

露天矿数字开采过程仿真及其应用

刘光伟, 白润才, 赵浩

辽宁工程技术大学矿业学院, 辽宁阜新 123000

摘要 为了实现露天矿三维数字化虚拟开采, 提出了一种基于层间组合和定位显示技术驱动开采模板、动态切割实体模型的数字开采方法。在建立露天矿数字化三维地形模型、三维地质模型的基础上, 根据矿山工程发展状态及几何约束关系, 定义了以台阶为单元的分层式开采模板和驱动开采模板, 从而实现露天矿的开采过程仿真。以不规则实体构模技术及实体间布尔切割运算技术作为矿岩量快速分类计算的技术手段, 快速形成多个开采方案, 使多方案设计对比择优成为可能, 提高了采矿设计的速度和质量。研究结论为露天矿进行长远规划及定制长期计划提供了技术支撑。

关键词 露天矿; 三维地质模型; 数字开采; 开采模板

中图分类号 TD824

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2011.34.006

Simulation of Digital Exploration Process and Its Application in Surface Mine

LIU Guangwei, BAI Runcai, ZHAO Hao

School of Mines, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, Liaoning Province, China

Abstract A new method is proposed to simulate the 3D digital mining in surface mine, by driving the template to slice the integrated solid model continually with the benches being united and the position displayed. Based on the 3D terrain model and the 3D geological model of surface mine, the mining template is determined by the actual production situation of surface mine, to implement the simulation of surface mining by moving these templates to slice 3D models. Volume classification of rock and coal can be determined by solid modeling and boolean operation between solids, and then the mining plan is determined. The engineer may choose the best design from several planned designs. The proposed method improves the speed and the quality of long term design planning by virtualizing the digital exploration process.

Keywords surface mine; 3D geological model; digital exploration; mining template

0 引言

在露天矿开采过程中对露天开采方式进行长期规划意义重大。对于同一矿体采用何种开采方案、所采用方案的优劣直接影响着矿山工程的基建量、基建时间、投产与达产时间、生产成本与可能形成的生产规模, 影响着矿山开采的总体经济效益^[1]。在露天矿开采设计中, 合理的开采方案是一种极其重要而又十分复杂的工作, 受到很多因素的制约与影响, 通常需要设计出若干个可行的开采方案, 在此基础上进行综合比较之后才能选择出较优的开采方案, 且所做方案数越多, 选出的方案就越优, 常规的手工设计方法只能完成少量几个方案的比较, 从中选出的最终方案与真实的最优方案

可能相差甚远。数字模拟开采系统可以弥补上述缺点, 采矿工程师可以设计多个开采方案, 分别建立开采模型, 利用露天矿实体构模技术及计算机三维可视化模拟技术, 虚拟开采方案的发展过程, 实现了开采效果的仿真模拟, 从而进行多方案对比择优, 有效地指导露天矿进行长远规划^[2]。

本文以露天矿三维集成实体模型为基础, 根据矿山工程发展状态及几何约束关系, 定义以台阶为单元的分层式开采模板。将开采模板作为模拟工程位置的切割工具, 以不规则实体构模技术及实体间布尔切割运算技术作为矿岩量快速分类计算的技术手段, 提出了一种基于层间组合与定位显示驱动开采模板进行模拟开采的新方法。

收稿日期: 2011-08-22; 修回日期: 2011-11-20

基金项目: 辽宁省重点实验室项目 (LS2010075); 辽宁省教育厅科学技术研究基金项目 (2004F050)

作者简介: 刘光伟, 讲师, 研究方向为煤矿床数字地质、三维地质建模、采矿 CAD 等, 电子邮箱: liu_guangwei@yeah.net

1 露天矿三维地质实体模型的构建

到目前为止,三维地质建模比较成熟的建模方法主要有块段建模法和界面建模法。此外,许多学者^[1-2]基于四面体模型、三棱柱模型、广义三棱柱模型等建模方法也作了深入研究,这些方法也能实现三维地质模型的构建。每种方法都有其本身的优势和局限性,针对性强。

本文利用封闭面固化成体建模方法,将层状矿体近似地用顶面、底面和侧面来描述,通过固化使其成为实体。该方法主要是用 TIN(Triangulated Irregular Network)构建顶、底面和侧面模型形成封闭的闭合面,把闭合面固化形成地质体,从而构建三维地质模型,它能表达地质对象内部的属性特征和地质对象之间的拓扑关系,还可以实现三维空间分析、查询和空间决策功能^[3]。

