

# 基于时间分析的 MTO 型企业生产物流批量研究

姚 岩, 方志梅\*, 刘金波

(宁波大学 机械工程与力学学院, 浙江 宁波 315211)

**摘要:** 为使 MTO 型企业在交货期内, 整个生产物流顺畅运行且在制品转运成本较低, 研究了基于生产物流平衡的生产批量问题. 在分析企业零件加工及产品装配生产物流模式的基础上, 从生产物流系统的工序等待时间和生产时间入手, 构建了企业生产物流平衡的多目标批量优化模型; 并采用层次分析法转换为单目标函数, 利用 Lingo 软件对实例的求解表明, 工序间转移批量合理, 所建模型有效.

**关键词:** 生产物流; 物流平衡; 转移批量; 时间

**中图分类号:** TB49

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1001-5132 (2018) 02-0018-06

生产物流是指从原材料投入到产品最终完成的整个制造过程的物料流动, 生产物流平衡是其重要的研究问题, 关系到整个制造过程的顺畅运行. 多年来, 不少学者致力于生产物流平衡的建模研究, 如采峰等<sup>[1]</sup>基于合同完成率、设备负荷率、设备均衡率构建了生产物流平衡模型; 钱芝网等<sup>[2]</sup>通过对生产线平衡、瓶颈资源、生产作业计划的分析, 研究了柔性生产下生产物流的平衡; 李军等<sup>[3]</sup>从生产物流平衡出发, 提出了基于方差法的物流量波动判定标准, 得到了生产物流平衡的数学模型. 这些研究对生产批量没有予以足够的重视, 而生产物流平衡与生产批量是密切相关的.

生产批量包括加工批量和转移批量, 加工批量即一次投入或产出的同一产品或零件的数量, 转移批量指一次转运的产品或零件数量. 目前关于生产批量的研究主要有以下三个方面: 一是将生产批量作为一个定量, 以生产成本、库存成本和准备成本最小为目标建立数学模型, 并分别通过粒子群算法、知识进化算法、元算法和蚁群算法对其进行求解<sup>[4-7]</sup>, 也有学者考虑需求的不确定性, 将生产不足或生产过剩造成的成本加入到数学模型中, 得到合理的生产批量<sup>[8-9]</sup>, 这些研究主要是以设备资源为研究对象, 针对生产过程的各类成

本开展研究, 没有考虑生产物流的顺畅运行; 二是将生产批量问题同设备运行情况、产品质量等结合起来, 寻求合理的设备预防维修方法<sup>[10-12]</sup>, 这方面研究面向设备预防维护, 与生产物流平衡的相关性不够; 三是考虑生产过程中的瓶颈环节, 将瓶颈环节与非瓶颈环节的生产批量区分对待, 求得合理的加工批量<sup>[13-15]</sup>, 这种利用约束理论的生产批量研究对整个生产物流平衡的贡献较大, 但在其模型中只考虑了单一瓶颈问题, 对瓶颈环节的控制可能会导致其他环节瓶颈的产生.

企业按照生产类型可以分为按库存生产(Make to Stock; MTS)和按订单生产(Make to Order; MTO)两类. 随着顾客需求的多样性增强, 越来越多的企业采用MTO型生产方式. 因此本文面向MTO型企业产品制造的整个生产物流系统, 考虑相邻工序速率差造成的生产物流不平衡, 从分析制造过程中的时间因素入手, 研究基于生产物流平衡的批量问题, 通过建立数学模型, 寻求兼顾生产物流平衡和低成本的生产批量.

## 1 MTO 型企业生产物流

MTO 型企业在制定生产计划时会根据订单交货期确定排产优先级, 然后对订单进行排队. 通常

收稿日期: 2017-08-06.

宁波大学学报(理工版)网址: <http://journalg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 浙江省自然科学基金(Y16G010004).

