



王洪忠 编著

化学 选矿

清华大学出版社

王洪忠 编著

化学选矿

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书从资源加工学发展的角度,介绍了化学选矿的技术原理及其应用。重点论述了矿物原料焙烧和化学浸出过程的原理、方法和典型工艺流程。阐述了资源加工过程化学沉淀、溶剂萃取、离子交换与吸附、膜分离过程、矿物微生物浸出应用的基本原理。

本书可作为大专院校矿物加工工程专业本科生的教材,也可作为冶金、化工等专业相关人员的参考书。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

化学选矿/王洪忠编著. —北京:清华大学出版社,2012.2

ISBN 978-7-302-28120-7

I. ①化… II. ①王… III. ①化学—应用—选矿 IV. ①TD925.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 029156 号

责任编辑:孙 坚 赵从棉

封面设计:常雪影

责任校对:赵丽敏

责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:三河市李旗庄少明印装厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:8

字 数:190 千字

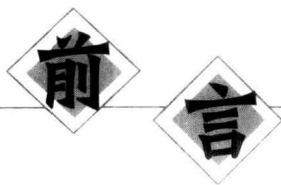
版 次:2012 年 2 月第 1 版

印 次:2012 年 2 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:22.00 元

产品编号:046364-01



“人口、发展与环境”是21世纪国际社会共同关心的重要议题。随着社会的发展、人口的增长,人类对资源的需求在不断增加。矿产资源作为其他行业生产的基础原料,为全球提供90%以上的能源,80%以上的工业原料和70%以上的农业生产资料。人类的活动与矿产资源之间的联系越来越密切,人类对矿产资源的依赖程度也越来越高。科学合理地开发利用矿产资源是人类社会发展的必然要求,也是实现人类社会可持续发展的根本保证。

当今世界矿物资源变得越来越短缺、贫细和复杂,传统的矿物加工学已无法应对技术难度方面的挑战。矿物加工工程学与相邻学科的相互交叉、渗透、融合,促进了矿物加工学科的拓展。高效益、低能耗、无污染的资源加工新技术的产生以及人类在其他新的研究领域的拓展,促进了矿物资源的综合利用。

化学选矿是资源加工学科的重要组成,它包括溶剂萃取、离子交换、膜分离、化学浸出等技术,适用于复杂矿物资源、海洋矿物资源、工业废水的处理等,涉及化学与化学工程、冶金工程、贵金属及稀有金属提取等领域。化学选矿作为矿物加工专业的专业课程,已成为矿物资源分离提取的重要方法。《化学选矿》一书是为适应矿物加工专业教学改革的需要编写的,该书针对矿产资源性质变化的特点,在引用了传统矿物加工教科书一些经典理论的基础上,重点把近年来矿物加工学科研究的新成果、新知识编进教材,力争做到深入浅出,通俗易懂。

由于编者水平所限,加之时间仓促,书中难免存在不当甚至错误之处,希望广大读者批评指正。

编 者
2011年12月

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 资源加工学的发展	1
1.1.1 传统选矿学科的形成	1
1.1.2 矿物加工学科的形成与发展	2
1.1.3 资源加工学科的形成	3
1.2 化学选矿及应用	4
习题和思考题	7
第 2 章 矿物的焙烧	8
2.1 概述	8
2.1.1 焙烧过程的分类	8
2.1.2 焙烧炉	8
2.2 还原焙烧	11
2.2.1 铁矿石直接还原	11
2.2.2 含镍红土矿的还原焙烧	13
2.2.3 难选氧化铜矿的还原焙烧	15
2.2.4 金属硫化矿的石灰强化还原	16
2.3 氧化焙烧与硫酸化焙烧	17
2.4 氯化焙烧	19
2.5 钠盐烧结焙烧	21
2.6 煅烧	21
习题和思考题	22
第 3 章 化学浸出	23
3.1 概述	23
3.2 常用浸出剂	24
3.2.1 酸类浸出剂	24
3.2.2 碱类浸出剂	25
3.2.3 盐类浸出剂	25
3.3 浸出原理	26
3.3.1 浸出过程热力学	26

