



Modern Mining  
Science and Technology  
for Metal Mineral Resources

# 现代金属矿床开采科学技术

古德生 李夕兵 等著



冶金工业出版社

<http://www.cnmp.com.cn>

国家科学技术学术著作出版基金资助出版

# 现代金属矿床开采科学技术

Modern Mining Science and Technology for Metal Mineral Resources

古德生 李夕兵 等著



北京  
冶金工业出版社  
2006



# 前 言

现代科学技术飞速发展,新思想、新方法、新技术不断涌现,新学科、新方向不断产生,学科间的交叉、渗透和融合趋势日益增强,人们的视野大大拓宽。站在 21 世纪新时代前沿来审视世界矿业,可清楚地看到,矿业作为国民经济基础产业,与其他传统产业一样,在现代科学技术突飞猛进的推动下,也正逐步走向现代化。就本书涉及的金属矿床开采领域而言,现今的采矿工程科学技术与 20 世纪 90 年代以前相比,已经不可同日而语,它突破了传统的学科范畴,学科内涵大为扩展。为了凝炼金属矿床开采学科问题,明确发展方向,逐步构建现代采矿工程学科的基本框架,拓展采矿科学技术的发展空间,中南大学采矿工程学科作为国家重点学科,深感有责任为推动金属矿床开采科学技术的发展作出更大努力。因此,我们在多年承担国家科技攻关项目、国家自然科学基金重大项目、863、973 项目等所获科研成果的基础上,吸收国内外最新科技成就,举学科专业之力,撰写了《现代金属矿床开采科学技术》一书。

本书力求反映现代金属矿床开采科学技术,各章自成体系,一章一论,撰写内容不求全面、系统,重在“新”与“高”,力求在学术上具有引导性和启发性,体现前瞻性。然而,要达到这个目标并不容易,因为要探明学科前沿、预测学科未来、认识知识的萌芽,需要多年深厚的、系统的积累,需要学术灵感和科学智慧。作者出版本书的宗旨在于与业内同行就发展矿业科技问题进行交流 and 讨论,以期激发读者的创造力,共同来把握和发展金属矿床开采科学技术的未来,并借以凝聚广大矿业科技工作者,特别是青年一代为发展采矿科学技术共同努力,为我国采矿事业做出新的贡献。

全书共 22 章,内容涵盖了金属矿床开采的主要科学技术领域,涉及矿产资源可持续供应、矿业循环经济、矿产资源技术经济评价、现代化采矿设备、非传统采矿技术、深部矿床开采理论与技术、矿山工程环境隐患治理、岩层变形失稳与控制、深井岩爆与诱导碎裂、采矿工程可靠度分析、采矿 CAD 技术、数字矿山、露天矿山 GPS 技术和矿业法规等。全书内容凸显以下四个方面:

(1) 探索矿业的发展道路,促进环境与经济的协调发展。站在全球可持续发展的战略高度,从金属矿产资源的可持续发展、矿产资源的可持续供应、矿产开发的发展战略与环境管理、循环经济与矿业循环经济模式等方面,系统阐



述了现代金属矿床开采与环境和谐发展的相关科学问题。

(2) 开发深部开采技术, 实现深部矿产资源高效利用。针对深部高应力、高地温、高井深的特殊环境, 主要从深井高应力条件下的硬岩致裂理论与技术、深井的热环境控制、深井充填系统与管道输送技术等方面开展深井环境下的科技问题讨论, 提出了深部资源开发的相关基础理论与技术体系。

(3) 发展采矿过程控制的基础理论, 推动金属矿床开采的技术创新。从矿岩爆破破裂、矿岩结构损伤破坏及采矿工程可靠度分析三个方面, 深入探讨了矿岩爆破破裂与结构失稳机理和矿岩结构灾变控制技术, 为矿产资源安全高效回收和深部矿产、复杂难采矿产和低品位矿产的开采技术创新提供理论支撑。

(4) 加强矿山信息技术研究, 推进数字矿山建设。通过论述矿床模型与储量计算、数字矿山、采矿CAD技术、矿山多源信息融合技术等, 将计算机技术、信息技术、通讯技术与自动控制技术引入金属矿床开采学科领域, 讨论了数字矿山建设的总体思路, 为数字矿山建设搭建技术平台。

