

文章编号: 1001-0920(2013)09-1382-07

价格波动下钢铁企业原材料采购多期优化模型

伍景琼^{1,2}, 蒲云², 伍锦群³

(1. 昆明理工大学 交通工程学院, 昆明 650504; 2. 西南交通大学 交通运输与物流学院, 成都 610031; 3. 娄底职业技术学院 电子信息工程系, 湖南 娄底 417000)

摘要: 考虑钢铁企业原材料需求、采购提前期及价格波动的影响, 建立原材料采购的多期优化模型, 最小化单位采购成本并保证原材料的供应. 由于模型求解困难, 将其分解为多个子模型, 并采用改进的粒子群算法进行求解. 最后以某钢铁企业铁矿石采购优化为案例, 表明多期优化决策比单期最优经济采购决策和以补充库存为目的的采购策略更优.

关键词: 钢铁企业; 原材料采购; 价格波动; 多期优化

中图分类号: TP273

文献标志码: A

Raw material purchasing multi-period optimization model with fluctuating prices in steel enterprise

WU Jing-qiong^{1,2}, PU Yun², WU Jin-qun³

(1. Faculty of Transportation Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650504, China; 2. School of Transportation and Logistics, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China; 3. Department of Electronic and Information Engineering, Loudi Vocational and Technical College, Loudi 417000, China. Correspondent: WU Jing-qiong, E-mail: mote_1984@163.com)

Abstract: Considering the impact of fluctuating demand, stochastic lead time and prices in the raw material procurement, a purchasing multi-period optimization model is established for minimizing the unit purchasing cost and ensuring the supply of raw material. To reduce the difficulty of problem solving, the model is decomposed into several sub-models. An improved particle swarm algorithm is proposed to solve the sub-models. Finally, taking a steel enterprise as an example, the results show that the unit purchasing cost of multi-period joint optimization is lower than the single period economic batch purchasing and the procurement strategy for stock replenishment.

Key words: steel enterprise; raw material purchasing; fluctuating prices; multi-period optimization

0 引言

钢铁企业是资源消耗型企业, 对铁矿石、煤炭和废钢等有较大的依赖. 原材料采购成本占总产品成本的60%~70%^[1], 且由于钢铁生产中断后重新恢复生产需要付出巨额费用, 钢铁原材料必须得到百分之百的供应, 以保障生产的连续性. 目前钢铁企业采购模式大多以补充库存为主, 常常维持较高的库存量, 占用了大量的流动资金. 如何在保障供应的前提下降低采购成本对于钢铁企业至关重要.

1913年, Harris^[2]提出了经典经济订购批量(EOQ)模型, 随后一些学者将经济订购批量模型进

行拓展, 将其假设条件逐步放宽, 形成了较为完整的库存体系^[3-4]. 目前, 关于钢铁企业原材料采购的研究较少. 文献[5]认为钢铁企业原材料采购具有品种多、数量大、费用高和质量要求严格的特点, 建立了原材料总采购成本最小化模型, 进行原材料采购计划编制, 确定采购品种及数量. 文献[6]研究了大型钢铁集团的散装原材料采购问题, 在假设钢铁原材料的需求和库存水平确定的情况下, 建立了总成本最小、延期交货量最低和原材料合格率最高的多目标模型, 用来决定原材料采购品种、采购数量以及供应商的选择. 文献[1]研究了钢铁原料采购批量问题, 在满足生产

收稿日期: 2012-03-23; 修回日期: 2012-10-11.

基金项目: 国家自然科学基金项目(70971017); 湖南省高校科学研究项目(11C1065); 云南省人才培养项目(KKSY 201302033).

作者简介: 伍景琼(1984—), 女, 讲师, 博士生, 从事物流经济、物流信息技术的研究; 蒲云(1962—), 男, 教授, 博士生导师, 从事交通网络、物流规划等研究.

需求的前提下, 确定各种原料的采购量, 使总的采购成本和库存费用之和最小. 文献[7]和[8]以上海宝钢为背景研究了钢铁企业的原料库存问题, 建立了基于EOQ的钢铁企业原料库存优化模型, 用于确定各种原料的最佳库存水平和补库时间间隔, 以实现原料库存相关成本的最小化. 文献[1]及[5-8]的研究都假定了原材料价格和原材料需求为固定值, 然而现实中, 钢铁原材料价格和需求不断波动, 此时原采购决策未必为最优决策.

对于原材料采购中价格波动的影响研究, 文献[9]最早在物资采购中考虑采购物资价格随时间波动, 并提出采用线性规划和动态规划来解决该问题. 文献[10]在原材料采购中考虑了采购价格、库存成本以及需求随时间发生变化的情况, 但其认为采购价格与时间存在函数关系, 然而钢铁原材料价格与时间并非存在某种特定的函数关系.

本文综合考虑原材料需求、采购提前期和价格波动的影响, 在价格预测基础上从多期决策的角度进行原材料采购的优化, 为钢铁企业管理者提供了采购决策.

