

东华大学

硕士学位论文

供应链库存随时间变化的补货与定价模型

姓名：黄一岩

申请学位级别：硕士

专业：管理科学与工程

指导教师：徐琪

20080101

## 摘要

随着经济全球化和高新技术的快速发展,企业必须企业与企业之间形成供应链联盟,才能相互促进,获得集体竞争力。库存在供应链管理中扮演着重要的角色,它直接关系到供应链成本的高低和服务质量的好坏。因此研究库存控制问题具有深远的意义。

全文研究了供应链环境下的产品补货与定价模型,该模型包含了三个关键点:面向产品生命周期、需求时变性和两级供应链库存。本文首先分析了产品生命周期理论和曲线特征,进一步探讨了产品在不同生命周期阶段反映的市场需求特征;其次重新界定了生命周期中的成长期和衰退期范围,并将库存模型分这两个阶段进行研究,通过构造符合成长期和衰退期需求特点的需求函数分别建立两级供应链下供应方和需求方的利润函数,得到双方的最优定价和补货量,使其双方利润最大化。最后通过实例进行计算机模拟,论证了模型给出的结论具有较强的现实意义,即:在产品成长期,供需双方的最优补货量和定价随时间的推移而逐渐升高;在产品衰退期,供需双方的最优补货量和定价以及利润随时间的推移而逐渐递减。并且,当延长产品的补货周期后,在库存成本时效性大于货价的时效性时,在产品成长期,制造商的后期定价始终高于前期定价;在产品衰退期,制造商的补货周期内,后期定价均高于前期定价。但是,制造商在不同的补货周期的定价仍然呈下降走势。由于定价的影响,配送商的订货量和利润也有类似的变动规律。

**关键词** 两级库存;补货与定价策略;产品生命周期;时变需求

## **Abstract**

With the global economy and the high development of technology, Companies in china meet the global competition intensifying of resource and marketing. They have to associate with each other , forming a supply chain union to keep them competitive. The inventory management is one of the important elements in the supply chain management. It will directly impact the whole reasonable cost and the service quality. So the task of research on inventory is a long and meaningful work.

The paper studies the ordering and pricing model in the Supply Chain. The strategy includes three key points: Product Lifecycle orientation, variable demand and two-level inventory. Firstly, the paper deeply analyzes the concept of Product Lifecycle and its characteristics. Then, considering the two phase of requirements increasing and declining, we could derive supplier's optimum fixed price and consumer's optimum ordering quantity through separately establishing the profit function models of both sides of the supply and demand. Finally, we explain the models through the computation example and get the results that the profits of both sides of supply and demand are increased by the time going in each period in growth phase but are decreased in decreasing phase. Besides, the ordering quantity from the part of demand and the pricing from the part of supply will be larger in the growth phase of Product Lifecycle than the time in decline phase. We find the study has the very strong reality and significance on its further development and means that a theoretical foundation is provided for both the vendor and vendee to merge their

inventories together. These manifest the idea of inventory management in the supply chain and are more useful and operational.

**Keywords** Two-level Inventory; Replenishment and Pricing; Product Lifecycle; Variable Demand

图表目录

图 1-1 本文研究内容基本框架 ..... 11

图 2-1 供应链模型分类的两个层面..... 18

图 2-2 确定性经济订货批量模型..... 28

图 2-3 不确定需求下的库存..... 31

图 2-4 需求的正态分布密度函数..... 33

图 3-1 产品生命周期曲线..... 37

图 3-2 循环一再循环型生命周期..... 38

图 3-3 扇型生命周期曲线..... 39

表 1-1 供应链中库存问题中的研究进展..... 8

表 6-1 补货周期为 10 的模型模拟结果..... 68

表 6-2 补货周期为 20 的模型模拟结果..... 69

## 东华大学学位论文原创性声明

本人郑重声明：我恪守学术道德，崇尚严谨学风。所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已明确注明和引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品及成果的内容。论文为本人亲自撰写，我对所写的内容负责，并完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

学位论文作者签名：黄一岩

日期：2008年 1 月 2 日

## 东华大学学位论文授权使用授权书

学位论文作者完全了解学校有关保留、使用学位论文的规定，同意学校保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅或借阅。本人授权东华大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。

保密 ☐，在 \_\_\_\_\_ 年解密后适用本版权书。

本学位论文属于

不保密 ☒。

## 第1章 绪论

### 1.1 研究背景

#### 1.1.1 供应链管理的研究背景

二十世纪八十年代以来，随着经济全球化和高新技术的快速发展，企业所处的外部环境发生了显著的变化。我国传统企业管理体制与运作模式受“大而全”、“小而全”思想的影响十分严重，往往实行纵向一体化的管理模式，使企业成为一个封闭的系统。而随着信息技术的迅猛发展，全球化市场的逐步形成，企业面临着在全球范围内竞争资源与市场；顾客对产品的要求逐渐趋于复杂化、多样化和个性化，商品市场开始由卖方市场向买方市场转移。变化的环境对企业原有的经营管理方式提出了严峻的挑战。企业为了保持其竞争力，必须不断地缩短产品开发研制时间、改进产品质量、降低生产成本、缩短交货周期。然而，要达到这些目标，仅仅依靠某个企业自身的力量是远远不够的，必须以协同的方式，把企业内部和外部的商流、物流、信息流和资金流有效地整合起来，在协调个体绩效的基础上使系统整体绩效达到最优。企业彼此之间的相互依赖性显得尤为重要，市场竞争也不再是单个企业的产品竞争，正如英国著名供应链专家马丁克里斯多夫所说：“21 世纪的竞争不是企业和企业之间的竞争，而是供应链和供应链之间的竞争。”因此企业之间若能采取多种形式的合并并且进行前后整合，形成供应链联盟，以便相互促进，获得集体竞争力。供应链管理（Supply Chain Management）正是在这种背景下应运而生，为解决该问题提供了良好的工具。并从九十年代以来供应链及供应链管理已经成为企业和学术界共



同面对的重要课题。

### 1.1.2 库存控制管理的研究背景

在生产运作过程中，为了保证产品资源的及时供应，应付各种各样的不确定性因素，以保持供应链系统的正常性和稳定性，企业不得不利用库存，但拥有库存无疑使企业和供应链的良好管理添加了负担。根据美国政府的统计，就库存方面，美国企业囤积的库存中有一半是不必要的库存。由此可见，库存管理是供应链管理的重要目标。库存管理的目的是以最低的库存成本来满足顾客对产品的需求。而库存控制(Inventory Control)管理是一项相当艰巨复杂的管理技术，深受各种相互冲突的利益和相互矛盾因素的影响。

目前，供应链管理下的库存控制存在的问题概括有以下几个方面：

(1) 没有供应链的整体观念。在供应链中，各个节点和部门都是独立的单元，都有各自独立的目标。有些目标和供应链的整体目标是不相干的，更有可能是冲突的。如果供应链中各企业各行其道必将导致供应链整体效率低下。

(2) 不准确的交货状态数据。当顾客下订单时，总是想知道什么时间能交货，在等待交货过程中，可能会对订单交货状态进行修改。但是，许多企业并没有及时而准确地把推迟的订单交货的修改数据提供给用户，其结果当然是用户的不满和良好愿望的损失。

(3) 低效率的信息传递系统。在供应链中，各个节点企业之间的需求预测、库存状态、生产计划等都是供应链管理的重要数据。这些数据分布在不同的供应链组织之间，要做到快速有效地响应用户需求，必须实时传递，为此需要通过系统集成对供应链的信息系统作相应的改变。但是目前许多企业的信息系统

没有很好的集成起来，供应商得到的往往是延迟和不准确的信息。

(4) 忽视不确定性对库存的影响。供应链运作中存在诸多不确定的因素，如订货提前期、原材料质量、运输时间、需求的变化等。

在供应链管理下，供应链各环节的活动都应该是同步进行的，显然传统的库存控制方法无法满足这一要求。因为在传统的供应链上，基于交易关系的各个环节的企业都是自己管理自己的库存，在追求本企业利益最大化的前提下，每个企业都独自制定自己的库存目标和相应的库存控制策略，这种孤立的运作导致企业之间缺乏信息沟通，进而不可避免地会产生需求信息的扭曲和时间的滞后，往往使得库存需求信息在从供应链的下游向上游的传递过程中被逐级放大，从而大大增加了供应链的整体库存，在很大程度上削弱了供应链的整体竞争实力。

综上所述，虽然库存管理是生产运作管理理论与实践中最成熟的领域之一，但是过去的库存管理只是针对单个企业，各自为政，“个人自扫门前雪”，供应商和用户都保持一定的库存和分别实施自己的库存控制策略。随着产品品种数量急剧增加，供应链上的制造商和销售商的库存负担越来越重，库存资产在各企业的资产总额中所占的比率上升，一般占供应链总成本的30%以上。库存量的高低不仅影响着单一企业的综合成本，而且制约着整条供应链的性能。一方面，如库存占用过多，易于陷入资金周转不灵的局面；一方面，若库存过少，不能满足顾客的实际需要，势必要增加采购次数或生产批次，加大了采购或生产成本，违反经济原则。尤其在我国，库存问题一直是困扰企业的难题，我国每年的库存大约占整个国民生产总值的20%—30%，如果库存问题能够被较好的得到解决，那将取得非常显著的效益。另一方面，加入世贸组织后，国内企业面临的

竞争压力将会不断增大，如何协调上下游企业之间的关系，加强供应链管理，合理配置企业资源，按照顾客需求合理地降低整个供应链上的库存量，获得最优的订货策略，达到最低占用资金而取得最大收益，增强民族产业的市场竞争能力，迎接国际企业的挑战，也是当前学术界面临的一个重要课题。

## 1.2 研究综述

库存在供应链管理中扮演着重要的角色，它直接关系着供应链成本的高低和服务质量的好坏。供应链管理环境下库存问题的研究更多集中在企业外部供应链的库存控制方面，也就是通过企业与企业之间的库存协调来实现局部或整体供应链的利益最大化。库存控制问题是供应链管理重要研究内容之一，也是诸多研究学者研究的热点。关于库存控制问题的研究最早可以追溯到 19 世纪末期研究的银行现金预留问题。在 1953 年，T: W Whitin 编著的“库存管理理论”成为库存理论作为一门专门科学的标志。从此以后,库存理论得到了许多研究者的大量理论与实证分析，并且取得了较大的进展。

### (1) 确定性库存控制问题的研究

对于确定性库存控制问题主要是指在市场需求以及其他一些影响因素确定不变的条件下的供应链库存控制系统的研究。周永务<sup>[1]</sup>建立了带有多种不同滞后支付规划及时变需求的库存系统在有限计划期内的确定性 EOQ 模型，并提供了需求该模型惟一最优解的简便方法；郭强<sup>[2]</sup>以具有库存损耗，不允许缺货且瞬间到货的库存问题为研究对象，建立了具有库存损耗的 EOQ 模型，并得出了该模型下的最优策略；董炳南<sup>[3]</sup>建立了考虑库存保险情况下的连续输出库存控制模型；张德良，刘树明<sup>[4]</sup>运用非连续价格和连续价格折扣的两种不同形式确定了经

济订货批量,建立了EOQ的求解模型;曾艳<sup>[5]</sup>针对需求确定的多级供应链库存系统,根据产品缺货和不缺货两种情况,对固定策略模型的建立进行了简单的推导,并通过实例分析说明了正数幂倍数解的可用性。

## (2) 不确定性库存控制问题的研究

在国内关于不确定性库存控制系统的研究起步较晚,尤其在最近几年之内,关于供应链不确定性的研究取得了很多成果,也是供应链研究的热点。牛海军、孙树栋<sup>[6]</sup>通过对随机库存理论的比较分析,提出了在随机需求条件下,多阶段生产/库存系统(R Q)策略的整体库存优化方法,并建立了相应的库存控制模型和模型中各参数的评判方法;董云庭,王智勇<sup>[7]</sup>对多品种随机库存控制联合补充问题进行了研究,提出了(S, C, s)控制策略;刘永胜<sup>[8]</sup>研究了直运型供应链通过共同补给期协调库存的Stackelberg策略问题。在该研究中,单一供应商提供单一产品给面临随机需求的单一零售商在其提出的库存协调策略条件下,供应商指定共同补给期,当零售商按供应商指定的共同补给期作为其订货周期时,供应商提供零售商一定的价格折扣。另外,国内还有许多研究者对产品需求不确定性和提前期不确定的情况下的供应链的库存模型进行了研究 在理论和实践上丰富了供应链库存理论和方法。

## (3) 多种产品的库存控制问题的

随着市场竞争程度的不断激烈,很多企业选择了多产品生产和经营。因此多种物品库存系统的订货决策问题是库存管理十分重要的研究课题,并且由于在实际当中多种物品之间存在着一些互相制约的因素,如资金、仓库等。因此多物品的库存管理是库存管理相当苦难的研究课题之一。传统的关于多种物品的库存模型假定需求率为常数,确定的购买价格,无短缺发生,而且不考虑资

源约束,而有限资源的约束在实际中经常存在的。近些年来,一些研究者已经着手研究带有资源约束的多物品库存问题,比如高峻峻,王迎军<sup>[9]</sup>等人针对由多个制造商(生产不同商品)、一个地区分销中心和多个零售商(经销多个产品)组成的多阶段分销系统,在地区分销中心和多个零售商都采用周期检查的最大库存水平策略的前提下,分别给出了零售商、地区分销中心和制造商的单周期利润模型及零售商和地区分销中心的多产品服务水平定义,并且建立了较为全面的分销系统联合决策利润优化模型,通过该模型求解零售商和地区分销中心最优的最大库存水平。

#### (4) 多级供应链的联合库存控制以及 VMI 问题的研究

供应商管理客户库存(Vendor Managed Inventory, VMI)是为了适应供应链的一体化而出现的一种新型的供应链库存管理模式。VMI着眼于供应链的一体化,通过整合供应商和客户之间的业务功能,将大多数库存都集中由供应商统一管理。供应商通过及时调整企业的生产和对客户的供货,达到快速地响应市场的需求。这一库存管理策略国外有许多研究者对其展开了系统的理论研究,如彭禄斌和赵林度<sup>[10]</sup>首先系统地研究了供应链网状结构中多级库存控制模型。他们通过引入前置时间和订单执行率等参量,分析了供应链上各节点企业发生的订货费用、存储费用和运输费用。在假定需求函数和前置时间是随机分布的前提下,研究得出了在保证供应链上各企业一定订单执行率的条件下的最佳订货量和订货临界点确定的方法;罗兵<sup>[11]</sup>建立了既考虑顾客需要,又考虑供应商运输成本规模经济的固定周期检查派送和存货补足库存模型,并给出了该模型的全局最优解计算。此外,还有不少研究者从VMI思想出发,研究了供应链的激励机制,合约设计以及其他一些方面的问题,使得我国供应链的库存管理理论

不断丰富和发展。

归纳部分现有文献关于供应链中库存管理的定量分析，库存模型常常用数学规划方法和概率方法建立模型，一般目标函数为总成本最小或总利润最大，常用最优化方法对库存问题进行求解。供应链中的库存模型的约束条件除了常见的资源约束和决策变量约束以外，还常常考虑顾客服务方面的约束，如缺货量约束和各种服务水平(如无缺货概率或订单满足率)约束。库存模型的决策变量包括订货量、最大库存水平、再订货点、订货周期以及提前期和安全库存因子等。此外，从表 1-1 给出的供应链中库存问题的数学模型研究状况中还可以看出，现实中库存决策的复杂性使得库存问题的理论研究在库存问题研究中所占的比重较大，而且库存理论方法在解决实际问题方面仍有一定差距。

表1-1 供应链中库存问题中的研究进展  
Table1-1 Research progress on Inventory in Supply Chain

问题分类	研究方向	具体研究内容	常用建模方法
供应链环境下的库存建模	复杂需求模式下的库存建模	易变质产品需求模式下 随机需求模式下 模糊需求模式下	随机过程和微分方程 概率论 模糊数学
	复杂目标函数下的库存建模	实现目标利润或成本的概率最大化 多目标库存建模	随机规划 多目标规划
	多设施环境下的库存建模	需求的相关性问题研究 集成库存模型	概率论 数学规划
	多产品环境下的库存建模	多产品的联合补给问题 具有替代性的多产品库存问题	概率论和数学规划 数值方法和优化方法
	多周期环境下的库存建模	价格或其他成本因素的动态性 资金具有时间价值下的库存建模 产品具有固定或随机的生命周期	动态规划 技术经济学 概率论
库存问题与其他问题的联合决策	供应-库存决策	供应的不确定性（随机提前期）研究 确定向多个供应商订货的再订货点和订货量 以及最佳的供应商数目	多元概率分布 数学规划 最优化方法
	生产-库存决策	多阶段生产/库存系统的经济生产批量 生产装配系统中的库存决策 生产中的不确定性研究	概率论 数学规划 随机过程
	分销-库存决策	分销系统成本的精确或近似计算 开发与供应链系统相适应的新型订货策略 多阶段分销系统的库存分配策略设计	数值方法 概率论 数学规划 最优化方法
	库存-运输决策	运输成本的改进 评估运输中的某项参数对供应链绩效的影响 复杂运输环境（加紧运输或紧急订货）下的库存决策	非线性函数 仿真分析或敏感性分析 概率论 数学规划

### 1.3 研究意义

本论文结合国家自然科学基金项目“纺织服装供应链广义快速响应机制、模型及运作策略”(项目编号:70772073)和上海市自然科学基金项目“面向纺织服装供应链的快速响应系统”(项目编号:07ZR14003)的研究,将供应链管理环境下的库存管理以供应链整体优化为目标,将整个供应链作为一个整体来进行分析。库存管理是企业加强管理的重要内容。随着生产经营环境的变化及管理科学技术的发展,我国供应链库存管理理论也得到了快速发展,并且也逐步成为人们关注的一个新课题,因此在供应链管理环境下的研究库存控制的理论与方法具有特定的现实意义。

同时,我们也可以看到对于供应链管理下的库存模型还有很多地方值得探讨和深究。供应链管理领域的很多模型往往只是提供了一种理论视角,没有界定清楚模型中所需要的哪些参数在现实中是可以追溯和估计的,及它们合理的估计精度应为多少,而由模型所得到的最优策略往往只适用于计算不具有现实性的小数据量问题,而不能处理现实中大数据量和复杂供应链管理问题。因此,开发可用于指导我国供应链管理实践的运作模型无疑是未来非常有理论意义和现实意义的研究方向。