本书由中国工程院院士古德生教授、长江学者李夕兵教授主持撰稿、统稿和终审。参加本书编写的有: 古德生(第1章、第2章及第3章的部分内容), 胡建华(第3章的部分内容), 张钦礼(第4章), 戴兴国(第5章), 汤洵忠(第6章), 赵国彦(第7章), 王新民(第8章及第3章的部分内容), 胡汉华(第9章), 吴超(第10章), 刘敦文(第11章的部分内容), 黄仁东(第11章的部分内容), 徐国元(第12章及第11章的部分内容), 李夕兵(第13章), 刘爱华(第14章), 曹平(第15章), 邓建(第16章), 陈建宏(第17章、第18章及第22章), 王李管(第19章), 罗周全(第20章), 周科平(第21章及第11章的部分内容)。

本书在撰写过程中, 参阅了大量国内外有关文献, 作者在此谨向文献作者表示深深感谢。

由于作者水平所限, 加之书中许多内容至今仍在探索和发展之中, 书中不妥之处, 敬请读者指正。

古德生

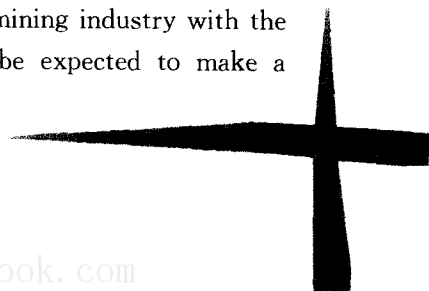
2006年7月于中南大学



## Preface

Many new disciplines and new research directions are born during the fast development of the science and technology and the birth of new thoughts, methodologies and techniques. Multi-disciplines are well integrated and the concept of science is greatly broadened. From the world-wide point of view, the mining industry which is usually taken as a basic industry in national economy has been modernized in the 21st century by the enormous changes in modern science and technology just like other traditional industries. This book is mainly focused on the non-ferrous mining area of which mining technologies are much different from that of 1990's ago. Mining is not limited to the traditional definition anymore. Many new contents have been introduced. In order to unify the developing direction of non-ferrous mining, to build up the basic framework of modern mining engineering science, and to expand the developing spaces for mining science and technology, the mining engineering faculty at Central South University (the major of mining engineering is one of the national key disciplines) should take a full responsibility for working hard to develop non-ferrous mining science and technology. This book titled *Modern Mining Science and Technology for Metal Mineral Resources* was written by many professors and includes both the research achievements obtained from the projects of the National Key Technological Research and Development Program, the important research projects funded by the Natural Science Foundation of China (NSFC), the projects of the National Basic Research and Development Program (973), the projects of the National High-Tech Research and Development Program (863), and the most advanced technologies over the world wide.

This book is not written as a university textbook but a professional monograph. Each chapter in the book is written independently and has its own theoretical and technological system. The contents in the book are not well detailed and systematic, but they emphasize on the newly advanced points, so that the viewpoints in this book are forward-looking academically, and this book induces the readers to explore the developing direction and future of non-ferrous mining science and technology. It is not easy to realize this objective because it requires not only very strong and systematic background knowledge but also a highly scientific sense and intelligence. The main purpose to publish this book is to discuss and exchange the opinions about how to develop technologies in mining industry with the colleagues in the same field. The reader's participation will be expected to make a





contribution for a good future of non-ferrous mining science and technology. At the same time the book is expected to play an important role in unifying the power force of all colleagues and especially all the young fellows so that we can work better for mining science and technology in China.

