

邵举平 马天云 董绍华/著

# 不确定环境下 供应链一体化 物流计划模型与算法

BUQUEDING HUANJINGXIA  
GONGYINGLIAN YITIHUA WULIU  
JIHUA MOXING YU SUANFA



经济科学出版社  
Economic Science Press

邵举平 马天云 董绍华/著

# 不确定环境下 供应链一体化 物流计划模型与算法

BUQUEDING HUANJINGXIA  
GONGYINGLIAN YITIHUA WULIU  
JIHUA MOXING YU SUANFA



经济科学出版社  
Economic Science Press

**图书在版编目(CIP)数据**

不确定环境下供应链一体化物流计划模型与算法/  
邵举平,马天云,董绍华著. —北京:经济科学出版社,  
2010. 8

ISBN 978 - 7 - 5058 - 9831 - 8

I. ①不… II. ①邵…②马…③董… III. ①物资供  
应—物资管理—研究 IV. ①F252

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 164751 号

**不确定环境下供应链一体化物流计划模型与算法**

邵举平 马天云 董绍华 著

经济科学出版社出版、发行 新华书店经销

社址:北京市海淀区阜成路甲 28 号 邮编:100142

总编部电话:88191217 发行部电话:88191540

网址:www. esp. com. cn

电子邮件:esp@ esp. com. cn

北京市三木印刷有限公司印装

787×1092 16 开 11.25 印张 200000 字

2010 年 8 月第 1 版 2010 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 978 - 7 - 5058 - 9831 - 8 定价:30.00 元

(图书出现印装问题,本社负责调换)

(版权所有 翻印必究)

# 前 言

供应链物流计划是供应链管理的重要内容。供应链一体化物流计划优化主要研究在诸多约束条件下,如何合理安排供应链中各节点企业原材料或产成品的采购量、生产批量、库存数量及运输量,以便使计划期内供应链物流系统运作最优化的一类计划问题。在供应链运营实际中,存在着诸多不确定性因素对供应链物流计划产生影响,这些不确定性主要表现为参数的随机性、模糊随机性等。因此,制定供应链一体化物流计划时要充分考虑参数的不确定性。本书将在研究客户需求预测技术的基础上,研究并依次建立不确定环境下三级战略联盟型供应链、节点无限扩展的分散控制型供应链以及三级混合控制型供应链一体化物流计划决策的模型和算法。

很多情况下,供应链物流计划决策首先需要进行客户需求预测。考虑客户需求条件,在诸多假设的基础上,研究应用微分方程理论建立了客户需求动力方程模型来反映供应链物流系统中客户需求的变化规律,并给出了模型中参数的确定方法,讨论了预测模型误差的参数估计及假设检验方式。更进一步,为了提高预测精度和获取较理想的预测结果,研究应用模糊一致判断矩阵求解组合预测中的权值分配问题。针对三级战略联盟型供应链,研究应用随机期望值规划理论建立了产成品的市场价格和市场需求为随机变量的供应链物流计划模型,设计了混合智能算法来求解模型。考虑到决策者并不总是关心期望收益最大化,而是考虑在概率意义下如何使收益达到最优,针对节点无限扩展的分散控制型供应链,对供应链单元中上游企业原材料的市场供应价格和下游企业产成品的市场需求价格为随机变量的供应链物流计划问题,研究应用随机机会约束规划理论建立了机会约束下

的随机规划模型,以便表达在一定的置信水平下如何使决策目标达到最优,并设计了混合智能算法求解模型。针对三级混合控制型供应链,研究应用模糊随机规划理论建立了以客户需求为模糊随机变量的供应链物流计划模型,并设计了混合智能算法来求解。

