

首届全国金银选矿学术会议

論 文 集

第二分册

(金 银 选 矿)

中国金属学会选矿学术委员会
中国选矿科技情报网 编
冶金部黄金情报网

1983.9

目 录

一、综合评述

1. 黄金选矿技术现状与发展动向……冶金部长沙有色冶金设计研究院 吴夫彬 (1)
2. 论金银多金属矿的选矿研究……冶金部矿冶研究总院 朱观岳 (11)
3. 国外氰化提金新进展……河南省地质局实验室 巫汉泉 (22)
4. 黄金生产现状及其选分新工艺的发展……山东省冶金学院 王增图 (32)
5. 国外从含硫砷金矿石中回收金的技术途径……冶金部长沙矿冶研究所 田忠诚 (37)
6. 国外黄金科研几项新技术的进展……冶金部矿冶研究总院 李兰生 (49)
7. 从含金矿石中提取金的工艺问题……武钢矿山研究所情报室 戈志明 (60)

二、沙金

1. 我国采金船选矿工艺现状及其发展趋向……冶金部黑河采金船设计院 宫守俊 (74)
2. 新型曲面旋流选金机合理形状的探讨……中南矿冶学院
……曾令移 宋平 张泽强 (84)
……隆回金矿 刘跃湘
3. $\phi 3600$ 毫米盘选机在采金船上的应用……湖南省邵阳市采金队 肃振海 (90)
4. 砂金矿选矿工艺流程探讨……冶金部隆回金矿 刘跃湘 (94)
5. $\phi 462$ 型锥底螺旋淘金盘分选机理初探
……地质矿产部勘探技术研究所选矿设备研究室 张强华 谈文学 (98)
6. 对黑龙江省黄金群采中有关问题的商榷……黑龙江省冶金设计院 李德彻 (104)
7. 在水电站基建过程中建立砂金回收系统试验成功……长春黄金设计院 米新智 (107)

三、脉金

1. 改进碾子沟选金工艺, 开展多金属综合回收, 提高经济效益
……冶金部矿冶研究总院……许士 石 光 (111)
2. 谈谈我厂挖潜改造的一点体会……冶金部金厂峪金矿……赵璧城 (117)
3. 跳汰选矿法在金选矿厂中的应用……河北矿冶学院 刘殿文 (124)
4. 提高含金镜铁矿石脉型氧化矿选矿技术指标的实践
……山东省黄金公司 刘成义 (133)
5. 小型选金厂流程选择的几个问题……丹东市黄金公司 李 霖 (139)
6. 新疆哈图金矿八号矿脉工艺研究……新疆冶金研究所 项昌林 (143)
7. 二台子金矿选矿工艺研究……西北冶金地质研究所 马光荣 (147)
8. 从某地石英脉中回收金的研究……广东省地质局第九实验室 周 辉 (152)
9. 尾矿收金(溜槽法)的试验与生产……辽宁省华铜矿 赵礼安 (161)
10. 浅谈重选工艺在山东脉金选厂中的应用……山东省冶金学院 姬民锋 (172)
11. 就目前山东黄金选矿生产与技术工作谈几点看法和建议

-山东省黄金公司 刘成义(180)
12. 低硫化物含金石英脉矿石选金流程及金的可浮性研究
.....中南冶金地质研究所 苏恩清 赵利红(185)
13. 泥质氧化金矿合理选别工艺流程的研究
.....江西省地质局中心实验室 周克华(190)

四、综合利用

1. 提高银铅锌指标的研究
.....冶金部矿冶研究总院 孟恩套力盖银铅矿 韩秀英 姜柏文 赵纯禄(196)
2. 优先选金法回收氧化铜中伴生金.....吉林冶金研究所 吕永福(205)
3. 银山铅锌矿综合回收银选矿试验研究.....冶金部有色金属研究总院
单乃宽 杨奉兰等(210)
4. 富含银多金属矿选矿节能及其效果
.....湖南省铜山岭有色矿生产科 邓尚武(222)
5. 小铁山黄铁矿型多金属复杂难选硫化矿伴生金的试验研究
.....白银有色金属公司科技处 曾耀坤(227)
6. 八家子铅锌矿综合选银的技术经济效益.....辽宁省八家子铅锌矿 龙志泽(238)
7. 栖霞山铅锌矿中伴生银的回收.....南京铅锌锰矿 磨显光(242)
8. 河南破山银矿选矿厂工艺方案初探.....长沙有色冶金设计院 孙锦清(250)
9. 银的回收率与药剂及入选料粒度关系的探讨
.....杨家杖子矿务局选矿厂研究室 张世锦(265)
10. 铅锌选矿综合回收金银与经济效益
.....杨家杖子矿务局选矿厂研究室 徐玉华(269)
11. 从铅锌型矿石中回收银的现状和提高银回收率的途径
.....辽宁省冶金研究所 孟宪成(273)

一、综合评述

黄金选矿技术现状与发展动向

吴夫彬

长沙有色冶金设计研究院

提 要

本文综述的内容包括下列几个方面：(1) 浮选工艺，(2) 联合流程提金工艺，(3) 氰化工艺，(4) 碳浆法工艺，(5) 黄金选矿研究现状，(6) 黄金选矿技术的发展动向。在各种选矿工艺中阐述了其对某些矿石的适应性，同时指出选别流程的未来发展趋势。文中对碳浆法新工艺提金作了必要的论述，结合国外生产实践指出其对低品位含金矿石、多金属矿物附产金的回收，以及从矿泥中和从焙烧产品中回收金的重大意义。

前 言

黄金由于其具有抗蚀，耐热，延展，光泽等特殊性能，历来就被认为是贵金属，至今在国际贸易及国防工业中仍占重要地位，所以提高黄金的选矿技术具有重大的经济意义。

黄金的选矿技术是比较成熟的一门工艺，其回收技术是不断发展和进步的，从古代简单的手选，到十九世纪的重选工艺，一直发展到二十世纪的重选、浮选、氰化、硫脲及碳浆吸附等方法的一种或多种的综合性工艺。另外，还有水冶法，热处理等。本文着重于新的进展及选矿工艺流程方面，至于重选、混汞、采金船等方面的选金技术，所发表的书刊甚多，故不予赘述。

