



普通高等教育“十三五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU “13-5” GUIHUA JIAOCAI

冶金原理实验及方法

韩桂洪 主编



冶金工业出版社
www.cnmp.com.cn



普通高等教育“十三五”规划教材

冶金原理实验及方法

韩桂洪 主编

黄艳芳 彭伟军 黄宇坤 刘兵兵 副主编

冶金工业出版社
北京市东城区
www.cmi.com.cn
责任编辑
ISBN 978-7-302-48283-2
冶金工业出版社
2020年1月第1版
287mm×169mm
32.00元

冶金工业出版社

2020

内 容 提 要

本书共分3篇,第1篇讲述了冶金原料分析与制备,主要包括矿物基本性质、磨矿与筛分、重选、磁选、浮选、细粒物料造块等;第2篇阐述了冶金过程研究方法,主要内容包括冶金炉渣的物理性质、湿法冶金中电势-pH图的测定、冶金过程宏观动力学、离子交换法分离铜钴、钴镍 P204 萃取过程分离系数的测定、铝土矿的加压溶出等;第3篇介绍了仿真与模拟,主要包括冶金原料制备过程仿真训练、电解铝生产模拟仿真、高炉炼铁仿真模拟、转炉炼钢仿真与模拟等。

本书可作为高等院校冶金工程及相关专业本科生的实验课教材,也可供冶金工程技术人员和管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

冶金原理实验及方法/韩桂洪主编. —北京:冶金工业出版社, 2020. 1

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5024-8286-2

I. ①冶… II. ①韩… III. ①冶金—实验—高等学校—教材 IV. ①TF03

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第255832号

出版人 陈玉千

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷39号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjchs@cnmp.com.cn

责任编辑 徐银河 美术编辑 吕欣童 版式设计 禹蕊

责任校对 郑娟 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-8286-2

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;三河市双峰印刷装订有限公司印刷
2020年1月第1版,2020年1月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16; 13.5印张; 324千字; 205页

39.00元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

前 言

本书对冶金工程专业基础实验进行了较为全面、系统地归纳与总结。书中内容参考了中南大学、东北大学等冶金院校相关实验教材，在传统湿法冶金、火法冶金基本实验方法基础上，增加了部分冶金矿物资源加工（选矿、造块）、典型金属选矿、冶金流程工艺仿真实验方法，能够更好地适应“资源-冶金-材料”学科一体化发展。

本书可作为冶金工程、矿物加工工程、化学工程、材料科学与工程等专业的本科生及研究生课程的教材，也可供相关领域的科研技术人员阅读参考。

在本书编写和校订过程中，得到了黄艳芳、黄宇坤、彭伟军、刘兵兵等教师的帮助。其中，彭伟军、刘兵兵博士负责第1篇的编写和校核；黄宇坤博士负责第2篇的编写和校核；黄艳芳副教授负责第3篇的编写和校核。

由于编者水平有限，书中难免存在缺漏和不足之处，敬请读者和专家不吝批评和斧正。

韩桂洪

2019年9月

目 录

第 1 篇 冶金原料分析与制备

1 矿物基本性质	3
1.1 矿物的物理性质	3
1.1.1 密度	3
1.1.2 比表面积	4
1.1.3 磁性	5
1.1.4 电性质	8
1.2 表面化学性质	10
1.2.1 表面能	11
1.2.2 表面氧化与溶解	12
1.2.3 表面电性	14
1.2.4 表面润湿性	16
习题	18
参考文献	18
2 磨矿与筛分	19
2.1 磨矿基本原理	19
2.2 筛分基本原理	20
2.3 磨矿与筛分实验	21
习题	22
参考文献	22
3 重选	23
3.1 基本原理	23
3.2 自由沉降实验	24
3.3 摇床分选实验	25
习题	27
参考文献	28

