



**MINING
HANDBOOK**

Vol.2

2

冶金工业出版社

采
矿
手
册

采 矿 手 册

第 2 卷

《采矿手册》编辑委员会 编

702757

冶金工业出版社

《采矿手册》编辑委员会

主任 费子文

副主任 张济中 王绍良

顾问 洪戈

委员 (按姓氏笔画排列)

马力	方大成	王柯	王庚	王鉴	王一平	王绍良	王国发
王裕民	田欲学	朱琛	朱棣华	任天贵	刘东升	刘正和	刘同友
刘怀裕	刘宝琛	孙家彪	李荫棠	李晓惠	李源梁	吴统顺	张融
张济中	张树麟	张富民	严敏斋	郑若灿	孟昭兴	洪戈	姜渭中
费子文	胡天毅	胡汝坤	胡克智	赵庆和	郭万君	唐昭武	梁克钧
章寿梧	黄占元	黄玉衍	黄恩兆	崔荫宇	童光照	焦玉书	解世俊
綦琪	潘长良	穆毅					

《采矿手册》总编辑部

主任 吴统顺

总编辑 (按姓氏笔画排列)

邓洪贵	陈尚文	邹佩麟	吴理云	胡汝坤	姜渭中	章寿梧	曹燮明
焦承祖	董业建	熊国华					

《采矿手册》第二卷编写人员

(按章节顺序排列)

主编 徐小荷

副主编 廖国华 洪有秋 黄存绍 贯鸿林 周晋华

编写人员

第六章	廖国华	林韵梅	周叔举	田良灿	钟时猷	赵庆和	王泳嘉
	刘宝琛	马光					
第七章	徐小荷	张国忠	蔡友梅	丁振堃	曹一南	刘清荣	张天生

	田永生	文先保	高森	张文楨			
第八章	洪有秋	钮强	程宏盛	贾进宝	汪旭光	唐宜进	刘宝康
	徐天瑞	边克信	曾世奇	朱德达	高士才	廖先骥	廖明清
	吴稚淮	马柏龄	郭子庭	普永发	夏兆铭	刘定吉	李香灿
第九章	黄存绍	王惠英	罗国魁	姚必鸿	王家齐	赵煜东	王方强
	杨竹林						
第十章	贯鸿林	王柯	罗邦兆	程良奎	张春漪	肖焕杰	廖国华
第十一章	周晋华	吴理云	宋琳	袁再武	简富昌	何修仁	常德河
	冯爱华	曹敏学	谢国华	张泽荫	周昌达	张春漪	

《采矿手册》第二卷审稿人员

(按姓氏笔画排列)

王昌汉 (第六章主审) 王泳嘉 王喜鹏 王永固 王集璇 (第十章主审)
 王均中 邓洪贵 冯铭翰 白永江 古德生 刘智超 朱瑞赓
 孙德新 (第七章主审) 李树生 朱焯 牟以诺 孙伟厉 何文鑫 陈尚文
 佟杰新 何正范 陈均海 陈新万 (第十一章主审) 邹佩麟 周先明
 周自成 张俊熙 罗贤保 欧阳建功 周秉坤 吴培生 张济中
 郑家就 吴统顺 侯启英 赵统武 赵慧文 姜渭中 钟时猷 钟德达
 倪应玲 桑玉发 袁德在 陶颂霖 (第八章主审) 徐小荷 高磊 曹燮明
 梁国强 章寿梧 (第九章主审) 曾跃

责任编辑 赵树莉

内容简介

《采矿手册》全书41章，分七卷出版

第一卷 矿山地质和矿山测量

第二卷 凿岩爆破和岩层支护

第三卷 露天开采

第四卷 地下开采

第五卷 矿山运输和设备

第六卷 矿山通风与安全

第七卷 矿山管理

本册为第二卷，包括岩石力学、凿岩工程、爆破工程、采场运搬及溜井放矿、岩层支护与加固、井巷工程等六章。

本书主要供矿山采矿工程师使用，对从事采矿工作的科研、设计、教学、矿山管理人员也不失为一部重要的参考书。

117.3.86 / 05

ABSTRACT

The handbook totalling 41 chapters is published in seven volumes as follows:

Volume 1 Mining geology and mining survey.

Volume 2 Drilling, blasting and rock stratum support.

Volume 3 Open-pit mining.

Volume 4 Underground mining methods.

Volume 5 Mine haulage and equipment management.

Volume 6 Mine ventilation and safety.

Volume 7 Mine management.

