

本书由(沈阳理工大学学科建设处)国家自然科学基金(70702036)资助出版

牛鞭效应

——现象、危害、量化和控制

郭海峰 著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

本书由(沈阳理工大学学科建设处)资助出版
(国家自然科学基金(70702036))

牛鞭效应

——现象、危害、量化和控制

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书在综合分析国内外企业实践和综述国内外文献的基础上,分析了供应链系统中牛鞭效应现象及其危害,研究了供应链系统中牛鞭效应问题的形成机理和控制方法。从量化方法入手,重点分析介绍了牛鞭现象的统计学量化方法、控制工程量化方法、偏差量比值量化方法和范数量化方法,分别给出了各种方法的仿真算例,研究了牛鞭效应控制策略,并初步分析了逆向物流对牛鞭效应的影响分析。

本书的特色是以统计学和控制工程方法为主,探讨了牛鞭效应的多种量化方法和控制策略。本书可作为系统工程、管理科学与工程、物流、经济、计算机应用和控制理论与控制工程等专业本科生高年级和研究生层次物流与供应链管理的教学参考书,也可作为教师、咨询师和企业高层管理者的参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

牛鞭效应:现象、危害、量化和控制/郭海峰著. —北京:电子工业出版社, 2010.11

ISBN 978-7-121-12020-6

I. ①牛… II. ①郭… III. ①企业管理: 供销管理—研究 IV. ①F274

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 200255 号

策划编辑: 史 涛 徐蔷薇

责任编辑: 刘真平 文字编辑: 王凌燕

印 刷:

装 订: 北京中新伟业印刷有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1 092 1/32 印张: 6.25 字数: 135.2 千字

印 次: 2010 年 11 月第 1 次印刷

印 数: 2 000 册 定价: 29.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。
若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

前 言

牛鞭效应是供应链系统中以订单形式向上游传送的需求信息被扭曲的现象,并且这种扭曲将以放大的形式向供应链的上游传播,误导上游成员生产和库存决策。牛鞭效应广泛存在于供应链管理系统中。牛鞭效应是供应链结构中最为重要的性能指标,也是供应链运营中最为重要的绩效指标。牛鞭效应的存在会导致供应链中供应、制造、销售各个环节库存量和库存费用增加;导致物流减缓,使得分销中心库存冗余和制造商生产过量;导致运输和劳动效率降低。牛鞭效应问题研究的理论意义在于如何从供应链整体上设计减弱和控制牛鞭效应的策略,为实际供应链系统高效经济运行提供优化方案。

2004年,国际管理科学权威杂志《Management Science》对管理科学 50 年的科学进展进行广泛述评,牛鞭效应问题的研究和控制被认为是管理科学 50 年来最为重要的 10 项贡献之一。同年(2004),Lee 在《Management Science》邀请作为牛鞭效应的研究问题特约评论时指出,信息技术和网络通信技术的迅猛发展,对于改善供应链运作绩效、抑制牛鞭效应提供了新的运行环境;在这种新的信息环境中,一种技术是 Internet 的广泛使用,提供了电子商务环境,有利于信息共享,成为抑制牛鞭效应的关键因素。另一种技术是无线射频识别技术(RFID),更具挑战的则是近地轨道卫星(LEOS)监控与通信标签识别技术,这一技术将使物流信息更实时、

更精准、更远距离地传递和共享。即使这样，牛鞭效应也不能得以根本控制。因此，在新的信息和网络环境下，抑制牛鞭效应仍然是供应链以至 ERP、电子商务运作方面的重要理论和应用研究问题。

本书在综合分析国内外企业实践和综述国内外文献的基础之上，分析了供应链系统中牛鞭效应现象及其危害，研究了供应链系统中牛鞭效应问题形成机理和控制方法。所做的工作主要包括以下几个部分：

第一，供应链系统中牛鞭效应问题分析。深入分析了供应链系统中牛鞭效应的存在、牛鞭效应的成因与机理分析、牛鞭效应的量化方法、牛鞭效应研究的方法和框架等几个方面。重点分析了供应链系统中牛鞭效应问题的现象、危害、成因和常规控制方法等。

