

原子荧光光谱技术在我国发展及 标准化应用现状

冯先进^{1,2} 章连香²

(1. 北矿检测技术有限公司, 北京 102628;
2. 矿冶科技集团有限公司, 北京 100160)

摘 要 简单介绍了原子荧光光谱技术的建立及其在国内的发展历程,重点介绍了蒸气发生-原子荧光光谱(VG-AFS)仪在我国的技术研究、仪器研制及应用;详细总结了蒸气发生-原子荧光光谱(VG-AFS)法在我国标准化方面的研究。我国在多通道原子荧光光谱仪、原子荧光形态分析仪等关键技术及其应用等方面取得了开创性的研究成果,并形成了一系列标准。未来,原子荧光光谱仪将进一步解决光谱干扰、测定元素的局限等问题,向着仪器的智能化方向发展。

关键词 原子荧光光谱;蒸气发生;形态分析;标准

中图分类号:O657.31 TH744.16 **文献标志码**:A **文章编号**:2095-1035(2022)02-0016-10

Development and Standardization of Atomic Fluorescence Spectrometry in China

FENG Xianjin^{1,2}, ZHANG Lianxiang²

(1. BGRIMM MTC Technology Co., Ltd., Beijing 102628, China; 2. BGRIMM Technology Group, Beijing 100160, China)

Abstract The establishment of atomic fluorescence spectrometry and its development in China are briefly introduced. This paper focuses on the technical research, instrument development, application of vapor generation atomic fluorescence spectrometry (VG-AFS) in China, the standardization study of VG-AFS in China is summarized in detail. Pioneering research achievements in key technologies and applications such as multi-channel atomic fluorescence spectrometer and atomic fluorescence speciation analyzer were achieved in China, and a series of standards were formed. In the future, atomic fluorescence spectrologists will further solve the problems of spectral interference and the limitation of the determination of elements, and develop towards the direction of intelligent instrument.

Keywords atomic fluorescence spectrometry; vapor generation; morphological analysis; standard

从国外科学家提出原子荧光现象将用于分析的
预言,至今,原子荧光光谱技术已经经历了近 60 年

的发展。国外学者在 20 世纪 90 年代之前,对原子
荧光技术和仪器进行了很多研究,但最终没得到广

收稿日期:2021-12-27 修回日期:2022-01-09

基金项目:国家重点研发计划国家质量基础设施体系专项项目(2021YFF0602602)

作者简介:冯先进,男,正高级工程师,主要从事原子光谱及 ICP 质谱仪器技术研究、应用及标准化研究。E-mail:fxj0018@126.com

引用格式:冯先进,章连香. 原子荧光光谱技术在我国发展及标准化应用现状[J]. 中国无机分析化学, 2022, 12(2): 16-25.
FENG Xianjin, ZHANG Lianxiang. Development and Standardization of Atomic Fluorescence Spectrometry in China[J].
Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry, 2022, 12(2): 16-25.

泛应用。我国科技工作者从20世纪70年代末至今对原子荧光光谱技术研究的脚步从未停止,并且成绩斐然。尤其蒸气发生-原子荧光光谱(VG-AFS)是我国具有自主知识产权的分析仪器。从仪器的研发、分析技术的研究到标准化及推广应用,均处于国际领先水平。VG-AFS仪器经过40年的发展,在仪

器的激发光源、原子化器、氢化反应系统等关键部件都有了较大的提升,如图1所示。多通道原子荧光光谱仪、高效液相色谱-原子荧光形态分析仪等仪器的开发应用,取得了开创性的研究成果^[1-4],也发表了很多与人类生命健康和环境保护相关的优秀成果^[5-6]。

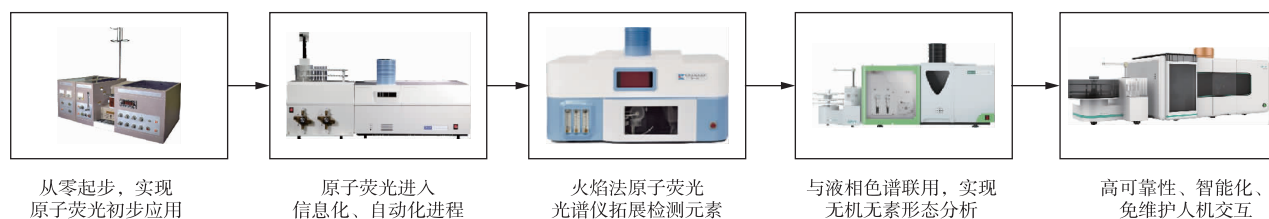


图1 原子荧光光谱仪的发展

Figure 1 Development of atomic fluorescence spectrometers.

1 原子荧光光谱技术的建立

1859年Kirchhoff研究太阳光谱时,发现了原子荧光现象。1905年,WOOD等^[7]成功地激发了Na原子共振荧光D线,1912年用石英汞弧灯辐照Hg蒸气观察到了Hg 253.7 nm荧光发射。NICHOLS与HOWES^[8]在1923年报道了Ca、Sr、Ba、Li、Na的火焰原子荧光。MITCHLL和ZEMANSKY在1934年对早期原子荧光研究进行了概括总结。直到1961年ROBINSON^[9]用空心阴极灯激发出镁的原子荧光。1962年Alkemade在第十届国际光谱会议上,预言了原子荧光现象应用于分析的可能性。1964年WINEFORDNER等^[10]发表了原子荧光光谱用作化学分析的第一篇论文,并采用原子荧光光谱法测定了汞、锌、镉,从此开创了火焰原子荧光光谱分析方法。

2 原子荧光光谱仪器及技术在国的发展

虽然国外专家提出了原子荧光光谱技术,但该技术在国外并没有得到很好的发展。相反,我国原子荧光光谱工作者投入了极大热情和心血,该技术在我国得到很好的发展,无论在原子荧光谱仪器研发还是应用研究及标准化方面都取得了很大的成就。原子荧光仪器在我国最早推出的是冷原子荧光测汞仪,到早期的火焰-非色散原子荧光光谱仪,再到后来VG-AFS仪器的推出和逐步完善,使得原子荧光光谱技术在我国得到了广泛的应用和推广。目前VG-AFS仪器已推出最多4通道的仪器,可同时测定4种元素。最近,在国家

