

doi: 10.19920/j.cnki.jmsc.2025.10.003

绿色信贷定价与企业碳减排决策^①

——不同贴息激励影响及经济-环境价值分析

金伟¹, 张钦红^{2,4}, 朱庆华^{3,4*}, 王成付⁵

(1. 浙江财经大学金融学院, 杭州 310018; 2. 上海交通大学中美物流研究院, 上海 200030;
3. 上海交通大学安泰经济与管理学院, 上海 200030; 4. 上海交通大学数字化管理决策实验室,
上海 200030; 5. 南通大学商学院, 南通 226019)

摘要: 向银行贴息和向借款企业贴息是政府支持企业低碳转型的两种绿色金融激励政策。本文研究碳减排企业存在资金约束时, 两种不同的贴息激励下, 银行在完全竞争和垄断竞争的金融市场中的贷款定价以及企业的产量和碳减排决策, 并分别从经济-环境价值视角对比分析银行贴息和企业贴息。研究发现: 1) 企业的减排技术水平、自有资金规模和碳资产状况会影响绿色信贷的经济-环境价值, 并存在双正向价值的参数区间; 2) 当企业进行无风险借贷时, 两种贴息激励在经济和环境价值方面等价; 3) 当企业存在违约风险且银行处于完全竞争的金融市场时, 银行贴息在提升融资系统经济效益和促进碳减排方面均优于企业贴息; 相反, 当银行处于垄断的金融市场时, 企业贴息优于银行贴息。

关键词: 低碳运营; 资金约束; 绿色信贷; 贴息激励; 经济-环境价值

中图分类号: F272 文献标识码: A 文章编号: 1007-9807(2025)10-0037-17

0 引言

随着国家“30·60”双碳目标的确定, 绿色低碳转型已成为各行业企业发展的必由之路。然而, 实施碳减排往往需要企业付出一定的前期成本和努力, 例如提升能源使用效率、加强低碳技术研发、推动循环经济发展等^[1]。以铝产业为例, 目前大多数铝冶炼企业仍然依赖煤炭等化石能源。为了实现降碳目标, 这些企业可以采用水电、风电、太阳能、生物质能等绿色能源。此外, 铝冶炼企业还应积极推动低碳新材料、新技术、新装备的研发与应用, 并建立铝废料的回收处理系统。但无论选择何种路径来减少碳排放, 资金压力始终是这些减排企业面临的一大难题^[2]。

由此, 中央和多个地方政府陆续出台了针对

碳减排的财政金融激励政策, 其中通过贴息手段降低银行、企业资金成本备受关注。例如, 七部委联合发布的《关于构建绿色金融体系的指导意见》明确提出“对于绿色信贷支持的项目, 可按规定申请财政贴息支持”。《关于促进厦门市银行业金融机构发展绿色金融扶持政策的实施细则》规定对提供绿色信贷业务的银行给予 20% 的贴息激励; 而《深圳市人民政府关于构建绿色金融体系的实施意见》对申请绿色信贷的企业按照贷款实际支付利息的 50% 给予贴息支持。考虑到面向银行贴息和面向企业贴息这两种方式均出现在政策文件中。那么, 不同类型的贴息激励如何影响银行和企业的决策行为, 成为理论和实践亟待研究和解决的重要问题。

在“自上而下”的绿色信贷政策激励下, 金融

① 收稿日期: 2023-05-08; 修订日期: 2024-05-29。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(72221001; 72171148; 72372145; 72472081; 72002191); 教育部人文社会科学青年基金资助项目(22YJC630048)。

通讯作者: 朱庆华(1970—), 女, 江苏太仓人, 博士, 教授, 博士生导师。Email: qhzhu@sjtu.edu.cn

机构加大了对碳减排贷款的投放和创新。如江苏银行向泰州核润新能源有限公司发放 500 万元碳账户挂钩贷款,贷款年利率低于同类型贷款 1.2 个百分点。该笔贷款可推动企业年减排二氧化碳 52 kt,年节约标准煤 19 kt,年减少二氧化硫、氮氧化物排放分别为 399 t、135 t。特别地,针对被纳入碳交易市场的控排企业,金融机构创新碳排放权抵质押融资,盘活企业碳配额资产。兴化农商行向兴化热电有限责任公司投放了 500 万元碳排放权挂钩贷款,兴化市政府给予公司贷款利息金额的 50% 的贴息支持,贷款利率低于其他贷款 1.5 个百分点。必须指出的是,当前基于碳排放权融资工具的产品创新以及通过贴息激励支持企业绿色低碳转型还属于初步探索阶段。银行披露的绿色贷款信息主要以宏观指标为主,缺乏微观贷款效益的评估。因此,企业的碳资产对自身和银行决策的影响,以及不同贴息激励下绿色信贷的经济—环境价值评估,成为理论和实践亟待解决的又一重要问题。

目前,学术界对企业运营与碳减排融资决策问题的研究可以分两大类。第一类是探究碳减排政策(包括碳税、碳交易、减排补贴等)对企业运营决策的影响及减排政策的选择问题。Drake 等^[3]对比分析了碳税和碳交易政策对企业技术选择与产能决策的影响,发现相比碳税政策,碳价波动情形下的碳交易政策可以给企业带来更高的预期收益;柏庆国和徐健腾^[4]分别考虑了碳限额和碳交易政策下企业的最优生产和减排策略;Anand 和 Giraud^[5]探究了产出竞争环境下的碳税和碳交易政策的设计问题,发现这两种碳减排政策在产出、消费者剩余、社会福利维度上的等价性;Fan 等^[6]指出当产品市场和碳市场的波动相关系数适中时,碳税相比碳交易政策产生更多的预期收益和消费者剩余;谢家平等^[7]则聚焦于电力产业链,考虑了碳税和碳配额政策下的电力竞价决策及主体利润问题;朱庆华等^[8]分析了不同碳配额分配方法对授权再制造的影响。宋鹏等^[9]研究了推进碳排放控制与非化石能源发展目标的约束激励政策,并探讨其对经济发展和能源结构等的影响。也有学者将消费者低碳偏好、环境政策以及市场竞争同时纳入决策考量,探讨多种因素驱动下企业的低碳技术投资和运营行为^[10~12]。以

上文献关注企业碳减排的外部驱动因素,均未考虑到企业碳减排的内部阻力因素—减排资金约束。此外,现有研究在分析控排企业的减排与生产策略时,往往关注碳配额的环境约束属性,少有探究碳配额作为抵质押物的金融属性。

第二类文献是分析绿色金融体系下的企业低碳技术创新及融资行为。一些学者从融资约束与融资来源的视角实证检验了绿色金融政策对企业碳减排融资的影响^[13~16]。同时,部分学者开始将减排企业的资金约束纳入到运营决策模型,考虑减排企业的运营、碳减排与融资的集成决策以及相关的融资均衡问题。其中,面向低碳供应链的两种融资模式——银行融资和延期付款融资,探究不同融资模式下的供应链契约设计或协调问题得到了较多的研究^[17~19]。减排企业的资金约束包括常规运营(生产/订货)方面的资金约束和减排投资方面的资金约束,但以上三篇文献仅关注运营方面的资金约束,研究侧重于运营融资与低碳供应链协调方面。虽然一些研究同时关注了碳减排方面的资金约束和融资决策问题^[20~25],然而这部分研究通常将融资利率视为外生参数,缺乏对资金提供方风险定价的考察,尤其是对碳排放权挂钩贷款利率的研究。

本研究构建了存在贴息激励的绿色信贷模型,分别研究贴息银行和贴息企业两种激励机制下,银行的最优贷款利率以及企业的最优生产和碳减排联合决策,并分别从经济和环境维度分析两种贴息激励的差异。本研究的边际贡献包括三个方面:

第一 将贴息机制纳入到绿色信贷融资模型中,为政府通过贴息激励引导企业低碳减排提供决策参考。虽然已有文献开始关注企业减排、生产及融资的联合决策问题,但主要集中于银行与企业之间的交互行为,很少关注财政金融政策的影响与效果分析。本研究对贴息激励的效应分析以及对不同贴息激励的比较,有助于政策制定者理解不同贴息政策的作用机制,提高政策的有效性。

第二 将融资利率作为内生变量,丰富和拓展了绿色信贷融资理论。现有文献在讨论减排企业的贷款决策时,往往将融资利率视为与企业运营与碳排放无关的外生变量。本研究探究了不同金融市场环境下银行的风险定价问题,为银行通过差异化定价

引导资金流向节能减排领域提供决策依据。

第三,为银行基于碳排放权创新金融产品、拓宽企业绿色融资渠道提供理论解释。本研究从理论上探析了碳资产水平对企业生产、融资及违约风险的影响,并证明了碳资产可以协同企业自有资金影响绿色信贷的效果,为完善环境权益类融资产品的设计提供了重要指导。

1 模型描述

考虑一个由银行和借款企业(下文简称企业)组成的绿色信贷系统。其中,银行的筹资成本为 α ,满足 $\alpha \in [0, 1]$ 。银行的决策为向企业收取的贷款利率 r 。本研究使用需求函数^[25-27] $D = X + \beta s$,其中 X 为随机变量,表示无减排投资时的基准市场需求, s 为企业的减排努力水平,参数 $\beta > 0$ 反映了消费者的低碳需求敏感性。 βs 为企业进行减排投资而贡献的需求增量,现实中企业通过减碳努力行为提升企业形象,扩大产品市场需求。记 X 的累积分布函数和概率密度函数分别为 $F(x)$ 和 $f(x)$ 。定义 $h(x) = \frac{f(x)}{F(x)}$ 为失效率函数,

数,其中 $\bar{F}(x) = 1 - F(x)$ 为生存函数。假设 $h(x)$ 严格单调递增^[28, 29],常用的分布如均匀分布、指数分布、正态分布均满足该假设,其他分布如伽马分布和威布尔分布在一定条件下满足失效率递增的性质。本研究主要的参数和含义如表1所示。

假设碳减排投资为一次性投资,且投资成本为 $ks^2/2$,其中参数 k 为减排成本系数。常规生产投资与产量相关,总成本为 cq ,其中 c 为边际生产成本, q 为产量。假设 τ_0 和 $\tau(s)$ 分别为无减排投资和存在减排投资时的碳排放强度。于是,单位产品的碳减排率应等于 $1 - \tau(s)/\tau_0$,记为 $\rho(s)$ 。根据Du等^[30]的做法,考虑如下碳减排率函数: $\rho(s) = 1 - e^{-\theta s}$,其中 $\theta > 0$ 为企业的碳减排技术水平。记 E 为企业在生产过程中产生的碳排放量,则经过低碳减排投资后,碳排放量为 $E = \tau(s)q = \tau_0 e^{-\theta s}q$ 。不失一般性,本研究中将参数 τ_0 标准化为1。

企业的自有资金为 y_0 ,该水平不足以支撑其在减排投资与日常运营中的资金需求。因此,企业

以碳排放权做抵/质押物向银行申请信贷,用以缓解资金短缺压力。记 K_0 为碳配额,为减少数学符号的使用,将碳价标准化为1,由此 K_0 也表示碳资产价值。政府在推动碳减排贷款时会通过相应的管理办法明确贷款用途。例如,2021年出台的《绍兴市碳排放权抵押贷款业务操作指引》指出,碳排放权抵押贷款优先用于企业节能和污染防治等技术提升和改造,也可用于实际生产经营。因此,本研究假设企业通过碳排放权抵/质押物获得的贷款可用于两方面:一是低碳减排投资,如绿色技术研发、生产工艺升级等;二是常规生产投资。本研究7.1节拓展分析了贷款资金限制用途的情形。

