

强化含金矿石提

金

的理论与应用

QIANGHUA HANJIN KUANGSHI TIJIN DE LILUN YU YINGYONG

王喜良 童雄 著

云南科技出版社

强化含金矿石提金的理论与应用

王喜良 童 雄 著



云南科技出版社

图书在版编目(CIP)数据

强化含金矿石提金的理论与应用/王喜良,童雄著.
昆明:云南科技出版社,1999.6

ISBN 7-5416-1295-2

I.强... II.①王...②童... III.①金矿物-选矿
②金矿物-选矿-后处理 IV.TD953

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 45762 号

书 名:强化含金矿石提金的理论与应用

作 者:王喜良 童 雄

出 版 者:云南科技出版社(昆明市书林街 100 号,650011)

责任编辑:赵 敏

封面设计:刘泓滨

责任校对:吴 涯

印 刷 者:云南教育印刷厂

发 行 者:云南科技出版社发行科

开 本:850×1168 1/32 印张:9.5 字数:230 千

版 次:1999 年 6 月第 1 版

印 次:1999 年 6 月第 1 次印刷

印 数:0001~1000 册

书 号:ISBN 7-5416-1295-2/TF·8

定 价:25.00 元

若发现印装错误请与承印厂联系

内 容 摘 要

本书研究了强化含金硫化矿和氧化矿的浮选、硫砷分离以及废弃物中金的综合回收，对难处理金矿石预处理技术作了比较全面的介绍，特别是较为详细地阐述了难处理金矿石的生物预处理技术。同时，深入研究了氧化剂强化浸金过程的机理，提出了选择氧化剂强化浸出过程的热力学和动力学判据，介绍了氧化剂在工业生产中的应用实例。

本书可作为黄金选矿、冶金、废弃物处理、生物等专业的本科生、研究生和工程技术人员的参考书。

前 言

“七五”和“八五”期间，我国黄金工业得到了长足的发展，这一时期，我国建设了许多黄金选冶企业，国家各部门、各省市企业单位也都投入了大量的人力、财力，开展了对难处理金矿石开发的基础研究和应用研究，在微生物浸出方面也取得了可喜的研究成果，出版了许多有关黄金提取方面的专著和论文集。然而，比较系统地介绍强化金矿石浮选、废弃物处理、难处理金矿预处理技术（包括生物技术）、强化浸金过程的氧化剂的选择等方面的书籍鲜为人见。本书是云南省科委“九五”攻关项目和应用基础研究项目、国家黄金局资助项目以及一些企业委托项目和其他研究成果的概括和总结，其特点是既注重理论研究，又将理论研究的成果及时地应用于工业生产实践。理论联系实际是本书的一大特点。

作者要特别感谢昆明理工大学的钱鑫教授、昆明冶金研究院的王文潜教授级高工对本书写作的大力支持，作者还要感谢书中参考的国内外文献资料的作者们。

由于作者水平有限，错漏之处在所难免，恳请广大读者指正。

作 者

1999.1

目 录

第一章 强化金矿石浮选和综合利用含金尾矿、尾渣、	
废料	(1)
第一节 强化含金硫化矿的浮选研究	(1)
一、概 述.....	(1)
二、黄铁矿、含金黄铁矿和毒砂的浮选性质.....	(2)
三、石灰在含金矿石浮选过程中的作用.....	(6)
四、黄铁矿（或者含金黄铁矿）与毒砂浮选分离 的氧化抑制剂的研究.....	(8)
五、含金矿石浮选的捕收剂和促进剂	(15)
六、含金硫化矿浮选的矿浆电位和电化学研究	(18)
七、含金硫化矿无捕收剂浮选的研究	(27)
第二节 含金氧化矿的特点及强化浮选的措施	(38)
一、含金氧化矿石的类型和处理方法	(38)
二、含金氧化矿石的特点	(39)
三、强化含金氧化矿浮选的措施	(40)
四、分支浮选方法在含金氧化矿浮选中的应用	(42)
第三节 综合利用含金尾矿、尾渣和废料	(45)
一、含金尾矿的综合利用	(46)
二、含金尾渣的综合利用	(57)
三、从废旧物料中回收金银	(69)
四、利用选金尾矿生产建筑材料	(74)
第二章 提金技术最新研究	(77)

