

共存环境下汽车类型选择与 生产—分销优化模型*

张雷^{1,2a}, 孔艳岩^{2b}

(1. 西南交通大学 机械工程博士后流动站, 成都 610031; 2. 广西师范学院 a. 经济管理学院; b. 物理与电子工程学院, 南宁 530001)

摘要: 针对纯电动汽车与传统汽车共存情况下的汽车类型选择与生产—分销联合优化问题进行了研究。考虑了价格、配套设施完善程度以及技术水平对消费者选择纯电动汽车的影响, 根据购买纯电动汽车和传统汽车不同的消费者剩余得到相应需求函数; 在工厂生产能力有限的前提下, 建立以盈利最大化为目标函数的0-1混合整数非线性优化模型, 利用粒子群优化算法求解确定纯电动汽车及传统汽车的销售价格、生产规模、运输量、存储位置等决策变量。通过一个算例说明了模型的实际应用价值, 该研究为汽车生产商的生产—分销优化提供了重要参考依据。

关键词: 联合优化; 混合整数规划; 购买初始意愿; 消费者剩余; 粒子群算法

中图分类号: TP **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)07-2561-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.07.043

Optimization model of type selection and product-distribution under coexistence of pure electric automobile and traditional automobile

ZHANG Lei^{1,2a}, KONG Yan-yan^{2b}

(1. Postdoctoral Research Station of Mechanical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China; 2. a. College of Economics & Management, b. College of Physics & Electronic Engineering, Guangxi Teachers Education University, Nanning 530001, China)

Abstract: This paper studied the collaborative optimization problem about automobile type selection and production-distribution under the coexistence of pure electric automobile and traditional automobile. First the research considered the influence of prices, perfect degree of supporting facilities and technical level on consumer selecting pure electric vehicle, and it got the demand function according to the different consumer surplus about the purchase of pure electric automobile and traditional automobile. Then, on the assumption of limit plant capacity, it built a 0-1 mixed integer nonlinear optimization model with profit maximization as objective function. It used PSO algorithm to solve the decision variables of pure electric automobile and traditional automobile such as sales price, production scale, freight volume, store location and so on. In the last part, it illustrated the practical application value of the model through an example. The research provides important reference for the production-distribution decision to be made for automobile manufacture.

Key words: collaborative optimization; mixed integer programming; purchasing initial intention; consumer surplus; particle swarm optimization(PSO) algorithm

0 引言

在能源和环境的双重约束下, 发展纯电动汽车是降低汽车排放污染、促进可持续发展的需要, 同时也是提高我国汽车工业竞争力、实现跨越式发展的需要^[1]。纯电动汽车的出现是以替代传统汽车为目的, 因此, 在传统汽车退出市场前将始终扮演替代品的角色。然而, 从现阶段纯电动汽车技术水平及其配套设施发展程度来看, 纯电动汽车替代传统汽车将是一个长期过程, 也就是说在很长的一段时间内, 纯电动汽车将和传统汽车共存。

许多学者围绕着共存环境下产品间的替代性展开了研究。

孙玉玲等人^[2]将贴现率引入新、老两代产品的生产规模优化模型, 通过数值分析得出产品的需求密度和贴现率对最优生产规模的影响。官振中等人^[3]研究了随机需求环境下完全向下替代的两代易逝产品的订货策略。Pasternack 等人^[4]则针对随机需求和“向上”“向下”两类替代给出了最优存量控制策略。Bassok 等人^[5]提出了多代产品需求替代情况下的库存模型。高峻峻等人^[6]针对替代性需求下一类产品的品种选择与库存控制的联合决策问题进行了研究。关志民等人^[7]研究了多种产品之间具有替代需求条件下的分销系统存货问题。罗利等人^[8]则提出了易逝性高新技术产品更新换代期内具有替代性产品的定价策略。

不同于以上文献中对一般共存环境下替代性产品的研究,

收稿日期: 2011-07-14; **修回日期:** 2011-08-25 **基金项目:** 广西省教育厅基金资助项目(201106LX324); 福建省自然科学基金资助项目(2011J01381); 广西高等学校特色专业及课程一体化建设资助项目(GXTSY016); 广西师范学院科研启动资助项目(2011D001)

作者简介: 张雷(1978-), 男, 河北保定人, 博士(后), 主要研究方向为供应链网络设计与系统优化(zlky@139.com); 孔艳岩(1978-), 女, 山东惠民人, 博士, 主要研究方向为系统优化。

