

Investigation of Optimization Scheduling Strategy on Tobacco Enterprise

Zhibing Zhuo¹, Qixin Zhou¹, Jun Wang¹, Hui Yang¹, Xiaobo Bai², Jinsong Xue²

¹⁾ Sino Sun-ever Automation and Information Co., Ltd., Chinese Academy of Science, Beijing 100088

(E-mail: sxzzb@163.com)

²⁾ Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Science, Shenyang 110016 (E-mail: xjs@sunnyever.com)

Abstract—To solve optimization scheduling problems and improve efficiency of tobacco enterprises, the paper first establishes mathematical modeling of optimization scheduling on tobacco enterprise, through introducing idea of operation sets to scheduling algorithm, increases the possibility of scheduling algorithm. According to making and packing plan, the paper also educes cut tobacco plans and accomplishes pulling scheduling requirement.

Keywords—optimization scheduling, tobacco, scheduling algorithm

卷烟企业优化调度策略研究

卓之兵¹ 周齐心¹ 王军¹ 杨辉¹ 白小波² 薛劲松²

¹⁾ 中国科学院中科久辉信息自动化有限公司 北京 100088

²⁾ 中国科学院沈阳自动化研究所 沈阳 110016

摘要 合理高效地调度生产资源, 解决优化调度问题, 提高生产效率是生产调度最主要的目的。在实际的生产过程调度安排中有许多人为的目标与约束条件, 增加了生产调度的复杂性。本文首先建立卷烟厂企业生产调度数学模型, 通过引入可操作集的启发式调度思想到算法中, 提高了算法的现实实用性。根据卷烟企业排产调度的特点, 由卷包计划导出制丝计划, 从而实现了企业提出的需求拉动型排产的想法。

关键词 优化调度, 卷烟, 调度算法

1. 引言

生产调度是工业生产实际中企业生产的基础, 是企业生产运行的指挥中心, 也是经济效益的重要来源。综合各种生产信息, 充分利用信息资源, 实现优化调度和合理的资源配置, 对于企业来说具有重要的实际意义。无论是流程型还是离散型工业流程生产, 计划与调度问题一直是实现企业综合自动化中关键的一步, 是计算机集成制造系统(CIMS)中非常重要的一个环节。但是, 生产调度控制也是非常复杂的问题, 涉及到诸多因素, 在理论上属于NP-Hard问题。在很多的情况下, 针对单一目标的调度问题提出的调度优化解决方案, 往往很难满足实际生产过程的要求。实际生产中的调度目标是多重的, 多目标要求的生产调度更是增加了问题的复杂性。多数生产实际中, 调

度目标是人为的, 生产调度只要得到近似的最优解, 甚至有时候只要得到合理的可行解即可。

针对于卷烟企业来说, 优化调度是多目标的, 约束条件非常复杂。企业要想在迅速变化的市场中获取更大的利润, 必须不断地提高自身的生产能力, 使生产能够对市场需求作出快速反映。目前大多数企业的卷烟生产仅凭生产调度员的经验安排生产, 往往造成各工序间物料流动不均衡, 甚至造成物料短缺和物料堵塞现象。严重影响了生产效率和卷烟质量。因此, 深入研究卷烟生产优化调度策略具有十分重要的作用。

