

红透山矿区三维地质建模与可视化研究

刘文玉^{1,2}, 吴湘滨¹, 张宝一¹, 黄亚¹, 刘珊¹, 侯东壮¹

1. 中南大学地球科学与信息物理学院, 长沙 410083

2. 华北水利水电学院资源与环境学院, 郑州 450011

摘要 红透山矿区是中国开采深度最深的金属矿山之一, 具有巨大的找矿潜力。本文采用三维地质建模和可视化技术方法, 结合红透山矿区地质特征, 以国际矿业软件 Surpac 为平台, 建立红透山矿区地质数据库, 在此基础上构建了矿区地表、断层、矿体以及地层三维实体模型。为提取地质控矿指标, 基于地质体三维实体模型, 通过地质空间立体单元划分, 建立了岩性、断层、矿化分布等控矿因素的三维空间场模型, 以及可控源音频大地电磁法 CSAMT、瞬变电磁法 TEM 物探找矿指标三维空间场模型, 直观显示了矿区地质体空间分布特征, 为进一步开展红透山矿区深边部三维定量找矿预测奠定了基础。研究表明, 三维可视化建模技术在隐伏矿体立体定量预测研究中具有明显优势, 具有较高的推广和应用价值。

关键词 三维地质建模; 可视化; Surpac 软件; 红透山矿区

中图分类号 P612

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2011.11.007

3D Geological Modeling and Visualization of Hongtoushan Mine

LIU Wenyu^{1,2}, WU Xiangbin¹, ZHANG Baoyi¹, HUANG Ya¹, LIU Shan¹, HOU Dongzhuang¹

1. School of Geosciences and Info-Physics, Central South University, Changsha 410083, China

2. North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, Zhengzhou 450011, China

Abstract Hongtoushan Mine is one of the deepest metal mine in China, with very good resource potential. Most studies of this mine were based on two-dimensional modeling. In this paper, a Hongtoushan Mine geological database is first built, the earth surface 3D model, the fault 3D model, the body 3D model and the stratum 3D model are then built based on 3D geological modelling and the international 3D deposit software Surpac according to the geological features of this mine. In order to extract the ore-controlling factors, some 3D spatial field models are built, including the lithology 3D field model, the fault 3D field model, the mineralization distribution model and the geophysical index 3D spatial field models such as CSAMT model and TEM model after geological spatial divisions into unit blocks. Those models can visually display the spatial distribution of the geological body, as a foundation for further stereo quantitative prospecting prediction in deep and marginal parts of Hongtoushan Mine. The obvious advantage of 3D geological modelling is shown in stereo quantitative prediction of concealed ore body, and it is of a high value in practical applications.

Keywords 3D geological modelling; visualization; Surpac software; Hongtoushan Mine

0 引言

随着表层矿与浅层矿体的开采与利用, 20 世纪 50—60 年代, 在中国建成的大型有色金属矿山, 由于对矿床深部和矿区外围矿产资源缺乏超前研究, 致使矿山濒临矿产危机。对深部隐伏矿体及外围矿床预测与评价是急需解决的重要科学与社会经济问题^[1]。红透山矿区自 20 世纪 50 年代开坑至今, 开拓深度达 1300m, 开采深度达 1200m, 为国内开采深度最深的金属矿山之一, 根据矿床的赋存状态, 采深将超过 1500m, 在全国有色矿山系统独具特色。2004 年, 中国有色集

团抚顺红透山矿业公司和辽宁省有色地质局勘查总院共同申报的“危机矿山接替资源找矿”国家重点项目——“辽宁省抚顺红透山铜锌矿接替资源勘查”项目获批准实施, 经过近 3 年的有效工作, 获得了 200 余万 t 的新增储量, 延长了矿山服务年限。事实证明红透山成矿条件优越, 具有巨大的铜源潜力。目前及今后相当一段时期内, 铜都将是国内急需的紧缺有色金属矿产资源, 为此, 在此区开展找矿研究, 具有重要的社会、经济及技术意义。

