

# 供应链中的“牛鞭效应”研究综述

田立平, 孙群 (北京物资学院信息学院, 北京 101149)

**摘要** 社会经济的发展、市场需求的波动及供应链自身的发展演进, 增加了企业生产运作中的不确定性, 给供应链管理带来了巨大挑战。而作为供应链系统运作低效的主要表现之一的“牛鞭效应”, 成为供应链管理研究的焦点。该研究对供应链中“牛鞭效应”问题的研究现状进行了分析和总结。首先, 说明了供应链中普遍存在的“牛鞭效应”问题对供应链的危害性; 其次, 对影响“牛鞭效应”的因素进行了分析, 并建立模型进行量化; 最后, 分别从传统模式下和电子商务模式下 2 个角度分析了减弱“牛鞭效应”的方法, 并对未来供应链“牛鞭效应”问题的研究进行了展望和预测。

**关键词** 供应链; 牛鞭效应; 电子商务; 控制算法

**中图分类号** S-9; F252 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)31-12504-03

## Research on the Bullwhip Effect in the Supply Chain

TIAN Li-ping et al (Information School of Beijing Wuzi University, Beijing 101149)

**Abstract** Social and economic development, market demand fluctuation and supply chain itself processing, increase the uncertainty in production and operation of enterprises, and brought enormous challenges for supply chain management. As one of the main manifestations of low operation in supply chain system, bullwhip effect, has become the focus of the supply chain management theory research. The present situation of research on the bullwhip effect in the supply chain problems were analyzed and summarized. First of all, the bullwhip effect and its damage in the supply chain were elaborated; secondly, the influence factors on the bullwhip effect were analyzed, and the model was established to quantify; finally, from two perspectives of traditional mode and electronic commerce mode, method to decrease the bullwhip effect was analyzed, and bullwhip effect in future supply chain was forecasted and predicted.

**Key words** Supply chain; Bullwhip effect; Electronic commerce; Control algorithm

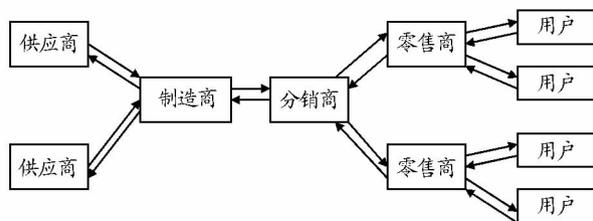
“牛鞭效应”是指供应链中零售商对顾客的销售量与向供应商的订货量不一致的现象<sup>[1]</sup>。这一现象会导致向供应商订货的订货量的方差大于销售给买方的。“牛鞭效应”会导致产品库存的积压或短缺等一系列现象。具体来说, 由于较差的需求预测, 制造商支付了超额的原材料成本或产生原材料短缺, 额外的制造费用、加班费等以及高库存水平导致的超额仓储费用及大量的资金积压、高额的运输成本等, 都大大降低了企业的效益。“牛鞭效应”是供应链中的需求波动放大现象, 它是供应链中最为重要的性能指标, 也是供应链中最为重要的绩效指标。

因此, 认识和进一步减弱“牛鞭效应”对整个供应链的效率的提高具有十分重要的意义。笔者首先对“牛鞭效应”的影响因素进行分析, 并对影响因素下的“牛鞭效应”进行量化, 得到相关分析模型; 然后从传统模式和电子商务模式 2 个方面介绍减弱“牛鞭效应”的方法。

## 1 “牛鞭效应”的影响因素及量化模型

**1.1 “牛鞭效应”简介** 在一个由多级参与者组成的供应链中, 如由制造商、分销商、零售商及最终用户组成的网链结构供应链(图 1), 由于信息发生歪曲, 需求信息在从最终用户开始沿着供应链向零售商、分销商乃至原料供应商的传递过程中出现了逐级放大的现象, 也即零售商向分销商发出的订单需求大于最终用户的实际需求, 分销商向制造商发出的订单需求大于零售商的订单需求, 以此类推, 导致上游节点的需求波动程度大于下游节点的需求波动程度, 这就是所谓的

