

文章编号:1000-6788(2001)06-0026-08

供应链建模与优化

陈 剑, 蔡连侨

(清华大学经济管理学院, 北京 100084)

摘要: 首先介绍了供应链的概念及研究内容;接着对供应链优化模型进行总结,包括排队论、对策论、网络流和策略评价模型,并重点讨论了一些典型的混合整数规划(Mixed Integer Programming, MIP)模型;在此基础上,对供应链优化模型框架进行分析,并讨论了供应链模型应该考虑的目标和约束等因素;最后,在对现有的研究工作进行分析的基础上,提出了今后进一步研究的方向。

关键词: 供应链;建模;优化

中图分类号: F406.2;O221

文献标识码: A

Modeling and Optimizing in Supply Chain

CHEN Jian, CAI Lian-qiao

(School of Economics and Management, Tsinghua University, Beijing 100084)

Abstract In this paper, a review of supply chain optimization models is presented. Firstly, the concept of a supply chain is introduced, and relevant issues are discussed. Then the supply chain optimization models, including queueing theoretic models, game theoretic models, network flow models, and option valuation models, are studied. In particular, some typical mixed integer programming (MIP) models are analyzed. A framework of the supply chain optimization model is presented, too. And the relevant factors of the supply chain are discussed. Finally, the future studies in this area, e. g., supply chain re-engineering and optimizing, are explored.

Keywords supply chain; modeling; optimization

1 供应链简介

随着科学技术的发展和管理观念的创新,企业管理水平不断提高。在发达国家中,生产企业内部的管理趋于完善,继续提高管理水平虽能带来一定的效益,但更大的机会来自于与供应商和销售商的相互协调和配合。另一方面,为了增强竞争优势,企业纷纷将生产经营活动集中在自己的核心业务上,而将其他活动交给其他企业处理。在这种环境下,密切供应商、制造商和销售商之间的关系,共同合作将有可能极大地增强合作者的竞争优势,从而获得更大的利益。因此,生产企业不仅关心内部的生产管理,同时也重视与供应商和销售商的相互协调。许多研究人员在研究生产企业管理的同时,也考虑了供应商和销售商的情况,把供应商、制造商和销售商作为一个系统来考虑,即所谓的供应链。近些年来,关于供应链的研究是世界各国研究人员的一个重要研究热点。

供应链一般定义为由生产设备、厂房等组成的网络,它实现材料采购、产品制造及产品销售的功能^[1]。供应链主要包括原材料及半成品采购、生产组织与计划、原材料和半成品及产成品库存、原材料和产品运输、产品销售等环节。各个企业的供应链可能各不相同。有的企业的供应链可能非常简单;而有的企业的供应链可能非常复杂,包含多层结构,由物流、信息流等构成非常复杂的网络流。企业内部的供应链如图 1 所

示,仅包括材料采购、产品生产和产品销售三个组成部分,相对比较简单;而图 2 所示的是一个复杂一些的跨企业的供应链示意图^[2].

对供应链的研究主要集中在供应链的设计、分析、协调、管理、优化和重组等方面. 供应链的协调主要包括供应商和制造商之间的协调、制造商和销售商之间的协调以及供应商、制造商和销售商内部各种活动之间的协调,如制造企业中生产与库存的协调等. 供应链的优化主要包括:生产成本、服务水平、适应性的权衡;决定工厂和仓库的数量、分布、能力等;供应商的选择;运输渠道和方式的选择;决定原材料采购量、产量及运输安排;生产技术、生产方式等的选择;库存管理等^[3].

本文试图对供应链优化模型进行较为全面的分析和总结,进而提出进一步研究的方向. 其余内容安排如下:第二节介绍一些典型的供应链优化模型;第三节介绍了一种供应链模型框架,并讨论了供应链模型考虑的目标和约束;最后,在第四节中,提出了以后进一步研究的方向.

2 供应链模型的发展

近年来,关于供应链的研究是个热门课题,所发展的供应链模型也有不少. 从供应链模型的发展来看,经历了从简单模型到复杂模型、从单阶段模型到多阶段模型、从单产品模型到多产品模型、从国家模型到国际模型、从确定型模型到随机型模型的发展过程.

