

高等学校（矿业类）“十一五”规划教材

界面分选技术

主编 黄 波

煤炭工业出版社

高等学校（矿业类）“十一五”规划教材

界面分选技术

主 编 黄 波

副主编 崔广文 赵振新

煤炭工业出版社

·北京·

内 容 提 要

界面分选技术是一种重要的选矿方法,主要用于细粒及微细粒矿物的分选。本书系统介绍了界面分选的理论基础、界面分选药剂的作用机理、界面分选工艺与实践和界面分选设备。本书内容丰富,实用性强,吸收了国内外生产科研中的一些最新研究成果,体现了当代界面分选技术水平。

本书可作为高等院校矿物加工工程专业教材,也可供煤炭、冶金、建材、化工、食品等行业的科技人员和相关专业师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

界面分选技术/黄波主编. —北京:煤炭工业出版社,
2008.9

高等学校(矿业类)“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5020-3293-7

I. 界… II. 黄… III. 分选—界面—浮油选矿—高等学
校—教材 IV. TD923

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第049766号

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

北京京科印刷有限公司 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 787mm×1092mm $\frac{1}{16}$ 印张 16

字数 383千字 印数 1—3,000

2008年9月第1版 2008年9月第1次印刷

社内编号 6098 定价 30.00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

前 言

《界面分选技术》是高等学校(矿业类)“十一五”规划教材,相应的课程——界面分选技术是矿物加工工程专业的主干课程。界面分选技术是一种重要的分选方法,主要用于细粒及微细粒矿物的分选,也可用于环境工程、轻工业、食品工业和化学工业等领域。

本书系统叙述了界面分选的理论基础、界面分选药剂的作用机理、界面分选工艺与实践和界面分选设备。对泡沫浮选的工艺、设备和调节操作因素作了重点介绍,在突出煤泥分选的同时,兼顾了金属矿、非金属矿等其他非煤矿物的分选。此外,本书还介绍了微细粒矿物界面分选的新技术、新工艺,包括高分子选择性絮凝分选、疏水絮凝聚团分选、剪切絮凝浮选、载体浮选、油团聚分选、磁絮凝分选、泡沫分选、离子浮选和沉淀浮选等。

本书理论和实践并重,深入浅出,内容丰富,实用性强,可作为矿物加工工程专业本科教材,也可供煤炭、冶金、建材、化工、食品等行业的科技人员和高等院校相关专业师生参考。

本书由中国矿业大学(北京)黄波担任主编,山东科技大学崔广文、平顶山工学院赵振新担任副主编。在本书的写作过程中,我们得到了中国矿业大学(北京)矿物加工系老师和实验人员的大力帮助,在此表示衷心感谢。

由于编者水平所限,错误或不足之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编 者
2008年8月

目 录

0 绪论	(1)
0.1 界面的类型	(1)
0.1.1 气-液界面	(1)
0.1.2 液-液界面	(2)
0.1.3 固-液界面	(3)
0.1.4 固-气界面	(3)
0.2 界面分选技术	(4)
0.2.1 界面科学与界面分选技术	(4)
0.2.2 界面分选技术的发展历史	(4)
0.2.3 界面分选技术的分类	(5)
0.2.4 界面分选的基本过程	(5)
1 界面分选的理论基础	(7)
1.1 固相的结构与性质	(7)
1.1.1 矿物的晶体结构	(7)
1.1.2 晶体的缺陷	(12)
1.1.3 晶体表面原子的位移	(14)
1.1.4 矿物晶体的断裂面、表面键能及可浮性	(15)
1.1.5 表面自由能和表面张力	(16)
1.1.6 矿物颗粒表面不均匀性与可浮性	(17)
1.1.7 煤的结构与可浮性	(21)
1.2 液相的结构与性质	(33)
1.2.1 水的微观分子结构	(34)
1.2.2 水的宏观结构模型	(34)
1.2.3 水的溶解作用	(35)
1.2.4 水化作用	(35)
1.2.5 矿物表面与水分子的作用	(36)
1.2.6 界面水的结构	(37)
1.3 气相的结构与性质	(38)
1.4 固体表面的润湿	(38)
1.4.1 润湿现象	(38)
1.4.2 润湿的度量	(40)

