

西藏白容—岗讲铜(钼)矿三维地质建模及储量估算

坚润堂^{1,2} 杨帆¹ 王岩梅¹ 韩艳韦¹

(1. 中国有色金属工业昆明勘察设计研究院, 云南 昆明 650051; 2. 中国科学院广州地球化学研究所, 广东 广州 510640)

摘 要 基于 DIMINE 软件, 系统整理并数字化了白容—岗讲铜(钼)矿区大量的地质勘探资料, 针对矿体簇型分布且矿脉纤细的特点, 利用生成的钻孔数据库重新圈定了矿体, 构建了白容—岗讲铜(钼)矿的地层模型、岩体模型及矿体模型, 实现了矿区深部地质数据的三维可视化。经过反复计算校验, 选取距离幂次反比法对该矿床内 Cu、Mo 品位进行赋值, 并通过赋值结果对矿床资源储量进行估算和统计。结果表明: 白容—岗讲铜(钼)矿区三维地质模型可从三维角度揭示矿区成矿规律以及地质体在地下的空间关系, 为估算矿山资源储量提供了便利; 在矿山三维地质建模的基础上采用距离幂次反比法估算资源储量精度较高, 对于实现矿山资源动态管理具有一定的参考价值。

关键词 三维地质建模 储量估算 钻孔数据库 三维可视化 距离幂次反比法 成矿规律

中图分类号 P624.7, P628+.2 **文献标志码** A **文章编号** 1001-4250(2015)-09-095-05

Reserve Estimation and Establishment of Three-dimensional Geological Model of Bairong-Gangjiang Cu(Mo) Deposit, Tibet

Jian Runtang^{1,2} Yang Fan¹ Wang Yanmei¹ Han Yanwei¹

(1. Kunming Prospecting Design Institute, China Nonferrous Metals Industry, Kunming 650051, China;
2. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Science, Guangzhou 510640, China)

Abstract A large number of geological exploration data of Bairong-Guangjiang Cu(Mo) mining area are collated and digitized based on DIMINE software. According to the characteristics of the ore-bodies and mineral veins of Bairong-Gangjiang Cu(Mo) mining area, the ore-bodies are delineated again and the formation model, rock mass model and ore-body model of Bairong-Gangjiang Cu(Mo) mine are established by the generated drilling database so as to realize the three-dimensional visualization of the geological data in the deep Bairong-Gangjiang Cu(Mo) mining area. The Cu and Mo grades are assigned by adopting the distance power inverse ratio method by checking and calculating repeatedly. Based on the assigned results, reserves estimation and statistics of the Bairong-Guangjiang Cu(Mo) mine are conducted. The research results show that the three-dimensional geological model of the Bairong-Gangjiang Cu(Mo) mining area established in this paper can reveal the metallogenic regularities and the underground space distribution characteristics of the geological bodies from the perspective of three-dimensional, and it provides convenience for estimating the reserves of mineral resources; the precision of reserve estimation is high by using the distance power inverse ratio method based on the three-dimensional geological model of Bairong-Guangjiang Cu(Mo) deposit. Therefore, it has some reference for realizing the dynamic management of mine resources.

Keywords Three-dimensional geological modeling, Reserve estimation, Drilling database, Three-dimensional visualization, Distance power inverse ratio method, Metallogenic regularity

白容—岗讲铜(钼)矿区位于西藏东南部、拉萨市西部的雅鲁藏布江中游北岸尼木县境内, 区域上位于冈底斯斑岩铜矿带的中段, 属雅鲁藏布江缝合带北侧冈底斯火山—岩浆弧 EW 向构造带与念青唐古拉 NE—近 SN 向构造带的交汇部位^[1-4], 为一座具大型—超大型远景规模的斑岩型铜(钼)矿床^[5]。三维

地质建模技术可真实、形象地展现各地质体之间的三维空间关系, 在资源储量估算方面得到了广泛的应用研究^[6-8]。为此, 采用 DIMINE 软件^[9-16] 构建了该矿区三维地质模型, 并采用距离幂次反比法对矿床资源储量进行估算, 为实现矿山资源动态管理提供参考。

