

碳限额与交易机制下零售商模糊库存模型优化求解

屈晓龙, 李波

(天津大学 管理与经济学部, 天津 300072)

摘要: 为探讨不确定条件下碳交易机制对库存管理中排放控制和成本优化的影响,用梯形模糊数描述各参数和决策变量,建立碳交易机制下模糊经济订货批量模型和排放模型,对比分析不同决策下经济订货量的关系,讨论碳交易机制对模糊成本与碳排放的影响效果。研究表明:模糊模型能有效降低决策的不确定性;模糊参数满足一定条件时,考虑碳交易机制前后和仅考虑碳排放最小时的经济订货量不相同,适宜进行碳交易;碳限额增大能有效降低成本,对经济订货量和排放无直接影响;碳价与排放负相关,而对成本的作用则取决于给定碳限额的范围。

关键词: 碳限额与交易机制; 经济订货批量模型; 碳排放; 模糊数学

中图分类号: F462

文献标识码: A

文章编号: 1009-3370(2014)06-0020-06

由温室气体过度排放引起的全球气候变暖问题已成为人类活动与自然环境之间最为激烈的矛盾。在政府调控、消费者环保意识日益增强和社会责任感等多重压力下,全球很多企业都主动采取措施降低自身碳排放。企业减排措施主要致力于限制运作过程中的物理碳排放,例如:更新能源效率低下的器材和设备,重新设计生产和包装工艺,使用轻污染的新能源和制定节能规划方案等,并取得了显著的成效^[1]。但是,这些措施给企业带来了巨大的成本负担,也会削弱企业节能减排的积极性,决策者更加迫切希望通过改变运营模式和运作策略来平衡经济利益与环境影响之间的关系,实现两者的协调统一。碳排放(权)交易机制(Carbon Emission Trading Scheme, CETS)作为一种有效的市场调节机制为企业提供了两者兼顾的平台。该机制基于总量管制与交易原则(Cap-and-Trade Principle, C&T),将碳排放权作为市场中的商品投入交易,由此激励相关参与者主动降低碳排放量。CETS具有可行性强、成本效益高、参与者广泛、国际公平性强和利于控制累计排放量等许多优势^[2]。研究企业如何有效利用碳交易机制优化其运营策略具有非常重要的意义和启示。

一、文献综述

近几年来,国内外学者对碳交易机制下企业库存成本和碳排放管理问题进行了研究。Hua等(2011)^[3]基于传统经济订货批量(Economic Order

Quantity, EOQ)模型,对比引入C&T机制前后最优订货批量与成本变化,给出零售商库存管理低碳化的策略。Benjaafar等(2013)^[4]利用批量模型阐释如何将碳排放限制与企业采购、生产和库存管理等方面的经营决策相结合,考量强制碳限额、碳税、碳补偿和碳交易等机制对企业成本控制和碳足迹管理的影响。Chen等(2013)^[4]将Benjaafar的研究思路延伸到对经典EOQ模型的分析。蓝海燕等(2013)^[5]把碳限额和碳交易价格作为变量运用于库存系统的研究,建立考虑碳排放的库存成本模型,得出有碳约束且成本最优的订货量及最大缺货量。

运用模糊集理论解决不确定性问题无须搜集大量数据,不用假定数据服从何种概率分布,因此可以避免数据收集不足的问题,便于更有效地进行优化研究。在库存管理中,很多学者都选择使用模糊数学建立优化模型,辅助管理者降低决策不确定性。Vijayan和Kumaran(2009)^[6]假设消费者到达时间和到达人数都是随机的,提出模糊经济订货时间(Economic Order Time, EOT)模型。N. Kazemi等(2010)^[7]、李群霞等(2011^[8], 2012^[9])和Mahata等(2013)^[10]分别用三角模糊数和梯形模糊数表示各参数和决策变量,分析延迟交货情况下含有次品的库存问题。

综上所述,在碳交易机制框架下研究企业库存管理问题是学术界普遍关注的热点。许多研究只考虑了确定情况,但在实际运作中,决策者更多地会

收稿日期: 2014-04-07

基金项目: 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20100032110034)

作者简介: 屈晓龙(1977—),男,博士研究生, E-mail: qidanei1977@tju.edu.cn; 李波(1967—),女,教授,博士生导师, E-mail: libo0410@yeah.net

遇到大量不确定因素的影响,这就需要已有的研究成果进行更深入地探讨,以获得与现实状况更加贴近、可行的解决方法。本文基于Hua建立的引入C&T机制的零售商EOQ模型,假设模型中所有参数和决策变量均为梯形模糊数,研究模糊环境下库存管理中的碳排放管理和成本优化问题。

