

# 企业综合生产计划的一种设计及优化方法\*

黄景平 李彤 冯珊

(华中理工大学自动控制工程系)

**摘要** 在研究单件小批量制造型企业的运行方式,充分考虑了质量、成本、产值、利润、设备利用率与员工工作强度的关系后,构造了它的生产能力模型。模型中利用约束条件,对质量与员工工作强度等不易数量化的因素进行定量处理,增强了模型的逼近程度,给出了前推和后移式的平衡生产能力方法及协调冲突的解决策略。经过实际使用,效果比较理想。

**关键词** 生产计划; 生产平衡; 优化

**分类号** F 213.1

## 1 问题的讨论与分析

生产计划是用来规定企业运行目标及监督生产进度的,它在企业中的地位极其重要。一般来说,生产计划可以分为三种类型:长期计划、中期计划和短期计划。在计算机集成系统中,生产计划也起到联系各个系统工作的作用。编制好一个生产计划,可以说是使企业明确了一个阶段的行动方向,也为以后实施的计算机集成系统打下良好基础。

对于成批和大量大批生产型的企业,由于其产品和生产过程的稳定性和规律性较强,因此对于它们的生产计划的研究与应用工作,结果都比较理想<sup>[1,2]</sup>。通常对它们的平衡可以要求达到日平衡、班平衡甚至小时平衡。而单件小批量制造型企业的生产稳定性与重复性较差,将其生产综合计划编制好是一件艰巨的任务,尤其是协调安排生产任务部分,因为它需要考虑的因素很多。国内外对这种类型企业的生产计划问题进行了大量研究,并提出了各种算法来处理这一问题,但效果不很明显<sup>[3,4]</sup>。下面将要考虑的对象是东方电机股份公司,它是一个单件小批量生产型企业,这种企业的生产特点主要是:技术复杂;生产周期长;加工工序多;任务的工序间部分有可替代性,部分间有非替代性;关键设备能力有限;按照定单生产;原材料和资金相对充裕。

东方电机股份公司在生产中所面临的主要问

题是主要部件的生产能力有限。如果按照以前的生产计划进行管理,就会造成在特定的关键加工设备某时段堆积大量待完成的加工任务,而某时段却过分空闲的现象,同时也对生产设备的检修和员工排班产生很大的影响。为此,本研究针对东方电机股份公司的运行模式,根据其特点,设计了前、后移动的平衡计划方法,同时提出了它们之间的冲突协调策略。

## 2 综合生产计划的优化

东方电机股份公司的产品主要为大型发电设备,质量的好坏极其重要,而且只有成套的产品才能产生产值,因此,它的生产计划重点是以成套生产为标准,在保证产品质量的前提下,实现产值极大、按期交货和成本极小的目标。其中主要问题是:如何平衡关键生产设备的加工任务,合理安排生产进度,实现按期交货。公司制定生产计划的过程如图 1 所示。其中制定调度计划、厂级平衡和车间平衡是问题的关键。本文针对这三个关键问题进行讨论。

为了便于说明,给出有关的描述。任务矩阵  $A = (A_{ij}) = (a_{ij}^1, a_{ij}^2, \dots, a_{ij}^m)$  ( $i \in X = \{1, 2, \dots, n\}$ ,  $j \in Y = \{1, 2, \dots, m\}$ ),  $n$  为所考察的任务数(一个任务相当于一个合同),  $m$  为任务中最大部件数(这里所考虑的部件主要指加工任务中的关键部分,下同)。  $a_{ij}^1$  中的元素含义如下:  $a_{ij}^1$  表示任务  $i$  部件  $j$  的参考任务号,  $a_{ij}^2$  表示任务  $i$  部件  $j$

收稿日期: 1998-05-15

黄景平,男,1972年生,博士研究生;武汉,华中理工大学自动控制工程系(430074)。

\* 国家自然科学基金资助项目(69674041)。

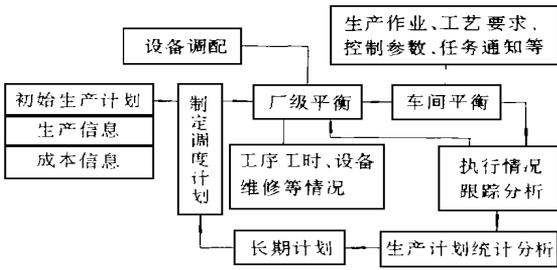


图1 生产计划结构图

的参考部件号,  $a_{ij}^3$ 表示任务  $i$  部件  $j$  的加工车间,  $a_{ij}^4$ 表示任务  $i$  部件  $j$  的加工设备,  $a_{ij}^5$ 表示任务  $i$  部件  $j$  的加工程序,  $a_{ij}^6$ 表示任务  $i$  部件  $j$  的加工工时,  $a_{ij}^7$ 表示任务  $i$  部件  $j$  的加工成本,  $a_{ij}^8$ 表示任务  $i$  部件  $j$  的产值,  $a_{ij}^9$ 表示任务  $i$  部件  $j$  的产值参照比例,  $a_{ij}^{10}$ 表示任务  $i$  部件  $j$  的成本参照比例,  $a_{ij}^{11}$ 表示任务  $i$  部件  $j$  的产值参照比例