第一作者: 姚岩(1993-), 女, 河南南阳人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 制造系统与制造模式. E-mail: 619830534@qq.com

\*通信作者: 方志梅(1961-), 女, 浙江宁波人, 教授, 主要研究方向: 制造系统与制造模式. E-mail: fangzhimei@nbu.edu.cn

同一订单的产品会集中在某一时间段内生产,产品的加工批量等于其订单批量,除非订单批量很大,需要分批次加工、交货。因此,本文聚焦于工序间的转移批量,且不考虑特殊原因造成的插单。

### 1.1 企业生产物流模式

产品制造过程一般包括零件加工和产品装配两个部分。零件加工需要一系列生产工序,物料在不同工序的机床上流转,时间上有顺序关系,其生产物流模式一般为串联链,如图1所示,图中的工序 $U_1$ 、 $U_2$ 、……、 $U_n$ 包含了生产准备的工序;如果某一工序生产速率较低或者为了缩短生产周期,则会将一个制造任务分配给多台相同的机床,形成并联工序,如图1中的 $U_{31}$ 、 $U_{32}$ 。

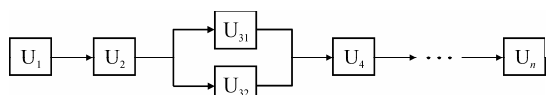


图1 零件加工生产物流的一般模式

并联工序单台机床的生产能力通常相同,故可以用一个等价工序 $U_3$ 替代, $U_3$ 的生产速率等于单台机床的生产速率乘以机床数。据此零件加工的整个生产物流可以简化成图2所示的串联链。

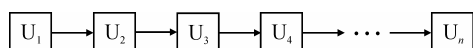


图2 零件加工生产物流的简化模式

一般产品或部件由多个零件装配而成,各个零件完成制造后进入装配工序,其生产物流如图3所示。每个零件的制造过程为串联链,零件与零件之间则以并联物流的形式汇聚到装配工序,标准件一般属于外购件,企业内部没有生产工序,装配时从仓库中领取,因此在生产物流中不考虑。

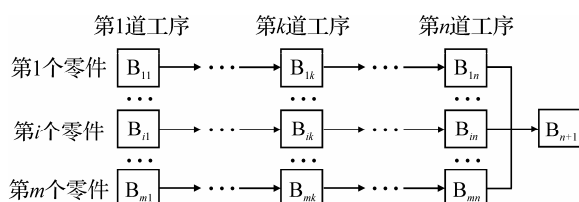


图3 产品或部件制造生产物流模式

### 1.2 企业生产物流平衡的时间因素

生产物流平衡就是企业生产过程的物流顺畅,既不出现制品大量堆积,也不出现设备长时间空闲,它关系到整个生产系统的有序运行和有效产出。生产物流平衡与如下时间密切相关:

(1)串联链上的工序等待时间。在零件制造的串联链上,一方面,一批工件须在当前工序排队等待加工;另一方面,因相邻工序生产速率不同,造成同批工件的加工时间不同,出现整批工件等待加工或机器空闲等待工件的情况。缩小这些等待时间有助于生产物流平衡。

(2)并联物流的生产时间。每一个串联链各自运作,需要一定的生产时间,由于最终需要送装配工序,因此各串联链的运行时间应基本均衡,以避免装配工序的等待,保证生产物流末端的平衡。

## 2 产品制造过程的时间分析

### 2.1 零件加工过程的时间

#### 2.1.1 工序等待时间

对于工件数大于1的生产批量,其工序等待时间包括三部分:一是工件排队等待加工时间,即当前工序从第一个工件开始加工到最后一件结束的工件平均等待加工时间,这个时间始终存在,不可克服,其大小与该工序的生产速率、转移批量有关;二是工件整批等待时间,这是因前工序生产速率大于后工序导致的物流堵塞而使整批工件等待加工的时间;三是机器空闲待工时间,即机器等待工件到达的时间,这是因前工序生产速率小于后工序时所致的物流断档、机器空闲。

三类时间中,前两类是由不同因素引发的工件等待加工的时间,第三类是机器的空闲时间;第一类工件排队等待加工时间不可消除,后两类都是由于相邻工序生产速率的差异所造成的浪费时间,属于此消彼长关系,是可以消除的,其大小取决于相邻工序的生产速率、工序间转移批量及工序间转运时间,是生产物流不平衡的直接成因之一。对一般企业而言,工序的生产速率、工序间的运输距离已基本确定,因此工序间的转移批量成为改变浪费时间的的主要因素。

