

# 新生产模式下机加车间调度问题的建模求解算法研究

时晓钊, 卢一玮, 黄觉安, 韩达稳, 刘志亮\*

四川航天川南火工技术有限公司, 四川 泸州

收稿日期: 2026年3月10日; 录用日期: 2026年4月3日; 发布日期: 2026年4月13日

## 摘要

为了进一步降低零件生产制造成本, 工厂采取了部分工序外协的生产模式。机加车间一直依靠主管调度凭借个人经验对生产任务进行排程及外协生产厂家的任务分配, 但随着生产任务加剧、产品种类增多, 采用传统排程方式导致的排程时间较长、准确率不足、生产节点频繁调整等问题日益凸显。本文依据工厂生产管理和质量体系要求, 结合实做工时数据, 以总超期时间节点最短为目标函数进行建模, 利用遗传算法通过PyCharm软件对模型进行求解。研究表明: 针对新生产模式下机加排产问题, 通过找出工序类型与生产资源对应关系将二者联系起来, 利用遗传算法和实做工时可以有效解决排产问题, 显著提高车间排程的效率和准确率。

## 关键词

新生产模式, 调度问题, 建模求解, 实做工时, 遗传算法

# Research on Modeling and Solution Algorithms for Machining Workshop Scheduling under the New Production Mode

Xiaozhao Shi, Yiwei Lu, Jue'an Huang, Dawen Han, Zhiliang Liu\*

Sichuan Aerospace Chuannan Pyrotechnic Technology Co. Ltd., Luzhou Sichuan

Received: March 10, 2026; accepted: April 3, 2026; published: April 13, 2026

\*通讯作者。

文章引用: 时晓钊, 卢一玮, 黄觉安, 韩达稳, 刘志亮. 新生产模式下机加车间调度问题的建模求解算法研究[J]. 建模与仿真, 2026, 15(4): 45-54. DOI: 10.12677/mos.2026.154052

## Abstract

To further reduce the manufacturing costs of part production, the factory has adopted a production mode with external outsourcing for partial processes. The machining workshop has long relied on the supervisor to schedule production tasks and allocate outsourcing assignments to external manufacturers based on personal experience. However, with the surge in production tasks and the increase in product varieties, the problems caused by the traditional scheduling method have become increasingly prominent, such as long scheduling time, insufficient accuracy, and frequent adjustments to production milestones. In accordance with the requirements of the factory's production management and quality system, this paper establishes a mathematical model with the objective function of minimizing the total overdue production milestones by integrating the standard time data of working procedures. The genetic algorithm is applied to solve the model via the PyCharm software platform. The results demonstrate that for the machining scheduling problem under the novel production paradigm, by establishing the mapping relationship between process types and production resources, the integration of genetic algorithm and actual processing time can effectively address the scheduling issue, thereby significantly enhancing the efficiency and accuracy of workshop scheduling.

## Keywords

New Production Modes, Workshop Scheduling Problems, Modeling and Solving, Actual Working Hours, Genetic Algorithms

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

当今科学技术发展日新月异,各企业之间的竞争已经不只停留在技术层面的竞争,还涉及管理水平 and 生产成本等方面的竞争。随着市场竞争加剧,最大化降低生产成本是企业发展生存必须面对的首要任务。在保质保量地完成生产任务的前提下,如何更好地控制生产成本已经逐渐成为企业竞争的关键所在。国内工业化发展已经为区域性机加零件外协[1]-[3]创造了客观条件,机加零件生产利润已经不能给企业带来跨越式增值,而逐年提高的人工和管理成本逐渐成为利润增长的最大障碍,促使着企业开辟出新生产模式:机加工序能外协尽量外协加工,其余工序厂内加工。

