

文章编号:1003 - 207(2007)02 - 0064 - 06

# 考虑产品变质的 VMI 混合补货 发货策略及优化仿真

杜少甫, 梁 樑, 张靖江, 卢正刚

(中国科学技术大学管理学院, 安徽 合肥 230026)

**摘要:**本文研究了“产品可变质”情况下的 VMI 库存补货与装运调度问题,并建立了 Poisson 需求过程下的 VMI 混合补货发货模型,根据此模型通过简单的规划求解即可得到使长期平均成本最小的最佳混合策略组合。由于模型推演过程中涉及到对补货周期内期望发货次数的近似估计,因而模型解是拟最优的。算例和模型仿真显示,模型结果与仿真结果十分相近,从而模型有效性得以确认。

**关键词:**供应商管理库存(VMI);易腐产品;补货发货策略;装运整合;Poisson 过程;仿真

**中图分类号:**F253.4;F224 **文献标识码:**A

## 1 引言

在传统供应链环境下,由于成员的独立性和自主性,他们往往各自为政,只单纯追求自身收益最大化(成本最小化),导致从下游到上游的需求信息扭曲(即“牛鞭效应”)<sup>[1]</sup>,造成供应链整体无效率。MIT 啤酒游戏<sup>[2]</sup>是此现象的一大明证。供应商管理库存(VMI)的提出为解决上述问题提供了一种新的管理范式。VMI 在文献[3-5]中又被称为“寄售库存(consignment inventory)”。在 VMI-寄售模式下,供应链上游成员(寄售方)将商品配送给直接下游(受寄方),以供受寄方使用或出售;在商品被受寄方实际使用或出售后,受寄方向寄售方支付货款。VMI 要求供应商承担起管理零售商库存的责任<sup>[6-7]</sup>,并根据对市场需求的预测制定适当的持续供货策略。VMI 特有的信息共享机制也能有效降低牛鞭效应的负面影响。在 VMI 的这种特点下,供应商将同时面对库存补货(stock replenishment)和装运调度(shipment scheduling)问题,如何针对这两个方面作出联合决策是影响 VMI 实施成败的关键之一。

在 VMI 被提出之前,装运整合(shipment con-

solidation)问题<sup>[8-9]</sup>就受到关注。所谓装运整合就是:为了实现运输规模经济,将较小规模的需求累积到一定程度批量发货。装运整合策略可分为三大类:数量发货策略、时间发货策略和混合发货策略(Higginson, Bookbinder<sup>[9]</sup>)。数量策略即设定某一发货量,一旦累积需求达到此规模就立即发货;时间策略则是设定某一发货期,无论累积需求的规模如何,每到一个发货期就发货以满足这段时间内的累积需求;混合策略则是两者的结合。Cetinkaya, Lee<sup>[10]</sup>最早开始 VMI 环境下库存补货与装运调度联合决策问题的研究。在产品不变质的隐含假设下,他们建立了随机需求下时间补货发货模型。模型考虑如何确定补货订至点  $Q$  和发货期  $T$  的最优组合  $(Q^*, T^*)$ ,以最小化长期平均成本。Ching & Tai<sup>[11]</sup>则结合数量发货策略和时间发货策略的特点分析了 VMI 下的混合发货策略。在模型中他们确定了补货周期内平均发货次数的上界和下界,并以下界作为对它的近似估计,在此基础上考虑如何确定补货订至点  $Q$ 、计划发货量  $q$  和计划发货期  $T$  的拟最优组合  $(Q^*, q^*, T^*)$ ,以最小化长期平均成本。Chen 等<sup>[12]</sup>使用成本-效益分析对策略模型比较结果显示:数量模型要优于时间模型。而 Jackson<sup>[13]</sup>针对数量策略和时间策略的调查结果却显示:时间策略的采用率更高。Cetinkaya, Lee<sup>[10]</sup>对这一现象给予了解释,他们认为从客户满意度等战略指标来看,时间策略要优于数量策略。

