

独创性声明

本人声明所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得重庆大学或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示谢意。

学位论文作者签名：魏志云 签字日期：2005年5月12日

学位论文授权使用授权书

本学位论文作者完全了解重庆大学有关保留、使用学位论文的规定，有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅。本人授权重庆大学可以将学位论文的全部或部分内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、汇编学位论文。

保密（），在____年解密后适用本授权书。

本学位论文属于

不保密（）。

（请只在上述一个括号内打“√”）

学位论文作者签名：魏志云

导师签名：王

签字日期：2005年5月12日

签字日期：2005年5月12日

摘 要

随着经济的全球化发展以及激烈的市场竞争，大多数企业的供应链都属于结构复杂的混合多层供应链。由于混合多层供应链本身固有的复杂性和不确定性，其库存的管理及控制极其复杂，现阶段还缺乏混合多层供应链库存管理的一套行之有效的办法，企业投入的资金与所得到的回报的比例仍然不够理想。因此，如何帮助企业有效地管理混合多层供应链，对供应链中的库存管理提供决策支持，帮助企业降低成本，缩短反应时间，提高客户的满意度，具有重要理论研究价值和现实意义。

本文基于供应链管理思想，分析了混合多层供应链库存管理的规律和特点，针对混合多层供应链的库存管理存在的一些管理技术问题，抽取对库存管理影响较大的因素深入研究，提出了一种混合多层供应链库存管理的解决方案。

本文首先论述了现有的供应链库存管理的量化模型，包括串联结构的供应链、聚合结构的供应链以及简单的混合型结构的供应链，重点分析了这些现有模型的优缺点和局限性。在此基础上，提出了混合多层供应链库存管理的方法和框架，针对混合多层供应链中的仓库的选址、仓库的数量、库存管理信息控制策略、仓库和销售商的订货频率和数量等问题进行了研究。同时，利用仿真技术，研究了混合多层供应链中库存管理环节和整个供应链的交互作用，降低了混合多层供应链库存管理的风险，提高了管理的效率。

本文的研究成果应用到了某公司的库存管理实施过程中，大大的降低了企业的库存，验证了研究成果的有效性。

关键词：混合多层供应链，库存管理及控制，仿真技术，中心控制

ABSTRACT

In the global economy environment, the business competition has become throat-cutting. This has lengthened the supply chain of many companies. And the structure of supply chain has become hybrid with multiple layers. The increased complexity of supply chain structure has complicated the inventory management and control as well and made it extremely challenging. However, in practice there are lack of the effective methods and techniques for the inventory management and control for the multi-layer and hybrid supply chain. Therefore, it is imperative to study this issue to help the industry effectively manage the inventory.

Based on the fundamental theories and models of the supply chain management, this paper analyzed the unique characteristics of multi-layer hybrid supply chain, and identified the current problems encountered in the multi-layer hybrid supply. Based on the problems, the paper identified the key contributing factors and tackled them systematically.

Firstly, this paper discussed the strength and the weakness of current five structures of the supply chain including the dyadic, serial, divergent, converge and hybrid. Then based on the analysis of the current models, this paper proposed the structure and the methodology for multi-layer and hybrid supply chain. The key factors of inventory management and control have been identified as the warehouse locations, the number of warehouses, inventory control policy, order frequency of the central warehouse and as well as the distributor, the order quantity and so on.

Because of the complexity and scale of the multi-layer hybrid supply chain, most of current pure mathematical models are incapable to tackle this problem. So this paper proposed to use simulation techniques to model the supply chain. The procedures and methods are detailed in this paper for simulation study.

Finally, practical industrial case study has been conducted to verify the efficiency and effectiveness of the research result.

Keywords: Multi-layer, Hybrid, Supply Chain, Inventory Management and Control, Simulation, Centralized

1 绪论

1.1 供应链概念的产生和发展

现在，我们每个人的生活都离不开供应链，无论是去超级市场买日用品还是去商店买衣服，所有的东西是通过某条或几条供应链运送过来的。可以说，供应链与我们的生活是休戚相关的。

供应链（Supply Chain）的概念从实践到理论、从经验到科学、从提出到发展经历了一个长时间的发展过程，可以归纳为以下两个阶段：

①传统的供应链概念阶段。该理论是供应链早期的观点，认为供应链是制造企业中的一个内部的过程，它是指企业将采购的原材料和零部件，通过生产过程的转换，传递到企业用户的一个过程。这种传统的供应链的概念局限于企业的内部操作，注重企业的自身利益目标。

②现代的供应链概念阶段。随着企业经营的进一步发展，供应链的概念范围扩大到了与其他企业的联系，扩大到了供应链的外部环境，包括了链中的不同企业的制造、组装、配送、销售等过程，是一个将原材料转换成产品到最终的用户手中的过程。它是一个范围更广的系统的概念。美国的 Stevens 认为：“通过增值过程和分销渠道控制从供应商的供应商到用户的用户的流就是供应链，它开始于供应的起点，结束于消费的终点。”^[2] 这种定义考虑了供应链的外部环境，是一个更大范围、更为系统的概念。图 1-1 为现代供应链所涉及的对象图。

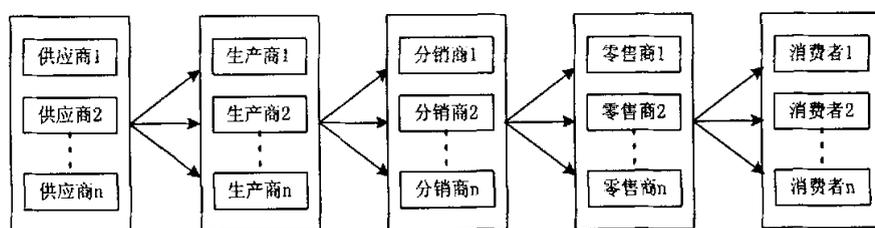


图 1.1 现代供应链
Fig 1.1 Current supply chain

③最新的供应链概念更加注重围绕核心企业的网链管理，如核心企业与供应商、供应商的供应商等一切前向的关系，与用户、用户的用户等一切后向的关系。对供应链的认识形成了一个网链的概念，强调供应链的完整性。

1.2 供应链的含义

一条完整的供应链开始于原料供应商，结束于最终用户，是由原料供应商、制造商、仓库、运输公司、配送中心、分销商、零售商和客户组成的链状结构或网络，除了供应链中的这些实体节点外，供应链还包括在相互关联的业务流程以及业务伙伴间所发生的，从原材料的购买到产品的最终用户全过程中的物流、信息流和资金流。但是，到目前为止，供应链还没有形成一个权威的定义，不同的学者从不同的角度出发，给出了许多不同的定义。

有些学者把供应链的概念与采购、供应管理相关联，用来表示与供应商之间的关系，这种观点得到了研究合作关系、JIT 关系、精细供应、供应商行为评估和用户满意度等问题的学者的重视。这样一种关系仅仅局限在企业与供应商之间。但是在这种定义下的供应链中各企业独立运作，忽略了与外部供应链成员企业的联系，往往造成企业间的目标冲突。

后来，有的供应链的概念注意了与其他企业的联系，注意了供应链的外部环境，认为它应是一个“通过链中不同企业的制造、组装、分销、零售等过程将原材料转换成产品，再到最终用户的转换过程”，这是更大范围、更为系统的概念。例如，伊文斯（Evans）认为：“供应链管理是通过前馈的信息流和反馈的物料流及信息流，将供应商、制造商、分销商、零售商，直到最终用户连成一个整体的模”。这些定义都注意了供应链的完整性，考虑了供应链中所有成员操作的一致性（供应链中成员的关系）。

英国著名的物流专家 Martin Christopher 认为：“供应链是关系到上游和下游企业的一种网络组织，它包括生产过程中的不同阶段和活动，以及提供给最终消费者的服务等。”^[5] 比如，皮鞋制造商是供应链的一部分，它的上游是皮革厂和橡胶厂，下游是分销商和零售商，最后是最终消费者。根据这种定义，这条供应链上的所有企业都是相互依存的。

最新的供应链的概念更加注重围绕核心企业的网链关系，如核心企业与供应商、供应商的供应商乃至与一切前向的关系，与用户、用户的用户及一切后向的关系。此时对供应链的认识形成了一个网链的概念，像丰田、耐克、尼桑、麦当劳和苹果等公司的供应链管理都从网链的角度来实施。哈理森（Harrison）进而将供应链定义为：“供应链是执行采购原材料、将它们转换为中间产品和成品、并且将成品销售到用户的功能网。”这些概念同时强调供应链的战略伙伴关系问题。菲利浦（Phillip）和温德尔（Wendell）认为供应链中战略伙伴关系是很重要的，通过建立战略伙伴关系，可以与重要的供应商和用户更有效地开展工作。

我国 2001 年发布实施的《物流术语》国家标准（GB/T18354-2001）中对供应链的定义为：“生产及流通过程中，涉及将产品或服务提供给最终用户活动的上游与下游企业所形成的网链结构。”

从上面给出的这些定义，我们可以看出：供应链是一条围绕核心企业的功能网链，它通过对信息流、物流、资金流的控制，从原材料采购开始，到制成中间产品，再到制成最终产品，最后由销售网络把产品送到消费者手中。这条功能网链将供应商、制造商、分销商、零售商、以及最终用户连成了一个整体。总的来说，一条供应链是一个范围比单纯的企业更广的企业结构模式，它包含所有加盟的节点企业，从原材料的供应开始，经过链中不同企业的制造加工、组装、分销等过程直到最终用户。它不仅是一条连接供应商到用户的物料链、信息链、资金链，而且是一条增值链，物料在供应链上因加工、包装、运输等过程而增加其价值，给相关企业都带来收益。

1.3 供应链管理思想^[7]

进入 21 世纪，受高新技术的不断出现和消费者生活质量提高的影响，现代工业工程得到了进一步的发展，形成了本学科显著的特征。其中之一就是研究的对象和应用范围扩大到了整个生产系统，并且越来越注重采用系统的观点和系统工程方法来处理问题，将现代工业工程扩展到了包括研究开发、设计制造、和销售服务等整体的生产系统和整个经营管理系统。供应链管理就是这种进化的突出成果之一。因为随着工业技术的不断的发展和竞争的加剧，为了生存，每个企业都形成了自己的核心竞争环节，这样单一的企业就由供应链连接在一起了。从单一的产品生产变为了链上的环节。供应链的管理就被提到了一个重要的层面，成为了新的价值增长点。

供应链管理（Supply Chain Management）现在正受到管理学术界和企业界重视，它涉及的范围包括：供应、生产计划、物流和需求四个领域。美国的《财富》杂志就将供应链管理列为企业一项重要战略竞争资源。供应链管理已经成为了当前管理领域中的中心议题。

供应链管理是新的管理哲理，在很多地方都表现出了不同于传统管理思想的特点。

①供应链管理除了考虑生产过程的本身外，还考虑了本企业生产系统以外的因素对企业的影响，即是从生产到消费的一个大的系统的角度来考虑的一种管理的思想，将供、产、销形成链，一起管理。

②在公司内部和有关联的公司之间，强调相互合作，信息共享。

③库存管理系统要与供应链相结合，是动态的、多级的，库存控制决策与供应商相连接，共同利用供应链上的资源。

④经销商和供应商之间是战略伙伴关系，互相信任，以满足客户需求为共同目标，实现双赢局面。

⑤从增强系统的协调性出发,公司和供应商、销售商之间设有着统一、一致的计划,建立起有效的市场响应、用户服务等标准和方法,使整个系统的表现达到整体最优。

图 1.2 为供应链的管理范围示意图:

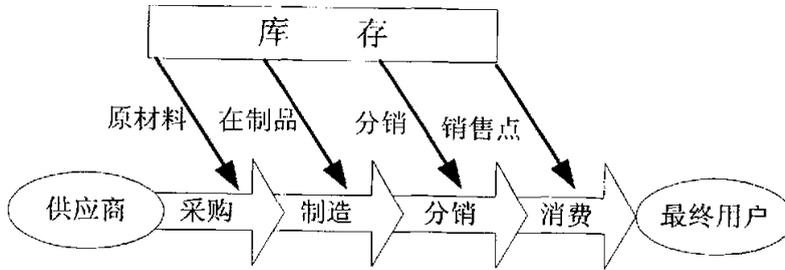


图 1.2 供应链管理范围
Fig 1.2 Management field of supply chain

供应链管理的特点我们可以看出,供应链管理思想的原则是:1 以客户为中心;2 贸易伙伴间密切合作,共享利益,风险共担;3 充分应用现代信息技术,如标识 ID 代码、条码、POS 扫描、电子数据交换 EDI、RFID 射频识别系统等,实现管理目标。

供应链的这些管理思想充分强调了快速反应市场需求、战略管理、高柔性、低风险、低成本等竞争优势。21 世纪的竞争更加激烈,国际上的一些著名企业,如 Dell、Wal-Mart、IBM 等公司已经将供应链管理运用到了公司的生产、销售中,并取得了巨大的经济效益,这说明供应链的管理思想是 21 世纪企业适应全球竞争的一种有效的途径。

1.4 课题研究的背景与问题的提出

进入 20 世纪 90 年代以来,由于科学技术不断进步和经济的不断发展、全球化信息网络不断完善、全球化市场已经形成,技术革新越加迅速,市场竞争也日趋激烈。技术的进步和需求的多样化使得产品生命周期不断缩短,企业面临着缩短交货期、提高产品质量、降低成本和改进服务的压力。所有这些都要求企业能够对不断变化的市场作出快速反应,源源不断地开发生产出满足用户需求的产品来占领市场、赢得竞争。只有做到这一点,企业才能在市场竞争中生存下来、立于不败之地。毋庸置疑,这种竞争将会越来越激烈,企业面临的生存环境将会更为严峻。

1.4.1 企业面临的生存压力^[9]

总的来说,企业面临的生存压力主要有以下几点:

①信息爆炸的压力。大量信息的飞速产生和通讯技术的发展迫使企业把工作重心从如何迅速获得信息转换到如何准确地过滤和有效利用各种信息。

②高新技术的使用范围越来越广。全球高速信息网使几乎所有的信息都是开放的,可以被任何人获得;而越来越敏捷的教育体系使更多的人能在越来越少的时间内掌握最新技术。越来越多的企业的优势正在逐渐的消失,企业面临的不仅是国内的竞争,还要面对全球的竞争。以计算机及其他高新技术为基础的新的生产工艺和技术在企业中得到了广泛的应用。例如,计算机辅助设计和制造、柔性制造供应链管理系统、自动存储和拣出系统、自动条码识别系统等。虽然高新技术应用的初始投资很高,但它可以带来许多竞争上的优势。它不但可以节省人力,降低劳动成本,更重要的是可以提高产品产量和服务质量,降低废品和材料损耗,缩短对用户需求的响应时间。

③市场竞争的全球化。由于科学技术的发展,交通运输也越来越发达,水运、陆运、空运在哪里都无处不在。不管想要将货物运送到地球的哪个角落,现在都可以实现,而且可以根据时间的松与紧、费用的高与低选择不同的方式。一方面,企业的市场得到了扩大,另一方面,市场的竞争也就扩大了。市场的竞争从以前的小范围区域扩大到了整个地球。市场的竞争愈发的全球化和激烈化。

④新产品的开发的难度越来越大。越来越多的企业意识到新产品开发对企业的生存有着重要的作用,因此许多企业不惜工本,投入大量的人力、财力和物力进行新产品的开发。但是资金的投入和产出之比却往往不尽人意。原因有很多。其中之一是,虽然现在已经有了很多新产品开发的研究成果,但是在实际的运用中,那些大型的、结构复杂的、技术含量高的产品由于涉及的学科多、范围广。所以如何成功地解决新产品的开发问题是摆在企业面前的一大难题。

⑤可持续发展的要求。由于人类不断发展的需求,人类不停的向大自然索取。过度索取的结果导致了今天人类面临的环境问题:臭氧层的破坏、热带雨林的减少、温室效应带来的全球变暖、酸雨、核废料、能源储备的降低、可耕地的减少,一个又一个的环境保护问题摆在人们面前。在全球制造和国际化经营趋势越来越明显的今天,各国政府都意识到了环境保护的重要性,并将环保问题纳入发展战略,制定出各种各样的政策法规,以约束本国及外国企业的行为,达到环境保护的目的。目前,人类对许多自然资源的消耗都在迅速接近地球的极限。更为严峻的问题是,发展中国家为了发展经济,正在努力的提高本国工业化程度,很多时候是以牺牲自然环境为代价的。所以,如何在全球范围内减少自然资源的消耗,让经济发展与环境保护同步进行成为全人类能否继续生存和持续发展的大问题。原材料、能源、淡水资源越来越短缺,这些又严重影响了企业的生产和发展,而

