



实用选矿技术疑难问题解答

浮游选矿

技术问答

印万忠 白丽梅 荣令坤 编著



实用选矿技术疑难问题解答

浮游选矿技术问答

印万忠 白丽梅 荣令坤 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书针对浮游选矿过程的基本理论和实践,以问答的形式详细介绍了浮选的基本知识、浮选的基本原理、浮选药剂、浮选机械与操作、浮选工艺和浮选生产实践,除了介绍基本概念性的知识之外,也加入了一些最新的研究成果。

本书可供选矿工程技术人员使用,也可作为大、中专等高等院校矿物加工工程专业的本科生、研究生和教师的参考书,还可供从事矿业开发利用的管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

浮游选矿技术问答/印万忠,白丽梅,荣令坤编著.
北京:化学工业出版社,2012.8
(实用选矿技术疑难问题解答)
ISBN 978-7-122-14517-8

I. ①浮… II. ①印… ②白… ③荣… III. ①浮游选
矿-问题解答 IV. ①TD923-44

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第124232号

责任编辑:刘丽宏
责任校对:宋夏

文字编辑:李玥
装帧设计:刘丽华

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)
印装:大厂聚鑫印刷有限责任公司
850mm×1168mm 1/32 印张9½ 字数222千字
2012年10月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 39.00 元

版权所有 违者必究

前言

浮选，是根据矿物颗粒表面物理化学性质的不同，按矿物可浮性的差异进行分选的方法，是应用最广泛的选矿方法。几乎所有的矿石都可用浮选分选。如金矿、银矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、辉铜矿、辉钼矿、镍黄铁矿等硫化矿物，孔雀石、白铅矿、菱锌矿、异极矿和赤铁矿、锡石、黑钨矿、钛铁矿、绿柱石、锂辉石以及稀土金属矿物、铀矿等氧化矿物的选别，还有石墨、硫黄、金刚石、石英、云母、长石等非金属矿物和硅酸盐矿物及萤石、磷灰石、重晶石等非金属盐类矿物和钾盐、岩盐等可溶性盐类矿物的选别。浮选的另一重要用途是降低细粒煤中的灰分和从煤中脱除细粒硫铁矿。全世界每年经浮选处理的矿石和物料有数十亿吨。大型选矿厂每天处理矿石达十万吨。浮选的生产指标和设备效率均较高，选别硫化矿石回收率在90%以上，精矿品位可接近纯矿物的理论品位。用浮选处理多金属共生矿物，如从铜、铅、锌等多金属矿矿石中可分离出铜、铅、锌和硫铁矿等多种精矿，且能得到很高的选别指标。浮选适于处理细粒级微细粒物料，用其他选矿方法难以回收小于 $10\mu\text{m}$ 的微细矿粒，也能用浮选法处理。一些专门处理极细粒的浮选技术，可回收的粒度下限更低，超细浮选和离子浮选技术能回收从胶体颗粒到呈分子、离子状态的各类物质。浮选还可选别火法冶金中间产品、挥发物及炉渣中的有用成分，处理湿法冶金

浸出渣和置换的沉淀产物，回收化工产品（如纸浆、表面活性物质等）以及废水中的无机物和有机物。

由于需浮选处理的矿石中的有用成分含量越来越低，浸染粒度越来越细，成分越来越复杂难选，同时，浮选领域不断扩大，包括其他选矿方法难于奏效的细泥物料的处理，老选厂尾矿的再处理，各种废旧金属材料的回收以及各种废料的处理、利用，以及污水的净化等。因此必须做到：

① 继续发展新浮选工艺和大型高效的浮选设备；

② 研究作用力强，选择性好，用量少，无毒或毒性小的浮选药剂；

③ 研究浮选数学模型以及过程的自动控制，使过程最佳化，达到最好的分选效果，以提高经济效益；

④ 进一步从矿物工艺学、化学、物理学、表面化学、流体力学、概率统计等方面深入研究浮选机理，以指导浮选生产实践，进一步发展浮选理论体系。

因此，对于浮选技术的理解和认知是选矿技术里面最重要的内容之一。为了提高矿物加工工程专业技术人员和学生浮选基础知识和工艺实践知识的水平，本书采用问答的形式进行介绍，通俗易懂，针对性强，内容包括浮选的基本概念、浮选药剂、浮选机械及操作、浮选工艺和浮选工艺实践等。

