

铂金属提纯及回收工艺研究进展

刘艳敏¹, 覃波²

(1. 中国有色工程有限公司, 北京 100038; 2. 中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038)

[摘要] 铂是重要的战略性贵金属资源,其作为石油化工催化剂、汽车尾气净化催化剂具有不可替代的作用,未来,随着燃料电池技术的成熟发展,铂金属的市场需求量还会进一步增大。国内铂金属资源稀少,主要依赖进口,从阳极泥、催化剂、尾矿等资源中对铂进行回收利用已成为有色行业的研究重点。从失效催化剂回收铂族金属,火法工艺中的铜、铁金属捕集技术在国外已较为成熟,但我国在这方面研究还较少;对于铂金属的提纯工艺,传统的选择性沉淀分离技术虽然已经被淘汰,但部分选择性沉淀技术仍是目前精炼纯金属、提取不同纯度贵金属的重要方法,目前国内已有企业将传统的选择性沉淀分离工艺与溶剂萃取和离子交换相结合进行铂族金属提纯,并且取得较好的经济效益和铂金属产品。未来,开发简洁、高效、低成本的铂族金属提纯回收工艺对我国新形势下矿产资源安全有着重要意义。

[关键词] 铂资源;提纯;回收;选择性沉淀分离;溶剂萃取;离子交换;阳极泥;催化剂;燃料电池

[中图分类号] TF833 **[文献标志码]** B **[文章编号]** 1003-8884(2021)03-0092-07

DOI:10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2021.03.019

由于铂金属具有高熔点、高温抗氧化性、抗腐蚀性、优良的导电性、高催化活性和选择性等一系列独特的物理化学性能,被广泛应用于汽车工业、珠宝首饰和金融业、高端武器、石化工业、电子工业、玻璃工业、医药卫生、能源及环境保护等领域,是国民经济和国防建设中必不可少的材料。同时,铂金属还是推动燃料电池商业化发展的关键材料。燃料电池是目前科研工作者关注的热点,被认为是对社会经济发展和可再生资源有效利用具有重要意义的科技产品,以甲醇为燃料的质子交换膜燃料电池是目前最成熟的一类液体燃料电池,具有设计简单、体积小、重量轻、高环保,以及能量转化率高等优点。铂基材料是甲醇燃料电池最有效的催化剂,但是铂金属在自然界产量稀少,价格昂贵,高效、低成本的铂金属提纯、回收工艺成为了燃料电池产业发展的关键技术^[1]。本文对铂金属的资源现状,以及提纯和回收工艺研究进展情况进行阐述。

1 铂金属资源概况

美国地质调查局 2020 年报告显示,截至 2019 年底,世界铂族金属储量总计 6.9 万 t,其中 91.3% 分布在南非,储量达 6.3 万 t,其余分布在俄罗斯(5.65%)、津巴布韦(1.74%)、北美(1.75%)等地。南非布什维尔德铂矿储量占全球储量的 80%,是主要的铂族金属供应来源^[2]。

铂有四种矿床类型,一是硫化铜、镍、铂共生矿床,产地有南非的布什维尔德、俄罗斯的诺里尔斯克、加拿大的萨德伯里、中国的金川;二是与基性岩和超基性岩有关的铬铁矿、铂共生矿床,典型的产地是南非和俄罗斯;三是砂铂矿床,类似于砂金;四是在俄罗斯伊尔库茨克发现的黑色页岩系中的苏霍伊洛克矿床。铂的主要开采区有 5 个,分别是南非的布什维尔德、俄罗斯的诺里尔斯克、美国的斯提耳沃特、加拿大的萨德伯里、津巴布韦的大岩墙^[3]。

甘肃金川、云南弥渡金宝山和四川杨柳坪是我国最主要的三个大型铂矿床^[4],属于硫化铜、镍、铂共生矿床。截至 2018 年底,我国铂族金属查明的资源储量为 401t,金川产量不超过 3.5 t/a,金宝山产量不超过 2.0 t/a^[2]。

[收稿日期] 2020-11-10

[作者简介] 刘艳敏(1977-),女,河北鹿泉人,博士,主要从事冶金类期刊编辑工作。

[引用格式] 刘艳敏,覃波.铂金属提纯及回收工艺研究进展[J].有色设备,2021,35(3):92-98.

