




云南省普通高等学校“十二五”规划教材

湿法冶金 ——浸出技术

(第2版)

主编 刘洪萍 杨志鸿

冶金工业出版社
www.cnmp.com.cn



云南省普通高等学校“十二五”规划教材

湿法冶金——浸出技术

(第2版)

主 编 刘洪萍 杨志鸿
副主编 姚春玲 张报清

北 京
冶金工业出版社
2016

内 容 提 要

本书由浸出过程基础知识、浸出过程的热力学、浸出应用过程的动力学、浸出工艺及设备以及以锌、铜、金银、铝、钨等金属为代表的浸出生产实践共 8 章组成。其中,前 3 章浸出过程基础知识、浸出过程的热力学、浸出过程的动力学包含了整个浸出过程的基本原理、实际控制技术条件选择以及具体条件对过程进行速率和技术经济指标的影响;第 4 章介绍了浸出过程的工艺及浸出设备的结构、工作原理;后 4 章分别以锌、铜、金银、铝、钨等金属为代表介绍了酸性浸出、碱性浸出、配合浸出、细菌浸出、硫化矿的直接浸出等浸出方法的具体生产应用,包括了生产实践过程,即原料制备、矿浆的浸出及固液分离等的生产工艺过程、正常技术条件的控制、参数的调节、设备操作维护与常见事故的处理等核心知识和技能。

本书可作为普通高等学校和高等职业技术学院专业教学用书,亦可作为冶金生产企业高级技师、技师和专业技术人员参考书。

图书在版编目(CIP)数据

湿法冶金:浸出技术/刘洪萍,杨志鸿主编.—2版.—北京:
冶金工业出版社,2016.7

云南省普通高等学校“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5024-7278-8

I. ①湿… II. ①刘… ②杨… III. ①湿法冶金—浸出—
高等学校—教材 IV. ①TF111.31

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 158250 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcs@cnmp.com.cn

责任编辑 杨盈园 美术编辑 杨帆 版式设计 葛新霞

责任校对 郑娟 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-7278-8

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;固安华明印业有限公司印刷

2010 年 7 月第 1 版,2016 年 7 月第 2 版,2016 年 7 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16;12 印张;285 千字;177 页

27.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

第2版前言

本教材是在云南省普通高等学校“十二五”规划教材——《湿法冶金——浸出技术》的基础上编写而成的。原教材《湿法冶金——浸出技术》自2010年由冶金工业出版社正式出版以来，作为昆明冶金高等专科学校冶金技术专业的主干课程教材，得到了使用者的肯定。师生一致反映该书紧密联系生产实际，内容充实，标准规范，实用性强，浅显易懂，在教学中能激发学生的学习兴趣，教学效果好。但经过近5年来的教学实践，我们发现教材在反映实际生产应用的章节上，还未能充分体现高职工学结合的特色，内容还不够充实，以典型金属为代表的典型浸出工艺特色不突出，少量内容未能结合高职院校学生学习的特点，需要进一步改进和完善。为此，教材编写组广泛征求相关企业工程技术人员、专业教师、学生的意见，对该教材重新进行了编写。

本书的编写结合了高职教育的特点和人才培养目标，并对有色金属湿法冶金生产领域进行分析后，以有色冶金生产过程为导向、湿法冶炼浸出工国家职业标准为依据，并根据企业的生产实际和岗位群的技能要求对相关的教学内容进行了整合，力求体现高职教育的针对性强，理论知识够用、实践性强，培养高技术应用型人才的特点。

本书由昆明冶金高等专科学校刘洪萍、杨志鸿担任主编，姚春玲、张报清担任副主编。具体编写分工为：第1章由张报清编写，第2~4章由刘洪萍编写，第5、6章由杨志鸿编写，第7、8章由姚春玲编写。