二、碳交易机制下模糊零售商库存模型

(一)定义与假设

Hua提出的模型假设零售商购买单一产品,订货不受限制,不出现缺货,货物即时送达。零售商总成本包括:订货成本、持有成本和碳交易成本。当碳

排放量低于碳限额时,企业可以通过碳交易市场售出多余碳排放权,交易量为正,碳交易成本为负(碳交易收益为正);反之则需要购买不足碳排放权,交易量为负,碳交易成本为正(碳交易收益为负)。碳排放量由两部分组成:运输阶段碳排放和仓储阶段碳排放。运输碳排放取决于所选运输车辆和装载货物量,假设运输车辆不变。仓储碳排放由仓储设施固定排放和与存储货物量相关的可变排放组成。碳价受某个国家、某个地区或全球碳限额的影响,而不取决于某个个体零售商被分配到的碳限额影响。

确定模型中涉及的参数、变量符号与定义如表1所示。

表1 各参数变量符号及其含义

变量	含义	变量	含义
D	商品单位时间需求量	e_0	运输车辆空载时碳排放量
K	每次订货的固定订货成本	e	运输单位商品的碳排放量(可变运输碳排放因子)
h	单位商品单位时间持有成本	g_0	仓储固定碳排放量
Q	订货批量(决策变量)	g	存储单位商品的碳排放量(可变仓储碳排放因子)
Q^0	经典EOQ模型经济订货批量	B	单位时间碳排放权交易量
\hat{Q}	碳排放最小时经济订货批量	$TC(Q)$	不考虑碳排放的单位时间总成本
Q^*	C&T机制下经济订货批量	$TC(Q)_{ca}$	C&T机制下单位时间总成本
A	单位时间碳限额	$TF(Q)$	单位时间总碳排放量
C	每吨CO ₂ 市场价格		

(二)建立模型

零售商订货周期为 $T = \frac{Q}{D}$, 引入C&T机制后,单位时间总成本 $TC(Q)_{ca}$ 包括:订货成本 $K \frac{D}{Q}$ 、持有成本 $h \frac{Q}{2}$ 和碳交易成本 $(-CB)$, 因此可得

$$TC(Q)_{ca} = K \frac{D}{Q} + h \frac{Q}{2} - CB \quad (1)$$

其中,单位时间碳排放交易量 B 由单位时间碳限额 A 与单位时间总碳排放量 $TF(Q)$ 的差值决定。 $TF(Q)$ 包括:运输碳排放量 $(e_0 + eQ)/(Q/D) = eD + e_0 \frac{D}{Q}$ 和仓储碳排放量 $g_0 + g \frac{Q}{2}$, 碳排放量表达式为

$$TF(Q) = e_0 \frac{D}{Q} + g \frac{Q}{2} + (eD + g_0) \quad (2)$$

B 满足如下条件

$$\left[e_0 \frac{D}{Q} + g \frac{Q}{2} + (eD + g_0) \right] + B = A \Rightarrow B = A - \left[e_0 \frac{D}{Q} + g \frac{Q}{2} + (eD + g_0) \right] \quad (3)$$

基于C&T机制的零售商总成本优化模型为

$$\min [TC(Q)_{ca}] = K \frac{D}{Q} + h \frac{Q}{2} - CB \quad (4)$$

$$\text{s.t.} \quad \left[e_0 \frac{D}{Q} + g \frac{Q}{2} + (eD + g_0) \right] + B = A \quad (5)$$

将式(3)代入式(4)可得

$$TC(Q)_{ca} = (K + Ce_0) \frac{D}{Q} + (h + Cg) \frac{Q}{2} + C(eD + g_0) - CA \quad (6)$$

当 $B=0$ 时,式(6)即为不考虑碳排放的传统EOQ模型

$$TC(Q) = K \frac{D}{Q} + h \frac{Q}{2} \quad (7)$$

用非负梯形模糊数表示式(6)中各参数和决策变量,带有“~”标记的符号即为梯形模糊数,即: $\tilde{D} = (d_1, d_2, d_3, d_4)$, $\tilde{K} = (k_1, k_2, k_3, k_4)$, $\tilde{h} = (h_1, h_2, h_3, h_4)$, $\tilde{e}_0 = (e_{01}, e_{02}, e_{03}, e_{04})$, $\tilde{e} = (e_1, e_2, e_3, e_4)$, $\tilde{g}_0 = (g_{01}, g_{02}, g_{03}, g_{04})$, $\tilde{g} = (g_1, g_2, g_3, g_4)$, $\tilde{C} = (c_1, c_2, c_3, c_4)$, $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3, a_4)$, $\tilde{Q} = (q_1, q_2, q_3, q_4)$, 且满足 $0 < d_1 \leq d_2 \leq d_3 \leq d_4$, $0 < k_1 \leq k_2 \leq k_3 \leq k_4$, $0 < h_1 \leq h_2 \leq h_3 \leq h_4$, $0 < e_{01} \leq e_{02} \leq e_{03} \leq e_{04}$, $0 < e_1 \leq e_2 \leq e_3 \leq e_4$, $0 < g_{01} \leq g_{02} \leq g_{03} \leq g_{04}$, $0 < g_1 \leq g_2 \leq g_3 \leq g_4$, $0 < c_1 \leq c_2 \leq c_3 \leq c_4$, $0 < a_1 \leq a_2 \leq a_3 \leq a_4$ 和 $0 < q_1 \leq q_2 \leq q_3 \leq q_4$ 。