2 铂金属提纯

由于贵金属的物理、化学性质相似,无论是原生铂矿、电解阳极泥还是二次资源富集后的铂精矿,其成分都含有其他贵金属和部分贱金属,因此,铂的提纯实际上就是贵金属与贱金属的分离,还有贵金属之间的分离和提纯。

2.1 传统方法

传统的铂族金属提纯技术即选择性沉淀分离技术,从铂精矿中提取及分离和提纯的经典传统方法相当复杂,涉及到溶解、盐沉淀、再溶解、加热还原等步骤,该方法的关键依据是铂络合物的化学性质。

铂有两种络合物,分别为 PtCl_6^{2-} (Pt(IV)) 和 PtCl_4^{2-} (Pt(II))。 PtCl_6^{2-} 对于水合作用很稳定,Pt(IV) 转化为 Pt(II) 非常缓慢,可以通过水解作用沉淀其他金属来实现 Pt 的纯化; PtCl_4^{2-} 是铂络合物中最容易产生各种配位基、快速取代反应的氯络合物,在有 Pt(II) 存在的情况下, PtCl_6^{2-} 易发生水合作用,此时,必须使用强氧化剂(NaBrO_3) 将 Pt(II) 氧化成 Pt(IV),保证系统中完全不存在 Pt(II)^[5]。

铂的氯络合物很容易与氨反应,生成不可溶的盐或化合物($(\text{NH}_4)_2\text{PtCl}_6$),铂的这一性质被用来分离、回收、提纯铂金属。

经典的选择性沉淀分离工艺流程如图 1 所示。该工艺是 20 世纪 70 年代之前世界各大型铂族金属精炼厂长期使用的方法。提取铂的主要工序包括:①使用王水溶解铂、钯和金,铂的溶解反应见式(1)~(5);②对含有铂的溶液用盐酸处理,在盐酸中反复蒸煮数次,除去氮的氧化物;③用中等还原能力的还原剂(硫酸亚铁、氯化亚铁)、二氧化硫和草酸等还原产出粗金;④在剩余的含有铂和钯的溶液中加入 NH_4Cl ,生成纯 $(\text{NH}_4)_2\text{PtCl}_6$ 沉淀(式(6)),再将该沉淀灼烧,变成海绵状,然后用王水浸取,并用氧化水解方法除去其他金属,获得纯净的 $(\text{NH}_4)_2\text{PtCl}_6$ 沉淀,然后在温度 1 000 °C 下灼烧,形成纯铂金属^[5]。

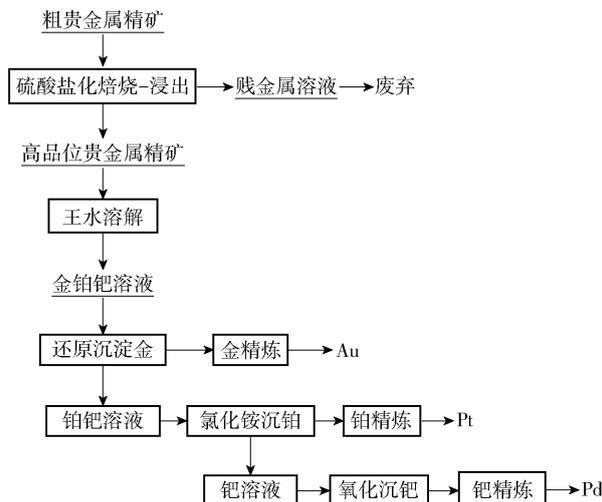
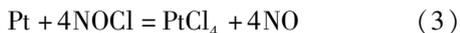
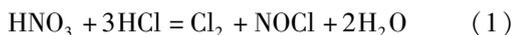


图 1 经典选择性沉淀分离金铂钯工艺流程



经典选择性沉淀分离工艺沿用近百年,存在明显的缺点:需熔炼、浸出、沉淀等工序反复交替作业,工艺流程长、工效低、劳动强度大,而且存在环境污染问题;大量的中间产品含有各种金属,需多次反复处理,并有大量稀溶液和不溶渣等积压和周转,贵金属一次直收率低;需要设备多,能耗大,设备腐蚀严重。自 20 世纪 80 年代以来,选择性沉淀分离工艺已逐渐被溶剂萃取和离子交换技术取代,但部分选择性沉淀技术仍是目前精炼纯金属、提取不同纯度贵金属的重要方法。目前,金铂钯的溶解工序采用盐酸介质通入氯气,或加入氯酸钠溶液或加入双氧水完成,可以避免亚硝酸盐污染环境。

