

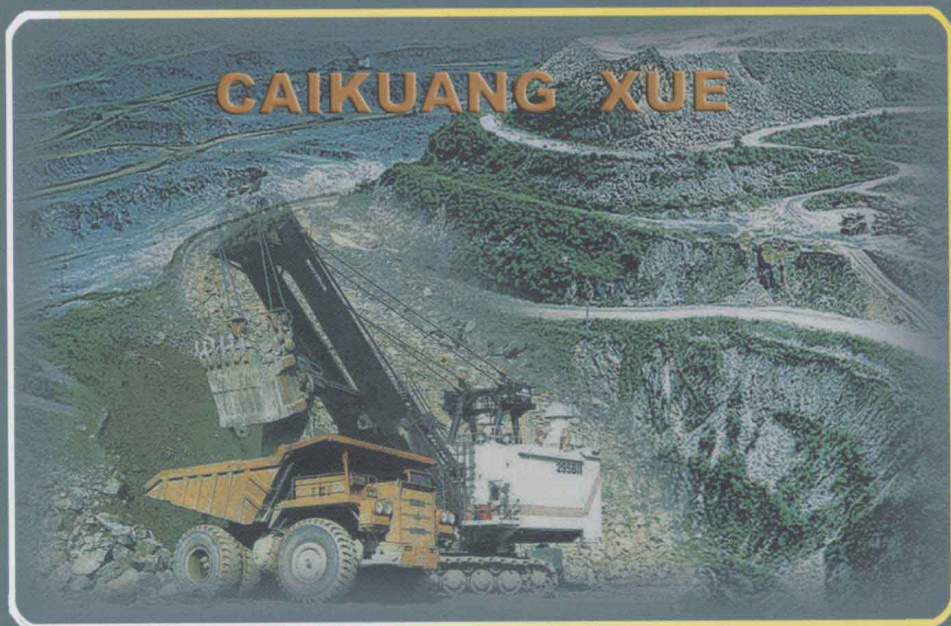


普通高等教育“十一五”国家级规划教材

采矿学

(第2版)

主 编 王 青 任凤玉
副主编 顾晓薇 陈庆凯 屠晓利



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

采 矿 学

(第2版)

主 编 王 青 任凤玉

副主编 顾晓薇 陈庆凯 屠晓利

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2011

内 容 提 要

本书讲述金属矿床开采的采矿方法、工艺、技术以及相关知识。全书共分4篇23章。第1篇包括对于地下和露天开采均适用的共性内容,如矿床的品位与矿量计算、矿床模型、岩石的力学性质、爆破基础知识、技术经济基础;第2篇为地下开采,讲述矿床开拓、矿山总平面图布置、井巷设计和崩落、空场、充填三大类采矿方法;第3篇是露天开采,包括最终境界设计、开采程序、生产计划、露天矿开拓以及穿孔、爆破、铲装、运输、排土等开采工艺;第4篇讲述矿山土地复垦、矿山生产的生态压力与生态成本。本书的编写宗旨是,满足当代科学技术发展对采矿工程专业本科生的专业知识的需求,在内容上既涵盖仍然被广泛应用的传统采矿知识,又尽可能体现本学科较为成熟的最新研究成果。

图书在版编目(CIP)数据

采矿学/王青,任凤玉主编. —2版. —北京:冶金工业出版社, 2011.4

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-5024-5490-6

I. ①采… II. ①王… ②任… III. ①矿山开采—高等学校—教材 IV. ①TD8

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第050315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 杨 敏 宋 良 美术编辑 李 新 版式设计 孙跃红

责任校对 王贺兰 责任印制 张祺鑫

ISBN 978-7-5024-5490-6

北京兴华印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2001年1月第1版,2011年4月第2版,2011年4月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16;34印张;823千字;521页

58.00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)

第2版前言

从《采矿学》出版到现在已整整十年,这是我国经济高速发展的十年,也是我国采矿业蓬勃发展的十年。《采矿学》作为金属矿床开采的专业课教材和采矿从业人员的参考用书,也在这一不平凡的时期逐步得到广大读者的认可,十年中共印刷9次,总印数达25000册。根据十年来的教学实践、采矿技术的发展和各方面的反馈,本次再版在内容和结构上有较大的改动,主要体现在以下几个方面。

