

# 分支供应链同步化决策模型及仿真

## ——基于系统动力学视角

汪建, 吴小雨, 王裴裴, 吴会琴  
(上海大学 管理学院, 上海 200000)

**[摘要]**以分支供应链为对象,通过比较独立决策和集中决策的差异,建立了失联库存的计算模型。该模型显示,通过协调需求方的库存补充周期与供应方的生产或者采购提前期可以在无信息共享条件下降低失联库存。该策略被定义为供应链同步决策模型。为了验证同步决策模型的有效性,建立了系统动力学仿真模型。研究表明,在分支供应链中,通过协调订货周期较小的零售商与分销商的采购提前期,同时维持不同零售商订货周期的比例关系,可以降低系统的失联库存水平,改善服务水平,同时订货次数的增加在合理范围内。

**[关键词]**分支供应链;库存管理;失联库存;信息共享;系统动力学;同步化决策

**[中图分类号]**F252

**[文献标识码]**A

**[文章编号]**1005-152X(2021)11-0094-08

### Study on Synchronous Decision Model and Simulation of Branch Supply Chain: A System Dynamics Perspective

WANG Jian, WU Xiaoyu, Wang Peipei, Wu Huiqin  
(School of Management, Shanghai University, Shanghai 200000, China)

**Abstract:** Taking the branch supply chain as the research object, we established the calculation model of decoupling stock by comparing the difference between independent and centralized decision-making. Said model showed that the decoupling stock could be reduced without information sharing by coordinating the inventory replenishment cycle of the demand parties and the production or procurement lead period of the suppliers. The strategy was defined as the supply chain synchronous decision model. In order to verify its validity, we established the system dynamics simulation model, which showed that in the branch supply chain, by coordinating the purchase lead time of retailers and distributors with small order cycles, and at the same time maintaining the proportion of the order cycles of different retailers, the level of decoupling stock of the system could be reduced, the service quality improved, and number of orders kept within a reasonable scope.

**Keywords:** branch supply chain; inventory management; decoupling stock; information sharing; system dynamics; synchronous decision

## 0 引言

信息共享降低供应链库存已经成为企业的共识<sup>[1-3]</sup>。实践中,供应链企业之间实现信息共享会面临不同的困难,如信息保密,共享数据的格式不兼容,信息技术投资的成本巨大,企业信息共享的意愿不强烈<sup>[4]</sup>等。在供应链管理中,如何弥补信息共享不

足是一个重要问题,失联库存(Decoupling Stock)就是专门针对这个问题。失联库存是指在供应链中由于各方独立决策所产生的系统库存,通过供应链各方的信息共享开展集中或者协同决策所能够降低的供应链库存<sup>[5]</sup>,也被称为“独立决策引起的库存”<sup>[6]</sup>。供应链失联库存的相关研究主要包括以下几个方面。

**[收稿日期]**2021-05-17

**[基金项目]**国家自然科学基金项目(71572104)

**[作者简介]**汪建(1974-),男,博士,副教授,研究方向:生产管理、质量管理及运营管理;王裴裴(1993-),通信作者,女,硕士,研究方向:生产管理。

首先是供应链库存决策模型的相关研究。依据供应链信息共享和决策方式的不同,供应链多级库存控制策略主要包括三种:(1)独立决策;(2)集中决策;(3)信息共享决策。三种决策方式比较见表1。

表1 供应链管理中三种决策方式的比较

	独立决策	集中决策	信息共享决策
决策目标	各自企业利益最大化	所有企业共同利益最大化	各自企业利益最大化
决策依据	各自企业的信息	所有企业的信息	各自企业信息以及能够共享的信息
安全库存	各自持有	一个位置持有,通常在靠近顾客的零售商处	各自持有

关于供应链信息共享的研究主要关注信息共享的对象、信息共享的内容以及信息共享的方式等问题。例如,共享零售商的POS端销售数据可以使需求预测更加准确,同时共享信息能够减弱牛鞭效应;不同决策方式具有不同缓冲上游生产能力变动的鲁棒性;信息共享能够降低独立决策和集中决策的库存水平差距。

供应链协调理论的相关研究表明,通过成员企业间的合作可以提升供应链绩效和整体竞争力<sup>[7]</sup>。相关研究包括缩短提前期和减少订货批量可以降低供应链成本<sup>[8]</sup>;基于库存决策合作的零售商订货决策<sup>[9]</sup>;零售商库存合作联盟<sup>[10]</sup>;非合作方式与合作方式的订货绩效差异<sup>[11]</sup>等。