新生产模式虽然降低了机加零件的制造成本、提高了企业利润,但管理的范围已从厂内扩大到外协厂,继续沿用主管调度各自凭借经验排程的方法已渐渐凸显企业存在的管理问题:① 车间及外协资源缺乏整体统筹分配,各自主管调度在分配时存在资源突出情况而导致排程准确性和可执行性较差;② 管理资源的增多使得主管调度排程工作量呈指数倍增长[4] [5];③ 分配生产任务完全由主管调度主观决定,缺乏有效客观依据,存在一定廉政风险。柔性作业车间调度问题是一类具有广泛应用背景的调度问题,作为典型的 NP-hard 问题,学者们逐渐认识到外协是帮助制造企业降低生产成本及构建柔性供需关系的有效手段。然而,外协资源能否得到合理的利用,很大程度上依赖于企业在不同外协模式下生产调度优化方案的制定,现有研究[6]-[9]仍存在以下不足:一是未充分考虑外协各工序之间的连贯性,对生产质量和管理要求约束较少;二是缺乏针对实做工时数据的动态调度方法研究。针对上述问题,本文通过工序

类型确定加工设备, 利用实做工时数据, 运用遗传算法[10][11]解决目前企业面临的管理问题: 如何利用车间和外协厂家的生产资源、合理安排生产, 才能最大限度地完成各项生产任务。

## 2. 模型构建

### 2.1. 问题界定

排程问题可根据研究目标的差异而界定不同, 航天生产任务不仅考虑的是成本问题, 更要尽可能保障产品按期交付。本文主要研究目标: 实现以在考核节点内完成最多生产任务的方式完成阶段生产计划, 如何确定各外协厂设备、人员阶段生产计划满足各产品考核节点的资源分配问题。具体问题特征界定如下: 每个阶段车间要完成的各项生产计划已知, 各项计划包含的机加零件工序信息(工艺流程产品-零件-工序、准备时间、加工时间、加工设备、加工人员等)已知, 各项任务的考核节点已知, 机加工序(车、镗铣、线切割、钳等)能由外协厂加工尽量由外协厂加工且外协厂加工能力已知, 同一零件外协工序尽量安排一个外协厂生产, 厂内物流及厂外产品物流已知。问题是如何确定各产品生产计划, 以实现完成考核项目最多的目标。

为了问题的简化, 做出如下假设: 1) 任何时刻, 同一机床上或同一个操作者最多只能加工一个零件, 待全批零件加工完成后才能进行其他批零件的加工; 2) 每个设备的加工精度都能满足零件加工需要, 每个操作者的技能水平都能满足加工需要; 3) 同一批零件加工不存在分批情况, 都是在前一道工序加工完成后整批运到后一道工序; 4) 各类零件各个工序之间加工时间存在差异, 但每种零件在同一道工序的加工时间固定不变; 5) 同一批零件的同一道工序只能在一个外协单位加工; 6) 外协加工工序能外协加工的一律外协加工; 7) 同一生产厂区零件上下序的转运时间忽略不计; 8) 同一产品需要外协工序, 所有加工工序仅可分配给同一外协厂; 9) 不同区域间运输方式采用公路运输, 运输速度取一定固定值。

### 2.2. 问题模型的构建

模型所需的变量定义见表 1。

Table 1. Definition of each variable

表 1. 各变量定义

参数	定义
$H$	较大的正数
$v$	零件运输速度
$N_i$	生产任务的数量
$N_{ij}$	任务 $i$ 中生产产品的数量
$N_{ijk}$	任务 $i$ 中 $j$ 产品含有零件的数量
$N_{ijkl}$	任务 $i$ 中 $j$ 产品 $k$ 零件含有工序的数量
$N_{ijkm}$	外协厂 $m$ 具备完成任务 $i$ 中 $j$ 产品 $k$ 零件工序的数量
$A_{ijkm}$	外协厂 $m$ 对于任务 $i$ 中 $j$ 产品 $k$ 零件的分配优先权
$L_{ijkl}$	任务 $i$ 中 $j$ 产品零件 $l$ 工序完成后运输到下一序的距离
$T_i$	任务 $i$ 的实际生产周期
$TK_i$	任务 $i$ 的考核节点
$TE_i$	任务 $i$ 的超期时间