20 世纪 80 年代末、90 年代初, 由于计算机进行三维数据

收稿日期: 2011-01-13; 修回日期: 2011-03-14

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目 (2008BAB34B02)

作者简介: 刘文玉, 博士研究生, 研究方向为三维成矿预测, 电子信箱: liuwenyu_dbt@163.com; 吴湘滨 (通信作者), 教授, 研究方向为三维成矿预测, 电子信箱: wuxb133@126.com

处理和表达能力的大幅度提高,三维地质建模取得了突破^[2]。随着三维建模理论和技术的发展以及三维建模市场需求的增长,逐步涌现出许多三维地质建模软件,如 GOCAD、LYNX、CTech、EarthVision、MicroMine、Datamine、Surpac、MicorLynx+、Vulcan 等^[3]。

国内众多专家也对三维地质建模进行了大量的研究,主要包括三维地质建模理论与方法^[4],基于国外矿业软件在地质、矿产、地震等领域的应用^[5-7]以及三维地质建模软件开发^[8]等工作。其建模过程充分利用了矿山原始数据,如已探明矿体属性、地层岩性数据等,并基于地质构造的空间构架及其相互关系,对矿产地质信息进行提取,建立多源地质体的物理模型和数学模型,最后有效实现各种不规则地质体的三维可视化与重建^[9-11]。通过对地质体三维模型的研究,分析其矿体空间展布规律,进而为矿产地质分析和找矿预测提供依据^[12-13]。本文以 Surpac 软件为平台,根据矿区多年来的地质、勘探数据,构建红透山矿区三维地学模型,对矿区地质体分布、矿化分布以及控矿因素分布进行表达,定量提取控矿作用指标,从而为矿区深边部可视化立体定量预测提供重要依据。

1 矿区地质概况

红透山矿区隶属于塔里木—华北构造域,位于华北地台北缘东段辽东台背斜铁岭—靖宇古隆起中部,为典型的花岗绿岩地体分布区。浑河断裂将其分为南北两个部分,浑河以南部分称为小莱河花岗岩—绿岩带;浑河以北由两个单元构成,其一为大面积产出的清原花岗岩—绿岩带,其二被清原花岗岩—绿岩带包围,呈穹窿状产出的景家沟麻粒岩—片麻岩区。

浑北花岗岩—绿岩地体分布区以产出海底火山喷发型红透山式块状硫化物铜锌矿床而著称,根据绿岩带展布及矿床分布特点,可划分为 3 个绿岩带,即大荒沟—稗子沟绿岩带、树基沟—红透山绿岩带和孤家子—红旗山绿岩带;浑南地区绿岩主要分布于碾盘至通什村和石棚子一带。

绿岩地层自下而上分为石棚子组、红透山组和南天门组。各组地层均呈不整合接触关系。石棚子组地层主要分布在浑南汤图—后安河一带,在浑北仅见于红透山组之下,在混合花岗岩中作大小不等的残留体存在,分上下两段。红透山组主要发育在浑北地区,其次在浑南通什村地区,分 3 段。浑北地区以北苍石—红透山—顺山地一带出露地层较完整,见下部和中部两个岩段,上部岩段则主要出露在大荒沟地区,红透山式矿床赋存在红透山组地层当中。南天门组地层主要出露于清原东部的斗虎沟—南天门—曾家顶子一带,在西部地区的顺山地一带亦有少量出露。

经历了华北地台与西伯利亚地台两大构造单元的交接拼合,太古代—古生代—新生代多期构造叠加,在红透山矿集区所属“地体”的形成过程中,伴随有不同的成矿作用,特别是初始火山作用,提供了丰富的地层及成矿物质,有的已形成矿床,经后期变质变形,花岗岩及构造活动又提供了富集、定位条件。

