

# 易逝品供应链系统协调机制的研究

## 摘要

随着经济全球化的发展和满足客户对需求快速响应的要求，供应链管理已经成为世界各国研究的热点之一。为使供应链系统整体性能达到最佳，要求供应链中的各实体及其功能之间的活动必须以高度协调的方式进行。因此，协调成为供应链系统成功运营的关键。而有效的协调激励机制，可以使供应链系统成员共担风险，共享利润，以减少库存积压，降低总的运行成本，增强信息共享和相互交流，从而提高供应链的竞争力和整体绩效。正应如此，供应链系统协调机制成为了供应链管理领域中核心与前沿的研究问题。

在综合国内外研究的基础上，本文运用信息经济学、福利经济学等理论，研究了易逝品的供应链系统的协调机制，本文的主要研究内容包括：

第一，探讨了供应链系统协调的问题。研究了供应链系统失调现象——“双边效应”和“牛鞭效应”，找出引发供应链系统不协调的根本原因——供应链系统成员利益目标冲突和信息不对称，进而提出了解决失调问题的方法——供应链系统协调机制。从而为后续章节的研究提供理论基础和理论依据。

第二，构建了市场需求信息更新下的由单个生产商和单个销售商构成的易逝品供应链系统协调机制模型—— $(w_1, w_2, b)$ 。运用“三步建模法”确定了协调机制模型的参数。通过模型求解，论证了 $(w_1, w_2, b)$ 的契约形式可以实现易逝品供应链系统的协调。

第三，引入两种传统协调机制模式，对上述的供应链系统协调机制模式进行了经济效率分析。论证结果表明， $(w_1, w_2, b)$ 的契约形式可以实现“帕雷托改进”。

**关键字** 供应链管理，协调机制，契约，易逝品，帕雷托

# The study on Coordination Mechanism of Perishable Products Supply Chain

## Abstract

With the movement toward a global market economy and to achieve a quick response to rapidly changing customer requirements, supply chain management (SCM) has been receiving more and more attention of managers, consultants and researchers. Amongst various entities and functional units along a supply chain (SC), tight activity coordination pattern is needed to achieve an optimal supply chain performance. Therefore coordination between the various players in the chain is the key in its effective management. However, effective coordination incentive mechanisms should be built to guarantee risk sharing, chain-wide rewards sharing, information sharing and convenient communications among SC members, to reduce inventory levels and lower total operational cost, thus to improve SC's competitive power and system-wide performance. So, supply chain coordination mechanisms become the important problems in supply chain management, even the new research field.

Based on the research at home and abroad, the thesis pursues a research on perish product supply chain coordination (SCC) mechanisms based on economics of information, Pareto analysis. Details are as follows:

First, we discuss the problem of SCC, investigate the phenomenon of lack of coordination, which reflect by **double marginalization** and **bull whip**? Findings show that conflict object and asymmetric information lead to lack of coordination. Then, we analyze coordination mechanism, the solution to lack of coordination, which are right the basis of the research pursued in the succeeding chapters.

Second, we establish a coordination mechanism model  $(w_1, w_2, b)$  involving single supplier-single buyer, which experience updating demand information during the planning and manufacturing horizon. We confirm the parameter for the contract by devising the centralized system model, the decentralized system model without channel coordination and the decentralized system model with channel coordination. The results show that the mechanism coordinates the channel.

Third, we examine whether the supply chain coordination mechanism ensure a Pareto optimal solution with respect two traditional production settings. The results show that Pareto optimal solution is possible.

Yanlin Li(Transportation Planning & Management)

Supervisor: Prof Beihua Zong

**KEYWORDS** supply chain management, coordination mechanism, contract, perishable product, Pareto

## 论文独创性声明

本论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。论文中除了特别加以标注和致谢的地方外，不包含其他人或者其他机构已经发表或撰写过的研究成果。其他同志对本研究的启发和所做的贡献均已在论文中作了明确的声明并表示了感谢。

作者签名: 李燕林 日期: 06.6.6

## 论文使用授权声明

本人同意上海海事大学有关保留、使用学位论文的规定，即：学校有权保留送交论文复印件，允许论文被查阅和借阅；学校可以上网公布论文的全部和部分内容，可以采用影印、缩印或者其它复制手段保存论文。保密的论文在解密后遵守此规定。

作者签名: 李燕林 导师签名: 李林海 日期: 06.6.6

# 第一章 绪论

## 1.1 论文研究背景及意义

### 1.1.1 研究背景

20世纪90年代以来，随着科学技术不断进步和经济的不断发展，全球化信息网络和全球化市场的形成以及技术变革的加速，整个世界的经济活动也出现了曾未有过 的经济一体化的特征，与此同时，消费者的需求也发生了深刻的变化。上述变化具体表现在：

- ◆ 技术进步使得产品寿命周期不断缩短，更新换代速度加快品种数快速增加，而新产品研制开发的难度却逐步增大；
- ◆ 顾客对产品的式样、功能、质量、价格和服务的要求越来越高；
- ◆ 市场已从卖方市场转变为买方市场，产品供大于求；

这些变化使得市场的不确定性增加，迫使企业面临一个变化迅速且难以预测的买方市场。与过去相比，对企业参与竞争的能力提出了更高的要求。因此，传统的管理思想已不能满足新竞争形势的要求。

在当前的市场环境中，为了获得竞争优势要求企业具备快速响应（quick response）客户需求的能力，而要达到这个目的，仅靠一个企业所拥有的资源是不够的。任何一个企业都不能在所有业务上成为最杰出的企业，只有优势互补，才能共同增加竞争力。因此，国际上一些先进的企业摒弃了过去那种从设计、制造直到销售商自己负责的模式，即纵向一体化（Vertical Integration）管理阶段，转而在世界范围内与生产商和销售商建立合作伙伴关系，与他们形成一种长期的战略联盟，结成利益共同体，即为供应链管理（SCM）阶段，由此，形成了全球范围内的供应链。

供应链管理的目的，主要是通过“链”上各个企业之间的分工与合作，致力于整条“链”上物流、商流（链上各个企业之间的关系形态）、信息流和资金流的合理性和

优化配置，从而提高整条“链”的竞争能力，实现供应链整体绩效最优<sup>[1]</sup>。简而言之，供应链管理的目标就是实现供应链系统或渠道的协调（channel coordination）。

供应链系统往往是由不同利益子系统（成员）构成，每个子系统（成员）都是以自身利益最大化为目的参与供应链系统的合作，但是供应链整体最优与子系统（成员）的局部最优通常会发生冲突，特别在分散式供应链中这种冲突尤为突出。同时，供应链中存在许多不确定因素，例如：客户可能会中途改变或取消订单、材料或零部件不能准时到达、生产过程中设备突然发生故障等等，使得供应链系统具有很强的动态特性。因此，供应链的协调就成为其成功运行的难点。

所以，供应链系统整体协调就成为现代物流领域研究的重要课题，本文以易逝品供应链为对象，试图研究一种协调机制，以此激励供应链上企业彼此密切的合作，提高各自对减少避免损害供应链系统绩效的行为的认识，达到改善和优化供应链的整体绩效的目标。

### 1.1.2 研究意义与目的

由于易逝品具有生产提前期长、销售周期短、期末未售出的产品残值低、需求不确定性大等特点，这使得易逝品供应链上的各企业承受着比普通商品更为巨大的生产与销售风险。因此，易逝品供应链系统协调及其协调机制的研究显得尤为重要。本文以易逝品的供应链系统协调机制为研究对象，运用信息经济学的相关原理，针对多种不同的市场运作环境，为供应链相邻两个节点<sup>1</sup>上的企业设计一种行之有效的、各方乐于接受的、使系统整体利益最大化的有效协调机制，从而在供应链上的成员之间建立协作关系，提高信息共享程度，减少库存，降低总成本，合理分配利润，共同分担风险，使供应链上的成员相互协调地工作，提高供应链系统整体绩效。

## 1.2 供应链系统协调问题相关研究综述

<sup>1</sup> 供应链上两个相邻节点企业如生产商与销售商、生产商与分销商以及经销商与零售商等，为简化与便于理解，下文均以生产商与销售商表示这两个相邻节点企业。

### 1.2.1 国外研究现况

供应链系统协调问题的研究起源于国外，并受到了多类学科学者的关注。他们从不同的视角研究了供应链系统协调问题中生产/销售渠道的契约和系统的纵向控制：如经济学学派着重考察契约的组织或买卖双方的约束问题，将非对称信息和道德危害等考虑到所研究的优化问题中<sup>[2-4]</sup>；市场营销学派则集中于考察渠道协调以便实现最大化的共同利润<sup>[5-9]</sup>；运作管理学派则强调了渠道协调的控制，多应用数理或运筹学的方法对提出的协调机制进行建模和优化以挖掘其对管理实践的启示<sup>[10-14]</sup>。

国外有关供应链系统协调机制方面的研究主要是集中于对协调机制模型的研究。其研究进度很快，研究内容覆盖了诸多方面。从具体的研究成果来看，有以下两大特点：

- ◆ 在解决单一库存问题的经典报童模型的基础上，逐步实现对经典报童模型的多方面扩展；
- ◆ 从只考虑买方或卖方的单方面角度转向同时考虑买卖双方的模型发展，进而实现供应链系统的协调；

以下就这两方面国外研究现状和特别针对易逝品的供应链系统协调机制的研究给出相关评述。

#### 1) 经典报童模型及其扩展模型的研究

##### (1) 经典报童模型的研究

关于供应链协调协调机制的研究，最为经典的当属报童模型（Newsboy Model），它解决了随机需求环境下，面向随机顾客需求的单品种产品的单周期订货问题。

经典的报童问题是在随机需求下找到最大化期望利润的订购数量，假设在产品的销售周期末销售商将采用折扣或清仓的办法处置任何剩余库存。直观地，如果订购的商品数量小于实际需求，销售商将丧失许多利润机会；如果订购的商品数量大于实际需求，销售商将承担库存过剩的风险，不得不低价处理商品。

一般地，学者们应用两种方法去解决经典的报童问题。第一种方法是对需求估计过高和估计过低形成的期望费用最小；第二种方法是期望利润最大。实际上，两种方法可以产生相同的结论。

## (2) 报童模型扩展的研究

在报童模型的基础之上，之后许多学者对报童模型进行了扩展研究，大致有以下 8 个方面：

① 决策目标方面的扩展。报童模型研究初期的决策目标是期望利润，之后，有学者发现最大化期望利润并不能最佳地反映管理现实。由此，对单周期库存问题的决策目标提出了新的扩展，将决策目标定为最大化取得目标利润的概率<sup>[15]</sup>，相比之下，最大化取得目标利润的概率从管理实践上看更能取得令人满意的结果。此外，另一些学者从风险的容忍度<sup>[16-17]</sup>和效用函数<sup>[18]</sup>的角度了拓展决策目标。

② 存在可替代的多产品方面的扩展。一些学者提出了在商品短缺的情况下，顾客从同一个销售商或者从其竞争者处购买另外可替代的产品的单周期问题。Gerchak 等研究了针对两个不同级别的产品存在向下需求替代并伴有随机生产的单周期问题<sup>[19]</sup>。在此基础之上，Bassok 提出了多产品且存在替换的单周期扩展<sup>[20]</sup>。研究假设了  $N$  个产品和  $N$  个向下替代的需求类别且替代费用和替代数量是成比例的，并建立了一个两阶段决策模型，即第一阶段销售商确定订货量  $Q_i$ ；在第二阶段观测需求后销售商如何进行分配  $Q_i$  至  $N$  个需求类别的决策。研究表明，该期望利润函数对决策矢量是凹函数，并提出应用贪婪算法去搜寻最优配额。上述研究都是针对顾客从同一个销售商获得替代产品，Parla 则运用博弈方法分析了当一个销售商遇到货物短缺时，一部分顾客可能转向另一个销售商的单周期问题<sup>[21]</sup>。研究认为每个销售商的最优订货量  $Q$  将影响另一个销售商的期望利润  $E(\pi)$ ，因此，建议每个销售商的订购决策不应独立对待。研究结果证明，在销售商间无竞争时，如果销售商是理性的将采用 Nash 均衡战略；如一个销售商是非理性的，则这个销售商将试图最大限度地打击另一个销售商；如市场完全竞争。且另一个销售商满足前者的需求，一个销售商不会发生损失。

③ 需求信息状态方面的扩展。在早期的研究中，需求信息状态大多假设需求满足经典分布，之后学者对需求的假设进行了拓展，分析了当需求不满足经典分布仅满足一个已知参数特定分布时的单周期问题。Scarf 假设需求均值  $\mu$  和方差  $\sigma^2$  是已知的，在最糟糕的需求分布下得到了一个最大化期望利润且闭合式(Closed-Form)表达的订

货量<sup>[22]</sup>; Shih 应用 Bayesian 模型处理了随机需求变量服从已知分布但参数未知环境下的最优订购问题<sup>[23]</sup>。Shih 应用 Gamma 先验分布(均值未知)和指数分布需求<sup>[24]</sup>, Hill 使用均匀先验分布(有允许的参数范围)、指数分布、二项分布、Poisson 需求分布来探讨 Bayesian 更新下的库存问题<sup>[25]</sup>。

④ 有约束多产品方面的扩展。通过运用一种或多种算法, 研究人员对经典报童模型在有约束多产品方面进行扩展。Hadley 等提出了两种算法(第一种是对满足必要条件的 Lagrangian 乘数进行搜寻, 第二种是应用边际分析方法)来实现最优解的确定, 从而解决了库存(或预算)约束下的多产品单周期问题<sup>[26]</sup>。Nahmias 等提供了 4 种启发式算法去求解正态分布需求下的有约束单周期问题<sup>[27]</sup>。Lau 等通过把变量的“优化问题”转变为  $M$  个变量的“双目标问题”, 建立了一个基于“有效设置方法”(Active Set Method)的算法, 并将其应用非线性规划软件进行测试, 解决了一个多产品多约束的单周期问题, 同时, 研究发现该算法收敛更快且能得到一个质量更高的结论<sup>[28]</sup>。

⑤ 随机产量方面的扩展。Parlar 等分析了一个销售商两个生产商组成的供应链系统, 假设每个生产商的生产量是随机的(有不同的产量分布和售价)并按比例随机生产。证明了期望利润函数关于各决策矢量的凹性, 提出了找到最优产量  $Q_i, i=1,2$  的近似算法<sup>[29]</sup>。

⑥ 销售季节多阶段备货模型方面的扩展。Kodama 分析了销售商在商品过剩时可部分退货至  $R$  库存水平, 在缺货时允许补货至  $A$  库存水平的优化订购问题<sup>[30]</sup>。研究在假设过剩库存可延期至下一周期的基础上, 构建了相应的数学模型并提供了其优化条件。

⑦ 多场所模型方面的扩展。根据目前的研究成果, 多场所单周期的扩展可分为两种类型: 第一, 所有场所具有相同的销售季节; 第二, 不同场所的销售季节存在时滞。Eppen 分析了多场所的集中式效应<sup>[31]</sup>。Kouvelis 等观测到销售商能够有效利用地理分散所致的市场营销季节差异来提高绩效, 并研究了汇率不确定下的市场协调问题<sup>[32]</sup>。

⑧ 其它扩展方面。Pfeifer 介绍了一种产能管理的扩展<sup>[33]</sup>。研究了航空公司离航班出发前一段时间内购买机票时给予折扣价格，而其它售票均是全价的情形。分析了两种策略：第一，永久配额，通过永久配额的方式可以享受确定数量的折扣机票；第二，连续盘点，应用边际分析方法确定享受折扣机票的数量以及由折扣价格转换为全价票的销售时间。Weathford 等考察了订单预先定购（Advanced Booking Ordering）的经济学价值<sup>[34]</sup>。

## 2) 针对买、卖单方及双方的研究

### (1) 针对买、卖单方的研究

此类研究中，买卖双方在做决策时很少考虑或者根本不考虑对方的利益，尤其是当某一方处于支配地位时，这种倾向显得更为明显。具有代表性的研究成果如下：

Jeuland 和 Shugan 研究了销售渠道协调中的定价问题<sup>[35]</sup>。研究发现，如果渠道中不存在协调，生产商有意无意的要涨价，而当产量等变量低于最优值时，分销商也将如此决策。研究认为可以通过数量折扣的形式来协调渠道成员的运作绩效，从而使得他们共同分享新增利益。但研究同时提出，这种协调方式在具体实现方面存在一定的法律障碍，因为数量折扣中有关参数的确定需要买卖双方实现成本信息完全共享，这涉及到商业信息的泄漏风险问题。

Monahan 从生产商角度出发研究了给予单一分销商以数量折扣问题<sup>[36]</sup>，结果发现一定程度上的数量折扣会增加分销商的订货量，进而增加生产商的利润。

Lee 和 Roseblatt 在 Monahan 的研究基础上对模型进行了扩展，模型假设生产商采用批量决策，并将单一产品扩展到全部产品种类。研究结果发现给予分销商以数量折扣可以使得生产商和分销商同时获利<sup>[37]</sup>。

Moorthy 进一步完善了 Jeuland 和 Shugan (1983) 所研究的渠道协调问题<sup>[38]</sup>，研究认为买卖双方的贸易关税比数量折扣可以更好的协调买卖双方的利益。

Cachon 和 Lariviere 研究了单个生产商、单个分销商组成的供应链在两个阶段中货物配给问题<sup>[39]</sup>。研究假设生产商生产能力有限，批发价格固定，缺货时可以按

订单配给或者按销量配给<sup>2</sup>; 分销商可以独自定价; 第二阶段需求是价格的函数, 买卖双方信息共享。研究结果表明, 按销量配给会使得生产商的利润有所增加, 但分销商的利润不会增加。

Iyer 和 Bergen 研究了有效提前期问题<sup>[40]</sup>。研究建立了一个时装行业生产商、分销商的快速响应模型, 分销商通过贝叶斯方法对市场需求进行预测, 并根据所掌握的最新信息对预测值进行不断修正。研究结果发现分销商的利润有所增加, 生产商的利润有所减少。尤其当生产商严格按照订单组织生产时, 其利益会有所损失。这是因为生产商为获得更多的利润希望分销商的订货批量越大越好, 而分销商对于市场需求预测精度的不断提高降低了分销商的安全库存, 使得分销商利润增加, 生产商利润减少。

