



青年科技创新人才学术文库

江西理工大学博士后工作站资助出版

数字矿山技术与应用

SHUZI KUANGSHAN JISHU YU YINGYONG

李一帆 编著

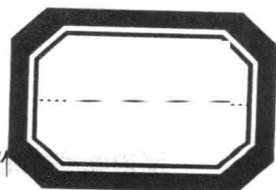


郑州大学出版社



青年科技创新人才学术文库

江西理工大学博士后工作



数字矿山技术与应用

SHUZI KUANGSHAN JISHU YU YINGYONG

李一帆 编著

 郑州大学出版社

郑 州

内 容 提 要

本书采用理论联系实际、理论与实际并重的指导思想编写而成。本书介绍了数字矿山技术的国内外研究现状及存在的问题,介绍了数字矿山建设的关键技术,主要针对矿山工程地质的解译技术、工程地质数据库技术、三维地质建模技术、可视化技术中的理论进行了重点介绍。工程地质数据库技术中主要介绍了数据库结构、数据访问方法、海量数据的管理技术。三维地质建模技术主要介绍了地质建模中的数据模型和数据结构,重点介绍了基于矿山地质剖面的建模技术。可视化技术中主要介绍了基于 VTK 可视化工具的工程地质模型的可视化。结合具体的工程实例,介绍了数字矿山技术在国内两个重要矿山中的应用情况。

本书可供从事采矿工程和矿山地质工程的工程技术人员参考,也可供高等院校从事矿山信息系统专业的科研人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字矿山技术与应用/李一帆编著. —郑州:郑州大学出版社,2012.2

ISBN 978-7-5645-0587-5

I. ①数… II. ①李… III. ①数字技术-应用-矿业工程 IV. ①TD679

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 189331 号

郑州大学出版社出版发行

郑州市大学路 40 号

出版人:王 锋

全国新华书店经销

郑州文华印务有限公司印制

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:9.75

字数:240 千字

版次:2012 年 2 月第 1 版

邮政编码:450052

发行电话:0371-66966070

印次:2012 年 2 月第 1 次印刷

书号:ISBN 978-7-5645-0587-5

定价:18.00 元

本书如有印装质量问题,请向本社调换



前 言

PREFACE

数字矿山技术是理论性和实践性都很强的工程管理与工程应用的多学科交叉的前沿学科。它涵盖了矿山地质学、采矿工程、管理信息系统、可视化仿真等学科,已经成为地学研究的难点和热点之一,矿山地质工作者进行了大量的研究工作,取得了显著的成果。尽管如此,矿山信息化和可视化仍然面临着以下几个问题:地质信息数据标准统一性差,难以管理;数据模型难以表达复杂地质现象;地质建模和可视化与数值模拟难以耦合。针对这些问题,本书主要从数据信息管理、地质建模与可视化技术等方面入手研究数字矿山信息系统。

本书介绍了数字矿山技术的国内外研究现状与研究新动态、矿山工程地质现象的三维解析方法、数字矿山信息系统的基本组成、矿山工程地质信息数据库技术、矿山工程地质三维建模及可视化仿真技术,并介绍了数字矿山技术在国内矿山中的应用情况。在编写过程中尽量做到理论联系实际,强调实用性、可操作性,力求内容全面、科学、系统。本书可供从事采矿工程和矿山地质工程的工程技术人员在工作实践中参考,也可供高等院校从事矿山信息系统专业的科研人员参考。

本书获得江西理工大学博士工作站基金资助(20081202),在此向江西理工大学博士后工作站致以诚挚的谢意。

本书在编写过程中借鉴和参考了大量的文献与有关资料,在此向所有原作者致以诚挚的谢意。

对本书内容可能存在的缺点和错误,敬请读者批评指正。

编 者

2011 年 5 月于洛阳



目 录 CONTENTS

第1章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 数字矿山的特征	1
1.3 数字矿山的功能	2
1.4 数字矿山的结构特点	2
1.5 数字矿山的关键技术	3
1.6 国内外研究现状及动态	6
1.7 本书研究的内容	9
第2章 矿山地质现象三维解析技术	11
2.1 矿山地质现象的认知过程	11
2.2 矿山工程地质现象的分类	12
2.3 矿山工程地质三维现象解析	12
第3章 数字矿山信息系统基本框架概述	15
3.1 系统功能需求分析	15
3.2 模块结构分析	16
第4章 矿山工程地质信息数据库技术	20
4.1 建立矿山工程地质信息数据库的必要性	20
4.2 矿山工程地质数据库设计的基本原则和目标	20
4.3 工程地质数据库总体结构设计	21
4.4 矿山工程地质数据库模型选择	22
4.5 矿山地质数据信息分类	24
4.6 数据库建设的过程和方法	25
4.7 矿山工程地质数据库开发工具	32
4.8 矿山工程地质数据库的功能模块设计	34
4.9 矿山工程地质数据库的实现	34