浑北绿岩的主体组成为太古宙红透山岩组,为一套中基性—中酸性火山岩+沉积岩的绿岩建造,可进一步划分为下部的斜长角闪岩段和上部的黑云变粒岩段。其中红透山式铜矿集中产在上部岩段的“薄层互层带”(黑云斜长片麻岩和角闪斜长片麻岩互层)内,宏观上具有明显的“层控性”特点。角闪质岩石原岩为大洋裂谷型钙碱性拉斑玄武岩系,黑云质岩石原岩为英安岩、流纹岩。研究表明红透山式矿床为海底火山喷发型块状硫化物铜锌矿床,与火山喷发关系密切,并且矿体沉积时间是处于间歇性火山喷发活动的相对平静期,含矿岩系具有明显的双峰式火山岩组合的特征。黑云斜长片麻岩、矽线黑云石英片麻岩、黑云石英片麻岩等构成红透山式矿床的直接围岩。以出现石榴子石、矽线石、兰晶石、十字石等典型的富铝的泥质变质矿物及石英含量高为特点。

2 地质数据库的建立

地质数据库是矿床三维建模的基础,在实体模型控制、品位模型构建和储量计算等方面都离不开地质数据库^[4],同时也为地质控矿作用的三维空间分析,实现红透山矿的深边部隐伏矿体立体定量预测提供数据支持。

为建立矿山地质数据库,共收集了 3190 个样品数据,其中包括大钻数据、川脉数据、水平钻数据等。按照 Surpac 数据库格式,将钻孔数据分成 3 个表:钻孔开口信息表 collar、钻孔分段测斜数据表 survey 和钻孔样品品位数据表 test,红透山矿体主要成矿元素为 Cu、Zn、S、Au、Ag。各数据表结构如表 1 所示。

因为年代久远,矿区有比较多的钻孔数据只有纸质数据,将纸质图件扫描,通过影像校正,读取其坐标值和方位、倾角等,作为地质数据库的数据源导入数据库中,钻孔的分析品位数据也直接输入 Excel 表并保存成.csv 格式导入地质数据库中。

表 1 地质数据库表结构

Table 1 Structure of geological database

表名	包含字段
collar	hole_id, hole_path, max_depth, x, y, z, liner
survey	hole_id, depth, dip, azimuth
test	hole_id, depth_from, depth_to, length, Cu, Zn, S, Au, Ag

3 矿区三维地质实体模型构建

3.1 地表模型

地表模型能够直观、清楚地表达矿区地表与矿体等其他空间体的三维位置关系。以矿山地形图为原始资料,按以下步骤完成地表模型的构建工作:①利用 MapGIS 在矿山地形图中提取出等高线及相应的标高值;②将等高线及其属性从 MapGIS 文件格式转换成 Surpac 中支持的.str 格式;③清理文件中的重复点、跨接和聚结点;④利用线文件生成数字高程模型(Digital Elevation Model, DEM),完成地表模型的构建。红透山矿区三维模型如图 1 所示。

3.2 断层模型

断层、地层岩性等地质体是矿床形成与分布的重要控制因素。建立断层模型可以使地质工作者更清楚地掌握断层与矿体之间的位置关系,从而推断断层对成矿的具体影响。利用 MapGIS 软件提取中段平面图中的断层数据,转换成 Surpac 线串文件,并将线串文件形成 DEM,完成断层模型构建。

