

采矿工程手册

美国采矿工程师协会 A.B.卡明斯 J.A.吉文

冶金工业出版社

- 1 法规、地质及岩体工程
- 2 采矿方法与地下开采**
- 3 岩层控制、地下运输、提升及通风
- 4 露天开采、环境保护及地表运输
- 5 特殊采矿方法
- 6 测量、动力、维修、供应及选矿
- 7 系统工程、矿山管理及咨询

采矿工程手册

第二分册

采矿方法与地下开采

美国采矿工程师协会 A.B.卡明斯
I.B.吉文

《采矿工程手册》翻译组 译

涂继正 陈俊彦 王泳嘉 总校

冶金工业出版社

内 容 提 要

《采矿工程手册》是根据1973年美国采矿工程师协会组织出版的《Mining Engineering Handbook》一书翻译的。

全书准备分七册陆续出版。

本书第二分册，共四章，内容包括：开采方法选择——岩石力学与其他因素；开拓和采准；穿孔爆破；地下采矿方法及设备。

本书可供从事矿山工作的工程技术人员及大专院校师生参考。

采 矿 工 程 手 册

第二分册

采矿方法与地下开采

美国采矿工程师协会 A.B.卡明斯
I.A.吉文

《采矿工程手册》翻译组 译
涂继正 陈俊彦 王泳嘉 总校

*

冶金工业出版社出版

(北京灯市口74号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

850×1168 1/32 印张 22 3/4 字数 608 千字

1980年5月第一版 1980年5月第一次印刷

印数00,001~8,000册

统一书号：15062·3519 定价 3.05 元

目 录

第九章	开采方法选择——岩石力学与其他因素	1
9-1	矿床和岩石物料的分类	1
9-2	露天开采方法	3
9-3	地下采矿方法	11
9-4	地下溶解采矿法	28
第十章	开拓和采准	31
10-1	竖井和天井的普通法掘进	31
10-2	竖井的钻进法掘进	70
10-3	平硐的普通法掘进	82
10-4	用隧道钻进机掘进	112
10-5	平巷和天井的普通法掘进	137
10-6	平巷和天井的钻进法掘进	149
10-7	煤与其他层状矿床的开拓	164
第十一章	穿孔爆破	171
11-1	破碎原理	171
11-2	截煤机和掏槽	173
11-3	钻凿原理	176
11-4	露天钻机	203
11-5	热力穿孔	247
11-6	井下钻机	253
11-7	炸药和装药	280
11-8	爆破产生的地层震动和空气震动	310
11-9	化学破碎	329
第十二章	地下采矿方法及设备	340
12-1	地下采矿方法选择、设计及准备的基本准则和参数	340
12-2	地下硬岩开采设备	358
12-3	地下采煤设备	382
12-4	房柱采煤法	401

12-5	深孔采煤法	441
12-6	长壁采煤法	445
12-7	水力开采	479
12-8	地下开采和剥离开采结合的方法	485
12-9	支架采矿法	486
12-10	水平矿床空场采矿法	520
12-11	留矿采矿法	536
12-12	分段采矿法	543
12-13	次要的采矿方法——分层崩落法、全面采矿法、下向和上向 梯段采矿法	559
12-14	矿块崩落采矿法	575
12-15	分段崩落采矿法	661
12-16	充填采矿法和联合采矿法	676

第九章 开采方法选择

——岩石力学与其他因素

责任编辑 L.奥伯特

R.G.K.莫里森, P.L.拉塞尔

9-1 矿床和岩石物料的分类

当一个矿床已被发现、圈定和评价之后,下一步就是选择一种在赋存条件上、经济上和环境上都适合于从该矿床内采出有用矿物的开采方法。“矿床”这个术语是用以表示有用矿物(包括矿石和煤)的富集。即使有过去的经验可以借鉴,但许多重要的开采设计参数只能根据钻探的岩芯标本鉴定资料来确定。

