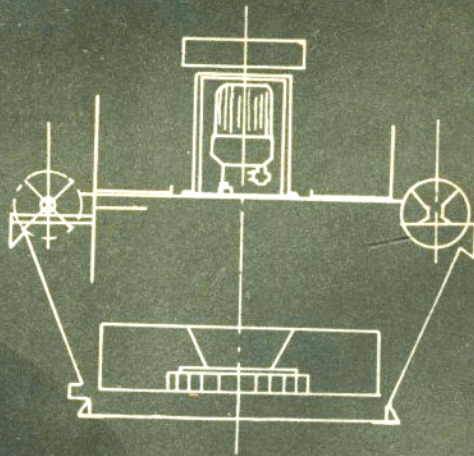


煤矿技工学校通用教材

# 浮选



煤炭工业出版社

煤矿技工学校通用教材

# 浮 选

吴永亮 编

煤炭工业出版社

(京) 新登字042号

### 内 容 提 要

本书概括介绍了煤泥浮选的基本原理,影响煤泥可浮性的因素;对浮选机的结构与使用,浮选药剂的性能与使用,浮选生产有关技术经济指标的计算,浮选生产工艺因素的调整等方面进行了较为全面的论述;对煤泥水的处理也作了简要介绍。

煤矿技工学校通用教材

### 浮 选

吴永亮 编

责任编辑:袁 筠

\*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平里北街21号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

\*

开本 787×1092mm<sup>1/4</sup>。印张 7<sup>3/4</sup>。

字数 178千字 印数 1—5,415

1993年8月第1版 1993年8月第1次印刷

ISBN 7-5020-0845-4/TD·785

书号 3611 C 0114 定价 5.60元

# 前 言

为适应煤矿技工学校教学改革的需要，加速技工人才的培养，促进煤炭工业现代化生产建设的不断发展和技术进步，全国煤矿技工教材编审委员会于1992年召开了第二次全体会议，确定以“七五”教材建设为基础，按照“补齐、配套、完善、提高”，突出基本理论、基本知识和基本操作技能训练的原则，编制了“八五”技工教材建设规划。这套教材包括：《机械制图》、《综采工作面采煤机》、《煤化学》、《选煤厂技术检查》、《浮选》……等。共计70余种，将陆续由煤炭工业出版社出版发行。

这套教材主要适用于全国煤矿技工学校教学，也适用具有初中文化水平的工人自学。

《浮选》是这套教材中的一种，是根据修订后的“八五”期间全国煤矿技工学校统一教学计划和大纲编写而成，并由全国煤矿技工教材编审委员会组织审定认可，是全国煤矿技工学校选煤专业教学的统一教材。《浮选》由淮北煤矿技工学校吴永亮同志编写，淮北矿务局郑友东同志主审，淮南、淮北煤矿技工学校参加了审定工作。

全国煤矿技工教材编委会

# 目 录

概 述 .....	1
<b>第一章 浮选的基本原理</b> .....	2
第一节 浮选的依据 .....	2
第二节 浮选的过程 .....	7
第三节 煤泥性质对浮选的影响 .....	9
<b>第二章 浮选药剂</b> .....	14
第一节 概述 .....	14
第二节 浮选过程的吸附 .....	14
第三节 捕收剂、起泡剂和调整剂 .....	15
第四节 浮选药剂的选择和使用 .....	26
<b>第三章 浮选机</b> .....	30
第一节 对浮选机的基本要求 .....	30
第二节 几种常用浮选机简介 .....	31
第三节 评价浮选机性能的若干指标 .....	49
第四节 浮选机的维护和检修 .....	53
第五节 浮选用辅助设备 .....	54
<b>第四章 浮选工艺</b> .....	59
第一节 影响浮选的主要因素 .....	59
第二节 矿浆浓度对浮选的影响 .....	60
第三节 粒度和形状对浮选的影响 .....	62
第四节 温度和酸碱度对浮选的影响 .....	66
第五节 矿浆液相组成对浮选的影响 .....	66
第六节 搅拌和刮泡对浮选的影响 .....	69
第七节 浮选流程 .....	70
<b>第五章 浮选的生产实践</b> .....	73
第一节 浮选工的任务 .....	73
第二节 浮选机的试运及初步调整 .....	73
第三节 入浮矿浆浓度的选择与调整 .....	75
第四节 给矿量的选择与调整 .....	78
第五节 药剂的使用 .....	79
第六节 刮泡量的调整 .....	81
第七节 稳定浮选指标的基本措施 .....	82
第八节 浮选指标不良的原因分析 .....	83
<b>第六章 浮选指标的计算及浮选效果的评价</b> .....	85
第一节 浮选指标的计算 .....	85
第二节 煤泥的可浮性及评价方法 .....	89

第三节	浮选效果的评价 .....	90
<b>第七章</b>	<b>浮选精煤的脱水 .....</b>	<b>93</b>
第一节	影响过滤效果的主要因素 .....	93
第二节	浮选精煤过滤的操作管理 .....	95
第三节	助滤剂在浮选精煤过滤中的作用 .....	98
第四节	强化浮选精煤过滤的措施 .....	100
<b>第八章</b>	<b>浮选尾煤的处理 .....</b>	<b>101</b>
第一节	浮选尾煤处理流程 .....	101
第二节	絮凝剂在浮选尾煤处理中的应用 .....	102
第三节	影响压滤机工作效果的主要因素 .....	105
<b>第九章</b>	<b>煤泥水的处理 .....</b>	<b>107</b>
第一节	煤泥水性质及其对生产过程的影响 .....	107
第二节	煤泥水处理系统 .....	109
第三节	煤泥水系统的管理 .....	116