(1)工件等待加工时间。这个时间包括工件排队等待加工时间和工件整批等待加工时间。假设用 $Q_{Z,k-1}$ 表示工件从工序 $k-1$ 到工序 $k$ 的转移批量; $P_k$ 表示工序 $k$ 的生产速率,包含工件的安装、加工和拆卸等活动; $t_{y,k-1}$ 表示工序 $k-1$ 到工序 $k$ 的转运时间。则一个转移批量的工件在工序 $k$ 上的等待时间 $t_{d,k}$ 可用式(1)表示:

$$t_{d,k} = \begin{cases} \frac{Q_{Z,k-1}-1}{2P_k} + (\frac{Q_{Z,k-1}}{P_k} - \frac{Q_{Z,k-1}}{P_{k-1}} - t_{y,k-1}), \\ P_{k-1} > P_k \text{ 且 } \frac{Q_{Z,k-1}}{P_k} - \frac{Q_{Z,k-1}}{P_{k-1}} > t_{y,k-1}, \\ (Q_{Z,k-1}-1)/(2P_k), \\ P_{k-1} \leq P_k \text{ 或 } \frac{Q_{Z,k-1}}{P_k} - \frac{Q_{Z,k-1}}{P_{k-1}} \leq t_{y,k-1}, \end{cases} \quad (1)$$

式中,  $(Q_{Z,k-1}-1)/(2P_k)$  表示该批工件在工序  $k$  的排队等待加工时间;  $Q_{Z,k-1}/P_k - Q_{Z,k-1}/P_{k-1}$  表示因工序  $k-1$  与工序  $k$  的生产速率差异导致物流堵塞的整批工件等待加工时间。

(2) 机器空闲时间. 当工序  $k-1$  与工序  $k$  的生产速率差异导致物流断档, 工序  $k$  上的机器将出现空闲, 该空闲时间  $t_{k,k}$  可用式(2)表示.

$$t_{k,k} = \begin{cases} 0, P_{k-1} > P_k \text{ 且 } \frac{Q_{Z,k-1}}{P_k} - \frac{Q_{Z,k-1}}{P_{k-1}} > t_{y,k-1}, \\ t_{y,k-1} - (Q_{Z,k-1}/P_k - Q_{Z,k-1}/P_{k-1}), \\ P_{k-1} > P_k \text{ 或 } Q_{Z,k-1}/P_k - \\ Q_{Z,k-1}/P_{k-1} \leq t_{y,k-1}, \\ \frac{Q_{Z,k-1}}{P_k} - \frac{Q_{Z,k-1}}{P_{k-1}} + t_{y,k-1}, P_{k-1} \leq P_k. \end{cases} \quad (2)$$

### 2.1.2 生产时间

当串联链物流采取单件流即工序间转移批量为 1 时, 一个加工批量总的生产时间  $T_{D1}$  为每道工序加工时间的总和减去相邻工序间重叠的时间, 如式(3), 式中  $n$  为工序数,  $Q_j$  为加工批量,  $t_{1,k}$  表示工序  $k$  加工一件产品的生产时间.

$$T_{D1} = \sum_{k=1}^n (Q_j \times t_{1,k}) - \sum_{k=1}^{n-1} ((Q_j - 1) \times \min(t_{1,k}, t_{1,k+1})). \quad (3)$$

当转移批量不为 1 时, 参照式(3)并考虑工序间转运时间的影响, 可以得到整个串联链一个加工批量总的生产时间  $T_D$ :

$$T_D = \sum_{k=1}^n (\frac{Q_j}{Q_{Z,k}} \times \frac{Q_{Z,k}}{P_k}) + \sum_{k=1}^{n-1} t_{y,k} - \sum_{k=1}^{n-1} ((\frac{Q_j}{Q_{Z,k}} - 1) \times \frac{Q_{Z,k}}{\max(P_k, P_{k+1})}). \quad (4)$$

