

浮选药剂手册

Handbook of Flotation Reagents

上册

(Vol.1)

[加] 斯尔詹 M. 布拉托维奇 (Srdjan M. Bulatovic) 著

魏明安 等译



化学工业出版社

浮选药剂手册

Handbook of Flotation Reagents

上册

(Vol.1)

[加] 斯尔詹 M. 布拉托维奇 (Srdjan M. Bulatovic) 著

魏明安 等译



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

浮选药剂手册. 上册/[加] 布拉托维奇 (Bulatovic, S. M.)
著; 魏明安等译. —北京: 化学工业出版社, 2014. 2
书名原文: Handbook of Flotation Reagents
ISBN 978-7-122-19692-7

I. ①浮… II. ①布…②魏… III. ①浮选药剂-手册
IV. ①TD923-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 020287 号

Handbook of Flotation Reagents; Chemistry, Theory and Practice Volume1, first edition.

Srdjan M. Bulatovic

ISBN: 9780444530295

Copyright © 2007 by Elsevier. All rights reserved.

Authorized simplified Chinese translation edition of English Edition jointly published by Chemical Industry Press and Elsevier (Singapore) Ltd, 3 Killiney Road, # 08-01 Winsland House I, Singapore 239519.

Copyright © 2014 by Elsevier (Singapore) Pte Ltd.

Copyright © 2014 by Chemical Industry Press

All rights reserved.

This edition is authorized for sale in China only, excluding Hong Kong SAR and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本书中文简体字翻译版由化学工业出版社与 Elsevier (Singapore) Pte Ltd. 在中国大陆境内合作出版。本书仅限在中国境内 (不包括香港特别行政区及台湾地区) 出版及标价销售。未经许可, 不得盗印、出口, 违者必究。

北京市版权局著作权合同登记号: 01-2012-2231

责任编辑: 刘丽宏
责任校对: 吴 静

文字编辑: 向 东
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 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市万龙印装有限公司

710mm×1000mm 1/16 印张 22 $\frac{3}{4}$ 字数 489 千字 2014 年 9 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: 138.00 元

版权所有 违者必究

译者序

浮选药剂手册 (Handbook of Flotation Reagents) 是由 Srdjan M. Bulatovic 编辑, 由 Elsevier Science & Technology Books 出版社出版发行的。

全书共 25 章, 分为上、下册。上册内容涉及选矿药剂的分类、结构、效能和应用条件等理论以及各种硫化矿选矿药剂应用实例。下册为三稀 (稀土、稀有、稀散) 金属矿及有色金属氧化矿选矿的应用实例, 从编排上不同于以往的选矿药剂书籍, 也不同于以往的选矿工艺技术方面的论著, 二者在结构上前后呼应、有机融合, 突出了实用性和新颖性, 对选矿中浮选药剂的选择和浮选工艺的确定具有很强的参考价值。该书对当时的技术进行了较为全面的总结和归纳, 对浮选药剂的发展趋势进行了预测, 对浮选药剂的发展和选矿技术的进步可以提供较好的指导作用。

该手册通过对各种常用的选矿药剂和新型结构的选矿药剂的分析入手, 进而对各种选矿药剂的应用条件和应用结果进行了总结, 以各种多金属矿石的分离药剂制度作为实例, 对多金属矿石的浮选分离技术进行了总结和归纳, 不仅可以作为研究人员的工具书, 而且可以作为相关专业研究生学习的指导书。书中所举实例仅限所处理的那一类矿石, 有一些化学药剂或技术内容可能仅限于国外, 译者对此进行了适当说明, 敬请读者参考时注意。

参加本书译校工作的有北京矿冶研究总院的魏明安、郑桂兵、刘建远、宋振国、田祎兰、朱阳戈、卢烁十、周东琴、罗思岗、张行荣、吴桂叶、叶岳华、谭鑫、张杰、朴永超、苏建芳、胡志凯、王荣生和孙志健等。译稿最后由魏明安、刘建远审阅。