重大仪器开发专项的支持下完成了新型原子荧光光谱仪器的开发,目前还没有广泛应用。

1975年,杜文虎^[11]首次发表学术论文向国内学者介绍原子荧光光度法的基本原理、仪器设备及应用。并采用低压汞灯作激发光源,光电倍增管进行检测,研制成功“冷原子荧光测汞仪”,解决了土壤和粮食等领域痕量汞的分析问题^[12-13]。

1977年,中科院上海冶金研究所和上海机械制造工艺研究所合作研制了氮隔离空气-乙炔火焰法“非色散原子荧光光谱仪”。用于铸铁、合金中Zn、Cd、Mg、Co、Ni、Fe和Mn的测定^[14],由于该技术与原子吸收光谱比,没有任何优势,因此未能获得广泛应用。

1978年,西北有色地质研究所郭小伟等研制成功溴化物无极放电灯作原子荧光光谱仪激发光源,成功解决了国外碘化物无极放电灯碘对铋的干扰,从而为VG-AFS的发展奠定了基础。1979年,郭小伟等^[15]研制成功氢化物-原子荧光光谱(HG-AFS)仪,采用溴化物无极放电灯作激发光源,氩氢火焰单层石英炉高温原子化器,拉开了我国原子荧光光谱仪器发展历程的序幕。

1981~1983年由郭小伟和张锦茂^[16]两个研究小组合作研制成功了“WYD-2型双道蒸气发生-无色散原子荧光光谱仪”。同时,张锦茂等^[17]开展了针对化探样品中痕量元素As、Sb同时分析方法的研究,取得了很好的测定结果。

1983年,地矿部北京地质仪器厂(现北京海光仪器有限公司)与西北有色地质研究所、廊坊物化探研究所合作研制成功了XDY-1型双道原子荧光光谱仪。采用溴化物无极放电灯作激发光源,氩氢火

焰单层石英炉高温原子化器,可检测 As、Sb、Bi、Hg、Se、Te、Ge、Sn、Pb 等 9 种元素,且 As 和 Sb、Bi 和 Hg、Se 和 Te 可双道同测。

1987~1988 年,郭小伟、张锦茂与北京海光仪器有限公司及电子工业部十二所合作,在 XDY-1 的基础上进一步研究开发,推出了商业化“XDY-2 型双道原子荧光光谱仪”。该仪器采用了刘明钟等^[18]新研制的特种空心阴极灯作为激发光源,取代了无极放电灯,克服了无极放电灯稳定性差、元素灯的品种少等缺点,进一步提高仪器的性能。

1991 年,高英奇等^[19]研制成功高性能空心阴极灯,用于原子荧光光谱仪,可使测定 As、Sb、Bi、Se、Sn、Te、Pb 等元素的测定检出限改善 3~5 倍。

1994 年,郭小伟等^[20]发明的断续流动进样装置用于氢化物发生-原子荧光光谱仪,提高了进样精度和自动化程度。

1995 年,张锦茂等^[21-22]将“低温原子化技术”应用于 VG-AFS 中,取得了突破性的进展,提高了原子化效率;显著降低了火焰噪声;分析灵敏度提高了 2~7 倍;有效地降低了记忆效应和大大地延长了原子化器的使用寿命。这一技术在国内各生产厂商得到广泛应用。

1997 年,郭小伟^[23]发明了小火焰原子荧光光谱仪,用石油液化气燃烧所得的火焰作原子化器,可测定金、银等元素。

2002 年方肇伦等^[24]发明了用于原子荧光光谱仪的顺序注射进样装置,为分析的自动化迈出了关键的一步。

2005 年张新荣等^[25]发明了高效液相色谱-氢化物原子吸收/荧光光谱仪器接口技术,开创了我国 HPLC-VG-AFS 联用仪器研制并对元素形态分析技术进行研究,特别是相关标准的推出,又促进了该类仪器的快速发展。

2018 年,北京金索坤技术开发有限公司在雾化小火焰原子荧光光谱技术及仪器方面也取得了较大的发展。高树林等^[26]将阵列火焰汇聚式原子化器,双光源单道增强技术、双光源扣背景技术应用于小火焰原子荧光光谱仪器,大大地降低了测定金、镉等的检出限。

2016 年,国家重大科学仪器设备开发重点专

项立项了“新型原子荧光光谱仪器开发及产业化(2016YFF0103300)”。其设计选取长寿命-高强度的无极放电灯作光源,凹面光栅+数字微镜(DMD)+光电倍增管组成分光及检测系统,可解决原子荧光光谱干扰等问题,尤其是散射干扰。

目前,VG-AFS 已发展到了 4.0 时代,即仪器实现了高度自动化与初步智能化,可靠性和长期稳定性显著提升,解决记忆效应严重、汞灯漂移等问题。且仪器的性价比也显著提高,在中国的用户群也越来越多,很多领域都把原子荧光光谱分析技术转化为标准分析方法。

3 原子荧光光谱技术的标准化应用

经过我国广大科技工作者 40 多年的努力,目前,我国的蒸气发生-无色散原子荧光光谱仪、雾化小火焰-原子荧光光谱仪、原子荧光测汞仪等商品仪器和分析应用技术均处于国际领先或先进水平。其分析元素范围增大,分析灵敏度、精密度、线性范围也得到进一步提高,且由手工操作发展到半自动和智能化全自动测定。原子荧光光谱仪已成为国内检测实验室必备的常规分析仪器,它是我国为数不多的具有自主知识产权的国产分析仪器。这些仪器在我国资源开发、环境保护、食品安全、新材料开发等各行各业都发挥着重要作用。我国各领域的广大原子荧光光谱技术从业人员,不仅发表了大量有关文章,而且将有关研究转化成了大量的国家、行业、地方和团体标准。

据统计涉及原子荧光光谱技术在我国现行或即将实施的各类标准 230 余项,现行的标准 229 项,即将实施的标准(2022 年实施)7 项。其中,国家标准 82 项,行业标准 122 项,地方标准 30 项,团体标准 1 项。