1.4.3 润湿阻滞	(41)
1.5 界面双电层	(42)
1.5.1 矿物表面带电的原因	(42)
1.5.2 界面双电层结构	(44)
1.5.3 界面双电层中的电位及其测定	(46)
1.5.4 电动现象	(47)
1.5.5 零电点和等电点	(47)
1.5.6 界面双电层的影响因素	(50)
1.5.7 界面双电层的电位曲线	(51)
1.5.8 界面双电层的调节	(51)
1.6 界面吸附	(52)
1.6.1 吸附与吸收现象	(52)
1.6.2 吸附热	(52)
1.6.3 吸附类型	(53)
1.6.4 固-气界面吸附	(57)
1.6.5 固-液界面吸附	(59)
1.6.6 液-气界面吸附	(61)
1.6.7 液-液界面吸附	(62)
1.7 界面性质的调节	(62)
1.7.1 界面性质的物理调节	(63)
1.7.2 界面性质的化学调节	(64)
1.8 分散、凝聚与絮凝	(64)
1.8.1 矿浆中颗粒的聚集与分散	(65)
1.8.2 颗粒间的相互作用	(67)
1.8.3 凝聚理论	(72)
1.8.4 同相凝聚与异向凝聚	(73)
1.8.5 絮凝理论	(74)
2 界面分选药剂	(80)
2.1 界面分选药剂的分类与作用	(80)
2.2 捕收剂	(81)
2.2.1 捕收剂的作用	(81)
2.2.2 捕收剂的分类与结构	(82)
2.2.3 矿物晶体结构特性对捕收剂吸附的影响	(83)
2.2.4 非极性烃类油捕收剂及其作用机理	(84)
2.2.5 硫代化合物捕收剂及其作用机理	(89)
2.2.6 有机酸类捕收剂	(94)
2.2.7 胺类捕收剂	(97)
2.2.8 两性捕收剂	(98)

2.3 起泡剂	(98)
2.3.1 起泡剂的结构与性质	(98)
2.3.2 起泡剂的作用	(100)
2.3.3 起泡剂的作用机理	(102)
2.3.4 起泡剂起泡性能的测定	(103)
2.3.5 常用起泡剂	(104)
2.4 调整剂	(106)
2.4.1 活化剂	(106)
2.4.2 抑制剂	(108)
2.4.3 介质 pH 调整剂	(111)
2.4.4 分散剂	(113)
2.4.5 絮凝剂	(113)
3 泡沫浮选工艺与实践	(115)
3.1 矿物的可浮性	(116)
3.1.1 矿物颗粒的表面性质与可浮性	(116)
3.1.2 煤的可浮性	(117)
3.2 界面润湿与可浮性	(117)
3.3 矿物表面电性质与可浮性	(117)
3.4 矿物浮选体系中的吸附	(118)
3.4.1 浮选中常用的等温吸附方程	(118)
3.4.2 浮选药剂在矿物表面的吸附类型	(119)
3.4.3 浮选过程中相界面吸附	(124)
3.5 浮选矿浆中的气泡	(125)
3.5.1 矿浆中气泡的产生	(125)
3.5.2 矿浆中气泡的粒度分布	(128)
3.5.3 气泡的兼并和溶解	(128)
3.5.4 矿浆中气泡的浮升速度	(128)
3.5.5 矿浆中空气的弥散程度	(130)
3.6 气泡矿化	(130)
3.6.1 矿物浮选过程	(130)
3.6.2 矿化气泡的形式	(131)
3.6.3 气泡矿化的热力学分析	(132)
3.6.4 气泡矿化的微观过程	(133)
3.6.5 水化膜的薄化	(138)
3.6.6 诱导时间与接触时间	(140)
3.6.7 矿粒表面析出气泡形成矿化气泡	(141)
3.7 泡沫层	(142)
3.7.1 泡沫液膜的性能	(142)

3.7.2	泡沫的稳定性	(142)
3.7.3	两相泡沫	(145)
3.7.4	三相泡沫	(146)
3.8	浮选动力学	(147)
3.8.1	浮选动力学影响因素	(147)
3.8.2	浮选速率方程	(148)
3.8.3	浮选速率常数分布	(149)
3.9	影响浮选指标的主要因素	(149)
3.9.1	粒度	(149)
3.9.2	矿浆浓度	(152)
3.9.3	矿浆 pH 值	(153)
3.9.4	药剂制度	(153)
3.9.5	矿浆的温度	(157)
3.9.6	浮选时间	(158)
3.9.7	充气和搅拌	(158)
3.9.8	泡沫	(159)
3.9.9	水质	(160)
3.10	浮选流程	(161)
3.10.1	浮选原则流程	(162)
3.10.2	浮选流程内部结构	(164)
3.11	煤泥浮选工艺	(166)
3.11.1	原煤性质对浮选的影响	(166)
3.11.2	煤粒粒度对浮选的影响	(167)
3.11.3	煤泥浮选浓度对浮选的影响	(169)
3.11.4	循环水对浮选的影响	(170)
3.11.5	煤泥浮选的药剂制度	(171)
3.11.6	煤泥浮选工艺流程	(172)
3.11.7	煤泥浮选工艺效果检查和评定	(173)
3.11.8	煤泥浮选脱硫	(175)
3.12	矿石浮选工艺	(176)
3.12.1	非极性非金属矿的浮选	(176)
3.12.2	硫化矿浮选	(177)
3.12.3	有色金属氧化矿石和混合矿石的浮选	(178)
3.12.4	多价金属的极性盐类矿物的浮选	(179)
3.12.5	氧化物及硅酸盐矿物的浮选	(180)
3.12.6	可溶性盐的浮选	(180)
4	絮凝分选工艺与实践	(181)
4.1	高分子选择性絮凝分选	(181)

