

**本科毕业设计[论文]**

**需求变动下的柔性生产排班重调度优化**

院 系 管理学院

专业班级 物流管理1802班

姓 名 方思棋

学 号 U201815825

指导教师 李锋教授

2022年5月31日

**学位论文原创性声明**

本人郑重声明：所呈交的论文是本人在导师的指导下独立进行研究所取得的研究成果。除了文中特别加以标注引用的内容外，本论文不包括任何其他个人或集体已经发表或撰写的成果作品。本人完全意识到本声明的法律后果由本人承担。

作者签名： 年 月 日

**学位论文版权使用授权书**

本学位论文作者完全了解学校有关保障、使用学位论文的规定，同意学校保留并向有关学位论文管理部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅。本人授权省级优秀学士论文评选机构将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。

本学位论文属于 1、保密 囗 ，在 年解密后适用本授权书。

2、不保密 囗 。

（请在以上相应方框内打“√”）

作者签名： 年 月 日

导师签名： 年 月 日

摘 要

制造业作为国民经济的支柱产业，如何在进行高效迅速的排产决策的同时降低生产成本是每个制造企业亟待解决的难题，而在经济下行、新冠疫情横行的全球大背景下，制造企业订单需求的波动性显著增强，对制造企业的制造柔性和快速重排产能力提出了新的要求。本文以制造企业实际生产调度过程为背景，探讨了需求变动下的生产排班成本优化问题。将企业的排产决策分为生产调度和重调度两个部分，在生产调度部分，进行多个优化指标的排序与赋权，确定主优化目标并求解最优排产决策；在重调度部分，根据需求的实际变动情况，调整生产机器数量和投入生产时间，完成动态排产决策更新，并给出了需求变动下柔性车间生产排班调度问题数学模型。之后，本文设计了自适应遗传算法以求解最优的生产决策，在传统的遗传算法基础上加入了自适应交叉概率和自适应变异概率以提高算法的优化速率和优化效果。最后，本文通过以往研究提出的基准算例验证了算法的有效性，通过一个具体实例进行数值实验，在需求产生变动后，通过增加一台新机器并进行排产决策的动态重调度，使得最大完工时间和机器平均负荷分别降低了21.05%、9.10%，验证了重调度优化的可行性。

关键词：柔性作业车间调度； 生产成本控制； 重调度问题； 自适应遗传算法

Abstract

Manufacturing industry as the pillar industry of national economy, how to effectively prompt production scheduling decisions and reduce the production cost is every problem urgently to be solved in manufacturing enterprises, and in the economic downturn, the new outbreak of the global backdrop, volatility significantly enhanced manufacturing orders demand, flexible and fast rearrangement of manufacturing enterprise production ability put forward new requirements. Based on the actual production scheduling process of manufacturing enterprises, this paper discusses the scheduling cost optimization problem under demand change. The production scheduling decision is divided into two parts: production scheduling and rescheduling. In the production scheduling part, several optimization indexes are sorted and weighted to determine the main optimization objective and solve the optimal production scheduling decision. In the rescheduling part, according to the actual demand changes, the number of production machines and production time are adjusted to complete dynamic scheduling decision update, and the mathematical model of flexible workshop scheduling problem under demand changes is given. Then, an adaptive genetic algorithm is designed to solve the optimal production decision. On the basis of the traditional genetic algorithm, adaptive crossover probability and adaptive mutation probability are added to improve the optimization rate and optimization effect of the algorithm. Finally, the effectiveness of the algorithm is verified by a benchmark example proposed in previous studies. Numerical experiments are carried out with a specific example. After the demand changes, the maximum completion time and average load of the machine are reduced by 21.05% and 9.10% respectively by adding a new machine and making dynamic rescheduling for production scheduling decision. The feasibility of post-rescheduling optimization is verified.

Key Words**:** Flexible Job shop Scheduling; Production cost control; Rearrangement problem; Adaptive genetic algorithm

