

金属矿山矿柱回采三维可视化设计

罗周全, 沈玉众, 刘晓明, 冯富康, 邓 俏

中南大学资源与安全工程学院, 长沙 410083

摘要 针对矿山传统二维设计方法的不直观、可计算性差等缺点,提出了三维矿业软件与空区激光探测系统相结合的采场三维可视化设计方法。首先通过空区激光探测系统(CMS)获得采空区的实际形态,在 Surpac 软件中构建采场局部地质模型,将探测所得实体模型与局部地质模型进行布尔运算后获得矿柱的三维模型,在此基础上进行了采准工程的布置,实现了采场设计全程三维可视化。以某金属矿山为例,运用 CMS 和 Surpac 软件对 E2-3 采场进行了中深孔爆破回采方案设计,在 Surpac 软件中快速获取矿柱剖面,通过建立爆破设计数据库,对各剖面进行了中深孔爆破设计,最终生成了爆破设计报告。根据统计获得设计采场体积及所需炸药量,经计算炸药单耗约为 $0.892\text{kg}/\text{m}^3$,该指标与经验值较为吻合。实践证明,该方法能够较好地解决矿柱边界难以确定,传统设计三维显示不够直观等问题,并且计算比较方便,具有重要的推广应用价值。

关键词 采矿;矿柱回采;中深孔爆破;Surpac 软件;可视化设计

中图分类号 TD853

文献标识码 B

文章编号 1000-7857(2010)20-0048-04

3D Visual Design of Pillar Mining of Metal Mine

LUO Zhouquan, SHEN Yuzhong, LIU Xiaoming, FENG Fukang, DENG Qiao

College of Resources and Safety Engineering, Central South University, Changsha 410083, China

Abstract In view of poor visualization ability and computability of the traditional mine 2D design, a stope 3D visual design which combines the 3D mining software and the Cavity Monitoring System (CMS) is proposed. First, the shape of the cavity is obtained by CMS, to build a local geological model of the stope. Then, a 3D model of the pillar is built by Boolean operations of solid models and the local geological model. Based on this, a preparatory arrangement is obtained. Finally, a full 3D visual design of the stope is achieved. A medium-to-long hole blasting design is carried out by CMS and Surpac software in the E2-3 stope of some metal. First, pillar sections of the stope are acquired quickly in Surpac. Then, a blasting design database is constructed, and a medium-to-long hole blasting design of each section is made. Finally, a blasting report is generated. According to statistics, the volume of stope and the amount of explosives are obtained, with explosives consumption being calculated as about $0.892\text{kg}/\text{m}^3$, which agrees well with the empirical value. The practice shows that this method can well determine the pillar boundary in the pillar extraction with visualization, which the traditional design is difficult to achieve, and it is also convenient.

Keywords mining; pillar mining; medium-length hole blasting; Surpac software; visual design

0 引言

某金属矿山采用房柱法两步骤回采矿石,由于在矿房开采过程中钻孔、爆破及矿房空区围岩的冒顶、片帮等原因,往往致使矿柱的实际边界很不规则,而传统的测量方法又无法准确地测定矿柱的实际边界,这将会影响矿柱的回采设计,导致不能合理地布置炮孔,从而造成矿柱回采贫化损失严

重、资源回收率降低、甚至导致危险情况的发生等严重后果^[1-3]。因此,在矿房回采结束后,准确测定矿柱的实际边界,在此基础上进行矿柱回采设计,成为解决上述问题的关键^[4-5]。

空区探测系统(Cavity Monitoring System, CMS)是加拿大 Optech 公司生产的一种基于激光的三维空区探测系统。作为新兴的技术, CMS 在地理空间信息数据收集方面,具有传统

收稿日期: 2010-04-21; 修回日期: 2010-10-09

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目(2007BAK22B04-12, 2006BAB02B04-1-3-2)

作者简介: 罗周全, 教授, 研究方向为矿床深井开采与安全预警数字化理论与技术的研究, 电子信箱: lzq505@hotmail.com

方法无可比拟的优势,目前已成为矿业发达国家地下矿山采场和空区探测的重要手段。利用 CMS 可有效地获得空区的三维形态和实际边界,从而为矿柱安全回采设计提供可靠的依据。罗周全、孟稳权等^[6-7]研究了利用 CMS 获取空区形态和精确边界的获取问题;刘晓明、张保等^[8]对 CMS 的具体操作步骤、使用方法和影响因素进行了详细的介绍和研究。本文在此基础上,利用 CMS 精确获得矿柱边界后,进一步采用 Surpac^[9-11]三维建模软件对某金属矿山 E2-3 矿柱采场进行中深孔爆破回采设计,并进行炸药单耗的计算。

