Design and Implementation of Simulation System for Mining Production Process

Yaodong Zhou [1], Yiqing Zhao [1], Xiuqiang Hao [2]

1. Department of Mineral Resources Engineering, University of Science and Technology Beijing, The Key Laboratory of High Efficiency Mining and Safety for Metal Mines, Ministry of Education, Beijing, China

2. China ENFI Engineering Corporation, Beijing, China

Email: yaodongz@gmail.com, yiqingzhao@126.com, haoxq@enfi.com.cm

Abstract: With the development of mining production, the digital control system had improved the mining productivity and will bring stricter requirements for mining production dispatching. Base on the analysis of the production control system in large mine, a dynamic mining production process simulation system was built and this simulation system provided dynamic simulation in the procedure of mining, mineral processing, truck loading and control room. With the analysis of ore output, mining machine efficiency and ore proportioning result, the mining production plan was shaped and the validity and reliability of this simulation system was validated by the simulation result.

Keywords: production process, simulation system, dispatching

矿山生产过程仿真系统设计与实现

周耀东 [1]，赵怡晴 [1]，郝秀强 [2]

1.北京科技大学土木与环境工程学院资源工程系，金属矿山高效开采与安全教育部重点实验室，北京，中国，100083

2.中国恩菲工程技术有限公司设计管理部采矿室，北京，中国，100083

Email: *yaodongz@gmail.com, yiqingzhao@126.com,* haoxq@enfi.com.cm

摘　要：随着矿山开采的不断发展，数字化控制系统在提高矿山生产效率的同时，也对矿山的实际生产调度提出了更高的要求。本文在分析大型矿山生产控制系统的基础上，建立了矿山生产流程动态仿真系统，系统分别对矿山生产当中的采场阶段、洗选阶段、装车阶段以及控制中心进行动态仿真。通过对矿石生产量、矿山机械效率和配矿结果的分析，完成矿山生产计划制定，仿真结果验证了仿真系统的可靠性和正确性。

关键词：生产过程；　仿真系统；　生产调度

1 引言

随着矿山企业内部调整和设备技术的不断进步，数字矿山的理念逐渐形成，矿山生产数字化系统在我国大型矿山的应用不断加强。大型矿山生产数字化系统是一套规模大、投入高的实时控制系统，通过中央控制平台，实现对采场、选矿和装车的远程调度，提高了矿山信息集成化处理[1,2]。然而由于受到矿山生产和安全等因素的制约，很多矿山在生产计划和调度假设参数无法得到有效验证的情况下，依然大量采用经验公式设定各种参数。矿山生产系统仿真研究可以更加灵活的验证矿山生产控制过程中的各种假设，提高生产效率。目前国内外很多学者进行了生产流程仿真研究并取得了一定成果，但大多是针对矿山生产中的某一单独环节，对整个矿石流在各环节中的研究相对较少[3,4]。

本文通过分析矿山生产过程中各个环节间的相互关系，以及矿石在各个环节当中的流动状态，利用现有仿真技术，对矿山各个环节的离散事件进行仿真模拟，并在离散事件的基础之上建立了矿山生产流程仿真系统。通过在某露天矿山的应用验证，其仿真结果与矿山生产实际相符。

2 矿山生产流程分析

矿山生产流程仿真是对矿山生产过程中矿石在不同矿山机械间的流动状态进行模拟。按照矿石在生产环节中流动区域不同主要分为 3 部分：不同采区爆破后的矿石由矿车运到卸矿点完成卸矿过程，

978-1-935068-18-1 © 2010 SciRes.

