

现代露天开采理论与实践

中国金属学会

冶金继续教育丛书

科学出版社

牛成俊 编著

冶金继续工程教育丛书

现代露天开采 理论与实践

牛成俊 编著

科学出版社

1990

内 容 简 介

本书为“冶金继续工程教育丛书”之一,书中主要介绍现代露天开采领域有重大理论和实践意义的最新成果,全书贯穿了开采最优化的思想,并采用系统工程学的观点阐述露天开采领域各要素的内部规律和相互关系。

本书可作为从事露天矿生产、管理、设计、科研工作的工程技术人员继续工程教育用书,也可作为有关专业本科生和研究生使用的教学参考书。

冶金继续工程教育丛书 现代露天开采理论与实践

牛成俊 编著

责任编辑 李雪芹

科学出版社

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100007

北京昌平百善印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1990年6月第一版 开本: 787×1092 1/32

1990年6月第一次印刷 印张: 12 5/8

印数: 0001—3500 字数: 285 000

ISBN 7-03-001746-3/TB·52

定价: 8.00元

序

中国金属学会组织编写了“冶金继续工程教育丛书”，为大家办了一件好事。积极开展继续教育，对于提高冶金科技人员水平，促进冶金工业的发展具有重要意义。希望冶金战线各级领导重视这项工作，努力创造条件，为科技人员在职学习提供方便；同时也殷切希望广大冶金科技工作者坚持学习，不断吸收新知识，学习新技术，为实现四化、振兴中华做出更大贡献。

中国继续工程教育协会理事
冶金工业部副部长

徐大铨

一九八八年十二月

前 言

《现代露天开采理论与实践》是“冶金继续工程教育丛书”之一，是为从事露天开采的生产、设计和研究工作的工程师们在职学习所编写的教材。

现代露天开采工程是一个多层次的复杂系统，综合了多种学科，涉及地质学、采矿工艺学、矿物工程学、机械工程学、土木工程学、系统工程学、技术经济学、计量经济学、岩石力学、安全工程学、环境和生态工程学以及人机学等科学领域。现代的采矿工程师不但要掌握采矿工程的一般知识与技能，而且必须通晓相关的科学技术知识，特别是有关系统科学的理论知识。只有这样，他们才有可能真正掌握露天开采这个复杂的系统，创造性地同其它专业的专家们合作，在驾驭这个复杂系统时起主导作用，保证能够最优化地向大自然索取财富，取得有用矿产资源的最大经济效益。

基于上述认识，考虑到我国在职采矿工程师的实际情况和继续工程教育的要求，本书按专题编写。第1章绪论概括地阐明了现代露天开采的现状和一般特征以及现代露天采矿学的范畴和方法论，做为全书的导引；第2—11章分别讨论了10个专题：矿产储量及其估值、矿岩的开采工艺特性、爆破优化和边坡控制爆破、采装和运输问题、排岩工程、露天开采的时空发展程序、确定露天开采境界的若干问题、生产规模的优化、生产计划编制的计算机化和边坡稳定问题。上述专题是现代露天开采具有实际意义和理论价值的问题。本书各专题的讨论是紧紧围绕着实现露天开采优化的总纲展开

的，力求理论与实际一致，着重阐明基本概念、基本理论和方法，以确实有助于在职采矿工程师更新知识、提高理论水平、开拓技术视野、启迪思路、借鉴先进经验、改进本职工作。

本书第2，5，8，10章中引用了运筹学和数理统计学的一些概念、公式和计算程序。在生产第一线工作的工程师，如果由于时间限制不能系统学习，也可以重点掌握具体问题中的思想方法，例如选定优化目标，规定实现优化目标的具体条件——约束条件等等，而暂时不去深究具体的计算程序。事实表明，具有丰富实践经验的工程师，在排除数学运算技巧上的困难后，对于运筹学等的正确应用是最有发言权的，因此掌握这些内容不仅是必要的也是可能的。

中国金属学会常务理事、采矿学会理事长童光照教授非常关注本书，在组织有关专家审查本书过程中，对全书的结构、内容提出重要的建议。李宝祥、陈希廉、吴雨沛三位教授和于润坤副教授对本书初稿进行了审阅，提出了许多宝贵的意见和建议，对完善定稿裨益颇多。值此定稿付梓之际，作者谨向他们和热心关注本书的专家学者们致谢，并由衷地欢迎读者、同行专家和学者对本书提出批评与指正。

