

地下采矿 系统分析与系统集成

刘同有 高 谦 赵千里 著



地质出版社

地下采矿 系统分析与综合集成

刘同有 高 谦 赵千里 著

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 简 介

地下采矿涉及掘进、支护、运输、提升等多道生产工序,各生产工序相互依赖,互相影响;因此采矿是一个系统问题。本书基于系统分析观点与分析方法,对采矿设计与安全管理的系统进行分析与综合集成的探讨。内容涉及采矿信息获取、数据管理、辅助分析模型、事故隐患预报、定性定量分析综合集成方法等。最后,介绍了已经开发的采场巷道支护设计智能辅助系统以及金川二矿区采矿事故隐患预报智能系统。

本书可供采矿、交通、煤炭、铁道、冶金、地质、人防、国防等部门从事地下工程勘查、设计与施工技术人员参考,也可供大专院校有关专业师生和岩石力学、系统科学、安全管理科学以及人工智能研究人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

地下采矿系统分析与综合集成/刘同有著,一北京:地质出版社,1998.12

ISBN 7-116-02740-8

I. 地… II. 刘… III. 地下采矿法—专家系统—研究 N. TD803

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 39709 号

地质出版社出版发行

(100083 北京海淀区学院路 29 号)

责任编辑:孟 索 屠涌泉

北京地质印刷厂印刷 新华书店科技发行所经销

开本:787×1092 1/16 印张:10.50 字数:250 千字

1998 年 12 月北京第一版·1998 年 12 月北京第一次印刷

印数:1—400 册 定价:20.00 元

ISBN 7-116-02740-8

T·51

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,

本社发行处负责调换)

序

地下资源的开发利用是人类社会生存发展的重要支柱之一,对社会经济增长和福利提高起着关键的作用。随着 20 世纪科学技术的突飞猛进,地下采矿领域也不断创新和进步,以最安全方式和最小代价获取了最大的经济效益和社会效益,并向以保护环境和合理利用资源为目标的可持续发展前进。

在世纪之交的今天,地下采矿面临着新的挑战,如采矿深度增加,难度矿床增多,环境问题日趋严重等等。因此,地下采矿必须以现代科学和技术为武器,开辟新的道路。“地下采矿系统分析和综合集成”可以说是“应运而生”吧!本书作者们,吸收了系统科学的精华,概括了采矿科学的成就,把整个地下采矿作为一个系统来分析,将各种知识、信息和经验进行综合集成。这样才能构成一个安全而高效的工作系统,提高采矿生产水平。应该说,作者将一个崭新的采矿系统工程理论和实践展现在我们的面前。

采矿系统分析思路和方法,是利用现代信息技术,把采矿各个环节技术的作用充分发挥起来,将随空间和时间分布的信息得以管理和应用。这样,才能在适应复杂地质条件的基础上,选用最佳采掘和支护方法,制定合理的工序和工艺,实现采矿优化和保障安全。

工程地质力学强调的是地质和力学的结合,地质和工程的结合。工程地质力学的要领在于工程或矿床的地质结构是自然演化造物,只有不断的认识它,才可能产生越来越符合实际的工程或采矿方法,并且只有在工程和采矿实际中才能进一步认识它和改造它。一项地质工程或采矿工程体现了工程因素和地质因素的相互作用,能否达到理想的耦合,在很大程度上取决于对这种相互作用机制的认识及对共同发生发展动态过程的预测。

现代地质探测技术、矿山监测技术以及岩体力学的计算模拟和信息技术的发展,已经可以使我们能够掌握矿山开采的脉搏,了解矿山的习性,从而不断地作出正确的决策,合理地改变和调整采矿顺序和工艺。

最新的岩石采掘、爆破及支护锚固技术,使得我们有可能高效地开采矿床,提高回收率,同时稳固围岩,保障矿山的安全生产。

本书的独到之处就在于在系统分析的基础上进行综合集成,使现代的先进技术融合于地下采矿系统之中。作序者有幸先睹这一充满创新与活力的著作,愿她对地下采矿的科技发展起到积极推动作用,迎接即将到来的人类新世纪。

王思敬

1998 年 10 月于北京

前 言

采矿设计和安全管理具有众多的不确定性、模糊性和知识不完备性。因此,模糊数学、层次分析、不确定性分析方法以及人工智能、专家系统已经应用于采矿工程的定量分析与定性描述。然而,采矿是一个极其复杂的系统问题,因此,基于系统的观点与方法进行采矿问题的研究是采矿科学的发展方向。

一些学者已经进行隧道围岩稳定性系统分析方法的研究。与隧道工程相比,采矿问题要复杂得多。针对我国地下难采矿床开采中存在的设计、支护与安全管理等问题,本书作者采用系统的观点与方法,进行深入地研究与探讨;基于系统集成理论与方法,进行采矿系统分析方法的综合集成;并通过集成系统的计算机人机对话功能,动态地实现采矿设计与管理的系统分析与安全管理。