续表

$Q_{jk}$	任务 $i$ 中的 $j$ 产品 $k$ 零件的生产批量
$RT_{ijkl}$	任务 $i$ 中的 $j$ 产品 $k$ 零件第 $l$ 工序的加工时间
$Td_{ijkl}$	任务 $i$ 中的 $j$ 产品 $k$ 零件第 $l$ 工序的工时定额
$MT_{ijkl}$	任务 $i$ 中的 $j$ 产品 $k$ 零件第 $l$ 序完成后转移到下一序缓存区的运输时间
$ST_{ijkl}$	任务 $i$ 中的 $j$ 产品 $k$ 零件第 $l$ 工序的加工准备时间
$C_{ijkl}$	任务 $i$ 中的 $j$ 产品 $k$ 零件第 $l$ 工序加工完成后转运到下一工序暂存区时刻
$G_{ijkl}$	任务 $i$ 中的 $j$ 产品 $k$ 零件第 $l$ 工序开始加工时刻
$W_i$	0~1 的决策变量, 若任务 $i$ 的实际生产周期超过考核节点(即 $T_i > TK_i$ ), 则 $W_i = 1$ , 否则 $W_i = 0$
$X_{ijkl}$	0~1 的决策变量, 对于第 $l$ 序所使用设备, 若任务 $i$ 中的 $j$ 产品 $k$ 零件第 $l$ 工序与前一批次加工零件工序种类相同, 则 $X_{ijkl}$ 为 0, 否则 $X_{ijkl}$ 为 1
$Y_{ijklj'k'l'}$	0~1 的决策变量, 当任务 $i$ 中的 $j$ 产品 $k$ 零件第 $l$ 工序优先于任务 $i'$ 中的 $j'$ 产品 $k'$ 零件第 $l'$ 工序在机床上加工时, 则 $Y_{ijklj'k'l'}$ 为 1, 否则 $Y_{ijklj'k'l'}$ 为 0
$Z_{ijkl}$	0~1 的决策变量, 若任务 $i$ 中的 $j$ 产品 $k$ 零件第 $l$ 工序与下道工序在同一单位生产, 则 $Z_{ijkl} = 0$ , 否则 $Z_{ijkl} = 1$

1) 参数值的计算

① 任务  $i$  产品的实际生产周期

$$T_i = \max C_{ijkl}$$

$$i \in (1, N_i), \quad j = 1, 2, \dots, N_{ij}, \quad k = 1, 2, \dots, N_{ijk}, \quad l = 1, 2, \dots, N_{ijkl}$$

② 每道工序的完工时间

$$C_{ijkl} = G_{ijkl} + ST_{ijkl} \times X_{ijkl} + RT_{ijkl} + MT_{ijkl}$$

$$i \in (1, N_i), \quad j \in (1, N_{ij}), \quad k \in (1, N_{ijk}), \quad l \in (1, N_{ijkl})$$

③ 每道工序的加工时间

$$RT_{ijkl} = Td_{ijkl} \times Q_{ijk}$$

$$i \in (1, N_i), \quad j \in (1, N_{ij}), \quad k \in (1, N_{ijk}), \quad l \in (1, N_{ijkl})$$

④ 每道工序的运输时间

$$MT_{ijkl} = L_{ijkl} / v \times Z_{ijkl}$$

$$i \in (1, N_i), \quad j \in (1, N_{ij}), \quad k \in (1, N_{ijk}), \quad l \in (1, N_{ijkl})$$

2) 目标函数

$$f = \min \sum_{i=1}^{N_i} TE_i = \min \sum_{i=1}^{N_i} (T_i - TK_i) \times W_i$$

$$i = 1, 2, \dots, N_i, \quad j = 1, 2, \dots, N_{ij}, \quad k = 1, 2, \dots, N_{ijk}, \quad l = 1, 2, \dots, N_{ijkl}$$

