



地球观测与导航技术丛书

煤矿高精度三维动态地质模型的研究与应用

祁和刚 毛善君 王昌傲 李梅 管增伦 孙振明 等 著



科学出版社

地球观测与导航技术丛书

煤矿高精度三维动态地质模型的研究与应用

祁和刚 毛善君 王昌傲 李 梅 管增伦 孙振明 等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

地测信息是高科技煤矿建设和生产的基础。其中,高精度三维动态地质模型的构建和应用是其重要的研究内容,与此相关的二维基础软件平台、三维可视化软件平台不仅为高科技煤矿的信息化管理提供了多维空间信息处理方法,而且提供了可视化的决策工具。高精度三维动态地质模型的构建与应用标志着传统矿山逐渐迈向信息化和智能化的新时代。全书共8章,内容包括:绪论,煤矿高精度三维动态地质模型的概念和数据来源,煤矿三维模型的自动生成算法,煤矿高精度三维动态地质模型的动态修正技术,煤矿高精度三维动态地质模型应用的关键技术,二维GIS软件平台的设计与开发,三维可视化集成数据处理平台的研究与设计,以及系统功能模块及实现。

本书可作为地质、采矿、测绘、计算机等专业研究生教材,同时也可供从事矿山领域、地球科学的研究者和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

煤矿高精度三维动态地质模型的研究与应用/祁和刚等著. —北京:科学出版社, 2016.6

(地球观测与导航技术丛书)

ISBN 978-7-03-043172-1

I. ①煤… II. ①祁… III. ①煤田地质—地质模型—研究 IV. ①P618.110.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第018896号

责任编辑:苗李莉 朱海燕 / 责任校对:赵桂芬

责任印制:肖 兴 / 封面设计:王 浩

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*



2016年6月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2016年6月第一次印刷 印张:13 1/2

字数:310 000

定价:139.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《地球观测与导航技术丛书》编委会

顾问专家

徐冠华 龚惠兴 童庆禧 刘经南 王家耀
李小文 叶嘉安

主 编

李德仁

副主编

郭华东 龚健雅 周成虎 周建华

编 委(按姓氏汉语拼音排序)

鲍虎军	陈 戈	陈晓玲	程鹏飞	房建成
龚建华	顾行发	江碧涛	江 凯	景贵飞
景 宁	李传荣	李加洪	李 京	李 明
李增元	李志林	梁顺林	廖小罕	林 琿
林 鹏	刘耀林	卢乃锰	闫国年	孟 波
秦其明	单 杰	施 闯	史文中	吴一戎
徐祥德	许健民	尤 政	郁文贤	张继贤
张良培	周国清	周启鸣		

《地球观测与导航技术丛书》出版说明

地球空间信息科学与生物科学和纳米技术三者被认为是当今世界上最重要、发展最快的三大领域。地球观测与导航技术是获得地球空间信息的重要手段，而与之相关的理论与技术是地球空间信息科学的基础。

随着遥感、地理信息、导航定位等空间技术的快速发展和航天、通信和信息科学的有力支撑，地球观测与导航技术相关领域的研究在国家科研中的地位不断提高。我国科技发展中长期规划将高分辨率对地观测系统与新一代卫星导航定位系统列入国家重大专项；国家有关部门高度重视这一领域的发展，国家发展和改革委员会设立产业化专项支持卫星导航产业的发展；工业和信息化部、科学技术部也启动了多个项目支持技术标准化和产业示范；国家高技术研究发展计划(863 计划)将早期的信息获取与处理技术(308、103)主题，首次设立为“地球观测与导航技术”领域。

目前，“十一五”计划正在积极向前推进，“地球观测与导航技术领域”作为 863 计划领域的第一个五年计划也将进入科研成果的收获期。在这种情况下，把地球观测与导航技术领域相关的创新成果编著成书，集中发布，以整体面貌推出，当具有重要意义。它既能展示 973 计划和 863 计划主题的丰硕成果，又能促进领域内相关成果传播和交流，并指导未来学科的发展，同时也对地球观测与导航技术领域在我国科学界中地位的提升具有重要的促进作用。

为了适应中国地球观测与导航技术领域的发展，科学出版社依托有关的知名专家支持，凭借科学出版社在学术出版界的品牌启动了《地球观测与导航技术丛书》。

丛书中每一本书的选择标准要求作者具有深厚的科学研究功底、实践经验，主持或参加 863 计划地球观测与导航技术领域的项目、973 计划相关项目以及其他国家重大相关项目，或者所著图书为其在已有科研或教学成果的基础上高水平的原创性总结，或者是相关领域国外经典专著的翻译。

我们相信，通过丛书编委会和全国地球观测与导航技术领域专家、科学出版社的通力合作，将会有一大批反映我国地球观测与导航技术领域最新研究成果和实践水平的著作面世，成为我国地球空间信息科学中的一个亮点，以推动我国地球空间信息科学的健康和快速发展！