影响开采方法选择的因素可以归纳如下:(1)矿床的空间特征(大小、形状、产状和深度);(2)矿石和围岩的物理(或力学)性质;(3)地下水和水力条件;(4)经济因素:包括矿石品位、相对的开采成本以及要求的生产规模;(5)环境因素。例如,矿山地表的保护,预防空气和水的污染。在这些因素中,矿床的空间特征和矿石与围岩的物理(或力学)性质限制了可能应用于该矿床的许多开采方法。

矿床的类型一般认为有以下六种:

1. 块状矿床——在水平或垂直范围内,矿化(或矿物)都比较均匀分布的大矿床。浸染型铜矿是典型的块状矿床,盐丘也包括在此类。

2. 层状或板状矿床——一种平行于层理的矿床,大多数出现在沉积岩中,通常水平尺寸很大而厚度有限。大多数煤层和某些蒸发盐矿床(如钾盐)属于这一类。

3. 薄矿脉——一种长而窄(厚度小于10英尺)的矿化(矿

物)带,通常是急倾斜的,矿脉与围岩一般接触明显。许多黄金和其他金属矿物产出于薄矿脉。

4. 厚矿脉——其定义除矿脉厚度大于10英尺以外,其它均如同薄矿脉。

5. 扁豆状或囊状矿床——一种孤立矿体,或者是在块状、层状或脉状矿床中的一种在垂直和水平方向尺寸都不大的矿体。铅、锌和铁矿石常常产出于这种类型矿床。

6. 砂矿床——一种地表或接近地表的矿床,通常呈板状,并且范围可能很大,在岩屑中(如砂和砂砾)含有有用矿物(如金、铂)。

与矿床有关的岩石物料分类如下:

1. 岩屑——岩石由于受机械或化学分解作用,而产生的固体颗粒的沉积物或其他堆积物,通常只具有较小的粘结力和极低的抗压强度(例如土壤、砂子、砂砾、冲积层、干盐湖)。

2. 无粘结力的节理和裂隙岩体——一种经常出现在地表、或接近地表、或断层带中的岩体,在这种岩体的节理或裂隙中含有蚀变物或分解物,例如粘土物质。这种岩体粘结力很弱,可视为松散的,但其颗粒粒度又比土壤大。

3. 局部粘结的节理和裂隙的岩体——这是一种节理或裂隙局部重新胶结的岩体,具有低到中等的粘结力。

4. 薄层状岩体——一般为沉积成因的岩体,其中薄分层的平均厚度小于1英尺。在薄分层之间的层面可能是局部粘结的,岩体可能是有裂缝的。在煤矿顶板常常碰到的层状页岩和砂岩就是典型的这类岩体。

5. 厚层状岩体——薄分层的平均厚度大于1英尺的岩体,层间可能有一些粘结力,而岩体也可能带有裂缝。

6. 块状岩体——一种相对来说没有什么节理或裂隙的岩体,或是一种虽有节理或裂隙,但节理或裂隙面之间的粘结力较大,因而强度较大的岩体。再胶结的角砾岩和砾岩包括在这一类中。

以下各节简要地叙述各种开采方法，并说明每一种开采方法所适用的矿床空间特征以及矿石和围岩的物理性质。本章内容没有涉及海洋采矿。回采工作和其他回收矿石的方法以及采矿经济的详细叙述列于12章内。

9-2 露天开采方法

露天矿是一种开采矿物原料的露天开挖工程。它可用来开采各种靠近地表的、在任何类型岩石中的金属或非金属的矿床。所谓靠近地表，一般是指深度小于500英尺。矿床的规模可以从几吨（例如在密苏里州东部开采的重晶石小矿囊）到1亿吨以上（例如在犹他州的宾厄姆铜矿）。比较大的矿床一般具有相当大的面积。下表所列的露天开采方法，可分成三种基本类型：砂矿、露天矿和漏斗式开采，或者这些开采方法的联合应用。