3) 约束条件

① 同一零件不同工序先后顺序约束关系: 前道工序完成后, 后道工序才可进行

$$G_{ijk(l+1)} \geq G_{ijkl} + ST_{ijkl} \times X_{ijkl} + RT_{ijkl} + MT_{ijkl}$$

$$i \in (1, N_i), j \in (1, N_{ij}), k \in (1, N_{ijk}), l \in (1, N_{ijkl})$$

② 同一设备不同零件约束关系: 任何时刻, 同一设备上最多只能加工一个零件, 当两个零件都在某一设备加工时,

$$G_{ijkl} + H \times Y_{ijkl i'j'k'l'} \geq G_{i'j'k'l'} + ST_{i'j'k'l'} \times X_{i'j'k'l'} + RT_{i'j'k'l'}$$

$$i \in (1, N_i), j \in (1, N_{ij}), k \in (1, N_{ijk}), l \in (1, N_{ijkl})$$

③ 工厂生产管理约束条件: 同一零件外协工序尽量安排一个外协厂生产

$$\text{if } N_{ijkm} \geq N_{ijkm'}, A_{ijkm} \geq A_{ijkm'}$$

### 3. 算法设计

#### 3.1. 问题复杂性解析

本文研究的新生产模式下多工序的调度问题涉及到多家外协厂到厂内的物流管理, 为保证零件质量的一致性及生产管理效率, 同一零件能外协的工序都尽量安排到同一家生产, 相对于传统生产模式本文由引入有多个的同变量新模式下定义的多个变量、决策因素以及约束条件都极大地增加了模型的复杂程度, 可行解成指数倍增加, 因此需要设计有效算法对其进行求解。

#### 3.2. 遗传算法的构建

新生产模式下多工序调度问题的求解远远复杂于其他调度问题它的求解方法有很多种, 迄今为止没有得出一个满意的求解方法。目前, 工厂产品种类较多, 零件种类更为复杂多样, 生产分配存在多家外协厂加工生产情况, 传统的分支界定法、数学规划法等精准算法虽然可以保证得到车间调度的全局最优解, 但其仅适用于规模较小的车间调度模型, 而且这类方法求解效率低、求解速度慢。优化算法不受限制性条件的约束, 能够在规模较大的车间调度模型中进行全局化搜索, 并且操作简单, 所以本文采取遗传算法进行求解。

##### 1) 遗传算法的设计

###### ① 染色体编码

新生产模式数学模型同时考虑了准备时间、转运时间等因素, 车间调度遗传算法的编码也较为复杂。染色体用五个实数表示其遗传信息, 其第一位表示零件的批次信息, 第二位表示零件的产品信息, 第三位表示零件的零件信息, 第四位表示零件的工序信息, 最后一位表示零件的加工设备或人员信息。例如, 染色体基因“11111”表示“1”批“1”产品中的“1”零件的第“1”道工序由“1”设备(或人员)负责加工, 故染色体的总长度  $L$  由公式确定:

$$L = \sum_{i=1}^{N_i} \sum_{j=1}^{N_{ij}} \sum_{k=1}^{N_{ijk}} N_{ijkl}$$

$$i = 1, 2, \dots, N_i, j = 1, 2, \dots, N_{ij}, k = 1, 2, \dots, N_{ijk}, l = 1, 2, \dots, N_{ijkl}$$

###### ② 适应度函数

由于目标函数生产周期延迟时间是求最小值问题, 所以需要将目标函数转化为最大值函数问题, 转化方法依据下式。其中,  $H$  是一个较大的数, 为实际生产周期超期时间, 适应度函数如下:

$$f' = H - f$$

③ 选择、交叉和变异

针对机加车间调度问题，本模型选择操作采用的是轮盘赌选择法，同时在整个遗传操作过程中用精英保护法保存每代中的最优个体。

变异是产生新基因的主要方法，变异操作直接关系着遗传算法的全局搜索能力。针对机加车间调度问题，本模型采用的双点变异法进行变异操作。

④ 新模式下多工序调度问题优化算法设计

定义  $J_m$  为外协厂  $m$  机床或者人员成为可利用资源的时刻； $n$  为计数器，记录计算基因长度； $L$  为染色体长度； $K_{ijklm}$  为任务  $i$  中的  $j$  产品  $k$  零件第  $l$  工序加工所用外协厂  $m$  机床或者人员。

