

大规模定制模式下供应链计划调度优化分析

姚建明, 周国华

(西南交通大学经济管理学院, 成都 610031)

摘要:大规模定制模式下供应链生产计划调度问题是一个典型的随机需求与随机资源约束的多目标动态优化问题. 在对该问题特征翔实描述, 分析所总结的理论研究成果基础上, 提出了完整的随机多目标动态优化数学模型. 通过实例简要分析了优化目标的成熟性及模型的可行性. 最后, 指出了较为重要的动态优化调度过程的实现, 并进行了实践应用过程的验证与说明.

关键词:大规模定制生产; 供应链计划调度; 随机; 多目标; 动态调度; 优化模型

中图分类号: F406.2

文献标识码: A

文章编号: 1007-9807(2003)05-0058-07

0 引言

大规模定制生产方式下的供应链计划调度优化过程是典型的随机、动态、多目标优化过程. 这是由大规模定制生产方式下的随机性需求 (stochastic demand) 和供应链生产环境下的随机性生产能力 (stochastic production ability) 或随机性资源约束 (stochastic resource-constrained) 的不可替代性决定的. 这一特点, 直接导致了供应链环境下大规模定制生产计划调度的动态性. 随机性的需求由客户订单的不确定性引发, 由于拉动式生产方式的缘故, 从供应链生产下游向生产上游传递; 随机性的生产能力则由网状供应链各节点上的各合作伙伴相互之间以及与其他相关链条协作群体之间协作关系的动态性引发. 因为作为供应链上的一个成员, 既是协作系统不可或缺的一部分, 又保持着自身的独立性. 获得最大的生产收益是其根本目标和在激烈的市场竞争中生存与发展的根基. 这些都决定了必须与相关供应链中上、下游企业间建立动态的协作联盟. 这一方面能带来资源利用的最大化, 提高生产收益; 另一方面, 也使得供应链系统的生产计划调度过程更加复杂.

目前, 这一新型生产模式的优化调度问题的完

整规划及解决思路, 国内外文献涉及的还比较少. 而与其中某些方面相关的内容, 已有了大量的研究成果. 在供应链管理^[1~5, 13]、随机调度^[3~5, 8, 10]、资源约束优化^[6, 10]、动态优化调度^[9~12]以及多目标优化^[7, 11]等方面. 提出了解决随机性、动态性、多目标等复杂调度问题的一些方法. 例如, 文献[8]提出在不确定的作业时间、工序间延迟时间等情况下的生产作业问题, 利用 Scenario (剧情说明书) 模型将计划问题归纳为一多阶段随机决策问题, 再采用 Lagrangian 松弛和 Scenario 分析法求解; 文献[11]提出一种用模糊推理解决多目标决策方案, 实质是用模糊推理的目标函数集成方法, 避免了以特定的函数形式来表示目标函数集成方法的局限; 文献[12]提出通过建立随生产进度及时更新的动态数据库来修改优化调度方案; 文献[13]提出的基于 Multi-Agent 的虚拟车间调度作业原理与算法, 其本质是利用动态形成的逻辑单元——智能体 (intelligent agent) 对资源进行动态调整, 等等.

本文对大规模定制生产方式下的供应链计划调度优化问题进行研究, 在剖析和分析这一新型生产方式的特点及关键制约因素的基础上, 提出了完整的随机、多目标、动态优化数学模型. 然后, 通过实例简要分析了优化目标的成熟性及模型的

收稿日期: 2002-09-18; 修订日期: 2003-06-30.

基金项目: 四川省重点科技计划资助项目 (01GY051-26).

作者简介: 姚建明 (1974—), 男, 山西临猗人, 博士生.

