



# 供应商协助库存转运： 基于企业实践的创新方法

李荣<sup>1</sup>, 刘露<sup>1</sup>, 郑晓娜<sup>2</sup>

1 南开大学 商学院, 天津 300071

2 北京大学 光华管理学院, 北京 100871

**摘要:** 当企业面临资金约束、资源短缺和消费者需求不确定等不利因素时, 库存共享和转运策略的有效实施显得尤为重要。传统研究大多关注零售商协商库存转运机制实施策略, 忽略了高效实施传统机制的困难性, 即零售商相隔甚远, 缺乏信任, 协商困难; 零售商间私下窜货对供应商和供应链整体造成不利。

提出一类新颖的库存转运机制, 即供应商协助转运机制, 以突破现存转运方法的不足, 从而为实施高效率库存转运提供新的依据。建立由单供应商和多零售商组成的多周期区域分销网络, 并考虑零售商在周期初采取前瞻性库存转运; 采用动态规划方法刻画对应的优化博弈模型, 并通过均衡分析得出供应链成员间均衡博弈策略; 通过与集中式供应链运作模式和最优决策相对比, 以发掘库存转运过程中存在的不足, 总结并提出供应商协助下的新型库存转运机制。从设计过程、实施流程、价格配置等方面对机制的规范实施过程进行详细分析和阐释, 并辅以数值分析加以补充论证。

研究结果表明, 与传统的零售商协商库存转运机制相比, 供应商主导下的协助转运机制优势明显。供应商通过为零售商设置购买和卖出双向交易环节, 使零售商在执行补货和清货策略时, 同时实现供应链系统内部的库存共享; 通过合理的批发价与购买价格和卖出价格配置, 如采取随着市场库存整体剩余量增加而降低的转运价格形态, 可以迫使零售商在制定最优库存决策以实现其自身利益最大化的同时, 有效提升供应链整体运作效率, 消除供应链系统内部双重边际效应, 最终实现供应链整体收益达到集中式水平以及供应链成员间的完美协调。

提出一类更加易于实施和控制的新型库存转运机制, 该机制的运用有助于实现各区域零售商间主动、高效且前瞻性库存转运, 同时实现供应链整体收益最大化。建议供应商主动承担协助库存转运职责, 同时摒弃传统常数定价机制, 转而采取与零售商库存状态相关的批发和转运定价形态。

研究结果对于企业管理者更加合理、规范且高效的开展库存管理, 以及实施库存转运和优化资源配置提供了科学的运营理论指导和决策依据。

**关键词:** 供应链管理; 库存共享; 多周期; 主动转运; 供应链协调

**中图分类号:** F274      **文献标识码:** A      **doi:** 10.3969/j.issn.1672-0334.2017.06.007

**文章编号:** 1672-0334(2017)06-0092-12

**收稿日期:** 2017-03-04      **修返日期:** 2017-07-19

**基金项目:** 国家自然科学基金(71401081, 71272039)

**作者简介:** 李荣, 管理学博士, 南开大学商学院副教授, 研究方向为供应链管理等, 代表性学术成果为“Managing storable commodity risks; the role of inventory and financial hedge”, 发表在2013年第3期《Manufacturing & Service Operations Management》, E-mail: rli@nankai.edu.cn

刘露, 南开大学商学院博士研究生, 研究方向为供应链转运和库存共享等, 代表性学术成果为“信息搭便车下供应链订货与信息服务决策及协调研究”, 发表在2016年第4期《管理工程学报》, E-mail: liulu\_77@126.com

郑晓娜, 管理学博士, 北京大学光华管理学院副教授, 研究方向为企业运营管理等, 代表性学术成果为“窜货现象的供应链模型分析”, 发表在2010年第9期《管理世界》, E-mail: xzheng@gsm.pku.edu.cn

## 引言

伴随着企业分工的细化以及外包和离岸生产等新趋势,供应链复杂程度显著提高,任何一个环节出现问题,都可能导致供应链整体的失败。在新的竞争环境下,如何高效科学的管理好、协调好整个供应链系统,增加其运作柔性,成为企业成功的关键<sup>[1]</sup>。控制供应链成本、提升顾客满意度是提高企业竞争水平的重要因素,而库存成本是供应链成本的主要组成部分,占据了库存物品价值的20%~40%之多<sup>[2]</sup>,而较低的库存又将导致顾客满意度下降。市场需求的不确定性是造成库存难题的重要因素,如何合理有效地应对这种不确定性是企业急需解决的重要问题。

丰富的研究成果和实践均表明,企业可以重新整合现有顾客市场,通过创新管理手段协调、整合、配置和优化资源,从而提升绩效并建立竞争优势<sup>[3]</sup>。供应链转运和库存共享是实现资源整合、应对市场不确定性的一类重要且有效手段。转运是指货物从库存多余方转移至库存不足方,以实现供应链整体资源的有效配置。完美协调下的库存共享(即独立的零售商们采取对整个供应链最优的方式协商转运)可同时为供应商及整个供应链带来库存汇集效应,既可以减少零售商库存量,节省生产和库存费用,加快企业资金周转率,又可以更好地满足消费者需求,提升顾客服务水平<sup>[4]</sup>,同时可有效应对市场突发事件<sup>[5]</sup>。然而,库存共享若协调不当,也可能起到相反效果,令整个供应链损失惨重。本研究对多数实施库存转运的公司进行追踪调查发现,目前主流的转运方式是零售商自主协商转运(retailer-negotiated transshipments, RNT),即各区域间零售商根据本区域市场中货物的余缺自己联系转运。这种转运方式有诸多弊端,首先,横向转运中各区域零售商相隔甚远且缺乏信任,导致零售商间协商转运难以有效实施。其次,即使协商转运成功,零售商与供应商动机不一致,其逐利行为也有可能令供应商蒙受损失。以美国卡特彼勒公司为例,虽然该公司为经销商提供的自主协商转运服务起到一定的正面效果,但由于各销售区域间价格差异,经销商间私下协商窜货形成的黑市给卡特彼勒公司造成了巨额经济损失<sup>[6]</sup>。可见,此类转运方式并不能很好地实现供应链协调。面对企业界普遍存在的转运难题,学术界至今未能提出合理有效的解决方案,本研究拟设计一类新颖的转运方式,以帮助零售商实现主动转运,同时实现供应链整体收益的协调改进。

## 1 相关研究评述

发展现代流通业、提升它的竞争力、降低它的经营成本,不仅关乎中国流通业本身发展和竞争力的提高,且关乎中国经济的整体发展<sup>[2]</sup>。实施库存转运是精益化供应链管理的重要一环,这种实践已遍及家电、服装、电子、食品、药物、机械等各个行业。而面对企业界普遍存在的转运难题,学术界至今仍

未能提出行之有效的解决方案,梳理近年来有关供应链库存转运的相关研究,发现多数研究均局限于分析RNT机制,未能提出更为新颖的协调转运方案,以解决现有转运模式的不足。

基于RUDI et al.<sup>[7]</sup>关于RNT横向转运机制的研究,学者们分别从库存合理再分配策略<sup>[8]</sup>、竞争市场零售商库存转运决策<sup>[9-10]</sup>、信息不对称情形下的转运策略<sup>[11]</sup>、转运分销系统优化设计<sup>[12]</sup>、考虑转运成本下的库存共享策略<sup>[13]</sup>、转运对消费者差异化服务影响<sup>[14]</sup>、转运网络稳定性分析<sup>[15]</sup>、电商环境下库存转运决策<sup>[16]</sup>、多周期和季节性产品转运决策<sup>[17]</sup>、转运在现货及期货市场中的应用<sup>[18]</sup>、转运应对供应中断<sup>[19]</sup>及需求中断<sup>[20]</sup>、市场需求满足率对转运的影响<sup>[21]</sup>等角度进行拓展研究,分析转运机制对相应情形下分散式供应链个体及整体效益的影响,上述研究均表明转运对供应链整体是有益的。

分散式供应链上下游企业间的博弈加剧了双重边际效应,最终导致供应链整体收益损失,效率远不及集中式供应链,其整体绩效最多仅为集中式管理系统的70%<sup>[22]</sup>。然而,由于现实中企业相隔甚远,缺乏信任,分散式供应链成为现有主流的供应链结构模式。如何通过契约机制提升分散式供应链运作效率、使其尽可能达到集中式供应链收益水平成为理论界和企业界关注的热点话题。学者对RNT模式下的转运协调问题进行分析,研究表明通过引入中立的第三方<sup>[23-24]</sup>、合理调控收益共享比例<sup>[25-26]</sup>、合理实施两部定价机制<sup>[27-29]</sup>以及合理制定批发价<sup>[30-31]</sup>和转运价<sup>[32]</sup>等策略均有助于实现供应链协调改进。