Step 1: 染色体初始化，根据所有生产任务策划表生成  $L$  长的遗传基因片，基因格式为  $ijklm$ 。其中， $i$  表示各批产品批次信息； $j$ 、 $k$ 、 $l$  表示产品一零件一工序三层关系，由产品结构树决定； $m$  表示加工信息，每类工序加工对应外协厂的加工设备及人员，由  $l$  工序内容决定： $i \in (1, N_i)$ ， $j \in (1, N_{ij})$ ， $k \in (1, N_{ijk})$ ， $l \in (1, N_{ijkl})$ ，按集合随机生成所有基因序列，根据约束条件同一零件前后序加工关系对基因重新排列，根据约束条件同一零件能外协的工序都尽量安排到同一家生产，统一同一零件  $m$  信息；能完成同一零件工序多的外协厂，分配优先级较高，从而生成初始染色体。

Step 2: 数据初始化，令  $J_m = 0$ ， $n = 1$ ， $C_{ijkl} = 0$ ，取出染色体的第一个基因。

Step 3: 依次读取染色体每段基因，根据基础数据库和批次生产策划表得出对应的  $Td_{ijkl}$ 、 $Q_{ijk}$ 、 $ST_{ijkl}$  取值，再结合加工信息得出  $MT_{ijkl}$  和  $RT_{ijkl}$ 。

Step 4: 读取基因信息中  $m$  字段，判断  $X_{ijkl}$  取值。若  $X_{ijkl} = 0$ ，则令

$$C_{ijkl} = \max(J_m, C_{ij(k-1)l}) + RT_{ijkl} + MT_{ijkl}, \text{ 当 } k=1 \text{ 时, } C_{ij(k-1)l} = 0; \text{ 若 } X_{ijkl} = 1, \text{ 则令}$$

$$C_{ijkl} = \max(J_m + ST_{ijkl}, C_{ij(k-1)l}) + RT_{ijkl} + MT_{ijkl}。$$

Step 5: 更新对应数据，令  $J_m = C_{ijkl}$ 。

Step 6: 判断  $n$  的长度，若  $n < L$ ，则执行  $n = n + 1$ ，转到步骤 step3；否则， $T_i = \max C_{ijkl}$ ， $i = 1, 2, \dots, N_i$ ， $j = 1, 2, \dots, N_{ij}$ ， $k = 1, 2, \dots, N_{ijk}$ ， $l = 1, 2, \dots, N_{ijkl}$ 。

## 4. 算法测试及实例分析

### 4.1. 算例构建

为了验证本文提出算法的有效性，结合车间实际生产的 4 种产品作为阶段性生产任务算例，产品的生产基础数据如表 2 所示，A 产品由零件 A1~A4 组成，B 产品由零件 B1~B4 组成，C 产品由零件 C1~C4 组成。从表中可知各产品的组成零件、各零件生产涉及的工序内容以及各工序实做工时和准备工时，该数据用于计算产品的加工用时。

Table 2. Basic data of actual working hours for each product (Unit: s)

表 2. 各产品实做工时基础数据(数据单位: s)

A 产品											
A1 零件			A2 零件			A3 零件			A4 零件		
工序名称	准备工时	单件工时	工序名称	准备工时	单件工时	工序名称	准备工时	单件工时	工序名称	准备工时	单件工时
1 车	600	120	1 车	1500	15	1 车	300	6	1 车	600	180
2 车	300	60	2 车	600	6	2 车	600	24	2 车	300	78