纯电动汽车与传统汽车的共存不仅要考虑价格及技术水平的角度来考虑消费者对汽车类型的选择,还要考虑其他因素,如配套设施完善程度等对产品间替代性产生的影响;另外,上述文献主要针对替代性产品的生产、库存、定价等某一环节进行了单方位的探讨而缺乏产供销全过程的整体优化研究。

针对共存环境下汽车类型选择的特征以及现有文献的不足,本文将纯电动汽车购买初始意愿系数引入需求函数,对共存环境下汽车类型选择与生产—分销联合优化进行研究。纯电动汽车购买初始意愿系数综合评价价格、技术水平以及配套设施完善程度对选择纯电动汽车的影响,在假设消费者对传统汽车的估价服从均匀分布的条件下,由消费者剩余确定纯电动汽车和传统汽车的需求函数;然后,在生产能力有限的前提下,以生产能力、流量均衡、存储空间、运输能力为约束条件,以总利润最大化为目标函数,构建了一个非线性整数规划联合优化模型,并给出模型求解的粒子群算法;最后通过算例说明了模型的可行性和算法的有效性。

1 问题描述与模型假设

1.1 问题描述

纯电动汽车对传统汽车的替代是一个长期的、逐步的过程。通常对消费者而言,如果在此阶段购买了传统汽车,则在很长一段时间内不会购买纯电动汽车。对汽车生产商而言,当只有传统汽车在市场上销售时,生产商只需根据传统汽车的需求预测就可以作出生产—分销决策;而在纯电动汽车与传统汽车共存的情况下,由于纯电动汽车的技术水平、国家补贴政策、配套设施完善程度以及价格间的相互影响增加了需求的不确定性,同时,由于生产能力的有限性就更增加了生产商的决策难度。如何在现有情况下同时确定两类汽车的销售价格、生产规模、分销数量,实现利润最大化是企业面临的重要决策问题。

1.2 模型假设

a) 同一品牌内性能相近的纯电动汽车与传统汽车作为整体进行考虑,将市场上仅存在该传统汽车时的最大需求视为整体最大需求。

b) 各市场同类型汽车销售价格相同,消费者购买意愿及配套设施完善程度因地而异。

c) 消费者购买纯电动汽车的初始意愿与估价成反比,与配套设施完善程度成正比。

d) 由消费者剩余最终决定消费者对汽车类型的选择。

e) 各市场汽车需求量 Y_i 为随机变量, Y_i 服从正态分布,其均值和方差可估计,需求均值和标准差分别为 μ_i 和 σ_i 。

本文中, i 表示汽车销售市场, $i \in \{1, 2, \dots, I\}$; j 表示分销中心, $j \in \{1, 2, \dots, J\}$; k 表示汽车种类, 1 表示传统汽车, 2 表示纯电动汽车。

2 模型的建立及求解

2.1 购买初始意愿系数描述

根据安永全球汽车行业中心对我国汽车消费的调查结果显示,价格、配套设施完善程度和技术水平是我国消费者在选购纯电动汽车时犹豫不决的主要因素。引入纯电动汽车购买初始意愿系数 λ 。 λ 表示消费者在一定的配套设施完善程度

下,以性能相近的传统、纯电动汽车为对象,以传统汽车估价作为参照对纯电动汽车估价后的购买意愿。由假设 c) 可知:

$$\lambda = \frac{p_1}{p_2} \gamma \quad (1)$$

其中: γ 表示纯电动汽车配套设施完善系数, $\gamma \in (0, 1)$; p_1 表示消费者对传统汽车估价; p_2 表示消费者对纯电动汽车估价, $p_2 \geq p_1$ 。

2.2 市场需求描述

由假设条件 a), 某型号传统汽车市场最大需求量为 A ; 消费者对传统汽车的估价服从 $[0, b]$ 的均匀分布^[9,10], 其密度函数为

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{b} & x \in [0, b] \\ 0 & x \notin [0, b] \end{cases} \quad (2)$$

传统汽车与纯电动汽车的实际销售价格分别为 p'_1 、 p'_2 , 且 $p'_2 > p'_1$; 消费者购买传统汽车和纯电动汽车的消费者剩余分别为 Δp_1 、 Δp_2 , 则

$$\Delta p_1 = p_1 - p'_1 \quad (3)$$

$$\Delta p_2 = p_2 - p'_2 \quad (4)$$

由假设 d) 可知, 当满足条件 $\Delta p_1 \geq 0$ 且 $\Delta p_1 \geq \Delta p_2$ 时, 消费者购买传统汽车; 当满足条件 $\Delta p_2 \geq 0$ 且 $\Delta p_2 \geq \Delta p_1$ 时, 消费者购买纯电动汽车。

