

交大
经管

混合生产型企业的 生产调度优化研究

李琳 著



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

混合生产型企业的 生产调度优化研究

李琳 著

上海交通大学出版社

内 容 提 要

混合生产型企业是指生产过程中兼有离散型和连续型特征的企业。本书首先分析了混合生产型企业生产方式的特征,综述了生产计划与调度研究的现状及不足,指出了混合生产型企业一体化生产调度优化问题的特点。在此基础上,基于上海市科委重点攻关项目以及与企业的多项横向课题,针对以钢铁产品制造企业为代表的一类混合生产型企业的一体化生产调度问题,进行了较为系统的理论研究,并将研究结果运用于国内某大型钢管厂的一体化生产调度优化决策系统的设计中。该系统在企业的实际运用结果,进一步验证了本书的研究思路和方法的可行性。

本书适合相关专业研究者及企业管理者参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

混合生产型企业的生产调度优化研究/李琳著. —上海:上海交通大学出版社,2011

ISBN 978-7-313-07647-2

I. 混... II. 李... III. 企业管理—生产调度—研究
IV. F273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 153729 号

混合生产型企业的生产调度优化研究

李 琳 著

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 951 号 邮政编码 200030)

电话:64071208 出版人:韩建民

上海交大印务有限公司 印刷 全国新华书店经销

开本:787mm×960mm 1/16 印张:11.5 字数:145千字

2011年10月第1版 2011年10月第1次印刷

ISBN 978-7-313-07647-2/F 定价:28.00元

版权所有 侵权必究

告读者:如发现本书有质量问题请与印刷厂质量科联系
联系电话:021-54742979

前 言

混合型方式,不同于传统离散型和流程型单一的生产方式,而是兼具生产活动的阶段间歇性,以及生产工艺连续性的复杂生产方式,在现代化生产中具有普遍的意义。进入21世纪以来,包括钢铁、纺织、造纸、制药等诸多行业的大多数制造企业都普遍采用了这种生产方式。混合型制造企业与传统制造企业相比,在生产模式、工艺流程、产品结构、自动化水平等多方面均存在显著不同,前者既要考虑生产活动的阶段间歇,又要考虑生产工艺的连续性,更要考虑工序间的衔接与缓冲,因此面临着更加严峻的生产作业及物流管理问题。

生产调度,在考虑设备与产品需求等内外部环境以及生产工艺要求的前提下,合理配备生产资源,确定作业的生产路径及加工次序,以保证整个生产活动的协调进行,生产物流的平衡与内外部生产资源的合理使用,是解决生产作业及物流管理问题的重要环节。对具有复杂生产工艺、多类型生产方式及高生产协调性要求的混合生产型企业而言,良好的生产调度方案无疑可以在有限的时间内均衡生产负荷,提升交货的准时性,降低生产成本,减少生产过程中窝工及涨库的可能性,从而获取最佳的经济效益。因而,生产调度的优化决策是混合生产型企业生产作业及生产物流管理中的关键问题。

然而,目前中国以钢铁业为代表的混合生产型企业,在生产调度方面还相对落后,存在着不少影响市场竞争力的问题,信息不对称、生产过程的不规范、设备能力负荷的不均衡、生产成本居高不下、订单不能按时交付的状况屡见不鲜。从生产物流管理的角度来看,仍有不少企业没有采用现代生

产运作管理的方法,对整个生产流程还是采取人为划分、调度方案分别制定的方法;从技术角度来看,车间作业调度及库存管理等工作主要靠人工凭经验完成,缺乏科学严密性和整体优化性;从集成的角度来看,企业信息技术的应用还处于单项开发阶段,国外的一些成品软件很难适应中国企业的实际情况,缺乏系统集成的思想和有效的支持手段,致使生产调度不能及时获取所需信息。

因此,本书面向具有复杂生产方式的混合生产型企业,以具体行业的生产流程分析为基础,从整体生产流程及工艺要求分析出发,先分阶段研究具有代表性特征的各种加工类型的调度优化方法,而后,再在分段研究的基础上将各阶段有机集成起来,结合阶段间的衔接和缓冲,提出对混合加工系统的一体化调度优化方法,并设计一体化生产调度优化系统的架构加以运用和验证。

