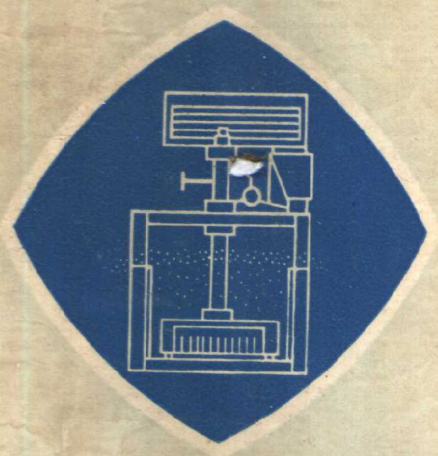


选煤
技术
基础
读物

简 用 康 编

煤泥的浮选



煤炭工业出版社

U229.67
T922

选 煤 技 术 基 础 读 物

煤 泥 的 浮 选

简 用 康 编

煤 炭 工 业 出 版 社

401028

内 容 提 要

本书对煤泥浮选工艺作了比较详细的阐述,包括煤泥浮选的理论基础、浮选药剂的作用机理和使用方法、煤泥浮选的影响因素、浮选实际操作、浮选机械、对煤泥浮选效果的评价、产品脱水以及煤泥水处理等。

本书可作浮选工的培训教材,也可供选煤技术人员参考。

责任编辑:施文华

选煤技术基础读物

煤 泥 的 浮 选

简 用 康 编

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平北路16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 $787 \times 1092^{1/32}$

印张 $6^{1/2}$

字数 144 千字

印数1—3,220

1983年1月第1版

1983年1月第1次印刷

书号15035·2503 定价0.70元

前 言

浮选是目前精选细粒煤泥最有效的方法之一。因此，近年来国内外的煤泥浮选获得迅速发展。我国从1954年建立第一个煤泥浮选车间到现在，全国已有八十多个选煤厂拥有浮选车间。煤泥入浮量越来越大，浮选的技术经济指标达到了新水平，浮选在选煤厂的地位越来越重要。

煤泥水处理是选煤厂重要和复杂的生产工艺，既关系到选煤厂的技术经济指标，也影响着环境保护工作。随着对环境保护要求的提高，对废水处理提出了更高的标准。而煤泥浮选和尾矿处理则是实现洗水闭路循环的关键。因之，迅速提高煤泥浮选工作者的理论水平和操作技能是刻不容缓的任务。

编者在书中结合我国选煤厂的生产实践，系统地介绍了煤泥浮选的基本理论、药剂的性能和使用，浮选操作的基本原则和有关指标的简单计算，并对煤泥水处理、煤泥产品过滤以及尾矿处理等问题，结合国内选煤厂实例和国外资料作了概括说明。力求使读者能从中获得系统的理论知识，并能学到基本的操作方法。

在编写过程中，得到各方面同志的支持和协助，书中还引用了部分选煤厂和一些同志的试验资料、文章和图片，借此机会一并致谢。由于编者未能更广泛地进行考察和收集资料、并听取各方面的意见，加之水平不高，书中缺点和错误在所难免，希望读者多加批评指正。

编 者

一九八二年元月于株洲

1982.1.1

目 录

第一章	煤泥浮选的基本原理	1
第二章	煤泥浮选药剂	13
第三章	煤泥浮选机	31
第四章	煤泥浮选的基本因素	77
第五章	煤泥浮选生产实践	92
第六章	浮选指标的计算及浮选效果的评价	117
第七章	浮选精煤的脱水	143
第八章	浮选尾煤的处理	172
第九章	煤泥水的处理	187

第一章 煤泥浮选的基本原理

按照物料中各组成的比重差别进行分选的重力选煤法，对于一定的物料粒度就不再适用了。例如：在跳汰机中煤粒的分选下限一般为 0.25~0.5 毫米；在水力旋流器中不小于 0.3~0.5 毫米；而在风选法中则不小于 0.5~0.7 毫米。对这些细粒级的煤泥，最好的分选方法是浮游选煤。浮游选煤中常用的是泡沫浮选。

