

成品油供应链最优化问题

摘要

供应链的概念最早出现在 20 世纪 80 年代左右。90 年代以来，供应链已经成为管理科学领域最具有挑战性的理论与应用工作。供应链是指包括供应商、制造商、销售商在内，涉及物流、资金流、信息流的企业网络系统。它主要包括以下几个方面：①供应链参与者：供应商、生产商、销售商、运输商等；②供应链活动：原材料采购、运输、加工、制造、分销等；③供应链的三种流：物流、资金流和信息流；④供应链的拓扑结构：网络、链条、网链。这四者贯穿起来，就形成了供应链^[1]。

成品油供应链是指围绕核心组织——油品制造商，通过对信息流、物流、资金流的控制，从采购原油开始，到制成不同类型的油品，最后到由销售网络把油品送到消费者手中的将原油供应商、油品制造商、油品销售商、最终顾客连成一个整体的功能网络结构模式^[2]。本文在考虑油品供应链的各个环节基础之上，根据油品供应链的结构特点，建立了具有一个原油供应商、一个油品制造商、多个运输商、多种运输方式和多个油品销售商的供应链优化模型，并运用 MATLAB 自带的函数 `fmincon` 函数对其进行求解与分析，对成品油供应链的整体性研究具有现实意义。

关键词：成品油 最优化 供应链

问题背景

假设一个简单的成品油供应链包含 1 个原油供应商，2 个原油运输商，1 个油品制造商，2 个油品运输商和 2 个油品销售商。原油供应商只供给 1 种原油，该原油的单位成本为 3000 元/吨，最大供应量为 6500 吨；油品制造商仅利用这种原油生产 1 种油品，每吨油品的原油需求为 1.5 吨，单位油品的生产成本为 4000 元/吨。油品制造商初始无库存产品，最大生产能力为 4520 吨。每个原油运输商和每个油品运输商均可提供两种运输方式的服务。销售商的货物全部销售，没有货存。各种相关费用见表 1-1~表 1-3。试确定原油供应商的原油供应量、油品制造商的油品生产量、各油品销售商的油品订购量、原油以及油品的运输方案，使整个成品油供应链所需的总费用最小。

表 1-1 油品运输商对各个油品销售商的单位运输成本及最大运输量

油品运输商 运输方式		油品运输商 1		油品运输商 2	
		单位运输成本	最大运输量	单位运输成本	最大运输量
运输方式 1	销售商 1	200 元/吨	1050 吨	230 元/吨	1570 吨
	销售商 2	240 元/吨		260 元/吨	
运输方式 2	销售商 1	190 元/吨	1160 吨	230 元/吨	1030 吨
	销售商 2	210 元/吨		200 元/吨	

表 1-2 油品销售商的销售能力及单位油品的销售成本

销售商	油品销售商 1	油品销售商 2
单位销售成本	5100 元/吨	5150 元/吨
最大销售量	2440 吨	2060 吨
最小销售量	2010 吨	1950 吨

表 1-3 原油运输商的单位运输成本及最大运输量

运输商 运输方式		原油运输商 1		原油运输商 2	
		单位运输成本	最大运输量	单位运输成本	最大运输量
运输方式 1	原油供应商	200 元/吨	2140 吨	180 元/吨	2460 吨
运输方式 2	原油供应商	110 元/吨	2210 吨	210 元/吨	2190 吨

2.优化建模

定义变量

w ——成品油供应链的总费用；

cy ——原油供应商供给原油的单位成本；

s ——原油供应商供给原油的最大供应量；

p ——油品制造商生产油品的最大生产量；

d ——生产单位油品对原油的需求量；

cs ——油品的单位生产成本；

$a_{lj} (l=1,2 \ j=1,2)$ ——第 l 个原油运输商采用第 j 种运输方式运输的原油量占原油总提供量的比率；

$r_{lj} (l=1,2 \ j=1,2)$ ——第 l 个原油运输商采用第 j 种运输方式的最大运输量；

$c_{lj} (l=1,2 \ j=1,2)$ ——原油运输商 l 采用第 j 种运输方式运输原油到油品制造商的单位运输成本；

$t_{ik} (i,k=1,2)$ ——第 i 个油品运输商采用第 k 种运输方式的油品最大运输能力；

$x_{ijk} (i=1,2 \ j=1,2 \ k=1,2)$ ——第 i 个油品运输商采用第 j 种运输方式运送到第 k 位油品销售商的油品量；

$c_{ijk} (i=1,2 \ j=1,2 \ k=1,2)$ ——第 i 个油品运输商采用第 j 种运输方式运输油品到第 k 个油

品销售商的单位运输成本；

c_k ($k=1,2$)——第 k 位油品销售商销售油品的单位销售成本；

w_{k1} ——第 k 个油品销售商对油品的最大销售量；

w_{k2} ——第 k 个油品销售商对油品的最小销售量；

目标函数

原油供应商的供油成本为

$$w_1 = d \left(\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 x_{ijk} \right) cy \quad (1.1)$$

