

地质矿产勘探评价三维可视化技术及探矿者 软件开发

肖克炎, 陈学工, 李楠, 邹伟, 孙莉

(1 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2 中南大学信息科学与工程学院, 湖南长沙 410083)

1 三维矿产勘探信息技术现状

矿产勘查是在区域地质调查的基础上, 使用多种勘查技术手段、方法对研究区矿产地质进行的系统工作。矿产勘查的基本任务是研究矿床形成条件、赋存规律及矿体变化特征, 在此基础上, 获得地质储量、矿山设计所需要的地质经济技术信息及查明矿体各参数的变化规律, 预测矿床的储量、质量、矿体形态及开采条件, 准确指导矿床勘探评价开发工作。矿产勘探评价工作是通过勘探、坑探等工程获取近地表三维空间矿产的基本信息。传统上, 对这些三维勘探信息整理和储量估算是一个费力的工作, 而且精度也有问题。上世纪八十年代以来, 随着地质统计学技术成熟, 利用计算机数值计算大大提高了储量估算的效率和精度。但这种计算是一种纯数值的, 很难对矿产资源进行直观、形象和可控的评价。这就需要将数字信息转换成直观的、易于理解的、且可进行交互分析的图形方式给资源估算人员。和一般二维图形 GIS 处理不一样, 三维可视化问题是根据实际观测信息产生三维图形并表达三维问题。

70 年代中期开始, 西方主要国家开始成立采矿软件公司研制采矿软件。80 年代初期, 相继推出了各种采矿软件, 比较有影响的有: 基于 UNIX 的 LYNX、Vlucan (Map Tec)、Datamine、Mincom、Medysystem; 基于 PC 机的 Micromine、Gemcom、Mincom、MineMap、LYNX、Vulcan 和基于 NT 的 Vulcan^[1]。这些软件涉及领域包括矿床模拟、开采评估、设计规划、生产管理等。相比之下, 国内尚无成熟的三维勘探软件, 对国外软件的应用也刚刚开始, 而且仅仅是作一些探索性的应用研究工作。

进入 80 年代以来, 我国的矿产资源评价进入了数字化的新阶段, 全国区域性 1:20 万综合地质、物探、化探、遥感、矿产空间数据库已基本建设完毕。数据库涵盖地质、地球物理、地球化学、矿产勘查、环境地质等多种地质调查成果, 包括了大量图形数据和属性数据, 数据量达上千 GB。随着这些海量、多元、综合数据库的逐步集成和整合, 需要先进的评价软件系统, 使基于大型海量 GIS 空间数据库的矿产资源评价进入新阶段, 大大提高我国矿产资源评价的资料信息综合水平^{[2][3]}。为了实现海量数据的科学化管理和应用, 近年来, 我们在吸取国内外同类先进技术基础上, 结合我国地质勘探实际情况, 开发了一些适用于中、小比例尺的区域综合性矿产资源评价软件, 如中国地质调查局的 MRAS 软件, 中国地质大学的 MORPASS 软件等, 功能已较完备, 可以满足区域性矿产资源评价的应用需求。在三维 GIS 方面, 我国学者正进行着探索性的工作, 开发了一些三维可视化软件, 用以进行矿山管理、数据反演、三维成图等。

综合国内外区域地质调查全过程信息化的现状, 数字填图的时代已经到来, 但是尚存在一些问题, 如需要提高计算机辅助水平, 加强空间数据质量的控制与评价, 需要提高从地质图数据库生成满足要求的地图产品的质量, 使得生成的成果图件更加直观、明了、方便使用。这些问题都反映了传统的二维纸质地质图的数字化已经不能满足地质工作的需要, 地质工作者需要利用三维地质图分析地质体的空间展布规律, 认识地质体在垂直方向上的结构、构造及其相互关系。然而, 国内外关于三维地质图的研究很少, 国内目前尚无成熟的区域三维数字化地质图软件, 用户与地质图的空间查询、分析等交互性操作更是十分缺乏。

如前所述, 目前我国已经有了适用于中小比例尺的区域矿产资源评价的软件, 但是在大规模尺度的矿产资源评价方面, 我国还没有一套完善的评价软件出现, 现有的只是单一功能的软件系统, 如仅适用于矿山三维数字化, 或仅适用于二维地质成图等。

