

中国矿业大学学术著作出版基金资助出版

Surface Mining Design Optimization —Theory and Practice

露天开采优化设计理论与应用

张幼蒂 李克民 等著

Surface

ization

中国矿业大学出版社



TD804
Z-915

著作出版基金资助出版

露天开采优化设计理论与应用

主编 张幼蒂 李克民
著者 张幼蒂 李克民 张瑞新
姬长生 才庆祥 尚 涛
李新春

中国矿业大学出版社

Surface mining Design Optimization

——Theory and practice

Editors

Zhang Youdi Li Kemin

China University of Mining & Technology Press
Xuzhou, Jiangsu, China • 2000

内 容 提 要

这本专著系统总结了近 20 年来对露天开采优化设计研究的新成果,以系统工程的观点,动态综合优化的原则,阐述露天开采优化设计理论与方法。内容主要包括:露天开采优化设计理论基础,矿床地质模型及露天开采长远规划数学模型系列,露天开采计算机辅助设计系统,开采境界及开采程序,生产能力及生产工艺,采矿工程可靠性分析,矿床资源与设计经济效益评价等。本书读者对象为矿业界设计、科研、生产管理人员及高校师生。

责任编辑 姜志方

图书在版编目(CIP)数据

露天开采优化设计理论与应用/张幼蒂等编. —徐州:
中国矿业大学出版社, 2000. 11
ISBN 7-81070-306-4

I. 露… II. 张… III. 露天开采-最优设计
IV. TD804

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 57491 号

中国矿业大学出版社出版发行

(江苏徐州 邮政编码 221008)

出版人 解京选

中国矿业大学印刷厂印刷 新华书店经销

开本 850×1168 1/32 印张 13.5 字数 345 千字

2000 年 11 月第 1 版 2000 年 11 月第 1 次印刷

印数 1~1000 册 定价 25.00 元

ABSTRACT

The new achievements in the field of surface mining design optimization during the last 20 years are summarized in this monograph. The theory and methods for surface mining design optimization are expounded from the viewpoint of systems engineering and according to the principle of dynamic and comprehensive optimization. The main contents of this book are as follows: theoretical basis of surface mining design optimization, the series of mineral deposit model and surface mine long term planning model, computer-aided-design system for surface mining, pit limit and mining sequence analysis, mine capacity and mining technology selection, reliability analysis for mining engineering, evaluation to mineral resource and economic effect of mine design, etc.

前 言

随着现代科学技术的进步,露天采矿领域的科学研究向着更深入更广阔的方向发展,提高了露天矿的经济效益,推动了露天采矿的科学技术进步。露天开采优化设计把运筹学等优化理论与计算机技术,系统科学与矿业科学结合起来,成为现代露天采矿科学的重要组成部分。

本书作为一本专著,系统总结了中国矿业大学近 20 年来对露天开采优化设计研究的新成果,针对露天开采优化设计内容的广泛性及矿床埋藏条件的复杂多变性,以系统工程的观点,动态综合优化的原则,阐述露天开采优化理论与方法。

本书在已完成的“露天开采设计规划综合优化的理论与应用”等科研项目的基础上编写。本书的理论核心是以系统工程学和计算机应用技术为基础的矿山工程有向图系统模拟理论及动态综合优化方法。期望它对露天开采优化设计的新体系、新内容与新方法能够有所反映。

这本书是集体智慧的结晶,中国矿业大学于汝绶、张达贤、何其敏等教授分别主持过有关科研项目,对本书的形成做出了多方面的重要贡献。一大批教师、研究生参与了专项科学研究工作。平朔、准格尔、霍林河、齐大山等矿区及露天矿,沈阳、西安、昆明、内蒙等煤矿设计院、鞍钢矿山公司设计院等单位的大力支持也是本书完成的重要条件。

