

# 高纯金制备技术研究现状与展望

张济祥, 谢宏潮, 阳岸恒, 朱 勇, 邓志明, 陈登权  
(贵研铂业股份有限公司 稀贵金属综合利用新技术国家重点实验室, 昆明 650106)

**摘要:** 高纯金( $w_{Au}>99.999\%$ )在电子、半导体和通讯行业中的靶材、引线 and 集成电路等方面应用日益广泛。介绍了高纯金制备技术包括化学还原法、萃取法和电解法的基本原理和工艺流程及各自存在的优缺点, 并阐述了高纯金制备技术的研究现状, 对其发展前景进行了展望。

**关键词:** 有色金属冶金; 高纯金; 化学还原法; 萃取; 电解; 提纯

**中图分类号:** TF114.1, TF114.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-0676(2015)03-0081-06

## Status and Prospect of Preparative Methods for High-purity Gold

ZHANG Jixiang, XIE Hongchao, YANG Anheng, ZHU Yong, DENG Zhiming, CHEN Dengquan  
(State Key Laboratory of Advanced Technologies for Comprehensive Utilization of Platinum Metals,  
Sino-Platinum Metals Co. Ltd., Kunming 650106, China)

**Abstract:** High-purity gold ( $w_{Au}>99.999\%$ ) is widely applied to target material, lead wire and integrated circuit in electronic, semiconductor and communication industry. The basic principles and processes for preparing high-purity gold by using chemical reduction method, solvent extraction and electrolysis were described in this article, and advantages and disadvantages of different methods were compared to each other. The future developments were also given.

**Key words:** nonferrous metallurgy; high-purity gold; chemical reduction; solvent extraction; electrolysis; purification

电子、通讯、半导体和宇航等行业对所使用黄金的纯度提出越来越高的要求, 如晶体管和集成电路中的欧姆接点中所使用的高纯金材料纯度要大于 99.999%, 在电子行业中用于引线、靶材及焊料的金材或合金的原材料中, 如果用 99.999%的金代替 99.99%的金则会使材料的可焊性、半导体特性及稳定性等有很大的改善。随着现代高科技的迅猛发展, 高纯金在电阻测量、飞机、导弹、火箭上的金钎焊料以及金的药物、夜视学等领域的应用前景越来越广泛, 目前我国仍有大量高纯金依赖进口, 因此, 对高纯金制备工艺的研究显得意义重大<sup>[1-3]</sup>。

目前, 高纯金的制备工艺主要有化学还原法、溶剂萃取法和电解法等。凭借单一工艺或一次提取流程很难获得 99.999%以上的高纯金, 根据原料成

分不同, 往往需要一种工艺重复进行 2 次甚至多次, 或者是将多种工艺相结合进行提纯。本文重点介绍了化学还原法、溶剂萃取法和电解法 3 种方法的原理、工艺特点, 对其优劣进行了比较, 阐述了目前的研究进展情况, 并展望了高纯金制备技术的发展前景。

## 1 化学还原法

### 1.1 化学还原法提纯原理及工艺流程

传统的化学还原法制备高纯金工艺流程<sup>[4-5]</sup>如图 1 所示。首先将粗金用王水溶解, 通过过滤将不溶物(含  $AgCl$ 、 $PbCl_2$  及  $SiO_2$  等)等从含金溶液中分离出来, 然后用草酸或二氧化硫(亚硫酸盐)作为还

收稿日期: 2014-07-29

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2012BAE06B05)。

第一作者: 张济祥, 男, 博士, 助理研究员, 研究方向: 稀贵金属冶金。E-mail: onlyforjoy@126.com

原剂将金氯配合物还原成金粉,在实际中,因草酸的选择性更好,而且还原速度快,所以应用更广。然后用硝酸煮洗还原得到的金粉,将其中夹带的杂质溶解,再用水反复洗涤数次,将可溶性的杂质去除,烘干后铸锭,可获得纯度大于 99.9%的纯金,运用此工艺进行反复提纯金 2~3 次,则可获得 99.99%以上的纯金。经过提纯后的残液中仍可能会有少量余金,可加入过量的亚硫酸钠还原,过滤回收得到粗金。