上述研究均是针对传统的RNT转运机制展开的,RNT具有转运实施难、转运效率低等弊端,并局限于被动库存转运,即需求发生后实施紧急货物转运。显然,被动转运可能导致顾客流失、顾客满意度降低和企业声誉受损等严重后果。实践中如果能根据下一周期需求提前制定转运策略是更具前瞻性的,而相关理论研究的不足和滞后无法为现实提供更多指导。RONG et al.<sup>[33]</sup>考虑了一个允许零售商在第二周期初做前瞻性主动库存转运的双周期模型,并论证了存在转运价格能实现供应链协调。但他们并未说明何种价格,也未论证零售商是否接受该价格,同时与大多数研究类似,作者也未分析供应商的决策和收益情况。GLAZEBROOK et al.<sup>[34]</sup>进一步对被动加主动混合转运策略进行决策分析,研究发现采取混合策略优于传统的被动转运策略。但该研究没有考虑供应链的协调问题。

有研究认为,供应商在供应链网络治理中起关键性作用<sup>[35-36]</sup>。不同于传统零售商管理库存模式,供应商管理库存(vendor-managed inventory, VMI)是指直接由供应商管理供应链中的销售库存,该模式对于供应链运作效率提升作用明显<sup>[37]</sup>。实证分析表明,VMI的实施可使供应链库存水平降低7%,缺货率降低31%,库存应对能力提升9%<sup>[38]</sup>。对此,学者们分别从考虑库存限制及缺货损失<sup>[39]</sup>、信息共享<sup>[40]</sup>、



易逝品<sup>[41]</sup>、损失规避<sup>[42]</sup>、第三方物流<sup>[43]</sup>、商业信用<sup>[44]</sup>等角度进行分析。虽然由供应商直接管理库存对于供应链效率提升十分有效,但这类模式是基于供应链成员通力合作而完成的。当供应商和零售商分别从属不同企业且相隔较远,零售商很难将库存交由供应商直接管理,且总倾向于以利润最大化为目标制定订货策略,VMI模式变得不再有效。因此,研究传统分散式库存管理模式下的转运协调机制显得尤为重要且必要。

综上所述,目前理论界研究多数是以美国大公司为案例,基于美国式转运机制,即研究零售商间协商转运或供应链成员一体化时的转运策略,理论研究结果显示因各零售商间利益冲突难以通过协商解决,即使在简化模型下也很难进行激励以达成供应链协调,而VMI等集中化转运机制在实践中实施困难。已有理论研究无法真正有效解决企业转运带来的难题,鼓励零售商们主动转运的同时兼顾整个供应链利益,进而达到供应链协调,是企业界迫切需要的、也是理论界亟待解决的科学难题。

## 2 供应商协助转运机制流程设计

本研究寻求新颖的转运机制和协调机制,拟突破已有研究中零售商间协商困难的现状。我们从实践中得到启发,发现只要充分发挥供应商的主导作用,就能迫使零售商进行自身效益最大化决策的同时实施主动库存转运,并实现分散式供应链的完美协调。本研究对企业进行了大量实地调研,发现有些企业的转运模式值得改进和推广。漫友文化有限公司(以下简称漫友)成立于1997年,是中国最大的动漫出版商,因其批发商间体制差异大、距离远、缺乏信任等而无法进行协商转运,漫友在过去8年间主动为旗下500多家各类批发商提供转运服务,积极调动货物在这类大型供应链中的流动性。不同于西方国家由零售商协商转运的情形,本研究将此类由供应商主导的转运机制命名为中国式转运机制,通过改由供应商主导转运,无需零售商之间协商,这样就巧妙地在理论和实践两个方面避开了零售商之间的协商困难。尽管漫友的转运模式具有一定的前瞻性,它解决了RNT模式难以实施的困境,具备推广意义,但如何真正达到供应链的完美协调仍需理论指导。针对从漫友收集到的销售数据进行数值分析,本研究发现漫友现有的价格体制虽然降低了供应链成本,但由于价格设置缺乏科学性,无法真正提升供应链效率,其整体收益甚至低于没有实施转运时的情形。本研究借鉴漫友的转运模式,在该模式基础上改进价格体制,总结出一套科学合理的转运机制,称之为供应商协助转运(supplier-facilitated transshipments, SFT)机制。

### 2.1 SFT 机制实施过程

针对供应商协商转运机制如何解决并实现零售商自主协商转运所无法达成的供应链协调问题,本研究建立科学、严谨的随机模型,分析供应商应如何

在实际供应链环境下鼓励和协调各区域零售商在销售期间的货物转运。为设计供应链协调机制,最终使分散式供应链达到集中式水平,需分别求解供应商和每个零售商在集中式和分散式供应链中各周期最优决策,进而将两套最优决策进行对照和完美匹配。本研究分两步详细介绍SFT机制,本节主要介绍该机制的实施过程,下节给出协调价格的合理配置方式。为便于理解,本研究描述一个简单的库存模型,即两周期、单供应商、两相同零售商且需求分布一致的供应链模型,但本研究得到的理论结果可延伸至通用库存模型,即多周期、多个不同零售商、非对称需求分布的供应链库存模型。

本研究介绍供应商主导的库存转运模型,该理论模型由漫友的实际案例抽象而来并加以改进,转运形式采用漫友模式,本研究对转运价格进行重新合理设置。依照漫友模式,供应商 $s$ 已具备主导转运的意识和能力,即在分散式供应链中已采取由供应商主导转运。同时受漫友以商品原价(即批发价)主导转运和Li et al.<sup>[45]</sup>提出的双向调节合同双重启发,本研究考虑供应商利用双向采购合同(即买、卖分别依照提前商定的买入价格和卖出价格)主导转运。供应商在第 $i(i=1,2)$ 周期生产商品,并以批发价分销给 $k$ 零售商( $k=1,2$ )。零售商收到商品后以零售价销售,市场需求随机且服从一定概率分布。第1周期销售结束后,零售商可能因实际需求过低而产生大量库存剩余,或因需求过高而缺货。而此时零售商将根据第2周期需求制定最优库存持有策略,库存较少的零售商向供应商申请补货,为避免再生产造成的生产成本,供应商会首先联系其他零售商,询问其是否有兴趣退货,退货会被供应商以一定价格购买,并卖给请求补货的零售商,以满足其市场需求,当退货量不足以满足订货量时,供应商才会追加生产以补足缺口。图1大致描述了这一过程,其中,虚线表示资金流,实线表示物流。假设第1周期两个零售商剩余库存分别是1 500件和2 500件,而在第2周期预计需求数量均为2 000件,此时零售商2会出现500件剩余库存而零售商1则需补货。零售商间所需转运的500件可通过以下两个步骤在完全分散的供应链中实现,即①缺货的零售商1依照双向购货合同选择向供应商“购买”500件,②多货的零售商2依照双向采购合同选择向供应商“卖出”500件。但值得

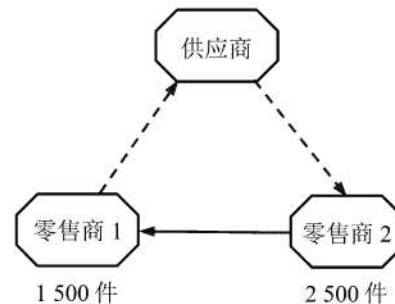


图1 双向采购合同示例

Figure 1 Example of Two-way Purchase Contract

注意的是,这里的“购买”和“卖出”都是虚拟的,实际上库存是通过供应商的牵线和周转支付后,直接由货多的零售商2运往缺货的零售商1处。依照此合同,在最初向供应商进行批量采购后的每次转运时机(即之后每个周期初),每个零售商可根据自己当时销售量以及提前商定的买、卖价格,决定向供应商购买或卖出的量。也就是说,该双向合同是实现供应商可主导转运,同时允许零售商独立决策的一个关键工具。可以发现,通过供应商协调的转运与零售商主导的转运相比有很多优势,零售商主导的转运需要每个零售商与其他所有零售商自行商议转运价格,最终决定与哪些零售商实现货物转运,这在执行时往往很难管理,且议价过程繁琐、复杂,难以达成一致。因而由供应商出面协调管理转运往往更为便利,这个优势在零售商地理区域较为分散时尤其明显,供应商的调控也使商品数量在整个系统中的配置更为合理。根据上述描述定义变量,见表1。

