

第三届全国金银选冶学术会 论 文 集

中国有色学会选矿学术委员会
中国金属学会黄金学会
中国核学会铀矿冶学会
中国有色总公司贵金属网
中国有色学会重有色金属冶金学委会
中国有色总公司选矿情报网
中国选矿科技情报网贵金属网
中国选矿科技情报网

1989年10月

目 录

1. 矿物学·····	广州有色金属研究院	许志华	(1)
2. 黄铁矿、硫化铁金矿石工艺性质研究·····	中南冶金地质研究所	苏恩清	(9)
3. 研究银的赋存状况, 探索提高银回收率的途径·····	黄沙坪铅锌矿	周如松	(13)
4. 山东黄金选矿现状、存在问题与对策 ·····	山东省黄金工业总公司	刘成义	(16)
5. 一个低品位角砾岩型含金矿床开发和利用 ·····	兰州有色冶金设计研究院	蓝添麟	(24)
6. 论砷金矿提金前的预处理·····	湖南有色金属研究所	苏国辉	(30)
7. 低品位金矿开发利用现状及发展趋势 ·····	河南省地矿局岩石矿物测试中心	巫汉泉 杨彩云	(38)
8. 细粒、泥质褐铁矿含金矿石全泥氰化工艺研究·····	昆明冶金研究所	唐惠仙	(43)
9. 微细粒金矿浮选研究·····	核工业北京化工冶金研究院	侯文澜 陆锡寿等	(47)
10. 氧化法分离浮选含金黄铁矿和毒砂的研究 ·····	青岛冶金矿山职工大学	朱申红 昆明工学院 钱 鑫	(52)
11. 重选—磁选—磁流体静力分选联合流程回收尾矿中砂金的应用 ·····	东北工学院秦皇岛分院	颜 琳执笔	(56)
12. 强化金矿石选别工艺的研究·····	河南省冶金研究所	崔雅峰	(61)
13. 老湾含金黄铁矿浮选研究·····	地矿部郑州矿产综合利用研究所	王韩生	(68)
14. 狮子山铜矿伴生金回收工艺研究·····	南方冶金学院矿业系	邱廷省 卢继美	(72)
15. 栖霞县百里店金矿改变产品结构获得显著效益·····	栖霞县黄金公司	王宏尧	(77)
16. 含银硫化矿物浮选剂·····	湖南有色金属研究所	朱一民	(80)
17. 富含银黄铁矿精矿再选回收银·····	广州有色金属研究院	郭庆华 陈淑娟等	(84)
18. 改进选矿工艺, 提高有色金属伴生金银的回收率 ·····	地矿部矿产综合利用研究所	张兴仁	(87)
19. 高砷高银铅锌矿的浮选试验·····	湖南宝山铅锌银矿	许 峰	(92)
20. 浅谈我国单一银矿选矿·····	河南省冶金设计院	孔建河	(94)
21. 钒粘土矿中回收伴生银·····	北京有色金属研究总院	赵旺盛 王钧英等	(96)
22. 增产金银及防其流失的途径·····	长沙有色冶金设计研究院	彭子玉	(99)
23. 浅析伴生金银回收中的几个选矿工艺问题 ·····	北京有色金属研究总院	杨奉兰 高洪山	(102)
24. 论有色金属矿中伴生金银的浮选回收问题 ·····	昆明工学院资源开发工程系	张文彬 张惠章	(106)
25. 四家湾含金银铜铁共生矿综合回收的研究 ·····	北京矿冶研究总院	周桂华 四家湾金铜矿 张 鹏	(111)

26. 某金矿回收工艺的研究与生产实践.....赣州有色冶金研究所 赵玉凤 (115)
27. 金银分离新方法.....东北工学院 姚玉田 张广立等 (119)
28. 加强从氧化硫化混合铜矿浮选回收金银的研究
.....东川矿务局科研所 李文孝 王德华 (129)
29. 含金银铁锰土矿的综合利用研究
.....湖南地质矿产测试利用研究所 赵莲芳执笔 (133)
30. 康家湾含砷金硫精矿焙烧工艺.....水口山矿务局 徐旭阳 (141)
31. 黄金选冶企业最佳控制模型与编程.....浙江遂昌金矿 马凤钟等 (147)
32. 一种新型捕收剂对铜矿石的工业试验
.....东川矿务局科研所 胡绍彬 罗才高 (154)
33. 堆浸法提金工艺的现状与发展趋势...长沙有色冶金设计研究院 吴夫彬 (158)
34. 硫化物含砷金矿石堆浸的探讨.....辽宁省地质实验研究中心 韩凤新 (164)
35. 发展堆浸工艺, 促进我国黄金生产
.....地矿部矿产综合利用研究所 潘志兵 (168)
36. 几种提高黄金回收率降低消耗的方法...北京有色冶金设计总院 刘广泌 (173)
37. 强化难选金矿浸取的研究.....广西冶金研究所 张泽强 龚晓宁 (179)
38. 堆浸提金的新进展.....中南冶金地质研究所 缪 锋 吕世海 (185)
39. 金银矿石的堆浸及发展方向.....乳山县铜锡山金矿 王成文 (188)
40. 氨浸—氰化法处理含铜金精矿的研究
.....中国科学院化工冶金所 涂桃枝 韩宝玲等 (192)
41. 催化氧化酸浸预处理黄铁矿型金精矿的研究
.....中国科学院化工冶金所 夏光祥 涂桃枝 (196)
42. 金精矿氰化浸出新工艺的研究.....北京有色冶金设计研究总院 罗淑华 (201)
43. 混汞作业中捕汞槽的研制.....板庙子金矿 杨万金 (207)
44. 从氰化金泥中回收金.....北京有色金属研究总院 李春梅 赵旺盛等 (208)
45. 硫代硫酸盐法及处理广东河台金精矿
.....中国科学院化工冶金研究所 龚 乾 胡洁雪 (210)
46. 湿法炼锌中银的行踪及其回收途径.....长沙矿冶研究院 马荣骏 (214)
47. 浏阳七宝山含贫、细、微金银的褐铁矿疏脉—炭浆法提金新工艺研究
.....长沙矿冶研究院 田忠诚 林嵩岳等 (220)
48. 炭浆法提金新工艺在潼关金矿的生产实践
.....三门峡中原黄金冶炼厂 贾学国 (222)
49. 低砷金精矿提金工艺研讨.....湖南有色金属研究所 肖克剑 (225)
50. 用410哌啶离子交换树脂从氯水溶液中回收金
.....中国科学院化工冶金研究所 李 斌 柯家骏 (232)
51. 用离子交换树脂法从氨性硫代硫酸盐溶液中回收金银
.....中国科学院化工冶金研究所 景伟松 柯家骏 (236)
52. 从铋废渣中回收白银等有色金属的研究
.....株洲冶炼厂有色金属研究所 陈佩环 (239)