本书由东北大学印万忠教授、河北联合大学白丽梅博士和内蒙古科技大学荣令坤博士编著，其中第一～第三章由印万忠编写，第四章、第五章、第六章第一节和第二节由白丽梅编写，第六章第三节和第四节由荣令坤编写。

由于编者水平有限，书中疏漏之处难免，敬请广大读者批评指正。

编著者



第一章 浮选基本知识

第一节 浮选基本定义	1
1 什么是浮选?	1
2 浮选方法的发展历史是什么?	1
第二节 浮选的过程及特点	2
3 浮选包括哪几个作业?	2
4 浮选的过程是什么?	3
5 什么是正浮选和反浮选?	3
6 什么是优先浮选和混合浮选?	4
7 浮选的应用领域是什么?	4
8 浮选的优缺点是什么?	4

第二章 浮选的基本原理

第一节 矿物表面的润湿性和可浮性	6
1 什么是润湿现象?	6
2 润湿现象中的沾湿、铺展和浸湿三种类型有何区别和联系?	6
3 什么是接触角、三相润湿周边?	7
4 如何通过接触角鉴别颗粒表面的润湿性?	8

5	润湿方程的物理意义是什么?	8
6	什么是矿物的润湿阻滞现象? 产生润湿阻滞现象的因素是什么? 润湿阻滞现象对浮选有何影响?	8
7	接触角的测量方法有哪些? 躺滴法测润湿角应注意什么?	10
8	固体颗粒表面润湿性的度量有哪些参数? 与颗粒浮选行为有何联系?	10
9	矿物的表面润湿性是如何分类的?	11
10	如何改变固体间表面的天然润湿性差异, 创造出较大的人工润湿性差异, 从而有利于实现浮选?	11
11	什么是矿物的可浮性指标? 为什么矿物与气泡的黏附是一种热力学自发过程?	12
第二节 矿物的表面能和水化作用		13
12	矿物表面的极性与矿物可浮性之间的关系是什么?	13
13	非极性矿物与极性矿物的矿物内部结构与价键特性是什么?	13
14	矿物表面自由能的数值取决于晶体断裂面的几何形状及表面原子所处的位置, 在矿物颗粒表面不同的位置, 即晶面上、棱面上和尖角上的表面张力的关系如何?	14
15	矿物表面的极性与矿物水化作用之间的关系是什么?	14
16	矿物表面水化层厚度与矿物润湿性之间的关系是什么?	15
17	表面水化性不同的矿物在水化层变薄过程中自由能变化与水化层厚度的关系是什么?	15
18	矿粒向气泡附着的过程可分为哪几个阶段? 各阶段水化膜是如何变化的?	16
第三节 矿物的结构与自然可浮性		18
19	什么是矿物的天然可浮性和自然可浮性?	18
20	矿物的晶体结构按其键型不同分为哪几种? 各自的特点是什么? 与可浮性有什么关系?	18
21	矿物结构与天然可浮性之间有何关系?	21