本书首次提出地下采矿系统分析的概念、思想方法和实施方案,并且已经在金川二矿区加以实践,取得成功。该研究不仅解决了高应力区软弱破碎围岩难采矿床的开采难题,而且还拓展了采矿科学研究思路,推动了采矿学科的发展。随着我国国民经济的高速发展,矿产资源的需求量增加和待采矿床储量的日趋减少,使得人们面临更多难采矿床的开采。因此,本书所论述的研究思想和解决问题的方法,不仅为类似复杂条件的矿山所借鉴,更重要的是拓宽了人们的研究视野,活跃了采矿科学的研究思路,以推动采矿科学的发展。

本书得到北京科技大学资源工程学院任天贵、方祖烈、蔡美峰和蔡嗣经教授的审阅,提出许多宝贵的意见和建议;金川有色金属公司教授级高工宋国仁、田永绥对本书也给予了很大支持和很多有益的指教,中国科学院地质研究所时梦熊、宋玉环老师为本书的编辑出版付出了辛勤劳动,在此一并表示衷心地感谢。

中国工程院院士、岩石力学与工程学会理事长王思敬教授在百忙之中,详细审阅书稿,并为本书作序,作者对此表示真诚地谢意。

本书得以出版,与金川有色金属公司领导、金川公司二矿区的大力支持分不开的。由于地质出版社的领导大力支持,尤其本书编辑的辛勤工作,才使该书尽快与读者见面,对此,作者们深表谢忱。

由于作者长期从事矿山生产管理和研究工作,加之水平有限,书中某些观点或论述肯定有不妥之处,作者意在抛砖引玉,敬请专家和读者谅解,尚祈工程技术界不吝赐教指正,更希望有机会与同行专家、学者切磋,相互学习,为发展我国采矿事业,解决采矿生产中的难题,促进采矿科学的发展,起到应有的作用。

刘同有

于甘肃省金昌市金川有色金属公司

1998年9月

目 录

序

前言

第一章 概 论	(1)
§ 1.1 地下采矿的目的与任务	(1)
§ 1.2 采矿科学研究与发展	(2)
1.2.1 现场监测技术	(2)
1.2.2 岩体工程地质力学及在采矿中的应用	(3)
1.2.3 采矿数据与图件编制计算机辅助分析与管理	(4)
1.2.4 采矿设计与安全管理辅助系统研究与开发	(4)
§ 1.3 采矿科学研究现状探讨	(4)
1.3.1 岩石力学理论与工程应用现状	(4)
1.3.2 采矿科学属性	(5)
§ 1.4 采矿科学研究与发展趋向	(5)
§ 1.5 本书内容与结构	(7)
参考文献及资料	(9)
第二章 采矿系统分析与综合集成方法	(10)
§ 2.1 系统概念与采矿系统	(10)
§ 2.2 采矿工艺与生产系统	(11)
2.2.1 采矿工艺	(11)
2.2.2 采矿生产系统	(12)
2.2.3 采矿工程类型与特点	(12)
§ 2.3 采矿系统与分析方法	(13)
§ 2.4 采矿系统集成研究	(17)
2.4.1 采矿系统集成研究的要求	(17)
2.4.2 采矿系统集成研究方法	(18)
2.4.3 采矿系统集成研究方法的特点	(20)
参考文献及资料	(20)
第三章 采矿信息获取与分析	(21)
§ 3.1 采矿信息与分类	(21)
3.1.1 信息的概念	(21)
3.1.2 采矿信息分类与作用	(21)
§ 3.2 信息获取基本要求与内容	(23)
§ 3.3 地质信息获取与分析	(24)
3.3.1 地质结构面调查	(25)
3.3.2 节理极点绘制	(26)
3.3.3 节理聚类分析	(26)

3.3.4 节理统计分析	(27)
3.3.5 节理统计分析软件简介	(30)
§ 3.4 围岩分类与稳定性分区	(38)
3.4.1 围岩分类与质量评价	(38)
3.4.2 采场巷道围岩分类	(39)
3.4.3 围岩动态分级	(41)
3.4.4 围岩稳定性分区	(42)
参考文献及资料	(46)
第四章 地下采矿信息管理系统	(47)
§ 4.1 引 言	(47)
§ 4.2 地下采矿信息管理系统组成	(47)
4.2.1 金川二矿区地质条件与采矿方法	(47)
4.2.2 系统的任务与要求	(48)
4.2.3 系统的作用与功能	(49)
§ 4.3 MISUM 数据库系统	(49)
§ 4.4 职工伤亡事故数据管理系统简介	(53)
4.4.1 系统功能模块简介	(53)
4.4.2 程序设计	(56)
4.4.3 系统的使用	(58)
参考文献及资料	(58)
第五章 采矿分析模型与数值方法简介	(60)
§ 5.1 模型概念与模型分类	(60)
5.1.1 模型概念	(60)
5.1.2 模型特点	(60)
5.1.3 采矿模型分类	(61)
5.1.4 数学模型分类	(62)
§ 5.2 数值分析方法简介与评述	(63)
5.2.1 有限差分法	(63)
5.2.2 有限单元法	(64)
5.2.3 边界单元法	(66)
5.2.4 离散单元法	(67)
5.2.5 刚体单元法	(68)
5.2.6 有限单元线法	(69)
5.2.7 耦合数值方法	(70)
§ 5.3 采矿工程数值分析方法软件简介	(71)
5.3.1 有限单元法程序	(71)
5.3.2 边界单元法程序	(76)
5.3.3 离散单元法程序	(76)
5.3.4 有限差分法程序	(77)
§ 5.4 采矿数值分析系统分析方法	(77)
§ 5.5 数值方法在地下采矿中的应用	(78)

