

具有容量限制的 缓冲区排产系统最优策略研究

——面向柔性流水车间有限缓冲区排产
优化理论与方法研究

韩忠华 高治军 孙亮亮 著



東北大學出版社
Northeastern University Press

具有容量限制的缓冲区排产系统最优策略研究

——面向柔性流水车间有限缓冲区排产优化理论与方法研究

韩忠华 高治军 孙亮亮 著

东北大学出版社

· 沈 阳 ·

© 韩忠华 高治军 孙亮亮 2018

图书在版编目 (CIP) 数据

具有容量限制的缓冲区排产系统最优策略研究：面向柔性流水车间有限缓冲区排产优化理论与方法研究 /

韩忠华, 高治军, 孙亮亮著. — 沈阳 : 东北大学出版社, 2018. 9

ISBN 978-7-5517-1870-7

I. ①具… II. ①韩… ②高… ③孙… III. ①流水生产线—生产管理—系统最优化—研究 IV. ①F273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 223549 号

出 版 者：东北大学出版社

地址：沈阳市和平区文化路三号巷 11 号

邮编：110819

电话：024-83683655(总编室) 83687331(营销部)

传真：024-83687332(总编室) 83680180(营销部)

网址：<http://www.neupress.com>

E-mail: neuph@neupress.com

印 刷 者：沈阳市第二市政建设工程公司印刷厂

发 行 者：东北大学出版社

幅面尺寸：170mm × 240mm

印 张：12.25

字 数：181 千字

出版时间：2018 年 9 月第 1 版

印刷时间：2018 年 9 月第 1 次印刷

责任编辑：孙 锋

责任校对：图 图

封面设计：潘正一

ISBN 978-7-5517-1870-7

定 价：45.00 元

前 言

柔性流水车间排产优化问题 (Flexible Flow Shop Scheduling Problem, FFSP) 是最广泛研究的生产调度问题之一。FFSP 通常假设加工机器之间存在着无限大的缓冲区, 用以存放在制品等物料, 然而在许多生产企业如半导体封装、钢铁生产、汽车装配、大型装备制造等诸多国民经济的支柱行业的实际生产制造过程中, 由于受到实际生产车间的空间和存储设备等条件的制约, 生产线上只能设置容量有限的缓冲区。当生产任务需求产能出现波动时, 各工序间的生产节拍不一致, 缓冲区中存放在制品会达到容量的上限, 进而出现生产堵塞和死锁等现象, 并导致产品的总生产时间延长、设备利用率下降等问题。同时具有有限缓冲区的生产车间相比缓冲区容量不受限制的生产车间增加了更多的生产约束条件, 进而提高了加工工艺的复杂度, 增加了柔性流水车间排产优化的难度, 因此研究有限缓冲区排产优化问题具有重要的理论意义和实际应用价值。

现如今对具有有限缓冲区的生产车间排产优化问题的研究已经深入到制造业的各个领域, 研究方法也随着相关学科与优化技术的建立与发展而日趋多元化, 特别是基于计算智能和人工智能的排产方法已成为排产方法的研究主流。目前, 已提出的制造过程排产算法主要包括数学规划方法 (Mathematical Programming Methods)、启发式方法 (Heuristic Methods)、人工智能方法 (Artificial Intelligence Methods) 和软计算方法 (Soft Computing Methods) 等。现阶段人工智能已经成为研究的热点, 利用人工智能方法解决具有有限缓冲区的生产车间的排产优化问题已成为一大趋势, 在学术界有关排产优化的问题得到了广泛关注, 很多企业和机构都在进行相关研究。同时, 在有限缓冲区排产优化领域, 已经有很多研究文献, 但深入、系统研究的书籍不多。本书系统的介绍了不同类型的有限缓冲区排产优化的概念、方法和相关技术, 理论研究成果已经具备解决这类实际排产优化问题的能力, 相关排产优化方法和技术已在

