

原子吸收光谱法及其应用

李 雯, 杜秀月

(中国科学院青海盐湖研究所, 青海 西宁 810008)

摘要: 综述了原子吸收光谱法的原理、测定技术、特点、联用、进展及其在各个领域中的应用。

关键词: 原子吸收; 光谱法; 原子化; 电热原子吸收光谱法

中图分类号: O657.31 文献标识码: A 文章编号: 1008-858X(2003)04-0067-06

原子吸收光谱法自 1955 年作为一种分析方法问世以来, 先后经历了初始的序幕期、爆发性的成长期、相对的稳定期和智能化飞跃期这 4 个不同的发展时期, 由此原子吸收光谱法得以迅速的发展与普及, 如今已成为一种倍受人们青睐的定量分析方法。作者针对其原理、测定技术、特点、联用、应用及其进展进行综述。

1 原子吸收光谱法之原子化法

原子吸收光谱法作为分析化学领域应用最为广泛的定量分析方法之一, 是测量物质所产生的蒸气中原子对电磁辐射的吸收强度的一种仪器分析方法。原子吸收光谱仪是由光源、原子化系统、光学系统、检测系统和显示装置五大部分组成的, 其中原子化系统在整个装置中具有至关重要的作用, 原子化效率的高低直接影响到测量的准确度和灵敏度。无论是传统的原子化法, 还是近些年才有的原子化法, 都为不同元素的测定提供了较为高效的原子化方式, 以下将对不同的原子化法分别讨论。

1.1 火焰原子化法

适用于测定易原子化的元素, 是原子吸收光谱法应用最为普遍的一种, 对大多数元素有

较高的灵敏度和检测极限, 且重现性好, 易于操作^[1]。

1.2 石墨炉原子化法

火焰原子化虽好, 但缺点在于仅有 10% 的试液被原子化, 而 90% 由废液管排出, 这样低的原子化效率成为提高灵敏度的主要障碍, 而石墨炉原子化装置可提高原子化效率, 使灵敏度提高 10 ~ 200 倍。该法一种是利用热解作用, 使金属氧化物解离, 它适用于有色金属、碱土金属^[2-3]; 另一种是利用较强的碳还原气氛使一些金属氧化物被还原成自由原子, 它主要针对于易氧化难解离的碱金属及一些过渡元素。另外, 石墨炉原子化又有平台原子化和探针原子化两种进样技术, 用样量都在几个微升到几十微升之间, 尤其是对某些元素测定的灵敏度和检测限有极为显著的改善^[4]。

1.3 氢化物原子化法

对某些易形成氢化物的元素, 如 Sb、As、Bi、Pb、Se、Te、Hg 和 Sn 用火焰原子化法测定时灵敏度很低, 若采用在酸性介质中用硼氢化钠处理得到氢化物, 可将检测限降低至 ng/mL 级的浓度^[7-9]。

收稿日期: 2002-05-13

作者简介: 李雯(1979-), 女, 硕士, 研究生。

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

1.4 其它原子化法

金属器皿原子化法, 针对挥发元素, 操作方便, 易于掌握, 但抗干扰能力差, 测定误差较大, 耗气量较大; 粉末燃烧法, 测定 Hg、Bi 等元素时, 此法灵敏度高于普通火焰法; 溅射原子化法, 适用于易生成难溶化合物的元素和放射性元素; 电极放电原子化法, 适用于难熔氧化物的金属 Al、Ti、Mo、W 的测定; 等离子体原子化法, 适用于难熔金属 Al、Y、Ti、V、Nb、Re; 激光原子化法, 适用于任何形式的固体材料, 比如测定石墨中的 Ca、Ag、Cu、Li; 闪光原子化法, 是一种用高温炉和高频感应加热炉的方法。

2 原子吸收光谱法之测定技术

原子吸收光谱仪的操作十分简便, 对于不同的元素都已有特定的阴极灯、波长范围、狭缝宽度、灯电流值等配合测定。若想测定达到较高的数量级或提高检测质量, 其关键还在于样品的预处理和进样技术。

