



煤炭技工学校通用教材



浮 选

煤炭工业出版社

煤炭技工学校通用教材

浮 选

全国职业培训教学工作指导委员会煤炭专业委员会 编

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

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,浮选生产有关的技术经济指标计算,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。

该书主要作为中等职业技术学院的选矿师生教学之用,亦可作为选矿厂在职技术培训或就业前培训之用。

煤炭技工学校通用教材 浮 选

全国职业培训教学工作指导委员会煤炭专业委员会 编

*

煤炭工业出版社 出版
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
网址: www.cciph.com.cn
北京密云春雷印刷厂 印刷
新华书店北京发行所 发行

*

开本 787mm × 1092mm^{1/16} 印张 9
字数 207 千字 印数 1—5,000
2004 年 7 月第 1 版 2004 年 7 月第 1 次印刷
ISBN 7-5020-2440-9/TD923

社内编号 5211 定价 16.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换

全国职业培训教学工作指导委员会 煤炭专业委员会

主任委员	刘 富					
副主任委员	仵自连	刘同良	张贵金	韩文东	范洪春	刘荣林
委 员	雷家鹏	曾宪周	夏金平	张瑞清		
	(按姓氏笔画为序)					
	于锡昌	牛麦屯	牛宪民	王亚平	王自学	王朗辉
	甘志国	石丕应	仵自连	任秀志	刘同良	刘荣林
	刘振涛	刘 富	刘 鉴	刘鹤鸣	吕军昌	孙东翔
	孙兆鹏	邢树生	齐福全	严世杰	吴庆丰	张久援
	张 君	张祖文	张贵金	张瑞清	李 玉	李庆柱
	李祖益	李家新	杨 华	辛洪波	陈家林	周锡祥
	范洪春	赵国富	赵建平	赵新社	夏金牛	高志华
	冀立谦	储可奎	曾宪周	程光玲	程建业	程彦涛
	韩文东	雷家鹏	樊玉亭			

前 言

为了加快煤炭技工学校的教学改革步伐，不断适应社会主义市场经济发展和劳动者就业的需要，加速煤炭工业技能型人才的培养，促进煤炭工业现代化建设和科学技术的进步，在全国职业培训教学工作指导委员会的指导下，全国职业培训教学工作指导委员会煤炭专业委员会，以全国煤炭技工学校“八五”教材建设规划为基础，研究制定了全国煤炭技工学校新时期教材建设规划，并列入了国家劳动和社会保障部制定的全国技工学校教材建设规划，劳动和社会保障部以《关于印发1999年度全国职业培训教材修订开发计划的通知》（劳社培就司函（1999）第15号）下发全国。这套教材59种，其中技术基础课教材43种，实习课教材16种。目前正在陆续出版发行当中。

这套教材主要适用于煤炭技工学校教学，工人在职培训、就业前培训，也适合具有初中文化程度的工人自学和工程技术人员参考。

《浮选》是这套教材中的一种，该教材由淮北矿业集团职教中心吴永亮同志编写，全国职业培训教学工作指导委员会煤炭专业委员会根据煤炭生产和煤炭技工学校的教学要求，依据劳动和社会保障部批准的全国煤炭技工学校统一教学计划、教学大纲，组织有关专家对该教材进行了全面审查，并对教材中的部分内容进行了修改和更新。使该教材内容更加丰富，更具针对性、科学性、适用性，能更好地满足煤炭技工学校的教学要求。在本教材的编写过程中，得到了煤炭企事业单位有关专家和工程技术人员的大力支持和帮助，在此一并表示感谢。