### 2.2 产品生产周期

产品生产周期是零件制造时间和产品(部件)装配时间之和. 一般地, 为缩短产品的生产周期,

避免在装配工序前积存较多零件, 装配工序也按转移批量分批进行. 由于装配工序串联在每个零件加工串联链之后, 故可视为零件加工的最后道工序, 由此得到每条串联链(含装配工序)一个加工批量总的生产时间  $T_i$ :

$$T_i = \sum_{k=1}^{n+1} (\frac{Q_j}{Q_{Z,k}} \times \frac{Q_{Z,k}}{P_k}) + \sum_{k=1}^n t_{y,k} - \sum_{k=1}^n ((\frac{Q_j}{Q_{Z,k}} - 1) \times \frac{Q_{Z,k}}{\max(P_k, P_{k+1})}). \quad (5)$$

产品生产周期即所有串联链中最长的生产时间  $\max(T_i), i=1, 2, \dots, m$ .

## 3 生产物流批量模型构建及求解

### 3.1 多目标优化模型的建立

从生产物流平衡的角度考虑, 减少串联链工序之间的转移批量, 可以减少工序等待加工时间及机器空闲时间, 确保生产的连续性和加工周期; 但转移批量过小, 会导致转运批次增加, 使工序之间的运输成本增加, 这就需要综合考虑生产物流平衡和生产成本来确定最优的转移批量. 因此, 优化模型既要使各个零件加工的串联链生产顺畅, 等待时间最少, 又要使并联关系的各个零件生产时间均衡, 符合装配工序的时间约束, 还要考虑生产成本, 由于加工成本一般为定值, 故只考虑与转移批量成本密切相关的工件运输成本.

对于包含  $m$  个零件, 每个零件有  $n$  道工序的产品或部件, 在已知订单数量和计划生产时间、企业内每道工序的生产速率、相邻工序间运输时间和单次运费的情况下, 假设该订单加工连续, 不存在插单, 且生产设备状态良好后, 可建如下所示的多目标优化模型.

$$\begin{cases} \min \alpha_1 = \sum_{k=1}^{n+1} (t_{d,ik} + t_{k,ik}), i=1, 2, \dots, m, \\ \min \alpha_2 = \sqrt{\sum_{k=1}^{n+1} (t_{d,ik} - \bar{t}_{d,ik})^2}, i=1, 2, \dots, m, \\ \min C_i = \sum_{k=1}^{n+1} (C_{y,ik} \times \frac{Q_j}{Q_{Z,k}}), i=1, 2, \dots, m, \\ \min \beta = \sqrt{\sum_{i=1}^m (T_i - \bar{T}_i)^2}, \end{cases} \quad (6)$$

$$\text{s.t.: } \begin{cases} 0 < Q_{Z,ik} \leq \min(Q_j, Q_w), i=1, 2, \dots, m, \\ T_i < t. \end{cases} \quad (7)$$

式(6)为4个目标函数,分别表示第*i*条串联链上工件等待加工时间及机器空闲时间之和最小;第*i*条串联链上各工序工件等待时间的方差最小,以保证工序之间的平衡,避免工件在某道工序堆积,式中 $\overline{t_{d,ik}} = \sum_{k=1}^n t_{d,ik} / n$ 表示第*i*条串联链上各工序前工件等待时间的平均值;第*i*条串联链上工序之间的工件运输费用最小,式中 $C_{y,ik}$ 表示从工序*k-1*到工序*k*之间的单次运输费用;各个并联的串联链之间的时间均衡,式中*m*表示串联链个数, $\overline{T_i} = \sum_{i=1}^m T_i / m$ 表示串联链的平均生产时间.式(7)的2个约束条件分别表示企业内工序间转移批量和生产时间的最大值约束,其中 $Q_w$ 表示企业内工序间在制品最大允许值,即最大的转移批量,*t*表示生产计划中可用时间.

### 3.2 多目标优化模型的求解

多目标优化函数的求解一般通过加权的方法将其转化为单目标函数,这里采用层次分析法(AHP)来进行转化.

(1)建立层次分析结构模型.如图4所示,层次分析结构模型包含2层,最高层为总目标*F*;中间层又包含2层,上面2个分目标,分别是生产物流平衡*f1*和运输费用最小*f2*,下面是将生产物流平衡细分为串联链物流平衡 $\alpha$ 和并联物流平衡 $\beta$ .