摘要Ⅰ

AbstractⅡ

1绪论1

1.1研究背景及意义1

1.1.1研究背景2

1.1.2研究意义3

1.2国内外研究现状3

1.2.1车间调度问题研究现状3

1.2.2柔性车间调度问题研究现状5

1.2.3变动成本问题研究现状7

1.2.4研究现状小结7

1.3研究方法及内容7

1.3.1研究方法8

1.3.2研究内容9

2需求变动下的生产排班重调度问题数学模型10

2.1问题描述11

2.2选择主优化目标12

3自适应遗传算法求解重调度问题14

3.1自适应遗传算法概述14

3.2编码设计15

3.3选择算子17

3.4自适应交叉算子17

3.5自适应变异算子19

3.6数据及相关设定20

3.7数值实验结果21

4总结与展望26

4.1全文总结与研究结论26

4.2全文展望26

致谢28

参考文献30

目 录

[摘 要](#_Toc686947773) 4

[Abstract](#_Toc686947774) 5

[摘要Ⅰ](#_Toc686947775) 6

[AbstractⅡ](#_Toc686947776) 6

[目 录](#_Toc"846327) 1

[1 绪论](#_Toc686947777) 8

[表格目录](#_Toc686947772) 1

[1.1 研究背景及意义](#_Toc686947778) 8

[1.2 国内外研究现状](#_Toc686947779) 10

[1.3 研究方法及内容](#_Toc686947780) 15

[2 需求变动下的生产排班重调度问题数学模型](#_Toc686947781) 17

[2.1 问题描述](#_Toc686947782) 17

[2.2 选择主优化目标](#_Toc686947783) 17

[3 自适应遗传算法求解重调度问题](#_Toc686947784) 18

[3.1 自适应遗传算法概述](#_Toc686947785) 18

[3.2 编码设计](#_Toc686947786) 19

[3.3 选择算子](#_Toc686947787) 20

[3.4 自适应交叉算子](#_Toc686947788) 20

[3.5 自适应变异算子](#_Toc686947789) 22

[3.6 数据及相关设定](#_Toc686947790) 23

[3.7 数值实验结果](#_Toc686947791) 24

[4 总结与展望](#_Toc686947792) 27

[4.1 全文总结与研究结论](#_Toc686947793) 27

[4.2 研究展望](#_Toc686947794) 27

[参考文献](#_Toc686947795) 30

表格目录

表2-1 符号定义及文字说明 17

表3-1 柔性车间调度问题基准算例 19

表3-2 MK01算例具体数值 23

表3-3 MK01-10算例实验结果 24

# 1 绪论

## 1.1 研究背景及意义

### 1.1.1 研究背景

我国是制造业的传统大国，制造业总规模已经连续多年稳居世界第一。制造业是实体经济的基础，是满足广大人民美好生活需要的生产前提，我国的国情决定了农业是第一产业，而制造业和建筑业则是第二产业，制造业是提升国家和社会综合实力的支柱性产业之一，具有举足轻重的作用。纵观全球发达国家和高收入国家，无一例外都是制造业大国，例如，美国2021年季后GDP总值达到了22.99万亿美元，其中制造业总值为2.5633万亿美元，占GDP总量的11.14%，超过了农林牧渔业和采矿业的占比总和，仅次于商业服务业（2.9734万亿美元）和房地产行业（2.65万亿美元）；日本2021年季后GDP总值为4.9万亿美元，制造业总值为0.98万亿美元，占GDP比重在近五年来均保持在20%左右，日本的制造业在全球供应链中都具有重要地位，持有全球37%的半导体生产设备和66%的半导体生产材料。与美日等发达国家相比，“中国制造”也不遑多让，已经成为全球制造产业的龙头之一。我国制造业增加值自2010年起连续蝉联全球第一，在2021年，我国制造业增加值也首次突破4万亿美元，占我国GDP比重27.46%，占世界制造业增加值的28%以上，成为驱动全球经济发展的重要引擎。我国作为世界上工业体系最为健全的国家，拥有联合国产业分类中所列全部工业门类，包括41个工业大类、207个工业中类和666个工业小类，在船舶、芯片、光伏等国际贸易重要竞争领域的竞争优势进一步增强，在新材料、新设备和新工艺等领域也取得了重大的科技创新突破，在高端领域的研发仍稳步推进，“中国制造”的含金量正在持续提升。

然而，我国的制造业发展正面临严峻的考验。

第一，我国制造业的占比呈现过早过快的下降特征。制造业占比比重是否稳定，是衡量一个国家产业链和供应链是否安全的重要指标，自2011年起，我国制造业比重占比逐年下降，从2011年的32.1%下降到2020年的26.2%。历史已经证明，过早过快“去工业化”对国家的经济发展会产生极其恶劣的影响，例如巴西、阿根廷等拉美国家就由于过早“去工业化”使得经济发展水平处于长期停滞甚至倒退的状态。同样，我国制造业比重过早过快下降，不仅意味着产业升级可能受阻、优势行业可能丧失创新能力，还可能引发“中等收入陷阱”等一系列风险。

第二，在全球产业链的分工中，中国仍然处于组装加工的“制造者”地位，信息化和智能化程度与发达国家相比仍然存在差距。由于各国的生产水平和制造能力不同，各国位于全球产业链、价值链的位置也不尽相同，发达国家依靠其技术优势，成为了全球制造业增加值的主要受益者，也成为了主要出口国，而发展中国家由于生产过程中自动化、智能化程度较低，其密集劳动力的优势已经大大减弱，导致在产业链中竞争地位的下降。要推动我国制造业从“制造者”向“设计者”和“创造者”转型，就需要提高我国制造业的质量效益、自主创新能力和信息化智能化程度。

第三，新冠疫情和周边新兴经济体的出现，我国制造业传统粗放型的生产模式已经难以为继，急需进行工业发展模式转型。我国制造业规模已经是世界第一，但近年来周边快速崛起的国家以更加低廉的成本优势加入竞争，使得我国制造业在全球产业链的份额不断缩减，缺少核心竞争力的部分代工厂在价格战中举步维艰。同时，2019年爆发的新冠疫情极大地改变了世界经济格局，使得传统“中国制造”中，“空心化”“大而不强”等问题更加突出，在全球经济下行，新冠疫情横行的全球大背景下，制造型企业对于产品质量、生产柔性、精细化程度等各个方面必须更加精益求精，才能在竞争激烈的红海中生存下来。

“柔性生产”是以市场为导向，具备更强灵活性和应变能力的先进生产方式，由此又产生了“柔性制造系统”（Flexible Manufacturing System, FMS）等高效的生产制造系统。针对这一新系统，也产生了“柔性车间调度问题”（Flexible Job shop Scheduling Problem, FJSP）这一研究方向。制造企业订单的波动性在与日俱增，订单量的变化、紧急订单的插入时间、新机器的投入使用时间都是模糊和不确定的。这要求企业在编制生产计划时根据波动实时更新、动态调整排产决策，因此，对柔性车间调度问题的研究具有强烈的现实意义和研究价值。

基于上述对宏观背景与实际生产环境的相关描述，本文将围绕柔性车间生产排班调度问题进行研究。首先，对柔性环境下柔性车间调度问题展开探讨，然后，针对不确定需求下的调度排班成本控制问题进行研究，最后，结合启发式算法，对需求不确定下的生产排班成本控制问题进行研究，以实现生产排班的智能优化，为企业制造流程的降本增效提供一定的参考。

### 1.1.2 研究意义

在制造企业的生产经营中，企业的经营思路主要为“以销量定产量”，也即是在接收到生产订单后，将订单信息交由生产部门制订生产计划，进而按照生产计划进行排产。传统的生产计划制订过程主要是依靠人工经验来判断，生产部门根据长久积累起来的工作经验，以固定思路将生产工序分配给生产车间，以此快速、大批量地进行排产决策。在竞争日趋激烈，决策精细化、智能化程度加深的当下，人工决策显然存在着诸多弊端：首先，这种方法过度依赖员工经验，生产效率得不到保障；其次，智能化程度较低，在面对临时的需求变动和机器故障等突发情况时往往会束手无策。并且，传统的生产模式主要以“刚性生产”为主，主要实现单一品种的大批量生产以满足市场需求。但随着经济的快速发展，市场和消费者的个性化、多样化需求越来越丰富，同时信息化的浪潮也深深影响了制造企业的经营模式，“柔性生产”已经成为主流。

2019年爆发的新冠疫情使全球的经济形势产生了复杂而深刻的变化。新形势下，全球产业链和供应链的波动性增大，订单的不确定性增多，特别是在医疗卫生等领域，往往会有大批量的紧急订单出现，而对于其他制造领域，可能会出现订单由于疫情临时取消的情况，这对制造企业生产系统适应环境变化的能力提出了更高的要求，更加强调对资源的有效利用和对生产效率的优化提升。

因此，本文针对柔性生产车间调度问题展开研究，通过分析柔性车间调度问题的约束和目标函数，建立了以最小化总成本为目标的数学模型；通过构建启发式算法计算生产排班智能决策结果，并使用经典算例验证算法的可行性，为生产决策提供依据，具有一定的研究意义和研究价值。

## 1.2 国内外研究现状

### 1.2.1 车间调度问题研究现状

进行高效的生产调度，是企业应对需求变动的重要途径。车间调度问题可以描述为：一个加工任务集合可以分解为若干操作任务集合，在满足一些必要约束条件（如工艺次序约束）的前提下，将作业合理安排到各个机器上完成生产，以优化诸如最小完成时间、最小成本等优化指标。

车间调度问题最早可以追溯到1954年，第一个对车间调度问题提出完整定义和求解方法的是Alan [1]，他于1960年首次提出了Job-Shop Scheduling Problem的概念，给出了包含工序约束、无干扰约束的数学模型，并使用离散线性规划求解这一问题，此后，学者们对调度问题开展了广泛的研究探讨。Graves[2]整理了车间调度问题，基于调度费用和性能将调度问题分类，对于不同的需求来源，将车间区分为开环和闭环，同时首次引入加工复杂度对调度问题进行分类，为后来的研究打下基础；Lawler等[3]对于Job-Shop调度问题进行了综述，依据生产环境的差异，将Job Shop调度问题分为了随机调度和确定调度问题，依据操作的加工约束不同，将将Job-Shop调度问题分为了静态调度和动态调度问题，并给出了不同分类下的数学归纳法。在这些早期研究中，学者们主要使用分支定界法、线性规划法等数学方法进行求解，但很快就发现，仅仅是一个6×5的小规模问题，使用传统数学方法都难以求出精确解，此后，Blazewicz等[4]多位学者证明了车间调度问题是一个NP-hard问题，也即是在有限次多项式时间内无法求解问题的精确解。

