



教育部高等学校地矿学科
教学指导委员会采矿工程专业规划教材



丛书主编 古德生

露天采矿业

高永涛 吴顺川 主编

OPEN-PIT MINING ENGINEERING



中南大学出版社

www.csupress.com.cn

教育部高等学校地矿学科教学指导委员会
采矿工程专业规划教材

露天采矿学

主 编 高永涛 吴顺川

副主编 王 青 石忠民

参编人员

昆明理工大学 戴晓江

昆明理工大学 郭忠林

内蒙古科技大学 韩万东

河北理工大学 甘德清

江西理工大学 饶运章

北京科技大学 金爱兵

武汉理工大学 叶海旺

中南大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

露天采矿学/高永涛,吴顺川主编. —长沙:中南大学出版社,
2010. 11

ISBN 978-7-5487-0125-5

I. 露... II. ①高... ②吴 III. 露天开采 IV. TD804

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 207298 号

露天采矿学

主编 高永涛 吴顺川

-
- 责任编辑 刘 辉
责任印制 文桂武
出版发行 中南大学出版社
社址:长沙市麓山南路 邮编:410083
发行科电话:0731-88876770 传真:0731-88710482
印 装 长沙市宏发印刷厂

-
- 开 本 787 × 1092 1/16 印张 22.75 字数 561 千字
版 次 2010 年 11 月第 1 版 2010 年 11 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5487-0125-5
定 价 45.00 元
-

图书出现印装问题,请与经销商调换

教育部高等学校地矿学科教学指导委员会
采矿工程专业规划教材

编 审 委 员 会

丛书主编

古德生

编委会委员

(按姓氏笔画为序)

王新民	伍法权	李夕兵	刘爱华	杨 鹏
吴 超	吴立新	吴顺川	张明旭	陈建宏
周科平	赵跃民	赵 文	侯克鹏	姚书振
殷 昆	高永涛	黄润秋	廖立兵	

序

站在 21 世纪全球发展战略的高度来审视世界矿业，可以清楚地看到，矿业作为国民经济的基础产业，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 年代以前的相比，已经不可同日而语。为了适应矿业快速发展的形势，国家需要大批具有现代采矿知识的专业人才，因此，作为优秀专业人才培养的重要基础建设之一——教材建设就显得至关重要。

在 2006—2010 年地矿学科教学指导委员会（以下简称地矿学科教指委）的成立大会上，委员们一致认为，抓教材建设是本届教学指导委员会的重要任务之一，特别是金属矿采工程专业教材，现在多是 20 世纪 90 年代出版的，教材更新已迫在眉睫。2006 年 10 月 18~20 日在中南大学召开了第一次地矿学科教指委全体会议，会上委员们就开始酝酿采矿工程专业系列教材的编写拟题；之后，中南大学出版社主动承担该系列教材的出版工作，并积极协助地矿学科教指委于 2007 年 6 月 22~24 日在中南大学召开了“全国采矿工程专业学科发展与教材建设研讨会”，来自全国 17 所院校的金属、非金属矿床采矿工程专业和部分煤矿开采专业的领导及骨干教师代表参加了会议，会议拟定了采矿工程专业系列教材的选题和主编单位；从那以后，地矿学科教指委和中南大学出版社又分别在昆明和长沙召开了两次采矿工程专业系列教材编写大纲的审定工作会议。

本次新规划出版的采矿工程专业系列教材侧重于金属矿

床开采领域。编审委员会通过充分的沟通和研讨，在总结以往教学和教材编撰经验的基础上，以推动新世纪采矿工程专业教学改革和教材建设为宗旨，提出了采矿工程专业系列教材的编写原则和要求：①教材的体系、知识层次和结构要合理，要遵循教学规律，既要有利于组织教学又要有利于学生学习；②教材内容要体现科学性、系统性、新颖性和实用性，并做到有机结合；③要重视基础，又要强调采矿工程专业的实践性和针对性；④要体现时代特性和创新精神，反映采矿工程学科的新技术、新方法、新规范、新标准等。

采矿科学技术在不断发展，采矿工程专业的教材需要不断完善和更新。希望全国参与采矿工程专业教材编写的专家们共同努力，写出更多、更好的采矿工程专业新教材。我们相信，本系列教材的出版对我国采矿工程专业高级人才的培养和采矿工程专业教育事业的发展将起到十分积极的推进作用，对我国矿山安全、经济、高效开采，保障我国矿业持续、健康、快速发展也有着十分重要的意义。



中南大学教授

中国工程院院士

教育部地矿学科教指委主任

2008年8月

前 言

.....