可行性,并且论述了较为重要的动态优化调度过程的实现问题。

1 相关特征描述

尽管大规模定制模式下供应链生产计划调度是一个全动态、多目标的随机调度过程,但作为一种制造业发展趋势的崭新生产方式而言,还是有一定规律可循的。

1.1 需求的随机性

大规模定制生产方式下的供应链计划调度模式动态性的突出表现之一是由客户订单的不确定性引起的需求随机性。同时,由于拉动式生产方式的驱使使得需求的随机性从生产下游不断向上游推进。确定性需求信息在供应链的传递过程中尚有“长鞭效应”等信息不对称性的情况存在,随机的需求信息将使整个供应链的生产计划调度过程更加繁杂化了。多定制品种,小批量生产,不同的交货期,不同的服务质量需求,甚至单件产品生产的要求是大规模定制生产方式的特征;而分布在不同地域的客户群体以及合作伙伴群体之间的动态协作关系则是供应链生产方式的基本特点。二者结合,使需求信息在传递过程中的曲解程度更加严重了。作为实施大规模定制生产计划调度的核心企业有必要首先对随机性需求信息进行分解。这一点,在早期研究成果文献中已有论述。其基本思路是根据供应链系统生产总成本动态确定时间阈值 T_0 ,将 T_0 期内接到的客户订单按定制产品的生产过程及设计加工工艺进行划分。同时,

将其规划大类为特殊定单 (special order)、一般订单 (general order) 与紧急订单 (emergent order)。合理的用户订单分类,一方面解决了生产中的经济批量问题,使供应链系统的生产总成本及生产时间大大减少;另一方面缓和了需求随机性带来的动态信息波动,为系统的优化调度提供了方便。

1.2 生产能力的随机性

在传统的单个企业或车间生产作业优化调度研究中,生产能力的随机性常被称为随机性资源 (stochastic resource)。本文将之称为随机性生产能力 (stochastic production ability),是针对供应链协作成员而言的。当然这里所谓的生产能力,对于不同性质的企业,其意义是不同的。比如原材料供应商提供原材料的能力是其生产能力;零部件制造商生产零部件的能力是其生产能力;库存企业的库存能力是其生产能力;运输商的运输能力是其生产能力等。

大规模定制生产方式下供应链计划调度过程中的随机生产能力约束 (stochastic production ability-constrained) 是由供应链的特点决定的,这也是一个成熟供应链系统的特征之一。对于处在协作关系中的任一生产企业,应该十分关注的是它所提供的空余生产能力 (void production ability) 的优劣。但由于网状供应链系统的存在,由多个客户端传递来的随机生产需求信息以及各协作企业相互之间的动态资源需求信息都将使各参与企业的空余生产能力曲线产生很大波动。实质上,空余生产能力的变动,必将导致同一产品在不同时刻生产的生产时间以及生产成本上的差异,如图 1 所示。

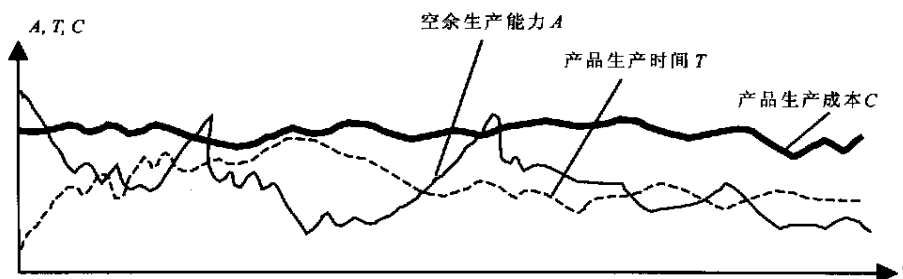


图 1 动态过程中同一产品在同一企业生产时, A, T, C 走势关系示意图

由图 1 可以看出,生产时间与空余生产能力的关系并非是一种规则的反比例关系。这是由大规模定制生产方式下定制产品的生产复杂性决定的。不同的定制产品生产所要求的产前准备、生产工

序以及产后加工等过程都有可能不同。这一特点也直接导致了生产成本曲线的波动性,尽管其走势基本上趋于平稳。这与一般的生产作业计划调度问题^[14](比如 FSS、JSS 问题)中的成本不变是

不同的. 在本文的优化过程中, 对于随时间变化的生产成本及生产时间, 将采用动态采样的方法予以解决.

