

三维可视化矿业软件综合应用技术研究

李 德, 曾庆田, 汪德文, 唐 飞

(云南玉溪矿业有限公司, 云南 玉溪市 653100)

摘 要:从三维可视化矿业软件的综合应用技术出发,对矿业软件在资源储量估算、动态管理、地下采矿设计、爆破设计和露天境界优化等多方面进行了实际应用技术研究。通过研究认为,在全面掌握软件应用技术的基础上,合理有效使用三维可视化矿业软件能够为矿山生产设计和管理决策提供强大的支持。

关键词:矿业软件;三维可视化;储量估算;采矿设计;露天境界优化

随着计算机图形学、信息技术、人工智能技术、计算机网络技术、数字通讯技术、三维仿真技术的飞速发展,矿业行业正在进行一场前所未有的技术革命。以高新技术、信息化技术改造传统矿业,创建数字矿山等一系列矿业技术革命正在进行。

三维矿床地质模拟是由勘探地质学、数学地质、地球物理、矿山测量、矿井地质、GIS、图形图像学、科学可视化等学科交叉而形成的一门新型学科。它由加拿大 Simon W Houlding 于 1993 年首先提出。经近几年的研究,这一概念普遍认同的定义为:运用现代空间信息理论和技术对地质体、地质现象以及与之有关的人类工程活动进行真三维再现和分析的科学和技术。在此基础上,地质数学的计算机化、图论和动态优化方法的融入,逐步开发形成了成熟的三维可视化矿业软件。三维可视化矿业软件的应用为矿业界带来了工作和管理模式的巨大变化,成为矿业开发的强大技术工具。

1 三维可视化矿山模型

1.1 三维可视化模型构建技术

三维可视化模型构建技术主要集成了线框模型技术、块段模型技术、地质变量估值方法和数据存储与管理技术。线框模型技术是形成矿山实体模型群的主要技术,线框模型的构建主要是采用 TIN 技术(不规则三角网模型)中的 Voronoi 图与 Delaunay 三角形算法。块段模型技术是矿床资源储量估算的基础技术,目前应用广泛的是规则块和变块技术。地质变量估值方法目前使用广泛的有多边形法、距离幂反比法和地质统计学方法中的多种估值方法。数据管理和存储主要依据不同的技术采用不同的方式

进行,主要有基于数据库的管理模式和基于文件夹的管理模式两类。

1.2 三维可视化矿山基础模型群

矿床可视化模型是建立在三维地质数据库的基础上,按照地质解释的原则建立起来的三维矿床模型,并对用矿体实体模型进行约束建立起来的块段模型进行合理有效的估值,从而建立起来的集钻孔空间数据库、矿床三维实体模型和能够反映矿床空间属性和品位变化规律的矿床块段模型的集合。按照模型创建顺序,三维可视化矿山基础模型群主要有:地质数据库、矿床模型、构造(断层)模型、数字地形模型。只有在建立了这些模型的基础上,才可以进行模型的综合应用。三维可视化矿山基础模型显示效果见图 1。

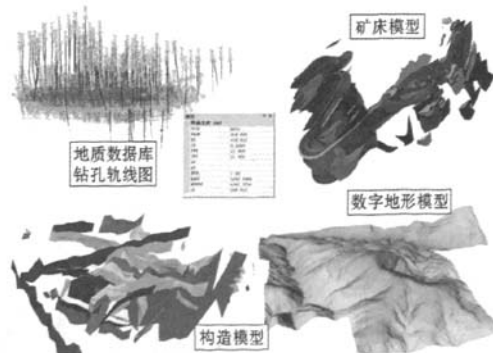


图 1 矿山三维可视化基础模型群显示效果

2 资源储量估算及动态管理

2.1 资源储量模型

目前矿业软件普遍采用块段模型作为资源储量模型,并进行资源储量的估算和评价。块段模型是

矿床品位推估及储量估算的基础,建立块段模型的基本思想是将矿床在三维空间内按照一定的尺寸划分为众多的单元块,然后对填满整个矿床范围内的单元块的品位根据已知的样品进行推估,并在此基础上进行储量估算,块段模型三维显示效果如图2。