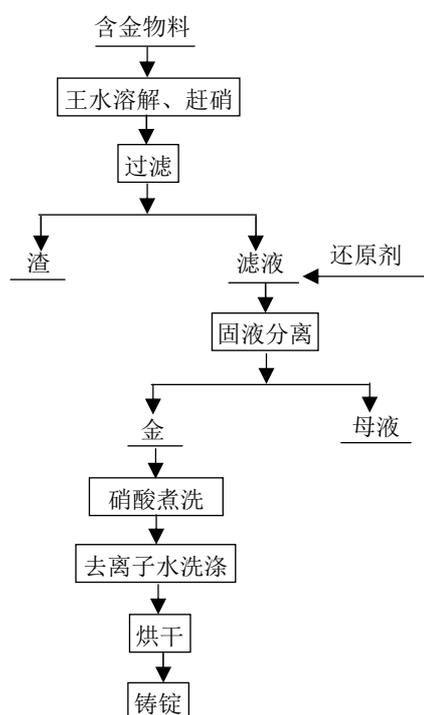


图 1 传统化学还原法提纯金工艺流程图

Fig.1 The flow diagram of gold purification by traditional chemical reduction method

## 1.2 化学还原法研究现状

传统化学提纯金存在王水溶解金粉时间长,赶硝不彻底,产生  $\text{NO}_x$  有害气体,劳动条件差的缺点,此外,化学还原法产品的纯度受原料品质的影响较大,经过一次化学还原法提纯后金的纯度一般只可达 99.95%左右。因此,许多学者和企业在传统化学还原方法的基础上进行改进,一方面减少了对环境的污染,另一方面提高了高纯金产品的纯度。

从保护环境角度来考虑,为了减少  $\text{NO}_x$  的污染,可以将王水用氯水(盐酸加氯酸盐或盐酸加氯气)来代替<sup>[6]</sup>。中金黄金股份有限公司采用化学还原法提纯得到了 99.999%的高纯金,其采用的工艺是将粗

金置于盐酸溶液中,然后将氯气通入,金被氯化而发生氧化并与氯离子配合,发生反应:



在特定条件下,银反应转化成  $\text{AgCl}$  沉淀,而部分贱金属由于易溶于氯浸液而和金一起被浸出,通过过滤分离后,加入还原剂将金还原,从而达到金与杂质分离的目的。在此过程中,由于游离的  $\text{Cl}^-$  可能会与部分  $\text{AgCl}$  配合形成  $[\text{AgCl}_2]^-$  而进入溶液,因此必须对  $\text{Cl}^-$  的浓度进行严格控制,还原获得的金粉依次经硝酸和水充分煮洗后,烘干并铸锭。

针对化学还原法一次提纯后纯度只能达到 99.9%左右的现状,许多学者在传统化学提纯金工艺的基础上进行了改进。田治龙等<sup>[7]</sup>通过在王水溶金赶硝工艺环节中加入某种蒸发剂,从而改善了赶硝效果,同时,加入了沉淀剂,与以配合离子形式存在的杂质发生反应形成沉淀,从而实现了金离子与杂质离子的有效分离,然后再通过还原获得含金量 >99.995%的纯金;陈希龙等<sup>[8]</sup>在王水溶金的过程同时加入高锰酸钾、氧化钠作为溶金剂,采用水合肼、氢氧化钠还原,从而获得高纯金;刘文等<sup>[9]</sup>将 90%左右的粗金用王水溶解,赶硝并过滤还原后获得金粉,使用该工艺通过 2 次提纯后得到 99.999%的高纯金;山东招金金银精炼有限公司<sup>[10]</sup>采用氯化浸金的方式代替了王水溶金,然后进行还原获得金粉,通过重复 2 次提纯后,得到的金纯度大于 99.999%,回收率大于 99.996%,且生产周期较短,仅为 30 h,而且减少了环境污染。