由于我们的水平有限, 书中不妥之处恳请读者批评指正。

译者
2014 年 1 月

前 言

正如我们所知道的那样，没有药剂就没有浮选，没有浮选就没有现代矿业的发展，因此，矿物加工所用药剂是泡沫浮选过程中不可分割的一部分。关于药剂、药剂化学和药剂应用的发展存在于许多书籍、文章和专利中，尽管如此，选矿厂的研究人员和开发处理新矿石的药剂制度以及改善现有流程的工作者仍然严重依赖甚至只能依赖化学品公司为他们选择特定的捕收剂或抑制剂以及他们的技术服务。不幸的是，选矿药剂制度不仅仅包括捕收剂和起泡剂。选矿厂矿浆溶液化学是一个相互作用的复杂的系统，它涉及所有添加的药剂，包括捕收剂、抑制剂、活化剂，pH调整剂及起泡剂之间的关系，而且最重要的是这些药剂与矿石中可溶性成分以及蚀变矿物表面的关系。

1992年，R. D. Crozier 主张，选矿药剂制度开发人员必须理解表面化学。这个建议对致力于使用纯矿物进行基础研究的人可能是正确的，但不是针对那些应用研究人员。表面化学已经并将仍是浮选过程中一个重要的部分，但即使我们理解纯矿物的表面化学，同样的矿物质在自然环境中将有很大的不同。对药剂制度开发和New药剂发展意味着为了开发或改善某一个选厂特定的矿石选矿药剂制度，我们必须学习如何解读在实际选矿厂中浮选药剂的交互作用。浮选基本原理这些知识有助于我们解决这些问题吗？在某种程度上，当我们处理的是一个相对简单的矿石，这些基本知识是有帮助的。当一个特定的药剂没有达到它理论上所说的效果时，例如，如果氰化物不抑制闪锌矿或一个特定的捕收剂没有药剂生产厂家所描述的选择性时，那么厂家会说“这个矿不能适应这本书所列药剂”，这时就需要实际矿石的选矿试验。

当处理大规模的硫化矿石如斑岩铜矿石以及含斑岩铜矿的多金属矿石时，浮选厂运行就形成了一个巨大的数据库。当矿石中因硫化铁矿物变成主要脉石而变得更为复杂时，这些数据库只能成为生产的统计数据，但不能作为选矿厂处理方案。

这本书是常用浮选化学试剂基本知识的浓缩，适用于使用这些药剂的矿物加工与冶金方面的研究者和工厂中的专家学者。浮选药剂不仅是捕收剂和起泡剂，而且包括同样大量的改性剂、调整剂、抑制剂和活化剂。这后一组的浮选药剂经常被忽视基础研究。为特定的矿石诊断开出处方这不是本书的意图，而是希望通过某种方法，总结多年的实验室和工厂研究中应用不同药剂制度的经验。

那些相信浮选技术是通过“工业运行的经验和教训，而很少是基于基础研究”得以发展的人，可能已经忘记了这些运行的工厂也会得到不好的技术指标。必须指出，基础研究可以给那些参与工艺开发和设计的研究人员和工程师提供指导。

然而，混淆源自于这样一个事实，那些给定的矿物浮选性能当与不同的脉石共

生时会经常改变。这可以通过研究斑岩铜矿石中黄铜矿的可浮性以及块状硫化铜矿石中的黄铜矿和混合矿石中的黄铜矿的浮选行为加以说明。斑岩铜矿中黄铜矿很容易用任何硫醇捕收剂浮选获得高回收率。然而从块状硫化铜矿石中浮选黄铜矿的行为是截然不同的，可浮性取决于捕收剂类型、pH 值调整剂以及抑制剂类型。当存在磁黄铁矿时，黄铜矿的可浮性进一步减小。

对一个特定的矿物，矿石中所有成分对其浮选性能都有一定的影响，一个矿物加工流程与药剂制度的开发，不可能只应用基础研究而得到。应用研究的主要目的是将浮选相关化学和物理基础知识与工厂生产的经验结合，来确定实验室或工业生产的矿物加工技术条件。

