

基于价值密度的 Job-shop 车间生产计划控制^①

崔峻华, 陈 进, 邓玉锋, 刘 琴

(江南大学 机械工程学院, 无锡 214122)

摘 要: 针对离散型生产中工艺路线不确定, 工时不准确, 加工中变化快, 物流速度快的生产现状, 提出计划期内生产的价值作为追求目标, 排产不必追求任务完成的时间节点, 而应制定投产的顺序, 以保证企业在单位时间内实现的价值最高, 即价值密度作为排产依据. 确定车间的瓶颈设备之后, 通过排产保证该设备前面有足够的零部件等待加工, 将人力资源和设备混合排产, 在动态中实现任务计划的改变、时间窗口的锁定或拒绝, 兼顾了订单的重要性和交货时间, 发挥出了车间设备的最大能力. 每个任务的计算量仅有一次, 特别适合动态中的快速排产.

关键词: 离散型生产; 约束理论; 价值密度; 动态; 生产计划

Workshop Production Planning Control Based on the Value Density of Job-shop

CUI Jun-Hua, CHEN Jin, DENG Yu-Feng, LIU Qin

(School of Mechanical Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: To solve the problems of route uncertainty, inaccuracy of work time, fast changes of the process and fast logistics in the status of discrete production process, a method is proposed that makes the value of production in plan period as the pursuit goals. The completion time node is not needed to be pursued in schedule but the production order. So that enterprise can get the highest value in unit time, namely making production scheduling based on the value density. After determining the bottleneck of workshop equipment, this method ensures that there are enough parts for processing in front of the equipment through scheduling and mixes human resources and equipment in scheduling, making implementation of task changes and lock or refuse of time window in dynamic status. Both the importance of order and time of delivery are considered in order to make full use of the workshop equipment capacity. Each task is computed for only one time, which is especially suitable for rapid production scheduling in dynamics.

Key words: discrete production; constraint theory; value density; dynamic; production scheduling

苏州吴江德菱电梯配套厂的生产计划控制系统是机械加工为主要手段的离散型制造系统, 加工工艺复杂多变, 加工时间难以准确预测, 订单要求的加工周期短, 许多准备工作无法深入开展. 因为不是重复性生产, 工艺差别大, 工时定额不准, 无法平衡生产能力, 无法使用 MRP 的控制方式, 无法使用 JIT 生产. 对基于约束理论(theory of constraints, TOC)的最优化生产方式, 能够通过设置瓶颈设备前缓冲量保证其设备的最高利用率而大大提高了生产效率, 只要将瓶颈设备找准确, 即使工时定额在一定范围内波动, 都能够保证生产的最高效率. 约束理论在车间资源调度方

面的应用表现为鼓-缓冲-绳子理论和缓冲管理, 目的是使生产系统的产出最大化^[1].

沈浩然等人应用 TOC 理论, 并结合智能算法和仿真等手段, 对流水线进行调度优化研究^[2]. Chih-Tsung Kuo 和 Chang 提出使用敏感度判别约束资源的方法^[3]. Christoph Roser 等人将系统中的设备、AGV 小车以及人员分为活跃状态和非活跃状态, 以此作为判定约束资源的依据^[4]. Li, Lin 等人提出一种基于数据驱动的约束资源识别方法^[5]. Biller 认为对系统有效产出影响最大的资源为约束资源, 并提出一种在可重入的串联系统和伯努利机器中使用的识别约束的方法^[6].

① 收稿时间:2014-09-25;收到修改稿时间:2014-10-24

吴鸿辉、李荣贵依据经验确定缓冲系数将缓冲量设置为产品加工与设置时间、系统不稳定宽放时间与负荷高峰的宽放时间之和^[7]。诸葛景泉等人提出一种约束理论与遗传算法相结合的调度算法,具有行效率高的特点^[8]。石小光等人提出一种冲突消解的非合作博弈模型,消除资源争用冲突,实现任务之间的利益均衡^[9]。

L Louw 通过排队网络模型确定时间缓冲量,考虑设备的维修率、批量设置等因素,可有效确定缓冲时间^[10]。叶涛锋、韩文民通过确定上下游设备之间的联系,建立正则模型来确定缓冲量大小^[11]。陈伟达、林晶晶基于概率密度函数建立缓冲量的计算模型,从而确定了合适的缓冲量^[12]。

