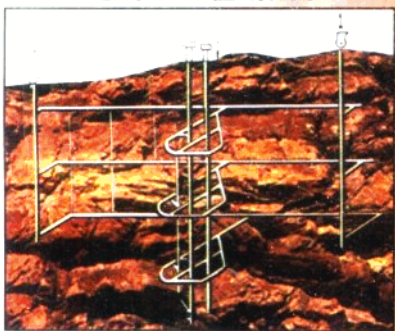


● 重点学科建设丛书 ●

● 地 矿 工 程 系 列 ●



金属矿床 地下开采

杨 殿 主编

中南工业大学出版社

序 言

本书是在原《金属矿床地下开采》^[1,2]的基础上,根据近年来教学改革的需要和教改实践的经验而重新编写的。在编写过程中,保留了原《金属矿床地下开采》一书的主干部分,即采矿方法与井田开拓;增强了采矿方法设计的内容;大量精简了应该属于《凿岩爆破》、《采掘机械》、《矿井提升与运输》、《矿山企业设计原理》等相应课程的内容;并尽量避免采矿方法各章节内容前后之间的不必要的重复。为了便于学生的学习,对原《金属矿床地下开采》教材的采矿方法分类做了较大的更改;对教材中的术语的统一、取舍,对教材的严密性、科学性和逻辑性方面,下了不少工夫;新补充了一些采矿方法,如球状药包崩矿阶段空场法,进路上向分层充填法、分段充填法、阶段自然崩落法等。

全书由中南工业大学、南方冶金学院和昆明理工大学三校合编,中南工业大学杨殿任主编,黄文钿、刘维华参编。杨殿编写了序言、第一篇、第三篇的第八章、第九章、第十二章和第十三章;南方冶金学院黄文钿编写了第二篇的第六章、第七章和第三篇的第十一章;昆明理工大学刘维华编写了第二篇的第四章、第五章和第三篇的第十章。

参加本书会审的有中南工业大学曾耀和武汉钢铁学院的赵源涛,他们对本书提出不少宝贵的修改意见,全书由中南工业大学王妙钦终审,他为本书的最终定稿做了不少工作。编者向他们表示深切的谢意。在本书的编写过程中,引用了兄弟院校、科研设

计单位、矿山企业所发表和出版的文献、教材、设计手册等的一些内容，在此向有关作者表示感谢。

由于水平所限，本书中不免存在缺点和错误，恳请读者批评、指正，以便再版时修正和补充。

编者
1999年

目 录

第一篇 金属矿床地下开采总论

第一章 金属矿床的特性与分类	(3)
第一节 金属矿石的种类.....	(3)
第二节 矿石和岩石的性质.....	(4)
第三节 金属矿床的特征与分类.....	(7)
第二章 矿床开采单元的划分及其开采顺序	(12)
第一节 矿床开采单元的划分	(12)
第二节 井田中的开采顺序	(15)
第三节 井田的开采步骤	(18)
第三章 矿石的损失贫化和对矿床开采的要求	(20)
第一节 矿石损失和贫化的概念	(20)
第二节 矿石损失和贫化的计算	(22)
第三节 对矿床开采的要求	(25)

第二篇 矿床开拓

第四章 矿床开拓	(28)
第一节 矿床开拓与开拓方法分类	(28)
第二节 单一开拓法	(30)
第三节 联合开拓法	(39)
第四节 斜坡道开拓法	(43)

第五章 主要开拓巷道	(50)
第一节 主要开拓巷道类型的比较	(50)
第二节 主要开拓巷道位置的选择	(52)
第三节 保安矿柱的圈定	(61)
第六章 辅助开拓巷道	(65)
第一节 副井和通风井	(65)
第二节 溜井和破碎铜室	(68)
第三节 井底车场	(75)
第四节 阶段运输巷道	(80)
第七章 井田开拓方案的选择	(85)
第一节 选择开拓方案的基本要求及影响因素	(85)
第二节 选择井田开拓方案的方法和步骤	(86)
第三节 开拓方案选择实例	(87)

第三篇 采矿方法

第八章 采矿方法的基本概念与分类	(91)
第一节 采矿方法的基本概念	(91)
第二节 采矿方法的分类	(92)
第三节 采矿方法的应用现状	(95)
第九章 空场采矿法	(98)
第一节 单层空场法	(99)
第二节 房柱采矿法	(104)
第三节 分层空场法	(110)
第四节 分段空场法	(122)
第五节 阶段空场法	(126)
第六节 采场底部结构	(146)
第十章 充填采矿法	(159)
第一节 单层充填法	(160)

