

炭载铂族金属催化剂中铂、钯、铑、钌的化学分析进展

李 青

(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: 介绍了国内炭载催化剂中铂、钯、铑、钌化学分析技术的进展, 对该类催化剂的制备过程及化学分析特点、试样的前处理、铂族金属含量的测定方法进行了评述, 并对未来试样的前处理和电感耦合等离子体原子发射光谱法(ICP-AES)测定高量铂族金属的准确度、精密度的技术进行了展望。

关键词: 分析化学; 活性炭负载催化剂; 铂族金属; 铂; 钯; 铑; 钌

中图分类号: O655, O614.82 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-0676(2015)04-0088-06

Advances in Chemical Analysis of Pt, Pd, Rh and Ru in PGM Catalysts Supported on Carbon

LI Qing

(State Key Laboratory of Advanced Technologies for Comprehensive Utilization of Platinum Metals,
Sino-Platinum Metals Co. Ltd., Kunming 650106, China)

Abstract: Advances in chemical analysis of Pt, Pd, Rh and Ru in catalysts supported on carbon have been introduced. The chemical analysis involves the pre-treatment method of samples and the measurements. The conventional wet-digestion or fire-digestion can be selected to remove carbon from the catalysts. After Pt, Pd, Rh and Ru are completely transferred into the aqueous solution, the content of Pt, Pd, Rh and Ru in the solution will be determined by the well-established inductive coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP-AES). The pre-treatment process and determination conditions reported in literatures were summarized, and future developments were also given.

Key words: analytical chemistry; catalysts supported on carbon; platinum group metals (PGM); platinum; palladium; rhodium; ruthenium

活性炭负载型铂族金属催化剂(本文简称炭载催化剂)常见的有铂炭、钯炭、铑炭和钌炭催化剂, 它们是以铂族金属(Pt、Pd、Rh、Ru)为催化活性组分、以活性炭为载体的负载型催化剂。因其优良的催化活性、选择性及稳定性而备受关注, 被广泛的应用于加氢、脱氢、氧化、还原、异构化、芳构化、裂化等有机合成反应中, 在石油化工、精细化工、医药、环保及新能源等领域起着非常重要的作用。

炭载催化剂分为单金属催化剂和多金属催化剂两大类。根据铂族金属元素含量的不同(0.1%~xx%), 形成多种规格的系列产品, 如单金属催化剂有: 3%Pt/C、1%Pt/C、10%Pd/C、5%Pd/C、0.25%Pd/C、

5%Rh/C、5%Ru/C 等; 多金属催化剂有 Pd-Pt-Fe/C、Pt-V/C、Pt-Cu/C、Pt-Au/C、Pd-Au/C、Pd-Cu/C、Rh-Ru/C 等^[1-4]。由于铂族金属高价值及催化剂活性评价的要求, 在成品催化剂的生产及废催化剂的回收^[5-6]中对铂族金属含量测定关注较多, 因此在测定技术方面也有不少研究论文发表。本文就近年来炭载催化剂中铂、钯、铑、钌的化学分析进展情况综述。

1 炭载催化剂制备过程及化学分析特点

炭载催化剂的制备方法报道较多, 一般是将铂族金属前驱体(铂族金属各类化合物如 H_2PtCl_4 、

Pt(NH₃)₄Cl₂、PdCl₂、Pd(NO₃)₂、RhCl₃、Rh(NO₃)₃、RuCl₃等)用水或有机溶剂将其溶解,然后采用离子吸附、离子交换、沉淀、浸渍等方法^[7-11],将铂族金属化合物负载在活性炭表面,而后用甲醛、甲酸、水合肼、甲酸钠、硼氢化钠或氢气等进行还原处理,将铂族金属离子还原为单质,再经洗涤、烘干等步骤,制得不同催化活性及用途的炭载催化剂。用于制备催化剂的活性炭内部孔隙结构发达,比表面积大、吸附能力强,是多相催化工艺中极其重要的载体^[7]。活性炭按原料来源可分为木质活性炭、果壳活性炭、兽骨/血活性炭、矿物原料活性炭、合成树脂活性炭、橡胶/塑料活性炭、再生活性炭等;活性炭按外观形态可分为粉状、颗粒状、不规则颗粒状、圆柱形、球形和纤维状等。