2.1 样品预处理

样品预处理的恰当与否直接决定了测量的灵敏度, 它主要包括样品的溶解、分离及富集两步。对于液体样品的溶解, 无机样可直接用水稀释至合适的浓度范围, 有机样可用甲基异丁酮或石油醚稀释降低其粘度; 对于固体样品通常采用酸溶法, 极少情况也用碱溶法, 但其溶速较慢, 且常会引入无机离子污染。样品的分离与富集主要分为萃取法、螯合萃取、离子缔合物萃取和离子交换法^[10-12]。另外, 值得一提的是, 目前在环境、生物、食品研究中广泛应用的预处理方法有: 干法灰化、常压湿法消化^[13]、微波消解^[14]和脉冲悬浮法^[15-17], 其中微波消解技术方便快捷、节约试剂、污染少、样品溶解完全, 故最为常用。

2.2 进样技术

原子吸收光谱法中样品的导入技术主要有 3 种: 1. 脉冲进样, 适用于取样量少的样品分析和高盐分样品分析, 如测定小鼠血清中的锌含

量^[18]; 2. 原子捕集技术, 可提高原子吸收光谱法的灵敏度, 因为其可使待测元素在火焰中停留时间较长, 如无铅汽油中铅含量的测定^[19]、中草药中 Cu 的测定^[20]; 3. 流动注射, 该技术在保持精密度的前提下, 提高分析速度, 通过对流动注射系统的分散度的控制和连续富集可改变其分析灵敏度, 如测定痕量铜^[21]、测药物制剂中托普利^[22]、测定微量 Hg^[23]。

3 原子吸收光谱法的优缺点

原子吸收光谱法, 选择性强, 因其原子吸收的谱线仅发生在主线系, 且谱线很窄, 所以光谱干扰小、选择性强、测定快速简便、灵敏度高, 在常规分析中大多元素能达到 10^{-6} 级, 若采用萃取法、离子交换法或其它富集方法还可进行 10^{-9} 级的测定。分析范围广, 目前可测定元素多达 73 种, 既可测定低含量或主量元素, 又可测定微量、痕量、甚至超痕量元素; 既可测定金属类金属元素, 又可间接测定某些非金属元素和有机物; 既可测定液态样品, 又可测定气态或某些固态样品。抗干扰能力强, 原子吸收光谱法谱线的强度受温度影响较小, 且无需测定相对背景的信号强度, 不必激发, 故化学干扰也少很多。精密度高, 常规低含量测定时, 精密度为 1%~3%, 若采用自动进样技术或高精度测量方法, 其相对偏差小于 1%。

当然原子吸收光谱法也有其局限性, 它不能对多元素同时分析, 对难溶元素的测定灵敏度也不十分令人满意, 对共振谱线处于真空紫外区的元素, 如 P、S 等还无法测定。另外, 标准工作曲线的线性范围窄, 给实际工作带来不便, 对于某些复杂样品的分析, 还需要进一步消除干扰。

4 原子吸收光谱法的应用

4.1 在理论研究方面的应用

原子吸收可作为物理或物理化学的一种实验手段, 对物质的一些基本性能进行测定和研究, 另外也可研究金属元素在不同化合物中的不同形态。

4.2 在元素分析方面的应用

原子吸收光谱法凭借其本身的特点, 现已广泛的应用于工业、农业、生化制药、地质、冶金、食品检验和环保等领域。该法已成为金属元素分析的最有力手段之一。而且在许多领域已作为标准分析方法, 如化学工业中的水泥分析、玻璃分析、石油分析、电镀液分析、食盐电解液中杂质分析、煤灰分析及聚合物中无机元素分析; 农业中的植物分析、肥料分析、饲料分析; 生化和药物学中的体液成分分析、内脏及试样

分析、药物分析; 冶金中的钢铁分析、合金分析; 地球化学中的水质分析、大气污染物分析、土壤分析、岩石矿物分析; 食品中微量元素分析。

4.3 在有机物分析方面的应用

使用原子吸收光谱仪利用间接法可以测定多种有机物, 如 8-羟基喹啉 (Cu)、醇类 (Cr)、酯类 (Fe)、氨基酸 (Cu)、维生素 C (Ni)、含卤素的有机物 (Ag) 等多种有机物, 都可通过与相应的金属元素之间的化学计量反应而间接测定。具体实例如下表 1。

