

# 制造业供应链集成模型研究综述

尹 钢

(华南理工大学 自动化科学与工程学院, 广东 广州 510640)

**摘要:** 对供应链集成模型进行了分类, 提出了供应链的决策层次维、职能维以及技术维三维集成模型. 按三个分类维度, 回顾了近年来有关供应链集成的文献, 重点是有关供应链集成模型的研究, 并结合制造行业的特点给出了今后研究的方向.

**关键词:** 供应链管理; 集成模型; 制造业

中图分类号: F270.7

文献标识码: A

文章编号: 1007-7162(2004)02-0097-08

随着全球经济一体化的发展, 企业与企业之间的竞争不再是个体与个体的竞争, 而发展成为供应链与供应链的竞争. 制造行业的供应链是由供应商、生产商、制造商、组装商、分销中心、零售商等组成的集成网络, 通常按物流流程分为三个阶段: 1) 获得原材料—供给; 2) 将原材料生产成产品—制造; 3) 将产成品分销到零售商—分销. 过去的一段时间里, 制造企业将精力投入到如何在组织内部实施有关供应链的有效决策, 包括安装、存储、分销等决策. 这些决策均建立在各自的职能或个体地理区域基础上, 因而导致需要大量库存作为缓冲. 这样做使单个职能、单个设施都独自决策, 决策较简单, 但因为不考虑自己的决策对整体供应链有何后果, 所以毫无疑问会导致成本的上升.

现在越来越多的人意识到, 通过对物流、信息流的整体规划、协调、控制加强企业供应链的集成管理, 可以有效地使企业低制造成本、高服务水平地提供产品给顾客.

本文回顾了近年来有关供应链集成的文献, 重点是有关供应链集成模型的研究, 并结合制造行业的特点给出了今后研究的方向.

## 1 供应链集成模型分类

供应链的集成模型研究因研究者的角度、研究的问题对象、研究的范围、使用的工具的不同使得这方面的文章大量呈现, 为了叙述的方便, 本文有必要对供应链集成模型进行分类. 笔者认为, 供应链的模型的集成可以主要按三个维度进行归类, 分别为: 1) 按供应链管理决策层次维可分为战略集成、战术集成及运作集成; 2) 按供应链的主要过程或职能, 可以将供应链划分为三大传统职能: 供给 (procurement)、制造 (production) 和分销 (distribution). 相应的模型归类为各个职能内的集成及两两之间 (供给—制造、制造—分销、分销—库存) 以及三大职能的综合集成模型; 3) 技术维—供应链集成模型使用到的技术工具和管理方法. 按制造行业的管理思想方法和制造技术可以有基于企业业务重组 (BPR)、基于计算机集成制造 (CIMS)、敏捷制造、精益生产、虚拟企

收稿日期: 2003-06-23

资助项目: 广东工业大学校青年资助项目 (022026)

作者简介: 尹钢 (1971-), 男, 讲师, 主要研究方向为信息技术和系统工程.

业、同步生产等供应链集成模型; 基于 IT 技术的数据驱动、数据挖掘的供应链集成模型, 见图 1.

供应链模型也有其它的一些分类维度, 如按数学工具可以将模型归为确定型、随机型和混合型等模型<sup>[1,2]</sup>; 按变量的数值选取范围可分为离散型模型和连续型模型等; 以下就按以上三维归类方法一一阐述.