(郑桂兵译，魏明安校)

总 目 录

上 册

第 1 章	浮选药剂的分类	1
第 2 章	捕收剂	3
第 3 章	起泡剂	32
第 4 章	调整剂	40
第 5 章	絮凝剂	60
第 6 章	浮选理论概述	64
第 7 章	浮选捕收剂吸附机理	94
第 8 章	无机调整剂及其相互作用	116
第 9 章	有机调整剂及其相互作用	142
第 10 章	浮选起泡剂	157
第 11 章	分散剂、凝聚剂和絮凝剂	165
第 12 章	硫化铜矿的浮选实践	180
第 13 章	铜锌矿浮选实践	227
第 14 章	铅锌矿浮选实践	251
第 15 章	铜铅锌矿浮选实践	288
第 16 章	镍矿及铜镍矿浮选实践	314

下 册

第 17 章	含金矿石的浮选	1
第 18 章	铂族金属矿石的浮选	16
第 19 章	氧化铜与氧化铜钴矿的浮选	40
第 20 章	硫化氧化混合铅锌矿和氧化铅锌矿浮选	58
第 21 章	锡矿浮选	77
第 22 章	铌矿浮选	97
第 23 章	钽铌矿浮选	110
第 24 章	稀土矿物的浮选	130
第 25 章	钛矿物浮选	151

目 录

第 1 章 浮选药剂的分类	1
第 2 章 捕收剂	3
2.1 分类	3
2.2 羟基捕收剂	5
2.2.1 羧酸类	6
2.2.2 烷基硫酸盐类	8
2.2.3 磺酸盐类	9
2.2.4 羟肟酸类	9
2.2.5 磺化琥珀酸酯和磺化琥珀酰胺酸盐类	10
2.2.6 磷酸	11
2.2.7 磷酸酯	12
2.2.8 巯基捕收剂	12
2.2.9 含硫和氮的碳酸衍生物	13
2.2.10 二硫代磷酸盐类	20
2.2.11 三硫代碳酸酯类和取代的巯基苯并噻唑	21
2.3 黑药类	21
2.3.1 矿石浮选中的螯合药剂	23
2.4 阳离子捕收剂	24
2.4.1 脂肪胺	25
2.4.2 醚胺	27
2.4.3 胺类缩合物	27
2.4.4 胺类阳离子表面活性剂	27
2.4.5 两性捕收剂	28
2.5 不电离的药剂	29
参考文献	29
第 3 章 起泡剂	32
3.1 起泡剂的界定和性质	32
3.2 捕收剂对泡沫性能的影响	32
3.3 起泡剂的分类	33
3.4 酸性起泡剂	33
3.4.1 苯酚	33
3.4.2 烷基芳基磺酸盐	34
3.5 碱性起泡剂	35
3.6 中性起泡剂	35
3.6.1 脂肪醇类	35
3.6.2 环醇类	36

3.6.3 烷氧基烷烃	37
3.6.4 聚乙二醇醚	37
3.6.5 聚丙烯乙二醇醚	38
3.6.6 聚乙二醇甘油醚	38
参考文献	38
第4章 调整剂	40
4.1 调整剂的分类	40
4.2 调整剂的作用	41
4.3 无机调整剂	41
4.3.1 酸和碱	41
4.3.2 盐类药物	44
4.4 有机调整剂	51
4.4.1 有机聚合物	51
4.4.2 有机酸——羧酸	56
4.5 螯合物作为调整剂或脉石抑制剂	57
参考文献	58
第5章 絮凝剂	60
5.1 简介	60
5.2 絮凝剂、混凝剂和分散剂的分类	60
5.2.1 无机絮凝剂	60
5.2.2 有机絮凝剂	61
5.3 一般应用	62
参考文献	63
第6章 浮选理论概述	64
6.1 引言	64
6.2 三相体系及其在浮选中的重要性	65
6.2.1 矿物颗粒相	65
6.2.2 液相	66
6.2.3 气相	68
6.3 浮选理论	68
6.3.1 界面电性、双电层和 Zeta 电位	70
6.3.2 吸附理论	73
6.3.3 胶体化学和胶体吸附——Hemimicelle 理论	74
6.4 矿物加工中的润湿性和接触角	75
6.4.1 润湿性与接触角的关系	76
6.4.2 接触角定义	76
6.5 疏水性和气泡矿化	78
6.5.1 疏水性	78
6.5.2 气泡矿化	80
6.5.3 气泡矿化动力学	84
6.5.4 浮选速度	85
参考文献	91
第7章 浮选捕收剂吸附机理	94

