



浮游分选技术

FUYOU FENXUAN JISHU

主 编 慕红梅

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

浮游分选技术

主 编 慕红梅



内 容 简 介

本书在组材上依据浮游分选技术,就选煤/选矿实际应用工作中针对煤、金属矿物浮选过程中所用到的知识和能力,选择和组织内容,重点介绍了矿物分析方法、浮选药剂配制、浮选设备操作、浮选工艺影响因素等在各种矿物分选中的应用,注重强调工作任务和岗位能力与知识的联系。全书紧密围绕浮游分选技术所需的知识和技能,将内容分解为3个情境(知识由简单到复杂,由单一应用到综合应用),11个相对独立又互相联系的学习任务(每个任务中又依次分为若干知识点)。本书把理论知识运用到生产实际中,结合现有的实训条件,设计与任务对应的实训操作,并设计相应的工作页进行实施,充分体现工作过程的完整性。每个任务主要由任务概述、知识准备、任务实施、拓展知识组成。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

浮游分选技术/慕红梅主编. —北京:北京理工大学出版社,2015.1
ISBN 978-7-5682-0016-5

I. ①浮… II. ①慕… III. 浮游选矿 IV. ①TD923

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第293268号

出版发行/北京理工大学出版社有限责任公司

社 址/北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编/100081

电 话/(010)68914775(总编室)

82562903(教材售后服务热线)

68948351(其他图书服务热线)

网 址/<http://www.bitpress.com.cn>

经 销/全国各地新华书店

印 刷/三河市华骏印务包装有限公司

开 本/787毫米×1092毫米 1/16

印 张/15

字 数/352千字

版 次/2015年1月第1版 2015年1月第1次印刷

定 价/45.00元

责任编辑/封雪

文案编辑/封雪

责任校对/孟祥敬

责任印制/边心超

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

前 言

本书以校企合作开发为途径，以选别工作过程和环节为对象，以学生学习为主体，构建与真实职业情境相近的教学情境，设计具有交互作用和体验的开放性教学过程，重在实现教学内容与实际工作的一致。本书在内容上省去艰深难懂的理论推导，突出实践教学的特点，始终贯彻“以岗位要求为目标，以实践为主线，以能力为中心”的理念，以浮选工的典型工作任务为载体，构建“以工作过程为导向”的教、学、做一体化课程内容。本教材从岗位工作分析着手，通过对知识、能力与态度的分析，打破了传统的教学模式，构建了以工作任务为导向，以情境教学为主体的、基于工作过程的系统化的课程体系。

本书的主要特点是以实际工作过程为依据，以岗位工作任务为导向，对内容进行系统化整合。内容包括煤的浮选、硫化矿的浮选以及氧化矿的浮选。建议采取学、训一体教学法。全书分为课程概述、学习情境一（4个任务）、学习情境二（4个任务）与学习情境三（3个任务）几个部分。编写分工如下：课程概述、学习情境一中的任务一、二由马海涛编写；学习情境一其他部分、学习情境二及所有任务实施由慕红梅编写；学习情境三由成莉燕和李文雅编写；所有拓展知识由朱宁编写。

本书由慕红梅担任主编，并完成统稿。

由于编者水平有限，错误或不足之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

目 录

课程概述	1
一、浮选的概念	1
二、浮选发展历史	1
三、浮选的应用	2
四、浮选过程	2
学习情境一 煤的浮选	4
任务一 煤样分析	4
1.1 任务概述	4
1.2 知识准备	4
1.2.1 矿物表面的润湿性	4
1.2.2 气相及其性质	8
1.2.3 水化作用	8
1.2.4 煤的结构与性质	11
1.3 任务实施	15
1.3.1 设备与药剂的准备	15
1.3.2 操作步骤	15
1.3.3 注意事项	15
1.3.4 数据处理与实训报告	15
1.4 拓展知识	15
1.4.1 量角法	16
1.4.2 量高法	16
任务二 煤浮选药剂的选配	17
2.1 任务概述	17
2.2 知识准备	17
2.2.1 概述	17
2.2.2 捕收剂	20
2.2.3 起泡剂	27
2.2.4 调整剂	31
2.2.5 煤的浮选分析	37
2.2.6 药剂的制备	38

