维普资讯 http://www.cqvip.com

云南大姚地区六苴铜矿床小河-石门坎矿段三维可视化模型

王 雷[1,2],韩润生[1,2],吴 鹏[1,2],李瑞龙[3]
WANG Lei[1,2], HAN Run-sheng[1,2], WU Peng[1,2], LI Rui-long[3]

1. 昆明理工大学国土资源工程学院,云南 昆明 650093;
2. 有色金属矿产地质调查中心西南地质调查所,云南 昆明 650093;
3. 云南楚雄矿冶有限公司,云南 楚雄 675400
1. *Faculty of Land and Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming* 650093, *Yunnan, China;*
2. *Southwest Institute of Geological Survey, Geological Survey Centre for Nonferrous Metals Resources, Kunming* 650093, *Yunnan, China;*
3. *Yunnan Chuxiong Mineral Co. Inc., Chuxiong* 675400, *Yunnan, China*

摘要:大姚六苴铜矿床是中国砂(页)岩型铜矿床的典型代表。通过对小河-石门坎矿段钻孔、剖面及地形资料的综合研究,应用surpac vision三维可视化软件建立了矿区地表模型,实现了工程控制矿段的地层、矿体的三维显示,并结合成矿地质条件建立了地层、矿体、地形的三维模型,直观地显示了矿区地层、矿体的分布特征,为深部找矿预测和勘查设计提供了科学依据。

关键词:Surpac;三维可视化;地质数据库;矿体模型;大姚六苴铜矿床
中图分类号:P618.41 **文献标志码**:A **文章编号**:1671-2552(2008)06-0866-09

Wang L, Han R S, Wu P, Li R L. 3D visualization model of the Xiaohe-Shimenkan ore block in the Liuju copper deposit, Dayao, Yunnan, China. ***Geological Bulletin of China,*** **2008, 27(6):866-874**

Abstract: The Liuju copper deposit in Dayao is a typical example of sandstone (shale)-type copper deposits in China. Based on an integrated study of the data of the well core, sections and topography in the Xiaohe-Shimenkan ore block by using the surpac vision 3D visualization software, the authors have constructed a surface model of the mining area, thus achieving the 3D visions of strata and orebodies in an ore block controlled by engineering works, and on that basis, combined with the geological conditions for the formation of the deposit, the authors constructed a 3D model of the strata, orebodies and topography, thus visually displaying the distributing characteristics of the strata and orebodies in the mining area and providing a scientific basis for mineral exploration at depth and exploration design.

Key words: Surpac; 3D visualization; geological database; orebody model; Liuju copper deposit, Dayao

地质体的三维可视化研究是当前地质学中具有挑战性的前沿课题之一[1],是地学空间信息展示、分析和应用发展的重要方向[2]。地质工作者可以通过可视化方法建立地下目标的结构,描述资源的分布状态,模拟地形、地层、矿体、煤层、油气开发期间各种参数及动态变化的趋势。曾钱帮等[3]利用地形平面图和区域地质资料建立了川藏公路典型路段的三维地形模型,对川藏铁路的选线、绕避不良地质灾

收稿日期:2007-10-10;**修订日期**:2008-03-13
地调项目:中国地质调查局《国家危机矿山接替资源勘查》项目(编号:200453001)和教育部新世纪优秀人才支持计划项目(编号:NCET-04-917)资助。
作者简介:王雷(1983-),男,在读硕士,矿产普查与勘探专业。E-mail:cumtwl1983@163.com

维普资讯 http://www.cqvip.com

害、确定开凿铁路隧道的位置有一定的参考价值;李培军[4]介绍了层状地质体的三维模拟与可视化方法;修群业等[5]利用钻孔剖面数据建立了金顶铅锌矿床矿体的三维模型,为讨论砂岩型矿床和灰岩角砾岩型矿体的关系提供了依据;冯超东等[6]介绍了变异函数、克立格法在矿体储量计算中的应用。三维可视化技术在地质体的外部形态及内部特征的表示方面都得到了广泛的应用。

随着矿床的不断开采,矿产资源日益减少,为了维持矿山的正常生产,必须向矿床的深部及外围进行勘查找矿。引进新技术、新方法,在深部和外围建立三维找矿模型,可以对找矿预测起到一定的指导作用。小河-石门坎地段为六苴矿床主矿体沿走向南延的成矿有利部位[7],矿体形态复杂,含矿地层的产状变化很大,传统的二维软件已很难展示矿体及地层在空间上的变化特征。为了更形象地展示矿体及含矿地层的三维特征,本文利用 surpac 三维软件建立地质数据库,完成三维可视化模型,圈定矿体,为深部找矿预测提供重要依据。