客车制造行业、半导体封装行业和大型装备制造行业的实际工程项目中得到应用,并取得良好的排产优化效果。

本书着眼于不同类型的有限缓冲区排产优化问题的研究,包括多序列缓冲区排产优化问题、公共缓冲区排产优化问题等其他类型的有限缓冲区排产优化问题。针对不同类型的有限缓冲区排产优化问题,首先从搭建其数学规划模型入手,建立了相关的模型参数和约束条件,描述其排产优化过程。在此基础上分别从全局优化方法和局部调度方法两个角度探索不同类型的有限缓冲区排产优化问题求解方法,在全局优化方法研究方面主要侧重于排产优化过程整体的优化速度和寻优性能,在局部优化方法研究方面通过分析工件在进出缓冲区时的方式和工件在缓冲区内的移动过程,制定相应的控制规则和控制策略,引入局部优化算法,指导工件在缓冲区内部的移动过程,从而降低复杂的有限缓冲区对生产运作过程的影响,提升局部优化效果,进而更好的实现全局优化的目标。在研究具有多序列有限缓冲区的柔性流水车间排产优化问题的过程中,针对多序列有限缓冲区中工件在多个序列缓冲区中的入道分配和出道选择问题,设计了多种启发式规则来指导局部指派过程。在研究有限缓冲区动态增容的排产优化问题过程中,通过使用公共缓冲区实现动态的增加有限缓冲区的容量,考虑工件进出公共缓冲区的转运时间的影响,制定多种局部调度规则来降低转运时间,并结合博弈论思想,构建一种新的基于公共缓冲区的局部调度方法,进一步降低转运时间,达到消解不同因素与优化目标之间的冲突,提高生产资源利用率。在研究具有路由缓冲区的柔性流水车间排产优化问题的过程中,由于工件在路由缓冲区内移动路线复杂,增大了排产优化过程的不确定性,因此建立路由缓冲区局部调度规则,并采用 SPF 快速寻优算法获得工件在路由缓冲区内的最佳移动路线,提高了全局优化速度。在研究具有可重入工序的柔性流水车间有限缓冲区排产优化问题的过程中,由于其工艺流程中存在可重入工序,在增大生产运行的负荷的情况下,也会提高工件的耦合性进而引发死锁问题。这类死锁问题可通过有限缓冲区预留容量来解决,本书给出一种基于马尔科夫预测模型的工位预留方法,用以指导工件在重入工序缓冲区的进出移动过程,减少缓冲区资源冲突,降低生产过程中出现死锁的概率。在研究不同类型的柔性流水车间有限缓冲区优化问题中,建立综合评价指标来验证各种全局优化算法与局部调度方法的优化效果,并进一步通过工程实例进行测试分析,系统论证了本书中所给出的求解有限缓冲区排产优化问题方法的有效性和可行性。

本书由中科院沈阳自动化研究所史海波研究员审定,由韩忠华负责写作提纲、组织编写和最后的统稿工作。参加本书部分章节撰写的有韩忠华、董晓婷(第一章),张权、高治军、毕开元(第二章),韩超、林硕、彭佳玉(第三章),王世尧、阚凤龙、司雯(第四章),田旭天、孙亮亮、刘约翰(第五章),孟付、张竞元、谢蕃悱(第六章),另外许景科,陈智丽,夏兴华,彭宇,常大亮,黄建中,郭彤颖,王凤英,曹阳,郭莉莉,赵浩轩,孙东,王鑫,王娟,郭喜峰,李征宇,叶友林,宫巍,单丹,王颖光也为本书做出贡献,程娟对相关的外文资料进行了相应的翻译和整理,在此一并表示感谢。

本书在编写的过程中,参考了大量相关书籍和资料,特向文献、资料的原著者表示衷心的感谢。本书获得中国国家自然科学基金面上基金项目“不确定环境下炼钢-连铸批量计划与生产调度一体化优化方法的研究”(61873174),辽宁省自然科学基金计划重点项目“基于无线传感器网络的建筑安全监测技术研究”(20170540752),辽宁省重点研发计划项目“面向装备制造业的人工智能生产优化技术研究”(2018106008),沈阳市科技计划项目“双百工程”计划“精益生产模式下的数字工厂技术在装配式建筑预制件生产企业中的转化”(Z18-5-015)的资助出版。

