

金银选矿与 综合回收

孙长泉 孙成林 编著

JINYIN XUANKUANG YU ZONGHE HUI SHOU



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

金银选矿与综合回收

孙长泉 孙成林 编著

北 京

冶 金 工 业 出 版 社

2014

内 容 简 介

本书共有 17 章。内容包括:概述,金银的性质及用途,金矿物及金矿床,银矿物及银矿床,金矿工艺矿物学,银矿工艺矿物学,重选法选金,混汞法提金,浮选法选金,氰化法提金,炭浆法提金,树脂矿浆法提金,堆浸法提金,生物氧化预处理—氰化提金,硫脲法提金,黄金选矿污水处理,综合回收与利用。

本书适合金银选矿企业的技术人员及管理人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

金银选矿与综合回收/孙长泉,孙成林编著. —北京:
冶金工业出版社, 2014. 11
ISBN 978-7-5024-6681-7

I. ①金… II. ①孙… ②孙… III. ①金矿物—选矿
②银矿物—选矿 ③金矿物—回收 ④银矿物—回收
IV. ①TD953

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014) 第 244634 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 李培禄 李 梅 美术编辑 彭子赫 版式设计 孙跃红

责任校对 李 娜 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-6681-7

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;北京佳诚信缘彩印有限公司印刷

2014 年 11 月第 1 版, 2014 年 11 月第 1 次印刷

169mm×239mm; 31.5 印张; 613 千字; 485 页

80.00 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 yjgy.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

前 言

我国金、银生产历史悠久，是世界上生产金、银最早的国家之一，同时也是世界金、银生产大国，金、银资源储量及产量均居世界前列。我国至 2011 年已探明黄金储量 1863.41t，占世界总储量的 3.97%，居世界第八位；已探明储量基础 6864.79t，占世界总储量基础的 7%，居世界第三位。我国至 2007 年已探明白银储量 23247t，占世界总储量的 8.36%，居世界第五位；已探明储量基础约 12 万吨，占世界总储量基础的 21.08%，居世界第二位。我国黄金产量在 1949~2011 年的 62 年历史中，取得了巨大的发展。到 2007 年，我国黄金产量达 270.491t，一跃成为世界第一产金大国，并连续多年位居第一位，2011 年又创新高，达 360.951t。我国白银产量从 2000 年起，连续多年以超过 10% 的速度递增，已成为世界递增速度最快的国家，并成为世界第一产银大国，其产量占世界总产量的 30%。

我国金、银生产的发展，离不开选矿科学技术的进步和发展，为不断改善和提高金银选矿和综合回收技术水平，从生产实践出发，有效地吸取、推广、运用国内外的先进选矿生产技术，使其取得好的经济效益和社会效益，特编著此书。

本书内容由孙长泉、孙成林共同策划和编写，其中第 15~17 章内容由秦贞军、闫朋编写，最后由孙长泉统一整理定稿。

在编著本书时，原烟台市黄金工业局张处俊总工程师，原山东省黄金工业局计划处处长杨光祖高级工程师，山东黄金集团昌邑矿业有限公司张文平选矿主管工程师帮助提供了有关部分资料，在此表示衷

心感谢。同时，引用了国内出版社出版的有关图书及期刊中相关内容，均已在每章后的参考文献中列出，在此一并致谢。

由于作者水平有限，加之全书涉及面广，收集资料难度大，企业生产跨越时间长等因素，书中难免存在一些不足，敬请同行批评指正。

孙长泉 孙成林

于青岛理工大学黄岛校区

2014年5月

目 录

1 概述	1
1.1 金银发展概况	1
1.2 世界黄金资源及产量	3
1.2.1 世界黄金资源	3
1.2.2 世界黄金产量	4
1.3 世界白银资源及产量	6
1.3.1 世界白银资源	6
1.3.2 世界白银产量	6
1.4 我国黄金资源及产量	7
1.4.1 我国黄金资源	7
1.4.2 我国黄金产量	9
1.5 我国白银资源及产量	12
1.5.1 我国白银资源	12
1.5.2 我国白银产量	13
参考文献	13
2 金银的性质及用途	14
2.1 金银的一般特性及物理性质	14
2.2 金的化学性质	15
2.2.1 化学性质稳定	15
2.2.2 一价金化合物	15
2.2.3 三价金化合物	17
2.3 银的化学性质	19
2.3.1 银的化学活性	19
2.3.2 银化合物	20
2.4 金银的用途	22
2.4.1 金的用途	22
2.4.2 银的用途	23
参考文献	24