在20世纪80年代中期之后，学者们的研究方向转移为使用各种智能算法求解此优化问题，这使得智能算法的应用取得了蓬勃发展。由于具有构造简单，适用性和鲁棒性强的优点，进化算法在车间调度问题中被广泛地应用。首次将进化算法应用到求解车间调度问题的是Davis[5]，他在1985年将遗传算法引入到了问题求解中，并采用基于优先表的编码方式构造遗传算法染色体；Ho等[6]使用遗传算法求解车间调度问题，采用时间空间复杂性对染色体进行设计，在保证解可行的前提下，采用多种标准评估染色体的适应度，同时提升了初代染色体的质量，通过引入存储区域修改后代个体的适应度；张静[7]根据不同车间调度问题的约束条件不同，设计了多种混合PSO算法求解问题，使用离散编码方式进行编码并在算法中引入了基于机器负荷情况的模拟退火机制，有效补全了PSO算法在全局搜索时不可行解较多的问题，同时通过一种改进的Baldwinian学习策略针对优化多个目标的车间调度问题求解帕累托非劣解，减少了不可行解的数量；针对进化算法在搜索过程中容易过早收敛的问题，Mohammad等[8]将遗传算法和禁忌搜索结合，通过引入禁忌表提高染色体适应度求解以最小完工时间为优化目标的车间调度问题，使用一个两步骤的算法流程提高所得解的质量。

### 1.2.2 柔性车间调度问题研究现状

柔性车间调度问题（Flexible Job shop Scheduling Problem, FJSP）是车间调度问题的一个延伸，随着现代工业的发展，精益生产、JIT（Just In Time）理念逐渐成熟，生产方式也随之发生了变化。柔性车间调度问题具有车间调度问题的所有特征，区别在于柔性车间调度问题允许工件的生产工序在多台机器上进行加工，每台机器也可以完成多个工件、多种工序的加工，更贴近实际的生产情况，也大大增加了问题的求解难度，更加具有研究意义。围绕柔性车间调度问题，学者们主要从以下三个方面展开研究。

第一，寻找性能更优的智能算法求解柔性车间调度问题。学者们在研究车间调度问题的基础上，创造性地提出了杂草算法、花粉算法等智能算法求解柔性车间调度问题，取得了很多有效的研究成果。王思涵[9]等人改进了鲸鱼群算法，将“鲸鱼群”与“距离”的表达方式离散化，并引入协同搜索机制，较好地解决了以最大完工时间为目标的柔性车间调度问题；Caldeira等[10]建立了考虑新工作插入的柔性车间调度问题，通过带有松弛策略的重调度策略，使用一种带有交叉算子的回溯搜索算法来求解问题，通过基准实例验证了算法的有效性；Sungbum等[11]提出了一种随机森林调度规则，通过将调度过程转化为具有构造属性的训练数据集合，通过改变随机森林的参数求解柔性车间调度问题中的最小化平均总加权延迟；Zandieh等[12]考虑到机器可能由于故障或维护处于不可用状态，使用高斯分布模拟机器故障，并提出了一种改进的帝国竞争算法，求解以完工时间为优化目标的柔性车间调度问题。

第二，将多个智能算法相结合以加强算法搜索能力。单一的智能算法，由于搜索过程主要集中于全局搜索中，不可避免的存在一些局限性，例如，在使用遗传算法求解问题的近优解时，算法往往会过早收敛于部分解，导致大量的解空间无法被搜索到。为了解决这一问题，学者们尝试将具有不同特点的智能算法结合到一起，通过算法之间的互补性提升所求得解的质量。Kolisch等[13]整合了前人的研究结果，将不同的智能优化算法进行了更新和对比，并对众多性能优秀的启发式算法进行了结合改进，通过实验验证性能的改变，验证了相对于单一算法，使用混合算法可以取得更优的结果；Shivasankaran等[14]将免疫算法与模拟退火方法结合起来，通过构造两阶段算法流程，凭借模拟退火算法对关键机器的处理时间进行二次优化，提高了收敛速度和算法效率；Gnanavelbabu [15]将蒙特卡罗模拟与修正回溯算法相结合，通过蒙特卡罗评估修正种群初始化策略，使用交叉算子进行动态变异，在加工时间满足马尔可夫概率分布的基础上与另外两种元启发式算法进行了对比，验证了算法可行性。

第三，将柔性车间调度问题从单目标优化拓展为多目标优化。随着对此问题研究的不断深入，学者们逐渐针对实际生产过程中遇到的现实问题展开研究讨论，例如紧急件的插入、机器和人工的变动等，这些问题具有很强的现实意义，也拓宽了柔性车间调度问题的研究边界。柔性车间调度问题由于其和现实的紧密联系性，本身就具有多目标的研究特性，并且优化目标之间往往存在着较强的耦合性，这导致了在针对多目标进行优化时，不可避免需要进行占优抉择。这时候，需要引入Pareto解这一概念以作为评价各个解的指标。Pareto解，又称为非劣解，是多目标优化中解的一种概念，一个解成为Pareto解的前提是，不存在一个更好的解，使得在不令其余指标性能变差的情况下让单个指标的性能变好。Olhofer等[16]提出了在实际问题中的多目标优化函数，并指出不是所有帕累托空间都是规则的，随着目标维数和非支配解数目的增加提出了解决多目标优化问题的评价方法。Kacem等[17]提出了一种带模糊逻辑的进化算法，使进化算法每次迭代产生的解集进行Pareto排序，并设计了多目标情况下的插入邻域和交换邻域，减小了搜索空间；Caldeira等[18]设计了一种多目标离散算法（Jaya），引入拥挤距离这一测度来衡量Pareto解的优劣性，采用动态变异算子进行最优解和最劣解的迭代，并采用田口设计方法，在三个经典实例中均取得了比前人更优的解。

然而，在这些研究中，调度方案是在假设不存在任何干扰或者忽视所有的外部干扰的理想条件下产生的，但在实际情况中，重调度可能会因为多种原因而改变或中断，例如机器故障、机器维修、紧急订单插入等，这引入了新的动态调度问题。An等[19]考虑了新作业的插入和机器的维护，研究同时具有新作业插入和机器维护的车间重调度问题，并提出了一种带自适应参考向量的排序遗传算法求解；Gao等[20]考虑机器维修后恢复生产时的重调度问题，将不稳定性作为优化目标，使用多目标优化函数构造模型并使用改进的Jaya算法求解了带机械回收的泵企业制造问题。

可以看到，在重调度问题中，学者们往往以最小化完工时间为优化目标，同时考虑了机器维修以及恢复等综合性情况，部分学者也考虑了不稳定性和鲁棒性，使用多目标优化函数进行综合优化。

