

高 等 学 校 教 学 用 书

# 采 选 概 论

冶 金 工 业 出 版 社

# 采 选 概 论

李广才等 编

冶金工业出版社

高等学校教学用书

**采 选 概 论**

李广才 等 编

\*

冶金工业出版社出版

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 6 3/8 字数 166 千字

1979年7月第一版 1979年7月第一次印刷

印数00,001~10,250册

统一书号: 15062·3429 定价 0.84 元

# 前 言

《采选概论》是根据冶金部1978年制订的高等学校矿山机械专业教学计划编写的。经过学习本课程将使矿山机械专业学生对采选生产过程有一个全面而概括的了解，初步掌握采选工艺的基本知识，明确采选生产对矿山机械的要求。

本教材包括矿床性质、地下开采、露天开采、选矿等主要内容，以介绍开采和选矿工艺基本知识为重点。各工艺环节中以采选生产为主，对所用机械仅作简要介绍。

本教材也可供矿山职工初学采、选科学技术之用。

本教材由西安冶金建筑学院李广才主编，参加编写人员有黄秦兰、李荣福、王蕴如。

本教材在编写过程中，曾邀请昆明工学院、东北工学院、北京钢铁学院、武汉钢铁学院、新疆工学院等院校有关专业教师参加讨论定稿，并提出了许多宝贵意见，在此表示衷心感谢。

# 目 录

## 第一篇 采 矿

|                          |    |
|--------------------------|----|
| <b>第一章 矿床</b> .....      | 1  |
| 第一节 基本概念和术语.....         | 1  |
| 一、矿物与岩石 .....            | 1  |
| 二、矿石及品位 .....            | 1  |
| 三、矿体与围岩 .....            | 2  |
| 四、边界品位和最低工业品位 .....      | 2  |
| 第二节 金属矿床的工业特性.....       | 3  |
| 一、矿石与围岩的工业性质.....        | 3  |
| 二、矿体的形状及埋藏要素.....        | 5  |
| 第三节 找矿和探矿.....           | 8  |
| 一、找 矿 .....              | 8  |
| 二、探 矿 .....              | 9  |
| <b>第二章 矿床开采概述</b> .....  | 11 |
| 第一节 矿山企业.....            | 11 |
| 第二节 矿山井巷.....            | 12 |
| 第三节 矿床开采的几个问题.....       | 14 |
| 一、开采单元的划分 .....          | 14 |
| 二、矿床开采步骤 .....           | 17 |
| <b>第三章 井巷掘进与支护</b> ..... | 19 |
| 第一节 凿岩爆破.....            | 19 |
| 一、凿 岩 .....              | 19 |
| 二、爆 破 .....              | 22 |
| 第二节 井巷支架.....            | 26 |
| 一、地压的概念 .....            | 26 |
| 二、井巷支架 .....             | 27 |

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 第三节 井巷掘进与支护施工.....    | 29 |
| 一、平巷掘进与支护 .....       | 29 |
| 二、天井掘进与支护 .....       | 34 |
| 三、竖井掘进与支护 .....       | 38 |
| 四、钻进法简介 .....         | 40 |
| <b>第四章 矿床开拓</b> ..... | 42 |
| 第一节 开拓巷道及开拓方法的分类..... | 42 |
| 一、开拓巷道的分类 .....       | 42 |
| 二、开拓方法的分类 .....       | 42 |
| 第二节 单一开拓法.....        | 43 |
| 一、竖井开拓法 .....         | 43 |
| 二、斜井开拓法 .....         | 43 |
| 三、平硐开拓法 .....         | 44 |
| 四、评价 .....            | 44 |
| 第三节 联合开拓法.....        | 45 |
| 一、平硐与井筒的联合开拓法 .....   | 45 |
| 二、竖井与盲井联合开拓法 .....    | 45 |
| 三、斜井与盲井联合开拓法 .....    | 45 |
| 四、井底车场 .....          | 46 |
| 五、斜坡道开拓 .....         | 48 |
| 第四节 矿床开拓系统.....       | 49 |
| 一、中央并列式开拓系统.....      | 49 |
| 二、中央对角式开拓系统.....      | 50 |
| 三、侧翼式开拓系统 .....       | 50 |
| 第五节 主要开拓巷道位置的确定.....  | 50 |
| 一、崩落带和移动带 .....       | 50 |
| 二、最小运输功 .....         | 52 |
| <b>第五章 采矿方法</b> ..... | 54 |
| 第一节 概述.....           | 54 |
| 一、矿石损失和贫化的基本概念 .....  | 54 |

