

文章编号:1674-2869(2013)09-0034-05

# 大型露天磷矿数字矿床系统

柴修伟<sup>1</sup>,李耀基<sup>2</sup>,方世详<sup>2</sup>,尹继红<sup>2</sup>,张电吉<sup>1</sup>,李小双<sup>2</sup>

(1. 武汉工程大学环境与城市建设学院,湖北 武汉 430074;

2. 云南磷化集团有限公司,云南 晋宁 650600)

**摘 要:**“数字矿山”作为信息时代的必然产物,在矿业中发挥出越来越大的作用,通过数字化矿山建设实现矿产资源储量的可持续管理,是矿业发展的目标和方向.依据云南磷化集团昆阳磷矿地质报告、地形地质图、剖面图等相关资料,研究昆阳磷矿矿床分布空间关系,采用 DIMINE 矿业软件,建立不同数据信息表,并进行错误校正,然后依次将上述信息导入 DIMINE 软件,生成钻孔地质数据库.利用地形地质图和钻孔数据库建立昆阳磷矿四采区的地形模型、三维实体模型,通过块段模型,并对不同品级矿石赋予各块段不同的体重值,运用距离幂估值地质统计法进行储量估算,实现资源储量估值.

**关键词:**磷矿;数字矿山;DIMINE 软件;三维模型;储量估算

**中图分类号:**TD841

**文献标识码:**A

**doi:**10.3969/j.issn.1674-2869.2013.09.007

## 0 引 言

进入 21 世纪以来,随着科技进步、矿产资源消费的急剧增长和开采加工难度的日益增大,采矿逐渐走向数字化和智能化.“数字矿山”作为信息时代的必然产物,在矿业中发挥出越来越大的作用,是矿业发展的目标和方向<sup>[1-3]</sup>.在 20 世纪 70 年代,人们开始将 AUTOCAD 技术二次开发进行三维地质建模及可视化技术研究.20 世纪 90 年代后国际上出现了一大批三维矿山专业软件,主要有 MicroMine、Surpac、DataMine、Vulcan、MineScape、MineSoft、MineSight 等,而国内的一些矿山企业和科研单位从国外引进了 MicroMine、Surpac、DataMine 等并进行了二次研究开发<sup>[4-7]</sup>,如崔灿<sup>[8]</sup>、石慧<sup>[9]</sup>等利用 Surpac 软件对矿山数字化进行了研究,钟德云<sup>[10]</sup>、徐恒雷<sup>[11]</sup>、郭强<sup>[12]</sup>等利用 3DMine 软件建立了矿山的三维数字模型,肖英才<sup>[13]</sup>、蒋京名<sup>[14]</sup>对 DIMINE 软件工程实体建模进行了研究.

笔者依据云南磷化集团昆阳磷矿地质报告、地形地质 CAD 图、剖面图等相关资料,研究昆阳磷矿矿床分布空间关系,建立“孔口表”、“测斜表”、“样品表”等数据信息表,依据 DIMINE 软件地质数据库的要求检验其是否符合格式要求或是否在录入过程中出现进行错误校正,然后依次将

上述信息导入 DIMINE 软件,生成完整的地质数据库.最后利用地形地质 CAD 图和钻孔数据库建立昆阳磷矿四采区的地形模型、三维实体模型,通过块段模型,并对不同品级矿石赋予各块段不同的体重值,运用距离幂估值地质统计法进行储量估算,实现资源储量估值.

## 1 昆阳磷矿概况

昆阳磷矿位处滇池西南部的香条村背斜南翼东段,矿床类型为寒武纪早期形成的沉积型磷块岩矿床.矿层总体呈向南缓倾斜的单斜构造.矿层(体)分为上、下两层矿,中间为夹层.上矿层工业矿体厚 5.00~7.00 m,最厚 15.30 m,平均厚度 6.18 m,厚度变化系数为 34.60%,属稳定型,厚度变化小;下矿层工业矿体厚度 3.00~4.00 m,最厚 7.95 m,平均 3.25 m,厚度变化系数 57.70%,属较稳定型,变化中等;夹层厚度一般 0.5~2.0 m,东部最厚可达 7.30 m,西部最薄 0.05 m,全区层位稳定.

矿石自然类型主要有白云质磷块岩、条带(纹)状磷块岩、粒屑磷块岩、含硅质条带磷块岩、砾状磷块岩和生物碎屑磷块岩等六个自然类型.

