



浙江工业大学

毕业论文（毕业设计说明书）

题目 多品种装配车间调度研究

专 业: 工业工程

班 级: 健行 1001

学生姓名: 陈晟恺

指导老师: 鲁建厦、董巧英

2013 – 2014 学年

浙江工业大学

学位论文原创性声明

本人郑重声明：所提交的学位论文是本人在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的研究成果。除文中已经加以标注引用的内容外，本论文不包含其他个人或集体已经发表或撰写过的研究成果，也不含为获得浙江工业大学或其它教育机构的学位证书而使用过的材料。对本文的研究作出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人承担本声明的法律责任。

作者签名：

日期： 年 月 日

多品种装配车间调度研究

学生姓名：陈晟恺

指导老师：鲁建厦、董巧英

浙江工业大学健行学院

摘 要

摘要内容，小四号宋体，段前段后 0 磅，1.5 倍间距。500 字左右。每段开头空两格，标点符号占一格。中文摘要应表达毕业设计工作的核心内容，简短明了。首先，摘要应当要素齐全。即一篇摘要应当包含如下要素：

1. 目的—即从事该项研究开发的理由与背景或所涉及的主题范围；
2. 方法—即所用的原理、理论、开发工具，关键技术解决方法等；
3. 结果—即研究开发工作的结果、数据、效果、性能等；

4. 结论—即对结果的分析、评价等。其次，摘要应当客观、如实地反映论文的内容。第三，采用第三人称写法。由于摘要将直接被检索类二次文献采用，脱离原文独立存在，所以摘要一律采用第三人称写法。

关键词：关键词 1，关键词 2，关键词 3，关键词 4

A study of multi job in assembly shop

Author: CHEN Sheng-kai

Mentor: LU Jian-sha

Jianxing Honor College, Zhejiang University of Technology

Abstract

Externally pressurized gas bearing has been widely used in the field of aviation, semiconductor, weave, and measurement apparatus because of its advantage of high accuracy, little friction, low heat distortion, long life-span, and no pollution. In this *thesis*, based on the domestic and overseas researching.....

Keywords: keyword 1, keyword 2, keyword 3

目 录

摘 要	I
Abstract	II
第一章 绪论	1
1.1 课题研究的背景及意义	1
1.2 国内外研究现状	1
1.3 课题采用的关键技术和方法	3
1.4 课题的基本思路及技术路线	3
第二章 研究对象基本情况	4
2.1 公司基本情况	4
2.2 装配车间作业	4
2.3 产线调度现状	4
2.4 小结	5
第三章 装配生产线分析及模型建立	6
3.1 生产线分析	6
3.1.1 现行流程描述	6
3.1.2 现行调度方案	6
3.1.3 主要问题	6
3.2 模型建立	7
3.2.1 目标改进	7
3.2.2 符号说明	8
3.2.3 相关假设	9
3.2.4 调度规则	9
3.2.5 目标函数	9
3.2.6 约束条件	9
3.3 小结	9
第四章 算法设计	10
4.1 调度规则	10
4.2 求解	10
4.2.1 初始解	10
4.2.2 搜索	10
4.3 小结	10
第五章 计算实验及方案评价	11
5.1 算法评价体系	11
5.2 实验设计	11
5.3 结果及评估	11
5.4 小结	11
第六章 总结和展望	12
6.1 总结	12
6.2 展望	12
参考文献	13

图 目 录

图 1-1 基本思路和关键技术路线	3
图 2-1 现行订单信息流	5
图 2-2 3 条生产线的现行调度	5
图 3-1 3 条产线的混线装配生产示意	7

表 目 录

表 2-1 制造二部装配车间信息 4

第一章 绪论

1.1 课题研究的背景及意义

汽车装配大多采用同步装配流水线方式作业，将装配过程分为多个作业单元，并安排在流水线的相应工位上，车体在移动中装配，各工位同时作业。以往，汽车装配工厂固定地生产一种或少数几种车型，采用大批量、规模化的生产。然而，随着技术的日新月异，客户需求的多样化，以及精益思想、环保节能观念的出现，汽车工业的生产模式不得不转变为面向订单的小批量、多品种的生产方式。因此，缩短交货期、提高资源利用率、降低生产成本、提高生产运作的灵活性，已成为保证企业市场竞争力的重要手段。

