

梁经冬 著

浮选理论与 冶 实 践

冶金工业出版社



ISBN 7-5024-1753-2



9 787502 417536 >

ISBN 7-5024-1753-2

TD·263 定价 28 元

TP223

L-415

浮选理论与 选冶实践

Fotation Theory And Mineral
Processing-Metallurgical Practices

梁经冬 著

冶金工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

浮选理论与选冶实践/梁经冬著. -北京: 冶金工业出版社,

1995.11

ISBN 7-5024-1753-2

I. 浮… II. 梁… III. 浮游选矿-基本知识 IV. TD923

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (95) 第 12460 号

责任编辑: 黄淦祥

出版人 卿启云 (北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)

测绘出版社印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

1995 年 10 月第 1 版, 1995 年 10 月第 1 次印刷

850 mm×1168 mm 1/32; 16.75 印张; 449 千字; 519 页; 1—740 册

定价 28 元

前 言

我国是世界上矿产资源比较丰富，矿物种类比较齐全的国家之一，蕴藏着多种多样的黑色金属、有色金属、稀贵金属及煤炭、石油、建材、化工等矿产资源。但是，就金属矿来说，我国贫矿多、富矿少，复合共生矿多、单一矿少，绝大多数矿石必须通过选矿才能利用。

新中国成立四十多年来，我国的矿业开发和利用获得了巨大的发展，为我国国民经济发展起了举足轻重的作用。尤其是党的十一届三中全会以来，随着改革开放的深化，矿业生产迅猛发展，为我国四个现代化建设作出了较大的贡献。

为了适应我国发展选矿和综合利用事业的需要，笔者把本人及其合作者多年来从事有色、黑色、黄金选矿研究及有关矿产资源的综合利用研究的经验和成果汇集成册，定名为《浮选理论及选冶实践》出版，供从事选矿系统及相关专业人员参考。

全书分成理论研究和选冶实践二篇，共分十五章。

第一篇为浮选和氰化浸金理论，包括第一章至第四章，介绍白云鄂博稀土等矿物浮选理论基础，紫外光对浮选药剂性能的影响，自由基和过氧化物在浮选和氰化浸金过程中的作用。本篇特色是应用自由基化学的成就对浮选和氰化浸金理论进行新的探讨。

众所周知，浮选药剂与矿物作用机理和氰化浸金理论，一直是国内外选矿和黄金学界最感兴趣、争论也最大的课题。总的来看，本世纪 60 年代以前，学者们大都注重研究反应的最终产物和过程的热力学，而对中间产物及化学反应动力学则研究得很少，然而，中间产物常常是最活泼的物质，深入研究其生成条件、反应历程及其在浮选和氰化浸金过程中的作用，对于全面揭示反应机理和指导寻找新的有效药剂及强化浮选与氰化浸金过

程，都具有重要指导意义，还可能导致生产工艺的变革。

60年代初，苏联科学院通讯院士普拉克辛（Плаксин）及其学派和笔者及同事，在各自的研究领域，率先进行了脂肪酸过氧化物浮选性能的研究；作者还对脂肪酸和黄药的自由基在浮选过程中的作用进行了新的探讨。70年代末，我们高兴地注意到国际上在这一领域有了新的进展，例如哈萨克斯坦共和国科学院院士索洛仁金（Со́ложени́н）根据电子顺磁共振仪直接测定结果，得出了丁黄药与硫化矿物作用所生成的双黄药或表面化合物，都是硫氢型捕收剂自由基的反应产物的论断；琼斯（Jones）和伍德科克（Woodcock）则根据紫外光谱测定结果，发现工业浮选矿浆中有过黄药生成。此外，浮选实践表明，黄药的过氧化显著提高了黄药的浮选指标。笔者在本书中又进一步探讨了将自由基化学引入氰化浸金过程的问题，并提出了促进自由基反应强化氰化浸金过程的设想。

本书较全面地介绍作者60年代以来有关该领域的工作，目的是抛砖引玉，导致更多学者的关注，并加入这一新领域的研究行列，促进自由基化学在浮选和氰化浸金理论和实践中更广泛的应用和发展。

第二篇为选-冶实践篇，包括第五章至第十五章，介绍铅、锌矿石等可浮浮选，湿法炼锌渣浮选，金矿石选矿，易浸金矿石选冶工艺和难浸金矿石提金新方法研究，铬铁矿和钛铁矿选矿，钛精矿、钽钛铁精矿及高炉渣综合利用。本篇的主要特点是选-冶相互渗透与有机结合。

