

二次资源中贵金属分析方法最新应用

林海山 唐维学

(广东省工业技术研究院(广州有色金属研究院), 广州 510650)

摘要 本文归纳了国内近年来二次资源中贵金属分析的取制样、样品处理和测试技术的最新应用,详细阐述了近年来二次资源中贵金属分析的样品处理技术(火试金法、酸溶法、碱熔法)和测试技术(重量法、容量法、分光光度法、原子吸收光谱法、发射光谱法、电化学法)的应用,并对二次资源中贵金属分析方法的研究发展方向提出建议和展望。

关键词 二次资源;贵金属;分析;应用

中图分类号: O655; O657 **文献标识码**: A **文章编号**: 2095-1035(2011)01-0040-06

Application of determination of precious metals in secondary resources

LIN Haishan, TANG Weixue

(Guangdong General Research Institutes of Industrial Technology)

(Guangzhou Research Institute of Non-ferrous Metals, Guangzhou 510650, China)

Abstract Recent application of developing analytical methodologies for determining precious metals in secondary resources, including sampling methods, samples pretreatment, and testing techniques, were reviewed in this paper. The applications of sample pretreatment techniques (fire assay method, acid dissolution method, alkali fusion) and testing techniques (gravimetric method, volumetric method, spectrophotometry method, atomic absorption spectrometry, emission spectrometry methods, electrochemical method) in precious metals analysis were introduced in detail. Finally, some suggestions and a perspective on development of method for the determination of precious metals in secondary resources were also given.

Keywords secondary resources; precious metals; determination; application

1 引言

贵金属二次资源是当今世界日益紧缺资源中很重要的二次资源。准确测定二次资源中贵金属品位具有重要的现实意义,贵金属资源的开发、冶炼、回收利用、贸易流通、产品仲裁等各环节都需要准确的分析结果。

贵金属的精确分析长期以来是一项艰巨的任务。近年来,随着国内对二次资源中贵金属回收利用的重视,二次资源中贵金属分析的技术有了很大

的发展。本文对近年来国内二次资源中贵金属的取制样、样品前处理和测试技术的应用进行了总结和评述。

2 取制样技术

在贵金属二次资源中,贵金属元素含量分布的差异相当突出,贵金属含量的不均匀性是贵金属二次资源的特点。取样和制样研究是获得正确分析结果的前提。

贵金属二次资源的取样及制取是一个相互促进

收稿日期:2010-12-14 修回日期:2011-1-04

作者简介:林海山(1975—),男,高工,主要从事贵金属元素分析。E-mail:lhscjj@163.com

通讯作者:唐维学,男,教授级高工。E-mail:hnzjzx@126.com

十分复杂的过程,涉及各种各样的问题。实际工作中常根据贵金属废料的特点,对废料进行预处理后再进行取样。董守安^[1]对废料进行了分类并提出了几类废料对应的取样方法。近年来,二次资源中的阳极泥、废钯催化剂^[2]、杂铜^[3]、粗铜和粗铅^[4]的取制样技术取得了进展,提出了具有较好代表性的取制样方法,其中铜、铅电解阳极泥分析取制样方法已纳入行业标准^[5]。

3 样品处理技术

选择合适的样品处理技术是获得准确分析结果的前提条件。目前测定二次资源中贵金属所用的样品前处理技术主要有火试金、酸溶法和碱熔法等技术。

3.1 火试金法

火试金法至今仍是贵金属分析的重要手段,它可同时分解样品并富集测定贵金属。在应用各种捕集剂的试金中,铅试金和钽试金应用最广,发表文献最多。金的铅试金是目前最可靠的分析方法之一,已被列为国家标准^[6]。铅试金法已广泛应用于二次资源的贵金属分析中^[7-13]。用火试金处理电子废料,能够消除大量共存元素对钯测定干扰,准确测定电子废料中的钯含量^[7]。通过研究减少铜影响铅试金的技术,提出对含铜的二次资源样品不经预先分离铜而直接进行火试金,连续测定样品中的金量和钯量,金、钯回收率在 99% 以上^[8]。