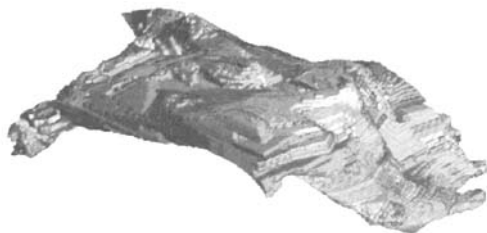


图2 块段模型三维显示效果

2.2 资源储量估算

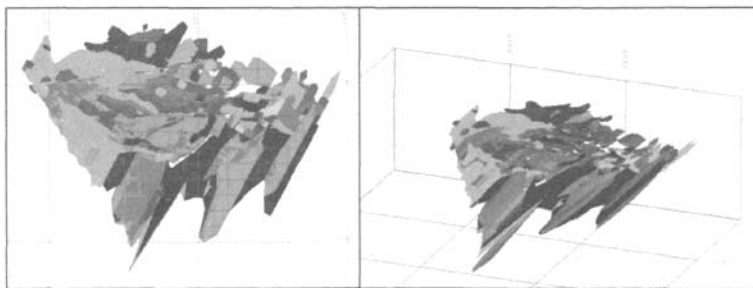


图3 云南某铜矿矿床实体模型(左为俯视图;右为三维任意方向图)

本研究估算资源储量级别是依据矿床勘查规范确定的勘查类型和勘查工程间距,然后再根据样品的搜索半径和参与估值的钻孔或工程数目进行划分的。当搜索半径小于或等于 50 m,搜索探矿工程数目在 5 个或 5 个以上时,估算探明的资源储量。当搜索半径大于 50 m、小于或等于 100 m,搜索探矿工程数目在 3 个或 3 个以上时,估算控制的资源储量。当搜索半径大于 100 m、小于或等于 200 m,搜索探矿工程数目在 2 个或 2 个以上时,估算推断的资源储量。当搜索半径大于 200 m,搜索探矿工程数目至少在 1 个以上时,估算预测的资源储量。具体的资源储量级别划分参数见表 1。

表1 不同控制程度估值邻域

控制程度名称	搜索半径	参与估值的工程数
探明的(331)	小于等于 50 m	≥5
控制的(332)	大于 50 m 小于等于 100 m	≥3
推断的(333)	大于 100 m 小于等于 200 m	≥2
预测的(334)?	大于 200 m	≥1

(2) 合理的单元块尺寸研究。合理的单元块尺

在资源储量估算过程中,主要需要研究的是合理的资源储量级别划分、合理的单元块尺寸选取和变异函数分析与估值方法研究等。下面以云南某铜矿为例,讲述资源储量估算中的主要应用技术问题。

(1) 资源储量级别划分研究。云南某铜矿为一铜铁多金属矿山,从上至下共分为 7 个矿层,分别是: I_c 、 I_3 、 I_b 、 I_2 、 I_a 、 I_1 、 I_0 。其中 I_c 、 I_b 、 I_a 、 I_0 是含铜铁矿体,而 I_3 、 I_2 、 I_1 是含铁铜矿体,整个矿床铜、铁矿带交替出现。

本研究建立了该矿山的矿床三维实体模型(见图3),然后按照距离幂反比法和克里格法对该矿床进行品位插值。在插值后的块段模型中,新建字段“搜索半径”和“工程数目”来记录和划分不同的资源储量级别。

寸要求既能满足品位和储量估算的精度,又要能够满足块段模型在计算机上快速计算和显示的要求。有人错误的认为,单元块越小,品位和储量估算结果就越精确。但是,从地质统计学理论可知,在已知数据(即样品数与样品在空间的分布)一定的条件下,单元块越小,对其品位的估计误差越大。本研究确定的单元块尺寸大小为 $8\text{ m} \times 8\text{ m} \times 2\text{ m}$,考虑了如下 6 项因素:该矿山矿体呈层状或似层状特征,且铜铁矿层交替出现;不同的开采方式及相应的矿块划分尺寸;矿区的勘查网度,单元块段的大小一般为勘查网度的 $1/2 \sim 1/4$;变异函数的特征,单元块段的大小一般为变程的 $1/4$ 左右;为了能够比较精确地控制及圈定矿体边界,选择相对小的单元块;尺寸更有利于零星小矿体的圈定和资源评价、回收。在边界处理上,三维可视化矿业软件普遍采用变块技术,即块段模型建立过程中按照各个方向上设定的变块参数进行细分优化,软件自动根据矿体实体约束进行块段取舍(保留形心在约束范围内的模块,舍弃形心不在约束范围内的块),通过这种方式来逼近