1.3 约束条件与优化目标

图 2 所示为核心企业在某时期内接受订单并投产的时间分布示意图. 设核心企业在时间阈值 T_0^1 期内接到一批订单. 其中既有一般订单又有特殊订单, 还有随机分布在 T_0^1 期内的紧急订单. 紧急订单的生产优先级最高, 因此当核心企业得到用户对紧急订单 (EO) 的价格/时间二次确认信息后便立即开始投产 (其中可能包括从开发设计、协作商择址到生产、组装、库存、运输以及配送等多个或某几个生产阶段), 如图 2 中右向箭头所示. 另一方面, 对 T_0^1 期内一般订单和特殊订单进行分类后, 经过一定的投产准备时间 T_z^1 进入生产阶段. 在第一批订单处理完成后, 紧接 T_0^1 时刻在 $T_0^1+T_z^2$ 时间段内接到第二批订单并进行类似处理, 以后各批订单的处理依此类推.

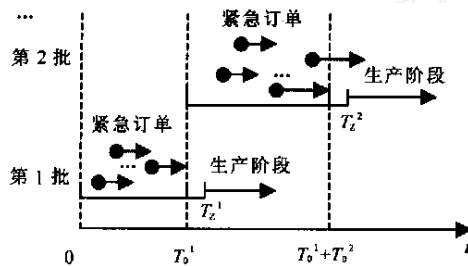


图 2 核心企业接到订单及投产时间示意图

由图 2 分析可知, 在供应链体系正常运作, 定制生产持续进行的过程中, 每一时刻都会有不同的定制生产任务在同时进行. 这就要求构成供应链网络组织中生产过程各阶段 (节点) 上的生产企业其总合生产能力必须与该生产阶段上相关定制产品所需的生产能力需求 (production ability demand) 相适应. 这样, 才能实现供应链系统下合理的生产调度. 因此, 生产能力约束关系是建立优化模型的核心约束条件之一.

对于优化目标而言, 降低供应链系统对定制产品的生产总成本显然是优化目标之一. 由于在供应链生产环境下, 参与生产的企业不仅仅是核心企业一家, 因此, 核心企业在进行相应的计划调度时, 必须综合考虑相关协作企业的利益. 这样才能使供应链协作关系变得长久稳固, 核心企业的竞争优势得到充分发挥, 形成利益多赢的良性

循环.

另一方面, 供应链系统各企业的空余生产能力大小在生产过程中意义重大. 在一定时期内, 某企业的空余生产能力越大, 其参与其它生产活动的可能性就越大, 综合资源利用率就会越高, 最终导致其生产盈利水平的提升. 优化定制产品生产过程中各阶段的生产时间, 可以导致企业空余生产能力的提高, 因此, 生产时间的优化作为另一个优化目标. 如果缩短定制产品生产阶段的时间, 使之小于交货期的要求, 会导致生产过程中某阶段库存成本的增加, 构成了供应链环境下大规模定制生产优化调度过程特有的一对矛盾. 这一点与非供应链环境下的传统生产方式不同, 因而不便于建立订单生产的提前与拖期惩罚优化目标. 这一特征的存在, 决定了优化模型将是一个多目标优化模型.

2 优化数学模型

通过以上对大规模定制模式下供应链生产计划调度优化过程基本特征的分析, 本文建立了随机、多目标、动态优化数学模型.

2.1 问题描述及模型相关参数和变量定义

· 设大规模定制模式下供应链生产系统对定制产品的生产有 K 个阶段, 其中可能包括原材料供应、加工, 零件生产, 部件组装, 成品组装, 库存, 运输, 销售, 配送等阶段. 而且有些阶段还可能多次出现, 如运输、库存等阶段.

· 核心企业除完成定制产品的设计开发外还参与 K 个阶段中的第 k 个生产过程. 应该说明的是, 核心企业参与定制产品的某个或多个生产阶段对供应链系统的整体优化调度问题并不会产生影响, 只是改变了数学模型中某些参数的意义.

· K 个生产阶段中, 每个生产阶段有 N_k ($k = 1, 2, \dots, K$) 个协作商 (协作生产者, 对于核心企业参与的生产阶段而言, 则设其划分成 N_k 个生产组或称业务组).

· 设核心企业在时间阈值 T_0 期内共接到用户订单 (紧急订单除外) N_{T_0} 个. 将 N_{T_0} 个订单按前文所提分类法进行划分, 设共划分为 M 类订单. 每类订单中有用户订单 N_m ($m = 1, 2, \dots, M$) 个.

