

130181

00151

中等专业学校教学用书

# 浮游选矿

(修订第二版)

湖南冶金学院编



中国工业出版社

无锡纺织资料室藏书  
登记号 700181  
分册号

中等专业学校教学用书



# 浮游选矿

(修订第二版)

湖南冶金学院编

江南大学图书馆



91398280



中国工业出版社

本书根据冶金工业部教育司制订的1959年中等专业学校教育计划和“浮游选矿”教学大纲编写而成。

本书讲述了浮选理论基础、浮选工艺、浮选机械及其操作以及浮选药剂的性质、作用和药剂制度。

本书经冶金工业部教育司推荐作为中等专业学校教学用书，也可供有关技术人员参考。

## 浮 游 选 矿

湖南冶金学院编

\*

中国工业出版社出版（北京佟麟阁路丙10号）

（北京市书刊出版事业许可证出字第110号）

中国工业出版社第三印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行·各地新华书店经售

\*

开本  $787 \times 109 2^{1/16}$  · 印张  $11 \frac{1}{8}$  · 字数 252,000

1959年11月冶金工业出版社北京第一版

1961年9月北京新版·1961年9月北京第一次印刷

印数 0001—1,637 · 定价（9—4）1.05元

统一书号：15165·558（冶金—164）

## 目 录

前言	6
第一章 緒論	7
§ 1—1 浮选的概念及其优点	7
§ 1—2 浮选发展簡史	8
<b>第一篇 浮选理論</b>	
第二章 浮选中的相和相的界面	11
§ 2—1 原子間鍵和分子間鍵	11
§ 2—2 浮选中的固相——矿物	14
§ 2—3 液相——水	16
§ 2—4 气相——空气	18
§ 2—5 表面張力与表面自由能	18
§ 2—6 界面双电层	19
§ 2—7 浮选相界面的吸附和化学反应	21
§ 2—8 浮选相界面的潤湿現象	24
第三章 矿粒向气泡附着的假說	27
§ 3—1 接触角假說	27
§ 3—2 吸附假說 (別洛格拉卓夫假說)	30
第四章 浮选过程的动力学	32
§ 4—1 矿粒向气泡上固着的动力学	32
§ 4—2 气泡在矿物表面析出的动力学	34
§ 4—3 矿粒向气泡附着的平衡方程式	35
§ 4—4 矿粒从气泡上脫落的动力学	36
§ 4—5 浮选速度及選擇性	37
<b>第二篇 浮选药剂</b>	
第五章 捕收剂	41
§ 5—1 捕收剂概述	41
§ 5—2 捕收剂的分类	43
§ 5—3 硫代碳酸鹽类捕收剂	45
§ 5—4 二硫代磷酸鹽类捕收剂	48
§ 5—5 二苯硫脲	50
§ 5—6 黄药类捕收剂的作用机理	50
§ 5—7 脂肪酸及其皂类捕收剂	53
§ 5—8 有机硫酸鹽及碳酸鹽	57
§ 5—9 有机磷酸皂	58
§ 5—10 阳离子捕收剂	58
§ 5—11 油类捕收剂	59
第六章 調整剂	60
§ 6—1 調整剂的作用	60
§ 6—2 金属离子活化剂	65
§ 6—3 硫化物	66

§ 6—4	酸类.....	67
§ 6—5	硷类.....	68
§ 6—6	氰化物及其絡鹽.....	69
§ 6—7	硫酸鋅、亚硫酸鹽及硫代硫酸鹽.....	70
§ 6—8	重鉻酸鹽.....	70
§ 6—9	水玻璃.....	71
§ 6—10	有机抑制劑.....	71
<b>第七章 浮选泡沫与起泡剂.....</b>		<b>72</b>
§ 7—1	最好的浮选泡沫应具备的条件.....	72
§ 7—2	二相泡沫的破裂与稳定的机理.....	73
§ 7—3	影响二相泡沫稳定性的因素.....	75
§ 7—4	三相泡沫.....	76
§ 7—5	起泡剂应具备的条件.....	76
§ 7—6	常用的起泡剂.....	77
<b>第三篇 浮选机械与浮选过程的操作因素</b>		
<b>第八章 浮选机及附属机械.....</b>		<b>80</b>
§ 8—1	机械攪拌式浮选机.....	80
§ 8—2	空气吹入式浮选机.....	91
§ 8—3	联合式浮选机.....	92
§ 8—4	浮选机生产率の計算.....	94
§ 8—5	浮选車間附属机械.....	95
<b>第九章 影响浮选过程的因素.....</b>		<b>98</b>
§ 9—1	进入浮选过程的矿石粒度.....	98
§ 9—2	矿漿准备和葯剂制度.....	100
§ 9—3	矿漿的充气及其攪拌.....	102
§ 9—4	浮选時間.....	103
§ 9—5	矿漿温度.....	103
§ 9—6	矿漿濃度.....	104
§ 9—7	泡沫层的管理.....	104
<b>第四篇 浮选实践</b>		
<b>第十章 浮选流程与矿物按可浮性的分类.....</b>		<b>106</b>
§ 10—1	浮选流程选择的原则.....	106
§ 10—2	矿物按可浮性的分类.....	110
<b>第十一章 硫化銅矿的浮选.....</b>		<b>111</b>
§ 11—1	硫化銅矿石.....	111
§ 11—2	硫化銅矿物的可浮性.....	111
§ 11—3	黄鉄矿及其他硫化物的可浮性.....	112
§ 11—4	硫化銅矿的基本浮选方法.....	112
§ 11—5	实例.....	113
<b>第十二章 銅—鋅—黄鉄矿的浮选.....</b>		<b>117</b>
§ 12—1	閃鋅矿的可浮性.....	117
§ 12—2	銅—鋅—黄鉄矿的浮选方法.....	118