4 磁选	29
4.1 基本原理	29
4.2 磁选管分选实验	29
4.3 赤泥磁选回收铁资源	31
习题	33
参考文献	33
5 浮选	34
5.1 基本原理	34
5.2 铝土矿可浮性研究	34
5.3 铝土矿选矿实验	36
习题	39
参考文献	39
6 细粒物料造块	40
6.1 基本原理	40
6.2 静态成球性能检测实验	41
6.3 造球实验	44
习题	46
参考文献	46
 第 2 篇 冶金过程研究方法 	
7 冶金炉渣的物理性质	49
7.1 炉渣熔点的测定——铂片法	50
7.2 炉渣黏度的测定——内圆柱体旋转法	52
7.3 炉渣表面张力及密度测定	56
习题	60
参考文献	60
8 电势-pH 图	61
习题	64
参考文献	65
9 冶金过程宏观动力学	66
9.1 反应动力学概述	66
9.1.1 反应动力学的发展	66
9.1.2 反应动力学的研究对象和任务	66

9.1.3 冶金过程动力学概述	66
9.1.4 化学反应速率及速率方程	67
9.1.5 温度对反应速率的影响	73
9.1.6 有效碰撞理论	76
9.2 液-固反应动力学	78
9.2.1 无固态产物层的浸出反应	79
9.2.2 存在固态产物层的浸出反应	82
9.2.3 锌焙砂浸出动力学过程实验	82
9.3 气-固相反应动力学	86
9.3.1 有固体产物层的致密颗粒的反应动力学	86
9.3.2 硫化锌精矿氧化过程动力学分析	89
9.3.3 金属氧化物还原动力学的实验分析	92
9.4 电极反应过程	96
9.4.1 铜电解精炼-电流效率的测定	97
9.4.2 硫酸锌水溶液的电积过程	99
9.4.3 恒电流法测定极化曲线	101
9.5 差热分析法	103
9.5.1 差热分析的基本原理	104
9.5.2 差热分析曲线方程	104
9.5.3 DTA 在反应动力学研究中的实例分析：硫化铜精矿焙烧的非等温动力学研究	106
习题	110
参考文献	111
10 离子交换法分离铜钴	112
10.1 采用强酸性阳离子交换树脂分离铜钴	112
10.2 采用强碱性阴离子交换树脂分离铜钴	116
习题	118
参考文献	118
11 萃取分离系数的测定	119
11.1 萃取的有关基本概念	119
11.2 P204 萃取 Co、Ni 的分离系数	120
习题	124
参考文献	124
12 铝土矿的加压溶出	125
参考文献	128

第3篇 仿真与模拟篇

13 冶金原料制备过程仿真训练	131
13.1 碎矿和磨矿.....	131
13.1.1 破矿.....	131
13.1.2 磨矿和分级.....	133
13.2 浮选.....	135
13.3 脱水.....	137
习题.....	139
参考文献.....	139
14 电解铝生产模拟仿真	140
14.1 电解铝更换阳极.....	140
14.2 电解铝抬母线.....	146
14.3 出铝.....	149
习题.....	151
参考文献.....	152
15 高炉炼铁仿真模拟	153
15.1 槽下炉顶系统仿真.....	154
15.1.1 槽下上料操作.....	154
15.1.2 炉顶手动布料.....	161
15.2 高炉本体仿真.....	165
15.2.1 高炉崩料.....	166
15.2.2 高炉悬料.....	167
15.2.3 低料线.....	169
15.2.4 高炉休风.....	172
15.3 炉前出铁仿真.....	174
15.4 热风炉换炉仿真.....	179
15.4.1 准备工作.....	180
15.4.2 燃烧送风.....	181
15.4.3 送风燃烧.....	186
15.5 喷煤系统仿真.....	189
15.5.1 磨制煤粉工艺仿真.....	190
15.5.2 磨煤机正常停机仿真.....	194
习题.....	196
参考文献.....	196

16 转炉炼钢仿真与模拟.....	198
16.1 条件确认和备料.....	199
16.2 进废钢、兑铁水.....	200
16.3 吹炼前准备.....	201
16.4 吹炼开始.....	203
16.5 出钢.....	203
16.6 溅渣护炉.....	204
16.7 出渣.....	205
习题.....	205
参考文献.....	205