收稿日期 2015-06-04

基金项目 云南省科技计划项目(编号: 2013CA019)。

作者简介 坚润堂(1973—), 男, 高级工程师, 博士。

1 矿区地质概况

白容一岗讲铜(钼)矿区位于雅鲁藏布江板块缝合带以北帕古—热堆脆韧性剪切带附近,为冈底斯成矿带中段斑岩型铜多金属典型矿床,区内以大面积出露喜马拉雅期酸性浅成—超浅成侵入岩和多期次脉岩穿插为特征。区内出露地层主要为白垩系上统设兴组一段(K2S1)和第四系(Q)。构造以近EW向和SN向2组断裂为主,次为派生的NW向和部分NE向断裂。岩浆岩体为复式岩体,主要出露含矿二长花岗斑岩、含巨斑角闪黑云二长花岗岩、花岗闪长斑岩,次为流纹斑岩、英云闪长玢岩、英安斑岩,及少量安山玢岩、煌斑岩。

2 地质数据库及三维地表模型

2.1 地质数据库建立

西藏白容一岗讲铜(钼)矿地质数据库的数据源主要包括空间数据和二维矢量图件(平面图、剖面图)。首先在 Excel 软件中分别录入钻孔孔口文件、钻孔测斜文件和钻孔样品文件,以“.xls”或“.csv”格式保存;然后将其导入到 DIMINE 软件中对样品数据进行校验和修正;最后将其合并完成地质数据库构建。

2.2 三维地表模型构建

白容一岗讲铜(钼)矿区地表模型由 1: 10 000 及 1: 2 000 矿区地形图组合而成,并在矿区 DTM 的基础上建立了构筑物、自然水系等模型,形成了较为完整的地表三维模型,见图 1。

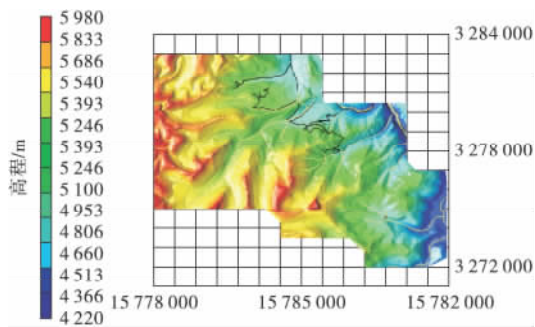


图 1 矿区三维地表模型

Fig.1 Three-dimensional surface model of mining area

3 矿体模型与岩体模型

3.1 矿体模型构建

3.1.1 矿体初期圈定

将已有的矿区 28 条勘探剖面进行矢量化,导入 DIMINE 软件中与三维地质钻孔数据库对照,按照 Cu 含量 $\geq 0.2\%$ 、Mo 含量 $\geq 0.03\%$ 的圈矿指标重新解译剖面矿体线,共解译出矿区内 39 条勘探线,建立了铜矿体模型 279 个(称为 0.2Cu 矿体)(见图 2),钼矿体模型 280 个(称为 0.03Mo 矿体)(见图 3),2 种矿

种三维模型复合结果见图 4。

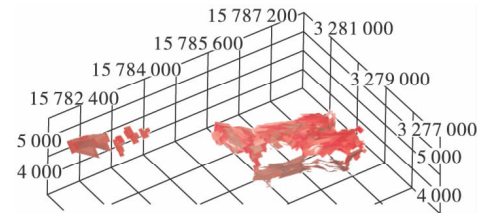


图 2 0.2Cu 矿体三维模型

Fig.2 Three-dimensional model of the 0.2-copper ore-body

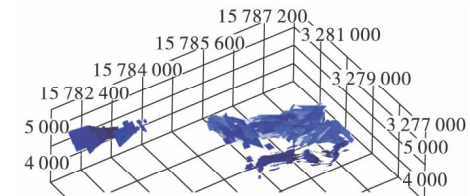


图 3 0.03Mo 矿体三维模型

Fig.3 Three-dimensional model of the 0.03-molybdenum ore-body

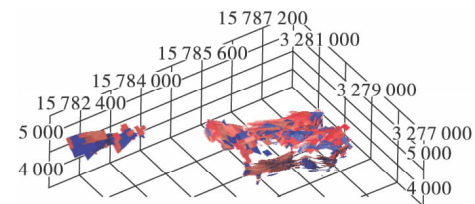


图 4 0.2Cu 与 0.03Mo 矿体复合模型

Fig.4 Three-dimensional composite model of the 0.2-copper and 0.03-molybdenum ore-body

—0.2Cu 矿体模型; —0.03Mo 矿体模型

3.1.2 矿体重新圈定

以 Cu 含量 $\geq 0.1\%$ 为圈矿指标,对照空间地质钻孔数据库对各剖面重新解译圈定矿体线,建立铜矿体模型 238 个(称为 0.1Cu 矿体),矿体体积约 6.82 亿 m^3 ,0.1Cu 矿体三维模型见图 5。

