

热轧无缝钢管生产作业计划研究

李建祥, 唐立新, 庞哈利, 王梦光
(东北大学系统工程研究所, 沈阳 110004)



摘要: 某钢管企业现有计划工作完全由手工完成, 计划不够及时准确。ERP 虽然能够有效改善企业的生产作业性能, 但因热轧无缝钢管生产具有复杂生产工艺和多品种小批量的特点, 使得该企业引进的 ERP 软件其标准计划流程又不完全适用于钢管企业的生产作业计划和实际。本文对该企业的现有手工计划流程进行了分析, 对生产作业计划流程进行了重新设计, 指出钢管生产作业计划实质是组批、划分炉次和确定各炉次的生产日期(班别), 并提出了组批的原则以及划分炉次和确定各炉次的生产日期(班别)的方法与公式。

关键词: 热轧无缝钢管; 生产作业计划; ERP; BPR

文章编号: 1004-731X(2003)09-1291-03

中图分类号: TP278; TF3

文献标识码: A

Research on Hot Rolling Seamless Steel Tube Production Scheduling

LI Jian-xiang, TANG Li-xin, PANG Ha-li, WANG Meng-guang
(Institute of Systems Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004, China)

Abstract: The current production scheduling in a hot rolling seamless steel tube enterprise is manually completed and is not timely and accurate. Although ERP can effectively improve the production performance of the enterprise, the standard production scheduling flow of ERP software introduced by the enterprise is not completely applicable to production scheduling and practice for the production of hot rolling seamless steel tube which covers three main characters: complicated production process, multi varieties and low volume. In this paper, the current manual production scheduling flow is analyzed, the production scheduling flow is redesigned, and the essentials of hot rolling seamless steel tube production scheduling are pointed out to be batching, dividing furnace number and identifying production date/shift of every furnace. Finally, the batching rules as well as the methods/formulas of dividing furnace number and identifying production date/shift of every furnace are presented.

Keywords: hot rolling seamless steel tube; production scheduling; ERP; BPR

引言

热轧无缝钢管的生产,具有生产工艺复杂、品种规格繁多、批量小的特点^[1-3],相应地对钢管企业的生产组织与管理的要求也很高。生产计划及生产作业调度是生产组织与管理的关键,对提高企业生产效率、降低生产成本有着重要的意义。

某钢管企业是我国热轧无缝钢管重点生产厂之一,目前正在实施 ERP 项目。ERP 由 MRP 发展而来,主要应用于装配型的制造企业,其标准计划流程直接应用到钢管企业时不是很适用。目前该企业的实际计划工作完全通过手工方式进行。由于信息传递及数据处理和计算受限于手工作业方式,使得计划不够及时准确。实施 ERP 系统后,利用 ERP 系统的信息集成功能以及计算机日益强大的计算能力,上述问题能够得到很好地解决。但是,ERP 的实施不仅仅是手工业务处理流程的简单复制与计算机化。实施应用 ERP 系统,意味着企业至少走上了集成化应用模式。为了保证企业在应用 ERP 系统时取得预期效果,必须要对企业手工业务处理流程进行重新设计,即对企业实施业务流程重组(BPR)。

本文第 1 节介绍热轧无缝钢管生产的背景知识——生产工艺流程,第 2 节阐述钢管生产作业计划流程重组,第 3 节介绍钢管生产作业计划的编制,第 4 节提出本文结论。

1 热轧无缝钢管生产工艺流程

热轧无缝钢管的生产可分成 3 个阶段,分别是炼钢连铸(管坯生产)、轧管和管加工。炼钢连铸在炼钢厂进行,轧管在轧管厂进行,管加工在管加工厂进行。

炼钢阶段的工艺流程:废钢或海绵铁经电炉炼钢,连铸机连铸,火焰切割成具有一定断面和长度的实心铸坯,这些铸坯经检验合格后送到管坯库。轧管阶段工艺流程:从管坯库里提取管坯,锯切,然后加热,将加热后的实心管坯穿孔,并进一步轧制成具有一定尺寸、规格的钢管。管加工阶段工艺流程:经轧管厂轧制出来的钢管,有些品种(如液压支架管、石油裂化管等)可以直接提供给用户使用,是成品管,这部分钢管送到离线成品库;另外一些品种的钢管是半成品管(如石油套管,高压锅炉管等),有待进一步加工才能使用,但有时根据合同,企业也销售一些半成品管,这些准备销售给用户的半成品管送到离线半成品库,剩下的半成品送到中间库。管加工厂从中间库里提取半成品管,加工成用户要求的规格、尺寸和性能的钢管。在送到套管线进行加工前,有些品种钢管(如 N80 级石油套管)需要经过热处理,有些品种钢管(如 20 级流体管)不需要经过热处理。热轧无缝钢管的生产工艺流程可总结如图 1 所示。

