

文章编号: 0258-7106 (2006) 02-0207-06

矿产勘查储量估算三维可视化原型系统的开发*

黄文斌¹, 肖克炎¹, 陈学工², 夏立显³, 陈郑辉¹, 刘锐¹, 范建福¹

(1 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2 中南大学, 湖南长沙 410000;
3 吉林大学, 吉林长春 130022)

摘要 随着计算机图形学技术和数据库技术的迅猛发展和成熟, 将计算机三维可视化技术和地质统计学储量估算方法相结合, 形成先进实用的资源勘查软件工具是目前国内地学信息研究的重要方向, 也具有重要的实际价值。文章论述了矿产勘查储量估算三维可视化原型系统开发的一些技术思路和流程及要解决的关键技术问题, 并对系统的功能进行了简单的描述, 最后对存在的问题进行了探讨。

关键词 数学地质; 三维; 可视化; 地质统计学; 储量; 数据库; 地学; 信息

中图分类号: P628

文献标识码: A

Development of 3D visual mineral reserves evaluation prototype system

HUANG WenBin¹, XIAO Ke Yan¹, CHEN Xue Gong², XIA Li Xian³, CHEN Zheng Hui¹,
LIU Rui¹ and FAN JianFu¹

(1 Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China; 2 Central South University,
Changsha 410000, Hunan, China; 3 Jilin University, Changchun 130022, Jilin, China)

Abstract

With the development and maturing of computer graphics and database, the combination of the computer 3D visualization technology with the geostatistical reserves evaluation method has become an increasingly important and practical research field with the purpose of forming China's advanced resources evaluation tools. This paper deals with the technical thought, working process and key technology in the development of 3D visual mineral reserves evaluation prototype system, and briefly describes the basic function of the system. The problems that should be solved in its further development are also discussed.

Key words: mathematical geology, 3D, visualization, geostatistics, reserves, database, geological science, information

20世纪80年代末出现的科学计算可视化, 将科学计算的数据结果转化为图形, 使人人与数据、人与人之间实现图形通信, 对计算过程实现了引导与控制并观察其影响, 极大地提高了科学计算数据处理的速度和质量, 实现了科学计算工具和环境的现代化。科学计算可视化以“可视”的方式计算和显示各种物

理模型、抽象概念和数学模型, 有效地帮助科技工作者形象地、有联系地“看到”大量测量、数值计算、实验数据等, 从而更有效地进行处理、分析和推理。

地理信息系统(GIS)是20世纪60年代以来迅速发展起来的地理空间信息处理技术, 它以地理空间数据为基础, 采用地理模型分析方法, 实时提供各

* 本项目受到国家863项目(编号: 2002AA135160)的支持

第一作者简介 黄文斌, 女, 博士生, 副研究员, 主要从事地球化学、矿产资源评价等领域的情报研究工作。

收稿日期 2005-02-18; 改回日期 2005-11-30。张绮玲编辑。

种空间的动态的地理信息。现已涌现出 ARC/INFO、TIGRIS、SICAD、MAPINFO(郭伦等,2001;吴信才,2002)等一些有代表性的软件。在这些软件中,三维地质实体或属性体以二维形式表示,即采用具有矢量数据结构的点、线、多边形或具有栅格数据结构的像素来表示;地形模型以网格表示,以数字高程模型 DEM 处理第三维坐标——高程坐标;专题图被数字层代替,借助数字联合记录和计算机辅助叠置分析,可以有效地改进不同专题图的空间分析;利用拓扑和属性信息完成查询、搜索、空间分析等操作。现实世界中的地物一般是三维实体,即在高度、宽度以外还具有深度信息,如果能把深度信息表示出来,则将大大增强图象图形的真实感,丰富内涵信息。随着 GIS 应用研究的深入,地学空间的二维信息的局限性日益显现出来,诸如采矿、地质、石油等领域越来越迫切的需要从真三维空间分析处理问题。人们将三维地质信息的表达称为三维地学模拟,它是由勘探地质学、数学地质、地球物理、矿山测量、矿井地质、GIS、图形图象学、科学可视化等学科交叉而形成的一门新学科,它由加拿大 Simon W. E. Foulding 于 1993 年首先提出的,经过几年的研究,这一概念暂定义为运用现代空间信息理论和技术对地质体和地质现象,以及与此有关的人类工程活动进行真三维再现和分析的科学与技术。1994 年 6 月,Dynamic Graphics 公司推出了 earth Vision 2.0 空间地质模型系统(1995 年,earth Vision 软件升级)。VULCAN 软件是另一个真三维空间信息软件,广泛地应用于矿业环境与市政管理、三维空间信息模拟、可视化及分析。软件的核心功能是:地质建模;矿业设计与规划;矿业生产资源开采;地质统计学;地下水模拟。该软件运行于 UNIX 工作平台或 PCS NT 操作系统。国外矿山地质储量三维分析软件已形成了价格昂贵的计算机软件系统,如澳大利亚的 VULCAN、美国的 DATAMING 和 EVISION 等。中国目前尚无自主开创新的产品,长此以往,将会在该领域受到国外公司的牵制。现在勘探技术的发展以及 GIS 数据库信息的积累,使得地学空间信息(点、线、面、体)三维可视化成为地学信息研究的热点,也是目前中国该方面发展的主要瓶颈,其在地质、采矿、军事、建筑、隧道工程、地下水资源保护与利用、地下空间利用等国计民生重大领域中有广泛的应用价值,具有极其重要的意义。