3.3.2	浸出化学反应机理	27
3.3.3	影响浸出过程的主要因素	27
3.4	浸出方法的应用	28
3.4.1	酸类浸出	28
3.4.2	碱类浸出	33
3.4.3	盐类浸出	36
3.4.4	氯化浸出	45
3.4.5	热压浸出	47
3.5	浸出工艺	51
3.5.1	浸出方法	51
3.5.2	浸出流程	52
3.5.3	浸出过程的衡量	53
3.6	固液分离	53
3.6.1	重力沉降	54
3.6.2	过滤分离	55
3.6.3	离心分离	56
3.6.4	固液分离流程计算	57
	习题和思考题	61
第4章	化学沉淀	62
4.1	概述	62
4.2	离子沉淀	62
4.2.1	金属氢氧化物沉淀	62
4.2.2	硫化物沉淀	64
4.2.3	碳酸盐沉淀	65
4.2.4	草酸盐沉淀	65
4.3	置换沉淀	66
4.3.1	置换沉淀原理	66
4.3.2	常用的置换沉淀反应	66
4.4	电积沉淀	67
	习题和思考题	68
第5章	溶剂萃取	69
5.1	概述	69
5.2	溶液萃取的基本原理	69
5.2.1	溶剂萃取的基本概念	69
5.2.2	影响萃取平衡的因素	74
5.3	萃取剂、稀释剂、改质剂	76
5.3.1	萃取剂的分类	76

5.3.2 稀释剂的作用与一般要求	78
5.3.3 稀释剂对萃取剂萃取性能的影响	79
5.3.4 改质剂的影响	79
5.4 萃取方式和过程计算	80
5.4.1 单级萃取	80
5.4.2 多级错流萃取	81
5.4.3 多级逆流萃取	82
习题和思考题	83
第6章 离子交换与吸附	84
6.1 概述	84
6.2 离子交换树脂	84
6.2.1 离子交换树脂构造与原理	84
6.2.2 离子交换树脂分类及命名	86
6.3 离子交换过程的理论基础	88
6.3.1 离子交换平衡	88
6.3.2 离子交换选择性	89
6.3.3 离子交换过程和速度	90
6.4 活性炭吸附	91
6.4.1 活性炭的种类及性质	91
6.4.2 活性炭的吸附机理	91
6.4.3 炭浆法提金工艺	92
习题和思考题	93
第7章 膜分离过程	94
7.1 概述	94
7.2 膜和膜分离过程的分类与特性	94
7.2.1 膜的分类	94
7.2.2 重要的膜分离过程	95
7.2.3 膜的材料	96
7.3 膜的基本理论	97
7.3.1 膜分离过程的基本传质形式	97
7.3.2 膜分离过程的机理	97
习题和思考题	98
第8章 矿物微生物浸出	99
8.1 概述	99
8.2 浸矿微生物	100
8.2.1 浸矿微生物的种类、来源及生理生态特性	100

8.2.2 浸矿细菌的培养基	101
8.2.3 细菌的采集、分离和培养	102
8.2.4 细菌生长曲线	103
8.2.5 浸矿细菌驯化	103
8.2.6 细菌的计量	105
8.3 微生物浸出基本原理	105
8.3.1 细菌浸出直接作用	105
8.3.2 细菌浸出间接作用	107
8.3.3 细菌浸出复合作用	107
8.3.4 电位-pH 图	108
8.4 细菌浸出影响因素和浸出动力学	108
8.4.1 细菌浸出过程的影响因素	109
8.4.2 细菌浸出动力学	115
习题和思考题	117
参考文献	118

概 论

1.1 资源加工学的发展

资源加工学是由传统的选矿学、矿物加工学发展演变形成的新的学科体系。传统选矿学、矿物加工学的研究对象均以天然矿物资源为主。选矿学是用物理、化学的方法,对天然矿物资源(通常包括金属矿物、非金属矿物、煤炭等)进行选别、分离、富集其中的有用矿物的科学技术,其目的是为冶金、化工等行业提供合格原料。矿物加工学是在选矿学的基础上发展起来的,是用物理、化学的方法,对天然矿物资源进行加工(包括分离、富集、提纯、提取、深加工等),以获取有用物质的科学技术。其目的已不单纯是为其他行业提供合格原料,也可直接得到金属、矿物材料等。

1.1.1 传统选矿学科的形成

从公元前几千年的古埃及到中世纪的罗马帝国、古代中国,都有通过手工作业从天然矿石中得到矿产资源并加以利用的历史。但由于当时科学技术水平整体落后,社会生产力低下,远算不上是一门工业技术,这种现象一直持续到 19 世纪中期。

19 世纪末至 20 世纪 20 年代,世界工业生产快速发展,人类对矿物原料的需求增加,加上产业革命的推动,使这门工业技术的机械化成为可能,促进了“选矿”技术从古代的手工作业向工业生产的真正转变。近代工业生产中的大部分选矿工艺与设备都属于这一时期选矿领域的技术发明,如颚式破碎机、球磨机、机械分级机,重选、电磁选的设备与工艺及浮选药剂、工艺与设备等,特别是 20 世纪 20 年代初,黄药、黑药在浮选硫化矿时的应用,使选矿技术可以处理大部分天然矿物原料。从那时起,选矿技术成为人类从天然矿石中选别、富集有用矿物原料的一门成熟的工业技术,得到了广泛的应用。