第一节 难处理金矿预处理的研究	(77)
一、焙烧氧化法	(78)
二、加压氧化法	(82)
三、常压下化学预处理方法	(85)
第二节 非氰试剂提金研究	(92)
一、硫代硫酸盐法	(92)
二、硫脲法	(94)
三、多硫化物和石硫合剂法	(98)
四、卤素及其化合物法	(100)
五、其他非氰试剂	(103)
第三节 树脂吸附法提金的研究	(108)
一、树脂吸附法提金研究的概况	(108)
二、提金树脂的类型及其特点	(109)
三、树脂提金的最新研究	(113)
四、树脂提金工艺的实践	(114)
第三章 氧化剂强化浸金过程的机理研究	(117)
第一节 强化浸金过程的氧化剂种类	(117)
第二节 氧化剂强化浸金过程的热力学判据研究	(119)
一、氧化剂强化金氰化浸出过程的热力学判据研究 ...	
.....	(119)
二、氧化剂作用下浸金反应的 K 和 ΔG_{298}^0 计算	(121)
第三节 氧化剂强化浸金过程的动力学判据研究	(125)
一、金氰化浸出过程的动力学研究与相关公式的	
推导	(125)
二、根据动力学推导公式分析金的氰化溶解速度	
与氰根离子和氧化剂浓度的关系	(131)
第四节 强化硫脲浸金过程的氧化剂热力学判据研究 ...	
.....	(134)

一、选择氧化剂强化金硫脲浸出过程的热力学判据研究·····	(134)
二、氧化剂强化硫脲浸金过程的 K 和 ΔG_{298}^0 之计算·····	(135)
三、硫脲和氰化物浸金的有关参数和热力学判据的比较·····	(137)
第五节 过氧化钙强化氰化浸金过程的机理研究·····	(138)
一、从热力学角度研究过氧化钙强化金的氰化浸出作用·····	(139)
二、从动力学角度研究过氧化钙强化浸金过程·····	(142)
第六节 铅盐强化浸金过程的机理研究·····	(145)
一、概 述·····	(145)
二、铅盐强化氰化浸金的机理研究·····	(145)
第七节 过氧化物强化浸金过程的放氧规律研究·····	(150)
一、试验研究的方式和方法·····	(151)
二、试验研究的结果和分析·····	(151)
第八节 过氧化物强化浸金过程的自由基观点·····	(158)
一、氰化浸金过程中过氧化氢被催化分解为自由基的推论·····	(159)
二、自由基 $\text{HO}\cdot$ 强化浸金过程·····	(159)
第九节 强化浸金过程的其他机理研究·····	(160)
一、氧化剂提高矿浆温度对金浸出指标的影响研究·····	(160)
二、氧化剂对金包裹体的剥蚀作用以及对浸出率的影响研究·····	(162)
三、氧化剂代替或者部分代替氧气强化金浸出过程的研究·····	(162)

第四章 浸金过程的氧化剂理论的研究	(164)
第一节 氰化浸金理论研究的现状	(164)
一、氰化浸金理论研究的回顾.....	(164)
二、“氢气理论”的热力学判断	(166)
第二节 氰化浸金过程的氧化剂理论研究	(167)
第三节 浸金过程的氧化剂理论的应用	(168)
第四节 气体氧化剂的缺陷和液体氧化剂的特点对浸金过程的影响研究	(170)
一、气体氧化剂在溶金过程中的缺陷.....	(170)
二、固体和液体氧化剂在氰化过程中的作用.....	(171)
第五章 生物技术处理难浸金矿	(173)
第一节 生物技术处理难浸金矿的优势	(173)
一、物理原因.....	(173)
二、矿物和化学原因.....	(174)
第二节 生物技术氧化含金黄铁矿	(177)
第三节 生物技术氧化含砷难处理金矿	(181)
一、生物氧化含砷金矿石的化学反应.....	(182)
二、影响含砷矿物生物氧化的因素.....	(184)
第四节 生物技术氧化含碳质物难处理金矿	(193)
第五节 生物技术氧化预处理难处理金矿的应用	(197)
一、云南省镇沅金矿金精矿的静态生物氧化堆浸—硫脲浸金.....	(197)
二、崇阳金矿生物技术氧化浸出的半连续试验.....	(201)
三、Austin 金矿碳质硫化物精矿的生物浸出.....	(203)
四、南非的 Fairview 金矿浮选精矿的生物氧化	(206)
五、Newmont 黄金公司 Quarry 金矿生物堆浸—硫脲浸出难处理硫化物碳质金矿石.....	(207)
六、卡林碳质金矿生物堆浸—硫代硫酸盐浸金—	