本书的主要研究成果包括:(1)针对供应链物流计划制定中的客户需求预测问题,提出了客户需求预测动力方程模型,给出了组合预测中的权值分配方法,并用数值算例对预测模型和权值分配方法的正确性和可靠性进行了验证。(2)针对不确定环境下三级多产品战略联盟型供应链物流计划协调问题,提出了产成品的市场价格和市场需求随机环境下的三级多产品战略联盟型供应链采购—生产—库存—运输一体化物流计划随机期望值规划模型,设计了基于随机模拟的混合智能算法来求解模型,并通过数值算例证明了算法的有效性。(3)针对不确定环境下多级多产品分散控制型供应链物流计划协调问题,提出了供应链元的概念,在此基础上,研究提出了供应链节点企业之间供需价格随机环境下的多级多产品分散控制型供应链采购—生产—库存—运输一体化物流计划随机机会约束规划模型,设计了基于随机模拟的混合智能算法来求解模型,并通过数值算例证明了算法是有效的。(4)针对不确定环境下三级多产品混合控制型供应链物流计划协调问题,提出了客户需求模糊随机环境下的三级多产品混合控制型供应链采购—生产—库存—运输一体化物流计划模糊随机期望值规划模型,设计了基于模糊随机模拟、神经网络和遗传算法的混合智能算法来求解模型,并以数值算例验证了算法的有效性。

该著作从我开始有粗略的想法到最后付梓出版历时近6年时间(2005~2010年)。这期间,我国物流业也从铺天盖地的概念炒作逐步走向更加理性和务实的轨道,理性代替了盲从,务实代替了浮躁地炒作,专业相关群体对物流真正价值内涵的认知也得到了大幅度的提升。这种变化对该产业的健康发展以及高校物流教育水平的提高无疑是有很大的帮助的。从专业技术角度来看这种变化,我觉得它主要归功于很多优秀的学者和企业管理者所做的大量卓有成效的工作,从这个意义上讲,我是站在前人的肩膀上的,但遗憾地是我没有足够地

聪明、智慧看得更远。本书作为研究工作的重要组成部分,得到了山东省自然科学基金(Y2008H08、Y2007H04)、2009年山东省高等学校优秀骨干教师国际合作培养项目、山东省高等学校科技计划(J09LA17)、山东省软科学研究计划(2009RKB318)等项目的资助。

需要说明,尽管本书在供应链一体化物流计划优化方面做了一些工作,但这些工作还是那么粗浅,加之该研究目前还是基于一些实践数据的供应链管理基础理论研究,所建供应链一体化物流计划模型及其求解算法离我国目前的企业实践还有相当大的差距,特别是收集实践中比较成功的企业数据对模型进行验证有很大的难度,所以研究成果对实践的指导价值只能通过仿真的手段加以验证,如果本书的只言片语能对有心的读者产生哪怕一点点启发和共鸣,那对我而言就是最幸福的事了!

由于我的视野和学识水平所限,本书肯定会有诸多疏漏,敬请广大学者批评指正。

# 目 录

1.....

绪 论 .....	1
1.1 研究的意义 .....	1
1.2 研究的思路及内容结构安排 .....	4

2.....

文献综述 .....	7
2.1 供应链管理及其不确定性 .....	7
2.2 不确定性理论 .....	12
2.3 供应链计划研究现状及其特点 .....	16
2.4 智能算法 .....	23

3.....

客户需求预测动力方程模型及组合预测权值分配方法 .....	28
3.1 Logistic 和 Gompertz 增长曲线 .....	29
3.2 客户需求动力方程模型构建 .....	31
3.3 数值算例分析 .....	37
3.4 组合预测及其权重确定方法 .....	42
3.5 本章小结 .....	44

4.....

不确定环境下战略联盟型供应链物流协同计划 .....	46
4.1 随机期望值规划 .....	47
4.2 问题的描述与模型的构建 .....	50

4.3 混合智能算法设计 .....	59
4.4 数值算例与分析 .....	66
4.5 本章小结 .....	79

5 .....

不确定环境下分散控制型供应链物流计划优化 .....	81
5.1 随机机会约束规划 .....	82
5.2 问题的描述与模型的构建 .....	84
5.3 混合智能算法设计 .....	91
5.4 算例仿真及参数灵敏度分析 .....	97
5.5 本章小结 .....	125

6 .....

不确定环境下混合控制型供应链物流计划优化 .....	126
6.1 模糊随机规划 .....	127
6.2 问题描述与模型的构建 .....	128
6.3 混合智能算法设计 .....	136
6.4 数值算例与分析 .....	142
6.5 本章小结 .....	154

7 .....