在所有选矿技术的研究中,重选的基础研究起步较早,它是随着流体力学的发展而不断完善的。19 世纪下半叶,奥地利人 Rittinger 提出了“等降现象”;Monroe 等进一步提出“干涉沉降”。20 世纪 40 年代,苏联学者施马茨柯夫提出的跳汰是在上升水流中“按悬浮体的相对密度分层”的学说;德国学者 Mayer 从床层位能降的角度解释了分层过程;英国学者 Bagnold 在 50 年代观察到了剪切运动下层流、斜面流中多层粒群的松散分层现象。这些学说构成了重选的理论基础。在电磁选矿方面,随着物理学的发展,人们早就认识到用永久磁铁选别磁铁矿石。当电磁铁被用作磁选机的磁场并有了各种工业生产的电磁选矿机后,电磁选矿理论就初步确立了。

在浮选方面,从 20 世纪 30 年代开始,美国的 Taggart 及苏联的 Plaksins 等先后提出

了捕收剂的“化学反应假说”或“溶度积假说”，以解释重金属硫化矿的可浮性顺序。美国的 Gaudin、苏联的 Bogdanov 及澳大利亚的 Wark 等较多地研究了矿物的润湿性与可浮性的关系、浮选剂的吸附作用机理、浮选的活化等。美国的 Fuerstenau 等系统地研究了矿物表面电性与可浮性的关系。到 60 年代前后，浮选的三大基本理论（润湿理论、吸附理论及双电层理论）已初步形成。

从 20 世纪 20 年代至 60 年代前后，经过几十年的发展，选矿已从一门单纯的工程技术向工程科学转化。选矿已具备了较独立的工程科学体系，有其明确的学科方向。

(1) 碎磨。以岩石力学为学科基础，通过机械力作用使矿石块度减小至适于工艺选别的粒度范围，并使有用矿物与脉石之间彼此解离。

(2) 重选。以流体力学为学科基础，根据不同矿物的密度差异在一定的介质中进行不同矿物的分选。

(3) 电磁选。以电磁学为学科基础，根据不同矿物磁性的差异分选不同矿物。

(4) 浮选。以表面化学为学科基础，根据不同矿物表面物理化学性质的差异，实现不同矿物的分选。

这个时期的选矿主要是从天然矿石（金属矿、非金属矿、煤炭等）中分离、富集其中的有用矿物，为冶金、化工、建材提供原料。

1.1.2 矿物加工学科的形成与发展

20 世纪 60 年代以来，随着世界经济的快速发展，一方面人类对矿物资源的需求量在不断增加；另一方面，矿物资源中富矿减少、贫细矿物资源的利用增加，矿山、冶炼厂排出的废水及固体废弃物等对环境造成的污染问题日益受到重视，传统的选矿技术与理论已不能完全适应并解决这些问题。

为了能从贫细矿物资源中有效地分离、富集有用矿物，充分合理地利用矿产资源，解决由此带来的环境问题，选矿科技工作者开始认识到，传统的选矿技术不仅不能有效地解决贫细矿物资源的分离问题，更重要的是资源的综合利用得不到保障。这就需要综合利用多学科的知识与新成就，寻找新的学科起点，开发新的科学技术，包括分离、富集贫细矿物资源的新技术、新工艺和设备，对矿物的提纯与精加工的技术，环境的综合治理技术，矿物新用途的开发等，以实现矿物资源的综合利用。矿物资源的利用已不单纯是通过“选矿”得到矿物产品的问题，而是综合“加工”利用的问题。为此，近几十年来选矿及相邻学科的科技工作者在选矿学科及交叉学科领域，进行了大量的基础理论与工艺技术的研究，形成了许多新的学科方向和各种加工利用矿物资源的新技术。传统“选矿”已不能涵盖多数新的加工利用矿物资源的科学领域，“矿物加工”呼之欲出。矿物加工学科无论学科基础、学科领域及其研究对象等方面都远比传统选矿学科更广、更深。事实上，国外从 20 世纪 60 年代开始，就逐步采用“矿物加工”代替“选矿”。在我国，经过近 10 年酝酿，国家教委招生目录已于 90 年代将“选矿”更名为“矿物加工”。

