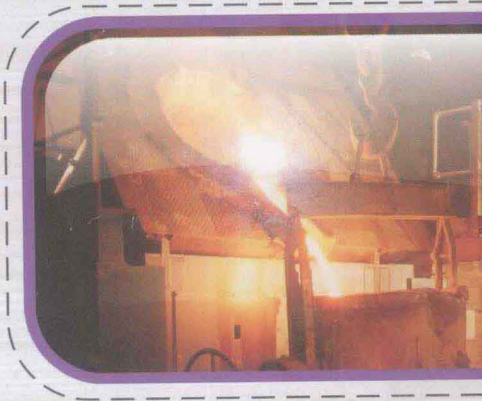


职业技能培训 系列教材 [冶金方向]



浮选技术

FUXUAN JISHU

■ 主 编 沈 旭

■ 副主编 熊 崑 李柏村

■ 主 审 赵华明



重庆大学出版社
<http://www.cqup.com.cn>

浮 选 技 术

主 编 沈 旭
副主编 熊 崑 李柏村
主 审 赵华明

重庆大学出版社

内 容 提 要

本书是以贯彻工作过程为导向,对浮选技术进行项目设置。书中对硫化矿、氧化矿、非金属矿及稀贵金属矿石等各类矿石的浮选技术,从矿石的可浮性、浮选药剂、浮选设备、浮选工艺、浮选过程操作等一系列任务进行了全面系统的阐述。

本教材主要作为职业技能培训使用,也可作为高职高专院校、中等职业学校、技校等有关专业的教学用书,并供相关专业的工程技术人员、管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

浮选技术/沈旭主编. —重庆:重庆大学出版社,2011.4

职业技能培训系列教材

ISBN 978-7-5624-5949-1

I. ①浮… II. ①沈… III. ①浮游选矿—技术培训—教材 IV. ①TD923

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 047058 号

浮选技术

主 编 沈 旭

副主编 熊 崑 李柏村

主 审 赵华明

策划编辑:曾显跃

责任编辑:文 鹏 刘 麦 版式设计:曾显跃

责任校对:夏 宇 责任印制:赵 晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:邓晓益

社址:重庆市沙坪坝正街 174 号重庆大学(A 区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(营销中心)

全国新华书店经销

重庆升光电力印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:14 字数:349 千

2011 年 4 月第 1 版 2011 年 4 月第 1 次印刷

印数:1—3 000

ISBN 978-7-5624-5949-1 定价:25.00 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

前言

编写本书的目的是为适应各地劳动保障部门及相关职业培训和技能鉴定机构、高职院校等开展就业、培训、鉴定工作的需要,不断提高选矿从业人员的职业素质和职业技能,培养适应选矿生产及管理需要的技术应用性人才。

本教材的特色是贯彻工作过程导向的理念,对浮选技术进行项目设置,每个项目可为独立内容。在项目下又设几个任务:项目1强调浮选理论基础,项目2是硫化矿的浮选,项目3是氧化矿的浮选;项目4是非金属矿及部分稀贵金属矿的浮选,项目5是浮选过程操作技术,项目6是选矿流程的选择计算及流程考查。对硫化矿、氧化矿、非金属矿等各类矿石的浮选,从矿石的可浮性、使用的药剂、浮选设备、浮选工艺等一系列任务进行全面系统阐述,可根据行业岗位选取项目进行教学及培训。

本教材另一特色是紧贴岗位,以行业岗位工作任务作引领,以工作过程为导向,既注重理论知识的应用、实践技能的训练以及分析解决问题和创新创业能力的提高,又力求体现较强的针对性、实践性。

本教材主要作为职业技能培训使用,也可作为高职高专院校、中等职业学校、技校等有关专业的教学用书。

本书共6个项目。沈旭编写项目1、项目2、项目3、项目5、项目6;其中:李柏村编写项目1中任务1,杨新华编写项目2中任务2、项目3中任务2;朱黎江、廖佳编写项目2中任务3;彭芬兰编写项目4。全书由沈旭主编,赵华明主审。

本书在编写的过程中引用了大量的文献资料,谨向各位作者致以诚挚的谢意!

由于编者水平有限,书中不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2011年2月

目 录

项目 1 浮选的理论基础	1
任务 1 浮选概述	1
1.1.1 浮选概念及浮选过程	1
1.1.2 浮选发展及应用	2
任务 2 浮选基本原理	3
1.2.1 矿物表面的润湿性与可浮性	4
1.2.2 矿物的组成和结构与可浮性	10
1.2.3 矿物表面的电性与可浮性	17
1.2.4 矿物表面的吸附	21
1.2.5 矿粒的分散与聚集	24
1.2.6 浮选速率	26
项目 2 硫化矿的浮选	27
任务 1 硫化矿的分类及主要矿物的浮选性	27
2.1.1 硫化矿类型	27
2.1.2 硫化铜矿物类型及可浮性	28
2.1.3 硫化铅锌矿物类型及可浮性	30
任务 2 硫化矿的浮选药剂	31
2.2.1 浮选药剂的分类及在浮选中的作用	31
2.2.2 药剂选择的基本原则	33
2.2.3 药剂的发展	34
2.2.4 硫化矿捕收剂	35
2.2.5 硫化矿起泡剂	42
2.2.6 硫化矿调整剂	49
2.2.7 硫化矿絮凝剂	53
2.2.8 常用选矿药剂一览表	54
2.2.9 浮选药剂使用技术	54
任务 3 浮选设备	67
2.3.1 浮选设备的基本构造及工作原理	67
2.3.2 机械搅拌式浮选机	71
2.3.3 充气搅拌式浮选机	80
2.3.4 充气式浮选机	85
2.3.5 气体析出式浮选机	87
2.3.6 浮选设备的选择与计算	89