第5章 数字矿山地质建模工程地质建模技术	38
5.1 地质建模概述	38
5.2 数据模型及其形成过程	38
5.3 空间数据模型的分类	39
5.4 三维数据结构	41
第6章 矿山工程地质建模新技术	47
6.1 基于剖面建模的三维数据模型和数据结构	47
6.2 基于工程地质剖面的地质模型建模数据准备	51
6.3 矿区地质特征	55
6.4 基于剖面信息的矿山工程地质三维建模	56
6.5 相关算法	63
第7章 数字矿山三维可视化技术	68
7.1 引言	68
7.2 三维可视化子系统开发环境	69
7.3 可视化工具 VTK	69
7.4 可视化系统总体设计	72
7.5 系统功能模块设计	74
7.6 可视化功能实现演示	76
第8章 数字矿山信息技术在攀枝花铁矿中的应用	80
8.1 攀枝花铁矿工程地质概述	80
8.2 朱兰采场岩土工程地质信息数据库	93
8.3 攀枝花铁矿采场三维工程地质建模	109
8.4 攀枝花铁矿采场三维可视化	117
第9章 数字化信息技术在东乡铜矿中的应用	124
9.1 东乡铜矿工程地质介绍	124
9.2 东乡铜矿工程地质信息数据库	134
9.3 三维地层建模及可视化	137
参考文献	146

第 1 章



绪 论

1.1 引言

矿产资源是人类赖以生存、建设和发展的重要物质基础。矿产的大规模开发和利用,极大地推动了人类经济和社会的发展,也带来了诸如环境污染、地表沉陷、矿震等一系列负面影响。资源开发与环境维护问题是当今世界共同面临的重大问题,合理、有序、安全地开发矿产资源是保持经济增长和维护生态环境的保证。近年来,由于经济的高速发展,矿产资源的需求量急剧增长,导致矿产资源的过量开采,使地表及地下浅层矿产资源过早枯竭,矿山开采对象正转向深部、地质条件复杂的矿体。矿产资源的无序开采也导致了矿山勘探、开采工作严重失调,使后续资源储备不足,影响矿山可持续生产。矿产资源是自然环境的重要组成部分,矿产资源的开采是基于岩石圈的三维空间动态行为工程,这必然诱发一系列地质灾害及生态环境问题。

如何协调资源开采、预防地质灾害、维护生态环境是一个复杂的问题。数字化和可视化技术应用到矿业工程中,将为矿山建设和资源开采提供有力支持,可以有效地管理矿山工程地质的海量数据信息,提高地质资料的利用效率,根据地质信息采用数字化和可视化技术建立三维矿山地质模型可以为矿业生产和环境保护提供依据。

近几十年来,随着计算机软硬件的高速发展,现代空间信息的综合应用也有了飞速发展。随着信息时代的到来,矿山信息化势在必行,同时矿山数字化的实现也成为可能。启用数字手段对矿产资源开采进行合理规划设计、科学控制,是空间技术、信息技术发展到一定阶段的必然结果。

马恩

1.2 数字矿山的特征

数字矿山 资源协同共享

数字矿山的核心是在统一的时间坐标和空间坐标下,科学合理地将各类矿山信息进行分类,把矿山工程地质勘查数据、采矿工程数据、管理数据等海量异质的矿山信息资源,进行全面、高效和有序地管理和整合,组建成一个功能齐全的矿山信息数据仓库。数字矿山的任务是在矿业信息数据仓库的基础上,充分利用现代空间分析、数值仿真、知识挖掘、虚拟现实、可视化、网络、多媒体和科学计算技术,为矿产资源评估、矿山规划、开拓设计、

马恩

生产安全和决策管理进行模拟、仿真和过程分析提供新的技术平台和强大工具。数字矿山应该具有以下基本特征:①具有高速的网络系统;②具有功能齐全的数据库;③具有工程制图、工程仿真、计算分析平台;④多功能数据挖掘工具;⑤功能齐全的数据采集系统。

1.3 数字矿山的功能

不管是煤炭矿山企业、金属矿山企业,还是非金属矿山企业,其追求的企业目标都是高生产效率、低生产成本、高利润。信息技术为矿山企业实现这一目标提供了技术保障。从矿业生产技术和工程发达国家的管理技术实践来看,数字矿山的主要功能可以归纳为以下几点。