The book consists of 22 chapters. The version is about one million Chinese characters. The contents of this book cover the principal areas in non-ferrous mining science and technology, such as the sustainable development of mineral resources, the mining cyclic economy, the technological and economic evaluation of mineral resources, the modernization of mining equipment, the non-traditional mining technologies, the deep mining science and technology, the improvement of mining environment, the failure of rock mass and its control, the rockburst in deep mining and its induced fragmentation, the reliability analysis of mining engineering, the mining CAD technology, the digital mine, the GPS technology for open-pit mining and the regulations of mining industry, etc. The most important contents in the book can be summarized as the following 4 points:

(1) Put forward the developing directions of mining industry and stimulate harmonious development in environment and economy

The scientific issues related to the harmonious development between modern non-ferrous mining and environment was expounded systematically in this book from the viewpoint of the global sustainable development strategy, the contents include the sustainable development of the non-ferrous mineral resources, the sustainable exploitation of mineral resources, the developing strategy of mining industry and environmental management, the mining cyclic economy and mining cyclic economy models, etc.

(2) Develop the deep mining technologies and improve the mining efficiency of deep mineral resources

The basic theories and technology systems related to the exploitation of deep mineral resources were put forward in this book. Taking into account of special environmental conditions in deep mining such as high stress, high temperature and large underground depth, the authors mainly focus on studying the scientific issues such as the mechanism and technology of fragmentation of hard rock mass in large underground depth and high stress environment, the control methods of high underground temperature, the back-filling system and its pipe transporting technology, etc.

(3) Develop the theories of mining process control and the innovation of non-ferrous mining technologies

This book describes in details the mechanism of rock failure by blasting and the technology to control disaster of damaged rock structure by discussing the mechanisms of rock fragmentation by blasting, structural failure of damaged rock mass and reliability analysis of mining engineering. It also provides the basic theoretical support in innovation



of mining technology for the deep, hard to be exploited and low grade mineral resources.

(4) Strengthen researches on mining information technology and quicken the construction of digital mine

The general planning of digital mine construction was discussed, and the technical platform for constructing digital mine was build up in this book. The mineral resources model and its reservation calculation, digital mine technology, mining CAD technology, mining multi-information integrated technology, and so on were discussed, respectively. The computer technology, information technology, communication technology and automation technology were introduced into the non-ferrous mining field.

This book can be used by researchers, designers, engineers and university teachers working in the field of non-ferrous mining science and technology. It can be also referred to governmental planners and policy makers who are responsible for the development and planning of non-ferrous mining industry. The book can also be used as text-book of graduate students.

The book is edited and revised by Professors Gu Desheng (Member of the Chinese Science Academy) and Li Xibing. In details, Chapters 1~2 and Chapter 3 (partially) are written by Gu Desheng, Chapter 3 (partially) by Hu Jianhua, Chapter 4 by Zhang Qinli, Chapter 5 by Dai Xingguo, Chapter 6 by Tang Xunzhong, Chapter 7 by Zhao Guoyan, Chapter 8 and Chapter 3 (partially) by Wang Xinmin, Chapter 9 by Hu Hanhua, Chapter 10 by Wu Chao, Chapter 11 (partially) by Liu Dunwen, Chapter 11 (partially) by Huang Rendong, Chapter 12 and Chapter 11 (partially) by Xu Guoyuan, Chapter 13 by Li Xibing, Chapter 14 by Liu Aihua, Chapter 15 by Cao Ping, Chapter 16 by Deng Jian, Chapters 17, 18 and 22 by Chen Jianhong, Chapter 19 by Wang Liguan, Chapter 20 by Luo Zhouquan, Chapter 21 and Chapter 11 (partially) by Zhou Keping.

A lot of references are cited in this book. We would like to gratefully acknowledge all the authors of the references.

It's inevitable to have errors in this book due to the newly developed or to be developed materials. Your corrections and/or suggestions are very well appreciated.

