

# 基于绩效对比的三层生产-分销系统批量策略

唐金环, 戢守峰, 朱宝琳

(东北大学工商管理学院, 辽宁 沈阳 110819)

**摘 要:** 针对包括生产商、区域配送中心(RDC)和分销商的三层生产-分销系统,研究了考虑货物进出RDC的批量对系统的影响.首先利用基于时间基准的最大公约数法优化生产-分销系统模型,求得固定批量策略,在此基础上探讨生产-分销过程中各种可能的情景,得到多重混合批量策略.定义了一个绩效对比标准,依据此标准对固定批量模型和多重混合批量模型进行求解.以中石油东北化工销售公司的部分数据作为计算实验的来源,结果验证了绩效对比标准和最优批量模型的有效性.

**关 键 词:** 三层生产-分销系统;绩效对比标准;多重混合批量策略;最大公约数法;最优批量策略

中图分类号: C 931

文献标志码: A

文章编号: 1005-3026(2015)04-0601-05

## Lot-Size Policies in 3-Stage Production-Distribution System Based on Performance Contrast

TANG Jin-huan, JI Shou-feng, ZHU Bao-lin

(School of Business Administration, Northeastern University, Shenyang 110819, China. Corresponding author: TANG Jin-huan, E-mail: tangjinhuan-hot@163.com)

**Abstract:** Aiming at the 3-stage production-distribution system composed of producers, regional distribution centers (RDC) and distributor, the RDC lot-sizing policy was studied. First, the great common divisor (GCD) was taken as an adapted time base to optimize the production-distribution system model, and then the stationary policy was obtained. Different scenes in production-distribution process were discussed to obtain the multiple lot-sizing policies. The performance contrast standard was introduced to uncover the stationary lot-sizing model and the multiple lot-sizing model. The numerical experiments were conducted with the data from the Northeastern Chemical Sales Company of the PetroChina. The results confirm the validity of the standard and the model.

**Key words:** 3-stage production-distribution system; performance contrast standard; multiple lot-sizing policies; method of greater common divisor; optimal lot-sizing policy

从战略、战术和运作层面对生产-分销系统的集成研究日趋重要,众多研究结果表明其在很大程度上优于一般的解耦方法<sup>[1-2]</sup>.目前从这3个层次上对生产-分销系统的研究主要分为3种类型:①战略协调,研究工厂、分销中心选址及客户需求分配问题;②战术协调,对库存分配-分销策略问题的研究;③运作一体化,集成生产-库存-运输的研究.而第三个层面被认为是与实际问题联系最紧密、方案最精确、角度最契合的研

究方法<sup>[3-7]</sup>.本文基于运作一体化这一视角对三层生产-分销系统中的最优批量策略展开研究.

目前大多数成果都是基于以下2个假设:①供应链中最上游企业的需求能够瞬时得到满足,不存在任何短缺;②产品从供应链上游流向下游的过程中,持有成本不断升高<sup>[8-9]</sup>.本文针对3层生产-分销系统的批量策略进行研究,主要特色体现在4个方面:①允许生产-分销系统中各级成员的持有成本随意变动;②突破以往只有制造

收稿日期: 2014-02-24

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70872019);辽宁省教育厅人文社科基地项目(ZJ2013014).

作者简介: 唐金环(1985-),女,辽宁大连人,东北大学博士研究生;戢守峰(1958-),男,辽宁沈阳人,东北大学教授,博士生导师.

商和销售商的两层生产-分销系统的范畴;③定义了一个绩效对比标准;④使用中石油东北石化销售公司的部分数据作为算例的来源,算例的结果及灵敏度分析验证了本文的有效性及在理论和实践上的意义.

## 1 问题描述与条件假设

### 1.1 问题描述

本文研究了由 1 个生产商(M),  $N$  个区域配送中心(RDC)和  $K$  个分销商(D)构成的三层生产-分销系统,如图 1 所示. 生产商以一定的批量对 RDC 补货, RDC 以一定的批量对分销商进行点对点补货,通过对流入流出 RDC 的最优经济批量的控制,使得系统总成本最小.