4.1.1 选择性絮凝分选工艺	(181)
4.1.2 煤泥的选择性絮凝	(184)
4.2 疏水絮凝聚团分选	(185)
4.2.1 剪切絮凝浮选	(186)
4.2.2 载体浮选	(187)
4.2.3 乳化浮选	(189)
4.2.4 油团聚分选	(190)
4.2.5 两液分选	(192)
4.3 磁絮凝分选	(193)
4.3.1 强磁性矿物粒子的磁絮凝分选	(193)
4.3.2 弱磁性矿物微粒的磁絮凝分选	(194)
5 特殊浮选工艺	(195)
5.1 泡沫分选	(195)
5.2 离子浮选	(196)
5.2.1 表面活性剂与目的矿物之间的作用形式	(196)
5.2.2 离子浮选的影响因素	(197)
5.3 沉淀浮选	(199)
5.4 吸附浮选	(200)
6 界面分选设备	(201)
6.1 界面发生装置	(201)
6.1.1 气泡发生器	(201)
6.1.2 搅拌器	(203)
6.1.3 油水乳化装置	(204)
6.2 泡沫浮选设备及其辅助装置	(206)
6.2.1 浮选机的基本要求	(206)
6.2.2 浮选机中矿浆的充气	(207)
6.2.3 浮选机的分类	(210)
6.2.4 机械搅拌式浮选机	(210)
6.2.5 无机械搅拌式浮选机	(218)
6.2.6 浮选机的辅助装置	(235)
6.2.7 浮选机的发展趋势	(237)
6.2.8 浮选机的选择、计算、调节和测定	(240)
参考文献	(243)

0 绪 论

0.1 界面的类型

通常,人们将肉眼能够看见的物体的外部称为表面,但这并不是严格意义上的表面。科学的定义是:物质与真空、与本身饱和蒸汽或与被其蒸汽饱和了的空气相接触的面,称为表面。它的厚度很小,一般只有零点几纳米,表面层和物体内部的性质不完全相同。

界面是指两个物体的相态相接触的分界层。如果两个相态接触很紧密,就会有分子间相互作用存在,形成在组成、密度、性质上和两相交错并有梯度变化的过渡区域。此分界层也可称为界面层,它不同于两边相态的实体,有独立的相,占有一定的空间,有固定的位置,有相当的厚度和面积。不过它的厚度是很小的,通常只有零点几纳米到几纳米。界面层虽然是独立存在的,但和两边的相态有依存关系:凡是有两相接触的地方,就会有界面出现;反之,没有两相的接触,就不可能产生界面。习惯上有气相参与组成的相界面称为表面,其他的则称为界面。

物质状态分为气相、液相和固相三种形态,每两相之间相互接触就会形成界面,根据两相物理状态的不同,界面可分为气-液、液-液、气-固、液-固和固-固五种界面,如图 0.1 所示。由于气体分子的相互运动,气-气之间会很快混合在一起而成为由混合气体组成的一个气相,因此,不存在气-气界面。

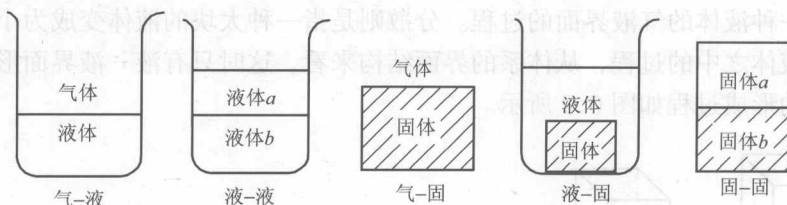


图 0.1 界面类型示意图

0.1.1 气-液界面

界面层内的分子,一方面受到液体内部分子的作用,另一方面又受到液体外部气体分子的作用。但是,气体密度比液体密度要小得多,气体分子对液体表面分子的作用力也就很小,一般可把气体分子的作用忽略不计。因此,在液体的表面层中,每个分子都受到垂直于液面并且指向液体内部的不平衡力的作用,而处在液体体相内部的任一分子在各个方面都受到相同分子力的作用,因而是处在稳定的状态。所以,液体表面层的分子就有一种趋向内部的作用。