本书源于笔者多年的研究工作及与企业合作项目的经历,主要内容是在笔者博士阶段的研究“面向一类混合生产型企业的一体化生产调度研究”的基础上修改扩编而成的,涉及的研究项目得到上海市科委重点攻关项目、国家自然科学基金项目、华东理工大学校内资助项目以及与企业合作的横向课题的支持。本书面向混合生产型企业,以现代生产物流管理理论与方法为指导,以钢铁、纺织等企业为具体应用对象,全面分析了混合型生产方式的特征及混合生产型企业生产调度的要求,深入研究了带有缓冲库存容量限制的多阶段混合流水车间调度问题、多台并行多功能批处理设备的批调度优化问题,以及考虑多功能缓冲库的一体化生产调度优化问题的理论模型及求解方法,为混合生产型企业生产物流的优化与运作管理提供了方法论的参考与指导。

生产调度优化与物流管理技术是一项极富挑战性的研究,混合生产型企业中生产流程的不同、生产工艺的不同,对生产调度的约束和要求也各有差别,因此本书难以详尽描述。另外,由于笔者水平有限,错误之处敬请各位专家和读者批评指正。

衷心感谢我的导师霍佳震教授给予我的教诲与帮助,感谢华东理工大学运营与供应链研究所的各位同事给予的建议与支持!

李琳

2011年5月于上海

目 录

| | |
|---------------------------|----|
| 第 1 章 绪论 | 1 |
| 1.1 混合生产型企业 | 1 |
| 1.2 生产计划与调度 | 3 |
| 1.2.1 生产计划与调度问题背景 | 3 |
| 1.2.2 生产调度系统中的调度问题 | 6 |
| 1.2.3 研究现状 | 9 |
| 1.3 生产调度方法 | 16 |
| 1.3.1 数学规划方法 | 17 |
| 1.3.2 规则调度方法 | 17 |
| 1.3.3 基于智能的方法 | 18 |
| 1.3.4 基于仿真的方法 | 21 |
| 1.3.5 控制理论方法 | 21 |
| 1.4 现有研究的不足 | 23 |
| 1.5 本书的主要工作和解决的问题 | 25 |
| 1.5.1 主要内容 | 25 |
| 1.5.2 章节安排与研究方案 | 29 |
| 第 2 章 复杂流水车间调度模型及算法 | 33 |
| 2.1 复杂流水车间调度优化问题的提出 | 33 |

| | | |
|------------|-----------------------------------|-----------|
| 2.1.1 | 生产工艺介绍 | 34 |
| 2.1.2 | 生产调度的要求与问题的提出 | 37 |
| 2.1.3 | 现有研究综述 | 39 |
| 2.2 | 复杂流水车间调度问题的数学模型构建 | 41 |
| 2.2.1 | 假设条件及标号说明 | 41 |
| 2.2.2 | 模型构建 | 44 |
| 2.3 | 求解算法设计 | 46 |
| 2.3.1 | GA 算法概述 | 47 |
| 2.3.2 | 改进遗传算法(MGA) | 48 |
| 2.3.3 | 局部搜索算法(Local Search Method) | 54 |
| 2.4 | 实例验证及应用 | 57 |
| 2.4.1 | 数据实例验证 | 57 |
| 2.4.2 | 模型与算法的应用 | 62 |
| 2.5 | 小结与应用 | 68 |
| 第3章 | 多功能批处理设备调度优化问题 | 70 |
| 3.1 | 多功能批处理设备调度优化问题描述 | 71 |
| 3.1.1 | 生产工艺介绍 | 71 |
| 3.1.2 | 生产约束分析 | 74 |
| 3.1.3 | 多功能批处理设备调度优化问题的提出 | 76 |
| 3.1.4 | 批处理设备调度优化问题的现状 | 79 |
| 3.2 | 批处理设备生产调度优化问题的模型构建 | 81 |
| 3.3 | 多功能批处理设备调度优化问题的求解算法 | 87 |
| 3.3.1 | 算法思路 | 87 |
| 3.3.2 | 算法设计步骤 | 88 |
| 3.4 | 仿真实验 | 91 |
| 3.5 | 应用及小结 | 97 |