此外,用上角标\*表示分散式情形最优策略,用上角标0表示集中式情形最优策略。供应链整个决策过程和时间序列见图2。

2.2 分散式供应链决策分析

根据以上描述,分散式供应链下的供应商和零售商的期望收益分别表示为

$$\begin{aligned} \Pi_s = & (w - c_1)(y_1 + y_2) + \\ & \sum_{k=1}^2 \int_0^{+\infty} [(P_B - c_2)(z_k - x_k) |_{|x_k \leq z_k}| + \\ & (v - h_2 - P_S)(x_k - z_k) |_{|x_k > z_k}|] dF_1(D_{k1}) \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \Pi_k = & U_{k1}(y_k) + \int_0^{+\infty} \int_0^{+\infty} U_{k2}(y_1 - D_{11}, y_2 - \\ & D_{21}) dF_1(D_{11}) dF_1(D_{21}) \end{aligned} \quad (2)$$

其中,  $U_{k1}$  为  $k$  零售商第1周期的收益函数,  $U_{k2}$  为  $k$  零售商第2周期的收益函数,且

$$U_{k1} = -wy_k + V_{k1}(y_k) \quad (3)$$

$$\begin{aligned} U_{k2} = & -P_B(z_k - x_k) |_{|x_k \leq z_k}| + P_S(x_k - z_k) |_{|x_k > z_k}| + \\ & V_{k2}(z_k) \end{aligned} \quad (4)$$

其中,  $V_{k1}(y_k)$  为  $k$  零售商在第1周期库存持有量为  $y_k$  时的销售收益,  $V_{k2}(z_k)$  为  $k$  零售商在第2周期库存持有量为  $z_k$  时的销售收益,其表达式为

表1 符号和参数定义

Table 1 Definition of Symbols and Parameters

符号	参数定义
$c_i$	第 $i$ 周期产品生产成本
$w$ (决策变量)	产品批发价格
$y_k$ (决策变量)	第1周期 $k$ 零售商的库存持有量
$D_{ki}$	第 $i$ 周期 $k$ 零售商的需求量,服从密度函数 $f_i(\cdot)$ 和分布函数 $F_i(\cdot)$ 的概率分布
$x_k$	第1周期末 $k$ 零售商的库存剩余量,等于 $(y_k - D_{k1})$
$z_k$ (决策变量)	第2周期初 $k$ 零售商的最优库存持有量
$r_i$	第 $i$ 周期产品零售价格
$P_B$ (决策变量)	供应商库存协调“购买”价格
$P_S$ (决策变量)	供应商库存协调“卖出”价格
$h_i$	第 $i$ 周期库存持有成本
$p_i$	第 $i$ 周期缺货损失成本
$v$	销售结束后产品剩余价值
$\Pr(\cdot)$	事件“ $\cdot$ ”出现的概率
$\Pi_s$	$s$ 供应商期望收益
$\Pi_k$	$k$ 零售商期望收益
$\Pi_t$	供应链系统整体期望收益

$$V_{k1}(y_k) = E[r_1 D_{k1} - h_1(y_k - D_{k1})^+ - p_1(y_k - D_{k1})^-] \quad (5)$$

$$\begin{aligned} V_{k2}(z_k) = & E[r_2 \min(z_k, D_{k2}) + (v - h_2)(z_k - D_{k2})^+ - \\ & p_2(z_k - D_{k2})^-] \end{aligned} \quad (6)$$

其中,  $E$  表示期望。

下面进一步分析供应链均衡决策,由图2可知,本研究构建的分散式库存转运模型在数学上是一类动态规划模型,供应商决策的目标函数为(1)式,零售商决策的目标函数为(2)式,可借助逆向求解法进行分析求解,先分析零售商的最优库存决策,再分析

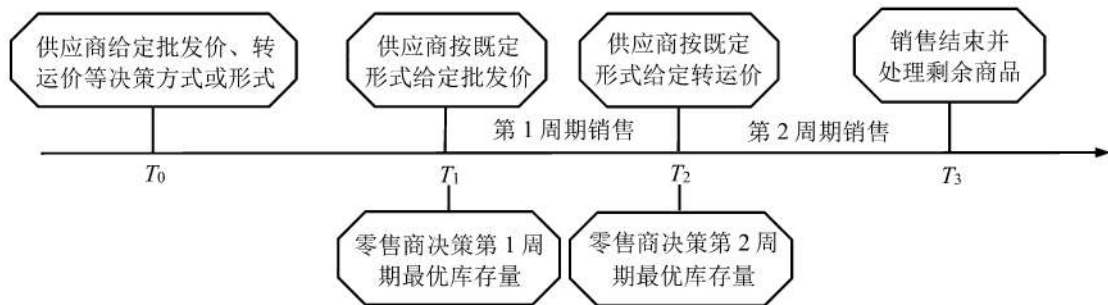


图2 时间轴与决策序列

Figure 2 Timeline and Decision Sequence

供应商的最优价格决策。依次求解零售商利润函数(2)式关于其库存量的一阶条件,即可分别获得 $k$ 零售商在第2周期和第1周期的最优库存量。经分析可知零售商最优的库存持有水平满足下述定理。

定理1 ①第2周期初 $k$ 零售商最优库存持有量为

$$z_k^* = \begin{cases} z_{kB}^* = F_2^{-1}\left(\frac{P_2 + r_2 - P_B}{P_2 + r_2 + h_2 - v}\right), & \text{当 } x_k < z_{kB}^* \\ x_k, & \text{当 } z_{kB}^* \leq x_k \leq z_{kS}^* \\ z_{kS}^* = F_2^{-1}\left(\frac{P_2 + r_2 - P_S}{P_2 + r_2 + h_2 - v}\right), & \text{当 } x_k > z_{kS}^* \end{cases} \quad (7)$$

其中, $z_{kB}^*$ 为 $k$ 零售商第2周期最优“补货至”库存量,即当零售商所持有库存量较低时所需进行购买并补充到的最优库存持有水平; $z_{kS}^*$ 为 $k$ 零售商最优“清货至”库存量,即当零售商所持有库存量较高时所需进行处理并降低到的最优库存持有水平。

②若 $\Pi_k(z_k^*)$ 为关于 $y_k$ 的可微凹函数,则 $k$ 零售商第1周期初最优库存量为 $y_k^*, y_k^*$ 满足

$$-w + V'_{k1}(y_k^*) + P_B[1 - F_1(y_k^* - z_{kB}^*)] + P_S F_1(y_k^* - z_{kS}^*) + \int_{y_k^* - z_{kS}^*}^{y_k^* - z_{kB}^*} V'_{k2}(y_k^* - D_{k1}) dF_1(D_{k1}) = 0 \quad (8)$$

证明:首先经运算可知 $\frac{d^2 \Pi_k}{dz_k^2} < 0$ ,意味着 $\Pi_k$ 为关于 $z_k$ 的严格可微凹函数,进而通过一阶函数求导 $\frac{d \Pi_k}{dz_k} = 0$ ,结合Li et al. [45]的命题3.1的分析可知, $k$ 零售商第2周期最优库存持有量 $z_k^*$ 满足(7)式。而当 $\Pi_k(z_k^*)$ 为关于 $y_k$ 的凹函数,同样经一阶条件 $\frac{d \Pi_k(z_k^*)}{dy_k} = 0$ 计算可知,零售商最优订货决策满足(8)式。

证毕。

上述定理表明,在供应商给定批发价决策后, $k$ 零售商仅需按照最优库存量 $y_k^*$ 进行订货,并且在第1周期销售结束后,若零售商剩余库存量 $x_k$ 偏少,即 $x_k < z_{kB}^*$ 时, $k$ 零售商应以价格 $P_B$ 向生产商订购并补货至 $z_{kB}^*$ ;若其剩余库存量 $x_k$ 偏多,即 $x_k > z_{kS}^*$ 时, $k$ 零售商应以价格 $P_S$ 卖出部分货物,使库存降至 $z_{kS}^*$ 。否则, $k$ 零售商无需改变现有剩余库存,继续维持库存量 $x_k$ 不变。而供应商则需在第1周期生产 $y^*$ 单位库存, $y^* = y_1^* + y_2^*$ ,并在该周期销售结束后按零售商需求执行库存“买卖”和再生产计划。进一步将定理1中的最优库存决策代入(1)式和(2)式,可得到对应的供应链中供应商和零售商的收益值。

至此,本研究对SFT机制的具体实施过程和成员决策情况进行了详细描述。可以发现,供应商设定的合同价格体系( $w, P_B, P_S$ )对零售商库存数量起到至关重要的调控作用,这些价格若制定不当,将导致零售商库存配置的不合理,从而导致供应链效率损失。下面,进一步阐述供应商如何通过合理配置批发价和转运价( $w, P_B, P_S$ )以实现供应链整体效率的完美协调,由于协调目标是使分散式供应链的决策与