表1 符号及含义

Table 1 Notation and description

符号	含义
D	市场需求 $D = X + \beta s$, X 是随机变量
$F(\cdot)$	随机变量 X 的分布函数
$f(\cdot)$	随机变量 X 的概率密度函数
β	减排投资的需求敏感性, $\beta > 0$
p	产品的零售价格
c	产品的边际生产成本
k	减排投资的成本系数
y_0	企业的自有资金水平
θ	企业的减排技术水平, $\theta > 0$
K_0	碳资产
α	银行的单位筹资成本
δ	贴息系数, $\delta \in [0, 1]$
π^{ij}	企业的期望利润, $i = F, M$ 分别表示银行贷款的公平定价和垄断定价情形, $j = B, M$ 分别表示面向银行贴息和面向企业贴息情形, $i = N$ 且 $j = N$ 表示企业不进行融资(仅适用自有资金)的基准情形
Π^{ij}	银行的期望利润
E^{ij}	企业的碳排放量
决策变量	
q	生产量
s	减排努力水平
r	贷款利率

银行的风险定价方式与其所在的金融市场环境有关。当银行处于完全竞争的金融市场中^[31],其按照维持收支平衡的原则确定贷款利率 r (即公平定价)。当银行处于垄断的金融市场中^[32],银行按照利润最大化的原则确定贷款利率 r (即垄断定价)。考虑到一些地方政府开始应用金融科技搭建绿色金融信息服务平台,帮助银行有效地

对企业的碳资产和经营活动进行识别认证。因此，本研究假设银行在做信贷决策前已完全掌握企业的运营和碳排放等信息，即信息完全对称。本研究 7.3 节拓展分析了减排信息不对称的情形。假设企业按照“有限责任”的原则偿还银行贷款。“有限责任”是运营管理与金融交叉领域的一个常规假设^[31, 32] 具体含义：1) 如果企业的期末现金流(本研究中由销售收入和碳资产组成)足以覆盖负债，则不发生违约；2) 如果企业的期末现金流不足以抵偿负债，则发生违约，且企业将所得的销售收入和变卖的碳配额清算给银行^②。

银行与企业的决策依赖于外部财政金融政策，包括政府对银行贴息与对企业贴息两种政策。面向银行贴息时，政府根据银行的单位融资成本 $\alpha \in [0, 1]$ ，提供 $\delta\alpha$ 的补贴，从而银行承担的有效资金成本为 $\alpha(1 - \delta)$ 。面向企业贴息时，政府根据企业的单位成本 r ，提供 δr 的补贴，从而企业实际承担的贷款利率为 $r(1 - \delta)$ 。考虑到政府很少对单个企业提供定制化的贴息政策，由此本研究假设贴息系数 δ 为外生变量。

2 基准情形：无绿色信贷

为考察资金约束对企业生产与减排行为的影响，本节分析企业仅使用自有资金时的决策情境。在期初，企业确定生产量 q 和减排努力水平 s ；在期末，企业获得销售收入 $p \cdot \min(D, q)$ 。因此，企业的期望利润为

$$\pi^{NN}(q, s) = E[p \cdot \min(D, q) - cq - ks^2/2] \quad (1)$$

引入中间变量 $z = q - \beta s$ ，对应地，企业决策 (q, s) 等价于决策 (z, s) 。将需求函数 $D = X + \beta s$ 代入到式(1)中，记 $p \cdot \min(X, z) + p\beta s \triangleq R(X, z, s)$ 为期末销售收入，得到企业的最优决策问题

$$\begin{cases} \max_{z, s} & \frac{E[R(X, z, s) - c(z + \beta s) - ks^2/2]}{\pi^{NN}(z, s)} \\ \text{s. t.} & c(z + \beta s) + ks^2/2 \leq y_0 \end{cases}$$

记 (z^{NN*}, s^{NN*}) 为无借款时企业的最优决策。则当 $y_0 \geq c \bar{F}^{-1}\left(\frac{c}{p}\right) + \frac{\beta^2(p^2 - c^2)}{2k} \triangleq y_0^N$ 时，容易得到 $(z^{NN*}, s^{NN*}) = (\bar{F}^{-1}(c/p), \beta(p - c)/k)$ 。

^② 本研究考虑企业进行短期贷款且贷款发生在碳排放配额使用期限之内，从而本研究关注碳排放权作为抵/质押品的金融属性，而非在碳市场交易的商品属性。

当 $y_0 < y_0^N$ 时， (z^{NN*}, s^{NN*}) 依赖于企业的资金水平且由下式唯一确定

$$\begin{cases} c(z + \beta s) + ks^2/2 = y_0 \\ s = \frac{\beta c F(z)}{k \bar{F}(z)} \end{cases} \quad (2)$$

显然 $s^{NN*} > 0$ 成立，表明无融资下，企业仍有减排动机。原因在于，消费者低碳偏好的驱动。本研究关注企业的投融资决策。注意到当 $y_0 \geq y_0^N$ 时，企业资金充足而无融资需求。因此，下文将企业的资金水平限制在区间 $(0, y_0^N)$ 。在该区间，企业的期望利润和碳排放量为

$$\begin{cases} \pi^{NN*} = p \int_0^{z^{NN*}} \bar{F}(x) dx + p\beta s^{NN*} - y_0 \\ E^{NN*} = e^{-\theta s^{NN*}} (z^{NN*} + \beta s^{NN*}) \end{cases} \quad (3)$$

命题 1 当 $y_0 \in (0, y_0^N)$ 时，可得

1) 企业的产出、减排努力水平及利润与其资金水平呈正相关关系。

2) 存在一个临界值 $\bar{\theta}^N$ 和 \hat{y}_0 ，使得当 $\theta > \bar{\theta}^N$ 且 $y_0 \in (\hat{y}_0, y_0^N)$ 时， $\partial E^{NN*}/\partial y_0 < 0$ 成立，而在其他情形下， $\partial E^{NN*}/\partial y_0 > 0$ 成立。

命题 1 表明增加企业的资金可以激励其扩大产出、增加减排投资，进而改善经济效益。值得指出的是企业资金水平对其碳排放量的影响依赖于其减排技术水平。对于减排技术水平高且现金流压力较小的企业，提高资金水平将降低碳排放量。然而，对于减排技术水平低的企业，提高资金水平反而增加碳排放量。这是因为企业的碳排放量变化由企业的碳排放强度下降带来的减排效应和产出扩张带来的规模效应共同决定。虽然增加企业的资金流可以推动企业扩大产出和增加减排投资，但是对于减排技术水平低的企业，碳排放强度下降带来的减排效应无法抵偿产量提升带来的规模效应，由此总的碳排放量会增加。

下文中， $[\cdot]^+ = \max(\cdot, 0)$ 。为简化表达式，引入中间变量 $A^{iB}(z, s, r^{iB}) = L(z, s)(1 + r^{iB})$ ，表示 iB 模型中企业的负债； $A^{iM}(z, s, r^{iM}) = L(z,$

s) $(1 + r^{iM} - \delta r^{iM})$ 表示 iM 模型中企业的负债, 其中, $L(z, s)$ 为企业的借款规模, $i = F, M$. 此外, 中间变量 $d^{ij} = [\Lambda^{ij}(z, s, r^{ij}) - p\beta s - K_0]^+ / p$ 表示 ij 模型中企业不发生违约所需要的最低需求水平, $j = B, M$ ^③.

3 完全竞争的金融市场

3.1 面向银行的贴息激励(FB 模型)

在期初, 企业进行生产和减排投资, 所需成本为 $c(z + \beta s) + ks^2/2 - y_0$, 企业以利率 r 向银行借款 $L(z, s) = c(z + \beta s) + ks^2/2 - y_0$. 在期末, 企业获得销售收入 $p \cdot \min(X, z) + p\beta s \triangleq R(X, z, s)$, 并用销售收入和抵/质押的碳资产尽最大可能偿还银行贷款. 企业的最优化问题为

$$\begin{cases} \max_{z, s} E[R(X, z, s) + K_0 - \Lambda^{FB}(z, s, r^{FB})]^+ - K_0 - y_0 \\ \text{s. t. } E[\min[R(X, z, s) + K_0, \Lambda^{FB}(z, s, r^{FB})]] \\ \quad = L(z, s)(1 + \alpha - \delta\alpha) \end{cases} \quad (4)$$

式中 $\Lambda^{FB}(z, s, r^{FB}) = L(z, s)(1 + r^{FB})$ 表示 FB 模型中企业的负债. 式(4)左边为银行的期望收益, 右边为银行的资金成本. 其中, $L\delta\alpha$ 为来自政府的贴息额度. 给定借款规模 $L(z, s)$, 银行依据定价公式(4)确定贷款利率 r^{FB} . 引入中间变量 $d^{FB} = [\Lambda^{FB}(z, s, r^{FB}) - p\beta s - K_0]^+ / p$ 对应于企业不发生违约所需要的最低需求水平. 为确保企业有动机进行生产和减排投资, d^{FB} 应不超过 z . 根据企业的期末现金流, 存在两种情形:

情形 1 无违约风险的绿色信贷, 即 $d^{FB} = 0$. 此时, 企业的期末现金流足以偿还银行贷款, 因此, 式(4)的左边可化简为 $L(z, s)(1 + r^{FB})$, 从而可得 $r^{FB} = (1 - \delta)\alpha$, 表示银行设置的贷款利率为其单位资金成本.

情形 2 存在违约风险的绿色信贷, 即 $d^{FB} > 0$. 此时, 企业能否偿还负债依赖于产品市场需求实现值. 当 $X \geq d^{FB}$ 时, 无违约发生; 反之, 企业违约. 由此, 银行面临的违约风险为 $F(d^{FB})$. 将 d^{FB} 整理到式(4)可得

$$r^{FB} = (1 - \delta)\alpha + p \int_0^{d^{FB}} F(x) dx / L(z, s) \quad (5)$$

其中 $p \int_0^{d^{FB}} F(x) dx$ 为银行的预期损失. 对应地, $p \int_0^{d^{FB}} F(x) dx / L(z, s)$ 表示银行的预期损失率.

命题 2 给定 $y_0 \in (0, y_0^N)$ 及 $\delta \in [0, 1]$, 则有

1) 企业的最优决策为

$$\begin{cases} z^{FB*} = \bar{F}^{-1}\left(\frac{c(1 + \alpha - \delta\alpha)}{p}\right) \\ s^{FB*} = \frac{\beta}{k}\left(\frac{p}{1 + \alpha - \delta\alpha} - c\right) \end{cases}$$

2) 银行设定的贷款利率为

$$r^{FB*} = \begin{cases} (1 - \delta)\alpha, K_0 > \hat{K}_0^F(y_0) \\ p \int_0^{d^{FB*}} F(x) dx, \\ (1 - \delta)\alpha + \frac{p \int_0^{d^{FB*}} F(x) dx}{L^{FB*}}, K_0 \leq \hat{K}_0^F(y_0) \end{cases}$$

其中 $\hat{K}_0^F(y_0) \triangleq (c z^{FB*} - k(s^{FB*})^2/2 - y_0)(1 + \alpha - \delta\alpha)$, $L^{FB*} \triangleq L(z^{FB*}, s^{FB*})$ 以及 d^{FB*} 由等式 $p \int_0^{d^{FB*}} \bar{F}(x) dx + K_0 = [c z^{FB*} - k(s^{FB*})^2/2 - y_0](1 + \alpha - \delta\alpha)$ 唯一决定.