I. 砂矿开采

- a. 淘砂盘淘洗和流槽冲洗；
- b. 水力开采；
- c. 采砂船开采。

II. 露天矿开采

- a. 单台阶式；
- b. 多台阶式；
- c. 剥离开采（内排土场法）；
- d. 采石场开采。

III. 漏斗式开采

露天开采具有很大的生产灵活性，它能够选别开采，并在露天境界内能百分之百地采出矿石。由于机械化使单机产量高，故人员需要少，并比地下开采安全。

露天开采问题主要包括某些地区的恶劣气候，以及不良的环境问题，如地表被破坏、粉尘、噪音和爆破震动以及废石堆放等。

9-2-1 砂矿开采

砂矿开采是靠碎屑矿物在流水中选别沉淀引起富集而实现的。这种开采方法一般要求矿床靠近水源和接近地表。前表列举了三种普通砂矿开采方法——淘砂盘淘洗和流槽冲洗、水力开采、采砂船开采。

淘砂盘淘洗和流槽冲洗 在美国，淘砂盘淘洗^[1]使用于早期的砂金矿开采中。那些砂矿床水源充足，矿石（金、银、贵重宝石等）富集呈层状或囊状。淘砂盘淘洗只能用于矿石重于杂质（废石）和产量不大的情况下。由于它是一种低效率的方法，所以现今只用来探寻砂矿床或矿石的原生矿脉或其它发源地。

流槽冲洗^[1]也用于早期的金矿开采中，现大体上已被其他高效率的方法所代替。当前主要用作勘探。适合这种开采方法的砂矿床厚度可达6~8英尺，并可以是干燥无水的。但为了分离矿石和废石，需要水和槽形木箱（流矿槽），并需要一定的斜坡以运走水和废石。设备规格和斜坡角度取决于矿床的大小、分离砂砾所需要的时间，可供使用的水流量和砂砾或卵石预计的最大粒径。

因为在美国适合淘砂盘淘洗或流槽冲洗的大多数砂矿床已被采完，所以一般与此种开采方法有关的环境问题已不再考虑。

水力开采 水力开采^[1]适用于一般含砂砾和卵石的、比较大型的砂矿床。从管子和喷嘴（水枪）喷出大量具有压力的水用以破坏矿床。水的压头应足以冲垮砂砾层，并把它运搬到流矿槽。另外，还需加水冲洗流矿槽。

冲采工作面高度一般为15~50英尺，最高不应大于150~200英尺。为了获得最好的开采效果，砂矿基岩的坡度，对细砂砾至少为2%、对中粗砂砾为4~5%、对粗砂砾应大于5%。水力开采方法的产量受有效水量、矿床的厚度、卵石块度和砂矿基岩坡度的限制。

这种开采方法所带来的环境问题有水的流失和尾砂处理。而

且由于水力开采最终会破坏大面积的地表，复田也成为一个问题。

采砂船开采 采砂船开采^[2]是一种松散型砂矿床的水下挖掘方法。这种方法通常适用于低品位的，且面积和厚度都很大的砂矿床。这种矿床可能是现在的或古代的河流或河床。矿床最佳的表面坡度为2%，最大为6%。如果基岩平坦而坚硬使矿物不能陷于其中；或是软而破碎，易于挖掘，那么回收率都会增加。

采砂船基本上是一个连续的大容量挖掘机，附有重力选矿设备（跳汰机等）以及废石运搬系统。全部机器设备安设在一个漂浮平台上。

采砂船能从12~100英尺的水面以下挖掘砂矿，在马来西亚已成功地使用到160英尺深。砂丘（图 9-1）高出水面以上的高度，一般不应大于15~25英尺；但对大型采砂船，可以高到40~50英尺。如果砂丘较高，应当设法剥离，以免垮落。采砂船的吨位或尺寸取决于砂砾中的粘土含量、卵石粒度和可供浮起挖泥船用的水量。