多品种装配是在基本不改变或较少改变现有生产设施的前提下，通过对装配生产线的合理组织与调度优化，实现多品种共线装配，以最大限度地挖掘生产线的潜能，向客户提供定制的个性化产品和服务。

生产调度就是组织执行生产进度计划的工作，作为一种决策形式，调度在制造业扮演者至关重要的角色，尤其在现今充满竞争的环境下，有效的生产调度已成为能在市场竞争下生存的必须。

从上个世纪 50 年代起，调度问题的研究就受到应用数学、运筹学、工程技术等领域科学家的重视，科学家们利用运筹学中的线性规划、整数规划、目标规划、动态规划及决策分析方法，研究并解决了一系列有代表意义的调度和优化问题^[1]。如今，随着计算机的发展，信息技术的成熟，许多过去只在理论层面上的调度算法，都可以通过计算机辅助得以验证与运用，给制造业的具体实力提升带来了可能。

提高竞争力的方法有很多，对于汽车工业，产品需求多样化和市场细分化，促使越来越多的制造商将多品种装配作为增强其竞争能力的有效手段。具体来说，对于汽车零部件，装配过程主要是以零部件的安装、紧固为主，其次是联接、压装和加注冷却液、制动液等液体以及整车质量检测的工序，有时还要根据用户意向选装。因此，合理安排装配产线，优化调度作业单元，对保证汽车装配质量，快速响应需求，提高汽车装配线的生产效率有着重要的现实意义。

举例来说，随着调度问题的规模增大，人们发现即使通过计算机，有些问题的算法并不是有效的，因为它们的求解超出了可接受的运行时间。逻辑学家和计算机科学家通过研究这类问题，建立了复杂度理论，并称这些问题是 NP 问题，问题的复杂度是会随着问题规模增大呈现指数爆炸。

这样一来，有时得到最优调度或者最优解的成本就变得太高了，那么近似最优解便成了很好的选择。然而调度问题的算法本来就众多，求解近似最优解更是如此，不同的算法适用的情况也不尽相同。实践表明，寻找合适的调度方案对生产系统的运行有着显著的影响。因此，从多品种装配着手研究调度算法，对增加产品多样性，加快需求响应速度，加快提高企业的竞争力有着重要意义。

1.2 国内外研究现状

调度问题本身具有高复杂性、多约束性、多目标性，在多品种小批量生产方式下，由于产品品种多、批量小、零件多等特点，增加了调度的复杂程度。多品种的装配调度问题是一种常见的车间调度问题，对于汽车零件，又有其独有的工艺特点。所以研究这个问题需要从调度规则、目标确定、工艺过程、设施类型等方面入手，提出合适的算法。

有关调度问题的算法研究颇多，而且随着目标函数的不同及目标数量的增多而逐渐呈现多元化，与之而

来的便是难度增大，几乎不可能得到最优解，但是，许多 $NP-Hard$ 问题还是相继得到解决。近来的研究热点以搜索算法及启发式算法为主，并呈现多种方法结合使用的趋势。

对于多品种调度的研究，国内外学者在调度的算法改造中有很多创新，在其研究的课题中体现出优良的性能，实用价值很大，对本课题的算法研究启发颇多。

将产品分类或者确定产品簇，这在多品种的装配问题来说很重要。Xie Zhiqiang^[2] 等通过建立虚拟产品，将多品种问题转化为单品种问题，通过关键路径方法确定加工顺序后，根据各工位操作的特征运用不同的算法调度，然后进行整合，解决了单产品的柔性调度，最后添加作业间的约束，较好的解决了复杂的多品种调度问题，对于简单的多品种调度问题，甚至可以不用加入作业间的约束。唐勇智^[3] 通过研究 RBF-LBF 串联神经网络，改进 K-means 聚类算法，提出了自适应的 SA-K-means 算法，本课题的研究可以借鉴其思想，更为有效的将产品簇分类。陈伟^[4] 通过 Smith-Waterman，FASTA 和 BLAST 三个局部对比算法，较好的找到了相似性较高的 DNA 序列，对于本课题中的产品簇归类有很高的借鉴意义。