1 采购优化模型的建立

1.1 模型的描述及假设

假设钢铁企业采用 (r, Q) 策略盘点库存, 此时, 原材料采购库存状态如图1所示.

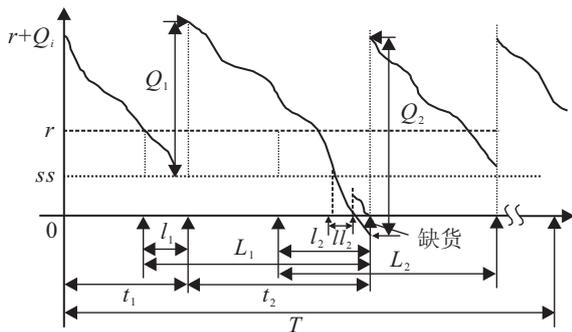


图1 需求波动下原材料采购策略

当库存下降到 r 时, 发出订货指令, 由于受到原材料价格波动的影响, 若预测未来价格会上涨, 则采购决策者会考虑在这一采购期内增加采购量, 而减少未来采购期的采购量; 相反, 若预测未来价格下跌, 则会在保障供应的基础上相对减少这一期的采购量. 可见采购量为随机变量, 表现为图1中 Q_1 与 Q_2 不相等. 由于原材料每期采购量不同、供应商差异、推迟交货以及运输受阻等不确定因素的影响, 在不同采购期内发出订货的采购提前期 L_{ik} 不相等, 表现为图1中 L_1 与 L_2 不相等, 即采购提前期 L 为随机变量. 由于钢铁企业生产不能中断, 即原材料供应应保证百分之百的供应率, 如果按此要求设置安全库存, 则安全库存

量越高, 其供应保障率也越高. 受堆放场地和采购资金的限制, 库存量不可能无限制追求最高, 所以应设置一个合理的供应保障率 α , 于是可能缺货的概率为 $1 - \alpha$. 当采购提前期不正常延长时, 会导致库存量降到安全库存 ss 以下, 此时, 采购管理者通过采用高价购买原材料、调货等办法保证生产供应正常, 即发出图1中 ll_2 期间的紧急订货, 该订货量在正常采购物资到达前到达, 以维持钢铁生产持续进行.

相关假设如下: 1) 同一种原材料有多个供应商, 在同一个采购期内同种原材料不同供应商的出售价格相同, 但同种原材料不同供应商供应品质存在差别; 2) 在一个采购期 t_k 内最多只有一次紧急订货; 3) 采购期 t_k 内到达的物资都在期初瞬间到达; 4) 在某采购期 t_k 内原材料价格维持恒定不变, 但不同期内采购价格是波动的; 5) 钢铁企业生产持续无限期, 即在原材料价格预测周期前后都存在钢铁生产活动.

1.2 模型的建立

本文的有关符号说明如下:

T 为原材料价格预测周期, 根据实际需要划分为若干预测期; t_k 为第 k 个采购期的延续时间, $k \in \{1, \dots, K\}$, $\sum_{k=1}^K t_k \geq T$ 且 $\sum_{k=1}^{K-1} t_k < T$, t_{-1}, t_0, t_{K+1} 有意义, 但 $t_{-1}, t_0, t_{K+1} \notin (0, T)$; Q_{ik} 为第 i 种原材料在 t_k 采购期发出的订购量; r_i, ss_i 分别为第 i 种原材料的订货点及安全库存量; η_i 为单位钢材产量对于第 i 种原材料的需求率, 可由钢材生产技术消耗得到, 一般为常量; θ_{ik} 为第 i 种原材料在第 t_k 采购期的产量影响因子; μ_i, σ_i^2 为第 i 种原材料的需求均值和方差; P_{ik} 为第 i 种原材料在 t_k 采购期的预测价格; Q_{ijk}, Q_{ijk}^j 分别为第 i 种原材料在第 t_k 采购期从供应商 j 处采购的量和采购量的上限; C_{Yik} 为第 i 种原材料在第 t_k 采购期采购预算; L_{ik} 为第 i 种原材料在第 t_k 采购期内发出订货的采购提前期; l_{ik} 为第 i 种原材料第 t_k 采购期内订货点到下一批到货点之间的时间; $DLB_{ki}, \mu_{DBi}, \sigma_{DBi}^2$ 和 $f_{LBi}(x)$ 分别为第 i 种原材料 l_{ik} 期间的需求、需求均值、方差和需求的概率分布密度; c_i^q 为第 i 种原材料每次采购固定费用; c_{ijk}^s 为第 i 种原材料在 t_k 采购期内从供应商 j 处采购的单位运输成本; g_{ik} 为第 i 种原材料在 t_k 采购期期初的库存量; c_i^{h1}, c_i^{h2} 分别为第 i 种原材料储存在自有堆场(仓库)和租用堆场(仓库)的单位库存成本; v_i 为第 i 种原材料自有堆场(仓库)的最大库存能力; α_i 为原材料 i 的生产供应保障率; ll_{ik} 为第 i 种原材料在采购期 t_k 的紧急订货提前期, 存在紧急订货的概率为 $1 - \alpha_i$; q_{ik} 为第 i 种原材料在采购期 t_k 的紧急订货量; p_{ik} 为第 i 种原材料在采购期 t_k 的紧急订货时的价格, 紧急订货提

前期 l_{ik} 越小 p_{ik} 越大; 指标函数

$$\delta(y) = \begin{cases} 0, & y \leq 0; \\ 1, & y > 0. \end{cases}$$

1) 采购成本.

