

高等学校教学用书

选矿概论

冶金工业出版社

高等学校教学用书

选矿概论

北京钢铁学院 张 强 主编

*

冶金工业出版社出版

(北京市市口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 7 3/4 字数201千字

1984年6月第一版 1984年6月第一次印刷

印数00,001~4,500册

统一书号: 15062·4121 定价1.00元

前 言

本书是根据一九八二年冶金部高等院校教材会议的要求，在一九七八年编写的《选矿概论》初稿基础上重新改写的。

本书介绍了有关矿物、矿石的基本知识；选矿的基本概念、基本原理；主要选矿设备的结构、特点、性能及应用范围等。除着重讲述重、磁、浮、电等选矿基本原理及工艺过程外，还适当地增加了化学选矿；综合利用、选冶联合流程；尾水净化；选矿过程的检测等内容。本教材可满足采矿、冶金等专业的教学需要。对其它专业，可依不同要求，对内容有所增减。

参加《选矿概论》初稿编写的有北京钢铁学院张强（绪论、第一、二、四章）、胡永平（第六、七、八、十一章）、杨忠高（第三章）、吴万印（第九、十章），西安冶金建筑学院王启运（第五章）同志。由张强、胡永平、王启运同志进行了改写。由张强同志任主编。在改写时将选矿工艺实践部分的内容由各有关章节抽出，并按几种主要矿石类型编写成第十二章。本书曾经姚书典、崔林、曾平荣同志审阅，在此谨致谢意。

由于编者的水平所限，书中错误难免，恳请读者批评指正。

编 者

1983年6月

目 录

绪论	1
第一篇 矿石的准备作业	10
第一章 矿石准备作业的基本概念	10
第一节 概述	10
第二节 破碎方法及一般概念	11
第三节 破碎假说简介	13
第二章 破碎筛分	15
第一节 破碎机械	15
第二节 筛分	23
第三节 集尘	30
第三章 磨矿分级	34
第一节 磨矿过程的基本原理	34
第二节 磨矿机械	37
第三节 分级	43
第四节 破碎磨矿流程	46
第五节 磨矿分级机组的工艺指标及操作因素	51
第二篇 选别作业	57
第四章 重选	57
第一节 概述	57
第二节 重选的基本原理	58
第三节 水力分级和洗矿	63
第四节 跳汰选矿	70
第五节 溜槽选矿	80
第六节 摇床选矿	91
第七节 重介质选矿	99
第五章 浮选	107
第一节 概述	107
第二节 浮选基本原理	109

第三节	浮选药剂	117
第四节	浮选机械	129
第五节	影响浮选过程的因素	139
第六节	浮选流程及结构	142
第六章	磁选	147
第一节	磁选的基本原理	147
第二节	矿物磁性	151
第三节	磁选设备	154
第七章	电选	165
第一节	电选的基本原理	165
第二节	矿物的电性	167
第三节	电选机	170
第四节	影响电选效果的因素	173
第八章	化学选矿及其它选矿方法	175
第一节	化学选矿	175
第二节	其它选矿方法	183
第三篇	精、尾矿处理	187
第九章	精矿脱水	187
第一节	概述	187
第二节	沉淀、浓缩	189
第三节	过滤	193
第四节	干燥	200
第十章	尾矿处理	204
第一节	尾矿的贮存与输送	204
第二节	尾矿水的净化与回水再用	207
第四篇	选矿过程的取样检查与选厂金属平衡	210
第十一章	选矿过程的取样检查与选厂金属平衡	210
第一节	选矿过程的取样检查	210
第二节	选矿工艺过程的可检参数	213
第三节	选矿厂的金属平衡	215
第五篇	选矿工艺流程实例	220
第十二章	选矿工艺流程实例	220

第一节	多金属硫化矿石的选矿流程实例.....	220
第二节	稀有金属矿石的选矿流程实例.....	223
第三节	铁矿石的选矿流程实例.....	229
第四节	矿物的综合回收——联合流程实例.....	233

