

李志成 夏 阳 编著



露天开采

Open-pit mining

 云南大学出版社
YUNNAN UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

露天开采/李志成,夏阳编著. —昆明:云南大学出版社,2009

ISBN 978 - 7 - 81112 - 641 - 9

I. 露… II. ①李…②夏… III. 露天开采—高等学校: 技术学校—教材 IV. TD804

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 074685 号

露天开采

李志成 夏 阳 编著

策划组稿: 徐 曼

责任编辑: 徐 曼 朱光辉

封面设计: 刘 雨

出版发行: 云南大学出版社

印 装: 云南国浩印刷有限公司

开 本: 787mm × 1092mm 1/16

印 张: 13

字 数: 319 千

插 页: 4

版 次: 2009 年 6 月第 1 版

印 次: 2009 年 6 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978 - 7 - 81112 - 641 - 9

定 价: 28.00 元

出版社地址: 云南省昆明市一二·一大街云南大学英华园
(邮编: 650091)

前 言

《露天开采》教材是一本为煤炭开采技术专业（地下开采专业）而编写的高职高专教材，按 60 学时编写。随着国家经济体制的改革，为了适应现代社会主义的市场经济，使毕业生拓宽就业面，多一项技能，在学完地下开采知识后，再增加一些露天开采知识。该书是在原讲稿和讲义的基础上，通过六届学生的使用，多次修改、增补内容，现正式出版。

该教材把煤炭、金属矿和非金属矿的露天开采内容合编在一起，这是该书的创新和特点。由于专业系统的分界，使露天开采分成煤矿露天开采、金属矿露天开采和非金属矿露天开采，造成各部分知识比较单一，通过把三者结合在一起，使知识得到共享和拓宽。三者知识的融合、对比，使读者能拓宽和提高分析问题和解决问题的能力。

本书力求内容的完整性、系统性，主要介绍了露天开采境界，露天矿生产工艺，开拓系统、边坡防治和开采设计基础知识，还介绍了部分穿孔及采掘设备。为了避免内容的重复，根据采煤工程专业所设置的课程内容，作了适当的增减，如增加了露天矿的钻机和采掘设备及边坡治理等内容。对于轨道线路设计，提升运输，排水，爆破及采掘计划的编制等内容作了较大的压缩。本书着重于露天开采的基本概念和技术应用，文字简洁，插图多，以图和表格为基础，配合文字叙述，力求读者可以自学，通俗易懂。

本书第一、二、三、四、六、八章由李志成执笔，第五、七章由夏阳执笔。

本教材除适用于采矿工程专业外，也可作为采矿企业管理干部的培训教材，同时还可供露天矿工程技术人员及采矿类学生作参考。

由于编者水平有限，在编写中难免有缺点和错误，望读者予以批评指正。

作 者

2009 年 1 月

目 录

第一章 露天开采的基本概念	(1)
第一节 露天开采的特点及其发展	(1)
第二节 露天开采步骤	(4)
第三节 露天开采生产工艺系统分类	(6)
第四节 露天开采的名词术语	(8)
第二章 露天开采的间断生产工艺系统	(11)
第一节 穿孔爆破工作	(11)
第二节 采装工作	(35)
第三节 运输工作	(42)
第四节 排土工作	(55)
第五节 辅助环节	(60)
第六节 生产工艺联系的基本原理	(60)
第七节 螺旋钻开采	(62)
第三章 连续、半连续及倒堆开采工艺系统	(65)
第一节 轮斗铲（或链斗铲）—胶带—排土机开采工艺系统	(65)
第二节 半连续开采工艺系统	(75)
第三节 倒堆开采工艺系统	(78)
第四节 生产工艺系统的选择	(80)
第四章 露天开采境界	(82)
第一节 概 述	(82)
第二节 确定经济剥采比的方法	(84)
第三节 确定露天开采境界的原则	(94)
第四节 境界剥采比的确定	(96)
第五节 露天开采境界的确定方法和步骤	(100)
第五章 露天开采程序	(109)
第一节 概 述	(109)
第二节 露天开采程序	(111)

第六章 露天矿开拓 (116)

 第一节 概 述 (116)

 第二节 公路运输开拓 (116)

 第三节 铁路运输开拓 (125)

 第四节 胶带运输开拓 (128)

 第五节 平峒溜井开拓 (134)

 第六节 斜坡箕斗开拓 (138)