表 1 原子吸收光谱法的应用

Table 1 Application of atomic absorption spectrometry

应用范围	实	例
冶金	铅钙锡铝合金钙和锡测定 ^[24] 分 ^[27] 铅锡合金中的铅含量 ^[28] 钙 ^[31] 测量痕量金 ^[32] 高纯铅中砷 ^[33]	粗杂铜中铈 ^[25] 铝合金中各微量元素 ^[26] 钢铁中的微量成 重晶石中锌铜铁 ^[30] 铅钙合金中
化工	高纯碳酸钡中的四种微量元素 ^[34] 中高含量镍 ^[37] 氧化铝中杂质元素 ^[38]	工业氟硅酸中铜 ^[35] 造币镀液中微量铜的测定 ^[36] 催化剂 氧化铝中微量 Cr_2O_3 ^[39] 调和汽油中铅 ^[40] 间接测定
环保、水质	水中痕量铜(II) ^[2] 空气中痕量铁 ^[3] 土壤中的 Cr ^[6] 水中痕量 Cr 和 Cu ^[47] 水中痕量元素 ^[48] 水中痕量银 ^[49] 水中超痕量 铜 ^[50] 测定大气中飘尘 ^[51]	润滑油中锌铅 ^[42] 高纯镍中痕量杂质砷 ^[43] 污泥中铜锌铅镉镍 ^[44] 有机残液中的 镉 ^[41] 空气中的锡 ^[46] 水中痕量 Cr 和 Cu ^[47] 水中痕量元素 ^[48] 水中痕量银 ^[49] 水中超痕量 铜 ^[50] 测定大气中飘尘 ^[51]
食品检验	芝麻中铜铁锰锌 ^[4] 食盐中的铅 ^[19] 罐头中的痕量锡 ^[20] 食用 L-赖氨酸盐酸盐中的锌和 铁 ^[52] 食品中的碘 ^[53] 白酒中微量铅 ^[54] 木耳中钾铜锌 ^[55] 茶叶中的铅 ^[56] 酱油中的砷 ^[57]	
生化制药	化妆品中铅砷汞 ^[5] 高锌天麻中锌含量 ^[7] 中草药中微量铜 ^[12] 芦荟中的微量元素 ^[38] 中药 材中的铅 ^[59] 药物中的锰形态 ^[60] 生物样品中微量锆 ^[61] 麻黄素浸膏中的 12 种元素 ^[62]	
临床医学	人体指甲中微量镉 ^[16] 尿样中痕量锰 ^[18] 人发中钾和锌 ^[63] 人发中微量元素 ^[64] 血清中 硒 ^[65] 血清中的镉 ^[66] 同时测定血清中锰和硒 ^[67] 直接同时测定尿样中的四种元素 ^[68]	

5 原子吸收光谱法的联用

分析化学中常采用不同分析手段的结合或联用技术, 来提高分析灵敏度和检出限, 若电化学与火焰原子吸收法联用^[69] 特征浓度大为降低, 测定的灵敏度提高了 2 个数量级以上, 又如电沉积技术与原子吸收光谱法联用被广泛应用于重金属的检测^[70]。火焰原子吸收联用也已成为有机金属化合物形态分析的重要方法^[71], 它可同时对原子和离子检测, 实现了痕量有机金属化合物及其共存有机化合物的高灵敏同步

测定^[72]。殷学峰等人^[73] 采用因子分析法和氢化物发生原子吸收法对砷的 4 种化学形态进行研究, 由于 As(III), As(V), 一甲基砷, 二甲基砷在环境水样中毒性不同, 以前用色谱分离和原子光谱法联机测定, 受制于色谱分离时的稀释作用, 检测下限较高, 在实用中受到限制, 而本法操作简便, 无需前处理, 灵敏度较高, 有较好的定性和定量能力。近些年, 国外的科研人员仍在不断地尝试将一些特殊的分离与富集方法和进样方法与原子吸收光谱法联用, 从而解决了许多研究上的难题。比如, 有人^[74] 将不同类型的等离子体与光谱学的发热放电相结合用于