53. 从银转炉废砖中回收银金.....株 洲 冶 炼 厂 王 志 成 (243)
54. 从锡铅渣中提取金银的研究
.....昆 明 贵 金 属 研 究 所 何 国 华 倪 明 新 (248)
55. 含金黄铁矿硫酸渣回收金银生产实践
.....乳 山 县 铜 锡 山 金 矿 王 成 文 王 新 国 (250)
56. 从废水、废渣、废石中回收黄金
.....北 京 有 色 冶 金 设 计 研 究 总 院 李 怀 先 (253)
57. 提高锌浸出渣银选矿回收率的研究
.....株 洲 冶 炼 厂 有 色 金 属 研 究 所 杨 丹 平 (257)
58. 铅电解阳极泥处理动向及展望.....昆 明 贵 金 属 研 究 所 胡 绪 铭 (262)
59. 贵溪铜泥处理工艺条件的选择.....沈 阳 冶 炼 厂 田 宝 秀 (267)
60. 从高铅合金电解阳极泥中回收银的方法
.....大 厂 矿 务 局 金 城 江 冶 炼 厂 杨 案 然 (269)
61. 硫醚和亚砷为固定相的金、钯、铂和铑的反相纸色层分离
.....中 国 科 学 院 上 海 有 机 化 学 研 究 所 马 恒 勋 王 文 明 等 (273)
62. 磁性炭在选金工艺中的应用前景及磁性炭的研制现状
.....赣 州 有 色 冶 金 研 究 所 刘 水 庚 (277)
63. 用BPR树脂从氰化液中提取金
.....南 开 大 学 化 学 系 甘 尉 棠 张 毓 凡 刘 六 战 王 萍 (282)
64. 高砷银金多金属矿分选工艺的研究
.....北 京 有 色 金 属 研 究 总 院 张 秀 华 厉 福 祥 (284)
65. 含砷金矿石合理选矿工艺流程的探讨
.....新 疆 黄 金 研 究 所 王 翠 民 乌 鲁 木 齐 有 色 冶 金 设 计 研 究 院 徐 民 伟 (289)
66. 论从黄铁矿烧渣及铜渣中回收金银及其它金属的工艺(摘要)
.....北 京 矿 冶 研 究 总 院 谢 珉 (295)

银 工 艺 矿 物 学

广州有色金属研究院 许志华

金和银同属贵金属，性质和用途有许多相似之处。然而，它们的工艺矿物学和提取工艺有明显差异。和金不同，大约2/3的银伴生于有色金属矿床，只有1/3的银构成有经济意义的单一银矿。银产量的80%来自有色金属矿山，单一银矿山产出的银不足20%。按照我国现行价格，100克银相当于1克金。金和银工艺矿物学上的差别和价格悬殊决定了提取工艺的特点：低的处理成本和高的综合利用程度。

本文将根据国内外有关资料，探讨银的工艺矿物学特征及其对提银工艺的影响。

一、银的赋存状态

银不仅以金属互化物的形状存在，而且主要以各种化合物形式存在。银还可以进入许多矿物晶格。有人统计，自然界200多种矿物中含有银。作者对国内外矿物学研究资料分析结果表明，含银数据可靠的有173种，其中银矿物115种，含银矿物58种（表1）。

表1

银矿物和含银矿物种类

矿 物 分 类	数 量		比 例， %	
	银 矿 物	含银矿物	银 矿 物	含 银 矿 物
金 属 互 化 物	8	7	7.0	12.1
砷化物、锑化物、碲化物	16	8	13.9	13.8
硫化物、硒化物	76	43	66.1	74.1
氧化物、氢氧化物	2	—	1.7	—
硫酸盐	13	—	11.3	—
合 计	115	58	100.0	100.0

注：含银5%以上的为银矿物，含银0.1—5%为含银矿物。

115种银矿物中作为工业回收对象的有：自然银、辉银矿—螺状硫银矿、硫铜银矿、硫铜锑银矿、深红银矿—淡红银矿、银黝铜矿—银砷黝铜矿、脆银矿、硫锑银矿、黑硫银锡矿、碲银矿—粒碲银矿、角银矿、黑银锰矿。

