

# 两级多品种生产调度的专家系统<sup>1)</sup>

戴学东 吕勇哉

(浙江大学)

## 摘 要

本文以一类两级多品种加工过程的生产调度为背景,提出了一种将人工智能的启发式搜索优化技术与专家经验规则相结合的专家系统。研究了系统的知识表达、组成与结构,该系统能方便地处理带有定性约束的问题,并利用问题的知识背景显著地提高了系统的求解效率。最后给出了在大型炼油厂润滑油系统生产调度中应用的实例。

**关键词**——生产调度,专家系统,启发式搜索,知识表达,润滑油生产系统

## 一、引 言

生产调度在现代企业中占有十分重要的地位,已经成为计算机集成制造(CIM),柔性加工(FMS)和递阶计算机控制系统中的一个介于管理和作业优化之间的关键层次。合理的生产调度将给企业带来显著的经济效益。在制造业中,生产调度的命题可归结为在给定的生产计划、设备和人力的前提下,按照对产品零部件加工顺序的要求,将“人-任务-设备”有机地组织起来,建立满足某种目标的最合理的作业进程表。对于连续或批量生产过程,相应的调度命题通常为生产方式的合理安排或物料与能量的合理分配等。此外,生产调度也可以看作将长时间的生产计划转变为短时间(或时序)的生产安排的变换。

长期以来,调度决策是由调度人员按生产计划或其它信息凭经验与推理所给出的,其结果在很大程度上取决于调度者的素质。自从运筹学,特别是计算机技术的迅速发展,人们试图运用传统的数学工具,例如数学规划、排队论等,来定量地求解调度的命题。然而,在实际问题中存在着不少难以用数学方法描述的特性,给问题的求解带来了困难。近年来,随着人工智能技术,特别是专家系统的迅速发展,运用人工智能方法和传统数学工具相结合来解决调度问题已成为一个非常有吸引力的研究领域<sup>[2-4]</sup>。

本文以一类两级多品种生产过程为背景,基于人工智能启发式搜索优化方法和专家经验规则的结合,建立了一个生产调度的专家系统,并应用于大型炼油厂的润滑油生产系统的调度,取得了满意的结果。

本文于1987年6月5日收到。

1) 本文的研究获国家教委基金及石化总公司的资助,上海炼油厂为专家系统的建立提供了丰富的专家经验,一并致谢。

## 二、问题的描述

设有一个两级多品种生产系统, 每种产品的生产均需经过图示的两级工序, 在流程中存在原料、半成品与成品等贮罐区, 产品与贮罐有一一对应的关系。由于生产能力和贮罐容量的约束, 通常必须经过生产方案的多次切换方可完成给定的生产计划。显然, 切换过程必将导致原料、能量和成品的浪费, 因此调度命题可归结为建立一个生产安排表实现以最少切换次数来满足生产计划的目标。这一命题可表示为

$$\text{Min} J = \alpha_{11} l_{11} + \alpha_{12} l_{12} + \alpha_{21} l_{21}. \quad (1)$$

式中  $l_i$  与  $\alpha_i$  分别表示装置  $i$  的切换次数和加权系数, 后者表示由于切换所导致的能量、物料消耗和产生的废品及操作费等经济损失的度量。

相应的约束条件可表示为

$$1) \text{ 总产量应大于等于计划产量 } G_n \geq G_0 \quad (2)$$

2) 各种产品产量在一定宽容度下满足计划要求, 即

$$g_{ik}^n \geq g_{ik}^0, \quad N = 1, 2. \quad (3)$$

$$3) \text{ 贮罐容量约束 } L_{jn}^l \leq L_{jn}^c \leq L_{jn}^h, \quad n = 0, 1, 2. \quad (4)$$

4) 计划时间长度约束

$$\sum_{m=1}^{l_{np}} \Delta t_{np}^m \leq \Delta t. \quad (5)$$

$$5) \text{ 最短持续生产时间的要求 } \Delta t_{np}^m > \Delta t_0. \quad (6)$$

6) 同一品种两次生产间隔应大于成品罐的平均周转期

$$t_{ik}^2 - t_{ik}^1 > \Delta t_{ci}, \quad i = 1, I, \quad k = 1, K. \quad (7)$$