液体表面的分子受到液体内部分子的吸引,形成缩小表面的作用称为表面张力,它可以用来对抗缩小表面作用的平衡力来度量。通常所说的表面张力是比表面张力的简称,指在与作用方向垂直的单位长度线段上的表面张力,以 σ 表示。平面的表面张力处于平面上,曲面的表面张力处在作用点为切点的平面上。表面张力是表面分子受气相、液相分子引力作用而产生综合作用的结果。因此,表面张力的大小与液相和气相的分子结构有关,提到液体表面张力时,应指明所接触的气相。通常所说的液体表面张力是指该液体与其本身的饱和蒸汽相接触或者与空气相接触时的测定值。液体表面张力的测定有毛细管上升法、最大泡压法、滴重法、圆环法和吊板法等方法。

液体表面分子受到内部分子吸引而有缩小表面的作用,所以要把一个分子液体内部移到表面层内,就必须反抗液体内部的作用力而作功,就会增加这一分子的位能,也就是说分子在界面层比在液体内部有较大的位能,这种表面分子所特有的位能就是表面能或表面自由能。

液体表面张力的存在,在气-液界面出现多种表面现象,如液滴趋成球形、毛细管现象、吸附作用和泡沫现象等。

表面活性剂在气-液界面的吸附有两种情况,一种情况是在气-液界面吸附形成定向排列及形成单分子膜,另一种情况是形成各种形式的胶束。表面活性剂在气-液界面的吸附在界面分选体系非常重要。例如,起泡剂是一种表面活性剂,在气-液界面上呈单分子层定向吸附,分子中非极性烃基透过界面穿入气相,而其极性基则留在液相,从而提高了气泡的稳定性,促进泡沫的形成和气泡的矿化过程。

0.1.2 液-液界面

在日常生活和生产中常常碰到两种液体相接触或一种液体分散于另一液体之中的现象,如原油破乳、药剂乳化和液膜分离等。液-液界面就是两种不相混溶的液体相接触而形成的物理界面。液-液界面可以由不同途径形成,包括黏附、铺展和分散。黏附是指两种液体进行接触,各自失去自己的气-液界面而形成液-液界面的过程。铺展是指一种液体在第二种液体上展开,使后者原有的气-液界面被两者间的液-液界面取代,同时还形成相应的第一种液体的气液界面的过程。分散则是指一种大块的液体变成为小滴的形式存在于另一种液体之中的过程,从体系的界面结构来看,这时只有液-液界面形成。这三种液-液界面的形成过程如图0.2所示。

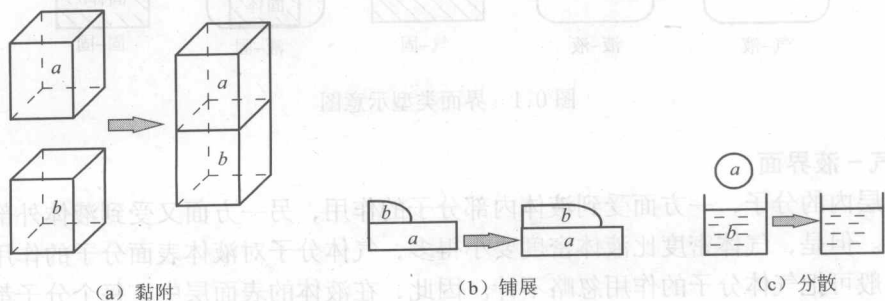


图0.2 液-液界面的形成

两不相混溶的液体有时可以自动形成液-液界面,有时则不能。液-液界面存在界面

张力和界面过剩自由能, 界面自由能是恒温恒压下增加单位界面面积时体系自由能的增量, 而界面张力是由于分子间相互作用力及构成界面两相的性质差异所致。处于液-液界面区的分子不仅受内部同种分子的作用, 同时还受到另一侧不相同分子的作用, 如图 0.3 所示。分子之间相互吸引的作用力属于短程作用力, 包括范德华作用力(色散力、偶极力、诱导力), 氢键力, 金属键力, 静电相互作用和离子相互作用。这些作用力之间没有明显的相互影响, 可以相互加合。也就是说, 液-液界面张力可视为各种分子间作用力的综合效果。实际上, 由于分子结构上的千差万别, 这些作用力不可能都同时存在, 只有色散力在任何场合、任何分子中普遍存在。

