

韩 毅

著

离散制造业

中

生产批量计划问题的求解算法研究

清华大学出版社

离散制造业中 生产批量计划问题的求解算法研究

韩毅 著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书以供应链管理中的离散制造业生产批量计划问题为背景,采用智能优化算法作为计算手段,由简入深地开展了系列研究。针对确定环境下,考虑单一目标的、具有不同产品结构生产批量计划问题,提出了多种算法,包括离散粒子群算法、反捕食粒子群算法、分散搜索算法、元算法和排斥算子遗传算法。

本书主要适用对象包括从事供应链管理研究方向的博士生、硕士生;从事物流管理研究方向的本科生;对于物流工程硕士及企业相关工作人员也具有一定的学术研究和实际参考价值。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

离散制造业中生产批量计划问题的求解算法研究/韩毅著. —北京:清华大学出版社,2016
ISBN 978-7-302-45191-4

I. ①离… II. ①韩… III. ①制造业—工业企业管理—研究—中国 IV. ①F426.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 239561 号

责任编辑:王宏琴 刘士平

封面设计:常雪影

责任校对:刘 静

责任印制:王静怡

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印装者:虎彩印艺股份有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:9.5 插 页:1 字 数:12万字

版 次:2016 年 12 月第 1 版

定 价:42.00 元

印 次:2016 年 12 月第 1 次印刷



产品编号:070713-01

自 18 世纪产业革命以来,手工业作坊向工厂生产方向迅速发展,出现了制造业。制造业根据企业的生产工艺特点,可以粗略分成三种类型:连续制造业、离散制造业和介于二者之间的混合型企业。随着制造业的产生,所有企业几乎无一例外地追求着基本相似的运营目标,即在给定资金、设备、人力的前提下,追求尽可能大的有效产出;或在市场容量的限制下,追求尽可能少的人力、物力投入;或寻求最佳的投入产出比。就其外延而言,为追求利润;就其内涵而言,为追求企业资源的合理有效利用。大约在 1960 年,计算机首次在库存管理中获得了应用,这标志着制造业的生产管理迈出了与传统方式决裂的第一步。也正是在这个时候,美国出现了计算机辅助编制的物料需求计划(Material Requirements Planning,MRP)系统,随后发展为企业资源计划(Enterprise Resource Planning,ERP)系统。离散制造业中的生产批量计划问题是 MRP/ERP 中的关键问题。生产批量计划问题是一个理论和算法上研究的难点,也是在生产中产生重大经济效益的问题之一。探索实用和有效的计算方法,仍是国际上众所关注的热点研究课题之一。

物料需求计划是制造资源计划/企业资源计划(Manufacturing Resource Planning/Enterprise Resource Planning,MRP II/ERP)的基础,同时也是供应链管理(Supply Chain Management,SCM)的基础。在制造和分销企业中,遇到的最普遍的决策问题就是与 MRP 相关联的决策问

题。虽然这些决策问题是这些企业每天都要面对的问题,但是并不意味着这些问题就是容易解决的。生产批量计划问题(Lot-sizing Problem, LP)是MRP系统中的关键问题,它可以分为多种类型。从生产能力来看,包括资源约束(Constrained)批量计划问题和无资源约束(Unconstrained)批量计划问题;从产品的结构角度看,包括单级(single)结构、线型(serial)结构、装配(Assembly)结构和一般(General)结构的批量计划问题;还有以需求方式角度来划分的固定(Fixed)需求、时变(Time-varying)需求、随机(Random)需求和模糊(Fuzzy)需求环境下的批量计划问题等。

本书主要针对需求确定环境下,考虑单一目标的、具有不同产品结构(Bill of Material, BOM)生产批量计划问题,设计了多种亚启发式(Meta-heuristics)算法,包括如下内容。

(1) 无资源约束多级生产批量(Multilevel Lot-sizing, MLLS)问题的粒子群优化(Hybrid Particle Swarm Optimization, HPSO)算法。该算法引入柔性惯量和反捕食概念,形成带有柔性惯量的粒子群算法(Particle Swarm Optimization, PSO)和带有柔性惯量的反捕食粒子群算法(Anti-predatory Particle Swarm Optimization, APSO)。通过计算算例表明了几种PSO算法的可行性和有效性。

(2) 无资源约束MLLS问题的排斥算子遗传算法(Genetic Algorithm integrated with RO, RGA)。采用几组算例将RGA与普通遗传算法(Genetic Algorithm, GA)的运行效果进行比较,结果表明RGA略优于GA。