**Gu Desheng**  
**Central South University**



# 目 录

<b>第 1 章 全球共识的可持续发展战略</b> .....	1
1.1 共同的发展理念 .....	1
1.2 可持续发展战略的形成 .....	2
1.2.1 可持续发展问题的讨论 .....	2
1.2.2 人类传统发展模式的转变 .....	3
1.3 可持续发展的内涵及目标 .....	3
1.3.1 可持续发展的内涵 .....	3
1.3.2 全球共同的发展战略目标 .....	4
1.4 中国 21 世纪议程 .....	5
1.4.1 《中国 21 世纪议程》的基本框架 .....	5
1.4.2 我国矿产资源可持续发展的目标 .....	6
参考文献 .....	7
<b>第 2 章 矿产资源与矿产开发的可持续发展</b> .....	8
2.1 我国金属矿产资源状况 .....	8
2.1.1 矿产资源的基本特征 .....	8
2.1.2 我国金属矿产资源状况 .....	9
2.2 金属矿产资源的可持续发展 .....	12
2.2.1 矿产资源可持续发展问题讨论 .....	12
2.2.2 与矿产资源相关的矿业问题 .....	15
2.3 矿产资源的安全供应 .....	16
2.3.1 全球矿产资源的争夺态势 .....	16
2.3.2 我国矿产资源安全与战略储备 .....	19
2.4 矿产开发的发展战略 .....	21
2.4.1 矿产开发利用的新观念 .....	21
2.4.2 矿产开发的发展战略讨论 .....	22
2.5 矿产开发的负效应与环境管理 .....	24
2.5.1 矿产开发的环境负效应 .....	24
2.5.2 规范全球的现代环境意识 .....	25
2.5.3 国际环境管理系列标准 .....	26
2.5.4 环境管理体系运行模式 .....	27



2.6 发展矿业循环经济 .....	29
2.6.1 矿业纳入循环经济问题 .....	29
2.6.2 循环经济的内涵及特征 .....	30
2.6.3 矿业纳入循环经济的模式 .....	32
参考文献 .....	34
<b>第3章 金属矿山非传统采矿技术 .....</b>	<b>35</b>
3.1 金属矿床地下开采连续采矿 .....	35
3.1.1 连续采矿技术发展的背景 .....	35
3.1.2 地下金属矿连续采矿模式 .....	37
3.1.3 一步骤房式回采振动机组出矿的连续采矿 .....	43
3.1.4 关于连续采矿的评价 .....	49
3.2 缓倾斜层状含水松软矿体深孔合采连续采矿法 .....	49
3.2.1 缓倾斜多层松软矿体深孔连续采矿法的提出 .....	49
3.2.2 缓倾斜层状松软含水矿体深孔合采连续采矿试验 .....	52
3.2.3 采场结构参数的优化 .....	55
3.2.4 灌浆工业试验 .....	59
3.2.5 多层矿体深孔合采条件下的矿岩石分离 .....	63
3.2.6 缓倾斜层状矿体深孔合采连续采矿试验的综合评价 .....	64
3.3 采矿环境再造深孔诱导落矿充填采矿法 .....	66
3.3.1 松软破碎富矿体的传统采矿方法 .....	66
3.3.2 采矿环境再造深孔诱导落矿充填法的提出 .....	68
3.3.3 采矿环境再造深孔诱导崩矿充填法采矿工艺 .....	69
3.3.4 新采矿法的评价 .....	77
3.4 采矿环境再造分段空场嗣后充填采矿法 .....	77
3.4.1 新采矿方法的提出 .....	77
3.4.2 大跨度矿房回采技术 .....	80
3.4.3 块石胶结充填技术 .....	82
3.4.4 采区地压监测与分析 .....	85
3.4.5 新采矿方法的评价 .....	86
3.5 深部开采的致灾环境控制 .....	86
3.5.1 深部矿床开采现状 .....	86
3.5.2 深部开采的特殊环境与基础研究 .....	90
3.5.3 深井岩爆的能量诠释 .....	94
3.5.4 矿山充填体的作用机理 .....	97
3.5.5 深井矿山的充填支护系统 .....	99
参考文献 .....	105



