

文章编号: 1001-0920(2004)09-1008-05

基于四维一体的调度系统研究及在选矿厂的应用

黄肖玲, 赵立杰, 李慧莹, 柴天佑
(东北大学 自动化研究中心, 辽宁 沈阳 110004)

摘 要: 结合我国流程工业中选矿生产行业的实际, 针对选矿生产过程控制与管理的复杂性, 采用在线生产调度及物料、生产成本、设备、产品质量的实时监控管理技术, 实现生产与管理信息的有效集成。提出了基于知识库、数据库、模型库和人机协调的四维一体的动态生产调度系统, 对数据、模型、知识进行集成, 解决了复杂、动态大系统应用的有效性。该系统成功地应用于某选矿厂, 提高了生产效率。

关键词: 流程工业; 生产计划; 生产调度; 专家系统

中图分类号: TP319 **文献标识码:** A

Study of schedule system based on integrative four-dimension and application in ore-dressing process

HUANG Xiao-ling, ZHAO Li-jie, LI Hui-ying, CHAI Tian-you

(Research Center of Automation, Northeastern University, Shenyang 110004, China Correspondent: HUANG Xiao-ling, E-mail: hxiao0@sina.com.cn)

Abstract: Combining the production reality of ore dressing in process industry of our country, and aiming at the complexity of production process control and management for ore dressing, the effective and efficient real time supervision techniques of material current, production cost, equipments and quality are proposed to integrate control process and management process. In addition, a dynamic scheduling system based on KDB, DB, MB and MMI four-dimensional integration is presented to integrate data, model and knowledge. And the application validity of the complicated, dynamic larger system is solved. The successful implementation of the schedule system in the concentrator improves the production efficiency.

Key words: process industry; production planning; production scheduling; expert system

1 引 言

优化生产调度系统是流程型 CMS 领域中研究的重要课题^[1~3], 是实现生产高效率、高柔性和高可靠性的关键。有效实用的调度方法和优化技术的研究与应用, 已成为先进制造技术实现的关键和基础^[4,5]。选矿业作为流程行业的典型代表, 其生产特点决定了生产过程不仅有物理变化, 而且有化学反应, 其生产过程具有非线性、随机性、不确定性等多

种特性, 因而其调度问题在数学上呈现高度耦合, 属 NP-complete 问题^[6~8]。对生产调度优化问题的研究已开展多年, 且已取得众多成果, 但不同的方法有不同的优点与局限性, 其应用领域也各不相同, 各有其独自擅长处理的问题^[9]。如何将不同的优化调度方法有机地集成, 组成一个较为通用的调度系统, 充分发挥不同方法的优点, 是一个十分重要的课题。目前, 国内外还没有关于选矿优化调度系统应用方面

收稿日期: 2003-10-13; 修回日期: 2004-01-12

基金项目: 国家 863 计划基金资助项目(2002AA 414610)。

作者简介: 黄肖玲(1962—), 女, 辽宁大连人, 博士生, 从事流程工业制造执行系统、生产计划与调度等研究; 柴天佑(1947—), 男, 甘肃兰州人, 中国工程院院士, 教授, 博士生导师, 从事综合自动化系统、智能解耦等研究。

的报道

本文将研究对象作为整体考虑, 着眼于整体最优运行; 在对选矿生产调度特征进行分析的基础上, 对其功能模型和数学模型及实现途径进行研究, 用数学模型方法对系统进行定量技术研究, 解决精确知识问题; 用专家系统的方法对系统进行定性技术研究, 解决不精确知识问题。提出了基于四维(知识库、数据库、模型库和人机协调)一体的生产调度系统, 并在某选矿厂得以应用

2 流程型MES中生产调度系统研究

2.1 选矿生产工艺流程和企业生产调度的特点

选矿厂是钢铁公司主要的原料准备厂之一, 主要由原料、竖炉、磁选、精矿、尾矿 5 个工序组成

矿石原料经过原料区域的筛分后, 筛分出粉矿和块矿。粉矿直接输送到磁选区域的强磁选设备进行选别, 产生精矿和尾矿; 块矿输送到竖炉区域进行焙烧, 经过焙烧后的矿物称为焙烧矿, 焙烧矿输送到磁选区域的弱磁选设备进行磁选, 也产生了精矿和尾矿。强磁精矿和弱磁精矿都进入精矿大井, 进行脱水处理后输送到精矿库, 作为烧结厂的原料输入。强磁尾矿和弱磁尾矿都进入尾矿大井, 进行浓缩后输送到尾矿坝堆存。其工艺流程如图 1 所示

