



煤炭高级技工学校“十一五”规划教材

中国煤炭教育协会职业教育教材编审委员会 编

选煤工艺——浮选

XUAN MEI GONG YI — FU XUAN

煤炭工业出版社

煤炭高级技工学校“十一五”规划教材

选 煤 工 艺

——浮 选

中国煤炭教育协会职业教育教材编审委员会 编

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书共分八章，主要介绍了：浮游选煤的基本原理，浮选药剂，浮选机及其辅助设备，煤泥浮选指标及主要影响因素，浮选操作及案例，浮选精煤的脱水，浮选尾矿的处理以及煤泥水处理流程。

本书适用于煤炭高级技工学校、技师学院、高等职业学校教学，也适合具有高中文化程度的工人自学和工程技术人员参考。

煤炭高级技工学校“十一五”规划教材

选 煤 工 艺

——浮 选

中国煤炭教育协会职业教育教材编审委员会 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

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 787mm×1092mm¹/₁₆ 印张 12¹/₂

字数 291 千字 印数 1—5,000

2007 年 3 月第 1 版 2007 年 3 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5020-2958-6/1D923

社内编号 5757

定价 25.00 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

中国煤炭教育协会职业教育教材编审委员会

名誉主任 朱德仁

主任 邱江

常务副主任 刘富

副主任 刘爱菊 吕一中 肖仁政 张西月 郝临山 魏焕成
曹允伟 仵自连 桂和荣 雷家鹏 张贵金 韩文东
李传涛 孙怀湘 程建业

秘书长 刘富(兼)

委员 (按姓氏笔画为序)

朱宪民	王枕	王明生	王树明	王朗辉	甘志国
白文富	仵自连	任秀志	刘爱菊	刘富	吕一中
孙怀湘	孙茂林	齐福全	何富贤	余传栋	吴丁良
张久援	张先民	张延刚	张西月	张贵金	张瑞清
李传涛	肖仁政	辛洪波	邱江	邹京生	陈季言
屈新安	林木生	范洪春	侯印浩	赵杰	赵俊谦
郝临山	夏金平	桂和荣	涂国志	曹中林	梁茂庆
曾现周	温永康	程光岭	程建业	董礼	谢宗东
谢明荣	韩文东	雷家鹏	题正义	魏焕成	

主编 吴永亮

前 言

为贯彻落实《中共中央办公厅、国务院办公厅印发〈关于进一步加强高技能人才工作的意见〉的通知》(中办发〔2006〕15号)精神,推动煤炭高级技工学校、技师学院和高等职业学校加快煤炭行业高技能人才培养工作,适应煤炭工业发展对高技能人才的需求,中国煤炭教育协会职业教育教材编审委员会于2005~2006年召开了多次会议,对煤炭行业高技能人才培养教材建设工作进行了深入的研究,并按专业开展了教学计划、教学大纲的研究和教材开发工作。经过1年多的工作,煤炭行业高技能人才培养教材建设工作进展顺利,一套“结构科学,特色突出、专业配套、质量优良”的煤炭高级技工学校通用教材将陆续出版发行,为煤炭行业高技能人才培养提供有力的技术支持。

这套教材主要适用于煤炭高级技工学校、技师学院、高等职业学校教学,也适合具有高中文化程度的工人自学和工程技术人员参考。

《选煤工艺——浮选》是这套教材中的一种,是推据经劳动和社会保障部批准的会国煤矿技工学校统一教学计划、教学大纲的规定编写的,经中国煤炭教育协会职业教育教材编审委员会审定,并认定为合格教材,是会国煤炭高级技工学校教学,高等职业学校开展高技能人才培养的统一教材。

本教材由安徽淮北煤炭高级技工学校吴永亮同志主编。另外,在本教材的编写过程中,得到了有关煤炭高级技工学校的广大教师和煤矿企业有关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。