 第七节 开拓方法选择 (140)

 第八节 掘沟工程 (144)

第七章 生产剥采比、生产能力及矿岩（煤）质量 (155)

 第一节 概 述 (155)

 第二节 生产剥采比 (155)

 第三节 露天矿生产能力 (161)

 第四节 矿石的损失与贫化 (164)

 第五节 露天矿采掘计划 (167)

第八章 露天矿边坡治理 (170)

 第一节 概 述 (170)

 第二节 露天矿边坡变形和破坏 (170)

 第三节 地下水对边坡的影响 (172)

 第四节 爆破震动对边坡的影响 (174)

 第五节 其他因素对边坡稳定的影响 (176)

 第六节 露天矿滑坡的防治 (177)

 第七节 削坡减载治理松散岩体边坡的力学分析及应用 (185)

附表：参考资料表 (187)

附录：露天矿开采现状 (197)

参考文献 (202)

第一章 露天开采的基本概念

第一节 露天开采的特点及其发展

对于煤及矿床的开采目前有地下开采和露天开采两种方法。

地下开采的特点是首先开掘一系列地下坑道通往煤层或矿体，构成通风、行人、运输、排水、供电等系统，然后在采场面通过运输设备配合爆破落煤（矿）或采煤机割煤，将煤（矿）运往地面开采出来。采场的围岩不采出，只是采场作业时，通过支护或留煤（矿）柱的方法保证一定的空间（如图 1-1）。

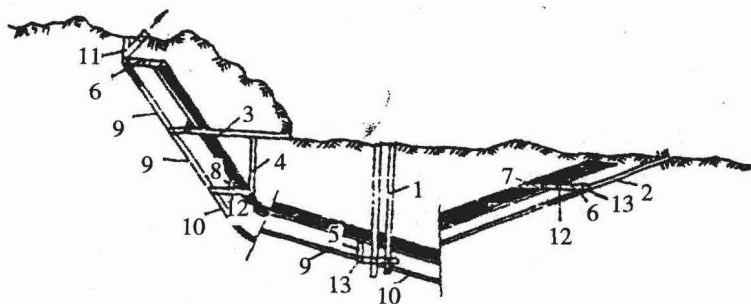


图 1-1 地下开采示意图

1—立井；2—斜井；3—平硐；4—暗立井；5—溜井；6—石门；7—煤门；8—煤仓；9—上山；10—下山；11—风井；12—岩层平巷；13—煤层平巷

露天开采的特点是采掘空间直接敞露于地表，首先要剥离覆盖在矿体（煤层）上的岩层，然后通过采运设备将煤（矿）开采出来。将采场的围岩全部采出（如图 1-2）。

这两种方法的选择取决于煤层（矿床）的贮存条件。煤层（矿床）埋藏深、表土层厚由地下开采来完成，埋藏浅、表土层薄由露天开采来完成。

露天开采与地下开采相比较，露天开采有以下优点：

(1) 作业安全，劳动条件好，不受瓦斯、煤尘爆炸、矽肺病及淹井危害，易于达到现代人类工程学要求。如前西德 1979 年露天开采的百万吨死亡率为 0.023

人，而其井下开采的百万吨死亡率为 1.05 人；美国露天矿开采百万吨死亡率为 0.035 人，而其井下开采的百万吨死亡率为 0.405 人。

(2) 作业空间不受限制，规模大，机械化自动化程度高。目前世界上最大的露天矿

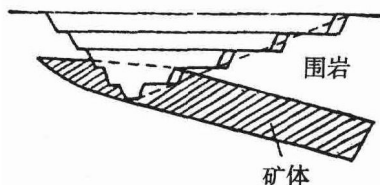


图 1-2 露天开采示意图

年产 5 000 万吨，比最大型矿井——在建的英国塞尔比科井设计能力 1 000 万吨/年，高 3 ~4 倍。

(3) 劳动生产率高，前西德露天开采比井工开采高 20 倍，前苏联高 9 倍，美国高 2.1 倍。目前露天开采效率高的为美国的 136 吨/同，前西德的 130 吨/工，前苏联的 1 579.5 吨/月。

(4) 相对基建周期短，投产、达产快。因露天矿规模一般比矿井大，如规模为 5 000 万吨/年的前苏联勇士露天矿 1964 年开工，1970 年一期工程投产，生产能力 1 000 万吨，建设周期 6 年，1979 年全部投产，建设时间 15 年；而规模为 650 万吨/年的拉斯帕德斯基矿井建设工期为 8 ~10 年。