一、煤泥是怎样浮选的

煤泥浮选，就是在含煤的矿浆中，以煤和矸石颗粒表面的物理化学性质的差异而进行的分选过程。

煤泥的浮选过程如下：

煤泥以矿浆形式进入搅拌桶，将其配成适当的浓度，加入药剂（起泡剂和捕收剂）后进行充分搅拌，搅拌后的煤浆进入浮选机，由于叶轮旋转产生强烈搅拌，加之充气作用，在矿浆中产生大量大小不等的气泡，疏水的煤粒由于吸着药剂（捕收剂）而附着在气泡上，被气泡带到矿浆面聚集成所谓矿化泡沫层，由刮泡器刮取作为精煤；亲水的矸石粒不与药剂作用，不粘附到气泡上，留在矿浆中，成为浮选尾煤。见图 1-1。

煤泥浮选过程是在固（煤泥）、液（水）和气（气泡）三相界面上进行的。进行这一过程的关键在于：矿物表面性质的差异；从矿浆中析出足够数量的稳定而细小的气泡；低灰分的煤粒有充分的机会与气泡群碰撞，并牢固地粘附于气

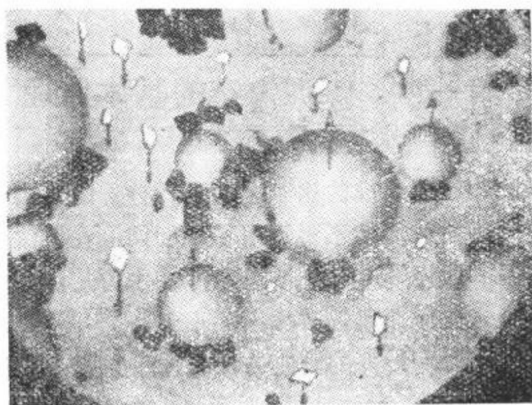


图 1-1 煤泥的浮选
黑粒—煤粒；白粒—矽石粒

泡上被浮到矿浆的表面；高灰分的矽石粒虽有机会与气泡碰撞但不粘附，遗留在矿浆中。在这里气泡是分选的媒介，它同时又是运载工具。

二、煤泥浮选的依据

从上节可以看到，在煤泥浮选过程中，经药剂处理后的煤粒选择性的粘附在气泡上，而矽石粒则不粘附在气泡上。煤粒和矽石粒对气泡的不同行为，表现为煤泥浮选的主要特性。

煤粒和矽石粒对气泡的不同行为是由于煤粒和矽石粒表面性质的不同。为了说明不同物质表面性质的差异，试从下例说明。

水滴在石蜡和玻璃表面上具有不同的形状是大家熟悉的现象。在石蜡表面上滴上一滴水，水滴呈球状；在玻璃表面上也同样滴上一滴水，水滴就会在玻璃表面上展开。见图

1-2,这就显示出水与石蜡和玻璃之间的相互作用是不同的。

石蜡表面上的水滴呈球状,说明水分子之间的聚集力大于水分子与石蜡分子间的附着力,所以,水不润湿石蜡表面;



图 1-2 玻璃与石蜡的润湿现象

而水分子与玻璃分子间的附着力较强,所以玻璃表面为水润湿。为水润湿的表面称亲水的表面,不为水润湿的表面则称为疏水的表面。在各种矿物中也存在着对水亲疏的差异。就煤和矽石来说,煤与石蜡相似,表面不为水润湿,故称为疏水性矿物;而矽石则与玻璃相似,故称亲水性矿物。