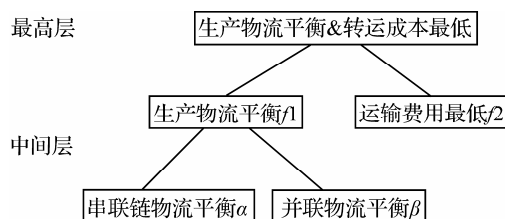


图4 层次分析结构模型

由此可以将多目标表示为单目标:

$$\min F = a_1(b_1 \sum_{i=1}^m (\alpha 1_i + \alpha 2_i) + b_2 \beta) + a_2 \sum_{i=1}^m C_i, \quad (8)$$

式中, $a_1$ 、 $a_2$ 、 $b_1$ 、 $b_2$ 为待确定权值.

(2)构造判断矩阵.就串联物流和并联物流而言,串联链的物流平衡可以有效缩短工序等待时间,而且一般产品包含多个零件,串联链数量较多,影响较大,因此串联链物流的平衡较之并联物流

的平衡更为重要;对于生产物流平衡与运输成本而言,企业生产物流顺畅运行可以大大缩短生产周期,降低在制品库存,由此带来的生产系统改善要比运输成本降低重要.故得到表1的判断矩阵.

表1 判断矩阵

| $\alpha$ 与 $\beta$ 之间 |          |         | $f1$ 与 $f2$ 之间 |      |      |
|-----------------------|----------|---------|----------------|------|------|
| HS                    | $\alpha$ | $\beta$ | HS             | $f1$ | $f2$ |
| $\alpha$              | 1        | 3       | $f1$           | 1    | 3    |
| $\beta$               | 1/3      | 1       | $f2$           | 1/3  | 1    |

(3)确定权值.根据判断矩阵,依据层次分析法的计算方法,并经一致性检验,可得到各权值分别为: $a_1=0.75$ 、 $a_2=0.25$ 、 $b_1=0.75$ 、 $b_2=0.25$ .

据此,可将多目标优化函数转化为式(9)的单目标优化函数:

$$\begin{aligned} \min F &= 0.75(0.75 \sum_{i=1}^m (\alpha 1_i + \alpha 2_i) + \\ &0.25 \beta) + 0.25 \sum_{i=1}^m C_i, \quad (9) \\ \text{s.t.: } &\begin{cases} 0 < Q_{z,ik} \leq \min(Q_i, Q_w), i=1, 2, \dots, m, \\ T_i < t. \end{cases} \end{aligned}$$

由于转移批量为整数,因此所建模型是整数非线性优化模型,适合应用Lingo软件进行求解.Lingo软件由美国Lindo系统公司推出,适用于求解线性、非线性、整数规划等问题,求解方便快捷.

## 4 实例求解分析

### 4.1 实例数据

注塑机液压系统中的阀站由阀芯、阀盖和阀板3个零件组成,各零件加工工序如表2所示.

表2 阀站加工工序

| 零件 | 工序1 | 工序2 | 工序3 | 工序4 | 工序5 | 工序6 | 装配 |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| 阀芯 | 粗车  | 精车  | 热处理 | 清洗  | 检验  |     |    |
| 阀盖 | 粗加工 | 划线  | 钻孔  | 清洗  | 检验  |     | 装配 |
| 阀板 | 划线  | 钻孔  | 磨削  | 镗孔  | 清洗  | 检验  |    |

已知订单批量即加工批量为1000件;计划生产时间为180h;企业工序间在制品最大允许值 $Q_w$ 为50件;其他已知参数值如表3所示.

