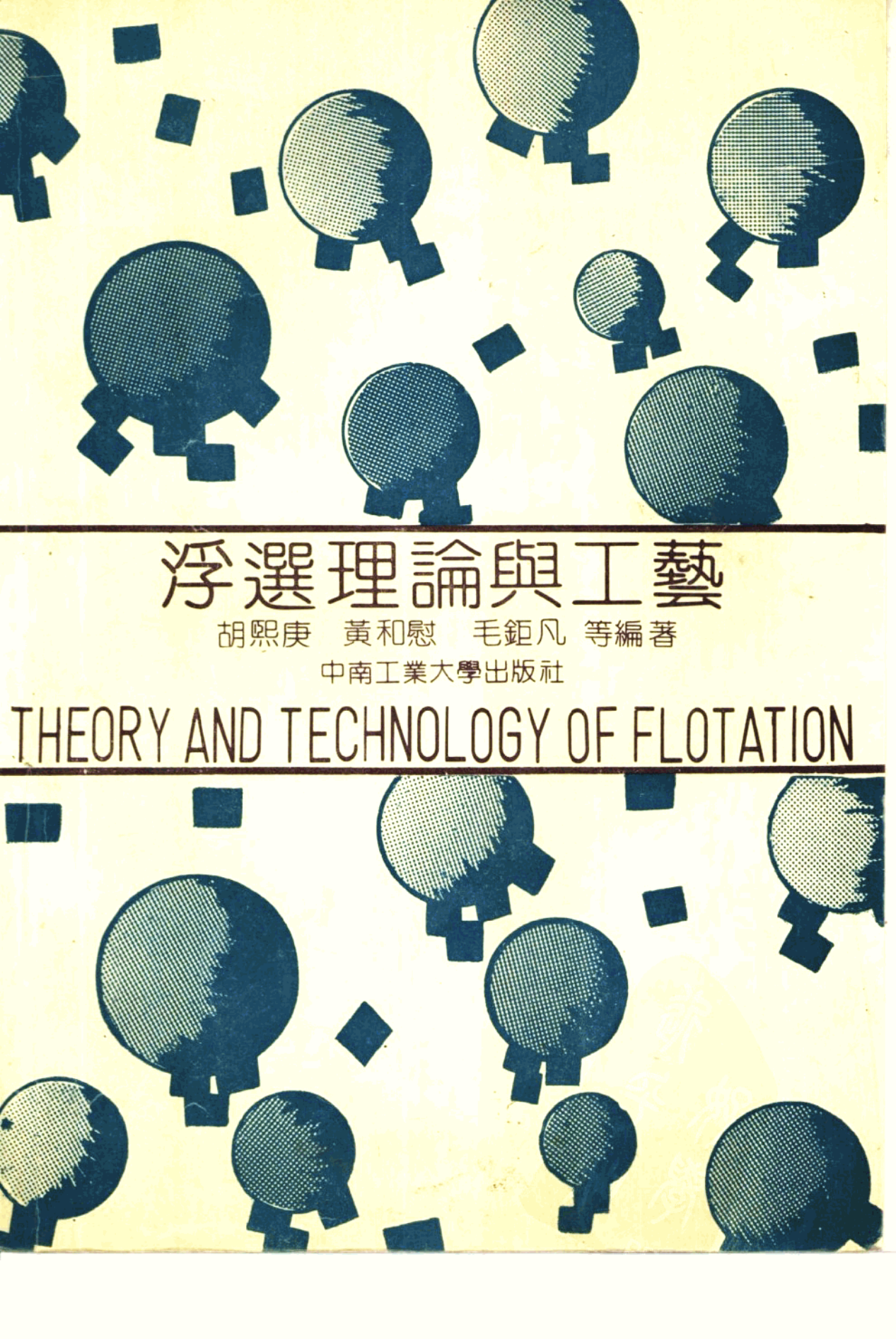




浮選理論與工藝

胡熙庚 黃和慰 毛鉅凡 等編著

中南工業大學出版社

THEORY AND TECHNOLOGY OF FLOTATION

7D923
11-888

浮选理论与工艺

胡熙庚 黄和慰 毛钜凡 等编著

中南工业大学出版社



0000139658W

730399

内 容 提 要

本书较详细地阐述了浮选理论与工艺的主要问题,包括:浮选理论基础,浮选药剂与作用原理,浮选机械与工艺因素以及各类矿石的浮选共四篇。各篇均选取许多新资料,吸取了国内外浮选专著的精华。全书比较全面而又系统地反映出国内外矿石浮选的发展和最新成果,并对一些相互矛盾的资料进行了分析整理,力图归纳总结出较清晰的明确结论。全书内容丰富、系统、实用。