昆阳磷矿 I 品级矿石工业类型以混合型为主,少部分为硅质及硅酸盐型;II 品级矿石工业类型以碳酸盐型及混合型为主,少部分为硅质及硅

收稿日期:2013-05-22

基金项目:武汉工程大学科学研究基金项目(13125042)

作者简介:柴修伟(1980-),男,副教授,博士.研究方向:爆破工程、矿山数字化.

酸岩型;Ⅲ品级矿石工业类型以碳酸盐型为主,部分为混合型。

## 2 矿山三维地质建模

### 2.1 地质数据库

地质数据库是三维地质建模的重要组成部分,地质勘探数据是用来进行建模的基础资料,完备的地质数据库是进行地质解译、品位推估、储量计算与管理以及后续采矿设计等的基础,其准确性以及多数据信息的变异性分析是非常重要的。昆阳磷矿地质数据库数据主要来源有:昆阳磷矿钻孔资料、钻孔编录资料及钻孔综合成果表、昆阳磷矿地形地质图等。

地质数据库的建库思路是首先收集整理建立地质数据库所需要的大量数据资料,并根据 DIMINE 软件系统格式将地质报告中钻孔数据按照“孔口表”、“测斜表”、“样品表”等分别录入不同的 EXCEL 表格文件中。对于已经录入的数据信息,依据 DIMINE 软件地质数据库的要求检验其是否符合格式要求或是否在录入过程中出现进行错误校正。然后依次将上述信息导入 DIMINE 软件,生成完整的地质数据库。

### 2.2 地表地形模型

地表地形模型是用来虚拟地形和表面,一般由若干地形线和地形特征散点组成,考虑到每个点的坐标值,将所有点联成若干相邻的三角面,然后形成一个三角网随着地面起伏变化的单层模型。

昆阳磷矿三维地表模型的建立过程如下:

①先在 CAD 中将地形等高线、坐标网和等高线的值描绘和标记出来,将处理好的 CAD 图形再导入到 DIMINE 软件系统中,然后在 DIMINE 视图管理器环境下把平面坐标转换为它的相对地理坐标。

②对等高线进行赋值。

③在 DIMINE 视图管理器环境下,进行创建数字地面模型(Digital Terrain Model,以下简称:DTM)的工作,生成的 DTM 也可进一步在等高线之间进行加密,生成比较圆滑的三维地形模型,如图 1 所示。

### 2.3 三维地质模型

三维地质模型的建立一般有两种方法,一是通过 CAD 或 MapGis 对地质剖面图进行矢量化,导入 DIMINE 进行建模;二是通过调入钻孔数据库,并对矿体边界作地质解释,然后利用剖面圈定矿体,对昆阳磷矿四采区的三维地质模型采用的

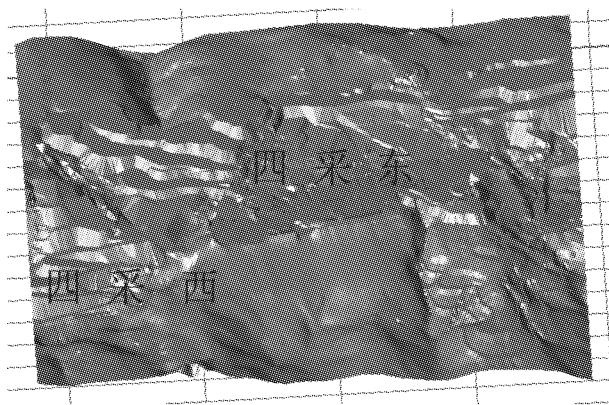


图 1 昆阳磷矿四采区数字地表模型

Fig. 1 Digital terrain model of forth mining area of Kunyang mine

是第二种建模方式。

四采区的三维地质实体模型包括地形模型(含公路模型)、断层模型、矿体实体模型等,通过调用全部模型或部分模型,可以显示各个模型之间的总体关系或局部关系,实现矿床三维可视化表达的目标。图 2 是昆阳磷矿四采区三维地质模型。