1　矿床的地质概况

大姚六苴铜矿床位于楚雄盆地中北部大雪山背斜的西翼(图 1)。出露地层有上白垩统江底河组(K_2j)、马头山组大村段(K_2md)、马头山组六苴段(K_2ml)和下白垩统普昌河组(K_1p)。主要含矿层为马头山组六苴下亚段(K_2ml_1),六苴中亚段(K_2ml_2)和大村段(K_2md)也是含矿层位。地层总体走向近南北,倾向南西。在主要含矿层位中探明储量占矿区探明储量的 78%。大雪山复式背斜为矿床的骨架构造,其轴向由北西向至么社底簸向南逐渐转为南北—北西向,南端倾没于界牌附近。背斜西翼缓(倾角 10~30°)、东翼陡(倾角 55°)。矿区主要断裂有:近 SN 向断层(包括 NNE、SN、NNW 向断层),与主构造方向一致,是一组压扭性断裂;EW 向断层(包括 NWW、EW、NEE 向断层) 其产状常与大雪山背斜轴向不一致,为后期断层。六苴矿床主要矿体赋存于马头山组六苴下亚段(K_2ml_1)的长轴方向从北(地表)向南(深部)延伸,与矿区石门坎、落及木乍-岩子口属同一层位。推测北段主矿体与南段石门坎地表矿体连为一体,矿体从北向南呈弧状延伸,平面上呈环带状展布,纵剖面上呈盆状展布。

2　地质数据库的建立

Surpac Vision 吸收了多用户的开放数据库技术(ODDC)的优势,能够直接与许多流行的数据库相连接来存储和管理地质信息,如 Access、SQL Server、Oracle 等数据库。地质数据库是矿床三维建模的基础,汇集了所有必要的地质信息,包括钻孔定位表、钻孔测斜表和转换表 3 个基础数据表,转换表由数据库自动生成[8]。数据库的基本要素为“表”和“字段”。一个数据库由若干表组成,每个表中有若干字段,各个字段有对应的数据格式。这些表和字段都要与实际的数据相匹配。

根据需要,收集小河-石门坎矿段 150、156、164、244 四个剖面 8 个钻孔的资料和 700 余件样品的分析数据。以钻孔数据为数据源,按照 Surpac 的数据格式,建立以下数据表:

钻孔定位表(collar.csv):描述钻孔的空间总体位置信息,字段包括钻孔号、Y、X、Z、最大深度。

钻孔测斜表(survey.csv):描述钻孔的空间位置变化信息,字段包括钻孔号、测斜深度、角度、方位。

样品分析表(sample.csv):描述采样信息及地质描述,字段包括钻孔号、样品号、样品起始位置、样品终止位置、Cu 品位、Ag 品位。

将原始数据录入到 collar、survey 和 sample 文件中,并导入到 surpac 中检验数据是否存在错误。如:缺少孔口坐标、存在重叠样品、测斜表中的孔深大于孔口表中的最大深度等。数据检验完后对出错部分进行修正,最终形成地质数据库。

地质数据库建成后,存储在 Surpac 数据库中的坐标、高程、岩性、化验、样品等数据信息,均可以图形的方式显示和查询,也能够直接在图形上修改更新[9]。通过 Surpac 软件,设计人员可以快速地浏览所有钻孔的信息和图示,也可以在电脑屏幕上选择感兴趣的剖面,查看切割剖面上的样品信息,为圈定不同剖面的矿体提供依据(图 2)。

3　三维模型的构建

3.1　地表模型

地表模型是矿山数字化重要的一部分,对于矿床勘查、采矿工程设计、切割平剖面具有重要的实际意义。建立矿床地表模型可以直观而形象地显示矿体和地表之间的关系,将地表工程、坑道工程、工作