如图 1 所示, 两条临界线 y_0^N 和 $\hat{K}_0^F(y_0)$ 将企业的决策区间分成两部分: 无风险借贷部分 (Ω_1), 风险借贷部分 (Ω_2). 当企业的资金水平低于 y_0^N 时, 企业总是有动机向银行融资, 此时融资成本依赖于企业的预期违约成本. 当碳配额高于临界值 $\hat{K}_0^F(y_0)$ 时, 即在区域 Ω_1 内, 企业的期末现金流总能够覆盖负债, 企业无违约风险, 从而 $r^{FB*} = (1 - \delta)\alpha$. 然而, 当碳资产低于该临界值时, 即在区域 Ω_2 内, 企业存在违约风险, 对应的风险溢价为 $p \int_0^{d^{FB*}} F(x) dx / L^{FB*}$.

值得注意的是, 在区域 Ω_1 和区域 Ω_2 内, 企业的最优决策相同, 说明当政府对银行实行贴息激励时, 企业的最优决策与其自有资金 y_0 及碳资产 K_0 无关. 需要指出的是, 除了来自政府的激励, 市场方面的因素也影响企业的融资. 当 β 足够高, 即

$$\beta \geq \frac{(1 + \alpha - \delta\alpha) \sqrt{2kc} \bar{F}^{-1}(c(1 + \alpha - \delta\alpha)/p)}{p - c(1 + \alpha - \delta\alpha)}$$

时, $\hat{K}_0^F(y_0) \leq 0$ 总成立, 使得区域 Ω_2 消失, 从而

^③ 由于篇幅所限, 正文中省略了附录证明. 若读者需要证明过程, 请联系作者邮箱获取.

企业总能够进行无风险借贷.

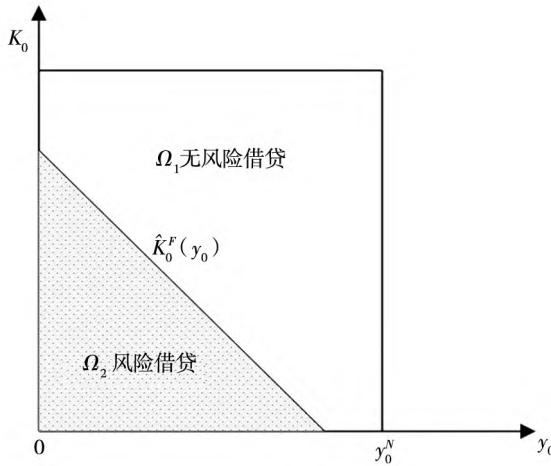


图 1 完全竞争金融市场中贴息银行情形下的决策区间
Fig. 1 Decision regions for bank subsidy in the perfectly competitive financial market

结论 1 当银行处于完全竞争的金融市场时 , δ 及 K_0 对最优决策的影响如下

- 1) 企业的最优产出、减排努力水平及融资规模关于 δ 递增;
- 2) 企业的最优产出、减排努力水平及融资规模与 K_0 无关;
- 3) 当 $K_0 \leq \hat{K}_0^F(y_0)$ 时 , 银行面临的风险及设定的贷款利率关于 K_0 递减.

碳交易实践中 , 碳配额发放和交割履约之间存在时间差 , 同时企业的碳排放并非时时受控 , 由此催生了碳配额的抵 / 质押价值 . 结论 1 表明面向银行贴息情形下 , 改变企业的碳资产不会影响生产和碳减排 , 但会影响企业的违约风险和贷款利率 . 贷款利率与违约风险关于碳资产 K_0 递减 , 说明增加碳资产能够降低企业的违约风险 , 进而帮助其获得较低的贷款利率 , 这为绿色金融实践中企业碳配额的变现和融资提供了理论支撑 .

将 (z^{FB*}, s^{FB*}) 代入到企业的期望利润函数和碳排放函数可得相应的 π^{FB*} 和 E^{FB*} . 考虑到 (z^{FB*}, s^{FB*}) 与碳资产 K_0 无关 , 因此 π^{FB*} 和 E^{FB*} 均与 K_0 无关 .

结论 2 当银行处于完全竞争的金融市场 , 贴息系数对企业的期望利润和碳排放量的影响如下

1) π^{FB*} 关于 δ 递增;

2) 存在唯一的临界值 $\bar{\theta}$, 使得当 $\theta > \bar{\theta}$ 时 , $\partial E^{FB*} / \partial \delta < 0$; 当 $\theta < \bar{\theta}$ 时 , $\partial E^{FB*} / \partial \delta > 0$; 当 $\bar{\theta} \leq \theta \leq \hat{\theta}$ 时 , 存在唯一的 $\hat{\delta}(\theta) \in [0, 1]$, 使得 $\partial E^{FB*} / \partial \delta < 0$ 当且仅当 $\delta \in (\hat{\delta}(\theta), 1)$.

结论 2 反映了贴息激励可以改善企业的期望利润 , 但能否激励企业碳减排依赖于企业自身的减排技术水平和政府的贴息强度 . 具体来说 , 贴息能够提升企业的融资能力 , 使得企业借贷更多的资金用于扩大生产和增加碳减排投资 . 与命题 1 结果类似 , 贴息引起的企业碳排放量变化同时依赖于碳排放强度下降带来的减排效应和产出扩张带来的规模效应 . 当企业的减排技术水平很高时 , 小幅提升减排努力即可显著降低碳排放强度 , 使得减排效应强于规模效应 , 从而越高的贴息系数产生越低的碳排放量 . 然而 , 当企业减排技术水平较低时 , 减排效应始终不及规模效应 , 因此贴息系数越高 , 碳排放量越大 . 此外 , 对于减排能力中等的企业 , 只有当贴息系数足够高时 , 才能激励企业投入充分的减排努力 , 使减排效应强于规模效应 .

结论 2 的政策启示是政府通过贴息手段引导企业低碳转型时 , 需要关注企业的减排技术水平 , 应优先将金融资源配置到减排技术水平高、减排潜力大的企业 . 对于减排技术水平低的企业 , 政府可出台相关绿色信贷指引 , 限定贴息的信贷资金仅用于减排投资 , 以此放大(降低)贴息的减排(规模)效应 .

3.2 面向企业的贴息激励(FM 模型)

FM 模型中 , 注意到企业的目标函数与 FB 模型形式上一致^④ . 因此 , 只需考虑银行的风险定价公式

$$E\{ \min [R(z, s) + K_0 + \delta L(z, \rho) r^{FM}, L(z, s)(1+r^{FM})] \} = L(z, s)(1+\alpha) \quad (6)$$

记 $d^{FM} = [\Lambda^{FM}(z, s, r^{FM}) - p\beta s - K_0]^+ / p$ 表示 FM 模型中企业不发生违约所需要的最低需求水平 . 由此 , 存在两种情形 , 即无风险借贷($d^{FM} = 0$) 和风险借贷($d^{FM} > 0$) .

^④ 故此处省略 .

命题3 当政府对企业进行贴息时, 给定 $\delta \in [0, 1]$, 存在两种情况

- 1) 当 $K_0 > \hat{K}_0^F(y_0)$ 时, 企业进行无风险借贷, 此时有 $(z^{FM*}, s^{FM*}, r^{FM*}) = (z^{FB*}, s^{FB*}, \alpha)$;
- 2) 当 $K_0 \leq \hat{K}_0^F(y_0)$ 时, 企业进行风险借贷, 此时有

$$\begin{cases} s^{FM*} = s^{FB*}, \\ \bar{F}(z^{FM*}) = \frac{c(1 + \alpha - \delta\alpha)/p}{\delta + (1 - \delta)\bar{F}(d^{FM*})}\bar{F}(d^{FM*}) \\ r^{FM*} = \alpha + p \int_0^{d^{FM*}} F(x) dx / L^{FM*} \end{cases}$$

式中 d^{FM*} 满足

$$(1 - \delta)p \int_0^{d^{FM*}} \bar{F}(x) dx + K_0 + \delta p d^{FM*} = (c z^{FM*} - k(s^{FM*})^2/2 - y_0)(1 + \alpha - \delta\alpha)$$

注意到在无风险借贷场景下, $(z^{FM*}, s^{FM*}) = (z^{FB*}, s^{FB*})$, 因此面向企业贴息场景下的决策区间划分与面向银行贴息场景下的相同。如图1所示, 在区域 Ω_1 , 面向企业贴息场景下的最优决策与银行贴息情形一致。有趣的是, 在区域 Ω_2 , 企业的最优生产决策 z^{FM*} 依赖于自有资金 y_0 、碳资产 K_0 以及违约风险 $F(d^{FM*})$ 。这与面向银行贴息场景下的结论不同, 表明不同的贴息方式会产生出不同的决策后果。具体而言, 面向银行贴息情形下, 贷款额度给定后, 贴息额度与违约风险无关; 而面向企业贴息情形下, 贴息额度依赖于企业的违约风险, 同时企业的资产规模(包括自有资金和碳资产)会影响其违约风险。进一步, 探究碳资产对最优决策的影响。

结论3 当 $(y_0, K_0) \in \Omega_2$ 时, 则有 $\partial z^{FM*} / \partial K_0 < 0$, $\partial s^{FM*} / \partial K_0 = 0$, $\partial L^{FM*} / \partial K_0 < 0$

从结论3可以看出, 当企业进行风险借贷时, 其拥有的碳资产越多, 则决策越“保守”, 越倾向于降低产出, 缩小融资规模。注意到企业的自有资金作为流动性资产可用来缓冲违约风险, 因此参数 y_0 对最优决策的影响类同于参数 K_0 的影响。如果将参数 K_0 替换为 y_0 , 结论3仍然成立。类似银行贴息情形, 企业的减排投资水平与贴息系数、消费者绿色敏感性及投资成本系数有关, 而与碳资产 K_0 无关。

接下来, 将 (z^{FM*}, s^{FM*}) 代入到企业的期望利润函数和碳排放函数可得相应的 π^{FM*} 和

E^{FM*} 。当 $(y_0, K_0) \in \Omega_1$ 时, 考虑到 $(z^{FM*}, s^{FM*}) = (z^{FB*}, s^{FB*})$, 因此 $\pi^{FM*} = \pi^{FB*}$, $E^{FM*} = E^{FB*}$ 成立。即当企业进行无风险借贷时, 向企业贴息与向银行贴息等价。

结论4 当 $(y_0, K_0) \in \Omega_2$ 时, 有

- 1) $\partial \pi^{FM*} / \partial K_0 < 0$ 及 $\partial E^{FM*} / \partial K_0 < 0$;
- 2) $\pi^{FM*} > \pi^{FB*}$ 和 $E^{FM*} > E^{FB*}$.

