

# 供应链中牛鞭效应问题研究

达庆利<sup>1</sup>, 张 钦<sup>1</sup>, 沈厚才<sup>2</sup>

(1. 东南大学经济管理学院, 南京 210096; 2. 南京大学管理科学与工程研究院, 南京 210093)

**摘 要** 牛鞭效应对企业的效益甚至整个国家的经济会造成严重的影响, 多年来一直受到人们的关注, 但直到近年对它才有较为清晰的认识. 文章通过文献综述, 讨论供应链中牛鞭效应的现象和成因, 减轻和消除该效应的对策以及进一步的研究方向.

**关键词**: 供应链; 牛鞭效应; 需求; 库存; 信息共享

**中图分类号**: F252

**文献标识码**: A

**文章编号**: 1007 - 9807(2003)03 - 0086 - 08

## 0 引 言

牛鞭效应是指供应链中的零售商向供应商的订货量与其实际的销售量不一致. 一般地, 发给供应商的订货量, 其方差大于销售给买方的(即需求扭曲), 这种扭曲以放大的形式向供应链的上游蔓延(方差变大)<sup>[1]</sup>.

牛鞭效应给企业造成的后果是不言而喻的, 有时甚至非常严重. 由于较差的需求预测, 制造商支付了超额的原材料成本或产生原材料短缺. 额外的制造费用、加班费, 以及很高的库存水平导致超额的仓储费用和大量资金积压, 低效率的运输过程和超额的运输成本等, 都直接影响企业的效益.

牛鞭效应有时称作“蝴蝶效应”<sup>[2]</sup>, 它是形容北京的一只蝴蝶扑扇一下翅膀引起了佛罗里达的风暴. 在经济生活中, 因为一些企业出现了这种现象, 导致整个国家的生产能力过剩——经济危机. 即经济学家所说的“库存加速器理论”(inventory accelerator theory).

牛鞭效应问题如此重要, 多年来一直受到企业家和学者的关注, 但直到近年对它才有较为清晰的认识. 本文基于国外的文献对该问题的研究工作进行回顾和总结. 国内对供应链的研究尚处

于起步阶段<sup>[3,4]</sup>.

## 1 牛鞭效应现象的研究

### 1.1 案例分析

第一个认识到牛鞭效应的人是 Forrester<sup>[5]</sup>. 他通过一系列案例研究指出, 对于季节性商品, 制造商觉察到的需求变化远远超过顾客的需求变化, 他还注意到这种效应在供应链的每一级都会放大.

与 Forrester 类似, 许多学者也都通过对实际数据的数值分析从经济学角度指出了许多行业中的牛鞭效应现象. 如工厂产品计划的变化大于销售量的变化<sup>[6,7]</sup>, 订货量随着向供应链上游移动有增大的趋势<sup>[8,9]</sup>等.

20 世纪 90 年代初, 美国宝洁公司在研究“尿不湿”的市场需求和订货策略时<sup>[1]</sup>, 发现该产品的零售数量是相当稳定的, 没有哪一天或者哪一月的需求高于或低于其它时期. 然而, 分销商向工厂的订货数量的变化程度比零售数量的波动要大得多, 而且, 宝洁公司向其供应商的订货量波动幅度更大. 惠普、IBM 等公司也发现了同样的问题.

### 1.2 模拟研究

Sterman 设计了一个称为“啤酒分销博弈”的

收稿日期: 2001 - 05 - 24; 修订日期: 2002 - 12 - 04.

基金项目: 教育部人文社会科学研究“十五”规划项目(01JA630048); 国家自然科学基金资助项目(79800015).

作者简介: 达庆利(1945—), 男, 江苏南京人, 教授, 博士生导师.