续表

3 车	600	180	3 车	300	6	3 车	300	6	3 车	600	480
4 车	600	138	4 车	600	18				4 车	300	78
5 车	600	120							5 车	600	180
6 车	300	24							6 车	300	60
7 镗铣	600	60									
8 钳	300	6									
9 钳	300	120									
B 产品											
B1 零件			B2 零件			B3 零件			B4 零件		
1 车	600	300	1 车	1200	240	1 车	300	1.2	1 车	600	138
2 车	300	18	2 车	300	120	2 车	600	240	2 车	300	60
3 车	1200	120	3 车	1200	138	3 车	300	18	3 镗铣	600	240
4 车	300	360	4 车	1200	300	4 车	300	24	4 钳	300	18
5 车	600	138	5 车	300	12	5 镗铣	600	300	5 镗铣	600	300
6 车	600	480	6 镗铣	600	360	6 钳	300	138	6 钳	300	60
7 车	600	180	7 钳	300	18						
8 车	300	24									
9 镗铣	600	138									
10 钳	300	12									
C 产品											
C1 零件			C2 零件			C3 零件			C4 零件		
1 车	300	120	1 车	600	66	1 车	600	84	1 车	600	78
2 车	600	240	2 车	300	18	2 车	300	18	2 镗铣	600	600
3 车	300	60				3 镗铣	600	18	3 钳	300	78
4 车	300	12				4 钳	300	6	4 车	600	60
5 镗铣	600	300				5 镗铣	600	24	5 车	300	18
6 钳	300	60				6 钳	300	6	6 车	300	120
						7 线	600	120	7 钳	300	60
						8 钳	300	6			
						9 车	600	27			

基础数据表中主要反映的是工序工时，而排程涉及设备和人员的生产资源分配，排程建模过程中需建立二者对应关系，每种工序的加工都需要对应的数控设备或人员，具体对应关系见表 3 所示。

**Table 3.** Correspondence between process types and production resources  
**表 3.** 工序类型与生产资源对应表

序号	1	2	3	4
工序名称	车	镗铣	钳	线
生产资源	数控车床	数控加工中心	钳工	线切割机

阶段性生产任务策划见表 4 所示, 生产日期从 20250601 开始, 每天 8 小时工作制, 工作时间是上午 8:00~12:00, 下午 1:30~5:30, 周末休息。零件在生产过程中存在各工序检验样件及废品, 通过以往批次生产情况设置各零件宽放率, 保证合格数量的零件符合交付要求。

**Table 4.** Planning of phased production tasks

**表 4.** 阶段性生产任务策划表

产品名称	A	任务编号	2501	交付数量	400	交付日期	20250627
序号	零件名称	投产数	产出数	承制单位	配比关系	宽放率	备注
1	零件 A1	420	400	机加车间	1:1	1.05	
2	零件 A2	440	400	机加车间	1:1	1.1	
3	零件 A3	420	400	机加车间	1:1	1.05	
4	零件 A4	440	400	机加车间	1:1	1.1	
产品名称	B	任务编号	2501	交付数量	500	交付日期	20250715
序号	零件名称	投产数	产出数	承制单位	配比关系	宽放率	备注
1	零件 B1	525	500	机加车间	1:1	1.05	
2	零件 B2	525	500	机加车间	1:1	1.05	
3	零件 B3	525	500	机加车间	1:1	1.05	
4	零件 B4	525	500	机加车间	1:1	1.05	
产品名称	C	任务编号	2501	交付数量	440	交付日期	20250724
序号	零件名称	投产数	产出数	承制单位	配比关系	宽放率	备注
1	零件 C1	462	440	机加车间	1:1	1.05	
2	零件 C2	462	440	机加车间	1:1	1.05	
3	零件 C3	462	440	机加车间	1:1	1.05	
4	零件 C4	924	440	机加车间	1:2	1.05	

各外协厂生产资源情况见表 5 所示, 加工设备的数量决定着外协厂完成任务的能力, 上述 4 个外协厂至生产车间的距离相等, 运输时间均按 30 min 计算。

**Table 5.** Production resource status of outsourcing factories

**表 5.** 外协厂生产资源情况表

外协厂	数控机床数量(台)	加工中心数量(台)	钳工数量(人)	线切割设备(台)
W1	3	2	1	0
W2	2	2	2	1
W3	2	3	2	1
W4	3	2	1	0

