



国家科学技术学术著作出版基金资助出版

浮选新技术与 新工艺

印万忠 唐 远 编著

FUXUAN XINJISHU YU XINGONGYI



化学工业出版社



国家科学技术学术著作出版基金资助出版

浮选新技术与 新工艺

印万忠 唐 远 编著

FUXUAN XINJISHU YU XINGONGYI



化学工业出版社

· 北 京 ·

《浮选新技术与新工艺》详细介绍了包括优先浮选技术与工艺、混合浮选技术与工艺、部分混合优先浮选技术与工艺、等可浮浮选技术与工艺、异步浮选技术与工艺、分速浮选技术与工艺、闪速浮选技术与工艺、分支浮选技术与工艺、载体浮选技术与工艺、选择性絮凝浮选技术与工艺、分散浮选技术与工艺、分级浮选技术与工艺、电位调控浮选技术等在内的13种浮选工艺,并着重介绍了各浮选工艺间的差异、优缺点及典型案例,还以单独章节的形式介绍了凡口铅锌矿的工艺革新历程。最后编入了“本书主要选厂浮选工艺汇总”表,以便读者能更方便地检索到所需工艺。

本书可供从事选矿研究的科技人员、生产企业的管理和技术人员以及一线的技术革新人员、生产工人参考,也适用于大专院校的教师和学生。

图书在版编目(CIP)数据

浮选新技术与新工艺/印万忠,唐远编著. —北京:化学工业出版社,2017.12

ISBN 978-7-122-30546-6

I. ①浮… II. ①印…②唐… III. ①浮选工艺
IV. ①TD923

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第217008号

责任编辑:袁海燕

文字编辑:向东

责任校对:宋夏

装帧设计:王晓宇

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:三河市航远印刷有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张18 字数425千字 2018年2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:88.00元

版权所有 违者必究



矿物加工业属于资源型产业，又是在传统选矿基础上发展起来的产业，在目前向现代化矿业迈进的新历史时期，其产业基础的地位仍然存在。如今，社会发展对矿产需求量日益增加与矿物分选难度不断加大之间的矛盾成为矿物加工业面临的重大难题，矿物分选技术的发展直接影响着这一行业的发展前景。我国矿产资源的特点是“贫、细、杂、散”，浮选作为选别这类矿石的主要方法，越来越受到广大矿物加工科技工作者的关注，围绕浮选技术发展的一系列研究也成为矿物加工技术研发的热点。

浮选效果是多方面因素综合控制的结果，合理安排浮选过程中各因素的影响，进而采用浮选技术和工艺处理矿石具有以下优势：①应用范围广，适应性强，浮选几乎可以应用于各种有色金属、稀有金属及非金属等各个矿产部门，在化工、建材、环保、农业、医药等领域得到了广泛应用；②分选效率高，适用于处理低品位、嵌布粒度较细的矿物；③有利于矿产资源的综合回收，可进一步处理其他选矿方法得到的粗精矿、中矿或尾矿等产品，从而提高精矿品位和回收率，综合回收其中的有用组分。

虽然浮选技术与工艺具有上述明显优势，但由于其本身的工艺要求，也使其存在一些不足之处：①使用各类化学药剂，容易造成环境的污染（特别是水体污染）；②需要较细的磨矿细度（磨矿成本大大增加）；③影响因素多，工艺要求较高，操作复杂。

因此，随着矿产资源日趋紧缺和矿石性质的复杂化，针对目前浮选技术和工艺存在的不足，采用传统的浮选技术和工艺已经不能完全满足选矿工业生产的要求。

针对不同矿物可浮性的千差万别，选矿科技工作者开发出了优先浮选、混合浮选、部分混合优先浮选、等可浮浮选等传统浮选流程结构。但由于不同矿床甚至同一矿床不同矿体中的同种矿物也存在可浮性差异的现象，因此近年来又利用不同矿物及同种矿物之间可浮性和浮游速度的差异，开发出了异步浮选、分速浮选、闪速浮选、分支浮选、载体浮选、分级浮选等和谐浮选新技术和新工艺，并成功应用于生产实践，大大促进了复杂矿石中有用矿物的分选效果，产生了显著的经济和社会效益。

《浮选新技术与新工艺》主要根据各浮选技术和工艺的特点，详细阐述不同浮选技术和工艺的适用范围、优缺点、主要差异、典型实例等，全书详细介绍了包括优先浮选技术与工艺、混合浮选技术与工艺、部分混合优先浮选技术与工艺、等可浮浮选技术与工艺、异步浮选技术与工艺、分速浮选技术与工艺、闪速浮选技术与工艺、分支浮选技术与工艺、载体浮选技术与工艺、选择性絮凝浮选技术与工艺、分散浮选技术与工艺、分级浮选技术与工艺、电位调控浮选技术等在内的 13 种浮选工艺，并着重介绍各浮选工艺间的差异。

此外,为了使读者更全面直观地了解有关各个浮选工艺的发展,本书同时还将凡口铅锌矿的工艺革新历程以单独章节的形式罗列出来,再次强调了各工艺的适用范围和差异,讨论了针对不同时期矿石性质而将不同类型浮选工艺进行探索、改造和优化的生产应用过程,供广大读者特别是长期工作在生产一线的技术人员参考。