本书可作为高等院校选矿工程专业学生学习有关浮选课程的主要教学参考书,亦可供从事选矿科研、设计以及生产的工程技术人员参考。

湘新登字 010号

浮 选 理 论 与 工 艺

胡熙庚 黄和慰 毛钺凡 编著

责任编辑:曹丽云

插图编辑:刘楷英

*

中南工业大学出版社出版

望城县湘江印刷厂印装

湖南省新华书店发行

*

开本: 787×1092/16 印张: 30 字数: 768千字 插页: 1

1991年9月第1版 1991年9月第1次印刷

印数: C001—4000

*

ISBN 7-81020-397-5/TD·Q25

定价: 15.50元

THEORY AND TECHNOLOGY OF FLOTATION

Hsi-Keng Hu(Hu Xigeng), Huang Hewei and Mao Jufan

SYNOPSIS

This book elaborates the fundamentals of the theory and the technology of flotation and consists of four parts, the fundamentals of the flotation theory, flotation reagents and the mechanisms of their interactions with minerals, flotation machines and the technology of flotation, and flotation of various ores. Each part takes into account the latest specialized literature on the subject published in China and elsewhere. It reflects more completely and systematically the recent developments and the latest achievements in modern flotation. The authors have made every effort to analyze and to rearrange some of the contradictory scientific material already published in order to draw clearer conclusions than previously attempted.

This book is primarily intended for senior students of mineral processing courses in colleges and universities, scientists and mill engineers, as well as for operators in industrial flotation plants.

ABE87 / 01

前 言

浮选理论与工艺近40年来已获得迅速发展,国内外均出版了一些专著。本书旨在论述浮选理论与工艺的基础,并试图系统地全面反映出近代的发展和最新成果。

全书共分四篇:浮选理论基础、浮选药剂及其作用原理、浮选机械与工艺、各种矿石的浮选。本书的特点是:(1)详细地阐述了浮选理论与工艺的主要问题,各篇均选取许多新资料,吸取国内外有关专著的精华,内容翔实;(2)结合作者长期从事浮选教学、科研、生产实践经验和所积累的资料,力图归纳总结国内外矿石浮选的主要成果,并对某些相互矛盾的资料进行比较深入的分析讨论,力求得出较明确的结论;(3)充分注意到本学科的系统性和完整性以及实用性,尽量将理论与实践结合起来。

本书可作为高等院校选矿工程专业学生必修课“浮选”以及选修课“浮选理论”与“浮选药剂”的主要参考教材,亦可供从事选矿科研、设计和生产的工程技术人员以及有关专业的师生参考。

本书由胡熙庚教授、黄和慰副教授及毛钜凡教授主编,参加部分有关章节编写的还有卢寿慈教授(第十二章)、肖云汉高级工程师与杨忠威高级工程师(第十九章)。全书由黄和慰负责统稿,最后由胡熙庚、黄和慰及毛钜凡终审定稿。

本书承蒙李世丰教授与陈万雄副教授(第一篇),见百熙高级工程师(第二篇),孟书青副教授(第三篇)、郭长阁高级工程师与田忠诚高级工程师(第十六章)等进行认真审阅、修改并提出许多宝贵意见,同时也得到湖南省科委陶敏主任、金川有色金属公司王德雍经理及化工部连云港化工矿山设计研究院黄大雨院长的大力支持,特此表示谢忱。

书中不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

1989, 8

目 录

前 言

1 浮选简史及泡沫浮选法	(1)
1.1 浮选发展简介	(1)
1.2 泡沫浮选法的基本过程及其意义	(4)

I 浮选理论基础

1 固相及其浮选性质	(9)
1.1 矿物晶体的断裂面及表面键能	(9)
1.2 矿物表面的不均匀性	(16)
1.3 矿物晶格缺陷	(19)
1.4 矿物的半导体性质	(22)
1.5 矿物的地球化学和结晶化学特性	(28)
2 液相(水)、气相(空气)及其与浮选有关的基本性质	(43)
2.1 液相(水)的主要有关性质	(43)
2.2 气相(空气)的主要有关性质	(48)
3 浮选体系相的相互作用与矿物的可浮性	(50)
3.1 矿物表面的润湿性与可浮性	(50)
3.2 矿物表面的电性质与可浮性	(58)
3.3 浮选体系相界面的吸附现象	(69)
4 气泡的矿化过程	(83)
4.1 气泡矿化过程的热力学分析	(83)
4.2 气泡矿化过程的动力学分析	(87)
4.3 矿粒与气泡聚合体的形式	(95)
4.4 浮选速度	(96)