近年来,我国经济持续稳定发展,各个行业对矿产资源的需求量持续增长,如何更加合理和有效地开发利用矿产资源,不仅关系到相关行业的正常发展,更影响到国家的长期可持续发展和战略安全。

露天开采,作为一种高产高效的开采方式,在矿山行业中一直占有十分重要的地位。自20世纪50年代起,随着大型凿岩及装运设备的研发和应用,特别是近20年来,科学技术的进步日新月异,学科之间的交叉日益扩大,尤其是计算机、电子通讯、机械加工等领域的进步,露天采矿技术得到迅猛发展,露天采矿的规模和效率得到了空前提高,露天开采矿石产量占矿石总产量的比重越来越大。

我国对于露天采矿的相关技术研究始于20世纪50年代,多年来,金属矿床露天开采的教学体系一直沿用已经使用多年的旧模式,对当前矿山实际工程的适用性不强,内容上多年来一直变化不大,新的理论和技术没有得到充分体现,已经很难适应当前的露天采矿需求。同时我国各高等院校矿业工程专业的本科生和研究生都开设了露天采矿学课程,但苦于缺乏一本通用的露天采矿教材,各高等院校露天采矿相关知识的教学水平参差不齐。因此,对采矿工程专业露天采矿相关课程的改革及教材的更新已势在必行。

本书作者们从事露天采矿相关领域教学与研究已有20余年,对该领域的基本理论知识掌握扎实,了解该领域近年来取得的新进展,通过对露天采矿相关知识全面系统总结和概括,并经多位具有丰富科研教学经验和现场工程实践的教授及专家的审阅和指点,几易其稿,最终完成了本书。

本书的编写力求做到

1. 内容上及时更新。在高等学校的传统教材《金属矿床露天开采》(李宝祥等编)的基础上,本书作者通过大量最新资料的查阅和收集,将多年来尤其是近几年露天采矿领域所取得的最新进展和成熟的现场技术编入书内,以求读者在阅读本书时可以得到最新的理论知识

和实践经验。

2. 知识框架系统、完整。原来的露天开采相关教材在我国露天采矿领域教学科研的发展过程中曾发挥了巨大的历史作用,但由于时代背景和条件的限制,总是很难做到知识框架的系统性与完整性。本书作者在编写的过程中尤其注意总结多年来从事露天采矿教学的经验和教训,力求在本书中充分发挥之前相关教材的长处,克服教学实践中已发现的问题,以求成为采矿专业本科生教育的首选教材和从事露天开采的科研及工程技术人员最佳参考书。

3. 重点突出。露天开采相关知识的学习与研究,不仅要做到覆盖全面,更要做到知识重点的突出。本书在编写过程中,作者们结合个人从事该领域多年研究的经验和成果,有选择地对重点章节进行详细介绍,以求该教材在教学过程中,能够帮助授课教师及学生做到有的放矢,对关键知识点进行重点学习和掌握,使其能够在学完本课程之后,对露天采矿相关领域有全面、扎实的了解和掌握。

4. 适应信息技术发展需求。随着以计算机技术为龙头的现代科学技术的快速发展,矿山生产、管理已经进入信息时代,传统教材在此方面不能适应现场需求,本书配套《露天金属矿优化设计系统(教育版)》软件,力求使读者通过应用示例的学习,能迅速掌握露天开采境界优化、采剥进度计划优化等相关计算理论和知识,从而迅速提高其实际操作水平。