§ 12—3 实例.....	118
第十三章 含铅的多金属矿石的浮选.....	121
§ 13—1 多金属矿石概述.....	121
§ 13—2 方铅矿的可浮性.....	121
§ 13—3 多金属矿石浮选之原则.....	122
§ 13—4 实例.....	123
第十四章 其他金属硫化矿的浮选.....	132
§ 14—1 钨矿石的浮选.....	132
§ 14—2 钨矿石的浮选.....	137
§ 14—3 汞矿石的浮选.....	138
§ 14—4 锑矿石的浮选.....	139
§ 14—5 镍矿石的浮选.....	139
§ 14—6 钴矿石的浮选.....	139
第十五章 自然金属矿物的浮选.....	140
§ 15—1 金矿石的浮选.....	140
第十六章 有色金属氧化矿的浮选.....	142
§ 16—1 氧化铜矿石的浮选.....	142
§ 16—2 氧化铅矿石的浮选.....	144
§ 16—3 氧化锌矿石的浮选.....	146
第十七章 非金属矿物(非极性的及极性成盐的)的浮选.....	147
§ 17—1 煤的浮选.....	147
§ 17—2 石墨的浮选.....	148
§ 17—3 磷灰石的浮选.....	148
§ 17—4 萤石的浮选.....	149
第十八章 其他氧化矿石的浮选.....	150
§ 18—1 铁矿石的浮选.....	150
§ 18—2 锰矿石的浮选.....	153
§ 18—3 镓矿石的浮选.....	154
§ 18—4 锡矿石的浮选.....	158
§ 18—5 钼—银矿的浮选.....	160
§ 18—6 钨矿石的浮选.....	162
§ 18—7 钽矿石及稀土金属矿物的浮选.....	165
第十九章 稀有金属硅酸盐矿物的浮选.....	166
§ 19—1 锆英石的选矿.....	166
§ 19—2 铀矿石的浮选.....	168
§ 19—3 钍矿石的浮选.....	171
第二十章 浮游重选法(粒浮法).....	172
§ 20—1 浮游重选法的基本原理和操作因素.....	173
§ 20—2 浮游重选设备.....	175
主要参考文献.....	178

## 前 言

我院編 1959 年出版的“浮游选矿”第一版出版已經一年半了。在这一年半的时间里，我院师生在教学和先后两次审查中，发现了不少的問題和缺点，也有不少兄弟院校采用过该书作教材或参考教材，提出了不少宝贵的意見。

这次修訂再版，首先由我院党委組織选矿教研組四位教师写出了初稿，地勘教研組和化学教研組部分教师就固相及捕收剂的内容进行了审閱。冶金部教育司又組織鞍山冶专一位教师参加审訂工作。

修訂时，考虑到各院校学生所学的地质矿物岩石矿床及矿相、有机化学、物理化学等課程的知識多寡不一，故仍然保留了与浮选关系最密切的有关概念；删节了第一版中牵涉面太广的、費解的公式与結論、删节了許多理論曲綫；加多了黑色金属矿石浮选的葯剂与实践資料。

第二版中系統地介紹了浮选的基本理論、浮选葯剂、浮选机械、浮选各种黑色金属矿石、有色和稀有金属矿石以及若干非金属矿石的浮选方法，介紹了粒浮的基本原理与設備。浮选理論、浮选葯剂和各种矿石的浮选方法，任課教师可以根据专业的性质及地区条件在一定范围内进行选择。

本书在介紹各項内容时，力图結合实际需要并介紹苏联及我国书刊中已公布的最新成就，如用放射測量、自射綫照像研究浮选葯剂作用机理的結果；重要的新型浮选葯剂；超声波乳化葯剂的基本原理与設備；新型联合式浮选机；錫、鎢、鈦、鋳、鉍、鉍、鉍等金属矿石浮选的实例或比較成熟的推荐流程。在必要的地方，扼要地介紹了一些矿石常用的选矿方法与联合流程，适当地指出浮选在选別有关矿石中的作用。