预测周期 T 内采购成本包括正常采购费用和紧急订货情况下采购费用, 通过紧急订货可以保证原材料百分之百的供应, 其计算表达式为

$$C_p = \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K Q_{ik} P_{ik} + k \sum_{i=1}^I c_i^q + \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K q_{ik} p_{ik}. \quad (1)$$

2) 运输成本.

共有 i 种原材料物资从 j 个供应商处采购 ($i \leq j$), 原材料运输成本为

$$C_s = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K c_{ijk}^s Q_{ijk}. \quad (2)$$

3) 库存成本.

由于不同供应商的采购提前期不同, 要精确计算库存成本比较困难, 可应用采购提前期均值 μ_{Li} 进行库存成本的粗略计算.

采购期 t_k 采购的原材料不一定在当期或 t_{k+1} 期到达, 可能跨越了多个采购期, 且到达时间可能会超出原材料价格预测期 T 的范围, 但是在计算预测期 t_k 期间的库存成本时, 并不根据 t_k 期间原材料实际到达量来计算, 而是以当期采购量在未来的库存成本来计算. 此时若 $\lfloor \frac{\mu_{Li}}{t_k + t_{k+1} + \dots + t_{k+m}} \rfloor = 0$ 且 $\lfloor \frac{\mu_{Li}}{t_k + t_{k+1} + \dots + t_{k+m-1}} \rfloor = 1$, 则称 μ_{Li} 跨越了 m 个采购期, 其中 $\lfloor \cdot \rfloor$ 为取整符号.

采购期 t_k 内第 i 种原材料的库存成本为

$$\begin{aligned} C_{wik} = & \delta(y_i) \left\{ \int_{\frac{y_i}{\varphi_i}}^{t_{k+m}} c_i^{h1} (v_i - \varphi_i t) dt + \right. \\ & \left. \int_0^{\frac{y_i}{\varphi_i}} [c_i^{h1} v_i + c_i^{h2} (y_i - \varphi_i t)] dt \right\} + c_i^{h1} \frac{q_{ik}^2}{2\theta_{ik}\eta_i} + \\ & \delta(-y_i) \int_0^{t_{k+m}} c_i^{h1} (Q_{ik} + g_{i(k+m)} - \varphi_i t) dt = \\ & \delta(y_i) \left[c_i^{h1} v_i t_{k+m} - \frac{1}{2} c_i^{h1} \varphi_i t_{k+m}^2 + \right. \\ & \left. \frac{y_i^2}{2\varphi_i} (c_i^{h1} + c_i^{h2}) \right] + c_i^{h1} \frac{q_{ik}^2}{2\theta_{ik}\eta_i} + \\ & \delta(-y_i) c_i^{h1} \left[(Q_{ik} + g_{i(k+m)}) t_{k+m} - \frac{1}{2} \varphi_i t_{k+m}^2 \right]. \quad (3) \end{aligned}$$

其中: $y_i = Q_{ik} + g_{i(k+m)} - v_i$, $\varphi_i = \theta_{i(k+m)} \eta_i$.

原材料价格预测期 T 内总库存成本为

$$C_w = \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K C_{wik}. \quad (4)$$

4) 目标函数.

需求波动下, 建立原材料价格波动的多期采购决

策模型, 目标函数为原材料价格预测期 T 内单位原材料的采购、运输、库存总费用最小, 表示为

$$\min C = \sum_{i=1}^I \frac{C_{ip} + C_{is} + C_{iw}}{\sum_{k=1}^K Q_{ik}}. \quad (5)$$

s.t.

$$Q_{ijk} \leq \bar{Q}_{ijk}; \quad (6)$$

$$Q_{ik} = \sum_{j=1}^J Q_{ijk}; \quad (7)$$

$$Q_{ik} P_{ik} \leq C_{Yik}; \quad (8)$$

$$q_{ik} = \begin{cases} 0, & g_{ik} + Q_{i(k-m)} - \theta_{ik} \eta_i t_k \geq 0; \\ \theta_{ik} \eta_i t_k - g_{ik} - Q_{i(k-m)}, & \text{否则}; \end{cases} \quad (9)$$

$$g_{ik} + Q_{i(k-m)} + q_{ik} - \theta_{ik} \eta_i t_k = g_{i(k+1)}; \quad (10)$$