金属矿产资源的发展趋势，是富矿和易选、冶矿石日益减少，贫矿、难处理矿及复合矿的开发和综合利用，已成为我国国民经济发展中亟待解决的科学技术问题，甚至是国际上的难题。根据笔者长期实践的体会，要想卓有成效地解决这些难题，需要选矿和冶金有机结合，两种手段灵活运用，互相取长补短。选-冶有机结合是有效利用金属矿产资源的时代要求。期望本书的问世，对推动该领域工作的发展和专业人才的培养将有所裨益，对

有关方面的科技工作者和研究生有所启迪。

本书在编排时，为了保持章、节内部的系统性和完整性，将专业或专题性质相近的内容归纳为一章，一个专题引出的多种方法和技术，以及不同规模试验或多个产品研究的系列工作归为一节，在各节顺序的安排上适当顾及研究工作的完成时间和工作阶段，以便与同时期国内外水平比较，以及让读者了解研究工作和学术讨论的发展过程。此外，在各章的首页有一简介，对该章主要内容和结果作了概括性说明。

借此机会谨对合作者，包括署名者和因篇幅所限未能署名者的辛勤劳动表示衷心的感谢；对长沙矿冶研究院的领导和原副院长、教授级高级工程师朱俊士的鼎力支持表示感谢！

不当之处，恳请读者指正！

梁经冬

1995 年 4 月于

长沙矿冶研究院



作者简介

梁经冬，1933年生于湖南，1956年毕业于中南矿冶学院，1960年于苏联科学院矿业研究所研究生毕业，1971年赴芬兰考察湿法提钒技术，教授级高级工程师，硕士研究生导师。曾任长沙矿冶研究院黄金研究室主任，中国黄金学会理事，《矿冶工程》编委。多年来从事矿物工程研究，包括浮选基础理论、钒钛磁铁矿综合回收与利用、有色金属和黄金矿石选冶研究以及铬铁矿、钛铁矿选矿研究等。负责主持的科研项目中，三项达到国际先进水平，七项应用于工业生产，获得部、省级科技进步一、三、四等奖，一项国家发明专利已在攀钢实施。

47-136

目 录

第 1 篇 浮选理论研究

1 白云鄂博稀土等矿物浮选基础研究	(3)
1.1 实验材料与实践方法	(3)
1.2 脂肪酸类捕收剂对矿物浮游性及表面层性质的影响	(8)
1.3 碳酸铵等对矿物浮游性及表面层性质的影响	(20)
1.4 有机抑制剂对矿物浮游性和表面层性质的影响	(27)
1.5 铝盐对矿物浮选的影响	(32)
1.6 水玻璃在矿物浮选中的作用	(40)
1.7 不同粒度矿物的可浮性	(47)
1.8 还原焙烧对稀土等矿物可浮性的影响	(52)
2 紫外光对浮选药剂性能的影响	(55)
2.1 紫外光对脂肪酸钠水溶液浮选性能的影响	(55)
2.2 紫外光对松脂酸钠和对一甲苯膦酸水溶液浮选 性能的影响	(69)
2.3 紫外光对碳酸铵、糊精、丁黄药水溶液浮选 性能的影响	(75)
2.4 紫外光对氧化石蜡钠皂等浮选复杂铁矿石和赤铁 矿石的影响	(83)
2.5 紫外光和气体处理塔尔油浮选赤铁矿石的研究	(89)
2.6 紫外光和充空气处理塔尔油浮选赤铁矿石工业试验	(97)
3 自由基与过氧化物在浮选过程中的作用	(103)
3.1 自由基概述	(104)
3.2 自由基在浮选过程中的作用	(106)
3.3 脂肪酸过氧化物的浮选性能	(113)
3.4 黄药在浮选过程中的作用机理	(124)
3.5 不饱和脂肪酸的自氧化现象及其反应产物的浮选性能 与作用机理	(131)

4 氰化物浸金机理探讨——关于自由基及其作用	(137)
4.1 氰化浸金机理的回顾	(137)
4.2 氰化浸金过程中过氧化氢被催化分解为自由基的推论	(139)
4.3 自由基 $\text{HO} \cdot$ 参与氰化物浸金过程的反应式	(140)
4.4 促进自由基反应是强化氰化浸金过程的重要方向	(140)

