

湿  
法  
冶  
金

# 湿法冶金

夏光祥 编著



76.118/468



科学出版社

76.118  
468  
C.2

# 湿法冶金

夏光祥 编著

31007/62

科学出版社

## 内 容 简 介

现代湿法冶金是近二十年来发展起来的一门新技术，是冶金领域中的一个重要方面，在有色金属、稀有金属的工业生产中得到广泛应用。本书通俗、简要地介绍了湿法冶金的基本内容、原理、特点、应用及进展概况。

本书是科普读物，可供广大工农兵、干部、青年阅读。

## 湿 法 冶 金

夏光祥 编著

\*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

\*

1978年11月第一版 开本：787×1092 1/32

1978年11月第一次印刷 印张：4 1/4

印数：0001—7,660 字数：80,000

统一书号：15031·200

本社书号：1231·15—2

定价：0.32 元

# 目 录

一 金属生产与湿法冶金 .....	1
开发矿业 .....	1
金属的发现和生 产 .....	2
金属提取——与杂质作斗争的过程 .....	4
火法与湿法 .....	7
冶金面临的任 务 .....	8
湿法冶金是个多面手 .....	11
二 湿法冶金过程概况 .....	15
我国古代人民的重要贡献 .....	15
湿法冶金工艺过程 .....	18
自矿石中提铊 .....	20
从科学实验到工业生产 .....	22
化学工业的支 援 .....	23
三 湿法冶金原理 .....	26
浸取——金属矿物的溶解 .....	26
固液分离操作方 法 .....	34
溶液净化和金属回 收 .....	36
湿法冶金的知识基 础 .....	38
湿法冶金工 程 .....	38
四 高温高压技术 .....	40
高温高压的优越性 .....	40
从化学反应速度和平衡谈起 .....	42
高压湿法冶金工厂巡礼 .....	44
高温高压湿法冶金设 备 .....	49
五 固液分离 .....	51

3525

沉降分离的难题 .....	51
高效能的合成絮凝剂 .....	52
水力旋流器的新应用 .....	55
六 有机溶剂的应用 .....	57
有机溶剂浸取本领域 .....	57
溶剂萃取概况 .....	59
溶剂萃取原理和操作 .....	61
回收金属 .....	63
让有害杂质低于百万分之一 .....	64
分离共生金属 .....	66
七 利用离子交换技术分离和回收金属 .....	68
在湿法冶金中的应用概况 .....	69
离子交换原理 .....	70
自废水废液中回收金属 .....	72
用于铀矿工程 .....	73
综合回收溶液中的金属 .....	74
色层分离十四种稀土金属 .....	76
应用方面的新进展 .....	78
八 自浸取液中制造金属粉末 .....	80
粉末冶金与金属粉末 .....	80
自溶液中沉淀金属粉末 .....	82
氢沉淀金属的重要条件 .....	84
工业上是如何生产的 .....	86
作为金属分离的手段 .....	88
生产涂层粉末 .....	89
九 湿法冶金中的微生物催化 .....	92
有趣的发现 .....	92
自养性细菌 .....	94
细菌作用结果的化学方程式 .....	95
奥妙在于酶 .....	96

细菌冶金实践 .....	97
变废为宝生产铜粉 .....	98
铀的产量翻了番 .....	99
广阔的用途 .....	100
十 地下湿法冶金 .....	102
不用人在地下工作 .....	103
地下浸取的秘密 .....	104
惊人的技术经济效果 .....	105
回收作废了的铜和铀 .....	106
向新矿山迈进 .....	108
水力破碎法就地提取金属 .....	109
利用核爆破技术 .....	110
地下浸取的飞跃发展 .....	111
更进一步的设想 .....	113
十一 向海洋索取金属 .....	115
海洋是个聚宝盆 .....	115
海水——贮存金属的仓库 .....	116
海床上“生长”着的金属矿 .....	117
从湿法冶金观点看海洋 .....	118
海水提镁 .....	119
海洋化工与冶金联合 .....	120
交换海水中的金属 .....	121
富集金属的海洋生物 .....	122
向海底矿藏进军 .....	123
结束语 .....	127

