

文章编号:1000-582X(2009)07-1024-04

# 多品种小批量成批成套生产滚动计划的生成方法

王时龙,易力力,任亨斌,蔡斌

(重庆大学机械传动国家重点实验室,重庆 400030)

**摘要:**针对多品种小批量环境下成批成套生产的特点,将加工对象按实际使用率情况分成关键重要零部件和非关键重要零部件两类。根据知识工程的原理,由关键重要零部件的关键工序元知识生成其生产滚动计划;对于非关键重要零部件按照其特性利用“A、B、C 分类计划排配法”生成其生产滚动计划。解决了多品种小批量企业产品的成批成套生产问题。

**关键词:**成批成套;多品种;小批量;关重件;生产滚动计划

中图分类号:TH18.6

文献标志码:A

## Automatic generation technology of the batch arrivals production rolling plan in multi-varieties and small-batch environment

WANG Shi-long, YI Li-li, REN Heng-bin, CAI Bin

(State Key Laboratory of Mechanical Transmission, Chongqing University, Chongqing 400030, P. R. China)

**Abstract:** Aiming at the characteristics of batch arrivals production in multi-varieties and small-batch environment, the processing components are classified into key-important and unkey-important parts by their usage ratio. According to the principle of Knowledge Engineering, the key-important parts production rolling plan is generated by process meta-knowledge of key-important parts. Unkey-important parts production plan is generated by ‘ABC Classification Scheduling Method’. In this way, the rolling plan problem in multi-varieties and small-batch production can be effectively solved.

**Key words:** batch arrivals; multi-varieties; small-batch; key-important parts; production rolling plan

多品种小批量生产一般具有以下特点:1)产品生产规模小,批量小,品种多;2)产品结构非常复杂,零部件数量多(其中长周期零部件较多),生产周期长;3)产品各部件之间的时序约束关系和成套性要求严格;4)工作场地的专业化程度较低,通用设备的比例高,设备种类配套齐全;5)产品不定期地轮番上场;6)生产过程中的物流、信息流复杂,控制较为困难;7)均衡生产(包括生产均衡和负荷均衡)难以实现;8)在制品占用量大<sup>[1]</sup>。

特别地,成批成套是指企业的最后一道工序即装配或者组装,超过 2 个以上的装配件是企业自己

生产的,而且生产装配件的时间和难度远远大于装配。这一类企业在生产管理过程中有一个重要的特点,就是在组装之前必须所有的零部件全部到齐,差一个就不能组装,不能出厂。如果不能保证成批成套条件的实现,一方面会导致在制品库存不断加大,企业库存积压的资金不断加大;另一方面会导致交货期的延误。

目前对大中批量的生产管理研究较多<sup>[2-5]</sup>,也较为成熟,对多品种小批量的生产也有一定的研究<sup>[6-7]</sup>,但大部分是侧重于理论方面的研究,没有较完整的实践模式,特别是关注成批成套环境下的研

收稿日期:2009-04-06

基金项目:国家支撑计划资助项目(2006BAF01A27);重庆市科技攻关重点资助项目(CSTC 2004AA3002)

作者简介:王时龙(1966-),男,重庆大学教授,博士生导师,主要从事智能控制与协同监控研究,(E-mail)slwang@cqu.edu.cn。

究更少,因此有必要对多品种小批量环境下成批成套的生产和监控进行专门的研究。

### 1 多品种小批量环境下成批成套生产模式的计划层次

在成批成套环境下,多品种小批量生产企业生产计划的下达可分为上层决策、中层计划和下层作业 3 个层次<sup>[8]</sup>,如图 1 所示。

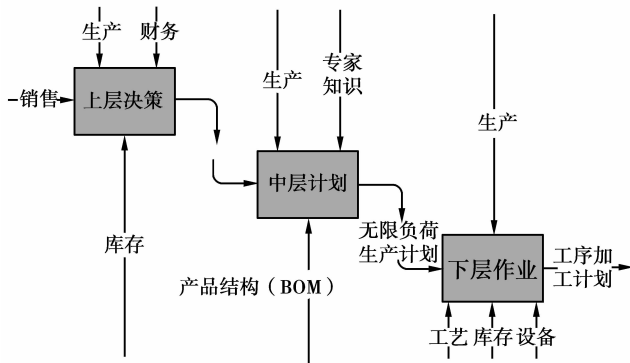


图 1 多品种小批量生产计划层次结构

上层决策是由企业领导根据销售、生产、财务和库存等实际情况进行的年度总体规划,从而确定产品大类的年度生产计划。中层计划是为了保证年度生产计划的顺利执行,按照产品结构数据(BOM),基于预先定义的专家知识,分解制定的一个中期生产计划,计划的对象包括产品和产品下的零部件,并具体到关键的工序。下层作业是指根据中层计划下达的生产计划以及工艺路线来编制工序加工计划,编制时在每个时间周期内必须与零件的库存进行比较,从而生成生产工序作业计划,下层作业计划具有实时性。