第1篇

冶金原料分析与制备

1 矿物基本性质

1.1 矿物的物理性质

1.1.1 密度

物料密度：单位体积物质的质量称为密度，用 δ 表示，其单位按国际单位制为 kg/m^3 ，按厘米克秒制为 g/cm^3 。

矿石真密度：矿石是冶金原料预富集的主要对象，矿石是多种有用矿物和脉石矿物的混合物，其单位体积矿石的质量称为矿石的真密度，单位 kg/m^3 。

矿石堆密度：堆积的矿石存在孔隙，一定粒度组成的矿石自然堆积时，其单位体积的质量称为矿石的堆密度，单位 kg/m^3 。

矿物间的密度差异是决定其能否重选分离的主要因素。常见矿物的密度、比磁化率和电导率见表 1-1。

表 1-1 常见矿物的密度、比磁化率和电导率

矿物	密度/ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	比磁化率/ $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$	电导率/ $\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$
强磁性矿物			
磁铁矿	4900~5200	63~120	$10^6 \sim 10^5$
磁赤铁矿	4800~5300	50~60	
钛磁铁矿		30~40	
磁黄铁矿	4650~4850	0.63~6.7	$10^6 \sim 10^2$
弱磁性矿物			
假象赤铁矿		0.7~0.9	
赤铁矿	4800~5300	0.2~0.3	$10^{-2} \sim 10^{-7}$
褐铁矿	3400~4400	0.02~0.03	
菱铁矿	3800~3900	0.06~0.07	$10^1 \sim 10^{-5}$
黄铜矿	4100~4300	0.17	
钛铁矿	4500~5500	0.14~0.34	$10^4 \sim 10^2$
水锰矿	4200~4400	0.063	
软锰矿	4700~4800	0.04	$10^4 \sim 10^{-2}$
黑钨矿	7100~7500	0.08~0.12	10^2
白云石	2800~2900	0.034	$10^{-5} \sim 10^{-10}$

续表 1-1

矿物	密度/kg·m ⁻³	比磁化率/m ³ ·kg ⁻¹	电导率/S·cm ⁻¹
弱磁性矿物			
斑铜矿	4900~5400	0.18	10 ³ ~1
非磁性矿物			
石英	2650	-0.00025	10 ⁻¹³ ~10 ⁻¹⁶
长石	2700~2800	0.0063	10 ⁻⁸ ~10 ⁻¹⁴
金红石	4100~5200	0.0025	10 ⁴ ~10 ¹
磷灰石	3200	0.00126	10 ⁻¹² ~10 ⁻¹⁴
黄铁矿	4950~5100	0.00126	10 ⁴ ~10 ⁻¹
闪锌矿	3500~4200	0.00126	
辉钼矿	4700~5000	0.00126	10 ⁻¹ ~10 ⁻⁵
方铅矿	3900~4100	0.00022	10 ⁴ ~1
锡石	6800~7100		10 ² ~10 ⁻⁸
毒砂	5900~6200	0.00082	10~1
萤石	3000~3250	0.0006	10 ⁻¹³ ~10 ⁻¹⁷
滑石	2500~2800	0.00082	
正长石	2500~2600	0.00027	

1.1.2 比表面积

1.1.2.1 表面积

颗粒的表面积包括外表面积和内表面积两个部分。外表面积是指颗粒轮廓所包络的表面积，它由颗粒的尺寸、外部形貌等因素所决定。内表面积是指颗粒内部孔隙、裂纹等的表面积。上述两个部分表面积并无明确的界限，如颗粒尺寸较大时，其内部孔隙的表面积属内表面，但经充分粉碎后颗粒内部封闭的空洞被打开，内表面则变成外表面。

1.1.2.2 比表面积

单位体积（或单位质量）物体的表面积，称为该物体的比表面积或比表面。

以 V 代表颗粒的总体积（或以 ω 代表颗粒的总质量），以 S 代表其总表面积，以 S_v （或 S_w ）代表比表面积，则有

$$S_v = S/V(\text{m}^2/\text{m}^3) \quad (1-1)$$

$$\text{或} \quad S_w = S/\omega(\text{m}^2/\text{kg 或 m}^2/\text{g}) \quad (1-2)$$

颗粒是细化的固体，粒度越细的粒群，其表面积越大，如直径 1cm 的颗粒破碎成 1 μm 的颗粒群时，表面积约增大 104 倍。颗粒的比表面积可通过许多仪器进行测量，也可以利用实际粒度分析结果资料进行理论计算。常用的比表面分析方法如下。