地质空间地质统计学是由 D. G. Krige、马特隆

教授(G. Matheron)等(侯景儒,2000;儒奈尔,1980)在研究矿山储量计算时发展的一门空间信息分析技术。克里金估计技术在开始时仅是一种线性预测,然而在其最近的发展中,最佳的非线性空间预测也已成为克里金估计技术的一个组成部分了。克里金估计技术起源于采矿中的估计问题,即根据一个矿体内部或外部的不同矿样,来求取该矿体的平均品位的最佳可能估计值。马特隆首先对采样值随采样点位置不同而变化的关系作了定量分析,并提出了一套完整的估计误差的理论。美国斯坦福大学应用地球科学系儒尔奈耳教授(Andre Journel)等人于 1978 年出版了专著《矿业地质统计学》(Mining Geostatistics)。进入 20 世纪 80 年代以来,克里金估计技术的理论和应用得到了前所未有的蓬勃发展。首先,它被广泛应用于采矿业,此外也被应用于农业、林业、水文、环境保护、地质、地球物理和地球化学等部门和领域。国际矿业界也把地质统计学作为矿山地质储量计算的标准方法,所有三维可视化软件都包括了地质统计学的内容,就连 GIS 权威软件 ARC/INFO 也推出了地质统计学的空间分析模块。目前地质统计学在区域化变差函数、非线性地质统计学、时空克立格分析研究等方面有一定的突破。

中国的数学地质专家在地质统计学储量计算方面也做了大量的工作,中国地质调查局李裕伟研究员领导开发了 KPX 勘查评价储量计算软件,在地矿勘探工作中得到应用。北京科技大学侯景儒教授也开发了三维地质统计学的程序(侯景儒,2000)。这些工作完善了储量科学计算地质统计学方法,为我们的工作奠定了基础。因此,有必要也有可能研究和开发中国自主知识产权的、实用的地学空间信息三维计算机模拟与可视化计算机软件系统。

1 矿产勘查储量估算三维可视化原型系统开发关键技术问题

三维地质模型在计算机中的数据表达方式称为三维地质模型的数学模型,它是研制三维地学可视化软件和三维地学信息系统的基础和核心,三维地质模型的特点是针对三维地质体。在传统的二维情况下,地质工作解释的对象仅仅是出现在有限个剖面和平面上,剖面之间或平面之间可以是不连续的,剖面之间的构造形态留给使用图纸的工程师自己去发挥。这实际上存在着不确定性,不同使用者对其可能有不同的解释或想象。而三维地质模型则不