1 价值密度排产的原则

约束理论(Theory of Constraints, TOC)在生产中的作业排程与控制是通过 Drum-Buffer-Rope 模型(简称 DBR 模型)来实现的,是当前最适合上述具有模糊工艺数据的离散型企业的生产需求的方法,但存在三点不足:1)排产的目标没有考虑订单的价值重要程度;2)瓶颈设备的筛选比较复杂;3)缓冲量的设定不合理。

由于工件的种类繁多,加工工艺不可预测,可改变的资源有限,为追求最大的收益,应使生产系统的单位时间内实现的价值最高。

价值密度是单位时间内产生的价值,价值可能是合同价格或重要性的综合,由生产者自己去定义。

价值密度优化的八项观点是:

- 1) 在订单丰富,资源有限的情况下,追求单位时间内生产的价值最高,不追求按时交货率。
- 2) 在产品多变的情况下,多数加工时间是模糊的,要建立具有鲁棒性的控制方法,不应规定任务在加工中的时间节点,而应制定任务流转的顺序或规则,所有的人都按此规则根据实际情况加工流转。
- 3) 所有的实际流转都基于实际状态实施。流转中的变化必须要有相应的跟踪手段,不遗漏物流的任何信息。
- 4) 由于工艺的模糊性,优化中不必追求全部加工进程中的最优,近期的性能优化更为重要。
- 5) 由于变化的频繁导致调整的频繁,计算时间必须足够快以适应实时控制的要求,尽量用简单的算法。
- 6) 资源分为两类,设备类和材料类,前者包括人

力,机床,工装夹具,后者包括材料,能源等消耗性物资。各自可用统一的方式建立约束模型。

7) 任务的分解合并,更改可在任意时刻进行,将计划工艺和实际工艺路线分开记录,紧急时,先记录实际发生的情况,然后才调整计划。

8) 排产中应考虑资源、时间窗口等的多重约束,灵活地处理指定任务安排和优化自动排产的冲突。

本文提出的方法是: a) 设置瓶颈设备集,入选标准是一段时段中的所有加工任务中最耗费时间的那些设备,其单台设备耗时总和高于其它单台设备 100% 以上。 b) 设置缓冲量不增加任何多余的加工数量,完全通过现有加工任务的调度,保证瓶颈设备有足够的待加工件,防止其空闲。 c) 设立价值密度,以其大小作为进入排程的顺序,体现了订单的重要程度以及缓冲量的最大化,最终达到单位时间内价值的最大化。 d) 排产方法采用基于现场加工状态的启发式算法,一次计算即确定排产顺序。

2 建模方法

2.1 变量定义

i: 任务编号, $i = 1, 2, \dots, n$ 。

j: 工序编号, $j = 1, 2, \dots, m$ 。工序与设备有映射关系。

P_M 矩阵: 当任务要经过设备加工时,必须先通过工人进行安装调试,然后才由设备自动加工,则 $p_m(k,j)=1$; 当设备的自动化程度低,始终要工人操作才能进行加工,则 $p_m(k,j)=2$; 当工人 k 在设备 j 上没有任何操作时, $p_m(k,j)=0$ 。设 $k=1, \dots, p$ 。

工艺路线矩阵 R: R 是 $n \times m$ 的矩阵,第 i 行向量表示第 i 个任务的加工路径,其元素 r_{ij} 表示任务 i 在自己的加工工艺路线中设备 j 所占的序位,当任务 i 不在设备 j 上加工时, r_{ij} 为无穷大 $+\infty$ 。 R 就是全部任务的工艺路线。注意操作者也是设备

设备矩阵 E: $E=(e_{ig}) n \times m$ 。 e_{ig} 是任务 i 在加工路线的次序为 g 的加工设备号,其中 $i = 1, 2, \dots, n$; $g = 1, 2, \dots, m$ 。 g 表示加工的顺序号。 E 被称为设备矩阵,显然 R 和 E 是一一对应和可以相互转换的。

