

磁电选矿

东北工学院选矿教研室

冶金工业出版社

磁 电 选 矿

东北工学院选矿教研室

冶金工业出版社

磁 电 选 矿

东北工学院选矿教研室

*

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

*

787×1092 1/32 印张 11 1/4 字数 246 千字

1977年11月第一版 1977年11月第一次印刷

印数00,001~4,750册

统一书号: 15062·3281 定价(科三) 0.90元

前 言

解放以来，在毛主席革命路线的指引下，我国冶金工业得到了迅速的发展。特别是经过无产阶级文化大革命，摧毁了刘少奇、林彪和王张江姚“四人帮”资产阶级司令部，冶金战线的广大职工以阶级斗争为纲，坚持党的基本路线，认真贯彻“鞍钢宪法”，开展“工业学大庆”的群众运动，自力更生，艰苦奋斗，使钢铁生产无论在数量、质量，还是品种方面，都达到了一个新的水平。

冶金矿山广大职工遵照毛主席关于“开发矿业”的伟大指示，不断取得革命和生产的新胜利，技术革新和技术革命运动蓬勃发展，创造和积累了丰富的经验。

为了适应冶金工业迅速发展的需要，在我院各级党组织的领导下，通过教育革命的实践，收集了有关选矿生产、科研和设计方面的资料，编写了这本《磁电选矿》，供厂矿、科研、设计等部门从事选矿工作的工人、技术人员参考，也可作为有关院校选矿专业工农兵学员和教师的参考书。

本书从磁电选矿的基本原理入手，介绍了矿物的磁性、电性，强、弱磁性矿石的磁选、电选以及磁选厂生产检测等方面内容，其中着重介绍了我国目前磁电选矿所用选矿设备、工艺流程和生产操作情况。介绍了有关磁性材料和磁选设备工艺设计的基本知识。书中还适当介绍了国外有关资料。

在编写本书过程中得到了鞍钢烧结总厂、北京矿冶研究院、鞍山钢铁大学等单位的大力协助与热情支持，提出了许多宝贵意见。在此表示感谢。

由于我们水平有限，实践经验不足，收集的资料不够全面，书中可能有不少缺点和错误，请读者批评指正。

东北工学院选矿教研室

1976年11月

毛主席语录

阶级斗争是纲，其余都是目。

鼓足干劲，力争上游，多快好省地
建设社会主义。

开发矿业

在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。

目 录

前言

第一篇 磁选的基本原理和矿物的磁性

第一章 磁选的基本原理	1
第一节 磁选分离的基本条件	1
第二节 回收磁性矿粒所需要的磁力	4
第二章 矿物磁性	9
第一节 矿物按磁性分类	9
第二节 强磁性矿物的磁性	10
第三节 影响强磁性矿物磁性的因素	16
第四节 弱磁性矿物的磁性	28

第二篇 强磁性矿石磁选

第一章 弱磁场磁选设备及其生产操作	29
第一节 湿式弱磁场磁选设备	30
第二节 干式弱磁场磁选设备	53
第二章 永久磁铁的特性和磁化	64
第一节 永久磁铁的特性	64
第二节 永久磁铁的磁化	84
第三节 永久磁铁的粘结	88
第三章 弱磁场磁选设备的工艺设计知识	89
第一节 永磁筒式磁选机和磁滑轮	91
第二节 磁力脱水槽	116
第三节 预磁器与脱磁器	123
第四章 弱磁性铁矿石的磁化焙烧	133
第一节 弱磁性铁矿石磁化焙烧的目的、分类和原理	133
第二节 竖式焙烧炉	137