李德仁
2009 年 10 月

前 言

三维地学建模(3D geoscience modelling)这一概念最早是由加拿大科学家 Simon W.Houlding 于 1993 年提出,随后在地质学界得到了广泛的认可,相关研究已经有二十余年,而且成果丰硕。地质建模和可视化技术已逐步应用到资源调查、环境监测、基建工程、城市地质等诸多领域,并且日益拓展到其他社会和经济部门。在非层状矿床、石油勘探和开采领域,地质工作者建立地质体(包括地层、断层、褶皱构造等)的三维几何和属性模型,能更直观、更精确地解译和圈定矿体边界,有利于技术和管理层的分析和决策支持;在海洋资源与环境监测、大气领域,研究人员建立水或污染物的三维模型,能够分析和表达水质、泥沙、污染物等变量的三维空间分布,将有利于环境评价和预测。

煤层是一种沉积型的层状矿床。对煤炭工业的勘探、设计、开发和信息化而言,地测信息(地质、测量)是其基础信息,从 20 世纪 80 年代初开始,煤炭工业相关科研院所就已进行地测信息化关键技术的研究与应用。但到目前为止,无论是生产技术规范还是日常的信息化应用仍然以二维管理为主,信息的动态处理和实时更新不及时,无法适应高科技矿山对地测信息三维可视化和动态修正的实际需求,特别是地质信息的及时更新和实体建模关键技术并未取得实质突破,由此产生的决策失误和相应的安全事故时有发生,这不仅造成了经济及财产损失,而且威胁着矿工人身安全,对企业、矿区、社会及国家的和谐、稳定及形象都产生了一定的负面影响。

本书针对煤矿地质模型动态修正及应用的关键技术问题,结合国家 863 计划项目、企业委托项目等相关工作,提出了建立煤矿高精度三维动态地质模型的工作思路和技术方法,研究了煤矿地测信息管理平台的关键技术、煤矿三维地质模型动态修正技术及应用方法,为管理和技术人员及时分析煤矿地质最新状况,保障煤矿的安全生产提供了有效的技术支撑手段。

本书重点关注煤矿领域的三维动态地质建模、二三维软件平台的设计及其具体应用:

(1) 煤矿三维动态地质建模的关键是勘探信息、地震信息和日常生产信息等的集成,以及对已有模型的动态修正。结合矿山地测信息,本书重点介绍了煤矿高精度三维动态地质模型的概念、建模原理、动态修正技术、GIS 平台构建技术及系统的应用。高精度三维地质模型的构建是一个动态的过程,其目的是根据历史和最新地震信息、钻探信息、生产信息、地表地质信息生成或重构三维地质模型,保证地层界面、断层、陷落柱、积水区、异常区等进一步接近它们在自然界的分布规律,以提高地质模型的精度,为生产技术人员分析和决策提供更加准确的信息,以避免决策失误,提高安全管理水平。

(2) 高精度三维动态地质模型应用的关键是基于 LongruanGIS 的二维和三维可

视化系统的开发。本书重点介绍了系统的设计和部分关键算法。

(3) 基于 LongruanGIS 平台, 实现了基础地测信息管理、模型构建、模型动态修正、模型的应用等功能, 并以中煤能源集团王家岭煤矿的具体需求为例进行了算法验证和实际应用。

目前国内缺乏类似的相关专著。本书全面、系统介绍层状矿床地质动态建模, 以及三维可视化等问题。中煤能源集团、北京大学遥感所/北京龙软科技股份有限公司数字矿山联合实验室科研人员, 在多年研究基础上, 共同整理了最新的研究成果。

本书由祁和刚高级工程师策划构思, 祁和刚与毛善君教授主持编写和确定章节大纲。参加编写的人员及分工如下: 第 1 章由祁和刚、毛善君、李梅、王昌傲主笔撰写, 第 2 章由毛善君、李梅、祁和刚、管增伦主笔撰写, 第 3 章由毛善君、孙振明主笔撰写, 第 4 章由毛善君、孙振明、刘宏源主笔撰写, 第 5 章由毛善君、孙振明主笔撰写, 第 6 章由毛善君、张鹏鹏、孙振明主笔撰写, 第 7 章由李梅、孙振明、韩瑞栋主笔撰写, 第 8 章由祁和刚、毛善君、王昌傲、管增伦、武建军、孙振明主笔撰写。全书最后由祁和刚、毛善君审阅、修改和定稿。此外, 中煤集团领导、中煤华晋集团公司技术部门、王家岭煤矿相关技术负责人、中国矿业大学等多家单位对本书给出了指导性意见, 同时感谢北京大学数字矿山联合实验室学生以及北京龙软科技股份有限公司同事对本书所作的贡献。本书也属于中煤能源集团 2012 年重点项目“王家岭煤矿高精度地质模型及重大危险源预警系统的研究与应用”以及 863 计划地球观测与导航技术领域专题课题“时空过程模拟与实时 GIS 系统”的研究成果, 在此对武汉大学、中山大学、云南师范大学、中国地质大学(武汉)等多位同行专家表示感谢。

