

# 多目标优化生产作业调度计划系统开发<sup>\*①</sup>

吕韶义<sup>\*\*</sup> 刘智敏 刘复岩

(杭州电子工业学院电子工程系 杭州 310037)

**【摘要】** 讨论了多目标优化生产作业调度计划系统的结构及主要功能,分析了该系统如何把多目标优化启发式算法、仿真模型及工作日指派相结合,从而实现了生产作业调度计划的动态优化编制及快速修改或重排。

**关键词** 排序; 作业调度; 优化; 启发式算法

**中图分类号** F27

## 1 系统开发背景

我们开发的生产作业调度计划系统,主要由两个加工中心和 3 台数控机床组成,现行的生产计划是由上级计划部门制订的。根据决策范围、计划水平及详细程度的不同,制订的生产计划包括年计划、季计划和月计划。年生产计划主要是根据国家计划、订货合同及市场需求预测制订的;季生产计划是在年计划基础上,根据单位现有的人、财、物等资源能力确定的;月生产计划则是根据季生产计划、当前生产进度、用户需求变化等情况确定的当月生产任务。

生产单位接到月生产计划以后,需要自行编制当月各工作日的作业调度计划。由于是典型的单件小批量生产方式,又常有急件加工插入,加之靠经验和手工方式制订作业计划和进行作业调度,致使月生产计划往往无法按时完成。因此,用户迫切需要改变这种情况,希望能开发一个首先保证交货期;其次使零件加工流程最短,第三使机器负荷平衡的计算机化生产作业调度计划系统,同时对该单位的生产情况进行实时监控。本文介绍的多目标优化生产作业调度计划系统,即是为满足上述用户需求开发的。

## 2 系统结构及主要功能

该系统为菜单式驱动,系统结构包括作业计划编制、生产实时监控、报表查询和打印、数据库维护以及系统维护五个部分。其中作业计划编制生产实时监控,是该系统的两个主要组成部分,以下仅对此两部分进行详细讨论。

### 2.1 作业计划编制部分

作业计划编制部分由输入、算法选择、仿真、急件处理、故障模拟等五个模块组成。该部分的主要功能是:为生产作业调度计划的编制提供各种启发式优化算法;利用动画图形对作业调度计划进行动态仿真、模拟机床随机故障,以及对各种优化算法的有效性进行评价;为用户提供满足多目标优化要求的生产作业调度计划;在任意指派工作日及日生产班次后,自动生成日作业调度计划表;当有急件插入等变化情况时,可快速、及时的对作业调度计划进行修改与重排等。

#### 1) 输入模块

① 1998 年 1 月 5 日收稿,1998 年 3 月 5 日修改定稿

\* 电子部预研基金资助项目

\*\* 男 57 岁 大学 副教授

该模块为作业计划的编制提供必要的输入数据,如月生产计划及零件加工工艺数据等。

### 2) 算法选择模块

算法选择模块为作业调度计划的优化编制提供了五种启发式优化排序算法,每种算法的优化目标各不相同,其中有只考虑保证交货期、或零件加工流程最短,或机器负荷平衡等单目标优化算法,也有既考虑保证交货期、又考虑零件加工流程最短等多目标优化算法;用户可根据需要选择不同的优化排序方法。其中,分组组合排序算法是为该单位提供的一种推荐算法。把这种启发式算法与仿真模型相结合,可以实现首先保证交货期;其次使零件加工流程最短,第三考虑机器负荷平衡等优先级别不同的多目标优化作业调度计划的编制。

### 3) 仿真模块

仿真模块除了与分组组合排序启发式算法结合、提供多目标优化作业排序外,还可用来评价各种优化算法的有效性,它利用直观、简洁的动态图形,将优化排序结果转换成模拟机床加工状态的 GANTT 图,并用饼图动态显示各机床的利用率。此外,仿真模块还提供人机交互操作接口,用户通过键盘操作,可以对该模块给出的当月日历指派工作日,以便把优化排序计算结果具体分配到各个工作日,自动生成作为调度计划表;另外,该模块还可将仿真运行结果的有关数据,传送到报表查询和打印部分,把这些数据自动填写到统计报表的相应位置。