第四节 矿物在水中的溶解与氧化	22
22 什么是难免离子? 难免离子对矿物浮选有何影响?	22
23 消除难免离子对矿物浮选影响的措施有哪些?	22
24 矿物溶解对浮选过程有何影响?	23
25 矿物的氧化对其可浮性的影响是什么? 采取什么措施控制矿物的氧化?	23
26 硫化矿物表面氧化的几种形式及规律是什么?	24
第五节 两相界面双电层	25
27 矿物表面荷电的起源是什么?	25
28 为什么会形成双电层? 双电层的主要模型有哪些?	28
29 斯特恩双电层模型结构是什么?	28
30 表面电位、电极电位、静电位和残余电位之间的关系是什么?	30
31 什么是矿物的定位离子? 硫化矿、氧化矿、盐类矿物的定位离子是什么?	30
32 什么是固体的电动电位? 电动电位的测定方法有哪些?	30
33 什么是矿物的零电点和等电点? 两者的区别是什么?	31
34 什么是特性吸附? 特性吸附对双电层有何影响?	31
35 影响双电层的因素有哪些?	32
36 有机浮选药剂(指捕收剂)能否改变矿物(包括氧化矿和硫化矿)的表面电性质? 为什么? 能改变表面电位还是电动电位? 为什么?	32
37 颗粒表面电性与浮选药剂的吸附、颗粒可浮性的关系是什么?	33
38 锡石的 $\text{pH}_{\text{PZC}}=6.6$, 计算 $\text{pH}=4$ 和 $\text{pH}=8$ 时锡石表面电位的大小, 并说明其表面电性质。分别在这两种不同条件下浮选锡石时, 如何选择捕收剂?	34
第六节 矿物表面的吸附	34
39 什么是吸附? 按吸附本质分吸附可分为哪几种类型?	34

40	按吸附产物形态分吸附可分为哪几种类型? 各有何特点? ...	35
41	按吸附位置分吸附可分为哪几种类型?	36
42	表面活性剂在矿物表面的吸附规律是什么?	36
43	什么是半胶束吸附? 其特点是什么?	37
第七节 矿物的晶体特征		38
44	什么是类质同象置换? 发生类质同象置换必须具备的条件是什么? 有何特点?	38
45	矿物中化学键的键性特点是什么? 与解理特性之间有何关系?	38
46	矿物产生表面不均匀的原因是什么? 举例说明对浮选有何影响?	40
第八节 浮选动力学		42
47	什么是浮选速率? 浮选速率方程式怎么表示? 研究浮选速率的意义是什么?	42
48	影响浮选速率的因素有哪些?	42
49	提高浮选速率的措施是什么?	43

第三章 浮选药剂

第一节 浮选药剂的分类和作用		44
1	什么是浮选药剂? 浮选时为什么要使用浮选药剂?	44
2	什么是表面活性剂?	44
3	浮选药剂可分为哪几种类型? 分别起什么作用?	45
4	表面活性剂有何主要用途? 浮选表面活性剂主要有哪些?	45
5	浮选药剂的选择要求是什么?	46
第二节 捕收剂		46
6	捕收剂的选择要满足什么要求?	46
7	捕收剂可分为哪几种类型?	46

8	异极性浮选捕收剂的结构有何特点？主要有哪些类型？	47
9	影响捕收剂非极性作用的因素有哪些？	48
10	捕收剂极性基的种类有哪些？	48
11	硫化矿捕收剂的特点是什么？	49
12	黄药的结构是什么？是怎么制备的？	49
13	为什么短烃链的黄药具有捕收作用？	50
14	黄药有什么性质？	50
15	黄药使用时要注意什么问题？	51
16	黄药的捕收性能与什么因素有关系？	52
17	黄药应用于捕收何种类型的矿物？	53
18	什么是黄药酯？有何用途？常用的黄药酯有哪些？	53
19	黑药的结构是什么，是怎么制备的？	54
20	常用的黑药有哪些？有什么特点？	54
21	黑药的捕收性能如何？	56
22	黑药应用于捕收何种类型的矿物？	56
23	硫氮类捕收剂的结构和特点是什么？	56
24	硫氨酯类捕收剂的结构和特点是什么？	57
25	Z-200 的结构和特点是什么？	57
26	硫代化合类捕收剂的作用机理是什么？	58
27	硫化矿可浮性大小与溶度积判据的关系是什么？	60
28	根据硫化矿浮选电化学原理，如何强化浮选过程中硫化矿的浮选和抑制行为？	60
29	脂肪酸及其皂类捕收剂的结构与性质是什么？	62
30	脂肪酸及其皂类捕收剂的主要应用领域是什么？	62
31	常用的脂肪酸及其皂类捕收剂有哪些？各有何特点？	63
32	烷基磺酸盐和硫酸盐的特点是什么？	63
33	羧酸钠的结构和特点是什么？	64
34	甲苯腈酸的结构和特点是什么？	64