无疑, 本书以面向实际应用的高精度动态地质建模问题为视角, 为煤矿领域的相关科研工作者提供了较为详细的知识体系, 以供相关研究人员、工程技术人员和大专院校学生思考和讨论。希望阅读此书能够使您受益。本书中所书观点大部分为笔者见解, 难免有不妥之处, 如果发现, 欢迎批评指正。

目 录

《地球观测与导航技术丛书》出版说明

前言

第 1 章	绪论	1
1.1	引言	1
1.2	国内外研究现状	3
1.3	层状地质体三维建模技术	10
1.4	煤矿三维地质建模存在的问题及发展趋势	15
1.5	煤矿高精度三维动态地质模型应用系统的研究目标	16
1.6	煤矿高精度三维动态地质模型构建及应用系统的研究内容	17
1.7	高精度三维动态地质模型的应用	18
第 2 章	煤矿高精度三维动态地质模型的概念和数据来源	22
2.1	高精度动态地质模型的概念	22
2.2	高精度动态地质模型的建模流程	23
2.3	构建高精度三维地质模型的数据来源	24
第 3 章	煤矿三维模型的自动生成算法	35
3.1	含复杂地质构造煤层 TIN 自动生成算法	35
3.2	断层建模算法	42
3.3	陷落柱建模算法	44
3.4	巷道几何建模	45
3.5	地表工业广场建筑物建模	50
3.6	树木建模	55
3.7	第三方模型	58
第 4 章	煤矿高精度三维动态地质模型的动态修正技术	61
4.1	三维地质模型动态修正流程	61
4.2	数据一体化与多视图查看技术	61
4.3	地质模型动态修正的技术分类	66
4.4	新增数据点影响范围内的数据处理	73
第 5 章	煤矿高精度三维动态地质模型应用的关键技术	80
5.1	等值线图的自动生成	80

5.2 基于三维模型的煤矿隐蔽致灾已知危险源的预测预警93

5.3 基于高精度地质模型的信息查询技术 101

5.4 工作面地质环境空间分析 108

第 6 章 二维 GIS 软件平台的设计与开发 111

6.1 二维 GIS 软件平台的总体设计 111

6.2 GIS 平台的研究和设计 114

6.3 WebGIS 的设计与开发 131

6.4 基于 B/S 二维远程管理系统的开发 136

6.5 基于实时 GIS 的瓦斯监测数据发布系统的研究 141

第 7 章 三维可视化集成数据处理平台的研究与设计 147

7.1 系统总体架构设计 148

7.2 系统体系结构设计 149

7.3 系统网络部署 151

7.4 系统功能模块设计 152

第 8 章 系统功能模块及实现 154

8.1 王家岭煤矿及开采技术条件简介 154

8.2 煤矿专用二维 GIS 平台 170

8.3 高精度地质模型及其应用平台 182

8.4 隐蔽致灾已知危险源预警系统 192

参考文献 200

第1章 绪 论

1.1 引 言

煤炭是我国的主要能源，目前占我国能源消费的 70%左右。煤炭在能源消费中占据了绝对的优势，但随之而来产生了较为严重的煤矿生产安全问题。根据国家安全生产监督管理局的统计，2001~2009 年总共发生 27398 次事故，死亡人数高达 45443 人，平均每年发生事故约 3044 次，死亡约 5049 人。2007 年，煤矿事故导致的死亡人数首次低于 2500 人，但是死亡人数接近全世界事故伤亡人数的 80%。2013 年，煤矿安全生产形势继续持续好转，共发生各类煤矿事故 589 起，死亡和失踪 1049 人，其中，较大以上事故 61 起，死亡和失踪 468 人，同比分别下降 29.9%和 25%。相关数据如图 1-1 所示。

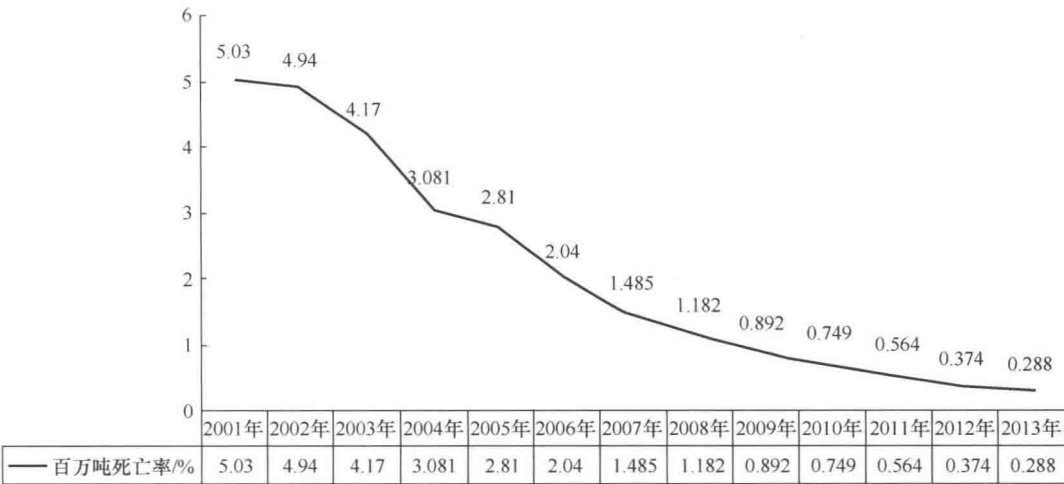


图 1-1 2001~2013 年全国煤矿百万吨死亡率趋势图(引自 http://www.gov.cn/jrzq/2014-01/04/content_2559816.htm)