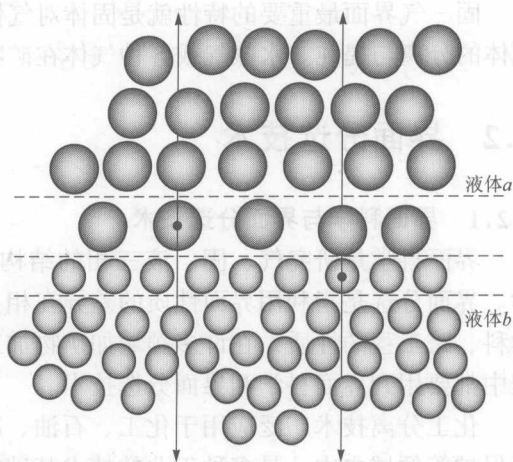


图 0.3 液-液界面分子模型

表面活性物质可以在液-液界面吸附, 并降低液-液界面张力, 吸附量可以用 Gibbs 吸附公式求出。界面分选中存在液-液界面吸附的现象, 如油浮选、球团浮选和乳化浮选。乳化浮选就是用乳化剂在液-液界面的吸附, 降低液-液界面的表面能, 促进捕收剂液滴在液相中的分散, 强化捕收剂与矿物表面的作用。

0.1.3 固-液界面

固体表面的分子与液体表面一样, 具有不饱和的分子间力, 而且由于固体表面的不均一性远远大于液体表面, 因而具有更高的表面自由能。

固-液界面的吸附现象比气-液界面复杂得多, 吸附速度要慢得多。吸附主要取决于吸附剂和吸附质的结构、性质和相互接触的活性质点(离子、原子或分子)数等。例如, 矿物的物质组成、结晶构造以及表面状态将对吸附过程产生显著的影响; 另一方面, 由于吸附过程是分散的气体或溶质的分子或离子在矿物表面浓集(凝集)的过程, 所以又与气体或溶质(如浮选药剂的分子、离子)的组成、结构、性质以及浓度等密切相关。一般而言, 吸附质与吸附剂的结构类似或性质相近较易发生吸附; 极性吸附剂易吸附极性吸附质或电解质离子, 且通常是选择性地吸附与吸附剂有相同元素或类质同象的离子; 高价离子也常比低价离子易被吸附; 当吸附质与吸附剂表面质点有交换等化学反应时, 亦易促进吸附过程的进行; 凡能使固-液界面自由能降低得越多的溶质, 被吸附的量也越多。

界面分选中常见到固-液界面吸附的现象, 如在泡沫浮选体系中, 矿浆中的固体颗粒通过固-液界面吸附捕收剂, 从而改变矿物表面的疏水性。

0.1.4 固-气界面

通常, 固体外表都是固-气界面, 而不是真正的固体表面。由于空气是透明无色的, 肉眼看不见, 所以, 一般将固-气界面当作固体表面。固体表面比液体表面复杂得多, 表面通常是各向异性的, 实际外形与其周围的环境及所经历的历史有关。除了少数理想状况以外, 固体表面常常处于热力学非平衡状态。此外, 固体表面相与内部的组成和结构有所不同, 存在各种类型的缺陷。

固-气界面最重要的特性就是固体对气体和蒸汽的吸附作用,这一性质可以直接用于气体的分离与提纯。水蒸气或各种气体在矿物表面上的吸附,能影响矿物的疏水性。

0.2 界面分选技术

0.2.1 界面科学与界面分选技术

界面科学是研究气、固、液三相的结构与性质、界面性质和界面性质调整的一门科学。界面分选是指利用界面性质的差异在相界面实现组分分离的一门科学,具有明显的跨学科、跨工程的性质,在许多领域如矿物加工工程、环境工程、化工、建材和食品加工过程中都要用到界面科学和界面分选技术。

化工分离技术广泛应用于化工、石油、冶金、生物、医药、材料、食品等工业以及环境保护等领域之中,是多种工业的技术基础学科,是过程工程的核心技术之一,而界面现象与控制的研究又是化工分离技术的基础。如在液-液两相体系中,界面的物化性质和体相有明显的差别,而两相间的传质又必须通过界面进行,因此,液-液界面的行为越来越受到人们的关注。利用界面现象强化对气-液、液-液、液-固传质过程的认识,特别是液-液两相界面对于传质机理的影响,能够实现控制传质的目的,并展开相关领域的研究与开发,发展新型萃取分离技术。在化学工业中用界面分选技术回收肥皂厂的油脂,浮选染料等。

在矿物加工工程领域,无论是利用传统的泡沫浮选工艺来提取有价矿物,还是近年来使用选择性絮凝浮选和高分子絮凝分选等工艺来处理细粒矿物,它们都有一个共同点就是利用界面科学原理和界面分选技术来实现目的矿物与非目的矿物的分离。