增加了新内容。第2版增加了第4篇中的“矿山土地复垦”、“矿山生产的生态压力”、“矿山生产的生态成本”三章以及第2篇中的“矿山总平面布置”一章。

充实了原有内容。在边界品位的确定中增加了动态规划法;在矿床模型中增加了标高模型和定性模型;“爆破基础知识”一章比原来“炸药与起爆方法”一章的内容更为详细;在地下矿床开拓中增加了斜坡道开拓、溜井、地下破碎设施及粉矿回收、主副井布置方式等;崩落采矿法中增加了覆岩下放矿的基本规律和地压显现规律;充填采矿法中增加了进路充填采矿法和空场嗣后充填法;在露天开采境界设计中,增加了正锥排除优化算法和应用实例;露天矿生产计划中增加了全境界开采的采剥计划与生产能力同时优化及应用实例、分期境界优化及应用实例等;在露天矿采装与运输作业中增加了自动化调度系统;同时,大部分原有其他内容在论述上也有不同程度的充实。

更新。根据能获得的资料和现场调研,尽可能对工艺技术参数、实例等进行了更新。

内容删减。删除了“凿岩及其机具”一章,部分内容融合到相应采矿方法和工艺之中;删除了井巷施工,因为原有内容太简单,且井巷工程一般设置为单独课程;删除了没有实质性内容的地下矿开拓方案和采矿方法选择的专家系统,开拓方案和采矿方法选择的相关内容融合到相应章节;删除了矿山投资与生产成本,原有的内容比较简单(主要是成本构成),容易在实践中了解,而且我国的相关税费、矿业权和财务等政策法规还处于不断调整之中,需要在实践中追踪和了解;删除了矿床模型建立中已经过时的多边形法、三角形法和最近样品法。

结构调整。把对于地下和露天开采均适用的内容都归入到第一篇“采矿基础知识”。第1版露天开采篇中的边界品位的确定和价值模型、地下开采篇中的

矿石损失贫化、矿山技术经济篇中的技术经济基础和投资项目评价,被移到第1篇的相应章节;矿床模型在内容充实后单独列为一章;第1版采矿基础篇中的井巷设计移到了地下开采篇;第1版“露天开采程序”一章中的台阶要素、帮坡形式、一般开采过程等内容,充实后单独列为一章——露天开采基本概念;第1版第18章的露天开采工艺,在内容充实后被分为三章。调整后的结构更具逻辑性和系统性。

另外,本书还附赠光盘一张,内含王青教授开发的具有全部自主知识产权的露天开采境界和生产计划的优化设计软件——MetalMiner(教育版)及矿床模型数据库,以及郑贵平老师指导学生制作的一些采矿工艺环节的三维动画短片,供读者参考。

总之,在本次修订中,编者努力使《采矿学》在内容和结构上既体现采矿工程的特点和规律,又体现采矿工艺技术的现状和发展趋势,使之满足当今和今后一个时期的教学要求。

修订后的《采矿学》共分4篇23章,编写人员和分工如下:

王青:统稿并编写绪论、第1、2和13章;

任凤玉:第6~8、10~12章;

顾晓薇:第5、14、16、21~23章;

屠晓利:第3、4、9章;

陈庆凯:第15和17~20章;

孙效玉:第19章19.7节。

参与资料收集和整理的人员有:赵兴东、李楠、胥效川、唐鑫、王润等。

由于编者的水平有限,难免存在不足之处,真诚希望广大读者提出宝贵意见。

编者

2010年11月

于东北大学

第1版前言

当前,科学技术的进步日新月异,学科间的交叉日益增大,信息时代已经到来,市场全球化的进程在加快,这一切使采矿工业的生存、竞争和发展环境发生了巨大变化。21世纪的采矿工作者不但需要更新的知识,而且需要与以往不同的知识结构;不但需要掌握矿床开采方法、工艺和技术,而且需要掌握矿山资源开发的经济规律和科学决策手段。直到近年,我国金属矿床开采的教学内容体系一直沿用前苏联的模式,在结构上课程划分过细,重复较多,整体性较差;在内容上几十年来没有什么变化,新的理论、方法和技术没有得到充分的体现,已明显不能适应新时代的要求。因此,对采矿工程专业的课程内容体系实施改革势在必行。

《采矿学》就是在这种改革大潮中应运而生的。它以金属矿床开采为研究对象,内容涵盖了原《金属矿床地下开采》、《金属矿床露天开采》、《矿山机械》、《凿岩爆破》、《井巷掘进》及《矿山企业设计基础》等书。