根据假设条件 d), 由上述公式联合推导(过程略)可得, 当

且仅当 $\frac{p'_1}{p'_2} < \frac{\lambda}{\gamma} < \frac{b}{p'_2 - p'_1 + b}$ 时, 消费者对传统汽车和纯电动汽车均有需求, 此时消费者购买传统汽车的数量为

$$y_1 = A \int_{\frac{p'_1}{p'_2}}^{\frac{p'_2 - p'_1}{\lambda}} f(x) dx = \frac{A}{b} \left(\frac{p'_2 - p'_1}{\lambda} - \frac{p'_1}{\gamma} \right) \quad (5)$$

消费者购买纯电动汽车的数量为

$$y_2 = A \int_{\frac{p'_1}{p'_2}}^{\frac{p'_2 - p'_1}{\lambda}} f(x) dx = \frac{A}{b} \left(b - \frac{p'_2 - p'_1}{\lambda} \right) \quad (6)$$

由式(5)(6)可以看出, 实际售价、配套设施完善系数、购买初始意愿系数对纯电动汽车及传统汽车需求数量的影响。纯电动汽车及传统汽车需求数量分别随自身售价的增加而减少, 随对方实际售价的增加而增加; 随着配套设施完善系数的增加分别增加、减少; 而随购买初始意愿系数的增加而分别减少和增加。这主要是由于消费者剩余最终决定着汽车类型的选择。结合式(1), 纯电动汽车消费者剩余随配套设施完善系数增加而增加, 随购买初始意愿系数增加而减少, 传统汽车消费者剩余则相反。

2.3 利润函数

由假设条件 e) 可知, 市场 i 汽车需求 Y_i 服从正态分布, 概率密度函数为 $f(y)$, 其均值和标准差分别为 μ_i 和 σ_i , 因此, 市场 i 对传统汽车、纯电动汽车的需求量也服从正态分布。其中, 传统汽车的均值和方差分别为

$$\begin{aligned} \mu_{i1} &= \frac{\mu_i}{b_i} \left(\frac{p'_2 - p'_1}{\lambda_i} - p'_1 \right) \\ \sigma_{i1}^2 &= \frac{\sigma_i^2}{b_i^2} \left(\frac{p'_2 - p'_1}{\lambda_i} - p'_1 \right)^2 \end{aligned} \quad (7)$$

纯电动汽车的均值和方差分别为

$$\begin{aligned}\mu_{i2} &= \frac{\mu_i}{b_i} \left(b_i - \frac{p'_2 - p'_1}{\lambda_i - 1} \right) \\ \sigma_{i2}^2 &= \frac{\sigma_i^2}{b_i^2} \left(b_i - \frac{p'_2 - p'_1}{\lambda_i - 1} \right)^2\end{aligned}\quad (8)$$

由于市场需求的随机波动性往往会造成实际当中出现最终汽车的供应超过或低于市场需求的情况。无论哪种情况,都将给汽车企业造成一定的损失。

当汽车供应超过需求时就会产生库存积压,库存成本 CH 表示为

$$CH = \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^2 ch'_{ki} \max \left[\sum_{j=1}^J f_{ijk} - y_{ik}, 0 \right] \quad (9)$$

当汽车供应不足时会因缺货造成收益损失,缺货损失成本 CS 表示为

$$CS = \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^2 cs'_{ki} \max \left[y_{ik} - \sum_{j=1}^J f_{ijk}, 0 \right] \quad (10)$$

预期服务水平 ESL_{ik} 定义为

$$ESL_{ik} = 1 - \frac{\max \left[\sum_{j=1}^J f_{ijk} - y_{ik}, 0 \right]}{Y_{ik}} \quad (11)$$

为此,在设目标函数时主要考虑产品的价格、生产成本、运输成本、缺货损失、存储成本。

$$\begin{aligned}\max EF &= \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^2 p'_{ik} y_{ik} - \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^2 p'_{ik} \max \left[y_{ik} - \sum_{j=1}^J f_{ijk}, 0 \right] - \\ &\quad \sum_{k=1}^2 (c p_k X_k + c v p_k x_k) - \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^2 c v t_{kj} z_{kj} - \\ &\quad \sum_{j=1}^J [c f s_j U_j + \sum_{k=1}^2 (c v s_j z_{kj} + c h_{kj} \zeta_{kj})] - \\ &\quad \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^2 c v t_{kji} f_{kji} - CH - CS\end{aligned}\quad (12)$$