矿物加工学的主要学科方向如下。

(1) 浮选化学。包括浮选电化学、浮选溶液化学和浮选表面及胶体化学。

① 浮选电化学。根据电化学原理，研究浮选过程的机制，主要针对硫化矿。电化学反应主导硫化矿与浮选剂作用机理，通过电化学调控，实现多金属硫化矿分离。

② 浮选溶液化学。根据溶液化学原理,研究浮选行为,主要针对非硫化矿。根据矿物/浮选剂溶液的化学反应行为,预测非硫化矿浮选分离条件与浮选机理。

③ 浮选表面及胶体化学。根据表面及胶体化学原理,研究颗粒间相互作用,讨论细粒矿物选择性凝聚、分散与浮选分离行为。讨论超细颗粒加工制备过程机制,如疏水凝聚、选择性絮凝、载体,主要针对超细粒矿物、煤炭的加工利用与废水治理等。

(2) 复合物理场矿物加工。根据流变学、紊流力学、电磁学等研究重力场、电磁力场或复合物理场(重力+磁力)中的颗粒运动行为,确定细粒矿物的分级、分选条件,如磁流体水力旋流器分选、振动脉动高梯度磁选、流化床层干法选煤等。

(3) 高效低毒药剂分子设计。根据量子化学、有机化学、表面化学研究药剂的结构与性能关系,针对特定的用途,设计新型高效矿物加工用药剂。

(4) 矿物资源的生化提取。用生物浸出、化学浸出、溶剂萃取、离子交换等处理复杂贫细矿物资源,如低品位铜矿、铀矿、金矿的提取,煤脱硫等。由于细菌兼有氧化、吸附、降解等作用,因此生化提取不仅强化浸出过程,而且在环境与工艺控制上具有独特的优势。生化提取的基础理论与技术的研究近几年已成为矿物加工学科的重要方向之一。

(5) 直接还原与矿物原料造块。主要从事矿物原料造块与精加工方面的科学研究,研究铁精矿煤基回转窑直接还原及粉体物料成型等过程的机理。

(6) 复杂贫细矿物资源综合利用。研究选-冶联合、多种选矿工艺(重、磁、浮)联合等流程处理一些大型复杂贫细多金属矿的工艺技术和基础理论,研究资源综合利用效益。

(7) 矿物材料精加工。通过提纯、超细粉碎、表面改性等方法,使矿物材料不经冶炼,直接加工成可用的材料,如性能优良的润滑剂——超纯辉钼矿的加工,功能陶瓷所需超细锆英砂、高岭土的加工,电子浆料所需超细金红石的加工,民用、工业用型煤、水煤浆的加工,煤炭地下气化等。

(8) 矿物加工过程计算机技术。用计算机科学技术对矿物加工过程进行模拟、仿真及优化、预测、设计,建立矿物加工过程专家系统,实现矿物加工过程的计算机管理与控制。

1.1.3 资源加工学科的形成

21 世纪国际社会将共同面临“人口、发展与环境”这一重要议题。人口的增加、社会的发展加剧了对资源的需求,人类将面临天然资源越来越短缺、贫细和复杂带来的挑战;同时,人类社会的发展进程中,环境问题将越来越受到重视。矿物加工学科尽管已形成了较为完整的学科体系,发展了许多新的矿物加工技术,但随着未来人类可利用资源的变化及现有技术的局限性,矿物加工技术的发展将面临许多挑战,要求矿物加工过程“高效益、低能耗、无污染”将成为矿物加工过程的必然趋势。

(1) 复杂贫细矿物资源的综合回收。人类对矿物资源的消耗量逐年增加,随着易选矿物资源的不断减少,越来越多的复杂、贫细、大型多金属矿床被开采利用,这些矿床的特点是:所含金属品种多、品位低、难处理,且伴生稀有、贵金属。现有矿物加工技术在处理这些矿物资源时,存在能耗高、综合利用率低、环境污染等一系列问题。

(2) 废石及尾矿的加工利用。金属矿在选矿过程中,一般只回收了约占总矿石质量 10% 的有色金属矿物或 30% 的黑色金属矿物,大量的伴生非金属矿(尾矿)未能利用。综合加工利用矿山在开采过程中剥离的废石、表外矿及尾矿中的有价金属等,需要研究开发新的

加工利用技术。

(3) 矿物精加工技术。传统的矿物加工以提供精矿及粗级矿产品为主,产品的附加值低,且无法满足现代科技发展对矿物材料性能的要求。对金属矿物,特别是非金属矿物进行高纯化、超细化、表面改性等精加工,可以生产出适合电子、宇航、兵器、高技术陶瓷、冶金、化工等不同行业所需的矿物材料,矿物精加工技术已成为现代矿物加工技术的重点发展趋势之一。