1) 供应链模型的分类

按供应链涉及的区域不同划分,供应链模型可以分为国家模型和国际(全球)模型. 国家供应链模型是指考虑的供应链涉及的供应商、制造商和销售商都集中在一个国家内;全球供应链模型考虑了供应商、制造商或销售商分布在多个国家. 与国家模型相比,全球模型复杂得多,需要考虑更多的因素,如:关税、汇率、贸易壁垒、汇兑成本、进出口退税等因素.

按分析和研究的方法不同分类,供应链优化模型可以分为排队论模型(Queuing Theoretic Models)、对策论模型(Game Theoretic Models)、网络流模型(Network Flow Models)和策略评价模型(Option Valuation Models)等.

排队论模型主要用于研究生产企业在平稳生产状态下的情况,如各个设备或车间等的输出率等,并对资源分配进行优化,如合理安排各个设备的加工任务、合理安排人员的加工任务等,以达到提高生产效率的目标. 例如 Karmarkar 等人(1983 年)^[4]、Zipkin(1986 年)^[5]和 Karmarkar(1987 年)^[6]等分别利用 M/G/1 排队系统研究了生产批量和生产准备时间的关系.

对策论模型主要用于研究供应商与制造商之间、制造商与销售商之间的相互协调,如研究制造商和销售商之间的协调,确定制造商和销售商各自的对策,确定产品价格、订货时间等,使他们都能获得比原来更好的收益.

网络流模型主要用于研究供应链中成员的选择、布局以及供应链的协调问题^[7]. 网络提供了一种描述供应链结构的方法,用网络流模型来表示一个供应链有其独特的优点,它能很方便地表示供应链中各种活动的先后次序.

有不少人利用网络流模型研究供应链中成员的选择问题. 如 Hodder 和 Jucker(1982,1985)^[8, 9]利用网络流模型研究全球供应链中成员的选择问题. Verter 和 Dincer(1992,1995)^[10, 11]对研究布局的网络流模型进行了回顾和总结. 一般,用混合整数规划来描述这种网络流模型,目标是使各种成本费用的总和最小,而用整数变量表示供应链中成员的选择等,用连续变量表示供应链中各成员的能力等,用约束表示供应链中



图 1

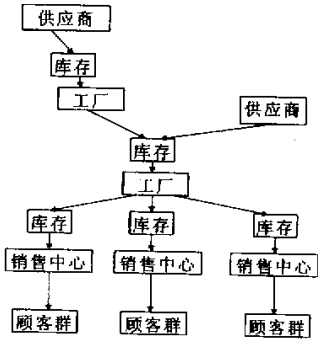


图 2 复杂的跨企业供应链示意图

的物流平衡关系和供需关系等^[7].

因为合理的供应链协调能降低生产和销售成本,提高效益,所以企业很重视供应链的协调. 用网络流模型研究供应链的协调,主要是决定供应链中成员的产量以及各种运输渠道的运量等,优化供应链的物流,从而降低成本. Rosenfield^[12]在 1996 年建立了不确定情况下的供应链协调模型,确定供应链中成员的数量和相应的产量、销量,目标是使生产和销售成本最小. 其目标函数为:

$$\min \text{Cost} = \sum_{j=1}^M F(Y_j) + C_1 D + (C_2 - C_1) \left(D - \sum_{i=1}^N \min \left(\sum_{j \in \text{market}_i} Y_j, D_i \right) \right)$$

其中, M 表示供应链中成员的数量; N 表示市场数量; Cost 表示生产和销售成本; Y_j 表示第 j 个成员的产量; F 是成本函数; C_1 表示在同一个市场中的运输和销售成本; C_2 表示在不同市场中的运输和销售成本; D_i 表示第 i 个市场的需求量; D 表示总需求.

