

碳税下考虑供应中断的制造/再制造企业最优策略

何 璐, 郭健全

(上海理工大学 管理学院, 上海 200093)

摘要: 在不同碳税下研究含供应中断风险的制造/再制造企业最优回收和生产策略. 需求由制造品和再制造品满足, 制造品的原材料由主要供应商和次要供应商提供(两种供应商要价不同, 便宜方的原材料更有可能出现供应中断的情况), 再制造品来自于对回收产品的再制造. 采用粒子群算法和遗传算法对比分析算例, 验证模型的可信性和有效性, 并通过灵敏度分析解释供应中断问题. 结果表明: 平均总成本随着供应中断概率的增加逐渐增加; 另外, 企业可合理安排再制造和制造批次, 管理回收品质量, 并结合碳税值来实现系统最优; 同时, 政府可合理设置碳税, 最终与企业实现共赢.

关键词: 碳税; 供应中断; 再制造; 粒子群算法; 遗传算法

中图分类号: F 253.3 **文献标志码:** A

Optimal Strategies for Manufacturing/Remanufacturing Enterprises Considering the Supply Disruption Under Carbon Tax

HE Lu, GUO Jianquan

(Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: Considering the circumstances of different carbon taxes, optimal recovery and production strategies for manufacturing/remanufacturing enterprises under supply disruption risk were investigated. The demand is satisfied by manufactures from raw materials coming from primary suppliers and secondary suppliers and also by remanufactures from returned items. The two suppliers charge different prices, the cheaper one has a high probability of the supply disruption of the raw materials. A numerical example was used to verify the validity and credibility of the model by adopting the particle swarm optimization and genetic algorithm. A sensitivity analysis was also tendered to analyze the impact of supply disruption. The results show that the average total cost rises with the increase of supply disruption probability. Besides, the enterprise could arrange reasonably the number of remanufacturing and manufacturing frequency ratio, quality of returned products and carbon taxes to achieve the optimal system outcome. Meanwhile, the government

收稿日期: 2017-09-02

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71071093, 71471110, 71301101); 上海市自然科学基金资助项目(10ZR1413300); 陕西省社会科学基金资助项目(2015D060)

第一作者: 何 璐(1994-), 女, 硕士研究生. 研究方向: 物流工程. E-mail: helu13579@163.com

通信作者: 郭健全(1972-), 男, 副教授. 研究方向: 国际贸易、国际商务、国际物流与供应链管理. E-mail: jasonguusst@126.com

could set the carbon tax reasonably, and achieve win-win with manufacturers ultimately.

Keywords: carbon tax; supply disruption; remanufacturing; particle swarm optimization; genetic algorithm

近年来,人们的环保意识日益增强,社会责任感逐渐提高,政府立法不断完善,经济稳定持续发展,闭环供应链引起了人们的极大关注^[1-4].再制造过程是闭环混合系统的重要组成部分,已经成为许多企业提高竞争优势的有效手段.许多企业为了顺应这一发展趋势,越来越重视再制造业务^[5-7].许多再制造材料在全球范围内已被成功应用,常见的有电子产品、影印器材、空调机组及航空发动机等^[8-10].

全球气候变暖问题逐渐威胁到人类的生存和社会的发展,引起了社会各界的高度关注,各地政府纷纷出台相关政策来缓解这一威胁^[11-13].多数研究人员认为碳税政策是实现绿色可持续发展的有效手段之一^[14-15].马常松等^[16]针对碳税政策、碳限额政策、碳限额与交易政策对企业生产经营活动的限制,将节能减排等绿色技术引入企业的生产运作中.Chang等^[17]在两阶段生产中创建了包含低碳制造方式的模型,进一步研究了碳定价、每单位再制造品减少的碳排放量对企业生产决策的影响.Ghosh等^[18]基于严格的法律和日益增强的客户需求,在满足碳排放约束的情况下,确定最优订货批量、订货点和进出口货物数量,使供应链总成本最小化.以上研究未考虑在企业运作过程中碳税政策对闭环混合系统的影响,而本文具体分析了碳税政策对制造/再制造企业生产运作的影响.