然,一旦模型被建立起来,模型模拟的对象便以实实在在的数据集形式存在。在这种环境下,地质工作解释和研究的对象是整个地质体,而不是地质体的剖面,不存在不确定性。存储在计算机中的三维地质模型虽然只是数据集,只要借助适当的图形工具就可将它显示在计算机屏幕上,供人们从不同角度、不同方式来观察、研究地质模型。三维地质模型应该是可修改的。一方面,由计算产生的三维模型由于算法的不完善常常不能满足地质工作者的需要。这时,可以把自动算法产生的模型作为初始模型,运用交互计算机图形学技术对地质模型进行交互编辑和修改,充分发挥人的主观能动性,使地质模型的建立更加合理。另一方面,构制三维地质模型通常需要大量的数据,而在地质勘探的初期,这种对数据的要求是不现实的,这时,交互编辑技术就成为了主要的建模手段。对已有三维数据的展示只是三维地质模型的功能之一,更重要的是能够利用已有数据进行分析 and 预测。例如,常常需要对三维地质体计算其体积与储量,在地球物理勘探领域还可能要计算地质体所引起的物探异常。这就要求三维地质体模型既要满足视觉要求,又要满足分析要求。有时两者是相互矛盾的,这时后者更为重要。

地质信息的三维可视化研究的核心就是三维地质体模型的建立。关于这方面,国内外的学者已经做了多年的研究工作(Pasko et al., 1995; Stewart et al., 2000)。但由于在三维 GIS 中存在一些基本的

问题,例如,三维空间目标及其拓扑关系的表示问题还没有真正的解决,三维地体的建模问题也不可能彻底的解决。三维地质模型无论是用矢量模型还是栅格模型表示,首先,都是要将地层信息表达出来,因为地层、断层、不整合面以及矿体这些地质目标都是依靠地层边界信息来区分的。然而,实际的勘探数据中,没有对这些边界信息的完整描述,因此,这些信息都必须依靠插值从离散的原始数据中获取。

本项目从确定三维地层的地质边界作为建模的入手点,采用人工交互方式来绘制矢量形式地质边界,使用本项目组陈学工博士的重建复杂的曲面算法(陈学工等, 2002),建立三维矢量框架模型,最后运用地质统计学的克立格方法填充矿体,为空间分析生成三维地质体空间数据,步骤如图 1 所示。

进行三维地质体的建模大致分为以下 3 步。

1.1 人工交互建立地质边界

首先从剖面着手,根据已有的地质剖面资料,利用地层(包括矿体)在勘探线剖面的投影形状,构建其空间的大致赋存形态,根据剖面进行矿体的初步圈定。在剖面上显示的内容可以是以剖面线为中心的一个块段,即剖面线两侧各一半剖面间距的内容均可显示,如图 2。

1.2 空间复杂曲面重建

重建复杂曲面的过程可概括如下:

(1) 通过剖面编辑从一维数据得到一系列折剖面,各折剖面上具有某种特定属性的曲线就是某曲

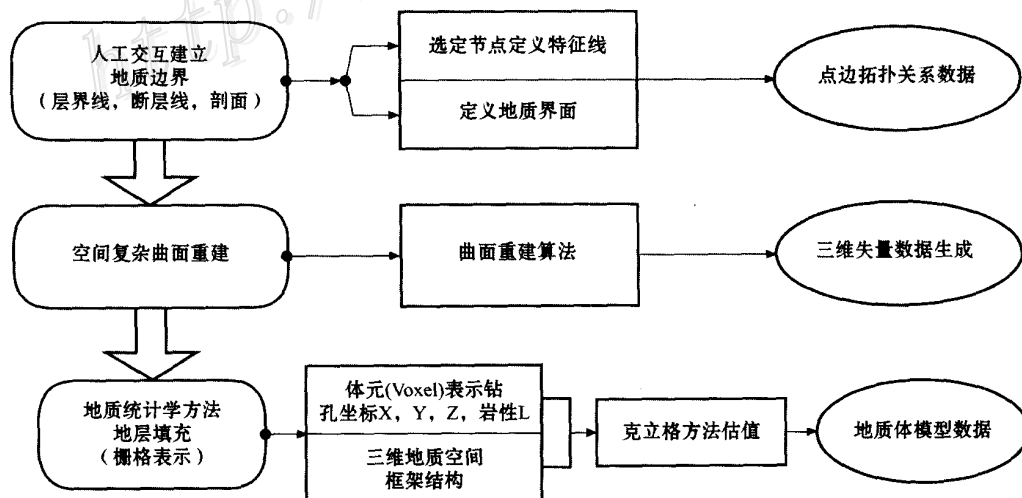


图 1 三维地体建模步骤

Fig. 1 The process of 3D modeling

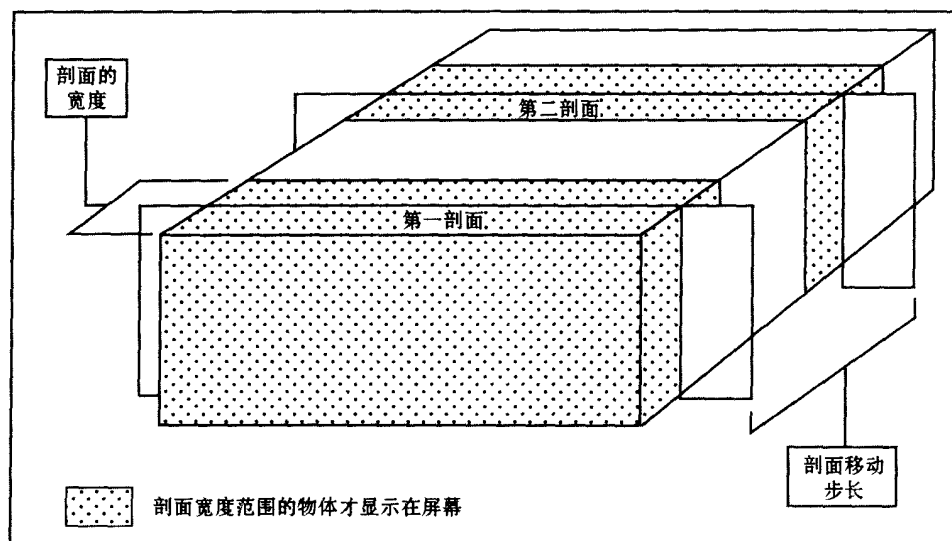


图2 屏幕显示的剖面示意图

Fig. 2 Sketch diagram of profile displaying

面的特征曲线。

(2) 搜索该曲面的特征曲线。

(3) 从该曲面的特征曲线识别该曲面是否为多值曲面,如果是,则在重建该曲面之前先将该曲面划分为多个单值曲面,该曲面即可表示为单值曲面空间上的组合。在划分单值面时要确保各空间多边形由3条或4条弧段组成。

(4) 搜索空间多边形,对它们进行三角化得到一系列曲面片。

(5) 组合各曲面片为完整的曲面。

1.3 地质属性填充形成地质体

有了以上的线框模型,虽然填充上了颜色但是并不能进行空间分析,此时必须利用地质统计学模块提供的方法,例如克立格方法,估计地层内部的地质属性或矿体内部的品位值,才能形成真正的地质体,进行储量计算等空间分析操作。

2 系统原型的功能初步设计

2.1 三维地学空间信息分析与可视化技术总体结构

地学空间信息三维智能分析与可视化系统是研究三维空间地学信息的空间相关结构、空间地质统计学估值、条件模拟及三维图形计算机可视化表达等关键技术,开发我国自主知识产权的、实用先进的地学空间信息三维计算机地质统计学模拟与可视化计算

机软件系统原型。研究的模块分为3部分:

(1) 地学空间数据管理模块。依据国内外对地学数据模型的研究,将包含着钻孔、矿产资源、地质和地球化学四个专题的钻孔资料和地质图资料数据表达为钻探数据和图数据,并定义相应的数据结构。

(2) 地学信息三维可视化模块。它以地质模型的建立过程为主线,运用计算机交互式图形技术及真实感图形技术,不仅可以提供三维地质模型的可视化编辑,并且可以进行可视化的模型分析。

(3) 地学信息三维空间分析模块。在这个模块中包括三维数据空间结构分析技术、克立格估值、指示条件模拟等地质统计学(空间信息统计学),将其与神经网络、分形技术结合,发展非线性空间信息统计学方法。

以上的3个模块在研究方法和功能上是独立的(图3),但是在整个系统中是相辅相成的。地学空间数据管理模块为其他的模块有效地组织管理数据,不仅可以直接提供它们需要的结构化数据,同时也将数据的逻辑组织结构和原始的地质资料分隔开来,这样即可以增加整体的适应能力,也能系统设计的整体难度有所降低。