策略评价模型主要用于研究供应链在不确定情况下的管理和协调问题. 对跨国企业而言,经常会有不确定事件发生,如汇率波动、政府政策改变或新技术的发明等. 企业会采取各种策略对此作出反应,如调整供应链中成员的数量、采用不同的生产技术等. 策略评价模型提供了一种对采取的措施和策略进行评价的方法. 策略评价模型一般是随机动态规划模型,目标是使各个时期的期望费用总和最小或总收益最大^[7]. 如一个典型的两国生产转换模型的目标函数为:

$$\min V(\theta_t, l) = \min_{m \in S} [K_{l,m} + \Psi^m(\theta_t) + \alpha EV(\theta_{t+1}, m)], \quad l, m \in S$$

其中, S 表示决策空间,也就是各种可能的策略组成的集合,可以包括技术选择、生产安排等,在此模型中是指两个国家之间的选择; l 和 m 表示策略(这里就是指在哪个国家生产); θ_t 表示可能出现的不确定情况(这里是指汇率); $K_{l,m}$ 表示从以 l 策略生产转换到以 m 策略生产的成本; Ψ^m 表示在 m 策略下的生产成本函数; $V(\theta_t, l)$ 表示在 t 时期在 θ_t 情况下以 l 策略生产的最小期望成本; α 表示折扣率,即考虑时间价值.

网络流模型和策略评价模型有各自的优缺点,两者可以结合起来. 如企业处理各种可能的不确定性,提出相应的策略,利用策略评价模型对各种策略进行评价,在对策略进行评价时可以利用网络流模型. 1996 年, Huchzermeier 和 Cohen^[13]建立了一种集成了网络流和策略评价方法的供应链模型. 模型的目标是使跨国企业的各个时期总的期望税后利润最大,并采用一种分层的方法进行求解. 首先采用汇率模型求出汇率转移概率,然后提出供应链的各种可能的策略选择,即提出方案;利用混合整数规划方法对每个时期的各个策略进行评价;最后,在这些评价的基础上,利用随机动态规划方法求出各个策略总的期望税后利润. 其税后利润的计算公式如下所示:

$$V_t(e_{k,t}, O_{t-1}^*) = \max_{O_t \in \Omega_t} \left\{ P_t(e_{k,t}, O_{t-1}^*, O_t) + \alpha \sum_{k'} \pi_{k,k'} V_{t+1}(e_{k',t+1}, O_t) \right\}$$

其中,向量 k 表示各国的汇率, $e_{k,t}$ 表示 t 时期汇率向量为 k 时的状态; O 和 Ω 分别表示策略及可能的策略组成的策略集; P 表示税后利润函数; $\pi_{k,k'}$ 表示从汇率向量 k 到 k' 的转移概率; V 表示在现在汇率条件下供应链中各成员的最大总税后利润; α 表示折扣率,即考虑时间价值. 这只是一个概念性模型,许多细节并未交代,如:状态变量 $e_{k,t}$ 如何确定等.

2) 混合整数规划(MIP)模型

许多供应链模型都表示成混合整数规划模型. 目标函数为生产和销售成本等费用最小或利润最大,用整数变量表示供应链中成员的选择、生产技术的选择、运输方式的选择等,用连续变量表示供应链中各成员的能力、各种资源的分配等,用约束表示供应链中的物流平衡关系和供需关系等.

最早的模型可能是 1959 年 Hanssmann^[14]建立的一个包括材料采购、生产及销售的模型,提出各阶段的最优库存水平. 该模型没有考虑不同产品消耗相同的材料的情况,仅适用于简单的供应链系统.

1974 年 Geoffrion 和 Graves^[15]建立了一个多产品单阶段 MIP 模型,并提出一种分解算法. 该模型允许增加销售中心;目标考虑的是总成本最小.

1980 年, Gavish 和 Graves^[16]建立的模型考虑产成品的库存和顾客随机需求,把生产管理和产成品库存联系起来. Williams(1984)^[17]和 Bertrand(1985)^[18]分别对该模型进行了改进.

1985, Burns 等^[19]考虑销售的协调,以降低库存、生产和运输费用. 他们主要研究销售系统,对生产过

程进行了简化。

1985 年,Cohen 和 Lee^[20]建立了一个 MIP 模型。模型的目标函数是非线性的,模型中可以允许增加或减少供应链中的成员数量,并考虑相应的生产计划决策及原材料和中间产品的流动过程。

1986 年,Hodder 和 Dincer^[21]建立了一个全球供应链模型。该模型是大规模非线性的 MIP 随机模型,考虑汇率、市场价格和各国利率的变动,目标是使税后利润的期望值最大。但该模型未考虑多产品、多运输渠道、多供应商、多层次销售网络、库存成本等。