(1) BET 吸附法。吸附法是在试样颗粒的表面上吸附截面积已知的吸附剂分子，根据吸附剂的单分子层吸附量计算出试样的比表面积，然后换算成颗粒的平均粒径。目前多

用 BET 方法进行测定。BET 吸附等温式为

$$\frac{p}{V(p_0 - p)} = \frac{1}{V_m K} + \frac{K - p}{V_m K p_0} \quad (1-3)$$

式中 p ——吸附气体的压力；

p_0 ——吸附气体的饱和蒸气压；

V ——吸附量；

V_m ——单分子层吸附量；

K ——与吸附热有关的常数。

以 $p/[V(p_0 - p)]$ 对 p/p_0 作图为一曲线，由该直线的斜率和截距可以求得 V_m 值，再由 V_m 值及吸附气体的分子截面积 A ，可计算出试样的比表面积 S_w ，即

$$S_w = \frac{NA}{V_0} V_m \quad (1-4)$$

式中 V_0 ——标准状态下吸附气体的摩尔体积 ($V_0 = 22410\text{mL}$)；

N ——阿伏伽德罗常数 ($N = 6.023 \times 10^{23}/\text{mol}$)。

由于氮吸附的非选择性，低温氮吸附法通常是测定比表面积的标准方法，此时 $A = 0.162\text{nm}^2$ ，当测定温度为 77.2K 时，式 (1-4) 可简化为

$$S_w = 4.36 V_m \quad (1-5)$$

应该注意的是，吸附法测定颗粒粒度，原则上只适用于无孔隙和裂纹的颗粒。如果颗粒中存在孔隙或裂纹，用这种方法测得的比表面积包含孔隙内或缝内的表面积，因而测得的比表面积比其他方法（如透气法）的测定数值大，由此换算出的颗粒粒径则偏小。

(2) 气体透过法。气体透过法的理论根据是 Kozeny Carman 关于层流状态下气体通过固定颗粒层时透过流动速度与颗粒层阻力的关系式。

$$\Delta P = 5S_v^2 \mu L \frac{(1 - \varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \quad (1-6)$$

式中 ΔP ——粉体层的阻力；

L ——粉体层的厚度；

μ ——气体的透过流动速度；

ε ——粉体层的孔隙率；

u ——气体的透过流动速度。

气体透过法测定粉体比表面积应用最广泛的是 Blaine 法（又称勃氏法）。Blaine 法是测定水泥比表面积的常用方法，也可用于测定其他干燥细粉。

1.1.3 磁性

磁性是物质的基本属性之一。从电磁学原理可知，任何物质的磁性都是带电粒子运动的结果。原子是组成宏观物质的基本单元，原子由原子核和电子组成，电子运动使原子具有磁性。因此，原子磁性是物质磁性的基础。

原子磁性由原子磁矩表示。原子的磁矩来源于原子核和电子的磁矩。原子核的磁矩很小，仅为电子磁矩的千分之一，一般可忽略不计。电子绕原子核的环形运动所产生的磁矩称为轨道磁矩。此外，每个电子还要自旋，由自旋产生的磁矩称为自旋磁矩。二者的矢量和就是原子的总磁矩。

1.1.3.1 磁化现象与物质磁化率

磁化是使原来不具有磁性的物质获得磁性的过程。磁化现象是指一些物体在磁体或电流的作用下会显现磁性的现象。物质的磁化程度可用磁化强度表示，磁化强度为单位体积物质的磁矩，可用式(1-7)表示。

