

双重资金约束下考虑碳配额交易的供应链融资决策

李丽君, 杨春雨, 程富

(东北大学 工商管理学院, 辽宁 沈阳 110169)

摘 要: 构建由生产和减排双重资金约束的制造商和零售商组成的低碳供应链系统, 针对银行借贷和提前支付两种融资模式, 探究碳配额交易下制造商的融资决策问题, 并分析了碳减排成本系数和碳交易价格对融资决策和供应链成员利润的影响. 研究发现: 当提前支付利率等于银行借贷利率时, 无论是否考虑碳配额交易, 提前支付融资总会给制造商带来较大利润, 因此, 提前支付是制造商的最优融资选择. 当融资利率不等时, 制造商融资方式会受到碳配额交易和碳减排成本系数的影响. 碳减排成本系数增大时, 融资规模、供应链成员利润均降低, 而碳交易价格提高时, 融资规模、制造商利润均增加. 另外, 碳配额交易会增加制造商利润, 但会损害零售商利润.

关键词: 双重资金约束; 银行借贷; 提前支付; 碳配额交易; 融资决策

中图分类号: F 272.3 文献标志码: A 文章编号: 1005-3026(2024)02-0289-07

Supply Chain Financing Decision Considering Carbon Cap-and-Trade Under Double Capital Constraints

LI Li-jun, YANG Chun-yu, CHENG Fu

(School of Business Administration, Northeastern University, Shenyang 110169, China. Corresponding author: LI Li-jun, E-mail: ljli@mail.neu.edu.cn)

Abstract: A low-carbon supply chain system composed of manufacturers and retailers with both production and emission reduction financing constraints was built. Aiming at bank loaning and prepayment, manufacturers' financing decision under carbon cap-and-trade was explored, and the effect of carbon abatement cost coefficient and carbon trading price on supply chain members' financing decision and profit was analyzed. The results showed that when the prepayment interest rate is equal to the bank interest rate, whether carbon cap-and-trade is considered or not, prepayment will always bring greater profit to manufacturers. Therefore, prepayment is the best choice for manufacturers. When the financing rate is unequal, manufacturers' financing methods will be affected by carbon cap-and-trade and carbon abatement cost coefficient. When the carbon abatement cost coefficient increases, the financing scale and supply chain members' profit both decrease, while when the price of carbon increases, the financing scale and manufacturers' profit both increase. In addition, carbon cap-and-trade increases manufacturers' profit, but harms retailers' profit.

Key words: double capital constraint; bank loaning; prepayment; carbon cap-and-trade; financing decision

全球气候越来越暖, 环境污染对人类生活造成了严重威胁. 人们认识到保护环境和减少碳排放的重要性^[1]. 近些年来, “碳达峰”“碳中和”的提出使制造企业需要主动顺应绿色发展的潮流, 积极布局减少二氧化碳排放的生产战略. 然而,

在实际运作中, 减排技术的研发需要大量的资金, 这给企业带来巨大的资金压力.

为了解决企业资金短缺问题, 目前融资方式主要分两类: 内部融资和外部融资. 内部融资是指供应链内部成员企业之间进行融资的一种融

资方式^[2-3],外部融资是指向供应链外部的银行等金融机构贷款^[4-6],一些学者将两者进行了比较^[7-11],但是忽略了碳配额交易的影响.碳配额交易促使企业关注政府的减排约束,供应链减排成为学者们研究的热点,而已有的考虑碳配额交易对企业减排和定价决策影响的研究中较少考虑企业资金约束的情况^[12-16].一些学者在研究融资决策时,考虑了碳配额交易政策^[17-19],但大多考虑单一资金受约束的情况,未将生产和减排资金约束综合考虑.

本文在现有文献基础上重点研究碳减排成本系数和碳交易价格对企业融资决策的影响.主要贡献为:1)探究制造商面临生产及减排双重资金约束时的融资决策;2)分析碳配额交易的存在是否会影响制造商融资方式的选择;3)分析碳减排成本系数和碳交易价格对低碳供应链融资决策的影响.

1 问题描述与符号说明

1.1 问题描述

本文考虑由一个制造商和一个零售商组成的低碳供应链系统,制造商和零售商信息对称且都是理性决策者,制造商为领导者,零售商为跟随者.制造商生产低碳产品,会面临减排的压力进而造成生产成本和减排成本增加,因此,制造商会筹集资金来满足自身的生产和减排需要.除了选择银行借贷外,作为供应链的主导者,制造商也可以要求零售商向其提前支付一部分货款,即提前支付融资.两种融资方式下博弈的时间顺序为:首先制造商决策产品的批发价格和单位减排量,然后零售商决策产品的零售价格.另外,碳配额交易是指当企业碳排放量超过政府碳配额,可以购买额外的碳排放权;反之,多余的碳排放权可以售出获得收益^[20].碳配额交易的存在会影响制造商的减排水平,进而影响制造商的生产及减排融资金额,导致低碳供应链的融资决策也会有不同.因此,本文探究制造商双重资金约束下的融资决策以及碳配额交易对融资决策的影响.