作者谨识于东北工学院

1989年7月

目 录

序

前言

1 绪论	(1)
1.1 矿产资源和采矿工业	(1)
1.2 露天采矿学的范畴和方法论	(2)
1.2.1 采矿学的范畴	(2)
1.2.2 露天采矿学的方法论	(5)
1.3 国内外露天开采的现状和发展趋势	(7)
1.3.1 矿床露天开采的比重	(7)
1.3.2 现代露天开采的技术特征	(8)
1.3.3 我国露天开采的现状和展望	(15)
2 矿产储量及其估值	(19)
2.1 储量及其级别划分	(19)
2.2 矿石储量的传统计算方法	(21)
2.2.1 概述	(21)
2.2.2 三角形法	(23)
2.2.3 多边形法	(24)
2.2.4 距离加权反比法	(25)
2.2.5 趋势面法	(26)
2.3 估算储量的地质统计学方法	(30)
2.3.1 概念	(30)
2.3.2 实验变异函数及其结构分析	(32)
2.3.3 实验变异函数的各向异性套合	(34)
2.3.4 变异函数与协方差的关系	(36)
2.3.5 Kriging估值方法	(37)
2.3.6 Kriging估值的示例	(43)
2.3.7 各种估值方法的比较	(44)

3 矿岩的开采工艺特性	(46)
3.1 矿岩的坚固性和开采工艺特性.....	(46)
3.2 岩石的可钻性指标及其分级.....	(47)
3.2.1 东北工学院的分级法.....	(48)
3.2.2 В.В.Ржевский的分级法.....	(51)
3.3 岩石的可爆性及其分级.....	(52)
3.3.1 В.В.Ржевский的分级法.....	(52)
3.3.2 东北工学院的分级法.....	(54)
3.3.3 估计岩石可爆性的其它方法.....	(55)
3.4 岩石的可挖性及其分级.....	(58)
3.4.1 В.В.Ржевский的分级法.....	(59)
3.4.2 综合分级法.....	(63)
4 爆破优化与边坡控制爆破	(68)
4.1 爆破在现代露天开采中的意义.....	(68)
4.2 爆破参数的优化.....	(69)
4.2.1 底盘抵抗线.....	(69)
4.2.2 炮孔直径.....	(71)
4.2.3 孔网布置.....	(71)
4.2.4 起爆顺序.....	(74)
4.2.5 微差间隔时间.....	(75)
4.2.6 炸药单耗量.....	(77)
4.2.7 装药结构.....	(80)
4.3 爆破块度的预测和爆破优化.....	(82)
4.3.1 爆破破碎度和块度分布律.....	(83)
4.3.2 爆破块度预测的KUZ-RAM模型.....	(84)
4.4 边坡控制爆破.....	(86)
4.4.1 预裂爆破.....	(87)
4.4.2 缓冲爆破.....	(93)
4.4.3 并段爆破.....	(94)
5 采装和运输问题	(96)

5.1	露天矿采装和运输的发展趋势	(96)
5.2	车铲比及其优化	(101)
5.3	固定配车的车铲比	(103)
5.4	统一调度的总车铲比	(105)
5.5	运输系统车流的优化和调度	(107)
5.5.1	基本概念	(107)
5.5.2	线性规划模型	(110)
5.6	车辆的完好率与车队规模	(113)
5.7	采装-运输系统的生产能力	(116)
5.8	挖掘机-汽车系统的计算机数字模拟	(119)
5.8.1	计算机数字模拟的基本概念	(120)
5.8.2	伪随机数和随机变量的产生方法	(121)
5.8.3	模拟系统的结构和程序框图	(122)
5.8.4	装车子程序	(123)
5.8.5	卸车子程序	(126)
5.8.6	运输子程序	(127)
5.8.7	运行路线控制	(129)
5.8.8	变量选择	(130)
5.8.9	模拟的输入和输出	(131)
5.8.10	系统模拟结果分析	(132)
5.8.11	汽车调度准则	(132)
5.9	间断-连续工艺的采装运输问题	(135)
5.9.1	胶带运输机的布置	(135)
5.9.2	传统胶带机的参数和结构	(136)
5.9.3	采场内破碎转载站	(138)
5.9.4	关于陡角运输机的应用	(143)
5.9.5	采用间断-连续工艺系统时剥离岩石的综合利用	(145)
6	排岩工程	(149)
6.1	概述	(149)
6.2	废石排弃工艺	(150)