任务4 浮选工艺过程的影响因素	93
2.4.1 粒度	94
2.4.2 矿浆浓度	97
2.4.3 药剂制度	100
2.4.4 矿浆酸碱度	102
2.4.5 矿浆温度	104
2.4.6 浮选用水	105
2.4.7 浮选时间	106
任务5 硫化矿浮选实践	107
2.5.1 硫化铜矿浮选实践	108
2.5.2 硫化铅锌矿浮选实践	117
2.5.3 硫化铜锌矿浮选实践	119
2.5.4 硫化铜铅锌矿浮选实践	122
2.5.5 硫化锑、砷、铋、汞矿的浮选实践	125
2.5.6 含金矿石的浮选实践	127
项目3 氧化矿的浮选	130
任务1 氧化矿的分类及可浮性	130
3.1.1 氧化铜矿的可浮性	131
3.1.2 氧化铅锌矿的可浮性	132
3.1.3 铁、锰矿的可浮性	133
3.1.4 钨矿的可浮性	133
任务2 氧化矿的浮选药剂	134
3.2.1 氧化矿的捕收剂	134
3.2.2 氧化矿的调整剂	144
任务3 氧化矿的浮选实践	145
3.3.1 氧化铜矿的浮选实践	146
3.3.2 氧化铅锌矿的浮选实践	147
3.3.3 铁锰矿石的浮选实践	149
3.3.4 钨锡矿的浮选实践	153
任务4 氧化矿石的浮选设备	156
3.4.1 氧化矿石浮选对浮选机的特殊要求	156
3.4.2 BGRIMM 氧化矿专用浮选机简介	157
项目4 非金属矿石及稀贵金属矿石的浮选	158
任务1 非金属矿的浮选	158
4.1.1 煤矿的浮选	158
4.1.2 磷矿石的浮选	162
4.1.3 萤石的浮选	164
任务2 钛、钽、铌、锂、铍矿的浮选	165

4.2.1 钛矿的浮选	165
4.2.2 锂矿的浮选	167
4.2.3 铍矿的浮选	170
4.2.4 钽铌矿的浮选	172
项目5 浮选生产过程操作与控制	173
任务1 浮选操作	173
5.1.1 浮选操作的要求	173
5.1.2 矿化泡沫的观察	174
5.1.3 泡沫刮出量的控制	175
任务2 浮选药剂的操作	175
5.2.1 药剂的制备	175
5.2.2 加药的位置及方式	176
5.2.3 药剂的合理添加	176
5.2.4 药剂的贮存	177
任务3 浮选机的安装、运行、维护、工作指标及测定	177
5.3.1 浮选机的安装	178
5.3.2 浮选机的运行	178
5.3.3 浮选机的使用与工作指标	179
5.3.4 浮选机的调节	180
5.3.5 浮选机的维护	180
5.3.6 浮选机常见故障及处理方法	180
5.3.7 浮选机充气指标的测定和计算	182
项目6 浮选流程	184
任务1 浮选流程概述	184
6.1.1 浮选原则流程的类型	184
6.1.2 浮选原则流程的选择	186
6.1.3 流程内部结构	188
6.1.4 流程表示法	189
任务2 浮选流程计算及生产流程考查	189
6.2.1 浮选流程计算	189
6.2.2 生产流程考查	202
6.2.3 流程平衡计算	203
任务3 金属平衡	205
6.3.1 理论金属平衡的编制	205
6.3.2 实际金属平衡的编制	206
附录:练习与实训	207
参考文献	212

项目 1

浮选的理论基础

任务 1 浮选概述

任务导入:

浮选是一门分选矿物的技术,也是一种主要的选矿方法。据资料统计,世界上利用浮选法加工的矿石占全部入选量的 60% ~ 70% 甚至更多,可选收的矿物有百余种,处理原料的粒级下限可达 5 ~ 10 μm 。其主要原理是利用矿物表面物理化学性质的差异,使矿石中一种或一组矿物有选择性地附着于气泡上,升浮至矿液面,从而将有用矿物与脉石矿物分离。因其分选过程必须在溶液(矿浆)中进行,所以也叫浮游选矿。浮选过程是在浮选机中完成的,是一个连续过程。

学习目标:

1. 掌握浮选的概念;
2. 掌握矿物浮选的基本过程;
3. 了解浮选的发展和应用。

1.1.1 浮选概念及浮选过程

浮选即泡沫浮选,是依据各种矿物的表面性质的差异,从矿浆中借助于气泡的浮力选分矿物的过程。一定浓度的矿浆加入各种浮选药剂,在浮选机内经搅拌与空气产生大量的弥散气泡,于是,呈悬浮状态的矿粒与气泡碰撞,疏水的有用矿物黏附在气泡表面上浮,亲水的脉石矿物留在水中,从而实现彼此的分离。

