




现代采矿手册

王运敏 主编

(中册)

 冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

现代采矿手册

(中册)

王运敏 主编

北京
冶金工业出版社
2012

内 容 提 要

本书分为上、中、下三册。上册包括:绪论、矿山地质及水文地质、矿山测量、矿山地面总体布置、矿山岩石力学、露天矿穿孔设备、爆破工程。中册包括:露天开采、地下开采。下册包括:露天地下联合开采、特殊条件矿床开采、矿井通风、矿山压气、矿山防排水、矿山清洁生产与环境保护、矿山地质灾害及治理、数字化矿山、采矿系统工程、矿山项目经济评价、环境影响评价、职业病危害评价、安全评价。本书为中册。

本书全面、系统介绍了我国非煤固体矿产采矿技术、采矿方法与采矿设备,内容涉及与我国金属矿开采有关的所有专业,既有基础性的理论,又有前沿技术,是我国几十年广大矿业科技工作者采矿理论与技术的积累,具有较大的参考价值。

本书可供从事矿山的科研和设计、施工建设、矿山生产技术人员和各级管理人员使用;亦可作为大专院校的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代采矿手册. 中册/王运敏主编. —北京:冶金工业出版社,2012. 1

ISBN 978-7-5024-5697-9

I. ①现… II. ①王… III. ①矿山开采—技术手册
IV. ①TD8 - 62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 207813 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 yjchs@cnmip.com.cn

责任编辑 王之光 杨秋奎 美术编辑 李 新 版式设计 孙跃红

责任校对 王贺兰 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-5697-9

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

2012 年 1 月第 1 版,2012 年 1 月第 1 次印刷

210mm×285mm; 89 印张; 2809 千字; 1409 页

450.00 元

冶金工业出版社投稿电话:(010)64027932 投稿信箱:tougao@cnmip.com.cn

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)

《现代采矿手册》(中册)

编撰人员

主 编 王运敏

副主编(以下按姓氏笔画排序)

王 斐	王方汉	王洪仁	王荣祥	甘德清	任贤锋	刘小力	刘保平	刘效良
李 山	李维健	杨志强	辛明印	汪 斌	宋福昌	宋嘉栋	张化远	张建华
张国建	陈战强	陈梅岭	邵 武	邵安林	林大泽	岳润芳	周建功	项宏海
赵 奎	赵广山	郝树华	胡 侠	修国林	郭金峰	顾士亮	秦洪元	徐志宏
翁占斌	姬志勇	黄海根	章 林	董金奎	程建忠	曾细龙	谭亚辉	

编 委(以下按姓氏笔画排序)

刁 虎	于清军	万凯军	马志刚	马旭峰	马萃林	王 先	王 继	王二军
王广和	王长军	王玉成	王文杰	王文潇	王巨堂	王发芝	王任大	王任中
王付民	王正昌	王永生	王洪江	王春仁	王新民	王维勤	王虎臣	王靖文
王耀凯	牛忠育	毛权生	毛国胜	文孝廉	尹宝昌	邓 飞	卢敬标	叶海旺
田志云	田取珍	付永祥	付存利	付存禄	代永新	白复铎	冯雅丽	吉少清
吉学文	匡忠祥	曲文峰	吕国新	任效乾	郭长福	刘 杨	刘 翔	刘长坚
刘丰贵	刘为洲	刘成祥	刘海林	刘福春	刘喜富	刘景玉	闫红新	闫志强
闫满志	江大体	许文远	孙乐雨	孙世国	孙向远	孙利清	孙国权	孙建珍
孙殿兴	寿震宇	严积松	杜 明	李 明	李 真	李 跃	李大培	李山泉
李长权	李计良	李兴尚	李志超	李希平	李进生	李迎佳	李洪元	李家泉
李秀臣	李海洪	李爱峰	李爱国	李振宗	李雁翎	杨先翠	杨永生	杨夕辉
杨进林	杨裕官	吴晓兵	吴胡颂	吴鹏程	何顺斌	汪为平	张 进	张 峰
张夫华	张玉华	张永坤	张四维	张传信	张伍兴	张成舜	张英华	张步斌
张学平	张国胜	张树杰	张晶晶	张敬奇	陈子辉	陈士林	陈式立	陈柏林
陈宜华	陈佩富	陈德强	陈继军	范立军	范作鹏	林祖成	金书明	周 君
周 敏	周玉新	周庆忠	周志鸿	周希哲	庞计来	房定旺	赵亚军	赵克文
赵鸣展	赵继银	赵昱东	胡永泉	胡杏保	胡军尚	胡晨涛	胡福祥	查显明
柳小胜	南世卿	段祥宝	段蔚平	侯成桥	姜志功	姜德华	姚中亮	姚树江
袁士宏	袁梅芳	柴延森	徐 颖	徐志强	高忠明	高梦熊	郭 章	郭世伟
郭建文	郭宝安	唐鹏善	黄 文	黄志安	黄应盟	黄泉江	萧其林	曹作忠
常龙新	康 乐	梁江涛	寇子顺	彭 鹏	彭小刚	彭建谋	董学作	程素萍
傅海亭	傅玉滨	曾学敏	谢建斌	楼晓明	黎永杰	霍俊发	戴碧波	