使用函数原则(Function Principle, FP)(该运算原则详情请见文献[11])对式(6)进行模糊化,可以得到碳交易机制下模糊总成本

$$\tilde{TC}_{cat} = \begin{bmatrix} \frac{(k_1+c_1e_{01})d_1}{q_4} + \frac{(h_1+c_1g_1)q_1}{2} + c_1(e_1d_1+g_{01}) - c_4a_4 \\ \frac{(k_2+c_2e_{02})d_2}{q_3} + \frac{(h_2+c_2g_2)q_2}{2} + c_2(e_2d_2+g_{02}) - c_3a_3 \\ \frac{(k_3+c_3e_{03})d_3}{q_2} + \frac{(h_3+c_3g_3)q_3}{2} + c_3(e_3d_3+g_{03}) - c_2a_2 \\ \frac{(k_4+c_4e_{04})d_4}{q_1} + \frac{(h_4+c_4g_4)q_4}{2} + c_4(e_4d_4+g_{04}) - c_1a_1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

然后,使用 GMI 表示法(该方法运用详情请见文献[12])对式(8)进行解模糊。令系数 $\tilde{\theta}_i = (\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4) = (1, 2, 2, 1)$, 通过 GMI 表示法可得出 C&T 机制下模糊总成本的解模糊值为

$$P(\tilde{TC}_{cat}) = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^4 \frac{\theta_i (k_i + c_i e_{0i}) d_i}{q_{5-i}} + \frac{1}{12} \sum_{i=1}^4 \theta_i (h_i + c_i g_i) q_i + \frac{1}{6} \sum_{i=1}^4 \theta_i [c_i (e_i d_i + g_{0i}) - c_{5-i} a_{5-i}] \quad (9)$$

(三)模型求解

本文使用扩展 Kuhn-Tucker 条件法(此方法使用详情请见文献[13])对含有不等式约束的目标函数最小值问题进行求解。首先将决策变量约束条件 $0 < q_1 \leq q_2 \leq q_3 \leq q_4$ 改写为不等式,即: $q_2 - q_1 \geq 0, q_3 - q_2 \geq 0, q_4 - q_3 \geq 0, q_1 > 0$, 此变化并不会影响式(9)的求解。然后引入拉格朗日乘数 $\lambda_i (i=1, 2, 3, 4)$, 得到如下表达式

$$L(\tilde{Q}) = P[TC(\tilde{Q})_{cat}] - \lambda_1(q_2 - q_1) - \lambda_2(q_3 - q_2) - \lambda_3(q_4 - q_3) - \lambda_4 q_1 \quad (10)$$

Kuhn-Tucker 条件详细归纳如下

$$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4 \leq 0 \quad (11)$$

$$\frac{\partial L(\tilde{Q})_{cat}}{\partial q_1} = \frac{1}{6} \frac{(h_1 + c_1 g_1)}{2} + \frac{1}{6} \left(-\frac{(k_4 + c_4 e_{04}) d_4}{q_1^2} \right) + \lambda_1 - \lambda_4 = 0 \quad (12)$$

$$\frac{\partial L(\tilde{Q})_{cat}}{\partial q_2} = \frac{1}{6} (h_2 + c_2 g_2) + \frac{1}{6} \left(-\frac{2(k_3 + c_3 e_{03}) d_3}{q_2^2} \right) - \lambda_1 + \lambda_2 = 0 \quad (13)$$

$$\frac{\partial L(\tilde{Q})_{cat}}{\partial q_3} = \frac{1}{6} \left(-\frac{2(k_2 + c_2 e_{02}) d_2}{q_3^2} \right) + \frac{1}{6} (h_3 + c_3 g_3) - \lambda_2 + \lambda_3 = 0 \quad (14)$$

$$\frac{\partial L(\tilde{Q})_{cat}}{\partial q_4} = \frac{1}{6} \left(-\frac{(k_1 + c_1 e_{01}) d_1}{q_4^2} \right) + \frac{1}{6} \frac{(h_4 + c_4 g_4) d_4}{2} -$$