《采矿学》初稿于1996年末完成,经过了东北大学采矿工程专业本科的三届教学实践,并经过了数位热爱采矿事业的、有丰富教学与科研经验的教授的审阅和指点,几易其稿后形成了现在这样的结构形式与内容体系。

本书的编写力求做到以下几点:

1. 内容系统化。在内容上不是上述几部教材的简单综合,而是依据采矿工程的特点和开采规律,力求各方面内容有机地融会贯通。

2. 主次得当。以原理、方法、手段及其在分析、解决问题中的应用为主,将细致的设计和计算过程放在相对次要的位置。这样做的目的是使读者能在较高的层次上以较宽的视野理解采矿,为其分析、解决矿床开采中的大问题提供知识基础;而不是注重提供采矿技能。基于这一思想,精简了以往教材中的一些详细的技术性设计和计算,如公路设计、铁路路基设计和设备牵引计算等。这些内容具有较固定的程式,原理和计算简单且实践性强,更适于在课程设计和毕业设计中体现,即使不予涉及,在实践中也很容易掌握。

3. 内容新。力求反映近几十年来较为成型的新成果,如方案选择专家系统、最终境界优化和地质统计学品位估算等。由于露天开采的特点及其在金属矿床

开采中占有较大比重,新的概念和系统理论与方法在露天开采中应用较多,这一点在露天开采篇中有较充分的体现。

4. 同时考虑我国国情及其与市场经济和国际接轨。具有决策性的内容注重以经济效益为目标,以自然和技术条件为约束,适应市场经济的要求;引入国际上广泛采用的新概念和新方法,实现一定程度上的与国际接轨,如块状矿床模型、露天分期开采计划编制等。

全书分四篇二十二章。绪论对矿产资源和采矿工业在社会经济发展中的作用、采矿技术的发展以及采矿学的研究内容作了较详细的阐述;基础篇阐述矿床开采中具有共性的基础知识;地下开采篇阐述了矿床地下开拓与地下采矿方法;露天开采篇阐述露天开采境界确定、生产计划以及开采程序与工艺;技术经济篇阐述技术经济基本理论以及矿山项目的投资、成本分析与评价。

全书由王青、史维祥主编。王青编著绪论、第一、十四、十五、十六、十九、二十、二十一、二十二章;史维祥编著第六、七、八章;任凤玉编著第九、十、十一、十二、十三章;屠晓利编著第二、三、四、五章;王智静编著第十七、十八章以及第八章第二节和第十三章第四节。

本书主要作为高等学校采矿工程专业本科教学用书,建议讲授学时为90~120。本书也可作为矿山工程技术人员、管理人员和研究人员的参考用书。

在全书的编著过程中,得到了各级领导的大力支持。云庆夏教授、刘兴国教授和孙豁然教授对书稿进行了认真细致的评审,提出了许多宝贵意见和建议。苏宏志教授和付长怀教授也为书稿的改进提出了宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,难免存在不当和错误之处,真诚希望矿业界读者们提出改进意见。

谨以此书献给热爱采矿科学的人们。

编者
2000年8月
于东北大学

目 录

绪论	1
0.1 矿产资源、采矿及其在社会经济发展中的地位	1
0.1.1 矿产资源与采矿	1
0.1.2 采矿在社会经济发展中的地位	3
0.2 采矿技术的发展	6
0.2.1 古、近代采矿技术发展简述	6
0.2.2 现代采矿技术发展概述	6
0.2.3 自动化与计算机技术的应用	12
0.3 采矿学的研究内容	13

第 1 篇 采矿基础知识

1 品位与储量计算	15
1.1 探矿数据及其预处理	16
1.1.1 探矿钻孔及其取样数据	16
1.1.2 样品组合处理	18
1.1.3 极值样品处理	19
1.2 矿床品位的统计学分析	20
1.2.1 取样品位的统计分布规律	20
1.2.2 正态分布	21
1.2.3 对数正态分布	23
1.3 边界品位与矿量	25
1.4 合理边界品位的确定	26
1.4.1 盈亏平衡品位计算	27
1.4.2 最大现值法(Lane 法)确定边界品位	29
1.4.3 动态规划法确定边界品位	37
1.5 矿体圈定与储量计算	41
1.5.1 矿体圈定	41
1.5.2 矿量计算	41
1.5.3 矿体平均品位计算	42