课堂游戏<sup>[10,11]</sup>。四个参与者形成一个供应链,分别以啤酒零售商、批发商、分销商和制造商的身份独立地做出库存决策,以相邻参与者发出的订单作为唯一的信息资源。在线性成本结构下,该实验表明订货数量的变化随着向供应链上游的移动而变大。这种游戏重复许多次,其成员不仅有学生而且有公司的经理,但结果是一样的:上游成员总是过分地响应下游的订货需求,从而导致供应链系统的总成本5~10倍于最优总成本。

在上述同样条件下,文献[2,12]以更广泛的观点,运用啤酒分销游戏观察管理行为,即零售商销售量的一次较小的波动,都能通过供应链中的每个环节放大,使各成员的订货量或生产量大幅度变化。

Towill通过模拟的方法证实了库存管理方法对供应链信息扭曲的影响<sup>[13]</sup>。需求变化的幅度每通过一个环节就会增加一倍。生产商从中间环节获得订单后,对市场需求变化的预测幅度几乎是最初的8倍之多。

与以上文献使用的方法不同,文献[14]假设需求的分布函数与时间有关,在给出以每周期现有库存为自变量的最优成本的函数后,用启发式算法量化了供应链各个环节的牛鞭效应。

### 1.3 理论证明

一些学者通过数学模型证明牛鞭效应的存在性,研究的重点是订货的策略和需求信息预测。

#### 1.3.1 订货策略

许多文献都用订货策略 $(s, S)$ 来证明牛鞭效应的存在。Blinder首先使用这个订货策略<sup>[15]</sup>,他提出一个与库存控制策略一致的计量经济学模型,对所观察的零售商行为模式作可能的解释。文献[16]假设零售商使用连续盘点策略,证明了牛鞭效应在只有一个零售商的单独订货和多个零售商的集结(aggregate)订货的情形下都存在。

文献[17]则在零售商使用周期盘点的策略下,综合考虑零售商的个别订货和集结订货,研究了 $(s, S)$ 策略参数、需求参数和成本系数对订货数量的影响,表明需求相关如何降低集结订货的可变性,卖方订货的自相关如何平滑供应商的订货策略。文献[18]考虑在两级分销供应链中的分销中心订货和需求的变化,其内容与文献[17]基本相同,但方法有区别,前者使用更新定理和自

相关需求模型 $AR(p)$ ,后者用了近似的方法。

另一类型的订货策略是 $(R, Q)$ 。在这种策略下,文献[19]主要研究零售商的订货时间间隔和订货数量,结果表明当零售商的订货间隔变长或订货的批量增大时,供应商的需求变化一般会减少,较低的需求变化可以导致供应商较低的库存。

#### 1.3.2 需求信息预测

从相关需求模型入手研究牛鞭效应问题也是一个重要的方法。文献[1,18,20~23]均考虑的是 $AR(1)$ 模型,文献[18]考虑的是 $AR(p)$ 模型,而文献[24]考虑的是 $ARIMA(0,1,1)$ 模型。除文献[18]外,都对一个零售商和一个供应商的简单供应链系统研究需求和订货的变化情况,零售商的订货策略是使其库存水平上升到 $S$ 。

文献[1]的研究还包含由于供应商缺货致使多个零售商的分配博弈、多个零售商的三种不同订货时间(平衡的、同步的和随机的)以及价格波动等因素产生的牛鞭效应现象;文献[20]只允许需求积压;文献[21]则考虑零售商和供应商均用相同的 $AR(1)$ 模型预测需求,得到在实施VMI(供应商管理库存,vendor managed inventory)计划之前,供应商的预测方差高于零售商的预测方差;文献[22]一是确定需求预测对牛鞭效应的影响,二是不仅从理论上证明牛鞭效应的存在,而且对供应链中每一级增加的可变性量化;由于在 $AR(1)$ 模型中有一需求信息的误差项,文献[23]推出了无论这个误差信息共享与否都存在牛鞭效应的结论。

## 2 牛鞭效应的成因

### 2.1 从经济学的角度

Forrester认为牛鞭效应现象是由于组织行为随时间变化引起的,并假设系统参与人具有某种特定的行为方式,因此,牛鞭效应可以通过改变组织的行为方式克服。

Sterman将牛鞭效应归因为参与人的非理性行为和对反馈信息的错误理解<sup>[10]</sup>,认为通过对参与人培训可以克服这种现象。也有学者认为是系统参与人为响应需求变化<sup>[25]</sup>,避免缺货<sup>[20]</sup>或降低生产成本<sup>[26]</sup>,在追求利润最大条件下的理性行为<sup>[1,27]</sup>。

