

高等学校教学 书

普通冶金学

东北工学院
中南矿冶学院合编
西安冶金学院



中国工业出版社

高等学校教学用书



普通冶金学

东北工学院
中南矿冶学院 合編
西安冶金学院

中国工业出版社

本书简明地阐述了黑色及有色金属的提炼原理、一般设备和工艺过程，可供高等工业学校冶金系统非冶炼各专业普通冶金课程教学之用。在讲授时，可根据专业不同，对内容作适当精简。

本书内容包括：绪论、第一篇选矿，第二篇生铁冶金，第三篇钢冶金，第四篇有色重金属（铜、铅、锌）冶金，第五篇有色轻金属（铝、镁）冶金，以及第六篇稀有金属冶金。

本书由东北工学院、中南矿冶学院和西安冶金学院部分教师组成的编写小组根据教学经验和各种文献（主要的有东北工学院、中南矿冶学院及北京钢铁学院的普通冶金学讲义，西安冶金学院的普通冶金学讲义炼铁部分，谢夫留科夫等著冶金原理等书，编写而成；经东北工学院及中南矿冶学院部分教师审阅后，集体讨论定稿。

普通冶金学

东北工学院等合编

中国工业出版社出版（北京佟麟阁路丙10号）

（北京市书刊出版事业许可证出字第110号）

中国工业出版社第三印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行·各地新华书店经售

开本 $787 \times 1092\frac{1}{16}$ ·印张 $17\frac{3}{4}$ ·字数408,000

1961年8月北京第一版·1961年8月北京第一次印刷

印数0001—2,537·定价（10—6）2.10元

统一书号：15165.609（冶金—176）

目 录

緒論.....	7
§ 1 冶金的概念.....	7
§ 2 冶金方法的分类.....	7
§ 3 冶金过程简介.....	8

第一篇 选 矿

第一章 矿石及其破碎.....	12
§ 1 矿石的概念和选矿的任务.....	12
§ 2 破碎.....	12
§ 3 筛分.....	15
§ 4 分级.....	15
§ 5 破碎、磨细和分级的一般流程.....	16
第二章 选矿方法.....	16
§ 1 选分.....	16
§ 2 重力选矿法.....	17
§ 3 电磁选矿法.....	18
§ 4 浮游选矿法.....	19
§ 5 精矿的脱水.....	21

第二篇 生铁冶金

第一章 炼铁原料及其处理.....	24
§ 1 铁矿石.....	24
§ 2 锰矿石.....	26
§ 3 熔剂.....	27
§ 4 铁矿石的代用物.....	27
§ 5 冶炼前铁矿石的处理.....	28
§ 6 高炉燃料.....	30
第二章 高炉构造及附属设备.....	32
§ 1 高炉车间的原料供应和平面布置.....	32
§ 2 高炉炉体构造.....	35
§ 3 热风炉和风的供应.....	40
§ 4 高炉煤气的除尘.....	42
§ 5 渣铁处理设备.....	45
第三章 高炉冶炼原理.....	46
§ 1 概述.....	46
§ 2 炉料受加热作用而产生的变化.....	46
§ 3 还原反应.....	48
§ 4 渗碳.....	54
§ 5 造渣.....	55
§ 6 脱硫.....	57
§ 7 炉缸内的燃烧过程.....	58

§ 8 炉料和煤气的运动与分布	59
§ 9 高炉冶炼中的几种特殊送风方法	62
§ 10 简易配料计算举例	63
§ 11 高炉物质平衡与热平衡的概念	64
第四章 高炉操作	66
§ 1 开炉, 检修, 停炉	66
§ 2 炉前操作	67
§ 3 炉况的掌握与调节	67
§ 4 高炉的故障与事故	69
第五章 高炉冶炼产品及技术经济指标	71
§ 1 高炉冶炼产品	71
§ 2 高炉冶炼的技术经济指标	73

第三篇 鋼 冶 金

第一章 概 述	76
§ 1 鋼的化学成分、性能、编号	76
§ 2 炼鋼的任务	78
§ 3 炼鋼方法发展过程的概略	79
第二章 轉炉炼鋼法	80
§ 1 轉炉炼鋼法的起源与发展	80
§ 2 轉炉中杂质氧化的次序	81
§ 3 底吹轉炉炼鋼法	81
§ 4 側吹轉炉炼鋼法	83
§ 5 純氧頂吹轉炉	92
第三章 平炉炼鋼法	93
§ 1 平炉炼鋼法的簡史及其特点	93
§ 2 平炉热工工作要点	94
§ 3 平炉的分类及平炉炼鋼法的分类	95
§ 4 平炉燃料	96
§ 5 平炉用的耐火材料	96
§ 6 平炉构造	103
§ 7 平炉热工	104
§ 8 平炉熔炼的一般原理	109
§ 9 平炉生产的原料	111
§ 10 碱性平炉炼鋼法的操作	114
§ 11 酸性平炉炼鋼法	116
第四章 轉炉及平炉炼鋼車間和技术经济指标	116
§ 1 轉炉及平炉炼鋼車間	120
§ 2 轉炉及平炉的技术经济指标	121
第五章 黑色电冶金	121
§ 1 电冶金的发展	122
§ 2 冶炼金屬的电弧炉	122