危机矿山可接替资源找矿是当前我国矿产资源预测的热点与难点。从利用传统的二维找矿理论转变到利用新思路新方法, 以数字矿床为手段进行资源三维定位、定量研究是进行危机矿山隐伏矿体找矿逐渐成为矿产勘探评价工作的趋势。我国

目前的二维矿产资源评价工作及资源储量计算理论发展较丰富，而基于真三维的矿产资源预测方法技术还不多见。尽管有很多二维的成矿预测理论和方法可以借鉴，但实际应用和效果评价较少，各理论及方法的有效性尚待评估，3D 空间分析功能有限，不能对研究对象进行有效的空间分析处理和成矿信息提取等。我国进行矿床预测研究所需的三维建模软件尚不十分成熟，国内还未开发出融数据管理、信息可视化、交互操作和地质分析于一体的三维地质模拟软件，而国外地学三维可视化软件价格昂贵，并且也还没有做到三维成矿预测评价，其工作流程也不能适应国内地质勘探开发的实际需要。

因此，我国急需结合具体大比例尺（矿田尺度或矿山尺度）勘探的实际需求，开发出一套集三维矿山管理、地质勘探、三维可视化和科学分析预测于一体三维 GIS 软件，即利用基础地质学和数学地质的理论和方法，使用计算机和有关技术，综合分析处理各种找矿评价的定量化信息，建立三维预测模型并对矿山的资源潜力进行预测。该技术方法可充分利用矿山的海量资料，展开三维空间下的资源预测，追索矿体向边部、深部的延伸，尤其适用于隐伏深部矿的定位与定量预测。

2 探矿者软件框架

在吸取国内外同类先进技术基础上，结合我国地质勘探实际情况，在老一辈地质学家陈毓川、叶天竺、李裕伟等指导下，结合近年来在西藏、新疆具体矿山勘探的实际工作，中国地质科学院资源研究所已创新性的开发了一套适合地质勘探三维数字化、可视化和科学分析的软件“探矿者”，该软件具有广泛的应用前景。

地质勘探矿产储量估算三维可视化技术能够对原始勘探资料和地质编录成果数字化，有效管理、分析、三维可视化表达地质勘探多元数据，构建地质学家理想的三维勘探辅助决策模型，科学计算矿床资源储量，实现储量动态管理和计算机辅助制图。主要优点有：

(1)开发的三维可视化技术有效将传统的储量估算手工制图、数字计算在现代计算机信息处理平台上实现，高效快捷完成地质勘探制图、数据处理和储量估算分析自动化。

(2)和国外同类技术相比，有一定的中国特色。我国五十多年地质勘查工作，形成了一整套地质勘探、储量估算的规范标准，是我国地质工作者宝贵经验。而国外储量估算完全是基于地质统计学数理方法，这是和我国储量估算有显著差别的地方。它们采用的储量三维可视化技术也是地质统计学的方法，这是两条不同的技术路线。此次开发的技术是建立在我国储量估算技术基础上的计算机三维技术开发与集成。

探矿者软件的优势特点：

(1)能够有机将地质勘查获取的三维空间地质测量、钻孔编录、物化探信息、遥感等图形、图像、数据表等集成管理分析和三维可视化表达；

(2)高效快捷完成矿体单工程圈定、勘探剖面图交互制图、三维矿体圈定、多种规范储量计算及动态管理分析；

(3)各种高质量的地质制图工具，包括勘探钻孔柱状图、剖面图、平面地质图、工程布置图、物化探异常等值线图，并将二维制图与三维建模可视化一体化；

(4)软件使用方便易学，和多个 GIS、数据库系统有交换格式。

根据工作流程和找矿工作对信息技术的需求，探矿者软件总体功能模块框架如下图：



图 1 探矿者软件功能框架图

数据的工程管理 通过危机矿山三维信息系统文件工程管理，能够有效的将储量估算的表数据、二维图形及三维图形

数据有机的管理起来，而且能够在工程中保留可视化工作的进程。

专题图层文件管理 主要针对树形文件管理器中表、二维专题文件、三维专题文件的添加、删除操作等；

数据库管理 对表数据的管理，其中还需要对表数据与三维建模建立接口菜单；

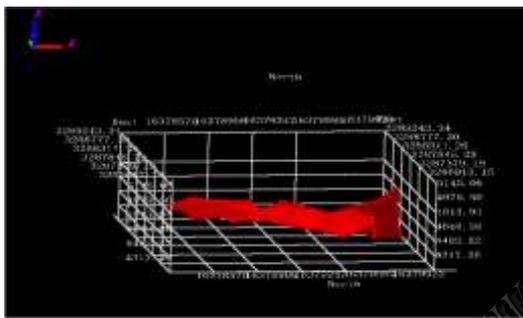
二维数据管理 包括图形编辑及属性查询，等值线功能，以及通过等值线追踪形成 SHP 格式的矢量文件；