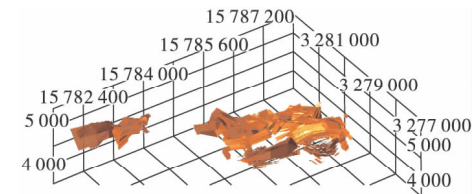


图 5 0.1Cu 矿体三维模型

Fig.5 Three-dimensional model of the 0.1-copper ore-body in mining area

3.1.3 矿体模型调整

由于 0.2Cu 矿体模型在空间形态上与 0.1Cu 矿体存在交叉、且矿体走向不一致,为此,在 0.1Cu 矿体空间形态的基础上,对 0.2Cu 矿体进行了相应调整,调整后的模型称为 0.2Cu 矿体,其与 0.1Cu 矿体模型的复合结果见图 6。由图 6 可知,调整后的 0.2Cu 矿体模型已包含在 0.1Cu 矿体模型中。

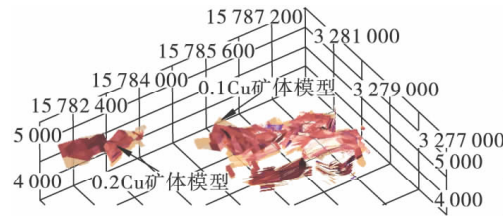


图6 0.1Cu矿体与0.2Cu矿体的三维复合模型
Fig. 6 Three-dimensional composition model of the 0.1-copper and 0.2-copper ore-body

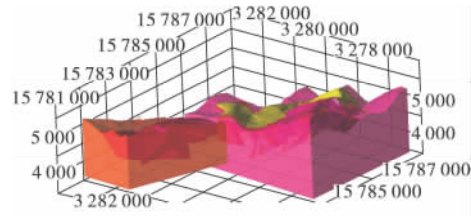


图7 矿区主要岩体模型
Fig. 7 Three-dimensional model of the rock mass in mining area

3.2 岩体模型创建

在已有的勘探线剖面上提取岩体线, 主要包括二长花岗斑岩、英云闪长玢岩、花岗闪长斑岩、第四系各岩体或地层的轮廓线。白容矿区5条勘探线以及岗讲矿区6条勘探线无勘探线剖面, 则根据钻孔数据库所提供的岩性信息进行风格显示, 在此基础上解译出岩体线。有勘探线剖面的岩体线可根据钻孔数据库岩性风格显示的情况进行检核和调整。岩体线解译出后, 综合运用线编辑的点、线清理、区域划分等功能, 创建该矿区完整的岩体模型, 如图7所示。

4 资源储量估算

4.1 空白块段模型

在综合分析白容—岗讲铜矿体形态和特征的基础上, 确定了以20 m × 20 m × 12 m 为基础块尺寸以及白容—岗讲铜矿空白块段模型参数, 见表1。

4.2 品位估值

品位估值方法主要有距离幂反比法、趋势面法、地质统计学法(普通克里格法、对数克里格法、泛克里格法等), 该类方法都是根据单元块周围一定范围

表1 块段模型参数

Table 1 Parameters of the block model

起点坐标			方向延伸			单元块尺寸		
X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
15 781 000	3 276 500	3 700	7 983	6 501	2 200	20	20	12

(搜索半径) 内的已知样品点, 对该单元块进行估值^[17-20]。距离幂次反比法是一种与空间距离有关的插值方法, 按距离越近权重值越大的原则计算插值点值, 用若干临近点的线性加权来拟合估计点的值, 具有应用简单、计算结果可靠、准确等特征, 因而, 本研究采用该方法对Cu、Mo品位进行估值。

4.2.1 估值参数、约束条件设置

根据白容—岗讲铜矿矿体形态特点, 确定椭球体三轴的半径比(东方向: 北方向: 高程方向)为1: 1: 0.5。距离幂估值过程中需要设置的参数见表2。

表2 距离幂估值部分参数设置

Table 2 Part of the parameters of the distance power inverse ratio method

椭球体尺寸/m			方位角 / (°)	倾伏角 / (°)	倾角 / (°)
搜索半径1	搜索半径2	搜索半径3			
取14值	100	100	50	246	11

在设置约束条件时, 可通过设置不同的边界级数和内部级数, 使边部块段更好地与实体模型拟合。通常情况下, 一般边界级数可设置较大, 如此边界上细分的块较多, 更能够有效拟合矿体边界。本研究中, 边界级数设置为11, 对应的细分最小块段尺寸为5 m