此外，調整了調整剂的讲述系統。

由于編者水平有限，书中必然还有不少的問題和缺点，敬希广大讀者批評和指教。

湖南冶金学院选矿教研組

1961年5月

# 第一章 緒 論

## § 1—1 浮选的概念及其优点

浮选 要分选的矿物，由于其物理化学性质不同，选择地富集在两相界面的过程称为浮选。它的实质是：磨細了（如磨到0.3毫米以下）的矿石，经过某种处理以后易浮的矿物能富集在两相界面，而其他矿物仍保留在矿浆中。与其他选矿方法比較，浮选的主要优点有三：

1. 因浮选是根据矿物表面的物理化学性质进行选别，人們有可能利用各种矿物的天然性质差异，并用药剂处理以扩大其差异，来达到分选的目的，原则上可以用它精选任何有用矿物，是最通用的选矿方法之一。由于这一优点，使过去不能处理的多金属和稀有金属矿石现在有了价值。目前，人們已可用它来选别以下各元素的一些主要矿物：銅、鉛、鋅、金、銀、汞、砷、銻、鉍、鋁、鈣、鋇、鎂、鋅、鍍、鋰、鈉、鉀、鈦、鋳、鈦、鉄、鈷、鎳、錳、硫、碳等。

2. 浮选由于能够处理細微的物料，所以和重选一类的选矿方法比較，常常能够获得較高的回收率。

3. 浮选常常可以用来处理别种选矿法所获得的粗精矿，以提高其品位。

但是浮选的給矿需要細磨，要使用药剂，浮选的精矿較难处理，这些都使选矿成本增高。

根据浮选过程中所利用的相不同，可以将它分成下列五种：

1. 多油浮选 利用两个不相溶解的液相——水及油。將細磨矿浆加入大量的油（多至矿石重量20%）攪拌，疏水性的矿物就粘附在油滴上，形成含有用矿物的油层，将油层与水分开就达到了分选目的。

为了改善浮选指标，后来在多油浮选过程中也添加其他药剂。

多油浮选的另一形式是团粒法。利用少量的油和硫化物形成比水重的团粒，而脉石不被油粘着可以用水冲去。

2. 表层浮选 將磨細的硫化矿粉給在水的表面，利用水气界面进行矿物分选。根据給矿是干的还是湿的，可分为干式表层浮选及湿式表层浮选。

3. 固壁浮选法 分选矿物的过程在固-液界面进行，精矿富集在水中的固相表面。在水中浸有表面涂了石腊、油类或脂肪的薄层的固相时，把硫化物与脉石的混合物（单体分离的）倒入水中，則硫化物将固着在固体表面，脉石可以随水流走。

4. 泡沫浮选 分选矿物是利用分散在矿浆中的气泡表面进行的。在磨細的矿浆中，有特殊药剂作用时，某种矿物（或某几种矿物）将富集在矿浆中出現的气泡表面，可以



图 1—1 几种浮选方法示意图



形成矿化泡沫层，然后从矿浆的表面被排出。根据产生气泡的方法不同，可将泡沫浮选分成几种：

- (1) 电解法 利用电解的过程发生气泡。
- (2) 正压力法 将3.5~7气压的压力先作用于矿浆上，然后突然减去压力恢复一个大气压，于是溶液中的空气成为气泡析出。
- (3) 真空法 利用抽气机将矿液面上抽成真空，使溶液中的空气成泡沫析出。
- (4) 化学法 利用硫酸和碳酸盐反应产生气泡。
- (5) 机械搅拌法 利用机械搅拌吸入空气，空气被矿浆分裂成小气泡。
- (6) 压气法 通过不同的工具向矿浆中送入空气形成气泡。
- (7) 联合法 系(6)(5)两种方法的联合作用产生气泡。泡沫浮选，特别是(5)(6)两种产生气泡方法的泡沫浮选现在用得最广，将来也极有前途。第二章以后讨论的浮选过程，将以它作为主要对象。

一般地说泡沫浮选过程包括如下的作业：

- (1) 破碎分级及稀释 保证将矿石磨到0.3毫米以下的合适粒度，并使其浓度介于15~45%之间。
- (2) 加调整剂(包括活性剂、抑制剂等)，造成必需的酸碱度及适于捕收剂作用的环境。
- (3) 加捕收剂 使某些矿粒容易固着在气泡上。
- (4) 加起泡剂 使矿浆中的气泡稳定。
- (5) 刮泡 将矿化泡沫层与其余部分分开。

5. 无泡浮选(单泡浮选)也是利用气泡从矿浆中带出某种或某几种矿物，但矿化气泡到达表面以后立即破裂，它所携带的精矿落入容器的另一室内，气泡在表面不形成泡沫层，见图1-2 这种浮选在现代浮选研究中占有相当的地位。