2.3 任务实施	43
2.3.1 设备及药剂的准备	43
2.3.2 操作步骤	43
2.3.3 结果分析	44
2.4 拓展知识	44
任务三 煤浮选设备操作	45
3.1 任务概述	45
3.2 知识准备	45
3.2.1 浮选机概述	45
3.2.2 机械搅拌式浮选机	51
3.2.3 充(压)气式浮选机	67
3.2.4 气体析出式浮选机	72
3.2.5 浮选辅助设备	78
3.2.6 浮选机的安装、运行与维护	81
3.3 任务实施	85
3.3.1 设备及药剂的准备	85
3.3.2 操作步骤	85
3.3.3 注意事项	86
3.3.4 结果分析	86
3.4 拓展知识	87
任务四 煤浮选工艺影响因素的分析	87
4.1 任务概述	87
4.2 知识准备	87
4.2.1 粒度	87
4.2.1 粒度对分选的影响	87
4.2.2 原煤性质对浮选的影响	94
4.2.3 矿浆浓度	95
4.2.4 矿浆液相组成	98
4.2.5 药剂制度	102
4.2.6 浮选矿浆的调节	108
4.2.7 浮选操作	111
4.2.8 浮选流程	113
4.2.9 浮选评价	123
4.3 任务实施	135
4.3.1 设备及药剂准备	135
4.3.2 操作步骤	135
学习情境二 硫化矿浮选	137
任务一 硫化矿矿物分析	137

1.1 任务概述	137
1.2 知识准备	137
1.2.1 矿粒的组成、结构与可浮性	137
1.2.2 矿物表面的不均匀性与可浮性	140
1.2.3 矿物的氧化、溶解与可浮性	143
1.2.4 矿物表面的电性与可浮性	144
1.2.5 矿物表面的吸附	148
1.2.6 常见硫化矿的矿物特点	152
1.3 任务实施	156
1.3.1 设备与药剂的准备	156
1.3.2 操作步骤	156
1.3.3 注意事项	156
1.3.4 数据处理与实训报告	156
任务二 硫化矿浮选药剂的选配	157
2.1 任务概述	157
2.2 知识准备	157
2.2.1 捕收剂	157
2.2.2 起泡剂	162
2.2.3 调整剂	165
2.3 任务实施	168
2.3.1 设备及药剂的准备	168
2.3.2 操作步骤	168
2.3.3 注意事项	169
2.3.4 结果分析	169
任务三 硫化矿浮选设备操作	169
3.1 任务概述	169
3.2 知识准备	169
3.2.1 常用机械搅拌式浮选机	169
3.2.2 充气搅拌式浮选机	176
3.2.3 充(压)气式浮选机	181
3.2.4 气体析出式浮选机	182
3.3 任务实施	183
3.3.1 设备及药剂的准备	183
3.3.2 操作步骤:	183
3.3.3 注意事项	184
3.3.4 结果分析	184
任务四 硫化矿浮选分析	184
4.1 任务概述	184
4.2 知识准备	184

4.2.1	选矿工艺指标	184
4.2.2	硫化铜矿的浮选方案	185
4.2.3	硫化镍矿的浮选方案	187
4.2.4	硫化铅锌矿的浮选方案	190
4.2.5	复杂多金属硫化铜铅锌矿浮选分离实践	193
4.2.6	硫化钼矿的浮选方案	193
4.2.7	硫化镍矿的浮选实例	194
4.2.8	硫化铈矿浮选实例	194
4.3	任务实施	195
4.3.1	设备及药剂准备	195
4.3.2	操作步骤:	195
4.3.3	实训报告	195
学习情境三	氧化矿的浮选	196
任务一	氧化矿物分析	196
1.1	任务概述	196
1.2	知识准备	196
1.2.1	概述	196
1.2.2	氧化铜矿矿物分析	197
1.2.3	选矿过程分析	197
1.2.4	浮选过程	199
1.2.5	浮选设备操作	200
1.3	任务实施	201
1.3.1	设备与药剂的准备	201
1.3.2	操作步骤	201
1.3.3	注意事项	201
1.3.4	数据处理与实训报告	201
任务二	氧化矿浮选药剂选配	202
2.1	任务概述	202
2.2	知识准备	202
2.2.1	烃基酸及皂类阴离子捕收剂	202
2.2.2	胺类捕收剂	206
2.2.3	常见氧化矿的浮选药剂	207
2.3	任务实施	209
2.3.1	设备及药剂的准备	209
2.3.2	操作步骤	209
2.3.3	注意事项	210
2.3.4	结果分析	210
任务三	氧化矿浮选分析	210