(3) 结合变异算子的混合分散搜索(Hybrid Scatter Search, HSS)算法。算例的计算结果表明HSS算法能够有效地求解MLLS问题,其求解结果明显优于GA的求解结果。

(4) 将目前约束处理时常用的罚函数法和能力调整法与元算法相结合,提出了求解多资源约束单层级多产品生产批量计划问题的混合元算

法。采用 3 组算法执行策略,并对每组执行策略的具体实现过程,以流程图的方式进行了描述。通过文献中的算例对 3 种执行策略进行了测试和比较,验证了算法的可行性和适用性。

(5) 针对多级多资源约束的 MLLS 问题,提出了一种基于 SS 算法与能力调整方法相结合的方法(Scatter Search integrated with Capacity Adjustment Methods, CAM-SS),阐明了该方法的具体实现过程。在 CAM-SS 方法中,首先按无资源约束问题采用 SS 算法对问题进行求解;之后采用能力调整方法按“先顺序—后逆序”的方式逐个时段处理资源约束条件。通过对计算实例进行计算和结果比较分析,表明该算法在寻优能力、求解速度和稳定性方面明显优于文献中的 GA 算法。

本书在 MRP/ERP 的大背景下研究生产批量计划问题的相关算法,致力于呈现产品生产过程中的最佳计划方案。本书针对离散制造业中不同类型的生产批量计划问题,在查阅国内外大量期刊、书籍、会议文集、研究报告等文献的基础上,进行了相关研究综述,提出了无资源约束多级生产批量(Multilevel Lot-sizing, MLLS)问题的 HPSO, RGA and HSS 算法。提出了求解单级多产品多资源约束生产批量计划问题(Single-level Multi-product Multi-resource Constrained Lot-sizing Problem, SMMCLP)的混合元算法(Hybrid Meta-heuristic Algorithm, HMA)并设计了三种算法执行策略。针对多级多资源约束问题(Multi-level Multi-resource Constrained Lot-sizing Problem),设计了一种基于 SS 算法与能力调整方法相结合的算法。本书为解决生产批量计划问题提供了研究基础,具有重要的参考价值。

本书由韩毅副教授独立完成,同时也引用了大量前人的学术成果,并尽量在书中加以标明,如果有遗漏,敬请指正。作者在此也感谢众多学者的帮助与支持,尤其要感谢作者的博士生导师东北财经大学管理学院唐加福教授一直以来的关心与指导。感谢华中科技大学管理学院杨超教授和匹兹堡大学 Jeniffer Shang 教授的指点与帮助。感谢浙江工业大学经

贸管理学院蔡建湖教授和浙江省委党校包兴副教授在本书撰写过程中的指点与帮助。感谢家人和研究团队在作者学术研究过程中的支持与付出。感谢国家自然科学基金项目《基于中小企业虚拟联盟集成优化与调度问题研究》(71301147),国家自然科学基金项目 71202140、71572184 和 71301148,教育部人文社会科学项目《基于逆向物流的生产项目调度问题研究》(12YJCZH065),浙江工业大学 2014 年度学术特区计划二期经费 GZ152105164800 和浙江省技术创新与企业国际化研究中心对本书研究和出版的资助。

本书的主要适用对象包括从事供应链管理研究方向的博士生、硕士生,从事物流管理研究方向的本科生、物流工程硕士、企业相关工作人员等在学术研究、实际工作中均可参考使用。

第一章 生产批量计划问题的相关研究	<<<1
第一节 企业生产计划管理体系	1
第二节 生产批量计划问题的定义及分类	4
第三节 生产批量计划问题的模型与相关算法	4
一、批量计划问题模型的几类主要特征	5
二、无资源约束单层级多产品生产批量 计划问题的模型与算法	5
三、有资源约束单层级生产批量计划问题 的模型与相关算法	8
四、多资源约束单层级生产批量计划问题 的模型与相关算法	14
五、无资源约束多层级生产批量计划问题 的模型与相关算法	15
六、有资源约束多层级生产批量计划问题 的模型与相关算法	19
第四节 本章小结	22
第二章 相关亚启发式算法	<<<23
第一节 遗传算法	25