其中: x_k 表示汽车 k 产量, y_{ik} 表示市场 i 汽车 k 需求量, $c p_k$ 表示汽车 k 固定生产成本, $c v p_k$ 表示汽车 k 单位可变生产成本, $c v t_{kj}$ 表示单位汽车 k 由工厂运输到分销中心 j 可变成本, $c v t_{kji}$ 表示单位汽车 k 经分销中心 j 运输到市场 i 可变成本, $c f s_j$ 表示分销中心 j 固定运行成本, $c v s_j$ 表示分销中心 j 单位汽车可变运行成本, $c h_{kj}$ 表示分销中心 j 单位汽车 k 存储成本, ζ_{ik} 表示分销中心 j 汽车 k 存量, ch'_{ki} 表示市场 i 单位汽车 k 存储成本, cs'_{ki} 表示市场 i 单位汽车 k 缺货成本, X_k 表示汽车 k 是否进行生产的 0-1 变量, U_j 表示分销中心 j 是否使用的 0-1 变量, z_{kj} 表示汽车 k 由工厂到分销中心 j 运输量, f_{kji} 表示汽车 k 经分销中心 j 到市场 i 运输量。

2.4 联合优化模型的建立

共存环境下的汽车类型选择与生产—分销联合优化模型目标函数是在满足一定客户服务水平的条件下盈利最大,由此建立联合优化模型

$$\begin{aligned}\max EF &= \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^2 p'_{ik} y_{ik} - \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^2 p'_{ik} ES_{ik} - \sum_{k=1}^2 (c p_k X_k + c v p_k x_k) - \\ &\quad \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^2 c v t_{kj} z_{kj} - \sum_{j=1}^J [c f s_j U_j + \sum_{k=1}^2 (c v s_j z_{kj} + c h_{kj} \zeta_{kj})] - \\ &\quad \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^2 c v t_{kji} f_{kji} - \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^2 ch'_{ki} ES_{ik} - \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^2 cs'_{ki} EI_{ik}\end{aligned}\quad (13)$$

约束条件包括:

a) 生产能力约束

$$a_k x_k \leq \alpha_k X_k CP \quad \forall k \quad (14)$$

b) 存储能力约束

$$\sum_{k=1}^2 z_{kj} \leq U_j CD_j \quad \forall j \quad (15)$$

c) 服务水平约束

$$ESL_{ik} \geq TSL_{ik} \quad \forall i, k \quad (16)$$

d) 流量守恒约束

$$\sum_{j=1}^J z_{kj} = x_k \quad \forall k \quad (17)$$

$$\sum_{i=1}^I f_{ijk} = z_{jk} - \zeta_{jk} \quad \forall k, j \quad (18)$$

$$\sum_{j=1}^J f_{ijk} = y_{ik} + EI_{ik} - ES_{ik} \quad \forall k, i \quad (19)$$

各个变量的取值范围为

$$x_k, z_{jk}, f_{ijk}, u_{jk} \geq 0 \quad \forall i, j, k \quad (20)$$

其中: EI_{ik} 表示预期市场 i 汽车 k 缺货量

$$EI_{ik} = \max \left[y_{ik} - \sum_{j=1}^J f_{ijk}, 0 \right]$$

ES_{ik} 表示预期市场 i 汽车 k 库存量

$$ES_{ik} = \max \left[\sum_{j=1}^J f_{ijk} - y_{ik}, 0 \right]$$

CP 表示工厂最大生产能力; a_k 表示工厂生产单位汽车 k 所消耗的生产能力; α_k 表示工厂生产汽车 k 所占用的生产能力百分比; TSL_{ik} 表示市场 i 汽车 k 目标服务水平; CD_j 表示分销中心的服务能力。