一、浮选工艺

浮选是国内外黄金选矿厂处理脉金应用最广的方法之一，特别是在处理金、银，金锑、铅、锌和金铀等复合矿石时，采用浮选法最为普遍。在许多情况下，对原生含金矿石进行浮选能够得到与氰化尾矿中金品位相近的浮选尾矿，并能综合回收其他有价金属。近年来，金矿石的浮选工艺有很大进展，主要表现在工艺流程的革新，研制新药剂，改进设计等方面。

我国湖南湘西金矿采用重—浮联合流程，进行阶段磨矿和阶段选别，获得了较好的指标，金回收率提高6%以上，其工艺流程如图1。

加拿大玛克因太尔选金厂采用阶段磨矿选别流程^[2]，如图2，浮选前具有重选作业，处理含金石英脉和含金硫化物石英脉矿石，部分金呈粗粒散布，金总回收率为93.5%，其中重选占15%。

由此可见，阶段选别是目前浮选工艺的发展趋势。南非、苏联、加拿大和美国的黄金选矿厂，采用两段或三段选别的占80~90%，我国大部分选金厂也都采用了两段选别流程。

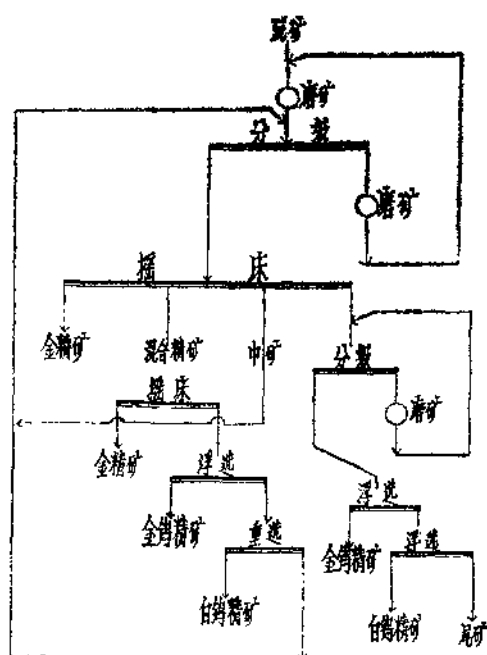


图 1

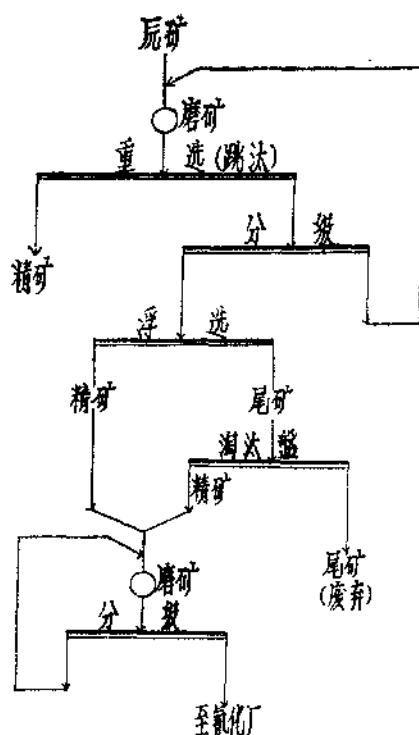


图 2

近来，浮选前调整矿浆已成为改善浮选的一个重要方面，如加拿大克维芝特选金厂的流程具有完善的矿浆充气系统，进行矿浆调整，使金的回收率提高15%，铜回收率提高4%。此外，有个别选矿厂，在浮选前先将矿浆予热，如康（con）选金厂，浮选前用热水把矿浆加温到22℃后再进行浮选。据苏联介绍，当矿浆加温到50~60℃时，曾经改善了含金矿石的浮选指标〔4〕。

目前许多国外选金厂发展脱泥流程，如埃姆派尔（Emperor）选金厂处理碲化物的含金黄铁矿，采用泥砂分选流程，金总回收率为72.5%。

至于浮选砂金，单用去泡剂不能使金游起，必须加黄药或黑药，pH值要比浮脉金为高，一般为10~10.5左右。苏打、石灰及硫化钠起抑制作用不能添加，水玻璃用量大时也起抑制作用。以31°黑药与成黄药混合使用效果最好，矿浆浓度要浓（液：固=2.5:1）。

二、联合流程提金工艺

自然金一般多与其他重金属硫化物组成复杂矿石，其粒度特性多为不均匀嵌布，或呈细粒高度分散状态，所以许多矿山都是按不同的矿石性质和矿物组成，采用两种以上的选矿方法所组成的联合流程。

1. 混汞+浮选

这流程的适应条件：矿石中有价矿物以金为主，含少量硫化物，主要以黄铜矿为主，黄铁矿、斑铜矿次之。在球磨机与分级机回路中用混汞板回收粗粒游离金。较细粒金与铜用浮选法回收，如图3。金在混汞中的回收率一般为40~45%，浮选为40%左右。

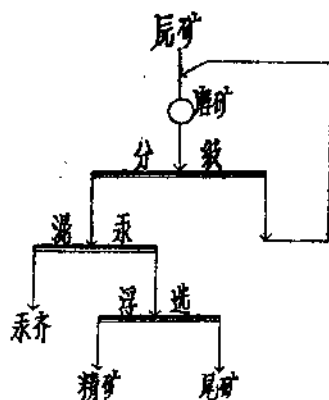


图 3

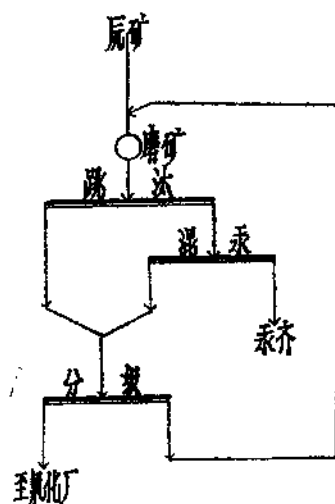


图 4

2. 重选 + 混汞 + 尾矿氰化⁽⁴⁾

适应条件：①石英及氧化金矿；②含硫化矿少的石英硫化矿；③所含硫化矿对氰化无害；④金粒粗细嵌布不均匀矿石。其典型流程如图 4。重选时用跳汰机或溜槽回收粗粒金，精矿混汞，而尾矿送氰化，此流程金回收率达90%以上，其中混汞占50%。

