



等教育精品教材立项项目

高等硬岩采矿学

(第2版)

杨 鹏 蔡嗣经 编著

GAODENG YINGYAN
CAIKUANG XUE



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

精品教材立项项目

高等硬岩采矿业

(第2版)

编著 杨 鹏 蔡嗣经

主审 刘华生

北 京

冶金工业出版社

2010

内 容 提 要

本书为采矿工程专业硕士研究生专业教材。书中全面阐述了硬岩矿床开采所涉及的各种主要问题,包括国内外硬岩矿床露天开采和地下开采的理论研究进展以及新技术、新工艺的应用,矿区经济评价与矿业权评估,岩体工程地质特性分析、硬岩矿床开采地质灾害与防治,现代科学技术在采矿中的应用,特殊采矿方法等。

本书也可作为矿业、能源、环境等学科领域本科高年级学生的辅助教材,以及供从事矿业管理和研究工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

高等硬岩采矿学/杨鹏,蔡嗣经编著. —2版. —北京:
冶金工业出版社,2010.10

北京市高等教育精品教材立项项目

ISBN 978-7-5024-5409-8

I. ①高… II. ①杨… ②蔡… III. ①岩石—矿山
开采—研究生—教材 IV. ①TD8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 197635 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjcb@cnmip.com.cn

责任编辑 宋 良 美术编辑 张媛媛 版式设计 葛新霞

责任校对 侯 瑁 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-5409-8

北京百善印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

1995 年 12 月第 1 版,2010 年 10 月第 2 版;2010 年 10 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16;15.75 印张;376 千字;234 页

32.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)



序

矿业是国民经济的基础产业,是各行业可持续发展的支柱。在科学技术飞速发展的今天,我国已然成为矿业大国,但还不是矿业强国,在生产工艺和装备条件,资源回收和综合利用程度,矿山数字化信息系统建设等方面,目前达到或接近世界先进水平的现代化矿山还为数不多。我国的金属矿业面临诸多挑战,任重道远。

我国正处于工业化中期阶段,是矿产资源消耗强度逐步接近高峰的时期。进入21世纪以来,我国已陆续建成或正在建设一批大中型矿山,国家对采矿科学技术研究也给予了前所未有的巨大投入,从而使我国金属矿业进入了一个新的发展时期。由于国家对金属矿物需求量的大幅增长和采矿科学技术的长足进步,我国金属矿业已将矿床开采目标逐步扩大到了开采条件和加工条件更加复杂的五类矿床,即深部矿床、贫矿床、风化破碎矿床、水体下矿床和高寒地区矿床,这给采矿科技工作者和采矿工程师们带来了许许多多科学技术难题。展望未来,矿业总的发展趋势是:以资源-经济-环境相协调为核心,以矿山安全为基础,向矿山生产高效化、数字化、智能化、无废化,以及提高矿产资源综合利用水平的方向发展。为了适应我国金属矿业的发展形势,高等学校的采矿工程学科要进一步加强深部矿床开采与特殊难采矿床开采的研究,推进科学技术的发展;要更加努力地提高采矿工程学科的教育质量,培养更多高层次、高水平的采矿工程技术人才。这是时代赋予我们的历史责任,我国采矿界的先辈们曾为我们树立了很好的榜样。

童光煦教授是我国金属矿业界的老前辈,上世纪40年代,他在南非、美国学习采矿工程和地质工程近十年;1948年回国后,先后在武汉大学矿冶系、北洋大学采矿系任教,同期还兼任过北京大学地质系和清华大学采煤系教授;1952年,到我国高等学校院系调整后成立的北京钢铁学院(现北京科技大学)采矿系任教,从教长达50余年。1978年我国恢复研究生招生制度后,他是我国首批采矿专业博士生导师,为国家培养了大批硕士和博士。他为研究生讲授“高等硬岩采矿学”学位课,并以授课多年积累下来的丰厚成果为素材,撰写了《高等硬岩采矿学》一书,于1995年由冶金工业出版社出版。这本教材对我国金属矿业界和高等学校采矿专业产生过很大的影响。为了传承和发扬童光煦教授的未竟事业,反映该学科的最新成果,由童先生的弟子、北京科技大学的杨鹏教授和蔡嗣经教授对《高等硬岩采矿学》(第1版)进行修订,使第2版得以付梓。这对提高采矿工程专业研究生的培养质量,完善学科教学体系,丰富专业教材品种,无