(5) 开采成本低，如 1978 年世界露天采煤成本为井工开采的二分之一。

(6) 吨煤投资少。一般为井工开采的 $\frac{1}{2} \sim \frac{2}{3}$ ，前苏联为 $\frac{1}{2}$ 。

(7) 回采率高，资源利用好。露天开采回采率一般比井工高 15%。

(8) 坑木消耗少。

(9) 易于回收井工开采过的浅部残煤。

(10) 易于实现生产过程的机械化，自动化和现代化管理。

根据前苏联统计，露天开采比重每增加 1%，和井工相比每年可节约资金 7 500 卢布，节省木材 14 万方，减少采煤工人一万人，少建住宅 10 万米³。

世界各类矿物总产量中，约有 80% 用露天开采，20 世纪 60 年代后期以来，世界露天采煤量大幅度增长。1960 年露天开采煤比重占总煤产量的 30%，1975 年上升到 44% 达 12.25 亿吨以上。目前全世界约有 30 个国家进行露天采煤，其中美国、前苏联、前西德、前东德、捷克和澳大利亚等六国的露天采煤量约占世界的一半以上，东欧各国和希腊、土耳其、前西德等国的露天开采仅仅开采褐煤。表 1-1，表 1-2，表 1-3，表 1-4 反映了世界上一些国家露天开采的发展及经济效益的提高情况。

表 1-5 反映了 1981 年美国、前苏联、前东德、前西德、澳大利亚、捷克、波兰等国露天矿产量及效率。

表 1-1 几个主要国家的露天开采比重，%

国 家	矿 石 种 类			
	煤	铁	有色金属矿石	建筑材料
美 国	55.3	96	88	100
前苏联	32.6	80	60 ~ 70	100
加拿大	83.5	96	63	100
英 国	-	85 ~ 90	-	100

表 1-2 几个主要国家的历年露天采煤产量比重, %

年 国家	1940	1950	1960	1970	1971	1975	1976
美 国	8.2	23.9	29.5	35.8	42.1	54.7	55.3
前苏联	3.8	10.4	16.5	26.7	28.0	32.2	32.6
前东德	-	-	99.1	99.4	-	99.8	99.8
前西德	-	-	-	-	48.7	57.2	60.1

表 1-3 我国露天开采比重, %

矿石种类	露天开采占总产量的比重, %
铁矿石	90
有色金属矿石	63
煤	3~5
建筑材料	100

表 1-4 美国、前苏联露天矿和矿井全员效率比较, 吨/工

年 国家		1952	1957	1960	1962	1965	1970	1971
美 国	露天矿	15.21	19.62	20.80	24.27	29.01	32.62	32.65
	矿 井	5.78	8.08	9.65	10.86	12.70	12.48	12.24
前苏联	露天矿	5.14	9.47	10.19	10.82	-	12.58	13.50
	矿 井	1.80	1.41	1.56	1.62	1.79	2.04	2.09

表 1-5 1981 年几个主要国家的露天矿产量及效率

项 目 国 家	露天矿 数量 (个)	产量 (万吨)	比重 (%)	效率 (吨/工)
美 国	3 500	44 190	60.3	25.6
前 苏 联	70	27 460	38.7	24.2
前 东 德	35	26 700	100.0	
前 西 德	17	13 060	59.6	81.8
澳大利亚	45	8 200	61.3	37.6
捷 克	21	8 400	68.0	
波 兰	7	3 550	17.9	32.1
备 注	该表反映 1981 年以上国家的露天矿产量及效率			

露天矿存在的问题:

- (1) 剥离物的排弃往往占用很多的土地和耕地。
- (2) 需大型设备多, 基建投资高。
- (3) 气候条件对露天开采有一定的影响, 如严寒, 风雪, 酷热和暴雨等。
- (4) 要求煤层(矿床)覆盖层薄和矿层厚。
- (5) 对环境的污染比矿井开采严重, 如作业过程中排出的粉尘较高, 排土场淋滤出废水中的有害成分污染江湖和农田等。