且这种影响在将来会越来越严重。在竞争激烈的市场环境下,企业如何在资源短缺的情况下取得长久的经济效益,得到可持续发展,是企业制定战略时必须考虑的问题。

⑥用户的要求越来越苛刻。激烈的市场竞争带给市场的产品越来越多、越来越好,用户的要求和期望越来越高,消费者的价值观发生了显著变化,需求结构普遍向高层次发展。消费者对产品的需求变化主要体现在:一是对产品的品种、规格、花色、需求数量等呈现多样化、个性化要求,而且这种多样化和个性化的要求具有很高的不确定性;二是对产品的功能和质的要求日益提高,而且这种要求提高的标准又是以不同用户的满意程度为尺度的,产生了判别标准的不确定性;三是要求在满足用户个性化需求的同时,产品的价格不但要向大批量生产的那样低廉,而且交货的时间也大幅度的缩短。

1.4.2 现阶段市场竞争的特点

企业面临的生存压力反应到市场竞争上就具有以下的一些特征:

①产品寿命周期越来越短。随着消费者需求的多样化发展,新产品开发的加快导致产品的寿命周期越来越短。目前,国外新产品的研制周期大大缩短。例如,AT&T公司新电话的开发时间从过去2年缩短为1年;惠普公司新打印机的开发时间从过去的4.5年缩短为22个月。与此相应的是产品的生命周期缩短,革新换代速度加快。

②产品种类急速增加。因消费者需求的多样化越来越突出,厂家为了更好地满足其要求,便不断推出新的品种,从而引起了一轮又一轮的产品开发竞争,结果是产品的品种数成倍增长。以日用百货为例,据有关资料统计,从1975年到1991年,品种数已从2000种左右增加到20000种左右。尽管产品数已非常丰富,但消费者在购买商品时仍然感到难以称心如意。为了吸引用户,许多厂家不得不绞尽脑汁不断增加花色品种。

③对客户的要求的响应速度越来越快。随着生活水平的提高,客户的需求也越来越多样化。由于市场竞争的加剧,经济活动的节奏越来越快。其结果是客户对响应速度的要求越来越高。这不但要求企业必需降低新产品开发的时间,而且也必需降低产品的运输时间。所有有人说,21世纪的市场竞争将是供应链和供应链之间的竞争。

1.4.3 研究问题的提出

在企业面临的生存压力、现阶段市场竞争的特点和经济利益的驱动下,越来越多的跨国公司将自己的生产基地迁移到了发展中国家,期望通过雇佣当地的廉价劳动力来降低自己的生产成本。但是,这种使生产地和销售地分割的布局对客户的响应速度产生了影响。而现阶段市场竞争的特点不但不允许公司对客户的响

应速度有所降低,反而要求响应更加迅速。为了解决这个问题,公司不得不设立更多的仓库,加强运输来满足生产和销售的需要。在这样的一种背景下,对供应链的管理要求就自然的提高了,可以说公司之间的竞争已经变为了供应链之间的竞争了。在供应链中,库存管理的好坏直接影响到公司的运营成本。据资料显示:2001年美国工业的库存成本已经超过了一万亿美元。在很多公司里,库存成本占到了公司总资产的30%,营运资金的90%。

由于市场需求的变化越来越快,客户对产品的多样性和个性化需求也在不断的提高,供应链因此就变得更加复杂。由早期的串联结构(serial)、聚合结构(converge)发展到了混合多层结构(hybrid)。目前,已有众多的量化的模型对供应链的库存控制进行了研究。但是总的来说,主要局限于串联结构,聚合结构以及简单的混合型机构,对复杂的混合性结构有效性不足。主要的原因如下:

① 混合多层供应链的不确定性因素不断增加。由于产品种类的增加,需求变得多样化,很难准确的预测销售的情况;需求的不稳定,导致供应链中的牛鞭效应十分的严重。而且供应链长度的增加,工序和过程变复杂,使得可靠性降低。这些因素都很难用单纯的数学模型来描述。

② 供应链结构和过程的复杂度增加,产品种类增加,这些都大幅的增加了模型的复杂度和对计算能力的要求。虽然计算机技术的发展可以提供一些有力的工具,但是由于模型需要大量的高质量的数据,而且供应链类型的模型数据是随机产生的,数据是变化的,使得对模型的一些假设和实际很难吻合。这些都限制了其实际应用解决问题的能力。

供应链的库存管理是一个战略性的决策,它对降低成本、缩短反应时间及提高客户满意度有着决定性的影响,对整个供应链的运营效果起着重要的作用。特别是对混合多层供应链来讲,它的特性决定了其库存管理更加的复杂和重要。所以,一套正确而且有效的库存管理方法是十分的迫切的。本课题以混合多层供应链库存管理为对象,抽取对库存管理影响最大的因素,集中研究,解决混合多层供应链库存管理中的基本问题。这些方法对企业降低成本,提高客户满意度有重要的影响,为企业的库存管理规划设计提供参考。

1.4.4 课题研究的意义

自2001年年底中国加入WTO以来,已经三年多了。在这三年里,中国的一部分产业已经参与到了平等的全球竞争中。在未来的日子里,将会有更多的企业融入到这个国际经济大循环洪流和世界经济一体化的竞争中。一方面,这为中国的企业带来了前所未有的机遇,使中国的产品更容易的走向国际市场;但是另一方面,更多的国际先进企业和他们的产品涌入中国,给中国的企业带来了新的竞争和挑战。

目前,企业在降低生产成本、改善产品品质和扩大销售方面的竞争已经发展到了相当成熟的地步,企业在生产领域的利润增长点已经十分有限。在这种情况下,很多企业将目光转向了以服务为核心的竞争,供应链的管理就成为了新的利润源泉。许多企业已经意识到了优秀的供应链是战略上的必要条件。提高顾客的满意度以及削减成本的要求,是人们对供应链的重要性的认识日益增加的驱动力。因此,许多公司都在时间和资本上大量投入以改进它们的供应链,提高供应链管理水平和。并且制定了一套能够与它们的供应链发展相适应的正式战略。而且很多公司都成功的对供应链进行了再构,并且重塑了他们销售产品和服务的途径。通过企业对供应链管理的关注,企业大大的降低了企业的成本、更加有效的利用了资源、改善了服务和增加了收益。供应链改善的效果主要体现在以下几个方面:

① 通过供应链的管理,可以有效的消除重复、浪费与不确定性,减少库存总量,创造竞争的成本优势。

② 供应链管理能够优化链上成员组合,加快客户反应速度,创造竞争的时间和空间优势。

③ 供应链管理通过建立成员企业之间的战略合作伙伴关系,充分发挥链上企业的核心能力,创造竞争的整体优势。

目前,我国的企业也深深的意识到了供应链管理的重要性,正努力的从传统的“纵向一体化”管理模式转到供应链管理一体化模式上来。然而,我国的企业长期以来“重生产、轻流通”。因此,我国企业的供应链管理与国外企业相比,还存在有一定的差距。而且随着目前市场竞争的加剧,供应链的结构也越来越复杂,从单纯的串联的供应链结构发展到了混合多层的复杂的供应链。在这种背景下,混合多层供应链库存管理的研究更加具有意义。它不但可以为我国的企业节省资金,降低成本,而且可以使我国的企业更加容易的缩短与国外企业的差距,增强竞争力。

1.5 课题研究的主要内容

本文主要以混合多层供应链为研究对象,主要研究混合多层供应链中的库存管理环节,并在研究的过程中与仿真技术相结合,研究混合多层供应链库存管理的方法。主要的研究内容如下:

首先介绍了供应链库存管理的概况和发展趋势,分析了现阶段库存管理的现状,结合混合多层供应链和其库存管理的特点,提出了混合多层供应链库存管理的方法。研究了在混合多层供应链中仓库的地址选择、数量等问题。

库存管理控制策略是供应链管理中的一个重要的环节,它关系到整个供应链的成本和效率。本文研究了混合多层供应链中库存管理信息控制策略;仓库和销

售商的订货频率和数量等。

此外，本文还结合仿真技术，研究了混合多层供应链中库存管理环节对整个供应链的交互作用。

最后，本文结合实际案例，以某公司的供应链规划为研究背景，介绍了该公司的库存管理现状，并将研究的成果运用到该公司的供应链库存管理中，取得了良好的经济效益。

2 混合多层供应链概述

2.1 供应链的结构类型^[10]

全球化的生产和市场，使得供应链的结构复杂程度大大增加，供应链的层次不断增加。按照不同的划分标准，供应链可以分为不同的类型。根据供应链的结构，可以将其分为五种类型：双重结构（dyadic），串联结构（serial），发散结构（divergent），聚合结构（converge）以及混合结构（hybrid）。

2.1.1 双重结构（dyadic）

双重结构（dyadic）的供应链是最简单的一种结构的供应链，它只包括两个实体，例如购买人和商家。双重结构的供应链结构简图如下图 2.1 所示：

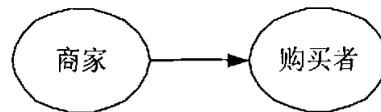


图 2.1 双重结构的供应链
Fig 2.1 Dyadic supply chain

在双重结构的供应链下，一条链上只有两个实体。这条链和其他的链之间是相互分割的，链与链之间的信息流和物流都没有相互的流动，是割裂开的。两个实体之间是单一的而且是单向的一对一的关系。在双重结构的供应链下，商家只需要考虑下游的购买者的需求，这个需求也没有因为供应链的长度而被放大。所以说，双重结构的供应链管理最为简单和直接，但是现实生活中被运用的很少。

2.1.2 串联结构（serial）

串联结构（serial）的供应链一般来讲包括零售商、分销商、生产商和供应商，它是双重结构的供应链在横向上的层叠，它是由多个双层供应链依次链接串联组合而成。在串联结构的供应链中，物流和信息流都是单向的流动的，即是由上一级的环节流向下一级的环节。串联结构的供应链结构如下图 2.2 所示：

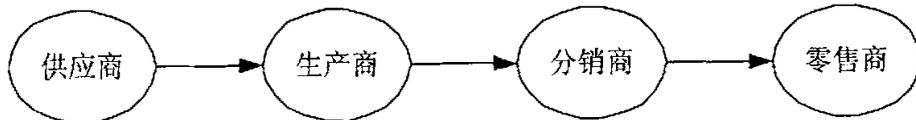


图 2.2 串联结构的供应链
Fig 2.2 Serial supply chain

从上图所示，我们也可以看出：串联结构的供应链在物流和信息流的关系

上也是一对一的关系。生产商只有一家供应商，而它对应的分销商也只有一家，零售商也是如此。虽然，串联结构的供应链结构不太复杂，但是串联结构的供应链比双重结构的供应链在长度上增加了许多，管理上也复杂了许多。由于供应链长度的增加和信息的不流畅，牛鞭效应（Bullwhip effect）就产生了。

2.1.3 发散结构（divergent）

发散结构（divergent）的供应链是串联结构的供应链的修正。它常常用来代表比较真实的供应链。它与双重结构和串联结构的供应链相比更加的符合实际。

图 2.3 为发散结构的供应链示意图：

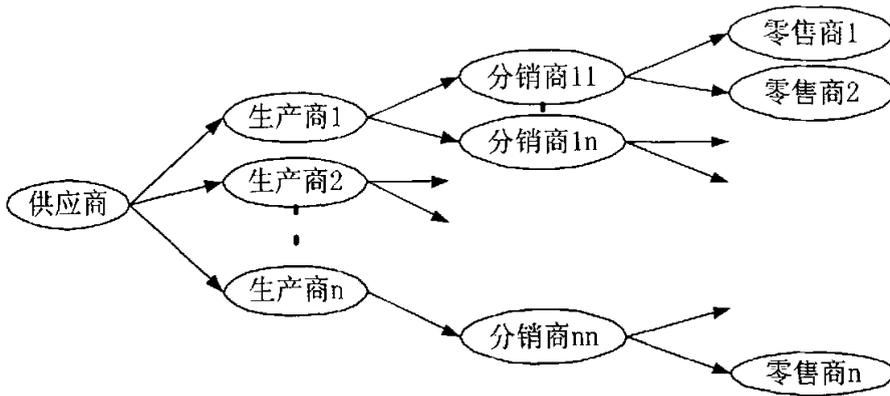


图 2.3 发散结构的供应链
Fig 2.3 Divergent supply chain

在发散结构（divergent）的供应链下，每一个供应商、生产商和分销商的对应的下一级甚至是下下级都不止一个而是多个，他们在数量上是成几何级数的增长。它的物流流和信息流是一对多的关系。在这样的情况下，供应链的复杂程度就大大的增加了，因为供应商供应的产品需要满足多家生产商的需求，需求变化增加了，预测的困难也加剧，为了满足这些需求供应商不得不采取一些手段譬如设立仓库、增加库存等，相应的这就导致了供应链总成本的增加。

2.1.4 聚合结构（converge）

聚合结构（converge）的供应链是串联结构的供应链的另外一种的修正结构。在现实生活中，很多时候，由于生产商需要的零部件不仅仅是一种，为了增加竞争力，降低成本，生产商会根据不同的供应商的核心竞争力，从报价最低，质量最好的供应商那里分别采购不同的零部件，因此生产商的供应商常常不止一家。图 2.4 为聚合结构（converge）的供应链示意图。

在聚合结构（converge）的供应链下，每一个生产商的供应商都不止一家，而分销商也可以代理不同的生产商的产品，零售商也是如此。简单来说聚合结构

(converge) 的供应链的配置 (例如: 供应链层次的数量、每一层的供应商的数量等) 取决于最终产品所需的物料清单 (bill-of-material)。

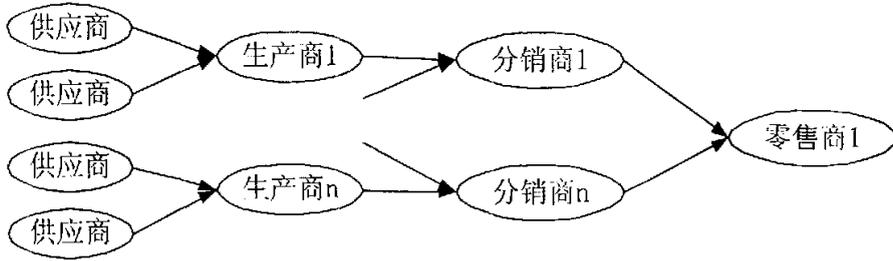


图 2.4 聚合结构的供应链
Fig 2.4 Converge supply chain

2.1.5 混合结构 (hybrid)

混合结构 (hybrid) 的供应链在结构上不但比上述的供应链更加复杂, 而且更加接近实际的供应链运作状况。图 2.5 为混合结构 (hybrid) 的供应链示意图。

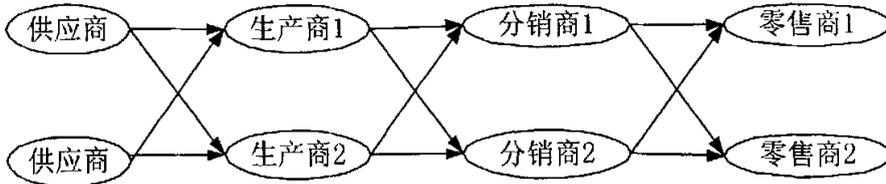


图 2.5 混合结构的供应链
Fig 2.5 hybrid supply chain

在混合结构的供应链下, 供应商和生产商之间的关系变得错综复杂, 一家供应商可能生产多种产品供给不同的生产商。生产商为了提高核心竞争力, 往往也会生产多样化的产品。生产商和分销商的关系也和供应商和生产商之间的关系一样也是多对多的。在这种环境下, 不但是物料流动变得复杂, 而且信息流也多样化, 整个系统的物料流和信息流是多对多的和混合的。所有的这些现象的出现增加了对这类混合结构 (hybrid) 的供应链的控制和管理的困难程度, 牛鞭效应就更加的明显了。

2.2 混合多层供应链产生的经济背景^[14]

第二次世界大战结束不久, 以美国福特汽车为代表的少品种大批量生产方式统治着世界的工业生产模式。20 世纪 60 年代随着经济的复苏, 市场需求由单一品种转向了多元化, 大批量生产的弱点日趋明显。当时, 日本丰田汽车公司在考察美国汽车工业的生产方式后, 根据自身的技术背景和市场需求, 采取了准时制生