× 5 m × 3 m; 内部级数设置为9, 对应的细分最小块段尺寸为20 m × 20 m × 12 m。

4.2.2 距离幂估值

首先以0.2Cu矿体为块段模型估值范围的约束条件进行0.2Cu矿体内块段估值, 然后以0.1Cu矿体为块段模型估值范围的约束条件进行0.1Cu ~ 0.2Cu矿体内块段估值, 最后以0.03Mo矿体为块段模型估值范围的约束条件进行0.1Cu矿体以外0.03Mo矿体以内块段估值。模型估值约束分别为0.1Cu矿体、0.2Cu矿体、0.03Mo矿体, 在每一模型估值约束条件下, 对应不同的样品组合文件, 分别估值3次, 3次椭球体搜索半径成倍放大, 选用的椭球搜索参数分别为100 m × 100 m × 50 m、200 m × 200 m × 100 m、400 m × 400 m × 200 m, 至矿体范围内块段全部估值完成, 共需9次估值。

4.2.3 其他属性赋值

通过距离幂估值后, 块段模型内已被赋予了Cu品位、距离Cu、Mo品位等属性值。根据实际生产情况, 通常还需要赋予矿岩类型、矿体类型等属性值, 步骤是: ①在数据管理窗口右击“块段模型”, 添加“矿

岩类型’、‘矿体类型’等属性值; ②点击“常量赋值”对块段模型进行约束,对矿岩类型赋值时,可采用“0.1Cu 矿体模型内部∪0.03Mo 矿体模型内部”进行约束,再进行赋值; ③对矿体类型进行赋值时,可分别采用“矿体类型模型上部”、“矿体类型模型下部”进行约束,再进行赋值。

4.2.4 矿体模型品位分布

品位赋值后,可按 Cu、Mo 的不同品位级别分矿种显示矿体模型品位的分布情况,如图 8 所示。

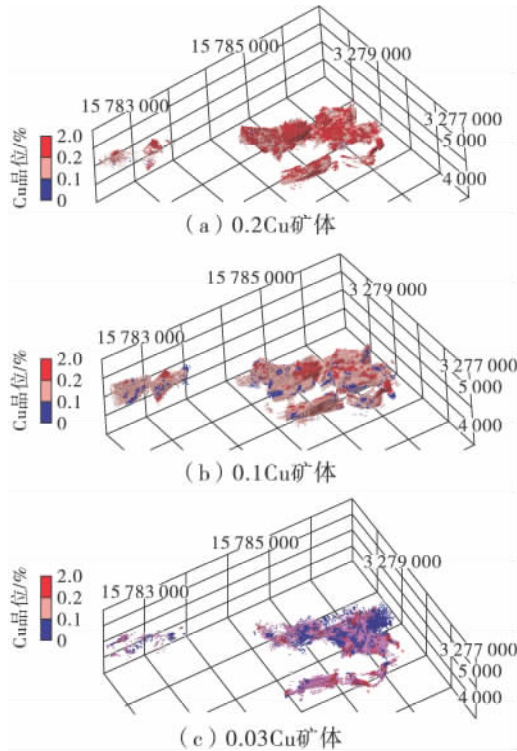


图 8 矿体模型品位分布

Fig.8 Grade distribution of the ore-body model

4.3 资源储量估算结果

采用距离幂次反比法估算 0.1Cu 矿体模型、0.2Cu 矿体模型、0.03Mo 矿体模型的资源储量,结果如表 3~表 5 所示。

表 3 0.1Cu 矿体模型内资源储量
Table 3 Reserve estimation results of the 0.1-copper ore-body model

矿石品级 /%	体 积 /m ³	矿石量 /t	Cu 品位 /%	Cu 金属量 /t
0~0.10	82 997 550	213 082 248	0.087	185 568
0.10~0.20	397 561 022	1 020 678 537	0.132	1 347 591
0.20~0.30	150 506 156	386 144 500	0.241	929 529
0.30~0.40	40 837 613	104 828 478	0.338	353 851
0.40~0.50	5 696 803	14 585 322	0.433	63 170
0.50~0.60	1 392 525	3 547 763	0.539	1 121
0.60~0.70	314 588	798 036	0.650	5 191
>0.70	1 070 569	2 721 990	0.897	24 410

表 4 0.2Cu 矿体模型内资源储量
Table 4 Reserve estimation results of the 0.1-copper ore-body model

