

# 地质体三维可视化建模的技术方法研究<sup>①</sup>

曾新平<sup>1</sup>, 杨自安<sup>1,2</sup>, 刘碧虹<sup>2</sup>, 张普斌<sup>2</sup>, 邹 林<sup>2</sup>

(1. 中国地质大学, 北京 100083; 2. 有色金属矿产地质调查中心, 北京 100814)

**摘 要:**地质体三维可视化模型具有形象、直观、动态、准确、信息丰富等特点,在指导地质找矿和矿山开发等方面具有很大的优势及实用价值。文章对地质体三维可视化建模的整个技术方法流程作了总结性阐述,并分析其技术关键,同时还进一步探讨了模型的分类及其应用。

**关键词:**信息处理;地质体;三维可视化建模;技术方法流程

中图分类号:TP391.4;O235 文献标识码:A 文章编号:1001-5663(2005)01-0103-04

## 0 绪言

随着计算机硬件技术、可视化技术、三维建模技术和虚拟现实技术的发展,国际矿业界、投资银行界对地质模型和储量准确度的进一步要求,地质工作者对新技术新手段的迫切要求以及矿山企业本身对效益最大化的追求,地下真三维可视化建模技术在全世界得到了日益广泛的应用。地下地质体的三维可视化模型构建是地质资料集成和二次开发的最佳方法,是大比例尺成矿预测的辅助手段及地质分析的直观工具,它具有形象、直观、准确、动态、信息丰富等特点。因此,其在指导地质找矿和矿业开发等方面具有非常重要的实用价值。笔者通过对该项技术的长期应用与研究,总结出了一整套基本的技术方法流程。

## 1 三维建模的技术方法流程

地质体三维可视化建模的技术方法流程包括:资料收集、资料整理、数据库建立、三维可视化模型构建等(图 1)。

### 1.1 资料收集

可用于地质体三维可视化建模的资料主要有:

- (1)按生产阶段可分为前期地质勘探资料和后期生产探矿资料;
- (2)按数据形式可分为图形数据和属性数据;
- (3)按数据来源可分为地质资料、勘探工程资料、

物探资料及化探资料。

其中,地质资料主要指地质队提供的地质报告及相关附件;物探资料和化探资料指采用物化探方法所获得的各种成果数据及图件;勘探工程资料主要包括:①钻孔或坑道开孔(坑)坐标、方位、倾角(或坡角)等工程空间位置数据;②钻孔或坑道所揭露的岩层的岩性及产状、构造的性质、矿化带或矿体的特征;③样品分析数据;④各种图件(钻孔柱状图、坑道编录图、采样位置图、工程布置图、中段图等)。

资料收集时,尽量一次性将所需资料收集齐全,以便对资料的全面分析,从而确保初始模型的准确性。同时还要随着矿山的开发,不断地收集补充新的资料,使所建模型日臻完善和准确。

### 1.2 资料整理

从矿山或地质队收集来的资料大部分是文本形式的,并且往往是重复杂乱的,很不规范。因此,要遵循三维数据库所特定的格式,首先对这些资料进行数字化和系统整理。资料整理的一般步骤如下:

- (1)资料分类 按重要程度对资料进行分类,优先整理重要的部分;
- (2)数据录入 将重要资料中的文字和数据录入电脑,并扫描或数字化相关图件;
- (3)数据校对 原始资料录入以后,一定要进行全面校对,查漏补缺,并修正自相矛盾的地方,以保证数据资料的准确性,为下步工作奠定良好的基础。

<sup>①</sup> 收稿日期:2004-08-12 作者简介:曾新平(1977-),男,硕士学位,读博士研究生,主要从事遥感、GIS 和三维可视化的研究与应用工作。  
基金项目:国家“十·五”科技攻关课题(编号:2001BA609A-04)资助。

