

文章编号:1000-582X(2006)09-0060-04

基于时间倒推和流程仿真炼钢生产计划的制定*

何腊梅¹, 郑忠¹, 高小强²

(重庆大学 1. 材料科学与工程学院; 2. 经济与工商管理学院, 重庆 400030)

摘要:合理的生产计划制定与执行是生产顺利进行的有效保证. 通过对炼钢连铸生产特点分析, 提出基于时间倒推法和流程仿真相结合的用于炼钢连铸生产计划的制定方法, 利用时间倒推法快速生成满足一定生产目标的生产作业计划, 并作为炼钢物流仿真模型的仿真输入条件, 通过模型仿真可进一步制定出考虑了生产过程的时间随机性、运输设备限制, 并满足无设备冲突、连浇生产等约束条件的生产计划, 提高计划在实际生产的可执行性. 应用实例证明了该方法的可行性.

关键词:生产计划; 方法; 时间倒推; 流程仿真; 炼钢连铸

中图分类号:TF345; TP391.9

文献标识码:A

炼钢连铸生产是钢铁企业生产组织的关键环节, 其生产计划的合理制定是实现物流紧密衔接, 保证生产柔性、产品质量和准时交货的重要途径. 炼钢连铸生产计划是在批量计划的基础上, 以炉次为最小计划单位, 在追求评价指标的情况下安排各工序作业顺序、指定各作业的执行设备以及在该设备上执行的起止时刻. 国内外多采用产生式规则、专家系统、线形规划、分枝定界、遗传算法等^[1-6]进行炼钢连铸生产计划的制定, 其中往往以各环节运输时间、作业时间一定和运输设备充足假设为前提, 或将运输问题单纯地转换为时间问题, 而生产中各环节的运输时间、作业时间总是在一定范围内波动, 运输问题不仅与时间有关, 还与所衔接的上下游设备状态、运输设备的位置等因素相关, 因此, 一般方法所制定的生产计划在生产中会出现频繁调整的情况, 即可执行性低. 笔者提出将时间倒推和流程仿真有机结合的方法, 用于制定能综合考虑时间随机性和运输问题的炼钢连铸生产计划, 以提高计划在生产中的可执行性.

1 炼钢连铸生产计划的特点

炼钢连铸生产是一个典型的离散和连续相混杂的高温作业生产过程, 生产线的长、工序多、设备复杂, 对生产物流的时间、温度、性质、状态以及物质量均有严格要求与控制, 流程中存在多种约束条件. 炼钢连铸生产

计划是一个多目标多约束的 NP 难题^[7], 主要约束条件如下:

1) 连浇生产约束. 炼钢连铸生产的核心是铸机的连浇生产, 连铸生产工艺要求在一个连续生产周期内浇铸的钢水成分和温度满足一定的工艺限制条件, 则工序间物流传递应满足正确成分、温度和时刻的要求, 以保证连铸生产的持续性, 实现最大限度的连浇. 从计划的角度讲, 就是保证按连铸机的生产节奏、温度成分要求提供合格的钢水.

2) 生产资源约束. 炼钢连铸生产是在有限时间内按一定生产模式合理分配各类资源(铁水资源、设备资源等), 且设备负荷相当, 减少某些设备过度使用而产生故障造成的生产扰动, 以提高生产稳定性. 即合理利用现有生产资源是生产计划制定时应考虑的物理约束.

3) 品种质量约束. 炼钢连铸生产的对象是高温铁水与钢水, 因生产目标和生产物质物性不同而有着不同工艺路径和工艺限制, 必须严格按照其工艺顺序进行加工生产; 在生产中既要保证生产的连续性, 也要避免因物质早到造成的不必要温降而使物质物性改变以致不能达到生产品种的质量要求, 因此须协调间歇式和连续式作业工序的生产节奏, 实现生产物流衔接紧密, 进行准时制生产.

炼钢连铸生产计划应是满足生产约束基础上的多机多任务物流协调控制. 在生产中, 如何制定合理可行

* 收稿日期:2006-04-26

基金项目:国家自然科学基金项目(50174061)

作者简介:何腊梅(1978-),女,四川中江人,重庆大学博士研究生,主要从事复杂系统建模的研究.