供应中断风险具有潜在性和不可预测性,严重时损坏整个供应链系统,并给企业造成较大损失,这引起了广大学者和从业者的极大关注^[19-20].Pal等^[21]开发了包含多个市场和两个不同供应商的多级供应链模型,其中主要供应商发生供应中断的可能性较大.Meena等^[22]创建了一个仅含单一产品和单一周期的混合整数非线性规划模型,使企业能在随机需求情况下,考虑到所有的供应中断可能性,从而确定最优供应商组合.Xiang等^[23]提出了一种两阶段拍卖机制,这能使制造商尽快得到供应中断信息,并在信息不完全中断的情况下作出正确的购买决策.以上研究很少考虑供应中断风险对闭环混合系统的影响,而本文研究了企业多周期闭环混合系统中供应中断对企业运作的影响.

基于以上分析,本文假设回收率、回收成本和再

制造成本受回收品质量水平影响.在闭环混合制造/再制造系统中,将回收品质量水平、碳税、供应中断概率、周期、再制造次数、制造次数设为变量,采用粒子群算法(PSO)和遗传算法(GA)对模型进行对比求解.研究可为政府设置碳税值提供参考,为企业合理回收品质量、合理安排再制造和制造批次提供理论支持.

1 模型假设与函数构建

1.1 模型假设

假设:

- a. 回收品质量水平服从指数分布^[24];
- b. 回收率、回收成本、再制造成本均与回收品质量水平相关;
- c. 需求率恒定且已知;
- d. 在一个周期中,原材料只在外部采购一次;
- e. 回收品全部用于再制造,再制造成本取决于回收品质量^[25];
- f. 不考虑丢弃、提前期和缺货^[26];
- g. 再制造品和新产品包装、售价均相同;
- h. 交货时间在制造和再制造过程中可忽视.

1.2 函数构建

定义回收率 $d = \alpha D$, 边际回收率^[25] $\alpha = b e^{-\varphi q}$, 其中, q 为回收品最低质量水平, $0 \leq q \leq 1$; b, φ 为回收率函数参数, $0 \leq b \leq 1$; D 为消费者在单位时间内的需求率.

定义回收成本比率^[25] (单位回收品回收成本与单位新产品生产成本的比率) $p = a e^{-\theta(1-x)}$ ^[25], 其中, a, θ 为回收成本函数参数, $0 \leq a \leq 1$.

定义再制造成本比率^[27] (单位再制造成本与单位制造成本的比率) $s = c e^{\delta(1-x)}$, 其中, c, δ 为再制造函数参数, $0 \leq c \leq 1$.

根据假设, q 服从指数分布, $q \sim E(\lambda)$, 其中, λ 为指数分布参数, x 为回收品质量水平 ($q \leq x \leq 1$), 其概率密度函数

$$X(x) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda x}, & q < x < 1 \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

平均回收成本

$$V_1 = d(C_n + C_{\text{raw}})E(p)$$

$$E(p) = \int_{-\infty}^{+\infty} \lambda e^{-\lambda x} a e^{-\theta(1-x)} dx = \frac{\alpha \lambda}{\theta - \lambda} [e^{-\lambda} - e^{-\theta + (\theta - \lambda)q}]$$

式中: C_n 为单位制造成本; C_{raw} 为单位原材料采购成本.