第二，牛鞭效应的统计学量化方法分析。介绍了 Chen 在 2000 年的工作，给出了牛鞭效应的统计学量化方法和相关参数分析；讨论了供应商管理库存的概念、实施的价值及与其他库存的关系，讨论了供应商管理库存供应链产生的必然性；采用统计方法分析了供应商管理库存供应链系统中的牛鞭效应；用运筹学的方法给出了供应商管理库存供应链系统运作的优化策略与分析；并结合某通信设备制造商企业的实际问题进行了仿真研究。

第三，牛鞭效应的控制工程量化方法分析。详细介绍了牛鞭效应量化的控制工程方法，包括传递函数方法、频率响应曲线方法和噪声带宽分析方法；给出了传统供应链系统和供应商管理库存供应链系统的离散传递函数；分析了库存和生产适应成本平衡，推导了库存状态方差与牛鞭效应的解析表达式；推导了一个基于滑动平均预测的供应商管理库存二

级供应链系统的离散传递函数, 分析了这一系统的动态性能; 仿真比较了两级的传统供应链系统和供应商管理库存供应链系统中的牛鞭效应并仿真。研究了通过调节系统控制器的参数来考察供应商管理库存供应链系统的稳定性及对牛鞭效应的影响, 仿真比较了传统供应链与供应商管理库存供应链的牛鞭效应的动态响应。

第四, 牛鞭效应的偏差量比值量化方法研究。考虑一个供应商、一个制造商、一个批发商和一个零售商组成的链式多级供应链系统, 并分别给出各节点企业的库存状态差分方程, 采用状态方程分别建立了包含供应链系统动态模型; 采用供应链系统输出的偏差量与输入的偏差量之比来描述牛鞭效应, 这里的输入一般为需求扰动, 而输入是各节点企业向上游发出的订货和生产偏差量之和或者订货和生产与库存偏差量之和; 在这个基础上, 给出了基于 Riccati 方程的牛鞭效应 H_∞ 控制策略; 应用仿真实验, 分析了链式多级供应链系统和多级时滞供应链系统的动态性和牛鞭效应; 建立了一个多层离散时间滞后的供应链系统模型, 这里的时滞不但包括面向顾客的订货交付时间延迟, 也包括供应链中包装、生产、原料供应等物流过程的时间滞后。

第五, 牛鞭效应的 l_2 范数量化方法研究。改进一般牛鞭效应量化方法, 提出以制造商的库存偏差与生产或订货偏差之和为控制输出、需求量扰动为输入的系统离散传递函数的 l_2 范数来描述系统牛鞭效应的最小上界, 建立具有供应链末端需求扰动的上游订货波动的扰动指标, 这是一种新的牛鞭效应量化标准。给出了采用线性矩阵不等式方法对这个系统牛鞭效应 H_∞ 控制策略的求解方法。给出了常规的链式供应链及供应链多层分销系统中牛鞭效应的 H_∞ 控制应用研究。

第六, 逆向物流对于牛鞭效应的影响分析。考虑存在无理由退货和再制造两种逆向物流的闭环供应链系统, 将消费者持有的已售出产品看做虚拟库存与制造商和销售商的实际产品库存一起考虑, 建立具有末端需求扰动的状态空间动态系统模型; 建立逆向物流供应链牛鞭效应的量化方法; 采用 Riccati 方程方法, 提出末端需求波动最差条件下 H_{∞} 控制方法, 以抑制牛鞭效应; 应用仿真实验, 比较正向物流和逆向物流对牛鞭效应的影响, 给出产品退货率和再制造率对逆向物流牛鞭效应的影响。

本书的内容是作者在攻读博士期间的主要工作, 是在导师指导下完成的, 同时也借鉴了各位师兄师姐的研究成果。书中在引用其他人的工作和著作时有明确的引用标示, 有些资料来自互联网, 这里对所有被采用资料的作者(包括匿名作者)表示感谢。

本书的出版得到了沈阳理工大学学科建设处的大力支持。此外本书的出版还是许多基金和研究项目的研究结论和应用成果, 这些项目包括国家自然科学基金资助项目(70702036)、沈阳理工大学博士启动基金、辽宁省教育厅基金项目、中国博士后科学基金面上资助(20080431163)等。