在供应链同步化决策研究中,Tsao,等<sup>[12]</sup>,Wang,等<sup>[13]</sup>的研究建立了供应链伙伴需求关联的计算模型,对于系统库存进行了演算推导;但是这些研究只针对序列供应链,缺乏对于其他供应链结构的研究。Khouja<sup>[14]</sup>,Pundoor,等<sup>[15]</sup>,Chi,等<sup>[16]</sup>以树状供应链为研究对象,以供应链总成本最小为目标进行优化,但是较少考虑不同参与者决策之间的关系。

本文以分支供应链系统为对象开展研究,具体以包含生产商、批发商和零售商的供应链为对象。本文将参考Tsao,等<sup>[12]</sup>,Wang,等<sup>[13]</sup>的研究,建立不同决策中的需求计算模型,同时以分支供应链为研究对象,通过比较集中决策和独立决策模型,寻找同步决策模型的决策方向,并建立仿真模型验证决策效

果。

## 1 模型描述与假设

不失一般性,假定分支供应链有两个层级,包括一个分销商或者制造商(阶层2)和两个零售商(阶层1)。两个零售商分别向分销商订货,满足各自的顾客需求。供应链中的决策有三种选择:独立决策模型、集中决策模型和信息共享决策模型。为了计算系统库存,参考Tsao,等<sup>[12]</sup>的研究,本文作出如下假设:

(1)顾客需求  $D$  只在第一阶段独立产生,服从均值为  $\mu$ , 标准差为  $\sigma$  的正态分布;

(2)上一阶段的订货批量是下一阶段的整数倍,也就是说  $\frac{Q_{i+1}}{Q_i} = n$ ,  $n$  是整数;

(3)供应链上游制造商的产能不受限制,可以满足各种大小的需求量;

(4)全文算出数值舍去小数部分取整。

在分支供应链中,假定各阶段都采用订货点方式订货,当库存降低到订货点水平  $R_i$  时,企业向上游阶段订货,订货量是固定值  $Q$ ,  $R_i$  由提前期内  $LT_i$  内的平均需求和安全库存所决定。两个零售商处于不同的市场中,根据自己面对的需求,采用订货点订货,独立向分销商发出订货。分销商的上游处于模型外部,假设分销商的订货需求可以无限满足。两个零售商都假设市场需求是服从正态分布,均采用订货点方式订货,有自己的订货提前期,根据订货提前期持有安全库存,同时自主确定向上游订货时的订货批量。在整个过程中,一旦订货批量确认下来,之后将保持不变。各个阶段的库存水平由三个部分组成:持有的批量库存、订货产生的在途库存以及本身持有的安全库存。下文中提到的符号含义见表2。

在下文中,上标 C、S、D 分别表示集中决策、信息共享决策和独立决策;下标 11 表示第 1 阶段的零售商 1, 12 表示第 1 阶段的零售商 2, 2 表示第 2 阶段的分销商。

表2 分支库存变量含义对照

参数	含义
$\mu$	平均需求;零售商面对的顾客需求,服从正态分布
$\sigma$	标准偏差;顾客需求的分散程度,决定了顾客需求的变动范围
$LT$	订货提前期:从发出订货货到收到订货的时间间隔
$CL$	订货周期:两次订货的时间间隔
$K$	安全系数:企业为了满足一定的需求率所设置,决定安全库存存量
$R$	订货点:企业发出订货的库存水平
$Q$	订货量:企业每次向上游的订货数量
$SS$	安全库存
$I$	系统库存:各部分库存的和
$TI$	在途库存:尚未到达目的地、正处于运输状态或等待运输的库存

## 2 分支供应链四种决策模型的系统库存

### 2.1 集中决策模型

在集中决策模型中,为了同时保持对两个零售商的较好服务水平,假定将安全库存单独放置在两个零售商间的中央仓库中,作为一个新的节点,该节点的库存水平即为安全库存水平  $SS^c$  :

$$SS^c = K * \sigma_2 * \sqrt{\sum_{i=1}^2 LT_i}$$

考虑到有两个零售商,因此集中决策的提前期计算为分销商的提前期和零售商中较大的提前期的和。

$$LT = LT_2 + \max\{LT_{11}, LT_{12}\}$$

零售商的批量库存为  $LSI1$  :

$$LSI1 = \frac{Q_{11} + Q_{12}}{2}$$

一般来说,分销商的订货批量是零售商1的  $m$  倍和零售商2的  $n$  倍之和,因此分销商的批量库存  $LSI2$  可以计算如下:

$$LSI2 = \frac{Q_{11} \left( \frac{m(m+1)}{2} * CL_{11} - m * LT_{11} \right)}{CL_2} + \frac{Q_{12} \left( \frac{n(n+1)}{2} * CL_{12} - n * LT_{12} \right)}{CL_2}$$