1 工程概况

某金属矿山 E2-3 采场回采范围是-280m 二分段--240m 平面,采场两帮为 E2 采场和 E3 采场的充填体,采场的东西控制线为 $x=2771m$ 和 $x=2779m$,采场宽为 8m。

采场基本情况概述。采场围岩为上泥盆统天子岭组下亚组(D3ta)、中亚组(D3tb)、上亚组(D3tc)及石炭系中上统壶天群(C2+3ht)等地层。其中,D3tb、D3tc、C2+3ht 都出露于 F4 断层下盘。采场范围主要控断层构造发育,规模较大的为 F4 断层,是一条右行平移逆断层,走向北北东、倾角 $70^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 。在采场的西帮,破碎带宽 0.20~2.50m,充填有大量围岩角砾、矿石角砾、方解石角砾,角砾大小不一。小断裂和层间构造发育,走向多为北东、倾向向南。采场矿体赋存于 F4 断层上盘,上泥盆统天子岭组下亚组碳酸盐岩中。矿体北东走向,往南倾斜,倾角 $25^{\circ}\sim 60^{\circ}$,矿体形态复杂。采场的边界情况如图 1 所示。

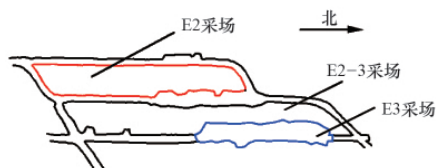


图 1 E2-3 采场位置示意图
Fig. 1 Stope location of E2-3

2 矿柱三维模型的构建

采用 CMS 对大爆破采场回采后形成的空区进行现场探测,本设计选择较典型的 E2-3 矿柱为对象开展研究。现有的资料为:E2 采场已经采用 CMS 获得的空区数据,记录在一个文本文件上,如图 2 所示;位于东端的 E3 采场只有上向分层充填采矿法留下的各分段平面图,为纸质文件。矿柱三维模型构建的基本过程是:① 将 CMS 探测获得的 E2 采场的空区数据经过系统自带的后处理软件生成 .dxf 文件,AutoCAD 的打开界面如图 3 所示,将该文件导入 Surpac,这时生成的是 E2 采场的实体文件,提取靠近 E2-3 采场一侧的面,即为 E2-3 采场的西端边界,如图 4 所示;② 将 E3 采场各分段平面图扫描,在 AutoCAD 中提取对应的线,导入 Surpac 连成 DTM (数字地形模型)面,即为 E2-3 采场的东端边界,如图 5 所示;③ 由于工程控制范围内的岩体并不都是矿体,为此建立了穿过 E2-3 采场内的矿岩分界面,如图 6 所示;④ 以 E2 采

场和东采场中心线为边界建立采场模型,如图 7 所示;并将其与图 4~图 6 中的实体模型进行布尔运算,从而得到 E2-3 矿柱采场的实际三维形态,如图 8 所示,利用 Surpac 报告体积的功能得出该采场体积为 $9369m^3$ 。