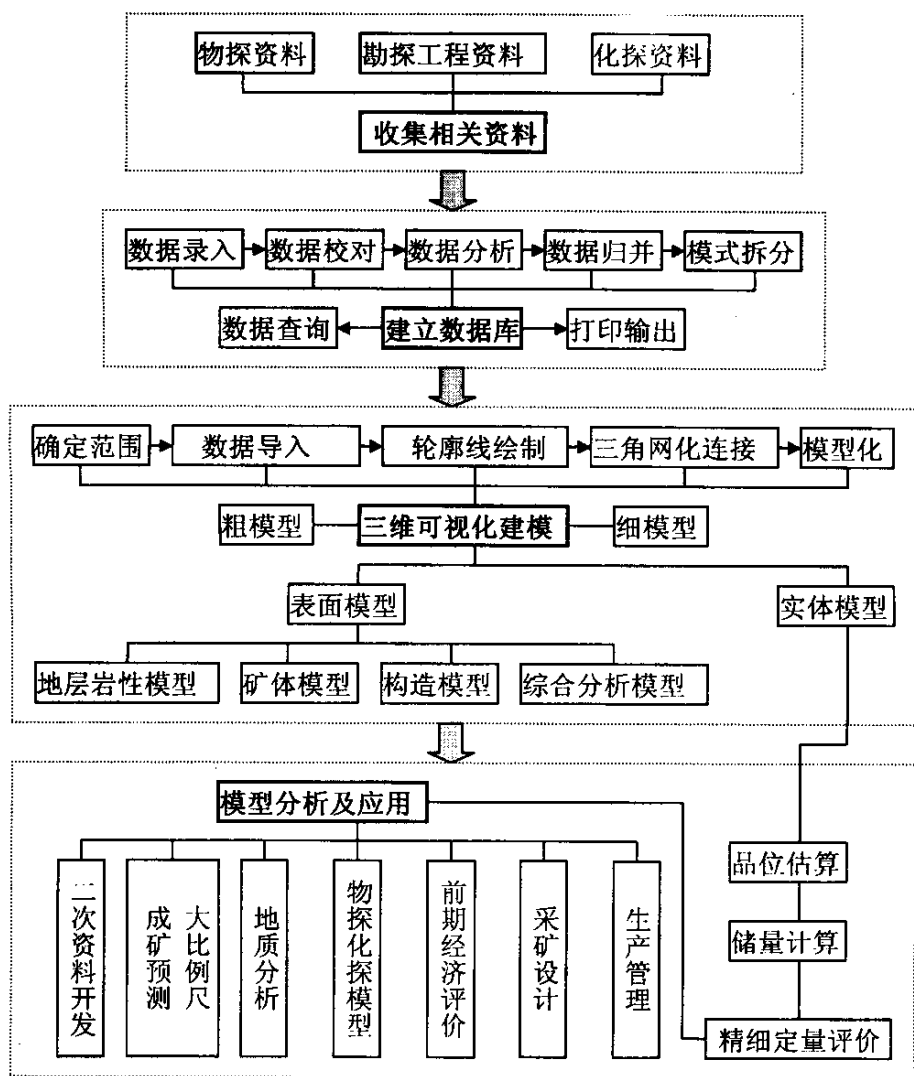


图 1 三维可视化建模流程图

Fig. 1 A flow chart of 3D visualization modeling

### 1.3 数据库建立

建立三维地质信息数据库,不仅能为三维模型的构建提供数据,同时也为矿山或地质生产部门提供了一个动态实用的、较为全面的地质信息数据库。该数据库应包括测斜资料、岩性描述、岩性编码、地层分类、地层编码、岩心照片、化验分析结果等多种信息。

目前,国内外流行的三维建模软件中,对于所有勘探数据,通用的方法是将其分为以下三个数据库来分别建立:

(1)工程坐标数据库 包括钻孔编号(坑道编号、井编号、探槽编号等)、开口口坐标、开口口标高、终孔深度等;

孔深度、钻孔等倾斜方位、倾斜角等;

(3)样品信息数据库 包括钻孔等工程编号、地层顶、底板深度、取样深度、长度、取样元素的品位、地层岩性代号等。

工程坐标数据库和工程测量数据库是空间定位信息,样品信息数据库是属性信息。其它数据(包括物化探数据)均可按此法拆分。建成的三维地质信息数据库具备数据查询、数据分析和数据输出等功能。

### 1.4 三维可视化模型构建

#### 1.4.1 确定空间范围

三维可视化模型构建的第一步是确定模型的空间范围。一般确定范围时使用六个限制数据: $E_{max}$ 、 $E_{min}$ 、 $N_{max}$ 、 $N_{min}$ 、 $H_{max}$ 、 $H_{min}$ (分别指 EW 向、

SN 向以及高程的最大、最小值)。实际工作中确定这些数据时要充分考虑工程的空间分布情况。

1.4.2 数据导入(空间映射)

将三维数据库中的数据导入三维可视化建模平台(如 Vulcan 的 Envisage)中。这实际上是一种空间映射技术,即通过定位信息和属性信息建立三维空间图形。导入成功后,即可在可视化平台中调出直观的工程图形,如钻孔、探槽等。

1.4.3 建立表面线框模型

采用线框模型构建复杂曲面的方法,是国际上构建复杂三维实体通用的方法。线框模型是指在构建三维实体过程中,采用一系列三角面描述实体的轮廓或表面。看上去好象是由许多线框围成的,实质上是一系列的三角面。

