

中国煤炭加工利用协会组织编写

浮游选煤技术

吴大为 主编

中国矿业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

浮游选煤技术/吴大为主编. —徐州:中国矿业大学出版社,2004.3

ISBN 7 - 81070 - 869 - 4

I. 选... II. 吴... III. 浮游选煤 IV. TD942.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第016868号

书 名 浮游选煤技术

主 编 吴大为

责任编辑 解京选 褚建萍 杨传良

责任校对 周俊平

出版发行 中国矿业大学出版社

(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)

网 址 <http://www.cumtp.com> **E-mail**: cumtpvip@cumtp.com

排 版 中国矿业大学出版社排版中心

印 刷 徐州新华印刷厂

经 销 新华书店

开 本 850×1168 1/32 **印张** 11 **字数** 282 千字

版次印次 2004年3月第1版 2004年3月第1次印刷

印 数 1~3000册

定 价 32.00元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

《选煤实用技术》丛书编委会

主 编 吴式瑜

副主编 叶大武 解京选 李文林

编 委 (按姓氏笔画排序)

邓晓阳 叶大武 匡亚莉 李文林

吴大为 吴式瑜 陈 迹 张明旭

周少雷 欧泽深 竺清筑 谢广元

路迈西 解京选

丛书前言

能源是国民经济发展和人类赖以生存的物质基础。煤炭是我国的主要能源,其生产量和消费量一直占能源的 70% 左右。

我国煤炭资源丰富,品种齐全。到 20 世纪末,煤炭的探明储量有 1 万亿吨,其中已利用储量中尚有可采储量 800 多亿吨;我国的石油、天然气资源相对不足,其储量只可供开采几十年;水力资源虽然丰富,但集中在西南地区,而且开发利用需要的投资很大;核能、太阳能、风能、生物能的开发利用则刚刚起步。所以,未来几十年内,煤炭仍是我国最可靠的能源,煤炭的基础能源地位不会改变。

我国是煤炭的生产和消费大国,每年生产和消费煤炭都在十几亿吨以上。大量生产和消费煤炭,无论对区域环境,还是对全球气候都造成很大影响。为此,国家鼓励和提倡发展洁净煤技术。

选煤是洁净煤技术的基础,也是煤炭深加工(制水煤浆、焦化、气化、液化)和洁净、高效利用的前提。选煤可以除去原煤中的大部分矿物杂质,提高煤炭质量,并把它分成不同等级,为用户合理利用创造条件。国家鼓励发展煤炭洗选加工,原煤入洗量不断提高,从 1949 年的几十万吨发展到 2003 年的 5 亿多吨。

但是我国煤炭洗选加工相对落后,原煤入洗率尚不足 30%,商品煤质量较差,因此煤炭利用率低,燃煤引起的污染严重。为了合理利用煤炭资源,提高利用效率,降低铁路运输量,减少燃煤对大气的污染,有必要大力发展煤炭洗选加工。

近几年来,我国选煤工业迅猛发展,选煤厂数量增加,选煤技

术进步速度加快,目前的选煤技术人员已满足不了发展的需要,为了培养大批选煤工程技术及管理人员,提高选煤技术人员的素质,由中国煤炭加工利用协会和中国矿业大学出版社共同组织国内一批有实践经验的专家、学者及高级工程技术人员,编写了这套《选煤实用技术》丛书。本丛书书名如下:

1. 《跳汰选煤技术》
2. 《重介质选煤技术》
3. 《浮游选煤技术》
4. 《选煤厂产品脱水》
5. 《选煤厂煤泥水处理》
6. 《选煤厂破碎与筛分》
7. 《选煤厂机械设备安装使用与维护》
8. 《选煤厂电气设备安装使用与维护》
9. 《选煤厂管道、阀门与泵的安装使用与维护》
10. 《选煤厂煤质分析与技术检查》
11. 《选煤厂计算机应用》
12. 《选煤厂技术管理》