“牛鞭效应”<sup>[2-3]</sup>。



注: 向右流向为物流, 向左为信息流。

图 1 供应链结构

**1.2 “牛鞭效应”的影响因素** 对“牛鞭效应”做出比较全面系统分析的是 Hau. L. Lee, 他认为“牛鞭效应”是供应链成员战略性行为相互影响的产物, 并指出了“牛鞭效应”的 4 个主要来源: 需求信号的处理、限量供应引起的短期博弈、批量订购方式、价格变动。他认为这 4 个原因是普遍的, 也是合理的。因为零售商时常用需求实现作为未来需求的信号; 批量订货是零售买方决定过程的常规部分, 因为这样可以实现定价和运输上的经济性; 限量供应是当在产品市场上需求超过供给、在产品生命周期的增长阶段是普遍存在的; 而价格促销在市场份额战中、在成熟产品的分类中也是区域性存在的<sup>[4]</sup>。之后关于“牛鞭效应”的影响因素的研究大多数是围绕以上 4 个因素展开的。万杰等研究了在限量供应情况下不同的分配机制对“牛鞭效应”的影响。他根据是否产生“牛鞭效应”将分配机制划分为 2 大类——鼓励-响应直接机制和激励-扩大机制, 证明和量化了激励-扩大机制中的线性分配机制对“牛鞭效应”的放大作用<sup>[5]</sup>。刘红等研究需求信号的不同处理方式对“牛鞭效应”的影响。在市场消费需求为 AR(1) 自相关过程的基础上, 采用订货点库存策略, 将移动平均、一次指数平滑预测技术和均方误差优化预测技术产

**基金项目** 北京市教委科技面上项目(SQKM201210037001); 北京市教师队伍建设——教学名师项目。

**作者简介** 田立平(1963-), 男, 河北唐山人, 教授, 硕士生导师, 从事模型分析与参数估计研究。

**收稿日期** 2013-09-06

生的“牛鞭效应”进行量化和仿真,分析了不同预测技术对“牛鞭效应”的影响<sup>[6]</sup>。章魏等考虑多产品市场需求的自相关性和互相关性对“牛鞭效应”的影响。当零售商面临的需求平稳时,若零售商采用简单移动平均法预测需求,证明了供应链中“牛鞭效应”的存在性,并采用了间隔需求预测法减弱了“牛鞭效应”<sup>[7]</sup>。丁胡送等采用 AR(1) 自回归模型表示市场需求,市场需求的预测采用一次指数平滑法,市场预测需求即为计划订货量,而实际订货量还与生产能力有关。将生产能力假设为随机变量,分为正态分布、指数分布、 $\beta$  分布等,并在正态分布下,当生产能力发生变异性即方差变化时,证明了“牛鞭效应”的存在<sup>[8]</sup>。

还有一些因素会减弱“牛鞭效应”。马云高等考虑需求依赖价格的需求函数模型,分析价格波动下消费者的预测行为对“牛鞭效应”及零售商库存的影响。消费者的预测行为是指考虑相邻 2 个时期的价格,近期价格高于上期,消费者认为价格会继续上涨,所以仍然会购买产品的现象。研究发现,消费者预测行为的存在有助于减小“牛鞭效应”和库存<sup>[9]</sup>。李文立等研究基于零售商-分销商二级供应链视角,当零售商的需求是线性自回归模式时,分销商利用历史订单数据和现有订单数据进行预测时,自身库存成本及整个供应链“牛鞭效应”减弱<sup>[10]</sup>。何毅等指出零售商采用  $(s, S)$  订货策略和移动平均预测技术,定量研究逆向物流中直接再利用产品对供应链中“牛鞭效应”的影响。研究结论表明,逆向物流管理不仅能够削弱供应链中的“牛鞭效应”,而且这种削弱作用会随着产品回收率的提高而增强<sup>[11]</sup>。Li Chen 等认为影响“牛鞭效应”的因素主要是有限的容量、批量订货、季节性,系统的各级容量有限会减弱“牛鞭效应”,季节性也会掩盖“牛鞭效应”,时间聚集、产品或地区聚集也会掩盖“牛鞭效应”<sup>[12]</sup>。