经过简单的推算, 得出

$$V_1 = \frac{\alpha \lambda b e^{-\alpha q}}{\theta - \lambda} [e^{-\lambda} - e^{-\theta + (\theta - \lambda)q}] D(C_n + C_{\text{raw}}) \quad (1)$$

平均再制造成本

$$V_2 = dC_n E(s)$$

其中

$$E(s) = \int_{-\infty}^{+\infty} \lambda e^{-\lambda x} c e^{\delta(1-x)} dx =$$

$$c \lambda e^{\delta} \int_0^1 e^{-(\delta + \lambda)x} dx = \frac{c \lambda}{\delta + \lambda} [e^{\delta - (\delta + \lambda)q} - e^{-\lambda}]$$

经过简单的推算, 得出

$$V_2 = \frac{c \lambda b e^{-\alpha q}}{\delta + \lambda} [e^{\delta - (\delta + \lambda)q} - e^{-\lambda}] D C_n \quad (2)$$

2 系统模型

2.1 库存水平

本文在前人研究的基础上建立多周期闭环混合系统, 消费者需求由制造品库存和再制造品库存共同满足. 制造品通过外购原材料进行生产, 再制造品通过回收进行再制造. 再制造系统中包含三种库存: 分别是包含制造品库存和再制造品库存的可用库存、回收品库存和原材料库存. 假设一个周期 T 中包含 n 个制造期 T_n 和 m 个再制造期 T_m , 则 $mDT_m = dT$, $nDT_n = DT - dT$. 回收品、制造品和再制造品的具体物料流动如图 1 所示.

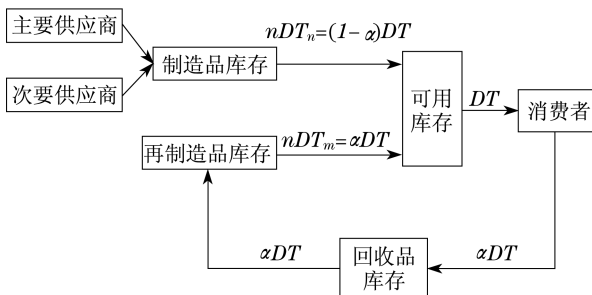


图 1 物料流动

Fig.1 Material flow

库存水平如图 2 所示, 假设 $m = 3, n = 2$. 系统先开始再制造过程, 再进行制造过程. 假设再制造率为 $(1/\gamma)D$, 制造率为 $(1/\beta)D$, 且 $\gamma < 1, \beta < 1$. β 为制造函数参数, γ 为再制造函数参数. 在再制造过程

中, 再制造品库存先匀速增加, 到达再制造品最大库存 I_m 后, 再匀速减少到 0; 回收品库存先下降, 再匀速上升. 在制造过程中, 制造品库存先匀速上升, 到达制造品最大库存 I_n 后, 再匀速下降到 0; 回收品库存匀速上升; 原材料库存匀速下降. 从以上分析可得

$$I_m = (1 - \gamma)\alpha DT / m$$

$$I_n = (1 - \beta)(1 - \alpha)DT / n$$

$$I_r = \alpha[(1 - \alpha) + \alpha(1 - \gamma)/m]DT$$

$$I_{\text{raw}} = nDT_n = (1 - \alpha)DT$$

式中: I_r 为回收品最大库存, I_{raw} 为原材料最大库存.

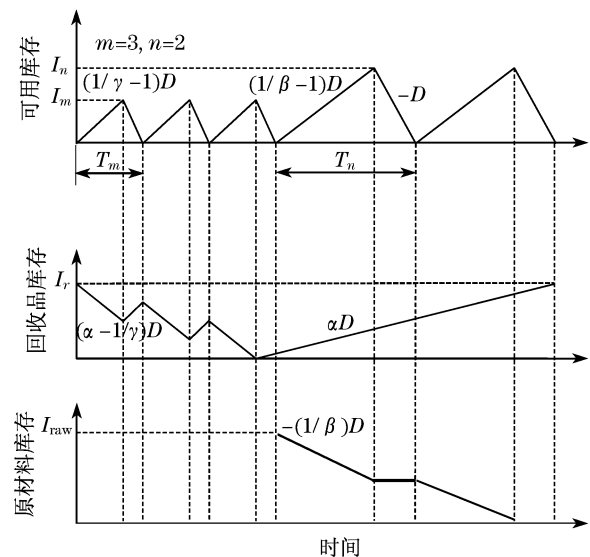


图 2 库存水平

Fig.2 Inventory status

2.2 平均库存持有成本

$H_m, H_n, H_r, H_{\text{raw}}$ 分别是再制造品、制造品、回收品和原材料的平均库存持有成本.