More than 500 specialists and professors have participated in writing and examining the manuscripts. A large amount of technical informations and illustrations are provided by the related mines and plants. This Mining Handbook is intended mainly for engineers and managerial personnel of mines, as a reference book it is also suitable for engineers and technicians in engineering and research institutes, and the members of faculty and students in colleges and universities as well.

《采矿手册》总目录

第1卷

- 第1章 总论
- 第2章 地质与矿床
- 第3章 矿山地质工作
- 第4章 矿山测量
- 第5章 矿山地面总体布置

第2卷

- 第6章 岩石力学
- 第7章 凿岩工程
- 第8章 爆破工程
- 第9章 采场运搬及溜井放矿
- 第10章 岩层支护与加固
- 第11章 井巷工程

第3卷

- 第12章 露天开采
- 第13章 露天矿边坡工程
- 第14章 砂矿床露天开采
- 第15章 溶浸、水溶、热熔采矿及盐湖矿床开采
- 第16章 海洋采矿

第4卷

- 第17章 矿床开拓
- 第18章 采矿方法分类与选择
- 第19章 空场采矿法
- 第20章 充填采矿法
- 第21章 崩落采矿法
- 第22章 矿柱回采和采空区处理

- 第23章 采场地压控制
第24章 特殊条件下的开采

第5卷

- 第25章 地面运输及转载
第26章 地下运输
第27章 矿井提升
第28章 矿山压气
第29章 矿山供电及照明
第30章 设备管理维修
第31章 矿山自动化及检测仪表

第6卷

- 第32章 矿山安全工程
第33章 矿山通风
第34章 矿山防排水
第35章 矿山防灭火
第36章 矿山卫生工程
第37章 矿山环境工程

第7卷

- 第38章 矿山技术经济研究和评价
第39章 采矿系统工程
第40章 矿石质量管理与资源综合利用
第41章 矿山管理
附录

目 录

第6章 岩石力学	1
6.1 概述	1
6.2 岩石的示性指标	2
6.2.1 比重和密度	2
6.2.2 孔隙率	3
6.2.3 含水率和吸水率	3
6.2.4 渗透系数	5
6.2.5 点载指数	6
6.2.6 施密特硬度	7
6.2.7 耐水指数	8
6.2.8 弹性波传播速度	10
6.3 岩体的工程分类	11
6.3.1 普氏坚固性分级	11
6.3.2 岩体质量Q分类 (NGI法)	12
6.3.3 动态分类法	18
6.4 岩石的变形与强度	20
6.4.1 室内试验	20
6.4.2 应力-应变曲线及破坏判据	24
6.4.3 岩石的力学参数	30
6.5 应力分析	35
6.5.1 几个有用的弹性解析解	35
6.5.2 有限单元法	41
6.5.3 边界单元法	46
6.5.4 离散单元法	50
6.6 岩体力学性能	57
6.6.1 不连续面的力学性能	57
6.6.2 岩体的强度与变形	65
6.7 块体滑塌分析	71
6.7.1 滑塌块体的识别	71
6.7.2 块体几何	78
6.7.3 块体的稳定性	80
6.8 散体的物理力学性质	81
6.8.1 散体的物理力学参数的测定	81
6.8.2 影响散体力学性质的因素	90
6.8.3 等效力学模型	92
6.9 岩石力学中的物理模拟	95
6.9.1 相似材料模拟研究	95

6.9.2 偏振光弹模拟研究	99
6.9.3 底摩擦模拟法	102
6.10 现场测量	103
6.10.1 原岩应力测量	103
6.10.2 位移测量和收敛测量	108
6.10.3 其他测量	112
6.10.4 水压测量	115
参考文献	118
第7章 凿岩工程	120
7.1 概述	120
7.1.1 凿岩破碎的分类和原理	120
7.1.2 岩石可钻性及其测定方法	120
7.2 露天钻孔	124
7.2.1 露天牙轮钻机	124
7.2.2 露天潜孔钻机	141
7.2.3 露天旋转钻机	155
7.2.4 凿岩钻车	161
7.3 地下凿岩	168
7.3.1 气动凿岩机	169
7.3.2 液压凿岩机	178
7.3.3 内燃凿岩机及电动凿岩机	187
7.3.4 凿岩钻车和钻架	187
7.3.5 地下用潜孔、牙轮和金刚石钻机	196
7.4 钻具	205
7.4.1 牙轮钻具	205
7.4.2 潜孔钻具	216
7.4.3 旋转钻具	221
7.4.4 金刚石钻进用钻具	222
7.4.5 钎具	225
7.4.6 矿用硬质合金	234
7.4.7 钎头修磨	237
7.5 影响钻孔与凿岩速度的主要因素	238
7.5.1 牙轮钻钻孔	238
7.5.2 冲击式凿岩	242
7.5.3 旋转式钻孔	245
7.5.4 排渣对钻孔速度的影响	247
7.6 钻孔与凿岩的技术经济指标	247
7.6.1 露天牙轮钻的技术经济指标	247
7.6.2 露天潜孔钻工效和成本	248
7.6.3 露天旋转钻机的技术经济指标	249
7.6.4 露天二次爆破的凿岩费用	249
7.6.5 地下凿岩的技术经济指标	251