第二节	上向分层充填法·····	(164)
第三节	分采上向分层充填法·····	(176)
第四节	下向分层充填法·····	(182)
第五节	分段充填法·····	(195)
第六节	充填材料的制备与输送·····	(201)
第十一章	崩落采矿法 ·····	(216)
第一节	单层崩落法·····	(216)
第二节	分层崩落法·····	(223)
第三节	无底柱分段崩落法·····	(227)
第四节	有底柱分段崩落法·····	(242)
第五节	阶段崩落法·····	(251)
第六节	覆盖岩层下放矿·····	(265)
第十二章	矿柱回采与空区处理 ·····	(277)
第一节	矿柱回采概述·····	(277)
第二节	敞空矿房的矿柱回采·····	(281)
第三节	充填矿房的矿柱回采·····	(285)
第四节	空区处理·····	(293)
第十三章	采矿法的选择与设计 ·····	(298)
第一节	采矿法的选择·····	(298)
第二节	采矿法的方案设计·····	(303)
第三节	采矿法的施工设计·····	(309)
参考文献	·····	(316)

第一篇 金属矿床地下开采总论

矿床采（矿）掘（进）工作的总体称为开采。根据矿床开采的不同空间位置，分为露天开采、地下开采、露天和地下联合开采三种。露天开采是用露天坑道在地面进行准备和采矿工作（图 1-1）；地下开采是从地表掘进一系列井巷通达矿体，进行准备和采矿工作（1-2）；露天与地下联合开采则指矿体的上部用露天开采，下部用地下开采（图 1-3）。本书专门论述金属矿床地下开采的采矿法和井田开拓等主要问题。在学习本书主要内容之前，必须对金属矿床的工业特征、地下开采的生产过程、地下开采必须遵循的原则，以及有关术语和概念等有清楚的了解。

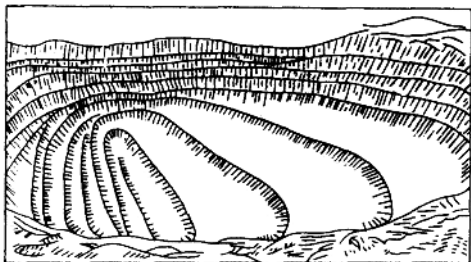


图 1-1 露天开采示意图

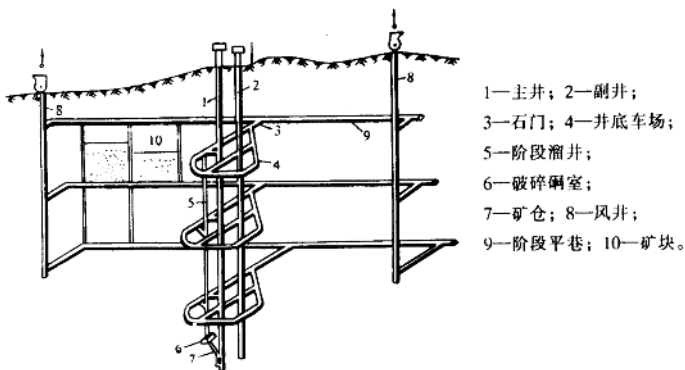


图 1-2 地下开采示意图

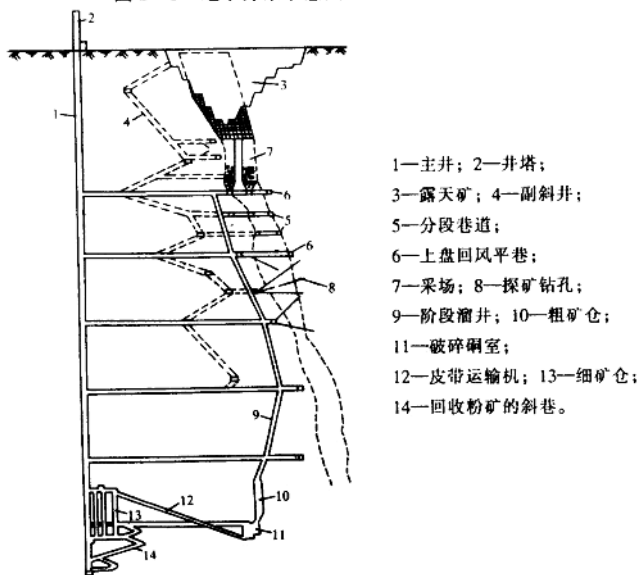


图 1-3 露天与地下联合开采示意图

第一章 金属矿床的特性与分类

第一节 金属矿床的种类

一、矿石与废石

在现代技术经济条件下，在质和量的方面能满足国民经济需要的矿物集合体，称为矿石。矿石的天然集合体称为矿体。矿体周围的岩石称为围岩。凡位于倾斜至急倾斜矿体上方或下方的岩石称为上盘与下盘围岩，位于水平或微倾斜矿体顶部或底部的岩石称为顶板或底板围岩。