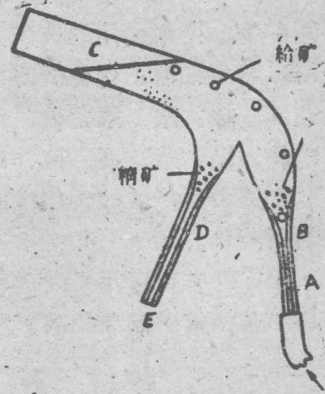


图1-2 无泡浮选法示意图

## §1-2 浮选发展简史

紀元前400多年，在地中海一带就有人用粘了油脂的鵝毛从含金的矿石中选出金子。明崇禎(1628年)年間，宋应星著的《天工开物》一书，已有表层浮选处理汞矿的記載，足見，在那以前，我国已經有人应用表层浮选方法了。

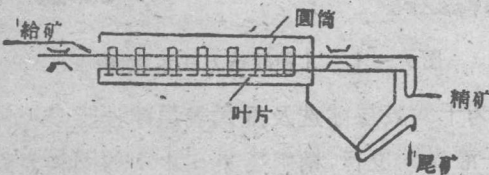


图1-3 多油浮选机

1885年首倡了新的多油浮选法，建議向矿浆中同时加入1%以下的硫酸，以改善过程的效果，并制造了第一架多油浮选机，图1-3，給矿端有供搅拌的圓筒及叶片，可以将給矿和油类拌勻。拌勻的給矿到右端的錐形尖箱上分出上浮的带精矿的油层及下沉的尾矿矿浆。該机的出現，

保证了全油浮选在工业上的应用。

1902年以前，人們称之为浮选观念萌芽及多油浮选首创时期。

1904年同时出现了表层浮选机，电解法浮选及真空法浮选。

1910年发明了较新的机械搅拌式浮选机，但为伦敦的M.S公司（矿物分选公司）连同其他的浮选专利一起购买了，并且一直保密到1930年才公开使该机械能够起到应起的作用，这是资本主义制度对生产发展起阻碍作用的又一证明。

1912年倡议采用干式给矿的表层浮选机（以前的是湿式给矿表层浮选机，它的形式与多油浮选机近似）。如图1—4原矿给在表面有齿纹的滚轴2的沟纹上，当滚轴转动时，硫化物飘在水面，而脉石落入水中。飘浮的硫化矿由于左侧不断给矿向右方移动，当它和无端皮带4接触时，被4带到滚轴5的一侧C点上，再与水面接触，中矿沉入槽中，精矿随水流溢往精矿排出口，在工业上应用时，其回收率到达了60~90%。

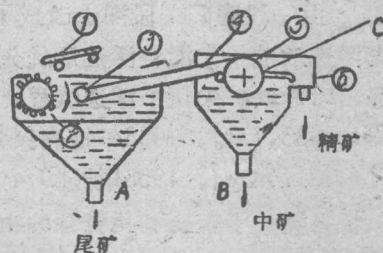


图 1—4 干式给矿表层浮选机

可见1902~1912年间，各种浮选方法均出现了雏型，可说是多种浮选形式并存时期。

1912~1925年是泡沫浮选获得迅速发展的时期。它逐渐排挤了其他形式的浮选，所以可称为泡沫浮选排挤其他浮选的时期。

1921~1925年间发现了许多重要的浮选药剂（包括捕收剂及抑制剂），为发展优先浮选将多金属矿石中的矿物分开，准备了充分的条件。改变了以前主要依靠油类选出硫化矿混合物的面貌，成为一个崭新的时期。所以一些著作把1920年以前看作第一时期——用各种油类作捕收剂以多油浮选为主的时期。1920年以后看作第二时期——用化学药剂作捕收剂，优先浮选迅速发展的时期。

1925年以后为泡沫浮选全盛的时期。这一时期各类泡沫浮选方法获得了急剧的推广，浮选设备及理论研究大大地发展了，浮选在选矿领域内的应用范围已经压倒了其他选矿方法。现在人们不仅可以将硫化矿与硅酸盐分开，而且也能把硫化矿物彼此分开，或者把最难选的硅酸盐彼此分开。浮选不仅在选矿领域内获得了应用，而且也在农业、食品业、化学工业等范围中得到了应用。

在近代浮选的发展方面，由于社会主义制度无比的优越性，苏联浮选界作出了最卓越的贡献。今天，苏联的浮选科学，也和其他主要的科学技术部门一样，走在世界的最前列，拥有大量的各式各样的选矿厂，试验研究机构 and 高等院校，设计和生产着成套高效率的“米哈诺布尔式”等各种浮选机；拟定了各种行之有效的先进工艺方法：对矿粒粘附在气泡上的作用机理、药剂在矿物表面的作用机理、水化层的性质，气体的作用等理论问题，应用最新的科学方法，进行了周详的研究。

\* \* \* \*

我国在长期的封建主义和官僚资本主义统治下，在帝国主义的残酷掠夺下，旧中国的冶金工业根本得不到发展。浮选工业也不例外，基础极差，只有几个铜、铅、锌、钼矿的浮选厂，而且规模不大、设备陈旧、流程简单，品种单纯。