3.1 现行或即将实施的国家标准

有关原子荧光光谱技术的国家标准 82 项,其中强制国家标准 5 项。现行国家标准 79 项,即将实施的有 4 项(其中有 1 项处于现行和即将实施)。涵盖食品安全、土壤质量、钢铁材料、有色金属及合金、铁矿石、有色金属矿石及精矿、工作场所空气、木材、工业废液处理污泥、纺织品、饲料、血液、尿液等多领域中相关元素和物质的检测。具体标准见表 1。

表 1 现行或即将实施的原子荧光光谱分析法国家标准

Table 1 Current or forthcoming national standards for AFS

序号	标准号	标准名称
1	GB 5009.11—2014	食品安全国家标准 食品中总砷及无机砷的测定 第二篇 食品中无机砷含量测定液相色谱-原子荧光光谱法
2	GB 5009.137—2016	食品安全国家标准 食品中锑的测定 氢化物原子荧光光谱法
3	GB 5009.16—2014	食品安全国家标准 食品中锡的测定
4	GB 5009.17—2014	食品中总汞及有机汞的测定(即将作废)
4	GB 5009.17—2021	食品中总汞及有机汞的测定(2022 年 3 月 7 日实施)
5	GB 5009.93—2017	食品安全国家标准 食品中硒的测定(发布稿)
6	GB/T 5009.151—2003	食品中锆的测定(第一法原子荧光光谱法)
7	GB/T 11066.9—2009	金化学分析方法 砷和锡量的测定氢化物发生-原子荧光光谱法
8	GB/T 12689.2—2004	锌及锌合金化学分析方法 砷量的测定 原子荧光光谱法
9	GB/T 12689.9—2004	锌及锌合金化学分析方法 锑量的测定 原子荧光光谱法和火焰原子吸收光谱法
10	GB/T 13081—2006	饲料中汞的测定
11	GB/T 13883—2008	饲料中硒的测定
12	GB/T 14352.21—2021	钨矿石、钼矿石化学分析方法 第 21 部分:砷量的测定 氢化物发生-原子荧光光谱法
13	GB/T 14352.22—2021	钨矿石、钼矿石化学分析方法 第 22 部分:锑量的测定 氢化物发生-原子荧光光谱法
14	GB/T 14353.19—2019	铜矿石、铅矿石和锌矿石化学分析方法 第 19 部分:锡量测定 氢化物发生原子荧光光谱法
15	GB/T 14353.21—2019	铜矿石、铅矿石和锌矿石化学分析方法 第 21 部分:砷量测定 氢化物发生原子荧光光谱法
16	GB/T 14506.33—2019	硅酸盐岩石化学分析方法 第 33 部分:砷、锑、铋、汞量测定 氢化物发生-原子荧光光谱法
17	GB/T 14849.10—2016	工业硅化学分析方法 第 10 部分:汞含量的测定 原子荧光光谱法
18	GB/T 17593.4—2006	纺织品重金属的测定 第 4 部分:砷、汞原子荧光分光光度法
19	GB/T 1819.17—2017	锡精矿化学分析方法 第 17 部分:汞量的测定 原子荧光光谱法
20	GB/T 20127.10—2006	钢铁及合金痕量素的测定 第 10 部分:氢化物发生-原子荧光光谱法测定硒含量
21	GB/T 20127.2—2006	钢铁及合金痕量素的测定 第 2 部分:氢化物发生-原子荧光光谱法测定砷含量
22	GB/T 20127.8—2006	钢铁及合金痕量素的测定 第 8 部分:氢化物发生-原子荧光光谱法测定锑含量
23	GB/T 20899.12—2016	金矿石化学分析方法 第 12 部分:砷、汞、镉、铅和铋量的测定 原子荧光光谱法
24	GB/T 21191—2007	原子荧光光谱仪
25	GB/T 22105.1—2008	土壤质量总汞、总砷、总铅的测定 原子荧光法 第 1 部分:土壤中总汞的测定
26	GB/T 22105.2—2008	土壤质量总汞、总砷、总铅的测定 原子荧光法 第 2 部分:土壤中总砷的测定
27	GB/T 22105.3—2008	土壤质量总汞、总砷、总铅的测定 原子荧光法 第 3 部分:土壤中总铅的测定
28	GB/T 223.80—2007	钢铁及合金铋和砷含量的测定 氢化物发生-原子荧光光谱法
29	GB/T 223.89—2019	钢铁及合金碲含量的测定 氢化物发生-原子荧光光谱法
30	GB/T 23273.3—2009	草酸钴化学分析方法 第 3 部分:砷量的测定 氢化物发生-原子荧光光谱法
31	GB/T 23362.1—2009	高纯氢氧化镉化学分析方法 第 1 部分:砷量的测定 原子荧光光谱法
32	GB/T 23362.3—2009	高纯氢氧化镉化学分析方法 第 3 部分:锑量的测定 原子荧光光谱法
33	GB/T 23364.1—2009	高纯氧化镉化学分析方法 第 1 部分:砷量的测定 原子荧光光谱法
34	GB/T 23364.3—2009	高纯氧化镉化学分析方法 第 3 部分:锑量的测定 原子荧光光谱法
35	GB/T 24992—2010	纸、纸板和纸浆砷含量的测定(方法 1)
36	GB/T 29783—2013	电子电气产品中六价格的测定 原子荧光光谱法
37	GB/T 32266—2015	原子荧光光谱仪性能测定方法
38	GB/T 32462—2015	聚酯树脂及其成型品中锑迁移量的测定 原子荧光光度法
39	GB/T 3253.10—2009	锑及三氧化二锑化学分析方法 汞量的测定 原子荧光光谱法
40	GB/T 3253.6—2008	锑及三氧化二锑化学分析方法 硒量的测定 原子荧光光谱法
41	GB/T 3253.7—2009	锑及三氧化二锑化学分析方法 铋量的测定 原子荧光光谱法
42	GB/T 32603—2016	玩具材料中可迁移元素砷、锑、硒、汞的测定 原子荧光光谱法
43	GB/T 33042—2016	木质地板饰面层中铅、镉、铬、汞重金属元素含量测定 原子荧光光谱法测汞
44	GB/T 33086—2016	水处理剂砷和汞含量的测定 原子荧光光谱法
45	GB/T 36384—2018	无机化工产品中汞的测定 原子荧光光谱法
46	GB/T 36690—2018	工业废液处理污泥中铜、镍、铅、锌、镉、铬等 26 种元素含量测定方法 AFS 法测汞、铋、砷、硒、锑