中国煤炭教育协会职业教育教材
编审委员会

目 录

第一章 浮游选煤的基本原理	1
第一节 浮游选煤的依据	1
第二节 气泡的矿化过程	7
第三节 煤泥性质对浮选的影响	11
复习思考题	17
第二章 浮选药剂	19
第一节 浮选剂的作用和分类	19
第二节 捕收剂	20
第三节 起泡剂	28
第四节 调整剂	35
第五节 浮选药剂的选用和储存	37
复习思考题	41
第三章 浮选机及其辅助设备	43
第一节 浮选机的基本要求与分类	43
第二节 浮选机的性能指标及测定方法	45
第三节 机械搅拌式浮选机	50
第四节 喷射式浮选机	78
第五节 浮选柱	93
第六节 煤泥浮选辅助设备	96
复习思考题	100
第四章 煤泥浮选指标及主要影响因素	102
第一节 煤泥浮选指标	102
第二节 入浮浓度对煤泥浮选的影响	105
第三节 粒度和形状对煤泥浮选的影响	112
第四节 矿浆的液相性质对煤泥浮选的影响	118
第五节 搅拌和刮泡对煤泥浮选的影响	122
第六节 药剂制度	123
第七节 浮选流程	127
第八节 浮选工艺效果的评定	132
复习思考题	137
第五章 浮选操作及案例	138
第一节 对浮选司机的要求	138
第二节 浮选机技术操作规程	139

第三节	浮选机的试运转和初步调整	142
第四节	操作因素的确定和调整	143
第五节	保证浮选生产指标的基本措施	152
第六节	浮选指标不良的原因分析	155
第七节	案例分析	158
复习思考题		160
第六章	浮选精煤的脱水	161
第一节	影响浮选精煤过滤效果的主要因素	161
第二节	浮选精煤过滤的操作管理	164
第三节	凝聚剂在浮选精煤过滤中的作用	167
第四节	强化浮选精煤过滤的措施	168
复习思考题		169
第七章	浮选尾煤的处理	170
第一节	浮选尾煤处理流程	170
第二节	絮凝剂在浮选尾煤处理中的应用	172
第三节	影响压滤机工作效果的主要因素	175
复习思考题		177
第八章	煤泥水处理流程	178
第一节	煤泥水的性质及其对生产过程的影响	178
第二节	煤泥水处理系统	181
第三节	煤泥水系统的管理	188
复习思考题		191

第一章 浮游选煤的基本原理

选煤是将采出的煤经人工和机械处理除去非煤物质，并按需要分成不同质量、规格产品的过程。目前，生产中采用的选煤方法主要是重力选煤和浮游选煤，本书只介绍浮游选煤。通常，重力选煤的有效分选下限是 $0.5\sim 0.25\text{mm}$ ，如跳汰机的有效分选下限是 $0.5\sim 0.25\text{mm}$ ，水力旋流器的有效分选下限是 $0.5\sim 0.3\text{mm}$ ；浮游选煤的有效分选上限是 0.5mm 。

煤泥是选煤厂湿法选煤产生的粒度在 0.5mm 以下的副产品。随着采煤机械化程度的提高，原煤中煤泥的含量显著增加，一般在 20% ，有的高达 30% 。在选煤生产过程中，如果煤泥的处理和回收效果不好，就会导致大量煤泥在循环水中滞留而聚集，从而恶化煤泥水系统中有关设备的生产效果。因此，选煤厂必须认真做好煤泥的处理工作，确保对煤泥进行及时而充分的回收。

浮游选煤是依据煤和矿物表面润湿性的差异，在浮选剂的作用下，分选细粒（ 0.5mm 以下）煤的选煤方法。煤泥浮选有多种技术，但就目前国内外的发展水平而言，仍旧是浮游选煤技术的浮选效果最好，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的含量越来越多，浮选作业就变得越来越重要。

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至关重要的作用。

煤泥浮选的目的是将煤泥中的优质成分选分出来，以提高精煤的回收率。为了使煤泥浮选达到优质、高产、低耗的目标，就要了解煤泥浮选的基本原理。

本章主要介绍了煤泥浮选的依据、浮选的基本过程、煤泥浮选的性质等。

浮游选煤方法包括泡沫浮选、油浮选、球团浮选等。在生产过程中，广泛使用的是泡沫浮选，所以浮游选煤通常是指煤泥的泡沫浮选。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选煤方法。本书仅就泡沫浮选进行阐述。

第一节 浮游选煤的依据

对于小于 0.5mm 的细粒级煤泥，最有效的分选方法是浮游选煤。煤泥浮选是根据煤与矽石颗粒表面润湿性的差异来进行分选的。其实质是疏水的煤粒黏附在气泡上，亲水的矽石颗粒滞留在矿浆中，从而实现彼此的分离。因此，分选是在固、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，并具有分界面。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、固体表面的润湿性

取石蜡和玻璃各 1 片，将它们的平面擦净，然后分别把 1 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成球形，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；把水滴在矽石表面，情形就类似于玻璃，如图1-1所示。