2 纵向决策层次维——战略、战术、运作集成模型

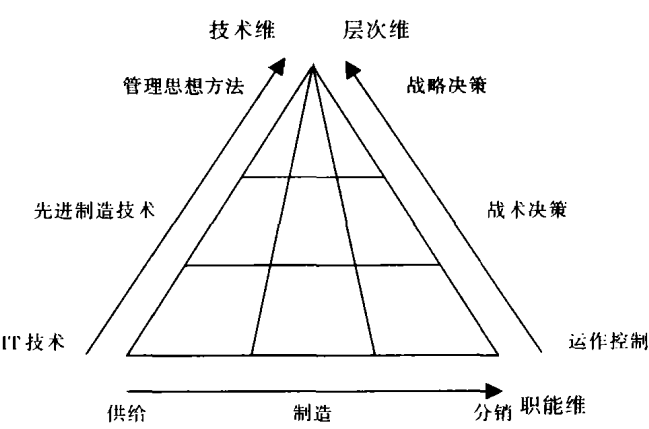


图 1 供应链三维集成模型图

供应链管理决策层次按 Chiopra 和 Meindl<sup>[3]</sup> 的观点从上至下可分为三级: 1) 战略决策; 2) 战术规划; (3) 日常运作. 在战略决策层上供应链遇到的问题包括选址配置、需求计划、分销渠道规划、战略联盟、新产品开发、外包选择、信息技术选择、定价和网络重建等. 尽管大部分供应链的决策在性质上都带有战略决策的性质, 但一样存在战术决策的问题, 这包括库存控制、订单/ 装运、联合装运、物料处理、设备选择、停产决策. 属于日常运作的问题包括运输路线决定、生产排程、劳力排程、记录更新、包装等. 必须强调的是以上的归类方法并不绝对, 因为很多问题可能覆盖了多个决策层次, 引发了不同决策层的供应链管理的综合集成问题. 以下本文就按战略决策层和战术决策层来叙述( 因为日常运作和战术规划有时很难区分).

2.1 供应链战略模型

文献[ 4] 中回顾了有关供应链战略计划及战术计划的集成模型. 有关战略层次的集成模型, 必须指出的是供应链战略层次的模型包含的丰富的管理学思想的运用, 如哈默的核心竞争力、波特的竞争战略以及价值链理论和企业业务重组( BPR) 等. 我们从不否认这些管理思想对供应链战略决策建模的指导性, 这里我们只重点探讨供应链的模型的结构和集成优化的机理, 对其蕴含的管理思想暂不讨论. 文献[ 4] 认为供应链战略层次的集成模型大致有两类, 一类是建立在混合整数规划的定量数学模型, 另一类为定性讨论模型, 如案例研究等. Geoffron 和 Graves<sup>[5]</sup> 是最早( 1974) 采用整数规划模型研究了多商品分销系统的设计, 从多个可选地点中选择了分销中心( Distribute Center DC) 子集, 并设定了各自的市场需求的最大最小值, 这样采用混合 0-1 整数规划解决了各个分销中心实际售出商品的数量与成本的非线性模型的约束条件, 包括分销中心的建设成本, 相互之间的商品物流约束和分销区的需求满足等; 目标函数是使总的建设成本和运输成本最小. 求解过程中采用 Bender 解耦原理将整个规划问题分解成多个简单的线性规划问题进行求解. 其后, Geoffron 和 Powers<sup>[6]</sup> 又对这类模型进行了发展, 强调了合作、IT 技术的发展和客户服务精神等因素的影响是原有模型没有估计到的, 这些因素比以上的模型因素更影响分销网络的设计, 但他们没有给出有关的定量模型.

Cohen 和 Lee<sup>[7,8]</sup> ( 1988, 1989) 提出了一个基于全球化战略的供应链资源配置模型. 该模型也是采用混合整数规划, 在设定分销市场的基础上如何配置生产设备及生产厂家, 目标函数是税后利润最大化. 该模型在实践中经常用于评估和辅助供应链战略决策, 但使用该模型要求公司

已存在全球化的物流网络, 这样可以得到较准确的成本参数等输入数据; 同时大量的决策变量的求解也要求模型能分层求解和优化。

Brown et al<sup>[9]</sup> 提出了一个多商品制造分销的网络设计的混合整数规划模型, 该模型比上述模型多考虑了工厂的关/闭、设备的分配以及多种产品直接从厂家销售到顾客等情形。

以上这一类的模型都属于离散化的模型, 即将变动的市场需求划分在各个分销区内并设以一定的数值进行简化。这类离散模型虽然给出了最优解, 但是当模型更接近实际时对数据和计算的要求就急剧加大, 同时数据的可信度和模型的精确度都会降低。近年有学者就提出了采用连续性模型来有效解决以上的问题, 如文献[10]中给出了一个连续分布型的制造/分销系统设计(PDSD)模型和 Daganzo<sup>[11]</sup>的连续性物流模型。这类模型一方面更接近实际情况, 另一方面它对数据的要求更少, 在连续性的模型中各类函数演化成连续性的函数更适合运算。

战略决策中有关战略决策的模型, 随着合作制造(虚拟制造)与战略伙伴选择问题的提出, 有关的研究也已逐步展开。因该方面牵涉更多的技术工具和管理思想方法的运用将在本文中第四部分进行论述。