3.1 任务概述	210
3.2 知识准备	210
3.2.1 浮选操作要求	210
3.2.2 矿化泡沫的观察	211
3.2.3 泡沫刮出量的控制	212
3.2.4 氧化铜矿的浮选实例	212
3.2.5 氧化锌矿的浮选实例	212
3.3 任务实施	212
3.3.1 设备及药剂准备	212
3.3.2 操作步骤	213
3.3.3 实训报告	213
3.4 拓展知识	213
3.4.1 矿物分析	213
3.4.2 浮选实验	215
3.4.3 选矿车间成本估算	225
3.4.4 产品分析	226
附录	227
参考文献	229

课程概述

一、浮选的概念

浮选是在气、液、固三相体系中完成的复杂的物理化学过程。其实质是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矿浆中，从而实现彼此的分离。因其分选过程必须在矿浆中进行，所以叫作浮游选矿，简称浮选。浮选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（无用矿物）分离。

二、浮选发展历史

在古老的金银淘洗加工过程中，人们已认识到利用矿物的天然疏水性或亲水性（亲油性）的不同来提纯矿物原料。浮选作为一种工业规模的选矿方法，在国外最早出现于19世纪末。新中国成立之前，我国只有少数几座有色金属和石墨浮选厂，且大部分分布在东北和安徽。

浮选在发展过程中经历了全油浮选、表层浮选和泡沫浮选三个阶段。

(1) 全油浮选。根据各种矿物亲油性及亲水性的不同，加入大量油类与矿浆搅拌，然后将黏附于油层中的亲油矿物刮去，而亲水性的矿物仍留在矿浆中，从而达到分离矿物的目的。英国布勒弗德在1860年首次使用“全油浮选”，利用矿物亲油的特性，使硫化矿和脉石分开。当油量达到矿物重量的5%左右时，亲油的矿物之间形成密集的团聚体，与脉石进行分离。这种方法被称为油团团聚，也称球团浮选。

(2) 表层浮选。布勒弗德于1885年提出表层浮选，即把某些矿物磨成干粉后，将其轻轻撒在水面上，这时不易被水润湿的疏水矿物依靠表面张力会漂浮于水面上，聚集成薄层，成为精矿，而大多数亲水矿物则因被水润湿而沉入水中，对其分别进行收集即可实现分离。表层浮选于1892年在工业上开始得到应用。凯特莫尔在1902年提出超浮选或载体浮选，即利用矿粒疏水但能吸附在聚合物载体粒子表面的特性，向矿浆中加入已被油作用过的粗颗粒，使凝聚的细泥更容易回收。

(3) 泡沫浮选。泡沫浮选以气泡作为载体，是近代浮选的开端。1877年出现用水煮沸后产生的水蒸气气泡选别石墨的方法，1886年出现利用化学法产生的气泡进行浮选的专利报道。福门特于1902年提出了泡沫浮选，即利用硫酸和碳酸盐发生作用而产生的气泡，或直接向矿浆中引入空气或 CO_2 而生成的气泡，浮起和捕集亲油颗粒，从而实现分选。

20世纪初出现了许多形式的泡沫浮选。在1903—1907年，苏曼和努里斯提出溶气浮选，将空气加压使之溶入矿浆中，或将含有过饱和空气的水通过喷嘴喷入矿浆槽，在常压条