线框模型的构建分为二步:

(1)绘制轮廓线 轮廓线主要是地质界线,一般分为闭合线(如地层、矿体等)和不闭合线(如地表、路头境界面等)两类。绘制方法有两种,一是利用外设(如数字化仪)输入成图,或通过接口把其它 CAD 系统绘制的图转换为本系统所要求的格式,即外部输入法;二是在三维可视化环境中交互式描绘轮廓线,即交互描绘法。

(2)连接轮廓线 按一定的规则,将所有绘制好的轮廓线上的点连接成由三角面描述的复杂曲面,从而构成线框。在连接线串之前,需要根据实际情况,配置最佳的连接方法。线框的连接方法有四种:一是最小面积法,即所连接的线框的表面积最小;二是等角度法,指在连接过程中,生成等角三角面来构成线框;三是等长度法,指在连接过程中,寻找所要连接的两条线串上最近的点进行连接,该方法连接的点相对较好;四是标志线法,即按用户要求的对应点进行连接。一般情况下是将方法三和方法四结合起来使用,效果会更好些。

线框模型虽然能很精确地描述地质体或矿体的三维形态,但却无法描述地质体或矿体的内部性质和规律(如品位等)。而实体模型则既能描述地质体或矿体的三维形态,又能描述地质体或矿体的内部结构,并且有利于计算机加工处理。

1.4.4 建立实体模型

1.4.4.1 块(block)模型的定义

建立三维实体模型的方法主要有三维栅格法、八叉树法、不规则四面体法、SCG 法等。但目前一般使用三维栅格法,也称块(block)模型法。它是指把地质体或矿体划分为一系列小的长方体单元,近似地表示

地质体或矿体,每个小的长方体单元都有相应的属性来表示地质体或矿体内部某一位置的内部性质。单元块的尺寸大小不一定相同,有根块和枝块之分。根块的大小是根据钻孔间距、采矿方法、地质条件和计算机的能力所确定的。当遇到薄层矿体或地质体或在矿体的边界时,根块无法很好地描述它们,就使用枝块。

1.4.4.2 块模型的参数确定

块模型的基本参数包括单元块的中心坐标、长、宽、高; $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  各方向上的根块数目。这些参数的组合称为块模型的模板。在建立一个新的块模型之前,首先要定义一个模板或使用现成的模板。

1.4.4.3 块模型的建立

块模型的建立是在线框模型的基础上进行的,以线框圈定的范围为块模型大小,以定义的块模型模板作为参数,用模板中定义的单元块充填用户指定的区域。由于线框有闭合与不闭合之分,单元块充填也有封闭式充填和开放式充填两种对应的方式,前者仅充填线框里面,常用于充填封闭的矿体,后者只充填线框的一部分,用于建立地形或断层等的块模型。

1.4.4.4 块估值

单元块通常具有多个属性,如岩性、品位、体重等,视用户定义。其中最重要的属性是岩性和有用元素的品位,岩性用于区分不同的地质体或矿体、矿石类型,品位用于判定单元块的价值。

常用的估值方法有:多边形法、距离反比法、克里金法。地质常用的是克里金法,其估值参数包括:样品和块模型、数据搜索参数、变异函数模型参数、估值方法参数。

1.4.5 储量计算

通常,在三维软件系统中进行储量计算时,主要完成以下几项工作:

(1)样品组合 进行样品的归一化,创建组合样品信息数据库;

(2)创建块段系统 为每一个矿种创建其显示空间范围,所建的空间框架能包围矿体,并用超级块段及子块段来拟合矿体及其外边界;

(3)确定变异函数 进行实验半变异函数的计算及理论变异函数的拟合,寻找块金值、基台值、变程、搜索椭球体的参数;

(4)品位估算 依据理论变异函数,拟合提供的结果,利用软件提供的计算方法,估算矿体的品位;

(5)储量计算 根据品位估算的结果、矿体的体积,并依据品位条件,计算矿体的矿石量、金属量,以及进行资源评估。

## 2 模型的应用及分类

按照不同的分类方式,三维模型主要有以下几种分类。

(1)按虚实程度分类。按虚实程度可以分为表面模型和实体模型两大类。

①表面模型:只形成表面,可用于表达地表、构造、矿体、岩层等。表面模型容易生成,占用计算机的储存量小,直观地表达了物体的形状,并以颜色和纹理获得了图形的真实感,通过表面模型可以对地表、构造、矿体、岩层等进行直观动态的观察,并对它们之间的相互关系进行分析。因此,在地质勘探中具有重要应用。