收稿日期: 2002-07-01

修回日期: 2003-02-08

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70171030 和 60274049) 霍英东青年教师基金资助项目。

作者简介: 李建祥(1974-),男,江西南昌人,博士生,研究方向为生产计划与调度,供应链管理(SCM),企业资源计划(ERP);唐立新(1966-),男,黑龙江绥化人,博士,教授,博导,研究方向为生产计划与调度,组合最优化的精确与近似算法,制造业物流,供应链建模与优化;庞哈利(1963-),男,辽宁沈阳人,博士,副教授,研究方向为智能优化理论与方法,生产计划与调度,CIMS等;王梦光(1936-),女,吉林市人,教授,博导,研究方向为生产计划与调度,智能优化算法,CIMS系统设计与开发。

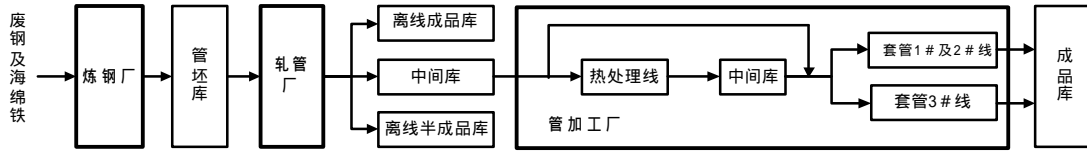


图1 热轧无缝钢管生产工艺流程

2 生产作业计划总流程 (业务流程重组)

钢管生产作业计划涉及 3 个生产单元，前一单元必须为后一单元及时提供原料，这就要求制定出来的 3 个单元的生产计划必须满足，按照前一单元的生产作业计划能够及时生产出后一单元生产作业计划所需的原料（管坯或半成品管）。因此，3 个单元的计划不能割裂开来考虑。但是同时要做出 3 个生产单元的生产计划非常困难，因而不大现实。

目前该钢管企业采取的方式是先分别制定出 3 个单元的计划，然后对这 3 个单元的计划进行协调和修改。这种协调和修改常常需要多次反复才能得到可行的结果，而且严重依赖于计划人员的经验，因此，计划效率非常低下，最终结果可能与最初的计划相去甚远，优越性更是无法保证。造成上述问题的根源在于手工能力的局限，在于当前的手工计划流程，即单独制定计划然后协调修改的计划流程，以及未确定一个用以协调的核心。如果选取某个生产单元为重点和核心，先制定核心生产单元的生产作业计划，根据该计划，然后做出另外两个单元的生产作业计划。这样一来既可以在一定程度上实现优化排产（因为单独一个生产单元的优化排产容易实现，另外两个单元的排产在满足可行的前提下也可以尽量优化），又可以大大降低协调的难度。

考虑到轧管厂在整个生产中的核心地位，计划流程重组的基本思想是：选取轧管厂为核心，先制定出轧管厂的生产作业计划，然后再向前做出炼钢厂的生产作业计划，向后做出管加工厂的生产作业计划。具体实施时，它们之间有交叉，但总的方向如上所述。重组后的生产作业计划总体流程如图 2 所示。

3 热轧无缝钢管生产作业计划编制

计划总体流程确定以后，按照流程可以分别编制出 3 个生产单元的生产作业计划，计划编制的实质是：组批、划分炉次及确定各炉次的生产日期（班别）。

3.1 组批

把具有相同或相近参数的产品合同放在一起生产，称为轧批的组合^[23]，即组批。这样可以减少产品间的转产时间，提高生产效率^[48]。

轧批组合需要考虑的钢管主要参数有：品种、钢级、钢种、外径、壁厚和是否常化。实施组批时，用户根据实际情况，选择一个或几个参数，并确定出这些参数的优先性。同一参数下排序，最后所有参数（按照优先顺序）均排序完毕后，具有相同或相近参数的产品合同会安排在一起。

举例来说，假设有 9 种钢管产品需要组批，排产过程中起决定性作用的参数有钢级、外径和壁厚 3 种，它们的优先顺序为外径 壁厚 钢级。9 种产品的参数见表 1（只列出