35	RA 系列捕收剂的结构与特点是什么？	64
36	KS 药剂的结构、合成方法和特点是什么？	66
37	有机酸类捕收剂的作用机理是什么？	68
38	胺类捕收剂的结构和性质是什么？	68
39	胺类捕收剂的应用和作用机理是什么？	69
40	常用的胺类捕收剂及其特点和应用有哪些？	70
41	怎样有效地使用胺类捕收剂？	71
42	非极性油类捕收剂的来源和应用是什么？	72
43	非极性油类捕收剂的作用机理是什么？	72
44	什么是 HLB 值？它主要有何应用？	73
第三节 调整剂		73
45	调整剂可分为哪几种类型？	73
46	活化剂的作用机理是什么？	73
47	硫化钠作为活化剂是用于活化什么矿物？其活化作用机理是什么？使用硫化钠活化剂时要注意什么问题？	74
48	硫酸铜活化剂常用于什么浮选场合？其活化作用机理是什么？使用硫酸铜活化剂时要注意什么？	75
49	碱土金属和重金属阳离子活化石物的机理是什么？	75
50	酸和碱作为活化剂时的作用机理是什么？	76
51	抑制剂的主要作用机理有哪些？	76
52	有机抑制剂的抑制机理是什么？	78
53	氰化物抑制剂是什么矿物的典型抑制剂？有什么性质？其抑制作用机理是什么？应用于什么场合？	78
54	硫化钠是什么矿物的有效抑制剂？其抑制作用机理是什么？应用于什么场合？	80
55	亚硫酸及其盐类药剂是什么矿物的有效抑制剂？其抑制作用机理是什么？应用于什么场合？使用时要注意什么事项？	80

56	重铬酸盐是什么矿物的典型抑制剂？其抑制作用机理是什么？应用于什么场合？采用重铬酸盐抑制方铅矿时应注意什么？	82
57	硫酸锌是什么矿物的典型抑制剂？经常与什么药剂组合使用？组合药剂的作用机理是什么？	83
58	水玻璃是什么矿物的典型抑制剂？其抑制作用机理是什么？水玻璃与什么药剂可以组合使用？组合药剂的作用机理是什么，用于分选何种矿物？	84
59	氟硅酸钠在浮选中有哪些作用？	85
60	六偏磷酸钠在浮选中起什么作用？	85
61	介质调整剂的主要作用是什么？	86
62	石灰的主要作用是什么？	86
63	碳酸钠的主要作用是什么？	87
64	什么是凝聚、絮凝和团聚？	87
65	常用的分散剂有哪些？	89
66	保证矿粒分散和防止矿粒聚集的主要途径有哪些？	89
67	常用的凝聚、团聚和絮凝剂有哪些？	89
68	什么是大分子药剂？浮选中主要应用的有哪些？	89
69	大分子药剂的抑制、絮凝和分散作用的机理分别是什么？	89
70	使用高分子絮凝剂时要注意什么？	91
71	选择性絮凝的过程及操作要点是什么？应用的主要分离形式分哪几类？	91
第四节 起泡剂		92
72	浮选时为什么要使用起泡剂？起泡剂的主要作用是什么？	92
73	起泡剂的组成和结构是什么？起泡剂选择时有什么要求？	93
74	什么是浮选泡沫？三相泡沫具有稳定性的原因是什么？	93
75	常用的起泡剂有哪些？	94
76	如何选择起泡剂？	95