7.7 破碎岩石的非凿岩爆破方法	253
7.7.1 犁松法及其设备	253
7.7.2 碎石器	255
7.7.3 开采大理岩的锯石设备	261
7.7.4 静态破碎剂	263
7.7.5 水射流破碎	267
7.7.6 岩石的热破碎	268
参考文献	270
第8章 爆破工程	271
8.1 概述	271
8.1.1 爆炸现象与炸药	271
8.1.2 工程爆破的类别	271
8.1.3 评价矿山爆破的技术经济指标	272
8.2 岩石的爆破性及其分级	272
8.2.1 岩石的动态力学性质	272
8.2.2 岩石爆破性分级	274
8.3 矿用炸药	281
8.3.1 矿用炸药的发展及特点	281
8.3.2 铵油类炸药	282
8.3.3 含水炸药	286
8.3.4 铵梯炸药	290
8.3.5 其他炸药品种	292
8.3.6 矿用炸药主要示性指标及测试方法	295
8.3.7 矿用炸药分类及使用范围	300
8.4 起爆器材与起爆方法	301
8.4.1 导火索	301
8.4.2 导爆索	301
8.4.3 导爆管	302
8.4.4 火雷管	303
8.4.5 电雷管	304
8.4.6 非电瞬发雷管和非电延期雷管	311
8.4.7 其他起爆器材	312
8.4.8 起爆方法与网路	314
8.4.9 中继起爆药柱	320
8.5 爆破技术	323
8.5.1 爆破技术的理论和实践概况	323
8.5.2 岩石爆破机理	324
8.5.3 爆破参数及其选择	326
8.5.4 浅孔爆破	333
8.5.5 深孔爆破	334
8.5.6 药壶爆破	336
8.5.7 硐室爆破	337

8.5.8	二次爆破	346
8.5.9	控制爆破技术	349
8.5.10	高温爆破技术	358
8.6	装药设备	360
8.6.1	露天装药设备	360
8.6.2	井下装药设备	366
8.7	爆破产生的有害效应及爆破安全	368
8.7.1	爆破地震效应	368
8.7.2	爆炸空气冲击波	374
8.7.3	飞石	379
8.7.4	爆破噪声	381
8.7.5	爆炸产生的有毒气体	383
8.7.6	爆破安全	386
	参考文献	387
第9章	采场运搬及溜井放矿	389
9.1	概述	389
9.1.1	采场运搬和采场底部结构在地下采矿方法中的地位	389
9.1.2	采矿底部结构分类	389
9.1.3	采场运搬方法分类	390
9.2	采场底部结构	391
9.2.1	采场底部结构的重要性及其发展趋势	391
9.2.2	漏斗式底部结构	391
9.2.3	堑沟式底部结构	395
9.2.4	平底式底部结构	396
9.3	重力自溜运搬	400
9.3.1	重力自溜运搬的概述	400
9.3.2	漏口(溜口)闸门种类和适用条件	401
9.3.3	闸门型号规格	406
9.3.4	漏口放矿实例	406
9.4	振动放矿	407
9.4.1	振动放矿的概述	407
9.4.2	振动放矿的采场底部结构	408
9.4.3	振动出矿机	409
9.4.4	振动放矿实例	412
9.5	电耙运搬	418
9.5.1	电耙运搬的应用条件和应用方式	418
9.5.2	电耙运搬主要装置	418
9.5.3	提高电耙运搬效果的途径	420
9.5.4	电耙运搬采场底部结构尺寸设计	421
9.5.5	电耙运搬的应用及评价	423
9.6	爆力运搬	423
9.6.1	爆力运搬的应用条件	423