|                            |           |
|----------------------------|-----------|
| 二、采矿方法及其分类 .....           | 55        |
| 第二节 空场采矿法 .....            | 56        |
| 一、房柱采矿法 .....              | 56        |
| 二、分段空场采矿法 .....            | 61        |
| 第三节 留矿采矿法 .....            | 64        |
| 一、概述 .....                 | 64        |
| 二、浅孔留矿法典型方案 .....          | 64        |
| 三、对浅孔留矿法的评价 .....          | 66        |
| 第四节 充填采矿法 .....            | 67        |
| 一、概述 .....                 | 67        |
| 二、水砂充填采矿法 .....            | 67        |
| 第五节 崩落采矿法 .....            | 72        |
| 一、有底柱分段崩落法 .....           | 73        |
| 二、无底柱分段崩落法 .....           | 78        |
| <b>第六章 矿山运输与矿井提升 .....</b> | <b>89</b> |
| 第一节 矿山运输 .....             | 89        |
| 一、矿山轨道 .....               | 89        |
| 二、矿车 .....                 | 90        |
| 三、电机车 .....                | 92        |
| 第二节 矿井提升 .....             | 92        |
| 一、矿井提升设备 .....             | 92        |
| 二、矿井提升运输系统 .....           | 96        |
| <b>第七章 矿井辅助生产工作 .....</b>  | <b>97</b> |
| 第一节 矿井通风 .....             | 97        |
| 一、矿井通风的目的和任务 .....         | 97        |
| 二、矿井通风系统 .....             | 98        |
| 三、矿井通风方法 .....             | 100       |
| 四、矿井通风要素 .....             | 101       |
| 第二节 矿井排水 .....             | 102       |
| 一、矿井排水方法 .....             | 102       |

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 二、排水系统 .....          | 103 |
| 三、排水设备 .....          | 104 |
| 第三节 矿山压缩空气供应 .....    | 105 |
| 一、压气机 .....           | 105 |
| 二、辅助装置 .....          | 106 |
| 三、管路 .....            | 107 |
| 四、压气供应系统 .....        | 107 |
| <b>第八章 露天开采</b> ..... | 108 |
| 第一节 露天开采的基本概念 .....   | 108 |
| 第二节 露天矿生产工艺 .....     | 116 |
| 一、穿孔爆破工作 .....        | 116 |
| 二、采装工作 .....          | 123 |
| 三、运输工作 .....          | 130 |
| 四、排土工作 .....          | 133 |
| 第三节 露天矿开拓 .....       | 135 |
| 一、铁路运输开拓 .....        | 136 |
| 二、公路运输开拓 .....        | 136 |
| 三、平峒溜井开拓 .....        | 138 |
| 四、斜坡卷扬开拓 .....        | 139 |
| 五、胶带运输开拓 .....        | 139 |

## 第二篇 选 矿

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| <b>第九章 概述</b> .....       | 141 |
| 第一节 选矿的目的及在国民经济中的地位 ..... | 141 |
| 第二节 选矿过程和选矿方法 .....       | 142 |
| 一、选矿过程 .....              | 142 |
| 二、选矿方法 .....              | 143 |
| 第三节 选矿的工艺指标 .....         | 144 |
| 一、品位 .....                | 144 |
| 二、产率 .....                | 144 |