由于编者水平所限，书中不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编者

2016年4月

第 1 版前言

本书是按照教育部高职高专人才培养目标和规格应具有的知识结构、能力结构和素质要求，在总结近年来教学经验并征求相关企业工程技术人员意见的基础上编写而成的。

“湿法冶金—浸出技术”是通过对高等职业教育人才培养目标和有色金属湿法冶金生产领域进行分析后，以有色冶金生产工作过程为导向、湿法冶炼浸出工国家职业标准为依据、学生的职业能力培养为核心，同时根据有色冶金企业的生产实际和岗位群技能要求。对学科体系进行整合、重构的一门新的高职院校有色冶金核心课程。随着矿山资源的不断减少、矿石品位的不断下降，为了满足新型高致密材料的需求及环境保护的要求，先进的湿法冶金生产工艺在处理低品位矿物原料、综合利用复杂矿物原料、改善劳动条件和解决环境污染问题方面，更具有优越性。在有色冶金生产实践中的地位越来越高。“浸出技术”是湿法冶金中一个非常重要的环节。在编写过程中，采纳了行业专家和企业生产技术人员意见，吸收了多年来的教学经验以及国内外相关的先进技术成果和生产经验，充实了必要的基础知识和基本操作技能；叙述上由浅入深，理论联系实际，内容充实，标准规范，实用性强。

本书围绕着完成“浸出”这一典型的生产任务来构建具体内容，从过程要求掌握的基本知识、生产设备的操作及过程技术条件的控制技能方面进行逐一介绍。第 1 章主要介绍了浸出的化学反应、浸出过程分类和不同原料可供选择的浸出方法；第 2 章主要介绍了浸出反应的自由能变化规律、水溶液的稳定性与电位-pH 关系；第 3 章主要介绍了浸出过程的机理、过程控制环节的判别和强化过程的措施等；第 4 章主要介绍了浸出的方法、主要设备和操作、浸出工艺；第 5 章主要介绍了铝土矿的碱性浸出、锌焙砂的酸性浸出等几种典型的生产实例。

本书由刘洪萍、徐征担任主编，杨志鸿、黄劲峰担任副主编。第 1 章由黄劲峰编写，第 2、4 章由刘洪萍编写，第 3 章由徐征编写，第 5.1~5.4 章节由

杨志鸿编写，第5.5~5.6章节由余宇楠编写，资料的收集整理由陈福亮负责。全书由刘洪萍负责统稿。

在编写过程中，承蒙一些行业专家和企业生产技术人员的大力支持，在此表示感谢。

由于编者水平所限，加之本课程是一门新的课程，书中难免存在不足之处，敬请读者批评指正。

编 者

2010年7月

目 录

1 浸出过程基础知识	1
1.1 概论	1
1.1.1 湿法冶金的概念	1
1.1.2 湿法冶金过程	2
1.1.3 浸出及其在湿法冶金中的地位	2
1.2 浸出过程的化学反应	2
1.2.1 简单溶解	3
1.2.2 无价态变化的化学溶解	3
1.2.3 有氧化还原反应的化学溶解	3
1.2.4 有配合物生成的化学溶解	3
1.3 浸出过程分类	4
1.3.1 酸性浸出	4
1.3.2 碱性浸出	5
1.3.3 氧压浸出	6
1.3.4 氯化浸出	7
1.3.5 配合浸出	8
1.3.6 细菌浸出	10
1.3.7 电化浸出	13
1.4 不同类型原料浸出方法简介	13
习题与思考题	14
2 浸出过程的热力学	15
2.1 浸出反应的标准吉布斯自由能变化 $\Delta_r G_{mT}^\ominus$	15
2.2 浸出反应的平衡常数 K 及表观平衡常数 K_c	16
2.2.1 基本概念	16
2.2.2 表观平衡常数 K_c 的测定	16
2.2.3 平衡常数的测定	17
2.2.4 平衡常数的计算	17
2.3 水溶液的稳定性与电位-pH 值图	18
2.3.1 影响水溶液中物质稳定性的因素	18
2.3.2 水的不稳定性	22
2.4 电位-pH 值图在湿法冶金中的应用	23

