

黄金精炼工艺研究

贾露萍

(瑞木镍钴管理(中冶)有限公司,北京 100028)

[摘要]“优质、低耗、环保”是当前对黄金精炼工艺的总体要求,本文总结了主要的黄金精炼工艺,分别介绍了主要黄金精炼工艺的原理、发展起源,综合分析其优缺点。对黄金精炼工艺的工程化应用和技术发展有着重要意义,同时也指出了黄金精炼工艺未来发展的方向。

[关键词] 黄金; 精炼

[中图分类号] TF114; TF831

[文献标志码] B

[文章编号] 1003-8884(2021)01-0005-05

DOI: 10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2021.01.002

0 前言

黄金色泽艳丽、化学性质稳定,价格昂贵,在地壳中含量稀少,世界陆基黄金储量仅 50 000 t^[1]。它具有良好的加工、导电、导热性能、较强的抗腐蚀性能,除了在首饰品、美术工艺、货币等传统领域应用外,也广泛地应用在现代科学、工业等领域中。

“优质、低耗、环保”是当前对黄金精炼工艺的总体要求,本文总结了主要的黄金精炼工艺,介绍各类黄金精炼工艺发展渊源、应用现状、原理,综合分析其优缺点,对于黄金精炼工艺的工程化应用和技术发展有着重要意义,同时也指出了黄金精炼工艺未来发展的方向。

1 黄金精炼工艺

由于原料的多样性、成分的复杂性、产品要求的差异性,黄金的精炼工艺方法种类较多,主要的黄金精炼工艺汇总如图 1 所示。

1.1 贵铅火法工艺

熔融的金属铅是贵金属的良好捕集剂,这一特性是贵铅火法工艺的应用基础。贵铅火法工艺(流程见图 2)包括贵铅熔炼和氧化精炼(俗称“灰吹”)。贵铅熔炼是将固体熔剂与含金物料混合进行高温熔融反应,生成的铅试金固溶体因密度大而

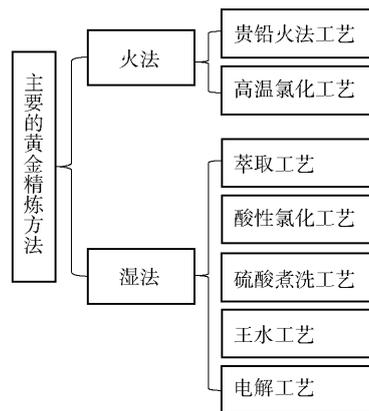


图 1 主要的黄金精炼方法

沉于底部,贱金属等其它成分一部分以氧化物或盐的形成进入熔渣而浮于上层实现了分离,另一部分挥发进入烟尘。氧化精炼是指在高于主体金属(铅)的氧化物的熔点温度,往贵铅熔池表面鼓风,并加入氧化剂,使铅和其它杂质氧化,使溶解于其中的铜、锑、砷、铋等杂质氧化形成不溶金银的浮渣而与金银分离,砷、锑形成低价氧化物,挥发进入空气中,最终得到金银质量分数为 95% 以上的金银合金。

贵铅火法工艺处理原料一般为铜阳极泥、铅阳极泥,若铜阳极泥进行贵铅火法工艺前需要除铜、硒,使金银进一步富集,然后进行贵铅火法工艺,铅阳极泥则可直接采用贵铅火法工艺。经过不断技术改革和设备更新,较为典型的贵铅火法工艺见图 2,通过焙烧去除硒、硫,酸浸主要去除铜、部分去除银和碲,贵铅熔炼去除贵金属、铅以外的其它杂质金属,产出贵铅合金,贵铅合金可以通过氧化精炼进一

[收稿日期] 2020-09-23

[作者简介] 贾露萍(1984-),男,江西萍乡人,冶金高级工程师,大学本科,主要从事镍钴湿法冶金工作,现任瑞木镍钴管理(中冶)有限公司冶炼厂党总支书记、常务副厂长。