安全事故的发生有很多原因。有些研究表明是由于中小煤矿太多造成的，有些研究表明是煤炭产量增大而安全设施投入不足，增大了事故隐患发生的概率，有些研究认为是政府对国有煤矿监管的制度出现问题(聂辉华，2011)。发达国家的产煤百万吨死亡率大致为 0.02~0.03，美国 2009 年煤矿百万吨死亡率为 0.03，2011 年百万吨死亡率仅 0.019。本书认为，其中一个原因是，与美国、澳大利亚、印度等国家相比，我国煤矿地质开采条件相对复杂，对地下地质条件的变化没有充分的掌握和实时的展现。美国、加拿大、澳大利亚、俄罗斯露天矿开采所占比例为所有煤矿的 60%~70%，而我国露天矿开采只占到煤矿总数的 10%，其余都是地下开采。露天矿允许大型机械进行开采，而且生产规模大、开采成本低，同时最大可能的减少了瓦斯、煤火、地下水、煤尘、顶板等事故发生的可能性。

按照国务院安委会要求,2020年煤矿事故死亡人数要比2010年下降50%以上。然而在我国,随着煤炭开采强度的加剧和采掘深度的不断加深,煤矿生产条件将进一步恶化,我国煤矿开采深度平均每年增加10m,矿压、地温、水压、瓦斯涌出强度都在加大(谢和平等,2012),安全形势仍然十分严峻。根据多年的研究,煤矿安全生产事故的发生或多或少都与地质问题有关。从20世纪80年代初开始,我国就已经开展煤矿地测信息化关键技术的研究和软件系统的开发,而且到目前为止已经取得了实质性的进展,但相关成果与社会的进步和信息化技术的发展不适应,主要问题如下:

(1) 对三维地质模型的研究仍以静态模型为主,实用性不强,不能根据最新的生产信息(物探、掘进、回采、补勘等)及时修正老的地质模型,矿井管理和生产技术人员无法得到最新的真实地质信息,造成决策不及时或失误。

(2) 数据处理的集成性差,无法一体化地处理物探、钻探和生产信息,数据孤岛严重。

(3) 现有国内外软件平台不适合处理煤矿地测信息,特别是高精度地质模型的动态修正。

所以,研究煤矿高精度三维动态地质模型构建的关键技术是煤矿安全生产面临的新挑战和新课题。

过去,煤矿地质工作者对地质特征的解释、预测和可视化是通过铅笔和橡皮在纸上完成的。在认识和分析地质构造时,相关研究大多是通过平面地质图、垂直剖面图或水平剖面图展现。通过分布的离散点钻孔数据,进行勘探线剖面图、煤岩层对比图、基岩地质图、煤层顶底板等高线图的绘制。20世纪80年代,CAD或GIS等软件工具把传统工作流程移植到计算机上,地学工作者通过计算机将自己理解的信息表达出来,并建立起复杂构造的三维地质模型,实现对地下三维地质构造的可视化。经过数十年的发展,三维地质建模的相关理论和应用已经较为成熟。无论是国内还是国际软件,地质建模方法的核心是选择合适的插值方法形成一系列连续变化的三角面或层。然后,根据这些面或层的水平或者垂向叠置关系,依次叠加这些面或层,生成带属性的体模型。在国外已经开发了很多三维地质建模和采矿设计商业化软件,如Vulcan、Surpac、DataMine等,这些软件主要应用于金属矿山、露天矿,能够满足日常地质测量、矿山开采设计和采掘计划编制、爆破和铲运调度等活动。在我国,针对矿山的三维地质模型研究也已经积累了一定的成果。例如,MapGIS、3DMine、CreatorGIS、LongruanGIS等都具备了一定的三维地质建模功能(张宝一等,2007;肖兴平等,2013),很多软件都能够在充分利用现有矿井地质数据和历史资料的基础上,根据钻孔、剖面图、地形图、地质图、物探资料等,建立反映地质体空间形态和拓扑关系的三维地质模型,实现地质体三维结构的表达和分析。