6.3	废石场规划	(153)
6.3.1	废石场位置的选择	(154)
6.3.2	在平地堆置废石场的最佳参数	(156)
6.3.3	废石场的发展规划和扩展方式	(158)
6.4	废石场的稳定性问题	(162)
6.4.1	影响因素	(162)
6.4.2	废石场稳定性分析	(164)
6.5	废石场的污染与防治	(167)
6.6	废石场的复垦和废石综合利用	(171)
7	露天开采的时空发展程序	(174)
7.1	露天开采的基本规律	(174)
7.1.1	开采程序的概念	(174)
7.1.2	露天开采的基本规律	(179)
7.2	采矿方法及其分类	(181)
7.3	采矿方法的基本要素和参数	(185)
7.3.1	概念	(185)
7.3.2	台阶高度	(186)
7.3.3	工作平盘宽度	(186)
7.3.4	工作帮坡面角	(188)
7.3.5	采区长度	(192)
7.3.6	多台阶平扩延深纵向工作线采矿方法的采矿 台阶数	(193)
7.3.7	水平推进速度与延深速度	(194)
7.4	多台阶平扩延深横采掘带采矿方法	(195)
7.5	分期扩帮延深采矿方法	(200)
7.6	倾斜分层延深采矿方法	(201)
7.7	平扩型采矿方法简述	(204)
7.7.1	单台阶倒堆采矿方法方案	(205)
7.7.2	单台阶剥离重复倒堆采矿方法	(206)
7.8	关于生产储备矿量	(208)
7.9	露天矿开拓采矿方法范例	(211)

7.9.1	苏联 Качарский 露天铁矿	(212)
7.9.2	Сарбайский 露天矿	(214)
7.9.3	Лебединский 露天矿	(215)
7.9.4	Bingham 铜矿	(216)
7.9.5	Palabora 铜矿	(223)
7.9.6	Центральный 磷灰石矿	(229)
7.9.7	南芬露天铁矿	(232)
7.9.8	板石沟铁矿	(240)
7.9.9	石人沟铁矿	(243)
7.9.10	永平铜矿	(244)
7.9.11	抚顺西露天煤矿	(249)
8	确定露天开采境界的若干问题	(256)
8.1	联合开采费用的最小原则	(256)
8.2	经济合理剥采比的确定	(260)
8.3	联合开采的最大盈利原则	(263)
8.4	露天开采境界的常规设计方法	(264)
8.4.1	倾斜长大矿体露天开采的设计方法	(264)
8.4.2	倾斜短矿体露天开采境界的确定	(268)
8.5	确定露天开采境界的计算机方法	(273)
8.5.1	移动圆锥法	(273)
8.5.2	动态规划法	(284)
9	生产规模的优化	(296)
9.1	概念	(296)
9.2	经济上最优生产能力与储量的关系	(297)
9.3	投资函数、负现金流量和生产规模的关系	(300)
9.4	成本函数、正现金流量和生产规模的关系	(303)
9.5	最优矿山生产能力模型	(307)
9.6	露天矿的生产能力和边界品位	(309)
9.7	深露天矿生产能力的特点及其保证	(312)
10	生产计划编制的计算机化	(317)