一、导言·····	25
二、遗传算法的基本原理·····	26
三、遗传算法的构成要素·····	27
四、生产批量计划问题的遗传算法·····	28
第二节 禁忌搜索算法 ·····	30
一、导言·····	30
二、禁忌搜索算法的基本思想·····	30
三、禁忌搜索算法的构成要素·····	31
四、禁忌搜索算法的基本步骤·····	34
五、批量计划问题的禁忌搜索算法·····	35
第三节 模拟退火算法 ·····	36
一、导言·····	36
二、物理退火与模拟退火·····	37
三、模拟退火算法流程·····	37
四、模拟退火算法的要素·····	37
五、批量计划问题的模拟退火算法·····	39
第四节 蚁群算法 ·····	40
一、导言·····	40
二、蚁群觅食的特性·····	41
三、蚁群算法的基本步骤·····	42
四、批量计划问题的蚁群算法·····	43
第五节 本章小结 ·····	43

第三章 无资源约束多层级单产品生产批量计划问题的粒子群算法 <<<44

第一节 引言 ·····	44
第二节 问题的数学模型 ·····	44

第三节 粒子群算法	46
一、粒子群算法的构成要素	48
二、粒子群算法的基本原理	50
三、粒子群算法的基本步骤	51
第四节 混合粒子群算法	52
一、算法介绍	52
二、混合粒子群算法流程与执行步骤	55
三、混合粒子群算法的执行步骤	57
四、数值计算	57
第五节 带柔性惯量的粒子群算法	69
第六节 反捕食粒子群算法	74
第七节 本章小结	79

第四章 无资源约束多层级单产品生产批量计划问题的分散搜索算法 <<<80

第一节 引言	80
第二节 分散搜索算法	80
第三节 混合分散搜索算法	82
一、解编码	83
二、改进方法	83
三、参考集更新方法	84
四、子集产生方法	84
五、解组合方法	85
第四节 数值计算与分析	87
一、参数设定	87
二、实验结果与分析	88
第五节 本章小结	90

第五章 无资源约束单产品 MLLS 问题的带排斥算子的

遗传算法 <<<91

第一节 引言	91
第二节 带排斥算子的遗传算法	91
一、问题编码方式	92
二、适值函数	92
三、遗传算子	92
四、算例及计算结果分析	94
第三节 本章小结	95

第六章 无资源约束单产品多层级生产批量计划问题的

计算方法比较与分析 <<<96

第一节 引言	96
第二节 实验算例	97
第三节 计算结果	97
第四节 本章小结	106

第七章 有资源约束单层级多产品 MLLS 问题的

元算法 <<<107

第一节 引言	107
第二节 元算法	108
第三节 批量计划问题的元算法	109
一、问题编码	109
二、适应值计算	110
三、遗传操作和局部搜索策略	111

四、能力处理机制	112
五、算法执行策略	115
六、终止条件	115
七、实验算例	115
八、计算结果分析与讨论	120
第四节 本章小结	121

第八章 多资源约束多层级单产品生产批量计划问题的分散搜索算法 <<<122

第一节 引言	122
第二节 基于能力调整策略的分散搜索算法(CAM-SS)	122
一、逆时段能力调整方法	123
二、顺时段能力调整方法	124
三、CAM-SS 算法执行步骤	124
第三节 实例计算	125
第四节 本章小结	128

结语 <<<129

参考文献 <<<131

生产批量计划问题的相关研究

第一节 企业生产计划管理体系

企业内部的生产管理分为三个层次。第一个层次为企业的发展战略和长期规划层,第二个层次是企业中、短期计划层,第三个层次是生产计划的具体实现层。生产批量计划问题属于第二个层次上的问题。典型的企业生产计划管理体系如图 1-1 所示。