原油运输商从原油供应商到制造商的运输成本

$$w_2 = d \left(\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 x_{ijk} \right) \sum_{l=1}^2 \sum_{j=1}^2 a_{lj} c_{lj} \quad (1.2)$$

油品制造商的生产成本为

$$w_3 = \left(\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 x_{ijk} \right) cs \quad (1.3)$$

油品运输商从油品制造商到油品销售商的运输成本为

$$w_4 = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 c_{ijk} x_{ijk} \quad (1.4)$$

销售商的销售成本为

$$w_5 = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 c_{ijk} x_{ijk} \quad (1.5)$$

通过整理式(1.1) ~式(1.5)，最小化成品油供应链的总费用，得出目标函数为

$$\min \quad w = w_1 + w_2 + w_3 + w_4 + w_5 \quad (1.6)$$

约束条件

原油供应商的的供油量不大于其最大供应量

$$d \left(\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 x_{ijk} \right) \leq s \quad (1.7)$$

原油运输商的运输量不超过其最大运输量

$$\begin{aligned} d \left(\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 x_{ijk} \right) a_{11} &\leq r_{11} \\ d \left(\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 x_{ijk} \right) a_{12} &\leq r_{12} \\ d \left(\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 x_{ijk} \right) a_{21} &\leq r_{21} \\ d \left(\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 x_{ijk} \right) a_{22} &\leq r_{22} \end{aligned} \quad (1.8)$$

油品制造商的产油量不大于其最大生产量

$$\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 x_{ijk} \leq p \quad (1.9)$$

油品运输商的运输量不大于其最大运输能力

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^2 x_{11k} &\leq t_{11} \\ \sum_{k=1}^2 x_{12k} &\leq t_{12} \\ \sum_{k=1}^2 x_{21k} &\leq t_{21} \\ \sum_{k=1}^2 x_{22k} &\leq t_{22} \end{aligned} \quad (1.10)$$

油品销售商的销售量不大于其最大销售量

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 x_{ij1} &\leq w_{11} \\ \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 x_{ij2} &\leq w_{21} \end{aligned} \quad (1.11)$$

油品销售商的销售量不小于其最小销售量

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 x_{ij1} &\leq w_{12} \\ \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 x_{ij2} &\leq w_{22} \end{aligned} \quad (1.12)$$

不同原油运输商采用不同运输方式运输的原油量占原油总提供量的比率和为 1

$$\sum_{l=1}^2 \sum_{j=1}^2 a_{lj} = 1 \quad (1.13)$$

决策变量

$$\begin{aligned} \mathbf{x} &= [x_1 \quad x_2 \quad \cdots \quad x_{12}]^T \\ &= [a_{11} \quad a_{12} \quad a_{21} \quad a_{22} \quad x_{111} \quad x_{112} \quad x_{121} \quad x_{122} \quad x_{211} \quad x_{212} \quad x_{221} \quad x_{222}]^T \end{aligned} \quad (1.14)$$

数学模型

通过整理式(1.6)~式(1.14)，可得数学模型为：

$$\begin{aligned}
\min \quad & f(\mathbf{x}) = (300x_1 + 165x_2 + 270x_3 + 315x_4)(x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12}) \\
& + 13800x_5 + 13890x_6 + 13790x_7 + 13860x_8 + 13830x_9 + 13910x_{10} + 13830x_{11} \\
& + 13850x_{12} \\
\text{s.t.} \quad & x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 1 \\
& x_5 + x_6 \leq 1050 \\
& x_7 + x_8 \leq 1160 \\
& x_9 + x_{10} \leq 1570 \\
& x_{11} + x_{12} \leq 1050 \\
& 2010 \leq x_5 + x_7 + x_9 + x_{11} \leq 2400 \\
& 1950 \leq x_6 + x_8 + x_{10} + x_{12} \leq 2060 \\
& 1.5x_5 + 1.5x_6 + 1.5x_7 + 1.5x_8 + 1.5x_9 + 1.5x_{10} + 1.5x_{11} + 1.5x_{12} \leq 6500 \\
& x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12} \leq 4520 \\
& 1.5x_1x_5 + 1.5x_1x_6 + 1.5x_1x_7 + 1.5x_1x_8 + 1.5x_1x_9 + 1.5x_1x_{10} + 1.5x_1x_{11} + 1.5x_1x_{12} \leq 2140 \\
& 1.5x_2x_5 + 1.5x_2x_6 + 1.5x_2x_7 + 1.5x_2x_8 + 1.5x_2x_9 + 1.5x_2x_{10} + 1.5x_2x_{11} + 1.5x_2x_{12} \leq 2210 \\
& 1.5x_3x_5 + 1.5x_3x_6 + 1.5x_3x_7 + 1.5x_3x_8 + 1.5x_3x_9 + 1.5x_3x_{10} + 1.5x_3x_{11} + 1.5x_3x_{12} \leq 2460 \\
& 1.5x_4x_5 + 1.5x_4x_6 + 1.5x_4x_7 + 1.5x_4x_8 + 1.5x_4x_9 + 1.5x_4x_{10} + 1.5x_4x_{11} + 1.5x_4x_{12} \leq 2190 \\
& x_1, x_2, \dots, x_{12} \geq 0
\end{aligned}
\tag{1.15}$$