### 1.2.3 变动成本问题研究现状

企业在面对订单需求的变化时，即使自身具备柔性生产能力，也往往会带来变动成本。变动成本是指在生产环境发生变动时，继续生产需要额外支付的费用，一般与产量呈正相关。在需求发生变动后，学者们主要研究了重调度方法、预调度方案以及重调度策略。Mehta等[21]提出了一种预调度方法，通过在操作之间适当插入空闲时间，形成一个能吸收波动的预调度，提升了工作性能，降低了扰动；由于许多优化得到的新调度在应用时具有较高的变动成本，甚至可能无法执行，Zhou等[22]综合考虑了机器的完工延迟时间、总起始时间偏差、变动带来的物流成本以及因为机器重新分配改变的处理时间，构造了附带加权的多目标优化成本函数；孙伟卿等[23]以加强鲁棒性的角度出发，提出了兼顾系统经济性、安全性和可靠性的电网规划模型，以蚁群算法求解，对电网资源进行综合优化。在上述研究中，学者们关注的更多是经济指标，但随着可持续发展观念深入人心，越来越多的研究也开始聚焦于绿色生产，研究目标也从单纯的经济指标开始向绿色指标转换。刘彩洁等[24]结合分时电价政策，研究在不同阶段电价下机器能耗成本优化问题，综合考虑完工时间、碳排放量和电力成本，使用非支配排序遗传算法求解帕累托非劣解；Wu等[25]考虑了机器可调节生产效率问题，综合考虑最小完工时间和最小碳排放量建立相应低碳柔性车间调度模型，通过调节机器运行速度设计低碳调度算法求解问题。

### 1.2.4 研究现状小结

对于生产车间调度问题的意义，已经有大量文献以不同问题为背景证明了其在生产调度中的有效性，它能够提高制造企业的服务水平，减少生产冗余、降低生产成本。对于生产车间调度问题建模，已有许多的研究针对不同情形下的工序安排和生产调度展开探讨，建立了丰富且有效的数学模型。对于问题的求解，许多研究都探讨了在不同优化目标下多种多样的求解方法，包括数学规划法和启发式算法，也不乏针对多目标车间调度问题的研究，这给本文提供了良好的理论依据。

对于柔性车间生产调度问题，如今的研究主要针对了三个方面，一是寻找更多更高效的智能算法，即以不同的算法思路进行编码设计，二是将多个智能算法相结合以加强算法搜索能力，通过算法的不同特点进行优势互补以得到更优解，三是将优化目标从单目标优化拓展为多目标优化，根据实际的生产条件进行选择性择优。这为本文以最小化生产排班成本为目标，研究需求变动下的柔性生产排班问题提供了丰富的研究基础。

关于需求改变带来的生产变动成本问题，有学者考虑多个优化目标，构建了包含机器的完工延迟时间、总起始时间偏差等多个经济指标的优化模型，也有学者们针对绿色指标，如碳排放量、阶梯电价等符合我国国情的非经济指标进行了研究，但鲜有文献对于需求不确定情况带来的订单需求量变化进行探讨，在需求量减少或增加时，对于加工机器的选择和对机器数量是否需要改变这一问题也少有文献进行研究，这意味着本文有较好的研究意义和研究价值。

## 1.3 研究方法及内容

### 1.3.1 研究方法

（一）文献研究法。通过查阅相关文献资料，全面了解柔性车间调度问题和生产成本变动优化问题的相关研究，了解前人研究中的建模思路和求解过程，挖掘本文的研究创新点和优化方向，为后续解决需求变动下的生产排班重调度问题打下理论基础，做好研究准备。

（二）数学建模法。分析不确定需求下的生产排班成本控制问题的约束和目标函数，建立了以最小完工时间、物料流动成本、机器变动成本优化为目标的多目标优化问题模型，采用加权法和约束法，建立需求变动下生产总成本优化问题模型

（三）算法设计。通过构建自适应启发式算法，计算需求变动下生产排班决策结果，并结合经典算例，对算法效果和求解质量做出对比和分析 。

### 1.3.2 研究内容

本文结合生产制造企业在实际生产中经常面临需求变动这一问题背景，研究需求变动下柔性生产排班的成本控制问题。在充分结合现有研究成果和考虑实际生产情况的前提下，构建多目标生产排班成本函数进行优化，从而避免生产排班过程中的人工决策，使排产决策精细化、智能化，增加面对需求变动情况时的排产决策的响应速度。解决该问题的关键有如下两点：一是在不考虑变动和生产环境扰动的前提下，实现工序的最优排序和工序与生产机器之间的最佳组合，也即是解决一个典型的柔性车间生产调度问题（FJSP），二是在需求发生波动后，也即是需求量增加或减少时，在满足给定约束的前提下，探究是否通过增减生产机器的数量满足诸如交货期要求、变动成本等要求，动态调整排产决策。

第一章，绪论。本章节主要介绍了本文的研究背景和研究意义，并通过国内外文献综述阐述了柔性车间调度问题和变动成本问题的研究现状，引出了本文的研究重点，需求变动下的柔性生产排班成本控制。研究当需求不变动时最优的排产决策和需求变动时通过增减加工机器数量实现排产决策的智能动态更新。

第二章，需求变动下柔性车间生产排班重调度问题数学模型。本章节详细描述了如何进行高效的排产决策这一问题，分别讨论在需求不变动和产生变动的情况下，如何对生产工序进行排序以及如何将生产工序安排给待定的生产机器，给出了基础的柔性车间调度问题的函数表达式以及约束条件。同时，在需求产生变动的情况下，为了满足既定的交货期以及降低生产时的变动成本，可能需要引入新的加工机器或减少可用的机器，本章节给出了基于需求变动下的总生产成本函数以及相应的约束条件。

第三章，自适应遗传算法求解重调度问题。针对上一章节提出的问题模型，构造了自适应混合遗传算法求解这一问题，建立了针对此类优化问题的两段式染色体编码方式，通过构造自适应函数，给出了染色体自适应交叉和自适应遗传策略，以提高算法的优化速率和优化效果。基于以往研究提出的基准算例进行最优生产决策的求解，在得到算法所求解后，与基准算例的最优解进行对比和分析，验证算法的可行性；基于一个基准算例，给出了一个需求变动下的问题实例进行求解，验证了重调度优化的可行性。

第四章，结论与展望。本章节对全文的研究思路和研究过程进行了总结，给出了研究结论，并展望了未来的研究方向。

# 2 需求变动下的生产排班重调度问题数学模型

## 2.1 问题描述

需求变动下的生产排班调度问题可以分为生产调度过程和重调度过程两个部分。

（1）生产调度过程。生产部门在需求发生变动前需要提前制定排产决策，此时问题为解决一个柔性车间调度问题（FJSP），对问题的定义如下：假设生产过程包含个任务，i={1, 2，……，n}，每个任务都包含多道工序，完成前置工序后才能进行下一道工序的处理，每道工序可以在多台备选机器中选择以进行加工。生产部门需要对各工序进行加工次序的确定，并对各道工序进行加工机器的指派，给出一个预调度方案。