|                             |            |
|-----------------------------|------------|
| 三、选矿比.....                  | 145        |
| 四、富矿比.....                  | 145        |
| 五、回收率.....                  | 145        |
| <b>第十章 选别前的准备作业.....</b>    | <b>146</b> |
| 第一节 破碎与筛分.....              | 146        |
| 一、概述 .....                  | 146        |
| 二、常用的破碎设备 .....             | 149        |
| 三、筛分 .....                  | 154        |
| 第二节 磨矿与分级.....              | 156        |
| 一、磨矿机.....                  | 156        |
| 二、分级.....                   | 160        |
| 三、磨矿分级流程 .....              | 161        |
| <b>第十一章 选矿方法.....</b>       | <b>164</b> |
| 第一节 重选法.....                | 164        |
| 一、概述 .....                  | 164        |
| 二、主要的重选方法和设备.....           | 166        |
| 第二节 浮选法.....                | 174        |
| 一、概述 .....                  | 174        |
| 二、浮选药剂 .....                | 177        |
| 三、浮选机械 .....                | 180        |
| 第三节 磁选法.....                | 182        |
| 一、磁选的基本原理 .....             | 182        |
| 二、磁选机.....                  | 186        |
| <b>第十二章 精矿脱水和尾矿的储存.....</b> | <b>190</b> |
| 第一节 精矿脱水.....               | 190        |
| 一、概述 .....                  | 190        |
| 二、浓缩 .....                  | 190        |
| 三、过滤 .....                  | 191        |
| 四、干燥 .....                  | 194        |
| 第二节 尾矿的储存.....              | 195        |

# 第一篇 采 矿

## 第一章 矿 床

### 第一节 基本概念和术语

#### 一、矿物与岩石

地壳中含有各种各样的化学元素，这些元素经过各种地质作用，形成了各种化合物，如黄铜矿 ( $\text{CuFeS}_2$ )、磁铁矿 ( $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ )、萤石 ( $\text{CaF}_2$ )等；也形成了极少的单质，如自然金 ( $\text{Au}$ )、自然铜 ( $\text{Cu}$ )、硫磺 ( $\text{S}$ )等。我们把地壳中由于地质作用形成的这种自然元素和自然化合物统称为矿物。由于矿物具有一定的化学成份和内部结构，所以它们也具有一定的物理性质和化学性质。

各种矿物在地壳中很少单独存在，它们常常是有规律地组合在一起。我们把这些由一种或数种矿物颗粒组成的集合体称为岩石。

#### 二、矿石及品位

各种矿物在地壳中并不是均匀分布的，它们各自在一定的地质条件下可能相对富集。当矿物集合体中某一种矿物富集到一定程度时，可为人们所利用。在目前技术经济条件下，能满足国民经济要求，可供利用的矿物集合体称为矿石。

矿石一般都由几种矿物组成，通常将其分为两类：矿石矿物和脉石矿物。矿石矿物又称有用矿物，它是矿石中能直接被利用的矿物或能从中提取一种或多种元素的矿物。脉石矿物也叫无用矿物，它是与有用矿物伴生的，目前尚没有工业利用价值的矿物。

通常我们把矿石中凡是可供利用的元素或矿物称为有用成

份。矿石含有用成份的多少用品位来表示。所谓品位是指矿石中有用成份的重量与矿石重量之比，常用百分数（%）表示。一般金属矿石（如铁、铜、锌等矿石）的品位是指矿石中该种金属元素含量的百分数（%）；少数矿石的品位则是指矿石中所含某种有用矿物的百分数（%），如铬矿石的品位就指矿石中三氧化二铬含量的百分数（%）；对于金、铂等贵金属矿石，因矿石中金、铂等含量甚微、其品位则用克/吨来表示。

### **三、矿体与围岩**

矿体是指在地壳中矿石的天然集聚体。它是一个独立的地质体，具有一定的质量界限、一定的空间位置和几何形状。无论矿体的形状如何、数目多少，只要它们生成在一起就总称为矿床。在目前的技术经济条件下，符合开采和利用要求的矿床称为工业矿床；否则就是非工业矿床。

矿体周围的岩石称为围岩。矿体的上部围岩叫上盘围岩或顶盘；矿体的下部围岩叫下盘围岩或底盘。夹在矿体中的岩石称为夹石。围岩和夹石都不含有用成份或有用成份含量未达到利用的要求，故称为废石。

### **四、边界品位和最低工业品位**

矿体与围岩（或夹石）之间的界限是按有用成份的含量来划分的，边界品位和最低工业品位就是划分矿石和废石、圈定矿体、衡量矿体是否合乎工业开采要求的两个重要指标。

边界品位是可采矿石有用成份含量的最低界限。它是矿体边界上矿石的最低品位；是划分矿石和废石、圈定矿体的标准。在圈定的矿体范围内，任意取样点的品位一般都不应小于边界品位。