2. 卷烟的生产线工艺过程

根据卷烟生产过程分析,得到卷烟生产的总体工艺流程示意图如图1所示。

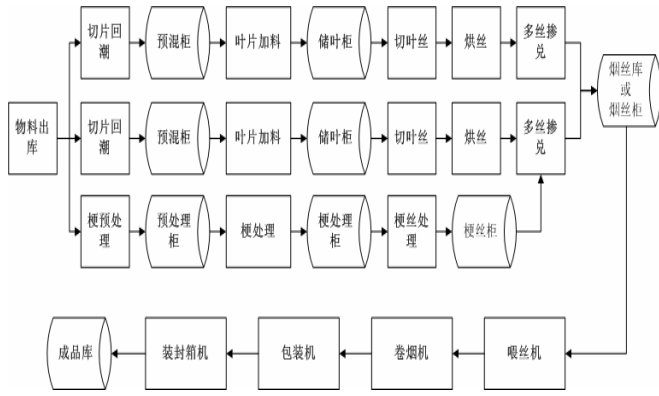


图1 卷烟生产工艺流程示意图

由图中可见,卷烟的生产过程包括连续生产过程和离散生产过程。连续生产过程的产品是生产成品烟所需的烟丝;离散生产过程的产品是成品烟。缓冲区(烟丝库或烟丝柜)连接着两个生产过程。其中连续生产过程主要包括片烟投料、松散回潮、叶片加料、切叶丝、混丝加香、烟丝入柜等过程;离散生产过程主要包括:烟丝出柜、风力送丝、卷接、包装、装封箱、成品入库等过程。各工序间均衡生产、物料流动连续。

3. 建立优化模型

3.1 相关定义

卷烟企业的生产模型包括制丝生产优化模型和卷包生产优化模型,下面分别描述。

为了更好的建立卷烟企业的生产模型,假设卷烟厂有 m_1 条生产线,分别记为 cm_1 、 cm_2 、...、 cm_{m_1} 可生产 n_1 种半成品原料。

$x_{ij}(t)$ ---- t 时刻第 i 条生产线生产第 j 种半成品原料的速率。

x_{ij}^{\max} 、 x_{ij}^{\min} ---- 第 i 条生产线生产第 j 种半成品原料的最大、最小生产速率。

$Y_j(h)$ ---- 以时间顺序,第 h 个要加工的离散产品的第 j 种半成品原料的需要量。

$C_j(t)$ ---- t 时刻缓冲区中第 j 种半成品原料的数量。

$T(h)$ ---- 连续生产过程生产第 h 个半成品原料任务所需时间长度, $T(0) = 0$ 。

3.2 优化目标与约束条件

优化目标也分为制丝车间优化目标和卷包车间优化目标。

对于制丝车间优化目标是在保证卷包不断料、换牌次数最少的前提下,生产出全部离散产品所需的时间最短。制丝车间的约束条件是满足生产能力约束、生产线不能同时生产多种半成品原料的约束、卷包不断料、同一品牌的批次连续生产。缓冲区是一个储存容量有限的丝柜,任一生产线在任意时刻最多只能生产一种半成品原料。连续生产过程的生产线的生产的半成品原料全部进入缓冲区储存达到工艺储存时间才能作为卷包生产的原料,只有缓冲区中已经储存有足量的离散生产所需要半成品原料时,离散生产才可以进行,但所有的离散产品只是在其进行第一个操作时需要半成品原料。

对于卷包车间的优化目标是在保证所有产品按时交货的前提下,生产时间最小。卷包车间的约束条件是满足生产能力约束、同一机台在同一时间不能加工两种品牌、生产过程中订单优先级别高的优先生产。

根据卷烟生产的特点,可知:离散产品的第一个操作的实际开工时间必然是相应离散产品所需的半成品原料的生产完工时刻加上满足工艺储存要求的时间与预计的离散产品开工时刻的最大值。

3.3 数学模型

制丝车间生产数学模型:

调度目标为生产出全部离散产品所需的时间最短。

数学描述为:

$$\min_{x_{ij}(i)} J_1^* = T(h) \quad (1)$$

使得

$$x_{ij}^{\min} \leq x_{ij}(t) \leq x_{ij}^{\max}, \text{ 或 } x_{ij}(t) = 0, \forall i \in I, j \in M \quad (2)$$

$$C_j \left(\sum_{w=1}^{h-1} T(w) + t \right) = C_j \left(\sum_{w=1}^{h-1} T(w) \right) + \sum_{i=1}^m \int_{\sum_{w=1}^{h-1} T(w)}^{T(w)+t} x_{ij}(\tau) d\tau$$

其中

$$C_j^+ \left(\sum_{w=1}^h T(w) \right) = C_j \left(\sum_{w=1}^h T(w) \right) - Y_j(h) \quad (3)$$

$$C_j \left(\sum_{w=1}^h T(w) \right) \geq Y_j(h) \quad (4)$$

$$\sum_{\substack{j,k \in M \\ j \neq k}} (x_{ij}(t)x_{ik}(t)) = 0, \forall i \in I, t \in [0, T] \quad (5)$$