2.4.1 电位-pH 值图的绘制	24
2.4.2 电位-pH 值图的应用	25
习题与思考题	34
3 浸出过程的动力学	35
3.1 浸出过程的机理及速度方程	35
3.1.1 浸出过程的机理	35
3.1.2 浸出过程的速度方程	36
3.2 几种反应的速度方程	41
3.2.1 简单溶解反应的动力学方程	41
3.2.2 化学溶解反应的动力学方程	42
3.2.3 电化学溶解反应的动力学方程	43
3.3 浸出过程控制步骤的判别	46
3.3.1 改变搅拌强度法	46
3.3.2 改变温度法	47
3.3.3 尝试法	47
3.4 浸出过程的强化措施	48
3.4.1 矿物原料的机械活化	48
3.4.2 超声波活化	53
3.4.3 热活化	53
3.4.4 辐射线活化	54
3.4.5 催化剂在浸出过程中的应用	54
习题与思考题	55
4 浸出工艺及设备	56
4.1 原料的制备	56
4.1.1 破碎	56
4.1.2 球磨	62
4.1.3 分级设备	67
4.2 浸出的方法及设备	69
4.2.1 搅拌浸出	69
4.2.2 高压浸出	73
4.2.3 渗滤浸出	73
4.2.4 堆浸	73
4.3 浸出工艺	74
4.3.1 间歇浸出	74
4.3.2 连续并流浸出	74
4.3.3 连续逆流浸出	75
4.3.4 错流浸出	76

4.4 固液分离方法及设备	76
4.4.1 浓缩及其设备	76
4.4.2 过滤及其设备	79
习题与思考题	89
5 锌的浸出过程	90
5.1 锌的性质和用途	90
5.2 锌的矿物资源和炼锌原料	91
5.3 锌的生产方法	92
5.3.1 火法炼锌	92
5.3.2 湿法炼锌	92
5.4 锌焙烧矿的浸出目的与浸出工艺流程	94
5.4.1 锌焙烧矿浸出的目的	94
5.4.2 焙烧矿浸出的工艺流程	95
5.4.3 锌焙烧矿在浸出中发生的主要化学变化	96
5.5 铁酸锌的溶解与中性浸出过程的沉铁反应	104
5.5.1 铁酸锌的溶解	104
5.5.2 中性浸出过程的沉铁反应	105
5.6 从含铁高的浸出液中沉铁	107
5.6.1 黄钾铁矾法	108
5.6.2 针铁矿法	110
5.6.3 赤铁矿法	112
5.7 氧化锌粉及含锌烟尘的浸出	113
5.7.1 氧化锌粉及含锌烟尘的来源与化学成分	113
5.7.2 氧化锌粉浸出前的预处理	114
5.7.3 氧化锌粉的浸出	115
5.8 氧化锌矿的直接浸出	117
5.8.1 氧化锌矿原料的特性	117
5.8.2 氧化锌矿直接酸浸过程中胶体的形成与控制	118
5.8.3 高硅氧化锌矿直接酸浸的生产实践	119
5.9 硫化锌精矿的氧压浸出	121
习题与思考题	123
6 铜的浸出	124
6.1 概述	124
6.2 浸出基本原理	125
6.3 氨浸工艺	126
6.3.1 氨浸工艺流程及基本原理	126
6.3.2 氨浸工艺过程控制	127