排产矩阵 S: S 是 $n \times m$ 的矩阵,第 j 列向量表示第 j 个设备的计划顺序,其元素 $s(i,j)$ 表示任务 i 在整个计划期内设备 j 加工所有任务的顺序中所占的计划序位,当任务 i 不在设备 j 上加工时, $s(i,j)$ 为无穷大 $+\infty$ 。 S 表示

对全部任务的排产方案。

加工时间矩阵 T: T 是 $n \times m$ 的矩阵, 第 i 行向量表示第 i 个任务加工路线上耗费在各设备上的加工时间向量, 其元素 t_{ij} 表示任务 i 在设备 j 上加工和传至下一台设备所耗时间之和。当任务 i 不在设备 j 上加工时, t_{ij} 为零。

开始时间矩阵 X: x_{ij} 是一个排产方案中, 设备 j 对任务 i 加工活动的最早开始时间, 其中 $i=1, 2, \dots, n$ 和 $j=1, 2, \dots, m$ 。

结束时间矩阵 Y: y_{ij} 是一个排产方案中, 设备 j 对任务 i 加工活动的完成时间, 其中 $i=1, 2, \dots, n$ 和 $j=1, 2, \dots, m$ 。

反求函数: 在 S 阵的 i, j 和其元素 $s(i, j)$ 中根据其两个求出另一个的函数。其中之一记为

$$S2(s(i, j), j)=i$$

$\bar{i}$ 表示第 j 号设备在第 i 个任务到达前刚刚加工过的任务。 $\bar{j}$ 表示第 i 号任务在到达第 j 个设备前刚刚使用过的设备。 k 表示第 j 个设备对第 i 个任务的加工顺序。

$$i = S2(k, j)$$

$$\bar{i} = S2(k-1, j)$$

$$\bar{j} = e(i, r_{i,j}-1) = e(S2(k, j), r_{(S2(k, j), j)}-1)$$

2.2 变量赋值

开始时间变量 X_{ij} 的取值有以下几种情况:

1) 设备 j 和工人 k 已经加工完最近的任务, 同时任务 i 也被其上一道工序加工完毕, 即 $x_{\bar{i}, j} < \infty, x_{i, \bar{j}} < \infty, x_{\bar{i}, k} < \infty, x_{i, \bar{k}} < \infty$, 且

当 $p_m(k, j)=1$ 时

$$x_{i, k} = \max\{x_{i, j} + t_{i, j}, x_{i, \bar{j}} + t_{i, \bar{j}}\}$$

$$x_{i, j} = x_{i, k} + t_{i, k}$$

当 $p_m(k, j)=2$ 时

$$x_{i, j} = \max\{x_{i, j} + t_{i, j}, x_{i, \bar{j}} + t_{i, \bar{j}}\}$$

$$x_{i, k} = x_{i, j}$$

2) 设备 j 和工人 k (当 $p_m(k, j) \geq 1$ 时) 没有加工任务, 同时任务 i 已经被其上一道工序加工完毕, 即

$$x_{\bar{i}, j} = \infty, x_{i, \bar{j}} < \infty, x_{\bar{i}, k} = \infty, x_{i, \bar{k}} < \infty, \text{ 且}$$

当 $p_m(k, j)=1$ 时

$$x_{i, k} = \min\{+\infty, x_{i, \bar{j}} + t_{i, \bar{j}}\} = x_{i, \bar{j}} + t_{i, \bar{j}}$$

$$x_{i, j} = x_{i, k} + t_{i, k}$$

当 $p_m(k, j)=2$ 时

$$x_{i, k} = \min\{+\infty, x_{i, \bar{j}} + t_{i, \bar{j}}\} = x_{i, \bar{j}} + t_{i, \bar{j}}$$