一个或数个矿体及其围岩，包括围岩周围地层，构造等地质特点的整个含矿地段，称为矿床。

矿体周围的岩石，以及夹在矿体中的岩石（夹石），不含有用成分或含量过少，当前不宜作为矿石开采的则称为废石。矿石和废石的概念是相对的，是随着国民经济的发展，矿山开采和矿石加工技术水平的提高而变化的。一般地讲，划分矿石和废石的界限取决于下列因素：国家的社会制度及所规定的技术经济政策；矿体的埋藏条件；采矿和矿石加工的技术水平；地区的技术经济条件等。

二、金属矿石的种类

含金属成分的矿石，称为金属矿石。根据所含金属的不同种类，金属矿石分为贵金属矿石（金、银、铂等）、有色金属矿石

(铜、铅、锌、铝、镍、钨、钼、锡等)、黑色金属矿石(铁、锰、铬)、稀有金属矿石(钽、铌等)和放射性矿石(铀、钍等)

根据金属矿石所含金属品种的数目,又分为单一金属矿石和多金属矿石。

按金属矿石所含金属矿物的性质,矿物的组成和化学成分,其分为自然金属矿石、氧化矿石、硫化矿石和混合矿石。金属以单一元素存在于矿石中的矿石,称为自然金属矿石,如金、银、铂等。氧化矿石的矿物化学成分为氧化物、碳酸盐及硫酸盐,如赤铁矿 Fe_2O_3 、红锌矿 ZnO 、软锰矿 MnO_2 、赤铜矿 Cu_2O 和白铅矿 PbCO_3 等。硫化矿石的矿物化学成分为硫化物,如黄铜矿 CuFeS_2 、方铅矿 PbS 、闪锌矿 ZnS 、辉钼矿 MoS_2 等。矿石中含有两种以上矿物时叫混合矿石。矿石中 useful 成分的含量,称为品位。矿石的品位常用百分数表示,对于黄金等贵金属矿石,用一吨矿石中含若干克有用成分 (g/t) 来表示。

根据矿石品位的高低,金属矿石分为富矿和贫矿。如磁铁矿,品位超过 55% 的为平炉富矿;品位在 50% ~ 55% 之间的为高炉富矿;品位在 30% ~ 50% 的为贫矿。

第二节 矿石和岩石的性质

矿石和岩石(以下简称矿岩)的性质中,影响矿床开采较大的有:硬度、坚固性、稳固性、结块性、氧化性、自燃性、含水性及碎胀性等。

一、硬度

矿岩抵抗工具侵入的性能叫硬度。矿岩硬度取决于矿岩的组成,即取决于矿岩颗粒的硬度、形状、大小、晶体结构以及颗粒间胶结物的情况等。硬度愈大,凿岩愈困难。矿岩的硬度影响矿

岩的破碎方法和凿岩设备的选择，也影响劳动生产率、材料消耗和采矿成本。

二、坚固性

矿岩的坚固性也是一种抵抗外力的性能，但它与矿岩的强度是两种根本不同的概念。强度是指矿岩抵抗压缩、拉伸、弯曲及剪切等单向作用力的性能，而坚固性所抵抗的外力，是一种综合外力，即矿岩抵抗机械破碎、炸药爆炸等综合作用的力。

坚固性的大小常用坚固性系数 f 表示。它反映矿岩的极限抗压强度、凿岩速度、炸药消耗量等值的大小。尽管它不够全面，但仍为一重要的特性数据，被广泛采用。国内通常还用矿岩极限抗压强度来表示，即

$$f = \frac{R}{100}$$

式中 R ——矿岩极限抗压强度，98.1kPa。

三、稳固性

稳固性是指矿岩在空间允许暴露面积的大小和时间长短的性能。影响矿岩稳固性的因素十分复杂，它不仅与矿岩的成分、结构、节理状况、风化程度以及水文地质条件等有关，还与开采过程中所形成的实际状况（如巷道布置方向及其形状、开采深度等）有关。