的生产计划, 安排各工序设备(如转炉、精炼炉、连铸机等)作业的起止时刻, 实现设备利用率高、工序衔接紧密且设备不冲突的高效生产运行目的是值得研究的问题。

2 炼钢连铸生产计划制定方法

目前, 时间倒推法因其简单方便、制定计划速度快的优点, 成为一种在现实生产管理中广为采用的方法。但这种方法由于在计划制订时仅考虑了炼钢连铸流程中各主要工序设备时间上的简单衔接, 因此必然导致计划的可行率低, 频繁地进行计划调整。

笔者已进行的相关研究表明了流程仿真模型可以作为炼钢连铸生产计划制定与执行情况的预测器^[8-9]。为此提出了基于时间倒推和流程仿真的炼钢连铸生产计划制定方法。用时间倒推方法生成炼钢连铸生产的初始计划, 并以此作为流程仿真模型的对象, 利用流程仿真模型作为合理生产计划制定的辅助工具, 以解决流程中随机因素的影响, 预知所制定生产计划在生产中的可行性。将时间倒推与流程仿真相结合的方法可实现快速制定满足生产约束、考虑随机因素的炼钢连铸生产计划, 图 1 给出了该计划制定方法的示意图。

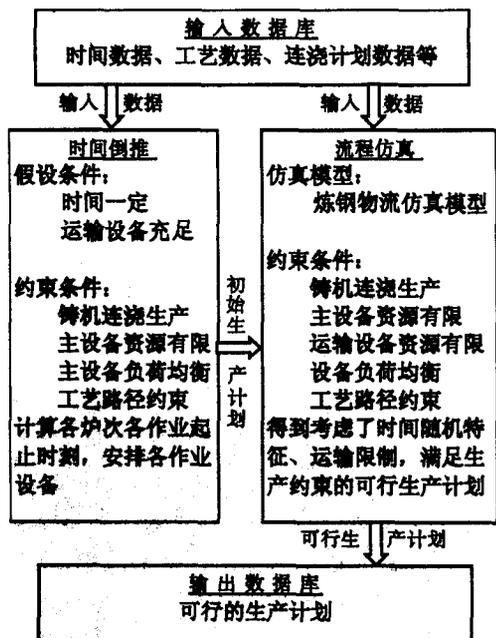


图 1 生产计划制定示意图

在时间倒推中以连浇生产约束为限制条件, 连铸机预计开浇时刻和连浇炉数为基础, 各环节运输时间、作业时间一定和运输设备充足为假设, 根据工艺路径约束按流程中作业的相反顺序依次推出各前项作业的起止时刻, 并考虑主设备资源约束对各作业进行设备分配。虽然制定出的生产计划是建立在一定假设条件

下, 可执行率低, 但它可快速生成用于仿真的初始计划, 为仿真阶段的计划调整指明方向, 有助于生产计划制定效率的提高。将初始生产计划作为流程仿真模型的输入条件, 通过仿真模型的运行, 分析生产中的时间随机性和运输限制等对生产计划执行的可能影响, 根据仿真结果调整计划, 以满足连浇生产的仿真结果作为仿真结束条件, 从而制定出满足多种约束的生产计划, 提高计划在生产中的可执行性。

3 生产计划制定中的关键技术

3.1 时间倒推中的设备分配

时间倒推中如何考虑主设备资源约束进行设备分配是确保制定计划合理性的关键。为保证所制定计划满足生产中设备负荷相当、紧凑生产的要求, 在倒推过程中采用设备冲突最小、设备均衡、物流时间短原则进行设备分配, 算法伪码简述如下:

```

do
    对工序  $j$  上各作业按开始时刻从小到大的顺序进行
    作业排序
    确定生产中工序  $j$  与前继工序  $k$  间主作业设备前后
    对应关系  $D$ 
do
    if  $D = \text{一对一}$  then
        作业  $i$  在工序  $j$  的设备为与作业  $i$  在工序  $j$  的前继
        工序  $k$  所选设备直接相连的后道工序设备
    else if  $D = \text{一对多 or 多对一 or 多对多}$ 
    then
        确定工序  $j$  上可用设备集合  $\Pi_j$ 
        确定作业  $i$  在  $\Pi_j$  中各设备上的等待时间集合  $\Gamma_{ij}$ 
        确定  $\Gamma_{ij}$  中等待时间最小的设备  $m$  集合  $x_r$ 
        if  $x_r > 1$  then
            按设备均衡选择设备
        else
            作业  $i$  在工序  $j$  的设备为  $m$ 
        end if
    end if
end if
转入工序  $j$  上的下一作业
loop until 工序  $j$  上所有作业均分配设备
转入下一工序
loop until 所有工序均被扫描
    
```

3.2 解决生产随机特征和运输设备限制的炼钢物流仿真模型

基于工位、作业以及作业规则的炼钢物流仿真模型^[8-9]能综合体现钢厂生产的各类约束条件, 解决生

产随机特征和运输设备限制问题,反映炼钢生产物流系统的运行特征.