**1.3 “牛鞭效应”量化模型** “牛鞭效应”的量化模型主要分为“牛鞭效应”影响因素量化模型和“牛鞭效应”控制策略模型。

**1.3.1 “牛鞭效应”影响因素量化模型。**考虑一个简单的两级供应链系统,有一个零售商和一个生产商组成,他们只交易一种产品,双方的行为发生在一个无限离散的时间范围内,在  $t$  期末,零售商根据过去的销售数据,采用一定预测技术向生产商发出订单,假定补货备货期为常量  $l$ ,则零售商在  $(t+l+1)$  期初收到货物。

假设零售商面对的市场需求  $D_t$  为一个简单的 AR(1) 自相关过程:

$$D_t = \mu + \rho D_{t-1} + \zeta_t \quad (1)$$

式中,  $\mu$  为非负常量;  $\rho$  为自相关系数,且  $|\rho| \leq 1$ ;  $\zeta_t$  为独立同分布的随机变量,均值为 0,方差是  $\sigma^2$ 。

由(1)式容易得到:

$$E(D_t) = \frac{\mu}{1-\rho} \quad (2)$$

$$\text{Var}(D_t) = \frac{\sigma^2}{1-\rho^2} \quad (3)$$

设零售商采用某种需求预测技术来预测市场需求,设市场需求为  $\hat{d}_t$ ,则  $t$  期开始  $l$  期内的真实市场需求:

$$\hat{D}_t^l = l \hat{d}_t \quad (4)$$

采用订货点法来计算库存最高水平  $S_t$  及向生产商的订货量  $q_t$ ,即:

$$S_t = \hat{D}_t^l + z\hat{\sigma}_t^l \quad (5)$$

$$q_t = S_t - S_{t-1} + D_t \quad (6)$$

式中,  $z\hat{\sigma}_t^l$  为零售商  $l$  期内的安全库存;  $z$  表示服务水平;  $\hat{\sigma}_t^l$  是  $l$  期内预测需求的标准差的估计值,“牛鞭效应”就可以归结为在不同的需求预测技术下,不同的因素影响下的  $\text{Var}(q_t)/\text{Var}(D_t)$ 。

**1.3.2 “牛鞭效应”的控制策略模型。**“牛鞭效应”的控制策略模型多是从系统动力学及随机控制理论等角度入手,采用系统论、控制论的方法,在需求波动很大的条件下,使库存或订货波动尽可能减小,从而使“牛鞭效应”得到有效的控制。当前研究中“牛鞭效应”的控制策略多从这几个角度入手。

