

专 著



ZHUANZHU

基于集合论的煤矿床三维建模与算法研究

朱庆伟 著

ZHUANZHU

西北工业大学出版社

基于集合论的煤矿床三维建模与 算法研究

朱庆伟 著

西北工业大学出版社

【内容简介】 本书针对煤矿三维可视化面临的理论和技术问题,以集合论的数学理论为基础,归纳和概括了目前三维可视化模型,分析和总结了已有算法的优、缺点,并集成了非平行似三棱柱的数据模型,设计并构建了基于集合论和以非平行似三棱柱(Unparallel Analogical Triangular Prism, UATP)为基础的新的空间数据模型——集合论数据模型(Set Theory Mothod, STM)。该模型从煤矿床的基本特点出发,研究了大量原有三维可视化方法,重点设计了针对煤矿床的模型结构和数据模型,模型把三维空间实体分解为三维点、三维线(包括简单线、曲线、弧段)、三维简单面(包括 TIN 面)、三维面(包括三维面片、三维面组件)、三维体(简单体、UATP 体元等)等 5 种大的空间数据模型等,并通过实例来验证、分析了该模型的性能和效率。书后附有系统框架的部分核心代码算法程序。

本书可作为矿山测量、计算机图形学、地理信息系统、空间信息学等专业的研究生的教材,也可供从事矿山安全、计算机图形学和地理信息系统等理论研究的科研人员和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

基于集合论的煤矿床三维建模与算法研究/朱庆伟著. —西安:西北工业大学出版社, 2014. 12

ISBN 978-7-5612-4254-4

I. ①基… II. ①朱… III. ①集论—应用—煤田—三维—建立模型—研究②集论—应用—煤田—算法—研究 IV. ①P618.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 008798 号



出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮编:710072

电话:(029)88493844 88491757

网址:www.nwpup.com

印刷者:北京京华虎彩印刷有限公司

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:16.125

字数:457 千字

版次:2015 年 1 月第 1 版 2015 年 1 月第 1 次印刷

定价:49.00 元

前 言

煤炭在我国能源生产和消费结构中约占 70% 的份额。据预测到 2030 年,煤炭占我国能源生产和消费结构的 58% 左右市场份额,2050 年,仍将占我国能源生产和消费结构 50% 以上的市场份额,因此,煤炭在相当长的时期内仍将是我国的主要能源。然而在我国煤矿中约 70% 为地下煤层,其埋藏的范围和几何形状在开采前均为未知状态,如不能完全掌握其地下煤层的几何形状,对煤层高效开采而言,困难重重,容易造成大量的资源浪费,且浪费形势严峻,不容乐观,因此,建立数字矿山系统就是当务之急。煤矿床三维可视化是数字矿山系统中一个重要子系统,既依附又制约着矿井开采大系统。建立安全、可靠和经济的煤矿床三维可视化系统是矿井高效生产的基本保证,是确保我国矿山可持续、健康发展的重要保障。

地理信息系统(GIS)是 20 个世纪中后期发展起来的一门新兴学科,随着 GIS 研究的不断深入,三维地理信息系统(Three Divisions GIS,简称三维或 3D GIS)的研究已成为热点,其中有代表性的有数字城市、数字矿山等。

20 个世纪后期,随着计算机技术的发展,通过计算机等现代化工具来表现现实世界成为可能,最早人们通过 2D GIS 来表示现实世界,但这种方式未能解决对现实世界空间的第三维信息的表达,特别是对地下不可预知的地质体信息等。为了弥补 GIS 在处理空间真三维信息方面的缺陷,许多学者开始了对 3D GIS 的研究,AutoCAD 就是其中一个,CAD 系统最初用于生成、编辑和显示二维图形,后来用来建立简单的三维图形和图像模型,但对于复杂的三维图形和图像可视化具有一定的局限性。此外,目前大部分三维 GIS 软件不是基于真三维开发的软件,即空间实体的表示不是用真正的三维坐标来表示的,而是用二维 GIS 中的每一组(x, y)值表示一个空间位置,这就不可能对空间实体进行真正的空间分析,更不能进行真三维地理信息的相关操作。其根本原因在于 3D GIS 在诸多方面要比二维 GIS 复杂得多,主要表现在数据采集、数据模型、空间操作及分析算法、系统维护、界面设计等。其中,数据模型是重中之重。

数据模型是建立 GIS 软件的一个重要内容,是三维 GIS 的灵魂,可以说,一个好的模型和基于该模型的数据结构是建立三维 GIS 软件的关键,特别是对于地质体来说,由于其几何形态相对要复杂得多,要开发出好的三维地质软件,其数据模型就显得更加重要。目前三维 GIS 数据模型从建模要素上可以分为基于面的数据模型、基于体的数据模型、混合数据模型等;从数据存储上来说可分为矢量模型、栅格模型、矢量-栅格混合模型等。

本书在前人工作的基础上,主要就以下几方面进行了深入研究,进行了具体分析阐述。
①集合论数据模型的建立:集合论是 20 个世纪末一门新兴的学科,现已成为现代数学和现代逻辑的基础之一,本书用素朴集合论的观点来阐述问题。在对现有数据模型分析研究的基础上,特别是对地质体(包括矿山)相关软件进行了较全面剖析的基础上,运用集合论的原理,提出了集合论的数据模型。该模型将三维空间分成三维点(主要是指三维节点等,对于煤矿床等地质体主要指钻孔点)、三维线(包括三维直线和三维曲线)、三维简单面(主要是指没有孔的连续表面)、三维复合面(包括三维面片、有孔的简单面)以及三维体(包括三维简单无孔体和三