沈阳理工大学 郭海峰

目 录

第 1 章 引言	1
1.1 问题的提出	1
1.2 研究的背景与意义	2
1.2.1 牛鞭效应问题的研究背景	2
1.2.2 牛鞭效应问题的研究意义	6
1.3 本书的主要工作	8
第 2 章 文献回顾: 供应链管理与牛鞭效应问题	12
2.1 供应链管理	12
2.1.1 供应链管理的概念	13
2.1.2 供应链的结构模型	15
2.1.3 供应链的特征	16
2.1.4 供应链管理的原则和目标	17
2.1.5 供应链管理研究的主要问题 (相关讨论见 卢震博士毕业论文)	19
2.1.6 供应链管理理论分类框架	21
2.2 牛鞭效应问题	23
2.2.1 牛鞭效应的存在和原因	24
2.2.2 牛鞭效应的量化	29
2.2.3 牛鞭效应的减弱和控制	30

第 3 章 供应链系统中牛鞭效应问题	34
3.1 牛鞭效应的存在	34
3.1.1 牛鞭效应现象	34
3.1.2 牛鞭效应十大认识误区	35
3.1.3 牛鞭效应的影响	35
3.2 牛鞭效应的成因与机理分析	37
3.2.1 牛鞭效应的成因分析	37
3.2.2 牛鞭效应的机理分析	45
3.3 牛鞭效应的量化方法	47
3.3.1 牛鞭效应的统计分析量化方法	47
3.3.2 牛鞭效应的控制工程量化方法	48
3.4 牛鞭效应研究的方法和框架	49
3.4.1 牛鞭效应研究的方法	49
3.4.2 牛鞭效应研究的框架	51
3.5 抑制牛鞭效应的若干策略	56
3.5.1 加强信息共享	56
3.5.2 减小不确定性	58
3.5.3 协调企业利益目标	59
3.5.4 确定供应链的合理长度和宽度	61
3.6 小结	62
第 4 章 牛鞭效应的统计学量化方法分析	63
4.1 牛鞭效应的统计学量化方法	64
4.1.1 简单模型: 二级供应链	64
4.1.2 复杂模型: n 级供应链	66

4.1.3	相关参数的分析	66
4.2	供应商管理库存	67
4.2.1	供应商管理库存的概念	68
4.2.2	供应商管理库存供应链系统	70
4.2.3	供应商管理库存的实施价值	71
4.2.4	供应商管理库存与其他库存策略的关系	72
4.3	供应商管理库存供应链系统中牛鞭效应分析	74
4.3.1	供应商管理库存供应链系统的牛鞭效应	74
4.3.2	减少牛鞭效应的供应商管理库存策略分析	76
4.4	供应商管理库存供应链系统运作分析	77
4.4.1	供应链系统模型描述	78
4.4.2	供应商管理库存供应链系统优化策略与分析	81
4.4.3	算例	95
4.5	小结	98
第 5 章	牛鞭效应的控制工程量化方法分析	100
5.1	引言	100
5.2	牛鞭效应量化的控制工程方法	106
5.2.1	牛鞭效应的传递函数的推导	106
5.2.2	牛鞭效应和频率响应曲线之间的关系	108
5.2.3	牛鞭效应和噪声带宽之间的关系	110
5.3	供应链系统的传递函数描述	114
5.3.1	订货点策略	117
5.3.2	需求预测	117
5.3.3	生产目标与生产延迟	118

5.3.4	库存的策略	118
5.3.5	商品传输线的策略	119
5.3.6	传统供应链的传递函数描述	119
5.3.7	供应商管理库存供应链的传递函数描述	120
5.4	库存和生产适应成本平衡	123
5.4.1	库存和生产适应成本平衡	123
5.4.2	生产和库存控制系统的综述	125
5.4.3	Deziel 和 Eilon 变量的重要性	127
5.4.4	DE-APIOPBCS 的数学模型	128
5.4.5	牛鞭效应的解析结果	130
5.5	供应链系统的动态性能分析	132
5.5.1	供应商管理库存供应链系统的动态响应	132
5.5.2	供应商管理库存供应链系统的稳定性	133
5.5.3	供应商管理库存对牛鞭效应的影响	134
5.6	小结	139
第 6 章	牛鞭效应的偏差量比值量化方法研究	140
6.1	引言	140
6.2	一般供应链系统动态模型	142
6.3	牛鞭效应的偏差量比值量化方法	144
6.4	基于 Riccati 方程的牛鞭效应 H_{∞} 控制策略	146
6.4.1	供应链中牛鞭效应控制的目标函数	146
6.4.2	供应链系统牛鞭效应 H_{∞} 控制算法	147
6.5	案例仿真	148
6.5.1	模型一: 链式供应链系统	148