### 4) 急件插入模块

急件插入模块为系统处理急件加工提供人机交互接口,将有关急件加工的特征数据送到算法选择模块,用于控制优化排序算法的运算进程,使原作业调度计划能快速、及时地进行修改与重排。

### 5) 故障模拟模块

故障模拟模块用来模拟机床随机产生的故障,若发生此种情况,在排序计算时则把机床故障作为特殊零件占先处理。

## 2.2 实时监视部分

本系统的实时监视部分,利用屏幕显示的动态图形,对该单位的实际作业调度及设备运行情况进行实时监视,并将有关的实时信息以表格形式保存在文件中,供决策者随时查询和参考。

实时监视具有两种工作状态:实时和自检;两者区别在于所采用的时钟不同,前者采用实际时钟,后者采用仿真时钟,以便在短小时内演示前者的各种运行历程。

实时监视的输入信息,既可是实际系统的联机工况信息,也可是来自键盘输入的模拟代码。输入信息经代码转换和处理后,可形成与实时工况信息相对应的图形及实时作业调度表。此外,还可将有关的实时信息,传送到报表查询和打印部分的相应统计报表中。

## 3 系统设计特点

我们开发的多目标优化、单件小批量作业调度计划系统具有若干设计特点,将启发式优化排序算法、仿真模型,以及灵活方便的工作日指派有机结合起来,可以方便、快捷地实现作业调度计划表的自动生成、修改和重排。

### 3.1 启发式算法与仿真技术相结合,实现作业排序的多目标优化

本系统采用的分组组合排序算法是一种启发式方法,它与通常的算法不同,其多目标的优先级别不是用加权系数表示,而是利用在排序过程中对优化目标考虑的先后次序予以确定的。

具体计算过程如下:

1) 将月计划中涉及的  $n$  个(批)零件,按交货日期的先后顺序排序,得  $L_i, i=1, 2, \dots, n$ ;再按上、中、下旬将其分为 3 组:  $N_1, N_2, N_3$ 。

2) 按下式计算零件  $L_i$  的加工周期  $T_i$

$$T_i = \sum_{j=1}^m A_{ij} * C_{ij} + B_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

式中  $A_{ij}$ 、 $B_{ij}$ 、 $C_{ij}$  分别表示第  $i$  个零件第  $j$  道工序的基本工时、准备工时和加工批量;  $m$  表示加工工序数。

在各组内将零件按  $T_i$  值由大到小排序, 对加工周期长的零件赋予较高优先级别, 以减少拖期情况。

3) 按分组顺序, 在一组内取前 3 个零件进行排列组合, 得 6 种排序方案, 分别计算它们的加工周期, 从中选取具有最小值的排序顺序。

例如, 若由步骤 2) 求得  $N_1$  组的零件排序为  $L_k, k=1, 2, \dots, 6$ 。则先取  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$  进行排列组合, 得到 6 种排序方案:  $L_1-L_2-L_3, L_1-L_3-L_2, L_2-L_1-L_3, L_2-L_3-L_1, L_3-L_1-L_2, L_3-L_2-L_1$ ; 假设其中  $L_3-L_2-L_1$  的加工周期最短, 则取排序顺序  $L_3-L_2-L_1$ 。

4) 从 3 个零件的排序结果中, 取出排在末尾的零件与组内剩余零件的前两个进行排列组合, 计算它们的加工周期, 从中选取具有最小值的排序顺序。

在上例中, 取  $L_3-L_2-L_1$  的末尾零件  $L_1$  与  $L_4$ 、 $L_5$  进行排列组合, 从中选择加工周期最短的一个, 假设为  $L_5-L_1-L_4$ 。

5) 重复步骤 4), 直至组内无剩余零件为止。

对于上例, 取  $L_4$  与组内剩余零件  $L_6$  排列组合, 假设其中  $L_6-L_4$  具有最短加工周期, 则该组的最终排序应为:  $L_3-L_2-L_5-L_1-L_6-L_4$ 。