(1)全方位的数据精确采集 对矿区地质数据、地貌特点数据、矿床数据等数据,做到精确采集或尽量精确采集,采集后分门别类,均应以电子表格、电子工程图纸的方式储存起来。

(2)实现全方位的数据存储、传输和表述 对矿区地貌和环境、总图布置、矿床地质、开采、加工和经营管理等数据(包括图、文、字数据),实现全方位的存储、管理和必要的传输,并能够根据数据的性质和需要提供各种必要的表述形式,如查询、制表、形成地图和二维、三维模型等。

(3)实现各种设计、计划工作和生产指挥的计算机化和自动化 在优化结果的基础上生成可行的设计与计划方案,这种方法生成的方案应能够自动由计算机生成,并可以根据矿山实际工程技术情况进行快速修改,这些方案不仅包括完整的方案说明,还应包括技术支持数据说明、工程图纸等,可以方便地让施工人员实施。这样,就可以使原来手工需要一个设计组几天完成的一个方案在几分钟内即可完成。

(4)优化方法在矿山生产经营与决策中发挥作用 开拓方案、采矿方法、露天开采最终境界等均应依据矿山工程地质条件及现有的技术条件进行优化、基于配矿和成本的开支计划的优化、最佳工业品位的确定、矿量品位计算、自动化调度、最佳设备更新寿命的优化等。优化实际上是在企业层面上为管理和工程技术人员提供科学的决策支持和优选生产方案。采矿业发达国家的实践表明,优化能够创造巨大的经济效益,这样的效益大都是隐蔽的,但是实实在在存在的,一旦实现某一项的优化,便能创造出可观的经济效益。

(5)实现生产工艺的自动化 采场爆破引爆自动化,矿山运输控制自动化,选场工艺流程自动控制,采场通风除尘控制,单台设备的数据采集、处理和相关控制,设备远程操作,全自动机器人矿样化验室等。

1.4 数字矿山的结构特点

完成上述功能,能够提升矿山企业的技术水平、生产效率和经济效益,数字矿山就必须具有相应的软件和硬件系统。按结构层次分,数字化矿山应具有如下层次。

(1)基础数据层 基础数据层是数字矿山的基础保障,各类数据库、数据文件、图形

文件,包括整个系统的数据输入。但是这个基础数据层不包括子系统的数据。

(2)模型层 该层是矿山企业数字化的表述,如地形图、矿石品位、夹石、贫化情况的描述,或平面,或三维模型,甚至动态开采虚拟模型等。

(3)模拟与优化层 该层是数字矿山平台的关键层,为矿山生产提供优化参数与方案,如采场参数优化、开采与支护方案选择、选矿工业控制流程优化。

(4)设计层 该层是计算机辅助设计层,是数字矿山的辅助工程师,通过与使用者的交互咨询,将优化方案变为可以执行的方案或帮助使用者形成新的方案。

(5)控制与执行层 该层是生产运行的执行者,如爆破自动控制系统、放矿自动控制系统、通风防尘控制系统、选矿流程自动监测与控制系统、采场地压监控系统等。

(6)管理层 该层是数字矿山的办公人员和管理人员,负责办公事务、综合统计、文字处理、报表生成和人事、财务、物资管理,如管理信息系统与办公自动化子系统。

数字矿山结构按数据流进行划分,数字矿山结构由外向里分为数据采集、调度、应用、过滤、核心系统。

1)数据采集系统 负责数据的采集、处理与更新,包括工程地质测绘、工程勘察、遥感测图等矿山基础数据。

2)调度系统 该系统是矿山信息化办公与决策的公共平台和各类矿山软件集成和各类模型融合的公共载体的矿山地理信息系统,负责矿山地物对象的拓扑建立与维护、空间查询与分析、矿山工程图纸绘制与输出的地理信息基本功能,并进行数据访问控制、调度。

3)应用系统 即各种专业软件的集合,包括矿山 CAD、虚拟矿山等,为矿山业务流程和决策所需的各类工程计算与应用分析提高功能服务。

4)过滤系统 负责多元异质数据的采集和质量控制、集成和融合多源异质矿山数据进行三维空间建模,并通过过滤与重组机制进行数据挖掘和规律发现。

5)核心系统 负责统一管理矿山数据和应用模型,由矿山时空数据仓库和矿业应用模型库两个子系统组成,是数字矿山的核心。

1.5 数字矿山的关键技术

“数字矿山”是一项巨大的工程,既包括硬件的建设,又包括软件的建设,需要全社会的共同努力。建设“数字矿山”所需的许多技术已经具备或正在发展之中。从“硬技术”来看,“数字矿山”的关键技术主要有高分辨率对地观测技术、精确传感技术、海量数据存储和互操作、计算机宽带网络、虚拟现实等;从“软技术”来看,主要有数据挖掘、地理信息系统、决策支持系统和系统集成等。