集中式供应链的决策一致,因此在提出协调机制前有必要对集中式供应链的决策和收益情况进行阐释。

### 3 供应商协助转运机制价格配置

#### 3.1 集中式供应链决策分析

在集中式供应链中,供应商与零售商间无任何利益冲突且联合制定最优决策,共同维护供应链整体利益的最大化。不失一般性,假设供应链核心企业(决策制定者)是供应商。在第1周期初甚至更早之前,供应商需决定最优生产量以及如何最优地将各地区所需库存分配给各零售商。在第2周期初,供应商也要决定最优生产量以及如何最优地将更新后的库存重新分配给各个零售商。本研究以集中式供应链的最优决策为基准,设计分散式供应链转运机制的形式和内容,从而达成供应链协调。

利用上一节介绍的模型参数,集中式供应链系统(用下角标 $t$ 表示)整体期望收益表示为

$$\Pi_t = U_{t1} + \int_0^{+\infty} \int_0^{+\infty} U_{t2}(y - D_{11} - D_{21}) dF_1(D_{11}) dF_1(D_{21}) \quad (9)$$

其中, $y$ 为第1周期初系统整体库存(生产)量, $y = y_1 + y_2$ ;  $U_{ti}$ 为第 $i$ 周期系统整体利润值,其表达式为

$$\begin{aligned} U_{t1} &= -c_1 y + V_{t1}(y) = -c_1 y + V_{11}(y_1) + V_{21}(y_2) \quad (10) \\ U_{t2} &= -c_2(z - x) + V_{t2}(z) \\ &= -c_2(z - x) + V_{12}(z_1) + V_{22}(z_2) \quad (11) \end{aligned}$$

其中, $x$ 为第1周末整体库存剩余量, $x = x_1 + x_2$ ;  $z$ 为第2周期初整体库存(备货)量, $z = z_1 + z_2$ 。

根据逆向求解法对(9)式进行优化求解分析,可以将集中式供应链下的最优库存量决策情况总结如下。

定理2 ①集中式供应链第2周期初 $k$ 零售商最优库存持有量满足

$$z_k^0 = \begin{cases} z_{Mk}^0 = \frac{z_M^0}{2} = F_2^{-1}\left(\frac{P_2 + r_2 - c_2}{P_2 + r_2 + h_2 - v}\right), & \text{当 } x < z_M^0 \\ z_{Nk}^0 = \frac{z_N^0}{2} = \frac{x}{2}, & \text{当 } x \geq z_M^0 \end{cases} \quad (12)$$

其中, $z_{Mk}^0$ 为 $k$ 零售商剩余库存量 $x_k$ 较低时 $k$ 零售商最优“补货至”的库存量, $z_{Nk}^0$ 为 $x_k$ 较高时 $k$ 零售商最优“清货至”的库存量, $z_M^0$ 为整个分销系统整体剩余库存量 $x$ 较低时的最优生产并备货至的库存量, $z_N^0 = x$ 则表示分销系统内整体剩余库存量较高时生产商的最优策略是维持现有库存持有水平 $x$ 不变。

②若 $\Pi_t(z_1^0, z_2^0)$ 为关于 $(y_1, y_2)$ 的联合凹函数,则 $k$ 零售商第1周期初最优库存持有量为 $y_k^0, y_k^0$ 满足

$$-c_1 + V'_{k1}(y_k^0) + c_2 \Pr\{D_{11} + D_{21} - 2y_k^0 < z_M^0\} \cdot \int_{2y_k^0 - D_{11} - D_{21} > z_M^0} V'_{k2}\left(\frac{2y_k^0 - D_{11} - D_{21}}{2}\right) dF_1(D_{11}) dF_1(D_{21}) = 0 \quad (13)$$

证明:根据逆向求解思路,首先求解第2周期最优库存持有量,当 $x < z$ 时,通过海赛矩阵求解发现, $\Pi_t$ 为关于 $(z_1, z_2)$ 的严格可微凹函数,联立 $\frac{\partial \Pi_t}{\partial z_1} = 0$ 和 $\frac{\partial \Pi_t}{\partial z_2} = 0$ ,求解可知, $k$ 零售商最优库存持有量为 $z_{Mk}^0 = F_2^{-1}(\frac{p_2 + r_2 - c_2}{p_2 + r_2 + h_2 - v})$ 。而当 $x > z_M^0$ 时,供应链整体库存剩余,此时最优的库存策略为执行库存再分配,直至各零售商库存边际收益相等,即满足

$$\frac{\partial \Pi_t}{\partial z_1}(z_{N1}^0) = \frac{\partial \Pi_t}{\partial z_2}(z_{N2}^0) \quad (14)$$

其中, $z_{N1}^0 + z_{N2}^0 = x$ 。由零售商对称性可知,此时 $z_{N1}^0 = z_{N2}^0 = \frac{x}{2}$ 。进而当 $\Pi_t(z_1^0, z_2^0)$ 为关于 $(y_1, y_2)$ 的联合凹函数,通过联立 $\frac{\partial \Pi_t}{\partial y_1}(z_1^0, z_2^0) = 0$ 和 $\frac{\partial \Pi_t}{\partial y_2}(z_1^0, z_2^0) = 0$ ,求解方程组,并结合(14)式整理分析可知, $y_k^0$ 满足(13)式。

证毕。

上述定理意味着,供应商应当在第1周期初生产 $y^0$ 单位的库存,并将其中的 $y_k^0$ 数量分销给 $k$ 零售商,而当第1周末系统整体剩余库存量偏低时(即 $x < z_M^0$ ),供应商应当再生产,并补货至最优库存量 $z_M^0$ ,同时分别分配给两个零售商,使其库存持有量达到 $z_{Mk}^0$ ;当整体剩余库存量偏高时(即 $x \geq z_M^0$ ),供应商无需再生产,但需按照零售商边际收益水平进行重新库存再分配。本研究中由于零售商的对称性,供应商应当选择平均分配,即 $z_{Mk}^0 = \frac{z_M^0}{2}, z_{Nk}^0 = \frac{x}{2}$ 。进一步的,只需将定理2中的最优库存决策代入(9)式,即可得到集中式供应链的最优系统收益值。

### 3.2 SFT 机制的价格设置

以3.1节介绍的集中式供应链最优决策和收益为协调基准,进一步分析如何合理配置批发价和转运价以实现分散式供应链的有效协调。为使读者更直观的理解机制内容,本研究辅以数值分析,所用数据是基于漫友实地调研获取的实际运营和销售数据,第1周期与第2周期数据一致。 $r_i = 15, c_i = 0.35r_i, P_B = P_S = w = 0.60r_i, h_i = 0.05r_i, v = 0.10r_i$ 。分析发现市场需求数据近似服从正态分布。而鉴于需求量和

缺货损失成本对零售商订货和剩余库存量影响较大,本研究考虑表2所述的9种不同市场需求和缺货损失情形,以探究转运协调合同的内在价值。因第1周期决策受第2周期影响,首先分析第2周期,经分析可知,满足定理3的转运价格可实现第2周期供应链的有效协调。

定理3 当协调所需的库存转运价格满足(15)式时,可实现供应链第2周期库存决策的有效协调(分散式状态下的库存决策达到集中式水平),即

$$\bar{P} = P_B = P_S = \begin{cases} V'_{k2}(z_{Mk}^0) = V'_{i2}(z_M^0) = c_2, & \text{当 } x < z_M^0 \\ V'_{k2}(z_{Nk}^0) = V'_{k2}(\frac{x}{2}) = V'_{i2}(x) \in (v - h_2, c_2], & \text{当 } x \geq z_M^0 \end{cases} \quad (15)$$

其中, $\bar{P}$ 为协调所需的库存转运价格。

证明:为实现协调,仅需设置 $(w, P_B, P_S)$ ,使分散式供应链中各零售商最优决策 $(z_k^*, y_k^*)$ 与相应的集中式决策 $(z_k^0, y_k^0)$ 一致。而第2周期中,仅需设置 $(P_B, P_S)$ 使 $z_k^*$ 与 $z_k^0$ 一致。对比(7)式和(12)式,发现在 $P_B = P_S = \bar{P}$ 时,即使用单一的、随系统库存量变化的转运价格 $\bar{P}$ 时即可达成协调。

证毕。

定理3表明,为达到分散式供应链协调,供应商需首先设立相等的“购买”和“卖出”转运价格,其次,这个转运价格必须随着系统剩余库存量的变化而变化。当系统整体库存量较低时( $x < z_M^0$ ),转运价格须等于第2周期生产成本;而当系统整体剩余库存量较高时( $x \geq z_M^0$ ),转运价格须随系统库存量增加而降低,边际收益递减。究其经济含义,本研究发现转运价格等于集中式供应链的库存边际收益,即系统库存边际收益。而且只有使用这样的转运价格,才能使每个零售商库存边际收益与系统库存边际收益相等,这样每个只顾自己利益最大化的零售商才能为系统着想,做出对系统最优的库存决策。本研究对零售商库存边际收益情况进行进一步分析,发现当零售商剩余库存数量较低时,其库存边际收益较高,该零售商希望通过“购买”库存来降低边际收益,直至边际收益提高至“购买”价格(即系统库存边际收益)时停止购买。同理,库存剩余数量较高的