第二节 露天开采步骤

露天开采通常包括以下几个步骤: 矿区地面的准备工作, 矿床的疏干与防水工作, 矿床的开拓, 剥离和采矿工作。

1. 地面准备

露天开采的特点是直接从地面将有用矿物采掘出来, 所以在矿区开采范围内的各种天然和人为障碍物, 如树林, 河流, 交通线路, 房屋等, 均应加以清除。

2. 矿床疏干, 隔水和排水

地下矿床含有丰富的水量时, 需采用不同的方法将水疏干, 使含水的层位降到所需水平。疏干的方法一般有: 巷道疏干(如图1-3), 深井潜水泵疏干(如图1-4)等。为了防止地表水, 洪水流入采场, 还要修筑地面防水工程(如图1-5)、河道改道工程。拦截用地面截水沟(如图1-5)、投入生产以后的渗透水、大气降水等通过地面水泵排放。

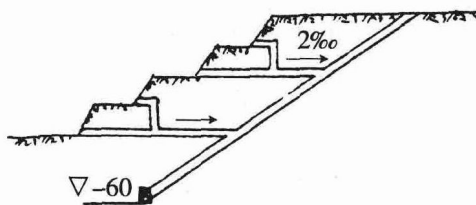


图1-3 巷道疏干示意图

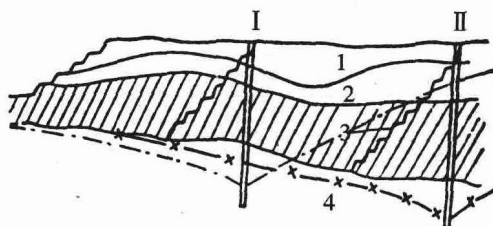


图1-4 潜水泵深井疏干示意图

1—粘土层; 2—泥质页岩层; 3—煤层; 4—含水砂层

I—早期降水孔; II—后期降水孔; —·—前期降低后动水位; —x—后期降低后动水位

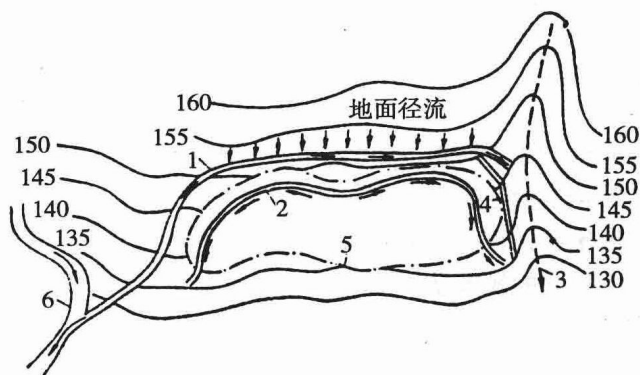


图 1-5 露天截水沟的布置

1—外部截水沟；2—内部截水沟；3—雨季山洪；4—拦洪堤；5—开采境界；6—河流

3. 矿床的开拓

矿床的开拓也称之为露天矿的基本建设工作，即开掘沟道和进行基建剥离，以建立运输通道和采掘有用矿物的初始工作线，以及建立地面运输系统，建设排土场，建造地面生产系统中构筑物和其他设施。

4. 剥离和采矿工作

将覆盖于矿体上部或周围的土岩剥离，使有用的矿体暴露出，使用采、掘、运设备把矿藏开采出来。

地面准备，矿床疏干和隔水，矿床的开拓，剥离及采矿工作，在最初是按顺序进行的，以后可同时进行，但在空间上要保持必要的超前关系，可见露天矿区的建设还是十分复杂的。为了合理安排各项任务，掌握轻重缓急，便于发现薄弱环节，加快工程进度，按期投入生产，可采用统筹网络图作为工具进行工作。图 1-6 所示是某矿区建设统筹网络图。