前 言

随着我国国民经济的快速增长,城市化、工业化进程的加快以及我国社会消费结构的变化,对资源的需求越来越大,拉动了我国矿业的快速发展。自1992年我国铁矿石产量突破2亿吨,历经10年盘整,2002年达到2.3亿吨,此后进入迅猛增长阶段,2010年达10.72亿吨,8年年平均复合增长率达21.2%;铁精粉价格一路攀升,2008年66%品位的铁精粉最高达到1610元/t,形成了量价齐升的格局;黑色金属矿采选业固定资产投资规模也大幅度攀升,从2004年的132亿元,到2010年的1066亿元,6年年平均复合增长率达41.6%。有色金属矿采选业的投资规模也一路高歌:2004年117亿元,2010年1009亿元,6年年平均复合增长率达43.2%,我们用了不到半个世纪的时间,跻身为世界第三矿业大国。

最近10年,我国金属矿开采技术和理论取得较大进展,许多采矿新技术、新工艺、新设备和新材料在矿山得到应用。在露天开采方面,开采工艺更加成熟,运输方式更加多样化、高效化,随着陡帮开采、采矿工艺连续化半连续化、可移式破碎站、陡坡铁路运输、振动给矿机转载站、汽车-提升机运输等技术的应用,无(低)废开采技术、矿山的数字化、智能化与无人采矿等先进技术的推广,矿山的生产效率明显提高。在地下开采方面,大孔径潜孔钻机、牙轮钻机和凿岩台车、铲运机和装载机、井下矿用汽车、装药机械和锚杆台车等辅助采矿机械获得推广应用,VCR采矿法、高分段崩落采矿法、自然崩落采矿法、水平和缓倾斜厚大矿体的房柱法等高效采矿方法和工艺相继诞生。充填采矿方法应用范围进一步扩大,各种充填采矿方法的变形方法也相继得到推广应用,生产效率明显提高。在采矿设备方面,目前我国露天矿山的主体设备中,牙轮钻机孔径已达310~380mm,潜孔钻机孔径为150~200mm,装药车的载重10~25t,机械式单斗挖掘机铲斗容量达27~35m³,液压挖掘机达10~15m³,斗轮挖掘机的生产能力达3500~4000m³/h,前端式装载机的铲斗容积达8~10m³,重型卡车的载重能力达100~150t,电机车的黏着重量为1000~1500t,带式输送机的胶带宽度已达1800~2000mm,运量为2000~2500t/h,运距达15~20km,功率超过1600kW。在地下矿山的主体设备中,中深孔采矿钻机孔径为50~100mm,孔深达10~20m,装药器的容量为80~150kg,铲运机的铲斗容积达3~4m³,轮胎式运矿车的载重达18~30t,井下电机车的黏着重量为14~30t。采矿装备的进步还使一些以前无法开采或难以开采的复杂难采矿体得到有效开采和利用。

冶金工业出版社于20世纪80~90年代出版的《采矿手册》曾经为我国采矿科学技

术进步作出杰出贡献,但其内容已经不能适应和满足目前我国矿山快速发展的实际需要。为了全面系统地总结我国近20年来在采矿方面取得的科学技术成就,更好地推广先进采矿科学技术和理念,推动我国采矿技术和设备的科研、设计、生产水平,促进采矿事业的进步,中钢集团马鞍山矿山研究院联合全国20多家高校科研单位和100多家矿山企业和设备制造厂家,共同组织编写了大型工具书——《现代采矿手册》。本书分为上、中、下三册。上册包括:绪论、矿山地质及水文地质、矿山测量、矿山地面总体布置、矿山岩石力学、露天矿穿孔设备、爆破工程。中册包括:露天开采、地下开采。下册包括:露天地下联合开采、特殊条件矿床开采、矿井通风、矿山压气、矿山防排水、矿山清洁生产与环境保护、矿山地质灾害及治理、数字化矿山、采矿系统工程、矿山建设项目评价、环境影响评价、职业病危害评价、安全评价。本书由中钢集团马鞍山矿山研究院王运敏教授担任主编。