维空间体)等。具体描述了这5种模型间的拓扑关系的建立,同时推导出了各数据模型间的相关集合操作(包括集合交、集合并、集合补等操作)的具体算式。②提出非平行似三棱柱模型概念:传统的正三棱柱要求三条棱边相互平行且垂直于水平面,是一种理想化的模型,对于地质体实际情况来说,这种正三棱柱模型通常是无法应用的,有学者就提出了类三棱柱或广义三棱柱模型,为了便于理解,本书提出了一种非平行似三棱柱模型概念,该模型包括节点、三角形边、棱边、三角形面、侧面、UATP等6个基本类型,并就其拓扑关系的表达进行了扩展。③集成的数据模型研究以及二、三维集成的一些关键算法:根据集合论模型和非平行似三棱柱的特点,提出了两种模型的集成方法。将空间地质体对象抽象为点状地物、线状地物、简单面状地物、面状地物、体状地物等,并以此数据模型建立了9种数据结构:具体分为节点(Node)、曲线数据结构(包括TIN边,即简单Line、棱边edge、弧段Arc)、面数据结构、体数据模型等,最大限度地发挥了各自模型的优点。由于目前的二、三维系统大都是相互独立的,本书给出的集成模型可以在一个系统内方便实现从二维到空间三维的相互转换问题,包括转换的框架、数据的处理(包括地质体边界的确定、地质体表面的光滑、平面与剖面对应动态变换、储量的自动生成、地质体各类剖分以及约束三角网的建立)等。

本书附录有一个研发成熟的框架模型系统,结合基于构成要素的数据模型分类方法,把目前空间数据模型分成了6个大类,从而可以更加清晰地分辨出各类模型的特点,为设计空间数据模型打下坚实的基础。笔者提出了基于集合论和非平行似三棱柱集成的地质体空间数据模型,并给出了集成模式及核心算法,同时就集成模型的相关操作给出了核心算法。在具体算法方面,给出了求平面凸包的优化算法、逼真的可视化图像处理方法、平剖动态对应的处理算法、光照改进的方法,并给出了以上各算法相应处理的代码。通过以上算法,提高了模型构建速度,三维地质体的显示更加逼真。

在本书出版之际,特别感谢教育部博士点新教师基金(20096121120001)、陕西省自然科学基金(2009JQ5001)、陕西省教育厅专项科研计划(09JK606、12JK0781)、西安科技大学培育基金和西安科技大学矿业工程博士后启动基金等的资助。

由于笔者从事该项研究的时间、经验和水平有限,本书难免存在错误或不妥之处,敬请有关专家、学者、同行和广大读者不吝赐教。

朱庆伟

2014年11月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究目的和意义	2
1.3 国内外研究现状	5
1.4 主要研究内容和结构安排	10
第 2 章 地质体空间数据模型	12
2.1 空间数据模型的概念	12
2.2 地质体空间数据模型的发展	13
2.3 地质体模型的特点分析	22
第 3 章 基于集合论和非平行似三棱柱集成的地质体数据模型	25
3.1 基于集合论和非平行似三棱柱的数据模型的设计	25
3.2 数据模型的数据结构	38
3.3 集合数据模型运算的关键技术	42
第 4 章 二维、三维模型集成及相关问题研究	46
4.1 二维、三维集成的技术框架的设计	46
4.2 二维运算中部分关键问题	49
4.3 三维运算中部分关键问题	60
第 5 章 模型试验与验证	72
5.1 系统的基本功能设计	72
5.2 数据管理操作	73
5.3 实体的建模及其可视化	75
5.4 空间查询和分析	80
第 6 章 总结与展望	84
6.1 总结	84
6.2 本书主要创新点	84

6.3 后续进一步研究方向.....	85
附录 系统总体框架部分概略算法及地表沉陷部分代码	86
后记.....	241
参考文献.....	243

第1章 绪 论

1.1 研究背景

20 世纪 60 年代以来,从加拿大学者 R. F. Tomlinson 提出地理信息系统(简称 GIS)这个概念,到现在已有半个多世纪。陈述彭院士最早于 20 世纪 80 年代初将 GIS 概念引入中国,至今也已经 30 多年了。从 GIS 最早的定义,即将地球科学、空间科学、环境科学、信息科学和管理科学等理论,到现在综合应用计算机技术、遥感技术(简称 RS)、现代地理学和自动制图技术的新兴学科(陈述彭,李德仁,1991;马蔼乃,1996;吴立新,史文中,2003)。目前我国的 GIS 发展已经和国际先进水平日渐接近,但在理论创新和应用的深度、广度等方面仍有不少差距。1992 年,Goodchild 提出了地理信息科学(Geographical Information Science,简称亦为 GIS)的概念,认为 GIS 已经不仅是一门技术,而是与计算机、地理学、测绘学密切相关的一门科学(钱学森,1994;马蔼乃,1996;吴立新,2003)。在马蔼乃教授最新出版的专著《地理科学导论》中就指出:地理信息科学是建立在开放的、复杂巨系统基础之上的,是复杂性的科学,它是天地信息一体化网络的、是为可持续发展信息社会服务的重要支柱之一;它是介于自然科学与社会科学之间的“桥梁科学”。因此,地理信息科学对我国的自然科学和社会科学的发展都有着举足轻重的作用。