式中  $L_{jn}^l, L_{jn}^c, L_{jn}^h$  分别表示贮罐  $T_{jn}$  的下限值、当前值和上限值;  $F_{np}$  为装置代号;  $l_{np}$  为装置  $F_{np}$  的方案切换次数;  $g_{ik}^n$  为第  $n$  道工序生产品种  $A_{ik}$  的产量;  $G_n$  为第  $n$  道工序的总产量;  $\Delta t_{np}^m$  为第  $n$  道工序(装置)上第  $m$  次持续生产时间;  $\Delta t$  为计划时间长度;  $\Delta t_0$  为最短允许持续生产时间;  $n$  为工序序号,  $n = 0, 1, 2, \dots, N$ 。下标  $i$  为品种类型序数,  $i = 1, 2, \dots, I$ ;  $j$  为贮罐序号,  $j = 1, 2, \dots, j_n$ ;  $k$  为同类产品中的细节品种序数,  $k = 1, 2, \dots, K$ ;  $p$  为同一工序中并列的装置序数,  $p = 1, 2, \dots, P_n$ 。

7) 生产方案切换限制条件, 如相邻生产的品种性质应尽量相近。

8) 装置可加工产品的限制条件。

9) 调度者的经验及意愿, 如某产品的优先安排; 难合格的产品最好优先安排和排序方案优劣的总体评价等。

此外, 还需考虑保证各装置生产的连续性等因素。

## 三、系统的知识表达

为了使计算机“了解”问题的背景及求解的经验规则等, 按命题的特征、系统的知识可



以分为三类：客观背景的描述；用于求解问题的经验规则；和基于客观规律计算方法的描述。按各类知识的特点，拟分别采用框架结构、产生式规则和过程型表述等知识表达方式，并将它们结合起来，构成系统的知识库。

问题的背景知识包括装置、贮罐、产品特性及其相互关系等内容。利用框架结构描述装置的示例可表示如下：

### 装置 $F_{11}$ 框架

可加工产品的品种：品种 1, ..., 品种  $I_1$

进料罐区名：tanks 1

产品罐区名：tanks 2

同一工序的装置名： $F_{12}$

后续工序的装置名： $F_{21}$

产品品种 1:

    进料贮罐名： $t_{11}$

    产品贮罐名： $t_{12}$

    单位时间进料量： $Q_{in}$

    单位时间的产量： $Q_{out}$

    :

产品品种 2:

    :

对于罐区及产品特性及其相互关系也可用类似的方法加以描述。生产系统的总体特性同样可以用框架描述：

### 生产系统框架

系统可生产的产品名：品种 1, ..., 品种  $I$

系统中的装置名： $F_{11}, F_{12}, F_{21}$

产品分类：

    产品类 1: 品种 1, ...,  $j$

    产品类 2: 品种  $j, \dots$

    :