由于活性炭的比表面积大、吸附能力和还原性强,将炭载催化剂样品制备成溶液进行化学成分分析时,必须将活性炭进行完全破坏,才能避免活性炭吸附铂族金属离子使其不能完全释放到溶液中而导致铂族金属含量检测结果偏低,这对于含铑或钌的催化剂特别重要。因此,对炭载催化剂试样的前处理是准确测定铂族金属含量最重要的一个环节。

2 试样前处理方法

活性炭不溶于水、酸和其它溶剂。除了高温下同氧、臭氧、氯、重铬酸盐等强氧化剂反应外,在实际使用条件下都极为稳定。炭载催化剂要彻底消解制备成溶液,一般有火法和湿法两大类方法,针对不同的活性炭负载铂族金属元素不同,其前处理各有特色。

湿法消解一般采用强氧化性酸,如高氯酸、硫酸、硝酸或它们的混合酸,在高温发烟状态下使活性炭氧化分解成为CO₂挥发逸出。这种处理方式比较简便、快速,但由于强氧化剂分解炭量多时缓慢且有爆炸危险,需要反复加入较多量的氧化剂,使分解反应缓慢且有爆炸危险,故能处理的试样量有限。此外,因于常压下分解,试样粒度应不大于0.074 mm,以确保分解完全。电热板溶样是一种常用的湿法消解方法。Balcerzak等^[12]和 Scaccia等^[13]用盐酸-硝酸混合酸溶解20 mg试样,过滤分离炭后直接采用原子吸收或导数分光光度法测定Pt/C和Pt-Ru/C催化剂中15%的Pt和Ru,此法取样量过小代表性不足;臧慕文^[14]用高氯酸消解转化0.3 g钯炭,刘伟等^[15]将0.2 g试料用硝酸-高氯酸消解钯炭,王铁等^[16]采用硫酸-硝酸消解转化0.5 g钯炭试料,

方法均需加硝酸、高氯酸或硫酸数次,氧化发烟至炭完全除去。肖红新等^[17-18]用甲酸还原氧化钯、盐酸-硝酸溶解0.1~0.2 g钯炭、张明风等^[19]用硫酸-硝酸消解0.5g钯-金炭。高温高压消解法是另外一种湿法消解方法。魏小娟等^[20]用王水介质,在聚四氟乙烯压力罐中于180℃消解钯炭;谢峰等^[21]用盐酸-双氧水在高压釜中,于140℃消解钌炭。

上述湿法消解存在称样量小的不足,对试样的均匀性要求较高,火法分解则可以处理较大量的样品。火法分解法采用有氧高温灼烧的方法将炭灰化除去。火法分解称取试料量大,取样代表性较好,但缺点是需避免活性炭剧烈燃烧使铂族金属随扬尘损失,需要小心控制燃烧程度,操作要缓慢细致。黄晓维^[22]和夏军^[23]采用加尾气吸收装置解决了活性炭剧烈燃烧使铂族金属随扬尘损失的问题。文献[24-26]报道,在空气气氛中加热到550~800℃氧化分解0.5~10 g的钯炭、铂炭、铂钯炭试样,残渣用王水溶解;残渣也可用甲酸还原后用硝酸-盐酸溶解,或盐酸-双氧水溶解测定钯炭^[27-29]。马媛等^[29]在灼烧炭后,通氢气还原残渣,用聚四氟乙烯压力罐溶解测定钌炭中的钌含量。黄瑶等^[30]采用灼烧活性炭后用焦硫酸钾熔融,酸化后过滤测定钯炭。刘秋香^[31]、管有祥^[32]、袁宏伟^[33]等灰化除炭后,用碱熔融残渣测定钌炭中的钌量。高温灼烧法中有些分析方法已经制定成为国家标准^[34]和行业标准^[35]。