续表 1

序号	标准号	标准名称
47	GB/T 3884.10—2012	铜精矿化学分析方法 第 10 部分:铈量的测定 氢化物发生-原子荧光光谱法
48	GB/T 3884.9—2012	铜精矿化学分析方法 第 9 部分:砷和铋量的测定 氢化物发生-原子荧光光谱法、溴酸钾滴定法和二乙基二硫代氨基甲酸银分光光度法
49	GB/T 39306—2020	再生水水质总砷的测定 原子荧光光谱法
50	GB/T 39538—2020	煤中砷、硒、汞的测定 氢化物发生-原子荧光光谱法
51	GB/T 39560.4—2021 (2022 年 5 月 1 日实施)	电子电气产品中某些物质的测定 第 4 部分:CV-AAS、CV-AFS、ICP-OES 和 ICP-MS 测定聚合物、金属和电子件中的汞
52	GB/T 39560.5—2021 (2022 年 5 月 1 日实施)	电子电气产品中某些物质的测定 第 5 部分:AAS、AFS、ICP-OES 和 ICP-MS 法测定聚合物和电子件中镉、铅、铬以及金属中镉、铅的含量
53	GB/T 4103.1—2012	铅及铝合金化学分析方法 第 1 部分:锡量的测定 氢化物发生-原子荧光光谱法
54	GB/T 4103.2—2012	铅及铝合金化学分析方法 第 2 部分:铈量的测定 氢化物发生-原子荧光光谱法
55	GB/T 4103.5—2012	铅及铝合金化学分析方法 第 5 部分:铋量的测定 氢化物发生-原子荧光光谱法
56	GB/T 4103.6—2012	铅及铝合金化学分析方法 第 6 部分:砷量的测定 氢化物发生-原子荧光光谱法
57	GB/T 4103.7—2012	铅及铝合金化学分析方法 第 7 部分:硒量的测定 氢化物发生-原子荧光光谱法
58	GB/T 4103.8—2012	铅及铝合金化学分析方法 第 8 部分:碲量的测定 氢化物发生-原子荧光光谱法
59	GB/T 4325.3—2013	钼化学分析方法 第 3 部分:铋量的测定 原子荧光光谱法
60	GB/T 4325.4—2013	钼化学分析方法 第 4 部分:锡量的测定 原子荧光光谱法
61	GB/T 4325.5—2013	钼化学分析方法 第 5 部分:铈量的测定 原子荧光光谱法
62	GB/T 4325.6—2013	钼化学分析方法 第 6 部分:砷量的测定 原子荧光光谱法
63	GB/T 4470—1998	火焰发射、原子吸收和原子荧光光谱分析术语
64	GB/T 5121.10—2008	铜及铜合金化学分析方法 第 10 部分:锡含量的测定
65	GB/T 5121.12—2008	铜及铜合金化学分析方法 第 12 部分:铈含量的测定
66	GB/T 5121.24—2008	铜及铜合金化学分析方法 第 24 部分:硒、碲含量的测定
67	GB/T 5121.6—2008	铜及铜合金化学分析方法 第 6 部分:铋含量的测定
68	GB/T 5121.7—2008	铜及铜合金化学分析方法 第 7 部分:砷含量的测定
69	GB/T 5195.12—2016	萤石砷含量的测定 原子荧光光谱法
70	GB/T 6324.11—2021 (2022 年 3 月 1 日实施)	有机化工产品试验方法 第 11 部分:液体化工产品中微量砷的测定 原子荧光光谱法
71	GB/T 6730.77—2019	铁矿石砷含量的测定 氢化物发生-原子荧光光谱法
72	GB/T 6730.79—2019	铁矿石镉含量的测定 氢化物发生-原子荧光光谱法
73	GB/T 7739.12—2016	金精矿化学分析方法 第 12 部分:砷、汞、镉、铅和铋量的测定 原子荧光光谱法
74	GB/T 8151.10—2012	锌精矿化学分析方法 第 10 部分:锡量的测定 氢化物发生-原子荧光光谱法
75	GB/T 8151.11—2012	锌精矿化学分析方法 第 11 部分:铈量的测定 氢化物发生-原子荧光光谱法
76	GB/T 8151.13—2012	锌精矿化学分析方法 第 13 部分:锗量的测定 氢化物发生-原子荧光光谱法和苯芴酮分光光度法
77	GB/T 8151.15—2005	锌精矿化学分析方法 汞量的测定 原子荧光光谱法
78	GB/T 8151.7—2012	锌精矿化学分析方法 第 7 部分:砷量的测定 氢化物发生-原子荧光光谱法和溴酸钾滴定法
79	GB/T 8152.11—2006	铅精矿化学分析方法 汞量的测定 原子荧光光谱法
80	GB/T 8152.5—2006	铅精矿化学分析方法 砷量的测定 原子荧光光谱法
81	GBZ/T 302—2018	尿中铋的测定 原子荧光光谱法
82	GBZ/T 316.3—2018	血中铅的测定 第 3 部分:原子荧光光谱法

3.2 现行或即将实施的行业标准

原子荧光光谱现行或即将实施的行业标准有 122 项,其中现行标准 119 项,即将实施的标准 3 项。标准涉及的行业有 13 个,这些行业与我国经济发展、人民的生命健康和环境保护等密切相关。有色金属行业标准 41 项,主要是大宗有色金属中有害元素、再生金属材料、重金属、贵金属化合物、高纯金属、稀散金属中易形成氢化物元素和汞等的分析方法;进出口行业标准 31 项,涉及各类进出口商品中砷、汞、镉、铅、铋、锑、硒和锡等元素含量的测定、汞

的形态分析、铋的价态分析及有机硒和无机硒的分析等;地质行业标准 10 项,主要涉及地下水、生态地球化学评价、动植物样品,区域地球化学样品中砷、硒、汞、铋、铊等元素含量的测定;1 项涉及仪器通用条件;环境行业标准 8 项,主要涉及环境空气、水质、土壤和沉积物、固体废物等中汞、砷、硒、铋、锑元素测定方法及烷基汞的测定方法;农业标准 9 项,涉及稻米、土壤、饲料、蜂产品中砷硒镉汞的元素分析,砷汞的形态分析及硒代的多种氨基酸的分析;还有仪器计量检定标准 6 项,化工石油石化行业标准 4 项,水