GIS 的发展最早来源于地图,即使用二维投影方式解决对现实世界各类三维对象的表达,但这种方式未能解决对现实世界空间的第三维信息的表达,使得 GIS 在处理第三维空间信息时遇到了困难。例如,地球科学和工程建设中的地质、矿山、石油、城市等典型应用领域,特别是这些领域中涉及人密切相关的城市、矿山等。为了弥补 GIS 在处理空间真三维信息方面的缺陷,许多学者开始了对 3D GIS 的研究,并将已有的 GIS 系统称之为二维 GIS。基于这种对 GIS 扩展的考虑,人们试图建立一个具有普适性的 3D GIS, CAD 系统最初用于生成、编辑和显示简单的三维图形和图像模型,对于复杂的三维图形和图像可视化具有一定的局限性。

此外,虚拟现实(Visual Reality, VR)技术也是近年来信息技术迅速发展的产物,它是一门在计算机图形学、计算机仿真技术、人机接口技术、多媒体技术和传感技术的基础上发展起来的交叉学科。我国自 20 世纪 80 年代以来投入了大量的人力与物力,对 VR 技术进行了深入的研究(王兆其,1999),如图 1.1 所示。然而,近年来有人将虚拟现实称作 3D GIS,这一点显然是不合适的,因为 VR 系统没有 GIS 中最基本的空间分析功能,不能与现有的一些软件如 Arc CAD, Arc Gis, Arc View 等进行联合应用。

随着科学计算可视化技术在地质、采矿领域应用的不断深入,人们迫切希望可以快速、准确地处理和分析那些日益复杂的地质、采矿资料并挖掘出隐藏在它们背后的“信息”。各种传统地质资料(剖面图、柱状图等)的简单扫描或计算机化在一定程度上可以做到这一点,但随着现实需求以及技术的发展,这些折中的办法始终无法满足人们对于精确度以及高效性日益提高的要求。因此,还原地质体,如煤矿床、矿区地表沉陷体等的本来面目——建立可视化的三

维系统——已经成为目前的研究重点。基于这种对 GIS 扩展的考虑,人们试图建立一个具有专业性的 3D GIS,如三维数字城市、数字矿山、三维地质模型等,由于数据模型是建立三维 GIS 的核心,因此建立三维数据模型成了 3D GIS 研究的核心内容。



图 1.1 虚拟现实

1.2 研究目的和意义

随着 GIS 的迅速发展,人们首先对城市环境中各种三维信息的表达与处理变得日益迫切,人们不仅需要表达单个建筑物或建筑物群体,还需要建立整个城市景观模型,并希望利用这个模型进行有关城市的规划设计、交通指挥、信号站布设等工作。因此,需要处理的数据不再仅限于几个建筑物或一个城市小区,而是整个城市范围内所有需要表达的三维信息。然而在三维 GIS 中,空间目标通过三维坐标定义空间对象,空间关系复杂程度更高,三维 GIS 的可视表现不再是静止的二维地图符号表示,它比二维 GIS 复杂得多,因此必须有专门的三维可视化理论、算法来解决,并借助于三维可视化功能,将客观世界以立体造型技术呈现给用户。对空间对象进行三维空间分析和操作也是三维 GIS 特有的功能。而与 CAD 及各种科学计算可视化软件相比,它具有独特的管理复杂空间对象能力及空间分析的能力。三维空间数据库是三维 GIS 的核心,三维空间分析则是其独有的能力。与功能增强相对应的是,三维 GIS 的理论研究和系统建设工作比二维 GIS 也更加复杂。

三维 GIS 是指能对空间地理现象进行真三维描述和分析的 GIS 系统,是布满整个三维空间的 GIS。其研究对象是通过空间 X, Y, Z 轴进行定义,每一组 (x, y, z) 值表示一个空间位置,而不是二维 GIS 中的每一组 (x, y) 值表示一个空间位置。可以认为,二维 GIS 是三维 GIS 在空间上的简化,三维 GIS 是二维 GIS 在空间上的延伸。三维 GIS 的要求与二维 GIS 相似,但在数据采集、数据模型、空间操作及分析算法、系统维护、界面设计等诸多方面要比二维 GIS 复杂得多。从二维 GIS 到三维 GIS,尽管只增加了一个空间维数,但它可以包容几乎所有的空间信息,突破常规二维表达的约束,为更好地观测和理解现实世界提供了多种选择(朱庆, 2004)。

近年来,不少学者致力于三维数字城市的研究(陈军, 2000; 孙敏, 2003),并为此付出了大

量的心血。而要建立一个完整的三维数字城市模型还必须解决以下几方面的问题:多种类型的三维数字城市实体的建模;庞大数据量的组织与管理;各种复杂的三维空间关系的表达以及操作;三维空间数据的存储、管理以及查询与检索;提供整个城市范围的实时、快速的可视化;建立用户可以交互操作的三维图形界面。数字城市的具体应用中,如在数字社区的开发建设前,用户可以选定一定的路线模拟飞机飞行或汽车行使效果,或完全由用户用鼠标或操纵杆进行操纵,在三维场景中进行任意漫游。同时在城市物业管理领域,利用三维城市模型可以模拟该小区的三维景观,从而建立数字式的小区,对于小区的建筑物的销售和售后服务进行管理,大大地降低人力、物力和财力的消耗,与通信相结合可以建立智能化的小区。