地学信息三维可视化模块需要人工直接干预,预先定义好地质边界、边界剖面、断层等,但是经验往往缺乏准确性和可靠的依据,因此在地学信息三维空间分析模块中的数学统计和地质统计学方法可以为模型边界的定义和地层属性的填充提供数值参

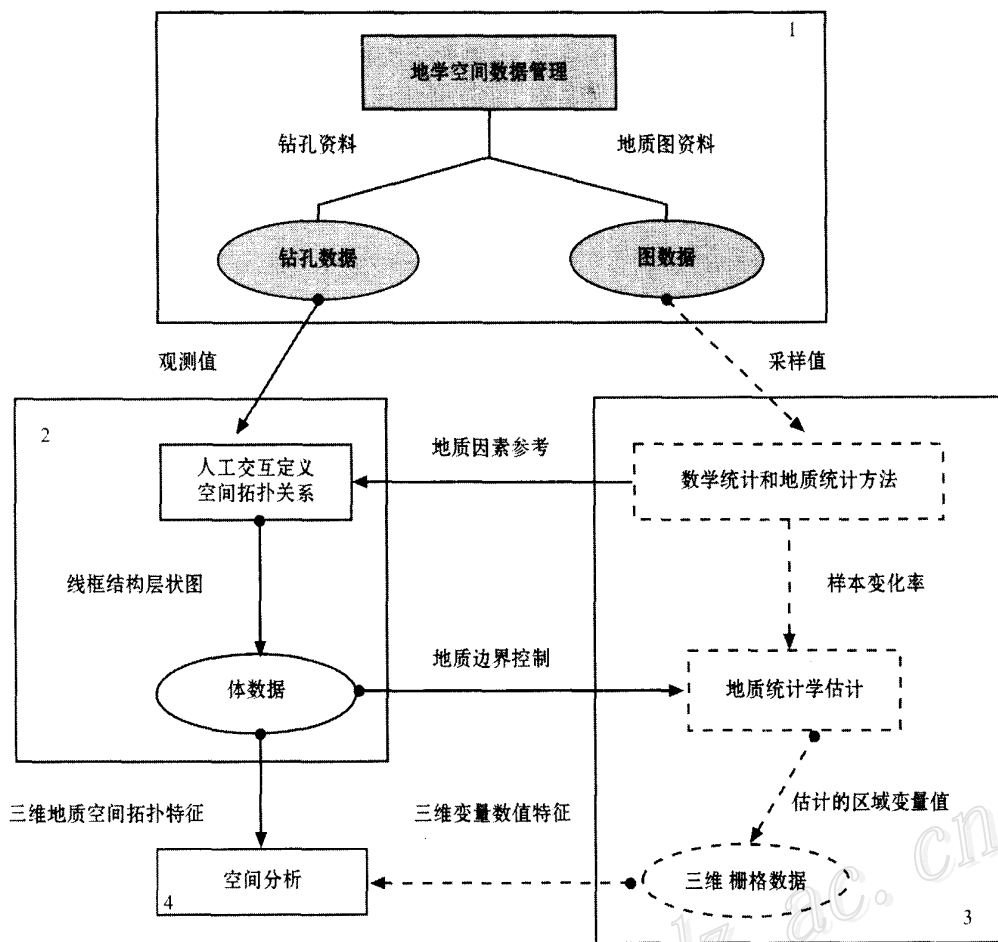


图 3 地学空间信息三维智能分析与可视化系统模块关系图

Fig. 3 Relationship of different modules in the mineral reserves evaluation system

考。在相应的地质模型建立后可以三维空间分析模块进行的区域变量估值提供边界依据。

地学信息三维空间分析模块是系统的应用层，它在进行储量计算和矿产预测时，依据三维地质模型提供的空间拓扑关系，用克里格方法不单能给出估计结果，还能在克里格方差的基础上给出可信度标志。这无疑比传统方法前进了一大步。而条件模拟可以很好地表现区域化变量(例如品位)的空间相关性和变异性。可以用概率分布刻画品位，矿床数和金属量的不确定性，对预测的质量进行科学的评价，对勘探决策进行效益估计和风险估计。