$$\lambda_3 = 0 \quad (15)$$

$$\lambda_1(q_2 - q_1) = 0, \lambda_2(q_3 - q_2) = 0,$$

$$\lambda_3(q_4 - q_3) = 0, \lambda_4 q_1 = 0 \quad (16)$$

$$q_2 - q_1 \geq 0, q_3 - q_2 \geq 0, q_4 - q_3 \geq 0, q_1 > 0 \quad (17)$$

因为 $q_1 > 0$, 由式(16)可知 $\lambda_4 = 0$ 。由式(12)、式(13)、式(14)和式(15)可得

$$q_1 = \sqrt{\frac{2(k_4 + c_4 e_{04}) d_4}{(h_1 + c_1 g_1)}}, q_2 = \sqrt{\frac{2(k_3 + c_3 e_{03}) d_3}{(h_2 + c_2 g_2)}},$$

$$q_3 = \sqrt{\frac{2(k_2 + c_2 e_{02}) d_2}{(h_3 + c_3 g_3)}}, q_4 = \sqrt{\frac{2(k_1 + c_1 e_{01}) d_1}{(h_4 + c_4 g_4)}}$$

对比发现 $q_1 > q_2 > q_3 > q_4$, 不满足 $0 < q_1 \leq q_2 \leq q_3 \leq q_4$ 的前提, 此解不是局部最优解。若令 q_1, q_2, q_3, q_4 中任意 2 个或 3 个相等时, 也会得出此矛盾。因此只有当 $q_1 = q_2 = q_3 = q_4$ 时, 可以满足 $0 < q_1 \leq q_2 \leq q_3 \leq q_4$, 得到 $\tilde{Q} = (q_1, q_2, q_3, q_4)$ 的局部最优解。令 $q_1 = q_2 = q_3 = q_4 = q_i^*$, 模糊最优订货量为

$$\tilde{Q}^* = q_i^* \sqrt{\frac{2 \sum_{i=1}^4 \theta_i (k_i + c_i e_{0i}) d_i}{\sum_{i=1}^4 \theta_i (h_i + c_i g_i)}} \quad (18)$$

将 q_i^* 代入式(9), 可得模糊最优总成本

$$P[TC(\tilde{Q}^*)_{cat}] = \frac{1}{6} \sqrt{2 \sum_{i=1}^4 \theta_i (k_i + c_i e_{0i}) d_i \sum_{i=1}^4 \theta_i (h_i + c_i g_i)} + \frac{1}{6} \sum_{i=1}^4 \theta_i [e_i d_i + g_{0i} - c_{5-i} a_{5-i}] \quad (19)$$

使用 FP 法对式(2)和式(7)进行模糊化处理, 再通过 GMI 法和扩展 Kuhn-Tucker 条件法解模糊和求解, 可分别得到:

1. 仅考虑碳排放最小时的模糊最优订货量和最小碳排放

$$\tilde{Q}^{\wedge} = q_i^{\wedge} = \sqrt{\frac{2 \sum_{i=1}^4 \theta_i e_{0i} d_i}{\sum_{i=1}^4 \theta_i g_i}} \quad (20)$$

$$P[TF(\tilde{Q}^{\wedge})] = \frac{1}{6} \left[\sqrt{2 \sum_{i=1}^4 \theta_i e_{0i} d_i \sum_{i=1}^4 \theta_i (e_i d_i + g_{0i})} \right] \quad (21)$$

2. 不考虑碳排放时的模糊最优订货量和最小总成本

$$\tilde{Q}^0 = q_i^0 = \sqrt{\frac{2 \sum_{i=1}^4 \theta_i k_i d_i}{\sum_{i=1}^4 \theta_i h_i}} \quad (22)$$

$$P[TC(\tilde{Q}^0)] = \frac{1}{6} \sqrt{2 \sum_{i=1}^4 \theta_i k_i d_i \sum_{i=1}^4 \theta_i h_i} \quad (23)$$

三、数值实验与讨论

(一)模糊 EOQ 模型与确定 EOQ 模型优化结果比较

1. 应用举例

假设某零售企业订购某种商品,该商品的模糊年需求量(\tilde{D})在 60 000 件左右,每次订货模糊固定订货成本(\tilde{K})约为 200 元,单位时间模糊持有成本(\tilde{h})约为 0.36 元/件,运输商品所用车辆空载时模糊碳排放量(\tilde{e}_0)在 450 吨 CO₂ 左右,运输单位商品的模糊可变碳排放因子(\tilde{e})约为 0.2 吨 CO₂/件,存储模糊固定碳排放(\tilde{g}_0)为 500 吨 CO₂ 左右,存储单位商