绪 论

选矿是利用矿物的物理或物理化学性质的差异，借助各种选矿设备将矿石中的有用矿物和脉石矿物分离，并达到使有用矿物相对富集的过程。选矿学是研究矿物分选的学问，是一门分离、富集、综合利用矿产资源的技术科学。

一、矿物、矿石的概述

矿物是在地壳中由于自然的物理化学作用或生物作用，所生成的自然元素（如金、石墨、硫黄）和自然化合物（如磁铁矿、黄铜矿、石英），其成分比较均一。在自然界，除少数矿物为液体（如汞）外，多为固体。固体矿物都具有一定的晶体结构和物理化学性质。例如磁铁矿呈黑色，结晶为八面体，比重 $4.6\sim 5.2$ ，强磁性，化学成分为 Fe_3O_4 等。从而为识别、选分和利用这些矿物提供了依据。

直接与选矿有关的矿物性质主要有比重（或密度）、导电性、磁性、润湿性等。

比重是矿物重量与 4°C 时同体积水的重量之比。密度是指单位体积矿物的质量。它们都是重选的依据。

导电性是指矿物的导电能力。一般有良导体、半导体和非导体之分。它是电选的依据。

矿物的磁性是它被磁铁吸引或排斥的性质。一般矿物可分为强磁性矿物（如磁铁矿等）、弱磁性矿物（如赤铁矿等）和非磁性矿物（如金刚石、赤铜矿等）。矿物磁性是磁选的依据。

润湿性是指矿物能被水润湿的性质。易被水润湿的矿物称为亲水性矿物（如石英、方解石）。反之，称为疏水性矿物（如辉钼矿、石墨）。矿物的自然润湿性主要取决于矿物的结晶构造。不同润湿性的矿物具有不同的可浮性，因此，它是浮选的依据。

选矿实践中，往往还采取人为的方法来扩大矿物物理化学性

质的差异，以提高分选效率。如用磁化焙烧的方法改变矿物磁性；用酸和盐类处理矿物表面，选择性地改变矿物的导电率；用各种浮选药剂改变矿物的自然润湿性等。近年来，已开始重视改变矿物表面特性以改善细粒矿物的重选效果。

除上述外，矿物的形状、粒度、颜色、光泽等也往往是某些特殊选矿方法的依据。

矿物在地壳中分布不均，但在地质作用下，可以形成相对富集的矿物集合体。在现代技术经济条件下，可以开采、加工、利用的矿物集合体，叫做矿石；否则，称为岩石。地壳中具有开采价值的矿石积聚区，通常称为矿床。

矿石由有用矿物和脉石矿物所组成。能为国民经济利用的矿物，即选矿所要选出的目的矿物，叫做有用矿物；目前国民经济尚不能利用的矿物，叫做脉石矿物。

矿石和岩石的概念及其划分，需从技术、经济诸方面综合衡量。随着国民经济需要的增长和科学技术的发展，更多的岩石可能升格为矿石。目前我国，矿物集合体中含铁量达到20%以上，就可作为铁矿石；含铁量小于20%，就被划为岩石。对地下开采的单一铜矿，若矿物集合体中含铜0.5%以上时，就可作为矿石；含铜小于0.5%，则被划为岩石。

同样，脉石矿物有无经济价值也是相对的，它也随技术条件及场合的变化而变化。例如，一般矿石中的黄铁矿往往作为伴生矿物而抛弃，但若黄铁矿含量较高时，也可选矿回收用以提硫。有时，黄铁矿和磁黄铁矿中以类质同象的形式含有可以综合利用的钴、镍，也要单独回收黄铁矿，以提取钴、镍。

矿石的性质包括矿石的化学成分、矿物组成、结构构造（如颗粒和集合体的大小、形状、分布以及颗粒间的连晶等等）、矿石中金属元素的赋存状态、矿石的物理化学性质等。它们都与选矿密切相关。例如，根据矿石的化学成分及矿物组成，可以确定应该回收哪些有用成分（矿物及元素），应该去除哪些有害杂质（矿物及元素）；根据矿石的结构构造及有用成分的赋存状态，