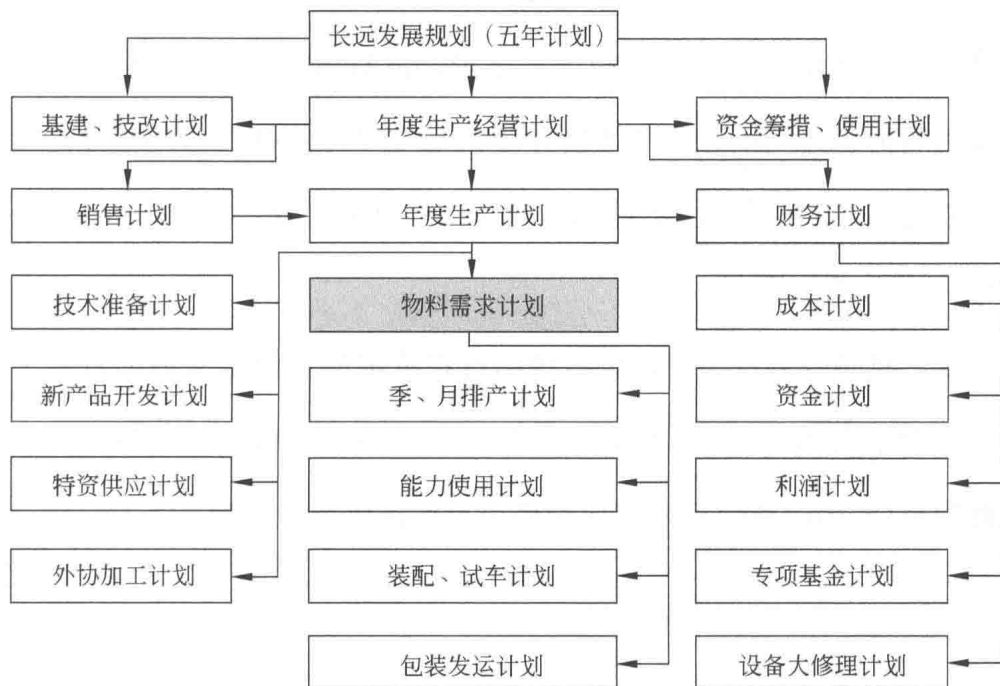


图 1-1 典型的企业生产计划管理体系

典型的企业生产计划问题包括三种时间范围的决策：长期计划、中期计划和短期计划。长期计划是对企业资源的使用与安排的总体规划；中期计划需要制定 MRP 系统的生产数量与批量大小，在满足需求和现有资源约束的基础上，使总成本最小化；在短期计划中，决策问题通常包括每天的工作调度、工作排序与工作间控制等。

在离散制造和分销企业中，遇到的最普遍的决策问题是与 MRP 相关的决策问题。随着 MRP 系统的不断发展，出现了考虑加工机器能力约束的制造资源计划 (Manufacturing Resource Planning, MRP II) 系统。图 1-2 给出了 MRP II 系统的逻辑流程图。

虽然 MRP 是一个十分古老的研究领域，但是直至今日，它在协调复杂产品的补充决策中仍然起着不可或缺的作用。由于 MRP 系统是通过计算按时间分段的总需求量和净需求量，并以间断的时间序列来表达对库存物料的需求，因此生产批量计划问题是 MRP II/ERP 中的关键问题，它是一个组合优化问题，已被证明是 NP (Non-deterministic Polynomial) 难问题。

生产批量计划问题是确定各种物料在给定的计划范围内的每一个时间段的批量大小，使得在整个计划范围 (Planning Horizon, PH) 内，整体装备调整 (Setup) 费用和库存保管费用及生产费用之和最小。