§ 3 炼钢电弧炉的构造	122
§ 4 碱性电弧炉熔炼	125
§ 5 不氧化法和复合炼钢法	131
§ 6 酸性电弧炉炼钢法	132
§ 7 感应电炉	132
§ 8 真空熔炼及真空处理	135
§ 9 铁合金的生产	138
第六章 铸 锭	140
§ 1 铸锭设备及其浇注前的准备	140
§ 2 浇注温度与浇注速度	145
§ 3 镇静钢的浇注	145
§ 4 沸腾钢的浇注	146
§ 5 小钢锭的浇注	146
§ 6 钢锭的脱模和冷却	147
§ 7 镇静钢钢锭结构及其缺陷	147
§ 8 沸腾钢钢锭结构及其缺陷	149
§ 9 钢锭中的偏析现象	150
§ 10 连续注锭	151

第四篇 有色重金属冶金

第一章 有色重金属的性质及应用	153
第二章 铜 冶 金	155
§ 1 原料与生产方法	155
§ 2 硫化铜精矿的焙烧	157
§ 3 冰铜的熔炼	165
§ 4 冰铜的吹炼	177
§ 5 从废件中提炼铜	181
§ 6 铜的精炼	182
§ 7 湿法治铜	188
第三章 铅 冶 金	192
§ 1 原料与生产方法	192
§ 2 铅精矿的烧结焙烧	195
§ 3 粗铅的熔炼	198
§ 4 粗铅的精炼	204
第四章 锌 冶 金	212
§ 1 原料与生产方法	212
§ 2 湿法炼锌	213
§ 3 火法炼锌	229
§ 4 粗锌的精炼	236

第五篇 轻金属冶金

第一章 轻金属概述	240
§ 1 轻金属及其合金的性质与用途	240

§ 2 我国輕金属冶金工业的概况.....	241
第二章 鋁 冶 金	242
§ 1 現代炼鋁方法及鋁的資源.....	242
§ 2 氧化鋁及其生产.....	243
§ 3 电解制鋁.....	250
§ 4 热法制取鋁合金.....	259
§ 5 鋁的精炼.....	261
第三章 鎂 冶 金	263
§ 1 炼鎂方法和鎂的資源.....	263
§ 2 无水氯化鎂的生产.....	264
§ 3 电解制鎂.....	266
§ 4 热法制取鎂的概念.....	271
第六篇 稀有金属冶金	
第一章 稀有金属冶金概述	273
§ 1 稀有金属在国民經济中的意义.....	273
§ 2 稀有金属的概念及其分类.....	273
§ 3 稀有金属冶金工艺的特点.....	274
第二章 鎢 冶 金	275
§ 1 鎢的性质及用途.....	275
§ 2 鎢原料概述.....	275
§ 3 鎢精矿的处理方法.....	276
§ 4 金属鎢的生产.....	279
第三章 鉬 冶 金	281
§ 1 鉬的性质及用途.....	281
§ 2 鉬原料概述.....	281
§ 3 鉬精矿的处理方法.....	281

緒 論

§1 冶金的概念

冶金是一門研究如何經濟地从矿石或其他原料中提取金属，并使之經過加工处理适于人类应用的科学。

它包括化学冶金和物理冶金两部分。前者称为冶金学，其任务是研究如何从原料中提取金属；后者称为金属学，其任务主要是研究金属及合金的組織与性能，以便进一步将金属加工处理以适应各工业部門的需要。目前由各种废金属炼得的再生金属，也是很重要的。

各种冶金过程系应用各种化学方法或物理化学方法使原料中的主要金属与其他金属或非金属的元素化合物分开，以获得純度較高的金属。这种提取与提純金属的方法都是以物理化学为理論基础。但是，冶金是一門复杂的科学，所涉及的科学技术范围很广，一般說来，它与物理、化学、物理化学，化工、机械、热工、电工等均有着密切的联系。

現在，已发现的元素有102种，其中80种是金属元素。在这些金属中，习惯上把鉄、錳、鉻三种称为黑色金属；另外，碲、鉍、釷 (Te, Pb, Fr) 和十种超铀元素 (共十三种) 属于人造放射性金属元素；其余64种都列为有色金属。按照它們的性质、用途及其在地壳中的儲量等的不同，往往又将64种有色金属进行下列分类：

有色重金属：銅、鋁、鈷、鉛、鋅、鎳、錫、鎘、汞、鉍等。

贵金属：金、銀、鉑、鈳、銻、鐵、鉍、鉀等。

輕金属：鋁、鎂、鈣、鋰、鈹等。

稀有金属：鈾、鈾、鈾、鎳等。

放射性金属：鐳、鈾、鈾等。

冶金工业通常分为黑色冶金工业和有色冶金工业。前者包括鉄、生鉄、鋼和鉄合金 (如鉻鉄、錳鉄等) 的生产；后者包括其余所有各种金属的生产。

§2 冶金方法的分类

冶金方法是使矿石或精矿中的金属与脉石分开，并破坏金属化合物的鍵以游离金属且使之純化到工业品位的方法。由于冶金原料的不同，因而冶炼方法有很大的差異。尽管如此，近代科学技术的进步，使得各种冶金方法也日臻完善。根据各种方法的特点可分为以下三类：