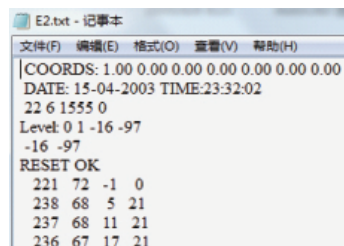


图 2 CMS 探测数据
Fig. 2 Data obtained by CMS

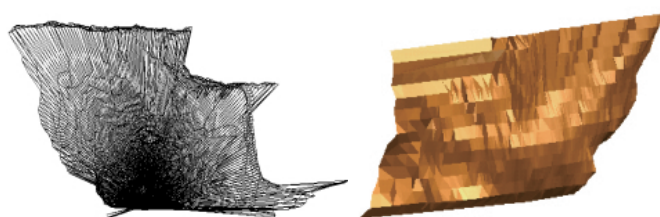


图 3 AutoCAD 中的 E2 采场
Fig. 3 E2 stope in AutoCAD

图 4 采场西端边界
Fig. 4 Western boundary of stope

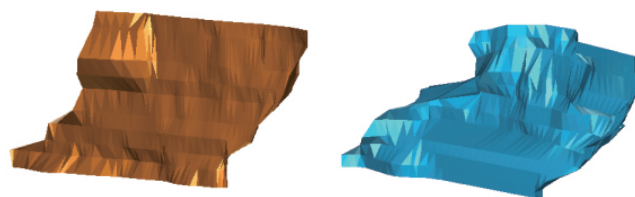


图 5 采场东端边界
Fig. 5 Eastern boundary of stope

图 6 矿岩分界面
Fig. 6 Interface of mine and rock



图 7 采场设计模型
Fig. 7 Design model of model

图 8 采场实际三维形态
Fig. 8 Practical 3D model of stope

3 采准工程布置

根据上文所得的矿体实际的三维形态开始布置采准工程,在底部 $z=-265.2m$ 掘进拉低巷道,其参数为宽和高各为 3m。由于矿体形态不规则,为尽可能回收矿石,决定分别从三分段和

顶部开凿凿岩硐室,为下一步爆破穿孔做准备。爆破后的矿石分别通过底部硐室运至-280m溜井,最终运出至地表。顶部凿岩硐室与原有通风巷道相连能够满足采矿作业所需的风流。为直观反映E2-3矿柱采场的空间位置,方便矿柱回采设计,需建立矿柱周边的巷道模型,具体方法是:按巷道的实际边界,分别建立巷道顶板表面模型、底板表面模型,再将2个表面模型封闭形成巷道实体模型。以相同方法建立顶部硐室模型和三分段硐室模型。矿体及各采准巷道复合显示如图9所示。图中,红色部分为矿体,蓝色的部分分别为-240m中段天井,上部凿岩硐室及三分段凿岩硐室,绿色部分为阶段运输巷道。

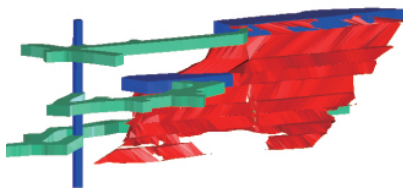


图9 矿体和工程巷道

Fig. 9 Ore body and roadway engineering model

4 中深孔爆破设计

4.1 确定中深孔爆破设计方案

在第2节中得到了凡口铅锌矿E2-3采场的采场模型,通过软件的查询功能得到该采场的高度为25m左右,在这样的采场中进行爆破,其钻孔长度已超过15m,适宜采用中深孔爆破^[12-14]。中深孔爆破一方面有利于提高机械化施工程度和工程质量,另一方面施工进度明显地加快,减少炸药用量,为其他类似采场的开采提供经验。下文为利用三维建模软件Surpac对E2-3采场进行中深孔爆破设计的具体流程。

4.2 生成矿柱采场剖面

在进行中深孔爆破设计前,沿矿柱长轴方向(东西方向)

按实际的炮孔排距形成一系列矿柱剖面,然后根据各个剖面的实际边界进行炮孔设计,具体方法为,利用菜单实体模型下实体工具中的创建剖面来生成剖面,有时需要对生成的剖面进行简单的编辑以便后续的爆破设计。图10为 $x=2773m$ 剖面(x 代表控制线方向为东西方向, $x=2773m$ 为控制线坐标)。在创建好剖面之后,便可进行中深孔爆破设计。

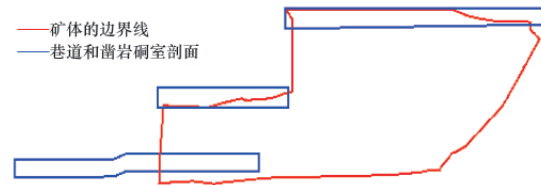


图10 $x=2779m$ 剖面图

Fig. 10 Profile at $x=2779m$

4.3 创建中深孔爆破设计数据库

在Surpac中,运行菜单命令:中深孔爆破设计/创建中深孔爆破设计数据库,该数据库与软件中地质数据库的创建类似^[15]。在软件的提示下便可以对数据库命名,选择数据库类型,定义表和表内字段,从而完成一个数据库框架的建构。利用中深孔爆破设计数据库能够管理复杂庞大的炮孔及装药数据,这样方便存储、修改、查询中深孔爆破设计中的各个剖面的炮孔设计参数。创建好数据库以后,便可以进行炮孔设计,这些数据会自动保存在该数据库中。

4.4 选择钻机与确定钻机位置

编辑好生成的矿柱剖面后,开始建立钻机,根据矿山实际使用的钻机修改属性值;建立好钻机后,再确定钻机位置,即在哪个巷道中凿岩钻孔。矿山目前常用的钻机型号为T-100、T-150,下面以T-100为例进行设计,其属性见表1。