II 浮选药剂及其作用原理

5 浮选药剂的作用与分类	(105)
5.1 浮选药剂的作用	(105)
5.2 浮选药剂的分类	(106)
6 捕收剂	(110)
6.1 捕收剂的作用	(110)

7.2	捕收剂应具备的基本条件	(112)
7.3	矿物晶体结构特性对捕收剂吸附的影响	(113)
7.4	捕收剂分子的结构特点和极性基对其捕收性能的影响	(120)
7.5	非极性基对药剂捕收性能的影响	(125)
7.6	捕收剂与矿物的相互作用机理	(129)
7.7	硫化化合物类捕收剂各论	(148)
7.8	烃基含氧酸(及其皂)类捕收剂	(165)
7.9	胺类捕收剂	(187)
7.10	两性捕收剂	(191)
7.11	烃类油捕收剂	(193)
8	调整剂	(197)
8.1	调整剂的作用与分类	(197)
8.2	抑制作用与无机抑制剂	(201)
8.3	有机抑制剂	(233)
8.4	活化作用与活化剂	(250)
8.5	矿浆pH值与pH调整剂	(258)
8.6	分散絮凝及分散剂与絮凝剂	(266)
9	起泡剂	(277)
9.1	浮选对起泡剂的要求及其分类	(277)
9.2	起泡剂在矿物浮选中的作用	(280)
9.3	起泡剂的性能及其影响因素	(286)
9.4	常用起泡剂各论	(292)

Ⅱ 浮选机与浮选工艺

10	浮选机	(303)
10.1	对浮选机的基本要求及评定判据	(303)
10.2	浮选机的分类与比较	(305)
10.3	矿浆充气搅拌原理	(308)
10.4	机械搅拌式浮选机	(319)
10.5	充气搅拌式浮选机	(328)
10.6	充(压)气式浮选机	(336)
10.7	气体析出式浮选机	(339)
10.8	浮选机的功耗	(344)
10.9	浮选机的结构及其发展	(346)
10.10	浮选机的工艺计算	(353)
11	浮选过程的工艺因素	(357)
11.1	矿石性质	(357)
11.2	磨矿细度	(358)
11.3	浮选药剂制度	(359)

11.4	矿浆浓度	(363)
11.5	矿浆温度	(365)
11.6	水质及矿浆的液相组成	(366)
11.7	调浆	(369)
11.8	浮选泡沫及其调节	(370)
11.9	浮选机操作的相对稳定性	(375)
11.10	浮选时间	(375)
11.11	浮选流程	(376)
12	矿物粒度对浮选的影响及改善途径	(384)
12.1	粒度对浮选的影响	(384)
12.2	粗粒浮选	(385)
12.3	微粒浮选	(389)

IV 各类矿石的浮选

13	有色金属硫化矿浮选概论	(397)
13.1	有色金属硫化矿的地球化学特点	(397)
13.2	有色金属硫化矿的浮选	(398)
14	含贵金属矿石的浮选	(406)
14.1	含金矿石的浮选	(406)
14.2	含银矿石的浮选	(408)
14.3	含铂族元素矿石的浮选	(409)
15	有色金属氧化矿的浮选	(411)
15.1	有色金属氧化矿的基本特点	(411)
15.2	氧化铜矿石的浮选	(412)
15.3	氧化铅矿的浮选	(414)
15.4	氧化锌矿的浮选	(415)
15.5	氧化和混合铅锌矿的浮选	(417)
16	铁、锰矿石的浮选	(421)
16.1	铁矿石的浮选	(421)
16.2	锰矿石的浮选	(425)
17	锡、钨矿石的浮选	(429)
17.1	锡矿石的浮选	(429)
17.2	钨矿石的浮选	(433)
18	锂、铍、钽、铌矿石的浮选	(442)
18.1	锂矿石的浮选	(442)
18.2	铍矿石的浮选	(445)
18.3	钽铌矿的浮选	(446)
19	磷矿和可溶性盐的浮选	(448)
19.1	磷矿的浮选	(448)