最低工业品位是在边界品位圈定的矿体范围内，合乎工业开采要求的平均品位的最低值。也就是说，用边界品位圈定的矿体或矿体中某个块段的平均品位必须高于最低工业品位才有开采价值，否则仍无开采价值。

边界品位、最低工业品位等工业指标是有条件的、可变动

的，因此工业矿床和非工业矿床、矿石和废石、矿石矿物和脉石矿物等概念也是相对的，它与一个国家的社会制度、发展国民经济的路线和政策、矿床开采和矿石加工的技术水平，已掌握的资源情况和需要量等密切相关。

## 第二节 金属矿床的工业特性

### 一、矿石和围岩的工业性质

矿石和围岩的性质中对开采影响较大的有：容重、块度、碎胀性、含水性、结块性、稳固性以及强度、坚固性等。

容重：容重是指单位体积中原岩的重量。一般岩石的容重约在2.3~3.0吨/米<sup>3</sup>之间；有色金属矿石中金属含量较少，其容重与岩石差不多或稍大些；黑色金属矿石中金属含量较高，容重可达3.5吨/米<sup>3</sup>左右。

块度：原岩崩落后即成块，其尺寸的大小称为块度。常用三个相互垂直方向的平均尺寸（或最大方向的尺寸）来表示。

一定的装运、破碎等设备对矿岩的最大块度有一定的要求，为保证矿山持续生产，必须使矿石的最大块度与装运等设备的要求相适应。通常用合格块度来限制采出矿石的块度，矿石块度超过合格块度则需进行二次破碎。所谓合格块度是指允许的矿石最大块度。一般合格块度在250~500毫米之间，按开采和加工的工艺及设备要求来确定。随着机械化水平的提高，合格块度有增大的趋势。

碎胀性：碎胀性是矿岩崩落后的体积因破碎而比原体积增大的性质。矿岩碎胀的程度常用碎胀系数（松散系数） $K$ 来表示。

$$K = \frac{V}{V_0}$$

式中  $V$ ——破碎后矿岩的体积；

$V_0$ ——矿岩的原体积。

一般 $K=1.2\sim1.6$ ，初装入容器（矿车、箕斗）内的矿岩块，因块间空隙较大， $K$ 值达1.8~2.0。

含水性：含水性是指矿岩裂缝和孔隙中含水的性质。矿岩含水过多，会使排水费用增加。

结块性：结块性是指采下矿岩受湿后在一定时间内结成整块的性能。矿岩结块的原因在于矿岩中含有一定数量的粘土、滑石及其他粘结性的细小物质，它们遇水后则成为胶结物而造成结块现象。结块会给放矿、装运等带来一定困难，因此具有结块性的矿石在采场、溜井中存放时间不宜过长。

自然安息角：松散矿岩自然堆积时，其四周将形成倾斜的堆积坡面，我们把自然堆积坡面与水平面相交的最大角 $\alpha_0$ 称为该矿岩的自然安息角，如图1-1。自然安息角是反映松散矿岩自然堆积特性的一个重要指标，对于确定放矿底部结构尺寸、矿岩运搬、漏斗口装置的参数等有重要意义。一般自由松散状态的矿岩自然安息角为 $30^\circ \sim 45^\circ$ 。

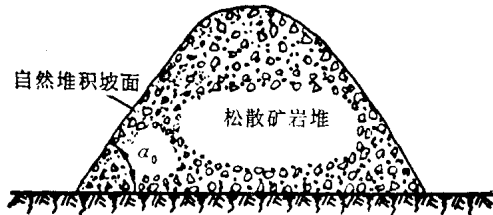


图 1-1 自然安息角

$\alpha_0$ —自然安息角

强度：强度是指矿岩抵抗各种外力破坏的能力。其大小是用矿岩从完整性开始破坏时的极限应力值来表示。一般矿岩的抗压强度介于 $200 \sim 300$ 至 $2000 \sim 3000$ 公斤/厘米<sup>2</sup>，抗拉强度只有抗压强度的 $\frac{1}{10} \sim \frac{1}{50}$ ，抗剪强度只有抗压强度的 $\frac{1}{8} \sim \frac{1}{12}$ ，因此要使岩石破坏，应尽可能使它处于拉伸或剪切状态。