维普资讯 http://www.cqvip.com

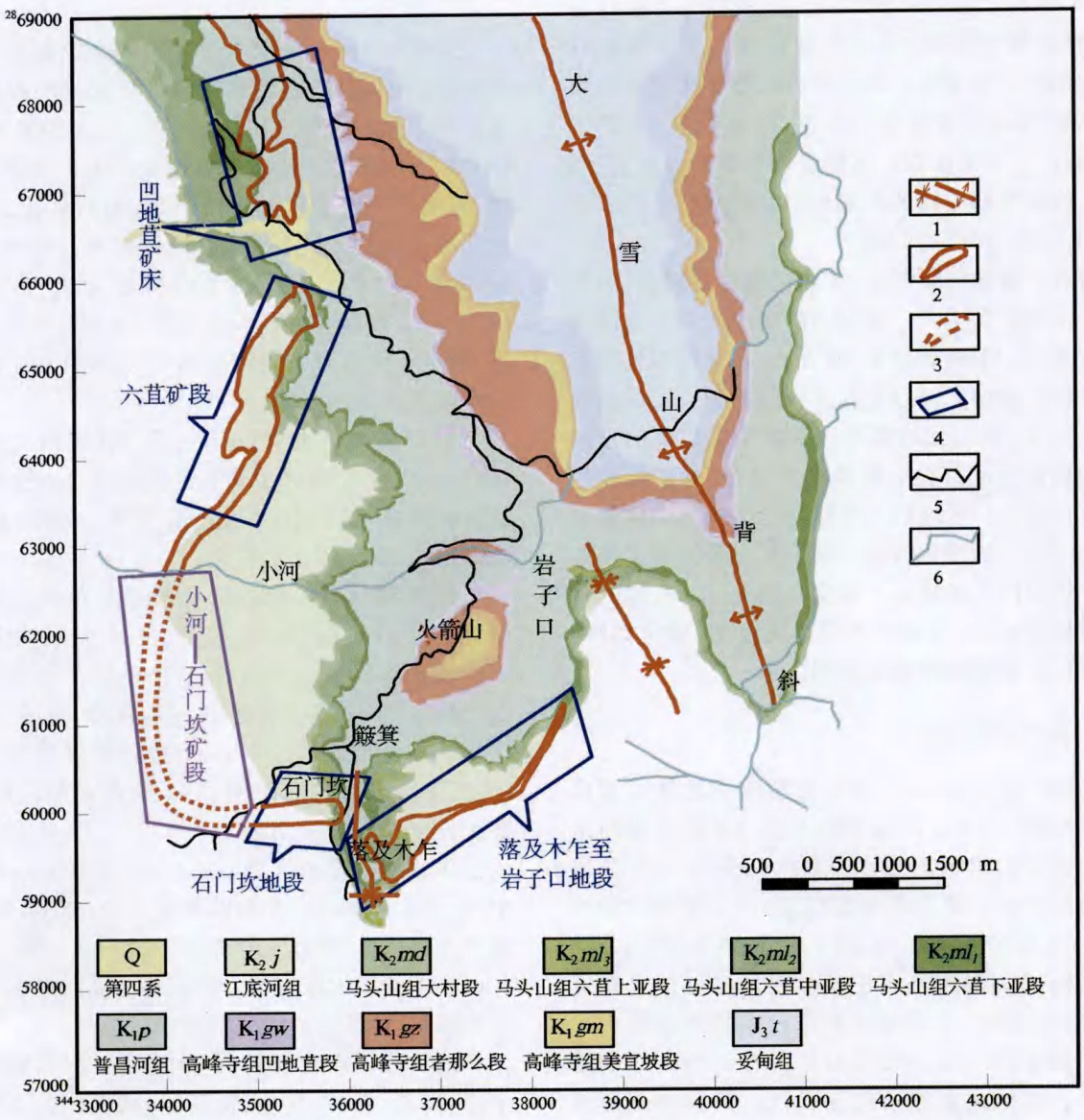


图 1 六苴铜矿床矿区地质简图

Fig. 1 Geological sketch map of the Liuju copper deposit

1—背斜与向斜;2—矿体投影边界线;3—推测矿体边界线;4—矿床(点)区段范围;5—公路;6—水系

量及地表地球化学异常图投影至地表上，为矿床地质综合分析提供依据。

目前建立地表模型的方法主要有简单趋势面法、数字化仪法、综合法[10]。简单趋势面法适合地形形态简单、测量数据少的地区,利用少量的测量数据和钻孔孔口的坐标信息，通过距离反比法插值获得地表模型。数字化仪法主要适合地形形态有起伏和有测量数据、地形图的地区,通过数字化仪输入已成图的地形图中的等高线获得地形实体。综合法主要针对地形复杂、山势陡峭的地区,不但要求有较大比例尺的地形图，还要通过一些测点对地形图生成的地形实体进行修正。

以地形图为原始资料,使用数字化仪法,按以下步骤进行处理，完成地表模型的构建：①在 mapgis 中为小河-石门坎矿段 1:5000 地形地质图中的等高线增加高程属性;②通过文件格式转换(mapgis-au-

维普资讯 http://www.cqvip.com

tocad-surpac 线文件的转换)，最终生成 surpac 软件支持的.str 格式的三维等高线线文件;③清理线文件中的重复点、跨接和聚接点；④利用线文件生成 DTM 模型,根据高程值为地形着色,完成地表模型(图 3)的构建。

3.2 地层模型

地层模型是将矿区的三维模型细化成不同的地质单元，可以直观地表达矿区地层和矿体的空间关系,将矿体与地层结合起来,研究其空间赋存规律及矿体展布特征。地层模型建立的依据主要是矿区剖

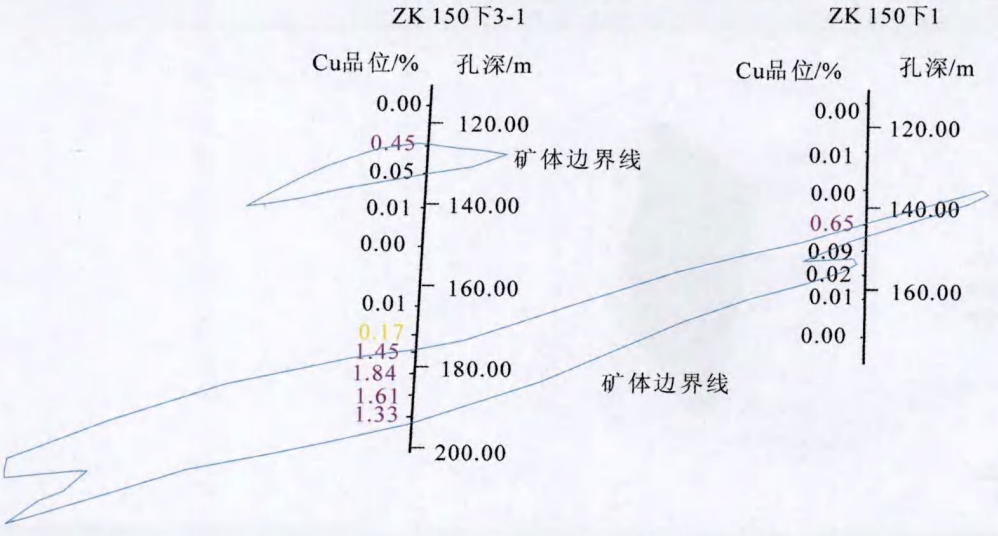


图 2　小河-石门坎矿段 150 剖面钻孔信息简图

Fig. 2　Information from the wells along section 150 in the Xiaohe-Shimenkan ore block