THEORY AND TECHNOLOGY OF FLOTATION

CONTENTS

PREFACE

1 Introduction

Part One Fundamentals of Flotation

2 Solid Phases and Their Flotation Behavior

2.1 Fractures of Minerals and Their Surface Energy

2.2 Heterogeneity of Mineral Surfaces

2.3 Crystal Imperfections of Minerals

2.4 Semiconductivity of Minerals

2.5 Geochemical Features of Minerals and Characteristics of Mineral Genesis

3 Liquid (Water) and Gas Phases(Air) and Their Flotation Behavior

3.1 Liquid Phases (Water) and Their Principal Properties Pertaining to Flotation

3.2 Gas Phases (Air) and Their Principal Properties Pertaining to Flotation

4 Interactions of Phases in the Flotation System and the Flotability of Minerals

4.1 Wettability and Flotability of Mineral Surfaces

4.2 Electric Properties of Solid-Liquid Interfaces and Flotability of Minerals

4.3 Interface Adsorption and Its Relation to Flotation

5 Mineralization Process of Gas Bubbles

5.1 Thermodynamic Analysis of the Mineralization Process of Gas Bubbles

5.2 Dynamic Analysis of the Mineralization Process of Gas Bubbles

5.3 Mechanism for Separating Gas Bubbles from Solutions

5.4 Forms of the Aggregates of Mineral Particles and Gas Bubbles

5.5 Flotation Rate

Part Two Flotation Reagents and the Mechanisms of Their Interactions with Minerals

6 Flotation Reagents and Mechanisms of Their Interactions with Minerals

6.1 Classification of Flotation Reagents and their Effects on Flotation

6.2 Forms of the Adhesion of Flotation Reagents on Solid-Liquid and Gas-Liquid Interfaces

- 7 Collectors
 - 7.1 Classification of Collectors and Their Actions
 - 7.2 Effects of Surface Characteristics of Minerals on Adsorption of Collectors
 - 7.3 Effects of the Molecular Structure and the Polar Groups of Collectors on their Collecting Capabilities
 - 7.4 Effects of The Non-Polar Groups of Collectors on Their Collecting Capabilities
 - 7.5 Mechanism of Interaction between Collectors and Minerals
 - 7.6 Sulphydryl Collectors
 - 7.7 Carboxylic Collectors
 - 7.8 Cationic Collectors
 - 7.9 Amphoteric Collectors
 - 7.10 Oily Collectors
 - 8 Modifiers
 - 8.1 Classification of Modifiers and Their Actions
 - 8.2 Depressants and Their Depressing Actions
 - 8.3 Organic Depressants
 - 8.4 Activators and Their Activating Actions
 - 8.5 Pulp pH Value and pH Regulators
 - 9 Frothers
 - 9.1 Requirements and Classification of Frothers
 - 9.2 Frothing Capacity of Frothers and Their Effects on Flotation
 - 9.3 Functions of Frothers and Their Influencing Factors
 - 9.4 Some Kindsof Frothers
- Part Three Flotation Machines and Technology of Flotation**
- 10 Flotation Machines
 - 10.1 Basic Requirements and Criterion for Evaluation of Flotation Machines
 - 10.2 Classification and Evaluation of Flotation Machines
 - 10.3 Principles for Agitation of the Pulp with Aeration
 - 10.4 Subaeration Machines
 - 10.5 Subaeration Machines with External Blowers
 - 10.6 Column Flotation Machines
 - 10.7 Gas-Separating Flotation Machines
 - 10.8 Power Consumption of Flotation Machines
 - 10.9 Structure and Recent Developments of Flotation Machines
 - 10.10 Technological Calculation of Flotation Machines
 - 11 Technological Factors of the Flotation Process
 - 11.1 Ore Characteristics

- 11.2 Fineness of Grinding
- 11.3 Dosage of Flotation Reagents
- 11.4 Pulp Density
- 11.5 Pulp Temperature
- 11.6 Water Quality and Bulk Composition of the Pulp
- 11.7 Conditioning
- 11.8 Froths and Their Adjustment
- 11.9 Operation of Flotation Machines
- 11.10 Flotation Flowsheets
- 12 Effect of Particle Size on Flotation and the Approach of Improvement
- 12.1 Effect of Particle Size on Flotation
- 12.2 Flotation of Coarse Particles
- 12.3 Flotation of Fine Particles