## 2 溶剂萃取法

### 2.1 溶剂萃取法提纯原理及工艺流程

溶剂萃取法主要利用  $\text{Au}^{3+}$  能与多种有机试剂形成稳定配合物溶于有机溶剂中的性能来提纯<sup>[11]</sup>。图 2 所示为溶剂萃取法提纯金工艺流程图。首先用王水或者电解造液的方式将粗金溶解,然后将滤渣进行过滤(滤渣另外进行银的回收),调整浸出液中盐酸的浓度,然后用萃取剂进行萃取,使金与杂质得到分离,再用稀盐酸水溶液洗涤萃取液,除杂后,将载金萃取液与草酸盐一起加温,还原获得纯度最高可达到 99.999%的片状金。金的萃取剂很多,如醇类、醚类、酯类、胺类和含硫试剂等,工业中常用乙醚来萃取金,杂质分离效果好,可生产 99.999%的高纯金。

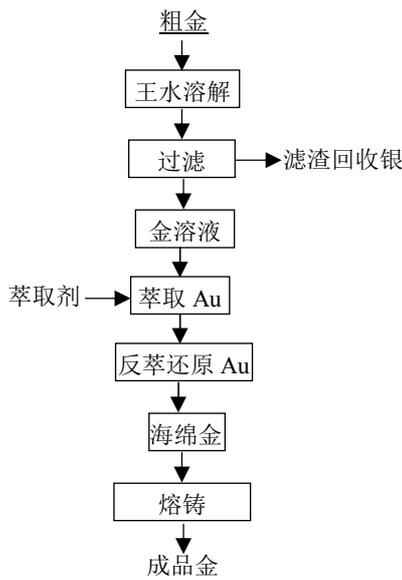


图 2 溶剂萃取法提纯金工艺流程图  
Fig.2 The flow diagram of gold purification by solvent extraction

### 2.2 萃取法研究现状

溶剂萃取法技术在提纯金中的应用已经得到了深入的研究<sup>[12]</sup>，早在 20 世纪 60 年代，我国沈阳冶炼厂已经用乙醚提纯金，并在工业生产中获得 99.999% 的高纯金；70 年代，DBC(二丁基卡必醇)萃取金的工艺被加拿大国际镍公司阿克统精炼厂用于工业生产；80 年代，我国金川有色金属公司冶炼厂用自己合成的二丁基卡必醇萃取分离金、铂、钯，获得回收率大于 99%，产品纯度大于 99.99% 的金<sup>[13-14]</sup>。Jung 等人<sup>[15]</sup>将含金量 60%~75%，含银量 4% 左右的粗金用王水溶解后，采用 DBC(二丁基卡必醇)萃取，发现萃取剂中金的含量达到 190 g/L，而且对金有极强的选择性，可以有效地将金同铂、钯、银、铜和锌等元素分离。

近年来，溶剂萃取技术在我国贵金属冶金中得到迅速发展，对金的萃取剂进行了大量的试验研究。胡建华<sup>[16]</sup>、孙根荣等<sup>[17]</sup>将 99.95% 粗金用王水溶解、浓缩后用乙醚萃取，用亚硫酸钠或草酸还原后制得高纯金，纯度达到 99.999% 以上；韩慧芳等<sup>[18]</sup>采用磷酸三丁酯(TBP)做萃取剂分离获得的金的纯度达到 99.99%；刘日辉等<sup>[19]</sup>对 DBC 萃取金的性能和机理进行了研究，发现 DBC 的萃取能力极强，溶液中金离子的浓度从 300 μg/mL 降低到 40 μg/mL，萃取率由 99.97% 降低到 99.90%，受溶液中金离子浓度的影响很小。马玉天等<sup>[20]</sup>用电解造液的方式替代

了王水溶金，然后用 DBC 作为萃取剂萃取、用草酸还原后，依次用硝酸和水煮洗、铸锭后获得高纯金产品。

萃取法提纯金过程中，萃取本身耗费时间很短，因此生产周期较短，还原时如果采用二氧化硫作为还原剂，生产周期一般少于 30 h，用草酸作为还原剂生产周期一般少于 48 h。萃取法一般较化学还原法获得的高纯金产品纯度要高，而且其操作简便，对原料的适应性较强。萃取法的缺点是存在环境污染，工作条件较差，而且有机溶剂存在易爆、易燃的防范问题。