3 金矿物及金矿床	25
3.1 金的地球化学特征	25
3.2 金的矿物	27
3.3 金矿床	31
参考文献	33
4 银矿物及银矿床	34
4.1 银的地球化学特征	34
4.2 银的矿物	36
4.3 银矿床	37
参考文献	44
5 金矿工艺矿物学	45
5.1 金矿物及其分布	45
5.2 矿石主要化学成分	52
5.3 金的赋存状态	55
5.4 金的嵌布状态	60
5.5 金的粒度	62
参考文献	63
6 银矿工艺矿物学	64
6.1 银矿物及其分布	64
6.2 矿石主要化学成分	67
6.3 银的嵌布状态	72
6.4 银的粒度	74
参考文献	75
7 重选法选金	76
7.1 重选法概念及原理	76
7.1.1 重选法概念	76
7.1.2 重选法原理	77
7.2 重选设备	80
7.2.1 筛分与分级设备	80
7.2.2 跳汰机	80

7.2.3 摇床	84
7.2.4 溜槽	89
7.2.5 螺旋选矿机	94
7.3 生产实践	95
7.3.1 跳汰机回收粗粒金	95
7.3.2 溜槽回收粗粒金	100
7.3.3 砂金选矿	103
参考文献	115
8 混汞法提金	116
8.1 混汞法提金概念	116
8.2 混汞法提金原理	116
8.2.1 混汞的理论基础	116
8.2.2 汞齐的构造与形成	117
8.2.3 影响混汞的因素	118
8.3 混汞设备与操作	121
8.3.1 混汞方法的选择	121
8.3.2 外混汞设备与操作	122
8.3.3 内混汞设备与操作	129
8.4 汞膏处理	132
8.4.1 汞膏洗涤	132
8.4.2 汞膏压滤	133
8.4.3 汞膏蒸馏	134
8.5 汞板制作	138
8.6 混汞生产实践	139
8.6.1 外混汞生产实践	139
8.6.2 内混汞生产实践	143
8.7 混汞提金新技术	146
8.8 含汞蒸气、烟气和污水净化	146
8.8.1 含汞空气净化	147
8.8.2 含汞污水过滤、铅粉置换净化	148
8.8.3 含汞污水硫化钠共沉法净化	148
8.8.4 含汞污水活性炭过滤、吸附法净化	149
8.8.5 含汞烟气碘配合法净化	149
8.8.6 含汞烟气硫酸洗涤法净化	150

8.9 汞中毒与防护	150
8.9.1 汞中毒	150
8.9.2 汞中毒的防护	150
参考文献	152
9 浮选法选金	153
9.1 浮选原理	153
9.1.1 浮选过程	153
9.1.2 可浮性与润湿性	154
9.1.3 润湿接触角	154
9.1.4 润湿性与矿物晶格结构的关系	155
9.1.5 矿粒在气泡上的附着	156
9.2 浮选药剂	157
9.2.1 捕收剂	158
9.2.2 起泡剂	162
9.2.3 调整剂	163
9.2.4 选金厂常用浮选药剂	165
9.3 浮选机	167
9.3.1 对浮选机的要求及浮选机分类	167
9.3.2 机械搅拌式浮选机	169
9.3.3 充气机械搅拌式浮选机	182
9.3.4 浮选柱	194
9.3.5 浮选机的选择与计算	195
9.4 影响浮选过程的主要因素	198
9.4.1 粒度	198
9.4.2 矿浆浓度	199
9.4.3 药剂制度	199
9.4.4 浮选时间	199
9.4.5 浮选流程	200
9.5 选金流程的选择	200
9.5.1 单一混汞	200
9.5.2 混汞-重选联合流程	200
9.5.3 重选(混汞)-氰化联合流程	201
9.5.4 单一浮选	201
9.5.5 混汞-浮选联合流程	201