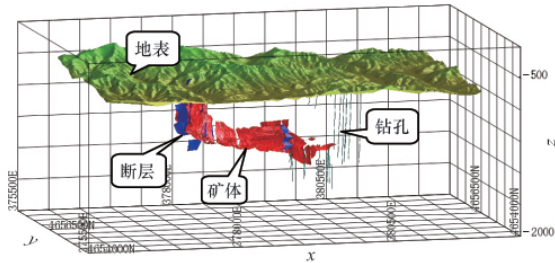


图 1 红透山矿区三维模型
Fig. 1 Hongtoushan Mine 3D model

3.3 矿体模型

矿体模型为准确掌握矿体的几何空间形态提供依据。矿体建模通常采用以下 3 种方法:① 利用矿体边界大概确定矿体范围;② 基于勘探线剖面图的矿体模型构建;③ 基于钻孔数据的矿体模型构建。通常根据建模目的和原始资料选择合适的方法,但是如果准确反映实际矿体形态,往往需要综合采用多种方法。本次以矿体边界为主导,结合勘探线剖面图,构建了矿区实体模型。具体步骤如下:① 根据矿区 21 个中段的地质平面图,提取矿体边界;② 将提取出的矿体数据转换成 Surpac 线串格式;③ 在 Surpac 中对矿体边界数据进行编辑,如删除重复点、删除聚结点、连接断线等,将矿体边界数据处理成便于 Surpac 认可的实体连接线模式;④ 采用多种矿体连接方法准确连接矿体边界线,生成矿体模型;⑤ 验证和修正模型。

3.4 地层模型

红透山矿床的含矿岩系为黑云斜长片麻岩和角闪斜长片麻岩组成的薄层互层带,黑云斜长片麻岩是矿床的容矿岩石。因此,本文建模的主要地层为黑云斜长片麻岩和角闪斜长片麻岩(图 2)。

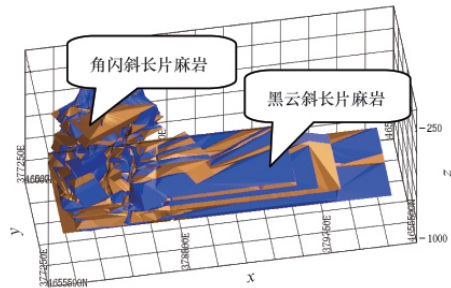


图 2 地层实体模型
Fig. 2 Stratum entity model

4 矿区三维地质场模型构建

矿区深边部可视化立体定量预测为目的的研究中,地质体不但具有三维空间实体几何形态特征,而且还具有矿化分布、地质控矿指标分布等属性特征,矿化分布与地质控矿指标分布在地质空间中具有连续性,体现了三维地质空间场的特征。使用 Surpac 软件建立的实体模型只是以不规则三角网 TIN 面表示的空间闭合实体,在进行地质控矿指标、矿化分布指标提取时需要将其转换为立方体或长方体表示的块体(体元)模型,即建立三维地质空间场,这一过程可看作是对地质体的三维栅格化(三维场)。三维地质空间场涵盖了从矿山收集到的地质、物化探、勘探资料的所有三维空间范围。综合考虑矿山勘探网密度、矿体各方向厚度等特征,确定块体模型单元尺寸块为 10m×10m×10m。建立的三维地质空间场主要有两类:将三维矿体、地层、断层等实体模型作为约束条件,建立的地质指标的三维空间场;根据物探数据建立的物探指标三维空间场。模型如图 3—图 7 所示。

在建立矿体三维地质空间场过程中,还根据已有探矿工程的样品数据估算矿体内每个单元的品位或资源量。地质勘探数据库为矿化分布场模型提供了属性信息;实体模型为矿化分布场模型提供了约束条件,根据具体需要,建立不同的约束条件,以此达到特定目的;块体模型为矿化分布场模型提供“母体”,使品位计算有了具体的对象。品位估值主要包括样品组合和品位估值两个步骤。由于钻孔及坑探工程采样长度不一,首先要按指定的长度对样品进行样长加权平均,