10.1	概述	(317)
10.2	长期计划的编制方法	(318)
10.2.1	用CAD技术在微机上编制采剥进度 计划	(319)
10.2.2	动态优化法编制长期采剥计划	(326)
10.2.3	线性规划法编制长期生产计划	(333)
10.3	年度生产计划的编制	(338)
10.3.1	矿化模型	(338)
10.3.2	剥离计划的优化模型	(340)
10.3.3	模拟开采	(342)
10.4	短期生产计划	(343)
10.4.1	系统构成概念	(344)
10.4.2	二次规划数学模型	(344)
10.4.3	试凑法模型及其过程	(348)
11	边坡稳定问题	(352)
11.1	边坡稳定问题的现状	(352)
11.2	边坡稳定性的计算方法	(355)
11.2.1	岩体结构分析法	(355)
11.2.2	极限平衡分析法	(359)
11.3	边坡的加固方法	(367)
11.4	边坡稳定与开采工艺	(375)
11.4.1	爆破工艺与边坡稳定	(375)
11.4.2	开采程序和工艺与边坡稳定	(377)
	参考文献	(385)

1.1 矿产资源和采矿工业

人类能直接或间接加以利用的天然或人工生产的物质称为资源^[1]。矿产资源则泛指存在于地壳内的有用矿产。

采矿工业是开发矿产资源，为社会经济发展提供物资原料的基础工业，无论对于发展中国家或发达国家，采矿工业都是非常重要的。

矿产资源依其在地壳内集合的物质形态不同，分为气态矿产、液态矿产和固态矿产三大类。天然气是气态矿产的代表，石油则是液态矿产的典型，煤炭、金属矿石、非金属矿石以及建筑材料等矿产均属固态矿产。

不同物质形态的矿产，其矿床开采工艺差别极大。尽管一切矿产资源的开采工业都属于采掘工业范畴，但是现代工业一般将固态矿床的采掘工业部门称为采掘工业，而把天然气和石油的开采划归石油工业。

固态矿床的开采方式，分为露天开采、地下开采、海洋开采和特殊开采。露天开采所占比重最大，地下开采次之，特殊开采法已见诸工业应用，但目前开采数量甚微；海洋开采则是有广阔前景的尚待开发的开采方式。特殊开采法在苏

联亦称地球工艺学法，其中包括浸出法、熔融法、溶解法和气化法等。对于某些埋藏极深的固态矿床，采用特殊开采法可以大大降低开采费用和减轻环境问题的压力[2]。

有用矿物矿床的一般开发过程如图1-1所示。矿床的开发通常要经历较长的过程。矿床的产状和赋存条件、构造地质、水文地质、矿区的经济和自然地理条件千差万别，决定了矿床开发具有复杂性和风险性。矿业科学和技术的任务就在于揭示矿床开发全过程的规律性，保证采掘工业能以最少的投入取得最大的产出，并且安全、经济、充分和无害地采出地下矿产资源，从而满足人类社会对矿产资源不断增长的需求。

1.2 露天采矿学的范畴和方法论

1.2.1 采矿学的范畴

科学的经典定义是：反映自然、社会、思维等客观规律的分科知识体系。苏联科学院院士В. В. Ржевский认为：“在现阶段，科学是产生新的知识、加工和利用现有知识的社会活动”[3]，明确指出了科学产生的社会性。

露天采矿学是矿业科学的一个分支，是一门应用技术科学。它的任务是揭示安全、经济、充分和无害地实现矿床开采过程的客观规律，阐述露天开采的工艺技术原理，以及矿山企业的规划设计的理论、方法等有关知识。

矿床开采的工作对象和直接环境是岩石。开采工艺的难易，开采过程的安全性和经济性都取决于岩石的性态和行为。矿床开采的实质是把有用矿物从地壳中分离出来。这就是说，矿床开采过程包含着两个目的相反且互相矛盾的人类行为：一个是破坏有用矿产的原始聚合状态以利于有效采出