产，以多品种、小批量、高质量和低消耗的生产方式获得了巨大成功。美国麻省理工学院在研究丰田生产管理方式的基础上提出“精细思想”的概念，其核心是以越来越少的投入，创造出尽可能多的价值。20世纪70年代，精细化生产曾引起极大的关注，甚至将精细概念延伸到“精细企业”。

在需求相对稳定，市场可预测的环境下，精细思想的运用取得了成功，节约了大量资源，提高了企业利润率和市场竞争力。但是，进入90年代以后，市场处于不断的变化之中，顾客需求不稳定，市场环境不可测的，高科技的运用使得产品的生命周期缩短，市场竞争加剧，企业为了生存不得不需要寻求另一种运行策略。美国的制造业认识到除了在复杂的市场环境下降低成本和提高产品质量之外，更重要的是要迎合消费者的需求，随即提出了敏捷制造的思想。敏捷制造思想的核心是，在需求多变的市场环境下，企业需要随时根据随市场变化做出判断和预测，采取灵活策略，对市场做出快速响应。敏捷制造面临的最大的挑战就是：面对复杂的市场环境，一方面，顾客的产品随时可获性（柔性生产）和有能力购买性（低成本运作）的复合需求要同时得到满足；另一方面，市场的变化将成递增的趋势。但是从技术的角度来看，成本降低的优势已经不明显了。所以越来越多的企业开始采取产品外判的方式，将产品零部件的生产放在发展中国家，利用发展中国家廉价的劳动力成本来降低产品的生产成本。在这样的情况下，混合多层供应链就应运而生了。

所以说，混合多层供应链是由于经济的发展和社会的进步而产生的。一方面市场竞争的压力增加，生产商不得不尽力开发出新的产品来满足市场的需求，同时还要降低成本；另一方面，消费者的经济能力和品味提高了，他们需要更具有个性化的产品。在这双重的压力下，生产商只有将非核心竞争力的产品外包，通过外包来降低成本，减少反应时间，这就导致了供应链上的环节越来越多；同时市场需求的产品种类越来越多，而数量却相对的在减少，这又导致供应链上的品种繁多；这些都迫使供应链变得更加复杂。混合多层供应链就产生了。

2.3 混合多层供应链的特点及管理的主要难点

目前，几乎所有企业的供应链都是复杂的混合多层供应链。在混合多层供应链下，物流和信息流的方向和数量都是多向的、集成的。图 2.6 为一般的混合多层供应链结构模型。^[7]

从图 2.6 我们可以看出，混合多层供应链的结构是十分复杂的，在混合多层供应链中，不同的环节有着几家甚至几十家的部门或公司参与，他们在供应链中扮演着不同的角色，有着不同的生产目标。但同时他们又有着共同的经济目标，即是以低成本，快速的共同满足最终客户的多样化需求。在这样的情况下，不同

的部门甚至是不同的公司相互之间的协作是很重要。但是，在很多情况下，不同的部门或企业都有各自的评价指标，这些指标之间甚至有可能是相互冲突的，特别是在物流和信息流流向十分复杂的情况下，这些冲突就更加的明显。例如，销售公司为了降低他的库存水平要求配送公司加快运货的频率；而配送公司为了降低成本，又需要减少运货的频率。因此，如何充分的满足混合多层供应链上的各个部门或各个公司的评价指标，而又不以牺牲消费者的利益为代价达到双赢甚至多赢的结果是混合多层供应链面临的一个难点。

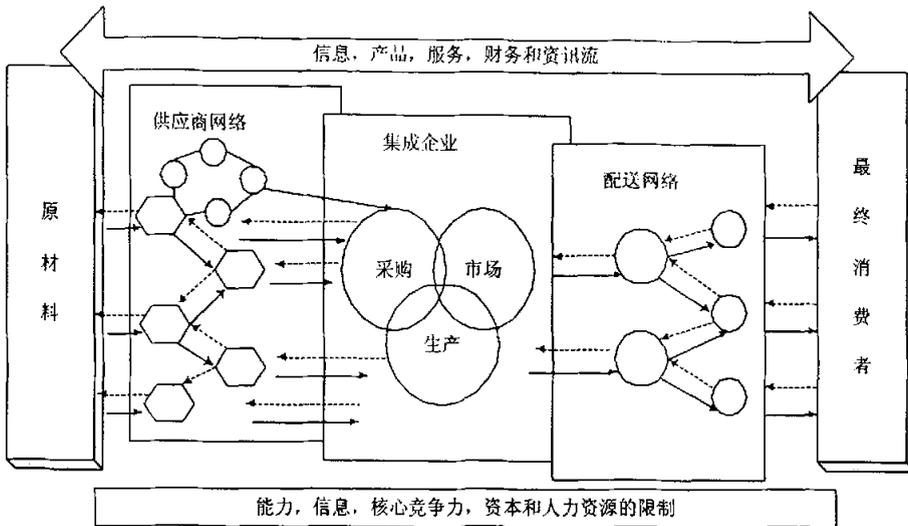


图 2.6 混合多层供应链的结构

Fig 2.6 Multi-layer hybrid supply chain structure

2.4 混合多层供应链的牛鞭效应^[15]

牛鞭效应是供应链中的各个环节信息不畅通导致的信息扭曲的后果。由于混合多层供应链本身的特点即链体相当的长，信息流动非常的复杂，因此信息被扭曲的现象几乎在每一个环节都出现——在销售点的仓库，在生产者的中转仓库，在配送商的仓库，在零售商的店中。实际上，即使在消费需求变化不大的产品领域，在混合多层供应链结构下，从零售商的订单到生产者的订单的变化也是十分的巨大的。图 2.7 是这种变化的示意图。^[1]

从图可以看出，分销商和零售商向生产者发出的订单和生产商向自己的供应商发出的订单之间的摆动是很大的。就安全库存来说，供应链的上端为了应付下端可能的需求变化，需要预定一定的安全库存。在信息没有沟通的情况下，越是处于供应链的上端，需要的安全库存也会越多。这就造成供应链的终端（最终消费者）的需求波动，会随着供应链传递和放大。这种现象被称为牛鞭效应。牛鞭

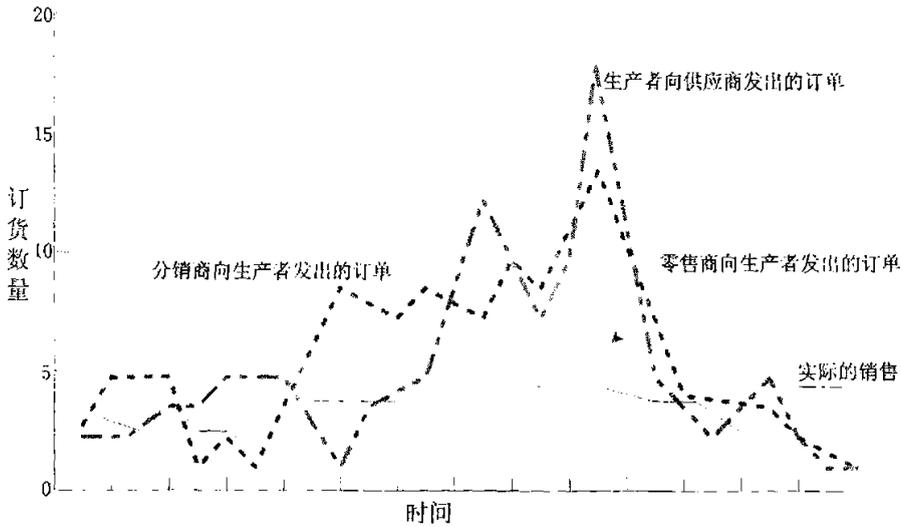


图 2.7 订货量沿着供应链的增长变化
Fig 2.7 Increasing variability of orders up the supply chain

效应对企业的库存、成本、效益都会带来严重的影响。它会导致企业的库存增加，产品积压，资金不流通，影响到企业的利润。

造成牛鞭效应的主要原因有四点：

①需求预测的不断更新。每一家公司的供应链都会根据对市场的预测制定生产计划、库存控制、物料需求计划等，这些对市场的预测都是基于历史的订单来制定的。当处于下游的环节根据对市场的预测发出增加 10% 的订单，例如历史需求为 100 件产品，所以它发出了 110 件的订单。它的上游环节收到了这 110 件的订单，上游环节同样也预测该季的需求会增加 10%，所以该环节又在 110 件的基础上增加 10%，即为 121 件。如此往上类推，最终的生产产品会大大超出市场的实际需求。造成大量的库存以及产品的积压，从而削弱了整个供应链的利润水平，供应链上的每个环节都会受到影响。当对市场需求的预测为下降趋势的时候，又会导致最终的市场需求不能得到满足，造成市场的丢失，整个供应链的收入和利润都会降低。见图 2.8 所示

②订单批处理。供应链中的每一个环节会根据自身的库存情况和上一环节提供的信息来发出订单。但是，由于成本和时间方面的原因，公司发出订单是间隔特定的一段时间而不是实时的。很多公司根据 MRP 系统发出订单，MRP 系统一般都是以月为周期下订单。如果说，所有的消费者的每次订单都是平滑、均匀地分布在周期，那么牛鞭效应不会产生。但是实际上，这种理想的情况几乎不可能存在。今天和明天的订单波动也许为零，但是，将时间间隔扩大到了月与月之间，需求波动就会明显增加，特别是在客户不只一家的时候，订单是常常突然涌现出

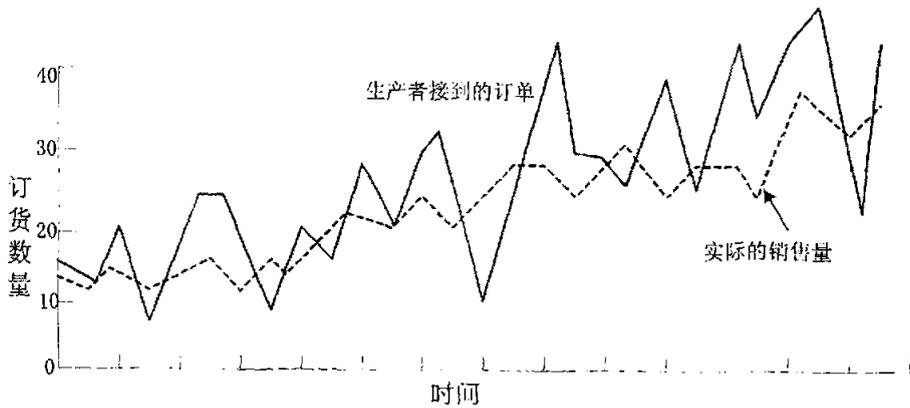


图 2.8 生产者收到的最终订单和实际的销售量的波动对比

Fig 2.8 Higher variability in orders from dealer to manufacture than actual sales

来。需求的波动，导致牛鞭效应更加的严重。所以说，订单批处理实际上是人为的增加了需求不确定性的幅度。

③价格波动。据资料显示，生产商和销售商之间 80% 的订单是提前下达的，造成这个现象的原因是生产商提供给销售商优惠的价格。提前采购给零售业 750 亿到 1000 亿美金的库存^[16]。当生产商提供较低的价格的时候，客户会购买大量的产品储存起来；当产品价格恢复到正常水平时，客户会停止购买该产品直到以前购买的产品消耗完。当采用价格促销的时候，生产商可能不得不超负荷生产，甚至还要建立更多的仓库来存储产品，花费更多的钱来运输产品；当价格促销结束了，生产线又会出现空闲。这将会带来长期的破坏。具有讽刺意味的是，这是生产商和销售商自己造成的。季节性产品的销售业有同样的问题。采用促销战略会给生产商的库存管理带来很大的问题，后院起火。这同样导致人为的增加了市场需求的波动，市场预测特别困难。需求波动及的不确定性的增加，最终将在供应链中传递和放大，从而加剧了牛鞭效应。

④配给制的使用。当产品的需求大于生产的能力的时候，生产商会采用配给制，根据客户的需求按照比例分配产品。这时候，客户为了能够尽量满足自己的需求，就会夸大自己的订单，以期获得更多的产品。这样，由于信息的不畅通，会给生产者带来误导的信息，使生产者以为市场需求真的有这么大，生产者为了利益自然会全力以赴投入生产，甚至会购买新的生产设备，采用提高生产能力的措施来满足需求。但是，当生产能力能够满足市场需求的时候，生产者取消了配给制的应用或者是市场需求降低，生产能力供大于求的时候，以前夸大的订单就会突然消失，给生产者不可能在短时间内适应这种变化，生产者就会遭到损失。

从牛鞭效应产生的原因可以得出，如果要减少牛鞭效应，供应链应该增加信

表 2.1 牛鞭效应的对策
Table 2.1 A framework for supply chain coordination initiatives

牛鞭效应产生的原因	信息共享	Channel Alignment	执行的结果
需求预测的更新	<ul style="list-style-type: none"> 理解系统的动态 使用POS数据 采用EDI 英特尔网络 计算机辅助订单 	<ul style="list-style-type: none"> 零售商库存管理 信息共享优惠 以客户为对象 	<ul style="list-style-type: none"> Lead -Time减少 梯队式的库存控制
批订单	<ul style="list-style-type: none"> 采用EDI 网络订货 	<ul style="list-style-type: none"> 对小单位分类进行优惠 定点传输 合并 第三方物流 	<ul style="list-style-type: none"> 通过EDI和电子商务减少固定的订货成本 CAO
价格波动		<ul style="list-style-type: none"> 持续补货计划 (CRP) 每日低成本 (EDLC) 	<ul style="list-style-type: none"> 每日低价 动态成本分析
Shortage Gaming	<ul style="list-style-type: none"> 共享销售、生产量和库存信息 	<ul style="list-style-type: none"> 根据历史数据分配 	

息的透明度和协作，实现信息共享，尽量减少人为增加的不确定因素。表 2.1 列出了具体的解决办法。

2.5 混合多层供应链的控制方法

目前，消费者的需求变化越来越多，生产的产品种类也不断的增加，供应链的长度在不断的增长，市场预测的难度越来越大，这些都导致了供应链结构的复杂化。这不单单是供应链中运送的物料、层次等实体的增加，而且是供应链中的信息流变得多样化。

混合多层结构的供应链的复杂程度不仅是由供应链层次的增加导致的，而且是控制信息流多样化的结果。一方面，供应链层次的增加，导致了供应链中物流的增加；另一方面，物流的增加，又使供应链中的控制信息流多样化。控制信息流的多样化产生了中心控制 (Centralized) 和分散控制 (Decentralized)。在混合多层供应链下，有的供应链实施的信息流控制方案是中心控制，有的供应链实施的信息流控制方案是分散控制，有的情况更加复杂，信息流控制方案是中心控制和分散控制相结合。

中心控制是指：供应链上设有一个统一控制物流和信息流中心系统。在供应链上的所有的信息（包括库存信息、需求信息、预测信息以及运输的信息）都

会反馈到中心控制系统。而供应链上的物料流动则是在中心控制综合分析整条供应链上的信息并将其整合之后，统一调配资源的结果。

分散控制是指整条供应链上没有一个统一控制和调配信息和物料的中心。供应链上的各个环节根据自己的情况和市场的预测自己控制自己的库存、需求等。各个环节之间信息的流动是单向的。

在混合多层供应链下，中心控制和分散控制各自有各自的优点。中心控制的供应链可以进行风险分担(Risk pooling)，可以集中控制整个供应链系统中的物料流动，同时系统的响应能力增加，但是可能会增加运输成本以及库房管理成本。而分散控制可以具有较大的灵活性，更加准确地预测市场信息。但则会导致较高的库存量。为了充分的利用两种控制的优势而又克服其缺点，对于混合多层供应链，由于供应链的复杂性，许多公司都将产品进行分类，对不同的产品采用不同的控制信息方法。也就是说，在一条供应链上，同时存在中心控制和分散控制，最大可能的降低牛鞭效应的出现。

2.6 本章小结

本章详细的介绍了供应链的结构和其特点，分析了混合多层供应链产生的背景。论述了混合多层供应链控制管理的难点，提出了两种控制方法即中心控制和分散和分散控制，讨论了两种方法的优缺点，并详细的解释了牛鞭效应对供应链管理控制方法的影响。

3 库存管理

3.1 库存的定义^[20]