3. 混汞 + 混合浮选 + 分离浮选

此流程适于含有多金属硫化物的矿石，金与黄铜矿，辉铜矿，方铅矿等紧密共生。若原矿中有部分游离金，可在混合浮选前先用重选或混汞法选收。其典型流程如图5。我国秦岭金洞岔金矿即属于此流程，金回收率91%，其中混汞占41%。

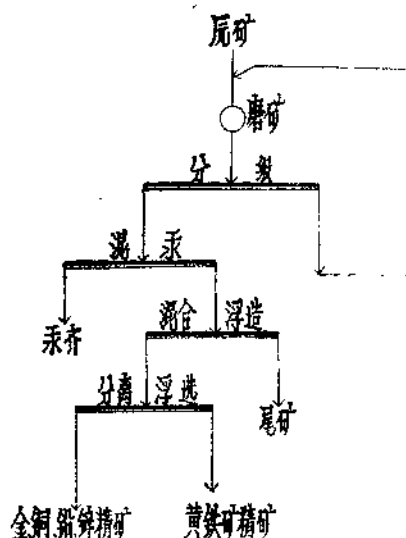


图 5

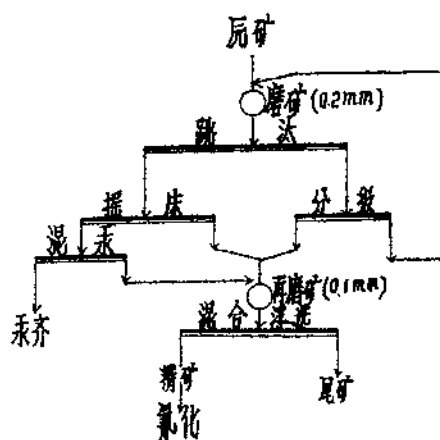


图 6

4. 重选+混汞+混合浮选+氰化

对于少量硫化矿含金矿石，应在浮选前用重选或混汞法选出粗粒金。然后再用浮选法处理。其典型流程如图6。

对于硫化物含量高的含金矿石，硫化矿总含量16%以上。其特点是基本上属于多金属硫化矿，金与铜、铅、锌、黄铁矿、毒砂共生，有少量游离金。处理这类矿石的原则流程是先用重选加混汞选收一部分游离金。其他与硫化矿共生的金，可按硫化矿浮选流程和药剂制度处理，所得的含金混合精矿按图7流程处理。

三、氰化工艺

从十九世纪末开始，用氰化法提金仍是现代黄金选矿中普遍采用的方法，由于工艺流程比较完善，回收率较高，因此国外许多选金厂，其生产工艺通常都包括氰化提金过程。但各厂的情况不完全相同，有的是用重选法予先富集后再进行氰化，有的是直接氰化或全泥氰化，有的是将浮选精矿或尾矿氰化。无论那种情况金的总回收率一般都在95%以上^[1]。

氰化法可分为：

搅拌氰化法——用以处理混汞后的尾矿和重选、浮选的含金精矿。

渗滤氰化法——氰原为浮选尾矿或含金矿石等。

氰化法提金工艺常用三种浸出洗涤流程：

1. 连续逆流洗涤——我国现有氰化厂几乎都是采用这种流程，如图8。即采用搅拌槽充

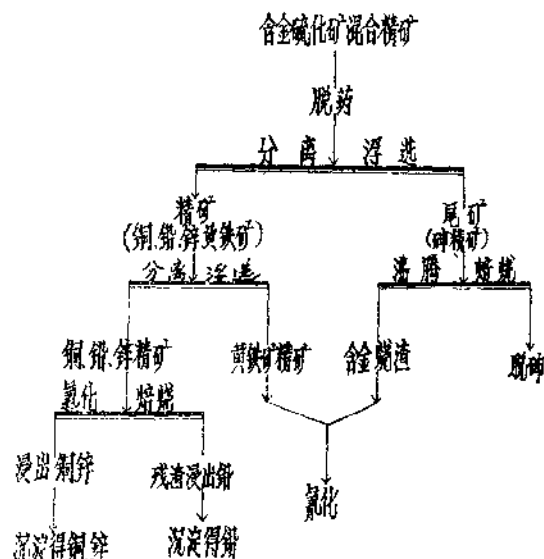


图7

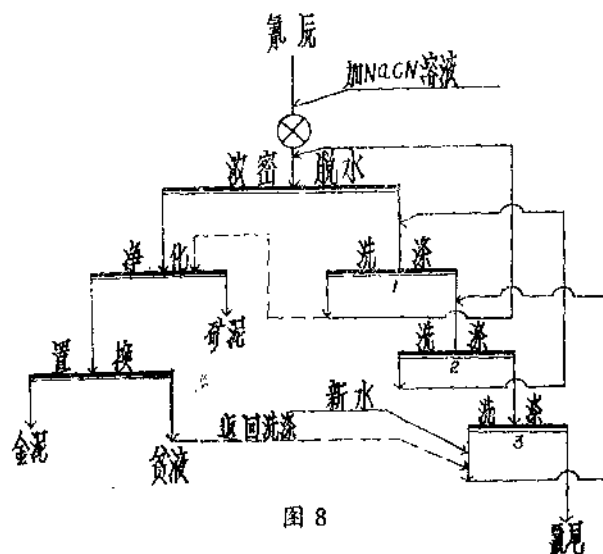


图8

气搅拌浸出，并用浓密机进行逆流洗涤。

2. 磨矿和搅拌槽分别浸出逆流洗涤流程，如图9。——这流程适用于全泥氰化浸出，原矿不含易还原物质如碳等，此外还适合用高浓度药剂浸出。

3. 分段浸出对流倾洗涤流程——加拿大帕·鲍柯平氰化厂流程就是用这种方法^[5]，如图10。上述三种典型洗涤流程是常用的，其主要工序包括：浸出、洗涤、置换、沉淀等作业。