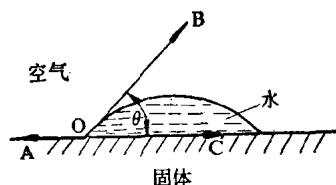
水分子是极性很强的分子,但煤是疏水性矿物即非极性矿物,它与水分子间的附着力远小于水分子间的作用力,故其表面不易为水润湿。当它与气泡碰撞时,气泡容易排开水层与它粘附在一起。而矽石是亲水性矿物即极性矿物,它与水分子间的附着力是以与水分子间作用力抗衡,在它表面上能定向地密集排列大量水分子,故其表面极易为水润湿,当气泡与它碰撞时,难于排开表面的密集水分子而与之粘附。故煤粒与矽石粒对气泡有着不同的碰撞效果。所以,煤泥浮选是基于煤粒和矽石粒表面性质即润湿性的差异来进行的。

如何评价和确定矿物表面润湿性的差异呢,最常用的办法是确定水在矿物表面形成的润湿接触角。

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,称作润湿接触角,简称接触角。见图1-3,图中BOC角,以 θ 表示即为接触角。

从上图可以看到,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 表示固体面与水之间的



张力，亦即固体在水中的表面张力。OB 值 越 小，固体的润湿越强，故水中溶有能够降低表面张力的物质时，就能改善固体的润湿状态。

图 1-3 三相平衡时的接触角

在理想的润湿状态下，接触角等于 0；如果完全不润湿，则接触角为 180° 。表面润湿良好的固体的亲水性强，相应测得的接触角就小；润湿不好的固体疏水性强，相应测得的接触角大。所以接触角的大小就成为衡量润湿程度的尺度。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种指标。

通过试验测得部分矿物的接触角如表 1-1

几种矿物的接触角

表 1-1

矿物名称	主焦煤	硫	炭质页岩	黄铁矿	方解石	石 英	泥质页岩
接触角(度)	86~90	78	40~43	33	20	0~10	0~10

上表所列接触角数值差别与实际浮选中可浮性的次序大致是相当的。因而，通过对矿物接触角的测定和研究，即可掌握各个矿物的可浮性。

实际生活中表明了“水油不相容”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，而疏水性煤粒则亲油。这是气泡与油具有的共同性质。在浮选过程中加入捕收剂后，提高了煤粒表面的疏水性，从而增强了煤粒粘附于气泡上的能力。捕收剂不被矽石表面吸附，故不能改善矽

石的可浮性。可见，浮选过程中加入捕收剂后，扩大了煤粒与矸石可浮性的差别。充分利用煤粒与矸石的这种差异是进行煤泥浮选的基本措施。

三、煤泥的浮选性质

了解煤的组成和结构有助于深入认识煤泥的浮选性质。

煤是复杂的高分子有机化合物的混合物。按其组分来看，可分为有机物质和无机物质两部分。有机物质是以炭为主体含有氢氧等的聚合物；无机物质是矿物杂质等的极性矿物。矿物杂质一部分是在成煤过程中混入的；另一部分则是来自成煤物质本身。正因为这些不能用机械方法解离的作为成煤物质一部分的矿物杂质的存在，加上煤中还含有氢、氧等各种官能团，所以煤是以非极性的疏水表面为主，而同时又存在程度不同的极性表面。这就反映了煤炭表面的不均匀性。在成煤过程中，随着碳化作用逐渐加强，以碳核为主体的聚合物的聚合度增加，分子结构排列越整齐，含炭量增加，含氮量减少，周围各种由氢氧等官能团组成的侧链减少，这就不断地改善着煤炭的可浮性。下面就几个方面谈谈煤泥的浮选性质。

1. 煤泥中各煤岩组成的浮选性质

从煤岩组成来看，煤通常可分成四种组分，即：丝炭、暗煤、亮煤和镜煤。上述各组分不论从结构或组成来看都有很大差别。如按腐植酸含量来说，是按上述顺序逐步增加的，在丝炭中根本就不含腐植酸；按灰分含量来说，则是按上述顺序逐步减少的。它们中间灰分（矿物质残渣）的化学组成也是有很大差别的。这是由于它们经过了不同的成煤作用。煤炭成分的性质是随着它的碳化程度而改变的。从工业