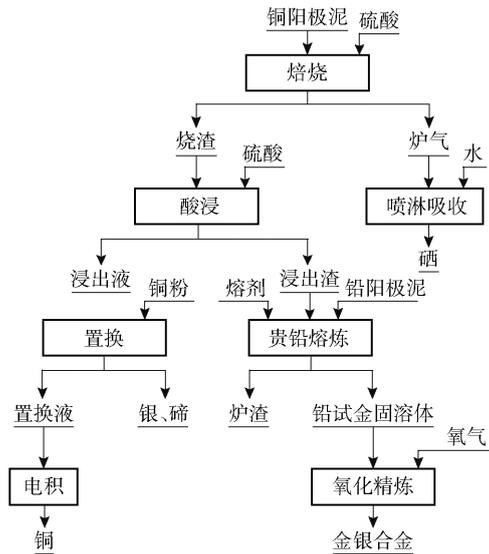


图 2 贵铅火法工艺流程图

步除去铅、砷、锑、铋、铜、碲等元素得到金银合金。

1.2 高温氯化法

高温氯化法是在高温(金熔融状态)下通入氯气,利用杂质金属对氯的亲合力强于金而进行氯化,金不氯化。然后利用大多数杂质金属氯化物沸点较低的特点,通过挥发除去,铜、银等贵金属的氯化物虽沸点较高但不溶于金,浮于熔融状态金的表面而被分离。

主要金属元素氯化顺序为 Zn、Pb、Cu、Ag、Bi、Au。主要金属元素氯化物熔点、沸点见表 1^[2],从表 1 可以看出, AuCl₃ 的沸点很低,所以在氯化过程中,要控制 Au 不被氯化,并将温度控制 1 250 ℃ 左右,促使 Cu、Pb、Zn、Bi 等元素氯化后挥发除去, Ag 氯化后变成 AgCl,虽然其沸点较高,但会成熔融状态浮于金熔体表面而被分离,金产品纯度 95% ~ 99%。

表 1 各金属氯化物的熔点、沸点

| 氯化物 | 熔点/℃ | 沸点/℃ |
|-------------------|------|-------|
| AuCl ₃ | 288 | 407 |
| BiCl ₃ | 233 | 439 |
| AgCl | 455 | 1 564 |
| CuCl ₂ | 429 | 1 212 |
| PbCl ₂ | 498 | 954 |
| ZnCl ₂ | 317 | 732 |

1.3 萃取工艺

黄金的萃取工艺的工业化应用始于南非,萃取工艺适合处理的物料包括:铜、镍精炼厂的阳极泥、铜镍冰铜的浸出渣、废催化剂和电子工业含贵金属废料、废旧合金等^[3]。

萃取工艺前一般采用 Cl₂ 和 HCl 混合物浸出含金原料制备萃取液,若涉及回收原料中的 Os、Ru、Ir、Rh 等元素,还必须进行还原、碱熔等预处理。萃取剂的选择较多,常用的萃取剂有 LIX65N、LIX70、乙醚、叔胺、甲基异丁基酮、二丁基卡必醇等。