含银矿物中银以三种形式存在：细—显微粒级的银矿物包裹体；银与硫化物共结晶；银进入载体矿物晶格。作者在凡口铅锌矿研究工作中发现了银与黄铁矿共结晶现象，并拍摄了

二次离子象。银以类质同象形式进入矿物晶格的事实已为大量的工作证实。作者应用扫描电镜观察了南京铅锌锰矿中银的特征X射线面分布图象,看到了铜蓝、方铅矿、斜方辉铅铋矿中银呈均匀分布,直接证明了银的类质同象存在形式。值得注意的是,在铁锰氧化物中看到同样现象,预示着吸附态银的存在。

综合分析所获资料,矿石中银以银矿物形式存在为主,即使主要含银矿物方铅矿、闪锌矿和黄铁矿中的银也是如此。显微镜下看不到银矿物载体矿物的光片,在高倍率的扫描电镜下很容易观察到银矿物。

二、银矿物种类与矿石可处理性的关系

前已述及,银以多种形式的化合物存在。不同种类的银矿物具有不同的浮游性质(表2)。银的硫化物和卤化物可浮性较好,银—锑硫盐矿物对浮选条件要求严格,黝铜矿类矿物的可浮性随其中的银、锑和砷含量变化而变化。Boormar还发现,黝铜矿类矿物银含量决定着它进入何种产品,含银高的进入铜精矿,含银较低的进入铅精矿,含银最低的损失于尾矿中。此种看法可能有相当局限性,因为即使不含银的黝铜矿,由于铜离子的影响,也会进入铜精矿或铅精矿。

表2 主要银矿物的浮游性质

矿物名称	浮游性质	富集比	最高回收率(%)
辉银矿— 螺状硫银矿	浮游性质接近方铅矿。石灰影响不大。氧化铁存在时回收率降低,加淀粉可提高精矿品位。螺状硫银矿不稳定,溶解后沉淀于其它矿物表面,可引起银的损失及最终精矿污染。	107.4:1	98.5
卤化物	可浮性良好。石灰影响不大,矿泥会降低精矿品位	25.5:1	98.8
淡红银矿	石灰有害。滑石物料不影响回收率。不能使用淀粉	12.4:1	94.5
深红银矿	浮游性质接近方铅矿。石灰有害,矿泥使回收率和精矿品位降低。不能使用淀粉。矿物对浮选条件变化甚为敏感。各种情况下硫化钠是有害的	68.7:1	97.0
脆银矿	石灰影响很大。滑石泥渣使精矿品位降低,提高精矿品位加淀粉有效	87.5:1	94.4
硫锑铜银矿	石灰影响不大。滑石泥渣使精矿品位降低,加淀粉可提高精矿品位	87.5:1	98.7
硫铜银矿	浮游性质接近铜的次生硫化物		
黝铜矿— 砷黝铜矿	浮游性质介于方铅矿和闪锌矿之间。矿物可浮性随Ag、Sb含量增加而提高。砷含量增高使可浮性变差。石灰影响不大。滑石泥渣使精矿品位降低,但不影响回收率。加淀粉可提高精矿品位。	24.3:1	99.1

注:据C. Gasparrini(1984)等人资料,大部分资料为单矿物浮选结果。

银矿物种类对氧化也有明显影响(表3)。硫化物、金属互化物和卤化物较易氧化,银—锑硫盐矿物不太容易氧化,黝铜矿类矿物较难氧化,最难氧化的是银锰矿物。

表3

主要银矿物的氰化特征

矿物名称		氰化特征	最佳浸出率及溶解时间
易浸出组	自然银—辉银矿	本组矿物NaCN易浸出，特别是-15微米。粗粒自然金和银金矿溶解缓慢。如与不溶载体矿物混合，400°C焙烧1小时可得75%提取率。控制温度很重要，辉银矿—螺状硫银矿600°C以上形成不溶产物	本组矿物浸出时间72小时，浸出率可达87—99%
	辉银矿—螺状硫银矿		
	卤化物		
	淡红银矿		
不易浸出组	深红银矿	本组矿物不太容易浸出，焙烧可改善浸出率	热浸72小时，提取率42.5%，焙烧更换溶液后浸出率达91%
	脆银矿		热浸72小时，提取率67%，焙烧更换溶液浸出率达88%
	硫锑铜银矿		热浸72小时，提取率90%，焙烧不能改善回收率
	黝铜矿—砷黝铜矿		热浸72小时，提取率80%，焙烧后90%
难浸出组	黝铜矿—砷黝铜矿	较难浸出。矿物溶解度与银的含量成正比，焙烧后由72%提高到80%	随矿物含银量而变化。
很难浸出组	黑银锰矿 硫锑锰银矿	很难浸出。在酸性溶液中或还原焙烧后用H ₂ O ₂ 没有测定浸出	

注：据C. Gasparriani等人资料，表中资料是用较纯试料试验结果

银矿物氰化动力学研究表明，银的硫化物浸出速度较快，银的硫化矿物浸出较为缓慢，其中某些矿物即使延长时间也很难浸出完全（表4）。

表4

银矿物氰化浸出率

矿物名称	含银量 (%)	最高氰化浸出率 (%)	浸出动力学（浸出率%）		
			1.5小时	3小时	24小时
银黝铜矿	16.39	31.5	13.0		28.0~33.0
深红银矿	59.76	60.0			60.0
辉银矿—螺状硫银矿	87.06	100.0	100.0		
硫锑铅银矿	12.36	4.0			4.0