仿真模型中,钢厂生产条件转化为工位及工位间相互关系,工位的不同属性类别实现了实际生产对象功能、作业特点等性质在模型中的抽象.如工位时间属性表征了生产中各作业的时间特征,工位设备属性表示了生产中附属各工位的各类运输设备、主作业处理设备的性质和数量.钢厂生产约束条件转换成了模型演化的作业规则,如钢种工艺路径和工艺限制约束作为模型演化过程中的工序选择规则,设备负荷均匀约束作为同类工位选择规则,等待时间最短作为转炉等工位的物质选择规则,连浇生产约束作为铸机工位的物质选择规则.

仿真运行阶段,作业规则决定了模型演化方式,工位属性决定了工位的性质状态,规则是否激活与工位的状态属性紧密相关.工位状态变化意味着有新作业发生或作业结束,当有新作业发生时,根据工位时间属性通过随机数发生器依分布随机抽取作为此工位作业时间,从而体现现实生产的随机特征.根据仿真结果可分析生产中的时间随机性和运输限制对生产计划执行的影响,制定出满足多种约束,考虑了时间随机性和运输限制的生产计划.

4 应用案例

按某钢厂的生产条件,对某班浇铸计划(8 炉 STB32Z 钢,7 炉 20MnSi 钢和 11 炉 Q235(G) 钢)按所提出的方法制定生产计划,以验证该方法的可行性.数据来自实际生产,图 2 给出了该钢厂的生产工艺路径及相关设备数目,各钢种的工艺路径如下:

Q235(G) 钢:组罐 -> 脱硫 -> 扒渣 -> 提钒 -> 炼钢及炉后吹氩喂丝 -> LF -> RH -> 板坯连铸;

20MnSi 钢:组罐 -> 脱硫 -> 扒渣 -> 提钒 -> 炼钢及炉后吹氩喂丝 -> LF -> 板坯连铸;

STB32Z 钢:组罐 -> 脱硫 -> 扒渣 -> 提钒 -> 炼钢及炉后吹氩喂丝 -> LF -> RH -> 方坯连铸.

图 3 给出了利用时间倒推法得到的生产计划 I,从仿真结果来看该计划在生产中不能满足全连浇生产(见图 4),这是由于倒推过程是建立在时间一定,运输设备够用的假设上的.在仿真过程中,通过不断调整钢种冶炼顺序和铁水进厂节奏可制定考虑了生产时间随机性、运输设备限制,并满足无设备冲突、连浇生产等约束条件的生产计划 II(见图 5).