1. **火法冶金** 是在高温的条件下，矿石或精矿經受一系列的物理化学变化，使其中的金属与脉石及其它杂质分开，从而得到較純的金属的方法。这一方法达到高温所需的热能，通常是依赖于燃料燃烧来供給的，在个别的情况下，也有依靠某些化学反应所放出的热能来供給。火法冶金包括干燥、焙解、焙烧、熔炼、蒸馏等过程。

2. **湿法冶金** 是在低温下 (一般低于100°C) 用溶剂处理矿石或精矿，使欲提取的金属溶解进入溶液，然后从溶液中将金属提取出来的方法。所用的溶剂应尽可能与有用矿物作用，而不使脉石或其它杂质溶解，只有这样才能达到使金属与脉石分开的目的。湿

法冶金包括浸出、净化和置换沉积或电积等三大过程。有时矿石或精矿在浸出前还要经过某些预先处理过程（如烧结、焙烧等）。

3. **电冶金** 简单说来是利用电能提取金属的方法。根据利用电能性质不同，电冶金又分为下列两类：

1) **电热冶金** 即是利用电能转变为热能进行冶炼。在电热冶金的过程中，按其物理化学变化的实质来说，与火法冶金过程差别不大。两者主要的区别，是冶炼时热能来源不同。

2) **电化冶金**（电解和电积）是利用电化学反应使金属从含金属盐类的水溶液或熔体中析出。前者称为水溶液电解（如铜的电解精炼和锌的电积），可列入湿法冶金一类；后者称为熔盐电解，不仅利用电能的化学效应，同时也利用电能转变为热能，借以加热金属盐类，使成熔体，故也可列入火法冶金一类。

§3 冶金过程简介

在生产实践中，各种冶金方法往往包括若干个冶金过程，兹简单介绍如下：

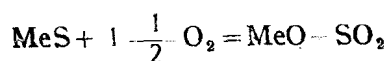
1. **选矿** 是用物理方法使脉石和有用矿物分开，以提高矿石中金属含量的方法。它是冶炼的准备过程。由于富矿不多，须大量利用贫矿，其重要性是很明显的。

2. **干燥** 目的在于除去原料中的水分。原料中含水分过多是不允许的。比如，对火法冶金说来，潮湿的原料入炉后，在高温下水分的蒸发需消耗大量的热，相应地消耗更多的燃料，否则会导致炉温下降，作业时间的延长，甚至影响产品的质量。此外，过多的水分将会产生大量的水汽而影响炉气的成分，影响冶炼过程的正常进行，同时大量的炉气的产生，必然要求增大处理炉气的设备。如在寒冷地区，冬季湿矿冻结，以致运输困难。所以潮湿原料应该干燥。

3. **焙解** 目的在于分解水化物（或氢氧化物）、碳酸盐以除去其中的水分、二氧化碳及有机物等等。这一过程系将矿石（如锰矿）或某些中间产物（如钨酸、氢氧化铝等）在200℃以上的温度处理。

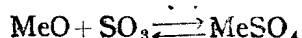
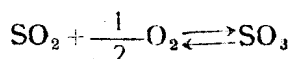
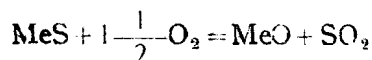
4. **焙烧** 是将矿石或精矿在适当的气氛下，加热到低于它们熔点而不出现熔化状态的温度，使其中某些组成成分起化学变化的过程。这一过程包括将矿石或精矿中的杂质驱除到气相中或根据下一步处理的要求改变物料的化学成分。按照过程中主要化学反应的性质的不同，焙烧分为以下四种：氧化焙烧、还原焙烧、硫酸化焙烧及氯化焙烧等。

氧化焙烧 冶金工业上常采用此种方法处理硫化矿。其实质是使矿石或精矿中的金属硫化物与空气中的氧起作用，使一部分或全部金属硫化物转变为金属氧化物的过程。使硫化物全部变为氧化物的氧化焙烧又称为“死烧”（如火法炼锌）。焙烧并能除去矿石或精矿中的大部分砷、锑、硫等有害杂质。氧化焙烧时的主要反应可以下式代表：



式中MeS表示金属硫化物。

硫酸化焙烧 这种焙烧是将矿石或精矿中被提取的金属硫化物部分或全部转变为可溶性硫酸盐的过程。这种焙烧多用于湿法冶金，如湿法提锌及铜。其反应可用下列方程式表示：



氯化焙烧 是将矿石或精矿与氯化剂(NaCl 、 CaCl_2 、 HCl 、 Cl_2 等)混合经过焙烧转变成可溶性氯化物的过程,此过程多用于稀有金属冶金中。例如生产金属钛的四氯化钛,是二氧化钛受氯化剂作用时(通常有碳存在)生成的: $\text{TiO}_2 + 2\text{CaCl}_2 = \text{TiCl}_4 + 2\text{CaO}$ 。