$$x_{i, j} = x_{i, k} + t_{i, k}$$

将每次编制或调整计划所涉及的一个计划展望期称为时段; 设定当设备 j 对任务 i 不再有生产任务时, $x_{i, j} = +\infty$ 。

对已经完工的工序必须避免相关的任务与设备的再次排产, 为此再增加一条规则

$$\text{当 } x_{ij}^{(r)}(t+) = +\infty \text{ 时, } x_{ij}^{(r+1)} = +\infty$$

在排产之前, 约定 x_{ij} 等于正无穷大表示设备 j 对任务 i 处于未加工状态。

2.3 确定瓶颈设备

将每台设备在一定时间段的已经下达的和即将下达的订单所需要的每台设备的工时负荷相加, 找出约占总数 15% 的带有最大负荷的设备数, 作为瓶颈设备。根据经验每个任务平均使用 10 台设备, 故总的平均时间误差为 100%, 只要通过调度给瓶颈设备之前堆积的待加工任务的平均等待的时间接近该瓶颈设备平均单个任务加工时间的 100%。就能够以较大的概率保证瓶颈设备不会空闲。

$$\text{如果 } \sum_{i=1}^n t_{i, k} / (\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n t_{i, j} / m) \geq 2$$

则 k 为瓶颈设备, 即单台设备承担的工作总量大于等于全部设备的平均工作量的 2 倍, 则该设备为瓶颈设备。

2.4 价值密度评价指数

瓶颈设备之前排产的评价指数

$$\max Q_{ij} = v_i / \min(\sum_{j=e(i, g1)}^{g<r(i, k1)} t_{i, j}, \sum_{j=e(i, g2)}^{g<r(i, k2)} t_{i, j}, \dots, \sum_{j=e(i, gh)}^{g<r(i, kh)} t_{i, j}) + \Delta_{i, d}$$

上式中 v_i 表示任务 i 的价值, $k1, \dots, kh$ 表示系统中有 h 个瓶颈设备, $\sum_{j=e(i, gc)}^{g<r(i, kc)} t_{i, j}$ 表示任务 i 按照工艺路线从设备 j 往后, 到瓶颈设备 kc 之前的所有设备上加工时间估计值之和。 $\Delta_{i, d}$ 表示任务 i 在排产那一时刻到交货期之间的间隔时间数。

分析该指数可知, 其它因素不变时任务的价值(含有重要性, 销售价等因素)越大越能够提前安排进入生产, 根据工艺路线顺序及其工时排产时间到交货期之间的净加工时间之和加上当前排产时间距离交期的时间间隔越短瓶颈设备, 越能够提前排入生产。

瓶颈设备上先到先加工. 瓶颈设备之后, 按交期和先到先加工排产. 动态的瓶颈设备, 不占用瓶颈的资源.

命题: 只要满足 $Q_{ij} > Q_{uj}$, 且 $\sum_{j=e(i,g)}^{g \leq r(i,k)} t_{i,j} < \sum_{j=e(u,g)}^{g \leq r(u,k)} t_{u,j}$, g 可取任意序号. 让 i 优先在设备 j 上加工, 该准则可以减少瓶颈设备 k 的等待时间.

证明: 在设备上的等待时间是图 1 中设备上的空隙部分, 其中 b_j 、 b_v 、 b_f 和 b_k 分别是设备 j, v, f, k 上的当前最后的加工完工时间. 跟踪任务 i 在瓶颈设备 k 上的空闲时段.

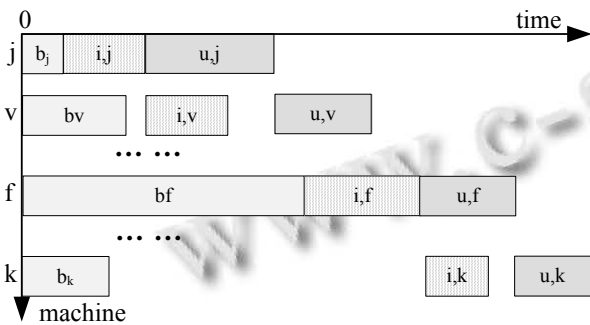


图 1 命题证明示意图

任务 i 在某设备 v 上的 η 函数被定义为 $\eta_{i,v} = \begin{cases} 0 & b_v - b_{v-} - t_{i,v-} < 0 \\ b_v - b_{v-} - t_{i,v-} & b_v - b_{v-} - t_{i,v-} > 0 \end{cases}$, 其中在设备 v 之前任务 i 使用的设备表示为 $v = e(i, \alpha)$, $\alpha = r(i, v) - 1$.