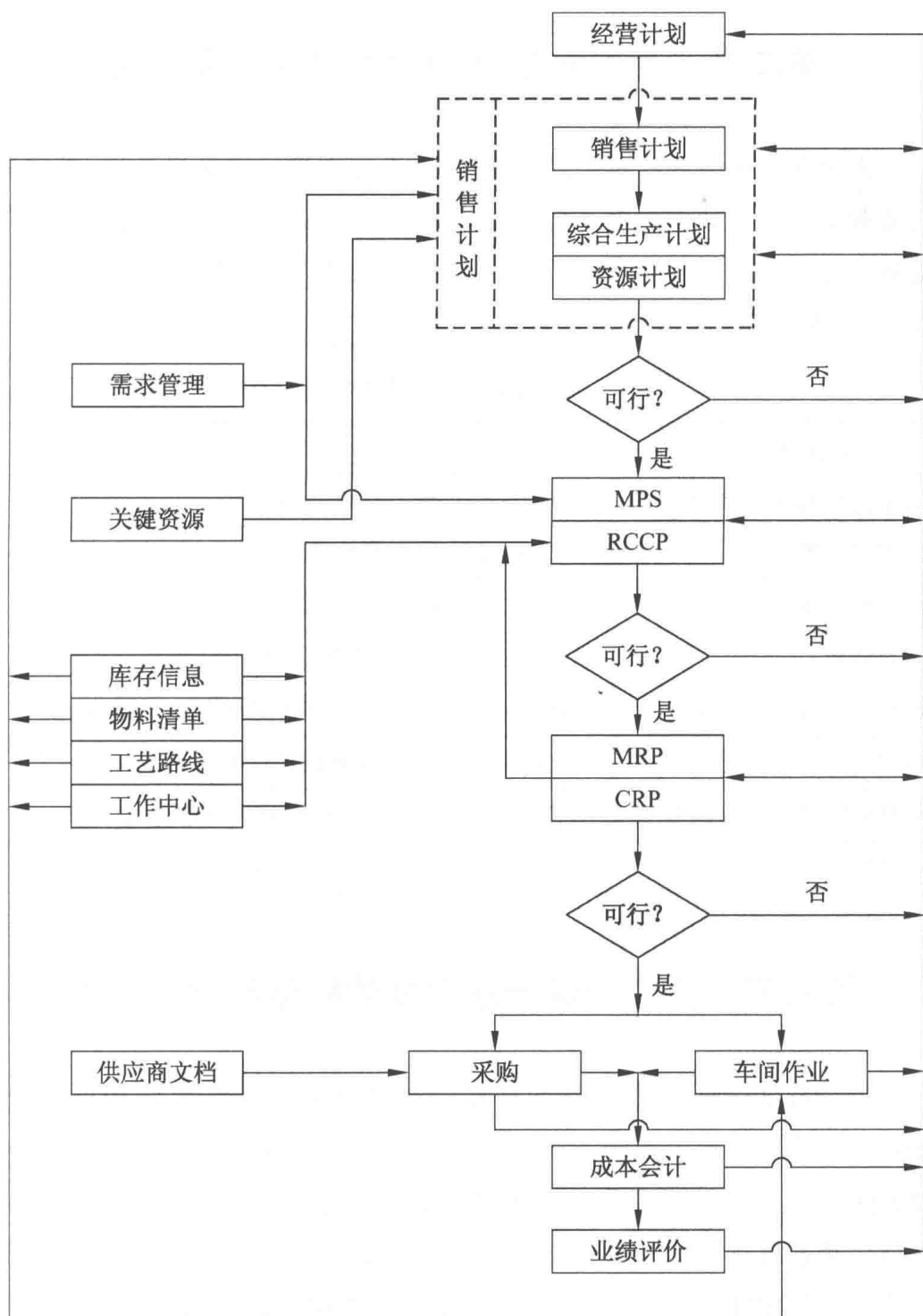


图 1-2 MRP II 的逻辑流程

第二节 生产批量计划问题的定义及分类

无论在离散制造业还是混合制造业,都存在着生产批量计划,不同的制造业生产批量计划的含义会有所不同。在离散制造业中批量计划可分批量组合计划和批量大小计划,本书主要研究的是批量大小计划问题。表 1-1 给出了生产批量计划问题的分类原则。

表 1-1 生产批量计划问题的分类原则

分 类 原 则	生产批量计划问题的类型
需求信息的确定性程度	确定性(Deterministic);随机性(Stochastic)
外部需求形式	静态需求(Static);动态需求(Dynamic)
计划期长度	有限时期(Limited horizon);无限时期(Unlimited horizon)
项目数量	单一项目(Single-item);多项目(Multi-item)
服务策略和相关成本	允许缺货(Backlog allowed);不允许缺货(No backlog)
资源约束情况	有限能力(Capacitated);无限能力(Uncapacitated)
调整时间是否占用能力	考虑调整时间(Setup time);忽略调整时间(No setup time)
生产阶段	单生产阶段(Single-stage);多生产阶段(Multi-stage)

第三节 生产批量计划问题的模型与相关算法

生产批量计划问题的早期研究一般是以库存问题的形式出现的。1913 年, Harris 发表了著名的经济订货量(Economic Order Quantity, EOQ)公式,可以认为是这方面的最早文献。1958 年, Wagner 和 Whitin 提出了动态批量计划问题的动态规划算法(简称 WW 算法),但其局限于讨论单级批量计划问题。1968 年, Schussel 首次讨论了线型生产系统的批量计划问题。同时 MRP 系统在生产企业中被广泛接受,极大地促进了

多级批量计划问题的研究。

一、批量计划问题模型的几类主要特征

批量计划问题的复杂性是由批量模型的特征决定的。模型的特征影响了问题的分类、建模与批量决策的复杂性。

1. 计划期

计划期就是主生产计划的时间区段。

2. 层级数量

生产系统可以是单级的或多级的。

3. 产成品数量

生产系统的产成品数量是影响生产计划问题建模和复杂性的另一个特征。

4. 能力或资源约束

生产系统中的资源或能力包括人力、设备、机器及预算等。

5. 需求

需求类型是问题模型的输入。

由于批量计划问题的范围非常广,本书主要介绍具有确定需求的动态批量计划问题的模型与求解算法,并按层级原则来对四类问题进行阐述:①无资源约束单层级多产品生产批量计划问题;②有资源约束单层级多产品生产批量计划问题;③无资源约束多级单产品生产批量计划问题;④有资源约束多级单产品生产批量计划问题。

二、无资源约束单层级多产品生产批量计划问题的模型与算法

无资源约束单层级多产品生产批量计划(Single-Level Unconstrained