结论4的1)反映了企业碳资产对其期望利润及碳排放的影响。将参数 K_0 替换为 y_0 , 结论4仍然成立。总体而言, 当企业进行风险借贷时, 增加企业的碳资产会降低预期利润和碳排放量。结论4的2)说明了当企业进行风险借贷时, 政府直接向企业贴息能够产生更多的经济效益, 但同时也产生了更多的碳排放。

4 垄断的金融市场

4.1 面向银行的贴息激励(*MB*模型)

在垄断定价的绿色信贷模型中, 银行作为博弈领导者首先决策利率 r^{MB} , 然后企业进行生产和减排投资决策。按照逆向归纳法, 首先考虑企业的最优决策问题, 其预期利润函数如下

$$E[R(X, z, s) + K_0 - \Lambda^{MB}(z, s, r^{MB})]^+ - K_0 - y_0$$

$\pi^{MB}(z, s)$

给定 r^{MB} , 存在两种决策情形:

- 1) 无风险借贷, 即 $d^{MB} = 0$ 。此时, 企业的预期利润可简化为

$$\frac{E[R(X, z, s)] - \Lambda^{MB}(z, s, r^{MB}) - y_0}{\pi^{MB}(z, s)} \quad (7)$$

对式(7)关于 z 和 s 分别求偏导并利用一阶必要条件可得企业的反应函数 (z^{MB}, s^{MB}) 。容易发现, z^{MB} 和 s^{MB} 关于 r^{MB} 递减。

$$\begin{cases} z^{MB} = \bar{F}^{-1}\left(\frac{c(1 + r^{MB})}{p}\right) \\ s^{MB} = \frac{\beta}{k}\left(\frac{p}{1 + r^{MB}} - c\right) \end{cases} \quad (8)$$

- 2) 存在风险的借贷, 即 $d^{MB} > 0$ 。此时, 企业的预期利润为

$$\pi^{MB}(z, s) = p \int_{d^{MB}}^z \bar{F}(x) dx - K_0 - y_0 \quad (9)$$

类似地, 可得企业的反应函数满足

$$\begin{cases} \bar{F}(z^{MB}) = \frac{c(1 + r^{MB})}{p} \bar{F}(d^{MB}) \\ s^{MB} = \frac{\beta}{k}\left(\frac{p}{1 + r^{MB}} - c\right) \end{cases} \quad (10)$$

其次 基于企业的反应函数 (z^{MB}, s^{MB}) ,考虑银行的最优决策问题 其可拆借为两个子问题: 无违约风险的借贷问题和有违约风险的借贷问题.

子问题 1 针对无违约风险借贷, 银行的最优化问题可表示为

$$\begin{cases} \max_{r^{MB}} L(z^{MB}, s^{MB}) [r^{MB} - (1 - \delta) \alpha] \\ \text{s. t. } \pi^{MB}(z^{MB}, s^{MB}) \geq 0, d^{MB} = 0 \end{cases}$$

其中 $(1 - \delta) \alpha$ 表示贴息激励下银行承担的单位资金成本 约束条件是保证企业的预期收益非负.

命题 4 当银行处于垄断金融市场且企业进行无风险借贷时, 最优的贷款利率由下列隐函数决定

$$r^{MB*} = (1 - \delta) \alpha + \frac{k h(z^{MB*}) \bar{F}^2(z^{MB*}) L^{MB*} (1 + r^{MB*})}{c [k \bar{F}^2(z^{MB*}) + \beta^2 ch(z^{MB*})]}$$

其中 z^{MB*} 和 s^{MB*} 由式(8) 决定 $L^{MB*} = c(z^{MB*} + \beta s^{MB*}) + k(s^{MB*})^2/2 - y_0$.

当银行进行垄断定价时, 贷款利率会高于其单位资金成本 $(1 - \delta) \alpha$ 这与公平定价下的贷款利率决策不同. 容易发现, 当企业进行无风险借贷时, $r^{MB*} > r^{FB*}$, 使得 $z^{FB*} > z^{MB*}, s^{FB*} > s^{MB*}$ 以及 $\pi^{FB*} > \pi^{MB*} > 0$, 说明与处于完全竞争金融市场的银行相比, 处于垄断市场的银行会设定较高的贷款利率, 从而降低了企业的生产、碳减排以及利润. 此外, 企业进行无风险借贷时的最优决策和利润均与碳资产 K_0 无关, 但与自有资金水平 y_0 相关, 这与完全竞争的金融市场情形不同.

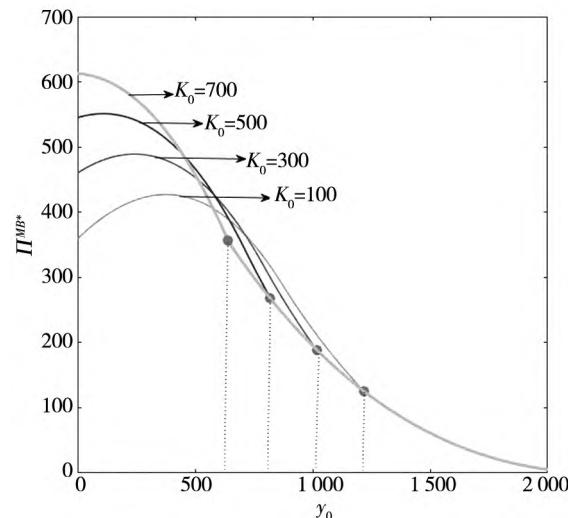
子问题 2 针对风险借贷, 银行的最优决策问题可化简为

$$\begin{cases} \max_{r^{MB}} L^{MB} [r^{MB} - (1 - \delta) \alpha] - p \int_0^{d^{MB}} F(x) dx \\ \text{s. t. } \pi^{MB}(z^{MB}, s^{MB}) \geq 0, d^{MB} > 0 \end{cases}$$

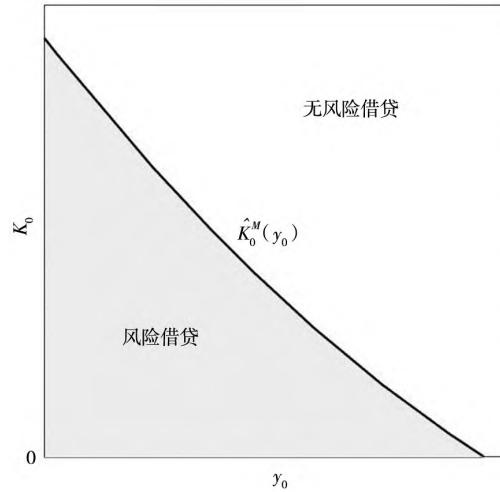
式中 z^{MB} 和 s^{MB} 满足式(10). 与无风险借贷情形不同, 当企业进行风险借贷时, 最优贷款利率及相应的生产和减排决策依赖于企业的碳资产.

最后, 通过比较子问题 1 和子问题 2 中银行的局部最优利润, 可得全局的最优利润 Π^{MB*} 和利率水平 r^{MB*} . 图 2 中参数设置如下: X 服从均值为 500 的指数分布, $p = 10$, $\mu = 3$, $\beta = 10$, $k = 9$, $\alpha = 5\%$, $\delta = 0.3$, $K_0 = \{100, 300, 500, 700\}$. 如图 2(a) 所示, 给定碳资产 K_0 , 点 A, B, C, D 分别对应 $K_0 = 100, 300, 500, 700$ 时, 企业进行风险借

贷和无风险借贷的临界点. 如给定 $K_0 = 100$, 当企业的自有资金水平 y_0 较低时(即 $y_0 < 1220$), 银行会设定利率使得企业进行风险借贷, 当 y_0 较高时, 银行会设定利率使得企业进行无风险借贷. 记 $\hat{K}_0^M(y_0)$ 为 MB 模型中企业进行风险借贷和无风险借贷的临界线. 基于图 2(a), 可以发现 $\hat{K}_0^M(y_0)$ 关于 y_0 递减. 图 2(b) 进一步显示了企业进行风险借贷和无风险借贷的决策区域. 企业的风险结构与完全竞争金融市场环境下的风险特征相似.



(a) 企业自有资金水平对银行期望利润的影响



(b) 企业自有资产对其决策区域的影响
图 2 垄断金融市场中面向银行贴息情形下的银行期望利润与决策区间

Fig. 2 Bank's expected profit and decision regions for bank subsidy in the monopolistic financial market

4.2 面向企业的贴息激励(**MM** 模型)

在 **MM** 模型中, 类似于 **MB** 模型, 先分别求解

无风险借贷和风险借贷情形下企业的反应函数，并将其作为银行最优化的约束条件，进一步求解银行的最优利率决策。由于 MM 模型的求解思路与 MB 模型完全一致，接下来仅展示银行的两个子优化问题。

子问题 1 (无风险贷款)

$$\begin{aligned} \max_{r^{MM}} \Pi^{MM}(r^{MM}) &= L(z^{MM}, s^{MM})(r^{MM} - \alpha) \\ \text{s. t. } \begin{cases} z^{MM} = \bar{F}^{-1}\left(\frac{c(1+r^{MM}-\delta r^{MM})}{p}\right) \\ s^{MM} = \frac{\beta}{k}\left(\frac{p}{1+r^{MM}-\delta r^{MM}} - c\right) \\ \pi^{MM}(z^{MM}, s^{MM}) \geq 0 \end{cases} \quad (11) \end{aligned}$$

式(11)为给定贷款利率 r^{MM} 时企业的反应函数及企业的参与约束。将 r^{MM} 替换为 $\frac{r^{MB}}{1-\delta}$ ，以上最优化问题等同于 MB 模型中的无风险借贷最优化问题，由此可得命题 5。

命题 5 给定 $\delta \in [0, 1)$ ，当企业进行无风险借贷时，可以发现

$$\begin{aligned} 1) \quad r^{MM*} &= \frac{r^{MB*}}{1-\delta} \quad z^{MM*} = z^{MB*} \quad s^{MM*} = s^{MB*} \\ 2) \quad \pi^{MM*} &= \pi^{MB*} \quad \Pi^{MM*} = \frac{\Pi^{MB*}}{1-\delta} \quad E^{MM*} = E^{MB*} \end{aligned}$$

与公平定价模型类似，当企业不存在违约风险时，贴息银行和贴息企业两种情形下的生产、碳减排投资及碳排放量相同。值得注意的是，相比于直接从政府获得贴息，银行可从企业贴息中获得更高的预期收益。这是因为企业获得贴息后，可以承受更高的贷款利率，使得银行可通过提升贷款利率增加预期收益。

子问题 2 (存在风险的贷款)

$$\begin{aligned} \max_{r^{MM}} \underbrace{L(z^{MM}, s^{MM})(r^{MM} - \alpha) - p \int_0^{d^{MM}} F(x) dx}_{\Pi^{MM}(r^{MM})} \\ \text{s. t. } \begin{cases} \bar{F}(z^{MM}) = \frac{c(1+r^{MM}-\delta r^{MM})}{p} \bar{F}(d^{MM}) \\ s^{MM} = \frac{\beta}{k}\left(\frac{p}{1+r^{MM}-\delta r^{MM}} - c\right) \\ \pi^{MM}(z^{MM}, s^{MM}) \geq 0 \quad d^{MM} > 0 \end{cases} \quad (12) \end{aligned}$$

由于 $d^{MM} > 0$ ，命题 5 的结论不再成立。当企业进行风险借贷时，大量的数值分析一致地显示，对于任意的 $\delta \in (0, 1)$ ，下列结论依然成立：1) $r^{MM*} > r^{MB*}$ ；2) $z^{MM*} > z^{MB*}$ ；3) $s^{MM*} > s^{MB*}$ ；4) $\pi^{MM*} >$