3.2 酸溶法

酸溶法包括常压提取、高压密闭提取和微波消解酸溶法。常用的酸是王水,也用到盐酸、硝酸、氢氟酸、高氯酸和过氧化氢等。酸溶法能分解大部分贵金属二次资源样品,金、铂和钯易溶解,对铑、铱溶解效果稍差。

常压酸提取广泛应用于较易溶解的贵金属样品中。以王水溶解废 Al_2O_3 基催化剂样品,而基体 Al_2O_3 仅部分溶于王水,用工作曲线法即可进行测定,样品加标回收率为 Pt 95.2% ~ 105.5%, Pd 95.3% ~ 100.6%^[14]。

微波消解技术已应用于难处理贵金属样品,包括贵金属化合物、Rh 粉、Ir 粉、贵金属富料、铂类化合物和含贵金属催化剂^[14-20],方法新颖、快速、实用,分析结果准确。朱利亚等^[17]提出微波消解难处理贵金属 Rh、Ir 粉及其冶金物料的新方法,对比了各类物质的微波消解与传统消解法的条件,分析了贵金属的含量,结果表明:贵金属 Rh、Ir 粉及其冶金

物料对应消解时间分别为传统法的 1/96 ~ 1/67, 1/16 ~ 1/8 和 1/2,总分析流程大大缩短,两种消解法测得贵金属含量吻合较好。

3.3 碱熔法

碱熔法分解贵金属是将样品与具有氧化性的碱性氧化物或固体烧碱(或纯碱)与具有氧化性盐类的混合物混合,进行高温熔融,从而将贵金属氧化成易溶于水的贵金属氧化物。碱熔法几乎可以分解所有的含贵金属样品,但熔样过程中引入了大量的无机盐,坩埚腐蚀严重,又带入大量的铁、镍。此法多用于无机酸难以分解的样品,主要用于含钨、铈、铌的样品。采用过氧化钠溶解钨碳催化剂中的钨,测得样品加标准回收率为 98.01% ~ 102.12%,方法简便、快速,可用于钨碳催化剂和废钨碳催化剂样品中钨的测定,能满足日常样品的分析要求^[21]。

4 测试技术

重量法、容量法和光度法等经典的测试技术仍在二次资源贵金属分析中占有重要的地位。随着科学技术的发展,各种仪器分析方法也应用到二次资源的贵金属分析中。

4.1 重量法

火试金重量法测金^[22]、丁二酮肟钯重量法测钯^[23]和硝酸六氨络合钴重量法测钴^[24],因其特性性一直沿用作相应贵金属的国家或行业标准测定方法。重量法测定二次资源中贵金属含量得到广泛的应用^[25-28]。对杂质少的铑电镀液,采用硼氢化钠作为还原剂的重量法测定铑,测定偏差可控制在 0.2% 以内^[29]。

4.2 容量法

伏尔哈特法(Volhard method)是首饰含银量化学分析方法的经典方法,已列为国家标准^[30]。铜阳极泥^[26]、铅阳极泥^[31]中银的测定采用伏尔哈特法(Volhard method),结果准确。在铂族金属滴定中,容量法仍以 EDTA 滴定为主,丁二酮肟析出 EDTA 络合滴定法测定钯已制订为《行业标准》^[32]分析方法,二甲基乙二醛肟析出 EDTA 络合滴定法已制订为《国家标准》^[33]分析方法。朱利亚等^[34]建立了丁二酮肟选择性沉淀分离和析出 EDTA-Pd 络合物中的 EDTA, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 滴定 Pd 的新方法,系统地研究了在硝酸或盐酸介质中测定 Pd 的条件,方法已应用于 Au、Ag、Pt、Pd 合金中 5% ~ 99% 的 Pd 含量的测定,结果满意。

4.3 分光光度法

在分光光度法测定贵金属的研究与应用上,我国分析工作者做出了显著的贡献。一是不断合成出具有选择性的适宜于贵金属分析的新试剂,二是建立了不少测定铂族元素(PGM)灵敏或具选择性的多元络合物体系。