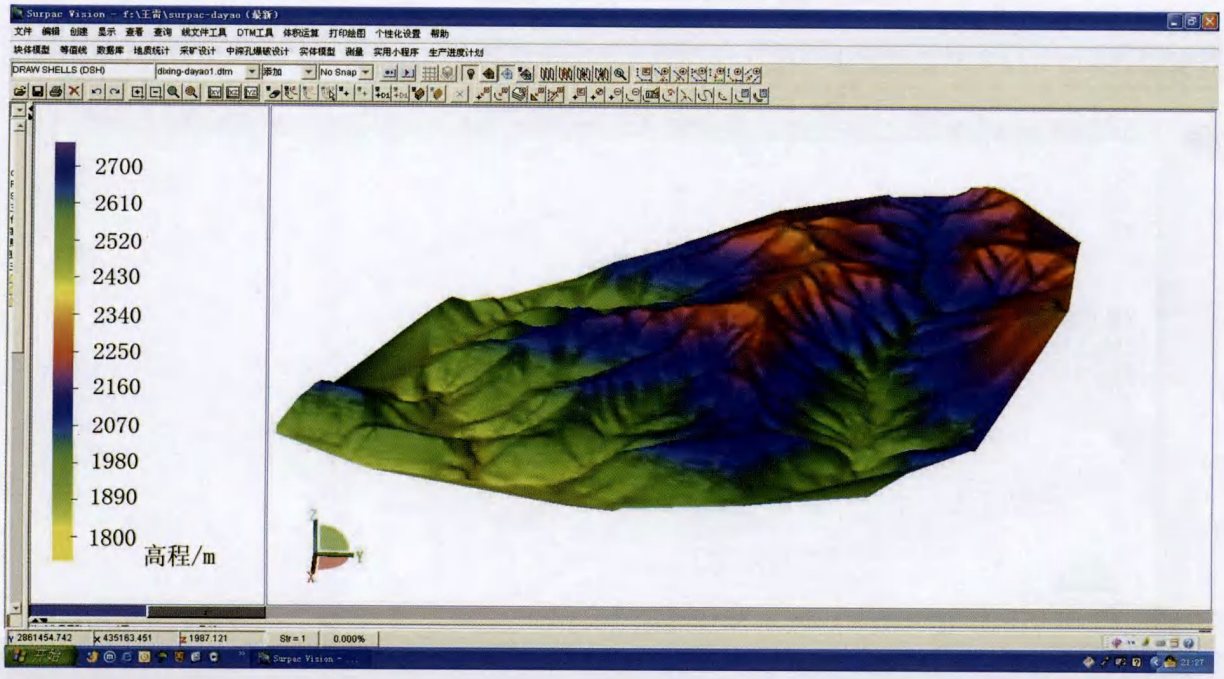


图 3　小河-石门坎矿段地表模型

Fig. 3　Terrain model of the Xiaohe-Shimenkan ore block

维普资讯 http://www.cqvip.com

面图和钻孔揭露的地层界线，实际构建过程常是将2种方法结合而完成的。

研究区地层模型的建立过程：①150~164号勘探线之间，参考钻孔数据修改绘制勘探线剖面图，生成各剖面上的地层线，并通过三角网连接各剖面地层界线获得150~164号勘探线之间的地层模型(图