· 设 M 类订单中每个订单的客户要求交货期

为 $T_{ij}(i = 1, 2, \dots, M; j = 1, 2, \dots, N_m)$.

·设第 k 个生产阶段的 N_k 个协作商(或生产者/业务组,以下同),每个协作商对 M 类订单中各订单在该生产阶段的生产成本为 $C_{ij}^{kr}(t)$ ($k = 1, 2, \dots, K; r = 1, 2, \dots, N_k; i = 1, 2, \dots, M; j = 1, 2, \dots, N_m$);生产所需时间为 $T_{ij}^{kr}(t)$.显然由前述分析知它们都是各生产过程起点时刻 t 的函数.

·设生产过程中为提高各协作商的空余生产能力而压缩生产时间所导致的额外库存时间为 $T_{Inve. ij}^{kr}(t)$;额外库存成本为 $C_{Inve. ij}^{kr}(t)$;描述二者之间关系的系数为 kr .

·设各订单在生产过程某时刻 t 对第 k 生产阶段的空余生产能力的需求为 $A_{Dem. ij}^k(t)$. k 生产阶段中某协作商在 t 时刻的空余生产能力为 $A_{Supp. r}^k(t)$,显然,它们也是时间坐标 t 的函数.

·定义变量 $^{kr}_{ij}(t) = \begin{cases} 1 & \text{当 } M \text{ 类中第 } i \text{ 类} \\ & \text{订单中第 } j \text{ 个} \\ & \text{订单的第 } k \text{ 个生} \\ & \text{产过程由第 } r \text{ 个} \\ & \text{协作商进行} \\ 0 & \text{其他情况} \end{cases}$

·考虑到生产过程中可能有意外情况发生,如运输阶段的交通事故,库房倒塌、停水、停电等非人为因素的影响,而有可能使得交货延期,引入作为交货期容忍系数. 的上限 m_x 应由核心企业协商各合作企业来确定.当然,如果未能在约定的交货期交货,肯定是要给予用户经济补偿的.

·设 Q_{ij}^{kr} 为订单 (ij) 在第 k 生产阶段第 r 个协作商的生产质量(也包括运输、库存、服务质量等).而 $Q_{St. ij}^k$ 为订单 (ij) 在第 k 阶段生产时所要求的标准生产质量.

2.2 优化数学模型的建立

根据以上的分析、假设以及各参数的定义,建立了大规模定制模式下供应链生产计划调的优化数学模型:

$$\min z = \sum_{k=1}^K \sum_{r=1}^{N_k} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{N_m} \left\{ \left[\left(C_{ij}^{kr}(t) + T_{Inve. ij}^{kr}(t) \cdot ^{kr}_{ij}(t) \right) + T_{ij}^{kr}(t) \right] \cdot ^{kr}_{ij}(t) \right\} + \quad (1)$$

$$\text{s. t.} \quad \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{N_m} A_{Dem. ij}^k(t) \leq \sum_{r=1}^{N_k} A_{Supp. r}^k(t) \quad (2)$$

$$T_{ij} = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{N_m} \left(T_{ij}^{kr}(t) + T_{Inve. ij}^{kr}(t) \right) \cdot ^{kr}_{ij}(t) \quad (3)$$

$$Q_{ij}^{kr} \leq Q_{St. ij}^k \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{r=1}^{N_k} ^{kr}_{ij}(t) = 1 \quad (5)$$

其中

$$0 \leq ^{kr}_{ij}(t) \leq 1; \quad ^{kr}_{ij}(t) = 0 \text{ 或 } 1$$

$$k = 1, 2, \dots, K; r = 1, 2, \dots, N_k; i = 1, 2, \dots, M; j = 1, 2, \dots, N_m$$

模型中,式(1)为多目标函数,式(2)为生产能力约束,式(3)为生产时间约束,式(4)为产品质量约束,式(5)为产品生产的唯一性约束.

3 优化调度的实现

3.1 对优化目标的实例解释

对上述模型的求解,可用混和遗传算法进行.(求解过程将在后续文章中给出).这里,分析一下较为重要的动态优化调度过程的实现.首先,以一个简单的实例说明一下为什么在模型中要有生产成本与生产时间两个重要方面的优化.