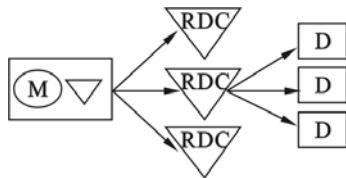


图 1 3 层生产-分销系统结构图

Fig. 1 Structure of 3-stages production-distribution system

### 1.2 条件假设

1) 生产商存在有限的生产率  $c$ , 持有成本由 M, RDC, D 三方共同承担.

2) 生产-分销系统的上层到下层单位产品单位距离的运输成本是固定的.

3) 每个 RDC 都存在差异化容量限制.

4) RDC 和 D 的补货过程遵循  $(Q_j, R_j)$  库存策略.

5) RDC 层的进出库可能同时发生, 且生产-分销系统的成本体现为 RDC 进出库过程及其库存持有状况, 其他不影响批量决策的成本可不予考虑.

## 2 模型构建

在研究生产-分销系统固定批量策略时, 现有库存水平为连续的锯齿状模型, 如图 2 所示, 故生产-分销系统的成本来自生产商和销售商的持有成本, 以及 RDC 的选址成本. 设  $RDC(t)$  为  $t$  时刻 RDC 的库存水平.

$T_{in}$  和  $T_{out}$  表示 RDC 的入库和出库批量, 在时间点  $t$ , 入库流量为  $T_{in} \lfloor 1 + t/T_{in} \rfloor$ , 出库流量为  $T_{out} \lfloor 1 + t/T_{out} \rfloor$ , 初始库存  $W(0)$  为  $T_{in} \lfloor 1 + t/T_{in} \rfloor$

$-T_{out} \lfloor 1 + t/T_{out} \rfloor + W(0)$ , 单位产品持有成本为  $h$  时, 可得 RDC 的总持有成本为  $0.5h(T_{in} + T_{out} - 2T_{in} \wedge T_{out})$ , 进而可得在批量策略  $(T_{in}, T_{out})$  下, 系统的总成本为

$$C(T_{in}, T_{out}) = h_p \frac{T_{in}}{2} + h_d \frac{T_{out}}{2} + \frac{h}{2} \cdot$$

$$(T_{in} + T_{out} - 2T_{in} \wedge T_{out}) + \frac{K_1(t)s_1}{T_{in}} + \frac{K_2(t)s_2}{T_{out}}. \quad (1)$$

式中:  $K_1(t)$  为生产商到 RDC 的单位运费;  $K_2(t)$  为 RDC 到 D 的单位运费;  $s_1$  为生产商 M 到 RDC 的距离;  $s_2$  为 RDC 到分销商 D 的距离.

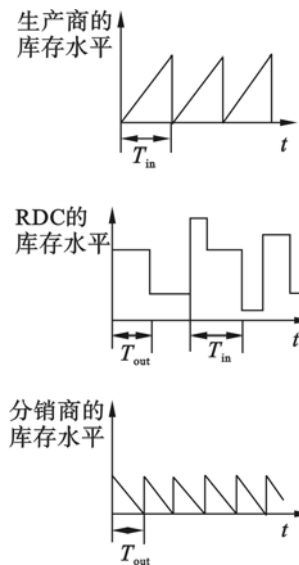


图 2  $T_{in} = 5, T_{out} = 3$  时库存水平的锯齿状模型

Fig. 2 Jagged model of inventory at  $T_{in} = 5, T_{out} = 3$

## 3 基于绩效对比标准模型批量策略

### 3.1 固定批量策略与多重批量策略的推导

**定义 1** 如果  $T_{in} = bp, T_{out} = pq, p, q$  是素数,  $b = T_{in} \wedge T_{out}$ , 则  $T_{in}$  和  $T_{out}$  之间存在一个最大公约数  $b$ . 故  $(T_{in}, T_{out})$  到  $(p, q)$  可以看作是在不同的时间基准上的移动. 该方法适用于一切有理数的情况.