## 2.2 供应链战术运作层模型

属于供应链战术决策的模型主要是关于库存控制、运输模式、联合装运、设施选择等方面。库存、运输和设施问题作为供应链战术决策中的三个核心要素一直是供应链战术层面的关注对象。有关这方面的研究文献相当多, 包括大量的综述类文献, 如文献[1, 2, 4]等。从总体上看, 这类的战术集成模型有以下几个趋势: 1) 从单个要素内的优化向要素两两之间以及多个要素之间的联合优化问题演化, 从独立的库存问题、运输问题、设施问题发展到研究两两之间的相互影响及优化以至综合考虑设施、运输和存储的集成优化。如文献[12, 13]等。2) 集成模型的优化目标从单一的低成本或高利润向供应链的经济性、时间及顾客服务水平的快速反应性以及考虑到可持续发展的环保性要素等综合指标转化。3) 集成模型的研究对象从单个企业内部经过简单供应链(单产品、两级、局域内分布)向多产品、多级、全球广域分布的深化。4) 为了提高模型的实用性, 模型考虑的现实因素增多, 如考虑由于全球化带来的投资政策、贸易关税等政策因素。

## 2.3 战略战术运作综合集成模型

供应链战略和战术运作计划的相互作用必然会影响到其整体绩效, 因为战略指导战术的实施, 同时战术的执行结果反过来影响战略的制定, 因此有必要研究供应链在战略战术上的纵向集成问题。但这方面的重要性并没有为学者充分认识到, 张翠华、黄小原<sup>[14]</sup>以供应链成本为目标函数建立了供应链战略层模型和作业层模型, 把供应链的战略层和作业层进行集成优化, 并应用进化规则算法进行了优化仿真。

如何有效地集成战略规划与战术运作? 文献[15]仅给出了一个思路, 简要分为四个步骤。步骤一, 供应链组织内部的流程经济性优化; 步骤二, 用集成的方法按供需匹配的原则, 对供应链的供应、制造、分销、过程进行选择设计; 步骤三, 在步骤一和步骤二反复交叉进行直至完成供应链的设计后, 应作为一种相对稳定的供应链结构维持下来; 步骤四, 对供应链的日常运作层进行优化。如何在此思路下给出具体的集成模型, 该文没有提及, 有待进一步的研究。

# 3 横向环节集成

制造行业的供应链由供应商(Supplier)、制造商(Manufacturer)、组装商(Assembler)、分销中心(DC)、零售商(Retailer)构成, 按传统定义可划分为三个阶段或职能: 供给、制造和分销。大量的

模型可以按此三方面进行归类,有关供给、制造、分销内部的集成模型,本文不再赘述,本文重点回顾职能之间的集成模型以及三者的综合集成模型.可以将两两集成模型归为供应商—购买者模型、制造—分销模型、分销商—顾客模型三类.

### 3.1 供应链横向集成模型研究现状

供应链的起始环节就是从供应商或二级供应商处获得原材料半成品等.据粗略统计,制造行业的原材料的成本经常会超过销售额的 50%. 供应商—购买商的集成模型主要是控制交易批量和交易价格达到供应商和购买商的成本最小.这方面的研究成果包括 Lee 和 Billington 的单产品、单购买商的利润最大化的定价折扣模型<sup>[6]</sup>, Monahan 购买商任意购买数量边际利润最小化模型<sup>[7]</sup>, Banerjee 供应商有限生产率单产品购买者联合批量模型<sup>[8]</sup>以及 Kohli 和 Park 考虑了运输成本的供应商—购买商的联合批量模型<sup>[19]</sup>. 以上模型忽略了集成优化的两个机会: 1) 供给政策的变化可能会提高集成优化的效果,可以通过供应商和购买商的订货策略的改变降低总成本. 2) 可以通过信息技术的发展来提高库存的管理水平,如提高信息共享的电子交换技术(EDI)等.近年来供应商和购买商已经开始合作进行库存管理控制,这要求二者共享需求信息,同时对供应链的绩效标准达成一致认识.

在供应链中制造和分销的连接可以有多种形式,产品可以制造后送往分销中心、零售商或顾客厂家.有关制造计划控制的模型以及分销计划控制模型的文献是相当多的,但同时将二者的问题结合起来的模型不多,可能有以下几个原因: 1) 制造分销的很多问题本身就很复杂,比如制造的排程,运输路线的安排等问题都属于这一类; 2) 制造和分销这两个环节经常通过库存的缓冲作用来解耦; 3) 这两个环节是属于不同的职能部门来完成,造成人为的集成困难.