根据前述,该实例生产物流平衡的单目标优化模型为

$$\min F = 0.75(0.75 \sum_{i=1}^3 (\alpha 1_i + \alpha 2_i) + 0.25 \beta) +$$

$$0.25 \sum_{i=1}^3 C_i,$$

$$\text{S.t.:} \begin{cases} 0 < Q_{Z,ik} \leq 50, i=1,2,3, \\ T_i < 180. \end{cases}$$

表3 各已知参数值

| 项目 | 生产速率项    | 速率/(件·h <sup>-1</sup> ) | 运输时间/h     | 单次运费/元     | 运费/元 |
|----|----------|-------------------------|------------|------------|------|
| 阀芯 | $P_{11}$ | 12                      | $t_{y,11}$ | $C_{y,11}$ | 5    |
|    | $P_{12}$ | 15                      | $t_{y,12}$ | $C_{y,12}$ | 20   |
|    | $P_{13}$ | 10                      | $t_{y,13}$ | $C_{y,13}$ | 5    |
|    | $P_{14}$ | 18                      | $t_{y,14}$ | $C_{y,14}$ | 20   |
|    | $P_{15}$ | 20                      | $t_{y,15}$ | $C_{y,15}$ | 50   |
| 阀盖 | $P_{21}$ | 10                      | $t_{y,21}$ | $C_{y,21}$ | 5    |
|    | $P_{22}$ | 19                      | $t_{y,22}$ | $C_{y,22}$ | 30   |
|    | $P_{23}$ | 15                      | $t_{y,23}$ | $C_{y,23}$ | 10   |
|    | $P_{24}$ | 18                      | $t_{y,24}$ | $C_{y,24}$ | 20   |
|    | $P_{25}$ | 20                      | $t_{y,25}$ | $C_{y,25}$ | 50   |
| 阀板 | $P_{31}$ | 20                      | $t_{y,31}$ | $C_{y,31}$ | 30   |
|    | $P_{32}$ | 15                      | $t_{y,32}$ | $C_{y,32}$ | 5    |
|    | $P_{33}$ | 9                       | $t_{y,33}$ | $C_{y,33}$ | 20   |
|    | $P_{34}$ | 15                      | $t_{y,34}$ | $C_{y,34}$ | 2    |
|    | $P_{35}$ | 18                      | $t_{y,35}$ | $C_{y,35}$ | 20   |
|    | $P_{36}$ | 20                      | $t_{y,36}$ | $C_{y,36}$ | 30   |
| 装配 | $P$      | 10                      |            |            |      |

#### 4.2 实例求解结果分析

利用 Lingo 软件对该模型求解, 结果分析如下:

(1)生产批量分析. 表 4 为转移批量的计算结果, 数据反映了以下两个规律. 一是运输时间对工序间转移批量影响较大, 表 3 中的运输时间  $t_{y,11}$ 、 $t_{y,13}$ 、 $t_{y,21}$ 、 $t_{y,32}$ 、 $t_{y,34}$  小于其他运输时间, 计算结果其转移批量  $Q_{Z,11}$ 、 $Q_{Z,13}$ 、 $Q_{Z,21}$ 、 $Q_{Z,32}$ 、 $Q_{Z,34}$  也明显小于其他转移批量; 并且比较  $Q_{Z,12}$  和  $Q_{Z,31}$  还可知, 当相邻工序速率差值相同时, 运输时间越大, 转移批量也越大, 由此可得, 运输时间与转移批量之间成正相关; 二是相邻工序速率差影响工序间的转移批量, 比较  $Q_{Z,31}$  和  $Q_{Z,22}$  可知, 当运输时间相同时, 相邻工序速率差值越大, 转移批量则越小, 相邻工序速率差与转移批量之间成负相关; 另外, 比较  $Q_{Z,15}$  和  $Q_{Z,25}$  可知, 当相邻工序速率差值和运输时间均相同时, 转移批量也基本相同.