(4) 洁净煤技术。煤炭是重要的能源,在中国尤其如此。燃煤给环境带来的污染问题,已经引起全球重视。煤炭的洗选脱矸脱硫及深加工技术一直是矿物加工面临的重要问题。

(5) 二次资源。二次资源包括废旧汽车、电缆、机器及废旧金属制品以及矿山、冶炼厂、化工厂等排出的废水、废渣、废气中含有的稀有、稀散和贵金属等。由于一次资源逐步减少,二次资源的再生利用技术无疑将成为矿物加工领域的重要研究方向。目前,这方面的技术还不成熟,特别是从“三废”(废水、废渣和废气)中回收有用物质及对环境进行治理缺乏有效手段。

(6) 海洋资源。海洋锰结核、钴结壳是赋存于深海底的巨大矿产资源,海洋除含锰外,铜、钴、镍等金属的储量也十分丰富,在未来陆地资源贫化、枯竭时,这些资源将成为人类的宝贵财富。

(7) 非矿物资源。城市垃圾、废纸、废塑料、油污土壤、石油开采产生的油污水、内陆湖泊中的金属盐、重金属污泥等,这些非矿物资源都需要新的加工利用技术。

面对待处理资源的变化及技术上存在的问题,矿物加工科技工作者及相关学科的科技工作者,在矿物加工领域及相关学科领域不断进行新的探索和研究。矿物加工工程学与相邻学科(如物理学、化学与化学工程学、生物工程学、数学、计算机科学、采矿工程学、矿物学、材料科学与工程)的相互交叉、渗透、融合,促进了矿物加工学科的发展,各种高效益、低能耗、无污染的资源加工新技术不断出现,新的研究领域也不断形成。这些研究领域无论从研究对象、目的、研究基础,还是应用领域等方面都不能完全涵盖传统的矿物加工学,需要建立新的学科体系——资源加工学。

矿物资源是人类社会发展和国民经济建设的重要物质基础;矿业是国民经济的基础产业,是人类社会发展的前提和动力。从石器时代到青铜器、铁器时代,到煤、石油、天然气、原子能的利用,人类社会生产的每一次巨大进步,都伴随着矿物资源利用水平的飞跃而发展。矿物资源是冶金、化工、航天、建材、电力、轻工、核工业等行业的主要原料来源。虽然矿业在国内生产总值(GDP)中所占比重较小,但它作为基础产业可以提供其他行业生产所需要的原料。世界上90%以上的能源、80%以上的工业原料和70%以上的农业生产资料都来自矿产资源。

随着社会的发展,一方面天然矿物资源被开发利用而逐步减少;另一方面人口增长、社会发展,又加剧了人类对资源的需求量。因此,人们必须寻找开发利用新的资源(如非传统矿物资源、二次资源等)。非矿物资源必将成为未来人类社会发展的主要资源,合理加工利用这些资源,不仅可以满足人类社会对资源的需求,同时还可以减少环境污染,促进国民经济持续、快速、健康发展。

1.2 化学选矿及应用

化学选矿属于矿物加工学和传统冶金科学之间的过渡性学科,是现代资源加工学科的重要组成部分之一,它是随着矿物加工学、资源加工学的发展而发展的。

近代化学选矿的发展历史与金、银、铀、铜、铝等矿物原料的分离提取、化学处理密切相关。

1887 年利用氰化物溶液直接从矿石中浸出提取金、银,开始了矿山生产成品金的历史。

1888 年奥地利人拜尔(K. J. Bayer)发明了拜尔法,20 世纪初利用铝矿物原料生产氧化铝的联合法在工业生产中得以实现。

20 世纪 40 年代起,随着原子能工业的发展,采用酸浸法或碱浸法直接浸出铀矿石,在铀矿山生产铀的化学浓缩物工艺上获得应用。同期用硫酸浸出法及氨浸法处理次生铜矿的工艺已经工业化。

60 年代末期,工业生产已开始采用离析法处理难选氧化铜矿。60 年代以后,化学选矿除用于难选原矿的处理外,还用于处理物理选矿方法产出的尾矿、中矿和混合精矿以及粗精矿等。化学选矿已广泛地用于许多金属矿物和非金属矿物原料的处理,如铁、锰、铅、铜、锌、钨、铝、锡、金、银、钽、铌、钴、镍、铀、钍、稀土、磷、石墨、金刚石、高岭土等固体矿物原料。此外,还可用于从矿坑水、废水及海水中提取某些有用组分。