化学计量学的研究和基础研究,同时,对于物种形成过程的研究也有了明显的增多;有人利用微柱预富集原子吸收光谱法测定痕量元素和矩阵元素^[75];Gasper, Attlia^[76]等人提出用低压喷射样品柱注射火焰原子吸收光谱法测定银镉汞铅硒和锌六种元素,所得结果相对偏差极小,可作为水质标准和污染度量的元素分析方法;有人将电热原子吸收光谱法(ETAAS)直接原子化固体样品用于测定钢铁中的痕量元素^[77];有人在溶液反萃取的萃取过程中利用电热原子吸收光谱法以自动连续注射法测定镉^[78],其检出限达到 2.7ng/L,相对偏差也由直接萃取的 3.2%降至 1.8%;有人用湿法微波消解—流动注射原子吸收光谱法测海鲜中的汞含量^[79];有人用萃取—预富集—电热原子吸收光谱法测定酒中的铊元素^[80]。以上这些实例都体现了原子吸收光谱法与其他不同方法联用后的实用与高效。

6 原子吸收光谱法的发展趋势

首先,近年来科研人员致力于研究激光在原子吸收分析方面的应用。用可调谐激光代替空心阴极灯光源,或者用激光使样品原子化,这将为微区和薄膜分析提供新手段,为难熔元素的原子化提供新方法;其次,使用电视型光电器件做多元分析鉴定器,结合中阶梯光栅单电器和可调谐激光器光源,可设计出用电子计算机控制的测定多元素的原子吸收光谱仪;再次,高效分离技术 GC、LC 的引入,使原子吸收在痕量、超痕量范围内的测定有了更大的应用空间。总之,原子吸收光谱法将在各领域中得到更广泛的应用。

参考文献:

[1] 朱明华. 仪器分析(第二版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 1993.
 [2] 李立, 胡勇平. 石墨炉原子吸收光谱法测定人体指甲中的痕量镉[J]. 理化检验, 2002, 38(5): 234.
 [3] 胡勇平. 石墨炉原子吸收光谱法测定痕量镉的机体改进效应研究及其应用[J]. 理化检验, 2001, 37(6): 266.
 [4] 鲁丹, 姜建民. 石墨炉原子吸收光谱法直接测定尿中痕量镉[J]. 理化检验, 2001, 37(8): 372.
 [5] 黄树梁, 王海荣. 石墨炉原子吸收光谱法测定食盐中的

铅[J]. 理化检验, 2001, 37(11): 522.