Part Four Flotation of Various Ores

- 13 Flotation of Non-Ferrous Sulfide Ores
- 14 Flotation of Noble Ores
- 15 Flotation of Lead-Zinc Oxide Ores
- 16 Flotation of Iron and Manganese Ores
- 17 Flotation of Tin and Tungsten Ores
- 18 Flotation of Lithium, Beryllium, Tantalum and Niobium Ores
- 19 Flotation of Phosphate and Soluble Salts
- 20 Flotation of Fluoride, Quartz and Feldspar
- 21 Flotation of Graphite

1 浮选简史及泡沫浮选法

浮选是按表面物理化学性质的差异来分离各种细粒矿物的一种有效方法。根据所利用相界面以及浮选的发展过程不同又可分为泡沫浮选法、表层浮选法和多（全）油浮选法等。目前在工业上获得普遍应用的是泡沫浮选法，因此，通常所说的浮选，就是指泡沫浮选法。

泡沫浮选是一种重要的选矿方法，目前每年经浮选处理的矿石量多达十亿多吨，其应用范围已从硫化矿扩展到氧化矿、非金属矿以及煤炭等，并从矿业逐渐扩展到其它一些新的领域。

1.1 浮选发展简介

在古老的金银淘洗加工过程中，人们已认识到利用矿物的天然疏水性或亲油性的不同来提纯矿物原料。例如，1673年在我国明代（明崇祯丁丑年）出版的《天工开物》一书中就曾描述朱砂的加工过程：“凡次砂取来，其通坑色带白嫩者则不以研朱，尽以升瀝；若砂质即嫩而炼视欲丹者，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；其下沉者晒干即名头朱也。凡升水银或用嫩白次砂，或用缸中跌出浮面二朱，水和搓成大条盘，每三十斤入一釜内升瀝”。即为了把面带金刚光泽而又有红色且不反光的辰砂，分成光泽强的和光泽弱到深红色的两部分，以便分别炼水银及用作朱砂颜料，所用的分选方法就是“表层浮选法”。同时，该书还描述从废旧物中的选金过程：“刮削火化，其金仍藏灰内。滴清油数滴，伴落聚底，淘洗入炉，毫厘无恙”，这类似于“全油浮选法”。据记载，远在上古时代（约2000多年前）在地中海一带也有人利用粘上油脂的鹅毛从砂矿中选取金粒。

然而，浮选作为一种工业规模的选矿方法出现，在国外大约是在19世纪末叶，当时西方国家工业发展迅速，急需更多的矿物原料。为了能从以前大量堆积的重选废弃尾矿中回收有用金属矿物，以及能较有效地从细粒浸染的贫矿或从组成较复杂的多金属矿石中选出精矿产品，浮选法才开始在工业上出现，并不断得到发展和完善。特别是近几十年来，由于成功地找到了许多新的浮选药剂（首先是表面活性物质）以及近代工业的迅速发展，浮选工业亦随之获得长足的进步。

1.1.1 全油浮选法

根据各种矿物亲油性及亲水性的不同，加大量油类与矿浆搅拌，然后将粘附于油层中的亲油矿物（如硫化矿物）刮出，而亲水性的矿物（如脉石矿物）则仍留在矿浆中，从而达到分离矿物的目的，这也是早期工业浮选的先驱。使用粘性的粗石油将硫化矿物与脉石分离的专

利出现于1860年，并曾在生产中用于选别含贵金属的硫化铜矿石。1886年出现另一个专利，提出除往矿浆中加入大量烃类油作浮选剂外，把建议往含大量碳酸盐矿物的矿浆中加入硫酸产生气泡，以改善硫化矿物与脉石矿物的分选效果。

1902年提出与上述类同原理的“团粒法”。该法的特点是加入较少量的油（约为原矿量的2%~4%），并配合使用皂类，使矿浆中的硫化矿物选择性地絮凝成较大的团粒，而矿浆中的脉石因亲水而不与油、皂起作用，因此，用水即可冲走呈分散状态的脉石，使之与团粒分离。

