

炼油企业供应链优化模型及算法研究

陈宏 何小荣 陈丙珍
(清华大学化学工程系, 北京 100084)

摘要: 依据炼油企业生产销售现实情况, 建立了一个炼油企业供应链优化模型, 重点考虑了原油品种选择、生产计划优化及库存管理。由于原始模型为非线性混合整数规划模型, 直接求解比较困难, 根据模型特点, 将原始模型分成两步求解, 即用遗传算法确定原油选择方案, 再用线性规划方法求解已知原油选择方案下的简化模型, 大大降低了求解难度。数值计算的结果表明了该模型的有效性和实用性。

关键词: 供应链管理; 原油选择; 生产计划; 库存管理; 遗传算法

中图分类号: TQ018

文献标识码: A

文章编号: 0253 - 4320(2004)S2 - 0017 - 03

Study on modeling and algorithm of supply chain optimization in refineries

CHEN Hong, HE Xiao-rong, CHEN Bing-zhen

(Department of Chemical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: A refinery supply chain optimization model is presented, including procurement optimization of oil, production planning and inventory management. A two-step methodology, mixed by the genetic algorithm and linear programming, is given to solve this mixed integer nonlinear programming problem. Finally, a case study is carried out and the result shows that the model is efficient and applicable.

Key words: supply chain management; procurement optimization; production planning; inventory management; genetic algorithm

通过有效的供应链管理, 企业可以显著降低成本、提高竞争力和增强抗风险能力, 因此供应链管理业已成为国内外关注的热点问题^[1-3]。按照产品属性分类, 炼油产品属于功能性产品, 其特点在于边际利润较低, 但是产品生命周期很长、需求趋势相对稳定, 因此炼油企业供应链优化的重点在于降低成本、提高质量^[4]。降低成本主要可由两方面着手:

(1) 优化选择原油采购品种。原油采购成本占生产成本的 80% 左右^[5], 同时不同品种的原油其油品收率不同、加工费用不同。因此选择好采购的原油不但能降低原油采购成本, 还能使产品产量、质量更加符合市场需求。

(2) 生产计划优化和库存管理优化。库存成本是供应链成本的最重要组成部分之一, 一般占供应链成本的 30% 以上^[6], 所以生产、库存优化也能降低总成本。

本文建立了一个炼油企业供应链的多周期优化模型, 同时对原油选择、生产计划和原料产品库存进行优化, 以期使收益最高。

1 模型

在本模型中, 假设一定周期内各种油品的需求

量、销售价格和不同原油价格已知(或已经预测), 并假设一个周期内只能采购一种原油, 以收益最大为目标函数建立如下模型(符号说明见文末):

$$\max z = \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^N D_i^k * s_i^k - \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^N I_i^k * c_i^k - \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^M \delta_j^k * Q_j^k * v_j^k - \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^M B_j^k * c_j^k \quad (1)$$

$$\text{s.t. } Q^L \leq \sum_{j=1}^M \delta_j^k * Q_j^k \leq Q^U \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (2)$$

$$R^L \leq \sum_{j=1}^M R_j^k \leq R^U \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (3)$$

$$R_j^k * y_{i,j}^L \leq O_{i,j}^k \leq R_j^k * y_{i,j}^U \quad (4)$$

$$i = 1, \dots, N; j = 1, \dots, M; k = 1, \dots, K$$

$$R_j^k * \alpha_j^L \leq \sum_{i=1}^N O_{i,j}^k \leq R_j^k * \alpha_j^U \quad j = 1, \dots, M; k = 1, \dots, K \quad (5)$$

$$I_i^k = I_i^{k-1} + \sum_{j=1}^M O_{i,j}^k - D_i^k \quad i = 1, \dots, N; k = 1, \dots, K \quad (6)$$

$$B_j^k = B_j^{k-1} + \delta_j^k * Q_j^k - R_j^k \quad j = 1, \dots, M; k = 1, \dots, K \quad (7)$$

$$I_i^k \leq I_i^U \quad i = 1, \dots, N; k = 1, \dots, K \quad (8)$$

$$B_j^k \leq B_j^U \quad j = 1, \dots, M; k = 1, \dots, K \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^M \delta_j^k = 1, \delta_j^k \in \{0, 1\} \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (10)$$

$$Q_j^k, R_j^k, O_{i,j}^k, I_i^k, B_j^k \geq 0$$

$$i = 1, \dots, N; j = 1, \dots, M; k = 1, \dots, K \quad (11)$$

此模型中,目标函数(1)为利润最大。

约束条件中,式(2)和式(3)分别是原油采购量及加工能力限制;式(4)和式(5)都是油品收率限制,其中式(4)为不同原油的各种油品收率范围,式(5)为相关油品总收率范围;式(6)和式(7)为物料衡算约束, I^0 、 B^0 为期初库存,式(8)和式(9)是库存容量约束;式(10)和式(11)为变量约束。