库存是指处于存储状态的物品或商品。库存具有整合需求和供应，维持各项活动顺利进行的功能。一般来说，企业在销售阶段，为了能够及时的满足客户的要求，加快反应时间，需要持有一定的库存；在采购生产阶段，为了能够保证生产过程的稳定性和连续性，也需要持有一定的库存。从整个供应链来说，下一环节是上一环节的客户，上一环节又是下一环节的供应商，在这种关系下，每一个环节都持有库存。

从生产过程的角度来看，可以将库存分为原材料库存、零部件库存、半成品库存和成品库存四类；从库存物品所处的状态，可以分为静态库存和动态库存两类。

既然库存是持有一定的物品或商品，那么它就必然存在成本。库存成本包括资金积压成本（Capital Cost）、库存维持成本（Inventory Holding Cost）（包括仓库租金、管理成本等）、缺货成本（包括延迟订货成本、销售损失成本）、过期成本（Leftover Cost）等等。

3.1.1 库存管理的衡量指标

库存管理的目的就是要确定一个既能使资金占用最少，费用最省，又能够尽量满足客户的需求的库存策略。所以衡量库存管理的指标主要有以下 3 种。

①库存周转率（Inventory Turn）。库存周转率是指在停止对库存进行补货的情况下，拥有的库存能够满足客户需求的天数。它可以有不同的计算方法。

②服务水平（Service Level）。服务水平是指库存满足需求量的百分比。它是客户满意程度的重要指标。

③库存成本。库存成本包括资金积压成本、货物保管成本、产品过期成本等。库存成本越小，整个供应链的成本也就相应的降低。

3.2 库存管理的重要性

在供应链管理中，库存管理占据了一个重要的地位，是整个供应链的核心环节。在实际的运用中，相同的产品常常会被零售商、批发商和制造商储存。但是即使存在着这样的库存，由于生产和需求的变化，缺货（out-of-stock）和送货延迟（delayed-delivery）的现象仍然普遍存在。从理论上讲，公司是可以储存足够多的产品来满足客户的需求。一方面，由于风险和成本太高，几乎没有公

司采取这样奢侈的库存方法来满足客户的需求，保证对客户的承诺；另一方面，很多时候，公司不得不保有一定的库存量来尽量满足客户的需求，这种库存量常常被称为“安全库存”。而这种库存量的决定往往是根据公司的市场预测做出的，但是由于市场环境的复杂性，预测往往会出现误差，导致缺货或积压。据有关资料表明，安全库存几乎占了整个零售业库存的 1/3。这些库存必然会反应到成本上，最终会反应在产品价格上，从而会削弱产品的竞争力，减少消费者的满意程度。由于库存管理的不当造成的缺货或产品积压的成本已经超过了制造成本。根据 Fisher 1997 的统计，在零售行业，平均的缺货率为 10% 到 40%；每年平均的季节性打折销售占到了产品销售的 10% 到 25%。而且还成不断上升的趋势。下图 3.1 为调查的结果图：

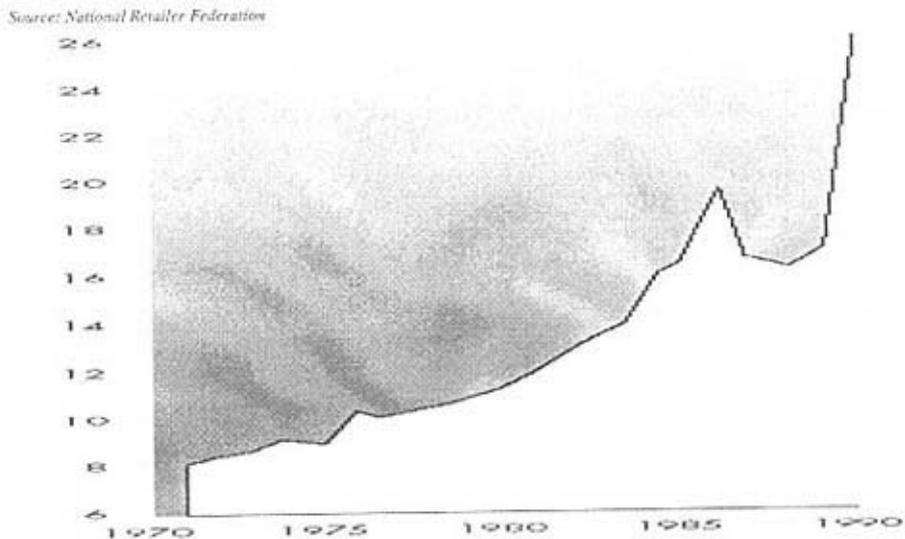


图 3.1 缺货量的趋势图

Fig 3.1 Department Store: Markdowns as Percentage of Dollar Sales

库存管理的目的是在满足客户要求的前提下通过对企业库存水平进行控制，力求尽可能的降低库存水平，减少资金积压，提高整个系统的效率，增强企业的竞争力。

目前，美国的很多公司库存成本占到了公司年销售收入的 25%，在某些公司库存成本占到了公司总资产的 30%，运营资本的 90%。由此可见，如果库存管理控制的好的话，公司的利润将会登上一个新的台阶。战略库存管理是十分的重要的。

3.3 库存管理的思想^[7]

库存管理的思想基本有两种。一种叫拉动式的，另外一种叫推动式的，图 3.2 总结了这两种管理思想的特点，下面分别论述。

来源：企业物流管理—供应链规划组织和控制

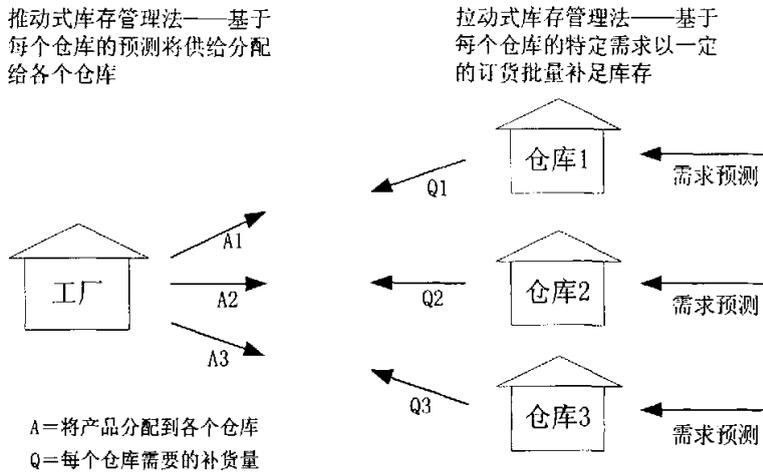


图 3.2 库存管理的两种思想
Fig 3.2 Two types of the inventory management

①拉动式的库存管理 (Pull Inventory Management Philosophy)。这种管理思想认为每一个存储点 (如一个仓库) 都是独立于链上的其他所有的仓库。预测需求, 决定补货量时都只考虑本地点的因素, 而不考虑其他的各个仓库不同的补货量和补货时间对成本的影响。这种思想就如同供应链上的分散控制一样, 是基于每个仓库的需求以一定的订货批量补足库存, 该思想可以对该仓库的库存比较准确的控制。拉动式的管理思想在供应渠道的零售环节特别普遍, 超过 60% 的耐用消费品和接近 40% 的非耐用消费品都是采用的该管理思想。^[11] JIT 的库存管理系统就是一种拉动式的库存管理系统。

②推动式的库存管理 (Push Inventory Management Philosophy)。这种管理思想认为如果由链上的各个仓库单独的进行决策, 那么补货批量和补货的时间很难与生产批量、经济采购量和最小订货量很好的协调起来。所以, 公司选择根据每个储存点的预测需求、现有库存量等来分配补货。其中, 库存水平的设定是根据整个仓库系统的情况统一决定的。MRP 系统的库存管理就是一种推动式的库存管理系统。

一般来说, 当采购或生产的规模经济收益超过了拉动式管理法实现的最低总库存水平带来的收益时, 就可以采用推动式库存管理思想。

3.4 供应链环境下库存管理存在的问题^{[61][9]}

供应链环境下的库存问题和传统的企业库存问题有许多不同之处，这些不同点体现出了供应链管理思想对库存的影响。目前，供应链管理环境下的库存控制存在的主要问题有三大类：

1) 库存管理没有供应链的整体观点。虽然说供应链的整体表现取决于供应链上各个单元节点的绩效，但是各个节点都是独立的单元，他们的目标和使命都是不同的，有的对供应链的整体绩效没有关系，有的甚至会起反作用。所以如果各个单元节点只考虑自己的绩效，即使自己的绩效达到了最优，但是整个供应链的整体表现却不是最优的。例如：原材料采购商将降低他的订货费作为他的绩效评价指标，为了达到这个目的，他集中精力减少订货成本，所以他的仓库的库存水平一直都维持在比较高的水平。他这样做，虽然使自己到达了绩效评价指标，但是却使整个供应链上的库存水平增加了。又例如：生产商以库存水平作为他的绩效评价指标，所以他致力于降低他的库存；而他下游的销售商又以客户的满意度为考核指标，为了满足客户的需求，他不得不维持较高的库存量。

2) 供应链的运作问题。供应链管理的绩效好坏最终都是靠用户来评价，或者用对用户的反应能力来评价。但是，在供应链的运作中，常常出现忽视客户的不确定性对库存的影响；库存控制策略的简单化，不管是对任何的产品，都采用同一种库存控制策略，而忽略产品和客户的需求特点；缺乏合作与协调，很多生产商要求他们的供应商及时供货，这就使得再上游的供应商也必需及时供货，如果缺乏协调，就会导致延期交货和服务水平下降，同时库存水平也会因此而增加。

3) 供应链的库存管理的战略规划问题。一个合理的战略库存管理是基于一下五个方面展开的：

①区分消费者。每一家公司的消费者的需求是千差万别的，公司的利润取决于消费者对于产品的采购数量、品种、价格、附加服务和未来的合作机遇等方面。对某些产品，公司的利润特别的高，而且还有很大的利润提升空间；而另外一些却恰恰相反。但是目前，很多公司都没有将自己的消费者区分开来，而是统一对待。

②产品利润。大多数公司的产品都不是单一的，不同的产品的利润也是不同的。如果没有特别的限制，公司可以发现，20%的产品的利润占到了公司总利润的80%，反应在库存上就是仓库中的20%的产品的价值占到了全部库存产品价值的80%。这就是在商业界中普遍存在的所谓80/20原理或Pareto理论。所以公司的库存管理就是要针对这些不同利润的产品，采用不同的库存策略。

③集成运输。运输是供应链中的一个操作环节，它和战略库存管理息息相关。产品的库存计划从某种意义上来讲是直接影响到运输的表现。由于运输的重要性

和可见的花费，它在管理中从来都是备受重视的。成本、速度和连贯性是运输的三个基本的要考虑的因素。大部分产品的运输速度是基于产品的体积和数量大小的，所以在仓库储存一定数量和种类的产品来巩固运输的连贯性是具有战略性的。

④响应时间。公司对传递货物速度的承诺，满足客户对库存的要求，是一个主要的竞争要素。如果产品和物料能够按客户的要求快速的运送到客户手中，客户就没有必要持有一个很大的库存量。同样的，如果零售商的仓库能够被快速的补货，对安全库存的需求也就降低了。能否及时准确的补货是安全库存量的决定性因素。当然，这种措施可以降低客户的库存量，从而节约了成本，但是由于库存量的降低有可能会增加其他的费用，这些费用必须要小于节约的成本。

⑤竞争手段。库存战略管理是由竞争的环境创造的。公司如果能够承诺并且能够实施真正快速稳定的送货，那么它容易比它的竞争者得到客户。而且，通过将一些产品放在特定的仓库来提高自己的竞争力是很有必要的，即使这种办法会增加一部分的成本。这种选择性的库存策略对提前获得客户同时压制竞争对手是很有帮助的。

如果能够正确的解决目前库存管理中存在的问题，那么整个供应链的效率将会得到极大的提高，同时，供应链的成本将会降低，有效的提高公司的市场竞争力。

3.5 混合多层供应链体系下的库存管理

混合多层供应链的库存管理比起其它结构的供应链库存管理要复杂的多，而且具有自己的特色。

①由于供应链长度的增加，库存分布在不同的地方，所以控制的方法必须采取中心控制，同时加强协作。

②在混合多层供应链下的库存控制应该有全局的观点，所有控制的目的是由最终的需求确定。

③混合多层供应链的库存控制不但和其本身的结构有关，而且还受到供应链日常的控制策略的影响。

④该库存管理非常复杂，不能由单一模型来决定。

随着人们对供应链重要性的认识的不断加深，对库存管理的研究也越来越受到重视。目前已有众多的量化的模型对供应链的库存控制进行了研究，但是总的来说，主要局限于串联结构，聚合结构以及简单的混合型机构，对复杂的混合性结构研究的有效性不足。主要的原因是有混合多层供应链的特点决定的，详细叙述如下：

1) 供应链的不确定性因素不断增加。由于产品种类的增加，需求变得多样化，

很难准确的预测销售的情况。而且供应链长度的增加，工序和过程变复杂，使得可靠性降低。而且这些因素很难用数学的模型来描述。

2) 供应链结构和过程的复杂度增加，产品种类增加，这些都大幅的增加了模型的复杂度和对计算能力的要求。虽然计算机技术的发展可以提供一些有力的工具，但是由于模型需要大量的高质量的数据，有些假设和实际很难吻合。这些限制了其实际应用解决问题的能力。

库存管理是混合多层供应链管理中的重要的一环。所以只要抓住影响供应链库存管理中的决定性因素，就可以达到降低库存的目的。根据混合多层供应链的特点，本文以混合多层供应链库存管理为对象，抽取对库存管理影响最大的因素，集中研究，在下一章中，本文将提出针对混合多层供应链库存管理中的仓库订货量的确定和库存管理的信息控制的理论和框架。并利用仿真技术适合复杂、动态以及不确定问题的特点，来分析不同因素对库存管理的影响，并最终找到最佳的库存管理的结构和方法。

3.6 本章小结

本章介绍了库存的定义，库存管理的思想和方法。结合供应链的思想，在详细的分析了现阶段供应链中的库存管理存在的问题之后，提出了混合多层供应链库存管理的特点，在此基础上分析了现阶段的研究管理现状并分析了原因。

4 混合多层供应链体系下的库存管理的方法研究

4.1 库存管理中仓库订货量的确定

订货管理是库存管理中的一个重要环节，它直接关系到库存管理的订货成本和库存水平。因此如何确定混合多层供应链中的仓库的订货量是一个十分关键的环节。在供应链库存管理中，订货管理的范围涉及到销售公司的订货管理和中心仓库的订货管理。一般而言，中心仓库订货量的确定比销售公司订货量的确定要复杂很多，因为销售公司只需要考虑自己的订货量，而中心仓库除了要考虑自身的现有库存和需求外，还涉及到对各个销售公司的订货量信息进行集成和整合。下面分别进行讨论。

4.1.1 销售公司或配送商订货量的确定^[17]

销售公司订货量的确定往往是根据自己对未来销售的预测和现有的库存来制定订货的数量。订货数量的制定已有很多的模型，譬如 EOQ 模型、周期订货库存模型 (Periodic Order Review) 和永久订货模型 (Perpetual Review) 等方法。

EOQ 模型是 Economic Order Quantity Model 的简称。EOQ 模型是一切订货管理模型的基础，其他所有的订货管理模型都是在 EOQ 模型的基础上衍生出来的，所以本文先详细介绍 EOQ 模型。EOQ 模型是通过平衡维护成本和订货成本，确定一个最佳的订货数量来实现最低总库存成本的一种订货方法。如下图 4.1 所示。