9.6.2	爆力运搬的底部结构	424
9.6.3	爆力运搬的凿岩爆破参数	425
9.6.4	爆力运搬实例	426
9.6.5	爆力运搬的评价	430
9.7	无轨设备运搬	430
9.7.1	无轨设备	430
9.7.2	无轨设备运搬的发展趋势	433
9.7.3	无轨设备运搬的底部结构	434
9.7.4	无轨设备运搬实例	435
9.7.5	无轨设备运搬的评价	438
9.8	连续运搬	438
9.8.1	连续运搬与连续开采	438
9.8.2	连续开采运搬实例	439
9.8.3	连续开采的运搬	440
9.8.4	连续运搬的发展趋势	444
9.9	其他运搬方法	445
9.9.1	水力冲运	445
9.9.2	板式给矿机运搬	446
9.9.3	单轨运搬	447
9.10	溜井放矿	448
9.10.1	溜井的结构形式	448
9.10.2	溜井的结构参数	448
9.10.3	溜井放矿生产能力	454
9.10.4	溜井的故障及其处理	454
9.10.5	溜井放矿实例	458
	参考文献	458
第10章	岩层支护与加固	459
10.1	概述	459
10.2	支护原理	459
10.2.1	巷道周围的应力分布和破坏模式	459
10.2.2	支护与围岩的相互作用	469
10.2.3	地压计算综述	474
10.2.4	支护方法的设计	482
10.3	巷道支护	485
10.3.1	锚杆支护	485
10.3.2	喷射混凝土支护	495
10.3.3	装配式支架	512
10.3.4	整体式支护及砌碇支护	518
10.4	采场支护	526
10.4.1	采场支护的特点	526
10.4.2	采场支护方法	526
10.4.3	采场支护实例	523

10.5 岩层加固	531
10.5.1 长锚索加固	531
10.5.2 注浆加固	537
参考文献	540
第11章 井巷工程	542
11.1 概述	542
11.1.1 我国井巷施工技术的发展	542
11.1.2 存在问题和趋向	542
11.2 井巷断面设计	543
11.2.1 竖井断面设计	543
11.2.2 巷道断面设计	560
11.2.3 斜井断面设计	570
11.2.4 斜坡道断面设计	575
11.3 竖井施工	580
11.3.1 竖井普通法施工	580
11.3.2 竖井延深	636
11.3.3 盲竖井施工	644
11.3.4 特殊凿井法	650
11.3.5 井底车场施工及建井总组织	657
11.4 平巷施工	666
11.4.1 平巷普通法施工	666
11.4.2 复杂地质条件下的巷道施工	700
11.4.3 联合掘进机及掘进新方法	706
11.5 天(溜)井掘进	715
11.5.1 普通法掘进天井	715
11.5.2 吊罐法掘进天井	717
11.5.3 爬罐法掘进天井	724
11.5.4 深孔爆破法掘进天井	727
11.5.5 钻进法掘进天井	736
11.5.6 天井掘进方法评述	746
11.5.7 溜井加固	746
11.6 斜井及斜坡道施工	753
11.6.1 斜井施工	753
11.6.2 斜坡道掘进	762
11.7 硐室施工	766
11.7.1 硐室开挖方法的影响因素	766
11.7.2 硐室开挖方法	767
11.7.3 硐室开挖工艺技术及经验	775
参考文献	780
索引	782

CONTENTS

Chapter 6 Rock Mechanics	1
6.1 Introduction	1
6.2 Index of Rock Properties.....	2
6.3 Engineering Classification of Rock Mass.....	11
6.4 Deformation behavior and Strength of Rock.....	20
6.5 Stress Analysis.....	35
6.6 Mechanical Properties of Rock Mass.....	57
6.7 Block Sliding Analysis.....	71
6.8 Mechanics of Lossen Material	81
6.9 Physical Modelling Used in Rock Mechanics.....	95
6.10 In-situ Measuring and Monitoring.....	103
References	118
Chapter 7 Drilling Engineering	120
7.1 Introduction	120
7.2 Drilling at Open Pit.....	124
7.3 Drilling in Underground Mine.....	168
7.4 Drilling Tools	205
7.5 The Main Factors Which Influence on Thrust Rate.....	238
7.6 The Technical-Economical Index of Drilling	247
7.7 Rock Breaking by Non-blasting Method.....	253
References	270
Chapter 8 Blasting Engineering	271
8.1 Introduction	271
8.2 Rock Blastibility and Its Classification.....	272
8.3 Mining Explosives	281
8.4 Initiating Materials and Methods.....	301
8.5 Blasting Techniques.....	323
8.6 Blasthole Loading Equipments.....	360
8.7 The Harmful Effects Caused by Blasting and Blasting Safety	368
References	387
Chapter 9 Ore Removal from Stope and Ore-Pass	389
9.1 Introduction	389
9.2 Structure of Stope Sill.....	391
9.3 Gravity-Operated Haulage in Stope	400
9.4 Vibrating Ore Drawing Machine.....	407
9.5 Scraper Lashing.....	418
9.6 Transporting with Blasting Power	423
9.7 Trackless Haulage.....	430
9.8 Continuous Haulage.....	438
9.9 Ore-Pass System.....	445
9.10 Chute draw.....	448
References	458
Chapter 10 Ground Support and Stabilization	459
10.1 Introduction	459
10.2 Principle of Ground Support.....	459
10.3 Opening Support.....	485
10.4 Stope Support.....	526
10.5 Ground Stabilization	531