岩石坚固性：人们在长期实践中认识到有些岩石容易破碎，有些岩石难于破碎。难于破碎的岩石，一般也难于凿岩、难于爆

破，其强度、硬度也比较大，概括地说就是比较坚固。因此人们用岩石坚固性这个概念来表征岩石在被破碎时的难易程度。其大小用岩石坚固性系数（硬度系数）来表示。岩石坚固性系数（ $f$ ）最简单的求算法是：

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

式中  $R$ ——为岩石标准试样的单向极限抗压强度值。

常用的普氏岩石分级法就是根据岩石坚固性系数来进行岩石分级的。

稳固性：稳固性是指矿岩在一定暴露面积下和一定时间内不自行垮落的性能。它对选择开采方法和支护方法有很大的关系。通常将矿岩的稳固性分为五级：

（1）极不稳固：没有支架或超前支架的支护，顶板和侧帮都不能有暴露面。

（2）不稳固：允许有不大的暴露面（50米<sup>2</sup>以内），但需随工作面的推进立即支护。

（3）中等稳固：允许有一定的暴露面（50~200米<sup>2</sup>），随工作面的推进可以不立即支护。

（4）稳固：允许有比较大的暴露面（200~800米<sup>2</sup>），一般不用支护，仅极个别地方支护。

（5）极稳固：允许有很大暴露面（800米<sup>2</sup>以上），不支护在相当长时间内不垮落。

## 二、矿体的形状及埋藏要素

### 1. 矿体的形状

矿体形状反映了矿体在空间的外部形态。图 1-2 为常见的几种矿体形状。

金属矿床特别是有色、稀有金属矿床一般都以脉状及透镜状矿体较多，矿体形状比较复杂，埋藏条件及有用成份变化较大，加之成矿后地质构造的破坏和影响，故勘探和开采都比较困难。

### 2. 矿体埋藏要素

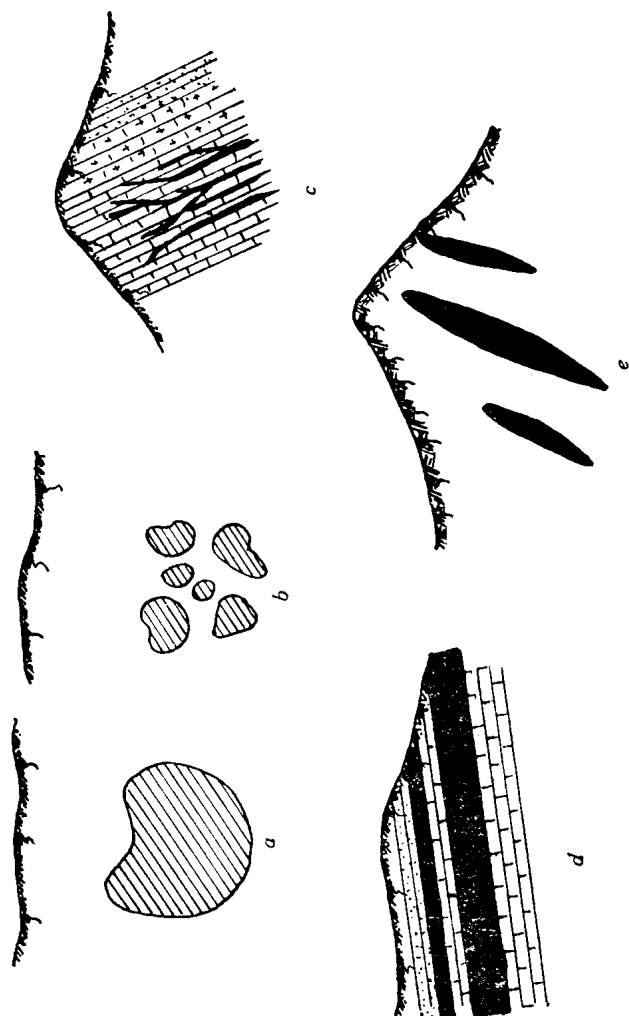


图 1-2 矿体的形状

*a*—瘤状；*b*—巢状；*c*—脉状；*d*—层状；*e*—透镜状

矿体埋藏要素反映了矿体的空间位置及尺寸。主要有走向、倾斜、厚度、延深等。

(1) 走向：走向是矿体在空间的水平延伸方向，用走向线与正北方向的夹角来表示。所谓走向线是指矿体层面与水平面的交线，如图1-3所示。矿体沿走向的长度称为走向长度。