品模糊可变碳排放因子(\tilde{g})约为 1 吨 CO₂/件,企业分配到的模糊碳限额(\tilde{A})在 10 000 吨 CO₂ 左右,模糊碳交易价格(\tilde{C})约为 0.3 元/吨 CO₂。制定基本模糊原则将上述“在 X 左右”和“约为 X”转化为梯形模糊数,“在 X 左右”=(0.8X,0.9X,1.1X,1.2X),“约为 X”=(0.85X,X,X,1.15X)。根据各参数的确定值和转换后的模糊数,可得表 2 的计算结果。模糊环境下经济订货量 \tilde{Q}^* 高于确定条件下的经济订货量 Q^* ,提高了总成本,碳排放量增加。各模糊参数的设定会影响到各决策目标的值,企业管理者可以根据实际情况确定不同的参数模糊集范围,代入库存和碳排放模型,从而降低决策的不确定性。

表 2 确定环境与模糊环境下最优订货量、总成本和碳排放对比表

Q^*	\tilde{Q}^*	$TC(Q^*)_{ca}$	$P[TC(\tilde{Q}^*)_{ca}]$	$TF(Q^*)$	$P[TF(\tilde{Q}^*)]$
7 804	7 877	5 901	6 037	19 862	20 055

2. \tilde{Q}^0 、 \tilde{Q} 和 \tilde{Q}^* 之间关系比较

文献[3]中给出确定型模型中, Q^0 、 \hat{Q} 和 Q^* 之间的关系如下

- 1) 当 $\frac{g}{e_0} > \frac{h}{k}$ 时, $\hat{Q} < Q^* < Q^0$;
- 2) 当 $\frac{g}{e_0} = \frac{h}{k}$ 时, $\hat{Q} = Q^* = Q^0$;
- 3) 当 $\frac{g}{e_0} < \frac{h}{k}$ 时, $\hat{Q} < Q^* < Q^0$

由式(18)、式(20)和式(22)可以得出在模糊环境下三个订货量的对比关系。令

$$M = \sum_{i=1}^4 \theta_i k_i d_i, N = \sum_{i=1}^4 \theta_i h_i, P = \sum_{i=1}^4 \theta_i e_{0i} d_i, R = \sum_{i=1}^4 \theta_i g_i$$

可得 \tilde{Q}^0 、 \tilde{Q} 和 \tilde{Q}^* 之间关系满足如下条件

- 1) 当 $\frac{R}{P} > \frac{N}{M}$ 时, $\tilde{Q} < \tilde{Q}^* < \tilde{Q}^0$;
- 2) 当 $\frac{R}{P} = \frac{N}{M}$ 时, $\tilde{Q} = \tilde{Q}^* = \tilde{Q}^0$;
- 3) 当 $\frac{R}{P} < \frac{N}{M}$ 时, $\tilde{Q} < \tilde{Q}^* < \tilde{Q}^0$

从形式上看,式(24)和式(25)有相似之处。从影响因素看,模糊环境下的条件比确定情况下的条件要复杂,新出现市场需求和碳价对三个订货批量之间的关系也产生影响,从而看出使用模糊数学分析问题能更全面、更客观地反映现实情况,将各种约束条件考虑得更细致。表 3 给出的算例验证了式(25)的结果,左列模糊系数取值满足: $\frac{R}{P} > \frac{N}{M+S} >$

$\frac{N}{M}$, 中间模糊系数取值满足: $\frac{R}{P} < \frac{N+T}{M+S} < \frac{N}{M}$, 右列

模糊系数取值满足: $\frac{R}{P} = \frac{N+T}{M+S} = \frac{N}{M}$ 。无论参数组合

如何变化, \tilde{Q}^* 总是介于 \tilde{Q}^0 和 \tilde{Q} 之间, $P[TC(\tilde{Q})]$ 总是最大的, $P[TF(\tilde{Q}^0)]$ 均多于其他 2 个碳排放。引入碳交易机制后, $P[TC(\tilde{Q}^*)_{ca}] < P[TC(\tilde{Q})]$, $P[TF(\tilde{Q}^*)] < P[TF(\tilde{Q}^0)]$, 这说明在碳交易机制下可以获得碳排放与总成本之间的兼顾。

(二)碳限额变化对模糊经济订货量、总成本和碳排放的影响分析

图 1 中,随着 \tilde{A} 的增加,模糊总成本呈下降趋势。两条水平直线表示 $P[TF(\tilde{Q})]$ 和 $P[TC(\tilde{Q})]$ 不受 $P(\tilde{A})$ 变动的影 响,可以由式(21)和式(23)直观看出。两条成本线的交点表示碳交易额 $P(\tilde{B})=0$ 时引入 C&T 机制前后总成本相等,此时 $P(\tilde{A})=P[TF(\tilde{Q})]$, C&T 机制下模糊 EOQ 模型转换为模糊经典 EOQ 模型。交点之前, $P(\tilde{A}) < P[TF(\tilde{Q})]$, $P(\tilde{B}) < 0$, $P[TC(\tilde{Q})_{ca}] > P[TC(\tilde{Q})]$, 与表 2 中的计算结果一致;交点之后, $P(\tilde{A}) > P[TF(\tilde{Q})]$, $P(\tilde{B}) > 0$, $P[TC(\tilde{Q})_{ca}] < P[TC(\tilde{Q})]$, 体现出利用碳交易机制控制总成本的优势。