由于作者水平所限,对柔性流水车间有限缓冲区排产优化这一领域涉及的知识 and 内容研究的还不够深入透彻,另外生产管理优化领域发展快速,书中难免有不当之处,恳请读者、专家、学者给予批评指正。

韩忠华

2018年4月

目 录

第1章 引 言	1
1.1 柔性流水车间有限缓冲区排产优化问题的研究背景	1
1.2 柔性流水车间有限缓冲区排产优化问题的研究现状	2
1.3 柔性流水车间有限缓冲区排产优化问题的发展趋势	5
1.4 本章小结	6
第2章 多序列缓冲区排产优化问题研究	10
2.1 引言	10
2.2 多序列有限缓冲区排产优化模型	12
2.2.1 问题描述	12
2.2.2 模型参数	12
2.2.3 约束条件	14
2.3 求解多序列有限缓冲区排产优化问题的方法研究	17
2.3.1 全局优化算法研究	17
2.3.2 局部调度规则研究	24
2.4 全局优化算法的仿真测试与性能分析	26
2.4.1 算法参数分析	26
2.4.2 算法优化性能测试	29
2.5 多序列有限缓冲区排产优化问题的实例仿真测试与对比分析	33
2.5.1 构建仿真数据	33
2.5.2 构建仿真方案	35
2.5.3 仿真结果对比分析	36
2.6 本章小结	43

第3章 公共缓冲区排产优化问题研究	47
3.1 引言	47
3.2 公共缓冲区排产优化模型	49
3.2.1 问题描述	49
3.2.2 模型参数	49
3.2.3 约束条件	51
3.3 求解公共缓冲区局部调度问题的方法研究	54
3.3.1 公共缓冲区的局部调度方法研究	54
3.3.2 改进的公共缓冲区局部调度方法研究	57
3.3.3 结合博弈论的公共缓冲区局部调度方法研究	61
3.4 解决公共缓冲区排产优化问题的的实例仿真测试与对比分析	81
3.4.1 构建仿真数据	81
3.4.2 构建仿真方案	82
3.4.3 仿真结果对比分析	83
3.5 本章小结	90
第4章 路由缓冲区排产优化问题研究	93
4.1 引言	93
4.2 路由缓冲区排产优化模型	95
4.2.1 问题描述	95
4.2.2 模型参数	97
4.2.3 约束条件	98
4.3 求解路由缓冲区排产优化问题的方法研究	100
4.3.1 全局优化算法研究	101
4.3.2 局部调度规则及优化算法	107
4.3.3 基于 SPF 算法的局部寻优方法与改进鲸鱼算法结合的优化方法·····	113
4.4 路由缓冲区排产优化问题的实例仿真测试与对比分析	115
4.4.1 构建仿真数据	115
4.4.2 构建仿真方案	119
4.4.3 仿真结果与分析	119

4.5 本章小结	122
第5章 具有可重入工序的有限缓冲区排产优化问题研究	129
5.1 引言	129
5.2 具有可重入工序的柔性流水车间有限缓冲区排产优化模型	132
5.2.1 问题描述	132
5.2.2 模型参数	133
5.2.3 约束条件	134
5.2.4 具有可重入工序的柔性流水车间有限缓冲区排产死锁问题模型	135
5.3 求解具有可重入工序的有限缓冲区排产优化问题的方法研究	141
5.3.1 全局优化算法研究	141
5.3.2 局部优化方法研究	151
5.4 基于马尔科夫链的有限缓冲区容量动态预留方法解决死锁问题研究	152
5.4.1 马尔可夫链预测模型	152
5.4.2 基于马尔科夫链的预测工位状态模型	155
5.4.3 基于马尔科夫链的有限缓冲区容量动态预留方法	156
5.5 实例仿真测试与对比分析	158
5.6 本章小结	164
第6章 柔性流水车间有限缓冲区排产优化技术	169
6.1 引言	169
6.2 排产优化仿真软件对比分析	169
6.2.1 国内外主流排产优化工具介绍	169
6.2.2 国内外主流排产优化工具分析	178
6.3 柔性流水车间有限缓冲区排产软件设计	178
6.3.1 柔性流水车间有限缓冲区排产软件需求分析	178
6.3.2 柔性流水车间有限缓冲区排产软件开发技术	179
6.3.3 柔性流水车间有限缓冲区排产软件架构设计	180
6.3.4 面向领域驱动的排产软件设计方案	182
6.4 本章小结	184

