

# 一种电化学法生产高纯金的工艺和装置

王建军<sup>1</sup>, 姬利红<sup>2</sup>, 庄宇凯<sup>1</sup>, 姬亚泮<sup>2</sup>, 冯桂坤<sup>1</sup>, 董华绘<sup>2</sup>, 谢锋<sup>3</sup>, 王伟<sup>3</sup>, 衡振平<sup>2</sup>

(1. 山东招金金银精炼有限公司, 山东 招远 265400; 2. 郑州金泉矿冶设备有限公司, 河南 郑州 450000;

3. 东北大学, 辽宁 沈阳 110000)

**[摘要]** 本文介绍了一种电化学法生产高纯金的工艺及其配套设备, 整套工艺可简单分为电化学溶解和电化学沉积两个过程, 通过特殊的槽体结构和选择性离子透过膜, 使粗金的溶解和金粉的析出在两个槽体中进行, 选择性离子透过膜可以阻隔 $[\text{AuCl}_4]^-$ 通过, 使得电化学溶解槽中的 $\text{Au}[\text{III}]$ 在阳极室富集, 溶解完毕后溶解槽阳极室的贵液转移至电化学沉积槽的阴极室, 使其在阴极板上析出。来料95%以上的粗金经两次工艺后可生产出满足国家标准的高纯金。整道工艺技术先进, 与电解法和化学法相比具有污染小、无电解液占压等优点, 整套装置操作简单, 自动化控制、可靠性和安全性高。

**[关键词]** 高纯金; 电化学法; 选择性离子透过膜; 无电解液占压

**[中图分类号]** TF831 **[文献标志码]** B **[文章编号]** 1003-8884(2021)06-0055-04

**DOI:** 10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2021.06.012

随着科技的进步, 电子、通讯、航空航天和半导体等行业对黄金的纯度提出了更高的要求, 要求金原料达到“高纯”以上。国家标准 GB/T 25933—2010 中规定了高纯金中 Au 的质量分数应不低于 99.999%<sup>[1]</sup>, 杂质元素质量分数总和应不大于  $10 \times 10^{-6}$ 。然而我国目前仍有大量高纯金依赖进口, 因此开发新型高纯金制备工艺和设备具有很强的现实意义和经济价值。

目前, 制备高纯金的工艺主要有化学还原法<sup>[2-4]</sup>、萃取法<sup>[5]</sup>和电解法<sup>[6-8]</sup>等。其中化学还原法制备高纯金工艺简单、易操作、成本高、原料适应性强, 但产品纯度稳定性较差。溶剂萃取法制备高纯金, 成本低、原料适应性强、产品纯度稳定性强, 但存在有机污染、回收率低等问题。电解法制备高纯金成本低、产品纯度稳定性强, 但生产周期长、Au 积压较多。在实际应用中, 由于原料的品位不同, 需根据原料的特点选择合适的工艺或多种方法组合来制备高纯金<sup>[9-10]</sup>。

本文介绍了一种电化学法生产高纯金的工艺和

装置<sup>[11]</sup>, 该法与常规金电解不同的是粗金阳极的溶解和金的析出在两个槽体中进行, 不用造液, 无电解液占压, 金回收率可以达到 99.995% 以上。

## 1 电化学法生产高纯金的工艺

通过使用电化学生产高纯金工艺, 来料 95% 以上粗金, 经两次熔铸阳极板-电化学溶解-电化学沉积工艺即可得到含金量 99.999% 以上金粉, 产品质量稳定, 无电解液占压。

电化学法生产高纯金分为两个过程, 一是粗金阳极的溶解过程, 即电化学溶解过程; 二是金粉在阴极的析出过程, 即电化学沉积过程。

### 1.1 电化学溶解过程

粗金板作阳极, 高纯钛板作阴极, A 溶液作电解液。阴阳极之间由一种特殊结构的选择性离子透过膜(以下简称为隔膜 E)分隔开, 在阳极区域, 粗金溶解形成 $[\text{AuCl}_4]^-$ 进入溶液, 隔膜 E 可以阻隔阳极室的 $[\text{AuCl}_4]^-$ 向阴极室移动, 白银以氯化物形态、铂族金属不溶解以单质形态沉淀在阳极室底部, 贱金属溶解以离子形态透过隔膜 E 进入到阴极室进行还原并在阴极板上富集。等粗金阳极板溶解完毕后, 由于隔膜 E 的阻隔作用,  $\text{Au}[\text{III}]$ 在阳极室富集, 氯化银及铂族金属氯化物通过过滤器收集进行回收。过程中发生的主要反应如下:

**[收稿日期]** 2021-09-15

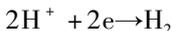
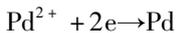
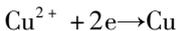
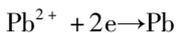
**[作者简介]** 王建军(1978-), 山东招远人, 高级经济师, 主要研究方向为黄金经济及贵金属精炼技术。

**[引用格式]** 王建军, 姬利红, 庄宇凯, 等. 一种电化学法生产高纯金的工艺和装置[J]. 有色设备, 2021, 35(6): 55-58.

阳极:



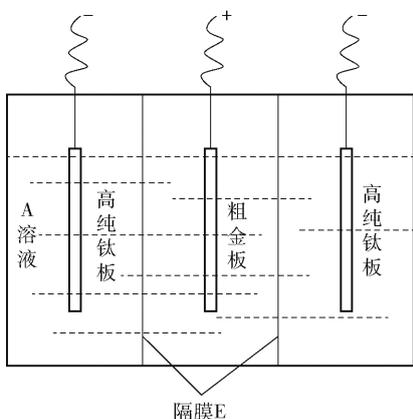
阴极:



粗金阳极板溶解完毕后,阳极室内的含金贵液收集转移至电化学沉积槽的阴极室。

### 1.2 电化学沉积过程

以钛镀铱板作阳极,高纯钛板作阴极,B溶液作电解液。在反应开始前,将电化学溶解槽中阳极室

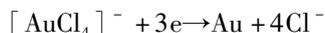


的含金贵液转移至电化学沉积槽的阴极室,阴阳极之间由隔膜 E 分隔开,隔膜 E 可以阻碍阴极室的  $\text{Au}^{3+}$  向阳极移动,同时也会阻止阳极室的其它阳离子向阴极移动。 $\text{Au}^{3+}$  在电势作用下得电子在阴极上析出。发生的主要反应如下:

阳极:



阴极:



电化学沉积过程结束后,阴极室内的溶液  $\text{Au}^{3+}$  浓度  $< 2 \text{ g/L}$ ,再转移至电化学溶解槽的阳极室继续使用。

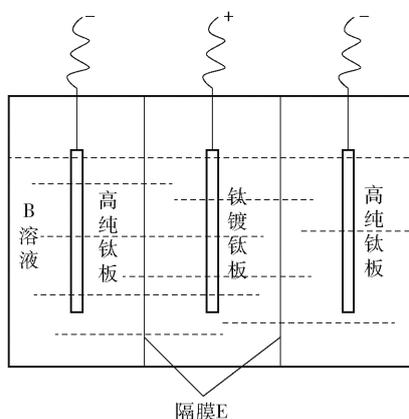


图1 电化学溶解槽和电化学沉积槽原理图

## 2 电化学法生产高纯金设备简介

电化学法生产高纯金设备包括风厨、电化学溶解槽、电化学沉积槽、两台整流电源配电柜、贵液高位罐、A溶液高位罐、B溶液高位罐、废液高位罐、泵、冷凝系统等设备。

1. 风厨:为整套装置提供反应场所。

2. 电化学溶解槽:包括导电铜排,阴极板,隔膜 E 等,是粗金阳极板溶解的场所,阴阳极之间由隔膜 E 分隔开,包括 2 个阳极室和 3 个阴极室。

3. 电化学沉积槽:包括导电铜排,阴极板,阳极板,隔膜 E 等,是金粉析出的场所,阴阳极之间由隔膜 E 分隔开,包括 2 个阳极室和 3 个阴极室。

4. 整流电源配电柜:一台控制电化学溶解槽配电,一台控制电化学沉积槽配电。

5. 贵液高位罐:暂时储存含金贵液。

6. A 溶液高位槽:暂时储存 A 溶液。

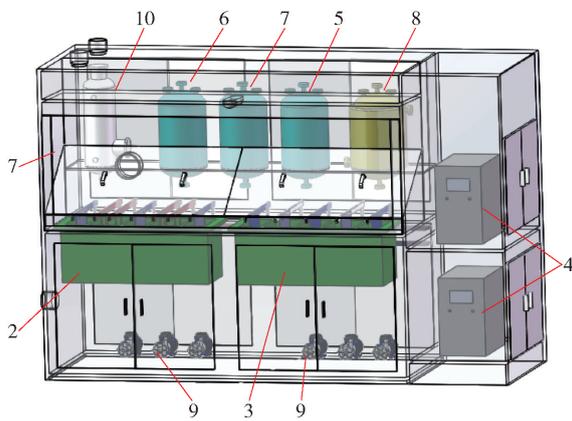


图2 电化学法生产高纯金设备示意图

7. B 溶液高位槽:暂时储存 B 溶液。

8. 废液高位槽:暂时储存废液。

9. 循环泵:为电解液的循环、输送提供动力。

10. 冷凝系统:对电解过程中产生的烟气进行冷凝回流,可有效减少贵金属和反应溶液的损耗。

### 3 电化学法生产高纯金工艺和设备的优势

(1)整个工艺无需配置电解液,无电解液占压,可节省大量前期投入;同时由于无需配制电解液,整个工艺污染小,电化学反应过程中产生的少量烟气只需简单处理即可满足国家排放标准,减少了废气处理的难度。

(2)整个工艺操作简单,产品质量稳定,两次反应后的金粉纯度可达到99.999%以上。

(3)周期短,电化学溶解加析出时间只需8~10小时。

(4)整套装置密封反应,出气口设置冷凝系统,可以有效回收挥发出的,减少溶液和贵金属的损耗,同时车间环境大大改善,风厨外部设计有触摸屏操作系统,操作安全便捷。

(5)整套装置自动化程度高,配备PLC自动控制系统,可电脑远端控制整流电源、冷凝系统、循环

泵和输送泵的启停,可实时监测溶液温度,各槽体电压电流,保证整套装置安全高效的运行,当反应温度或槽体电压电流异常时,系统报警装置会自动报警并断电,减少生产过程中的安全隐患。