2.2 现代方法

铂的现代提纯方法有两种,一种是溶剂萃取,一种是离子交换,前者比后者应用更广泛。

2.2.1 溶剂萃取法

采用王水或者 Cl_2/HCl 混合物将贵金属精矿进行溶解,贵金属呈氯配阴离子或水合氯配阴离子状态,在不同的酸度及氧化还原条件下,各金属在溶液中呈不同价态和不同状态的配合物,溶剂萃取技术就是利用这种差别进行贵金属相互分离。

贵金属萃取机理有三种,形成离子对、生成化合物和形成溶剂化物,其中形成离子对是萃取技术的主要应用形式^[5]。

(1) 形成离子对萃取。该萃取技术的机理是贵金属氯配阴离子基团与碱性有机阳离子基团(主要是各种胺类有机物)形成离子对,使贵金属进入有

机相。氯配阴离子的电荷数越多,与有机阳离子形成离子对的速度越慢,生成离子对的速度顺序为: $(MCl_4)^- > (MCl_4)^{2-} \approx (MCl_6)^{2-} > (MCl_6)^{3-}$ 。针对各个金属离子,交换形成离子对的速度顺序为: $(AuCl_4)^- > (PdCl_4)^{2-} \approx (PtCl_4)^{2-} > (PdCl_6)^{2-} \approx (PtCl_6)^{2-} \approx (IrCl_6)^{2-} > (RhCl_6)^{2-} \approx (IrCl_6)^{3-}$ 。

(2)生成化合物萃取。该技术的机理是贵金属氯配阴离子中的配位体 Cl^- 被其他有机化合物基团(如硫醚、羧酸、磺酸、烷基(烃基)磷酸、羟基肟等)取代,形成可溶于有机溶剂的新化合物或螯合物,使贵金属进入有机相。由于多数铂族金属氯配阴离子的结构比较紧密,进行配位取代的反应速度一般很慢。应用较多的是硫醚或羟肟有机化合物萃取钯的氯配阴离子。

(3)形成溶剂化物萃取。该技术的机理是某些贵金属氯配阴离子在中性至低酸度及一定 $[Cl^-]$ 浓度水溶液中,配位体 Cl^- 被 H_2O 部分取代,生成含不同水分子数的水和配阴离子(钌的配阴离子较典型),或全部取代后生成水合阳离子(铑最典型),其性质相应发生较大的变化。

工业上多用胺类和膦类萃取剂从分离金、钯后的残余液中萃取分离铂。萃取剂的碱性越强,越容易生成离子对,萃取效果越好,但解析越困难。胺的碱性顺序为伯胺 < 仲胺 < 叔胺 < 季胺,其中仲胺和叔胺最佳,季胺几乎不可能解析,工业上多用叔胺。用三正辛胺(TOA)作萃取剂,脂肪烃作稀释剂的有机相,萃取不同酸度的多元贵金属料时,不同价态的贵金属氯配阴离子的分配系数如图2所示。

2.2.2 离子交换法

离子交换树脂是带有官能活性基团、具有网状结构、不溶于水和有机溶剂的一类高分子化合物,其也不溶于一般的酸性和碱性溶液。离子交换树脂的活性官能集团有阳离子基团和阴离子基团,对一些金属离子以及金属配合离子具有选择性吸附的能力,利用这一化学特性,将其用于湿法冶金中金属的富集和分离提纯过程。目前这一技术在铀的提取及钨的冶金方面应用广泛,在铂族金属分离提纯方面的应用还较少。

阳离子交换树脂的功能基主要有三类:磺酸($-SO_3H$)、膦酸($-P(O)(OH)_2$)、亚膦酸($-P(O)(OH)$)和羧酸($-COOH$)。它们的交换能力与本身酸性(即表观质子的电离常数)有关,磺酸