总平均库存持有成本

$$V_3 = H_m + H_n + H_r + H_{\text{raw}} =$$

$$\frac{1}{2m} h_s (1 - \gamma) \alpha^2 DT + \frac{1}{2n} h_s (1 - \beta) (1 - \alpha) 2DT +$$

$$\frac{(\beta + n - 1)}{2n} h_{\text{raw}} (1 - \alpha) 2DT +$$

$$\frac{1}{2} h_r [\alpha(1 - \alpha) + \frac{1}{m} \alpha^2 (1 - \gamma)] DT \quad (3)$$

式中: h_s 表示单位时间可用库存持有成本; h_{raw} 表示单位时间原材料库存持有成本; h_r 表示单位时间回收品库存持有成本.

2.3 平均总成本

平均总成本

$V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 + V_6 + V_7 + V_8 + V_9$
平均制造成本

$$V_4 = (1 - \alpha)DC_n \quad (4)$$

平均订购成本

$$V_5 = C_o/T \quad (5)$$

平均原材料成本

$$V_6 = (1 - \alpha)DC_{\text{raw}} \quad (6)$$

平均碳税成本

$$V_7 = C[\alpha De_x + (1 - \alpha)De_n]/T \quad (7)$$

式中: C 为单位碳排放下的碳税; C_o 为订购总成本; e_x 为单位再制造品碳排放; e_n 为单位制造品碳排放。

平均准备成本

$$V_8 = (mS_m + nS_n)/T \quad (8)$$

式中: S_m 为再制造准备成本; S_n 为制造准备成本。

主要供应商处的原材料供应中断的平均成本

$$V_9 = (1 - \omega)(1 - \alpha)Dd_1 + (1 - \alpha)\omega Dd_2 \quad (9)$$

式中: ω 为主要供应商原材料供应中断概率, $0 \leq \omega \leq 1$; d_1 为主要供应商收取的每单位原材料采购成本; d_2 为次级供应商收取的每单位原材料采购成本。

将 $\alpha = be^{-\varphi q}$ 代入平均总成本函数, 可得

$$\begin{aligned} V = & \frac{a\lambda be^{-\varphi q}}{\theta - \lambda} [e^{-\lambda} - e^{-\theta + (\theta - \lambda)q}] D(C_n + C_{\text{raw}}) + \\ & \frac{c\lambda be^{-\varphi q}}{\delta + \lambda} [e^{\delta - (\delta + \lambda)q} - e^{-\lambda}] DC_n + \frac{1}{2m} h_s (1 - \gamma) \\ & b^2 e^{-2\varphi q} DT + \frac{1}{2n} h_s (1 - \beta) (1 - be^{-\varphi q}) 2DT + \\ & \frac{(\beta + n - 1)}{2n} h_{\text{raw}} (1 - be^{-\varphi q}) 2DT + \\ & \frac{1}{2} h_r [be^{-\varphi q} (1 - be^{-\varphi q}) + \frac{1}{m} b^2 e^{-2\varphi q} (1 - \gamma)] DT + \\ & (1 - be^{-\varphi q}) DC_n + C_o/T + (1 - be^{-\varphi q}) DC_{\text{raw}} + \\ & C[be^{-\varphi q} De_x + (1 - be^{-\varphi q}) De_n]/T + \\ & (mS_m + nS_n)/T + (1 - \omega)(1 - be^{-\varphi q}) Dd_1 + \\ & (1 - be^{-\varphi q}) \omega Dd_2 \end{aligned} \quad (10)$$