1.2 符号说明

低碳产品的市场需求为^[21]: $q=d-\lambda p+\alpha\theta$,其中 $\lambda\geq 0$, $\alpha\geq 0$.当制造商生产低碳产品时,总成本包括两部分:一部分是生产成本 cq ,另一部分是减排成本^[22],表示为 $k\theta^2/2$,则制造商的融资规模 L 为生产和减排所需要的资金减去自有资金额 B ,即 $L=cq+k\theta^2/2-B$.碳配额交易可以促进制造

商对产品减排的积极性,则制造商的减排剩余量 $T=G-(\theta_0-\theta)q$,其中 $\theta<\theta_0$,在碳交易市场的交易额为 μT .文中相关参数符号的解释如表1所示.

表1 符号说明
Table 1 Symbol instructions

符号	说明
d	基本市场需求
λ	价格敏感系数
α	消费者的低碳偏好
k	碳减排成本系数
θ	单位减排量
θ_0	单位初始碳排量
G	政府碳配额
μ	碳交易价格
c	制造商的单位生产成本
p	销售价格
w	批发价格
r	提前支付利率
r_b	银行借贷利率
π_i^j	供应链成员的利润

$\pi_i^j(i=M,R;j=1,2)$ 表示制造商采取 j 融资模式下供应链成员 i 的利润,其中 $i=M,R$ 分别表示制造商和零售商, $j=1,2$ 分别表示银行借贷和提前支付融资方式.

2 双重资金约束下不考虑碳配额交易的融资决策分析

2.1 银行借贷融资

制造商由于生产和减排资金约束向银行贷款来满足资金需要,其贷款金额为 L ,银行借贷下制造商和零售商的利润函数分别为

$$\pi_M^1=(w-c)q-\frac{1}{2}k\theta^2-(cq+\frac{1}{2}k\theta^2-B)r_b, \quad (1)$$

$$\pi_R^1=(p-w)q. \quad (2)$$

命题1 银行借贷融资下,最优批发价格 $w^{1*}=\frac{(1+r_b)(-c\alpha^2+2dk+2c(1+r_b)k\lambda)}{-\alpha^2+4(1+r_b)k\lambda}$,最优单位减排量 $\theta^{1*}=\frac{\alpha(-d+c(1+r_b)\lambda)}{\alpha^2-4(1+r_b)k\lambda}$,最优零售价格 $p^{1*}=\frac{(1+r_b)(-c\alpha^2+3dk+c(1+r_b)k\lambda)}{-\alpha^2+4(1+r_b)k\lambda}$.

供应链成员的最优利润分别为

$$\pi_M^{1*}=Br_b+\frac{(1+r_b)k(d-c(1+r_b)\lambda)^2}{-2\alpha^2+8(1+r_b)k\lambda},$$

$$\pi_R^{1*}=\frac{(1+r_b)^2k^2\lambda(d-c(1+r_b)\lambda)^2}{(\alpha^2-4(1+r_b)k\lambda)^2}.$$

2.2 提前支付融资

提前支付融资方式下,在生产前制造商与零售商确定融资额 L ,生产实现后,制造商交付 $(1+r)L/w$ 单位产品给零售商;零售商再以相同批发价采购剩余需要的产品 $q-(1+r)L/w$ 满足市场需求.由此得到提前支付下制造商和零售商的利润函数分别为

$$\pi_M^2 = (w-c)q - \frac{1}{2}k\theta^2 - (cq + \frac{1}{2}k\theta^2 - B)r, \quad (3)$$

$$\pi_R^2 = (p-w)q + (cq + \frac{1}{2}k\theta^2 - B)r. \quad (4)$$

命题2 提前支付融资下,最优批发价格 $w^{2*} = \frac{(1+r)(-c\alpha^2 + 2dk + 2c(1+2r)k\lambda)}{-\alpha^2 + 4(1+r)k\lambda}$, 最优单位减排量 $\theta^{2*} = \frac{-d\alpha + c\alpha\lambda}{\alpha^2 - 4(1+r)k\lambda}$, 最优零售价格 $p^{2*} = \frac{-3d(1+r)k + c(\alpha^2 - (1+r)k\lambda)}{\alpha^2 - 4(1+r)k\lambda}$.