本丛书主编吴式瑜,副主编叶大武、解京选、李文林。

本丛书实用性较强,可作为选煤厂技术、管理干部和专业技术工人的培训教材,也可作为大专院校选煤专业学生的学习参考书。

本丛书由多位作者编写,写作风格各有不同,且由于时间仓促、涉及内容广泛,错误和缺点在所难免,望读者批评指正。

前 言

煤泥分选有多种技术,但就目前国内外的水平而言,仍旧是浮游选煤技术的分选效果最好,尚未有其他方法可以取代。随着采煤机械化程度的提高,选煤厂的原料煤中粉煤量越来越多,浮选作业也就变得越来越重要。

浮游选煤不仅是选煤厂的主要分选作业,而且是煤泥水处理系统的重要一环,对实现洗水闭路循环、搞好环境保护也起到重要的作用。

本书从实用性出发向读者简明扼要地介绍浮游选煤基础理论、浮选剂的作用机理、浮选工艺自动控制,重点阐述浮选机及其辅助设施、影响浮游选煤的主要因素和机械参数以及浮选机的操作。全书编写力求深入浅出、图文并茂。

本书第一章由郭德、张秀梅编写;第二章由张开永编写;第三章和第四章的七、八节由顾少雄编写;第四章的第一至第六节、第五章由吴大为编写;第六章由侯路胜编写。

本书由吴大为担任主编,顾少雄、郭德担任副主编。

编者

2003. 12

目 录

第一章 浮游选煤基本原理	1
第一节 浮游选煤的依据.....	1
第二节 气泡的矿化过程.....	9
第三节 影响煤泥可浮性的主要因素	14
第四节 煤泥可浮性的评定	23
第二章 浮选剂	27
第一节 浮选剂的作用与分类	27
第二节 捕收剂——非极性烃类油	29
第三节 起泡剂	37
第四节 调整剂	46
第五节 浮选剂的选用	51
第六节 浮选剂的贮存	55
第三章 浮选机及其辅助设施	57
第一节 浮选机的基本作用与分类	57
第二节 浮选机的性能指标及测定方法	61
第三节 机械搅拌式浮选机	68
第四节 喷射式浮选机	94
第五节 浮选柱.....	110
第六节 浮选用辅助设施.....	120
第四章 影响浮选的主要因素和机械参数	135
第一节 概述.....	135
第二节 粒度组成.....	136
第三节 入浮煤浆浓度.....	148

第四节	煤浆液相性质·····	161
第五节	药剂制度·····	168
第六节	浮选流程·····	174
第七节	浮选机主要参数·····	182
第八节	浮选工艺效果的评定·····	197
第五章	浮选机的操作·····	206
第一节	对浮选操作者的要求·····	206
第二节	入浮煤浆浓度的确定和调整·····	208
第三节	入料流量的确定和调整·····	218
第四节	浮选剂的添加·····	230
第五节	浮选机的充气量、刮泡与液面的调整·····	239
第六节	浮选质量指标波动的分析·····	244
第七节	保证浮选生产指标的基本措施·····	247
第八节	浮选单机试验检查·····	252
第六章	浮选生产自动检测和控制·····	275
第一节	概述·····	275
第二节	浮选入料量的自动检测和控制·····	277
第三节	浮选入料浓度的自动检测和控制·····	285
第四节	浮选剂添加量的自动检测和控制·····	294
第五节	浮选工艺参数的自动检测和控制·····	302
附录一	《选煤厂安全规程》(节选)·····	321
附录二	《选煤厂工人技术操作规程》(试行)(节选)·····	322
附录三	《工人技术等级标准》(节选)·····	332
	主要参考文献·····	335