首先在固定批量策略制定时, 对于一个给定的时期比, 可得  $b = T_{in} \wedge T_{out}$  的最优值. 设

$$\alpha(p, q) = 0.5(\hat{h}_p p + \hat{h}_d q - 2h),$$

$$\beta(p, q) = \frac{K_1(t)s_1}{p} + \frac{K_2(t)s_2}{q},$$

则式(1)可改写为

$$C(p, q) = \alpha(p, q)b + \frac{\beta(p, q)}{b}. \quad (2)$$

由式(2)知, 对任意  $(p, q)$ ,  $b$  有唯一的最优值  $b^*(p, q) = \sqrt{\beta(p, q)/\alpha(p, q)}$ , 可得, 最优成本  $C^* = 2\sqrt{\alpha(p, q)\beta(p, q)}$ .

可见,  $(p, q)$  给出了一组唯一的基于时间基准的简化策略  $P(p, q)$ , 定义生产-分销系统成本最小化的策略为  $P(p^*, q^*)$ , 且原始批量策略  $(T_{in}^*, T_{out}^*)$  与  $P(p^*, q^*)$  一致. 令  $\varphi(p, q) = \alpha(p, q)\beta(p, q)$ , 则生产-分销系统的最优成本  $C^*(T_{in}^*, T_{out}^*) = 2\sqrt{\varphi(p, q)}$ .

在  $q=1$  时, 简化的最优成本为

$$\min C^*(p^*, q^*) = 0.5(\hat{h}_p p + \hat{h}_d - 2h) \cdot P(1, 1),$$

$$P(1, \left\lfloor \sqrt{\frac{(K_0 + K_1(t)s_1)(h_d + h)}{(K_0 + K_2(t)s_2)(h_p - h)}} \right\rfloor), P(1, \left\lceil \sqrt{\frac{(K_0 + K_1(t)s_1)(h_d + h)}{(K_0 + K_2(t)s_2)(h_p - h)}} \right\rceil), \\ P(\left\lfloor \sqrt{\frac{(K_0 + K_1(t)s_1)(h + h_p)}{(K_0 + K_2(t)s_2)(h_d - h)}} \right\rfloor, 1), P(\left\lceil \sqrt{\frac{(K_0 + K_1(t)s_1)(h + h_p)}{(K_0 + K_2(t)s_2)(h_d - h)}} \right\rceil, 1).$$

### 3.2 基于绩效对比标准的最优批量策略选择

首先, 引入最优批量比值  $r^*$  和一种假设的情况  $I^0, I^0$  为绩效对比的标准, 含有参数  $h_p^0, h^0$  和  $h_d^0$ , 以及运输成本  $K_1(t)s_1$  和  $K_2(t)s_2, r(I)$  为情形  $I$  最优批量的比值, 即  $r^*(I) = \frac{T_{in}^*}{T_{out}^*}$ .

**定理 1**  $r^* \notin (1, 2)$  时, 不适用多重策略; 当  $p^*=1$  或  $q^*=1$  时, 固定策略的结果等价于多重策略; 当  $r^* \geq 2$  时, 因为要满足不等式  $\frac{C(p, q)}{C(p^*, q^*)} \leq \frac{f(p/q)}{f(r^*)}$ , 推导可得固定策略的成本比多重策略高 1.03%, 而当  $r^* \leq 1$  时, 结论与  $r^* \geq 2$  一致.

**证明** 令生产商的持有成本为  $h_p^0 = \hat{h}_p = h_p + h$ , RDC 的持有成本为  $h^0 = 0$ , 分销商的持有成本为  $h_d^0 = h_d + h$ , 如此 3 层生产-分销系统分解为 2 层, 分别对其两端使用 EOQ 公式可得此时的最优策略  $(T_{in}, T_{out})$  为  $T_{in}^0 = \sqrt{2K_1(t)s_1/h_p}$ ,  $T_{out}^0 = \sqrt{2K_2(t)s_2/h_d}$ . 此时生产-分销系统的总成本为  $C^0 = K_1(t)s_1 + K_2(t)s_2 + h_d T_{out}/2 + h T_{in}/2$ .  $I^0$  在策略  $P(p, q)$  下, 令

$$f(x) = (\hat{h}_p x + \hat{h}_d) (K_1(t)T_{in} \frac{1}{x} + K_2(t)T_{out}),$$

$$(\frac{K_1(t)s_1}{p} + K_2(t)s_2). \quad (3)$$

从而可得最优的  $p$  值为

$$p^* = \begin{cases} 1, & h_d \leq h; \\ \sqrt{\frac{(K_0 + K_1(t)s_1)(h + h_p)}{(K_0 + K_2(t)s_2)(h_d - h)}}, & h_d > h. \end{cases} \quad (4)$$