供应链成员的最优利润分别为

$$\pi_M^{2*} = Br + \frac{(1+r)k(d-c\lambda)^2}{-2\alpha^2 + 8(1+r)k\lambda},$$

$$\pi_R^{2*} = -Br + \frac{k(d-c\lambda)^2(r\alpha^2 + 2(1+r)^2k\lambda)}{2(\alpha^2 - 4(1+r)k\lambda)^2}.$$

2.3 融资决策比较分析

为了研究制造商的融资决策,接下来比较不同融资方式下制造商利润的大小.

命题3 当 $r_b = r$ 时,制造商选择提前支付融资.

由命题3可知,当银行贷款利率与提前支付利率相等时,制造商始终会选择提前支付融资.在提前支付融资方式下,制造商的批发价格和减排量更高,产品市场需求增加,因此制造商会获得更高的销售收入,导致制造商利润增加.

3 双重资金约束下考虑碳配额交易的融资决策分析

3.1 银行借贷融资

当考虑碳配额交易时,制造商还需要考虑在碳交易市场进行碳交易获得的收入或付出的成本,于是得到制造商和零售商的利润函数为

$$\pi_M^1 = (w-c)q - \frac{1}{2}k\theta^2 + [G - (\theta_0 - \theta)q]\mu - (cq + \frac{1}{2}k\theta^2 - B)r_b, \quad (5)$$

$$\pi_R^1 = (p-w)q. \quad (6)$$

命题4 银行借贷融资下,最优批发价格

$$w^{1**} = \frac{-2\tau_1 + \sigma_1 + c(1+r_b)(\alpha^2 - 2(1+r)k\lambda + \alpha\lambda\mu)}{-4(1+r_b)k\lambda + (\alpha + \lambda\mu)^2},$$
 最优

$$\text{单位减排量 } \theta^{1**} = \frac{(\alpha + \lambda\mu)(-d + \lambda(c + cr_b + \theta_0\mu))}{-4(1+r_b)k\lambda + (\alpha + \lambda\mu)^2},$$
 最

优零售价格

$$p^{1**} = \frac{-3\tau_1 + \sigma_1 + c(1+r_b)(\alpha^2 - (1+r_b)k\lambda + \alpha\lambda\mu)}{-4(1+r_b)k\lambda + (\alpha + \lambda\mu)^2}.$$

供应链成员的最优利润分别为

$$\pi_M^{1**} = -\frac{1}{2(-4(1+r_b)k\lambda + (\alpha + \lambda\mu)^2)} \left((1+r_b)k\partial_1^2 - \right.$$

$$\left. 2G\alpha^2\mu + 2(1+r)k\lambda(-d\theta_0 + 4G + c\theta_0(1+r_b)\lambda)\mu + \lambda(-4G\alpha + \theta_0^2(1+r_b)k\lambda)\mu^2 - 2G\lambda^2\mu^3 \right) + Br_b,$$

$$\pi_R^{1**} = \frac{\left((1+r_b)^2 k^2 \lambda (\partial_1 - \lambda\theta_0\mu) \right)^2}{\left(-4(1+r_b)k\lambda + (\alpha + \lambda\mu)^2 \right)^2}.$$

其中: $\tau_1 = (d + \theta_0\lambda\mu)(1+r_b)k$; $\sigma_1 = (d + \theta_0\alpha)\mu(\alpha + \lambda\mu)$; $\partial_1 = d - c(1+r_b)\lambda$.

从最优决策结果可以看出,银行借贷下,最优定价不仅与碳减排成本系数 k 有关,还与碳交易价格 μ 有关,制造商利润与碳减排成本系数和碳配额有关,而单位减排量和零售商利润仅与碳减排成本系数 k 有关,且有当 $\mu > \frac{\alpha}{\lambda}$ 时, $\frac{\partial w^{1**}}{\partial k} > 0$;

当 $\mu < \frac{\alpha}{\lambda}$ 时, $\frac{\partial w^{1**}}{\partial k} < 0$, $\frac{\partial \theta^{1**}}{\partial k} < 0$; 当 $\mu > \frac{3\alpha}{\lambda}$ 时, $\frac{\partial p^{1**}}{\partial k} > 0$;

当 $\mu < \frac{3\alpha}{\lambda}$ 时, $\frac{\partial p^{1**}}{\partial k} < 0$, $\frac{\partial \pi_M^{1**}}{\partial k} < 0$, $\frac{\partial \pi_R^{1**}}{\partial k} < 0$, $\frac{\partial \pi_M^{1**}}{\partial G} > 0$.