还原焙烧 是将矿石或精矿与还原剂(如碳质或气体还原剂)混合进行焙烧,使其中金属氧化物还原成低价氧化物或经还原得到金属的过程。例如铁矿石中的 Fe_2O_3 ,为了便于磁选,将这种矿石经过还原焙烧后,使其变成有磁性的 Fe_3O_4 ,故此种焙烧又称为磁化焙烧: $3\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CO} = 2\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO}_2$ 。

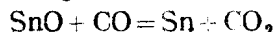
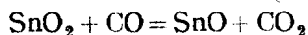
5. **烧结** 这种焙烧是将粉矿或精矿加热焙烧,并烧结成多孔的块状物料的过程。烧结焙烧与上述各种焙烧的区别在于烧结焙烧过程中,不仅矿石或精矿中有用矿物发生化学变化(如硫化物变为氧化物),而且其中的 SiO_2 (脉石成分之一)也为某些金属氧化物化合成熔点较低的矽酸盐,这些矽酸盐在烧结温度下,熔化成液相,它使矿粉粘结成块状物料,称为烧结块。例如,铁矿烧结时产生 $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ 使矿粉结块。

6. **熔炼** 熔炼是将矿石、精矿或经过焙烧或烧结焙烧的物料与熔剂一道加热至足以使它们全部或绝大部分熔化的高温下进行冶炼的过程。熔炼时,物料与各组分发生一系列化学反应,结果得到两种或两种以上的互不相溶的液体产物——粗金属或锍(由几种金属硫化物组成的熔合体)及熔渣(脉石和熔剂等组成的熔融体),并产生炉气和烟尘。由于比重不同,各种液态产物在熔炼炉内自动分层。炉渣的比重较小,故在上层,金属比重最大居最下层,锍的比重大于炉渣而小于金属,故居中间层。因此,矿石或精矿熔炼时,能使其中的金属或金属化合物与脉石分开,而达到提炼金属的目的。

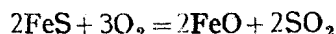
按照熔炼过程中化学反应的特点,可将熔炼分为以下几种:

还原熔炼 这种熔炼法是将金属氧化矿或焙砂(或烧结块)与熔剂在高温下还原气氛中进行熔炼的过程,这种过程是基于各种元素对氧亲和力不同的原理。所采用的还原剂(如木炭、焦炭、无烟煤等)在作业温度之下对氧的亲和力必须大于被还原的金属对氧的亲和力,只有这样,金属氧化物才能被还原出来而得到粗金属,矿石中的杂质和脉石则与加入炉内的熔剂造成炉渣。

例如,从锡石(SnO_2)炼锡,是经过两个阶段还原出来的:

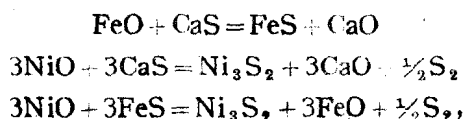


氧化熔炼 是利用某些元素容易氧化而除去合金中杂质的方法。例如,在转炉中吹炼冰铜时,可使其中硫化铁氧化,从而和硫化铜分开:



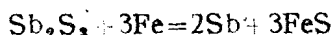
造锍熔炼 这种熔炼法是将金属硫化矿(或是氧化矿与硫化剂)及熔剂一道进行熔炼,使矿石或精矿中一部分铁的硫化物在高温下先行氧化再与熔剂(主要是石英)造渣,其余铁的硫化物与被提取的硫化物(如铜、镍的硫化物)结合成锍。这样就使被提取的金属硫化物与脉石及某些杂质分开,以便下一步处理。

例如，从氧化镍矿炼镍时，铁和镍都为硫化钙所硫化：

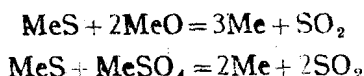


生成的镍锍是 Ni_3S_2 和剩余的 FeS 的合金。

沉淀熔炼（又称置换熔炼）沉淀熔炼的实质是利用一种金属将欲提取的金属从其硫化物中置换出来的过程，例如用铁屑置换硫化锑中的锑：

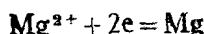


反应熔炼 反应熔炼是熔炼时炉料中的金属氧化物或硫酸盐与其硫化物起交互反应而形成金属及 SO_2 的过程。其反应如下：



熔析熔炼 是不经化学作用而将熔体分成数相的过程。例如当过热的均一的铜铅合金冷却时，铜的溶解度降低，因而它的结晶就浮在合金的上面。

电解熔炼 是利用电的化学效应而在高温下将物质分离的过程。例如在电解炉内，可使镁从熔融的氯化镁中还原出来：



7. **蒸馏** 这种方法适于处理含某些低沸点金属的原料。某些低沸点金属氧化物被还原时，其还原温度往往高于该金属的沸点，故这种金属一经还原，即呈气态挥发出来而与脉石分开，再将这种金属蒸汽冷凝成为液体金属而后收集之，这种方法称为蒸馏。