近年来,化学选矿在资源开发利用的实践和研究中,得到了迅速的发展。化学选矿方法将化工、冶金和传统选矿技术融为一体,在分离处理矿产资源的过程中,逐步形成比较系统的独立体系,成为矿物资源工程发展的新方向。

随着社会的发展,人类对各种资源需求量不断增长的要求与矿物资源贫、细、杂的矛盾将不可避免。对于品位低、嵌布粒度细、组成复杂的物料,单纯依靠常规分选方法(如物理分选和表面物理化学分选)往往得不到满意的结果,需要采用化学分选方法或物理分选与化学分选联合的方法来处理某些“难选”物料,生产成本一般比单一物理分选法高。此外,化学分选也是环境保护和“三废”处理的重要方法之一。

化学分选是基于物料组分的化学性质的差异,利用化学方法改变物料性质组成,然后用其他的方法使目的组分富集的资源加工工艺,包括化学浸出与化学分离两个主要过程。化学浸出主要是依据物料在化学性质上的差异,利用酸、碱、盐等浸出剂选择性地溶解分离有用组分与废弃组分。化学分离则主要是依据物料在化学浸出液中化学性质的差异,利用物质在两相之间的转移来实现物料的分离,如沉淀和共沉淀、溶剂萃取、离子交换、色谱法、电泳、膜分离、电化学分离、泡沫浮选、选择性溶解等。

化学选矿的分选原理与传统的冶金过程相似,均利用无机化学、有机化学、物理化学及化工过程的基本原理解决各自的工艺问题。化学选矿过程只产出化学精矿,冶金过程则产出适于使用的金属。化学选矿属于物理选矿和传统冶金之间的过渡性学科,是组成现代矿物工程学的主要部分之一。1960 年国际选矿会议将化学选矿与破碎、筛分、重选、电选、磁选、浮选等并列,1977 年法国将化学选矿定名为湿法化学选矿原则流程。化学选矿过程通常涉及矿物的化学热处理、水溶液化学处理和电化学处理等多种作业。

化学分选与物理分选既有联系又有区别。化学分选与物理分选都是用来处理矿物原料并使目的组分得到富集、分离的,其目的都是综合利用矿产资源。一般来讲物理分选成本较低,而化学分选需要消耗大量的化学试剂,成本较高;物理分选主要处理物料粒度相对较粗的矿物,而化学分选处理的物料粒度范围一般较物理分选更宽、更广;化学分选可以处理品位低、嵌布粒度细、矿物组成复杂的矿石,而物理分选方法则不能;化学分选还可以从“三废”中回收有用组分,能最大限度地综合回收原料中的有用成分。

比较典型的化学分选过程一般包括准备作业等 6 个主要作业。如图 1-1 所示为化学分选过程框图。

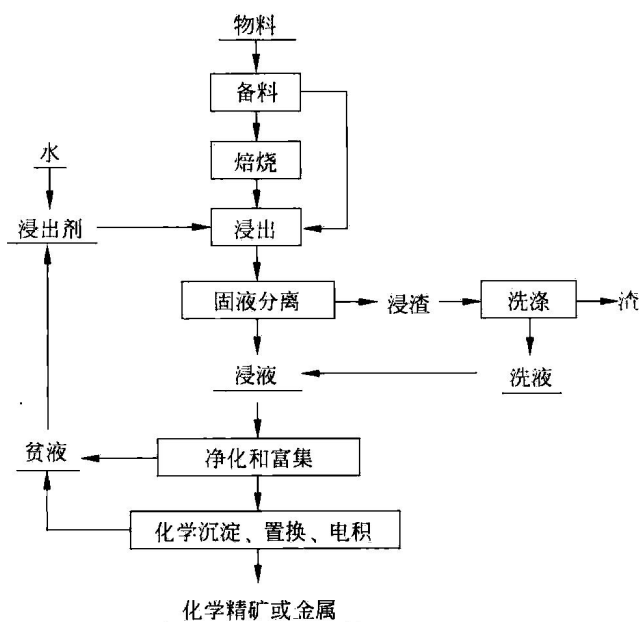


图 1-1 化学分选过程框图

(1) 准备作业。包括对物料的破碎与筛分、磨矿与分级及配料混匀等机械加工过程。其目的是使物料破磨到一定的粒度,为下一作业准备适宜的细度、浓度,有时还用物理选矿方法除去某些有害杂质或使目的矿物预先富集,使矿物原料与化学试剂配料混匀。