$$g_{ik} \geq 0; \quad (11)$$

$$\theta_{ik} > 0; \quad (12)$$

$$\sum_{k=1}^K t_k \geq T \text{ 且 } \sum_{k=1}^{K-1} t_k < T; \quad (13)$$

$$i \in \{1, 2, \dots, I\}, j \in \{1, 2, \dots, J\},$$

$$k \in \{1, 2, \dots, K\}. \quad (14)$$

其中: 式(6)表示采购期 t_k 期间第 i 种原材料从供应商 j 处采购的量不能高于其采购上限, 此式可保障原材料需求品质; 式(7)为采购平衡式; 式(8)表示采购期 t_k 期间第 i 种原材料采购金额不能高于预算; 式(9)表示缺货情况下才进行紧急订货; 式(10)为库存平衡式; 式(11)表示原材料供应不能中断, 采购期期末库存总是不小于零; 式(12)表示产量影响因子的取值范围; 式(13)表示多期采购决策在预测周期内做出; 式(14)表示下标量取值范围.

5) 订货点.

由原材料供应保障率 α 来确定订货点. 第 i 种原材料的订货点 r_i 应满足从订货点开始到下一批货物进厂期间的需求, 是满足下式的 r_i 值:

$$F_L(r_i) = \int_0^{r_i} f_{LB}(x) dx = \alpha_i. \quad (15)$$

6) 安全库存.

安全库存可由下式得到:

$$ss_i = r_i - \mu_{DBi} = \beta \sigma_{DBi}, \quad (16)$$

其中 β 为安全因子, 与供应保障率 α 有关.

2 模型的求解

2.1 单期决策下采购期的确定

模型中采购期 t_k 的长度是变动的, 且其长度受决策变量 $Q_{i(k-m)}$ 的影响. 若只考虑采购期 t_k 的总成本大小, 其对 t_{k+m} 求导, 则有

$$\frac{\partial(C_{pk} + C_{sk} + C_{wk})}{\partial t_{k+m}} = \frac{\partial(C_{pk} + C_{wk})}{\partial t_{k+m}}. \quad (17)$$

1) 对于第*i*种原材料, 当 $y_i > 0$ 即租用堆场(仓库)时, 考虑如下两种情形.

情形1: 若没有紧急订货, 即 $Q_{i(k-m)} + g_{ik} - \theta_{ik}\eta_i t_k \geq 0$, 则有

$$\frac{\partial(C_{pk} + C_{wk})}{\partial t_{k+m}} = \frac{\partial\left[c_i^{h_1} v_i t_{k+m} - \frac{1}{2} c_i^{h_1} \varphi_i t_{k+m}^2 + \frac{y_i^2}{2\varphi_i} (c_i^{h_1} + c_i^{h_2})\right]}{\partial t_{k+m}} = c_i^{h_1} v_i - c_i^{h_1} \varphi_i t_{k+m}. \quad (18)$$

令 $\partial(C_{pk} + C_{wk})/\partial t_{k+m} = 0$, 得

$$t_{k+m} = \lfloor v_i / \varphi_i \rfloor. \quad (19)$$

采购期 t_k 的总成本函数是关于 t_{k+m} 的二次函数, 其开口向上, 所以在顶点 $t_{k+m} = v_i / \varphi_i$ 处取得最小值, 但一般取整数.

情形2: 若产生紧急订货, 即 $Q_{i(k-m)} + g_{ik} - \theta_{ik}\eta_i t_k < 0$, 则同理可得

$$t_{k+m} = \lfloor v_i / \varphi_i \rfloor. \quad (20)$$

可见, 在租用堆场(仓库)时, t_{k+m} 都由式(20)确定, 且此时满足式(20)的 t_{k+m} 值使得在 t_{k+m} 期内不会产生紧急订货, 以使成本最小.

2) 对于第*i*种原材料, 当 $y_i \leq 0$ 即自有堆场(仓库)满足库存需要时, 同样分没有紧急订货和有紧急订货两种情形, 求导计算后结果均为

$$t_{k+m} = \left\lfloor \frac{Q_{ik} + g_{i(k+m)}}{\varphi_i} \right\rfloor. \quad (21)$$

即自有堆场满足库存需求时, t_{k+m} 值由式(21)确定, 且满足(21)式的 t_{k+m} 值使得在 t_{k+m} 期内不会产生紧急订货.

结合式(9)和(10), $Q_{i(k-m)}$ 决定了 t_k 、 g_{ik} 、 g_{ik} 的取值, 其他参数都根据实际情况获得具体值.