（2）重调度过程。在生产部门依据排产决策开始生产后，在某一时间产生了交货期缩短、订单需求量变化等需求变动，这时为了满足订单需要，企业选择增加可用的机器数量以提高产量，设需求产生变动的时间为t，备选机器，新机器在时间T完成安装并投入使用，生产部门可以通过重新调度尚未开始的工序以缩短完工时间等优化指标。在该阶段一台机器的可用时间为该机器上正在进行的操作的完成时间，则重调度阶段可视作一个具有不同机器数量、作业开始时间（）和机器可用时间（）的柔性车间调度问题，生产部门对未开始的工序进行重新分配，给出一个重调度方案。

综上，需求变动下的生产排班调度问题为一个两阶段的柔性车间调度问题，在T时刻之前，根据初始需求给定任务分配到各加工机器的预调度方案，在T时刻后，新机器投入生产，重新分配剩余未加工工序到不同机器上，生成需求变动后的重调度方案。图2-1展示了需求变动下的优化流程，表2-1是符号定义与文字说明。



图2-1 需求变动下的调度优化流程

表2-1 符号定义及文字说明

| 符号 | 含义 |
| --- | --- |
|  | 表示需要在机器上完成的工作，n表示工作总数量 |
|  | 表示待选的机器，m表示待选机器总数量 |
|  | 表示变动机器数量后的待选机器，表示变动后的待选机器总数量 |
|  | 表示工作i的第f道工序,p为该工作的总工序数 |
|  | 0-1变量，当取1时，表示工序在机器k上进行操作，反之取0 |
|  | 表示工序在机器k上第几个进行加工 |
|  | 0-1变量，当取1时，表示工序在重调度阶段从机器移动到了机器,反之取0 |
|  | 原材料从原机器转移到重调度分配的新机器一次产生的物流费用 |
|  | 安装一台新机器产生的变动费用 |
|  | 需求产生变动后，新机器的可用时间 |
|  | 重调度阶段工作剩余工序的数量 |
|  | 工序的完成加工时间 |
|  | 重调度阶段工作的开始时间 |
|  | 重调度阶段机器的可用时间 |
|  | 完成加工时间的最大值（加工结束时间） |

需求变动下柔性车间生产排班成本控制问题决策变量表示为式(2-1)至(2-2)。

其中，(2-1) 为机器选择的决策变量，(2-2) 为加工工序的决策变量。

需求变动下柔性车间生产排班成本控制问题目标函数表示为式(2-3)至(2-6)。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| . |  | (2-3) |
|  |  | (2-4) |
|  |  | (2-5) |
|  |  | (2-6) |

其中，(2-3) 为最大完工时间即结束加工时间，遍历每个工件的完成时间取最大值；(2-4) 为物料流动成本，在重调度阶段，当工序被分派到新机器进行加工时，需要进行原材料的搬运和机器调试，即产生一个物料流动成本；(2-5) 为机器变动成本，是增加生产机器所产生的安装调试费用；(2-6) 用于表示物料流动这一过程，每当工序在重调度阶段转移到新机器进行加工时进行一次计数，计数的总和即表示物料流动次数。

重调度阶段的工作开始时间和机器可用时间表示为式(2-7)至(2-8)。

## 2.2 选择主优化目标

在上述对于目标函数的构建中，存在着多个互相耦合互相制约的优化目标，在优化某一方面时必然导致另一些方面的性能降低。例如，在优化最大完工时间这一优化指标时，会将多道工序置于不同的机器上进行加工，导致了物料流动成本的上升，优化后通常得不到全局最优解，需要结合实际情况在多个非劣解之间进行平衡和选择，而由于实际面临的决策情况不同，企业往往会针对某部分优化指标进行侧重。为方便实际优化过程中的平衡和决策，本文采用加权约束法对三个优化指标进行处理，以便于生产部门根据实际情况提升决策效率，具体步骤如下。

1. 根据实际生产要求，依据一定的评价准则，使用层次分析法等多目标综合评价方法，建立三个优化指标的判断矩阵；

2. 根据判断矩阵，进行三个优化指标的排序和权重，令位次最高、权重最大的优化指标为主优化目标，其余优化指标为次优化目标；

3. 生产部门根据实际情况和要求，对次优化目标进行范围界定，给出具体数值（如物料流动成本）的可接受范围，基于此，将次优化目标的可接受范围视作约束，将多目标优化过程转换为针对主优化目标的单目标优化过程。

# 3 自适应遗传算法求解重调度问题

## 3.1 自适应遗传算法概述

遗传算法通过模拟生物进化论中优胜劣汰的进化机制，对所研究的问题进行求解和迭代。在本文研究的调度问题中，一种排产决策通过给定的两阶段编码设计形成一条染色体，所有的染色体形成了一个种群，对应所有的排产决策方案。根据进化论的原理，越适应环境的种群越有机会存活和进化，将适应环境的能力称为适应度。对应于遗传算法中的适应度，其可用上一章节构建的目标函数函数值大小表示，取得的函数值越小，代表成本越低，适应度越高。通过对高适应度的种群进行遗传进化，不断优化种群适应度的大小，也即是完成了对排产决策的迭代优化。遗传算法一般包含选择、交叉和变异三个部分。在选择部分，选择适应度高也即是目标函数值更优的方案进行迭代；在交叉部分，通过对染色体的交叉操作实现工件的加工次序交换或是调整所选择的机器；在变异部分，通过编码值的更改实现对解空间的探索，最终获得排产决策的优解。本文通过引入自适应交叉概率和自适应变异概率，使得迭代过程中的交叉和变异部分能根据现有群体适应度也即是解的质量高低进行调整，在低适应度时增加交叉、变异概率搜索更优解，在高适应度时减少概率以保证种群得以保存，相比于传统遗传算法，自适应遗传算法在优化速率和效果上更有优势。自适应遗传算法优化过程如图3-1所示：



图3-1 自适应遗传算法优化流程

## 3.2 编码设计

在上一节中已经提到，柔性车间生产排班优化主要由两个部分组成，也即是求解最优的工件加工顺序和选择最佳的生产机器，基于这一问题特点，设计如下的染色体两段式编码。

算法的编码长度为2m，前m位表示各道工序从可选机器集合中选择哪台机器进行加工，后m位表示各道工序的加工顺序，每个待加工工件均对应一个基因。表3-1展示了一个柔性车间调度问题的基准算例，图3-2通过该算例展示算法的编码设计。

表3-1 柔性车间调度问题基准算例

| 工件 | 工序 | 候选机器集合与加工时间 | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |
|  | 2 | 3 | 4 | 4 | 2 |
|  | 1 | 2 | 1 | 3 | 2 |
|  | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 |
|  | 2 | 5 | 3 | 4 | 3 |
|  | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
|  | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 |
|  | 2 | 2 | 3 | 4 | 3 |
|  | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 |