3 算例分析

粒子群算法和遗传算法都是随机智能优化算法, 使用适应值来评价系统, 相比于蚁群算法和人工蜂群算法等, 这两种算法收敛速度快、计算方便且精确度高, 更适合用于本文模型的求解。

3.1 粒子群算法及编写过程

粒子群算法源于对鸟群捕食行为的研究, 通过

粒子之间的相互作用, 在复杂空间中发现最优区域^[28]。粒子群算法是一种智能优化算法, 其收敛速度快、优化质量高、信息共享高效^[29]。

粒子群算法的主要步骤: a. 设定粒子群规模为 N , 随机初始化每个粒子, 本文初始化的是 q, ω, T, n 和 m 。b. 根据适应度函数获得所有粒子的适应度值, 并将所有粒子的相应信息保存于这些粒子的适应度值中。c. 比较历史适应度值, 若当前适应度值较优, 则记为 P_{best} ; 比较群体最优适应度值, 若当前适应度值较优, 则记为 g_{best} 。d. 根据进化方程对粒子位置和速度进行更新, 得到全局最优适应度值; e. 若满足终止规则, 输出全局位置最优值及其目标变量值并终止算法; 否则转向步骤 b。

3.2 遗传算法及编写过程

遗传算法是一种模拟生物演化过程的智能搜索算法, 具有并行性、鲁棒性, 能够广泛用于求解复杂优化问题^[30]。

遗传算法的主要步骤: a. 初始化。随机产生一个初始种群。b. 适应度评估。适应度直接反映个体的优劣程度, 个体适应度值用目标函数来评估计算。c. 选择。选择的目的是提高全局收敛性及效率, 使适应度值较大的个体有机会成为父代。d. 交叉与变异。交叉: 使新一代继承父代的特性, 并具有高于父代的适应性, 保证了全局搜索能力。变异: 以较小概率随机改变某个个体的基因值, 形成新个体, 保证了种群的多样性。e. 终止条件。若达到预设的最大迭代次数, 终止算法; 否则转向步骤 b。

3.3 计算结果

已知 $h_s = 2, h_r = 0.2, h_{\text{raw}} = 0.2, C_n = 30, C_{\text{raw}} = 20, C_o = 1\,000, S_m = 1\,500, S_n = 1\,500, D = 1\,000, a = 0.9, b = 0.9, c = 0.1, d_1 = 20, d_2 = 28, \gamma = 0.1, \beta = 0.9, \varphi = 2, \lambda = 1, e_x = 0.2, e_n = 0.5$ 。参数根据制造/再制造企业的相关文献^[31]整理而得。不同碳税下回收品的最优计算结果如表 1 所示(见下页)。其中,

$$G_{\text{GAP}} = (V_{\text{PSO}} - V_{\text{GA}})/V_{\text{GA}}$$

式中: G_{GAP} 表示两种算法之间的差距; V_{PSO} 表示粒子群算法求得平均总成本; V_{GA} 表示遗传算法求得平均总成本。

当回收成本函数参数 $\theta = 6$ 、再制造函数参数 $\delta = 3$ 时, 不同碳税下关于供应中断概率 ω 的灵敏度分析结果如表 2 所示(见下页); 当碳税 $C = 1$ 、再制造次数和制造次数的比值 $m : n = 1 : 2$ 时, 不同供应中断概率下的总成本波动情况如图 3 所示(见下页)。