如果矿石中银矿物粒度不是太细，磨矿能使部分银矿物解离，已解离的或暴露的银矿物颗粒将显示自己的浮游性质。细磨和制定适合矿石中银矿物浮游性质的药剂制度，可使银的回收率大幅度提高。日本松峰选矿厂给矿中主要银矿物是硫铜银矿、硫锑铜银矿和硫砷铜银矿。这些矿物与黄铜矿和次生硫化铜有着近似的浮游机理。改善浮选条件后，银的回收率从65%提高到77%。我国八家子铅锌矿石中银矿物主要有黑硫银锡矿和自然银。黑硫银锡矿负载的银占总银的80%，粒度>28微米占37.84%，磨矿能部分解离。对浮选产品显微镜观察表明，损失于锌精矿中的黑硫银锡矿46%为单体，显然浮选药剂制度不尽合理。

三、银矿物粒度对提取工艺的影响

从表5看出，大部分矿山银矿物粒度细小，在磨矿过程中难以解离或暴露。另一部分矿山银矿物粒度较粗，磨矿可使其部分解离。根据银矿物粒度分布资料，可将银矿石和含银矿石分为两大类：（1）银矿物粒度大于10微米者占60%以上的矿石；（2）银矿物粒度大于10微米者不足60%的矿石。

处理（1）类矿石时，磨矿细度应保证银矿物颗粒最大限度解离，同时浮选药剂制度要适应所处理矿石中银矿物的浮游性质。只有这样才能保证较高回收率。秘鲁杜瓦兹选厂锌精

表5 银 矿 物 粒 度

矿 石 类 型	矿 山 名 称	主 要 银 矿 物	粒度(毫米,%)		
			>0.074	0.01~ 0.074	<0.01
银 矿 石	桐柏(自然银)	自然银, 辉银矿	70.68	21.36	7.96
	桐柏(辉银矿)	自然银, 辉银矿	13.78	53.09	33.13
	坡 山	自然银, 辉银矿	65.12	27.15	7.7
铅 锌 矿 石	孟恩套力盖	黑硫银锡矿, 深红银矿	51.10	47.00	1.90
	金子窝	银黝铜矿	4.90	76.40	18.70
	桥 口	辉银矿	—	65.80	34.20
	会 泽	深红银矿, 硫锑铜银矿	—	65.10	44.90
	天 台	螺状硫银矿, 深红银矿, 银黝铜矿	84.55	12.56	2.89
	西 林	锑银矿, 黝铜矿	—	58.35	41.65
	凡 口	深红银矿, 银黝铜矿	—	35.50	64.50
	水 隆 尾	银黝铜矿	—	54.00	46.00
	丰羽(日本)	辉银矿, 深红银矿, 银黝铜矿	—	40.00	60.00
	丙 村	硫锑铜银矿, 深红银矿, 银黝铜矿	—	5.00	95.00
	黄 沙 坪	自然银, 辉银矿	—	—	100.00
	南 京	自然银, 辉银矿, 银黝铜矿, 锑银矿	—	35.30	64.70
铜 矿 石	弋 阳	银黝铜矿, 硫锑铜银矿	30.00	70.00	

矿中，损失的银黝银矿15%为单体；约50%与闪锌矿构成连生体。粒度多在60—120微米范围，细磨能使大部分解离。经改进流程后，银回收率从70%提高86%。

对(2)类矿石细磨无济于事。凡口铅锌矿细磨到-36微米占90%，深选精矿品位无明显提高，银的回收率和精矿产率基本一致，无分选效果。墨西哥帕莱尔矿山银矿物粒度2—20微米，细磨也不能解离。该矿决定放弃提高回收率的努力，改而增大处理规模，以保证矿山收益。

四、根据银分配资料预测最佳回收率

银有矿物态、共结晶和晶格态三种形式存在。以银矿物形式存在的银，因其粒度细小而难以解离，在浮选过程中和其它状态的银一样将不显示自己的行为，它们和载体矿物一起进入相应产品。因此，银在主要载体矿物中的分配既能表征银的存在形式，又能反映在确定的磨矿细度和浮选条件下银的走向和银的最高回收率。

表6列出了一些矿山银在主要载体矿物中分配资料。可分为：(1)银、铜、铅矿物负载银占总银70%以上的矿石；(2)银、铜、铅矿物负载银小于70%的矿石。

银分配资料给选矿人员带来极大方便。会泽硫化铅锌矿石中银矿物粒度细小，但79.7%分布于方铅矿中。选矿人员不必担心银的走向问题，提高铅的回收率的同时，银回收率亦相应提高。该矿银回收率为78.1%，接近分配数据。吉水门锡—铅锌矿含银只有30克/吨，然而，74.9%的银分布于方铅矿中，选矿回收率仍能达到655%。

铜、铅矿物中银分配率低于70%的矿石，由于闪锌矿和黄铁矿中的银占有较高比例，单

表6

银在主要矿物中的分配

矿 山	银 分 配 率 (%)				银、铜、铅精矿中银回收率(%)
	银、铜、铅矿物	闪锌矿	磁黄铁矿 黄铁矿	脉石	
坡 山	69.77	2.20	7.76	20.25	55.00
天 台	70.32	24.96	4.72		68.70
桥 口	79.80	10.90		9.30	72.91
金子窝	84.30	3.30	8.80	3.60	73.00~81.00
杜瓦兹	97.00				86.00
会 泽	79.70	15.80	2.40	2.10	78.10
吉水门	74.90	6.80	14.40	3.90	65.50
诺赛波里	96.00	4.00	<1.00		72.20
凡 口	54.40	32.30	10.60	2.70	46.00
丙 村	66.30	19.70	8.00	6.00	65.80
西 林	56.68	8.78	22.96	11.58	
吴 宅	93.60	2.00	0.10	4.30	
黄沙坪	60.00	10.00	20.00		