浮选过程是在气、液、固三相体系中完成的复杂的物理化学过程。它是在浮选机中完成的,是一个连续过程,具体可分以下 4 个阶段,如图 1-1-1 所示。

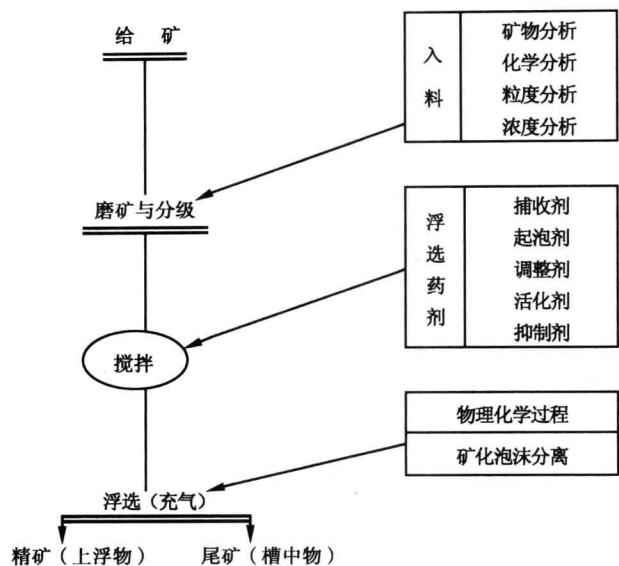


图 1-1-1 浮选流程示意图

(1) 原料准备

浮选前原料准备包括磨细、调浆、加药、搅拌等。磨细后原料粒度要达到一定要求,其目的主要是使绝大部分有用矿物从镶嵌状态中单体解离出来,另一目的是使气泡能载负矿粒上浮,一般需磨细到小于 0.2 mm。调浆指的是把原料配成适宜浓度的矿浆。加药是以后加入各种浮选剂,以加强有用矿物与脉石矿物表面可浮性的差别。搅拌的目的是使浮选剂与矿粒表面充分作用。

(2) 搅拌充气

依靠浮选机的搅拌充气器进行搅拌作用并吸入空气,也可以设置专门的压气装置将空气压入。其目的是使矿粒呈悬浮状态,同时产生大量尺寸适宜且较稳定的气泡,造成矿粒与气泡接触碰撞的机会。

(3) 气泡的矿化

经与浮选剂作用后,表面疏水性矿粒能附着在气泡上,逐渐升浮至矿液面而形成矿化泡沫,表面亲水性矿粒不能附着于气泡而存留在矿浆中,这是浮选分离矿物最基本的行为。

(4) 矿化泡沫的刮出

为保持连续生产,及时排出矿化泡沫,浮选机转动刮板把泡沫刮出,此产品叫做“泡沫精矿”。留在矿浆中然后排出的产品,叫做“尾矿”。

1.1.2 浮选发展及应用

(1) 浮选发展简史

浮选的发展经历了 3 个基本阶段:①表层浮选阶段;②全油浮选阶段;③泡沫浮选阶段。

1) 表层浮选

利用表面张力原理,将磨矿干粉轻轻撒在流动的水流表面,疏水性矿物不易被润湿漂浮在水面上,聚集成薄层,成为精矿,易被水润湿的亲水性脉石矿物下沉,从而达到分离,因其是在

水与空气界面上分选矿物,所以叫做表层浮选。此法于1907年在硫化铜浮选中得到工业应用。

2) 全油浮选

根据各种矿物亲油性及亲水性的不同,加大量油类与矿浆搅拌,然后将黏附于油层中的亲油矿物刮出,而亲水性的矿物仍留在矿浆中,从而达到分离矿物的目的。这种方法1898年开始用于硫化铅锌矿的工业生产。

以上两种方法因生产能力小,分选效果差,油药耗量大,都未能得到大规模应用。

3) 泡沫浮选

利用气泡黏附矿物,上浮形成矿化泡沫,实现与脉石分离,所以叫做泡沫浮选。此法首次在澳大利亚用于处理含锌20%的重选尾矿,当时是将干的尾矿加入稀硫酸溶液中,因该尾矿含有碳酸盐类脉石,则碳酸钙与硫酸反应放出二氧化碳气泡,闪锌矿就附着于气泡表面上浮,刮出上浮泡沫,所得的精矿含锌42%。

泡沫浮选法现已成为主要的浮选方法。

(2) 浮选在矿物加工业中的广泛应用

浮选是一种效率高的分离过程。各类浮选药剂的发展在生产实践中的具体使用,以及浮选工艺的新发展,使浮选效率大为提高,浮选的应用范围日益扩大;由于浮选设备类型增多,设备不断更新且日益大型化,浮选厂的规模越来越大,处理矿量日趋增多。此外,浮选生产的发展和现代测试技术在浮选理论研究中的应用,使人们对许多理论问题的认识日益深化。