稳固性和坚固性既有联系，又有区别。一般在节理发育、构造破碎地带，矿岩的坚固性虽好，但其稳固性却大为下降。因此，不能将二者混同起来。

矿岩的稳固性对井巷的维护方法，采矿方法的选择和地压控制的方法，均有很大的影响。根据矿岩的稳固程度，分为极不稳固的、不稳固的、中等稳固的、稳固的和极稳固的五类。

极不稳固的是指掘进巷道或采矿时，不允许有暴露面积，否则会产生片帮和冒顶现象。在掘进巷道时，须用超前支护方法进行维护。

不稳固的允许有较小的不支护的暴露面积，一般在 50m^2 以内。

中等稳固的是指不支护的暴露面积为 $50\sim 200\text{m}^2$ 。

稳固的允许不支护的暴露面积为 $200\sim 800\text{m}^2$ 。

极稳固的指不支护的暴露面积在 800m^2 以上。

四、结块性

采下的矿石遇水和受压后连结成块的性质，称为结块性。一般使矿石结块的因素有：矿石中含有粘土质物质，受湿受压后粘结成块；例如，高硫矿石遇水后，由于表面氧化形成硫酸盐薄膜，受压后连接成块。

矿石的结块性对放矿，卸车及运输等生产环节均有不利的影响，甚至影响到某些采矿法的顺利使用。

五、氧化性

硫化矿石在水和空气的作用下，变为氧化矿石的性质，叫做氧化性。采下的硫化矿石，在井下或地面储存时间过长就要氧化。氧化后的矿石会降低选矿的回收率。

六、自燃性

矿岩（高硫矿石、含碳岩石等）在空气中氧化，并放出热量，经过一定时间后，温度升至着火点而自燃，会引起地下火灾。矿岩的自燃与其矿物的物理化学性质、氧化速度和通风条件等有关。具有自燃性的矿岩，对其储存和采矿法的选择有特殊的要求。

七、含水性

矿岩吸收和保持水分的性能，叫含水性。含水性随矿岩的孔隙度和节理而变化。它对放矿、运输、箕斗提升及矿仓储存等均有不利的影晌。

八、碎胀性

矿岩破碎后体积增大的性能称为碎胀性。矿岩碎后的体积与其原体积之比，称为碎系数（或松散系数）。碎系数的大小主要取决于破碎后矿岩块度的组成和块度的形状。一般坚硬矿岩的松散系数为1.2~1.6。

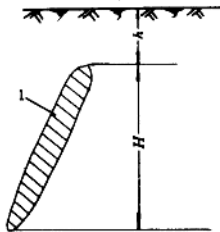
第三节 金属矿床的特征与分类

矿床是由一个或多个矿体所组成。矿床特征表现在单个矿体的特征，及其组合特征上。

一、金属矿床的埋藏要素

金属矿床的埋藏要素是指矿体的走向长度、厚度、倾角、延伸深度和埋藏深度等。

矿体的延伸深度是指矿体上部界限至下部界限的垂直距离或倾斜距离，分别称为垂直高度和倾斜长度（简称垂高和斜长）。埋藏深度则指从地表至矿体上部界限的垂直距离（图1-4）。



1-4 矿体的延伸深度和埋藏深度
1—矿体；h—埋藏深度；
H—延伸深度（垂直高度）。

二、金属矿床的分类

金属矿床的矿体的形状、厚度及倾角，对于矿床开采有直接的影响。因此，一般将金属矿床按矿体形状、厚度和倾角进行分类。

1. 按矿体的形状分类

(1) 层状矿体 这类矿体 [图 1-5 (a)] 规模较大，赋存条件 (倾角、厚度等) 稳定，有用矿物成分组成稳定，分布较均匀。多见于沉积型黑色金属矿床。

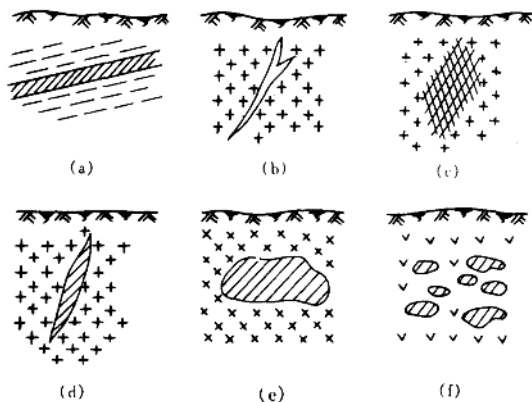


图 1-5 矿体形状

- (a) 层状矿体；(b) 脉状矿体；(c) 网脉状矿体；
(d) 透镜状矿体；(e) 一块状矿体；(f) 巢状矿体。

(2) 脉状矿体 这类矿体主要由热液和气化作用，将矿物质充填于地壳裂隙中生成 [图 1-5 (b)、(c)]。矿脉与围岩接触处有蚀变现象，矿体赋存条件不稳定，有用成分分布不均匀，有