# 一 金属生产与湿法冶金

## 开 发 矿 业

随着我国社会主义建设事业的飞速发展，千万种机器设备日益广泛地应用于各行各业，工农业生产的机械化、自动化水平不断提高。

为了制造机器设备和进行工农业基本建设，就需要大量的金属；不仅数量大，品种也要多。为此，就需要大量的综合开发和利用地下矿产资源。

我们伟大的祖国幅员辽阔，资源富饶。在毛主席关于“开发矿业”的伟大号召下，全民大打矿山之仗，开发埋藏在地下的矿产资源，为冶金工业提供了丰富的原料。

提起冶金，谈到钢铁是怎样炼成的时候，在人们的脑际间立刻会涌现出这样的一些镜头：林立的高炉，熊熊的烈火，铁水奔流，钢花飞溅，……，这是对以钢铁为代表的火法冶金热烈场面的真实写照。可是在冶金工业生产中，除了以高温、烈火为特征的火法冶金外，尚有一种冶金方法，它与火法概念相对而言叫做水法冶金，广泛地叫做湿法冶金。火法的特征是在烈火中进行化学还原，把矿石熔炼成为金属。湿法则在水溶液中进行，用酸、碱或盐等化学溶剂自矿石中提取金属，是

一种在溶液中进行冶金作业的总称。我们知道，目前在冶金工厂里生产的金属品种很多，计有黑色金属、有色金属、稀有金属、放射性金属、稀散金属、贵金属等等种类。在生产金属时，针对具体的矿藏资源及条件，采用湿法或火法工艺流程来提取其中的一种或多种金属；有时则需用两种方法结合起来，方能多快好省地获得满意结果。对于生产铀、钴、铝、镁、镉等金属说来，湿法是一个极重要的手段；对于铜、金、钨、钼、镍、锌等金属，在工业生产中湿法占有相当的地位。湿法冶金是以铀的提取为中心而发展起来的，并广泛用于有色金属及稀有金属的工业生产；在黑色金属的锰生产方面，以及把废铁回收成为铁粉时，湿法冶金也得到应用。与传统的火法冶金相对比，湿法冶金所用的化学溶剂和化学知识都比较新颖一些，使它作为一门新技术而在冶金中得到迅速发展。目前，湿法冶金过程是能与火法冶金过程相竞争的方法，在经济上有时更优越一些。所以，在开发矿业、生产金属方面，湿法冶金将会起到重要的作用。

## 金属的发现和生产

金属的发现和生产，同人类的实践和需要是分不开的。据统计，人类在古代发现并应用了铜、铁、铅、锡、汞、金及银等7种金属；中世纪发现2种，十八世纪14种，十九世纪44种，二十世纪21种。亦即目前所知的88种金属元素中，有65种是在十九世纪开始之后发现的。





1970年估计,在地球上每年从地下开采的矿石量,至少为30亿吨之多。近二、三十年来,由于有色及稀有金属发展较快,开采的有色及稀有金属矿石量,比以往整个人类历史时期采矿量的总和还要多。铀矿开采就发展得更快了,其速度之快为其他金属矿物所望尘莫及。

## 金属提取——与杂质作斗争的过程

极大多数金属,在地壳层内都是以化合物的形式存在于矿石中。矿石是由一种或数种金属矿物,同一种或数种脉石矿物所组成的混合物。矿物就是天然形态存在的化合物,有硫化物、硫酸盐、氧化物、碳酸盐、硅酸盐等。人们常把含铜、镍等金属的有用矿物称为金属矿物,把没有工业价值的硅、钙、镁的矿物叫做脉石矿物,简称脉石。以铜矿为例来说,矿石中有少量的黑铜矿( $\text{CuO}$ )、铜蓝( $\text{CuS}$ )、辉铜矿( $\text{Cu}_2\text{S}$ )、黄铜矿( $\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{Fe}_2\text{S}_3$ )、斑铜矿( $3\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{Fe}_2\text{S}_3$ )等铜矿物,以及大量的石英、方解石等脉石矿物。所以,由矿石提取金属的过程中,一方面是除去脉石等杂质;一方面是把金属化合物变成金属。整个金属提取过程,就是与杂质不断作斗争的过程。

当矿石中可回收的金属不止一种时,就叫复杂矿或多金属矿。矿石中的有用金属含量叫品位,常以重量百分率表示。不同的金属是从不同的矿石品位提炼的。例如炼铁的铁矿品位为45%,开采出的铜矿品位为0.5%,提铀时的最低品位可为0.03%。这样看来,由矿石中提取金属,首先是除去大量

的杂质,回收有用金属成分,最后还原精炼成为纯金属。所以说,金属提取就是运用物理及化学方法与杂质作斗争的过程。

为了了解提取金属过程的两种方法——火法与湿法,以及在两种方法中所采用的技术概况,下面先谈谈目前冶金工厂中自矿石生产金属所经历的全过程。

在工业生产中,自矿石到金属所经历的全过程大致如下:

矿石→选矿→矿石分解→金属回收→金属制取  
→精炼→纯金属。

现以铜的生产为例加以说明。自矿山采出的铜含量在1%以下的铜矿石,经浮选后得到铜含量为20%的精矿;在高温高压下用酸浸取方法分解精矿,铜转入溶液;经溶剂萃取得到纯净的硫酸铜水溶液;进行电解后得到铜片,再经熔炼即得纯铜锭,供加工成铜线等成材。