用途来估价各种煤岩组成的性质时可以看到：镜煤和亮煤粘结性较好，很脆易碎；丝炭是瘦化剂，无粘结性，且灰分高易碎；而暗煤从粘结性和灰分来说仅优于丝炭。所以从煤岩组成的角度看，镜煤和亮煤的工业价值最高，而丝炭最差。

各种煤岩组分的可浮性是不同的。大体说来，从结构上看，镜煤、亮煤表面平整，含有大量性质不活泼的无结构基质，所以在浮选过程中优先浮出。实践表明，它们在泡沫产品中的含量是随浮选进程逐渐减少的。而暗煤和丝炭的可浮性较差，它们在浮选各室的泡沫产品中的含量是逐渐增加的。

认识各煤岩组分的可浮性差别，在进行按煤岩组分分离的优先浮选或选择性浮选中是很必要的。它在工业上的意义不单可以改善煤的结焦性，并有助于清除灰分和硫分，也对改善煤质提出了新的途径。

2. 煤的变质程度或煤化程度对煤泥可浮性的影响

随着煤的变质程度的加深，煤的主要构成部分——六角形炭环为主的聚合体，性质不活泼的部分——不断增加，而其它氢氧等官能团侧链随着煤的分子排列的规则化，越来越小，这就使煤的可浮性随变质程度的加深而提高。但是这一转化过程并非无止境地进行下去。也就是说，并非煤的变质程度越深它的可浮性越好。原来，到一定阶段随着煤的变质程度进一步加深，煤中最疏水部分的碳氢化合物将发生分解作用而脱氢，使碳氢比例发生变化，从而使煤的疏水性逐渐下降。所以在这种条件下，煤的可浮性又从好向坏的方面变化。由此可以得出这样的结论：中等变质程度的煤的可浮性最好，并以此为中心向两侧推移而变差，即变质程度很浅和极深的煤的可浮性差。各牌号煤炭的可浮性见表1-2。

各牌号煤炭的可浮性

表 1-2

煤 种	长焰煤	气 煤	肥 煤	焦 煤	瘦 煤	贫 煤	无烟煤
接触角(度)	60~63	65~72	83~85	86~90	79~82	71~75	73

从上表数字可以看到,炼焦煤、肥煤、瘦煤具有最好的可浮性,为采用浮选法回收煤泥创造了良好的条件。

3. 煤中有机物质的氧化程度对煤的可浮性的影响

大量的生产实践表明,煤粒被氧化后可浮性降低。这是由于经氧化后煤粒表面的负电性增加,从而增强了它表面亲水性,致使煤泥的可浮性降低。

煤粒产生氧化作用有两种途径,即在自然界的风化过程和煤泥在水中长期浸泡所发生的氧化作用。实践表明,水中浸泡的煤泥比风化中煤尘所受的氧化程度深,这说明煤粒在水中经受的氧化作用比空气中剧烈得多。所以应避免煤粒和水长时接触。

煤的抗氧化能力随变质程度的加深而增强。按各煤岩成分来说,它们抗氧化能力的强弱是按下列顺序排列的:镜煤、亮煤、暗煤和丝煤。可见丝煤是最容易被氧化的。

4. 煤的表面结构对可浮性的影响

在对煤粒的表面进行微观观察之后,将会发现它的表面不是平整和光滑的,而是具有许多大大小小的孔隙。与其它矿物相比,煤炭表面的孔隙是极为发达的。例如:一克中等变质程度的煤具有的孔隙总面积可达 $150\sim 170$ 米²,而同样数量的一般矿物的孔隙总面积不过是 $5\sim 10$ 米²。煤中孔隙非常小,其中80%孔隙的直径小于10微米。煤中孔隙具有孔径小,数量多的特点。

煤的变质程度不同，它们拥有的孔隙也不一样。经研究发现，中等变质程度的煤孔隙度最低，变质程度低和高的煤的孔隙度较高。例如：肥煤、焦煤的平均孔隙度为5~7%，贫煤为7%，长焰煤为10%左右。