利行业标准 4 项,卫生行业标准 2 项,烟草行业标准 1 项。原子荧光光谱相关标准与我们的衣食住行都有着密切的关系。具体标准见表 2。

表 2 现行或即将实施的原子荧光光谱分析法行业标准

Table 2 Current or forthcoming industry standards for AFS

序号	标准号	标准名称
1	DZ/T 0064.11—2021	地下水水质分析方法 第 11 部分:砷量的测定 氢化物发生-原子荧光光谱法
2	DZ/T 0064.38—2021	地下水水质分析方法 第 38 部分:硒量的测定 氢化物发生-原子荧光光谱法
3	DZ/T 0064.81—2021	地下水水质分析方法 第 81 部分:汞量的测定 原子荧光光谱法
4	DZ/T 0183—1997	原子荧光光度计通用技术条件
5	DZ/T 0253.2—2014	生态地球化学评价 动植物样品分析方法 第 2 部分:硒量的测定 原子荧光光谱法
6	DZ/T 0253.3—2014	生态地球化学评价 动植物样品分析方法 第 3 部分:总汞的测定 冷原子荧光光谱法
7	DZ/T 0279.13—2016	区域地球化学样品分析方法 第 13 部分:砷、铋和铊量测定 氢化物发生-原子荧光光谱法
8	DZ/T 0279.14—2016	区域地球化学样品分析方法 第 14 部分:硒量测定 氢化物发生-原子荧光光谱法
9	DZ/T 0279.15—2016	区域地球化学样品分析方法 第 15 部分:镉量测定 氢化物发生-原子荧光光谱法
10	DZ/T 0279.17—2016	区域地球化学样品分析方法 第 17 部分:汞量测定 蒸气发生-冷原子荧光光谱法
11	HG/T 4550.4—2013	废弃化学品中镉的测定方法 第 4 部分:原子荧光光谱法
12	HG/T 5230—2017	硫酸中硒的测定方法 氢化物原子荧光光谱法
13	HJ 1133—2020	环境空气和废气颗粒物中砷、硒、铋、铊的测定 原子荧光光谱法
14	HJ/T 341—2007	水质汞的测定 冷原子荧光光谱法(试行)
15	HJ 542—2009	环境空气汞的测定 巯基棉富集-冷原子荧光分光光度法(暂行)
16	HJ 542—2009/XG 1—2018	环境空气汞的测定 巯基棉富集-冷原子荧光分光光度法(暂行)第 1 号修改单
17	HJ 680—2013	土壤和沉积物 汞、砷、硒、铋、铊的测定 微波消解/原子荧光光谱法
18	HJ 694—2014	水质汞、砷、硒、铋和铊的测定 原子荧光光谱法
19	HJ 702—2014	固体废物汞、砷、硒、铋、铊的测定 微波消解/原子荧光光谱法
20	HJ 977—2018	水质烷基汞的测定 吹扫捕集/气相色谱-冷原子荧光光谱法
21	HY/T 0283—2020	海水中镉的测定 原子荧光光谱法
22	HY/T 152—2013	海水中三价砷和五价砷形态分析 原子荧光光谱法
23	JJD 1003—1991	原子荧光光度计
24	JJF 1695—2018	原子荧光光度计型式评价大纲
25	JJG(地质) 1003—1990	原子荧光光度计检定规程
26	JJG 1151—2018	液相色谱-原子荧光联用仪检定规程
27	JJG 939—2009	原子荧光光度计
28	JY/T 0566—2020	原子荧光光谱分析方法通则
29	LS/T 6125—2017	粮油检验 稻米中镉的快速检测 固体进样原子荧光法
30	NB/SH/T 0970—2018	轻质馏分中砷含量的测定 原子荧光光谱法
31	NY/T 1099—2006	稻米中总砷的测定 原子荧光光谱法
32	NY/T 1104—2006	土壤中全硒的测定
33	NY/T 1945—2010	饲料中硒的测定 微波消解-原子荧光光谱法
34	NY/T 2822—2015	蜂产品中砷和汞的形态分析 原子荧光光谱法
35	NY/T 3319—2018	植物性饲料原料中镉的测定 直接进样原子荧光法
36	NY/T 3420—2019	土壤有效硒的测定 氢化物发生原子荧光光谱法
37	NY/T 3788—2020	农田土壤中汞的测定 催化热解-原子荧光法
38	NY/T 3789—2020	农田灌溉水中汞的测定 催化热解-原子荧光法
39	NY/T 3947—2021 (2022 年 5 月 1 日实施)	畜禽肉中硒代胱氨酸、甲基硒代半胱氨酸和硒代蛋氨酸的测定 高效液相色谱-原子荧光光谱法
40	QC/T 941—2013	汽车材料中汞的检测方法
41	QC/T 943—2013	汽车材料中铅、镉的检测方法
42	SL 327.1—2005	水质砷的测定 原子荧光光度法
43	SL 327.2—2005	水质汞的测定 原子荧光光度法
44	SL 327.3—2005	水质硒的测定 原子荧光光度法
45	SL 327.4—2005	水质铅的测定 原子荧光光度法
46	SN/T 0564.2—2012	钛白粉 第 2 部分:铅、汞和可溶砷含量的测定
47	SN/T 0736.15—2013	进出口化肥检验方法 第 15 部分:微波消解-原子荧光光谱法同时测定砷、汞含量
48	SN/T 1732.24—2020	烟花爆竹用烟火药剂 第 24 部分:砷含量的测定 原子荧光光谱法
49	SN/T 1910—2007	进出口卷烟纸中汞含量的测定 原子荧光光谱法
50	SN/T 2004.7—2006	电子电气产品中铅、镉的测定 第 7 部分:原子荧光光谱法
51	SN/T 2092—2008	进出口锑锭中硒含量的测定 原子荧光光谱法
52	SN/T 2297.7—2015	石膏及石膏制品分析方法 第 7 部分:砷、汞含量的测定 原子荧光光谱法