## 概 述

选煤是将煤按需要分成不同质量、规格产品的加工过程。目前，选煤方法大致分为重力选煤和浮游选煤两种。由于重力选煤法的有效分选下限只能达到 $0.5\sim 0.25\text{mm}$ 左右，如跳汰选的有效分选下限为 $0.5\sim 0.25\text{mm}$ ，水力旋流器的有效分选下限为 $0.5\sim 0.3\text{mm}$ 。因此，对于煤泥的分选必须采用浮选的方法。

煤泥是选煤厂粒度在 $0.5\text{mm}$ 以下的副产品。随着机械化采煤程度的提高，原煤中煤泥含量显著增加，一般在20%左右，有的高达30%。在生产过程中，如果煤泥的处理效果不好，就会使大量煤泥聚积在循环水中，恶化重力选煤的分选效果；严重时，部分煤泥与水一起将被迫排出厂外，这不但造成煤的流失，同时也造成环境的污染。因此，在选煤厂必须做好煤泥的处理，对其进行充分的回收。

在选煤厂，煤泥的来源有二部分，一是入选原煤所含，即开采和运输过程中产生的，称为原生煤泥；一是选煤过程中粉碎和泥化产生的，称为次生煤泥。煤泥的数量与煤、矸的易碎程度有关。浮选的目的就是将煤泥中的煤分选出来。目前，浮选是分选煤泥最有效的方法。浮选是依据矿物表面润湿性的差别，分选细粒（ $0.5\text{mm}$ 以下）煤的选煤方法。浮选的方法包括油浮选、球团浮选和泡沫浮选等。浮选方法中应用最广泛的是泡沫浮选法。泡沫浮选是在浮选剂的作用下，形成矿化泡沫，从而实现分选的一种浮选方法。本书所涉及的浮选是指泡沫浮选而言。

# 第一章 浮选的基本原理

为了使煤泥浮选达到优质、高产、高效、低耗的目标，必须了解煤泥浮选的基本原理。本章主要介绍了煤和矽石颗粒分选的依据、分选的基本原理以及煤泥性质对浮选的影响等。

## 第一节 浮选的依据

### 一、固体的润湿性

煤泥的浮选是依据精煤与矽石颗粒表面性质的差异实现分选的选煤方法。为说明这一点，先做一个实验。取石蜡和玻璃各一片，将它们的平面擦净，然后，分别把一滴水轻轻滴在石蜡和玻璃的平面上。2~3min后，可以看出，石蜡平面上的水滴几乎呈球状，水滴和石蜡的接触面积较小。滴在玻璃平面上的水滴则很快展开，水滴与玻璃面具有较大的接触面积（如图1-1所示）。

如果把水滴在煤的表面，情形就类似于石蜡；把水滴在矽石表面，情形就类似于玻璃。由以上实验可以看出，水滴在玻璃和矽石的表面上能迅速展开，而滴在石蜡和煤的表面上不能展开。这种水滴在物质表面上展开与不展开的现象称为被水润湿与不润湿现象。为水润湿的表面称亲水性表面，不为水润湿的表面称疏水性表面。各种矿物被水润湿的程度存在差异。就以上四种矿物来说，煤与石蜡是表面不易被水润湿的矿物，称为疏水性矿物；矽石和玻璃是表面易被水润湿的矿物，称亲水性矿物。

如果将石蜡和玻璃、煤和矽石悬置于水中，用带有弯曲针头的注射器向它们的下表面分别送上一个气泡。就会发现：当气泡与疏水性的石蜡或煤的表面接触时，气泡能很快的粘附在它们的表面上。原来的固、液相界面被固、气相界面代替而形成固、液、气三相周边（见图1-2）。气泡与亲水性的玻璃或矽石表面接触时，气泡很难粘附到它们的表面上，即便粘附也呈球状而不能展开，很难形成三相周边（见图1-2）。

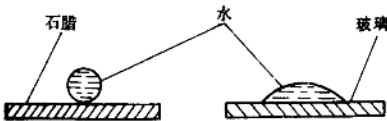


图 1-1 几种物质的润湿现象

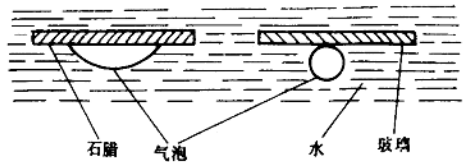


图 1-2 矿物对气泡的吸附情况

各种矿物表面对水和气泡存在着亲疏程度的差异，即不同矿物的表面润湿性有差异。浮选就是利用煤和矽石表面性质（即润湿性）的差异来实现分选的。

煤和矽石表面的润湿性差异取决于相关物质的成分和分子结构。

### 二、浮选矿浆中固、液、气三相的性质

#### 1. 煤的成分及其表面性质



我们知道，煤的主要成分是高分子有机化合物，另外还有少量的无机矿物质。

煤中的有机物质主要由碳、氢、氧、氮、硫和少量的磷等元素组成。其中碳、氢、氧含量占有有机质的95%以上。煤是由这些元素组成的高分子化合物的混合物，在成煤过程中，各种化合物经缩分、聚合作用而生成为有机高分子化合物的混合物。