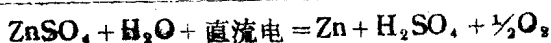
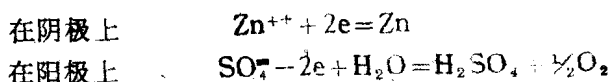
8. **精炼** 将熔炼或蒸馏得到的粗金属中所含的杂质除去而得到适于工业用较纯金属的过程称为精炼。精炼的方法有电解精炼和火法精炼等。电解精炼是利用电流的化学效应，从粗金属铸成的阳极中使欲提取的金属溶解于电介质中，接着在阴极上沉积析出，以达到被提取的金属与杂质分离的目的。火法精炼是将空气通入熔融粗金属中，使其中的杂质氧化，呈气体形态或与熔剂组成炉渣而除去。

9. **浸出** 是利用溶剂将矿石或焙砂中的有用矿物溶解，使金属进入溶液中，而脉石则不被溶解呈残渣状态与欲提取的金属分离的过程。最简单的浸出过程是原料中可溶成分在水中单纯溶解的过程。

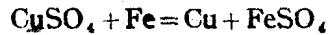
10. **净化** 在浸出矿石或焙砂时，常不免有部分金属或非金属杂质与欲提取的金属一道溶于溶液中。这些杂质可利用水解法或置换法或其他方法从溶液中除去。这种过程称为净化。

11. **金属的沉积** 应用下列任何一种方法将金属从溶液中沉积出来的过程称为金属沉积。其方法计有：

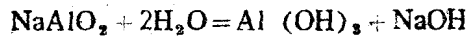
电积法 乃是利用电化学反应，使溶液中欲提取的金属在阴极上沉积析出。例如硫酸锌溶液的电积：



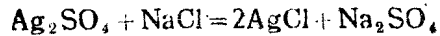
置換法是利用一种負电性金属从溶液中置換出另一种正电性金属的方法。例如用鉄屑从溶液中置換出金属銅，这是我国宋代劳动人民首先創造出来的方法：



水解法是利用金属盐类的水溶液在一定条件下水解成难溶的氢氧化物或碱性盐类的方法。例如，从鋁酸鈉溶液中可用此法沉淀出氢氧化鋁：



化学沉积法是在金属化合物的溶液中加入适当葯剂而形成金属难溶盐的方法。例如用氯化鈉从硫酸銀溶液中沉淀出氯化銀：



第一篇 选矿

第一章 矿石及其破碎

§1 矿石的概念和选矿的任务

在地壳成分中有46.59%氧, 27.72%硅, 8.13%铝, 5.01%铁, 2.09%镁, 0.01%铜, 0.005%锌, 0.0016%铅。其它金属的含量虽然不大, 但对于国民经济的发展也有重要的意义。所有金属元素的绝大多数是以化合物状态存在于自然界中。凡有一定的化学成分及物理属性(主要是结晶构造)的叫做矿物。有用的矿物经各种地质作用而富集为矿床, 采掘出来就是矿石。但矿石不是纯粹矿物, 乃是有用矿物和脉石的天然集合体, 其金属含量大到用现代技术经济条件可能提取的数量。

某种金属的矿石, 一般指该金属为主要的提取对象而言, 例如铁矿石、铜矿石、铅矿石等等。但铜矿石中常含有金, 铅矿石中常含有银, 这些贵金属都是应该同时提取的。又如共生的铅锌矿、含钒的铁矿、含钼的铜矿以及含有稀有元素的矿石都是应该综合利用的复合矿石。

根据矿石中金属化合物的性质, 把矿石分为自然元素矿石、硫化物矿石、氧化物矿石、碳酸盐矿石、硅酸盐矿石等等。

矿石中金属的含量叫做矿石的品位。按品位的高低, 可把矿石分为能直接冶炼的富矿和不能直接冶炼的贫矿。但由于选矿科学技术的发展, 对贫矿中金属的含量相对地降低了。例如, 在前一世纪, 仅含有1~2% Cu的矿石才算是铜矿石, 而现在这个限度已降到0.5%。一般, 铁矿石含铁不得少于30% Fe, 锌矿石不少于3% Zn, 铅矿石不少于3% Pb; 金矿床不少于0.00001% Au (0.1克/吨)。

根据有用矿物和脉石的物理性质, 用机械的方法把它们分开, 从而获得品位高的各种金属的富矿, 降低生产金属的成本, 并扩大了矿石的资源, 就是选矿的任务。它对于冶金工业的发展具有重要的意义。

§2 破碎

采掘出来的矿石, 其块度往往大到1~1.5米以上, 既不适于冶炼, 也不便于厂内运输。此外, 许多矿石中的有用矿物和脉石结合得非常致密, 要把它们分开, 就必须先把它们破碎。按冶炼或选矿需要的程度来说, 破碎可分为粗碎、中碎、细碎和粉碎四个阶段, 其粒度范围大致如下:

	最初的粒度, 毫米	最终的粒度, 毫米
粗碎	1500~300	300~100
中碎	300~100	50~10
细碎	50~10	10~2
粉碎	2	≤0.05