利用分光光度法测定催化剂中贵金属,可以获得准确和可靠的分析结果。分光光度法测定汽车尾气净化催化剂中铂、钯、铑量的方法已制订为《国家标准》^[35]分析方法。碱熔解-硫脲比色法^[21]快速测定钨碳催化剂中的钨,测得样品加标准回收率为98.01%~102.12%。

应当指出,发展简便、灵敏度适中、高选择性、高精度和准确度的分光光度法在催化剂中贵金属分析依然有良好的应用前景。李振亚等^[36]把汽车催化剂试样在聚四氟乙烯压力罐内加 HCl-H₂O₂ 于150℃浸出,用分光光度法测定汽车催化剂中贵金属

元素(Pt、Pd、Rh)的含量。Pt、Pd 用二苄基二硫代乙二酰胺-碘化钾-抗坏血酸体系双波长分光光度法测定;Rh 用 2-巯基苯并噻唑-噻化亚锡萃取分光光度法测定;对 2 种汽车催化剂(陶瓷蜂窝状)ATCTL-1(新)和 ATCTL-GM(废)测得 Pt、Pd、Rh 含量分别为:Pt(979±5.5) μg/g 和(964±6.8) μg/g;Pd(168±2.5) μg/g 和(165±6.0) μg/g;Rh(106±1.8) μg/g 和(104±2.6) μg/g。

4.4 原子吸收光谱法

原子吸收光谱法由于操作简便、快速和具有良好的准确度而广泛用于测定各种二次资源中贵金属。原子吸收光谱法测定各种二次资源中贵金属列于表 1。测定样品中 Au、Ag、Pt、Pd 和 Rh 等贵金属元素准确度和灵敏度较高,但是测定 Ir、Ru 和 Os 等元素的灵敏度却很低。

表 1 原子吸收光谱法测定二次资源中贵金属

Table 1 Determination of precious metals in secondary resources by AAS

分析对象	测定元素	方法特点	回收率/%	RSD/%	文献
催化剂	Rh	选择 Rh 的次灵敏线 369.2nm 作为分析线,采用标准加入法测定汽车尾气催化剂中的 Rh。	102.9~104.7	1.8~2.7	[37]
乙醛催化剂溶液	Pd	用高氯酸和硝酸预处理样品,选择波长 247.6nm 作为分析线,在盐酸介质中测定 Pd。	98.0~101.4		[38]
催化剂	Pt	用 HNO ₃ +HF 或 HCl+HF 或王水+HF 消解体系对硅橡胶催化剂进行微波消解,用 CuSO ₄ 作干扰抑制剂,AAS 测定。	92.43~109.05	1.08~1.87	[20]
催化剂	Pd	微波消解氧化铝为载体的钯催化剂,在样品测定液中加入铝基体至铝浓度为 4mg/mL,解决了铝对钯测定时的干扰影响。		1.29~1.48	[19]
粗铜	Au	对粗铜样品不经预先分离铜而直接进行火试金,连续测定样品中的金和钯量。	99.0~99.5	1.87	[8]
	Pd		99.0~101.0	1.39	
粗铜	Pt	试金分离富集,原子吸收法测定铂。	93.6~105.3	4.5	[39]
粗铜	Ag	用硝酸-硫酸预处理除去大量的铜,王水溶解,AAS 测定粗铜中银的分析方法。		0.9~2.0	[40]
黑铜	Ag	以高氯酸分解,在高氯酸-硫脲介质中,采用塞曼型火焰原子吸收光度计测定银。	98.4~104.3		[41]
贵液	Au	在瓷坩埚中蒸干贵液,残渣与混合试剂熔炼,灰吹,贵金属合粒有酸溶解,原子吸收测定。	99.0~101.0	3.09	[42]
	Pd		98.4~99.5	2.54	
有机废液	Pd	HNO ₃ -HClO ₄ 消解法处理样品,采用 AAS 直接测定溶液中钯。	96~104	0.67~1.2	[43]
铜阳极泥	Pt	在氨性条件下用甲酸还原,沉淀过滤后烘干,进行火试金,原子吸收测定。	98~99	9.82	[26]
	Pd		99~101	3.22	
铈铅阳极泥	Au	改进制样方法,抑制铈铅水解,用活性炭富集分离,原子吸收法测定。		1.7~3.2	[44]
铅阳极泥	Au	采用少试样、大体积,常规处理样品,直接测定。		0.9~2.5	[45]
	Ag			0.5~0.9	
	Au			2.15	
印刷线路板	Pt	样品经破碎、焙烧等预处理后,用王水溶解,过滤定容后直接 AAS 测定。		0.84	[46]
	Pd			2.77	
工业废料	Au	用混合酸将样品中的有机物氧化完全,后加王水溶金,活性炭富集,AAS 测定。		0.32~1.39	[47]
炉渣	Au	用 HF-H ₂ SO ₄ 除硅,萃取-原子吸收法测定炼银炉渣中的金。	92.0~104.0	3.8	[48]
铈铈铜丝废料	Rh	用盐酸-过氧化氢溶解样品,加入钨盐抑制干扰,在 10% 盐酸介质中 AAS 测定。	98.97~102.10	0.563	[49]