矿体实体模型边界。

(3) 变异函数分析与估值方法研究。通过对原始样品和组合样品统计分析后,按照走向、倾向和厚度3个方向计算该矿床的实验半变异函数,在实验半变异函数的基础上,拟合出符合该矿床的理论变异函数,作为后续估值的数学模型,模型参数见表2。

表2 变异函数参数

方向	方位(°)	倾角(°)	块金	基台	变程
走向方向	120	0	0.033	0.136	50
倾斜方向	210	-26	0.033	0.136	40
垂直(厚度)方向	210	64	0.033	0.136	20

本次估值过程中,采用了普通克立格法和距离幂反比法,资源储量级别划分见表1,按照搜索半径从小到大进行估值。在进行距离幂反比法估值中,对Cu品位进行估值时,采用的是距离立方反比法。

变异函数分析与估值方法研究,需要地质工作者在全面掌握矿床的成矿规律的基础上,在对现有勘探成果的统计分析和样品变异函数分析的基础上,确定出合理的变异函数估值数学模型,结合储量级别划分要求确定最终的估值方案,进行合理的品位推估。需要特别注意的是,理论变异函数拟合后,必须通过交叉验证,才能作为估值的依据。

2.3 资源储量模型更新及动态管理

资源储量模型建立不是一劳永逸的,需要根据生产和勘探的进行,不断的更新矿床模型,不断的提高资源储量级别,用于指导矿山开采。矿床模型的更新采用局部更新方法,按照季度或者年度的生产勘探情况进行局部定期更新。更新的内容主要有:矿体边界的变化引起矿体形态的变化;新增加勘探数据的更新;主要控矿构造位置和形态变化更新;理论变异函数的拟合与交叉验证。

建立了矿山的资源储量模型后,可以快速的在任意时点计算出矿山的保有资源储量、消耗资源储量和按照固定生产规模计算矿山的剩余服务年限,实现资源储量的动态管理。

3 地下采矿系统再现及爆破设计

3.1 开拓系统模型建立

三维可视化矿业软件具备创建矿山三维工程实体模型的功能,根据实际或设计工程的位置、断面形状和尺寸,再现工程实体。图4即为该铜矿的矿山开拓系统模型。

3.2 采切工程系统构模

矿业软件具备创建采切工程系统模型的功能。越来越多的软件可以通过参数化来自动生成采场、底部结构、凿岩巷道等采切系统模型,生产的采切工程及采场模型见图5。

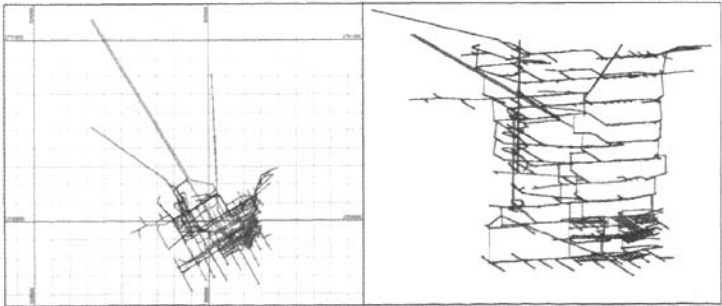


图4 矿山开拓系统模型

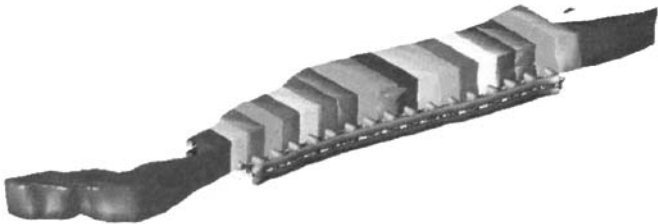


图5 采切工程及采场模型

3.3 中深孔爆破设计

三维可视化矿业工程软件主要提供了进行扇形

中深孔和平行钻孔的爆破设计。通过确定钻孔直径、底部间距(最小抵抗线)、钻机中心位置、起始角度、终止角度、装药类型、装药密度、堵塞长度等参数

进行爆破设计,设计完成后,可以提供三维预测爆破模型、钻孔施工卡、爆破量计算结果、预测爆破量和落矿品位等成果(见图6)。



图6 爆破主要成果

4 露天境界优化

4.1 露天境界优化技术

从目前露天矿境界优化的方法来看,包含传统方法在内,目前主要有3种,即人工方法、浮动圆锥法和 Lerchs - Grossmann 优化方法(L - G 法)。目前三维可视化矿山工程软件一般提供浮动圆锥法和 Lerchs - Grossmann 优化方法(L - G 法)中的两种或者一种进行露天境界优化。