烟煤中高分子化合物的基本结构单元是带有侧链的缩合芳香族。直链的侧链有直链烃、环烷烃和各种官能团。如含氮官能团 $-NH_2$ 、含硫官能团 $-SH$ 等，以及各种含氧官能团 $-OH$ 、 $-COOH$ 、 $=CO$ 、 $-CHO$ 等。多数碳原子集中在芳香环上，多数氧原子分布在侧链上。随着煤化程度增加，芳香环增大而侧链减少。

煤的高分子结构决定了煤粒表面的极性程度。高分子结构中的大部分是缩合的芳香环和组成侧链的脂肪烃和脂肪环，其中的主要元素是碳和氢。碳原子之间的键是非极性共价键。碳氢键是极性很弱的极性共价键，通常把它近似看作非极性共价键。所以它们构成了煤粒表面的非极性区域。在一些杂环和含氧官能团中，碳、氢原子与氧原子之间是极性共价键。另外，在许多官能团中还有氢键存在。由于这些成分在分子结构中所占比例较小，所以只构成了煤粒表面的少数极性区域。

煤粒表面的极性常会发生变化。原因有多种：煤表面的有机物质被氧化会引起含氧官能团数量增多；少量的矿物质在成煤过程中成为有机成分；煤岩成分中不可避免地浸染了极少量的微小矿物质；存在一部分有机质和矿物质的连生体；煤表面被极性的泥沙矿物污染；毛细孔中含有水分等。由于上述原因，加上成煤原始物质和成煤条件不同，各种煤的煤岩成分不同，煤粒表面的粗糙程度不同等原因，因此，煤粒表面的极性存在差异，极不均匀。总之，煤粒表面大部分是非极性区域，同时存在着少数分散的极性区域。

## 2. 矽石的成分及其表面性质

浮选原料中的矽石矿物包括外来矿物质和次生矿物质，它们是在煤的开采和洗选过程中因粉碎作用而产生的。选煤术语中所说的矽石，实际上是不同粒度的岩石。矽石中常见的岩石主要是砂岩、粉砂岩、石灰岩、泥质岩和炭质岩等。在一种岩石里主要的造岩矿物常见的有1~3种，有的多达5~6种。例如：砂岩的主要矿物成分是石英、长石和碳酸盐；泥质岩的主要矿物成分是高岭土、胶岭石、蒙脱石和永云母等粘土矿物；石灰岩主要有方解石、白云石等碳酸盐矿物组成；炭质岩中含有炭的有机质。因此，各种岩石的主要性质决定于主要成岩矿物的特性。

组成矽石的矿物种类很多，象硅酸盐类矿物、碳酸盐类矿物、硫酸盐类矿物、硫化物等。它们的化学成分中主要元素是O、S、Si、Al、Fe、Ca、Mg、Na、K，另外还有Mn、Ti、B、Zn、Li、H、F等。

以上这些元素所组成的物质，原子间以相反电荷的吸引力或共有电子对联结在一起。又因它们分别对电子的吸引能力不同，而使电子偏向吸引能力强的一方（如氧、氟等），产生极性，所以常称为极性物质。在矽石表面上的荷电原子或原子团（酸根离子、络合离子）均未得到中和，因此形成很强的极性表面。

因炭质岩成分中存在碳的有机质，所以出现非极性区。

## 3. 水的性质

水分子由两个氢原子和一个氧原子组成，分子中的两个O—H极性共价键的分布是不对称的，因此水分子是极性很强的分子。

水分子间除存在分子引力外，还有氢键的作用，增加水分子间的引力，形成缔合水分子，因此，水分子间有一定的引力存在。

#### 4. 空气的成分和性质

空气主要由氮气、氧气、二氧化碳及一些惰性气体组成。其中 $N_2$ 占78%，它是非极性分子。 $O_2$ 占21%，也是非极性分子。 $CO_2$ 虽是极性共价键化合物，但由于分子结构对称，正负电荷的重心与分子的中心重合，所以 $CO_2$ 是非极性分子。

通过以上分析可知：煤和矽石表面存在着极性区域。显然，极性区域内存在着不平衡的电性，即存在着静电引力场。因而对其它物质具有引力。以非极性为主的煤粒表面所具有的引力场较弱，而具有极性的矽石颗粒表面的引力场较强。矽石与煤表面极性强弱（引力场强弱），导致煤与矽石表面润湿性不同。具有疏水亲油性的煤表面沾附油气泡上浮，亲水疏油的矽石随尾矿排出，从而实现煤泥浮选。

### 三、相界面间的作用

在浮选系统中，浮选是在煤浆中进行的。煤浆是由固体（煤和矽石颗粒）、液体（水和药剂）、气体（气泡）所组成的体系。浮选的基本机理是煤粒以其表面附着于气泡的表面上，而矽石颗粒则不能附着于气泡的表面上。这里所谓的气泡表面，实际上是水与空气（气泡中的空气）的界面，因此，浮选过程的吸附是发生在固、液、气三相界面上的吸附现象。所谓“相”是指系统中的一个均匀部分。系统的这一均匀部分和另一均匀部分之间，即相与相之间有明显的性质差异，且有一分界面。确切地说，煤浆是由固、液、气三相组成的一个分散体系。浮选过程中所产生的许多现象，大都发生在气-液、液-固和固-气三个相界面上。这些相界面上发生的现象是和浮选密切相关的，它们是浮选过程中的主要矛盾。