可以判定磨矿的单体解离粒度，矿石的可选性以及综合利用有用成分的可能性；根据矿石的物理化学性质，可以初步分析宜采用哪些选矿方法，选择最有效的选矿流程以及了解可能影响选别过程的因素等等。总之，矿石的性质是选矿的重要依据。

矿石的种类很多。按所含元素的性质可分为金属矿石和非金属矿石。按所含金属的种类可以分为单金属矿石（即其中含有一种有价金属），如单一铜矿石或铁矿石；多金属复合矿石（即其中含有两种以上可回收的金属），如铜铅锌矿石，铜钼铁矿石等。按有价成分存在形态是单质、硫化物或氧化物，可分为自然矿石；如含金、铜等自然元素的矿石；硫化矿石，如有用矿物为黄铜矿（ CuFeS_2 ）、方铅矿（ PbS ）、闪锌矿（ ZnS ）等硫化物的矿石；氧化矿石，如有用矿物为磁铁矿（ Fe_3O_4 ）、赤铁矿（ Fe_2O_3 ）等氧化物的矿石；混合矿石，即既含硫化矿物又含氧化矿物的矿石。按矿石中有价成分的含量，矿石还可分为贫矿和富矿，如磁铁矿矿石，含铁大于45%者为富矿，含铁小于45%者为贫矿。按矿物的嵌布特性，矿石还可分为细粒嵌布和粗粒嵌布、均匀嵌布和不均匀嵌布。

一般选别单一矿石、硫化矿石、粗粒嵌布矿石要比选别多金属复合矿石、氧化矿石、细粒嵌布矿石简单一些。

二、选矿的任务及其在国民经济中的地位作用

自然界蕴藏着极为丰富的矿产资源。但是，除少数富矿外，一般品位（即矿石中有价成分含量的百分数）都较低。这些矿石直接冶炼，技术困难，亦不经济。因此，冶金对矿石的品位有一定要求。如，铁矿石中铁的品位最低不得低于45~50%；铜矿石中铜的品位最低不得低于3~5%。为此，对低品位的贫矿石，必须在冶炼前进行选矿。其次，矿石中往往都含有多种有用成分，必须事先用选矿方法将它们分离成单独的精矿才能进一步被利用。此外，矿石中除了有用成分外，往往含有有害杂质，如铁矿石中有害杂质为硫、磷等。这些有害杂质必须在冶炼前尽可能用选矿方法除去，否则将会使冶炼过程复杂化和影响冶炼产品的质

量。

因此，将矿石中的有用矿物和脉石矿物相互分离，除去有害杂质，充分而经济合理的利用国家矿产资源，是选矿的主要任务。

选矿在国民经济中占有重要的地位。

冶金工业的高速度发展，要求大大提高采矿效率。采取经济有效的选矿方法，剔除采矿过程中贫化混入的围岩，恢复矿石地质品位，富集有用矿物，才使露天开采、深孔爆破等高效采矿方法的采用成为可能。

选矿对发展冶金工业所起作用很大。目前世界各国开采的矿石大部分需要经过选矿。以铁矿石为例，除南非、澳大利亚等国铁矿较富而很少经选矿外，其它如美、苏、加、英、法等国90%以上的铁矿石都要经过选矿。我国铁矿石储量很大，其中贫弱磁性铁矿石占铁矿石总储量的60%以上。加上需去杂的富矿，入选铁矿石量几乎占铁矿石总量的80%。因此，经济有效地选别难选贫弱磁性铁矿石，已成为我国发展钢铁工业的一项重要任务。