总的批量库存记为  $LSI$  :

$$LSI = LSI1 + LSI2$$

零售商的在途库存总和为  $TI$  :

$$TI = \mu_{11} * LT_{11} + \mu_{12} * LT_{12} + (\mu_{11} + \mu_{12}) * LT_2$$

因此集中决策的系统库存为:

$$I^c = LSI + TI + SS^c$$

### 2.2 独立决策模型

在独立决策中,分销商通过零售商的订货规律来推测顾客需求,以此决定安全库存<sup>[17]</sup>。分销商面临着下游阶段的两个零售商,独立决策时需求传递会产生偏差。利用序列供应链中单循环决策的思想<sup>[18]</sup>,假设两个零售商的订货周期  $CL_{11}$ 、 $CL_{12}$  的最小公倍数为  $k$ 。在  $k$  单位时间内,零售商1将进行  $(k/CL_{11})$  次需求为  $Q_{11}$  的订货,零售商2将进行  $(k/CL_{12})$  次需求为  $Q_{12}$  的订货,其余时间的订货量记为0。因此,第二阶段分销商面对的标准偏差  $\sigma$  计算为:

$$\sigma^2 = \frac{k/CL_{11} * (Q_{11} - \bar{\mu})^2}{k} + \frac{k/CL_{12} * (Q_{12} - \bar{\mu})^2}{k} + \frac{\left( k - \frac{k}{CL_{11}} - \frac{k}{CL_{12}} \right)}{k} * (0 - \bar{\mu})^2$$

即:

$$(\sigma^d)^2 = \frac{\mu_{11}}{Q_{11}} (Q_{11} - \bar{\mu})^2 + \frac{\mu_{12}}{Q_{12}} (Q_{12} - \bar{\mu})^2 + \left( 1 - \frac{\mu_{11}}{Q_{11}} - \frac{\mu_{12}}{Q_{12}} \right) * \bar{\mu}^2$$

分销商持有的安全库存是订货批量的整数倍,应为:

$$SS_2^d = \left\lceil \frac{k * \sqrt{LT_2} * \sigma_2^d}{Q_{11} + Q_{12}} \right\rceil * (Q_{11} + Q_{12})$$

而零售商的安全库存为:

$$SS_{1i}^d = k * \sigma_{1i} * \sqrt{LT_{1i}}, i=1,2$$

其中  $\bar{\mu} = \mu_{11} + \mu_{12}$ ,  $[x]$  为不小于  $x$  的最小整数。

零售商的订货点为:

$$R_{1i}^d = \mu_{1i} * LT_{1i} + SS_{1i}^d, i=1,2$$

分销商的订货点为:

$$R_2^d = (\mu_{11} + \mu_{12}) * LT_2 + SS_2^d$$

独立决策除去批量库存和安全库存外,还会产生等待库存。原因在于分销商的库存水平每次只减少  $Q_{11}$  和  $Q_{12}$ , 在一个订货周期内,必须长期持有  $Q_2$  的库存,因此分销商会承担提前入库的库存  $LT_1$  发生的等待成本,即等待库存。假设零售商2是平均需求较大的一方,则零售商2的订货周期相对较短。为此,可以基于零售商2计算分销商的最短等待库存。

分销商持有  $Q_2$  的时间是  $(CL_{12} - LT_2)$ , 等待库存  $LTI$  可表示为如下:

$$LTI = \frac{Q_2(CL_{12} - LT_2)}{CL_2}, \text{其中 } CL_{12} = \frac{Q_{12}}{\mu_{12}}$$

因此,独立决策时的系统库存为:

$$I^d = LSI + TI + LTI + SS_{11}^d + SS_{12}^d + SS_2^d$$

## 2.3 信息共享模型

与集中决策模型不同的是,信息共享决策模型依据零售商的顾客需求,各个阶段单独做决策,决定各自的订货点和安全库存。

$$SS_{1i}^s = k * \sigma_{1i} * \sqrt{LT_{1i}}, i=1,2$$

$$SS_2^s = k * \sigma_2 * \sqrt{LT_2}$$

$$\sigma_2^s = \sqrt{\sigma_{11}^2 + \sigma_{12}^2}$$

零售商的订货点:

$$R_{1i}^d = \mu_{1i} * LT_{1i} + SS_{1i}^s, i=1,2$$

分销商的订货点:

$$R_2^s = (\mu_{11} + \mu_{12}) * LT_2 + SS_2^s$$

因此,信息共享模型的库存水平为:

$$I^s = LSI + TI + SS_{11}^s + SS_{12}^s + SS_2^s$$

利用上式可以计算信息共享的库存削减效果。在信息共享模型中,企业独立做决策,比起由系统统一做决策的集中模型而言,系统库存是增加的。由于通过信息共享决策和集中决策都能够减少库存,因此将信息共享决策和集中决策的库存之差记为  $DS^*$ , 以此来描述两种决策方式的效果差异。即为:

$$\begin{aligned} DS^* &= I^s - I^c = SS^c - (SS_{11}^s + SS_{12}^s + SS_2^s) \\ &= K * \sigma_2 * \left[ \sum_{i=1}^2 \sqrt{LT_i} - k * \sigma_{11} * \sqrt{LT_{11}} - k * \sigma_{12} * \sqrt{LT_{12}} - k * \sigma_2 * \sqrt{LT_2} \right] \end{aligned}$$

由上式可知,基于信息共享的库存削减效果主要决定于各模型的安全库存部分的差别。在多级供应链中,如果能够共享库存水平和提前期的信息综合进行决策,失联库存能够得到更大幅度的削减。

## 2.4 同步决策的系统库存削减方法

计算失联库存时,独立决策和集中决策的库存量差记为  $DS_1$  (即决策方式造成的失联库存),独立决策和信息共享决策的库存量差记为  $DS_2$  (即信息共

享程度不同造成的失联库存)。

$$DS_1 = I^d - I^c = \frac{Q_2}{CL_2} * \left( \frac{Q_{12}}{\mu_{12}} - LT_2 \right) + (SS_{11}^d + SS_{12}^d + SS_2^d - SS^c)$$

$$DS_2 = I^d - I^s = \frac{Q_2}{CL_2} * \left( \frac{Q_{12}}{\mu_{12}} - LT_2 \right) + (SS_2^d - SS_2^s)$$

从上面的式子来看,对失联库存量的影响有两个部分,  $\frac{Q_2}{CL_2} * (CL_{12} - LT_2)$  的值,以及安全库存量。根据上式,如果零售商2(销量较大的零售商)能够根据顾客需求和上游的订货提前期来决定本企业的订货量,即  $\frac{Q_{12}}{\mu_{12}} = LT_2$ , 失联库存的前半部分为0。这个规则可以使得本企业的订货正好发生在上游自己订货达到时能够及时送往下游,避免了中间环节的等待。本文将此定义为分支供应链的同步化策略。

如果实行了同步化策略,使得  $\frac{Q_{12}}{\mu_{12}} - LT_2 = 0$ , 即

$\frac{Q_2}{CL_2} = LT_2$  时,此时的失联库存可以用下式来表示。

$$DS_1^s = SS_{11}^d + SS_{12}^d + SS_2^d - SS^c$$

$$DS_2^s = SS_2^d - SS_2^s$$

采用同步化决策,虽然不能达到信息共享决策中的全部效果,但是仍然可以有效降低失联库存。具体的实施策略将利用系统动力学模型进行分析。

## 3 系统动力学建模及仿真

### 3.1 同步决策的系统动力学建模及仿真

本研究模型包括一个分销商和两个零售商,系统边界从分销商开始,经过零售商到达最终客户。建立独立决策、集中决策、信息共享决策以及同步决策四种情况下的系统库存模型,分析降低供应链失联库存的策略。

3.1.1 构建系统流图。分支供应链的主要流程包括:零售商满足顾客需求并向上游订货,分销商满足零售商订货并协调两个零售商。我们认为两个零售商的决策之间互相独立,互不干扰。当模型运行时,物品从上游流向下游。下面以集中决策的系统动力学模型为例,阐述每个周期供应链的流程。图1展示

了在集中决策模型中,零售商1的系统动力学图。

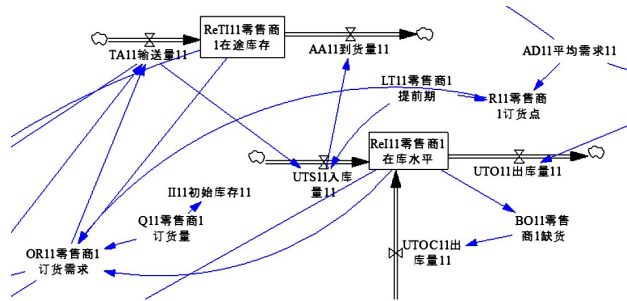


图1 集中决策中零售商1系统动力学图

在系统初期各节点企业持有初始库存,当库存低于订货点发出订货请求。在请求到达时无法满足的情况记为缺货。如果分销商只能满足一个零售商的请求时,可以优先向该零售商供货。集中决策时只有一个仓库,位于零售商处。中央仓库可以补充零售商库存,通常设定1天的送货期。