5.5.1 采场巷道支护设计	(78)
5.5.2 采场地压规律与采矿设计	(79)
5.5.3 顶板稳定性评价	(79)
5.5.4 巷道底鼓分析	(80)
5.5.5 锚杆支护作用机理研究	(80)
§ 5.6 数值方法应用研究展望	(80)
参考文献及资料	(81)
第六章 采矿事故分析与辅助分析系统	(82)
§ 6.1 引言	(82)
§ 6.2 事故树编制	(83)
6.2.1 事故树符号与意义	(83)
6.2.2 事故树编制过程	(85)
§ 6.3 事故树定性分析	(86)
6.3.1 事故树定性分析步骤	(86)
6.3.2 最小割、径集求解与作用	(86)
§ 6.4 事故树定量分析	(87)
6.4.1 基本事件发生概率	(87)
6.4.2 顶上事件发生概率	(88)
§ 6.5 事故树分析计算程序	(88)
6.5.1 求解最小割、径集计算程序	(88)
6.5.2 基本事件重要系数计算程序	(91)
6.5.3 顶端事件发生概率计算程序	(92)
§ 6.6 金川二矿区采矿生产事故树分析	(93)
6.6.1 运输系统事故树	(93)
6.6.2 提升系统事故树	(99)
6.6.3 掘进与支护系统事故树	(102)
6.6.4 采矿与充填系统事故树	(102)
§ 6.7 事故树分析计算机辅助系统	(105)
参考文献及资料	(111)
第七章 采矿专家系统开发与应用	(112)
§ 7.1 引言	(112)
7.1.1 专家系统产生与科学范畴	(112)
7.1.2 专家系统基本结构	(115)
7.1.3 专家系统建立与分类	(115)
§ 7.2 采矿专家系统研究与发展	(116)
7.2.1 采矿专家系统简介	(116)
7.2.2 采矿专家系统开发存在问题	(119)
7.2.3 采矿专家系统开发发展趋势	(120)
§ 7.3 金川二矿区采矿事故预报专家系统	(122)
7.3.1 系统结构与功能	(122)
7.3.2 知识获取与建立知识库	(123)

7.3.3 系统知识库	(123)
7.3.4 系统软件使用	(129)
参考文献及资料	(130)
第八章 采矿神经网络模型与辅助系统	(132)
§ 8.1 引言	(132)
§ 8.2 神经网络基础	(132)
8.2.1 人工神经网络的基本概念	(132)
8.2.2 神经网络模型及其特征	(132)
§ 8.3 人工神经网络算法	(133)
8.3.1 人工神经网络的计算特征	(133)
8.3.2 人脑信息处理的几个特征	(133)
8.3.3 多层前馈神经网络的反传学习算法	(134)
§ 8.4 神经网络模型在采矿中的应用	(134)
8.4.1 识别掘进巷道破坏模式的神经网络预测系统	(135)
8.4.2 支护巷道破坏模式的神经网络预测系统	(135)
8.4.3 采场巷道片冒事故神经网络预测系统	(138)
§ 8.5 采矿神经网络系统的应用	(139)
8.5.1 系统界面与功能	(139)
8.5.2 采矿神经网络系统的几点说明	(142)
参考文献及资料	(144)
第九章 采矿智能辅助决策支持系统	(146)
§ 9.1 引言	(146)
§ 9.2 智能决策支持系统理论与方法	(146)
9.2.1 智能决策支持系统的结构	(146)
9.2.2 IDSS 集成方式	(147)
§ 9.3 决策支持系统研究与发展	(148)
§ 9.4 采场巷道支护设计智能辅助系统(IDSSRSD)	(149)
9.4.1 金川矿区概况	(149)
9.4.2 IDSSRSD 设计思想	(150)
9.4.3 IDSSRSD 结构与功能	(150)
9.4.4 IDSSRSD 中的关键问题	(152)
9.4.5 IDSSRSD 特点与不足	(153)
§ 9.5 金川二矿区采矿事故预报智能集成系统	(154)
9.5.1 系统结构、作用与功能	(154)
9.5.2 安全信息管理系统	(154)
9.5.3 事故隐患预报系统	(156)
9.5.4 事故分析系统	(157)
9.5.5 结论	(157)
参考文献及资料	(158)