能力负载矩阵  $W = (w_{ij}) (i \in X, j \in Y)$ , 它是指任务  $i$  的第  $j$  个部件加工时占用的设备生产能力

设备工作矩阵  $C = (c_{ij})$  表示车间  $i$  的第  $j$  台设备的开始加工时间与结束时间, 其中  $i \in U = \{1, 2, \dots, d_1\}, j \in V = \{1, 2, \dots, d_2\}, d_1$ 为车间数目,  $d_2$ 为最大加工设备数,  $d_2 = \max(i \in X)$ ;  $C_{ij} = (\text{Begin}, \text{End})$ , 它的两个参数分别表示加工的开始和结束时间

均衡矩阵  $G = (g_{ij}) (i \in X, j \in Y), g_{ij} = (g_{ij}^1, g_{ij}^2, g_{ij}^3, g_{ij}^4)$ , 它用来表示任务  $i$  的第  $j$  个部件的加工安排计划  $g_{ij}$  的各项元素含义如下:  $g_{ij}^1$ 表示任务  $i$  的第  $j$  个部件,  $g_{ij}^2$ 表示任务  $i$  部件  $j$  的加工开始时间,  $g_{ij}^3$ 表示任务  $i$  部件  $j$  的加工结束时间,  $g_{ij}^4$ 表示任务  $i$  部件  $j$  在相应设备上的加工负载系数

任务允许加工工时  $T = (T_{ij}) (i \in X, j \in Y)$ , 它表示可以允许任务  $i$  的第  $j$  个部件最长的加工工时

任务允许加工成本  $O = (O_{ij}) (i \in X, j \in Y)$ , 它表示可以允许任务  $i$  的第  $j$  个部件花费的加工成本

超时惩罚系数  $R = (R_i) (i \in X)$ , 它表示任务  $i$  超时加工所需支付的赔偿系数

如果函数  $f(x)$  满足

$$f(x) = \begin{cases} x & (x > 0); \\ 0 & (x \leq 0), \end{cases}$$

则称  $f(x)$  为一个时间阈值函数

为了充分考虑影响企业的各种因素, 可以把整个编制方法分为以下几个步骤进行

第一步, 根据企业的长期计划目标和决策层的意见, 确定产品质量、生产产值、生产利润和最大最小生产量, 然后明确企业的往年剩余工作量和设备生产能力

第二步, 建立生产模型并求解, 以获得在当前能力下的最大利润和加工任务 模型为:

$$\max \sum_i \sum_{Xj} \sum_Y (a_{ij}^8 a_{ij}^{11} - a_{ij}^7 a_{ij}^{10}) -$$

$$\sum_i f \left( \sum_j (a_{ij}^6 - T_{ij}) a_{ij}^9 \right) R_i, \quad (1)$$

$$\text{s.t. } T_{ij} - \delta_{ij} a_{ij}^6 \leq T_{ij} + \delta_{ij} \quad (i \in X), \quad (2)$$

$$Cap_{ij}(1 - \Psi_{ij}) \leq \sum_i \sum_{Xj} \sum_Y a_{ij}^6 \leq Cap_{ij}(1 + \Psi_{ij}), \quad (3)$$

$$O_{ij} - \mu_{ij} a_{ij}^7 \leq O_{ij} + \mu_{ij} \quad (i \in X), \quad (4)$$

$$M - \beta \sum_i \sum_{Xj} \sum_Y a_{ij}^7 \leq m + \beta, \quad (5)$$

$$a_{ij}^k = 0 \quad (i \in X; j \in Y; k = 1, 2, \dots, l_i),$$

$$n = \text{const}; \quad m = \max_i (\Phi(i)).$$

式 (1) 表示企业的利润目标, 它的后一项表示耽误交货期的惩罚; 式 (2) 表示每一个部件必须满足的质量与工时限制, 左边用工时下限保证质量, 右边用工时上限保证部件的加工不超时; 式 (3) 表示所有加工任务必须在保证质量的前提下, 能够在本计划的有效时间内完成; 式 (4) 表示每一个部件必须满足的质量与成本限制, 左边用工时下限保证质量, 右边用成本上限保证部件的加工不超过允许的成本; 式 (5) 表示所有加工任务的成本必须在企业决策层的事先允许的范围之内;  $\text{const}$  为所有符合生产条件的任务数,  $M$  是本计划的成本上限,  $\beta$  表示成本变化裕度值,  $\Phi(i)$  决定任务  $i$  的加工部件数, 它由产品设计部门提供,  $\delta_{ij}$  为一个加工工时变化裕度值,  $\mu_{ij}$  为成本调整裕度值,  $\Psi_{ij}$  为能力调整裕度值