### 1.4 研究内容和思路

本文研究了两级供应链环境下库存控制的补货与定价模型,首先在基本研究理论的指导下分析了当前库存控制的决策模型,指出了研究时变需求下的两级库存问题的必要性。其次,结合产品生命周期理论,对库存产品的经济特征



进行了分析，将产品主要分成长期和衰退期两个阶段来具体讨论。

全文共分七章，除第一章绪论，全文总结外，第二章至第六章为文章的主体。文章的主要内容如下：

第二章是全文研究基于的理论基础。国内外众多学者在供应链库存控制方面作出了许多重大的研究，通过了解供应链的大环境特征，并且归纳和分析前辈的理论研究成果对于本文进一步开展研究和讨论提供了扎实的理论背景和丰富的研究基础。

第三章通过对产品生命周期的描述和深刻理解，对三种不同的面向生命周期的传统库存模型进行了分析，找到了问题和不足，从而提出了本文研究的问题及模型：面向产品生命周期的时变需求下两级供需链的库存模型策略。

第四章详细描述了本文的问题，根据产品生命周期的需求特征，构造了产品在成长期的需求函数，首先讨论了在产品成长期，上下游配送商和制造商分别作出的定价和补货策略。通过建立利润函数，以利润最大化为目标得到最优决策值。

第五章根据衰退期的产品市场特征，重新构造了需求特征函数，讨论了在产品衰退期，上下游配送商和制造商分别作出的定价和补货策略。因为产品处于市场的劣势，因此需求函数将发生变化，基于这样的变化作出不同的决策更加符合现实，具有一定的应用性。

第六章通过计算机模拟实例进一步验证了本文模型建立的可行性，并且同样地得到了与实际相符的结论：在产品成长期随时间的推移，产品的定价逐渐增高，需求量也成上涨趋势；相反，在产品衰退期随时间的推移，产品的定价将逐渐降低，需求量日渐下降，直至产品被市场所淘汰，可见，这样的结果是

符合市场运作定律的。本文的内容研究框架见下图 1-1。

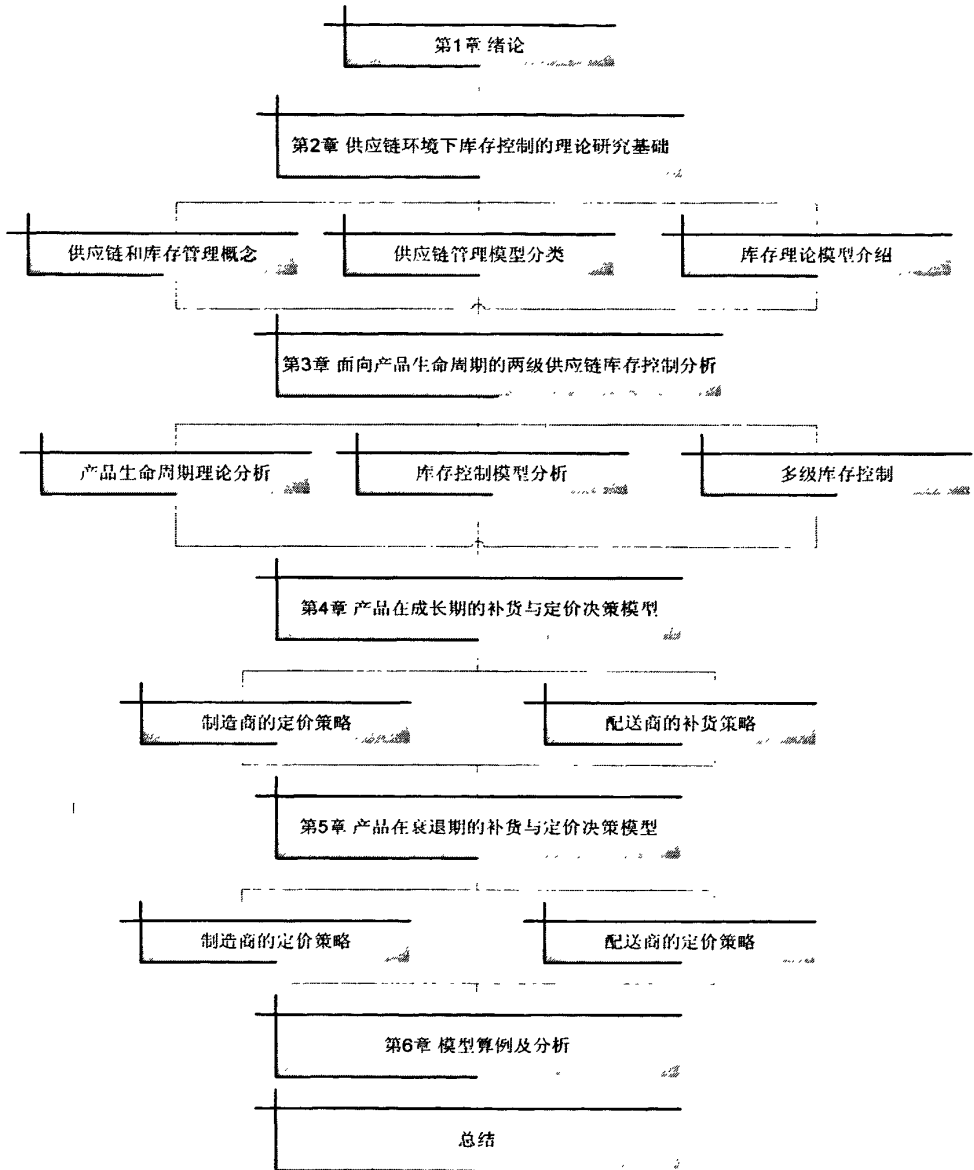


图1-1 本文研究内容基本框架

Figure1-1 The Structure of study workflow

## 1.5 本章小结

本章作为文章的绪论,高度概括了本文问题研究的领域和研究成果。首先介绍了供应链管理和库存控制管理的研究背景,其次归纳出国内外学者对供应链库存管理模型的研究成果,总结了在供应链环境下的库存管理研究现状,最后提出了本文的研究内容和研究思路,并用框架图进行了归纳。

## 第2章 供应链环境下库存控制的理论研究基础

### 2.1 供应链和供应链库存管理的基本概念

目前在商务实践中,供应链管理受到十分关注。对供应链管理理论的研究也越来越有兴趣。供应链管理被学术界誉为战略决定性因素,同时也被企业界看作是客户创造价值的有效途径。因此,目前有不少学者都进行了有关供应链设计和管理的文献综述工作。但近年来随着供应链管理文献的增多,有必要对目前供应链管理领域,最新研究工作成果进行再次详细地审读,目的在于试图对供应链管理发展趋势进行分析,并为供应链管理新的研究方向奠定扎实的理论基础。

#### 2.1.1 供应链

供应链的概念最早出现在20世纪80年代左右,但到目前为止没有形成统一的定义。最常见的供应链定义是:物品从供应商向下流动到客户。而信息向着两个方面流动的一个由供应者、制造者、分销者、零售商和客户构成的系统。供应链力图通过计划、控制、协调来进行存储、分销、服务等一系列活动。在客户和供应商之间形成一种合理的衔接,使用户的需求较为真实、快捷地反应到制造商,将生产资料以最快的速度,通过生产、销售等环节变成价值增值的产品,并以最快的方式送到客户手中,从而使企业能满足内部生产和外部客户的需求。因此在某种程度上讲,供应链又叫做供需链。

#### 2.1.2 供应链管理

供应链管理(Supply Chain Management, 简称SCM)最早起源于迈克·波特

1980年发表在《竞争优势》中“价值链”的概念，1983年和1984年发表在《哈佛商业评论》上的两篇论文，是公认给出供应链管理概念最早的论文。目前有关供应链管理的定义比较公认的有：美国Wiuiall C. Copacino对供应链管理的定义是“The art of managing the flow of materials and products from source to user”(管理从物料供应者一直到产品消费者之间的物料和产品流动的技术)。

国内学者陈国权认为：供应链管理是对整个供应链系统进行计划、协调、操作、控制和优化的各种活动和过程。其目标是：将顾客所需的正确产品(Right Product)、能够在正确的时间(Right Time)、按照正确的数量(Right Quantity)、正确的质量(Right Quality)和正确的状态(Right Status)送到正确的地点(Right Place)——即“6R”，并使总成本最小。因此，供应链管理主要是通过控制和协调供应链各个实体及其行为，以达到降低系统成本、提高产品质量和改善服务水平等目的，进而全面提高整个系统的综合竞争力。

美国物流管理协会(CLM)对供应链管理的定义是供应链管理包括了对涉及采购、外包、转化等过程的全部计划和管理活动和全部物流管理活动。更重要的是，它也包括与渠道伙伴之间的协调和协作，涉及供应商、中间商、第三方服务供应商和客户。从本质上说，供应链管理是企业内部和企业之间的供给和需求管理的集成。它尤其强调了供应链管理的概念边界和关系。供应链管理是联系企业内部和企业之间主要功能和基本商业过程、将其转化成为有机的、高效的商业模式的管理集成。它包括了上述过程中的所有物流活动，也包括了生产运作。它驱动企业内部和企业之间的营销、销售、产品设计、财务和信息技术等过程和活动的协调一致。

### 2.1.3 库存与供应链库存的管理

所谓库存是指企业在生产和物流渠道中各点堆积的原材料、供给品、零部件、半成品和成品。库存的存在有其一定的必然性和目的性。保有库存可以使生产的批量更大，批次更少，运作水平更高，同时也会产生一些成本。

供应链库存的管理，是以成本为中心，以尽可能地消除牛鞭效应带来的不确定性为途径，从点到链，从链到面的演化。他将管理置于供应链，为降低成本和消除不确定性而存在。而库存的存在完全是为了防范“缺货成本”的发生。无论是为生产服务的制造业库存，或者为商业服务的商业库存，其首要的目标无一不是缺货成本。库存的存在解决了缺货成本问题，但是却引发了另一些问题。这些问题经过整个供应链的放大（所谓牛鞭效应），变得更加引人注目。

从整个供应链来看，简单地将库存看作是静态的就完全错误了，库存在很大的程度上更应该是动态的，就相当于存量，而与之相对应还有流量的概念存在，就像一个蓄水池，库存是池中的水，而相应的有流出和流出的水。所以，为成本存在的库存，不能仅仅考虑其本身，更应该将它纳入整个成本体系中考虑。一般来说，防止缺货成本发生的同时，库存的存在也带来了资金的占用以及其机会成本的丧失（下面总称资金占用成本），同时也增加了存储管理成本。因此，这里就有一个悖论，当库存增加时，缺货成本发生的概率减小，而库存的资金占用成本和管理成本增加；当库存减小时，虽然库存的资金占用成本及管理成本减小，但是缺货成本的概率却增大了。

库存悖论的存在也并没有在很早的库存管理思想当中体现出来。在早期，库存的管理思想只是停留在一个简单的供应链链条上。在制造企业中，一般都仅限于原材料或者半成品库存与生产车间这个链条之间，而在商业中较为商品

库存到销售终端这个链条。在库存的管理中，管理者过多的关注程序与流程的科学性，控制方法和预测方法的科学性，这个时期最为著名的管理思想为“合计预测与补给，Aggregate Forecasting and Replenishment”，简称“AFR”。AFR要求客户主导其分销中心及库存的管理，是商业贸易伙伴交互作用中应用最广泛的方法，用于预测的核心数据主要来自于销售历史数据，AFR缺乏集成的供应链计划，可能会导致高库存或低订单满足率。

由此可见，供应链管理中的库存问题与企业中的传统库存问题有所不同，它充分体现了供应链管理思想对库存的影响。传统的库存主要是用来应付不确定性的，企业库存管理主要侧重于优化单一的库存成本，从存储成本和订货成本出发来确定经济订货批量和订货点，而在供应链管理环境下，供需双方可以通过战略合作和信息共享来寻求使双方共同获益的库存策略。

随着信息交互技术和企业合作理论的发展，尤其是互联网、电子商务以及战略联盟的出现。为了更好的解决库存悖论，从供应链的上游出发，出现了VMI(供应商管理库存，Vendor Managed Inventor, VMI)。VMI思想更多的是应用于原材料紧缺，价格变动比较大的制造行业，以及大量的供应商为主导的零售商业当中。VMI则要求供应商来参与管理客户的库存，供应商拥有和管理库存，下游企业只需要帮助供应商制定计划，从而下游企业实现零库存，供应商的库存也大幅度减小。VMI方法可以避免AFR的一些问题，虽然有诸多优点，但却缺乏系统集成，对供应商依存度较高等问题。

目前，随着企业信息化程度的普及，以及供应链思想日益深入人心。库存管理的思想，从上游管理的(VMI)逐渐演化到了整个供应链的合成管理。在理论上，库存管理悖论和牛鞭效应的问题迎刃而解。这个时期的主要思想是

“Jointly Managed Inventory-JMI, 联合库存管理”和“Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment-CPFR, 合作计划、预测与补给管理”。无论是JMI还是CPFR策略, 其库存管理的核心都是从以产品为中心转变为以消费者为中心, 实施更加适合于供需双方的联盟策略。但是需要注意的是, 库存管理的难度也增加了, 对其控制的要求更高了。

## 2.2 供应链管理模型的界定和分类

随着供应链和相关物流系统的日趋复杂, 对供应链管理的定量化研究, 特别是供应链管理的建模、优化与仿真已经成为分析物流系统的最强有力工具。我们可以从国内外对研究对象与方法的界定和研究内容的界定两个层面对供应链管理模型进行分类, 并依据具体研究内容对供应链管理中的几类主要问题的外部环境进行了简要分析。

因为从供应链全局角度来看, 没有模型能够描述供应链流程的所有方面, 所以 Chopra S 和 Meindl P (2001) 指出, 可以从战略层、战术层和运作层对供应链模型进行分类, 从而帮助建模者确定研究范围的宽度和供应链计划水平的长度<sup>[12]</sup>。Cooper MC et al (1997) 则从供应链合作伙伴关系类型、供应链网络的结构维度和供应链合作伙伴中的流程特征三方面对供应链管理模型进行了阐述<sup>[13]</sup>。Shapiro J (2001) 一书从建模方法角度将供应链管理模型分为描述性模型(预测模型、成本类型、资源利用及仿真模型)和标准模型(优化与数学规划模型), 该种分类方法清晰地阐述了描述性模型与标准模型各自的作用及其相互关系——开发准确的描述性模型是必须的, 但对于有效决策是不够的, 应与优化模型结合起来确定企业的规划与决策<sup>[14]</sup>。与其类似, Beamon BM (1998) 将供应链管理



模型分为确定性分析模型、随机分析模型、经济模型(博弈论模型)和仿真模型<sup>[15]</sup>。MinH 和 Zhou G(2002)则将供应链管理模型分为确定性模型、随机模型(概率模型)、混合(hybrid)模型和 IT 驱动模型<sup>[16]</sup>。陈剑(2001)将供应链优化模型分为排队论模型、对策论模型、网络流模型和策略评价模型<sup>[17]</sup>。由以上分类可以看出,对供应链管理模型分类大多以建模方法为依据,但在实际建模过程中,建模方法只是实现供应链建模的一个重要方面,它需要根据具体的建模对象和研究侧重而定。以上可以看出,对供应链管理模型从两个层面进行分类,如图 2-1 所示,第一个层面是研究对象与方法的界定,主要考虑了产品特征、对象系统和建模方法三个方面;第二个层面是研究内容的界定,主要考虑了需求特征、研究类型和研究侧重三个方面。

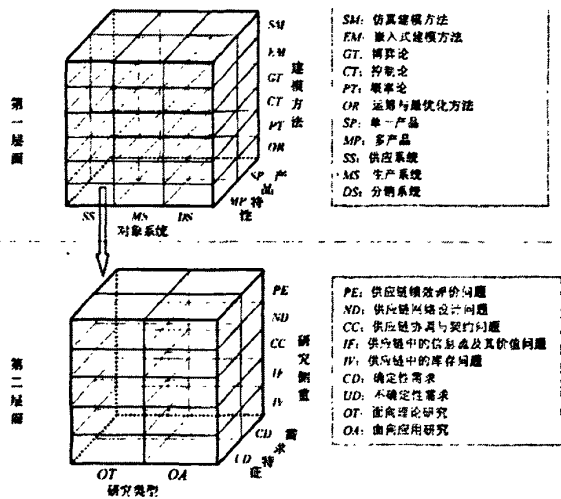


图 2-1 供应链模型分类的两个层面

Figure2-1 Two parts of classification for the models of Supply Chain

资料来源: 供应链管理模型的研究进展<sup>[18]</sup>  
Data Resource: The Classification and Research Progress of Supply Chain Management Model<sup>[49]</sup>

### 2.2.1 第一个层面—研究对象与方法的界定

主要从三方面对供应链管理模型的研究对象与方法进行界定：

(1) 产品特征：它与对象系统共同界定了供应链管理模型的研究对象。

产品特征主要是指产品的数量和产品的生命周期特征。其中，产品数量用于界定该模型研究的是单一产品(Single Product, SP)还是多产品(Multiple Product, MP)，产品的生命周期特征用于界定模型研究的产品类型(包括耐用品、易变质品、退化产品和可回收产品等)以及产品所处生命周期的具体阶段(包括开发期、成长期、成熟期和衰退期)。

(2) 对象系统：在界定了产品特征之后，应界定主要研究该产品的哪一个供应链阶段，即对象系统。根据集成供应链的一般结构，可以将对象系统确定为供应系统(Supply System, SS)、生产系统(Manufacture System, MS)和分销系统(Distribution System, DS)三类，当然模型研究的可以是其中一个系统，也可以同时研究多个系统(如整条供应链)。这三类系统中，生产系统的理论研究比较成熟，实践应用成果也较多，这主要是因为多年来学术界和企业界一直都把研究的重心放在制造供应链中，对各种流程的优化及调度进行了大量细致的研究。而供应系统和分销系统则是供应链管理理念提出的两大源头，一直因其可能带来的巨大的成本节约而倍受关注。所以，近年来有关供应系统和分销系统的研究成果也日趋丰富和深入。