第一章 概 论

§ 1.1 地下采矿的目的与任务

矿产资源是人类社会发展必不可少的重要物质基础,是大自然赋予人类的不可再生的宝贵财富。人类从自然界索取矿产资源,以便求得生存和发展。地下采矿是人类获取地下资源的重要方式之一。

采矿科学随着采矿业的需求而发展,随着科学进步而前进。采矿科学研究就是针对开采矿床所赋存的地质条件,选择最佳的采矿方法,调整最佳采矿顺序,以最安全的方式和最小的代价获得最大的经济效益和社会效益。图 1.1 显示了采矿的目的与实现此目的的措施。

几十年来,科学技术的突飞猛进和社会生产力的巨大提高,把人们活动的宏观空间大大地缩小了。社会的快速发展和人们生活水平的迅速提高,使得对自然资源需求的增加和待开采资源的日趋减少,最大限度地开发矿产资源,使得人们面临更多难采矿床的开采,尤其是稀有金属矿床的开采。

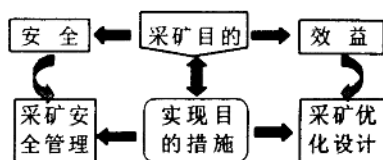


图 1.1 采矿的目的与措施

目前,地下矿床开采深度已超过 3000m。开采深度增加,地压增大,矿床开采条件趋于复杂。尤其金属矿山,矿区经历多次地质构造和成矿作用,矿岩破碎,矿区构造应力显著。这些不利的采矿条件使采矿科学面临新的挑战,同时也促进了采矿科学的发展。

1. 复杂采矿条件下采矿方法研究与决策

人们在采矿方法选择设计中,一直试图寻求一条能够选择设计出最优采矿方法方案的途径。但是,由于采矿方法本身的复杂性和矿体赋存条件的多变性,至今尚没有找出这样一条途径。

采矿方法的选择不仅涉及矿体赋存条件,开采环境,矿石类型与价值以及采矿资金投入,而且还必须考虑开采工艺,生产成本,通风安全,生产管理以及采矿环境等因素,以求取得经济效益、资源效益、社会效益、环境效益和生态效益的完整统一,促进社会生产力的发展。采矿方法的设计不仅是一个工程技术问题,而且还是一个社会问题。所以,对于复杂的采矿条件,最优采矿方法的选择是极其困难的。

2. 采矿生产优化设计与顶板管理

采矿生产是一个动态过程,由此表现出随采矿过程的动态地压显现。采场地压控制是提高采矿经济效益和安全生产的重要措施。

采场地压控制不仅涉及采场巷道的布置、掘进,采矿和充填的顺序、充填时间、凿岩爆破参数、巷道支护形式与支护参数,而且与采矿劳动组织、生产管理以及人员素质等因素密切

相关。

3. 巷道工程掘进与支护设计

采矿巷道工程是采矿生产必不可少的通道和作业面。因此,采矿巷道工程的掘进、支护以及稳定性维护,不仅是采矿生产的需要,而且也是采矿人员安全作业的保证。围岩稳定性不仅取决于工程地质条件,更重要的还在于它所处的采场地压环境、巷道掘进时间、施工质量以及采矿活动的影响程度。因此,矿山年度生产规划、近期与远期综合效益以及施工组织管理和人员素质等因素都直接影响围岩的稳定性。所以,仅仅依赖于采矿技术和方法进行巷道工程的设计与决策,难以实现巷道系统设计的最优化。

§ 1.2 采矿科学研究与发展

半个多世纪以来,采矿、地质及岩石力学界的科技工作者一直不懈地努力,研究探索新的理论和计算方法,有力地推动了采矿科学的发展。尤其近 20 年,随着计算机技术的发展和微型计算机的普及和应用,不仅有力地促进了采矿科学的定量分析和优化设计,更重要的是使采矿信息管理自动化、智能化和集成管理成为现实。例如,矿岩体变形与应力监测技术、采场地压数值模拟、围岩稳定性分析、采场巷道支护设计、地质信息管理与图件编制、安全信息管理与事故分析等,都已经为复杂难采矿床的开采发挥了巨大作用。采矿科学研究最新进展主要表现在以下方面。

1.2.1 现场监测技术

采矿生产涉及众多的不确定性因素、偶然因素和人为因素。矿、岩体力学与变形特征的信息获取及一些危及人身安全事故隐患的预测预报是十分必要的。目前,采矿生产现场监测技术得到较快发展,主要反映在以下 3 个方面。

1. 矿区原岩应力测试与勘探技术的发展

地壳岩体中存在的应力称地应力,它是影响工程岩体稳定性的重要因素。一般矿山都存在水平构造应力。在工程岩体稳定性评价中,人们十分重视岩体原岩应力的测量。原岩应力测试技术从 30 年代采用的压磁应力计,到目前已发展有多种方法。如钻孔变形计、钻孔应变计、水压破裂法以及钻孔空心包体应力计。