Ha 研究了由单个生产商和单个分销商组成的分销渠道在市场需求不确定以及买卖双方成本信息不对称情况下的决策问题<sup>[41]</sup>。研究发现, 如果买卖双方成本信息完全共享, 则可以通过确定数量、特殊经营或固定退货价格等策略来实现渠道协调; 如果生产商不了解分销商的成本信息, 则可以通过非线性价格策略来实现买卖双方的协调。

Cachon 和 Lariviere 研究了市场需求不确定条件下生产商从外部供应商所采购零部件的最优数量问题<sup>[42]</sup>。研究假定生产商在市场需求确定之前需要与供应商签署采购契约, 市场需求简化为服从 Bernoulli 分布, 只有生产商有权利要求强制实施采购契约, 而生产商中止执行契约是需要付出一定成本的。研究结果表明, 这种契约方式与有关中止契约执行费用方面的相关契约形式可以达到同样的效果, 同时研究建议生产商应该在核实了供应商的真实供应能力之后才可以签署采购契约。

## (2) 针对买卖双方的研究

上述文献都是基于供应链契约中的某一方的, 其最大缺陷是没有考虑到供应链契约所涉及到的另外一方的利益, 这种类型的供应链契约显然无法使得供应链的总体收益达到最大。为了摆脱这种局限性, 研究者开始研究供应链契约双方联合决策问题, 具有代表性的研究成果如下:

Weng 扩展了 Jeuland 和 Shugan 的研究成果, 详细研究了契约定价以及数量折扣问题<sup>[43]</sup>。研究假设市场需求为价格的函数, 销售商需要确定最佳订单数量以及销售

<sup>2</sup>按订单配给是指按照订单数额的大小来分配生产能力, 按销量配给是指按以前的销售量的多少来分配生产能力。

价格，生产商控制交易价格以及生产批量。研究结果发现，生产商给予销售商一定的数量折扣以及销售商向生产商支付一定数量的特许经营费用有利于渠道的协调，但是数量折扣的具体形式对于渠道协调而言并不重要。

Cachon 和 Lariviere 研究了供应链的货物配送问题<sup>[44]</sup>，该供应链由单个生产商、生产商以及分销商组成，研究假设生产商的生产能力有限，分销商的库存水平为私有信息，批发价格固定。研究结果发现供应链中存在帕累托最优，但是这种帕累托最优配置机制容易受分销商的操纵，从而导致整个供应链体系的低效。

Weng 研究了定价策略<sup>[45]</sup>，希望通过价格来协调生产商与销售商之间的关系。研究假设市场需求是销售价格的显性函数，并且是分段分布的，通过比较生产商和销售商独立定价以及双方联合确定生产与订单情况下渠道的运作绩效。研究发现，通过协调可以增加渠道利润，而且利润增加的具体数量与有关参数的优化有关。

Li 和 Kouvel 对供应链契约交易价格的不确定性进行了相关研究<sup>[46]</sup>，其目的是为了评价在数量、时间方面灵活性的价值，同时决定供应链契约中与成本相关的参数结构以及设计合适的交易价格来使得买卖双方共同承担风险。

Milner 和 Rosenblatt 研究了二阶段进货问题<sup>[47]</sup>，也就是根据第一阶段的需求情况来确定第二阶段的订货量。研究假设市场需求在初期订货以及补充订货期间保持不变，通过对比性分析，研究结果给出了买方签署灵活性供应链契约、非灵活性供应链契约以及不签署供应链契约的条件。

### 3) 易逝品供应链两期协调机制的研究

关于易逝品供应链两期协调机制问题的研究，从目前来看，具有两大特点。一是多数研究者以买方角度着手研究；二是多数这方面的早期研究假设信息观察的模式为多周期观察模式 (multiperiod periodic review setting)。

解决从买方角度考虑的易逝品供应链系统协调机制问题的关键在于决定库存量和补货时间。而在假设多周期观察模式 (multiperiod periodic review setting) 方面，Daniel 研究了在加急运送 (emergency shipments) 受限制和提前期 (lead time) 是 1、0 的情况下两次生产模式<sup>[48]</sup>，Fukuda<sup>[49]</sup> 拓展了上述研究，将加急运送定为不受限制，且提前期为  $k$ 、 $k+1$  期。Whittemore 和 Saunders 建立了一个更为一般的模

型，其提前期是任意的，并得到一次生产的模式是最优的结论<sup>[50]</sup>，Moinzadeh 和 Nahmias 首次研究了基本的两次供应模式<sup>[51]</sup>，Zhang 研究了一个三次供应模型<sup>[52]</sup>，其观测期（period review）是无限期的；Lawson 构建了一个提前期为柔性的模型<sup>[53]</sup>。

上述研究无论是从买方角度考虑或者是多周期的信息观察模式，都是假设每期之间的需求信息是固定的、独立的，即需求是非随机过程，且上一期的需求信息对下一期是没有任何影响的。因此，在本文中所要设立的模型，是针对需求信息的这一问题，所要解决的关键问题是每期之间的需求信息是不断更新的，从而使得模型更具现实意义。

### 1.2.2 国内研究现况

相对于国外研究而言，国内在供应链系统协调机制方面所开展的研究起步较晚，研究深度不足，以对国外的相关研究进行某种程度上的总结以及相关拓展。例如刘丽文对供应链管理思想的起源及其发展过程进行了详细总结；陈安、刘鲁<sup>[54]</sup>对于国外在供应链管理方面的研究现状进行了总结，并对供应链管理所面临的挑战进行了展望。

## 1.3 研究对象、内容、方法和技术路线

### 1.3.1 研究对象

本文的研究对象是易逝品的供应链系统协调机制<sup>3</sup>。因此，与一般的供应链系统协调机制相比，本文的研究对象具有特殊性，这主要是体现在易逝品这一特殊的商品方面。一般而言，易逝品(Perishable Products, Short-life Products, High-tech Products、Trendy Products, Fashion Products, Seasonal Products, Style Products 等)是指易变质产品、时效品、时令品、时尚品或季节性产品等，如球赛的门票、时装、书报杂志、元旦贺卡、圣诞礼物、音像制品、玩具、时尚高科技产品以

<sup>3</sup> 为了文章表述的简洁，如无特殊说明，本文所指的协调机制均为易逝品的供应链系统协调机制。

及易腐物品(如牛奶、面包、月饼、生鲜产品和鲜花等)、顾客化定制的特殊零部件(如模具)等。

通过列举上述易逝品的具体例子，可以发现，易逝品具有以下几个特点：

- ◆ 产品生命周期短暂；
- ◆ 在产品的整个生命周期中，生产提前期较长，产品的销售周期较短；
- ◆ 销售期末未售出的产品的价值快速递减，与销售价格相比，其残值非常低，甚至为零；
- ◆ 产品需求具有很大的不确定性和强烈的波动性。

前两个特点从生命周期的角度归纳了易逝品与一般商品的区别，后两个特点从期末残值和产品需求总结了易逝品的特殊性。通过这四个方面的总结，可见易逝品的需求波动性给销售的预测带来较大的难度，从而造成固定存货的生产与销售风险，这也决定了易逝品的生产方与销售方都将承受与普通商品相比更为巨大的不确定性和风险。

同时，由于技术更新速度的加快以及消费个性化的要求与日俱增等因素的影响，使得具有上述特点的易逝品在目前商品市场上所占的比重逐步增大。因此，针对易逝品的供应链系统协调机制的研究具有一定的现实意义。

### 1.3.2 研究内容、方法与技术路线

从研究方法来看，本文的研究将从信息经济学的角度着手，运用“三步建模法”构建供应链系统协调机制数理模型，实现供应链系统渠道的协调，并利用经济学中的Pareto 改进验证协调机制的经济效率。

全文共分为五章。第一章为绪论；第五章为全文总结和研究展望；其余的第二、三、四章为本文的主体部分。本文的研究内容安排如下：

第一章给出了本文的研究背景，从供应链的形成背景引申出了供应链系统的协调问题以及研究意义，概要地介绍了论文各章的主要内容和本文的章节结构。

第二章定义了供应链系统协调的概念，然后分析供应链失调的根本动因并找出了其在现实中失调的具体表征，最后引出了供应链系统协调机制在解决供应链系统失调问题上的作用。

第三章在供应链系统协调机制——契约的表现形式进行描述与分析基础上，构建了实现供应链系统协调的两级供应链系统协调机制模型，然后分别从集中式、分散式未缔结契约和分散式缔结契约三个典型市场类型建立数理模型确定契约参数关系，最后，运用 MATLAB 对上述模型进行算例分析。

第四章对协调机制——契约进行了 Pareto 检验，验证契约协调的经济效率。

全文的技术路线如图 1—1 所示：

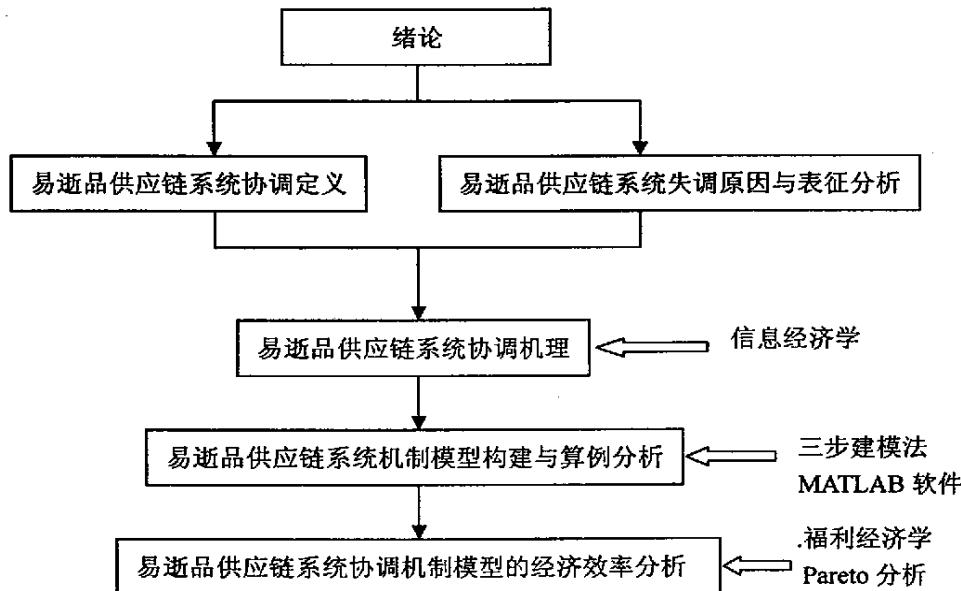


图 1—1 论文技术路线图

## 第二章 易逝品供应链系统协调问题的研究

### 2.1 易逝品供应链系统协调的定义

到目前为止，国内外对供应链系统协调还没有一个统一的定义，以下是几种比较典型的定义：

Malone 和 Crowston 为供应链系统协调给出的定义<sup>[55]</sup>是：“协调是管理各种行为间的相互依赖关系 (Coordination is managing dependencies between activities) ”。

Hoppe 在 Malone 定义的基础上提出一个协调的多维模型<sup>[56]</sup>，可实现信息流、物流、资金流的运行协调。协调的第一维是外部的信息集成以协调公司之间的信息的交换；协调的第二维是供应链上成员的协作，同时协调信息流和物流。协调的每一维范围都很广，较高一维包含较低维的元素和信息。但这二者不能有效协调信息流、物流、资金流之间的相互依赖关系，所以需要一个第三维协调因素，也是最高维的——通过供应链最大化供应链系统网络中各成员的价值，最有效的管理信息流、物流、资金流的努力。

Gan、Sethi 和 Yan 认为供应链系统协调是指分散式供应链系统达到集中式供应链系统同样的绩效<sup>[57]</sup>。如果供应链中各参与方均为风险中性，则分散式供应链的期望利润等于集中式供应链期望利润的条件下，供应链系统实现协调。如果供应链中各参与方不全为风险中性，则分散式供应链中参与各方达到帕雷托最优的条件下，供应链系统实现协调。

Hewitt 指出供应链系统网络协调涉及计划、控制和调整企业内和企业间的物流过程，因为物流过程包含物料运输、供应链系统网络的信息流和资金流<sup>[58]</sup>。

Romano 定义供应链系统协调是在供应链系统合作伙伴之间的决策、通讯和交互的模式，可以帮助计划、控制和调整供应链中所涉及的物料、零部件、服务、信息、

资金、人员和方法之间的交流，并且支持供应链网络中关键的经营过程<sup>[59]</sup>。

Simatupang 等定义供应链系统协调就是联合（结合、协调、调整、联盟）供应链上成员的一系列目标（行动、目的、决策、信息、知识、资金等）使之达到供应链目标<sup>[60]</sup>。

对上述供应链系统协调定义进行分析和总结后，本文认为：

1) 第一个定义强调的是供应链系统成员的行为间的相互影响及这种影响对供应链系统协调的作用。这个协调定义包含的内容较广，将“合作(cooperation)”和“协作(collaboration)”等努力行为都包括了，这些词在管理行为间的依赖关系上有各自的内涵。定义进一步提出，如果不存在相互依赖关系，则没有什么需要协调的；另一方面，依赖性越强则越需要协调。

2) 第二个定义在第一个基础上提出协调的三维因素，随着维数的增高，协调的复杂性、各成员承担的风险和利润分配难度越高，协调的层次逐级升高。定义强调了这些因素在供应链系统成员战略上的重要性。通过供应链最大化供应链系统网络中各成员的价值，尽最大努力实现协调。但如果各成员在最大化自己利益时与实现整体协调相矛盾，则在完全竞争市场条件下需要有解决个人理性与集体理性之间冲突的方法。这种方法不能否认个人理性，而是设计一种机制，在满足个人理性的前提下达到集体理性。

3) 第三个定义用风险的概念体现了供应链管理中不确定因素的存在，并指出协调应该包括某种收益分配方案，从系统整体出发兼顾各成员的利益。

4) 第四个定义从网络的角度，对供应链系统协调进行定义，与上述三个定义不同的是，该定义更进一步指出供应链系统网络协调不仅仅包括供应链上企业间的协调，更包含企业内部的协调。

5) 第五个和第六个定义则分别从协调的方式和协调的目的给出了供应链系统协调的概念。

此外，从上述定义中还可以发现，所有的组织都需要内部协调（Internal coordination）和外部协调(External coordination)，内部协调是组织自身各部门间的协调，外部协调是组织与其它组织的协调。对供应链的成员企业来说，协调的重点在于该企业与供应链上其它成员企业的协调，因此，本文研究的对象属于外部协调的

范畴。为了更进一步理解协调的概念，从外部协调的角度出发，我们需要区分在上述定义中出现频率较高的如下几个词的涵义：合作 (cooperation)，协调 (Coordination)，协作 (collaboration)。

“合作”表示合作双方为了共同的目标受约束的程度较低。在必要的时候，合作关系需要实现信息共享，但每个组织保留着自己的权利，所以几乎没有风险。在合作关系中，资源和报酬是分别进行处理的。

“协调”是一个过程。这个过程可导致一种共同的行为、动作或状态，或者说是一种以流畅的商谈方法一起行动的过程。与合作相比，协调会达成更正式的关系和对一致使命的理解。信息渠道和任务的分配和计划都有详细的说明。资源分配是相互公认的，且共享风险和利润。然而权利还是由协调中的每个组织自己负责。

“协作”被定义为两个或两个以上的组织为了共同的目标而形成的一种有详细说明的、互惠互益的关系。它与协调的区别是协作结构的不同。这种协作结构可以决定联合权利结构，资源是公有的或共同保护的，产品是共享的。

对以上三个定义进行进一步的分析，可以看出，三者既有联系又有区别（见表 2-1）。共同点是三者的参与者都具有共同的目标，这也是合作、协调与协作成立的前提条件。三者的不同点大致表现在五个方面，即参与者的约束程度、相互依赖程度、风险的承担、利润的分配和权利的控制。其中，协调的各方所受的约束程度与相互依赖的程度都是最高的，且实现了利润与风险共享。

表 2-1 合作、协调与协作的联系与区别

	共同点	不同点				
		约束程度	依赖程度	风险的承担	利润的分配	权利
合作(cooperation)	拥有共同目标	最低	最低	最低	非共享	自己保留
协调 (Coordination)		最高	最高	共享	共享	自己保留
协作 (collaboration)		一般	一般	共享	共享	可以联合

由此可见，协调的目标和行动是相互依赖的、一致的和共同的，且无需有一个权利控制中心，而协调的目标是实现相互的利益。

通过上述分析，本文认为供应链系统协调可以定义如下：

供应链系统协调就是指在供应链系统中，供应链上各节点的成员会在一定的战略空间中选择各自的行动，通过设计一种机制改变这些参与人的行动策略，使系统整体从无序转换为有序，达到协同状态，同时供应链上的各利益主体能够从协调中既实现个体绩效的最优又实现系统整体绩效的最优。

## 2.2 易逝品供应链系统失调的原因及其表征

一般认为，供应链系统具有网链状的结构，具有复杂性、动态性、交叉性和面向需求用户等一系列的基本特征。上述供应链系统的结构特点以及由此决定的基本特征，使得供应链不易达到协调的状态，而在实际运营中，供应链系统失调的状态是一直会出现的问题。为了实现供应链系统的协调，我们必须找出致使供应链系统不协调的原因。

根据总结与归纳，可以发现，引起供应链失调 (lack of supply chain coordination) 主要有两个根本原因：第一，利润分配冲突；第二，信息不对称。

供应链不协调的原因之一在于供应链的内各成员企业之间由于利润分配产生冲突造成供应链不协调，其具体表现为“双边际效应”(double marginalization) 现象。由于供应链上的卖方(Supplier)和买方(Buyer)在决策时，只考虑到各自的边际利益，而不考虑其他成员的边际利益，只要供应链上企业的利益在不同成员间分配时单方决策影响到市场需求，进而导致另一方获利减少。这类供应链不协调的现象称为“双边际效应”，这是供应链上成员不合作的结果，同时也是激励失败(Incentive Failure) 的结果。