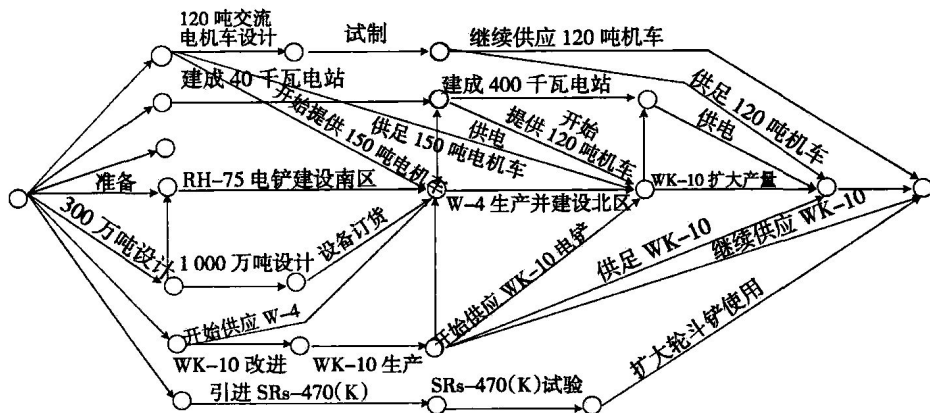


图 1-6 某矿区建设统筹网络图

W-4—电铲；WK-10—电铲；SR_s-470 (K)—轮斗铲

第三节 露天开采生产工艺系统分类

为了经济有效地采掘有用的矿物，除考虑生产工艺的剥离和采矿工作外，还应考虑开采环境、开采程序、开拓运输系统总平面布置等问题，这些问题属于露天矿的矿山工程范畴。

从露天开采的发展来看，首先从人工采掘—机械化采掘工艺—大型机械化，到连续工艺系统的发展，随着机械化的发展使开采技术、开采总量、经济效果发生了很大的变化，由此可见露天开采的发展取决于生产工艺的现代化，生产工艺占有主要的地位。由于地形、矿床赋存情况不同，要根据具体的情况研究开发方案，选择生产工艺，使露天矿开采能取得最好的经济效果。

从生产工艺来看，露天开采的主要工艺环节有：

(1) 矿岩的预先松碎工作，对于硬岩采用穿孔爆破，对于较松软的岩可直接挖掘。

(2) 矿岩的采掘和装载，也称采装环节。

(3) 矿岩向不同卸载地点移运的运输环节。

(4) 矿岩的排卸环节。即废石在排土场卸载和有用矿物在破碎厂、选矿厂的料仓卸料。

不同的生产工艺就有不同采、运、排设备的配备，通常用“工艺系统”一词来反映采、运、排各环节配用的设备特征。随着机械化，自动化的发展，今后还会有新的工艺系统不断出现，表1-6反映了目前采用的一些主要工艺系统。

表1-6 主要工艺系统分类

序号	工艺系统名称	各环节的主要设备		
		采掘、装载	运 输	排 土
1	间断工艺系统	单斗机械铲	铁道运输（准轨及窄轨）	单斗铲
		吊斗铲	汽车运输	推土犁
		前装机	箕斗、矿车提升（下放）运输	推土机
		推土机	溜井（溜槽）运输	前装机
		铲运机	铲运机	铲运机
2	连续工艺系统	轮斗铲	胶带运输机	胶带排土机
		链斗铲	运输排土桥	-
3	半连续工艺系统	轮斗铲—铁道—推土犁 单斗铲—移动破碎机—胶带—排土机 单斗铲—汽车—半固定、固定破碎机—胶带—排土机		
4	倒堆工艺系统	剥离：剥离挖掘机直接倒堆 剥离挖掘机和倒堆挖掘机配合作业 采矿：单斗、轮斗铲—相应运输设备		
5	水采工艺系统	水 枪 采砂船	泥泵—管道	水力排土

间断工艺系统（如图1-7）主要优点是适应性强，可适用于各种矿床赋存条件，世界上多数国家广泛使用，在我国及前苏联采用较多。

连续工艺系统（如图1-8）是采掘工艺的发展方向，具有一系列优点，但其对矿岩性质有严格要求，目前多用于无需爆破即可挖掘的松软岩石。有的松软岩层可用松动爆破，便于轮斗铲切割岩土。