## 4.2. 算例测试结果

测试阶段性实验任务采用的硬件平台为 Windows 11 操作系统, Intel(R) Core(TM) i5-14490F 处理器, 2.80 GHz 主频, 32G 内存, PyCharm 仿真软件[12]。

由表 6 可知, A 产品运到工厂的计算时间是 2025-06-25 10:48, 满足交付日期; B 产品运到工厂的计

算时间是 2025-07-17 14:07, 存在延期; C 产品运到工厂的计算时间是 2025-07-17 15:35, 满足要求交付日期。所以, 为了保证 B 产品能按期交付, 外协厂 W1 在生产零件 B1 时须安排加班生产。

**Table 6.** Production schedule for parts in phased production tasks of the machining workshop

**表 6.** 机加车间阶段性生产任务零件生产安排表

零件	工序	设备	开始时间	结束时间	零件	设备	工序	开始时间	结束时间
A1	1-6	W3C1	06-03 08:00	06-16 11:43	B4	W4Q1	4	06-13 08:17	06-13 10:59
A1	7	W3T1	06-16 11:43	06-17 10:53	B4	W4T1	5	06-13 10:59	06-20 16:24
A1	8-9	W3Q1	06-17 10:53	06-19 09:45	B4	W4Q1	6	06-20 16:24	06-23 17:14
A2	1-4	W4C1	06-03 08:00	06-03 15:50	C1	W2C2	1-4	06-05 15:39	06-16 15:31
A3	1-3	W2C1	06-03 08:00	06-03 14:01	C1	W2T1	5	06-16 15:31	06-23 14:11
A4	1	W2C2	06-03 08:00	06-05 15:39	C1	W2Q1	6	06-23 14:11	06-24 13:58
A4	2-6	W2C1	06-05 15:39	06-25 09:48	C2	W2C2	1-2	06-16 15:31	06-18 09:03
B1	1-8	W1C1	06-03 08:00	07-14 14:59	C3	W2C2	1-2	06-18 09:03	06-19 15:53
B1	9	W1T1	07-14 14:59	07-17 09:47	C3	W2T2	3	06-19 15:53	06-20 08:52
B1	10	W1Q1	07-17 09:47	07-17 11:37	C3	W2Q2	4	06-20 08:52	06-20 09:43
B2	1-4	W3C2	06-03 08:00	06-23 14:57	C3	W2T2	5	06-20 09:43	06-20 14:28
B2	5	W3C1	06-23 14:57	06-23 16:47	C3	W2Q2	6	06-20 14:28	06-20 15:19
B2	6	W3T1	06-23 16:47	07-02 11:57	C3	W2X1	7	06-20 15:19	06-24 14:53
B2	7	W3Q1	07-02 11:57	07-02 16:09	C3	W2Q1	8	06-24 14:53	06-24 15:44
B3	1-2	W3C2	06-23 14:57	06-30 08:52	C3	W2C2	9	06-24 15:44	06-25 09:52
B3	3-4	W3C1	06-30 08:52	06-30 16:40	C4	W4C3	1	06-03 08:00	06-05 13:41
B3	5	W3T2	06-30 16:40	07-08 11:05	C4	W4T2	2	06-05 13:41	07-02 15:51
B3	6	W3Q1	07-08 11:05	07-10 16:47	C4	W4Q1	3	07-02 15:51	07-07 10:27
B4	1	W4C2	06-03 08:00	06-05 13:47	C4	W4C1	4-6	07-07 10:27	07-15 15:06
B4	2	W4C1	06-05 13:47	06-06 14:37	C4	W4Q1	7	07-15 15:06	07-17 14:35
B4	3	W4T1	06-06 14:37	06-13 08:17					

(表中设备列 C 代表数控车床, T 代表加工中心, Q 代表钳工, X 代表线切割设备)