表4 求解所得的各批量值

| 批量         | 数值 | 批量         | 数值 | 批量         | 数值 | 批量         | 数值 |
|------------|----|------------|----|------------|----|------------|----|
| $Q_{Z,11}$ | 8  | $Q_{Z,15}$ | 28 | $Q_{Z,24}$ | 19 | $Q_{Z,33}$ | 11 |
| $Q_{Z,12}$ | 15 | $Q_{Z,21}$ | 9  | $Q_{Z,25}$ | 29 | $Q_{Z,34}$ | 5  |
| $Q_{Z,13}$ | 9  | $Q_{Z,22}$ | 23 | $Q_{Z,31}$ | 17 | $Q_{Z,35}$ | 14 |
| $Q_{Z,14}$ | 18 | $Q_{Z,23}$ | 13 | $Q_{Z,32}$ | 6  | $Q_{Z,36}$ | 17 |

(2)时间分析. 时间求解结果如表 5 所示, 首先从机器空闲时间看,  $t_{k,12}$ 、 $t_{k,14}$ 、 $t_{k,15}$ 、 $t_{k,22}$ 、 $t_{k,24}$ 、 $t_{k,25}$ 、 $t_{k,32}$ 、 $t_{k,34}$ 、 $t_{k,35}$ 、 $t_{k,36}$  都不为 0, 但数值不大, 说明这些工序均会出现机器空闲的情况, 但空闲待工时间不长, 可认为生产物流基本平衡. 其次从工序等待时间看, 其中的  $t_{d,13}$ 、 $t_{d,16}$ 、 $t_{d,26}$ 、 $t_{d,37}$  数值相对较大, 分析相关数据可知这是由工序之间运输时间较长, 使得转移批量较大, 且这些工序加工速率较低, 工件排队等待时间较大所导致, 而由式(1)中整批工件等待时间的算式  $Q_{Z,k-1}/P_k - Q_{Z,k-1}/P_{k-1}$ , 计算其各工序前整批工件的等待时间分别为 0.30、0.90、0.95、0.55 h, 说明这些工序造成的绝对浪费时间并不是很大, 因此也可以认为生产物流大致平衡. 最后分析总体的生产时间,  $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$  分别为 172、170、166 h, 数值相差不大, 可以认为各个串联链生产时间基本均衡; 且该批阀站的生产周期  $T=\max(T_i)=172<t$ , 表明计划期内可以完成生产.

表5 求解所得的各时间值

| 时间         | 数值   | 时间         | 数值   | 时间         | 数值   | 时间         | 数值   | 时间         | 数值   |
|------------|------|------------|------|------------|------|------------|------|------------|------|
| $t_{d,12}$ | 0.23 | $t_{d,24}$ | 0.33 | $t_{d,36}$ | 0.32 | $t_{k,22}$ | 0.47 | $t_{k,34}$ | 0.68 |
| $t_{d,13}$ | 1.00 | $t_{d,25}$ | 0.45 | $t_{d,37}$ | 1.35 | $t_{k,23}$ | 0    | $t_{k,35}$ | 0.07 |
| $t_{d,14}$ | 0.22 | $t_{d,26}$ | 2.35 | $t_{k,12}$ | 0.18 | $t_{k,24}$ | 0.24 | $t_{k,36}$ | 0.27 |
| $t_{d,15}$ | 0.42 | $t_{d,32}$ | 0.53 | $t_{k,13}$ | 0    | $t_{k,25}$ | 0.30 | $t_{k,37}$ | 0    |
| $t_{d,16}$ | 2.25 | $t_{d,33}$ | 0.49 | $t_{k,14}$ | 0.45 | $t_{k,26}$ | 0    | $T_1$      | 172  |
| $t_{d,22}$ | 0.21 | $t_{d,34}$ | 0.33 | $t_{k,15}$ | 0.30 | $t_{k,32}$ | 0.01 | $T_2$      | 170  |
| $t_{d,23}$ | 0.75 | $t_{d,35}$ | 0.11 | $t_{k,16}$ | 0    | $t_{k,33}$ | 0    | $T_3$      | 166  |

(3)成本分析. 利用式(6)中成本计算方法, 分别计算转移批量为两个极值时所需成本, 其结果与本模型所需成本如表 6 所示.

表6 求解所得的成本

| 模型       | 总成本     | 平均单件成本  |
|----------|---------|---------|
| 本模型      | 18 824  | 18.824  |
| $Q_Z=50$ | 6 440   | 6.440   |
| $Q_Z=1$  | 322 000 | 322.000 |

相较于最大转移批量, 本模型所需成本有所

提高, 但是远小于最小转移批量所需成本.