1987 年,Brown 等^[22]建立的模型允许增加或减少供应链中的成员数量,并考虑设备在供应链中各成员间的分配。1989 年,Cohen 等人^[23]建立的全球供应链模型,考虑了各国关税、税率的不同和汇率的变动等。1989 年,Cohen 和 Lee^[24]的模型考虑了材料需求平衡、供应商能力和可弥补缺货需求等。1993 年,Cohen 和 Kleindorfer^[25]提出了跨国公司运作的标准模型框架,模型考虑了对供应链中成员选择、生产能力、产品组合、物流、现金流的决策;模型框架中包括随机供应链网络流模型、资金流模型、随机汇率模型和需求模型。1995 年,Cole^[26]建立了一个多阶段多产品多层次的供应链 MIP 模型,考虑了正态分布需求、随机顾客服务时间、仓库选址、销售渠道选择等。1997 年,Vidal 和 Goetschalckx^[3]的模型考虑了供应商的可靠性。

1995 年,Arntzen 等人^[27]为 DEC 公司建立了一个多阶段多产品的供应链 MIP 模型。该模型的目标函数中考虑了成本和时间的加权和,费用包括生产、库存和运输成本,时间包括生产时间和运输时间;约束考虑了库存平衡、物料需求平衡、设备生产能力及全球供应链的退税和减免税等因素。一般模型仅考虑利润最大或成本最小,该模型在目标中考虑了满足顾客需求的时间;该模型考虑了物料需求清单(BOM)平衡的约束,这是非常重要的,尤其对于装配型的企业。

3 供应链模型的框架及考虑因素

3.1 模型框架

上面已经提到,供应链的策略评价模型一般表示成一个随机动态规划模型。对于单阶段的供应链 MIP 模型,1988 年 Cohen 和 Lee^[28]提出了一个模型框架,包括材料控制、生产控制、产成品库存和销售网络控制四个子模型。该模型框架示意图如图 3 所示。

由产品需求及物料需求清单得到对原材料的需求数量;由于生产和需求的随机性,原材料需求也是随机的,需要提前进行准备,并保存一定的安全库存以减少生产延迟时间。材料控制模型考虑材料需求及供应的随机性,考虑库存成本及缺货成本,用于决定采购策略。生产模型决定生产批量和安排,它影响材料控制决策,生产准备时间受材料采购影响。产成品库存模型连接生产与销售的关系。销售系统产生产品需求,影响库存策略等。最后得到订货策略、生产计划和库存策略,并得到总的生产与销售成本或总收益。

在单阶段的供应链模型框架的基础上,1996 年,Huchzermeier 和 Cohen^[13]进一步提出一个集成了网络流和策略评价等方法的供应链模型框架。该模型框架示意图如图 4 所示。

利用随机汇率模型对汇率进行预测,并求出汇率的转移概率;然后提出供应链的各种可能的策略选择集合,即提出方案集;利用混合整数规划方法对每个阶段的各个策略进行评价,其中应用了供应链网络流