表7

银矿石和含银矿石工艺类型

矿石工艺类型	矿石含银 (克/吨)	矿 物 学 特 性			矿 石 可 处 理 性			代表性矿山
		主要银矿物	主要载体矿物	银矿粒度 (微米) 银矿中银 占率%	提取工艺	银在浮选 过程行为	银回收 率(%)	
银 矿 物	200~600	自然银、辉银矿	方铅矿、闪锌矿、黄铁矿	<74% >60	浮选—氰化	大部分银矿物在选矿过程中显示自己行为	81~85	桐柏、坡山、十里铺
		银黝铜矿、辉银矿、深红辉银矿、黑铜矿、锡矿	方铅矿、闪锌矿、磁黄铁矿、黄铁矿	65~81	浮选	部分银矿物显示自己的行为	68.7~86.0	金子窝、天台、桥口、杜瓦兹
		深红辉银矿、辉银矿、锡矿	方铅矿、闪锌矿、黄铁矿	<60	浮选	银矿物基本上不显示自己的行为，其走向严格受载体矿物制约	65.5~78.1	会泽、银山、吉水门、诸暨波里
		同 上	同 上	<60	浮选	同 上	46.9~65.8	凡口、丙村、西林、南京、丰羽、兰坪
铜 矿 石	1.1~34.6	银黝铜矿、硫铜矿、自然铜	黄铜矿、黄铁矿	粒度细小	浮选—硫化焙烧—浸出	同 上	50~70	德兴、丰山、武山、狮子山、弋阳
		硫银黝铜矿、辉银矿、自然铜	辉银矿、黄铜矿、黄铁矿、黄铜矿	显微(毛砂)	浮选—氯化铁浸出	同 上	76.0(对毛砂)	瑶岭、坑

注：选冶联合工艺为银的总回收率，单一浮选为铜精矿、银精矿、铅精矿、铋精矿的回收率。

一选矿研究不可能大幅度提高银回收率。日本丰羽矿山进行了五年左右的研究,铅精矿+锌精矿银回收率总共提高了13.5%,其中9.5%是矿石性质变化引起的,只有4%归因于技术进步。我国凡口铅锌矿经一年研究,银回收率提高3~4%,且以降低铅精矿品位为代价。

五、矿石工艺类型

从以上的讨论中不难看出,银矿物粒度,以及由粒度和银其它存在形式所决定的银在主要载体矿物中的分配是影响提取工艺的主要矿物学因素。据此将银矿石和含银矿石划分为表所列类型。

1. 银矿石和含银矿石 A

两类矿石共同特点是银矿物大部分或相当部分可解离,在浮选过程中它们将显示自己的浮游性质。提高本类矿石银回收率的途径是细磨和改善药剂制度,以便使银矿物充分解离,浮选药剂制度和操作条件适应矿石中主要银矿物的浮游性质。北京矿冶研究总院主要采取改变药剂制度、球磨加药和延长浮选时间,使孟恩套力盖银的回收率从64%提高到74.8%。

2. 含银矿石 B

矿石中银矿物粒度细小,基本上不能解离,浮选过程中银矿物无法显示自己的行为。然而银的大部分分布于铜、银矿物中。本类矿石提高回收率的主要途径是强化铜、铅浮选。在经济效益允许的情况下,适当降低精矿品位有助于银回收率的提高。

3. 含银矿石 C

本类矿石中银矿物粒度细小,细磨也不能解离。浮选过程中银的走向严格受载体矿物制约。由于闪锌矿和黄铁矿负载银所占比例较高,提高银回收率的措施除强化铜、铅浮选外,还应加强锌渣和制酸渣中银的回收,以提高矿山银的总回收率。必须指出的是,本类矿石采用选、冶联合工艺有可能从根本上改善银的回收率。关于选、冶工艺,Jan H. Reimers (1985) 总结的7种方案值得注意。

含银铜矿石和含银钨矿石的资料有限,无法详述。相信,这两类矿石也可以根据矿物粒度和银的分配分别归类于A、B、C三种类型中。

六、工艺矿物学应用

以上各部分已列举了许多工艺矿物学应用实例,现将工艺矿物学应用情况归纳于表8中。由此可见,工艺矿物学在银矿山和含银矿山的开发和生产过程中有很重要的作用。首先,工艺矿物学数据和资料是判断矿山能否提高银回收率和提高幅度的依据。其次,这些资料指出了提高回收率的途径。第三,结合选冶成本资料进行矿山战略决策。第四,矿山主管部门管理工作必要的信息资料。广东省已完成了含银矿山银赋存状态普查,湖北省计划进行这项工作。由此可见,银工艺矿物学已引起了有关部门极大关注。

(参考文献略)