$$M = \frac{m}{V} \quad (1-7)$$

式中 m ——磁化物质的磁矩，是物质中所有原子磁矩的矢量和， $A \cdot m^2$ ；

V ——物质体积， m^3 ；

M ——磁化强度， A/m 。

磁化强度与外磁场强度成比例增加，故又可表示为：

$$M = KH \quad (1-8)$$

式中 H ——外磁场强度， A/m ；

K ——物质体积磁化率，可用以表示物质磁性，无量纲。

合并式(1-7)和式(1-8)，得

$$K = \frac{M}{H} = \frac{m}{VH} \quad (1-9)$$

式(1-9)表明，物质体积磁化率为物质磁化时单位体积和单位磁场强度具有的磁矩。物质的磁性又可用比磁化率表示，即

$$\chi = \frac{K}{\rho} = \frac{m}{\rho VH} \quad (1-10)$$

式中 ρ ——物质密度， kg/m^3 ；

ρV ——物质质量， kg ；

χ ——物质比磁化率，是物质磁化时单位质量和单位磁场强度的磁矩，又称为质量磁化率， m^3/kg 。

与比磁化率相对应的一个物理量是比磁化强度，即

$$j = \frac{M}{\rho} = \chi H \quad (1-11)$$

式中 j ——比磁化强度， $(A \cdot m^2)/kg$ 。

量度物质磁化程度的另一个重要物理量是磁感应强度，它与磁场强度的关系可用式(1-12)表示。

$$B = \mu H = \mu_0 \mu_r H \quad (1-12)$$

式中 B ——磁感应强度， T ；

μ ——物质磁导率， $(T \cdot m)/A$ ；

μ_0 ——真空磁导率， $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} (T \cdot m)/A$ ；

μ_r ——相对磁导率，无量纲， $\mu_r = \mu/\mu_0 = 1+K$ 。

不同物质的 μ_r 不同，如水的 $\mu_r = 1.00008$ ，铁的 $\mu_r = 18000$ 。

磁感应强度又可表示为：

$$B = \mu_0(H + M) = \mu_0 H + \mu_0 KH \quad (1-13)$$

在磁学测量中,给定 H ,可用磁力天平等仪器测定比磁化率 χ ,计算 K 、 j 、 M 和 B 等物理量,也可用冲击检流计直接测量磁感应强度 B 。根据给定的 H 值和测出的其他磁量绘制 $B=f_1(H)$ 或 $M=f_2(H)$ 和 $\chi=f_3(H)$ 曲线,用于判别各种的磁性。

1.1.3.2 矿物质的磁性

磁性可看成是物质内带电粒子运动的结果,是物质的基本属性之一。自然界中各种物质都具有不同程度的磁性,大多数物质的磁性都很弱,只有少数物质才有较强的磁性。就磁性来讲,物质可分为三类:顺磁性物质、逆磁性物质、铁磁性物质。

典型的顺磁性、逆磁性、铁磁性物质的磁化强度和磁场强度间的关系,如图1-1所示。

(1) 顺磁性物质的上述关系是斜率为正的直线关系。

(2) 逆磁性物质为负斜率直线关系。

(3) 铁磁性物质为一渐近曲线,随磁场强度增大,物质磁化强度始变化很快,然后趋于平缓,最后达到饱和。

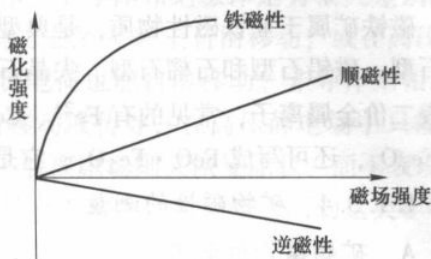


图 1-1 物质的磁化强度和磁场强度间的关系

值得注意的是,当磁场强度相当小的时候,磁化强度就趋于饱和值了。

1.1.3.3 磁选中矿物的分类

磁选中矿物磁性的分类不同于物质磁性的物理分类。通常,按比磁化率大小把所有矿物分成强磁性矿物、弱磁性矿物和非磁性矿物。

(1) 强磁性矿物。这类矿物的物质比磁化率 $\chi > 4.0 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{kg}$,在磁场强度达 $80 \sim 136 \text{ kA/m}$ 的弱磁场磁选机中可以回收。属于这类矿物的主要有磁铁矿、磁赤铁矿(γ -赤铁矿)、钛磁铁矿、磁黄铁矿和锌铁尖晶石等。这类矿物大都属于亚铁磁性物质。

(2) 弱磁性矿物。这类矿物的物质比磁化率 $\chi = 1.26 \times 10^{-7} \sim 7.5 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{kg}$,在磁场强度 $H = 480 \sim 1840 \text{ kA/m}$ 的磁选机中可以选出。这类矿物最多,如大多数铁锰矿物——赤铁矿、镜铁矿、褐铁矿、菱铁矿、水锰矿、硬锰矿、软锰矿等;一些含钛、铬、钨矿物——钛铁矿、金红石、铬铁矿、黑钨矿等;部分造岩矿物——黑云母、角闪石、绿泥石、绿帘石、蛇纹石、橄榄石、石榴石、电气石、辉石等。这类矿物大都属于顺磁性物质,也有些属于反铁磁性物质。