有关建模设计的研究众多，主要是有关目标函数与约束的建立，李斌^[5] 等提出了车间调度 Multi-Agent 模型，以延期成本、设备利用率、综合调度性能等指标作为目标函数，并通过 Legin 软件和实例比较了不同调度规则下的效果。M.A. Adibi^[6] 等研究了随机作业和有机器抛锚可能的动态作业车间调度问题，通过经学习的神经网络，更新变邻域搜索算法的参数，在常见的分配规则下，较好的解决了该目标包括制造期和延迟的调度问题，并且其适用范围很广，其特点是神经网络的应用，很大程度上提高了搜索性能。刘文平^[7] 将汽车装配的多种订单产品序列优化看作约束满足的调度模型，通过邻域搜索算法中的 Memetic 算法，优化了混合品种装配线调度。杨本强^[8] 运用线性规划理论，建立了汽车流水线均衡生产模型，并通过一个启发式搜索算法来探寻解，思路简单，容易实现，本课题的微观调整可以借鉴其思想。李宏霞^[9] 等载荷考虑了物料配送能力，运用 FCFS 规则的相关算法^[10] 提出了一种操作性较强的调度模型，较好的解决了多品种变批量的装配调度问题。B.J.V. da Silva^[11] 等通过航空行业的实例研究，考虑了人力的水平等级，学习影响及作业空间的限制，将飞机装配分成 4 个不同程度的阶段，各阶建立或增改约束模型，有效解决了含有邻接约束的装配调度问题。A. Tharumarajah^[12] 等考虑了基于行为的分布式控制，并将之用于装配调度模型中，有效地解决了一个 3 阶段 4 工作站的装配问题，与整数规划相比，基于行为的调度无论在运行时间或是适用规模上，都显著优于整数规划。李志娟^[13] 等通过研究高校排课问题，在有效、交错、分散、固定、优先的原则下，设计了一个基于规则的算法，并在产生冲突时进行回溯，得到较好的课程表，其设计思想可以用到本课题中，尤其是在多种目标下，设计相应的规则算法。P. Chutima^[14] 等考虑了学习因子，提出了基于生物地域最优方法的方法，应用于两边装配线的混合模型，并引入了适应性机制，化解了最小化生产变化率、最小化总时间利用率、最小化调度序列换线时间三个矛盾，并使它们同时最优，提高了该元启发式方法的性能，有效的解决了多样性装配的调度。

在解的搜索上，启发式方法在搜索局部最优时效果很好，而涉及到全局最优就需要考虑元启发算法。陈琳^[15] 等将其撤装配车间简化成一个流水车间问题，并通过改进得到带有记忆的模拟退火算法，并引入禁忌搜索机制得到较好的近似最优解。台湾学者 Ham-Huah Hsu^[16] 等研究了多机器人的装配单元，通过基于搜索算法的调度，并将之仿真。Jia Shuai^[17] 等通基于禁忌搜索算法，通过路线重建和回跳追踪方法进行排序决策，解决了多目标的柔性作业车间调度问题。G. Moslehi^[18] 等研究了柔性作业车间，提出了结合蚁群算法和邻域搜索算法的方法，解决了多目标的作业车间调度问题，得到了质量较高，计算时间合理的近似最优解，尤其在中、大型问题中更能体现优势，并且该方法的提升空间很大。台湾学者 Rock Lin^[19] 等通过峰明机械厂的案例研究，引入作业划分概念和批量处理，提出了一个混合整数规划模型和 3 个启发式方法 FBEDD、FBFS、RFBFS，并通过计算实验证明 FBEDD 在解决小型问题上较好，而对于中大型的问题，RFBFS 兼具