第1章 引言

1.1 柔性流水车间有限缓冲区排产优化问题的研究背景

制造业作为我国国民经济的支柱产业,对我国国民经济的发展有着不可替代的作用,其发轫水平直接影响到国家的经济基础和综合实力。最近几十年制造企业的生产方式发生巨大转变,精益生产、计算机集成制造和敏捷制造等生产方式正在制造企业中快速应用与发展。随着信息技术、先进制造技术、人工智能技术的快速发展,生产规模不断扩大,复杂性越来越高,因此,对企业的生产计划管理和控制有着更高的要求。生产排产作为制造企业生产计划管理和控制的核心环节和关键技术,正扮演着越来越重要的角色。

对生产调度的研究具有两方面的重要意义。第一,它具有重要的理论意义和学术价值。调度问题作为一类复杂的组合优化问题,其应用背景涵盖多个领域,几十年来已经被抽象为一类数学和运筹学问题。第二,它有助于提高企业经济效益和市场竞争能力。近年来,随着企业间竞争越来越激烈,客户的个性化需求越来越强,企业只有通过提高生产管理水平和制造自动化水平,才能缩短制造周期,提高生产效率,减少产品滞后现象,提高客户满意度,降低生产成本,最终提高企业的经济效益和市场竞争能力。而采用合理、适用、有效、优化的排产调度方案是提高生产管理水平的制造自动化水平的关键。

在以往的排产优化问题的研究中,大多设定缓冲区为无限缓冲区并侧重于对新型全局优化算法及算法的改进的研究,而对有限缓冲区排产优化问题进行系统研究的较少,也未针对不同类型的有限缓冲区的排产优化问题进行具体的研究。然而,具有有限缓冲区约束的柔性流水车间排产优化问题广泛存在于车辆、船舶、食品、化工等关键国民经济领域。有限缓冲区的排产优化问题比一般的柔性流水车间排产优化问题更加复杂,由于有限缓冲区约束的存在,当缓冲区中工件数量超过了其容量,会导致完工工件阻塞在当前工位中,引起整个

排产过程的链式反应,滞后整个生产计划的执行。同时由于加工任务集中产品类型、工艺路线和工时的差异会导致在生产不同时刻加工任务集对缓冲区容量需求有很大的波动。这些问题都极大的增加了排产的难度,柔性流水车间有限缓冲区排产优化问题是典型的 NP-Hard 问题。

以客车制造企业为例,客车制造企业通常采用客户定制化的生产方式,每天投产的生产订单中车型种类繁多,不同的车型在同一个工序加工工时也不相同,在承装车间之前的焊装和涂装生产车间,具有多工序多并行工位的特点,是典型的柔性流水车间。定制化的生产方式带来客车的加工工时和工艺流程的差异,并且客车生产周期较长,需要大量的缓冲区车位来临时停放等待加工的客车。又由于客车属于大体积在制品,客车生产线上只能设置车位数量有限的缓冲区,所以客车制造企业排产优化问题属于柔性流水车间有限缓冲区排产优化问题的范畴。中间缓冲区是车间生产线的重要组成部分,尤其是在大规模生产环境下,它不仅仅用于存放生产过程中的在制品,其更重要的作用是对这些在制品进行重新的位置排序,以便在下一道加工工序拥有最好的加工顺序,从而提高车间生产效率。容量有限的缓冲区作为排产约束条件,在实际生产中当缓冲区容量达到上限时会使得上道工序的完工客车无法进入缓冲区中,造成生产堵塞,从而延长了客车的总生产时间,降低了设备利用率。这类具有一定难度的排产问题如果能得到很好解决,就能使得整个生产运作系统顺畅运行,提高产品质量,也能够提高企业现有资源潜力,使得整个企业能够按计划进行合理生产,达到供应链的上各个环节的动态平衡。因此,研究柔性流水车间有限缓冲区的排产优化问题具有重要的实际意义。