## 2 生产滚动计划及其自动生成技术

### 2.1 生产滚动计划

在多品种、小批量生产条件下,不可能有稳定的在制品数量,在制品的变动不易掌握;而对于一些生产周期长、工艺路线特别复杂、产品质量要求非常苛刻的零部件,经常在批次之间相互拆借,不易管理;成批成套生产考核的重点是合格产品的数量。针对以上特点,多品种小批量环境下成批成套生产可以采用生产滚动计划。生产滚动计划制定时确定的是各零部件计划期应达到的投入和生产的累计数,减去计划期前已投入和产出的累计数,就能求出各零部件计划期应完成的投入、产出数。表 1 为一个生产滚动计划的示例。

表 1 生产滚动计划示例

零部件 编号	类别	N 月 滚动量/个	N+1 月 滚动量/个	N+1 月 完成量/个
	计划	8	12	4
01	投入	8	12	4
	产出	8	10	2

### 2.2 生产滚动计划的自动生成

根据帕拉图原理(Pareto Principle)中的“20/80 现象”,在多品种小批量生产模式下存在 80%的零部件只占用设备 20%的使用率,保证产品成套的主要是另外的 20%零部件。因此,把零部件的计划编制也按实际使用率情况分为关键重要零部件(以下简称关键件)和非关键重要零部件(以下简称非关键件)分别加以制定<sup>[9-10]</sup>。

#### 2.2.1 基于知识的关键件生产滚动计划的制定

关键件通常加工周期较长,占用资金较多,经济批量不大。而在多品种小批量生产企业中,生产因素非常复杂,涉及到人员、设备、材料、资金等各个方面的问题,正因为实际生产中存在这些非结构化的因素,导致生产计划决策者的经验和智慧无法用定量模型表达。针对这种定性模型,可以借助专家系统来进行处理,但专家系统本身缺乏知识获取的能力,使其不能适应环境和处理决策者的创造性智慧。针对关键件生产滚动计划的制定问题,在知识工程(KBE)和专家系统基础上,融合方便的人机界面是解决生产实际计划制定问题的有效手段,可以通过人机界面设定关键件的元知识。关键件计划的元知识由以下属性构成:零部件 ID、承制部门、关键工序号、关键工序相对最迟到达时间。

关键件的生产滚动计划属于中层计划,该中层计划的粗细程度由两关键工序间的时间间隔决定,如表 2 所示,该表中元知识生成的中层计划可以细分到周计划。关键件关键工序实际最迟到达时间可由关键件计划的元知识的相对最迟到达时间推算得到,可表述为产品交货时间与零部件相对最迟到达时间的函数关系<sup>[11]</sup>,如公式(1)所示。

$$T_{DL_{ij}} = \text{workDayBefore}(T_{DL_i}, t_{ij}), \quad (1)$$

式中: $T_{DL_{ij}}$ 为零部件  $i$  的第  $j$  个关键工序实际最迟到达时间; $\text{workDayBefore}(p_1, p_2)$ 为自定义函数,函数查工厂日历表返回  $p_1$  时间前  $p_2$  个工作日时间; $T_{DL}$ 为产品交货时间; $t_{ij}$ 为零部件  $i$  的第  $j$  个关键工序相对最迟到达时间。

中层计划粗细程度

$$\tau = \max(t_{ij} - t_{i(j-1)}). \quad (2)$$

表 2 关重件知识库示例

零部件 ID	承制部门	关键工序号	关键工序最迟到达时间/d
01	1 车间	1	21
01	1 车间	10	23
01	1 车间	14	27
01	1 车间	20	34
01	1 车间	27	41
11	2 车间	1	7
11	2 车间	13	13
11	2 车间	15	19
22	2 车间	1	3
22	2 车间	10	5