续表 2

序号	标准号	标准名称
53	SN/T 2638.5—2013	锰矿中砷、汞元素测定 微波消解-原子荧光光谱法
54	SN/T 2679—2010	木材及木制品中砷含量的测定 氢化物发生-原子荧光光谱法
55	SN/T 2680—2010	铁矿石中砷、汞、镉、铅、铋含量的测定 原子荧光光谱法
56	SN/T 2721—2010	进出口矿产品中砷和汞的检测方法 原子荧光光度法
57	SN/T 2888—2011	出口食品接触材料 高分子材料 高密度聚乙烯中铈的测定 原子荧光光谱法
58	SN/T 3034—2011	出口水产品中无机汞、甲基汞和乙基汞的测定 液相色谱-原子荧光光谱联用(LC-AFS)法
59	SN/T 3134—2012	出口动物源性食品中硫柳汞残留量的测定 液相色谱-原子荧光光谱法
60	SN/T 3188—2012	原油中铅、砷、汞元素的测定 原子荧光光谱法
61	SN/T 3249.3—2012	仿真饰品 第 3 部分:铈、汞含量的测定 原子荧光光谱法
62	SN/T 3323.4—2012	氧化铁皮 第 4 部分:砷、汞元素测定 原子荧光光谱法
63	SN/T 3349—2012	黄金矿砂中汞含量的测定 原子荧光光谱法
64	SN/T 3366—2012	室内装饰装修用涂料中可溶性汞、砷、硒、铈的测定 原子荧光光谱法
65	SN/T 3370—2012	钨矿中砷、汞含量的测定 原子荧光光谱法
66	SN/T 3520—2013	橡胶及其制品中汞含量的测定 原子荧光光谱法
67	SN/T 3521—2013	进口煤炭中砷、汞含量的同时测定 氢化物发生-原子荧光光谱法
68	SN/T 3811—2014	石脑油中砷和铈的测定 氢化物发生原子荧光光谱法
69	SN/T 3825—2014	化妆品及其原料中三价铈、五价铈的测定
70	SN/T 3941—2014	食品接触材料 食具容器中铅、镉、砷和铈迁移量的测定 氢化物发生原子荧光光谱法
71	SN/T 4364—2015	进出口铜精矿中汞含量的测定 原子荧光光谱法
72	SN/T 4526—2016	出口水产品有机硒和无机硒的测定 氢化物发生原子荧光光谱法
73	SN/T 4658—2016	萤石中砷、汞含量的同时测定 微波消解-原子荧光光谱法
74	SN/T 4763.2—2021	煤中汞含量的测定 氧弹燃烧-原子荧光光谱法(2022 年 6 月 1 日实施)
75	SN/T 5053—2018	铈精矿中砷、汞、硒、锡和铋含量的测定 氢化物原子荧光光谱法
76	SN/T 5350.2—2021	硫磺砷含量的测定 原子荧光光谱法(2022 年 6 月 1 日实施)
77	SY/T 0528—2008	原油中砷含量的测定 原子荧光光谱法
78	WS/T 474—2015	尿中砷的测定 氢化物发生原子荧光法
79	WS/T 635—2018	尿中砷形态测定 液相色谱-原子荧光法
80	YC/T 221—2007	烟草及烟草制品 硒的测定 原子荧光法
81	YC/T 250—2008	烟草及烟草制品汞、砷、铅含量的测定 氢化物原子荧光光度法
82	YS/T 1115.14—2016	铜原矿和尾矿化学分析方法 第 14 部分:砷量的测定 氢化物发生原子荧光光谱法和溴酸钾滴定法
83	YS/T 1171.7—2017	再生锌原料化学分析方法 第 7 部分:砷量和铈量的测定 原子荧光光谱法
84	YS/T 1171.8—2017	再生锌原料化学分析方法 第 8 部分:汞量的测定 原子荧光光谱法和冷原子吸收光谱法
85	YS/T 1288.3—2018	高纯锌化学分析方法 第 3 部分:砷量的测定 氢化物发生-原子荧光光谱法
86	YS/T 1341.6—2019	粗锌化学分析方法 第 6 部分:砷含量的测定 原子荧光光谱法
87	YS/T 1341.7—2019	粗锌化学分析方法 第 7 部分:铈含量的测定 原子荧光光谱法
88	YS/T 1341.8—2019	粗锌化学分析方法 第 8 部分:锡含量的测定 原子荧光光谱法
89	YS/T 1381—2020	铈化合物化学分析方法 砷含量的测定 原子荧光光谱法
90	YS/T 226.1—2009	硒化学分析方法 第 1 部分:铋量的测定 氢化物发生-原子荧光光谱法
91	YS/T 226.2—2009	硒化学分析方法 第 2 部分:铈量的测定 氢化物发生-原子荧光光谱法
92	YS/T 227.1—2010	碲化学分析方法 第 1 部分:铋量的测定 氢化物发生-原子荧光光谱法
93	YS/T 227.10—2010	碲化学分析方法 第 10 部分:砷量的测定 氢化物发生-原子荧光光谱法
94	YS/T 229.2—2013	高纯铅化学分析方法 第 2 部分:砷量的测定 原子荧光光谱法
95	YS/T 229.3—2013	高纯铅化学分析方法 第 3 部分:铈量的测定 原子荧光光谱法
96	YS/T 276.1—2011	铟化学分析方法 第 1 部分:砷量的测定 氢化物发生-原子荧光光谱法
97	YS/T 276.8—2011	铟化学分析方法 第 8 部分:铋量的测定 方法 1:氢化物发生-原子荧光光谱法 方法 2:火焰原子吸收光谱法
98	YS/T 281.15—2011	钴化学分析方法 第 15 部分:砷、铈、铋量的测定 氢化物发生-原子荧光光谱法
99	YS/T 3015.6—2017	载金炭化学分析方法 第 6 部分:汞量的测定 原子荧光光谱法和电感耦合等离子体原子发射光谱法
100	YS/T 3015.7—2017	载金炭化学分析方法 第 7 部分:砷量的测定 原子荧光光谱法和电感耦合等离子体原子发射光谱法
101	YS/T 445.10—2019	银精矿化学分析方法 第 10 部分:铈含量的测定 氢化物发生-原子荧光光谱法和火焰原子吸收光谱法
102	YS/T 445.11—2019	银精矿化学分析方法 第 11 部分:铋含量的测定 氢化物发生-原子荧光光谱法、火焰原子吸收光谱法和 Na ₂ EDTA 滴定法
103	YS/T 445.13—2019	银精矿化学分析方法 第 13 部分:汞含量的测定 原子荧光光谱法
104	YS/T 445.3—2019	银精矿化学分析方法 第 3 部分:砷含量的测定 氢化物发生-原子荧光光谱法和溴酸钾滴定法