1.2 柔性流水车间有限缓冲区排产优化问题的研究现状

具有有限缓冲区的柔性流水车间是传统流水车间的一种推广形式,其具有多工序、多并行机、多阶段的特点,由于生产资源的限制,其缓冲区是具有一定容量的有限缓冲区,又由于生产产品的种类不同、加工工艺不同、生产要求不同,有限缓冲区又有多种存在形式,例如多序列缓冲区、公共缓冲区、路由缓冲区等不同形式的有限缓冲区。研究不同形式的有限缓冲区柔性流水车间排产优化问题对提高企业资源的利用,提升企业生产效率、增加企业效益具有重要的意义

目前,已提出的制造过程排产算法主要包括数学规划方法(Mathematical

Programming Methods)、启发式方法(Heuristic Methods)、人工智能方法(Artificial Intelligence Methods)和软计算方法(Soft Computing Methods)等各类排产算法。下面针对有限缓冲区的研究现状进行介绍。

1975年, Dutta 等^[1]对有限缓冲区的置换流水车间问题, 以最小化最大完成时间为优化目标, 提出一种动态规划方法, 在解决有限缓冲区问题上具有很好的效果; 1992年^[2], 谭民对 CIMS 生产线中缓冲区容量进行了优化分配, 提出了拉格朗日乘子优化法和启发式优化算法, 得到了满意的结果。1996年^[3], Hall N G, Sriskandarajah C 对有限缓冲区无阻塞、无等待问题进行了研究, 比较了枚举法和启发式算法的结果。1998^[4], Czeslaw 采用一种分支定界法求解两阶段的具有缓冲区限制的置换流水车间调度问题。但这些算法只可解决规模较小的生产排产问题, 且编码方法是不完善的, 可能产生非法解。2000^[5]年, 赵晓波等采用开排队网络模型, 讨论了重组过程中, 通过加工域缓冲区容量的优化配置提高系统性能的问题, 给出了不同系统构成时缓冲区容量的最优配置方案。2002年^[6], FULYAA 等提出了利用人工神经网络和模拟退火来优化装配系统中的缓冲区容量。2004年^[7], Wardono B 等采用启发式算法求解缓冲区约束的多工序并行机的流水车间调度问题, 但这一解法只能用于解决规模较小的问题。2012年^[8], Zeng M 等为了解决柔性流水车间有限缓冲区间歇调度问题, 提出了一种自适应细胞自动变异粒子群优化算法, 该算法具有较好的寻优效果和较强的鲁棒性。2013年^[9], Almeder C, Hartl R F 针对金属加工行业有限缓冲区柔性流水车间问题提出了基于变量邻域搜索的解决方案方法基于变量邻域搜索的解决方案方法, 给出最优的生产计划。2013年^[10], Boysen 和 Zenker 对汽车的重排序问题进行了分析, 将缓冲区的重排序问题分为了填充问题和释放问题, 提出了一个基于简单规则集法和群蚁算法的组合算法解决填充问题, 采用了启发式的搜索方法解决释放问题。2013年^[11], 张培文, 潘全科等提出一种混合人工蜂群算法, 该算法与基于 NEH 的带权重的曲线拟合(WPFE)启发式算法进行结合, 在解决有限缓冲区流水车间调度问题上具有很好的效果。2014年^[12], Zhao F, Tang J 等提出了具有线性减小的干扰项改进的粒子群优化(LDPSO)用于具有有限缓冲区的流水车间调度的研究; 2014年^[13], E Gerstl, G Mosheiov, A Sarig 等一最小最大完工时间为优化目标对两级流水车间进行了研究, 给出了最佳机器使用顺序、批次大小和批次顺序的总体方案。2015年^[14], Khamseh A, Jolai F, Babaei M 采用遗传算法结合模拟退火算法解决缓冲区设置和预防性维护问题。2015年^[15], Rohaninejad M, Kheirkhah A S 等采用萤火虫