如果将石蜡和玻璃或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面分别注入1个气泡，就会发现：当水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，原来的面、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和矽石表面接触时，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，如图1-2所示。

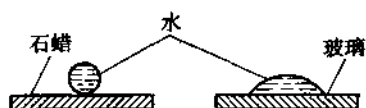


图1-1 石蜡和玻璃的润湿现象

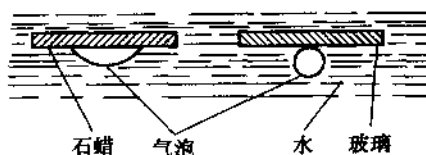


图1-2 气泡与矿物表面的接触情况

图1-1和图1-2中的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，而煤和矽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。

为什么煤和矽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、结构及表面性质

煤是一种由复杂的有机质和多种无机矿物质组成的具有一定热值的固体可燃物。煤中的有机质属于可燃体，无机质属于非可燃体。

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。

煤中有机质的主体是三维空间聚合物结构，主要是由芳香网格组成，其侧链在变质过程中分解成了含氧、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。其中，煤中有机质基本结构单元为煤核，是由多层平面网构成的。由于煤的变质程度不同，面网间距也不同。煤的变质程度越深，碳网缩合程度越高，排列越紧密，面网平行度越高，面网间距断口越大。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减少。

煤的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，故属于非极性共价键。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很大，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的比例很少，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煤粒表面的有机物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煤粒表面被极性的泥粒杂质污染；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，煤的性质及其与成分组成和结构的关系如下：

(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，煤的表面主要呈现为疏水性。

(2) 在芳香核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，使煤的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好的化学活性，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，即亲水性区转化为疏水性区。

(6) 煤的变质程度对煤的疏水性影响很大。

(7) 煤易氧化，氧化使煤的极性区域增加，故疏水性变差。

2. 矽石的成分及表面性质

浮选原煤中的矽石颗粒，包括外来矿物质和次生矿物质，它们是在煤的开采和洗选加工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。在一种岩石里常见的主要成岩矿物有1~3种，有的达到5~6种。例如，砂岩的主要矿物成分是石英、长石和碳酸盐；泥质岩的主要成分是高岭土、胶岭石、蒙脱石和水云母等黏土矿物；石灰岩主要由方解石、白云石等碳酸盐矿物质组成；炭质岩中含有碳的有机质。因此，各种岩石的主要性质决定于主要成岩矿物质的特性。

组成矽石的矿物质种类很多，像硅酸盐类矿物、碳酸盐类矿物、硫酸盐类矿物、硫化物等。它们的化学组分中主要元素是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。由于它们对电子的吸引力不同，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,因此形成极性很强的表面。所以,矽石颗粒表面主要呈现为亲水性。

3. 水的性质

水分子是由2个氢原子和1个氧原子组成的,分子中的2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(氢键缔合或偶极缔合)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、二氧化碳组成,其中,N₂占78%,它是非极性分子;O₂占21%,也是非极性分子;CO₂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性表面吸附。

综上所述可知:由于煤粒表面极性区域较少且极性较弱,而矽石颗粒表面极性较强,所以,煤的表面以疏水性为主,而矽石表面以亲水性为主。这就是致使煤和矽石颗粒具有不同的浮选行为,从而利用浮选方法可以将煤和矽石分离的本质所在。

三、相界面间的作用

在浮选过程中,固、液、气三相接触时,就能形成固—液、液—气、气—面3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,利用和改变相界面间的作用,就可以用浮选方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

浮选过程中,煤和矽石是处在水中的,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。煤和矽石颗粒表面的水化现象如图1-3所示。

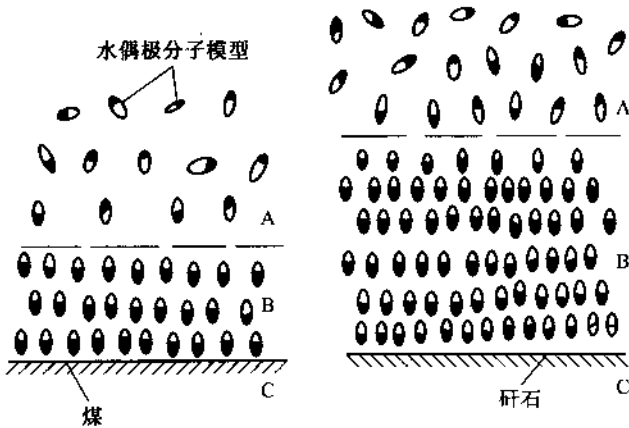


图1-3 煤和矽石颗粒表面水化层示意图
A—普通水; B—水化层; C—固体表面

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,相互极化,按照电的同性相斥、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,排列就越显稀疏零散。到一定距离以外,