图3-2 算法编码设计

## 3.3 选择算子

自适应遗传算法的选择方法采用轮盘赌法。若已知群体大小为N，当前种群为。具体的选择算子操作步骤如下：

（1）计算当前种群中每条染色体的适应度；

（2）当前种群中染色体按照其适应度降序排列；

（3）将适应度前10的染色体直接保留到父代种群；

（4）依次遍历前10外的染色体组，随机生成一个位于之间的小数r，若，则选择染色体i作为父代种群之一（）。

## 3.4 自适应交叉算子

算法的编码采用两段式编码，在第一段编码中采用POSITION BASED CROSSOVER，在第二段编码中采用两点交叉。算法的自适应交叉概率公式如下：

其中：为给定的交叉概率；为交叉染色体适应度的最大值；表示交叉染色体种群适应度的平均值；表示交叉染色体种群适应度的最大值，进行交叉操作的种群为。

编码交叉步骤为：

（1）从父代群体随机选择两条染色体、进行交叉，求得自适应交叉概率；

（2）随机生成一个位于之间的小数r，若，则不交叉前段编码，若，则对、的前段编码进行PX；

（3）根据POSITION BASED CROSSOVER(PX) 准则对、进行交叉。

（一）第一段编码交叉操作

（1）从中随机选择n个点；

（2）将这n个点按位复制到child1；

（3）从的第一段编码中按顺序选择未在child1中的点，填充到child1的第一段编码空位中；

（4）同理生成child2的第一段编码。

下图展示了第一段编码的PX操作流程，从中随机选择的n个点为【4, 3，6, 5】，PX操作结果如下，生成的C1即为child1。



图3-3 第一段编码PX交叉流程

（二）第二段编码交叉操作

（1）随机生成一个位于之间的小数r，若，则不交叉中段编码，若，则对中段进行后续两点交叉操作；

（2）随机生成两个整数a、b，a、b范围在之间作为交叉点，交换、位于ab之间的编码。

（3）在进行第二段编码操作前若对第一段编码有交叉操作则需先对第二段编码进行按位对应，下图展示了第二段编码的操作流程。



图3-4 第二段编码交叉流程

## 3.5 自适应变异算子

根据本算法的编码方式，对第一、二段编码采取自适应变异操作。自适应变异概率公式如下：

其中：为给定的变异概率；为变异染色体适应度的最大值；表示变异染色体种群适应度的平均值；表示变异染色体种群适应度的最大值，准备进行变异操作的群体为。变异步骤为：选择染色体进行变异，并计算其自适应变异概率；

（一）第一段编码变异操作

随机生成一个位于之间的小数r，若，则变异前段编码，若，则对的第一段编码进行后续两点顺序逆转变异操作；

随机生成两个整数c、d，c、d范围在之间作为变异点，将染色体位于cd之间的编码逆转。

（二）第二段编码变异操作：

随机生成一个位于之间的小数r，若，则不变异第二段编码，若，则对第二段编码进行变异操作。

随机生成整数c作为变异点，c取值在之间，在该点与之对应的工艺约束内随机突变。

对剩余染色体重复变异操作，直到所有染色体都遍历完。



图3-5 染色体变异示意图

因为第二段编码中存在加工工艺约束，需要在进行变异操作时对编码值变化进行一定的限制。若第二段编码变异点代表的工艺存在加工工艺约束，其编码值只能取前置工序完成后的工艺代表的编码值，变异后的取值也只能取得前置工艺后的第一道工艺代表的编码值；同理，第二段编码中存在工艺独占约束，若第二段编码变异点代表的工序已经在多台机器上进行了加工，则变异时随机选择可用机器集合中剩余的机器代表的编码值进行变异；若不存在加工工序约束和工艺独占约束，则变异时随机取给定范围内的值进行替换。

## 3.6 数据及相关设定

为验证上一小节提出的自适应遗传算法有效性，本文首先结合Garey于1976年提出的MK01-10经典算例进行数值实验，为方便对比，选择最小加工时间作为主优化目标。以MK01算例为例，MK01是一个包含10个工件和6台机器的实例。下表展示了具体的算例数值：

表3-2 MK01算例具体数值

| 工件数量 | 加工机器数量 | 每道工序平均可选机器数量 |
| --- | --- | --- |
| 10 | 6 | 2 |
| 6 2 1 5 3 4 3 5 3 3 5 2 1 2 3 4 6 2 3 6 5 2 6 1 1 1 3 1 3 6 6 3 6 4 3 | | |
| 5 1 2 6 1 3 1 1 1 2 2 2 6 4 6 3 6 5 2 6 1 1 | | |
| 5 1 2 6 2 3 4 6 2 3 6 5 2 6 1 1 3 3 4 2 6 6 6 2 1 1 5 5 | | |
| 5 3 6 5 2 6 1 1 1 2 6 1 3 1 3 5 3 3 5 2 1 2 3 4 6 2 | | |
| 6 3 5 3 3 5 2 1 3 6 5 2 6 1 1 1 2 6 2 1 5 3 4 2 2 6 4 6 3 3 4 2 6 6 6 | | |
| 6 2 3 4 6 2 1 1 2 3 3 4 2 6 6 6 1 2 6 3 6 5 2 6 1 1 2 1 3 4 2 | | |
| 5 1 6 1 2 1 3 4 2 3 3 4 2 6 6 6 3 2 6 5 1 1 6 1 3 1 | | |
| 5 2 3 4 6 2 3 3 4 2 6 6 6 3 6 5 2 6 1 1 1 2 6 2 2 6 4 6 | | |
| 6 1 6 1 2 1 1 5 5 3 6 6 3 6 4 3 1 1 2 3 3 4 2 6 6 6 2 2 6 4 6 | | |
| 6 2 3 4 6 2 3 3 4 2 6 6 6 3 5 3 3 5 2 1 1 6 1 2 2 6 4 6 2 1 3 4 2 | | |

对表格的数据设置说明如下：表中的数字部分每一行代表一个工件，共有10个工件；每一行加粗的第一个数字代表该工件加工所需的总工序数，第二个数字代表加工第一道工序可选择机器的数量，假设这个数字为N，则N之后的N位数字分别表示在第一台机器、第二台机器……直到第N台机器上的加工时间，之后依此类推。

例如，6 2 1 5 3 4 3 5这一组数据，表示该工件有6道工序组成，第一道工序可以在2台机器上进行加工，在第一台机器上加工时间为1，在第二台机器上加工时间为5，之后的数字依此类推。

由于尚未有需求变动后，增减机器进行动态更新优化的基准算例，本文以MK01算例为基础，假设在时间T时，由于需求量的增加，生产部门为了满足准时交货的需要，增加了一台可用机器，机器于时间T投入生产，同样使用上一章节的自适应遗传算法进行优化，并对优化结果进行分析讨论。

## 3.7 数值实验结果

使用Python语言进行程序编写，代码运行环境windows10系统，Python环境为3.6.0，遗传算法迭代次数设置为100次，MK01-10算例运行次数为10次，取10次运行的最优结果与各算例已知最优结果进行比较，各个算例的已知最优运行结果用BS表示。下表展示了数值实验的结果：