上面的模型没有考虑生产能力的平衡问题, 因此, 必须进行调整, 以避免出现在某时段内工作量过大, 而另一时段却过分空闲的现象

第三步, 平衡生产计划, 避免出现时紧时松的情况, 在整个生产计划的有效时间内实现生产任务均衡, 即“移峰填谷”

从第一个任务开始考虑  $g(w_{ij})$  提供第  $i$  个任务的第  $j$  个部件在相应车间设备上的能力负载系数, 它由计划部门与生产部门协商确定

对于第 1 个任务:

$$G_{1j} = (j, H_1 - \sum_{k=j}^{l_1} l_k, H_1 - \sum_{k=j+1}^{l_1} l_k, g(w_{1j})),$$

$$c_{1j} \text{ Begin} = H_1 - \sum_{j=1}^{l_1} l_j,$$

式中,  $j$  表示第 1 个任务的第  $j$  个部件;  $H_1$  表示任务 1 的交货期;  $l_k$  表示第  $k$  道工序的时间长度

对于第 2 个任务: 这时有两种选择, 第一种是后推式

$$G_{2j} = (j, c_{2j} \text{ End}, c_{2j} \text{ End} + l_j, g(w_{2j})),$$

$$c_{2j} \text{ End} = c_{2j} \text{ End} + l_j,$$

式中  $c_{2j} \text{ End}$  表示任务 2 的第  $j$  个部件的加工完成时间, 其他变量的定义同前 第二种是前推式

$$G_{2j} = (j, c_{2j} \text{ Begin} - l_j, c_{2j} \text{ Begin}, g(w_{2j})),$$

$$c_{2j} \text{ Begin} = c_{2j} \text{ Begin} - l_j,$$

式中  $c_{2j} \text{ Begin}$  表示任务 2 的第  $j$  个部件的加工开始时间, 其他变量的定义同前

对于任务  $i$  ( $i > 2$ ): 它的表达式与任务 2 的类似, 只需把 2 改为  $i$  即可

前推式的方法比较适用平衡交货日期集中于下半年的情况, 后推式方法对交货日期集中于上半年的情况平衡较好. 若交货日期集中在年中, 那么单独使用前推式和后推式的缺陷就表露出来了. 前推式会造成交货期提前或工序间等待 (车间滞压等), 而且累加效应会造成开始月份的工作量过大, 工作时间不足或计划的后期时间空闲等情况. 后推式的主要缺点就是会延误交货期, 造成客户方的经济惩罚等. 令人感兴趣的是如果能够把前、后推式的缺点互相利用, 将会使结果更加理想. 一般条件下, 将采用交替使用前推式和后推式的方法, 如果需要更进一步的处理, 则可采取延长设备的工作时间、缩短自身或其他相应部件的加工工时、外委加工等方式解决

### 3 平衡的实例分析

下面对一个冲突的案例进行分析

假设车间 3 只需要考虑一个关键设备, 任务 1 和 2 在车间 3 有  $i$  时段的冲突. 当采用前推式时, 将会出现时段为  $k$  的提前交货期, 这样可能会

影响前后项目的生产线交接, 也有可能占用库存等; 当采用后推式时, 将会出现时段为  $i$  的延迟, 它的结果既可能引起客户罚款, 也可能影响下一个任务的上线等. 图 2 表示冲突的示意案例 (部件在车间中的生产过程用开始与结束时间描述).

根据前面提到的解决方法, 我们设计了一套解决冲突的协调策略:

```

If (clash time)/(workshop total time) <
ConstRation of this workshop then
  Add its W or reduce components time or
  add work time etc
Else
  If reduce the man-hour of the pre-se-
  quence or other pre-task 's then
    Go redo module
  Else begin
    select action between pre-move and
    pro-move;
    Method Selected Count and Modify
    the next Method Weight
  End