在本书即将出版之际,我们特别怀念已故的原中国矿业大学校长彭世济教授及杨荣新教授,他们对我国露天采矿事业所做出

的毕生贡献及对本书出版所发挥的重要作用将被人们永远铭记。

本书各章节编写执笔人如下：

第一章 张幼蒂

第二章 张幼蒂 李克民

第三章 尚 涛 张瑞新

第四章 李克民

第五章 李克民 张幼蒂

第六章 姬长生 李克民 李新春

第七章 才庆祥

第八章 张瑞新 姬长生

第九章 张幼蒂

本书的出版得到中国矿业大学学术著作出版基金的支持。张先尘教授、马兰英教授为本书出版曾专门写出推荐意见。特此致谢！

作者诚恳希望广大读者提出批评指正。

作 者

2000 年 9 月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 国内外露天开采的发展.....	(1)
第二节 国内外露天开采理论研究的简要回顾.....	(4)
第三节 露天开采优化设计研究现状.....	(6)
第二章 露天开采优化设计理论基础	(15)
第一节 优化设计理论与方法综述	(15)
第二节 矿山工程有向图系统模拟基本原理	(18)
第三节 有向图系统模拟算法举要	(24)
第四节 二次成图法	(57)
第三章 矿床地质模型及露天开采长远规划数学模型系列	(92)
第一节 概述	(92)
第二节 矿床地质模型	(94)
第三节 露天开采长远规划数学模型结构及组成.....	(119)
第四节 主模型宏观结构与流程.....	(121)
第五节 数学模型系列应用实例.....	(126)
第四章 露天开采计算机辅助设计系统—SMCAD	(139)
第一节 现代矿山优化设计发展特点.....	(139)
第二节 SMCAD 系统的宏观描述	(141)

第三节	SMCAD 的人机交互系统	(150)
第四节	计算机辅助绘图	(166)
第五节	SMCAD 系统的应用实例	(178)
第五章	开采境界及开采程序	(195)
第一节	露天开采境界的动态优化圈定	(195)
第二节	采区划分及开采顺序的优化	(203)
第三节	分期开采的优化	(221)
第四节	分区开采的优化	(228)
第六章	生产能力及生产工艺	(244)
第一节	露天矿生产能力的综合确定	(244)
第二节	生产剥采比及采剥关系的优化	(282)
第三节	露天开采工艺选择	(288)
第四节	矿岩流向流量的优化	(309)
第七章	采矿工程可靠性分析	(317)
第一节	开采工艺系统可靠性分析	(317)
第二节	露天矿山产量可靠性分析	(331)
第八章	矿床资源与矿山设计经济效益评价	(343)
第一节	矿床资源评价	(343)
第二节	露采矿区开发顺序优化决策	(361)
第三节	露天矿设计方案经济效益评价	(391)
第九章	研究结论及今后研究方向	(409)
第一节	研究工作结论	(409)
第二节	今后研究方向	(414)

Contents

1. Introduction	(1)
1.1 Worldwide development of surface mining	(1)
1.2 A brief review to international theoretical research for surface mining	(4)
1.3 Current status of surface mining design optimization	(6)
2 Theoretical basis of surface mining design optimization	(15)
2.1 Introduction to the theory and approaches for pit design optimization	(15)
2.2 Basics of oriented graph system simulation for mining engineering	(18)
2.3 Important algorithm of oriented graph system simulation	(24)
2.4 Second time drawing method	(57)
3 Mineral deposit model and surface mine long term planning model series	(92)
3.1 Introduction	(92)
3.2 Mineral deposit model	(94)
3.3 Mathematical model for surface mine long term planning—structure and composition	(119)

3.4	Macro structure and flowchart of the main model	(121)
3.5	Case studies of the mathematical model series	(126)
4	Computer-aided-design system for surface mining	
	—SMCAD	(139)
4.1	Features of modern mine design optimization	(139)
4.2	Macro description to SMCAD system	(141)
4.3	Interactive system of SMCAD	(150)
4.4	Computer aided drawing	(166)
4.5	Case studies of SMCAD system	(178)
5	Pit limit and mining sequence analysis	(195)
5.1	Dynamic optimization of pit limit delimitation	(195)
5.2	Mining area dividing and mining sequence optimization	(203)
5.3	Optimization of mining-in-stages	(221)
5.4	Optimization of mining-in-areas	(228)
6	Mine capacity and mining technology selection	(244)
6.1	Comprehensive analysis of surface mine capacity	(244)
6.2	Stripping ratio and mining-stripping relationship optimization	(282)
6.3	Selection of mining technology	(288)
6.4	Material flow allocation(direction and flow rate) optimization	(309)