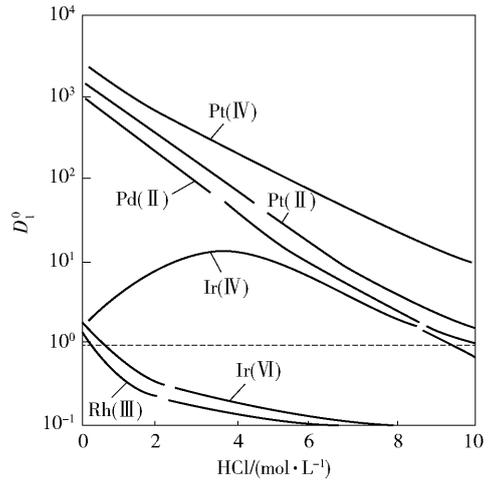


图2 TOA 萃取不同价态的铂族金属的分配系数与酸度的关系

$pK_a = 2$, 膦酸 $pK_a = 3$, 亚膦酸 $pK_a = 3$, 羧酸 $pK_a = 5 \sim 6$ 。 pK_a 越小,树脂的交换能力越强。磺酸树脂比较适合铂溶液除杂,其对贱金属的吸附量有限,利用此性质可将铂族金属与贱金属分离。罗瑶等^[6]利用 001 × 7 型强酸性阳离子交换树脂对氯铂酸溶液进行了除杂实验,pH 值为 1.5 时,贱金属杂质去除效果较好,pH 值为 3 时,贵金属杂质去除效果较好,最终得到的海绵铂纯度达到 99.999%。

阴离子交换树脂能够提供与溶液中的目标阴离子进行交换的阴离子,其对不同的铂族金属氯配物吸附能力有差异,可以专门对某种铂族金属进行选择吸附,实现铂族金属之间的分离。同一结构不同官能团的螯合树脂 Uio-66-X (X = NH_2 , H, NO_2 , O-Me, F) 对 $(PtCl_4)^{2-}$ 的吸附能力不同^[7]。赵德鹏等^[8]采用 201 × 7 阴离子交换树脂对云南金宝山的处理后的铂矿氯化浸出液进行了吸附实验,在 pH = 1 时树脂的吸附效果最好,每克干树脂静态吸附容量可达到 190 mg Pt,用 2.4 mol/L 的高氯酸可将载铂树脂中的铂洗脱,洗脱率为 83%。索永喜在文献^[9]中说明 P-952 功能树脂和 OH^- 有较大的亲和力,可用氢氧化钠溶液洗脱树脂上的铂,实现铂与树脂的分离,形成高浓度的含铂溶液。但该树脂在使用过程中导致铂残留在树脂上,动态平衡时残留量达到 4.5%。刘凯等^[7]对含氮型螯合树脂、含硫型螯合树脂、含氮-硫型螯合树脂进行了实验分析,发现含氮-硫型螯合树脂对铂族金属有较大吸附,还能实现高选择性,且 pH 范围适用广,是一种可用于

富集海水中铂族金属的理想树脂。

除离子交换树脂外,还有另外一种树脂,是阿姆波拉内(Amborane)树脂,该树脂能与贵金属反应生成硼酸和聚合物串珠,这种树脂没有选择性,不能分离铂和钯,而且只有烧掉树脂,才能与金属分离。

3 铂资源的综合利用及回收

铂还可以通过资源综合利用和回收获得,主要途径是从金属冶炼过程产生的阳极泥、尾矿和催化剂中进行回收。

3.1 从阳极泥回收铂

3.1.1 铜阳极泥

铜阳极泥为铜电解精炼过程产生的副产物,产率一般为阳极铜质量的0.2%~1.0%,含有金、银、铂、钯、硒、碲等,是回收稀贵金属的重要物料来源。

紫金铜业有限公司稀贵厂以铜阳极泥为原料回收稀贵金属,主要流程为:加压浸出脱铜除杂—卡尔多炉熔炼—朵尔合金浇铸—电解得到银粉—银阳极泥氯化分金—亚钠还原得到金—金还原后液深度还原提取铂钯。实际生产中,银阳极泥中的铂钯直收率仅为26%左右,产品铂钯精矿中铂品位仅为0.3%,而且在金还原过程中铂钯会进入金粉,不断富集循环,不利于高效回收。后来,该公司提出“铂钯随银”的理念,在对银阳极泥进行分金之前采用硝酸分银,大部分铂钯会进入硝酸浸出液中,这时,采用氯化沉银—沉银液还原提取铂钯工艺回收铂钯,银阳极泥中的铂、钯直收率可以达到82%、89%,所得的铂钯精矿中铂品位可达到1.91%^[10]。