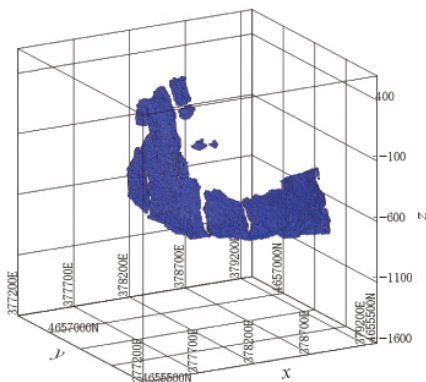


图 3 矿化分布场模型
Fig. 3 Mineralization distribution field model

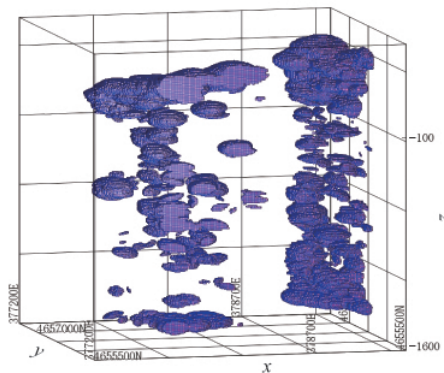


图 4 可控音频大地电磁法 CSAMT 三维空间场模型
Fig. 4 CSAMT 3D spatial field model

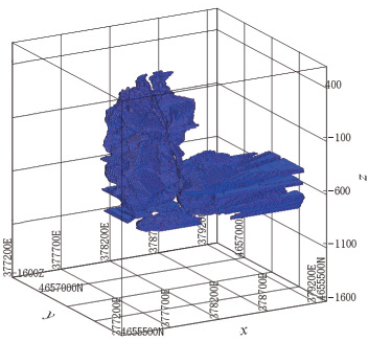


图 5 岩性三维空间场模型

Fig. 5 Lithology 3D spatial field model

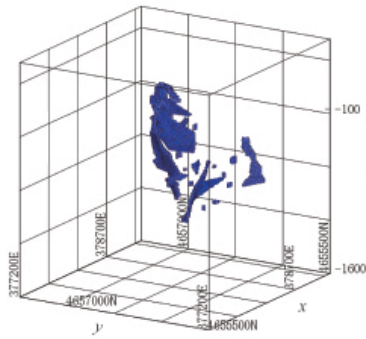


图 6 断层三维空间场模型

Fig. 6 Fault 3D spatial field model

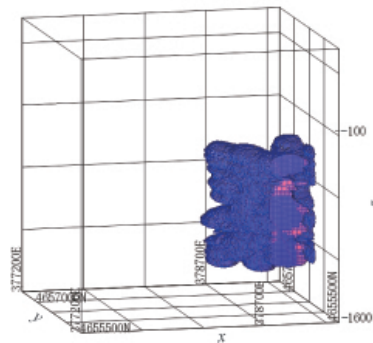


图 7 瞬变电磁法 TEM 三维空间场模型

Fig. 7 TEM 3D spatial field model

将其组合成等长的信息样。根据红透山矿体的厚薄程度及样品平均样长,确定本矿区的组合样长为 1m;并根据矿区各元素品位分布的特点,采用距离平方反比法对矿化分布场模型进行估值。

岩性三维空间场是对每个单元的岩性进行估值,首先需建立岩性块体模型,用地层模型进行约束,对处于地层线框内的单元块,赋该地层为其属性值,从而得到该地层的岩性模型。将各种岩性模型估值后,再将各个岩性模型合并,得到整个地质体的岩性模型。

其他三维地质空间场的建立方法与上述过程相近,不再赘述。构建三维地质空间场用于提取地质控矿指标并进行勘查技术有效性评价和地质推断,开展地质控矿指标的三维空间定量分析,为立体定量预测建模提供定量指标集。

5 结论

(1) 利用 Surpac 软件首次构建了红透山矿区地质数据库、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,为矿山高效合理利用矿产资源提供依据。

(2) 构建了三维地质空间场模型以提取地质控矿指标,开展地质控矿指标的三维空间定量分析,为矿区深边部立体定量预测建模提供定量指标集。

(3) 通过建立矿区的三维地学模型,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;形象直观地再现了矿区地质单元的空间展布及其相互关系,为矿区深边部成矿预测提供科学依据,确保矿区勘探设计的科学性,减少勘探风险,并将大大提高矿床勘查的效率。

致谢 感谢中国有色集团抚顺红透山矿业有限公司、辽宁有色地质局 101 队对本研究的大力支持。

参考文献 (References)

[1] 于凤金. 红透山式矿产成矿模式与找矿模型研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2006.
Yu Fengjin. The study of metallogenic model and prospecting pattern of Hongtoushan-type deposit[D]. Shenyang: Northeast University, 2006.