件下释放出气泡，这些少量新生的小气泡为细泥的浮选创造了理想条件。向矿浆中注入大量气泡时，可以减少油量，从而提高浮选效率。1910—1915 年形成了气体浮选法、电解浮选法、真空浮选法、正压力浮选法、机械充气搅拌浮选法等浮选新方法。1910—1915 年也是浮选药剂快速发展的时期。1909 年发明了以松油和醇作为起泡剂形成适宜气泡的方法。1925 年发明了黄药作为捕收剂的方法。这些都加速了浮选技术的发展。随着 1910 年浮选机的发明，泡沫浮选走向了工业化。1911 年，美国蒙大拿州建成第一座用于处理小于 150 目闪锌矿的选矿厂。1912 年，泡沫浮选技术在澳大利亚和美国得到推广。

三、浮选的应用

在浮选发展过程中，药剂和设备的发展起了巨大的推动作用。各类浮选药剂的发展与在生产实践中的具体应用，及浮选工艺的新发展都使浮选效率大为提高，使浮选应用范围日益扩大；浮选设备类型的增多及设备的不断更新且日益大型化使得浮选厂的规模越来越大，处理矿量日趋增多。此外，浮选生产的发展和近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。

浮选广泛用于分选金属矿物和非金属矿物，以及冶金、造纸、农业、食品、医药、微生物、环保等行业的许多原料、产品或废弃物的回收、分离、提纯和工厂废水净化等。浮选对处理有色金属矿石、稀有金属矿石、黑色金属矿石和非金属矿石有明显优势。因此，浮选不但可以处理粒度很细的物料（理论上其分选下限可以为零），而且可以处理品位很低的贫矿石。对于复杂矿石，其分离过程比重选还要简单。

浮选具有以下优势：

(1) 浮选的应用范围广，适应性强。浮选几乎可以应用于各种有色金属、稀有金属及非金属各类矿产，在化工、建材、环保、农业、医药等领域都得到广泛应用。

(2) 浮选的分选效率高，且适于品位低，嵌布细的物料。

(3) 有利于对矿产资源的综合回收，可进一步处理用其他选矿方法得到的粗精矿、中矿和尾矿，以提高精矿品位、回收率，并综合回收其中的有用成分。

浮选具有以下不足：

(1) 成本高。

(2) 需要较细的磨矿。

(3) 所使用的药剂易造成环境污染。

(4) 影响因素多，成本高，工艺要求较高。

(5) 产品脱水率较低，过程复杂。

四、浮选过程

按浮选机中完成的连续过程，浮选过程（图 0-1-1）可分为以下四个阶段：

(1) 原料准备。浮选前的原料准备工作包括磨细、调浆、加药、搅拌等。

① 磨细。一是使绝大部分有用矿物从镶嵌状态中单体解离出来；二是使气泡能载负矿粒上浮。一般需磨细到小于 0.2 mm。

② 调浆。把原料配成适宜浓度的矿浆。之后加入各种浮选剂，以使有用矿物与脉石矿物表面可浮性的差别加大。

③ 搅拌。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，以吸入空气，也可以设置专门的压气装置将空气压入。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，为矿粒与气泡接触、碰撞创造机会。

(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，逐渐升浮至矿浆面而形成矿化泡沫。表面亲水性矿粒不能附着于气泡而存留在矿浆中。这是浮选法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，浮选机转动刮板，及时把矿化泡沫刮出，刮出的矿化泡沫产品叫作泡沫精矿。留在矿浆中，然后被排出的产品，叫作尾矿。