湖北大冶有色金属有限责任公司冶炼厂阳极泥冶炼工艺为硫酸化焙烧—酸浸脱铜—氯化分金—氨浸(或亚钠)分银—金银精炼,通过工序中的沉金后液回收铂钯碲等稀贵金属。但是在脱铜后液中也含有金、铂、钯等贵金属,后期,该厂采用FEI(硫酸亚铁)对脱铜后液中的金、铂、钯进行还原回收,最佳实验条件下,铂、钯的回收率可以达到92.6%、87.8%^[11]。

山东恒邦冶炼股份有限公司在处理铜阳极泥的过程中产生金还原后液,含有一定量的铂钯,该厂通过探索,采用含硫沉淀剂沉淀铂钯,沉淀率可达到99.9%,沉淀后的铂钯富集渣经过焙烧—氯化溶解—NH₄Cl共沉—铂钯提纯工艺,得到海绵铂和海绵钯^[12]。

江西铜业公司贵溪冶炼厂从铜阳极泥回收的铂

钯精矿中提取铂钯,采用焙烧—两段预处理—氯化分金—选择性还原金—钯萃取—铂萃取—精制工艺处理,铂、钯回收率均高于90%,铂、钯产品分别达到国家标准GB/T1419—2004、GB/T1420—2004中99.99%的要求^[13]。

3.1.2 铅阳极泥

湖南水口山有色金属集团有限公司从对铅阳极泥提取金银过程中对铂钯进行回收,采用黄药沉淀硝酸分解液和金还原后液中的铂钯,沉淀后液中的钯含量<0.2 mg/L。硝酸分解液沉淀出的铂钯精矿含钯>6%,含铂0.8%左右;金还原后液沉淀出的贵金属精矿含钯2.51%,含铂5.75%^[14]。

3.2 从炉灰、酸泥中提取铂

在硝酸的生产过程中,铂合金网被用作氢氧化催化网,使用过程中受到腐蚀落到氧化炉体、管道和酸泥中,经过灰化、酸浸处理后的铂、钯的质量分数均大于10%。

赵飞等^[15]以云南省红河州开远解放军化工厂的3批炉灰、酸泥为原料,对处理后的炉灰酸泥采用酸浸、锌粉置换、离子交换等工序实现了铂、钯的完全分离,回收率分别达到99.1%、98%,制得的海绵铂、钯纯度均大于99.99%。该工艺流程简单、操作方便、设备投资少,所用试剂廉价,实用性广,可用于各类含铂、钯的废料回收。

朱文革^[16]将预处理后的炉灰、酸泥经过王水溶解、滤液赶硝、氯化铵沉淀、煅烧、王水溶解、赶硝、氯化铵沉淀、煅烧等工序后,可得到纯度99.95%以上的海绵铂,回收率可达到98%。

3.3 从铜—镍矿尾矿中回收铂

王明燕等在文献^[17]中表示,南非某铂钯尾矿中铂和钯的品位分别为0.91%和0.4%,达到了综合回收利用的指标,但是因为矿物粒度非常细,不宜采用重选富集方法回收铂钯,也很难通过富集载体矿物的形式回收铂钯,笔者建议采用浮选的方法进行富集回收。

河北红石砬铂钯矿含铂0.65 g/t,钯0.17 g/t,易小祥等^[18]以其为原料,采用一次粗选三次精选得到铂钯精矿,铂品位138 g/t,回收率85.17%。

津巴布韦Mimosa选矿厂尾矿中的铂品位在1.1 g/t以上,米夏夏^[19]设计了脱泥、磨矿分级、浮选(一次粗选两次精选)流程,设计铂精矿品位为50g/t。

俄罗斯诺里斯克公司是世界五大铂矿床之一,该矿有大量的浸染状硫化铜、镍矿,受选矿条件的限制,大约占总量 20% 的铂被遗留在尾矿中。铂金属主要遗留在黄铜矿、镍黄铁和磁黄铁矿中。尾矿的粒度通常小于 0.2 mm,由于尾矿中铂的矿粒或者小于 0.025 mm,或者达到 0.1 mm 至 0.4 mm,可浮性很差,继续采用浮选,不会有太好的效果,选用摇床、溜槽等重选方式,效果更好。对于大于 0.075 mm 的铂矿粒,重选的效果最佳。重选的品位很高,可以得到含铂 50 g/t 以上的铂精矿,经过再提纯工艺,可以获得品位大于 300 g/t 的铂精矿。整个工艺,铂金属的回收率依然很低,有较大的技术研究空间^[20]。