第 2 篇 选冶实践

5 一大型铅锌硫矿浮选工艺研究	(145)
5.1 混合矿重介质粗精矿等可浮选	(145)
5.2 混合矿原矿石等可浮选	(153)
5.3 硫化矿石浮选	(159)
5.4 含自然硫的氧—硫混合矿石选矿	(163)
6 另一铅锌矿石浮选研究	(172)
6.1 等可浮流程研究	(172)
6.2 等可浮选生产实践概况	(179)
6.3 腐殖酸钠分离铜铅混合精矿	(180)
7 湿法炼锌渣选矿	(186)
7.1 低污染铁矾法浸出渣选矿	(186)
7.2 超浸渣浮选	(191)
8 金矿石选矿	(198)
8.1 金、锑、钨共生矿石选矿研究	(198)
8.2 提高山东一金矿金、铜回收率的研究	(207)
8.3 黄铁矿精矿中金、铜回收研究	(214)
8.4 一大型金铜矿石选矿研究	(220)
9 易浸金矿石选冶工艺研究	(229)
9.1 一大型金矿原生矿石选冶工艺研究	(229)
9.2 多金属硫化物型金精矿浸金工艺研究	(237)
9.3 铁帽型金矿氰化浸金工艺研究	(245)
9.4 过氧化氢在氰化浸金工艺中的应用	(255)
9.5 无含氰废液排出氰化提金新工艺	(260)
10 难处理金矿石提金新方法研究	(267)
10.1 难浸金矿焙烧处理的新进展	(268)

10.2	高砷高硫金精矿无污染焙烧研究	(274)
10.3	含砷难浸金矿选择性固砷焙烧新工艺	(282)
10.4	机械预处理—助浸氰化法	(287)
10.5	低温焙烧法浸出	(294)
10.6	选冶联合法	(299)
11	铬铁矿和钛铁矿选矿	(306)
11.1	获得高级铬精矿的选矿工艺研究	(306)
11.2	粗粒重选—细粒浮选流程回收钛铁矿	(311)
11.3	先浮选后重选处理难选贫泥矿和中矿	(313)
11.4	提高钛精矿品位的研究	(322)
12	钛精矿综合利用	(330)
12.1	钛铁矿的富集方法	(331)
12.2	碳氯化—铁钛分离—低温氯化	(340)
12.3	人造金红石及电焊条的研制	(348)
12.4	“还原钛铁矿”的研究	(372)
12.5	制取酸溶性富钛料和优质铁粉的新工艺—— 还原磨选法	(377)
13	钒钛铁精矿直接还原与综合利用钒钛	(395)
13.1	铁矿石直接还原与熔融还原述评	(396)
13.2	太和铁精矿球团水法提钒—直接还原试验	(409)
13.3	攀枝花铁精矿球团水法提钒—直接还原— 铁、钛分离试验	(417)
13.4	回转窑钠化氧化焙烧承钢铁精矿球团—水浸提 钒的研究	(430)
13.5	粒铁法分离铁、钛、钒的研究	(435)
13.6	钠化还原磨选法分离铁、钛、钒的研究	(444)
14	钒钛铁精矿还原铁粉的研制与综合利用	(454)
14.1	国内外铁粉生产现状	(454)
14.2	还原磨选法制取优质铁粉、铁基零件 及综合利用钒、钛的研究	(457)
14.3	还原磨选法制优质铁粉半工业试验	(480)
14.4	还原磨选法铁粉厂试生产概况	(486)

14.5	还原磨选法制细铁粉半工业试验	(496)
14.6	耐火容器形状与装料方式及材质的试验研究	(498)
15	含钒、钛高炉渣综合利用	(503)
15.1	碳(氮)化—选矿与氯化试验及高炉热渣碳(氮) 化设想	(503)
15.2	硫酸化——氯化法研究	(508)
参考文献		(514)

CONTENTS

Section 1 Flotation Theory

1 Fundamental Research on Flotation of Bayanobo Rare-earth minerals and others	(3)
1.1 Experimental material and investigative method	(3)
1.2 Effect of Collectors of fatty acid-type on the flotability of minerals and their characters of surface layer.....	(8)
1.3 Effect of ammonium carbonate etc on the flotability of minerals and their characters of surface layer	(20)
1.4 Effect of organic depressants on the flotability of minerals and their characters of surface layer	(27)
1.5 Influence of aluminium salts on mineral flotation.....	(32)
1.6 Action of water glass in mineral flotation	(40)
1.7 Flotability of different particle size mineral	(47)
1.8 Influence of reducing roast on flotability of rare-earth minerals et.al.	(52)
2 Effect of ultraviolet on properties of flotation agents	(55)
2.1 Effect of ultraviolet on flotation properties of aqueous solution of sodium fatty acid.....	(55)
2.2 Effect of ultraviolet on flotation properties of aqueous solution of abietic acid sodium and tolueneearsonic acid	(69)
2.3 Effect of ultraviolet on flotation properties of	