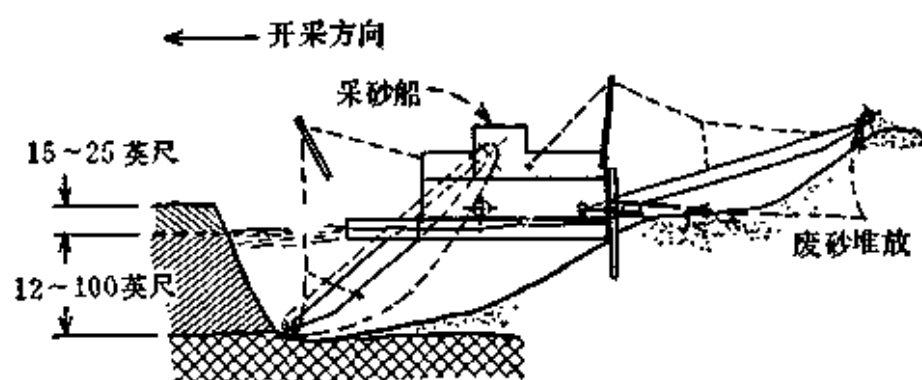


图 9-1 采砂船开采

采砂船的开采问题就是在池塘里要有足够的水浮起采砂船，并有较清洁的水精选砂砾。由于采砂船的开采规模大，尾砂堆放、复田以及水源是主要考虑的问题。

9-2-2 露天开采

露天开采^[1,3]；可用于开采近地表或在地面上的任何类型

岩石中的任何矿床。这种开采方法最宜用于开采有相当大水平面积的矿体。它的生产能力高，因而成本低。虽然“剥离开采”和“采石场开采”都是露天开采，但“剥离开采”通常是指采煤，而“采石场开采”则是关于非金属原料的生产，例如开采规定尺寸的料石、岩石集料等。

决定露天采场设计的因素，包括矿床的节理和其他裂缝的方位（见 7-1）、剥采比、气候条件、要求的生产能力和可采用的设备。还有，在某个深度以下，对任何类型的矿床，都存在着选用露天开采还是地下开采的问题。通常，经济因素决定这个选择。有的矿山曾经采用露天和地下两种方法开采。例如，美国加利福尼亚州里弗-赛德的克雷斯特莫尔矿^{〔4〕}曾将露天开采改为地下开采的矿块崩落采矿法，后来随着开采深度的增加，又改用房柱采矿法。美国亚里桑那州的莫伦西铜矿和加利福尼亚州婆罗的杰宁弗矿^{〔5〕}都由地下开采改为露天开采。露天开采设备的发展相对地来说超过地下开采设备，这也是一个有利于使用露天开采的因素。