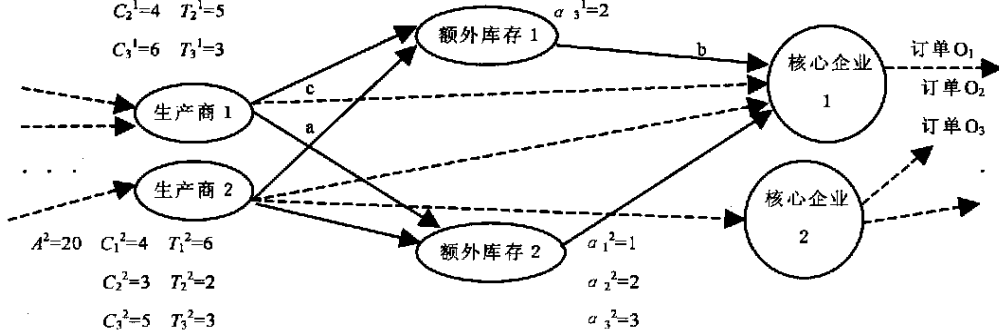
设在生产过程中的某个时刻 t ,核心企业得到的各协作商的生产信息如图 3 中标注所示.对于订单 O_2 (生产能力需求为 20)的生产计划,从生产商到核心企业阶段显然有多种调度方法.假设由于定货期限要求订单 O_2 在生产商与核心企业之间的生产时限为 5,那么,当选择生产商 1 进行生产时,由于成本 $C_1^2 = 4$;生产时间 $T_1^2 = 5$,因此,不需要经过额外库存阶段,便能以较低成本 4,准时满足生产的要求.当选择生产商 2 进行生产时,由于 $C_2^2 = 3$; $T_2^2 = 2$,虽然生产成本较小,但由于其生产时间远小于交货期 5 的要求,故而必须选择额外库存阶段进行缓存.缓存时,当然要选择成本系数较小的额外库存 1.这时,系统对 O_2 的生产总成本将是 $C_2^2 + (5 - T_2^2) \times \frac{1}{2} = 3 + (5 - 2) \times 1 = 6$.明显看出,对 O_2 的生产如果走调度计划 a-b,其生产总成本将大于走调度计划 c.但是,如前文分析所知,由于供应链环境下的协作关系是一种极度复杂的网状联结关系,同一个网络上的成员在不同的时刻都会有不同的协作任务.因此,尽管对

订单 O_2 的生产走调度计划 a-b 成本较大,但由于它在生产商 2 的生产时间短,在一定时期内会给该生产商带来更大的空余生产能力来参与其它的协作生产任务,比如对核心企业 2 的协作关系.这样一来,反而有可能使生产商 2 的收益增加.这也就是为什么要采取多目标进行优化的原因.

关于这一多目标决策过程中的利益偏好问题,需要由核心企业与供应链相关协作者动态协商解

$t=25$ 时刻各协作者提供的数据:

$A^1=20 \quad C_1^1=2 \quad T_1^1=4$
 $C_2^1=4 \quad T_2^1=5$
 $C_3^1=6 \quad T_3^1=3$



决.各协作企业必须根据自身在多个供应链系统中各自的全方位协作关系以及对预期收益的权衡即时提供利益偏好因子 (t) .核心企业在求解优化模型时,必须以 (t) 做为多目标决策中的基准之一.这是一个较为复杂的过程.但正是这个动态的利益偏好因子的存在,才反映了一个现实中真正意义上的供应链系统各成员之间既有利益一致又有利益冲突,既有合作又有竞争的复杂关系.

$a_1^1=3$ 核心企业要求交货时刻为 $t=30$

$a_2^1=1$

$a_3^1=2$

$a_1^2=1$

$a_2^2=2$

$a_3^2=3$

图 3 动态调度的一个简单实例示意

3.2 动态调度过程的实现

大规模定制模式下供应链生产计划调度问题是一个繁杂的动态多目标优化问题,正如数学模型中描述所示,很多参数都是时间 t 的函数.由于在不同的生产时刻供应链系统中相关协作者的生产参数都不尽相同(如 A, T, C 以及利益偏好系数),必须要求各协作成员随时提供各自的生产参数信息.这一点在信息技术飞速发展的今天是比较容易做到的.