其中:

(2) 式表示生产能力的约束。若生产线 i 在 t 时刻生产 j 种半成品原料,则其速率受到上下限的约束;若 t 时刻不生产 j 种半成品原料,则 $x_{ij}(t) = 0$ 。

(3) 式描述缓冲区中第 j 种原料的动态变化。

(4) 式表示离散生产所需的半成品原料数量必须从缓冲区中取得。

(5) 式表明任一生产线在 t 时刻最多只能生产一种半成品原料。

此外，制丝车间的生产满足以下条件：

$$t' = t_1 - t_2 \quad (6)$$

其中， t' 表示制丝车间生产第 i 项任务最迟开始时间， t_1 表示卷包车间对应的任务开始时间， t_2 表示工序物料储存最长时间。

卷包车间生产优化数学模型：

由于每台设备在任意时刻，最多只能进行一个工序的操作，且每个工序只能在一台设备上加工（虽然可能有多台设备能进行该工序的加工），因此，将若干的工序分配到生产能力各异的若干台设备使得总的加工时间最短的问题，可以用以下的模型来描述：

$$A_{m \times n} = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}$$

其中， a_{ij} 表示第 i 行第 j 列元素，它的物理意义是第 j 台设备进行第 i 工序操作所需的时间。将若干的工序分配到生产能力各异的若干台设备使得总的加工时间最短的问题，要求在每行取且必须取一个元素，使得每列被取中的元素相加和中最大的值最小。每行取且仅取一个为任意工序只能在一台设备上加工且该工序必须被加工，将某列选中的元素相加所得的值为该列对应的设备完成所有加工任务的时间，这些值中最大的为完成总任务所需的时间。对应的数学模型为：

$$\min J = \min \max \sum_{i=1}^m a_{ij} x_{ij} \quad \text{s.t.}$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \quad \text{其中 } x_{ij} \in \{0,1\}$$

当 $x_{ij} = 1$ 时，就选取 a_{ij} ，否则不选。即当 $x_{ij} = 1$ 时，第 i 行对应的工序就在第 j 列所对应的的设备上进行加工，并且加工时间为 a_{ij} 。

3.4 算法描述

对于卷包车间生产优化算法描述：

基于动态调度的特点，可考虑可操作集的方法，即以产品的工序是否存在能立即被进行的可能性为分类依据，即将能立即进行加工的工序放入可加工序集合，再根据最早到期分派（EDD）规则，从中选取工序放入窗口工序集

合，对该窗口工序集的工序进行调度，并进行加工，在进行下一次调度时，先检查窗口工序集合，如果其中的某产品所有的工序都已加工，则将该产品放入已加工集合，否则将其放回可加工序集合，再进行下一次的选择和调度。工序流程图如下所示：