表3-3 MK01-10算例实验结果

| 算例 | 规模 | BS | 本文算法 | 平均运行时间 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| MK01 | 10×6 | 36 | 42 | 3.8s |
| MK02 | 10×6 | 24 | 29 | 3.9s |
| MK03 | 15×8 | 204 | 233 | 4.7s |
| MK04 | 15×8 | 48 | 54 | 4.7s |
| MK05 | 15×4 | 168 | 181 | 4.2s |
| MK06 | 10×15 | 57 | 71 | 3.9s |
| MK07 | 20×5 | 133 | 189 | 8.9s |
| MK08 | 20×10 | 523 | 675 | 11.8s |
| MK09 | 20×10 | 299 | 403 | 11.8s |
| MK10 | 20×15 | 165 | 366 | 14.3s |

可以看到，本文算法与过往研究中已知的最优运行结果相比，在问题规模较小时，能在较短时间生成gap较小的近优解，但随着问题规模的扩大，解的质量逐渐下降，与已知最优解差距逐渐扩大，在增加算法迭代次数后，仍与已知最优解有较大差距，解的质量波动也较大。这是因为遗传算法的特性决定了其为全局搜索算法，对于局部的搜索能力较弱，且生成解的质量与初始解质量紧密相关，波动性较大。

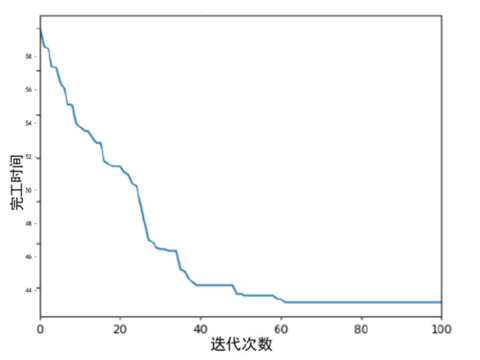


图3-6 迭代次数与进化过程

从图3-6可以看到，随着迭代次数的增加，完工时间逐渐降低。完工时间刚开始下降得非常迅速，后期趋于平稳下降，而进化过程图呈现阶梯状的形式，表明在一定的进化代数内，程序陷入了局部最优。

针对需求变化后的重调度部分，以MK01算例为基础进行验证。首先给出一种可行的调度方案，甘特图如图3-7，使用上一章节的算法流程优化后的甘特图如图3-8。



图3-7 原可行方案的甘特图



图3-8 重调度优化后的甘特图

图3-9 最大完工时间优化结果

图3-10 机器平均负荷优化结果

可以看到，在需求产生变动后，仅通过增加一台新机器并进行排产决策的动态重调度，就使得最大完工时间和机器平均负荷分别降低了21.05%、9.10%，在制造企业实际生产过程中，能有效提高柔性制造系统的制造效率，降低制造成本。

综上，在生产调度阶段，本文提出的自适应遗传算法能够在短时间内求解较优的排产决策，提高了决策的速度和精度；在需求变动后的重调度阶段，算法能够根据实际生产的需求，进行高效的再优化，滚动更新最优排产决策，降低制造成本，提高生产效率。

# 4 总结与展望

## 4.1 全文总结与研究结论

本文聚焦了排产决策业务中需求变动这一常见问题，对柔性环境下的生产调度优化问题和需求变动下生产决策的重调度问题进行了研究，提出了问题的优化流程和求解的启发式算法。首先，本文对生产排班调度问题进行了探讨，给出了包含最大完工时间、物料流动成本和机器变动成本三个优化目标的数学模型，并通过加权约束法对多目标进行处理以方便决策。根据需求是否发生变动，将优化流程分为生产调度和重调度两部分，基于需求变动动态更新最优排产决策。

在确定了目标函数和优化流程后，本文给出了一种自适应遗传算法以求解问题，在传统的遗传算法基础上加入了自适应交叉概率和自适应变异概率以提高算法的优化速率和优化效果。最后，通过以往研究提出的基准算例验证了算法的有效性，通过一个具体实例验证了基于需求变动后重调度优化的可行性。

在基于算例MK01的数值实验中，当需求量发生变动后，进行排产决策的重调度。在最小化变动带来的物料流动成本的前提下，通过增加一台新可用机器，使得最大完工时间从76降低为60，完工时间和机器平均负荷分别降低了21.05%、9.10%，证明了在需求发生变动后进行重调度动态优化能够有效缩短生产时间、减少生产成本、提高生产效率，在制造企业实际的排产过程中对于提高资源利用率、提升生产制造效率、降低生产制造成本具有十分重要的意义，是企业提升核心竞争力的关键抓手之一，有较好的应用价值。

## 4.2 研究展望

本文对需求变动下的生产排班成本控制进行了研究，给出了自适应遗传算法进行问题的求解，通过10个经典算例和一个需求变动后的实例进行了实验验证。但是，本文在以下方面仍然存在不足，在未来学习生活中可以展开进一步研究。

（1）针对重调度部分进行多目标优化。在本文的研究中，提出了三个优化目标并使用加权约束法确定了一个主优化目标，其实质仍是解决了一个单目标优化问题。未来，可结合博弈论相关理论和方法，对多目标求解帕累托解，评价多目标非劣解的性能指标，依此进行更精确高效的生产调度排产决策。

（2）对启发式算法进行进一步优化。本文提出的自适应遗传算法，在小规模问题下可以在短时间内输出近优解，但随着问题规模的扩大，算法优化的效果并不理想。在未来，可以通过对初始解生成策略的进一步优化、对算子选择和进化操作的进一步探索、对邻域搜索能力的进一步增强等方式提升算法效果。

（3）结合局部搜索算法提高解的质量。遗传算法为全局搜素算法，对于邻域的拓展搜素能力不强，导致了解的波动性较大，进化过程容易陷入局部最优。未来可以结合禁忌搜索、大邻域搜索等算法针对生成的近优解进行二次搜索优化。

致 谢

时光如白驹过隙，转眼间，在华中大管理学院本科的学习生活就要结束了，回忆起四年间的点点滴滴，有太多感恩和思绪涌上心头，谨在这里将感谢融入到这篇短短的致谢中。

首先，我要感谢我的导师李锋教授。李锋教授对我的关怀是我大学四年中一笔宝贵的财富，在学业方面，李锋老师作为班主任以严谨的治学态度，树立了班级的良好学风，引导我走上正确的人生方向；在科研竞赛中，李锋老师作为指导老师不厌其烦地与我们讨论、修改直至定稿，正因为老师的关怀和指导，才能在竞赛中取得一些小成绩；在生活中，李锋老师平易近人，以身作则，对学生充满关怀。在本文的写作过程中，李锋老师不仅指导我度过论文写作的每一个难关，更带领我走近了科研的大门，在此，我对李锋老师表示深深的感谢。

此外，我还要感谢我的母校，特别是管理学院物流管理系的老师们。在大学四年的学习时光中，老师们丰富渊博的知识、严谨治学的态度和对学生的甘于奉献深深感染了我。各位老师学为人师，行为世范，不仅在学业上，更在为人处世以及人生目标上对我产生了深刻的影响，成为了不断鞭策我前进的不竭精神动力。