(三)碳价对模糊总成本和碳排放的影响

1. 讨论碳价变化对模糊总成本的影响,首先要设定碳限额 $P(\tilde{A})$ 的范围, $P(\tilde{A})$ 取值不同,总成本随

表3 不同模糊参数对模糊经济订货量、总成本和碳排放的影响对比表

\tilde{D}	(70,85,105,120)	(70,85,105,120)	(70,85,105,120)
\tilde{K}	(7,8.5,10.5,12)	(7,8.5,10.5,12)	(7,8.5,10.5,12)
\tilde{h}	(0.07,0.085,0.105,0.12)	(0.07,0.085,0.105,0.12)	(0.07,0.085,0.105,0.12)
\tilde{g}	(0.7,0.85,1.05,1.2)	(0.7,0.85,1.05,1.2)	(0.7,0.85,1.05,1.2)
\tilde{e}_0	(14,17,21,24)	(140,170,210,240)	(14,17,21,24)
\tilde{C}	(0.7,0.85,1.05,12)	(0.7,0.85,1.05,12)	(0.7,0.85,1.05,12)
\tilde{Q}	62.58	197.88	70.00
\tilde{Q}^*	73.94	195.79	70.00
\tilde{Q}^0	139.92	139.93	70.00
$P[TC(\tilde{Q})]$	95.55	219.41	34.45
$P[TC(\tilde{Q}^*)_{ca}]$	94.50	219.39	34.45
$P[TC(\tilde{Q}^0)]$	13.29	13.29	26.59
$P[TF(\tilde{Q})]$	553.05	681.59	546.77
$P[TF(\tilde{Q}^*)]$	553.88	681.60	546.77
$P[TF(\tilde{Q}^0)]$	573.36	692.99	546.77

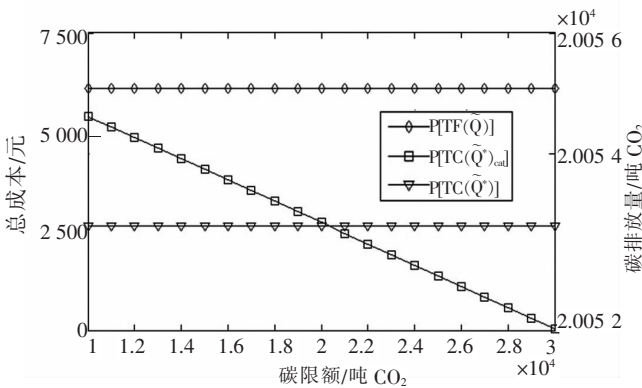


图1 碳限额对模糊总成本和模糊碳排放影响图

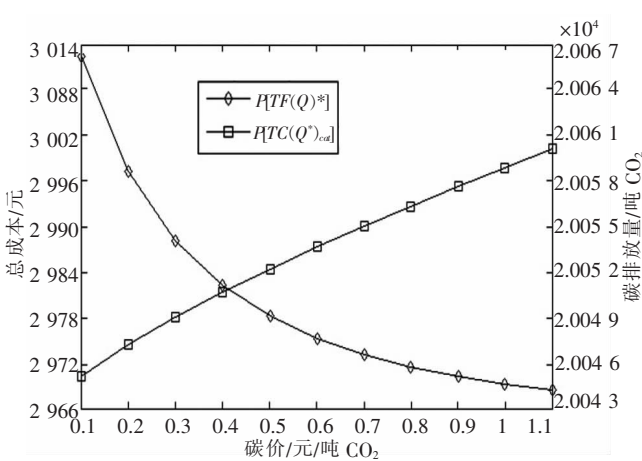


图2 当 $P(\tilde{A}) \leq P[TF(\tilde{Q})]$ 时,碳价变化对模糊总成本和模糊碳排放影响图

碳价改变而变动的趋势是有差异的。具体分析如下:

1) 当 $P(\tilde{A}) \leq P[TF(\tilde{Q})]$ 时,碳限额低于最小碳排

放, $P(\tilde{B})$ 恒小于零, 因此企业需要购买不足的碳排放权, 随着碳价提高, 总成本呈上升趋势, 如图2所示。

2) 当 $P[TF(\tilde{Q})] < P(\tilde{A}) < P[TF(\tilde{Q}^0)]$ 时, $P[TF(\tilde{Q})]$ 与 $P(\tilde{A})$ 的关系存在不稳定性。碳价较低时, 企业主动降低碳排放的积极性不强, 对碳排放缺乏控制, 导致总成本增加。随着碳价不断增加, 通过售出碳排放权可以获得更大收益, 企业对减排重视度提高, 总成本开始降低, 如图3所示。