在工业生产中,有些金属的提取(例如稀有金属提取)要经历上述全过程;有些金属则可省略一些步骤,例如开采出来的富铁矿可直接入高炉炼成生铁,而不经选矿等步骤。

上述处理物料的每个步骤,针对具体情况而采用不同的技术手段:

在选矿方面,常用重选、浮选、磁选等方法,主要目的是得到金属含量高的精矿。

在矿石分解方面,常用浸取、碱熔合、焙烧、氯化、氟化等不同方法,目的是得到含金属的溶液、固体或液体;或者为此创造条件。

在金属回收方面,常用结晶、沉淀、置换、吸附、离子交换

及溶剂萃取等方法,目的是得到金属、金属化合物或含金属的纯净溶液。

在金属制取方面,常采用还原、热分解、电解等方法,目的是得到金属。

在金属精炼方面,常采用电解、蒸馏以及在真空或惰性气氛下的各种精炼方法,如感应炉熔炼、电弧炉熔炼、电子轰击炉熔炼、区域熔炼等,以便制备纯金属。工业生产的纯金属,以金属纯度及有害杂质含量为标准而划分为一级、二级、三级等级别。各种金属产品的规格均有冶金部颁发的标准。

在放射性金属、稀有金属、半导体金属等所谓新金属的生产方面,提取时均采用新技术。现将主要新金属的工业生产方法列表如下:

金 属	矿石分解		金属分离		金属还原				金属精炼				粉 末 冶 金
	湿 法	干法 (或与湿 法联合)	溶 剂 萃 取	离 子 交 换	氢 气	热 分 解	活 性 金 属	融 盐 电 解	感 应 熔 炼	电 弧 熔 炼	电 子 轰 击	区 域 熔 炼	
铍	0	0		0			0	0		0	0	0	0
锆		0			0							0	
铪		0	0				0			0	0		
铌	0	0	0				0	0			0		0
稀土	0		0	0			0	0				0	
硅		0			0	0	0						
钽	0	0	0				0	0		0	0		0
钼	0		0	0			0	0	0	0			
钨	0		0	0			0	0	0				
铀	0		0	0			0	0	0				
钇	0		0	0			0			0	0		
铈		0	0	0			0			0			

## 火法与湿法

由上述自矿石到金属的全过程中，金属提取方法可归纳为两类：湿法与干法（俗称火法）。湿法与干法的主要内容如下：

湿法	干法
湿法冶金	火法冶金
浸取	碱熔合
自浸取液中沉淀	焙烧
离子交换	还原
溶剂萃取	氯化冶金
水溶液电解	氟化冶金
	羧基冶金
	熔盐电解

火法意味着矿石物料在高温下操作，常伴有固体物料熔化和现象。湿法通常是在低温(25—250℃)下于水溶液中提取金属的过程。对于一个具体的矿藏资源说来，在制定回收金属的方案时，有可能完全用火法冶炼流程；也有可能完全用湿法冶炼流程；有时把火法与湿法操作结合起来使用，才符合理想，才能获得较高的技术经济指标。

作为一种原料加工方法，每种方法都有自己适用的范围和条件，火法冶金与湿法冶金也是这样。

火法冶金通常是在高温下操作，使矿石熔化及金属氧化物还原，在熔化状态下使金属与脉石分开。例如在 1000—

1450℃下,在高炉或鼓风机中冶炼氧化矿,可生产出铜、铅、铁等。可以想象到,高炉生产的金属熔点不能太高,否则就很难熔化,从而不能与脉石分开;所处理的金属性质不能太活泼,否则高炉中的碳不能把它还原成金属;所处理的矿石中金属含量不能太低,否则金属回收率低,金属因熔于炉渣中而损失,且焦炭消耗量大。为此,低品位矿石需经选矿富集成高品位精矿后,才适用于火法冶炼。当矿石中含有多种金属时,在操作及综合回收方面,火法有时存在着一定的困难。

湿法冶金在提取及分离金属时,都在水溶液中进行,与火法比较起来,直接自低品位矿石中回收金属、处理高熔点金属矿物、稀有稀土金属矿物以及综合利用多金属矿物方面,湿法就有显著的优点。例如含量仅为千分之几或万分之几的铀矿;熔点为3400℃的钨的矿石加工;含铜、镍、钴的复杂矿等等,就适于用湿法提取。