π^{MB*} ； $\Pi^{MM*} > \Pi^{MB*}$ 。这说明在垄断的竞争市场，当企业进行风险借贷时，政府向企业贴息相比向银行贴息依然能够产生更多的经济效益。

最后，类似 MB 模型，通过比较子问题 1 和子问题 2 的局部最优利润，可得全局的最优利率决策 r^{MM*} 。可以发现，当企业的自有资产较低（高）时，企业进行（无）风险借贷。因此依然存在一条无差异曲线将风险借贷和无风险借贷区分开。

5 贴息激励的比较分析

基于前两节的分析结果，本节从经济和环境两个维度对比银行贴息和企业贴息。为此，首先定义绿色信贷的经济价值和环境价值。

1) 绿色信贷的经济价值（记为 Δ_e^{ij} ）：定义为相比无贷款情形，绿色信贷给整个融资系统（包括银行和企业）带来的经济效益增量。如果 $\Delta_e^{ij} > 0$ ，说明绿色信贷可以给融资系统带来正向价值。

$$\Delta_e^{ij} = \pi^{ij*} + \Pi^{ij*} - C^{ij} - \pi^{NN*} \quad (13)$$

其中 $i = F, M$ 表示金融市场处于完全竞争和垄断情形， $j = B, M$ 表示面向银行贴息和面向企业贴息。 π^{NN*} 为无贷款情形下的经济效益， $\pi^{ij*} + \Pi^{ij*} - C^{ij}$ 表示绿色信贷产生的经济效益， C^{ij} 表示贴息成本。如果贴息银行，则 $C^{iB} = \delta \alpha L^{iB*}$ ；如果贴息企业，则 $C^{iM} = \delta L^{iM*} r^{iM*}$ 。

经过化简可得

$$\pi^{ij*} + \Pi^{ij*} - C^{ij} = p \int_0^{z^{ij*}} \bar{F}(x) dx + p\beta s^{ij*} - L^{ij*} (1 + \alpha) - \gamma_0 \quad (14)$$

根据式(14)易得，融资系统的经济效益分别关于产出和减排努力呈现倒“U”型变化，且在 $\left(\bar{F}^{-1}\left(\frac{c(1+\alpha)}{p}\right), \frac{\beta}{k}\left(\frac{p}{1+\alpha} - c\right)\right)$ 处达到最大值。

2) 绿色信贷的环境价值（记为 Δ_{ce}^{ij} ）：定义为相比无贷款情形，绿色信贷带来的碳排放量减少值。如果 $\Delta_{ce}^{ij} > 0$ ，说明表示绿色信贷可以促进碳减排。

$$\Delta_{ce}^{ij} = E^{N*} - E^{ij*} \quad (15)$$

命题 6 给定 $\delta \in [0, 1]$ ，相比于无绿色信贷情形，

- 1) 当 $(y_0, K_0) \in \Omega_1$ 时， $\Delta_e^{FB} = \Delta_e^{FM}$ ； $\Delta_{ce}^{FB} = \Delta_{ce}^{FM}$ ；

2) 当 $(y_0, K_0) \in \Omega_2$ 时, $\Delta_e^{FB} > \Delta_e^{FM}$, $\Delta_{ce}^{FB} > \Delta_{ce}^{FM}$;

3) $\Delta_{ce}^{Fj} > 0$ 成立当且仅当条件 $\theta > \hat{\theta}^{Fj}(y_0) \triangleq \frac{\ln(z^{Fj*} + \beta s^{Fj*}) - \ln(z^{NN*} + \beta s^{NN*})}{s^{Fj*} - s^{NN*}}$ 成立, $j = B, M$.

命题 6 说明如果企业的抵/质押资产足以抵偿债务, 面向银行贴息和面向企业贴息会产生相同的经济价值和环境价值, 因此政府无需关注贴息对象的选择。然而, 当企业进行风险借贷时, 无论从经济还是环境角度, 政府应优先贴息银行。一方面, 在完全竞争的金融市场, 企业的融资能力强, 倾向于采取“冒进”的生产和减排投资行为, 使得产出和减排努力均超出融资系统最优水平, 即

$$z^{FM*} > z^{FB*} > \bar{F}^{-1}\left(\frac{c(1+\alpha)}{p}\right) \text{ 和 } s^{FM*} = s^{FB*} > \bar{F}^{-1}\left(\frac{c(1+\alpha)}{p}\right).$$

特别地, 相比贴息银行, 对存在违约风险的企业贴息会助推企业采取更加激进的方式扩大产出, 削弱了融资系统整体效益, 从而降低了绿色信贷的经济价值。另一方面, 注意到两种贴息激励下, 企业会付出相同的努力水平, 贴息企业造就的高产出也衍生了高碳排放量, 相应的环境价值也较低。

相比于基准情形, 绿色信贷能否有效促进碳减排(即 $\Delta_{ce}^{ij} > 0$) 依赖于企业的减排技术水平。命题 6 的 3) 说明向技术先进、减排能力强的企业提供绿色信贷可以降低其碳排放量。但是, 向技术落后、减排能力弱的企业提供绿色信贷, 反而会增加企业的碳排放量。 $\hat{\theta}^{Fj}(y_0)$ 表示在完全竞争的金融市场中, 贴息 j 方式下产出增量与减排努力增量的比率, 反映了企业能够实现碳减排所需的最低技术水平要求。该值越低, 说明碳排放强度下降带来的减排效应越有可能强于产出扩张带来的规模效应, 从而企业越有可能实现碳减排。进一步, 容易发现 $\hat{\theta}^{FB}(y_0) < \hat{\theta}^{FM}(y_0)$, 说明相比贴息企业, 贴息银行更有可能实现碳减排。

根据命题 5, 在垄断的金融市场中对比两种贴息政策, 有以下结论。

命题 7 当企业进行无风险借贷时, 给定 $\delta \in [0, 1)$, 相比于无绿色信贷情形, 有 $\Delta_e^{MB} = \Delta_e^{MM}$, $\Delta_{ce}^{MB} = \Delta_{ce}^{MM}$ 。

结合命题 6 和命题 7, 无论银行处于完全竞争的金融市场还是垄断的金融市场, 当企业进行

无风险借贷时, 贴息银行和贴息企业会产生相同的经济—环境价值。然而, 当企业进行风险借贷时, 金融市场的异质性会影响两种贴息激励的比较结果。在完全竞争的金融市场中, 贴息银行在经济和环境两个维度均优于贴息企业。在垄断的金融市场中, 由于表达式的复杂性, 很难解析比较两种激励政策。大量的数值分析一致地显示: 风险借贷情形下, 贴息企业在经济和环境两个维度均优于贴息银行。原因在于, 在垄断的金融市场中, 银行进行垄断定价, 削弱了企业的融资能力, 使得两种贴息激励下的产出和减排努力均低于系统最优水平 $\bar{F}^{-1}\left(\frac{c(1+\alpha)}{p}\right)$ 和 $\frac{\beta}{k}\left(\frac{p}{1+\alpha} - c\right)$ 。此时, 增加企业产出或减排努力均能增加融资系统的经济效益。由于贴息企业相比贴息银行更能助推企业扩大产出和增加减排努力, 因此贴息企业产生更高的经济效益。同时, 本研究发现 $\hat{\theta}^{MM}(y_0) < \hat{\theta}^{MB}(y_0)$, 说明贴息企业更有可能实现碳减排。

图 3 展示了风险借贷情形下, 绿色信贷的经济价值和环境价值的区域分布。整体来看, 两种金融市场环境中, 贴息银行和贴息企业均能产生正向的经济价值, 即 $\Delta_e^{ij} > 0$, 但未必能实现碳减排。当银行处于完全竞争的金融市场时, 如图 3(a) 所示, 在区域 W^F , 贴息银行和贴息企业均能在提升融资系统经济效益的同时实现碳减排, 且贴息银行产生的经济—环境价值更多, 即有 $\Delta_e^{FB} > \Delta_e^{FM} > 0$, $\Delta_{ce}^{FB} > \Delta_{ce}^{FM} > 0$ 。在 $\hat{\theta}^{FB}(y_0)$ 和 $\hat{\theta}^{FM}(y_0)$ 所围成的区域, 贴息银行能够促进碳减排, 但贴息企业会导致更多的碳排放。在 $\hat{\theta}^{FB}(y_0)$ 下部的空白区域, 两种贴息激励均增加了碳排放, 因此在该区域, 两种贴息政策均不能实现经济价值和环境价值的双赢。

当银行处于垄断的金融市场时, 如图 3(b) 所示, 在区域 W^M , 虽然贴息银行和贴息企业均能产生正向的经济价值和环境价值, 但是贴息企业产生的经济—环境价值更多, 即 $\Delta_e^{MM} > \Delta_e^{MB} > 0$, $\Delta_{ce}^{MM} > \Delta_{ce}^{MB} > 0$ 。在中间区域, 贴息企业能够促进碳减排, 但贴息银行会引致更多的碳排放。在 $\hat{\theta}^{MM}(y_0)$ 下部的空白区域, 两种贴息政策均增加了碳排放, 从而不能实现经济价值和环境价值的双赢。

随着 K_0 增加, 两图中的深色区域不断缩小。这意味着不管是在完全竞争的金融市场, 还是在垄断的金融市场, 贴息银行与贴息企业产生的经

济-环境价值趋于一致。特别地,当 $\bar{\theta}^M(y_0) = \bar{\theta}^B(y_0)$,即 F/M 时,两图中的深色区域消失。此

时,企业进行无风险借贷,且贴息企业和贴息银行会产生相同的经济-环境价值。

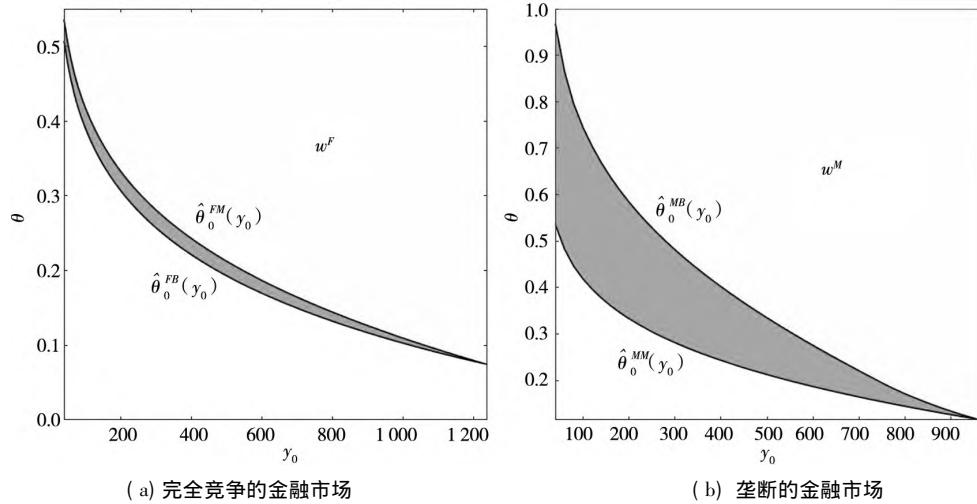


图3 不同金融市场环境下自有资金和减排技术水平对绿色信贷价值的影响

Fig. 3 Impact of the initial capital level and emission abatement technology on the value of green credit