全油浮选法因工艺技术简单，且效率较低，特别是烃类油的消耗量太大，因而被泡沫浮选法所取代。

1.1.2 表层浮选法

表层浮选法在工业上的应用出现于1892年，其特点是将磨细的干矿粉（如硫化铜矿）小心地轻轻撒布在流动的水流表面，这时不易被水润湿的疏水性硫化矿粒依靠表面张力的支持而漂浮在水面上，并聚集成硫化矿物薄层，收集后即即为精矿，而易被水润湿的亲水性脉石矿物则沉入水中作为废弃尾矿排出。

为了提高硫化矿物的可浮性，使分选过程更为有效，在进行表层浮选时也加入少量的烃类捕收油（如按原矿量计算的1/5000），并于1940年曾用该法生产出30多万吨锌精矿。

表层浮选法尽管耗油量不大，但所用的机械设备生产能力较小，工艺技术简单、分选的气-液界面小、效率低，后来也被泡沫浮选法所取代。

1.1.3 泡沫浮选法

为了提高浮选的分选效率及降低油耗，提出利用气泡作为矿物载体和增加气-液分选界面的泡沫浮选法。

1877年出现选别石墨矿的泡沫浮选专利。将磨碎的矿石与大约1%~10%（按原矿量计算）的石蜡油或油脂混合，然后再加水煮沸得水蒸气气泡使石墨矿粒浮出。但当时人们并未意识到将气泡作为分选界面以及矿粒运载体的重要性，直到1886年出现用酸与碳酸盐矿物产生气泡进行浮选的专利后，人们才明确认识到在浮选过程中气泡的作用，并相继出现许多产生气泡的方法。用气泡代替油滴作为矿粒载体后，出现了用油量低于8 kg/t矿石的专利，以后并降低到120~800 g/t矿石左右，随后还陆续发现，不同油类物质的浮选性能并不完全相同。

20世纪初（1901年），首先在澳大利亚采用比较原始的泡沫浮选法，用于处理多年来积累的品位高达20% Zn的重选废弃尾矿（主要为闪锌矿），并生产出600多万吨品位达42% Zn的锌精矿。该法的特点是将含有碳酸盐类脉石的干尾矿物料，放入热稀硫酸溶液中，因发生化学反应产生CO₂气泡，经油作用过的闪锌矿便粘附在CO₂气泡表面并被携带到矿液面，刮出后即得泡沫产品（锌精矿），这就是当时所谓的用化学方法产生气泡的“气体浮选法”。大约在同一时期，意大利也采用了类似的气体浮选法。

利用气泡增加气-液界面并携带矿粒上浮，使浮选法大大向前推进一步，并出现了许多形式的泡沫浮选法，其中主要有如下几种：

a. 气体浮选法（如上所述）。

b. 电解浮选法。1904年曾提出电解水产生气体，但当时在工业上并未得到应用。目前却被用于工业污水及某些轻工、食品工业产品生产废水的净化和用于研究微细粒矿物的微泡浮选新工艺。

c. 真空浮选法。此法于1904年提出，并曾在工业上获得大规模的应用。该法的实质是在矿液面上抽气造成真空，使原先溶于矿浆中的气体以气泡形式析出。

d. 正压力浮选法。此法先对矿浆加压促进空气溶解，然后减至普通大气压，使溶解的空气呈气泡析出。但当时此法在工业上也未得到正式应用。目前已被广泛用于新型气体析出式浮选机。

e. 用机械搅拌装置粉碎空气流产生气泡法。1906年出现利用叶轮对矿浆进行剧烈搅拌，将大气中的空气直接吸入以产生气泡进行浮选的专利；1910年出现工业用机械搅拌式浮选机。当时，机械搅拌式浮选机叶轮的转速虽不高（只 $300\text{r}/\text{min}$ ），但由于叶轮在矿浆中急速旋转，在转轴周围形成“空气漏斗”，同时在叶轮的轴心附近形成负压，于是大气中的空气经“空气漏斗”被吸入矿浆中，并被叶轮的搅动割裂弥散成细小气泡。以后又制造出一些气升式浮选机，由多孔底板直接通入空气（1914年），或经浸入矿浆中的管子直接鼓入空气等。