7.1 引言	94
7.2 研究方法	95
7.3 捕收剂吸附条件	96
7.4 巯基捕收剂吸附机理	98
7.4.1 巯基捕收剂在溶液中的性质	98
7.4.2 吸附机理	100
7.4.3 浮选条件下的硫化矿物表面	101
7.5 非巯基捕收剂吸附机理	104
7.5.1 非巯基捕收剂溶液性质	104
7.5.2 表面活性剂吸附机理	108
7.5.3 影响表面活性剂吸附的因素及其与浮选的关系	111
参考文献	113
第8章 无机调整剂及其相互作用	116
8.1 引言	116
8.2 硫化矿浮选中调整剂的作用	117
8.2.1 调整剂的活化作用	117
8.2.2 调整剂的抑制作用	122
8.2.3 氢氧根离子和氢离子	131
8.2.4 氧气在硫化矿浮选中作为调整剂	133
8.3 非金属矿浮选中调整剂的作用	134
8.3.1 含二价硫的调整剂	135
8.3.2 硅酸钠	136
8.3.3 氟化物	137
8.3.4 金属阳离子	138
8.3.5 无机离子的作用	138
参考文献	139
第9章 有机调整剂及其相互作用	142
9.1 引言	142
9.2 聚合物吸附理论概述	142
9.2.1 理论模型	142
9.2.2 Scheutjens-Fleer 点阵模型	143
9.2.3 标度理论	144
9.3 聚合物性质对其作为抑制剂的影响	144
9.3.1 聚合物与单体对比	144
9.3.2 官能团类型的影响	145
9.3.3 硬脂官能团效果和稳定性	145
9.3.4 电荷密度	145
9.4 聚合物作为抑制剂的作用	146
9.4.1 非离子型聚合物作用	146
9.4.2 阴离子聚合物	150
9.4.3 阳离子聚合物	152
9.5 结语	154
参考文献	155

第 10 章 浮选起泡剂	157
10.1 引言	157
10.2 起泡剂作用原理	158
10.3 起泡剂作用机制	159
10.3.1 起泡剂和气泡在浮选矿浆中的分散	160
10.3.2 起泡剂和矿浆中气泡上升速率	160
10.4 两相泡沫	160
10.5 三相泡沫	161
10.6 捕收剂存在时起泡剂的作用	163
参考文献	164
第 11 章 分散剂、凝聚剂和絮凝剂	165
11.1 引言	165
11.2 分散剂	166
11.2.1 分散剂的作用	166
11.3 选择性凝聚	168
11.3.1 概述	168
11.3.2 DLVO 理论在选择性凝聚中的应用	168
11.3.3 选择性凝聚在双矿物混合体系中的应用	169
11.4 絮凝剂	171
11.4.1 絮凝剂的作用	171
11.4.2 絮团的生长速度、破坏和流体动力学效应	173
11.4.3 矿物加工中絮凝剂的作用	175
11.5 选择性絮凝	175
11.5.1 概述	175
11.5.2 聚合物选择性吸附的机理	176
11.5.3 矿物加工中选择性絮凝的应用	176
参考文献	178
第 12 章 硫化铜矿的浮选实践	180
12.1 铜矿物和铜矿石	180
12.2 地质学和矿物学组成综述	180
12.2.1 斑岩铜矿和铜钼矿	180
12.2.2 硫化铜矿和铜金矿	182
12.3 各种铜矿物和相关硫化物的浮选特性	183
12.4 铜矿和铜钼矿的浮选实践	187
12.4.1 磨矿对选别的影响	188
12.4.2 斑铜矿和铜钼矿浮选药剂制度	190
12.4.3 斑岩铜钼矿中钼的浮选和分离	195
12.4.4 选厂的药剂制度和影响冶金的因素	197
12.4.5 斑岩铜矿和铜钼分离的浮选工艺流程	203
12.5 硫化铜矿和铜金矿的浮选实践	206
12.5.1 硫化铜矿的浮选	206
12.5.2 铜金矿石浮选	210
12.5.3 块状硫化铜矿石的浮选	219