任务 i 在 k 上的完工时间为

$$b_j + \sum_{v=j}^k (t_{i,v} + \eta_{i,v+}), v = e(i, \beta), \beta = r(i, v) + 1, \eta_{ik} = 0.$$

如果先安排任务 i 加工, 则其在瓶颈设备 k 上的空闲等待时间为

$$b_j + \sum_{v=j}^k (t_{i,v} + \eta_{i,v+}) - b_k \\ = b_f + \sum_{v=f}^k (t_{i,v}) - b_k$$

上式中 $b_f - b_{f-} - t_{i,f-} > 0$, f 是满足 $\eta_{iv} > 0$ 的设备中加工顺序上最接近 k 的设备.

如果 Q_{ij} 为所有任务未排产中的最大值, 即 $Q_{ij} \geq Q_{uj}$, 如果将任务 u 先于任务 i 排产, 则其在瓶颈设备 k 上的空闲等待时间为

$$b_g + \sum_{v=g}^k (t_{u,v}) - b_k \\ \text{而 } \sum_{v=g}^k (t_{i,g}) < \sum_{v=g}^k (t_{u,g}), \sum_{v=f}^k (t_{i,f}) < \sum_{v=f}^k (t_{u,f})$$

根据完工期代表最长时间的原理,

$$b_g + \sum_{v=g}^k (t_{u,v}) > b_f + \sum_{v=f}^k (t_{u,v}) > b_f + \sum_{v=f}^k (t_{i,v})$$

$$\text{可知 } b_g + \sum_{v=g}^k (t_{u,v}) - b_{i,k} > b_f + \sum_{v=f}^k (t_{i,f}) - b_{i,k}$$

故 u 先 i 后排在瓶颈工序上的空闲时间大于 i 先 u 后的. 证毕.

算法步骤如图 2 所示.

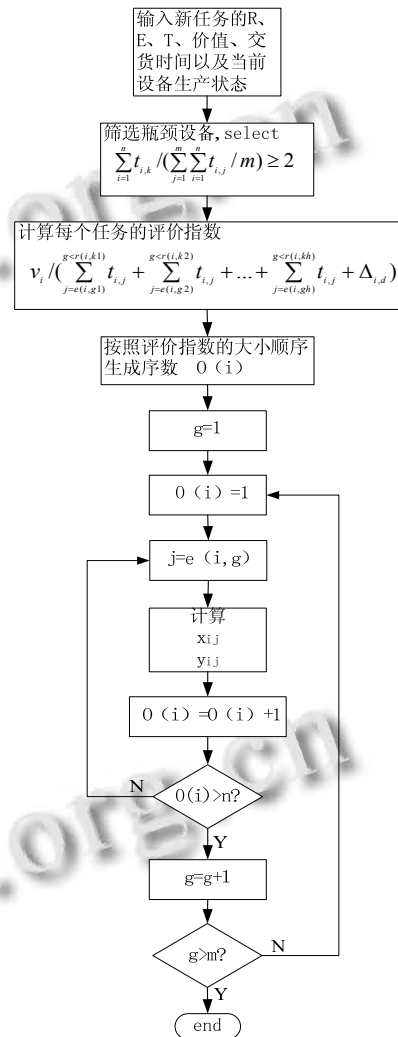


图 2 基于价值密度的排产算法计算过程

3 算例和讨论

有两张电梯配套订单, 每张订单的每个配件各有三个零件, 订单 1 需要生产 30 件, 订单 2 需要生产 10 件, 生产系统中有 6 台设备 ($m_1, \dots, m_6$), 2 个装配小组 (a_1, a_2), 3 个工人 (p_1, p_2, p_3), 其工艺路线矩阵 R 、初始设备加工顺序矩阵 S 和设备-任务加工时间矩阵 T 均确定, 设定系统的起始时间为零, 求解其状态矩阵和输出矩阵. 开始时间是 0.

3.1 基本排产

根据实际生产过程, 列出计算需要的相关矩阵如表 1 至表 3.