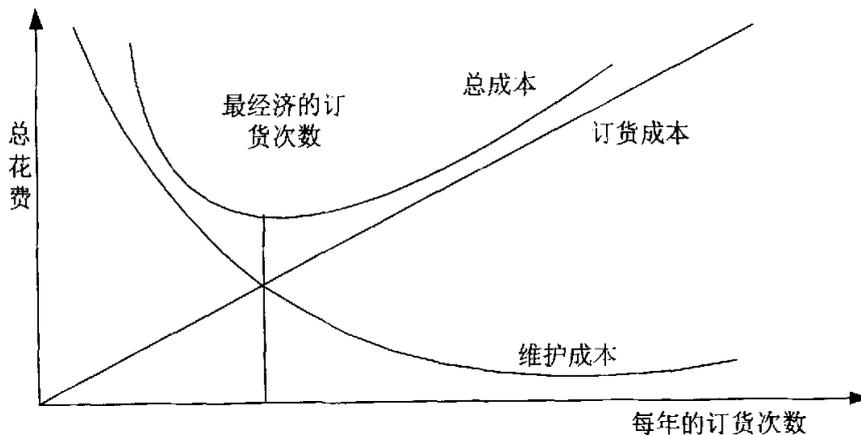


图 4.1EOQ 模型的基本原理
Fig 4.1The Basic Method EOQ Model

在 EOQ 模型下，假定生产是连续的，没有能力的限制；交货也是及时准确的，

没有交货提前期 (Delivery Lead time); 需求是确定的, 持续的和已知的; 每一次生产都会产生一个固定的先期成本 (Setup cost), 而且不用考虑生产量; 同时也不允许订单取消的现象出现。EOQ 模型的目的在于找出最佳的订货时间和订货次数。图 4.2 为 EOQ 模型的库存管理形式。

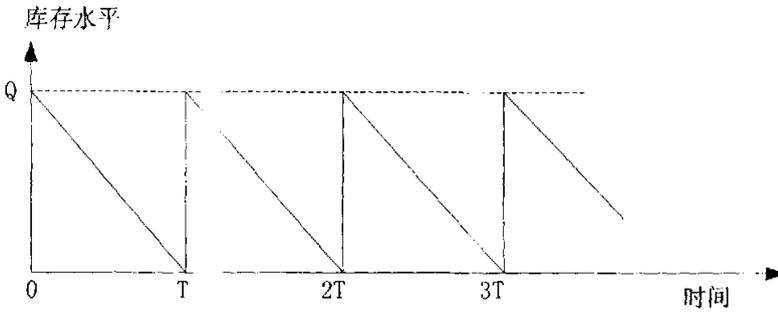


图 4.2 EOQ 模型的库存管理形式
Fig 4.2 Conceptual Framework of EOQ Model

根据 EOQ 模型的原理如图 4.2 所示, 可以计算 EOQ 模型中的相关的成本。

$$\textcircled{1} \text{ 每年的库存持有成本 (Inventory Holding Cost) } = h * Q/2 \quad (4.1)$$

其中: Q 为每次订货的数量, $Q/2$ 为一年的平均库存量。

$$\textcircled{2} \text{ 每年的订货成本 } = A * D/Q \quad (4.2)$$

其中 $F = D/Q$ 是每年的订货次数, D 为每年的需求量, A 为固定的订货成本。

$$\textcircled{3} \text{ 每年的生产成本 } = C * D \quad (4.3)$$

其中 C 为每件产品的成本。

所以, 每年的总成本为以上三种成本的和。根据图 4.1, 再运用数学知识, 可以通过求导的方法得到每次订货量、订货周期的最优解。在采购系统中, 当其他的影响因素比较小而且先期成本很确定的时候, EOQ 模型还是十分有用的。但是因为 EOQ 模型考虑的是理想状况下的库存订货情况, 与实际的订货现状差别比较远, 因此在 EOQ 模型的基础之上, 又衍生出了 (Q, R) 模型, 周期订货库存模型等。 (Q, r) 模型不但考虑了需要持有多少库存, 而且还考虑了每一次订货的数量。在 (Q, r) 模型下, 当补货频率降低的时候, 循环库存增加; 安全库存可以对缺货起缓冲作用。

周期订货库存模型考虑的因素也比 EOQ 完善, 本文拟采用该模型来对混合多层供应链中的非中心仓库进行库存订货管理。图 4.3 是周期订货库存模型的系统示意图。在周期订货库存模型下, 系统会经过一段确定的时间 T , 定期的检查仓库的库存。而仓库本身设有一个固定的安全库存量, 每次检查库存量的时候, 一旦发现库存量低于预先设定的安全库存, 系统将会根据预测的结果发出订单 Q 。

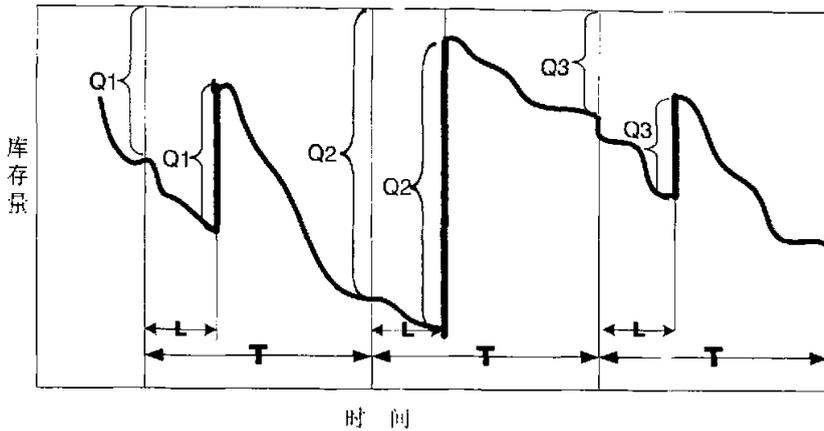


图 4.3 周期订货库存模型的订货示意图
Fig 4.3 Order System of EOQ Model

为了更好的说明如何确定仓库的订货量，我们作了 4.4 图。 T 代表订货的周期； L 代表补货所需的时间； D_i 代表在 i 时期的客户需求； Q_i 代表在 i 时期的仓库的订货量； IO_i 代表在 iT 时刻的已有库存。

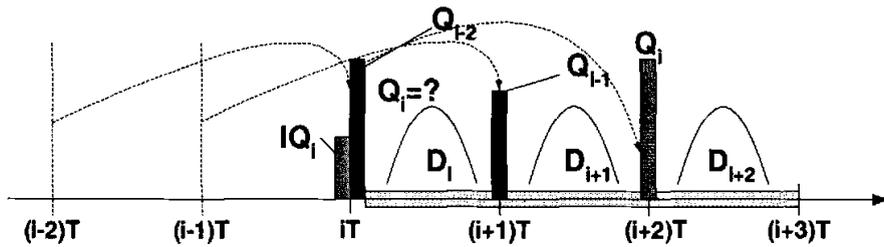


图 4.4 如何计算仓库的订货量示意图
Fig 4.4 How to calculate the order quantity

我们假定 $L = 2T$ ，由图 4.4 可以看出如果仓库在 iT 时刻需要有 Q_i 的订货量，那么仓库必需在 $(i - 2)T$ 时刻发出订单。而在 iT 时刻仓库所拥有的库存量和发出的订单量的总和应该满足 $(i + 1)T$ ， $(i + 2)T$ ， $(i + 3)T$ 三个时期的需求量。由图 4.4 可以得出等式：

$$IO_i + Q_{i-1} + Q_{i-2} + Q_i = D_i + D_{i+1} + D_{i+2} \quad (4.4)$$

$$Q_i = \text{Max}[0, D_i + D_{i+1} + D_{i+2} - (IO_i + Q_{i-1} + Q_{i-2})] \quad (4.5)$$

以上的情况是在补货周期确定的情况下得出的结论。当补货的周期不确定的时候，仓库需要持有一定的安全库存量，以备不时之需。令 D 为安全库存量，则：

$$Q_i = \text{Max}[0, D_i + D_{i+1} + D_{i+2} + D - (IO_i + Q_{i-1} + Q_{i-2})] \quad (4.6)$$

4.1.2 中心仓库订货量的确定

在混合多层供应链中，中心仓库被广泛的使用，往往存放了大部分的货品，而且还担负着协调不同分销商的库存的作用，因此对中心仓库的管理至关重要，他影响到整个供应链的库存管理水平和消费者的满意程度。

中心仓库库存管理的一个重要的环节就是订货量的确定。当中心仓库开始进行运作后，中心仓库和销售商都需要决定其自己的订货量。销售商主要是满足它本身的需求，而中心仓库则要满足整个区域的需求，所以说，中心仓库的订货量的确定不但要考虑仓库现有的库存水平而且还需要考虑对销售量的预测，因此是很有挑战性的。由于混合多层供应链结构的复杂性，中心仓库和销售商之间的物流和信息流是多层和多向的，而且中心仓库和不同的销售商之间的订货周期和运输时间都不相同，因而要对需求信息分别进行整合。下面举例说明如何计算仓库和销售商的订货量。假定一条供应链上有 6 个销售商，一个中心仓库，中心仓库的订货周期 $T_0 = 4$ 星期；补货所需时间 $L_0 = 4$ 星期；销售公司的订货周期 $T_1 = 1$ 星期；补货所需的时间 $L_1 = 2$ 星期；所有的需求 D_i 服从正态分布 $D_i \sim \text{Normal}(\bar{D}_i, \delta_i^2)$ ，或表示为 $D_i = \bar{D}_i \pm \delta_i$ ；对中心仓库而言，他要预测未来 8 个星期 ($T_0 + L_0 = 8$ 周) 的需求量。分配到每个星期，市场的需求量为 $\bar{D}_i \pm \delta_i$ 。将所有的需求进行整合，对销售商而言，他 3 个星期 ($T_1 + L_1 = 3$) 的需求为：

$$D_{so} = \bar{D}_{so} \pm \delta_{so} = \bar{D}_1 + \bar{D}_2 + \bar{D}_3 \pm \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \delta_3^2} \quad (4.7)$$

而对中心仓库来讲，他 8 个星期 ($T_0 + L_0 = 8$) 的需求量为：

$$D_{so'} = \bar{D}_{so'} \pm \delta_{so'} = \bar{D}_1 + \bar{D}_2 + \dots + \bar{D}_8 \pm \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \dots + \delta_8^2} \quad (4.8)$$

六个销售商的总需求为：

$$D_{WH} = \bar{D}_{WH} \pm \delta_{WH} = \bar{D}_{so1} + \bar{D}_{so2} + \dots + \bar{D}_{so6} \pm \sqrt{\delta_{so1}^2 + \delta_{so2}^2 + \dots + \delta_{so6}^2} \quad (4.9)$$

在运输时间很稳定的情况下，销售商的订货数量为：

$$Q_{so} = \bar{D}_{so} + K * \delta_{so} - (IO_{so} + I_{(i-1)so} + I_{(i-2)so}) \quad (4.10)$$

中心仓库的订货数量为：

$$Q_{WH} = \bar{D}_{WH} + K * \delta_{WH} + D_{AVG} - (IO_{WH} + I_{(i-1)WH}) \quad (4.11)$$

K 为根据设定的客户服务水平查正态分布表所得的值； D_{AVG} 为为预防生产周期的不稳定而持有的安全库存。

4.2 正确选择库存管理和控制的对象

由于产品的种类在向着多样化的发展，所以库存的产品也是多样化的。这些产品中，有的是畅销的，也有的是滞销的；有的是价格昂贵的，也有的是价格便宜的；有的是体积大的，也有的是体积细小的。如果对这些产品采用完全相同的管理方法进行管理，显然是不合理的。如果我们能够对那些对供应链产生重要影响的产品进行重点管理的话（譬如那些价格昂贵的产品，那些进库出库频繁的产品），那么管理就会变得有效。ABC分析法（帕累托分析法）就是实施这种重点管理的有效方法之一。

4.2.1 80/20分析法^[23]

80/20分析法又被称为ABC分析法，它是一种内在的输入和输出、原因和结果、努力和回报的不平衡。它是由意大利的经济学家帕累托发现的。他在研究了19世纪英国所有人口和资产的分布后，发现存在着20%的人口拥有社会80%的财富的不平衡现象。其他的经济活动也存在类似情况。例如，20%的产品带来80%的收益；80%的消费者只能消费20%的产品；生产20%的产品占去了整个生产时间的80%；20%的物料占去了80%的全年需求；等等诸如此类的现象。见图4.5所示：

图片来源：“80/20Principle”，Richard Koch

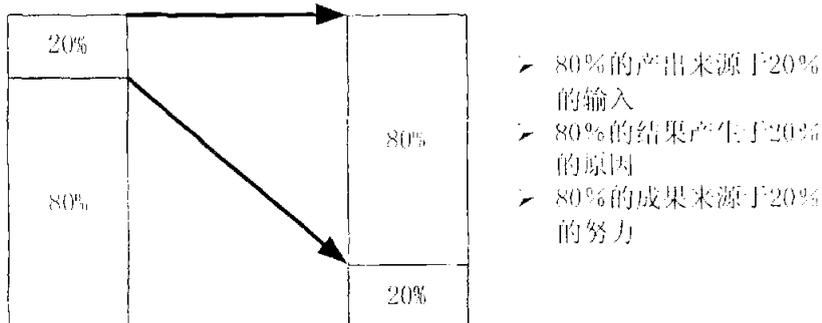


图 4.5 80/20 原理示意图

Fig4.5 80/20 Principle

80/20理论的重要意义在于“确定哪些地方是可以获得最大的利益，哪些地方不是那么的重要。”即是通过该理论的运用，可以将主要的精力放在具有对全局影响最大的少数目标上，以最小的努力获得最大的成果。

80/20理论在社会的经济活动中被广泛的运用在如下几个方面：

①战略规划。在规划的时候，如果没有运用80/20理论，将会导致花太多的时间为太多的人做事。“这个理论可以评估你的商业的下一步发展”。

②质量控制。微小的质量因素会极大的影响产品的质量。如果修正了影响质量因素最关键的20%，那么将会获得80%的回报，80%的用户的抱怨将会消失。

③降低成本。降低成本是一项费时又费力的工作。但是如果将主要的精力放在最重要的 20% 的领域, 那么这项工作就会比较容易和高效一些。

④市场开发。市场的开发应该将注意力放在已有产品的重要的 20% 上, 这将会产生 80% 的效益。

⑤销售。集中注意力在那些 20% 的产品和 20% 的消费者可以获得 80% 的收益。

⑥信息技术。80% 的利益来源于 20% 的关键系统。大多数的软件系统会花 80% 的时间来执行 20% 的软件功能。

⑦决策和分析。80% 的数据和分析是在 20% 的时间内获得和完成的。

⑧库存管理。大约 80% 的产品只占整个库存产品的 20% 的体积或价值。

⑨项目管理。项目的 80% 的效益来源于 20% 的项目活动。

⑩谈判。20% 的谈判内容包含了 80% 的争论; 80% 的一致是在 20% 的时间内完成的。

4.2.2 如何在库存管理中应用 80/20 分析法

将 ABC 分析法应用到混合多层供应链的库存管理上, 可以有不同的管理和计算方法, 即可以根据库存产品的价格进行分类, 也可以根据库存产品的进出频率, 还可以根据库存产品的体积等等。具体到实际应用中, 需要考虑产品的各个因素对库存管理的影响力, 然后再确定对库存管理应该针对哪类因素进行 ABC 分析。一般来说, 因为仓库产品的价格对库存成本有比较大的影响; 另外销售产品的数量也同样对库存成本有重要的影响。所以, 在应用 ABC 分析法在库存管理中时, 常常将两者结合起来考虑, 例如用销售率 (Sales Rate) 来进行分析。这种计算方法将产品的价格和产品的数量都进行了考虑, 因此得出的结果应该也是比较客观的。销售率的计算公式如下:

$$\text{销售率}_i = \text{销售产品}_i \text{的数量} * \text{产品}_i \text{的价格} / \text{总的销售金额} \quad (4.12)$$

将每一类产品的销售数量乘上该产品的价格, 除以总的销售金额, 将得到的结果由高到低依次排序, 找出 $\sum_{i=1}^n$ 销售率_i 等于 0.8 的点以及其对应的产品, 即是说, 这些产品占到了销售总量的 80%, 这类产品归为 A 类。从 0.8 到 0.95 之间的点归为 B 类, 这类产品占到了销售总量的 15%。下面图 4.6 是以库存产品的销售率为例, 利用 ABC 分类所作出的分类图形。为了验证 ABC 分类结果的正确性, 还可以根据历史的数据, 做出不同的产品的历史库存量图, 观察库存量最高的产品是否属于 A 类的区域, 如果不属于, 那么就重新检查分类的方法, 附带考虑其他的因素, 可以采取对不同的因素给予不同的权重等方法。

从该图形可以清楚的看出有 60 多种产品是属于 A 类, 这 60 多种产品的销售额占总销售额的 80%; 另外还有 60 多种产品属于 B 类, 这些产品又占总销售额的