上述产生气泡的方法和设备，除了用化学方法产生气泡，因受矿石条件限制外，其它几种方法近代都有新的发展，特别是近20年来，浮选设备不断更新、且日益大型化和多样化。

1.1.4 药剂在浮选发展过程中的作用

在浮选发展过程中，药剂的应用与发展起了巨大的推动作用。

1909年出现采用有机起泡剂如酮、醛及酯的专利，继之又出现松油和醇类起泡剂。

在1915~1922年间，捕收剂（即当时的捕收油）这一词意，通常是指某些对欲浮矿物具有捕收性能的非起泡性油类。但自1921年后，便发现了含三价氮和含二价硫的可溶性（或水溶性较小）有机化合物可代替油类捕收剂，特别是1925年发现黄药可作为硫化矿物的有效捕收剂，使浮选效果显著提高，大大促进硫化矿浮选的发展，并在20世纪30年代使浮选成为矿物加工的一个重要工序。黄药的应用，当时在矿物加工史上是最引人注目的一项成果，甚至被视为标志着浮选工艺的革命，从而结束了仅使用油类作为唯一捕收剂的历史发展阶段。1924年出现用皂类捕收剂回收氧化矿物的专利；1935年又出现胺类阳离子捕收剂。由于各种有机合成捕收剂的相继出现，浮选的适用范围日益扩大，不但用于处理硫化矿物，也可处理非硫化矿物。

为了实现多金属矿物的选择性分离，发现某些无机盐类药剂对改善硫化矿物的分离或改善非硫化矿物的浮选均有重要作用。1903年采用 Na_2SO_4 （无水芒硝），1905年出现用碱金属硫化物或多硫化物处理有色金属氧化矿专利，1912年发现重铬酸盐对方铅矿的抑制作用；1913年发现硫酸铜能提高闪锌矿的可浮性，随后并发现 SO_2 可抑制闪锌矿，因而开始了对硫化矿物的优先浮选。继之又发现石灰对黄铁矿有显著的抑制作用，特别是在1922年发现氰化物的选择性抑制作用，使多金属硫化矿的优先浮选更为有效。1923年发现硫化物（如硫化钠），1924年发现亚硫酸盐等无机盐类在多属硫化矿的分离浮选中均可作为抑制剂使用。特别是近

代,许多新型特效药剂不断出现、使分选效率大为提高,并推动了浮选理论与工艺的迅速发展。

由于酸性介质对设备有较大的腐蚀作用,在1921年开始采用碱性介质进行硫化矿物的浮选。1929年前后认识到浮选回路中矿浆酸碱度的重要性,随后便引起了对浮选矿浆pH值控制的重视。

1.1.5 浮选应用的发展

上述各类浮选药剂的相继出现和应用以及浮选工艺的某些新进展,首先是使硫化矿的浮选获得重大发展。例如1913年以前,当时重选是最主要的选矿方法,但该法不能有效地回收铅锌硫化矿中的目的矿物,致使多年来堆积了大量的铅锌废弃尾矿。后来由于相继发现上述浮选药剂并具体用于生产实践,结果不仅使铅锌矿的分选问题获得较好解决,而且使许多其它复杂的多金属硫化矿也可以进行浮选分离,以前认为无法处理的某些细、贫矿石,也可用浮选法进行分选。各种硫化矿浮选的发展,标志浮选工艺获得很大进展,扩大了世界各地有经济价值硫化矿物的储量。

继硫化矿之后,在非硫化矿浮选方面,例如,用于处理难溶金属氧化物、磷酸盐矿物、水泥岩(烧制水泥用)、可溶性盐类(如钾盐矿物等)、萤石以及重晶石等均已取得比较满意的效果,在分离硅酸盐类矿物以及浮选有色金属氧化矿物等方面也获得成功。此外,1940年左右煤泥也大规模地应用浮选法处理。

为回收硫化矿的粗矿粒,1934年后开始采用重力浮选法(俗称浮游重选、或团粒浮选、气絮团浮选等)。即将矿浆加药搅拌后,使粗粒的硫化矿物与许多个小气泡粘附成“气絮团”(粗矿粒与小气泡构成的集合体),然后在摇床上或按表层浮选法将“气絮团”浮出,使粗粒硫化矿物与不絮团的其它矿物分开。

对于微细矿粒的浮选,一方面研究如何产生“微泡”,另一方面研究如何使微粒变大,其中最典型的例子是本世纪70年代初出现细粒贫铁矿的“选择性絮凝-浮选”。

由于浮选法的分选效率较高,近20年来,浮选的发展已从矿业扩展到冶金、化工、农业、医药卫生以及环境保护等许多领域。

综上所述,各类浮选药剂的发现与在生产实践中的具体应用,特别是近代,许多特效浮选药剂的相继出现,以及浮选工艺的许多新进展,使浮选分选效率大为提高,许多过去认为难浮的矿物变成可浮或易浮矿物,使浮选的应用范围日益扩大;由于浮选设备类型的增多、设备不断更新且日益大型化,浮选厂的规模也越来越大,处理矿量日趋增多;此外,浮选生产的发展和近代测试技术在浮选理论研究中的应用,致使对许多理论问题的认识日益深化。