| | |
|------------------------------------|-----|
| 第4章 混合加工系统的优化调度 | 99 |
| 4.1 单环节生产调度问题 | 100 |
| 4.1.1 生产工艺描述 | 100 |
| 4.1.2 生产计划与调度约束与要求 | 102 |
| 4.1.3 研究现状分析 | 104 |
| 4.2 批量计划与次序优化模型 | 106 |
| 4.2.1 基本假设与符号说明 | 107 |
| 4.2.2 数学模型构建 | 109 |
| 4.2.3 模型的分析与问题转化 | 112 |
| 4.3 算法研究 | 114 |
| 4.3.1 禁忌搜索算法介绍 | 115 |
| 4.3.2 改进禁忌搜索算法 | 116 |
| 4.4 一体化体系下混合加工系统的调度优化 | 123 |
| 4.5 实例验证 | 128 |
| 4.6 小结与应用 | 130 |
| 第5章 面向混合生产型企业的一体化调度系统 | 131 |
| 5.1 系统概况 | 131 |
| 5.2 系统的设计思想 | 134 |
| 5.3 系统的设计方案 | 136 |
| 5.3.1 冷加工(热变形)计划编制功能模块 | 139 |
| 5.3.2 光亮炉热处理计划编制功能模块 | 142 |
| 5.4 系统的实现方案 | 148 |
| 5.5 系统应用的效果分析 | 152 |
| 5.6 本章小结 | 154 |
| 第6章 总结与展望 | 156 |
| 6.1 总结 | 156 |

| | |
|------------------------------------|-----|
| 6.1.1 主要工作..... | 156 |
| 6.1.2 主要创新点..... | 158 |
| 6.2 进一步工作方向..... | 159 |
| 附录 钢管生产工艺流程图(以国内某大型钢铁生产企业为例) | 162 |
| 参考文献 | 163 |

第1章 绪论

1.1 混合生产型企业

根据生产工艺的不同特点,工业生产过程可以分为三类:离散型生产、连续型生产和混合生产型生产,对应这三种生产加工过程,制造企业也可以划分为离散型制造企业、连续型制造企业和混合生产型制造企业。这三类制造型企业在生产模式、工艺流程、产品结构、自动化水平乃至生产管理等诸多方面存在较大的差异。

离散型生产是我们最常见的机械制造业车间生产模式,这类生产大多通过对原材料物理形状的改变、组装成为产品,使其增值。主要特性包括:①工艺流程是面向多品种、小批量的订单进行多生产工序(局部生产过程)的生产加工;②产品结构多为“树”型可数(最终产品由固定个数零件、部件组成,关系明确固定);③自动化水平相对较低,由于是离散加工,生产率很大程度上依赖工人的技术水平,故而离散制造型企业一般是人员密集型企业,自动化主要在单元级(如数控机床);④在生产计划与调度方面,侧重面向工序级、设备级的作业计划进行调度。

连续型生产,又叫流程生产,主要集中在石油、石化、化工、电站等大型

工业企业,生产过程主要通过对原材料进行混合、分离、粉碎、加热等化学物理方法,使材料增值。根据产品的输出连续化程度,连续型又分为完全连续型和批量型两种,前者生产的产品连续不断地经过加工设备,呈现完全连续的产品流,而后者产品流是批量连续,即批量之间可能存在间歇。相对于离散型生产,具有以下特点:

(1) 连续型生产大多采取按库存生产,且为品种固定的大规模生产,实施流程化连续的生产方式,各工序前后紧密相连,没有缓冲单元或缓冲单元很小;

(2) 产品结构往往不固定,即不是固定上下级间的整数物料、数量关系,而是通过与温度、压力等相关的“配方”来描述;