<b>第4章 矿产资源评估理论与方法</b> .....	107
4.1 矿产资源评估的目的、意义 .....	107
4.2 矿产资源评估方法 .....	108
4.3 矿产资源技术评估 .....	110
4.3.1 矿产资源富集区确定 .....	110
4.3.2 品位、金属量和矿石量的频度分布规律 .....	111
4.3.3 矿产资源潜在性评估 .....	115
4.3.4 多金属矿床评估 .....	117
4.3.5 勘探投资效果评价 .....	118
4.4 矿产资源经济评估 .....	120
4.4.1 影响矿产资源价值评估的因素 .....	120
4.4.2 矿产资源确定的依据 .....	121
4.4.3 探矿权评估 .....	122
4.4.4 采矿权评估 .....	122
参考文献 .....	125
<b>第5章 采矿设备大型化与智能化</b> .....	127
5.1 现代采矿设备的发展 .....	127
5.1.1 采矿装备支撑着采矿技术的发展 .....	127
5.1.2 采矿设备大型化及其智能化 .....	128
5.2 露天穿孔爆破设备——牙轮钻机 .....	129
5.2.1 牙轮钻机技术发展现状 .....	129
5.2.2 牙轮钻机的应用与主参数选择 .....	129
5.2.3 现代牙轮钻机制造技术 .....	131
5.2.4 新型牙轮钻机 .....	132
5.3 露天装载设备——电铲、液压挖掘机、轮式装载机 .....	133
5.3.1 露天装载设备的发展现状 .....	133
5.3.2 三种装载设备使用条件的比较 .....	135
5.3.3 制造大型装载设备的一些新技术 .....	136
5.3.4 目前几种世界大型装载设备简介 .....	138
5.4 露天自卸汽车 .....	140
5.4.1 露天自卸汽车的发展现状 .....	140
5.4.2 大型矿用汽车的几项关键技术 .....	141
5.4.3 目前最大的机械传动和电动轮汽车 .....	143
5.5 露天矿间断-连续运输设备 .....	144
5.5.1 间断-连续运输简介 .....	144
5.5.2 破碎转运机站 .....	146

5.5.3 胶带输送机 .....	148
5.6 露天开采设备的智能化 .....	149
5.6.1 发展进程及趋势 .....	149
5.6.2 自动化与智能化的全面开采系统 .....	150
5.6.3 自动化与智能化的技术代表 .....	151
5.7 地下矿采矿设备 .....	152
5.7.1 铲运机(LHD) .....	153
5.7.2 井下运输汽车 .....	155
5.7.3 井下钻机和凿岩台车 .....	157
5.8 地下开采设备的自动化、智能化与连续采矿机 .....	159
5.8.1 概述 .....	159
5.8.2 采矿设备的遥控和自动化作业技术 .....	160
5.8.3 井下连续采矿机 .....	162
参考文献 .....	163
<hr/>	
<b>第6章 金属矿床溶浸采矿技术 .....</b>	<b>164</b>
6.1 金属矿床溶浸采矿 .....	164
6.1.1 溶浸采矿概述 .....	164
6.1.2 溶浸采矿方法分类 .....	165
6.2 地表浸出法 .....	166
6.2.1 地表堆浸 .....	166
6.2.2 地表原地浅井浸出 .....	170
6.3 地下浸出法 .....	176
6.3.1 地下就地破碎浸出 .....	176
6.3.2 地下原地钻孔浸出 .....	181
6.4 金属矿物的微生物浸出 .....	187
6.4.1 浸矿微生物 .....	188
6.4.2 微生物浸矿机理 .....	190
6.4.3 微生物浸矿的工业应用 .....	194
6.5 溶浸矿山环境控制 .....	196
6.5.1 地表浸出矿山环境控制 .....	196
6.5.2 地下浸出矿山的环境控制 .....	198
参考文献 .....	199
<hr/>	
<b>第7章 海底与极地资源开采 .....</b>	<b>201</b>
7.1 海底资源的分类 .....	201
7.2 浅海底资源开采 .....	202
7.2.1 石油与天然气开采 .....	202



7.2.2 砂矿开采 .....	203
7.2.3 岩基矿床开采 .....	203
7.3 深海资源开采 .....	204
7.3.1 深海底资源赋存特征 .....	204
7.3.2 深海锰结核开采方法 .....	205
7.3.3 集矿机 .....	218
7.4 海底矿产资源开发对环境的影响 .....	224
7.4.1 对海底环境的影响 .....	224
7.4.2 对海表环境影响 .....	225
7.4.3 对海岸环境影响 .....	226
7.5 海底资源的可持续利用 .....	226
7.5.1 可持续利用的现实意义 .....	226
7.5.2 可持续利用基本内容和目标 .....	227
7.6 极地资源开发 .....	228
7.6.1 南极资源 .....	228
7.6.2 北极资源 .....	230
7.6.3 极地资源的开采与环保 .....	231
7.6.4 中国的极地资源开发政策与资源供应 .....	231
参考文献 .....	232