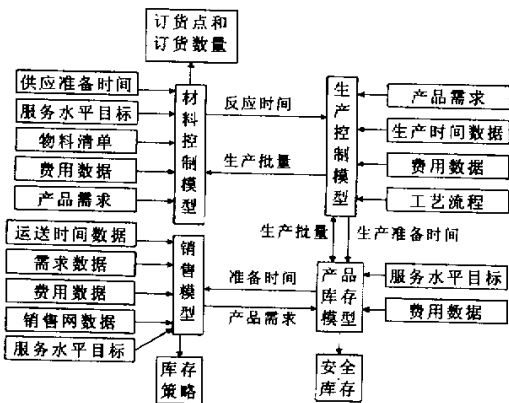


图 3 单阶段的供应链模型框架

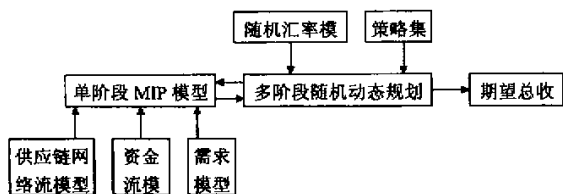


图 4 多阶段的供应链模型框架

模型、资金流模型和需求模型；最后，在这些评价的基础上，利用多阶段随机动态规划模型求出各个策略总的期望收益，从而得到最优策略。

3.2 模型考虑的因素

企业的供应链是个非常复杂的系统，需要考虑的因素非常多，各个因素之间的关系也非常复杂。

对于国家供应链模型，考虑的目标和约束等因素主要有以下几个方面^[3]。

1) 目标函数：模型的目标可以是成本最小或收益最大；也可以是多个目标，如在考虑成本或收益的同时，也考虑响应时间最小等目标。在可能的情况下，应该以利润导向取代成本导向，以收益最大作为优化目标或目标之一。

2) 随机性因素：考虑包括材料需求、采购准备时间、顾客需求、运输时间、供应商可靠性等的随机性。

3) 动态性因素：考虑建立的模型是静态（单阶段）或者是动态（多阶段）模型。

4) 设备状态：考虑设备的数量是否固定、设备的状态以及设备的分布是否可以随时改变。

5) 能力限制：考虑工厂生产能力、供应商供应能力、运输能力、销售网点能力和生产线能力等的限制。

6) 顾客来源：考虑顾客来源的情况，如来自销售中心或生产厂家等。

7) 非线性费用：考虑销售费用、生产费用、运输费用或采购费用是否为非线性关系。

8) 固定费用：是否考虑生产、设备、采购或运输等的固定费用。

9) 边界约束：考虑物料需求清单的约束、可用设备的数量等。

10) 服务水平：考虑服务水平的衡量标准，如采用顾客需求满意度、服务时间或者订单满足率等来衡量服务水平。

11) 库存存放方式：零部件是集中存放或者分散存放在设备周围。

12) 销售方式：是采用直销的方式，还是采用代理的方式，以及代理的层次数量。

可以考虑的其他因素还有生产技术的选择、产品的差异、经济规模、金融决策、组织结构、现金流、信息流、供应链协调、竞争对手的行为以及是否有联合企业等。

全球供应链模型除了上述因素外，还可以考虑的其他因素有：

1) 随机性因素：考虑汇率变动、供应商可靠性、运输渠道可靠性、准备时间、顾客需求、市场价格不确定性、政治因素、随机顾客服务水平等随机性因素。

2) 关税：考虑关税、退税和减免税等因素。

3) 贸易障碍：考虑抵销贸易、满足本地需求、贸易配额和贸易保护等因素。

4 进一步研究

由于供应链所涉及的问题很多，在一个模型中同时考虑所有的因素几乎是不可能的，要建立一个比较接近实际情况而又可以求解的供应链模型是很困难的。从上面的介绍可以看到，一部分研究人员仅提出一个模型框架，并没有对具体模型进行研究，甚至没有任何数学公式表示；而且，在现有的一些模型中，有些重要的因素没有考虑或很少考虑。主要有以下几个方面：

1) 考虑随机性因素少，如顾客服务水平、准备时间、供应商可靠性、运输渠道可靠性、市场价格不确定性等。

2) 很少考虑物料需求平衡的约束，而这对生产环节是很基本的。

3) 很少考虑供应链中信息流、现金流。

4) 很少考虑供应链的重组。

5) 通常只针对制造商考虑企业内部的供应链,只考虑制造商的材料采购和产品销售等,很少把供应商和销售商真正看作整个供应链的有机组成部分来研究。

由于现在对供应链的研究成果有种种不足,还有许多问题值得进一步进行研究。正是如此,目前关于供应链的研究方兴未艾,许多研究人员把供应链作为研究对象。关于供应链的研究方向有很多,其中包括以下几个方面。

1) 供应链建模研究

关于供应链模型的研究,一方面是要提出一个供应链模型的框架结构;另一方面是要在此模型框架下,针对某类供应链建立具体的供应链模型。在供应链模型中应该考虑以下一些因素:多个企业构成的供应链,把供应商、制造商和销售商结合到供应链模型中;重要的随机性因素,如供应商和运输渠道的可靠性、顾客服务水平 and 准备时间等;定性因素,如政府政策、通货膨胀等因素的影响;在考虑物流的同时,考虑现金流和信息流。