本书在编写过程中,参阅了大量相关的国内外参考文献,谨向本书参考资料所涉及的所有作者表示诚挚的感谢!本书的出版,一定程度上有利于一线矿物加工同行更好地掌握浮选技术,便于通过查阅本书各章节介绍的浮选工艺快速找到对应的理论知识和实例,以解决浮选生产中出现的问题。本书也适用于大专院校的教师和学生参考。

本书由东北大学印万忠教授(第1章、第4章、第5章、第6章、第11章、第12章、第13章和第15章)和唐远博士(第2章、第3章、第7章、第8章、第9章、第10章和第14章)共同编著。全书由印万忠教授统稿。

由于作者水平有限,书中的不足之处,敬请广大读者批评指正。



2017年10月于沈阳



1 概述 /001

- 1.1 浮选与浮选工艺的概念 /001
- 1.2 影响浮选工艺的因素 /005
- 1.3 浮选技术与工艺的发展历程 /015
- 1.4 浮选工艺的确定原则 /016

参考文献 /017

2 优先浮选技术与工艺 /019

- 2.1 技术与工艺介绍 /019
- 2.2 技术与工艺特点 /029
- 2.3 典型实例 /030

参考文献 /040

3 混合浮选技术与工艺 /041

- 3.1 技术与工艺介绍 /041
- 3.2 技术与工艺特点 /049
- 3.3 典型实例 /050

参考文献 /056

4 部分混合优先浮选技术与工艺 /057

- 4.1 技术与工艺介绍 /057
- 4.2 技术与工艺特点 /058
- 4.3 典型实例 /059

参考文献 /067

5 等可浮浮选技术与工艺 /068

- 5.1 技术与工艺介绍 /068
- 5.2 技术与工艺特点 /070
- 5.3 典型实例 /070

参考文献 /080

6 异步浮选技术与工艺 /081

6.1 技术与工艺介绍 /081

6.2 技术与工艺特点 /095

6.3 典型实例 /095

参考文献 /108

7 分速浮选技术与工艺 /110

7.1 技术与工艺介绍 /110

7.2 技术与工艺特点 /114

7.3 典型实例 /114

参考文献 /125

8 闪速浮选技术与工艺 /126

8.1 技术与工艺介绍 /126

8.2 技术与工艺特点 /133

8.3 典型实例 /134

参考文献 /141

9 分支浮选技术与工艺 /142

9.1 技术与工艺介绍 /142

9.2 技术与工艺特点 /148

9.3 典型实例 /149

参考文献 /154

10 载体浮选技术与工艺 /155

10.1 技术与工艺介绍 /155

10.2 技术与工艺特点 /161

10.3 典型实例 /162

参考文献 /167

11 选择性絮凝浮选技术与工艺 /168

11.1 技术与工艺介绍 /168

11.2 技术与工艺特点 /175

11.3 典型实例 /175

参考文献 /183

12 分散浮选技术与工艺 /184

12.1 技术与工艺介绍 /184

12.2 技术与工艺特点 /194

12.3 典型实例 /194

参考文献 /205

13 分级浮选技术与工艺 /206

13.1 技术与工艺介绍 /206

13.2 技术与工艺特点 /216

13.3 典型实例 /217

参考文献 /226

14 电位调控浮选技术与工艺 /228

14.1 技术与工艺介绍 /228

14.2 技术与工艺特点 /236

14.3 典型实例 /237

参考文献 /247

15 凡口铅锌矿浮选工艺的革新 /249

15.1 铅锌矿资源现状 /249

15.2 铅锌矿选矿技术及发展趋势 /251

15.3 铅锌矿浮选理论研究进展 /252

15.4 凡口铅锌矿浮选技术与工艺变革 /255

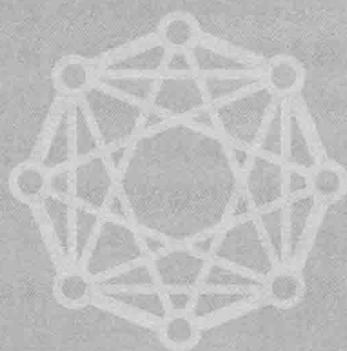
15.5 凡口铅锌矿面临的挑战 /273

15.6 铅锌矿新型浮选药剂开发模式 /274

参考文献 /276

附录 本书主要选厂浮选工艺汇总 /278

1 概 述



1.1 浮选与浮选工艺的概念

浮选，是浮游选矿的简称，是依据各种矿物表面物理化学性质的差异，借助于气泡的浮力从矿浆中选择性分选矿物的过程；或者是利用矿物表面润湿性的差异，从水的悬浮液（矿浆）中选择性浮出固体矿物的选别过程。浮选过程是气-液-固三相界面的选择性分离过程，该过程虽然涉及矿物表面与药剂吸附之间的化学作用，但是这种分选过程没有改变矿物的本质，故仍然属于一种物理过程。

浮选工艺流程是指浮选时矿浆流经各作业，经过设计的各个工序进行逐步浮选，实现不同矿物组分分离与富集的工艺过程，是由不同浮选作业（磨碎作业、粗选作业、精选作业、扫选作业等）所构成的浮选生产工序。

浆体经加药搅拌后进行浮选的第一个作业称为粗选，其目的是将给料中的某种或几种欲浮组分分选出来。对粗选的泡沫产品进行再浮选的作业称为精选，其目的是提高最终疏水性产物的质量。对粗选槽中残留的固体进行再浮选的作业称为扫选，其目的是降低亲水性产物中欲浮组分的含量，以提高回收率。上述各作业组成的粗、精、扫选流程如图 1-1 所示。