1.5.1 高分辨率对地观测技术

“数字矿山”的建设需要大比例尺、高精度的数据,这些数据将主要来自于对地观测技术的发展。目前对地观测技术将逐步实现多时相、多角度和高分辨率化。民用卫星对

地观测的最高分辨率可达到 1 m,这与我国 1:10 000 比例尺地形图相对应,可以满足大多数矿山用图的需要,这是构筑数字矿山的最基本的空间数据。高分辨率的卫星影像还可以作为其他非空间数据的载体和框架,用于实现这些数据的空间定位。另外,蓬勃发展的数字摄影测量系统也将成为“数字矿山”所需大比例尺数据采集的手段之一。数字摄影测量具有信息丰富、现势性好、速度快等特点,将成为“数字矿山”数据采集与更新的来源之一。从数字摄影测量系统获取与提取加工的大比例尺数字地形和矿山专题信息与矿山地理信息系统一体化将是“数字矿山”的主要特征。借助全球定位系统(GPS)技术可以进一步提高遥感、遥测数据的精度。

1.5.2 海量数据存储和互操作

“数字矿山”的数据量是相当大的,既有空间的,如巷道底板等高线及储量计算图,以及各矿山各钻孔勘探结果、采掘工程实际揭露等资料、大比例尺的电子地图,也有非空间的,如有关矿山人口、经济、管理、资源、发展等方面的数据。可以说,“数字矿山”的数据是海量的,因此,建设“数字矿山”需要海量的存储技术。这些数据存放在不同系统、不同数据库中,其数据结构、数据格式也不尽相同。实现这些数据的共享、动态调用需要互操作技术。互操作包括两层含义:从狭义上说,它是在保持信息不丢失的前提下,从一个系统到另一个系统的信息交换能力;从广义上讲,它是指不同应用(包括软、硬件)之间能够动态地相互调用,并且不同数据集之间有一个稳定的接口。目前,不少世界组织正在致力于这方面的工作。其中,OGC(Open GIS Consortium)提出的“OpenGIS”是异构系统之间进行互运算、互操作的规范。

1.5.3 计算机宽带网络

通过计算机网络能够实现不同用户对网络资源的共享,把分布在广泛区域中的众多信息处理系统有机地连在一起,构成一个规模更大、功能更强、可靠性更高的综合信息处理系统。“数字矿山”的数据分布在不同的数据库中,由不同的部门负责构建和管理,只有通过高速网络才能真正实现数据的无缝操作。现在的宽带网络技术已基本能满足数字矿山的要求,Internet 的带宽无法满足“数字矿山”的需求。目前美国已开始建设 10 G/s 字节的传输速率,并把千 G 级传输速率作为下一代 Internet 技术的关键。要传输海量数据,进行科学计算,宽带网络便成为“数字矿山”是否能走向实用的关键。

1.5.4 可视化、虚拟现实技术

可视化是实现“数字矿山”与人交互的窗口和工具,没有可视化技术,计算机的一堆数字是无任何意义的。通过数据可视化技术,为分析和查询数据库中数据展现了新的视野,有助于发现隐藏在其中的信息,为决策支持、宏观管理提供更加有力的依据。虚拟现实技术是近年来出现的高新技术,它综合集成了计算机图形学、人机交互技术、传感与测量技术、仿真、人工智能、微电子等科学技术,生成一个逼真的,具有视觉、听觉、触觉等效

果的可交互的动态世界,人们可以对虚拟的实体进行操作,它为人类观察自然、欣赏景观、了解实体提供了身临其境的感觉。

1.5.5 数据挖掘(Data Mining,DM)

“数字矿山”需要解决的一个关键问题是怎样从“数字矿山”的海量数据中提取人们感兴趣的数据,发现数据之间的关系,甚至是潜在的、未知的数据特征,以提供决策支持的需要。利用数据挖掘技术,我们就能更好地认识和分析所观测到的海量数据;对获取的城市空间数据进行处理,从中挖掘出城市信息机制知识,进而认识城市系统的演化规律。数据挖掘将人工智能、统计、计算机及数据库等技术紧密结合,其方法和技术可以分为六大类:①归纳学习方法;②仿生生物技术;③公式发现;④统计分析方法;⑤模糊数学方法;⑥可视化技术。