三维建模 使用 DEM 数据形成地表高程图形，将钻孔工程数据表形成三维钻孔柱状图，单工程矿体圈定、剖面编辑、曲面连接及体生成，各种三维结果如任意切面、栅栏图和虚拟飞行等；

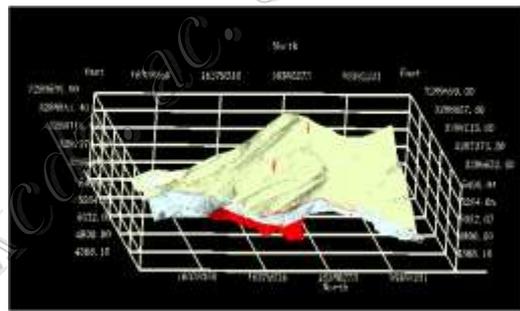
储量估算管理 预处理包括变量常用统计、统计分布、特异值处理等；组合样分析是为地质统计学准备数据；截面法计算储量和块段法是传统的估计方法，用户可以交互式进行参数和结果可视化操作；克立格储量估算包括变差函数计算与结构分析、交叉验证、克立格估计和条件模拟等；储量管理分析包括品位吨位分析、盘区储量统计和制图、地质储量的经济分析等。

3 应用示范

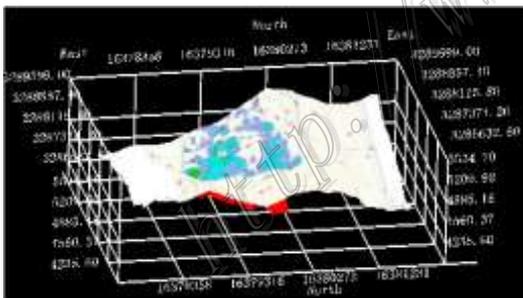
软件已在西藏甲玛、新疆宏源、彩霞山铅锌矿勘查及危机矿山大冶铁矿等十几个矿山进行实际应用，取得一定应用效果。通过我们努力，我们相信该软件在地质调查和矿产勘查发挥应有的作用。下面是利用软件所做的西藏甲玛 I 号 Cu 矿体与地表、化探异常及磁异常复合的三维效果图：



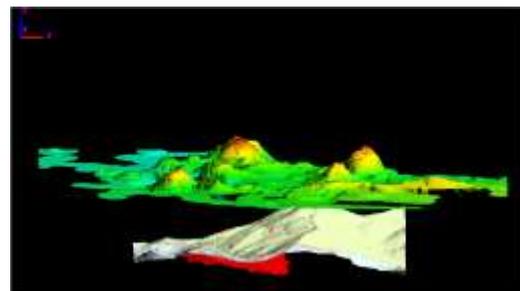
甲玛 I 号 Cu 矿体三维模型



甲玛 I 号 Cu 矿体与地表复合图



甲玛 I 号 Cu 矿体与 Cu 异常复合图



甲玛 I 号 Cu 矿体、地表及磁异常复合图

参考文献

黄文斌, 肖克炎, 陈学工, 夏立显, 陈郑辉, 刘 锐, 范建福. 2006. 矿产勘查储量估算三维可视化原型系统的开发[J]. 矿床地质, 25 (22): 207-212.

黄文斌, 肖克炎, 宋国耀, 陈郑辉, 姜作勤. 2001. 地学空间数据模型的研究[J]. 物探化探计算技术, 23 (1): 55-61.

吴健生, 朱谷昌, 曾新平, 张普斌, 和志军. 2004. 三维 GIS 技术在固体矿产勘探和开发中的研究与应用[J]. 地质与勘探, 40 (1): 68-72.

肖克炎, 陈学工, 黄文斌, 刘 锐, 李钟山, 等. 2009. 地质勘探三维可视化技术及系统开发[M]. 北京: 中国大地出版社.