本书在编写过程中,参阅了大量的国内外文献资料,部分采用了原《采矿手册》、《采矿设计手册》和《采矿工程师手册》的资料,在此谨向文献作者表示衷心感谢。

由于水平有限,书中不妥之处,恳请读者指正。

编 者
2010年3月

冶金工业出版社部分图书推荐

书 名	定价(元)
采矿手册(第1卷~第7卷)	927.00
现代采矿手册(上册)	290.00
选矿手册(第1卷至第8卷共14分册)	637.50
现代金属矿床开采技术	260.00
采矿工程师手册(上、下)	395.00
爆破手册	180.00
矿用药剂	249.00
中国冶金百科全书·采矿	180.00
中国冶金百科全书·安全环保	120.00
中国冶金百科全书·选矿	140.00
现代矿山企业安全控制创新理论与支撑体系	75.00
矿山废料胶结充填(第2版)	48.00
矿井风流流动与控制	30.00
露天矿山台阶中深孔爆破开采技术	25.00
采矿概论	28.00
采矿学(第2版)	58.00
中国爆破新技术II	200.00
工程爆破实用手册(第2版)	60.00
中国典型爆破工程与技术	260.00
选矿设计手册	140.00
金属矿山尾矿综合利用与资源化	16.00
常用有色金属资源开发与加工	88.00
非金属矿加工技术与应用	119.00
矿山工程设备技术	79.00
地下装载机	99.00
炸药化学与制造	59.00
选矿知识600问	38.00
采矿知识500问	49.00
金属矿山安全生产400问	46.00
煤矿安全生产400问	43.00
矿山尘害问答	35.00
矿山地质技术	48.00
现代矿业管理经济学	36.00
井巷工程	38.00
倾斜中厚矿体损失贫化控制理论与实践	23.00

目 录

8 露天开采	1
8.1 概述	1
8.2 露天开采境界的确定	3
8.2.1 确定露天开采境界的主要原则	3
8.2.2 经济合理剥采比的确定	5
8.2.3 境界剥采比的计算方法	7
8.2.4 圈定露天开采境界通常采用的方法	9
8.2.5 最终境界设计的计算机优化方法	16
8.3 露天矿生产规模及采剥进度计划	23
8.3.1 露天矿生产能力	23
8.3.2 边界品位的确定	30
8.3.3 建设工程量的确定和投产标准	38
8.3.4 采剥进度计划的编制	41
8.4 矿床开拓运输	50
8.4.1 开拓方式分类及选择	50
8.4.2 公路开拓运输	55
8.4.3 铁路开拓运输	63
8.4.4 联合开拓运输	67
8.4.5 新水平准备	93
8.4.6 掘沟工程	95
8.5 采剥方法	98
8.5.1 露天矿采剥方法的分类	98
8.5.2 露天矿陡帮开采	101
8.5.3 生产剥采比	111
8.5.4 分期开采	114
8.6 矿岩运输	119
8.6.1 汽车运输	119
8.6.2 铁路运输	128
8.6.3 带式输送机运输	153
8.7 采场铲装设备	161
8.7.1 挖掘机的分类及其应用范围	161
8.7.2 机械式单斗正铲挖掘机(电铲)	164
8.7.3 液压式单斗挖掘机(液压铲)	174
8.7.4 斗轮挖掘机	183
8.7.5 索斗挖掘机	187

8.7.6	露天装载机	190
8.7.7	露天铲运机	204
8.8	露天采场破碎站	210
8.8.1	露天破碎站的分类	210
8.8.2	破碎机的分类和适用条件	214
8.8.3	破碎机生产能力计算	216
8.8.4	移动破碎站的布置和移设	224
8.9	露天矿道路施工和维护保养设备	228
8.9.1	推土机	228
8.9.2	压路机	263
8.9.3	平路机	292
8.9.4	洒水车	313
8.9.5	剥胎机	320
8.9.6	检修车	322
8.9.7	加油车	327
8.10	排土场	331
8.10.1	概述	331
8.10.2	排土场选址的原则	333
8.10.3	排土场稳定性	333
8.10.4	排土场安全防护	344
8.11	边坡工程	352
8.11.1	概述	352
8.11.2	边坡工程地质与水文地质	355
8.11.3	边坡结构与边坡破坏模式	376
8.11.4	爆破振动测试	381
8.11.5	地震危险性分析	392
8.11.6	地下水渗流场分析	399
8.11.7	边坡块体理论分析与应用	463
8.11.8	边坡稳定性分析与计算	474
8.11.9	边坡可靠性分析	501
8.11.10	边坡应力场分析	518
8.11.11	露天矿边坡优化设计	535
8.11.12	边坡监测方法、仪器与仪表	560
8.12	砂矿床开采	574
8.12.1	砂矿床开采特点及采矿方法分类	574
8.12.2	砂矿床成因类型及其土岩分类	575
8.12.3	水力机械化开采	577
8.12.4	采砂船开采	588
8.13	石材开采	596
8.13.1	饰面石材矿山开采技术条件	596
8.13.2	矿山规模及生产能力	598
8.13.3	矿床开拓	599
8.13.4	采石工序	602

8.13.5	石材开采法	603
8.13.6	吊装、运输及废石排弃	608
8.13.7	矿山实例	608
参考文献		610
9	地下开采	613
9.1	矿山生产规模	613
9.1.1	概述	613
9.1.2	矿山生产规模的确定原则、一般规定及影响因素	616
9.1.3	矿山生产能力的计算方法及步骤	618
9.1.4	矿山生产能力的确定	620
9.1.5	矿山生产能力的验证	624
9.1.6	矿山年产量分配及基本要求	626
9.2	矿床开拓	627
9.2.1	概述	627
9.2.2	开采区的划分及工业场地选择	629
9.2.3	开拓方案的选择	630
9.2.4	竖井开拓	641
9.2.5	斜坡道开拓	678
9.2.6	斜井开拓	688
9.2.7	平硐开拓	744
9.2.8	联合开拓	766
9.2.9	开采岩移及建筑物、构筑物的保护	772
9.2.10	相关开拓井巷	782
9.3	采矿方法	835
9.3.1	采矿方法分类	835
9.3.2	采矿方法发展趋势	837
9.3.3	采矿方法的选择	842
9.4	采矿准备与切割	853
9.4.1	采准切割工程划分及采准方法	853
9.4.2	主要采准巷道及布置	862
9.4.3	矿块底部结构	869
9.4.4	采准与切割工程量的计算	884
9.5	空场采矿法	888
9.5.1	概述	888
9.5.2	全面采矿法	888
9.5.3	房柱采矿法	893
9.5.4	留矿采矿法	901
9.5.5	分段采矿法	905
9.5.6	阶段矿房采矿法	912
9.6	崩落采矿法	917
9.6.1	概述	917