同理, 可得  $p=1$  时的最优策略, 考虑到简化后的成本函数具有凸性, 则多重混合批量策略为

则成本是关于批量比值的一个函数:  $C^0(p, q) = f(p/q)$ . 从而在  $I$  和  $I^0$  中,  $r$  和  $r^0$  的最优值就是生产-分销系统的最优值.  $I^0$  提供了批量策略下的冗余成本的上限, 为便于推导, 定义一个绩效比率  $l, l = (C(p, q) - C(p^*, q^*)) / C(p^*, q^*)$ , 对不等式  $\frac{C(p, q)}{C(p^*, q^*)} \leq \frac{f(p/q)}{f(r^*)}$  进行推导, 可得

$$f(p/q) C(p^*, q^*) - f(r^*) C(p, q) = \hat{h}_p(p^* - p) + \hat{h}_d(q^* - q). \quad (5)$$

在  $p^* \leq p, q^* \leq q$  时,  $\frac{C(p, q)}{C(p^*, q^*)} \leq \frac{f(p/q)}{f(r^*)}$ , 说明  $I$  中策略  $P(p^*, q^*)$  是  $I^0$  中  $P(p, q)$  绩效比率的上限.

## 4 计算实验与灵敏度分析

### 4.1 计算实验算例

本文以中石油东北化工销售分公司生产-分销系统实际运作中的部分数据作为算例来源. 大连生产基地向公司区域配送中心华北大区进行产品调运, 华北大区 RDC 再向北京、天津、石家庄、保定、沧州这些区域内的分销商进行配送. 数据参数如表 1 所示.

表 1 实验参数

Table 1 Experiment parameters

$T_{in}/kt$	$T_{out}/kt$	$h_p/(\text{元} \cdot \text{kg}^{-1})$	$h/(\text{元} \cdot \text{kg}^{-1})$	$h_d/(\text{元} \cdot \text{kg}^{-1})$	$\bar{p}_1/\text{元}$	$\bar{p}_2/\text{元}$	$w_{in}/kt$	$w_{out}/kt$
180	670	0	0.28	0.3	221	200	180	670

传统方法下生产-分销系统的总成本为 17 418 万元<sup>[7]</sup>, 而本文的最优策略下的成本为 15 562 万元, 比传统的批量策略节省了 1 856

万元.

### 4.2 灵敏度分析

为了进一步检验本文优化策略, 以下针对关

键变量平均运价和持有成本进行灵敏度分析.

图 3 表明,随着平均运价的增长,一般传统策略下总成本的增幅要比最优批量策略下的成本增幅缓慢.图 4 表明,随 RDC 单位产品持有成本的增加,传统的批量策略下成本增长缓慢,而最优批量策略在 RDC 持有成本小于 0.2 时,增长也比较缓慢,且成本要远远小于传统策略,当持有成本超过 0.2 后,成本急剧增加,直到持有成本达到 0.6 后,最优批量策略失效.可见最优批量策略的实施需要考虑具体的问题,不是在所有的情况下都是有效的.