然后，问题的背景知识可用图 1 所示的递阶框架结构。关于问题求解的经验知识可

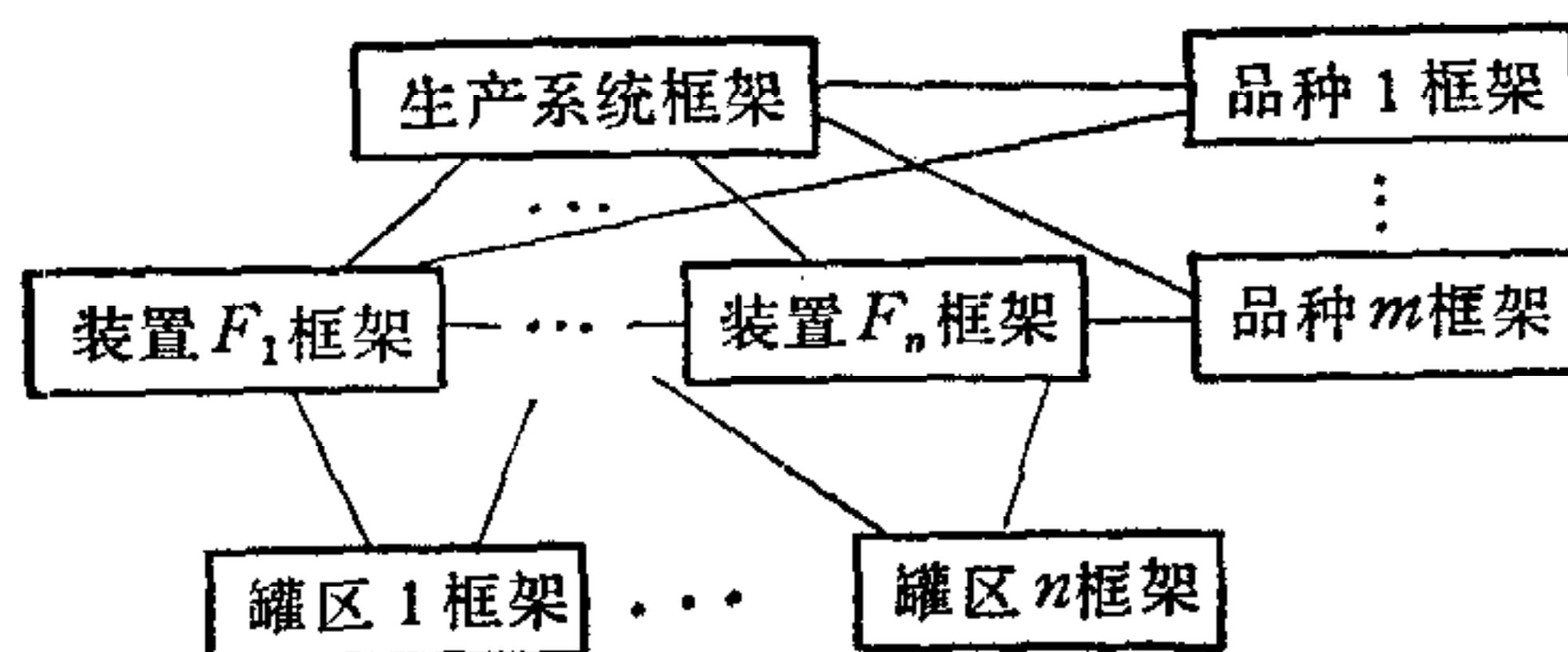


图 1 问题背景知识的框架系统

用“前提-结论”的产生式规则予以描述。此外,有关命题中的其它非数值约束条件和客观状态的测试条件也可描述为产生式规则。知识库中的规则按其功能分为排序经验、约束条件和状态测试条件等若干规则子集,并分别赋予标志,由各规则协同工作,构成一个两级递阶结构。

在系统的知识库中,上述三类知识表达方式之间是有联系的,例如在框架中同时包括了一些规则名与过程名,在应用时可通过在框架中查寻、填充和互相调用。

#### 四、专家系统的结构

为了实现启发式搜索与调度排序规则相结合求解问题的目的,这里采用了两级控制机构的结构。系统的总控机构所反映的求解思想示于图 2。系统一启动便自动提示本次计算是否需要修改系统数据库、知识库等。求解过程依次按产品物料流向进行。首先采用作者所提出的基本调度策略 SCHESEARCH<sup>[1]</sup>, 分别求解装置  $F_{11}$ ,  $F_{12}$  的排序表, 然后以此表为基础采用调度经验规则求解装置  $F_{21}$  的进度表。在这一过程中加入中间罐区、产品罐区的约束以及其它约束条件, 并对原表不合理部分进行修正, 给出按用户要求的输出结果。

经验求解部分的控制流程见图 3。在选择一个待产的品种时, 调用一个调度排序规则集, 这部分类似一个小型的规则基专家系统, 其规则推理部分采用正向推理方式, 先按引入的状态标志, 找到相应的规则子集, 然后搜索该规则集中的规则, 若匹配失败, 可视情况转移到其它有关的规则集继续搜索, 或通过人机接口提示用户规则不足, 请求专家协助。规则匹配成功时则返回由该规则结果提供的待排产品种。