对于煤矿领域而言,地质测量数据是数字煤矿的基础,也是高精度动态地质模型的数据源,相当于测绘领域的“基础地理信息”。然而,与测绘、国土等行业不同的是,矿山地下开采是一个由灰色变白色、动态变化的过程(毛善君,2002),矿山的地质测量信息具有动态变化和不完整的特征。高精度三维动态地质模型的建立和应用要紧密围绕地质保障、安全生产和决策指挥的实际需求,在充分利用现有地质数据和历史资料的基础上,采用先进技术提升煤矿地质模型的精度和可靠性。

煤矿三维地质模型的应用可以从两方面考虑。一方面,三维地质模型能够应用于矿山开采的全生命周期,即地质勘探、基建设计、矿山生产、矿山闭坑的全过程都必须建立和应用高精度动态地质模型,高精度动态地质模型将为煤矿行业的数字化、智能化开采提供相对准确的基础和实时信息。另一方面,对矿山开采和生产运行部门而言,实现煤矿生产和安全的现代化管理是一项复杂的系统工程,涉及地测、采矿、一通三防、设计、综合自动化、在线检测、灾害分析等部门,这些部门的日常工作或多或少离不开高精度动态地质模型的支撑。随着煤矿的开采,通过高精度地质模型能够对煤层、断层、陷落柱、老窑区、老巷,甚至瓦斯和水的空间位置进行有效表达,使生产技术和管理人员能够及时掌握煤层和已知重大危险源(水、火、瓦斯、顶板等)的空间分布和变化规律,可为遏制安全生产事故的发生提供决策支持。总之,利用先进的钻探、物探和信息技术,建立高精度的矿山地质动态模型,是实现数字煤矿的关键技术之一。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 国外研究现状

多年来,地质建模和可视化一直受到科学界的高度重视。从20世纪90年代开始,相关研究就有了很大的发展。1992年,国际勘探地球物理学家协会和欧洲勘探地球物理学家协会成立了SEG/EAEG 3D建模委员会,开展了3D建模工程(SEM),1996~1999年分别在英国的Leeds、Bristol,新西兰的Otago,美国弗吉尼亚州的Fredericksburg举行了4次地质计算机会议,内容包括地质建模、模拟和可视化。在1997年巴塞罗那召开的国际数学地质会议上,Graeme F. Bonham-Carter等强调地质3D重建、建模及可视化的重要性。1997年9月,一个由年轻科学家组成的国际组织在德国召开了地球科学信息可视化研讨会,涉及的主要问题是以地理为参照的空间和时间数据可视化。

在诸多研究中,Mayoraz等(1992)、Turner(1989,2000)、Houlding(1994)等提供了一系列2D或者3D地质建模工具,运用计算机技术,将空间信息管理、地质解译、空间分析和预测、地学统计、实体内容分析,以及图形可视化等工具结合起来用于地质分析。以Simon W. Houlding为代表,他的研究成果充分反映在《三维地学建模:地质特征描述的计算机技术》(*Geoscience Modelling, Computer techniques For Geological Characterization*)一书中。该书提出的首要问题是在野外勘探和地球物理调查后,地学工作者需要将自己理解的信息翻译出来并用别的专家能够看懂的方式进行表达,并讲解了在地质剖面图基础上如何建立起具有复杂地质构造的三维地质模型的方法。具体方法是在地质剖面间进行插值以形成地质实体模型(solid model),待全部实体模型构造好后,可以在模型上进行一系列的操作或者计算体积。对于简单的水平层状地层采用表面模型表达效果较好,表面模型由三角网插值(TIN)获得。运用地质统计学模型,尤其是克里金方法,可以评价地质体元内部元素的物理属性,这些属性在三维网格中分布,三维网格可以与地质构造的几何模型相交。这些技术方法使得地质学家描述了属性的统计特征并可以计算特定区域的期望值或者方差。书中还详细地阐述了实现地下三维可视化技术的一些基本方法,其中包括空间数据库的建立、三角网生成方法、三角网面模型构建方

法、地质体边界的圈定和连接、储量计算方法、采矿设计诸多方面，基本上体现了 20 世纪 90 年代地下三维可视化技术的核心成果，代表了当时地下三维可视化技术的研究水平。

国外一些发达国家如美国、加拿大、英国、澳大利亚、南非等的矿山信息化程度较高，计算机及可视化技术应用研究起步较早。经过多年的研究，已经形成了相当的规模，一些研究成果已步入应用阶段。

到目前为止，世界上有许多大的地质采矿软件公司相继开发了地下三维可视化方面的软件，比较具有代表性的有：DataMine、Vulcan、Lynx、EarthVision 和 GOCAD，还有如 Micromine、Minescape Survcad、MDS、RA、Geostart、GeoVisual、GeoCom、Surpac、Whittle3D 和 4D 等地质采矿软件。这些软件不仅具有一般的地质建模、露天和地下采矿设计、进度计划编制、二维和三维显示等常规功能，而且许多软件已加入了可视化功能和图像仿真功能，可作为可视化设计的工具。以下以 DataMine、Vulcan、Lynx、EarthVision、GOCAD、Micromine 和 Surpac Vision 为例，简要说明这些软件在建模和可视化方面的成果。