1949年祖国解放，冶金工业战线的全休职工，在党和毛主席的英明领导下，发挥了高度的积极性和创造性使冶金工业得到了迅速发展，特别是1958年，党提出鼓足干劲、力争上游、多快好省地建设社会主义的总路线和一整套“两条腿走路”的方针以

后，发展速度是史无前例的。

目前，我国已有数以百計的大、中、小型浮选厂，大大地改变了旧中国工业布局的不合理状态。

在浮选厂的工艺流程方面，已經逐步改进，日趋完善。某些选矿厂根据矿石的浸染特性，由一段磨矿一段浮选改成了阶段磨矿，阶段浮选的流程。有的多金属矿由直接优先浮选改成了先混合浮选后优先浮选的流程，对有色金属氧化矿采用了浮选水冶联合流程，对赤铁矿采用了浮选流程。使浮选指标，在不断地提高，例如銅的平均回收率，1952年为83.77%，1958年提高到88.16%，有些先进单位已达到96.75%。鉛的回收率1952年为77.82%，1958年为89.4%

根据党关于综合利用资源的指示，采用了浮选或粒浮与重、磁、电等选矿方法联合的流程处理較复杂的矿石，不仅使鉄、銅、鉛、鋅等矿石中的共生金属得到利用，而且錳、錫矿床內的共生硫化矿物和稀有金属矿物也已得到回收。

我国选矿工作的机械化水平正在迅速提高。1959年，鉄、銅、鉛、鋅等金属矿山，已基本上消灭了手工操作，采用了机械化生产，自己已能制造各种規格的“米哈諾布尔”式、“法連瓦尔德”式、“法格古伦”式的浮选机以及浮选厂用的大型破碎、磨矿设备。各浮选厂都比較普遍地采用了水力旋流器作为分級及脫泥设备。

除国营的浮选药剂制造厂在生产黄药、黑药白药、二号油、松油、大豆油硫酸化皂等等浮选药剂外，許多浮选厂都有自己的附設浮选药剂車間，用土法或土洋結合的办法生产黄药、脂肪酸、松油、水玻璃、樟腦油等等消耗量大的浮选剂。許多研究机关和高等院校对从野生植物、工业废料中寻找浮选剂已做了大量的工作，并找到了不少有效的浮选剂。

为了解决生产中存在的問題，使企业不断掌握新技术、提高产品质量、发展新品种和解决长远的理論問題，国家設有浮选学科的专业研究机构，各省（区）和厂矿也有自己的研究机构和試驗室，有些研究部門已应用了最先进的办法从事浮选理論和实践的研究，更重要的是在广大的职工中开展了技术革新和技术革命的群众运动，大大地推动了我国浮选事业向前发展。

我們坚信，我国选矿工业在党和毛主席的领导下，在党的建設社会主义的总路綫的光輝照耀下，随着我国經濟建設事业的发展，必将取得更大的成績。

# 第一篇 浮选理论

## 第二章 浮选中的相和相的界面

浮选的矿浆中，有固相、液相和气相。它们的主要成分是矿物、水和空气。矿物是浮选要选别的对象；水是矿浆的重要成分，对固相和气相都会发生溶解等作用；空气在浮选中形成气泡，携带矿粒上浮。它们的性质，都直接影响着浮选的过程。因而我们先来了解一下它们的性质。

### § 2—1 原子间键和分子间键

任何物质的性质，都和它的质点结合时的键力种类有关。物质相互结合时的键力，可分为原子间键和分子间键两大类。原子间键又可分为三类：

1. 离子键（电价键） 当原子互相结合时，有使最外面的电子层形成最稳定的结构的趋向。若原子互相结合时，一个获得电子，一个失去电子，结果无论是失去或者获得电子的原子都变成了离子。离子有的带正电荷，有的带负电荷，带有相反电荷的离子互相吸引就成分子（或某种化合物）。例如钠原子含有一个很松弛的电子，氯原子对电子的亲力很大，在和钠相互作用时，钠原子上的电子就转移到氯原子上，生成 $\text{Na}^+\text{Cl}^-$ ，互相吸引而成 $\text{NaCl}$ 分子。



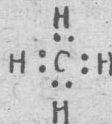
具有纯粹离子键的化合物中的元素，在任何状态下都呈离子状态而不是中和的原子状态。

周期系中的第一族和第七族中的元素，由于它们负电性的差别最大（即接受电子能力的数量差别最大，一个容易放出，一个容易接受，相互作用时生成典型的离子键。

2. 非极性键（纯共价键或同极键） 每个互相作用的原子，负电性相差很小时，就各拿出一个或多个电子形成电子对，作为大家共有的电子。如氯原子互相结合时（氢、氧、氮等亦然）就是：



在有机化合物中共价键最为普遍，例如：



甲烷

3. 极性键 是介于纯离子键与纯共价键之间的一种过渡键。当相互作用的原子，彼

此間的負電性的差異較共價鍵顯著，但還沒有達到純離子鍵的程度時，就生成極性鍵。

極性鍵的物質中，聯系二個原子的電子對，不象在純共價鍵中那樣對稱地分布，也不象純離子鍵那樣密集在一個原子上。如 HCl，分子內的電子對就作不對稱的分布，電子雲偏於 Cl 的一側。若將上面已講的三種鍵作一比較，可以表示如圖 2-1。