5. 立足国情,放眼世界。考虑到本书主要适用于国内相关高校的本科生培养,本书在编写过程中尤其注意结合我国国情进行相关知识的介绍,同时,结合作者对发达国家该领域最新进展的认识和了解,查阅相关资料,总结提炼最新信息,为学习本教材的学生和工程技术人员提供更宽的视角和知识平台。

6. 注重实践。工程学科理论研究的根本意义在于实践应用,没有实践价值的工科理论本身没有任何意义。本书作者们大多长期从事该领域的科研和教学工作,在工程实践中积累了丰富的经验,书中通过工程实例的介绍,为读者生动活泼地展示知识点,力求做到学以致用。

受教育部地矿学科教学指导委员会的委托,成立了《露天采矿学》编辑委员会,由北京科技大学高永涛、吴顺川任主编,东北大学王青和武汉理工大学石忠民任副主编,主要编写人员包括:北京科技大学高永涛(第1章)、吴顺川(第2章、第10章)、金爱兵(第6章),东北大学王青(第3章第7节、第12章第3节、第13章第1~3节)、《露天金属矿优化设计系统

(教育版)》), 武汉理工大学石忠民(第3章第1~6节、第12章第1节)、叶海旺(第12章第2节), 昆明理工大学戴晓江(第8章、第13章第4节)、郭忠林(第5章第1~7节), 内蒙古科技大学韩万东(第7章), 河北理工大学甘德清(第9章), 江西理工大学饶运章(第4章、第5章第8节、第11章)。

本教材作为教育部地矿学科规划教材出版, 得到了教育部地矿学科教学指导委员会、中南大学出版社和北京科技大学及相关参编单位的大力支持和资助, 在此表示衷心感谢。本书撰写过程中, 中国冶金矿山企业协会的蔡鸿起教授、北京科技大学胡乃联教授等在百忙之中, 对本书进行认真审阅, 提出了许多宝贵的意见和建议。尤其是本书主编之一吴顺川同志, 为本书的撰写、统稿等做了长时间、大量的工作, 付出了巨大的劳动, 此外北京科技大学的博士生周喻、李健, 硕士生王宇、陆云、李兵等为本书的编写、校核、绘图工作付出了大量的艰辛劳动, 在此一并表示衷心的感谢。

本书虽由多位长期在教学和科研第一线的教师编写而成, 但不足和错误之处在所难免, 希望各位读者不吝赐教、批评指正, 以便在本书再版时得以修正和完善。同时, 对在本书中大量引用的文献、论文、著作的作者表示谢意, 对个别引用而漏标的相关作者表示真诚的歉意。

高永涛
2010年8月
于北京科技大学

目 录

1 绪 论	(1)
1.1 露天采矿的重要地位	(1)
1.2 露天采矿的历史沿革	(2)
1.3 露天采矿的技术进步	(3)
1.4 露天采矿的发展前景	(8)
2 露天开采概念、方法及程序	(10)
2.1 露天开采基本概念	(10)
2.2 主要露天采矿工艺	(14)
2.3 露天矿床开采的主要矿岩指标	(14)
2.4 露天矿设计与建设简述	(16)
本章习题	(19)
3 露天开采境界	(20)
3.1 概述	(20)
3.2 经济合理剥采比	(24)
3.3 剥采比的表示与计算方法	(26)
3.4 露天开采境界的设计原理与设计准则	(31)
3.5 露天开采境界的设计方法	(37)
3.6 分期开采境界设计方法简介	(41)
3.7 露天开采境界计算机优化算法	(43)
本章习题	(54)
4 露天矿采剥方法与程序	(56)
4.1 概述	(56)
4.2 合理开采顺序确定	(56)
4.3 露天矿采剥方法	(60)
4.4 露天转地下采矿	(73)
本章习题	(79)
5 矿床开拓	(80)
5.1 概述	(80)
5.2 公路运输开拓	(80)