(3) 生产设备庞大且功能单一,设备环境没有离散型的柔性大,设备管理的主要目标为满负荷生产,一旦设备出现故障则会影响整个流程生产线;

(4) 自动化水平程度高,由于大规模标准化生产,且存在连续的物料和能量流,故过程控制系统、生产控制技术条件成熟;

(5) 连续型生产以流水生产线方式组织连续的生产方式,只存在连续的工艺流程,不存在与离散企业对应的严格的工艺路线,故在作业计划调度方面,以整个流水生产线为单元进行调度,比离散型企业简单。

所谓混合生产型生产,是一种在生产活动中既有离散型生产特征,又有连续型生产特征的复杂生产方式,该生产方式在现代化生产中具有普遍的意义,尤其是在钢铁联合企业中有不同程度的体现。混合生产型企业的生产管理,特别是计划调度方面,不能简单地利用连续型生产计划与调度方法或离散型生产计划与调度方法进行生产,而应该根据混合生产的特性寻求计划调度方法,故而混合生产型企业的生产管理具有相对更高的复杂性和难度,集中体现在:

(1) 混合生产型生产过程包括多个生产阶段,生产阶段间是离散的,通

过并联和串联的形式组成复杂的生产系统整体,而阶段内的生产过程是连续的,生产过程存在物料和能量流,故生产管理既不能着眼于单个工序,也不能只关注单条流水线,而应该从全局出发,解决多阶段一体化的生产管理问题。

(2) 混合生产型生产通常是某一部分的加工具有连续型生产过程的特点,而其他部分的工序加工则具有离散型生产过程的特点,故需要对混合生产型生产的离散型生产和连续型生产两部分进行协调,在连续生产和离散生产的过渡环节必须采取一定的控制措施,才能够保证整个生产过程的平稳。

(3) 混合生产型企业中,不同行业的离散化和连续化程度可能各有不同,必须寻求不同行业不同生产系统作为背景,有针对性地解决其生产管理问题,并以具体个例进行验证。

综上所述,混合生产型生产具有与离散型和连续型生产不同的特性,加之其对现代化生产的普遍意义,研究解决混合生产型企业的生产管理问题,具有重要的现实意义。

1.2 生产计划与调度

1.2.1 生产计划与调度问题背景

21世纪,人类进入了信息化时代,信息技术的飞速发展带动了世界经济从旧模式向新模式转变。经济的全球化、一体化、市场化和信息化从根本上改变了经济运行的环境,一方面给企业带来了诸多的发展机遇,另一方面也为企业带来了更多的要求和严峻的挑战。首先,企业生产与客户的距离更近,客户的要求更加个性化和多样化,伴随着需求的频繁变化,产品的更新

换代速度也越来越快,“以销定产”彻底取代了“以产定销”,企业必须以用户和市场的需求为导向来安排生产,面向订单的生产方式成为主流。其次,更加开放的环境激发了愈加激烈的竞争,企业要获得生存和发展,就必须能够快速响应市场,以较低的成本提供高质量的产品和满意的服务,高效的生产模式势在必行。事实上,当今的制造型企业大多面临着生产批量小、产品生命周期短、产品的改型和订单调整频繁,计划赶不上变化的状况,因此在正确的时间用最低的成本生产出正确的产品就是企业成功的关键,要达到这一目标的核心因素就是生产计划与调度。

生产计划与调度是管理生产活动的活动,开始于对产品已知或可预知的时刻,直到产品交付或销售为止这段时间。无论是客户提出的产品需求还是预测得到的需求,都有截止日期。而由于生产工艺的复杂和生产能力的限制,生产过程需要制定良好的计划与调度方案,以便在有限的时间内均衡生产负荷,不窝工又不至于出现在制品过多涨库,以保证能按时交货,从而降低生产成本,获取最佳的经济效益。因此,一个好的生产计划与调度方案,可以达到有效利用生产能力的目的,具有提升企业竞争力的战略意义。