供应链是若干个公司或组织组成的动态联盟,根据委托代理理论,供应链内部上下游之间是一种双向委托代理关系,即使那些企业形成供应链,也都有各自的利益,分别拥有市场需求、销售数据、成本结构等方面的信息,并据此分别作出对自己最有利的决策,不同成员的决策又会互相影响<sup>[1,27]</sup>。从传统意义上讲,其契约关系是松散的,对整个系统的运作缺乏有效的激励机制和监督机制。

## 2.2 从运作管理的角度

许多学者在发现牛鞭效应这一现象时,就找到了它的起因,但有片面性。Lee等人从运作管理的角度分析了牛鞭效应现象的5个主要原因<sup>[1,27]</sup>:

1) 需求信号处理<sup>[18,20~24]</sup>。买方在某时期发现需求增加,会认为这是未来需求将会提高的预兆,从而大幅度增加订货量。在传统的运作管理中,上游仅仅依靠下游买方的需求数据做出预测和决策,它的库存控制将不可避免地受到扭曲信息的损害。这样重复下去,呈现逐步放大的趋势,即多重预测是导致牛鞭效应的一个关键因素。

2) 供应短缺<sup>[20]</sup>。制造商的生产能力不能满足潜在的需求时,会根据买方的订货量限额配给,买方为了得到更多的配额,就会提高订货量,超出实际的需求。当这种问题解决后,订货量会回到正常的水平。其实,即使供应量充足,只要买方认为可能发生缺货,就可能采取以上的策略。

3) 批量订货<sup>[14]</sup>。由于订货成本等因素,经济批量订货(EQ)对买方可能是最优的订货策略,但对供方可能很糟糕。多个买方的订货时间分布有随机订货、正相关订货和平衡订货3种情况,这3种情况对供方来说有相同的订货量期望值,方差是第1种最大,第3种最小,3种情况下的方差都大于买方面临的需求变动的方差。

4) 价格变化。制造商的产品价格在一定范围内随机变化时,零售商的最优订货决策是价格低时扩大订货,价格高时减少订货。另外,由于在某些时期对大量采购提供促销和打折措施,导致不正常的订货或销量,也会引起牛鞭效应。

5) 交货时间<sup>[19,28]</sup>。牛鞭效应的起因还与供应链环节之间交货的时间迟滞紧密相关。这些时间迟滞有时很长,在服装行业中,两次供货之间竟要

花平均一年到66周的等待时间<sup>[28]</sup>。

综上所述,牛鞭效应是供应链成员在自身利益的驱动下,所做出的理性决策的结果。从管理的层面上讲,是供应契约结构的不合理、需求信息的不确定和需求信息的个别占有等因素造成的。

## 3 消除或减轻牛鞭效应的对策

从根本上解决牛鞭效应,供应链成员的利益目标必须完全一致。一般来说,这是不可能的。通过供应链的协调,订立合理的契约,建立完善的激励机制和监督机制,实行有效的信息共享,可以减轻甚至消除牛鞭效应。在具体的运作中,可采用销售数据和库存信息共享,减少供应链环节,缩短订货的提前期或交货时间,买卖双方协调订货以及制造商价格方案的简化等策略。

### 3.1 信息共享

信息的种类很多,包括库存控制策略、库存水平、生产计划原则、生产方案、销售模式、订货策略、成本结构和市场需求等。

需求的不确定以及需求信息的个别占有是信息扭曲的一个重要原因。需求信息的集中是信息共享的一种方法,可分为两类:一类是两级供应链系统,系统中有一个分销中心,作用是汇总零售商的订货单,然后向供应商订货,供应商向分销中心发货<sup>[29~31]</sup>或者直接向零售商发货<sup>[32,33]</sup>;另一类是多级供应链系统,根据链中一个设施的级库存(level stock)是其现有库存加上它所有下游设施库存(installation stock)的和的思想<sup>[34~36]</sup>,链的上游就可知道下游的需求情况。