2.2 单期决策下采购量的确定

若只考虑单期最优采购量的决策, 则记第 t_k 期的单位原材料采购成本为

$$C_k = \frac{C_{pk} + C_{sk} + C_{wk}}{Q_k}.$$

1) 对于第*i*种原材料, 当 $y_i > 0$ 即租用堆场(仓库)时, 由式(20)知, 控制 t_k 值不会产生紧急订货, 此时有

$$\frac{\partial C_{ik}}{\partial Q_{ik}} = \left[1 - \frac{(g_{i(k+m)} - v_i)^2}{Q_{ik}^2} \right] \frac{(c_i^{h_1} + c_i^{h_2})}{2\varphi_i} - \frac{c_i^g}{Q_{ik}^2} - \frac{c_i^{h_1} v_i^2}{2\varphi_i Q_{ik}^2}. \quad (22)$$

令 $\frac{\partial C_{ik}}{\partial Q_{ik}} = 0$, 最优订货批量为

$$Q_{ik} = \sqrt{\frac{2\varphi_i c_i^g + c_i^{h_1} v_i^2}{c_i^{h_1} + c_i^{h_2}} + (g_{i(k+m)} - v_i)^2}. \quad (23)$$

2) 对于第*i*种原材料, 当 $y_i \leq 0$ 即自有堆场(仓库)满足库存需要时, 由式(21)知控制 t_k 不会产生紧急订货, 计算过程同1), 得到最优订货批量为

$$Q_{ik} = \sqrt{\frac{2\varphi_i c_i^g}{c_i^{h_1}} + g_{i(k+m)}^2}. \quad (24)$$

从式(23)和(24)可以看出, 最优订货批量计算表达式与经典的EOQ模型类似. 单期情况下 g_{ik} 的取值大于或等于安全库存量, 最优订货批量比EOQ模型下的经济订货批量要大.

2.3 多期决策下模型的求解

多期联合决策模型中, 涉及多种原材料以及多个时段, 由于各种类别原材料采购基本独立, 但同种原材料时间相关联, 可以将模型简化为求预测期 T 内每种原材料的最佳采购点、采购量及采购周期, 即原模型可以简化为 I 个子模型进行求解. 简化后的模型为非线性优化问题, 涉及到多期优化具有多个变量, 且变量之间存在关联性, 采用常规方法求解困难, 考虑采用智能算法进行求解. 本文选取粒子群智能算法进行求解, 算法原理详见文献[11]. 为了调整算法全局寻优能力, 此处对算法进行改进, 增加了惯性系数的调整. 具体实现如下.

1) 预测时间 T 内的原材料价格 P_{ik} 值.

2) 对于第*i*种原材料, 其模型的解为 (Q_1, Q_2, \dots, Q_k) . 种群由 l 个粒子组成, 每个粒子代表模型的一个解. 第 w 次迭代时粒子的状态属性由位置向量 $Q_l^w = [Q_{l1}^w, Q_{l2}^w, \dots, Q_{lk}^w]$ 和速度向量 $v_l^w = [v_{l1}^w, v_{l2}^w, \dots, v_{lk}^w]$ 表示. 受采购金额的限制, $Q_l^w \in [0, C_{Yk}/P_k]$. 速度向量的最大值设置为位置变量的范围^[11], 即可设置 $v_l^w \in [-C_{Yk}/P_k, C_{Yk}/P_k]$. 记个体最优位置为 $p_l^w = [p_{l1}^w, p_{l2}^w, \dots, p_{lk}^w]$, 个体最优值为 $Pbestc_i$; 全局最优位置为 $np_l^w = [np_{l1}^w, np_{l2}^w, \dots, np_{lk}^w]$, 全局最优值为 $Gbestc$.

3) $w = 0$ 时, 初始化 Q_l^0 和 v_l^0 . 计算目标函数值

$$C_l^w = \frac{C_{ip} + C_{is} + C_{iw}}{\sum_{k=1}^K Q_{ik}}$$

记 $Pbestc_l = C_l^w$, $Gbestc = \min(C_l^w)$.

4) 由下式更新粒子速度 v_{ik}^w , 且不超过最大速度:

$$v_{ik}^{w+1} = \omega v_{ik}^w + c_1 r_1 (p_{ik}^w - Q_{ik}^w) + c_2 r_2 (np_{ik}^w - Q_{ik}^w), \quad (25)$$

$$\omega = \omega_{\max} - \frac{\omega_{\max} - \omega_{\min}}{w_{\text{all}}} w_{\text{cu}}. \quad (26)$$

其中: ω_{\max} 和 ω_{\min} 为惯性权重的最大和最小取值, w_{all} 为算法总迭代次数, w_{cu} 为当前迭代次数. 算法搜

索初期可以采用较大的 ω 值以获得较大范围, 随后减小 ω 值以获得较好的后期局部搜索能力.

5) 由下式更新粒子位置 Q_{ik}^{w+1} , 且不超过最大范围:

$$Q_{ik}^{w+1} = Q_{ik}^w + v_{ik}^{w+1}. \quad (27)$$

6) 计算更新后的每个粒子的适应值 C_l^{w+1} . 若 $C_l^{w+1} < Pbestc_l$, 则更新

$$p_l^{w+1} = [p_{l1}^{w+1}, p_{l2}^{w+1}, \dots, p_{lk}^{w+1}] = [Q_{l1}^{w+1}, Q_{l2}^{w+1}, \dots, Q_{lk}^{w+1}],$$

且 $Pbestc_l = C_l^{w+1}$; 若 $\min(C_l^{w+1}) < Gbestc$, 则更新

$$np_l^{w+1} = [np_{l1}^{w+1}, np_{l2}^{w+1}, \dots, np_{lk}^{w+1}] = [Q_{l1}^{w+1}, Q_{l2}^{w+1}, \dots, Q_{lk}^{w+1}],$$

且 $Gbestc = C_l^{w+1}$, 否则不予更新.