按照 BOM 倒推约束关系,关重部件的产出是以前零部件的配套为基础的,所以在制定关重件生产滚动计划的同时,与其配套的非关重件的生产计划也相应的制定完成。与关重件配套的子零部件最迟到达时间符合以下关系:

$$t_{\text{son}} = t_{\text{parent}} - \sum_{i=1}^{\text{PCL}_{\text{min}}} (t_{1_i} + t_{2_i} \times a), \quad (3)$$

式中:  $t_{\text{son}}$  为子零部件最迟到达时间;  $t_{\text{parent}}$  为关重件第一个关键工序最迟到达时间;  $\text{PCL}_{\text{min}}$  为关重件第一个关键工序号;  $t_{1_i}$  为关重件工序  $i$  准备时间;  $t_{2_i}$  为关重件工序  $i$  加工时间;  $a$  为本批关重件加工数量。

按照公式(3),子零部件最迟到达时间的精度由关重件第一个截点工序距该关重件第一道工序的长度决定。

产品中的零部件按用途分正件和备件 2 种类型,正件和备件的用量通过 BOM 表可得,但是在实际生产过程中生产因素的复杂性导致在下达计划的时候需要分别下达正件产品数量和备件产品数量,故计划累计数为

$$\text{PA} = \text{ZP} \times Z + \text{BP} \times B, \quad (4)$$

式中:  $\text{PA}$  为计划累计数;  $\text{ZP}$  为正件计划产品数量;  $Z$  为单件产品正件用量;  $\text{BP}$  为备件计划产品数量;  $B$  为单件产品备件用量。

因为生产过程中的灵活性,在实际生产过程中不一定完全按照计划执行,对一些小的零部件生产量可能大于计划量,故计划时考虑该因素后修正计划数为

$$\text{PA}_1 = \text{PA} - \text{Inv} - \text{SInv}, \quad (5)$$

式中:  $\text{PA}_1$  为实际计划数;  $\text{Inv}$  为当前库存数量;  $\text{SInv}$  为最小安全库存。

关重件生产滚动计划排配算法如下:

step 01, 获得知识库中关重件关键工序元知识列表  $\text{KList}$ , 产品正件计划数量  $\text{NAmount}$ , 产品备件计划数量  $\text{SAmount}$ , 产品交货时间  $T_{\text{DL}}$ 。

step 02, 遍历  $\text{KList}$ , 根据公式(2)计算出关重件关键工序实际最迟到达时间  $T_{\text{DL}_j}$ , 根据公式(4)(5)计算出关重件实际计划数  $\text{PA}_1$ 。

step 03, 从 BOM 根节点开始遍历, 忽略知识库中未定义的零部件, 得到零部件  $\text{Part}$ 。

step 04, 遍历  $\text{KList}$ , 得到零部件  $\text{Part}$  在知识库中定义的第一个关键工序号  $\text{PCL}_{\text{min}}$ 。

step 05, 根据公式(3)计算出零部件  $\text{Part}$  下层子零部件最迟到达时间  $t_{\text{son}}$ , 根据公式(4)(5)计算出零部件  $\text{Part}$  下层子零部件实际计划数  $\text{PA}_1$ 。

step 06, BOM 是否遍历完成, 若未完成, 则跳转 step 03, 否则结束算法。

### 2.2.2 非关重件计划的制定

非关重件通常加工周期短, 占用资金少, 经济批量较大, 故非关重件的生产计划并不需要详尽到具体的时间, 可以在实际生产过程中进行生产调度。必须与关重件配套的非关重件的生产滚动计划按照 2.2.1 的方法制定完成, 在此不再赘述。

另外, 有部分非关重件是给最后产品的装配工序配套的, 这类非关重件在关重件计划制定过程中没有制定, 但要求在产品成套日期前必须加工完成。此类非关重件在数量较大的情况下会影响到最后产品的装配配套, 故此非关重件以年度计划为依据, 根据“ $A$ 、 $B$ 、 $C$  分类计划排配法”的原则<sup>[12]</sup>, 按照产品的不同系列和零件的加工时间, 以周为单位按品种的百分比安排生产。主要件( $A$ 类)一般指生产周期长(通常大于 3 周)、加工复杂、易报废的零件, 对该类零件必须在产品组装前 3 周开始生产, 通常安排一个批次计划; 一般件( $B$ 类)指生产周期介于 1 周与 2 周之间的零部件, 对这类零部件一般分成 2 个批次安排计划, 每个批次安排 50% 的品种数; 简单件( $C$ 类)指工序简单、工艺要求不高的零件, 其加工周期短(通常在一周以内), 部分是标准件, 对这类零件可实施粗放管理, 可以按品种比例安排 3~4 个批次计划。