7 Reliability analysis for mining engineering (317)
 7.1 Reliability analysis for mining technology system (317)
 7.2 Reliability analysis for mine production rate (331)
8 Evaluation to mineral resource and economic effect of mine design (343)
 8.1 Mineral resource evaluation (343)
 8.2 Evaluation to the economic effect of mine design (361)
 8.3 Evalution to the economic effect of surface mine design (391)
9 Conclusions and future research direction (409)

第一章 绪 论

第一节 国内外露天开采的发展

露天开采各种有用矿物,古已有之。但限于当时的开采工具,只能对矿床浅部露头“竭泽而渔”。20 世纪以来,随着大型土石方机械设备及开采技术的发展,露天开采这一古老技术得以焕发青春,其应用范围迅速扩大,备受世人青睐。

目前在世界范围内由露天矿开采出的各种有用矿物约占全部有用矿物原料的 80%。若干主要有用矿物原料的露天开采比重可参看表 1-1-1^[19]。

表 1-1-1 世界重要矿物原料的露天开采比重

矿物原料	比重/%	矿物原料	比重/%
硬 煤	30	铝矾土	91
褐 煤	86	建 材	100
铁	78	锰	86
铜	91	铀	30
磷灰石	89	镍	45
石 棉	75	其 他	40

我国若干主要矿石露天开采比重如表 1-1-2 所示^[20]。

回顾 20 世纪以来,世界煤炭总产量与露天开采的产量增长情况如表 1-1-3 所示^[43]。从中可见,露天开采的产量增长速度远高于

地下开采。尤其近 30 余年来,露天开采发展更为迅速。据统计,近 40 年间露天开采产煤净增量占同期世界煤炭总净增量的 2/3 以上。

表 1-1-2 我国若干主要矿石露天开采比重

矿物原料	比重/%	矿物原料	比重/%
铁矿石	85~90	建筑材料	100
有色金属矿石	50	煤 炭	6~7
化工原料矿石	70		

表 1-1-3 世界煤炭产量及露天采煤比重

年 份	世界煤炭产量/Mt	露天采煤产量/Mt	露天采产量比重/%
1913	1 341	90	6.7
1952	1 922	452	23.4
1981	3 762	1 510	40.1
1990 ^[注]	4 069	1 743	42.8

注:世界 9 个主要产煤国家统计数。

多年来我国煤炭露天开采的比重相对很低,有其历史原因,诸如:煤田资源自然赋存条件及其勘探超前程度;国家机械设备制造水平的限制;煤炭产业结构(国营、地方与乡镇煤矿的产量构成比例)对市场的影响;煤炭工业发展方针政策的制定与执行;矿山设计理论及设计思想的太过陈旧,等等。

20 世纪 80 年代以来,我国五大煤矿区——平朔、准格尔、霍林河、伊敏河、元宝山矿区——陆续兴建,使露天开采面貌为之一新。进入 90 年代以来,露天煤矿建设投资及规模约占国有重点煤矿的 1/4 左右。我国露天煤矿已具备了进一步加快发展的综合条件。

科学技术进步是对生产的强大推动力,采矿工程也不例外。现

代化露天开采技术的世界性发展特点和趋势是^[21]：

(1) 开采集中化

集中化生产的主要特征是，单个露天矿生产能力增大，露天矿数目减少，开采强度加大。如德国莱茵矿区，在 20 世纪 50 年代有 23 个露天矿，总产量 60~80 Mt，至 90 年代只有 4 个露天矿，总产量达 100 Mt 左右，20 世纪末已集中至 3 个露天矿生产，总产量仍保持不变。

因地制宜建设大型露天矿已成为各国的普遍趋势，目前在德、俄、哈萨克斯坦等国已建成年产 50 Mt 的露天煤矿，美、澳、波、捷等国建成年产量 20~40 Mt 的露天煤矿。

开采高度集中化，对地质勘探、设计计划、矿区建设及生产管理都提出了很高的技术要求，决策与施工得当与否，将带来经济效益上的巨额差别，动辄以千万元、亿元计。

(2) 新工艺新技术不断涌现，形成了多样化的开采工艺

轮斗铲—带式输送机连续工艺得到广泛的应用，其设备规格能力从大到小形成完整系列，生产线实现了高度自动化集中管理；单斗铲—破碎机—带式输送机半连续工艺得到迅速发展，在矿岩硬度大、开采高差大的露天矿取代单斗卡车或铁道运输方式，取得了很好的经济效益；能简化开采环节的合并式开采工艺，如大型挖掘机倒堆剥离、运输排土设备横向移运剥离物的开采工艺(CPS 系统)等在条件适合的矿区得以扩展其应用范围；露天采矿机已有多种形式，在选择开采、简化穿爆工作、减小煤岩粒度等方面显示出其优点及推广应用的生命力；传统的工艺方式也在不断革新，如铁道运输向大牵引力(牵引机组粘着重量达 360~372 t)、陡坡度(达 6%)发展，卡车载重量进一步加大，研制柴油—架线双能源卡车，以及推行卡车自动化调度系统等。