[2] Houlding S W. 3D geoscience modeling—computer techniques for geological characterization[M]. Berlin: Springer-Verlag, 1994.

[3] 周胜. 安徽铜陵凤凰山铜矿床三维地质建模及其应用研究 [D]. 长沙: 中南大学, 2009.
Zhou Sheng. Three-dimensional geological modeling and application study of copper deposit of Fenghuangshan in Tongling, Anhui [D]. Changsha: Central South University, 2009.

[4] 毛先成. 三维数字矿床与隐伏矿体定量预测研究[D]. 长沙: 中南大学, 2006.
Mao Xiancheng. Research on 3D digital deposit and stereo quantitative prediction of concealed ore body[D]. Changsha: Central South University, 2006.

[5] Gong J Y, Cheng P G, Wang Y D. Three-dimensional modeling and application in geological exploration engineering [J]. *Computers & Geosciences*, 2004, 30(4): 391-404.

[6] 王纯祥, 白世伟, 贺怀建. 三维地层可视化中地质建模研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(10): 1722-1726.
Wang Chunxiang, Bai Shiwei, He Huaijian. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2003, 22(10): 1722-1726.

[7] 徐能雄, 何满潮, 景海河. 岩体结构三维构模技术及其可视化系统研制[J]. 岩土工程学报, 2004, 26(3): 373-377.
Xu Nengxiong, He Manchao, Jing Haihe. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, 2004, 26(3): 373-377.

[8] 刘星, 胡光道. 应用 MORPAS 系统证据权重法进行多源信息成矿预测—以澜沧江南段地区为例[J]. 地质与勘探, 2003, 39(4): 65-68.
Liu Xing, Hu Guangdao. *Geology and Prospecting*, 2003, 39(4): 65-68.

[9] 罗周全, 朱青凌, 刘晓明, 等. 钨矿床三维建模和储量可视化计算[J]. 科技导报, 2009, 27(19): 65-68.
Luo Zhouquan, Zhu Qingling, Liu Xiaoming, et al. *Science & Technology Review*, 2009, 27(19): 65-68.

[10] 史文中, 吴立新, 李清泉, 等. 三维空间信息系统模型与算法 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2007.
Shi Wenzhong, Wu Lixin, Li Qingquan, et al. Three-dimensional spatial information system model and algorithm [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2007.

[11] 毛先成, 邹艳红, 陈进, 等. 危机矿山深部、边部隐伏矿体的三维可视化预测——以安徽铜陵凤凰山矿田为例[J]. 地质通报, 2010, 29(2-3): 401-413.
Mao Xiancheng, Zou Yanhong, Chen Jin, et al. *Geological Bulletin of China*, 2010, 29(2-3): 401-413.

[12] 邹艳红, 周胜, 陈进, 等. 基于 3 维可视化环境的地质体空间形态分析[J]. 地理信息世界, 2008, 6(5): 33-37.
Zou Yanhong, Zhou Sheng, Chen Jin, et al. *Geomatics World*, 2008, 6(5): 33-37.

[13] 罗周全, 鹿浩, 刘晓明, 等. 矿山三维实体建模 [J]. 南华大学学报: 自然科学版, 2007, 21(4): 9-15.
Luo Zhouquan, Lu Hao, Liu Xiaoming, et al. *Journal of University of South China: Science and Technology Edition*, 2007, 21(4): 9-15.

(责任编辑 刘志远)