6.5.2 模型二: 供应链时滞系统	151
6.6 小结	157
第 7 章 牛鞭效应的 l_2 范数量化方法研究	159
7.1 引言	159
7.2 牛鞭效应的 l_2 范数量描述	160
7.3 基于 LMI 的牛鞭效应的 H_∞ 控制策略	161
7.4 案例仿真	163
7.4.1 模型一: 链式供应链系统	163
7.4.2 模型二: 供应链多层系统模型	163
7.5 小结	168
第 8 章 逆向物流对牛鞭效应的影响分析	170
8.1 引言	170
8.2 供应链系统的动态模型	172
8.2.1 逆向物流供应链模型	172
8.2.2 正向物流供应链模型	174
8.3 逆向物流对牛鞭效应的影响分析	174
8.4 小结	176
参考文献	178

第 1 章 引 言

1.1 问题的提出

1995 年,宝洁公司(P&G)在研究“尿不湿”的市场需求时发现,该产品的零售数量是相当稳定的,波动性并不大。但在考察分销中心向其订货情况时,吃惊地发现波动性明显增大了,其分销中心说,他们是根据汇总的销售商的订货需求量向其订货的。进一步研究后发现,零售商往往根据对历史销量及现实销售情况的预测,确定一个较客观的订货量,但为了保证这个订货量是及时可得的,并且能够适应顾客需求增量的变化,他们通常会将预测订货量作一定放大后向批发商订货,批发商出于同样的考虑,也会在汇总零售商订货量的基础上再作一定的放大后向销售中心订货。这样,虽然顾客需求量并没有大的波动,但经过零售商和批发商的订货放大后,订货量就一级一级地放大了。在考察向其供应商,如 3M 公司的订货情况时,也惊奇地发现订货的变化更大,而且越往供应链上游其订货偏差越大。由此推测,尽管最终产品的消费是稳定的,但原材料订单量大幅波动,不维持较高水平的库存,难以实现供应链内的供需平衡,这不但使得库存成本大幅增加,而且影响了供应链管理的敏捷性。

这种由零售商到批发商、制造商、供应商,订购量的波

动幅度不断加大的现象，形似一条美国西部牛仔所用的鞘细、根粗的鞭子，在挥动鞭子时手腕稍稍用力，鞭梢就会出现大幅度摆动的现象相类似。H. L. Lee 于 1997 年将这种现象称为牛鞭效应（Bullwhip Effect），认为订单在向上传递的过程中所传送的信息会被扭曲（Information Distortion），即发送给供应商的订货量的方差大于销售给买方的销售量的方差^[1,2]。如图 1.1 所示，这种扭曲以放大的形式向供应链的上游蔓延（方差变大），从而对上游供应链成员的生产和库存决策产生误导。除了宝洁公司，处于其他行业的惠普、通用、福特、克莱斯勒、康柏、IBM 等其他企业也作过类似的调查，同样印证了这一现象的存在。

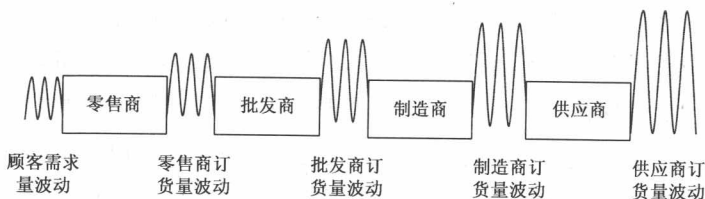


图 1.1 供应链系统中的牛鞭效应

1.2 研究的背景与意义

1.2.1 牛鞭效应问题的研究背景

随着世界经济一体化的发展和世界市场全球化的日趋形成，任何一家要长远发展的企业都不可避免得要融入这一经济新体系中，企业国际化经营的趋势不断增强，整个市场

竞争呈现出明显的国际化和一体化。与此同时,顾客对产品的需求逐渐趋于复杂化、多样化、个性化,导致不确定性不断增加,众多商品市场逐渐由卖方市场向买方市场转移。此外,高新技术的迅猛发展提高了生产效率,缩短了产品更新换代周期,加剧了市场竞争的激烈程度。随着信息技术的高速发展和迅速普及,信息的获取和交换方法得到空前的发展,使这一过程变的异常简洁快速,但面对如此众多的信息,如何制定企业的决策就显得日趋复杂化了。面对如此众多的新变化,很多管理实践者和学者们提出了供应链(Supply chain)的概念以及供应链管理(Supply Chain Management, SCM)理论,即从产品原材料和零部件开始,经产品生产商、产品分销商,到顾客的整个链条上的管理。管理的重点正从单一企业的管理向整个供应链系统转移。