表8

银矿山和含银矿山生产过程中的矿物学问题

矿物学问题	矿山名称	工艺矿物学研究结果或结论	选矿采取的技术措施	最终效果
可分离银矿物种类及浮游性质	松冈(日本)	银以银—铜矿物存在,大部分可解离,浮游性质与次硫化铜矿物相似	细磨,改变药剂制度和浮选条件	银回收率从65%提高到77%
	孟恩套力盖(中国)	银矿物以黑硫银锡矿为主,粒度 >40 微米者占91%,大部分可解离为单体	改变药剂制度,球磨机加药,延长浮选时间等	银回收率从64%提高到74.8%
	会泽(中国)	银矿物粒度细小,基本上不能解离,但79%的银分布于方铅矿中	强化铅浮选	铅精矿银回收率78.06%,接近方铅矿中银分布率
	丰羽(日本)	主要银矿物是辉银矿、深红银矿、银黝铜矿,粒度细小,大部分不能解离,方铅矿中的银只占总银的40%	进行了五年提高回收率的研究	铅、锌精矿总回收率提高了13.5%,其中9.5%为矿石性质变化结果,只有4%为技术进步所致
锌精矿中银存在形式	杜瓦兹(秘鲁)	损失于锌精矿中的银为银黝铜矿,粒度 $60\sim 120$ 微米,其中15%为单体,细磨可使连生体解离	细磨	银回收率从70%提高到86%
	凡口(中国)	锌精矿中银以次显微—显微粒级矿物形式存在,细磨也难以解离	细磨深选	银回收率和富银产品产率一致,无分选效果
	黄沙坪(中国)	锌精矿和硫精矿均有20%的银矿物为单体	锌—硫混合精矿分离浮选条件最佳化	锌精矿银品位由不足100克/吨提高到109—123克/吨
硫精矿中银存在形式	南京(中国)	银矿物粒度细小,但多分布于黄铁矿裂隙或孔洞,细磨可使其暴露	细磨深选	获品位1.1公斤/吨的富银产品
	洪坑(中国)	硫精矿中银以铅铋硫盐形式存在,有部分银矿物为单体	深选	银品位提高3.2倍
	塔西科塔(墨西哥)	尾矿中银矿物粒度细小,主要与黄铁矿连生,细磨经济上不合算	控制-65目产率	尾矿品位由32—37克/吨降到24—30克/吨
尾矿中银存在形式	帕莱尔(墨西哥)	脉石矿物含有大量银矿物,粒度 $2\sim 20$ 微米,细磨无济于事	氰化无效果	放弃提高回收率的努力,改为扩大处理能力,以增加矿山效益

含碳、硫化铁金矿石工艺性质研究

中南冶金地质研究所 苏恩清

一、矿石物质组成及结构构造

某地产出的含碳质、黄铁矿、磁黄铁矿金矿石赋存于碳质黑灰色的绢云母石英片岩中，岩石片理发育。矿石极易泥化，多呈粉砂、鳞片及泥土状，片体状表面多有黄褐色锈斑，属沉积变质型的受层控的金矿床。

原矿含金量为3.21克/吨、银为17.1克/吨、硫为1.33%，铁为5.18%、有机碳1.71%、无机碳0.3%、二氧化硅63.2%、三氧化二铝为15.8%，有色金属含量较低，其它元素含量甚微。

矿石中主要金属矿物有自然金、银金矿、黄铁矿（白铁矿）、磁黄铁矿、钛铁矿及赤褐铁矿，约占5%左右（详见表1）；脉石矿物主要为石英、绢云母、黑云母，约占90%。其余的5%脉石矿物分散偶见，晶粒细小，含量少而结构特殊，为次生变化产出的矿物，有电气石、帘石、屑石、磷灰石、绿泥石及碳酸盐矿物等。

表1 矿物含量统计(%)

矿物类别	硫化物		铁矿物		硅酸盐矿物				次生矿物
	黄铁矿	磁黄铁矿	钛铁矿	赤褐铁矿	石英	绢云母	黑云母	石榴石	
含量	1.5~2	1~1.5	0.5~1	0.5~1	45~50	33~35	9~10	1	4~6
统计	3		2		90				5

矿石的结构构造较复杂，脉石矿物以鳞片粒状变晶结构、片状构造为主；金属矿物以自形一半自形—他形粒状结构、条带状浸染状构造为主。共有六种结构形式：①片状云母和粒状石英呈鳞片粒状变晶结构；②自形一半自形—他形粒状结构，为硫化物产出形态；③自形粒状石榴石和厚板状云母为变斑状结构；④钛铁矿的板条状晶体呈板条状结构；⑤包含结构，石英中的金、云母中的金属矿物；⑥次生交代和交代残余结构，硫化物的褐铁矿化、黑云母的绿泥石化、钛铁矿的硅化等。其构造有八种之多：①云母和石英迭加呈片状构造；②条带浸染状构造，硫化物和自然金所组成的矿条体沿片理及微层理浸染；③粒间浸染状构造，金属矿物（包括自然金）沿石英粒间浸染；稀疏状似斑状构造，石榴石、黑云母散浸在石英和绢云母基质中；⑤分散在原岩中的自形黄铁矿呈星点状构造；⑥细脉浸染状构造，碳酸盐脉、石英脉、黄铁矿脉，金矿化脉顺层和横切贯入晚期矿脉；⑦钛铁矿硅化呈海绵状构造；矿块受风化较严重形成土状或粉状构造。

二、主要矿物产出特征及与自然金的关系

黄铁矿（白铁矿）：黄铁矿可分为早期和晚期产出两大类。早期产出的黄铁矿在原岩中多呈星散浸染状，自形晶程度很高（立方体），结晶好，晶粒变化较大，一般为0.03~0.08毫米，由于黄铁矿多呈集合体存在，其粒度可达0.4~0.5毫米。早期形成的黄铁矿为浅黄色，呈均质性，其嵌布不受岩石裂隙、片理制约。早期黄铁矿含金性好（单矿物分析结果见表2），但镜下发现黄铁矿含金，自然金呈次显微粒度分散或包裹在黄铁矿的基体中，以至到黄铁矿中金的固溶体。晚期产出的黄铁矿可分为两种：①一种为浅黄色，呈不规则的长板条状，组成细脉，沿岩石片理及裂隙斜切或顺层贯入，脉宽一般为0.01~0.005毫米（其粒度分布见表3），浸蚀后呈自形—他形，②另一种晚期黄铁矿具有不均匀黄色，结晶性差，呈半自形—他形粒状集合体产出，边部白铁矿化，呈非均质性。它多在石英宽条层内与磁黄铁矿伴生并形成异状形。晚期黄铁矿颗粒细小，含金性差（见表2），同样镜下亦未发现与其共生的自然金，金亦呈次显微粒度浸染于晚期黄铁矿的基体中。