表2 需求和缺货损失的不同形式

Table 2 Different Forms of Demand and Shortage Penalty

需求形式	第1周期		第2周期		缺货损失成本形式	第1周期	第2周期
	均值	方差	均值	方差			
R <sub>1</sub>	10 000	5 000	10 000	5 000	L <sub>1</sub>	0.50r <sub>1</sub>	0.50r <sub>2</sub>
R <sub>2</sub>	10 000	5 000	5 000	2 500	L <sub>2</sub>	r <sub>1</sub>	0.25r <sub>2</sub>
R <sub>3</sub>	10 000	5 000	3 000	1 500	L <sub>3</sub>	0.25r <sub>1</sub>	r <sub>2</sub>



零售商希望通过“卖出”货物的方式增加边际收益，直至边际收益达到“卖出”价格（即系统库存边际收益）。由定理3同时可发现协调转运价格 $\bar{P}$ 大于商品期末净残值 $(v-h_2)$ ，这保证了零售商愿意参与到转运中，同时该价格小于生产成本 $c_2$ 。令 $x$ 取值 $1 \times 10^4 \sim 5.5 \times 10^4$ ，对 $(R_3, L_1)$ 情形下协调转运价格 $\bar{P}$ 与系统库存水平 $x$ 的关系进行运算和仿真分析，仿真分析结果见图3。由图3可知， $\bar{P}$ 随 $x$ 的变化由1条直线和1条下凸曲线构成，随着 $x$ 的增加， $\bar{P}$ 先保持在 $c_2$ ，随后逐渐降低，曲线部分逐渐趋于平缓并无限接近于 $(v-h_2)$ 。这意味着对于供应商来说，当系统整体剩余库存量低于阈值 $z_M^0$ 时，应设定协调转运价格与第2周期生产成本一致，而超过该阈值时，应随系统整体剩余库存量的增加而逐渐降低协调转运价格，直至降低至其无限接近处理库存残值所获得的单位收益。而分别增加和降低零售价格 $(r_i = 20, r_i = 10)$ 时则发现，零售价格 $r_i$ 越高，协调转运价格 $\bar{P}$ 也相应越高。

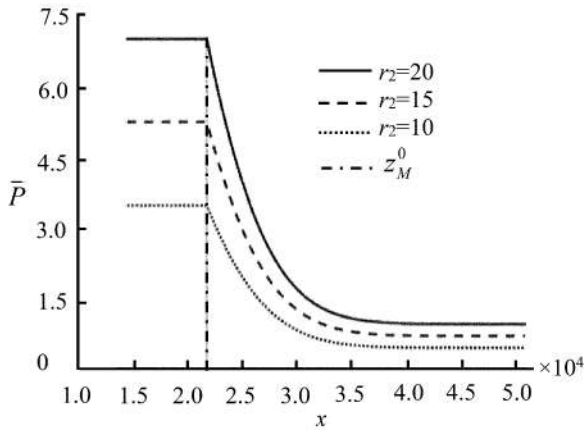


图3  $(R_3, L_1)$ 情形下协调转运价格与系统库存水平的关系

Figure 3 Relationship between Coordinating Transshipment Price and System Inventory Level in Case  $(R_3, L_1)$

下面进一步分析第1周期供应链协调价格形式。需注意的是，不同于传统常数转运价格形式下仅需根据自身情况决策最优订货，当采取定理3所述的与系统整体库存剩余量有关的调货价格形式时， $k$ 零售商在决策第1周期最优库存持有量 $y_k^*$ 时，需与其他零

售商库存决策联立求解，即 
$$\begin{cases} \frac{\partial \Pi_k(y_1, y_2)}{\partial y_1} = 0 \\ \frac{\partial \Pi_k(y_1, y_2)}{\partial y_2} = 0 \end{cases}$$
。经求解

可知，定理4所述的批发价 $\bar{w}$ 使 $y_k^*$ 与 $y_k^0$ 一致。

定理4 当供应商使用受系统库存量影响的协调转运价格 $\bar{P}$ ，并将第1周期批发价格设为其生产成本 $(\bar{w} = c_1)$ 时，可实现供应链每个周期的决策协调（分散式库存决策和供应链整体收益均达到集中式水平）；而供应商可以恰当的向每个零售商收取特许经营费 $\gamma_k$ ，保证协调后双方收益均实现帕累托改进。

证明：当采取定理3所述的协调转运价格 $\bar{P}$ 后，计算 $k$ 零售商的库存量边际收益，并与(13)式比较可知，只有批发价满足

$$\bar{w} = c_1 + \frac{\int_0^{y_k} MP dy_k}{y_k}$$

$$MP = \iint_{z_M^0} \frac{(y_k - D_{k1} - z_{Nk}^0) V_{12}''(z_{N1}^0) V_{22}''(z_{N2}^0)}{V_{12}''(z_{N1}^0) + V_{22}''(z_{N2}^0)} dF_1(D_{11}) dF_1(D_{21})$$

才能使分散式供应链最优库存量达到集中式水平，即 $y_k^* = y_k^0$ 。显然，当零售商完全同质时，有 $MP = 0$ ，此时 $\bar{w} = c_1$ 。进一步将协调参数 $\bar{w}$ 和 $\bar{P}$ 代回供应链各方利润函数(1)式和(2)式，并执行特许经营费合同（供应商向 $k$ 零售商收取固定费用 $\gamma_k$ 后）可知，协调后供应商收益为 $2\gamma_k$ ， $k$ 零售商的收益为 $\frac{\Pi_k^0}{2} - \gamma_k$ 。这意味着协调后分散式供应链整体收益增加至集中式供应链收益水平，供应商收益和零售商收益分别与特许经营费 $\gamma_k$ 呈正比和反比，可见， $\gamma_k$ 是实现供应链收益合理再分配的关键，供应商应当将 $\gamma_k$ 设置在合理区间，以保证供应链各成员收益均实现帕累托改进。

证毕。

综上所述，运用定理3和定理4中的协调参数 $(\bar{w}, \bar{P}, \gamma_k)$ 可最终实现存在库存转运情形下的分散式供应链的有效协调。为更加直观的理解协调对各成员收益的影响，下面以 $(R_3, L_1)$ 情形为例进行数值分析。经计算可知， $(R_3, L_1)$ 情形未协调状态下供应商收益为 $2.26 \times 10^5$ ，零售商收益为 $2.21 \times 10^5$ 。将特许经营费 $\gamma_k$ 取值为 $0.8 \times 10^5 \sim 2.6 \times 10^5$ ，并计算和分析协调后零售商期望收益 $\Pi_k^*$ 随 $\gamma_k$ 的变化情况，见图4。

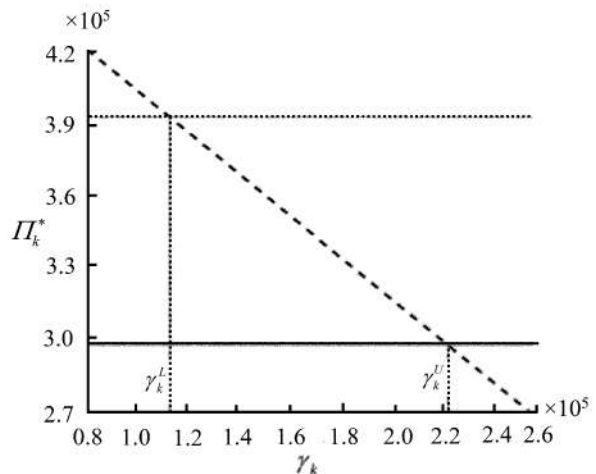


图4  $(R_3, L_1)$ 情形下特许经营费对零售商收益的影响

Figure 4 Impact of Franchise Fee on Retailer's Revenue in Case  $(R_3, L_1)$

由图4可知，零售商收益随着 $\gamma_k$ 的增加而降低，而显然协调后供应商收益 $(2\gamma_k)$ 则随着 $\gamma_k$ 的增加而增加。数值分析同时表明当 $\gamma_k$ 满足一定条件时（图4

的 $[\gamma_k^l, \gamma_k^u]$ 区间),协调后供应商和零售商收益均高于未协调时。特别的,当供应商选用 $\gamma_k = \gamma_k^l$ 时,其将协调供应链所带来的所有额外利润平均分给两个零售商。相反,当供应商选用 $\gamma_k = \gamma_k^u$ ,其将协调供应链所带来的所有额外利润据为己有。现实中,建议供应商根据零售商销售表现收取特许经营费 $\gamma_k$ ,以起到有效的激励作用。由于这种合同模式类似于实践中应用广泛的连锁加盟,即零售商以较低价格获取商品购买和转运服务,前提是必须缴纳加盟费,相似运营模式的存在有利于SFT机制被企业采纳并推广使用。