在国外氰化提金实践中，还常采用下列三个原则流程：

- (1) 全泥氰化；
- (2) 泥砂分别氰化；
- (3) 使用活性炭进行吸附浸出。

阿马尔依捷德·班凯特、艾里斯选金厂，采用泥、砂分别氰化工艺，即把磨过的矿石分成矿泥与矿砂，前者用搅拌氰化处理，后者用渗滤氰化处理，在 NaCN 的浓度为0.03%，

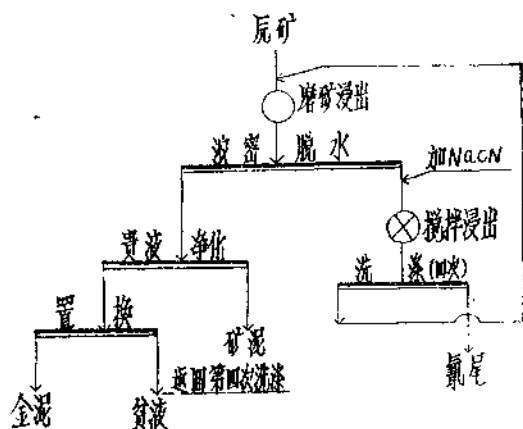


图9

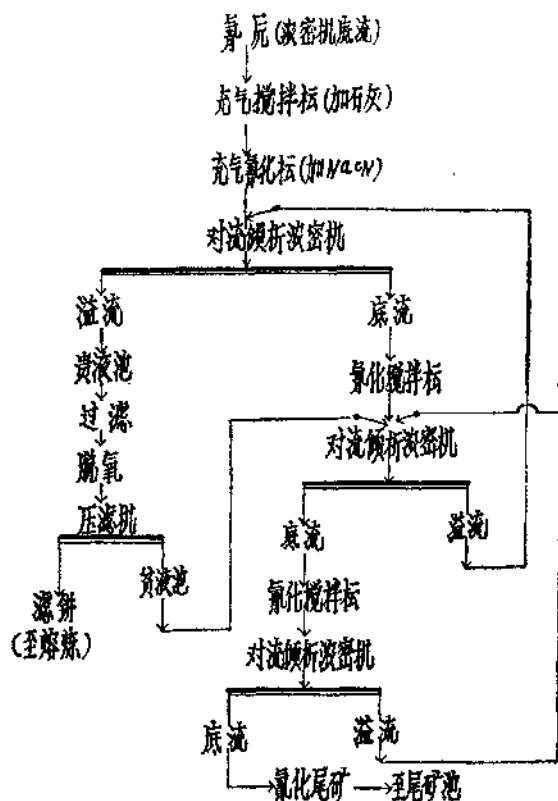


图10

$\text{pH} = 11$ 的条件下金的总回收率为95~96%^[6]。

我国现采用的氰化工艺，大致可分为两类：

(1) 浮选精矿氰化：主要是处理金与硫化物共生关系密切的石英脉含金矿石，石英——黄铁矿矿石和石英——黄铜矿——黄铁矿矿石。这类矿石经浮选将金富集到硫化物精矿后，再用氰化法处理。如五龙金矿、金厂峪金矿和玲珑金矿等均属于这种类型。氰化回收率为90~62%。

(2) 重选(混汞)氰化：适于处理石英脉含金氧化矿石。原矿先经重选，所得精矿进行混汞，或原矿先混汞后重选。重选尾矿进行氰化。我国平谷金矿即属于这种类型，金回收率为：混汞30~35%；重选为10%；氰化为30~35%。

在氰化法提金过程中，由于锌粉置换比较均匀，沉淀效果好，锌的消耗量可以减少，成本较低，且易于清理，故具有代替锌丝置换的趋势。在准备用锌粉(丝)置换金以前必须考

虑下列几个问题^[7]：

- ①溶液必须没有悬浮状的固态杂质；
- ②要保持有一定份量的游离氰化物；
- ③要保持有一定份量的碱；
- ④尽可能减少各种金属盐类，特别是可溶性的铜与铁；
- ⑤在置换箱中要保持有均衡的流量；
- ⑥必须具有足够的锌（粉或丝），且洁净而不氧化；

⑦所用的锌粉或锌丝在使用前可以在醋酸铅中予浸而把一层铅镀在锌的表面形成电流偶。这样，对于在氧化物的稀溶液中沉淀金是有利的。

影响氰化工艺效果至关重要的问题是氰化物的浓度，不同选金厂使用氰化物浓度是不一样的，一般为0.02~0.06%，若浓度高（0.07~0.1%）则能加速浸出过程，但由于氰化物同某些矿物作用加强，因此会增大NaCN的消耗量。目前我国氰化厂使用氰化物浓度为0.03~0.04%。对氰化物的浓度说法不一，有人主张氰化钠在溶液中浓度以重量计为0.1%也有人认为0.02%已使金分解完成，而一般氰化厂采用0.02~0.03%^[7]。

由于氰化物有剧毒以及处理高泥质矿石或处理物质组成复杂的矿石时，其有效性受到了限制。因此，不少国家正在寻找新的溶剂来代替氰化物、诸如硫脲法等。

四、碳浆法工艺

早在1880年人们曾广泛地开始用活性炭从含金溶液中回收金银。1899~1903年意大利在南非利用木炭过滤氰化含金溶液然后回收金。但作为一种提金的新方法直到二十世纪六十年代才得到迅速发展和臻于完善。

1961年，美国在卡尔顿金矿建立了第一座日处理250吨/日用活性炭提取黄金的工厂。由于这种提金方法可以省去过滤、浓缩、洗涤等作业，并且具有工序简单、投资少、成本低的优点，所以被认为是提金方法的一项重大突破。七十年代一些主要产金国家，如南非、苏联、加拿大和美国等都先后将碳浆法用于黄金生产。苏联几座选金厂用此法提取付产品金，总回收率提高3.9~8%，加拿大两座选矿厂的浮选尾矿水中含金0.06~0.12克/米³，用碳浆法吸附金，使废液含金降至0.009克/米³，活性炭对金的吸附容量达3公斤金/吨碳。1973年美国改建投产的雷姆斯特克工厂，是目前世界上采用碳浆法生产黄金的最大工厂之一，金的回收率提高到90~94%^[8]。