由分析可知,在银行借贷融资方式下考虑碳配额交易时单位减排量和供应链成员利润均随碳减排成本系数的增加而降低.同时,制造商利润与碳配额有关,随着碳配额的增加而增加,但对零售商利润没有影响,这是因为碳配额对于零售价格与批发价格的差值和市场需求无关.

但当考虑碳配额交易时,银行借贷融资方式下供应链的最优定价与碳交易价格和碳减排成本系数有关.当碳交易价格较高时,随着碳减排成本系数的增加,制造商和零售商均会提升各自的价格,而当碳交易价格较低时,供应链成员又均降低各自的价格.原因可解释为制造商销售产品收益与碳交易收益的一场博弈,当碳交易价格比较低时,碳交易收益低于销售收益,因此,为了激励零售商增加订购量,制造商会降低产品的批发价格,零售商订购成本降低,也会降低零售价格;反之,制造商和零售商会提高各自的定价.这与不考虑碳配额交易的研究结论不

同,说明碳配额交易对供应链成员定价有重要影响.

3.2 提前支付融资

当考虑碳配额交易时,在提前支付下,制造商要求零售商提前支付一部分货款来满足生产及减排需要,同时给予零售商提前支付利率 r ,并且零售商为了避免缺货风险也有动力为制造商提前支付融资.于是得到制造商和零售商的利润函数为

$$\pi_M^2 = (w-c)q - \frac{1}{2}k\theta^2 + (G - (\theta_0 - \theta)q)\mu - \left(cq + \frac{1}{2}k\theta^2 - B\right)r, \quad (7)$$

$$\pi_R^2 = (p-w)q + \left(cq + \frac{1}{2}k\theta^2 - B\right)r. \quad (8)$$

命题5 提前支付融资下,最优批发价格

$$w^{2**} = \frac{-2\tau_2 + \sigma_1}{-4(1+r)k\lambda + (\alpha + \lambda\mu)^2} + \frac{(1+r)c(\alpha^2 - 2(1+2r)k\lambda) + (c\lambda(\alpha + 2r\alpha))\mu + c\tau_2^2\mu^2}{-4(1+r)k\lambda + (\alpha + \lambda\mu)^2},$$

$$\text{最优单位减排量 } \theta^{2**} = \frac{(\alpha + \lambda\mu)(-d + \lambda(c + \theta_0\mu))}{-4(1+r)k\lambda + (\alpha + \lambda\mu)^2},$$

$$\text{最优零售价格 } p^{2**} = \frac{-3\tau_2 + \sigma_1 + c(\alpha^2 - (1+r)k\lambda + \alpha\lambda\mu)}{-4(1+r)k\lambda + (\alpha + \lambda\mu)^2}.$$

供应链成员的最优利润分别为

$$\pi_M^{2**} = -\frac{1}{2(-4(1+r)k\lambda + (\alpha + \lambda\mu)^2)} \left((1+r)k\partial_2^2 - 2G\alpha^2\mu + 2(1+r)k\lambda(-d\theta_0 + 4G + c\theta_0\lambda)\mu + \lambda(-4G\alpha + \theta_0^2(1+r)k\lambda)\mu^2 - 2G\lambda^2\mu^3 \right) + Br,$$

$$\pi_R^{2**} = -Br + \frac{(k(\partial_2 - \lambda\theta_0\mu))^2 \left(2k\lambda + r(2(2+r)k\lambda + (\alpha + \lambda\mu)^2) \right)}{2(-4(1+r)k\lambda + (\alpha + \lambda\mu)^2)^2}.$$

其中: $\tau_2 = (d + \theta_0\lambda\mu)(1+r)k$; $\partial_2 = d - c\lambda$.

从最优决策结果可以看出,提前支付下,最优定价不仅与碳减排成本系数 k 有关,还与碳交易价格 μ 有关,制造商利润与碳减排成本系数 k 和碳配额 G 有关,而单位减排量和零售商利润仅与碳减排成本系数 k 有关,且有当 $\mu > \frac{\alpha}{\lambda}$ 时, $\frac{\partial w^{2**}}{\partial k} > 0$; 当 $\mu < \frac{\alpha}{\lambda}$ 时, $\frac{\partial w^{2**}}{\partial k} < 0$, $\frac{\partial \theta^{2**}}{\partial k} < 0$, 当 $\mu > \frac{3\alpha}{\lambda}$ 时, $\frac{\partial p^{2**}}{\partial k} > 0$; 当 $\mu < \frac{3\alpha}{\lambda}$ 时, $\frac{\partial p^{2**}}{\partial k} < 0$, $\frac{\partial \pi_M^{2**}}{\partial k} < 0$, $\frac{\partial \pi_R^{1**}}{\partial k} < 0$, $\frac{\partial \pi_M^{2**}}{\partial G} > 0$.