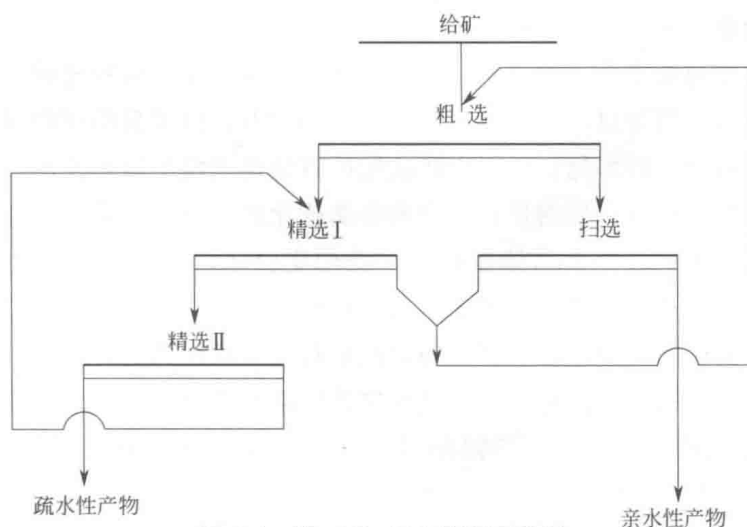


图 1-1 粗、精、扫选流程示意图

工艺流程是最重要的工艺因素之一，任何一种矿石的浮选分离技术需要通过其适宜的工艺流程来实现。工艺流程选择得合适与否，对选矿指标具有很大的影响。浮选工艺流程必须与所处理的矿石性质相适应，对于不同性质的矿石应采用不同的浮选工艺流程。只有选择合理的浮选工艺流程才能获得最佳的选别指标和最低的生产成本。生产中所采用的各种浮选流程，实际上都是通过系统的可选性试验研究后确定的。当选厂投产后，因物料性质的变化，或因采用新工艺及先进的技术等，要不断地改进与完善原流程，以获得较高的技术经济指标。在确定流程时，应主要考虑物料的性质，同时还应考虑对产物质量的要求以及选厂的规模等。

在确定浮选流程时，应首先确定原则流程（又称骨干流程）。原则流程指出分选工艺的原则方案，其中包括选别段数、欲回收组分的选别顺序和选别循环数（又称回路）。

浮选流程的段数，就是处理的物料经磨碎-浮选、再磨碎-再浮选的阶段数，即磨碎作业与选别作业结合的次数。浮选流程的段数，主要是根据欲回收组分的嵌布粒度及物料在磨碎过程中泥化情况而选定的。生产实践中所用的浮选过程有一段、两段和三段之分，三段以上流程则很少见到。

磨一次（粒度变化一次），接着进行浮选即称为一段。矿石中常不只是一种矿物，有时一次磨矿后要分出几种矿物，这还是称为一段，只是有几个循环而已。一段流程适于处理矿物粒度嵌布较均匀、粒度相对较粗且不易泥化的矿石。

阶段浮选流程又称阶段磨-浮流程，是指两段及两段以上的浮选流程，也就是将第一段浮选的产物进行再磨-再浮选的流程。这种浮选流程的优点是可以避免物料过粉碎，其具体操作是在第一段粗磨的条件下，分出大部分欲抛弃的组分，只对得到的疏水性产物（中间产物）进行再磨-再选。用这种流程处理欲回收组分嵌布较复杂的物料时，不仅可以节省磨碎费用，而且可改善浮选指标，所以在国内外均广为应用。

阶段浮选流程种类较多，如何选择与应用主要由矿物的粒度嵌布和泥化特性决定。几种典型的阶段磨-浮流程如图 1-2 所示。

对于目的矿物呈粗粒均匀浸染的矿石，由于其粒度粗且均匀，采用一段磨浮流程经粗磨后浮选，即可能得到合格的精矿和尾矿。当目的矿物呈细粒均匀浸染时，由于其结晶粒度细而均匀，可采用两磨一选的一段磨浮流程。

当目的矿物嵌布粒度细而不太均匀、达到单体分离的粒度范围较宽时，可采用中矿再磨再选的两段磨浮流程。对于目的矿物呈不均匀浸染的矿石，由于目的矿物呈粗、中、细粒存在，这种矿石在实践中比较多见，可用中矿或尾矿再磨再选的两段磨浮流程。

对于目的矿物呈集合体浸染的矿石，如多金属硫化矿，可采用第一段浮选精矿再磨再选的两段磨浮流程。即第一段粗磨后浮出目的矿物的集合体，得到混合精矿，混合精矿再细磨，使其中的目的矿物彼此分离，再浮出不同的精矿。

对于复杂浸染的矿石，如矿石兼有不均匀浸染和集合体浸染的性质，可采用第一段浮选获得富精矿、第二段浮选获得混合精矿、混合精矿再磨再浮选三段磨浮流程。对于那些浸染特性复杂、易泥化的矿石，采用阶段磨浮工艺利大于弊，有利于提高选别指标和经济效益。