②实体模型:与表面模型相比产生了革命性的变化,它是对表面模型进行三维空间属性充填后的体模型。通过实体模型,可以对地质体进行任意切割,从而获得合意的剖面图;可以准确地反映矿石品位的空间分布,为采矿设计打下坚实的基础;可以进行精确的储量计算,获得国际上认可的资源储量。

(2)按地学性质分类。按地学性质可以分为地层岩性模型、矿体模型、构造模型及其它模型等。

①地层岩性模型:主要反映不同的岩层。它们以不同的颜色表示出来,使人们对其空间关系一目了然。一般而言,地层岩性模型做成表面模型就足够了。但如果要进行切割,最好做成实体模型。

②矿体模型:不仅能反映矿体的空间形态,而且还能反映各元素空间品位的分布。因此,矿体模型及其切割剖面对于成矿分析、找矿预测、储量计算、采矿设计、生产配矿等具有重要作用。

③构造模型:主要是大型的断层和褶皱模型。

④其它模型:包括地表模型等。

(3)按复杂程度分类。可以分为单一模型和组合模型。单一模型是指单一的地层、矿体等的模型,它可以清楚地对某一地质体进行观察;组合模型是指多种模型的组合,它有利于分析研究各种地质体的空间关系。

## 3 结语

本文着重探讨了三维可视化建模的技术方法流程,大部分内容具有可操作性,希望它能从实用的角度为从事矿山地质三维可视化建模的同行提供一点参考。但错误在所难免,恳请各位批评指正,以期共同提高。

### 参考文献:

[1] 吴健生,朱谷昌,曾新平,等. 三维 GIS 技术在固体矿产勘探和开发中的应用[J]. 地质与勘探, 2004, 40(1): 68-72.

[2] Simon W. Houlding. 3D Geoscience modeling — computer techniques for geological characterization [M]. New York and Heidelberg, Springer — Verlag, 1994.

[3] Simon W. Houlding. Practical geostatistics, modeling and spatial analysis [M]. New York and Heidelberg, Springer — Verlag, 2000.

[4] 吴立新, 沙从术. 真三维地学模拟系统与水利工程应用[J]. 南水北调与水利科技, 2003, (2): 20-25.

[5] <http://www.datamine.co.uk> (英国) 三维软件 Datamine&GUIDE 开发商.

[6] <http://www.maptek.com.au> (澳大利亚) Maptek 公司, 三维软件 VULCAN 开发商.

[7] <http://www.micromine.com.au> (澳大利亚) Micromine 公司, 三维软件 Micromine 开发商.

[8] <http://www.surpac.com.au> (澳大利亚) Surpac 公司, 三维软件 Surpac 开发商.

[9] 吴健生. 地质体三维可视化及空间数据探索[D]. 中国科学院博士论文. 2001.

[10] 曹代勇, 李青元, 朱小弟, 等. 地质构造三维可视化模型探讨[J]. 地质与勘探, 2001, 37(4): 60-62.

## A STUDY ON THE TECHNIQUE AND METHODS OF 3D VISUALIZATION MODELING OF GEOLOGIC BODY

ZENG Xin-ping<sup>1</sup>, YANG Zi-an<sup>1,2</sup>, LIU Bi-hong<sup>2</sup>, ZHANG Pu-bin<sup>2</sup>, ZOU Lin<sup>2</sup>

(1. China Univeristy of Geoscience, Beijing 100083, China;


2. China Nonferrous Metals Resource Geological Survey, Beijing 100814, China)

**Abstract:** 3D visualization model of geological body featur visualization, dynamicstate, accuracy, containing rich information. Its application shows advantages and utilities in ore prospecting and mine development. This paper expatiates on the whole technique flow of 3D visualization modeling, and studys the technical keys. Finally the classification and application of modeling is mentioned.

**Key Words:** information processing, Geologic body, 3D Visualization modeling, technical flow

作者: [曾新平](#), [杨自安](#), [刘碧虹](#), [张普斌](#), [邹林](#), [ZENG Xin-ping](#), [YANG Zi-an](#), [LIU Bi-hong](#), [ZHANG Pu-bin](#), [ZOU Lin](#)

作者单位: [曾新平, ZENG Xin-ping\(中国地质大学, 北京, 100083\)](#), [杨自安, YANG Zi-an\(中国地质大学, 北京, 100083; 有色金属矿产地质调查中心, 北京, 100814\)](#), [刘碧虹, 张普斌, 邹林, LIU Bi-hong, ZHANG Pu-bin, ZOU Lin\(有色金属矿产地质调查中心, 北京, 100814\)](#)

刊名: [矿产与地质](#) 