1) 浮选法的优势

①应用范围广,适应性强。它几乎可以应用于各种有色金属、稀有金属及非金属等各个矿产部门,在化工、建材、环保、农业、医药等领域得到了广泛应用。

②分选效率高,适于处理品位低、嵌布细的矿物。

③有利于矿产资源的综合回收。浮选法可进一步处理其他选矿方法得到的粗精矿、中矿或尾矿,以提高精矿品位、回收率及综合回收其中的有用成分。

2) 浮选法的不足

①使用各类药剂,易造成环境污染。

②需要较细的磨矿粒度。

③成本高,影响因素多,工艺要求较高。

任务2 浮选基本原理

任务导入:

矿物浮选是在气-液-固三相体系中进行的一种复杂的物理化学过程,它是在固、气、液三相界面上进行的。矿物之间可浮性的差异对矿物能否有效分选有着重要影响。矿物的可浮性与矿物表面的润湿性、矿物的组成和结构、矿物表面的电性等有着密切关系。

矿物表面的润湿性影响矿物表面的亲水性或疏水性,从而影响矿物的可浮性;矿物的组成和结构决定矿物的表面键能,影响矿物的可浮性。吸附是浮选中矿物、药剂、气泡间相互作用的主要形式,伴随着整个浮选过程。浮选矿浆中,矿粒的分散和聚集对其浮选行为有重要影

响。浮选速率是衡量浮选过程进行快慢的重要指标。

学习目标:

1. 掌握润湿现象的概念,润湿现象对浮选的意义;
2. 掌握矿物的接触角的概念以及它与矿物表面可浮性的关系;
3. 了解润湿阻滞及它对浮选的影响;
4. 了解矿物表面的水化作用及对浮选的影响;
5. 掌握矿物的表面键能与矿物可浮性的关系;
6. 了解矿物的物理不均匀性、化学不均匀性及对浮选有何影响;
7. 了解矿物的氧化和溶解对浮选的影响;
8. 了解矿物表面电性产生的原因;
9. 了解什么是双电层,双电层的结构,说明双电层中的电位、零电点和等电点;
10. 了解矿物表面电性对浮选有哪些影响;
11. 掌握什么是吸附,对浮选有何意义;
12. 分析吸附类型及浮选中的吸附现象;
13. 了解分散、聚集的概念,分散和聚集在浮选中有何应用;
14. 了解什么是絮凝,什么是选择性絮凝;
15. 掌握浮选速率的概念,掌握影响浮选速率的因素。

1.2.1 矿物表面的润湿性与可浮性

浮选过程中的充气矿浆,是由矿物颗粒、水、气泡组成的。其中矿粒是固相,水是液相,气泡是气相,通常把浮选过程中的充气矿浆叫三相体系。各相间的分界面叫相界面。矿物浮选是在气-液-固三相体系中进行的一种复杂的物理化学过程。它是在固、气、液三相界面上进行的。为使不同矿物在浮选过程中得到有效的分离,必须使它们充分体现其表面性质的差异,其差异越大,分选越容易。而润湿是矿粒与水作用时,其表面所表现出的一种最基本的现象。

(1) 矿物表面的润湿性

1) 润湿现象



图 1-2-1 润湿现象

润湿是自然界中的常见现象,发生在固液界面上,如图 1-2-1 所示。在石英表面滴一滴水,水则迅速展开,这就是说,石英能被水所润湿。而在石蜡表面滴一滴水,水呈球状,这说明石蜡不易被水所润湿,是疏水的。通常把水在矿物表面上展开和不展

开的现象称为润湿和不润湿现象。易被水润湿的表面称为亲水性表面,该种矿物称亲水性矿物;不易被水润湿的表面称为疏水性表面,这种矿物称疏水性矿物。例如,石英、云母等很容易被水润湿,是亲水性矿物,而石墨、辉钼矿等不易被水润湿,是疏水性矿物。

2) 润湿现象在浮选中的意义

不同的矿物,其表面的疏水性和亲水性不同,即润湿程度不同,如图 1-2-2 所示。矿物的上表面是空气中水滴在矿物表面的铺展形式,从左到右,水滴在矿物表面越来越难以展开而逐

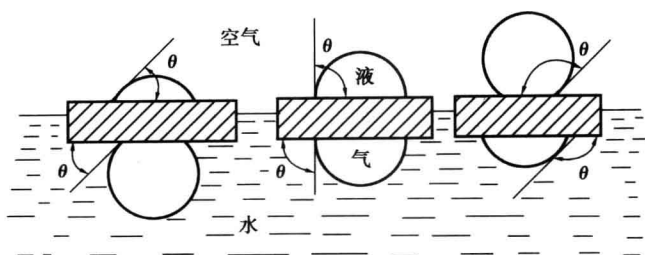


图 1-2-2 不同矿物表面润湿程度

渐呈球形,说明从左到右,矿物表面的疏水性逐渐增强,亲水性逐渐减弱;图中,矿物的下表面是水中的气泡在矿物表面附着的形式,从气泡在矿物表面附着情况看,从左到右,气泡逐渐在矿物表面展开而呈扁平状,气泡的形状正好与水滴的形状相反,说明气泡在矿物表面展开并与矿物表面结合得越来越牢固,附着程度也越来越强。水和气泡在矿物表面的不同表现,简单地概述为:亲水矿物“疏气”,而疏水矿物则“亲气”。

