

提钒-炼钢生产调度的优化与仿真研究

高 波, 曲亚萍

(重庆大学 经济与工商管理学院, 重庆 400044)

摘 要: 针对提钒-炼钢企业的生产调度系统中生产周期过长、资源利用率过低等问题, 本文在分析了提钒-炼钢生产调度系统的特点的基础上, 构建了生产调度数学模型。并结合遗传算法, 利用面向对象的仿真技术, 在 eM-Plant 仿真环境下进行了提钒-炼钢生产调度优化。最后, 通过应用实例, 证明了遗传算法与仿真模型混合优化生产调度的可行性, 为提高提钒-炼钢厂的生产力提供了理论依据。

关键词: 提钒-炼钢; 生产调度; 遗传算法; 仿真

中图分类号: F 273; TP 391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-980X(2010)05-0114-05

随着现代钢铁市场竞争的日益激烈, 传统的钢铁企业面临更加严峻的挑战。钢铁企业需要进行工业技术和生产管理的革命, 以缩短供货周期、降低生产成本、提高生产对市场的反应能力。

提钒-炼钢生产调度是众多钢铁企业生产管理的关键, 其调度流程主要由脱硫、扒渣、提钒、炼钢 4 个工序构成, 涉及的生产线长、工序多、设备复杂, 是典型的大规模组合优化 NP(non-deterministic polynomial) 问题^[1-2]。因此, 制定科学、合理的生产调度优化方案对提高企业生产效率起着至关重要的作用。

自 20 世纪 50 年代开始, 生产调度问题受到很多学者的关注, Conway, Maxwell 和 Miller³ 人有关调度的研究是调度理论研究的正式开始^[3]。目前, 针对钢铁企业的生产调度优化研究取得了更多的进展。

朱宝琳等^[4]采用数学规划的研究方法, 建立了一体化生产调度模型。但是, 对于复杂的问题, 数学规划方法有模型抽取困难、算法难以实现的弱点, 所以只适合小规模的生产调度问题。唐立新、杨自厚等人^[5-6]用遗传算法求解钢铁企业生产过程中的最优“炉次”以及调度问题, 求得问题的近优解。此方法编码技术和操作比较简单, 然而搜索时间较长, 往往会出现早熟收敛的情况, 如果与其他算法结合, 则能取长补短。郑忠、徐乐、高小强^[7]基于元胞自动机方法建立了车间天车调度仿真模型。近些年来, 基于调度理论的仿真方法由于能够获得快速、灵活、直

观的解决方案, 因此越来越受到欢迎。

本文首先分析了提钒-炼钢生产调度系统的特点, 在此基础上, 建立了以完成时间最短为指标的生产调度数学模型。并针对具体的生产流程, 采用 eM-Plant 软件构建了混合遗传算法的提钒-炼钢生产调度的仿真模型。最后, 以仿真实例, 证明了遗传算法与仿真模型结合的有效性。

1 提钒-炼钢生产调度系统及问题描述

1.1 提钒-炼钢生产调度系统分析

提钒-炼钢生产调度系统是一种以高温铁水和钢水为生产对象的特殊 Job shop。根据整个生产流程, 包括脱硫、扒渣、提钒、炼钢 4 道工序, 铁水由罐车运载送至高炉进行脱硫, 之后经过扒渣兑入提钒转炉, 转化为半钢和部分钒渣, 当转炉内的铁水温度和成分符合要求后, 再由炼钢设备对半钢进行处理, 产生的钢水可以通过后续加工形成不同规格的产品。如图 1 所示。

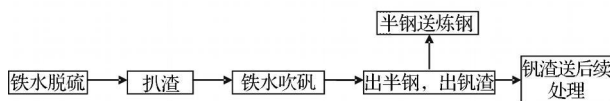


图 1 提钒-炼钢生产工艺流程图

根据对某钢铁企业的详细调研, 提钒-炼钢生产调度系统具有如下特点:

①生产系统中的各道工序均有多个功能相同的生产设备, 属于多阶段、并行机混合的流程式生产。

收稿日期: 2010-03-20

基金项目: 国家自然科学基金项目 (2008AA031104)

作者简介: 高波 (1973—), 男, 重庆人, 重庆大学经济与工商管理学院副教授, 研究生导师, 研究方向: 管理系统建模与仿真、企业管理等; 曲亚萍 (1985—), 女, 山东烟台人, 重庆大学经济与工商管理学院硕士研究生, 研究方向: 供应链管理。