疑是件极有意义的工作。

本书主要阐述金属矿床开采所涉及的主要工程技术问题,包括金属矿床露天开采和地下开采理论的研究进展,采矿新技术、新工艺和新设备的应用,矿区经济评价与矿业权评估方法,岩体工程地质特性分析及矿床开采地质灾害防治,现代科学技术在矿业中的应用,特殊矿产资源开采等。书中内容,既有作者多年来的教学研究所得,又有国内外其他学者的最新研究成果;既言简意赅,又涉猎广博。相信本书的出版,对于希望系统了解本学科的发展现状,并有志于继续深入研究下去的读者而言,不无裨益。

站在时代的前沿来审视世界矿业,可清晰看到,金属矿业与其他传统产业一样,在现代科学技术快速发展的推动下,正逐步走向现代化。现代采矿科学技术已突破了传统的学科范畴,深究了学科的深邃内涵,拓展了学科的发展空间。让我们继承采矿前辈爱国敬业的优良传统,共同把握和发展金属矿床开采科学技术的未来,为我国的采矿事业,作出新的贡献。

时值庚寅金秋,掩卷遐思,深感学界来者有继,欣慰之情难以言表。草此短文,是为序。

中国工程院院士 中南大学教授
教育部地矿学科教学指导委员会主任



2010年8月29日

第 2 版 前 言

童光煦先生编著的《高等硬岩采矿学》(第 1 版)自 1995 年由冶金工业出版社出版以来,在我国采矿界特别是高等学校产生了很大影响,对提高我国采矿工程专业研究生的培养质量起到了极大的促进作用。因童光煦先生已于 2000 年逝世,在征得先生亲属同意后,作为先生的弟子以及主讲本课程十余年的教师,我们义不容辞地承担起该书的修订工作。

本次修订,主要考虑的是要充分反映近十几年来硬岩矿床开采理论研究与工程实践的新进展。与原版相比较,这次修订的重点是增加了一些内容,主要有:矿业权评估,硬岩矿床开采地质灾害与防治,特殊地区矿产资源开发,现代科学技术在采矿工程中的应用等。至于其他方面的内容,基本上是在保留原版框架的同时适当补充了一些新的资料。

在修订工作中,引用了国内外许多专家、学者和矿山现场工程技术人员的新近研究成果,在此深表感谢。我们的同事吕文生、吴爱祥、胡乃联、姜福兴等,以及博士生唐志新、陈赞成、董宪伟、于跟波和硕士生何丹、卫欢乐、崔明、位哲、门瑞营、陈茂林等提供了各种帮助。本书初稿由北京科技大学刘华生教授审阅,特向他致以由衷的敬意。

在此我们特别要感谢古德生院士,正是他多年来对我们教学工作的大力支持和耐心指导,对我们研究工作的热忱鼓励和无私帮助,使我们得以顺利完成本书的编写工作。

作为北京市高等教育精品教材立项项目和北京科技大学“十一五”规划教材,本书的出版得到北京市教育委员会、北京科技大学教务处、北京科技大学研究生院教材建设基金的资助。

受水平所限,书中的不足之处,诚请读者批评指正。

北京科技大学土木与环境工程学院

杨 鹏 蔡嗣经

2010 年 8 月

第 1 版 前 言

本书是作者对 1978 年以来所讲授硕士生学位课《高等采矿学》讲稿经过整理、改写和充实而完成的。由于该课程没有统一的教学大纲,而属于专题性的讲座,其目的是为了进一步扩大研究生的专业知识,深化专业内容,并掌握本专业各个领域出现的新成就,以适应当前科学技术高速发展的需要,在撰写中又因无类似的专门著作可供借鉴,而其所包含的内容既广泛又庞杂,深感难度很大。经过十多年不懈的努力,几易其稿现已初步形成一本具有一定特色而又比较系统的专著,并付诸出版,以此抛砖引玉,为发展采矿科学尽一份力量。