“数字矿山”中的数据大多包含空间数据,存储在空间数据库中,它们比一般的关系数据库和事务数据库具有更加丰富和复杂的语义信息。20世纪90年代以来,以美国为首的发达国家积极开展数据挖掘技术和空间信息处理技术的基础理论研究和应用研究,进入20世纪90年代中期以后,更进一步强调了空间数据挖掘的研究。空间数据挖掘是指从空间数据库中提取出用户感兴趣的空间模式与特征,空间与非空间的普遍关系及其他一些隐含在数据库中的普遍的数据特征。利用空间数据挖掘技术,提高“数字矿山”的智能化水平,使“数字矿山”真正成为智能化的空间咨询和决策支持系统。

1.5.6 地理信息系统(Geographic Information System, GIS)

地理信息系统技术是“数字矿山”数据库管理的基础技术。另外,地理信息系统的空间信息表达和直观表现能力,在处理矿山复杂系统问题时,能帮助人们更好地建立大局观和模拟直接感受。目前,地理信息系统正从二维向多维动态以及网络方向发展。因为GIS处理的地理对象,从本质上说是三维连续分布的,而且这些地理对象往往具有时间的属性,实时态,所以需要3D GIS、4D GIS来精确地描述处理这些地理对象。在技术方面,一是基于Client/Server结构,如基于组件式软件技术的ComGIS具有可编程和可重用的特点,使GIS软件开发进入一个新的阶段,很大程度上推动了GIS软件的系统集成化和应用大众化,同时也很好地适应了网络技术的发展,提供了一种WebGIS的解决方案;另一个是InternetGIS或WebGIS,目前实现WebGIS的方法主要有Java编程法、ActiveX法、公共网关接口CGI、服务器应用程序接口(SeverAPI)、插入法(Plugins)等。总之,基于宽带网开放式、分布式、互操作地理信息系统是实现“数字矿山”的关键技术之一。

1.5.7 决策支持系统(Decision Support System, DSS)

“数字矿山”的目的之一就是要利用现有的各种数据、信息,在综合、全面地分析后,为矿山的规划管理和可持续发展提供决策支持。决策支持系统是在管理信息系统和运筹学的基础上发展起来的,概念早在20世纪70年代就提出了。决策支持系统利用数据库、

人机交互进行多模型的有机组合,辅助决策者实现科学决策的综合集成系统。目前,决策支持系统正在向智能决策支持系统、分布决策支持系统、群决策支持系统、高层决策支持系统,以及综合决策支持系统方向发展。与一般决策支持系统不同,数字矿山所需的决策支持系统是空间决策支持系统。空间决策支持系统是面向空间问题领域的决策支持系统,它支持复杂的、结构性较差(如半结构化或非结构化)的空间问题并对此进行求解。空间决策支持系统是以地理信息系统和决策支持系统为基础的。作为决策支持系统与地理信息系统相结合的产物,目前空间决策支持系统也越来越受到国内外学者的重视。

1.5.8 系统集成(System Integration,IS)

“数字矿山”的数据、计算和应用具有分布式的特点,因此它需要多数据库、多平台、多技术的集成。就系统集成而言,它是一种思想、观念和哲理,是一种方法、策略,是一种一体化的解决方案。采用集成平台作为“数字矿山”的框架结构具有很多优点:①集成平台所具有的协调和反馈机制可以使整个系统形成一个有机的整体,完成单独部件不能完成的功能,从而增强系统的整体性;②在统一的集成平台的基础上,多种信息可以共享,信息融合和深层次挖掘可以产生大量新的有用信息;③减少集成的复杂度;④减少各子系统的重复部件,减少系统冗余,保持系统的一致性;⑤便于系统的维护和更新。所以,“数字矿山”应该建立在集成平台之上。

此外,各种数据标准的建立、决策模型的管理、信息平台的开发、矿山运行管理技术的应用,以及“数字矿山”的信息安全保障机制等都是“数字矿山”的关键技术。需要指出的是,这里的“硬技术”和“软技术”是相对而言的,划分不是绝对的。总之,“数字矿山”的关键技术是相对联系、相辅相成、缺一不可的。