(3) 非磁性矿物。这类矿物的物质比磁化率 $\chi = 1.26 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{kg}$,是目前难以用磁选法回收的矿物。这类矿物也有很多,如部分金属矿物——方铅矿、闪锌矿、辉铜矿、辉铋矿、红砷镍矿、白钨矿、锡石、金等;大部分非金属矿物——自然硫、石墨、金刚石、石膏、萤石、刚玉、高岭土、煤等;大部分造岩矿物——石英、长石、方解石等。这类矿物有些属于顺磁性物质,也有些属于逆磁性物质(方铅矿、金、辉铋矿和自然硫等)。

矿物的磁性主要取决于矿物晶格中是否存在未成对的电子。未成对电子愈多,其磁性表现愈强。晶格中的过渡型离子常有未成对的电子,因此含钒离子、铬离子、铁离子、锰离子、铜离子等离子的矿物,常具有磁性。但自然界具强磁性的矿物不多,只有当晶格中未成对电子的磁场在一定程度上统一取向时,才表现出强磁性。

此外,矿物的磁性受很多因素影响,不同产地不同矿床的矿物磁性往往不同,有时甚

至有很大的差别。这是由于它们在生产过程中的条件不同、杂质含量不同、结晶构造不同等所引起的。另外，各类磁性矿物和非磁性矿物的物质比磁化率范围的规定，特别是弱磁性矿物和非磁性矿物的界限规定不是极其严格的，后者将随着磁选技术的发展，磁选机的磁场力的提高会不断地降低，所以上述分类是大致的。对于一个具体的矿物，其磁性大小应通过矿物磁性测定才能准确得出。

各种常见矿物的物质比磁化率值列于表 1-1。

强磁性矿物主要包括磁铁矿、磁赤铁矿、钛磁铁矿、磁黄铁矿等矿物，它们具有共同的磁性。磁铁矿是典型的强磁性矿物，又是磁选所处理的主要矿石。

磁铁矿属于亚铁磁性物质，是典型的铁氧化物。铁氧化物的晶体结构主要有三种：尖晶石型、磁铅石型和石榴石型。尖晶石型铁氧化物的化学分子式为 $XO \cdot Fe_2O_3$ ，其中，X 代表二价金属离子，常见的有 Fe^{2+} 、 Co^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Cd^{2+} 、 Mn^{2+} 等，磁铁矿的分子式为 Fe_3O_4 ，还可写成 $FeO \cdot Fe_2O_3$ ，它是尖晶石型的铁氧体。

1.1.3.4 矿物磁性的测量

A 矿物磁性的测定

矿物磁性的测量方法可分成三大类：有质动力法、感应法和间接法。选矿中常用的是有质动力法。对一般情况，采用磁力天平就可以满足要求。有质动力法可分成古依 (Gouy) 法和法拉第 (Faraday) 法。

(1) 古依 (Gouy) 法测矿物的比磁化率。此法是直接测量比磁化率的方法，适用于强磁性矿物和弱磁性矿物的比磁化率测定。

(2) 法拉第法测量矿物的比磁化率。法拉第法一般用来测定弱磁性矿物的比磁化率。该法与古依法的主要区别是样品的体积较小，因此可近似认为在样品所占的空间内磁场力是个恒量。

即

$$\chi = \frac{f_{\text{磁}}}{\mu_0 H \text{grad} H} \quad (1-14)$$

B 磁性矿物含量的分析

实验室常用磁选管、磁力分析仪、感应辊式磁力分离机、强磁矿物分离仪等磁力分析器分析矿石中磁性矿物的含量，确定矿石磁选可选性指标，对矿床进行工艺评价，检查磁选机的工作情况，提纯各种单矿物以进行物质组成、矿物组成、可选性等方面的工作。

1.1.4 电性质

固态物质的电性质，在电学上按导电性能或电阻大小可分为导体、半导体和绝缘体。

矿物的电性质是指矿物的电阻、介电常数、比导电度以及电整流性等，它们是判断能否采用电选的依据。一般来说矿物具有较高的电阻，不是电的良好导体。矿物加工中电选分离所涉及的矿物的电性质是指矿物在电场中获得表面电荷的能力，以及表面电荷的传导能力。

1.1.4.1 电导率

电导率是长 1cm、截面积为 1cm^2 的直柱形物体沿轴线方向的导电能力。它是电阻率