6) 返回步骤 3), 对下一组进行同样处理, 然后将排序结果附加到前一组所得结果的末尾, 如此循环, 直至 3 组零件全部排序完毕, 算法结束。

由上可见, 分组组合排序算法, 给出的是首先保证交货期; 其次使零件加工流程最短的优化作业排序, 它没有考虑机床的负荷平衡问题。为了满足用户提出的多目标要求, 我们将该算法与仿真技术相结合, 通过运行该单位的仿真模型, 在仿真运行过程中, 动态比较待加工机床的负荷, 选择合适的机床进行加工, 从而可保证各机床的利用率趋近平衡。所以, 本系统采用分组组合排序算法与仿真模型相结合的方法, 完成多目标优化作业排序的。结果表明, 这种方法不仅能给出较为满意的结果, 而且具有较快的计算速度。

### 3.2 灵活、实用的工作日指派

由上述优化算法得到的作业排序结果为逐日编排形式, 不与实际的工作日相对应, 为此, 我们在仿真模块设置了工作日指派人机交互接口; 考虑到处理紧急加工任务的需要, 包括节、假日在内, 每天可安排两班。用户通过简单的键盘操作, 即可在屏幕显示的当月日历表格上, 指定工作日及工作班次, 从而可将优化排序的计算结果具体落实到每个工作日和工作班次, 自动生成作业调度计划如图 1 所示, 图 1 左方为工作日指派方框图。

### 3.3 方便、快捷的急件加工处理

该单位在生产上面临的主要难题之一, 就是按计划进行的生产活动, 经常被急件加工插入所中断, 致使生产活动往往陷入一种盲目状态。针对这种情况, 本系统采用如下解决方案: 当有急件插入时, 以插入日期为计划修改日期的起点, 将原作业排序分成前后两部分, 在计划修改日期之间, 原作业排序不变; 在计划修改日期之后, 按前述优化排序算法进行重排, 不同之处仅在于将急件放在优先加工顺序之首, 对作业继续进行优化排序, 然后再把排序结果与工作日指派相结合, 即可得作业调度计划的重排表。利用这种方法可以有效地解决急件加工的随机插入问题。值得注意的是,

断点的信息如果处理不当,会使系统处于繁复的计算之中。本系统采用的方法是:在计划修改日期的起点,如有某些零件的某道工序已完成加工,但成组(批)加工尚未完成时,则需待该组零件该道工序全部完成后,才开始重新排序计算。这样做既可大大简化处理断点信息的复杂性,也比较符合生产实际。图2示出急件插入时对原作业排序进行修改或重排的程序框图。