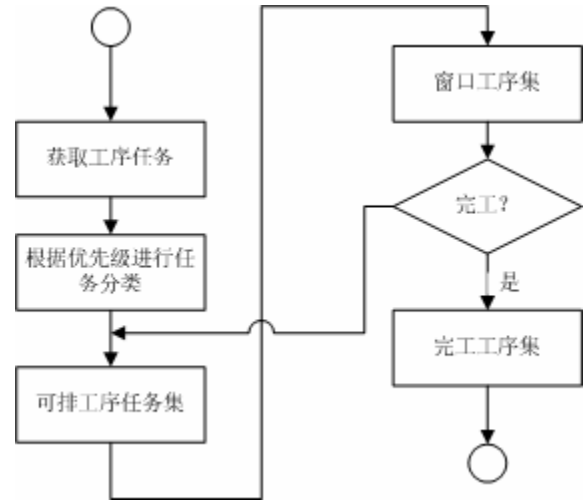


图2 算法流程图

对窗口工序集中的产品进行滚动调度的问题为将若干的工序分配到生产能力各异的若干台设备使得总的加工时间最短。

对于制丝生产优化算法描述：

卷烟厂制丝生产计划是根据卷包生产计划倒推出来的。因此当卷包生产计划排定后，制丝生产算法步骤如下：

- (1) 获取卷包生产任务，根据卷烟生产特点，制丝计划排产排出的是一天中的制丝计划；
- (2) 根据卷包生产任务和生产工艺配方要求，计算制丝生产任务数量（批次）；
- (3) 计算制丝生产每个任务（每一批次）的最早开始时间、最迟开始时间，这些时间作为排产的该任务安排的约束条件；
- (4) 根据任务的优先级排出制丝生产任务
- (5) 计算第一个任务的结束时间，把它作为第二个任务的约束条件；
- (6) 重复上面过程对以上各步安排的任务进行标识，对未作标识的任务进行循环安排。
- (7) 若生产任务个数已达到读入生产任务个数（制丝生产任务），则停止循环。

4. 仿真结果及分析

利用本文的算法，对某卷烟厂一个月的生产计划进行

模拟，模拟结果达到了理想的调度结果。

表 1 生产计划要求的生产订单

Orders	Brand	Quantity	Equipment Type	Start Time	End Time
W01	B ₁	1150	S1	1	10
W02	B ₂	170	S1	1	2
W03	B ₃	23000	S2	1	30
W04	B ₄	750	S3	1	2
W05	B ₅	2500	S2	1	5
W06	B ₆	6380	S3	1	11
W07	B ₇	1300	S1	2	13
W08	B ₈	4200	S3	2	13
W09	B ₉	6160	S2	5	18
W010	B ₁₀	160	S1	10	11
W011	B ₁₁	1270	S1	11	21
W012	B ₁₂	4000	S3	11	18
W013	B ₁₃	1000	S1	13	21
W014	B ₁₄	400	S3	13	14
W015	B ₁₅	6380	S3	14	30
W016	B ₁₆	4000	S2	18	30
W017	B ₁₇	5400	S3	18	27
W018	B ₁₈	1150	S1	21	30
W019	B ₁₉	1020	S1	21	30
W020	B ₂₀	2240	S3	27	30

表 2 卷包生产调度结果

Dates Equipment	1-2	2-5	5-10	10-11	11-13	13-14	14-18	18-21	21-27	27-30
S ₁ -1#	W0 ₁	W0 ₁	W0 ₁	W0 ₁₀	W0 ₁₁	W0 ₁₁	W0 ₁₁	W0 ₁₁	W0 ₁₂	W0 ₁₂
S ₁ -2#	W0 ₂	W0 ₂	W0 ₇	W0 ₇	W0 ₇	W0 ₁₃	W0 ₁₃	W0 ₁₃	W0 ₁₉	W0 ₁₉
S ₂ -1# ~ 8#	W0 ₃	W0 ₃	W0 ₃	W0 ₃	W0 ₃	W0 ₃	W0 ₃	W0 ₃	W0 ₃	W0 ₃
S ₂ -9# ~ 11#	W0 ₅	W0 ₅	W0 ₉	W0 ₉	W0 ₉	W0 ₉	W0 ₉	W0 ₁₆	W0 ₁₆	W0 ₁₆
S ₂ -1# ~ 3#	W0 ₄	W0 ₂	W0 ₂	W0 ₂	W0 ₂	W0 ₁₄	W0 ₁₅	W0 ₁₅	W0 ₁₅	W0 ₁₅
S ₂ -4# ~ 7#	W0 ₆	W0 ₆	W0 ₆	W0 ₆	W0 ₁₂	W0 ₁₂	W0 ₁₂	W0 ₁₇	W0 ₁₇	W0 ₂₀