结论及未来工作展望 .....	155
-----------------	-----

附录:主要符号清单 .....	159
-----------------	-----

参考文献 .....	160
------------	-----

致 谢 .....	171
-----------	-----





# 绪 论

## 1.1

### 研究的意义

这是一个迅速变革的时代<sup>[1]</sup>。以知识经济的兴起和经济全球化步伐加快为背景,企业内外部的经营环境和竞争环境发生了根本性的变化<sup>[2]</sup>。变化带来的是更高度的不确定性。显然,传统的管理模式已经显得过于迟缓、低效了,事实上,它正在被逐步淘汰,取而代之的是基于信息技术的新的管理理念和模式,这就是近年来得到了企业和研究者广泛关注和重视的供应链管理。供应链管理思想、方法的产生,是自彼得·德鲁克(Peter F. Drucker)先生创立管理学科以来,管理科学领域中最重要的基础理论,也是21世纪管理科学发展的前沿。

目前供应链管理思想和方法已在众多企业中得到了应用,并且取得了很大成就<sup>[3]</sup>。但是,供应链系统运行于庞大复杂的不确定环境中,没有科学的管理手段,很难取得成功。第一,因为供应链本身是一个复杂的网络系统,其设施在地理布局上很分散,很多情况下可能分布于全球。第二,供应链中的不同环节通常具有不同甚至相互冲突的目标,比如,供应商显然希望制造商能够保持稳定并大量的采购,同时交货时间可以灵活一些。不幸的是,尽管大多数制造商希望实施稳定长期的生产过程,但是他们更需要灵活性,以满足顾客不断变化的需求。因此,供应商的目标将与制造商对灵活性的期望有直接的冲突。事实上,由于生产决策的制定往往缺少关于顾客需求的准确信息,因此制造商

匹配供应和需求的能力取决于当需求信息到达时改变供应量的能力。类似的,制造商大批量生产的目标与仓库和配送中心降低库存的目标也存在冲突。更糟的是,降低库存水平的目标意味着运输成本的增加。第三,供应链是一个动态系统,会随着时间不断的发展变化。实际上,不仅是顾客需求和供应商能力会随时间变化,供应链关系也随着时间不断变化。例如顾客能力的增加,迫使制造商和供应商制造出各种各样高质量的产品,最终的趋势是生产定制产品。第四,影响供应链计划的系统各要素随时间变化也是一个重要的因素,供应链计划是供应链管理控制的重要领域之一,即使可以精确的获知需求,计划过程仍需要考虑由于季节波动、潮流、广告与促销、竞争者定价策略等所造成的影响,还要考虑需求和成本参数随时间的变化。这些随时间变化的参数,使确定能使系统成本最小化并满足顾客需求的有效供应链策略变得很难<sup>[4]</sup>。如何管理和控制这些不确定性因素,以便制定有效的供应链物流计划是本书讨论和研究的重点。

供应链系统中存在着各种各样的不确定性,其中以“长鞭效应(Bullwhip Effect)”现象最为典型,这种现象是影响供应链计划的主要原因之一。这方面的研究最早开始于1958年麻省理工学院(Massachusetts Institute of Technology)的弗瑞斯特(Forrester)的工作,他提出用工业动态性模型解决物料分拨和运输线路优化问题。通过一系列案例研究,弗瑞斯特(Forrester)指出:对于季节性商品,制造商觉察到的需求变化远远超过顾客的需求变化,他还注意到这种效应在供应链的每一级都会放大,这其实就是供应链中由于需求不确定所导致的需求信息失真放大现象<sup>[5]</sup>。与弗瑞斯特(Forrester)类似,布瑞比得戈(Buribidge)<sup>[6]</sup>对供应链中需求不确定产生的信息扭曲现象做了进一步研究。布南查德(Blanchard O. J.)<sup>[7]</sup>和韦斯特(West K. D.)<sup>[8]</sup>通过对实际数据的数值分析,从经济学角度指出工厂产品计划的变化大于销售量的变化。布林得(Blinder A. S.)<sup>[9]</sup>和克瑞恩(Krane S. D.)<sup>[10]</sup>研究指出,订货量随着向供应链上游移动有增大的趋势。1989年斯德曼(Sterman)<sup>[11]</sup>开发的“啤酒分销游戏(Beer Distribution Game)”吸引了许多研究者和业界人士继续研究“长鞭效应”现象。1997年斯坦福大学的李效良(Lee H.)等人对美国宝洁公司产品“尿不湿”的市场需求和订货策略进行研究时第一次提出“长鞭效应”的概念,系统的分析了长鞭效应的产生机理及其应对措施<sup>[12,13]</sup>。该项研究发现:“尿不湿”产品的零售数量是相当稳定的,没有哪一天或者哪一月的需求高于或低于其他时期。然而,分销商向工厂订货数量的变化程度比零售数量的波动要大得多,而且,宝洁公司向其供应商的订货量波动幅度更大。惠普、IBM等公