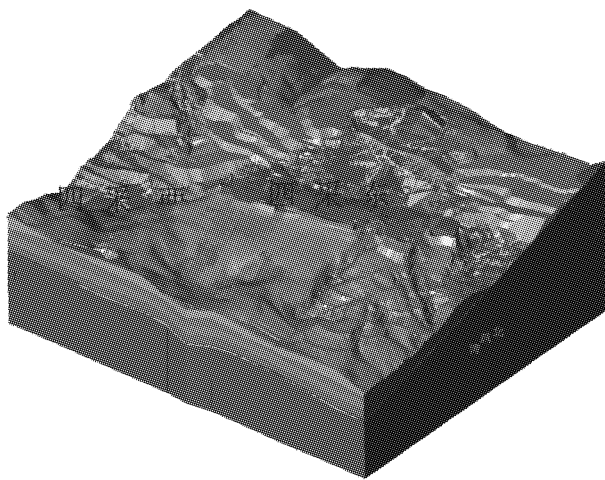


图 2 昆阳磷矿四采区三维地质模型

Fig. 2 3D geologic model of forth mining area of Kunyang mine

## 3 资源储量估算

资源储量估算是通过已知采样点数据,利用一定的数学方法如距离幂次反比法、普通克里格法等,对预测矿体进行空间插值,以便求得未知矿体的平均品位、体积、吨位和矿石量及金属量等一些特性。DIMINE 软件利用块段方法通过对块段模型的子块进行估值来实现资源储量估算,估算方法有最近距离法、距离幂次反比法和克里格法等。

块段模型是矿床品位推估及储量计算的基

础,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的估算.采用

距离幂估值,对昆阳磷矿四采区的上层矿(1z1-3)和下层矿(1z1-1)块段模型应用“模型配色”功能,以  $P_2O_5$  品位高低配色,效果如图 3 所示.

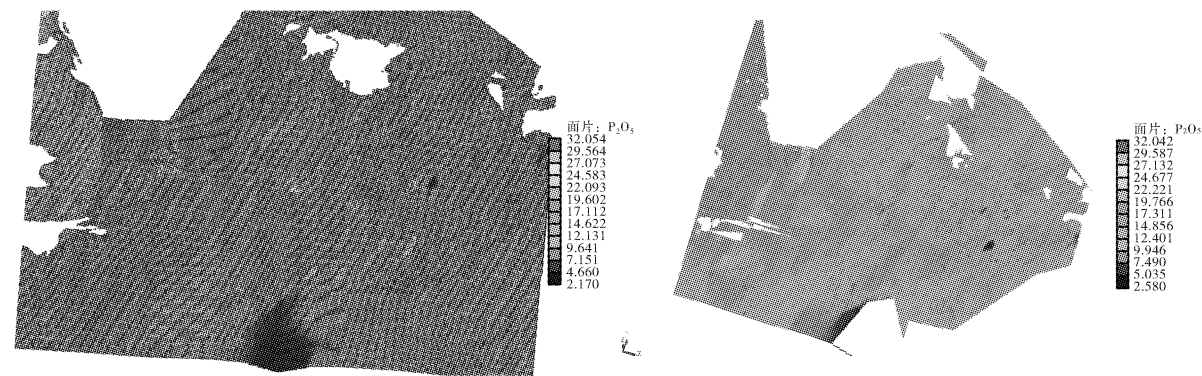


图 3 距离幂估值后块段模型  $P_2O_5$  品位配色效果图(左:1z1-3,右:1z1-1)

Fig. 3 Block model with  $P_2O_5$  grade color matching after power distance valuation(L:1z1-3,R:1z1-1)

在各块段模型中填加“体重”字段,并采用函数计算方式,根据不同品级矿石赋予各块段不同的体重值.块段模型中体重字段的赋值函数如下:

风化带上层矿:

if (above equal ( $P_2O_5$ , 25), if (above equal ( $P_2O_5$ , 30), 2.17, 2.168), 2.664)

风化带下层矿:

if (above equal ( $P_2O_5$ , 25), if (above equal ( $P_2O_5$ , 30), 2.212, 2.249), 2.696)

原生带上矿层:

if (above equal ( $P_2O_5$ , 25), if (above equal ( $P_2O_5$ , 30), 2.456, 2.597), 2.664)

原生带下矿层:

if (above equal ( $P_2O_5$ , 25), if (above equal ( $P_2O_5$ , 30), 2.665, 2.599), 2.696)

赋予体重属性后,应用地质统计法进行储量估算,分高程段统计,对上层矿(1z1-3)和下层矿(1z1-1)矿体按中段估算资源储量,估算结果以 Excel 表格显示.由于数据表格较大,仅截取上层矿(1z1-3)1980 中段数据,如表 1 所示.