(1)订货点的决策方式。在独立决策中,零售商的订货点依赖于提前期内的需求,采用“提前期\*平均需求”的公式计算,独立决策和信息共享决策要加上自己的安全库存,集中决策则不需要,安全库存由中央仓库持有。分销商的订货点根据决策方式不同,计算也不同,独立决策时,分销商需要考虑提前期内两个零售商的平均需求,加上自身的安全库存。信息共享时同理,集中决策时则不需要考虑安全库存。

(2)安全库存的设置及计算。在独立决策方式下,零售商根据顾客需求方差,决定自己的安全库存。由于信息不共享,分销商需要结合订货信息,求得自己的方差,以此确定自己持有零售商1和2的订货数量的整数倍数。在信息共享决策中,各阶段仍独立持有自己的安全库存,但分销商可根据已知的顾客需求分布,设置自身的安全库存,减轻牛鞭效应的影响。在集中决策方式下,只需在靠近顾客的零售商处持有安全库存。在分支供应链中,在零售商的中间设置一个中央仓库,保存系统的安全库存。

3.1.2 仿真建模及测试。利用 Vensim 进行仿真实验,每个仿真实验的运行周期为1 440次,即模拟了1 440天的供应链系统运行情况。

模型初始参数设置见表3。其中零售商1和零售商2的需求呈比例关系,根据经济订货批量,零售商1和2订货量也呈倍数关系。

为了保证整个系统动力学模型的可信度和准确性,对模型进行测试。本文仅叙述三种最常用的测试方法,包括系统边界测试、心智模型测试和极端情况测试<sup>[9]</sup>。图2显示了心智测试和边界测试的部分结果,与预想情况相符。

通过计算系统库存表达式和仿真结果的误差,来检验理论与实际运行的误差,可以通过下面公式验证。

$$\text{相对误差} = \frac{|\text{仿真平均库存} - \text{公式平均库存}|}{\text{仿真平均库存}} \times 100$$

基于仿真结果的相对误差分析如图3所示。

表3 模型初始化参数设置

分类	变量	值
供应链条件设置	供应链层级	2(分销商,零售商)
	平均需求(AD11, AD12)	15, 60
	标准偏差(SD11, SD12)	9, 36
	阶层1的订货提前期(LT11, LT12)	2, 2
	阶层2的订货提前期(LT2)	4
	阶层1的订货批量(Q11, Q12)	180, 360
	阶层2的订货批量(Q2)	零售商订货量之和的2倍
需求设置	安全系数(K)	2.33
	最终需求	正态分布
	最小需求	Delete
	各阶层的初始库存(III1, III2, II2)	订货量的2倍
时间设置	小数点	按照去尾法取整
	起始时间	0
	结束时间	1 440
	步长	1
	时间单位	天

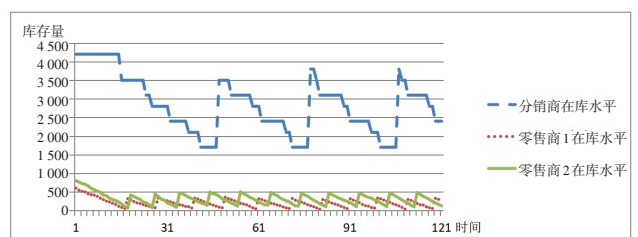


图2 心智测试部分结果

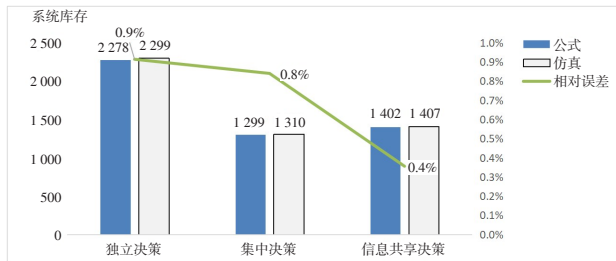


图3 各决策模型的系统库存水平

在同样的参数条件下,利用数学公式计算得出三种模型的系统库存分别为独立决策库存水平 $ID=2\ 278.3$ ,信息共享决策库存水平 $IS=1\ 402$ ,集中决策库存水平 $IC=1\ 299$ 。而利用系统动力学仿真计算得出 $ID=2\ 299$ , $IS=1\ 417$ , $IC=1\ 310$ 。此时独立决策的相对误差为0.9%,信息共享决策的相对误差为0.8%,集中决策的相对误差为1.06%。基本上各个模型的相对误差在1%以内。基于上述检测结果,我们认为仿真模型符合要求。