15%。从得出的结果，可以看出只要是有针对性的控制好了这 80% 到 95% 的产品，公司的库存管理会有很大的提高。

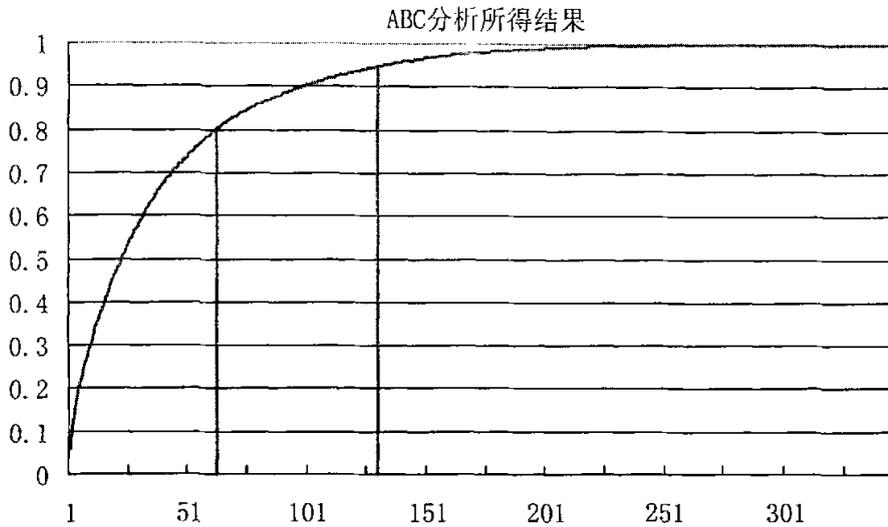


图 4.6 ABC 分析方法结果举例
Fig 4.6 ABC Analysis Result (one example)

4.3 中心仓库的风险分担 (Risk Pooling)

中心仓库可以降低库存，减少成本最重要的原因就是它可以将供应链上的需求进行风险分担。在某一时刻，供应链上的各个环节所拥有的需求是不平衡的，某个环节可能对某种特定的产品需求量大一些，而对另外的产品又需求的比较少；但是在其他环节有可能情况就刚好相反。这样，通过中心仓库，可以将供应链上的整个需求和库存水平结合起来，通过集成，风险分担，将这些风险平衡，从而降低整个供应链上的风险，在供应链上就体现在从整体的角度来看，供应链上的总成本降低了。

图 4.7 是没有中心仓库时，整个供应链的库存水平计算， Z 为根据客户服务水平查正态分布表所得的值。

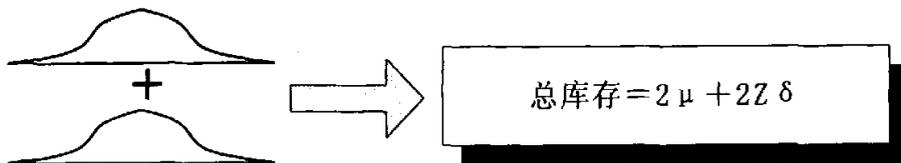


图 4.7 无中心仓库时的库存状况
Fig 4.7 Decentralized Inventory Statuses

当建立了中心仓库，供应链上的库存水平就可以进行整合，在和图 4.7 同样的环境下，供应链的库存水平计算如图 4.8 所示。

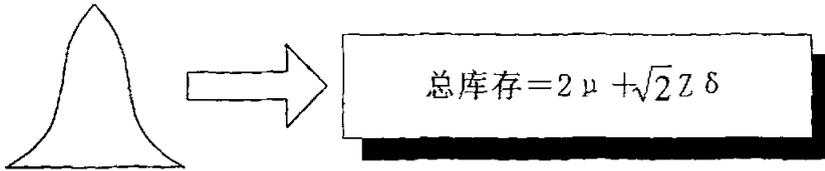


图 4.8 中心仓库的风险分担
Fig 4.8 Centralized Inventory Risk pooling

总库存水平减少了 $(2 - \sqrt{2})Z\delta$ 个单位。

下面举例说明中心仓库是怎样进行风险分担的。

假定产品 A 的价格为 RMB3500 元，销售公司 1 和销售公司 2 的他们的目标服务水平是 95%，假定两个销售公司的需求都服从正态分布 $D_1 = 600 \pm 120$ ， $D_2 = 600 \pm 120$ ，有两个生产商来满足需求。在没有中心仓库的情况下，销售公司所需的产品直接有生产地运输过来。按照图 4.7 提供的公式，整个供应链的需求就为： $2 * 600 + 2 * 1.6 * 120 = 1584$

当在需求和服务水平都不变的情况下，如果设立了中心仓库，销售公司的需求订单直接由中心仓库来满足。整个供应链的需求就可以如图 4.8 一样进行整合：供应链的需求为： $2 * 600 + 1.41 * 1.6 * 120 = 1472$

根据上面的结果，计算出库存水平降低了 $(1584 - 1472) / 1584 = 7\%$ ，可以节省资金 $(1584 - 1472) * 3600 = 112 * 3600 = \text{RMB}401,200$ 。从上面的分析我们可以看出中心仓库确实可以帮助进行风险分担，降低整个供应链上的库存水平，节省资金。

4.3.1 利用半折法来确定中心化的产品

中心仓库存在很多的好处，特别是对那些需求变化很大、价格比较高的产品采用中心仓库来管理有特别良好的效果。但是，中心仓库也存在它的不足，对那些需求稳定，价格低廉的产品，它可能会增加运输的费用。所以，我们不能一概而论的将所有的产品都放入中心仓库。特别是对复杂的混合多层结构的供应链，由于该类型供应链上的产品种类繁多，需求变化大，我们在利用中心仓库的时候就尤其要小心，不能一概而论全部放入中心仓库。我们需要确定哪些产品可以放入中心仓库，而哪些不可以。尽量利用中心仓库和中心控制来取得最大的经济效益。从理论上讲，需求变化大、价格高、体积小的产品应该放入中心仓库。为了有一个量化的评价标准，本文提出了产品中心化率（Centralized Ratio, CR）的概念方法，帮助确定产品的存放位置。

具体方法为：针对每一家销售公司，计算每一件产品的中心化率，公式如下：

$$CR_i = \frac{\text{产品}i\text{的单位成本} * \text{产品}i\text{的波动}}{\text{产品}i\text{的单位体积}} \quad (4.13)$$

产品 i 的波动为产品 i 的均值乘以产品 i 可能的变化率。将所有产品的 CR 值从高到低排列，利用半折法 (1/2 rule) 来求解最优方案。即先假定一半的产品放入中心仓库，计算库存费用和全部成本。

$$\sum_{\text{所有产品}} \text{产品}i\text{的平均库存} * \text{产品}i\text{的价格} * \text{利息收入} \quad (4.14)$$

接着再考虑将剩余的 1/2 的产品的一半放入中心仓库，计算成本，进行成本比较，重复以上的方法，直至成本降至最低点。则在此点以上的产品都应该被放入中心仓库。见示意图 4.9

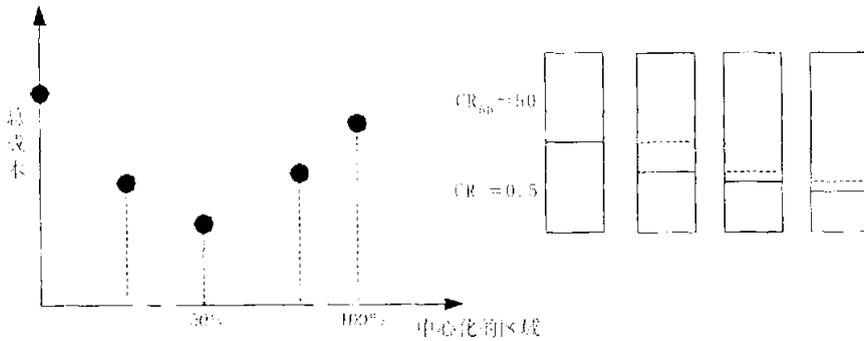


图 4.9 半折法计算示意图

Fig 4.9 How to use 1/2 rule to determine the centralized products

4.4 库存管理的信息控制策略

由于市场需求的变化和供应链的一些不确定性，供应链上的生产商、产品配送商以及销售商为了应对这些不确定性，满足客户的需求，一般都会按照自己的市场预测保留有一定的安全库存，增加弹性。但是由于生产商、配送商和销售商之间的信息不畅通，而且没有统一的规划，各自的安全库存都是独立制定的，造成了虽然库存量大但是应变能力仍然不足的现象，从而导致了库存水平比较高、库存管理却不理想，整个供应链的成本的增加了，客户的满意度却降低了。同时由于混合多层供应链长度的增加，市场的不确定性加剧，而且各个环节都是单独的制定订货信息，这些现象的存在导致了牛鞭效应更加的明显。针对这类问题，中心控制系统就应运而生。中心控制的功能是将供应链上的所有的信息集中控制，统一调配，在信息共享的环境下，系统的应变能力得到极大的提升：将中心仓库

和中心控制系统结合起来，把供应链上的货物集中存储、统一管理、统一调配，这样，不同地区的需求可以有互补的作用，增加了系统的弹性，降低库存、减少反应时间、将牛鞭效应尽量减少到最小、提高客户的满意度。

图 4.10 简单的描绘了中心控制系统和中心仓库的工作原理。供应链上的任何环节的任何信息都会通过电子网络传递到中心控制系统，经过中心控制系统的整合，中心控制系统会发出各个环节的订单、安全库存等信息。随着 IT 技术的发展，信息的传递变得更加快捷、更加方便、更加准确。这就给中心控制系统创造了条件，使中心控制系统更容易的实现。

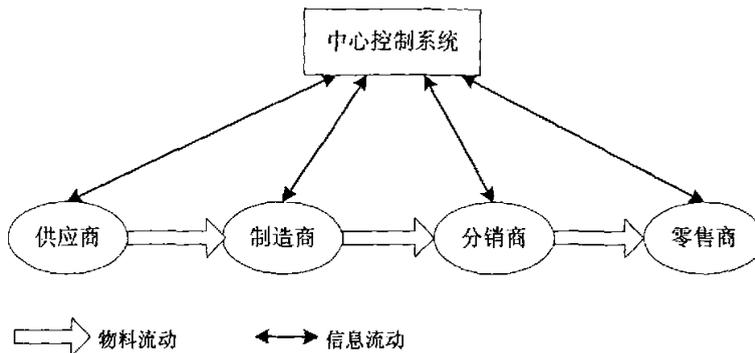


图 4.10 中心控制的供应链模型
Fig 4.10 Centralized control model

4.5 基于 Arena 仿真的供应链库存管理

正如前文所述，单纯利用数学模型很难综合考虑各个方面的控制方法对整个系统的影响；而且混合多层供应链固有的复杂性也限制了数学模型的有效运用。对于这种复杂、动态、不确定性的问题，一般采用仿真技术。本文利用在工业界得到广泛运用的 Arena 模拟供应链中的库存管理方案，包括仓库地址和数量、仓库的订货量、库存控制方法等，并测试该方案在不同的环境下的表现，以选择最佳的库存管理方案。

4.5.1 仿真技术

仿真可定义为：在全部时间内，通过对系统的动态模型性能的观测来求解问题的技术^[24]。随着计算机科学的不断发展，仿真技术已经成为分析、研究各种复杂系统的重要工具，它广泛的应用于工程领域和非工程领域。从 90 年代以来，仿真技术的运用已经达到了前所未有的深度和广度。

仿真技术和其他的工程技术相比较，具有以下优点：1)它可以解决数学方法不能解决的问题。2)它可以通过模拟运行，分析出系统的优劣，有效的降低实践

成本,节约了时间。3) 它的研究范围相当的广泛,可以是静态的和动态的,也可以是持续的和间断的,还可以是确定性的和随机的。

供应链系统是企业生产的一个重要组成部分,供应链管理的合理化是提高企业生产效率、降低成本的最重要的方法之一。它的复杂性和多变性使得仿真技术成为其最佳的研究工具。因此对供应链系统仿真的研究,日益受到人们的重视。它的捕捉不确定性和复杂性的能力非常适用于本文的研究问题。

当前,有不少的用于研究的仿真系统,其中最出名的仿真系统之一是 Rockwell 公司的 Arena。她在全球范围内得到了广泛的应用。她主要应用于非连续事件的系统分析。她可以分析整个系统的流程,数据以及活跃度。在各行各业 Arena 都有杰出的表现,譬如在供应链领域,UPS 将飞机装卸货的时间由几小时缩短到几十分钟;在制造领域,图文制造每年节省一百万美金的开支,同时服务质量还得到了提高;在客户服务领域,美国的大陆航空通过 Arena 的运用,使员工资源的分配效率提高了 40%。

鉴于 Arena 在供应链领域的广泛应用和其突出的表现,本文利用 Arena 模拟整个供应链系统中的不同环节,包括生产、运输、库存、销售等,并测试该供应链在不同的规划方案下的表现,以选择最佳的规划方案来减低总成本、减少库存水平、同时提高服务水平。

4.5.2 仿真技术应用的基本流程

仿真技术在实际应用中的基本流程如下图 4.11 所示:

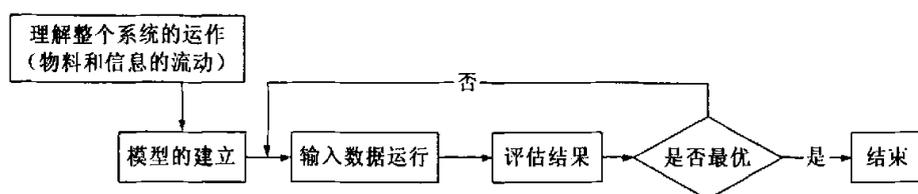


图 4.11 仿真技术应用的基本流程
Fig 4.11 the Process of Simulation Implementation

从图 4.11 我们可以看出,仿真研究的第一步就是要理解整个系统的运作,分析系统的信息流和物流过程。在对系统理解的基础上,画出 IDEF 图,根据 IDEF 图建立仿真模型。图 4.12 是一条建有中心仓库和 PSI(Purchase Sales Inventory)中心控制的供应链结构示意图。根据这个示意图,可以将该供应链上的每一部分分别作 IDEF 图,譬如生产过程、运行过程、配货过程、库存处理、销售等,以理解每个过程的信息流向、物流流向、输入输出以及所包括的逻辑结构等等。只有在深刻理解了现有的系统运作的基础上,才能建立一个能够正确反应系统运作的仿真模型。

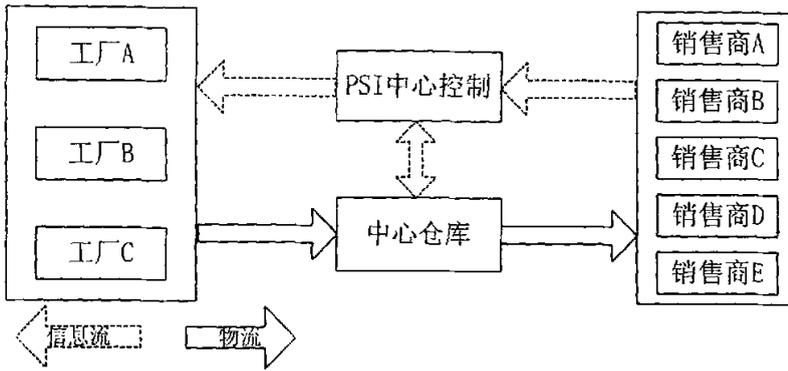


图 4.12 建有中心仓库和中心控制系统的供应链
Fig 4.12 A Supply chain with Central PSI and Central Warehouse

4.5.3 仿真模型的建立和验证

根据对现有系统流程的分析以及对未来系统的展望，就可以开始建立仿真模型。在建立模型的过程中，大部分的模块可以根据 IDEF 图直接建模，而还有一些问题比较复杂，需要根据本文前述进行调整。表 4.1 是仿真模型涉及到的一些基本的概念。

表 4.1 仿真模型的一些基本概念
Table 4.1 Basic Concept of Simulation

概念	含义
实体 Entities	仿真模型中的被创造的动态物体，它代表系统的状态
属性 Attributes	代表实体的属性特征
变量 Variables	反应系统特征的信息
资源 Resources	代表每一个实体所能享受的服务
队列 Queues	实体用来等待的地方