由于这本书是针对硬岩矿床开采而撰写的,故未涉及燃料矿床(即煤、石油和天然气)开采中所需要的专门知识,所以将本书定名为《高等硬岩采矿学》,以免引起误解。此外,由于在本书撰写过程中,结合了作者长期在教学和科研工作中的认识和经验,对其内容的取舍、体系的构成、论述和评价等各个方面,都强调了作者个人的观点、看法和认识,书中可能会出现偏见和不成熟之处,期盼各位读者多多提出宝贵意见。

在本书撰写过程中,得到了过去和现在的博士生蔡嗣经、杨鹏、金科学、魏一鸣、柴建设和陈浩生以及过去的硕士生李卓伟等同志在打字、整理插图和校对等方面的大力协助,如果没有他们的热情帮助,本书也无法交付出版;此外,本书的出版还承蒙冶金工业出版社和北京科技大学的鼓励和资助,在此一并表示衷心感谢!

北京科技大学采矿系

童光煦

1995 年 11 月 26 日

目 录

1 绪论	1
1.1 采矿与高等采矿学	1
1.2 矿业中社会性因素评述	3
1.3 采矿科学理论研究的进展	6
1.3.1 地质统计学	7
1.3.2 工程地质学	8
1.3.3 数值分析方法	9
1.3.3.1 边界法	9
1.3.3.2 区域法	9
1.3.3.3 离散元法	10
1.3.4 运筹学和近代数学	11
1.3.5 计算机技术	13
1.3.5.1 人工智能	13
1.3.5.2 虚拟现实	14
第1章参考文献	15
2 矿区经济评价与矿业权评估	17
2.1 概述	17
2.2 矿床储量	20
2.3 矿区评价的主要阶段和影响因素	22
2.3.1 矿区评价主要阶段	22
2.3.2 影响矿区评价的主要因素	24
2.3.2.1 外部条件因素	24
2.3.2.2 地质因素	25
2.3.2.3 开采技术因素	26
2.3.2.4 经济因素	29
2.4 微观经济评价	34
2.4.1 企业静态经济评价方法	34
2.4.1.1 企业总利润(净收益总额或期望总利润)	35
2.4.1.2 企业静态投资利润率(静态投资收益率)	35
2.4.1.3 企业静态投资回收期	36
2.4.2 企业动态经济评价方法	36
2.4.2.1 净现值	37

2.4.2.2 企业动态投资收益率·····	37
2.4.2.3 企业动态投资回收期·····	37
2.5 宏观经济评价·····	38
2.6 矿业权评估及评估准则体系·····	41
2.7 矿业权评估方法·····	45
2.7.1 收益途径评估方法·····	45
2.7.1.1 折现现金流量法·····	46
2.7.1.2 折现剩余现金流量法·····	47
2.7.1.3 销售收入权益法·····	48
2.7.1.4 折现现金流量风险系数调整法·····	49
2.7.2 成本途径评估方法·····	49
2.7.2.1 勘察成本效用法·····	50
2.7.2.2 地质要素评序法·····	51
2.7.3 市场途径评估方法·····	52
2.7.3.1 可比销售法·····	52
2.7.3.2 单位面积探矿权价值评判法·····	54
2.7.3.3 资源品级探矿权价值估算法·····	54
2.8 矿业投资风险分析·····	55
2.8.1 盈亏平衡分析·····	55
2.8.2 敏感性分析·····	56
2.8.3 概率分析·····	57
2.8.4 不确定性分析·····	59
第2章参考文献·····	59
3 硬岩矿床露天开采新进展·····	61
3.1 开采设备·····	61
3.1.1 穿孔设备·····	61
3.1.2 装载设备·····	62
3.1.3 运输设备·····	62
3.1.4 辅助设备·····	64
3.2 先进技术和工艺的采用·····	65
3.2.1 爆破技术·····	65
3.2.2 生产工艺·····	66
3.2.2.1 间断-连续运输工艺·····	66
3.2.2.2 陡帮开采工艺·····	68
3.2.2.3 排土新工艺·····	70
3.3 边坡工程·····	73
3.3.1 工程地质·····	74
3.3.2 水文地质·····	74