9.6.2	单层崩落采矿业	918
9.6.3	分层崩落采矿业	926
9.6.4	无底柱分段崩落采矿业	931
9.6.5	有底柱分段崩落采矿业	943
9.6.6	阶段强制崩落采矿业	951
9.6.7	自然崩落采矿业	956
9.6.8	崩落采矿业放矿	963
9.7	充填采矿业	981
9.7.1	概述	981
9.7.2	上向水平分层充填采矿业	982
9.7.3	下向分层充填采矿业	986
9.7.4	嗣后充填采矿业	988
9.8	充填材料与充填系统	990
9.8.1	充填材料	991
9.8.2	充填系统及充填料制备和输送	997
9.9	采场支护	1009
9.9.1	概述	1009
9.9.2	锚杆支护	1009
9.9.3	长锚索支护	1013
9.9.4	喷射混凝土支护	1016
9.9.5	支架支护	1016
9.9.6	特殊支护	1017
9.9.7	联合支护	1017
9.10	深井开采	1018
9.10.1	概述	1018
9.10.2	深井开采技术条件	1020
9.10.3	深井开采的采矿业方法	1020
9.10.4	深井开采地压及控制技术	1021
9.10.5	深井通风与降温技术	1033
9.10.6	深井开采防治水技术	1065
9.10.7	冬瓜山铜矿开采实例	1068
9.11	地压监测技术	1072
9.11.1	矿山地压及监测	1072
9.11.2	地压监测方法	1073
9.11.3	地压测试问题及解决方法	1083
9.11.4	地压监测实例	1084
9.12	地下金属矿非传统采矿业技术	1087
9.12.1	概述	1087
9.12.2	连续开采技术	1088
9.12.3	大规模开采技术	1089
9.12.4	二次开采技术	1092
9.12.5	联合开采技术	1093
9.12.6	环境再造开采技术	1097

9.13 矿石质量管理	1100
9.13.1 概述	1100
9.13.2 矿石损失与贫化的计算	1100
9.13.3 降低矿石损失贫化的措施	1102
9.13.4 配矿	1102
9.13.5 矿石质量管理实例	1106
9.14 井巷工程	1109
9.14.1 概述	1109
9.14.2 竖井工程	1110
9.14.3 斜井及斜坡道工程	1132
9.14.4 平巷工程	1140
9.14.5 硐室工程	1152
9.14.6 天(溜)井工程	1168
9.15 基建工程量与基建及采掘进度计划	1175
9.15.1 基建工程量	1175
9.15.2 三级矿量与生产准备矿量保有期、投产标准	1178
9.15.3 基建进度计划	1180
9.15.4 成井成巷速度及建设工期	1182
9.15.5 采掘进度计划	1191
9.15.6 地下矿山工程项目组成	1195
9.16 地下铲运机	1196
9.16.1 地下铲运机的优点	1196
9.16.2 地下铲运机的分类与基本结构	1196
9.16.3 地下铲运机的特点及主要技术参数计算	1197
9.16.4 国内地下铲运机发展概述	1199
9.16.5 国外地下铲运机的现状与发展趋势	1205
9.16.6 地下铲运机未来新技术	1218
9.17 地下矿运输设备	1225
9.17.1 矿车	1225
9.17.2 地下电机车	1240
9.17.3 地下矿用汽车	1257
9.18 矿井提升机	1272
9.18.1 矿井提升机的分类、组成及发展趋势	1272
9.18.2 单绳缠绕式提升机	1274
9.18.3 多绳摩擦式提升机	1294
9.18.4 提升容器	1309
9.18.5 提升钢丝绳	1339
9.19 井下安全支护设备	1356
9.19.1 锚杆台车和撬毛车	1356
9.19.2 混凝土输送车	1374
9.19.3 混凝土喷射车	1382
参考文献	1407

8.1 概述

非煤固体矿产开采基本上可分为露天开采、地下开采、溶浸采矿和海洋采矿这4个部分。溶浸采矿已在一些矿山得到应用,但当前产品产量比重很低。海洋采矿技术与装备的研发虽然取得了重要进展,但还不能进行工业化生产。非煤固体矿产采用露天开采的比重最大,据2000年对世界预计投产的639座非燃料固体矿山的统计,露天开采产量占总产量的比重达60%以上,其中,铁矿占90%,铝土矿占98%,黄金矿占67%,有色金属矿占57%。

近年我国金属矿山露天开采的比重见表8-1。

表8-1 我国金属矿山露天开采比重

(%)