3. 优化计算与分析

这是一个带约束的非线性优化问题，可以用 MATLAB 自带的函数 `fmincon` 进行求解。调用编写下列程序代码：

其中，`Mf_test1` 为包含目标函数的函数，`Mceq_test1` 包含不等式约束和等式约束的函数，`x_initial` 是 `fmincon` 目标问题的初始猜测解。在 MATLAB 环境中运行上面的程序代码，（其中 `Mf_test1.m` 和 `Mceq_test1.m` 较长，在附录中显示），得如下结果：

```

x =
1.0e+003 *
Columns 1 through 10
0.0002    0.0004    0.0004    0.0000    1.0500    0.0000    0.2600    0.9000    0.7000    0.0000
Columns 11 through 12
0.0000    1.0500
fval =
5.5713e+007

```

由运算结果我们可以得出，最优解为：

$\mathbf{x}^* = [0.2 \ 0.4 \ 0.4 \ 0 \ 1050 \ 0 \ 260 \ 900 \ 700 \ 0 \ 0 \ 1050]$ ， $f^* = 55713000$ ，即原油供应量 5940 吨，运输商从原油供应商到制造商的原油运输量如表 1-4 所示，油品运输商对各个油品销售商的运输量如表格 1-5 所示，可得到成品油的供应链最小费用为 55713000 元。

表 1-4 运输商从原油供应商到制造商的原油运输量

运输商	原油运输商 1	原油运输商 2
-----	---------	---------

运输方式		运输量	
运输方式 1	原油供应商	1188	2376
运输方式 2	原油供应商	2376	0

表 1-5 油品运输商对各个油品销售商的运输量

运输方式	油品运输商	油品运输商 1	油品运输商 2
	油品运输量		
运输方式 1	销售商 1	1050	700
	销售商 2	0	0
运输方式 2	销售商 1	260	0
	销售商 2	900	1050

由表格 1-1~表 1-5 数据，通过对比，可以分析出：

在原油供应商供给能力充足的时候，为了使供应链的成本最小化，最佳方案更倾向于：

①销售商的销售量都选择销售商的最小销售量；

②对于不同的运输方式下的不同原油运输商，原油运输商优先选择单位运输成本较低的运输方式从原油供应商运输到油品生产商；

③对于不同的运输方式下的不同油品运输商，油品运输商优先选择单位运输成本较低的运输方式给销售商；

④但是若原油供应商的能力不充足的时候可能满足不了题目要求。

4.缺点与不足

通过分析与总结，我认为我的优化问题与模型仍有以下几点不足之处：

①该优化问题有些许简化，仅考虑了 1 个原油供应商和 1 个油品制造商。在现实生活中，可能在一个城市或一个国家中有多个原油供应商和多个油品制造商，这样就需要把原油供应商和油品制造商的选取因素也考虑在内，来获取供应链的最小费用；

②该优化问题没有考虑到油品制造商和销售商的货存问题。如果油品制造商有货存，油品运输商可直接把制造商的成品油直接运输到销售商手中，减少了原油供应商的的原油供应成本，同时减少了原油运输商的运输费用和油品制造商的生产成本，但是也会出现油品制造商的贮存成本的增加；而对于销售商来说，如果有货存，则可以减少整个供应链的成本，包括从原油供应成本、原油运输商的运输成本、油品制造商的制造成本以及油品运输商的运输成本，但与此同时，也会增加销售商的贮存成本；

③如果根据市场调查可以得到成品油的价格，可以把成品油的销售利润作为优化模型的目标函数，这样问题的现实性会更强。因为在更多的情况下，公司、企业更看重的是利润问题，通过计算销售总额与生产成本的差值来分析利润的大小，从而进行整个供应链的方案选取，更具有应用价值；

④如果把以上三个方面都考虑在内，我们仍可以继续深化模型，考虑成品油年季度生产计划问题，比如每个季度的成品油供应链的方案选取，包括供应商、生产商、销售商、运输商每个环节的设置，并将季度之间的货存积压与缺货等问题也考虑在内，从而更具有实际使用价值。

以上这四个方面都会增加问题的复杂性。

⑤而在 fmincon 算法中，我只得到 1 个可行的局部最优解，但是否一定是最优解，尚未证明。可以考虑在 SQP 或其他算法的完善中来求取全局最优解，但由于本人能力有限，可以把这一问题留在以后的研究中。

参考文献

-
- [1] 刘春全 李仁刚. 2008. 供应链管理研究现状综述. 华中农业大学学报(社会科学版) 总第 74 期: 63~66
- [2] 邸丛颖 田立新. 2007. 成品油供应链优化模型研究. 决策参考总第 245 期: 56~57