3.3.3 开采工艺及监测·····	75
3.4 露天转地下开采·····	77
3.4.1 国外露天转地下开采的技术发展现状·····	77
3.4.2 国内露天转地下开采的技术发展现状·····	78
3.4.3 露天转地下开采的关键问题·····	79
3.5 露天矿信息技术的应用·····	80
3.5.1 企业管理信息系统·····	80
3.5.2 露天矿生产汽车调度·····	80
第3章参考文献·····	82
4 硬岩矿床地下开采新进展·····	84
4.1 理论研究和技術革新·····	84
4.1.1 理论研究·····	84
4.1.1.1 矿山地质力学·····	84
4.1.1.2 计算机技术·····	86
4.1.2 技术革新·····	87
4.2 传统采矿方法的改进·····	90
4.2.1 空场采矿法·····	90
4.2.2 崩落采矿法·····	93
4.2.3 充填采矿法·····	97
4.3 深部矿床开采·····	102
4.3.1 采矿方法·····	102
4.3.2 微震监测·····	103
4.4 残矿回采·····	104
4.5 地下矿信息技术的应用·····	106
4.5.1 矿山信息化基础·····	106
4.5.2 安全信息化建设·····	107
4.5.3 地下矿山智能化·····	107
4.5.4 远程地压监控技术·····	108
4.5.5 地下矿山专门信息技术的应用·····	108
第4章参考文献·····	109
5 溶浸开采·····	111
5.1 溶浸开采理论基础·····	112
5.1.1 化学溶浸开采·····	112
5.1.1.1 铜矿物·····	113
5.1.1.2 铀矿物·····	113
5.1.1.3 金银矿物·····	114
5.1.2 细菌溶浸·····	114

5.2 堆浸法	118
5.2.1 浸前准备	118
5.2.2 堆浸作业	120
5.3 原地溶浸开采法	121
5.4 溶浸开采在国内外的应用现状及发展前景	125
5.4.1 国内应用现状	125
5.4.2 国外应用现状	125
5.4.3 溶浸开采技术的发展前景	126
5.5 环境保护问题	126
第5章参考文献	127
6 海洋矿产资源开发	129
6.1 海洋矿产资源概况	130
6.2 海洋采矿系统	133
6.2.1 地质勘探系统	134
6.2.2 采矿系统开发	134
6.2.3 选冶系统开发	136
6.3 海洋采矿主要技术	137
6.4 海洋采矿主要问题	143
6.5 我国海洋采矿现状	144
第6章参考文献	145
7 岩体工程地质特性分析	147
7.1 岩体结构分析	147
7.1.1 结构面类型及特性	148
7.1.1.1 断层和断层带	148
7.1.1.2 褶皱	149
7.1.1.3 节理、劈理、层理和片理	149
7.1.2 赤平极射投影图	151
7.2 原岩地应力场	155
7.3 岩体分类方法	159
7.3.1 岩体质量分类法	159
7.3.2 地质力学分类法	161
7.4 岩体力学特性	166
7.5 岩体水文地质评述	167
第7章参考文献	170
8 硬岩矿床开采地质灾害与防治	172
8.1 矿山地质灾害类别	172