第四章 浮选机械及操作

第一节 浮选机械	96
1 浮选机的基本要求是什么?	96
2 对煤泥浮选机的基本要求有哪些?	97
3 浮选机的工作指标及性能评定判据是什么?	99
4 浮选机械的主要分类是什么?	101
5 浮选机选择的基本原则是什么?	103
6 XJK 型机械搅拌式浮选机的主要结构是什么?	104
7 XJK 型机械搅拌式浮选机的主要特点和工作原理是 什么?	105
8 棒型浮选机的主要结构特点是什么?	106
9 棒型浮选机的主要特点和工作原理是什么?	107
10 闪速浮选机的主要结构特点是什么?	108
11 OK 型浮选机和 TankCell 型浮选机的主要结构特点是 什么?	109
12 Fage-gren 型浮选机和 Wemco 型浮选机的主要结构特 点是什么?	111
13 Booth、Denver D-R、RCS 和 Dorr-Oliver 型浮选机的 主要结构特点是什么?	113
14 KYF (XCF) 型充气机械搅拌式浮选机的主要结构特 点是什么?	116
15 CLF 型浮选机的主要结构特点是什么?	119
16 XJQ 型浮选机与 JJF 型浮选机的主要结构特点是什么?	121
17 SF 型浮选机和 BF 型浮选机的主要结构特点是什么?	122
18 BF-T 型浮选机的主要结构特点和应用情况是什么?	125
19 GF 型浮选机的主要结构特点是什么?	127
20 XJC、BS-X、CHF-X 型浮选机的主要结构特点是什么?	129

21	浮选柱的主要类型有哪些？	132
22	詹姆森浮选柱的主要特点是什么？	133
23	充填介质浮选柱的主要特点是什么？	135
24	CPT 浮选柱的主要特点是什么？	136
25	顺流浮选柱的主要特点是什么？	137
26	微泡浮选柱和旋流-静态微泡浮选柱的主要特点是什么？	139
27	XJM-S 型系列浮选机的工作原理及其特点是什么？	141
28	XJX 型系列浮选机的工作原理及其特点是什么？	143
29	XB 型搅拌槽的结构与工作原理是什么？	144
30	什么是矿浆准备器？它有何特点？	146
31	无循环筒矿用搅拌槽的结构与工作原理是什么？	146
32	提升式搅拌槽的结构与工作原理是什么？	148
33	药剂搅拌槽的结构与工作原理是什么？	148
34	给药机的主要类型是什么？	150
第二节 浮选机操作		152
35	机械搅拌式浮选机应如何安装？	152
36	浮选机检修后在试车时应注意什么？	153
37	机械搅拌式浮选机的操作要点和日常保养维护有哪些？	153
38	机械搅拌式浮选机的常见故障处理方法是什么？	155
39	浮选机内矿浆充气程度的测定及评价如何？	156
40	如何提高机械搅拌式浮选机的充气量？	159
41	浮选柱安装与调试时要注意什么？	160
42	浮选柱的操作与维护方面要注意什么？	160
43	常规逆流浮选柱开、停车时应注意哪些事项？	161
44	在常规逆流浮选柱的操作中，会出现哪些异常情况？	161
45	喷射旋流式浮选机安装与调试时要注意什么？	162
46	喷射旋流式浮选机在操作与维护时要注意什么？	163
47	在浮选操作中如何控制泡沫层的厚度？	163

48	如何控制泡沫的刮出量?	164
49	浮选工从哪些方面通过观察泡沫来判断浮选效果?	165
50	矿化泡沫中气泡的大小与泡沫矿化的程度有什么关系?	166
51	矿化泡沫的“虚”与“实”反映了什么?	166
52	通过对泡沫形态、脆性与黏性、声响的观察,可以发现 浮选的什么情况?	166
53	如何根据泡沫的颜色和光泽判断泡沫产品质量的好坏?	167
54	如何通过淘洗产品进行观察、鉴别产品的数量和质量?	168
55	浮选泡沫如何消除?	168