3 炭载催化剂中铂族金属含量的测定方法

由于大多数炭载催化剂中90%以上的组成是炭,故经过除炭转化为溶液的催化剂中铂族金属及过渡金属元素含量测定方法,与其它比较纯的溶液中元素含量测定类似。一般测定方法有重量法^[36]、容量法^[30, 37-39]、分光光度^[19, 21-22, 25, 30, 32-33, 40-42]、原子吸收光谱(AAS)^[17, 27-28]、电感耦合等离子体原子发射光谱(ICP-AES)^[14-16, 18, 20, 22, 24, 26, 30-31, 34-35]等方法。我国钯炭产品国家标准^[1]中钯量的测定直接引用了二甲基乙二醛肟重量法分析的国家标准^[37],重量法流程较长,且更适用于高含量钯(>10%)的测定;容量法测定铂族金属的应用也多见于合金或化合物中高含量铂族金属元素。重量法和容量法测定准确度高,但是对样品前处理要求高,容易受到共存元素的干扰,通常用于较纯净物料的测定。分光光度法是20世纪80~90年代很多负载型铂族金属催化剂测定所采用的方法,该法设备简单,至今仍被一些中、小型企业分析实验室采用,但相对于先

进的分析仪器而言，分析周期较长、选择性较差；AAS 法校准曲线线性范围较窄，测定铂、铑、钌的灵敏度及准确度不及光度法；ICP-AES 法有较高灵敏度和准确度、线性范围宽、能进行多元素的同时测定，在大中型检测机构已经普遍采用，尽管在测定准确度和精密度上不如重量法和容量法，但在多元素复杂物料测定上有明显的优势。表 1 列示了多种炭载催化剂试样所选择的试样消解和测定方法。

表 1 炭载催化剂样品的消解、测定方法

Tab.1 Methods of digestion and determination results of PGM catalysts supported on carbon

催化剂类型	消解方法	测定方法	含量范围/%	RSD/%	加标回收率/%	文献
Pt/C	盐酸-硝酸	UV-Vis	22	<2	—	12
Pt/C	盐酸-硝酸	AAS	15	<2	99~101	13
Pt/C	灼烧，王水	ICP-AES	0.x-x	<2	99.40~103.06	24
PtPd/C	灼烧，王水	Pt: UV-Vis	2	—	Pt: 95.95~97.70	25
		Pd: 电位滴定	8		Pd: 96.49~97.77	
Pt/C	灼烧，王水	ICP-AES	0.1~0.2	2.31~3.82	95~104	26
Pd/C	高氯酸	ICP-AES	0.4	—	—	14
Pd/C	硝酸-高氯酸，或灼烧后硝酸-盐酸，	ICP-AES	0.3-5	<1	99~101	15
Pd/C	硫酸-硝酸-高氯酸	ICP-AES	0.5	0.026	96.0~100.7	16
Pd/C	硫酸-硝酸-王水	AAS	0.1~0.3	2.47~2.70	98.0~101.3	17
Pd/C	硫酸-硝酸-王水	ICP-AES	0.1~0.3	2.55~2.84	97.0~101.6	18
Pd/C	硫酸-硝酸	UV-Vis	0.5~1	<2	—	19
Pd/C	王水，180℃，密闭	ICP-AES	1.6	<1	99.6~100.5	20
Pd/C	灼烧，逆王水	AAS	0.1~3	1.04~4.83	93~101	27
Pd/C	灼烧，盐酸-硝酸	AAS	0.3	—	—	28
Pd/C	灼烧，盐酸-双氧水	UV-Vis	0.3~5	—	—	22
Pd/C	灼烧，王水	ICP-AES	0.1~5	0.1~0.55	98.19~105.70	23
Pd/C	灼烧，王水	ICP-AES	0.1~6	<1	—	34
Pd/C	灼烧，王水	ICP-AES	0.5~10	<1	97.97~100.94	35
Pd/C	灼烧，焦硫酸钾熔融	络合滴定、UV-vis	5~xx	<1	99.4~100.5	30
Ru/C	盐酸-双氧水，140℃，高压反应釜	UV-Vis	7	1~3	97.5~102.0	21
Ru/C	灼烧，碱熔	ICP-AES	10	1.2	99~104	31
Ru/C	灼烧，碱熔	UV-Vis	2~10	1.02	98.01~101.12	32
Ru/C	灼烧，氢氧化钾碱熔	AAS	4	0.306	96.02	33
Rh/C	灼烧，氢气还原，150℃，密闭	UV-Vis、ICP-AES	1.4	<3	—	29
Rh/C	—	ICP-AES、AAS	—	—	—	36