供应链不协调的原因之二是供应链内各成员企业之间的信息不对称(asymmetric information)。信息不对称指的是某些参与人拥有但另一些参与人不拥有的信息。在供应链中，信息不对称具体是指供应链上成员掌握不同的私有信息，包括：第一，资源的私有信息(库存能力、状态，资金流量)；第二，各种成本信息；第三，供应链的运作状况(销售，生产，配送计划，预测)；第四，绩效状态；第五，市场状况。由于上述原因造成供应链的不协调，具体可表现为“牛鞭效应”现象。销售商由于更加接近市场，因此会比上游厂商掌握更多的市场客户需求信息。他们会将积累的信息和数

据传递给临近的上游供应方。这些数据包括订货和客户需求信息。订货数据对于需求预测以及计划生产起到很重要的作用。客户需求数据是进行新产品开发的重要依据。然而作为供应链的下游成员，为了自身的利益有可能向上游扭曲市场需求，使得上游面临更大的市场需求不确定性，这就造成了供应链上著名的牛鞭现象，使得供应链的总收益下降。

以下就产生供应链不协调的两个主要原因在供应链实际运营中的表征作具体的分析。

### 2.2.1 供应链失调表征——“双边际效应”(double marginalization)

#### 1) “双边际效应”的定义

“双边际效应”的概念首先是由 Spengler 提出的，他假设需求是一种确定性的、向下倾斜的曲线。在此条件下，如果生产商的批发价高于边际生产成本，那么独立的以利润最大化为目标的销售商将选择高于联合利润最大化水平的零售价。由此可见，当供应链的各成员都试图最优化自己的利润时，供应链整体的利润将不可避免地受到损害，就出现所谓的“双边际效应”。

根据 Spengler 研究的“双边际效应”可以发现，其主要是从价格的因素考虑“双边际效应”，即当供应链的各成员都试图最优化自己的利润时，由于不恰当的定价导致了“双边际效应”的出现。

此后，Tirole (1988) 又从订货量的角度对“双边际效应”进行了进一步研究。Tirole 认为“双边际效应”指供应链上下游企业均按自身的“边际收益一边际成本”确定其最优的订货量，而不是按整个供应链的“边际收益一边际成本”确定最优的订货量，即每个实体只考虑自身边际利润而不考虑整个系统的边际利润，造成需求方订货量少于系统最优订货量因而导致的系统整体利润下降。

综上所述，无论是从价格角度抑或是定货量角度研究“双边际效应”问题，学者们都一致地认为“双边际效应”产生的原因在于整个系统中各个子系统的利润目标的冲突，而产生的结果都使得系统整体的利润下降，系统中各个子系统也无法实现各自最大化的利润。

## 2 ) “双边际效应”现象出现的必然性

根据以上对“双边际效应”的定义分析,可知“双边际效应”问题的本质在于供应链上的个体与供应链整体目标不一致,即每个实体只考虑自身边际利润而不考虑整个系统的边际利润。由此,决定了“双边际效应”在现实的供应链中是普遍存在的。

首先,根据“双边际效应”的特点,只要有两个或两个以上的成员来分割供应链系统的利润,就会产生“双边际效应”。而在现实中,供应链系统必然地是由若干个利益相对独立的企业组成的分散式供应链,各个企业为实现各自利润的最大化,各自从自身的边际利润考虑出发,制定生产销售计划,由此,“双边际效应”就无可避免地出现了。

其次,企业正由纵向一体化向横向一体化发展。纵向一体化是企业通过兼并收购等多种手段,从所有权上控制整条供应链或供应链的多个环节,包括从原材料、零配件、产成品到销售的整个过程,从而降低供应链上各环节的不确定性,提高企业的竞争能力。但是,随着全球经济一体化以及市场需求越来越呈现多样性、不确定性,纵向一体化的负面效应开始不断增大。由此,越来越多的企业朝着横向一体化的模式进行发展。而横向一体化的本质就是企业充分利用外部资源以快速响应市场需求的发展模式,通过企业与企业之间横向的强强联合获得竞争优势。而横向一体化的发展模式必然导致产生多个企业在供应链上的共同发展问题,所以,“双边际效应”依旧将继续存在。

虽然“双边际化效应”在供应链系统中不可避免地存在,但可以借助协调机制来缓解或消除这种独立个体最优决策与系统最优决策不一致的现象。实际上,所有应用契约来实现系统协调的工作原理均是如此——削弱、消除“双边际化效应”。后一章节中设计的契约(协调机制)都是基于这样的思路来设计和优化的,并且同时考虑“双边际化效应”的价格与订货量这两个因素。

### 2.2.2 供应链失调表征二——“牛鞭效应”

#### 1) “牛鞭效应”对供应链系统协调的影响

Lee et al 最早的研究对牛鞭效应描述是供应链中生产商所接受的订单比终端客户的需求具有更大的方差的现象(即需求扭曲现象);同时,这种扭曲将以放大的形

式向供应链的上游传播（即方差放大现象）。

由此描述，可以发现“牛鞭效应”实际上是供应链上信息传递过程中所出现的一种扭曲形式，就是说供应链上某个节点企业所面临的下游企业的实际需求量与该企业向其上游节点企业所发出的定货量存在一定程度上的偏差，这种偏差沿着供应链由下至上具有不断放大的趋势。

鉴于本文的研究对象为两级供应链而非多级供应链，即为供应链中的相邻两个节点，如生产商和销售商，或者分销商和销售商，因此，本文的研究主要解决相邻节点企业的需求信息的扭曲方面，而非需求扭曲以放大的形式向供应链的上游传播方面。

那么又是什么原因造成供应链上的信息扭曲呢？通过分析可以得知，供应链上企业间的信息不对称是造成信息扭曲进而发生“牛鞭效应”的根本原因。如果供应链上传递的信息是各个节点企业所共知的，那么对供应链上任何企业而言，信息就是一致的，信息扭曲的问题就不会存在了。

## 2 ) “牛鞭效应”的消除方法——信息共享

在供应链系统中，企业间的信息是不对称，由于缺少信息交流和共享，企业无法掌握下游的真正需求和上游的供货能力，只能通过增加库存水平。同时，供应链上无法实现实存货互通有无和转运调拨，只能各自持有高额库存，这就导致并加剧“牛鞭效应”。因此，为消除牛鞭效应可以通过信息共享的方法，提高供应链的绩效。就目前来看，随着信息技术的发展，信息共享的种类、方式层出不穷，日趋完善，这使得供应链上企业间的信息共享成为可能，但我们必须考虑这样一个阻碍信息共享的重要因素：供应链上的企业是否自愿将其拥有的私有信息提供给其他企业成员。在实际运营中，出于商业机密、竞争等众多因素的考虑，供应链上的企业往往并不愿意将其拥有的私有信息主动地提供给供应链上的成员。这就意味着仅仅依靠技术手段还是无法完全实现真正意义上的信息共享。

因此，本文针对这一问题，试图通过运用合理、有效的激励机制促使供应链系统中的企业都能够主动地、积极地提供各自拥有的信息，从而解决信息共享实现的问题。

## 2.3 易逝品供应链系统协调机理的分析

## 2. 3. 1 易逝品供应链系统协调机制的定义

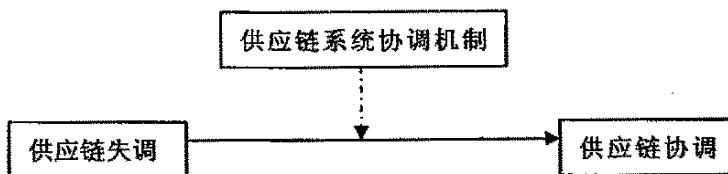


图 2-1 供应链系统协调机制的作用图

根据供应链失调的两个原因，本文认为供应链系统协调的障碍（见表 2-2）主要是由于供应链的成员间信息不对称和成员间各自有优化目标造成的。因此，通过供应链契约（激励机制）这个协调机制，激励与约束供应链的成员的行为，使得供应链上的企业达到信息共享，同时消除各自的利润目标冲突、合理分配利润、共同分担风险，从而实现供应链协调（见表 2-1），达到供应链的成员双赢的目的。

表 2-2 失调的原因及其表征与协调机制

失调的原因	失调的表征	协调机制	协调机制解决的问题
供应链的成员间信息不对称， 信息传递时产生扭曲	牛鞭效应		信息共享
利润分配产生冲突	双边际化效应	契约（激励机制）	消除各自的利润目标冲突

## 2. 3. 2 供应链系统协调机制的实现—契约（激励机制）类型的选择

### 1) 契约的界定

所谓契约，就是一个由交易各方达成的具有法律效力的文件，其中一方（供应链上游企业）答应在一定的条件（如数量、质量、价格、送达时间、采购时间等等）下向另一方提供商品货服务，而另一方（供应链下游企业）根据契约的规定（包括激励和惩罚因素）向对方支付一定数量的报酬或者其他商品或服务。

需要特别指出是，本文研究的契约与商业、法律方面的契约是有所区别的。第一，

供应链契约是交易双方提供界定未来业绩和配置未来时间风险的方式。第二，在供应链环境中，契约的决策者在进行决策时，不仅考虑自身局部的利益，而且需要兼顾整个供应链的利益，以确保在激烈的市场竞争中保持优势。

因此，在供应链环境中，通过设计契约并调整其参数（如价格、订货量和提前时间等）去激励供需双方调整利润分配以发挥系统的最佳绩效，减少彼此的机会行为，促进合作，确保有效安排生产及库存计划，降低风险，提高整个供应链的绩效。

由于契约中一般包含了供需双方交易时的价格、定货量、提前时间等一系列要素，由此可见，契约的实质就是通过调整这些参数来调整双方的利润分配，同时，通过契约激励成员将私有信息共享。因此，合理的契约可以解决由于利润分配冲突引起的“双边边际效应”以及信息不对称引起的“牛鞭效应”问题。

## 2) 协调契约的类型选择

契约可分为定价和订货量两大类（见表 2-3）：其中线性定价契约（Price-only Contract）、回购契约（Buy-back or Return Contract）、备货契约（Back-up Contract）、收益共享契约（Revenue-sharing Contract）、价格补贴契约（Markdown Contract）、期权契约（Option Contract）、数量折扣契约（Quantity Discount Contract）等属定价类契约；数量柔性契约（Quantity Flexibility Contract）和最低购买数量契约（Minimum Commitment Contract）等属订货量类契约。与本章研究相关的协调机制是回购契约。

表 2-3 契约的分类

契约类型	中线性定价契约（Price-only Contract）
定价类契约	回购契约（Buy-back or Return Contract）
	备货契约（Back-up Contract）
	收益共享契约（Revenue-sharing Contract）
	价格补贴契约（Markdown Contract）
	期权契约（Option Contract）
	数量折扣契约（Quantity Discount Contract）
订货量类契约	数量柔性契约（Quantity Flexibility Contract）
	最低购买数量契约（Minimum Commitment Contract）

### (1) 线性定价契约 (Price-only Contract)

线性定价契约指生产商以相同的批发价  $w$  将产品销售给经销商，此时生产商的利润为  $\pi_m = \Sigma(w - c)q_i$ ，其中  $c$  为生产单位成本，生产商获得确定性利润，市场需求不确定风险全部转嫁给经销商。线性定价合同在现实生活中十分常见。

### (2) 回购契约 (Buy-back or Return Contract)

回购契约经常应用在时令商品市场（如服装、报刊、书籍等），生产商允许销售商在销售季节结束时，把未销售掉的商品（全部或部分）按退货价格退给生产商，其实质是一种市场不确定风险的分担。回购契约的形式有  $(w, b)(w, b, R)$  等。（其中  $w$  批发价格， $b$  回购价格， $R$  回购比例）。

### (3) 备货契约 (Back-up Contract)

在销售季节开始时，生产商运输给销售商全部订单数量的部分商品给销售商，把剩余部分作为备货保存，如果销售商需要这些备货，他能很快得到所需产品并按原来的批发价购买。如果销售商不需要这些备货，他只需支付批发价的部分作为罚金。

### (4) 收益共享契约 (Revenue-sharing Contract)

收益共享合同契约要求生产商给予销售商低于边际成本的批发价  $w$ ，同时生产商享受销售商一定比例  $1 - \varphi$  的收入。该契约首先在美国 CD 租赁行业的应用取得了较大成功。其契约形式为  $(w, \varphi)$ 。

### (5) 价格补贴契约 (Markdown Contract)

价格补贴契约也称为滞销补贴，其实质是一种价格保护策略。是指由于市场竞争或可替代新产品的推出致使原有产品售价下跌，生产商根据原有承诺对销售商未售出的商品实施一定数量的经济补偿。它是一种常见的渠道激励方法，是生产商通过保护渠道合作伙伴的利益维系下游渠道商忠诚度的一种措施。理论上，价格补贴是一种生产商分担销售商过剩库存风险的方式，主要通过对期末未售出商品进行价格补差（单位产品补偿价为  $m$ ）来实现，经常应用于价格递减短生命周期产品供应链的渠道协调，在 PC 行业较为常见。其主要的契约形式是  $(w, m)$  等。

### (6) 期权契约 (Option Contract)

在销售季节开始时，销售商以正常价格购买产品并且以期权价格购买期权，当观

察到市场需求后，销售商可以按执行价格（Exercise Price）购买这些期权产品。

#### (7) 数量折扣契约 (Quantity Discount Contract)

生产商根据销售商订单数量提供批发价折扣，订单数量越大折扣越多，以此促使销售商提高订单数量。

#### (8) 数量柔性契约 (Quantity Flexibility Contract)

数量柔性契约经常应用于电子业和计算机业的零部件交易中，有时亦出现在汽车行业。在该契约下销售商有两次订购机会，在生产开始前夕确定向生产商订货量 $q_1$ 。在生产商生产进行到一定阶段后，在收集需求信息的基础上，销售商可以调整其对市场需求的预测，并向生产商确定最终的订货量 $q_2$ 。按照契约，最终订货量不得低于初始订货量的一定比例 $\alpha$ 。生产商在接受初始订货量后就开始生产，当销售商调整订货量时生产商的产量已经确定，若销售商增加订货量，在增加量不超过初始订货量的 $\beta$ 比例时，生产商应保证足额供应。其契约形式为 $(q_1, q_2, \alpha, \beta)$ 。在这种契约下，生产商有义务满足契约规定最高上限的供应量，同时契约规定销售商最小购买数量。

#### (9) 最低购买数量契约 (Minimum Commitment Contract)

销售商在初期做出承诺，将在一段时期内至少向生产商购买一定数量的产品。通常生产商根据这个数量给予一定的价格折扣，购买产品的单位价格将随着数量的增加而降低。

#### (10) 后备契约

后备契约是 Eppen 等针对两个连续的销售阶段而提出的。首先销售商在生产商开始生产前夕制定购买数量 $Q$ ，并在第一销售阶段以批发价购买数量为 $Q(1-\beta)$ 的产品，在第二销售阶段最高可再购 $\beta \cdot Q$ 的产品，当其订货量小于 $\beta \cdot Q$ 时，销售商只需对单位订购差额向生产商支付 $s$ 作为补偿。其契约形式为 $(w, \beta, s)$ 。

本文探究的契约属于价格契约中回购契约的类型。这是因为回购既是一种风险的分担又能起到订购激励作用，具有非常直观的价值；同时，回购既有利于生产商维护自己的品牌和促进新产品的营销，又减少了销售商承担的市场风险。回购契约的缔结，使得生产商开始部分承担市场需求导致的过剩库存，同时由于承担风险/责任和享有利润的共生性也使其期望利润相应提高。

## 本章小结

本章首先定义了供应链系统协调的概念。其次，对引起供应链失调的根本原因及其表征进行了讨论，认为成员间利润目标的冲突与信息不对称是造成供应链失调的根本原因，并具体表现为“双边效应”和“牛鞭效应”；在此基础之上提出供应链系统协调机制的概念，指出供应链失调问题可以通过供应链系统协调机制——契约激励约束供应链上的企业行为，使得供应链系统上的成员之间的目标达到一致并实现信息共享，从而由源头上抑止引发供应链失调的原因并削弱、消除供应链不协调现象的发生。

### 第三章 易逝品供应链系统协调机制模型的构建

易逝品时效性强，需求波动大，生产商的制造能力往往满足不了市场需求，而超过销售期（生命周期）的易逝品的价值将会变得很低甚至丧失，由此，对易逝品供应链系统的供需双方都提出了更高的要求和严峻的挑战。具体表现在：一方面，销售商为获得更为准确的市场信息，将尽可能晚地订货，避免需求不确定造成的销售风险，但过晚的订货时间又可能使销售商无法订到所需的货量，产生缺货风险；另一方面，生产商希望销售商尽可能早地订货，因为临近销售期的订货，不仅使得生产商由于生产能力的限制可能导致缺货，更使得生产商由于大量集中订货将导致生产成本上升。由此可见，双方的利益冲突集中表现在销售商的订货量、订货时间、订货次数与生产商的批发价格、产量等方面，而这些因素都将直接影响易逝品供应链的绩效。

本章试图通过下述契约激励供销双方达到易逝品供应链的协调：第一，通过生产商与销售商之间签订契约，生产商提供给销售商两次订货机会，激励销售商尽可能多订货，使得双方通过两次生产与两次订货可以分别获得更多的生产和销售利润；第二，通过生产商与销售商之间签订供货契约，销售商提供生产商由其收集到的不断更新的市场需求信息，实现信息的共享，使得双方可以将该市场需求信息融入到订购/生产决策中去，从而提高生产/订购的精确性获取更多的利润。

#### 3.1 易逝品供应链系统协调机制——契约的形式

本文构造的契约是考虑由单个生产商和单个销售商组成的两级供应链系统，生产和销售一种易逝商品。生产商给予销售商两次订货机会，分别在  $T_0$  和  $T_1$  时刻，在此期间销售商收集不断更新的市场需求信息，从而更新需求预测，但同时必须将更新的需求预测告知生产商。而生产商根据销售商的订单，分别在  $T_0$  和  $T_1$  组织一次生产，然后在销售季节临近前将商品一次性交付给销售商。销售季节结束时  $T_3$ ，对于未售出的商品，生产商以价格  $b$  回购（见图 3-1）。