金川矿区从 80 年代初就采用了压磁电感法测量原岩应力^[1]。随着开采水平增加以及测试技术的发展,现已采用空心包体三轴应变计进行深部原岩应力测量^[2,3]。

岩体节理调查是矿岩体工程地质研究的重要内容。勘测线量测方法一直是矿山常用的方法。为了提高测量精度和减少勘测工作量,用数字摄像技术与计算机数据处理方法相结合的测量与数据处理技术,大大提高了节理调查与分析自动化^[4]。近年来,CT 探测技术和 GP 全球定位系统也已经在金川找矿和地质调查中得到应用。

2. 采矿过程中的矿岩体变形与应力监测

围岩变形是岩体稳定状态的综合反映。因此,采场围岩和充填体的应力与变形监测是采矿现场研究的重要内容。除了矿山常采用的收敛仪、水准仪、伸长仪、大坝应力计等是监测仪器外^[5],近年来,声波探测技术和钻孔摄像仪也开始应用于围岩的变形监测研究^[6]。

3. 采矿生产安全监测

由于采矿涉及众多不确定性因素和偶然因素,采矿生产安全问题十分突出。及时观测矿

岩稳定状态,预报采场顶板片冒,声发射技术在采场的事故预报中起到了应有的作用^[7]。

1.2.2 岩体工程地质力学及在采矿中的应用

岩体工程地质力学是“工程地质学和岩体力学相互渗透、相互融化的结果,是地质和力学相结合的产物”^[8]。半个世纪以来,岩体工程地质力学界投入了大量精力,取得了令人瞩目的成果,解决了许多工程设计问题,也为地下采矿设计提供了重要的理论依据。随着计算机技术和相关学科的新理论和新方法的不断出现,岩体力学数值方法得到了充实和迅速发展。从有限元到边界元、离散元、不连续变形方法以及近期出现的流形元方法,各显其长。与此同时发展的模式识别、反分析及相应的软件开发都得到了长足的进展。目前,在我国流行的大型通用程序,如 K. T. Bathe 教授领导研制的 ADINA 程序包, G. Swoboda 教授支持开发的 FINAL 等,不仅能够进行平面、空间的静、动力线性、非线性分析,同时具有模拟岩土工程开挖、支护及各种施工的功能。国内应用较广的岩石力学软件,如北京大学殷有泉教授等领导开发的 NOLM83 和西安矿业学院刘怀恒教授等开发的 NCAP—RM 软件包等在考虑岩体的各种非线性,岩土工程的各种施工因素、时间效应、位移反分析、固-流耦合、大变形、无界元等诸多方面都具有独特的一面。目前,数值分析软件正向集成化、智能化和可视化方向发展。岩石力学与数值方法的发展,已经成功地应用于地下采矿工程。具体表现在以下几个方面。

1. 采场地压规律数值模拟

采场围岩应力与位移随采矿过程的动态变化是采矿工程的特征。采场围岩应力或位移变化规律是采场围岩稳定性评价、采矿工程布置、开挖以及支护设计的重要依据。近年来,数值分析已成为采场地压研究的重要手段。现实问题还不能用分析方法求解,而数值分析技术能够用于模拟采矿过程的渐进开挖、回填,围岩应力分析研究。例如,我国甘肃金昌市的金川镍矿,矿体埋藏深,矿区构造应力大,矿岩体节理裂隙极为发育,这些不利因素不仅影响采矿进路顶板的稳定性,而且关系到无矿柱大面积连续开采,矿岩和充填体的整体稳定性这个世界性难题。从 80 年代初,金川镍矿采用有限元数值分析方法,研究进路矿岩和充填体的应力分布与稳定性^[9]。为了研究开采深度超过 500m、开采面积逐渐增大到 10 万 m²、地应力随深度增加和采区跨度将达到 100 多 m 的条件下和充填体与贫矿及围岩的稳定性,分别采用了三维有限元和三维离散元方法,进行了矿体开采过程的数值模拟。该研究不仅为评价无矿柱大面积连续开采矿岩稳定性起着重要的作用,而且为采矿方案和回采顺序的分析与优化提供了重要依据^[10]。

鲁中冶金矿山公司小官庄铁矿是我国黑色矿山中典型的三个难采矿床之一。该矿山在进行“七五”和“八五”采矿技术攻关研究中,数值分析研究也起到了重要作用。有限元分析揭示了采场地压显现规律,为地压控制技术的决策提供了理论依据^[11]。

2. 巷道围岩稳定性分析与支护设计

采场地压控制是主动维护巷道围岩稳定性的措施,而巷道支护则是被动措施。考虑巷道所处应力环境,进行巷道工程围岩的稳定性评价是采场巷道围岩支护设计的重要依据。数值分析能够考虑复杂的应力环境、进行不规则断面以及不同支护条件下的围岩稳定性研究,这是任何理论分析都难以解决的。