目前国内关于“库存补货与装运调度”问题的研

收稿日期:2005-10-09;修订日期:2007-01-09  
基金项目:国家自然科学基金(70371023);国家教育部博士点基金(20030358052)  
作者简介:杜少甫(1980-),男(汉族),安徽霍山人,中国科学技术大学管理学院博士研究生,研究方向:供应链管理、供应商管理库存等。

究并不多见,最具代表性的文献是刘丽文和袁佳瑞<sup>[14]</sup>。她们对上述三种典型整合发货策略(基于时间、基于数量和混合策略)进行了综合分析,比较了三者利弊,并分析了三者的适用环境。

上述关于“库存补货与装运调度”的文献均隐含着“产品不变质”假设。而变质因素对供应链生产、库存管理均有着较为显著的影响。本文与已有相关研究的本质区别就在于:讨论了“产品可变质”情况下 VMI 库存补货和装运调度问题,并建立了考虑产品变质的 VMI 混合补货发货策略模型,并对模型优化作了仿真分析。

本文以下部分是这样安排的:第二部分简述了 VMI 库存补货和装运调度问题;第三部分对文中模型所涉及的符号参数和假设加以说明;第四部分详细讨论了考虑产品变质的 VMI 混合补货发货模型,并说明了最优策略的求解方法;第五部分给出一个典型算例,并针对各参数作了灵敏度分析;为了进一步证实模型的有效性,第六部分对算例最优策略进行了 MATLAB 仿真;最后一部分为结语。

## 2 问题描述

库存补货和装运调度问题所考虑的典型 VMI 系统通常包括:一个制造商  $M$ 、一个供应商  $V$  和分布在不同地区并按地区分类的众多零售商  $R^{(10)}$  (如图 1 所示)。这些零售商的订货需求是随机的,供应商不会在需求到达时就立即配送,而是根据某种发货策略,在需求累积到一定程度后再批量发货,因为这样才能实现运输规模经济。

本文所考虑的混合补货发货策略模型涉及到产品变质或自然损耗因素,典型的混合补货发货策略可形式化为三元组  $(Q, q, T)$ ,其中  $Q$  为库存补货订至点(order-up-to point),  $q$  为计划发货量,  $T$  为计划发货期。此策略下的典型流程为:供应商通常每

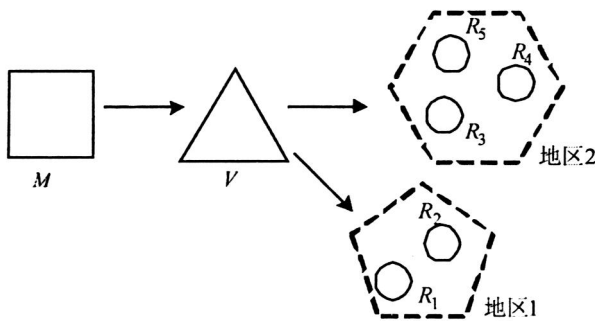


图 1 库存补货与装运调度的典型 VMI 系统  
(来源:Cetinkaya and Lee<sup>[10]</sup>)

过一个计划发货期  $T$  就发一次货,但若在计划发货期  $T$  之前,未满足的累积需求量达到计划发货量  $q$ , 则立即发货;每次发货前,供应商必须决定是否补货,补货多少。若剩余未变质存货尚足以满足累积需求,则不补货;否则补货,补货并满足了累积需求后的库存水平仍然维持在  $Q$  水平。

## 3 假设与参数

本文模型建立在以下假设之上:

- (1) 需求累积过程是个典型的 Poisson 过程,即一定时间间隔  $t$  内的累积需求量只依赖于  $t$  大小,而与开始时刻无关,且服从参数为  $t$  的 Poisson 分布;
- (2) 补货提前期忽略不计,即时到货;
- (3) 在库存货变质率为  $\alpha$ , 即满足  $I'(t) = -\alpha I(t)$ , 已变质产品无遗留价值。