在浮选过程中，固、液、气三相接触时，就能形成固-液、液-气、气-固三个相界面。由于固体和液体表面存在不平衡的力场，相互作用时就产生了许多物理化学现象。如固体表面上的水化现象、吸附现象和润湿现象等。根据事物的本质，利用和改变相界面上的作用，就有可能用浮选法把煤和矽石等杂质分离开来或者达到改善浮选效果的目的。

#### 1. 水化作用

在水中，矿物的表面与水分子产生作用，使水分子在矿物表面产生定向排列，形成水化层或水化膜，这种作用称为矿物表面的水化作用。

浮选过程中，煤和矽石颗粒均处于水中，且难溶于水，但颗粒表面的质点和附近的水分子能相互极化，产生程度不同的水化现象。煤和矽石颗粒表面的水化现象如图1-3所示。

图1-3表明：当水分子进入固体表面引力场范围内时，水分子就能和固体表面极性点作用，互相极化，按电的同性相斥和异性相吸的原则定向排列。水分子离固体表面越近，受表面质点的引力越大，排列越规则、越密集；离固体表面越远的水分子，受表面质点的引力就越小，排列就越显稀疏零乱。一定距离以外，表面引力为零，水分子就保持着自由状态（图1-3中的A区）。介于普通水和固体表面之间的过渡层称为水化层或水化膜（图1-3中的B区）。

水化层可达几百或几千甚至几万个水分子的厚度。水化层具有一定的弹性，当定向排列的水化层受到外力作用而变形时，固体表面水分子因极化具有保持定向排列的趋势，促使水化层恢复原状。

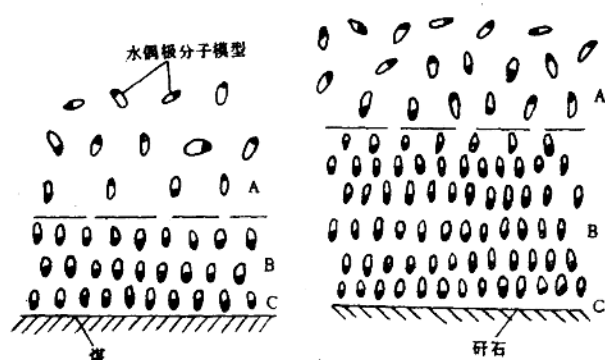


图 1-3 煤和矽石表面水化层示意图  
A—水化层；B—水化层；C—固体表面

由于煤粒表面大部分是非极性区，水化作用很弱，甚至没有水化作用，因此对水分子的引力很弱，所以不能克服水分子间的引力而使水分子定向排列在自己附近。矽石颗粒表面的极性较强，其引力能克服水分子间的引力，而使水分子定向排列在自己周围。如果固体表面的极性越强，则生成的水化层越厚越稳定。因此可知：矽石表面的水化层厚且稳定，而煤粒表面的水化层薄且不稳定。固体表面的水化层越厚越稳定，说明表面的亲水性越好。当气泡和矽石颗粒接触时，如果没有很大的外力作用，要克服很厚的水化层的阻挡而粘附在一起较困难；因此，矽石颗粒不容易粘附在气泡上。煤粒和气泡接触时，因煤粒表面水化层较薄且易被破坏，因此煤粒容易粘附在气泡上。

## 2. 吸附作用

溶质在相界面上的浓度不同于溶质在溶剂内部浓度的现象称为吸附作用。能吸附溶质的物质称为吸附剂，被吸附的溶质称为吸附质。

在煤泥浮选矿浆的液相中，主要是水分子、水分子因弱电离作用而产生的 $[H_3O]^+$ 和 $OH^-$ 离子，另外还有从矽石和煤中溶解到水里的水化离子。这是因为矿物表面质点和水分子相互水化作用时，水分子对矿物表面有很大的吸引力。在这一引力的作用下，矿物表面的正、负离子克服晶格离子间的内聚力而脱落下来，溶于水中，因此水中含有许多金属阳离子和阴离子或离子团。此外，还有药剂的分子或离子以及其它有机质和胶粒存在。因颗粒表面具有引力场，故能对水中的某些成分发生吸附作用。

煤和矽石颗粒吸附了液相中的物质，就可以改变其表面的水化程度，增加或削弱颗粒表面的亲水性。如煤粒表面吸附油类药剂就可增加表面的疏水性；吸附细粒的泥化杂质就会使煤粒表面的亲水性增加，疏水性减弱。

## 3. 润湿作用

水在固体表面上的附着称为润湿作用。

在了解煤和矽石的表面性质以及固液界面上水化作用和吸附作用后，下面来分析矿浆中固、液、气三相在接触时产生的润湿现象。

煤和矽石表面的润湿程度不同，这是因为煤和矽石表面性质具有差异。由于煤粒的非

极性表面对水分子的吸附力远小于极性水分子间的吸引力，所以滴在煤表面的水滴不易铺展开，润湿程度较小，这说明煤的表面疏水性较好。水中的煤粒，其表面一般不能形成水化层或只能形成极薄的水化层，且不稳定，所以气泡易克服水化层的阻挡，排开水化层而和煤粒表面粘附在一起。矽石表面的极性较强，其表面引力场对水分子的引力大于水分子间的内聚力，因此滴在矽石表面的水滴能很快自动铺展开，这说明矽石表面亲水性较好。水中的矽石颗粒，因水化作用可形成较厚且稳定的水化层，所以气泡不易克服水化层的阻挡，很难和矽石表面粘附在一起。