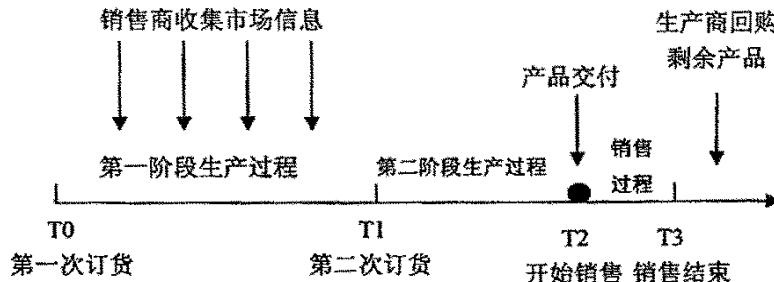


图 3-1 具备信息更新的易逝品的两阶段生产与销售模式示意图

根据上述的订货与生产计划，生产商与销售商签订的契约具体形式为：

$$(w_1, w_2, b) \quad (3-1)$$

其中， $w_1$ ：为产品在第一次生产时期的批发价格

$w_2$ ：为产品在第二次生产时期的批发价格

$b$ ：销售季节结束，对于未销售出去的商品，生产商的回收价格

由图 3-1 所示，在两次产品生产过程中，由于第一次生产的时间距离销售季节较远，生产商有充足的备货时间 (lead time)，因此产品的生产周期 (turnaround) 较长，其生产成本也较低。相对而言，第二次生产的时间更临近产品的销售季节，生产商为确保销售商第二次订货的产品在销售季节前完成生产，第二次生产必需是一种较快的生产方式，由此，其生产成本较第一次生产更高 (见表 3-1)。

表 3-1 第一次生产与第二次生产状况的比较

	第一次生产	第二次生产
生产时间 (距离销售季节)	远	近
生产周期	长	短
生产成本	高	低
批发价格	低	高

根据上述的描述，显而易见，以  $(w_1, w_2, b)$  为形式的契约有两大特点：第一，两次生产模式；第二，在销售季节结束，对于未售出的商品，生产商以价格  $b$  回购。这两个特点使得供销双方具备实现渠道协调 (channel coordination) 的条件。首先，

与一般情况下的一次生产模式相比，两次生产模式的优势在于：使生产商和销售商在临近销售季节前可以充分利用更新的市场需求来调整其生产量和订货量，同时，当出现新市场需求预测量大于第一次估计量的情况，通过第二次生产可以解决由于缺货而造成的损失，由此，较之一次生产，在两次生产中，更多的产品得以销售，更多的客户需求得以满足，库存的压力也随之减轻。其次，由于供销双方根据契约的约定，通过确立有效的回购价格 $b$ ，一方面可以在经销商和生产商之间实现风险共享，减轻销售商的风险负担，另一方面，也可以激励销售商的定购量。因此，从供应链系统渠道的角度而言，契约 $(w_1, w_2, b)$ 可以激励供销双方的行为，使之产生双赢的效果，实现渠道协调。

进一步分析，该契约是以价格为杠杆来实现渠道的协调和供销双方的利益最大化。这就意味着由买卖双方约定的两阶段批发价格和回购价格的确定不是从买方或者卖方单方的角度考虑，而是从优化整条供应链绩效的角度出发。例如，卖方为了获得更多的利益而将第二阶段的批发价格过高，则销售商为降低成本必然会在第一阶段下过量的订单；相反，如果第二次批发价格过低，销售商就尽可能的延迟订货，则导致生产商的成本上升。由此可见，确定合理的、有效的价格机制是实现供应链系统协调的关键因素。在下一节中，本文将通过“三步建模法”确定 $w_1$ ， $w_2$ ， $b$ 三者之间的关系，建立有效的价格机制，实现生产商与销售商的利益最大化。

### 3.2 易逝品供应链系统协调机制模型——两阶段生产模式契约模型的构建

#### 3.2.1 研究假设

两阶段生产模式契约模型做出如下假设：

假设 1 为便于计算，单位生产成本 $c_i$ 中包括产品的库存成本和运输成本；

假设 2 在考虑 $r$ ， $c_1$ ， $c_2$ ， $v$ 之间的关系时，假设一般的市场定价情况，

$$r \geq c_2 \geq c_1 \geq v;$$

假设 3 针对  $x_e$ , 当  $x_e^a < x_e^b$  时, 满足  $F(x|x_e^a) > F(x|x_e^b)$ ;

假设 4 需求非负性, 即当  $x < 0$ ,  $f(x) = 0$ ;

假设 5 为便于计算, 假设所有的分布函数都是连续的、可逆的、可双积分的, 且与批发价格独立。

### 3.2.2 两阶段生产模式契约模型的构建

供应链系统作为一个整体度量运作绩效高低时, 要看供应链的协调能力, 如果由单一决策者利用全部信息决策使得供应链整体利润最大化, 这时供应链是集中式系统(Centralized System)。尽管这种情形在追求“横向一体化”和“非主营业务”外包的市场中越来越少, 但在理论研究和管理实践中往往把其作为系统实现完美协调的标准。这就意味着我们将在集中式系统下所得到的最大期望利润认为是系统达到协调时可获得的最大利润。

然而, 通常情况下, 大部分的供应链系统决策都是由具有不同利益的个体制定, 这些决策者可能来自不同的企业, 也可能来自同一企业的不同部门。一个合理的假设是供应链的决策者都以最大化自己部门的利润为目标, 而非考虑供应链的整体绩效。如果无法凭借供应链中的某一方的单独决策得到整体最优值, 即双方各自有激励方法(Incentive)和信息的使用权限, 这时称为分散式系统(Decentralized System)。

本文两阶段生产模式契约模型构建的方法是: 首先, 构建集中式系统的数学模型, 并计算系统协调的标准——集中式系统的最大期望利润; 其次, 构建分散式系统未缔结契约下的模型; 最后, 比较集中式系统与分散式系统未缔结契约下的各自利润, 获得分散式系统缔结契约时的数理模型。图 3-2 这就是上述研究供应链契约模型的方法——“三步建模法”。

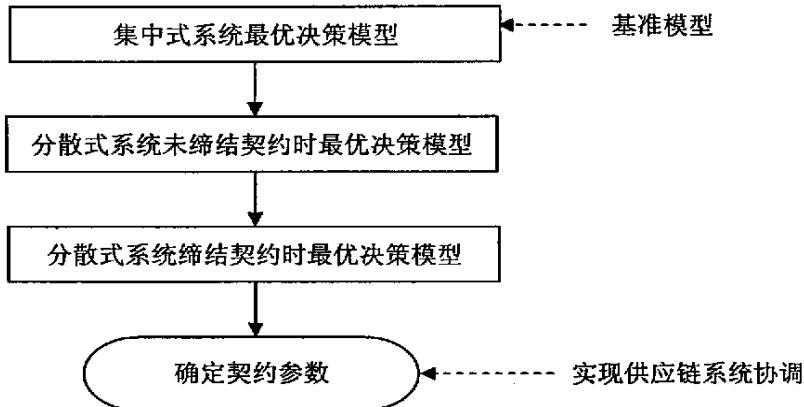


图 3-2 契约建模方法——“三步建模法”示意图

### 1) 集中式系统最优决策

在集中式系统中, 决策者(生产商和销售商是同一个决策者)是通过确定第一阶段与第二阶段的产量( $q_1, q_2$ )获得最大的期望利润的。

$$\max_{q_1 \geq 0} \pi^c(q_1) = -c_1 q_1 + \int_{x_e=0}^{\infty} H(x_e, q_1, q_2) f_o(x_e) dx_e \quad (3-2)$$

$$H(x_e, q_1, q_2) = \max_{q_2 \geq 0} h(x_e, q_1, q_2)$$

$$h(x_e, q_1, q_2) = -c_2 q_2 + \int_{x=0}^{q_1+q_2} \{rx + v(q_1 + q_2 - x)\} f(x|x_e) dx \\ + \int_{x=q_1+q_2}^{\infty} \{r(q_1 + q_2) - s(x - q_1 - q_2)\} f(x|x_e) dx$$

式中:  $\pi^c$ : 集中式系统期望利润;

$q_1$ : 生产商在第一阶段(即缓慢生产模式)的生产量;

$q_2$ : 生产商在第二阶段(即快速生产模式)的生产量;

$c_1$ : 缓慢生产模式(slow mode)下, 生产商的单位生产成本;

$c_2$ : 快速生产模式(fast mode)下, 生产商的单位生产成本

$x_e$ : 市场需求, 为随机变量, 其最小值为零;

$f_o(x_e)$ : 市场需求的概率密度函数;

$f(x|x_e)$ : 已知  $x_e$  条件下, 需求的概率密度函数;

$s$ : 由销售商向其客户支付的单位缺货赔偿金;

$v$ : 在销售季节结束后, 产品的单位残值

$r$ : 商品的零售价格, 为常数;

$H(x_e, q_1, q_2)$ : 表示第二阶段生产的问题, 即新的市场信息已知且需求预测相应更新的情况。

为了使第二阶段的算式中不含  $q_1$ , 用  $q$  代替  $q_1 + q_2$  可得到:

$$\max_{q_1 \geq 0} \pi^c(q_1) = (c_2 - c_1)q_1 + \int_{x_e=0}^{\infty} H(x_e, q_1) f_0(x_e) dx_e \quad (3-3)$$

其中  $H(x_e, q_1) = \max_{q \geq q_1} h(x_e, q)$

$$\begin{aligned} h(x_e, q) &= -c_2 q + \int_{x=0}^q \{rx + v(q-x)\} f(x|x_e) dx \\ &\quad + \int_{x=q}^{\infty} \{rq - s(x-q)\} f(x|x_e) dx \end{aligned} \quad (3-4)$$

用  $(q_1^c, q_2^c)$  表示集中式系统的最优解, 下面的引理 1 解释了该最优解的具体形式。

引理 1 在集中式系统中, 对于第一阶段的生产量  $q_1$  而言,  $\pi^c(q_1)$  凹函数。第二阶段的最优生产量  $q_2^c$  为:

$$q_2^c = \begin{cases} q^* - q_1^c, & \text{if } q^* \geq q_1^c \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3-5)$$

$$\text{且 } F(q^* | x_e) = (r + s - c_2) / (r + s - v) \quad (3-6)$$

从引理 1 中可以发现, 总产量在两个阶段的分配情况与以下两个因素有关。第一, 市场需求  $(x_e)$  可知的程度; 第二, 两个生产阶段的成本差值, 即  $(c_2 - c_1)$ 。

## 2) 分散式系统未缔结契约时的最优决策

在分散式系统下, 生产商和销售商的行为和决策可认为是斯坦博格博弈。首先, 销售商根据生产商提供的两阶段不同的批发价格确定其两次的定货量。接着, 生产商依据生产商的订单确定每阶段的生产量。根据契约约定, 生产商的总产量必须满足销售商的总定货量, 且供销双方都知道市场的需求情况 (如  $f_0$  和  $f$ )。

第一步, 我们先研究销售商的最优决策。用  $d_i$  表示销售商在第  $i$  阶段的定货

量, 销售商所要做的决策是: 根据契约  $\hat{w} = (w_1, w_2, b)$  决定  $d_1$  和  $d_2 = d - d_1$ , 使自身的期望利润最大化。

$$\max_{d_1 \geq 0} \pi^b(d_1 | \hat{w}) = (w_2 - w_1)d_1 + \int_{x_e=0}^d H^b(x_e, d_1) f_0(x_e) dx_e \quad (3-7)$$

其中  $H^b(x_e, d_1) = \max_{d \geq d_1} h^b(x_e, d)$

$$h^b(x_e, d) = -w_2 d + \int_{x=d}^d \{rx + b(d-x)\} f(x | x_e) dx \\ + \int_{x=d}^{\infty} \{rd - s(x-d)\} f(x | x_e) dx$$

式中:  $\pi^b$ : 分散式系统期望利润。

$d_1$ : 销售商在第一阶段(即缓慢生产模式)的定货量;

$d_2$ : 销售商在第二阶段(即快速生产模式)的定货量;

$\hat{w}: (w_1, w_2, b)$

其他符号与上相同;

销售商最优定货量的解的形式与集中式系统解的形式较为类似, 其解由下面的引理 2 给出:

引理 2 在第一阶段中, 销售商的期望利润函数  $\pi^b(d_1 | \hat{w})$  是关于第一阶段定货量  $d_1$  是凹的。第二阶段的最优定货量  $d_2^*$  是:

$$d_2^* = \begin{cases} d' - d_1 & \text{if } d' \geq d_1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3-8)$$

$$\text{且 } F(d' | x_e) = (r + s - w_2) / (r + s - b) \quad (3-9)$$

第二步, 确定生产商的最优决策。生产商的决策过程为: 根据销售商的订货决策, 生产商决定两个阶段的生产量  $(q_1, q_2)$ , 使其自身的期望利润最大化。在这一决策过程中, 我们假设生产商不能直接将产品销售给消费者, 同时, 生产商也不能向销售商供应超过总定货量  $d$  的产品。因此, 在第一阶段的订货量  $q_1$  确定之后, 为满足总订货水

平，生产商在第二阶段的最优生产量  $q_2^*$  为：

$$q_2^*(d) = \begin{cases} d - q_1 & \text{if } d_1 \geq q \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3-10)$$

由上式可知， $q_2^*$  为  $d$  的函数，且  $q_2^*$  在  $d$  已知的条件下可以确定其值。

相对于第二阶段最优产量  $q_2^*$  的确定，生产商在第一阶段的生产量  $q_1$  的决策更为复杂。显然，生产商在第一阶段必须至少生产  $d_1$  的量。因为其第一阶段的产量如果小于  $d_1$ ，那么在前一阶段少生产的部分势必在后一阶段进行生产。而根据契约，后阶段生产成本较高，生产商的此种决策必然造成生产成本的上升。所以，问题的关键就在于，在  $d_1$  的基础上，生产商是否应该生产过量的产品。这就取决于买方是否会进行第二次订货。

由于生产商同样拥有市场需求预测的信息，因此他可以通过市场需求预测的概率分布函数推测出销售商在两阶段的总订货量。为了便于计算，我们需要将买方的需求函数转换为卖方的需求函数，因此，作如下变量的定义。

第一，用  $d'(x_e)$  表示  $F^{-1}(d' | x_e)$ ，其涵义是在市场需求  $x_e$  的条件下，生产商估计销售商的总订货量；

第二，在已知  $d$  的条件下，用  $x_e(d)$  表示  $x_e$  最大值。由于  $F(d' | x_e) \geq (r + s - w_2)/(r + s - b)$ ，所以，

$$x_e(d) \equiv \arg \max_{x_e} F(d' | x_e) \geq (r + s - w_2)/(r + s - b) \quad (3-11)$$

又因为  $d \geq d_{\min}$ ，所以，

$$d_{\min} = F^{-1}\left(\frac{r + s - w_2}{r + s - b} | x_{\min}\right) \quad (3-12)$$

其中， $x_{\min}$  表示  $x_e$  的最小值；

$d_{\min}$  表示生产商估计的销售商的总定货量的最小值；

由此，生产商在第一阶段的生产量由下式表示：

$$\begin{aligned}
 & \max_{q_1 \geq d_1} \pi^m \left( q_1, \hat{w} \mid d_1 \geq d_{\min} \right) = \{(w_1 - c_1)d_1 - c_1(q_1 - d_1) \right. \\
 & + \int_{x_e=0}^{d_1} v(q_1 - d_1)f_o(x_e)dx_e \\
 & + \int_{x_e=x_e(d)}^{q_1} \{w_2\{d'(x_e) - d_1\} + v(q_1 - d'(x_e))\}f_o(x_e)dx_e \\
 & - \int_{x_e=x_e(q_1)}^{\infty} \{(w_2 - c_2)(d'(x_e) - q_1) + w_2(q_1 - d_1)\}f_o(x_e)dx_e \\
 & \left. - \int_{x_e=0}^{\infty} \int_{x=0}^{d'(x_e)} (b - v)(d'(x_e) - x) \times f(x \mid x_e) dx f_o(x_e) dx_e \}
 \end{aligned} \quad (3-13)$$

式中,  $\pi^m$ : 分散式系统未缔结契约时, 生产商的期望利润;

其他符号同上;

下面的引理 3 解释了生产商决策的最优解。

引理 3 在契约  $(w_1, w_2, b)$  下, 生产商在第一阶段的产量满足  $d_1 \geq d_{\min}$ , 为获得最大的期望利润, 则其在第一阶段的最优产量是:

$$q_1^* = \max\{d_1, q_1^+\} \quad (3-14)$$

$$\text{其中, } F_o(x_e(q^*)) = (c_2 - c_1)/(c_2 - v) \quad (3-15)$$

销售商从自身利益出发, 根据其在第二阶段的缺货成本 (underage costs) 和溢货成本 (overage costs) 确定总定货量  $d'$ 。这就导致了双重加价问题的出现, 最终促使生产商的定购量小于渠道协调时的最优定购量。

- (1) 销售商在确定总定货量  $d'$  之后, 确定第一阶段的最优订货决策  $d_1^*$ 。同时, 依据  $(c_2 : c_1)$  和  $(w_2 : w_1)$  的比例, 决定在第一阶段是订较多的产品或者是订较少的产品。
- (2) 生产商根据销售商的总定货量  $d'$  可以确定  $q_1^*$ 。而生产商第一阶段最优生产量  $q_1^*$  是通过  $d_1$  和  $q_1^+$  求得的 (见公式 3-14)。

综上所述, 在分散式系统下, 由于生产商和销售商都从自身的角度考虑产量与定货量, 从而导致了双重加价现象的出现, 两者的生产量和订货量都小于渠道协调时的最优量, 因此, 两者的期望利润也都小于集中式系统 (实现系统协调) 时的期望利润。为了解决渠道不协调的问题, 在下一节中, 我们将给出实现渠道协调的价格机制。