第一章 浮游选煤基本原理

第一节 浮游选煤的依据

对小于 0.50 mm 的细粒级煤泥最有效的分选方法是浮游选煤法。

煤泥浮选是依据煤和矸石表面润湿性的差异进行分选的,其实质是疏水的煤粒粘附在气泡上,亲水的矸石颗粒滞留在煤浆中,从而实现彼此分离。因此,浮选是在固、液、气三者相互接触的界面上进行的。这三者称为三相,即固相、液相及气相。所以,讨论浮选过程,就必须研究三相界面上所发生的表面现象。有关表面现象的知识,则是浮选原理的基础。

一、矿物表面的润湿现象

荷叶上的水滴呈球形是人所共见的自然现象,这表明荷叶的表面是疏水的(即亲气的)。凡是表面疏水的固体颗粒,在水中都能粘附在气泡上。

疏水性和润湿性互为反义词。当三相接触时,液相在固相表面铺展开,排斥气相而占据固相表面的现象称为润湿现象。例如,如图 1-1 所示,将水滴到石蜡表面,水滴成球形,这表明石蜡表面疏水性好,润湿性差;而在玻璃表面水滴会自动铺展开来,这表明玻

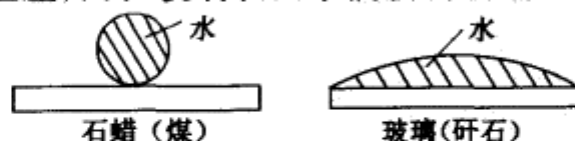


图 1-1 润湿现象

玻璃疏水性差,润湿性(亲水性)好。将水滴到光亮的煤炭表面,像石蜡一样,水滴成球形;滴到矽石表面,像玻璃一样,水滴会自动铺展开。也就是说水与煤炭、水与矽石之间的相互作用也是不同的。人们把易被水润湿的表面(如矽石表面)称为亲水表面,把不易被水润湿的表面(如煤炭表面)称为疏水表面,相应的矿物分别称为亲水性矿物和疏水性矿物。

在装有水的容器中,使气泡与固体的下表面接触(见图 1-2),这时可以看见,气泡从煤的表面排开水层并与其粘附;相反的是气泡不能从矽石的表面排开水层实现粘附,仍保持球形。

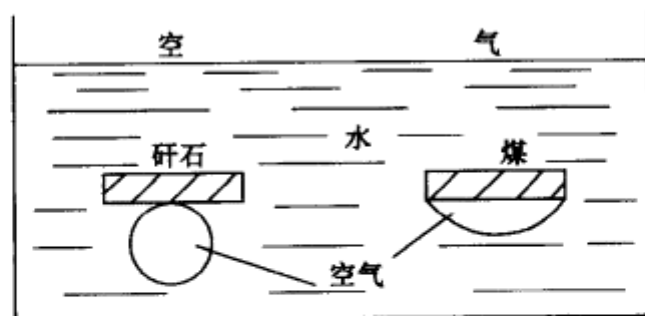


图 1-2 气泡与固体表面的接触情况

如何评定矿物表面被水润湿的程度呢?通常的办法是用仪器测定接触角。当矿物浸没在水中,气泡附着在它的表面并达到平衡时,三相界面相交的线称为接触周边(见图 1-3),过三相接触周边

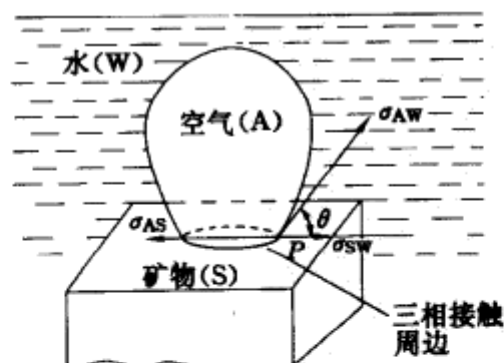


图 1-3 三相接触周边、接触角及表面张力

上任意一点 P 作液气界面的切线,与固液界面所形成的并包含液相的夹角称为接触角,用 θ 表示。

三相接触形成了三个界面,即固液、固气及液气界面,在每个界面上的分子所受的分子引力是不平衡的。例如水内部分子 b (见图 1-4) 从其周围邻近的分子方面所受到的力,在各个方