### 4 设备应用与产品检测情况

本套装置在设计完成后,于本公司合作企业山东招金金银精炼有限公司进行了试生产,来料为含金量95%以上的粗金粉,经过两次熔铸阳极板-电化学溶解-电化学沉积工艺,已成功生产出符合《GB/T 25933—2010 高纯金》要求的高纯金。

表1为山东招金金银精炼有限公司使用本套装置产出银粉的含量,原材料为从全国各地收购的粗金,进入到本道工序的原料为提纯到95%的粗金,经过一次电化学工艺产出了99.9975%的1#金,再经过一次电化学工艺得到了含量达99.9995%的高纯金。

表1 电化学法产出金粉含量

监测项目	Au	Ag	Cu	Zn	Pb	Bi	Pd	As	其他杂质
含量/%	99.9975	<0.0003	<0.0002	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0005
监测项目	Au	Ag	Cu	Zn	Pb	Bi	Pd	As	其他杂质
含量/%	99.9995	<0.0001	/	/	/	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001

### 5 结论

本文详细介绍了一种生产高纯金的工艺及其配套设备,这种工艺技术先进,与电解法和化学法相比具有污染小、无电解液占压等优点,整套装置操作简单,自动化控制、可靠性和安全性高。整套设备经在山东招金金银精炼有限公司进行了试生产,原料95%的粗金经循环两次工艺生产出了满足国家标准GB/T 25933—2010的高纯金。

#### [参考文献]

- [1] GB/T 25911—2010,高纯金[S].
- [2] 李光胜,王明双,马涌.化学还原法制备高纯金试验研究[J].黄金科学技术,2015,23(2):103-106.
- [3] 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.
- [4] 孙敬韬,邓成虎,王日,等.一步法高纯金生产工艺开发

- 与产业化[J].有色金属(冶炼部分),2014(7):45-48.
- [5] 许晓阳.溶剂萃取金的研究综述[J].黄金,2016,27(7):56-60.
- [6] 柳旭,张国清,陈怡兰,等.国内电解精炼法制备高纯金综述[J].贵金属,2017,38(4):87-94.
- [7] 温建波,隆岗,陈敏.黄金高效精炼电解新工艺的研究与应用[J].现代矿业,2016,32(8):94-96.
- [8] 高小红,倪迎瑞,李海涛,等.高银合质金电解精炼工艺优化[J].黄金,2014,35(9):68-69.
- [9] 张卜升,吴永谦,张科,等.高纯金、银制备研究现状及展望[J].稀有金属与硬质合金,2017,45(6):1-4,7.
- [10] 张济祥,谢宏潮,阳岸恒,等.高纯金制备技术研究现状与展望[J].贵金属,2015,36(3):81-86.
- [11] 山东招金金银精炼有限公司,郑州金泉矿冶设备有限公司.一种金精炼设备:CN202020509930.0[P].2020-10-30.

## An Electrochemical Process and Its Equipment for Producing High Purity Gold

WANG Jian-jun, JI Li-hong, ZHUANG Yu-kai, JI Ya-feng, FENG Gui-kun,  
DONG Hua-hui, XIE Feng, WANG Wei, HENG Zhen-ping

**Abstract:** In this paper, an electrochemical process and its supporting equipment for producing high purity gold are introduced. The whole process can be divided into electrochemical dissolution and electrochemical precipitation. By using special tank structure and ion permselective membrane, crude gold dissolution and precipitation of gold are done in two tanks, and ion permselective membrane can cut off the passing of  $[AuCl_4]^-$  to enable the enrichment of  $Au[III]$  in the anode chamber of the electrochemical dissolution tank. Upon completion of dissolution, the pregnant solution in the anode chamber of the electrochemical dissolution tank is transferred to the cathode chamber of the electrochemical precipitation tank for its precipitation on the cathode plate. Going through the process twice, crude gold can be processed into high purity gold that meets national standards. The whole process is an advanced technology with the advantages of less pollution and no electrolyte pressure comparing with electrolysis or chemical method. The whole set of equipment is simple to operate with automatic control, high reliability and safety.

**Key words:** high purity gold; electrochemical process; ion permselective membrane; no electrolyte pressure ▲

---

(上接第 54 页)

## Introduction to the Design and Application of Large Fuming Furnace

CUI Da-wei

**Abstract:** The  $32\text{ m}^2$  fuming furnace introduced in this paper is now the largest one in the world. In this paper, the design difficulties faced by fuming furnace upsizing are analyzed, and the final solution is given. The smooth operation and application of  $32\text{ m}^2$  fuming furnace verified the success of the upsizing design. At the same time, it is believed that fuming furnace enlargement will become a trend, where more and more large fuming furnaces will be applied.

**Key words:** fuming furnace; copper water jacket; pulverized coal distributor ▲