该专家系统还包括系统数据库(静态与动态)以分别存放原始数据和运算及推理的中间结果等, 数据库也采用框架表达形式。在人机界面方面, 系统包含解释系统、在线提示系统和人机接口等。

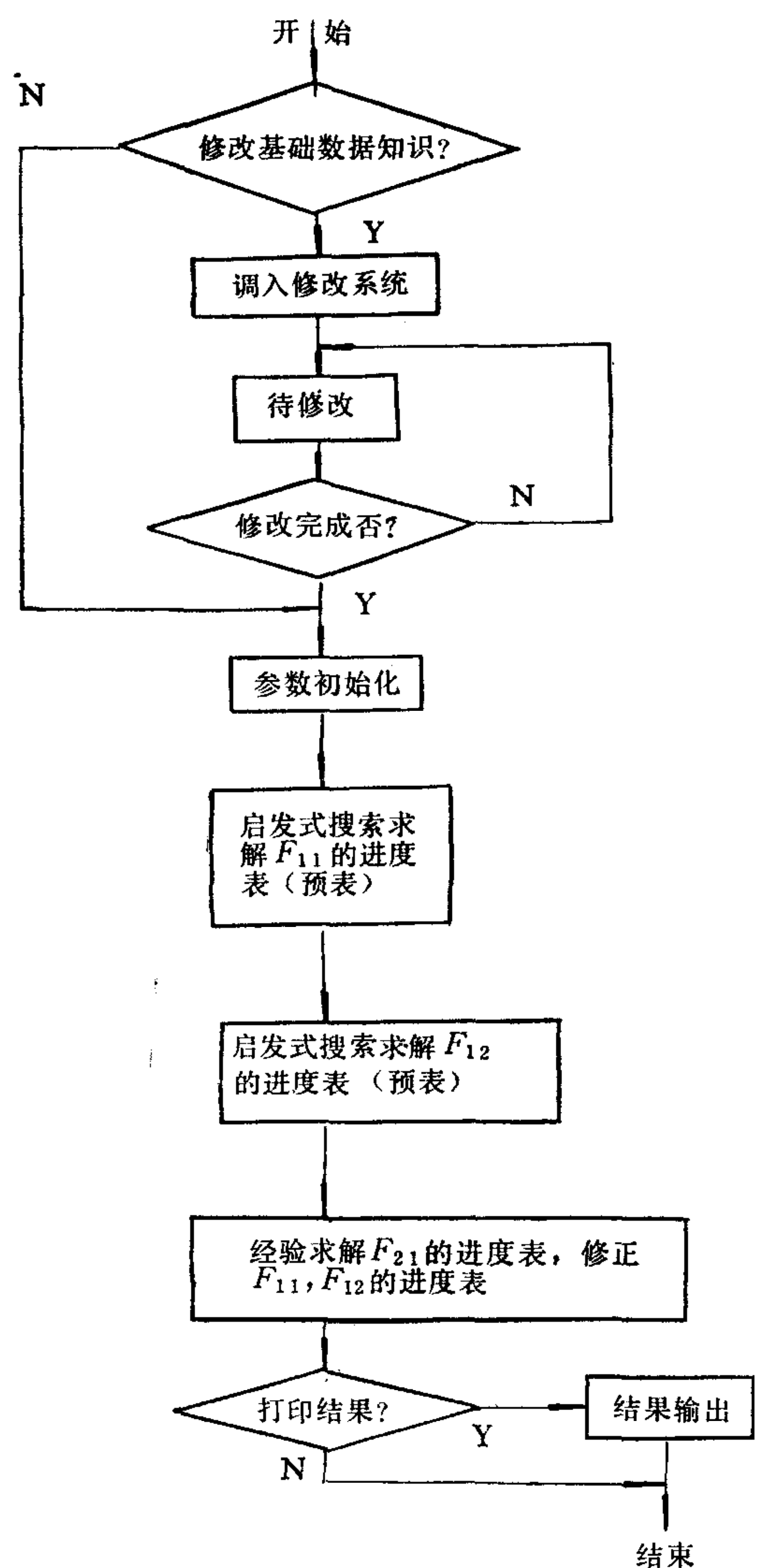


图 2 系统总控框图

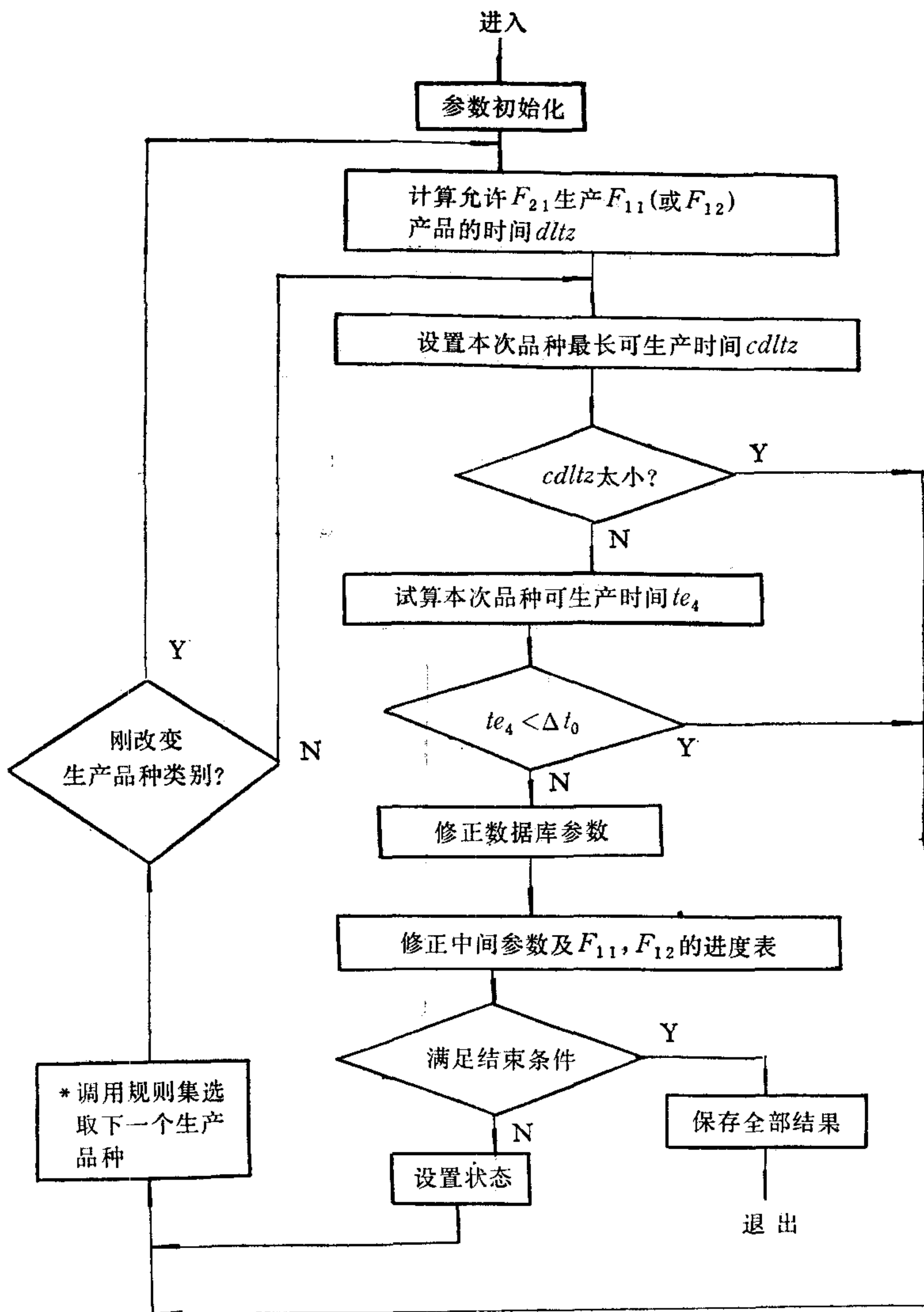


图3 经验求解控制流程

### 五、应用示例

某大型炼油厂的润滑油生产系统如图4所示,其中有酮苯脱蜡、糠醛精制和白土精制等三道工序。本系统待处理的油品分别表示为  $A_{21}, A_{22}, A_{23}, A_{31}, A_{32}, A_{41}$  和  $A_{51}$  等七种,各品种计划产量分别为 700,1500,300,100,400,1600,1000 吨,总产量  $G_0 = 5600$  吨。取计划安排时间长度为 10 天,即  $\Delta t = 10$  天。最短允许持续生产时间  $\Delta t_0 = 0.3$  天,贮罐使用周转期  $\Delta t_{ci} = 4$  天,各装置处理能力及各罐区容量此处略。生产起点分别为  $F_{11}: A_{51}; F_{12}: A_{21}; F_{21}, F_{31}: A_{23}$ 。