6 数值模拟

本节通过一系列数值算例,分析关键参数对绿色信贷的经济-环境价值的影响。基准参数设置: $p = 10$, $\rho = 3$, $\beta = 10$, $k = 9$, $\alpha = 5\%$, $y_0 = 500$, X 服从均值为500的指数分布。在每个数值算例中,为了检验数值分析结果的稳健性,指数分布被替换为均匀分布、对数正态分布、威布尔分布等。数值结果一致地支持了理论分析结论。

6.1 贴息系数 δ 的影响

图4反映了贴息系数对激励政策选择的影

响。本部分 δ 以步长0.02从0增加到1,其他关键参数设置如下: $K_0 = 300$, $\rho = 0.6$ 。给定这些参数,企业总是进行风险借贷,且绿色信贷能够激励企业降低碳排放。从图4可以看出,当银行处于完全竞争的金融市场时, $\Delta_e^{FB}/\Delta_e^{FM} > 1$, $\Delta_{ce}^{FB}/\Delta_{ce}^{FM} > 1$,且二者关于 δ 递增,表明贴息银行在经济-环境价值方面总是优于贴息企业,且增加贴息系数可以进一步放大贴息银行激励的优势。但是,当银行处于垄断的金融市场时, $\Delta_e^{MB}/\Delta_e^{MM} < 1$, $\Delta_{ce}^{MB}/\Delta_{ce}^{MM} < 1$,说明贴息企业激励在经济-环境价值方面总是优于贴息银行激励。通过调整 y_0 和 K_0 的值,该结论仍然成立。

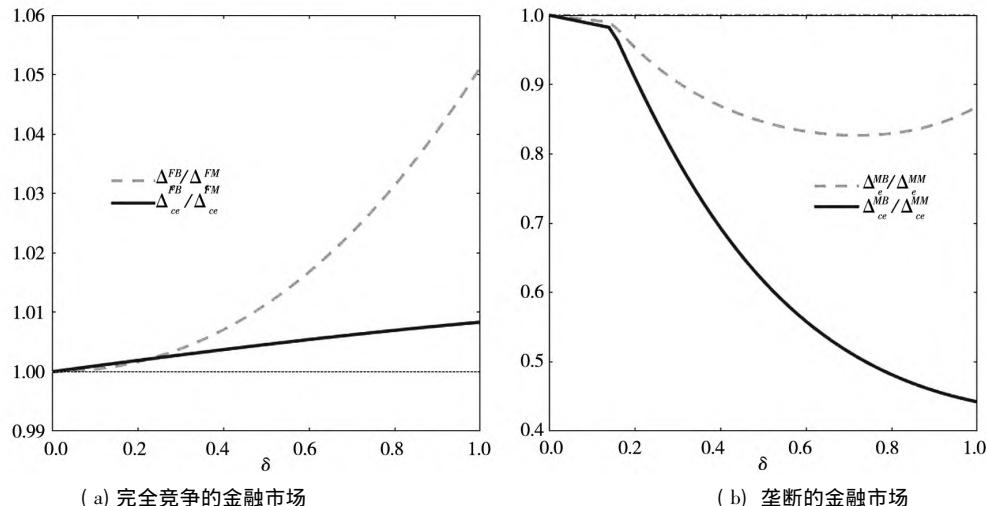


图4 贴息系数对绿色信贷的经济-环境价值的影响

Fig. 4 Impact of subsidy coefficient on the economic-environmental values of green credit

6.2 碳资产 K_0 的影响

图 5 展示了企业的碳资产水平对绿色信贷效果的影响。该算例中 $\delta = 0.3$, $\beta = 0.6$, 其他参数与图 4 一致。可以发现: 在完全竞争(垄断) 的金融市场, 当 K_0 小于临界值 1 030(960) 时, 企业进行风险借贷, 此时企业拥有的碳资产越少, 两种贴

息机制在经济 - 环境价值方面的差距越大, 且贴息银行(企业) 优于贴息企业(银行)。当 K_0 超过临界值 1 030(960) 时, 企业进行无风险借贷, 两种贴息激励产生相同的经济 - 环境价值。企业资金水平 y_0 的影响与碳资产 K_0 的影响类似, 故省略 y_0 的影响效果。

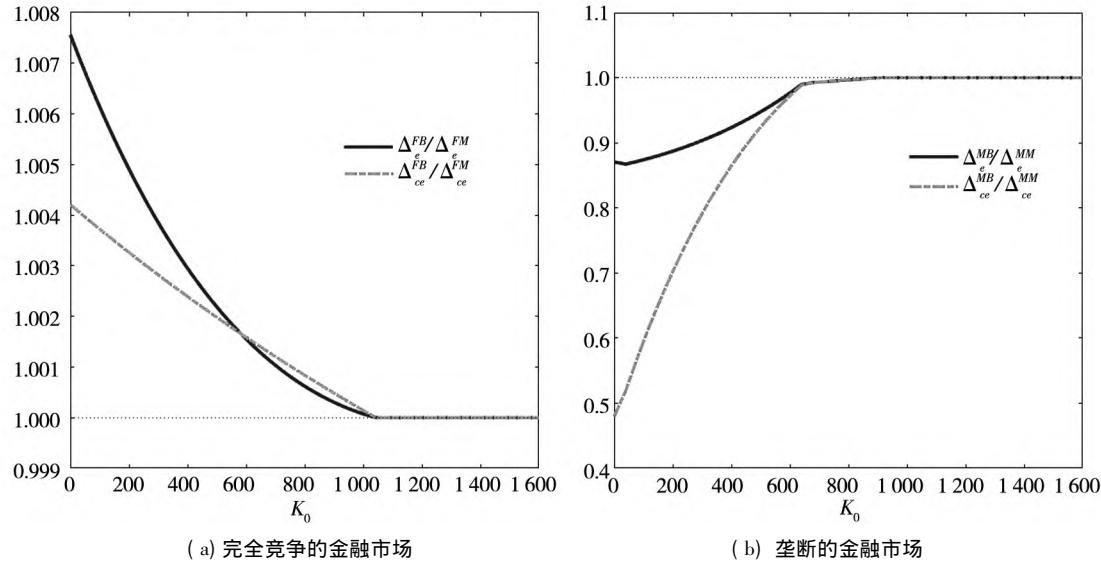


图 5 碳资产对绿色信贷经济 - 环境价值的影响

Fig. 5 Impact of carbon asset on the economic-environmental value of green credit

7 进一步讨论

7.1 限定资金用途的绿色信贷情形

在基准模型中, 企业以碳排放权抵 / 质押名义申请的贷款可用于一般用途。本部分进一步探讨碳排放权抵 / 质押贷款仅用于减排投资情形, 即减排贷款专款专用问题。假设企业使用一般贷款满足生产性融资需求, 对应的贷款利率为 r , 而使用碳排放权抵 / 质押贷款满足减排投资需求, 贷款利率为 φr ($0 < \varphi < 1$)。下面仅以 FB 模型为例, 探讨减排资金专款专用原则对最优决策的影响。

记 $L_1(z) = cz - y_0$ 为生产性融资规模, $L_2(s) = c\beta s + ks^2/2$ 为减排融资规模, 以及 $\hat{A}(z, s, r) = L_1(z)(1+r) + L_2(s)(1+\varphi r)$ 为企业的负债。银行的定价公式为

$$E\{\min[R(X, z, s) + K_0 \hat{A}(z, s, r)]\} = L_1(z)(1+\alpha) + L_2(s)(1+\alpha-\delta\alpha) \quad (16)$$

式(16)中, 政府只对减排贷款部分的资金成本进行贴息。记 (z^{FB*}, s^{FB*}) 为企业的最优决策。

类似于基准模型的求解方法, 可得 $\hat{z}^{FB*} = \bar{F}^{-1}\left(\frac{c(1+\alpha)}{p}\right) < z^{FB*}$, $\hat{s}^{FB*} = s^{FB*}$, 以及 $\hat{\pi}^{FB*} < \pi^{FB*}$ 。这说明相对于资金混用做法, 减排资金专款专用会降低企业产出和预期收益。此外, 本研究还拓展了 FM 模型、 MB 模型以及 MM 模型, 发现限定减排资金用途对企业产出和利润的负面影响依然存在, 但有助于提升企业减排投资水平、降低碳排放量。总而言之, 限定减排资金用途对企业经济效益不利, 但对促进碳减排有利。

7.2 贴息限额情形

实践中, 部分地方政府在提供贴息激励时, 会限制贴息额度上限, 如《厦门市促进绿色金融发展若干措施》中指明单个企业贴息金额每年不超过 30 万元。为此, 本部分进一步探讨贴息限额(记为 T_0) 对不同情境下的最优决策及贴息激励差异的影响。由于篇幅所限, 本部分仅列出完全竞争金融市场环境下向银行贴息(即 FB 模型) 的问题延伸及主要结论。

当存在贴息限额 T_0 时, 企业的最优决策问题可拓展如下:

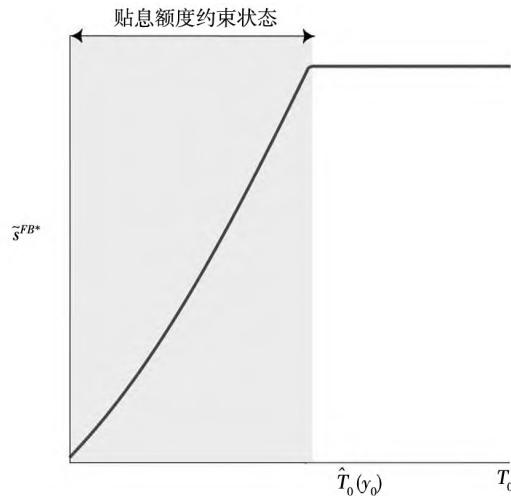
$$\begin{aligned} & \max_{z, s} \frac{\mathbb{E}[R(z, s)] - L(z, s)(1 + \alpha - \delta\alpha) - y_0}{\hat{\pi}^{FB}(z, s)} \\ \text{s. t. } & L(z, s)\delta\alpha \leq T_0 \end{aligned} \quad (17)$$

记 $(\tilde{z}^{FB*}, \tilde{s}^{FB*})$ 为上述问题的最优解。通过构造拉格朗日函数并利用 KKT 条件可得, 当 $T_0 \geq [c(z^{FB*} + \beta s^{FB*}) + k(s^{FB*})^2/2 - y_0]\delta\alpha \triangleq \hat{T}_0(y_0)$ 时, 约束条件式(17)是松弛的, 使得上述最优化问题回归到基准模型, 对应的最优决策见命题 2。

接下来, 只需关注贴息限额对最优决策有实质性影响的情形, 即当 $T_0 < \hat{T}_0(y_0)$ 时的情形。可以得出, 该情形下的最优决策 $(\tilde{z}^{FB*}, \tilde{s}^{FB*})$ 由下式唯一决定

$$\begin{cases} c(z + \beta s) + ks^2/2 = y_0 + T_0/\delta\alpha \\ s = \frac{\beta c F(z)}{k F'(z)} \end{cases} \quad (18)$$