表面引力没有了，水分子就保持自由状态（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的作用而变形时，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域，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。固体表面的极性越强，则生成的水化层越厚越稳定；而煤粒表面固的水化层薄且不稳定。固体表面的水化膜越厚越稳定，说明固体表面的亲水性越强。当气泡和矽石颗粒接触时，如果没有很大的外力作用，要排开很厚的水化膜的阻挡而附着在一起是比较困难的。因此，矽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而易被排开，所以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相互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极化作用时，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离出来，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。如颗粒表面吸附油类药剂，就可以增加表面的疏水性；吸附细粒的泥化杂质，就会使颗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以后，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性不同，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能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，润湿性差，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异，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 1 滴水，在固、液、气三相接触达到平衡时，三相接触

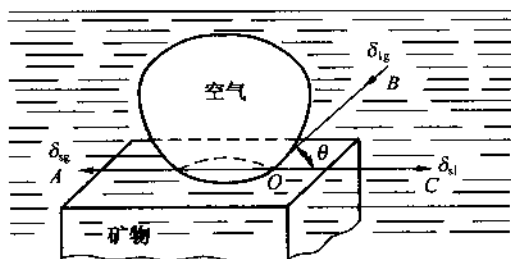


图 1-4 三相接触周边与接触角

周边上的任一点，液气界面切线与固体表面形成的并包含液体的夹角，称作接触角。如图 1-4 所示，图中 $\angle BOC$ 以 θ 来表示即为接触角（通常的办法是用仪器测定）。

三相接触形成了 3 个相界面，即固液、固气及气液界面，在每个界面上的分子所受到的分子引力是不平衡的。例如，水内部的每个水分子受到来自其周围邻近的水分子的吸引力在各个方向上都相等，

正好互相抵消，处于平衡状态，合力为零。但是，在气液界面上的某个水分子的受力情况就不同了，水内部的水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，所以表面的水分子受到的作用力的合力不为零，该合力称为气液界面上的表面张力，它指向水（液相）的内部。在气液界面上的水分子由于受到来自内部水分子的较大的吸引力，因此气液界面有收缩趋势。由于在各种几何体中，球体的体积最小，所以在表面张力的作用下，荷叶上的水滴总是呈球形。同样，在固液、面气界面上也都存在着类似的表面张力。

在图 1-4 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 表示面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。平衡时各界面上表面张力间的关系如下：

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

即

$$\cos \theta = (\delta_{sg} - \delta_{sl}) / \delta_{lg}$$

式中，当 $\delta_{sg} - \delta_{sl} = \delta_{lg}$ 时， $\cos \theta = 1$ ， $\theta = 0^\circ$ ，这说明面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，在水中气泡极易附着在固体表面上。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，即表面疏水性越来越强。所以接触角 θ 的大小可用来衡量固体的润湿性，它既能反应矿物的表面性质，又能作为评价矿物可浮性的一个指标。

表 1-1 几种矿物在水中的润湿接触角

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
萤石	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疏水性的顺序大致是相同的。因此，通过对矿物表面接触角的测定可粗略判断各种矿物的疏水性。

由于煤和矸石颗粒组成成分的不同，致使它们表面润湿性有差异，与液相、气相作用时，表现出来不同的水化、吸附和润湿现象。这些差异基本决定了煤泥浮选进行的方向和速度，也基本决定了药剂的选择性及所能产生的效果。归纳起来，煤和矸石表面性质的主要差别见表 1-2。这些差别就是煤泥浮选的主要依据。

表 1-2 煤与矸石表面性质的差异

种 类 表面 特 性	煤	矸石
成分及质点之间的结合力	主要是有机高分子化合物的混合物， 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 之间的是极性共价键和 离子键结合
不饱和的表面自由能	弱	强
表面极性	弱	强
水化程度	小	大
吸附选择性	差	强
亲水性	差	强
疏水性	强	差
接触角	大	小
可浮性	好	差
润湿性	小	大