倒堆工艺系统（如图1-9）因取消运输环节，因而具有许多优点，但仅适于矿层成水平和缓倾斜埋藏覆盖层不厚的条件下，故应用范围很有限。

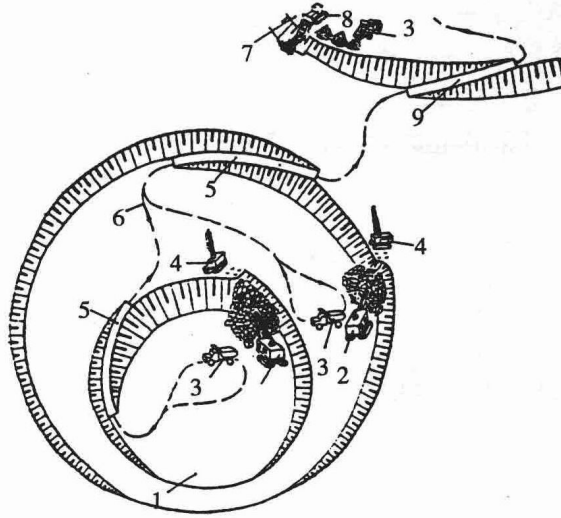


图1-7 单斗铲—卡车间断工艺系统

1—露天矿；2—单斗铲；3—自卸汽车；4—穿孔机；5—倾斜坑线；6—工作面道路；7—排土场；8—推土机；9—排土场干线

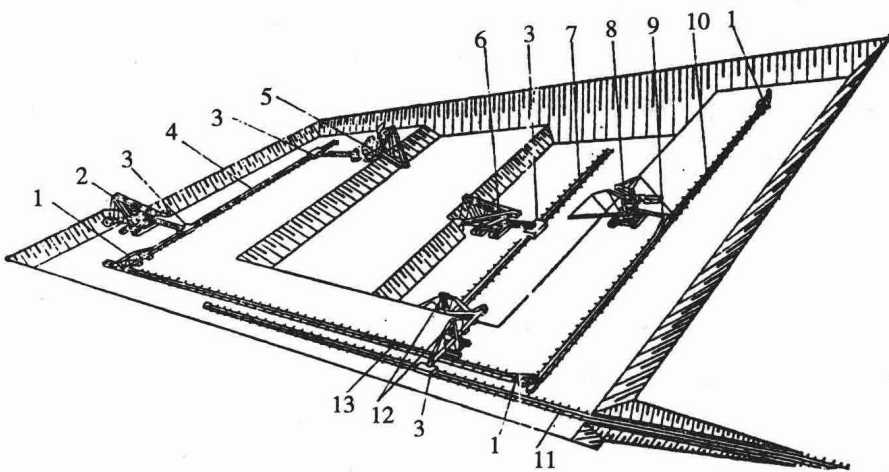


图1-8 轮斗铲—胶带连续工艺系统

1—胶带机驱动站；2—剥离轮斗铲；3—装载漏斗；4—剥离台阶胶带机；5—链斗铲；6—采矿轮斗铲；7—采矿台阶胶带机；8—悬臂排土机；9—卸料车；10—排土胶带机；11—采矿干线胶带机；12—爬坡胶带车；13—剥离端帮胶带机

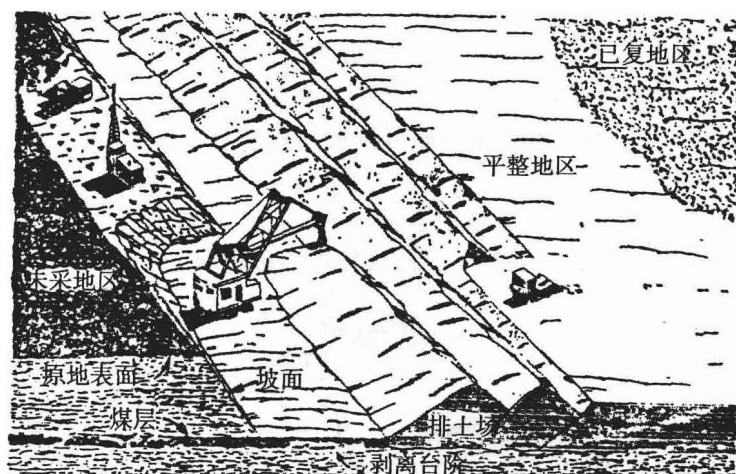


图 1-9 倒堆工艺系统

第四节 露天开采的名词术语

在露天下进行矿床的采掘作业的矿山企业称之为露天矿，露天矿又分为山坡露天矿和凹陷露天矿。若开采的矿床位于一般地表水平以上，称之为山坡露天矿；而位于一般地表水平以下称之为凹陷露天矿。这里的一般地表水平是根据当地的地形相对而言的。有的露天矿随着开采台阶的延伸会由山坡露天矿过渡到凹陷露天矿。

一、台阶及其要素

露天矿开采时，露天矿田往往被划分为多个具有一定高度的水平分层，自上而下逐层开采，并保持一定的超前关系，在开采过程中各分层在空间上构成阶梯状，每个阶梯就是一个台阶（阶段）。台阶多以台阶下盘的标高来命名或区分。图 1-10 中 ± 0 ， -12 表示两个不同的水平。