类似于命题 1, 可以证明 $(\tilde{z}^{FB*}, \tilde{s}^{FB*})$ 关于 T_0 递增, 且当 T_0 超过 $\hat{T}_0(y_0)$ 时, 最优决策等于无贴息额度约束下的最优值。由此, 对于任意的 $T_0 > 0$ 及 $y_0 < y_0^N$, 容易得到 $\tilde{z}^{FB*} > z^{NN*}$ 和 $\tilde{s}^{FB*} > s^{NN*}$, 说明即便存在贴息限额, 绿色信贷依然能够激励企



(a) 贴息限额 T_0 对最优决策 s^{FB*} 的影响

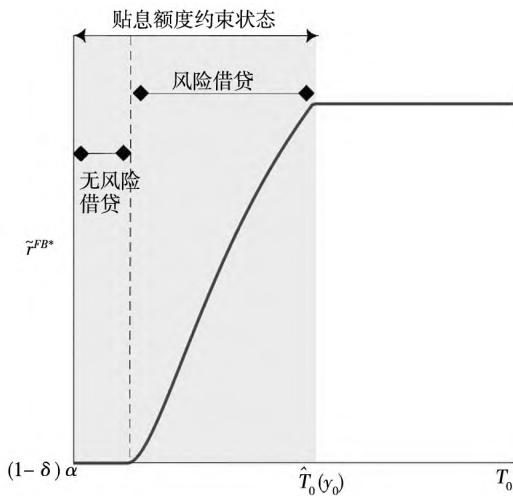
业扩大生产和增加碳减排投资。对应地, 贷款利率 (记为 \tilde{r}^{FB*}) 决策如下

$$\tilde{r}^{FB*} = \begin{cases} (1 - \delta)\alpha K_0 > \tilde{K}_0^F(y_0, T_0) \\ p \int_0^{\tilde{d}^{FB*}} F(x) dx \\ (1 - \delta)\alpha + \frac{p \int_0^{\tilde{d}^{FB*}} F(x) dx}{\tilde{L}^{FB*}} K_0 \leq \tilde{K}_0^F(y_0, T_0) \end{cases}$$

式中 $\tilde{K}_0^F(y_0, T_0) \triangleq T_0(1 + \alpha - \delta\alpha)/\delta\alpha - p\beta\tilde{s}^{FB*}$, $\tilde{L}^{FB*} \triangleq L(\tilde{z}^{FB*}, \tilde{s}^{FB*})$ 以及 \tilde{d}^{FB*} 由下式决定

$$p \int_0^{\tilde{d}^{FB*}} F(x) dx + K_0 = \tilde{K}_0^F(y_0, T_0)$$

图 6 显示了贴息额度上限对最优决策的影响。考虑到 T_0 对 \tilde{z}^{FB*} 和 \tilde{s}^{FB*} 的影响相同, 因此图 6 仅展示了 T_0 对 \tilde{s}^{FB*} 和 \tilde{r}^{FB*} 的影响。可以看出政府通过缩小贴息上限来压缩企业的产出和减排投资水平, 导致贷款规模缩减, 从而企业的违约风险和贷款利率降低。特别地, 如图 6(b) 所示, 当贴息上限 T_0 足够小时, 即 $T_0 < \frac{(p\beta\tilde{s}^{FB*} + K_0)\delta\alpha}{1 + \alpha - \delta\alpha}$, 企业可以进行无违约风险借贷, 使得 $\tilde{r}^{FB*} = (1 - \delta)\alpha$ 。



(b) 贴息限额 T_0 对最优决策 r^{FB*} 的影响

Fig. 6 Impact of interest subsidy limit on the optimal decisions

对比无贴息限额约束状态下的贷款定价决策 (见命题 2), 可以发现贴息限额会约束企业的生产和减排投资决策, 但不会影响企业的风险结构。在贴息限额约束情形下, 企业依然可能进行无风

险借贷和风险借贷。但与无贴息限额约束情形的区别在于, 贴息限额约束下, 图 1 中的无差异曲线 $\tilde{K}_0^F(y_0)$ 会下移到 $\tilde{K}_0^F(y_0, T_0)$ 。注意到 $\tilde{K}_0^F(y_0, T_0)$ 关于 T_0 递减, 因此无风险借贷区域随着 T_0 降低

而增大。这说明政府可以通过缩减贴息额度，增大企业进行无风险借贷的可能性。在前文的分析中，本研究提及增加企业的自有资产有助于降低企业的违约风险和贷款利率，本部分发现缩减贴息额度可以起到类似的约束风险的作用。

最后，本研究将贴息限额约束引入到 *FM* 模型、*MB* 模型以及 *MM* 模型，并使用类似的求解过程，发现结果与 *FB* 模型一致，本部分不再赘述。

7.3 信息不对称情形

鉴于目前监管技术和工具的限制，银行在授信过程中可能无法完全掌握企业的减排投资信息。为此，本部分进一步探讨企业减排投资成本不对称时的决策情形。假设银行对企业投资成本的信念为：减排投资成本系数是低类型 k_L 的概率为 φ ($0 \leq \varphi \leq 1$)，是高类型 k_H 的概率为 $1 - \varphi$ 。银行为企业提供菜单式贷款利率，即针对 i 类型的企业提供贷款利率 r_i , $i = L, H$ 。注意到在完全竞争金融市场环境下，企业在博弈中处于领先地位，进行优先决策，银行可以根据企业的决策判定企业的类型。因此，本部分只考虑垄断金融市场环境下的信息不对称问题。

在完全信息情况时，企业的减排投资成本越低，其盈利能力越强，导致银行通过垄断定价提供较高的贷款利率。在信息不对称情况下，低成本类型的企业有动机模仿高成本类型的企业，以此获得较低的贷款利率，进而获得高于真实报告其成

本信息时的利润。接下来以 *MB* 模型中的无风险借贷为例，探讨银行通过激励相容契约设计，引导企业提供真实的成本信息。银行的最优化问题如下

$$\begin{aligned} \max_{(r_L, r_H)} \Pi^{AMB} &= \varphi \Pi^{MB}(r_L) + (1 - \varphi) \Pi^{MB}(r_H) \\ &\left\{ \begin{array}{l} \pi_i^{MB}(z_{ii}^{MB}, s_{ii}^{MB}) \geq 0, i = L, H \\ \pi_L^{MB}(z_{LL}^{MB}, s_{LL}^{MB}) \geq \pi_L^{MB}(z_{LH}^{MB}, s_{LH}^{MB}) \\ \pi_H^{MB}(z_{HH}^{MB}, s_{HH}^{MB}) \geq \pi_H^{MB}(z_{HL}^{MB}, s_{HL}^{MB}) \end{array} \right. \quad (19) \end{aligned}$$

其中 $(z_{LH}^{MB}, s_{LH}^{MB})$ 表示低类型的企业模仿高类型企业时的反应函数， $(z_{HL}^{MB}, s_{HL}^{MB})$ 则反之。第一个不等式表示企业的个体理性约束，旨在保证 i 类型的企业接受契约；第二个和第三个不等式表示激励相容约束，旨在保证企业报告真实的类型信息。

由于表达式的复杂性，很难给出最优契约 (r_L^{AMB*}, r_H^{AMB*}) 的解析解。本部分借助数值算例检验信息不对称对企业减排努力决策的影响（注：产出和利润的影响结果与减排努力的影响结果类似）。如图 7 所示， s_L^{AMB*} 和 s_H^{AMB*} 分别表示信息不对称情形下低成本企业和高成本企业的最优减排努力决策。相应地， s_L^{MB*} 和 s_H^{MB*} 为信息对称情形下的最优减排努力决策。可以看出： $s_L^{AMB*} > s_L^{MB*}$ 和 $s_H^{AMB*} < s_H^{MB*}$ 。这说明信息不对称会使两种类型的企业均产生决策偏离。对于低成本型企业，其可利用信息不对称获得较低的贷款利率，从而通过增加减排努力获得更高的收益。相反，信息不对称会使高成本型企业承担更高的贷款成本，导致其降低减排努力而使收益受损。

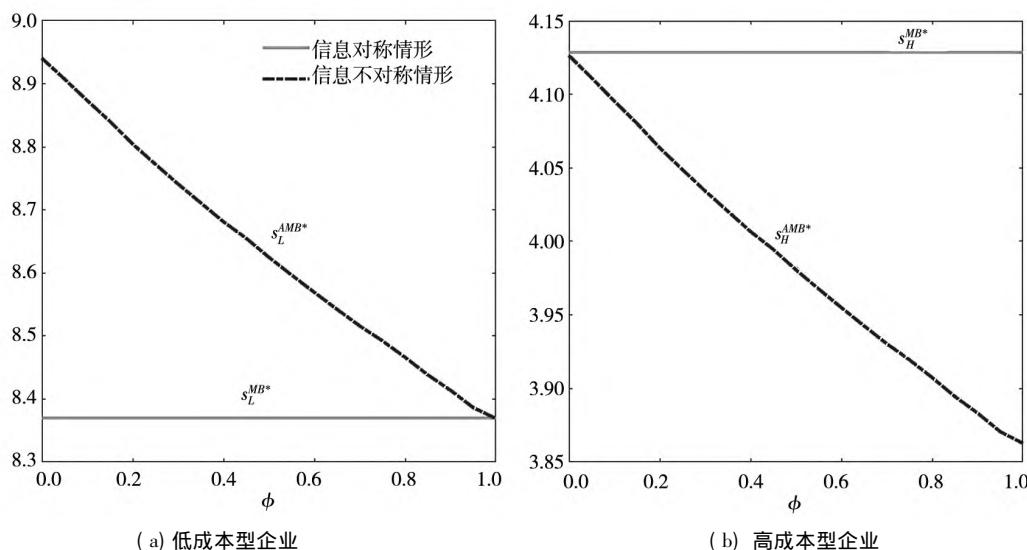


图 7 信息不对称对不同类型企业最优减排投资决策的影响

Fig. 7 Impact of information asymmetry on the optimal emission-reduction investment decisions across different types of firms

8 结束语

本研究基于企业在实施碳减排过程中面临的流动资金短缺的现实困境,构建了贴息激励下的绿色信贷模型。本研究发现企业的流动资金约束会同时抑制其生产性投资和减排投资需求,影响企业的预期收益。绿色信贷可以帮助企业缓解流动资金压力,从而提高生产性投资和减排投资并改善预期利润,但是绿色信贷能否有效促进碳减排依赖于企业自身的碳减排技术水平,对于碳减排技术水平低的企业给予信贷反而会增加企业的碳排放量。

进一步,本研究比较了面向银行贴息和面向企业贴息这两种场景下的最优决策、绿色信贷的经济-环境价值,揭示了贴息系数和企业自有资产对最优决策与激励政策选择的影响,给出了绿色信贷能够带来经济-环境价值双赢的参数区间。研究结果表明,在无违约风险的信贷中,面向企业贴息与面向银行贴息能够产生相同的经济-环境价值。在有违约风险的信贷中,当银行处于完全竞争的金融市场,银行贴息在提升融资系统经

济效益和促进企业碳减排方面均优于企业贴息。然而,当银行处于垄断的金融市场,结论恰好相反。从现有结论中本研究得到如下启示:碳配额资产起到缓释企业违约风险的作用,政府有必要进一步加强环境权益类融资工具的创新力度;在实施贴息激励时,政府应该关注企业当前的减排技术水平,应该将资金优先配置到减排技术水平高、潜力大的行业或企业;在贴息对象选择方面,政府需要关注借款企业的风险状态及在借贷关系中的议价能力。