目前,人为调节润湿性(可浮性)的方法有两大类:物理方法和化学方法。矿物表面润湿性及其调节是实现各种矿物分离的关键,所以了解和掌握矿物表面润湿性的差异、变化规律以及调节方法对浮选原理的理论研究及实践有重要意义。

(2) 接触角与矿物可浮性的关系

1) 接触角的概念

为了判断、比较矿物表面润湿性的大小,常用接触角来衡量。固体表面上的水滴或气泡在矿物表面附着,在某一瞬间固、液、气三相达到平衡,固-液-气三相接触周边(接触线)称为润湿周边。在润湿周边上任意一点,沿液-气界面(水滴或气泡)作切线,与固-液界面所形成的夹角(包含液体部分的夹角),称为平衡接触角,简称接触角,用 θ 表示,如图 1-2-3 所示。

任何物体的表面都存在着表面张力,表面张力的方向总是垂直于物体表面指向物体内部,其作用结果是收缩物体表面面积,使物体表面的自由能为最低,状态为最稳定。如杯中的酒,可以超出酒杯边缘呈拱形,不至于马上溢出,这就是酒的表面张力的作用。任何两相物体相接触时,接触面的表面张力就表现为界面张力,用 σ 表示。

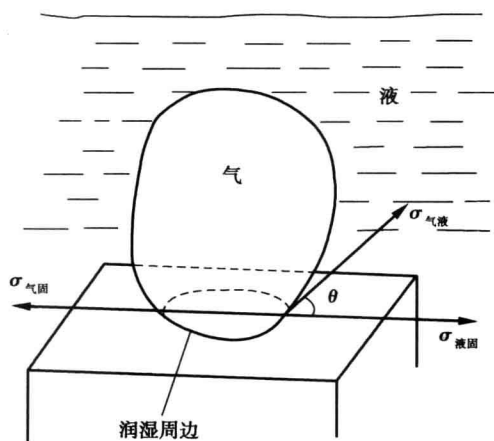


图 1-2-3 润湿周边与接触角

当气体在水中固体表面附着并达到平衡时,任意两相之间的界面张力如图 1-2-4 所示。

从图中可以看出,当 3 个力达到平衡时,有如下的平衡方程式(这一平衡状态方程是杨氏(Yong)在 1805 年确定的,称为杨氏方程):

$$\sigma_{\text{固气}} = \sigma_{\text{固液}} + \sigma_{\text{液气}} \cos \theta \quad \text{即} \quad \cos \theta = \frac{\sigma_{\text{固气}} - \sigma_{\text{固液}}}{\sigma_{\text{液气}}}$$

式中: $\sigma_{\text{固气}}$ 、 $\sigma_{\text{液气}}$ 和 $\sigma_{\text{固液}}$ ——固-气、固-液、液-气界面的表面张力(或表面自由能);

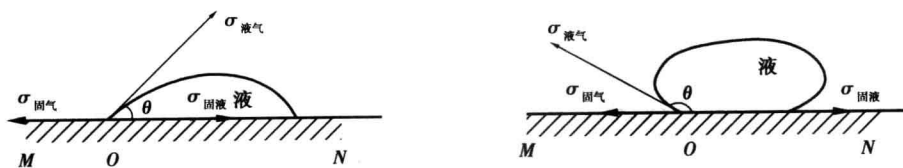


图 1-2-4 接触角与界面张力间的关系

θ ——接触角。

上式表明,接触角是 3 个相界面自由能的函数,它既与矿物表面性质有关,也与液相、气相的界面性质有关。凡是能引起任何三相界面自由能改变的因素,都可以影响矿物表面的润湿性。

2) 接触角度量与矿物可浮性的关系

根据杨氏方程,由 θ 的大小可以度量不同矿物润湿程度的高低。

当 $\theta < 90^\circ$ 时: $\sigma_{\text{固气}} > \sigma_{\text{液气}}$, 液滴被拉开,沿矿物表面展开,矿物表面被润湿,表现为亲水。

当 $\theta > 90^\circ$ 时: $\sigma_{\text{固气}} < \sigma_{\text{液气}}$, 液滴收缩,沿矿物表面聚集成珠状,矿物表面不易被润湿,表现为疏水。

当 $\theta = 90^\circ$ 时: $\cos \theta = 0$, 规定为疏水表面与亲水表面的分界线。

当 $\theta = 0$ 时: $\cos \theta = 1$, 固体被液体完全润湿。

当 $\theta = 180^\circ$ 时: $\cos \theta = -1$, 液滴对固体完全不润湿。

即接触角 θ 愈大, $\cos \theta$ 愈小,其可浮性愈好。并且 $\cos \theta$ 值介于 $-1 \sim 1$ 之间,于是对矿物的润湿性与可浮性的度量定义为:

润湿性 = $\cos \theta$

可浮性 = $1 - \cos \theta$

接触角 θ 与矿物可浮性之间的关系是:接触角 θ 愈大, $\cos \theta$ 值就愈小,其润湿性愈弱,则可浮性愈好;反之,接触角 θ 愈小, $\cos \theta$ 值就愈大,其润湿性愈强,则可浮性愈差。