②生产工艺对钢水的温度、时间、成分、物质质量等均有较为严格的要求, 在生产过程中, 钢水只能有短暂的停留。

③由于冶炼钢种的不同, 物流路径和处理时间也随之改变, 因此必须在有限时间内合理分配生产资源。

④各道工序不仅具有独立的约束, 而且前后工序也存在一定的关系, 应合理组织生产, 优化生产工艺路径, 确保资源的合理利用。

1.2 提钒- 炼钢生产调度问题描述

提钒- 炼钢生产调度是在生产作业计划的基础上, 对生产过程中出现的各种偏差进行了解, 通过满足一定的约束条件(如工艺约束), 探讨每个炉次的生产路径、生产时间和生产设备等, 获得总生产时间或生产成本的最优化, 从而保证整个生产活动的协调运行。作为生产管理的最为困难的问题, 提钒- 炼钢生产调度已经被业界证明属于 NP 难题, 随着设备数和炉次数的增加, 调度方案呈指数增长。

2 提钒- 炼钢生产调度数学模型构建

提钒- 炼钢生产调度的目的就是确定每个炉次的生产路径, 确定其在各个工序的生产开始时间和结束时间, 使所有炉次完成整个生产流程所需的时间最短或者加工成本最低。本文选择完工时间最短为指标建立生产调度数学模型, 以此作为研究提钒- 炼钢生产调度问题的基础。

基本假设条件为:

①生产炉次计划 n 已知。

②每个炉次均有 m 道生产工序。

③炉次在工位上的加工时间以及工位之间的运输时间确定。

④所有炉次均不能违反加工工序的顺序, 后工序不能先于前工序。

⑤运输能力足够大。

建立的提钒- 炼钢生产调度数学模型为:

$$\min T = \sum_{i=1}^n (S_{in} + P_{in} - S_{it}) \quad (1)$$

s. t.

$$\begin{cases} S_{aj} \geq S_j + P_j (a, i \in I, j \in N) \\ E_j = S_j + P_j (i \in I, j \in N) \\ 0 \leq S_{j+1} - E_j \leq T_{j+1} (i \in I, j, j+1 \in N) \end{cases} \quad (2)$$

具体的变量定义:

i : 炉次编号, 共有 n 个炉次。

I : 炉次集合, $I = \{i | i \in [1, n]\}$ 。

j : 工序编号, 共有 m 道工序。

N : 生产中的所有工序集合, $N = \{j | j \in [1, m]\}$ 。

$j+1$: 紧邻 j 工序之后的工序。

a : 同一道工序上, 紧邻炉次 i 的后一炉次。

S_j : 炉次 i 在第 j 道工序的开始生产时间。

E_{ij} : 炉次 i 在第 j 道工序的生产结束时间。

P_j : 炉次 i 在第 j 道工序的生产时间。

T_j : 炉次 i 在进入工序 j 生产前的最大允许等待时间。

目标函数(1)为所有炉次的总完工时间最小; 约束条件(2)为任一工序上, 在前一炉次处理结束后, 才能进行下一炉次的生产; 约束条件(3)为炉次在每道工序上的生产是不可中断的; 约束条件(4)为每个炉次必须在紧前工序生产完成之后, 才进行后续工序, 且有允许等待时间。

3 提钒- 炼钢生产调度系统的 eM Plant 仿真建模

不同于一般的离散制造系统, 提钒- 炼钢生产调度系统的时间是连续变化的, 而引发状态变化的事件是随机发生的, 所以针对这类系统所构建的数学模型很难用某种求解算法进行准确描述。

仿真方法可用简洁的规则模拟复杂的生产流程, 克服对调度系统形式化数学描述的缺陷。而 eM-Plant 仿真软件具有清晰的层次化模型结构, 因此, 使用 eM-Plant 建立提钒- 炼钢生产调度的仿真模型。

3.1 仿真软件 eM Plant

EM-Plant 8.0 是一款面向对象的物流仿真软件, 主要用于生产、物流与工程的建模与仿真。其可视化的建模单元简化了开发难度; 通过 Simtalk 仿真语言对模型中的方法编写程序, 能够控制仿真系统的运行。

它采用进程交互法进行仿真, 以信息类对象作为仿真实体(entity), 根据不同的控制策略(control strategies)由仿真时钟触发进行状态切换, 形成离散系统的仿真事件(event)。

3.2 提钒- 炼钢生产调度系统仿真建模

分析提钒- 炼钢生产调度系统中的对象要素, 选择建模单元进行表达, 具体仿真步骤如下:

①统计炉次调度信息、基本作业计划、生产线中工位的对应关系; 选取炉次为移动单元 Entity 进行建模, 生产线中的脱硫、扒渣、提钒、炼钢各道工序用 SingProc 建模, 工序间的运输线路用 Line 建模。