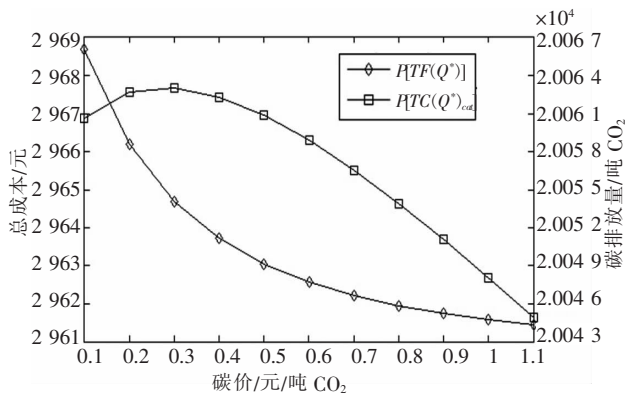


图3 当 $P[TF(\tilde{Q})] < P(\tilde{A}) < P[TF(\tilde{Q}^0)]$ 时,碳价变化对模糊总成本和模糊碳排放影响图

3) 当 $P(\tilde{A}) \geq P[TF(\tilde{Q}^0)]$ 时, 碳限额总是高于最大碳排放, $P(\tilde{B})$ 恒大于零, 因此企业可以通过售出多余碳排放权降低总成本, 随着碳价提高, 总成本呈下降趋势, 如图4所示。

2. 由于碳排放不受碳限额影响, 因此无论 P

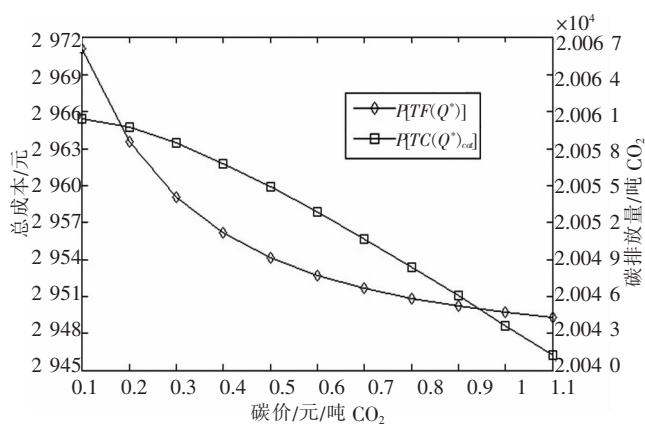


图4 当 $P(\tilde{A}) \geq P[TF(\tilde{Q}^*)]$ 时,碳价变化对模糊总成本和模糊碳排放影响图

(\tilde{A})如何取值,碳排放总是随着碳价增大而降低(如图2~图4所示),可见引入碳交易机制后,可以有效地激励企业主动减少碳排放。

四、总结与展望

本文在已有成果的基础上,对引入碳排放交易机制的零售商库存优化模型进行深入研究。探讨不

确定情况下如何在库存管理中平衡成本和碳排放之间的矛盾。通过模糊数学和扩展 Kuhn-Tucker 条件法建立并求解模糊总成本与碳排放模型,分析得出:模糊参数满足一定条件时,零售商不同订货决策呈现不同的对比关系;模糊总成本随着碳限额增大而降低,模糊碳排放与碳限额无关;碳价的提高能有效降低模糊碳排放,而对模糊总成本的影响则取决于给定碳限额的范围,可能出现单增、单减或先增大后减小的情况。

本文虽然考虑了现实环境的不确定性,但是许多假设条件依然存在局限性,没有考虑出现次品、延迟交货、货品积压等情形带来的额外成本和排放,忽略了运输批次、运输路径、运输方式和人为因素对碳排放的影响。类似的研究模式还可以应用于库存管理领域里的其他优化模型,比如:报童问题(Newsboy Problem)、供应商管理库存(Vendor-Managed Inventory)和转运配送(Drop Shipping)模式等。此外,从整个供应链成员共同决策和收益分配的角度分析碳交易机制对生产、运输和库存管理的裨益,也是十分有必要的。

参考文献:

- [1] Benjaafar S, Li Y Z, Daskin M. Carbon footprint and the management of supply chains: insights from simple models[J]. IEEE Transactions On Automation Science And Engineering, 2013, 10(1): 99-116.
- [2] Keohane N O. Cap and trade, rehabilitated: using tradable permits to control U.S. greenhouse gases[J]. Review Environmental Economics and Policy, 2009, 3(1): 42-62.
- [3] Hua G W, Cheng T C E, Wang S Y. Managing carbon footprints in inventory management[J]. Int. J. Production Economics, 2011, 132(2): 178-185.
- [4] Chen X, Benjaafar S, Elomri A. The carbon-constrained EOQ[J]. Operations Research Letters, 2013, 41(2): 172-179.
- [5] 蓝海燕, 戢守峰. 限额与交易机制下厂商订货策略[J]. 系统工程, 2013, 31(12): 81-86.
- [6] Vijayan T, Kumaran M. Fuzzy economic order time models with random demand[J]. International Journal of Approximate Reasoning, 2009, 50(3): 529-540.
- [7] Kazemi N, Ehsani E, Jaber M Y. An inventory model with backorders with fuzzy parameters and decision variables[J]. International Journal of Approximate Reasoning, 2010, 51(8): 964-972.
- [8] 李群霞, 张群. 考虑缺货和缺陷品的模糊生产库存模型的优化求解[J]. 系统工程理论与实践, 2011, 31(3): 480-487.
- [9] 李群霞, 李争香. 模糊环境下的生产库存模型研究[J]. 中国管理信息化, 2012, 15(8): 19-25.
- [10] Mahata G C, Goswami A. Fuzzy inventory models for items with imperfect quality and shortage backordering under crisp and fuzzy decision variables[J]. Computers & Industrial Engineering, 2013, 64(1): 190-199.
- [11] Chen S H. Operations on fuzzy numbers with function principle[J]. Tamkang Journal of Management Sciences, 1985, 6(1): 13-25.
- [12] Chen S H, Hsieh C H. Representation, ranking, distance, and similarity of L-R type fuzzy number and application[J]. Australian Journal of Intelligent Processing Systems, 2000, 6(2): 217-229.
- [13] Chen S H, Chang S M. Optimization of fuzzy production inventory model with unrepairable defective products[J]. Int. J. Production Economics, 2008, 113(2): 887-894.

Evaluation of Chinese Photovoltaic Power Generation Projects Investment Based on Real Option

ZHANG Mingming, ZHOU Dequn, ZHOU Peng

(Research Centre for Soft Energy Science, College of Economics and Management, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 211106, China)

Abstract: According to the basic situation of photovoltaic power generation in our country, this paper establishes an investment evaluation model of the photovoltaic power generation projects. The uncertainties of non-renewable cost, investment cost, and price policy of solar PV power generation were all considered in this model. Then the model is solved by Least Squares Monte Carlo simulation method. Using this model, this paper analyzes the investment value, delay option value, and the optimal investment time of China's photovoltaic power generation project at present situation. This paper also examines the effect of market variables, technology progress, and policy on these two indicators. The results show the current investment environment is not positive enough to attract investment immediately. The rising of non-renewable energy power generation cost volatility will increase investment value of solar photovoltaic power generation project, but the optimal investment time would be postponed. The rising of technological change drift rate will increase investment value of solar photovoltaic power generation project, and rising of technological change volatility will reduce investment value of solar photovoltaic power generation project. Therefore, the Chinese government should increase subsidy and R&D input as well as maintain the stability of market condition and technology progress to stimulate investment and promote the development of the solar PV power generation in China.

Key words: real option; least squares Monte Carlo simulation; the value of the investment; the optimal investment time

[责任编辑:孟青]



(上接第 25 页)

Optimum Solution of a Fuzzy Retailer's Inventory Model under the Carbon "Cap-and-Trade" Mechanism

QU Xiaolong, LI Bo

(College of Management and Economics, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: In order to discuss to what extent the carbon emission trading scheme may impact cost optimizing and carbon emissions control in the course of inventory management under the uncertain conditions, trapezoidal fuzzy numbers are applied to describe parameters and variables, fuzzy economic order quantity model and carbon emission model are constructed under carbon emission trading scheme, the relation between economic order quantities is analyzed comparatively when different decisions are made, and the effect on fuzzy cost and carbon emissions by carbon emission trading scheme is demonstrated. The results show that: a fuzzy model can effectively reduce the uncertainty of a decision; when fuzzy parameters satisfy a certain conditions, the economic order quantity before and after considering carbon emission trading scheme is distinctive from that considering minimum carbon emission quantity, and it is the appropriate time to have a carbon emission trading; the increase of carbon emission quotas can reduce cost profoundly, whereas it has no direct influence upon economic order quantity and carbon emissions; the carbon price has a negative correlation with emissions, while its effect upon cost depends on the range of given carbon emission quotas.

Key words: carbon cap-and-trade mechanism; economic order quantity model; carbon emission; fuzzy mathematics

[责任编辑:孟青]