## 3 电解法

### 3.1 电解法提纯原理及工艺流程

金电解精炼实际上是粗金在阳极上的溶解和纯金在阴极上的析出过程。电解时粗金作为阳极，纯金片或钛板作为阴极，电解液由含氯金酸和游离盐酸的水溶液组成<sup>[21]</sup>。电解过程中，阳极和阴极分别发生如下反应(式中 Me 代表比较活泼的金属)：

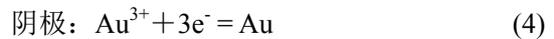
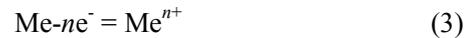


图 3 所示为电解法制备高纯金工艺流程图<sup>[22]</sup>。

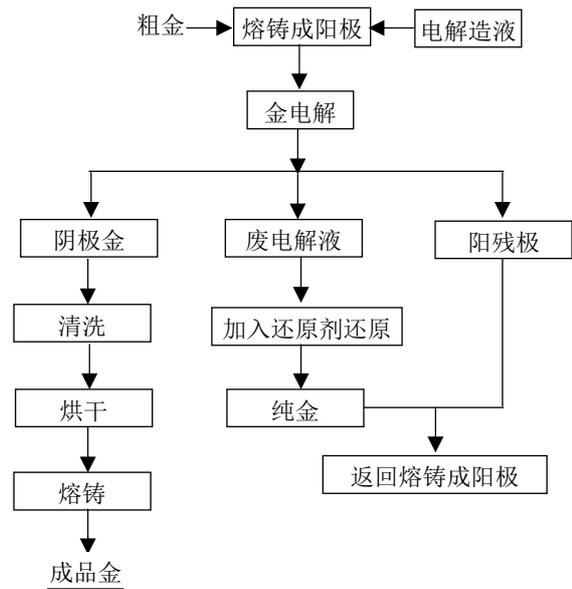


图 3 电解法提纯金工艺流程图

Fig.3 The flow diagram of gold purification by electrolysis

图 3 电解过程中,通过选择适当的槽电压(即适当控制阴极电流密度),可以控制阴极只有 Au 析出,而使活泼金属(Me)不析出或基本不析出,仍留于电解液中,这样金就得到了纯化。电解时实际起作用的是直流电,但为了避免电解过程中氯化银覆盖于阳极而导致的阳极钝化现象,通常在供直流电的时候叠加比直流电强度大的交流电,形成不对称脉动电流,使阳极形成断续而均匀的震动,覆盖于阳极上的氯化银壳自行脱落,达到阳极自净化的目的。电解提纯后的废电解液经过还原回收得到的粗金与阳残极一并返回熔铸成阳极进行二次电解。电解法对原料纯度的要求较高,一般要求在 90%以上。实践中,含量 90%左右的粗金经一次电解可得纯度 99.9%的黄金;含量 99.9%黄金经一次电解可得纯度 99.994%左右的黄金;只有纯度 99.95%~99.99%的黄金经一次电解才可得到 99.999%以上的高纯金。

### 3.2 电解法研究现状

电解法制备高纯金的技术改进主要体现在电解液的配制处理、电源技术及操作条件的控制等方面。

制备电解液的方法主要有王水溶解法和隔膜电解法,王水法简便易行,但赶硝操作条件不好,现普遍采用的是隔膜电解法造液。魏基忠等<sup>[23]</sup>将过氯乙烯、醋酸乙酯等溶液按一定比例配制后涂刷到由 PVC 或 PP 板构成的隔膜槽的涤纶布上,通过晾干及烘烤等步骤得到的隔膜槽解决了电解造液过程中素烧陶瓷槽阻隔金离子穿透效果差及破损后阻隔槽含金难回收的难题。王日等<sup>[24]</sup>对电解液的配方进行了改变,在电解过程中根据电解液酸度及氧化电势的变化,通过定量添加装置自动添加由分析纯盐酸和硫酸按一定比例配置好的混合液,抑制电解液中铅、银含量,解决铅、银等杂质对电解金质量的干

扰和消除阳极钝化。王银祥等<sup>[25]</sup>在阳极的外部套上由丙纶制成的网孔为 800~850 目的口袋形隔膜,有效避免了阳极泥中的杂质在阴极析出,进一步提高了金的品位。胡建辉等<sup>[26]</sup>在电解过程中,用涤纶滤布制作阳极滤袋,将阳极与电解液隔离,以纯度为 99.9%的粗金作为原料,通过电解获得品位 99.999%的纯金。