(2) 焙烧作业。焙烧的目的是为了改变矿石的化学组成或除去有害杂质,使目的组分转变为容易浸出或有利于物理分选的形态,为下一作业准备条件。

(3) 浸出作业。这一作业是根据原料性质和工艺要求,使有用组分或杂质组分选择性溶于浸出溶剂中,从而使有用组分与杂质相分离,或者使不同有用组分之间相分离。

(4) 固液分离作业。一般采用沉降、过滤和分级等方法处理浸出料浆,以得到下一作业流程要处理的澄清溶液和浸渣。

(5) 净化与富集作业。为了得到高品位的化学精矿,常采用化学沉淀法、离子交换法或溶剂萃取法等方法来净化分离浸出液,在除去杂质的同时,得到有用组分含量较高的净化溶液。

(6) 制取化合物或金属作业。一般可采用离子沉淀法、金属置换法、电积法、炭吸附法、离子交换或溶剂萃取法。

化学选矿在我国工业上的应用虽然起步较晚,但发展较快,现广泛地用于各种难选的黑色金属、有色金属,特别是贵金属和非金属矿产资源的开发。如利用回转窑—一段离析—浮选法处理难选氧化矿,已经积累了丰富的经验,也获得了较好的技术经济指标;利用酸浸—萃取—电积工艺,很好地解决了难选氧化铜在工业上的回收利用问题;湿法提钒技术已用于工业实践,很好地解决了钒钛磁铁矿钒渣的提取要求;采用浸出—沉淀法可直接从离子吸附型稀土矿中提取稀土氧化物;利用碳浆、碳浸新工艺处理难选氧化金矿也得到广泛应用;细

菌浸出法除了在生产实践中用于铜和铀的提取外,还可以用于石英除铁、金矿除砷等;采用双液浮选法可用于高岭土除铁以及钨、钼、铋精矿及中矿的处理等。

随着人口增长及社会发展,天然矿物资源不断地减少,采用化学选矿方法处理的矿产资源的种类、数量在不断地增加,化学选矿的应用范围在资源综合利用、环境保护、“三废”处理等方面也在不断扩大,化学选矿必将成为具有强大生命力的新兴交叉前沿学科。

习题和思考题

1. 简述选矿学、矿物加工学、资源加工学三者之间的关系。
2. 矿物加工学的主要学科方向是什么?
3. 说明资源加工学的研究对象及方向。
4. 何谓化学分选?化学分选的应用范围是什么?
5. 化学分选与物理分选有何区别?
6. 典型的化学分选过程一般包括哪些主要作业?

矿物的焙烧

2.1 概 述

矿物焙烧一般是在适宜的气氛和低于原料熔点的温度条件下进行的,焙烧的目的是使原料中的目的组分发生物理和化学变化,使其转变为易于浸出或易于物理分选形态,以便于后续工艺的处理。

2.1.1 焙烧过程的分类

依据焙烧过程化学反应的性质及在化学选矿过程中的作用分为:还原焙烧、氧化焙烧与硫酸化焙烧、氯化焙烧、钠盐烧结焙烧及煅烧。

(1) 还原焙烧。指将金属氧化矿等在还原剂(氢、碳等)存在的条件下进行的焙烧,其目的使其还原为较低价的氧化物或金属,以便于矿物的分离和富集。如镍矿石还原成金属后利于浸出,贫赤铁矿还原为磁铁矿石可以磁选富集。

(2) 氧化焙烧与硫酸化焙烧。在氧化气氛中,将金属硫化矿焙烧成金属氧化物(或硫酸盐),低价氧化物转变为高价氧化物,以便于浸出,有时还可以脱去挥发性物质,如砷、锑、硒等。氧化焙烧是最常用的焙烧方法。

(3) 氯化焙烧。矿石、精矿、冶金过程产生的中间产品在焙烧过程中,通过添加氯化剂(食盐、氯化钙或氯),使其中某些金属氧化物、硫化物转化为氯化物的过程叫氯化焙烧。

(4) 钠盐烧结焙烧。为了从物料中提取钒、钨、铬等有价值金属,在焙烧过程中加入盐类添加剂,使之转化成相应的可溶性盐,便于浸出,这类焙烧称为钠盐烧结焙烧。

(5) 煅烧。在低于熔点的适当温度下,加热物料,使其分解,并除去所含结晶水、二氧化碳或三氧化硫等挥发性物质的过程称为煅烧。例如,石灰石经煅烧失去二氧化碳而生成生石灰;氢氧化铝脱水而生成氧化铝;碱式硫酸钛失去水和三氧化硫而生成二氧化钛等。