通过图 3、图 5 对比可以看出:生产计划 II 中方坯铸机和 2#板坯的开浇时刻与生产计划 I 相比分别提

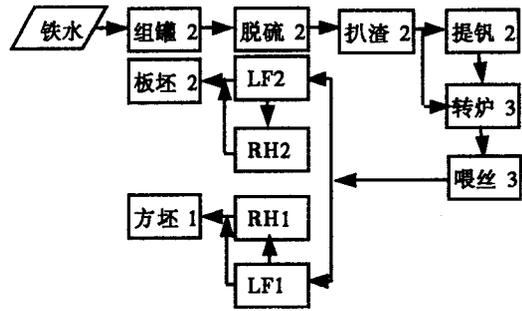


图 2 某钢厂生产流程

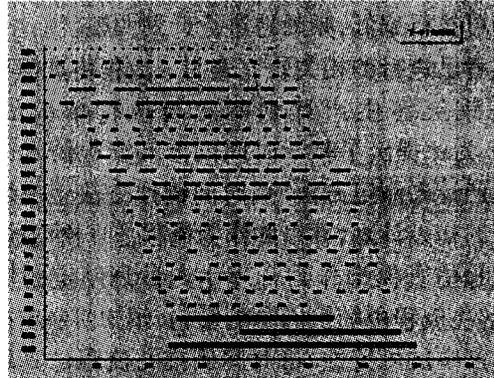


图 3 时间倒推制定的生产计划 I

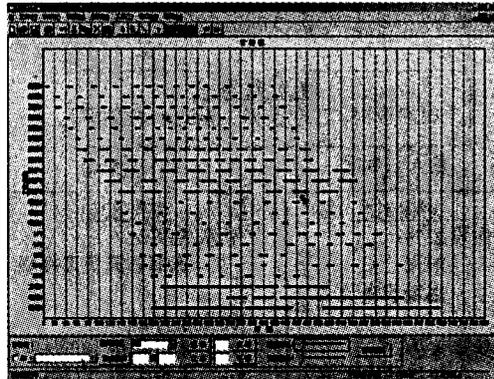


图 4 生产计划 I 在仿真中的效果

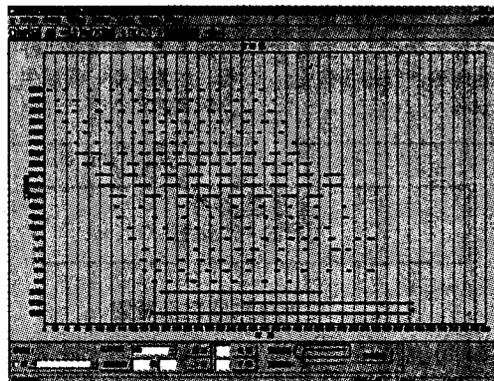


图 5 仿真调整后的生产计划 II

前了 54 min, 42 min, 这是因为在倒推过程中各环节时间均取最大值(这是为减少倒推过程中没考虑运输设备限制而造成所制定计划在仿真过程中的调整次

数),而仿真过程中的时间是在最小值最大值之间按一定分布随机取值的;生产计划Ⅱ中1*板坯的开浇时刻与生产计划Ⅰ相比推迟了10 min,这主要是由于运输设备数量限制的加入使按生产计划Ⅰ生产不能保证连浇生产,需推迟某钢种生产以确保其他钢种能及时送达铸机,则相应钢种冶炼顺序也发生变化。

可见,时间倒推和流程仿真相结合的方法能够制定出考虑了生产时间随机性、运输设备限制,并满足无设备冲突、连浇生产等约束条件的生产计划。

5 结论

1)在分析炼钢连铸生产计划特点的基础上,提出时间倒推和流程仿真相结合的方法用于制定炼钢连铸生产计划。

2)该计划制定方法考虑了生产中连浇生产、生产资源、品种质量等约束,尤其考虑了时间随机性、运输设备限制对所制定计划执行的影响,使所制定的计划更符合现实情况,可执行性有所提高。

3)使用实际数据进行的仿真计算表明,提出的方法便于实际应用,并能给出好的炼钢连铸生产计划。

参考文献:

[1] 周永良,刘浏,何平,等.求解炼钢一连铸排产问题FCFS算法[J].自动化技术与应用,2003,22(5):52-55.

- [2] LYU J, GUNASEKARAN A. Intelligent Simulation Model to Evaluate Scheduling Strategies in a Steel Company[J]. International Journal of Systems Science, 1997, 28(6): 611-616.
- [3] 彭齐春,包燕平,田乃媛,等.一体化生产管理系统炼钢计划子系统设计[J].北京科技大学学报,2002,24(1):25-28.
- [4] TANG LIXIN, YANG ZIHOU, WANG MENG GUANG. A Mathematical Programming Model for Scheduling Steelmaking - Continuous Casting Production[J]. European Journal of Operational Research, 2000, (120):423-435.
- [5] NAGAR A, HERAGU S S, HADDOCK J. A Combined Branch - and - bound and Genetic Algorithm Based Approach for a Flowshop Scheduling Problem[J]. Annals of Operations Research, 1996,3(6):397-401.
- [6] SHAW K J, NORTCLIFFE A L, THOMPSON M, et al. Interactive Batch Process Schedule Optimization and Decision-making Using Multi-objective Genetic Algorithms[Z]. Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. Japan:Tokyo, 1999.486-491.
- [7] GUPTA JND. Two Stage Hybrid Flow Shop Scheduling Problem[J]. J Oper Res Soc, 1988,39:359-364.
- [8] 郑忠,何腊梅,高小强.炼钢生产物流系统仿真的细胞自动机模型[J].钢铁,2004,39(21):75-78.
- [9] 何腊梅,郑忠,高小强,等.攀钢炼钢生产物流仿真[J].重庆大学学报(自然科学版),2004,27(5):57-61.

Production Planning Method for Steelmaking-continuous Casting Process Based on Time Backward and Process Simulation

HE La-mei¹, ZHENG Zhong¹, GAO Xiao-qiang²

(1. College of Material Science and Engineering; 2. College of Economics and Business Administration, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: Reasonable production planning effectively ensures smooth operation. According to the analysis of the characteristics of steelmaking-continuous casting production process, a production planning method for steelmaking - continuous casting process based on time backward inference method and process simulation is presented. Production plan meeting certain criteria is rapidly gained by time backward inference method, and is regarded as input of simulation model in steelmaking process. Considering time randomness in production process and transporting equipment restriction, production plan meeting more restrictive conditions, such as no equipment conflict, continuous casting, and etc, is acquired through simulating. It assures that the plan is carried out in practice. The instance demonstrates the feasibility of the method.

Key words: production plan; method; time backward inference method; process simulation; steelmaking-continuous casting process