由于时间仓促，书中难免有不当之处，恳请广大读者批评指正。

全国职业培训教学工作指导委员会
煤 炭 专 业 委 员 会
2004年5月

目 录

第一章 浮选的基本原理	1
第一节 煤泥浮选的依据	1
第二节 煤泥的浮选	7
第三节 煤泥性质对浮选的影响	9
复习思考题	14
第二章 浮选药剂	15
第一节 概 述	15
第二节 浮选过程的吸附	15
第三节 捕收剂、起泡剂和调整剂	17
第四节 浮选药剂的选择和使用	28
复习思考题	31
第三章 浮选机	32
第一节 浮选机的基本要求	32
第二节 几种常用浮选机简介	33
第三节 评价浮选机性能的若干指标	52
第四节 浮选机的安装、维护和检修	55
第五节 浮选用辅助设备	60
复习思考题	65
第四章 浮选工艺	66
第一节 影响浮选的主要因素	66
第二节 矿浆浓度对浮选的影响	67
第三节 粒度和形状对浮选的影响	69
第四节 温度和酸碱度对浮选的影响	73
第五节 矿浆液相组成对浮选的影响	74
第六节 搅拌和刮泡对浮选的影响	77
第七节 浮选流程	78
复习思考题	80
第五章 浮选的生产实践	82
第一节 浮选工的工作任务	82
第二节 浮选机司机技术操作规程	82
第三节 浮选机的试运转及初步调整	86
第四节 入选矿浆浓度的选择与调整	87
第五节 给矿量的选择与调整	90

第六节 药剂的使用	92
第七节 刮泡量的调整	94
第八节 稳定浮选指标的基本措施	95
第九节 浮选指标不良的原因分析	96
复习思考题	98
第六章 浮选指标的计算及浮选效果的评价	99
第一节 浮选指标的计算	99
第二节 煤泥的可浮性及评价方法	103
第三节 浮选效果的评价	105
复习思考题	107
第七章 浮选精煤的脱水	108
第一节 影响过滤效果的主要因素	108
第二节 浮选精煤过滤的操作管理	111
第三节 凝聚剂在浮选精煤过滤中的作用	114
第四节 强化浮选精煤过滤的措施	115
复习思考题	116
第八章 浮选尾煤的处理	117
第一节 浮选尾煤的处理流程	117
第二节 絮凝剂在浮选尾煤处理中的应用	119
第三节 影响压滤机工作效果的主要因素	122
复习思考题	123
第九章 煤泥水的处理	125
第一节 煤泥水的性质及其对生产过程的影响	125
第二节 煤泥水处理系统	128
第三节 煤泥水系统的管理	135
复习思考题	136

第一章 浮选的基本原理

浮游选煤是细粒煤泥分选的有效方法，同时它也是使生产用水中固体物全部厂内回收而实现生产用水闭路循环，以防止造成环境污染的重要环节。

煤泥浮选的目的是将煤泥中的优质成分分选出来以提高煤炭的回收率。选煤厂中煤泥的来源有人选原煤中所含的原生煤泥，还有在加工过程中因粉碎作用而产生的次生煤泥。

为了使煤泥浮选达到优质、高产、高效、低消耗的目标，就要了解煤泥浮选的基本原理。本章主要介绍了煤和矸石颗粒分选的依据、分选的基本过程以及煤泥的浮选性质等。

浮选包括泡沫浮选、油浮选、球团浮选等，而实际生产中常使用泡沫浮选分选细粒物料，所以浮游选煤通常是指煤泥的泡沫浮选。本书仅就泡沫浮选进行阐述。

第一节 煤泥浮选的依据

一、固体的润湿性

煤泥的浮选是根据精煤与矸石颗粒表面润湿性的差异来进行的。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。经过2~3min后，可以看出，石蜡平面上的水滴几乎呈球形，水滴和石蜡的接触面积基本上保持不变。而滴在玻璃平面上的水滴能很快在玻璃平面上展开，具有较大的接触面积。

同样，如果把水滴在煤的表面，情形就类似于石蜡；把水滴在矸石表面，情形就类似于玻璃（图1-1）。



图1-1 几种物质的润湿现象

由这一实验可以看出，水滴在玻璃和矸石的表面上能迅速展开，而滴在石蜡和煤的表面上就不能展开。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。被水润湿的表面称为亲水性表面，不被水润湿的表面称为疏水性表面。在各种矿物中，存在着被水润湿程度的差异。就以上4种矿物来说，煤与石蜡相似，表面不易被水润湿，称为疏水性矿物；而矸石和玻璃相似，表面易被水润湿，称为亲水性矿物。

如果将石蜡和玻璃或煤和矸石悬置于水中，用带有弯曲针头的注射器向它们的下表面分别注入一个气泡。就会发现：当气泡与疏水性的石蜡或煤的表面接触时，气泡能很快地附着在它们的表面。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。而气泡与亲水性的玻璃或矸石表面接触时，气泡很难附着到它们的表面上或附着后呈球状而不能展开，很难形成三相周边（图1-2）。