库存数据共享也是研究的重点。文献[35,37,38]研究当零售商的需求平稳时,共享的库存数据如何改进供应商的订货决策。零售商批量订货时,由于批量或时间间隔的限制,其订货没有完全传达库存的状态,但有了共享的库存数据,供应商可以调节其订货,以响应零售商的异常低或高的库存。

信息共享能给买卖双方带来若干利益<sup>[38,39]</sup>。在多个相同零售商及供应商有无限订货能力的情况下,文献[38]假设每个零售商及供应商服从 $(R, nQ)$ 策略,再订购数量是预先确定的,没有考虑经济规模驱动这些决策。文献[39]考虑了供应

商的三种情况,知道零售商的订货历史数据,知道零售商的订货策略 $(s, S)$ 和商品的需求分布以及零售商的所有信息,分别估计了信息共享给供应商在订货容量限制情况下带来的好处.文献[23]则给出非平稳需求的连续系统中信息共享对供应商收益的影响,结果表明当需求信息高度相关时,信息共享的价值非常大.

买卖双方成本结构等信息也可以共享.文献[40,41]研究了当供应商知道需求和零售商的订货成本及库存保管成本的数量折扣问题.文献[42]在同样条件下得到供应商从不同的零售商的数量折扣中获利并且零售商也降低了成本的结论.

信息共享在有些时候并不总是有益的<sup>[31,38]</sup>,或者说信息共享的价值很小<sup>[35]</sup>,尤其对零售商来说<sup>[39]</sup>.

### 3.2 VMI

VMI或CRP(连续补充计划,continuous replenishment programs)是正在流行的敏捷物流合作关系协议,它也指直接补充库存.在VMI的协议下,供应商监视零售商的分销网络中的库存状况,确定库存补充时间和数量,而不是被动地响应零售商的订货.这样的协议对供应商和零售商是双方有益的.零售商减轻了监视库存、采购订货的负担,享受有保障的服务;供应商由于需求预测误差大大减少,降低了安全库存水平,减少了交货时间,节约了物流成本.

文献[43]讨论了美国食品行业实施EDI的业务流程再造(BPR)与渠道绩效之间的关系,通过实证分析认为,在食品工业中,VMI比纯粹使用EDI取得了更令人满意的成功.

文献[44]为供应商提出了一个整合的库存补充和交货计划模型.供应商采用 $(s, S)$ 策略补充其库存,基于时间的运输联合策略发送顾客的订货.在这些假设下,对随机需求情况计算最优补充数量和发货频率,目的是在满足以时间为基础的需求时,极小化采购、运输、库存保管和等待成本的总和.

文献[21]在需求预测中用VMI计划减轻牛鞭效应的负面影响,得出了有趣的结果:实施VMI计划以前,供应商的预测误差高于零售商的预测误差,VMI将有效地降低供应商的安全库存;买卖双方所采用的预测方法决定了在减少安全库存成

本和资源浪费方面的VMI效果;在一般的平稳和非平稳需求下,VMI是有效的,尽管少数场合VMI的优势会大大降低.

### 3.3 采购承诺和数量柔性

传统库存理论中,买方可以在任何时候以任何数量向卖方发出订单.如果买方在不确定的需求下采用 $(s, S)$ 订货策略,在某段时间内向卖方订购大量货物,在另一段时间内可能没有任何的订货.这是导致牛鞭效应的原因之一.

为了解决这个问题,一些学者提出在订立契约时采用采购承诺或数量柔性的条款,在契约执行的开始卖方事先承诺购买一定数量或某一范围的数量的货物,买方则提供一定的优惠条件.其目的是买卖双方共同承担风险或共同分享利益,促使买方认真预测需求和计划订货数量.主要从3个方面研究:买方的行为,如需求预测和采购数量;卖方的行为,如能够提供的订货数量;双方利益或成本的变化.由于供方的问题更为复杂,因此大多数文献只从买方的视角来研究采购承诺和数量柔性.