DataMine 是世界矿业领域内具有领先水平的采矿三维应用软件，1981 年由英国矿业计算有限公司(Mineral Industries Computing Limited, MICL)开发推广，主要应用于地质勘探、储量评估、矿床模型、地下及露天开采设计、生产控制和仿真、进度计划编制、结构分析、场址选择，以及环保领域等。DataMine 在 1997 年由中国有色工程设计研究总院引进中国市场并在设计项目中得到了应用。2001 年，DataMine 软件中的储量计算功能通过了中国国土资源部储量评审中心认证，该软件被中国其他相关设计研究单位、生产企业和高等院校接受并使用。2010 年，加拿大 CAE 公司收购英国 MICL 旗下 DataMine 相关业务，DataMine 更名为 CAE Studio。

Vulcan 是由澳大利亚 Maptek 公司开发的，最初用于地层建模和矿山设计，现已发展成三维建模系统软件包。该软件为地质采矿工程师提供三维交互式模型，具有较好的三维空间建模、交互和可视化功能，并可进行矿藏储量计算与三维空间分析，主要应用于矿业环境管理、三维空间信息管理、模拟与可视化。模型可以旋转、切割、多角度选择，最新版本加快了可视化的速度。可从 Section 自动生成 TIN 模型，动态进行 Block 建模并产生切片(slicing)。Vulcan 可以实时接收和处理钻孔数据、地表地下图形、地球物理化学等多种数据。该软件可以实现地层与工程开挖体的各自建模与设计，但没有集成建模功能。

Lynx 是 Lynx Geosystems 公司推出的三维建模与分析软件，经过重组后公司总部从加拿大迁至南非。该系统开发时间较早，版本在 1998 年后没有更新。Lynx 为地下工程交互式设计、规划和生产、采掘控制提供了一个三维平台。交互式三维工具包括数据背景显示、视平面设计、交互式开挖边界定义和开挖工程参数设置、边界三维连接形成开挖体、设计工程任意方向剖切等诸多功能。矿山规划设计工具具有不同品位、高程和轮廓的斜井与隧道设计、交互式中心线精确定位、几何设计工具、轮廓定义等功能。Lynx 开挖体交互式设计方法符合工程人员习惯，并且集成地质统计功能，有利于统计分析，但地质体与开挖体相互间不保存空间关系，查询分析不易进行。它通过对离散采样点、钻孔采样点、测井记录、TIN 模型、三维格网结构和探槽采样点等空间数据的综合处理，采用棱柱体元法建模，生成剖面、面和块等模型，能确定矿藏分布和等级变化并计算矿藏储量，被广泛应用于矿山、地质的三维可视化等领域。

EarthVision 由 Dynamic Graphic 公司研制,是当今市场上用途广泛的三维地质建模及三维可视化软件系统,可用于建立三维油藏构造和参数模型,以形成三维数据体,其结果可直接提供给油藏处理软件以进行数值模拟,且具有很强的二维图形编辑功能和三维可视化功能,并可在三维图形上剖切任意方向的剖面。其中的(工作流程管理者)(WorkFlow Manager)按照实际的地质工作流程进行建模,即使地质构造十分复杂,其建模过程也非常简便,相关技术是世界一流的。EarthVision 将三维空间交互设计井轨迹和地质模型综合为一体,可提供最为准确的井位设计与分析。此外,EarthVision 还提供重要的地质导向工具,其中包括数据读取程序实时显示钻探和测井数据、快速更新模型、在井场及办公室同步观察模型等,便于共同做出决策。EarthVision 主要侧重地球物理模型,没有开挖体建模功能。

GOCAD(geological object aided design)是法国 Nancy 大学开发的主要应用于地质领域的计算机三维模拟和辅助设计软件,在地质工程、地球物理学、水利工程中有广泛的应用。2013 年,Paradigm GOCAD[®]和 Paradigm SKUA[®]经过整合形成了新的应用产品。GOCAD 是以工作流程为核心的新一代地质建模软件,具有功能强、界面友好、易学易用,并具有在几乎所有硬件平台上(Sun、SGI、PC-Linux、PC-Windows)运行的特点。自 1990 年左右开始,从最初的简单构造建模,发展到今天的复杂构造建模、复杂三维模型网格生成、储层岩石物理属性模型构建、岩相模型构建等,可以说以 GOCAD 为代表的先进地质建模软件大大提高了地质建模的效率和精度,可以满足对复杂地质区域的建模要求。GOCAD 侧重测井、地震、地质综合分析等方面的研究,但在煤矿开挖体及与地层集成建模方面研究较少。

