

6-4-2020

Design of Multi-Scenario Simulation of Molten Iron Logistics System with Cranes and Cross-Train AGVs

Shaowen Lu

State Key Laboratory of Synthetical Automation for Process Industries, Northeastern University, Shenyang 110819, China;

Xiaochuan Luo

State Key Laboratory of Synthetical Automation for Process Industries, Northeastern University, Shenyang 110819, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Design of Multi-Scenario Simulation of Molten Iron Logistics System with Cranes and Cross-Train AGVs

Abstract

Abstract: Iron and steel complexes prefer a new molten iron logistics technology which involves cranes and cross-train AGVs (Automated Guided Vehicle) for transportation. The key concern of decision-makers is how to evaluate the safety and performance of the logistics design. For using simulation, it needs to solve the multi-scenario what-if simulation problems caused by uncertain processing time and crane yielding. *An object-oriented simulation design method and finite state automata based modeling techniques were introduced. A multi-scenario simulation procedure was introduced.* The proposed techniques can improve the flexibility, configurability and reusability of the simulation system effectively.

Keywords

molten iron logistics, molten iron transport, logistics simulation, discrete event simulation, object oriented simulation modeling, multi-scenario what-if simulation

Recommended Citation

Lu Shaowen, Luo Xiaochuan. Design of Multi-Scenario Simulation of Molten Iron Logistics System with Cranes and Cross-Train AGVs[J]. Journal of System Simulation, 2017, 29(10): 2549-2555.

“起重机+过跨车”铁水物流多场景仿真

卢绍文, 罗小川

(东北大学流程工业综合自动化国家重点实验室, 辽宁 沈阳 110819)

摘要: 大型钢铁联合企业倾向于采用“起重机+过跨车”铁水运输物流新工艺, 如何评估其安全性和性能是决策者关心的关键问题。采用仿真评估技术, 需要解决由于生产处理时间不确定和“避车”等动态因素导致的多场景仿真问题。为此, 提出面向对象仿真对象设计方法和基于有限状态自动机动态建模技术。介绍了铁水运输物流过程的仿真系统, 并且给出多场景仿真评估流程。有效的提高了仿真系统的灵活性、可配置性和仿真对象的可重用能力。

关键词: 铁水物流; 铁水运输; 物流仿真; 离散事件仿真; 面向对象仿真建模; 多场景仿真

中图分类号: TP278

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2017) 10-2549-07

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201710040

Design of Multi-Scenario Simulation of Molten Iron Logistics System with Cranes and Cross-Train AGVs

Lu Shaowen, Luo Xiaochuan

(State Key Laboratory of Synthetical Automation for Process Industries, Northeastern University, Shenyang 110819, China)

Abstract: Iron and steel complexes prefer a new molten iron logistics technology which involves cranes and cross-train AGVs (Automated Guided Vehicle) for transportation. The key concern of decision-makers is how to evaluate the safety and performance of the logistics design. For using simulation, it needs to solve the multi-scenario what-if simulation problems caused by uncertain processing time and crane yielding. *An object-oriented simulation design method and finite state automata based modeling techniques were introduced. A multi-scenario simulation procedure was introduced.* The proposed techniques can improve the flexibility, configurability and reusability of the simulation system effectively.

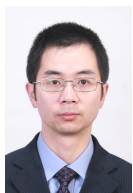
Keywords: molten iron logistics; molten iron transport; logistics simulation; discrete event simulation; object oriented simulation modeling; multi-scenario what-if simulation

引言

铁钢界面指钢铁生产流程中高炉和转炉之间的衔接缓冲面, 主要包括物质流、温度、时间等基本参数的衔接、匹配、协调和稳定^[1]。在铁钢界面

设计中, 铁水物流运输方案主要确定高炉铁水与转炉之间的输送设备、容量、工序、运输路线、调度管理等。

铁水物流设计方案的可行性和性能评定是设计人员关心的重要问题。传统可行性评估方法主要从铁水物流和运输系统运力的平衡关系出发, 是一种静态分析方法。然而, 高炉、脱硫、炼钢等主要工艺环节处理时间存在一定不确定性, 而且铁水运输系统受避车等因素影响, 其运输时间是动态变化