参考文献	225
第 13 章 铜锌矿浮选实践	227
13.1 浮选相关的铜锌矿的一些地质学和矿物学特征	227
13.2 铜锌矿石的浮选特性	228
13.3 含中低硫化铁的铜锌矿石的浮选药剂实践	229
13.3.1 药剂制度——调整剂和抑制剂	229
13.3.2 药剂制度——捕收剂和起泡剂	232
13.3.3 选厂药剂制度	236
13.4 块状硫化铜锌矿石浮选药剂实践	237
13.4.1 工艺选择	237
13.4.2 处理块状硫化铜锌矿石选矿厂的药剂制度和选别指标	240
13.5 难选铜锌矿石	244
13.5.1 刚果的 Lubumbashi 铜锌矿	245
13.5.2 日本的 Hanaoka 铜锌选厂	245
13.5.3 加拿大 Kutcho Creek 铜锌矿	246
13.5.4 南非 Maranda LCV 铜锌矿	247
13.6 铜锌砂卡岩矿石的浮选	248
参考文献	249
第 14 章 铅锌矿浮选实践	251
14.1 引言	251
14.2 铅锌矿石的一般地质学和矿物学特征	251
14.3 铅锌矿石的浮选特性及根据可选性的矿石分类	254
14.4 铅锌矿石处理流程及药剂制度	255
14.4.1 粗粒铅锌矿石的处理	255
14.4.2 粗粒铅锌硫化矿的处理	257
14.4.3 氧化铅锌矿和蚀变铅锌矿的处理	275
14.4.4 难选铅锌矿石的处理	279
14.4.5 铅锌银矿石的处理	279
参考文献	286
第 15 章 铜铅锌矿浮选实践	288
15.1 铜铅锌矿石起源综述	288
15.1.1 热液脉状型矿床	288
15.1.2 沉积型矿床	289
15.1.3 块状硫化物矿床	289
15.2 铜铅锌矿石的处理及影响处理方法的因素	290
15.3 铜铅锌顺序浮选工艺的药剂实践	292
15.3.1 采用二硫化物法进行铜铅锌顺序浮选	293
15.3.2 采用碳酸钠-亚硫酸法进行铜铅锌优先浮选	293
15.3.3 铜铅锌优先浮选中的石灰-淀粉-SO ₂ 抑制体系	294
15.3.4 采用铜铅锌优先浮选的选厂	295
15.4 铜铅混选工艺的药剂实践	297
15.4.1 采用铜铅混合浮选工艺的铜铅锌矿选矿工艺流程	297
15.4.2 铜铅混选-再选锌工艺药剂综述	298