然而,三维数字城市多半是研究城市地面及其上空的,即地球表面及以上的三维实体的建模,而地下考虑得较少。随着研究的不断深入,特别是当工作的重点和研究范围开始转向较小的领域或地域,如地质、矿山时,发现一个完全不同的表示方式。即主要针对地下实体(这里主要指地质体、矿藏、地下洞室等)的3D地学模拟研究(3D Geosciences modeling system, 3DGMS)(Simon W. Houlding, 1994; 吴立新, 2003)。

当建立3DGIS时(不论地上或地下),都应具备一些最基本的功能:

- (1)能够同时管理三维空间中的零维到三维的空间对象;
- (2)以三维可视化形式表现2.5维和三维对象;
- (3)借助三维空间数据库技术来管理空间信息;
- (4)基于三维的空间分析功能,并包容二维GIS的空间分析功能;
- (5)多数据源包容与集成功能。

当描述3DGIS这个概念时,都要运用到地学数据这个概念,即用来描述地球表面或近地表面演化历史及变化趋势的多学科数据,这是因为在具体研究过程中,必定要涉及地层、岩石、构造、古生物、矿产、地球物理化学、遥感、测绘、地籍等领域的的数据,这些数据互相关联和联系,所以必须总体考虑它们之间的关系(郭达志,等,2000;黄文斌,等,2001;吴立新,等,2003)。表1.1比较了3DGIS与3DGMS(吴立新,等,2003)。

表 1.1 3DGIS 与 3DGMS 比较

	不同之处		相同之处
研究对象	地球表面及以上	地球表面及以下	以地球表面为界
数据来源	大地测量、工程测量、摄影测量与遥感	地质勘探、地球物理、矿山测量、地质解译	规划设计数据、统计分析数据
空间参照	大尺度时球面坐标	大尺度时球体坐标	一般为 (x, y, z)
空间构模	以面元构模为主	以体元构模为主	面元、体元可混合使用
拓扑描述	不可或缺	开始研究	基于要素或者对象
空间量算	非以体积计算为主	以体积计算为主	方位、面积计算
空间分析	以可视分析为主	以包含、临近分析为主	其他空间分析
应用领域	城市景观、立体交通、管网规划、军事、环境	地下空间、矿山地质、土木工程、海洋、水文	地球整体、地上下整合

由于数据模型是建立三维地理信息模型(无论地球表面之上还是地球表面之下,这里统称

为三维地理信息)的核心,所以建立三维数据模型成了研究的核心内容。模型是人们对于现实世界的一种抽象,如三维地质(这里主要指煤矿床)模型。它是人们对井下复杂地质实体地质构造的一种抽象,主要描述地质实体、地质构造的空间形态、空间属性和其相互之间的拓扑关系等信息。在模型建立好了以后,其三维可视化就是利用可视化技术将地质模型的空间形态以及各种属性信息以真三维的形式表达出来,达到决策者能够观察,研究人员能够模拟,一线生产、技术人员能够提早认知的程度,从而丰富了科学发现的过程,给予人们对地理科学的新的认知。

矿区一旦建立了地面、地下的三维空间的煤层关系,就会有相当多的应用领域产生,如煤矿生产环境的风险评价、事故模拟与调查分析、生产过程的动态模拟与矿山安全培训等,然而,这些并不是本书的研究方向目标。本书的研究内容是在现有矿区建模软件的基础上,研发出一种新型的、抽象的空间数据模型,该模型可以方便对煤矿区地质体进行建模,而且可以方便、清晰、直观地表现煤矿床的几何形态和分布状态,进而为数字矿山虚拟系统做准备。数字矿山虚拟系统是指利用虚拟现实技术和硬件设备,根据煤矿地层数据、巷道数据、钻孔数据和图像数据模拟出包括煤矿各种自然实体和人工实体在内的三维空间,完全模拟开采过程和开采状态,使矿区研究人员可以在其中改变相应参数,从而观测矿区在一种开采方法下模拟开采中的状态、常量,矿井通风量,等等,真正实现矿井软科学。

目前研究 3D GIS 时,最重要的是解决三个方面的关键问题:三维数据模型、三维分析和三维可视化。在这三大技术中,三维空间数据模型和数据结构理论与方法是三维 GIS 研究的核心技术,它是三维 GIS 能否成功的关键(李清泉,2003)。

在地质矿山领域,随着经济的飞速发展,各国都非常重视能源的开发和利用,而能源多数都埋藏于地下,因此地质工作者非常希望能在具体方案实施前,如果有针对地质采矿的特有 3D GIS 数据模型,则根据现有的各种地质采矿数据方便地绘制出地下各类矿体的等值线图、剖面图、储量预计等。同时应用计算机可视化技术将井下地质构造和矿体几何结构形象、直观的表达出来,并根据虚拟现实技术模拟矿体被开采的状态,这样不仅可以大大提高工作和管理效率,同时可以更准确地进行矿产资源的决策规划,减少矿产资源勘探风险,以产生巨大的社会和经济效益。

众所周知,目前的 GIS 多是以二维或假三维的形式来表达地理信息的,这不利于研究人员理解真实的地理实体及其分布。尤其是在地质和矿业领域,其研究对象如地质体、地质构造、采矿工程等客观世界中都是以三维的形式存在的,这就要求我们要以真三维的形式来准确表达这些地理信息。三维地理信息系统(3D GIS)是目前地理信息系统领域的一个热点,而三维可视化正是 3D GIS 研究中的一个难点问题,它不仅包括空间实体的表达,而且还涉及人机交互与信息表达方式的研究。研究三维地质建模,建立切实可用的可视化系统,对于三维地理信息的研究是一个有益的尝试。