收稿日期: 2017-05-01 修回日期: 2017-08-04;
基金项目: 国家自然科学基金(61473071);
作者简介: 卢绍文(1977-), 男, 河北, 博士, 教授, 研究方向为工业过程建模、计算机仿真及软件; 罗小川(1974-), 男, 四川, 博士, 教授, 研究方向为系统工程及钢铁优化。

<http://www.china-simulation.com>

• 2549 •

的。传统分析方法难以系统准确地分析动态因素对物流系统的影响。采用仿真法能够对上述问题进行更为科学、系统地分析,为方案设计评估以及进一步优化提供决策依据。仿真方法具有系统性、可重复、成本低、直观性好等优点,已经在一些铁水物流生产设计的实践中得到应用,例如^[2-3]。特别是近年来,新建钢铁生产企业越来越倾向于铁钢界面新工艺,如“一罐到底”铁水运输技术^[4]。这些新工艺采用和传统铁水运输完全不同的方式,铁水运输的时间和空缓冲都大幅减少,由此带来全新的铁水运输调度策略。

新型的铁水运输技术及调度对仿真的模型设计提出了新的要求和挑战^[5]。紧凑的铁钢界面布局导致铁水调度实时性要求更加苛刻。特别是关乎生产安全的问题需要系统、完备地考察各种可能性。例如,确保高炉区生产安全的必要条件之一是铁水运输物流是否能够及时返回空罐。从仿真系统需求角度,这要求仿真系统具备系统化的多情景仿真能力(multi-scenario what-if simulation)^[6],即其评估结论能够覆盖给定的设计参数空间范围。此外,设计参数不仅包括对象的行为参数,如速度、处理时间等,还需要包括结构参数,如间距、角度等。这都增加了仿真系统设计的难度。

为此,本文以某企业“起重机+过跨车”铁水运输工艺设计为例,提出铁水运输调度的仿真对象设计和建模技术,并且给出多场景仿真流程。

1 起重机+过跨车铁水运输工艺

传统的铁钢界面物流主要采用铁路运输方式。其主要工艺采用:高炉出铁到铁水罐、混铁炉到炼钢铁水罐、然后到转炉,或者高炉铁水通过鱼雷罐车到炼钢铁水罐、然后再到转炉两种模式。

近些年来,许多新建钢铁生产企业倾向于采用“一罐到底”铁水运输新工艺,即高炉出铁用铁水罐与炼钢用铁水包共用同一盛铁容器;高炉铁水的承接、运输、缓冲储存、铁水并罐、铁水称量、铁水预处理、转炉兑铁、铁水罐周转、铁水保温工艺均

在同一个铁水罐内完成。该技术改变了传统铁钢界面的倒罐或混铁工艺,具有流程短、总图布置紧凑、铁损和温降低等特点^[7]。

起重机+过跨车铁水运输方式是一种新型的“一罐制”铁水运输方式^[8]。它取消常规的铁路线路、鱼雷罐车或者高炉铁水罐以及倒罐兑铁水的中间过程。高炉直接出铁到转炉铁水罐,高炉铁水通过高炉出铁场设置的宽轨铁水线电动平板车运至起重机跨下,通过起重机的一次或多次运转,完成脱硫处理和转炉兑铁水。铁水空罐同样的方式返回至高炉出铁口。起重机+过跨车铁水运输方式通常包括高炉出铁场过跨车轨道、铁水运转跨、铁水走廊轨道、炼钢车间加料跨组成;运输工具包括电动字导引过跨车用于铁水罐的轨道运,起重机用于铁水罐的起吊、座包和运转。

图1所示为起重机+过跨车“一罐制”铁水运输工艺布置的一个示例方案。该方案包括两座高炉,各设置3个出铁口1个备用出铁口。每个出铁口下设置2条过跨车轨道,每条轨道配备2台过跨车。出铁场末端设置两条转运跨,分别用于重罐和空罐的吊运,每跨配备2台起重机。铁水走廊设置在转运跨与炼钢加料跨之间,设有4条过跨车轨道,每条轨道配备1台过跨车。脱硫区域设置在转运跨和加料跨之间。