由于二、三两道工序生产能力匹配,故可考虑为一等价工序,这样这一生产流程便与本文所研究的命题一致,可运用上述方法来求解。相应的专家系统由 COMMON-LISP



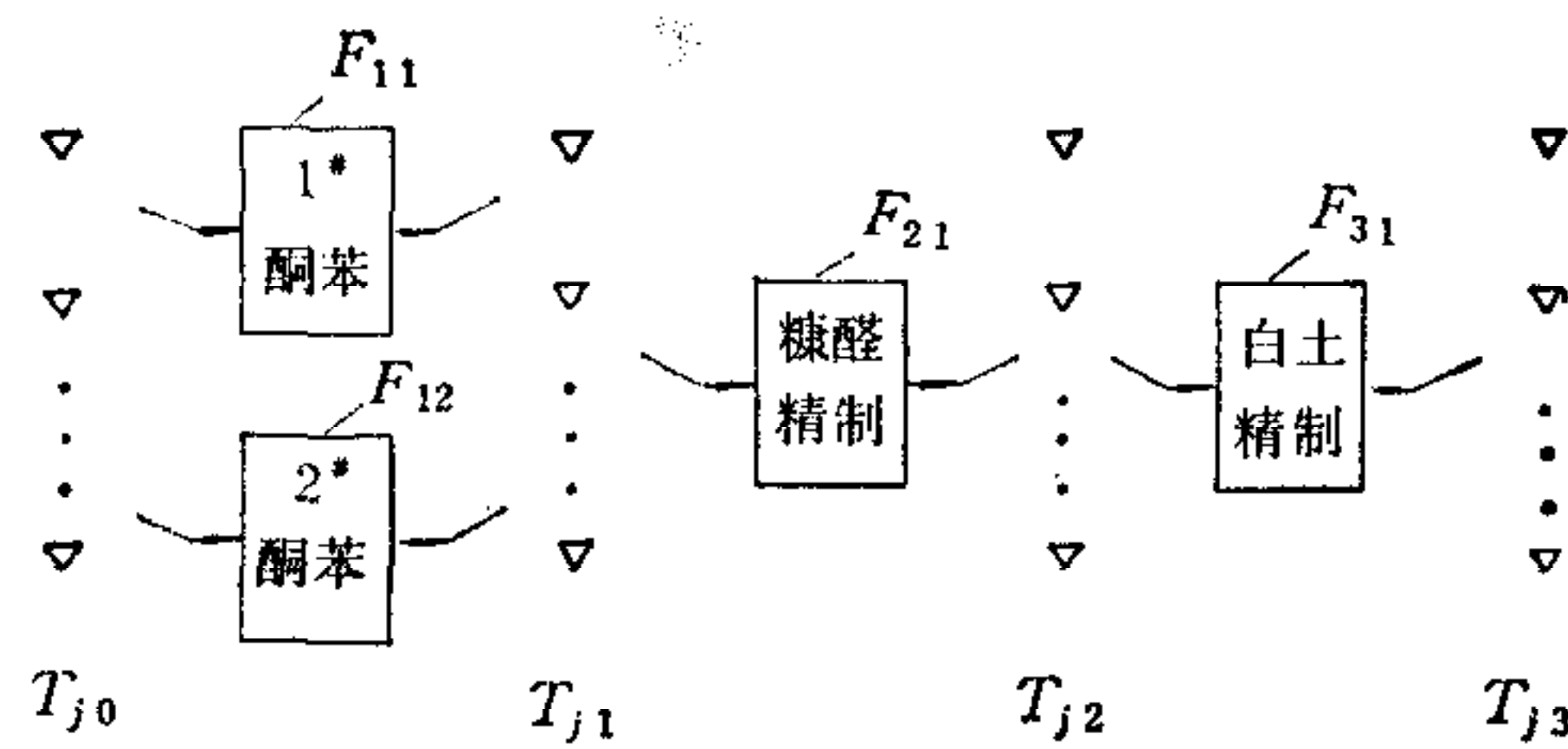


图 4 润滑油系统生产流程

语言 (GCLISP 版本)<sup>[5]</sup>编程,并在 IBM-PC 上实现,其调度示例结果示于表 2 和图 5.由专家系统给出的调度结果其总产量为 5817.35 吨,切换次数的比较示于表 3.由此可见,专家系统的调度在超额完成计划指标前提下,还减少了生产方案的切换次数.此外,仅需 2.5 分钟便给出了调度结果,提高了调度的效率.该系统已为生产企业所接受.

表 2 各装置的进出料量(吨)

产 品	时间(天)	$F_{11}$	
		输入	输出
$A_{51}$	3.0	1980	990
$A_{41}$	5.0	5000	2550
$A_{51}$	3.0	1980	990

产 品	时间(天)	$F_{12}$	
		输入	输出
$A_{21}$	1.05	1265	632.5
$A_{22}$	4.0	4800	2340
$A_{32}$	4.0	4980	2400
$A_{22}$	4.0	4800	2340

产 品	时间(天)	$F_{21}$	
		输入	输出
$A_{23}$	0.05	30.0	21.8
$A_{21}$	1.33	1019.5	742.1
$A_{22}$	3.83	2390.0	1738.9
$A_{32}$	0.57	454.2	330.6
$A_{41}$	0.3	244.8	178.2
$A_{51}$	1.85	1155.0	840.3
$A_{41}$	3.31	2700.0	1965.4