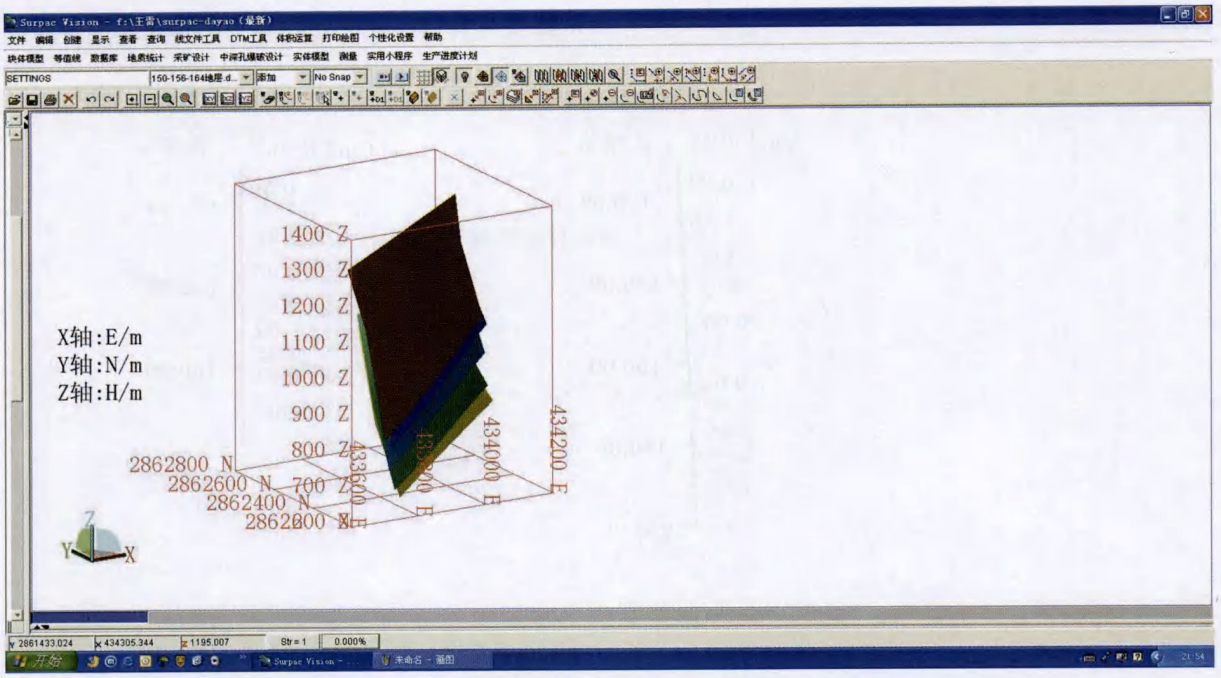


图4 150~164号勘探线之间的地层模型

Fig. 4 Stratigraphic model between exploratory lines 150 to 164

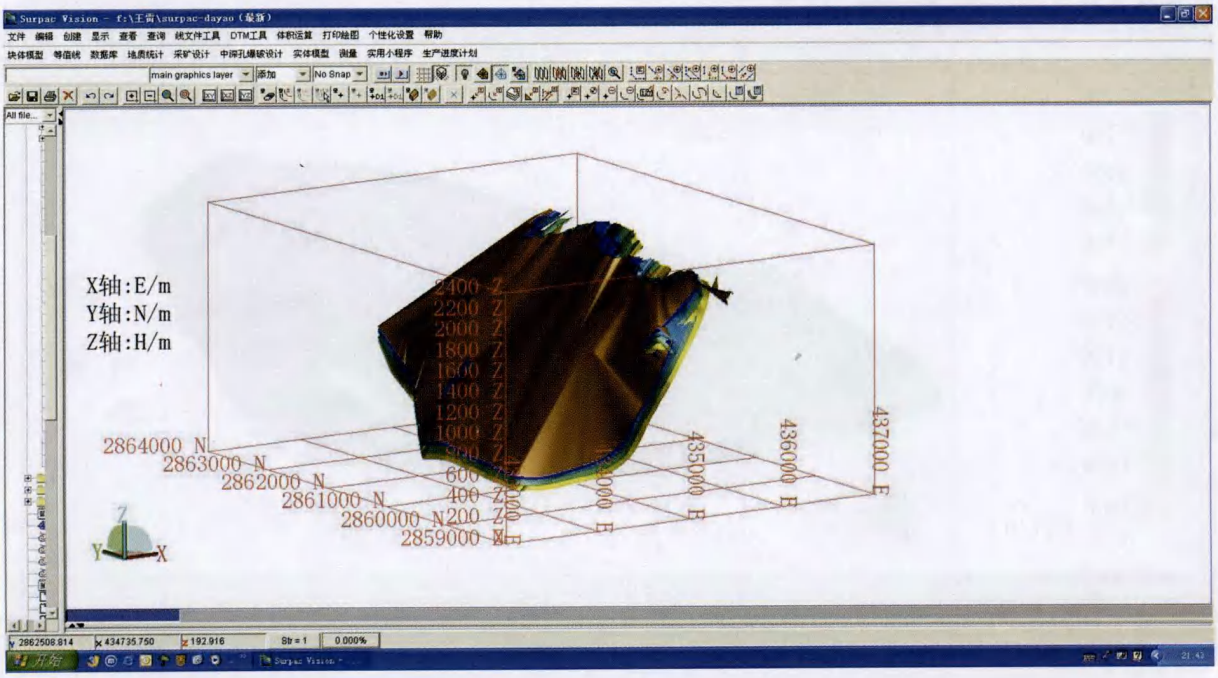


图5 小河-石门坎矿段的地层模型

Fig. 5 Stratigraphic model of the Xiaohe-Shimenkan ore block

维普资讯 http://www.cqvip.com

4); ②将野外实测地表地层出露界线投影到地表模型上,得到地表出露地层在三维空间中的位置;③将小河-石门坎的 2 条剖面(A-A′-A″、B_2~B_7)导入到三维空间中,提取地层界线。连接②③生成的三组矿区地层线,生成整个矿区的地层模型(图 5)。由地层模型看出,地层在 190~216 之间逐渐变深,在 224~244 号线之间变化较大,地层逐渐变浅,产状变陡,倾向逐渐转为南西,与石门坎地层相连。