8.2 地表变形与岩层移动	174
8.2.1 地表变形	174
8.2.1.1 地面沉降	174
8.2.1.2 地面塌陷与地裂缝	176
8.2.2 岩层移动	177
8.2.2.1 采区上覆岩层移动的过程与特征	177
8.2.2.2 控制岩层移动的主要措施	178
8.3 井巷工程破坏	179
8.3.1 井巷支护的承载物性	179
8.3.2 井巷支护的基本原则	179
8.3.2.1 充分发挥支护结构控制围岩松弛和保护围岩的作用	179
8.3.2.2 以最小的支护抗力和最低支护材料消耗构成最优的支护结构	180
8.3.2.3 支护方法和参数应符合岩石力学理论和围岩的具体情况	180
8.3.3 井巷支护的主要形式	180
8.3.4 岩爆倾向巷道的支护	181
8.4 采场地压	182
8.4.1 采场地压活动规律与灾害形式	182
8.4.2 采场地压灾害安全评价	182
8.4.3 采场地压控制	183
8.4.3.1 合理地选择与设计采矿方法和开采顺序	183
8.4.3.2 采用合适的支护方式	184
8.4.3.3 及时处理采空区	184
8.4.3.4 建立地压活动监测系统	185
8.5 岩爆与矿震	185
8.5.1 岩爆	185
8.5.1.1 岩爆的分类	185
8.5.1.2 岩爆形成条件	185
8.5.1.3 岩爆防治技术	186
8.5.1.4 岩爆监测技术	188
8.5.2 矿震	190
8.6 井下突水	191
8.6.1 井下突水的致灾条件和影响因素	191
8.6.2 井下突水的危害	192
8.6.3 井下突水灾害的防治对策	192
8.6.3.1 地面防水	192
8.6.3.2 井下防水	192
8.7 井下高温	193
8.7.1 井下高温的原因	194
8.7.1.1 空气自压缩放热	194

8.7.1.2 围岩散热	194
8.7.1.3 机电设备散热	195
8.7.2 井下高温的危害	197
8.7.2.1 对人体健康的危害	197
8.7.2.2 降低生产效率	197
8.7.3 矿井高温治理措施	197
8.7.3.1 一般降温技术和措施	197
8.7.3.2 特殊降温技术措施	199
第8章参考文献	199
9 现代科学技术在采矿工程中的应用	201
9.1 现代矿山科技概述	201
9.2 人工智能技术	202
9.2.1 专家系统	202
9.2.2 人工神经网络	203
9.2.3 遗传算法	204
9.2.4 计算智能	206
9.3 GPS 技术	206
9.3.1 GPS 技术原理	207
9.3.2 GPS 技术在矿山的应用	207
9.3.2.1 露天矿卡车优化调度系统	207
9.3.2.2 GPS 测量验收	208
9.3.2.3 GPS 边坡监测	208
9.4 GIS 技术	209
9.4.1 GIS 技术的基本功能	209
9.4.2 GIS 技术在采矿中的应用优势及相关特性	210
9.4.3 采矿工程中 GIS 技术的应用	210
9.4.3.1 资源勘探	210
9.4.3.2 采矿设计	210
9.4.3.3 开采设施优化布局与设计	211
9.4.3.4 井下安全管理	211
9.4.3.5 基于 GIS 的采矿设计软件开发	211
9.5 虚拟与仿真技术	212
9.5.1 虚拟现实技术	212
9.5.2 虚拟现实技术在采矿中的应用	212
9.5.3 系统仿真技术	213
9.5.3.1 矿床仿真及开采 CAD	213
9.5.3.2 矿业物流系统可视化仿真	214
9.5.3.3 仿真与虚拟现实	214