目前,数值分析在岩体本构模型和计算参数研究中已经取得进展,分析软件也逐步朝着自动化、可视化和集成化方向发展,计算求解能力日趋提高和完善。数值分析在地下采矿中

的应用,尤其用于复杂采矿条件的矿山分析,将发挥更大的作用。

1.2.3 采矿数据与图件编制计算机辅助分析与管理

围岩稳定性的可靠分析与采矿生产的安全管理,都依赖于足够的信息数据和可靠的研究资料。然而,无论是矿区构造地质调查,围岩力学性质实验研究,还是矿山事故或隐患信息获取,都需要花费大量的人力和物力。搜集、储存、分析和整理这些宝贵资料,不仅可供采矿设计和生产管理者查询与参考,同时也为进一步分析提供了宝贵的基础资料。

地质工作是矿山生产中的眼睛和桥梁。为了充分、合理地利用地下资源,提高地质信息的处理和图件编绘的速度、效率和精度,逐步实现矿山生产管理上的自动化和现代化,计算机辅助绘图和地质信息管理已经在某些地下矿山中实施。因此,采矿信息管理系统以及计算机辅助绘图也是矿山现代化采矿的重要标志之一。于1994年完成的金川二矿区地质信息管理系统及图件编绘系统已经投入使用^[12]。

1.2.4 采矿设计与安全管理辅助系统研究与开发

采矿设计和安全管理的复杂性在于,问题求解既需要深层次理论分析和数值计算,也需要借助专家知识或工程经验进行定性分析和综合判断。采矿问题属于半结构化决策问题。问题求解涉及众多的不确定性和模糊性因素,很多问题仅依赖定量计算难以解决。因此,工程类比和专家经验在采矿设计与管理中仍起着举足轻重的作用。

随着人工智能应用研究的进展和计算机性能的提高与普及,采矿工程智能系统的研究与开发极为活跃,从采矿方法选择专家系统研究^[13,14],到巷道支护形式与参数合理选择系统开发^[15],表明人工智能在采矿工程中的应用研究具有广阔的发展前景,并日趋引起人们的关注。

§ 1.3 采矿科学研究现状探讨

尽管采矿科学随采矿业的需求得到发展,但是,将科技进步转化为生产力,不仅是个技术问题,而且还是个社会问题。采矿生产涉及众多不确定性因素,需要先进的理论指导。采矿生产需要采取高效有序管理措施,提高企业的经济效益和确保安全生产。同时,矿产资源是不可再生的,不仅要顾及眼前利益,还要考虑长远经济发展。因此,采矿科学发展既要采理论创新,又要注重理论的应用与实践;既要发展技术学科,又要考虑采矿可能导致的社会问题,如安全问题、环境问题以及资源损失等。作者仅就采矿学科发展中如下两个问题提出自己的见解。

1.3.1 岩石力学理论与工程应用现状

已经看到,岩石力学理论研究,尤其是数值方法的发展在解决岩土工程问题中起到了应有的作用。然而,不可否认的事实是:岩石力学理论在岩土工程,尤其是在采矿工程中的应用难以令人满意。孙钧院士所指出^[16]:"目前仍多数(研究)处于前期理论工作储备为主的阶段,有的尚只停留在高等学府和研究院、所的书斋里,工程的实际应用成果还很少。"即使对于已经广泛地采用于工程分析的数值方法,例如有限单元方法,计算结果也难以定量应用于采矿工程设计,仅仅用于一般性规律探讨。正如有些研究者所指出的那样:"本来采用有限元等方法是一种更精确的定量分析方法,但其计算结果多数都没有用到工程实践上,只能为设计人员和方案决策者提供一个定性的参考,往往求得的只是一种心理上的安全感,面对研究

部门提供的科研成果和现行设计规范之间的差异,工程设计人员感到盲然而不知所从^[17]。”

如何看待岩石力学在采矿设计中的地位和作用,目前存在较大的争议。有些学者认为:由于岩石力学被引入地下工程,才有可能使今日的地下工程逐步摆脱工程类比方法,进入科学理论和定量计算阶段。这种观点在理论工作者中有一定的代表性。亦即理论分析、定量计算必将成为地下工程的设计依据。另一种是与之完全不同的观点。一些有经验的设计工程师们有一种说法:“复杂算不如简单算,简单算不如凭经验。”这与地下工程界的许多有经验的工程师常称地下工程是艺术而不是科学的认识有类似之处^[18]。基于上述两种不同的观点,体现出岩石力学理论研究两个方向:其一,重视地下工程围岩理论或数值分析方法,针对岩体本构模型和计算参数的不确定性问题,开展了深入的研究,其重点集中到:①岩体本构模型理论、计算方法的研究;②岩体计算参数的评估与反演。其二,研究开发采矿设计与安全管理的人工智能系统,包括采矿设计专家系统及神经网络模型等。

1.3.2 采矿科学属性

如前所述,采矿生产的目的是在安全生产的前提下,获取最大的经济效益和社会效益。长期以来,采矿科学研究和生产管理采用传统思想,将“设计”、“采矿”与“管理”视为相互独立的系统,将“经济效益”和“社会效益”视为互为对立的两个方面,各行其事,各负其责。这种传统的设计思想和管理模式限制了采矿事业的发展,难以适应当前面临的采矿条件更为复杂的矿山生产。