环境工程领域也涉及到双电层压缩、吸附架桥等重要的界面科学知识。例如,水处理工程中最常规的混凝沉淀,它就是在水中加入一些混凝剂使水中难以沉淀的胶体颗粒能互相聚合、长大至能自然沉淀。再如,利用活性炭来吸附工业废水中的有害物质就涉及到物质在液-固两相之间的转移过程,这也是界面科学研究的一个重要内容。核燃料再处理废水的沉淀浮选,凝聚溶气浮选法和电解浮选法处理废水就是界面分选技术在环境工程领域的应用。

生物工程领域也应用了界面分选技术,如水双相法分离植物细胞质膜,它就是按照膜表面所带电荷的不同来进行分离,具有分离速度快,同时保持膜囊泡的封闭性和膜蛋白的活性。从水中脱除寄生虫卵,分选结核杆菌和大肠杆菌等都是应用了界面分选技术。

在农产品及食品工业中应用界面分选技术从黑麦中分出角麦,牛奶中分出乳酪等。在造纸工业中应用界面分选技术从纸浆废液中回收纤维素,废纸再生中脱油墨等。

0.2.2 界面分选技术的发展历史

界面分选技术的出现可以追溯到古老的金银淘洗加工历史过程,那时人们就利用了矿物的天然疏水性,将鹅毛粘上油去刮取浮在水面上的金粉,使其与尘土等亲水性杂质分离。1673年明代出版的《天工开物》一书中就曾描述朱砂的分选加工过程:“若砂质即嫩而烁视欲丹者,则取来时入巨铁碾槽中轧碎为微尘。然后入缸,注清水澄浸过三日夜,跌取其上浮者,倾入别缸,名曰二朱。其下沉者晒干即为头朱也。”所用的分选方法就是现代的“表层浮选法”。而大规模工业化的应用是在19世纪末才逐步发展起来,由于工业发

展需要大量矿物原料,要处理当时大量规模的铅锌重力选矿的尾矿,澳大利亚开始采用原始的浮选方法。1860年Bradford使用约为矿物重量30%~40%的油与水与尾矿一起搅拌,使疏水亲油的硫化铅锌矿与油一起上浮,实现与脉石的分离。1898年,这种“全油浮选法”开始用于工业生产。

1902年,Cattermole将溶解的皂类加入矿浆,再添加无机酸产生游离的脂肪酸,吸附了脂肪酸的微细粒硫化物形成絮团,即形成选择性絮凝。同时,他还提出,向矿浆中加入已被油作用过的粗颗粒,可使凝聚的细泥更容易回收,这就是超浮选或载体浮选。

1902年,Froment向搅拌着的矿粒-油-水构成的体系中引入空气或二氧化碳气体,使之产生气泡,从而有助于浮起和捕集亲油颗粒。这被认为是近代浮选的开始。

1904年,Elmore用电解法产生气泡进行浮选,这是最早的电浮选。他还采用减压的方法使溶解于矿浆中的空气在油作用的矿物颗粒表面析出产生气泡进行真空浮选。

1905年,Sulman, Picard和Ballot向激烈搅拌的矿浆中通入空气,同时加入很少量的油进行硫化矿物的分选,这就是现代机械搅拌浮选的雏形。同年,Sulman等人将空气加压使之溶于矿浆中或将含有饱和空气的水通过喷嘴喷入矿浆槽,使溶于矿浆中的或水中的空气在常压下释放出并产生气泡。这种方法被称为溶气浮选法。

1908年,Higgins为了在不降低浮选选择性的条件下,提高起泡能力,添加少量酚类、水溶性的醇类或松油,利用气泡增加液-气界面,使浮选效率有了明显提高。1911年美国建成了第一座浮选厂,1912年泡沫浮选在澳大利亚和美国得到推广。首先在澳大利亚用来处理含锌20%的重选尾矿,当时是将干的尾矿加入稀硫酸溶液中,因该尾矿含有碳酸盐类脉石,则碳酸钙与硫酸反应放出二氧化碳气泡,闪锌矿就附着于气泡表面上浮,刮出上浮泡沫,所得的精矿含锌约42%。

随着新的浮选药剂不断出现和浮选机的类型增多与大型化,浮选工艺不断发展。浮选法除广泛用于金属矿物和非金属矿物的分选外,还大量应用于废水处理和造纸工业中,近年来还出现了用浮选法分离有机体、蛋白质。此外,工程技术领域的互相渗透,微细颗粒处理工艺的日益发展及开发细粒资源的迫切需要,近年来出现了离子浮选、泡沫分选、选择性高分子絮凝、油团聚分选和选择性双向絮凝分选等一系列新的界面分选技术。

0.2.3 界面分选技术的分类

凡是按照物质界面性质的差异,在相界面实现物料的分离方法,均可视为界面分选。图0.4为各类界面分选方法。从图0.4可以看出界面分选技术不仅可以处理小于1mm的各种粒状物料,也可以用于离子、分子等的分离。