矿石品级 /%	体 积 /m ³	矿石量 /t	Cu 品位 /%	Cu 金属量 /t
0~0.10	98 700	253 210	0.091	229
0.10~0.20	42 216 197	108 501 997	0.183	198 368
0.20~0.30	150 577 266	386 322 130	0.241	930 318
0.30~0.40	40 657 556	104 384 063	0.337	352 225
0.40~0.50	5 756 503	14 738 222	0.433	63 838
0.50~0.60	1 394 250	3 552 179	0.539	19 145
0.60~0.70	319 163	809 748	0.650	5 265
>0.70	1 098 769	2 794 182	0.896	25 044

表 5 0.03Mo 矿体模型内资源储量
Table 5 Reserve estimation results of the 0.1-copper ore-body model

矿石品级 /%	体 积 /m ³	矿石量 /t	Mo 品位 /%	Mo 金属量 /t
0.01~0.03	38 394 000	99 056 520	0.026	2 5407
0.03~0.06	92 103 375	237 626 708	0.040	96 223
>0.06	18 701 500	48 249 870	0.089	42 796

由表 3~表 5 可知,白容—岗讲矿区 Cu(≥0.1%) 资源量约 1.533×10⁹ t,金属量约 2.743×10⁶ t,Mo(≥0.03%) 资源量约 2.86×10⁸ t,金属量约 1.39×10⁵ t,与四川冶金设计勘察院资源储量估算结果误差较小,说明本研究估算的资源储量具有较高的精度。

5 结 语

采用 DIMINE 软件构建了西藏白容—岗讲铜(钼)矿区地质数据库以及矿床三维实体模型,从三维空间角度形象、真实地展示了整个矿区的构造形态、矿体的产状以及变化特征。基于该三维地质模型,采用距离幂次反比法对矿体进行品位推估及储量估算,估算结果具有较高的精度,可为矿山资源动态管理提供依据。

参 考 文 献

[1] 曲晓明,侯增谦,黄 卫. 冈底斯斑岩铜矿(化)带:西藏第 2 条“玉龙”铜矿带[J]. 矿床地质,2001,20(4):355-366.
Qu Xiaoming, Hou Zengqian, Huang Wei. The Gangdise porphyry copper belt is the second “Yulong” copper belt. [J]. Mineral Deposits, 2001, 20(4): 355-366.

[2] 郑有业,多 吉,王瑞江,等. 西藏冈底斯巨型斑岩铜矿带勘查研究最新进展[J]. 中国地质,2007,34(2):324-334.
Zheng Youye, Duo Ji, Wang Ruijiang, et al. New advances in the study of the gigantic Gangdise porphyry copper metallogenic zone, Tibet [J]. Geology in China, 2007, 34(2): 324-334.

[3] 姜 华,张庆松. 西藏岗讲斑岩铜钼矿区沿江侵入期次与找矿潜力[J]. 金属矿山,2012(11):27-29.
Jiang Hua, Zhang Qingsong. Magma intrusion times and prospecting potential of Gangjiang porphyry copper-molybdenum deposit, Tibet