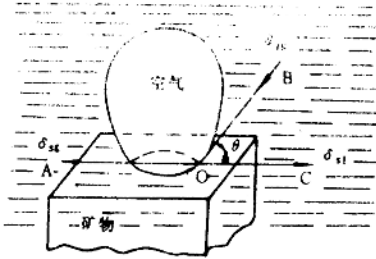


图 1-4 矿粒与气泡接触平衡示意图

不同矿物表面的润湿程度（或疏水性）的差异可用水滴在矿物表面形成的接触角表示。在置于空气中的矿物表面上滴一滴水，在固、液、气三相接触达到平衡时，三相接触周边上的任一点上液气界面切线与固体表面间形成的并含液体的夹角称作接触角。如图1-4所示，图中BOC角以 $\theta$ 来表示即为接触角。在上图中，OA表示固体在空气中的表面张力；OB表示水在空气中的表面张力，OC表示固体与水之间的界面张力，即固体在水中的表面张力。这些张力分别以 $\delta_{sg}$ 、 $\delta_{lg}$ 、 $\delta_{sl}$ 来表示。平衡时各界面张力间的关系如下：

平衡时各界面张力间的关系如下：

$$\delta_{sg} = \delta_{sl} + \delta_{lg} \cdot \cos \theta$$

即

$$\cos \theta = \frac{\delta_{sg} - \delta_{sl}}{\delta_{lg}}$$

从上式可知，当 $\delta_{sg} - \delta_{sl} = \delta_{lg}$ 时， $\cos \theta = 1$ ， $\theta = 0^\circ$ ，这说明固体表面完全被水润湿，在水中气泡不能粘附在固体表面上。当 $\delta_{sg} - \delta_{sl} = -\delta_{lg}$ 时， $\cos \theta = -1$ ， $\theta = 180^\circ$ ，这说明固体表面完全不润湿，在水中气泡极易吸附到固体表面上。以上是两个理想状态。实际上 $\theta$ 一般在 $0^\circ$ 到 $180^\circ$ 之间。在这个范围内，随着 $\theta$ 角的增大，固体表面的润湿性越来越差，即表面疏水性越来越好，说明矿物的可浮性越来越好。接触角 $\theta$ 的大小可用来衡量固体的润湿性，它既能反映矿物的表面性质，又可作为评定矿物可浮性的一个指标。

实际上，影响矿物可浮性的因素很多，所以只能用接触角的大小来大致判断矿物的可浮性。从理论上讲，只要接触角不等于 $0$ ，矿物就有可能浮选。接触角越大，可浮性越好。许多试验证明，非极性矿物的接触角较大，石蜡的接触角可达 $105^\circ$ 左右，而一些强极性矿物的接触角几乎接近 $0^\circ$ ，如硅酸盐类矿物。一般的矿物接触角在 $0^\circ \sim 90^\circ$ 之间。在煤泥浮选中，烟煤的接触角在 $60^\circ \sim 90^\circ$ 之间，矽石的接触角一般小于 $40^\circ$ 。煤泥中的矿物其接触角范围大致如表1-1所示。

表1-1所列几种矿物接触角的数值与实际浮选中矿物可浮性的顺序大致相同，因此，通过对矿物接触角的测定即可粗略掌握各种矿物的可浮性。由于煤和矽石颗粒组成成分的不同，致使它们的表面性质具有差异，它们的表面与液相、气相作用时，表现出来不同的水化、吸附和润湿等现象。这些差异决定了煤泥浮选过程进行的方向和速度，也基本上决定了药剂的作用机理和药剂的选择以及所能产生的效能。下面把煤和矽石表面特性的主要差别归纳如表1-2所示。这些差别就是煤泥浮选的主要依据。

表 1-1 几种矿物的在水中的接触角

矿物名称	接触角(°)	矿物名称	接触角(°)
烟煤	60~90	黄铁矿	30
硫	78	重晶石	30
铋矿	60	方解石	20
方铅矿	47	石灰石	0~10
闪锌矿	46	石英	0~4
炭石	41	云母	0

表 1-2 煤与矽石表面性质的差异

序号	表面特性	差别	煤	矽石
1	成分及质点之间的结合力		主要是高分子有机化合物, 质点之间主要以非极性共价键和分子键相结合	主要是无机化合物质点之间主要是极性共价键和离子键结合
2	不饱和的表面自由能		弱	强
3	表面极性		弱	强
4	水化程度		小	大
5	吸附选择性		差	强
6	亲水性		差	强
7	疏水性		强	差
8	接触角		大	小
9	可浮性		好	差
10	润湿性		小	大

实际生活中有“水油不相溶”的现象。在浮选过程中,加入油类捕收剂后,亲水性矿物不亲油,疏水性矿物则亲油,油吸附在煤粒表面上,提高了煤粒表面的疏水性,从而增强了煤粒粘附于气泡的能力。捕收剂很难吸附在矽石表面上,故对矽石表面疏水性影响甚微。由此可知,浮选过程中加入捕收剂,增大了煤粒与矽石间的可浮性差异。提高煤与矽石的可浮性差异是改善煤泥浮选的基本措施。