金电解过程中,除了控制好电解液的 pH 值、温度、浓度之外,电源技术的选择也非常重要。对于含银较高的金阳极,选用交流和直流叠加的电源效果较好,但对于含银量较低的金阳极,选用非对称交流电源不仅可解决阳极钝化问题,也可降低电源本身引起的阴极瞬时贫化问题<sup>[27]</sup>。遂昌金矿有限公司使用非对称交流电源<sup>[28]</sup>对 95%~99%含量的粗金进行电解提纯,获得了 99.999%以上的高纯金。赵忱<sup>[29]</sup>采用串并联混合电路形式的电源装置很好地解决了金电解生产中的阳极钝化现象,并且与普通可调恒流或恒压电解电源相比电解速度快,得到的黄金纯度更高。

此外,针对电解法中生产批次不完整导致金积压的问题,倪迎瑞等<sup>[30]</sup>对传统电解工艺进行了改进,采用钛包铜棒取代了金棒作为导电棒,用全钛板连接替代金质阳极挂钩,用高纯钛板替代纯金板作为阴极板,通过以上手段使电解过程中金的积压量减少为原来的 1/2,极大地降低了生产成本。

## 4 技术工艺的比较

化学还原法、萃取法和电解法工艺的技术参数及优缺点如表 1 所示<sup>[31-35]</sup>。

表 1 化学还原法、萃取法和电解法 3 种工艺的比较

Tab.1 The comparison of chemical reduction, solvent extraction and electrolysis

工艺类型	原料要求	周期 /天	批次完整性	环保要求	纯度	损耗	成本	优缺点
化学还原法	Ag<8%	2~3	完整	气体净化	一般 99.95%	≥1%	高	易操作,易实现机械化,产品稳定达标在 Au-2 以上,存在气体污染。
萃取法	Ag<8%	2~3	完整	气体净化,有机污染	≥99.99%	≤0.5%	低	试剂消耗大,产品稳定达标在 Au-1,存在易燃,易爆问题。
电解法	Au>90% Ag<6%	3~4	不完整	使用最少量溶液	≥99.99%	≤0.4%	低	设备简单,运行平稳,产品稳定达标在 Au-1,生产周期长,积压金。

化学还原法和萃取法生产周期短,直收率高,规模可大可小,不受原料多少的限制。但化学还原

法在用王水溶金的过程中产生 NO<sub>3</sub> 污染,劳动强度较大。萃取工艺产品纯度较高,但萃取剂多为有机

溶剂,消耗量大,而且其沸点、闪点低、易燃易爆给安全生产带来隐患。

电解法具有设备简单、过程较稳定、易于控制、作业环境较好、劳动强度小的优点,生产的高纯金纯度高而质量稳定,且损耗量最低。电解法对原料的要求较为苛刻,Au的含量必须大于90%,而且Ag的含量要低于6%。电解法的不足之处是生产周期长,流程中积压产品,对原料适应性差、直收率低、积压资金。

## 5 展望

目前,电解法在国内外已相当成熟,我国80%以上的高纯金生产工艺采用电解工艺,国内厂家有成都长城精炼厂、内蒙古乾坤精炼厂、沈阳冶炼厂综合回收车间、山东黄金等<sup>[36]</sup>。但由于电解法本身对原料的特殊要求,企业往往采用多种工艺相结合获得高纯金,较多采用的是用化学还原法或溶剂萃取法进行第一步制备99.95%以上的纯金,再用电解法提纯达到高纯金99.999%的标准。实际中在运用化学还原法或萃取法提金时,往往采用电解造液的方式进行溶金,从而有利于减少环境污染和节能减排。作者所在课题组采用化学还原法与电解法相结合获得了99.999%的高纯金,通过借鉴2种提纯工艺的优点,获得质量稳定的产品。