破碎后的矿石由皮带运输到洗选厂完成洗选过程，洗选后的矿石被转移进入储矿仓并通过装车系统装载完成装车过程。生产仿真的目的是利用计算机，根据矿山实际计划、营运计划以及实时调度准则对矿山生产过程进行模拟，以检验生产计划能否实现固定时间内班产量最大化或固定产量下的系统资源最小利用。为了能够更好的仿真整个生产流程，各项环节中的数据采集显得尤为重要。如图 1 所示为各环节间的数据传输关系。

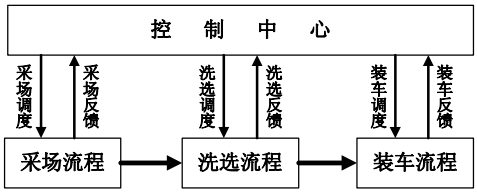


Figure 1. Data flow in mining production process
图 1. 矿山生产过程中的数据传输

2.1 采场流程

矿山采场工作的矿石流动过程主要分为三个步骤：采掘过程、采场运输过程以及卸矿过程。采掘过程：在采掘过程主要是记录各采掘设备的装车时间、运输目的、装载重量和品种；采场运输过程：主要功能包括记录装矿点和卸矿点之间道路的长度，重车和空车在该道路上的运行速度；卸矿系统：主要功能包括设置卸载点的卸载时间，记录各卸载点前队列排队长度以及卸矿后矿车的行驶目的。

2.2 洗选流程

洗选中矿石移动过程主要分为：破碎过程、皮带运输过程和洗选车间过程。破碎过程：包括各种使用中的各种破碎站，其主要功能包括设置各破碎机的工作状态，记录各破碎机的矿石流入流出量，破碎机工作信息；皮带运输过程：其主要功能包括设置各皮带运输机的工作状态，矿石在运输机上的运行速度，记录皮带运输机上的矿石量、速度和流向信息；洗选车间过程：其主要功能包括设置洗选车间的洗选状态，记录矿石洗选信息。

2.3 装车流程

洗选处理后，矿石经过短暂的存放进入装车环节，矿石进入储矿仓通过配混后进入装车系统，当火车到达时触发装车，装车仿真系统仍需要作为离散仿真进行处理。装车过程主要包括：储矿仓出矿、火车运输以及装车过程。储矿仓出矿主要功能包括设置储矿仓状态，记录矿石在储矿仓的流入流出量及各个储矿仓之间的配比情况；火车运输主要功能包括记录火车的载重，火车编号，火车装载种类以及当前位置；装车环节主要功能包括装车记录，单车载重等。

2.4 控制中心

控制中心有效实现了矿山设备在采场、洗选和装车的全面调度，完成矿石配矿过程。根据矿山设备状态、生产计划及调度安排，得出当前设备的指派指令，并将该指令存储在数据库中，矿山设备读取数据库中的调度指令以实现对矿山设备的调度。控制中心的职能主要包括：采场控制、洗选控制和装车控制。采场控制：主要负责采场内矿车的调度请求，根据调度请求计算并返回具体的矿车调度指令，实现采场的配矿过程；洗选控制：主要负责洗选过程中矿石的流动方向，调控从各卸矿口由皮带运输至不同的洗选车间，实现洗选的配矿过程；装车控制：主要负责在获取火车的调度请求后，根据火车到达的前后顺序调度矿石从多个储矿仓进入装车系统，完成装车的配矿过程。

3 仿真模型构建

矿山生产流程仿真模型是以离散事件仿真为主的典型仿真模型，其中采场仿真系统和装车仿真系统可以看作离散仿真事件[5]。洗选仿真系统中由于矿石不断运动，可以作为矿石以一定的速率在离散模型中流动的过程。矿山生产仿真系统包括：采场仿真系统、洗选仿真系统、装车仿真系统以及控制中心。矿山生产流程仿真系统框架如图 2 所示。