采矿问题是一个系统问题,采矿各因素之间联系密切,孤立地去研究某个问题都是不完善的,不切合实际的。

采矿科学又是属于社会-技术学科。采矿科学的发展不仅依赖于采矿技术,而且还必须运用社会科学、经济学等多方面的知识来解决采矿问题。注重技术而轻视社会的采矿学科研究是不利于采矿科学的发展。

采矿问题是一个动态问题,研究采矿问题要具有自适应性。不能一贯采用以往的定性的、静止的方法来处理,必须经过不断地学习,才能不断积累知识,处理变化中的采矿问题。

§ 1.4 采矿科学研究与发展趋向

采矿问题的特性及采矿科学的属性,决定了采矿科学的多重性、多样性。首先,采矿科学是一门应用学科,它是以解决采矿生产中的问题为目的,为提高采矿经济效益和社会效益而发展。

采矿科学研究与发展,关键在于要考虑采矿科学特性以及所追求的目标,探索采矿科学的发展方向。

著者长期从事矿山生产第一线工作,了解采矿工程的复杂性;对理论研究与专家经验在采矿设计和生产管理中的地位和作用有更深刻地理解。著者认为,对于地下采矿工程,采用任何一种理论或计算都不可能解决采矿设计和生产中的问题。因此,作为一个从事矿山生产管理和研究的工作者,更重视现场实践工作经验。但是,岩石力学理论和计算方法在采矿设计和生产管理中的重要作用也不容忽视。因此,针对金川矿区复杂的矿床地质条件,从露天到地下,我们开展了深入的理论与工程实践。不仅发展了岩石力学理论,而且利用岩石力学理论与方法解决了采矿生产中的诸多问题。通过长期理论与实践研究,著者对目前岩石力

学理论研究与发展以及采矿工程中的应用前景提出自己的看法。

1. 岩石力学理论的应用需要有工程经验作指导

不加区别地肯定或否定理论分析在采矿设计中的作用是不科学的。首先,数值分析的理论是成熟的,方法是可行的,并已经成功地应用于机械、航天等工程领域的设计。但是,数值分析在采矿工程设计中的作用,不仅依赖于使用者的理论水平和计算能力,重要的还取决于使用者的工程概念、对求解问题的认识、理解程度以及所具有的工程经验。换句话说,岩石力学理论计算需要工程经验作指导。只有当工程经验自始至终贯穿于数值分析之中(从计算模型、边界条件、本构模型、材料参数,到计算结果解释与使用),才可能反映围岩变形特征与规律。否则,其计算结果不仅不能解决采矿设计中的问题,很可能使错误的计算结果误导设计者。

2. 采矿工程类比或经验设计需要深层次知识

目前,理论或数值分析方法还不可能完全取代采矿设计的工程类比和经验判断,而采矿专家系统能否独立应用于采矿设计呢?答案是否定的。目前,国内外已经开发或正在开发的采矿设计专家系统(包括采矿方法、围岩分类、巷道支护以及岩体力学性质预测等专家系统),真正应用于矿山采矿设计的还不多见,更多的是高等学府或研究院、所研究人员从事的理论或实践的探讨。

工程经验和专家在采矿设计中的作用是不可否定的,而其它领域的专家系统开发与应用已经获得巨大的经济效益,但为什么采矿专家系统难以起到应有的作用呢?关键还在于采矿问题的复杂性:

(1)采矿是一个极其复杂的大系统。该系统待求解的问题既涉及结构化问题,还存在难以定量分析的非结构化问题,即是一个半结构化问题。专家系统求解问题的方式是基于知识库的推理,是求解不良结构(即非结构化问题)问题的工具。但对于采矿设计中涉及的结构化问题(如采场围岩应力、变形及顶板的稳定性等),仅仅依赖于知识推理是难以解决的。

(2)知识表达与知识获取也是限制采矿专家系统应用的重要因素。众所周知,专家系统求解问题的能力取决于专家系统知识库的数量与质量。然而,目前专家系统的大部分开发工具知识表达形式过于简单。因此,采矿专家系统的开发存在两个问题:一是具有丰富知识的专家系统难以用语言加以描述,正如人们常说的“只可意会,不能言传”;二是,即使专家能够表述他们的知识或经验,但很难用专家系统中简单的知识表达形式加以描述(知识程序化)。

综上所述,对于采矿科学发展,必须建立新的系统动态学术思维方式^[19]。本世纪末,特别是进入 21 世纪,是高科技信息时代。因此,当我们考虑 21 世纪的科技发展战略时,必须建立信息时代的学术思维方式,这是非常重要的。

信息时代的学术思维方式主要指系统思维、不确定性思维、反馈思维、全方位思维等^[20]。采矿涉及掘进、支护、通风、运输、提升等生产工序,由此构成一个系统,因此采矿系统思维的产生是很自然的了。