1.1 构建采场现状实体模型

根据露天矿的采场现状,经过数据的预处理,使得数据严格满足建模的要求。以台阶平盘点为特征点、台阶坡顶线、坡底线为约束线构建 CD-TIN (Constraint Delaunay Triangulated Irregular Network)模型,如图 1 所示。将地形面的水平投影作为底面,根据顶面、底面、侧面构成包络面的原则,快速生成地形实体模型,如图 2 所示。

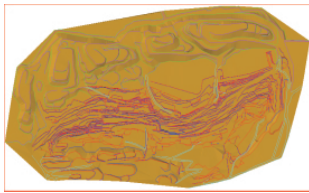


图 1 地形 TIN 模型
Fig. 1 Terrain TIN model

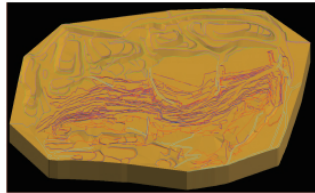


图 2 露天矿采场实体模型
Fig. 2 Terrain solid model

1.2 构建煤岩实体模型

对钻孔数据、剖面数据、断层信息、等值线数据和现场生产实数据按地质界面进行分类、分层的统计处理,建立矿床地质信息数据库,并在此基础上利用距离幂次反比法对煤层厚度、夹层厚度、顶底板高程、含煤系数等进行插值计算和拟合,如图 3 所示。由于建模区域内存在两条正断层,因此构建煤层 DEM(Digital Elevation Model)中将断层交线作为一种强约束参与构网。根据多层 DEM 构建实体模型的方法,煤层顶底板数据分层存放,可实现快速构网,如图 4 所示。采用包络面固化成体的方法构建煤岩实体,如图 5、图 6 所示。

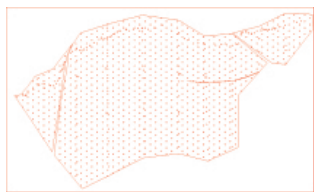


图 3 煤层顶板估值格网点
Fig. 3 Interpolated grid points on coal seam roof

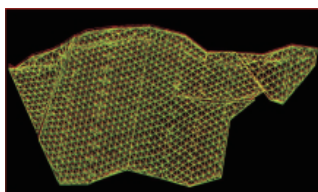


图 4 煤层顶底板面模型
Fig. 4 Face model of coal seam roof and floor

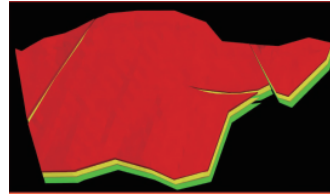


图 5 煤岩实体模型
Fig. 5 Coal solid model

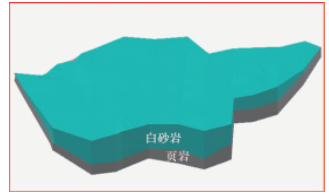


图 6 煤岩实体模型
Fig. 6 Rock solid model

1.3 构建露天矿三维集成实体模型

在已构建的地形、地质实体模型的基础上,以地形实体为基态实体,利用实体间布尔运算,两两求交,得到交集,再利用基态实体布尔差集求得基岩实体,最后将交集反向插入,形成无缝组合的露天矿集成模型,如图 7 所示。在实体模型的基础上,可以进行储量计算及剖面图的自动生成,如图 8 所示。

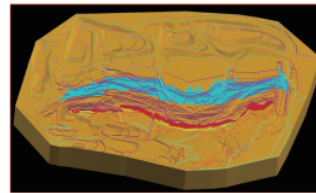


图 7 露天矿三维地质实体模型的建立
Fig. 7 Establishment of 3D open-pit solid model

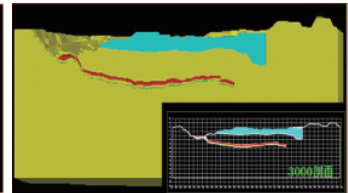


图 8 剖面图自动生成
Fig. 8 Section automatic generation

2 三维地质实体模型在模拟开采中的应用

2.1 开采模板参数化设计

实施模拟开采必须制作能反映矿山工程发展状态及几何约束关系的开采模板。采矿工程师可根据工作线长度、平盘宽度、台阶高度、台阶坡面角、开采深度等开采参数制作开采模板。开采模板是一个面模型,由被定义为空间三维多段线的台阶坡顶线、坡底线构成,可用三维线框模型描述(图 9),对其利用 CD-TIN 生长算法生成 DEM 模型(图 10),即为开采模板。它控制了各台阶空间位置关系和工作帮的形状。模板制作流程如图 11 所示。