### 3.3 SFT 机制替代形式

SFT机制能实现供应链转运系统的完美协调,但由于协调价格依赖于零售商期末整体库存剩余量 $x$ ,在 $x$ 未知的情况下(如供应链系统存在严重的库存信息不对称),本研究进一步考虑 $CP_1$ 、 $CP_2$ 和 $CP_3$ 共3类常数价格搜索方案,作为 $x$ 信息未知时SFT机制的替代协调形式,具体方案见表3。定理3中表明的价格范围( $v - h_2 < P_s \leq P_B \leq c_2$ )将有助于缩小常数价格的搜索区间。

表3 常数价格搜索方案  
Table 3 Constant Price Search Options

搜索方案	执行方式
$CP_1$	固定 $w = c_1$ , 搜索 $P_B$ 和 $P_S$ 以确定最优转运价格
$CP_2$	固定 $P_B = P_S$ , 搜索 $w$ 和 $P_B(P_S)$ 以获取最优协调价格
$CP_3$	同时搜索 $w$ 、 $P_B$ 和 $P_S$ 以确定最优协调价格

下面对不同价格配置方式下的供应链效率情况进行分析,为验证和比较文中各机制形式的协调效果,依据表2中需求和缺货损失成本不同组合的9种情形,分别计算 $(w, P_B, P_S)$ 在不同价格体系下与集中式供应链相比的收益损失,结果见表4。为更加直观且深入理解上述计算结果,表5进一步以 $(R_2, L_2)$ 为例给出供应链成员详细决策和收益情况(结果在联想M490、2.4GHz、Intel Core i3-3110M、6GB Ram、Windows 10环境下基于Matlab2014b平台计算得出),分析运算结果可得到如下结论。

(1)定理3和定理4所述的SFT机制可实现分散式库存转运供应链的完美协调(表4第4列),协调后供应链决策和收益均达到集中式水平,表明该机制价格形态完美解决了供应链上下游企业间的双重边际效应。由表5第4列~第7列可知,合理的实施 $\gamma_k$ 可实现供应链各企业收益的帕累托改进,即供应链各企业收益均高于表5第2列所示的未实施协调时收益状态,最终实现供应链上下游企业共赢。

(2)由表4可知,与第2列中未实施任何转运价格

协调时相比,采取第4列~第7列所示的合理协调价格能显著提升供应链整体效益;虽然实施了协调,第3列所示的漫友模式供应链整体收益情况却明显低于第4列~第7列所示的其他协调价格形式,甚至低于第2列中无任何协调的收益状态。究其原因,是由于漫友设置的协调价格不够合理,如“采购”价格过高导致零售商过量订货,进而导致剩余库存过高,致使漫友公司及整个供应链系统收益损失严重,足见供应链管理中科学设置价格的重要性。

(3)表4列~第7列所述常数机制价格形式虽能起到良好的协调作用,但与参数价格协调形式相比仍具有一定差距,说明常数价格形态仍无法完全有效解决上下游企业间双重边际效应,致使零售商订货不足,供应链绩效无法达到最佳。进一步比较可发现, $CP_3$ 协调效果在常数价格中最佳,这是由于 $CP_1$ 和 $CP_2$ 实际是 $CP_3$ 的特殊形式,但由平均运算时间可知,由于 $CP_3$ 需同时搜索3个不同价格变量,其执行效率最低。而与常数形式相比,SFT机制中的参数定价形式在运算效率上也体现出较强的优越性(平均运算时间仅为0.737秒),但常数形式的优势则在于解决参数形式须依赖市场整体库存信息的不足,这为供应链管理依据信息、效率、绩效等因素合理规划选择协调机制形式提供了依据。

(4)由表5中各情形零售商订货情况可知,与第2列未实施库存转运相比,第3列~第7列所述的实施转运策略能显著激励零售商提高库存量;比较表4中的第2列和第4列~第7列可知,与协调前的第2列相比,协调后的第4列~第7列的 $R_2$ 或 $R_3$ 情形下的供应链收益改进量明显大于 $R_1$ 情形下的供应链收益改进量,说明协调转运机制对于第1周期需求更高的 $R_2$ 或 $R_3$ 型分销系统改善更为显著。同时可发现,机制对于 $L_2$ 情形(第1周期缺货损失较高)的供应链收益改善更为明显,同样说明机制对于 $L_2$ 情形的协调效果更为显著。这是由于 $R_2$ 、 $R_3$ 和 $L_2$ 情形下零售商往往在第1周期过量订货,更需要在第2周期初实施库存转运,此时SFT机制的优势更为明显。

## 4 结论

针对企业界普遍存在的库存转运实施难、效率低的困境,本研究通过数理模型的优化分析,得出各博弈情形下供应链最优库存决策,并提出一类新颖的库存转运管理模式,从机制运作过程和价格设计等方面给出具体的实施方案,旨在指导企业科学合理的开展转运实践。研究结果如下。

(1)与传统RNT机制相比,由供应商主导的SFT机制优势明显,该机制通过设置“购买”和“卖出”双向交易环节,使零售商制定决策时主动将多余库存转往库存不足零售商处,有效规避了传统RNT机制因分销商间相隔甚远和缺乏信任等不利因素导致的转运实施困难、实施效率低对供应商和供应链不利等现状,调动了零售商货物转运主动性和积极性;与传统被动转运模式相比,实施前瞻性主动库存转运有



**表 4 与集中式相比供应链损失百分比**  
**Table 4 Percentage Loss of Supply Chain Relative to Centralized Solution**

需求和缺货 损失情形	未实施协调		实施协调			
	$w > c_1$	$P_B = P_S = w > c_1$ (漫友模式)	$w = c_1$ $P_B = P_S = \bar{P}$	$w = c_1, P_B, P_S$ 优化 (CP <sub>1</sub> )	$w, P_B = P_S$ 优化 (CP <sub>2</sub> )	$w, P_B, P_S$ 优化 (CP <sub>3</sub> )
(R <sub>1</sub> , L <sub>1</sub> )	-3.753%	-4.321%	0	-0.723%	-0.733%	-0.711%
(R <sub>1</sub> , L <sub>2</sub> )	-3.772%	-4.783%	0	-0.702%	-0.691%	-0.689%
(R <sub>1</sub> , L <sub>3</sub> )	-3.629%	-3.912%	0	-0.741%	-0.742%	-0.741%
(R <sub>2</sub> , L <sub>1</sub> )	-5.071%	-8.511%	0	-1.072%	-1.081%	-1.052%
(R <sub>2</sub> , L <sub>2</sub> )	-6.118%	-12.317%	0	-1.263%	-1.273%	-1.233%
(R <sub>2</sub> , L <sub>3</sub> )	-3.717%	-4.029%	0	-0.918%	-1.112%	-0.912%
(R <sub>3</sub> , L <sub>1</sub> )	-8.336%	-15.227%	0	-1.019%	-1.129%	-0.991%
(R <sub>3</sub> , L <sub>2</sub> )	-11.854%	-16.592%	0	-0.312%	-0.428%	-0.276%
(R <sub>3</sub> , L <sub>3</sub> )	-6.391%	-7.718%	0	-1.031%	-1.072%	-0.969%
平均运算时间/秒	0.287	0.275	0.737	4.682	5.957	14.063

**表 5 (R<sub>2</sub>, L<sub>2</sub>) 下供应链决策与收益情况**  
**Table 5 Decisions and Revenues of Supply Chain in Case (R<sub>2</sub>, L<sub>2</sub>)**

(R <sub>2</sub> , L <sub>2</sub> )	未实施协调		实施协调			
	$w > c_1$	$P_B = P_S = w > c_1$ (漫友模式)	$w = c_1$ $P_B = P_S = \bar{P}$	$w = c_1, P_B, P_S$ 优化 (CP <sub>1</sub> )	$w, P_B = P_S$ 优化 (CP <sub>2</sub> )	$w, P_B, P_S$ 优化 (CP <sub>3</sub> )
$w$	9	9	5.250	5.250	4.732	4.731
$P_B$	9	9	$\bar{P}$	4.732	3.683	4.221
$P_S$	0.750	9	$\bar{P}$	2.841	3.683	2.943
$y^*$	70.039	90.012	80.042	79.997	79.997	79.997
$\gamma_k (\times 10^3)$			165	165	165	165
$\Pi_i^* (\times 10^3)$	313.161	323.264	330	330	330.457	329.036
$\Pi_k^* (\times 10^3)$	269.056	234.965	287.308	281.596	281.322	282.213
$\Pi_l^* (\times 10^3)$	849.272	793.194	904.616	893.191	893.100	893.462