高纯金的制备技术在近几年得到了快速发展,一种方法很难满足99.999%高纯金的质量要求,化学、电解法、萃取法多种方式的联合工艺可以规避各自的缺点并发挥各自的优点,也是未来发展的趋势。企业在选择高纯金的制备工艺时应结合自己原料的特点、环保要求、生产成本、质量稳定性、产品纯度要求等因素进行综合考虑,择优设计出自己的高纯金制备工艺。

### 参考文献:

- [1] 杨国祥, 邓志明. 键合金丝用高纯金的制备[J]. 贵金属, 2010, 31(2): 54-56.  
Yang Guoxiang, Deng Zhiming. Preparation of high pure gold used for gold bonding wires[J]. Precious Metals, 2010, 31(2): 54-56.
- [2] 阳岸恒, 谢宏潮, 贺晓燕. 金基蒸发材料应用及生产现状[J]. 黄金, 2010, 31(2): 6-9.  
Yang Anheng, Xie Hongchao, He Xiaoyan. Application and production situation of gold based evaporation materials[J]. Gold, 2010, 31(2): 6-9.
- [3] 巩海娟. 99.99%黄金提纯工艺的研究[D]. 长春: 吉林大学, 2003: 1-8.
- [4] 孙骖. 金银冶金[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1998: 544-550.
- [5] 黄礼煌. 金银提取技术[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2001: 485-487.
- [6] 黎鼎鑫, 王永录. 贵金属提取与精炼[M]. 长沙: 中南大学出版社, 2003: 529-534.
- [7] 田治龙, 李中宇. 化学法提取高纯金(>99.995%)的工艺[J]. 贵金属, 2004, 25(3): 11-14.  
Tian Zhilong, Li Zhongyu. A technique for chemical preparation of high-purity gold (>99.995%)[J]. Precious Metals, 2004, 25(3): 11-14.
- [8] 陈希龙. 用于提纯金的配方及其快速湿法金提纯方法: 中国, CN1220318A[P]. 1999-06-23.
- [9] 刘文, 谭文进. 高纯金制备工艺的研究[J]. 贵金属, 2007, 28(S1): 44-46.  
Liu Wen, Tan Wenjin. Study on the hydrometallurgy processes of high purity gold[J]. Precious Metals, 2007, 28(S1): 44-46.
- [10] 庄宇凯, 纪鹏. 二次氯化-二次还原法精炼高纯金工艺研究[J]. 黄金, 2014, 35(2): 57-60.  
Zhuang Yukai, Ji Peng. Process study on high purity gold refinement by two-stage chlorination-two-stage reduction process[J]. Gold, 2014, 35(2): 57-60.
- [11] 李培铮. 金银生产加工技术手册[M]. 长沙: 中南大学出版社, 2003: 578-587.
- [12] 宋文代, 范顺科. 金银精炼技术和质量监督手册[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2003: 40-47.
- [13] 刘谟禧, 张树峰, 孙树森. 二丁基卡必醇萃取法提金的工业实践[J]. 矿冶工程, 1995, 15(2): 37-40.  
Liu Moxi, Zhang Shufeng, Sun Shusen. The industrial practice of gold recovery using dibutyl carbitol extraction process[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 1995, 15(2): 37-40.
- [14] 刘谟禧. 二丁基卡必醇萃取法提金的研究[J]. 矿冶工程, 1984, 4(8): 36-40.  
Liu Moxi. A study on extraction of gold with dibutyl carbitol extraction method[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 1984, 4(8): 36-40.
- [15] Jung B H, Park Y Y, An J W O, et al. Processing of high purity gold from scraps using diethylene glycol di-N-butyl ether(dibutyl carbitol) [J]. Hydrometallurgy, 2009, 95(3/4): 262-266.
- [16] 胡建华. 一种高纯金的制备方法: 中国, CN102925679-