## 第二节 浮选的过程

煤泥浮选是以煤和矽石颗粒表面性质的差异为依据而进行的分选过程,其目的是获得-0.5mm的低灰精煤。

### 一、煤泥浮选的过程

煤泥以矿浆的形式给入搅拌器,将其配成适当的浓度,同时加入适量的浮选药剂进行充分的搅拌。搅拌后的煤浆进入浮选机,由于浮选机中搅拌机构的充气作用,在矿浆中产生大小不等的大量气泡。吸附了药剂的疏水性煤粒和气泡粘附在一起,浮升到矿浆液面聚集成矿化泡沫层,由刮泡器刮取成为浮选精煤煤浆;而亲水性的矽石颗粒则不能粘附到气泡上而留在矿浆底部成为浮选尾煤。

煤泥浮选是在固(煤泥)、液(水)和气(气泡)三相界面上进行的。这一过程的关键是:矿物表面性质具有差异;矿浆中析出大量稳定而细小的气泡;固体颗粒与气泡碰撞的结果是低灰分煤粒粘附在气泡上被浮到矿浆的表面,高灰分的矽石颗粒则不能粘附在气

泡上而遗留在矿浆中。在浮选过程中，气泡是分选的媒介，它同时又是精煤颗粒的运载工具。

## 二、气泡的矿化

煤粒在气泡上的粘着称为气泡的矿化。在煤泥浮选的矿浆中，煤粒是怎样有选择性的粘附在气泡上的呢？根据气泡矿化途径，大致可分为二种情况：（1）气泡与矿粒多次碰撞而粘着。（2）溶解于水中的气体在矿粒表面析出而粘着。

### 1. 气泡与矿粒多次碰撞而粘着

通过这条途径而完成气泡的矿化可分为三个阶段，即颗粒与气泡的接触；颗粒与气泡间水化层的破裂和粘附；颗粒在气泡上固着、上浮。

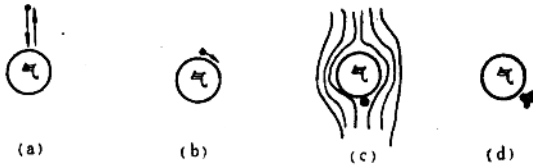


图 1-5 矿粒和气泡接触示意

(a) —碰撞；(b) —滑动；(c) —气泡涡流吸引；(d) —微泡在颗粒表面析出和大气泡接触

颗粒与气泡的接触是气泡能否进行选择性矿化的前提条件。浮选过程中，浮选机的搅拌作用使颗粒在矿浆中产生相对运动，并伴随搅拌产生大量气泡。颗粒与气泡接触方式大致有四种（图1-5）：（1）颗粒和气泡碰撞。（2）颗粒在气泡表面滑动。（3）颗粒被气泡的涡流吸到尾部。（4）微泡在颗粒

表面析出和大气泡接触。在煤泥浮选过程中，希望煤粒和气泡接触的机会越多越好，所以在可能的情况下，增加煤粒和气泡在矿浆中的数量有积极作用。

颗粒和气泡间水化层的破裂和粘附是决定煤粒能否有选择性的粘附于气泡的关键。当颗粒与气泡逐渐接近时，介于其间的水化层要逐步变薄。不同颗粒表面水化层的厚度不同。浮选原料中的强极性矽石颗粒表面亲水性很强，水化层很厚且稳定。当矽石颗粒与气泡碰撞时，使水化层破裂非常困难，因此矽石颗粒粘附于气泡的可能性很小。非极性的煤粒表面疏水性较强，其颗粒表面的水化层很薄且不稳定。当气泡和这些颗粒碰撞时，水化层很容易破裂，因此疏水性的煤粒和气泡粘附的可能性较大。

灰分较高或表面氧化的煤粒，其表面极性较强即亲水性较好，具有一定厚度的水化层，所以它们与气泡碰撞时不易粘附于气泡上。这就要求在浮选时添加选择性较好的捕收剂，以提高煤粒表面的疏水性，使水化层厚度减薄，强化煤粒和气泡间的粘附。

颗粒在气泡上的固着强度，是决定粘附于气泡上的颗粒能否最终到达泡沫层，完成煤和矽石颗粒分离的关键。因为浮选过程是运动的过程，粘附在气泡上的颗粒还要受到多种外力的作用，如重力、离心力、打击力和振动力等。这些外力可促使颗粒从气泡上脱落下来，这一力可称作脱落力。如果气泡上颗粒的质量和粒度越大，则脱落力也越大。为了提高煤粒（尤其是粗粒煤）的固着强度，一般通过提高煤粒表面的疏水性来实现。油类捕收剂在三相接触周边的富集；群泡在煤粒表面生成；气絮团的形成等，都能提高煤粒在气泡上的固着强度。

### 2. 水中溶解的气体在矿粒表面析出而粘着

在浮选矿浆中，各点的压力剧烈变化。正压区，空气要溶解到水中。加入起泡剂后，提高了空气在水中的溶解速度，很快能使空气的溶解达到饱和状态。负压区，压力迅速降

低，气泡从水中析出。水中析出的气泡总体积很大而分散度又较高时，气液总表面积也相对较大，在浮选矿浆中就会有大量微细气泡存在。这对气泡有选择性的矿化起着积极作用。

实验证明，微泡最容易在疏水性强的固体表面生成，首先是在表面的所谓生成中心生成。煤粒表面的疏水性很强，粗糙区就是生成中心。通过实验可观察到，在疏水的粗粒煤表面可看到几十个甚至几百个微细气泡，而在亲水性很强的石英表面，就没有发现有微泡存在。煤粒表面上，尤其是粗糙煤表面，聚集一群微泡之后，能很快、有效地促使大气泡粘附到颗粒表面。群泡在煤粒表面生成能增加上浮力，同时增加了三相接触周边的总长度，从而增加了总的固着强度，群泡克服脱落力的能力较单泡大得多。