第三节 其它型式焙烧炉	157
第五章 强磁性矿石的磁选工艺流程	163
第一节 铁矿石的工业类型和工业要求	163
第二节 磁铁矿石的选别工艺流程	164
第三节 含钛、铜和稀土元素磁铁矿石的选别工艺流程	172
第三篇 弱磁性矿石磁选	
第一章 强磁场磁选设备及其操作	181
第一节 干式强磁场磁选机	181
第二节 湿式强磁场磁选机	194
第二章 强磁场磁选设备的工艺设计	206
第一节 磁系结构型式的确定	207
第二节 磁场强度和磁势的确定	228
第三章 弱磁性矿石的磁选工艺流程	238
第一节 赤铁矿石和褐铁矿石的选别工艺流程	238
第二节 锰矿石的选别工艺流程	244
第三节 稀有金属矿石的精选流程	248
第四篇 磁选厂生产工艺检测	
第一章 矿石的磁性分析	253
第一节 矿物比磁化系数测定	254
第二节 磁性矿物含量的分析	259
第二章 磁选设备磁场特性的测定	265
第一节 磁选机磁场强度的测量	265
第二节 磁通的测量	279
第三节 交变磁场的测量	280
第四节 永久磁铁磁性能的测定	281
第三章 工艺流程考查	286
第一节 试样采取及试样处理	286
第二节 流程计算与产品分析	288

第五篇 电 选

第一章 电选分离的基本原理	295
第一节 矿物的电性	295
第二节 矿物带电的方式	299
第三节 电选分离的基本条件	301
第二章 电选机	306
第一节 双辊筒电选机	307
第二节 高压电选机	312
第三节 卡普科型高压电选机	315
第三章 电选的影响因素及其操作	318
第一节 与电选机调节有关参数的影响	318
第二节 与处理原料有关因素的影响	324
第三节 电选机的操作和安全	327
第四章 选别工艺流程	328
第一节 白钨锡石分选流程	328
第二节 锆英石精选的电选流程	330
第三节 钽铌矿电选流程	331
第四节 铁矿石电选流程	333
附表1 弱磁性矿物的比磁化系数	335
附表2 强磁性铁矿石的物质比磁化系数χ	338
附表3 各种矿物的比磁化系数	344
附表4 矿物的导电率和介电常数	346
附表5 矿物的比导电度和整流性	347

第一篇 磁选的基本原理和 矿物的磁性

磁选是根据各种矿物磁性的差异而进行选分矿物的一种选矿方法。随着工业建设和科学技术的发展，磁选被广泛用来选分黑色金属、有色金属和稀有金属矿石以及其它工业原料，其中以选分铁矿石为主。

我国铁矿石储量大、类型多、分布广，有些矿石性质复杂，共生矿物多，各地的矿石嵌布粒度也相差很大。在已探明的铁矿石总储量中，贫矿占多数，矿石中只有富矿可以直接送入高炉或平炉冶炼，而大部分贫矿必须经过选矿处理，提高含铁品位，去掉杂质才能成为合格的冶炼原料。

另外，很多锰矿、铬矿、有色和稀有金属矿石以及一些工业原料（如陶瓷和耐火原料、石英砂和粉末冶金原料等等）在冶炼或应用前也需要经过选矿处理，才能成为合格的冶炼原料或生产原料。所以，选矿，包括磁选是冶金工业生产过程中不可缺少的一环。

第一章 磁选的基本原理

第一节 磁选分离的基本条件

磁选是在磁选设备的磁场中进行的。被选矿石给入磁选设备的选分空间后，受到磁力和机械力（包括重力、离心

力、摩擦力、水流动力等）的作用。磁性不同的矿粒受到不同的磁力作用，沿着不同的路径运动（见图 1—1）。由于矿粒运动的路径不同，所以产品分别接取，就可得到磁性产品和非磁性产品（或者是磁性强的产品和磁性弱的产品）。进入磁性产品中的磁性矿粒的运动路径，由作用在这些矿粒上的磁力和所有机械力合力的比值来决定。进入非磁性产品中的非磁性矿粒的运动路径，由作用在它上面的机械力的合力来决定。因此，为了保证把被选分的矿石中磁性强的矿粒与磁性弱的矿粒分开，必须满足如下条件：

$$f_{1磁} > \Sigma f_{机} > f_{2磁}$$

式中 $f_{1磁}$ ——作用在磁性强的矿粒上的磁力；
 $f_{2磁}$ ——作用在磁性弱的矿粒上的磁力；
 $\Sigma f_{机}$ ——与磁力方向相反的所有机械力的合力。