1.6 矿石损失贫化指标及其计算	43
1.6.1 矿石损失与贫化概念	43
1.6.2 矿石损失的原因	44
1.6.3 矿石损失贫化指标计算	44
2 矿床数值模型	53
2.1 矿床模型概述	53
2.2 地质统计学概论	54
2.2.1 基本概念与函数	54
2.2.2 实验半变异函数及其计算	56
2.2.3 半变异函数的数学模型	60
2.2.4 半变异函数的拟合	62
2.2.5 各向异性	63
2.2.6 半变异函数平均值的计算	64
2.2.7 克里金法	65
2.2.8 影响范围	70
2.2.9 克里金法建立品位模型的一般步骤	70
2.3 距离反比法	71
2.4 价值模型	72
2.5 标高模型	74
2.6 定性模型	77
3 岩石的力学性质与分级	79
3.1 岩石的力学性质	79
3.1.1 强度	79
3.1.2 弹性、塑性和脆性	79
3.1.3 硬度与磨蚀性	80
3.2 岩石的分级	80
3.2.1 岩石的坚固性分级	80
3.2.2 岩石的可钻性分级	81
3.2.3 岩体稳定性分级	82
4 爆破基础知识	83
4.1 爆炸现象与爆炸类型	83
4.1.1 爆炸现象与黑火药	83
4.1.2 爆炸类型	83
4.2 炸药爆炸	84
4.2.1 炸药爆炸的基本条件	84

4.2.2 炸药的化学变化形式	85
4.3 炸药的分类	86
4.3.1 按炸药的构成分类	86
4.3.2 按炸药的用途分类	86
4.3.3 其他分类	87
4.4 炸药的起爆与敏感度	87
4.4.1 炸药的起爆能	87
4.4.2 炸药的敏感度及其测定	88
4.4.3 影响炸药敏感度的因素	90
4.5 炸药的氧平衡与爆炸有害产物	91
4.6 炸药爆轰概述	92
4.6.1 冲击波	92
4.6.2 爆轰波	93
4.6.3 影响炸药爆轰的因素	94
4.7 炸药的爆炸性能	97
4.7.1 爆速	97
4.7.2 爆热	99
4.7.3 爆容	100
4.7.4 爆压	101
4.7.5 爆炸功	101
4.7.6 猛度	102
4.7.7 爆力	103
4.7.8 爆破漏斗	104
4.8 常用单质炸药	105
4.8.1 起爆药	105
4.8.2 单质猛炸药	106
4.8.3 单质弱性炸药——硝酸铵	108
4.9 工业炸药	110
4.9.1 黑火药	110
4.9.2 铵梯类炸药	111
4.9.3 铵油炸药	112
4.9.4 铵松蜡和铵沥蜡炸药	113
4.9.5 硝化甘油炸药	113
4.9.6 浆状炸药和水胶炸药	114
4.9.7 乳化炸药	115
4.10 工业炸药起爆技术	116
4.10.1 火雷管起爆法	117
4.10.2 导爆索起爆法	118

4. 10. 3 非电塑料导爆管起爆法	121
4. 10. 4 电雷管起爆法	123
5 技术经济基础	129
5. 1 利息与利率	129
5. 2 资金的时间价值及其计算	130
5. 2. 1 单笔资金的现值与终值	130
5. 2. 2 年金与终值和现值	131
5. 2. 3 现金流量图	132
5. 3 等价性	133
5. 4 投资项目经济评价方法	133
5. 4. 1 静态评价法	134
5. 4. 2 动态评价法	135
5. 5 投资风险分析	138

第2篇 地下开采

6 地下开采基本概念	143
6. 1 地下开采一般结构	143
6. 2 矿床分类	144
6. 2. 1 按矿体形状分类	144
6. 2. 2 按矿体倾角分类	144
6. 2. 3 按矿体厚度分类	145
6. 3 地下开采一般步骤	145
6. 4 采矿方法分类	146
7 矿床开拓	148
7. 1 矿床开拓方法	148
7. 1. 1 开拓巷道	148
7. 1. 2 开拓方法分类及选择依据	148
7. 1. 3 平硐开拓法	149
7. 1. 4 竖井开拓法	150
7. 1. 5 斜井开拓法	153
7. 1. 6 斜坡道开拓法	155
7. 1. 7 联合开拓法	157
7. 1. 8 主要开拓方法比较	160