### 3) 分散式系统缔结契约时的最优决策

在本节中，我们将给出一个有效的价格机制，即通过契约 $(w_1, w_2, b)$ 中三个参数 $w_1, w_2, b$ 值，激励供需双方的生产量和订货量与集中式系统的最优决策相一致。而这种机制将使供销双方获得利润最大化，并能够充分利用两阶段生产模式的优势。

在分散式系统中，生产商在确定第一阶段的生产量 $q_1$ 拥有一定的自由权，但是，同时 $q_1$ 又受到销售商在第二阶段的总订货量的限制。因此，在确定有效的价格机制时，必须促使销售商的总定货量和集中式系统的最优总定货量相等，即 $d = q^c$ 。而从引理一和引理二可知， $d' = q'$ 是 $d = q^c$ 的必要非充分条件。由该必要条件可得：

$$b^c = (r + s) - (r + s - w_2) \left( \frac{r + s - v}{r + s - c_2} \right) \quad (3-16)$$

从(3-16)式中可知，当实现渠道协调时，回购价格 $b$ 与第二次批发价格 $w_2$ 之间的线性关系。

下一步需要考虑的是：在式子(3-16)的条件下，生产商如何确定其第一次的最优生产量 $q_1^*$ 。根据引理3， $q_1^*$ 由 $q_1^*$ 和 $d_1$ 两者中较大的值确定。而其中 $q_1^*$ 的值有一定的取值范围，由此，生产商有机会可能获得更高的单位边际收益（如 $w_2 - c_1$ ）。在这种利益驱动下，生产商有可能会生产比集中式系统下更多的产品，即 $q_1^* > q_1^c$ ，特别是在单位边际收益远大于成本差 $c_2 - c_1$ 的情况下。然而，命题1排除了这种可能性。

**命题1：**假设生产商拥有一份形式为 $(w_1, w_2, b)$ 的契约，其中， $b$ 已由式子(3-16)确定。 $q_1^*$ 和 $q_1^c$ 存在如下关系：

$$\begin{aligned} q_1^* &= q_1^c && \text{当 } \Delta(q_1^c) = 0 \\ q_1^* &< q_1^c && \text{当 } \Delta(q_1^c) \neq 0 \end{aligned}$$

其中， $\Delta(q_1) = F_0(x_e(q_1)) - \int_{x_e=0}^{x_e(q_1)} F(q_1 | x_e) f_0(x_e) dx_e \geq 0$  (3-17)

( $q_1^*$ 由引理3确定)

式子(3-17)中， $\Delta(q_1)$ 具体的涵义是：(3-17)式的第一项表示销售商第二次没

有订货的概率, (3-17) 式的第二项表示一个联合概率, 即销售商第二次没有订货且市场需求都已满足的概率。这两项的差值  $\Delta(q_1)$  表示销售商第二次没有订货且市场仍未得到需求满足的概率。由此可知,  $\Delta(q_1^c)=0$  表示如下的市场需求情况: 在销售季节开始之后, 获得的新市场信息  $x_e$  十分充分, 使得销售商对市场需求预测足以进行更新, 更新的预测结果为两种, 一种为市场低需求, 即  $\Pr\{x \leq q_1^c | x_e\} = 1$ , 因此销售商不进行第二次订货, 更新的预测结果另一种为市场高需求, 即  $\Pr\{x \leq q_1^c | x_e\} < (r+s-c_2)/(r+s-v)$ , 因此销售商进行第二次订货。

根据上述分析可知, 命题 1 证明了在市场信息充足的条件下, 只要满足  $d_1^* \leq q_1^c$ , 生产商的产量就实现渠道最优。而在其他情况下, 生产商的产量都会小于最优产量  $q_1^c$ , 为了使生产商的产量实现最优, 就必须激励销售商的定购量满足最优定购量  $d_1^* = q_1^c$ , 以下命题就给出了激励销售商做出最优定购决策的价格机制。

**命题 2:** 假设销售商拥有一份形式为  $(w_1, w_2, b)$  的契约, 其中,  $b$  已由式子 (3-16) 确定。如果批发价格满足以下条件, 则销售商通过定购  $d_1^* = q_1^c$  的商品可实现其最大的期望利润。

$$w_1^e = w_2 - (c_2 - c_1) \left( \frac{r + s - w_2}{r + s - c_2} \right) \quad (3-18)$$

式中,  $w_1^e$ : 表示实现供应链系统协调时的  $w_1$

式子 (3-18) 确定了销售商在第一阶段的定货量和总定货量都达到最优时  $w_1$  和  $w_2$  之间的关系。进一步研究可发现, 在该价格机制中, 第一阶段生产商的边际收益  $w_1 - c_1$  要高于第二阶段的边际收益  $w_2 - c_2$ , 以  $m_i = w_i - c_i$  表示在第  $i$  阶段的边际收益, 用  $m_1$  和  $m_2$  对式子 (3-18) 进行整理可得:

$$m_1 = m_2 + m_2 \left( \frac{c_2 - c_1}{r + s - c_2} \right) \quad (3-19)$$

从上式可知,  $m_1 > m_2$ , 同时, 随着两个阶段的成本差值  $c_2 - c_1$  的增大, 两个阶段的

边际差  $m_1 - m_2$  随之增大。

由命题 1 和命题 2 可得到命题 3 中的以下两个结论。

**命题 3：**假设生产商拥有一份形式为  $(w_1, w_2, b)$  的契约，当契约中的参数满足式子 (3-16) 和式子 (3-18) 时，实现渠道最优。通过化简，可得到下述两种特殊情况下的价格机制。

第一种情况：当  $\Delta(q_i^c) = 0$  且  $(d_1^* / dw_1) \leq 0$  时，式子 (3-16) 可化简为

$$w_1^{e1} \geq w_2 - (c_2 - c_1) \left( \frac{r + s - w_2}{r + s - c_2} \right) \quad (3-20)$$

第二种情况：当  $x = u(x_e)$ ，其中  $u$  表示  $x_e$  的增凸函数，式子 (3-16) 可简化为

$$w_1^{e2} \geq w_2 - (c_2 - c_1) \left( \frac{w_2 - b}{c_2 - v} \right) \quad (3-21)$$

式子 (3-20) 和 (3-21) 都表示了一系列实现协调的契约参数组合，且这些参数组合与市场需求分布是独立的。同时，式子 (3-20) 和 (3-21) 所代表的两种特殊市场需求情况，更进一步表明了随着第二阶段市场需求不确定性的降低，契约的价格会随之上升。对这一现象将在下面作详细地解释。

#### 4) 更新的市场需求信息对实现渠道协调价格机制的影响

在销售季节开始后、第二次订货前的一段时间里，销售商根据销售情况可以不断获得新的市场需求信息，并在此基础上做出不断更新的市场需求预测。根据命题 3 得出的结论进行进一步分析发现，销售商所获得的新市场需求信息的多寡将对实现协调时的价格机制产生影响。

第一类影响，批发价格的增加。当更新的市场需求信息不确定性降低时，即命题 3 给出的第一种情况  $\Delta(q_i^c) = 0$ ，生产商的批发价格可以在 (3-16)、(3-18) 确定范围内任意提高，而不会使其产量受到影响。

第二类影响，回购价格的降低。当更新的市场需求信息确定时，即命题 3 给出的第二种情况  $x = u(x_e)$ ，生产商可以将回购价格在 (3-16)、(3-18) 确定范围内任意降低，而不会影响销售商的第二次定购量。

因为供销双方的利润总量是一个常量，所以，由上述两种更新的市场需求信息情

况而产生的契约价格的变化实质上体现了利润在生产商和销售商分割的变化。命题 4 给出了这一变化的规律。

命题 4 在式子 (3—16) 和式子 (3—18) 确定的实现渠道协调的价格机制中，生产商的期望利润随着  $w_2$  的增加而线性增加。

正因为销售商的利润与生产商的利润之和不变，一方利润的增加必须以另一方利润减少为代价，所以，根据命题 4，进一步可知，销售商的期望利润随着  $w_2$  的增加而线性降低。

### 5) 需求信息不对称对实现渠道协调价格机制的影响

在之前所有的分析中，我们以契约的方式规定销售商必须告知生产商其需求预测，从而使得双方对市场需求状况的了解程度是一致的。为了使研究内容更具完整性，我们继续探讨在信息不对称的条件下（即生产商不掌握销售商需求预测）契约的参数是否将有变化。

由于无法知道销售商的需求预测，生产商唯有依赖于销售商的订货量来确定其产量。因此，为实现渠道协调，价格机制必须满足  $d_1^* = q_1^c$ 。对于命题 3 中的第一种情况，仍需同时满足(3—16)和(3—18)两个，而针对命题 3 中的第二种情况，可得：

$$w_1^{e2} = w_2 - (c_2 - c_1) \left( \frac{w_2 - b}{c_2 - v} \right) \quad (3-22)$$

经上式与式 (3—21) 比较，可以得到需求信息不对称对实现渠道协调价格机制影响的结论是：

(1)在信息不对称的情况下，信息对称条件下的价格机制仍可适用；(2)针对命题 3 中所指的两种特殊情况，其价格机制的范围缩小，契约中价格有所降低。

## 3.3 算例

### 3.3.1 基本情况与参数确定

假设某销售商销售经营某种易逝商品，与其上游的生产商缔结了一份形式为

$(w_1, w_2, b)$  两阶段生产模式的契约。为实现渠道协调和获得最大的利润，双方约定的契约价格参数满足 (3-16) 和 (3-18) 并且假设是：1)  $w_1 = 13.4$ ；2)  $w_2 = 14$ ；3)  $b = 12.8$ 。另假设供销双方未实现渠道协调时的契约参数分别是：1)  $w_1 = 12$ ；2)  $w_2 = 14$ ；3)  $b = 11$ 。同时，模型中其他参数假设为： $c_2 = 10$ ， $c_1 = 7$ ， $r = 5$ ， $v = 4$ ， $s = 0$  顾客需求  $(F)$  服从正态分布，其均值是 120，方差 20。

### 3.3.2 计算结果与分析

运用 MATLAB 软件，分别将上节中假设的参数分别代入集中式系统、分散式系统未缔结契约和分散式系统缔结契约三个数理模型中，

具体的计算过程为：

第一步，求解集中式系统最大期望利润  $\pi^c$

集中式系统模型目标函数是  $\max_{q_1 \geq 0} \pi^c(q_1) = (c_2 - c_1)q_1 + \int_{x_e=0}^{\infty} H^c(x_e, q_1) f_0(x_e) dx_e$

其中，

$$1) H^c(x_e, q_1) = \max_{q \geq q_1} h^c(x_e, q)$$

$$2) h^c(x_e, q) = -c_2 q + \int_{x_e=0}^q \{rx + v(q-x)\} f(x|x_e) dx + \int_{x_e=q}^{\infty} \{rq - s(x-q)\} f(x|x_e) dx$$

$$3) q_2^c = \begin{cases} q^c - q_1^c, & \text{if } q^c \geq q_1^c \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$4) F(q^c | x_e) = (r+s-c_2)/(r+s-v)$$

依次求解  $F(q^c | x_e)$ ， $q^c$ ， $h^c(x_e, q)$ ， $H^c(x_e, q_1)$ ， $q_1^c$ ，可得  $\pi^c$

第二步，求解分散式系统未缔结契约时销售商的利润  $\pi^b$  和生产商利润  $\pi^m$  且满足契约  $(11, 14, 11)$  即  $w_1 = 12$ ， $w_2 = 14$ ， $b = 11$ 。

分散式系统未缔结契约是销售商目标函数

$$\max_{d_1 \geq 0} \pi^b(d_1 | \hat{w}) = (w_2 - w_1)d_1 + \int_{x_e=0}^{\infty} H^b(x_e, d_1) f_0(x_e) dx_e$$

其中，

$$1) H^b(x_e, d_1) = \max_{d \geq d_1} h^b(x_e, d)$$

$$2) h^b(x_e, d) = -w_2 d + \int_{x=0}^d \{rx + b(d-x)\} f(x|x_e) dx + \int_{x=d}^{\infty} \{rd - s(x-d)\} f(x|x_e) dx$$

$$3) d_2^* = \begin{cases} d' - d_1 & \text{if } d' \geq d_1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$4) F(d'|x_e) = (r+s-w_2)/(r+s-b)$$

依次求解  $F(d'|x_e)$ ,  $d'$ ,  $h^b$ ,  $H^b$ ,  $d_1$ , 可得  $\pi^b$

分散式系统未缔结契约是生产商目标函数：

$$\begin{aligned} \max_{q_1 \geq d_1} \pi^m(q_1, w | d_1 \geq d_{\min}) &= \{(w_1 - c_1)d_1 - c_1(q_1 - d_1) \\ &+ \int_{x_e=0}^{x_e(d_1)} v(q_1 - d_1) f_o(x_e) dx_e \\ &+ \int_{x_e=x_e(d)}^{x_e(q_1)} \{w_2 \{d'(x_e) - d_1\} + v(q_1 - d'(x_e))\} f_o(x_e) dx_e \\ &- \int_{x_e=x_e(q_1)}^{\infty} \{(w_2 - c_2)(d'(x_e) - q_1) + w_2(q_1 - d_1)\} f_o(x_e) dx_e\} \\ &- \int_{x_e=0}^{d'(x_e)} (b - v)(d'(x_e) - x) \times f(x|x_e) dx f_o(x_e) dx_e \end{aligned}$$

其中，

$$1) x_e(d) \equiv \arg \max_{x_e} F(d'|x_e) \geq (r+s-w_2)/(r+s-b) \text{ 即 } d'(x_e) = F^{-1}(d'|x_e)$$

$$2) d_{\min} = F^{-1}\left(\frac{r+s-w_2}{r+s-b} | x_{\min}\right)$$

$$3) q_1^* = \max\{d_1, q_1\}$$

$$4) F_o(x_e(q')) = (c_2 - c_1)/(c_2 - v)$$

依次求解  $F_o(x_e(q'))$ ,  $q_1$ ,  $q_1^*$ ,  $d'(x_e)$ , 可得  $\pi^m$

第三步，将 (13.4, 14, 12.8) 代入分散式系统未缔结契约时模型，求解分散式系统缔结契约时生产商和销售商的利润，

经过计算可得供销双方以及系统总利润是 (见表 3-1)：

表 3-1 三种供应链系统模型的利润分配表

系统状态	渠道总利润	销售商利润	生产商利润
集中式系统	854.15	—	—
分散式系统未缔结契约	610.67	213.02	397.65
分散式系统缔结契约	854.15	270.63	583.52

从表 3-1 中可以看出，

- 1) 从整个供应链系统的角度考虑，以集中式系统作为衡量基准，分散式系统缔结契约状态实现了供应链系统利润最大化。而分散式系统未缔结契约时的渠道总利润无法实现最大利润。通过数例分析，证实契约可以实现预期的目标，达到消除“双边际效应”的目的。
- 2) 从供应链的各个子系统角度出发，销售商与生产商在分散式系统缔结契约条件下都实现了利润的增长。

进一步分析销售商与生产商在两个阶段的定货量可以看到（表 3-2）：

表 3-2 三种供应链系统模型的产量和定购量比较表

系统状态	销售商定购量			生产商产量		
	总定购量	第一阶段	第二阶段	总产量	第一阶段	第二阶段
集中式系统	120.00	120.00	0	120.00	120.00	0
分散式系统 未缔结契约	117.72	115.43	2.28	117.72	117.72	0.00
分散式系统 缔结契约	120.00	106.52	13.48	120.00	120.00	0.00

- 1) 从整个供应链系统的角度考虑，以集中式系统作为衡量基准，分散式系统缔结契约状态获得了最大的产量与定购量，使得客户的需求得到了最大的满足。相对而言，分散式系统未缔结契约时的渠道总产量与定购量都未达到最大值。通过数例分析，再一次证实契约可以实现预期的目标，达到消除“双边际效应”的目的。

- 2) 从供应链的各个子系统角度出发,销售商与生产商在分散式系统缔结契约条件下都达到了最大的定购量与生产量,从而实现了利润的最大化。
- 3) 在分散式系统中,可以发现,生产商在第二阶段的产量为零,即生产商根据第一阶段的产量以及销售商的第二次定货量做出了不生产的决策。生产商在第二阶段的产量表明她利用销售商提供的更新的市场信息对需求做出预测,使得第一阶段产量略高于第一阶段销售商的定购量,从而降低了生产成本,获得了更大的利润。而销售商则利用生产商给予的两次订货机会,在需求旺盛时期,规避缺货风险,在需求低迷时,利用退货的方式降低风险。

## 本章小结

本章首先针对易逝品供应链的特点,建立了市场需求更新条件下的两阶段生产模式的易逝品契约,并定义契约形式为 $(w_1, w_2, b)$ ,其中第一阶段生产方式比第二阶段生产方式具有更长的生产期、较低的成本和距离销售期较远的特点;在此基础上,运用“三步建模法”分别对集中式系统、分散式未缔结契约和分散式缔结契约三种供应链系统进行建模分析,并得到以下主要结论:

- 1) 未缔结契约时的订货量将小于缔结契约实现渠道协调时的定货量,从而证明通过契约的激励作用可以消除“双边效应”,且供销双方和整个供应链系统可以实现利润最大化。
- 2) 销售商所获得的新市场需求信息的多寡将对实现渠道协调时的价格机制产生影响。
- 3) 在市场需求信息不对称的情况下,信息对称条件下的价格机制在一定范围内仍可适用。

其次,运用 MATLAB 软件,对集中式系统、分散式系统未缔结契约和分散式系统缔结契约三个数理模型进行数例分析,以直观的方式验证了设计的契约实现供应链系统协调以及供销双方利润的最大化。

## 第四章 易逝品供应链系统协调机制的经济效率分析

在前文中，我们已经确立一个可以实现供应链系统协调的契约，即协调机制。但是，契约的类型具有多样性，不同的契约可以为买卖双方带来不同的利益。因此，当面对其他类型的契约<sup>4</sup>时，买卖双方是否依旧愿意采用前一章节确立的两阶段生产模式的契约呢？以下我们将通过 Pareto 分析，解决上述问题。