## 5 结语

本文根据 MTO 型企业的生产特点, 在分析其生产物流模式和生产物流平衡要素的基础上, 通过对面向工序的零件加工时间及产品装配时间的分类求解, 采用方差判断平衡的方法, 构建了基于生产物流平衡和工序间运输成本最低的多目标优化模型, 运用层次分析法将其转化成单目标模型, 用 Lingo 软件求解确定了各工序间的转移批量. 应用结果表明所确定的各转移批量数据合理, 生产物流基本平衡. 该方法拓展了生产批量的研究, 也为企业生产物流系统的优化提供了新的方法.

### 参考文献:

- [1] 采峰, 曾凤章. 基于订货型的流程型生产物流平衡方法研究[J]. 计算机集成制造系统, 2007, 13(1):159-164.
- [2] 钱芝网, 王晓光, 张李. 基于柔性生产的生产物流平衡策略研究[J]. 工业工程与管理, 2012, 17(2):13-20.
- [3] 李军, 黄沫. 基于方差法的生产物流平衡控制模型[J]. 工业工程, 2008, 11(6):50-53.
- [4] 任雪洁, 叶春明. 利用量子粒子群算法求解单级多资源约束生产批量计划问题[J]. 现代制造工程, 2010(4): 39-42.
- [5] 张爽, 马良, 马慧民. 成组单元生产批量计划问题的知识进化算法[J]. 工业工程与管理, 2010, 15(1):92-96.
- [6] 韩毅, 唐加福, 王立岩, 等. 单级有资源约束的生产批量计划问题的元算法[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2009, 30(8):1111-1114.
- [7] 李英俊, 陈志祥. 蚁群算法在单级多时段多资源约束的生产批量问题中的应用研究[J]. 中国机械工程, 2012, 23(19):2326-2331.
- [8] Hu Z Y, Hu G P. A two-stage stochastic programming model for lot-sizing and scheduling under uncertainty[J]. International Journal of Production Economics, 2016, 180: 198-207.
- [9] Beemsterboer B, Land M, Teunter R. Flexible lot sizing in hybrid make-to-order/make-to-stock production planning [J]. European Journal of Operational Research, 2017, 260(3):1014-1023.
- [10] 张岳君, 陆志强. 一种基于设备运行的预防性维护与生产批量联合决策模型[J]. 计算机集成制造系统, 2014, 20(7):1737-1742.
- [11] 方潇璐, 吕文元. 设备随机故障条件下的经济生产批量模型[J]. 物流科技, 2015, 38(12):78-83.
- [12] 冷乔, 王丽亚, 赵世雄, 等. 多机串行系统的生产批量与维护计划集成优化[J]. 计算机集成制造系统, 2016, 22(8):1945-1952.
- [13] 徐学军, 丁雯, 余愿. 基于约束理论的 MTO 型企业生产批量建模研究[J]. 工业技术经济, 2008, 27(11):67-70.
- [14] Guo L L, Fang Z M. Modeling study of lot-sizing in virtual enterprise based on multi-objective[C]//IEEE 18th International Conference on Industrial Engineering Management Congress, 2011:933-937.
- [15] 刘明周, 凌琳, 唐娟. 基于漂移瓶颈的制造车间生产批量/提前期研究[J]. 中国机械工程, 2013, 24(2):220-225.

## Research on production-logistics batch for MTO type enterprise using time analysis

YAO Yan, FANG Zhi-mei\*, LIU Jin-bo

( Faculty of Mechanical Engineering & Mechanics, Ningbo University, Ningbo 315211, China )

**Abstract:** In this paper, the batch based on production logistics balance for MTO type enterprise is studied. The aim is to make the whole production logistics run smoothly and to reduce the transportation cost. By analyzing the production logistics modes concerning manufacture of parts and assembly of products, the multi-objective batch optimization model of the logistics balance is constructed based on consideration of the process waiting time and production time. The model is then transformed into a single objective function using Analytic Hierarchy Process. An exemplary case is resolved using Lingo software, in which the reasonable transfer batch is obtained. The effectiveness of the model is validated in the end.

**Key words:** production logistics; logistics balance; transfer batch; time

(责任编辑 韩 超)