本文分析模型中将会用到的主要参数与符号如下:

$N(t)$ : 时间间隔  $t$  内零售商对供应商的累积需求量,  $N(t) \sim P(t), \{N(t): t \geq 0\}$ , 是个 Poisson 过程;

$I(t)$ :  $t$  时刻供应商的库存水平;

$\alpha$ : 在库存货变质率,即  $I'(t) = -\alpha I(t)$ ;

$K$ : 一个补货周期内所发生的发货次数,随机变量;

$t_i: i = 1, 2, \dots, K$  时表示一个补货周期内第  $i$  次发货的时刻,  $t_0 = 0$  表示初始时刻;

$\tau_i$ : 第  $i$  次发货与上次发货的时间间隔,  $\tau_i = t_i - t_{i-1}, i = 1, 2, \dots, K$ ;

$h$ : 单位时间单位库存持有成本;

$S_D$ : 一次发货的固定准备成本;

$C_D$ : 单位货物运输成本;

$S_R$ : 补货固定准备成本;

$C_R$ : 单位补货成本;

$w$ : 单位时间单位货物的客户等待成本;

$(Q, q, T)$ : 混合补货发货策略,其中  $Q$  为补货订至点,  $q$  为计划发货量,  $T$  为计划发货期;

$\tilde{q}$ : 一次发货的期望发货量;

$\bar{T}$ : 期望发货时间间隔;

$Q_R$ : 一次补货的补货批量;

$T_{RC}$ : 补货周期时间跨度,  $T_{RC} = t_K$ ;

$C_{RC}$ : 一个补货周期内发生的总成本,  $C_{RC} = H_{RC} + R_{RC} + D_{RC} + W_{RC}$ , 其中  $H_{RC}, R_{RC}, D_{RC}, W_{RC}$  分别表示一个补货周期内发生的库存持有成本、补货成本、发货成本、客户等待成本;

$C(Q, q, T)$ :策略  $(Q, q, T)$  下单位时间长期平均成本,也可表示成  $Q$  和  $\tilde{q}$  的函数形式  $C(Q, \tilde{q})$ 。

### 4 分析模型

#### 4.1 初步分析

图2显示了在考虑产品变质情况下,单个补货周期内供应商库存水平的变化情况。每个补货周期的期初库存水平为  $Q$ 。用  $K$  表示一个补货周期内的发货次数,就是说,一个补货周期包含有  $K$  个发货周期:第  $i$  ( $i = 1, \dots, K$ ) 个发货周期可用左闭右开区间  $[t_{i-1}, t_i)$  表示,其时间跨度为  $t_i = t_i - t_{i-1}$ ;期间到达的累积需求量为  $N(t_i)$ ,简记为  $N_i$ ;期初库存为  $I(t_{i-1})$ 。求解微分方程  $I'(t) = -\tilde{q}I(t)$  得,在第  $i$  个发货周期内任意时刻  $t \in [t_{i-1}, t_i)$ , 供应商的库存水平为:

$$I(t) = \begin{cases} Qe^{-\tilde{q}t}, & 0 \leq t < t_1 \\ [Qe^{-\tilde{q}t_1} - N_1]e^{-\tilde{q}(t-t_1)}, & t_1 \leq t < t_2 \\ \dots & \dots \\ [Qe^{-\tilde{q}t_{K-1}} - \sum_{i=1}^{K-1} N_i e^{-\tilde{q}(t_{K-1}-t_i)}]e^{-\tilde{q}(t-t_{K-1})}, & t_{K-1} \leq t < t_K \end{cases} \quad (2)$$

若用  $t_k$  表示第  $K$  次发货前的临界时刻,则此时的库存水平为:

$$I(t_k) = Qe^{-\tilde{q}t_k} - \sum_{i=1}^{K-1} N_i e^{-\tilde{q}(t_k-t_i)} \quad (3)$$