9.5.6 直接氰化(全泥氰化)	201
9.5.7 浮选-氰化联合流程	201
9.5.8 浮选-重选流程	202
9.6 含金石英脉矿石选矿生产实践	202
9.6.1 金厂峪金矿选矿厂	203
9.6.2 张家口金矿选冶厂	206
9.7 蚀变岩型金矿石选矿生产实践	208
9.7.1 焦家金矿选矿厂	208
9.7.2 河台金矿选矿厂	213
9.8 石英脉、蚀变岩型金矿石选矿生产实践	216
9.8.1 矿石性质	216
9.8.2 工艺流程	221
9.8.3 生产技术指标	222
9.9 次火山岩及矽卡岩型金矿石选矿生产实践	223
9.9.1 七宝山金矿选矿厂	223
9.9.2 沂南金矿选矿厂	229
9.10 金-砷矿石选矿生产实践	232
9.10.1 六梅金矿选矿厂	233
9.10.2 罗马尼亚达尔尼选金厂	235
9.11 金-锑矿石选矿生产实践	236
9.11.1 湘西金矿选矿厂	236
9.11.2 龙山金锑矿选矿厂	238
9.12 金-锑矿石选矿生产实践	241
9.13 含泥、含碳矿石选矿生产实践	243
9.13.1 乌拉嘎金矿选矿厂	243
9.13.2 加纳阿丽斯顿-高尔德-马英慈选金厂	247
9.14 含银矿石选矿生产实践	248
9.14.1 廉江银矿选矿厂	248
9.14.2 丰宁银矿选矿厂	251
参考文献	253
10 氰化法提金	256
10.1 氰化原理	256
10.1.1 金、银溶解反应式	256
10.1.2 金溶解机理	257

10.1.3	保护碱	260
10.1.4	影响金溶解速度的因素	262
10.1.5	伴生矿物在氰化过程中的行为	267
10.1.6	各种氰化物的应用	272
10.2	常规氰化法 (CCD) 提金	273
10.2.1	常规氰化法 (CCD) 提金工艺流程	273
10.2.2	浸出作业条件	275
10.2.3	洗涤及固液分离	276
10.2.4	贵液净化及锌置换	278
10.2.5	原料、产物及技术经济指标	280
10.2.6	氰化工艺流程及指标计算	282
10.2.7	氰化工艺主要设备	290
10.3	常规氰化法 (CCD) 精矿氰化生产实践	300
10.3.1	招远玲珑选冶厂	300
10.3.2	河林矿产品加工厂 (金精矿氰化厂)	305
10.4	常规氰化法 (CCD) 金泥氰化生产实践	307
10.4.1	赤卫沟金矿氰化厂	308
10.4.2	柴胡栏子金矿氰化厂	310
	参考文献	313
11	炭浆法提金	314
11.1	炭浆法提金的应用	314
11.2	氰化浸出前的准备工作	314
11.2.1	除屑	314
11.2.2	浸前浓密	315
11.2.3	添加除垢剂	315
11.3	浸出与炭吸附	315
11.3.1	氰化浸出	315
11.3.2	活性炭吸附	318
11.3.3	活性炭	318
11.3.4	检测与控制	319
11.4	载金炭解吸与电积	319
11.4.1	载金炭解吸	319
11.4.2	含金溶液电积	320
11.4.3	炭解吸和电积主要技术参数	320

11.4.4 炭浆厂金回收率	321
11.5 炭再生	321
11.5.1 炭再生流程	322
11.5.2 炭再生主要技术操作条件	323
11.6 炭浆厂主要设备	323
11.6.1 氰化浸出前准备作业设备	323
11.6.2 浸出与炭吸附设备	327
11.6.3 解吸与电解设备	330
11.6.4 炭再生设备	339
11.7 炭浸法 (CIL) 提金生产实践	344
11.7.1 张家口金矿炭浸厂	344
11.7.2 美国麦克劳克林金矿 (McLaughlin) 加压氧化-炭浸厂	348
11.8 炭浆法 (CIP) 提金生产实践	351
11.8.1 灵湖金矿炭浆厂	351
11.8.2 西非 Poura 金矿选冶厂	352
参考文献	355
12 树脂矿浆法提金	356
12.1 树脂矿浆法提金的应用	356
12.2 离子交换树脂	357
12.3 树脂吸附过程的工艺参数	358
12.3.1 吸附时间	358
12.3.2 树脂加入量	358
12.3.3 吸附周期	359
12.3.4 树脂流量	359
12.4 吸附工艺流程	359
12.5 浸出吸附及再生设备	360
12.5.1 浸出吸附槽	360
12.5.2 再生柱	362
12.6 金的解吸	363
12.6.1 树脂解吸	363
12.6.2 从含金硫脲解吸液中回收金	364
12.6.3 从碱性溶液中解吸金	364
12.7 树脂再生	365
12.7.1 用硫脲解吸树脂再生	365