分销商将商品经济高效地送达顾客并使顾客价值最大化,是供应链的最后一个环节.随着顾客需求的不断提高,该环节的管理愈发重要,该环节的核心问题是多级库存控制与产品分销,所以也有人将此环节称为库存—分销集成.库存—分销集成与供应链库存、运输问题密切相关,其研究趋势是从单个企业内部经过简单供应链(单产品、两梯队)向多产品、多级、全球广域分布的深化;并开始注意到顾客需求的不确定性(不同时期需求的相关性,不同地点需求的相关性)、产品的替代性,在各级销售的合作等问题.

### 3.2 供应-制造-分销综合集成研究方向

用系统论的观点,将供应链供应、制造以及分销三个职能环节视作一个整体,克服原有的供应、制造以及分销之间的障碍,追求供应链整体优化,是供应链集成优化的一个基本方向,现阶段对解决我国企业供应链成本过高、库存水平过高、产品寿命周期过长和开发能力不高问题具有重要的实践意义.国内已有学者进行这方面的探索,主要是在运作层面的供应、制造以及分销的集成研究.如文献[20]建立了一个包括供应商、制造商、销售商在内的集成化动态模型,这一模型含有线性状态方程和神经网络非线性模型,提出了库存成本、供应成本、生产水平等在内的供应链目标函数.对于供应链集成化模型推导了神经网络控制方案,并进行了初步条件的仿真工作.卢震、黄小原、栗东生等<sup>[21]</sup>基于供应和销售在供应链管理中的初端推动作用和末端拉动作用的动态行为,建立了一个供应量具有约束条件、销售量具有不确定条件的供应链系统模型,并以实际案例背景分析了不同条件下的供应链系统,且采用遗传进化规划方法进行了优化仿真.

集成供应链将企业内的供应链和企业外的供应链集成起来,力求达到整个供应链全局的动态最优目标.笔者赞同文献[22]的观点,认为实现综合职能的供应链集成,可分为 4 个步骤:基

础建设、职能集成管理、内部集成化供应链管理和外部集成化供应链管理。

## 4 基于技术工具的供应链集成

制造行业的先进管理思想方法和制造技术与供应链管理思想集合, 建立更适宜制造业的供应链集成模型, 是当前供应链集成研究的热点. 因为企业管理方法与供应链的集成研究更侧重于供应链概念和思想方面, 毫无疑问, 这对供应链集成模型的建立有指导意义, 但因为大多只是定性的阐述, 少见定量的模型, 因此下面重点介绍基于先进制造技术和 II 技术的供应链集成模型研究状况。

### 4.1 先进生产技术与供应链集成模型

随着制造业由大规模生产模式向定制化生产模式转变, 原有的从上至下集成供应链管理方式由于中间环节过多, 导致客户需求信息和供应商信息输入不充分、不及时. 赵炜、张浩、夏华等<sup>[23]</sup> 分析了随着制造业生产模式的进步和信息技术的发展, 在定制生产下供应链管理的变化. 邵晓峰、季建华、黄培清<sup>[24]</sup> 进一步指出, “大规模定制是在高效率的大规模生产的基础上, 通过产品结构和制造过程的重组, 运用现代信息技术、新材料技术、柔性技术等一系列高新技术, 以大规模生产的成本和速度, 为单个顾客或小批量多品种市场定制任意数量的产品的一种生产模式”, 并建立了面向大规模定制的推拉型供应链驱动模式, 构建了以装配为分离点的供应链模型。

精益生产和敏捷制造等先进技术与供应链的解耦点 (Decoupling Point) 的定位密切相关. 解耦点将面向用户定单的供应链部分与基于计划的供应链部分分离开来. 精益意味利用价值流来消除一切浪费(包括时间), 确保层级计划的实施. 精益生产起源于日本的丰田生产系统, 它主要强调缩减和消除浪费. 敏捷性即采用市场知识和虚拟企业在一个多变的市场中挖掘可以获利的机会. 敏捷企业的重要特征是柔性, 实际上, 作为事务概念的敏捷性来源于柔性制造系统 (FMS). 敏捷制造是指在合适的地点、合适的时间和合适的数量上的潜能的积累. 在供应链中集成精益生产和敏捷制造的基本思想是在解耦点靠近用户的部分采用敏捷制造的思想, 而另一部分吸收精益生产的思想. 杨根科、吴智铭<sup>[24]</sup> 采用精益制造思想, 研究供应链的最小成本生产规划问题, 给出了综合考虑产品制造、储存、延期交货和合同取消成本的单位周期生产规划数学模型, 并对敏捷供应链上不同位置的企业采用不同的模型和约束进行了定性和定量评估。