精矿再磨流程适用于有用矿物嵌布粒度较细而集合体又较粗的矿石，粗磨条件下集合体

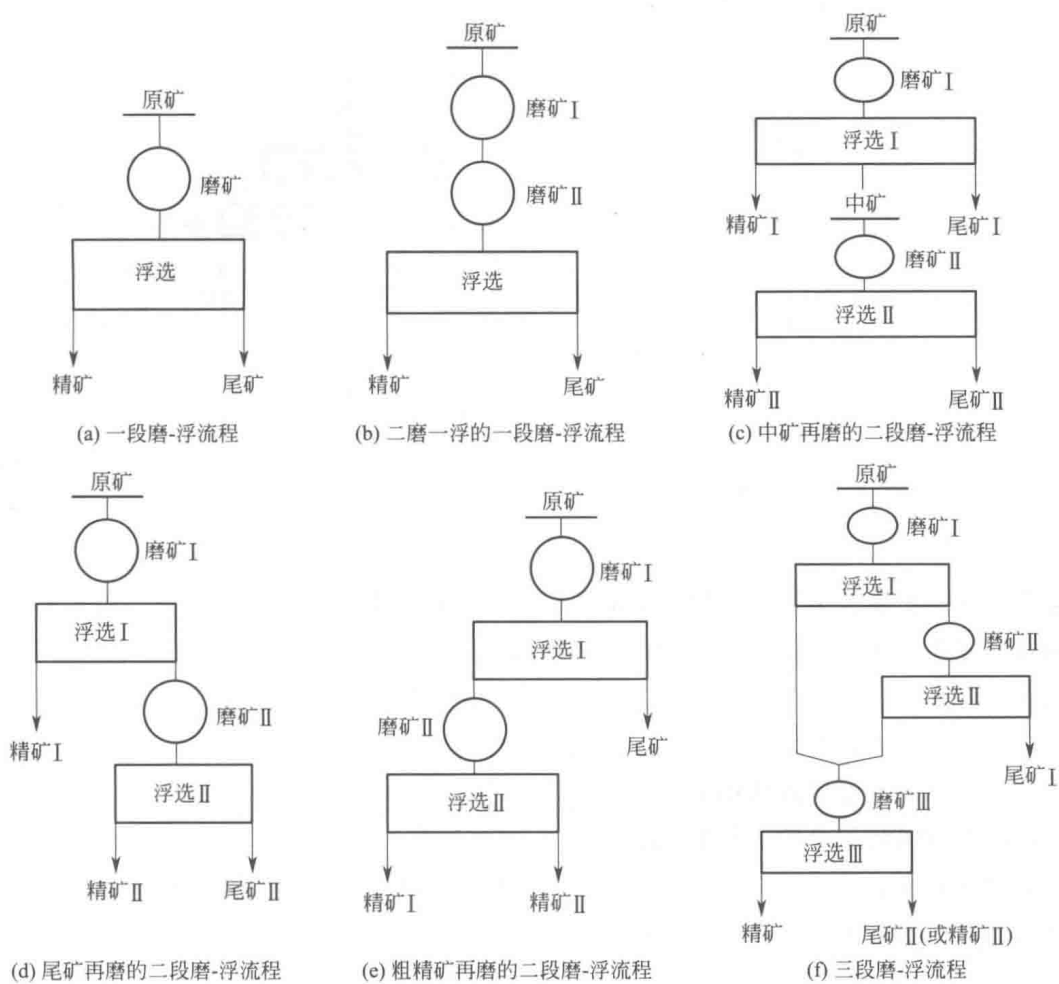


图 1-2 阶段磨-浮选流程的类型

就能与脉石分离，并选出粗精矿和尾矿，第二段对少量精矿再磨再选，这种流程在多金属浮选时较常见；尾矿再磨流程适用于目的矿物嵌布很不均匀，或容易氧化和泥化的矿石，一段在粗磨条件下分出一部分合格精矿，二段将含有细粒矿物的尾矿再磨再选；中矿再磨流程适用于矿物以细粒浸染为主，一段浮选能得到部分合格精矿和尾矿，但中矿含有大量连生体，故需对中矿进行再磨再选。

在确定多金属矿石的浮选原则流程时，为了得出几种产品，除了确定选别段数外，还要根据有用矿物的可浮性及矿物间的共生关系，确定各种有用矿物的选出顺序。选出顺序不同，所构成的原则流程也不同。生产中采用的传统工艺流程主要包括优先浮选流程、混合浮选流程、部分混合优先浮选流程和等可浮流程 4 类。近年来，浮选工艺流程逐步通过改进和优化，形成了一些新型的浮选工艺流程，如异步（分步）浮选流程、分速浮选流程、闪速浮选流程、分支浮选流程、载体浮选流程、选择性絮凝浮选流程、分散浮选流程、分级浮选流程等，这些新型浮选工艺流程的应用大大提高了复杂难选矿石的分选指标。

浮选工艺流程的内部结构，除包含了原则流程的内容外，还要详细表达各段的磨碎分级次数和每个循环的粗选、精选、扫选次数、中矿处理等。循环也称回路，凡经一次浮选，得到一种产品称一个循环。通常以所选矿物中的金属或矿物来命名，如铅循环、锌循环、铜锌