6.4	酸性浸出	128
6.5	盐类浸出	129
6.5.1	铁盐浸出	129
6.5.2	酸性 CuCl_2 浸出	129
6.6	细菌浸出	130
6.6.1	细菌浸出原理	130
6.6.2	细菌浸出技术	132
6.7	浸出方式	133
6.7.1	槽浸	133
6.7.2	搅拌浸出	133
6.7.3	堆浸	134
6.7.4	就地浸出	135
6.7.5	加压浸出	135
	习题与思考题	136
7	金银的浸出	137
7.1	金、银性质及用途	137
7.1.1	金、银的物理性质	137
7.1.2	银的化学性质	137
7.1.3	金的化学性质	138
7.1.4	金、银的用途	138
7.2	银的浸出	140
7.2.1	铜阳极泥湿法提银	140
7.2.2	铅阳极泥湿法提银	145
7.2.3	从锡冶炼中回收银	147
7.3	金的浸出	148
7.3.1	概述	148
7.3.2	预处理	150
7.3.3	氰化浸出金	152
7.3.4	非氰浸出	162
7.3.5	纯化与富集	168
7.3.6	回收	169
	习题与思考题	170
8	铝、钨碱性浸出	171
8.1	碱性浸出的应用概况	171
8.2	铝土矿的碱溶出	171
8.2.1	基本原理	171
8.2.2	工艺简述	172

8.2.3 铝土矿碱溶出操作	173
8.3 钨精矿的 NaOH 浸出	174
8.3.1 基本原理	174
8.3.2 工艺简介	175
习题与思考题.....	176
参考文献.....	177

1 浸出过程基础知识

1.1 概 论

冶金狭义的概念就是指金属冶炼。金属冶炼是指从含有金属的原料，如金属矿石、精矿或冶炼过程中间产物中提取纯金属或制取金属化合物，乃至生产合金的过程。在习惯上又常将金属冶炼称为冶金。在现代冶金中，由于矿石（或精矿）性质和成分、能源、环境保护以及技术条件等情况的不同，故冶金方法是多种多样的。根据各种冶金方法的特点，人们通常习惯将冶金方法粗略地划分为两大类：火法冶金、湿法冶金；细致的划分，可分为三大类：火法冶金、湿法冶金、电冶金。

1.1.1 湿法冶金的概念

传统观念的湿法冶金仅属于提取冶金的范畴，主要是指在水溶液中进行的提取金属的过程，它包括在水溶液中浸出矿物原料或从冶金中间产品或废旧物料中提取有价金属、含有价金属水溶液的净化除杂质及其中相似元素的分离、从水溶液中析出金属或金属化合物等过程。近代观念湿法冶金是指在水溶液中进行的提取有价金属及其金属化合物、制取某些无机材料及处理某些“三废”的过程，如磁性材料、陶瓷材料等先导粉体、纳米级的复合金属粉。

目前湿法冶金在提取金属及材料工业中具有日益重要的地位。80%以上的锌、15%~20%的铜、全部的 Al_2O_3 和许多的稀散金属是用湿法方法生产的。

按传统的观念湿法冶金可分为两个性质不同的过程：

- (1) 使欲提取的矿物或中矿自矿石或其他产物中转入溶液，亦即浸出。
- (2) 使欲提取的金属自溶液中脱出。

与火法冶金相比，这是一门比较新的技术。不论是药剂还是使用这些药剂的化学知识都是近期才出现的。现今，湿法冶金不但可与火法冶金相媲美，而且常较其经济。

湿法冶金的优点可概括如下：

- (1) 可从浸出液中直接得到纯金属、置换沉淀或电积。例如，加压氢沉淀。
- (2) 如果在过程中兼用汞齐冶金，则由不纯净的浸出液中可回收得到高纯金属。
- (3) 大多数浸出剂不与矿石中的脉石起作用，不需单独消耗试剂；而在火法冶金过程中这些脉石必然要造渣，需要消耗熔剂。