露天开采有以下四种型式：（1）单台阶开采；（2）多台阶开采；（3）剥离开采；（4）采石场开采。

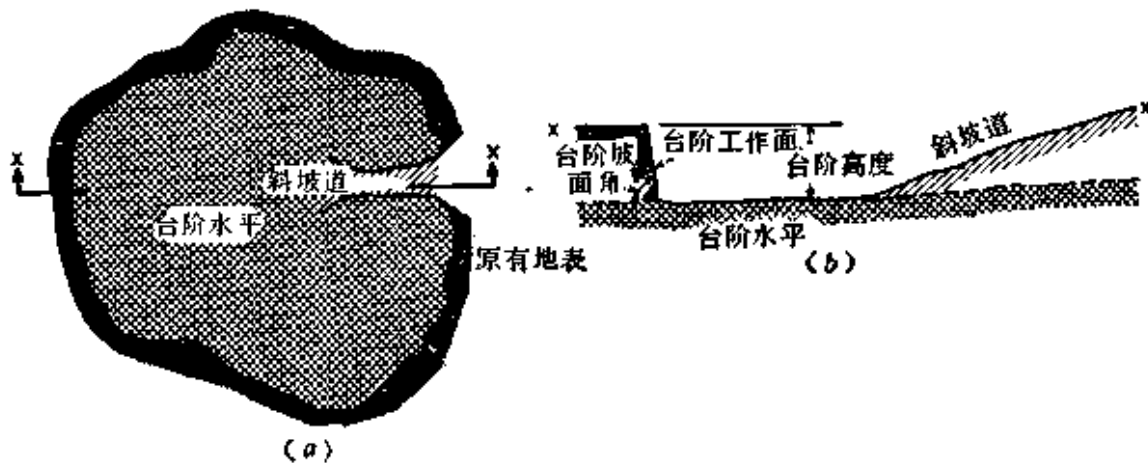


图 9-2 单台阶开采的露天矿

单台阶开采 在这种露天矿中，以一个台阶形成唯一一个作业水平，在这个水平上的矿石和废石，是以台阶工作面采掘的

(图 9-2)。单台阶的露天开采可用于开采各种岩石类型的任何较浅的矿床。因此，采石场开采和剥离开采都可以用单台阶作业。

台阶的最大稳定高度和台阶坡度取决于台阶的岩石类型（在某些情况下可能由矿业法规规定）（见 7-1）。对软的和一般硬度的岩石来说，正常的台阶高度为12~25英尺，在非常特殊的情况下，可以达到200英尺，台阶面积没有限制。

采用此法开采的典型矿床，是含砂层和砂砾层、覆盖层不厚的煤层（见剥离开采）和近地表的料石以及岩石料（见采石场开采）。

此法的产量仅受开采设备的能力以及同时开采的工作面面积的限制。

废石处理、噪音、粉尘、爆破震动和复田等构成环境保护问题。

多台阶开采 多台阶开采一般适用于任何块状的、厚层状的、厚矿脉或板状矿床，这种矿床埋藏深度或延伸深度大于单台阶开采的适用范围。矿岩可以是任何类型的，但要有一定的稳固性，以便采用经济的台阶高度，也可以是由半固结（干块湖）到风化蚀变的以及很破碎的岩石组成，也就是说，矿岩仅需要很小量的爆破即可采掘。

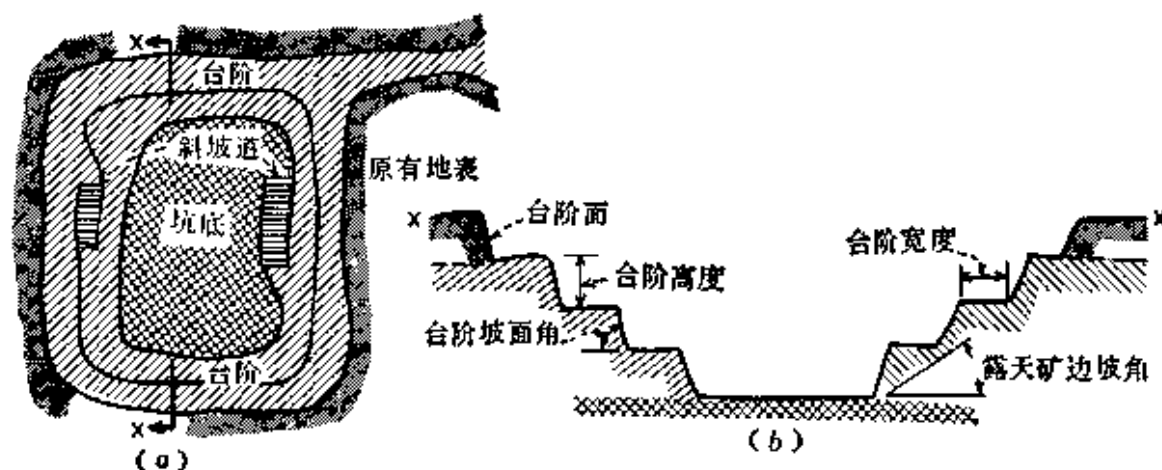


图 9-3 多台阶开采的露天矿

如露天矿深度超过25~50英尺，则需用一个以上的台阶。用一个以上的台阶时，台阶宽度（图 9-3）可为20~75英尺，取决于运输设备的规格和岩石的性质（见 7-1）。这些台阶一般用作行车道，形成一条通到坑底的螺旋道，或者是上下水平台阶之间的斜坡道。设计台阶宽度或护道，要注意防止人员和设备受到台阶小型滑坡的危害。台阶坡面角（图 9-3）通常要比露天矿边坡角陡，因为台阶矮小时岩石能够保持更近乎垂直的暴露面（见 7-1）。露天矿边坡角可以在 20° ~ 70° 之间。在露天矿废弃之前的最后开采期间有时边坡角加陡，以增加回收率。