1.6 国内外研究现状及动态

数字矿山(Digital Mine,简称DM)是以矿山系统为原型,以地理坐标为参考系,以矿山科学技术、信息科学、人工智能和计算科学为理论基础,可用多媒体和模拟仿真虚拟技术进行多维的数字化、网络化、可视化的技术系统,是对真实矿山的数字化再现。自1999年首届“国际数字地球”大会上提出了“数字矿山”概念以来,数字矿山的思想已开始深入人心,数字矿山科学研究与技术攻关已悄然兴起。国内外专家和学者在数字矿山或者智能矿山方面做了大量的研究工作,并取得了丰硕的成果。

1.6.1 国外研究现状

1.6.1.1 国外应用研究方面

采矿业发达国家的矿山信息化改造已迈出了坚实的步伐,国际著名矿山企业——加拿大国际镍公司(Inco)从20世纪90年代初开始在数字化矿山的基础上研究遥控采矿技

术,目标是实现整个采矿过程的遥控操作。现在 Inco 公司已研制出样机系统,并在加拿大安大略省的萨德泊里盆地的几家地下镍矿试用,实现了从地面对地下矿山进行控制,甚至可以从 400 km 以外的多伦多对地下镍矿的采、掘、运等活动进行远距离控制。遥控采矿的核心部件是 Inco 公司开发的一个能在地下获取定位数据的名为“Horta”的装置。将该装置安装在地下观测车上,当观测车在地下或矿体内部巷道中漫游时,就会利用激光陀螺仪和激光扫描仪在水平和垂直面上扫描矿山巷道的断面,进而产生巷道的三维结构图,加拿大已经在数字矿山和遥控采矿方面取得了巨大的成就。澳大利亚 CSIRO 在 2001 年的项目“勘探和采矿数据四维可视化”用 VRML 和 Java 实现了一个交互的、四维可视化平台,该平台主要目的是集成钻孔、三维地震、地质、测量、地震、重力、地球物理等真三维数据,低价、高效、快速和便捷地显示在 Internet 上,为用户提供一个交互、易理解的、与平台无关的煤矿虚拟环境,并实现了三维数据的解释、验证和认知。

1.6.1.2 国外系统软件开发方面

地质工作计算机化要求的日益提高和三维地震勘探技术的发展,以及 GIS 向矿业领域的渗透为三维地质模拟的研究和软件开发提供了新的动力,促进了矿业信息化建设水平的提高。自 20 世纪 80 年代以来,围绕矿山、地质和岩土工程应用,国际上开发了多种 3DGM Software 软件。以 1988 年法国 Nancy 大学的 J. L. Mallet 教授推出 GOCAD(地质对象计算机辅助设计)为例,其目的是满足地质、地球物理和油藏工程的三维模拟与辅助设计需要。在 20 世纪 90 年代,国际上许多著名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,如英国的 Data Mine&Guiole,澳大利亚 Maptek 公司的 Vulcan,加拿大 Lynx 公司的 Lynx、Microlynx,美国 Mirrison-knudson 公司的地质软件包 EAGKES,还有其他国家的如 Micromine、Minescape、Survcad、CRYStAL、Minex - Pitopt、Geostart、Suiypac2000、GtPSS/H、Geocomp、Surpac、whitle3D 和 4D 等地质采矿软件,这些软件从矿床模拟、开采评估、设计规划、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、生产管理等多方面对数字化矿山的建设起到了巨大地推动作用。

1.6.2 国内研究现状

1.6.2.1 国内应用研究方面

我国矿山信息化建设的现状是总体水平不高,没有形成企业信息化决策和矿业信息产业化发展的规模优势,信息基础设施落后,可共享的信息量少,信息流向单一、无序,在矿山数字化技术水平方面与发达国家相比,还有很大的差距。近年来,我国矿山信息化、数字化、智能化建设进行了大量地研究工作:中国矿业大学等单位也相继开展了采矿机器人(MR)、矿山地理信息系统(MGIS)、三维地学模拟(3DGM)、矿山虚拟现实(MVR)、矿山 GPS 定位等方面的技术开发与应用研究。随着实时矿山测量、CPS 实时导航与遥控、GIS 管理与辅助决策和 3DGM 的应用,一些大型露天矿山(包括平朔、霍林河矿区)已可在办公室里生成矿床模型、矿山采掘计划,并与采场设备相联系,形成动态管理与遥控指挥系统。