表1 不同碳税下粒子群算法和遗传算法的结果对比

Tab.1 Gaps between PSO and GA under different carbon tax

θ	δ	C	m	n	PSO算法			GA算法			$G_{\text{GAP}}/\%$
					q	T	V	q	T	V	
6	2.0	1	1	2	0.398 1	5.220 5	55 996.66	0.391 4	5.195 4	55 993.31	0.006
		2	1	1	0.379 8	5.130 7	56 170.45	0.376 6	5.198 1	56 166.90	0.006
		3	2	1	0.356 4	5.099 0	56 329.75	0.356 1	5.091 9	56 327.98	0.003
		4	3	1	0.339 5	4.878 1	56 510.84	0.338 9	5.040 9	56 508.36	0.004
	2.5	1	1	2	0.461 8	4.118 8	57 019.51	0.462 3	4.216 5	57 016.35	0.006
		2	1	1	0.439 6	3.828 5	57 189.13	0.435 7	4.163 2	57 184.78	0.008
		3	2	1	0.420 8	3.695 8	57 344.78	0.419 2	3.869 8	57 342.69	0.004
		4	3	1	0.401 7	3.518 4	57 549.24	0.404 6	3.501 3	57 546.31	0.005
	3.0	1	1	2	0.576 1	3.165 5	57 268.53	0.570 2	3.169 8	57 264.67	0.007
		2	1	1	0.552 6	3.073 0	57 435.11	0.551 7	3.046 1	57 433.39	0.003
		3	2	1	0.538 7	2.838 6	57 588.38	0.530 9	2.761 9	57 584.94	0.006
		4	3	1	0.519 2	2.701 9	57 703.89	0.519 3	2.678 2	57 701.32	0.004

表2 不同供应中断概率 ω 的灵敏度分析Tab.2 Result of sensitivity test on different supply disruption probability ω

ω	C	m	n	V
0	1	1	2	55 993.31
	2	1	1	56 166.90
	3	2	1	56 327.98
	4	3	1	56 508.36
0.2	1	1	2	60 874.43
	2	1	1	61 095.31
	3	2	1	61 237.76
	4	3	1	61 562.16
0.4	1	1	2	65 721.85
	2	1	1	65 937.71
	3	2	1	66 148.62
	4	3	1	66 325.15
0.6	1	1	2	70 367.34
	2	1	1	70 606.58
	3	2	1	70 837.60
	4	3	1	70 926.51
0.8	1	1	2	75 932.13
	2	1	1	76 187.21
	3	2	1	76 411.35
	4	3	1	76 789.19
1.0	1	1	2	80 036.76
	2	1	1	80 698.11
	3	2	1	81 923.18
	4	3	1	82 067.91

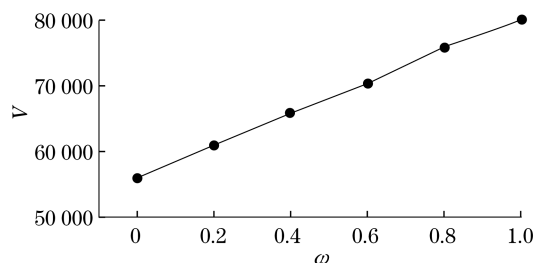


图3 不同供应中断概率下的总成本波动图

Fig.3 Total cost fluctuations in different supply interruption probabilities

表1表明:a.研究了不同碳税下平均总成本随参数的变化情况,通过代入参数值,用粒子群算法和遗传算法对模型进行对比求解,发现这两种算法的变化趋势相同,并且求得的 G_{GAP} 最高为0.008%,说明求得的解未陷入局部最优,这两种算法和模型都具有可行性. b.本例中,当 $\theta = 6, \delta = 2, C = 1, q = 0.391 4, m : n = 1 : 2$ 时,平均总成本最低,为55 993.31. c.随着碳税的增加,再制造次数和制造次数的比值逐渐增大,平均总成本也随之上升,所以,企业可以根据政府设定的碳税来调整再制造次数和制造次数的比值,使平均总成本达到最小值. d.政府在设定碳税值时,应当兼顾环保政策和企业利益,追求两者之间的平衡点. 另外,企业在回收质量水平较低的产品时,政府可以给予适当的补贴,以推动企业的再制造业务.