## 2 减弱“牛鞭效应”的方法

**2.1 传统模式下减弱“牛鞭效应”的方法** 卢震等对供应链中的不确定需求产生的“牛鞭效应”进行了随机控制,把顾客的不确定需求看成“噪声”,为使随机扰动下“牛鞭效应”尽可能减弱,求解问题时采用卡尔曼滤波器对其进行控制<sup>[13]</sup>。李翀等从供应链系统的角度研究“牛鞭效应”,运用系统动力学及系统稳定性理论分析,在信息共享受限条件下即库存状态信息及订单补偿量信息的可获得性不确定时的“牛鞭效应”抑制机制<sup>[14]</sup>。他们还考虑需求、生产能力、供应链结构等内外不确定性因素和供应链系统运作延迟,构建了不确定环境下含时滞的供应链库存网络系统状态转移模型,并在一定经济性能指标的基础上通过求解线性矩阵不等式对“牛鞭效应”进行了抑制<sup>[15]</sup>。另外,他们还基于供应链网络库存状态的内部系统动力学机制,构建了库存系统的状态转移模型,并引入时滞因素,通过供应链网络系统的波动状态描述“牛鞭效应”。在此模型的基础上,提出了一类新的基于库存波动状态的动态供应链库存控制策略,有效地抑制了“牛鞭效应”<sup>[16]</sup>。王道平等针对具有区间灰色特征的随机动态供应链系统,以线性时不变系统作为研究基础,提出使用马尔可夫算法解决供应链系统随机线性跳变的“鲁棒性”问题,获取了判定随机动态供应链系统“鲁棒性”的一个有效度量指标<sup>[17]</sup>。Matloub Hussain 等采用田口实验设计和系统动态仿真来量化供应链设计参数的影响,包括建立供应链仿真模型、介绍设计参数对库存水平和订购量的动态性影响、探索设计参数的变化和参数之间的交互对“牛鞭效应”测量的影响,最后得出生产或运输的延迟、调整库存的时间的降低对减弱“牛鞭效应”有重要作用<sup>[18]</sup>。近几年,随着供应链企业之间合作的加深, VMI(供应商管理库存)及 CPFR(协同规划预测与补给)等补货方式的采用也被证明是减弱“牛鞭效应”的有利方式<sup>[19]</sup>。

**2.2 电子商务模式下减弱“牛鞭效应”的方法** 网络营销

系统中的“牛鞭效应”是下游企业的需求信息在向上游企业传递时产生的放大现象,这是因为整个系统需求信息的非共享性及每个实体所拥有的信息的不完全性,造成失真的需求预测及相关信息在逐级传播过程中被放大,这种现象对离最终客户最远的企业成员影响最大,使网络营销系统不能有效地运作,即信息的失真与放大<sup>[20]</sup>。

实现信息及时共享是减弱“牛鞭效应”的主要方法之一。通过实施电子商务,企业提高了信息的集成度,从而能有效地共享相关信息并且增强了需求信息的透明度,这就大大降低了“牛鞭效应”对企业的影响,并能够及时有效地反映消费者需求,为企业赢得更多的客户创造了有利条件<sup>[21]</sup>。电子商务模式下减弱“牛鞭效应”的方法主要有以下几点。

**2.2.1 协调企业利益目标。**为协调电子商务网络内部企业的利益目标,一个可行的方法是企业间的合作,建立类似于联盟的伙伴关系,这也是完善电子商务网络内部信息和决策结构促使信息一体化的一种有效途径。

**2.2.2 信息一体化。**应保证电子商务网络内部企业之间广泛而及时的信息交流,包括生产商的生产成本、产量以及库存信息、零售商的销售成本、实际销售以及库存信息、生产商和零售商对不确定市场未来需求的预测等,在B2B模式下,建立起能使企业获取详尽的最终用户需求信息的信息共享机制。

**2.2.3 需求预测。**需求预测水平对电子商务网络整体至关重要,需求的水平和需求的时间极大地影响了生产能力、库存量及销售量。这就需要加强对市场需求的预测,通过电子商务网络营销系统中企业间的信息沟通与共享,了解最终客户的真实需求,保持合理库存,实施系统中虚拟库存等,建立起与市场不确定性需求相对应的库存策略<sup>[20]</sup>。包晓英等认为通过建立市场部电子商务平台(图2),拓展核心企业的市场部职能,加强市场部的信息获取能力,从而深入到中间商的作业范围内部获得顾客的真实需求信息,以确定中间商订单,从而减弱“牛鞭效应”<sup>[22]</sup>。