矿种	铁矿	重点铁矿	有色金属矿	铜矿	铝土矿	钨矿	稀有稀土矿	锡矿	金银矿	铅锌矿
比重	75	80	56	62	97	87	95	20	18	11

露天开采的优点为:

- (1) 受开采空间限制较小,适用于大型机械设备,自动化作业,极大地提高开采强度和矿山生产能力。
- (2) 劳动生产率高,地下开采的劳动生产率仅为露天开采的1/5~1/10。
- (3) 作业成本低,一般为地下开采成本的30%~50%,有利于大规模开采低品位矿石。
- (4) 矿石损失贫化小,损失率一般为3%~5%,废石混入率一般为5%~10%,提高了地下资源利用率。
- (5) 对于高温易燃的矿种,露天开采比地下开采安全可靠。
- (6) 基建时间短,约为地下开采的一半,因为金属矿山地下开采受工作条件和井巷掘进技术的限制。基建单位投资比地下开采低。

(7) 作业条件好,劳动强度小,安全和舒适程度相当高。

与地下开采相比,露天开采的主要缺点为:

- (1) 在开采过程中,穿爆、采装、运输、卸载以及排土时粉尘较大,汽车运行时排入大气中的碳化氢多,排土场的有害成分流入江河湖泊和农田等,易造成污染和损坏环境。
- (2) 占地多。露天矿坑和排土场占地面积大,且有产生地质灾害的可能。
- (3) 气候条件如严寒和冰雪、酷热和暴雨等,对露天开采有一定的影响。
- (4) 矿体合理的开采深度有限。

鉴于露天开采的优缺点,在选择开采方式时,应对露天开采和地下开采进行综合比较,并充分考虑露天开采在资源回收、劳动条件和生产能力可靠性等方面体现的优势。

露天开采的趋势是以提高经济效益为中心,实现产量规模化、设备大型化、管理信息化、作业智能化,以提高生产能力和降低开采成本。

露天采矿设备发展很快。牙轮钻机已成为露天矿普遍采用的钻孔设备。我国露天矿主要采用牙轮钻机,其次是潜孔钻机。

西方先进的矿业国家使用最广的牙轮钻机是美国产的60R、45R、61R钻机。潜孔钻机在西方国家的露天矿主要用于辅助作业。

牙轮钻机的发展主要体现在以下几个方面:

- (1) 轴压和孔径不断加大。美国60R钻机的轴压达57~60t,德国的HBM-550钻机轴压达60~70t。轴

压的加大提高了钻进速度。美国钻机的钻进速度在坚硬岩石中达 9~15m/h,中硬和软岩中达 15~30m/h。加大孔径是为了增加单位钻孔爆破量。露天矿最常用的孔径是 200mm、250mm、310mm 和 330mm,最大孔径达 445mm。钻进速度和孔径的加大使穿孔效率提高,单位矿岩的穿孔费用下降。

(2) 改进钻头设计和钻齿材料,提高钻岩能力和钻头寿命。钻头形式经历了拖齿钻头、二轮钻头和三轮钻头的演变,钻岩硬度和钻进效率不断提高。现代钻机全用三轮钻头。钻齿材料有钢和碳化钨,前者用于软岩穿孔,后者用于所有硬岩穿孔。钻齿材料和加工技术的改进使钻头寿命不断增加。现代牙轮钻机的钻头寿命在坚硬岩石中可达 500~1000m,在中硬岩石中可达 1000~3000m。

(3) 增加钻杆长度和改进除尘装置。增加钻杆长度以便适应高台阶开采,使用布袋脉冲除尘装置以便减少粉尘污染。

爆破技术的发展主要体现在炸药与爆破器材的不断改进上。炸药性能(如威力、装药密度和抗水性)不断提高。引爆器材的发展使爆破作业越来越安全可靠,并实现了机械化。

挖掘机的快速大型化始于 20 世纪 50 年代末,60 年代初 Marion Power Shovel 挖掘机公司制造出了两台 291M 型挖掘机,斗容达 19~26.8m³,1982 年 P&H 的 M5700 型挖掘机问世,斗容为 45.9m³。世界上最大的挖掘机是用于露天煤矿的剥离挖掘机 Marion6360,其斗容为 138m³,自重 14000t,驱动功率 37300kW。美国制造的挖掘机代表着世界先进技术水平。现代大型金属露天矿采装作业最常用的挖掘机斗容为 9~25m³;用于大型露天煤矿的剥离挖掘机斗容更大。20 世纪 80 年代以来,挖掘机技术的进步主要集中在改进其驱动系统,增加提升和行走动力,改进前端结构,采用双驱动及模块化设计等方面。

我国在 20 世纪 70 年代中期开始生产 4~4.6m³ 的 WK-4 系列挖掘机;1985 年研制出 10~14m³ 挖掘机;1986 年与美国合作制造出 23m³ 挖掘机。由于国产大型挖掘机故障率高、效率低,一些大型露天矿为与大型汽车配套,从国外引进了 7m³ 以上的大型挖掘机。