助于增强供应链柔性,提升顾客满意度。

(2)为实现供应链的高效协调,合理的转运模式和科学的价格配置缺一不可。企业通过对产品批发价以及“购买”和“卖出”价格的合理设置,有助于消除供应链系统中的双重边际效应,使供应链系统利润得以有效提升。

(3)数值仿真结果进一步表明,本研究提出的新型库存转运机制有助于大幅提升供应链运作效率,且该机制在前一周比后一周期市场需求较高或缺货损失较高的情形下优势更为显著。

本研究对企业优化库存转运方式具有一定的管理启示和政策建议。当传统的零售商协商转运难以

实施时,供应商应在库存转运中承担主导责任,应向其分销商提供开展双向采购合同,同时应当科学确定合同价格(摒弃传统的常数价格协调形式,采用参数转运价格);且鉴于实施SFT机制对供应链效率改善的巨大作用,建议供应链管理加强企业间信息共享和物流建设,规范企业间信任和合作机制,为转运合同的实施创造条件;并充分运用大数据等管理技术的预测功能,为实施前瞻性库存转运提供技术支持。目前正值中国信息和物流产业全面高速发展优势期,共享经济相关政策的颁布也为库存共享发展提供了政策支持,企业应抓住契机,深化供应链成员间合作,建立科学的库存转运机制。

本研究讨论的供应商协助转运机制为实施库存共享提供了行之有效的解决方案,具备广泛的适用性和推广性。该转运机制的实施完美解决了转运界长久以来存在的难题,同时该机制适用范围广泛,能够为中国大部分企业提供简单易行的转运指导,帮助企业降低成本,提高收益,实现供应链整体效率有效提升,更好地匹配供求和分配社会物资,以最少的投入满足最大的消费需求。

虽然本研究是建立在两周期、两零售商、需求分布相同、无转运成本等关键假设下开展的研究,但从相关结论的证明过程中不难发现,运用类似方法很容易得到多周期、多零售商、需求分布不对称、有转运成本下决策和协调解的形式。但本研究仅讨论了零售商处于不同销售市场(无市场竞争)情形,且是基于信息完全对称、无资金约束情形下开展的,考虑相关因素影响下的库存转运实施方案设计是未来进一步研究的方向。

#### 参考文献:

- [1] 于亢亢,宋华,钱程.不同环境下的供应链运作柔性的绩效研究. *管理科学*,2014,27(1):43-54.  
YU Kangkang, SONG Hua, QIAN Cheng. Study on the performance of supply chain operation flexibility under different environments. *Journal of Management Science*, 2014, 27(1):43-54. (in Chinese)
- [2] 利丰研究中心. *供应链管理:香港利丰集团的实践*. 2版. 北京:中国人民大学出版社,2009:3-6.  
LI & FUNG Research Center. *Supply chain management: practice of Hong Kong Li & Fung group*. 2nd ed. Beijing: China Renmin University Press, 2009: 3-6. (in Chinese)
- [3] 韩晨,高山行. 战略柔性、战略创新和管理创新之间关系的研究. *管理科学*,2017,30(2):16-26.  
HAN Chen, GAO Shanxing. Study on the relationship among strategic flexibility, strategic innovation and management innovation. *Journal of Management Science*, 2017, 30(2): 16-26. (in Chinese)
- [4] KIM J S, BENJAAFAR S. On the benefits of inventory-pooling in production-inventory systems. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2002, 4(1):12-16.
- [5] 陈敬贤,王国华,梁樑. 横向转载应对需求突变. *管理科学学报*,2014,17(12):27-37,92.  
CHEN Jingxian, WANG Guohua, LIANG Liang. Managing demand disruption with lateral transshipment. *Journal of Management Sciences in China*, 2014, 17(12): 27-37, 92. (in Chinese)
- [6] 郑晓娜,黄涛. 窜货现象的供应链模型分析. *管理世界*,2010(9):123-128.  
ZHENG Xiaona, HUANG Tao. An analysis of the model of the supply chain in unauthorized transshipment. *Management World*, 2010(9):123-128. (in Chinese)
- [7] RUDI N, KAPUR S, PYKE D F. A two-location inventory model with transshipment and local decision making. *Management Science*, 2001, 47(12):1668-1680.
- [8] AGRAWAL V, CHAO X, SESHADRI S. Dynamic balancing of inventory in supply chains. *European Journal of Operational Research*, 2004, 159(2):296-317.
- [9] ZOU L, DRESNER M, WINDLE R. A two-location inventory model with transshipments in a competitive environment. *International Journal of Production Economics*, 2010, 125(2):235-250.
- [10] ÇÓMEZ N, STECKE K E, ÇAKANYILDIRIM M. In-season transshipments among competitive retailers. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2012, 14(2):290-300.
- [11] DONG Y, XU K, EVERS P T. Transshipment incentive contracts in a multi-level supply chain. *European Journal of Operational Research*, 2012, 223(2):430-440.
- [12] FANG X, CHO S H. Stability and endogenous formation of inventory transshipment networks. *Operations Research*, 2014, 62(6):1316-1334.
- [13] NOHAM R, TZUR M. The single and multi-item transshipment problem with fixed transshipment costs. *Naval Research Logistics*, 2014, 61(8):637-664.
- [14] ALPTEKINOGLU A, BANERJEE A, PAUL A, et al. Inventory pooling to deliver differentiated service. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2013, 15(1):33-44.
- [15] SUMMERFIELD N S, DROR M. Stochastic programming for decentralized newsvendor with transshipment. *International Journal of Production Economics*, 2012, 137(2):292-303.
- [16] TORABI S A, HASSINI E, JEIHOONIAN M. Fulfillment source allocation, inventory transshipment, and customer order transfer in e-tailing. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2015, 79:128-144.
- [17] ABOUEE-MEHRIZI H, BERMAN O, SHARMA S. Optimal joint replenishment and transshipment policies in a multi-period inventory system with lost sales. *Operations Research*, 2015, 63(2):342-350.
- [18] PARK S J, LAI G, SESHADRI S. Inventory sharing in the presence of commodity markets. *Production and Operations Management*, 2016, 25(7):1245-1260.
- [19] 汪传旭,许长延. 两级供应链中供应中断情形下零售商转运策略. *中国管理科学*,2015,23(2):70-79.  
WANG Chuanxu, XU Changyan. Retailer transshipment policy with supply disruption in a two stage supply chain. *Chinese Journal of Management Science*, 2015, 23(2): 70-79. (in Chinese)
- [20] JI X, SUN J, WANG Z. Turn bad into good: using transshipment-before-buyback for disruptions of stochastic demand. *International Journal of Production Economics*, 2017, 185: 150-161.
- [21] 汪传旭,许长延. 两级供应链中短生命周期产品应急转运策略. *管理科学学报*,2015,18(9):61-71.  
WANG Chuanxu, XU Changyan. Emergency transshipment policy for short life cycle product in a two stage supply chain. *Journal of Management Sciences in China*, 2015, 18(9):61-71. (in Chinese)
- [22] CHO S H, WANG X. Newsvendor mergers. *Management Science*, 2017, 63(2):298-316.
- [23] HANANY E, TZUR M, LEVRAN A. The transshipment fund mechanism: coordinating the decentralized multilocation transshipment problem. *Naval Research Logistics*, 2010, 57(4):