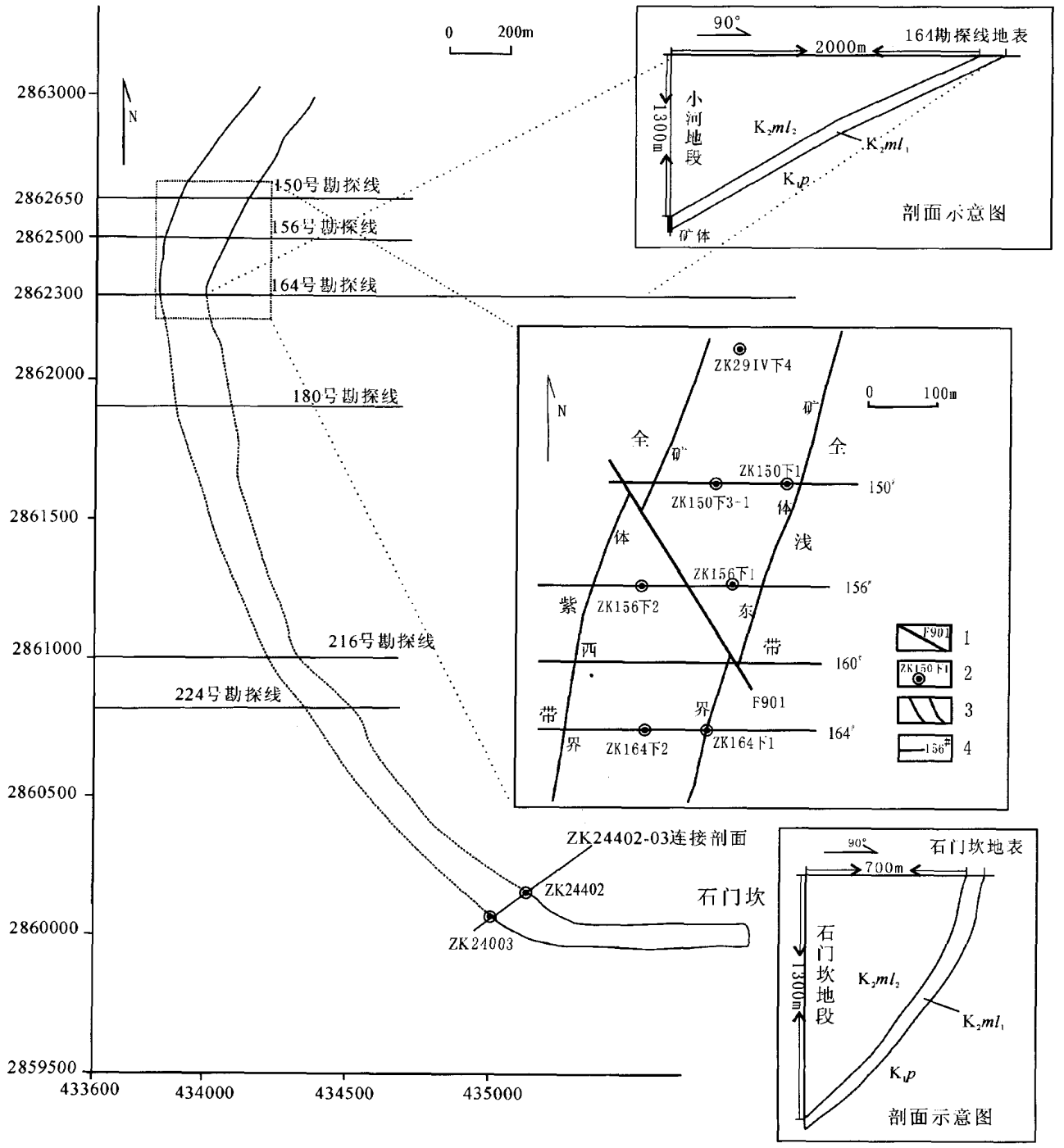


图 6　小河-石门坎矿段矿体平面与剖面示意图

Fig. 6　Plan and section of orebodies in the Xiaohe-Shimenkan ore block

1—断层及编号;2—钻孔位置及编号;3—矿体投影边界线;4—勘探线及编号;

K_2ml_2、K_2ml_1—马头山组六苴段中亚段、下亚段;K_1p—普昌河组

维普资讯 http://www.cqvip.com

3.3 矿体模型

矿体模型是用多边形联结来定义的一个实体或空心体,所产生的形体可用于矿体的可视化、体积计算、在任意方向上产生剖面及与来自地质数据库的数据相交[11]。其建立的方法概括为 2 种:① 由一些矿体纵剖面投影线连接而成。矿体剖面投影可以根据钻孔数据库进行切割剖面,提取钻孔三维模型中样品的品位信息获得,也可以根据已有的剖面图,导