钢级、外径和壁厚 3 个参数）。排产过程如下：首先将 9 种产品按照外径由小到大进行排序，排产结果为

然后在不打乱外径由小到大的排列顺序的前提下，将 9 种产品按照壁厚由小到大的顺序进行排序，排产结果变为

最后在不打乱外径由小到大、壁厚由小到大的排列顺序的前提下，将 9 种产品按照钢级由小到大的顺序进行排序。最终排产结果为

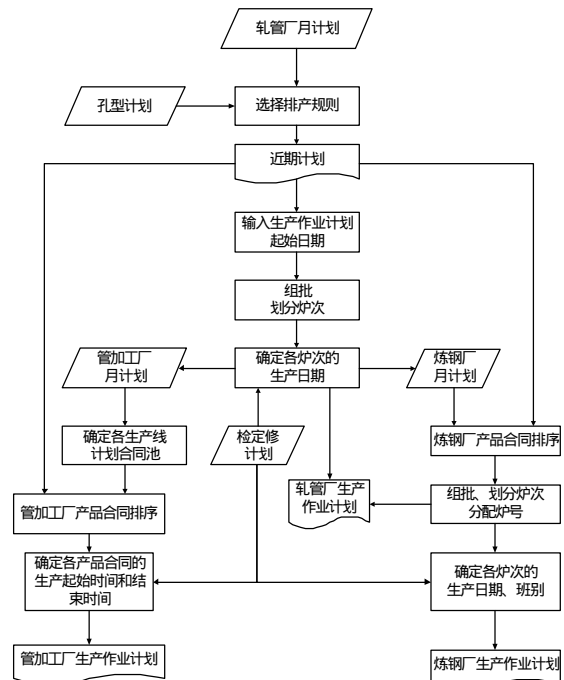


图2 重组后的生产作业计划总体流程

表 1 产品参数表

| 产品 | 钢级 | 外径(mm) | 壁厚(mm) |
|----|------|--------|--------|
| 产品 | P110 | 137.7 | 10.03 |
| 产品 | N80 | 137.7 | 8.05 |
| 产品 | P110 | 177.8 | 8.05 |
| 产品 | P110 | 177.8 | 10.03 |
| 产品 | N80 | 137.7 | 10.03 |
| 产品 | N80 | 177.8 | 8.05 |
| 产品 | N80 | 177.8 | 8.05 |
| 产品 | P110 | 177.8 | 8.05 |
| 产品 | P110 | 137.7 | 10.03 |

表 2 组批结果

| 轧批号 | 产品 | 钢级 | 外径(mm) | 壁厚(mm) |
|-----|----|------|--------|--------|
| 1 | 产品 | N80 | 137.7 | 8.05 |
| 2 | 产品 | N80 | 137.7 | 10.03 |
| 3 | 产品 | P110 | 137.7 | 10.03 |
| 3 | 产品 | P110 | 137.7 | 10.03 |
| 4 | 产品 | N80 | 177.8 | 8.05 |
| 4 | 产品 | N80 | 177.8 | 8.05 |
| 5 | 产品 | P110 | 177.8 | 8.05 |
| 5 | 产品 | P110 | 177.8 | 8.05 |
| 6 | 产品 | P110 | 177.8 | 10.03 |

将相邻的具有相同参数的产品合同组合在一起, 分别组成了6个轧批。例如产品 单独构成轧批1, 产品和产品 共同组成轧批3, 如表2所示。当选择多个排产规则及有更多品种的产品时, 依此类推。

3.2 划分炉次

完成组批后, 轧批的顺序同时就确定了。按照一定的计算方法(见下节), 每个轧批的生产起始时间和结束时间便可以确定, 每天生产的轧批(号)也就能确定。但是, 轧批有大有小, 大的需要好几天才能完成, 因而以轧批为单位做出的生产作业计划过于粗糙。考虑到轧管厂在环形加热炉加热时, 是以某个批量单位来进行的, 因而轧管厂生产作业计划以炉为单位比较符合实际。每炉的量比起轧批的量要小的多, 以炉为单位做出的轧管厂生产作业计划也要细的多。炼钢厂的生产也是以炉(电炉)为单位进行的, 其生产作业计划同样以炉为单位比较符合实际。

划分炉次的具体方法是, 先确定一炉的生产批量, 该批量的大小由加热炉容量(或电炉容量)决定, 计算出每个轧批能够划分的整炉数及剩余量, 剩余量(不够一整炉的量)单独作为一炉。假设某轧批的重量为 W , 每炉的生产批量为 w , 该轧批划分的炉次数及其每个炉次的生产量可用(1)式或(2)式计算:

$$\begin{cases} N = \text{int}(W/w) \\ Q_i = w; \quad i=1,2,\dots,N \end{cases} \quad \text{if } W \bmod w = 0 \quad (1)$$

$$\begin{cases} N = \text{int}(W/w) + 1 \\ Q_i = w; \quad i=1,2,\dots,N-1 \\ Q_N = W \bmod w; \quad i=N \end{cases} \quad \text{if } W \bmod w \neq 0 \quad (2)$$