火法最大的优点是反应速度快,操作有经验,在黑色及有色金属冶炼方面应用极广。湿法的最大优点是金属回收率高,比较经济,劳动条件好,并易于实现自动化。

目前,在与矿石杂质作斗争的过程中,两种方法比较起来,湿法已逐渐引起人们的注意。

## 冶金面临的任务

近二十年来湿法冶金更加引人注目,这主要与金属生产上所面临的有关。

在金属生产上多年来所面临的任务是：一是利用低品位矿石及综合利用多金属的复杂矿；一是对金属产品的纯度要求愈来愈高；再就是消除“三废”，防止环境污染。这就是说在提取金属时，矿石的品位、金属的纯度、矿石的特征以及防污染的要求等，均影响着提取过程的发展。

从矿石品位来说，铁是从含铁量为 45% 以上的矿石中提炼的。对砂金矿说来，品位为 0.00001%，即每吨矿含 0.1 克金，开采砂金矿提金在经济上已是可行的。由于生产上的发展，随着地下矿藏的大量开采，采出的矿石品位就愈来愈低，如下表所示，表明目前冶金工业上所处理的矿石最低品位，要比五十年前低得多。

矿 石	五十年前最低品位%	目前最低品位%
铜	5	0.5
锌	6	2.7
铅	6	0.7
铁	50	25
锰	48	25
铀		0.03

通常提取金属时，消耗的材料大致与矿石量成正比。当处理相同数量的矿石时，品位低时回收的金属量少，经济上就不利，所以如何自贫矿中经济而有效地提取金属就提到日程上来了。

在金属产品纯度要求方面，随着科学技术的发展，在原料成份复杂的情况下却对金属的纯度提出了极高的要求。例如用作核燃料的铀，要求其中某些有害杂质含量要在百万分之

一以下。在这种要求下,就需采用新技术才能根除杂质,制造纯金属。

复杂矿的综合利用很重要。许多矿石里往往含有多种有用金属,例如有的铜矿中能回收十四种有用金属;有的铅锌矿中能回收十六种有用金属。采用能综合回收的生产方法,可充分利用自然资源,在经济上收益也颇大。

从金属矿物的不同特性来说,例如铁矿、铅矿、锡矿等很容易直接用炭还原熔炼成为金属;高熔点的金属矿物就很困难,因而要求采用新的冶炼方法。

近年来,世界各国在冶金方面要求消除“三废”、保护环境卫生的群众呼声很高。例如许多有色金属矿含硫,火法冶炼时把大量的二氧化硫排至空中,污染环境,损害农业生产。目前已采用补救办法,用含二氧化硫废气制造硫酸,减少了大气污染。但如采用湿法冶金方案时,则可把矿石中的硫成分回收成为硫磺或硫酸铵,杜绝了空气污染,可把废气消灭在生产过程中。此外,湿法冶金可处理一些固体废料,如废金属屑等;当采用离子交换等技术处理废液时,可消除废水、废液的污染问题。

上述种种情况推动着金属提取过程的发展。以钢铁冶炼为代表的传统冶炼方法——火法处理贫矿时,有的在技术上不可能,例如在理论上及实践上均不可能在高炉中炼出钛;有的在技术上可行,但经济上不合理,例如以冶炼含铜5%与20%的原料相比,前者不仅生产费用高出后者几倍,且金属回收率也很低,因此如能用适宜的方法把铜矿品位提高,冶炼



时就更为奏效，于是一门新技术——选矿学在本世纪二十年代开始发展起来了。

选矿主要是用物理方法把金属矿物从脉石中分离出来。多数金属矿物呈微粒状嵌布于脉石中，经破碎磨细后，借金属矿物的重度、磁性、硬度、放射性、表面性质等特征而把矿物选出来。例如利用硫化铜矿物的表面性质所进行的浮选选矿，可把矿石含铜品位由 0.5% 提高到 20% 以上，用这种浮选后的高品位精矿供火法冶炼用，那就非常适合它的胃口了。

选矿只能为火法或湿法冶金提供高品位的矿石原料，并且应用是有限度的，例如对于结核性氧化铜、镍、钴矿，选矿法是无能为力的；尤其是品位低的铀矿，很难用选矿法使其富集，并且铀矿不能用火法冶炼。因而以铀的提取为中心的湿法冶金方法，在近二、三十年来得到了迅速发展，并引用了许多化工新技术，如高压技术、溶剂萃取技术、离子交换、高压氢还原、流态化技术等等，成为现代科学技术行列中的一门新技术，在有色金属、特别是稀有金属生产方面得到广泛应用。

## 湿法冶金是个多面手

当你第一次参观湿法冶金工厂时，可能会误认为走进了化工厂。湿法冶金厂不象火法冶炼厂那样，浓烟滚滚，火花飞溅，而是到处林立着槽槽罐罐，空间布满着蜘蛛丝般的管道，与化工厂一般模样。

从本质上说，湿法冶金厂是化学实验室操作在工业规模