表2和图3表明:a.当碳税不变时,平均总成本随着供应中断概率的增加而增加.因为,供应中断的发生会在一定程度上影响供应链的运作,供应中断概率的增加将给供应链成员带来更加严重的损失,所以,企业需要制定并实施有效的供应中断风险防范策略,尽量避免供应中断的发生,从而使企业的生产顺利进行.b.当供应中断概率不变时,平均总成本随着碳税的增加而增加,所以,企业在面临难以避免的供应中断问题时,可以根据碳税适当地调整再制造和制造次数的比例,来降低平均总成本.政府可以根据企业的生产运作状况合理设置碳税,兼顾经济与环保,与企业实现共赢.

4 结 论

研究了不同碳税下考虑供应中断风险的制造/再制造企业的最优运作策略.建立了多周期闭环混合系统模型,并采用粒子群算法和遗传算法对比分析算例,验证模型的信度和效度.供应中断的发生会影响整个供应链系统,为企业的正常运作带来较大的不便,从而使企业蒙受损失.企业在回收和生产过程中,可以根据碳税合理安排再制造和制造批次,管理回收品质量,积极应对供应中断风险问题.政府在设定碳税时可综合考虑企业的经济利益和社会的环境问题,实现节能减排的目标.研究能为政府设置合理的碳税提供一定的理论依据,为供应中断风险下企业的生产运作提供良好的应对策略,具有较好的实际意义.

本文只研究了确定需求下的多周期闭环混合系统,未来的研究内容可考虑不定需求下闭环混合系统的最优策略、回收品的丢弃问题和多渠道供应链协调策略.

参考文献:

- [1] HUANG Y T, WANG Z J. Closed-loop supply chain models with product take-back and hybrid remanufacturing under technology licensing [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 142: 3917 – 3927.
- [2] HUANG M, SONG M, LEE L H, et al. Analysis for strategy of closed-loop supply chain with dual recycling channel [J]. *International Journal of Production Economics*, 2013, 144: 510 – 520.
- [3] SHI Y, NIE J J, QU T, et al. Choosing reverse channels under collection responsibility sharing in a closed-loop supply chain with remanufacturing [J]. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 2015, 26(2): 387 – 402.
- [4] 黄志强, 郭健全, 顾宝炎. 考虑回收品质量与价格水平的闭环系统最优运作策略[J]. *工业工程与管理*, 2014, 19(4): 36 – 41.
- [5] GUO J Q, LIANG C J. Models for recycling and production policy for a closed-loop system [J]. *Journal of Quality*, 2011, 18(4): 303 – 314.
- [6] POLOTSKI V, KENNE J P, GHARBI A. Production and setup policy optimization for hybrid manufacturing-remanufacturing systems [J]. *International Journal of Production Economics*, 2016, 183: 322 – 333.
- [7] GUO J Q, KO Y D, Hwang H. A manufacturing/remanufacturing system with the consideration of required quality of end-of-used products [J]. *Industrial Engineering and Management Systems*, 2010, 9(3): 204 – 214.
- [8] ROBOTIS A, BOYACI T, VERTER V. Investing in reusability of products of uncertain remanufacturing cost: the role of inspection capabilities [J]. *International Journal of Production Economics*, 2012, 140: 385 – 395.
- [9] CHEN L T. Dynamic co-opetitive approach of a closed loop system with remanufacturing for deteriorating items in e-markets [J]. *Journal of Manufacturing Systems*, 2014, 33(1): 166 – 176.
- [10] SHI J M, ZHANG G Q, SHA J C. Optimal production planning for a multi-product closed loop system with uncertain demand and return [J]. *Computers & Operations Research*, 2011, 38(3): 641 – 650.
- [11] LIH C. Optimal delivery strategies considering carbon emissions, time-dependent demands and demand-supply interactions [J]. *European Journal of Operational Research*, 2015, 241(3): 739 – 748.
- [12] HOVELAQUE V, BIRONNEAU L. The carbon-constrained EOQ model with carbon emission dependent demand [J]. *International Journal of Production Economics*, 2015, 164: 285 – 291.
- [13] 王心月, 郭健全. 碳税下回收品不同质量水平制造/再制造企业运作策略研究[J]. *资源开发与市场*, 2017, 33(1): 59 – 63, 73.
- [14] XU X Y, XU X P, HE P. Joint production and pricing decisions for multiple products with cap-and-trade and carbon tax regulations [J]. *Journal of Cleaner*