表 1 工艺矩阵

i	m1	m2	m3	m4	m5	m6	p1	p2	p3	a1	a2
1	2	4	6				1	3	5	7	
2	2	6	4				1	5	3	7	
3	4	2	6				3	1	5	7	
4				2	4	6	1	3	5		7
5				4	6	2	3	5	1		7
6				2	6	4	1	5	3		7

表 2 设备矩阵

i	1	2	3	4	5	6	7
1	p1	m1	p2	m2	p3	m3	a1
2	p1	m1	p3	m3	p2	m2	a1
3	p2	m2	p1	m1	p3	m3	a1
4	p1	m4	p2	m5	p3	m6	a2
5	p3	m6	p1	m4	p2	m5	a2
6	p1	m4	p3	m6	p2	m5	a2

表 3 加工时间矩阵

i	m1	m2	m3	m4	m5	m6	p1	p2	p3	a1	a2
1	2	5	3				2	6	4	2	
2	3	4	7				2	7	5	2	
3	1	2	2				3	8	4	2	
4				1	6	5	2	6	2		3
5				1	4	6	3	5	4		3
6				4	5	4	4	7	3		3

全部设备在计划期内承担的平均工作量为 10.667, 各设备(m1,m2,...,m6,p1,p2,p3,a1,a2)的承担的工作量为(6,11,12,6,15,15,16,39,22,6,9), 满足公式条件的设备是 p2 和 p3, 他们就是瓶颈设备.

为计算评价指数, 得到表 4 所示的参数.

表 4 参数表

价值 V	瓶颈 p2 或 p3 前的时间分量 (小时)	Δ (小时)	Q
1	15 $t_{1,p1}$ $t_{1,m1}$	48	0.283019
2	15 $t_{2,p1}$ $t_{2,m1}$	48	0.288462
3	15 $t_{3,p2}$ $t_{3,m2}$ $t_{3,p1}$ $t_{3,m1}$	48	0.241935
4	12 $t_{4,p1}$ $t_{4,m4}$	96	0.121212
5	12 $t_{5,p3}$ $t_{5,m6}$ $t_{5,p1}$ $t_{5,m4}$	96	0.109091
6	12 $t_{6,p1}$ $t_{6,m4}$	96	0.115385

求开始矩阵和结束矩阵(x,y), 如表 5 所示.

表 5 开始矩阵和结束矩阵(x,y)
(每格前一个为 x, 后者为 y)

i	p1	m1	p3	m3	m4	m5	m6	a1	a2
1	2,4	4,7		7,12	12,19				35,37
2	0,2	2,4	8,14	p2	m2	29,32			
3	10,13	13,14	0,8	20,27	27,31	33,35			
4	4,6		14,20	33,35		6,7	20,26	35,40	43,46
5	13,16		34,39	0,4		16,17	39,43	4,10	
6	6,10		27,34	14,17		10,14	34,39	17,21	

从排产结果看出, 任务 1, 2, 3 共同组合成一个产品, 其价值密度分别为 0.283019,0.288462,0.241935, 任务 4,5,6 共同组合成一个产品, 其价值密度分别为 0.121212,0.109091,0.115385, 根据上述价值密度指数, 任务排产的顺序是 2,1, 3,4,6,5. 排产后瓶颈设备 p2 的缓冲时间共计: $(8-4)_2+(14-7)_4+(27-23)_6+(34-17)_5+(20-19)_1=33$, 瓶颈设备 3 的缓冲时间共计: $(25-19)_2+(33-26)_4+(29-14)_3+(4-7)_6+(12-14)_5+(17-25)=15$, 实际排产达到了增加瓶颈设备的时间缓冲量, 减少其等待任务产生空闲时间的风险的目标.

为验证算法的性能, 在同等条件下将本文算法与传统约束理论算法进行比较, 约束理论算法在本例中即为每个任务的评价指数相同. 本文算法与传统 TOC 算法比较结果如表 6 所示, 在瓶颈设备利用率和充分预留瓶颈设备缓冲时间上本文算法优势明显.

表 6 两种算法结果对比

算法	瓶颈利用率(%)	设备 P2 缓冲时间	设备 P3 缓冲时间
传统 TOC	79	28	12
本文算法	87	33	15

3.2 动态排产

到时间 15 按照上述排产计划加工, 有的工序完成了, 我们将他们的 x 设为 ∞ , 有的可能没有按照计划完成. 此时又有新任务加入, 设新加入的任务为 7,8, 其订单价值分别为 6,10, 交货间隔分别为 100 小时和 110 小时. 其设备和加工时间矩阵如表 7 所示.