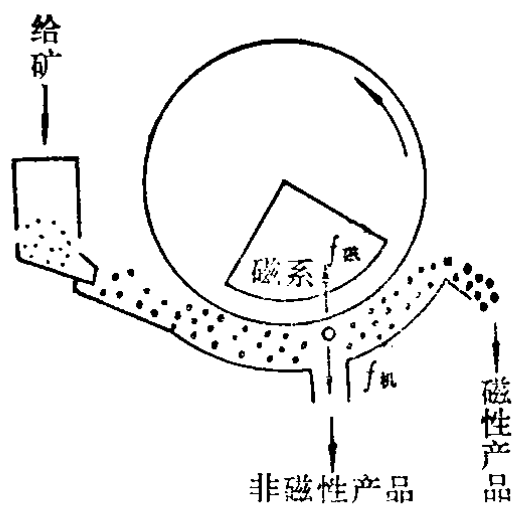


图 1—1 矿粒在磁选机中分离的示意图

这一公式不仅说明了不同磁性矿粒的分离条件，同时也说明了磁选的实质，即磁选是利用磁力与机械力对不同磁性矿粒的不同作用而实现的。

磁力与机械力对不同磁性矿粒的不同作用与矿石的选分方式有关，如图1—2所示。从图中可以看出，矿粒在不同的情况下按磁性分离的路径也不同。第一种情况

对于磁性差别较大的矿粒效果很好（如图 1—2A），而对于磁性相近的矿粒由于磁性与非磁性矿流的路径相近，选分难

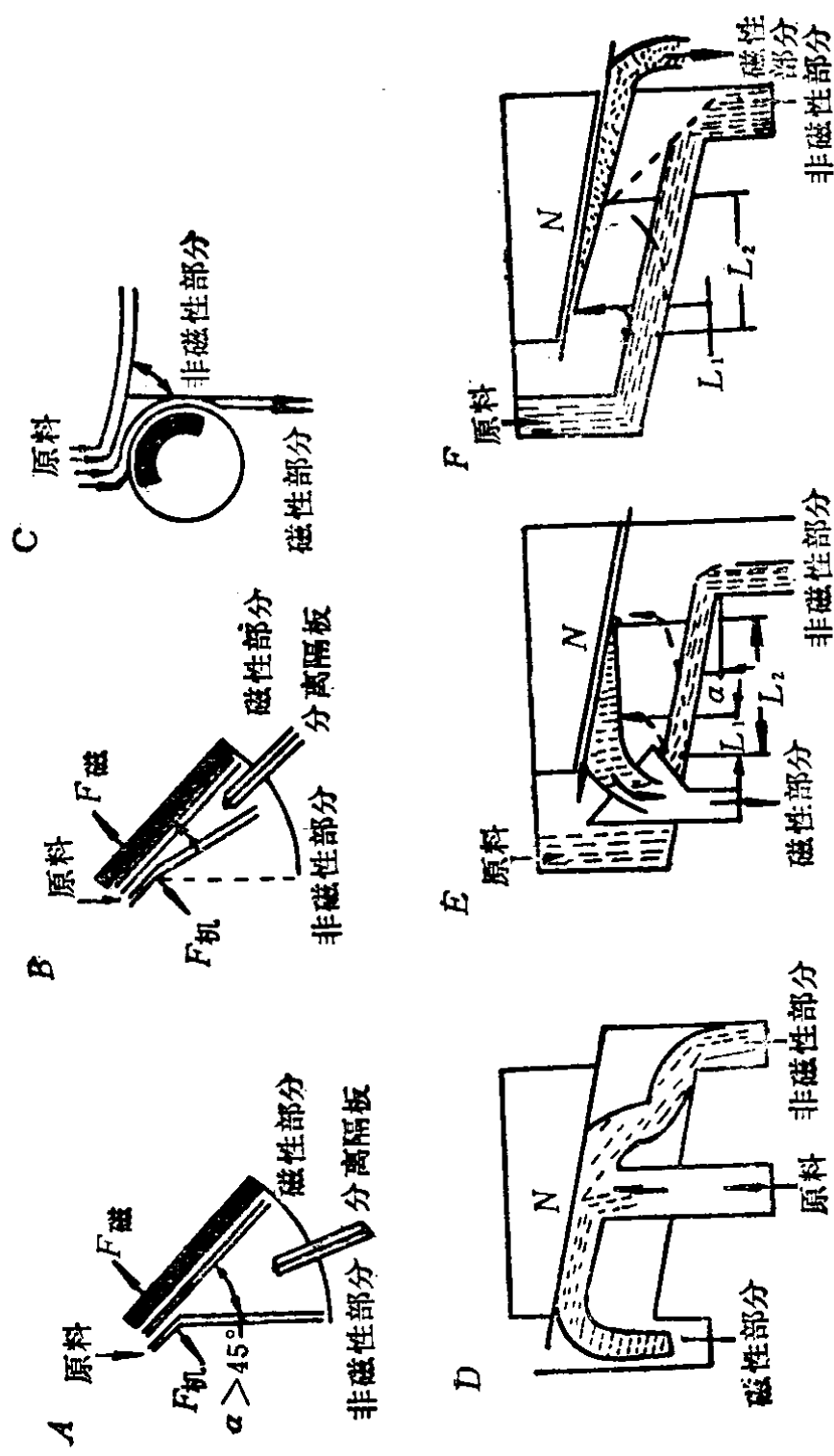


图 1—2 矿粒在不同情况下按磁性分离的示意图

A、B—磁性矿粒偏离；C、D—磁性矿粒吸住；

E、F—磁性矿粒吸出

以控制（如图 1—2B）；后两种情况对磁性相近的难选矿石分离效果较好，因为在非磁性部分排出的地方，磁铁表面仅是吸出和吸住个别的被非磁性部分机械混杂的磁性矿粒，而大部分的磁性粒子在这以前就已经被分出去了。