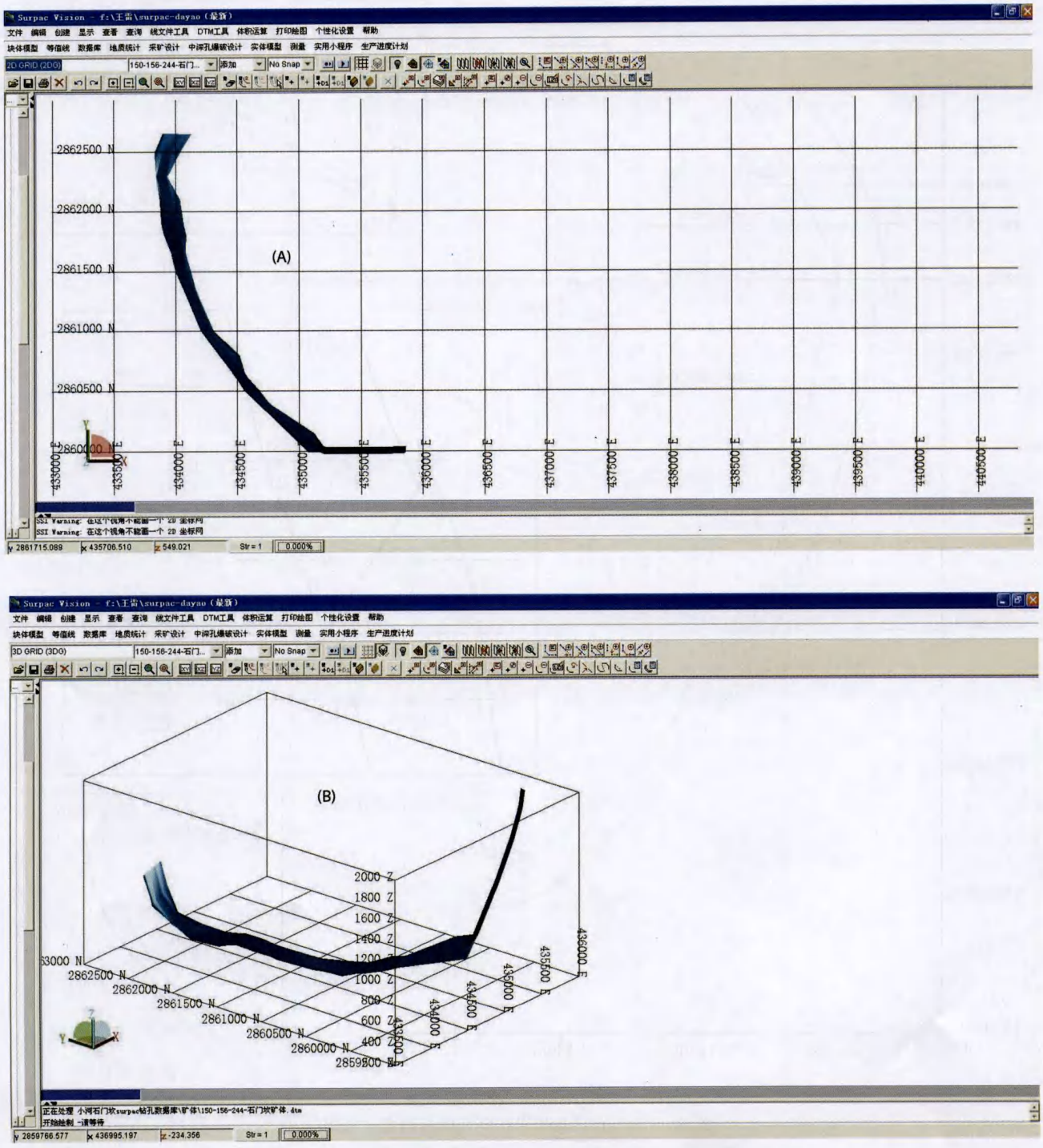


图 7 矿体模型(A)和矿体模型(B)

Fig. 7 Orebody models (A) and (B)

维普资讯 http://www.cqvip.com

入到三维空间中,提取其矿体边界。②通过连接矿体顶底板线而成,适合层状矿体。

小河-石门坎地质地球化学勘查研究结果表明:①小河-石门坎矿段 29 号线以北地区,含矿层走向主要为 SN—NNE 向,倾向 W,29 号线以南地区逐渐转为 NNW 向(NW20~30°)。推测 156 线以南地区的矿化带有向西偏移的趋势;②主矿体有向南西方向侧伏的现象;③由于 CK156-下 1 孔加深,推测 156 线含矿层处于由缓变陡的部位,矿体有变厚、变富的趋势,认为 156 线以南地区产状变化较大。

通过对 150、156、164、244 勘探线上钻孔揭露的矿体进行三维空间显示,得出以下结果:①150~156 线矿体产状比 150 线以北变陡,而到 164 线又变缓,在矿体由陡变缓的部位矿体变厚变富,由缓变陡的部位矿体变窄变薄,为推测 164~244 线矿体展布的特征提供了依据;②矿体走向由 184 勘探线以南转为 NNW 向,216 号勘探线以南转为 NW 向,向 SW 侧伏,至 244 线与石门坎矿体相连;③164 勘探线矿体和 244 号线矿体处于近同一高程上(图 6),164 号勘探线矿体向南逐渐加深,244 号线矿体向北也逐渐加深,在剖面上形成一盆状体,但 244 线矿体的产状远大于 164 号线矿体的产状,推测 164~244 勘探线矿体变深的平面距离多于矿体变浅的平面距离,认为 164 线向南—南东方向矿体会有多次起伏,但总体会逐渐加深、产状逐渐变缓,而接近 244 号勘探线矿体会逐渐变浅、产状逐渐变陡,与 244 号线-石门坎地表矿体相连;④推测在 244 线以北矿体会变深变厚,而到 224 勘探线附近矿体转弯处最厚,224 勘探线以北矿体变窄变薄,但矿体宽度和厚度应大于 244 号勘探线上揭露的矿体,244 号线-石门坎地表矿体呈东西向展布,产状由 ZK24402-ZK24403 剖面揭露的 50°逐渐过渡到地表的 78°。

研究区矿体的圈定过程:①根据地质数据库显示的钻孔样品信息,圈定 150、156、164、244 号勘探线揭露的矿体;②在三维空间显示 150、156、164、244 号勘探线的矿体,以及 244 号线-石门坎地表矿体和推测的 164~244 号线间矿体的展布情况;③连接各剖面揭露的矿体,得到研究区的矿体模型(图 7)。

通过 surpac 软件对小河-石门坎矿段的矿体进行三维显示,验证了地球化学勘查的 150~164 号线矿体的展布特征;预测了 164~244 号线矿体的展布特征并进行了三维显示;连接了 244 号勘探线-石门坎矿段的地表矿体,揭示了这段矿体的变化特征;可以对矿体模型随意切割剖面,查看剖面上矿体的具体位置,为工程设计提供依据。图 8 为沿 Y=2862400 切割的剖面。