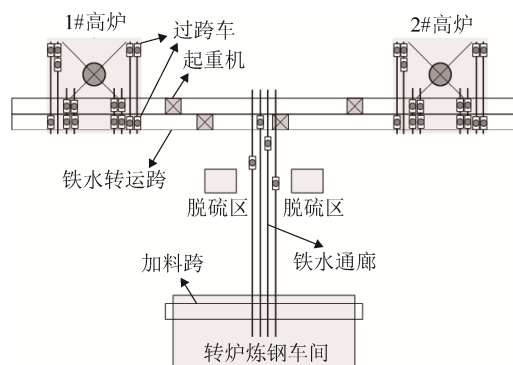


图1 某起重机+过跨车“一罐制”铁水运输工艺布置示意
Fig. 1 Logistic of molten iron with cranes and AGVs

2 铁水运输工艺设计方案评估问题

“一罐到底”工艺对铁水运输调度提出了更高

的要求。与传统的铁路运输方式相比,新工艺缩短了中间处理环节从而减少了铁水的中间运输时间,而且由于高炉和转炉车间的物理布局更加紧凑,铁水在运输过程中的空间缓冲也受到限制。对于铁水调度而言,运输过程中时间和空间缓冲余地减少必然降低调度策略的鲁棒性。这不仅增加了铁水物流调度的难度,也对设计方案的可行性和性能评估带来困难。

铁水运输工艺设计方案的评估中的两个至关重要的问题是:铁水运输布置方案的可行性和性能问题。可行性问题的核心是考察在各种可能的工况下,高炉出铁是否能够及时由运输系统传递到转炉,而且兑完铁水的空罐能够及时通过运输系统返回到高炉出铁口下等待下一次出铁。特别需要避免在某些工况下空罐不能及时返回所导致的铁水倾倒入事故坑的情况。性能问题主要考察不同的布置方案参数组合下的行车利用率、周转时间、有效周转包数、铁水温降等生产指标。这些量化指标将用于设计方案评定和优选。

对铁水运输工艺设计方案进行科学的量化分析必须考虑生产中的动态因素。主要考虑的动态因素有:(1)生产过程中各个环节处理时间的不确定性,如高炉出铁间隔、铁水罐受铁时间、脱硫处理时间、转炉处理时间;(2)高炉出铁口切换以及工况切换过程;(3)起重机和过跨车会车、赶车所引起的运输时间波动;(4)起重机故障;(4)铁水罐落地;(5)高炉或转炉检修工况下引起的产能不匹配工况。

3 铁水运输系统模型设计

3.1 仿真模型的面向对象设计

铁水运输物流仿真对象采用面向对象的设计思想。通过对铁水生产运输过程分析,建立以下主要对象:机车(Vehicle)、轨道(Track)、生产(Process)以及调度(Scheduler)、铁水罐(Container)、铁水(MeltIron)。其中,机车对象进一步派生过跨车对象(AGV)和起重机对象(Crane);轨道对象派生过跨

车铁轨(AGVTrack)和起重机轨道(CraneTrack);生产对象派生高炉(BF)、转炉(CF)和脱硫(TS)对象。

铁水运输物流过程中各个对象之间的关系可以直观地通过 UML 关系图反映(如图 2 所示)。这个关系是对实际物流系统中各个对象之间联系的抽象。例如,轨道对象与机车对象的关系是前者为后者的承载对象,而机车对象又是铁水罐对象的承载对象。采用面向对象的仿真对象模型设计,提高了仿真对象模型的可重用性^[9];而且,对于仿真参数的动态修改提供了极大方便。

在铁水运输物流系统中,起重机和过跨车由调度员负责控制。调度员根据当前工况对起重机或过跨车发出具体指令,然后根据指令执行情况反馈继续下一步任务。为了模拟调度交互过程,每台起重机/过跨车设置一个双优先级队列用来放置调度任务指令。