浮选过程也可按工艺流程分为以下四个阶段：

(1) 磨矿，即先将矿石磨细，使有用矿物与其他矿物或脉石矿物解离。

(2) 调浆加药，即调整矿浆浓度，使其适合浮选要求，并加入所需的浮选药剂，以提高效率。

(3) 浮选分离，即将矿浆放在浮选机中进行充气浮选，完成矿物的分选。

(4) 产品处理，即将浮选后的泡沫产品和尾矿产品进行脱水分离。

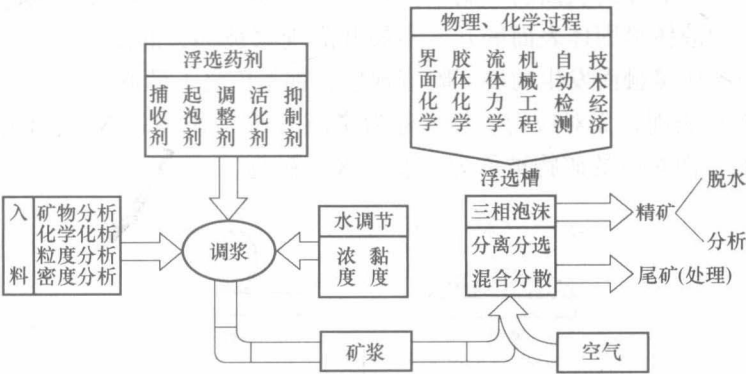


图 0-1-1 浮选过程

学习情境一 煤 的 浮 选

任务一 煤样分析

1.1 任务概述

通过接触角测量仪测定烟煤、褐煤、无烟煤的接触角，判断各种煤的可浮性。

1.2 知识准备

1.2.1 矿物表面的润湿性

(1) 润湿现象。润湿是自然界中的常见现象，是液体在固体表面产生的一种界面作用。如图 1-1-1 所示：在玻璃表面滴一滴水，水迅速散开；而在石蜡表面滴一滴水，水则呈珠状。同样，在较光滑的煤的表面滴一滴水，水也会呈珠状；而在矽石表面滴一滴水，水则很快展开。空气中的液体沿固体表面展开或不展开的现象被称为润湿或不润湿现象。事实上，任意两种流体与固体接触而发生的展开附着现象，都是广义上的润湿现象。易被润湿的表面被称为亲液（水）表面，而对应的矿物被称为亲液（水）矿物；不易被润湿的表面被称为疏液（水）表面，而对应的矿物被称为疏液（水）矿物。



图 1-1-1 润湿现象

对于不同的矿物，其表面的疏水和亲水程度不同，即润湿程度不同。如图 1-1-2 所示，从左到右，水中的气泡在矿物表面逐渐铺展开而成为扁平状，正好与矿物表面水滴的形状相反。这说明从左到右矿物表面的疏水性逐渐增强，而亲水性逐渐减弱。水和气泡在矿物表面表现的不同现象可被简单概述为：亲水矿物“疏气”，而疏水矿物“亲气”。

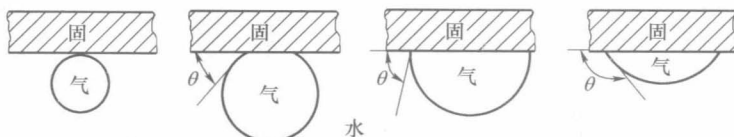


图 1-1-2 矿物表面润湿现象与接触角的关系

润湿性是矿物表面重要的物理、化学特征之一，是矿物可浮性好坏的直观标志。矿物表

面润湿性及其调节是实现各种矿物浮选分离的关键,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及实践均有重要意义。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。

(2) 接触角。润湿性常用接触角 θ 度量。液体内部的任一分子,各种引力互相抵消,合力为零。对于液体表面层的分子,由于气体内不受引力的作用,其所受到的向内部的引力不能相互抵消,形成的合力不为零,而在液体表面形成一层向下挤压的表面膜,以缩小表面,即形成表面张力。一个分子如果要从液体内部迁移到液体表面,就必须克服液体内部的合力。因此,液面上的分子比液体内部的分子具有过剩的能量,即表面自由能(表面能或界面能)。表面能等于液体内部分子迁移到表面并把位于表面的分子移开所消耗的功,也就是增加液体单位新表面所需消耗的功。由于增加体系的表面需要做功,需要增加体系的总能量,根据能量最小原理,液体尽可能收缩,以减少自己的表面积。表面张力与单位面积表面能(比表面能)的数值相等,但单位不同。