续表 2		
序号	标准号	标准名称
105	YS/T 461.6—2013	混合铅锌精矿化学分析方法 第 6 部分:汞量的测定 原子荧光光谱法
106	YS/T 472.3—2005	镍精矿、钴硫精矿化学分析方法 汞量的测定 氢化物发生-原子荧光光谱法
107	YS/T 472.5—2005	镍精矿、钴硫精矿化学分析方法 砷量的测定 氢化物发生原子荧光光谱法
108	YS/T 521.3—2009	粗铜化学分析方法 第 3 部分:砷量的测定 方法 1 氢化物发生-原子荧光光谱法 方法 2 溴酸钾滴定法
109	YS/T 536.11—2009	铋化学分析方法 汞量的测定 原子荧光光谱法
110	YS/T 536.7—2009	铋化学分析方法 砷量的测定 原子荧光光谱法
111	YS/T 555.3—2009	钼精矿化学分析方法 砷量的测定 原子荧光光谱法和 DDTC-Ag 分光光度法
112	YS/T 555.4—2009	钼精矿化学分析方法 锡量的测定 原子荧光光谱法
113	YS/T 556.6—2009	锑精矿化学分析方法 第 6 部分:硒量的测定 氢化物发生-原子荧光光谱法
114	YS/T 556.7—2009	锑精矿化学分析方法 第 7 部分:汞量的测定 原子荧光光谱法
115	YS/T 710.4—2009	氧化钴化学分析方法 第 4 部分:砷量的测定 原子荧光光谱法
116	YS/T 74.1—2010	镉化学分析方法 第 1 部分:砷量的测定 氢化物发生-原子荧光光谱法
117	YS/T 74.2—2010	镉化学分析方法 第 2 部分:锑量的测定 氢化物发生-原子荧光光谱法
118	YS/T 74.9—2010	镉化学分析方法 第 9 部分:锡量的测定 氢化物发生-原子荧光光谱法
119	YS/T 745.8—2010	铜阳极泥化学分析方法 第 8 部分:砷量的测定 氢化物发生-原子荧光光谱法
120	YS/T 820.17—2012	红土镍矿化学分析方法 第 17 部分:砷、锑、铋量的测定 氢化物发生-原子荧光光谱法
121	YS/T 872—2013	工业镓化学分析方法 汞含量的测定 原子荧光光谱法
122	YS/T 990.8—2014	冰铜化学分析方法 第 8 部分:砷量的测定 氢化物发生-原子荧光光谱法、二乙基二巯基甲酸银分光光度法和溴酸钾滴定法

3.3 现行有关 AFS 的地方标准

现行的地方标准有 30 项,其中有河北、山西、辽宁、吉林、黑龙江、安徽、福建、江西、山东、广东、广西、四川、云南、陕西、青海、湖北等 16 省,天津 1 直辖市,都采用 VG-AFS 法制定了各省、直辖市的地方标准。涉及的领域包括工作场所空气、食用菌、固定污染源废气、化妆品、水及废水、饲料、土壤、皮革、药材、化合物、煤、牧草等中有害元素及元素形态和有毒气体成分的分析。由此可见,原子荧光光谱技术在我国各地都得到了很好的应用。具体标准见表 3。

表 3 现行的地方原子荧光光谱分析法标准
Table 3 Current provincial standards for AFS

序号	标准号	标准名称
1	DB12/T 799—2018	工作场所空气中砷化氢的测定 原子荧光光谱法
2	DB13/T 2473—2017	五氧化二钒 砷含量测定 原子荧光光度法
3	DB14/T 1226—2016	食用菌基质中砷、汞的测定 原子荧光光谱法
4	DB21/T 3285—2020	固定污染源废气 硒及其化合物的测定 原子荧光光谱法
5	DB22/T 1980—2013	化妆品中硒的测定 原子荧光光谱法
6	DB22/T 1985—2013	饲料中无机砷的测定 液相色谱-原子荧光光谱法
7	DB22/T 2205—2014	废水 烷基汞的测定 液相色谱-原子荧光光谱法
8	DB22/T 2464—2016	水中甲基汞的测定 液相色谱-原子荧光光谱法
9	DB23/T 1941—2017	土壤、底质中镉的测定 直接进样原子荧光光谱法
10	DB34/T 2127.7—2014	区域地球化学调查样品分析方法 第 7 部分:原子荧光光谱法 砷、锑、铋、汞含量的测定
11	DB34/T 2573—2015	碳酸钙中砷、汞的测定 原子荧光光谱法
12	DB34/T 3662—2020	饲料中锑的测定 原子荧光光谱法
13	DB34/T 814—2008	饲料中硒的测定 原子荧光光谱法
14	DB35/T 1100—2011	饲料中无机砷的测定 原子荧光光谱法
15	DB35/T 1459—2014	酸性土壤中有效砷、有效汞的测定 原子荧光光谱法
16	DB36/T 1243—2020	稻米中有机硒和无机硒含量的测定 氢化物原子荧光光谱法
17	DB37/T 1954—2011	农用水中汞、砷的测定 原子荧光光谱法
18	DB37/T 4089—2020	化妆品中硫柳汞和苯基汞的测定 液相色谱-原子荧光光谱法
19	DB37/T 4090—2020	化妆品中无机砷的测定 液相色谱-原子荧光光谱法
20	DB44/T 2039—2017	皮革及皮革制品中汞含量的测定 原子荧光光谱法
21	DB45/T 1174—2015	植物类中药材中总汞的测定 原子荧光光谱法
22	DB45/T 1175—2015	植物类中药材中总硒的测定 原子荧光光谱法
23	DB45/T 867—2012	植物类中药材中总砷的测定 原子荧光光谱法
24	DB51/T 2111—2016	生态地球化学评价土壤样品中砷、汞的同时测定 氢化物发生-原子荧光光谱法
25	DB53/T 354—2011	卷烟主流烟气中砷、汞的测定 原子荧光光度法
26	DB53/T 898—2018	煤中锗含量的测定 原子荧光光谱法
27	DB61/T 562—2013	水质 烷基汞的测定 液相色谱-原子荧光光谱联用法
28	DB63/T 1207—2013	土壤 总硒的测定 原子荧光光谱法
29	DB63/T 1872—2020	牧草 汞和砷的测定 微波消解/原子荧光光谱法
30	DBS 42/003—2014	水产品中一甲基砷、二甲基砷、砷酸根及亚砷酸根的测定 高效液相色谱-原子荧光光谱法