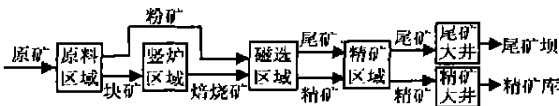


图 1 选矿工艺流程管理系统

从工艺角度看, 选矿工艺是多流程的联合过程, 各作业的效率、质量、能耗取决于前作业。最终精矿产品的质量(品位及回收率)是至关重要的, 它与选矿工艺过程有直接关系。选矿生产过程具有多变量、强耦合、强非线性、参数时变、生产条件及工况变化大, 难以用数学模型准确描述, 分级溢流粒度和磨机负荷无法在线测量, 而综合生产指标又难以用可测的输入输出变量直接描述

选矿生产过程管理分为厂、生产部、设备部、作业区的管理。选矿厂的生产工作由工作区负责具体执行, 包括设备运行状况的控制和产量、质量指标的控制。从体系结构上看, 选矿厂使用的是层层上报的结构, 小作业长将生产运行状况上报给首席作业长, 若超出其职权范围, 则首席作业长将情况上报到厂调度室, 通过厂调度室与其他二级分厂调度室或公司总调度进行协调。他对生产岗位的信息是通过调度控制台进行联系, 有时调度室派人到生产岗位上

进行巡视, 从而达到对生产岗位的控制指挥职能。生产数据的收集、统计、报表均由人工完成。采用这种以人工为主的管理方式, 数据的准确率不高, 并且这种层次结构由下至上报送报表造成了信息传输的滞后及失真, 不利于上级主管单位掌握下级具体情况并作出合理的安排, 也不利于信息的及时反馈和下达, 影响企业人、财、物等资源的合理及时配置和生产过程的管理

2.2 基于数据、知识、模型与人机交互的生产调度系统模型结构和功能

由于选矿生产过程的上述特性, 采用传统的基于运筹学(主要是数学规划)、仿真或简单的规则等方法难以达到理想的调度结果。针对计划与调度过程中具有动态性、实时性和不确定性等特点, 本文借鉴了国内外理论研究与实际应用中的最新成果, 运用模型、知识、数据综合的方法描述非结构化特性问题, 并采用计算机智能和人机交互混合的方法实现系统的最优化^[11]。选矿-制造执行系统(XK-MES)的生产调度系统模型结构如图 2 所示。整个系统由 6 部分构成, 模块的功能描述如下。

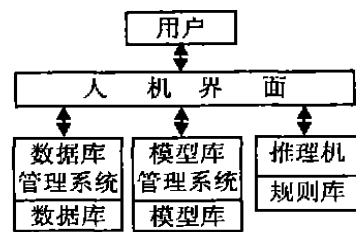


图 2 XK-MES 调度系统结构模型

1) 规则库: 是 XK-MES 生产调度系统的核心。在调度系统中, 专家知识主要来源于从事生产调度的多年实际工作经验, 形成了一套有效的处理问题的方法, 可将其作为规则库的素材。采用案例分析的方法, 通过一段案例分析的工作, 总结出专家的思路和一些规律性的东西, 从而构造出最初的系统规则库和调用这些规则的搜索树。该调度专家系统用于存放智能调度过程所用的产生式规则、调度策略以及设备运行故障诊断和质量规则。例如与生产组织方式设备选择有关的规则:

```
IF 选择 2 台一次球磨机进行粗磨,
THEN 选择 1 台二次球磨机进行细磨;
IF 选择 3 台一次球磨机进行粗磨,
THEN 选择 2 台二次球磨机进行细磨
```

2) 推理机: 推理机与规则库一样, 是调度专家系统的核心部分, 二者共同完成生产作业计划的编

制过程 推理机由搜索树构成,在编制生产作业计划时,可根据原料供应计划、设备的运行状态等,并通过树状搜索选用适当的规则,对各工序生产作出安排

3) 数据库及其管理系统:该模块的主要功能是存储并管理各类数据,使之能被用户查询和调用,以及方便、可靠地被系统推理机应用

4) 人机界面:调度系统的运行主要进行两方面作业:一是数据管理;二是编制生产作业计划 该模块在处理问题的过程中,协调各子系统之间的关系和信息传递,使系统正常运行 从而实现了 XK-MES 调度系统求解问题的输入、匹配、搜索、推理和结果显示的全面功能,控制生产作业计划的编制,人工直接干预系统的运行以处理异常情况的发生