第五章 浮选工艺

第一节 浮选过程的工艺因素	170
1 影响浮选的主要因素有哪些?	170
2 矿石性质对浮选工艺的影响是什么?	170
3 减小矿石性质对浮选工艺影响的主要措施是什么?	171
4 粒度对浮选工艺的影响有哪些?	171
5 粗粒为何难浮? 应采取什么工艺措施?	172
6 细粒物料为何难浮? 应采取什么样的措施?	173
7 矿泥对浮选工艺有何影响? 如何解决?	174
8 什么是浮选时间? 对浮选指标有何影响?	175
9 水的质量对浮选有何影响?	175
10 矿浆温度对浮选效果有何影响?	176
11 矿浆浓度对浮选工艺有何影响? 在生产中如何控制?	177
12 矿浆浓度的表示及测量方法是什么?	178
13 矿物的氧化对其可浮性有何影响, 控制其氧化程度的 措施是什么?	179
14 如何控制搅拌强度和搅拌时间?	180
15 药剂用量对浮选的影响有哪些?	181

16	什么是浮选药剂制度？确定浮选药剂制度的主要原则是什么？	183
17	浮选药剂如何进行配制？	184
18	如何合理选择加药地点、加药顺序和加药方式？	186
19	什么是矿物临界 pH 值？	187
20	矿浆 pH 值对浮选有何影响？	187
21	浮选精矿怎样进行脱药？	189
22	常见的调浆方法有哪些？	190
23	什么是“二次富集作用”，怎样有效地利用“二次富集作用”？	191
24	浮选生产过程中调泡的主要原则是什么？	192
25	浮选厂如何利用回水？	192
第二节 浮选流程		193
26	什么是浮选流程？流程问题包括哪些内容？	193
27	浮选流程的段数分为哪几种类型？如何选择？	194
28	什么是优先浮选流程，适用于分选何种类型的矿石？	196
29	什么是混合浮选流程，适用于分选何种类型的矿石？	197
30	什么是部分混合优先浮选流程，适用于分选何种类型的矿石？	198
31	什么是等可浮流程，适用于分选何种类型的矿石？	198
32	什么是异步浮选流程，适用于分选何种类型的矿石？	199
33	什么是分支串流流程，适用于分选何种类型的矿石？	200
34	什么是闪速浮选流程，适用于分选何种类型的矿石？	201
35	什么是快速浮选流程，适用于分选何种类型的矿石？	201
36	什么是浮选流程的内部结构？	202
37	什么情况下进行扫选或精选？	203
38	中矿处理的主要方法是什么？	203

第六章 浮选工艺实践

第一节 黑色金属矿石的浮选	206
1 铁矿石的反浮选工艺是什么?	206
2 铁矿石的正浮选工艺是什么?	210
3 铁矿石的选择性絮凝浮选工艺是什么?	212
4 铁矿石浮选脱硫的方法及工艺是什么?	213
5 铁矿石脱磷的浮选方法及工艺是什么?	215
6 锰矿的浮选方法及工艺是什么?	216
7 钛矿的浮选方法及工艺是什么?	217
第二节 有色金属和贵金属矿石的浮选	219
8 硫化矿常用的捕收剂、活化剂和抑制剂是什么?	219
9 硫化铜常用的捕收剂、活化剂和抑制剂是什么?	220
10 硫化铁常用的捕收剂、活化剂和抑制剂是什么?	221
11 方铅矿和闪锌矿常用的捕收剂、活化剂和抑制剂是什么?	222
12 辉钼矿常用的捕收剂、活化剂和抑制剂是什么?	223
13 锑、砷、铋、汞、钴硫化矿常用的捕收剂、活化剂和 抑制剂是什么?	224
14 铜硫矿的浮选工艺及分离方法是什么?	227
15 铜钼矿的浮选工艺及分离方法是什么?	228
16 铅锌矿的浮选工艺及分离方法是什么?	230
17 锌硫分离的主要方法是什么?	231
18 铜铅矿的浮选工艺及主要分离方法是什么?	232
19 铜铅锌硫多金属硫化矿的分离方法是什么?	233
20 铜镍矿的浮选工艺及分离的主要方法是什么?	234
21 有色金属氧化矿的矿石特点是什么?	235
22 氧化铜矿物及其混合矿石的分离方法是什么?	236
23 氧化铅矿物及其混合矿石的分离方法是什么?	238