- [J]. Metal Mine, 2012(11): 27-29.
- [4] 张庆松, 郑立波, 王光旺, 等. 西藏岗讲—白容斑岩铜钼矿地质特征及找矿方向[J]. 地质找矿论丛, 2012, 27(3): 300-307.
Zhang Qingsong, Zheng Libo, Wang Guangwang, et al. Geological characteristics and ore-searching directions of Gangjiang-Bairong porphyry Cu-Mo deposit in Tibet [J]. Contribution to Geology and Mineral Resources Research, 2012, 27(3): 300-307.
- [5] 王小春, 晏子贵, 周维德, 等. 初论西藏冈底斯中段尼木西北部斑岩铜矿地质特征[J]. 地质与勘探, 2002, 38(1): 5-8.
Wang Xiaochun, Yan Zigui, Zhou Weide, et al. Preliminary study on geological features of porphyry-type copper deposits in the Northwestern Nimu, Middle Section of Gangdisi Belt, Tibet [J]. Geology and Exploration, 2002, 38(1): 5-8.
- [6] 张宝一, 尚建嘎, 吴鸿敏, 等. 三维建模及可视化技术在固体矿产储量估算中的应用[J]. 地质与勘探, 2007, 43(2): 76-81.
Zhang Baoyi, Shang Jianga, Wu Hongmin, et al. Application of 3D geological modeling and visualization in solid mineral resources estimation [J]. Geology and Exploration, 2007, 43(2): 76-81.
- [7] 刘海英, 刘修国, 李超岭. 基于地质统计学法的三维储量估算系统研究与开发[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2009, 39(3): 541-546.
Liu Haiying, Liu Xiuguo, Li Chaoling. Realization and application of 3D reserves estimation system based on geostatistics [J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2009, 39(3): 541-546.
- [8] 李怀良, 庾先国, 蒋鑫. 一种条带状铜多金属矿储量估算差值方法[J]. 金属矿山, 2015(7): 80-85.
Li Huailiang, Tu Xianguo, Jiang Xin. A interpolation method for reserves estimation of banded Cu-polymetallic deposit [J]. Metal Mine, 2015(7): 80-85.
- [9] 周旋, 王选问, 金瑜. 基于地质统计学方法的某铁矿资源量估算[J]. 金属矿山, 2015(7): 86-90.
Zhou Xuan, Wang Xuanwen, Jin Yu. Reserves estimation of an iron deposit based on geostatistics method [J]. Metal Mine, 2015(7): 86-90.
- [10] 余牛奔, 齐文涛, 王立欢, 等. 基于3DMINE软件的三维地质建模及储量估算[J]. 金属矿山, 2015(3): 138-142.
Yu Niuben, Qi Wentao, Wang Lihuan, et al. Three-dimensional geological modeling and reserve estimation based on 3DMINE software: taking a well field of Balikun mining area, Xinjiang as an example [J]. Metal Mine, 2015(3): 138-142.
- [11] 张长锁. 矿业软件在矿山三维可视化建模中的应用[J]. 有色金属: 矿山部分, 2011, 63(6): 72-76.
Zhang Changsuo. Application of the mining software in three-dimensional visualization modeling [J]. Nonferrous Metals: Mining Section, 2011, 63(6): 72-76.
- [12] James D M, Phil A G. A GIS-based borehole data management and 3D visualization system. [J]. Computer Geosciences, 2001(3): 1699-1708.
- [13] 房智恒, 王李管, 何远富. 基于DIMINE软件的采矿方法真三维设计研究与实现[J]. 金属矿山, 2009(5): 129-131.
Fang Zhiheng, Wang Liguan, He Yuanfu. DIMINE-based research and realization of true 3D mining method design [J]. Metal Mine, 2009(5): 129-131.
- [14] 蒋深竹. 三维矿业软件DIMINE软件在广西大新锰矿的应用[J]. 中国锰业, 2012, 30(4): 38-42.
Jiang Shenzhu. Application of 3D mining software DIMINE software in Guangxi manganese ore [J]. China's Manganese Industry, 2012, 30(4): 38-42.
- [15] 蒋权, 陈建宏, 杨海洋. 基于DIMINE软件系统的露天矿境界优化研究[J]. 金属矿山, 2010(9): 13-17.
Jiang Quan, Chen Jianhong, Yang Haiyang. Study on open pit limit optimization based on DIMINE software system [J]. Metal Mine, 2010(9): 13-17.
- [16] 蒋京名, 王李管. DIMINE矿业软件推动我国数字矿山发展[J]. 中国矿业, 2009, 18(10): 90-91.
Jiang Jingming, Wang Liguan. DIMINE mining software promote the development of China's digital mine [J]. China Mining Magazine, 2009, 18(10): 90-91.
- [17] 余璨, 李峰, 张达兵, 等. 基于DIMINE的龙厂铜矿床地质建模与储量计算[J]. 金属矿山, 2015(2): 108-112.
Yu Can, Li Feng, Zhang Dabing, et al. Geological modeling and calculation of the reserves of Honglongchang copper deposit based on DIMINE [J]. Metal Mine, 2015(2): 108-112.
- [18] 叶海旺, 王荣, 韩亚民, 等. 基于3DIMINE的鄂西高磷赤铁矿凉水井矿区三维建模[J]. 金属矿山, 2011(1): 89-92.
Ye Haiwang, Wang Rong, Han Yamin, et al. 3DIMINE-based three dimensional modeling of high phosphorous Hematite mine of Liangshuijing orefield in West Hubei [J]. Metal Mine, 2011(1): 89-92.
- [20] 张焱, 周永章, 李文胜, 等. 基于矿体三维地质建模的云浮高假矿区储量计算[J]. 金属矿山, 2011(1): 93-97.
Zhang Yan, Zhou Yongzhang, Li Wensheng, et al. Reserves estimation for Yunfugaochang deposit based on 3D geological modeling of ore-body [J]. Metal Mine, 2011(1): 93-97.

(责任编辑 王小兵)