算法结合领域搜索方法解决具有改机操作的调度车间排产优化问题。2015 年^[16], Aldowaisan T, Allahverdi A 采用遗传算法结合模拟退火算法来制定调度规则来求解具有改机操作的流水车间排产优化问题。2016 年^[17], Deng G, Yang H 等通过对本地搜索探索插入和互换邻域的方法的研究, 提出了一种改进的离散人工蜂群算法来, 并将该算法用于对有限缓冲区的流水车间调度问题的求解。2016 年^[18], Guanlong Deng 等人采用人工蜂群算法和有限缓冲器对有限缓冲区柔性流水车间进行了研究。2016 年^[19], Yi Wenchao, Li Xinyu 等提出了一种 MA 算法解决有限缓冲区柔性流水车间排产优化问题, 通过使用 GA 执行探索和 TS 来执行开发来组合全局搜索和局部搜索。2017 年^[20], Sioud A, Gagné C 采用候鸟算法解决改机时间优化问题。2017 年^[21], Lalami Idris, Frein Yannick 等以汽车行业实际生产数据模拟在滚动水平规划过程中通过所提出的模型获得性能, 执行多个测试以评估此过程中涉及的两个参数的影响。2017 年^[22], Nahas, Nabil. 以缓冲区串行生产线为研究对象, 对最佳预防性维护和最佳缓冲区分配进行研究, 提出了扩大洪水算法。2017 年^[23], Xi Shaohui, Chen Qingxin 等为了解决大规模有限缓冲区生产线容量配置问题, 以最小化设备投资成本为优化目标, 建立了具有吞吐量约束的最优模型。

对于具有公共缓冲区的柔性流水车间, 1991 年^[24], Mitra D, Mitrani I 等对具有公共缓冲区的柔性流水车间进行了研究。1998 年^[25], 丁广太, 涂奉生等对具有公共缓冲区的生产线系统的稳态进行分析研究。

对于可重入生产车间调度问题的研究, 多位学者已取得不同程度的进展。2007 年^[26], J Kunadilok 在具有重入工序的小规模有限缓冲区生产车间排产优化问题中, 开发了混合整数规划(MIP)调度模型, 采用移动搜索和大步骤多样化来开发所提出的随机密钥遗传算法(random keys genetic algorithm(RKGA))求解具有重入工序的小规模有限缓冲区生产车间排产优化问题。2012 年^[27], 年范金松, 严洪森, 周久海, 蒋南云文中通过某航空发动机装配车间生产线中发动机经过多次分解后再重新装配的过程的研究, 借助随机矩阵的编码方式和改进的交叉方法与变异方法, 提出了基于遗传算法的优化调度方法实现对装配车间的调度的优化。2015 年^[28], C Sangsawang, K Sethanan, T Fujimoto, M Gen 针对具有阻塞(FFS | 2stage, rcrc, block | C max)的两阶可重入柔性流水车间调度(RFFS)的问题。提出了基于模糊逻辑控制器的自适应 GA(HGA, 混合遗传算法)与基于柯西分布的 PSO(HPSO, 混合粒子群优化)来解决可重入柔性流水车间排产优化问题。2015 年^[29], 周炳海, 钟臻怡为了有效提升可重入车间的生