浮动圆锥法的实质是用系统模拟的方法解决露天开采境界确定的问题,它的基本出发点是将最简单的圆形露天坑近似地看成一个倒圆锥。圆锥立在矿床块段之上,锥体上部直通地表,圆锥的母线与水平方向的夹角等于露天矿的边坡角。由于露天矿开采技术条件的差异,所以露天开采的边坡角一般在各个方向和不同深度都是不同的。因此实际的露天坑模型都是由不同锥度的椭圆锥组成的,而不是同一锥度的单圆锥。随着技术的进步,浮动圆锥法逐步发展衍生出了多重圆锥法等一些方法。

L - G 法则是结合了图论法和动态规划法的一种最能真实反映露天矿实际的优化方法。这种算法是建立在块段模型之上,在不同的经济参数和技术条件的约束下,找到能够实现矿床开采整体利润最大化的块段总和。

4.2 露天境界优化

三维可视化矿业软件露天境界优化以矿体块段模型为基础,以边界品位、产品价格、采选指标、采选成本、边坡限制条件等参数为约束,综合判断每个块段的开采价值,通过综合计算后,寻找出相关经济参数和开采技术条件下最大净现值(NPV)的露天境界,并以三维实体模型和数据文件的形式显示结果。

云南易门××铜矿此次的优化参数主要来源于地质报告、选矿实验指标和根据目前的开采技术条件通过工程类比法选取出的相关指标,其主要优化参数见表3。

表3 云南易门××铜矿露天境界优化参数

参数名称	参数	参数名称	参数
采矿成本	37.04 元/t	选矿成本	37.74 元/t
采矿回收率	95%	选矿回收率	78%
采矿贫化率	5%	精矿含铜价格	48000 元/t
矿石体重	2.63 t/m ³	入选矿石最低品位	0.2%
废石体重	2.63 t/m ³		

根据工程地质条件,参照有关设计资料,本次确定的边坡角控制参数为:东面 44°00'00"、南面 44°43'47"、西面 42°41'02"、北面 45°45'45"。

根据对市场需求和价格的预测,本研究选择精矿含铜价格为 48000 元/t 进行优化,在优化过程中,输入精矿含铜价格变化系数为 0.8,0.9,1.0,1.1,1.2,计算机一次运算出精矿含铜价格分别为 38400,43200,48000,52800,57600 元/t 等 5 个不同优化境界,优化结果见图 7。这些境界的获得,可以指导设计者根据不同的铜价格进行不同开发方案的选择和设计。

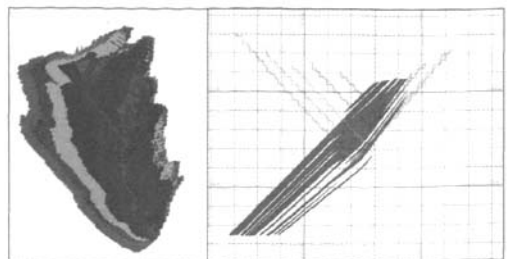


图7 ××铜矿不同铜价格情况下的优化境界实体模型

5 结 论

通过对矿业软件模型构建技术、资源储量估算及动态管理、地下采矿设计、爆破设计和露天境界优化等多方面的实用应用技术的分析研究,可以得出如下结论:

(1) 随着现代科学技术的发展,特别是计算机技术、优化算法技术、3D 技术的发展,三维可视化矿业软件日益成熟完善,为其实际应用提供了坚实的理论和技術基础;

(2) 合理有效应用矿业软件能够快速、高效、准确的为矿山决策、设计和管理提供强有力的技术支持,应用矿业软件解决矿山生产和管理中的相关问题已经势在必行;

(3) 三维可视化矿业软件在模型构建技术、资源储量估算、动态管理、地下采矿设计、爆破设计和露天境界优化等多方面日臻成熟的基础上,应该进一步着眼于矿山实用综合功能的开发应用,完善矿山投资决策、生产管理、生产进度计划控制等各个方