本书研究的目的是初步建立一个抽象的三维数据模型,并利用素朴集合论的方法对模型可视化显示。综合运用三维建模、可视化、3D GIS、虚拟现实等技术来初步建立一个真三维地质模型的可视化系统,并通过实际矿山数据来建立真三维地质模型,除能够对模型进行可视化显示外,还可以通过直接三维交互的方式对模型进行各种后期可视化处理操作,以更大限度地将模型内部信息展现于用户面前,为勘查设计规划、开采方案确定以及采矿生产的安全预测提供服务。

1.3 国内外研究现状

1.3.1 国外研究现状

目前,市场上出现了一些可以进行三维场景显示、漫游的 GIS 软件,特别是在采矿、地质领域出现了一些专业三维软件,如 ESRI 公司的 ArcView 3D Analyst、加拿大 Lynx Geosystems 公司的 Lynx、Mine 公司的 MineScape、澳大利亚 Earthworks 公司的 InTouch、澳大利亚联邦矿业工程研究组的 Virtual Mine、澳大利亚 Surpac 软件、法国 ENSG 组织的 GOCAD、Ctech 公司的 EVS 和 MVS、GEO Visual System Limited 公司的 GEOCard 等。此外还有 MutiGen 公司的 Creator、Vega 等软件,其开发的 Open Flight 已经成为三维数据的标准;ERDAS 公司的 IMAGING Virtual GIS 软件,可以同时查询三维地物表面的纹理属性和地图矢量层的属性;瑞士 ETH Zurich 大学的 Cyber - City GIS 软件能够进行数字城市的 3DS 模型重建和数据管理;等等。以下就一些有代表性的国外软件进行介绍。

1. ArcView 3D Analyst 软件

ArcView 3D Analyst 软件是世界最早的 GIS 开发商 ArcGIS 的三维可视化软件,其最大的特点就是数据的无缝衔接,由于其支持多种数据格式(包括 VRML, 3D Studio Max),所以其具有极快的显示速度,特别是对一些多分辨率、多尺度的数据其速度优势显得更加突出。

同时 ArcGIS 3D Analyst 能够对表面数据进行高效率的可视化和地理信息系统分析,也提供了三维建模的工具等。此外, ArcView 3D Analyst 还进一步增强了三维可视化的逼真性,其中包括大量的可用图标、纹理等。

2. Lynx 软件

Lynx 软件于 1987 年推出,为地质技术应用提供软件解决方案。经过不断地改进, Lynx 软件已可以对地质科学信息进行管理、可视化、解释、预测和空间分析,对地表、地下挖掘进行工程设计、计划、生产和观察。在地质模型中, Lynx 软件融面建模技术与体建模技术于一体,不仅能描述复杂形态的地质体,而且能作地质统计分析。

Lynx 软件主要应用两种建模工具:体建模技术和面建模技术。面建模技术一般用在相对简单的地质条件下,而体建模技术多用于稍复杂的地质体建模。此外 Lynx 软件可以进行简单的地质统计,可用于地表、地下挖掘和地下工程结构的交互设计、计划和观测。当进行模型设计时, Lynx 软件可对模型进行交互旋转、摆动、缩放、比例调整、彩色图定义和数据选择。

Lynx 软件的数据结构有 5 种:其中钻孔数据结构和地图数据结构用于管理野外属性资料和简单图形资料;面数据结构和体数据结构用于解释和预测地质构造和地层形态,并能表示地质工程设计结果;格网数据结构用于计算某个投影变量空间变化的等值图(见图 1.2)。

3. MineScape 软件

Mine 公司是一家致力于矿产资源勘探、开发、采矿规划及管理的三维软件系统开发、营销、咨询的国际公司。MineScape 软件主要功能如下:野外数据采集;坑道里面样品资料存储及显示;制作等值线和异常图,地球化学和地球物理剖面显示;勘探和钻孔数据库建立与管理,数据有效性检查和校正;钻探设计及优化;三维地质建模;三维可视化显示和资源储量评估;矿山生产地质管理及坑道的勘探测量管理;中长期的采掘计划制订;经济评价;盈/亏计算分析;

品位控制和采场设计;均衡矿块、采矿、选矿之间的关系;矿山资源储量动态管理;等等。

MineScape 软件在三维地质建模方面,亦采用面体混合建模方法,同样使用的是地质数据、钻孔数据等基础地质资料,具体建模时可提供人际交互的方式来最大限度地减少建模中可能产生的一些错误(见图 1.3)。