7) 令 $w = w + 1$. 判断程序终止条件是否满足. 若满足则算法终止, 输出最优解; 否则转到 4).

3 案例分析

某钢铁企业为年钢材产量在千万吨级的大型钢铁企业, 地处内陆地区, 远离矿石和煤炭产区, 大部分原材料主要依靠铁路和公路运输进厂. 本文以其铁矿石采购为例进行采购优化决策.

1) 受预测精度的影响, 选取 T 为 180 天, 每 30 天为一个预测期. 2011 年 7 月~12 月铁矿石的预测价格如表 1 所示. 若发生紧急订货, 则订货价格为当期真实价格的 1.1 倍.

表 1 铁矿石价格预测值 美元/吨

月份	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
预测值	174.1	173.31	175.42	167.35	158.54	158.38

2) 对钢铁企业的钢材需求进行预测, 如表 2 所示.

表 2 钢铁企业的钢材需求预测 吨

月份	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
预测值	826 920	828 090	800 880	841 920	759 990	861 270

3) 采购启动费用为 20 万美元, 每月铁矿石采购预算最高为 3 亿美元. 供应商分为国内和国际供应商. 根据历年采购分析, 国内与国际铁矿石采购比例为 1:2. 铁矿石采购提前期均值 $\mu_{L(ore)} = 45$ 天. 国内供应商运费为 14 美元/吨, 国际铁矿石运费为 30 美元/吨.

4) 钢铁企业的矿铁比约为 1.5:1, 可以取 $\eta_{ore} = 1.5$, θ 表示每天钢材产量. 应用 EasyFit 软件拟合历史数据, θ 为正态分布, $\mu_\theta = 23 599$, $\sigma_\theta = 5 931$.

5) 铁矿石为露天堆场堆放, 厂区内自有堆场成本为 $c^{h1} = 0.1$ (美元/(吨·天)), 租用堆场 $c^{h2} = 0.15$ (美元/(吨·天)). 7 月初铁矿石库存量为 $g_1 = 656 400$ 吨, 最大库存能力为 $v = 1 730 000$ 吨.

3.1 订货点的确定

根据历史数据分析, 订货点至下一批货物到达的时间 l 均值 $\mu_l = 15$ 天, 均方差 $\sigma_l = 4$. 铁矿石需求率为 1.5 θ 吨/天. l 期间的需求 $D_{LB} = 1.5l\theta$, 因 l 与 θ 独立, 故需求 D_{LB} 均值为 $\mu_{DB} = 1.5\mu_l\mu_\theta = 530 977.5$, 均方差 $\sigma_{DB} = \sqrt{\mu_l\sigma_\theta^2 + \mu_\theta^2\sigma_l^2} = 97 150$. 由于 l 与 θ 为随机变量, D_{LB} 的概率分布函数难以获得, 其精确分析难度较大. 此处采用近似分析原理^[12-13], 将 l 期间的需求 D_{LB} 看成是服从均值为 μ_{DB} 、均方差为 σ_{DB} 的正态分布. 根据式 (15), 在不同供应保障率下对应不同的订货点, 如表 3 所示.

表 3 不同供应保障率下铁矿石订货点

供应保障率 α	0.80	0.85	0.90	0.95	0.98
订货点/吨	613 069	631 528	655 815	691 761	730 621

由于钢铁企业生产不能中断, 追求较高的供应保障率, 一般要求供应保障率在 90% 以上. 本文选取供应保障率为 95%, 钢铁企业在库存下降到 691 761 吨时应发起订货.

3.2 安全库存的确定

与订货点的确定一样, 在不同供应保障率下, 安全库存不同. 由式 (16) 得到安全库存如表 4 所示.

表 4 不同供应保障率下铁矿石安全库存量

供应保障率 α	0.80	0.85	0.90	0.95	0.98
安全因子 β	0.845	1.035	1.285	1.655	2.055
安全库存 ss /吨	82 092	100 550	124 838	160 783	199 643

在供应保障率为 95% 时, 该钢铁企业铁矿石的安全库存为 160 783 吨, 大约为 4.5 天生产消耗量. 但是根据调研, 该钢铁企业一般维持 15 天左右安全库存, 导致资金的大量占用. 目前国内粗钢产量排名前几位的某钢铁企业的维持安全库存仅为 5 天, 其库存结构较优, 同时也验证了本文计算的合理性.