### 2.3 生产计划实例

生产计划是生产管理信息系统的核心, 基于上述算法的生产管理信息系统已经在某制造企业投入实际应用, 产生了良好的经济效益。该企业生产产

品代号为01,其BOM结构如图2所示,关重件01、11、22计划知识库如表2所示,非关重件为12、21、23,产品01的交货期为10月1日。本实例中周一至周五均为工作日。

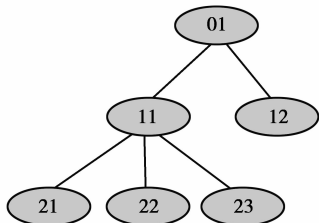


图2 产品01的BOM结构树

根据2.2所述关重件和非关重件生产滚动计划生成算法,得到生产计划如表3所示。

表3 实际生产计划表

任务	最迟完成时间
22 零件 1 工序	8月24日
22 零件 10 工序	8月26日
11 零件 1 工序	8月28日
21 零件	8月28日
23 零件	8月28日
11 零件 13 工序	9月2日
11 零件 15 工序	9月8日
01 零件 1 工序	9月10日
12 零件	9月10日
01 零件 10 工序	9月12日
01 零件 14 工序	9月16日
01 零件 20 工序	9月23日
01 零件 27 工序	9月30日

### 3 车间生产作业计划的编制

由于多品种、小批量生产的特点,要特别重视车间生产作业计划编制的重要性,实际上,车间生产作业计划在多品种、小批量的生产环境中更类似于大批生产中的调度工作<sup>[13]</sup>。车间生产作业计划是中层计划的继续和补充,无论是在编制年度生产计划,还是在编制中期生产计划过程中,都不可能事先预见生产过程中的所有问题,即使经过能力与任务的平衡,也只是静态的平衡,往往与实施中的动态变化相差较大,从实施的灵活性角度出发,要求加强日常

生产管理中的调度工作,协调各生产环节之间横向与纵向的联系,使生产能按计划、有节奏地、均衡地进行<sup>[14-15]</sup>。

厂部调度员主要负责各车间、各部门之间的协调工作。调度员根据中期生产计划,组织安排投产,掌握生产动态,检查督促跨车间协作件的加工情况和进度,随时了解成套进度。车间(或工段)调度员,业务上受厂部调度指导,主要根据生产作业统计报表进行分析,控制并安排每天生产进度,掌握并查清计划与实际出现偏差的原因,采取有力措施,如调整班次、人员、设备负荷等来消除偏差。工作的重点应放在控制成套零部件的缺件和主要零部件的生产进度上。

### 4 结论

1)多品种小批量环境下的成批成套生产管理非常重要,研究该类模式下的生产计划自动生成技术具有一定的实际价值。

2)通过分析成批成套和多品种小批量生产特征,提出了关重件生产滚动计划排配算法及非关重件“A、B、C分类计划排配法”,解决了成批成套环境下多品种小批量生产企业生产滚动计划的排配。

3)生产滚动计划是生产管理信息系统的核心技术,所提出的自动生成技术可以为开发完整的企业生产管理信息系统提供重要的支撑。

#### 参考文献:

[1] 张建林,魏大涛. 多品种小批量生产管理信息系统的需求分析[J]. 航天制造技术, 2006,10(5):32-35.  
 ZHANG JIAN-LIN, WEI DA-TAO. Requirement analysis of multi variety and small batch Production management information system [J]. Aerospace Manufacturing Technology, 2006,10(5): 32-35.

[2] CHAN F T S, CHAN H K. A new model for manufacturing supply chain networks: a multiagent approach[J]. Journal of Engineering Manufacture, 2004, 218(4):443-454.

[3] REID R. Stop and read before implementing MRPII/ERP[J]. Canadian Plastics, 2006, 64 (8): 2-6.

[4] SLACK N. The blackwell encyclopedic dictionary of operations management[M]. United States: Wiley, 2005.

[5] KOH S C L, SIMPSIN M, LIN Y. Uncertainty and contingency plans in ERP-controlled manufacturing environments[J]. Journal of Enterprise Information Management, 2006, 19(6): 625-645.