### 4.1 经济效率分析方法——Pareto 分析

经济效率分析隶属于福利经济学的范畴，用于判断各种不同的资源配置的优劣，以及确定所有可能的资源配置种的最优资源配置。它适用于多人组成的社会在多种资源配置状态中进行选择的情况。

本文易逝品供应链系统协调机制符合经济效率分析的条件。第一，易逝品供应链系统协调机制即契约由单个生产商和单个销售商构成，这是一个两人的社会，满足福利经济学对社会中人数的要求；第二，买卖双方面对多种不同形式的契约，通过选择某种类型的契约分别进行组织生产与销售，而选择某种类型的契约就确定了某种资源配置的方式，由此满足对资源配置状态个数的要求。

那么判断经济效率的标准是什么呢？经济学家经常将资源的最大效率配置称为“帕累托最优”（Pareto optimum）或者“帕累托原则”（Pareto Principle），并将其作为检验经济总体运行效率与社会福利大小的一种准则，它指的是在某种既定的资源配置状态，任何改变都不可能使至少一个人的状况变好，而又不使任何人的状况变坏。利用“帕雷托最优”可以对资源配置状态的任一变化做出“好”与“坏”的判断：如既定的资源配置状态使得至少有一个人的状况变好，而没有使任何人的状况变坏，则认为这种资源配置状态的变化使“好”的；否则认为是“坏”的。这种以“帕雷托最优”来衡量为“好”的状态改变称为“帕雷托改进”。

通过上述定义可知，如果一旦实现了“帕雷托改进”，则这种资源配置就可以认

<sup>4</sup> 对于其他类型契约，为使研究更具备一般性，本文选取两种传统的一阶段生产模式的契约。

为是“好”的。由前一章节的分析可知，我们通过确立了一个两次生产模式下的价格机制，实现了供应链的协调的目标。然而，这个新的价格机制与传统的一次生产模式相比是否是“好”的呢？如果，两阶段生产模式的协调机制实现了“帕雷托改进”，我们则认为该协调机制是具有经济效率的，同时，认为两阶段生产模式契约是买卖双方更乐于接受的。

在本节中，将前章节中研究得出的协调机制——二次生产模式下的契约分别与两种传统的一次生产方式的契约进行 Pareto 分析，检验二次生产模式下的契约是否可以实现“帕雷托改进”，即该契约的经济效率。

#### 4.2 传统易逝品契约与两阶段生产模式易逝品契约的经济效率分析

在本小节中，我们首先考虑当生产商采用生产模式由 JIT 一次生产的旧模式转向二次生产的新模式时，是否可以实现“帕雷托改进”。其中，二次生产模式指，第一次生产为成本较低的批量生产方式，第二次生产为成本较高的 JIT 生产方式。用契约形式可将该生产模式的转换表示为：

$$\left( \hat{w} \right) \rightarrow \left( w_1, \hat{w}, b \right) \quad (4-1)$$

其中， $\hat{w}$ ：表示 JIT 生产模式下的批发价格；

$w_1$ ：表示二次生产模式中，第一次批量生产的批发价格；

$b$ ：表示回购价格；

假设 JIT 生产方式是指销售商根据实际的客户需求向卖方下订单的方式。用  $x_e$  表示客户的需求量，则  $x = u(x_e) = x_e$ 。可得到以下引理：

引理 4 假设  $x = u(x_e)$ ，其中  $u$  是  $x_e$  的凸增函数，在  $w_2$  已知并且其值由 (3-21) 定义的条件下，生产商的期望利润随着  $b$  的增加而减少，随着  $w_1$  的增加而增加。

首先，考虑在旧生产模式下生产商的期望利润的变化情况。我们用  $d_2(JIT)$  表示销售商的定购量， $q_2(JIT)$  表示生产商的产量。根据 JIT 的特点，可知

$d_2(JIT) = q_2(JIT) = x$ , 并且  $x$  与批发价格  $\hat{w}$  是不相关。为了使结果更具一般性, 我们对  $\hat{w}$  不作任何假设。然而在具体实践中,  $\hat{w}$  可能是根据市场的规律或生产商的最大期望利润确定的。用  $\pi''(JIT)$  表示生产商在旧生产模式下的期望利润, 可得:

$$\pi''(JIT) = \left(\hat{w} - c_2\right)E[x] \quad (4-2)$$

由 (4-2) 式可见, 生产商的期望利润在  $\hat{w} = r$  时 达到最大值。

其次, 考虑现存的旧生产模式  $\begin{pmatrix} \hat{w} \\ w \end{pmatrix}$  下, 生产商为了增加其期望利润, 是否会选择向二次生产方式  $\begin{pmatrix} w_1, \hat{w}, b \end{pmatrix}$  转变, 并且考虑这种生产方式的改变是否会带来供应链的不协调。命题 5 给出了答案:

命题 5 假设生产商由 JIT 一次生产模式  $\begin{pmatrix} \hat{w} \\ w \end{pmatrix}$  向二次生产模式  $\begin{pmatrix} w_1, \hat{w}, b \end{pmatrix}$  转变。如果生产商的批发价格满足由 (3-21) 定义的关系 (即实现供应链协调), 则:

- 1) 生产商在  $w_1^* = \hat{w}$  和  $b^* = v$  的条件下获得最大期望利润。
- 2) 销售商的期望利润保持不变。
- 3) 生产商的期望利润会增加。

通过对命题 5 的分析可得到以下两方面主要结论。

- 1) 由命题 5 的第二点和第三点命题结果可知, 二次生产模式实现了“帕雷托改进”, 即生产模式的转变使得生产商的利润获得增加, 同时没有造成销售商利润的损失。由此, 解决了新生产模式经济效率的问题。
- 2) 二次生产模式是生产商获得最大利润的生产方式。由命题 5 的第一点可知, 生产商为获得最大期望利润可以通过不提供回购政策和将第一次批发价格提高至与第二次批发价格一致的策略, 当然, 在这种决策下, 新生产模式契约就与旧生产模式契约的本质则相同了。因此, 生产商的最优决策是: 使用二次生产模式, 并利用第一次批量生产的方式节约生产成本。与此同时, 生产商无可避免面对第一次生产过量的风险。但是, 我们可以发现该风险与期望利润的增加值相比是微不足道的。

其次，我们考虑生产商由另一种旧生产模式向新生产模式转变时的期望利润变化情况。在这个生产模式转变中，我们假设生产商的旧生产模式为：一次的批量生产，新的生产方式为在此基础上加入第二次生产，JIT生产方式。用契约表示生产模式转换，可得：

$$\left(\hat{w}\right) \rightarrow \left(\hat{w}, w_2, b\right) \quad (4-3)$$

其中； $\hat{w}$ ：表示批量生产方式的批发价格；

$w_2$ ：表示二次生产模式下的第二次生产方式的批发价格；

$b$ ：表示回购价格；

通过研究发现，在这个契约转换的过程中，在某些条件下，无法实现“帕雷托改进”。为进行进一步的研究，我们通过式(4-3)假设 $F_o$ 从而确定生产商第二阶段的最优批发价格 $w_2^*$ 。

$$\frac{dd_1^*}{dw_2} < \frac{\int_{-\infty}^{\hat{w}} [u(x_e) - d_1^*] f_o(x_e) dx_e}{v \left( \frac{c_2 - c_1}{c_2 - v} - \frac{w_2 - \hat{w}}{w_2 - v} \right)}$$

$$\text{其中, } w_2 \in \left[ \hat{w}, c_2 + \left( \hat{w} - c_1 \right) \left( \frac{c_2 - v}{c_1 - v} \right) \right]$$

$$d_1^* = F_o^{-1} \left( \frac{w_2 - \hat{w}}{w_2 - v} \right) \quad (4-4)$$

命题 6 假设生产商由一次批量生产模式 $(\hat{w})$ 向二次生产模式 $(\hat{w}, w_2, b)$ （即第一次生产为批量生产，第二次生产为JIT生产）转变。如果生产商确定的批发价格满足式子(3-21)（即实现供应链系统协调的情况下）且 $F_o$ 满足式子(4-4)的条件下，可得：

1、当 $w_2^* = c_2 + \left( \hat{w} - c_1 \right) \left( \frac{c_2 - v}{c_1 - v} \right)$ 和 $b^* = v$ 时，生产商获得最大期望利润。

2、销售商的期望利润会增加。

3、如果  $\hat{w}$  满足条件 (4—4)，生产商的期望利润不会下降。

通过对命题 6 的分析可得到以下两方面主要结论：

- 1) 由命题 6 的第二点和第三点命题结果可知，在满足式子 (4—4) 的条件下，二次生产模式实现了“帕雷托改进”即生产模式的转变使得销售商的利润获得增加，同时没有造成生产商利润的损失。由此，解决了新生产模式经济效率的问题。
- 2) 与前节中生产模式的转变比较可知，这节中生产模式的转变能否实现“帕雷托改进”并同时满足供应链系统协调的条件取决于批量生产方式的批发价格  $\hat{w}$  的取值范围。

## 本章小结

为检验易逝品供应链系统两阶段生产模式契约的经济效率，本章引入福利经济学中的 Pareto 分析。首先分析了 Pareto 分析在易逝品供应链系统协调机制——契约中的适用性，其次对两种传统的…次生产方式的契约分别与本文设计的两阶段生产模式下的契约进行了 Pareto 分析，得到以下主要结论：

- 1) 在 JIT 一次生产模式转向两次生产模式时，销售商的期望利润保持不变，生产商的期望利润会增加，从而验证新契约可以实现“帕雷托改进”；
- 2) 在一次批量生产模式转向两次生产模式时，能否实现“帕雷托改进”取决于批量生产方式的批发价格  $\hat{w}$  的取值范围。

## 第五章 结论与展望

### 5.1 论文的主要工作和结论

自上世纪末至今，科学技术在飞速发展、人们对产品的需求层次、产品质量和服务质量的要求在不断提升、越来越多产品具有易逝品的特性，致使企业面临的市场不确定性与日俱增，企业间的竞争也愈加激烈。市场的变化促使愈来愈多的企业将目光集聚在产品的供应链上，他们期望通过供应链上下游企业的合作与协同以挖掘更多的利润。但是，供应链上各个企业间是否协调，目标是否一致将直接影响着供应链的绩效，协调则可获得“ $1+1>2$ ”的效果，失调则产生“ $1+1<2$ ”的后果。因此，国内外学者越来越关注供应链系统协调以及实现协调的协调机制的理论与实践研究，特别是在需求不确定和需求更新条件下，易逝品这一类特殊产品的供应链系统协调与协调机制方面的研究。

目前，诸多学者在供应链系统协调和协调机制的观点上存在一定差异，说明在这一方面还有较大的研究空间。针对这一问题，本文对易逝品的供应链系统协调和协调机制进行了研究。主要内容包括：

1) 讨论了对引起供应链失调的根本原因及其表征，定义了供应链系统协调和供应链系统协调机制的概念，并给出解决供应链失调的问题方法。

首先，定义了供应链系统协调的概念；其次，讨论了引起供应链系统失调的根本原因及其表征，认为成员间利润目标的冲突与信息不对称是造成供应链失调的根本原因，并具体表现为“双边效应”和“牛鞭效应”；然后，定义了供应链系统协调机制，指出供应链系统失调的问题可以通过供应链系统协调机制激励约束供应链上的企业行为，从源头上抑制引发供应链失调的原因并消除供应链不协调的现象的发生。最后，提出和分析了采用契约这种协调机制实现供应链的协调。

2) 构建了市场需求更新条件下的两阶段生产模式的易逝品供应链系统契约（协调机制）模型，运用“三步建模法”进行建模从而确定契约参数之间的关系，同时，

研究了市场需求信息的变化对契约的影响。

首先，针对易逝品供应链系统的特 点，建立了由供应链上相邻节点的单个生产商与单个销售商构成并具备两阶段生产模式以及市场需求信息可以更新的易逝品供应链系统契约。其次，分别从集中式、分散式未缔结契约和分散式缔结契约三个具有代表性的供应链系统进行数理建模。然后，对供销双方的利润、订货量进行了分析。结果表明，未缔结契约时的订货量将小于缔结契约实现渠道协调时的定货量和利润，从而证明通过契约的激励机制可以消除“双边效应”，且供销双方和整个供应链系统可以实现利润最大化。同时发现，销售商所获得的新市场需求信息的多寡将对实现渠道协调时的价格机制产生影响。最后，运用 MATLAB 软件对集中式系统、分散式系统未缔结契约和分散式系统缔结契约三个数理模型进行了算例分析，以直观的方式验证了本文设计的契约可以实现供应链系统协调。

### 3) 运用 Pareto 分析检验了设计的契约的经济效率。

首先，分析了 Pareto 分析在易逝品供应链系统协调机制中的适应性。其次，将两阶段生产模式的新契约与两种一次生产模式的传统契约进行 Pareto 分析。结果表明，由传统的 JIT 一次生产模式转向两阶段生产模式时，销售商的期望利润保持不变，生产商的期望利润会增加，从而验证新契约可以实现“帕雷托改进”；由传统的一次批量生产模式转向两阶段生产模式时，能否实现“帕雷托改进”取决于批量生产方式的批发价格<sup>w</sup>的取值范围。

## 5.2 进一步研究工作的展望

以易逝品供应链系统的协调机制为起点，本文选择了单个销售商和单个生产商组成的供应链系统为研究对象，仅探讨了在市场需求更新的条件下，两阶段渠道协调问题，这当然是出于简化模型的考虑。虽然，与本文假设的模型相比，现实的供应链系统是更为复杂的，但从这个简化模型中可以获得启发式结论或研究思路，从而对于解决更复杂或更现实的问题提供了基础和借鉴意义。在本文研究的基础上，对上述研究环境和研究对象可以在以下两个方面进行探讨：

- 1) 研究多期与长期的供应链系统协调机制。本文仅仅研究了两个周期的供应链

系统协调机制。在实践中，供应链上的合作往往是一段时期甚至于长达数年之久。因此，在确定契约以激励约束对方的行为时更关注是：由契约所决定的激励机制是否在较长的时间与周期内使双方的利润分配不会产生冲突。所以，在多周期的研究条件下，如何制定激励机制值得探讨。

2) 考察存在竞争的市场环境。本文的模型研究了供应链由单个销售商和单个生产商组成的情况。而在现实的市场环境下，供应链系统上一对多，多对多的情形非常普遍的。因此，各销售商之间、各生产商之间都存在着激烈的竞争，此时竞争情况下的市场较之一对一的市场情况又更复杂了。当市场存在竞争时，系统将如何在分散式系统下实现最佳的绩效、如何激励各成员在独立个体最优的决策框架下做出有利于系统整体利益的决策将是值得关注的。

## 致 谢

本研究是在我的导师宗蓓华教授悉心指导下完成的。她严谨的治学精神和精益求精的工作作风，深深地感染和激励着我。两年来，宗老师不仅在学业上给我以精心指导，同时还在思想、生活上给我以无微不至的关怀，在此谨向宗老师致以诚挚的谢意和崇高的敬意。

在此，我还要感谢郑士源博士、武骁博士、李耀鼎博士以及其他同学，正是由于你们的帮助和支持，我才能克服一个一个的困难和疑惑，直至本文的顺利完成。

最后我还要感谢悉心培养我的父母，谢谢你们！

## 参考文献

- 1 刘丽文. 供应链管理思想及其理论和方法的发展过程. 管理科学学报, 2003,6(2):81-88
- 2 K.Crock. Vertical integration and the strategic use of private information. Bell Journal of Economics, 1983, 14
- 3 B.Blair, T.Lewis. Optimal retail contracts with asymmetric information and moral hazard. Rand Journal of Economics, 1994, 25
- 4 R.Romano. Double moral hazard and resale price maintenance. Rand Journal of Economics, 1994, 25
- 5 B.Pasternack. Optimal pricing and return policies for perishable commodities. Marketing Science, 1985, 4
- 6 L.Lal. Improving channel coordination through franchising. Marketing Science, 1990, 9
- 7 K.Weng. Channel coordination and quantity discounts. Management Science, 1995, 41
- 8 A.Jeuland, S.Shugan. Management channel profits. Marketing Science, 1983, 2
- 9 R.Lai and R.Staelin. An approach for developing an optimal discount pricing policy. Management science., 1984, 30(12)
- 10 J.Monahan. On "comment on "a quantity discount pricing model to increase vendor profits". Management science, 1988, 34(11)
- 11 L.Lee, M.Rosenblatt. A generalized quantity discounts pricing model to increase supplier's profits. Management science, 1986, 33(9)
- 12 E.Porteus, S.Whang. On manufacturing/marketing interface. Management Science, 1991, 37(9)
- 13 A.Iyer and M.Bergen. Quick response in manufacturer-retailer channels. Management Science.1997, 43(4)
- 14 M.Lariviere , E. Porteus. Stalking information: Bayesian inventory management with unobserved lost sales. Management Science, 1999, 45(3)

- 15 J.Li, H. Lau, AH.Lau. A two-product newsboy problem with satisfying objective and independent exponential demands. IIE Transaction, 1991, 23(1): 29~39
- 16 M.Anvari. Optimality criteria and risk in inventory models: the case of the newsboy problem. Journal of operation research society, 1987, 38: 625~632.
- 17 L.Eeckhoudt, C. Gollier, H.Schlesinger. The risk averse (and prudent) newsboy. Management science, 1995, 41(6): 786~794
- 18 A.Atkinson. Incentives, uncertainty, and risk in the newsboy problem. Decision Science, 1979, 10(2): 341~357.
- 19 Y.Gerchak, A.Tripathy and K.Wang. Co-production models with random yields. IIE Transaction, 1996, 28: 391~403.
- 20 Y.Bassok, R.Anupindi, R.Akella. Single-period multi-product models with substitution. Operation Research, 1999, 47(4): 632~642.
- 21 M.Parlar, SK. Goyal. Optimal ordering decision for two substitutable products with stochastic demands. Operation Research, 1984, 21(1): 1~15.
- 22 H.Scarf. A min-max solution of an inventory problem. In: Arrow K, Karlin, S, Scarf H editors. Studies in the mathematical theory of inventory and production. Standford, CA: Standford University press. 1958, 201~209.
- 23 W.Shih. A note on Bayesian approach to newsboy inventory problem. Decision Science, 1973, 4(2): 184~189.
- 24 W.Shih. Optimal inventory policies when stock-outs result from defective products. International Journal of Product Research, 1980, 18(6): 677~686.
- 25 R.Hill. Applying Bayesian methodology with a uniform prior to the single period inventory model. European Journal of Operational Research, 1997, 98(2): 552~562.
- 26 G.Hadley, TM.Whitin. Analysis of inventory systems. Cliffs, NJ: prentice-Hall. Englewood.1963.
- 27 S.Nahmias, CP.Schmidt. An efficient heuristic for the multi-item newsboy problem with a single constraint. Naval Research Logistic, 1984, 31(4): 463~474.
- 28 H.Lau, A.Lau. The multi-product multi-constraint newsboy problem: application, formulation and solution. Journal of Operation Management, 1995, 13(1): 153~162.