碳浆法提金在生产上的应用：碳浆法工艺是在常规的氰化浸出、锌粉置换法的基础上进行改革后回收金的新工艺，其应用范围如下：

1. 从低品位含金矿石中回收金：

如加拿大用碳浆法回收低品位矿石中的金，与常规氰化法比较，可节省投资20~25%和降低成本三分之一^[9]。

2. 对多金属矿付产金的回收

苏联季申斯克铜、铅、锌选矿厂的尾矿浓密机溢流水中含金量0.1~0.15克/米³，用活性炭吸附溶解金、载金碳进入铜精矿中使金的回收率提高8%。别洛乌索夫斯克铜、铅矿选矿厂，采用活性炭二级逆流吸附，从铜精矿浓密机溢流中（含金0.8~2毫克/升）回收了96%的金，金的总回收率提高2.9%。

3. 从矿泥中回收金

美国霍姆斯特克金矿用碳浆法直接从氰化矿浆中提取金,取得了较好的效果,经四段吸附,矿浆中含金由1.92克/吨,下降到0.015克/吨。活性碳的吸附率达99.2%,金的总回收率比原来用氰化锌粉置换工艺提高12~17%^[10]。

4. 从焙烧产品中回收金

加拿大耶洛奈夫金矿,浮选精矿含砷高达8~9%,焙烧脱砷后进行磨矿(10微米),用氰化浸出,浸出液用活性碳吸附,载金碳直接送冶炼厂熔炼,使金回收率提高4%^[11]。

五、黄金选矿研究现状

1. 从金砷精矿中回收金的工艺

砷金精矿属于难处理的“顽固”矿石^[12],对于这种矿石的处理,我国尚属于初期研究阶段,而国外的探讨方法较多,诸如高压氧浸出、电氧化浸出、细菌浸出、硫脲浸出及硝酸分解等方法^{[13][14]}。但焙烧—氰化工艺对我国砷、金矿山较有现实意义。湖南冶金研究所曾对新疆某金矿进行混汞—浮选—焙烧—氰化流程研究,获得了较好的工艺指标,金浸出率93.51%,渣含金5.05克/吨,与精矿直接氰化比较,金回收率可提高30%^[15]。研究表明,予先焙烧可使黄金得以充分回收,并使砷也得到合理利用。

2. 堆浸法提金工艺的研究

对含金品位较低的矿石,采用常规的选矿方法处理经济效果是不显著的,因此必须寻求其他方法。辽宁黄金公司等对某地低品位含金矿石进行了堆浸提金研究,取得良好结果,全流程金直接回收率为62~73.70%^[16],超过了美国工业规模堆浸提金回收率65~70%水平,比现厂原采用的“混汞+摇床”流程回收率提高40~50%。此法有基建投资少,设备简单、生产成本低、返本期快等特点,对我国含金矿石品位低的矿山建设,具有重大意义。

3. 用非极性药剂浮选金的研究

为了强化浮选过程,在用黄药浮选硫化矿石时,通常广泛地使用非极性油补加剂,能明显地提高工艺指标和降低捕收剂用量。苏联曾对纯金粒度为-0.15~+0.12毫米与石英砂粒度为0.2~0.074毫米的人工混合料和选矿厂的跳汰尾矿进行研究。用T-68(50g/T)作为起泡剂,用库页岛的原油或变压器油,代替了黄药,试验表明,可使金的浮游度增高,在相应的混合捕收剂的所有试验中,金回收率都有所提高,研究发现金的回收率取决于非极性的和极性的药剂用量。试验证实,在上述两种非极性捕收剂中间有任何一种存在时,具有明显的疏水作用,也明显地改善了金精矿的质量;这证明油提高了颗粒对气泡附着的牢固性^[17]。用非极性油补加剂和单独用黄药浮选相比较,金精矿品位提高6.8g/T,回收率提高3%左右。

六、黄金选矿技术的发展动向

近年来,黄金选矿技术有了一些新的发展。诸如洗矿、重选、混汞设备的改革,浮选药剂及选别流程的改进,氰化效率的提高等,都随着整个选矿技术的进展而发展着。但对黄金选矿来说,比较突出的技术发展动向有下列几方面:

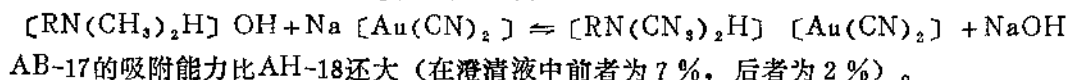
- (1) 用离子交换法从含金氰化矿浆中吸附金;
- (2) 在沸腾层中焙烧;
- (3) 含金矿石的氯化;

(4) 活性碳吸附。

1. 离子交换法

研究和实践证明：可以用阴离子交换树脂AH-18和AB-17作为离子交换剂，从氰化溶液中用离子交换回收金和银的流程如图11。

据国外报导：〔18〕用AH-18时已确定如下事实：①离子交换速率取决于粒度、温度和饱和度；②经干燥的树脂，交换速度比在水中浸2~3小时的慢些。所以不能在干燥箱中处理树脂，以免分解；③AH-18可以从含有各种杂质的氰化液中完全提出金和银，但对金的容量比银要高45%；杂质中铋高达400毫克/升和砷达200毫克/升对提金无影响，但铜、铅、锌特别是硒会使阴离子交换剂的回收率有所降低；④提高温度可以加速交换过程；⑤AH-18的吸取能力约为2%（论重量）；⑥直接在矿浆中交换的速度比在澄清液中交换的速度慢；⑦用 NH_4CNS 液能完全洗释金，洗释液中的含金量比原液提高约100倍；⑧对含金的洗释液中回收金最好采用电解，电流密度高则回收率高；⑨从处理氰化金沉淀的硫酸废液中可以用离子交换法完全回收金。AH-18的交换吸附反应为：



据现有资料，适于黄金生产的有两种比较好的树脂，一是强碱性苯已烯型树脂，二是弱碱性苯乙烯型树脂。此外还有这两种混合的阴离子交换树脂。即717*强碱树脂和704*弱碱树脂。如果含金矿石，矿物组成比较简单，特别是在氰化过程中重金属溶解很少的情况下，采用离子交换树脂吸附金优于活性碳，反之，则用活性碳吸附。树脂上金的回收率95%以上，比普通氰化（全泥氰化）提高1.5~2%。