表1 T-100钻机属性(单位:m)
Table1 Properties of rig T-100 (unit: m)

T-100	钻机属性			支点属性			圆盘传动装置属性						
	钻机宽度	最大孔深	钻杆长度	最小高度	最大高度	钻机侧移	可转角度	长度	左宽度	右宽度	钻头近距	进给距离	进给-支点距离
	1.7	60	1.2	3.2	3.6	0	360°	3.35	0.8	0.4	0.1	0.25	1.25

4.5 确定钻孔位置并进行钻孔和装药

确定好钻机位置后,就可以定义炮孔和装药参数,当两者设置完成后,根据矿柱边界设计钻孔位置,钻杆位置也可在凿岩巷道内调整,确保所有钻孔位置设计最优。Surpac中提供了多种钻眼方式,如垂直打孔,扇形打孔或与已知孔成一定距离、角度打孔,这种方式可以保证实际生产中的孔都可以在该软件中实现。钻好孔后便可进行装药,软件提供了多种不同的装药方法。当初次设计的钻孔不够合理,可以利用软件提供的钻孔编辑功能进行编辑。此次设计中钻孔采用

连续装药,图11为装药完成后的 $x=2779m$ 剖面炮孔布置图。

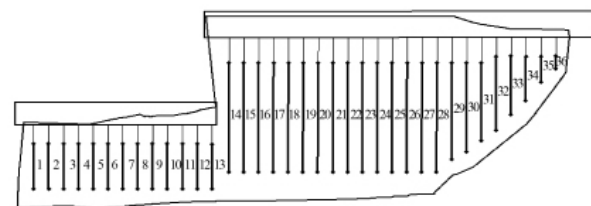


图11 $x=2779m$ 剖面炮孔布置图

Fig. 11 Blasthole arrangement of $x=2779m$

4.6 生成爆破报告

对所有的钻孔设计完后可生成“爆破报告”，具体步骤为：先设置剖面编号，即将要生成爆破报告的那个剖面的编号，这里是 2779，接着设置爆破属性、输出文件的格式，本文采用 Excel 表格格式输出。表 2 为 $x=2779\text{m}$ 剖面所有炮孔的爆破信息表，其他剖面爆破信息表的生成方法相同，将各剖面的爆破信息汇总即得到 E2-3 采场的爆破信息表，见表 3。

表 2 E2-3 采场 $x=2779\text{m}$ 剖面爆破信息

Table 2 Blasting information at $x=2779\text{m}$ in E2-3 stope

孔号	钻孔长度/m	充填长度/m	堵塞长度/m	炸药质量/kg
1~13	10	7	3	668
14~28	21	17	4	1872
29	19	15	4	110
30	18	14	4	103
31	16	12	4	88
32	15	12	3	88
33	12	9	3	66
34	10	7	3	51
35	7	4	3	29
36	5	2	3	15
总计	547	421	126	3091

表 3 E2-3 采场爆破信息表

Table 3 Blasting information in E2-3 stope

剖面号	钻孔长度/m	充填长度/m	堵塞长度/m	炸药质量/kg
$x=2773$	149	102	49	749
$x=2775$	355	266	89	1953
$x=2777$	459	349	110	2563
$x=2779$	547	421	126	3091
总计	1510	1138	374	8356

根据采场体积和计算的炸药总量，计算出该采场炸药单耗 $q=0.892\text{kg/m}^3$ ，与经验值对比，发现数据吻合较好。至此，E2-3 采场的爆破设计已经完成，实现了整个矿柱的可视化设计。

5 结论

本文在利用 CMS 获得精确矿柱采场边界的基础上，采用三维建模软件 Surpac 进行了采场回采设计。得出以下结论。

1) 依托 CMS 精确获得了矿柱采场的边界，运用 Surpac 构建了某金属矿山 E2-3 矿柱采场的三维模型，实现了采场在三维空间的可视化，计算获得采场的体积为 9369m^3 。

2) 建立了采准工程模型，包括顶部凿岩硐室、底部凿岩硐室、三分段凿岩硐室及各工程巷道。

2) 针对该矿山 E2-3 采场的具体实际，提出了中深孔爆破设计的方案，通过此设计得到了各矿柱剖面的炮孔布置图

和炮孔信息表，最后得出该设计的炸药单耗为 0.892kg/m^3 ，经与经验值进行对比，数据吻合较好。

参考文献 (References)