实践表明，为冶炼提供“精料”，可以大大提高冶炼的技术经济指标。如某冶炼厂将铜精矿品位提高1%，每年可多生产粗铜3135吨，节约116万元。某钢铁公司将铁精矿品位提高1%，高炉产量提高3%，焦比降低18公斤/吨铁，节约石灰石4~5%，减少炉渣量1.8~2%，每年运输量减少48万吨。目前，我国已要求磁铁精矿品位达到65%以上。如果铁精矿品位达到68%以上，还可采用直接炼钢工艺，大大简化冶炼流程。

物尽其用、变废为宝、综合回收、节约资源是时代的要求。对此，选矿技术大有可为。例如，某矿用螺旋选矿机选别常年积存的磁选尾矿，每年可以经济地为国家多生产十万吨铁精矿。又如，炼铜炉渣中往往含有较高的铜，某冶炼厂采用选矿方法处理，使炼铜炉渣中94%左右的铜金属得到回收。如果全国的炼铜炉渣都得到处理，那么不仅节约大量资源，而且将为国家创造出十分可观的财富。选矿技术用于处理电解阳极泥、金属垃圾等都

扩大了资源充分利用的领域。近年来，离子浮选、细菌选矿、高梯度磁选、磁流体静力分选等技术的发展，对低含量元素的回收以及工业“三废”处理、环境保护方面，开辟了新的途径。

四个现代化的宏伟目标对选矿技术的发展提出了更高的要求。高效选矿设备的研制和推广；各种联合流程（如各种选矿方法的联合、选冶的联合等）在处理细粒难选矿石、综合利用及环境保护方面应用的发展；各种能场及新技术（如热、电、超导、微波、超声波、紫外线、激光等）在选矿上的应用；现代化检测技术的应用及选矿工艺过程最佳化的实现等等，都是我国选矿工作者所面临的重要任务。

三、选矿的基本内容和选矿厂的生产流程

选矿过程是由选前的矿石准备作业、选别作业、选后的脱水作业所组成的连续生产过程。

1. 选前的准备作业

为了从矿石中选出有用矿物，首先必须将矿石粉碎，使其中的有用矿物和脉石达到单体解离。有时为了达到后继作业对物料粒度的特殊要求，也需在中间加入一定的粉碎作业。选前的准备工作通常由破碎筛分作业和磨矿分级作业两个阶段进行。破碎机和筛分机多为联合作业，磨矿机与分级机常组成闭路循环。它们分别是组成破碎车间和磨选车间的主要机械设备。

2. 选别作业

选别作业是将已经单体解离的矿石，采用适当的手段，使有用矿物和脉石分选的工序。最常用的分选方法有：

1) 浮游选矿法（简称浮选法） 浮选是根据矿物表面的润湿性的不同，添加适当药剂，在浮选机中分选矿物的方法。它应用广泛，可用来处理绝大多数矿石。

2) 磁选法 磁选是根据矿物磁性的不同，在磁选机中进行分选的方法。主要用来处理黑色金属矿石和稀有金属矿石。

3) 重力选矿法（简称重选法） 重选是根据比重（或密度）不同的矿物在介质（水、空气或重介质）中运动速度和运动

轨迹的不同，而达到分选的方法。它广泛用来选别钨、锡、金和铁、锰等矿石。其它有色金属、稀有金属和非金属矿石也常用重选法。重选是在各种类型的重选设备中进行的。

另外，还有根据矿物的导电性、摩擦系数、颜色和光泽等不同而进行选矿的方法，如电选法、摩擦选矿法、光电选矿法和手选法等。

在选矿厂中，磨矿分级作业和选别作业通常构成磨选车间。

3. 选后的脱水作业

绝大多数的选矿产品都含有大量的水分，这对于运输和冶炼加工都很不利。因此，在冶炼以前，需要脱除选矿产品中的水分。脱水作业常常按下面几个阶段进行：

1) 浓缩 浓缩是在重力或离心力的作用下，使选矿产品中的固体颗粒发生沉淀，从而脱去部分水分的作业。浓缩通常在浓缩机中进行。

2) 过滤 过滤是使矿浆通过一透水而不透固体颗粒的间隔层，达到固液分离的作业。过滤是浓缩以后的进一步脱水作业，一般在过滤机上进行。

3) 干燥 干燥是脱水过程的最后阶段。它是根据加热蒸发的原理减少产品中水分的作业。但只有在脱水后的精矿还需要进行干燥时才用。干燥作业一般在干燥机中进行，也有采用其它干燥装置的。