- Production, 2016, 112: 4093 – 4106.
- [15] DONG H J, DAI H C, GENG Y, et al. Exploring impact of carbon tax on China's CO₂ reductions and provincial disparities [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017, 77: 596 – 603.
- [16] 马常松, 陈旭, 罗振宇, 等. 随机需求下考虑低碳政策规制的企业生产策略[J]. 控制与决策, 2015, 30(6): 969 – 976.
- [17] CHANG X Y, LI Y P, ZHAO Y B, et al. Effects of carbon permits allocation methods on remanufacturing production decisions [J]. Journal of Cleaner Production, 2017, 152: 281 – 294.
- [18] GHOSH A, JHA J K, SARMAH S P. Optimal lot-sizing under strict carbon cap policy considering stochastic demand [J]. Applied Mathematical Modelling, 2017, 44: 688 – 704.
- [19] PAUL S K, SARKER R, ESSAM D. A quantitative model for disruption mitigation in a supply chain [J]. European Journal of Operational Research, 2017, 257(3): 881 – 895.
- [20] LI G, ZHANG L J, GUAN X, et al. Impact of decision sequence on reliability enhancement with supply disruption risks [J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2016, 90: 25 – 38.
- [21] PAL B, SANA S S, CHAUDHURI K. A multi-echelon supply chain model for reworkable items in multiple-markets with supply disruption [J]. Economic Modelling, 2012, 29(5): 1891 – 1898.
- [22] MEENA P L, SARMAH S P. Mitigating the risks of supply disruption under stochastic demand [J]. International Journal of Management Science and Engineering Management, 2014, 9(3): 157 – 168.
- [23] XIANG J. Procurement under incomplete information about the supply disruption [C]//Proceedings of the 11th International Conference on Service Systems and Service Management. Beijing, China: IEEE, 2014: 1 – 5.
- [24] VÖRÖS J. Product balancing under conditions of quality inflation, cost pressures and growth strategies [J]. European Journal of Operational Research, 2002, 141(1): 153 – 166.
- [25] 高雅, 郭健全. 回收品质量水平的再制造系统研究 [J]. 上海理工大学学报, 2014, 36(3): 287 – 294.
- [26] WANG J, ZHAO J, WANG X. Optimum policy in hybrid manufacturing/remanufacturing system [J]. Computers & Industrial Engineering, 2011, 60(3): 411 – 419.
- [27] 李新军. 再制造成本随机分布和市场细分的生产优化模型 [J]. 中国管理科学, 2007, 15(5): 72 – 77.
- [28] HAMTA N, GHOMI S M T F, JOLAI F, et al. A hybrid PSO algorithm for a multi-objective assembly line balancing problem with flexible operation times, sequence-dependent setup times and learning effect [J]. International Journal of Production Economics, 2013, 141: 99 – 111.
- [29] ORESKI S, ORESKI G. Genetic algorithm-based heuristic for feature selection in credit risk assessment [J]. Expert Systems with Applications, 2014, 41(4): 2052 – 2064.
- [30] HAO J X, YU Y, LAW R, et al. A genetic algorithm-based learning approach to understand customer satisfaction with OTA websites [J]. Tourism Management, 2015, 48: 231 – 241.
- [31] GUO J Q, YA G. Optimal strategies for manufacturing/remanufacturing system with the consideration of recycled products [J]. Computers & Industrial Engineering, 2015, 89: 226 – 234.

(编辑: 石 瑛)