因此,

$$K = \inf \left\{ k \mid Qe^{-\tilde{q}t_k} - \sum_{i=1}^{k-1} N_i e^{-\tilde{q}(t_k-t_i)} < N_k \right\} \\ = \inf \left\{ k \mid \sum_{i=1}^k N_i e^{-\tilde{q}t_i} > Q \right\} \quad (4)$$

设  $p_T$  为按时间整合发货(即发货时间间隔为  $T$ )的概率,那么按数量整合发货(即发货批量为  $q$ )的概率就为  $(1 - p_T)$ 。

$$p_T = P(t = T) = P(N(T) < q) \\ = \sum_{i=0}^{q-1} \frac{(\tilde{q}T)^i}{i!} e^{-\tilde{q}T} \quad (5)$$

由于第  $i$  个发货期内到达的累积需求量为  $N_i$ ,期末发货量须满足这期间的全部累积需求。 $\tilde{q}$  为单次发货的期望发货量,因此有:

$$\tilde{q} = E(N_i) = q(1 - p_T) + E(N(T)) p_T \\ = q(1 - p_T) + \tilde{q} p_T \quad (6)$$

根据假设1可知:  $\{N(t) : t \geq 0\}$  是个 Poisson 过程,因此单位需求到达时间间隔服从参数为  $\tilde{q}$  的指数分布,期望值为  $\tilde{q}^{-1}$ 。因此期望发货时间间隔就为:

$$\bar{T} = E(t_i) = \tilde{q}^{-1} \quad (7)$$

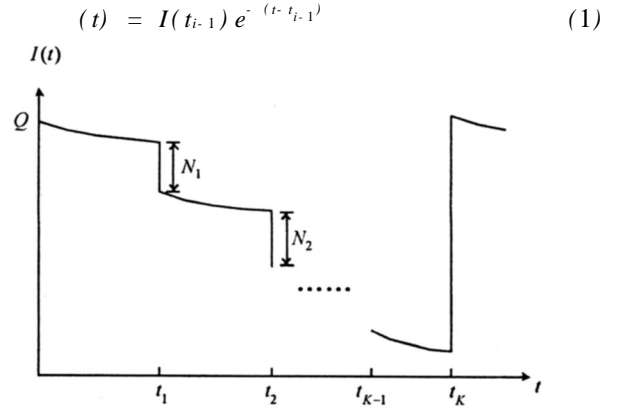


图2 考虑产品变质时供应商库存变化曲线  
进而,可得到整个补货周期内的库存水平分段函数:

而  $t_i = \sum_{j=1}^i t_j$ , 而  $t_j$  ( $j = 1, \dots, K$ ) 是相互独立的,因此:

$$E(t_i) = i\tilde{q}^{-1} \quad (8)$$

当  $i = K$  时即表示一个完整的补货周期,则

$$E(T_{RC}) = E(t_K) = E(K) \times \bar{T} = \tilde{q}^{-1} E(K) \quad (9)$$

下面将考虑一个补货周期内的期望发货次数  $E(K)$ 。

由式(4)可知,  $\sum_{i=1}^K N_i e^{-\tilde{q}t_i} > Q$ 。长期内,随机变量  $K, N_i, t_i$  均可用它们的期望值代替,又  $E(N_i) = \tilde{q}$ ,并结合公式(8)整理可得:

$$\ln \left[ \frac{Q + \tilde{q}}{\tilde{q}} - \frac{Qe^{-\tilde{q}^{-1}}}{\tilde{q}} \right] - \ln \tilde{q} + 1 \quad E(K) > \\ \ln \left[ \frac{Q + \tilde{q}}{\tilde{q}} - \frac{Qe^{-\tilde{q}^{-1}}}{\tilde{q}} \right] - \ln \tilde{q} \quad (10)$$