由浓缩、过滤、干燥等工序构成的辅助车间称为脱水车间。

矿石经过选矿后，可得到精矿、中矿和尾矿三种产品。分选所得有用矿物含量较高、适合于冶炼加工的最终产品，叫做精矿。选别过程中得到的中间的、尚需进一步处理的产品，叫做中矿。选别后，其中有用矿物含量很低、不需进一步处理（或技术经济上不适于进一步处理）的产品，叫做尾矿。

表示矿石连续加工的工艺过程，称为流程。用线和图表示流程时，叫工艺流程图。只表示流程的“骨干”，而不记载流程细节者，称为原则流程图(图0-1)。若用主要设备和辅助设备表示的

流程图，称为机械流程图或机械连系图（图0-2）。

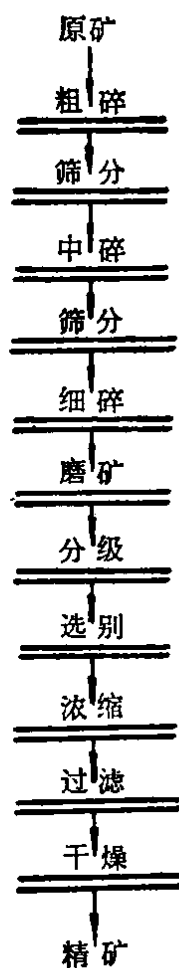


图 0-1 选矿作业的原则流程

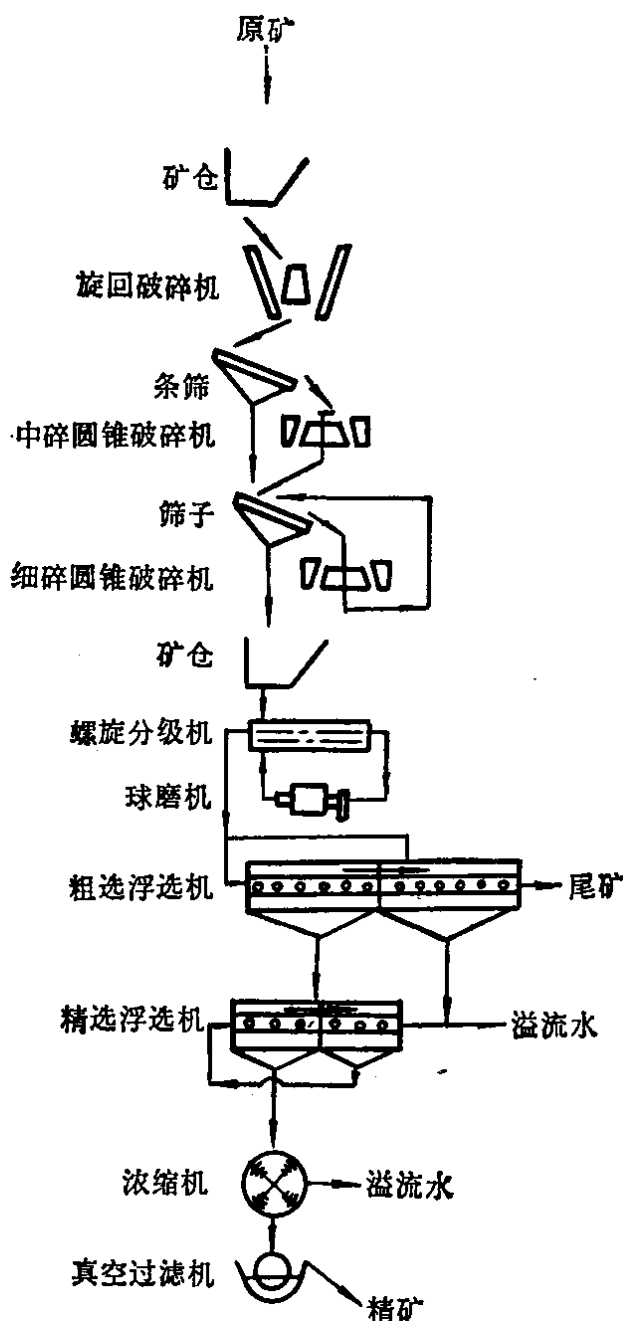


图 0-2 机械流程图

四、选矿的工艺指标

1. 品位 品位是指产品中金属或有价成分的重量对于该产品重量之比，常用百分数表示。例如，铜精矿品位为15%，即一

百吨干精矿中含有十五吨金属铜。

品位是评定产品质量的指标之一。通常用 α 表示原矿品位； β 表示精矿品位； δ 表示尾矿品位。

2. 产率 产品重量对于原矿重量之比，叫该产品的产率，以 γ 表示。例如，选矿厂每昼夜处理原矿石重量 ($Q_{\text{原矿}}$) 为五百吨，获得精矿重量 ($Q_{\text{精矿}}$) 为三十吨，则精矿产率 ($\gamma_{\text{精矿}}$) 为

$$\gamma_{\text{精矿}} = \frac{Q_{\text{精矿}}}{Q_{\text{原矿}}} \times 100\% = \frac{30}{500} \times 100\% = 6\%;$$

尾矿产率 ($\gamma_{\text{尾矿}}$) 为

$$\gamma_{\text{尾矿}} = \frac{Q_{\text{原矿}} - Q_{\text{精矿}}}{Q_{\text{原矿}}} \times 100\% = \frac{500 - 30}{500} \times 100\% = 94\%;$$