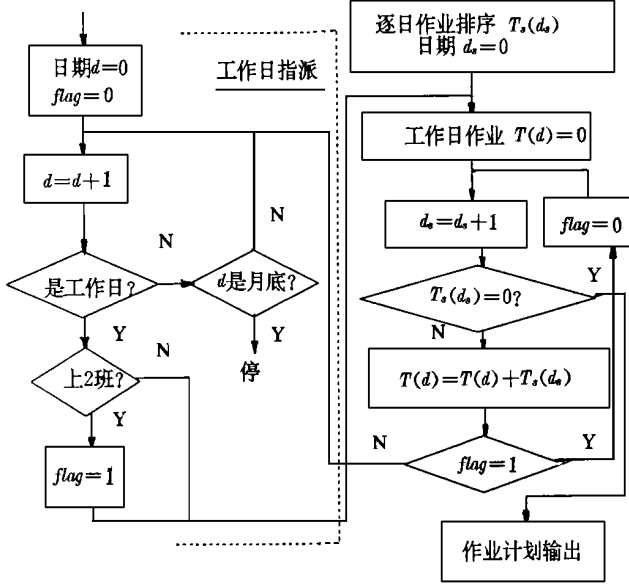


图1 由逐日排序生成作业调度计划程序框图

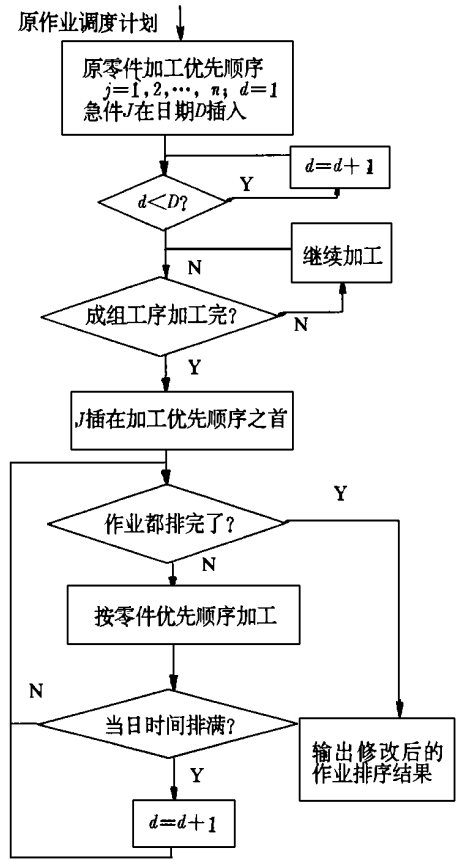


图2 急件插入时修改原作业排序程序框图

### 3.4 利用直观、简洁的动态彩色图形监视实时系统

如前所述,实时监视部分把来自机床的实时工况信息,经过适当的代码转换,变成实时动态显示的各类彩色图形,这些图形不仅能示出各机床在不同时刻所加工的零件种类、工序或故障情况,亦能显示在不同时刻各机床的累加利用率。这种实时监视方式所提供的信息既充分,同时又很直观、一目了然,便于用户理解和使用。

此外,系统通过对实时时钟的采集与数据处理,能自动生成实时作业调度表,其格式与作业调度计划表完全一致,因而便于将两者进行对比,当发现差距超过规定范围时,可及时修改作业计划,或将有关信息及时反馈到上级计划部门,要求对生产计划进行适当调整。

## 4 结束语

我们开发的多目标优化生产作业调度计划系统, 具有较好的通用性, 可广泛用于单件小批量生产作业调度计划的动态优化编制, 以及车间生产的实时监控及管理。

我们利用用户提供的几个月生产计划作为输入数据, 运行该系统, 结果给出的作业调度计划, 其中最少只需 11 天即可完成全月计划, 最多也只需 14 天即可完成。按一个月实际工作日为 21 天计, 则可节约 7 天~10 天, 亦即至少可提高生产率 30% 以上, 可见使用该系统可以产生比较明显的经济效益。目前该系统已开发完毕并提交用户使用。

### 参 考 文 献

- 1 Dar-el Ezey M, Zvifeuer. SIBS— a job shop simulation-based scheduler. Computer-Integrated Manufacturing Systems 1992, 2(1) :15~20
- 2 Kanumury M, Chang T C. Process planning in an automated manufacturing environment. Journal of manufacturing Systems 1992, 2(1) :67~78

## Development of An Optimal Production Scheduling System with Multi-goals

Lü Shaoyi    Liu Zhimin    Liu Fuyan

(Dept. of Electronic Eng., Hangzhou Institute of Electronic Engineering Hangzhou 310037)

**Abstract** This paper presents the structure and main functions of an optimal production scheduling system with multi-goals. How the system combines a multi-goals optimal heuristic algorithm with a simulation model and workingday assignment procedure to implement establishing, modifying and resequencing of an optimal production schedule plan dynamically and rapidly is also analyzed in this paper.

**Key words** sequencing; scheduling; optimization; heuristic algorithm

编辑 黄 辛

.....

·科研成果介绍·

## 光纤抽头延迟线的研究

主研人员 胡 力 王 旭 谢绍义 罗小兵 叶昆珍

该课题对光纤抽头延迟线的数理模型、工作机理和结构设计作了大量的理论和实验研究。自行设计研制了光纤抽头熔锥工艺设备以及工艺过程在线监测系统, 研制了十余种直列链式和环形反馈式结构延迟网络组件, 筹建了网络组件测试的时域和频域测试系统, 研究了组件测试方法, 并对所研制组件进行了具体测试。研究中, 关于非等延迟间隔陈列结构, 利用损耗补偿分光比误差, 采用了双极探测等技术的, 有创新意义。

该课题在环形反馈式结构延迟网络组件研制方面有创新, 在 OFTDL 网络的结构设计, 抽头制作工艺, 实验组件的研究和所达指标方面所取得的成果相当于国外 80 年代末期水平, 在国内处于领先水平。

·科 卞·