0.2.4 界面分选的基本过程

界面分选的基础是物质间界面性质的天然差异或人工差异,利用相界面进行分离。因此,界面分选工艺过程应有三个基本单元过程:

(1) 界面性质的调节。调节物质的界面性质,以增大物质间界面性质的差异。例如,利用表面活性剂调节物质的润湿性、表面电性、吸附特性等。

(2) 调节并控制物质分散和聚集状态。主要利用分选体系中颗粒间的作用的变化来调节颗粒的状态。例如,颗粒充分分散稳定的悬浮液中加入絮凝剂,絮凝剂选择性吸附在部分颗粒表面,形成絮团,另一部分颗粒仍处于分散状态。

(3) 在相界面实现分离。通过适当的物理场作用,在分选体系中的相界面实现物质间

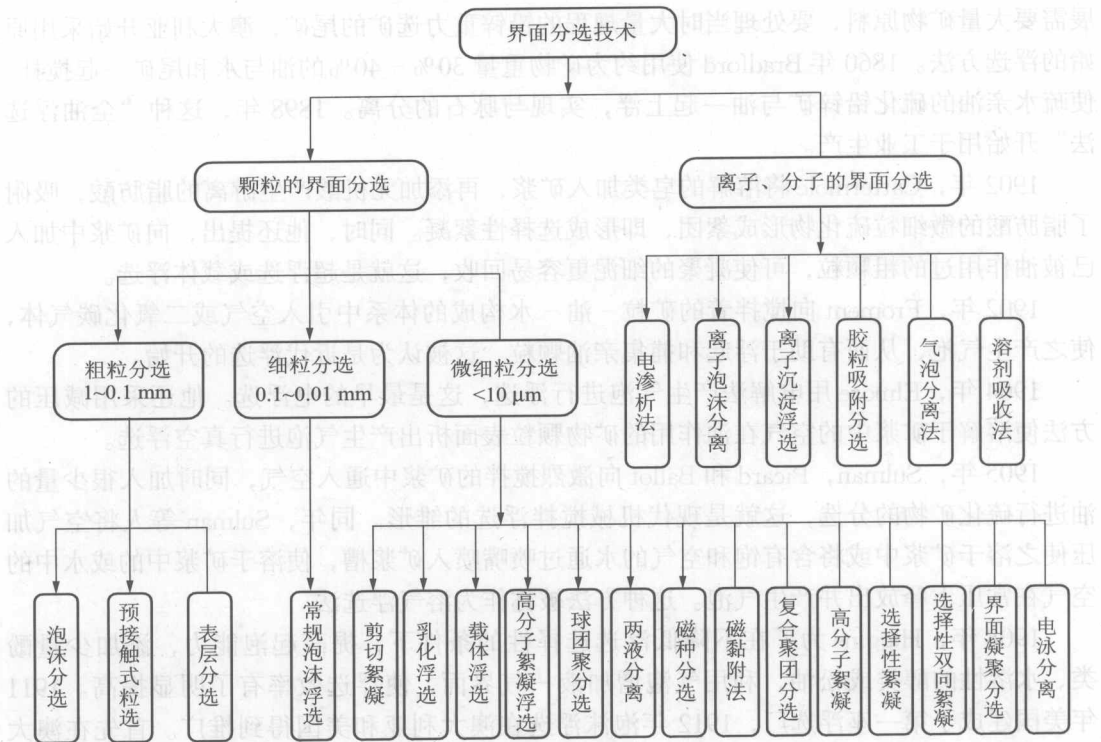


图 0.4 界面分选技术的分类

的分离。例如，在泡沫浮选中借助矿化气泡的上浮力将颗粒上浮到泡沫层，实现物料的分离。

1 界面分选的理论基础

1.1 固相的结构与性质

界面分选是一种多相非均匀体系,涉及到固相、气相和液相三种相态的物质。在这个体系中,固相、气相和液相的界面性质和相界面性质是决定界面分选的关键所在。界面分选过程中添加的界面分选药剂可以改变界面和相界面性质,增大目的物质与非目的物质之间的界面性质差异,从而实现分离。界面分选药剂作用的效应取决于体系中各相的内部结构和性质,因此,物质各相的结构和性质成为界面分选的基础。

界面分选体系中,固相是一个基本对象,本章将着重讨论固相的结构与性质。

1.1.1 矿物的晶体结构

晶体的分布非常广泛,自然界的固体物质中,绝大多数是晶体。在固体中,有些是非晶体物质,如玻璃、松香等。矿物表面的物理化学性质是界面分选的关键因素,主要取决于矿物晶体结构。