多台阶露天开采所出现的环境保护问题，有废石处理、噪音、粉尘、爆破震动和复田等。水可能引起环境问题。

由于环境受到破坏，对露天矿已产生不良的反应。然而，大多数产量高的地下矿，如矿块崩落法开采，崩落几乎随回采立即发展到地表，因而引起地表破坏，或使地表无法利用。在许多情况下，露天矿坑的复田和利用比地下矿山地表最终沉陷区的处理要容易和费用少。

剥离开采 剥离开采^[3,6]主要是用于开采接近地表的煤层。但是，其他粘结力低的矿床也能够采用此法开采。大多数剥离开采是在层状的沉积岩中进行，需不需要爆破，决定于覆盖层的岩性。

采用剥离开采的煤层厚度为2~30英尺或更厚一些。一般比较厚的和多层的煤层宜用台阶式开采。采用现代化设备，在覆盖层条件比较有利的煤层中，剥采比已高达30:1、深度已达150英尺。剥采比还取决于采矿成本和设备效率。它的变化范围很大，在大多数情况下，它决定着可采煤层厚度与覆盖层厚度之间的关系。

剥离开采一般是在横切煤层的某一个方向逐条进行覆盖层剥离和采煤。然后在相反的方向挖掘平行条带，覆盖岩石或废石被放到原先已采出的区域内。根据矿床条件的许可重复这一循环（图 9-4）。

剥离设备一般都非常大，可直接或另用一套运输系统将废石

卸到早先的已采区。例如斗轮式挖掘机每个铲斗容积从小于 1 码³到大于 5 码³；索斗铲的铲斗容积从接近 7 码³至超过 220 码³。单斗挖掘机的铲斗可达 200 码³。采煤是用挖掘机来完成的，铲斗通常为 6 ~ 12 码³。

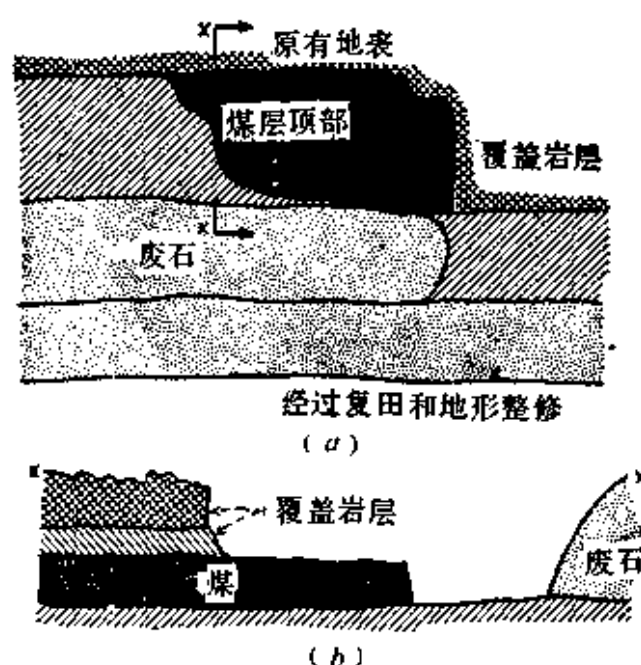


图 9-4 剥离露天矿

剥离开采的边坡维护,不像台阶式露天开采那样严格。但是,很高的废石堆也存在着滑坡的问题(见 7-1)。

环境(水、气温变化、气候条件)、岩性的变化、剥采比和运输是剥离开采遇到的主要问题。最终的废石处理和复田也可包括在开采循环中,但会增加开采成本。

采石场开采 采石场开采^[1]是指大理石、花岗石、石灰石、粘板岩等岩石的露天开采,这些岩石因其力学性质或化学性质而有使用价值。在这种开采方式中,矿床通常不是块状的或层状的,就是扁豆状的,并适宜使用台阶式开采。大多数采石场是开采沉积岩(如石灰岩)。然而,有些变质岩(大理岩)和火成岩(花岗岩),也可以用这一方式开采。