(下转第1042页)

- [8] PREBIL I, KRAGNA S, CIGLARI I. Synthesis of four-bar mechanism in a hydraulic support using a global optimization algorithm [J]. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 2002, 23(6):236-251.
- [9] LIU H Y, FAN X. Computer simulation and model test research on strength test of hydraulic support[C]// Third International Symposium on Precision Mechanical Measurements, August 2-6, 2006, Urumqi, Xinjiang, China. [S. l.]: IEEE, 2006: 1-6.
- [10] 程志红, 王保明. 液压支架虚拟设计[J]. *东华大学学报*, 2007, 33(3):325-327.  
CHENG ZHI-HONG, WANG BAO-MING. Virtual design of hydraulic supports [J]. *Journal of Donghua University*, 2007, 33(3):325-327.
- [11] 王国法, 许亚军, 孙守山. 液压支架三维建模及其运动仿真[J]. *煤炭科学技术*, 2003, 31(1):41-45.  
WANG GUO-FA, XU YA-JUN, SUN SHOU-SHAN. 3D modeling of hydraulic powered support and dynamic simulation[J]. *Coal Science and Technology*, 2003, 31(1):41-45.
- [12] British Standard Institution. BS EN 1804-2 Machines for underground mines-safely requirements for hydraulic powered roof supports, part 2: Power set legs and rams[S]. London: BSI Group Press, 2002.
- [13] LINKS H, WEUSTER-BOTZ D. Genetic algorithm for multi-objective experimental optimization [J]. *Bioprocess and Bio-systems Engineering*, 2006, 29(6):385-390.
- [14] 唐然, 龙腾锐, 龙向宇. 基于模糊聚类的改进遗传算法[J]. *重庆大学学报*, 2008, 31(2):166-169.  
TANG RAN, LONG TENG-RUI, LONG XIANG-YU. Modified genetic algorithm based on fuzzy system [J]. *Journal of Chongqing University*, 2008, 31(2): 166-169.
- [15] 米凯利维茨 Z. 演化程序: 遗传算法和数据编码的结合[M]. 北京: 科学出版社, 2000.

(编辑 李胜春)

(上接第 1027 页)

- [6] 李锦飞, 马汉武, 陈纪南. 生产管理与调度[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [7] 张仪哲. 多品种、小批量产品的生产过程研究[J]. *组合机床与自动化加工技术*, 2006(6):76-77.  
ZHANG YI-ZHE. The research of the production of many species and small quantity product[J]. *Modular Machine Tool & Automatic Manufacturing Technique*, 2006(6): 76-77.
- [8] 李怀祖. 生产计划与控制[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2005.
- [9] 曹文钢, 黄国兴, 于振华. 基于实例推理的生产计划的研究[J]. *组合机床与自动化加工技术*, 2007(11): 92-94.  
CAO WEN GANG, HUANGGUO-XING, YU ZHEN-HUA. The research of case-based reasoning production schedule [J]. *Modular Machine Tool & Automatic Manufacturing Technique*, 2007(11): 92-94.
- [10] 张德胜, 马正元, 王伟玲. 多品种小批量机械制造企业 MES 的研究[J]. *控制工程*, 2005, 12(3): 211-212.  
ZHANG DE-SHENG, MA ZHENG-YUAN, WANG WEI-LING. On MES for machinery manufacturing enterprise of multi-variety and small-batch production[J]. *Control Engineering of China*, 2005, 12(3): 211-212.
- [11] KIM S-II, CHOI H S, LEE D H. Scheduling algorithms for parallel machines with sequence-dependent set-up and distinct ready times: minimizing total tardiness[J]. *Journal of Engineering Manufacture*, 2007, 221(6): 1087-1096.
- [12] 张根保, 黄强. 对多品种、小批量生产方式的反思[J]. *四川兵工学报*, 2005(4):3-6.  
ZHANG GEN-BAO, HUANG QIANG. Thinking over the production mode of many varieties and small batch[J]. *Sichuan Ordnance Journal*, 2005(4):3-6.
- [13] 王嘉铭. 多品种小批量企业生产管理的探讨[J]. *管理实务*, 2007(4):61-64.  
WANG JIA-MING. Analysis of the problems in multi-type and small batch production [J]. *Management Practice*, 2007(4): 61-64.
- [14] ENGLAND D M, RAHIMIFARD S, NEWMAN S T. Bridging the gap between volume and variety oriented production systems for the automotive industry [J]. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 2005, 18(5): 408-417.
- [15] MARIMUTHU S, PONNAMBALAM S G, JAWAHAR N. Tabu search and simulated annealing algorithms for scheduling in flow shops with lot streaming[J]. *Journal of Engineering Manufacture*, 2007, 221(2):317-331.

(编辑 张 苹)