露天矿运输方式主要有铁路运输、公路运输和间断-连续运输。铁路运输最适用于采场范围大、服务年限长、地表较平缓、运输距离长的大型露天矿,其单位运输费用低于其他运输方式。我国“十五”国家科技攻关课题陡坡铁路运输系统研究,分别在攀枝花和首钢水厂铁矿实验,已经成功地将铁路坡度由 30‰提高到 40‰。

由于爬坡能力小(陡坡铁路也只能达到 40‰~50‰)和转弯半径大,铁路运输灵活性低,致使开采延伸速度低,开采工作线布置和开采顺序的选择受到很大的限制。现代露天矿的铁路运输设备主要是 120~150t 电机车和 60~100t 的翻斗矿车(最大的达到 180t)。

20 世纪 80 年代以来,国外金属露天矿约 80% 的矿岩量由汽车运输完成。

矿用汽车有两种传动方式,即机械传动和电力传动(通称电动轮汽车)。20 世纪 80 年代前,载重 85t 以下的多用机械传动,85t 以上的几乎全部用电力传动。电动轮汽车由 70 年代初期的 90~108t 为主,中期的 136~154t 为主发展到以后的 200t 以上。机械传动矿用汽车的大型化是进入 80 年代以来矿用汽车的一个发展方向。据统计,到 1992 年,机械传动矿用汽车在不同载重级别中占的比例约为:118~136t 占 75%;154~177t 占 50%;200t 以上占 50%。

1999 年 3 月 Catpillar 公司推出了载重量为 326t,设计总重量为 558t,总功率 2537kW 的最新机械传动矿用汽车 CAT797。该车是汇集了全世界 30000 多台 Catpillar 矿用汽车的几十万小时运营经验的结晶。1999 年底,有 21 台投入使用;2000 年,CAT797 在北美推广;2001 年推广到全世界。

我国露天矿在 20 世纪 60 年代和 70 年代以 12~42t 汽车为主,大多从前苏联进口;70 年代末引进 100t 和 108t 电动轮汽车;80 年代引进 154t 电动轮汽车。国产 108t 电动轮汽车在 80 年代初投入使用,与美国合作制造的 154t 电动轮汽车于 1985 年通过鉴定。目前我国大多数露天矿仍以 20~42t 汽车为主,100t 以上的大型汽车只在几个大型露天矿有应用。

带式(胶带)输送机是现代露天矿采用的另一种运输设备。国外于 20 世纪 50 年代开始在一些露天矿得到应用,主要用于松软矿岩和表土运输。60 年代开始扩大到中硬岩运输。固定式、半固定式和可移动式破碎站的相继问世,大大扩大了胶带输送机的应用范围,它们与胶带输送机相配合,形成了间断-连续运输工艺。从 20 世纪 80 年代初开始,这一工艺得到较快的推广应用。美国、加拿大的一些大型露天矿纷纷改用

“汽车—可移动式破碎机—胶带输送机”运输系统,破碎机达到 $1.5\text{m} \times 2.3\text{m}$,带宽达到 2.4m 。间断连续运输技术的发展主要集中在可移动式破碎机的性能提高和适应各种运输条件的胶带输送机的研制,如履带行走胶带机、可伸缩式胶带机、可移动式胶带机、可水平转弯胶带机和陡角度胶带机等。

陡帮开采在国外露天矿已广泛应用。在我国露天矿采用陡帮开采也取得了明显的效果。这一新工艺的优越性表现在:由于部分剥岩量的推迟,基建工程量和基建投资少,基建时间短;初期生产剥采比小,生产成本低;剥离洪峰出现较晚,最终边坡也因之暴露较晚,边坡的维护工作量及维护费用减少。因此,有条件的矿山应采用陡帮开采方法。

间断-连续开采工艺是在工作面用挖掘机装载矿石,经汽车运输和破碎机破碎后,用胶带输送机将矿石运出采场。这种工艺有利于发挥汽车和胶带机的优点,适合于深凹露天矿开采。自20世纪80年代开始,我国先后在大孤山、东鞍山等铁矿和德兴铜矿应用该开采工艺。1997年齐大山铁矿通过引进,建成了采场内可移动式矿岩破碎-胶带运输系统,标志着我国深凹露天矿开采工艺进入了世界先进水平。近些年来,随着计算机技术的迅速发展,矿业软件(如Surpac、Micromine、Datamine、Dimine等)在露天矿中的应用越来越广泛,这些软件的使用为采矿工作者在三维可视化模型的基础上进行辅助设计提供了一种可靠的依据。三维可视化模型的构建是地质资料集成和二次开发的最佳方法,它具有形象、直观、准确、动态、信息丰富等特点,它能改进对地质数据的理解和应用环境,提高信息的利用率和空间分析能力,为采矿工作者在三维空间中观察、分析地质现象以及空间分布提供了一种手段。同时,对三维实体模型的分析还可以进行储量计算、露天境界的优化、工程设计等工作,为生产计划编制和生产过程的控制提供可靠的依据。因此,为解决矿山地质工作中数据表达、分析与利用的难题,矿山三维可视化研究有着重要的现实意义和实用价值。