圖 2-1 幾種鍵的正負電性分布示意圖

圖 2-1 a 表示由共價鍵到極性鍵電子對逐漸偏於氯原子的現象。

圖 2-1 b 表示幾類化合物成為分子後正負電性的分布狀況。

由於在某些化合物的分子中，電荷分布不均，在分子的一部分顯現出的正電荷較多，而另一部分負電荷較多，形成了分子的極性，人們把由大小相等，符號相反，彼此相距  $l$  的電荷 ( $e^+$  和  $e^-$ ) 所組成的系統稱為偶極。如圖 2-1c。把電荷  $e$  和它們間的距離  $l$  的乘積稱為偶極矩  $\mu$ ，即  $\mu = el$ 。把電荷不對稱分布的分子（或正負電重心不重合的分子），即偶極矩不等於零的分子稱為極性分子。相應的鍵稱為極性鍵。與浮選有關的幾種物質的偶極矩  $\mu$ （達因  $\frac{1}{2} \times$  厘米<sup>2</sup>）如下：

分子	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	HCl	H <sub>2</sub> O	C <sub>n</sub> H <sub>2n+2</sub>	CH <sub>3</sub> COOH	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH
$\mu \cdot 10^{18}$	0	0	1.03	1.84	0	1.73	1.70

特別值得指出的是 H<sub>2</sub>O 的極性很大，有機物 C<sub>n</sub>H<sub>2n+2</sub> 的極性很小。

極性鍵和非極性鍵可以籠統地叫做共價鍵。

分子間鍵（殘余化學親力，范德華鍵）和化學鍵不同之點在於這種鍵是在分子間發生作用，而不是在原子間發生作用。

分子間力主要由殘余化學親力（范德華鍵）決定，范德華鍵又分三種效應：



圖 2-2 非極性分子的極化

- A—分子未極化前；
- B—分子極化後；
- B—分子向場源靠近

1. 誘導效應 非極性分子在外部電場（如與極性分子接近時其極的引力）的影響下，引起了內部結構的變形，發生了極化。起先正負電荷的重心顯出了相對位移，正電偏於一端，負電偏於一端，產生了偶極，圖 2-2b。然後偶極受外電場的吸引又使極化了的分子向外電場進一步靠近（圖 2-2B）。

2. 取向效應 極性分子在外電場的作用下，由於電性排斥和吸引的作用，可使本來不規則地排列着的分子（圖 2-3A）產生規則的取向——將它們本身呈相反電荷的一端轉向電場（圖 2-3B），同時也產生了一定的變形，分子中的正負電愈來愈偏離，這時實際上存在着取向和誘導兩種效應，圖 2-4 表示極性分子在

互相接近時，首先呈現了誘導效應，進一步接近了（圖 2-4B），接着還產生了變形效應，更加增強了分子間的相互作用（圖 2-4B）。

3. 分散（漲散）效應 互相接近的惰性氣體原子（圖 2-5A），由於其中每一個原子內電子的轉動和原子核的振動，使其電子軌道和原子核之間產生臨時的相對位移，引起臨時的偶極。這些偶極又以自身的電荷影響到附近的原子中發生臨時偶極的取向，

而且取向时，它们是以异极互相靠近，图2-5B，虽然这样产生的偶极，存在的时间极为短促，然而将经常显现出各种取向配位，图2-5A。这就使所谓分散力对质点间的相互吸引始终起着作用。



图 2-3 极性分子的极化

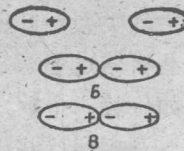
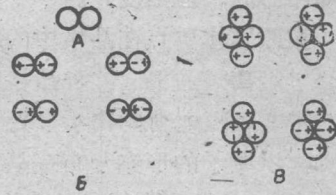
图 2-4 两个极性分子  
互相作用的图解

图 2-5 分散效应示意图

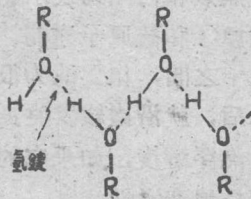
除上面所述一般原子间力和分子间力外，还有二种特殊的键：

1. **氢键** 氢原子有一个和其他原子不同的特点，即它在和其他原子作用时，交出电子以后，就变成了无电子的原子核（氢离子），它的半径比别的原子半径小数千倍。由于它没有电子，就不再被另一些原子或离子的电子层所排斥；相反地容易被另一些原子的电子层所吸引。换句话说，氢原子除了能和某种原子相作用，并把电子交给它以外，还能在交出电子形成氢离子的时候，和另一个原子相作用受到它的电子吸引，并接近它。