计算机集成制造系统 CIMS 是实现供应链集成的有力工具之一, 但由于二者的差异使得现阶段的研究限于学术探讨, 如文献[25], 如何实现基于 CIMS 的供应链动态优化集成是今后制造业供应链研究的重要发展方向。

### 4.2 基于 II 技术的供应链集成模型

随着计算机、网络通信技术的发展, II 技术已成为供应链管理的基础和成功的关键要素之一. 文献[1]列出了值得关注的基于 II 技术的模型包括: Camm et al 的将整数规划结合地理信息系统 (GIS) 建立的分销中心和外包厂家布局的柔性决策支持系统; Johnston et al 发展的多工厂的制造及仓库综合布局的 GIS 系统; Min 和 Melachrinoudis 建立的内含 GIS 的用于全球范围内的制造企业仓库重构的混合整数规划模型; Al-Mashari 和 Zairi 为了提高供应链各过程的沟通和整合, 以企业资源规划 (ERP) 结构为基础的 SAP R/3 系统。

尽管 II 技术对供应链管理的重要性不言而喻, 但是, 诚如文献[1]作者所言, “基于 II 技术供应链集成模型还处于婴儿期”. 因为要开发出真正适用的系统是一个复杂的系统工程, 牵涉到

多方面的问题,有待进一步研究.

## 5 供应链集成模型的未来研究方向

尽管有关供应链集成的益处被越来越多的人认识到,但真正达到集成优化的模型方法并不多见. 主要是因为供应链本身的概念外延广,对模型的要求复杂导致. 换言之,供应链的概念十分强调满足顾客的需求,这包含了大量的管理思想,因而现有的供应链模型要达到这个目的必须解决供应链管理中面临的大量实际性的管理问题. 这些问题可能会包括组织变革的阻力、职能间或组织间的沟通与冲突、需求的动态预测、信息共享、利益分配/ 风险分担、渠道的控制、客户关系管理等方面. 这一类问题可以被认为是属于战略、组织、行为的“软”问题;而相对于数学模型而言,用定量方法只能解决一些“硬”问题. 现有供应链模型大多着力于解决布局、资源配置及优化、库存控制、运输问题等定义较清晰的“硬”问题. 当然这并不说明现有供应链的模型已经过时或者无效,笔者只是强调建模者需要考虑以上“软”问题. 总结全文,现将有关制造行业的供应链集成模型的研究方向整理如下:

1) 传统的数学模型方法应用于职能间的集成(如制造- 分销、制造外包、布局库存、库存运输等问题),并继续向多级多阶段深入.

2) 集成模型应该开始考虑组织冲突、利益分配、风险分担等有关组织协作的“软”问题. 前几年对供应链问题的研究基本上集中在供应链的运作层次上,解决供应链的运作效率问题,但是敏捷制造和动态联盟的出现,供应链集成必须考虑联盟企业的信息与资源的优化重组、加盟企业的长期合作关系,特别是关于合作制造(虚拟制造)与战略伙伴关系的企业合作与对策问题以及委托实现机制问题.

3) 供应链理论应与制造行业已有的先进管理技术,如 CIMS、JIT、LP、AP 等紧密结合,可以较好地预防供应链集成与生产实践的脱离,提高模型的实用性.

4) 鉴于制造行业供应链管理的复杂性,约束理论(Theory of constraints TOC) 比较适合于模型的简化,因此在供应链的集成模型可以考虑与约束理论的集成.

5) 模型的有效性很大程度上取决于数据的输入,因此标准的数学模型可能在实践中很难发挥作用. 结合 IT 技术建立基于数据仓库、数据驱动的供应链决策支持系统是今后的一个重要发展方向.

### 参考文献:

- [1] Hokey Min, Gengui Zhou. Supply chain modeling: past, present and future[J]. Computer & Industrial engineering, 2002, 43: 231-249.
- [2] Benita M Bamon. Supply chain design and analysis: Models and methods[J]. International journal of production economics, 1998, 55: 281-294.
- [3] Chiopra, Meindl. Supply chain management[M]. Inc.: Prentice Hall, 2001. 6-7.
- [4] Douglas J Thomas, Paul M Griffin. Coordinated supply chain management[J]. European Journal of Operational Research, 1996, 94: 1-15.
- [5] Geoffrion A M, Graves G W. Multicommodity distribution system design by Benders decomposition[J]. Management Science, 1974, 20: 822-844.