这些软件都适用于Windows 95和Windows NT及以上的平台,并提供了与其他数据库和相关软件接口的功能,使该系统的数据可被其他数据库管理系统和相关软件查询和编辑,能够实现各种工程和矿体的三维立体显示和成图,并根据地质统计学的原理和方法提供了进行矿体品位估值和储量计算的多种方法。同时还提供了矿山开采设计与境界优化等功能,加快了数字化矿山的建设。

总体来看,我国采矿技术已经接近或达到国际先进水平,差距主要在设备方面。缩小差距,一方面要通过“引进、消化、吸收、创新、提高”来发展我国的矿山设备和技术;另一方面,要加大科技投入,加强技术创新,努力创造具有自主知识产权的新设备、新产品,着力于自身创新能力的增强。充分利用后发优势,实现矿山行业跨越式发展。

8.2 露天开采境界的确定

确定露天开采境界就是要合理地确定露天开采深度、露天底部边界、最终边坡组成要素。

在露天矿境界设计中,需要控制的剥采比有经济合理剥采比、平均剥采比、境界剥采比及生产剥采比。剥采比的单位可用 t/t 、 m^3/m^3 或 m^3/t 表示。

(1) 经济合理剥采比(N_{jh}),是指露天开采在经济上最大允许的剥采比。它是一个理论上的极限值,是确定露天矿最终境界的重要经济指标的依据。

(2) 平均剥采比(N_p),是指露天开采境界内岩石总量与矿石总量之比值。

(3) 境界剥采比(N_j),是指露天开采境界每增加一个分层深度所引起岩石增量与矿石增量之比值。

(4) 生产剥采比(N_s),是指露天矿某一时期内所剥离的岩石量与所采出的矿石量之比值。按若干分期进行了均衡的生产剥采比,称为均衡生产剥采比,其值在某一均衡期内被认为是固定的。

8.2.1 确定露天开采境界的主要原则

确定露天开采境界的主要原则如下:

(1) 确定露天开采境界应以工业矿量为基础,远景储量一般只能作为长期发展规划参考。

(2) 圈定的露天开采境界要保证露天采场内采出的矿石有盈利,因此应用浮锥法圈定露天开采境界。

在不具备这种条件情况下,在规划与任务书(可行性研究、预可行性研究)阶段,也可按境界剥采比等于经济合理剥采比和以平均剥采比小于经济合理剥采比为约束条件,采用手工进行圈定。

(3) 要充分利用资源,尽可能把较多的矿石圈定在露天采矿场内,发挥露天开采的优越性。

(4) 所圈定的露天采矿场边坡应等于露天边坡稳定所允许的角度,以保证露天采场安全生产。

(5) 用浮锥法圈定露天开采境界范围较大,服务年限太长时,可采用分期开采,第一期境界的生产年限应大于偿还年限,但一期应为二期扩帮适当创造技术条件或考虑二期扩帮的可行性。扩帮过渡期间的生产剥采比,不应使矿山减产、亏损或出现剥离高峰。

(6) 下列情况,可适当扩大露天开采境界:

1) 按浮锥法圈定露天开采境界后,境界外余下的工业矿量不多,经济上不宜再采用地下开采。

2) 矿石和围岩稳固性差,水文地质条件复杂,水量大,矿石和围岩有自燃危险等,在安全上和技术上不适于用地下开采。

3) 围岩(包括表外矿、极贫矿等)可供综合利用者。

4) 采用地下法开采难以分采,贫化损失较严重的富矿,多品级矿床或多金属矿。

(7) 下列情况,可适当缩小露天开采境界:

1) 开采境界边缘附近有重要建筑物、构筑物、河流和铁路干线等需要保护,或难以迁移至露天采场影响范围之外。

2) 排弃场占用大量农田,征地困难。

3) 由于地形条件(如采场最终边坡上有较高的山头)造成基建剥岩大和初期生产剥采比大。

4) 为避开严重影响边坡稳定的不稳定岩层。

(8) 对于特厚的剥采比很小的矿体,有时要根据勘探程度及服务年限确定露天开采境界,而不应该按境界剥采比确定开采境界。如硅石、白云石、石灰石及特厚巨大的铁矿床,主要是根据服务年限和勘探程度确定合理的开采深度。

(9) 境界剥采比不大于经济合理剥采比($N_j \leq N_{jh}$)。该原则的理论依据是,在开采境界内边界层矿石的露天开采费用不超过地下开采费用,使全矿床开采的总费用最低或总盈利最大。我国冶金、煤炭、化工等露天矿设计多按此原则确定开采境界。

$N_j \leq N_{jh}$ 原则的缺点是:对于某些不连续的矿床或上薄下厚的矿床按该原则确定境界时,其境界剥采比可能符合要求,但初期剥岩量及平均剥采比都将会超过允许值。对这类矿床,不能单独用 $N_j \leq N_{jh}$ 原则确定开采境界,需要其他原则进行约束。