(3) 建模方法：应依据研究对象的不同，选用适当的建模方法。这里将供应链管理的建模方法归纳为六类——运筹(数学规划)与最优化方法(Operations Research & Optimization Methods, OR&OM)、概率论(Probability Theory, PT)方法、控制论(Control Theory, CT)方法、博弈论(Game Theory, GT)方法、“嵌入式”建模

(Embedded Modeling, EM)方法、仿真建模(Simulation Modeling, SM)方法(参见图 2-1)。其中,运筹(数学规划)与最优化方法以及概率方法被认为是供应链管理的标准建模方法。近来,供应链管理模型中控制论和博弈论的应用也越来越多,如将控制论应用于库存模型,将博弈论应用于供应链协调模型,且它们常与数学规划和优化方法结合使用。

### 2.2.2 第二个层面-研究内容的界定

在界定了研究对象之后,转入第二个层面,即针对具体的研究对象来界定研究内容。对研究内容的界定也主要从三个方面出发:

(1)研究类型:用于界定所做的研究是面向理论(Oriented—Theory, OT)的研究还是面向应用(Oriented—Application, OA)的研究。面向理论的研究是指,针对供应链中不同的问题或复杂供应链结构与环境,提出新的模型或新的算法,强调理论的创新和突破;面向应用的研究是指,针对实际的应用环境,将理论模型进行改进或逼近,或开发相应的软件,从而解决实际问题,强调实际应用的可实施性和应用的效果与启发。

(2)需求特征:因为不同的需求模式对各项成本的描述可能有着很大的影响,进而影响库存决策和其他供应链决策,所以在界定研究内容时,需求的特征应首先界定清楚,即需求是确定性需求(Certain Demand, CD)还是不确定性需求(Uncertain Demand, UD)。确定性需求是指可以用确定的函数形式表示的需求,其描述方法根据供应链外部环境可以分为多种,比如,需求为常数或需求率固定,需求为价格的函数,需求为时间的函数,需求为库存水平的函数等;不确定性需求是指,在一定时期内无法用确定的函数形式表示的需求,如需求服从

某一概率分布、需求函数中含有随机变量、需求不平稳、需求为随机的时间序列以及需求具有模糊性等等。在确定性需求下管理订货、运输等问题相对容易解决，而在不确定性需求下，要选择一个合适的库存水平来满足顾客需求则比较复杂，很多问题在不同的不确定性需求模式下研究得到的结论与确定性需求下是不同的。应注意，需求特征是与产品的数量、产品的生命周期特征以及供应链中各成员的订货策略密切相关的。比如，当产品为退化产品时(指产品在某一时刻效用和需求可能突然或渐进地降为零)，需求可以描述为时间的减函数；当供应链某一成员的订货提前期很短或经常出现紧急订货时，需求的不确定性会比较大。(3)研究侧重：在界定了研究对象以及研究类型和需求特征之后，应当进一步地界定研究侧重点放在哪一类问题上，这里将供应链管理中所研究的问题分为五类——供应链中的库存问题(Inventory Problem, IP)；供应链中的信息流(Information Flow, IF)及其价值问题；供应链协调与契约(Coordination and Contract, CC)问题；供应链网络设计(Network Design, ND)问题；供应链绩效评价(Performance Evaluation, PE)问题。综上，通过产品特征和对象系统将供应链管理模型的研究对象分为六大类，每一类研究对象又可以依据建模方法的不同分为六种研究思路(参见图 2-1 的第一层面)；然后，针对第一层面界定的研究对象，通过需求特征和研究侧重将其研究内容划分为十类问题，每一类问题又可依据研究类型的不同，分为两个研究方向(参见图 2-1 的第二层面)。

## 2.3 供应链中的库存管理模式

### 2.3.1 VMI（供应商管理库存）

零售商有自己的库存，批发商有自己的库存，供应商也有自己的库存，供应链各个环节都有自己的库存控制策略。由于各自的库存控制策略不同且相互封闭，因此不可避免地产生需求的扭曲现象，从而导致需求变异放大，无法使供应商准确了解下游客户的需求。供应商管理库存 (Vendor Managed Inventory, VMI) 这种库存管理策略打破了传统的各自为政的库存管理模式，体现了供应链的集成化管理思想，适应市场变化的要求，是一种新的有代表性的库存管理思想。

关于VMI的定义，国外有学者认为：“VMI是一种在客户和供应商之间的合作性策略，以对双方来说都是最低的成本优化产品的可获性，在一个相互同意的目标框架下，由供应商来管理库存，这样的目标框架被经常性监督和修正，以产生一种连续改进的环境”。VMI库存管理系统就是供货方代替客户(需求方)管理库存，库存的管理职能转由供应商负责。

VMI策略的关键措施主要体现在如下几个原则中：

(1) 合作精神。在实施该策略中，相互信任与信息透明是很重要的，供应商和客户(零售商)都要有较好的合作精神，才能够相互保持较好的合作。

(2) 双方成本最小。VMI不是关于成本如何分配或谁来支付的问题，而是通过该策略的实施减少整个供应链上的库存成本，使双方都能获益。

(3) 目标一致性原则。双方都明白各自的责任，观念上达成一致的目标。如库存放在哪里，什么时候支付，是否要管理费，要花费多少等问题都通过双方达成一致。

(4)连续改进原则。供需双方共同努力，逐渐消除浪费。

### 2.3.2 JMI（联合库存管理）

联合库存管理的思想可以从分销中心的联合库存功能谈起。地区分销中心体现了一种简单的联合库存管理的思想。采用分销中心后的销售方式，各个销售商只需要少量的库存，大量的库存由地区分销中心储备，也就是各个销售商把其库存的一部分交给地区分销中心负责，从而减轻了各个销售商的库存压力。分销中心就起到了联合库存管理的功能。

从分销中心的功能得到启发，对现有的供应链库存管理模式进行新的拓展和重构，提出联合库存管理新模式—基于协调中心的联合库存管理系统。

联合库存管理体现了战略供应商联盟的新型企业合作关系。联合库存管理是解决供应链系统中由于各节点企业的相互独立库存运作模式导致的需求放大现象，提高供应链的同步化程度的一种有效方法。联合库存管理和供应商管理客户库存不同，它强调双方同时参与，共同制定库存计划，供应链过程中的每个库存管理者(供应商、制造商、分销商)都从相互之间的协调性考虑，使供应链相邻的两个节点之间的库存管理者对需求的预期保持一致，从而消除了需求变异放大现象。任何相邻节点需求的确定都是供需双方协调的结果，库存管理不再是各自为政的独立运作过程，而是变成供需连接的纽带和协调中心。

VMI是一种供应链集成化运作的决策代理模式，它把客户的库存决策权代理给供应商，由供应商代理分销商或批发商行使库存决策的权力。JMI则是一种风险分担的库存管理模式。风险分担表明如果把各地的需求集合起来处理，可以降低需求的变动性，因而当把不同地点的需求汇集起来，一个顾客的高需求很

可能被另一个顾客的低需求所抵消。需求变动性的降低能够降低安全库存。

### 2.3.3 CPFR（共同预测、计划与补给）

通过对VMI和JMI两种模式的分析可得出：VMI就是以系统的、集成的管理思想进行库存管理，使供应链系统能够获得同步化的优化运行。通过几年的实施，VMI和JMI被证明是比较先进的库存管理办法，但VMI和JMI也有以下缺点：

(1)VMI是单行的过程，决策过程中缺乏协商，难免造成失误；(2)决策数据不准确，决策失误较多；(3)财务计划在销售和预测之前完成，风险较大；(4)供应链没有实现真正的集成，使得库存水平较高，订单落实速度慢；(5)促销和库存补给项目没有协调起来；(6)当发现供应出现问题(如产品短缺)时，留给供应商进行解决的时间非常有限；VMI过度地以客户为中心，使得供应链的建立和维护费用都很高。

随着现代科学技术和不断提升，VMI和JMI中出现的种种弊端也得到改进，提出了新的供应链库存管理技术，即PCPFR(共同预测、计划与补给)。CPFR有效地解决了VMI和JMI的不足，成为现代库存管理新技术。

协同规划、预测和补给(Collaborative Planning Forecasting&Replenishment, 简称CPFR)是一种协同式的供应链库存管理技术，它能同时降低销售商的存货量，增加供应商的销售量。CPFR最大的优势是能及时准确地预测由各项促销措施或异常变化带来的销售高峰和波动，从而使销售商和供应商都能做好充分的准备，赢得主动。同时CPFR采取了一种“双赢”的原则，始终从全局的观点出发，制定统一的管理目标以及方案实施办法，以库存管理为核心，兼顾供应链上的其它方面的管理。因此，CPFR能实现伙伴间更广泛深入的合作，它主要体现了以

下思想:

(1) 合作伙伴构成的框架及其运行规则主要基于消费者的需求和整个价值链的增值。

(2) 供应链上企业的生产计划基于同一销售预测报告。销售商和制造商对市场有不同的认识,在不泄露各自商业机密的前提下,销售商和制造商可交换他们的信息和数据,来改善他们的市场预测能力,使最终的预测报告更为准确、可信。供应链上的各公司则根据这个预测报告来制定各自的生产计划,从而使供应链的管理得到集成。

(3) 消除供应过程的约束限制。这个限制主要就是企业的生产柔性不够。一般来说,销售商的订单所规定的交货日期比制造商生产这些产品的时间要短。在这种情况下,制造商不得不保持一定的产品库存,但是如果能延长订单周期,使之与制造商的生产周期相一致,那么生产商就可真正做到按订单生产及零库存管理。这样制造商就可减少甚至去掉库存,大大提高企业的经济效益。

## 2.4 库存理论模型

### 2.4.1 库存模型的产生

企业所拥有的库存可能是其生产所用的原材料、部件、在制品或者产成品,企业保持一定量的库存有很多的原因,以下就是其中的一些:

- (1) 针对原材料供给和产品需求的不确定性创造缓冲空间。
- (2) 得到大规模订购的价格优势和运输成本的降低。
- (3) 获得在批次生产时候进行大规模生产的优势。
- (4) 对需求的季节型变化和需求规模的扩大做一定准备。



(5) 容纳由一个地方输送到另外一个地方的产品（在制品）。

(6) 对各种物资进行投机活动。

考虑到这些因素的库存管理决策优化模型已经被提出并运用了很长时间。最近，人们已经将注意力投到了创造可以减少甚至消灭库存的商业流程方面，采用的主要方法是减少或者消除在决策时候的不确定性。通过企业及其供货商和客户之间良好交流，以及企业的各项活动的协调，可以大大地减少各种不确定性。具体方法有：

(1) 通过开发更好的预测模型，以及加强供应链管理者与市场开发和销售人员之间的联系，从而提高预测的精度。

(2) 与供货商、第三方运送提供者，以及其他的供应商共享供应链的信息。

(3) 增加产品保存的地点，减少产品的多样性。

(4) 将产品的定制过程推迟到供应链的下游阶段。

当然，尽管采取了这些努力，不确定性还是会停留在供应链的各个阶段之中，这就意味着库存对于进行有效的运作管理还是必不可少的。库存管理的典型问题包括保存费用、缺货成本、补充延迟，以及产品在详细的SKU水平上的需求的概率分布。单个产品的库存政策最优化模型使用的方法来自统计和应用概率理论。正因为是这样，所以它们与确定性最优化模型在形式上有很大的不同，确定性模型在分析资源获取和分配决策时广泛地考虑产品、设施以及物流运输。库存模型还包括了一些基本的参数和关系，例如，市场需求和订货交付时间的变化以及它们对缺货期的影响，这些参数在最优化模型中都不容易表示。正是这个原因，将库存决策集成到供应链管理最优化模型中来就有一些困难。但是不管怎样，根据这个分析，对库存成本可以进行一个可接受的近似。也正因为

这样，在当前的应用研究领域，提高近似化的程度是一个重要的课题。

在这一章中，我们将对经典的库存理论模型进行回顾，因为它们是很多库存模型研究的基础和方法，值得学习和理解。

#### 2.4.2 确定性模型-经济订货批量 (Economic Order Quantity, EOQ) 模型

经济订货批量 (EOQ),即Economic Order Quantity, 是固定订货批量模型的一种<sup>[18]</sup>, 可以用来确定企业一次订货 (外购或自制) 的数量。当企业按照经济订货批量来订货时, 可实现订货成本和储存成本之和最小化。这个模型是关于单个产品的库存管理, 其假设如下:

(1)产品需求已知, 而且在发生的时间上是确定的, 每一年的总量为D

(2)一旦发生了一个补充存款的订单, 不管订货量是多少, 数值为q都需要有一个固定的订货成本K

(3)每一次订货都能够立即送到, 也就是延迟时间为零

(4)不允许缺货

(5)单位产品每一年的存货成本为h

最优订货批量反映了持有成本与订货成本之间的平衡, 年持有成本等于库存平均持有量与单位年持有成本的乘积, 平均库存是单位订货批量q的一半, 用字母h代表每单位的年持有成本, 则:

$$\text{总年持有成本} = \frac{h * q}{2} \quad (2-1)$$

另一方面, 一旦订货批量增大, 年订货成本就会下降, 一般情况下, 年订货次数等于 $D / q$ , 这里D为年总需求。订货成本不象持有成本, 对订货批量反应比较迟钝; 无论订货批量是多少, 特定活动都得照样进行, 如确定需求量, 定

期评价供应源,准备发货单等。因而订货成本一般是固定的,年订货成本是年订货次数与每批订货成本(用K表示)的函数,有:

$$\text{年订货成本} = \frac{K \cdot D}{q} \quad (2-2)$$

$$\text{那么, 年总成本} = \text{年持有成本} + \text{年订货成本}, \text{ 即 } TC = \frac{q \cdot h}{2} + \frac{D \cdot K}{q} \quad (2-3)$$

运用微积分可以推导出使得年总成本达到最低的最优订货批量的数量:

$$TC = \frac{q \cdot h}{2} + \frac{D \cdot K}{q} \quad (2-4)$$

$$\text{求得得到最终的经济批量数量: } q^* = \left( \frac{2KD}{h} \right)^{1/2} \quad (2-5)$$

上面的结论可以得出: 每年订货次数就是  $D/q^*$ 。这个经济订货批量模型已经被扩展到考虑确定的订货延迟时间的情况, 和允许缺货但是需要有缺货成本的情况。

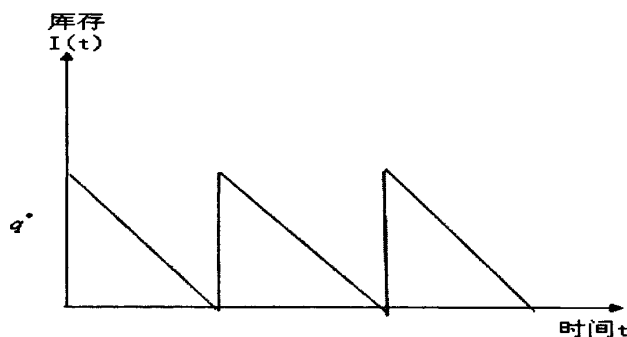


图2-2 确定性经济订货批量模型  
Figure2-2 Economic Order Quantity model

资料来源: 供应链建模<sup>[12]</sup>  
Data Resource: Modeling the Supply Chain<sup>[12]</sup>

这个模型在过去的 50 年内相当著名,也得到了广泛的应用。这是因为其表现形式和解释都很简单。但是对于今天的集合了供应链管理的复杂世界,它似乎很难对库存中的每一类物资都确定一个有意义的订货初始成本,或者简单的说平均库存是单位订货批量  $q$  的一半显然现在说来是不合事实的,但是不能否认正是它的提出,使得后续的订货模型有了不断地改进和发展。

### 2.4.3 概率模型

经济订货批量模型以及其扩充模型所能讨论的问题都是有限的,因为其假设了所有未来运作的相关变量都是确定的。对于库存管理模型和库存系统来说最首要的任务就是确定保存过量产品的战略,我们称之为安全库存(safety stock)。它在对可避免的期望费用进行最小化的时候,遇到了不确定性。不确定性的主要来源包括有:

(1) 在订货延迟时间内的需求

(2) 延迟时间的长度

需求的不确定性是许多企业在管理它们的供应链的时候都必须考虑的问题。对于其他的不确定性,例如延迟时间的不确定性,在供应链管理过程中经过很好的设计和执行都能够减小,但是却不能够完全消除。类似地,与产品质量、订单完成、产品损坏等等相关的不确定性,都可以通过谨慎的管理而明显的减少。因此,在如下的讨论中,我们将集中精力讨论对需求的不确定性进行管理的方法。

确定性的经济订货批量模型可以扩展到考虑单个产品在订货延迟期间的不确定需求的情况<sup>[18]</sup>。这个扩展的模型使用了概率理论中的概念和方法。随机变

量 $X$ 可以被认为多个概率数值。我们用 $P(X=x)$ 来代表 $X$ 取得一个的数值 $x$ 的概率。这样的概率是在0-1之间的。概率密度函数就描述了 $X$ 的取值跟其正的概率之间的关系。这个概率可以用数值进行表示。

在简单的例子中， $X$ 的概率密度函数可以取一系列特定的数值，例如 $I(t)$ ，其概率为 $p_1$ ， $X=x_2$ ，其概率为 $p_2$ ，以此类推，直到 $X=x_n$ ，其概率为 $p_n$ 。因此，其期望值 $E(X)$ 就可以由下面的式子给出：

$$E(X) = p_1 * x_1 + p_2 * x_2 + \dots + p_n * x_n \quad (2-6)$$

我们同时也有：

$$p_1 + p_2 + \dots + p_n = 1 \quad (2-7)$$

它的方差，用 $\sigma(X)$ 表示，是对于概率的偏离程度的量度，可以用如下的式子给出：

$$Var(X) = p_1 * (x_1 - E(X))^2 + p_2 * (x_2 - E(X))^2 + \dots + p_n * (x_n - E(X))^2 \quad (2-8)$$