3.4 从催化剂中回收铂

铂族金属在加氢、氧化、脱氢、重整、异构化、裂解、脱氨等反应工艺的催化剂中具有广泛的应用,我国是世界上铂族金属消耗居于首位的国家,单纯通过矿产资源的开发和利用已经远远不能满足发展的需求,从催化剂中对铂族金属进行回收和循环利用是重点关注的课题^[21]。

3.4.1 丙烷脱氧铂基催化剂

丙烷脱氧失效铂基催化剂有低炭型和高炭型,在回收其中的贵金属之前,需要先进行脱炭。张锦云等^[22]对其回收作了研究,结果表明低炭型失效铂基催化剂脱炭处理后炭含量为 0.5% ~ 1%,可以进行后续的常规铂金属回收工序,但高炭型失效铂基催化剂在经过多段通氧强化燃烧除炭后,炭含量还能达到 8%,不符合后续铂金属回收处理的条件,仍需进一步研究。

3.4.2 汽车尾气催化剂

失效的汽车尾气催化剂中含有铂族金属,其以高活性、微粒状分布在载体表面,目前回收技术有火法富集、湿法富集和火-湿联用富集技术^[23]。

火法富集技术包括金属捕集法和氯化气相挥发法。金属捕集法中应用比较广的是铜捕集法,该方法在电弧炉中进行,除了尾气催化剂和 CuO 外,还需要配入还原剂及造渣剂,得到的产品为含铂 33%、钯 12%、铑 3.2% 的铜合金。该方法工艺简单,捕集效果好,对环境友好,捕集剂可循环利用,但存在生产周期长、物料消耗大的问题。金属捕集法还有铅捕集、铁捕集和铈捕集,其中铅捕集因为氧化铅的严重危害,已基本被淘汰,铁捕集和铈捕集技术均有应用,各有优势。氯化气相挥发法是利用铂族

金属能被氯气氯化成可溶性氯化物或气态氯化物这一性质,将失效汽车尾气催化剂与氯化剂加入氯化炉中,在高温下进行氯化来富集铂族金属,回收率超过 99%。该方法具有工艺简单、消耗试剂少、耗能低等优点,但对设备腐蚀性强,生产中也需注意对氯气的处理与防护。

汽车尾气催化剂在使用过程中会导致铂族金属发生一些物理化学反应,使其转变为惰性或形成特殊的合金或化合物,需要采取一些预处理来强化浸出过程,如细磨、焙烧、溶浸、还原等。浸出是湿法富集的核心技术,常用方法有活性组分溶解法、载体溶解法、全溶法及加压高温氰化法,这几种方法各有优缺点,需根据生产场地和条件进行选择。

火法-湿法联用富集技术主要用来处理化学成分及载体结构较为复杂的失效汽车尾气催化剂,有多位学者对其进行了实验探索。Kayanuma 等采用镁或钙蒸气处理磨碎的废催化剂,并在高温的空气中进行氧化,然后将得到的样品磨碎后在 50 ~ 60 °C 用王水浸出,铂族金属浸出率得到提高。

整体来说,火法工艺铂族金属回收率高、处理量大,但存在投资量大、周期长等问题;湿法工艺技术简单,成本低,但存在回收率不稳定、废水及废渣污染等问题;火法-湿法联用工艺能处理成分结构够复杂的废催化剂,但存在工艺复杂的问题。实际生产中,需综合考虑各种因素,选择合适的工艺。

3.4.3 石油化工催化剂

当前石油化工生产所采用的铂基催化剂主要包含重整催化剂和异构化催化剂,这两种废催化剂的铂回收技术有湿法工艺和火法工艺^[21]。

湿法工艺有全溶解法、硫酸选择溶解载体法、高温碱溶解载体法、加压碱溶解载体法等。其中,全溶解法是石油化工废催化剂的主要回收铂的方法,在我国已实现产业化应用和发展。该方法将预处理后的废催化剂采用 $H_2SO_4 + HCl + H_2O +$ 氧化剂进行全溶解,然后采用树脂吸附再解吸的方法回收铂。硫酸选择溶解载体法利用废催化剂中的活性组分铈和铂在硫酸中的溶解度差异大来回收铂的。高温碱溶解载体法和加压碱溶解载体法都是利用碱对废催化剂载体进行溶解,再从不溶渣中回收铂,两者在石油化工废催化剂的铂回收实践中均存在一定影响。