司也发现了同样的问题。事实上,1984年后,供应链中的这类不确定性对计划影响的研究<sup>[14-16]</sup>都是基于弗瑞斯特(Forrester)、布南查德(Blanchard O. J.)及布瑞比得戈(Buribidge)的工作。

因为不确定性的影响,供应链中匹配需求与供给是很困难的。菲舍(Fisher)等人<sup>[17,18]</sup>研究了不确定环境下供应与需求的匹配问题,也从供应链所生产和销售的产品视角,研究并提出不同类型产品和与之匹配的供应链类型。此后,研究不确定性对供应链的影响成为供应链管理的一个崭新的领域。

尽管不确定性对供应链计划的影响不能被完全消除,我们仍试图寻求各种途径以减少其影响。本书所研究的不确定环境下供应链物流计划优化问题,就是在充分考虑参数不确定条件下,探索供应链物流系统中诸多相关要素之间的有机关系(联系),如何合理安排供应链中各节点企业原材料或产品的采购量、生产批量、库存量及运输量,以期使计划期内供应链物流系统运作最优化的模型和算法问题。具体而言,本书主要就供应链物流计划制定中以下三方面的问题进行讨论和研究。

首先是供应链物流系统客户需求预测技术与方法问题。根据客户需求特性,在诸多假设的基础上,本书认为客户需求自身存在一个动力,而这个动力是有一定的规律可循的,研究用客户需求动力方程来反映这个规律;更进一步,为了提高供应链客户需求预测的精度从而获得较理想的预测结果,研究应用模糊一致关系中模糊一致判断矩阵来求解组合预测中各预测方法的权值分配问题。其次是参数不确定条件下供应链物流计划优化模型的构建问题。针对战略联盟型、分散控制型和混合控制型供应链,考虑参数如价格、需求等的随机性、模糊随机性,本书应用不确定规划理论和方法,探寻供应链物流计划制定中系统各要素之间的关系,并建立优化模型。最后是人工智能算法问题。为了求解复杂的优化决策系统模型,传统的计算方法在大多数情况下已经不再适用。同时,由于计算机科学的高速发展,人工的智能也日益涌现,如遗传算法、进化规划、遗传规划、禁忌搜索、模拟退火、神经网络等都属于人工智能算法范畴,它们可用于求解更复杂的优化问题。尤其是将他们有机结合后,各尽所长,从而形成更有效、更强大的混合智能算法。本书结合随机模拟、模糊模拟及模糊随机模拟、神经网络和遗传算法,设计混合智能算法来求解不确定供应链物流计划模型。

总体上看,进行不确定环境下供应链物流计划优化方面的研究,具有理论和实践两方面的意义。其理论意义在于研究可以从量化的角度对以往供应链计划研究成果起到一定的补充和完善作用。其实践意义在于研究所得成果可以为企

业在不确定环境下制定供应链物流计划提供一定程度的实际指导。

## 1.2

### 研究的思路及内容结构安排

根据供应链管理控制方式,可以把供应链分为三种:战略联盟型供应链、分散控制型供应链和混合控制型供应链。本书将在研究供应链客户需求预测技术的基础上,研究并依次建立战略联盟型供应链物流计划随机期望值模型、分散控制型供应链物流计划机会约束规划模型和混合控制型供应链物流计划模糊随机期望值规划模型,同时设计混合智能算法求解这些模型。本书的技术路线如图 1-1 所示。