5.3	铁路运输开拓	(89)
5.4	胶带运输开拓	(93)
5.5	斜坡箕斗运输开拓	(98)
5.6	平硐溜井开拓	(100)
5.7	开拓方法选择	(102)
5.8	掘沟工程	(106)
	本章习题	(113)
6	穿孔爆破	(114)
6.1	穿孔工作	(114)
6.2	矿用炸药	(125)
6.3	露天矿台阶爆破	(129)
6.4	现代矿山露天爆破新技术	(144)
	本章习题	(153)
7	矿岩采装	(154)
7.1	岩石的可挖性	(154)
7.2	采掘设备类型	(157)
7.3	机械铲作业	(157)
7.4	拉铲作业	(178)
7.5	前装机、铲运机和推土机作业	(184)
	本章习题	(191)
8	露天矿运输	(192)
8.1	概述	(192)
8.2	公路汽车运输	(193)
8.3	铁路机车运输	(203)
8.4	带式输送机运输	(209)
8.5	溜槽、溜井运输	(216)
8.6	联合运输与转运、转载设施	(219)
8.7	运输方式选择	(228)
8.8	露天矿生产运输调度管理	(231)
	本章习题	(237)
9	排岩工艺	(238)
9.1	概述	(238)
9.2	排岩工艺	(241)
9.3	排岩规划与进度计划	(258)
9.4	排土场建设与扩展	(262)

9.5	排土场安全防护	(266)
9.6	排土场关闭与复垦	(269)
	本章习题	(273)
10	露天矿防排水	(274)
10.1	概述	(274)
10.2	露天矿地下水疏干	(276)
10.3	露天矿防水	(279)
10.4	露天矿排水	(284)
10.5	露天矿止水固坡复合锚固地下连续墙工程实例	(286)
	本章习题	(288)
11	露天矿生产剥采比及其均衡	(290)
11.1	露天矿生产剥采比	(290)
11.2	生产剥采比的影响因素	(293)
11.3	生产剥采比均衡	(297)
	本章习题	(302)
12	露天矿生产能力与采掘进度计划	(303)
12.1	露天矿生产能力	(303)
12.2	露天矿采掘进度计划编制	(309)
12.3	采剥进度计划计算机优化原理及方法	(318)
	本章习题	(325)
13	现代信息技术在露天矿山的应用示例	(328)
13.1	概述	(328)
13.2	露天开采境界优化与分析	(329)
13.3	露天矿采剥进度计划优化	(337)
13.4	露天矿生产调度管理实例	(340)
	参考文献	(342)

主要符号表

A	露天开采境界内的矿石量)、矿石生产能力
A^*	p401(最优生产能力)
A'	采出原矿量
A''	原矿中的废石量
A_0	开采矿量
A_1	原矿中的开采矿量
A_2	废石中的开采矿量
A_c	分层矿量
A_n	矿岩采剥总量、矿岩运输总量、矿岩生产能力
ΔA	境界内的矿石增量
a	采掘带宽度、孔间距
a_0	开采矿量品位
a'	原矿品位
a'	岩石品位
a_p	排岩带宽度
B	境界底部宽度
B_s	剥岩条带宽度
B_y	运输道路宽度
b	剥离成本、宽度、工作平盘宽度
b_{\min}	最小工作平盘宽度、最小宽度
c	成本费用、安全距离
d	孔径、折现率
E	斗容
f	矿岩硬度系数、可爆性指数
g_p	精矿品位
H	开采深度、最终边帮高度
H_w	挖掘高度
H_{ws}	下挖深度
H_x	卸载高度
h	高度、垂直距离
h_g	沟深
h_p	排岩台阶高度
h_t	台阶高度
i	坡率