表 7 设备矩阵和对应的加工时间

i	1	2	3	4	5	6	7
7	p1,2	m1,5	p2,1	m2,3	p3,4	m3,6	a1,2
8	p2,4	m5,5	p3,2	m6,3	p1,1	m4,7	a2,3

时刻 15 的任务状态如表 8, 已经完成工序的加工时间设为 0.有数字的部分仅仅表示还没有完成的工序原来的计划.

表 8 时刻 15 时的 x,y

i	p1	m1	p2	m2	p3	m3	m4	m5	m6	a1	a2
1	∞	∞	20,27	27,31	∞	12,19				35,37	
2	∞	∞	8,14	14,19	25,29	29,32					
3	10,13	13,14	∞	8,10	29,33	33,35					
4	∞		14,20		33,35		∞	20,26	35,40		43,46
5	13,16		34,39		∞		16,17	39,43	4,10		
6	∞		27,34		14,17		10,14	34,39	17,21		

重新计算所有任务的价值密度, 此时原有任务的交货间隔全部减少 15 小时, 如表 9 所示. 表 9 中任务 1 的 p3 已完工, 瓶颈设备转移到了设备 p2, 任务 2 的 p2 已完工, 瓶颈设备转移到了设备 p3, 最终的排产顺序是 3,1,2,4,6,5,8,7. 按此顺序彻底重新排产见表 10.

表 9 时刻 15 时计算价值密度

i	价值 V	瓶颈 p2,p3 前的时间分量(小时)			Δ(小时)	Q
1	3	t _{1,m3}			33	0.375
2	5		t _{2,p2}	t _{2,m2}	33	0.340909
3	7	t _{3,m2}	t _{2,p1}	t _{2,m1}	33	0.384615
4	2				81	0.148148
5	4	t _{5,m6}	t _{5,p1}	t _{5,m4}	81	0.131868
6	6			t _{6,m4}	81	0.141176
7	6	t _{7,p1}	t _{7,m1}		100	0.056075
8	10	t _{8,n2}	t _{8,m5}		110	0.084034

表 10 时刻 15 加入新任务后重排的 x,y 矩阵

i	p1	m1	p2	m2	p3	m3	m4	m5	m6	a1	a2
1	∞	∞	27,34	34,38	∞	15,22				41,43	
2	∞	∞	15,21	21,27	27,31	31,34					
3	17,20	20,21	∞	15,17	35,39	39,41					
4	∞		21,27		33,35		∞	27,33	35,40		43,46
5	21,24		34,39		∞		24,25	39,43	15,21		
6	∞		27,34		19,22		15,19	34,39	22,26		
7	15,17	21,26	39,40	40,43	50,54	54,60				60,62	
8	53,54		39,43		48,50		54,61	43,48	50,53		61,64

3.3 时间拒绝窗口和时间锁定窗口

有时候某些时间段在某些设备上是不允许加工产品的, 例如在设备的维修保养时间, 相反某些任务必须在某些时段以及某些设备上加工, 例如外协.

时间拒绝窗口的排产: 按照正常的方法排产, 当任务 i 的计划开始 x_{ij} 或结束 y_{ij} 时间落在设备 j 的时间窗口[be(j),en(j)]内时, 做如下处理:

当 $x_{ij} \geq be(j)$ and $x_{ij} \leq en(j)$ or $y_{ij} \geq be(j)$ and $y_{ij} \leq en(j)$ 则 x_{ij}=en(j)

时间锁定窗口的排产: 先将任务 i 的计划开始 x_{ij} 或结

束 y_{ij} 时间被锁定在设备 j 的时间窗口[be(j),en(j)]内, 其余任务按照正常的方法排产, 做如下处理:

当 $x_{uj} \geq be(j)$ and $x_{uj} \leq en(j)$ or $y_{uj} \geq be(j)$ and $y_{uj} \leq en(j)$ 则 x_{uj}=en(j), 其中 u≠i.