由分析可知,当考虑碳配额交易时,提前支

付融资方式下,碳减排成本系数与单位减排量、供应链成员利润成反比,而最优定价与碳交易价格和碳减排成本系数有关.当碳交易价格较高时,碳减排成本系数与最优定价成正比,当碳交易价格较低时,碳减排成本系数与最优定价成反比.这就说明碳配额交易下碳减排成本系数的变化所带来的影响并不随融资方式的变化而改变,并且碳配额与制造商利润正相关,而与零售商利润无关.

3.3 融资决策比较分析

进一步比较制造商最优利润,探讨制造商的融资偏好.从制造商的角度探讨其决策选择,比较考虑碳配额交易时不同融资方式下制造商的利润.

命题6 当考虑碳配额交易且 $r_b = r$ 时,制造商选择提前支付融资.

由命题6可知,在碳配额交易下,当银行贷款利率与提前支付利率相等时,制造商始终会选择提前支付融资.当考虑碳配额交易时,提前支付融资方式下制造商的批发价格和减排量更高,意味着制造商会获得更高的销售收入和碳交易收入,因此制造商利润会更大.这与不考虑碳配额交易时的制造商的融资方式选择相同.可以看出,融资利率相等时,碳配额交易不会影响制造商的融资方式选择.

4 数值分析

为了直观展示碳配额交易下和不考虑碳配额交易下制造商的融资决策选择,并分析碳减排成本系数和碳交易价格对供应链成员利润和融资决策的影响,进行数值分析加以验证.以LED节能灯为例,各项参数赋值如下: $c=6$, $\theta_0=4$, $d=200$, $k=150$, $\mu=5$, $G=200$, $B=50$, $\lambda=3$, $\alpha=5$.

4.1 双重资金约束下融资决策分析

首先,当融资利率不等时,分析银行借贷融资方式下和提前支付融资方式下制造商的利润,并对其进行比较,图1为 $r < r_b$ 情形,图2为 $r > r_b$ 情形,令 k 在区间 $[150, 200]$ 内变化.

从图1可以看出,当提前支付利率小于银行借贷利率时,无论是否考虑碳配额交易,制造商始终选择提前支付融资方式.从图2可以看出,当提前支付利率大于银行借贷利率时,不考虑碳配额交易下,制造商在提前支付融资下能够获得更高利润;考虑碳配额交易下,当碳减排成本系数比较低时,制造商在银行借贷融资下能够获得

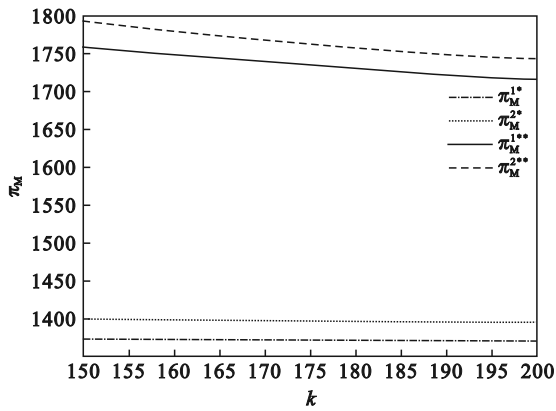


图 1 提前支付和银行借贷下制造商利润对比
($r=0.03, r_b=0.1$)

Fig. 1 Comparison of manufacturers' profit under prepayment and bank loaning
($r=0.03, r_b=0.1$)

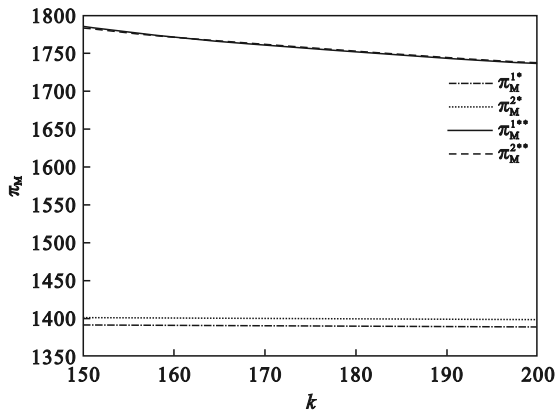


图 2 提前支付和银行借贷下制造商利润对比
($r=0.1, r_b=0.03$)

Fig. 2 Comparison of manufacturers' profit under prepayment and bank loaning
($r=0.1, r_b=0.03$)

更高利润,但当碳减排成本系数比较高时,制造商在提前支付融资下会获得更高利润.所以,融资利率、碳减排成本系数和碳配额交易会影响制造商融资决策的选择.另外,随着碳减排成本系数的增加,制造商利润减少.无论是在哪种融资方式下,碳配额交易下的制造商利润始终高于不考虑碳配额交易下的制造商利润.这是因为碳配额交易使制造商在碳交易市场获得碳交易收入,进而使制造商利润增加.这说明碳配额交易提高了制造商利润.