或 $\gamma_{\text{尾矿}} = 100\% - \gamma_{\text{精矿}} = 100\% - 6\% = 94\%$ 。

3. 选矿比 选矿比即原矿重量对于精矿重量之比值。用它来决定获得一吨精矿所需处理原矿石的吨数。以上例数值为例，则

$$\text{选矿比} = \frac{Q_{\text{原矿}}}{Q_{\text{精矿}}} = \frac{500}{30} = 16.7$$

4. 富矿比 富矿比或称富集比，即精矿中 useful 成分含量的百分数 (β) 和原矿中该有用成分含量的百分数 (α) 之比值，常以 i 表示。它表示精矿中 useful 成分的含量比原矿中该有用成分含量增加的倍数。如上例中，原矿中铜的品位为 1%，精矿中铜的品位为 15%，则其富矿比为 $i = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{15\%}{1\%} = 15$ 。

5. 回收率 精矿中金属的重量与原矿中该金属的重量之比的百分数，称为回收率，常用 ε 表示。回收率可用下式计算

$$\varepsilon = \frac{\gamma\beta}{100\alpha} \times 100\%$$

式中 ε —— 回收率，%；
 α —— 原矿品位，%；
 β —— 精矿品位，%；

γ ——精矿产率，%。

金属回收率是评定分选过程（或作业）效率的一个重要指标。回收率越高，表示选矿过程（或作业）回收的金属越多。所以，选别过程中应在保证精矿质量的前提下，力求提高金属回收率。

第一篇 矿石的准备作业

第一章 矿石准备作业的基本概念

第一节 概 述

矿石准备作业一般指选别前矿石的粉碎作业。通常包括破碎、筛分和磨矿分级。有时，还可包含洗矿、预选等作业。它是将矿石通过破碎（或磨矿）等主要手段，使有用矿物与脉石矿物单体解离，达到入选粒度要求的过程。在选别过程中，为满足下一个选别作业粒度的要求，还可在中间加入一定的粉碎作业。