注:实线表示信息的流向;虚线为虚拟的,可以不存在。

图2 应用市场部电子商务平台后的供应链模型

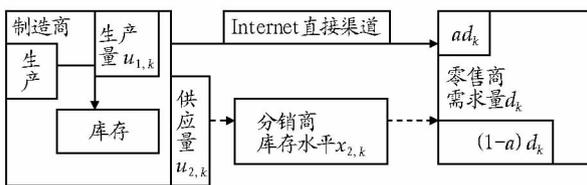


图3 电子市场环境下的双源渠道系统

以上学者均对电子商务模式下减弱“牛鞭效应”的方法进行了定性研究,同时,也有学者对电子商务模式下“牛鞭效应”的控制进行了定量研究。黄小原等研究了具有单个分销中心和多个客户的单一产品的电子商务系统,建立了动态系

统模型,在客户层最差需求波动条件下,应用 $H_{\infty}$ 控制理论方法,设计了以订货作为控制变量和抑制“牛鞭效应”的 $H_{\infty}$ 控制策略。并以一个石化企业的电子商务网站为对象,进行了仿真实验,结果表明电子商务系统的“牛鞭效应”得到了抑制<sup>[23]</sup>。王静等研究电子商务环境下网络营销系统的“牛鞭效应”控制问题,建立了具有分销中心和多个客户的动态系统模型。同样应用 $H_{\infty}$ 控制理论方法,得到了抑制“牛鞭效应” $H_{\infty}$ 控制策略,并以钢铁企业的电子商务网站为对象,进行了仿真实验,结果表明电子商务环境下网络营销系统的“牛鞭效应”得到了抑制<sup>[24]</sup>。晏妮娜等建立了制造商直接通过Internet将产品传递给零售商的销售渠道及制造商通过分销商再传递给零售商的双源渠道(图3)。当双源渠道中低端需求剧烈波动,即最差外界扰动环境条件下,通过采用 $H_{\infty}$ 控制算法,选取最优的订货量使双源渠道的“牛鞭效应”降低到最低程度。最后,结合钢铁公司电子商务的实际情况进行了仿真计算,验证了 $H_{\infty}$ 控制算法对电子市场双源渠道牛鞭效应的抑制作用<sup>[25]</sup>。唐亮等通过构建由状态变量和控制变量描述的NM(网络化制造)模式下的动态供应链时变偏差系统模型,采用线性矩阵不等式方法获取 $H_{\infty}$ 鲁棒控制策略,并通过系统反馈控制器 $u_k$ 设计,有效减少客户不确定性需求引起的生产、订货和库存波动<sup>[26]</sup>。

### 3 结论

该研究从“牛鞭效应”的多个角度进行了分析。首先,给出了“牛鞭效应”出现的原因及危害性;其次,说明了“牛鞭效应”的影响因素,包括会导致“牛鞭效应”及减弱“牛鞭效应”的影响因素,并列出了“牛鞭效应”的一般量化模型;最后,对传统模式下及电子商务模式下的“牛鞭效应”的控制方法进行了总结。在实际生活中,VMI方式的采用、供应链合作伙伴之间订货量契约关系的建立、电子商务模式下企业信息共享程度的加深等都会对“牛鞭效应”起到一定的削弱作用,但必须认识到:在国内真正实现VMI的企业很少,电子商务的到来虽然会使企业合作加深,信息共享程度加大,但涉及到要使企业库存等非常私有的信息实现真正的共享,在现实的企业中还是不多见的。同时,随着供应链的发展,供应链中同质企业之间的竞争加剧,会进一步地给信息共享带来障碍,所以,要实现供应链中企业“牛鞭效应”的彻底消除,几乎是不可能的,现实中只能采用一些技术方法或合作方式尽量减弱“牛鞭效应”,从而使企业获得可能的最大利润。

### 参考文献

- [1] 达庆利,张钦,沈厚才.供应链中牛鞭效应问题研究[J].管理科学学报,2003,6(3):86-93.
- [2] 邵晓峰,季建华,黄培清.供应链中的牛鞭效应分析[J].东北大学学报:自然科学版,2001,27(4):119-124.
- [3] 黄小原,王静.供应链中的牛鞭效应问题研究进展:存在、量化、控制[J].信息与控制,2004,33(5):579-583.
- [4] LEE H P, PADMANABHAN V, WHANG S. The Bullwhip Effect[J]. Management Science, 1997, 50(12S): 1875-1886.
- [5] 万杰,李敏强,寇纪淞.供应链中分配机制对牛鞭效应的影响研究[J].系统工程学报,2002,17(4):340-348.
- [6] 刘红,王平.基于不同预测技术的供应链牛鞭效应分析[J].系统工程理论与实践,2007,1(7):26-33.