2. 在沸腾层中焙烧

从1947年起，比较先进的沸腾焙烧工艺在国外得到了广泛应用。对于含砷硫化矿的焙烧，可用多层焙烧炉或沸腾层焙烧炉。后者的生产率大4~5倍，焙烧炉中 SO_2 浓度由4~5%提高到7~10%。苏联《Кохеноур Виллднс》企业〔19〕用沸腾焙烧法处理难选含金精矿，处理量为270吨/日。最佳的焙烧条件如下：焙烧炉的处理能力为0.45~0.6吨/小时，空气耗量10~15 m^3 /分，空气室内压力为0.25公斤/厘米²，沸腾层温度630℃，沸腾层上部空间温度550℃，烟囱内温度380℃。

《Джаинт цллоуноиф майнз》企业〔20〕是先用浮选法从矿石中回收难处理金，然后对含金浮选精矿进行两段沸腾焙烧工艺的典型企业，金的总回收率为95%。

3. 氯化法

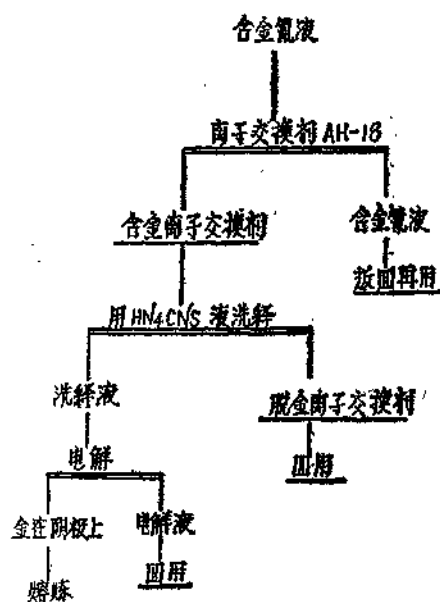


图11

氯化法在十九世纪下半叶曾在采金工业中广泛用作从矿石和精矿中回收金的湿法冶金方法。

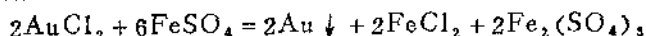
近来研究表明,金在氯水中的溶解速度远大于在氯化溶液中的溶解速度,并且随溶液中氯离子含量的增加而急剧增大。普特曼指出^[21],加入氯化钠和硫化钠对反应速度没有影响,并随着溶液中氯的浓度下降以及酸度的增高,金的溶解量增大。

为了节约氯的消耗,降低过程的成本,缩短处理时间以及提高金的回收率,先进行焙烧后再进行水氯化是比较合适的。并且确定:硫的脱除率(脱硫量)在97%以上的最佳焙烧温度为800℃,在此条件下进一步进行氯化时,金在氯化物溶液中的回收率可达99%以上。

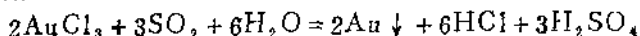
苏联列别捷夫试验成功的含金矿石的氯化升华法,可以综合选收焙烧物中的各种金属。焙烧物先用氯气或食盐氯化,然后在1000℃蒸馏,使各种金属氯化物升华并回收处理成各种金属。在实验室条件下,氯化升华法的回收率为:金99%银99%;铜95%,硫的脱除率90~95%。

从大量氯化物溶液中沉淀金的最有效方法有:

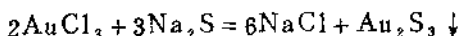
(1) 用硫酸亚铁进行沉淀:



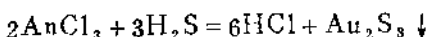
(2) 用二氧化硫进行沉淀:



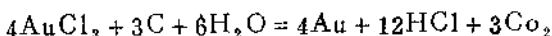
(3) 用硫化钠沉淀金:



(4) 用硫化氢进行沉淀:



(5) 用木炭进行沉淀:



在上述五种药剂中,以二氧化硫最便宜,最方便,反应最平静,而且沉淀物纯净,金的回收率高。

4. 碳浆法

活性碳是用来回收、分离、净化许多物质的最好媒剂之一。早在二十世纪五十年代,美国对环境污染进行了限制,活性碳便作为污水中有机物的一种有效吸附剂而得到广泛的发展。

用活性碳吸附氯化溶液中的金比逆流倾析法有许多优点,其中主要的为:①矿浆不必采用浓缩、清洗、过滤等程序。②适于处理难于沉淀过滤的含泥质高和品位低的矿石。③占地面积少,便于管理,并且可以节约投资50%。此外,用碳浆法工艺可以处理粘质矿石,含杂质的溶液。如含铜、铁高的溶液会影响锌粉沉淀,但不妨碍碳吸附。用碳浆法从稀溶液中回收金效果更佳。此法生产最终产品一金锭更纯,需要助熔剂较少。所以碳浆法是一种很有发展前途的提金新工艺。

含金矿石是一种多金属复杂矿石。随着选、冶新技术的进展,黄金选矿技术亦将朝着更新的方向发展。

结 语

1. 黄金选矿对我国“四化”建设具有重大的经济意义。黄金选矿工艺生产积累了许多丰富经验,目前处理含金矿石的主要方法有:浮选工艺、联合流程提金工艺、氰化工艺及其碳浆法工艺等。