4.2 碳减排成本系数的影响

具体分析碳减排成本系数变化对零售商利润的影响.数值分析的结果见图 3 和图 4.

从图 3 和图 4 中可以看出,碳减排成本系数越大,零售商利润越低.原因是碳减排成本系数增加使制造商碳减排成本增加,为了维持利润,

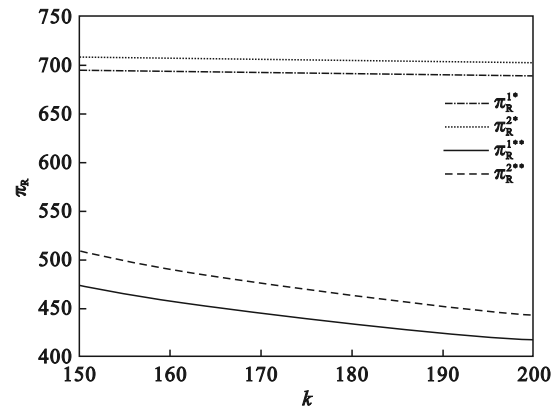


图 3 碳减排成本系数对零售商利润的影响
($r=0.03, r_b=0.1$)

Fig. 3 Effect of carbon abatement cost coefficient on retailers' profit ($r=0.03, r_b=0.1$)

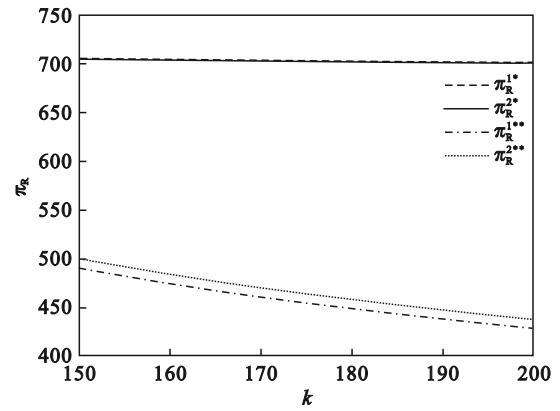


图 4 碳减排成本系数对零售商利润的影响
($r=0.1, r_b=0.03$)

Fig. 4 Effect of carbon abatement cost coefficient on retailers' profit ($r=0.1, r_b=0.03$)

制造商会提升批发价格,造成零售商批发成本上升,因此零售商利润减少,也会造成供应链利润减少.另外,当提前支付利率小于银行利率时,零售商在提前支付融资下能够获得更高利润.当提前支付利率大于银行利率时,不考虑碳配额交易下,零售商在银行借贷下能够获得更高利润;考虑碳配额交易下,零售商在提前支付下能够获得更高利润.且零售商在碳配额交易下的利润均低于不考虑碳配额交易下的利润,说明碳配额交易损害了零售商利润.

下面分析碳减排成本系数变化对融资规模的影响.由于融资利率大小与碳减排成本系数对制造商融资规模的影响无关,因此取 $r=0.03, r_b=0.1$,其他参数值保持不变,分析结果见图 5.

由图 5 可知,当碳减排成本系数增大时,制造商的融资规模变小.原因是碳减排成本系数的增加会使制造商提升批发价格,零售商为了维持利润会提高零售价格,同时,碳减排成本系数的增

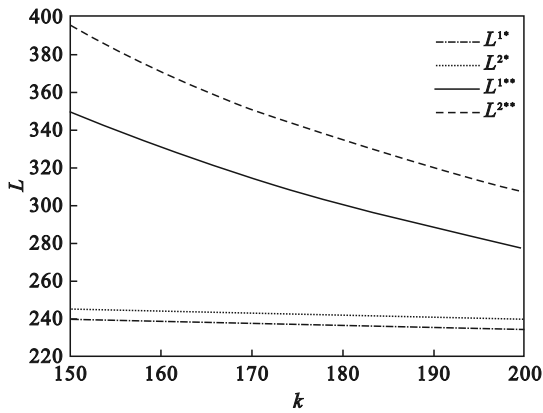


图5 碳减排成本系数对融资规模的影响

Fig. 5 Effect of carbon abatement cost coefficient on financing scale

加会使单位减排量降低,此时市场需求减少,故制造商的减排成本和生产成本都会减少,使得融资规模减少.因此,制造商在碳配额交易下的融资规模和单位减排量更大.