生产计划(production planning)是企业根据内部的生产能力和环境、外部市场情况、生产发展目标、经营决策,以及市场对产品需求和原料供应情况,并根据生产设备的运行情况,对计划期内应完成的产品任务和进度做出的预先安排,包括计划期内生产的产品品种、数量和完成期限,以充分地利用企业的资源(时间、设备、劳动力、原材料和能源等),保证按时完成订货合同,满足用户的要求,提高企业的效益。生产计划的制定以适应市场的动态多变需求为基础,以企业的利润最大化为目标。

生产计划的实施由生产调度(production scheduling)系统来完成。生产调度,是企业根据长期生产计划,分解为便于执行的短期计划,结合生产设备运转的情况,针对工艺切换、原料供应及储运、资源波动等情况,进行合理

的分配和安排,协调从原料供应、生产到交货的各环节,对生产过程进行平衡与控制,并及时调整偏差,以达到物料供应连续、生产过程不间断、降低生产成本,获得最大利润的目的。简而言之,生产调度的任务是在满足生产设备和工艺要求的前提下,根据市场的需求,合理地、最佳地安排与组织生产过程,以保证整个生产活动协调进行,提高过程系统的操作最优性,它是企业实现生产计划的主要手段,也是生产计划的补充和延续。生产调度的对象及内容一般包括(平多,2005):

- (1) 产品的生产批数和批量;
- (2) 适用的设备/生产线;
- (3) 产品的生产顺序和时间安排;
- (4) 资源限制等。

生产计划与生产调度具有某种程度的相似,都是对生产过程的规划和控制,都是通过给定的时间范围内分配资源来完成任务。计划考虑时间估计、每种行为所需资源、行为之间的优先关系以及约束(Xia, 2004; Tasgetiren, 2005)。在对计划问题进行研究时,都需要建立对应的数学模型以及综合目标集(Wang, 1999; 刘建国, 2008)。调度包括任务的时间安排和按照计划实际执行要求的行为,更偏重时间概念,需要将问题分解为更小的规模以利求解,同时需要与企业的组织层和决策层相关联,实现生产高效率、高柔性和高可靠性(Lasserre, 1992; Masatoshi, Tetsuya, 1999; Kimms, 1999; Chanas, Kasperski, 2001),因此,在理论研究领域,生产计划与调度都统称为调度问题(Lawrence, Kenereth, 1984)。

生产计划和生产调度的区别在于前者主要关心资源的需求和粗分配,侧重于经营计划和生产能力的平衡,考虑的时间范围为中期;后者则主要涉及加工作业的具体安排和资源的详细分配,涉及实际生产环境的各种约束,侧重于生产设备的分配利用和物料平衡等细节,考虑的时间范围为短期。

在生产管理领域,并没有对生产计划和生产调度进行明确的界定,生产实践中,两者是高度耦合、密不可分的,前者是后者的目标,同时后者对前者起到约束的作用,有时甚至两者的内容存在多方面的重叠(陈荣秋,1995)。

1.2.2 生产调度系统中的调度问题

伴随着传统制造业的变革,分立开发的自动化系统在整体效益上不尽如人意,计算机集成制造系统 CIMS (Computer Integrated Manufacturing System) 这一新型生产模式应运而生,即集直接数字控制、监控优化、生产调度、经营决策等功能于一体,实现企业的产品设计开发过程、经营管理决策过程和加工制造过程的信息集成,以达到产品上市快(T—Time)、质量好(Q—Quality)、成本低(C—Cost)和服务好(S—Service)为目的的综合自动化模式。

管理自动化是 CIMS 中的重要组成部分,它是 CIMS 中的神经中枢,指挥控制各个部分有条不紊地工作,而计算机辅助生产计划与调度系统是管理自动化的核心技术。科学合理地确定生产调度系统直接关系到企业的经济效益和产品竞争力,使企业的物流和信息流尽可能同步,从而有效地提高生产设备的利用率,减少工序等待时间,降低物耗和能耗,以便使局部工序的最优化转变为整体工序的最优化,进而达到降低产品成本、提高产品质量、缩短产品生产周期的目的。