最先研究这类契约的是文献[45],它和文献[46]都考虑在需求不确定的情况下,买方在周期 $i$ 的初始对以后的某个周期 $t$ 的订货数量做出承诺,随着实际需求信息的逐渐积累,买方可以在每个周期的开始,动态地调节所承诺的数量,调节的数量是用启发式算法得到的.文献[47]则研究在有限个周期的计划期内,买方承诺的最小采购总量问题.

其实,这些契约在许多情况下是很简单的,如EOQ框架下<sup>[48]</sup>或单周期的报童问题<sup>[49]</sup>.

文献[50]提出了数量柔性契约的变形——“备货协议”(backup agreements),协议的参数是 $(b, c)$ .在销售季节前,买方承诺购买数量为 $b$ 来准备整个季节的销售,并以价格 $c$ 立刻收到了数量 $(1-b)$ ,当观察了销售数据一两周后,用贝叶斯方法更新总需求的分布函数,买方应该订购剩下的数量 $b$ ,并会马上收到订货.如果没有订货,买方则受到罚金为 $b$ 的惩罚.

文献[51]建立了买卖双方的激励模型,对即将到来的销售季节,买方首先估计采购数量,卖方承诺生产,最后买方根据随机需求的更新信息作出实际的订货策略,但不能低于最初承诺数量的某个百

分比,否则会受惩罚.选择适当的单价后,该契约结构表明,通过分配市场需求不确定所引起的成本,把买供双方的个别利益整合成系统最优的结果.文献[52]考虑在多级库存中具有滚动期(rolling horizon)的数量柔性契约,其需求是不稳定的,但信息能更新.在周期 $t$ ,买方向供方提供本期的实际采购数量,以及未来 $j$ 个周期的估计订货数量等数据.模拟结果表明,该契约能阻止整个链中订货变化的扩散,潜在地抑制牛鞭效应.

### 3.4 其它方法

1) 缩短提前期的快速响应(quick response, QR).就是买方对市场的需求做出快速响应,这尤其适合服装等季节性销售的商品<sup>[53]</sup>.只要收集到相关商品销售的信息就能降低预测的误差,当提前期减少4~6个月时,预测误差可减少20%~40%.在需求不确定的情况下,缩短交货期是一种很好的解决办法<sup>[19,27]</sup>.

2) 日见其效益的第三方物流<sup>[1,54]</sup>.主要思想是第三方物流的提供商允许若干零售商利用他的仓库作为其货物的集散地,在这里产生规模经济,由他向制造商订货并统一配送.

3) 对于价格波动来说,解决的办法是制造商保持产品价格的稳定,实行“天天低价”(EDLP)策略<sup>[1]</sup>.

4) 在某些条件下,由于供应商生产能力的限制,导致零售商的分配博弈问题.因此,多个供应商的供货可以降低供应的变化<sup>[55,56]</sup>.

## 4 结束语

为了减轻或消除牛鞭效应,提出了不同的营销、运作方法,如数量折扣、VMI、采购承诺、数量柔性、QR和第三方物流等,但不管采用什么方法,最根本的是供应链成员间必须实现信息共享,而信息共享在具体的运作中很难实施.

一般,供应链各成员都有属于自己的私有信息.为了解决牛鞭效应,要求下游企业向上游企业提供原本属于自己的私有信息.这会给上游企业带来额外的收益,增加他们在供应链内部的权威,也削弱了下游企业的权威,使之在与上游企业的谈判中处于明显的不利地位而失去竞争优势.有理论证明,信息共享可以增加供应链的整体绩效,但并不是所有的企业都能从中得到更多好处.另外,链中所有的企业都可能担心这些私有信息会泄露给自己的竞争对手.

因此,信息共享尽管对供应链中各种因素的协调起着重要的作用,能很好地帮助链中成员制定各种决策,提高供应链绩效,但由于上述的诸多原因而使链中成员不愿意实施.