### 3.2 基于同步化策略的库存削减效果分析

仿真模型分析包括三部分,具体如下:

3.2.1 供应链系统库存水平分析。我们计算了三种决策模型中的系统库存水平,包括集中决策、独立决策和信息共享决策。表4显示了以上三种模型的订货点和平均库存。图3的结果显示系统库存水平在三种决策策略中的差异较大。相对于独立决策的库存水平(2 299),信息共享型和集中决策型的系统库存均降低了40%左右(信息共享型: $2\ 299-1\ 417/2\ 299\approx 38\%$ ,集中决策型: $2\ 299-1\ 310/2\ 299\approx 43\%$ )。

比较信息共享决策和集中决策下系统库存水平的差异。在信息共享决策模型中,分销商虽然能够共享到零售商的需求信息,但是没有进行综合平衡,不能干涉零售商1的订货决策,其结果造成平均系统库存水平高于集中决策。而在集中决策时,由于进行了整体协调,系统的效率得到进一步提升。

在分析同步决策时,我们假定零售商1和零售商2订货周期的比值为 $\alpha$ 。当零售商2的订货量确定时,零售商1的订货量可以选择维持与初期同样比例,也可以改变这一关系。表5显示了 $\alpha$ 取不同值(1-4,对应零售商1的订货量分别为60,120,180,240)

时,同步化决策的系统库存变化情况。其中 $\alpha=2$ 即“同步决策1”时,零售商1和零售商2订货周期的比值与初始情况保持一致。

图4显示了在参数取不同值时,各个模型的系统库存水平。可以看出,随着 $\alpha$ 值的变大,同步化决策下的库存水平也是逐步变大的。当 $\alpha=4$ ,即零售商1的订货量上升为240时,此时同步化决策的库存水平(2 116)已经接近于独立决策的库存水平(2 299)了。因此,在零售商2订货量确定时, $\alpha$ 取值越小,同步化决策的库存水平越低。

表4 三种决策模型下订货点与平均库存量

模型	订货点(R2)	平均库存量
独立决策	1 380	2 299
信息共享决策	472	1 417
集中决策	300	1 310

表5 系统库存水平变化情况

参数	零售商1需求分布	零售商2需求分布	分销商提前期	零售商1订货周期	零售商2订货周期	$\alpha$ 值	系统库存
独立决策	(15,9)	(60,36)	4	12	6	2	2 299
集中决策	(15,9)	(60,36)	4	12	6	2	1 310
信息共享	(15,9)	(60,36)	4	12	6	2	1 417
同步决策1	(15,9)	(60,36)	4	8	4	2	1 635
同步决策2	(15,9)	(60,36)	4	4	4	1	1 404
同步决策3	(15,9)	(60,36)	4	12	4	3	1 876
同步决策4	(15,9)	(60,36)	4	16	4	4	2 116

3.2.2 供应链系统服务水平分析。供应链系统的服务水平用下式表示:

系统的服务水平 = 1 - 零售商的缺货概率

通常可以利用阶层1的缺货概率来表示系统对于顾客的服务水平。参考其他研究<sup>[7]</sup>,定义缺货率作为系统的服务水平。在零售商处订货次数中产生缺货的次数,称之为缺货率,用 $R_s$ 表示。缺货率水平计算结果见表6。表6最后一栏总缺货是集中决策独有的系统缺货,是由中央仓库对零售商1和零售商2进行补货后仍然缺货的次数。集中决策缺货指标是总缺货。

$R_s = \text{缺货的次数} / \text{订货次数}$

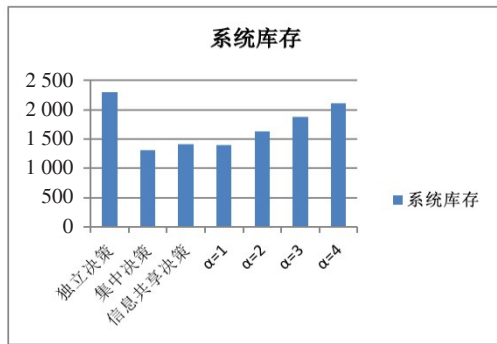


图4 系统库存水平变化图

表6 不同决策模型下的缺货率水平

参数	零售商1缺货率	零售商2缺货率	中央仓库缺货
独立决策	0	0.003 9	/
集中决策	0.550 8	0.981 5	0.009
信息共享	0	0.011 9	/
同步决策1( $\alpha=2$ )	0	0	/
同步决策2( $\alpha=1$ )	0.746 8	0	/
同步决策3( $\alpha=3$ )	0.004 3	0	/
同步决策4( $\alpha=4$ )	0	0	/