9.6 机器人技术	214
9.6.1 机器人的定义	215
9.6.2 机器人的功能及其在矿山开采中的作用	215
9.6.3 矿山设备机器人化需解决的问题	216
9.7 数字矿山	216
9.7.1 数字矿山的基本特征	216
9.7.2 数字矿山的技术背景	217
9.7.3 数字矿山的核心系统	217
9.7.3.1 生产决策支持系统	218
9.7.3.2 生产调度监控系统	218
9.7.3.3 管理信息系统(MIS)	218
9.7.4 微震与环境监测系统	219
9.7.4.1 微震监测	219
9.7.4.2 环境监测	220
第9章参考文献	220
10 特殊地区矿产资源开发	222
10.1 月球矿产资源开发	222
10.1.1 引言	222
10.1.2 月球环境	223
10.1.3 月球资源	224
10.1.4 月球资源开发系统	225
10.1.4.1 露天开采	225
10.1.4.2 地下开采	226
10.1.5 我国月球探测的进展与科学目标	229
10.2 极地资源及其开发	229
10.2.1 南极资源	229
10.2.2 北极资源	230
10.2.3 极地资源的开采与环保	231
10.2.4 中国的极地资源开发政策与资源供应	231
10.3 高原高寒地区矿产资源开发	232
10.3.1 我国青藏高原矿产资源丰富	232
10.3.2 高原采矿面临的问题	233
10.3.3 高原地区矿床开采现状	233
第10章参考文献	234

1 绪 论

1.1 采矿与高等采矿学^[1]

采矿是一种生产过程和作业,是以利用为目的,开采一切自然赋存的矿产资源(以固态、液态和气态形式存在于地球或其他天体)的技术和科学。采矿工程则是应用工程学知识和科学方法,来圈定、设计、开拓和回采有用矿物的矿床。它是运用多学科的理论、技术和方法,来系统研究和解决有关开采方面的问题,其所包括的内容见图 1-1^[2]。而采矿工业是开采有用矿物的原材料工业,其活动是从赋存于地壳的矿床中进行矿物原料的初级生产,提供社会进步的物质财富,满足人类对各种矿物的需求。根据统计资料介绍,目前我国有 95% 以上的能源、80% 以上的工业原料、70% 以上的农业生产资料、30% 农田灌溉用水和 1/3 人口的饮用水,来自矿产资源。由此可见,矿产对人类生活的影响很深,生活中不可能没有矿产。有人估计,世界人口每 35 年增加一倍,而矿产的消耗大约只要 25 年就翻一番^[1,2]。

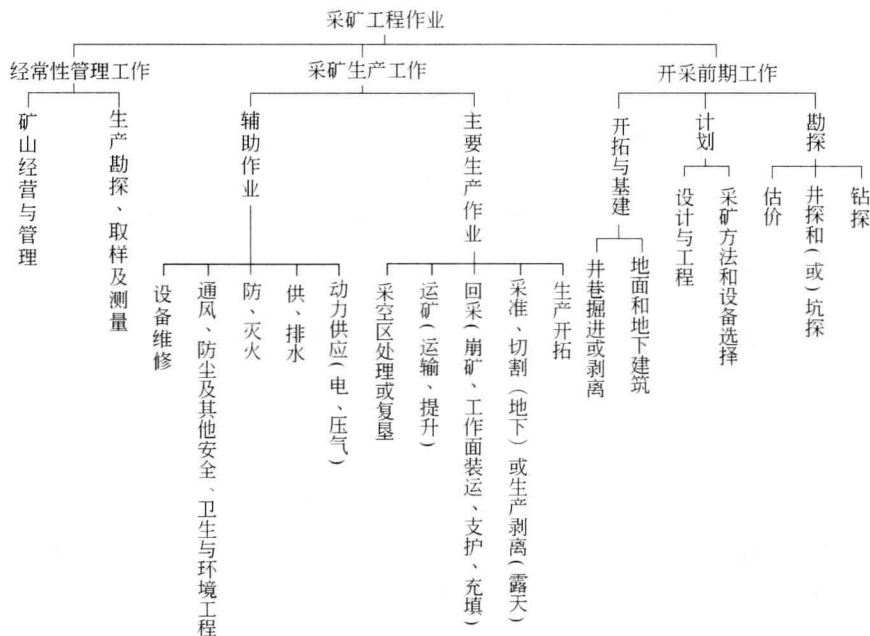


图 1-1 采矿工程作业关系图

采矿的对象是矿床。矿床是含有一种或多种有用矿物的集合体,并具有开采价值,即矿床所含有用矿物丰富,或者是矿床易于开发,矿床的地理位置有利,或者是大量需要这种矿产品。因此,矿床的价值并不是固定不变的,而是根据人们对它的需要并随着科学技术的进