4.3 碳交易价格的影响

下面分析碳交易价格对供应链成员利润和制造商融资规模的影响.令碳交易价格 μ 在区间 $[5, 10]$ 内变化,其他参数值保持不变,观察碳交易价格变化带来的影响.分析结果见图6~图8.

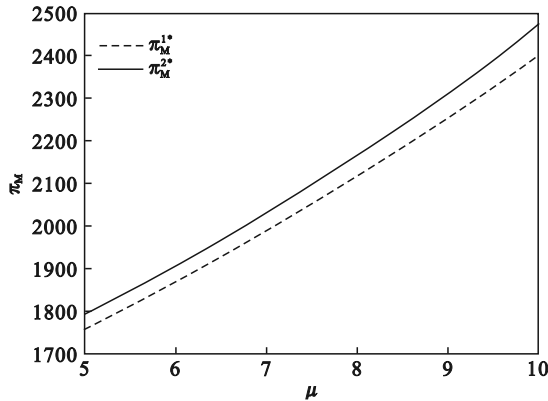


图6 碳交易价格对制造商利润的影响

Fig. 6 Effect of carbon trading price on manufacturers' profit

由图6~图8可以看出:1)碳交易价格越高,制造商利润越大;2)随着碳交易价格的增加,零售商利润先减少后增加,这是因为当碳交易价格比较低时,制造商从碳交易市场获得的收入较低,制造商减排动力下降,导致市场需求降低,为了增加销售收入,制造商提升批发价格,导致零售商批发成本上升,因此零售商利润下降,而当碳交易价格比较高时,零售商批发成本减少,导致零售商利润增加;3)随着碳交易价格的提高,制造商的融资规模也增大,而且幅度越来越大.

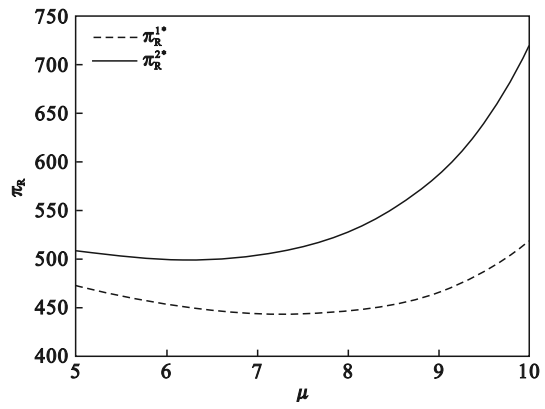


图7 碳交易价格对零售商利润的影响

Fig. 7 Effect of carbon trading price on retailers' profit

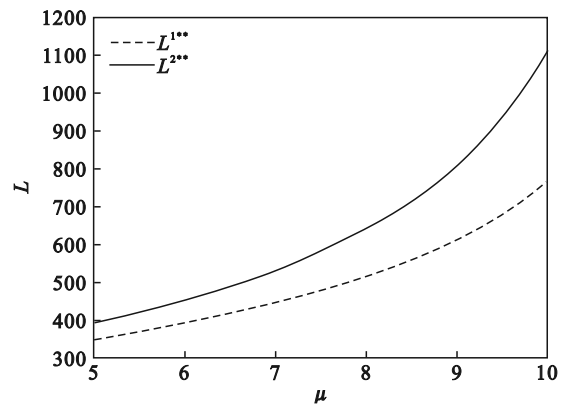


图8 碳交易价格对融资规模的影响

Fig. 8 Effect of carbon trading price on financing scale

5 结 论

1) 提前支付利率等于银行借贷利率时,无论是否考虑碳配额交易,提前支付融资总会给制造商带来较大利润,因此,提前支付是制造商的最优选择.当融资利率不等时,制造商融资方式会受碳配额交易和碳减排成本系数的影响.不考虑碳配额交易下,制造商选择提前支付融资;考虑碳配额交易下,当银行借贷利率较高时,制造商选择提前支付融资;当提前支付利率较高且碳减排成本系数较小时,制造商选择银行借贷融资,当碳减排成本系数较大时,制造商选择提前支付融资.

2) 碳减排成本系数与融资规模和利润成反比;碳交易价格与其成正比.

3) 碳配额交易增加了制造商利润,但损害了零售商利润.