②根据调研数据, 保存各炉次在各工序的不同设备上的作业时间和工序间的运输时间; 在不同的 SingProc 建模单元属性中设置其生产时间、准备时间等, 还可以设置炉次进出该建模单元的动作, 以方

便对生产设备进行仿真。

③按照生产工艺流程, 保存计划进入生产流程的 n 个炉次的工艺路径到 TableFile 的信息流对象中。

④利用仿真语言 Simtalk 编写 Method 方法, 并与控制对象建立联系, 控制仿真系统的运行; 在每个生产工位中都设置 Entrance 和 Exit 方法, 即当炉次触发了某个工位, 其相应的函数内容便会被执行。

4 基于 eM-Plant 的遗传算法设计

利用 eM-Plant 软件建立系统仿真模型, 可以让调度人员依据对仿真模型动态运行的效果合理组织调度系统。但仿真方法不是一种直接的系统优化方法, 它需要结合其他算法多次优化系统的运行参数进行反复仿真。遗传算法作为一种鲁棒性很强的全局寻优算法, 已成功应用到生产调度问题的研究中。本文采用遗传算法与仿真模型结合的方法, 调整模型参数、优化提钒-炼钢生产调度方案, 以求得多样的调度策略。

4 1 遗传算法操作

遗传算法 (genetic algorithm, GA) 是基于自然选择原理, 模拟自然界生物进化机制的一种算法, 由于它避免了传统优化方法中的梯度技术, 因此在组合优化、机器学习等领域得到应用。最初是由美国密执安大学的 John H. Holland 教授在 1975 年提出的^[8]。针对提钒-炼钢生产调度系统的实际生产情况, 具体的设计环节如下:

4 1 1 编码策略

对于求解提钒-炼钢生产调度问题, 编码是遗传算法的重要工作。最常用的是以工序编号直接对染色体编码, 然而这种编码策略在其后的遗传进化过程中会产生非法解。

为了解决这个问题, 使用路径表示的编码方式。每个炉次的生产路径作为一个基因, n 个炉次的生产路径作为一条染色体, 根据不同的生产路径组合, 形成不同的染色体, 如表 1 所示。

表 1 染色体编码

一条染色体			
炉次 1 的生产路径	炉次 2 的生产路径	炉次 3 的生产路径	...
Des1—Res1— Exv4—Bof1	Des2—Res2— Exv5—Bof2	Des1—Res2— Exv4—Bof6	...

4 1 2 适应度函数

遗传算法将问题空间表示为染色体位串空间, 为了执行“适者生存”的原则, 必须对染色体的适应性进行评价。因为提钒-炼钢生产调度系统最重要

的评价指标之一是完成时间最短, 所以选择此目标函数为适应度函数。

4 1 3 遗传算子设计

1) 选择算子。

采用最优保存策略的轮盘赌选择方式选择染色体, 在计算过程中始终保持产生的最优点, 其余染色体则根据适应度函数值占整个染色体适应度函数值的比率来选择, 通过交叉、变异等操作生成子代染色体。

2) 交叉算子。

交叉操作是遗传算法的核心操作, 通过交叉, 使群体中的优秀个体数目不断增加, 而且个体的多样化也促进遗传算法搜索到全局最优解。通常采用的交叉算子包括部分映射交叉 PMX、次序交叉 OX、线性次序交叉 LOX 等形式, 如果采用传统的交叉方法, 会产生表达非法解的个体。

由于炉次之间具有不同的路径约束集, 因此如果交叉操作只限制在同一类型炉次内的同一工序上的等位基因(等位设备)之间进行, 则交叉操作后的子代个体表达的仍是问题的可行解。本文构建了一种 PMX 算子, 交叉操作示例如图 2, 图中两个父代个体为同一类型炉次。

交叉前:

Father1 1 1 4 1 2 2 5 2 1 2 4 6

Father2 1 2 5 2 2 2 4 5 1 1 5 5

交叉后:

Child1 1 1 4 1 2 2 4 5 1 2 5 5

Child2 1 2 5 2 2 2 5 2 1 1 4 6

图 2 染色体交叉示例体

3) 变异算子。

变异的目的是保持种群的多样性, 遗传算法中, 变异算子因其局部搜索能力而作为辅助算子。与交叉算子一样, 变异操作不能采用传统的方法, 而是采用扰动式变异, 即对原先个体的基因值设计一定的扰动机制来实现变异, 只有可行路径集里的等位基因(等位设备)之间进行变异操作, 才能使得到的变异操作具有实际意义, 变异操作示例如图 3。