5) 模型库及其管理系统:模型库由各个设备生产能力优化模型及全厂生产调度作业计划全局优化模型组成 在进行计划调度时,往往要利用多个模型进行分析,这些模型之间的关系与所处理问题有关,可由人机交互模块确定决策模式 专家系统能很好地处理符号性知识,但在工程设计中存在许多这样的问题,即它们可用数学模型来描述,但其数学模型中存在某些不确定性因素,而且计算复杂度高 因而只有通过专家系统与优化算法相结合,才有可能取得满意的解决方案 即通过专家系统处理其中的不确定因素以辅助建立优化模型,然后启用优化算法进行求解 模型库管理系统集中管理多种优化模型,协调各优化模型的调用关系,并负责优化模型与外界的数据交换

3 应用研究

3.1 系统实现机理及其软件功能

面向选矿过程的生产调度系统主要由静态调度、动态调度、动态监控和统计报告四大功能部分组成

静态调度部分的主要作用是对由计划、供应、动力、运输和设备等部门生成的综合计划进行合理、最优地分解、优化,生成生产计划方案,并将计划指令下达给动态调度模块 因为是离线优化,对时间的约束不苛刻,故采取基于递阶分层和按时间分段的调度策略,建立一个多目标规划的生产过程数学模型 静态调度可提供多种可行的调度方案,并进行计算机模拟仿真和比较,再利用人机交互对方案进行调整,进而确定最满意的方案 该方法兼顾了数学模型方法和专家系统方法的优点,即采用数学方法解决精确知识,采用专家系统解决不精确知识^[10-12]。

动态调度部分根据动态监控模块提供的生产工况反馈信息,对计划指令进行优化,生成调度方案,并将调度指令传递给静态调度模块;同时对生产计划方案进行修正,修正后的计划方案传递给静态调度模块 根据生产中的突发事件,利用知识规则及人机交互实时地调整静态调度给定的调度方案 规则调度是最常用、最简便的调度方法,其计算量小、实施简便、时间短,适合实时调度,满足了动态调度要完全反映生产线的实时信息且调度必须在短时间内完成的要求

动态监控部分根据调度指令生成控制指令下达给生产过程,从而实现生产的调度和控制 它包含两方面内容:一是实时监控,即通过数据采集系统、工控机系统或集散系统,将生产流程装置变量的实时测量值、设备状态、关键参数的历史和现今趋势、各个单元的物流、全厂范围的生产运行状况及异常报警等,以图表等形式显示,便于调度人员监视;二是平衡协调,主要是平衡各项生产经营活动,使企业各部门配合协调,克服各种矛盾和冲突,以保证生产的连续性、稳定性和经济性

统计报告部分根据生产实绩信息,生成统计报告,以调整生产计划和调度方案

本调度系统功能模块的划分主要包括生产信息监控、调度信息管理、生产经营管理 3 个主要功能,同时提供独立报表、系统配置以及其他系统安全设置 生产信息监控分为设备当前状态和生产工序工艺两部分 实时监控是通过数据采集系统、工业控制系统和集散系统,将生产流程各生产装置中的控制变量和操作变量的实时测量值、生产设备与辅助设备的状态、关键参数、生产运行的总体状况及异常工况报警等 调度信息管理分为调度方案生成、调度方案调整、日常调度管理 3 部分 根据动态监控模块提供的生产工况反馈信息,对计划指令进行优化,生成调度方案 当生产发生与预期实时过程参数变动较大,实际调度与调度进度不符时,对原调度进行修改和调整,以维持生产性能最优任务 根据生产中的突发事件,利用知识规则及人机交互实时地调整静态调度给定的调度方案 生产经营管理分为技术经济指标、主要设备运时、矿仓结存指标、能源消耗指标、皮带矿量统计、设备停歇统计、主要指标报表、早调度会台帐、球磨能耗分析 9 部分,对选矿厂实际生产相关的各类数据信息、工作业务进行管理 包括每天的生产经营情况的管理,生产指标信息数据的录入和采集,主体生产设备的启动停歇信号的采集和设