根据以上两种矿化途径可以看到，颗粒能否粘附和最终固着在气泡上，既取决于颗粒本身的特性又取决于外界条件。基本情况是：颗粒表面的疏水性越好，矿浆充气越好，气泡从液相中析出越多，颗粒大小和质量越合适，则颗粒粘附于气泡的可能性就越大。颗粒表面疏水性越好，矿浆搅拌越弱，脱落力越小，则颗粒在气泡上保持固着的能力就越强。煤泥浮选过程中，虽然煤和矽石颗粒与气泡接触的机会均等，但矿浆中煤粒表面水化层较薄，气泡易克服水化层的阻力与煤粒表面接触，由于煤粒疏水性较好，密度小，再加上捕收剂和微泡选择性地优先吸附到煤粒表面上，所以煤粒容易与气泡粘附在一起，且固着强度大。而矽石颗粒情况则相反，不易与气泡粘附在一起，即使产生粘附也容易从气泡上脱落下来。因此，浮选的最终结果是煤粒与气泡粘着并随其一起上升至泡沫层成为泡沫产品，而矽石颗粒大部分停留在矿浆中作尾矿而排出。

煤粒与气泡附着后形成联合体，其结合方式大致可分三种类型(见图1-6所示)。(1)几个煤粒粘附在一个气泡上〔图1-6(a)〕。(2)群泡粘附在一个煤粒上〔图1-6(b)〕，这种形式有利于粗粒煤的浮选。(3)形成气絮团〔图1-6(c)〕，此时气泡表面达到最大程度的矿化。

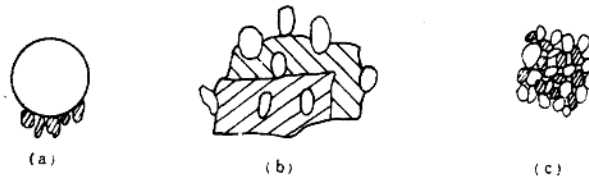


图 1-6 煤粒与气泡联合体的形式

试验证明，颗粒越大越难使气泡矿化，完成矿化过程所需时间也越大。从煤泥中的各种煤岩来看，亮煤颗粒能很快完成同气泡的矿化过程，浮选速度最快。疏水性较差的暗煤颗粒浮选速度较慢。矽石颗粒的浮选速度最慢。气泡矿化的难易取决于颗粒表面特性。

以上我们叙述了煤泥浮选的依据和浮选过程中气泡的矿化。在此指出了煤和矽石颗粒分选的可能性和主要趋向，但也看到了内外影响因素的复杂性。因此，在极其复杂的浮选过程中，人们必须应用浮选的基本原理去能动地指导实践，以获得最理想的浮选结果。

### 第三节 煤泥性质对浮选的影响

入浮矿浆中不同颗粒表面性质的差异是浮选的依据，因此，为了更好的指导生产，就必须知道浮选原料的性质。煤泥浮选原料由不同粒径、不同密度的煤和矽石颗粒以及它们



的连生体组成。在分析煤和矸石的成分及性质时指出：煤粒表面的非极性程度以及由其决定的疏水性或可浮性，受到煤化程度、煤岩成分、氧化程度和矿物质浸染等因素的影响。矸石颗粒表面的极性程度以及由其决定的表面特性，取决于组成矸石的矿物成分。煤和矸石颗粒表面性质的差别、连生体、过大粒以及细泥含量等都是影响浮选过程和浮选效果的重要因素。下面就几个方面谈谈煤泥性质对浮选的影响。

### 一、煤岩成分

煤按煤岩成分可分为镜煤、亮煤、暗煤和丝炭四种。实验证明，不同的煤岩成分的疏水性和可浮性不同。镜煤、亮煤较暗煤、丝炭可浮性好。大同气煤的煤岩成分的可浮性实验表明，镜煤和亮煤的接触角在 $37^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 之间，暗煤和丝炭接触角在 $26^{\circ}\sim 33^{\circ}$ 之间。不同煤岩成分的可浮性受其化学组成和分子结构的影响，同时也受到其它因素的影响。镜煤、亮煤较暗煤、丝炭密度小、灰分低。表1-3是本溪煤田各煤岩成分的密度、灰分组成。

表 1-3 本溪煤田各煤岩成分的密度、灰分组成

煤 岩 成 分	密 度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	灰 分 (%)
镜 煤	1.294~1.350	2.31~4.32
亮 煤	1.320~1.406	4.28~10.60
暗 煤	1.339~1.465	4.55~9.80
丝 炭	—1.542	—14.53