有更好的求解结果。朱有产^[20]等通过改进经典的 Dijkstra 搜索算法，引入空间向量，通过夹角参数，有效的快速跳出局部最优解，得到最短路径问题的全局最优，对本课题的解的搜索有启发意义，可以将之结合入粒子群算法，重新定义其方向参数以改进。高丽^[21]等基于精英选择和个体迁移的多目标方法对遗传算法改进，得到了较好的多品种生产调度的 Pareto 解集。曹洪鑫^[22]等将多品种产品的混流装配顺序看作是商旅问题 (TSP)，其加工和换模时间即转化为路程，并通过遗传算法进行了 100 次迭代，较好的找到了较优解。本课题主要研究对象虽然不是混流装配，但混线时可以用到这个想法。讲到 (TSP)，翁武熙^[23]采用了结合蛙跳算法的新型智能算法，较好的改进了蚁群算法的搜索过程，值得借鉴。



1.3 课题采用的关键技术和方法

装配车间调度的关键技术是和调度相关的技术，需要有调度理论的框架和相关概念，常用的调度模型可分为**确定型模型**和**随机型模型**，它们的区别是随机型模型的相关变量不是具体值，而是一个分布，不同的情况下用到的分布，包括连续分布和离散的，使模型更接近实际情况。

除了调度的结构体系，其实现**算法也相当关键**，和本研究的相关算法中，选取**3**个具有代表的：**完整批产品簇排序 (FBFS)**、**变领域搜索 (VNS)**和**粒子群优化算法 (PSO)**。FBFS 算法的特点是将作业按簇分成批次，可以有效减少作业簇准备时间，适合多品种的生产调度，这是直接从调度本身入手的，可操作性很大，而且较符合实用情况，虽然有其不完善，但改善比较容易。VNS 和 PSO 都是解的搜索方法，理论性较强，可以将两者结合实用，比如在 VNS 随机下一个领域的的阶段可以通过 PSO 来确定下一个搜索方向，发货两者的优势。只是仅从目标函数的解空间搜索，获得的结果可能会在**在**实用中出现相关问题，需要进一步通过实践研究。

1.4 课题的基本思路及技术路线



本课题采用的基本思路 and 关键技术路线如图 1-1 所示。

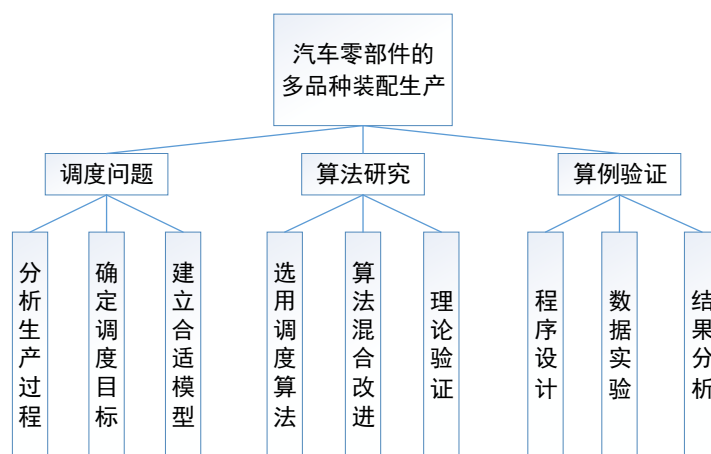


图 1-1 基本思路 and 关键技术路线

第二章 研究对象基本情况

本文以某汽车电子有限公司的装配车间为研究对象，进行调研。本章将介绍该公司车间的基本情况，并对现有装配线调度情况进行初步分析。

2.1 公司基本情况

该汽车电子有限公司主要产品为车用电子电器开关、控制模块、控制面板等，是美国通用、德国大众、一汽大众、上海大众、上海通用、上海汽车、长安福特、北京现代、~~一汽轿车、奇瑞汽车、哈飞集团~~等国内外 40 余家汽车主机厂的专业定点配套供应商，配套的代表性车型有奥迪 A6(L)、奥迪 A4(L)、奥迪 Q5、迈腾、君越、~~宝来、帕萨特、奔腾~~、红旗、马自达 M6、景程、荣威、明锐、凯越、捷达、桑塔纳等系列轿车，以及卡车、轻型车、微型车等，产品型号达 6000 余种。