- 29 M.Paralar and D. Wang. Diversification under yield randomness in inventory models. European Journal of Operational Research, 1993, 66(1): 52~64.
- 30 M. Kodama, Probabilistic single period inventory model with partial returns and additional orders. Computer and Industry Engineering, 1995, 29(4): 455~459.
- 31 G. Eppen. Effects of centralization on expected costs in a multi-location newsboy problem. Management Science, 1979, 25(4): 498~501.
- 32 P.Kouvelis and GJ.Gutierrez. The newsvendor problem in a global market: optimal centralization and decentralized control policies for a two-market stochastic inventory system. Management Science, 1997, 43(4): 571~585.
- 33 P.E. Pfeifer. The airline discount fare allocation problem. Decision Science, 1989, 20: 149~157.
- 34 L.R. Weathford, P.E. Pfeifer. The economic value of using advance booking of orders. Omega, 1994, 22(1): 105~111.
- 35 Jeuland, Shugan. Purchasing must become supply management. Harvard Business Review, 1983, (5)109-117.
- 36 Monahan. Get leverage from logistics. Harvard Business Review, 1984, (3):119-127.
- 37 Lee H, Rosenblatt M J. A generalized quantity discount pricing model to increase supplier profits. Management Science, 1985, 32 (9):1177-1185.
- 38 Moorthy. Coordinating of production and distribution planning. European Journal of Operation Research, 1987, 72: 503-517.
- 39 Cachon, Laxiviere. What is the right supply chain for product?. Harvard Business Review, 1997, (March-April):105-116.
- 40 Iyer, Bergen. Tailored logistics: the next advantages. Harvard Business Review, 1997, (May-June):81-93.
- 41 Ha. Managing a Multi-company Supply Chain. Supply Chain Management Review, 1997, (Spring).
- 42 Cachon, Lariviere. Logistic Chain Modeling. European Journal of Operation Research, 1997, 87:1-20.
- 43 Weng. Optimal Lot Sizing Algorithms for Complex Product Structures. Operations

- Research, 1995, 34:237-244.
- 44 Cachon,Lariviere. A Multi-stage Production/ Inventory Systems Under Stochastic Economics. Demand International Journal of Production, 1996, 35 (1-3): 391-400.
- 45 Weng. Evaluating Echelon Stock (R, nQ) Policies in Serial Production/Inventory Systems with Stochastic Demand. Management Science, 1997, 40(10):1262- 1275.
- 46 Li, Kouvelis. Performance Analysis of a Multi2item Production2inventory System under Alternative Policies. Management Science, 1997 , 41(4) : 690-703.
- 47 Milner. Rosenblatt.Two2interval Inventory Allocation Policies in one2warehouse N Identical Retailer Distribution System. Management Science, 1997, 39 (9):1092-1107.
- 48 Daniel, K. H.1963. A delivery-lag inventory model with emergency. H.E. Scarf, D.M. Gilford, M.W. Shelly, eds. Multistage Inventory Models and Techniques. Stanford University Press, Stanford, CA.
- 49 Fukuda, Y. 1964. Optimal policies for the inventory problem with negotiable lead-time. Management Science, 10 (4) 690-708
- 50 Whittemore, A.S., S.C. Saunders. 1997. Optimal inventory under stochastic demand with two supply options. SIAM. J. Appl. Math.32 293-305
- 51 Moinzadeh,K., S. Nahmies. 1988. A continuous review inventory model for an inventory system with two supply modes. Management Science. 34(6) 761-773.
- 52 Zhang, V. L. 1995. Ordering policies for an inventory system with supply flexibility. Ph.D. thesis, Department of Industrial Engineering and Engineering Management, Stanford University , Stanford, CA.
- 53 Lawson, D. G. 1995 Flexible lead times: a multi-echelon perspective. Ph.D. thesis, Department of Operations Research, Stanford University, Stanford, CA.
- 54 陈安, 刘鲁. 供应链管理问题的研究现状及挑战. 系统工程学报, 2000, 15 (2): 179—186
- 55 Malone T. W. Modeling coordination in organization and markets. Management science, 1987, 33(10): 1317—1332.
- 56 Hoppe, R.M. Outlining a Future of Supply Chain Management Coordinated Supply

- Networks. Thesis from the Civil Engineering. Tufts University. 2001.
- 57 Gan, X., Sethi,S., Yan, H. Supply Chain Coordination with a Risk-Averse Retailer and a Risk-Neutral Supplier. Production and Operations Management. 2004, 13(2). 135-149
- 58 Hewitt F. Supply chain redesign [J]. The International Journal of Logistics Management, 1994,5(2):1-9.
- 59 Romano P. Coordination and integration mechanisms to manage logistics processes across supply networks [J]. Journal of Purchasing & Supply Management, 2003, 9:119-134.
- 60 Sitnaturang T M, Wright A C, Sridharan R. The knowledge of coordination for supply chain Integration[J]. Business Process Management, 2002, 8(3):289-308.
- 61 Spengler, J. 1950. Vertical integration and antitrust policy. J. Political Econom.58, 347-352.
- 62 Tirole, J. 1988. The Theory of Industrial Organization. The MIT Press, Cambridge, MA.
- 63 赵泉午. 易逝品两级供应链中的数量折扣问题研究.系统工程学报, 2005, 6: 318-322
- 64 陈旭. 考虑批发价格更新的易逝品的零售商订货策略.中国管理科学, 2004, 8: 57-62

## 附录 1 算例编程

```

r=15;
c1=7;
c2=10;
v=4;
s=0;
mu=120;
sigma=20;
q=norminv((r+s-c2)/(r+s-v),mu,sigma);
h=quad('f1',0,q)+quad('f2',q,n)-c2*q;
tc=(c2-c1)*q+quad('f0',0,n)*h;

r=15;
c1=7;
c2=10;
v=4;
s=0;
mu=120;
sigma=20;
w1=13.4;
w2=14;
b=12.8;
d=norminv((r+s-w2)/(r+s-b),mu,sigma);
hb=quad('f3',0,d)+quad('f4',d,n)-w2*d;
tb=(w2-w1)*d+quad('f0',0,n)*hb;
q=norminv((c2-c1)/(c2-v),mu,sigma);
qm=max(d,q);
tm=(w1-c1)*d-c1*(qm-d)+quad('f5',0,d)+quad('f6',d,qm)-quad('f7',qm,n)-dblquad('f8',0,d,0,n);

r=15;
c1=7;
c2=10;
v=4;
s=0;
mu=120;
sigma=20;

```

```
w1=12;
w2=14;
b=11;
d=norminv((r+s-w2)/(r+s-b),mu,sigma);
hb=quad('f9',0,d)+quad('f10',d,n)-w2*d;
tb=(w2-w1)*d+quad('f0',0,n)*hb;
q=norminv((c2-c1)/(c2-v),mu,sigma);
qm=max(d,q);
tm=(w1-c1)*d-c1*(qm-d)+quad('f11',0,d)+quad('f12',d,qm)-quad('f13',qm,n)-dblquad('f14',0,d,0,n);

function f=f0(x)
f=normpdf(x,mu,sigma);

function f=f1(x)
f=(r.*x+v.*(q-x)).*normpdf(x,mu,sigma);

function f=f2(x)
f=(r.*q-s.*(x-q)).*normpdf(x,mu,sigma);

function f=f3(x)
f=(r.*x+b.*(d-x)).*normpdf(x,mu,sigma);

function f=f4(x)
f=(r.*d-s.*(x-d)).*normpdf(x,mu,sigma);

function f=f5(x)
f=v.*(qm-d).*normpdf(x,mu,sigma);

function f=f6(x)
f=(w2.* (d-d)+v*(qm-d)).*normpdf(x,mu,sigma);

function f=f7(x)
f=((w2-c2).*(d-qm)+w2.* (qm-d)).*normpdf(x,mu,sigma);

function f=f8(x,y)
f=(b-v).*(d-x).*normpdf(x,mu,sigma).*normpdf(y,mu,sigma);

function f=f9(x)
f=(r.*x+b.*(d-x)).*normpdf(x,mu,sigma);

function f=f10(x)
f=(r.*d-s.*(x-d)).*normpdf(x,mu,sigma);
```

```
function f=f11(x)
f=v.*(qm-d).*normpdf(x,mu,sigma);

function f=f12(x)
f=(w2.*(d-d)+v*(qm-d)).*normpdf(x,mu,sigma);

function f=f13(x)
f=((w2-c2).*(d-qm)+w2.*(qm-d)).*normpdf(x,mu,sigma);

function f=f14(x,y)
f=(b-v).*(d-x).*normpdf(x,mu,sigma).*normpdf(y,mu,sigma);

function [Q,fcnt] = quad(funfcn,a,b,tol,trace,varargin)
%QUAD Numerically evaluate integral, adaptive Simpson quadrature.
% Q = QUAD(FUN,A,B) tries to approximate the integral of function
% FUN from A to B to within an error of 1.e-6 using recursive
% adaptive Simpson quadrature. The function Y = FUN(X) should
% accept a vector argument X and return a vector result Y, the
% integrand evaluated at each element of X.
%
% Q = QUAD(FUN,A,B,TOL) uses an absolute error tolerance of TOL
% instead of the default, which is 1.e-6. Larger values of TOL
% result in fewer function evaluations and faster computation,
% but less accurate results. The QUAD function in MATLAB 5.3 used
% a less reliable algorithm and a default tolerance of 1.e-3.
%
% [Q,FCNT] = QUAD(...) returns the number of function evaluations.
%
% QUAD(FUN,A,B,TOL,TRACE) with non-zero TRACE shows the values
% of [fcnt a b-a Q] during the recursion.
%
% QUAD(FUN,A,B,TOL,TRACE,P1,P2,...) provides for additional
% arguments P1, P2, ... to be passed directly to function FUN,
% FUN(X,P1,P2,...). Pass empty matrices for TOL or TRACE to
% use the default values.
%
% Use array operators .*, ./ and .^ in the definition of FUN
% so that it can be evaluated with a vector argument.
%
% Function QUADL may be more efficient with high accuracies
```

```

% and smooth integrands.

%
% Example:
%     FUN can be specified as:
%
%     An anonymous function:
%         F = @(x) 1./(x.^3-2*x-5);
%         Q = quad(F,0,2);
%
%     A function handle:
%         Q = quad(@myfun,0,2);
%         where myfun.m is an M-file:
%             function y = myfun(x)
%                 y = 1./(x.^3-2*x-5);
%
% Class support for inputs A, B, and the output of FUN:
%     float: double, single
%
% See also QUADV, QUADL, DBLQUAD, TRIPLEQUAD, @.

%
% Based on "adaptsim" by Walter Gander.
% Ref: W. Gander and W. Gautschi, "Adaptive Quadrature Revisited", 1998.
% http://www.inf.ethz.ch/personal/gander
% Copyright 1984-2004 The MathWorks, Inc.
% $Revision: 5.26.4.3 $ $Date: 2004/03/24 03:05:30 $

f = fcncchk(funfcn);
if nargin < 4 || isempty(tol), tol = 1.e-6; end;
if nargin < 5 || isempty(trace), trace = 0; end;

% Initialize with three unequal subintervals.
h = 0.13579*(b-a);
x = [a a+h a+2*h (a+b)/2 b-2*h b-h b];
y = f(x, varargin{:});
fcnt = 7;

% Fudge endpoints to avoid infinities.
if ~isfinite(y(1))
    y(1) = f(a+eps(superiorfloat(a,b))*(b-a),varargin{:});
    fcnt = fcnt+1;
end
if ~isfinite(y(7))
    y(7) = f(b-eps(superiorfloat(a,b))*(b-a),varargin{:});
end

```

```

fcnt = fcnt+1;
end

% Call the recursive core integrator.
hmin = eps(b-a)/1024;
[Q(1),fcnt,warn(1)] = ...
    quadstep(f,x(1),x(3),y(1),y(2),y(3),tol,trace,fcnt,hmin,varargin{:});
[Q(2),fcnt,warn(2)] = ...
    quadstep(f,x(3),x(5),y(3),y(4),y(5),tol,trace,fcnt,hmin,varargin{:});
[Q(3),fcnt,warn(3)] = ...
    quadstep(f,x(5),x(7),y(5),y(6),y(7),tol,trace,fcnt,hmin,varargin{:});
Q = sum(Q);
warn = max(warn);

switch warn
    case 1
        warning('MATLAB:quad:MinStepSize', ...
            'Minimum step size reached; singularity possible.')
    case 2
        warning('MATLAB:quad:MaxFcnCount', ...
            'Maximum function count exceeded; singularity likely.')
    case 3
        warning('MATLAB:quad:ImproperFcnValue', ...
            'Infinite or Not-a-Number function value encountered.')
    otherwise
        % No warning.
end

```

%-----

```

function [Q,fcnt,warn] = quadstep (f,a,b,fa,fc,fb,tol,trace,fcnt,hmin,varargin)
%QUADSTEP Recursive core routine for function QUAD.

maxfcnt = 10000;

% Evaluate integrand twice in interior of subinterval [a,b].
h = b - a;
c = (a + b)/2;
if abs(h) < hmin || c == a || c == b
    % Minimum step size reached; singularity possible.
    Q = h*fc;
    warn = 1;
    return

```

```
end
x = [(a + c)/2, (c + b)/2];
y = f(x, varargin{:});
fcnt = fcnt + 2;
if fcnt > maxfcnt
    % Maximum function count exceeded; singularity likely.
    Q = h*fc;
    warn = 2;
    return
end
fd = y(1);
fe = y(2);

% Three point Simpson's rule.
Q1 = (h/6)*(fa + 4*fc + fb);

% Five point double Simpson's rule.
Q2 = (h/12)*(fa + 4*fd + 2*fc + 4*fe + fb);

% One step of Romberg extrapolation.
Q = Q2 + (Q2 - Q1)/15;

if ~isfinite(Q)
    % Infinite or Not-a-Number function value encountered.
    warn = 3;
    return
end
if trace
    disp(sprintf('%8.0f %16.10f %18.8e %16.10f', fcnt, a, h, Q))
end

% Check accuracy of integral over this subinterval.
if abs(Q2 - Q) <= tol
    warn = 0;
    return

% Subdivide into two subintervals.
else
    [Qac, fcnt, warnac] = quadstep(f, a, c, fa, fd, fc, tol, trace, fcnt, hmin, varargin{:});
    [Qcb, fcnt, warncb] = quadstep(f, c, b, fc, fe, fb, tol, trace, fcnt, hmin, varargin{:});
    Q = Qac + Qcb;
    warn = max(warnac, warncb);
end
```

```
function Q = dblquad(intfcn,xmin,xmax,ymin,ymax,tol,quadr,varargin)
%DBLQUAD Numerically evaluate double integral.
% DBLQUAD(FUN,XMIN,XMAX,YMIN,YMAX) evaluates the double integral of
% FUN(X,Y) over the rectangle XMIN <= X <= XMAX, YMIN <= Y <= YMAX.
% FUN(X,Y) should accept a vector X and a scalar Y and return a
% vector of values of the integrand.
%
% DBLQUAD(FUN,XMIN,XMAX,YMIN,YMAX,TOL) uses a tolerance TOL
% instead of the default, which is 1.e-6.
%
% DBLQUAD(FUN,XMIN,XMAX,YMIN,YMAX,TOL,@QUADL) uses quadrature
% function QUADL instead of the default QUAD.
% DBLQUAD(FUN,XMIN,XMAX,YMIN,YMAX,TOL,@MYQUADF) uses your own
% quadrature function MYQUADF instead of QUAD. MYQUADF should
% have the same calling sequence as QUAD and QUADL.
%
% DBLQUAD(FUN,XMIN,XMAX,YMIN,YMAX,TOL,@QUADL,P1,P2,...) passes
% the extra parameters to FUN(X,Y,P1,P2,...).
% DBLQUAD(FUN,XMIN,XMAX,YMIN,YMAX,[],[],P1,P2,...) is the same
% as DBLQUAD(FUN,XMIN,XMAX,YMIN,YMAX,1.e-6,@QUAD,P1,P2,...)
%
% Example:
% FUN can be an anonymous function or a function handle.
%
% Q = dblquad(@(x,y) (y*sin(x)+x*cos(y)), pi, 2*pi, 0, pi)
%
% or
%
% Q = dblquad(@integrnd, pi, 2*pi, 0, pi)
%
% where integrnd.m is an M-file:
% function z = integrnd(x, y)
% z = y*sin(x)+x*cos(y);
%
% This integrates y*sin(x)+x*cos(y) over the square
% pi <= x <= 2*pi, 0 <= y <= pi. Note that the integrand
% can be evaluated with a vector x and a scalar y .
%
% Nonsquare regions can be handled by setting the integrand
% to zero outside of the region. The volume of a hemisphere is
```

```

%      dblquad(@(x,y) sqrt(max(1-(x.^2+y.^2),0)),-1,1,-1,1)
%
%      or
%
%      dblquad(@(x,y) sqrt(1-(x.^2+y.^2)).*(x.^2+y.^2<=1), -1,1,-1,1)
%
% Class support for inputs XMIN,XMAX,YMIN,YMAX, and the output of FUN:
%     float: double, single
%
% See also QUAD, QUADL, TRIPLEQUAD, @.

% Copyright 1984-2004 The MathWorks, Inc.
% $Revision: 1.15.4.2 $ $Date: 2004/03/24 03:05:29 $

if nargin < 5, error('MATLAB:dblquad:NotEnoughInputs',...
    'Requires at least five inputs.'); end
if nargin < 6 || isempty(tol), tol = 1.e-6; end
if nargin < 7 || isempty(quadf), quadf = @quad; end
intfcn = fnchk(intfcn);

trace = [];

Q = feval(quadf, @innerintegral, ymin, ymax, tol, trace, intfcn, ...
    xmin, xmax, tol, quadf, varargin{:});

%-----function Q = innerintegral(y, intfcn, xmin, xmax, tol, quadf, varargin)
%INNERINTEGRAL Used with DBLQUAD to evaluate inner integral.
%
% Q = INNERINTEGRAL(Y,INTFCN,XMIN,XMAX,TOL,QUADF)
% Y is the value(s) of the outer variable at which evaluation is
% desired, passed directly by QUAD. INTFCN is the name of the
% integrand function, passed indirectly from DBLQUAD. XMIN and XMAX
% are the integration limits for the inner variable, passed indirectly
% from DBLQUAD. TOL is passed to QUAD (QUADL) when evaluating the inner
% loop, passed indirectly from DBLQUAD. The function handle QUADF
% determines what quadrature function is used, such as QUAD, QUADL
% or some user-defined function.

% Evaluate the inner integral at each value of the outer variable.

fc1 = intfcn(xmin, y(1), varargin{:}); %evaluate only to get the class below