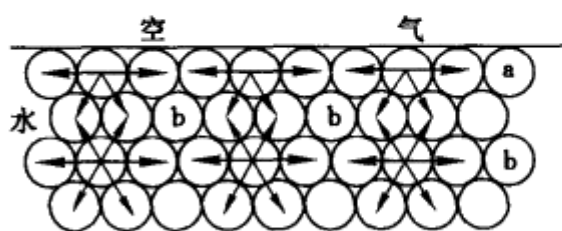


图 1-4 气液界面表面张力示意图

向都相等,正好互相抵消,处于平衡状态。但是,在气液界面上的水分子 a 就不同了,水内部的分子对它的吸引力大,而界面上的空气分子对它的吸引力小,所以水分子 a 受到较大的向着水内部的引力,也就是说各方向的引力不能互相抵消,所剩余的力称为表面张力,其方向朝着液相的内部。

在气液界面上的水分子由于受到了液相内部水分子的引力(即表面张力)作用,因此气液界面有收缩趋势。由于在各种几何体中,球体的面积最小,所以在表面张力的作用下,荷叶上的水滴总是呈球形。

气液界面有表面张力存在。同样,在固液、固气界面也有类似的表面张力存在。

由图 1-3 可得固液、气液、气固三个界面的表面张力的关系:

$$\sigma_{SW} + \sigma_{AW} \cdot \cos \theta = \sigma_{AS} \quad (1-1)$$

式中 σ_{SW} ——固液界面表面张力, N/m ;

σ_{AW} ——气液界面表面张力, N/m ;

σ_{AS} ——气固界面表面张力, N/m ;

θ ——矿物的润湿接触角, $(^\circ)$ 。

式(1-1)还可以写成:

$$\cos \theta = \frac{\sigma_{AS} - \sigma_{SW}}{\sigma_{AW}} \quad (1-2)$$

由图 1-5 看出:当 $\theta > 90^\circ$ 时,矿物表面不易被水润湿,具有很强的疏水表面;当 $\theta \leq 90^\circ$ 时,矿物表面易被水润湿并具有亲水表面。矿物表面润湿现象正如图 1-5 所示的那样,这些矿物表面的亲水性由右至左逐渐增强,疏水性由左至右逐渐增强。从式(1-2)可看出,接触角的大小不仅仅与矿物表面性质有关,而且与液相、气相的界面性质有关。凡能引起任何两界面张力改变的因素,都可以影响矿物表面的润湿性。由以上介绍可知:所谓的疏水性矿物就是表面不易被水润湿,即接触角大的矿物;反之,亲水性矿物就是表面容易被水润湿,即接触角小的矿物。

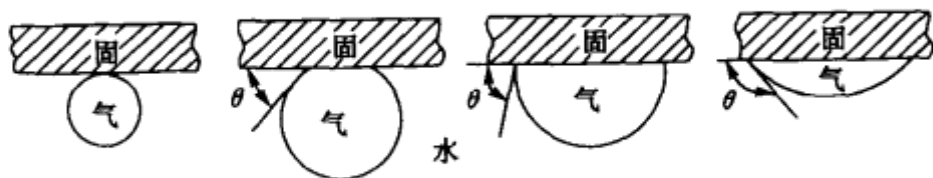


图 1-5 矿物表面润湿现象与接触角的关系

二、矿物表面和水的作用

为什么有疏水性矿物、亲水性矿物之分呢?这是各种矿物表面和水的相互作用的程度不同的缘故。

矿物表面和水的相互作用的结果是矿物表面被水化,这种水化作用的产生是由水分子本身的性质所决定的。而某一种矿物表面水化作用的强弱,则取决于矿物本身的性质。

水是氢氧化合物,分子式为 H_2O ,由两个氢原子和一个氧原子组成。由于水分子中氧的电负性较大,使整个水分子的电性不平衡,水分子一端带正电荷,另一端带负电荷,因此水分子为强极性分子。在没有外部电场存在时,每个水分子带正电荷部分与另一个