2.2 装配车间作业

该公司的制造部分为制造一部和制造二部，制造一部主要是负责零部件的生产，不是本课题的主要研究对象；制造二部主要是负责产品总装，共 8 个车间，均是流水线作业，是本课题的研究对象，其相关信息如表 2-1 所示(单位：个)。

表 2-1 制造二部装配车间信息

车间	1 车间	2 车间	3 车间	4 车间	5 车间	SGM 车间	通用车间	电子车间 ^a
班组数量	6	6	6	5	4	4	6	2
流水线数量	7	7	7	6	7	6	5	5
PMC 分配品种数	777	557	186	196	334	29	76	83

^a包括：模块线、插件线及 SMT 线三个部分，其中，模块线是总装线，共 5 条装配线，插件线和 SMT 线是零部件生产线。本次研究的重点是总装线，故电子车间只列出了部分信息。

由表 2-1 可知，每个总装车间均有多条生产流水线，每条流水线负责各自对应主机厂的装配生产。当主机厂需要多个品种的产品时，流水线根据订单顺序进行装配作业，即同一主机厂的产品在一条生产线上轮流生产。

该公司采用面向订单生产，订单从接受到交付的流程如图 2-1 所示，其中虚线框内为装配车间的作业。在没有订单或者订单较少时，为了不让生产线停下来，需要进行工厂内部的计划生产，而订单较多时需要加班作业。

2.3 产线调度现状

当前该公司装配车间采用专线生产的方式，即客户的订单在其专用的流水线上进行生产作业，当同一客户有多个订单下达时，按照先到先服务 (FCFS) 的规则进行装配生产安排，多条产线并行作业互不干扰。

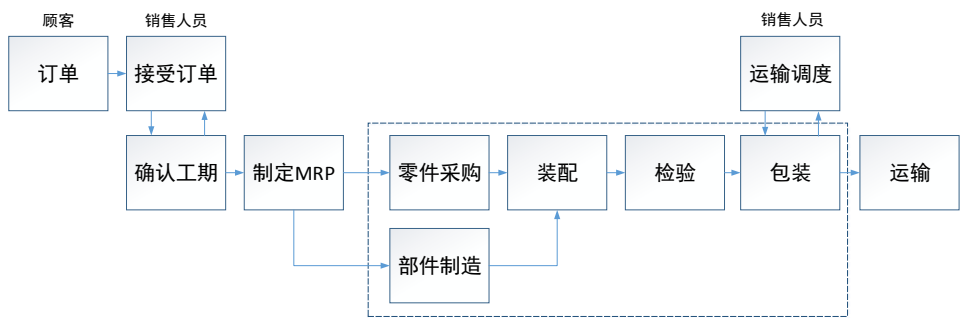


图 2-1 现行订单信息流

订单或任务到达时，如果有流水生产线空闲可用，则立即对其根据进行生产准备，然后开始装配生产。若产线在处理订单，那么将该订单安排入其专线队列中，等待前面的批量订单生产完毕再进行生产。现行调度的产线如图 2-2 所示。



图 2-2 3条生产线的现行调度

现行调度方法逻辑简单，执行力强，每条装配线可分时生产不同品种的产品，而且按照厂家来安排组织生产，方便了管理。然而其缺陷也是明显的，例如常常会产生有些产线队列很长而有限产线空闲无作业，造成极大浪费。具体的现有问题将在下一章分析。

2.4 小结

本章... 产线调度现状反映了一些问题，例如

第三章 装配生产线分析及模型建立

本章将对装配线生产进行分析，指出现有计划安排和调度存在的主要问题，然后针对这些问题，提出合理解决方案，并对其进行分析和数学建模。

3.1 生产线分析

课题研究对象是该汽车电子公司的总装生产线，是典型的流水车间，每条流水线负责同一主机厂的不同品种产品总装流程。装配生产根据订单批量进行安排，根据先到先服务 (FCFS) 规则生成任务队列。