最后，我要感谢我的家人和朋友。家人们给我提供了良好的生活条件，也是我最坚强的后盾和避风港，是他们给了我接受教育的机会，他们的支持和鼓励是我最温暖的精神慰藉。感谢四年来一起同行的同学和朋友，与你们相处的时光是我最珍贵的青春回忆，那些欢笑和阳光我不会忘记，祝你们在未来的道路上一帆风顺，前程似锦。

在未来，我会牢记各位对我的帮助和嘱托，以更高的标准严格要求自己，系好人生的每一粒扣子，成长为一个对国家，对社会有用的人，实现自我的价值！

参考文献

[1] Alan S. Manne. On the Job-Shop Scheduling Problem. [J] Operations ResearchVolume 8, Issue 2. 1960. PP 219-223

[2] Gravs S C. A review of production scheduling. Operation Research, 1981, 29(4): 646~675

[3] Lawler E L, Lenstra J K. Sequencing and scheduling: algorithms and complexity. Operation Research and Management Science, 1979, 4

[4] Blazewicz, Jacek, Moshe D, Jan W. M at hematical programming formulations for machine scheduling: A survey. European Journal of Operation Research, 1991, 51. 283 ~ 300

[5] Davis Lawrence. Job shop scheduling with genetic algorithms [C]. In: Proceedings of the 1st International Conference on Genetic Algorithms and their Applications, 1985, pp. 136-140

[6] Ho N. B, Tay J. C. GENACE: an efficient culture algorithm solving the flexible job-shop problem. Proceedings of Congress on Evolutionary computation, 2004, pp. 1759-1766

[7] 张静. 基于混合离散粒子群算法的柔性作业车间调度问题研究[D]. 浙江工业大学, 2015

[8] Mohammad S. M. and Parviz F. Flexible job shop scheduling with tabu search algorithms[J]. International Journal of AdvancedManufacturing Technology, 2006, 32(5-6): 563-570

[9] 王思涵, 黎阳, 李新宇. 基于鲸鱼群算法的柔性作业车间调度方法. 重庆大学学报, 2020, 43(01)

[10] Caldeira Rylan H.; Gnanavelbabu A.; Vaidyanathan T. An effective backtracking search algorithm for multi-objective flexible job shop scheduling considering new job arrivals and energy consumption. [J] Computers & Industrial Engineering Volume 149, 2020. PP 106863

[11] Sungbum Jun; Seokcheon Lee; Hyonho Chun. Learning dispatching rules using random forest in flexible job shop scheduling problems. [J] International Journal of Production Research Volume 57, Issue 10. 2019. PP 3290-3310

[12] M. Zandieh; A. R. Khatami; Seyed Habib A. Rahmati. Flexible job shop scheduling under condition-based maintenance: Improved version of imperialist competitive algorithm. [J] Applied Soft Computing Volume 58, 2017. PP 449-464

[13] Kolisch R., R. Padman. An integrated survey of deterministic project scheduling[J]. Omega, 2001, 29(3): 249-272

[14] N. Shivasankaran, P. Senthil Kumar, K. Venkatesh Raja. Hybrid Sorting Immune Simulated Annealing Algorithm For Flexible Job Shop Scheduling. International Journal of Computational Intelligence Systems. Volume 8, Issue 3. 2015. PP 455-466

[15] Gnanavelbabu A.; Caldeira Rylan H.; Vaidyanathan T. A simulation-based modified backtracking search algorithm for multi-objective stochastic flexible job shop scheduling problem with worker flexibility. [J] Applied Soft ComputingVolume 113, Issue PB. 2021.

[16] M. Olhofer. Genetic Programming; Studies by M. Olhofer and Co-Authors Describe New Findings in Genetic Programming. [J] News of Science 2011.

[17] KACEM I, HAMMADI S, BORNE P. Pareto-optimality approachfor flexible Job-Shop scheduling problems: hybridization of evolutionary algorithms and fuzzy logic [ J] . Mathematics and Computers in Simulation, 2002, 60(3): 245-276.

[18] Caldeira Rylan H.; Gnanavelbabu A. A Pareto based discrete Jaya algorithm for multi-objective flexible job shop scheduling problem. [J] Expert Systems with ApplicationsVolume 170, 2021.

[19] An Youjun, Chen Xiaohui, Gao Kaizhou, Li Yinghe, Zhang Lin. Multiobjective Flexible Job-Shop Rescheduling With New Job Insertion and Machine Preventive Maintenance. IEEE Transactions on CyberneticsVolume PP, 2022.

[20] Kaizhou Gao, Fajun Yang, Junqing Li, Hongyan Sang, Jianping Luo. Improved Jaya Algorithm for Flexible Job Shop Rescheduling Problem. IEEE Access Volume 8, 2020. 10.1109/access. 2020.2992478

[21] Mehta S V, Uzsoy R M. Predictable scheduling of a job shop subject to breakdowns[J]. IEEE Transactions on Robotics and Automation, 1998, 14(3): 365-378.

[22] Q C Zhou, Y K Huang, X L Xiong, J Zhao. Research on FJSP Rescheduling Execution Cost Based on Modified Genetic Algorithm. IOP Conference Series: Materials Science and EngineeringVolume 842, Issue 1. 2020. PP 012025.

[23] 孙伟卿, 王承民, 张焰. 考虑输电线路负载率约束和全规划周期柔性成本评估的电网规划方法. 电网技术. 2013, 37(10).

[24] 刘彩洁, 徐志涛, 张钦, 张力菠, 姚坤. 分时电价下基于NSGA-Ⅱ的柔性作业车间绿色调度. 中国机械工程. 2020, 31(05)

[25] Wu X L, Sun Y J. Flexible job shop green scheduling problem with multi-speed machine[J]. Computer Integrated ManufacturingSystems, 2018, 24(4): 54-67.



本科生毕业设计（论文）任务书

|  |  |
| --- | --- |
| 题 目 | 需求变动下的柔性生产排班重调度优化 |
|  |  |

（任务起止日期：2021年11月2日～2022年6月5日）

|  |  |
| --- | --- |
| 院 系 | 管理学院 |
| 专业班级 | 物流管理201802班 |
| 姓 名 | 方思棋 |
| 学 号 | U201815825 |
| 指导教师 | 方思棋 |

教研室（系、所）负责人 2021年10月28日审查

院（系）负责人 2021年11月2日批准

|  |
| --- |
| 课题内容：  绪论； 国内外柔性生产排班成本控制发展现状； 当前柔性生产排班成本控制模式优势与弊端； 分析现状存在问题； 建立数学模型进行求解； 结合实际案例检验模型算法准确性； 研究结论和展望。 |
| 课题任务要求：  结合论文研究方向，独立进行文献查找和分析文献资料； 综合运用所学知识，理论结合实际去处理问题； 参考国内外研究现状和成果，结合实际独立完成课题。 |
| 主要参考文献（由指导教师选定）  [1]陈仲一.基于任务风险模型的仓储分拣系统排班优化与调度管理[D].浙江大学,2021. [2]吴勇.上海航空生产排班管理系统设计与实现[D].哈尔滨工业大学,2017. [3]连朋花.杭州烟卷厂生产和设备管理系统的设计与实现[D].大连理工大学, 2014 |
| 同组设计者：  无 |
| 指导教师签名：  年 月 日 |