破碎矿石常用的机械可分为以下几种：

1. **颚式破碎机**(图1-1)，根据在固定颚板和可动颚板表面間周期地压碎物料的原理，来进行破碎工作。这种型式的破碎机主要用于粗碎。

2. **圆锥破碎机** 运用可动圆锥沿着固定圆锥内表面转动来进行連續的破碎工作的机器。这种破碎机应用范围頗广。粗碎时使用粗碎用圆锥破碎机或称旋迴破碎机(图1-2)。中碎时使用标准型圆锥破碎机。細碎时使用短头型圆锥破碎机。

3. **磨矿机** 根据矿石在机内被自由降落的磨矿介质的冲击力和磨擦力，来进行連續磨矿的工作。可用鋼球、鋼棒或砾石作磨矿的介质，从而有球磨机、棒磨机或砾磨机的名称。它們都可用于粉碎；球磨机(图1-3)用得較多。

当球磨机的圆筒沿着本身的几何中心軸綫旋轉时，鋼球被帶到一定高度而后落下，因而打击矿块(图1-4)。正确的轉速是磨細的关键問題。轉速过大，則鋼球受离心力作用紧貼在圆筒内表面而不下落。轉速过小，則鋼球仅在圆筒的下部滚动，磨細的效率就很低了。因此，工业上常用的球磨机轉速为規定速度，即临界速度的53~86% Л.Б.列文逊推荐最有利的轉速为