(10) 平均剥采比不大于经济合理剥采比($N_p \leq N_{jh}$)。该原则的依据是,用露天开采境界内全部储量的总费用不超过地下开采该部分储量的总费用, $N_p \leq N_{jh}$ 原则是一种算术平均的概念。它既未涉及整个矿床开采的总经济效果,更没有考虑露天开采过程中剥采比的变化。用此原则圈定的露天开采境界,较用 $N_j \leq N_{jh}$ 原则所圈定的要大,露天开采境界过大,使矿床开采的总费用不能达到最小,并可能引起基建剥离量大、投资多、基建时间长;还可能使露天开采过程中某一时期的生产剥采比超过允许值,使企业处于亏损状态。对于某些贵重的有色、稀有金属矿床或中小型矿山,为了尽量采用露天开采以减少矿石的损失贫化,可以采用这一原则来确定境界,借此扩大露天开采矿量。

此外,该原则使露天开采的平均经济效果不低于地下开采,这也是露天开采的基本要求。故, $N_p \leq N_{jh}$ 原则常作为 $N_j \leq N_{jh}$ 原则的约束。即对于某些覆盖层很厚或不连续的矿体,当用 $N_j \leq N_{jh}$ 原则确定出境界后,还要核算境界内的平均剥采比,看它是否满足 $N_p \leq N_{jh}$ 原则。

(11) 生产剥采比不大于经济合理剥采比($N_s \leq N_{jh}$)。该原则的依据是,露天矿任一生产时期按正常作业的工作帮坡角进行生产时,其生产成本不超过地下开采成本或允许成本。它反映了露天开采的生产剥采比的变化规律,用此原则圈定的露天开采境界,较 $N_j \leq N_{jh}$ 原则圈定的要大,较 $N_p \leq N_{jh}$ 原则圈定的要小,能较好地反映露天开采的生产剥采比的变化规律,保证各个开采时期的生产剥采比不超过允许值;但此原则有一些严重的缺点:1)没有考虑整个矿床开采的总经济效果,它只顾及矿床上部的露天开采而不管剩余部分的开采;2)对同一矿床,由于开拓方式和开采程序不同,最大生产剥采比出现的时间、地点、数值及其变化规律亦不相同,这对开采深度影响很大,也给开采境界的确定带来一定的困难。

8.2.2 经济合理剥采比的确定

8.2.2.1 确定经济合理剥采比的原则

确定经济合理剥采比的原则如下:

- (1) 必须保证露天矿合理正常生产期间有盈利或不超过规定允许成本;
- (2) 一般以矿山或企业(采、选)为独立经济核算单位;
- (3) 考虑矿产资源的综合利用,对有经济价值的表外矿和其他有益组分,在计算中应考虑其利用价值;
- (4) 经济指标的选取,必须符合规定;
- (5) 计算参数的选取,要经过调查、研究分析,接近实际。

8.2.2.2 确定经济合理剥采比的方法

经济合理剥采比是露天开采设计的重要依据,其大小直接影响到露天开采和地下开采所占比例,以及矿产资源的利用程度。目前,关于经济合理剥采比的确定方法很多,但归纳起来,主要分为两类:一类是产品成本比较法,它是以露天开采和地下开采的经济效果作比较来计算,用以划分矿床露天开采和地下开采的界线;另一类是价格法,它是用露天开采成本和矿石价格作比较来计算,它用于矿床只宜露天开采的场合。前一类方法,又分为原矿成本比较法、精矿成本比较法及储量盈利比较法。

A 产品成本比较法

a 原矿成本比较法

以露天开采和地下开采单位矿石成本相等为计算基础,确定经济合理剥采比,即:

$$N_{jh} = \frac{c - a}{b} \quad (8-1)$$

式中 N_{jh} ——经济合理剥采比, t/t 或 m^3/m^3 ;

c ——地下开采单位矿石成本;

a ——露天开采单位矿石的采矿费用(不包括剥离费用);

b ——露天开采单位废石的剥离费用。

注意,这里采用一致的成本、费用单位。

b 精矿成本比较法

以露天开采和地下开采 1t 精矿的成本相等为计算基础,确定经济合理剥采比,即:

$$N_{jh} = \frac{c_d - a_1}{b T_1} \quad (8-2)$$

$$C_d = (c + f_d) T_d \quad (8-3)$$

$$T_d = \frac{\beta_d}{[\alpha(1 - \rho_d) + \rho_d \alpha_d] \varepsilon_d} \quad (8-4)$$

$$a_1 = (a + f_1) T_1 \quad (8-5)$$

$$T_1 = \frac{\beta_1}{[\alpha(1 - \rho_1) + \rho_1 \alpha_1] \varepsilon_1} \quad (8-6)$$

式中 c_d ——地下开采单位精矿成本;

a_1 ——露天开采单位精矿的费用(不包括剥离费用);

T_1, T_d ——露天开采和地下开采单位精矿需要的原矿量;

f_1, f_d ——露天开采和地下开采单位原矿的选矿加工费;

β_1, β_d ——露天开采和地下开采的精矿品位;

α ——原矿地质品位;

α_1, α_d ——露天开采和地下开采混入的废石品位;

ρ_1, ρ_d ——露天开采和地下开采的废石混入率, %;

$\varepsilon_1, \varepsilon_d$ ——露天开采和地下开采选矿回收率, %;

其他符号同前,采用一致的矿量、品位和成本、费用单位。