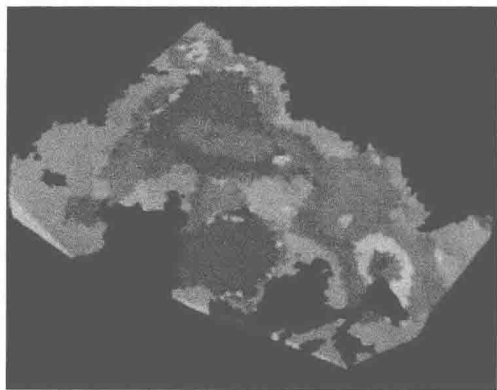


图 1.2 Lynx 软件实现的储量模拟

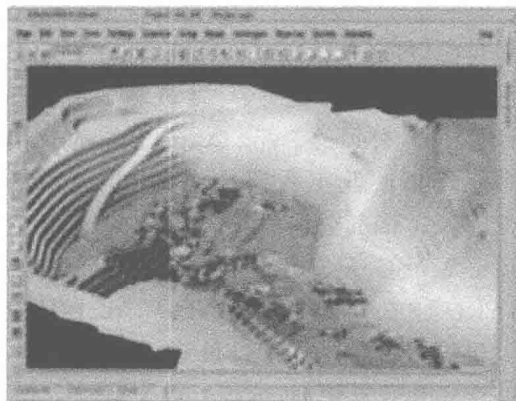


图 1.3 MineScape 软件实现块段模拟

4. InTouch 软件、Virtual Mine 软件以及 Surpac 软件

这 3 个软件均是澳大利亚的公司或组织研发的产品,InTouch 软件是 Earthworks 公司开发出一款产品,该软件从其他系统中导入各种不同来源的矿山地质对象和人工物体,用来建立地质体的三维模型。可导入的地质对象有地形、矿体、断层面、矿坑设计、钻孔、地震剖面等。InTouch 软件采用了纹理映射、透明、雾化等图形学技术,增强了地质体的真实性(见图 1.4)。

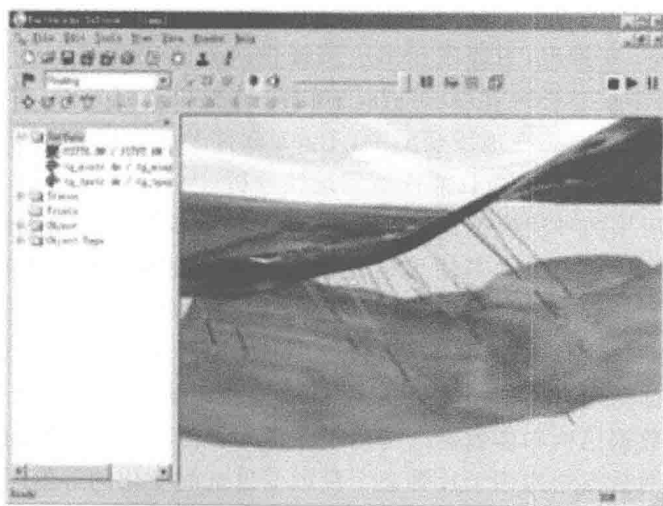


图 1.4 InTouch 软件实现的地质模拟

Virtual Mine 软件是一个将各种不同煤矿数据进行集成和可视化显示的平台(见图 1.5)。通过 Virtual Mine 软件,用户可以直观、立体地观察数据及其相互之间的关系。Virtual Mine 软件采用 Java 和 VRML 进行开发,利用 Web 技术进行发布,因此用户可以通过网页浏览器

Netscape 直接访问虚拟煤矿环境,便于数据共享和用户操作。Virtual Mine 软件不进行具体的虚拟环境建模,所有的数据均在其他软件如 Minescape, Virtuozo, Geolog 6 软件中进行处理,然后使用第三方的软件进行格式转换,输入到 Virtual Mine 软件中。

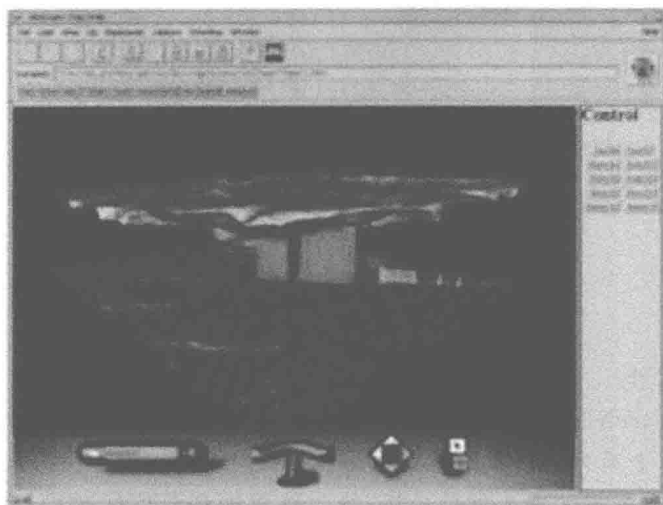


图 1.5 Virtual Mine 软件实现的地质模拟

Surpac 软件根据一组空间轮廓线生成三维面数据,制作勘探线剖面轮廓线,将剖面连接起来,建立轮廓三角网(见图 1.6)。

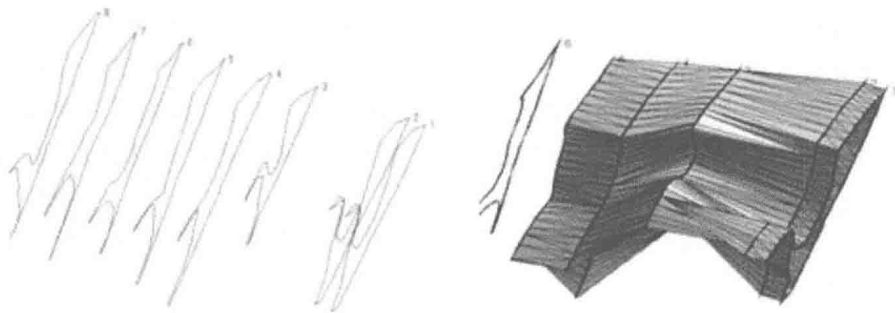


图 1.6 Surpac 软件实现的地质模拟

5. GOCAD 软件

GOCAD 即地质目标计算机辅助设计,是由点、线重构面以及由 2D 剖面重构 3D 体的建模方式。它主要建立两类模型:几何模型和属性模型。软件研发中除采用 J. L. Mallet 教授提出的离散光滑插值技术(DSI),还采用了适应能力很强的三角剖分和四面体剖分技术,并独立地开发了软件中的地质统计学部分。GOCAD 软件的建模思想是建立在工作流程之上,是以地质建模的内在规律和程序为基本框架的,这样使地质思想得以准确地融合到地质建模过程中。GOCAD 软件实现的地质模拟如图 1.7 所示。