铜粉置换回收金·····	(209)
第六节 生物浸矿设备的研究 ·····	(212)
一、概 述·····	(212)
二、搅拌条件、叶轮和充气状况在生物浸矿中的 作用研究·····	(213)
三、生物反应器设计和比例放大的原则·····	(219)
四、金矿石和金精矿的生物氧化工业设备的研究·····	(222)
第六章 强化浸金过程的研究和应用 ·····	(228)
第一节 过氧化物和其他氧化剂强化浸金研究 ·····	(228)
一、氧化剂强化浸金过程的实验室研究·····	(228)
二、氧化剂强化浸金过程的工业应用·····	(237)
第二节 铅盐预处理强化浸金 ·····	(241)
一、硝酸铅强化浸出镇沅金矿的研究·····	(241)
二、硝酸铅对灵湖金矿的预处理·····	(242)
三、硝酸铅对其他难浸金矿预处理的研究·····	(243)
四、醋酸铅强化陕西汉阴县黄龙金矿的浸出·····	(245)
第三节 氧化剂的混合使用强化浸金过程 ·····	(248)
一、过氧化氢和 XP 强化云南某金矿的浸出 ·····	(248)
二、过氧化氢和铅盐在撰山子金矿的成功应用·····	(249)
三、高锰酸钾和过氧化钙强化浸金·····	(251)
四、高锰酸钾和压缩空气的联合使用强化浸金过程 ··· ·····	(254)
第四节 氧化剂工业应用时应该注意的问题 ·····	(256)
第五节 微波和超声波在黄金工业中的应用 ·····	(258)
一、微波技术在黄金工业中的应用·····	(258)
二、超声波强化浸出过程·····	(262)
第六节 国内外强化金矿堆浸过程的研究 ·····	(266)
一、概 述·····	(266)

二、堆浸场底垫材料及构筑方式·····	(267)
三、堆浸制粒和喷淋方法的改进·····	(269)
四、生物技术强化堆浸过程·····	(274)
五、化学试剂强化堆浸过程·····	(275)
六、纯氧强化堆浸过程·····	(275)
主要参考文献 ·····	(277)

Contents

Chapter One Strengthening Flotation of Gold Ore and Comprehensive Utilization of Tailing, Residue and Waste Bearing Gold (1)

§ 1 Strengthening Flotation of Gold Sulfide Ore (1)

- 1.1 Introduction (1)
- 1.2 Flotation properties of pyrite, pyrite bearing gold and arsenopyrite (2)
- 1.3 The role of lime in the flotation of gold ore (6)
- 1.4 Study on oxidation inhibitor for the separation of pyrite or pyrite bearing gold from arsenopyrite during flotation (8)
- 1.5 Collector and accelerator for flotation of gold sulfide ore (15)
- 1.6 Electric potential of slurry and electrochemical study of gold sulfide ore flotation (18)
- 1.7 Non-collector flotation of gold sulfide ore (27)

§ 2 Characteristic of Gold Oxide Ore and Measures for Strengthening Flotation (38)

- 2.1 Types and treatment method of gold oxide ores (38)
- 2.2 Characteristic of gold oxide ore (39)

- 2.3 Measures for strengthening flotation of gold oxide ore (40)
- 2.4 Application of branch-flotation method in the flotation of gold oxide ore (42)
- § 3 **Comprehensive Utilization of Tailing, Residue and Waste Bearing Gold (45)**
 - 3.1 Comprehensive utilization of tailing bearing gold (46)
 - 3.2 Comprehensive utilization of residue bearing gold (57)
 - 3.3 Recovery of noble metals from waste material bearing gold (69)
 - 3.4 Production of construction material by using gold flotation tailing (74)

Chapter Two Recent Studies on Gold Extraction Technology (77)

- § 1 **Study on pretreatment of refractory gold ore (77)**
 - 1.1 Oxidation Roasting (78)
 - 1.2 Oxidation under high pressure (82)
 - 1.3 Chemical pretreatment under normal pressure (85)
- § 2 **Study on gold non-cyanide leaching (92)**
 - 2.1 Thiosulphate leaching (92)
 - 2.2 Thiourea leaching (94)
 - 2.3 Multi-sulphide and lime sulfur leaching (98)
 - 2.4 Halogen and halogenide leaching (100)
 - 2.5 Leaching of gold with other non-cyanides lixivants (103)

§ 3 Study on recovery of gold by resin absorption (108)

- 3.1 Introduction of study on recovery of gold by resin absorption (108)
- 3.2 Types of resins for recovery of gold and their characteristics (109)
- 3.3 Recent study on recovery of gold by resin absorption (113)
- 3.4 Practice of recovery of gold by resin (114)

Chapter Three Study on Mechanism of Strengthening Gold Leaching by Oxidant (117)