当气泡附着于浸入水中的矿物表面,达到固、液、气三相平衡时,气泡具有一定形状。气泡在矿物表面所形成的三相接触点围成的周边被称为三相润湿周边(三相体系处于不断变化—平衡中)。

接触角是过三相润湿周边上任一点 O 做气液界面的切线 OB (δ_{AW}),与固液界面 OC (δ_{SW})之间所形成的包括液相的夹角 θ (如图 1-1-3 所示)。

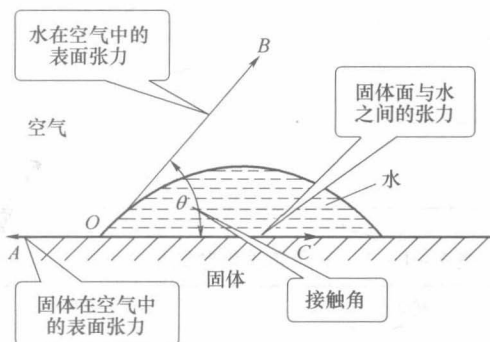


图 1-1-3 三相平衡时的接触角

接触角 θ 的大小与接触的三相界面所具有的各界面张力 (δ) 有关。当各界面张力相互作用达到平衡时,有

$$\delta_{AW} = \delta_{SW} + \delta_{AW} \cos \theta$$

所以
$$\cos \theta = \frac{\delta_{AW} - \delta_{SW}}{\delta_{AW}} \quad (\text{杨氏方程}) \quad (1-1)$$

接触角是三相界面张力的函数。从上述公式 (1-1) 可看出,接触角不仅与矿物表面性质有关,而且与液相、气相的界面性质有关。凡能引起改变任何两相界面张力的因素都可以影响矿物表面的润湿性。

根据杨氏方程,由角的大小可以度量不同矿物润湿程度的高低。

① 当 $\theta < 90^\circ$ 时: $\delta_{AS} > \delta_{AW}$, 液滴被拉开,沿矿物表面展开。矿物表面被润湿,表现为亲水。若矿物表面不易被水润湿,具有疏水表面,则其矿物具有疏水性,可浮性好。

② 当 $\theta > 90^\circ$ 时： $\delta_{AS} < \delta_{AW}$ ，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。若矿物表面易被水润湿，具有亲水表面，则其矿物具有亲水性，可浮性差。

③ 当 $\theta = 90^\circ$ 时， $\cos \theta = 0$ ，规定为疏水表面与亲水表面的分界线。

④ 当 $\theta = 0$ 时， $\cos \theta = 1$ ，固体被液体完全润湿。

⑤ 当 $\theta = 180^\circ$ 时， $\cos \theta = -1$ ，液滴对固体完全不润湿。

⑥ 接触角 θ 逐渐减小，液滴沿矿物表面逐渐展开，润湿程度逐渐增高，矿物表面的亲水性逐渐增强。

⑦ 接触角 θ 逐渐增大，液滴沿矿物表面凝结成珠状，润湿程度逐渐降低，矿物表面的疏水性逐渐增强，即接触角 θ 越大， $\cos \theta$ 愈小，矿物润湿性越小，可浮性愈好。 $\cos \theta$ 值介于 $-1 \sim 1$ ，因此对矿物的润湿性与可浮性的度量可定义为：

$$\text{润湿性} = \cos \theta$$

$$\text{可浮性} = 1 - \cos \theta$$

矿物的接触角可以测得。表 1-1-1 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 1-1-2 列出了不同变质程度的煤表面的接触角。

表 1-1-1 部分矿物的接触角测定值

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	约 0

表 1-1-2 不同变质程度的煤表面的接触角

煤种	接触角/ (°)	煤种	接触角/ (°)
长焰煤	60 ~ 63	瘦煤	79 ~ 82
气煤	65 ~ 72	贫煤	71 ~ 75
肥煤	83 ~ 85	无烟煤	73
焦煤	86 ~ 90		