4 结语

炭载催化剂化学分析的重点是试样的前处理，目前的研究热点仍然主要是以湿法消解或火法灼烧彻底破坏炭两方面。2 种方法各有优劣，但处理周期都较长。如果换一种思维，利用类似树脂吸附溶剂洗脱的方式，将负载的铂族元素解析下来而又不破坏炭，最终达到简便、快捷而准确的目的。在测定方面，采用内标控制，提高 ICP-AES 法测定高量

铂族金属的准确度、精密度，满足对分析结果准确、精密的要求。这些是今后值得探索研究的课题。

参考文献：

[1] 沈善问，马媛，邱红莲，等. GB/T 23518-2009 钌炭[S]. 北京：中国标准出版社，2009.

[2] 沈善问，马媛，邱红莲，等. GB/T 23517-2009 钌炭[S]. 北京：中国标准出版社，2009.

[3] 戴云生，安霓虹，唐春，等. 贵金属载体催化剂的性质、制备和应用[J]. 贵金属，2013，34(s1): 143-149.

- Dai Yunsheng, An Nihong, Tang Chun, et al. The properties, preparation and application of the supported precious metal catalysts[J]. *Precious Metals*, 2013, 34(s1): 143-149.
- [4] 岳冬梅, 沈曾民, 徐瑞清, 等. 新型Rh-Ru双金属催化剂对NBR加氢动力学的研究方法[J]. *合成橡胶工业*, 2002, 25(4): 215-218.
Yue Dongmei, Shen Zengmin, Xu Ruiqing, et al. A method for kinetic studies of catalytic hydrogenation of NBR using new Rh-Ru bimetallic catalyst[J]. *China Synthetic Rubber Industry*, 2002, 25 (4): 215-218.
- [5] 刘时杰. 铂族金属冶金学[M]. 长沙: 中南大学出版社, 2013.
- [6] 刘时杰. 从炭载体废催化剂回收铂钯[J]. *贵金属*, 2014, 35(1): 84-89.
Liu Shijie. Recovery of palladium and platinum from carbon supported waste catalysts[J]. *Precious Metals*, 2014, 35(1): 84-89.
- [7] Rodr Iguz R F. The role of carbon materials in heterogeneous catalysis[J]. *Carbon*, 1998, 36(3): 159-175.
- [8] 张建远, 康保安. Pd/C 催化剂的制备、表征及活性研究[J]. *印染助剂*, 2006, 23(5): 33-36.
Zhang Jianyuan, Kang Baoan. Preparation, characterization and activity study of Pd/C catalyst[J]. *Textile Auxiliaries*, 2006, 23(5): 33-36.
- [9] 马占华, 杜三旺, 刘雪暖, 等. 活性炭负载铑基催化剂的制备条件研究[J]. *化学工程*, 2009, 37(2): 31-34.
Ma Zhanhua, Du Sanwang, Liu Xuenuan, et al. Preparation condition of activated carbon-supported rhodium-based catalyst[J]. *Chemical Engineering(China)*, 2009, 37(2): 31-34.
- [10] 陈伟, 郑允民, 廖卫平, 等. 活性炭负载 $\text{Pt}^{\text{m}}/\text{Au}$ 催化剂的制备与甲醇电催化氧化反应活性[J]. *烟台大学学报: 自然科学与工程版*, 2012, 25(4): 265-268.
Chen Wei, Zheng Yunmin, Liao Weiping, et al. Preparation of activated carbon-supported $\text{Pt}^{\text{m}}/\text{Au}$ catalysts and their electrocatalytic oxidation activities of methanol[J]. *Journal of Yantai University: Natural Science and Engineering Edition*, 2012, 25(4): 265-268.
- [11] 戴云生, 潘再富, 沈善问, 等. Ru/C 催化剂的制备及其在精细化工中的应用[J]. *贵金属*, 2012, 33(1): 84-88.
