*, 1998, 44(9): 1179–1192.
- [24] Tsay A A, Agrawal N. Channel dynamics under price and service competition[J]. *Manufacturing & Service Operations*

- Management, 2000, 2(4): 372–391.
- [25] Murali K, Lim M K, Petrucci N C. The effects of ecolabels and environmental regulation on green product development[J]. Manufacturing & Service Operations Management, 2019, 21(3): 519–535.
- [26] 贺 勇, 陈志豪, 廖 诺. 政府补贴方式对绿色供应链制造商减排决策的影响机制[J]. 中国管理科学, 2022, 30(6): 87–98.
- He Yong, Chen Zhihao, Liao Nuo. The impact mechanism of government subsidy approach on manufacturer's decision-making in green supply chain[J]. Chinese Journal of Management Science, 2022, 30(6): 87–98. (in Chinese)
- [27] 朱庆华, 夏西强, 李梦雅, 等. 碳配额分配方法对授权再制造影响研究[J]. 管理科学学报, 2024, 27(5): 60–75.
- Zhu Qinghua, Xia Xiqiang, Li Mengya, et al. The effect of carbon allowance allocation methods on authorized remanufacturing[J]. Journal of Management Sciences in China, 2024, 27(5): 60–75. (in Chinese)
- [28] Zhang X, Huang J, Shen C. Retailers' incentives for green investment in differentiated competition channels[J]. Journal of Management Science and Engineering, 2023, 8(4): 465–489.
- [29] Anand K S, Giraud-Carrier F C. Pollution regulation of competitive markets[J]. Management Science, 2020, 66(9): 4193–4206.

Study on subsidy modes for green consumption

HAN Jia-yuan^{1, 2}, WANG Wen-bin³, WEI Hang^{3*}

1. Experimental Center of Data Science and Intelligent Decision-Making, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China;
2. School of Management, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China;
3. College of Business, Shanghai University of Finance and Economics, Shanghai 200433, China

Abstract: Carbon neutrality requires joint efforts of society. Consumer subsidies are an important way to spread the concept of green consumption. Point-based green consumption reward programs, which are being piloted in many cities, represent a greenness subsidy scheme. Under this new subsidy scheme, the amount of subsidy is calculated based on the greenness of the product consumed—The greener the product is, the higher the subsidy. This is different from the traditional lump-sum subsidy scheme where the government determines the amount of subsidy that is not related to the greenness of the product. This paper constructs a game-theoretic model with endogenized green product development and pricing decisions. It proposes optimal subsidy strategies under lump-sum and greenness subsidy schemes and compares their economic and environmental consequences. The results show that both schemes can encourage firms to exert more efforts in green product development, and greenness subsidy is effective in a wider range of contexts. When optimizing a subsidy scheme, it is important to note that consumer subsidies can increase carbon emissions by stimulating overconsumption; however, a large market size and strong consumer preference for green products can mitigate this adverse effect. From the perspective of scheme selection, when the government budget is extremely low or high, the greenness-based subsidy performs better in terms of carbon reduction. When the budget is moderate, the lump-sum subsidy scheme with a proper subsidy standard can achieve higher emission reduction. These findings provide theoretical support for governments in designing green consumption subsidy schemes.

Key words: green consumer subsidy; green reward points; Carbon Generalized System of Preferences; green product development; carbon reduction