循环、硫循环和铜循环，如图 1-3 所示。

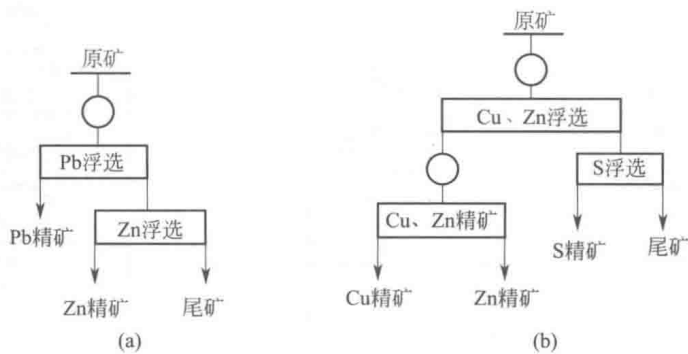


图 1-3 一段二循环和二段三循环流程
(a) 一段二循环流程；(b) 二段三循环流程

(1) 精选和扫选次数

粗选是对原矿浆进行浮选；精选是对粗选精矿再次浮选，主要目的是提高精矿品位；扫选是对粗选尾矿再次浮选，主要目的是提高回收率。

粗选一般都是 1 次，只有少数情况下，有 2 次或 2 次以上，如异步浮选。精选和扫选的次数较多、变化较大，这与物料性质（如欲回收组分的含量、可浮性等）、对产品质量的要求、欲回收组分的价值等密切相关。

当原矿中欲回收组分的含量较高、但其可浮性较差时，如果对产物质量的要求不是很高，就应加强扫选，以保证有足够高的回收率，且尽量在粗选环节直接出精矿，精选作业也应尽量少，甚至不精选，如图 1-4 所示。

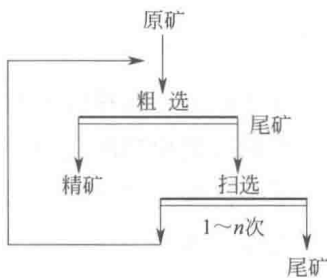


图 1-4 往扫选方向发展的浮选流程结构

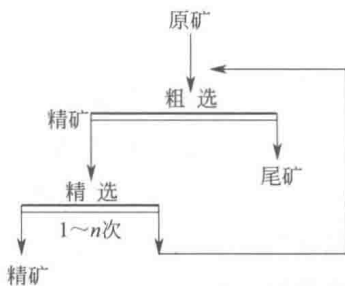


图 1-5 往精选方向发展的浮选流程结构

当原矿中欲回收组分的含量低、有用矿物可浮性较好而对产物的精矿质量要求很高（如浮选回收辉钼矿）时，就要加强精选，减少扫选，有时精选次数超过 10 次，甚至在精选过程中还需要结合再磨，如图 1-5 所示。

当原矿中两种矿物的可浮性差别较大时，亲水性矿物基本不浮，对这种矿石的浮选，精选次数可以减少。

在实际生产中多数既包括精选又包括扫选的流程，如图 1-6 所示。精、扫选次数由试验和生产实践确定。

(2) 中矿处理方式

流程中精选作业的亲水性矿物和扫选作业的疏水性矿物一般统称为中矿。对它们的处理

方法要根据其中的连生体含量、有用矿物的可浮性、组成情况、药剂含量及对精矿质量的要求等来决定。中矿处理的原则是：中矿返回至品位、性质接近的作业。

中矿的处理方法一般包括以下几种：①中矿依次返回到前一作业，或送到浮选过程的适当地点，如图 1-7 所示。有用矿物基本解离的中矿采用这一方式，可简化中矿运输（多数情况下可实现自流）。②中矿合一返回粗选或磨矿作业。当有用矿物可浮性良好，对精矿质量要求高时中矿合一返回粗选；当含较多连生体颗粒时可合一返回磨矿，再磨也可以单独进行。③中矿单独处理。当中矿的性质比较特殊、不宜直接或再磨后返回前面的作业时，则需要对其进行单独浮选或返回主回路处理；在浮选困难时，可采用火法和化学方法进行单独处理，或不处理直接作低品位精矿销售。

在浮选厂的生产实践中，中矿如何处理，是一个比较复杂的问题，由于中矿对选别指标影响较大，所以需要经常对它们的性质进行分析研究，以确定合适的处理方案。

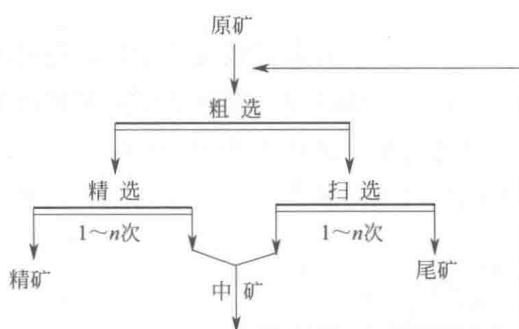


图 1-6 实践上常见的浮选流程结构

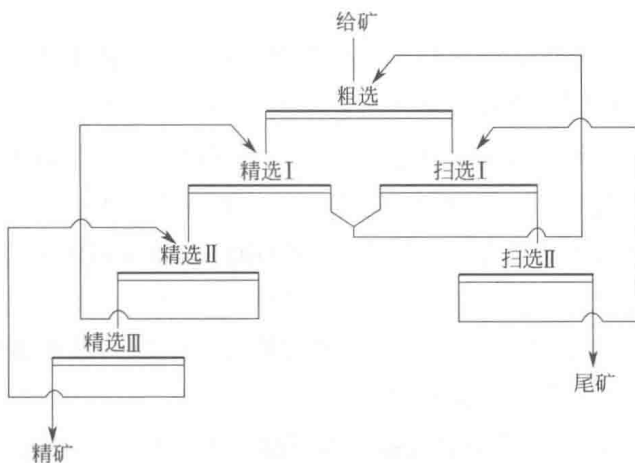


图 1-7 常见中矿循序返回流程

总之，浮选工艺是对多种浮选技术的具体体现，所有复杂矿石的浮选技术都需要用浮选工艺来实现其工业应用。随着对复杂矿石工艺矿物学特性研究手段的不断改进，对矿物资源物理化学性质个性差异的细致研究，利用矿物之间天然或微小的物性差异来扩大矿物之间的可浮性差异，开发与矿物资源可选性相和谐的精细浮选工艺，以达到矿物高效分离的目的，是浮选工艺的主要发展方向。