- [ 6] Geoffrion A M, Powers R F . 20 years of strategic distribution system design[ J] . Western Management Science, 1994, 31( 4): 31-41.
- [ 7] Cohen M A, Less H L . Strategic analysis of integrated production-distribution systems: Models and methods[ J] . Operations Research, 1988, 36( 2) : 216-228.
- [ 8] Cohen M A, Less H L . Resource deployment analysis of global manufacturing and distribution networks[ J] . Journal of Manufacturing and Operations Management, 1989, 55( 2): 81-104.
- [ 9] Brown G Graves, Honezarenko M . Design and operation of a multicommodity production/ distribution system using primal goal decomposition[ J] . Management Science, 1987, 33( 11) : 1469-1480.
- [ 10] Abdullah Dasci, Vedat Verter. A continuous model for distribution system[ J] . European Journal of Operational Research, 2001, 129( 2) : 287-298.
- [ 11] Daganzo C F. Logistics Systems Analysis[ M] . New York: Wiley, 1991. 25-27
- [ 12] Anthony D Ross. A Two-phased Approach to the Supply Network Reconfiguration Problem[ J] . European Journal of Operational Research, 2000, 122( 1): 18-30.
- [ 13] Yan Dong, Kefeng Xu. A Supply Chain Model of Vendor Managed Inventory[ J] . Transportation Research, 2002, 38( 5): 75-95.
- [ 14] 张翠华, 黄小原. 柔性供应链作业层模型及其优化[ J] . 系统工程, 2002, 20( 2): 51-56.
- [ 15] Sudip Bhattacharjee, R Ramesh . A multi-period profit maximizing model for retail supply chain management: An integration of demand and supply-side mechanisms[ J] . European Journal of Operational research, 2000, 122: 584-601.
- [ 16] Lee H L, C Billington . Material management in decentralized supply chains[ J] . Operations Research, 1993, 41( 5) : 835-847.
- [ 17] Monahan J P. A quantity discount pricing model to increase vendor's profits[ J] . Management Science, 1984, 30( 4): 720-726.
- [ 18] Banerjee A. A joint economic lot size model for purchaser and vendor[ J] . Decision Sciences, 1986, 17( 6): 292-311.
- [ 19] Kohli R, Park H. Coordinating buyer-seller transaction across multiple[ J] . Management Science, 1994, 40( 9): 45-50.
- [ 20] 卢震, 黄小原, 栗东生. 供应链集成化动态模型与控制[ J] . 系统工程学报, 2001, 16( 4) : 254-260.
- [ 21] 卢震, 黄小原, 栗东生, 一类供应销售条件下的供应链模型与决策应用[ J] . 系统工程方法理论应用, 2000, 9( 4) : 289-295.
- [ 22] 林勇, 马士华, 集成化供应链管理[ J] . 工业工程与管理, 1998, 19( 5): 26-30.
- [ 23] 赵炜, 张浩, 夏华. 大规模定制生产模式下供应链管理的研究[ J] . 组合机床与自动化技术, 2000, 24( 6) : 71-74.
- [ 24] 邵晓峰, 季建华, 黄培清. 面向大规模定制的供应链驱动模型的研究与应用[ J] . 工业工程与管理, 2001, 31( 6) : 10-13.
- [ 25] 杨友麒. 从 CIMS 走向供应链的动态优化[ J] . 计算机应用与化学, 2001, 18( 1) : 1-11.

# A Survey on Manufacturing Integrated Supply Chain Modeling

YIN Gang

( College of Automation Science & Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

**Abstract:** In this paper, a three-dimensional frame model is proposed of decision-making level, function and technique. By the three dimensions, the literature on supply chain management is reviewed, integrated models being placed particular emphasis on. Finally, according to the features of manufacturing, directions are suggested for future research.

**Key words:** supply chain; integrated model; manufacturing

( 上接第 96 页 )

参考文献:

- [ 1] Dragos Cvetkovic, Michael Doob, Horst Sachs. Spectra of Graph[M]. New York: Academic Press, 1980.
- [ 2] Dragos Cvetkovic, Peter Rowlinson, Slobodan Simic. Eigenspaces of Graphs[M]. London: Cambridge University Press, 1997.

# Several Graph Transformations and Its Eigenvalues

WEI Jun-bin

(Dept. of Applied Mathematics, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510090, China)

**Abstract:** The eigenvalues of a graph are eigenvalues of its adjacency matrix. This paper mainly studies how the eigenvalues change after graph transformations. The characteristic polynomial and graph angles are applied to study them.

**Key words:** adjacency matrix; eigenvalue; graph angle