1.1.1.1 晶体结构及特征

晶体是由原子或分子在空间按一定规律周期重复地排列构成的固体物质。晶体中原子或分子的排列具有三维空间的周期性,隔一定的距离重复出现,这种周期性规律是晶体结构最基本的特征,图 1.1 为典型的晶体结构。对大量晶体物质 X 射线衍射研究表明:一切晶体不论其外形如何,组成它的化学成分(原子、离子、阴离子团、分子)在其内部作规律性排列,从而形成格子构造。

晶体内部原子或分子按周期性规律排列的结构,使晶体具有以下共同的性质。

1. 均匀性

一块晶体内部各个部分的宏观性质是相同的,如相同的密度、相同的化学组成等。这主要是由于晶体具有格子状结构,在晶体各个不同部分单位体积内的质点种类、数量、分布规律是一样的,晶体中原子排列的周期性很小,宏观观察分辨不出微观的不连续性。而气体、液体和玻璃体的均匀性则是原子杂乱无章分布的统计规律的体现。

2. 各向异性

在晶体中不同的方向上具有不同的物理性质。例如,在不同的方向上具有不同的电导率、不同的热膨胀系数、不同的折光率以及不同的强度等。如蓝晶石($\text{Al}_2[\text{SiO}_4]\text{O}$)晶体,在平行晶体延长方向硬度为 4.5,与之垂直方向硬度为 6,因其在同一晶面不同方向存在硬度明显的差异,故称蓝晶石为二硬石。这种特性主要是由晶体内部原子的周期性排列所决定的。在周期性结构中,不同方向上原子或分子的排列是不相同的,因而在物理性

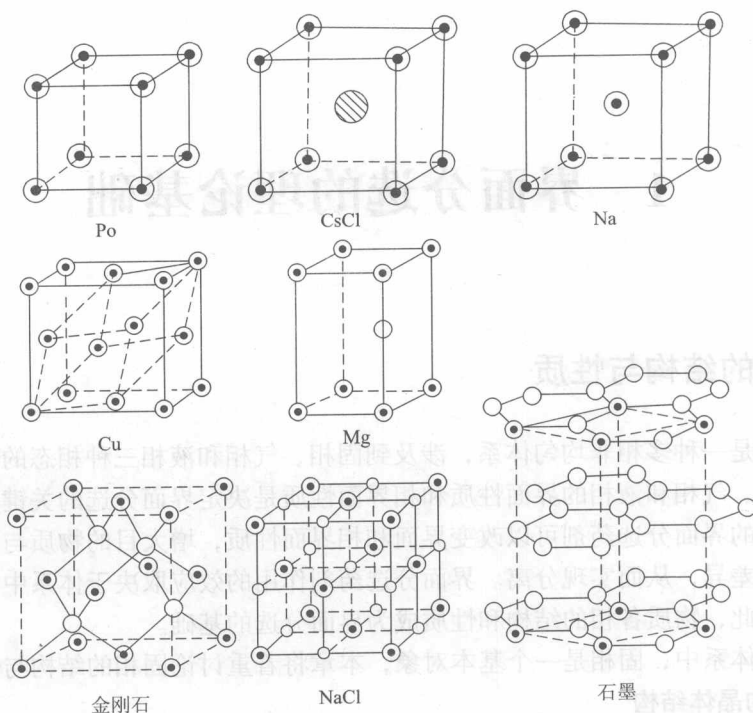


图 1.1 晶体的三维周期排列结构及其点阵（黑点代表点阵点）

质上具有异性。而玻璃体等非晶体物质，不会出现各向异性，而等向性。

3. 自限性

晶体在生长过程中自发地形成晶面，晶面相交成为晶棱，晶棱会聚成顶点，从而出现具有多面体外形的特点，这主要是由于晶体的周期性结构，是其内部格子结构的外在反映。玻璃体不会自发地形成多面体外形，液体玻璃冷却时可固化成表面圆滑的无定形体。

4. 对称性

晶体的理想外形和晶体内部结构都具有特定的对称性，晶体的对称性和晶体的性质关系非常密切。

5. 稳定性

晶体对于气体或液体来说，处于最稳定的状态，因而具有一定的外形，甚至具有规则多面体形态。晶体才是真正的固体，而固态非晶质体只能称作过冷液体。非晶质体往往有自发转变为晶体的趋势。

6. 最小内能

在相同的热力学条件下，晶体与同种物质组成的气态、液态以及非晶质固态物体相比其内能（动能和势能）最小。晶体具有一定的熔点就反映了晶体内能最小。晶体具有周期性结构，各个部分都按同一方式排列。当温度升高，热振动加剧，晶体开始熔化时，各部分需要同样的温度，因而有一定的熔点。玻璃体没有一定的熔点。

7. 对 X 射线的衍射

晶体结构的周期大小和 X 射线的波长相当，可作为三维光栅，使 X 射线产生衍射。