生产线分析包括上述这些差别及其产生的影响或效果，具体描述从订单、装配到交付的流程，并分析现行调度方案的一些指标。

3.1.1 现行流程描述

现行下达订单到交付的流程如图 2-1 所示，销售人员接到客户订单，在确认工期后，将之送达计划部门，制定主生产计划 (MRP)，随后根据产品特性安排采购与厂内加工。根据任务队列与批量进行产品总装，通过质检包装后，销售人员安排运输送达至客户。订单到达会立即安排入其对应的主机厂专用产线，当同一主机厂有多个订单同时到达时，则根据最早交货期 (EDD) 规则进行生产调度。

本课题的研究对象是流程中的总装调度安排，

3.1.2 现行调度方案

任务下达到车间时，需要根据订单队列及其批量进行调度安排，

现行调度方案逻辑简单，执行力强，每条装配线可分时生产不同品种的产品，而且按照厂家来安排组织生产，方便了管理。

3.1.3 主要问题

现行调度方案存在诸多问题，例如多条装配线负荷不均衡，有的任务过重，有的任务不足，负荷不均衡，一条装配线上装配的产品工艺相似性较低，导致换线时间增加，产生更长的等待。

根据现行调度情况进行问题分析，可以归纳其主要存在问题如下：

(1) 产线利用率低

产线利用率低主要体现在存在大量换线时间，一方面由于产线等待队列由 FCFS 规则产生，同时到达的订单也只是根据 EDD 规则安排，没有考虑品种 **装配流程间的相似性**。当这种差异很大时，必然会增加换线时间，进而增加了任务间的等待。另一方面，由于产线的专用性，当有多条产线都能处理某个任务时，该任务只能在订单来自的主机厂专线上生产，**闲置了可用线的生产能力**。

(2) 生产不均衡

这里的生产均衡和混流生产中的均衡生产稍有差别，此处的不均衡现象更为宏观。来自不同主机厂的任务在不同产线上进行处理，这样一来，订单较多、较频繁的主机厂产线总是会处于繁忙状态，而订单较少的

产线则呈现为停线等待居多。这种不均衡现象直接导致产能的巨大浪费，同时也间接导致了换线时间增加，因为不均衡的生产表面订单较为集中。**突破专线限制可以解决宏观不均衡问题**，虽然细分到单条线上的混流生产可以进一步均衡化生产，但其需要较高的管理投入，可以考虑折衷。

(3) 工艺及设备和生产需求不匹配

各流水线需要有多品种加工的能力，故线上需要有相应加工工艺的设备，而时常不同主机厂所需产品可能有很高的相似性，这使得同样的设备需要在多条流水线上设置，尤其对于加工时间较短、处理批量较少的作业，过多的设备徒增成本与闲置。另一方面，加工时间厂、处理批量大的作业，**台少的设备不利于生产效率**，导致在制品增多。

(4) 工期可控性低

工期的可控性低主要体现在应变插单的问题上，现行调度采用的是不可中断的流水作业，各流水线只能按其队列顺序进行装配作业，由于这样安排没有顾及工期的先后即订单的具体情况，导致大部分订单都需要延期交货，也存在较多订单的过早完工，增加了库存。此外，虽然插单可以较为合理安排订单加工顺序，而**然会到来额外的切换时间**，需要权衡考虑。

(5) 产线冗余度高

前面几大问题已经涉及到了一些浪费现象，除了这些之外，该厂制造二部共有 8 个装配车间，每个装配车间有 7-8 条总装流水线，然而由于流水线是按主机厂进行分配，存在较高的冗余度，前面提到的产线间设备类似属于其中之一。产线的冗余还包括作业及管理人员，辅助设置，场地空间，相关能源等。

上述问题为研究对象的目前的主要问题，并对其产生原因进行分析，这为改进调度方案明确了方向。具体改进过程需要通过建模分析。

3.2 模型建立

为制定合理调度方案，改善装配流水线现状，首先需要确定改进目标，进而根据目标的可行性，建立数学模型。因此，本节将结合实际情况，权衡投入和效益，建立适合本课题研究对象的混线装配生产模型。