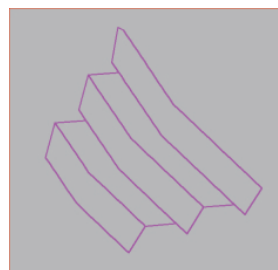


图 9 开采模板线框模型
Fig. 9 Wire frame of mining template

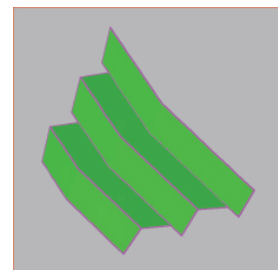


图 10 开采模板面模型
Fig. 10 Surface model of mining template

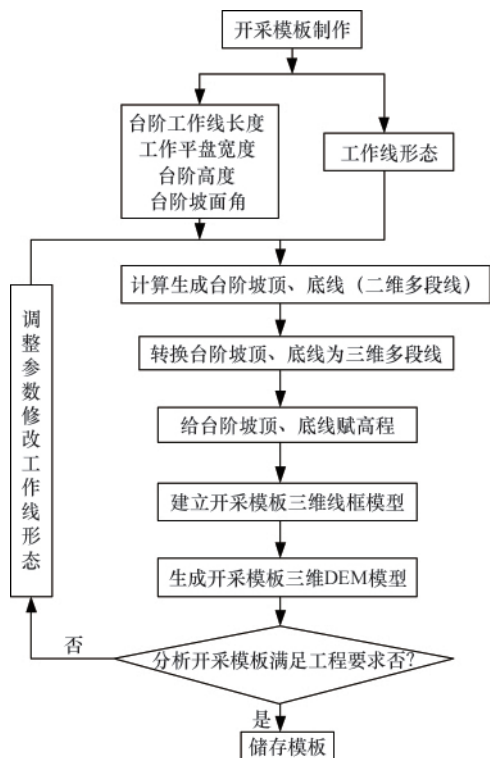


图 11 模板制作流程图

Fig. 11 Flow chart of mining template building

2.2 工程位置模拟

通过模板的推进实现扩帮,在扩帮的过程中,首先选择基准面(如煤层底板),沿基准面按照给定的推进方向、推进距离将模板进行三维偏移,可以按等步长驱动模板自动偏移,也可以采用“人机交互”的方式偏移模板到指定位置,每偏移一个位置就模拟出一个具体的矿山工程位置,模板的形状表现了当前位置工程状态和开采台阶之间的位置关系。可

以通过调整模板参数和台阶工作线形状实现对工程位置状态的调整。模板推进工程位置模拟方式如图 12 所示。

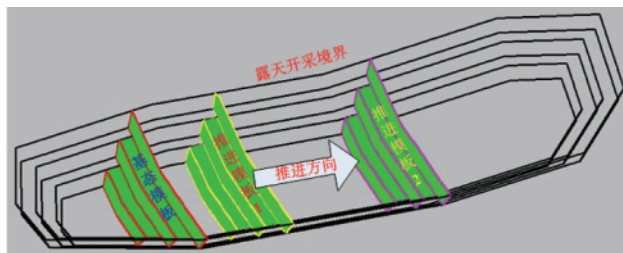


图 12 模板推进工程位置模拟方式

Fig. 12 Schematic diagram of template advancing

2.3 采剥工程量分类计算

由一系列的推进模板虚拟出露天矿的各个计划工程位置,模板相当于一把把锋利的“折面刀”,每推进一次就相当于对露天矿三维地质实体模型进行一次切割。在切割出工程位置的同时也计算相应的工程量。工程量计算原理如下:

(1) 利用包络面固化不规则体的实体构模技术,构建两个推进模板之间的算量实体,如图 13 所示;