k	原矿的精矿产出率、系数
k_b	与矿岩性质和爆破性质有关的参数
k_c	废石(土)沉降系数
k_d	断面系数、大块率
k_f	考虑矿岩挖掘困难程度的系数、排土场容积富余系数
k_g	与采装设备类型及规格有关的参数
k_m	满斗系数
k_p	排土线备用系数、平均合格率
k_s	松散系数
k_w	挖掘系数
k_x	小块率
L	最终边帮水平投影宽度、出入沟长度、排土线总长
L_{\min}	排土线最小长度
l	露天矿走向长度、钻孔深度
l_c	采区长度、汽车长度
l_g	台阶工作线长度
m	矿体水平厚度
m_z	矿体真厚度
n	台阶数目、其它数目、顺序数
n'	原矿剥采比
n_0	储量剥采比
n_f	分层剥采比
n_j	境界剥采比
n_{jh}	经济合理剥采比
n_k	可能同时采矿的台阶数
n_p	平均剥采比
n_s	生产剥采比
n_z	增量剥采比
Q	机械生产能力
q	炸药单耗、载重量
R	半径、岩石单轴抗压强度
R_w	挖掘半径
R_s	卸载半径
r	原矿运输损失率 _{mssoft}
S	水平面积
T	工作小时数、矿山服务年限、剥岩周期
T^*	露天矿经济寿命
T_b	班工作时间
t	时间

u	利润
V	开采境界内的岩石量、排土场设计总容积
ΔV	岩石增量
V_s	剥离岩石量
v	速度、销售收入
v_k	采矿工程(垂直)延深速度
v_p	剥岩工作线的水平推进速度
v_t	矿山工程水平推进速度
v_y	矿山工程(垂直)延深速度
W	最小抵抗线
$W_{底}$	底盘抵抗线
W_s	岩石实际可挖性指标
α	矿体倾角
α'	原矿品位
α''	围岩品位
α_0	开采矿量品位
α_g	沟帮坡面角
α_t	台阶坡面角
β	底帮最终边坡角
ρ	实际贫化率
ρ'	表观贫化率
η	实际回收率
η'	表观回收率
η''	矿物回收率
η_b	班工作时间利用系数
γ	顶帮最终帮坡角、矿岩体重 选矿回收率
ε	选矿回收率
φ	工作帮坡角、剥岩总坡角
δ	采矿工程延深角
θ	矿山工程延深角

1 绪 论

1.1 露天采矿的重要地位

所谓露天采矿,《中国冶金百科全书》有明确定义:用一定的采掘运输设备,在敞露的空间里从事开采矿床的工程技术。其具有作业安全、可采用大型采矿机械、生产能力大、矿石损失少等优点,适合于矿体埋藏浅、赋存条件简单、储量大的矿床。

1.1.1 露天采矿是采矿业的主题开采方式

自 20 世纪 50 年代起,随着大型凿岩及装运设备的研发和应用,露天采矿技术得到了迅猛发展,露天采矿的规模和效率得到了空前提高,露天矿开采矿石的产量已占到矿石总产量的 80% 以上。表 1-1 显示,我国铁矿石露天开采量占总产量的 90%、有色金属占 63%、煤炭占 4.6%,西方发达国家矿山露天开采比例更高。露天采矿已成为采矿业的主体开采方式。

表 1-1 中、俄、美、加四国矿石产量露天开采比例 (%)

矿产种类	中 国	俄罗斯	美 国	加拿大
煤炭	4.6	32.6	55.3	83.5
铁矿石	90	80	96	96
有色金属	63	70	88	63
建筑材料	100	100	100	100

1.1.2 露天采矿生产规模大

露天采矿生产规模大,世界上产量能超过 1000 万 t/a 的矿山 90% 以上为露天开采,国外已经投产和正在建设的年产矿石 1000 万 t 以上的大型露天矿有 70 余座,其中年产矿石 4000 万 t 的特大型露天矿有 20 余座。我国也建成了多座年产超过 1000 万 t 的大型露天矿,如安太堡露天煤矿、德兴露天铜矿、鞍钢齐大山露天铁矿、本钢南芬露天铁矿、首钢水厂露天铁矿、包钢白云鄂博露天铁矿、金堆城露天钼矿等。这些矿山通过采用相应的大型设备,改进开采工艺,提高生产管理水平和生产规模逐渐扩大,某些矿山生产能力已达到年产 2000 万 t 的水平。此外,还有大量中小型露天矿,也在通过技术改造,不断扩大生产规模。即使是一般中小型露天矿,其生产能力也不是一般地下矿山所能比拟的。

1.1.3 露天采矿生产效率高

露天采矿生产规模大是以高效率为基础的,露天开采恰恰可以为提高劳动生产率提供保