(1) 各成员利益目标的协调机制.通过企业之间的相互信任建立有效的合作与伙伴关系,使各成员的利益目标协调起来.但这种信任难以获得,因此需要采用强制的方法,如订立契约或股权互换等等,这些方法在具体运作时非常复杂.

(2) 各成员利益的再分配机制.实行信息共享以后,链中成员的效益可能会有不同程度的增加,或者有的增加有的减少,但在一般情况下供应链的绩效会有所提高,这就出现了信息共享后的利益再分配即如何分配问题.

(3) 信息的传送技术及其对各成员利益的影响.信息的传送是信息共享的前提,EDI技术,互联网的诞生和电子商务的应用使信息的传递很方便迅捷,但其中存在系统平台的开发或购买,设备费用以及传送数据的格式兼容等问题,往往都是权威较大的企业主导着权威较小的企业.

如果信息不能共享,那就存在信息不对称或信息不完全问题<sup>[57]</sup>,这是牛鞭效应最重要的起因之一.在不对称信息情况下如何提高供应链的绩效,减轻牛鞭效应也是供应链管理的研究方向.

总之,信息共享或信息如何共享是当前供应链管理面临的重大挑战.

### 参考文献:

- [1] Lee H, Padmanabhan V, Whang S. Information distortion in a supply chain: The bullwhip effect [J]. *Management Science*, 1997, 43: 546—558
- [2] Senge P M. *The Fifth Discipline* [M]. New York: Doubleday, 1990
- [3] 陈安,刘鲁.供应链管理问题的研究现状及挑战[J]. *系统工程学报*, 2000, (2): 179—186

- [4]沈厚才,陶青,陈玉煜. 供应链管理理论与方法[J]. 中国管理科学, 2000, (1): 1—9
- [5]Forrester J. Industrial Dynamic [M]. New York: MIT Press and Wiley & Sons, Inc. 1961
- [6]Blanchard O J. The production and inventory behavior of the American automobile industry [J]. J Political Economy, 1983, 91(3): 365—400
- [7]West K D. A variance bounds test of the linear quadratic inventory model [J]. J Political Economy, 1986, 94(4): 374—401
- [8]Blinder A S. Can the production smoothing model of inventory behavior be saved? [J]. Quarterly Journal of Economics, 1986, 101(3): 431—454
- [9]Krane S D, Braun S N. Production smoothing evidence from physical product data [J]. J Political Economy, 1991, 99(3): 558—581
- [10]Serman J D. Modeling managerial behavior: Misperceptions of feedback in a dynamic decision making experiment [J]. Management Science, 1989, 35: 321—339
- [11]Serman J D. The beer distribution game[A]. In Heike J, Meile L, eds. Games and Exercises for Operations Management [M]. New Jersey: Prentice Hall, 1995. 101—112
- [12]Senge P M, Serman J D. System thinking and organizational learning: Acting locally and thinking globally in the organization of the future [J]. European Journal of Operational Research, 1992, 59(3): 137—145
- [13]Towill R D. Industrial dynamics modeling of supply chains [J]. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 1996, 26(2): 23—41
- [14]Mettters R. Quantify the bullwhip effect in the supply chains [J]. Journal of Operations Management, 1997, 15: 89—100
- [15]Blinder A S. Retail inventory investment and business fluctuations [J]. Brookings Papers on Economic Activity, 1981, (2): 433—505
- [16]Caplin A S. The variability of aggregate demand with  $(s, S)$  inventory policies [J]. Econometrica, 1985, 53: 1359—1409
- [17]Keller P, Miline A. The effect of  $(s, S)$  ordering police on the supply chain [J]. Int J Production Economics, 1999, 59: 113—122
- [18]Baganha M P, Cohen M A. The stabilizing effect of inventory in supply chains [J]. Operations Research, 1998, 46: S72—S83
- [19]Cachon G P. Managing supply chain demand variability with scheduled ordering policies [J]. Management Science, 1999, 45: 843—856
- [20]Kahn J. Inventory and the volatility of production [J]. American Economic Review, 1987, 77(4): 667—779
- [21]Xu K, Dong Y. Vendor Managed Inventory: Towards a Better Coordination of Information in a Supply Chain [R]. ICM98-Shanghai, 1998
- [22]Chen F, Drezner Z, Ryan J K, David Simchi-Levi. Quantifying the bullwhip effect in a simple supply chain: The impact of forecasting, lead times, and information [J]. Management Science, 2000, 46: 436—443
- [23]Lee H, So Kut C, Tang Christopher S. The value of information sharing in a two-level supply chain [J]. Management Science, 2000, 46: 626—643
- [24]Graves S C. A single-item inventory model for a nonstationary demand process [J]. Manufacturing & Service Operation Management, 1999, (1): 50—61
- [25]Naish H F. Production smoothing in the linear quadratic inventory model [J]. Quarterly Journal of Economics, 1994, 125(4): 864—875
- [26]Eichenbaum M S. Some empirical evidence on the production level and production cost smoothing models of inventory investment [J]. American Economic Review, 1989, 79(4): 853—864
- [27]Lee H, Padmanabhan V, Whang S. The bullwhip effect in supply chains [J]. Sloan Management Rev, 1997, 38: 93—102
- [28]Blackburn J D. The quick response movement in the apparel industry: A case study in time-compressing supply chain[A]. In Time-Based Competition: The Next Battleground in American Manufacturing [C]. Illinois: Homewood, 1991. 78—81
- [29]Axsater S. Optimizing of order-up-to-S policies in two-echelon inventory systems with periodic review [J]. Naval Res Logistics, 1993, 40: 245—253
- [30]Nahmias S, Smith S A. Optimizing inventory levels in a two-echelon retailer system with partial lost sales [J]. Management Science, 1994, 40: 582—560