从失效催化剂回收铂族金属,湿法工艺缺点是被包裹的铂族金属很难溶解,存在回收率低,废液、

废气的环境污染等问题;火法工艺中的铜、铁金属捕集技术在国外已得到应用,但技术严格保密,我国铜捕集技术方面的研究还较少^[24]。

4 结语

铂资源的综合利用及回收是解决铂金属市场需求的一项重要且行之有效的办法,目前国内已有企业将传统的选择性沉淀分离工艺与溶剂萃取和离子交换相结合进行铂族金属提纯,并且取得较好的经济效益和铂金属产品。未来相当长一段时期内,生态环境保护将是我国大力推行的一项政策,汽车尾气排放标准将愈来愈严格,开发绿色新能源及高效能源转换装置成为 21 世纪解决能源危机与环境污染问题的关键,简洁、高效、低成本的铂族金属提纯回收工艺将会成为有色行业的研究热点。

从失效催化剂中回收铂族金属,湿法工艺缺点是被包裹的铂族金属很难溶解,存在回收率低,废液、废气造成环境污染等问题;火法工艺中的铜、铁金属捕集技术在国外已得到应用,但技术严格保密,我国铜捕集技术方面的研究还较少。

作为石油化工催化剂和汽车尾气催化剂的活性组分,铂族金属具有不可替代的作用。未来,随着生态环境保护的大力推行,燃料电池将会成为汽车的第四代发电方式,这也会进一步拉动铂族金属的市场需求。

我国铂资源稀少,铂钯供需已严重依赖于进口,是我国亟需且紧缺的矿种之一,严重威胁到我国的经济及国防安全,而铂资源的综合利用及回收技术研究还处于初级阶段,设备、技术和回收工艺与美国、日本和德国相比较为落后,因此,应立足国情,重视铂金属的回收利用,这对我国新形势下矿产资源安全有着重要意义。

[参考文献]

[1] 孙标. 基于多元铂基、铑基合金的燃料电池催化性能研究[D]. 镇江:江苏科技大学,2020.

[2] 祝庆. 国际主要铂族金属市场发展对我国经济的影响分析[J]. 中国资源综合利用,2021,39(5):94-98.

[3] 李长根. 俄罗斯诺里尔斯克镍矿冶公司北极圈分公司镍-铜-铂族金属矿山[J]. 矿产综合利用,2013(6):69-75.

[4] 赵庆红,张宗勇,张涵. 云南省弥渡县金宝山铂钯矿体地质特征及找矿标志[J]. 中国金属通报,2020(4):31-33.

[5] 屠海令,赵国权,郭青蔚. 有色金属冶金、材料、再生与环保[M]. 北京:化学工业出版社,2003.

[6] 罗瑶,贺昕,熊晓东,等. 离子交换法除去高纯铂中杂质离子的研究[J]. 贵金属,2013,34(S1):1-3.

[7] 刘凯,高学鲁,李力. 海水中痕量铂族元素的赋存形态及螯合树脂富集研究进展[J]. 应用生态学报,2017,28(10):3424-3432.

[8] 赵德鹏,杨瑞四,邹安琴,等. 201 × 7 阴离子交换树脂对低浓度铂的吸附性能[J]. 贵金属,2014,35(2):43-49.

[9] 索永喜. P-952 铂功能交换树脂的应用[J]. 科学技术创新,2020(34):189-190.

[10] 衷水平,王俊娥,吴健辉,等. 从银阳极泥中回收银、铂、钯新工艺[J]. 中国有色冶金,2017,46(4):44-47.

[11] 房孟钊,万金成,李伟,余珊,宁瑞,赵浩然. 回收脱铜后液中贵金属的试验研究[J]. 中国有色冶金,2020,49(1):45-48+76.

[12] 赵祝鹏,张善辉,崔家友,等. 从金还原后液中回收铂钯工艺研究[J]. 贵金属,2018,39(S1):161-163.