表 3 制丝生产调度结果

Dates Routing	1	2
L1#	W0 ₅ 01	W0 ₁₀ 01
L1#	W0 ₅ 02	W0 ₅ 02

L1#	W0 _p 03	W0 ₃ 03
L1#	W0 ₁₅ 04	W0 ₃ 04
L1#	W0 ₁₅ 05	W0 ₁₄ 05
L1#	W0 ₁₅ 06	W0 ₁₅ 06
L1#	W0 ₂ 07	W0 ₁₅ 07
L1#	W0 ₃ 08	W0 ₁₄ 08
L1#	W0 ₃ 09	W0 ₂ 09
L1#	W0 ₅ 10	W0 ₅ 10
L1#	W0 ₅ 11	W0 ₃ 11
L1#	W0 ₃ 12	W0 ₃ 12
L1#	W0 ₃ 13	W0 ₃ 13
L1#	W0 _p 13	W0 ₃ 14
L1#		W0 ₁₄ 15
L1#		W0 ₅ 16
L1#		W0 _p 17
L1#		W0 ₁₅ 18
L1#		W0 ₁₅ 19
L1#		W0 ₂ 20
L1#		W0 ₃ 21
L1#		W0 ₁₅ 22
L1#		W0 ₁₅ 23
L2#	W0 ₂ 01	W0 ₃ 01
L2#	W0 ₃ 02	W0 ₃ 02
L2#	W0 ₃ 03	W0 ₃ 03
L2#	W0 ₃ 04	W0 ₃ 04
L2#	W0 ₃ 05	

结果分析：表 1 中显示的是某卷烟厂一个月的生产牌号、数量和起止日期。

表 2 中显示的是基于可操作集方法排定的卷包进度计划，1 号生产的工单个数是 6 个，根据 EDD 规则，2 号生产的工单是 6 个，依次类推，得到 30 号的生产工单，此结果与人工排产结果基本相同。

表 3 中显示了制丝生产调度产生的结果（在 L1# 上）第一天比第二天的结果少 9 批，是由于第一天制丝线（L1#）有 8 小时的周保。制丝结果仅给出 1、2 两天的结果是因为到排序原因，由于制丝调整频繁，所以一个月的制丝计划是不可行的。

以上的调度结果符合了生产现场的要求，综合了各种人为的约束，并考虑了生产现场的实际情况，在满足约束的条件下，达到了生产实际中要求的目标，同时还可以根据现场的突发情况，生产订单的更改情况等进行快速的重排，以适应新的情况，符合生产的灵活性的要求，具有很

强的实用特性。

5. 结束语

本文探讨了卷烟企业生产调度策略问题,建立了卷烟企业的生产调度模型,提出了解决卷烟生产调度过程中的算法问题,试验结果证明这种方法是行之有效的。与单纯的对单一目标的优化的调度算法相比,可动态解决多种人为的要求,更具有实用意义。

参考文献

- [1] 陈文德, 离散事件动态系统[M], 北京: 科学出版社, 1994.
- [2] CHEN Zhuang, LIU Yongmei, CUI Guanxun, HE Zhaoquan. Optimization scheduling strategy oriented to cigarette producing line. *Computer Integrated Manufacturing Systems* Vol.10 No.7 Jul.2004: 801-807. 陈庄, 刘永梅, 崔贯勋, 何昭全. 一种面向卷烟生产线的优化调度策略. *计算机集成制造系统*. 2004年7月第10卷第7期: 801-807.
- [3] NIU Haijun, XU Jiahui. Research on the scheduling algorithms of FMS. *Journal of XiDian University* Vol.29 No.1 Feb.2002:35-38. 牛海军, 徐家辉. 柔性制造系统调度算法研究. *西安电子科技大学学报(自然科学版)*. 2002年2月第29卷第1期: 35-38.
- [4] BAI Zhibin, MA Yunfu. Method for Production-Plan and Scheduling of Workshop Based on Pseudo-Flexible Manufacturing System. *O.I.Automation* Vol.22 No.3 2003:14-16. 柏志彬, 马云富. 基于准柔性制造系统的车间生产计划和调度方法. *兵工自动化*. 2003年第22卷第3期: 14-16.
- [5] Philippe Baptiste, Claude Le Pape. Disjunctive Constraints for Manufacturing Scheduling: Principles and Extensions. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 1 July 1996, vol. 9, no. 4, pp. 306-310 (5).
- [6] M.Selim Akturk, Serkan Ozkan. Integrated scheduling and tool management in flexible manufacturing systems. *INT.J. PROD.RES.*, Vol.39 No.12 2001:2697-2722.