(4) 与炉子耐火衬里的损坏，以及定期停炉维修相对比，湿法冶金的腐蚀问题相对要轻些。

(5) 大多数湿法冶金过程是在室温进行，因此，就无需像火法冶金那样消耗大量燃料。

- (6) 处理浸出渣要比处理冰铜、渣和金属便宜得多且容易得多。

(7) 通常湿法冶金过程特别适于处理低品位矿石。

(8) 湿法冶金过程可从小规模着手随后按需要而扩大；而火法冶金，通常设计为较大规模作业，因为建造一个大炉子较建造总能力相同的几个小炉子要经济。

(9) 湿法冶金工厂不像熔炼那样容易污染环境。在现今，防止大气污染已普遍引起人们的重视，该因素正起着重要的决定作用。

(10) 湿法冶金过程易实现生产自动化。

1.1.2 湿法冶金过程

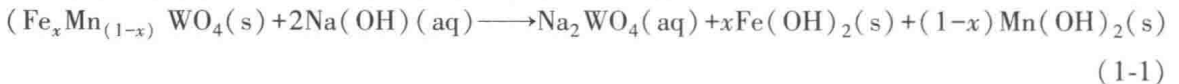
湿法冶金通常是指在低温下（一般低于 100℃，但现代湿法冶金研发的高温高压过程，其温度可达 200~300℃）用溶剂处理矿石或精矿，使所要提取的金属溶解于溶液中，而其他杂质不溶解（或正好反过来），通过液固分离等制得含金属的净化液，然后再从净化液中将金属提取和分离出来。主要过程有：浸出（包括物料的预处理）、净化、金属制取（用电解、电积、置换等方法制取金属），这些过程均在低温溶液中进行。

1.1.3 浸出及其在湿法冶金中的地位

浸出过程是湿法冶金的第一个过程。浸出过程就是在水溶液中利用浸出剂与固体原料（如矿物原料、冶金过程的固态中间产品、废旧物料等）作用，使有价元素变为可溶性化合物进入水溶液，而主要伴生元素进入浸出渣。

例如：（1）锌焙砂的中性浸出和酸性浸出的目的主要是使焙砂中的 ZnO 与浸出剂 H_2SO_4 作用变成 $ZnSO_4$ 进入水溶液，砷、锑、铁等杂质发生水解进入渣中；

（2）黑钨精矿的 NaOH 浸出就是通过下列反应：



破坏黑钨矿的稳定结构，使钨变成可溶性的 Na_2WO_4 进入溶液，铁、锰变为氧化物进入渣中，实现两者的分离。

浸出过程也用于从固体物料中除去某些杂质或将固体混合物分离，例如锆英石 ($ZrO_2 \cdot SiO_2$) 精矿经等离子分解后得 ZrO_2 与 SiO_2 的混合物，为使两者分离，常用 NaOH 浸出，使 SiO_2 以 Na_2SiO_3 形态进入溶液，而 ZrO_2 则保留在固相中。在材料工业中，浸出过程亦用于除去在加工过程中带入的某些夹杂物。

几乎所有稀有金属的生产流程中都包括一个或多个浸出工序。浸出过程的指标在很大程度上决定了整个金属冶炼的效益。同样在材料工业中它也日益显示出其重要地位和较好的前景，例如：C. Santons 直接用 HCl 浸出和 H_2F_2 浸出处理纯度为 98%（质量分数）的粗硅，得到纯度为 99.9%（质量分数）的可用于制造日光电池纯硅；据报道用 H_2F_2 ，在 50℃ 下浸出粗硅，产品纯度达 99.5%（质量分数），成本仅为硅烷法的几分之一。还有报道可用 $HNO_3-H_2O_2$ 高压浸出法从稻壳中制取高纯细 SiO_2 ，因此研究浸出过程的理论和工艺对改善和发展提取冶金过程和材料工业都具有重大的意义。

1.2 浸出过程的化学反应

浸出过程是通过一系列化学反应实现的，这些反应可归纳为以下几类。

1.2.1 简单溶解

原料中某些本来就易溶于水的化合物,在浸出时简单溶入水中(当然也伴随着水合反应),如烧结法生产 Al_2O_3 时,烧结块中的 NaAlO_2 的溶出和锌焙砂浸出时焙砂中 ZnSO_4 的溶出就属于这类反应。

1.2.2 无价态变化的化学溶解

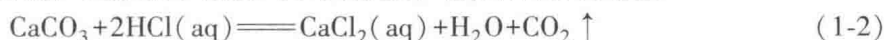
金属矿物在转入溶液的过程中化合价不发生变化的反应主要有以下几种:

(1) 化合物(主要是氧化物)直接溶于酸或碱。例如锌焙砂浸出时,其中的 ZnO 、 $\text{ZnO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ 等直接与 H_2SO_4 作用,生成相应的硫酸盐进入溶液。

(2) 复分解反应,主要是原料中的难溶化合物与浸出剂之间的复分解反应,分为两种情况:

1) 组成难溶化合物的一种元素或离子团进入溶液而其他元素或离子团转化进入另一种难溶化合物,如上述黑钨矿的 NaOH 浸出反应(见反应(1-1))。

2) 组成该难溶化合物的一种元素或离子团进入溶液而其他的成分变为气体进入气相或变成难电离物进入溶液,例如精矿酸浸时,其伴生矿物方解石的反应:

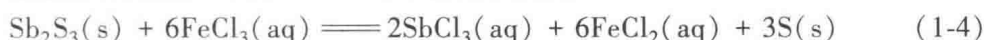


1.2.3 有氧化还原反应的化学溶解

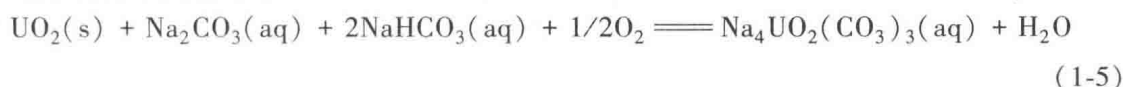
有氧化还原反应的化学溶解即浸出反应中有价态变化,如闪锌矿等有色金属硫化矿的高压氧浸:



辉铋矿等有色金属硫化矿的氯盐浸出(或氯化浸出):

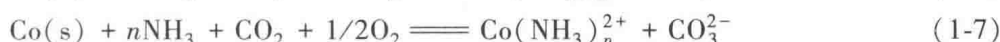
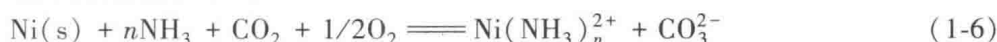


原生铀矿的碳酸盐浸出:

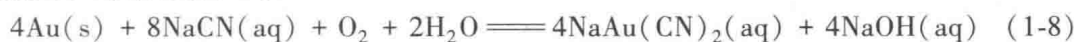


1.2.4 有配合物生成的化学溶解

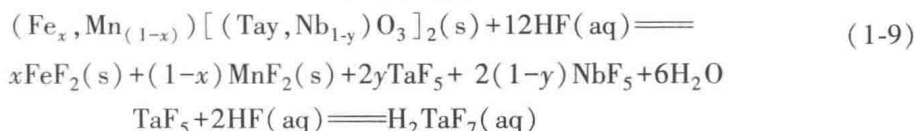
有配合物生成的化学溶解即有价金属不仅发生上述浸出反应,同时生成配合物进入溶液,如红土矿经还原焙烧后的氨浸出:



自然金矿的氰化物浸出:



在某种意义上说,钽铌铁矿的氢氟酸分解亦属此类:



1.3 浸出过程分类

目前浸出过程分类繁多,其中最常用的是按浸出剂的类型分类,主要有以下几种。

1.3.1 酸性浸出

酸性浸出主要是用盐酸或硫酸、硝酸将物料中的碱性化合物溶入溶液。

1.3.1.1 常用酸性浸出剂

A 盐酸

盐酸是 HCl 的水溶液,强酸,为冶金生产中最常用的酸性浸出剂之一,随 HCl 浓度增加,平均活度系数增大。盐酸溶液中 HCl 的蒸气压随 HCl 的浓度和温度增加而加大,如表 1-1 所示。

盐酸的另一特点是腐蚀性极强,且易挥发,容易进入车间的空气中。因此,工业上选择适当的设备材质及车间设备的防腐至关重要,在 100℃ 以下时,设备内衬材料可选用石墨或石棉酚醛塑料,亦可用搪瓷。