3.3 采购量的确定

根据式 (23) 和 (24), 维持安全库存下的最优经济订货批量和决策期如表 5 中第 2、第 3 行所示. 若本文考虑的钢铁企业继续维持其以补充库存为目的的采购方式, 则维持期末库存为 65 万吨时的采购量和决策期如表 5 中第 4 行所示. 多期决策下, 应用 Matlab 编程求解, 最优采购量及采购期如表 5 中第 5 行所示. 相关的采购成本比较如表 6 所示.

结合表 5 和表 6, 采用自有仓库下的经济订货批量进行采购比租用仓库下平均每吨铁矿石节省 7.76 美元, 且自有仓库下的库存成本最低, 所以钢铁企业最好使用自有仓库进行存放并拓展仓库扩大存储能力. 该钢铁企业采用多期联合决策下的最优采购量进

表5 各种采购模式下的最优决策期及采购量

采购模式	k	1	2	3	4	5	6	7	合计
租用仓库下经济订货批量	决策期 t_k /天	30	41	43	41	45			200
	采购量 Q_k /吨	1 168 152	1 686 069	1 720 692	1 726 915	1 708 098			8 009 926
自有仓库下经济订货批量	决策期 t_k /天	30	35	11	10	12	10	10	
	采购量 Q_k /吨	858 458	439 259	432 555	445 729	431 544	444 934	454 740	
	决策期 t_k /天	11	12	11	12	10	10		184
	采购量 Q_k /吨	451 218	430 630	436 146	427 617	449 512	457 094		6 159 436
补充库存为主的采购量	决策期 t_k /天	30	30	26	25	28	25		187
	采购量 Q_k /吨	1 136 115	1 201 320	1 262 880	1 139 985	1 291 905	1 364 490		7 396 695
多期联合决策最优采购量	决策期 t_k /天	30	43	23	22	23	30		201
	采购量 Q_k /吨	1 242 135	934 887	956 611	877 139	1 291 905	1 364 490		6 667 167

表6 各种采购模式下的成本比较

采购模式	采购总量/吨	采购成本/美元	单位采购成本/(美元/吨)	库存成本/美元	运输成本/美元
租用仓库下经济订货批量	8 009 926	1.6135×10^9	201.43	6.0811×10^7	1.9758×10^8
自有仓库下经济订货批量	6 159 436	1.1929×10^9	193.67	8.3097×10^6	1.5193×10^8
补充库存为主的采购量	7 396 695	1.4802×10^9	200.12	6.8138×10^7	1.8245×10^8
多期联合决策最优采购量	6 667 167	1.2904×10^9	193.54	2.2047×10^7	1.6446×10^8

行采购比使用自有仓库下每吨铁矿石采购成本节省0.13美元,且自有仓库下采用经济订货批量进行采购作业较为频繁,如表5所示,在时间 T 内需要进行13次采购,大大增加了工作人员的劳动强度。

多期联合决策下比延续目前以补充库存为目的的采购策略下平均每吨铁矿石采购成本节省6.58美元,该企业每年采购铁矿石约1500万吨,优化采购之后每年可以节省约9870万美元,约节省人民币6.22亿元,约为2010年净利润的45%,所以多期联合优化的采购及库存策略有利于钢铁企业节省成本,增加利润。

3.4 原材料价格波动趋势与采购量的关系

在多期联合决策下,铁矿石最优采购量与价格波动之间的关系如图2所示。当预测未来原材料价格上涨时,企业会在前期进行较多的储备,在价格高点采购量达到较低水平;随着原材料价格的下降,采购量又会上升,在价格最低点,采购量达到较大值。所以最优决策下铁矿石最优采购量变动方向与价格波动方向相反。

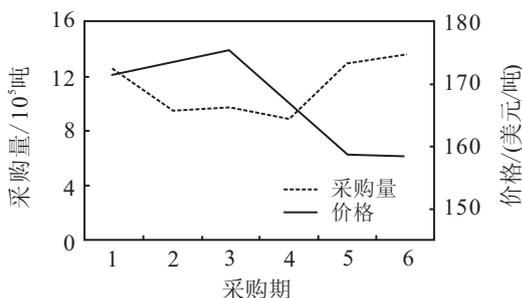


图2 多期决策下铁矿石最优采购量与价格波动关系

原材料价格波动影响着最优采购量决策,但并不

需要原材料的预测价格与实际价格完全吻合,只要价格波动趋势预测正确,按照价格预测值进行决策的采购量至少是较优决策。因此,钢铁企业采购管理者应对原材料价格变动趋势具有较强的敏感性,通过对未来价格波动趋势的把握做出最佳决策,降低企业采购成本。

4 结 论

本文对钢铁企业原材料采购进行研究,考虑了原材料价格波动(在现有文献中很少考虑)的因素,采用多期联合决策来应对价格波动的影响,建立价格波动下多期采购优化决策模型,并研究了单期决策下的最优采购期和经济采购量的特征。模型涉及多种原材料和多个决策期,先将模型分解为 I 个单个原材料采购的决策子模型,再利用改进的粒子群算法对子模型进行求解。某钢铁企业的铁矿石采购优化实例表明:多期联合优化的单位采购成本比单期最优经济采购决策和以补充库存为目的的采购策略要低,对钢铁企业有着节省成本、增加利润的重要意义。