表 1 上层矿(1z1-3) 1980 中段资源储量统计表

Table 1 Statistical table of resource reserve of 1z1-3, 1980 midpiece

中段		1980				
矿石品级	0.00—8.00	8.00—15.00	15.00—25.00	25.00—30.00	30.00—100.00	汇总
估值距离	无	无	无	无	无	无
体积/ $m^3$	164 096	1 568 160	191 824	0	0	1 924 080
体重/ $(t/m^3)$	2.664 000 034	2.664 000 034	2.664 000 034	0	0	1.598 400 021
矿石量/t	437 151.75	4 177 578.25	511 019.156 3	0	0	5 125 749.156
品位	$P_2O_5/\%$	5.553 991 795	11.387 274 74	16.003 721 24	0	6.588 997 555
	$Fe_2O_3/\%$	0.862 469 852	0.845 281 124	0.983 616 948	0	0.538 273 585
	$Al_2O_3/\%$	0.954 506 218	0.855 262 995	0.960 224 032	0	0.553 998 649
	$MgO/\%$	5.566 897 869	5.165 808 201	2.971 955 776	0	2.740 932 369
	$CaO/\%$	36.238 269 81	36.868 789 67	36.651 008 61	0	21.951 613 62
	$SiO_2/\%$	19.063 381 2	18.987 707 14	22.448 1620 8	0	12.099 850 08
	F/ $\%$	0.0179 891 01	0.236 335 412	0.000 241 865	0	0.050 913 276
	$CO_2/\%$	12.032 241 82	11.050 330 16	6.955 164 433	0	6.007 547 283

续表 1

中段		1980					
金属量	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /t	24 279.371 09	475 712.312 5	81 782.078 13	0	0	581 773.761 7
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /t	3 770.302 002	35 312.281 25	5 026.470 703	0	0	44 109.053 96
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /t	4 172.640 625	35 729.281 25	4 906.928 711	0	0	44 808.850 59
	MgO/t	24 335.791 02	215 805.671 9	15 187.262 7	0	0	255 328.725 6
	CaO/t	158 416.234 4	1 540 222.5	187 293.671 9	0	0	1 885 932.406
	SiO <sub>2</sub> /t	83 335.906 25	793 226.312 5	114 714.398 4	0	0	991 276.617 2
	F/t	78.639 671 33	9 873.096 68	1.235 976 696	0	0	9 952.972 328
	CO <sub>2</sub> /t	52 599.152 34	461 636.218 8	35 542.222 66	0	0	549 777.593 8

通过对不同矿层矿石分高程段进行储量估算,可清楚了解不同水平中段的矿石体积、体重、矿石量等基本参数,以及矿石中各组分的品位及其金属量等特征,为矿山资源的可持续管理提供重要的参考依据。

4 结 语

a. 以 DIMINE 软件系统为平台,依据昆阳磷矿钻孔资料、钻孔编录资料及钻孔综合成果表、昆阳磷矿地形地质图等,建立了昆阳磷矿地质数据库,为三维地质建模和储量估算提供了基础,并可对钻孔数据库进行新数据的录入、编辑,使数据库不断更新。

b. 通过软件系统提供的一些工具和软件实体的布尔运算功能,建立了矿山地表地形模型和三维地质模型,实现昆阳磷矿四采区的三维可视化功能,进而可以实现对三维模型不同方向的剖面切割。

c. 通过建立块段模型,并对不同品级矿石赋予各块段不同的体重值,对赋予组分、体重等信息的块段模型,运用距离幂估值地质统计法进行储量估算,分高程段统计,对上层矿(1z1-3)和下层矿(1z1-1)矿体按中段估算,实现资源储量估值。

致 谢

本研究得到了云南磷化集团有限公司磷资源开发利用工程技术研究分公司和昆阳磷矿的支持与帮助,在此表示衷心感谢!

参考文献:

[1] 申晋鹏. 我国数字化矿山发展现状及存在问题研究[J]. 中国煤炭工业, 2012(12):54-55.  
SHEN Jin-peng. Present situation and existing problems of digital mining development in China[J]. China Coal Industry, 2012(12):54-55. (in Chinese)

[2] 贝建刚. 数字化矿山发展方向[C]//第十六届六省矿山学术交流会论文集. 太原:山西省金属学会, 2009:276-279.

[3] 唐绍义. 浅谈矿山企业的数字化[J]. 矿业工程(增刊), 2010:235-237.