参考文献:

[1] 谭乐平,宋平,杨琦峰.持股决策下随机需求低碳供应链融

- 资决策均衡[J].运筹与管理,2021,30(8):117-126.
(Tan Le-ping, Song Ping, Yang Qi-feng. Equilibrium of low carbon supply chain finance decision with stochastic demand under shareholding strategy [J]. *Operations Research and Management Science*, 2021, 30(8): 117-126.)
- [2] Gao D, Zhao X B, Geng W. A delay-in-payment contract for Pareto improvement of a supply chain with stochastic demand[J]. *Omega*, 2014, 49: 60-68.
- [3] Zhang Q H, Dong M, Luo J W, et al. Supply chain coordination with trade credit and quantity discount incorporating default risk [J]. *International Journal of Production Economics*, 2014, 153: 352-360.
- [4] Lee J P, Rosen M A. Impact of loss-aversion on a financially-constrained supply chain [J]. *Sustainability*, 2019, 11(9): 1-19.
- [5] 张夏然,王自然,蓝传晓,等. 供应商资金约束下考虑政府补贴的供应链绿色生产决策研究[J].管理学报,2022,19(2):280-288.
(Zhang Xia-ran, Wang Zi-ran, Lan Chuan-xiao, et al. Research on green production decision-making of supply chain considering government subsidies under supplier capital constraints [J]. *Chinese Journal of Management*, 2022, 19(2): 280-288.)
- [6] Yan N N, Sun B W, Zhang H, et al. A partial credit guarantee contract in a capital-constrained supply chain: financing equilibrium and coordinating strategy [J]. *International Journal of Production Economics*, 2016, 173: 122-133.
- [7] 杨浩雄,段炜钰. 面向制造商资金约束的绿色供应链融资决策研究[J].运筹与管理,2019,28(8):126-133.
(Yang Hao-xiong, Duan Wei-yu. Research on financing mode for capital constrained manufacturer in green supply chain [J]. *Operations Research and Management Science*, 2019, 28(8): 126-133.)
- [8] Song X, Lei F. Partial credit guarantee and trade credit in an emission-dependent supply chain with capital constraint [J]. *Transportation Research Part E*, 2020, 135: 101859.
- [9] Shi J, Li Q, Chu L K, et al. Effects of demand uncertainty reduction on the selection of financing approach in a capital-constrained supply chain [J]. *Transportation Research Part E*, 2021, 148: 102266.
- [10] 李波,王敏学,安思敏. 低碳努力下资金约束供应链的融资选择决策研究[J].管理工程学报,2021,35(2):211-220.
(Li Bo, Wang Min-xue, An Si-min. Research on financing selection strategies in a capital-constrained supply chain under low carbon effort [J]. *Journal of Industrial Engineering and Engineering Management*, 2021, 35(2): 211-220.)
- [11] An S M, Li B, Song D P, et al. Green credit financing versus trade credit financing in a supply chain with carbon emission limits [J]. *European Journal of Operational Research*, 2020, 292(1): 125-142.
- [12] Cao K Y, Xu X P, Wu Q, et al. Optimal production and carbon emission reduction level under cap-and-trade and low carbon subsidy policies [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 167: 505-513.
- [13] Chaabane A, Ramudhin A, Paquet M. Design of sustainable supply chains under the emission trading scheme [J]. *International Journal of Production Economics*, 2010, 135(1): 37-49.
- [14] 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.
- [15] Ghosh D, Shah J. Supply chain analysis under green sensitive consumer demand and cost sharing contract [J]. *International Journal of Production Economics*, 2015, 164: 319-329.
- [16] Xu J T, Chen Y Y, Bai Q G. A two-echelon sustainable supply chain coordination under cap-and-trade regulation [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 135: 42-56.
- [17] Wang M X, Zhao R D, Li B. Impact of financing models and carbon allowance allocation rules in a supply chain [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 302(9): 126794.
- [18] 谭乐平,宋平,杨琦峰. 担保换股权下低碳供应链的融资决策均衡[J].系统工程,2021,39(5):56-68.
(Tan Le-ping, Song Ping, Yang Qi-feng. Equilibrium of low carbon supply chain financing decision under equity for guarantee swap [J]. *Systems Engineering*, 2021, 39(5): 56-68.)
- [19] 丁志刚,许惠玮,徐琪. 绿色信贷支持下供应链低碳技术采纳决策研究[J].软科学,2020,34(12):74-80.
(Ding Zhi-gang, Xu Hui-wei, Xu Qi. Decision-making of low-carbon technology adoption in supply chain supported by green credit [J]. *Soft Science*, 2020, 34(12): 74-80.)
- [20] Xu X P, Zhang W, He P, et al. Production and pricing problems in make-to-order supply chain with cap-and-trade regulation [J]. *Omega*, 2017, 66: 248-257.
- [21] Li T, Zhang R, Zhao S L, et al. Low carbon strategy analysis under revenue-sharing and cost-sharing contracts [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 212: 1462-1477.
- [22] Zhu W G, He Y J. Green product design in supply chains under competition [J]. *European Journal of Operational Research*, 2017, 258(1): 165-180.