变异前:

Father1 1 1 4 1 | 2 2 5 2 | 1 2 4 6 |

基因值对应的可行路径集:

(1,2) (1,2,4,5,6)

变异后:

Child1 1 2 4 1 | 2 2 5 2 | 1 2 4 4 |

图 3 染色体变异示例

4 2 遗传算法在 eM-Plant 仿真模型中的实现

EM-Plant 软件内置了功能强大的基于遗传算

法的工程优化模块, 该模块可以和仿真模型无缝结合。遗传算法与仿真模型结合形成调度策略的基本步骤如下:

- ①初始化。给定种群规模, 确定遗传算法参数 (变异和交叉操作), 最大循环迭代数和初始种群。
- ②遗传算法模块与仿真模型结合。在 eM-Plant 中为仿真模型添加遗传算法优化功能, 即“GA Wizard”对象和“GASequance”任务类型。
- ③仿真优化控制。将种群中的每个个体均用仿真模型进行仿真, 待仿真结束, 即可得到各个染色体的适应度值, 依据其适应值, 决定染色体进入下一代的概率。如此循环, 直到满足条件时算法结束。

5 应用实例

某钢厂是国内开展转炉提钒-炼钢控制的大型钢铁企业, 由于其分厂刚刚建成, 生产线较混乱, 工作人员在短时间内无法作出合理的调度方案, 造成生产的诸多不便。本文以此钢厂为应用对象, 利用

遗传算法与 eM-Plant 仿真模型对 20 个炉次进行提钒-炼钢生产调度优化。输入现场若干工位的生产时间(见表 2), 设定仿真中的一些约束条件, 炉次按照“先来先加工”的规则进行生产, 并采用程序控制对象实现对现场的动态掌控, 建立的仿真模型如图 4 所示。

表 2 工位生产时间表

工位号	生产时间(平均值, 最小值, 最大值)
脱硫 1	22: 00, 13: 00, 28: 00
脱硫 2	22: 00, 13: 00, 32: 00
脱硫 5	24: 00, 15: 00, 33: 00
扒渣 1	6: 00, 4: 00, 7: 00
扒渣 2	6: 00, 2: 00, 9: 00
提钒 4	19: 00, 12: 00, 26: 00
提钒 5	19: 00, 11: 00, 26: 00
炼钢 1	30: 00, 20: 00, 39: 00
炼钢 2	30: 00, 22: 00, 37: 00
炼钢 3	30: 00, 21: 00, 37: 00
炼钢 6	25: 00, 20: 00, 30: 00
炼钢 7	25: 00, 20: 00, 31: 00

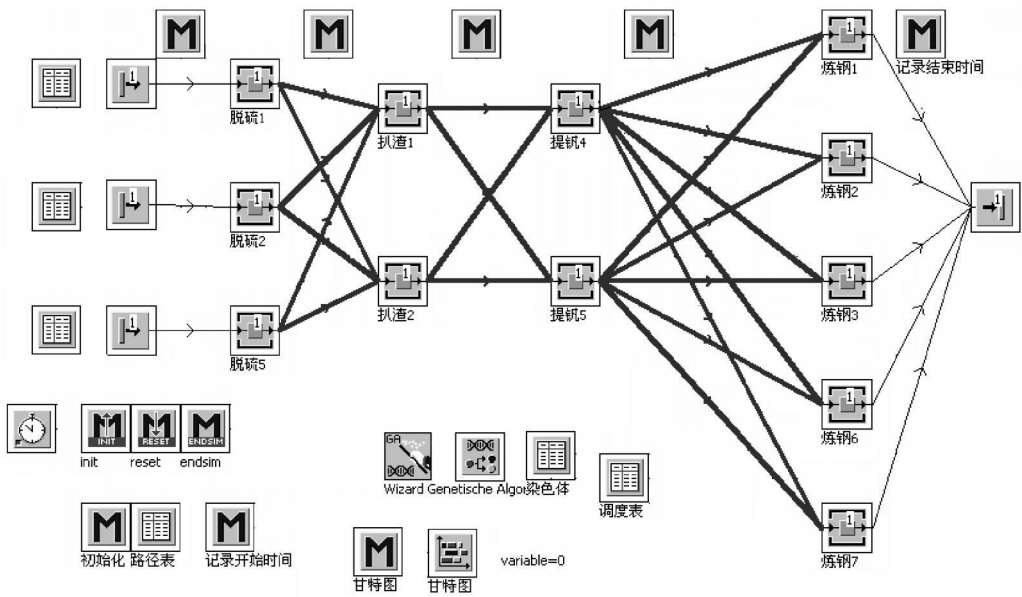


图 4 某钢厂提钒 炼钢仿真模型

采用的遗传算法模块交叉概率为 0.8, 变异概率为 0.1, 适应度函数为最小化完工时间, 初始种群设为 40, 进化代数数为 100 代, 经过多次测试后, 仿真结果见表 3。