3.2.1 目标改进



目前的生产现状主要是存在各主机厂的专用流水线，所以首要的改进是突破专用线的生产界限。如此一来，生产线可以加工多家主机厂的订单，形成所谓的混线生产，是较混流生产为宏观的均衡化生产，如图 3-1 所示¹。其次，适当允许任务中断，安排插单作业，可以**进一步**改善现有浪费，而且增加生产应变能力。



图 3-1 3 条产线的混线装配生产示意

根据这样的目标，对所需生产的订单进行排列组合，较为均匀地安排在各流水线上，以期获得均衡的生

¹图 3-1 中订单 a-b 表示主机厂 a 的第 b 个订单

产线利用率、减少换线时间浪费、缩短完工时间、降低生产成本。此外，虽然实施完全均衡化生产需要有较强的管理水平和投入，但是适当的混流（即考虑投入产出关系后）可以有效提高产线性能，需要确定混流程程度。

3.2.2 符号说明

为了方便问题描述，符号说明如下：

j	作业标记
i	批次标记
r	批次中的位置标记
b	工段中的批数， $b \geq 2$
c	工段 1 的批量
J	需要调度的作业集合， $J = \{1, 2, \dots, n\}$
p_{aj}	J_j 在工段 a 的单件处理时间， $p_{aj} = p_a$
p_{1j}	J_j 在工段 1 的处理时间， $p_{1j} = p_1$
p_{2j}	J_j 在工段 2 的处理时间
s_a	在工段 1 的作业换线时间
s_b	在工段 2 的批次换线时间
s_{f1}	在工段 1 的产品簇换线时间
s_{f2}	在工段 2 的产品簇换线时间
f_j	J_j 的产品簇， $f_j = 1, 2, 3, 4$
$f_{1,[i,r]}$	在工段 1 中安排在第 r 批次作业 $[i, r]$ 的产品簇
$f_{2,[j]}$	在工段 2 中安排在第 j 批次 $J_{[j]}$ 的产品簇
$k_{1,[i,r]}$	$= \begin{cases} 0 & \text{在工段 1, 如果作业 } [i, r] \text{ 和它的前继作业同属一个产品簇} \\ 1 & \text{其他情况} \end{cases}$
$k_{2,[j]}$	$= \begin{cases} 0 & \text{在工段 2, 如果 } J_{[j]} \text{ 和它的前继作业同属一个产品簇} \\ 1 & \text{其他情况} \end{cases}$
S	已调度的作业集合
S_U	未调度作业集合
B	已调度批集合
B_i	工段 1 的第 i 批， $B_i \subset B$
$p_1(B_i)$	工段 1 的 B_i 处理时间
D_j	J_j 的交货期
d_j	J_j 的工期
$d_{[j]}$	$J_{[j]}$ 在工段 2 的工期
$C_{1,[i]}$	批 i 在工段 1 的完工时间
$C_{2,[j]}$	$J_{[j]}$ 在工段 2 的完工时间
T_j	$J_{[j]}$ 的滞后时间