表 1-1 HCl 的平衡分压与 HCl 质量分数及温度的关系

质量分数/%	平衡分压/kPa				
	30℃	50℃	70℃	90℃	100℃
10	0.0015	0.0092	0.046	0.197	0.386
16	0.0141	0.073	0.319	1.17	2.14
20	0.064	0.294	1.333	3.75	6.517
26	0.608	2.333	7.799	22.53	36.71
30	2.80	9.44	27.6	72.09	112.38

B 硫酸

硫酸是最为常用的酸性浸出剂之一,其平均活度系数随 H_2SO_4 浓度的增加而增大,沸点也随 H_2SO_4 质量分数的增加而升高,如表 1-2 所示。因此工业上某些物料的硫酸浸出过程是先将其与浓硫酸混合,在高温下进行处理,使其充分硫酸化,同时将硅胶脱水并除去某些挥发性杂质,然后用水浸出,这种工艺过程在实践中往往是有意义的。

表 1-2 硫酸的沸点与其质量分数的关系

密度/ $g \cdot cm^{-3}$	1.84	1.78	1.678	1.607	1.543	1.464	1.402	1.32
质量分数/%	95.3	84.3	75.3	69.5	64.3	56.4	50.3	41.5
沸点/℃	297	228	185.5	169	151.5	133.5	124	115

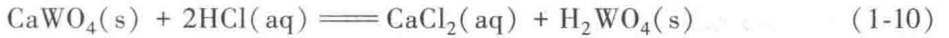
1.3.1.2 酸性浸出的应用

酸性浸出为冶金中应用最广的方法之一,总的来说,凡是要从固体物料(如精矿、

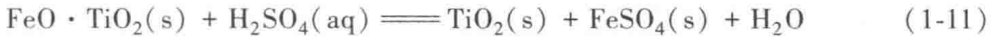
冶金中间产品等)中浸出(或除去)碱性或两性化合物,或某些两性的单质金属都可用酸性浸出,具体的有:

(1) 从有色金属氧化矿或中间产品中浸出有色金属,例如锌焙砂、铜焙砂的酸浸,以及低品位铜氧化矿的酸浸都是当前工业生产中的主要方法。

(2) 分解有色金属含氧酸盐矿物,将其中的伴生金属氧化物(如FeO、CaO等)除去,例如用盐酸或硝酸分解白钨精矿。



用盐酸或稀硫酸分解钒铁矿除FeO:



(3) 从冶金中间产品除去某些氧化物或金属杂质,如工业上将钨粉、钼粉进行酸洗,以除去机械夹带的杂质。

在有色冶金中最典型的酸性浸出工艺有锌焙砂的硫酸浸出和低品位铜矿的堆浸。

1.3.2 碱性浸出

碱性浸出主要指用NaOH、Na₂CO₃、NH₄OH作浸出剂的浸出过程,在某些情况下氨浸过程亦属于碱性浸出。

1.3.2.1 常用碱性浸出剂

(1) NaOH。

1) NaOH属强碱,可用于从弱碱盐及单体中浸出各种酸性氧化物,如从铝土矿中浸出Al₂O₃,CaWO₄中浸出WO₃等。

2) NaOH沸点和平均活度系数均随浓度的增加而增加,如表1-3、表1-4所示。

表 1-3 NaOH 质量分数与沸点的关系

质量分数/%	10	20	30	40	50	60
沸点/℃	103.5	108	117.5	128	143	162

表 1-4 NaOH 的平均活度系数与质量摩尔浓度及温度的关系

质量摩尔浓度 /mol · kg ⁻¹	平均活度系数 γ±					质量摩尔浓度 /mol · kg ⁻¹	平均活度系数 γ±				
	20℃	30℃	40℃	50℃	60℃		20℃	30℃	40℃	50℃	60℃
2.0	0.709	0.712	0.707	0.709	0.712	8.0	2.17	2.06	1.93	1.78	1.63
4.0	0.916	0.911	0.895	0.916	0.911	10.0	3.61	3.31	3.00	2.67	2.34
6.0	1.35	1.32	1.27	1.35	1.32	12.0	5.80	5.11	4.43	3.79	3.19