- [31] Graves S C. A multi-echelon inventory model with fixed replenishment intervals [J]. *Management Science*, 1996, 42: 1—18
- [32] Erkip N, Hausman V H, Nahmias S. Optimal centralized ordering policies in multi-echelon inventory systems with correlated demands [J]. *Management Science*, 1992, 36: 381—392
- [33] Gullu R. A two-echelon allocation model and the value of information under correlated and demands [J]. *European Journal of Operational Research*, 1997, 99: 386—400
- [34] Chen F, Zheng Yu-sheng. One-warehouse multi-retailer systems with centralized stock information [J]. *Operations Research*, 1997, 45: 275—287
- [35] Chen F. Echelon reorder points, installation reorder points, and the value of centralized demand information [J]. *Management Science*, 1998, 44: S221—S234
- [36] Axsater S, Zhang Wen-fa. A joint replenishment policy for multi-echelon inventory control [J]. *Int J Production Economics*, 1999, 59: 243—250
- [37] Bourland K, Powell S, Pyke D. Exploiting timely demand information to reduce inventories [J]. *European Journal of Operational Research*, 1996, 92: 239—253
- [38] Cachon G P, Fisher M. Supply chain inventory management and the value of shared information [J]. *Management Science*, 2000, 46: 1032—1048
- [39] Gavrieni S, Kapuscinski R, Tayur S. Value of information in capacitated supply chains [J]. *Management Science*, 1999, 45: 16—24
- [40] Dada M, Srikanth K N. Pricing policies for quantity discounts [J]. *Management Science*, 1987, 33: 1247—1452
- [41] Parlar M, Wang Q. Discounting decisions in a supplier-buyer relationship with a linear buyer's demand [J]. *IIE Transaction*, 1994, 26: 34—41
- [42] Wang Qinan, Wu Zhang. Improving a supplier's quantity discount gain from many different buyers [J]. *IIE Transaction*, 2000, 32: 1071—1079
- [43] Clark T, Hammond J. Reengineering channel reordering processes to improve total supply chain performance [J]. *Production and Operation Management*, 1997, (6): 248—265
- [44] Cetinkaya S, Lee Chung-ye. Stock replenishment and shipment scheduling for vendor-managed inventory systems [J]. *Management Science*, 2000, 46: 217—232
- [45] Anupindi R. *Supply Management Under Uncertainty*[D]. Graduate School of Industrial Administration, Carnegie Mellon University, 1993
- [46] Bassok Y, Bixby A, Srinivasan R, *et al.* Design of component-supply contract with commitment-revision flexibility [J]. *IBM J Res Develop*, 1997, 41: 693—702
- [47] Bassok Y, Anupindi R. Analysis of supply contracts with total minimum commitment [J]. *IIE Transaction*, 1997, 29: 373—381
- [48] Nahmias S. *Production and Operations Analysis* [M]. Illinois: Homewood, 1997
- [49] Portues E L. Stochastic inventory theory[A]. In *Handbook in Operations Research and Management Science* (Vol. 2) [C]. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B V, 1990. 605—652
- [50] Eppen G D, Iyer A V. Backup agreements in fashion buying—the value of upstream flexibility [J]. *Management Science*, 1997, 43: 1469—1484
- [51] Tsay A A. The quantity flexibility contract and supplier-customer incentives [J]. *Management Science*, 1999, 45: 1339—1358
- [52] Tsay A A, Lovejoy W S. Quantity flexibility contracts and supply chain performance [J]. *Manufacturing & Service Operations Management*, 1999, (1): 89—111
- [53] Iyer A, Bergen M E. Quick response in manufacturer-retailer channels [J]. *Management Science*, 1997, 43: 559—570
- [54] Cormier G, Gunn E A. A review of warehouse models [J]. *European Journal of Operational Research*, 1992, 58: 3—13
- [55] Janssen F, Ton de Kok. A two-supplier inventory model [J]. *Int J Production Economics*, 1999, 59: 395—403
- [56] Sedarage D, Okitsugu Fujiwara, Huynh Trung Luong. Determining optimal order splitting and reorder level for N-supplier inventory systems [J]. *European Journal of Operational Research*, 1999, 116: 389—404
- [57] Corbett C J, Groote X De. A supplier's optimal quantity discount policy under asymmetric information [J]. *Management Science*, 2000, 46: 444—450