Dai Yunsheng, Pan Zaifu, Sheng Shanwen, et al. Preparation of Ru/C catalyst and its application in the fine chemical industry[J]. *Precious Metals*. 2012, 33(1): 84-88.
- [12] Balcerzak M, Świącicka E, Balukiewicz E. Determination of platinum and ruthenium in Pt and Pt-Ru catalysts with carbon support by direct and derivative spectrophotometry[J]. *Talanta*, 1999, 48(1): 39-47.
- [13] Scaccia S, Goszczynska B. Sequential determination of platinum, ruthenium, and molybdenum in carbon-supported Pt, PtRu, and PtMo catalysts by atomic absorption spectrometry[J]. *Talanta*, 2004, 63(3): 791-796.
- [14] 臧慕文. ICP-AES 法测定废钯碳催化剂中钯的不确定度的评定[J]. *分析实验室*, 2003, 22(6): 13-17.
Zang Muwen. Evaluation of uncertainty for determination of Pd in palladium carbon catalyst by ICP-AES[J]. *Chinese Journal of Analysis Laboratory*, 2003, 22(6): 13-17.
- [15] 刘伟, 蔡文云, 马媛, 等. 新制和失效钯炭催化剂中钯含量的 ICP-AES 法测定[J]. *贵金属*, 2013, 34(2): 61-63.
Liu Wei, Cai Wenyun, Ma Yuan, et al. Determination of palladium in fresh and spent Pd/C catalyst by ICP-AES[J]. *Precious Metals*, 2013, 34(2): 61-63.
- [16] 王铁, 刘殿丽, 王明刚, 等. 等离子体发射光谱法测定钯炭催化剂中钯含量[J]. *聚酯工业*, 2012, 25(6): 30-32.
Wang Tie, Liu Dianli, Wang Minggang, et al. Determination the Pd content in Pd-C catalyst by ICP emission spectroscopy[J]. *Polyester Industry*, 2012, 25(6): 30-32.
- [17] 肖红新, 岳伟, 庄艾春, 等. 湿法分解-AAS 法测定废钯碳催化剂中的钯[J]. *材料研究与应用*, 2013, 7(3): 202-204.
Xiao Hongxin, Yue Wei, Zhuang Aichun, et al. Determination of the palladium in the waste palladium on carbon catalyst by wet method[J]. *Materials Research and Application*[J]. 2013, 7(3): 201-204.
- [18] 肖红新, 岳伟, 庄艾春, 等. 湿法分解-ICP-AES 测定废钯碳催化剂中的钯[J]. *贵金属*, 2013, 34(s1): 175-177.
Xiao Hongxin, Yue Wei, Zhuang Aichun, et al. Determination of palladium in spent palladium carbon catalyst by ICP-AES[J]. *Precious Metals*, 2013, 34(s1): 175-177.
- [19] 张明凤, 寇志豪, 张云众, 等. Pd-Au/C 催化剂中钯和金的测定[J]. *河南化工*, 2011, 28(1): 56-57.
- [20] 魏小娟, 刘秋香, 谢智平, 等. 电感耦合等离子体原子发射光谱法测定废钯炭催化剂中钯[J]. *冶金分析*, 2014, 34(11): 32-36.
Wei Xiaojuan, Liu Qiuxiang, Xie Zhiping, et al. Determination of palladium in west palladium-carbon catalyst by inductively coupled plasma atomic emission