本研究从运营视角出发,将减排贷款、贴息激励及碳排放权抵押纳入到企业生产减排决策模型中,弥补了以往研究单纯考虑碳减排政策对企业减排的驱动力而未考虑企业减排的金融驱动力。虽然本研究通过放松模型假设条件对模型进行了拓展,发现结论整体稳健,但仍存在考虑因素不充分的缺陷。例如,本研究关注碳排放权的金融属性而非对环境监管的约束价值,因此本研究假设企业将拥有的全部碳配额用于质押融资。未来可探索碳排放权的融资和环境监管的双重属性,研究绿色金融与碳限额-交易政策的叠加效应。

参 考 文 献:

- [1]Blanco C C. A classification of carbon abatement opportunities of global firms [J]. Manufacturing & Service Operations Management ,2022 ,24(5) : 2648 – 2665.
- [2]De Haas R ,Martin R ,Muñls M ,et al. Managerial and financial barriers to the green transition [J]. Management Science. 2025 ,71(4) : 2890 – 2921.
- [3]Drake D F ,Kleindorfer P R ,Van Wassenhove L N. Technology choice and capacity portfolios under emissions regulation [J]. Production and Operations Management ,2016 ,25(6) : 1006 – 1025.
- [4]柏庆国,徐健腾. 碳政策下分布式鲁棒优化模型的生产与减排策略[J]. 系统工程理论与实践,2016 ,36(7) : 1696 – 1709.
Bai Qingguo ,Xu Jianteng. Joint production and emission reduction decisions for the distributionally robust optimization problem under carbon regulations [J]. Systems Engineering – Theory & Practice ,2016 ,36(7) : 1696 – 1709. (in Chinese)
- [5]Anand K S ,Giraud-Carrier F C. Pollution regulation of competitive markets [J]. Management Science ,2020 ,66(9) : 4193 – 4206.
- [6]Fan X ,Chen K ,Chen Y J. Is price commitment a better solution to control carbon emissions and promote technology investment? [J]. Management Science ,2023 ,69(1) : 325 – 341.
- [7]谢家平,魏礼红,张为四,等. 风电与火电的竞争性上网定价优化—碳约束政策的影响研究 [J]. 管理科学学报 ,2022 ,25(6) : 100 – 126.
Xie Jiaping ,Wei Lihong ,Zhang Weisi ,et al. Optimization of pricing strategies for competitive grid-connected wind power and thermal power: The impact of carbon constraint policies [J]. Journal of Management Sciences in China ,2022 ,25(6) : 100 – 126. (in Chinese)
- [8]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)
- [9] 宋 鹏 , 黄婉婷 , 毛显强 , 等. 协同碳减排与非化石能源发展目标的政策效应: 征税与补贴 [J]. 管理科学学报 , 2025 , 28(5) : 174 – 190.
- Song Peng , Huang Wanting , Mao Xianqiang , et al. Policy effect evaluation of coordinated carbon reduction and non-fossil energy development goals: Tax and subsidy [J]. Journal of Management Sciences in China , 2025 , 28(5) : 174 – 190. (in Chinese)
- [10] Han Z , Hu B , Dawande M. Curbing emissions: Environmental regulations and product offerings across markets [J]. Manufacturing & Service Operations Management , 2022 , 24(6) : 3236 – 3251.
- [11] Zhang Q , Wong C W Y , Klassen R. Carbon neutrality: Operations management research opportunities [J]. Journal of Operations Management , 2024 , 70(3) : 344 – 354.
- [12] 石 平 , 韩 坤 , 后 锐. 碳交易机制下基于互惠的供应链广告合作与减排成本分担契约 [J]. 管理科学学报 , 2024 , 27(12) : 57 – 81.
- Shi Ping , Han Kun , Hou Rui. Co-op advertising and carbon emission reduction cost-sharing contracts in coordinating supply chain with reciprocal behavior under cap-and-trade regulation [J]. Journal of Management Sciences in China , 2024 , 27 (12) : 57 – 81. (in Chinese)
- [13] 陈诗一 , 张建鹏 , 刘朝良. 环境规制 融资约束与企业污染减排——来自排污费标准调整的证据 [J]. 金融研究 , 2021 , (9) : 51 – 71.
- Chen Shiyi , Zhang Jianpeng , Liu Chaoliang. Environmental regulation , financing constraints and enterprise emission reduction: Evidence from pollution levy standards adjustment [J]. Journal of Financial Research , 2021 , (9) : 51 – 71. (in Chinese)
- [14] 陈国进 , 丁赛杰 , 赵向琴 , 等. 中国绿色金融政策 融资成本与企业绿色转型——基于央行担保品政策视角 [J]. 金融研究 , 2021 , (12) : 75 – 95.
- Chen Guojin , Ding Sajie , Zhao Xiangqin , et al. Chinese green finance policy , financing costs and firms' green transitions: A central bank collateral framework perspective [J]. Journal of Financial Research , 2021 , (12) : 75 – 95. (in Chinese)
- [15] 钟覃琳 , 夏晓雪 , 姜付秀. 绿色信贷能激励企业环境责任的承担吗? [J]. 管理科学学报 , 2023 , 26(3) : 93 – 111.
- Zhong Qinlin , Xia Xiaoxue , Jiang Fuxiu. Can green credit facilitate corporate environmental CSR performance? [J]. Journal of Management Sciences in China , 2023 , 26(3) : 93 – 111. (in Chinese)
- [16] Zhang K , Li Y , Qi Y , et al. Can green credit policy improve environmental quality? Evidence from China [J]. Journal of Environmental Management , 2021 , 298: 113445.
- [17] Cao E , Yu M. The bright side of carbon emission permits on supply chain financing and performance [J]. Omega , 2019 , 88: 24 – 39.
- [18] Wu D D , Yang L , Olson D L. Green supply chain management under capital constraint [J]. International Journal of Production Economics , 2019 , 215: 3 – 10.
- [19] An S , Li B , Song D , et al. Green credit financing versus trade credit financing in a supply chain with carbon emission limits [J]. European Journal of Operational Research , 2021 , 292(1) : 125 – 142.
- [20] Fang L , Xu S. Financing equilibrium in a green supply chain with capital constraint [J]. Computers & Industrial Engineering , 2020 , 143: 106390.
- [21] Huang S , Fan Z P , Wang N. Green subsidy modes and pricing strategy in a capital-constrained supply chain [J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review , 2020 , 136: 101885.
- [22] Qin J , Han Y , Wei G , et al. The value of advance payment financing to carbon emission reduction and production in a supply chain with game theory analysis [J]. International Journal of Production Research , 2020 , 58(1) : 200 – 219.
- [23] Lai Z , Lou G , Zhang T , et al. Financing and coordination strategies for a manufacturer with limited operating and green innovation capital: Bank credit financing versus supplier green investment [J]. Annals of Operations Research , 2021 , 331: 85 – 119.
- [24] 周永圣 , 梁淑慧 , 刘淑芹 , 等. 绿色信贷视角下建立绿色供应链的博弈研究 [J]. 管理科学学报 , 2017 , 20(12) : 87 – 98.
- Zhou Yongsheng , Liang Shuhui , Liu Shuqin , et al. The game study of establishing green supply chain from the perspective of green credit [J]. Journal of Management Sciences in China , 2017 20(12) : 87 – 98. (in Chinese)
- [25] Jin W , Ding W , Yang J. Impact of financial incentives on green manufacturing: Loan guarantee vs. interest subsidy [J].

- European Journal of Operational Research ,2022 ,300(3) : 1067 – 1080.
- [26] 李鑫,于辉. 零售商运营视角下投贷联动最优投资结构模型 [J]. 中国管理科学 ,2020 ,28(4) : 73 – 85.
Li Xin ,Yu Hui. Optimal investment structure model on investment linkage from the perspective of retailer operation [J]. Chinese Journal of Management Science ,2020 ,28(4) : 73 – 85. (in Chinese)
- [27] Shi J ,Liu D ,Du Q ,et al. The role of the procurement commitment contract in a low-carbon supply chain with a capital-constrained supplier [J]. International Journal of Production Economics ,2023 ,255: 108681.
- [28] 王文利,甄烨,张钦红. 面向资金约束供应商的供应链内部融资——股权还是债权? [J]. 管理科学学报 ,2020 ,23(5) : 89 – 101.
Wang Wenli ,Zhen Ye ,Zhang Qinzhong. Supply chain internal financing for capital-constrained suppliers: Equity financing vs. debt financing [J]. Journal of Management Sciences in China ,2020 ,23(5) : 89 – 101. (in Chinese)
- [1] 黄佳舟,鲁其辉,陈祥锋. 供应商融资中买方担保机制的价值影响研究 [J]. 管理科学学报 ,2020 ,23(7) : 99 – 115.
Huang Jiazhou ,Lu Qihui ,Chen Xiangfeng. The impact of buyer guarantee mechanism on financing suppliers program [J]. Journal of Management Sciences in China ,2020 ,23(7) : 99 – 115. (in Chinese)
- [29] Du S ,Hu L ,Wang L. Low-carbon supply policies and supply chain performance with carbon concerned demand [J]. Annals of Operations Research ,2017 ,255(1) : 569 – 590.
- [30] Kouvelis P ,Xu F. A supply chain theory of factoring and reverse factoring [J]. Management science . 2021 ,67(10) : 6071 – 6088.
- [31] Alan Y ,Gaur V. Operational investment and capital structure under asset-based lending [J]. Manufacturing & Service Operations Management ,2018 ,20(4) : 637 – 654.

Green credit pricing and corporate carbon emission reduction: Impact and economic-environmental values of different interest subsidy incentives

JIN Wei¹ ,ZHANG Qin-hong^{2,4} ,ZHU Qing-hua^{3,4*} ,WANG Cheng-fu⁵

1. School of Finance ,Zhejiang University of Finance and Economics ,Hangzhou 310018 ,China;
2. Sino-US Global Logistics Institute ,Shanghai Jiao Tong University ,Shanghai 200030 ,China;
3. Antai College of Economics and Management ,Shanghai Jiao Tong University ,Shanghai 200030 ,China;
4. Data-Driven Management Decision Making Lab ,Shanghai Jiao Tong University ,Shanghai 200030 ,China;
5. School of Business ,Nantong University ,Nantong 226019 ,China

Abstract: Interest subsidies to banks and enterprises are two types of green financial incentives supported by the government to aid enterprises in their low-carbon transition. This paper investigates green loan pricing decisions of a bank in perfectly competitive and monopolistic financial markets ,as well as the production and carbon emission reduction decisions of a capital-constrained enterprise. Then ,this paper compares the economic-environmental values contributed by green credit under two incentive policies. The research finds that: 1) The enterprise's emission-reduction technology level ,initial capital size ,and carbon asset jointly affect the economic-environmental values of green credit. Moreover ,there exist parameter regions in which green credit results in positive economic and environmental values; 2) When the enterprise borrows without default risk ,the two interest subsidies are equivalent from economic and environmental perspectives; 3) When the enterprise borrows with default risk and the bank is in a perfectly competitive financial market ,subsidizing the bank is superior to subsidizing the borrower from both economic and environmental perspectives; the converse holds when the bank is in a monopolistic financial market.

Key words: low carbon operations; capital constraints; green credit; interest subsidy incentive; economic-environmental values