不妨取中间值作为对  $E(K)$  的估计(后面的模型仿真实证这种估计是合理的),即:

$$E(K) = \frac{\ln \left[ \frac{Q + \tilde{q}}{\tilde{q}} - \frac{Qe^{-\tilde{q}^{-1}}}{\tilde{q}} \right] - \ln \tilde{q} + \frac{1}{2}}{\tilde{q}^{-1}} \quad (11)$$

#### 4.2 成本分析

这一部分将重点分析易腐产品  $(Q, q, T)$  混合发货策略下的供应链长期平均成本  $C(Q, q, T)$ 。根

据更新理论 (Renewal Theory) 中的更新报酬定理 (Renewal Reward Theorem) 可知,

$$C(Q, q, T) = \frac{E(C_{RC})}{E(T_{RC})} = \frac{E(H_{RC}) + E(R_{RC}) + E(D_{RC}) + E(W_{RC})}{\tilde{q}^{-1} E(K)} \quad (12)$$

(1) 根据式(2)所反映的库存水平分段函数,期望库存持有成本为:

$$E(H_{RC}) = \sum_{j=0}^{E(K)-1} h [ Q e^{-(t_j)} - \tilde{q} \sum_{i=1}^j e^{-\tilde{q}(j-i)} ] \cdot \int_{E(t_j)}^{E(t_{j+1})} e^{-[t-E(t_j)]} dt = h(1 - e^{-\tilde{q}^{-1}}) \left\{ Q \sum_{j=0}^{E(K)-1} e^{-\tilde{q}^{-1}j} - \tilde{q} \sum_{j=0}^{E(K)-1} \sum_{i=1}^j e^{-\tilde{q}^{-1}(j-i)} \right\} = h \left[ Q - \tilde{q} E(K) + \tilde{q} \cdot \frac{1 - e^{-\tilde{q}^{-1/2}}}{e^{-\tilde{q}^{-1}}} \right] \quad (13)$$

(2) 由于一个补货周期内只会发生一次补货,而补货后的库存水平总重新达到 Q,因此一次补货的批量为

$$Q_R = Q - I(t_K) + N_K = Q(1 - e^{-t_K}) + \sum_{i=1}^K N_i e^{-(t_K - t_i)} \quad (14)$$

$$E(Q_R) = Q + \tilde{q} \cdot \frac{1 - e^{-\tilde{q}^{-1/2}}}{e^{-\tilde{q}^{-1}}} \quad (15)$$

因此期望补货成本为

$$E(R_{RC}) = s_R + c_R \left( Q + \tilde{q} \cdot \frac{1 - e^{-\tilde{q}^{-1/2}}}{1 - e^{-\tilde{q}^{-1}}} \right) \quad (16)$$

(3) 一个补货周期内的期望发货成本为

$$E(D_{RC}) = (s_D + c_D \tilde{q}) E(K) \quad (17)$$

(4) 为了计算期望客户等待成本,不妨考虑这样的期望情形:前面提到,单位需求到达的期望时间间隔为  $\tilde{q}^{-1}$ ,而期望整合发货批量为  $\tilde{q}$ ,期望整合发货周期为  $\bar{T} = \tilde{q}^{-1}$ ;一个补货周期则是由 K 个这样的整合发货周期构成。也就是说:在期望情形下,每个补货周期可被划分为 K 个整合发货周期,而每个整合发货周期又可被划分为  $\tilde{q}$  个时段,在每个时段结束时刻到达单位需求。因此,一个补货周期内的期望客户等待成本就为:

$$E(W_{RC}) = E(K) \cdot w \cdot \sum_{i=0}^{\tilde{q}-1} i = \frac{w \tilde{q} (\tilde{q} - 1) E(K)}{2} \quad (18)$$

将公式(13)、(16)、(17)和(18)代入到公式(12)中并整理可得:

$$C(Q, \tilde{q}) = \frac{s_R + (h + c_R) \left[ Q + \tilde{q} \cdot \frac{1 - e^{-\tilde{q}^{-1/2}}}{1 - e^{-\tilde{q}^{-1}}} \right]}{\ln[ (Q + \tilde{q}) - Q e^{-\tilde{q}^{-1}} ] - \ln \tilde{q} + \tilde{q}^{-1/2}} + \frac{s_D}{\tilde{q}} + \frac{w \tilde{q}}{2} + (c_D - \frac{h}{2} - \frac{w}{2}) \quad (19)$$