[6] 王新省, 龙志成, 等. 钨丝探针电解预富集—石墨炉原子吸收法测定罐头中的痕量锡[J]. 分析化学, 2002, 30(10): 1214.
 [7] 韩国斌. 氢化物—原子吸收光谱法测定电解铅中镉[J]. 理化检验, 2002, 38(2): 96.
 [8] Zhang Guang—Yu, Wang, Yan—Hong, Wang, Jian—Jun. Continuous determination of Cu, Cr, Co, Ni, Pb and Cd in geochemical exploration samples by HG—AAS[J]. Guangpu Xue Yu Guangpu Fenxi, 22(3), 487—490.
 [9] 鲁丹, 张文娟. 原子吸收氢化物法直接测定加碘食盐中碘[J]. 理化检验, 1999, 35(3): 135.
 [10] 叶世源. DDTc—Cd 萃取分离火焰原子吸收光谱法测定电镉中微量铅[J]. 理化检验, 2001, 37(1): 44.
 [11] 李斌, 崔慧. 壳聚糖富集火焰原子吸收光谱法测定水中痕量铜(II)[J]. 理化检验, 2001, 37(6): 253.
 [12] 杨祥, 陈飞, 等. 析相萃取火焰原子吸收光谱法测定水样中痕量铁[J]. 理化检验, 2002, 38(7): 355.
 [13] 袁惠娟, 张皓宇, 常海涛. 火焰原子吸收光谱法测定芝麻中铜铁锰锌消化方法比较[J]. 理化检验, 2001, 37(3): 137.
 [14] 朱永芳. 微波消解法测定化妆品中铅砷汞[J]. 理化检验, 2002, 38(6): 305.
 [15] 周享春, 黄春华, 吴爱斌. 脉冲悬浮进样火焰原子吸收光谱法直接测定土壤中铬[J]. 理化检验, 2001, 37(3): 97.
 [16] 涂五二, 何友昭, 孙莉. 悬浮液进样火焰原子吸收光谱法测定高锌天麻中锌[J]. 理化检验, 2001, 37(1): 45.
 [17] 刘立行, 祝黎明. 悬浮液进样—火焰原子吸收光谱法测定聚乙烯中铜锡[J]. 分析化学, 2002, 30(7): 819.
 [18] 韩长城, 康维钧, 等. 微量脉冲进样导数火焰原子吸收法测定小鼠血清锌含量[J]. 河北医科大学学报, 1999, 20(3): 89.
 [19] 周标, 孔繁勇. 原子捕获火焰原子吸收光谱法测定无铅汽油中铅[J]. 理化检验, 2002, 38(10): 504.
 [20] 杨莉丽, 张艳欣, 高英. 导数—原子捕获—火焰原子吸收光谱法测定中草药中的微量铜[J]. 分析化学, 2002, 30(9): 1143.
 [21] 刘劲松, 陈恒戊, 毛雪琴. 流动注射在线阴离子树脂预富集火焰原子吸收测定痕量铜[J]. 分析化学, 1998, 26(11): 1369.
 [22] 李亚荣, 郎惠云, 谭峰. 流动注射在线过滤稀释原子吸收法测定药物制剂中托普利[J]. 分析化学, 2002, 30(2): 165.
 [23] 谢文兵, 王畅, 等. 流动注射石英管原子吸收法测定微量总汞[J]. 分析化学, 2001, 30(12): 1466.
 [24] 杜颂如. 原子吸收光谱法同时测定铅钙锡铝合金中钙和锡[J]. 理化检验, 2002, 38(10): 521.
 [25] 刘传仕. 火焰原子吸收光谱法测定粗杂铜中镉[J]. 理化检验, 2003, 38(9): 473.