步而变化。

矿床一般分为三类,即金属矿床、非金属矿床和燃料矿床。金属矿床又分为黑色金属、有色金属、贵金属和放射性金属。非金属矿床为工业矿物,即石灰石、白云石、黏土、石膏、石棉、石墨、滑石、花岗岩、大理石、海泡石、金刚石等。燃料矿床主要有煤、石油和天然气。这三类矿床,在过去都是采矿所包括的范围。由于近代科学技术的进步,使行业间的作业差异愈来愈大,于是也使采矿名词的含义有所不同。如果是开采金属和非金属矿床,则称之为硬岩开采。煤炭开采,在技术、装备和方法上与硬岩开采大同小异,有时虽也称为采矿,但当今则常称之为采煤。至于石油和天然气,因开采方法、设备和工艺与硬岩开采完全不同,早在20世纪40年代就称其为采石油和采天然气。

至于“采矿学”,则是研究有用矿物开采理论、方法、工艺和管理的一门应用科学。虽然前人曾将它视为一种技艺,但它是以经验为基础,具有多学科性和实用性的一门工程科学。进入21世纪以来,人们已将数学、物理学、化学等自然科学以及计算机技术的成就,应用于采矿的各个生产过程,来解释事物产生的基本原因及其作用机理。这有利于对采矿工程作业从感性认识上升到理性认识,因而初步形成了一门应用工程科学。高等采矿学,则是在大学采矿专业课程的基础上,重点、系统、有计划地总结半个世纪以来在采矿科学、技术和工程上的成就,以扩大采矿专业研究生或工程技术人员的视野,为日后从事科研、教学或专业技术工作奠定一个广泛的、近代的采矿专业知识基础。至于高等硬岩采矿学,则是重点阐述有关硬岩采矿的专业知识,以提高硬岩采矿的科研、设计和生产管理的技能为目标,而形成具有硬岩开采为特点的学术体系和内容。

历史证明,在自然界只有农业和矿业才能提供人类社会发展的物质财富,是人类文明两个不可缺少的基础,从史前到现在,采矿已经为人类的衣食住行提供了无数的矿物原料。因此,人类学家和历史学家都以矿物的利用来命名人类文明发展的各个阶段,即旧石器时代(公元前4000年)、新石器时代、青铜器时代、铁器时代、钢器时代及当前的原子时代,足见矿物对人类进步和社会发展起着巨大的推动作用,同时也说明了采矿工业的重要意义^[2]。

再从采矿技术发展来看,原始社会人们是靠双手及其木制、骨制、石制的工具来进行采矿,后来改用简易的金属器具,如斧头和锤子,有所进步。16世纪采用了黑色火药爆破矿石,19世纪出现了风动凿岩机,20世纪初期露天矿采用蒸汽铲和蒸汽机车,都促进了采矿工业向前迈进。到20世纪中期,露天矿在设备大型化的基础上,实现了多排微差爆破,推广了间断连续开采工艺,即电铲-汽车-破碎机-运输机装运方式,大大提高了生产效率,增加了产量。当今矿山实现计算机化生产管理,使露天矿年产量增大了,有的达到了几千万吨,开采深度也大幅度增加。近十多年来,陡帮开采在露天矿得到了推广应用,部分矿山进入深凹露天矿阶段,边坡的监测技术得到了很大的发展;采矿工艺连续化或半连续化,运输方式多样化、高效化;设备大型化^[3,4]。地下金属矿山充填采矿法和充填工艺技术发展迅速,崩落采矿法和空场采矿法的工艺技术也在不断地改进、创新,并形成了多种组合采矿方法^[5~9];连续开采技术取得了一定成果^[10];地下矿山广泛采用无轨自行设备、喷锚支护和微差爆破等先进回采技术,促使矿床开拓出现了斜坡道开拓方案;实现了露天转地下开采平稳过渡及联合开采的技术;开展了以矿山地压监测与模拟、控制技术为主线的矿山开采安全技术的研究^[11];开采深度进一步加大,使深部开采技术得到了很大的发展^[12];矿山自动化程度进一步提高,开始向智能化、数字化迈进^[13];体视化等可视化技术使矿业软件得到了