矿物接触角可以测得,表 1-2-1 列出了部分矿物的接触角测定值,依据接触角可大致判断各种矿物的天然可浮性。

表 1-2-1 部分矿物接触角测定值

矿物名称	接触角/(°)	矿物名称	接触角/(°)
硫	78	黄铁矿	30
滑石	64	重晶石	30
辉钼矿	60	方解石	20
方铅矿	47	石灰石	0 ~ 10
闪锌矿	46	石英	0 ~ 4
萤石	41	云母	0

3) 接触角的测量

由杨氏公式可计算出接触角 θ 的大小,但是,通常并不是利用杨氏公式来求 θ , 因为杨氏

公式中的 $\sigma_{\text{固气}}$ 和 $\sigma_{\text{固液}}$ 不易测定。通常接触角 θ 是利用一定的仪器,并通过一定的方法进行测定的,主要测定方法有:角度测量法、长度测量法、重量测量法和浸透速度测量法。其中角度测量法是直观的测量方法,根据观测手段的不同,又可分为斜板法、观察测量法和光反射法。

接触角的测定方法很多,但由于矿物表面不均匀,接触角难以达到平衡和稳定,要准确测量则较困难。

4) 润湿阻滞

接触角可用来度量矿物表面的润湿程度,而润湿程度又直接反映矿物表面疏水性和亲水性强弱。矿物表面疏水性和亲水性的强弱与矿物的可浮性有着直接而密切的关系。

上面讨论的是平衡接触角,但实际上,接触角并不立刻达到平衡,也不是在任何情况下都会平衡。当液滴在固体表面展开时,总会遇到阻碍。润湿过程中,润湿周边展开或移动,使平衡接触角发生改变,这种现象称为润湿阻滞。润湿阻滞现象主要是由界面间的摩擦力引起的,在有润湿阻滞时,阻滞接触角大于平衡接触角。通常润湿阻滞很难避免,故平衡接触角很难测准。润湿阻滞受到多种因素的影响,如矿物表面组成、表面不均匀性、粗糙度及矿物表面润湿性等。

在空气状态下的液滴和矿物表面接触并达到平衡时,其接触角大小一定。若矿物表面倾斜一个 α 角,且 α 很小时,矿物表面上的液滴可改变形状,接触角也发生变化,但此时润湿周边则不发生移动,如图1-2-5所示。

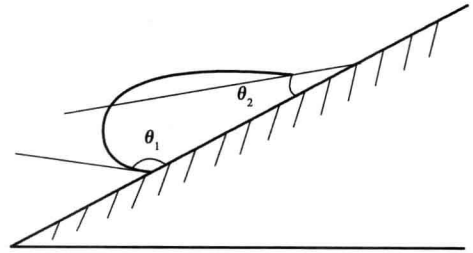


图1-2-5 润湿阻滞现象

水滴前移方向所形成的接触角 θ_1 称为前角或称阻滞角(接触前角)。水滴后方形成的接触角 θ_2 称为后角,或称阻滞角(接触后角),则有 $\theta_1 > \theta > \theta_2$ 。

发生润湿阻滞现象时,总存在一个阻滞前角和后角。实质上,这两个角分别代表两种不同的阻滞效应:前角代表阻滞过程中的“水排气”的阻滞效应;后角代表“气排水”的阻滞效应。

在浮选过程中,矿粒向气泡附着时,就是气排水过程。在这一过程,接触角相当于阻滞后角 θ_2 ,小于平衡接触角,因此,矿粒与气泡附着过程难以进行。润湿阻滞不利于矿粒与气泡的黏附,对浮选过程起阻滞作用。而矿粒欲从气泡上脱落下来时,该过程属于水排气过程。在这一过程中,接触角相当于前角 θ_1 ,大于平衡接触角,使得水难以从矿物表面将气泡排开,因而防止矿粒从气泡上脱落。因此,此时的润湿阻滞对浮选有利。

(3) 矿物表面的水化作用

在浮选过程中,水具有极其重要的作用。固体粒度在水中发生的一切界面现象都与水的性质密切相关,因此,首先对水的有关性质进行分析讨论。

1) 水分子的结构及其性质

水分子(H_2O)由2个氢原子和1个氧原子组成,3个原子核构成以2个质子为底的等腰三角形。水分子中由于氢氧原子位于分子的一端,负电荷的重心在氧原子的一端,正电荷的重心在氢原子的一端,因此,使整个水分子的电性不平衡,所以水分子的极性较强,可把水分子看成1个偶极子,如图1-2-6所示。

水分子有2个正电性的氢原子,除了和本分子内的氧原子产生氢-氧间的极性键组成水分

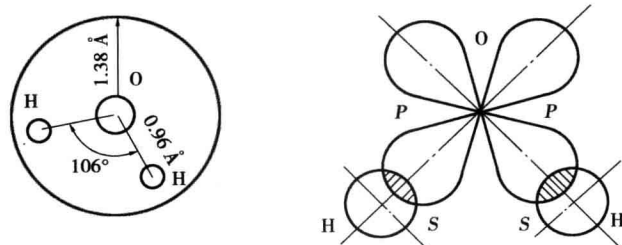


图 1-2-6 水分子结构示意图

子以外,还能和另一分子中的氧原子的电子云相互吸引,使分子间产生氢键键合,把两个以上的分子缔合在一起。水分子具有偶极性是它对于许多盐类和浮选剂具有很强的溶解能力的原因,也是它对绝大部分矿物具有润湿能力的原因。