4.5 发射光谱法

原子发射光谱法和等离子体发射光谱法具有宽的测定线性范围和较高稳定性,在优化条件下能够进行多元素同时测定且有较好选择性,因此近年来在二次资源中的贵金属测试方面显示出良好的应用

前景。发射光谱法测定二次资源中贵金属的方法列于表 2。贵金属在一般废料中含量低微,且分布不均匀,测定时物料中的可溶性基体或其他高浓度金属盐的存在,会引起基体效应,测定时要注意。

表 2 发射光谱法测定二次资源中贵金属
Table 2 Determination of precious metals in secondary resources by AES

分析对象	测定元素	方法特点	回收率/%	RSD/%	文献
铜阳极泥	Pt	铅火试金预富集,ICP-AES 法同时测定铜阳极泥中微量铂和钯含量。	94.0~98.0	<3.0	[50]
	Pd		99.0~108.8		
Au-Be 合金	Rh	萃取 Au 后 ICP-AES 测定,用等效浓度法校正元素间的干扰。	96~107	1.7~12	[51]
	Ir				
溶液	Au	以铅片为载体,经火试金把溶液中的金富集于银合粒中,以摄谱法测定金含量。	97~113	10~24	[52]
催化剂	Pt	以王水溶解废 Al ₂ O ₃ 基催化剂样品,而基体 Al ₂ O ₃ 仅部分溶于王水,用 ICP-AES 工作曲线法即可进行测定。	95.2~105.5	5.5~7.8	[14]
	Pd		95.3~100.6	1.8~8.8	
阳极泥	Au	ICP-AES 法直接测定金和银。	96.4~103.2	1.4~2.9	[53]
	Ag		95.4~97.6	0.8~4.8	
铂金饰品 抛光灰	Au	样品升温到 650℃ 后保持 3h,使样品完全灰化,王水提取,ICP-AES 法直接测定。	103.5	2.8	[54]
	Ag		94.2	3.2	
	Pt		102.7	3.7	
	Pd		97.6	4.4	
催化剂	Pt Pd Rh	催化剂中的载体成分和助剂成分对 Pt、Pd、Rh 的几条灵敏线均有不同程度的干扰,可用不同的方法消除干扰。			[55]
废弃线路板	Au	微波消解技术对废弃线路板进行消解,应用全谱直读 ICP-AES 同时测定。	98.0~101.0	0.48	[56]
	Ag		95.3~96.2	0.15	
湿法冶炼物料	Au	阳极泥、脱铜泥、脱铜渣、蒸硒渣、分铜渣、分碲渣、分金渣和分银渣等中金的 ICP-AES 测定。		1.1	[57]

4.6 电化学法

电化学法目前广泛应用于二次资源中高含量贵金属的测定。多种电位滴定和电流滴定已制订为测定中高含量贵金属的《国家标准》^[58-59]和《行业标准》^[60-63]分析方法。