3.2 离散事件模型框架

铁水运输物流过程可以分解为两个主要环节:高炉/转炉/脱硫处理过程、铁水重罐/空罐的运输过程。其中,高炉/转炉/脱硫的处理属于批次连续生产过程;铁水重罐/空罐的运输主要由过跨车和起重机完成,包括运输工具的启动、行车、停止,起重机起吊、座包操作以及铁水罐兑铁、受铁过程。调度过程采用基于规则的方式,在特定的时间点由特定工况条件触发执行。铁水运输物流过程的建模目标是建立在特定的调度规则下,各环节所需的时间模型、生产指标模型(如铁水温度、周转率、利用率等)。

本文采用离散事件系统范式(DEVS: Discrete Event System Specification)作为总体模型框架,即由离散信号/事件驱动且在时间上连续的动态过程。铁水运输物流过程中的高炉炼铁、转炉、脱硫等主要环节是典型的批次生产过程。DEVS 模型将上述生产环节中连续时间变量作为状态变量,以各个状态的开始、结束、改变作为信号变量(离散事件),描述状态变量在离散信号驱动下的迁移描述系统动态特性。

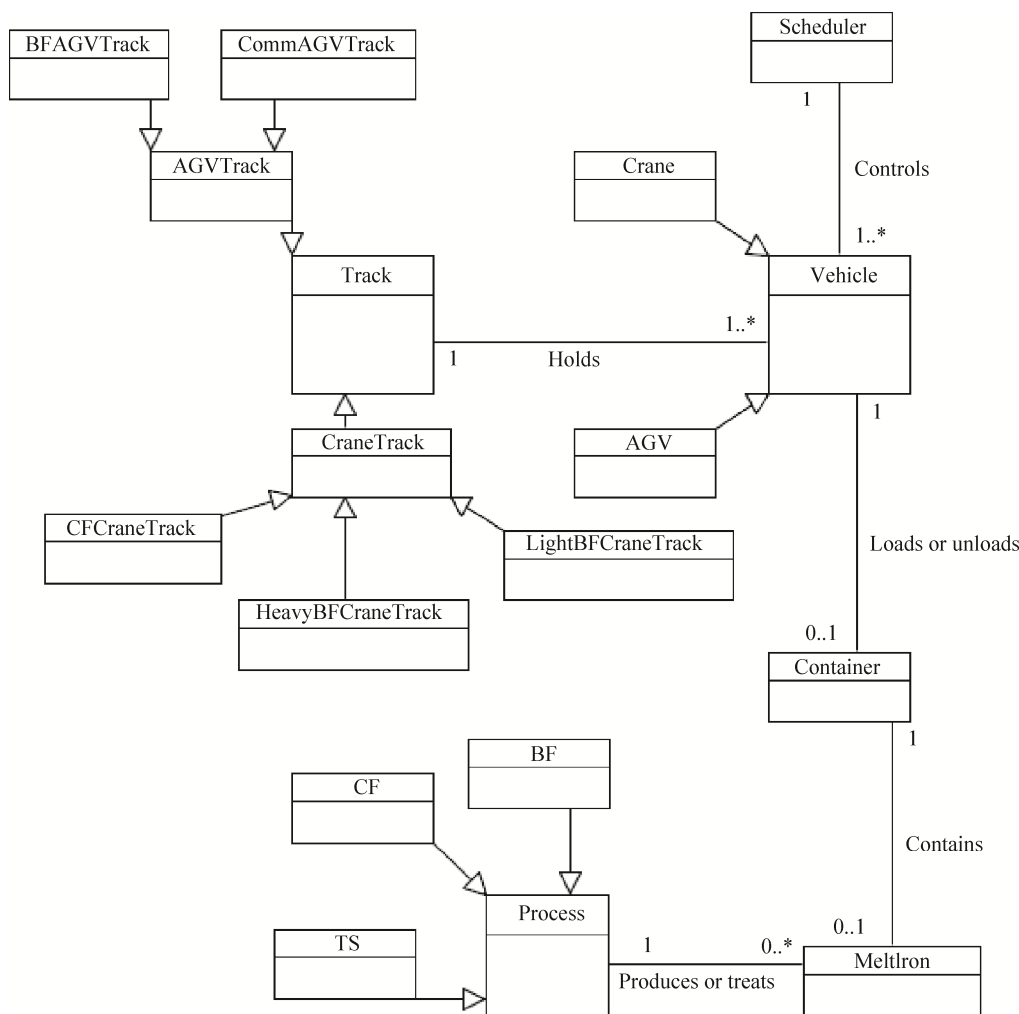


图 2 铁水物流仿真对象 UML 模型
Fig. 2 UML model of molten iron logistic simulation object

DEVS 形式化模型可以用以下七元组表示^[10]:

$$M = \langle X, Y, S, ta, \delta_{ext}, \delta_{int}, \lambda \rangle \quad (1)$$

其中, X 为输入事件集合, Y 为输出事件集合, S 为系统状态编号集合, ta 为各状态时间方程, δ_{ext} 为系统状态在外部事件驱动下的迁移方程, δ_{int} 为系统状态自迁移方程, λ 为输出方程。上述模型形式实际上是 Moore 有限状态机(FSA: Finite State Automata)的语义扩展, 即增加了状态的时间方程和耦合模型的表示方法。这种基于 FSA 的模型表示不仅能够直观地展现状态间动态关系而且非常便于编程实现。

3.3 高炉出铁模型

本小节以高炉出铁模型为例说明本文采用

的 DEVS 建模思路。其它模型, 如转炉、脱硫模型与此类似, 不再赘述。大型高炉一般配备四个出铁口, 其中三个口轮流使用, 一个口备用。每个出铁口有两个出铁溜槽, 每个炉次通过溜槽依次向溜槽下方出铁线上过跨车所承载的铁水罐放铁。完成当前炉次后, 根据铁口切换次序打开下一个出铁口。

图 3 所示为高炉出铁 DEVS 模型的状态迁移图, 它由铁口切换子模型和溜槽切换子模型并联组成。高炉连续出铁, 其状态可由当前正在出铁的铁口和出铁溜槽表示。因此设置高炉出铁模型的状态变量集合 $S_{BF} = \{s_1 = \text{出铁口}, s_2 = \text{出铁溜槽}\}$ 。

由于高炉每次出铁流速不均, 导致铁水罐完成

受铁时间波动。根据某炼铁厂生产统计数据, 将高炉出铁时间间隔近似为高斯分布 N_{BF} 。当前铁口出铁时间计算模块产生间隔时间符合 N_{BF} 分布的“出铁完毕”事件, 由此驱动铁口切换子模型进入铁口关闭状态。然后, 读取铁口切换次序表获得下一出铁口, 根据返回值释放“打开 n#铁口”事件, 完成由铁口关闭到 n#铁口的状态切换。此外, 当前罐放铁时间计算模块根据当前炉次已经完成的出铁量和当前铁水罐是否是空罐还是半罐, 计算所需的放铁时间, 设置“切换溜槽”事件, 驱动溜槽切换子模型的状态跃迁。

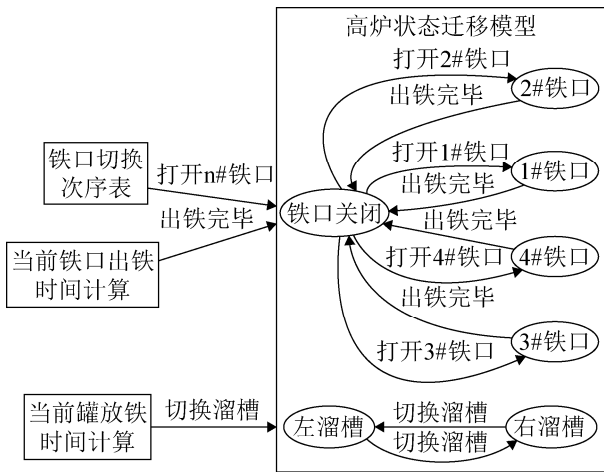


图 3 高炉出铁模型
Fig.3 Furnace output model

3.4 起重机和过跨车模型

在铁水运输物流实际生产中, 调度员根据当前工况对起重机或过跨车发出具体指令, 然后根据指令执行情况反馈继续下一步任务。为了模拟调度交互过程, 我们把调度员和调度中心抽象成“调度”模型。每台起重机/过跨车设置一个双优先级队列用来放置调度任务指令。其中, 设置避让行车任务具有高优先级, 以确保任何时候均能优先得到执行。