1.2 影响浮选工艺的因素

影响浮选工艺的因素包括物理因素和化学因素。物理因素包括物料粒度、矿浆浓度和搅拌强度等；化学因素又包括可调因素和不可调因素，不可调因素主要指矿石性质，可调因素包括矿浆酸碱度、浮选药剂制度、浮选温度、水质和浮选泡沫等。

(1) 物料粒度

为了保证浮选获得较高的指标，研究入选物料粒度对浮选的影响，以便根据物料性质确定最合适入选粒度（磨碎细度）和其他工艺条件。

浮选时不但要求物料单体解离，而且要求适宜的入选粒度。颗粒太粗，即使单体已解离，但因超过气泡的承载能力，往往浮不起来。浮选粒度上限因物料的密度不同而异，如硫化物

矿物一般为 0.2~0.25mm，非硫化物矿物为 0.25~0.3mm，煤为 0.5mm。

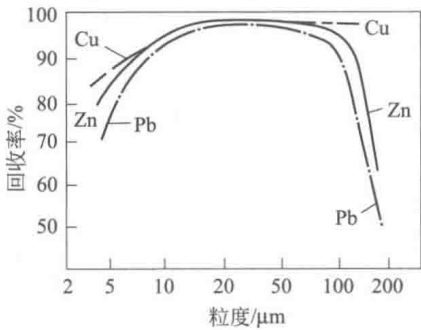


图 1-8 浮选回收率与粒度的关系

物料粒度对浮选回收率的影响如图 1-8 所示。由图可知，小于 5μm 或大于 100μm 的颗粒的可浮性明显下降，只有中等粒度的颗粒具有最好的可浮性，所以 5~10μm 以下的矿粒常称为矿泥。

物料粒度对浮选产物质量也有一定的影响。一般情况下，随着粒度的变化疏水性产物的品位有一最大值，当粒度进一步减小时，品位随之下降，这是由于微细的亲水性颗粒机械夹杂所致；粒度增大时，又会因大量的连生体颗粒进入疏水性产物而使其品位降低。

在矿粒单体解离的前提下，粗磨浮选可以节省磨矿费用，降低选矿成本。在处理不均匀嵌布矿石和大型斑岩铜矿时，在保证粗选回收率前提下，粗磨后可以直接进行浮选。

但是，由于较粗的矿粒比较重，在浮选机中不易悬浮，与气泡碰撞的概率减小，附着气泡后因脱落力大，易于脱落，这是粗粒比较难浮的主要原因。所以对于在较粗粒度下即可单体解离的物料，往往采用重力分选方法处理，必须用浮选处理粗磨的物料时，通常采用如下一些措施：

- ① 采用捕收能力较强的捕收剂，并适当增大捕收剂用量，以增强颗粒与气泡的固着强度，有时配合使用非极性油等辅助捕收剂。
- ② 适当增大充气量，以提供较多的适宜的气泡，为粗颗粒的浮选创造条件。
- ③ 选择适用于粗粒浮选的浮选机，为防止粗粒在浮选机中产生沉淀，应使用有较大浮升力和较大内循环的浅槽浮选机。近年来，流化床浮选机逐渐成为研究的热点，但目前工业化流化床浮选机还处于推广阶段。
- ④ 采用较高的矿浆浓度，既增加药剂浓度，又可以使颗粒受到较大的浮升力，但应注意，矿浆的浓度过高时会恶化浮选过程，使选择性降低。

粒度小于 10μm 的微细颗粒，其可浮性明显下降，所以避免物料泥化是非常必要的。浮选过程中的微细颗粒来自两个方面，一是在矿床内部由地质作用产生的微细颗粒，主要是矿床中的各种泥质矿物，如高岭土、绢云母、绿泥石等，称为“原生矿泥”；二是在破碎、磨碎、搅拌、运输等过程中形成的微细颗粒，称为“次生矿泥”。

微细颗粒在浮选过程中的有害影响表现为：增大药剂的消耗量；降低浮选速度；污染泡沫产品；降低产物质量；增大金属流失等。微细颗粒难于浮选的原因主要有以下几个方面：

- ① 由于微细颗粒的表面能比较大，在一定条件下，不同成分的微细颗粒形成无选择性

凝结,发生互凝现象。表面力引起的聚团现象,还会导致微细颗粒在粗颗粒表面上的黏附,形成微细颗粒覆盖。

② 由于微细颗粒具有较大的比表面积和表面能,因此具有较高的药剂吸附能力,吸附的选择性差;表面溶解度增大,使浆体中难免离子增加;微细颗粒质量小,易被水流机械夹带和被泡沫机械夹带。