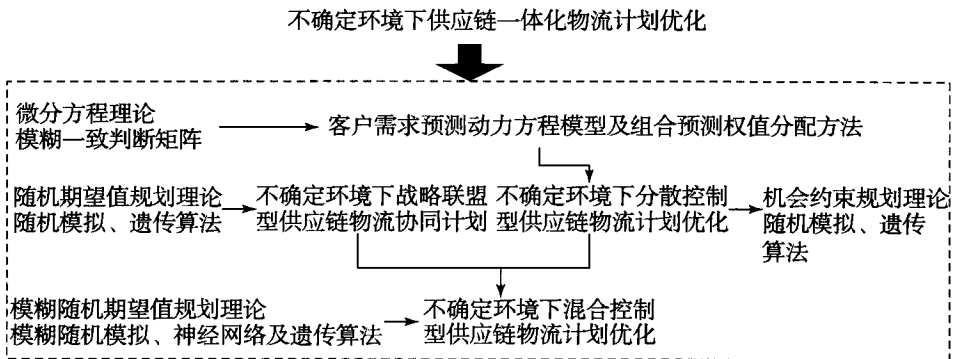


图 1-1 研究的技术路线

本书的内容结构如图 1-2 所示。研究内容结构安排如下:

第 1 章简要阐述了本书研究的范围、研究的目的以及本研究的设想、研究方法、预期结果和研究意义。同时指明了本书研究的思路及内容结构安排。

第 2 章介绍了与本书研究相关的领域中一些重要文献及其评述,重点介绍了一些和本研究相关的思想及其研究所依据的理论和技術方法,具体包括供应链管理及其不确定性、随机理论、模糊理论、模糊随机理论、供应链计划研究动向及特点、神经网络算法和遗传算法。

第 3 章针对供应链物流计划制定中的客户需求预测问题,提出了客户需求预测动力方程模型,并给出了模型中参数的确定方式,讨论了预测模型误差的参数估计及假设检验方法。更进一步,为了提高客户需求预测的精度从而获得较理想的预测结果,本书研究探讨了组合预测中的权值分配方法。最后用数值算

例对预测模型和权值分配方法的正确性和可靠性进行了验证。

第4章针对不确定环境下三级多产品战略联盟型供应链物流计划协调问题,提出了产成品市场价格和市场需求随机环境下的三级多产品战略联盟型供应链采购—生产—库存—运输一体化物流计划随机期望值规划模型,设计了基于随机模拟的混合智能算法来求解模型,并给出了算法的详细步骤,最后设计算例对模型及算法进行仿真验证。

第5章针对不确定环境下多级多产品分散控制型供应链物流计划协调问题,提出了供应链元的概念,在此基础上,研究提出了供应链节点企业之间供需价格随机环境下的多级多产品分散控制型供应链采购—生产—库存—运输一体化物流计划随机机会约束规划模型,设计了基于随机模拟的混合智能算法来求解模型,并给出了算法的详细步骤,最后设计算例对模型及算法进行仿真验证。

第6章针对不确定环境下三级多产品混合控制型供应链物流计划协调问题,提出了客户需求模糊随机环境下的三级多产品混合控制型供应链采购—生产—库存—运输一体化物流计划模糊随机期望值规划模型,设计了基于模糊随机模拟、神经网络和遗传算法的混合智能算法来求解模型,给出了算法的详细步骤,最后设计了一个数值例子来对模型及算法的有效性进行仿真验证。

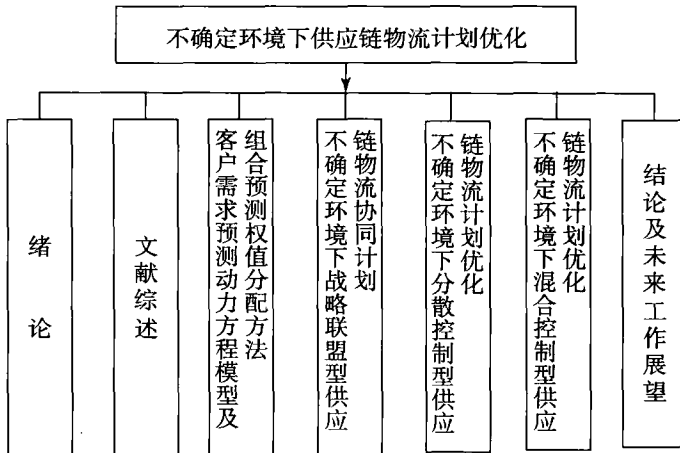


图 1-2 本书的内容结构

第7章结论部分对本书的研究工作进行了总结,简要地介绍了本书的主要

研究成果,并展望了不确定环境下供应链物流计划优化问题未来研究的发展趋势。

本书的研究工作得到了山东省自然科学基金(Y2008H08、Y2007H04)、2009年山东省高等学校优秀骨干教师国际合作培养项目、山东省高等学校科技计划(J09LA17)、山东省软科学研究计划(2009RKB318)等的资助。