表 3 切换次数的比较

切换次数	人工	专家系统
$l_{11}$	2	2
$l_{12}$	4	3
$l_{21} = l_{31}$	6	6
合计	12	11

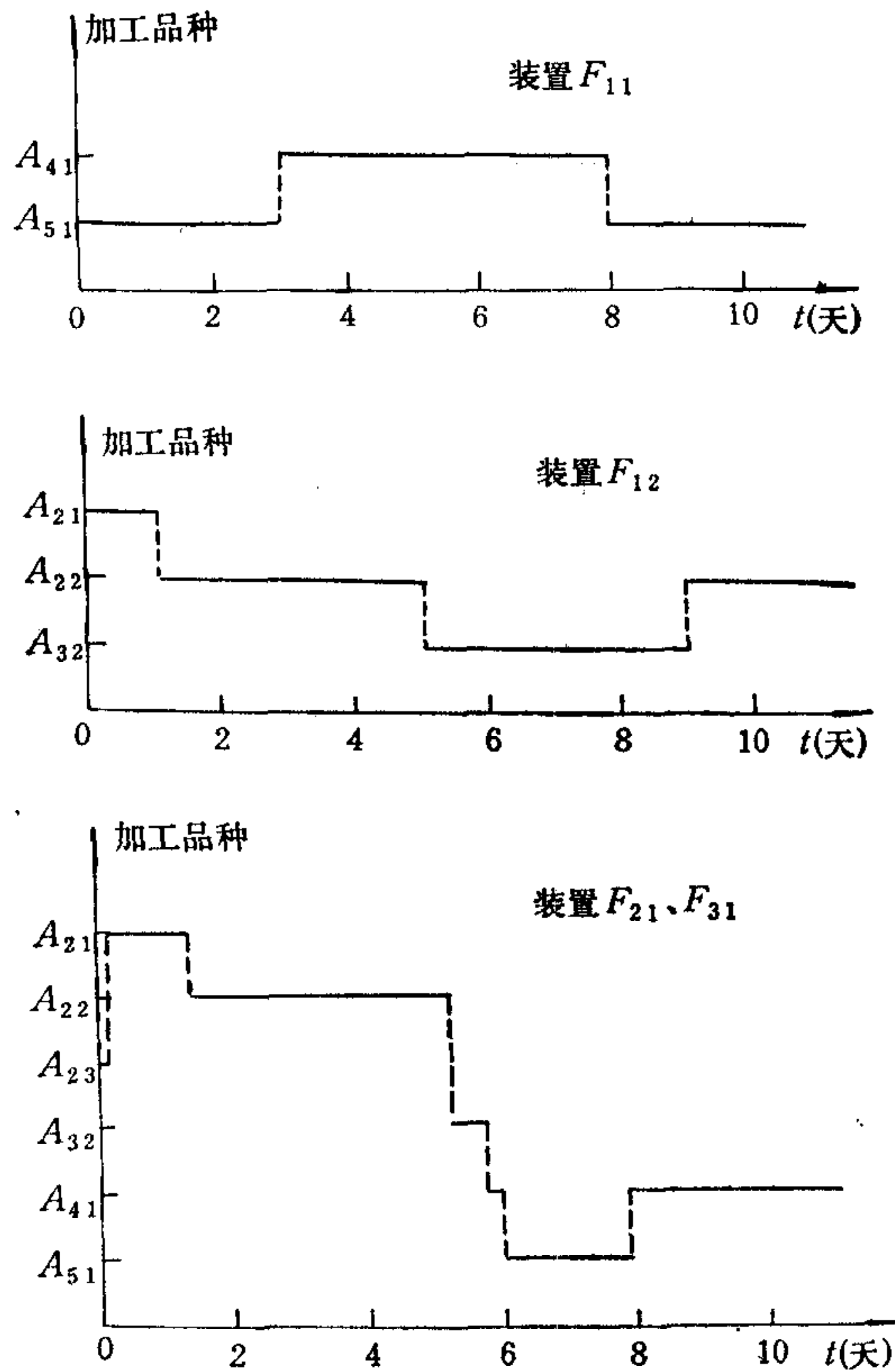


图 5 各装置的生产进度安排

## 六、结 论

由本文的研究结果可见,以专家系统为基础的生产调度策略不仅能应用于离散事件系统,如制造业,对于连续生产的过程工业,特别是批量或半连续的生产过程,同样具有广阔的前景。本文所采用的框架结构与启发式搜索相结合的知识表达方式非常适合过程工业的特点,与传统的基于运筹学的方法相比较,具有能处理问题中非数值或定性的人类专家经验的优点,从而便于充分利用问题的背景知识,以提供较为灵活的调度策略。

本系统目前仅提供满意解,对于如何进一步提高优化程度和处理随机工况下的生产调度,有待于进一步的研究。

## 参 考 文 献

- [1] 戴学东、吕勇哉,一种基于人工智能搜索的生产调度策略,信息与控制,2(1987),18—25.
- [2] 张钺,专家系统发展现状,中国人工智能学会第三次讨论会,1984,64—70.
- [3] Mehta, C. D., Fan, L. T., Knowledge-Based Systems for Process Synthesis, Proceedings of World Congress III of Chem. Eng. (1986), 626—629
- [4] Phelps, B, Operations Research and Artificial Intelligence, *J. of Operations Research Society* (G. B) 37-1(1986), 12—20.
- [5] Winston, P. H. 等, Lisp程序设计,中译本,清华大学出版社,1983.

## A PRODUCTION SCHEDULING EXPERT SYSTEM FOR TWO-STAGE MULTI-PRODUCT PROCESS

DAI XUEDONG LU YONGZAI

(Zhejiang University)

### ABSTRACT

Based on the combination of AI heuristic search optimization method and human expertise rules, this paper addresses the development of an expert system for production scheduling problem in a two-stage multi-product process. The knowledge representation scheme and the structure of the system are proposed. The system can readily deal with the qualitative factors involving in the problem, and speed up the system running by sufficiently using the background knowledge of the problem. An application of the proposed expert system to the lube oil system in a large oil refinery is presented as an example to illustrate the satisfactory results.

**Key words** —Production scheduling; expert system; heuristic search; knowledge representation; lube oil production system.