萃取工艺黄金的萃取率 > 99.5%,金产品纯度为 99.99%,典型流程图如图 3 所示。

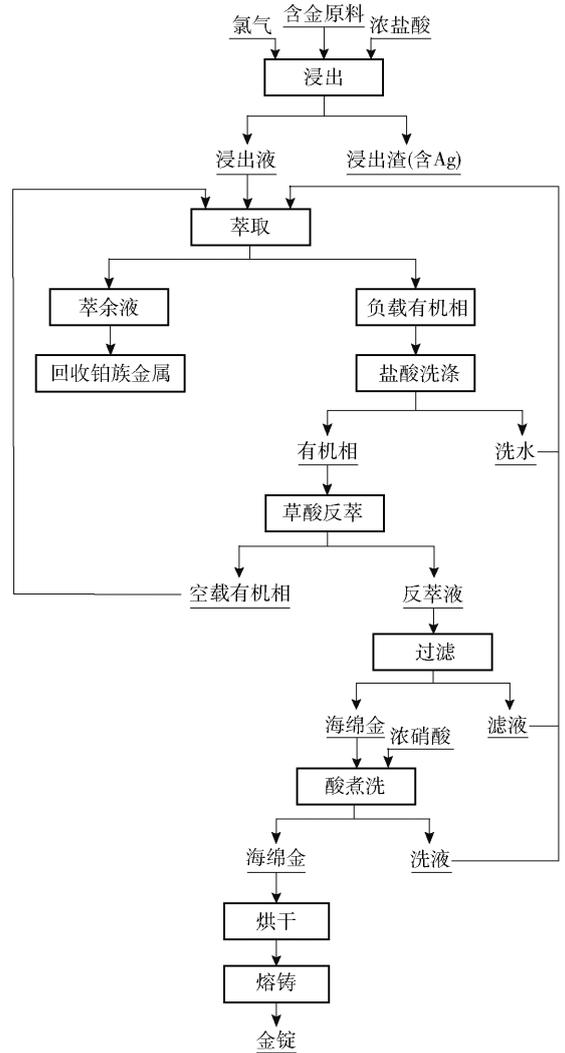


图 3 黄金萃取工艺

1.4 硫酸煮洗工艺

硫酸煮洗工艺适合于处理含金不大于 33%、含铅不高于 0.25% 的合金。是用浓硫酸在高温下进

行浸煮,合金中的银、铜等金属形成硫酸盐而被除去。硫酸煮洗工艺流程如图4所示,硫酸煮洗和洗涤根据实际情况可此次进行,最终产品金锭品位可达99.6%以上。

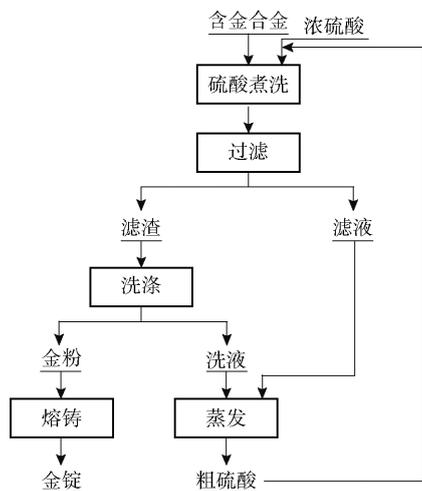


图4 硫酸煮洗工艺流程图

1.5 王水工艺

王水工艺一般用来精炼含银 <8% 的粗金,典型流程如图5所示。王水是由浓盐酸和浓硝酸按体积比3:1配置而成的混合物,黄金能够溶于王水,主要是硝酸将盐酸氧化生成氯气和氯化亚硝酰,氯化亚硝酰又分解为氯气和一氧化氮,反应式如下:



王水溶解液冷却加少量水,以便于氯化银沉淀析出,同时加入适量浓硫酸与铅反应生成硫酸铅沉淀,过滤后,滤液加热沸腾并添加盐酸以挥发去除残留的硝酸,加入草酸还原沉淀过滤后得到海绵金,再用硝酸煮洗去除残余草酸和杂质金属,然后经烘干浇铸得到品位99.99%金锭。草酸可用硫酸亚铁或亚硫酸钠代替。

1.6 酸性氯化工艺

酸性氯化工艺一般在 HCl - NaCl 或 H₂SO₄ - NaCl 溶液中加入氯气(或氯酸钠)浸金,浸出液过程中 PH 越低越有利于金的浸出,过滤后往滤液中通入 SO₂(可用草酸、甲酸、二氯化锡、碳、一氧化碳、二氧化硫等代替)还原得海绵金,经过滤、硝酸煮洗、烘干、浇铸后产出99.9%金锭。酸性氯化工艺流程图如图6所示。

酸性氯化工艺浸金原理为金在饱和含 Cl₂ 的酸性氯化物溶液中被氧化生成三价金的络阴离子,化

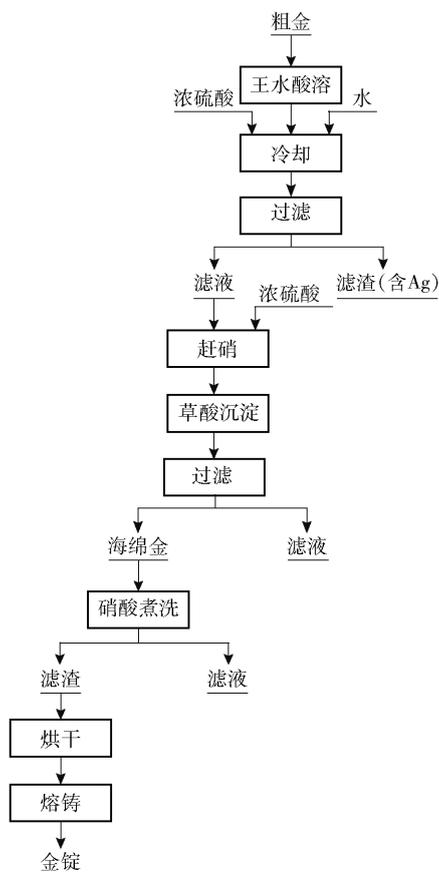
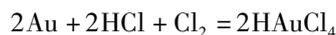
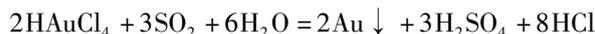