生活中有“水油不相溶”的现象，在矿物的表面也同样存在，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性质。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，所以对矸石表面疏水性的影响甚微。由此可知，浮选过程中加入捕收剂，扩大了煤粒和矸石颗粒间的可浮性差异。充分利用煤与矸石的可浮性差异，是改善煤泥浮选的基本措施。

第二节 气泡的矿化过程

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。其目的是为了从浮选入料中分选出高质量的精煤。

一、煤泥浮选的基本过程

浮选是一个十分复杂的过程。在浮选过程中，为了使煤和矸石颗粒得到彻底的分离，

就必须使它们的表面性质达到足够的差异。其差异越大，分选就越容易，也越彻底。

浮选的基本过程如图 1-5 所示。

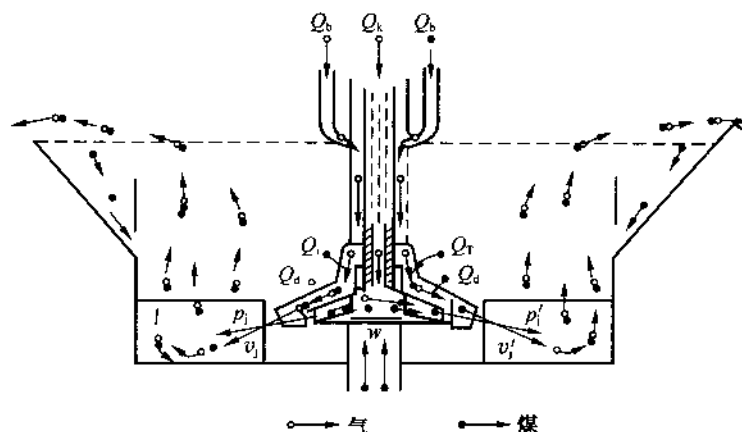


图 1-5 煤泥浮选的基本过程

Q_k —空心轴进气； Q_b —套筒进气

煤泥以矿浆的形式送入矿浆准备装置（搅拌桶或矿浆准备器），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。配制好的煤浆进入浮选机，由于浮选机中充气搅拌机构的充气作用，在矿浆中产生数量足够、尺寸适宜的气泡。在搅拌作用下，煤浆、浮选剂和气泡充分混合，颗粒和气泡产生相对运动和碰撞。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，由刮泡机构刮出成为浮选精煤；而亲水的矽石颗粒由于不能附着在气泡上而滞留在矿浆中，成为浮选尾矿被排出机外，从而实现了煤和矽石的分离。

煤泥浮选是在固（煤和矽石颗粒）、液（水）、气（气泡）三相界面上进行的。实现浮选过程的关键是：①矿物表面润湿性具有差异；②矿浆中析出数量足够且稳定而细小的气泡；③固体颗粒与气泡碰撞的结果是低灰分的精煤颗粒容易附着在气泡上而被上浮的气泡带至矿浆的表面，高灰分的矽石颗粒则不能附着在气泡上而滞留在矿浆中。在浮选过程中，气泡是分选的媒介，同时它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气泡的矿化。在煤泥浮选的矿浆中，煤粒是怎样有选择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 2 种：①气泡与矿粒多次碰撞面附着；②溶解于水中的气体在矿粒表面析出而附着。

1. 气泡与煤粒多次碰撞而附着

通过这条途径而完成气泡的矿化可分为 3 个阶段：煤粒与气泡的接触；煤粒与气泡间水分膜的破裂和附着；煤粒在气泡上固着。

煤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煤粒在矿浆中产生相对运动，接触方式大致有 4 种：①煤粒和气泡碰撞；

②煤粒在气泡表面滑动；③煤粒被气泡的涡流吸到尾部；④微泡在煤粒表面析出与大气泡接触（图 1-6）。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，增加浮选矿浆中煤粒和气泡的数量对浮选过程具有积极的作用（增加煤粒的数量即提高矿浆的浓度，可提高浮选机的处理能力；增加气泡的数量，可增加煤粒与气泡碰撞接触的机会，有利于精煤颗粒的回收）。

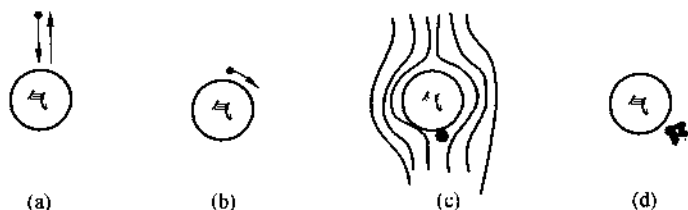


图 1-6 煤粒和气泡接触示意图

a—碰撞；b—滑动；c—气泡涡流吸引；d—微泡在煤粒表面析出与大气泡接触

煤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。当煤粒与气泡逐渐接近时，介于其间的水化层要逐渐变薄。不同煤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。非极性的煤粒疏水性较强，其表面的水化层很薄且不稳定。当气泡和这些煤粒碰撞时，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。