(2) 倾斜：倾斜或倾向是矿体向深部延伸的方向。用倾斜线的水平投影与正北方向的夹角来表示。所谓倾斜线是垂直走向线沿矿体层面下坡所引的直线，如图1-3所示。倾斜线与水平面所成的夹角叫倾角。它实际表明了矿体层面与水平面所夹的角。矿体与下盘围岩接触面的倾角对开采影响较大，所以通常说倾角是指矿体下盘接触面的倾角。

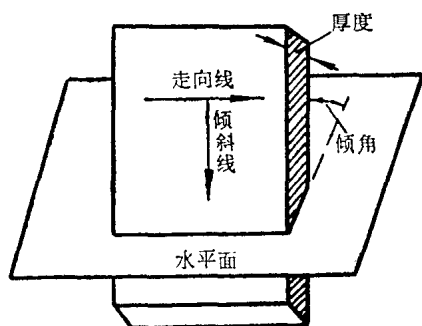


图 1-3 矿体埋藏要素示意图

矿体按倾角可分为：

水平和微倾斜矿体—— $0^{\circ}$ 至 $3^{\circ}$ ；

缓倾斜矿体—— $3^{\circ}$ 至 $30^{\circ}$ ；

倾斜矿体—— $30^{\circ}$ 至 $45^{\circ}$ ~ $55^{\circ}$ ；

急倾斜矿体—— $45^{\circ}$ ~ $55^{\circ}$ 以上。

(3) 厚度：厚度是指矿体的上盘接触面与下盘接触面间的垂直距离或水平距离，分别称为垂直厚度和水平厚度，如图1-4。

矿体按厚度可分为：

极薄矿体——厚度小于 $0.7\sim 0.8$ 米；

薄矿体——厚度为 $0.8\sim 2.0$ 米；

中厚矿体——厚度为 $2.0\sim 5.0$ 米；

厚矿体——厚度为 $5.0$ 至 $15\sim 20$ 米；

极厚矿体——厚度在 $20$ 米以上。

(4) 延深：延深是指矿体在深度上的分布情况，可用埋藏深度和赋存深度来表示。如图1-5所示，埋藏深度是地表至矿体上部界限的深度；赋存深度是矿体上部界限至下部界限的垂直距离或倾斜距离，分别叫垂高和斜高。

必须指出：金属矿床的埋藏要素一般都是变化的，有时在同一区段内变化也很大，因此描述埋藏要素时，应指出平均值、变化范围及规律等。

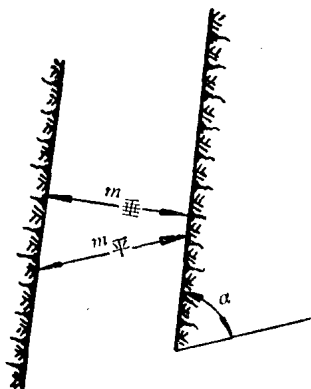


图 1-4 矿体的垂直厚度和水平厚度

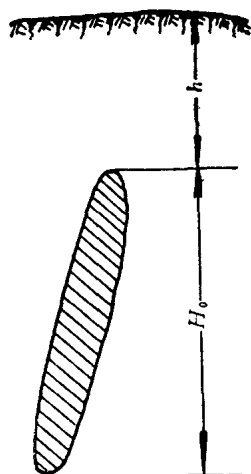


图 1-5 矿体的延深

$h$ —埋藏深度； $H_0$ —赋存深度

### 第三节 找矿和探矿

矿床埋藏在地下，只有找到了矿床并对其工业特性有了比较详细的了解，才能进行矿床开采。因此首先要进行找矿和探矿工作，为矿山设计及开采提供原始资料。

#### 一、找矿

找矿的目的是通过比较普遍的地质调查找到矿床，查明矿床分布和埋藏的大致状况，对矿床作出估计评价、指出最有希望的矿床，为进一步认识矿床提供依据。