[13] 赖建林,周宇飞,饶红,等. 从铂钯精矿中回收铂、钯和金[J]. 贵金属,2015,36(3):10-13.

[14] 成全辉,罗喻文. 铅阳极泥提取金银过程铂钯的回收试验与研究[J]. 中国有色冶金,2016,45(6):49-51.

[15] 赵飞,吴喜龙,高芳,等. 从炉灰、酸泥中回收并提取高纯铂、钯的工艺实验[J]. 贵金属,2009,30(4):44-47.

[16] 朱文革. 从合成硝酸氧化炉灰及酸泥中回收铂钯铑工艺研究[J]. 中国资源综合利用,2016,34(7):22-24.

[17] 王明燕,郜伟,叶小璐. 南非某铂钯尾矿中铂钯的赋存状态研究[J]. 矿产综合利用,2019(3):74-77.

[18] 易小祥,母传伟,郭靖,等. 红石砬铂钯矿选矿试验研究[J]. 有色金属(选矿部分),2018(1):55-60.

[19] 米夏夏. 津巴布韦某铂金尾矿再选可行性研究[J]. 中国矿山工程,2017,46(5):32-34.

[20] Ю·В·布拉戈达金,王拥军. 从诺里斯克公司的铜-镍矿选矿废弃尾矿中回收铂族金属的可行性[J]. 国外金属矿选矿,1996(11):39-40.

[21] 李志,韩志敏. 从石油化工废催化剂中回收铂族金属的研究进展[J]. 天津化工,2021,35(3):3-5.

[22] 张锦云,谭文进,李春辉. 从失效丙烷脱氢催化剂中回收铂的除炭工艺研究[J]. 贵金属,2019,40(S1):104-107.

[23] 薛虎,董海刚,赵家春,等. 从失效汽车尾气催化剂中回收铂族金属研究进展[J]. 贵金属,2019,40(3):76-83.

[24] 赵家春,崔浩,保思敏,等. 铜捕集法回收铂族金属的理论及实验研究[J]. 中国有色金属学报,2019,29(12):2819-2825.

Research Progress of Purification and Recovery Technology of Platinum Resources

LIU Yan-min, QIN Bo

Abstract: Platinum is an important strategic precious metal resource. It has an irreplaceable role as a petrochemical catalyst and automobile exhaust purification catalyst. In the future, with the mature development of fuel cell technology, the market demand for platinum will be further increased. The domestic platinum resources are scarce and mainly rely on imports. The recycling of platinum from anode slime, catalysts, tailings and other resources has become the research focus of the non-ferrous industry. To recover platinum metals from spent catalysts, the copper and iron metal capture technology in the pyrotechnic process is relatively mature abroad, but there is still little research in this area in my country. For the purification process of platinum metal, although the traditional selective precipitation separation technology has been eliminated, some selective precipitation technologies is still an important method for refining pure metals. At present, domestic companies have combined the traditional selective precipitation separation process with solvent extraction and ion exchange to purify platinum metals, and have achieved good economic benefits and platinum metal products. In the future, the development of simple, efficient, and low-cost platinum metals purification and recovery processes is of great significance to the safety of mineral resources in China.

Key words: platinum resources; purification; recover; selective precipitation separation technology; solvent extraction; ion exchange; anode slime; catalysts; fuel cell



期刊投稿系统和微信公众号上线通知

为了加快稿件处理速度,缩短稿件出版周期,方便广大作者投稿及查询稿件处理情况,本刊已开通“腾云”期刊全流程采编系统,投稿网址为 <https://yssb.cbpt.cnki.net/>。首次投稿的作者请先注册,注册登录后就可以向本刊投稿并查询稿件处理状态。请勿重复注册,否则可能导致您的信息查询不完整。

同时,2021 年 1 月 1 日起,中国恩菲工程技术有限公司期刊杂志部正式开通“恩菲期刊”微信公众号,着力打造全天候的媒体服务平台,定期更新期刊动态;分享写作、投稿技巧;及时为读者、作者、审稿专家、编委带来新鲜、生动、有价值的信息资讯。微信用户可通过扫描下方二维码或微信搜索公众号“恩菲期刊”关注我们。

“恩菲期刊”公众号诚邀您的关注!