采矿科学涉及众多不确定性、不可知和不明晰因素,不确定性思维方式是采矿科学所要求的重要思维方式之一。

采矿生产不是一次完成,而是分阶段、分水平实施的。采场地压显现、地质与采矿条件和采矿信息的获取,具有明显的动态特征。因此,采矿反馈思维方式不仅适应采矿动态特征的需要,同时也是解决采矿设计中固有的不确定性问题的重要手段。

采矿科学所固有的复杂性也曾使采矿学者困惑,使岩石力学工作者盲然。定量分析与定性应用,确定性与不确定性争论,分析与综合的探讨,静态与动态的研究方法既活跃了采矿学科的发展,也为全方位思维方式的产生奠定了基础。信息时代的思维方式正是在困惑中产生,在曲折中发展的。

§ 1.5 本书内容与结构

(1)安全和效益目的:与传统的设计目的不同,基于系统分析的采矿设计目的是追求安全和效益,社会效益和经济效益,不可顾此失彼。

(3)方法集成管理:采矿问题求解需要系统工程观念和方法,而实现这一思想和方法需要开发相应的辅助分析系统。因此,分析、经验和现场信息的辅助获取、详细分析和综合决策系统研究开发正是本书的最终目的。

在本书的第二章中,介绍了采矿系统与系统分析与综合集成方法,并明确采矿工程特点和研究方法。

在上述研究的基础上,第四章重点介绍了采矿信息管理系统。它是采矿综合集成系统中必不可少的一部分。采矿信息涉及分析计算信息 and 安全管理信息。在本章详细介绍作者为金川二矿区开发的信息管理系统。

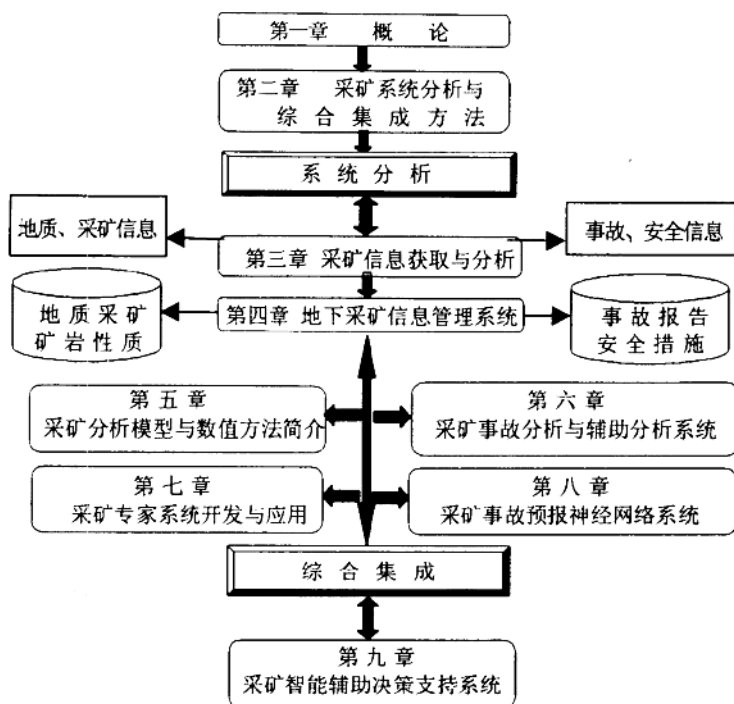


图 1.3 本书各章内容与结构

采矿问题的模型辅助与决策是采矿科学研究的重要内容。尤其是岩石力学理论和计算方法的发展,大大促进了采矿科学的定量分析。本书第五章详细介绍采矿设计工程中的数值计算模型,为采矿定量分析提供参考,也为建立采矿综合集成系统奠定基础。

第六章详细研究了地下采矿生产过程中的事故类型,探讨金川矿区 7 个生产系统中的 21 种事故类型,并编制成事故树进行分析和研究。为便于应用,作者还基于 BorlandC 语言开发了事故树分析辅助系统。

地下采矿生产中的安全问题尤为突出。采矿事故隐患预报是避免重大人生伤亡事故发生的迫切要求。结合金川二矿区地质、采矿条件开发了采矿事故预报与专家系统。第七章详细介绍了采矿安全专家系统的开发与应用。

为了提高采矿事故隐患预报的准确性,作者还开发了采矿事故隐患预报神经网络预报系统。有关内容将在第八章加以叙述。

采矿系统分析需要计算机辅助系统,实现人机交互,动态分析,智能决策。为此,本书最后一章探讨了采矿综合集成系统的理论与方法,并介绍了采场巷道支护设计智能辅助决策系统和采矿事故隐患预报集成系统。

尽管目前岩石力学理论和应用得到深入的发展,采矿信息搜集与管理也逐步向着系统化和自动化迈进,然而,综合考虑采矿经济效益和生产安全的采矿设计与管理的研究与软件开发在国内外还不多见。著者结合金川矿区的采矿生产条件,开展了初步的研究与系统开发