数字矿山技术与应用
.....
8

此外,专家系统、神经网络、模糊逻辑、自适应模式识别、GPS 技术、并行计算技术、射频识别技术,以及面向岩石力学问题的全局优化方法、遥感技术等,已在智能矿山地质勘探调查与测量、智能矿山设计、智能矿山开采、计划与控制、矿山灾害遥感预报等研究领域得到应用。中国矿业大学(北京校区)吴立新教授等基于 LYNX 进行了三维地质模拟体视化技术在煤矿的应用研究;中国地质科学院区划室陈郑辉、肖克炎等应用目前世界上较优秀的 Vulcan 软件系统建立了阿舍勒铜锌矿床的三维立体模型,使用的数据是该矿区勘查钻孔数据;吴健生等利用 Vulcan 软件进行了某铜锌矿床三维矿体模拟及资源评估;朱思才利用 LYNX、microLYNX 软件对中国云南曼家寨锡锌矿床进行了矿体模拟和资源评估研究。有色金属工业局及中国地质科学院等单位已基于澳大利亚的地下三维可视化软件 Vulcan 软件,为青海某铅锌矿、云南某锡矿、湖南某红土型金矿、新祖某铜矿建立了地质体、矿体三维形态模型及空间数据库,并进行了资源储量的计算和采矿设计工作,取得很好的应用效果。

1.6.2.2 国内软件系统开发方面

我国在可用于数字化矿山方面的软件相对比较少,水平和发达国家相比也有很大差距,但也取得一定的成就。北京华油吉澳科技开发有限责任公司投资开发的 GEOTOOLS 3.0 系统,是面向石油地质专家和油藏工程师专业应用软件系统。煤炭科学研究总院西安分院开发的矿井三维地质模型软件,具有光照模型显示、储量自动计算、三维多层地质建模、任意地质剖面剖切功能及矿井巷道系统三维模型显示和成图等功能。北京理正软件设计研究院研制开发的 LeadingGIS 也比较好地实现了地质体的三维可视化,武汉中地信息工程有限公司的 MAPGIS、北京超图的 SUPERMAP 等都带有三维可视化的模块。

1.6.3 数字矿山信息系统的发展趋势

由于意识到数字矿山的重要性,许多采矿业发达的国家已经制订了数字化矿山的科研与发展规划。芬兰采矿工业宣布了自己的数字采矿技术方案,涉及采矿实时过程控制、资源实时管理、矿山信息网建设等专题。瑞典制订了向矿山数字化、自动化进军的“Grountechnik2000”战略计划。2001 年,国际 APCOM 组织了首次“国际 DM”主题讨论,2004 年 4 月中国科协青年科学家论坛第 86 次活动以“数字矿山与未来发展”为主题的论坛。1999 年国家计委、信息产业部《“十五”期间国家信息化发展战略和规划思路》中明确提出:要利用信息技术改造提升能源矿山等传统产业;要更新观念、加大经费投入、组织科技攻关;政府、企业应高度重视和联合投入,设立“数字矿山”创新基金,促进有关高校、科研院所和矿山企业之间优势互补,有计划、有步骤地稳步实施 DM 战略,力争实现矿业信息化的跨越式发展,最终实现矿山的高度信息化、自动化、智能化开采。

1.6.4 存在问题与不足

经过了矿山地质科研工作者的大量工作,矿山工程信息化和可视化的研究取得了显著的成果,但是由于矿山工程地质条件的复杂性和差异性,这一领域仍然存在很多问题亟

待解决。

(1) 矿山地质信息数据管理方面 数据管理是矿山 GIS 的运行基础,是系统中各种操作对象形成的依据。由于矿山地质数据量巨大,数据来源不同,数据格式差异大,缺乏较为统一的标准,因此矿山地质数据库系统开发往往具有强烈的针对性,移植性很差,阻碍了矿山地质数据库应用的发展。

(2) 数据模型及数据结构方面 目前常见的三维空间数据模型对于层状或似层状岩体的建模取得了很大的成功,对于空间形态不规则,受地质构造作用扭曲变形、错动的地质体的表达比较困难,或者根本无法表达。

(3) 矿山信息系统的规划和设计常常缺乏矿山远景规划的指导 信息系统的开发忽略了与矿山组织结构、人员、知识结构等的关系,并且开发出的信息系统缺乏弹性,难以适应业务过程重组的需要。

(4) 三维地质建模和可视化与工程数值分析的脱节 三维矿山地质建模是基于可视化技术的,其数据结构与工程数值模拟的数据结构有很大差异,以这种方法建立的三维地质模型难以进行工程数值模拟。要想将二者协调起来可以采用两种方法:一种是设计一种既适于可视化又适于数值模拟的数据结构;另一种是编制数值模拟的程序接口,将数据进行转换。前者实现起来难度较大,现阶段只能对简单地质体建模,而且建模的精确度难以保证。