孔隙度对煤的浮选性质有很大影响。孔隙度高的煤它的孔隙总面积就大，这就决定了它具有高度的吸附能力。矿浆中的煤粒要与水、药剂等接触，因煤炭孔隙多、面积大，就必然增强煤粒表面对水和药剂的吸附作用。这一现象改变了煤粒与药剂的作用机理，使之复杂化。煤炭表面孔隙多、总面积大，往往促成煤泥浮选时药剂耗量增加，选择性下降。而变质程度低和高的煤却因之降低了它们的可浮性。从而可以看到高孔隙度的煤所带来的不可忽视的影响。

5. 煤炭中矿物杂质对可浮性的影响

煤中矿物杂质是煤的组成部分，它们中的一部分是在成煤过程中由于机械作用混入的，另一部分则来自成煤物质本身，如古植物纤维中含的微量矿物质，经过成煤作用成为煤的基质。由于煤中矿物杂质的来源不同，所以它们在煤中存在的形态也不一样。

当矿物包裸体或较厚的矿物沉积层与煤层共生时，由于粘结较弱，所以较易与煤分离。所有杂质在煤中如呈粗粒嵌布，则对煤的可浮性影响不大。如呈微细粒嵌布，则将提高煤的亲水性而降低其可浮性。各种杂质的浮游性与它们共生体的性质密切相关。杂质如与碳质物、沥青及其它有机物质细致均匀的分布时，它的浮游活性就提高了。

按矿物杂质在浮选过程中的作用方式及对浮选效果影响的不同，可将矿物杂质归纳成下列五类：

1) 在浮选过程中发生泥化现象的杂质

这是一些在浮选过程中，由于水浸和搅拌作用即在矿浆中形成大量细泥的物质。粘土物质即属此类，包括：高岭土、泥质页岩、粘土等。这是在煤泥浮选中常遇到的一种杂质。它们在矿浆中很容易浸软，泥化成极细的亲水微粒，被吸附于煤粒表面，被覆盖的煤粒表面即失去疏水性，因而失去浮游活力。当它们无选择地吸附于气泡上时，即将阻止煤粒对气泡的粘附。这样一来，一方面将严重污染精煤，同时又使那些失去浮游活力和被阻止不能和气泡附着的煤粒流失于尾矿中，严重的恶化浮选过程。尾矿中含有这种以胶体存在的细泥时，增加了进一步处理的困难。为了消除这种细泥对浮选的有害影响，所以在浮选实践中应采取有效措施予以预防。

消除细泥对浮选的有害影响，目前可行的措施有：加入有选择性的胶溶剂，如焦磷酸钠、醇类等。其作用在于使细泥表面带电，使其在静电斥力下分散；同时胶溶剂还能提高细泥的水化作用，防止它覆盖于煤粒表面上。在工艺上可采用适当降低矿浆浓度、加强泡沫的二次富集作用，以及在必要时使精矿经过再选作业等。而最基本的措施还是尽量缩短煤泥在煤泥水系统中的停留时间，减少细泥泥化的可能性。

2) 硫化物对煤泥浮选的影响

煤中的硫通常有三种形式：硫酸盐硫、黄铁矿硫和有机硫。浮选活性较高的硫化物，主要为：黄铁矿、白铁矿。对浮选的影响程度与其粒度大小、嵌布特性和氧化程度有关。浮选煤泥用的药剂也能浮起细粒的硫化物，以致污染精煤。由于硫对钢铁质量的严重危害性，所以从炼焦精煤中脱硫早为人们所重视。曾在一些资料中介绍过一些方法，例如，调整矿浆的酸碱度，使在弱碱性 ($\text{pH} = 9.0$) 中降低硫化物的