③ 微细颗粒与气泡间的接触率及黏着效率降低,使气泡对颗粒的捕获率下降,同时微细颗粒还会大量地附着在气泡表面,形成所谓的气泡“装甲”现象,影响气泡的运载量。

为了防止微细颗粒对浮选过程的影响,生产中强化微细颗粒浮选的主要措施有:

① 添加分散剂,防止微细颗粒互凝,保证充分分散,降低其影响。常用的分散剂有水玻璃、聚磷酸钠、氢氧化钠(或碳酸钠)等等。

② 采用适于选别微细颗粒的浮选药剂,使欲浮的颗粒表面选择性疏水化。例如,采用化学吸附或螯合作用的捕收剂,以提高浮选过程的选择性。

③ 降低浆体浓度,提高选择性。

④ 分批加药减少无选择性吸附。

⑤ 进行脱泥,浮选前将微细颗粒脱除。

⑥ 分级分选,对不同粒级的物料分别采用不同的药剂制度进行处理。

⑦ 使微细颗粒产生选择性聚团,增大粒度,以利于浮选。采用的微细颗粒选择性聚团方法有疏水絮凝、载体浮选和选择絮凝浮选等。疏水絮凝又称团聚浮选,即微细颗粒经捕收剂处理后,在中性油的作用下,形成携带颗粒的油状泡沫。疏水絮凝的操作工艺有两类:其一是捕收剂与中性油先配成乳化液加入,称为乳化浮选;其二是在高浓度浆体中,分先后次序加入中性油及捕收剂,强烈搅拌,控制时间,然后刮出上浮的泡沫。载体浮选又称背负浮选,即利用疏水聚团原理使微细颗粒在易浮的粗颗粒表面黏附,以粗粒为载体与气泡附着并一同浮起。载体可以是同类物料,也可以是异类物料。例如,用硫黄作细粒磷灰石浮选的载体;用黄铁矿作载体来浮选细粒金;用方解石作载体,借浮选除去高岭土中的锐钛矿杂质等。选择絮凝浮选就是采用絮凝剂选择性絮凝微细颗粒,然后用浮选方法分离。如美国的蒂尔登选厂,用此法选别细粒赤铁矿。

⑧ 减小气泡尺寸,实现微泡浮选。生产中采用的产生大量微泡的方法有真空法和电解法两种,分别称为真空浮选和电解浮选。

(2) 矿浆浓度(质量分数 w_B)

矿浆浓度是矿浆中固体颗粒的含量,常用以下三种方法表示:

① 液固比:表示矿浆中液体与固体质量(或体积)之比,有时又称稀释度。

② 固体含量百分数:表示矿浆中固体质量(或体积)所占的百分数。

③ 固体含量:表示每升矿浆中所含固体的质量(g)。

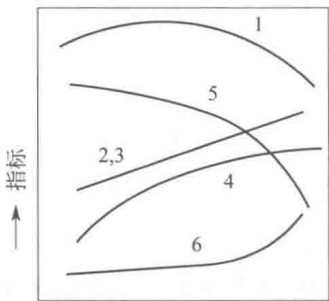
通常矿浆浓度用固体的质量分数来表示。

浮选前矿浆的调节,是浮选过程中的一个重要作业,包括矿浆浓度的确定和调浆方式的选择等工艺因素。浮选厂中常用的矿浆浓度列于表 1-1 中。

表 1-1 浮选厂常用的矿浆浓度

物料种类	浮选循环	浆体浓度/%			
		粗 选		精 选	
		范围	平均	范围	平均
硫化铜矿石	铜及硫化铁	22~60	41	10~30	20
硫化铅锌矿石	铅	30~48	39	10~30	20
	锌	20~30	25	10~25	18
硫化钼矿石	辉钼矿	40~48	44	16~20	18
铁矿石	赤铁矿	22~38	30	10~22	16

浆体浓度是影响浮选过程的重要因素之一，它的变化将影响浆体的充气程度、浆体在浮选槽中的停留时间、药剂的体积浓度以及气泡与颗粒的黏着过程等（如图 1-9 所示）。



浆体中固体含量(质量分数)/%

图 1-9 矿浆浓度与其他浮选因素的关系

- 1—浆体的充气性能；
- 2—药剂的体积浓度；
- 3—浆体在浮选机内的停留时间；
- 4—细颗粒的可浮性；
- 5—粗颗粒的可浮性；
- 6—颗粒表面的磨损程度

图 1-9 中的曲线 1 表明，浮选机的充气性能随浆体浓度的变化而变化。过浓和过稀均使充气情况变坏，影响浮选回收率和浮选时间。

图 1-9 中的曲线 2 表明，在相同药剂用量（g/t）条件下，浆体浓度增大，药剂的浓度亦随之增大，有利于降低药剂用量。

图 1-9 中的曲线 3 表明，随着浓度增大，浆体在浮选机内的停留时间延长，有利于提高回收率。同理，如果浮选时间不变，则随着浓度的增加，浮选机的生产率随之增加，因而可以减少槽数。

图 1-9 中的曲线 4 表明，细粒浮选时，随着浓度提高，浆体的黏度增大，当细粒是疏水性颗粒时增大浓度有利于提高细粒的回收率，而当细粒呈亲水性时则会影响疏水性产物的质量。