水分子带负电荷部分相互吸引(见图 1-6), 这样许许多多水分子团聚在一起形成聚合体。这种聚合体是不稳定的, 不断地分散而重新组合。当水中出现带电颗粒时, 在电场作用下, 颗粒周围便立即生成极

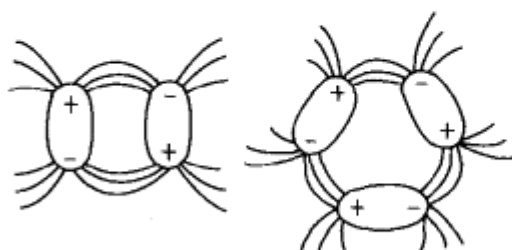


图 1-6 水分子聚合体示意图

性水分子的包围层, 这就是水化层(也称水化膜), 如图 1-7 所示, 这时颗粒就被水化。也可以说水化就是水中矿物颗粒表面吸附一层很薄的水分子层。水化层和其外围的水不一样, 具有特殊性质。

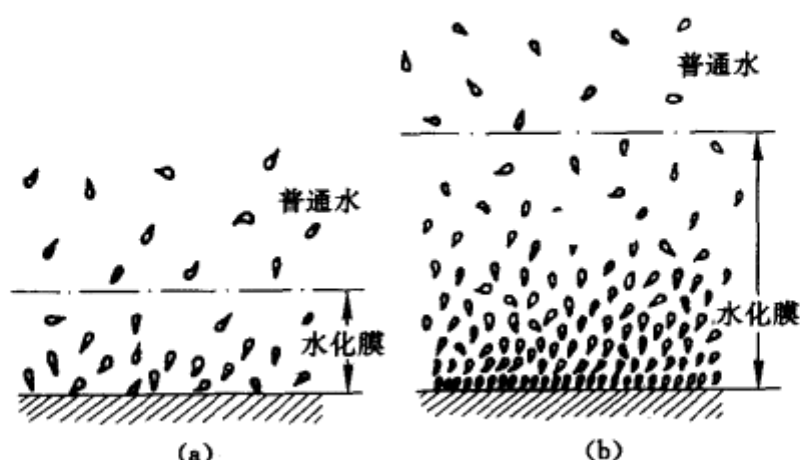


图 1-7 水化层示意图

(a) 疏水性矿物表面的水化; (b) 亲水性矿物表面的水化

矿物表面是亲水还是疏水, 取决于其表面分子与水分子相互作用的强弱程度, 即水化作用的强弱。由于矿物表面的分子极性不同, 在其表面产生电荷的强弱也不等。在电场影响下, 极性水分子被吸引到矿物表面, 生成水化层。矿物表面分子极性强的(如煤中矿物杂质分子), 则其与水分子的作用强; 矿物表面分子极性弱的(如煤中有机质分子), 则其与水分子的作用弱。靠近矿物表面的水分子被强烈吸引, 定向紧密排列; 离矿物表面较远的水分子, 因引力减

弱和水分子自身热运动的影响,逐渐变为无序排列。疏水矿物表面分子与水分子的作用力弱,生成的水化层薄;亲水矿物表面分子与水分子的作用力强,生成的水化层厚。

亲水性矿物表面水化层厚,当气泡与其碰撞时很难排开其表面的水化层而与其粘附。即使实现粘附,三相接触周边也较短,即接触角小。疏水性矿物表面水化层薄,当气泡与其碰撞时很容易排开其表面的水化层与其粘附,三相接触周边长,即接触角大。