3.2.3 相关假设

按队列生产时，需要考虑切换准备时间，这个准备时间只和将要进行生产的产品有关，而和前一项作业无关。

3.2.4 调度规则

3.2.5 目标函数

3.2.6 约束条件

3.3 小结

第四章 算法设计

上一章构建了多品种产品调度的数学模型，需要对其检验，而该模型求解是 NP 问题，需要设计相应算法来求解。

4.1 调度规则

4.2 求解

4.2.1 初始解

4.2.2 搜索

4.3 小结

第五章 计算实验及方案评价

本章将对上一章的算法进行评估，通过设计相关计算实验，建立评价体系，具体评估各算法的效果及其适用规模。然后根据实验结果，为研究对象制定合适的调度方案。

5.1 算法评价体系

5.2 实验设计

5.3 结果及评估

5.4 小结

第六章 总结和展望

6.1 总结

6.2 展望

参考文献

- [1] 徐俊刚, 戴国忠, 王宏安. 生产调度理论和方法研究综述 [J]. 计算机研究与发展, 2004. 41(2):257–267.
- [2] Zhiqiang Xie, Shuzhen Hao, Lei Zhang, Jing Yang. Study on integrated algorithm of complex multi-product flexible scheduling[C]//Advanced Computer Control (ICACC), 2010 2nd International Conference on. volume 1. IEEE, 2010:553–557.
- [3] 唐勇智. 基于聚类的 RBF-LBF 串联神经网络的学习算法及其应用 [D]. : 江南大学, 2009.
- [4] 陈伟. 生物信息学中的序列相似性比对算法 [D]. : 中国海洋大学, 2006.
- [5] 李斌, 林飞龙. 多品种多工艺车间调度建模, 分析与优化 [J]. 物流技术, 2009. (8):136–139.
- [6] MA Adibi, M Zandieh, M Amiri. Multi-objective scheduling of dynamic job shop using variable neighborhood search[J]. Expert Systems with Applications, 2010. 37(1):282–287.
- [7] 刘文平. 混合品种汽车装配线平衡与排序问题研究 [D]. : 山东: 山东大学, 2009.
- [8] 杨本强. 线性规划理论在汽车装配线均衡问题中的应用研究 [D]. : 重庆大学, 2002.
- [9] 李宏霞, 彭威, 史海波. 装配车间的多品种变批量的生产调度优化模型 [J]. 机械设计与制造, 2006. (6): 94–96.
- [10] Virginia Lo, Jens Mache. Job scheduling for prime time vs. non-prime time[C]//Cluster Computing, 2002. Proceedings. 2002 IEEE International Conference on. IEEE, 2002:488–493.
- [11] Bruno Jensen Virginio Da Silva, Reinaldo Morabito, Denise Sato Yamashita, Horacio Hideki Yanasse. Production scheduling of assembly fixtures in the aeronautical industry[J]. Computers & Industrial Engineering, 2014. 67:195–203.
- [12] A Tharumarajah, R Bemelman, P Welgama, A Wells. Distributed scheduling of an assembly shop[C]//Systems, Man, and Cybernetics, 1998. 1998 IEEE International Conference on. volume 1. IEEE, 1998:433–438.
- [13] 李志娟, 王冠. 高校自动排课算法的研究与设计 [J]. 计算机与数字工程, 2008. 36(5):199–202.
- [14] Parames Chutima, Wanwisa Naruemitwong. A pareto biogeography-based optimisation for multi-objective two-sided assembly line sequencing problems with a learning effect[J]. Computers & Industrial Engineering, 2014.
- [15] 陈琳, 严洪森, 刘通, 刘霞玲. 汽车装配线生产计划与调度的集成优化方法 [J]. 计算机技术与发展 ISTIC, 2009. 19(1).
- [16] Ham-Huah Hsu, Li-Chen Fu. Fully automated robotic assembly cell: scheduling and simulation[C]//Robotics and Automation, 1995. Proceedings., 1995 IEEE International Conference on. volume 1. IEEE, 1995:208–214.
- [17] Shuai Jia, Zhi-Hua Hu. Path-relinking tabu search for the multi-objective flexible job shop scheduling problem[J]. Computers & Operations Research, 2014. 47:11–26.
- [18] Ghasem Moslehi, Mehdi Mahnam. A pareto approach to multi-objective flexible job-shop scheduling problem using particle swarm optimization and local search[J]. International Journal of Production Economics, 2011. 129(1):14–22.
- [19] Rock Lin, Ching-Jong Liao. A case study of batch scheduling for an assembly shop[J]. International Journal of Production Economics, 2012. 139(2):473–483.

- [20] 朱有产, 王春梅, 刘虎. 基于空间方向关系的配电网实用最佳抢修路径算法 [J]. 电气应用, 2006. 25(1): 41-43.
- [21] 高丽, 徐克林, 杨娜娜. 多品种柔性生产企业的订单调度模型及其遗传算法 [J]. 数学的实践与认识, 2012. 42(21):154-161.
- [22] 曾洪鑫, 宾鸿赞. 遗传算法在多品种装配生产排序中的应用 [J]. 现代制造工程, 2006. (7):59-62.
- [23] 翁武熙. 混合蚁群算法求解 TSP 问题 [D]. : 广西大学, 2012.