在四种煤岩成分中，丝炭灰分较高，如果它进入泡沫产品会增加精煤灰分，此外，精煤中丝炭含量较多也要影响煤的结焦性。当丝炭在精煤中含量超过 $10\%\sim 12\%$ 时，精煤就不能结焦。总之，精煤中丝炭含量的多少影响浮选精煤的质量。由于丝炭的可浮性较差，因此在浮选过程中总可以排除一部分。如果浮选能提高煤岩成分的选择性，有利于提高产品质量。由于煤岩成分的可浮性和浮选行为不同，因此在制定操作制度和进行生产检查时，应结合小筛分和小浮沉试验对原料和产品进行煤岩成分的定性和定量分析。特别是当原料中暗煤成分含量较高时，会增加浮选的难度，这就要求寻求最合理的工艺条件，制定合理的操作制度。

### 二、煤化程度

各种煤的接触角测定结果（见表1-4）表明，中等煤化程度的煤的接触角最大，年轻和年老的煤的接触角较小。这说明：煤化程度不同煤的可浮性也不同，中等煤化程度的煤的可浮性最好。这一现象可用变质过程中煤的高分子结构的变化来加以解释。煤化程度低的煤，高分子结构中极性官能团的数量较多，煤粒表面亲水性强。中等煤化程度的煤，高分子中碳和氢的比例最合适，此时的碳氢化合物疏水性最好。随着煤化程度的加深，因脱氢而使疏水性较好的碳氢化合物发生分解，从而使煤的疏水性又逐渐下降。

表 1-4 各种煤的润湿接触角

煤 种	长 焰 煤	气 煤	肥 煤	焦 煤	瘦 煤	贫 煤	无 烟 煤
接触角 ( $^{\circ}$ )	60~63	65~72	83~85	86~90	79~82	71~75	73

不同煤化程度的煤，在药剂的作用下，可浮性均有不同程度的提高，但随着药剂用量的增加，它们之间可浮性的差别显著缩小。实践证明，在相同条件下，中等煤化程度的煤最容易浮选，而年轻和年老的煤的浮选效果较差，其原因一是年轻和年老煤的疏水性较差，二是它们具有较发达的孔隙。为了改善浮选效果，要使用大量药剂，以达到充填煤粒表面的孔隙和提高疏水性的目的。

### 三、煤的表面结构

在显微镜下对煤的表面进行观察，就会发现其表面是不平整的，具有许多大小不均的孔隙。与其它矿物相比，煤粒表面的孔隙相当发达。例如，1g中等变质程度的煤具有的孔隙总面积可达 $150\sim 170\text{m}^2$ ，而1g矿物的孔隙总面积不过才 $5\sim 10\text{m}^2$ 。煤中的孔隙非常小，其中80%的孔隙直径小于 $10\mu\text{m}$ 。煤中空隙具有孔径小，数量多的特点。

不同变质程度的煤具有不同的孔隙度。实验证明，中等变质程度的煤孔隙度最小，变质程度浅和深的煤孔隙度较大。如：肥煤、焦煤的孔隙度平均为5%~6%；贫煤为7%；长焰煤为10%左右。孔隙度对煤的浮选性质有很大的影响。孔隙多的煤粒总面积比较大，这就决定了它具有较强的吸附能力。在浮选矿浆中，煤粒要与水、药剂等接触，因其孔隙多、表面积大，就必然增强煤粒表面对水和药剂的吸附作用。从而导致气泡矿化的选择性下降，使煤的浮选效果变坏。浮选孔隙度高的煤会大量消耗药剂，以填充孔隙。总之孔隙对煤泥浮选的影响不可忽视。

### 四、氧化程度

由于煤粒具有较大的孔隙度和表面积，因此煤粒表面具有相当好的吸附能力。煤分子中的非极性部分对非极性物质的吸附能力较强，而极性部分对极性物质吸附能力较强。氧具有较强的化学活性，无论煤粒在空气中，还是在水中，都能对氧产生吸附作用，使煤粒表面发生氧化。在物理吸附阶段，煤粒表面吸附的氧能增加煤粒的可浮性。当煤粒表面的C、H及含N、S等的官能团被氧化后，煤粒表面的极性基团增多，致使其表面亲水性增加。氧化程度较深的煤，可浮性极差。有人用贮存了一年的氧化煤，按比例掺入新鲜煤中，在一定条件下进行浮选实验，实验结果如图1-7所示。实验表明，随氧化煤数量的增加，精煤产率，迅速下降。全部是氧化煤时，几乎得不到浮选精煤。

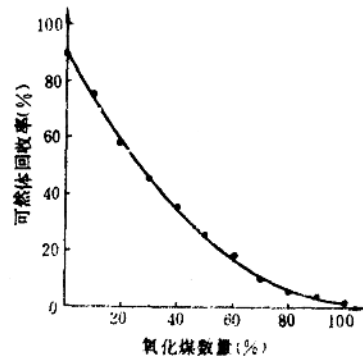


图 1-7 煤的氧化程度对浮选的影响

煤发生氧化的途径有两种，一是在自然界的风化过程中被氧化，二是在水中长期浸泡被氧化。实验证明煤尘比煤泥具有较好的可浮性，这说明煤在水中的氧化要比在空气中更剧烈。为减弱煤在水中的氧化程度，应尽量缩短煤在水中的浸泡时间。直接浮选具有较高的浮选速度，原因之一就是生产中缩短了煤泥在水中的浸泡时间。当浮选氧化程度较深的煤泥时，因氧化煤粒表面的负电性较强，易对阳离子产生吸附作用，所以采用阳离子捕收剂（如胺类等）能改善浮选效果。对于氧化程度较浅的煤，用非极性油类药剂作捕收剂，浮选效果最佳。