通过测定矿物接触角可以对矿物的疏水性作出大概的评判。表 1-1 和表 1-2 为部分矿物和不同变质程度的煤表面的接触角。从表中的数据可以看出,自然界矿物接触角很少有超过 90° 的。为了扩大矿物之间疏水性的差异,达到有效分选的目的,必须人为增大或缩小特定矿物的接触角。

表 1-1 矿物接触角

矿物名称	接触角/ $^\circ$	矿物名称	接触角/ $^\circ$
硫	78	重晶石	30
滑 石	64	方解石	20
辉钼矿	60	石灰石	0~10
方铅矿	47	石 英	0~4
闪锌矿	46	云 母	≈ 0
萤 石	41	页 岩	0~10
黄铁矿	30	炭质页岩	40~43

表 1-2 不同变质程度的煤表面接触角

煤种	接触角/ $^\circ$	煤种	接触角/ $^\circ$
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		

三、煤表面的性质

煤是一种由复杂的有机质和多种无机矿物杂质组成的具有一定热值非均相的固体可燃矿物。可以概括地说,煤中的有机质属可燃体,无机质属非可燃体。

煤中有机质的主体是三维空间聚合物结构,结构模型如图1-8所示。主要是由芳香网格组成,其侧链在变质过程中分解生成了含氧、硫、氮的官能团。各类煤的结构并不完全相同,但其结构单元基本一样,即由核心和外围两部分组成。

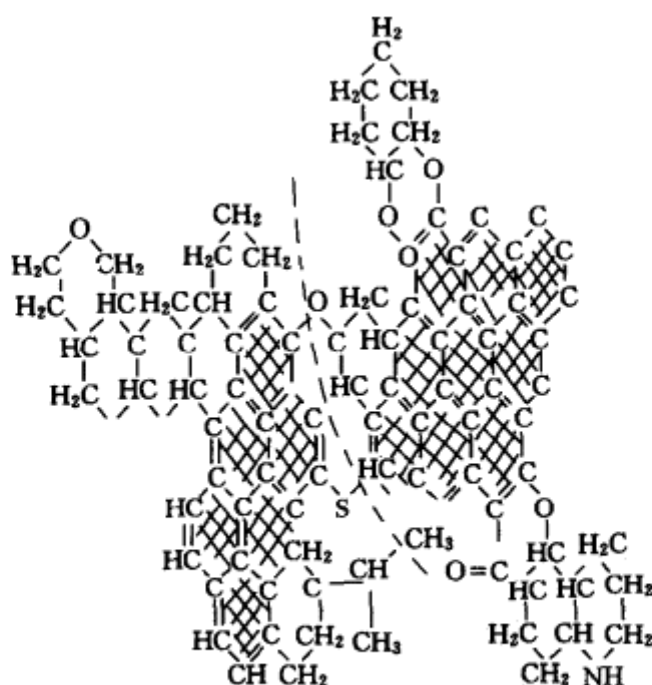


图 1-8 煤的结构模型

(1) 煤核结构

煤中有机质基本结构单元为煤核,是由多层平面网构成的,如图1-9所示。由于煤的变质程度不同,面网间距也有所不同。煤变质程度越高,碳网缩合程度越高,排列越紧密,面网平行度也越高,面网间距断口越大。

(2) 外围官能团

煤结构外围部分主要是含氧官能团,还有少量的含氮、含硫官能团和烷基侧链。随着煤的变质程度增加,煤中含氧官能团数量急剧降低。

煤的疏水性与其组成和结构的关系如下:

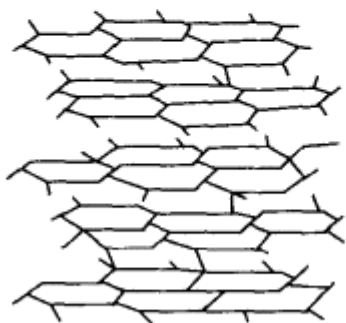


图 1.9 煤核结构

① 煤的主体是芳香核,结构对称,化学性质不活泼,具有疏水性。因此煤的主要表面是疏水的。

② 在芳香核的碳网上,有各种侧链和含氧官能团,它们构成了煤的少部分极性表面,使煤的某些部位具有亲水性。

③ 面网间的断口也是亲水的。

④ 煤的结构中混入一定数量的矿物杂质,多数矿物杂质具有一定的极性,使煤部分表面具有亲水性。

⑤ 煤表面上的含氧官能团和矿物杂质虽然亲水,但有些极性表面也具有较高的化学活性,能与杂极性的浮选剂分子产生吸附,非极性基向外,使煤粒表面的极性区转化为非极性区,即亲水区转化为疏水区。

⑥ 煤的变质程度对疏水性的影响很大。

总之,煤的表面是疏水的,而如果矽石颗粒中主要成分是已单体解离的硅酸盐类、碳酸盐类和氧化物类的极性矿物,那么它们的表面是亲水的,所以能够以浮选的方法将其分离出去。但煤的表面性质是不均匀的,某些部位也亲水。所以,为了扩大煤粒与矽石颗粒可浮性的差别,在浮选过程中加入非极性油类捕收剂。这类捕收剂疏水性强,能吸附在煤粒表面形成油膜,增大其接触角;非极性油类不易吸附在矽石颗粒表面,从而提高煤粒表面的疏水性,增强了煤粒与气泡粘附的能力。

第二节 气泡的矿化过程

浮选过程中,矿粒有选择性地附着在气泡上的现象称为气泡的矿化。矿化气泡的形成有三种形式:① 大泡形成的矿化气泡[见图 1-10(a)]。因大气泡的上浮运动,在重力作用的影响下,只有少量细煤泥聚集于大气泡的尾部。在大泡表面也可能粘附高灰分的泥质。② 群泡形成的矿化气泡[见图 1-10(b)]。许许多多的微泡粘附在大粒度的煤粒上,使其上浮。该矿化形式对粗粒浮选有重要意义。③ 气絮团形成的矿化气泡[见图 1-10(c)]。浮选过程中,许多煤粒与气泡相互粘附,形成了煤粒、气泡、小油滴的集合体,即气絮团,达到了最大程度的矿化。在工业生产的浮选机中这三种形式形成的矿化气泡都可能出现,但以气絮团形式为主。

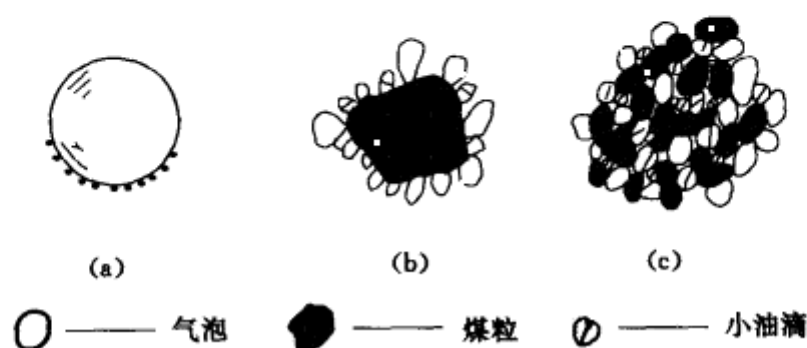


图 1-10 矿化气泡的三种形式

一、煤粒与气泡的接触方式

1. 煤粒与气泡的碰撞附着

煤粒与气泡的碰撞附着与浮选机中流体的流动状态、气泡和颗粒的大小以及二者的相对运动轨迹等有关。粗粒与气泡附着有碰撞、水化层减薄、水化层破裂和接触周边展开四个阶段。微细颗粒与气泡的附着方式有两种情况:一是水化层破裂,形成三相接触