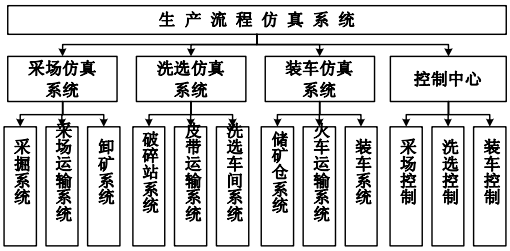


Figure 2. System framework
图 2. 系统框架图

3.1 采场仿真系统

考虑到矿车的特点，系统将每一个矿车看成为单一的离散事件开始来处理，当矿车离开装矿点或卸矿点时触发调度。开始仿真时，用附有初始参数的实体来仿真实际系统中的矿车，通过数据库调度

指定电铲，利用转换模块在电铲位置对矿车进行初始的载重赋值。在矿车运行过程中，通过不断改变其参数以得到矿车的运行数据，包括当前矿车的行驶目的、矿车所在位置等。矿车进入卸矿模块将矿石释放，从而完成对采场的仿真过程。卸矿完成后，矿车检验是否存在下一轮作业，如存在，则返回指定电铲继续作业循环。采场仿真模型主要包含：矿车生成模块、电铲模块、道路模块和卸矿模块。采场仿真流程如图 3 所示：

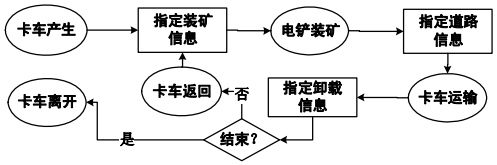


Figure 3. Simulation flow chart for mining stope

图 3. 采场仿真流程图

3.2 洗选仿真系统

洗选仿真以矿石从卸矿口进入破碎站作为仿真开始的标志，模拟矿石流在各洗选环节中的流动、分离情况。由于在破碎站和洗选车间内所进行的主要是矿石块度以及成分的改变，矿石重量在整个过程中没有变化，洗选仿真系统通过遵循矿石重量不变的情况从而进行离散速率仿真。用附有参数的容器模拟破碎站，矿石从破碎站经过分流器分流，进入各洗选车间。模拟过程当中用分流器将待选矿石分为精矿、尾矿。精矿进入储矿仓等待装车，尾矿运往尾矿库储存，完成洗选仿真。洗选模块主要包括：矿石破碎模块、皮带运输模块和洗选车间模块。洗选仿真流程如图 4 所示：

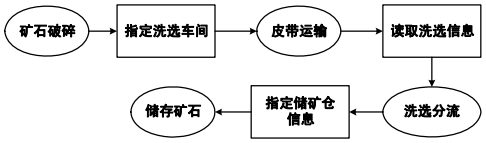


Figure 4. Simulation flow chart for mineral processing

图 4. 洗选仿真流程图

3.3 装车仿真系统

装车仿真以矿石进入储矿仓作为仿真开始的标志，模拟精矿从储矿仓经过混合后进入装车系统完成装车的过程。开始仿真时，用附有参数的容器模拟储矿仓，矿石从储矿仓通过皮带运输实现一定的配比进入装车系统，用附有初始参数项的实体来模拟系统中的火车，由于在装车过程当中以车厢为单位进行统计，系统利用分解模块将火车分解为单一车厢，装车结束后，再组合为整个火车实体离开装车系统，完成装车仿真。装车仿真系统主要包含：火车生成模块、储矿仓模块、装车系统模块。装车仿真流程如图 5 所示：

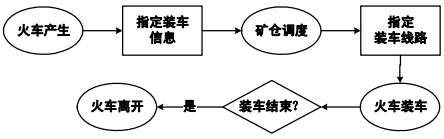


Figure 5. Simulation flow chart for loading

图 5. 装车仿真流程图

3.4 控制中心

在仿真系统中，控制中心完成系统与数据库的交互任务，表现为仿真初期对数据库的访问，实现对各项初始参数的赋值；在仿真过程中各项生产参数被写入数据库，对各设备发出调度指令。控制中心实现了仿真系统与现实生产状况的联系，仿真系统读取原始生产计划实现对系统中对矿山机械的调度并将运行数据写入数据库，操作人员读取数据库中的数据进行计算和调整得到进一步的结果，并将其存入数据库中。