1.7 本书研究的内容

本书针对现存数字矿山技术中存在的问题,依托工程地质学、计算机图形学、计算几何学和数据结构等理论,将三维矿山地质建模与可视化技术与数据库管理系统结合起来进行研究,具体进行如下内容的研究。

(1) 矿山地质现象三维解析技术 介绍矿山工程地质资料的获取和认知过程,分析了矿山工程地质现象的特征,将矿山工程地质现象进行分类,并建立了适于描述矿山工程地质体三维空间现象的、符合矿山工程地质特点的数据格式。

(2) 实用数字矿山信息系统的框架结构 分析矿山信息系统的功能及相应的框架结构,采用数字化和可视化技术对系统进行设计。矿山信息系统主要实现对矿山工程地质数据的管理、矿区三维地质建模与可视化及工程应用等功能。

(3) 矿山工程数据库技术 在分析数据库类型的基础上,根据矿山工程地质数据的特点,设计了矿山信息系统的数据库管理子系统。数据库系统包括安全管理模块、数据编辑模块、数据查询模块、地质数据处理模块等。

(4) 三维建模技术 分析了三维地理信息中常用的空间建模的数据模型及其数据结构,在此基础上根据矿山地质现象的特点,提出了基于矿山工程地质剖面建模的数据模型,设计了该模型的数据结构,该数据模型既能对于层状地质体进行建模,也能对复杂的非层状地质体建模。

(5) 基于剖面信息的矿山地质建模技术 研究了基于剖面建模的关键算法,以矿山工程剖面为主要资料,获取原始建模数据,进行空间数据坐标转换,空间数据插值,以空间

离散点数据或剖面地质体轮廓线为初始数据形成基于剖面的建模的数据模型,完成矿山工程三维地质建模。

(6)三维可视化技术 采用面向对象的技术,基于三维可视化开发类库 VTK 实现矿山工程地质模型的可视化子系统,实现了模型的三维可视化显示、剖面的显示、旋转、放大、平移等功能,并编制了计算机辅助设计软件 AutoCAD 接口和二维离散元软件(UDEC)接口,实现矿山工程地质可视化与数值模拟的有机集成。



第2章



矿山地质现象三维解析技术

矿山是一个特殊的地理区域,一个完整的矿山工程系统包含各种不同的工程地质要素,这些工程地质要素之间互相联系,互相影响,形成了具有完整性、层次性、差异性和不稳定性等的特征系统。矿区范围一般较大,一般小的几平方千米,大的几十平方千米,甚至更大。矿山地质要素不仅包括矿山企业关心的矿床,还包括高程不等、区域环境差异很大的地表,也包括影响矿山资源开采的断层、节理,以及影响矿山生产环境的地下水等,另外还包括为了开采矿产资源所开挖或构筑的复杂的工程,如竖井、巷道、天井、车场、斜坡道等。由于矿山的工程地质要素一般较为复杂,对于这些地质要素的描述更为复杂,例如描述一个矿体,不仅要对矿体的几何特征即边界范围进行描述,而且还应该对矿体不同部位的有用组分含量进行描述,而矿体的有用组分的含量一般是不均匀的,这无疑增加了描述的难度。总而言之,矿山工程地质现象极其复杂。

矿山地质现象如此复杂,在数字化建模的过程中应该首先认知其基本特征,然后在此基础上将其主要信息归类,解析成易于数字表达并且容易利用计算机语言编程实现的数据格式。

2.1 矿山地质现象的认知过程

矿山地质现象极为复杂,主要包括地层、断层、矿体,是地球在漫长的地质运动过程中形成的。地质学家根据岩层性质的不同,将地质结构分为不同的地层,各地层在地下有浅到深依次排列,由于地壳的运动,地层在某处发生断裂、挤压、剪切、拉伸等构造力的作用形成断层、褶皱等特有的地质现象。

由于地质对象通常都位于地表以下,地质工作者往往只能通过钻探、物探、化探等手段获得地质对象的部分特征信息,并通过对这些信息的分析、推断、解释来获得地质对象的三维基本特征。这种所谓的分析、推断、解释基本上是在二维剖面的基础上进行的,每个剖面上既有勘探钻孔的实际信息,也有分析、推断得到的信息,随着勘探工作的深入进行,所获得的地质信息也逐渐增多,对地质对象特征的认识会不断得到完善和补充。由此可见,对地质对象的认识是一个不断探索和积累的过程,如图2.1所示。由图2.1可以看出,这一过程经过了原始地质资料的获取、整理、归类、分析、推断、地质对象空间展布形态判断等步骤。这一过程无论是采用传统的手工作图判断,还是利用电子计算机辅助完成,所经过的途径都大同小异。