所以氢键正好象氢原子的第二（副）价键。

氢原子在反应中所处的状态不同，反应的对象不同时，显现副价键的能力也不同。当它完全交出电子处在正离子状态时，这种能力最大。当它和负电性最大的元素（氟、氯、氧、氮等）结合时，这种能力还很大。但当它和负电性较小的元素（碳、硅等）结合时，这种能力就减弱。当它和负电性很小的元素（金属）化合时，氢原子就不可能有这种能力。

· 浮选剂中的醇类ROH，就可由氢键构成多分子群，如：



2. **金属键** 从化学课程中我们已知道金属有和原子核联系松弛的电子，起反应时有付出电子的能力。金属当它以固体或液体状态存在时，它们那松弛地联系着的电子，可以围绕各个原子转动或者经常地快速地在原子间流动。这种流动的电子体现了联系它们原子间的键力通称为金属键。

金属键在某种意义上，象离子键（象在离子晶体中电子位于阴离子上），其电子在固态或液态金属中可以处在为了各质点联系起来所必需的任何位置；但在金属中仅有较少的“浮动”电子，因此它兼有共价键的性质（原子状态互相吸引的性质）。

金属键只是金属处于固态或液态时才有的特征，是个别质点聚合体的性质，而不是

个别质点的性质。

## § 2—2 浮选中的固相——矿物

矿物是浮选的分选对象，它的晶格类型和破裂后的表面性质，决定着它的可浮性（即浮游的难易程度）。

按照固体质点在晶格中的状态和键力的类型，可以把固体的晶格，粗略地分为四类：1. 离子晶格 这种晶格中，处在晶格结点的是离子，每个离子与直接围绕着的、带有相反电荷的离子，处在对等（如价数、个数）的关系中。2. 原子晶格物质的质点，以原子的形态分布在晶格结点上，互相间以共价键相互连结。3. 分子晶格物质的质点，以非极性的或极性的分子状态处在晶格结点上，互相间以共价键进行连结。4. 金属晶格 质点在这种结构中，呈中性的和离子化的原子形式存在，以金属键互相连结着。实际的矿物，结构比较复杂，如方铅矿晶格中的键力，可以同时具有离子键、共价键和金属键的性质。

这些结构中，质点间作用的键力的类型，决定着固体的一系列性质，其中固体受力后是否容易破裂？沿什么方向破裂？破裂后表面出现什么键力？这些键力给固相表面的亲水性和自然浮游度（没有用药剂处理以前的浮游能力大小）的影响如何？是浮选工作者最关心的问题。

一般的离子键、共价键和金属键都属于强键，即互相间引力较大的键，它使矿物有较大的硬度和亲水性；而分子键属于弱键，它使矿物有较小的硬度和亲水性。

四种晶格中，以分子晶格硬度最小（为石蜡）；具有共价键的原子晶格硬度最大（如金刚石）；金属晶格富延展性，不易断裂（如自然金），也能给磨矿带来困难。

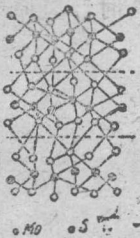


图 2—6 辉钼矿的晶格和解理面的位置

从结晶矿物中，我们知道矿物的解理面常产生在彼此间距离最大和作用力最小的面网之间，如辉钼矿有图 2—6 所示结晶构造，其中黑点和白圈为表示钼原子和硫原子，钼原子和钼原子之间，钼原子和硫原子之间，作用的力较大，而相邻面网的（上下）硫原子之间，作用的力很弱（分子间键）而且距离较大，所以受力以后，就沿虚线发生良好的解理面，这种解理面疏水而有良好的自然浮游度，如果它的破裂沿垂直于虚线的方面发生，就会使表面呈现亲水性。

离子晶格的矿物，破碎后表面也呈现未饱和的（即未起反应的）离子键，表面的作用力为很强的静电力，所以亲水而不易浮游，为岩盐。原子晶格或分子晶格的矿物，破裂后表面可能呈现未饱和的原子键，分子键或者二者兼有，如果表面呈现原子键，则表面有较强的键力，是亲水和没有自然可浮性的，如石英，如果表面呈现的是未饱和的分子键，又要看以何种效应为主，如以诱导效应和取向效应为主，表面还有一定的亲水性，如以分散效应为主，则表面为疏水的，有很好的自然浮游度。

自然界中的矿物，破碎时表面出现的未饱和键力与矿物自然浮游度的关系如下表所示。

表 2-1

类别	破裂时暴露的键力	结晶构造的特点	例子	自然浮游度
I	有强的共价键离子键和金属键	结晶架格构造不同; 晶格原素之间以共价键离子键和金属键互相键合	萤石、方解石、石英、金刚石、云母	无
II	分子键和少量强键	结晶架格由原子层或离子层组成, 成层的原子与原子之间, 以强键键合, 而层与层之间, 以分子键键合, 当破裂时, 后者是主要的, 因破裂时原子与原子间强键断裂之可能性虽有, 但与后者比较其量很小。	石墨、滑石、辉钼矿	有
III	分子键	处在晶格结点上的的是分子, 分子之间, 以共有键相键合。	硫、碘、饱和性	有