在采场控制仿真当中，通过矿车与数据库的链接，矿车单一作业完成后，可以根据当前的需要，从数据库当中查询进入下一步指令，完成采场调度；洗选调度依据数据库中的参数改变皮带运输中的不同连接状态，完成洗选调度；装车调度系统根据数据库中查询到的即将到达火车指定相应的储矿仓配比参数，根据制定好配比方案完成对储矿仓的装车调度。

4 仿真过程中的各项仿真指标

矿山生产调度系统是一个复杂控制系统，很难从一类指标中对该系统进行全面的评价，矿山生产流程系统中，除了要对矿山机械的使用效率进行计算，同时还要对各生产环节中的生产能力以及矿石的配比情况进行评价。

4.1 产量

产量是矿山生产中最关注的指标，它直接反映了整个矿山的生产情况，因此产量是评价系统必不可少的指标，仿真系统根据不同的时间段计算班产量、日产量、月产量和年产量。按照需求进行产量

978-1-935068-18-1 © 2010 SciRes.

统计。

4.2 矿山机械工作效率

矿山机械生产效率是指矿山机械在整个生产过程中的实际工作时间与该机械在这段时间的总工作时间的比，以矿车为例，其实际工作时间为在总工作时间的基础上减去矿车排队等待的时间。如公式 1 所示：

$$\omega_{truck_id} = 1 - \frac{\sum_{k=1}^{n} t_{truck_id,kwait}}{\sum_{k=1}^{n} t_{truck_id,kwhole}} \tag{1}$$

式中：ω_{truck_id} 为矿车工作效率；

$t_{truck_id,k}$ 为某矿车在第 k 次作业过程中总工作时间；

$t_{truck_id,kwait}$ 为该矿车在第 k 次作业中排队等待时间。

4.3 各环节配矿量

由于矿山生产调度系统的复杂性，矿山配矿发生在矿山实际生产的各个生产环节当中。在实际生产调度的时候除了考虑提高矿山机械工作效率的同时，也需要遵循各环节的配矿要求是否能够达到最终的效果。有效的配矿调度能够更好的避免由于配矿失误所造成的经济损失。仿真系统检验配矿效果是通过统计从采场环节到装车环节的各种配比情况，得出装车矿石和采区之间的关系。如公式（2）所示为计算某指定火车所装载矿石的配比率：

$$R_{load_id,pit_id} = \frac{Q_{load_id,pit_id}}{Q_{load_id}} \tag{2}$$

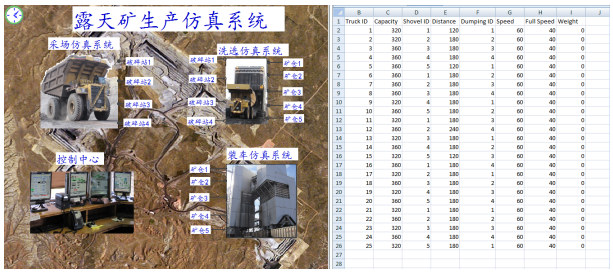
式中：R_{load_id,pit_id} 为火车从某采场装载的矿石比率；

Q_{load_id,pit_id} 为火车所该采场装载的矿石量；

Q_{load_id} 为火车装载的总的矿石量。

5 仿真应用

利用本文所研究的仿真原理对某大型露天煤矿的生产情况进行了仿真。该露天矿有 8 台电铲，其中日常工作电铲数量为 5 台，其余 3 台处于等待作业或采区转移过程中；矿山现有矿车 30 辆，矿车载重 320t；矿石通过矿车运输至 4 个不同方位的矿石卸矿口，卸矿口和破碎站直接连通；破碎后的矿石通过皮带运输分别进入 5 个储矿仓储藏等待装车，两套独立的装车系统完成装车要求。