所以， $f_{\text{磁}} > f_{\text{机}}$ ，保证了磁性矿粒被吸到磁极上，在分离磁性差别较大的易选矿石时，能够顺利地分出磁性部分，但在分离磁性差异小的难选矿石时，若要获得高质量的磁性部分，就需要很好调整各种磁性矿粒的磁力与机械力关系，使之能有选择性的分离，才能得到良好的效果。

第二节 回收磁性矿粒所需要的磁力

一、磁化、磁化强度和磁化系数

物质结构理论告诉我们：任何物体（如矿粒）都是由分子组成的，而分子是由原子组成的。原子核外的每个电子都同时参与两种运动，即环绕原子核的轨道运动和电子本身的自旋运动。这两种运动都产生磁效应。对任何一个分子来说，分子中各个电子对外界产生的磁效应的总和可以用一个等效的元电流表示，称为分子电流。这种分子电流具有的磁矩叫分子磁矩，用 P_m 表示。物体在没有受外磁场作用时，由于分子的强烈热运动，分子磁矩不按一定的方向排列，而且其方向随时都在变化，所以从物体总体来看，物体的分子磁矩矢量和等于零，因而物体不显示磁性。当物体进入外磁场后，在外磁场作用下，物体中的分子磁矩部分地或全部地顺着外磁场方向排列，从物体总体看，物体的分子磁矩矢量和不等于零，因而使物体显示出磁性。所以，物体在外磁场作用下，分子磁矩定向排列，使物体显示磁性的过程叫磁化。