台阶构成的要素（如图 1-11）：

- (1) 台阶上部平盘（上盘）——台阶的上部水平面；
- (2) 台阶下部平盘（下盘）——台阶的下部水平面；
- (3) 台阶坡面——朝向采空区的台阶倾斜面；
- (4) 台阶坡面角 α ——台阶坡面与水平面所成的交角；
- (5) 台阶坡顶线——台阶上部平盘与坡面的交线；
- (6) 台阶坡底线——台阶下部平盘与坡面的交线；
- (7) 台阶高度 h ——台阶上部平盘和下部平盘的垂直距离。

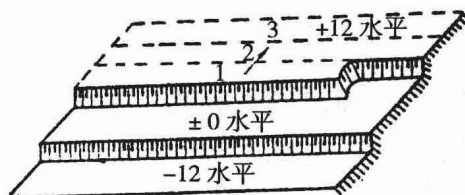


图 1-10 台阶的开采和命名

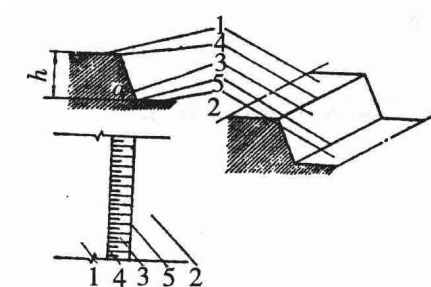


图 1-11 台阶构成要素

1—台阶上部平盘；2—台阶下部平盘；3—台阶坡面；4—台阶坡顶线；5—台阶坡底线； α —台阶坡面角； h —台阶高度

台阶开采时，一般按顺序地划分为若干具有一定宽度的条带，称为采掘带，如图 1-10 中的 1、2、3 所示。

二、露天采场要素

(1) 露天矿场边帮 (如图 1-12)：露天矿场四周的表面，即矿场四周由所有台阶坡面、平盘 (或平台) 和倾斜坑线组成的总体。位于矿体底板方向的边帮称底帮，位于矿体顶板方向的称顶帮，位于露天矿场两端的边帮则称端帮，露天矿场边帮按其上的台阶是否作业可分为：

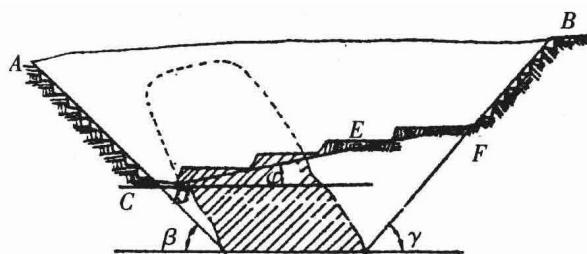


图 1-12 露天矿场构成要素

①露天矿场工作帮 (DF)：即由工作台阶所组成，正进行开采的边帮或其一部分。

②露天矿场非工作帮 (AC 及 BF): 即由已结束采掘作业的非工作台阶组成的边帮或其一部分。

(2) 工作平盘: 即工作台阶上的平盘。其宽度应能设置穿爆, 采掘, 运输, 供电, 供水等设备, 并保证它们正常作业。

(3) 平台: 即非工作台阶上的平盘。用于安设运输线路的称运输平台, 阻挡片石下滑维持边帮稳定的为保安平台。

(4) 露天矿场边帮的废止角 (β 和 γ): 通过非工作帮最上一个台阶的坡顶线 and 最下一个台阶坡底线的假想平面与水平面的交角。

(5) 工作帮坡面角 φ : 通过工作帮最上和最下台阶坡底线的假想平面与水平面的交角。

(6) 露天矿场最终境界: 即露天矿场开采结束时, 其上部最终边界线和下部最终边界线所限定的位置。

第二章 露天开采的间断生产工艺系统

第一节 穿孔爆破工作

露天开采工艺系统中第一个作业环节就是穿孔爆破，把矿岩通过钻眼、装药、起爆等工序预先松碎，采掘机械设备才能开始开采。对于表土、煤、松岩、软石可以直接用采掘设备直接铲挖。