7.2 主副井布置方式	161
7.2.1 中央并列式	161
7.2.2 中央对角式	162
7.2.3 侧翼对角式	163
7.2.4 中央式与对角式的对比	163
7.3 主要开拓巷道位置的选择	163
7.3.1 影响主要开拓巷道位置选择的主要因素	163
7.3.2 根据最小运输功确定主要开拓巷道的位置	164
7.3.3 根据不受陷落破坏确定主要开拓巷道的位置	167
7.4 井底车场	170
7.4.1 竖井井底车场	170
7.4.2 斜井井底车场	174
7.5 阶段运输巷道	177
7.5.1 主运输阶段和副阶段	177
7.5.2 影响阶段运输巷道布置的因素	177
7.5.3 阶段运输巷道的布置形式	178
7.6 溜井	180
7.6.1 溜井位置的选择	180
7.6.2 溜井放矿能力	180
7.6.3 溜井的形式	181
7.6.4 溜井的结构参数	181
7.7 地下破碎设施及粉矿回收	183
7.7.1 地下破碎的优缺点及适用条件	183
7.7.2 地下破碎站的布置形式	184
7.7.3 粉矿回收	185
7.8 矿床开拓方案选择	186
7.8.1 选择开拓方案的基本要求和影响因素	186
7.8.2 选择开拓方案的方法和步骤	187
8 矿山总平面布置	189
8.1 矿山总平面布置的设计内容	189
8.2 工业场地的选择及其平面布置	189
8.2.1 影响工业场地选择的因素	189
8.2.2 工业场地平面布置的基本原则	190
8.2.3 采矿工业场地主要设施布置	191
8.2.4 炸药总库位置的选择	192
8.3 生活区位置的选择	194
8.4 地面运输方式的选择	194

8.4.1	内部运输方式的选择	194
8.4.2	外部运输方式的选择	195
9	井巷设计概论	196
9.1	竖井井筒类型与装备	196
9.1.1	井筒类型	196
9.1.2	井筒内装备	196
9.2	竖井断面布置形式	200
9.3	竖井断面尺寸	202
9.3.1	净断面尺寸	202
9.3.2	井壁厚度	204
9.3.3	井壁壁座尺寸	206
9.4	巷道断面基本形状与坡度	206
9.5	巷道断面尺寸计算	207
9.5.1	巷道净宽度	207
9.5.2	巷道净高度	209
9.5.3	水沟断面尺寸	212
9.6	巷道主要支护形式及主要参数	213
9.6.1	整体混凝土支护	213
9.6.2	锚杆支护	214
9.6.3	棚式支护	217
9.6.4	喷射混凝土支护	218
10	崩落采矿法	220
10.1	覆岩下放矿的基本规律	220
10.1.1	基本概念	220
10.1.2	单孔放矿时崩落矿岩移动规律	221
10.1.3	多漏孔放矿时崩落矿岩移动规律	223
10.1.4	受边界条件影响的崩落矿岩移动方程	226
10.1.5	矿石损失贫化的控制方法	231
10.2	单层崩落法	234
10.2.1	长壁式崩落法	234
10.2.2	短壁式崩落法	240
10.2.3	进路式崩落法	240
10.2.4	单层崩落法评价	240
10.3	有底柱分段崩落法	242
10.3.1	矿块结构参数	243
10.3.2	采准工作	243

10.3.3	切割工作	243
10.3.4	回采工作	244
10.3.5	放矿管理	246
10.3.6	评价	247
10.4	无底柱分段崩落法	249
10.4.1	矿块布置及结构参数	249
10.4.2	采准切割布置	250
10.4.3	切割工作	254
10.4.4	回采工作	255
10.4.5	回采顺序	259
10.4.6	覆盖岩层的形成	260
10.4.7	评价	262
10.5	阶段崩落法	263
10.5.1	阶段强制崩落法	263
10.5.2	阶段自然崩落法	266
10.6	崩落法的地压显现规律	270
10.6.1	单层崩落法地压控制	270
10.6.2	有底柱崩落法地压控制	271
10.6.3	无底柱分段崩落法地压控制	274
11	空场采矿法	277
11.1	概述	277
11.2	全面采矿法	277
11.2.1	结构和参数	277
11.2.2	采准与切割工作	278
11.2.3	回采工作	279
11.2.4	评价	279
11.3	房柱采矿法	279
11.3.1	结构和参数	280
11.3.2	采准与切割工作	280
11.3.3	回采工作	281
11.3.4	评价	282
11.4	留矿采矿法	282
11.4.1	结构和参数	283
11.4.2	采准工作	283
11.4.3	切割工作	284
11.4.4	回采工作	285
11.4.5	评价	289