2. 黄金选矿技术有许多特点,在制定工艺流程时,需视矿石的类型而定。因此,在联合流程提金方面,列举了四种典型工艺。

3. 国外在黄金选矿方面,进行了许多科学研究和试验,本文叙述了有关这方面的研究成果。

4. 黄金选矿技术的发展方向,主要是离子交换法、沸腾焙烧法、氯化法和活性炭吸附,这些新技术对于复杂而难选的含金矿石的选别和回收均具有重大的意义。

参 考 文 献

- [1] 《mineral Industry》, 1980。
- [2] 《黄金选矿》 长沙有色冶金设计研究院, 1976. 11。
- [3] ССР. В. В. 罗杰依斯科夫主编:《国外从矿石中回收金的技术和艺》。
- [4] 吴夫彬:《黄金选矿工艺》 中国金属学会选矿年会论文, 1979. 11。
- [5] 《黄金选矿技术参考资料》, 长春黄金设计院, 1981。
- [6] 《黄金技术》, 黄金科学技术情报网, 1975. 3期。
- [7] 《The Chamber of mines Journal》 1981, vol. No. 2
- [8] 吴夫彬:《碳浆法提金工艺》, “湖南冶金”, 1982. 4。
- [9] 《黄金技术动态》, 长春黄金研究所, 1980。
- [10] 《碳浆法新工艺对发展黄金工业的意义》, 有色矿山, 1981. 11. 增刊。
- [11] 《碳浆法译文集》, 长春黄金设计院, 1982. 5。
- [12] В. В. (Лодейшиков) (Извещенца) (золота) из черных и концентратов, 1968。
- [13] 《黄金技术》, 1976, NO. 2。
- [14] F. W. Mcquiston and R. S. Shoemaker;
《Gold and silver cyanidation plant practice Monograph》, 1975
- [15] 《新疆哈图金矿砷金浮选精矿“焙烧—氰化”工艺研究》, 湖南冶金研究所。
- [16] 《虎山低品位含金矿石“堆浸”提金扩大试验报告》, 辽宁省黄金公司等, 1980。
- [17] 《цветные металлы》, 1982, NO. 5。
- [18] Синельникова, А. и, Осаждение золота и серебра анионитами из цинистых пульп, тр. мидмд, 1960, NO. 38。
- [19] Can Min. and Met. Bull, V, 54. 588, 1961, P. 302—314。
- [20] Matthews O. can Min. and Met. Bull, 444. 1969。
- [21] 《黄金技术》, 黄金科学技术情报网, 1977. 1。

论金、银多金属矿的选矿研究

朱观岳

冶金部矿冶研究总院

提 要

从含金、银多金属回收黄金、白银是提高我国黄金、白银产量的重要途径之一。文章论述和介绍了国内、外新从事这方面的研究和生产情况,针对我国回收含金、银多金属的实际情况,提出了开展科研工作的意见和建议。并结合我国主要铜基地和铅锌厂矿及研究中的情况,对选别流程、浮选药剂、选别设备等提出了研究课题和改进意见并估算其经济效果,对我国多金属矿回收金、银有现实意义。

在选别流程方面,重点论述了磨矿和浮选、重选流程结构的合理性,提出了根据含金、银多金属矿的工艺矿物的特点、论证了合理磨矿和重选——浮选——重选流程对提高金、银回收率的关系及技术经济效益。在浮选药剂方面介绍了国内外研制和采用的选择性好、捕收力强和多金属分离效果明显的浮选药剂。并推荐螺旋溜槽、短锥旋流器及离心选矿机等几种高效能的重选设备、用于金、银矿物选别可提高金、银回收率。

前 言

金、银是有色金属矿石中常见的有益伴生组分,随着选冶综合利用能力的发展和提高,已经成为黄金和白银的重要来源之一,并将在今后更加显示出其重要作用。

我国的有色金属种类繁多、资源丰富并普遍含金、银矿物、过去对有色金属矿中伴生金、银的利用尚未引起足够的重视,故从这方面的研究工作开展得不够。据统计我国有色金属伴生金的储量约占黄金保有储量的46%左右,而1981年其产量只占全国产金量的21%。银则大部分与有色金属伴生,我国银产量绝大部分产于伴生的有色金属中。目前,我国从有色金属中回收伴生金、银水平还不高、综合选矿情况、金回收率为50—60%、银回收率为60—70%、与世界先进水平存在着一定差距。为加速发展我国的黄金和白银满足社会主义建设事业发展的需要,因此,搞好从多金属矿综合回收伴生金、银的研究工作、是一项不需大量新建企业、只需进一步加强科研攻关和对现有企业进行挖潜、革新和改造就能较大的提高我国金、银产量、是符合我国目前国情的有效途径。现将我们在调研过程中所收集的资料并结合我们在开展这方面研究工作的情况、提出我们的看法供有关部门参考。

一、金、银矿石类型及主要矿物

我国黄金、白银资源分布很广。据统计我国的金矿床中脉金约占43.0%、有色金属矿中伴生金约占46.0%、砂金目前比例不大只占11%。银的(矿床类型)主要有两种、一种是银

与铅、锌或银与铜等有色金属伴生类型，占绝大部份，另一种矿石类型是金银矿石、但这种矿石类型数量较少。

根据金的矿石类型及主要伴生矿物与赋存状态的关系列入表（1）。

金的矿石类型

表 1

矿 石 类 型		主 要 伴 生 矿 物	
		金 属 矿 物	脉 石 矿 物
热液脉金	金 砷 型	毒砂、磁黄铁矿、黄铁矿、辉铜矿、	石英、长石、萤石、磷灰石、电气石
	金多金属类	银金矿、黄铁矿、毒砂、黄铜矿、	石英、绢云母、方介石、
	金钨铋型	闪锌矿、黄铁矿、方铅矿、黄铜矿、	石英、方介石、绢云母、铁白云母、
与第三组火山岩有关的矿床		碲金矿、碲金银矿、针碲金矿、自然银、黄铁矿、辉铋矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、	玉髓状石英、玉髓、冰长石、方介石、白云母、明矾石、重晶石、
砂 金 矿		黄铁矿、白铁矿、辉铋矿、方铅矿、黄铜矿、雄黄、雌黄、	玉髓状石英、蛋白石、方介石、锆石、
伴 生 金	铜镍矿床	磁黄铁矿、镍黄铁矿、黄铜矿、磁铁矿、黄铁矿、铂族矿物	长石、角闪石、辉石、黑云母、绿泥石、绿帘石、蛇纹石、方介石、
	砂卡岩多金属矿床中	黄铜矿、黄铁矿、黝铜矿、磁铁矿、赤铁矿、磁黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、	石榴石、透辉石、阳起石、绿泥石、绢云母、碳酸盐、石英、
	斑岩铜矿中	黄铜矿、黄铁矿、辉铜矿、方铅矿、闪锌矿、	长石、石英、绢云母、绿帘石、绿泥矿、伊利石、