2.1.2 焙烧炉

物料的焙烧是在焙烧炉中进行的。工业焙烧设备能为气固的充分接触创造良好的条件。目前工业生产中常用的焙烧炉有以下几种类型。

(1) 回转窑:它是一种连续生产的热转圆筒设备。窑身为衬有耐火材料的钢制圆筒,筒体斜卧在钢制的托轮上,绕轴缓缓旋转。煤粉、气体燃料或液体燃料自较低的一端与空气一同喷入并燃烧,废气从较高的一端排出;物料则从较高的一端给入,焙烧后从较低一端排出。物料运动方向与烟气运动方向相反。回转窑的特点是结构简单、搅拌良好、热分布均

匀,可广泛用于还原焙烧、氧化焙烧与硫酸化焙烧、氯化焙烧、钠盐烧结焙烧等过程。它的缺点是炉内温度难以控制,一旦形成所谓的环状炉结,会给生产操作带来困难,导致生产率和热效率降低。回转窑的结构示意图如图 2-1 所示。

(2) 多膛焙烧炉:是一种较为古老的适合于粉状物料焙烧的设备,分韦氏焙烧炉(如图 2-2 所示)和赫氏焙烧炉两种型式,其结构相似。

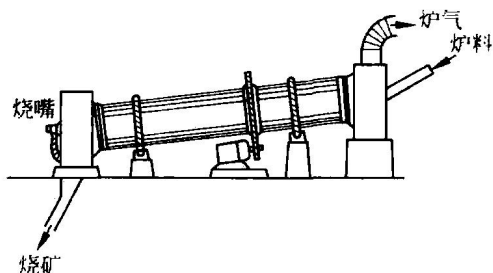


图 2-1 回转窑的结构

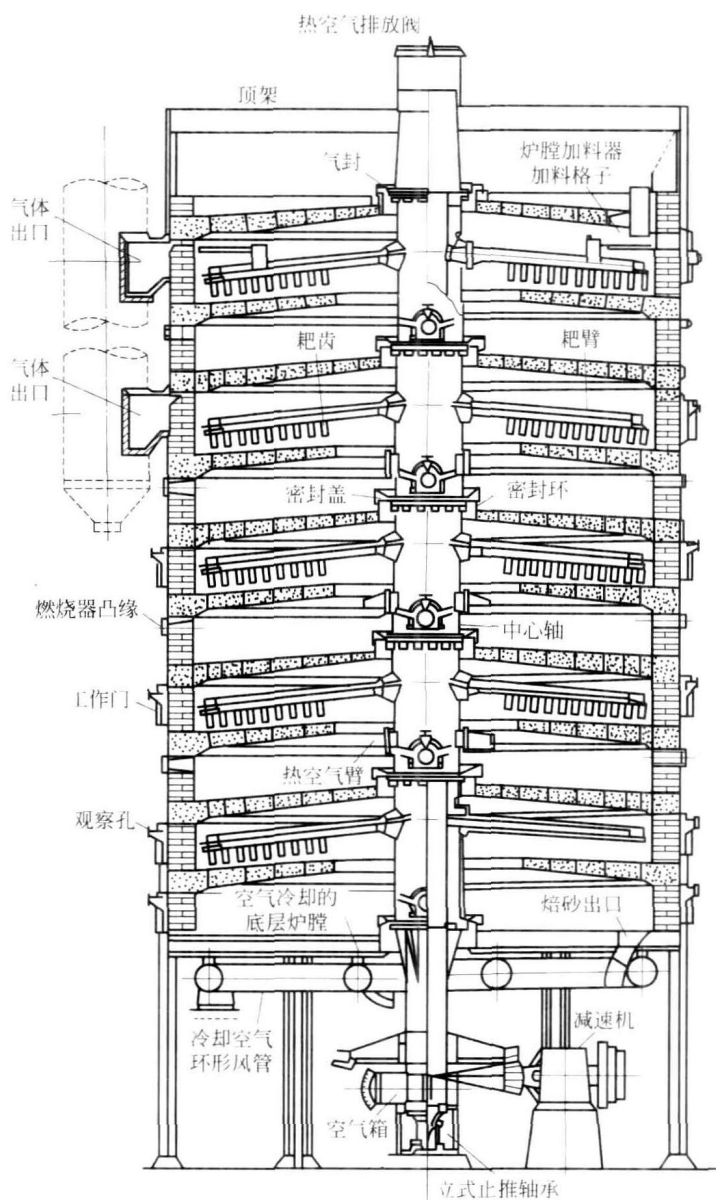


图 2-2 多膛焙烧炉(韦氏炉型)的结构