图1-2和图1-1这些现象说明了不同的矿物表面性质的不同，各种矿物表面对水和

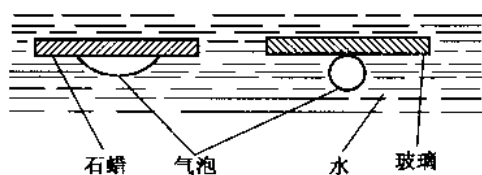


图 1-2 几种矿物对气泡的吸附情况

气泡存在着亲疏程度的差异。也就是说：不同矿物的表面润湿性有差异，而煤和矸石产生不同的浮选行为而分离，就是利用它们的表面性质即润湿性的差异来实现的。

为什么煤和矸石表面的润湿性有差异呢？这是由相关物质的成分和分子结构所决定的。

二、浮选矿浆中固、液、气三相的性质

1. 煤的成分及表面性质

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，以及氮、硫和少量的磷等元素组成。其中碳、氢、氧占有机质的 95% 以上。煤是由这些元素组成的高分子化合物的混合物，也可以说是成煤过程中各种化合物经缩合和聚合作用而生成的有机高分子化合物的混合物。

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核及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，因碳原子间电负性差为零，属于非极性共价键。碳氢原子之间的电负性差很小，故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。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的电负性差较大；因此，它们之间是极性共价键。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。

煤粒表面的极性有可能发生变化。原因有：①煤表面的有机物质被氧化会引起含氧官能团数量增多；②少量的矿物质在成煤过程中成为有机质的成分；③煤岩成分中不可避免地浸染了极少量的微小矿物质；④存在一部分有机质和矿物质的连生体；⑤煤表面被极性的泥沙矿物污染；⑥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；因此使得煤粒表面的极性存在差异，极不均匀。

综上所述，煤具有如下性质：

- (1) 组成不均匀，各组分无法实现充分分离。
- (2) 煤的主体是多苯芳香族，在分选中，起主要作用的是芳香族的性质。因其化学性质不活泼，故使煤的表面呈疏水性。
- (3) 煤的苯族或侧链经氧化生成的含氧官能团，使煤的某些部位具有亲水的性质。但这些部位具有较好的化学活性，极易通过浮选药剂——捕收剂使其表面的亲水性转化为疏水性。
- (4) 煤中多数矿物质具有一定的极性，故煤的部分表面呈现出亲水性。
- (5) 煤易氧化，氧化使煤的极性区域增加，故可浮性变差。

2. 矸石的成分及表面性质

浮选原料中的矸石颗粒，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。选煤术语中所说的矸石，实际上是不同粒度的岩石。矸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成岩矿

物常见的有1~3种，有的达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、蒙脱石和水云母等粘土矿物；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，像硅酸盐类矿物、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。

根据以上这些元素可以知道，它们所组成的物质，原子间是以相反电荷的吸引力或共有电子对联结在一起的。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。

但是炭质岩情况不同，因其成分中存在炭的有机质，所以出现非极性区。

3. 水的性质

水分子是由两个氢原子和一个氧原子组成的，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（氢键缔合和偶极缔合）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，正负电荷的重心都在分子的中心上重合，所以也是非极性分子。故得到如下结论：空气是一种典型的非极性物质，具有对称的分子结构；易和非极性表面结合，分选过程中可优先与非极性的疏水表面吸附。

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，也就是说存在着静电引力场，因而对其他物质具有引力。以非极性为主的煤粒表面所具有的引力场较弱，而极性的矽石颗粒表面所具有的引力场则较强。这是因为煤粒表面极性区域较小且极性较弱，而矽石颗粒表面极性较强所决定的。这就是致使煤和矽石颗粒具有不同的浮选行为的本质。

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。浮选的基本作用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。所谓气泡的表面，实际上是水与空气（气泡中）的界面。因此，浮选过程的吸附是产生在固体、液体和气体三者所构成的相界面上的现象。对此三者，称为三相，即固相、液相和气相。所谓“相”就是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，即相与相之间有着明显的性质差异，具有一分界面。确切地说，煤浆是由固相、液相和气相三者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与浮选密切相关，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均有不平衡的力场存在，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矸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