Truck ID	Capacity	Shovel ID	Distance	Dumping ID	Speed	Full Speed	Weight
1	320	1	120	1	60	40	0
2	320	2	180	2	60	40	0
3	360	3	180	3	60	40	0
4	360	4	180	4	60	40	0
5	360	5	120	1	60	40	0
6	360	1	180	2	60	40	0
7	360	2	180	3	60	40	0
8	360	3	180	4	60	40	0
9	320	4	180	1	60	40	0
10	360	5	180	2	60	40	0
11	320	1	180	3	60	40	0
12	360	2	240	4	60	40	0
13	320	3	180	1	60	40	0
14	360	4	180	2	60	40	0
15	320	5	120	3	60	40	0
16	360	1	180	4	60	40	0
17	320	2	180	1	60	40	0
18	360	3	180	2	60	40	0
19	320	4	180	3	60	40	0
20	360	5	180	4	60	40	0
21	320	1	180	1	60	40	0
22	360	2	180	2	60	40	0
23	320	3	180	3	60	40	0
24	360	4	180	4	60	40	0
25	320	5	180	1	60	40	0

Figure 6. Simulation system interface
图 6. 仿真系统界面

在 windows 环境下，利用仿真工具构建露天矿流程仿真模型。如图 6 所示，系统实现了对各生产环节之间的仿真，系统利用 OBDC 技术完成与数据库的连接，通过与 excel 的连接简化部分生产参数的设定和完成设计报表，最终实现了仿真系统、控制中心数据库和生产设计人员的交互。

6. 总结

目前国内外采用仿真技术研究矿山生产动态过程的情况依然较少。本文在分析矿山生产流程的基础上，提出利用连续仿真技术构建矿山生产流程仿真模型的方法。分别对矿上生产流程中的 3 个环节：采场过程、洗选过程和装车过程进行仿真模拟，利用控制中心通过数据库对矿山生产进行调度。其仿真过程思路清晰，便于进行人机交互。实践结果表明，系统各项仿真数据的统计结果表明基于连续事件的矿山生产流程仿真能够有效地仿真矿山生产现实，指导矿山实际生产。通过生产仿真系统对矿山生产的研究提供了新思路。

References (参考文献)

[1] Li Zhongxue, Zhao Wenguang, et al. Some Recent Advances in Discrete Event Simulation and its Applications[J]. *Computer Simulation*, 1999, 16(4), P3-5(Ch)
李仲学，赵文广等. 离散事件仿真及其应用的某些新进展[J].

计算机仿真，1999，16(4)：3-5

[2] Li Zhongxue. System simulation technique and its new progress in application in mining abroad[J]. *China Mining Magazine*, 1998, 7(2), P75-79(Ch)
李仲学. 国外系统模拟技术及其在矿业中应用的新进展[J].中国矿业,1998,7(2):75-79

[3] Yu Gang, Zheng Bing-Lin, et al. Process modeling oriented production planning and scheduling simulation system for mineral processing[J]. *Journal of System Simulation*, 2010, 22(3), P593-600(Ch)
余刚，郑秉霖等. 面向过程建模的选矿生产计划调度仿真系统[J].系统仿真学报,2010,22(3):593-600

[4] Zhang Jie, Zhang Ying, et al. Object-oriented Visual Simulation for Truck Dispatching System in Surface Mine[J]. *Journal of System Simulation*, 2004，16(3), P535-545(Ch)
张婕，张莹等. 面向对象的露天矿卡车调度系统可视化仿真[J]. 系统仿真学报，2004，16(3)：535-545

[5] Chen Chong, Zhang Ying, et al. Simulation of Truck Dispatching System in Surface Mine Based on Extend[J]. *Journal of System Simulation*, 2007，19(4), P914-917(Ch)
陈冲，张莹等. 基于 Extend 的大型露天矿卡车调度系统仿真[J].系统仿真学报，2007，19(4)：914-917,921

978-1-935068-18-1 © 2010 SciRes.