```

在车间之间保留了一天的准备工作时间, 具体实施时可以根据情况调整. 当在有几个关键设备的车间出现冲突时, 可以按照出现冲突的次序依次采用协调策略进行调整

这套方案经过企业的实际操作后, 明显改变了以前计划中的“峰谷分明”的现象. 在保证产品质量、成本控制和成套产量极大的前提下, 它提高了计划时间内的生产产值和利润水平. 不仅如此, 由于方案中也对关键生产设备的利用情况与员工的工作时间程度进行考察, 因此同样有利于管理层综合评价计划的合理性. 当然, 平衡算法中还存在一些不足之处, 如怎样才能使前、后推方法的协调工作效率达到最好的情况, 这将是进一步

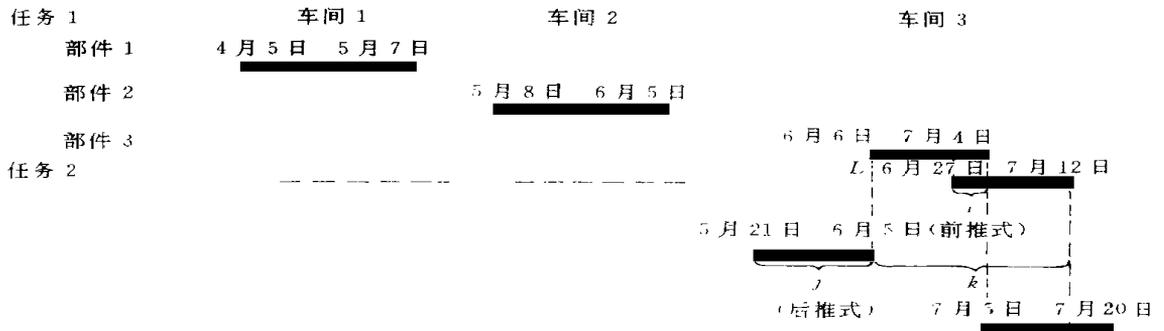


图 2 冲突示意图

的研究问题

### 参 考 文 献

- 1 Storer R H, Wu S D, Vaccari R. New Search Spaces for Sequencing Problems with Application to Job Shop Scheduling Management Science, 1992, 38 (10): 1495~1509
- 2 Kuroda M, Sulin Ba. Fuzzy Job Shop Scheduling Int. J. Production Economics, 1996, 44: 45~51
- 3 Davis L. Job Shop Scheduling with Genetic Algorithms Proceedings of International Conference on Genetic Algorithms and Their Application. Carnegie-Mellon University, Pittsburg, PA, 1985, 135~140
- 4 Lee H C, Prashant P. A Parallel Genetic-Neuro Scheduler for Job-Shop Scheduling Problems Int. J. Production Economics, 1997, 51: 115~122

## A Design and Optimization for a Kind of Integrated Production Planning in Enterprises

Huang Jingping Li Tong Feng Shan

**Abstract** After researching enterprise operation mode and considering the relations among quality, cost, production value, profit, utilized device and job evaluation, a model is constructed. The restriction is used to the rate quality and the jobs evaluation not to being quantified easily, enhanced the approximately of the model. The onw ards or backw ards move methods are given to balance the through-put and the strategy to hamonize the clash of the plan. The methods are used in the practice, showing very good results.

**Keywords** production planning; production equilibrium; optimization

**Huang Jingping** Doctoral Candidate; Dept. of Auto. Contr. Eng., HUST, Wuhan 430074, China

### 97《中国学术期刊(光盘版)· 专题文献数据库》系列光盘一览(之一)

序号	专辑名称	文献数 篇	刊源统计		光盘数 片	定价 元
			刊种	本数		
A 1	数学	4 353	458	1 183	1	480
A 2	力学	1 441	287	602	1	240
A 3	物理学	3 647	477	1 153	1	480
A 4AB	生物学	7 583	1 223	2 939	2	960
A 5ABC	气象学、地质学、海洋学	5 405	574	1 280	3	580
A 6	地球物理学	1 244	174	357	1	200
A 7AB	无线电电子学、电信技术	6 430	716	1 808	2	960
A 8	计算机	5 220	658	1 631	1	580
A 9AB	自动化技术、计算技术	8 046	1 142	2 828	2	1 440
B 1AB	化学	5 433	869	1 868	2	580
B 2	无机化工与新型材料	4 434	534	1 309	1	580
B 3AB	有机化工与新型材料	7 528	911	2 218	2	960
B 4	矿业工程	4 123	322	794	1	480
B 5	石油、天然气工业	1 438	162	308	1	240
B 6	冶金工业	1 273	182	387	1	200
B 7AB	金属学、金属工艺	4 714	584	1 399	2	580
B 8	燃料化工与其他化学工业	1 580	331	654	1	300
B 9	轻工业、手工业	4 049	528	1 104	1	480
B 10	环境科学、劳动保护科学	4 312	657	1 344	1	480