图5 王水工艺流程图

学反应式为:



SO₂还原金的化学反应式为:

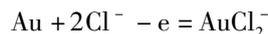
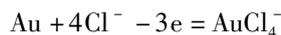


酸性氯化工艺流程图如图6所示。

1.7 电解工艺

电解工艺是以粗金(含 Au 90% 以上)为阳极,纯金片作阴极,进行电解精炼产出电金,电金纯度可达99.99%,电解液可用金的氯化络合物水溶液和游离盐酸,也可用氰化络合物水溶液。

电解过程中,阳极粗金不断反应溶解,主要化学反应式为:



阳极往往容易发生钝化,钝化后可导致生成氯气析出,一般通过提高电解液温度(50℃左右)和酸度(HCl 250 ~ 300 g/L)^[2]、同时通入直流电和交流

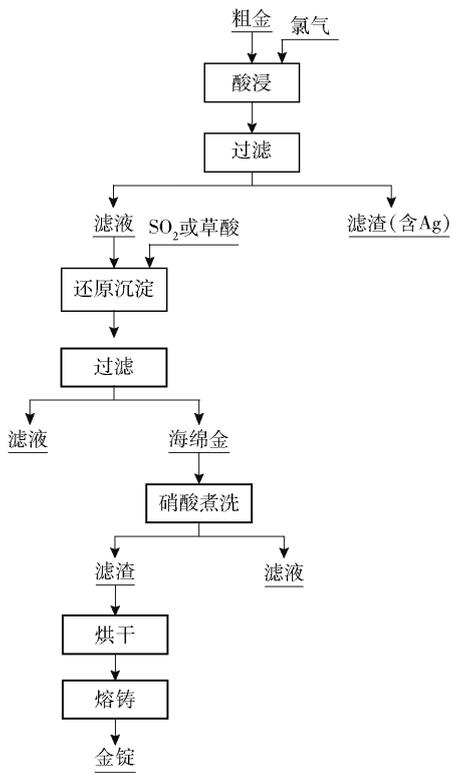
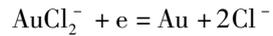
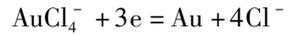


图 6 酸性氯化工艺流程图

电形成非对称性脉动电流等措施避免。反应会导致一部分金粉掉入阳极泥中,降低电流密度(700 A/m²

左右)以抑制其发生。

阴极析出金,主要化学反应式为:



2 综合评价

主要的黄金精炼工艺综合评价如表 2 所示^[4], 总体而言,贵铅火法工艺、硫酸煮洗工艺、王水工艺视为传统的黄金精炼工艺,高温氯化工艺、萃取工艺、酸性氯化工艺、电解工艺视为现代黄金精炼工艺,当前工业应用较多的黄金精炼工艺为电解工艺。

3 发展方向

黄金精炼工艺始终在不断地在改进和优化,未来可着力于以下几个方面进行发展:

(1)改进优化现有黄金精炼工艺,通过不断优化工程化设备结构、应用新材料,提高精炼效率和回收率、降低运营成本、增加经济效益。

(2)大力促进在线监测及在线分析仪表、黄金精炼工艺生产智能管理软件等技术的开发和应用,实现提高精细化操作水平、降低劳动强度、强化科学管理和决策能力、有效消除职业安全隐患,最终实现