二次磨矿细度强弱磁分别提高了 2.92% 和 2.21%。结果表明该系统能够得到可行的调度方案且效果好。

参考文献(References):

- [1] Nagalingam S V, Lin G C I. Latest developments in CM [J]. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 1999, (15): 423-430
- [2] Bruce M Rishardson. Back to the Future: MES from 1999-2000[R]. AMR Inc, 1995
- [3] 柴天佑, 金以慧, 任德祥, 等. 基于三层结构的流程工业现代集成制造系统[J], *控制工程*, 2002, 9(3): 1-6 (Chai T Y, Jin Y H, Ren D X, et al. Contemporary integrated manufacturing system based on three-layer structure in process industry[J]. *Control Engineering of China*, 2002, 9(3): 1-6)
- [4] Sohlenius G. Concurrent engineering [J]. *Annals of CIRP*, 1992, 41(2): 645-655
- [5] Kusiak A, Larson T N. Reengineering of design and manufacturing processes [J]. *Computers Engineering*, 1994, 26(1): 521-536
- [6] Garey M R, Graham R L, Johnson D S. Performance guarantees for scheduling algorithms [J]. *Operations Research*, 1978, 26(1): 3-21
- [7] Gonzalez T, Sahni S. Flow shop and jobshop schedules: Complexity and approximation [J]. *Operations Research*, 1978, 26(1): 36-52
- [8] Jay Liebowitz, William E Potter. Scheduling objective, requirements, resources, constraints, and Process: Implications for a generic expert scheduling system architecture and toolkit [J]. *Expert Systems with Applications*, 1995, 9(3): 423-432
- [9] Everett J E. Iron ore production scheduling to improve product quality [J]. *European J of Operational Research*, 2001, 129(2): 355-361
- [10] Speranza M G, Ukovich W. Applying an optimization model to production management and logistics [J]. *CM S*, 1992, 3(8): 239-244
- [11] Rao M, Wang Q. Computer integrated process system in continuous manufacturing industries [J]. *CM S*, 1993, 4(11): 260-272
- [12] Henning G, Jaime C. A knowledge-based approach to production scheduling for processes [J]. *Computers Chem Engng*, 1996, 20(S): 1295-1300

(上接第 1007 页)

- [3] Plunkett B. A current controlled PWM transistor inverted drive [A]. *IEEE-IAS Ann Meeting [C]*. Florida, 1979. 785-792
- [4] Malesani L, Mattavelli P, Tomasin P. Improved constant-frequency hysteresis current control of VSI inverters with simple feedforward bandwidth prediction [J]. *IEEE Trans on Industry Applications*, 1997, 33(5): 1194-1202
- [5] Buso S, Fasalo S, Malesani L, et al. A dead-beat adaptive hysteresis current control [J]. *IEEE Trans on Industry Applications*, 2000, 36(4): 1174-1180
- [6] Brahim L B, Kawamura A. Digital control of induction motor current with deadbeat response using predictive state observer [J]. *IEEE Trans on Power Electronics*, 1992, 7(3): 551-559
- [7] Malesani L, Mattavelli P, Buso S. Robust dead-beat current control for PWM rectifiers and active filters [J]. *IEEE Trans on Industry Applications*, 1999, 35(3): 613-620
- [8] Zhang C J, Dunnigan M. Robust adaptive stator current control for an induction machine [A]. *IEEE Conf on Control Applications [C]*. Istanbul, 2003. 779-784
- [9] Tzou Y Y, Lin S Y. Fuzzy-tuning current-vector control of a three-phase PWM inverter for high performance AC drives [J]. *IEEE Trans on Industrial Electronics*, 1998, 45(5): 782-792
- [10] Burton B, Harlry R G, Diana G, et al. Implementation of a neural network to adaptively identify and control VSI-fed induction motor stator currents [J]. *IEEE Trans on Industry Applications*, 1998, 34(3): 580-588
- [11] Goodwin G C, Sin K S. *Adaptive Filtering, Prediction and Control* [M]. New Jersey: Prentice-Hall, 1984
- [12] Middleton R H, Goodwin G C, Hill D J. Design issues in adaptive control [J]. *IEEE Trans on Automatic Control*, 1988, 33(1): 50-58