12.7.2 用硫氰酸盐解吸的树脂再生	366
12.8 树脂矿浆法提金试验与生产实践	366
12.8.1 东溪金矿树脂矿浆提金厂	366
12.8.2 前苏联穆龙陶金矿树脂矿浆提金厂	370
参考文献	373
13 堆浸法提金	375
13.1 堆浸法提金的应用	375
13.2 堆浸工艺	377
13.2.1 矿石的预处理	377
13.2.2 筑堆场址选择	381
13.2.3 筑堆布置方案	382
13.2.4 衬垫和衬里	384
13.2.5 浸出、溶液收集与贮液	386
13.3 堆浸法提金生产实践	389
13.3.1 萨尔布拉克金矿 10 万吨级堆浸试验	389
13.3.2 萨尔布拉克金矿滴淋法堆浸	397
13.3.3 美国烟谷 (Smoky Valley) 金矿堆浸	403
参考文献	405
14 生物氧化预处理——氰化提金	406
14.1 生物氧化预处理的应用	406
14.2 生物预氧化作用机理	407
14.2.1 直接作用机理	407
14.2.2 间接作用机理	407
14.3 细菌种类	408
14.3.1 嗜中温细菌	408
14.3.2 中温嗜热细菌	408
14.3.3 高温嗜热细菌	408
14.4 菌液制备	408
14.5 生物预氧化处理工艺	409
14.5.1 微生物筑堆氧化工艺	409
14.5.2 微生物搅拌氧化工艺	409
14.6 生物预氧化处理影响因素	410
14.6.1 生物预氧化堆浸影响因素	410

14.6.2 微生物搅拌氧化影响因素	412
14.7 生物氧化充气量计算	413
14.7.1 硫化矿物生物氧化需氧量	413
14.7.2 生物氧化需氧量	415
14.7.3 单位时间充气量	415
14.7.4 单位容积充气量	415
14.8 生物氧化提金生产实践	416
14.8.1 陕西中矿生物氧化-氰化炭浸提金厂	416
14.8.2 辽宁天利生物氧化-氰化锌粉置换提金厂	421
参考文献	424
15 硫脲法提金	425
15.1 硫脲法提金的应用	425
15.2 硫脲的性质	425
15.3 硫脲溶金机理	426
15.4 硫脲提金工艺	427
15.4.1 常规硫脲浸出法	427
15.4.2 SO_2 还原法 (SKW 法)	428
15.4.3 铁浆法	428
15.4.4 炭浆或树脂浆法	428
15.4.5 矿浆电解沉积法	428
15.5 硫脲提金影响因素	429
15.5.1 原料粒度	429
15.5.2 矿浆浓度	429
15.5.3 矿浆温度	430
15.5.4 硫脲用量	430
15.5.5 硫酸用量和 pH 值	430
15.5.6 氧化剂	430
15.5.7 搅拌强度	431
15.6 硫脲法提金试验研究与生产实践	431
15.6.1 广西龙水金矿硫脲炭浆法提金试验	431
15.6.2 美国 Sonva 矿业公司硫脲浸出-铝粉置换连续试验	433
参考文献	436
16 黄金选矿污水处理	438
16.1 含浮选药剂污水处理	438