Micromine 国际矿业软件有限公司(简称 Micromine 公司)是国际著名的矿业软件开发和生产商,其总部位于澳大利亚西澳州首府佩斯,在南非、印度尼西亚、菲律宾、印度、澳大利亚等国家设有办事处,产品代理商遍布世界各地。Micromine 是一套用来处理地质勘探和采矿数据的软件,共有 7 个模块,为用户提供地质勘探数据解译、三维建模、资源评估和采矿设计等功能。Micromine 目前成立了中国分部,主要负责向中国客户提供软件销售及咨询方面的服务,中国用户分布在矿业行业各领域,包括矿山、地勘单位、设计院、矿产资源管理机构、矿业评估与咨询公司、大学等,在冶金、煤炭(露天)、建材、化工等行业上均有使用。

Surpac Vision 最早是澳大利亚公司的软件产品,目前由 EOVI 国际软件公司收购,主要应用于地质勘探、储量评估、地下及露天开采设计、矿山生产管理(地质和测量)和进度计划编制、构造分析,以及环保领域等,为用户提供全面的矿山生产管理方案,极大地提高矿山地质、测量和采矿技术人员的信息交流和工作效率,同时为矿山决策层提供实时、可视化和相对准确的数据资料。Surpac Vision 具有功能强大的图形绘制显示模块,包括了一整套三维建模工具,通过激活自动绘图功能可以任意在图形中创建图形,图形可以三维方式产生,也可以从旋转的二维图形中得到,用户可以从不同的角度来观察图形。Surpac Vision 采用了三维图形可视化仿真、灯光投影、数据插值拟合、单元剖分和消隐等技术,便于用户以最佳效果来观察图形。

相关软件系统的效果如图 1-2~图 1-7 所示,读者也可以自行从软件的官方网站上查看最新资料。

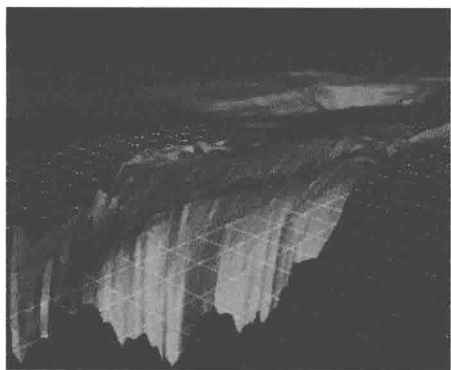


图 1-2 用 DataMine 绘制的国外某铜矿图(引自: <http://www.dataminesoftware.com>)

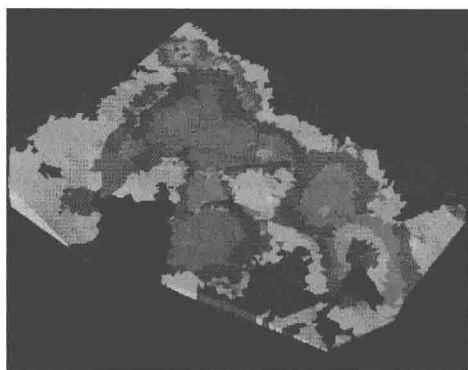


图 1-3 用 Lynx 绘制的矿体图(引自: <http://www.lynxgeo.com/>)



图 1-4 EarthVision 三维建模(引自: <http://www.dgi.com/earthvision/evmain.html>)

1.2.2 国内研究现状

与国外相比,国内对矿山三维地质建模技术及其应用研究较晚。自 20 世纪 80 年代中期开始,一些以解决具体专业问题为主的 CAD 软件开始进入地质、测量、采矿等专业应用领域。进入 21 世纪,随着计算机和三维可视化技术在矿山领域研究的深入,一些采矿专业软件开始出现,但基本上是以引进国外先进的专业软件平台技术进行二次开发者居多。近年来,国内众多高等院校和科研院所的专家和学者致力于地学三维空间数据可视化这一课题,并做了大量的研究开发工作。

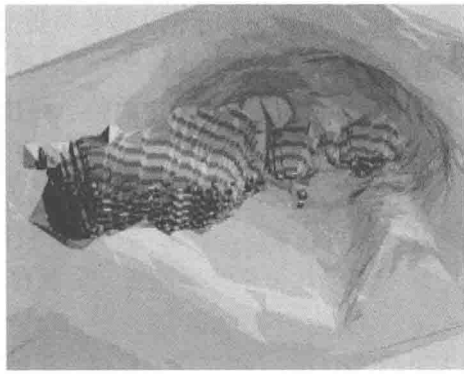


图 1-5 Micromine 地质体三维建模(引自: <http://www.micromine.com/>)

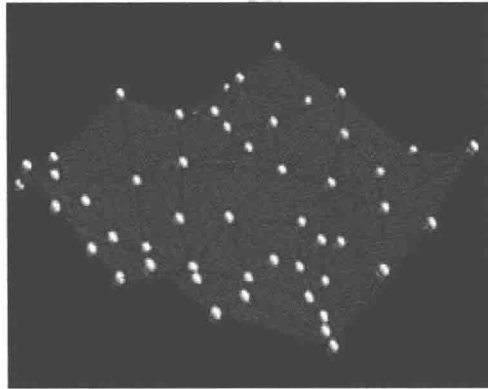


图 1-6 GOCAD 三维建模(引自: <http://www.pdgm.com/products/gocad/>)