	aqueous solution of ammonium carbonate, dextrin and xanthate.....	(75)
2.4	Flotation complex iron ore and hematite-bearing ore with oxidized solution of paraffin soap by ultraviolet	(83)
2.5	Investigation of flotation hematite-bearing ore with tall oil treated by ultraviolet and gas	(89)
2.6	Industrial tests for flotation hematite-bearing ore with tall oil treated by ultraviolet and air	(97)
3	Role of free radical and peroxide in flotation process	(103)
3.1	Introduction to free radical	(104)
3.2	Action of free radical in flotation process	(106)
3.3	Flotation properties of peroxides of fatty acid	(113)
3.4	Action mechanism of xanthate in flotation	(124)
3.5	Auto-oxidation of unsaturated fatty acid as well as flotability of its reaction products and action mechanism	(131)
4	Discussion on mechanism of gold leaching by cyanide— regarding to free radical and its role	(137)
4.1	Look back on mechanism of gold leaching by cyanide	(137)
4.2	Reasoning of decomposition of peroxides to free radicals by catalysis in process cyaniding gold leaching	(139)
4.3	Equation for participation of free radical Ho · to process cyaniding gold leaching	(140)
4.4	To expedite free radical reaction is important trend for intensification on process cyaniding gold leaching.....	(140)

Section 2 Mineral processing- Metallurgical practices

5	Studies of flotation technology for a large	
	pb-zn-S bearing mine.....	(145)
5.1	Equal-flotability flotation of gravitational medium roughing concentrate of mixed ore	(145)
5.2	Equal -flotability flotation of raw ore of mixed ore	(153)
5.3	Flotation of sulphide ore	(159)
5.4	Mineral dressing of oxidized-sulphide mixed ore containing sulphur	(163)
6	Investigation on flotation of other lead and zinc ore.....	(172)
6.1	Study of equal-flotability flotation	(172)
6.2	Introduction into plant practice of equal- flotability flotation	(179)
6.3	Study on separation of the bulk concentrate of cu and pb with sodium Humate.....	(180)
7	Mineral dressing of zinc leaching residues from	
	wet zinc smelting operation	(186)
7.1	Mineral dressing of zinc leached residue by low-contaminative Jarosite process	(186)
7.2	Flotation of super-leached residue	(191)
8	Mineral processing of gold ore	(198)
8.1	ore dressing of gold-antimony-wolfram associated ore	(198)
8.2	Ways to improve recoveries of gold and copper * from sulphide ore.....	(207)
8.3	Investigation on recovering gold and copper from pyrite concentrate.....	(214)
8.4	Study on ore dressing of a large gold-copper mine	(220)

9	Research on processing and smelting of easy leaching gold ore	
		(229)
9.1	Study on primary ore processing and smelting in a large gold mine	(229)
9.2	Technological investigation on leachine gold from complex sulphide bearing gold concentrate	(237)
9.3	Technological study on leaching gold from gossan type gold ore.....	(245)
9.4	The application of hydrogen peroxide in the technology of cyanide leachine gold	(255)
9.5	New cyaniding technology to extract gold without outfall of waste liquid containing cyanide	(260)
10	Studies on new methods of extraction gold from refrator gold ore.....	(267)
10.1	New advance in treatment of refractory gold ore by roast	(268)
10.2	No-contaminative roasting of arsenic-rich and high-sufur gold concentrate	(274)
10.3	New technology of selective arsenic-fixed roast of refractory gold ore containg arsenic	(282)
10.4	The process of mechanical pretreatment-assisted cyaniding leaching	(287)
10.5	Lower temperature roasting process	(294)
10.6	The method of combination in mineral processing with smelting	(299)
11	Mineral processing of chromite and ilmenite	(306)
11.1	A study of mineral processing technology to get hgh grade chronium concentrates.....	(306)
11.2	Flowsheet of gravity dressing on coarse particle and flotation on fine particles to recover ilmenite	(311)

11.3	Treatment of titanium-slime-bearing lean ore and middling using flowsheet of flotation followed gravity dressing	(313)
11.4	Investigation to improve grade of ilmenite concentrate	(322)
12	Comprehensive utilization of ilmemeite concentrate	(330)
12.1	Review of methods for concentration of ilmenite	(331)
12.2	Study on carbonitridation-separation of iron and titanium-lower temperature chlorination	(340)
12.3	Development study of synthetic rutile and welding wire	(348)
12.4	Study on "reduced ilmenite"	(372)
12.5	A new technology to produce titanium-rich material easier soluble in sulphuric acid and eminent iron powder-reduction-grinding -separating process	(377)
13	Direct reduction and comprehensive utilization on concentrate of vanadium-bearing titanferrous magnetites	(395)
13.1	A review on direct reduction and fused reduction of iron ore	(396)
13.2	Test to extract vanadium by wet process- direct reduction-separation of iron with titanium from taixo pellets of iron concentrate	(409)
13.3	Test to extract vanadium by wet process-direct reduction-separation of iron with titanium from panzhihua pellets of iron concentrate	(417)
13.4	Study on oxidizing roasting Chendai pellets of iron concentrate added sodium sulphate in rotary kiln and followed extraction of vanadium by water leaching	(430)
13.5	Investigation on separating of iron-titanium-	