# 2



## 文献综述

### 2.1

### 供应链管理及其不确定性

#### 2.1.1 供应链管理

供应链管理理论和方法是当代企业管理模式变革的结果,也是管理学领域中最重要基础理论和本世纪管理科学发展的前沿。超普若(Chopra)<sup>[19]</sup>等人2004年在《管理科学》(*Management Science*)撰文指出:“运作与供应链是管理科学当前最为重要的主题,运作和供应链大大推进了管理科学理论与应用。”这是对供应链管理理论及其实践意义的高度肯定。

“供应链”一词最早出自1987年侯力汉(Houlihan)<sup>[20]</sup>的文章中。1989年思迪文思(Stevens)<sup>[21]</sup>给出了完整的供应链定义:“供应链是一个系统,包括通过前向物流和反向信息流连接在一起的原材料供应商、生产工厂、配送服务和顾客。”此后,众多研究人员从不同的角度对供应链进行界定。例如:萨文德(Saunders)<sup>[22]</sup>认为:“供应链是一个从初始原材料供应商开始,经过涉及对原材料的提炼和加工、制造、组装、分销、零售等过程的、从企业到最终消费者的整个交换链。”伊尔瑞恩(Ellram)<sup>[23]</sup>则认为:“供应链是从原材料供应到最终交付产品或服务过程中,通过各种流连接并相互影响的企业构成的网络。”李效良(Lee H.)等人<sup>[24,25]</sup>定义供应链为:“是产品生产和流通过程中所涉及的原材料供应商、生

产厂商、批发商、零售商以及最终消费者组成的网络,即由物料获取、物料加工并将成品送到用户手中这一过程所涉及的企业所组成的一个网络。”克瑞思托弗(Christopher)<sup>[26]</sup>从流程和活动的角度把供应链定义为:“供应链是通过上下游连接在一起的组织网络,这些组织参与以产品和服务的形式送达最终消费者手中而产生价值的流程和活动。”大卫辛奇-利维(David Simchi - Levi)等人<sup>[4]</sup>认为:供应链也被称为物流网络(Logistics network),组成供应链的各节点常常具有相互冲突的目标,供应链是随时间变化的动态系统等。马士华等人<sup>[27]</sup>给出的供应链定义为:“供应链是围绕企业核心产品,通过对企业信息流、物流、资金流的控制,使企业的生产从采购原材料开始,直到最终产品整个过程顺利而流畅的进行,最后由销售网络把产品送到消费者手中的将供应商、分销商、零售商,直到最终用户连成一个整体的功能网链结构模式。”图 2-1 是某供应链网络示例图。