高锰酸钾电流滴定法较氯铂酸铵重量法和水合肼重量法具有更好的选择性、更宽的测定范围和更广的适用性,已被广泛用于二次资源中铂含量的测定。朱利亚等^[16]利用微波消解和精密电流滴定法测定铂类化合物中的铂含量,测定 37%~65% 的 Pt(Ⅳ)含量,电流滴定法、氯铂酸氨重量法、水合肼还原重量法的相对平均误差分别为 -0.14%~+0.13%、-0.21%~+0.21%、-0.13%~+0.14%,相对标准偏差分别为 0.05%~0.08%、0.11%~0.14%、0.08%~0.09%,故电流滴定法的准确度和精密度与水合肼还原重量法的基本一致,较氯铂酸氨重量法的略好。用高锰酸钾-溴酸钠氧化除 Os、Ru,硫酸亚铁电流法测定 Pt-Ru-Ir 合金中的铱,样品加标回收率在 99.6%~101.2%^[64]。

5 展望

从近年来国内二次资源中贵金属分析的发展与应用可以看出,二次资源中贵金属分析在取制样技术、样品前处理和测试技术上都取得了长足进展。

随着科学技术的进步,未来二次资源中贵金属分析将朝以下几方面发展:

(1)二次资源的取样及制取是一个相互促进十分复杂的过程,探索更科学的取制样方法仍将是一个重要的课题。

(2)在样品前处理技术上,探索更多高效、快速的样品前处理技术,大力发展微波消解技术在处理二次资源中的贵金属样品方面的应用。

(3)在测试技术上,探索测定二次资源中贵金属的新方法,使之达到高灵敏度、高选择性、高准确度和低成本、简单易行等是未来的研究方向。

可以预见,随着分析技术的不断发展,必将促进二次资源中贵金属分析水平的不断提高,从而有力促进二次资源的综合利用。

参考文献

- [1] 董守安. 贵金属废料取样和溶解方法[J]. 新疆有色金属, 1995(3):32-34.
- [2] 董守安, 裴锦平, 李振亚, 等. 废催化剂中铂族金属分析的取样研究[J]. 冶金分析, 1998(5):25-27.
- [3] 林海山, 戴凤英, 岳伟, 等. 杂铜中贵金属分析的制样方法[J]. 材料研究与应用, 2007, 1(1):78-79.
- [4] 罗建平, 尧川, 范顺科. 粗铜和粗铅中金银分析取样方法及标准化[J]. 贵金属, 1995, 16(3):29-34.
- [5] 中华人民共和国工业和信息化部. YS/T87—2009 铜、铅电解阳极泥中金、银分析取制样方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [6] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 11066. 1—2008 金化学分析方法 金量的测定 火试金法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [7] 管有祥. 火法预富集测定电子废料中的钯[J]. 中国有色金属学报, 1998, Vol. 8 suppl. 2:456-457.
- [8] 林海山. 火试金法测定粗铜中金和钯[J]. 冶金分析, 2002, 22(1):53.
- [9] 蔡树型. 铅试金法在贵金属分析中的作用[J]. 分析试验室, 1988, 7(9):46-48.
- [10] 曾妙先. 火试金在贵金属元素分析中应用[J]. 黄金, 2003, 24(5):48.
- [11] 甘建壮, 管有祥, 李楷中, 等. 火试金法测定金锡合金中金含量[J]. 贵金属, 2008, 29(4):34-36.
- [12] 李琰, 吕涛, 郭树有. 添金火试金法测定低成色合质金中的金[J]. 黄金, 1999, 20(2):47-48.
- [13] 徐红喜, 袁玉霞, 李树森. 杂铜中金、银的测定方法研究[J]. 矿冶, 2003, 12(3):86-87.
- [14] 刘英, 臧慕文. ICP-AES 测定废 Al_2O_3 基催化剂中 Pt、Pd[J]. 分析试验室, 2002, 21(6):40.
- [15] 朱利亚, 杨光宇, 李楷中, 等. 微波密闭消解技术在处理 Rh、Ir 粉及其试样中的应用[J]. 贵金属, 2008, 29(2):40.
- [16] 朱利亚, 陈云江, 赵辉, 等. 微波消解和精密电流滴定法测定铂类化合物中的铂含量[J]. 贵金属, 2007, 28(3):51-55.
- [17] 朱利亚, 胡秋分, 刘云, 等. 微波消解技术在分析难处理贵金属及其物质中铑、铈、铂、钯的研究与应用[J]. 冶金分析, 2005(10):11-14.