11.5	分段矿房法	290
11.5.1	结构和参数	291
11.5.2	采准与切割工作	291
11.5.3	回采工作	291
11.5.4	评价	292
11.6	阶段矿房法	292
11.6.1	分段凿岩阶段矿房法	292
11.6.2	垂直深孔球状药包落矿阶段矿房法	295
11.6.3	阶段矿房法评价	303
11.7	矿柱回采和采空区处理	304
11.7.1	矿柱回采	304
11.7.2	采空区处理	305
11.8	小结	306
12	充填采矿法	308
12.1	单层充填采矿法	308
12.1.1	结构和参数	309
12.1.2	采准与切割	309
12.1.3	回采工作	309
12.1.4	评价	309
12.2	上向分层充填采矿法	309
12.2.1	上向水平分层充填采矿法典型方案	310
12.2.2	机械化上向水平分层充填法	312
12.2.3	上向倾斜分层充填采矿法	314
12.2.4	评价	315
12.3	下向分层充填采矿法	316
12.3.1	水力充填下向分层充填法	316
12.3.2	胶结充填下向分层充填法	318
12.3.3	评价	320
12.4	进路充填采矿法	320
12.4.1	工艺技术特点	320
12.4.2	上向进路充填法	321
12.4.3	下向进路充填法	322
12.5	分采充填采矿法	325
12.6	空场嗣后充填法	327
12.6.1	工艺技术特点	327
12.6.2	冬瓜山铜矿大直径深孔空场嗣后充填法	328
12.6.3	评价	330

12.7 矿柱回采	330
12.7.1 胶结充填矿房的间柱回采	330
12.7.2 松散充填矿房的间柱回采	332
12.7.3 顶底柱回采	332
第3篇 露天开采	
13 露天开采基本概念	335
13.1 台阶要素	337
13.1.1 基本概念	337
13.1.2 台阶高度	337
13.1.3 台阶坡面角	338
13.1.4 工作平盘与安全平台	339
13.2 帮坡与帮坡角	340
13.2.1 工作帮及其帮坡角	340
13.2.2 非工作帮及其帮坡角	341
13.2.3 运输坡道及其对最终帮坡角的影响	341
13.3 露天开采一般过程	342
14 最终开采境界	344
14.1 概述	344
14.2 最终境界设计的传统方法	345
14.2.1 基本原理	345
14.2.2 线段比法和面积比法确定最终开采境界	347
14.2.3 基于品位—经济合理剥采比关系设计最终境界	350
14.2.4 特例	354
14.3 最终境界优化的浮锥法	354
14.3.1 浮锥法一般算法	354
14.3.2 锥壳模板	356
14.4 最终境界优化的LG图论法	357
14.4.1 基本概念	357
14.4.2 树的正则化	359
14.4.3 境界优化定理及算法	359
14.5 最终境界优化的锥体排除法	361
14.5.1 最大境界的圈定——几何定界	362
14.5.2 锥体排除算法	363

14.5.3	应用实例	366
15	露天开采程序	373
15.1	掘沟	373
15.1.1	深凹露天矿掘沟	373
15.1.2	山坡露天矿掘沟	375
15.2	台阶的推进方式	376
15.2.1	采掘方式及工作平盘参数	377
15.2.2	工作线布置方式	382
15.3	采场布线方式	383
15.3.1	螺旋与迂回式布线	383
15.3.2	固定与移动式布线	384
15.4	生产剥采比	385
15.4.1	生产剥采比概念	385
15.4.2	生产剥采比与工作帮坡角	386
15.4.3	生产剥采比均衡	387
15.5	分期开采	388
16	露天矿生产计划	391
16.1	露天矿生产能力	391
16.1.1	根据储量估算生产能力	391
16.1.2	根据开采技术条件验证生产能力	391
16.1.3	市场与经济效益对生产能力的影晌	393
16.2	全境界开采的采掘进度计划编制	395
16.2.1	采掘进度计划的编制目标与分类	395
16.2.2	编制长远采掘进度计划的一般方法	395
16.3	分期开采的采掘进度计划编制	398
16.4	全境界开采的采剥计划与生产能力同时优化	401
16.4.1	优化定理	401
16.4.2	地质最优开采体序列的产生	402
16.4.3	采剥计划优化模型——地质最优开采体的动态排序	404
16.4.4	应用实例	407
16.5	分期境界优化	410
16.5.1	优化定理	410
16.5.2	地质最优境界序列的产生	411
16.5.3	动态规划模型	411
16.5.4	应用实例	414