- 342-353.
- [24] YAN X, ZHAO H. Decentralized inventory sharing with asymmetric information. *Operations Research*, 2011, 59(6): 1528-1538.
- [25] 陈敬贤, 王国华, 梁樑. 协调多零售商横向转载的收益共享契约. *中国管理科学*, 2013, 21(3): 79-87.  
CHEN Jingxian, WANG Guohua, LIANG Liang. The revenue-sharing mechanism: coordinating the multilocation lateral transshipment problem. *Chinese Journal of Management Science*, 2013, 21(3): 79-87. (in Chinese)
- [26] LI X, SUN L, GAO J. Coordinating preventive lateral transshipment between two locations. *Computers & Industrial Engineering*, 2013, 66(4): 933-943.
- [27] YAN X, ZHAO H. Inventory sharing and coordination among  $n$  independent retailers. *European Journal of Operational Research*, 2015, 243(2): 576-587.
- [28] 禹爱民, 刘丽文. 供应链下游零售商的转运库存策略. *系统管理学报*, 2013, 22(1): 1-9.  
YU Aimin, LIU Liwen. The transshipment between two types of retailers in the downstream supply chain. *Journal of Systems & Management*, 2013, 22(1): 1-9. (in Chinese)
- [29] 邵婧. 两层级分散决策供应链库存转运问题研究. *中国管理科学*, 2016, 24(1): 76-81.  
SHAO Jing. Impact of transshipment on a decentralized supply chain. *Chinese Journal of Management Science*, 2016, 24(1): 76-81. (in Chinese)
- [30] 陈敬贤, 陈于, 施国洪. 基于批发价契约的多零售商横向转载的供应链协调. *运筹与管理*, 2013, 22(6): 123-131.  
CHEN Jingxian, CHEN Yu, SHI Guohong. Supply chain coordination with wholesale price contract when lateral transshipment among multi-retailers exists. *Operations Research and Management Science*, 2013, 22(6): 123-131. (in Chinese)
- [31] SHAO J, KRISHNAN H, MCCORMICK S T. Incentives for transshipment in a supply chain with decentralized retailers. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2011, 13(3): 361-372.
- [32] LEE C, PARK K S. Inventory and transshipment decisions in the rationing game under capacity uncertainty. *Omega*, 2016, 65: 82-97.
- [33] RONG Y, SNYDER L V, SUN Y. Inventory sharing under decentralized preventive transshipments. *Naval Research Logistics*, 2010, 57(6): 540-562.
- [34] GLAZEBROOK K, PATERSON C, RAUSCHER S, et al. Benefits of hybrid lateral transshipments in multi-item inventory systems under periodic replenishment. *Production and Operations Management*, 2015, 24(2): 311-324.
- [35] 张钰, 刘益, 杨伟. 供应商影响战略与分销商机会主义: 分销商关系承诺的调节作用研究. *管理科学*, 2013, 26(5): 50-62.  
ZHANG Yu, LIU Yi, YANG Wei. An empirical study on suppliers' influence strategies and distributors' opportunism: moderating effects of distributors' relationship commitments. *Journal of Management Science*, 2013, 26(5): 50-62. (in Chinese)
- [36] 李随成, 王玮, 禹文钢. 供应商网络形态构念及实证研究. *管理科学*, 2013, 26(3): 19-30.  
LI Suicheng, WANG Wei, YU Wengang. Empirical research on the constructs of supplier network configuration. *Journal of Management Science*, 2013, 26(3): 19-30. (in Chinese)
- [37] YU Y, CHU F, CHEN H. A Stackelberg game and its improvement in a VMI system with a manufacturing vendor. *European Journal of Operational Research*, 2009, 192(3): 929-948.
- [38] DONG Y, DRESNER M, YAO Y. Beyond information sharing: an empirical analysis of vendor-managed inventory. *Production and Operations Management*, 2014, 23(5): 817-828.
- [39] LEE J Y, CHO R K, PAIK S K. Supply chain coordination in vendor-managed inventory systems with stockout-cost sharing under limited storage capacity. *European Journal of Operational Research*, 2016, 248(1): 95-106.
- [40] CHOUDHARY D, SHANKAR R. The value of VMI beyond information sharing in a single supplier multiple retailers supply chain under a non-stationary  $(R^n, S^n)$ . *Omega*, 2015, 51: 59-70.
- [41] KAASGARI M A, IMANI D M, MAHMOODJANLOO M. Optimizing a vendor managed inventory (VMI) supply chain for perishable products by considering discount: two calibrated meta-heuristic algorithms. *Computers & Industrial Engineering*, 2017, 103: 227-241.
- [42] 刘云志, 樊治平. 考虑损失规避型供应商的VMI供应链协调. *控制与决策*, 2016, 31(5): 935-942.  
LIU Yunzhi, FAN Zhiping. VMI supply chain coordination with the loss-averse supplier. *Control and Decision*, 2016, 31(5): 935-942. (in Chinese)
- [43] 颜波, 刘艳萍, 夏畅. 集中控制型VMI & TPL集群式供应链的补货决策和协调契约. *系统工程理论与实践*, 2015, 35(8): 1968-1982.  
YAN Bo, LIU Yanping, XIA Chang. Replenishment decision making and coordination contract of cluster supply chain in a centralized VMI & TPL system. *Systems Engineering - Theory & Practice*, 2015, 35(8): 1968-1982. (in Chinese)
- [44] 秦娟娟, 白晓健, 张琛. VMI模式下考虑商业信用的供应链协调机制研究. *管理评论*, 2016, 28(3): 207-220.  
QIN Juanjuan, BAI Xiaojian, ZHANG Chen. Coordination of supply chain with VMI considering the trade credit financing. *Management Review*, 2016, 28(3): 207-220. (in Chinese)
- [45] LI R, RYAN J K. Inventory flexibility through adjustment contracts. *International Journal of Production Research*, 2012, 50(7): 1955-1978.



## Supplier-facilitated Inventory Transshipments: An Innovative Approach Based on Firm Practice

LI Rong<sup>1</sup>, LIU Lu<sup>1</sup>, ZHENG Xiaona<sup>2</sup>

1 Business School, Nankai University, Tianjin 300071, China

2 Guanghua School of Management, Peking University, Beijing 100871, China

**Abstract:** When firms face financial constraints, resource shortages, uncertain consumer demand and other disadvantageous factors, the effective implementation of inventory sharing and transshipment strategy becomes extremely important. Traditional researches mainly focus on strategies of the retailer-negotiated transshipment mechanism (referred to as RNT), yet ignore the difficulties of implementation due to long distance, lack of trust and difficulty in negotiating among retailers; and private unauthorized transshipment between retailers causes losses to suppliers as well as the whole supply chain.

This paper presents a new inventory transshipment mechanism—supplier-facilitated transshipment mechanism (referred to as SFT), which can remove the defects of the existing one and guarantee the high efficiency of the inventory transshipment. First of all, we establish a multi-period distribution network consisting of a single supplier and multiple retailers, the latter takes proactive transshipment at the beginning of each period. Then, by adopting the dynamic programming approach, the corresponding Stackelberg game model is built, through which the equilibrium game strategy for supply chain members is appropriately analyzed. Then, through comparative analysis of centralized supply chain operation mode and the optimal choice, we identify drawbacks of traditional inventory transshipment approaches and propose the SFT mechanism. We explained the SFT mechanism in details from the aspects such as design process, implementation flow and price setting. Numerical analysis is used to help to verify and support the conclusions.

Our research results and conclusions indicate that the SFT mechanism has obvious advantages, compared with those of the traditional transshipment mechanism. By setting up the two-way transaction links of “buy-up-to” and “sell-down-to” for retailers, the supplier enables the retailers to achieve inventory sharing within the supply chain system at the same time as inventory replenishment and inventory clearance. By adopting the price policy of reasonable setting and combination of wholesale price and “buy-up-to” price and “sell-down-to” price, for example, transshipment price decreases as the overall remaining market inventory increases. Retailers can choose an optimal inventory strategy to seek maximum interests, meanwhile the overall efficiency of the whole supply chain is increased, and the double marginal effect within the supply chain system is eliminated. Eventually, the overall profit of the supply chain reaches the centralized level and the interests of supply chain members are coordinated.

The value of this study is to propose a new inventory transshipment mechanism which is easier to implement and control. This mechanism can help to realize proactive, efficient, and perspective transshipment among retailers of different regions, and simultaneously maximize the profits of the whole supply chain. Suppliers are advised to take inventory transshipment duties, and adopt the price policy of wholesale price and transshipment price reflecting retailers' inventory, instead of the traditional constant pricing mechanism.

This research provides scientific operational guidance and decision-making basis for managers to implement inventory management, inventory transshipment and resource allocation optimization more reasonably and more efficiently.

**Keywords:** supply chain management; inventory sharing; multi-period; proactive transshipment; supply chain coordination

**Received Date:** March 4<sup>th</sup>, 2017      **Accepted Date:** July 19<sup>th</sup>, 2017

**Funded Project:** Supported by the National Natural Science Foundation of China (71401081, 71272039)

**Biography:** LI Rong, doctor in management, is an associate professor in the Business School at Nankai University. Her research interests focuses on supply chain management. Her representative paper titled “Managing storable commodity risks: the role of inventory and financial hedge” was published in the *Manufacturing & Service Operations Management* (Issue 3, 2013). E-mail: ri@nankai.edu.cn

LIU Lu is a Ph. D candidate in the Business School at Nankai University. His research interests include supply chain transshipment and inventory sharing. His representative paper titled “Research on the decisions of order and information service and coordination of supply chain with information free-riding” was published in the *Journal of Industrial Engineering and Engineering Management* (Issue 4, 2016). E-mail: liulu\_77@126.com

ZHENG Xiaona, doctor in management, is an associate professor in the Guanghua School of Management at Peking University. Her research interest focuses on enterprise operational management. Her representative paper titled “An analysis of the model of the supply chain in unauthorized transshipment” was published in the *Management World* (Issue 9, 2010). E-mail: xzheng@gsm.pku.edu.cn □