- [18] 朱利亚, 赵忆宁, 赵辉, 等. 微波消解技术应用于难分解贵金属化合物的分析[J]. 冶金分析, 2007, 27(12):11.
- [19] 林海山. 微波消解—原子吸收法测定氧化铝为载体的钯催化剂中钯[J]. 分析试验室, 2006, 25(6):75.
- [20] 吕素芳, 倪勇, 傅水玉. 微波消解—火焰原子吸收法测定硅橡胶催化剂中铂的含量[J]. 有机硅材料, 2010, 24(1):45-49.
- [21] 管有祥. 碱熔解—硫脲比色法快速测定钨碳催化剂中的钨[J]. 贵金属, 2010, 31(8), No3:52-55.
- [22] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 11066. 1—2008 金化学分析方法 金量的测定 火试金法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [23] 中国有色金属工业协会. GB/T15072. 4—94 贵金属及其合金化学分析方法 钯、银合金中钯量的测定 丁二酮肟重量法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1995.
- [24] 中华人民共和国工业和信息化部. YS/T 561—2009 贵金属合金化学分析方法 铂铑合金中铑量的测定 硝酸六氨合铂重量法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [25] 李琰, 吕涛, 郭树有. 添金火试金法测定低成色合质金中的金[J]. 黄金, 1999, 20(2):47-48.
- [26] 向德磊, 周益, 叶世源. 湿干试金法连续测定铜阳极泥中金、银、铂和钯[J]. 株冶科技, 1999, 27(3):43-45.
- [27] 付砺, 牛合体. 直接灰吹法测定金泥中的金和银[J]. 黄金, 1998, 19(5):52-53.
- [28] 李小玲. 火试金法测定树脂中的金[J]. 黄金, 2010, 31(4):54-56.
- [29] 肖耀坤, 张峰, 刘振华, 等. 电镀液中铑含量的不同分析方法[J]. 化工学报, 2006, 57(1):66.
- [30] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 11886—2001 首饰含银量化学分析方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
- [31] 吴光进, 孙向彤. 铅阳极泥中银和铜的测定[J]. 贵州科学, 1996, 14(3):61-62.
- [32] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. YS/T 372. 2—2006 金、银、铂、钯化学分析方法 钯量的测定 丁二酮肟析出 EDTA 络合滴定法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [33] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 23276—2009 钯化合物分析方法 钯量的测定 二甲基乙二醛肟析出 EDTA 络合滴定法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [34] 朱利亚, 赵忆宁, 金娅秋, 等. 金、银、铂、钯合金中钯的选择性滴定方法的研究与应用[J]. 贵金属, 2007, 28(2):40.
- [35] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 23277—2009 贵金属催化剂化学分析方法 汽车尾气净化催化剂中铂、钯、铑量的测定 分光光度法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [36] 李振亚, 马媛, 洪英, 等. 汽车尾气净化催化剂中 Pt、Pd、Rh 含量的测定[J]. 贵金属, 2001, 22(2):28-35.
- [37] 魏笑峰, 詹瑛瑛, 俞秀金, 等. FAAS 测定汽车尾气催化剂中的铑[J]. 福州大学学报, 2007, 35(1):126-129.
- [38] 鹿东梅. 原子吸收法测定溶液中的钯含量[J]. 光谱实