- [1] Henning J G, Mitri H S. Numerical modeling of ore dilution in blast hole stoping[J]. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 2007, 44(5): 692-703.
- [2] 沈慧明, 吴爱祥, 余佑林, 等. 狮子山铜矿中深孔爆破参数优化设计研究[J]. *中国铝业*, 2003, 27(1): 14-17.
Shen Huiming, Wu Aixiang, Yu Youlin, et al. *China Molybdenum Industry*, 2003, 27(1): 14-17.
- [3] 任凤玉, 周宗红, 穆太升, 等. 夏甸金矿中深孔爆破参数优化研究[J]. *金属矿山*, 2005(11): 4-6.
Ren Fengyu, Zhou Zonghong, Mu Taisheng, et al. *Metal Mine*, 2005(11): 4-6.
- [4] 周国军, 黄志伟, 王宝山. 地下采矿大直径深孔爆破研究 [J]. *爆破*, 2006, 23(4): 25-29.
Zhou Guojun, Huang Zhiwei, Wang Baoshan. *Blasting*, 2006, 23(4): 25-29.
- [5] 赵国彦, 张磊, 陈志强, 等. 中深孔爆破效果的非线性预测 [J]. *矿冶工程*, 2010, 30(2): 1-4.
Zhao Guoyan, Zhang Lei, Cheng Zhiqiang, et al. *Mining and Metallurgical Engineering*, 2010, 30(2): 1-4.
- [6] 罗周全, 杨彪, 刘晓明, 等. 采用 CMS 辅助矿柱回采爆破设计研究[J]. *金属矿山*, 2007(3): 15-17.
Luo Zhouquan, Yang Biao, Liu Xiaoming, et al. *Metal Mine*, 2007 (3): 15-17.
- [7] 孟稳权, 罗周全. 冬瓜山复杂边界矿柱爆破设计关键技术研究 [J]. *有色金属: 矿山部分*, 2009(5): 55-58.
Meng Wenquan, Luo Zhouquan. *Nonferrous Metals: Mining Section*, 2009 (5): 55-58.
- [8] 刘晓明, 罗周全, 张保, 等. CMS 空区探测的环境影响及误差分析与纠正[J]. *矿冶工程*, 2008, 28(4): 1-5.
Liu Xiaoming, Luo Zhouquan, Zhang Bao, et al. *Mining and Metallurgical Engineering*, 2008, 28(4): 1-5.
- [9] 周智勇, 陈建宏, 周科平. Surpac Vision 软件在矿床建模中的应用[J]. *矿业工程*, 2004, 2(4): 56-58.
Zhou Zhiyong, Chen Jianhong, Zhou Keping. *Mining Engineering*, 2004, 2(4): 56-58.
- [10] 罗周全, 刘晓明, 苏家红, 等. 基于 Surpac 的矿床三维模型构建[J]. *金属矿山*, 2006(4): 33-36.
Luo Zhouquan, Liu Xiaoming, Su Jiahong, et al. *Metal Mine*, 2006(4): 33-36.
- [11] 赵春波, 赵桂香, 孙云东. Surpac 软件在乌努格吐山铜铅矿建模的应用[J]. *黄金*, 2010, 31(2): 34-36.
Zhao Chunbo, Zhao Guixiang, Sun Yundong. *Gold*, 2010, 31(2): 34-36.
- [12] 伍颖, 杨庆雨, 柯昌阳. 鸡笼山金矿采场中深孔控制爆破研究 [J]. *矿业研究与开发*, 2010, 30(2): 104-106.
Wu Yin, Yang Qinyu, Ke Changyang. *Mining R & D*, 2010, 30(2):104-106.
- [13] 杨仁树, 郭东明, 杨立云, 等. 中深孔爆破在海孜煤矿中硬岩巷道掘进中的应用[J]. *煤炭技术*, 2007, 26(3): 37-38.
Yang Renshu, Guo Dongming, Yang Liyun, et al. *Coal Technology*, 2007, 26(3): 37-38.
- [14] 李晓杰, 曲艳东, 闫鸿浩, 等. 中深孔爆破分层装药分层填塞研究[J]. *岩石力学与工程学报*, 2006, 25(增 1): 3269-3275.
Li Xiaojie, Qu Yandong, Yan Honghao, et al. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2006, 25(S1): 3269-3275.
- [15] 杨文静, 李利波, 程天放. 基于 Surpac 的地质数据库的建立与应用[J]. *现代矿业*, 2009, 6(6): 72-75.
Yang Wenjing, Li Libo, Cheng Tianshe. *Morden Mining*, 2009, 6 (6): 72-75.

(责任编辑 岳臣)