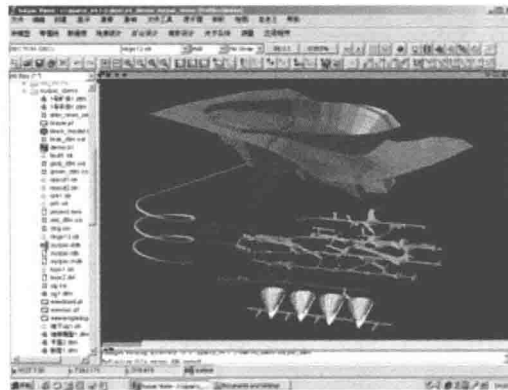


图 1-7 Surpac 地质体三维建模(引自: <http://www.geovia.com/products>)

中科院地理所曾新平等(2005a)对地质体可视化技术进行了研究;中科院龚建华和林瑛(2001)对地学可视化的理论、技术和应用进行了研究;北京大学遥感所毛善君和熊伟(2005)进行了地下三维可视化技术的框架研究。杨东来等(2007)在撰写的《地质体三维建模方法与技术指南》一书中,系统地分析了目前国内外地质体三维模拟技术和应用软件开发现状,由此提出了不同领域地质体三维建模的数据需求、技术流程和主要建模软件的数据接口,详细阐述了 Micromine、Surpac、MapGIS、3D-Grid 等三维地质体模拟软件在

矿山、地下水、城市地质等领域的应用实践和示范工作，并提交了相应的三维模型成果。

2014 年 4 月 16 日，在第 491 次香山科学会议：“中国‘玻璃地球’建设的核心技术及发展战略”学术讨论会上，中国地质大学(武汉)地质信息科技研究所吴冲龙教授提出，“大数据时代，利用信息技术使地质结构和地质过程可视化的‘玻璃地球’计划有望带来地质研究、矿产勘查和工程勘察的巨大变革”。目前，业内人士认为，“玻璃地球”是一项基础性的地质信息系统工程，可被看成一种存储在计算机网络上的三维可视化虚拟地壳，该系统提供的地质、地理信息，可供开展地质、资源和环境决策分析(吴冲龙等，2012；翁正平等，2012)。

武汉中地公司研发的 MapGIS-TDE 三维处理平台提供了特定的地质体结构建模、模型可视化及地质体剖切分析等专业应用工具。MapGIS 的地质体结构建模就是把以点、线、面为基本形式散布的地质资料以及局部的勘探资料解释结果在三维空间中综合起来，重新恢复地下地质界面和地质体的空间形态和组合关系，进而构建三维地质构造的几何模型和拓扑结构。按照数据源分为两类：一是复杂地质实体建模，对于包含有断层、褶皱等复杂地质现象的地质体，采用由点到面、由线到面、再由面到体的实体建模方法，并提供一定的用户交互功能；二是基于钻孔和剖面数据的快速建模，对于地质情况相对简单的沉积地层，可直接应用钻孔分层数据和(或)剖面数据自动建立起区域三维地层模型，可实现三维剖切分析、等值线提取、任意点拾取等功能，如图 1-8 所示。

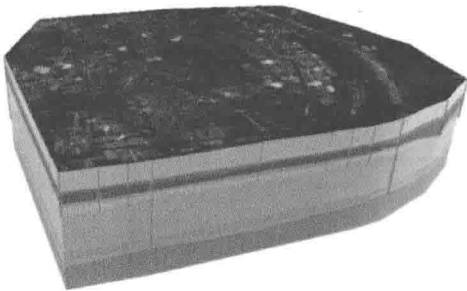


图 1-8 MapGIS-TDE 地质模型建模示意图

超维创想公司的三维地质信息平台 GSIS，主要提供三维地表建模以及地表景观建模，利用钻孔、剖面图、断层、地质图、特定面等值线等多元数据进行三维地质体结构模型的构建、分析和展示，实现三维属性模型的建模、高效体绘制、矢栅一体化显示和空间分析等功能。并在此平台上，利用各种采集的地质数据，通过各种模型分析方法，进行三维地质环境综合评价，包括基础地质环境评价、工程地质环境评价、水文地质环境评价、土壤地质环境评价、地质灾害分析评价、地热资源评价等，如图 1-9 所示。

DIMINE 数字采矿软件系统平台是在中南大学古德生院士及王李管教授多年研究的基础上，开发出的新一代基于数字化矿山平台。DIMINE 数字采矿软件平台可应用于露天矿和金属矿的地质、勘探、资源评估、储量计算、露天采矿、地下采矿、生产计划和矿井通风设计，并提供了 Micromine、DataMine、Surpac、MapGIS、AutoCAD 等数据交换接口，能够实现矿床三维地质建模、储量计算与动态管理、测量验收与数据的快速成图、地下矿开采系统设计与开采单体设计、回采爆破设计、生产计划编制、矿井通风系