- 验室,2002,19(1):121-123.
- [39] 田丽霞,曲雅丽,张泉.粗铜中铂的测定[J].有色矿冶,1997(5):52-53.
- [40] 陶明.火焰原子吸收法测定粗铜中银的应用研究[J].西昌学院学报:自然科学版,2005,19(3):67-68.
- [41] 陈小燕.黑铜中银的分析方法研究[J].黄金,2004,25(5):47-48.
- [42] 林海山.简易试金法测定贵液中的金和钯[J].黄金,2002,23(5):44-45.
- [43] 杨平平,田新娟,王辉,等.火焰原子吸收光谱法测定钯催化剂生产有机废液中钯[J].冶金分析,2010,30(1):58-60.
- [44] 龚莹.铈铅阳极泥中金的分析方法研究[J].分析试验室,2002,21(1):65-68.
- [45] 孙鹏,王利平,薛光.原子吸收法直接测定铅阳极泥中的金和银[J].黄金,2001,22(4):51-53.
- [46] 钟非文,李登新,魏金秀,等.原子吸收光谱法测定废弃印刷线路板中金钯铂[J].冶金分析,2006,26(6):88-90.
- [47] 李小玲.活性炭富集、原子吸收分光光度法测定工业废料中的金[J].广东有色金属学报,2004,14(2):151-152.
- [48] 刘茂荣.原子吸收法测定炼银炉渣中的金[J].岩矿测试,2001,20(1):68-70.
- [49] 马媛,甘建壮,李楷中,等.原子吸收法测定镀铈铜丝废料中的铈[J].贵金属,2008,29(3):37-39.
- [50] 杨红生,汪廷龙.铅火试金预富集-ICP-AES测定铜阳极泥中的铂和钯[J].光谱实验室,2004,21(1):83-85.
- [51] 邱红莲,刘继升,杨炬.ICP-AES法分析 Au-Be 合金[J].光谱学与光谱分析,1999,19(1):70-71.
- [52] 沈振兴.试金光谱法测定溶液中的金[J].黄金,1998(7):49-50.
- [53] 方奕文.ICP-AES法直接测定阳极泥中的金和银[J].光谱实验室,2001,18(4):479-481.
- [54] 葛文,陈远.ICP-AES测定铂金饰品抛光灰中铂、钯、金和银[J].光谱实验室,2004,21(4):806-808.
- [55] 方卫,胡洁,赵云昆,等.ICP-AES测定汽车催化剂中Pt、Pd、Rh的干扰研究[J].分析试验室,2009,28(5):88-88.
- [56] 陈胜文,关杰,白建峰.微波消解 ICP-AES测定废弃线路板中金属元素[J].上海第二工业大学学报,2009,26(3):183-186.
- [57] 傅俊卫,夏珍珠.光谱法测定贵金属湿法冶炼物料中的金[J].冶金分析,2003,23(3):48-49.
- [58] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.GB/T 15072.6-2008 贵金属合金化学分析方法 铂、钯合金中铱量的测定 硫酸亚铁电流滴定法[S].北京:中国标准出版社,2008.
- [59] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.GB/T 15072.5-2008 贵金属合金化学分析方法 金、钯合金中银量的测定 碘化钾电位滴定法[S].北京:中国标准出版社,2008.
- [60] 中华人民共和国国家发展和改革委员会.YS/T 646-2007 铂化合物分析方法 铂量的测定 高锰酸钾电流滴定法[S].北京:中国标准出版社,2007.
- [61] 中华人民共和国国家发展和改革委员会.YS/T 645-2007 金化合物分析方法 金量的测定 硫酸亚铁电位滴定法[S].北京:中国标准出版社,2007.
- [62] 中华人民共和国国家发展和改革委员会.YS/T 372.2-2006 贵金属合金元素分析方法 铂量的测定 高锰酸钾电流滴定法[S].北京:中国标准出版社,2006.
- [63] 中华人民共和国国家发展和改革委员会.YS/T 646-2007 铂化合物分析方法 铂量的测定 高锰酸钾电流滴定法[S].北京:中国标准出版社,2007.
- [64] 赵丽莎,洪英,李振亚.电流滴定铱钼矿和 Pt-Ru-Ir 合金中的铱[J].贵金属,1999,20(2):37.