源,以适应环境可持续发展的经济活动与社会生活方式。

**4.2 将环境意识教育内化于专业教学中** 挖掘各学科教学内容与气候变化环境教育的最佳结合点与切入点,从不同角度增强环境意识。这需要各专业教师具备一定的环境意识,因此高校要定期组织环境专业教师和专家进行专题讲座。在高校构建一个环境意识培养的教育体系,营造各学科相互渗透、促进与结合的宽领域、广范围的教育氛围。在专业课程中,针对有争议的环境问题启发学生发表自己的观点,提出解决办法。环境专业是一个交叉性新学科,其发展也需要多学科的参与和技术理论的支撑。因此,在各专业中与环境问题切入点上激发学生的发散性思维,将有利于学生科研能力的培养。

**4.3 引导高校环保社团发展,塑造校园环境文明** 高校学生社团由有着共同兴趣爱好和具备相应专业知识的学生组成,应充分发挥社团的作用,建立环保社团与环境科学专业教师之间的联系,组织学生社团开展环境意识的调查及气候变化的系列宣传活动,编写气候变化相关知识的宣传册,建立气候变化的信息收集中心。通过提升大学生对气候变化的认识促使学生采取一些对环境友好的生活方式,走低碳校园发展道路。鼓励学生参加 NGO 组织,了解更多世界范围内环保 NGO 所关注的问题和实际行动,培养具有环境意识与环境文明的合格公民。同时把环境意识作为衡量大学生自身素质修养的重要标准,形成稳定的文化素养。

**4.4 开展环境保护的校外宣传与实践活动** 组织学生运用

所掌握的环境知识与环境问题的解决技能进入社区、中小学、乡村进行宣讲活动。在 1977 召开的政府间环境教育大会上就提出了“环境教育应密切教育过程与现实生活的联系,围绕特定社区所面临的环境问题开展活动”的建议。校外活动具有自然环境素材,在活动中将环境问题、气候变化问题、国际上政府间的气候大会讨论的问题、低碳内容与环境意义、节能减排生活方式进行宣传教育,既能提高学生的实际应用能力,又扩大了环境教育的受众,从而提高公众的环境意识。