英文刊名: [MINERAL RESOURCES AND GEOLOGY](#)

年, 卷(期): 2005, 19(1)

被引用次数: 9次

## 参考文献(10条)

1. [吴健生; 朱谷昌; 曾新平](#) [三维GIS技术在固体矿产勘探和开发中的研究与应用](#) [期刊论文] - [地质与勘探](#) 2004(01)
2. [Simon W Houlding](#) 3D Geoscience modeling-computer techniques for g 1994
3. [Simon W Houlding](#) Practical geostatistics, modeling and spatial analysis 2000
4. [吴立新; 沙从术](#) [真三维地学模拟系统与水利工程应用](#) [期刊论文] - [南水北调与水利科技](#) 2003(02)
5. [查看详情](#)
6. [查看详情](#)
7. [查看详情](#)
8. [查看详情](#)
9. [吴健生](#) [地质体三维可视化及空间数据探索](#) [学位论文] 2001
10. [曹代勇; 李青元; 朱小弟](#) [地质构造三维可视化模型探讨](#) [期刊论文] - [地质与勘探](#) 2001(04)

## 本文读者也读过(7条)

1. [柴贺军](#), [唐胜传](#), [李海平](#), [CHAI He-jun](#), [TANG Sheng-chuan](#), [LI Hai-ping](#) [公路边坡三维可视化建模系统研究](#) [期刊论文] - [地球与环境](#) 2005, 33(z1)
2. [OpenGL在工程地质体三维可视化中的应用](#) [期刊论文] - [计算机与数字工程](#) 2005, 33(10)
3. [郑蔚](#), [戴光明](#), [张冬梅](#), [洪雄](#) [一种快速三维建模方法在地质体可视化中的应用](#) [会议论文] - 2006
4. [殷浩](#), [戴光明](#), [洪雄](#), [YIN Hao](#), [DAI Guang-ming](#), [HONG Xiong](#) [直接体绘制技术在地质体三维可视化中的应用研究](#) [期刊论文] - [计算机应用研究](#) 2006, 23(6)
5. [陈红艺](#), [吕维先](#), [唐仲华](#), [CHEN Hongyi](#), [LU Weixian](#), [Tang Zhonghua](#) [地层模型三维可视化建模及应用](#) [期刊论文] - [黑龙江科技学院学报](#) 2005, 15(3)
6. [明镜](#), [潘懋](#), [屈红刚](#), [兰向荣](#), [MING Jing](#), [PAN Mao](#), [QU Hong-gang](#), [LAN Xiang-rong](#) [基于TIN数据三维地质体的折剖面切割算法](#) [期刊论文] - [地理与地理信息科学](#) 2008, 24(3)
7. [王小明](#) [基于剖面的三维地质模型构建与可视化研究](#) [期刊论文] - [岩土工程界](#) 2009, 12(11)

## 引证文献(9条)

1. [王湘波](#), [王家华](#), [黄本宇](#), [曹春祥](#) [基于Web Services的分布式储层建模系统的设计与实现](#) [期刊论文] - [中国石油大学学报\(自然科学版\)](#) 2008(4)
2. [孙秋分](#), [谢锦龙](#), [刘展](#), [蒋新](#), [郭加树](#), [王柏力](#) [基于多尺度空间体元的地学三维建模](#) [期刊论文] - [计算机工程](#) 2011(10)
3. [李欢](#), [闫亭廷](#), [刘晓莉](#) [三维可视化技术在区域矿产资源普查中的应用研究](#) [期刊论文] - [中小企业管理与科技](#)

4. 甘文志. [三维可视技术在井下矿山的应用](#) [期刊论文] - [采矿技术](#) 2005 (z1)
5. 叶思源, 吴树仁, 何淑军. [三维地质建模的数据融合与误差分析](#) [期刊论文] - [桂林理工大学学报](#) 2010 (3)
6. 杨朝辉, 陈映鹰. [IDL在三维地层可视化中的应用研究](#) [期刊论文] - [工程勘察](#) 2008 (6)
7. 胡斌, 曹斌, 牛永斌, 杨志强. [典型遗迹相及遗迹化石三维模型的设计与实现](#) [期刊论文] - [石油地质与工程](#) 2007 (6)
8. 桂德竹, 李钢, 张成成. [基于GIS的矿区征地迁建管理应用研究](#) [期刊论文] - [中国矿业](#) 2007 (1)
9. 曾新平. [地质体三维可视化建模系统GeoModel的总体设计与实现技术](#) [学位论文] 博士 2005

本文链接: [http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_kcydz200501023.aspx](http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_kcydz200501023.aspx)