生产调度系统是以优化生产经营和生产操作为主要目标,综合利用现代先进的方法和技术,结合自动化信息化系统的功能,优化资源的分配、生产方案、生产计划、调度作业及操作条件,辅助生产调度和经营决策,为技术进步和科学管理提供强有力的支持。该系统的后台核心是要解决非常复杂的生产调度问题,共有的特点为:

(1) 复杂性。由于产品工艺的多样性和生产环境条件的不确定性,随着

调度问题规模的增加,求解调度问题的计算量呈指数级增长,而非多项式增加,已被证明是 NP 完全问题(Non-Polynomial Complete Problems)。

(2) 随机性。生产设备处理时间的不确定性、设备故障的偶发性及物料运输的随机性,使得调度问题成为随机优化问题。

(3) 多约束性。约束条件包括原料、生产设备等生产资源的数量、缓冲中间库存、产品的交货日期以及产品的生产工艺流程等。

(4) 多目标性。生产调度的目标很多,如最短生产期、最大生产利润、最小提前/拖期惩罚等,这些目标之间往往有冲突,故使各个目标都最优是不可能的,需要综合考虑和权衡多项目标,包括成本目标、资源利用率目标和利润目标等。

无论是 CIMS 模式,还是生产调度系统,都起源于离散型制造企业(如机械制造业)。近年来随着连续型制造业(如石油、炼铁)中生产管理问题的凸显,连续型企业 CIMS 也逐渐引起了人们的关注。然而对于混合型制造企业而言,生产工艺既具有离散型特征又具有连续型特征,CIMS 的体系结构与离散 CIMS 在诸多方面存在差异(唐立新,1999),特别是在生产调度问题上更具有显著不同的特性,为该问题的解决增加了难度和复杂性。表 1.1 以离散型制造企业中生产调度问题为例,对比分析了两类制造型生产企业中面临的生产调度问题。

表 1.1 混合生产型制造企业与离散型制造企业生产调度问题比较

| | 混合生产型制造企业 | 离散型制造企业 |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 生产连续性 | 分段连续、段间间歇 | 生产过程离散 |
| 生产工艺过程 | <ul style="list-style-type: none"> · 生产过程多阶段 · 产品工艺路线差异大 · 前后阶段的物流要求协调一致 | <ul style="list-style-type: none"> · 生产过程多工序 · 工艺路线复杂多样 · 各工序对物流的要求独立 |

(续表)

| | 混合生产型制造企业 | 离散型制造企业 |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 生产设备 | <ul style="list-style-type: none"> · 生产设备可归类为主要生产阶段 · 生产设备布置有串、并、混联方式 | <ul style="list-style-type: none"> · 生产设备多且分散 · 设备布置有产品布置、功能布置和 GT (群组技术, Group Technology) 布置 |
| 调度目标 | <ul style="list-style-type: none"> · 准时交货 · 提高设备利用率 · 均衡阶段内设备使用率 · 降低报废率 | <ul style="list-style-type: none"> · 及时交货 · 工件要求最小流程时间 · 最小在制品和成品库存 |
| 调度适用范围 | <ul style="list-style-type: none"> · 由于离散和连续的程度不同, 调度方法与不同产品的工艺和生产特性相关 | <ul style="list-style-type: none"> · 工件标准化, 调度只与生产类型如大批、小批、单件而有差别 |
| 调度要求 | <ul style="list-style-type: none"> · 生产连续性要求调度具有实时性的在线计划与重计划调整功能 · 生产间歇性要求必要的批量设计 · 强调各生产阶段的联合调度和管理, 协调一致保证物流和时间的一贯性, 故一体化调度势在必行 | <ul style="list-style-type: none"> · 生产的离散性决定调度是离线的, 实时性要求不严, 不要求重计划调整功能 · 主要强调调度降低工序等待时间, 管理在制品、半成品库存 |
| 生产排序计划 | <ul style="list-style-type: none"> · 准备与调整时间与顺序相关 · 任务顺序受工艺条件制约 | <ul style="list-style-type: none"> · 准备的调整时间与顺序无关 · 生产顺序很少受工艺条件制约 |