为了使供应链系统运作平稳,除特殊情况外一般不能较轻易地修改已确定的计划调度命令,否则会造成整个供应链系统的紊乱,导致生产成本迅速攀升,也无法满足客户的交货期要求.以一示意图简单说明一下动态调度的实现过程,如图 4 所示.

由于任何时刻的调度计划都是基于供应链系统空余生产能力约束基础上的,因而不会出现多计划调度命令之间相互冲突的现象发生.尽管这样,由于可能有大量的紧急订单的存在,大大增加了核心企业的信息处理量及处理成本.同时,也使得整个调度过程趋于复杂化.这也是为什么在前

期研究成果中所提出的多级优化目标中,把减少紧急订单数量作为一级优化目标的原因之一.

3.3 实践与应用

鉴于我国目前尚不具有实行这一生产模式的成熟型企业供应链体系存在,课题组采取了实地考察综合模拟分析计算验证的方法,对某铁路机车制造集团供应链系统进行了应用仿真计算研究.

由于铁路机车制造供应系统对机车零、部件生产,运输,组装,调试以及试运营的过程是一个相对高成本和强时限过程,在对利益偏好因子 (t) 的选择上,采取随机赋值的策略对优化模型加以验证.同时,考虑到产品用户订单的波动,产品生产周期的波动以及供应链协作商业状况和其他主要生产因素的变动,对于 (t) 中 t 值的选取亦采取了随机分布赋值的策略.

通过对一个月的不同分析日期采样进行测量,并将采样点各相关数据代入本文所建立之优化模型,用计算机进行了仿真计算,得到了较为满意的仿真结果.

采用随机赋值的策略,其优越性在于可以近似真实地模拟大规模定制模式下供应链生产计划

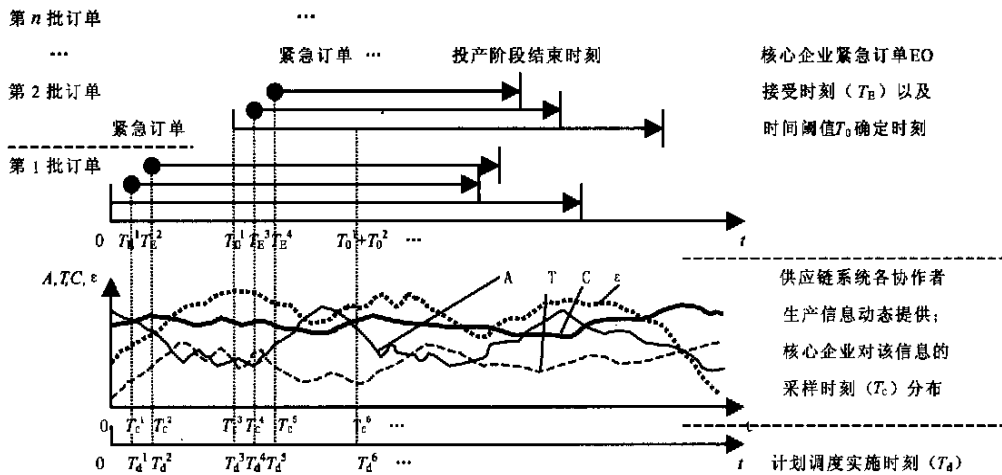


图 4 大规模定制模式下供应链生产计划调度实施过程示意图

注:图中省略了信息处理及数据计算时间以及其他附加时间

调度过程中,由于需求的随机性和生产能力的随机性所带来的复杂的随机、动态、多目标优化过程.因而,这是一个较为理想的方法.

4 结论与展望

大规模定制模式下供应链生产计划调度优化

过程是一个复杂的随机、多目标、动态调度问题.本文在课题前期研究理论成果的基础上,从供应链系统角度分析了这一优化调度过程的随机性、动态性以及多目标性.同时,建立了符合实际情况的数学优化模型,并以实例分析了其可行性和进行了实践验证.时间阈值 T_0 的确定以及多优化目标之间的利益偏好问题,是今后研究的方向.