为了描述物体被磁化的程度，需要引入磁化强度这一物理量，用 J 表示。在磁场强度为 H 的外磁场作用下，在被磁化的物体中取一体积元 ΔV ，这种体积元 ΔV 内各分子磁矩的矢量和为 $\sum \vec{P}_m$ ，那么，该物体的磁化强度就是：

$$J = \frac{\sum \vec{P}_m}{\Delta V} \quad (1-1)$$

磁化强度 J 的物理意义，就是单位体积物体的磁矩。物体的磁化强度 J 越大，说明物体被外磁场磁化的越厉害。所以，磁化强度是表示在外磁场作用下，物体被磁化程度的物理量。

显然，物体未被磁化时， $\sum \vec{P}_m = 0$ ，所以磁化强度 $J = 0$ 。当物体进入外磁场被磁化时，根据实验证明：物体的磁化强度 J 与外磁场的磁场强度 H 成比例。即：

$$J = \kappa_0 H \quad (1-2)$$

式中 J —— 物体的磁化强度，高斯；

H —— 外磁场强度，奥斯特；

κ_0 —— 物体的容积磁化系数，也叫物体的磁化率。

κ_0 是一立方厘米物体在磁场强度为 1 奥斯特的的外磁场中所产生的磁矩，它是表示物体被磁化难易程度的物理量。物体的 κ_0 越大，表示物体越容易被磁化。可见， κ_0 是一个和物体性质有关的重要的磁性常数。对于大多数物体，如弱磁性矿物， κ_0 是一个常数，只有少数物体，例如强磁性矿物， κ_0 不是常数。

物体的容积磁化系数 κ_0 与物体的密度 δ 之比值，叫物体的比磁化系数，也叫物体的比磁化系数，用 χ_0 表示。即：

$$\chi_0 = \frac{\kappa_0}{\delta} \quad (1-3)$$

式中 χ_0 ——物体的比磁化，厘米³/克；

δ ——物体的密度，克/厘米³。

物体的比磁化系数 χ_0 也叫单位质量的物体磁化系数。它表示1克物体在磁场强度为1奥斯特的外磁场中所产生的磁矩。

二、在恒定磁场中回收磁性矿粒所需要的磁力

从电磁学中知道：一个载流线圈在磁场中运动时，如果线圈中的电流强度 I 不变，则磁力所做的功 ΔA 恒等于线圈中的电流强度 I 和通过线圈的磁通量的增量 $\Delta\Phi$ 的乘积，即：

$$\Delta A = I \cdot \Delta\Phi \quad (1-4)$$

如果此线圈所包围的面积为 S ，它在不均匀磁场中移动了一微小距离 Δl 。设线圈移动前线圈所在处的磁场强度为 H ，移动后线圈所在处的磁场强度为 $H + \Delta H$ ，当 $\mu = 1$ 时，磁力所做的功 ΔA 可为：

$$\begin{aligned} \Delta A &= I \cdot \Delta\Phi = I[S(H + \Delta H) - SH] \\ &= I \cdot S \cdot \Delta H \end{aligned} \quad (1-5)$$

式中 IS ——线圈的磁矩用 P_m 表示，即 $P_m = IS$ ，所以

$$\Delta A = P_m \cdot \Delta H \quad (1-6)$$

如果载流线圈在磁场中受到的磁场作用的合力为 f_m ，则磁力所作的功 ΔA 又等于合力 f_m 与位移 Δl 之积，即：

$$\Delta A = f_m \Delta l \quad (1-7)$$

比较(1-6)与(1-7)式，得：

$$f_m = P_m \cdot \frac{\Delta H}{\Delta l} \quad (1-8)$$

式中 $\frac{\Delta H}{\Delta l}$ ——磁场强度随空间的变化率，叫磁场梯度，用

$grad H$ 表示。

磁性矿粒在磁场中被磁化后，其磁效应可用一等效的元电流表示，其磁矩为 P_m ，它与一个小的载流线圈在磁场中的作用等效，故磁性矿粒在非均匀磁场中所受的磁力也可用 (1—8) 式表示 (见图1—3)。