作为一种新的管理方法,供应链管理就是对整个供应链中各参与组织、部门之间的物流、信息流与资金流进行计划、协调和控制等,其目的是通过优化提高所有相关过程的速度和确定性,最大化所有相关过程的净增加值,提高组织的运作效率和效益^[3]。供应链中的物流是指从供应商到顾客手中的物质产品流。供应链中的信息流包括产品需求、订单的传递、交货状态及库存信息。供应链中的资金流(Financial Flows)包括信用条件、支付方式及委托与所有权契约等。这些流常常是跨部门、跨企业、跨产权主体甚至是跨行业的。与传统的企业管理对比,现代供应链管理体现了以下几个基本思想。

(1) 系统观念:不再封闭而孤立地看待企业的采购、生

产和销售等经营活动和过程，而是突破企业界限束缚，将企业的产、供、销与其他市场经济实体及其活动建立外部联系，将供应商、生产商、分销商及消费者视作一个有机联系的整体，通过集体目标统一协调所有成员的信息流、物流和资金流，取得企业之间超越组织界限的集成和整合。这样，消费者、生产商、分销商和供应商等经济主体之间以供应链的整体形式，超越组织界限，通过相互连接、依存、渗透和互动，形成合作式的网络系统，在跨组织的整体运作中实现所有成员共赢的共同目标。

(2) 共同目标：产品与服务的最终消费者对成本、质量、服务等要求，应该成为供应链中的所有参与者共同的绩效目标，从而才会使得利润最大化。供应链管理在本质上是建立在合作和共赢的信念上的。它认为，建立在相互信任、互利及长期发展基础上的信息共享和合作行动，将最终消费者的需求转化为所有参与者的集体行动。每一个经济主体都从事产品制造和提供过程所必需的一部分活动，不但可以在相互支持、配合和协调中实现整体利益最大化，也会使每一个参与者从中获益。因此在供应链中，经济主体之间合作化的伙伴关系替代了传统的你死我活、以邻为壑的竞争性关系，参与各方的决策偏好和行动目标不是完全集中在价格等短期目标，而是集中在行动协调一致，提高整体效率和产品质量，维系灵活性和整体竞争力等方面的团结合作与共同利益因素，把更好地响应和服务于消费者需求作为行动指南，致力于共赢前景的真正实现。

(3) 主动积极的管理：对在供应链中增加价值的及成本

有关的所有联系体（内部的、外部的、直接的、间接的）进行积极主动的管理；不再把库存看做是供应链中供应与需求不平衡时的首选方案。

（4）采取新型的企业与企业关系：在企业主动地关注整个供应链及其管理的同时，供应链中各成员之间的业务伙伴关系便得到了强化：通过仔细地选择业务伙伴，减少供应商数目，变过去企业与企业之间的敌对关系为紧密合作的业务伙伴关系。这种新型关系主要体现在共同解决问题与信息共享等方面。共同解决问题有多种形式，如供应商、顾客参与产品设计、质量改进、成本降低等信息共享意味着有关库存水平、零货量、长期计划、进度计划、设计调整等关键数据在供应链中保持透明。供应商管理的库存（Vendor Managed Inventory, VMI）策略便是实施信息共享的一个例子。在这种系统中，诸如 Wal-Mart 这种创新性的零售商通过 EDI 这样的信息系统与诸如 P&G 公司这样的供应商共享销售信息，这样 P&G 公司便可管理它在 Wal-Mart 处的产品库存。同时，P&G 能够运用现期的实时销售信息，生产即将销售的产品，而不是去生产那种可能与现期需求有偏差的预测产品。

（5）开发核心竞争能力：只有企业本身具有核心竞争能力，供应链业务伙伴关系才会持久。所以，供应链业务伙伴关系的形成不能以丧失企业的核心竞争能力为代价，应做到能够借助其他企业的（核心）竞争能力来形成、维持甚至强化自己的核心竞争能力。

由于市场需求的不确定性、供应链结构的复杂性、各供