<b>第8章 深井充填管道输送技术</b> .....	235
8.1 深井环境下充填的特殊性 .....	235
8.2 深井充填材料选择及配比 .....	236
8.2.1 粉煤灰 .....	237
8.2.2 分级尾砂和全尾砂 .....	239
8.2.3 充填料的配比 .....	241
8.2.4 化学外加剂的应用 .....	242
8.3 管输充填料浆特性与水力计算 .....	243
8.3.1 充填料浆特性 .....	243
8.3.2 水力坡度 .....	245
8.3.3 充填料浆水力坡度的计算 .....	247
8.3.4 临界流速及有关管道参数的计算 .....	249
8.4 深井充填管道输送系统选择 .....	250
8.4.1 细砂管道自流输送充填系统 .....	251
8.4.2 膏体泵送充填系统 .....	252
8.4.3 膏体自流充填系统 .....	253
8.4.4 深井矿山充填系统的选择 .....	255

8.5 深井满管流输送技术 .....	256
8.5.1 满管流工作原理 .....	257
8.5.2 变径满管流输送方案 .....	259
8.5.3 变径满管流输送系统的垂直管道高度的确定 .....	260
8.6 深井管道输送系统减压方法 .....	261
8.6.1 储砂池(减压池)降压系统 .....	262
8.6.2 管道折返式减压系统 .....	263
8.6.3 阻尼节流孔减压系统 .....	263
8.6.4 滚动球阀门和比例流动控制阀减压系统 .....	265
8.6.5 孔状节流管减压系统 .....	266
8.6.6 缓冲盒弯头减压系统 .....	266
8.7 管道磨损机理与降低管道磨损技术 .....	267
8.7.1 管道磨损的主要影响因素 .....	267
8.7.2 管道磨损料浆输送速度 .....	268
8.7.3 管道磨损的计算公式 .....	269
8.7.4 耐磨管道选择 .....	270
8.7.5 降低管道磨损技术 .....	270
参考文献 .....	271
<hr/>	
<b>第9章 深井的热环境控制</b> .....	<b>273</b>
9.1 矿内热环境问题 .....	273
9.1.1 矿内热环境的原因 .....	273
9.1.2 矿内热环境的危害 .....	280
9.2 矿井热环境的分析与评价 .....	287
9.2.1 评价热环境的指标 .....	287
9.2.2 矿内热环境指标的安全标准 .....	291
9.2.3 矿井热环境计算 .....	292
9.3 矿井非空调降温 .....	295
9.3.1 通风降温 .....	296
9.3.2 控制热源降温 .....	296
9.3.3 特殊方法降温 .....	297
9.3.4 个体防护 .....	297
9.4 矿井制冷空调降温 .....	299
9.4.1 矿井空调系统 .....	299
9.4.2 矿用换热器 .....	302
参考文献 .....	310