上面, 我們所討論的是最理想的结晶和它們破裂后的情况。实际选矿中所遇到的情况, 往往会复杂得多, 比如: 銅在閃鋅矿中, 可以形成均匀的固溶体, 也可以形成非常微細的(为 $\sim 10$ 微米)的乳浊状晶体; 分散在粗粒的閃鋅矿晶体中, 见图2-7; 又如原生矿床生成后, 矿物受到氧气、地下水等作用以后, 晶粒的一部分会被氧化变成次生氧化矿物, 而另一部分却仍然保留着原始的状态; 在矿床的次生富集带中, 有些矿粒的表面, 因为受到含矿溶液的交代作用, 会被罩上一层成分和性质极不相同的薄膜(见图2-8, 使矿石破裂后粒子表面的性质不如前面討論的理想。

此外, 我們还应看到, 由于破碎时, 破碎力不一定恰恰作用在晶面上, 破碎作用不沿晶面发生, 可以在矿粒表面形成許多凹凸、尖角和边稜, 有时甚至可以产生很厚的非晶质层, 所有这些都使矿粒表面物理——化学性质不均匀, 因而药剂在矿物表面的



图 2-7 黄銅矿(白色)在閃鋅矿(灰色)中呈微細的乳浊状结构200倍

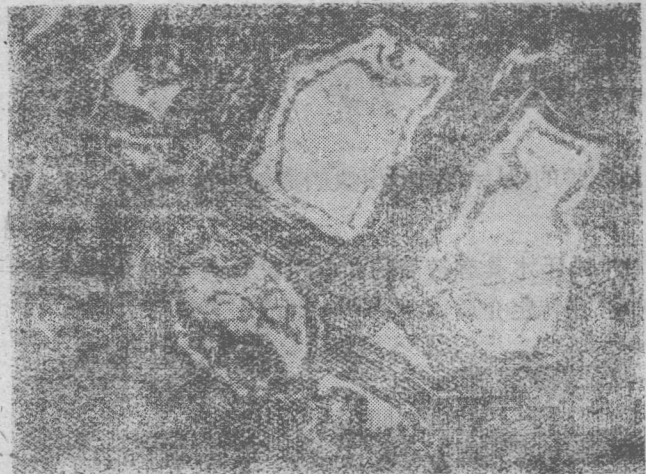


图 2-8 神麩銅矿(白色)被黄銅矿(灰色)及孔雀石(黑色)包裹250倍



作用也是不均匀的。

## § 2—3 液 相 — 水

浮选中的液相，实际上是稀的水溶液，其中还含有大量没有溶解的固体。

水除了作为浮选的介质以外，还与矿粒在浮选中显现的表面性质及药剂在浮选中显现的性质有密切的关系。

### 一、水分子的构造

光谱研究确定了单一的水分子的构造如图2—9所示。由该图可以看出，氧原子在分子的上方，H原子在分子的下方，氧原子的负电性很大，氢原子有把电子交给它的趋势，于是整个分子的上方负电占优势，整个分子的下方正电占优势，组成负电在上方、正电在下方的水分子偶极（简称水偶极）。水分子正电与负电的电重心距离  $l$  很大，故有很大的偶极距  $\mu = 1.84 \times 10^{-18}$  静电单位。为水分子间偶极的相互作用（取向效应）提供了有利的条件。

如前所述，当H原子与O原子接合时，能产生氢键，氢键和水的极性分子间的取向效应一起构成了水分子的强缔合（即分子按一定的形式相结合）的原因。因而水分子常常变成多分子的集合体，图2—10。

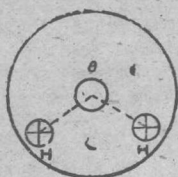


图 2—9 水分子的构造与水偶极



图 2—10 水分子的缔合

水并不全是中性的分子组成，水分子可以解离成为  $H^+$ （实为游离离子  $H_3O^+$ ）及  $OH^-$ 。如果我们把  $I_{H_2O}$ 、 $[H^+]$ 、 $[OH^-]$  分别表示水离子积、氢离子浓度、氢氧离子浓度，则在温度一定时  $I_{H_2O}$  为一常数。

$$\text{在 } 22^\circ\text{C 下 } I_{H_2O} = [H^+][OH^-] = 1.00 \times 10^{-14}$$

令

$$pH = \log \frac{1}{[H^+]} \quad (2-1)$$

则此时的  $pH=7$ ， $pH$  值我们通常叫酸碱度。

### 二、水的溶解作用

由于水具有较高的介电常数  $D=81$ （真空的  $D=1$ ），其导电性很小。根据库仑定律，在特定介质中两荷电体间的引力或斥力为：

$$F = \frac{e_1 e_2}{Dr^2} \quad (2-2)$$

式中  $F$ ——荷电体间之作用力；

$D$ ——介电常数；

$r$ ——荷电体的距离；

$e_1, e_2$ ——荷电体的电荷。