对四种取值下同步化决策的系统库存和缺货率水平同时进行分析。虽然库存水平随着 $\alpha$ 取值的降低而降低,但是当 $\alpha=1$ 时,缺货率高达74%。原因在于 $\alpha$ 的取值过小,导致零售商1的订货量较低,无法满足正常的顾客需求。通过图4可以看出, $\alpha=3$ 和 $\alpha=4$ 时缺货率虽然比较低,但是其库存水平(1 876和2 116)相比于独立决策(2 299)并没有明显的改善。因此综合来看,只有当 $\alpha=2$ 时,系统的库存水平和缺货率都达到比较理想的效果。

3.2.3 供应链系统的订货次数分析。在同步决策模型中,由于下游零售商的订货周期(批量)需要考虑上游阶段的订货提前期,因此零售商的订货次数发生了变化,具体见表7。从表7可以发现,当利用上游阶段提前期决定订货量后,零售商2的订货次数略有增加,而零售商1的订货次数则有很大变动。随着 $\alpha$ 值的减小,即零售商1的订货量减小,零售商1的订货次数显著增加。

3.2.4 同步决策综合分析及讨论

(1)库存水平比较:在分支供应链中,如果依据

表7 基于同步化决策的订货次数变化

参数	零售商1订货次数	零售商2订货次数
独立决策	122	252
集中决策	118	217
信息共享	122	252
同步决策1( $\alpha=2$ )	353	267
同步决策2( $\alpha=1$ )	707	267
同步决策3( $\alpha=3$ )	235	267
同步决策4( $\alpha=4$ )	176	267

分销商的提前期,改变零售商1和零售商2的订货量,系统库存水平将能得到降低。

(2)服务水平比较:库存水平随着 $\alpha$ 取值的降低而降低,综合来看,只有当 $\alpha=2$ ,即零售商1和零售商2的订货周期保持了与独立决策中一致的比例时,系统的库存水平和缺货率都达到比较理想的效果。

(3)订货次数比较:当利用上游阶段的提前期来决定订货批量后,零售商2的订货次数维持基本不变,略有增加。同样可以发现,随着 $\alpha$ 值的减小,即零售商1的订货量减小,零售商1的订货次数显著增加。由于零售商1的订货次数增加呈现先慢后快的趋势,因此在不同零售商的订货周期期间存在着一个合适比例使得同步决策下系统的库存水平减少,服务水平不变,同时订货次数在合理水平内增加。

4 结语

本文研究了分支供应链(包括一个分销商和两个零售商)的失联库存问题。分支供应链的同步化策略是使得订货周期较小的零售商与分销商的提前期相等,仿真结果表明两个零售商的订货周期保持一定的比例关系时,系统的库存水平和缺货率表现可以得到改善。为了验证同步化决策的效果,通过分析不同零售商之间的决策方式,建立了系统动力学仿真模型。仿真结果支持了同步化决策的有效性,同时通过分析零售商之间订货决策的多种情况,建议不同零售商的订货周期保持一个固定比例时可以使系统库存降低,同时不降低服务水平和不过

于增加订货次数。

本文不仅在企业无法实行信息共享情况下为供应链管理改善提供了思路,同时也为如何有效发挥信息共享技术的作用提供了借鉴。在实际运用时,可将系统库存水平代表的库存成本、缺货率代表的缺货成本和订货次数代表的缺货成本,将系统库存水平、缺货率、订货次数按照各自的单价赋予权重,可以得出不同单价下的最优策略。