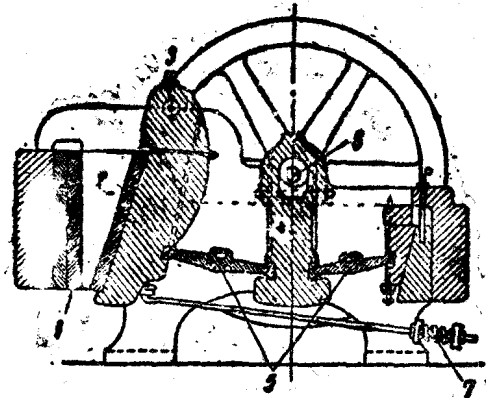


图 1-1 颚式破碎机

1—用硬质鋼制的固定颚板； 2—以同样材料制成的可动颚板；
3—軸； 4—連杆； 5—肘板； 6—偏心軸； 7—拉杆和螺旋形彈簧

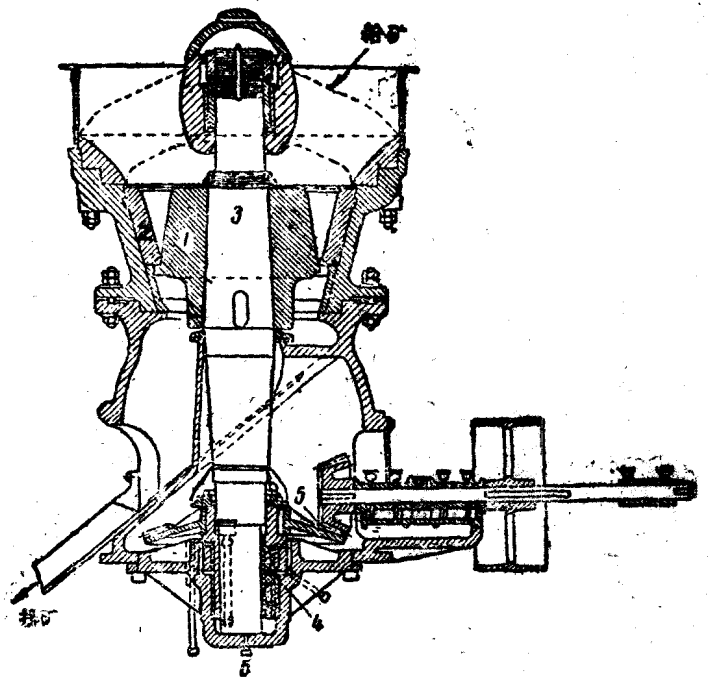


图 1-2 粗碎圆锥破碎机

1—可动圆锥； 2—固定在破碎机架上的不动圆锥； 3—带动可动圆锥的軸； 4—偏心軸套； 5—齒輪传动裝置

$$n = \frac{23.8}{\sqrt{R}} = \frac{32}{\sqrt{D}}$$

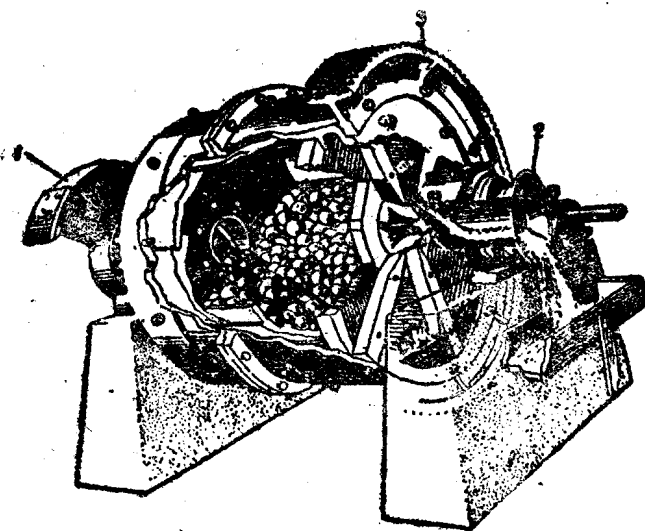


图 1-3 球磨机

- 1—给矿器；2—空心轴颈（由此排出已磨好的矿浆）；
3—齿圈（与主动齿轮减速器相啮合）

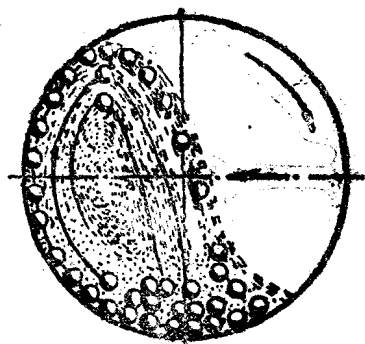


图 1-4 在球磨机中的磨碎过程

式中 n ——球磨机每分钟的转数；
 R ——球磨机半径，米；
 D ——球磨机直径，米。

当不允许细矿被钢球磨损的铁粉

所污染时，则采用砾磨机，即用砾石代替了钢球的磨矿机。

粉碎多在水中进行，借以防止物料的成团或扬尘。固体粒子与水的混合物称为矿浆。矿浆的浓度以液体和固体的重量比或固体的重量百分数来表示，矿浆通常含 40~75% 的固体。

表示破碎作业的基本性能之一，就是碎矿比。这是指矿石破碎前最大块度直径和破碎后最大块度直径之比。例如，将矿石自 1 米破碎到 80 毫米，则碎矿比为 $\frac{1000}{80} = 13$ ；若破碎到 0.2 毫米时，则碎矿比为 $\frac{1000}{0.2} = 5000$ 。当碎矿时，根据碎矿比就可以确定需要几道破碎工序和选择何种破碎机械。

破碎的程度愈大，则消耗的能量愈多。这是由于施于碎矿的有用工作反映于此操作所产生的新表面的增加。

设有立方矿粒，每粒之长度为 d 厘米，此粒的面积将为 $6d^2$ 厘米²。今用理想的碎矿机将此矿粒碎为 8 个立方体，每粒之长为 $d/2$ ，每小立方体的面积为 $6(d/2)^2 = 3d^2/2$ 厘米²，总面积为 $8 \times 3d^2/2 = 12d^2$ 厘米²。在此一操作中面积的增加将为 $12d^2 - 6d^2 = 6d^2$ 厘米²。

今破碎比此小立方体为更小的立方体，使每粒之长度为 $d/4$ 厘米，每立方体的面积将为 $6(d/4)^2 = 3d^2/8$ 厘米²。然有 8×8 或 64 个立方体，故总面积将为 $64 \times 3d^2/8 = 24d^2$ ，面积的增加为 $24d^2 - 12d^2 = 12d^2$ 。

在每一情况下，矿粒的直径减少一半，然第二次操作产生了两倍于第一次操作所得的新面积。换句话说，破碎 1 吨 1 厘米的矿石至 0.5 厘米所产生的新面积，远多于破碎同一矿石由 10 厘米到 5 厘米所产生者。此一规律也适用于非立方体的矿石。因此，在实

实际生产中，总是遵循着“不作任何过度的破碎”这一原则。

§ 3 筛 分

筛分就是把粒度不同的矿石过筛分类，以适应各种冶金过程的需要。例如，在破碎之前把小于破碎机排矿口尺寸的矿石筛出来，就可以去掉破碎机多余的荷载而提高其生产率。一般每一段破碎之后，都有筛分作业。

工业上常用的筛子有固定式和可动式两种。

固定式的条筛也叫做格筛，乃是用钢棒作筛条，平行地构成 $35\sim 40^\circ$ 角的倾斜平面。筛条间的距离与所要求的筛分粒度相适应，一般不小于25毫米。矿石沿筛面滑下而分为大小两级。

可动筛中有摇动筛、振动筛、筒筛，每种还有不同的类型。兹以惯性振动筛为例，略述如下。

惯性振动筛（图1—5）根据筛子的不平衡轮运动的惯性作用，来筛分细小矿石（0.1~15毫米）。

可动筛框用器具弹簧装置于不动的筛架上。在可动筛框上安装了两个轴承。在轴承中转动的主轴上，有两个重量不平衡的惯性轮；由于它们的作用，在转动时造成了离心力，引起装置在弹簧上的筛框振动。振动的方向与筛子水平面成直角。