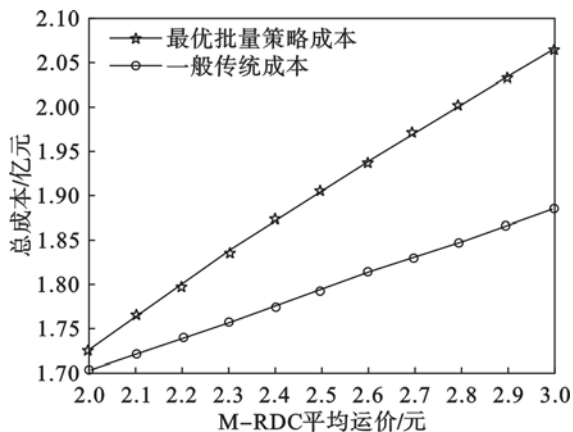


图 3 平均运价对总成本的影响

Fig. 3 Effect of average rate on total cost of freight

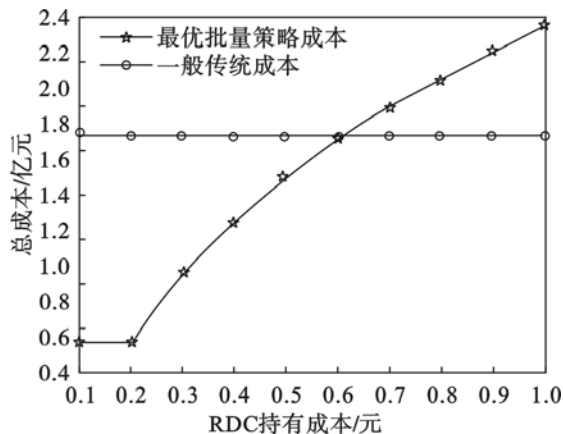


图 4 RDC 持有成本对总成本的影响

Fig. 4 Effect of RDC holds cost on total cost

本文也对 RDC 持有成本  $h$  和分销商持有成本  $h_d$  同时变化的 3 层生产 - 分销系统的传统策略和最优批量策略进行了分析,如图 5 和图 6 所示.

图 5 说明传统意义上随着  $h$  和  $h_d$  的增大,系统的成本呈稳定上升趋势,但是在使用最优批量策略时(图 6),随着两级库存成本的变化,系统的成本呈现先下降后上升的趋势,可见最优批量策

略的绩效取决于生产 - 分销系统中 RDC 和分销商的持有成本状况.这也是管理者应予以重视的区域.

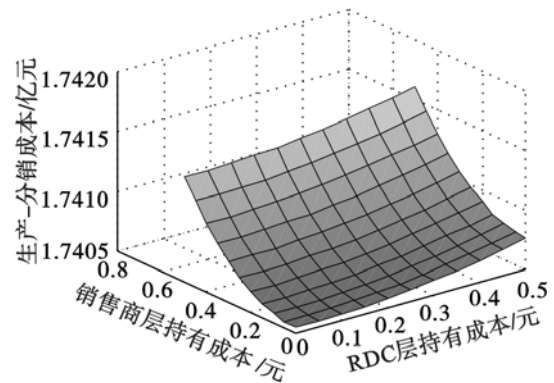


图 5 随持有成本变化的生产 - 分销成本

Fig. 5 Production-distribution cost varied with holding cost

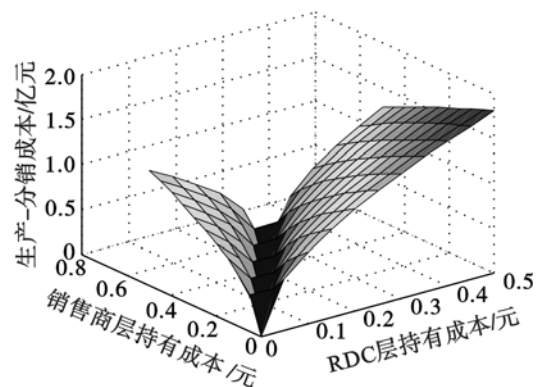


图 6 批量策略下随持有成本变化的生产 - 分销成本

Fig. 6 Production-distribution cost varied with holding cost in lot-sizing policy

## 5 结 语

本文对 3 层生产 - 分销系统的批量策略进行研究,给出了不同情景下企业批量策略的选择,并以中石油东北化工销售公司的运营数据作为算例分析的来源,结果证明使用本文所提的批量策略相比于传统的方法在成本节约上具有明显的优势.本研究是针对随机需求下单一产品的批量策略问题,对于多产品多阶段的复杂情况的探讨将是下一步的研究方向.

## 参考文献:

- [1] Park Y B. An integrated approach for production and distribution planning in supply chain management [J]. *International Journal of Production Research*, 2005, 43 (6): 1205 - 1224.

(下转第 608 页)