15.4.3 铜铅分离方法	300
15.5 铜铅锌混合浮选工艺及铜铅锌再分离	305
15.6 铜铅分离尾矿铅精矿再选	306
15.6.1 铜铅分离尾矿杂质正浮选	307
15.6.2 铜铅分离尾矿选铅	307
15.7 铜铅混合浮选法的药剂制度	308
参考文献	313
第 16 章 镍矿及铜镍矿浮选实践	314
16.1 矿石类型及矿物学	314
16.2 镍矿及铜镍矿选矿技术概述	315
16.3 镍矿及铜镍矿石浮选工艺特点	316
16.4 镍及铜镍矿石浮选药剂实践	317
16.4.1 镍矿的硫化物混合浮选	317
16.4.2 铜镍矿石浮选	322
16.4.3 铜镍矿石顺序优先浮选	330
16.4.4 铜镍分离	332
16.4.5 处理铜镍矿石和镍矿石的其他工艺流程	335
16.5 冰铜浮选	337
16.5.1 转炉冰铜分离采用的药剂和工艺流程	338
16.5.2 富硫冰铜分离采用的药剂和工艺流程	339
16.6 镍矿选矿厂实践	340
16.6.1 工艺流程	340
16.6.2 主要选矿厂的药剂制度	341
16.6.3 选别结果	342
16.7 铜镍矿选矿厂实践	343
16.7.1 铜镍矿选矿工艺流程	343
16.7.2 用于处理铜镍矿石的药剂制度	344
参考文献	348

第 1 章 浮选药剂的分类

药剂是矿物浮选过程中最重要的因素之一。在进行浮选工艺优化的最初阶段，主要在于使用更优良的浮选药剂。为了得到有效的分离和提纯效果，在工艺优化处理过程中，大量的时间、精力和注意力都集中在药剂的选择上。在工业生产中，控制药剂添加是浮选流程中最重要的工作之一。

现代药剂的分类是基于该类药剂的特定功能，基于此，选矿药剂可分为捕收剂、起泡剂、调整剂和抑制剂。成千上万的化学药品被证明或者预测可以作为浮选药剂。但是目前，这些药剂中只有几百种被广泛地应用于浮选中。

捕收剂是化学组成和功能各不相同的一大类有机化合物。捕收剂的基本作用是在浮选矿浆中特定矿石表面选择性地形成一个疏水层，从而为疏水颗粒附着在气泡上并进一步在泡沫产品中回收这些颗粒提供条件。

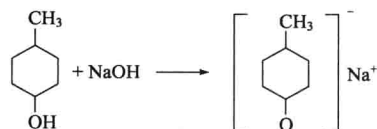
根据捕收剂在水中的解离能力，将捕收剂分为截然不同的类别。离子型捕收剂由异极性有机分子组成，根据其所携带的不同电荷，捕收剂呈现出阳离子或者阴离子的特征。基于阴离子捕收剂亲固基的性质，将其进一步分为羟基捕收剂和巯基捕收剂。

阳离子捕收剂是氨基被质子化的化合物。胺类中的伯胺是最重要的浮选捕收剂（例如 $R-NH_2$ ）。

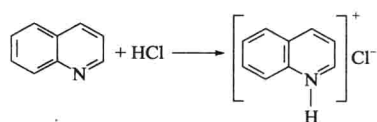
非离子型捕收剂同样分为两类。第一类是含二价硫的药剂，第二类包含非极性烃油。

起泡剂是一类异极性表面活性剂，可以降低水的表面张力，并吸附在气泡-水界面。它们在液相中的存在可以增加气泡的膜强度，因此为疏水颗粒与气泡的附着提供条件。表面张力的影响也影响气泡的大小。某些起泡剂的效果高度依赖于矿浆的 pH 值。当起泡剂以分子形式存在时可以呈现最佳效果。

例如，甲酚在高 pH 值时转化为离子化合物，此时不能作为起泡剂应用：



喹啉在酸性条件下形成离子状态，具有很弱的起泡功能：



基于起泡剂在不同 pH 值下所表现的效果（即：起泡剂表现出最佳效果的 pH

值），将起泡剂分为酸性起泡剂和中性起泡剂：酸性起泡剂起泡能力随着矿浆 pH 值从酸性增加到碱性而下降；中性起泡剂的起泡能力不依赖于矿浆的 pH 值。

酸性起泡剂属于以下两类化合物：酚（甲酚、二甲酚）和烷基磺酸盐（表面活性剂）。

中性起泡剂是起泡剂中最重要的一类。这类起泡剂可以分为如下几类：环醇、脂肪醇、醚类和乙二醇类。

调整剂：活化剂、抑制剂和 pH 调整剂经常在文献中作为浮选过程中的调节剂或调整剂而被提及。这些药剂的主要作用是调整捕收剂在矿石表面的作用，从而控制浮选过程的选择性。在调整剂存在时，捕收剂仅仅吸附在目的矿物颗粒上。