参考文献(References)

- [1] Gao Z, Tang L X. Combine column generation with GUB to solve the steel-iron rawmaterials purchasing lot-sizing problem[J]. Acta Automatica Sinica, 2004, 30(1): 20-26.
- [2] Harris W. How many parts to make at once[J]. The Magazine of Management, 1913, 10(2): 135-136.
- [3] Bertazzi L. Rounding off the optimal solution of the economic lot size problem[J]. Int J of Production Economics, 2003, 81/82: 385-392.
- [4] Hariga M, Haouari M. An EOQ lot sizing model with random supplier capacity[J]. Int J of Production

- Economics, 1999, 58(1): 39-47.
- [5] 高振, 唐立新, 陶炜. 大型钢铁企业原料采购计划模型[J]. 系统工程学报, 2003, 18(6): 566-570.
(Gao Z, Tang L X, Tao W. Raw materials purchasing plan model for large-scale steel-iron enterprises[J]. J of Systems Engineering, 2003, 18(6): 566-570.)
- [6] Gao Z, Tang L X. A multi-objective model for purchasing of bulk raw materials of a large-scale integrated steel plant[J]. Int J of Production Economics, 2003, 83(3): 325-334.
- [7] 刘国莉, 唐立新, 张明. 钢铁原料库存问题研究[J]. 东北大学学报: 自然科学版, 2007, 28(2): 172-175.
(Liu G L, Tang L X, Zhang M. A study on raw material inventory in iron and steel industry[J]. J of Northeastern University: Natural Science, 2007, 28(2): 172-175.)
- [8] Tang L X, Liu G L, Liu J. Raw material inventory solution in iron and steel industry using Lagrangian relaxation[J]. J of the Operational Research Society, 2008, 59(1): 44-53.
- [9] Kingsman B G. Purchasing raw materials with uncertain fluctuating prices[J]. European J of Operational Research, 1986, 25(3): 358-372.
- [10] Arnold J, Minner S, Eidam B. Raw material procurement with fluctuating prices[J]. Int J of Production Economics, 2009, 121(2): 353-364.
- [11] 秦全德. 粒子群算法研究及应用[D]. 广州: 华南理工大学工商管理学院, 2011.
(Qin Q D. Research and application of particle swarm optimization[D]. Guangzhou: School of Business Administration, South China University of Technology, 2011.)
- [12] Shi Yuhui, Russell C Eberhart. Empirical study of particle swarm optimization[C]. Proc of the 1999 Congress on Evolutionary Computation. Washington, 1999: 1945-1950.
- [13] 赵晓波, 黄四民. 库存管理[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008: 188-192.
(Zhao X B, Huang S M. Inventory management[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2008: 188-192.)
- [14] Axsäter S. Inventory control[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2007: 112-114.

~~~~~

(上接第1381页)

- [10] Park J H, Park I Y, Kwun Y C, et al. Extension of the TOPSIS method for decision making problems under interval-valued intuitionistic fuzzy environment[J]. Applied Mathematical Modelling, 2011, 35(5): 2544-2556.
- [11] Tan C. A multi-criteria interval-valued intuitionistic fuzzy group decision making with Choquet integral-based TOPSIS[J]. Expert Systems with Applications, 2011, 38(4): 3023-3033.
- [12] Ye F. An extended TOPSIS method with interval-valued intuitionistic fuzzy numbers for virtual enterprise partner selection[J]. Expert Systems with Applications, 2010, 37(10): 7050-7055.
- [13] Dubois D, Prade H. The mean value of a fuzzy number[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1978, 24(3): 279-300.
- [14] Nehi H M, Maleki H R. Intuitionistic fuzzy numbers and it's applications in fuzzy optimization problem[C]. Proc of the 9th WSEAS Int Conf on Systems. Athens, 2005: 1-5.
- [15] Wang J Q, Zhang Z. Aggregation operators on intuitionistic trapezoidal fuzzy number and its application to multicriteria decision making problems[J]. J of Systems Engineering and Electronics, 2009, 20(2): 321-326.
- [16] Ye J. Expected value method for intuitionistic trapezoidal fuzzy multicriteria decision-making problems[J]. Expert Systems with Applications, 2011, 38(9): 11730-11734.
- [17] 高岩, 周德群, 章玲. 基于直觉梯形模糊数的关联变权多属性决策方法[J]. 系统工程, 2011, 29(5): 102-107.  
(Gao Y, Zhou D Q, Zhang L. Multi-attribute decisionmaking with variable weight relationship based on intuitionistic trapezoidal fuzzy number[J]. Systems Engineering, 2011, 29(5): 102-107.)
- [18] Chen Z, Yang W. A new multiple attribute group decision making method in intuitionistic fuzzy setting[J]. Applied Mathematical Modelling, 2011, 35(9): 4424-4437.