2.2 三维可视化系统的功能描述

三维地质模型理论的研究目的是为了最终的开发出三维地学模拟软件。着重研究三维空间地质体的智能编辑、投影转换、三维空间投影图的隐线隐面处理、对三维图形进行裁剪处理以地质实体的光照

模型来逼真的显示地质体三维空间形态、任意剖面图的获取、三维制图图示图例库及数字化制图等。可视化系统初步设计下的主要交互功能：

- (1) 人工交互设计：主要用于创建和编辑设计目标。包括对点、线、面、多边形、层等目标物体的编辑和操作，以及文字的编辑和操作；
- (2) 放大、缩小：对操作对象进行任意倍数的放大、缩小，不仅包括给定倍数的放大、缩小，而且可以在屏幕上选择任意区域范围放大成屏幕的范围；
- (3) 放映：允许制作动画，并于其它功能结合操作；
- (4) 旋转：提供三维图形图像的真三维旋转，可以绕 X、Y、Z 三轴的任意轴旋转，并提供自动旋转的功能；
- (5) 剖面移动：允许任意方向、任意角度、任意高程、任意位置进行剖面切制和任意厚度的块段，并

按照给定的步长移动剖面;

(6) 固化和消隐:能显示原始的、倾斜的多面体、三角面体和栅格网状模型为固化的物体,使得空间中的物体看起来是三维的面体,使固化和消隐转化方便;

(7) 数据查询:对于原始数据可进行查询显示,并作为活动的窗口,可任意移动和放大;

(8) 隐藏、半隐藏、可视:可以方便的将屏幕上的物体成为隐藏、半隐藏、可视三种状态,只有可视的物体才可以编辑和操作;

(9) 打印:针对一些常用的地质图件,提供打印功能;

(10) 分析交互功能:用于获得详细的交互点和目标,获得统计数据;

(11) 三维模型功能:提供创建三维模型的各项功能,主要有栅格网状表面模型和三角面模型。其中栅格网状表面模型主要用于绘制等值线等操作;

(12) 块模型功能:用于储量计算。包括创建储量计算的空间范围,显示储量计算的有关信息,切制地质剖面或块段、添加计算公式、变异函数的计算、品位估算、储量计算等与储量计算有关的操作。

3 结 论

研究和开发出先进实用的地学三维空间信息分析与智能可视化系统关键是将先进的三维地学空间信息智能分析可视化核心技术的引进攻关与具体的资源储量评价工程结合起来。通过本项目的实施,笔者初步完成了系统原型关键技术研究,有关成果可供进一步开发实用的勘查系统借鉴。

本次研究虽然基本走通了固体矿产勘查储量估算的全流程,但也存在实验矿区太少、程序不够稳定、还未到商品化程度的缺点。今后应结合中国危机矿山地质找矿重大工程,使软件实用化,争取使其在中国地质储量管理与估算领域中发挥作用。

References

- Andre J. 1980. Translated by Hou J R. Mining geostatistics[M]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese).
- Chen X G and Pan Y. 2002. Restricted tetrahedron dividing and 3D surface rebuild[J]. Computer Engineering and Application, 38(3): 5~7 (in Chinese with English abstract).
- Hou J R. 2000. The practical geostatistics[M]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese).
- Pasko V, Adzhiev A S and Savchenko V. 1995. Function representation in geometric modeling: Concepts, implementation and applications [J]. The Visual Computer, 11(8): 429~446.
- Stewart F and Michael W. 2000. Spatial models and GIS[M]. Taylor & Francis Press.
- Wu L, Liu Y, et al. 2001. Geographical information system[M]. Beijing: Science Press (in Chinese).
- Wu X C. 2002. The principle and method of G.I.S[M]. Beijing: Electronic Press (in Chinese).

附中文参考文献

- 陈学工,潘 懋. 2002. 约束四面体剖分和三维物体表面重建[J]. 计算机工程与应用, 38(3): 5~7.
- 侯景儒. 2000. 实用地质统计学[M]. 北京:地质出版社.
- 儒奈尔(侯景儒等译). 1980. 矿业地质统计学[M]. 北京:地质出版社.
- 邬 伦,刘 瑜,等. 2001. 地理信息系统[M]. 北京:科学出版社.
- 吴信才. 2002. 地理信息系统原理与方法[M]. 北京:电子工业出版社.