```

```
Q = zeros(size(y), superiorfloat(fcl, xmax, y));
trace = [];
for i = 1:length(y)
    Q(i) = feval(quadf, intfcn, xmin, xmax, tol, trace, y(i), varargin{:});
end
```

## 附录 2 引理与命题的证明

1、引理 1 证明：在  $x_e$  已知的条件下，因为  $h'(x_e, q)$  是  $q$  的凹函数，所以，

$$\frac{d^2 h'(x_e, q)}{dq^2} = -(r + s - v)f(q | x_e) \leq 0。另，-H'(x_e, q_1) = \min_{q \geq q_1} -h'(x_e, q)$$

数。由于凸函数的负值是凹的，所以  $H'(x_e, q_1)$  是  $q_1$  的凹函数。又因为两个凹函数的和仍为凹函数，所以  $\pi^c(q_1)$  是  $q_1$  的凹函数。

2、引理 2 证明：同引理 1。

3、引理 3 证明：因为式子 (3-13) 是一个报童模型，可以引用一阶条件。

4、引理 4 证明： $w_1$  和  $b$  的取值范围由式子 (3-21) 决定。因为  $q^* = q^c$ 、 $q_1^* = q_1^c$ ，且假设  $x = u(x_e)$ ，将上述等式关系代入生产商的期望利润函数 (3-13) 中，可得，

$$\begin{aligned} \pi'' &= (w_1 - c_1)d_1^* - c_1(q_1^c - d_1^*) + \int_{x_e=0}^{u^{-1}(d_1^*)} \{(v - b)(d_1^* - u(x_e)) + v(q_1^c - d_1^*)\} f_o(x_e) dx_e \\ &\quad + \int_{x_e=u^{-1}(d_1^*)}^{u^{-1}(q_1^c)} \{w_2(u(x_e) - d_1^*) + v(q_1^c - d_1^*)\} f_o(x_e) dx_e \\ &\quad + \int_{x_e=u^{-1}(q_1^c)}^{\infty} \{(w_2 - c_2)(u(x_e) - q_1^c) + w_2(q_1^c - d_1^*)\} f_o(x_e) dx_e \end{aligned} \quad (1)$$

1) 首先考虑  $b$  值的变化对式子 (1) 的影响。随着  $b$  值的减小，可得到  $\pi''$  的变化情况

$$\begin{aligned} \text{为: } \frac{d\pi''}{db} &= w_1 \frac{dd_1^*}{db} - \int_{x_e=0}^{u^{-1}(d_1^*)} \left\{ b \frac{dd_1^*}{db} + (d_1^* - u(x_e)) \right\} f_o(x_e) dx_e \\ &\quad - \int_{x_e=u^{-1}(q_1^c)}^{u^{-1}(q_1^c)} (w_2 + v) \frac{dd_1^*}{db} f_o(x_e) dx_e \\ &\quad - \int_{x_e=u^{-1}(q_1^c)}^{\infty} w_2 \frac{dd_1^*}{db} f_o(x_e) dx_e \\ &= - \int_{x_e=0}^{u^{-1}(d_1^*)} (d_1^* - u(x_e)) f_o(x_e) dx_e \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{dd_1^*}{db} \left[ w_1 - b \left( \frac{w_2 - w_1}{w_2 - b} \right) - (w_2 + v) \left( \frac{c_2 - c_1}{c_2 - v} - \frac{w_2 - w_1}{w_2 - b} \right) - w_2 \left( 1 - \frac{c_2 - c_1}{c_2 - v} \right) \right] \\
& = - \int_{x_e=0}^{u^{-1}(d_1^*)} (d_1^* - u(x_e)) f_o(x_e) dx_e - v \frac{dd_1^*}{db} \left( \left( \frac{c_2 - c_1}{c_2 - v} - \frac{w_2 - w_1}{w_2 - b} \right) \right)
\end{aligned}$$

因为  $d_1^*$  值由  $F_o(u^{-1}(d_1^*)) = (w_2 - w_1)/(w_2 - b)$  确定，则可知  $dd_1^*/db > 0$ ，所以，  
 $d\pi^m/db^* < 0$ ，即生产商的期望利润随着  $b$  值的减小而减小。

2) 其次当  $w_1$  增加时， $\pi^m$  值的计算方法如上同。因为

$$\frac{d\pi^m}{dw_1^*} = d_1^* - v \frac{dd_1^*}{dw_1} \left( \frac{c_2 - c_1}{c_2 - v} - \frac{w_2 - w_1}{w_2 - b} \right),$$

且  $d_1^*$  值由  $F_o(u^{-1}(d_1^*)) = (w_2 - w_1)/(w_2 - b)$  确定，则可知  $dd_1^*/dw_1 < 0$ ，所以  
 $d\pi^m/dw_1^* > 0$ ，即生产商的期望利润随着  $w_1$  值的增大而增大。

4、命题 1 证明：首先，我们确定集中式系统中决策者对于  $q_1^c$  最优决策。生产商第一阶段问题可由下式表示

$$\max_{q_1 \geq 0} \pi^c(q_1) = (c_2 - c_1)q_1 + \int_{x_e=0}^{\infty} H'(x_e, q_1) f_o(x_e) dx_e$$

$$\text{定义 } x_e^c(q) \text{ 为 } x_e^c(q) \equiv \arg \max F(q | x_e) \geq \left( \frac{r+s-c_2}{r+s-v} \right) \quad (2)$$

由(3-16)可得  $\frac{r+s-c_2}{r+s-v} = \frac{r+s-w_2}{r+s-b}$ ，所以，在  $q \geq d_{\min}$  的条件下， $x_e(q) = x_e^c(q)$ 。对(3-2)

求导可得  $\frac{d\pi}{dq_1} = (c_2 - c_1)$

$$+ \int_{x_e=0}^{x_e(q_1)} \left[ -c_2 + \int_{x_e=0}^{q_1} vf(x | x_e) dx + \int_{x_e=q_1}^{\infty} (r+s) f(x | x_e) dx \right] f_o(x_e) dx_e = 0 \quad (3)$$

对(3)简化得到

$$\left( \frac{r+s-v}{r+s-c_2} \right) \int_{x_e=0}^{x_e(q_1)} F(q_1^c | x_e) f_o(x_e) dx_e - \left( \frac{c_2 - c_1}{r+s-c_2} \right) = F_o(x_e(q_1^c)) \quad (4)$$

对(4)两边同乘以  $(r+s-c_2)/(c_2 - v)$  可得：

$$\left( \frac{r+s-v}{c_2-v} \right) \int_{x_e=0}^{x_e(q_1^c)} F(q_1^c | x_e) f_o(x_e) dx_e - \left( \frac{c_2-c_1}{c_2-v} \right) = \left( \frac{r+s-v}{c_2-v} - 1 \right) F_O(x_e(q_1^c)) \quad (5)$$

对(5)整理可得  $\left( \frac{r+s-v}{c_2-v} \right) \left( F_O(x_e(q_1^c)) - \int_{x_e=0}^{x_e(q_1^c)} F(q_1^c | x_e) f_o(x_e) dx_e \right) + \left( \frac{c_2-c_1}{c_2-v} \right) = F_O(x_e(q_1^c)) \quad (6)$

$$\text{将 } \Delta(q_1^c) \text{ 代入(20)中, 得 } \left( \frac{r+s+v}{c_2-v} \right) \Delta(q_1^c) + \left( \frac{c_2-c_1}{c_2-v} \right) = F_O(x_e(q_1^c)) \quad (7)$$

将(7)式中定义的  $q_1^c$  与引理 3 中  $q_1^*$  比较可得到两种情况。如果  $\Delta(q_1^c) = 0$ , 则  $q_1^c = q_1^*$ ; 如果  $\Delta(q_1^c) \neq 0$ , 则  $q_1^c > q_1^*$ 。

5、命题 2 证明：销售商第一阶段问题可由下式表示：

$$\max_{d_1 \geq 0} (w_2 - w_1) d_1 + \int_{x_e=0}^{\infty} H^b(x_e, d_1) f_o(x_e) dx_e \quad (8)$$

根据式(3-16), 用  $x_e(d)$  表示第一阶段问题, 可以得到:

$$\begin{aligned} \frac{d\pi}{dd_1} = & (c_2 - c_1) + \int_{x_e=0}^{x_e(d_1)} \left\{ -c_2 + \int_{x_e=0}^{d_1} v f(x | x_e) dx \right. \\ & \left. + \int_{x_e=d_1}^{\infty} (r+s) f(x | x_e) dx \right\} f_o(x_e) dx_e = 0 \end{aligned} \quad (9)$$

简化(9)可得:  $\left( \frac{r+s-b}{r+s-w_2} \right) \int_{x_e=0}^{x_e(d_1^*)} F(d_1^* | x_e) dx_e - \left( \frac{w_2 - w_1}{r+s-w_2} \right) = F_o(x_e(d_1^*)) \quad (10)$

将(10)与(4)比较可知, 由于满足条件(3-16), 两表达式在第一部分是一致的, 如果  $w_1$  满足条件(3-18), 第二部分也是一致的。所以,  $d_1^* = q_1^c$ 。

6、命题 3 证明：从引理 3 可知,  $q_1^* = \max\{d_1^*, q_1^*\}$ 。根据(3-18)、命题 2 和命题 3 可以得到  $q_1^* = \max\{d_1^*, q_1^*\} = q_1^c$ , 再根据(3-16), 得到  $d^* = q^*$ 。

情况 1, 由于  $\Delta(q_1^c) = 0$ , 且由命题 1 可知  $q_1^c = q_1^*$ , 从命题 2 推出在条件(3-20)下, 销售商的定购量满足  $d_1^* \leq q_1^c$ 。最终, 由引理 3 得到:

$$q_1^* = \max\{d_1^*, q_1^*\} = \max\{d_1^*, q_1^c\} = q_1^c \quad (11)$$

情况 2 为证明情况 2, 首先建立集中式系统下的一系列最优解。假设  $x = u(x_e)$ , 集中式系统第二阶段决策表示为

$$\begin{aligned} h^*(x_e, q) &= r \min\{u(x_e), q, -c_2 q + v \max\{q - u(x_e), 0\} \\ &\quad - s \max\{u(x_e) - q, 0\}\} \end{aligned} \quad (12)$$

由于需求在第二阶段是已知, 其量不超过  $u(x_e)$ , 可得:

$$H^*(x_e, q_1) = \max_{q \geq q_1} h(x_e, q) = ru(x_e) - c_2 q^* + v(q^* - u(x_e))$$

其中  $q^* = \max\{u(x_e), q_1\}$ , 又因为

$$\begin{aligned} \pi^c(q_1, q) &= \max_{q_1 \geq 0} \{(c_2 - c_1)q_1 + \int_{x_e=0}^{u^{-1}(q_1)} (-c_2 q_1 + ru(x_e)) F_o(x_e) dx_e \\ &\quad + \int_{x_e=u^{-1}(q_1)}^{\infty} (r - c_2)u(x_e) F_o(x_e) dx_e\} \end{aligned} \quad (13)$$

(13) 对  $q_1$  求导得:

$$\frac{d\pi^c(q_1, q)}{dq_1} = c_2 - c_1 - (c_2 - v)F_o(u^{-1}(q_1)) \quad (14)$$

当  $x = u(x_e)$  时,  $\pi^c$  是  $q_1$  的凹函数, 则第一阶段满足以下条件:

$$F_o(u^{-1}(q_1^c)) = \frac{c_2 - c_1}{c_2 - v} \quad (15)$$

买方满足下述条件:

$$F_o(u^{-1}(d_1^*)) = \frac{w_2 - w_1}{w_2 - b} \quad (16)$$

比较 (15) 和 (16), 可知 (3-21) 表明  $d_1^* \leq q_1^*$ 。从引理 3 和定理 1 可以推出

$$q_1^* = \max\{d_1^*, q_1^*\} = \max\{d_1^*, q_1^c\} = q_1^c \quad (17)$$

7、命题 4 证明: 在 (3-16) 和 (3-18) 的价格机制条件下, 生产商的期望利润是:

$$\begin{aligned} \pi^m(w_2) &= (w_1^* - c_1)q_1^c + (w_2 - c_2) \int_{x_e=x_e(q_1^c)}^{u^{-1}(w_2)} (q^c(x_e) - x) f(x|x_e) f_o(x_e) dx dx_e \\ &\quad - (b^* - v) \int_{x_e=0}^{\infty} \int_{x=0}^{u^{-1}(x_e)} (q^c(x_e) - x) f(x|x_e) f_o(x_e) dx dx_e \end{aligned} \quad (18)$$

$w_1^*$  和  $b^*$  表示满足条件 (3—16) 和 (3—18) 下的值。 (18) 对  $w_2$  求导, 得:

$$\begin{aligned} \frac{\pi''(w_2)}{dw_2} = & \left(\frac{r+s-c_1}{r+s-c_2}\right)q_1^c + \int_{x_e=x_e(q_1^c)}^{\infty} (q^c(x_e) - q_1^c)f_o(x_e)dx_e \\ & - \left(\frac{r+s-v}{r+s-c_2}\right) \int_e^{\infty} \int_{x=0}^{q^c(x_e)} (q^c(x_e) - x)f(x|x_e)dx dx_e \end{aligned} \quad (19)$$

所以,  $\pi''$  是线性递增或递减。假设  $w_2 = c_2$ ,  $w_2 = r+s$ , 得到:

$\pi''(r+s) > \pi''(c_2)$ , 因此,  $\pi''$  是关于  $w_2$  线性递增的。

8、命题 5 证明: 第一个结论直接可从引理 4 得到。关于第二个结论, 对买方而言, 新契约  $(\hat{w}, \hat{w}, v)$  与原契约是一致的, 因此, 买方的定购量和期望利润不会改变。对于第三个结论, 用  $\pi''(New)$  表示生产商的期望利润, 可得

$$\begin{aligned} \pi''(New) = & \hat{w} E[d_2^o] - c_1 q_1^c + \int_{x_e=0}^{\hat{w}^{-1}(q_1^c)} v(q_1^c - u(x_e))f_o(x_e)dx_e \\ & - \int_{x_e=\hat{w}^{-1}(q_1^c)}^{\infty} c_2(u(x_e) - q_1^c)f_o(x_e)dx_e \end{aligned} \quad (20)$$

(20) 与 (4—2) 比较得:  $\pi''(New) \geq \pi''(JIT)$ 。

9、命题 6 证明: 用  $d_1(Batch)$  表示买方在批量生产契约下的定购量, 其中:

$$d_1(Batch) = u(F_o^{-1}\left(\frac{r+s-\hat{w}}{r+s-v}\right)) \quad (21)$$

假设买方的契约是  $(\hat{w}, w_2, b^*)$ , 其中,  $b^* = v$ , 买方为减少溢货成本, 可以在第一阶段定购  $d_1(Batch)$ , 而在第二阶段定购  $x - d_1(Batch)$ 。用  $\pi''(Batch)$  表示传统契约下生产商的期望利润, 其中,  $\pi''(Batch) = (\hat{w} - c_1)d_1(Batch)$ 。类似的, 用  $\pi''(New)$  表示两阶段契约下生产商的期望利润, 将  $d_1^* = q_1^c$  和  $b^* = v$  代入 (3), 得到:

$$\pi''(New) = (\hat{w} - c_1)q_1^c + \int_{x_e=u^{-1}(q_1^c)}^{\infty} \{(w_2^* - c_2)(u(x_e) - q_1^c)\}f_o(x_e)dx_e \quad (22)$$

比较  $\pi''(Batch)$  和  $\pi''(New)$  可得:

$$\pi''(New) - \pi''(Batch) = -m d_1(Batch) + m \int_{x_e=u^{-1}(q_1^c)}^{\infty} \left(\frac{c_2 - v}{c_1 - v}\right)u(x_e)f_o(x_e)dx_e \quad (23)$$

当  $\hat{m} = \hat{w} - c_1$  时,  $\pi'''(New) - \pi'''(Batch) < 0$ , 当且仅当

$$d_1(Batch) \leq \int_{x_e=u^{-1}(q_1^c)}^{\infty} \left( \frac{c_2 - v}{c_1 - v} \right) u(x_e) f_o(x_e) dx_e \quad (24)$$

将 (21) 代入 (24) 中即可证明第三条结论。