- [26] 刘忠雅. 火焰原子吸收光谱法测定铝合金中铜镁锰镍铁锌[J]. 理化检验, 2002, 38(8): 413.
- [27] 杨强, 袁明康, 等. 原子吸收光谱法测定拉伸断口铬镍钛钢样中主成分[J]. 理化检验, 2002, 38(2): 76.
- [28] 陈斌. 火焰原子吸收光谱法测定铅锡合金中铅[J]. 理化检验, 2002, 38(5): 259.
- [29] 阮桂色. 火焰原子吸收光谱法测定锌精矿中微量氧化钙[J]. 理化检验, 2002, 38(8): 410.
- [30] 邓汉金, 廖庆文. 火焰原子吸收光谱法测定重晶石中锌铜铁[J]. 理化检验, 2001, 37(1): 19.
- [31] 袁齐. 火焰原子吸收光谱法测定铅钙母合金中钙[J]. 理化检验, 2001, 37(9): 401.
- [32] 叶明德, 薛杏勇. 在线流动注射 Ni923 萃淋树脂预富集火焰原子吸收法测定痕量金[J]. 光谱学与光谱分析, 2003, 23(1): 78.
- [33] 宋顶海, 刘兴宏. 氢化物发生—电加热原子吸收法测定高纯铅中砷[J]. 理化检验, 2001, 37(10): 476.
- [34] 张嫦. 火焰原子吸收法测定高纯碳酸钡中钠镁钙锶[J]. 理化检验, 1999, 35(12): 572.
- [35] 郭扬武, 傅祖玲. 原子吸收光度法测定工业氟硅酸中铜含量[J]. 理化检验, 2002, 38(1): 46.
- [36] 梅祖明, 陆琴. 火焰原子吸收法测定造币镀液中的微量铜[J]. 理化检验, 1999, 35(11): 518.
- [37] 齐柳, 桃丽株. 原子吸收光谱法测定催化剂中高含量镍[J]. 理化检验, 2002, 38(3): 149.
- [38] 蒋炜, 任风莲, 秦文忠. 火焰原子吸收光谱法测定氧化铝中杂质元素[J]. 理化检验, 2002, 38(6): 306.
- [39] 李成, 于萧. 火焰原子吸收光谱法测定氧化铝中微量氧化铬[J]. 理化检验, 2001, 37(1): 43.
- [40] 许海玉, 周睿霞. 火焰原子吸收光谱法测定调和汽油中铅[J]. 理化检验, 2001, 37(8): 377.
- [41] 宋桂兰, 刘玉亭, 等. 原子吸收法间接测定微量锆[J]. 分析化学, 1999, 27(8): 989.
- [42] 刘立行, 马学良, 等. 乳化液进样—火焰原子吸收光谱法测定润滑油中锌铅[J]. 理化检验, 2001, 37(5): 220.
- [43] 景逵, 郭兴家. 石墨炉原子吸收光谱法测定高纯中痕量杂质砷[J]. 理化检验, 2002, 38(10): 616.
- [44] 董仁杰. 火焰原子吸收光谱法测定污泥中铜锌铅镉镍[J]. 理化检验, 2002, 38(10): 500.
- [45] 韩梅, 程舫, 等. 火焰原子吸收光谱法测定有机残液中的铈[J]. 光谱学与光谱分析, 2003, 23(1): 87.
- [46] 陆莹, 王志伟. 硝酸铜作基体改进剂微孔滤膜采样石墨炉原子吸收光谱法测定环境空气中的铈[J]. 分析化学, 2002, 30(3): 379.
- [47] 张秀尧. 在线流动注射螯和树脂预富集石英纤维增敏火焰原子吸收法测定水中痕量镉和铜[J]. 理化检验, 2001, 37(1): 5.
- [48] 王稍, 孙汉文. 导数原子吸收光谱法测定水中痕量元素[J]. 理化检验, 2001, 37(1): 27.
- [49] 李德华, 卢华, 等. 火焰原子吸收光谱法测定水中痕量银[J]. 理化检验, 2001, 37(9): 468.
- [50] 司志远, 胡海帆, 等. 萃取色层富集原子吸收光谱法测定环境水样中痕量铜[J]. 理化检验, 1999, 35(3): 99.
- [51] 张永福, 吴忠军, 等. 火焰原子吸收法测定大气飘尘中痕量铅铜锰铁钙镁[J]. 理化检验, 1999, 35(10): 449.
- [52] 陕方, 边俊生. 原子吸收法直接测定食用 L-赖氨酸盐酸盐中锌和铁[J]. 分析化学, 2002, 30(2): 251.
- [53] 孙孝祥, 修长泽, 孙秀云. 火焰原子吸收光谱法间接测定食品中碘[J]. 理化检验, 2001, 37(11): 521.
- [54] 封静余, 袁惠娟. 黄原胶棉富集—火焰原子吸收光谱法白酒中微量铅[J]. 理化检验, 2001, 37(3): 107.
- [55] 刘立行, 沈春玉. 非完全消化悬浮液进样火焰原子吸收光谱法测定木耳中铜钾锌[J]. 理化检验, 2001, 37(12): 563.
- [56] 丁建森, 李建, 等. 微波消解石墨炉原子吸收光谱法测定茶叶中铅[J]. 理化检验, 2001, 37(12): 570.
- [57] 张艾华, 张丽萍, 等. 流动注射氢化物发生原子吸收光谱法测定酱油中砷[J]. 理化检验, 2002, 38(10): 509.
- [58] 谢立群. 火焰原子吸收光谱法测定芦荟中锰铁铜锌镍钴[J]. 分析化学, 2001, 29(4): 489.
- [59] 魏巍, 屈凌波, 等. 巯基棉分离富集—火焰原子吸收光谱法测定中药材中的铅[J]. 光谱学与光谱分析, 2003, 23(1): 84.
- [60] 李顺兴, 邓南圣. 火焰原子吸收法分析中药中锰的形态[J]. 分析化学, 2002, 30(7): 890.
- [61] 鲍长利, 等. 石墨炉原子吸收光谱法测定生物样品中微量锆[J]. 理化检验, 2001, 37(12): 536.
- [62] 易新萍, 陈冬芸, 等. 微波溶解—原子吸收光谱法测定麻黄素浸膏粉中的 12 种元素[J]. 光谱学与光谱分析, 2003, 23(1): 81.
- [63] 刘立行, 王毅, 马学良. 非完全消化—火焰原子吸收光谱法测定人发中的钾和锶[J]. 分析化学, 2001, 29(3): 305.
- [64] 王晓梅. 火焰原子吸收光谱法测定人发中微量元素的前处理方法研究[J]. 理化检验, 2002, 38(6): 297.
- [65] 仇佩虹, 张华杰. 流动注射氢化物发生电加热石英管原子吸收光谱法测定血清中硒[J]. 理化检验, 2001, 37(5): 209.
- [66] 周健, 窦红漫, 孙昕. 塞曼效应石墨炉原子吸收法测定骨肿瘤患者血清中铬[J]. 理化检验, 1999, 35(5): 202.
- [67] Correia Paulo R. M. de Oliveira, Elisabeth Simultaneous determination of manganese and selenium in serum by electrothermal atomic absorption spectrometry[J]. Talanta, 2001, 57(3): 527.
- [68] Ting-Wan Lin, Shang-Da Huang. Direct and Simultaneous Determination of Copper, Chromium, Aluminum, and Manganese in urine with a multielement Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometer[J]. Anal. Chem., 2001, 73(17): 4319-4325.
- [69] 刘文涵, 唐浩东, 等. 电化学—火焰原子吸收光谱法联用测定铜[J]. 分析化学, 2000, 28(5): 649.