产效率,提出了基于拉格朗日松弛算法的可重入混合流水车间的调度方法。以最小化加权完成时间为调度目标,建立数学规划模型。针对该调度问题提出了基于松弛机器能力约束的拉格朗日松弛算法,使用动态规划方法建立递归公式,使用次梯度算法求解拉格朗日对偶问题。2016年^[30],林刚,刘建军,陈庆新,毛宁为满足模具热处理生产具有动态到达和重入加工的特点,构建了加权拖期惩罚指数和能耗指数两个优化目标,同时对模具热处理中回火任务进行滚动排产,构建了启发式算法进行求解。2018年^[31],王丹敬,徐建有针对可重入生产车间调度问题,提出了一个自适应变邻域搜索算法,并在算法中嵌入了一个精英解集合,以增强算法的跳出局部最优的能力。

有限缓冲区柔性流水车间的相关研究在客车制造企业、半导体行业等实际的工程应用当中的到了广泛的应用,对各种具有不同形式的有限缓冲区柔性流水车间进行深入的研究具有重要的意义。

1.3 柔性流水车间有限缓冲区排产优化问题的发展趋势

从20世纪80年代至今,排产优化问题的研究在理论和应用上都取得了重大突破。研究随着信息技术、先进制造技术、人工智能技术的快速发展,基于计算智能、人工智能和实时智能的排产方法已成为排产方法的研究主流。目前,已提出的制造过程排产算法主要包括数学规划方法(Mathematical Programming Methods)、启发式方法(Heuristic Methods)、人工智能方法(Artificial Intelligence Methods)和软计算方法(Soft Computing Methods)等各类排产算法。现阶段人工智能已经成为研究的热点,利用人工智能方法解决柔性流水车间有限缓冲区排产优化问题也成为一大趋势,在学术界排产优化问题也得到了广泛关注,很多企业和研究机构都在进行相关研究。

柔性流水车间有限缓冲区排产优化问题作为一类十分复杂的排产优化问题却广泛存在于车辆、船舶、食品、化工以及海洋事业等关键国民经济领域。对于这类复杂的排产优化问题要综合考虑各种影响因素,才能真正找到进一步发展的道路。

(1) 从制定计划到执行计划,从整个供应链的角度上研究车间生产排产过程,增强企业内部各个系统之间关联。即进一步增强整个MES系统从上面ERP系统到底层生产控制系统之间的整合,车间生产排产系统与MES系统中其他系统模块整合。

(2) 引入最新的物联网技术,打破以往车间作为黑箱生产单元的局限,使得整个生产过程变成透明的可追溯的系统,与生产追踪系统做到更强更灵活的配合,与车间传感网络实现更好信息共享,使得生产排产系统对生产线上各种状况具有更敏捷的反应。

(3) 增强车间现场调度与车间排产计划之间耦合程度,增强这个耦合的关键是车间内部管理方式的改造,突破原来管理关系上壁垒,进一步增强车间信息化和智能化水平。

(4) 深入研究新的排产优化算法,并且能够处理大规模复杂运算,能够找到更好并行运算方法,在原有硬件平台上增强数据处理能力,更好运用大数据找到车间运行规律,有机重组和重构车间生产要素。

(5) 引入人工智能技术,对于柔性流水车间有限缓冲区排产优化问题这类 NP-Hard 问题,无论是传统的数学方法,还是群智能进化算法在求解时间和求解精度方面总会出现力不能及的地方,而人工智能技术在深度学习、自我学习、自主寻优方面越来越展现出强大的优势和生命力,尤其对于求解 NP-Hard 问题。

1.4 本章小结

本章阐述本书研究的背景,分析了柔性流水车间有限缓冲区排产优化问题的研究现状,探讨了柔性流水车间有限缓冲区排产优化问题的发展趋势,随着信息技术、先进制造技术、人工智能技术的快速发展,基于计算智能、人工智能和实时智能的排产方法已成为排产方法的研究主流。本章最后探讨了以人工智能为主要研究方向的解决柔性流水车间有限缓冲区排产优化问题的发展趋势。