根据水分子的结构,水具有以下性质:

- ①水具有很强的溶解能力;
- ②在 4 ℃ 时水的密度为最大;
- ③水具有很高的介电常数;
- ④水的电导率低,对其他化合物具有较大的电离能力;
- ⑤水分子间具有很强的缔合作用。

2) 水分子与矿物表面的水化作用

当矿物断裂时,其断裂面存在不饱和键和键能,使矿物表面呈现出一定程度的极性。若将破碎的矿物置于水中,则极性的水分子会定向吸附于极性的矿物表面,使矿物表面的不饱和键及键能得到一定的补偿,并使整个体系的表面自由能降到最低。

不同的矿物,因其组织和结构不同,破碎时断裂面的键不同,因而表面不饱和键及键能不同。键能的不饱和程度影响矿物表面的极性,因而使不同矿物与水作用力的大小不同,吸附水分子的多少也不同。

极性水分子定向排列在矿物表面的现象称为矿物表面的水化,矿物表面发生水化作用时,形成水化层或水化膜。水分子进入矿物表面的键能作用范围内,受矿物表面键能作用,按同性电荷相斥,异性电荷相吸的原则定向排列。水分子离矿物表面越近,受矿物表面键能吸引愈强,排列就愈紧密、规则;离矿物表面越远,表面键能的影响愈弱,水分子的排列逐渐稀疏零乱;当水分子离矿物表面足够远时,矿物表面键能的引力将不能再吸引水分子,这时,水分子呈普通水那样的自由无序状态。

水化膜实际是介于矿物表面与普通水之间的过渡层,类似固体表面的延续,矿物表面与普通水之间的距离就是水化膜(水化层)的厚度,如图 1-2-7 所示。

水化膜受矿物表面的键能作用,它的黏度比普通水大,稳定性高,具有同固体相似的弹性,所以水化膜虽然外观是液相,但其性质却近似固相,溶解能力降低。

水化作用是一个放热过程,放出的热量越多,水化作用越强,水化膜越厚,与矿物表面结合得越牢固。

由此可以看出,当极性矿物与水作用时,水分子定向排列在极性矿物表面,矿物表面发生水化作用,形成一层水化膜,宏观上表现为矿物被水润湿。因此润湿现象的实质是极性水分子定向吸附在矿物表面,并形成一层水化膜的结果。润湿是通过在矿物表面形成一层水化膜而

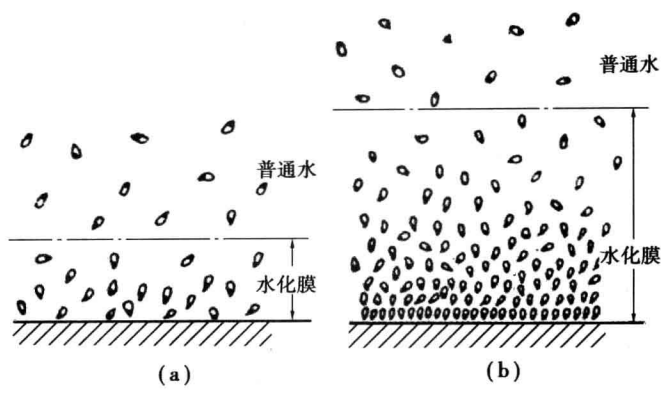


图 1-2-7 水化作用及水化膜

- (a) 疏水性矿物(如辉钼矿),表面呈弱键,水化膜薄;
- (b) 亲水性矿物(如石英),表面呈强键,水化膜厚

实现的。

3) 水化膜的薄化

矿物表面的水化膜越厚,矿物的润湿程度越高,越亲水;反之,矿物表面的水化膜越薄,矿物表面不易被水润湿,表现为疏水。因此,水化膜的厚薄直接反映了矿物表面润湿程度的高低。水化作用与矿物表面的润湿性一致,与可浮性相反。

在浮选过程中,矿粒与气泡相互接近,先排除隔于两者夹缝间的普通水。由于普通水的分子是无序而自由的,所以易被挤走。当矿粒向气泡进一步接近时,矿物表面的水化膜受气泡的排挤而变薄。

矿粒向气泡附着的过程,可分为 3 个阶段,如图 1-2-8 所示。

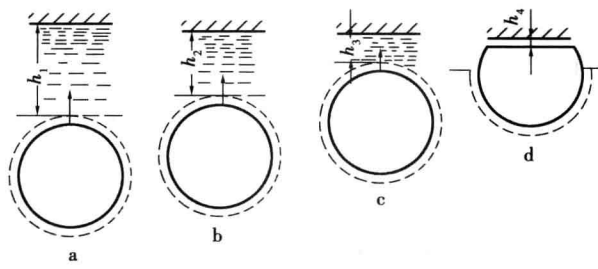


图 1-2-8 矿粒向气泡附着的 3 个阶段示意图

第一阶段 a 为矿粒与气泡相互接近与接触阶段。在浮选过程中,由于浮选机的机械搅拌及充气作用,矿粒与气泡不断发生碰撞。据观察测定,矿粒与气泡的附着并不是碰撞一次就可实现的,而是需要碰撞数次到数十次才能实现。然后,矿粒与气泡间的普通水层被逐渐挤走,直至矿粒表面的水化膜与气泡表面的水化膜相互接触。