(3) 设计计划及生产管理计算机化

随着计算机技术的日新月异，计算机已广泛应用到露天开采

许多领域,从矿床勘探及地质模型建立到矿山设计计划,从矿区及矿山生产管理到设备故障监测等,计算机已成为不可缺少的有力工具。

(4) 对生产安全及环境保护的需求日益增强

现代化矿山在建设及生产过程中,对于劳动者的作业卫生及安全提出了更高的要求。对于矿山环境保护方面,如复垦造田、三废处理、滑坡防治、煤炭自燃防治等,从法律法规上要求日益提高,提出了许多新的技术问题。

第二节 国内外露天开采理论 研究的简要回顾

与露天开采的实践相适应,现代化露天开采的理论研究较之矿井开采起步为迟,到本世纪中期方有较为系统的理论专著问世。近40年来露天开采理论研究则异彩纷呈,与露天开采实践的壮观图景相互辉映。

纵观国内外在露天开采方面的理论研究工作,对其动态发展过程及成果试做如下归纳分析:

1. 在露天开采领域的研究内容上,除共性课题外,各国各有其特点或侧重。

美国各种有用矿物露天开采的总比重达90%。其设计理论研究重视开采设备的有效利用及不断更新,以及开采工艺的优化选择。在矿山工程方面,以开采境界的圈定及开采进度计划的合理安排为主要研究对象。对设备维修、供电、排水疏干、通讯、边坡稳定、环境保护与复田,以及经济分析、组织管理等方面,亦重视全面配套研究。其代表性著作见参考文献[1,2,17]。

前苏联亦是露天开采在各种矿床中充分发展的国家。其矿床埋藏条件较为复杂多样,地理、气候条件也因地而异。前苏联在露

天开采设计规划理论方面,研究内容相当全面。早在 50 年代,即有系统的理论著述问世^[3,4]。E. Ф. 舍什科将露天采矿学明确划分为生产工艺与矿山工程两大部分,形成了自己的理论体系。近年的代表性著作也承袭了这一基础,尤其在矿山工程方面,发展了对开拓系统、开采方法、剥采关系等重大问题的研究成果^[5,6]。

德国的露天开采以褐煤连续工艺及半连续工艺为其特色,他们的理论研究充分反映了连续与半连续工艺及褐煤加工利用的特点。重视理论分析,也是他们的传统做法^[7,8]。

我国在 50 年代依照前苏联模式建立了自己的露天采矿学科,近 20 余年来则较多吸取了西方有关的技术与理论,在结合国情发展露天开采理论研究上,已初步形成了自己的理论体系^[9,10]。

2. 在露天开采领域的研究方法上,大体上似可划分为三个阶段:

(1) 以露天矿生产技术经验的总结及类比为主要研究方法的阶段。这一阶段与露天开采技术发展的不充分性相适应,一般为定性分析,而缺乏充分的定量研究,也极少理论专著的出版。这一阶段大致延续到 20 世纪 40 年代。

(2) 以露天开采过程的数学分析与实验研究为主要研究方法的阶段。它是伴随着 20 世纪中叶以来现代化露天开采的蓬勃发展而来的,各项技术的量化研究已充分展开。其间代表性著作除在上述第 1 项中已引用者外,可阅读参考文献^[11,12,13,14,15]。

(3) 60 年代以来,电子计算机技术及运筹学优化方法渗入采矿工程,并引入费用的时间价值,丰富了露天开采的研究方法,以实现生产管理及设计计划等各种决策的动态优化目标。露天矿高度机械化、自动化,对生产过程监测及自动控制提出了更高的要求,更加速了这一进程。其代表性著作作为参考文献^[16,18]及历届计算机与运筹学在矿业中应用国际会议(APCOM)论文集。