图 1-9 中的曲线 5 表明，在一定范围，浆体浓度对粗粒浮选影响不大，有时还有利于粗粒浮选，但过浓会恶化充气条件，不利于粗颗粒的浮选。

图 1-9 中的曲线 6 表明，随着矿浆浓度的增加，浆体内颗粒表面的磨损程度逐渐增加，到某一矿浆浓度时，磨损迅速增大。由于矿石颗粒在浮选机内停留时间延长，颗粒与浮选机内壁或与其他颗粒碰撞的概率加大而影响浆体颗粒表面的粗糙度。

总之，浆体较浓时，浮选进行较快，且较完全。适当增加浓度对浮选有利，处理每吨物料所消耗的水、电也较少。浮选时最适宜的浆体浓度，还必须考虑物料性质和具体浮选条件。一般原则是：浮选高密度粗粒物料时采用高浓度，反之采用低浓度；粗选时采用高浓度可保证获得高回收率和节省药剂，精选时用低浓度有利于提高最终疏水性产物的质量。扫选浓度由粗选的结果决定，一般不另行控制。

浮选前在搅拌槽（或称调浆槽）内对浆体进行搅拌称为“调浆”，可分为不充气调浆、充气调浆和分级调浆等，也是影响浮选过程的重要工艺因素之一。

不充气调浆是指在搅拌槽中不充气的条件下,对浆体进行搅拌,目的是促进药剂与颗粒相互作用。调浆所需搅拌强度和时间的长短,视药剂在浆体中的分散、溶解程度以及药剂与颗粒的作用速度而定。

充气调浆是指在未加药剂之前预先对浆体进行充气搅拌,常用于硫化物矿石的浮选。各种硫化物矿物颗粒表面的氧化速度不同,通过充气搅拌即可扩大矿物颗粒之间的可浮性差别,有利于进一步分选,改善浮选效果。但过分充气也将是不利的。例如,对含铜硫化矿的矿浆充气调浆证明,加药以前充气调浆 30min,矿石中磁黄铁矿和黄铁矿受到氧化,而黄铜矿仍保持其原有的可浮性。但充气调浆时间过长,黄铜矿也会受到氧化,在其表面形成氢氧化铁薄膜而降低可浮性;毒砂与黄铁矿的分离也常采用充气调浆,使易氧化的毒砂表面氧化来达到分离浮选的目的。

所谓“分级调浆”是根据物料不同粒度所要求的不同调浆条件等,分别进行调浆,以达到改善浮选效果的目的。矿浆按粗细分级成两支或三支进行调浆。分级的粒度界限可以通过试验来确定。图 1-10 是两支调浆的方案。

分两支的调浆方案,药剂只加到粗砂部分,粗砂调浆以后,细泥部分充入粗砂并与其一起浮选。这一方案适用于细粒级浮选活度比粗粒高,而粗粒需要提高药量或补加其他强力捕收剂的情况,这样处理使粗、细粒的可浮性由差别较大而趋于均一化。另外,粗粒要求较高的药剂浓度也会因分级调浆而得到满

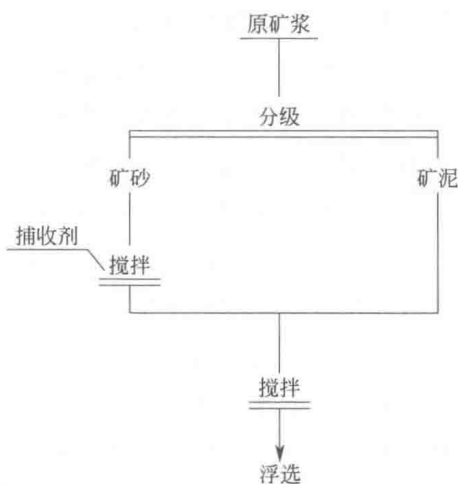


图 1-10 两支调浆的方案

足。例如,铅锌矿分级调浆的经验证明,粗粒部分的黄药浓度比常规调浆的平均值高 7~10 倍,优点是既保证粗粒有效的浮选,又改善了选择性。

(3) 搅拌强度

浮选过程中对矿浆的搅拌,可根据其作用分为两个阶段:即矿浆进入浮选机之前的搅拌和矿浆进入浮选机之后的搅拌。

矿浆进入浮选机之前的搅拌,通常是在调浆槽中进行,其目的是为了加速矿粒与药剂的相互作用。在调浆槽中搅拌时间的长短,应由药剂在水中分散的难易程度和它们与矿粒作用的快慢来确定,如松醇油等起泡剂只需要搅拌 1~2min,一般药剂要搅拌 5~15min,当用混合甲苯磺酸浮选锡石和重铬酸钾抑制方铅矿时,则常常需要 30~50min 以上的搅拌时间,有时用重铬酸钾所需的搅拌时间可以长达 4~6h。当采用剪切絮凝浮选工艺时,浮选前需要比较强烈的搅拌。

矿浆进入浮选之后的搅拌,通常是为了:①促进矿粒的悬浮及在槽内均匀分散;②促进空气很好地弥散,使在槽内均匀分布,对机械搅拌式浮选槽而言,同时起到充气作用;③促进空气在槽内高压地区加强溶解,而在低压地区加强析出,以造成大量的活性气泡。

综上所述,加强浮选机中矿浆的充气和搅拌,对浮选是有利的,但是不能过分搅拌,因为过分搅拌会产生气泡兼并、精矿质量下降、槽内矿浆容积减小、电能消耗增加、机械磨损