考虑到过跨车负责出铁线上铁水罐的受铁、运转和空罐回罐, 起重机主要完成出铁线和铁水通廊之间铁水罐的吊运。因此起重机和过跨车只能处于 3 种状态之一: 空闲、忙、故障。其中, 忙的状态

又可以分成行车、在某工位执行某操作两种情况。根据以上分析, 本文仿真系统的起重机和过跨车模型设计如图 4 所示。

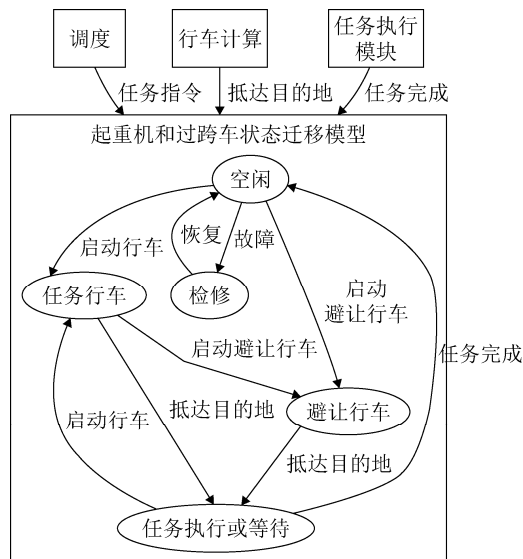


图 4 起重机和过跨车状态模型
Fig.4 State model of cranes and cross-train AGVs

起重机和过跨车模型通过与调度模块交互完成物流运输动作相关的状态迁移。这个过程模拟了实际调度过程。起重机和过跨车的每次调度任务都以调度模块释放“启动行车”指令事件开始。起重机和过跨车模型在接受到上述事件后将通过行车计算模块进行任务行车, 直到收到行车计算模块释放的“抵达目的地”事件之后, 转入“任务执行或等待”状态。在该状态下, 执行调度指令对应的过跨车受铁、起重机起吊、座包、转炉兑铁等操作, 或者进入过跨车等待起吊、等待座包状态。在上述状态下接收到任务执行模块释放的“任务完成”事件后切换模型状态到“空闲”。

上述模型需要说明两点: (1) 当“空闲”状态下起重机或过跨车已经处于任务执行或等待所对应的目的工位时, 仍然需要先切换到“任务行车”状态, 再立即进入“任务执行或等待”状态。(2) 由于出铁线和铁水运转跨上均包括两台车, 为了避免可能出现的碰撞, 需要在两车方向和目的矛盾的情况下使得其中一台车避让。为此专门定义“避让行车”

状态,使其和“任务行车”状态区分。这样也便于模拟统计起重机和过跨车的有效利用率。

4 仿真系统实现

以图 1 所示铁水物流工艺设计为例,本文采用 Plant Simulation(PS)离散事件仿真软件开发了仿真系统。PS 软件支持面向对象的模型设计,采用 SimTalk 脚本语言控制仿真逻辑,可以比较方便地实现仿真对象模型的组件化和重用。仿真系统的运行界面如图 5 所示。其中,轨道长度、间距以及工位相对位置都按照工艺设计比例设置。