<b>第 10 章 硫化矿床开采中重大灾害的防治</b> .....	311
10.1 硫化矿石自燃火灾概述 .....	311
10.2 硫化矿物及其物化性质 .....	312
10.2.1 常见硫化矿物的物理性质 .....	312
10.2.2 常见硫化矿物的化学性质 .....	316
10.3 硫化矿石自燃的机理 .....	318
10.3.1 硫化矿石自燃的化学热力学机理 .....	319
10.3.2 硫化矿石氧化的电化学机理 .....	324
10.3.3 水在预防硫化矿石自燃中的作用机理 .....	328
10.3.4 硫化矿石自燃的事故树分析 .....	330
10.4 硫化矿石自燃倾向性判定及其自燃预测 .....	332
10.4.1 硫化矿石自燃倾向性的测定方法 .....	332
10.4.2 硫化矿石氧化自热速率的测定方法 .....	337
10.4.3 硫化矿石自燃的早期预测方法 .....	339
10.4.4 采场硫化矿石堆自燃的预测数模 .....	341
10.4.5 硫化矿石堆自燃规律现场试验方法及实例 .....	344
10.5 硫化矿石自燃防治技术 .....	345
10.5.1 硫化矿石自燃的一般防治方法 .....	345
10.5.2 阻化剂在预防硫化矿石自燃中的应用 .....	346
10.5.3 硫化矿石自燃火灾防治技术要点 .....	347
10.6 硫化矿床开采中炸药自爆危险性评价及其预防 .....	349
10.6.1 炸药自爆的机理 .....	349
10.6.2 炸药自爆危险性的试验方法与装置 .....	351
10.6.3 炸药自爆试验及其安全评价 .....	354
10.6.4 炸药自爆的预防措施 .....	355
参考文献 .....	356
<b>第 11 章 矿山工程环境隐患治理</b> .....	359
11.1 露天边坡与排土场治理 .....	359
11.1.1 边坡设计 .....	359
11.1.2 稳定性计算 .....	362
11.2 矿山滑坡与泥石流形成机制及防治 .....	368
11.2.1 滑坡与泥石流形成机制 .....	370
11.2.2 滑坡与泥石流的危害与防治 .....	373
11.3 尾矿库病害的预防 .....	376
11.3.1 尾矿库的病害的类型划分 .....	376
11.3.2 尾矿坝的安全监测 .....	377



11.3.3 尾矿坝失稳预防及加固 .....	381
11.3.4 废弃尾矿库的复垦 .....	385
11.4 矿山隐患空区探测与处理 .....	389
11.4.1 概述 .....	389
11.4.2 隐患空区探测技术 .....	390
11.4.3 采空区探测与成图 .....	398
11.4.4 采空区处理 .....	400
11.5 矿山水患的治理 .....	402
11.5.1 井下有压水患与泄水 .....	403
11.5.2 帷幕注浆堵水 .....	409
11.5.3 淹没矿井的处理 .....	411
参考文献 .....	411
<b>第 12 章 矿岩爆破破裂行为与控制 .....</b>	<b>415</b>
12.1 现代工业炸药与电子雷管技术 .....	415
12.1.1 现代工业炸药 .....	415
12.1.2 电子雷管技术 .....	420
12.2 矿岩爆破破碎与定向致裂技术 .....	425
12.2.1 爆破破岩机理与爆破作用产生破坏的估算 .....	425
12.2.2 影响爆破破岩效果的关键因素分析 .....	429
12.2.3 大直径深孔爆破定向致裂与破碎技术的应用 .....	438
12.3 爆破振动效应与控制技术 .....	443
12.3.1 爆破振动效应的理论基础 .....	443
12.3.2 爆破振动效应信号的预测技术 .....	447
12.3.3 爆破振动效应危害的判据及其控制技术 .....	448
参考文献 .....	450
<b>第 13 章 深部开采岩爆与碎裂诱导 .....</b>	<b>452</b>
13.1 前言 .....	452
13.2 深部复杂条件下岩石力学性质试验研究 .....	454
13.2.1 深部高应力脆性岩石静力学特征 .....	454
13.2.2 动静组合载荷下的岩石力学试验 .....	456
13.2.3 动静组合载荷下岩石本构方程 .....	462
13.2.4 动静组合载荷下岩石的突变失稳机理 .....	467
13.3 深部开采岩爆机理与控制 .....	471
13.3.1 岩爆产生的条件及其危险性判别 .....	471
13.3.2 动静组合载荷下硐室岩爆机理 .....	478
13.3.3 岩爆防治技术 .....	483