表 3 仿真结果

项目	每个炉次的平均完工时间
经验生产	2 小时 24 分钟
仿真模型	2 小时 18 分钟

仿真结果说明: 利用结合遗传算法的仿真模型

解决生产调度优化问题更加科学和合理, 具有较好的优化性能, 为钢厂提高生产力提供了依据。

6 结论

1) 在分析了提钒-炼钢生产调度系统特点的基础上, 建立了以完工时间最小为目标函数, 以工艺限制为约束条件、以所有炉次的生产路径为决策变量的数学优化模型。

2) 详细描述了采用遗传算法与 eM-Plant 仿真模型相结合的方法, 尤其考虑了具体的编码问题和

优化提钒-炼钢生产调度问题的具体步骤。

3) 使用实际生产数据验证方法的可靠性, 结果证明, 提出的调度方法能够有效指导生产实践。

参考文献

[1] WEBSTER S T. The Complexity of scheduling job families about a common due date[J]. Operations Research Letters, 1997, 20(2): 65- 74.
[2] LINN R, ZHANG W. Hybrid flow shop Scheduling: a survey[J]. Computer & Industrial Engineering, 1999, 37: 57- 61.
[3] 徐俊刚, 戴国忠, 王宏安. 生产调度理论和方法研究综述

[J]. 计算机研究与发展, 2004, 41(2): 257-267.
[4] 朱宝琳, 于海斌. 炼钢-连铸-热轧生产调度模型及算法研究[J]. 计算机集成制造系统—CIMS, 2003, 9(1): 34- 36.
[5] 唐立新, 杨自厚, 王梦光. 基于准时制的炼钢连铸生产调度问题研究[J]. 自动化学报, 1998, 24(1): 9- 14.
[6] 唐立新, 杨自厚, 王梦光. 炼钢连铸最优炉次计划模型与算法[J]. 东北大学学报(自然科学版), 1996, 17(4): 440- 445.
[7] 郑忠, 徐乐, 高小强. 基于元胞自动机的车间大车调度仿真模型[J]. 系统工程理论与实践, 2008, 2(2): 138- 142.
[8] HOLLAND J. Adaptation in Natural and Artificial Systems[M]. Ann Arbor, MI: University of Michigan Press, 1975. Cambridge, MA: MIT Press, 1975: 28- 35.

Study on Optimization and Simulation for Production Scheduling
of Vanadium Extraction Steelmaking

Gao Bo, Qu Yaping

(College of Economics and Business Adminiatration, Chongqing U niversity, Chongqing 400044, China)

Abstract: In order to shorten product cycle, improve utilization ratio of resources, and resolve other problems in vanadium extractionr steelmaking enterprises, this paper constucts a mathematical model, based on analysing the characteristics of production scheduling system. Production scheduling for vanadium extractionr steelmaking is optimized in eM- Plant by combining object-oriented simulation technology with genetic algorith. Finally, the feasibility of the way of blending GA with simulation model is verified through an application example, which provides a theoretical fact for vanadium extractionr steelmaking enterprises to promote productivity.

Key words: vanadium extractionr steelmaking; production scheduling; genetic algorithm; simulation

(上接第 92 页)

Comparative Analysis of Influence Factors for Household Income Before and
After the Natural Disaster: A Study of Wenchuan

Sun Mengjie¹, Chen Baofeng¹, Ding Wenxi², Shi Gaochao¹

(1. College of Economics & Management, China Agricultural University, Beijing 100083, China;
2. Party School of CPC Zhengzhou Municipal Committee, Zhengzhou 450042, China)

Abstract: Taking Wenchuan Earthquake as the research background, by building household income equation before and after the earthquake, this paper analysis on the differences and similarities on the main factors that impact on the household income in disaster areas. Besides, it divides the farmers into two groups by income level and explores the differences on the main factors between groups before and after the earthquake by empirical analysis. The result shows that household with members of migrant workers takes an apparently positive effect with household income before and after the earthquake. After the earthquake, the proportion of household operating income takes an apparently positive effect with the household income. The earthquake takes a different impact on the case of peasants' outgoing for employment between the high and low income groups, it may lead to the income gap between groups expand in the future. Based on the analysis, it proposes some suggestions.

Key words: household income; income equation; influence factors; natural disaster.