灰分较高或被氧化了的煤粒，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。这就要求在浮选过程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。

煤粒在气泡上的固着强度，是决定附着于气泡上的煤粒能否最终到达泡沫层，完成煤和矽石分离的关键。因为浮选过程是运动的过程，附着在气泡上的煤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。这些外力可促使煤粒从气泡上脱落下来，称作脱着力。附着在气泡上的煤粒的质量和粒度越大，则脱着力也越大。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提高。油类捕收剂在三相接触周边的富集、群泡在煤粒表面上的析出、气絮团的形成等，都能提高煤粒在气泡上的固着强度。

2. 水中溶解的气体以微泡的形式在煤粒表面析出而附着

在浮选矿浆中，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，能很快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的微细气泡存在。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,尤其是粗粒煤表面聚集了一群微泡后,就能有效地促使大气泡附着到煤粒表面,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出,煤粒能否附着和最终面着在气泡上,既取决于煤粒本身的性质(极性),又取决于外界条件(气泡和药剂)。其基本情况是:煤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、煤粒大小和质量越合适,则煤粒附着于气泡的可能性就越大;煤粒表面疏水性越好、矿浆搅拌越弱,脱落力越小,则煤粒在气泡上保持面着的能力就越强。煤泥浮选过程中,虽然煤和矸石颗粒可能与气泡接触的机会是相同的,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,且面着强度大。而矸石颗粒情况相反,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,而矸石颗粒的绝大部分仍滞留在矿浆中而成为尾矿排走。

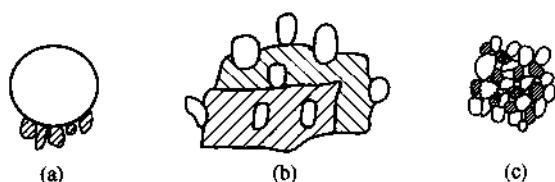


图 1-7 矿化气泡的 3 种形式

煤粒与气泡附着后形成联合体。其结合方式可分 3 种类型,如图 1-7 所示。①几个煤粒附着在 1 个气泡上(图 a);②群泡黏着在 1 个煤粒上,这种形式有利于粗粒煤的浮选(图 b);③形成气絮团,此时气泡表面达到最大程度的矿化(图 c)。

实验证明,颗粒越大,气泡矿化越难,完成矿化过程所需的时间越长。从煤泥的各种成分来看,亮煤颗粒能很快地完成矿化过程,浮选速度最快;疏水性较差的暗煤颗粒浮选速度较慢;矸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。

三、矿化泡沫层

矿化泡沫层是气泡、夹水层、煤粒形成的三相泡沫。矿化气泡浮至浮选机液面聚集为矿化泡沫层(简称泡沫层)。气泡在上升过程中,因受水的静压力减小,气泡由小变大;因受重力作用,气泡间的水向下流动,因此气泡之间的水层自下而上由厚变薄,泡沫层上面的大气泡变形显著。理想的三相泡沫由矿化充分、大小适中的气泡组成,不发黏、流动性好。在浮选过程中,可以观察到由气絮团形成的矿化泡沫,这种泡沫含大量的煤粒,质量好。虚泡的矿化程度差,含大量的水,气泡大且易破灭。泡沫层中的煤粒影响着气泡的稳定性。当气泡矿化程度很高时,煤粒在气液界面密集黏附,相当于给气泡“装甲”。

三相泡沫形成过程中,除携带疏水性煤粒进入泡沫层外,还不可避免地夹带部分亲水的矿物颗粒。由于亲水性颗粒与气泡附着不牢固,在气泡兼并、破灭、重组过程中率先脱落,并随气泡间的下降水流落回到矿浆中。这样就形成了三相泡沫层的最上层富集有附着牢固、质量好的疏水性煤粒,即沿泡沫层高度由下向上,精煤质量逐渐提高。在泡沫层中进行的情洗杂质颗粒和集中精煤颗粒的作用称泡沫层的二次富集作用,这种现象称二次富