[4] 宋子岭,白润才,谢雨志. VULCAN 系统在我国露天矿中应用前景[J]. 辽宁工程技术大学学报:自然科学版,2000,19(4):344-347.  
SONG Zi-ling, BAI Run-cai, XIE Yu-zhi. Prospect of VULCAN system application in China's surface mine[J]. Journal of Liaoning Technical University: Natural Science Edition, 2000, 19(4): 344-347. (in Chinese)

[5] 孙前芳,刘光伟,赵浩. 三维可视化建模技术在露天矿中的应用[J]. 采矿技术,2010,10(6):76-84.  
SUN Qian-fang, LIU Guang-wei, ZHAO Hao. Application of 3D visualization technique in surface mine[J]. Mining Technology, 2010, 10(6): 76-84. (in Chinese)

[6] 汪德文. MicroMine 软件在矿山开发研究平台建设中的应用[D]. 长沙:中南大学,2008.  
WANG De-wen. Application of MicroMine software in constructing mining development & platform[D]. Changsha: Central South University, 2008. (in Chinese)

[7] 贾建红. 基于 DATAMINE 的凤凰山铜矿三维可视化建模技术研究[D]. 武汉:中国地质大学(武汉),2009.  
JIA Jian-hong. Research on 3D visual modeling technologies of Fenghuangshan copper mine based on Datamine [D]. Wuhan: China University of Geosciences (Wuhan), 2009. (in Chinese)

[8] 崔灿,袁峰,李晓晖,等. 基于 Surpac 的铜陵新桥矿床露天开采境界优化[J]. 金属矿山, 2012(10): 15-18.  
CUI Can, YUAN Feng, LI Xiao-hui, et al. Optimization of open-pit mining limit of Tongling Xinqiao deposit based on Surpac[J]. Metal Mine,

- 2012(10): 15-18. (in Chinese)
- [9] 石慧. 基于 Surpac 的潘家田铁矿三维地质建模[D]. 成都: 成都理工大学, 2012.
- SHI Hui. 3D geological modeling based on Surpac software in Panjatian iron mine [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2012. (in Chinese)
- [10] 钟德云, 胡柳青, 吴国栋. 基于 3DMine 软件的露天矿开采设计[J]. 现代矿业, 2012, 27(10): 11-14.
- ZHONG De-yun, HU Liu-qing, WU Guo-dong. Open-pit mine exploitation based on 3DMine software[J]. Modern Mining, 2012, 27(10): 11-14. (in Chinese)
- [11] 徐恒雷, 柳波, 陈广平, 等. 基于 3DMine 软件的尖山硫铁矿三维建模[J]. 金属矿山, 2011 (增刊): 352-356.
- [12] 郭强. 基于 3DMine 的三维矿山模拟研究[D]. 太原: 太原理工大学, 2012.
- GUO Qiang. Research on three-dimensional mine simulation based on 3DMine[D]. Taiyuan: Taiyuan University of Technology, 2012. (in Chinese)
- [13] 肖英才. 基于 DIMINE 软件工程实体建模与设计方法研究[D]. 长沙: 中南大学, 2012.
- XIAO Ying-cai. Engineering modeling and design method based on DIMINE software[D]. Changsha: Central South University, 2012. (in Chinese)
- [14] 蒋京名, 王李管. DIMINE 矿业软件推动我国数字化矿山发展[J]. 中国矿业, 2009, 18(10): 90-92.
- JIANG Jing-ming, WANG Li-guan. DIMINE mining software promote the development of China's digital mine[J]. China Mining, 2009, 18 (10): 90-92. (in Chinese)

## Digital mineral deposit system of large open phosphorite mine

CHAI Xiu-wei<sup>1</sup>, LI Yao-ji<sup>2</sup>, FANG Shi-xiang<sup>2</sup>, YIN Ji-hong<sup>2</sup>, ZHANG Dian-ji<sup>1</sup>, LI Xiao-shuang<sup>2</sup>

(1. School of Environment and Civil Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China;

2. Yunan Phosphate Chemical Group Co., LTD, Jinning 650600, China)

**Abstract:** “Digital mine” as the inevitable outcome of the information age, it plays a more and more important role in the mining industry, the sustainable management of the mineral reserve is realized through the construction of the digital mine, which is the goal and direction of mining development. Based on the rock geological report, figure of terrain geological, profile and other relevant materials of Kunyang mining, Yunan phosphorite group Co., Ltd, the spatial relations of Kunyang phosphate ore deposit distribution were researched and different data information tables were set up, the rock geological database was generated by inputting those information tables to DIMINE software. Then the terrain model and the three-dimensional entity model were established by the figure of terrain geological and rock geological database. Through establishing the block model and giving the different grade ore with different weight, the geological statistics method of power distance valuation was used to estimate the reserve, which realizes the resources valuation.

**Key words:** phosphorite mine; digital mine; DIMINE software; three-dimensional model; reserve estimation

本文编辑: 苗 变