## 5. 结论

本文根据工厂生产管理和质量体系要求, 找出了工序类型与生产资源关系, 设计了基于总超期时间节点最短为目标的排程模型, 确定了遗传算法的求解方法。结合车间阶段性生产任务算例, 本文利用工厂实做工时, 建立了相关基础数据库, 借助 PyCharm 软件计算出较优解, 验证了本文提出的建模求解方法可行性, 实现了一键式排产功能, 在全局角度平衡了各外协厂生产资源的分配, 极大地提高了排程效率和准确率, 车间的生产管理水平得到了一定提升。

基于本文的研究成果, 结合工厂生产管理实际, 得出以下管理启示: 第一, 生产管理的精细化需以“数据驱动”为核心, 本文通过建立基于实做工时的基础数据库, 为排程优化提供了可靠支撑, 启示企业在生产管理中应重视基础数据的收集、整理与应用, 打破数据孤岛, 让数据成为生产决策的科学依据, 避免经验型排产带来的效率损耗。第二, 资源配置的全局化思维是提升生产效能的关键, 本文通过排程

模型平衡各外协厂生产资源分配,解决了传统排程中局部最优、全局失衡的问题,提示企业在生产管理中应突破单一车间、单一环节的局限,从整体生产链条出发,统筹调配内部生产资源与外协资源,实现资源利用效率最大化。第三,智能化工具的应用是推动生产管理升级的重要路径,本文借助遗传算法与PyCharm软件实现一键式排产,大幅提升了排程效率与准确率,启示企业应积极引入智能化、数字化技术,替代传统人工排产模式,降低人力成本,减少人为误差,推动生产管理从“经验驱动”向“技术驱动”转型。

## 参考文献

- [1] 刘谦文,李晓明,王梦华,王飞,马蓄轶,程林凯. 科研单位机加外协管理策略转变与实践[J]. 机电产品开发与创新, 2023, 36(4): 195-197.
- [2] 张功科. 面向航空机加企业的供应商计划管控及系统构建[J]. 中国航班, 2021(16): 5-6.
- [3] 钟宏扬,刘建军,韩省,陈庆新,毛宁. 集成零件外协与共享决策的柔性装配作业车间调度研究[J]. 计算机集成制造系统. 2024, 30(11): 3901-3917.
- [4] 吕雯倩. 基于遗传算法的医疗设备预约排程优化系统设计研究[J]. 信息技术, 2025(8): 88-95, 102.
- [5] 康瑾,李革. 面向医院手术排程的智能规划算法研究[J]. 信息技术, 2019, 43(11): 37-41, 45.
- [6] 李仲华,唐红涛,张伟. 基于改进鲸鱼动态调度算法求解带外协的柔性装配作业车间调度[J]. 机床与液压, 2024, 52(20): 1-9.
- [7] 史二元,熊禾根. 考虑外协的作业车间无拖期调度问题多目标差分进化算法[J]. 计算机集成制造系统, 2024, 30(12): 4352-4368.
- [8] 顾伟栋,宋利刚,李占鑫. 考虑瓶颈工序外协的模具车间调度研究与应用[J]. 模具制造, 2024, 21(8): 5-9.
- [9] 谢文砚,陈庆新,毛宁,王小明. 外协加工下模具项目调度方法研究[J]. 模具工业, 2024, 40(8): 7-11.
- [10] 朱瑾媛,金秋. 基于改进遗传算法的健康体检排程优化研究[J]. 电脑知识与技术, 2025, 21(13): 12-16.
- [11] 陆耀珣,王立平,孙丽荣,杨金光,王冬,李学崑. 基于改进遗传算法的轧辊磨削产线智能排程方法[J]. 制造技术与机床, 2022(8): 149-155.
- [12] 陈祉烨,胡毅,刘俊,王军,张曦阳. 利用强化学习的改进遗传算法求解柔性作业车间调度问题[J]. 科学技术与工程, 2024, 24(25): 10848-10856.