### 4.3 最优策略

理论上讲,在 Q=0 和 q=0 下使 C(Q, q) 最小化的最优组合 (Q\*, q\*) 可通过式(19)的两个一阶条件所联立的方程组求出,但它们均是超越方程,很难通过一般的方程组解法求解。不妨借助于计算机来辅助求解对应的规划问题: { min C(Q, q) | Q=0, q=N }。

然而优化组合 (Q\*, q\*) 并非最终的最优策略,最优策略应该是 (Q\*, q\*, T\*) 的三元组形式。对于任意优化组合 (Q\*, q\*), 所有满足式(5)和(6)的混合策略 (Q\*, q\*, T\*) 在成本-效益意义上均是等价的。在这些等价策略中,取 q\* = q\*, T\* =  $\tilde{q}^{-1}$  是个不错的选择,因为在这种情况下:

(1) 无论是按时间还是按数量整合发货,他们的期望发货时间是吻合的;

(2) 无论取何值,式(6)总是成立的。

另外注意到:

$$\lim_{p_T \rightarrow 1} T = \lim_{p_T \rightarrow 1} \frac{\tilde{q} - q(1 - p_T)}{p_T} = \tilde{q}^{-1} \quad (20)$$

$$\lim_{p_T \rightarrow 0} q = \lim_{p_T \rightarrow 0} \frac{\tilde{q} - p_T}{1 - p_T} = \tilde{q}$$

由于 p\_T 表示按时间整合发货的概率,因此 p\_T=0 和 p\_T=1 就分别意味着混合策略退化为数量策略 (Q\*, q\*) 和时间模型 (Q\*,  $\tilde{q}^{-1}$ , q\*)。

基于上面的分析,可得到一种理想的可行最优策略 (Q\*, q\*, T\*) = (Q\*, q\*,  $\tilde{q}^{-1}$ )。

### 5 算例及灵敏度分析

这一部分将提供一个算例,变质率取 0.1,其它输入参数仍然沿袭文献[10]中的算例取值(见表1)。根据这些输入参数,使用 Excel 所提供的规划求解工具求解 { min C(Q, q) | Q=0, q=N }, 得到 (Q\*, q\*) = (14.075, 10), 因此最优补货发货策略可为 (Q\*, q\*, T\*) = (14.075, 10, 1)。在此策略下,目标函数即长期平均成本接近最小, C(Q\*, q\*, T\*) = 282.941。为清楚起见并便于灵敏度分析,相关中间参数和优化结果也通过表 1 反映出来。

表 1 输入参数、中间参数和优化结果

输入参数						
	$h$	$s_R$	$s_D$	$c_R$	$c_D$	$w$
0.1	10	7	125	50	2	3
中间参数						
$E(K)$	$E(T_{RC})$	$E(H_{RC})$	$E(R_{RC})$	$E(D_{RC})$	$E(W_{RC})$	
1.757	1.757	114.104	163.400	140.561	79.065	
优化结果						
$Q^*$	$q^*$	$T^*$	$C(Q^*, q^*, T^*)$			
14.075	10.000	1.000	282.941			

下面将对各输入参数作灵敏度分析,以说明这些输入参数对优化结果的影响。

(1) 变质率对结果的影响:保持其它输入参数不变,单独调整变质率赋值。从表 2 中可以看出:若变质率上升程度不至于影响计划发货量和计划发货期,那么补货订至点应向上微调;若变质率上升程度使计划发货量和计划发货期上升,那么补货订至点会有较为明显的下降;但变质率上升一定会带来长期平均成本的增加。