- [70] 陈进生, 马光正. 电沉积技术—原子吸收光谱法测定重金属[J]. 分析化学, 1982, 10(11): 646.
- [71] 胡广林, 王小如. 等. 气相色谱/原子吸收联用测定有机金属化合物的形态[J]. 分析科学学报, 1998, 14(2): 170.
- [72] 阎正, 崔新玲, 陈进成. 毛细管气相色谱/原子吸收联用技术中卧管式微火焰原子化离子化同步检测性能的改进和自动控温零死体积传输线的研制[J]. 分析化学, 2002, 30(12): 1521.
- [73] 殷学峰, 徐光明, 谷雪, 等. 因子分析—氯化物发生原子吸收光谱法分析砷的形态分析化学[J]. 1999, 27(7): 798.
- [74] Evans E. Hyad, Dawson John B. Advances in atomic emission, absorption and fluorescence spectrometry and related techniques[J]. Journal of Analytical Atomic Spectrometry, 2001, 17(6): 622.
- [75] Hirata Shizuko. On-line column preconcentration for atomic spectrometry[J]. Recent Research Developments in Analytical Chemistry, 2002, 1: 121.
- [76] Gaspar Attila, Berndt Harald. Beam-injection flame-furnace atomic-absorption spectrometry (BIFF-AAS) with low-pressure sample-jet generation[J]. Analytical and Bioanalytical Chemistry, 2002, 372(5-6): 695-699.
- [77] Takada Kunio, Hirokawa Kichinosuke. Determination of Pb, Ag, Cu and Mn in steel by electrothermal-atomic absorption spectrometry with direct atomization of a solid sample [SI] [J]. International, 2001, 42, 122-128.
- [78] Wany Jianhua, Hansen Elo Harald. Development of an automated sequential injection on-line solvent extraction-back extraction procedure as demonstrated for the determination of cadmium with detection by electrothermal atomic absorption spectrometry[J]. Analytical Chimica Acta, 2002, 456(2): 283.
- [79] Julshann Kaare, Brenna Jan. Determination of mercury in seafood by flow injection-cold vapor atomic absorption spectrometry after microwave digestion; NMKL interlaboratory study[J]. Journal of AOAC International, 2002, 85(3): 626.
- [80] Cvetkovic Julijana, Arpadjan Sonja. Determination of thallium in wine by electrothermal atomic absorption spectrometry after extraction preconcentration[J]. Spectrochimica Acta, Part. B: Atomic Spectroscopy, 2002, 57B(6): 1101.

The Application and Development of Atomic Absorption Spectrometry

LI Wen, DU Xiu-yue

(Qinghai Institute of Salt Lakes, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, China)

Abstract: A review of atomic absorption spectrometry was presented, covering its principles, techniques of determination, characteristics, on-line applications, as well as its developments and applications in various fields.

Key words: Atomic absorption; Spectrometry; Atomization; Electrothermal atomic absorption spectrometry (ETAAS)