露天采石场有两种基本类型:开采有一定规格的料石和开采碎石(也就是集料和供化工用的石灰石)。

开采料石的采石场一般具有垂直坡面的台阶,并且整个露天

采石场的边坡比较陡（图 9-5）。因此岩石中任何裂隙或节理面都必须有粘结力，使岩石具有比较高的粘结力。这种岩石一般是用某种切割方法进行分割，以代替爆破。这样做，是为了保护料石的形状和强度。台阶高度可以高达200英尺。采石场开采一般是有选别性的，产量有限。

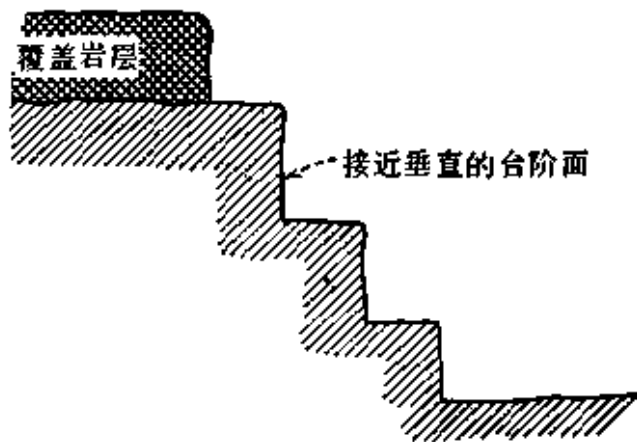


图 9-5 开采料石的采石场

集料或供化工用的石灰石的采石场开采，通常是将岩石爆破

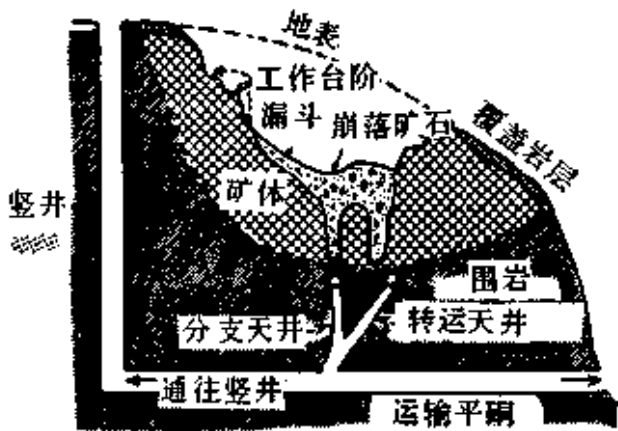


图 9-6 漏斗式开采⁽¹⁾

成碎块。破碎块度取决于对产品的要求。因此岩石准许具有低的粘结力。它比开采规定尺寸的料石的产量高，但选别开采性少。大多数采石场需要剥离覆盖岩层。

不论对开采料石或开采碎石集料的露天采石场来说，水的渗流，复田和覆盖层的处理，是普通存在的环境问题。

在开采碎石集料的采石场中，还存在着破碎而引起的粉尘、噪音和爆破震动等环境问题。

9-2-3 漏斗开采

漏斗式开采^(1,3)也是一种露天矿开采形式，采下矿石借助自

重通过与平硐相联的一个或多个溜井放出（图 9-6）。经典的定义是沿每个溜井周围将矿石采掉，使岩矿石借助自重溜入溜井，结果形成一个漏斗的形状，叫做“露天放矿漏斗”，整个开采过程就称为“漏斗式开采法”。现代的露天矿可以将矿石运到露天放矿溜井，溜井与位于露天境界处或境界以下的箕斗提升设施相联。但这种方案或类似的变形方案，不能算作真正的漏斗式开采法。