#### [参考文献]

- [1] CHOI T M, LI J, WEI Y. Will a supplier benefit from sharing good information with a retailer? [J]. *Decision Support Systems*, 2013, 56(4): 131–139.
- [2] CUI R, ALLON G, BASSAMBOO A, VAN MIEGHEM J A. Information sharing in supply chains: An empirical and theoretical valuation [J]. *Social Science Electronic Publishing*, 2015, 61(11): 2 803–2 824.
- [3] 肖静华, 汪鸿昌, 谢康, 等. 信息共享视角下供应链信息系统价值创造机制 [J]. *系统工程理论与实践*, 2014, 34(11): 2 862–2 871.
- [4] 姚伟. 供应链管理中信息共享与安全问题的研究 [J]. *价值工程*, 2017, 36(9): 86–88.
- [5] CLARK A J, SCARF H. Optimal policies for multi-echelon inventory problem [J]. *Management Science*, 1960, 6(4): 475–490.
- [6] 郭炜. 情报网络对生产/流通过程中的库存的影响 [J]. *北京航空航天大学学报*, 1989(2): 85–95.
- [7] 王桦, 董大勇, 官振中, 等. 存在策略型消费者时联合决策对供应链绩效的影响 [J]. *系统工程*, 2017, 35(8): 134–144.
- [8] CACHON G P, FISHER M. Supply chain inventory management and the value of shared information [J]. *Management Science*, 2000, 46(8): 1 032–1 048.
- [9] CHEN X. Inventory centralization games with price-dependent demand and quantity discount [J]. *Operations Research*, 2009, 57(6): 1 394–1 406.
- [10] 肖旦, 周永务. 数量折扣契约下制造商与零售商库存合作联盟的稳定性 [J]. *运筹与管理*, 2013, 22(2): 20–26.
- [11] ANUPINDI R, BASSOK Y, ZEMEL E. A general framework for the study of decentralized distribution systems [J]. *INFORMS*, 2001, 3(4): 349–368.
- [12] TSAO D B, SHVANEVELDT S J. A research on decoupling stock in a multiple stage inventory system [J]. *Journal of Japan Industrial Management Association*, 2001, 52(2): 125–132.
- [13] WANG J, MATUKAWA H, SCHVANEVELDT S J. A synchronized supply chain for reducing decoupling stock [C]// *Proceedings of POMS 26th Annual Conference*, Washington D C U.S.A., May 8–11, 2015.
- [14] KHOUJA M. Optimizing inventory decisions in a multi-stage multi-customer supply chain [J]. *Transportation Research Part E*, 2003, 39(5): 193–208.
- [15] PUNDOOR G, CHEN Z L. Joint cyclic production and delivery scheduling in a two-stage supply chain [J]. *International Journal of Production Economics*, 2009, 119(1): 55–74.
- [16] CHI K C, KINGSMAN B G. Coordination in a single-vendor multi-buyer supply chain by synchronizing delivery and production cycles [J]. *Transportation Research Part E*, 2007, 43(2): 90–111.
- [17] LEE Y C E, CHAN C K, LANGEVIN A. Integrated inventory-transportation model by synchronizing delivery and production cycles [J]. *Transportation Research Part E Logistics & Transportation Review*, 2016, 91: 68–89.
- [18] CHAN C K, FANG F, LANGEVIN A. Single-vendor multi-buyer supply chain coordination with stochastic demand [J]. *International Journal of Production Economics*, 2018(206): 110–133.
- [19] 钟永光. 系统动力学 [M]. 北京: 科学出版社, 2013.

#### (上接第 43 页)

- [4] 袁国强, 田毅, 朱建林. 一类新的带有模糊参数的生产库存管理模型 [J]. *模糊系统与数学*, 2018, 32(6): 178–190.
- [5] DEV M, KAUR P, SARMA K K. Fuzzy Approach to Decision Support System Design for Inventory Control and Management [J]. *Journal of Intelligent Systems*, 2017, 28(4): 549–557.
- [6] YU W F, HOU G S, XIA P C. Supply Chain Joint Inventory Management and Cost Optimization Based on Ant Colony Algorithm and Fuzzy Model [J]. *Tehnicki vjesnik*, 2019, 26(6): 1 729–1 737.
- [7] MAITI A K. Multi-item fuzzy inventory model for deteriorating items in multi-outlet under single management [J]. *Journal of Management Analytics*, 2020, 7(1): 44–68.
- [8] SADEGHI J, NIAKI S T A. Two parameter tuned multi-objective evolutionary algorithms for a bi-objective vendor managed inventory model with trapezoidal fuzzy demand [J]. *Applied Soft Computing Journal*, 2015, 30: 567–576.
- [9] JAGGI C K, PAREEK S, GOEL S K, et al. Nidhi. An inventory model for deteriorating items with ramp type demand under fuzzy environment [J]. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 2015, 22(4): 174–179.
- [10] HSIEH C H. Optimization of fuzzy production inventory models [J]. *Information Sciences*, 2002, 146(1–4): 29–40.