- A[P]. 2013-02-13.
- [17] 孙根荣, 刘亚建, 林烽先. 一种生产高纯金的方法: 中国, CN103757246A[P]. 2014-04-30.
- [18] 韩慧芳, 曾宪明, 柯玲, 等. 分馏萃取提纯金的方法研究[J]. 分析科学学报, 2010, 26(4): 469-472.  
Han Huifang, Zeng Xianming, Ke Ling, et al. Purification of gold from gold slime through fractionation extraction [J]. Journal of Analytical Science, 2010, 26(4): 469-472.
- [19] 刘日辉, 解红群, 霍利群. 二丁基卡必醇萃取金性能及机理的研究[J]. 黄金, 1989, 10(5): 45-49.  
Liu Rihui, Xie Hongqun, Huo Liqun. Study on the performance and mechanism for gold extraction by using dibutyl carbitol [J]. Gold, 1989, 10(5): 45-49.
- [20] 马玉天, 吴志明, 陈大林, 等. 一种制备高纯金的方法: 中国, CN101985691A[P]. 2011-03-16.
- [21] 姜涛. 提金化学[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1998: 152-155.
- [22] 卢宜源, 宾万达. 贵金属冶金学[M]. 长沙: 中南工业大学出版社, 1990: 287-294.
- [23] 魏基忠, 曾和银, 邓川, 等. 一种金电解液用隔膜槽的制作工艺: 中国, CN102181887A[P]. 2011-09-14.
- [24] 王日, 黄绍勇, 熊超, 等. 一种阴极金电解精炼工艺: 中国, CN102978658A[P]. 2013-03-20.
- [25] 王银祥, 冯治兵, 周俊涛, 等. 一种提高金电解精炼工艺中金析出品位的方法: 中国, CN103590071A[P]. 2014-2-19.
- [26] 胡建辉, 夏兴旺, 王日, 等. 一步法高纯金生产工艺: 中国, CN101122032A[P]. 2008-02-13.
- [27] 付国民. 非对称交流电源在金电解生产中的应用[J]. 黄金, 2000, 21(5): 37-39.  
Fu Guomin. The application of non-symmetrical AC power supply in the operation of gold electrolysis[J]. Gold, 2000, 21(5): 37-39.
- [28] 叶跃威. 高纯金的电解工艺[J]. 贵金属, 2014, 35(1): 23-26.  
Ye Yuwei. Electrolysis process of high purity gold[J]. Precious Metals, 2014, 35(1): 23-26.
- [29] 赵忱. 金电解电源装置的优化设计与应用[J]. 矿冶, 2002, 11(3): 77-79.  
Zhao Chen. Optimum design and application of power supply for gold electrolysis[J]. Mining & Metallurgy, 2002, 11(3): 77-79.
- [30] 倪迎瑞, 李中玺, 李海涛, 等. 高银合质金快速电解精炼工艺[J]. 黄金, 2013, 34(1): 52-54.  
Ni Yingrui, Li Zhongxi, Li Haitao, et al. Quick electrolytic refining technology for ingots with high content of silver[J]. Gold, 2013, 34(1): 52-54.
- [31] 刘勇, 阳振球, 杨天足. 金电解与溶剂萃取精炼工艺比较分析[J]. 黄金, 2007, 28(6): 42-45.  
Liu Yong, Yang Zhenqiu, Yang Tianzu. The comparison between gold electrolysis and solvent extraction refining process[J]. Gold, 2007, 28(6): 42-45.
- [32] 董德喜. 黄金精炼工艺特点分析及选择[J]. 黄金, 2004, 25(9): 38-40.  
Dong Dexi. Features of gold refining processes and selection applied[J]. Gold, 2004, 25(9): 38-40.
- [33] 魏莉, 汪丹, 郭平. 黄金精炼提纯工艺研究与生产实践[J]. 黄金, 2000, 21(3): 37-39.  
Wei Li, Wang Dan, Guo Ping. Study and operation practice of the technology of gold refining[J]. Gold, 2000, 21(3): 37-39.
- [34] 胡春融, 杨凤, 杨廻春. 黄金选冶技术现状及发展趋势[J]. 黄金, 2006, 27(7): 29-36.  
Hu Chunrong, Yang Feng, Yang Huichun. Current status and developing tendency of gold extraction[J]. Gold, 2006, 27(7): 29-36.
- [35] 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, 2013, 24(8): 34-37.  
Qin Xiaopeng, Hu Chunrong, Dong Dexi, et al. Technique and technology about gold refining in China[J]. Gold, 2013, 24(8): 34-37.
- [36] 陈光辉, 王德煜. 一种粗金提纯的方法: 中国, CN 1442498A[P]. 2003-09-17.