发现自然金粒嵌布黄铁矿条带的裂隙中、或石英及云母条层中的黄铁矿裂隙中，这种自然金粒在矿石磨碎后易于解离出来。

磁黄铁矿：乳黄带绿棕褐色，非均质性，呈他形—半自形粒状集合体产出，构成条带状和小黄瓜状，一般条带宽0.01~0.05毫米（粒度分布见表3）。呈条带状者与黄铁矿关系密切，呈小黄瓜状的多嵌在岩石粒间或裂隙内，它的长轴与片理方向一致。磁黄铁矿含金性差，金同样以次显微粒度与其共生。

金的地球化学亲和力具有较强的亲硫、亲铁倾向，故金通常与金属硫化物，尤其是含铁金属硫化物密切共生。但由于共价半径和离子半径的差异，金并不与硫化物生成硫化金。金具有高的电离势和电子亲和力，决定金在自然界中以原子状态存在，易呈自然元素出现。这部分金多属热液矿化早期与黄铁矿、磁黄铁矿同时析出，因而早期黄铁矿含金性好。

石英：是矿石中含量最多的矿物，有三种形态：①透明度较高的有拉长和压扁现象的变晶状石英，长轴与节理一致，与云母互换产出；②半透明的带有乳白色石英，裂纹发育，以他形粒状集合体构成宽条层，内含有硫化物矿条，呈细脉状或半胶状；③不规则的粒状，松散易碎。石英粒径较小，一般小于0.05毫米（见表2），前两种石英粒度较大，第三种则较小。自然金以微粒散染或包裹于前两种石英中（石英含金测定结果见表2），金和石英的连生体，主要来源于石英条层中的硫化物裂隙金及石英粒间金。

绢云母：其数量在矿石中居第二位，为无色—浅灰—深灰色，鳞片变晶状，性脆易碎，局部被碳质污染。它与石英组成片粒变晶结构。片条一般宽0.005~0.05毫米，长0.01~0.05毫米（其粒度组成见表3）。云母呈片状，是由几片或十几片更薄的云母片迭加而成，薄的云母片间夹有星点状及薄片状金，所以云母的片粒大则含金高，片粒小含金低，自然金片也嵌在云母与石英的层间及云母条层中的硫化物裂隙中。

黑云母：为棕褐色，多单晶，局部褪色并绿泥石化。多呈板条状、稀疏变斑状。片体较大，大者在0.5毫米左右含铁而具弱磁性。其板条体同样是由薄片迭加而成，由于它性韧耐磨，不易碎，嵌在薄云母间的金难以解离出来，其含金量可高达2~3克/吨（见表2）。

有机碳质：它在矿石中含量较低，但它没有一定的晶形，不具有粒度概念，而是吸附在

其它矿物上；由于表面积很大，活性高，而处处可见。有机碳质实难单独分出，它是否含金无法测定。

表2

矿物含金量测定结果(克/吨)

矿物名称	早期黄铁矿 (>0.076 毫米)	晚期黄铁矿 ($0.076\sim0.05$ 毫米)	磁黄铁矿 ($0.076\sim0.05$ 毫米)	黑云母 (>0.1 毫米)	绢云母 ($0.1\sim0.05$ 毫米)	石英 ($0.076\sim0.05$ 毫米)
含金量	77.27	23.36	5.15	2.13	0.51	0.25

三、金矿物的工艺性质

在重砂矿物中，光片的镜下观测发现相当多的粗细粒单体自然金及银金矿。自然金多呈深金黄色，成色较高在900以上；银金矿为浅黄色，成色变低。同时也发现与脉石连生的金粒，少量与硫化物连生的金粒及脉石包裹金，这几种状态的金称为可见金；硫化物含金，由于镜下观测不到而称为不可见金。

载金矿物有黄铁矿、磁黄铁矿、黑云母、绢云母及石英。自然金主要赋存于这几种矿物的裂隙中，其次还有层间金、粒间及包裹金，除包裹金外，在矿样磨碎到一定粒度时，前三种赋存状态的金粒大部分甚至绝大部分可解离为单体金。

将金矿样分别磨碎至小于0.3、0.2、0.1毫米，经淘洗所获得的重砂矿物粒度多大于0.076毫米。对三个粒度的重砂矿物在镜下观测单体金和连生金的颗粒数，大小及形态，金的颗粒数随磨碎的粒度变小而减少，这表明重选回收粗粒金时应选择适宜的粒度。

光片上观测到的自然金粒绝大多数是小于0.076毫米，其可解离的比例按重砂矿物中单体金和连生金的比例计算，单体金及连生金的粒度分布，以粗粒为主，分别为91.68%和69.22%。为大于0.076毫米的粗粒金采用重选分选提供了依据。

金粒形态多种多样，但大体上可分为五大种（见表3），其中以片状最多，达41.74%，片状中又以多边形的为主，占26.77%。

表3

金粒形态特征分布

类别	粒 状			多形状			板 状		片 状			细条状	合计
产出形态	圆形、球形	菱形	不规则粒状	虫状	多形体状	勾叉等形状	长板条状	近圆形板状	近圆形	多边形	不规则枝叉状	丝条状	
颗粒数(个)	2	6	16	6	14	3	18	1	9	34	10	8	127
分布率(%)	1.58	4.72	12.60	4.72	11.03	2.36	14.17	0.79	7.09	26.77	7.87	6.30	100.00
累积分布率%		6.30	18.90	23.62	34.65	37.01	51.48	51.97	59.06	85.83	93.70	100.00	
各类分布率%	18.90			18.11			14.96		41.74			6.30	100.00