主要金矿物

矿石中大约有20余种金矿物、它不仅存在于各种硅酸盐矿石，而且在大多数银、铜、铅、锌等矿石也含有微量金。常见的主要金矿物有：

矿物	化学式	含金量（%）
自然金	Au	80—99
银金矿	(Au, Ag)	40—80
碲金矿	AuTe ₂	39—43
针碲金银矿	Au, AgTe ₄	20—24
碲金银矿	(Au, Ag) ₂ Te	25—77
叶状碲金矿	AuTe ₂ · 6Pb(STe)	6—13
针状碲金矿	AuTe ₂	39—43

主要银矿物

银是比较广泛地存在于地壳中的元素，自然银较少，多以铜、铅、锌等硫化物存在。在低温热液矿床中金、银矿脉最为富集，中温热液铜、铅、锌矿脉和高温交代矿床及钴、镍、银砷型也很丰富。主要银矿物如下表：

主要银矿物一览表

矿 物	化 学 式	含 银 量 (%)
自然银	Ag	72—100
辉银矿	Ag ₂ S	85—87
深红银矿	Ag ₃ SbS ₃	~59.8
淡红银矿	Ag ₃ AsS ₃	~65.4
辉安铜银矿	(Ag, Cu) ₁₀ Sb ₂ S ₁₁	64—72
碲银矿	Ag ₂ Te	~31.4
碲金银矿	(Ag, Au) ₂ Te	~4.8
脆银矿	Ag ₃ SbS ₄	~68.4
硫砷铜银矿	(Ag, Cu) ₁₀ AsS ₁₁	~78.4
辉银铜矿	(Cu, Ag) ₂ S	~53.1
角银矿	AgCl	~75.0

二、国外金、银多金属矿选矿概述

黄金和白银是有色金属矿石中一种常见的伴生组分。近年来根据国外市场的变化，更加重视从多金属硫化矿中回收伴生金、银。据统计目前国外金产量约有10%为伴生金。有些国家占有重要地位，如巴布亚新几内亚的金全部来自伴生金、菲律宾占62%、澳大利亚占59%、美国占40%、苏联占25%。日本虽然国内金、银资源较为缺乏，选矿厂一般规模不大，但也很重视从多金属矿中回收金、银的研究工作，并积极使研究成果应用于生产中。以下简述美国、苏联和日本在多金属选矿中回收金、银的一些情况。

美国很重视从有色金属矿中回收金，据统计在美国25个主要产金矿山中约有19个是有色金属矿山以伴产形式回收金，特别是铜矿回收金占美国黄金产量40%左右。其金回收率一般60—70%，银回收率70—80%。

如15个铜（钼）浮选厂平均指标为：

矿 种	原矿品位	精矿品位	精矿回收率
铜	0.53%	24.82%	84%
钼	0.02%	56.76%	53%
金	0.10g/T	3.15g/T	61%
银	1.71g/T	71.99g/T	77%

如13个铜、铅、锌浮选厂平均指标为：

矿 种	原矿品位	精矿品位	精矿回收率
铜	0.29%	27.18%	71%
铅	4.91%	71.23%	97%
锌	0.99%	56.41%	79%
金	0.89克/吨	23.57克/吨	70%
银	64.60克/吨	6469.14克/吨	93%

这些选矿厂的工艺特点都是采用浮选法，先获得金—铜、金—铅或金铅锌等混合精矿，而后在冶炼厂付产回收金和银。如果金与黄铁矿共生、则将黄铁矿选矿为单独产品、并就地采用氰化法处理。

苏联也很重视从铜、铅、锌多金属矿中回收金，有色金属伴生金的产量占总产量的20%，因伴生金矿床类型不同、其伴生金回收工艺流程也不相同，1979年苏联伴生金产量63吨、其中75%来自铜矿、25%来自铅锌矿。

苏联铜矿中伴生金主要有乌拉尔铜矿区，哈萨克矿区、乌兹别克矿区、亚美尼亚矿区。14个选矿厂平均指标为 α_{Cu} 0.98—1.33%、 α_{Au} 1.1克/吨、 α_{Ag} 3.3克/吨、 ϵ_{Au} 68—70%。

铅锌中回收金占总产量的25%、其中铅精矿中回收金占22%、铜精矿占43%、锌精矿占12%、黄铁矿5%、重选游离金占18%。主要矿区有哈萨克斯坦、乌兹别克—塔吉斯坦矿区、阿塞拜疆矿区、海滨边疆区和依尔库茨克矿区。其平均 α_{Au} 1.29克/吨、 α_{Ag} 32克/吨
 ϵ_{Au} 60%、 ϵ_{Ag} 70%、

其他类型多金属矿平均为：

α_{Au} 1.56克/吨、 α_{Ag} 42.4克/吨、
 ϵ_{Au} 75%、 ϵ_{Ag} 85%。

苏联提高多金属矿石金、银回收途径为：

1. 在浮选前的磨矿过程中应用重选法回收单体金。如跳汰和短锥水力旋流器、窄缝溜槽用于回收磨矿中游离金。
2. 改进浮选制度，减少金随碱性硫化物而损失、在浓缩机溢流处进行碳吸附回收已溶金。
3. 为了回收黄铁矿精矿的金、建议用浮选法等从烧渣中回收金等。
4. 加强管理有色企业中不重视回收贵金属的倾向、采取有力措施回收贵金属。

由于采取了以上措施金回收率提高4—8%。

日本从铜、铅、锌多金属中回收金、银的选矿工作已开展多年。目前生产铜、铅、锌的主要有中龙、神冈、鹿洞、花岗、小坂、松峰、丰羽和揖沟等。这些矿山选厂都非常重视回收金、银、并作了很多研究工作。如查明金、银矿物的赋存状态、研究掌握金、银矿物在选矿过程中的机理，改进选矿流程等工作。根据金、银矿物特点，改进磨矿、浮选中掌握添加二氧化硫条件下含银矿物浮选机理等。如松峰选厂选别指标为：

α_{Cu} 0.6%、 α_{Pb} 9.0%、 α_{Zn} 20%、
 α_{Fe} 1.2%、 α_{Au} 2.3克/吨、 α_{Ag} 220克/吨、
 ϵ_{Ag} 77%、 ϵ_{Pb} 56%、 ϵ_{Zn} 87%。