标准偏差是方差的平方根。这些概念在概率函数的取值连续或者取值的函数中包含了不止一个变量的时候，会变得更加复杂。

正态密度分布函数是一个经常在库存理论中用到的分布，它的形状是著名的钟形，其中心在期望值的地方。其离散度是跟随机变量的分布有关系的。如果正态随机变量的期望值是 $\mu$ ，方差是 $\sigma^2$ ，我们可以用 $N(\mu, \sigma^2)$ 来表示这个随机变量的密度函数。正态分布通过这样将随机变量替换为新的随机变量 $(X - \mu) / \sigma$ ，可以进行标准化。标准化之后的正态分布函数的期望值是0，其方差是1。这就允许用一个标准的概率分布表来对其密度分布函数进行描述。这个

概率分布表中的概率可以对任意的正态分布函数的概率进行描述，当然需要进行前面所示的变换。正态分布用来描述那些需求频繁而又快速变化的物品。其他的一些分布，如泊松分布，在左边倾斜，可以用来描述那些需求不频繁而且又变化缓慢的物品。

对于确定性经济订货批量模型的一个最直接的扩展是这个 $(r, q)$ 模型：当库存下降到了订货点的时候，发出一个订货量为补充数量 $q$ 的订货要求。这个策略的结果可见下图2-3所示。时间段 $t$ 与订货 $q$ 的交货时间相关联，这段时间里会发生随机需求。注意在一些情况下，在下一批订货来临之前，库存已经变成负值，这个情况发生的概率是被完全库存所控制的。

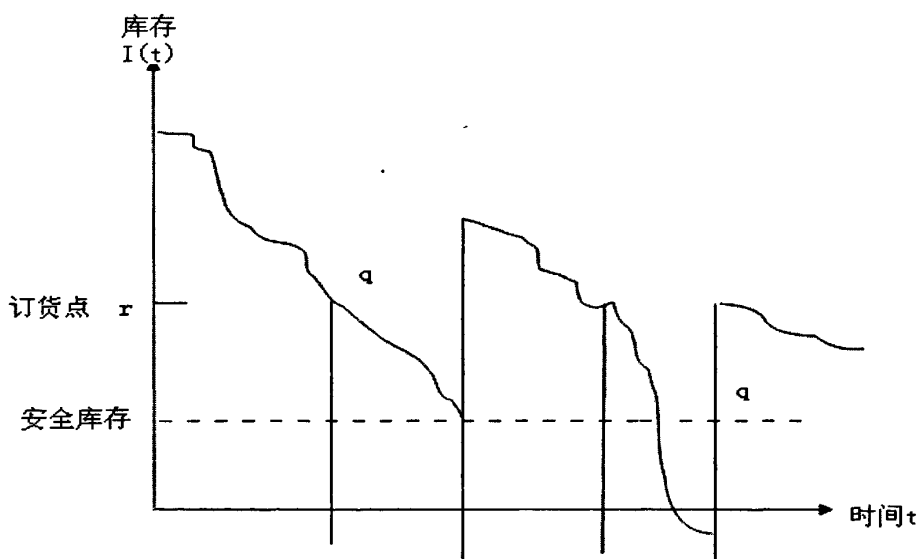


图2-3 不确定需求下的库存  
Figure2-3 Undefined requirement related inventory

资料来源：供应链建模<sup>[12]</sup>  
Data Resource: Modeling the Supply Chain<sup>[12]</sup>

在这里，对在库存补充时间内的库存数量的不确定性进行控制就是库存理论的关键。对于消费品，库存短缺会导致消费者的不满和销售量的损失。对于一些机器工具、大型主机、商业飞机等的关键部件，库存短缺就会导致设备停工，从而造成损失。管理者必须进行判断，多少的安全库存才能够有效的尽量避免缺货的可能性，当然，这个可能性是不能够完全消除的。

对于  $(r, q)$  模型的一个最优化策略是经济订货批量模型的自然扩展。这个扩展的模型将总的库存策略费用进行最小化，总的库存策略费用是存货费用的期望值，还有缺货损失的期望值的总和。特别地，如果用  $D$  代表随机需求，那么  $E(D)$  就用来代表对于这些物品的年度需求的期望值， $c_b$  就用来代表在发生库存短缺的情况下，每短缺一件物品的损失，最后，最佳的取值  $r^*$  和  $q^*$  必须满足如下的条件：

$$q^* = \left[ \frac{2KE(D)}{h} \right]^{1/2} \quad (2-9)$$

$$\text{概率（在延迟期间的需求} \geq r^* \text{）} = \frac{hq^*}{c_b E(D)} \quad (2-10)$$

这个概率描述了在订货等待期间发生库存短缺的可能性。因此，允许使用公司所要求的订货满足率来对延期交货成本进行调整，订货满足率等于1-概率（在延迟期间的需求  $\geq r^*$ ）。

最后，安全库存应当由下面式子给出：

$$\text{安全库存} = r^* - E \quad (\text{订货延迟时间的需求}) \quad (2-11)$$

图2-4描述了需求函数的密度分布，假设为正态分布，订货点库存  $r^*$  是由上面的需求概率决定的。当需求的期望值确定的时候，由于一个大的方差将会导

致一个大的  $r^*$  数值，所以它就是需求的方差  $\sigma^2_d$  的一个增函数。补充库存可以定义为实际库存  $I(t)$  和安全库存之间的差值。

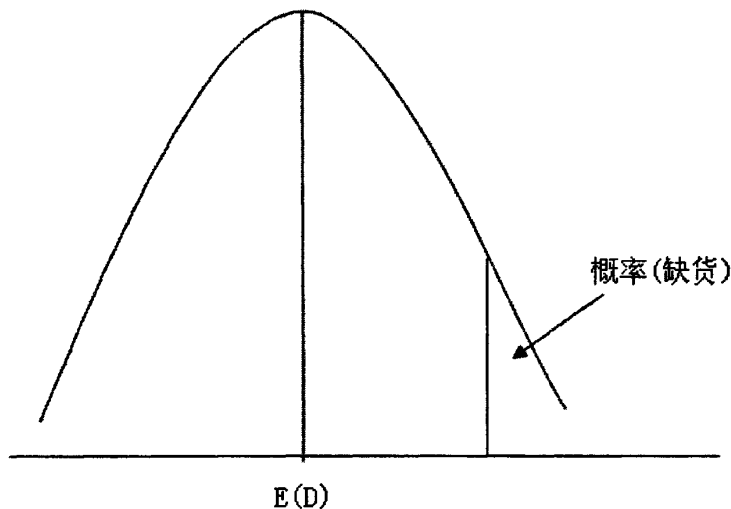


图2-4 需求的正态分布密度函数  
Figure2-4 Normal distribution density function for demand

资料来源：供应链建模<sup>[12]</sup>  
Data Resource: Modeling the Supply Chain<sup>[12]</sup>

## 2.5 本章小结

本章作为全文的研究理论基础，首先阐明供应链及供应链管理的概念，并重点强调供应链环境下的库存管理思想。它和简单的“库存”不同，现在所谓的库存管理是将库存在整个供应链（企业链）上，通过企业间的信息互通和相互协作来达到“双赢”的结局，从而使得整条供应链上的库存达到最优。其次给出了目前供应链管理模型的界定和分类，方便学者在此基础之上作更深的探讨；之后引出了库存管理的模式和经典的库存理论模型：确定性经济订货批



量模型和概率模型。这两种模型不仅是众多学者研究库存模型的基础和理论，也是本文第 3 章分析的库存控制模型建立的坚实理论基础。

## 第3章 面向产品生命周期的传统库存控制模型分析

产品生命周期 (Product Life Cycle, PLC) 是把一个产品的销售历史比作像人的生命周期一样, 要经历出生、成长、成熟、老化、死亡等阶段。就产品而言, 也就是要经历一个开发、引进、成长、成熟、衰退的阶段, 它和企业制定产品策略以及营销策略有着直接的联系。管理者要想使他的产品有一个较长的销售周期, 以便赚到足够的利润来补偿在推出该产品时所做出的一切努力和经受的一切风险, 就必须考虑产品的生命周期, 由此描述产品和市场运作的方法。但是, 在市场开发过程中, 运用产品生命周期来解决供应链库存控制的实际运作中, 往往显得有些力不从心, 而且, 在预测产品性能时对产品生命周期的运用也受到一定的限制。为此, 本章首先描述产品生命周期, 通过分析两种不同的产品生命周期曲线, 归纳出产品投放市场后, 在产品生命周期内显现的经济规律, 包括价格, 价值和需求方面的特点; 其次, 对固定需求和时变需求的库存模型、考虑产品生命周期的一级库存模型进行了一一比较和分析, 强调了二级库存研究的必要性, 并且通过总结上述模型建立存在的缺陷和不足, 给出了本文研究的库存控制模型背景和前提条件。

### 3.1 产品生命周期描述

#### 3.1.1 通用产品生命周期曲线

通用产品生命周期一般可以分成四个阶段: 引入期、成长期、成熟期和衰退期。

(1) 第一阶段: 引入期

新产品投入市场，便进入了引入期。此时顾客对产品还不了解，除了少数追求新奇的顾客外，几乎没有人实际购买该产品。在此阶段产品生产批量小，制造成本高，广告费用大，产品销售价格偏高，销售量极为有限，企业通常不能获利。

#### (2) 第二阶段：成长期

产品进入引入期，销售取得成功之后，便进入了成长期。这是需求增长阶段，需求量和销售额迅速上升，生产成本大幅度下降，利润迅速增长。

#### (3) 第三阶段：成熟期

经过成长期之后，随着购买产品的人数增多，市场需求趋于饱和，产品便进入了成熟期阶段。此时，销售增长速度缓慢直至转而下降，由于竞争的加剧，导致广告费用再度提高，利润下降。

#### (4) 第四阶段：衰退期

随着科技的发展、新产品和替代品的出现以及消费习惯的改变等原因，产品的销售量和利润持续下降，产品从而进入了衰退期。产品的需求量和销售量迅速下降，同时市场上出现替代品和新产品，使顾客的消费习惯发生改变。此时成本较高的企业就会由于无利可图而陆续停止生产，该类产品的生命周期也就陆续结束，以至最后完全撤出市场，以下是典型的产品生命周期曲线图 3-1。

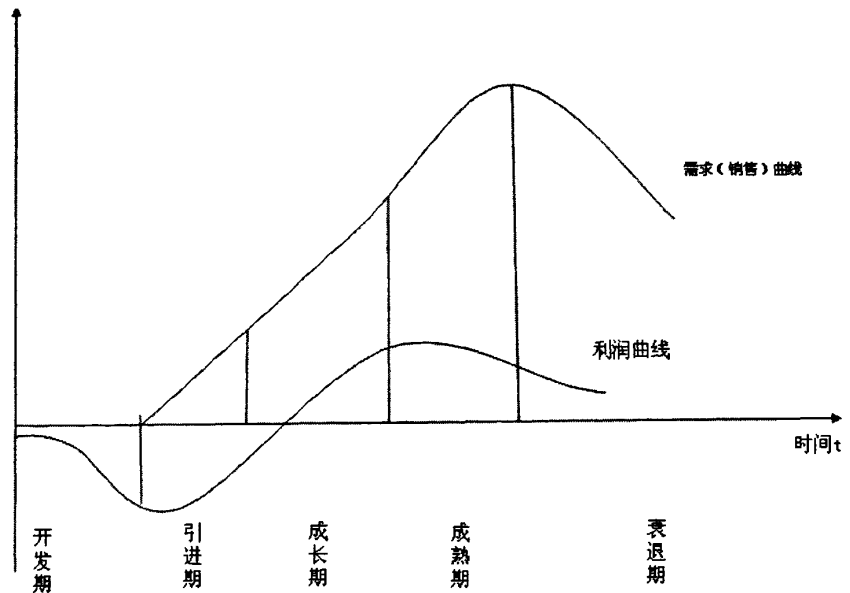


图3-1 产品生命周期曲线  
Figure3-1 Product Lifecycle

资料来源:

[http://ibs.nankai.edu.cn/marketing/basic\\_theory\\_system/book\\_content/chapter\\_8/section\\_2.htm](http://ibs.nankai.edu.cn/marketing/basic_theory_system/book_content/chapter_8/section_2.htm)

Data Resource:

[http://ibs.nankai.edu.cn/marketing/basic\\_theory\\_system/book\\_content/chapter\\_8/section\\_2.htm](http://ibs.nankai.edu.cn/marketing/basic_theory_system/book_content/chapter_8/section_2.htm)

从图 3-1 中可以发现产品生命周期的特点有: 在产品开发期间, 该产品销售额为零, 公司投资不断增加; 在引进期, 销售缓慢, 初期通常利润偏低或为负数; 在成长期销售快速增长, 利润也显著增加; 在成熟期利润在达到顶点后逐渐走下坡路; 在衰退期间产品销售量显著衰退, 利润也大幅度滑落。

### 3.1.2 特殊产品生命周期曲线

#### (1) “循环一再循环型”生命周期

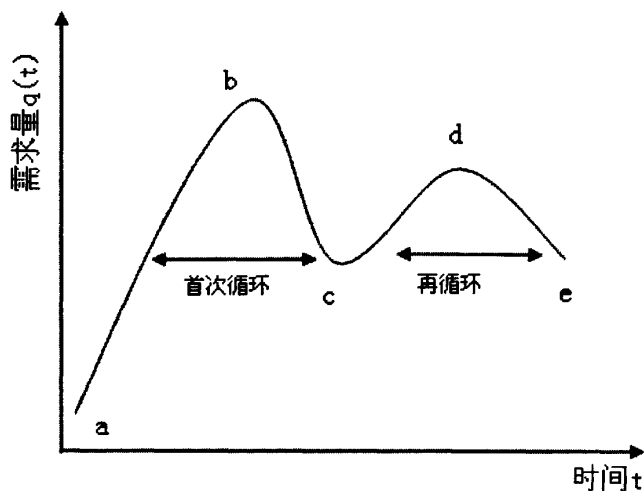


图3-2循环—再循环型生命周期  
Figure3-2 Recycle Product Lifecycle

资料来源:

[http://ibs.nankai.edu.cn/marketing/basic\\_theory\\_system/book\\_content/chapter\\_8/section\\_2.htm](http://ibs.nankai.edu.cn/marketing/basic_theory_system/book_content/chapter_8/section_2.htm)

Data Resource:

[http://ibs.nankai.edu.cn/marketing/basic\\_theory\\_system/book\\_content/chapter\\_8/section\\_2.htm](http://ibs.nankai.edu.cn/marketing/basic_theory_system/book_content/chapter_8/section_2.htm)

在正常情况下，再循环的销售量和持续期低于第一次的循环周期。图中，销售的第二个驼峰是产品进入衰退阶段时，由于促销推进而造成的。由此可见，短生命周期产品符合这种曲线。短生命周期产品具有制造周期短，流通速度快，保存期短等特点。这类产品具有较短的销售周期，期末未售出的产品将失效或降价处理。随着社会环保意识的加强，部分未售出短生命周期产品甚至需要处理成本。短生命周期的例子很多，如报刊杂志、影碟、食品、药品和时装等。随着科学技术的进步，这类产品具有生命周期缩短、更新换代加快的趋势。因此研究短生命周期的产品的运营情况具有十分重要的现实意义。

从图 3-2 中我们可以发现：在衰退期，由于降价促销导致了需求量有一段

上升的过程，其实价格在降低，产品处于贬值中，而在 ab 段中同样是上升的需求曲线，意义却完全不同；处于成长期的产品，需求在扩大，在产品成熟期之前，价格是明显上升的，同时产品处于升值中。所以从产品生命周期的角度来讲，就不能单纯地理解产品的价值和价格的关系，或者需求与价格、价值的关系，应该基于不同的生命周期阶段来分别讨论。

## (2) “扇型”生命周期

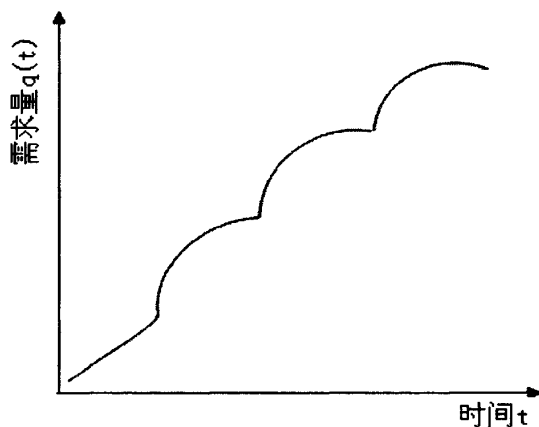


图3-3 扇型生命周期曲线  
Figure3-3 Fan type of Product Lifecycle

资料来源：

[http://ibs.nankai.edu.cn/marketing/basic\\_theory\\_system/book\\_content/chapter\\_8/section\\_2.htm](http://ibs.nankai.edu.cn/marketing/basic_theory_system/book_content/chapter_8/section_2.htm)

Data Resource:

[http://ibs.nankai.edu.cn/marketing/basic\\_theory\\_system/book\\_content/chapter\\_8/section\\_2.htm](http://ibs.nankai.edu.cn/marketing/basic_theory_system/book_content/chapter_8/section_2.htm)

这是基于发现了新的产品特征、用途或用户，而使其生命持续向前。例如，尼龙的销售就显示了这种特征，因为许多新的用途——降落伞、袜子、衬衫，一个接一个的被发现。可见这是一个长生命周期的产品曲线。

### 3.1.3 产品生命周期曲线的市场特征

在引入期和成长期，企业会不断地了解和确认市场需求，通过市场调研和市场营销策略，使产品逐渐得到用户的青睐和认可，激发消费者的购买欲，于是产品会逐渐占领市场，需求上涨，产品价格也将达到一个最高点；到了成熟期和衰退期，由于产品的市场几乎饱和，需求量不会有太大的上涨空间，但是这样的场景不会延续很久，因为在竞争激烈的当今，任何产品都不可能永久地占领某个市场，在此时，产品技术、工艺、经济性等都会过时，加上不断地有同类产品的后发制人，产品的市场份额将迅速萎缩，需求量锐减，价格也就下降，产品利润低至最低点，直到完全被市场所淘汰。因此从产品生命周期曲线可以看出产品生命周期4个进本阶段的划分是以产品的市场需求为主要判断依据的。