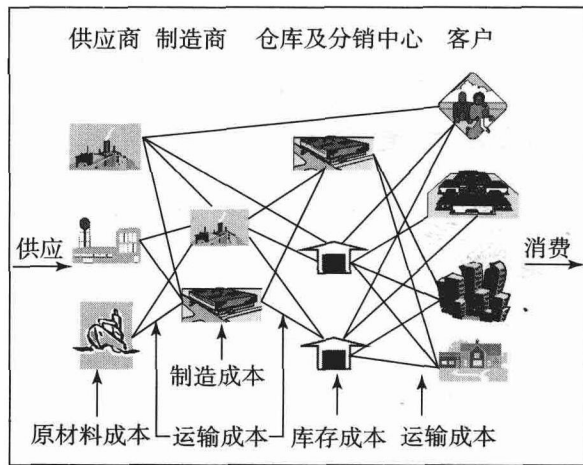
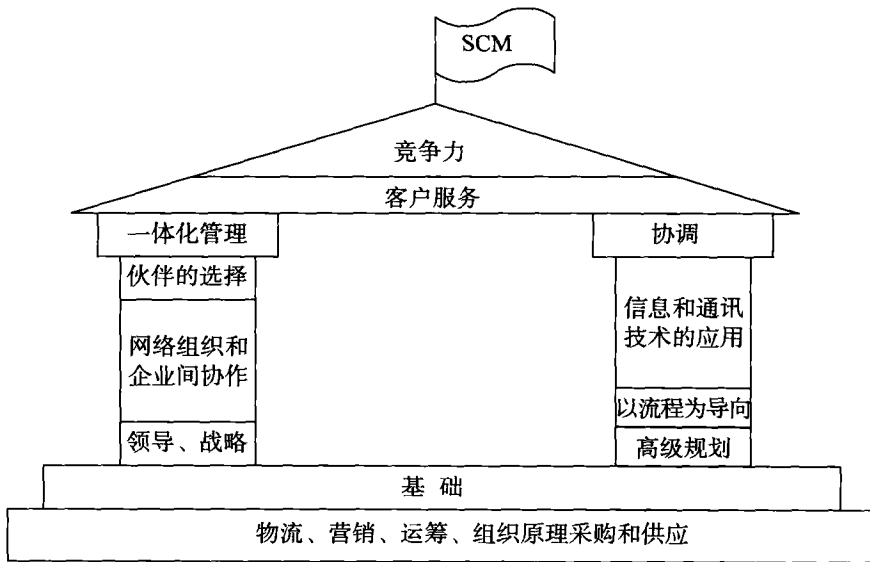


图 2-1 供应链或物流网络示例

哈特马特·斯塔德勒(Hartmut Stadler)<sup>[28]</sup>等给出的供应链管理框架结构(见图 2-2)很有意义。图 2-2 展示出了供应链管理的许多侧面。屋顶代表供应链管理的最终目标(提升竞争力)和实现的主要手段(客户服务)。支撑屋顶的立柱有两根,代表供应链管理的两个重要组成部分,即企业网络的一体化管理和信息、物流、资金流的协调。这两个主体需要某种程度的创新管理,它们又各自被分解成几个组成部分。首先,构建供应链需要选择合适的伙伴;其次,为使法律上各自独立的企业形成有效率的、成功的网络组织,实践中需要推行企业间的协作;最后,对企业间供应链来讲,各参与方协调一致的、新型的领导战略是非常重要的。



图 2-2 供应链管理(SCM)大厦<sup>[28]</sup>

哈特马特·斯塔德勒(Hartmut Stadler)指出,供应链的协调管理可以通过采用最新的信息和通讯技术有效进行,这样,早先手工完成的工作就可以自动完成了,特别是可以对两个实体之间的衔接活动重新审查,重复的活动就可以减少了。因此,以流程为导向常常伴随着流程重组,接着是新流程的标准化。为履行客户订单,企业需要准备物料、人员、设备和工具。虽然企业的生产计划、配送计划及采购计划已经使用了很多年,但这些计划各自独立,且使用范围上有很大的局限性。协调不同工厂、不同独立实体之间的计划对供应链管理而言是一项巨大挑战,而这项工作是由高级规划系统(Advanced Planning System, APS)来承担<sup>[28]</sup>。还有其他一些研究人员也从不同角度对供应链管理的概念进行了界定,比如塔恩(Tan)等<sup>[29]</sup>,贝瑞(Berry D.)<sup>[30]</sup>,考普克扎克(Kopczak L. R.)<sup>[31]</sup>,马士华<sup>[27]</sup>等。

综上所述,供应链管理就是用于有效集成供应商、制造商、仓库和零售店的一系列方式、方法。通过这些方法,使生产出来的产品能以恰当的数量,在恰当的时间,被送往恰当的地点,从而实现在满足服务水平要求的同时,使系统的成本最小化。

近几年来,国内外有关供应链管理的著作有许多,例如:国外的克瑞思托弗(Christopher)<sup>[26]</sup>,大卫·辛奇—利维<sup>[4]</sup>、萨尼尔·超普若(Sunil Chopra)<sup>[32]</sup>等等;国内的马士华<sup>[27]</sup>、黄小原<sup>[33,34]</sup>、张涛<sup>[35]</sup>等。这些著作不管是从哪个层面或