图 4.13 为 Arena 仿真模型部分示例。

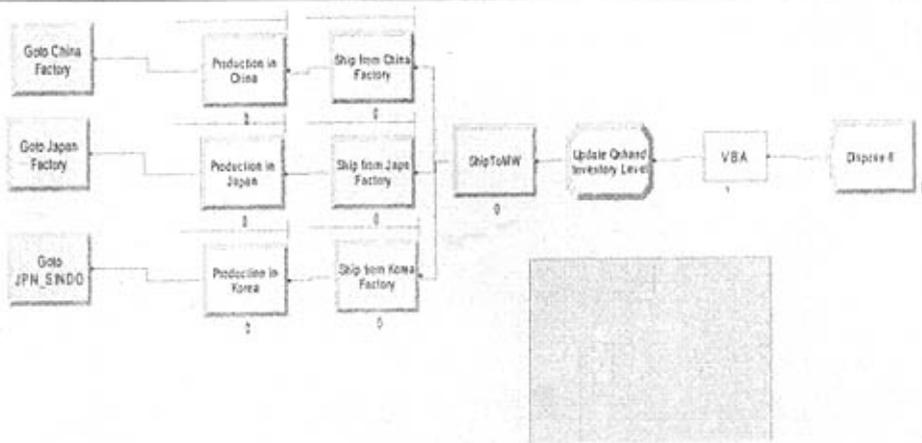


Fig 4.13 Simulation Model in Arena

根据供应链现有的运行逻辑，建立仿真模型。在应用仿真模型之前，还需要对仿真模型的正确性进行评估。验证仿真模型的方法是输入历史数据，并按照历史的运行模式来运行模型。将模型模拟的结果和历史记录相比较，两者相吻合，则说明模型的结构是正确的。如果与历史数据不吻合，那么就需要重新调整模型，直到正确为止。仿真模型的示意图如图 4.14 所示。

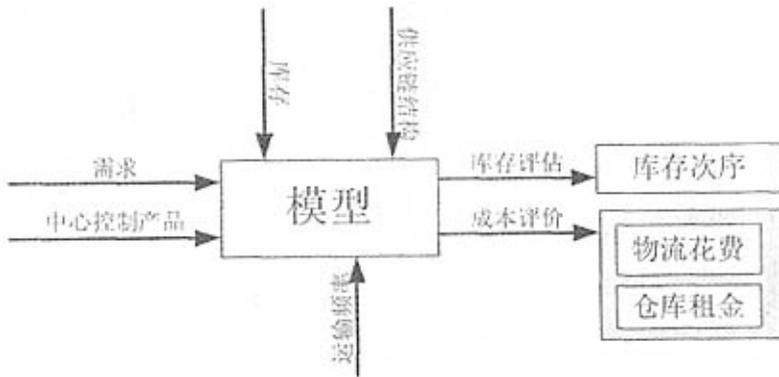


图 4.14 仿真模型示意图
Fig 4.14 Simulation Model

4.5.4 数据的输入

验证了模型的正确性之后，就可以进行数据的输入和模型的运行。在数据输入之前，需要对收集的数据进行处理。有时候可能会发现，数据量非常的大。

例如，假定该公司有 400 种产品，有六个销售商，模型建立的情况如图 4.15 所示，那么需要模拟的情况一共有 $4^6 * 2 * 2^2 * 400$ 种，数据量非常的大。根据本文在第 4.2 节讲述的 80/20 原理，可以只需要模拟 400 种产品中的 20% 即 80 中产品就能够比较准确的反应出实际的情况了。那么上例需要模拟的情形就减少为 $4^6 * 2 * 2^2 * 80$ 种，这样既可以减少问题的复杂程度而又不会影响模拟结果的准确程度。

			销售商订货策略			
			每日一次	每周一次	两周一次	每月一次
中心仓库	A地	订货策略	两周一次			
		每月一次				
	B地	订货策略	两周一次			
		每月一次				

图 4.15 中心仓库和销售商的订货策略
Fig 4.15 Order Strategy in Central Warehouse and Sales Company

在模型运行之前，需要对模型的运行进行条件假设模型。一般来说包括以下一些方面：

- ①订货策略。包括各个销售公司和中心仓库（如果有的话）。可以根据实际的需要假定是每天一次、每周一次、两周一次还是每月一次等；
- ②如果涉及到仓库的建立，则需要假定仓库的位置、数量等；
- ③产品生产时间的分布状况，一般来说是服从正态分布；
- ④需求变化之间的关系以及货物的运输时间等等

4.5.5 模型的运行

将处理好的数据输入 Arena 模型，系统会根据设定的参数和假定的条件，模拟实际中的运行状况，自动运行之后，Arena 会直接给出不同的假定条件下的模拟结果。这些结果是一些统计的信息，包括供应链上每个时刻的库存数据量、产品的生产周期、产品的运输时间等。图 4.16 为 Arena 运行的结果图。

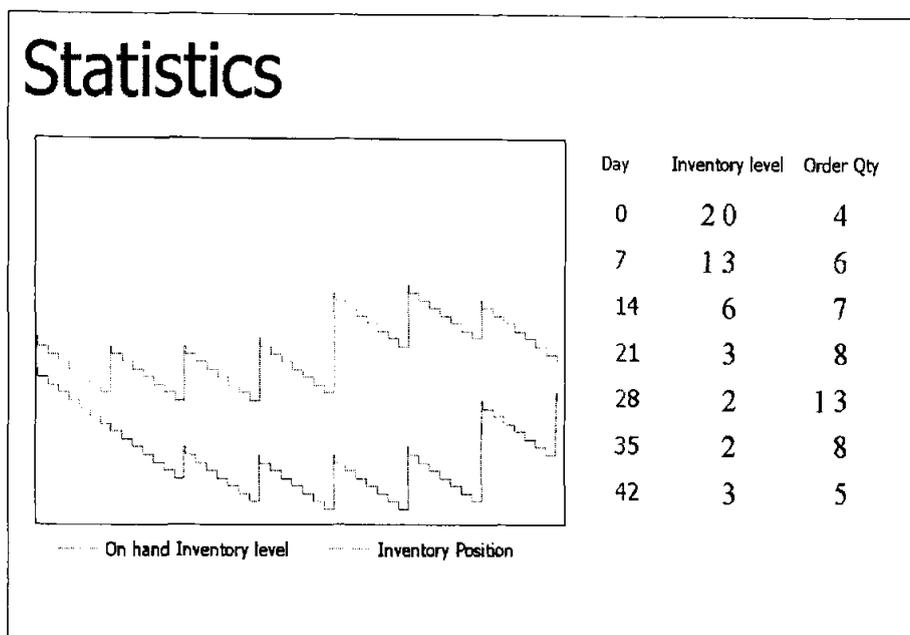


图 4.16 Arena 运行的结果图

Fig.4.16 the Result of the Arena

4.5.6 结果评估

根据模型运行的结果，还需要进行计算一些评价指标，这些评价指标包括：库存周转率（Inventory Turn）、成本评估等两个指标，下面分别叙述。

- ①库存周转率是反应库存量大小的一个指标，他的物理意义是指在停止补货

的情况下，仓库所拥有的库存能够满足多少天的需求。周转率越小，则说明仓库量越少。如果一个仓库的订货周期和运输周期为三个月，那么它的计算公式如下：

$$\text{库存周转率} = \frac{\sum_{\text{所有的产品}} (\text{产品}i\text{的现有库存} + \text{产品}i\text{在运输过程中的数量}) * \text{产品}i\text{的价格}}{\sum_{\text{所有的产品}} \text{产品}i\text{过去3个月的销售量的均值} * \text{产品}i\text{的价格}} \quad (4.15)$$

②成本评估。成本评估包括物流成本（运输成本、口岸成本等）和仓库租用成本两种。其中运输成本主要是指船运的成本，这要考虑所采用的货柜大小，一次运输的数量；口岸成本主要是指上下货的运作费用，这些都可以通过历史数据取得。在考虑仓库租用的成本的时候，必须以一年中的最高库存量作为参考标准。

4.5.7 敏感性分析

由于供应链规划是一个长期性的决策，而模型中主要采用的是历史数据，因此要考虑所采用的方案在商业环境发生变化后的长期表现。所以在计算了评价参数之后，不能仅仅根据计算的结果就得出结论，还需要进行敏感性分析。敏感性分析是指在估计到未来的市场变化或者生产状况的改变等情况下，分析这些变化对系统或模型产生的影响程度。敏感度越高的，说明模型的抗应变能力越弱。在进行敏感性分析的基础之上，综合分析的结果，选出最优的方案模型。如果分析出的结果不满足预先的期望，可以按照流程重新调整模型，再运行，直至达到满意为止。

4.6 本章小结：

本章根据第三章所分析的混合多层供应链库存管理的现状，提出了混合多层供应链库存管理的方法，包括如何确定库存控制策略、中心仓库的订货量的确定、哪些产品应该放入中心仓库等，同时详细的讲述了 ABC 分析法在库存管理中的运用。并且还讨论了如何运用仿真技术来验证和模拟库存控制策略的正确与否。

5 混合多层供应链库存管理的应用研究

5.1 公司背景及现有问题:

某公司是一家国际性的办公自动化设备生产厂家。该公司的生产工厂主要分布在中国、日本、韩国、台湾、英格兰、美国以及荷兰等国家和地区。在亚太地区，该公司拥有 9 家销售公司和 21 家配送商，主要分布在澳大利亚、新西兰、越南、台湾、泰国、香港。

目前，该公司在亚太地区的现有供应链模式如图 5.1 所示：

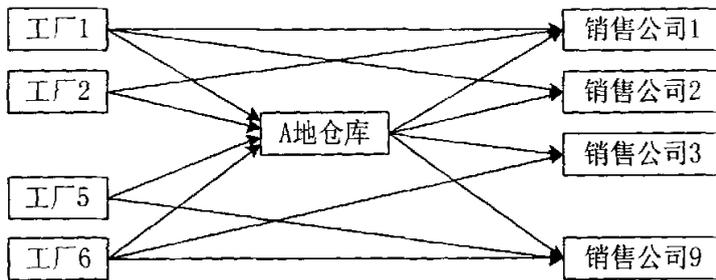


图 5.1 现有供应链模式
Fig 5.1 Current Practice of Supply Chain

目前，该公司目前的供应链运作模式是：首先由他的销售公司根据自己的销售情况，提前两个月预测自己的订货量。公司将需求信息收集后传递给工厂。工厂接到需求信息之后，开始按照预测的需求量进行生产。生产周期大概为一个月。在产品生产基本完成后，即一个月之后，销售公司可以根据市场的需要修正一次自己的订单。工厂在接到修正后的订单后，按新的订单的数量发货。大多数的产品（约 85%）是直接的从生产地运输到销售公司和配送商。只有 15% 的产品运输到香港的仓库储存用于协调未来的需求。每个销售公司都独立的拥有自己的产品仓库，销售公司自己制定安全库存量，拥有自己认为是合理的库存。

在这样一种供应链模式下，总公司无法控制整个供应链上的库存量，同时也无法控制销售公司的安全库存。而且由于各个销售公司的库存量制定是独立的，需求信息也没有共享，相互之间没有库存的协调和互补，因此库存量总是高居不下，结果公司每年在成品库存的花费占到了公司年总利润的 25%。

因此，公司期望通过改变供应链的结构和库存控制策略即采用中心仓库和中心控制相结合的方法来降低整条供应链上的库存量。各个销售公司的订货量不再由销售公司自己制定，而是销售公司提出一个预测的参考数据交由中心控制系统。

中心控制系统根据这些预测的数据进行整合，确定各个销售公司的需求，然后按照需求向销售公司补货。中心仓库再根据已有的库存数量和产品情况以及对未来需求的预测向工厂发出订单，补充库存。在中心控制系统的运作之下，销售公司的需求得到了整合；而且由于中心仓库的作用，各个销售公司的需求可以得到互补，从而降低整个供应链上的库存量。

虽然说公司预测到中心仓库的设立会降低公司供应链上的库存，但是另一方面中心仓库的使用会带来运输成本的增加。所以，如何正确的设立中心仓库的数量和位置、中心仓库的库存控制策略、哪些产品应该放入中心仓库等问题直接关系到供应链的运营成本。在这样的情况下，我们运用研究的成果，结合仿真技术，模拟公司在不同的情况下的供应链的运作效果，帮助公司作出决策。

5.2 模型的构建

根据公司的生产地和销售地地特点，我们结合考虑了运输费用以及反应时间和客户满意度的一些影响因素，我们提出了三种中心仓库的结构模型。图 5.2 为

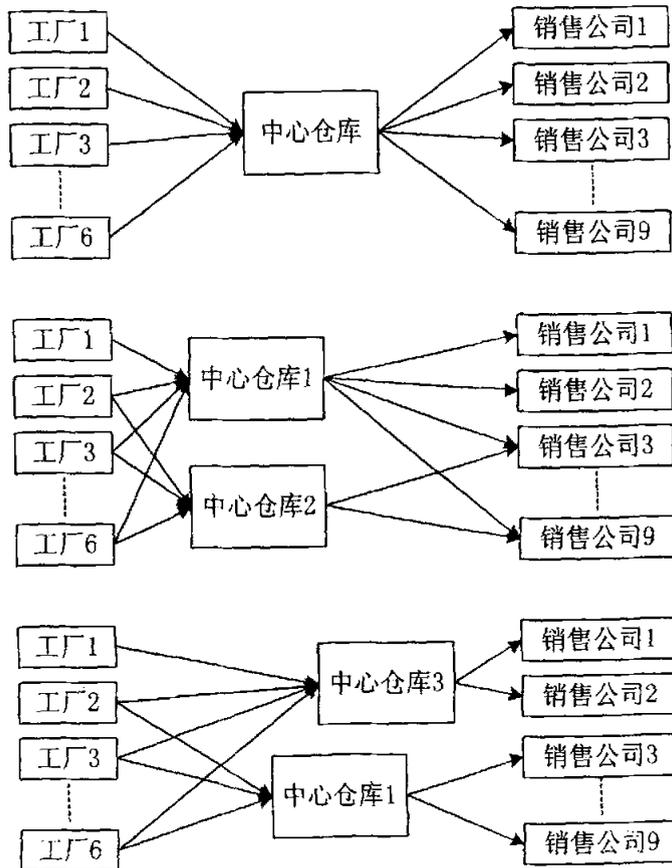


图 5.2 三种可能实现的供应链结构模型
 Fig 5.2 Three Types of To-be-model

这三种模型的结构简图。

下面分别对模型进行阐述。

模型 1 是选择建立一个中心仓库，各个销售公司预测自己的销售量，并将预测的数据发给中心仓库的控制系统，中心仓库在对这些销售预测数据进行整合之后决定每一家销售公司的补货量，再将这些货物运输到销售公司，满足公司的需求。接下来，中心仓库再根据自己的库存情况和对未来需求的预测向工厂发出订单进行补货。工厂再按照中心仓库的订单进行生产，再运输到中心仓库储存。在整个过程中绝大部分的产品都是通过中心仓库之后再运输到销售公司，但是在该模型下仍然存在有少量的产品可能会由于运输成本的原因，直接运输到销售公司。在下面的篇幅中，会计算出哪些产品需要放入中心仓库，而哪些可以直接运输。

由于该公司的四个工厂中，两两在地域上比较接近，所以提出了模型 2，即在选择在靠近工厂的地方分别建立两个中心仓库。中心仓库 1 存储来自工厂 1 和工厂 2 的产品；中心仓库 2 接收来自工厂 3 和工厂 4 的产品。两个中心仓库共同拥有一个中心控制系统。同样的，由中心控制系统整合销售公司的预测需求再决定销售公司的补货量，而且两个中心仓库的补货量也同样由中心控制系统来决定。

第三个模型同样是建立两个中心仓库和一个中心控制系统。与模型二不同的是：模型三的中心仓库的位置考虑的是仓库和销售公司的距离。中心仓库 1 靠近销售公司 1 和销售公司 2，专门负责销售公司 1 和销售公司 2 的产品存储和补给。中心仓库 2 则负责其他的销售公司的产品需求。

5.3 仿真模型的建立：

在建立了以上三种供应链的结构模型之后，我们需要利用 Arena 建立仿真模型。建立仿真模型的关键首先是要理清供应链的逻辑，包括销售公司是怎样进行订货的、工厂对订单是如何反应的等流程。再根据供应链的逻辑建立仿真模型。我们根据公司现有的运作方式，作出现有方式的逻辑图。图 5.3 为公司现行的逻辑图。