浮选过程中，煤和矸石颗粒是处于水中的，都难溶于水。但在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。煤和矸石颗粒表面的水化现象如图1-3所示。

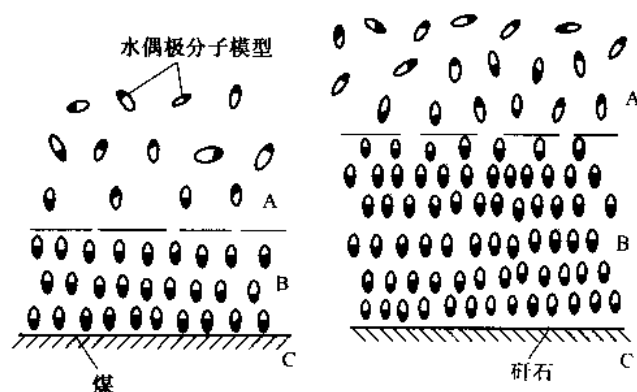


图1-3 煤和矸石表面水化层示意图

A—普通水；B—水化层；C—固体表面

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质点作用，互相极化，按电的同性相斥、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。到一定距离以外，表面引力没有了，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。水化膜具有一定的弹性，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，促使水化膜恢复原状。

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。矸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：矸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。固体表面的水化膜越厚越稳定，说明表面的亲水性越强。当气泡和矸石颗粒接触时，如果没有很大的外力作用，要克服很厚的水化膜的阻挡而附着在一起是比较困难的。因此，矸石颗粒不容易附着在气泡上。而煤粒和气泡接触

时，因煤粒表面水化膜较薄面易被破坏，因此煤粒容易附着在气泡上。

2. 吸附作用

矿物表面的质点和水分子互相极化产生的水化作用，可以认为是表面质点对水分子的吸附现象。

在煤泥浮选矿浆的液相中，主要是水分子和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他有机质和胶粒存在。由于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强，疏水性减弱。

3. 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之后，来分析浮选系统中固、液、气三相在接触时产生的润湿现象及其原因。

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，排开水化层而与煤粒表面附着在一起。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强。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，很难和矽石表面附着在一起。

不同矿物表面的润湿程度或疏水性有差别，这种差异可用水滴在矿物表面形成的润湿接触角的大小来衡量。

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，液气界面切线与固体表面间形成的并含液体的夹角，称做润湿接触角（简称接触角）。如图 1-4 所示，图中 $\angle BOC$ 以 θ 来表示即为接触角。

在图中， OA 表示固体在空气中的表面张力； BO 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 δ_{sg} 、 δ_{lg} 、 δ_{sl} 来表示。平衡时各界面张力间的关系如下：

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

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

式中，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，在水中气泡不能附着在固体表面。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 θ 介于 $0^\circ \sim 180^\circ$ 之间，在这个范围内，随着 θ 角的增大，固体表面的润湿性显然越来越弱即表面

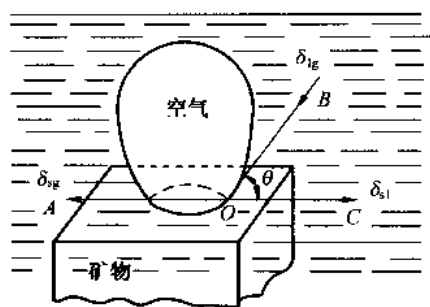


图 1-4 矿粒与气泡接触平衡示意图

疏水性越来越强,也可以说矿物的可浮性越来越强。所以接触角 θ 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,且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° 左右;而一些强极性矿物的接触角常接近于 0° ,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,矽石的接触角常小于 40° ,煤泥中常含的矿物其接触角范围大致见表 1-1。

表 1-1 几种矿物的在水中的接触角

矿物名称	接触角 / ($^\circ$)	矿物名称	接触角 / ($^\circ$)
烟 煤	60 ~ 90	黄 铁 矿	30
硫	78	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
炭 石	41	云 母	0

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是相同的。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,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。这些差异基本决定了煤泥浮选过程进行的方向和速度,也基本决定了药剂的选择及其所能产生的效能。下面把煤和矽石表面特性的主要差别归纳见表 1-2。这些差别就是煤泥浮选的主要依据。