2.5 对模型求解

PSO 算法最早在 1995 年由 Kennedy 等人^[11]提出,其基本思想是基于对鸟类群体觅食行为的研究。Shi 等人^[12]最先将惯性权重 w 引入到 PSO 算法中,本文采用带有惯性权重的粒子群优化算法对模型进行求解。首先通过 MATLAB 的随机函数 rand 初始化粒子群;然后以目标函数值为适应值,计算每个粒子的适应值。将种群的初始位置作为历史最优位置,将适应值作为历史最优值,并通过比较求出全局最优位置和全局最优值。更新粒子的位置和速度分别为

$$\begin{aligned}V_i^{(k+1)} &= w V_i^{(k)} + c_1 r_{i1} (P_i^{(k)} - X_i^{(k)}) + c_2 r_{i2} (P_g^{(k)} - X_i^{(k)}) \\ i &= 1, 2, \dots, \text{popsize}\end{aligned}\quad (21)$$

$$X_i^{(k+1)} = X_i^{(k)} + V_i^{(k+1)} \quad (22)$$

其中: c_1 为粒子自身加速度权重系数, c_2 全局加速度权重系数; r_{i1} 、 r_{i2} 为 0~1 内两个相互独立且均匀分布的随机数; $P_i^{(k)}$ 、 $P_g^{(k)}$ 分别为第 k 代的历史最优位置和全局最优位置; w 为惯性权重。为了保证搜索过程中的全局搜索能力和局部搜索能力的平衡,将惯性权重 w 设计为迭代次数的函数,且随迭代次数线性减少,其计算式为

$$w^{(k)} = w_{\max} - k(w_{\max} - w_{\min}) / k_{\max}$$

其中: $w_{\max}$ 、 $w_{\min}$ 分别为初始、终止惯性权重; $k_{\max}$ 为最大迭代代数。

粒子的位置和速度更新后,计算其新的适应值即目标函数值;然后以目标函数值最大为目标,对个体历史最优位置、个体历史最优极值、全局最优位置和全局最优极值进行更新。在计算个体适应值时调用计算目标函数值的 M 文件,此时约束条件是否满足将在 M 文件中判断,只有当所有约束条件都满足时计算其目标函数值,否则以原值返回。通过位置和速度的不断迭代和自身群体历史最优值与全局最优值比较更新,可确定目标函数在满足约束条件下的最大值。

3 数值仿真

某国产品牌汽车生产商计划对性能相近的纯电动汽车和传统汽车进行生产、销售。已知有一个生产工厂、三个分销中心、六个消费市场。工厂纯电动汽车固定生产成本为1 200万元,单位可变生产成本为9万元/辆,工厂传统汽车固定生产成本为800万元,单位产品可变生产成本为5万元/辆,生产单位纯电动汽车消耗的能力资源为0.3 h/辆,生产单位传统汽车消耗的能力资源为0.2 h/辆;三个备选分销中心,固定运营成本分别为50、40和30万元,单位可变运行成本分别为0.2、0.4和0.3万元/辆,单位存储成本均为0.5万元,存储能力分别为1200、1000和900辆;市场纯电动汽车目标服务水平为0.92,传统汽车目标服务水平为0.9;纯电动汽车销售价格区间为[12,20]万元,传统汽车销售价格区间为[9,15]万元;订货周期内工厂最大有效生产时间为720 h;其他数据如表1~5所示。

表1 各个市场*i*汽车初始需求量 /辆

市场1	市场2	市场3
$N(300, 30^2)$	$N(400, 45^2)$	$N(250, 30^2)$
市场4	市场5	市场6
$N(200, 35^2)$	$N(300, 50^2)$	$N(350, 60^2)$

表2 各市场纯电动汽车购买初始意愿系数 λ 、配套设施完善系数 γ

系数	市场1	市场2	市场3	市场4	市场5	市场6
λ	0.43	0.36	0.25	0.18	0.52	0.62
γ	0.5	0.42	0.29	0.21	0.61	0.72

表3 各个市场*i*单位汽车*k*缺货损失 cs'_{ki} 、存储成本 ch'_{ki} /万元

		市场1	市场2	市场3	市场4	市场5	市场6
cs'_{ki}	$k=1$	1.0	0.92	0.9	0.95	1.02	0.96
	$k=2$	1.4	1.25	1.3	1.2	1.35	1.25
ch'_{ki}	$k=1$	0.8	0.75	0.92	0.90	0.85	0.87
	$k=2$	0.8	0.75	0.92	0.90	0.85	0.87

表4 由工厂到分销中心*j*单位可变运输成本 cvt_{kj} /万元

分销中心1	分销中心2	分销中心3
0.5	0.3	0.2

表5 由分销中心*j*到市场*i*单位可变运输成本 cvt_{kji} /万元

分类	市场1	市场2	市场3	市场4	市场5	市场6
中心1	0.4	0.25	0.36	0.18	0.3	0.4
中心2	0.25	0.6	0.45	0.3	0.15	0.32
中心3	0.4	0.18	0.27	0.3	0.4	0.5