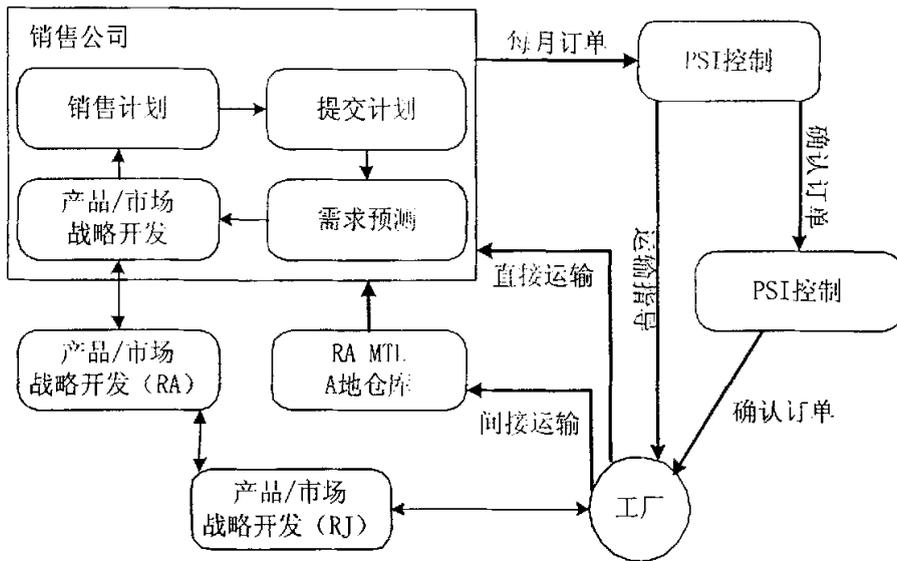


图 5.3 公司现行的供应链逻辑图
Fig 5.3 Current Logic of Supply Chain

为了验证所建模型的逻辑正确性，我们输入了历史数据，并将模型按照现有的运行方式来运行，将结果与现有数据进行对比，验证逻辑的正确性。经过验证，我们就可以根据前文所提的三种供应链结构对模型分别进行调整，输入数据运行。

5.4 数据的处理和输入：

我们收集了公司一年的销售数据，但是由于数据量很大，我们为了简化数据处理的复杂程度，同时又不降低模型运行的精确度，我们采用了 80/20 的理论对数据进行处理，所有属于 A 类的产品有大约 50 种。此外，我们还约定了销售公司每周的需求为一年的总需求除以 52 个星期。产品的服务等级为 97%。

模型需要的数据包括中心控制的产品种类，市场的需求情况、运输的频率、生产的周期等。其中，中心控制的产品种类可以根据前文所述的产品中心化率的公式来进行计算；市场的需求情况、运输的频率和生产的周期都是根据历史的数据来取得。

数据处理完成之后，我们根据不同的订货策略，对模型的运行条件进行了假设，图 5.4 为假设条件的示意图。

- ✓ 销售公司和分销商的订货政策为：每天一次、每周一次、两周一次和每月一次；中心仓库的订货政策为：每周一次、两周一次和每月一次。
- ✓ 假定所有的需求变化都是独立的
- ✓ 如果订货需求没有被满足则认为是失去了订单

- ✓ 货物的运输时间是确定的
- ✓ 产品的生产制造时间服从正态分布

我们将这些假设条件分别输入模型，运行模型，得出结果。

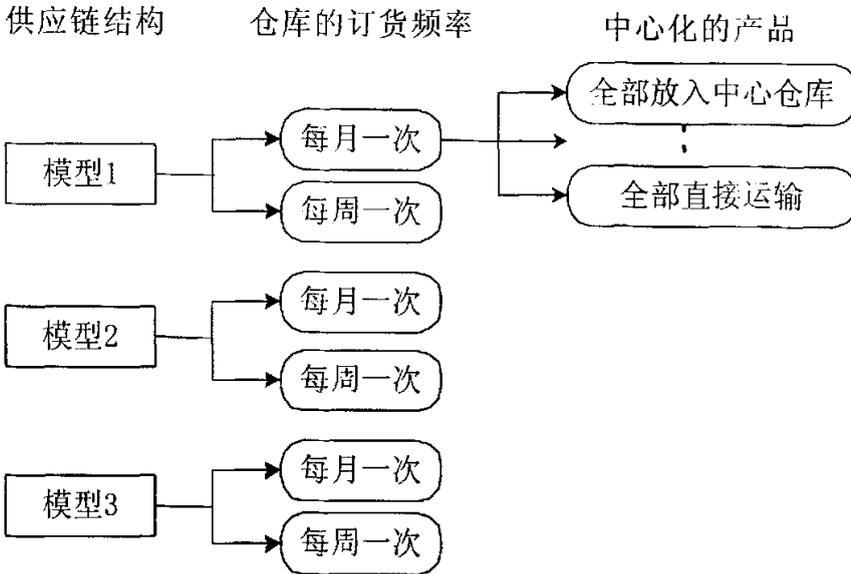
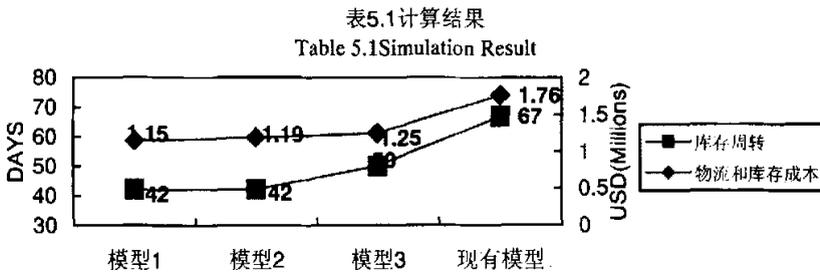


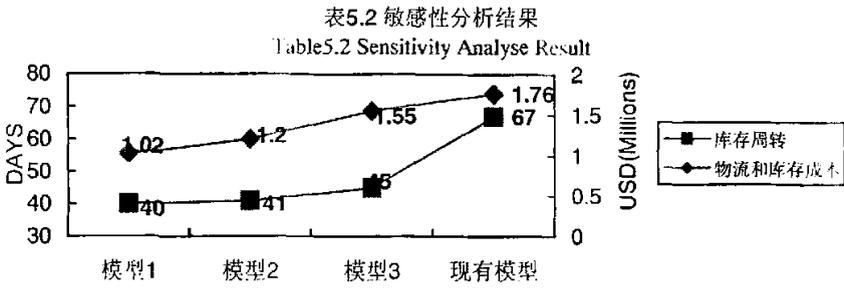
图 5.4 模型运行的假设条件
Fig 5.4 Hypothesis of the Model

5.5 结果对比和敏感性分析

将模型运行的结果分别进行运算，算出库存周转率及物流和库存成本，得出下面的表 5.1:



由于该公司的长远战略是要将工厂逐步的迁移到生产成本便宜的地方，以降低成本。所以，需要评价这三种模型在这种趋势下的长远表现。因此，本文还进行了敏感性分析。得出的结果如下表 5.2 所示:



对比上面的两表，很容易的分析出模型 2 和模型 3 都较模型 1 更加敏感；而且模型 1 的库存周转率以及物流和库存成本都比模型 2 和模型 3 表现好，所以最后得出：模型 1 的库存管理方法是一个最优的方案。

在该方案下，订货频率为每周一次，中心控制和分散控制相结合，公司的库存周转率将会减低 34.4%，每个月的平均库存量将会降低 31%，公司每年在库存上会节省上百万美金。

5.6 本章小结

本章详细的介绍如何运用仿真技术对某公司的供应链库存管理进行规划设计。运用本文所介绍的中心控制策略、周期订货模型、80/20 分析法和仿真技术成功的进行了供应链库存管理的规划设计，为公司带来了一定的经济效应。

6 结论

混合多层供应链是一种结构复杂，但是却普遍存在的供应链类型。如何对该类型的供应链实施有效的库存管理对降低供应链的成本、减少反应时间、提高客户满意度有着决定性的影响。本文以混合多层供应链的库存管理为研究对象，进行了一系列的理论和应用研究，取得了以下的一些成果：

①研究了混合多层供应链的库存控制策略。本文结合混合多层供应链的特点在分析了不同的库存控制策略对供应链影响的优劣后，提出了中心控制和分散控制相结合的控制手段，通过中心化率的计算来确定对不同的产品的控制策略。

②建立了中心仓库的风险分担机制。本文根据混合多层供应链需求变化多端的特点，提出了利用中心仓库来进行风险分担的机制，有效的降低了整个供应链上的库存水平。

③利用仿真技术对供应链的规划设计进行模拟。提出了如何基于仿真软件 Arena 建立供应链库存管理的仿真平台。详细的讨论了模型的建立、数据的输入和结果的评估等问题。通过仿真技术的应用，可以提前比较准确的预测到未来模型的运行效果，有效的降低了决策的风险。

④验证了研究成果。把本文的研究成果应用到了某公司的供应链规划设计中，取得了良好的效果。

社会生产力的不断发展，使供应链的结构越来越复杂；另一方面科学技术的不断进步，又产生了更多更先进的技术来对供应链进行管理。本文只是针对混合多层供应链中的库存管理的研究作了部分的工作。但由于供应链涉及的范围很广，供应链中的不同的企业和不同的环节之间的协作是十分的复杂的，企业内部和企业之间的信息系统的集成也存在很多的问题。因此，对于供应链中不同企业如何协作，信息系统如何集成等还有待进一步的探讨及研究。

致 谢

三年的硕士研究生学习经历使我的人生开始真正走向成熟，即将离开这美丽的校园，离开学校里的老师、同学和朋友，不由得恋恋不舍。回想三年来的成长过程，心中充满了感激。

首先，衷心的感谢我的导师王旭教授。在我攻读研究生期间自始至终都得到了王老师热情、耐心、细致的指导和关怀。我今天能够取得的成绩都包含了王老师的心血和汗水，在此向她表示最衷心的感谢！回首近三年的研究生生活，王老师高尚的品德、博大的胸怀、渊博的学识、严谨的治学深深的影响和启迪着我。王老师不仅在学习和工作中指导我，还在生活上给了我许多帮助，更教会了我如何为人处事，这将使我终生受益，对我的一生产生重要的影响。

感谢香港科技大学的曾明哲教授给我机会接受他的指导和帮助，曾教授以渊博的知识、长者的风范、精益求精的态度激励我不断追求；同时感谢香港科技大学先进制造研究所的同学和同事给予的帮助。

感谢倪霖老师、林云老师给予我耐心的辅导和帮助。感谢我们这个温暖团结的集体和这个集体里面的师兄、师弟、师姐、师妹们。刘志成、张丽平、付德强、吴琼、何芳珍、周建皎、周密等等不能赘述，是他们创造了融洽和谐的学习气氛，同时给予了我热情和无私的帮助，使我的论文能够顺利的完成。

最后，我要深深的感谢我的父母和我的先生，正是他们对我学业的支持、理解和鼓励，给予我无尽的关爱和动力，才使我得以顺利的完成学业！

谨以此文献给所有关心、支持和帮助我的人们！

魏书云

二〇〇五年四月于重庆

参考文献

- [1] 张思复, 易树平, 段鹰. 现代工业工程学. 重庆大学机械工程学院工业工程系教材
- [2] 刘伟. 供应链管理. 四川人民出版社. 2002.9
- [3] 周城. 物流信息化解决方案. 四川人民出版社. 2002.9
- [4] 阎子刚, 吕亚君, 供应链管理. 机械工业出版社. 2003.2
- [5] Christopher.M.: *Logistics and Supply Chain Management—Strategies for Reducing Cost and Improving Service (2e)*. 2003.1
- [6] Manish Govil and Jean-Marie Proth: *Supply Chain Design and Management-Strategic and Tactical Perspectives*. 2002
- [7] (美)Ronald H.Ballou 企业物流管理—供应链的规划、组织和控制机械工业出版社. 2003.3
- [8] 刘志学. 现代物流手册. 中国物资出版社. 2002. 4
- [9] <http://www.56zg.com/list.asp?id=15714>
- [10] George Q. Huang, Jason S. K. Lau, and K. L. Mark: *Impacts of Sharing Production Information on Supply Chain Dynamics: A Review of the Literature*
- [11] Tom Andel, *Manage Inventory. Own Information*. *Transportation & Distribution* (May 1996): 54ff
- [12] Donald J. Bowersox, David J. Closs, M. Bixby Cooper: *Supply Chain Logistics Management*. 2002
- [13] Manish Govil, Jean-Marie Proth: *Supply chain design and management-Strategic and tactical perspectives [M]*. First Edition. 2002.
- [14] 张宗成. 现代物流信息化. 中山大学出版社. 2001.12
- [15] Hau L. Lee, V. Padmanabhan, Seungjin Whang: *The Bullwhip Effect in Supply Chains*, *Sloan Management Review*; Spring 1997; 38, 3; ABI/INFORM Global
- [16] P. Sellers: *The Dumbest Marketing Ploy*. *Fortune*. Volume 126, 5 October 1992. pp.88-93
- [17] Wallace J.Hopp, Mark L.Spearman: *Factory physics-Foundations of manufacturing management [M]*. Second Edition. 2002.
- [18] 赵刚. 物流信息系统. 四川人民出版社. 2002.9
- [19] 宋华, 胡左浩. 现代物流与供应链管理. 经济管理出版社. 2000. 5
- [20] 现代物流管理课题组. 物流库存管理. 2002. 10
- [21] Zhensen Huang, Aryya Gangopadhyay: *A simulation study of supply chain management to measure the impact of information sharing [J]*. *20 Information Resources Management Journal*;

- July-Sept 2004; 17(3):20-31
- [22] Hau L.Lee, Corey Billington: Material management in decentralizes supply chains [J].*Operation Research*; Sep-Oct 1993;(41):835-847
- [23] http://www.1000ventures.com/business_guide/crosscuttings/80-20principle.html
- [24] W. David Kelton, Randall P. Sadowski, Deborah A. Sadowski: *Simulation with Arena* [M].Second Edition. 2002.
- [25] 吕炳泉, 叶悉平, 黎腾芳. 现代生产企业物流运作管理. 湖南科学技术出版社. 2003. 5
- [26] (美)Donald J. Bowersox, David J. Closs, M. Bixby Cooper: 供应链物流管理. 机械工业出版社. 2004.1
- [27] Donald J.Bowersox, David J.Closs, M.Bixby Cooper. *Supply chain logistics management* [M]. First Edition. 2002.
- [28] William C.Copacino: *Supply Chain Management-the Basics and Beyond*. 1997
- [29] 黄小原. 供应链模型与优化. 科学出版社. 2004
- [30] 刁柏青. 物流与供应链系统规划与设计. 清华大学出版社. 2003
- [31] 张福荣. 物流管理. 五南图书出版公司. 2000
- [32] Joan Magretta.: *Fast global, and entrepreneurial: supply chain management, Hong Kong style.*(Victor Fung)(includes related article on Li and Fung Ltd. history)(Interview). *Harvard Business Review*, Sept-Oct 1998, V76 n5 p102 (13)
- [33] CHEUNG, K. L., and LEE, H. L.: *The inventory benefit of shipment coordination and stock rebalancing in a supply chain*, *Management Science*, 48, 300-306, 2002
- [34] 刘永胜,马燕. 供应链库存协调战略研究. 2003 年 20 期
- [35] 华长生. 供应链管理库存的模式研究. 江苏商论. 2003 年 11 期
- [36] Dobrila Petrovic. *Simulation of supply chain behaviour and performance in an uncertain environment*. *Production Economics* 71 (2001) 429-438
- [37] Jason Myers, Evelyn W.Richards. *Supporting wood supply chain decisions with simulation for a mill in northwestern BC*. *INFOR*, Aug 2003, 41,3
- [38] Felix T.S Chan, Nelson K H Tang, H.C.W Lau. *A simulation approach in supply chain management*. *Integrated Manufacturing Systems*. 2002, 13, 2
- [39] Dick Friedman. *Rethinking inventory management*. *Supply house times*. Jun 1999, Vol.42
- [40] Zvi Drezner, Carlton Scott, Jing-Sheng Song. *The central warehouse location problem revisited*. *IMA journal of management mathematics*, Otc 2003, 14, 4

附 录

硕士期间参与的工作:

- ◇ 重庆市物流企业现状调查, 负责前期的问卷设计
- ◇ 理光公司亚太区供应链规划设计, 负责前期的调研, 模型的建立, 结论的分析等。
- ◇ 溢达集团纱线和棉花的配型研究, 负责棉花的分类, 纱线的配型等

研究生期间发表的论文:

- ◇ WANG Xu, WEI Shuyun. A Simulation Study on Supply Chain Design. Proceedings of IE&EM'2005