能用露天开采的几乎任何类型矿床以及某些急倾斜薄矿脉，都可使用漏斗式开采法。矿床的岩石物料类型可以是各种各样的，但应不存在溜井内结块卡矿的可能。开采这类不会结块的矿床时，露天坑可以比较深，窄而长（图9-6）。边坡可以是台阶，也可以不是，因此矿床应是块状的，如果是裂隙型的，应当有较高的粘结力。当快要到达下部境界，即将开始转入地下开采的大型露天矿山，可利用这一方法作为一个过渡或临时性措施。

这类开采方法的主要问题是水引起矿石在溜井内粘结和边坡滑坡。根据开采规模大小，还可能有复田、尾砂处理、粉尘、噪音和爆破震动等诸如此类的环境保护问题。

9-3 地下采矿方法

如果一个矿床的深度用露天剥离覆盖层进行开采已不合算时，就应考虑用地下开采。从这样一种矿床回收矿物的问题，就是要选择或设计一种最安全、最经济的采矿方法；同时，它能提供适宜的岩层支护手段，以保护采矿场；并在某些情况下，可以保护地表。由于在地下采矿法中，岩层支护是必不可少的工序，所以表9-1所列的，以及在文中将要叙述到的各种采矿方法，都是在此基础上分类的。同时，岩层支护又取决于矿床的产状与矿石和围岩的力学性质，因此所介绍的每种采矿方法，都包含着该法所适用的矿床特征的说明。地下采矿方法有如下三大类：

1. 在本类采矿方法中，由于回采矿石而形成的空场（矿房或采场）不需要使用规则的人工支护方法，而主要依靠矿岩自然

支撑能力。也就是说，在空场中，由于覆盖层的重力或地质构造力产生的载荷是施加在空场的侧帮和（或）未开采的矿柱或岩柱上。这种规定并不排除使用锚杆或其它轻便的支护方法，只要这种人工支护对于作用在自然支撑的采场结构上的载荷，没有起重大的影响。本类方法的采场设计可用7-2介绍的方法处理。

2. 在本类采矿方法中，采场或矿房要求充分的支护；也即是作用在采矿场上面的一部分载荷，为支护系统所承受。

3. 在本类采矿方法中，因为矿体的产状和力学性质之故，使得矿体在重力作用下能够崩落，从而可以获得比用其它采矿方法更好的结果。

表 9-1 地下采矿方法分类

I、自然支撑采矿法	II、人工支撑采矿法
A. 空场采矿法 ^①	A. 分层充填采矿法
1. 孤立采场的空场采矿法	B. 方框支柱充填采矿法
2. 留有矿柱的空场采矿法	C. 长壁采矿法
a. 留不规则矿柱的空场采矿法	D. 短壁采矿法
b. 留规则矿柱的空场采矿法	E. 分层崩落采矿法
B. 房柱采矿法	III、崩落采矿法
C. 分段采矿法	A. 分段崩落采矿法
D. 留矿采矿法	B. 矿块和盘区崩落采矿法
E. 横撑支柱采矿法	

① 此处所指的空场采矿法是开采缓倾斜矿床的全面法和房柱法。——译者

上述这种地下采矿方法分类实质上与杰克逊和加德纳提出的分类相同〔7〕。莫里森〔3〕，刘易斯和克拉克〔9〕等人也提出过相似的分类。因为矿柱回采是第二步骤的开采作业，所以在本节中不予涉及。

这几类采矿方法的适用条件常常没有清楚的界限。事实上，在同一矿床中，曾经使用过空场法和矿块崩落法两种方法。这种情况有些是因为矿床内部或矿床周围矿岩性质变化的结果，或者由于矿床产状的变化之故（例如矿床尖灭），或者由于工艺或经济因素的改变，使得一种采矿方法优于另一种方法。但是采矿方法