(2) 算量实体与露天矿三维地形实体做布尔干涉运算,可求出两个工程位置之间的总工程量,各地质体与算量实体做布尔干涉运算可求出各岩种和矿种的工程量,并用不同的颜色区分出矿种和岩性(图 14),实时记录其对应的工程量(表 1);

(3) 将露天矿集成模型与原理(2)中的干涉体模型进行布尔差集运算,以此达到模型的自动衰减,为推进下一个工程位置提供基态模型。

驱动模板的过程,就是按照推进模板实体所在图层的编号进行索引循环,按顺序不断地变换当前图层中的推进模板

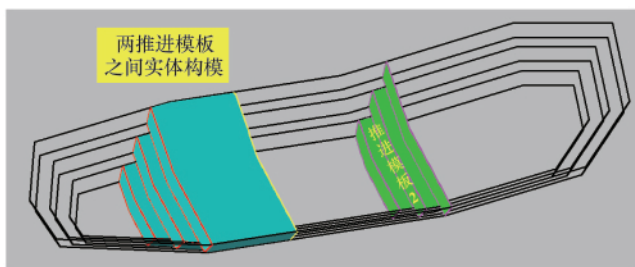


图 13 推进模板间的算量实体

Fig. 13 Slicing solid between two mining templates

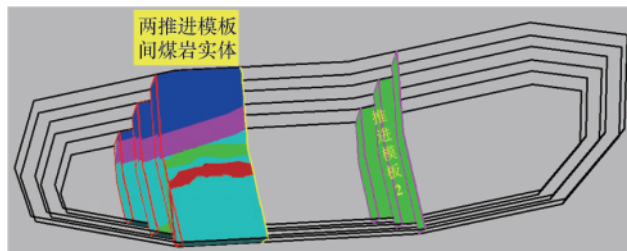


图 14 两模板之间的矿岩量分类计算

Fig. 14 Volume classification of ore and rock between two templates

表 1 模拟开采算量表

Table 1 Volume table of simulating mining

位置	表土/m ³	白砂岩/m ³	页岩/m ³	煤量/t			剥离量 合计/m ³	剥离比 /(m ³ ·t ⁻¹)	煤量累计 /t	剥离量 累计/m ³	平均剥离 比/(m ³ ·t ⁻¹)
				上煤	中煤	合计					
1	100624	590	1250966	905261	447842	1353103	1352180	1	1353103	1352180	1
2	931624	4359582	7677059	1601286	1063470	2664755	12968265	5	4017859	14320445	4
3	1017543	5176980	8602134	1087937	436616	1524553	14796657	10	5542411	29117102	5

实体,以此达到定位显示,并对三维地质模型不断地切割,实现虚拟开采的过程^[4]。

2.4 模拟开采

在已建立数字地质模型和开采模型的基础上,模拟开采就是驱动开采模板按确定的开采程序模拟露天矿工作线的推进,计算矿岩量的变化情况,进而模拟出露天矿剥、采、排工程的发展过程,实现工程位置、状态定位显示,工程量自动计算和存储^[5-6]。

以中煤龙化哈尔滨矿业公司依兰露天煤矿为实例,应用于该矿的陡帮横采内排的工程设计中。采、剥工程模拟如图 15 所示。2012 年末排土工程模拟如图 16 所示。由于现场实际情况非常复杂,而且采矿工程师根据开采模板所在的工程位置,以及工程位置所对应的工程量,进行适当的调整工程位置,直到满足工程位置满足设计要求为止。