根据市场定价规律，商品的定价与商品的供求关系密切相关，在完全竞争的市场上，商品的定价高于或低于均衡价都是不能持久的。因为当商品的定价低于均衡价时，必然导致该商品生产的收缩和供给量的逐渐减少，慢慢就会出现求过于供。这时会激起消费者的购买欲望，同时供给者也会趁机抬价。于是，商品价格逐渐回升，向均衡价接近；当商品价格高于均衡价，必然导致商品的生产盲目扩大和供给量的增加，慢慢就会出现供过于求。这时供给者为了急于将商品脱手，往往就会削价抛售，于是商品价格日益下降，与均衡价逐渐接近。总之，商品的定价总是以均衡价为基础，在均衡价上下浮动。所以，投放市场的产品必然有一个从成长期，成熟期到衰退期的自然特征，把握这样的市场经济规律来考虑企业对产品的市场决策是很有必要也有很大的实际意义。所以产品的生命周期曲线特征也很好地反映了产品的市场效应。我们认为与产品生命

周期曲线相符的定义和结论必然也是符合市场经济特征的。

所以,结合产品生命周期的经济特征来讨论企业库存问题是很有现实意义的,目前已经有很多学者从各个角度探讨过不同情形的库存模型,也有学者将产品生命周期运用到库存控制模型中,在下一节的库存控制模型分析中,通过比较三种基于不同条件假设的库存订货模型来说明引入生命周期对模型研究的价值;并且生命周期所反映的市场特征可以进一步验证本文模型结果的正确性。

### 3.2 需求确定并具有安全库存的订货模型

在第2章的预备知识中提到关于典型的经济订货批量模型,分析模型的假设,可以发现存在如下问题:

(1)需求量一直且稳定不变,库存量随时间均匀连续的下降;需求取决于市场,市场是变化的,所以需求也随之改变着;

(2)库存补充的过程可以在一瞬间完成,既不存在一边进货,一边消耗的问题;库存是为生产服务的,生产决不会应库存补充这样的原因而停滞,边进货边消耗是必然的;

(3)产品价格 of 常数,不存在批量优惠;市场决定价格变化,批量决定优惠程度,这是经济的基本准则;

(4)存储费用以平均库存为基础进行计算;存储费用取决于库存实际所占用的资金成本、场地费用,其中仓储场地大小是一定的,但利用率却随存量变化而变化;

(5)每次订货成本以及订货提前期均为常数;订货成本可能是不变的,但提前期则很可能因为订货批量的改变而改变;



(6) 对产品的任何需求都将及时得到满足，不存在缺乏方面的问题。供货商并不能完全保证满足客户的所有需求，库存短缺的风险是总是存在着的，因此必须保有一定安全库存，关键在于安全库存水平也应该浮动的。在这样的情况下，新的库存模型的提出和实践就变得十分的必要。也正是因为这样，根据实际库存决策的需要和企业外部条件的限制因素，从而建立了一个新的更符合实际需要的库存模型<sup>[19]</sup>。

### 3.2.1 模型描述和建立

模型前提条件：

(1) 订货提前期已知

(2) 允许缺货，考虑缺货损失；在缺货期间产生的需求中，只有一部分滞后需求可以在下一周期得到满足，考虑缺货损失。

(3) 设定安全库存，安全系数  $k$  可变，当库存低于安全库存，则立即补货，补充率为无限大。

(4) 提前期内的需求量为随机变量，并且服从正态分布： $N(\mu L, \sigma^2 L)$

(5)  $1-\alpha$  -- 给定服务水平

(6)  $D$  -- 年需求总量

(7)  $A$  -- 每次的订货成本

(8)  $h$  -- 单位产品每年的库存持有成本

(9)  $d$  -- 缺货成本

(10)  $L$  -- 提前期已知

(11)  $Q$  -- 每次的订货量

(12)  $\beta$ —缺货期间的需求在下一周期可以得到满足的比例

模型建立:

为了达到一定的服务水平,再订货点除了必须满足提前期的需求,还应该保留一定数量的安全库存。所以再订货点 $R$ 等于提前期的期望需求加上设定的安全库存量:  $R = \mu L + k\sigma\sqrt{L}$ 。(3-1)

记ETC表示期望的年库存总成本,则ETC由三部分组成:年订货费用、年库存持有成本和年缺货成本。不仅要确定订货量 $Q$ 的值,从再订货点 $R$ 的计算公式中可以发现:在提前期一定的情况下,再订货点 $R$ 是安全系数 $k$ 的一次函数,所以确定订货点可以归结为确定安全系数 $k$ 。在实际的库存决策过程中,安全系数也是一个重要的决策变量。所以,作者将订货批量 $Q$ 和安全系数 $k$ 作为决策变量,以期望的年库存成本ETC最小为目标函数,考虑系统必须达到的服务水平,对该库存问题建立如下数学规划模型(NP):

$$\begin{aligned} \text{MinETC}(Q, k) = & A \frac{D}{Q} + h \left\{ \frac{Q}{2} + k\sigma\sqrt{L} + (1-\beta) [\phi(k) - k + k\Phi(k)] \sigma\sqrt{L} \right\} \\ & + d \frac{D}{Q} \beta [\phi(k) - k + k\Phi(k)] \sigma\sqrt{L} \\ \text{s.t. } & [\phi(k) - k + k\Phi(k)] \sigma\sqrt{L} \leq \alpha Q \end{aligned} \quad (3-2)$$

$$\text{其中: } \phi(k) - k + k\Phi(k) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{k^2}{2}} - k + k \int_{-\infty}^k \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt > 0, Q > 0, k > 0$$

模型求解:

在模型(NP)中,决策变量为订货批量 $Q$ 和安全系数 $k$ ,且ETC( $Q, k$ )是 $Q$ 和 $k$ 的非线性函数,同时满足非线性约束条件,所以模型(NP)是非线性规划问

题。根据对变量  $Q$ ,  $k$  进行一阶偏导以及构造拉格朗日函数最终能求得  $Q$ ,  $k$  的最优值。

### 3.2.2 模型分析

从给出的结果中看到：当提前期  $L$  不断增加时，订货批量也在不断地增加。当服务水平提高时，同一个提前期下，两者的最优订货批量几乎差不多，但安全库存量明显上升，同时也增加了库存总成本。

和传统的 EOQ 模型相比，该模型扩展到考虑产品在订货延迟期间的不确定需求，并结合服务水平，在允许缺货的条件下讨论库存，但是从结果中我们发现随着服务水平的提高，企业的库存总成本也随即增长，这其实也没有很好地解决如何确定合理的安全库存来达到预定的服务水平。其中有一个原因不得不忽视，产品的需求不能简单地假设成每年的需求均为一个确定值，这从产品乃至市场的角度来说都是不合理的，产品的需求是随着产品本身的特制以及外界的众多客观因素的变化而变化，并且产品在不同市场周期的需求特征也是不同的，如果基于假设某个产品的需求量而得到的结果并不能帮助企业作出正确的库存决策。因此，研究需求时变下的产品订货模型是时代的要求，更是库存研究的一大发展。

## 3.3 需求变化、生命周期确定下的产品订货策略

短生命周期产品零售商订货策略的研究，最典型的当属报童模型 (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，以后的研究多是基于这个模型展开的。如研究了在一个产品生命周期中，在市场需求变化下，零售商和供应商如何制定有利于双方的第二次订货

时间, 以及考虑库存成本的零售商在两次订货中怎样采用最优策略的问题, 以实现零售商和供应商的共赢<sup>[20]</sup>。

### 3.3.1 模型描述和建立

考虑一个产品生命周期  $T$ , 在产品的销售开始时即 0 时刻, 零售商根据历史数据, 现有的市场需求信息以及各种经营成本, 用供应商指定的批发价格第一次向其订货。到了  $t$  时刻, 零售商根据第一次订货的情况以及现有的市场需求信息, 考虑各种经营成本及时做出订货或退货的调整。如何确定  $s$  的大小以及第一、二次的订货量多少是本文的研究重点。为了便于说明问题, 假定  $0 \sim t$  和  $t \sim T$  两阶段需求相互独立, 零售商的订货能够及时得到满足, 零售商的库存是均匀减少的。如果零售商的订货多于顾客的实际需求, 剩余产品在销售期末将会有少量的残值; 如果零售商的订货少于顾客的实际需求, 将会产生机会收益的损失。

模型假设:

(1)  $p$  — 单位产品的零售价

(2) 单位产品的批发价:

$$E(\pi_1) = \left( p + g - q - \frac{1}{2}tc \right) Q_1 - gu - \left( p + g - s + \frac{1}{2}tc \right) \int_0^{Q_1} F(x) dx$$

(3)  $g$  — 单位产品因缺货造成的机会损失

(4)  $c$  — 单位产品的单位时间的库存成本

(5)  $T$  — 产品的生命周期

(6)  $t$  — 零售商第二次订货时间,  $0 < t < T$

(7)  $Q_1$  — 开始时间的订货量,  $Q_1 > 0$

(8) T时刻的市场需求变化下的订货量:  $Q_2$ ;  $Q_2 > 0$  订货,  $Q_2 < 0$  退货,  $Q_2 = 0$  不订货

(9) 0-t阶段的预测的顾客需求:  $D_1$ , 期望值:  $\mu$ , 方差:  $\sigma$

(10) t-T阶段的预测的顾客需求:  $D_2$ , 期望值:  $\mu_2$ , 方差:  $\sigma_2$

(11) 0时刻预测0-t阶段顾客需求服从的概率密度函数:  $f(x)$

(12) t时刻预测t-T阶段顾客需求服从的概率密度函数:  $g(x)$

(13) 0时刻预测0-t阶段顾客需求服从的累计分布函数:  $F(x)$

(14) t时刻预测t-T阶段顾客需求服从的累计分布函数:  $G(x)$

(15) 0时刻订货后预计的0-t阶段零售商利润:  $\pi_1$

(16) t时刻订货后预计的t-T阶段零售商利润:  $\pi_2$

模型建立:

(1) 0时刻, 零售商根据历史数据, 现有的市场需求信息以及各种经营成本, 用供应商指定的批发价格第一次向其订货, 此时零售商需要考虑最优订货量为多少的问题。零售商在考虑库存成本的情况下, 获得的利润为:

$$\pi_1 = p \min(Q_1, D_1) - qQ_1 + s \min(Q_1 - D_1, 0) - g \min(D_1 - Q_1, 0) - \frac{Q_1 + \min(Q_1 - D_1, 0)}{2} t * c \quad (3-4)$$

对上式求期望值, 得到零时刻的零售商的期望利润:

$$E(\pi_1) = \left( p + g - q - \frac{1}{2}tc \right) Q_1 - gu - \left( p + g - s + \frac{1}{2}tc \right) \int_0^{Q_1} F(x) dx \quad (3-5)$$

由数学微积分求最优值得到:

$$\text{当 } 0 < t \leq \frac{2(p+g-q)}{c} \text{ 时, } E(\pi_1) \text{ 的最大值在: } F(Q_1^*) = \frac{p+g-q-\frac{1}{2}tc}{p+g-s+\frac{1}{2}tc}$$

因此在开始时刻, 零售商获得最大利润的订货量为:

$$Q_1^* = F^{-1}\left(\frac{p+g-q-\frac{1}{2}tc}{p+g-s+\frac{1}{2}tc}\right) \quad (3-6)$$

可以看出, 当  $0 < t \leq \frac{2(p+g-q)}{c}$  时刻, 零售商的最优订货量是经过变形一个典型的报章模型。所以得到零售商的最大利润:

$$E(\pi_1^*) = \left(p+g-q-\frac{1}{2}tc\right) F^{-1}\left(\frac{p+g-q-\frac{1}{2}tc}{p+g-s+\frac{1}{2}tc}\right) - gu - \left(p+g-s+\frac{1}{2}tc\right) \int_0^{F^{-1}\left(\frac{p+g-q-\frac{1}{2}tc}{p+g-s+\frac{1}{2}tc}\right)} F(x) dx \quad (3-7)$$

(2)  $t$ 时刻, 零售商根据第一阶段的经营情况, 结合当前市场需求信息对未来的需求做出预测。此时零售商的预测获得利润为:

$$\begin{aligned} \pi_2 = & p \min(Q_2, D_2) - qQ_2 + s \min(Q_2 - D_2, 0) - g \min(D_2 - Q_2, 0) \\ & - \frac{Q_2 + \min(Q_2 - D_2, 0)}{2} (T-t) * c \end{aligned} \quad (3-8)$$

同样对上式求期望值, 得到零时刻的零售商的期望利润:

$$E(\pi_2) = \left(p+g-q-\frac{1}{2}(T-t)c\right) Q_2 - g\mu_2 - \left(p+g-s+\frac{1}{2}(T-t)c\right) \int_0^{Q_2} G(x) dx \quad (3-9)$$

经计算讨论得到:

当  $\frac{p+g-q-\frac{1}{2}(T-t)c}{p+g-s+\frac{1}{2}(T-t)c} < 0$ , 即  $0 < t < T - \frac{2(p+g-q)}{c}$  时,  $E(\pi_2)$  在

$G(Q_2)=0$  处取到最大值, 即  $Q_2=0$  时不订货;

当  $0 \leq \frac{p+g-q-\frac{1}{2}(T-t)c}{p+g-s+\frac{1}{2}(T-t)c} < 1$ , 即  $T \geq t \geq T - \frac{2(p+g-q)}{c}$  时,

$G(Q_2^*) = \frac{p+g-q-\frac{1}{2}(T-t)c}{p+g-s+\frac{1}{2}(T-t)c}$ , 因此在  $t$  时刻, 零售商获得最大利润的订货量为:

$$Q_2^* = G^{-1} \left( \frac{p+g-q-\frac{1}{2}(T-t)c}{p+g-s+\frac{1}{2}(T-t)c} \right) \quad (3-10)$$

我们可以看到, 当  $T \geq t \geq T - \frac{2(p+g-q)}{c}$  时, 零售商的最优订货量也是经过变形的一个典型的报童模型。所以得到零售商的最大利润:

$$E(\pi_2^*) = \left( p+g-q-\frac{1}{2}(T-t)c \right) G \left( \frac{p+g-q-\frac{1}{2}(T-t)c}{p+g-s+\frac{1}{2}(T-t)c} \right) - g\mu_2 - \left( p+g-s+\frac{1}{2}(T-t)c \right) \int_0^{\frac{p+g-q-\frac{1}{2}(T-t)c}{p+g-s+\frac{1}{2}(T-t)c}} G(x) dx \quad (3-11)$$

### 3.3.2 模型分析

此模型的一大改进是考虑到了市场的需求信息变化, 不是单纯地以固定需求量的假设条件来分析库存策略, 并且它融入了产品的生命周期概念, 但是仅

仅是把生命周期定义为 $T$ ，整个模型是一个在 $T$ 时间段内的订货策略，有存在如下不足：

(1) 模型在 $T$ 时间段内简单地划成两个阶段作为零售商的两次订货点，本身没有很大的依据支持，并且认为两阶段的需求是相互独立的，这并不是很合乎事实，需求函数是与时间 $t$ 有密切关系的，后阶段的需求特征必然会受到前期需求的影响，所以这样的假设还是需要再斟酌的。

(2) 模型虽然提到了产品的生命周期，却没有真正地把产品生命周期中呈现的需求特征体现到模型中来，也就是说模型中的需求函数并不是基于产品生命周期定义的。

(3) 模型还是只考虑了单点零售商的库存决策，没有结合供应链环境讨论多级结点的定价和补货，从整个供应链库存管理的角度上来看还是有缺陷的。局部最优无法满足整体最优，而当今企业不单只是一个个体，它的生存关联到周围的一切，如果一味地只考虑自身的利益，从长期来看是不值得考虑的，这样的决策最终是会被抛弃的。结合以上分析存在的不足，在下一节中给出了更为成熟的，且更好地运用生命周期的库存订货模型。

### 3.4 需求变化、产品生命周期不确定下的易腐品库存订货模型

目前对产品生命周期曲线的预测和拟合有很多，本节给出了用指数多项式函数拟合产品生命周期变化规律的易腐库存模型<sup>[21]</sup>。易腐产品可以理解成短生命周期产品，它具备一定的保质期或者流行性。

#### 3.4.1 模型描述和建立

模型假设：



(1) 产品生命周期已知，为  $m$  单位时间

(2) 令  $n$  为产品市场生命周期内物品的订货次数。则有  $T = m/n$

(3) 每次订货是瞬间完成的，即提前期为零，且订货完全满足

(4) 不允许缺货

(5) 需求率是关于时间  $t$  的函数，为  $\max \pi_n^* = \max(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_{m-1}, \pi_m)$ ，其中  $a, b, c$  为参数， $b$  是自然数， $a > 0$ ， $c < 0$ ，即用上述指数多项式函数近似拟合产品生命周期曲线

(6) 单位时间单位物品的存储成本为  $c_k$ ，物品的变质率为  $\theta$ ， $0 < \theta < 1$ ，单位物品进价为  $c_p$ ，出售价格  $p$ ，每次的订购成本为  $c_0$ ，销售净收入为  $R_T$ ，销售净利润为  $\pi$ ，存储总成本为  $C_H$ ，腐烂损失总成本为  $C_D$ ，销售总成本为  $C_T$ ，包括订货成本、存储总成本和腐烂损失总成本

### 模型建立

该库存模型的最优策略可描述为：求在时期  $[0, m]$  内最优订货次数  $n$ （即最优订货周期  $T = m/n$ ），每次最优订货量  $Q_k$ ，使得产品销售总利润最大化。

第  $k$  次补货周期：

需求-库存微分方程为：

$$\frac{dI_k(t)}{dt} = -a[(k-1)T+t]^b e^{c[(k-1)T+t]} - \theta I_k(t) \quad (3-12)$$

解微分方程得到库存函数：

$$I_{k(t)} = \left[ -ae^{c(k-1)T} F(t)e^{(c+\theta)t} + ae^{c(k-1)T} F(t)e^{(c+\theta)T} \right] * e^{-\theta t}, \quad 0 \leq t \leq T, \quad k=1,2,\dots,n$$

第  $k$  次订货量:  $Q_k = I_k(T) - I_k(0)$

第  $k$  次补货周期销售总成本:

$C_{Tk}$  = 订购成本 + 存储总成本 + 腐烂损失总成本

$$= C_0 + C_{Hk} + C_{Dk} = C_0 + \int_0^T C_h I_k(t) dt + \int_0^T C_p \theta I_k(t) dt = C_0 + (C_p \theta + C_h) * W_k \quad (3-13)$$

$$\text{其中: } W_k = \int_0^T I_k(t) dt = \frac{ae^{c(k-1)T} F(T) e^{cT}}{\theta} (e^{\theta T} - 1) - ae^{c(k-1)T} [G(T) e^{cT} - G(0)]$$

$$G(t) = \sum_{l=0}^b (-1)^l F^{(l)}(t) \frac{1}{c^{l+1}}$$

所有周期销售总成本:

$$C_T = \sum_{k=1}^n C_{Tk} = \sum_{k=1}^n [C_0 + (C_p \theta + C_h) * W_k] = nC_0 + (C_p \theta + C_h) \sum_{k=1}^n W_k \quad (3-14)$$

销售净利润:

$$\pi = R_T - C_T = a(P - C_p) e^a [H(m) - H(0)] - [nC_0 + (C_p \theta + C_h)] \sum_{k=1}^n W_k \quad (3-15)$$

$$\text{其中: } H(t) = \sum_{l=0}^b (-1)^l (t^b)^{(l)} \frac{1}{e^{l+1}}$$

模型结果:

上述净利润函数  $\pi$  是一个关于  $T$  的函数, 而且  $T = m/n$ , 比较可以得到:

$\max \pi_n^* = \max(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_{m-1}, \pi_m)$  由此在得到利润最大值的同时可以得到最优订货

周期和相应的订货次数。

### 3.4.2 模型分析

该模型从实际出发研究了一类需求率符合产品市场生命周期变化的易腐库存模型, 考虑到需求率曲线的可拟合性, 通过用直接法讨论了该模型在其周期

内的最优订购次数、订购时间、订购数量，并给出了相应的解析式，该模型与之前的相比具有广泛的应用价值，但仍存在如下思考点：

(1) 生命周期曲线的拟合函数一直是PLM的关注点，并且该函数描述了产品整个生命周期内的变化特征，但是任何一种产品时时刻刻受到价格，需求的影响，和价格和需求是时刻随着市场环境的变化而变化，所以结合时间，价格，需求来反映产品生命周期会更合理，同时企业决策者能够看到产品在不同生命周期阶段的库存决策是否正确。

(2) 模型的讨论仍旧建立在单点库存上，当然目前有很多讨论两级的库存模型，但几乎没有将产品生命周期引入近来，如果将两者结合在一起，讨论供求双方在生命周期下的库存模型将会是一个新的研究方向，可供学者参考和进一步深究。

### 3.5 分析结果

上述三个库存模型中，分别研究的是需求和生命周期确定和不确定情况下的库存控制策略的，可以说是基于单个周期的库存成本优化补货决策和评价库存成本绩效。虽然模型考虑了需求时变性，但基本上只研究单库存决策问题，而对供需双方库存决策的相互影响及协调并未涉及。同时，虽然考虑了产品生命周期，但模型并没有将产品生命周期的特征在模型中反映出来，无法确定决策是否与产品的生命周期曲线特点相吻合。由此，考虑生命周期的供应链两级库存控制模型的研究是非常必要的。

供应链两级库存模型的研究主要考虑一个中心仓库和若干个零售商组成的1+N 两级供应链系统。通常，上级供应商会在提前期内向零售商供货，订货提

前期或为固定，或为随机。零售商面对随机的最终需求，持续观察本地库存水平，只要库存点下降到订货点  $R$  以下，立即发出订单。随后零售商会持有商品库存，产生持有成本；若零售商发生缺货，就会导致缺货成本的产生。缺货成本的假设有两种情况。一种是失去了客户。对零售商来说，失去了销售机会，减少了盈利收入，多次缺货，还会失去信誉，失去客户，从而失去市场的竞争力。这种客户资源的损失可以折算为缺货费用。另一种是客户愿意等待延迟发货。即当用户来买货，零售商仓库没有现货，但是不叫顾客空手而去，采取补货的方式满足客户的需要，这适用于供应商和零售商之间，同样也适用在零售商和消费者之间，两者的需求关系其实是一致的。这种订货补货的方式在目前是很常见的经营模式。补货发生时，相应地，会增加补货费用，这种补货费用也就是零售商的缺货成本。因此如何在缺货成本和持有成本之间进行权衡，使得自身的库存总成本最低，每个补货周期的订货量成了非常关键的因素。但是对于经营者来说，想方设法降低成本其目的是为了达到最大利润，而利润的大小还和销售收入密切相关，如果收入不佳，再怎么减少成本都不是一个最佳策略。那么再进一步思考，销售收入和销售价格（定价）有很大的关联，对于需求不定的市场，如何灵活地响应市场，同时使得自身的企业盈利最大化是每个供应商和零售商都在努力思考的问题，其中我们可以发现订货量和定价是两个实现企业利润最大化的关键因素。

基于上述分析，本文第4章和第5章将研究面向产品生命周期的时变需求下两级供应链的库存策略，模型的建立依据上述分析的订货量和定价这两个参数，参数的不同，可带来供需双方利润的不同，而最大化供应链系统的利润可以解决目前复杂的企业库存管理问题。

### 3.6 本章小结

本章作为本文问题引出和模型建立的前奏和基础。从本文模型围绕说明的三个关键点：面向产品生命周期、时变需求和两级库存出发，分别阐述和分析了相关概念和模型。首先产品生命周期理论及曲线的描述除了阐述产品在不同阶段表现的市场效应（需求，价格等），更是为了验证最后本文模型模拟结果的正确性；产品投入市场后必然会经过成长期，成熟期，再到衰退期，直到被完全淘汰。在成长期，产品的价值随着实力，宣传和各种正面效应不断地扩大，消费这对产品的热情越来越高，于是产品需求呈现上涨趋势；在成熟期，产品的市场量基本趋于平稳或者饱和，产品已经有固定的市场份额和消费群，但当产品市场中遇到了替代品，或者更有竞争力的同类商品时，产品的市场力将逐渐萎缩，除非公司采取及时的措施来弥补即将失去的消费源，否则在通常情况下，产品终究会被淘汰，应该说即使得到公司的大力包装和宣传，产品还是逃脱不了被更新换代的命运，因此考虑产品所表现的经济生命周期对于企业如何决策产品的定价和补货策略来获得最大效益是很有战略意义的。

接着本章描述了三个和本文提出并建立的模型息息相关的面向产品生命周期的传统库存控制模型，通过有力的分析找出了模型存在的问题和不足，并在此研究基础之上提出了本文研究的问题及模型：面向产品生命周期的时变需求下两级供应链的库存控制模型。基于上述对产品生命周期的理解和分析，本文将在第 4、5 两章讨论生命周期中的两个重要阶段并进行重新界定，建立和分析产品在成长期和衰退期的库存控制模型。

## 第4章 产品成长期的供应链补货与定价模型

### 4.1 产品成长期的分析

迄今为止，人们对供应链的库存与定价决策问题的研究仍旧停留在易贬值品上，但我们不得不注意到在人民币升值的大前提下，市场中已不断涌现出其他升值产品。比如，钢材、石油天然气、电子类产品等。我们知道如今的经济大环境日趋全球化，中国对世界经济正在发挥重要作用。在这样大好的情形下，消费产品的升值是顺理成章的事了。产品升值的必然性除了求大于供的客观因素以外，真正恒久的上升动力在于本身的价值是远远超过目前偏低的市场价格，最终会回复到应有的市值。另一方面，产品升值已经逐渐成为企业获取自身利益的有效的新兴途径。商业界纷纷致力于开发升值产品，提高产品的市场竞争力，同时也推动了整个经济的快速增长。可以说，升值产品对市场的冲击力以及给企业带来的绩效正是它存在的意义和价值。从供应链角度出发考虑，对升值期中的产品进行有效的库存控制和管理更是一项具有很强现实意义的工作。这样的工作已经逐渐被业内人士视为获取企业利润的“第三来源”。所以，基于本章研究的角度，首先对产品成长期的范围进行了重新的定义，并给出了本文研究的问题描述和模型假设，最后通过建立模型函数和计算，讨论了产品在成长期中供需双方的定价和补货策略。

### 4.2 成长期的范围界定

从第3章提到的产品生命周期理论来看，成长期是产品需求增长的阶段，

需求量和销售额迅速上升，生产成本大幅度下降，利润迅速增长。这是 S 型产品生命周期曲线定义的成长期，但是观察特殊产品的生命周期曲线，如上面提到的“循环-再循环”，我们可以看到产品在衰退期中也有一段需求上升的阶段，这是因为经营者为了处理剩余的库存而不得不压低价格获取第二波的需求热，但这个时候的产品已经处于贬值，价格和利润都处于下降趋势。因此本文界定的成长期除了产品真正意义上的价值、价格、需求量都上涨的阶段，还包括因一些人为因素的干扰，而促使需求上涨，价格和价值却下降的产品生命阶段。总之，这里界定的成长期可理解成需求上涨期。

### 4.3 本文问题描述和模型假设

本文研究的是一个关于产品定价与补货策略的订货模型，基于第3章的分析结果，对本文探讨和建立的模型定义了更合理的前提和条件，其归结如下：

- (1) 本文研究的产品是在由一个制造商和一个配送商所构成的简单两级供应链下，不是单纯的点库存模型。
- (2) 本文研究的产品补货周期是固定且一直循环下去，不是单单只考虑一个补货周期中的补货和定价问题。
- (3) 本文研究的产品是在时变需求条件下，不是在平稳的需求状态下研究的。
- (4) 本文研究的产品根据产品生命周期理论，将分成成长期和衰退期讨论，不是完全地忽视产品在市场效应和经济特征。

因此，本文假设产品制造和配送系统由一个制造商和配送商构成。供需双方的利润函数是共同知识，并且它们的决策程序如下：

制造商为系统中的上游，他首先确定其产品的销售价，然后作为下游的配送商选择其订货量。该决策程序隐含了这样一个假设：制造商是供应链的核心企业，处于支配地位。由此决策过程可知，供需双方构成一个供方先需方后的动态博弈模型。通过建立双方的利润函数模型确定每个补货周期中制造商的最优价格和配送商的最优订货量，使得整个供应链上的效益达到最大。

根据本章对产品成长期的重新界定和表现出来的需求特征以及价格因素，我们认为，需求和价格都是关于时间的函数，随着市场、政治环境和决策的变化，需求和价格很可能随时变动，直接用某个具体的函数来描述它们和时间的关系很困难，也没必要，这边，我们抽象地定义成价格和时间的函数  $p(t)$ ，以及需求量和时间的函数关系  $q(t)$ 。

我们首先构造成长期产品的需求函数。因为产品每日的价格与时间以及当天的需求量有关，所以它是一个关于时间和需求量的函数。因此，我们假设升值产品的需求函数为：

$$p(t) = a + bt - cq(t) \quad a, c \geq 0 \quad (4-1)$$

其中  $t$  为时间，单位为日； $p(t)$  为第  $t$  日的价格； $q(t)$  为第  $t$  日的需求量；并且，对于处于成长期的产品而言，当需求量固定时，价格随着时间的推移而单调增加；当价格固定时，需求量随着时间的推移而单调增加。所以  $b$  表示上升速率，且  $b > 0$ ，于是它的需求函数就是 (4-1) 式。

基于上述给定的需求价格函数，我们将建立供需双方的利润函数模型，使得双方在每个补货周期的订货量和定价策略满足企业利润最大化。



## 4.4 配送商（需求方）的最优订货决策

### 4.4.1 需求随时间变化的最优利润函数模型和最优订货量

不失一般性，假设配送商的补货周期为 1。则第  $i$  个补货周期的订货量为：

$$Q_{D,i} = \int_{(i-1)l}^{il} q(t)dt \quad (4-2)$$

第  $i$  个补货周期的收入为：

$$R_{D,i} = \int_{(i-1)l}^{il} p(t)q(t)dt = \int_{(i-1)l}^{il} [a + bt - cq(t)]q(t)dt \quad (4-3)$$

假设  $W_i$  为配送商第  $i$  批产品的购买单价（即为制造的售价）。则配送商第  $i$  个补货周期的购买成本为：

$$C_{D,i} = W_i Q_{D,i} = W_i \int_{(i-1)l}^{il} q(t)dt \quad (4-4)$$

由于需求率（日需求量）是变化的，所以不能像 EOQ 模型一样简单地把订货量的一半作为平均库存量来计算持有库存成本（机会成本）。第  $i$  个补货周期内的某一时刻为  $x \in [(i-1)l, il]$ 。在  $x$  时刻的库存成本为：

$$IC_{D,i}(x) = [Q_{D,i} - \int_{(i-1)l}^x q(t)dt]h_D = h_D \int_x^{il} q(t)dt \quad (4-5)$$

其中  $h_D$  为配送商的单位产品在单位时间内的库存成本。

因此，第  $i$  个补货周期的库存成本为：

$$IC_{D,i} = \int_{(i-1)l}^{il} IC_{D,i}(x)dx = \int_{(i-1)l}^{il} dx \int_x^{il} q(t)dt h_D = h_D \int_{(i-1)l}^{il} [t - (i-1)l]q(t)dt \quad (4-6)$$

第  $i$  个补货周期的利润为：

$$\begin{aligned}\pi_{D,i} &= R_{D,i} - C_{D,i} - IC_{D,i} \\ &= \int_{(i-1)l}^{il} \{[a+bt-cq(t)]q(t) - W_i q(t) - h_D[t-(i-1)l]q(t)\} dt\end{aligned}\quad (4-7)$$

令:

$$H = [a+bt-cq(t)]q(t) - w_i q(t) - h_D[t-(i-1)l]q(t) \quad (4-8)$$

配送商选择第  $t$  日的供货量  $q(t)$  (假设各天的供货量等于需求量, 即不存在缺货) 使利润  $\pi_{D,i}$  最大。依据  $\frac{\partial H}{\partial q} = 0$ , 得:

$$\begin{aligned}q^*(t) &= \frac{a}{2c} + \frac{b}{2c}t - \frac{1}{2c}W_i - \frac{1}{2c}h_D[t-(i-1)l], \\ (i-1)l &\leq t \leq il.\end{aligned}\quad (4-9)$$

由于  $q(t) \geq 0$ , 所以配送商的最优供货量 (反应函数) 为:

$$\begin{aligned}q(t) &= \max\{q^*(t), 0\} \\ &= \begin{cases} q^*(t) & i > \frac{w_i + bl - a}{bl} \\ q^*(t) & \frac{w_i + h_D l - a}{bl} < i \leq \frac{w_i + bl - a}{bl}, \quad \frac{w_i - a - h_D(i-1)l}{b - h_D} < t \leq il, \quad (b - h_D > 0) \\ 0 & \frac{w_i + h_D l - a}{bl} < i \leq \frac{w_i + bl - a}{bl}, \quad (i-1)l \leq t \leq w_i \frac{-a - h_D(i-1)l}{b - h_D}, \quad (b - h_D > 0) \\ 0 & i \leq \frac{w_i + h_D l - a}{bl} \end{cases}\end{aligned}\quad (4-10)$$

将式(4-10)代入式(4-11)分别得配送商的最优利润:

$$\pi_{D,i} = \begin{cases} \frac{1}{4c} \int_{(i-1)l}^{il} \{a+bt-W_i-h_D[t-(i-1)l]\}^2 dt, & W_i < bli + a - bl \\ \frac{1}{4c} \int_{\frac{w_i - a - h_D(i-1)l}{b - h_D}}^{il} \{a+bt-W_i-h_D[t-(i-1)l]\}^2 dt, & bli + a - bl \leq W_i < a + bli - h_D l, \quad (b - h_D > 0) \\ 0, & W_i \geq a + bli - h_D l \end{cases}\quad (4-11)$$

由式(4-11)可得如下结论: 若配送商按式(4-10)确定供货量, 则配送商

在各补货周期内的利润均大于等于零，即  $\pi_{D,i} \geq 0$ 。

由式(4-10)可得配送商在各补货周期的最优订货量为：

$$Q_{D,i} = \int_{(i-1)l}^{il} q(t)dt$$

$$= \begin{cases} \int_{(i-1)l}^{il} q^*(t)dt, & W_i < bli + a - bl \\ \frac{\int_{W_i - a - h_D(i-1)l}^{il} q^*(t)dt}{b - h_D}, & bli + a - bl \leq W_i < a + bli - h_D l, \quad (b - h_D > 0) \\ 0, & W_i \geq a + bli - h_D l \end{cases} \quad (4-12)$$

## 4.5 制造商（供应方）的最优定价决策

### 4.5.1 需求随时间变化的最优利润函数模型和最优定价

假设制造商的补货周期为  $L$ ，并且  $L = nl$ （ $n$  为正整数）。由于配送商按式(4-11)订货，所以式(4-11)为制造商的需求函数。因此，制造商第  $j$  个补货周期的订货量及销售收入分别为：

$$Q_{M,j} = \sum_{i=(j-1)n+1}^{jn} Q_{D,i} \quad (4-13)$$

$$R_{M,j} = \sum_{i=(j-1)n+1}^{jn} W_i Q_{D,i} \quad (4-14)$$

假设制造商的单位生产成本为  $V$ 。则制造商第  $j$  个补货周期的生产成本为：

$$C_{M,j} = \sum_{i=(j-1)n+1}^{jn} V Q_{D,i} \quad (4-15)$$

由于制造商的需求率也是变化的，所以可以仿照零售商库存成本的计算方法，得制造商第  $j$  个补货周期的库存成本：

$$\begin{aligned}
 IC_{M,j} &= \sum_{k=(j-1)n+1}^{jn} \left[ Q_{M,j} - \sum_{i=(j-1)n+1}^k Q_{D,i} \right] lh_M \\
 &= lh_M \sum_{k=(j-1)n+1}^{jn} \sum_{i=k+1}^{jn} Q_{D,i} = lh_M \sum_{i=(j-1)n+1}^{jn} [i - (j-1)n] Q_{D,i} \quad (4-16)
 \end{aligned}$$

其中  $h_M$  为制造商的单位产品在单位时间内的库存成本。

制造商在第  $j$  个补货周期的利润为：

$$\pi_{M,j} = R_{M,j} - C_{M,j} - IC_{M,j} = \sum_{i=(j-1)n+1}^{jn} \{W_i - V - lh_M [i - (j-1)n]\} Q_{D,i} \quad (4-17)$$