前面描述了可以金的赋存状态，粒度分布及金粒的形态特征，这些工艺性质无疑对选金方法的选择有着重大影响。

在矿样磨碎到一定粒度时，可见金可归纳为三状态：单体游离金、连生金及脉石包裹金；而硫化物中所含的金则为不可见金。

重砂矿物经镜下测定，其矿物组成为黄铁矿、磁黄铁矿、钛铁矿、褐铁矿、自然金及银金矿、黑云母及少量石英，其中以黄铁矿和云母为主，约占60%左右，见表4。

表4 重砂样矿物含量(%)

矿 物	黄铁矿	磁黄铁矿	钛铁矿 褐铁矿	黑云母	石 英	合 计
相对含量(%)	33.11	20.53	13.25	32.10	1.01	100.00
对原样含量(%)	0.52	0.32	0.21	0.50	0.02	1.57

重砂矿物金品位为151.79克/吨，进入重砂矿物中的金占矿样总金的73.75%；重砂样中金可分为四种：单体游离金，黑云母包裹金、与云母和石英的连生金及含在硫化物中的金。测定结果是重砂样中以单体金为主，其它状态的金是根据矿物含金量测定结果、单体金和连生金粒的面积比例的计算结果。

可见，含在硫化物中的不可见金，在重砂样中占17.33%，占原矿样金的12.78%；可见金占重矿砂样中金的82.67%，占原样金的60.97%。

淘出重砂样后余下的矿样浮出硫化物及细粒单体金，而后测定单体金的数量。镜下观察，少见硫化物与金及脉石连生体，绝大多数已单体解离，金与脉石连生体仅见几粒。硫化物为主的混合物中还有云母（以绢云母为）及石英，硫化物约占51%，云母和石英约占45%。镜下还测定了晶形好的黄铁矿数量，以便计算其含金量，该混合物中各种状态金的分布以含在硫化物中不可见金为主，占65.84%，单体金数量较少，约占25%左右。进入混合物中的金只占原矿的16.74%，其中含在硫化物中的不可见金为11.19%，可见金为5.55%。

矿石磨碎到0.2毫米时，极少见到金与硫化物的连生体，除查到的金与脉石的连生体外，在脉石中的金视为脉石包裹金，金的状态分析结果见表5。其中单体金占54.89%，可见金为76.03%，不可见金为23.66%。

表5 原样金的状态分析结果

金 的 状 态	单 体 金	含 在 硫 化 物 中 的 金	与 脉 石 连 生 金	脉 石 包 裹 金	合 计
含金量 (克/吨)	1.74	0.75	0.33	0.35	
分布率 (%)	54.89	23.66	10.41	11.04	

四、金的回收方法及可达到的最高回收率

该矿样中的单体金和脉石连生金均以大于0.076毫米的粗粒金为主，还有部分粗粒黄铁矿。金的比重很大，自然金的比重一般波动在13~17之间，因此粗粒金和硫化物为重选富集金创造了先决条件，采用重选优先富集粗粒的单体金、连生金和硫化物是国内外常用的选矿方法。它的优点是解离出来的金能及时分选出来，避免金在磨矿回路中堆积或过磨而损失，从重选产品中还可直接获得合质金。

众所周知，硫化物和细粒金均具有良好的可浮性，所以浮选也是选别这类矿石的主要方法之一，对该矿样来说，可用浮选法回收重选尾矿中细粒硫化物和金。

由于有11.04%的金被脉石所包裹，其中有少部分云母和石英可进入重选和浮选精选，这部分金就算作可回收的金，金的最高回收率也只有90~91%。

机械选矿产品的进一步处理是很困难的。含碳质、金与硫化物紧密共生，特别是金以次显微粒度散染于硫化物基体中，是难选矿石中最麻烦的一种。碳质可吸附已被氰化溶液溶解的金，硫化物中的金不易与氰化液接触，致使浸出率很低。机械选矿选出的精矿一般需要氧化处理，其方法有焙烧氧化、压热氧化、电化学氧化等，氧化处理可提高金的浸出率。

研究银的赋存状况 探索提高银回收率的途径

黄沙坪铅锌矿 周如松

概 述

我矿是一个以生产铅、锌、硫为主的多金属矿山，原矿中银的含量随不同矿体波动较大（30~90克/吨），由于井下系多中段、多采场混合出矿，进入选厂的原矿含银量大多在60克/吨上下，含金微量，银主要富集在铅精矿中，其次是锌精矿、硫精矿中。

我矿银主要是指以辉银矿、自然银、辉锑铅银矿在各选矿产品中，多呈浸染或被包裹状态存在于载体矿物中，对入选原矿而言，大约只有10%的银赋存于单体的银矿物颗粒中，银矿物的颗粒微细，最大10微米左右，一般在5微米以下。此外，沈阳矿冶研究所及长沙矿冶研究院，为银在产品中进一步富集及回收作了大量探讨，一致认为用机械选矿方法很难把各选矿产品中的含银量进一步提高，但减少银在硫精矿及尾矿中的损失率是有可能的。

一、银矿物的嵌布特性

1982年沈阳矿冶研究所证明了我矿有60%的银分布在方铅矿中，25%左右的银分布在黄铁矿中，闪锌矿中的银不到10%，脉石等矿物中分布甚少，而且银矿物很难在显微镜下找到，粒度微细，1985年长沙矿冶研究院进一步证明银主要与Pb、Cu、Zn、S四种元素相关