色、稀有及贵金属矿床多属此类。

(3) 块状矿体 这类矿体主要是由于充填、接触交代、分离和气化作用所形成。矿体大小不一，形状呈不规则的透镜状、矿巢、矿株等产出；矿体与围岩的界限不明显。某些有色金属（铜、铅、锌）矿床属于此类 [图 1-5 (d)、(e)、(f)]。

在开采脉状体和块状矿体时，要加强探矿工作，以充分回收矿产资源。

2. 按矿体倾角分类

矿体按倾角分为水平矿体和倾斜矿体倾角在 5° 以下为水平矿体，倾角为 $5^\circ \sim 30^\circ$ 为缓倾斜矿体，倾角为 $30^\circ \sim 55^\circ$ 为倾斜矿体，倾角大于 55° 为急倾斜矿体。

3. 按矿体厚度分类

矿体厚度指矿体上盘与下盘间的垂直距离或水平距离。前者叫垂直厚度或真厚度（图 1-6 中 a），后者叫水平厚度（图 1-6 中 b）。开采急倾斜矿体时，常用水平厚度，而开采倾斜矿体、缓倾斜矿体和水平矿体时，常用垂直厚度。

矿体按厚度分为五类：极薄矿体（厚度小于 0.8m）、薄矿体（厚度为 0.8~4m）、中厚矿体（厚度为 4~15m）、厚矿体（厚度为 10~40m）和极厚矿体（厚度大于 40m）。

开采极薄矿体时，掘进巷道和采矿都需开掘部分围岩才能创造正常的工作空间。开采薄矿体时，在缓倾斜条件下，可用单分层进行回采；在倾斜和急倾斜条件下，回采时不需要采掘围岩。回采中厚矿体时，可沿矿体走向布置矿块。开采厚矿体时，垂直

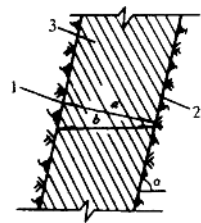


图 1-6 矿体的厚度

1—矿体上盘；2—矿体下盘；

3—矿体； α —矿体的倾角。

走向布置矿块。开采极厚矿体时，矿块垂直走向布置，往往需留走向矿柱（图 1-7）。

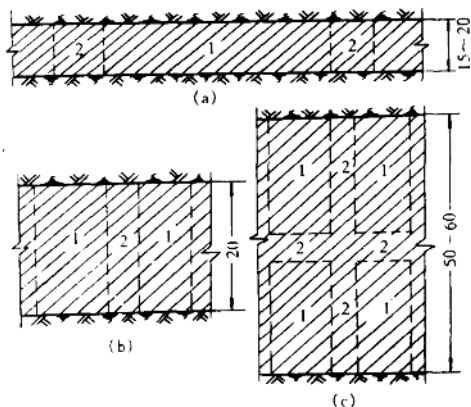


图 1-7 矿体布置方式

(a)矿块沿走向布置；(b)矿块垂直走向布置；(c)矿块垂直走向布置且留走向矿柱。

1—矿房；2—矿柱。

三、金属矿床的特性

金属矿床的地质条件较为复杂，对矿床开采有较大影响的因素有以下几个方面。

1. 矿体赋存条件不稳定 矿体的厚度、倾角及形状均不稳定。在同一个矿体内，在走向上或倾向上，其厚度、倾角常有较大的变化，且常常出现尖灭再现，分枝复合等现象。这就要求有多种采矿矿法，并且采矿法本身要有一定灵活性，以适应复杂的地质条件。

2. 矿石品位变化大 在金属矿床中，矿石品位在矿体的走向上及倾向上，也经常有较大的变化。这种变化有时有一定的规律，如随深度的增加，矿石的品位变贫或变富。在矿体中还经常

存在夹石。有些硫化矿床的上部有氧化矿，使同一矿体产生分带现象。这些都对采矿提出特殊的要求：如按不同类型、不同品级进行分采，中和品位，剔除夹石等。

3. 构造复杂 在有些矿体中存在断层、褶皱、岩脉或断层破碎带等地质构造。这些都给采矿工作带来很大的困难。

4. 矿岩的坚固性大 多数金属矿体均有此特点。因此，一般采用凿岩爆破方法来采矿，这给实现综合机械化开采造成一定困难。

5. 矿床含水性 某些金属矿床含水，对开采有很大的影响。矿床含水不仅增加了排水设备及设施，而且对开采工作造成很大困难（如含水的碎矿石容易结块堵塞漏斗，也可能在放矿时发生跑矿；大量的含水会降低矿岩的稳固性等）。