接触角的测量：利用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 δ_{AS} 和 δ_{SW} 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。其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。

接触角的测定方法有很多，但由于矿物表面不均匀，接触角既难以达到平衡，也难以保持稳定，故准确测量是比较困难的。从表 1-1-1 和表 1-1-2 中可得出，自然界中接触角大于或等于 90° 的矿物很少。其主要原因是风化、氧化等导致矿物表面性质差异削弱，使浮选过程变得困难。

接触角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的强弱，而疏水性与亲水性的强弱与矿物的可浮性密切相关。

不同的润湿程度是气泡矿化的前提条件，也体现了矿物表面物理化学性质的不同。气泡矿化是浮选过程中的最基本行为，指在浮选过程中，气泡与矿粒发生相互黏附的现象或过程。通过气泡矿化矿粒被气泡带至液面，实现不同矿物的分离。当气泡和矿粒发生矿化后，气泡与矿粒的结合被称为矿化气泡。

(3) 润湿阻滞。固体表面的液滴移动时，润湿周边受到阻碍，使开始时的平衡接触角发生变化。这种润湿周边的移动受到阻碍的现象被称为润湿阻滞现象。在空气状态下液滴和矿物表面接触并达到平衡时，接触角大小一定。若矿物表面倾斜 α 角，且 α 角很小时，矿物表面上的液滴可改变形状，接触角也发生变化，但此时润湿周边不发生移动。液滴前移方向所形成的接触角 θ_1 被称为前角（或阻滞前角）；液滴后方形成的接触角 θ_2 被称为后角（或阻滞后角）。取前角和后角之和的一半为矿物的平衡接触角。通常前角大于平衡接触角，而后角小于平衡接触角。前、后角的差值随接触角增大而增大。

润湿阻滞受多种因素的影响，如润湿顺序、矿物表面组成、化学成分、不均匀性、粗糙度、矿物表面润湿性等。

发生润湿阻滞现象时，总存在一个阻滞前角和后角，分别代表润湿阻滞中的水排气效应和气排水效应。如图 1-1-4 所示，当平板倾斜使水滴近于能沿斜面流动时，前角 $\theta_1 > \alpha$ ，后角 $\theta_2 < \alpha$ ，前角为水排气，后角为气排水（ $\theta_1 > \alpha > \theta_2$ ）。

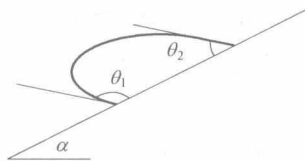


图 1-1-4 动态阻滞

① 水排气时的阻滞效应：

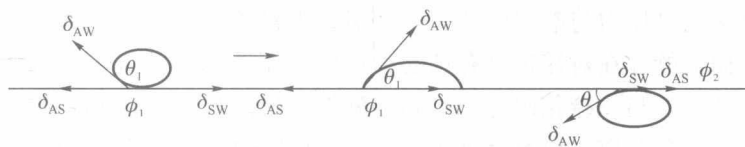


图 1-1-5 水分子与矿物表面间存在摩擦力 ϕ

图 1-1-5 中，若 $\delta_{AS} + \delta_{AW} \cos (180^\circ - \theta) > \delta_{SW} + \phi_1$ ，水滴继续扩展，处于平衡状态时：

$$\begin{aligned} \delta_{AS} &= \delta_{SW} + \delta_{AW} \cos \theta_1 + \phi_1 \\ \cos \theta_1 &= \frac{\delta_{AS} - \delta_{SW} - \phi_1}{\delta_{AW}} \end{aligned} \quad (1-2)$$

所以， $\theta_1 > \theta$ ， $\cos \theta_1 < \cos \theta$ 。

② 气排水时阻滞效应：

气泡在浸于水中的矿物表面展开，气体分子与矿物表面间的摩擦力为 ϕ_2 。

$$\begin{aligned}\delta_{AS} &= \delta_{SW} + \delta_{AW} \cos \theta_2 + \phi_2 \\ \cos \theta_2 &= \frac{\delta_{AS} - \delta_{SW} - \phi_2}{\delta_{AW}}\end{aligned}\quad (1-3)$$