2 模型求解

2.1 难点与求解思路

由于引入了原油选择,多周期供应链优化模型为一个非线性混合整数规划模型。一般来说,每种原油选择方案都可以找到可行解,本模型也可以采用常用的分枝定界法求解。但是本模型也有其特殊性,即在确定原油选择方案以后,目标函数(1)和约束(2)、(7)都成为线性表达式,则整个模型成为线性规划模型,求解将变得极为简单。因此本问题拟分两步来求解:确定原油选择方案以及用线性规划方法求出已知原油选择方案下的最大利润。反复上述两步,求得优化解。

2.2 计算过程

对于多周期、多原油品种的供应链模型,采用遗传算法来确定原油选择方案。依据一般的遗传算法过程^[7],用以下步骤对模型进行求解:

(1)编码方式。根据遗传算法,采用如图 1 所示的整数编码方式表达,一个个体代表一种原油采购方案。

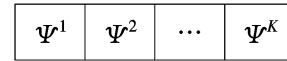


图 1 原油采购方案编码

图 1 中, Ψ^i 取值范围如式(11)。 $\Psi^i = 1$ 表示第 i 个周期采购第 1 种原油,即 $\delta_1^i = 1, \delta_{j \neq 1}^i = 0$

$$\Psi^i \in \{1, 2, \dots, M\} \quad i = 1, 2, \dots, K \quad (12)$$

(2)随机生成初始种群,即产生一系列原油采购方案。

(3)对种群迭代执行①和②直到满足终止条件:①根据各原油采购方案,求出其最大利润 Z ,用 $1/Z$ 作为各个方案的适应值,记录当前最好的个体;②应用选择、交叉和变异算子产生下一代种群,即产生一批新的原油采购方案。

(4)所记录的最好个体就是计算结果。

3 实际应用

以某炼油厂 3 个月的原油、产品生产销售数据为例建立模型并求解。以 1 个月为 1 周期,优化周期数 $K = 3$,原油种类 $M = 2$,油品种类 $N = 5$,分别为汽油、柴油、液化气、原料油和燃料油。由炼油厂提供的某 3 个月油品需求数据、2 种原油性质和采购价格分别如表 1、表 2 和表 3 中第 2、3 列所示。

表 1 油品需求量及销售价格

周期	汽油		柴油		液化气		原料油		燃料油	
	数量/t	单价/元·t ⁻¹	数量/t	单价/元·t ⁻¹	数量/t	单价/元·t ⁻¹	数量/t	单价/元·t ⁻¹	数量/t	单价/元·t ⁻¹
1	46794	2728.13	66624	2681.72	21261	2558.68	16708	1423.87	28934	1659.98
2	47899	2787.95	73577	2589.40	20662	2580.1	11154	1520.53	36427	1667.44
3	47056	2741.63	75035	2546.68	19649	2265.26	18288	1810.48	27216	1611.92

表 2 原油性质对比(油品收率范围)

		汽油	柴油	液化气	原料油	燃料油	总和
原油 A	min	0.2066	0.2647	0.0439	0.0387	0.1251	0.8027
	max	0.2647	0.3417	0.0709	0.0531	0.2691	0.9139
原油 B	min	0.2112	0.3279	0.0736	0.0530	0.0901	0.8557
	max	0.2398	0.3710	0.0948	0.1205	0.1624	0.8976

根据表 1、表 2 和表 3 第 2、3 列数据,假定液化气库存费用为 28 元/t,其他 4 种油品库存费用均为 25 元/t,2 种原油库存费用均为 30 元/t。利用多周期优化模型求解得到优化的原油采购方案、油品生

产计划,优化总利润为 1.93×10^8 元,列出部分数据如表 3、表 4 和表 5 所示。

表 3 原油采购价格及优化采购量

周期	原油 A 价格/ 元·t ⁻¹	原油 B 价格/ 元·t ⁻¹	原油 A 采购量/t	原油 B 采购量/t
1	1860	1911	0	2.569×10^5
2	1840	1892	1.917×10^5	0
3	1810	1860	0	1.554×10^5

将炼油厂提供的生产销售数据代入式(1)不考虑优化得总利润 1.61×10^8 元。对比可见优化后的利润比实际利润提高 19.8%。由表 5 可以看出,第

3 周期所有油品的期末库存均为零,对第 4 周期以后的生产安排可能会有不利影响,所以实际增加的实际利润应该稍低于 19.8%。

表 4 优化产量 万 t

周期	汽油	柴油	液化气	原料油	燃料油
1	4.534	7.421	2.360	1.744	2.790
2	5.078	7.117	1.773	1.305	3.841
3	4.183	6.625	1.965	1.446	2.346

表 5 优化库存量 t

周期	汽油	柴油	液化气	原料油	燃料油
0	3800	3600	600	1200	2800
1	2348	11190	2937	1929	1769
2	5231	8787	0	3827	3756
3	0	0	0	0	0

4 结论

原油采购、生产计划优化和库存管理是炼油企业供应链的重要组成部分,本文建立的多周期优化模型包括了以上 3 个要素,并且求解简单、优化效果明显,可以满足供应链管理要求。