为了反映岩石坚固性，通常采用 100 公斤/平方厘米的抗压强度作为岩石坚固性的单位，称为岩石的坚固性系数，也叫普氏系数，以 f 表示：

$$f = \frac{\text{岩石抗压强度}}{100} \quad (2-1)$$

煤矿中常见岩石的坚固性系数虽一般多在 $f=6$ 以下，但斗容 3~4 立方米的机械铲仅能直接铲挖 $f=3$ 以下的矿岩和冬季冻深小于 0.7 米的土岩，故大部分矿岩在采掘前仍需预先松碎。

根据前苏联和一些国家的经验，对于 $f < 5$ 的矿岩可采用松土机进行预松矿岸（如图 2-1），效果比穿爆预松的还要好。

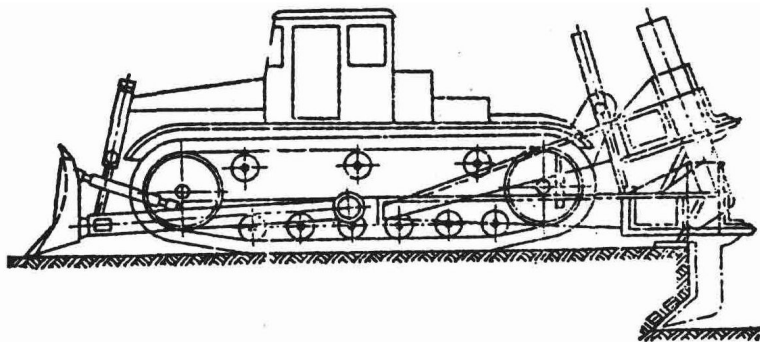


图 2-1 松土机

一、常用的穿孔设备及其选择

露天开采中使用的穿孔设备主要有：钢绳冲击式钻机、潜孔钻机、牙轮钻机、回转钻机、凿岩台车、火钻等。

1. 钢绳冲击式钻机

钢绳冲击式钻机（磕头钻）是靠钻具自由下落冲击孔底而凿碎岩石，故只能穿凿垂

直钻孔。

我国现生产的钢绳冲击式穿孔机有 CZ-1 和 CZ-20-2 两种型号，其作业原理和主要技术性能如图 2-2 及表 2-1 所示。

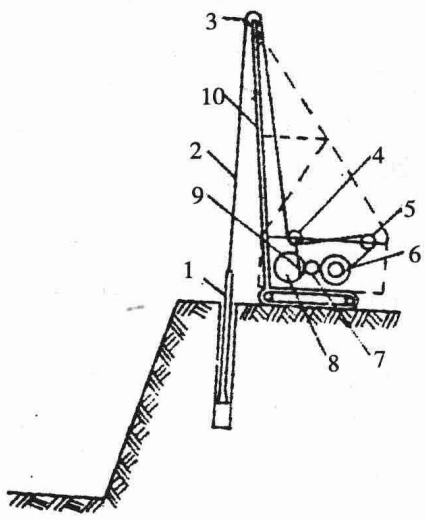


图 2-2 冲击式穿孔机工作原理示意图

1—钻具；2—钢绳；3—天轮；4—压轮；5—后绳轮；6—卷筒；7—主动齿轮；8—冲击轮；9—连杆；10—桅架

表 2-1 国产钢绳冲击式钻机主要技术性能

项 目	单 位	CZ-1	CZ-20-2
孔径	毫米	230~300	190~230
钻具重量	公斤	1 500~2 700	900~1 200
冲击次数	次/分	48~52	56~58
电动机功率	千瓦	55	22
钻机重量	吨	23.5	12.1
钻机工作时外形尺寸	米	7.065×3.5×15.05	5.85×2.62×12
行走速度	公里/时	0.7	0.9
允许最大行走坡度	度	30	30

在穿孔过程中，需要向孔内注入适量的水，使孔底的岩粉变成泥浆，呈悬浮状态，以便继续穿孔；为了减少泥浆对钻具下落时所产生的阻力，每隔一断时间，用取碴筒把泥浆取出。

冲击式钻机的作业特点是间断地破碎岩石，取碴时还要停止穿凿，所以穿孔效率低，劳动强度大，在露天金属矿中已逐步被其他钻机所替代。在露天煤矿中，因所穿凿的岩石一般在 $f=6$ 以下，故穿孔效率较高，如海州露天矿 CZ-20-2 型钻机的台年效率达 3.1 ~