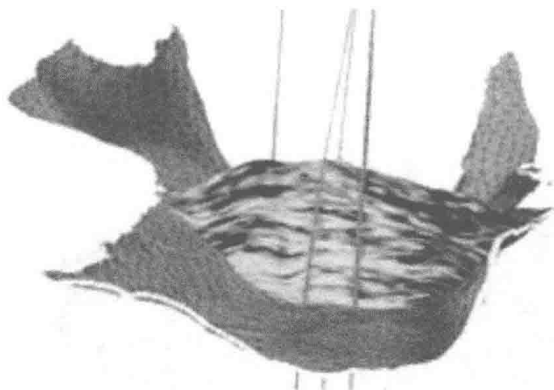


图 1.7 GOCAD 软件实现的地质模拟

6. EVS, MVS 软件

这两款软件是 Ctech 公司开发的具有代表性的产品。EVS(Environment Visualization System)产品共有 3 个系列(EVS for ArcView, EVS Standard, EVS PRO)。其主要特征如下: 钻井数据和采样点数据的置入处理分析; 绘制体数据和等值线数据; 利用专家系统对参数进行评价, 使二维和三维的 Kriging 算法达到最优的变量图; 具备通过对浓度、矿物质、污染等属性进行颜色显示来激发地质土层的三维可视能力; 综合了对于土壤、地下水污染和含有金属岩石的体积或土石方计算的能力; 有限差和有限元素栅格模型的产生; 三维栅栏图的生成; 多种分析物同时进行分析的能力; 可以从任意角度、任意方向进行切片的切割; 高级动画输出、实时地形漫游、高级地质结构建模、交互式分析以及与 ODBC 软件进行实时交互等。

MVS(Mining Visualization System)软件是可视化应用与分析的旗舰产品, 主要增加了针对探矿工程和规划实际需要的功能模块。主要特征模块如下: 隧道挖掘; 高级纹理工具; 坑槽建模; 交互式构造分析; 工程计算; 利用已有的数据分析, 选取最优的钻井位置, 选取矿物含量较高的地点; 等等。

这两款软件主要满足地质学家、地质化学家、环境学家、探矿工程师、海洋学家以及考古学家等多方面的需求。

7. GEOCard 软件

GEOCard 是主要为石油工业开发的三维建模与可视化软件。它主要使用规则格网剖分技术, 可以利用钻孔数据或模拟数据建立地质模型, 用表面数据建立三维地质网格。该软件应用多种算法插值或随机方法构造格网中的石油物理特性的分析模型。它提供了大量基于网格的建模, 使用 Kringing 技术和许多随机建模算法, 例如指示器和 Gaussian 模拟。格网中的属性被认为是一个巨大的第四维表格, 在地质构造格网中用于存储多种特征变量, 在地质分析格网中存储时间步长数据、可视化地质分析特征变量。作为基于格网的变通, GEOCard 软件提供了许多基于对象的算法, 用到了 Boolean 技术。这些模拟结果能被网格化成地质构造格网, 或作为模板控制基于网格的分析和插值算法。

1.3.2 国内研究现状

相对于国外, 国内软件这些年也得到了快速的发展。代表性的有北京东方泰坦科技

Titan 三维建模软件、中国地质大学的 MapGIS 软件、北京理正公司的理正软件、适普软件公司的三维可视软件 IMAGIS; 吉奥信息工程技术有限公司的数码城市地理信息系统 CCGIS; 北京灵图软件技术有限公司的三维地理信息系统软件系列产品 VRMap; 等等, 此外, 煤炭科学研究总院西安分院推出了矿井三维地质模型软件, 它可以建立三维多层地质模型, 实现任意地质、水文地质剖面功能、矿井巷道系统三维地质模型显示和成图功能, 能够进行储量自动计算, 实现光照明模型显示。同时, 在其他领域也出现了多种各自的三维工具软件, 如机械和建筑行业的三维 CAD 软件, 虚拟现实和游戏中常用的 maye 三维建模软件, 等等。下面就以上代表性软件做具体介绍。

1. Titan 软件

Titan 三维建模(3DM)软件是基于框架建模的思路研制开发而成的, 利用平行或基本平行的剖面数据建立起三维空间任意复杂形状物体的真三维实体模型, 并以此模型为基础, 为特定的要求提供特定的服务, 产品的应用范围非常广泛, 包括石油地质勘探、采矿、公路桥梁等土建工程、环境保护等。

该软件有 5 个核心功能模块, 分别为: ①虚拟钻孔模块, 主要功能是编辑钻孔数据; ②剖面处理模块, 主要功能是建立模型的数据剖面, 数据剖面由多边形、环和点元素组成, 主要操作内容包括专题的生成, 剖面、多边形、环对象的生成, 修改、复制粘贴操作, 以及剖面类型模板的生成与编辑; ③对应关系处理模块, 主要功能是建立起专题内剖面之间、多边形之间、环之间和点之间的对应关系, 这样便建立起了建模元素之间在三维空间中的联系; ④模型处理模块, 三维模型的生成和显示、设置、表面积和体积的计算、显示属性的设置、模型切割、切面的生成、显示; ⑤SboreMap 模块, 主要功能包括剖面组文件的创建和剖面文件矢量化、矢量编辑和统计分析等, 也可以方便地制作剖面图和柱状图。