(2) (单位时间内的期望需求)对结果的影响:保持其它输入参数与算例一致,单独调整  $\lambda$  值,从表 3 中可以看出:越大,则应上调补货订至点和计划发货量,下调计划发货期,长期平均成本会有较明显上升。

表 2 变质率对优化结果的灵敏度分析

	$Q^*$	$q^*$	$T^*$	$C(Q^*, q^*, T^*)$
0.1	14.075	10.000	1.000	282.941
0.2	14.210	10.000	1.000	288.386
0.3	14.308	10.000	1.000	293.636
0.4	14.373	10.000	1.000	298.706
0.5	13.762	11.000	1.100	303.560

(3) 成本参数对结果的影响:限于篇幅,我们不一一对其余 6 个成本参数进行详细灵敏度分析,表 4 显示了通过灵敏度分析得出的各成本参数对优化结果的影响。从中可得出如下结论:(1) 各成本参数对长期平均成本均具有较为明显的正效应;(2) 补货固定准备成本对补货策略有较明显的正效应,而对发货策略则影响不大;(3) 发货固定准备成本对补货策略有负效应,而对发货策略则有较明显的正效应;(4) 补货成本上升,补货订至点应下调,但对发货策略毫无影响;(5) 运输成本对补货、发货策略均无影响;(6) 客户等待成本对补货策略有较明显的正效应,而对发货策略则相反。这些结论均与经验相吻合,有些可通过公式(19)直接观察得出。

表 3 对优化结果的灵敏度分析

	$Q^*$	$q^*$	$T^*$	$C(Q^*, q^*, T^*)$
2	6.227	5.000	2.500	113.584
6	10.863	8.000	1.333	210.153
10	14.075	10.000	1.000	282.941
14	16.487	12.000	0.857	345.860
18	18.952	13.000	0.722	403.050

表 4 各成本参数对优化结果的影响

	$h$	$s_R$	$s_D$	$c_R$	$c_D$	$w$
$Q^*$	-	+	-	-	.	+
$q^*$	.	.	+	.	.	-
$T^*$	.	.	+	.	.	-
$C(Q^*, q^*, T^*)$	+	+	+	+	+	+

注: + 或 - 表示输出参数随输入参数的上升而递增或递减; . 则表示无影响或影响不明显。

### 6 模型仿真

以上最优补货发货策略模型是在长期期望条件下建立起来的,而且其中涉及到对  $E(K)$  的近似估计。为了进一步验证模型的长期有效性,这一部分将对模型进行仿真。

在 MATLAB 语言环境下编写仿真程序 Policy-Simulator,它可对各种策略下补货发货过程进行仿真。用 Policy-Simulator 模拟在混合策略下的长期平均成本的走势,共模拟 1000 次补货过程。图 3 显示了通过 plot 命令绘制出的平均成本趋势图。第 1000 次补货时长期平均成本的仿真结果是 281.3068,而通过模型优化得出长期平均成本为 282.941,两者十分靠近,从而证实了模型的有效性。

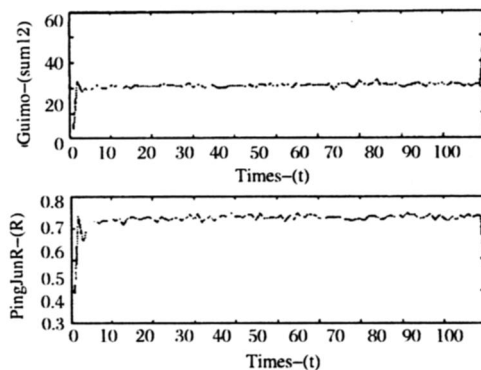


图 3 用 Matlab 仿真出的平均成本趋势图 (仿真补货次数:1000)

### 7 结语

本文研究了“产品可变质”情况下的 VMI 库存补货与装运调度问题,并建立了考虑产品变质的 VMI 混合补货发货模型,根据此模型通过简单的规

划求解即可得到使长期平均成本最小的最优混合策略。由于模型推演过程中涉及到对补货周期内期望发货次数的近似估计,因而模型解是拟最优而非精确最优。而算例和模型仿真则显示,模型优化结果与仿真结果十分相近,从而证实了本文模型的有效性。