表 1-2 煤与矽石表面性质的差异

序号	差 别 表面特性	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

续表

序号	差 别	煤	矸 石
	表面特性		
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。在矿物的表面性质中也同样存在，即亲水性矿物不亲油，疏水性矿物亲油，这是气泡与油具有的共同特性。在浮选过程中，加入油类捕收剂后，油吸附在煤粒表面，提高了煤粒表面的疏水性，从而增强了煤粒附着在气泡上的能力。捕收剂很难在矸石表面上吸附，故对矸石表面疏水性影响甚微。由此可知，浮选过程中加入捕收剂，扩大了煤粒与矸石间的可浮性差异。充分利用煤与矸石的这种差异是改善煤泥浮选的基本措施。

第二节 煤 泥 的 浮 选

煤泥浮选就是在含煤的矿浆中，以煤和矸石颗粒表面物理化学性质的差异为依据而进行的分选过程，其目的是得到一定数量的高质量精煤。

一、煤泥浮选的过程

煤泥以矿浆的形式加入搅拌器，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，在矿浆中产生数量适中、尺寸适宜的气泡。疏水的煤粒由于浮选药剂的作用，使其表面疏水性更强，极易与气泡附着在一起，随气泡上升到矿浆液面聚集成矿化泡沫层，由刮泡器刮出作为浮选精煤。而亲水的矸石颗粒则由于水化膜的作用不能附着到气泡上而滞留在矿浆中成为浮选尾煤。

煤泥浮选是在固（煤泥）、液（水）和气（气泡）三相界面上进行的。实现这一过程的关键是：矿物表面性质具有差异；矿浆中析出数量足够且稳定而细小的气泡；固体颗粒与气泡碰撞的结果是低灰分煤粒容易附着在气泡上被带至矿浆的表面，高灰分的矸石颗粒则不能附着在气泡上面遗留在矿浆中。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

煤粒在气泡上的附着称为气泡的矿化。在煤泥浮选的矿浆中，煤粒是怎样有选择性地

附着在气泡上的呢？根据气泡矿化途径的区别大致可分为两种情况：①气泡与矿粒多次碰撞而附着；②溶解于水中的气体在矿粒表面析出而附着。

1. 气泡与矿粒多次碰撞而附着

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

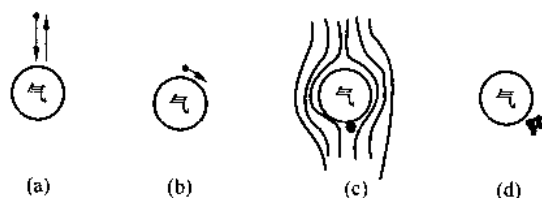


图 1-5 矿粒和气泡接触示意

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气泡和颗粒在矿浆中产生相对运动。接触方式大致有四种：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（图 1-5）。在煤泥浮选过程中，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（增加煤粒即提高矿浆浓度，可增加设备处理能力；增大气泡量，可提高煤的回收率）。

颗粒和气泡间水化层的破裂和附着是决定煤粒能否有选择性地吸附于气泡的关键。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一样。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。所以，当矽石颗粒与气泡碰撞时，要使水化层破裂就非常困难。因此矽石颗粒附着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吸附的可能性较大。

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

颗粒在气泡上的固着强度，是决定附着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，附着在气泡上的颗粒还要受到许多外力的作用，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，称作脱落力。附着在气泡上的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. 在水中溶解的气体在矿粒表面析出而附着

在浮选机中，各点的压力是剧烈变化着的。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，气液总界面积也就较大，在浮选矿浆中就会有大量微细气泡存在。这对煤粒有选择性地使气泡矿化起着积极的作用。

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，据观察，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，尤其是粗粒煤，聚集了一群微泡后，就能有效地促使大气泡附着到颗粒表面，吸附速度要比一般情况提高数倍。群泡在煤粒表面的生成能增加上浮力，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要比单泡大得多。