1.2 泡沫浮选法的基本过程及其意义

1.2.1 泡沫浮选法的基本过程

泡沫浮选法的过程一般包括如下几个步骤:

(1) 磨矿 磨矿的目的主要是使矿物单体解离,它是浮选的前提条件。应控制好粒度

的上下限,使欲浮目的矿物易于浮出。

(2) 调整矿浆浓度 矿浆浓度应适于浮选要求,粗选矿浆浓度一般为25%~30%固体左右(在磨矿回路中的单槽浮选机浓度约为50%~60%固体),在某些情况下也可低于或高于该浓度范围。

(3) 加药处理 对矿浆加药处理,一般多在搅拌槽中进行(有时亦加入磨矿机内)。加药处理时,通常先加调整剂(如pH调整剂、活化剂或抑制剂等),以造成有利于捕收剂选择作用的条件,然后再加入捕收剂,并经一定搅拌时间,使欲浮目的矿物表面形成一层疏水性膜,以增强欲浮矿物的疏水性、扩大矿浆中不同矿物在可浮性方面的差异。

(4) 充气浮选 往矿浆中加入起泡剂,在浮选机内进行充气搅拌,使欲浮目的矿物有选择性地粘附在气泡上形成矿化气泡。由于矿化气泡的比重小于矿浆比重,因而升浮至矿液面,并聚集成矿化泡沫层。

显然,矿粒向气泡选择性粘附(使气泡选择性地矿化)是泡沫浮选过程最基本的步骤,也是浮选药剂作用后的综合结果。

(5) 矿化泡沫的刮出 将浮出矿液面的矿化泡沫刮出或自流溢出得泡沫产品(通常为精矿);而其他亲水性矿物则仍留在矿浆中(通常为尾矿),这样便完成了矿物的分选过程。

典型的泡沫浮选过程大体可综合如图1-1所示。

一般将有用矿物浮出成为泡沫产品的浮选过程称为正浮选(或简称浮选);而对于将脉石矿物浮出成为泡沫产品的浮选过程,则相应称为反浮选。

由上可见,泡沫浮选与表层浮选和全油浮选的差别,主要在于各自所利用相界面及运载体的不同。表层浮选对矿物的分选作用虽也是在气-液界面上进行的,但所利用的仅仅是与空气接触的流动水流界面,气-液分选界面小、且欲浮矿物主要是靠水的表面张力支持在水介质的表面;而泡沫浮选则是利用分散在矿浆中的众多气泡,气-液分选界面大大增加,且气泡还是欲浮矿物的运载体。目前,表层浮选一般多用于处理较粗矿粒,如台浮(即摇床浮选)及粒浮(即溜槽浮选);而泡沫浮选则被广泛地应用于处理较细矿粒的分选。

全油(或多油)浮选对矿物的分选作用主要是在油-水界面上进行的,它是利用油-水作为分选界面和利用油滴作为欲回收矿物的载体等。与泡沫浮选相比,全油浮选耗油量较大,但在近代微细矿物的选矿研究方面已受到重视,如将中性烃类油与极性捕收剂混合使用的所谓两液浮选(或浮油萃取)、油团絮浮选(或乳化浮选、油药混合物浮选),以及团絮筛选(多油团絮造粒使欲回收矿物团聚变大,再用筛分或分级等方法与脉石进行筛选分离)等的研究。

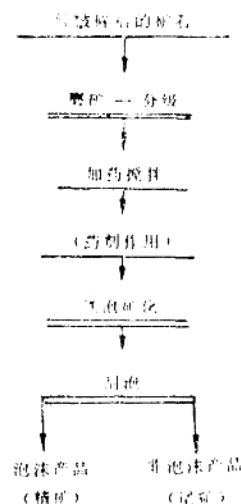


图1-1典型的泡沫浮选步骤示意图

1.2.2 浮选在矿物加工业中的作用与意义

浮选在矿物加工业中的重要性,主要表现在如下几个方面:

(1) 浮选法的适应性较强 由于浮选是利用矿物表面物理化学性质的差异来分选矿物