式中: int —— 取整运算符;
 mod —— 模运算符;

3.3 生产日期、班别的确定

划分炉次后, 接下来确定每个炉次的生产日期(对于炼钢厂, 还要求确定生产班别)。假设共有 N 个炉次的产品, 第 i 炉的生产时间可用(3)式计算:

$$T_i = Q_i / C_i \quad i=1,2,\dots,N \quad (3)$$

式中: T_i —— 第 i 炉产品的生产时间, $i=1,2,\dots,N$;

C_i —— 生产第 i 炉产品时的小时生产能力;

设第1炉产品的生产起始时间为0, 则其生产结束时间等于其生产时间。第1炉产品的生产起始时间和生产结束时间分别可用(4)式和(5)式表示, 第 i ($i > 1$)炉产品的生产起始时间和生产结束时间分别可用(6)式和(7)式表达。

$$S_1 = 0 \quad (4)$$

$$E_1 = T_1 \quad (5)$$

$$S_i = E_{i-1} \quad i=2,3,\dots,N \quad (6)$$

$$E_i = S_i + T_i \quad i=2,3,\dots,N \quad (7)$$

式中: S_i —— 第 i 炉产品的生产起始时间;

E_i —— 第 i 炉产品的生产结束时间;

第 i 炉产品的生产日期则可用(8)式计算。在此我们规定, 每炉产品的生产日期按照其起始生产日期计算。

$$D_i = D_0 + \text{int}(S_i/24) \quad i=1,2,\dots,N \quad (8)$$

式中: D_i —— 第 i 炉产品的生产日期;

D_0 —— 计划的起始日期;

第 i 炉产品的班别可用(9)式所示的分段函数确定。该钢管企业夜班为10个小时, 早班和午班分别为7个小时。

$$\begin{cases} B_i = \text{夜班} & \text{if } (S_i \bmod 24) \leq 10 \\ B_i = \text{早班} & \text{if } 10 < (S_i \bmod 24) \leq 17 \\ B_i = \text{中班} & \text{if } 17 < (S_i \bmod 24) \leq 24 \end{cases} \quad i=1,2,\dots,N \quad (9)$$

式中: B_i —— 第 i 炉的班别;

考虑检定修计划的影响时, 第 i 炉产品的生产起始时间的表达式需要进行修正, 修正后的表达式如(10)式所示。

(10)式中的等号是赋值语句。

$$\begin{cases} S_i = S_i & \text{if 在 } D_i \text{ 这天未安排检定修} \\ S_i = S_i + J_{D_i} & \text{if 在 } D_i \text{ 这天安排了检定修} \end{cases} \quad (10)$$

式中: J_{D_i} —— D_i 这天的检定修用时。

4 结论

本文对热轧无缝钢管生产作业计划现有手工计划流程进行了分析, 对生产作业计划流程进行了重新设计, 指出钢管生产作业计划实质就是组批、划分炉次和确定各炉次的生产日期(班别), 并提出了组批的原则、划分炉次、确定每炉生产量、确定各炉次的生产日期(班别)的方法与公式。上述研究已被用于指导热轧无缝钢管生产作业计划软件系统的开发, 运行该系统, 能够快速有效地制定出热轧无缝钢管生产作业计划, 为ERP的实施提供支持。

参考文献:

- [1] 采峰. 热轧无缝钢管生产计划数据库信息管理系统的开发[J]. 钢管, 2000, 29(1): 48-52.
- [2] 路飞. 热轧钢管厂生产调度算法研究及实现[D]. 沈阳: 东北大学, 1997.
- [3] 吴凯峰. 轧管生产过程计算机集成系统的实现及其理论与方法的研究[D]. 天津: 南开大学, 1998.
- [4] Pinto J M, Grossmann I E. A continuous time mixed integer linear programming model for short term scheduling of multistage batch plants[J]. Ind. Eng. Chem. Res., 1995, 34: 3037-3051.
- [5] Avramidis A N, Healy K J, Uzsoy R. Control of a batch-processing machine: a computational approach[J]. Int. J. Prod. Res., 1998, 36(11): 3167-3181.
- [6] Norman B A. Scheduling flowshops with finite buffers and sequence-dependent setup times[J]. Computers & Industrial Engineering, 1999, 36: 163-177.
- [7] Sung S S, Kim Y H, Yoon S H. A problem reduction and decomposition approach for scheduling for a flowshop of batch processing machines[J]. European journal of operational research, 2000, 121: 179-192.
- [8] 刘忠, 徐杰, 段正澄. 成组技术及其应用[J]. 石油机械, 2002, 30(2): 46-49.
- [9] 叶菲明科 C. 轧钢生产的计算机管理[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1983.