2. MapGIS 软件

MapGIS 软件在三维可视化方面具有如下功能: 支持 DEM、GRD、高程库、影像以及多种矢量数据格式, 以及海量高程、影像以及其他数据的三维显示浏览; 方便地模型库和纹理库管理; 采用分层管理地理信息数据, 方便地控制显示内容; 支持键盘漫游、路径漫游两种漫游方式。

MapGIS 软件是中国地质大学自主开发的一款地理信息软件, 其在地质中的应用尤为突出。对于地质资料中的各种成果资料、基本信息进行一体化管理。采用三维可视化技术直观、形象地表达区域地质构造单元的空间特征以及各种地质参数。同时 MapGIS 软件具有任意方向切割、立体剖面图生成、钻孔、地层三维拾取查询、三维空间交互定位、三维空间量算等功能。

3. 理正软件

北京理正公司在三维地质模型方面也做了一定的研究, 其推出的地质地理信息系统可以构造三维地质数字模型, 表达岩石的构造和产状, 显示任意角度的剖面图, 并能够进行三维统计、分析、计算(如指定范围的体积计算、土石方分类计算、填挖方计算等); 可以自动生成和显示三维地形图、地质图、地层图; 能够以多种方式定位、属性图素查询、一般土质条件下的地质构造简单推断。

4. 煤炭科学研究总院软件

煤炭科学研究总院西安分院推出了矿井三维地质模型软件, 它可以建立三维多层地质模型, 实现任意地质、水文地质剖面功能, 矿井巷道系统三维地质模型显示和成图功能, 能够进行

储量自动计算,实现光照明模型显示。

由于三维 GIS 的复杂性,目前国际国内还没有一个成熟、完整的三维 GIS 系统,与三维 GIS 相关的系统大多集中在三维可视化方面。有些二维 GIS 软件在原有基础上增加了三维功能,使其能够表达现实世界中的三维对象。但真正上成熟的三维 GIS 商业化软件还很难从市场上得到。目前所开发出的三维软件都能进行空间实体的构建、管理、修改和简单查询,同时也能进行目标物的可视化,但空间分析功能还很差。就目前国外软件来说,由于其矿产资源多半是露天矿或浅层埋藏的煤矿,所以其处理对象多半是地面及其以上的目标物,对处理以深采为主的中国煤矿区地质体建模多少有些不妥,且这些软件动辄几十万美元的价格和其高昂的硬件费用,也阻碍了其在中国的发展和应用。而国内软件多半是以深采矿井可视化研究对象,以地下地质体为对象进行开发,但由于其起步较晚,还不能达到国外软件的灵活、方便的建模状态和良好的可视化效果,究其原因主要还是数据模型建立的不够完善,然而三维空间数据模型是研究解决三维地质可视化的基础和核心。

以上是三维软件的角度出发来分析其发展现状的,而具体构建时,主要是要考虑其数据的组织和管理,也就是说,是数据模型的设计问题。针对地质体(包括煤矿床等)的建模来讲,其数据模型从大的方面分可以分为基于面的数据模型(如边框模型、不规则三角网模型、格网模型、线框模型、剖面模型、多层 DEM 模型等),基于体的数据模型(如八叉树模型、结构实体几何模型、四面体模型等)和基于面体混合的数据模型(如不规则三角网模型和结构实体几何模型相结合,不规则三角网模型和八叉树模型相结合等)。以上的各类数据模型的具体研究将在第 2 章进行评述。

此外,针对煤矿地质条件,要建立合适复杂地质体的模型主要有以下困难:数据获取非常不便,不论从数据的质量和数量上来说都是远远不够的;地质体本身结构和几何形状非常复杂,很难用已有的规则几何体进行建模;地质条件的不确定性(李德仁,2000),地质现象中存在的复杂性、不连续性及不确定性等客观因素以及三维地质建模的应用目的各异等主观因素,使三维模型的建立缺乏统一而完备的理论技术,导致现有系统缺乏空间分析能力(武强,2004)。

由此可见,研究地质体,特别是煤矿床空间数据模型和其三维可视化是十分必要的,既具有重要的科学意义,又具有很高的市场实用价值。这正是本书研究的主要目的所在。

1.4 主要研究内容和结构安排

数据模型对空间建模至关重要,是开发出优秀的三维地质软件的重要基础。本书由此提出基于集合论和 UATP 集成的煤矿床数据模型的概念,就地质体数据模拟的有关理论和方法以及系统开发进行研究:

(1)从不同的角度出发,深入研究了目前 3D GIS 软件数据建模的发展(包括基于面的数据模型、基于体的数据模型和混合数据模型等),并着重对目前常用的三种建模思想进行分析对比,总结地质空间实体的特点,剖析建立地质体空间数据模型核心问题。

(2)提出了一种基于集合论的空间数据模型,该模型针对煤矿床的特点,将空间矿床分解为三维点、三维线、三维简单面、三维复合面以及三维体等,从而实现了相对复杂的煤矿床的三维建模。

(3)在对三棱柱、直三棱柱、广义三棱柱等的三维地质模型已有研究成果进行分析的基础