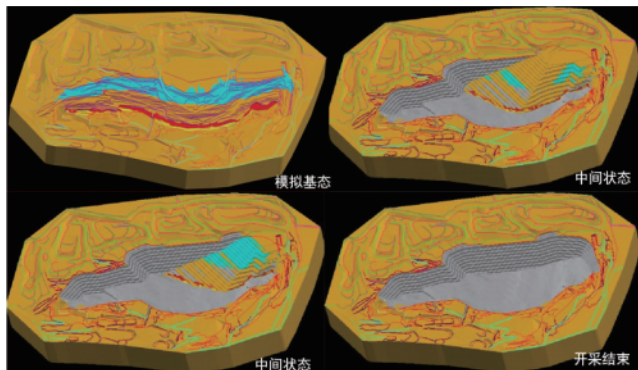


图 15 采剥工程模拟过程

Fig. 15 Simulation of stripping and mining

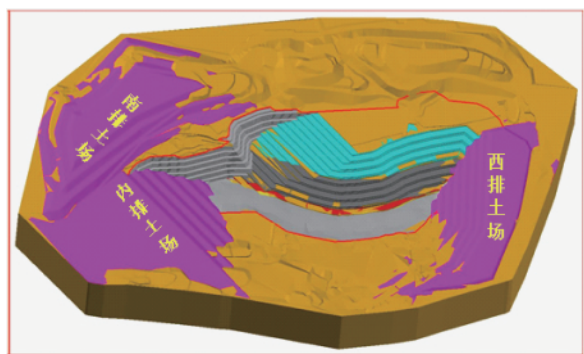


图 16 排土模拟过程

Fig. 16 Simulation of dumping

3 结论

在已构建的露天矿三维地质实体模型的基础上,详细论述了露天矿山数字开采技术的实现与具体应用,该技术方法具有以下特点:

(1) 根据露天开采的台阶特征和剥采排工程发展的空间几何关系,定义模拟开采模板,研究体现矿山工程发展状态

及几何约束关系的模板参数化设计方法;

(2) 以开采模板作为模拟工程位置的切割工具,驱动模板切割分层式开采模型,产生工程位置和计算工程量,提出了通过层间组合与定位显示的方法模拟台阶的产生、发展,实现了露天矿虚拟开采过程,并以黑龙江依兰露天煤矿为实例进行了应用研究;

(3) 按照不同的开采参数、开采程序,设计不同的开采模板,可实施多方案模拟开采,通过对比选取较为合理的方案,为露天矿开采设计提供技术支撑。

数字开采技术作为一种辅助设计手段,强大的三维可视化功能使得采矿设计人员对方案和设计优化有了较为直观的认识,为露天矿进行长远规划提供了有力依据。

参考文献 (References)

- [1] 王智静, 王青. 露天矿长期开采程序过程仿真与方案优选 [J]. 有色矿冶, 1996(6): 8-11.
Wang Zhijing, Wang Qing. *Non-Ferrous Mining and Metallurgy*, 1996(6): 8-11.
- [2] 魏春启, 张军, 马云峰. 露天矿山工程中模拟开采系统的建立方法及应用[J]. 辽宁工程技术大学学报: 自然科学版, 2000, 19(2): 113-115.
Wei Chunqi, Zhang Jun, Ma Yunfeng. *Journal of Liaoning Technical University: Natural Science*, 2000, 19(2): 113-115.
- [3] 刘光伟, 白润才, 曹兰柱, 等. 基于 AutoCAD 的露天矿三维地质模型的三维可视化构建方法 [J]. 世界科技研究与发展, 2008, 30 (6): 758-760.
Liu Guangwei, Bai Runcai, Cao Lanzhu, et al. *World Sci-tech R&D*, 2008, 30(6): 758-760.
- [4] 刘光伟, 白润才, 魏春启, 等. 基于三维地质模型的露天矿模拟开采系统应用研究[J]. 世界科技研究与发展, 2010, 32(6): 798-800.
Liu Guangwei, Bai Runcai, Wei Chunqi, et al. *World Sci-tech R&D*, 2010, 32(6): 798-800.
- [5] 王崇倡, 宋伟东, 白润才. 露天煤矿数字地质模型的建立及在虚拟开采中的应用研究[J]. 测绘科学, 2009, 34(6): 68-69.
Wang Chongchang, Song Weidong, Bai Runcai. *Science of Surveying and Mapping*, 2009, 34(6): 68-69.
- [6] 程绍恭. 基于 VBA 的 AutoCAD 二次开发在露天矿模拟开采中的应用研究[D]. 阜新: 辽宁工程技术大学, 2007.
Cheng Shaogong. *The application and research of surface mine simulation mining based on VBA with the secondary development of AutoCAD* [D]. Fuxin: Liaoning Technical University, 2007.

(责任编辑 董院军, 刘志远)

更正

《科技导报》2011 年第 31 期第 38 页“离散杆战斗部杆条抛撒规律的有限元分析”, 将第一作者李维的单位误标为“中国工程物理研究院化工材料研究所”。李维所在单位为“海军装备部驻重庆地区军事代表局, 四川绵阳 621900”, 特此更正。

《科技导报》编辑部