第二阶段 b 为矿粒与气泡之间的水化膜变薄与破裂阶段。矿粒表面有一层稳定的水化膜,气泡表面也存在着类似的水化膜。当矿粒与气泡靠近,使彼此的水化膜减薄,最后减薄到水化膜很不稳定,并引起迅速破裂。

第三阶段 c 为矿粒在气泡上附着。矿粒与气泡接触后,从矿物表面排开大部分水化膜,接触周边逐渐展开。但是,在矿物表面上,还留有极薄的残余水化膜。残余水化膜与矿物表面吸

附牢固,性质似固体,难以除去。据认为,残余水化膜的存在,不影响矿粒在气泡上的附着。

1.2.2 矿物的组成和结构与可浮性

矿物表面物理化学性质的差异,是矿物分选的依据;而决定矿物的性质的主要因素则是矿物本身的化学组成和物理结构。自然界的矿物,按工业用途可分为两大类:一类是工业矿物,另一类是能源矿物。前者绝大多数是晶体矿物,后者则为非晶体矿物。

(1) 矿物的表面键能与可浮性

1) 矿物的晶体结构

矿物都是有一定化学组成的单质或化合物,具有一定的结构。矿物内部的结构有的是规则的,有的是不规则的。决定这些结构的是离子、原子、分子等质点以及这些质点在矿物内部的排列。通常将质点呈有规则排列的矿物称为晶体矿物,质点呈不规则排列的矿物称非晶体矿物。晶格中的质点都以一定的作用力互相联系着,这些作用力又称为键(化学键)。由于组成矿物的质点不同,键就不同,因而矿物具有不同的结构。矿物晶格中存在着离子键、共价键和金属键,在个别情况下还存在着氢键。根据键的不同,可以将矿物晶体结构分为离子晶体、原子晶体、分子晶体和金属晶体。

①离子晶体。离子晶体是由阳离子和阴离子组成。阴阳离子之间通过静电引力相结合,这种键合方式称为离子键。离子键无方向性和饱和性,键合力强。阴、阳离子交替排列在晶格的节点上,离子堆积紧密。具有典型离子键晶体结构的矿物有:岩盐(NaCl)、萤石(CaF_2)、闪锌矿(ZnS)、白铅矿(PbCO_3)、铅矾(PbSO_4)、白钨矿(CaWO_4)、孔雀石 $[\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2]$ 、方解石(CaCO_3)等。岩盐的晶体结构如图 1-2-9 所示。

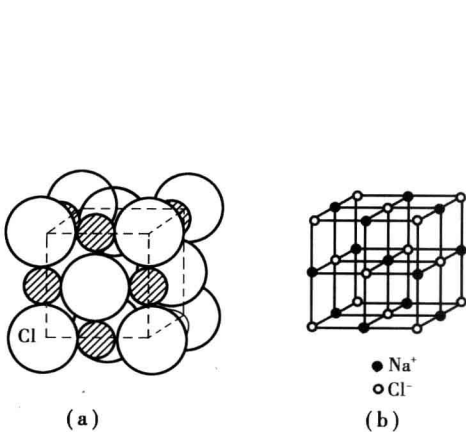


图 1-2-9 岩盐的晶体结构
(a) 晶体中离子的排列; (b) 晶格

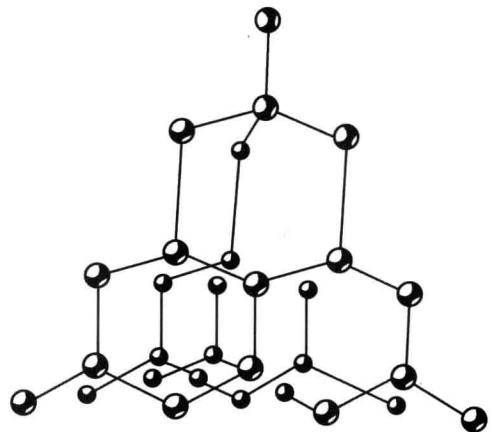


图 1-2-10 金刚石的晶体结构

②原子晶体。原子晶体(共价晶体)是由原子组成的,原子间通过共用电子对所产生的力相结合,这种化学键称为共价键。共价键具有方向性和饱和性,在原子晶体的晶格节点上排列的是中性原子,晶体中不存在自由电子,因此晶体是不良导体,且晶体结构的紧密程度远比离子晶体低。单纯以共价键联结的晶体在矿物中很少见。金刚石是典型的共价晶体,如图 1-2-10 所示。但有共价键成分的晶体却很多,如石英(SiO_2)、金红石(TiO_2)、锡石(SnO_2)等。