记  $\pi_{M,i} = W_i Q_{D,i} - V Q_{D,i} - lh_M [i - (j-1)n] Q_{D,i}$

$\pi_{M,i}$  是指制造商从配送商的第  $i$  批货中所获得的利润。注意到，分段函数

$Q_{D,i}$  在分段点处是连续的，因而  $\pi_{M,i}$  是  $W_i$  的连续函数。根据函数极值条件分段

求得  $\pi_{M,i}$  在整个区间  $[0, +\infty]$  上的最大值点（最优定价）：

(1) 当  $0 \leq t \leq bli + a - bl$

$$W_i^* = \frac{1}{2}a + \frac{1}{4}bl(2i-1) + \frac{1}{2}V - \frac{1}{4}h_D l + \frac{1}{2}lh_M [i - (j-1)n], (j-1)n+1 \leq i \leq jn \quad (4-18)$$

所以：

$$W_i^{e1} = \begin{cases} 0, & W_i^* \leq 0 \\ W_i^*, & 0 < W_i^* < bli + a - bl \\ bli + a - bl, & W_i^* \geq bli + a - bl \end{cases} \quad (4-19)$$

(2) 当  $bli + a - bl \leq t \leq a + bli - h_D l$

$$W_i^{**} = \frac{a}{3} + \frac{bli - h_D l}{3} + \frac{2}{3}V + \frac{2}{3}lh_M [i - (j-1)n] \quad (4-20)$$

所以：

$$W_i^{e_2} = \begin{cases} a + bli - bl, & W_i^{**} < a + bli - bl \\ W_i^{**}, & a + bli - bl \leq W_i^{**} < a + bli - h_D l \\ a + bli - h_D l, & W_i^{**} \geq a + bli - h_D l \end{cases} \quad (4-21)$$

(3) 当  $t \geq a + bli - h_D l$

据式(4-13),  $Q_{D,i} = 0$ , 所以  $\pi_{M,i} = 0$ , 当  $W_i \geq a + bli - h_D l$ 。因此, 在区间  $[a + bli - h_D l, +\infty]$  上的任意一点均为  $\pi_{M,i}$  的最大值点, 记为  $W_i^{e_3}$ 。

(4) 比较各区间上的最大值得  $\pi_{M,i}$  在整个区间  $[0, +\infty]$  上的最大值点 (最优定价), 即纳什均衡结果 (供方的最优定价和需方的最优订货量):

$$W_i^e = \arg \max \{ \pi_{M,i}(W_i^{e_1}), \pi_{M,i}(W_i^{e_2}), \pi_{M,i}(W_i^{e_3}) \} \quad (4-22)$$

## 4.6 本章小结

通过对本文讨论和研究的模型背景描述, 本章讨论了两级供应链中供需双方在时变需求下对成长期产品的补货与定价模型。首先本章对成长期的概念作了重新的诠释, 它放大了产品生命周期中定义的成长期范围, 考虑了产品后期的降价促销行为, 重新理解成需求上涨期。接着, 文章对本文提出的问题和模型进行了详细的描述和假设, 即由一个制造商 (上游) 和配送商 (下游) 组成的两级供应链; 立足于时时变化的需求, 对某一时刻  $t$  的需求函数进行了重新构造, 给出了产品成长期的需求函数。最后文章根据公式: 产品利润=产品收入-产品总成本, 以及产品总成本=购买成本+库存持有成本, 对配送商和制造商建立利润函数, 通过数学微积分等计算方法得到双方最优的定价和补货量, 从而使双方达到利润最大, 实现供应链上的双赢局面。

## 第5章 产品衰退期的供应链补货与定价模型

### 5.1 产品衰退期的分析

广义的贬值品是指市场价值在一定时间内有明显降低的商品,它除了包括生鲜商品外还包括时装等季节性商品、更新换代快的电子类产品等。随着客观环境的变化,替代品的不断涌现,贬值商品受到越来越多的关注。如何对贬值商品进行有效的库存管理是一项十分有现实意义的工作。通过第三章产品生命周期理论的学习,我们知道贬值产品是属于短生命周期产品,目前由于市场的迫切需求,消费者消费水平的逐渐提升,企业面临了重大的挑战,为了迎合市场的口味,赢得竞争的胜利,他们不得不提高产品的性能综合指数,于是更新换代的速度越来越快,产品投入市场以后的生命周期随着后生代以更强劲的势头冲入市场而立即结束。这样的市场特征在当今已经十分普遍了,尤其是高科技电子行业,手机的高价格面市和迅速降价促销的行为和价格低廉,功能却强大的现象无不说明产品衰退期的研究意义。如何让产品在衰退期也能尽可能地赢利或者不亏损,都是企业决策者需要考虑的问题。

### 5.2 衰退期的界定

和成长期相反,在衰退期中的产品其需求是在不断缩小的,同时它的价格和价值基本是保持一致的,即产品处于贬值,价格也会下降。因此此章讨论的产品衰退期就是指产品需求下降的阶段,直到产品完全被抛弃。

根据对衰退期的范围界定和产品所表现的经济特征,我们可以看到:对处

于衰退期的产品而言,当需求量固定时,价格随着时间的推移而单调减少;当价格固定时,需求量随着时间的推移而单调减少。于是基于第 4 章给出产品成长期的需求函数,我们在本章给出产品在衰退期的需求函数,其中  $b' > 0$ :

$$p(t) = a - b't - cq(t) \quad a, c \geq 0 \quad (5-1)$$

## 5.3 配送商（需求方）的最优订货决策

### 5.3.1 需求随时间变化的最优利润函数模型和最优订货量

按照 4.3 的推导思路,我们同样可以得到:

配送商各补货周期的最优订货量:

$$Q_{D,i} = \int_{(i-1)l}^{il} q(t) dt$$

$$= \begin{cases} \int_{(i-1)l}^{il} q^*(t) dt, & W_i < a - b'li - h_D l \\ \int_{(i-1)l}^{\frac{a-W_i+h_D(i-1)l}{b'+h_D}} q^*(t) dt, & a - b'li - h_D l \leq W_i < a - b'li + b'l \\ 0, & W_i \geq a - b'li + b'l \end{cases} \quad (5-2)$$

$$q^*(t) = \frac{a}{2c} - \frac{b'}{2c}t - \frac{1}{2c}W_i - \frac{1}{2c}h_D[t - (i-1)l], \quad (i-1)l \leq t \leq il, \quad (5-3)$$

配送商的最优利润:

$$\pi_{D,i} = \begin{cases} \frac{1}{4c} \int_{(i-1)l}^d \{a - b't - W_i - h_D[t - (i-1)l]\}^2 dt, & W_i < a - b'li - h_Dl \\ \frac{a - W_i + h_D(i-1)l}{4c} \int_{(i-1)l}^{b' + h_D} \{a - b't - W_i - h_D[t - (i-1)l]\}^2 dt, & a - b'li - h_Dl \leq W_i < a - b'li + b'l \\ 0, & W_i \geq a - b'li + b'l \end{cases} \quad (5-4)$$

## 5.4 制造商（供应方）的最优定价决策

### 5.4.1 需求随时间变化的最优利润函数模型和最优定价

依据 4.4 的推论过程，我们可以导出制造商的最优定价  $W_i$ ：

(1) 当  $0 \leq t \leq a - b'li - h_Dl$

$$W_i^* = \frac{1}{2}a - \frac{1}{4}b'l(2i-1) + \frac{1}{2}V - \frac{1}{4}h_Dl + \frac{1}{2}lh_M[i - (j-1)n], (j-1)n+1 \leq i \leq jn \quad (5-5)$$

所以：

$$W_i^{e_1} = \begin{cases} 0, & W_i^* \leq 0 \\ W_i^*, & 0 < W_i^* < a - b'li - h_Dl \\ a - b'li - h_Dl, & W_i^* \geq a - b'li - h_Dl \end{cases} \quad (5-6)$$

(2) 当  $a - b'li - h_Dl \leq t \leq a - b'li + b'l$

$$W_i^{**} = \frac{a}{3} - \frac{b'(i-1)l}{3} + \frac{2}{3}V + \frac{2}{3}lh_M[i - (j-1)n] \quad (5-7)$$

所以：

$$W_i^{e_2} = \begin{cases} a - b'li - h_Dl, & W_i^{**} < a - b'li - h_Dl \\ W_i^{**}, & a - b'li - h_Dl \leq W_i^{**} < a - b'li + b'l \\ a + b'li - h_Dl, & W_i^{**} \geq a - b'li + b'l \end{cases} \quad (5-8)$$



(3) 当  $t \geq a - b'li + b'l$

据式(4-13),  $Q_{D,i} = 0$ , 所以  $\pi_{M,i} = 0$ , 当  $t \geq a - b'li + b'l$ 。因此, 在区间

$[a - b'li + b'l, +\infty]$  上的任意一点均为  $\pi_{M,i}$  的最大值点, 记为  $W_i^{e_3}$ 。

(4) 比较各区间上的最大值得  $\pi_{M,i}$  在整个区间  $[0, +\infty]$  上的最大值点 (最优定价), 即纳什均衡结果 (供方的最优定价和需方的最优订货量):

$$W_i^e = \arg \max \{ \pi_{M,i}(W_i^{e_1}), \pi_{M,i}(W_i^{e_2}), \pi_{M,i}(W_i^{e_3}) \}。 \quad (5-9)$$

## 5.5 本章小结

继第 4 章对成长期产品的定价补货决策讨论之后, 本章延续使用成长期产品的利润模型思想求得在衰退期产品供应链上下游的最优定价和补货量, 只是当前的需求函数不同, 根据本章对衰退期范围的界定, 它是一个随时间推移, 需求量逐渐减少的与时间和价格相关的函数; 因此通过类似的推导同样可以得到供需双方的最优策略, 即在产品衰退期中的各个补货周期内, 制造商的最优定价和配送商的最优订货量。

## 第6章 模型算例和分析

### 6.1 模型参数的设置和讨论

我们基于具体的参数值并利用第4、5章的模型计算得到一些有价值的结果。假设有关参数的取值为： $a=40$ ,  $b=1$ ,  $b'=0.1$ ,  $c=0.25$ ,  $l=10$ ,  $v=4$ ,  $h_D=0.8$ ,  $h_M=0.8$ , 另外,  $n$  和  $L$  分别取两组值:  $n=1, L=10$ ;  $n=2, L=20$ 。

### 6.2 计算机模拟结果

我们取10个补货周期, 用C++编制程序(见本文附录)得到模型计算结果: 表6-1(右)和表6-2(右)。

表 6-1 补货周期为 10 的模型模拟结果

Table6-1 The Model result when the period is 10

$n = 1, L = 10$									
$i = j$	$W_i^e$	$Q_i^e = Q_j^e$	$\pi_{D,i}^e$	$\pi_{M,j}^e$	$i = j$	$W_i^e$	$Q_i^e = Q_j^e$	$\pi_{D,i}^e$	$\pi_{M,j}^e$
1	24.3	205	1151.5	2101.3	1	26.5	290	2105.83	4205
2	23.8	195	1051.5	1901.3	2	31.5	390	3805.83	7605
3	23.3	185	956.5	1711.3	3	36.5	490	6005.83	12005
4	22.8	175	866.5	1531.3	4	41.5	590	8705.83	17405
5	22.3	165	781.5	1341.3	5	46.5	690	11905.8	23805
6	21.8	155	701.5	1201.3	6	51.5	790	15605.8	31205
7	21.3	145	626.5	1051.3	7	56.5	890	19805.8	39605
8	20.8	135	566.5	911.3	8	61.5	990	24505.8	49005
9	20.3	125	491.5	781.3	9	66.5	1090	29705.8	59405
10	19.8	115	431.5	661.3	10	71.5	1190	35405.8	70805

表 6-2 补货周期为 20 的模型模拟结果  
Table6-2 The Model result when the period is 20

$n = 2, L = 20$													
$j$	$i$	$W_i^e$	$Q_i^e$	$\pi_{D,i}^e$	$Q_i^e$	$\pi_{M,j}^e$	$j$	$i$	$W_i^e$	$Q_i^e$	$\pi_{D,i}^e$	$Q_i^e$	$\pi_{M,j}^e$
1	1	24.3	205	1151.5	296	2552.6	1	1	26.5	290	2105.83	600	9010
	2	29.0	91	303.0				2	35.5	310	2405.83		
2	3	23.3	185	956.5	253	2007.2	2	3	36.5	490	6005.83	1000	25010
	4	28.3	68	197.5				4	45.5	510	6505.83		
3	5	22.3	165	781.5	214	1540.6	3	5	46.5	690	11905.8	1400	49010
	6	27.7	49	119.3				6	55.5	710	12605.8		
4	7	21.3	145	626.5	178	1149.4	4	7	56.5	890	19805.8	1800	81010
	8	27.0	33	65.5				8	65.5	910	20705.8		
5	9	20.3	125	491.5	145	827.4	5	9	66.5	1090	29705.8	2200	121010
	10	26.3	20	30.9				10	75.5	1110	30805.8		
6	11	19.3	103	368.1	113	568.5	6	11	76.5	1290	41605.8	2600	169010
	12	25.7	10	11.2				12	85.5	1310	42905.8		
7	13	18.7	79	246.1	83	373.2	7	13	86.5	1490	55505.8	3000	225010
	14	25.0	4	2.4				14	95.5	1510	57005.8		
8	15	18.0	58	155.1	58	232.7	8	15	96.5	1690	71405.8	3400	289010
	16	25.0	0	0.0				16	106	1710	73105.8		
9	17	17.3	41	91.1	40	134.7	9	17	107	1890	89305.8	3800	361010
	18	23.0	0	0.0				18	116	1910	91205.8		
10	19	16.7	26	45.1	26	68.9	10	19	117	2090	109206	4200	441010
	20	21.0	0	0.0				20	126	2110	111306		

注：带有：“e”的变量（除 $W_i^e$ 外）都是将最优定价（即纳什均衡结果）  
带入后的最优均衡结果。

6.3 算例结果的比较与分析

通过上述算例的结果比较和分析，我们可以得到以下一些结论：

- (1) 当 $n=1$ 时，由于受 $b$ 或 $b'$ 的影响，衰退期产品的供需双方的订货量 $Q_i^e$ ，  
 $Q_j^e$ 和利润 $\pi_{D,i}^e$ ， $\pi_{M,j}^e$ 以及制造商的定价 $W_i^e$ 随时间的推移而减少(见表 6-1(左))；

而对成长期产品的供需双方而言，他们的订货量  $Q_i^e$ ， $Q_j^e$  和利润  $\pi_{D,i}^e$ ， $\pi_{M,j}^e$  以及制造商的定价  $W_i^e$  是随时间的推移而增加（见表 6-1（右））。这与我们之前的预测及现实所反映的情况不谋而合的。企业在不同的补货周期必须采用不同的定价和补货策略才能获取最大利润。

(2) 当  $n=2$  时，产品在成长期和衰退期的供方的订货量和利润的变动与  $n=1$  的情形类似，但制造商的定价，市场需求就越少。所以，当库存成本时效性大于货价的时效性时，后期产品的定价会高于前期产品的定价。如表 6-2（左），在制造商的补货周期内，后期定价均高于前期定价。但是，制造商在不同的补货周期的定价仍然呈下降走势。由于定价的影响，配送商的订货量和利润也有类似的变动规律。对于成长期产品而言，观察表 6-2（右），我们可以发现，制造商在其补货周期内向需方发出  $n$  批货，发出时间越晚，产品价值就越高，各企业为了获得最大的利润而刺激了市场的需求量。因此，随着时间的推移，产品在后期的定价将高与前期定价，理论与实际是一致的。当然，不失成长期产品的基本属性，制造商对这些产品在不同补货周期的定价仍然是呈上升趋势的，这是合乎实际情况的。从上述对表中数据的剖析和解释来看，我们可以基本肯定，本文对于产品从成长期到衰退期的研究所建立的模型和假设是基本正确的。

(3) 从以上两张表中，我们得到了一个共同的信息：制造商的利润大大超过配送商的利润。其主要原因是制造商处于支配地位，首先行动（即确定价格），配送商却处于被动地位，依据先行者的决策随后行动（即确定订货量）。

## 6.4 本章小结

本章作为模型的实例分析,进一步验证了本文问题的解决思路和方法是具有可实施性的。通过对计算结果的对比和分析,我们得到了和产品生命周期曲线反映一致的结论,即在产品成长期,对供需双方而言,他们的订货量 $Q_i^e$ ,  $Q_j^e$ 和利润 $\pi_{D,i}^e$ ,  $\pi_{M,j}^e$ 以及制造商的定价 $W_i^e$ 都是随时间的推移而增加;而在产品衰退期,供需双方的订货量 $Q_i^e$ ,  $Q_j^e$ 和利润 $\pi_{D,i}^e$ ,  $\pi_{M,j}^e$ 以及制造商的定价 $W_i^e$ 随时间的推移而减少。并且通过改变补货周期参数,我们发现对于成长期产品而言,制造商在其补货周期内向需方发出 $n$ 批货,发出时间越晚,产品价值就越高,随着时间的推移,产品在后期的定价将高与前期定价;而对衰退期产品来说,当库存成本时效性大于货价的时效性时,后期产品的定价会高于前期产品的定价,当然制造商在不同的补货周期的定价仍然呈下降走势。以上根据算例模拟得到的结论基本都能在现实操作中得到验证。

## 结论

本文研究供应链环境下库存控制的补货与定价决策模型，首先分析了目前库存控制模型的方法，存在一些不足，提出了库存控制模型结合产品生命周期的补货与定价策略。其次，分别在产品成长期和衰退期建立供应链供需双方的决策模型，通过模型的建立和计算，得到该产品在不同生命周期的两个阶段中，作为供方制造商的最优定价和作为需方配送商的最优补货量，使得双方的利润最大化，实现供应链双赢。全文总结如下：

深入研究了产品生命周期理论和曲线特征，通过对一般产品生命周期曲线和特殊产品生命周期曲线的分析，概括出产品在不同产品生命周期阶段所反映出来的市场需求特征，在重新界定成长期和衰退期的范围后重点说明了在产品成长期中需求上涨，在产品衰退期中需求总体呈下降趋势，不排除对某些特殊产品而言，通过降价等人为因素使得在衰退期中会有一小段需求上升的时间，但总体产品利润和价值均下降。