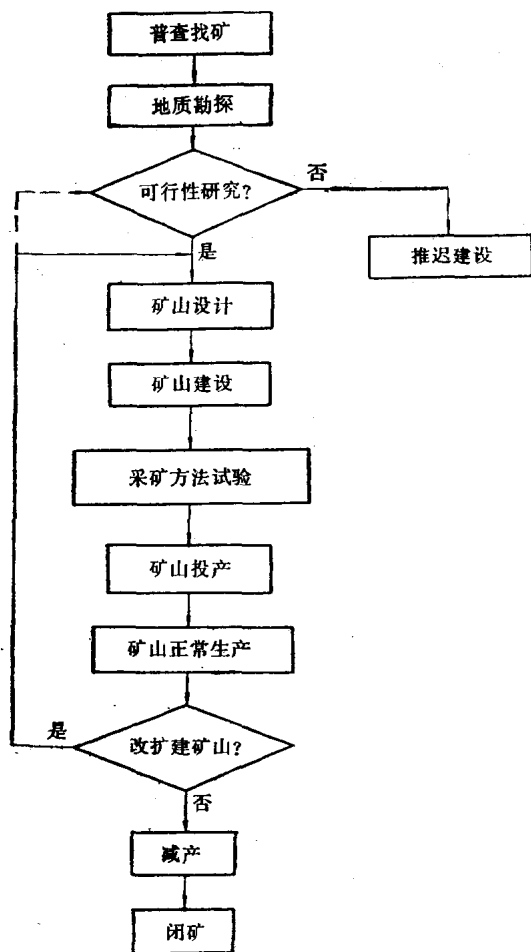


图1-1 矿业开发程序框图

有用矿物；另一个是尽量维护有用矿物开采过程在地壳中所形成的空洞的稳定性，以确保实施采掘作业的人员和设备的安全，这一矛盾贯穿于采矿过程的始终，解决这一对矛盾的科学分支就是岩体力学。所以广义的岩石力学是采矿学的基础。

基础科学之一。

地壳中经过亿万年地质过程形成的矿产资源，对于人类文明的短暂历史而言，一经采出是不能再生的，所以采矿过程具有一次性。人们进行开采活动的工作面只能随着矿产的存在而迁移，没有固定的工作空间或场所，还必须把采掘到的有用矿产从工作面运到地面上来，这是采掘工程区别于其它工程的显著特征。因此，矿岩运输成为采矿学的重要课题。

矿产资源的一次性，决定了开采有限储量的矿山企业寿命的有限性，而且决定了矿床开采过程必然是已“准备”的储量不断消失(采出)，新的储量又不断地得到“准备”以供开采的过程。这个过程终结了，矿山也就结束了。研究开采过程和储量准备和消失的工艺规律是采矿工艺学的重要任务之一。

由图1-1所示，从发现矿床到开发矿床采出有用矿物，通常要经过数年乃至数十年，要消耗巨额资金，要冒市场竞争的风险。为了确保投入资金得到补偿和增值，必须最大限度地采出矿床的有用矿物，必须十分注意经济工作，必须尽可能使开采过程全盘实现机械化以提高劳动生产率。资源的准备和消失，工作面的迁移不居，岩石性态的千变万化，以及开采过程对自然环境和生态的破坏和冲击等等，决定了矿山企业是个充满随机因素的多层次多环节的复杂系统。因此，应用系统理论进行系统分析是现代矿业科学的重要标志。

概括地说，露天采矿学的科学内容是：

- 1) 以地质科学理论为指导的关于矿床、矿产储量和质量分布的理论和知识；
- 2) 以广义岩石力学理论为基础的，关于岩石各种开

采工艺属性的知识；

3) 旨在改变有用矿产聚合状态和空间位置的露天采矿工艺过程——钻孔、爆破、采装、运输和排岩的技术和理论知识；

4) 关于矿床露天开采的开拓、准备和开采程序的理论和知识；

5) 以经济学和系统理论为基础的关于露天矿山企业的设计、规划和管理的相关理论和知识；

6) 矿床露天开采时有关综合开发和利用、生态保护和环境控制的理论知识和技术。

1.2.2 露天采矿学的方法论

解决露天采矿学的任务时，经常采用的科学方法有：经验和经验类比法，实验法，概率和数理统计法，模型和模拟法以及经济数学法。

1. 经验和经验类比法

经验和经验类比法是迄今为止矿业科学曾经广泛应用的方法。当人们对事物内在规律的认识处于朦胧阶段时，对现象和过程还不能做出明确的定量估计，而只能靠积累感性经验作定性的比较并进行决策，此时每每应用经验和经验类比法。经验类比法有相当的可靠性，但往往囿于个人的经验积累而有很大的局限性。

2. 实验法

实验法是通过直接实践认识客观事物和过程规律的方法。按实验规模可分为实验室实验、中间实验和生产实验。

实验室实验法常用于测定岩石物料的某种物理、化学和