- spectrometry[J]. Metallurgical Analysis, 2014, 34(11): 32-36.
- [21] 谢峰, 俞秀金, 王榕, 等. 活性炭负载钌系氨合成催化剂中钌含量的分析[J]. 分析测试技术与仪器, 2008, 14(1): 42-45.
- Xie Feng, Yu Xiuqing, Wang Rong, et al. The content analysis of ruthenium on activated carbon-supported ruthenium catalyst for ammonia synthesis[J]. Analysis and Testing Technology and Instruments, 2008, 14(1): 42-45.
- [22] 黄晓维. 废钯炭催化剂分析方法研究[J]. 再生资源与循环经济, 2008, 1(7): 35-37.
- Huang Xiaowei. Study on a analysis method of spent palladium-carbon catalyst[J]. Renewable Resources and Recycling Economy, 2008, 1(7): 35-37.
- [23] 夏军. 原子发射光谱法测定活性炭载体催化剂中的钯含量[J]. 中国高新技术企业, 2013(3): 20-23.
- [24] 李青. 内标控制-ICP-AES 准确测定铂炭催化剂中铂量研究[J]. 光谱实验室, 2014, 31(1): 93-96.
- Li Qing. Determination of platinum in Pt/C catalyst by ICP-AES with internal standard control[J]. Chinese Journal of Spectroscopy Laboratory, 2014, 31(1): 93-96.
- [25] 付慧卿, 王蓓. 碳载体催化剂中铂-钯的分离与定量分析[J]. 化学工业与工程技术, 2002, 23(4): 46-49.
- Fu Huiqing, Wang Pei. Separation and analysis of Pt/Pd on carbon supporter catalyst[J]. Journal of Chemical Industry & Engineering, 2002, 23(4): 46-49.
- [26] 杨红晓, 张林群. ICP-AES 法测定活性炭负载型催化剂中铂、镍的含量[J]. 应用化工, 2010, 39(11): 1778-1779.
- Yang Hongxiao, Zhang Linchun. Analysis Pt, Ni content in active carbon support catalysts by ICP-AES[J]. Applied Chemical Industry, 2010, 39(11): 1778-1779.
- [27] 王仲华, 冷孝利. 火焰原子吸收法测钯/炭催化剂中金属钯的含量[J]. 光谱实验室, 1991, 8(1/2): 1-4.
- [28] 朱良. 钯炭催化剂中钯含量分析方法改进[J]. 山西化工, 2010, 30(2): 47-49.
- Zhu Liang. Improvement of palladium content analysis method in carbon-palladium catalyst[J]. Shanxi Chemical Industry, 2010, 30(2): 47-49.
- [29] 马媛, 甘建壮, 杨晓滔, 等. 铂、钯、铑负载型催化剂样品的几种预处理方法[J]. 光谱实验室, 2014, 31(2): 324-327.
- Ma Yuan, Gan Jianzhuang Yang Xiaotao, et al. The several methods of pretreatment of Pt, Pd and Rh content supported in catalysts medium[J]. Chinese Journal of Spectroscopy Laboratory, 2014, 31(2): 324-327.
- [30] 黄瑶, 沙娇, 徐莲, 等. Pd/C 催化剂及其冶金废料分解和测定的研究[J]. 贵金属, 2014, 35(1): 70-74.
- Huang Yao, Sha Jiao, Xu Lian, et al. Research on dissolution and determination for Pd/C catalyst and its metallurgy waste[J]. Precious Metals, 2014, 35(1): 70-74.
- [31] 刘秋香, 魏小娟, 潘剑明, 等. 电感耦合等离子体原子发射光谱法测定废钯催化剂中钯[J]. 冶金分析, 2012, 32(10): 82-85.
- Liu Qiuxiang, Wei Xiaojuan, Pan Jianming, et al. Determination of ruthenium in waste ruthenium catalyst by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry [J]. Metallurgical Analysis, 2012, 32(10): 82-85.
- [32] 管有祥. 碱熔解-硫脲比色法快速测定钯碳催化剂中的钯[J]. 贵金属, 2010, 31(3): 52-55.
- Guan Youxiang. Rapid determination of ruthenium carbon catalyzer using alkali fusing thiourea colorimetry[J]. Precious Metals, 2010, 31(3): 52-55.
- [33] 袁红伟. 钯碳催化剂分析方法解析[J]. 河北化工, 2010, 33(3): 58-59.
- Yuan Hongwei. Analysis of the ruthenium carbon catalyst analytical method[J]. Hebei Chemical Industry, 2010, 33(3): 58-59.
- [34] 郁凤善, 唐晓, 向磊, 等. GB/T 30014-2013 废钯炭催化剂化学分析方法 钯量的测定 电感耦合等离子体原子发射光谱法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.
- [35] 马媛, 李青, 杨晓滔, 等. YS/T 1072-2015 钯炭化学分析方法 钯量的测定 电感耦合等离子体原子发射光谱法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- [36] 李继霞, 蒋凌云, 李俊, 等. 含铑物料中铑测定方法的研究进展[J]. 贵金属, 2014, 35(4): 88-91.
- Li Jixia, Jiang Lingyun, Li Jun, et al. Progress in rhodium determination method for rhodium-containing materials [J]. Precious Metals, 2014, 35(4): 88-91.
- [37] 朱利亚, 周丽雯, 安中庆. GB/T 15072.4-2008 贵金属合金化学分析方法 钯、银合金中钯量的测定 二甲基乙二醛肟重量法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [38] 金娅秋, 朱利亚, 沈善问, 等. GB/T 23276-2009 钯化合物分析方法 钯量的测定 二乙基乙二醛肟析出-EDTA 络合滴定法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [39] 朱利亚. YS/T 372.3-2006 贵金属合金元素分析方法 钯量的测定 丁二肟析出 EDTA 络合滴定法[S]. 北京: 标准出版社, 2006.
- [40] 李振亚. 双波长分光光度法同时测定含铑、金、硒、碲冶金物料中铂、钯的研究[J]. 冶金分析, 1993, 13(6): 25-28.