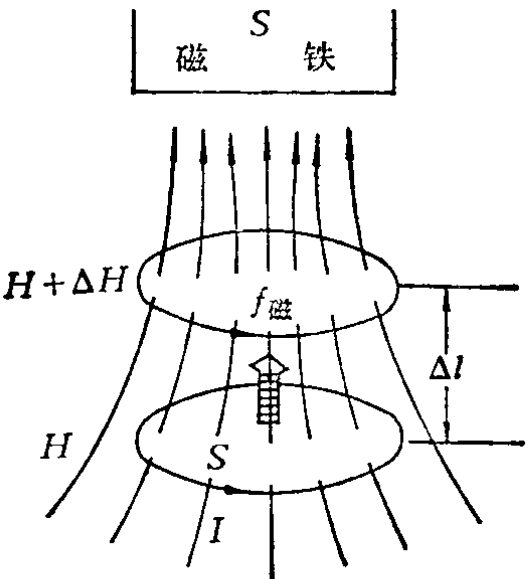


图 1—3 载流线圈在非均匀磁场中受的力

设矿粒的体积为 ΔV ，矿粒的磁化强度为 J ，于是 $P_m = J \cdot \Delta V$ ，又因为 $J = \kappa_0 H$ ，所以

$$P_m = \kappa_0 \cdot H \cdot \Delta V \tag{1—9}$$

把 (1—9) 式代入 (1—8) 式中得：

$$f_{\text{磁}} = \kappa_0 \cdot H \cdot \Delta V \frac{\Delta H}{\Delta l} \tag{1—10}$$

因为 $\chi_0 = \frac{\kappa_0}{\delta}$ ， $\kappa_0 = \chi_0 \delta$ ，所以

$$\begin{aligned} f_{\text{磁}} &= \chi_0 \cdot \delta \cdot \Delta V \cdot H \frac{\Delta H}{\Delta l} \\ &= m \cdot \chi_0 \cdot H \text{grad} H \end{aligned} \tag{1—11}$$

式中 $m = \delta \cdot \Delta V$ ，表示矿粒的质量。作用在单位质量矿粒上的磁力 $F_{\text{磁}}$ 叫比磁力。

$$F_{\text{磁}} = \frac{f_{\text{磁}}}{m} = \chi_0 \cdot H \text{grad} H, \text{达因/克} \quad (1-12)$$

式中 $H \text{grad} H$ ——磁场力（奥斯特²/厘米），它是说明磁场特性的数值。

由此式可知：作用在磁粒上的比磁力 $F_{\text{磁}}$ 是由反映矿粒磁性的比磁化系数 χ_0 和反映磁场特性的磁场力 $H \text{grad} H$ 两部分组成。选分磁性强的矿物时，因为矿粒的 χ_0 很大，所需要的磁场力 $H \text{grad} H$ 相应的可小些，而选分磁性弱的矿物时，因为矿粒的 χ_0 很小，所需要的磁场力 $H \text{grad} H$ 就很大。选分磁性相近的混合物料时，必须通过适当调整磁场力 $H \text{grad} H$ 来提高分离效果。

由此式也可知：如果矿粒所在的磁场，磁场梯度 $\text{grad} H = 0$ （即均匀磁场），即使磁场强度很高，而作用在矿粒上的磁力 $F_{\text{磁}} = 0$ ，说明磁选只有在不均匀磁场中才能进行。为了提高磁场力 $H \text{grad} H$ ，不仅要设法提高磁场强度 H ，而且同时应该研究提高磁场梯度 $\text{grad} H$ 。

应当指出的是，应用（1—12）式计算矿粒所受的比磁力时，一般采用矿粒中心点处的磁场强度 H ，因此，只有在 $\text{grad} H$ 等于常数时，（1—12）式才是准确的。但实际上磁选设备的 $\text{grad} H$ 也不是常数，所以只有矿粒的尺寸越小，应用（1—12）式计算的误差也越小。对于尺寸较大的矿粒，必须将矿粒分成许多体积很小的部分，先对每个小部分的磁力进行个别计算，然后用积分法求出总磁力值。

从前一节知道，为了保证磁性矿粒和非磁性矿粒的分离，必须使