设置种群规模为50,最大迭代次数 $k_{\max}=500$,粒子自身加速度权重系数 $c_1=1.8$,全局加速度权重系数 $c_2=1.8$ 。初始惯性权重 $w_{\max}=1.2$,终止惯性权重 $w_{\min}=0.4$ 。根据上述设计的算法,通过MATLAB M语言编程计算,在CPU Celeron® 2.40 GHz,内存1 GB的PC上耗时688.36 s完成,得出联合优化模型目标函数值 $F^*=4\,770.29$ 万元。图1给出了粒子群算法种群最优解变化情况,可以看出,在第260代以后其解趋于某值,算法迅速收敛。

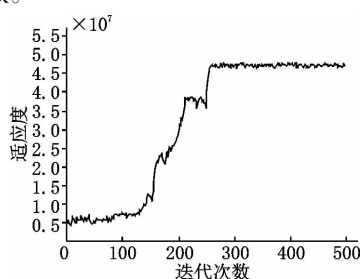


图1 算法性能跟踪

4 结束语

面对全球范围日益严峻的能源形势和环保压力,世界主要汽车生产国都把发展新能源汽车作为提高产业竞争力、保持经济社会可持续发展的重大战略举措。在纯电动汽车技术上,我国的自主品牌企业与国外企业基本上处于同一起跑线,然而,面对世界各国争先发展的纯电动汽车产业,我国企业如何在激烈竞争环境中保持优势地位成为重要的研究课题。针对纯电动汽车与传统汽车长期共存,研究了基于替代性需求下汽车类型选择与生产—分销联合优化问题,综合考虑了影响消费者购买纯电动汽车的因素,如纯电动汽车技术水平、配套设施完善程度等,这些因素的引入加强了模型的实用性;通过对构建的非线性整数规划联合优化模型进行求解可以确定两类汽车类型的销售价格、生产规模、分销数量。该研究工作为解决汽车生产企业纯电动汽车与传统汽车结构组成提供了有效的研究方法;同时,设计合理的生产—分销网络可以在努力提高汽车供给水平的情况下合理安排产能、减少库存,进而降低成本,增强汽车生产企业市场竞争力。为了体现模型的动态性,后续研究工作将对本问题的多周期情况作更进一步的研究;另外,考虑不同品牌竞争环境下的联合优化问题对提高我国自有品牌汽车生产企业的竞争力具有更加现实的意义。

参考文献:

- [1] 马钧,王宁,孔德洋. 基于AHP及Logit回归的新能源汽车市场预测模型[J]. 同济大学学报:自然科学版, 2009, 37(8): 1079-1084.
- [2] 孙玉玲,周晶. 易逝性高科技产品更新期的生产规模决策模型[J]. 系统工程学报, 2007, 22(3): 262-267.
- [3] 官振中,卜祥智. 可变价格向下替代易逝性产品最优订货策略[J]. 系统工程理论与实践, 2007, 27(6): 93-99.
- [4] PASTERNAK B, DREZNER Z. Optimal inventory policies for substitutable commodities with stochastic demands[J]. Naval Research Logistics, 1991, 38(2): 221-240.
- [5] BASSOK Y, ANUPINDI R, AKEHA R. Single-period multiproduct inventory models with substitution[J]. Operations Research, 1999, 47(4): 632-642.
- [6] 高峻峻,俞策若. 替代性需求下一类产品的品种选择与库存控制的联合决策[J]. 系统工程理论与实践, 2009, 29(3): 73-83.
- [7] 关志民,吕芹,马钦海. 多种产品替代需求条件下分销系统的库存策略[J]. 东北大学学报:自然科学版, 2005, 26(5): 504-507.
- [8] 罗利,俞言兵,刘德文. 基于需求转移的易逝性产品最优动态定价策略[J]. 管理工程学报, 2006, 20(2): 38-44.
- [9] FERGUSON M, TOKTAY L B. The effect of competition on recovery strategies[J]. Product and Operations Management, 2006, 15(3): 351-368.
- [10] 王文宾,达庆利. 考虑市场细分的闭环供应链生产与定价策略[J]. 控制与决策, 2009, 24(5): 675-679.
- [11] KENNEDY J, EBERHART R. Particle swarm optimization[C]//Proc of IEEE International Conference on Neural Networks. Piscataway, IEEE Service Center, 1995: 1942-1948.
- [12] SHI Y, EBERHART R. A modified particle swarm optimizer[C]//Proc of IEEE International Conference on Evolutionary Computation. 1998: 69-73.