References	540
Chapter 11 Shaft-Sinking and Tunneling	542
11.1 Introduction	542
11.2 Designing the Shape and Size of Opening.....	543
11.3 Shaft Sinking	580
11.4 Tunneling and Drifting	666
11.5 Raising	715
11.6 Inclined Shaft and Ramp Driving.....	753
11.7 Chamber Excavating	766
References	780
Index	782

第6章 岩石力学

6.1 概 述

采矿工程是在地壳表层中进行开挖的一种工程，它以安全并最大限度地采出有用矿体为目标。采矿所开挖的空间，是一个由巷道、硐室和采场等构成的系统。为了保证在这个系统中能够高效、安全、连续不断地作业，它要维护已经被开挖出来的空间。通常在岩石不好的地段，须给予适当的支护，以防止开挖空间发生垮塌和毁坏。部分矿体被采出之后，专门为它服务的巷道和采场随着失去了继续存在的意义，但是这部分被废弃的开挖空间，仍然可能影响邻近作业区域甚至整个开挖系统的安全，因此在原则上仍须予以处理和

控制。

岩石力学是岩石和岩体力学性态理论及应用的科学，它是与岩石和岩体对所在物理环境中力场的反应有关的力学分支^[1]。研究地壳岩体因开挖而诱发的变形和破坏及其控制方法的学科属于岩石力学。采矿工程中一系列重要的设计及生产环节，诸如露天矿边坡设计及不稳定边坡的处理，地下矿开拓系统及开采顺序的确定，巷道、硐室及采矿场的合理布局、支护方式及支护量的估算，采矿方法及其构成要素的选定，地层控制及空区处理，岩层移动及井下和地面对象的合理布局及保护性开采等等，都涉及岩石力学理论和实践问题。可以认为，岩石力学是现代采矿工程学的一门基础科学。

开挖体围岩的变形和破坏无疑与开挖体的大小、几何形态、埋藏深度甚至开挖方式有关，然而也往往在更大程度上与围岩的岩体结构（断层及节理之类地质不连续面对岩体的切割）、岩性及水文地质条件有关。事实说明，岩土工程中发生过的重大灾难事故，几乎总是由于不了解现场的重大地质缺陷而造成的。充分查明现场的地质条件是正确应用岩石力学原理解决实际问题不可缺少的前提。

全面了解并正确评价了矿区工程及水文地质条件之后，就有可能对采矿设计及生产中将要发生的岩石力学问题进行预测。结构控制的破坏和应力控制的破坏是岩体失稳的两种基本模式^[2]，结构控制的破坏模式可通过分析地质不连续面及开挖临空面对岩体的切割方式来加以识别。地质不连续面及临空面切割岩体而形成的潜在滑塌体的稳定性可通过极限平衡分析来加以估算；应力控制的破坏是否发生则需在作出了应力分析后才能得出结论。岩石力学中遇到的应力分析问题大都是十分复杂的，但由于数值法的发展及电脑的普遍应用，求得问题的数值解如今也不十分困难。除计算解法之外，也可用物理模拟法来解决岩石力学问题。设计正确的简单物理模拟可帮助人们了解问题的主要力学机制，如果要通过模拟来了解问题的细节，则制作模型需要高度的技巧。

力学计算中所用的多种参数，需通过室内或现场岩石力学性能试验加以测定，测得的参数若不能反映真实岩体，则计算结果也难以正确。事实上，对于岩体这种复杂的对象，用唯一确定的参数来描述其性能可能局限性很大，因此，对于重要的课题，常需进行对参数的灵敏度分析，以了解答案变化的情况及变动的范围，为决策提供更多的信息^[3]。

采矿开挖是一种长期不断的开挖，开挖范围不断扩大和延深，新问题可能层出不穷。因此，长期地监测岩体的动态是十分重要和必要的。长期监测所积累起来的资料，对于指