根据以上两种矿化途径可以看到，颗粒能否附着和最终固着在气泡上，既取决于颗粒本身的特性（极性），又取决于外界条件（气泡和药剂）。其基本情况是：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，则颗粒附着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，虽然煤和矽石颗粒可能与气泡接触的机会是一样的，但矿浆中煤粒占大多数且其具有疏水性，因此大部分是煤粒和气泡在接触。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，所以煤粒容易与气泡附着在一起，且固着强度大；而矽石颗粒情况则相反，不易与气泡附着在一起，即使发生了附着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附着并随其一起上升至泡沫层成为泡沫产品，而矽石颗粒的绝大部分仍滞留在矿浆中而成为尾矿排走。

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，如图 1-6 所示。①几个煤粒附着在一个气泡上（图 1-6a）。②群泡粘附在一个煤粒上，这种形式有利于粗粒煤的浮选（图 1-6b）。③形成气絮团，此时气泡表面达到最大程度的矿化（图 1-6c）。

试验证明，颗粒越大气泡矿化越难，完成矿化过程所需时间也越长。从煤泥的各种成分来看，亮煤颗粒能很快完成矿化过程，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。不同颗粒矿化过程的难易程度与颗粒表面特性的差异是一致的。

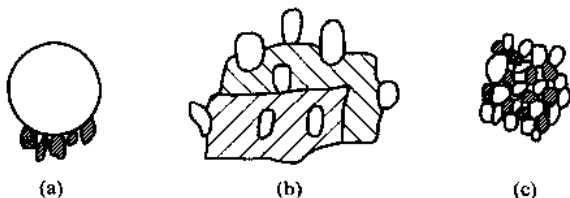


图 1-6 煤粒与气泡联合体的形式

以上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

浮选原料中不同颗粒表面性质的差异是煤泥浮选的依据，因此，为了更好地指导生产，就必须知道浮选原料的性质。

煤泥浮选原料由不同粒度、不同密度的煤和矽石颗粒以及它们的连生体组成。在分析煤和矽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的大小，要受到煤化程度、煤岩成分、氧化程度和矿物质浸染等因素的影响；矽石颗粒表面的极性程度以及由其决定的表面特性，取决于组成矽石的矿物成分；煤和矽石颗粒表面性

质的差别程度、连生体、过大粒以及细泥等都是影响浮选过程和浮选效果的重要因素。以下分几个方面叙述煤泥性质对浮选的影响。

一、煤岩成分

煤是一种含有有机质的岩石，通常分成四种煤岩成分，即镜煤、亮煤、暗煤和丝炭。

实验证明，不同的煤岩成分的疏水性和浮选行为是不一样的。光亮型成分比暗淡型成分具有较好的可浮性。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为 $37^{\circ} \sim 40^{\circ}$ ，暗煤和丝炭为 $26^{\circ} \sim 33^{\circ}$ 。

不同煤岩成分的可浮性存在差异的主要原因在于其本身具有不同的化学组成和分子结构，同时也受到其他各种因素的影响。光亮型煤中的矿物质含量要比暗淡型煤低，密度要小。本溪煤田各煤岩成分的密度和灰分组成见表 1-3。

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 / ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	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

丝炭中灰分较高，如果进入泡沫产品会增加精煤灰分；同时，精煤中丝炭含量较多，也要影响煤的结焦性。当丝炭在精煤中的含量超过 10% ~ 12% 时，精煤就不能结焦。因此，精煤中丝炭含量的多少也是评定产品质量的一个指标。丝炭的可浮性较差，因此在浮选过程中可以排除一部分。如果浮选过程中能提高煤岩成分的选择性，则有利于提高煤的质量。有的煤只能作配煤使用。光亮型煤具有良好的结焦性能。如果浮选能按照煤岩成分进行有选择性的分选，就能提高一些煤的使用价值，扩大炼焦用煤的资源。

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及浮选试验对原料和产品进行煤岩成分的定性和定量分析。特别是当原料中暗淡型成分含量较高时，会增加浮选的难度，因此必须寻求最合理的工艺条件，进行精心的操作和调节。例如，某一选煤厂的原料来自两个矿井，一个镜煤和亮煤较多，另一个是暗煤和丝炭为主要成分，对它们就不能按照同一制度进行生产。

二、煤化程度

测定各种煤的润湿接触角（见表 1-4），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，中等煤化程度煤的可浮性最好。

上述现象产生的原因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