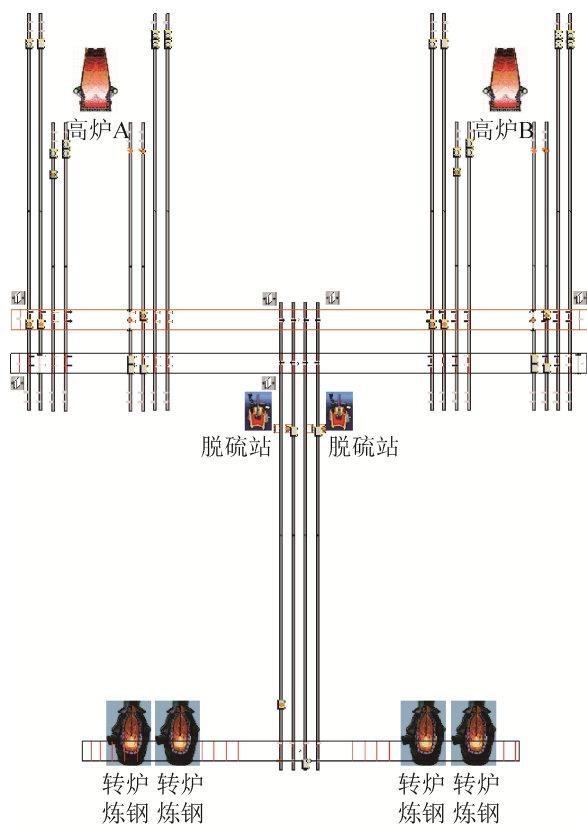


图 5 仿真运行界面

Fig.5 Interface of simulation running

铁水物流设计方案的优选需要系统化地评估设计参数不同组合,这往往涉及较多仿真场景。本文采用如图 6 所示的系统化实现多场景评估流程。首先,设计者需要根据工艺要求给出物流方案的性能铁水物流设计方案的优选需要系统化地评估设计参数不同组合,这往往涉及较多仿真场景。本文

采用如图 6 所示的系统化实现多场景评估流程。首先,设计者需要根据工艺要求给出物流方案的性能指标,如起重机利用率、周转时间、有效周转铁水包数、转炉空等时间等;此外还需要设定必须满足的安全性约束,如过跨车返回受铁位时间约束。然后需要设计者根据经验给出参数范围(枚举出参数可能的离散取值),如工位位置、轨道距离、行车速度、处理时间扰动、调度优先级设置、随机数种子取值等。借助 PS 软件的“实验管理器”功能,系统化地遍历参数范围内所有组合。对每一种组合,通过仿真初始化模块完成场景和模型参数的设定。实验管理器完成当前设置下的仿真运行,调用仿真统计模块输出并存储仿真结果。实验管理器重复以上过程直到所有场景都经过仿真评估,通过仿真分析模块与性能指标设定和安全性约束进行比较,筛选出满足要求的场景配置。为决策者选择最佳的设计方案提供量化的评估依据。

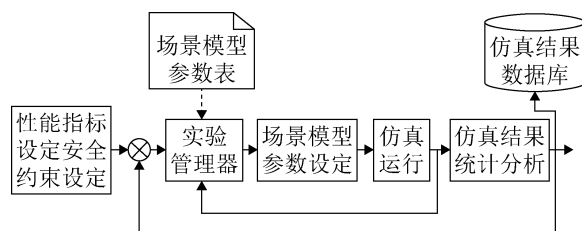


图 6 多场景仿真评估

Fig.6 Multi-scene simulation evaluation

5 结论

在铁水运输物流工艺设计阶段,对设计方案进行仿真评估有两个主要目的:1) 系统化地考虑动态不确定因素,预测物流工艺设计的性能和安全性;2) 得到量化的评估结论。实现上述目的要求仿真系统能够较为方便地覆盖大量可能出现的情况。为此,本文提出面向对象的组件式仿真对象设计和基于有限状态自动机动态建模技术,在 PS 仿真平台基础上实现了铁水运输物流过程的仿真系统,能够有效提高仿真系统的灵活性、可配置性和仿真对象的可重用能力。为设计方案决策者提供科学、便捷的评估手段。

参考文献:

- [1] 廖哲灵, 王净. 铁钢界面技术的效益优势比较研究 [J]. 钢铁技术, 2009, 17(2): 1-3.(Liao Zheling, Wang Jing. Comparison Study of the Economic Advantages of Iron Interface Technologies [J]. Iron Technologies, 2009, 17(2): 1-3.)
- [2] 崔建江, 罗首章, 刘峰, 等. 铁水运输仿真系统的设计与实现 [J]. 系统仿真学报, 2003, 15(12): 1799-18002.(Cui Jianjiang, Luo Shouzhong, Liu Feng, et al. Design and Realization of the Iron Melt Transport Simulating System [J]. Journal of System Simulation, 2003, 15(12): 1799-1802.)
- [3] 祁明明, 王力, 袁超, 等. 基于em-plant的铁水铁路运输物流系统建模与仿真 [J]. 工业工程, 2010, 13(2): 76-81.(Qi Mingming, Wang Li, Yuan Chao, et al. eM-Plant Based Simulation Model for Hot Metal Transportation in Steel Plant [J]. Industrial Engineering Journal, 2010, 13(2): 76-81.)
- [4] 叶薇, 邹忠平, 苏莉, 等. 重钢铁水运输“一罐制”工艺设计 [J]. 炼铁, 2012, 31(2): 21-24.(Ye Wei, Zou Zhongping, Su Li, et al. “One Ladle from BF to BOF” Process Design for Hot Metal Transportation in Chongqing Iron & Steel Co.,Ltd. [J]. Iron Making, 2012, 31(2): 21-24.)
- [5] 黄辉, 罗小川, 郑秉霖, 等. 炼铁-炼钢区间铁水重调度方法及其应用 [J]. 系统工程学报, 2013, 28(2): 234-247.(Huang Hui, Luo Xiaochuan, Zheng Binglin, et al. Hot Metal Rescheduling Method and Its Application Between the Iron-Making and Steel-Making Stages [J]. Journal of Systems Engineering, 2013, 28(2): 234-247.)
- [6] Stewart Robinson, Richard E Nance, Ray J Paul, et al. Simulation model reuse: definitions, benefits and obstacles [J]. Simulation Modelling Practice and Theory (S569-190X), 2004, 12(7/8): 479-494.
- [7] 钟大尊. “一罐到底”技术在总图布置中的应用 [J]. 现代冶金, 2011, 39(2): 45-46. (Zhong Dazun. The Application of “One Pot” Technology in Layout Planning [J]. Modern Metallurgy, 2011, 39(2): 45-46.)
- [8] 范新库. 钢铁厂铁水运输方式与总图布置 [J]. 工程建设与设计, 2010(10): 29-34. (Fan Xinku. Hot Metal Transportation Method and General Layout of Iron & Steel Plant [J]. Architectural and Structural Design, 2010(10): 29-34.)
- [9] Matteo Golfarelli, Stefano Rizzi, Andrea Proli. Designing what-if analysis: Towards a methodology [C]// DOLAP'06, Arlington, Virginia, USA. USA: ACM Press, 2006: 51-58.
- [10] Zeigler B P, Parehofer H, Kim T G. Theory of Modeling and Simulation [M]. 2nd edition. USA: Academic Press, 2000.
- [10] 朱晓星, 盛锴, 刘陆军. 基于综合算法的汽轮机及其调节系统参数智能辨识 [J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(20): 138-143. (Zhu Xiaoxing, Sheng Kai, Liu Lujun. Intelligent parameter identification of steam turbine and its governing systems based on multi-algorithm [J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(20): 138-143.)
- [11] 田云峰, 郭嘉阳, 刘永奇, 等. 用于电网稳定性计算的再热凝汽式汽轮机数学模型 [J]. 电网技术, 2007, 31(5): 39-44. (Tian Yunfeng, Guo Jiayang, Liu Yongqi, et al. A mathematical model of reheat turbine for power grid stability calculation [J]. Power System Technology, 2007, 31(5): 39-44.)
- [12] 李劲柏, 刘复平. 汽轮机阀门流量特性函数优化和对机组安全性经济性的影响 [J]. 中国电力, 2008, 41(12): 50-53. (Li Jinbai, Liu Fuping. Optimization for the flow characteristic function of turbine valves and the influences on safe and economic operation [J]. Electric Power, 2008, 41(12): 50-53.)
- [13] DL/T 1235-2013 同步发电机原动机及其调节系统参数实测与建模导则 [S]. (DL/T 1235-2013 Guide for modeling and testing of generator prime mover and governing system [S].)

(上接第 2548 页)