在特定情况下，调整剂直接与矿物表面反应（硫酸铜与闪锌矿），并且为矿物与捕收剂的相互作用提供条件，这种药剂称为活化剂。某些调整剂可以降低吸附有捕收剂的特定矿物的疏水条件，或者可以使其表面亲水化，这些药剂被称为抑制剂。活化剂和抑制剂都可以是无机化合物或有机化合物。

第三类调整剂是 pH 调整剂。其目的是通过改变矿浆中氢离子的浓度，调整矿浆的离子组成。从而增强捕收剂与目的矿物之间的相互作用，降低捕收剂与非目的矿物之间的相互作用。pH 调整剂同时也可以作为抑制剂（如石灰和一些有机酸类）。

调整剂的分类是非常灵活的。例如，某些调整剂在特定条件下表现为抑制剂，而在另外一些条件下可以作为活化剂。另一类重要的药剂是分散剂，由于具有多种功能而不能归类于任何一类调整剂中。分散剂添加到含有细泥或黏土的矿浆中可以作为清洗介质，还可以改善特定矿物的浮游速率和减少捕收剂的过量消耗。

絮凝剂是具有不同极性基团的天然或合成聚合物。通常具有从 20000 到几百万的分子量，它可以是电解质和非电解质。基于絮凝剂在水中解离的方式，其可以大致分为以下几组：

- ① 阴离子聚合电解质在水中解离成复杂的聚合物阴离子和简单的阳离子（ Na^+ 、 NH_4^+ 、 K^+ 等）；
- ② 阳离子聚合电解质解离成聚合物阳离子和阴离子（ Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 CH_3COO^- ）；
- ③ 两性聚合电解质是含有阴离子和阳离子基团的聚合物；
- ④ 非离子聚合物包含没有附着阴离子或阳离子的极性基团。

（吴桂叶译，郑桂兵校）

第 2 章 捕收剂

2.1 分类

广义上来讲，捕收剂可以被定义为有机化合物，分子结构包含非极性基团和极性基团。

捕收剂分子的非极性部分是烃基，不能与水分子反应，因而是疏水的。与非极性部分相反，极性部分可以与水反应。这种异极性分子结构的一个典型例子就是油酸钠（图 2.1）。

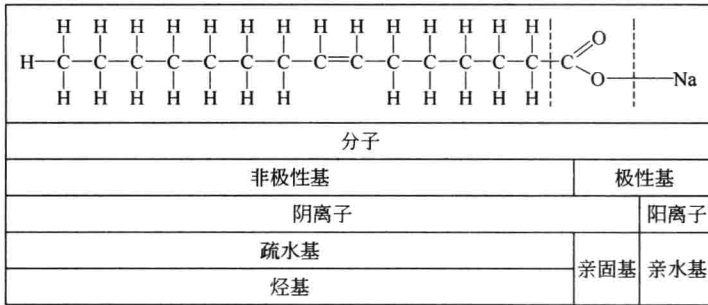


图 2.1 油酸钠分子结构

捕收剂的结构和组成决定了其与水偶极子有关的活性。在捕收剂吸附于矿石表面的过程中，捕收剂的非极性基团指向水相，极性基团指向矿石的表面。在这种取向性作用下，矿石表面呈现防水性（疏水性）。因此，非极性的液态烃（不具有异极性结构）以及不能在水中解离的化合物均可以被用作捕收剂。