结合矿体模型,对矿体的展布规律有了一些新的认识:164~244 号线地层有很大的起伏,在该段地层变深的部分要远多于地层变浅的部位;由于地层有起伏,在地层由陡变缓的地段矿体变厚变富,预测在 184 号线及 224 号线附近矿体会变厚;预测在 190~224 号线之间地层、矿体会出现很大的降幅,224 号线地层出现上升的趋势,产状变陡,一直延伸至地表,矿体也随着产状变陡而变薄变窄。

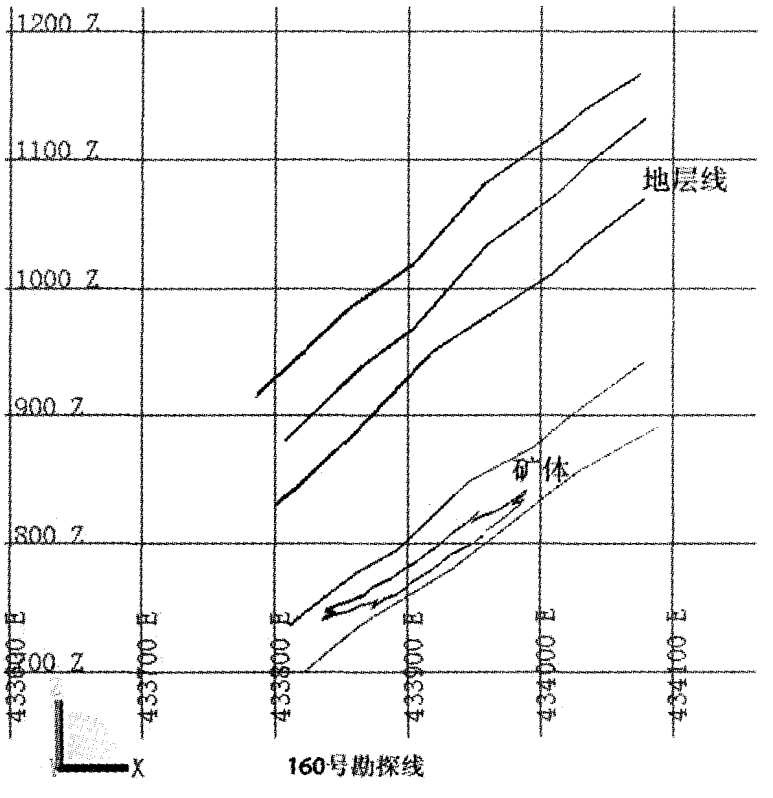


图 8　矿体模型切割剖面

Fig. 8　Sections of the orebody model

维普资讯 http://www.cqvip.com

4 结 论

(1)利用surpac软件首次建立了大姚地区六苴铜矿床小河-石门坎矿段的钻孔数据库、地表模型、地层模型和矿体模型，从三维空间展示了整个矿区的地形、地层、矿体的变化特征。

(2)已有工程控制范围建立的地层模型、矿体模型验证了阶段成果，指出了矿体的空间变化规律，为研究矿体展布规律提供了依据；通过推断未控制地段的矿体、地层的展布特征，建立了该区的地层、矿体的三维模型，可根据需要随意切割剖面，为下一步勘查工程设计奠定了基础。

(3)通过建立该矿段的三维数字化模型，实现了矿区的三维数字化，可以动态地管理矿区的钻孔工程、剖面图、坑道等资料，并可随着工程的进展不断地更新完善矿区的资料，为深部成矿预测提供科学根据。

致谢：本文得到课题组王学琨教授等的指导和帮助，在此表示衷心的谢忱！

参考文献：

[1]张新宇，肖克炎，陈学工，等.西岔金矿三维空间普通克里格法的可视化储量计算[J].中南大学学报(自然科学版)，2006，37(1)：145-149.

[2]焦养泉，朱培民，雷新荣，等.地学空间信息三维建模与可视化[M].北京：科学出版社，2006：3-5.

[3]曾钱帮，刘大安，马占海，等.地形三维可视化在川藏公路典型路段中的应用[J].工程地质学报，2006，14(4)：518-521.

[4]李培军.层状地质体的三维模拟与可视化[J].地学前缘，2000，7(增刊)：271-277.

[5]修群业，王军，高兰，等.云南金顶矿床矿体三维模型的建立及其研究意义[J].矿床地质，2005，24(5)：501-507.

[6]冯超东，杨鹏，胡乃联.克立格法在SURPAC软件中的实现及应用[J].金属矿山，2007，4：55-58.

[7]吴鹏，韩润生，邹海俊，等. 大姚六苴铜矿床小河-石门坎矿段地层地球化学[J]. 地质与勘探，2007，43(3)：51-55.

[8]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.

[9]丁威，陈广平.利用Surpac软件打造数字化金属矿山[J].矿业快报，2006，(3)：11-13.

[10]江家谱. 金川三维矿山模型的研究与建立[D].昆明理工大学博士论文，2005：92-95.

[11]邓念东，侯恩科，霍正东，等.应用SURPAC实现矿床三维可视化地质模型动态更新[J].陕西煤炭，2006，3：7-9.