#### 参考文献

- [1] ARRHENIUS S A. On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground[J]. Philosophical Magazine, 1896, 41: 237 - 276.
- [2] 庄贵阳,朱仙丽,赵行姝. 全球环境与气候治理[M]. 杭州:浙江人民出版社, 2009.
- [3] 温腾,徐德林,徐驰,等. 全球变化背景下的现代生态学——第六届现代学生生态讲座纪要[J]. 生态学报, 2012, 32(11): 3606 - 3612.
- [4] SCHLEGELMILCH B B, ARIZONA G, BOHLEN G M, et al. The link between green purchasing decisions and measures of environmental Consciousness[J]. European Journal of Marketing, 1996, 30(5): 37 - 39.
- [5] SIA A P, HUNGEORFDR H R, TOMERA A N. Selected Predictors of responsible environmental behavior an analysis[J]. The Journal of Environmental Education, 1985, 17(2): 31 - 40.
- [6] MAERINKOWSKI T J. Analysis of correlates and Predictors of responsible environmental behavior [J]. Dissertation Abstracts Internatinal, 1988, 24(5): 378 - 381.
- [7] Rosyahn Mckeown-Ice. Environmental Literacy[J]. Tennessee Conservationist, 1999, 65(2): 129 - 132
- [8] 洪大用. 公民环境意识的综合评判及抽样分析[J]. 科技导报, 1998(9): 13 - 16.
- [9] 章魏, 华中生. 多产品供应链的牛鞭效应及其减弱方法[J]. 系统工程学报, 2010, 25(4): 479 - 483.
- [10] 丁胡送, 徐晓燕. 生产能力变异性对供应链牛鞭效应的影响[J]. 系统管理学报, 2010, 19(2): 157 - 163.
- [11] 马云高, 王能民, 江能前, 等. 消费者预测行为对牛鞭效应和零售商库存的影响分析[J]. 运筹与管理, 2012, 21(5): 22 - 27.
- [12] 李文立, 王乐超. 历史订单信息对牛鞭效应的影响分析[J]. 运筹与管理, 2012, 21(1): 195 - 200.
- [13] 何毅, 刘志学. 逆向物流管理对供应链中牛鞭效应的影响分析[J]. 预测, 2007, 1(7): 59 - 63.
- [14] CHEN L, LEE H L. Bullwhip Effect Measurement and Its Implications [J]. Operations Research, 2012, 60(4): 771 - 784.
- [15] 卢震, 黄小原. 具有不确定性需求的供应链牛鞭效应的随机控制[J]. 东北大学学报: 自然科学版, 2003, 24(4): 393 - 396.
- [16] 李翀, 刘思峰. 信息共享受限条件下的供应链网络系统牛鞭效应控制策略[J]. 控制与决策, 2012, 27(12): 1787 - 1799.
- [17] 李翀, 刘思峰. 含时滞的不确定性供应链网络系统牛鞭效应控制策略及其经济性能分析[J]. 控制与决策, 2013, 28(1): 13 - 19.
- [18] 李翀, 刘思峰, 方志耕, 等. 供应链网络系统的牛鞭效应时滞因素分析与库存控制策略研究[J]. 中国管理科学, 2013, 21(2): 107 - 112.
- [19] 王道平, 张学龙, 赵相忠. 具有灰色随机动态特征的供应链牛鞭效应的鲁棒性分析[J]. 中国管理科学, 2013, 21(1): 57 - 61.
- [20] HUSSAIN M, DRAKE P R, LEE D M. Quantifying the impact of a supplychain's design parameters on the bullwhip effect using simulation and Taguchi design of experiments[J]. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 2012, 10(42): 947 - 968.
- [21] DISNEY S M, TOWILL D R. Vendor-managed inventory and bullwhip reduction in a two-level supply chain [J]. International Journal of Operations&Production Management, 2003, 6(23): 625 - 651.
- [22] 庄新田, 黄小原, 王晶. 传统产业实施电子商务营销的思考——东方钢铁电子商务有限公司网络营销绩效评价[J]. 管理世界, 2003(8): 127 - 135.
- [23] 张伟, 黄小原. 电子商务的发展对供应链集成的影响[J]. 东北大学学报: 社会科学版, 2003, 5(4): 263 - 265.
- [24] 包晓英, 周国华. 基于信息共享方式解决牛鞭效应的对策探讨[J]. 软科学, 2004, 18(2): 35 - 37.
- [25] 黄小原, 卢震, 吴红招. 电子商务系统牛鞭效应的  $H_{\infty}$  控制应用分析[J]. 控制工程, 2002, 9(5): 11 - 14.
- [26] 王静, 卢震, 黄小原, 等. 电子商务环境网络营销系统牛鞭效应的  $H_{\infty}$  控制[J]. 东北大学学报: 自然科学版, 2003, 24(3): 296 - 298.
- [27] 晏妮娜, 黄小原. 电子市场环境双源渠道模型及其牛鞭效应  $H_{\infty}$  控制[J]. 东北大学学报: 自然科学版, 2006, 27(5): 583 - 586.
- [28] 唐亮, 靖可.  $H_{\infty}$  鲁棒控制下动态供应链系统牛鞭效应优化[J]. 系统工程理论与实践, 2012, 32(1): 155 - 163.

(上接第 12506 页)