因为捕收剂的作用是使矿物疏水，所以这些药剂通常是根据其在水溶液中解离成离子的能力以及提供疏水作用^[1]的离子（阳离子或阴离子）来分类。

当捕收剂解离成阳离子和阴离子时，直接造成疏水作用的部分称为有效疏水离子，另外一部分称为无效（非疏水性）离子。疏水离子结构通常包括一个烃基，烃基的存在保证使矿物表面呈现疏水性。这些烃基无法在自由状态下存在，而且不能直接吸附在矿石表面。因此，疏水基团还要包含另外一个吸附碳自由基的原子团，从而在烃基与矿石表面形成链接。这个链接基团称为亲固基。

捕收剂的疏水效果直接与烃基的长度和结构相关，而亲固基的效果取决于与矿物表面的作用方式、捕收剂的吸附强度和选择性，所有这些都依赖于亲固基的组成

和结构。根据其离子解离性质、矿物和亲固基, Al. Glembocki 与 Plaksin^[2] 将捕收剂分为以下两类:

① 离子化合物, 在水中解离成离子;

② 非离子捕收剂, 即非极性化合物, 主要为烃基化合物, 不溶于水。一致认为, 这些捕收剂通过覆盖在矿物表面的薄膜层使矿物具有疏水性。

大部分的捕收剂都是离子化的, 并分为以下两类 (图 2.2):

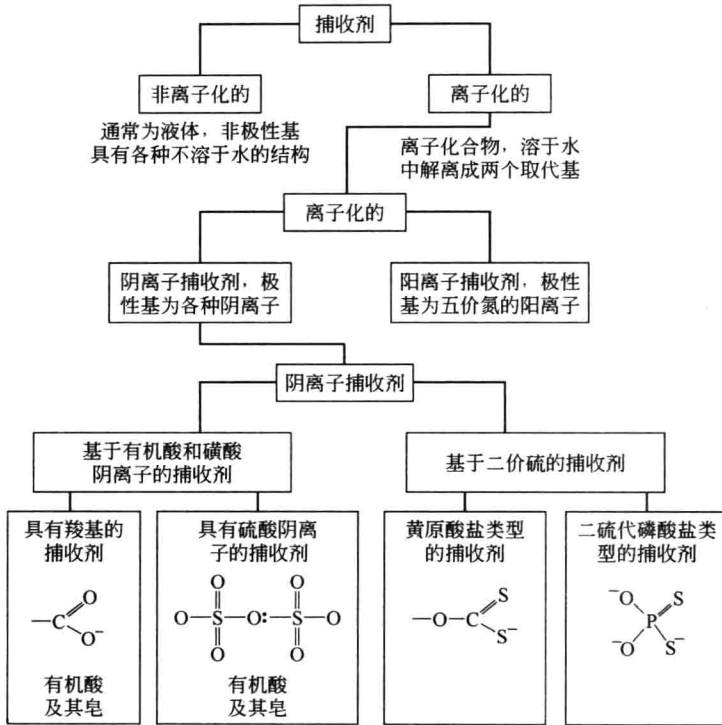


图 2.2 浮选捕收剂分类 (经许可转载于文献 [2])

① 阴离子捕收剂, 其中阴离子使矿物疏水;

② 阳离子捕收剂, 其中阳离子使矿物表面疏水。

阴离子捕收剂是在浮选中应用最广泛的一类捕收剂。这类捕收剂根据亲固基的结构进一步分为羟基捕收剂和巯基捕收剂。其中, 羟基捕收剂的亲固基是有机离子和磺酸根离子, 而巯基捕收剂的亲固基包含二价硫。

最新报道的阴离子捕收剂是有机硫化物类, $R-S-R$, 含有一个活性硫原子, 但没有其他电子供体^[3]。从这一点来看, 这类捕收剂有些介于羟基和巯基捕收剂之间。对于上述捕收剂来说, $R-S-R$ 中的硫在硫化矿物的表面共享其孤对电子与金属离子成键是不常见的。由于硫是唯一的供电子原子, 因此这些捕收剂的捕收效果与矿浆的化学性质密切相关。

两性化合物和螯合型捕收剂不包括在本分类中。