面的功能,使矿业软件真正成为矿山普遍应用的工具。

参考文献:

- [1] 李淑芝,陈道贵. 地下矿山信息化应用综述[J]. 金属矿山, 2005, (12): 51 ~ 53.
- [2] Simon W Houlding. 3D geoscience modeling - computer techniques for geological characterization [M]. Springer - Verlag, 1994.
- [3] Kaufman A. 3D Volume visualization advances in computer graphics a [M]. Springer - Verlag, 1991.
- [4] Bak P, Mill A. Three Dimensional Representation in a Geo - scientific Management System for the Minerals Industry [A]. Three Dimensional Applications in Geographic information system [C]. Taylor & Francis, 1989.
- [5] HOU Enke, Wu Lixin. Several Aspect Research Situation and Developing Trend of 3D Geosciences Modeling [J]. Coal Geology & Exploration, 2000, 28(6): 5 ~ 7.
- [6] 孙玉建, 孟 伟, 万 会. 矿产资源储量估算中工程控制程度划分的探索 [J]. 地质与勘探, 2006, (6): 81 ~ 84.
- [7] 王 青, 史维祥. 采矿学 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2007, 33 ~ 36.

(收稿日期: 2008 - 11 - 02)

(上接第 3 页)

线范围内的 KT2(上) - 1 矿体。矿体倾向北西, 倾角较缓, 标高在 3310 m 以下。

矿体顶板以灰白色厚层状中粗晶大理岩为主, 局部夹绢云砂质板岩、变质石英砂岩。底板为灰白色厚层状变质石英砂岩, 岩石钙化、硅化较强, 受断层影响, 变化较大, 层节理发育, 矿体与围岩呈渐变关系。含矿岩石主要为透辉石砂卡岩, 石榴石砂卡岩及少量角岩化变质石英砂岩。矿体呈似层状产出, 厚度 10.61 ~ 14.75 m, 平均厚度为 12.64 m, 倾角 $8^{\circ} \sim 10^{\circ}$, 平均铜品位为 1.21%, 地质矿量 91797.19 t, 铜金属量 1110.75 t。

根据矿体产状和采场结构参数优化结果, 设计盘区长 50 m, 宽 36 m, 留 5 m 宽的盘区间柱, 盘区内设 2 个采场, 采场宽 15.5 m, 每个采场设一个电耙道, 2 条歪沟巷道, 歪沟巷道兼作中深孔凿岩道, 以降低采切工程量。受凿岩设备能力的限制, 设计采用两层凿岩硐室, 其中下层凿岩巷道即为歪沟巷道, 共 4 条; 根据矿体形态, 上层凿岩巷道布置 2 条凿岩道。凿岩设备为 YG - 90, 钻孔直径 64 mm, 采用扇形中深孔, 凿岩量为 21348 m。采用粉状硝酸炸药, 装药器装药, 分段微差爆破。爆破最小抵抗线 1.2

~ 1.3 m, 炸药单耗 0.6 kg/t。采用中深孔拉槽, 切割槽布置在首段, 即矿体抬起较高的一段。出矿溜井布置在采场端部, 采用 30 kW 电耙出矿。矿石耙运至端部溜井后, 经振动放矿至自卸汽车后运至 3275 m 主溜井。

在盘区试采过程中, 矿柱与采场顶板保持稳定, 盘区矿石损失率为 17.3%, 贫化率为 6.5%, 千吨采掘比为 12 m³/kt, 均达到了预期效果。

5 结 论

(1) 通过现场节理裂隙调查、矿区原岩应力场测量及矿岩物理力学参数测试, 利用 RQD、RMR、Q 及 BQ 系统对岩体质量进行了分级评价, 结果表明, 变质石英砂岩岩体质量一般, 大理岩、矿岩岩体质量好。

(2) 采场结构参数的数值模拟表明, 采场宽度为 36 m, 间柱宽度为 5 m, 长为 50 m, 盘区内采场采用间隔回采方式, 有利于采场和矿柱的稳定, 是最佳的采场结构参数。

(3) 3275 m 水平 4[#] 盘区的试采结果验证了采场结构参数优化结果, 达到了预期的目标。

(收稿日期: 2008 - 11 - 02)