## Study on bull whip effect in supply chain

DA Qing-li<sup>1</sup>, ZHANG Qin<sup>1</sup>, SHEN Hou-cai<sup>2</sup>

1. School of Economic and Management, Southeast University, Nanjing 210096, China;

2. Graduate School of Management Science and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210093, China

**Abstract:** The bullwhip effect badly affects the enterprises even whole country. It has been being noted and studied for many years, and have not been cognized more clearly until the recent year. This paper argues its phenomenon, causes and countermeasures of elimination or mitigation based on some literatures, and points out the future research directions on the effect.

**Key Word:** supply chain; bullwhip effect; demand; inventory; information sharing

---

(上接第70页)

[8]高自友等. 城市交通连续平衡网络设计——理论与方法[M]. 北京:中国铁道出版社, 2000

[9]高自友,孙会君. 现代物流与交通运输系统[M]. 北京:人民交通出版社, 2003

[10]王迎军,高峻峻. 供应链分销系统优化及仿真[J]. 管理科学学报, 2002, 5(5): 79—84

[11]翟恩东,汪定伟. 考虑库存分配的多年度二级分销网络优化模型[J]. 东北大学学报, 2001, 22(2): 175—178

[12]赵晓煜,汪定伟. 供应链中二级分销网络的优化设计模型[J]. 管理科学学报, 2001, 4(4): 22—26

## Bi-level optimization model for distribution system of supply chain

SUN Hui-jun, GAO Zi-you

School of Traffic and Transportation, Northern Jiaotong University, Beijing 100044, China

**Abstract:** Distribution channel decision is one of the most important decision in supply chain management, because it has direct effect on other marketing decisions. From the point of integration of the supply chain, a bi-level programming model is proposed to describe the two-echelon distribution network design problem, which considers the benefits both the network design departments and the customers. It also develops a new heuristic algorithm to solve the model, and at the same time a numerical example is given to illustrate the application of the model and its algorithm.

**Key words:** supply chain; distribution system; bi-level programming; heuristic algorithm