浮起；采用铁的硫酸盐或石灰以抑制黄铁矿。这些方法有时能取得一定的效果。据报导，美国在70年代初期，曾试验用煤-黄铁矿二段浮选法，采用黄原酸盐作为浮选剂，可以从煤中脱除90%以上的黄铁矿。近年来又从浮选动力学的观点出发研究浮选脱硫问题。以同一煤层煤样与单体黄铁矿作试样进行试验。试验结果表明：

(1) 不同性质的浮选药剂对黄铁矿的浮起有不同效应，起泡剂中的油类杂质易使黄铁矿上浮，而油类捕收剂在改善煤泥浮选效果的同时，也促进黄铁矿浮起，所以采用过量起泡剂，特别是油类起泡剂和捕收剂（或只用油类捕收剂）对脱除黄铁矿硫是不利的。

(2) 强化浮化条件，如加大充气量和提高叶轮转速，在促使煤和粗粒浮起的同时，也促使黄铁矿的浮起。所以只有浮选强度不太大时，才能最大限度地排除黄铁矿。

(3) 大部分解离的黄铁矿是随最后回收的20%精煤浮上来的，即大部分黄铁矿是在浮选过程的最后阶段浮起的，所以延长浮选时间不利于排除黄铁矿硫。

以上从几方面谈到减少黄铁矿硫对煤泥浮选的影响问题，当然这个问题的较完满解决，尚有待于进一步的研究。

3) 含有与煤的组成相同的物质对煤泥浮选的影响

组成中含有一些与煤相同的物质，因其与煤相似而有一定的疏水性。此类物质包括炭质页岩、油页岩、泥板岩等。由于它们具有较高的疏水性，所以在浮选时难免有一部分混入泡沫而污染精煤。其影响程度与其粉碎粒度、炭化程度、药剂制度等有关。

4) 在浮选过程中离解的物质对浮选的影响

这类物质在浮选矿浆中离解，从而提高了矿浆中电解质

的浓度。属于此类物质的如硫酸盐及其它盐类，其中包括石膏及其它可溶性盐类。它们的溶解度很高。它们的作用机理在于电解质吸附于煤粒表面后，形成亲水性薄膜，从而降低了煤粒的可浮性，对浮选过程的各个阶段都产生影响。严重时，应分析矿浆中电解质性质，进行必要的调整，以消除它的有害影响。

5) 粗粒分散状的非硫化矿物对浮选的影响。

这类物质在矿浆中不被浸软，溶解度也不高，不含有机杂质，表面亲水。属于此类物质有：硅酸盐、碳酸盐、氯化物等，其中包括方解石、石英、磁铁矿、长石、白云石、霞石等。这类矿物本身没有浮游能力，对浮选过程也不产生明显的有害影响，在浮选过程中是较易于随尾矿排出的。

从以上各节介绍的情况可以看到，煤中矿物杂质的成分及其分散度对煤泥浮选过程影响是多方面的。在许多情况下，煤中的矿物杂质都受到某种程度的腐植化作用，这就提高了矸石所含矿物粒子的浮游活性，使得要将它们从煤中分出变得很困难。可见，煤中矿物杂质的多样化，它的性质的不稳定，决定了它对煤泥浮选过程影响的复杂性。

在这一节里对影响煤的可浮性的煤的各方面性质进行了简要的论述。其目的在于说明在研究煤的浮选性质时，应从哪些方面入手。为了在某一既定的煤泥浮选过程中取得较理想的效果，对煤泥浮选性质进行全面了解，并据此定出相应的技术措施是必不可少的。当然，要想对既定煤泥的浮选性质有一个全面而正确的认识，往往需要进行一番细致的工作，除了需要进行必要的调查研究外，还得组织一系列的试验。这方面的工作之所以容易被忽视的客观原因，是由于除了组织入洗煤在相似的洗选流程中进行工业性试验外，用其它方

法很难获得该流程的真正浮选煤泥。所以通常是在煤泥浮选的生产实践中逐步加深对煤泥浮选性质的认识，以进一步完善浮选的工艺和操作技术。