选别过程所要求的粒度取决于矿石中有用矿物与脉石矿物的嵌布粒度。嵌布粒度越细，要求将矿石粉碎得越细。但合理的破碎粒度必须经过技术、经济全面比较确定。根据目前选矿厂常用粉碎设备的技术性能，欲将采出的矿石（井下开采达300~600毫米，露天开采达1000~1500毫米）粉碎到单体解离，一般不能一次完成，而需连续几次粉碎。通常将最终粉碎产品粒度为5毫米以上的粉碎过程，称为破碎；取得更细产品粒度的粉碎过程，称为磨矿。当然，它们的划分是相对的。

破碎和磨矿过程在选矿厂占有重要地位。矿石经粉碎后，有用矿物与脉石矿物的单体解离程度直接影响分选指标。选矿厂的破碎和磨矿设备基建费几乎占全厂总基建费的一半以上，其生产费用亦约占选厂总成本的30~50%。因此，确定合理的粉碎粒度和工艺流程，合理选择、使用、维护破碎和磨矿设备，对于提高生产能力，减少基建投资，节约能耗，降低选矿成本和改善选矿指标，具有重要作用。

矿石粉碎过程中所表现出来抵抗外力的强度大小，称为矿石

粉碎的难易程度。它是衡量矿石可碎性或可磨性的标准。它主要取决于矿石的结构特性和矿物的结晶形态。矿物晶格间的作用力越大，硬度就越大，也就难碎。矿石或矿物的结构具有某些缺陷、裂隙时，往往首先易在该部位破裂。

影响矿石破碎难易程度的最主要因素是矿石的硬度。它是指矿石抵抗其它物质压入或刻划的能力。选矿上常用矿石的极限抗压强度 $\sigma_{\text{压}}$ 或者普氏硬度系数 $f\left(=\frac{\sigma_{\text{压}}}{100}\right)$ 来表示。工业中常用的矿石硬度和可碎性系数及可磨性系数如表1-1所示。

矿石硬度和可碎性、可磨性系数

表 1-1

硬度等级	$\sigma_{\text{压}}$	普氏硬度系数 f	可碎性系数	可磨性系数	实 例
很 软	<200	<2	1.30~1.40	1.40~2.00	石膏、无烟煤
软	200~400	2~4	1.15~1.25	1.25~1.50	页岩、泥灰岩
中等硬度	400~800	4~8	1.00	1.00	硫化矿
硬	800~1000	8~10	0.80~0.90	0.75~0.85	一般铁矿
很 硬	>1000	>10	0.65~0.75	0.50~0.70	玄武岩、含铁石英岩

第二节 破碎方法及一般概念

一、矿石的破碎方法

目前选矿工业主要是利用机械力破碎矿石。常用的破碎方法有压碎（图1-1 a）；劈碎（图1-1 b）；折断（图1-1 c）；磨碎（图1-1 d）；击碎（图1-1 e）。

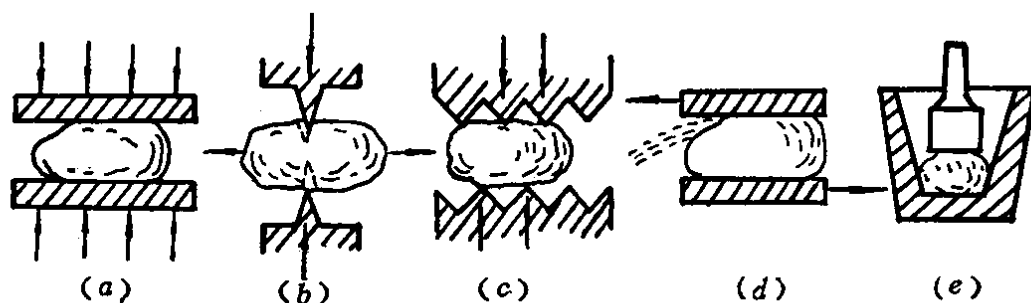


图 1-1 常用的破碎方法

(a) 压碎； (b) 劈碎； (c) 折断； (d) 磨碎； (e) 击碎