§ 1 Types of oxidants for strengthening gold leaching (117)

§ 2 Study on thermodynamic criteria of oxidants for strengthening gold leaching (119)

- 2.1 Study on thermodynamic criteria for strengthening cyanide leaching of gold by oxidants (119)
- 2.2 Calculation of K and ΔG_{298}^0 of gold leaching reaction with oxidants (121)

§ 3 Study on kinetic criteria for strengthening gold leaching by oxidants (125)

- 3.1 Kinetic study on cyanide leaching of gold and derivation of associate equations (125)
- 3.2 Analysis of relationship between dissolution rate of gold and concentrations of cyanide ion and oxidant (131)

§ 4 Study on thermodynamic criteria of oxidants for strengthening thiourea leaching of gold (134)

- 4.1 Study on thermodynamic criteria for selection of oxidant in thiourea leaching of gold (134)
- 4.2 Calculation of K and ΔG_{298}^0 of strengthening thiourea leaching of gold with oxidants (135)
- 4.3 Comparison of thermodynamic criteria and associate parameters for thiourea leaching and cyanide leaching of gold (137)

§ 5 Study on mechanism of strengthening cyanide leaching of gold with calcium peroxide (138)

- 5.1 Thermodynamic study on the role of calcium peroxide in strengthening cyanide leaching of gold (139)
- 5.2 Kinetic study of strengthening cyanide leaching of gold with calcium peroxide (142)

§ 6 Study on mechanism of strengthening cyanide leaching of gold with lead salts (145)

- 6.1 Introduction (145)
- 6.2 Study on mechanism of strengthening cyanide leaching of gold with lead salts (145)

§ 7 Study on release of oxygen in strengthening cyanide leaching of gold with hydrogen peroxide (150)

- 7.1 Methodology of experimental study (151)
- 7.2 Results and discussions (151)

§ 8 Free ligand theory on strengthening cyanide leaching of gold with hydrogen peroxide (158)

- 8.1 Deduction on formation of free ligand by catalytic decomposition of hydrogen peroxide in cyanide leaching (159)
- 8.2 The process for free ligand HO strengthening gold leaching (160)

§ 9 Study on other mechanisms of strengthening gold leaching (160)

- 9.1 Effect of increased slurry temperature by oxidants on gold recovery (160)
- 9.2 The erosion of locked gold by oxidants and its effect on gold recovery (162)
- 9.3 Study on strengthening gold leaching by replacing or partially replacing oxygen by oxidants (162)

Chapter Four Study on Oxidant Theory of Gold Leaching (164)

§ 1 Current study on cyanide leaching theory (164)

- 1.1 Review of study on cyanide leaching theory (164)
- 1.2 Thermodynamic criteria of "Hydrogen Theory" (166)

§ 2 Study on oxidant theory of cyanide leaching of gold (167)

§ 3 Application of oxidant theory in gold leaching (168)

§ 4 Effect of defects of gas-oxidant and characteristics of liquid-oxidant on gold leaching (170)

- 4.1 Defects of gas-oxidant in gold leaching (170)
- 4.2 The roles of liquid-oxidant and solid-oxidant in cyanidation (171)

Chapter Five Treatment of Refractory Gold Ore by Biotechnology (173)

§ 1 Advantages of biotechnology in the treatment of refractory

gold ore (173)

1.1 Physical reason (173)

1.2 Mineralogical and chemical reason (174)

§ 2 Biooxidation of pyrite bearing gold (177)

§ 3 Biooxidation of refractory gold ore bearing arsenic (181)

3.1 Chemical study on biooxidation of gold ore bearing arsenic (182)

3.2 Factors affecting biooxidation of minerals bearing arsenic (184)

§ 4 Biooxidation of refractory carbonaceous ore (193)

§ 5 Practice of biooxidation pretreatment of refractory gold ore (197)

5.1 Study on static biooxidation - heap leaching—thiourea leaching of gold concentrate from Zhengyuan gold mine in Yunnan province (197)

5.2 Semi-Continuous test of biooxidation in Chongyang gold mine (201)

5.3 Bioleaching of refractory carbonaceous-sulfidic concentrate in Austin gold mine (203)

5.4 Biooxidation of flotation concentrate in Fairview gold mine in South Africa (206)

5.5 Bio-heap leaching-thiourea leaching of refractory carbonaceous-sulfidic ore in Newmont Gold's Quarry Gold Mine (207)

5.6 Biooxidation-heap leaching-thiosulfate leaching-recovery of gold by cementation with copper powder from carbonaceous ore in Newmont Gold's Carlin Gold Mine (209)