进一步的发展与应用^[14,15],推动矿山广泛使用数值模拟技术来分析工程问题;特殊条件下的采矿技术得到了发展,如“三下开采”、高寒地区开采^[16],并越来越重视矿山开采中的生态和环境控制技术^[17,18]。21世纪采矿科学技术的发展,还应特别关注以下五个领域:高效率采矿、无废采矿、连续采矿、深部采矿、无人采矿^[19]。现在,向海洋要矿^[20],向极地要矿,到月球寻宝藏等,这些都已提上日程,并预示着在开采设备、方法、技术和工艺等方面必将有一个更大的改变。可以说,一个崭新的采矿领域正在等待人们去开发。

人类物质文明的高度发展,对矿产资源的需求与日俱增,从19世纪到20世纪50年代,平均年增长率一直保持在4%左右。虽然后来有所衰减,但到20世纪80年代仍有1.9%的平均年增长率。1990~2002年,世界金属矿石开挖量增长了14.5%。特别是由于中国、印度等发展中大国的崛起,全球矿产资源需求旺盛,价格和产量双双攀升。从2004年到2007年,铁矿石的产量增长迅速,如表1-1所示。面对这样大的产量,矿山必须加强机械化、自动化和计算机管理,集中一切可以利用的先进技术,来改变现有矿山的面貌。虽然从2008年以来世界各国的经济都受到罕见的全球金融危机的重创,金属价格回落;矿物原料生产也正受到物料重复利用的威胁;另外,富矿资源面临枯竭,开采品位普遍下降,开采深度加大,开发的地区越来越偏僻,这些都增加了采矿成本。但是对矿物原料的需求,仍在继续增长,既要提高产量,又要降低成本,只有依靠技术进步,才有可能实现。未来矿山的现代化水平,较之今天,必有显著的改观。

表1-1 近年来铁矿石产量及价格变化

年份	世界铁矿石产量/亿吨	与上一年度相比价格变化/%	我国铁矿石产量/亿吨
2004	11.8	18.8	1.46
2005	13.2	71.5	2.00
2006	15	19.0	2.76
2007	16.3	9.5	3.32
2008	17.2	65.0	3.66

注:中国铁矿石产量按世界铁矿石铁平均含量计算。资料来源:Steel Statistical Yearbook 2008。

1.2 矿业中社会性因素评述

采矿工业有很强的社会性,即与政治、法律、经济和环保都有密切的关系。首先是政治因素,不论国家的社会制度如何,都有保护和发展本国矿产资源的方针政策。有一般性的政策,也有特殊的政策。如美国的矿产企业都是私营的,其在国家利益范围内,于1970年提出国家的采矿和矿物政策条例是:(1)经济上可靠地和稳定地发展本国的采矿、矿物原料、金属和矿物回收工业;(2)有计划地和经济地开发国内矿产资源、矿产储量以及回收金属和矿物,达到充分保证在工业安全和环保上的需要;(3)开展采矿、矿产和冶金的研究,包括废石的利用和再循环利用的研究,以促进合理地 and 有效地利用本国自然的和可回收的矿产资源;(4)研究和发展矿物废物的处理、控制和回收方法以及开采地区的复田工作,以便减少矿物开采和加工对自然环境的任何有害影响,这种影响是由于采矿活动引起的。其实,大多数国家的矿产政策,都是大同小异的,在研究政策时,都必须以本国的具体状况和矿产资源条件为基础。其所考虑的因素,面广而复杂,以加拿大为例,分为国际和国内两部分:(1)国际因