(上接第 11 页)

- [10] Hasebe S. Design and operation of micro-chemical plant-bridging the gap between nano-, micro-and macro technologies [A]. In: Chen B, Westerberg A W. PSE '2003 Proceedings, Computer-Aided Chem Engineering [C]. Amsterdam: Elsevier Publisher, 2003. 89 - 100.
- [11] Hessel V, Lowe H. [J]. Chem Eng Technol, 2003, 26(5): 531 - 544.
- [12] Allen D T, Shonnard D R. [J]. AIChE Journal, 2001, 47(9): 1906 - 1910.
- [13] 杨友麒, 石磊. [J]. 化工进展, 2004, 23(1): 17 - 23.
- [14] Bendixen L. [J]. Chem Processing, 2002, (6): 42 - 45.
- [15] Bakshi B R. [J]. Computers and Chemical Engineering, 2000, 24(7): 1767 - 1773.
- [16] Ng Ka M. MOPSD: a framework linking business decision making to product and process design [A]. In: Chen B, Westerberg A W. PSE '2003 Proceedings, Computer-Aided Chem Engineering [C]. Amsterdam: Elsevier Publisher, 2003. 63 - 73.
- [17] Nagl M, Westfechtel B, Schneider R. [J]. Computers and Chemical Engineering, 2003, 27(2): 175 - 197.
- [18] Mathur U, Conroy R J. [J]. Hydrocarbon Processing, 2003, (6): 55 - 65.
- [19] Cheng H, Qian Y, Li X. Integration of decision tasks in chemical operation process design [A]. In: Chen B, Westerberg A W. PSE '2003 Proceedings, Computer-Aided Chem Engineering [C]. Amsterdam: Elsevier Publisher, 2003. 172 - 177.

符号说明

- B —原油库存量
 c —油品库存费用
 c' —原油库存费用
 D —油品需求量
 I —油品库存量
 K —优化周期数
 M —原油种类
 N —油品种类
 O —油品产量
 Q —原油采购量
 R —原油加工量
 s —油品销售价格
- v —原油买入价
 y —油品收率
 α — M 种油品的总收率
 δ —原油选择系数
- 上标:
 L —下限
 U —上限
 k —第 k 个周期
- 下标:
 i —第 i 种油品
 j —第 j 种原油

参考文献

- [1] Min Hokey, Zhou Gengui. [J]. Computers & Industrial Engineering, 2002, 43(1-2): 231 - 249.
- [2] 陈宏, 何小荣, 陈丙珍, 等. [J]. 化工学报, 2003, 54(8): 1118 - 1121.
- [3] Dejonckheere J, Disney S M, Lambrecht M R, et al. [J]. European Journal of Operational Research, 2004, 153(3): 727 - 750.
- [4] Fisher M L. [J]. Harvard Business Review, 1997, 75(2): 105 - 117.
- [5] 刘晓, 成恩, 诚斌. [J]. 中国管理科学, 2003, 11(3): 30 - 35.
- [6] 隋明刚, 魏巍. [J]. 管理现代化, 2000, 104(5): 28 - 30.
- [7] 何险峰, 周家驹. [J]. 化学进展, 1998, 10(3): 312 - 318. ■
- [20] Mansy M M, McMillan G K, Sowell III M S. [J]. Chem Eng Prog, 2002, 98(2): 56 - 61.
- [21] Grossmann I E. Challenges in the new millennium: product discovery and design, enterprise and supply chain optimization, global life cycle assessment [A]. In: Chen B, Westerberg A W. PSE '2003 Proceedings, Computer-Aided Chem Engineering [C]. Amsterdam: Elsevier Publisher, 2003. 28 - 47.
- [22] Kelly J D. [J]. Chem Eng Prog, 2004, 100(1): 43 - 50.
- [23] Wan X, Pekny J F, Reklaitis G V. A simulation based optimization framework to analyze and investigate complex supply chain [A]. In: Chen B, Westerberg A W. PSE '2003 Proceedings, Computer-Aided Chem Engineering [C]. Amsterdam: Elsevier Publisher, 2003. 630 - 635.
- [24] Wang J M. SINOPEC's reform and IT development [A]. In: Chen B, Westerberg A W. PSE '2003 Proceedings, Computer-Aided Chem Engineering [C]. Amsterdam: Elsevier Publisher, 2003. 1 - 6.
- [25] McQuillan D. Enterprise operation management [A]. In: Aspen Technology Inc. Proceedings of AspenWorld 2002 [C]. Washington D C, 2002.
- [26] Pringle S, Williams S. The future of integrated solutions in the process industries [A]. In: Aspen Technology Inc. Proceedings of AspenWorld 2002 [C]. Washington D C, 2002.
- [27] Ydstie B E, Jiao Y. The distributed enterprise integrates, IT and process systems engineering [A]. In: Chen B, Westerberg A W. PSE '2003 Proceedings, Computer-Aided Chem Engineering [C]. Amsterdam: Elsevier Publisher, 2003. 12 - 27. ■