Li Zhenya. Dual-wavelength spectrophotometric method for simultaneous determination of platinum and palladium in the presence of selenium, tellurium, gold and rhodium[J]. Metallurgical Analysis, 1993, 13 (6): 25-28.

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: 标准出版社, 2009.

[42] 董守安. 现代贵金属分析[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007: 284-311.

[41] 马媛, 李振亚, 方卫, 等. GB/T 23277-2009 贵金属催

《贵金属》征订启事

《贵金属》季刊, 大 16 开, 每期约 90 页, 每期 15 元, 全年 60 元, 海外订户全年 40 美元 (均含邮费)。可按以下 2 种方式订阅 (详见《贵金属》编辑部网站“公告通知”及“联系我们”栏目):

- 银行汇款: 开户银行: 云南省工行营业部; 户名: 昆明贵金属研究所; 账号: 2502 0103 0902 0106 938。
- 邮局汇款: 650106, 昆明市高新技术开发区科技路 988 号 贵金属编辑部 (收)

欢迎国内外相关专业的专家、学者、科研人员、大专院校师生以及科研院所和企业单位赐稿、订阅。

《贵金属》订阅回执 (此表长期有效, 可复制或自行编制)

年份	单价/(元/本)	全年 4 期价格/元	联系人	
现刊订阅	15.00	60.00	电话 (手机)	
2010-	15.00	60.00	E-mail	
1980~2009	25.00	100.00	邮政地址/邮编	
增刊	200.00		汇款金额	
		订刊内容: _____年____期~____期	汇款方式: 银行 ☐ /邮局 ☐	

联系电话/传真: 0871-68328632

投稿/联系邮箱: bjba@ipm.com.cn 或 gjsz@chinajournal.net.cn

《贵金属》编辑部网站: <http://www.j-preciousmetals.com> 或 <http://journal.ipm.com.cn>