因 ϕ_2 很小, $\theta_2 \approx \theta$, 所以 $\theta_2 < \theta$, $\cos \theta_2 > \cos \theta$ 。

润湿阻滞对浮选的影响:

浮选过程中, 矿粒向气泡附着的过程, 属于气排水过程。在这一过程中, 接触角相当于阻滞角, 小于平衡接触角, 因此在矿物本身可浮性不变的情况下, 矿粒难于向气泡附着, 对浮选不利。但是, 一旦矿粒与气泡附着成功, 便形成了牢固的三相润湿周边。当受到其他因素影响, 矿粒从气泡上脱落时, 属于水排气过程。此时, 接触角相当于前角, 大于平衡接触角, 使矿物难于脱落。这时的润湿阻滞对欲浮选矿物的上浮有利。

1.2.2 气相及其性质

浮选过程中, 空气所形成的气泡是一种选择性的运载工具。浮选矿浆中某些颗粒能够黏附到气泡上浮出, 其余则不能黏附到气泡上而留在矿浆中, 从而将它们分离。矿粒表面黏附了气泡以后, 其可浮性改变。气泡还可以由于压力降低而从溶液中析出, 并优先地吸附到矿物的疏水表面上, 促进矿粒与大气泡的黏附。气相在溶液中必须形成足够数量的气泡, 以保证气泡上浮的矿物有足够的气泡面积供其黏附。气泡的粒径只有与浮选矿物的粒度相适应, 并有一定数量的空气溶解后析出微泡, 才能保证浮选效果最好。空气中不同成分在水中的溶解度不同, 因而与矿物和水的作用也不同, 对分选均有不同程度的影响。

空气是混合物, 典型的非极性物质, 具有对称结构, 容易和非极性表面结合, 分选时可优先与非极性的疏水性表面附着。空气中含有 O_2 (占 21%)、 N_2 (占 78%)、Ar (氩) (占 0.9%)、 CO_2 (占 0.04%) 及少量的其他气体和水蒸气。各气体在水中的溶解度顺序为 $CO_2 > O_2 > Ar > N_2$ 。

空气各种成分在矿浆中的溶解与压力、温度及水中溶解的其他物质浓度有关。空气在水中的溶解度随水中溶解的其他物质浓度增加而降低, 随压力增大而增加。许多新型浮选机就是利用这一特点来工作的。如喷射式浮选机就是将含有大量气体的矿浆加压, 然后从喷嘴喷出时随矿浆压力降低, 利用已溶解的气体呈过饱和状态而析出时产生的微泡来强化浮选效果。对浮选有意义的是压力与溶解度的关系。实验研究发现, 空气中的氧对硫化矿来说是一种浮选促进剂, 而氧的存在对浮选是有利的, 特别是用黄药类捕收剂浮选硫化矿更是如此。因此, 分离许多硫化矿与非硫化矿时, 可利用氧作为活化剂, 将氮作为抑制剂, 利用矿浆中氧和氮的比例促进矿物分离。煤容易氧化, 并且氧化后的表面可浮性下降, 影响浮出。煤泥在水中浸泡时间较长时的氧化比在空气中还要剧烈。这是由于水和含氧官能团产生氢键结合, 使煤化加剧。因此, 在煤泥浮选和煤泥水处理时, 将煤泥放在水中的时间不要过长, 以免影响其可浮性。总之, 在浮选过程中气相一方面起载体作用, 是因为主要组分能活跃地被吸附在矿物表面而产生特殊作用, 并直接影响矿粒的可浮性; 另一方面起活化剂作用, 最活跃的是氧。

1.2.3 水化作用

浮选在气、液、固三相接触中进行。气指气体, 以气泡形式存在, 是有用矿物与无用矿物分离的运输工具, 被称为“载体”。液指水介质。水对矿物的表面性质, 以及浮选药剂的物理化学性质都有极大的影响。固指矿物本身。不同矿物在水作用下由于表面性质差异而表