本章参考文献

- [1] Dutta S K, Cunningham A. Sequencing two-machine flow-shops with finite intermediate storage[J]. *Management Science*, 1975, 21: 989 - 996.
- [2] 谭民. 缓冲区容量的优化分配[J]. *控制与决策*, 1992(05): 386 - 389 + 348.
- [3] Hall N G, Sriskandarajah C. A survey of machine scheduling problems with blocking and no wait in process[J]. *Operations Research*, 1996, 44(3): 510 - 525.
- [4] CZESIAW S. A two-machine permutation flow shop scheduling problem with buffers[J]. *OR Spektrum*, 1998, 20(4): 229 - 235.
- [5] 赵晓波, 张鸣, 罗振壁, 盛伯浩, 俞圣梅. 可重组 FMS 中缓冲区容量的优化配置问题[J]. *系统工程学报*, 2000(02): 158 - 162.
- [6] FULYAA, BERNAD, AKIFA. Simulation of manufacturing operations: optimization of buffer sizes in assembly systems using intelligent techniques[M]. San Diego, CA, USA: Institute of Electrical of Electronics Engineers Inc., 2002. 1157 - 1162.
- [7] Wardono B, Fathi Y. A tabu search algorithm for the multi-stage parallel machine problem with limited buffer capacities[J]. *European Journal of Operational Research*, 2004, 155(2): 380 - 401.
- [8] Zeng M, Long Q Y, Liu Q M. Cellular automata variation particles warm optimization algorithm for batch scheduling. In: *Proceeding of the 2012 International Conference on Intelligent Systems Design and Engineering Applications*, Sanya, China, 2012: 193 - 196.
- [9] Almeder C, Hartl R F. A metaheuristic optimization approach for a real-world stochastic flexible flow shop problem with limited buffer[J]. *International Journal of Production Economics*, 2013, 145(1): 88 - 95.
- [10] Boysen N, Zenker M. A decomposition approach for the car resequencing problem with selectivity banks [J]. *Computers & Operations Research*, 2013, 40(1): 98 - 108.

- [11] 张培文, 潘全科, 李俊青, 等. 有限缓冲区流水车间调度的混合人工蜂群算法[J]. 计算机集成制造系统, 2013, 19(10): 2510 - 2520.
- [12] Zhao F, Tang J, Wang J, et al. An improved particle swarm optimisation with a linearly decreasing disturbance term for flow shop scheduling with limited buffers [J]. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 2014, 27(5): 488 - 499.
- [13] Gerstl E, Mosheiov G, Sarig A. Batch Scheduling In A Two-Stage Flexible Flow Shop Problem [J]. Foundations of Computing & Decision Sciences, 2014, 39(1): 3 - 16.
- [14] Khamseh A, Jolai F, Babaei M. Integrating sequence-dependent group scheduling problem and preventive maintenance in flexible flow shops[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2015, 77(1 - 4): 173 - 185.
- [15] Rohaninejad M, Kheirikhah A S, Vahedi Nouri B, et al. Two hybrid tabu search-firefly algorithms for the capacitated job shop scheduling problem with sequence-dependent setup cost [J]. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 2015, 28(5): 470 - 487.
- [16] Aldowaisan T, Allahverdi A. No-Wait Flowshops to Minimize Total Tardiness with Setup Times[J]. Intelligent Control & Automation, 2015, 06(1): 38 - 44.
- [17] Deng G, Yang H, Zhang S. An Enhanced Discrete Artificial Bee Colony Algorithm to Minimize the Total Flow Time in Permutation Flow Shop Scheduling with Limited Buffers[J]. Mathematical Problems in Engineering, 2016.
- [18] Guanlong Deng, Hongyong Yang, Shuning Zhang. , " An Enhanced Discrete Artificial Bee Colony Algorithm to Minimize the Total Flow Time in Permutation Flow Shop Scheduling with Limited Buffers. , " presented at the Mathematical Problems in Engineering, 1 - 11, 2016.
- [19] Yi Wenchao, Li Xinyu, Pan Baolin. Solving flexible job shop scheduling using an effective memetic algorithm [J]. International Journal of Computer Applications in Technology. 2016, 53(2): 157 - 163.
- [20] Sioud A, Gagné C. Enhanced Migrating Birds Optimization Algorithm for the Permutation Flow Shop Problem with Sequence Dependent Setup Times [J].