2) 供应链的协调研究

供应链的协调包括两个层次的协调,一个层次是指供应商、制造商和销售商之间的相互协调;另一个层次是指供应商、制造商和销售商各自内部各种活动之间的协调。供应商、制造商和销售商之间的相互协调,有利于提高整个供应链的管理水平和运作效率,从而降低成本,提高效益,为供应商、制造商和销售商带来更多的利益。在供应商、制造商和销售商内部的协调,包括物流、资金流和信息流的协调,库存管理在其中起着非常重要的作用。

3) 供应链的优化与重组研究

关于供应链优化的研究,目前主要集中在各种策略的选择,如决定生产方式、销售方式、生产技术、供应链中的成员数量、生产计划和库存策略等。目前供应链研究主要考虑的是供应链的设计及运作方式,很少考虑供应链结构的变化。在现有供应链的基础上,考虑供应链结构和生产流程的优化和重组,即考虑供应链结构或生产流程的变化所带来的影响,也是值得进一步研究的方向。

供应链的重组,包括供应链的结构重组和生产流程的重组等。供应链的结构重组,是指研究供应链的网络结构改变对供应链效率等的影响。如对生产企业而言,购进原材料并自己完成所有的加工工作,相应的供应链网络结构是一种形式;而如果把一部分加工任务交给其他企业来做,相应的供应链网络结构将是另一种形式。网络结构不同,相应供应链的效率和表现也会有所不同。企业的类型不同,针对企业建立的合适的供应链模型的网络结构也会不同。供应链中的生产流程重组,是指在供应链网络结构没有变化的情况下,研究生产流程改变后对供应链效率等的影响。不同的供应链生产流程,在其他条件基本相同的情况下,所能获得的效益可能大不相同。如 Benetton 公司将其针织品的加工过程由“先染后织”改为“先织后染”,这显然增加了生产难度,成本提高 10%,但由于库存积压等大大降低,收益反而有一定幅度的提高。生产流程改变了,但是供应链的网络结构没有变化,而供应链的效率却大不相同。再如,Swaminathan 和 Tayur^[29]研究了利用 Vanilla Boxes 进行库存管理,并没有改变供应链的网络结构,也取得了很好的效果。管理方式的改变,如改变库存管理模式,虽然没有改变供应链的网络结构,但是改变了供应链的运作方式,对生产流程也会产生一定的影响,从而影响供应链的效率。当然,考虑供应链的重组时,应该考虑不同类型供应链的具体情况。

4) 供应链模型的求解方法

发现问题是重要的,而解决问题更为重要。对于供应链模型,有必要发展相应的有效算法,对供应链模型进行求解。供应链模型的求解算法可以有两类,即模拟和优化。可以利用模拟方法对供应链模型进行仿真研究,了解供应链的运作状况,从而对供应链进行必要调整。另一类是优化算法,目前的优化算法有很多,其中的进化算法(包括遗传算法、进化策略和进化规划)由于其优点日益受到关注。针对供应链模型的特点,在现有优化算法的基础上加入一些特殊的计算步骤或算子,形成求解供应链模型的有效优化算法。另外,由于供应链模型中可能考虑了随机性因素,在优化算法中可能还要应用一些随机模拟技术。

参考文献:

- [1] Lee Hau L, Billington Corey. Material management in decentralized supply chains[J]. *Operations Research*, 1993, 41(5):835—847.
- [2] Lee Hau L, Billington Corey. Managing supply chain inventory: pitfalls and opportunities[J]. *Sloan Management Review*, Spring 1992:65—73.
- [3] Vidal Carlos J, Goetschalckx, Marc. Strategic production-distribution models: a critical review with emphasis on global supply chain models[J]. *European Journal of Operational Research*, 1997, 98(1):1—18.
- [4] Karmarkar U S, Kekre S, Kekre S. Multi-Item Lot-sizing and Manufacturing Lead-times [R]. Working Paper, University of Rochester, 1983.
- [5] Zipkin P H. Models for design and control of stochastic multi-item batch production systems[J]. *Operations Research*, 1986, 34(1):91—104.
- [6] Karmarkar U S. Lot size, lead times and in-process inventories[J]. *Management Science*, 1987, 33: 409—418.
- [7] Cohen M A, Mallik S. Global supply chains: research and applications [J]. *Production and Operations Management*, 1997, 6(3):193—210.
- [8] Hodder J E, Jucker J V. Plant location modeling for the multinational firm[A]. *Proceedings of the Academy of International Business Conference on the Asia-Pacific Dimension of International Business*[C], Honolulu, 1982.
- [9] Hodder J E, Jucker J V. International plant location under price and exchange rate uncertainty[J]. *Engineering Costs and Production Economics*, 1985, 9:225—229.
- [10] Verter V, Dincer M C. An integrated evaluation of facility location, capacity expansion, and technology selection for designing global manufacturing strategies [J]. *European Journal of Operational Research*, 1992, 60(1):1—18.
- [11] Verter V, Dincer M C. Global manufacturing strategy[A]. Drezner Z. *Facility Location A Survey of Applications and Methods*[C]. New York, Springer-Verlag, 1995.
- [12] Rosenfield D B. Global and variable cost manufacturing systems [J]. *European Journal of Operational Research*, 1996, 95(2):325—343.
- [13] Huchzermeier A, Cohen M A. Valuing operational flexibility under exchange rate risk [J]. *Operations Research*, 1996, 44(1):100—113.
- [14] Hanssman F. Optimal inventory location and control in production and distribution network[J]. *Operations Research*, 1959, 7:483—498.
- [15] Geoffrion A M, Graves G W. Multicommodity distribution system design by benders decomposition [J]. *Management Science*, 1974, 25(5):822—844.
- [16] Gavish B, Graves S C. A one-product production/inventory problem under continuous review policy[J]. *Operations Research*, 1980, 28:1228—1235.
- [17] Williams T M. Special products and uncertainty in production/inventory systems [J]. *European Journal of Operational Research*, 1984, 15(1):46—54.
- [18] Bertrand J W M. Multiproduct optional batch sizes with in-process inventories and multi work centers[J]. *IIE Trans*, 1985, 17:157—163.
- [19] Burns L D, Hall R W, Blumenfeld D E, Daganzo C F. Distribution strategies that minimize transportation and inventory Costs[J]. *Operations Research*, 1985, 33(3):469—490.
- [20] Cohen M A, Lee H L. *Manufacturing Strategy: Concepts and Methods*[A]. Kleindorfer P R, The

- Management of Productivity and Technology in Manufacturing[C], New York, Plenum, 1985. 153—188.
- [21] Hodder J E, Dincer M C. A multifactor model for international plant location and financing under uncertainty[J]. Computers & Operations Research, 1986, 13(5):601—609.
- [22] Brown G G, Graves G W, Honczarenko M D. Design and operation of a multicommodity production/distribution system using primal goal decomposition[J]. Management Science, 1987, 33(11):1469—1480.
- [23] Cohen M A, Fisher M, Jaikumar R. International manufacturing and distribution networks: a normative model framework[A]. Ferdows K. Managing International Manufacturing[C], North-Holland, Amsterdam, 1989:67—93.
- [24] Cohen M A, Lee H L. Resource deployment analysis of global manufacturing and distribution networks[J]. Journal of Manufacturing Operations Management, 1989, 2(1):81—104.
- [25] Cohen M A, Kleindorfer P R. Creating Value Through Operations: The Legacy of Elwood S Buffa. Sarin R K. Perspectives in Operations Management (Essays in Honor of Elwood S Buffa) [M]. Boston M A. Kluwer Academic Publishers, 1993:3—21.
- [26] Cole M H. Service Considerations and the Design of Strategic Distribution Systems[D]. Ph D Thesis, School of Industrial and Systems Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA, 1995.
- [27] Arntzen Bruce C, Brown Gerald G, Harrison Terry P, Trafton Linda L. Global supply chain management at digital equipment corporation[J]. Interfaces, 1995, 25(1):69—93.
- [28] Cohen M A, Lee H L. Strategic analysis of integrated production-distribution systems: models and methods[J]. Operations Research, 1988, 36(2):216—228.
- [29] Swaminathan Jayashankar M, Tayur Sridhar R. Managing broader product lines through delayed differentiation using vanilla boxes[J]. Management Science, 1998, 44(12):S161—S172.