16.1.1	含浮选药剂污水来源与污染	438
16.1.2	含浮选药剂污水处理方法	439
16.2	含氰污水处理	440
16.2.1	含氰污水来源与污染	440
16.2.2	含氰污水处理方法	441
16.3	氰化物的毒性及对环境的危害	444
16.3.1	氰化物对人的毒性	444
16.3.2	氰化物对牲畜的毒性	445
16.3.3	氰化物对水生物的毒性	446
16.3.4	氰化物对植物的作用	446
16.3.5	氰化物衍生物的毒性	447
16.4	氰中毒的防护与治疗	448
16.4.1	氰中毒的临床症状	448
16.4.2	预防氰中毒的措施	448
16.4.3	急性氰中毒的抢救	449
16.5	含氰污水处理实践	449
16.5.1	招远金矿金精矿氰化含氰污水处理	449
16.5.2	三山岛金矿浮选精矿氰化含氰污水处理	451
	参考文献	452
17	综合回收与利用	453
17.1	概述	453
17.2	尾矿综合回收	454
17.2.1	焦家金矿尾矿综合利用	454
17.2.2	沂南金矿从老尾矿中回收金、铜	456
17.3	氰化尾渣综合回收	457
17.3.1	三山岛金矿氰化尾渣回收铅	457
17.3.2	仓上金矿氰渣综合回收铅、银	459
17.4	含金硫酸烧渣提金	461
17.4.1	乳山硫酸烧渣氰化提金厂	461
17.4.2	金山金矿氰化尾矿制酸提金	463
17.5	从工业废液废料中再生回收金银	465
17.5.1	概述	465
17.5.2	含金废液、废渣、废料的分类	466
17.5.3	从含金废料中再生回收金工艺的基本原理	466

17.5.4	含金废液中再生回收金的工艺	468
17.5.5	从含金合金废料中再生回收金的工艺	474
17.5.6	从镀金废料中再生回收金的工艺	477
17.5.7	从贴金的废件中再生回收金的工艺	481
17.5.8	从含金抛灰金刚砂磨料中回收金的工艺	482
17.5.9	从含金垃圾中再生回收金的工艺	483
参考文献		484

1 概 述

1.1 金银发展概况

金、银均属贵金属，它们具有许多优良的特性，在国民经济和人类生活中得到了广泛的应用。

金是人类最早开采和使用的贵金属。长期以来，金主要用作货币和制造装饰品。黄金历来被当作货币储备，作为金融付款基础和金融界的交换基础，对稳定世界和国家经济、抑制通货膨胀、提高国家信誉等方面有着无可替代的作用。由于金具有可贵的抗腐蚀性能、良好的物理力学性能和高度的化学稳定性，因此，金及其合金在喷气发动机、火箭、超音速飞机、核反应堆、电子器械、现代通讯、航空航天等方面得到了广泛应用，已成为发展电子技术和宇宙航行技术不可缺少的重要原材料。金的独特属性，使其开采和利用受到各产金国家的重视。自20世纪60年代黄金价格放开以来，金价持续上涨，近30多年来居高不下的黄金价格，刺激着黄金产量成倍增长。据统计，1980年世界黄金总产量为1188t；10年后的1990年产量增长接近一倍，达到2134t，到2000年达到2584t；2010年达到2688.9t，是有史以来的最高产量，目前矿产金产量基本维持在2500t左右。黄金的消费量也以更快的速度增长，据统计，1996年至2006年间每年黄金消费量均在2918.5t以上，消费最高年为1997年，消费量高达3848.2t。白银最早用于装饰和货币，随后用作餐具。英国早在13世纪便制造出典型的银合金（含92.5% Ag和7.5% Cu），并大量用于货币、餐具、首饰等。随着工业的发展，开拓了银的新用途，如电接触器、钎焊合金、催化剂和照相材料等。目前，银主要用于电子电气、银基合金及焊料、银货工艺品及首饰、铸币及证章、感光材料、抗菌等领域。随着世界经济以及电子电气等新兴工业领域的不断发展，银的需求量不断增加。2001年世界白银总产量为24510t，其中矿产银产量达到18856t；到2010年世界白银总产量达到29576t，其中矿产银产量达到22889t。10年间增加了21%，平均每年递增2.1%。与此同时白银的需求量也在扩大，2001年世界白银的消费总量为27171t，其中，工业消费量为10876t；到2010年世界白银的消费总量达到27333t，其中工业消费银量达到15160t。10年间消费总量增加了近0.6%，但工业消费银量却增加了近40%，平均每年递增4%。

我国是世界上最早开采和使用黄金的国家之一，自石器时代至公元500年，