3.4 任务的计划更改

加工中由于车间管理、工艺更改等原因, 使得原来的生产设备或时间发生变化, 必须重新排产. 处理步骤包括:

- 1) 保留当前每个任务的已经排产的顺序号 g.
- 2) 修改工艺, 即将需要更改的任务从顺序 g 以后

的工艺路线 R、E 和 T 进行修改。

3) 修改计划, 将需要修改的任务顺序 g 以后的所有工序的开工时间设为 $+\infty$, 以便重新排产。不需要修改的任务计划保持不变。

4) 对不必修改的计划时间设为设备的时间拒绝窗口, 按照新的工艺路线, 从每个需要修改的任务的第 g 个工序开始, 用本算法重新计算动态的价值密度, 开始排产。不必重新寻找瓶颈设备。如果排产时间落在时间拒绝窗口内, 则按照上述公式计算新任务计划的时间。

4 结 论

(1) 针对工艺路线不确定、工时模糊的多品种快速加工生产系统, 应通过各任务的价值密度制定其投产顺序, 价值密度是单位时间内可以实现的平均价值。价值密度的时间因素包括未加工的在瓶颈工序之前的加工时间和计划开始时间与交货期的时间间隔, 其目标是将价值大的任务先加工, 使公司的损失的概率尽量小。

(2) 排产方法要保证瓶颈工序(设备)的效率最高, 确定工作负荷比较多的设备为瓶颈设备, 其他条件不变时选择在到达瓶颈设备之前的加工时间最短任务最先安排生产, 以便提供尽量多的缓冲时间量。

(3) 动态条件下, 将人和设备统一成为资源建模, 生产中需要重新排产时, 按照现有状态更新价值密度, 对全部未完工的任务的工序重新排产。每一次排产对每个任务只计算一次。

(4) 算法简单, 计算量小, 优化效果明显, 能够挖掘车间的生产潜力, 实用价值大。

参考文献

- 1 王军强, 孙树栋, 王东成, 等. 基于约束理论的制造单元管理与控制. 计算机集成制造系统, 2006, 12(7): 1108–1116.
- 2 沈浩然, 李爱平, 刘光富. 基于混合遗传算法的可重组制造系统作业计划方法. 机电一体化, 2007, (1): 9–13.
- 3 Chang Q. Supervisory factory control based on real-time production feedback. Journal of Manufacturing Science and Engineering, 2007, 129(3): 653–66.
- 4 Roser C, Nakano M, Tanaka M. Comparison of Bottleneck Detection Methods for AGV System. Chick PJ, Sanchez DF, Morrice DJ, eds. Simulation Conference. Proc. of the 2003 Winter. San Diego, CA, USA. 2003. 1192–1198.
- 5 Li L, Chang Q, Ni J. Data driven bottleneck detection of manufacturing systems. International Journal of Production Research, 2009, 47(18): 5019–5036.
- 6 Biller S. Bottlenecks in Bernoulli serial lines with rework. IEEE Transactions on Automation Science & Engineering, 2010, 7(2): 208–217.
- 7 吴鸿辉, 李荣贵. 限制驱动式现场排程与管理技术. 修订 2 版. 台北: 全华科技图书股份有限公司, 2007.
- 8 诸葛景泉, 孙树栋, 王军强, 王萌. 基于约束理论和遗传算法的 Job-shop 调度研究. 机械科学与技术, 2010, 29(11): 1456–1460.
- 9 石小光, 孙树栋, 涂袁志, 金玫. 一种面向 Job-shop 的制造资源冲突消解方法. 机械科学与技术, 2011, 30(12): 1985–1989.
- 10 Louw L, Page DC. Queuing network analysis approach for estimating the sizes of the time buffers in Theory of Constraints-controlled production systems. International Journal of Production Research, 2004, 42(6): 1207–1226.
- 11 Ye T, Han W. Determination of buffer sizes for drum-buffer-rope (DBR)-controlled production systems. International Journal of Production Research, 2008, 46(10): 2827–2844.
- 12 陈伟达, 林晶晶. 基于 DBR 的再制造系统缓冲设置模型研究. 科研管理, 2010, 31(5): 108–115.