13.3.4 岩爆监测技术 .....	486
13.4 高应力岩爆倾向硬岩巷道支护技术 .....	488
13.4.1 高应力硬岩巷道支护原理 .....	488
13.4.2 岩爆倾向巷道的破坏形式及对支护的特殊要求 .....	490
13.4.3 高应力岩爆倾向巷道的支护技术与新型支护材料 .....	490
13.5 深部硬岩致裂理论与技术 .....	493
13.5.1 高应力条件下硬岩致裂机理 .....	493
13.5.2 动、静载荷耦合破岩理论 .....	495
13.5.3 深部硬岩致裂新技术 .....	498
13.6 深部矿床诱导崩落 .....	499
13.6.1 深部开采方法变革新思路 .....	499
13.6.2 深部矿床诱导崩落技术与原理 .....	500
13.6.3 深部矿床诱导崩落时空演化模拟 .....	504
13.6.4 深部矿床诱导崩落研究展望 .....	505
参考文献 .....	506
<hr/>	
<b>第 14 章 岩体工程力学的应用研究 .....</b>	<b>512</b>
14.1 概况 .....	512
14.2 岩体工程力学概述 .....	513
14.2.1 岩体工程力学的研究对象 .....	513
14.2.2 岩体工程力学基本问题 .....	515
14.2.3 矿山岩体工程问题的基本研究方法 .....	516
14.2.4 岩体工程力学基本理论 .....	517
14.3 岩体工程新理论和新技术综合评述 .....	519
14.3.1 概述 .....	519
14.3.2 岩体工程领域面临的新任务 .....	520
14.3.3 岩体工程力学的新理论与新技术评述 .....	521
14.4 岩体工程力学在工程中的应用 .....	529
14.4.1 岩体工程力学理论与硐室工程 .....	529
14.4.2 岩体工程力学理论与边坡工程 .....	532
14.4.3 岩体工程力学理论与基础工程 .....	533
14.4.4 岩体工程力学理论与核废料处理工程 .....	537
14.4.5 岩体工程力学理论与深部开采工程 .....	539
14.5 岩体工程力学的发展趋势 .....	540
参考文献 .....	542
<hr/>	
<b>第 15 章 岩石时效测试与矿柱稳定性 .....</b>	<b>543</b>
15.1 岩石亚临界裂纹扩展与岩石流变试验 .....	543
15.1.1 双扭试件亚临界裂纹扩展速率与应力强度因子 .....	543





15.1.2	岩石亚临界裂纹扩展双扭试件试验 .....	545
15.1.3	分级加载岩石流变试验 .....	548
15.2	矿柱失稳的突变理论分析 .....	552
15.2.1	分叉与突变理论 .....	553
15.2.2	考虑开挖影响的矿柱稳定性 .....	554
15.2.3	硬岩矿柱纵向劈裂失稳 .....	558
15.3	矿山岩石工程监测 .....	562
15.3.1	现代传感器技术 .....	562
15.3.2	工程自动监测中的信息网络 .....	564
15.3.3	岩石工程实时、远程与非接触监测 .....	565
15.3.4	监测信息处理与岩层控制监测 .....	566
	参考文献 .....	577
<b>第 16 章 采矿工程可靠度分析 .....</b>		
16.1	采矿工程中的随机可靠性问题 .....	580
16.1.1	采矿工程中的不确定性 .....	580
16.1.2	采矿工程的极限状态 .....	581
16.1.3	采矿工程的可靠度 .....	582
16.1.4	采矿工程的可靠指标与安全系数 .....	583
16.2	采矿工程随机可靠度分析 .....	585
16.2.1	一次可靠度分析法 .....	585
16.2.2	蒙特卡罗模拟 .....	590
16.2.3	点估计法 .....	591
16.2.4	响应面分析 .....	592
16.3	基于神经网络的随机有限元 .....	595
16.3.1	随机有限元概述 .....	595
16.3.2	功能函数的神经网络模型 .....	598
16.3.3	基于神经网络的蒙特卡罗有限元 .....	600
16.3.4	基于神经网络的一次可靠度方法 .....	601
16.4	采矿工程随机可靠度设计 .....	603
16.4.1	采矿工程随机可靠度直接设计 .....	603
16.4.2	基于可靠度的采矿工程优化设计 .....	604
16.5	实例 .....	605
16.5.1	矿柱可靠度分析与设计 .....	605
16.5.2	露天矿边坡可靠度分析 .....	606
16.5.3	岩石结构面强度准则可靠度分析 .....	608
	参考文献 .....	609