表 2 主要的黄金精炼工艺综合评价

| 主要黄金精炼工艺 | 起源 | 优点 | 缺点 |
|----------|---------------|--|--|
| 贵铅火法工艺 | 古老 | ①成本低; ②操作方便; ③富集效率高; ④原料适应性强; ⑤宜大规模生产; ⑥废水量少。 | ①须要提前除铜、硒、硫等元素; ②劳动强度大; ③金产品纯度低; ④环境不友好; ⑤设备利用率低; ⑥能耗高; ⑦直收率低。 |
| 高温氯化工艺 | 19 世纪 50 年代 | ①工艺简单; ②能适应含金 30% 左右的原料; ③废水量少; ④单位投资低; ⑤宜大规模生产。 | ①少量的金会挥发导致回收率低; ②金产品纯度低; ③氯气环境污染大; ④设备防腐及密封性要求高; ⑤难于精细化操作。 |
| 萃取工艺 | 约 20 世纪 50 年代 | ①可处理低品位物料; ②操作条件好; ③直收率高; ④宜大规模生产; ⑤生产周期短。 | ①废水量大; ②产生有机物危害; ③单位投资高; ④操作复杂。 |

续表 2

| 主要黄金精炼工艺 | 起源 | 优点 | 缺点 |
|----------|---------|--|--|
| 酸性氯化工艺 | 20 世纪初 | ①生产成本低; ②金进出速度快; ③不存在金钝化问题; ④产品纯度高; ⑤规模可大可小; ⑥操作环境较好。 | ①适合处理含 S < 0.5% 的矿石; ②环境不友好; ③设备防腐及密封性要求高; ④废水量大; ⑤单位投资高; ⑥若使用氯酸钠,存爆炸风险。 |
| 硫酸煮洗工艺 | 约 17 世纪 | ①流程简单; ②单位生产成本低; ③规模可大可小。 | ①原料适应性窄,为含金不大于 33%、含铅不高于 0.25% 的合金。 |
| 王水工艺 | 约 12 世纪 | ①生产周期短; ②直收率高; ③规模可大可小; ④原料适应性强; ⑤产品纯度高; ⑥操作环境好; ⑦单位生产成本低。 | ①原料要求含银 < 8% ; ②产生氮氧化物及酸雾。 |
| 电解工艺 | 18 世纪末 | ①产品纯度高; ②设备简单; ③废水量少; ④回收率高。 | ①原料阳极含要求 Au > 90% ,含铜 < 2% ; ②电解液含钯不宜超过 5 g/L,含铂不宜超过 50 g/L; ③直收率低; ④生产周期长; ⑤积压资金; ⑥产生酸雾。 |

人工智能化运营。

(3)探索减少黄金精炼工艺“三废”产生的方法,同时加强黄金精炼工艺“三废”处理的研究,在满足环保要求的同时,不断降低企业“三废”处理的成本,甚至变废为宝,实现资源的充分利用并产生经济效益^[5]。

(4)积极开发新型化学试剂,例如高效环保的溶金试剂、萃取剂、除杂剂等。

(5)开展新工艺的研究,例如低品位矿的堆浸、细菌浸出、海水中提取黄金等工艺的研究,若能大规模应用成功,将会是黄金精炼工艺突破性的发展。

[参考文献]

- [1] USGS. Mineral Commodity Summaries 2020 [R]. USGS. January 2020:71.
- [2] 卢宜源,宾万达. 贵金属冶金学[M]. 长沙:中南大学出版社,2006.
- [3] 黎鼎鑫,王永录. 贵金属的提取与精炼[M]. 长沙:中南大学出版社,2003.
- [4] 王晓丹. 黄金精炼工艺综述与展望[J]. 世界有色金属, 2017(22):9-10.
- [5] 秦晓鹏,胡春融,董德喜,等. 浅谈我国黄金精炼技术与工艺[J]. 黄金,2003(8):34-35.

(下转第 27 页)

A Brief Talk on the Design of Underground LHD Cabs

DENG Zhi-rui, ZHAO Jin-yuan, LIU Wei

Abstract: The cab is one of the important parts of the underground LHD. It is directly related to the driver's visibility, safety, health, operating comfort, and labor intensity to correctly design the cab that meets the requirements. Due to the limitation of underground mining space, the design of the underground LHD cab is different. This paper will introduce the location of driver's cab, layout design of working space, visibility, and safety inspection, etc., for reference of underground LHD design technicians.

Key words: underground LHD; cabs; visibility; safety



(上接第9页)

Gold Refining Process Research

JIA Lu-ping

Abstract: "High quality, low cost, environmental protection" is the current general requirements for gold refining process. This article summarizes the main gold refining processes, introduces those main gold refining process principle, development origin and comprehensive analysis of its advantages and disadvantages. It is great significance to the engineering application and technical development of gold refining process, and also points out the future development direction of gold refining process.

Key words: gold; refining