#### 参考文献:

- [1] H. L. Lee, V. Padmanabhan and S. Whang. Information Distortion in a Supply Chain: The Bullwhip Effect [J]. *Management Science*, 1997, 43(4): 546 - 558.
- [2] S. O. Kimbrough, D. J. Wu and F. Zhong. Computers play the beer game: can artificial agents manage supply chains? [J]. *Decision Support Systems*, 2002, 33(3): 323 - 333.
- [3] G. Valentini and L. Zavanella. The consignment stock of inventories: industrial case and performance analysis [J]. *International Journal of Production Economics*, 2003, 81 - 82: 215 - 224.
- [4] J. Hung, Y. Fun and C. Li. Inventory management in the consignment system [J]. *Production and Inventory Management Journal*, 1995, 36(4): 1 - 5.
- [5] J. Fagel. Selling on consignment: another tool in the credit arsenal [J]. *Business Credit*, 1996, 98(9): 6 - 8.
- [6] Y. Dong and K. Xu. A supply chain model of vendor managed inventory [J]. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2002, 38(2): 75 - 95.
- [7] Y. Aviv and A. Federgruen. The operational benefits of information sharing and vendor managed inventory (VMI) programs [Z]. Washington University working paper, St. Louis, MO, 1998.
- [8] R. W. Hall. Consolidation strategy: Inventory, vehicles and terminals [J]. *Journal of Business Logistics*, 1987, 8(2): 57 - 73.
- [9] J. K. Higginson and J. H. Bookbinder. Markovian Decision Processes in Shipment Consolidation [J]. *Transportation Science*, 1995, 29(3): 242 - 255.
- [10] S. Cetinkaya and C. Y. Lee. Stock Replenishment and Shipment Scheduling for Vendor - Managed Inventory Systems [J]. *Management Science*, 2000, 46(2): 217 - 232.
- [11] W. K. Ching and A. H. Tai. A Quantity - Time - Based Dispatching Policy for a VMI System [C]. *Computational Science and Its Applications - ICCSA 2005: International Conference*, Singapore, 2005, Proceedings, Part IV: 342 - 349.
- [12] F. Y. Chen, T. Wang and T. Z. Xu. Integrated Inventory Replenishment and Temporal Shipment Consolidation: A Comparison of Quantity - Based and Time - Based Models [J]. *Annals of Operations Research*, 2005, 135(1): 197 - 210.
- [13] G. C. Jackson. A Survey of Freight Consolidation Practices [J]. *Journal of Business Logistics*, 1985, 6(1): 13 - 34.
- [14] 刘丽文, 袁佳瑞. VMI 环境下的库存与发货模型研究 [J]. *中国管理科学*, 2003, 11(5): 31 - 36.

### Hybrid Replenishment and Dispatching Policy with Deteriorating Item for VMI: Analytical Model, Optimization and Simulation

DU Shao-fu, LIANG Liang, ZHANG Jing-jiang, LU Zheng-gang

(School of Management, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China)

**Abstract:** This paper focuses on stock replenishment and shipment scheduling with deteriorating item for vendor-managed inventory systems. Under the assumption that demand process follows a typical Poisson process, hybrid replenishment and dispatching model for VMI is proposed. From this model, one of the best hybrid policies, under which the long-run average cost is minimized, can be obtained easily by solving a simple programming problem. However, solutions obtained from the model are unnecessarily the exactly optimal but near-optimal, approximation of expected dispatching number within a replenishment cycle is involved. Anyway, a numerical example and simulation show that the disparity between results through optimization and simulation is tiny or even negligible, which demonstrates the validity of the model.

**Key words:** vendor-managed inventory (VMI); deteriorating item; replenishment and dispatching policy; shipment consolidation; Poisson process; simulation