参考文献:

[1]Chen Fangrou. Decentralized supply chain subject to information delays[J]. Management Science, 1999, 45(8):1076—1090

[2]Cachon Gerard P, Zipkin Paul H. Competitive and cooperative inventory policies in a two-stage supply chain[J]. Management Science, 1999, 45(7): 936—953

[3]Cachon Gerard P. Managing supply chain demand variability with scheduling ordering policies[J]. Management Science, 1999, 45(6): 843—856

[4]Corbett Charles J. Stochastic inventory system in a supply chain with asymmetric information: Cycle stocks, safety stocks, and consignment stock[J]. Operations Research, 2001, 49(4): 487—500

[5]Cachon Gerard P. Stock wars: Inventory competition in a two-echelon supply chain with multiple retailers[J]. Operations Research, 2001, 49(5): 658—674

[6]Tommos P, Lova A. Tools for resource-constrained project scheduling and control: Forward and backward slack analysis[J]. Journal of Operations Research Society, 2001, 52: 779—788

[7]Baykasoglu A. Goal programming using multiple-objective TABU search[J]. Journal of Operations Research Society, 2001, 52: 1359—1369

[8]朱道立, 武芳, 龚国华. 随机环境中的生产作业计划问题[J]. 管理科学学报, 2001, 4(5): 50—57

[9]张纪会, 徐心和. 基于遗传算法的动态调度知识获取[J]. 计算机集成制造系统 - CIMS, 1999, 5(3): 64—68

[10]王全勇, 姜启源. 随机批量问题的两种新模型及算法[J]. 系统工程理论与实践, 2001, (6): 1—6

[11]刘新旺, 黄卫. 一种基于模糊推理的多目标柔性决策方法[J]. 管理科学学报, 2001, 4(6): 71—76

[12]杨红红, 吴智铭. 混合遗传算法在柔性动态调度中的应用研究[J]. 信息与控制, 2001, 30(5): 392—397

[13]郭文胜, 殷国富, 胡晓兵. 基于 Multi-Agent 的虚拟车间调度作业原理与算法[J]. 中国机械工程, 2001, 12(12):

1413—1428

[14]周国华,武振业.一类 Flow Shop 排序问题的混合遗传算法[J].管理科学学报,1998,1(4):20—25

Analysis of supply chain optimization planning and scheduling in mass customization

YAO Jian-ming, ZHOU Guo-hua

School of Economics and Management, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China

Abstract: The supply chain scheduling in mass customization is a typical stochastic demand and stochastic resource-constrained multi-objective dynamic optimization problem. Based on the detailed description of its characteristics and the systematic, in-depth analysis of its core idea, this paper presents a complete, stochastic, multi-objective and dynamic optimization mathematics model. The paper also analyzes that this optimization objective is mature and the model is feasible based on a simple case. Finally, the paper points out the more important realization of this dynamic optimization scheduling and makes a practice test and verification.

Key words: mass customization; supply chain planning and scheduling; stochastic; multi-objective; dynamic scheduling; optimization mathematics model

第七届工业管理国际会议(ICIM 2004)消息

第七届工业管理国际会议(ICIM 2004)将于2004年11月15日-17日在日本冈山召开。本国际会议原称中日工业管理国际会议,由北京航空航天大学和日本经营工学会中四国支部联合主办,自1991年以来已成功举办了6届,近两届会议论文集收录的论文全部被ISTP检索。本国际会议增进了中国、日本以及其他一些国家工业管理界专家学者的交流与了解。从第七届会议开始本国际会议更名为工业管理国际会议,其目的是吸引更多国家的专家学者参加,进一步提高本国际会议的水平。会议组委会热忱欢迎国内外专家学者的参加,欢迎索取征文通知。

会议论文语言:英文。论文初稿截止日期:2003年12月28日。

会议征文范围(详细情况请参见征文通知)

1. Production Management; 2. Advanced Production Management Methodology; 3. Business Administration; 4. Research and Development (R&D); 5. Quantitative Analysis in Industrial Management; 6. Artificial Intelligence and Information Technology in Industrial Management; 7. Logistics and SCM; 8. Globalization; 9. Practice and Experiences in Industrial Management

会议联系人:周泓教授;通讯地址:北京航空航天大学经济管理学院(100083)

电话:(010)82317839;传真:(010)82328037;E-mail:icim2004@vip.sina.com

(北京航空航天大学经济管理学院供稿)