从表1-4可知,采用NaOH浸出时,若在较高浓度下进行,即使在常压下也可能采用较低的温度,这样可大幅度提高反应物的活度,在动力学和热力学上都可得到有利条件。

(2) Na₂CO₃。

Na₂CO₃的碱性较弱,在25℃,质量浓度为100g/L时,溶液的pH值仅12左右;Na₂CO₃与NaHCO₃的混合溶液pH值在12和9之间。Na₂CO₃可用于浸出酸性较强的氧化物,如WO₃等,亦用于浸出某些钙盐形态的矿物,如白钨矿等,此时利用其中CO₃²⁻与Ca²⁺形

成难溶的 CaCO_3 ，有利于浸出反应的进行。

在一定浓度范围内， Na_2CO_3 溶液的平均活度系数随其浓度的升高而降低，例如，在 25°C ，当 Na_2CO_3 浓度分别为 0.01、0.1、1mol/L 时，其平均活度系数分别为 0.729、0.446、0.264，因此从热力学上看， Na_2CO_3 浸出时，浓度过高，其效果并不会明显提高。

(3) NH_4OH 。

NH_4OH 属弱碱，在 25°C ，浓度为 1mol/L 时，溶液的 pH 值为 11.7，故当作碱性浸出剂时，仅适用于浸出某些酸性氧化物（在铜矿、镍矿的高压氨浸时，氨是配合剂而不是浸出剂）。

NH_4OH 溶液特点是其 NH_3 的平衡蒸气压随 NH_3 的质量分数和温度的升高而增加，如表 1-5 所示。

表 1-5 NH_3 的平衡分压与 NH_4OH 质量分数及温度的关系

质量分数/%	平衡分压/kPa					
	0	20°C	40°C	60°C	80°C	100°C
5	1.34	4.56	10.21	22.32	43.00	75.09
10	3.22	9.37	22.98	49.07	93.76	163.20
15	5.99	16.72	39.76	83.10	156.24	269.17

从表 1-5 可知，对质量分数为 10%（约相当于 $6\text{molNH}_3/1000\text{gH}_2\text{O}$ ）的氨溶液而言，在 80°C 时 NH_3 的分压已达 93.76kPa，若加上 H_2O 的蒸气压，则总压已达 140.99kPa。因此，除低浓度及较低温度下的浸出过程可在常压下进行外，较高浓度及较高温度时均应在密封设备中进行。

1.3.2.2 碱性浸出的应用

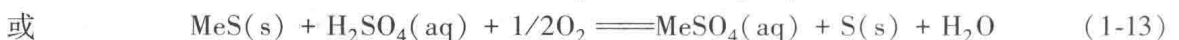
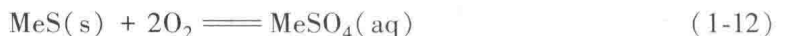
碱性浸出主要是用 NaOH 将物料中的酸性化合物浸入溶液，如铝土矿或黑钨矿的 NaOH 浸出等，此外人们往往将 NaCO_3 浸出亦归入碱浸之列。至于 NH_4OH 浸出，在某些场合下属于碱浸范畴，如用 NH_4OH 浸出钨酸或钼焙砂 (MoO_3)，主要利用 NH_4OH 的碱性。但在某些场合下却主要是利用其配合性质，如铌、钴、铜硫化矿的氨浸等，则不应归入碱浸之列。

1.3.3 氧压浸出

目前硫化锌精矿、辉钼矿精矿的高压氧浸已用于工业生产，此外，其在黄铜矿、镍钴硫化精矿、含金的黄铁矿处理方面亦取得很大成效。

1.3.3.1 基本原理

硫化矿氧浸的反应为：



硫以 SO_4^{2-} 形态产出还是以元素硫的形态产出，主要取决于 MeS 本身的热力学性质。许多学者对其动力学进行了研究，发现各种硫化矿氧浸出的动力学规律均大同小异，具有