分析和探讨了总共三个库存控制模型，并提出了它们各自存在的缺陷和不足。第一个是在给定的服务水平限制下，考虑安全库存的确定性需求总量库存订货模型。该模型运用了概率模型的方法，考虑了服务水平而引入了安全库存，但是我们发现随着服务水平的提高，产品的总库存成本也在增大，这说明把年需求总量设定为固定值的假设是不合理的，只有了解时时变化的需求才能精确地作出库存控制决策，在提高服务水平的同时也能将库存总成本得以控制；第二个是市场需求变化下短生命周期产品的订货策略模型。该模型通过建立利润函数得到最优订货点，并且提到了生命周期，可是，该模型只是将产品生命周

期长度定义为某个值,然后在这个周期内讨论有二次订货的策略。模型只是将一个生命周期的时间分成了两部分从而计算第二次订货的最佳时间,而完全没有将产品生命周期的曲线特征和市场需求变化联系起来,本文认为这并没有真正将两者结合起来考虑库存问题,这会为企业作出较为准确和更优化的库存决策带来一定的困难和风险;第三个是需求符合市场生命周期变化的易腐品库存订货模型。该模型考虑了需求的时变性,并且将产品生命周期反映在了需求拟合曲线上,通过用直接法讨论了该模型在其周期内的最优订购次数、订购时间、订购数量,并给出了相应的解析式,与上两个模型比较,已经具有广泛的应用价值,但是研究供应链环境下的库存问题。不得不考虑多级库存控制,而本模型还是基于单点库存的思考,若能够考虑供应链上下游的决策关系将更有利于企业作出明智的决策。

总结上述库存控制订货模型存在的问题,全文提出新的库存控制订货模型,考虑了三个非常重要的元素:面向生命周期、需求时变和多级库存,给出了供应双方在每个补货周期中的最优定价和订货策略。模型在产品的成长期和衰退期中分别就其需求特征构造了需求函数,通过建立双方的利润函数模型得到最优结果,在最后的算例验证中再一次肯定了本模型建立思路的准确性和可发展性,希望能以此作为该库存研究领域的起始点。

正因为是研究的开始,本文虽然取得了一些进展,但由于时间和知识上的限制,本文所作研究远未完善,还存在许多需要深入研究的问题,归纳起来有以下几个方面:

(1)现有的研究成果还不成熟,研究方法也不够完善。本文虽然提出了面向产品周期的库存模型,但是产品需求的不规律波动和季节性波动以及产品生命



周期的日益缩短，已经使得需求的概率分布不断随时间发生变化，因此，在不平稳需求下研究库存问题将是本文继续跟踪的难点。

(2) 绝大多数供应链模型只考虑优化单个指标(如总成本)，预期充分考虑各种随机因素的多目标供应链建模问题将是未来的研究方向。

(3) 大多数库存控制领域的学者为得到一个有效的库存管理策略，常常应用概率论来处理库存管理中出现的不确定性，但当缺少可用的历史数据或历史数据不可靠乃至没有可用的历史数据时，标准的概率方法可能就不适用了，而且通过概率方法得到的库存管理策略的实际应用效果有时也并不理想。此外，传统的库存控制模型还常常将模型中的模糊、不精确数据转换成清晰数据进行建模，如库存持有成本和缺货成本，它们实际上是很难用一个清晰值准确表达出来的。所以，模糊数学或模糊系统方法将会为处理和解决供应链中的库存问题提供全新的方向。

## 参考文献

- [1] 周永务. 购买费用的滞后支持对库存系统最优订货策略的影响[J]. 系统工程理论与实践. 1997, 17(4):116-120
- [2] 郭强. 对具有库存损耗的 EOQ 模型的研究[J]. 系统工程. 2004, 22(7):17-19
- [3] 董炳南. 两个确定性库存模型的局限及其修正[J]. 青岛建筑工程学院学报. 1998, 19(3):62-69
- [4] 张德良, 刘树明. 论价格折扣下的订货与库存控制[J]. 山东轻工业学院学报. 1998, 12(3): 65-69
- [5] 曾艳. 多级库存控制策略-固定策略模型[J]. 集美大学学报. 2004, (1):23-26
- [6] 牛海军, 孙树栋. 多阶段生产/库存系统随机需求整体库存模型[J]. 西安电子科技大学学报 2001, 28(5):612-615
- [7] 董云庭, 王智勇. 多品种随机库存控制联合补充问题的实用策略[J]. 管理工程学报. 1995, (3):25-28
- [8] 刘永胜. 直运型供应链在信息不对称下的协调策略研究[J]. 工业工程. 2003, 6(4):27-29
- [9] 高峻峻, 王迎军. 供应链分销系统优化及仿真[J]. 管理科学学报. 2002, 5(5):79-84
- [10] 彭禄斌, 赵林度. 供应链网状结构中多级库存控制模型[J]. 东南大学学报. 2002, 32(2):218-222
- [11] 罗兵, 于会强, 林略, 孙士涵. 供应链环境下的供应商管理库存模型研究[J]. 工业工程与管理. 2004, (4):35-39
- [12] Chopra S, Meindl P. Supply chain management: strategy, planning and operation[M]. Upper Saddle River, NJ: Prentice—Hall, 2001
- [13] Cooper MC, Lamber DM, Pagh JD. Supply chain management: more than a new name for logistics[J]. The international Journal of Logistics Management. 1997, 8(1):1—13
- [14] Shapiro J. Modeling the supply chain[M]. 北京: 中信出版社, 2001
- [15] Beamon BM. Supply chain design and analysis: Models and methods[J]. International Journal of Production Economics. 1998, 55:281—294
- [16] Min H, Zhou G. Supply chain modeling: past, present and

future[J]. *Computers& Industrial Engineering*.2002,43:231—249

[17] 陈剑, 蔡连桥. 供应链建模与优化[J]. 系统工程理论与实践. 2001, 6:26—33

[18] Jeremy F. Shapiro. Modeling the Supply Chain[M]. CITIC PUBLISHING HOUSE, 2005

[19] 黄松, 黄卫来. 服务水平约束且安全系数可变时的库存模型[J]. 工业工程与管理. 2006, (5):52-55

[20] 曾祥兴, 王喜成. 市场需求变化条件下短生命周期产品的订货策略[J]. 物流科技. 2006, 29(133):14-19

[21] 朱传华, 骆建文. 需求符合市场生命周期变化的易腐品库存模型[J]. 工业工程. 2006, 9(4):34-38

[22] Bhattacharjee S, Ramesh R. A multi—period profit maximizing model or retail supply chain management: an integration of demand and supply—side mechanisms[J]. *European Journal of Operational Research*, 2000, 122: 584—601.

[23] Hwang H, Hahn KH. An optimal procurement policy for items with an inventory Level—dependent demand rate and fixed lifetime[J]. *European Journal of Operational Research*.2000,127:537—545

[24] Jung H, Klein CM. Optimal inventory policies under decreasing cost functions via geometric programming[J]. *European Journal of Operational Research*.2001,132: 628—642

[25] Balkhi ZT. On a finite horizon production lot size inventory model for deteriorating items: an optimal solution[J].*European Journal of Operational Research*.2001,132:210—223

[26] Bassok Y, Anupindi R, Akella R. Single—period multiproduct inventory models with substitution[J].*Operations Research*.1999,47(4):632—642

[27] Liu L, Lian ZT. (s, S)continuous review models for products with fixed lifetimes[J].*Operations Research*.1999,47(1):150—158.

[28] Sederage D, Fujiwara O, Luong HT. Determining optimal order splitting and reorder level for N—supplier inventory system[J].*European Journal of Operational Research*.1999,116:384—404.

[29] Federgruen A, Heching A. Combined pricing and inventory control under uncertainty[J].*Operations Research*.1999,47(3):454—475.

[30] K. H. Kim, H. Hwang. Simul\_taneog S improvement of supplier's profit

- and buyer's cost utilizing quantity discount[J].*Journal of the Operational Research Society* .1989(4):255—265.
- [31] 柳键, 马士华. 供应链库存协调与优化模型研究[J]. *管理科学学报*. 2004, (4):23-25
- [32] Bourland KE, Powell SG, Pyke DF. Exploiting timely demand information to reduce inventories [J].*European Journal of Operational Research*.1996,92:239—253
- [33] Metters R. Quantifying the bullwhip effect in supply chain[J].*Journal of Operations Management*.1997,15:89—100
- [34] Gullu R. A two—echelon allocation model and the value of information under correlated forecasts and demands [J].*European Journal of Operational Research*.1997, 99:386—400
- [35] Donohue KL. Efficient supply contracts for fashion goods with forecast updating and two production models[J].*Management Science*.2000,46(11):1397—1411
- [36] Zhao XD, Xie J, Leung J. The impact of forecasting model selection on the value of information sharing in a supply chain[J].*European Journal of Operational Research*.2002,142:321—344
- [37] 黄小原, 卢震. 多分销中心供应链模型及其牛鞭效应的 $H_{\infty}$ 控制[J]. *中国管理科学*. 2003, 11(1):42—47
- [38] 张钦, 达庆利, 沈厚才. 在ARIMA(0, 1, 1)需求下的牛鞭效应与信息共享的评价[J]. *中国管理科学*. 2001, 9(6):1—6
- [39] Beamon BM. Supply chain design and analysis: Models and methods [J].*International Journal of Production Economics*.1998,55:281—294
- [40] 王迎军. 顾客需求驱动的供应链契约问题综述[J]. *管理科学学报*. 2005, 2:68—76
- [41] Tayur S. Magazine M, Ganeshan R. Quantitative models for supply chain management[M]. Massachusetts: Kluwer Academic Publishers, 1998
- [42] Weng ZK, Wong RT. General models for the supplier's all—unit quantity discount policy[J].*Naval Research Logistics*.1993,40:971—991.
- [43] Grout JR. A model of incentive contracts for just—in—time delivery[J].*European Journal of Operational Research*.1996,96:139—147
- [44] Ernst R, Powell SG. Manufacturer incentives to improve retail service level[J].*European Journal of Operational Research*.1998,104:437—450

- [45] Mantrala MK, Raman K. Demand uncertainty and suppliers return policies for a multi——store style——good retailer[J]. European Journal of Operational Research.1999,115:270— 284
- [46] Corbett CJ, Groote X. A supplier's optimal quantity discount policy under asymmetric information[J].Management Science.2000,46(3):444~450
- [47] 马新安, 张列平, 田澎. 供应链中的信息共享激励: 动态模型[J]. 中国管理科学. 2001, 9(1):19—24
- [48] 李延晖, 马士华, 刘黎明. 基于时间约束的供应链配送系统随机模型[J]. 预测. 2004, (4):12-16
- [49] 高峻峻, 王迎军, 郭亚军, 吕芹. 供应链管理模型的分类和研究进展[J]. 中国管理科学. 2005, (12):23-27

## 附录

第6章模型算例计算机模拟程序源代码:

程序1:

```
#include<iostream.h>
void main()
{   int i, j;
    double a, b, c, l, v, hd, hm, n;
    double w1, w2, w3, w11, w22, q1, lr11, lr12, lr1, lr21, q2, lr22, w, q, lr2;
    cout<<"请依次输入参数值:";
    cin>>a>>b>>c>>l>>v>>hd>>hm>>n;

    for(i=j=1; i<=10, j<=10; i++, j++)
    {
        w1=0 。 5*a+0 。 25*b*1*(2*i-1)+0 。 5*v-0 。 25*hd*1+0 。
5*1*hm*(i-(j-1)*n);
        w2=a/3+(b*1*i-hd*1)/3+2*v/3+2*1*hm*(i-(j-1)*n)/3;
        w3=a-i*b*1+b*1;
        if(w1<=0) w11=0;
        else if(w1>a+i*b*1-b*1) w11=a+i*b*1-b*1;
        else w11=w1;
        q1=1*(a/(2*c)+b*1/(4*c)*(2*i-1)-w11/(2*c)-hd*1/(4*c));
        lr21=w11*q1-v*q1-1*hm*(i-(j-1)*n)*q1;
        lr11=((a-w11+hd*(i-1)*1)*(a-w11+hd*(i-1)*1)*1+(b-hd)*(a-w11+hd*
(i-1)*1)*1*1*(2*i-1)+((b-hd)*(b-hd)*1*1*1*(3*i*i-3*i+1))/3)/(4*
c);
        if(w2<a+i*b*1-b*1) w22=a+i*b*1-b*1;
        else if(w2>a+i*b*1-hd*1) w22=a+i*b*1-hd*1;
        else w22=w2;
        q2=((a+b*1*i-hd*1-w22)*(a+b*1*i-hd*1-w22))/(4*c*(b-hd));
        lr22=w22*q2-v*q2-1*hm*(i-(j-1)*n)*q2;
        lr12=((a-w22+hd*(i-1)*1)*(a-w22+hd*(i-1)*1)*(a-w22+b*i*1-hd*1)/(b
```

```

-hd)+(b-hd)*(a-w22+hd*(i-1)*l)*(a-w22+b*i*l-hd*l)/(b-hd)*(w22+b*i*l+
hd*l-a-2*hd*i*l)/(b-hd)+(b-hd)*(b-hd)*(a-w22+b*i*l-hd*l)/(b-hd)*(((w
22-a-hd*l*(i-1))*(w22-a-hd*l*(i-1)))/((b-
hd)*(b-hd)))+(w22-a-hd*l*(i-1))/(b-hd)*i*i*l*l)/3)/(4*c);
    if(lr21>lr22) {w=w11;q=q1;lr2=lr21;lr1=lr11;}
    else {w=w22;q=q2;lr2=lr22;lr1=lr12;}
    cout<<w<<" "<<q<<" "<<lr1<<" "<<lr2<<endl;
}

```

程序 2:

```

#include<iostream.h>
void main()
{   int i, j, n;
    double a, b, c, l, v, hd, hm;
    double w1, w2, w3, w11, w22, q1, lr11, lr12, lr1, lr21, q2, lr22, w, q, qq, lr2;
    cout<<"请依次输入参数值:";
    cin>>a>>b>>c>>l>>v>>hd>>hm>>n;

    for(j=1; j<=10; j++)
    {   qq=0.00;
        lr2=0.00;
        for(i=n*j-1; i<=n*j; i++)
        {   w1=0.00; 5*a-0.00; 25*b*l*(2*i-1)+0.00; 5*v-0.00; 25*hd*l+0.00;
            5*l*hm*(i-(j-1)*n);
            w2=a/3-(b*l*(i-1))/3+2*v/3+2*l*hm*(i-(j-1)*n)/3;
            w3=a-i*b*l+b*l;
            if(w1<=0) w11=0;
            else if(w1>a-i*b*l-hd*l) w11=a-i*b*l-hd*l;
            else w11=w1;
            q1=l*(a/(2*c)-b*l/(4*c))*(2*i-1)-w11/(2*c)-hd*l/(4*c));
            lr21=w11*q1-v*q1-l*hm*(i-(j-1)*n)*q1;
            lr11=((a-w11+hd*(i-1)*l)*(a-w11+hd*(i-1)*l)-(b+hd)*(a-w11+hd*(i
            -1)*l)*l*(2*i-1)+((b+hd)*(b+hd)*l*l*(3*i-3*i+1))/3)/(4*c);
            if(w2<a-i*b*l-hd*l) w22=a-i*b*l-hd*l;
        }
    }
}

```

---

```

else if(w2>=a-i*b*1+b*1) w22=a-i*b*1+b*1;
else w22=w2;
q2=((a-b*(i-1)*1-w22)*(a-b*(i-1)*1-w22))/(4*c*(b+hd));
lr22=w22*q2-v*q2-l*hm*(i-(j-1)*n)*q2;
lr12=((a-w22+hd*(i-1)*1)*(a-w22+hd*(i-1)*1)*(a-w22-b*1*(i-1))/(b+
hd)-(b+hd)*(a-w22+hd*(i-1)*1)*(a-w22-b*1*(i-1))/(b+hd)*(a-w22+b*1*(i
-1)+2*hd*1*(i-1))/(b+hd)+(b+hd)*(b+hd)*(a-w22-b*1*(i-1))/(b+hd)*(((a
-w22+hd*1*(i-1))*(a-w22+hd*1*(i-1)))/((b+hd)*(b+hd))+(a-w22+hd*1*(i-
1))/(b+hd)*(i-1)*1+(i-1)*(i-1)*1*1)/3)/(4*c);
if(lr21>=lr22)
    {w=w11;q=q1;lr2=lr2+lr21;lr1=lr11;}
else {w=w22;q=q2;lr2=lr2+lr22;lr1=lr12;}
cout<<w<<" "<<q<<" "<<lr1<<" ";
qq=qq+q;
}

cout<<qq<<" "<<lr2<<endl;
}
}

function f=c
z=-100:100;
y=(z.^2-2).^2./(2).^5;
yy=y.*cos(pi/4)-z.*sin(pi/4);
zz=y.*sin(pi/4)+z.*cos(pi/4);
plot(zz,yy)

```



## 攻读学位期间发表的学术论文

以第一作者:

1. 基于时间变化下库存模型的定价决策优化算法.统计与决策.2006,(227):24-25

## 致谢

终于在最后的一段时间里完成了我的硕士毕业论文，这让我回想起在东华度过的 2 年多研究生生活：1 年的松江校区生活给了我无比优越的学习环境，我在那完成了所有的研究生课程，让我感受到了学习的快乐；1 年多的本部生活让我真正体会到了时间的可贵。感谢东华大学旭日工商管理学院给予我攻读硕士学位的机会，感谢各位老师在我研究生期间对我的关心和帮助。

感谢我的导师徐琪对我科研学术上的指导以及生活、工作上的关心和支持。特别是我在研二期间就去公司实习，她十分支持我，并且在我需要帮助的时候，她总是面带微笑地给我信心和鼓励。

感谢我的辅导员老师王丽华，在着 2 年多来，她尽心尽责地做好管院的辅导员，时时刻刻想着班级，想着我们，经常拿她切身的体验和我们一起分享和共勉。我在她的身上也学到了很多東西。

感谢我的同学：王瑾、宋珊珊、徐海波还有已经毕业的各位同学，谢谢你们对我的包容和帮助，研究生生活因为有了你们，让我觉得这 2 年多的最后的学校生涯是快乐而精彩的。

感谢我的父母，谢谢你们们的默默支持，培养我读完了研究生。

最后，向在百忙之中评审本文的各位专家表示衷心的感谢！