振动筛筛底由细钢丝网在可动的金属筛框上作成。一台筛机上，可安装筛孔大小不同的三个振动筛。

当筛孔很小时，习惯上不用格眼直径的大小，而用所谓网目表示筛眼的尺寸。在1英吋（=25.4毫米）的长度中有多少大小相同的方孔数叫做网目。

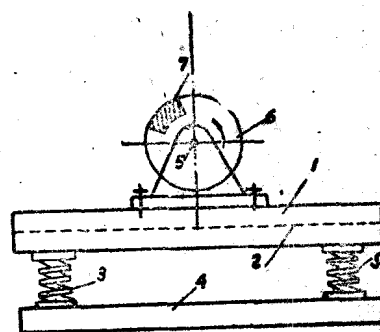


图 1—5 惯性振动筛略图

1—可动筛框；2—筛网；3—弹簧；4—固定筛架；5—主轴；6—惯性轮；7—不平衡重量

§ 4 分 级

筛分作业不适用于极细矿粒按粒度的分类。细小物料容易成团或飞扬起来。所以常

在水中按矿物的粒度和比重把矿物混合物分成级别。这一作业叫做湿式分级。

常用的分级机为机械分级机。兹举其中的耙式分级机（图1—6）为例，说明作业原理。耙式分级机有平底的倾斜钢槽。矿浆沿溜槽给入，充满这一容槽，再经溢流堰流出。此时较粗、较重的粒子从矿浆中沉降出来

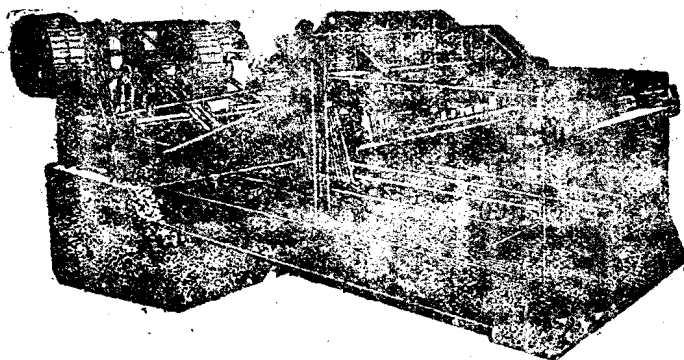


图 1—6 耙式分级机

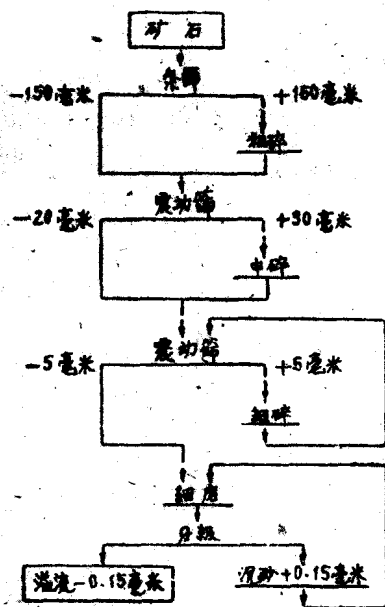


图 1-7 原矿石破碎及磨碎流程

的速度要大于较小、较轻粒子的速度。沉降到分级机槽底的粗颗粒叫做沉砂，被机械耙向排出端，送回磨矿机中再度研磨。细颗粒则被溢流带走，就是分级机的产品。矿浆通过分级机的运动速度和矿浆的粘度愈小，则溢流中的粒子愈细。变更液固比，来调节受分级矿浆的速度和粘度，可以得到含有预定粒度的颗粒的溢流。

§5 破碎、磨碎和分级的一般流程

图 1-7 说明原矿石破碎、磨碎和分级的一般流程。在具体的情况下，由于被粉碎物料的特性或者最终产品的要求，此流程可以简化或复杂一些。

在选矿厂，磨矿机和分级机常组成闭路循环系统，使得两种作业配合进行。破碎机也可用同样的方式与筛子构成闭路进行工作。

第二章 选矿方法

§1 选 分

原矿石经过破碎、筛分、粉碎、分级等准备处理后，就可以进行选分。采用适当的方法，机械地把有用矿物和脉石分开，以产生一部分富集物，叫做精矿，送去冶炼。其余主要由脉石组成的部分，叫做尾矿，一般废弃不用。介于精矿和尾矿之间的，叫做中矿或中间产品，须进一步选分。如果原矿石系复合矿石，例如铅锌矿，用选择选矿的方法，可以获得铅精矿和锌精矿。又如从铜矿中除回收黄铁矿和磁铁矿外，还回收辉钼矿等有用矿物。由此可见，选分过程不过是有用矿物的集中，并不改变其化学成分和状态，所以简单、便宜，大大减少冶炼矿石的数量，从而提高冶炼设备的生产率。

选分有两个重要的技术经济指标：①精矿产率，即某种选分产品重量与原矿重量之比，以百分率表示；②金属回收率，即从原矿选入精矿中的金属重量对原矿中金属总重量的百分比。这两个指标都可根据金属的平衡，用公式表示出来：

$$100 \times \frac{\alpha}{100} = r \times \frac{\beta}{100} + (100 - r) \times \frac{\gamma}{100}$$

式中 α ——原矿中金属的含量，%；

β ——精矿中金属的含量，%；

r ——精矿产率，%；

γ ——尾矿中金属的含量，%。

解上式得：