3.4 有关 AFS 的团体标准

有关团体标准仅收集到中国分析测试协会有关 AFS 的团体标准 3 项,即 T/CAIA SH 004—2015《稻米 镉的测定 固体进样电热蒸发原子荧光光谱法》,T/CAIA YQ 004—2018《液相色谱与原子荧光光谱联用仪性能测试方法》,T/CAIA SH 013—2021《土壤 镉的测定 火焰原子荧光光谱法》。

4 原子荧光光谱技术展望

纵观我国 40 年来原子荧光光谱仪的发展历程,尽管在仪器研制和标准化方面取得了重要成就,有了长足进步,但该技术仍有不少发展空间,如光谱干扰问题,测定元素的局限问题,仪器的智慧化问题等。相信,在不久的将来,我国原子荧光光谱技术会在各方面取得更大的成就。

参考文献

- [1] 魏洪敏,甄长伟,炼晓璐,等.微波消解-液相色谱-原子荧光光谱联用(LC-AFS)法测定稻米样品中砷形态[J].中国无机分析化学,2019,9(3):4-9.
WEI Hongmin, ZHEN Changwei, LIAN Xiaolu, et al. Speciation analysis of arsenic in rice samples by microwave extraction coupled with high performance liquid chromatography-atomic fluorescence spectrometry[J]. Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry, 2019, 9(3): 4-9.
- [2] 荣耀,贺攀红,杨珍,等.水为载体-原子荧光光谱法同时测定土壤中痕量砷、汞[J].中国无机分析化学,2021,11(1):1-6.
RONG Yao, HE Panhong, YANG Zhen, et al. Simultaneous determination of trace arsenic and mercury in soil by atomic fluorescence spectrometry with water as carrier[J]. Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry, 2021, 11(1): 1-6.
- [3] 王娅楠,郭冬发,李黎,等.原子荧光光谱法测定以磷块岩为原料制备磷酸中的砷[J].中国无机分析化学,2021,11(6):8-11.
WANG Yanan, GUO Dongfa, LI Li, et al. Determination of arsenic in phosphoric acid prepared from phosphorite by atomic fluorescence spectrometry[J]. Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry, 2021, 11(6): 8-11.
- [4] 张晓敏,郭颖超,刘卫.高效液相色谱-原子荧光法测定农作物中无机硒的含量[J].中国无机分析化学,2021,11(3):18-22.
ZHANG Xiaomin, GUO Yingchao, LIU Wei. Determination of inorganic selenium in crops by high-performance liquid chromatography[J]. Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry, 2021, 11(3): 18-22.
- [5] 钟雪雯,杨曦,刘方,等.石墨消解-原子荧光光谱法测定土壤中的总硒[J].中国无机分析化学,2021,11(3):42-46.
ZHONG Xuewen, YANG Xi, LIU Fang, et al. Determination the total selenium in soil by graphite digestion-atomic fluorescence spectrometry[J]. Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry, 2021, 11(3): 42-46.
- [6] 沈佳,冯启,王越,等.微波消解-原子荧光法测定山茶油中痕量砷[J].中国无机分析化学,2019,9(6):6-9.
SHEN Jia, FENG Qi, WANG Yue, et al. Determination of arsenic in camellia oil by atomic fluorescence spectrometry with microwave digestion [J]. Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry, 2019, 9(6): 6-9.
- [7] WOOD R W, SPRINGSTEEN H W. The magnetic rotation of sodium vapor[J]. Physical Review, 1905, 21:41-51.
- [8] NICHOLS E L, HOWES H L. The photoluminescence of flames[J]. Physical Review, 1924, 23:472.
- [9] ROBINSON J W. Mechanism of elemental spectral excitation in flame photometry[J]. Analytica Chimica Acta, 1961, 24:254-262.
- [10] WINEFORDNER J D, VICKERS T J. Atomic fluorescence spectroscopy as a means of chemical analysis[J]. Anal. Chem., 1964, 36(1):161-165.
- [11] 杜文虎.原子荧光光度法[J].西北大学学报(自然科学版),1975,5(1):110-126.
DU Wenhui. Atomic fluorescence spectrometry [J]. Journal of Northwestern University (Natural Science Edition), 1975, 5(1): 110-126.
- [12] 李蓁,赵昆,王长江,等.冷原子荧光光度法测定粮食、土壤、矿物岩石中的痕量汞[J].分析化学,1977,5(4):250-251.
LI Zhen, ZHAO Kun, WANG Changjiang, et al. Determination of trace mercury in food, soil and mineral rock by cold atomic fluorescence spectrophotometry[J]. Chinese Journal of Analytical Chemistry, 1977, 5(4): 250-251.
- [13] 汤健,武荣生,杜文虎.冷原子荧光光度法测定痕量汞[J].分析化学,1976,4(2):94-99.
TANG Jian, WU Rongsheng, DU Wenhui. Determination of trace mercury by cold atomic fluorescence spectrophotometry[J]. Chinese Journal of Analytical Chemistry, 1976, 4(2): 94-99.
- [14] 中国科学院上海冶金研究所,上海市机械制造工艺研究所.双道非色散原子荧光光度计的研制[J].化学学报,1977,35(1/2):79-85.

- Shanghai Institute of Metallurgy, Academia Sinica, Shanghai Institute of Manufacture Technology. Development of dual channel non-dispersive atomic fluorescence photometer [J]. Journal of Chemistry, 1977, 35(1/2): 79-85.
- [15] 郭小伟, 杨密云. 氢化物-无色散原子荧光法在分析中的应用 I. 氢化物-无色散原子荧光法的装置及应用展望[J]. 分析化学, 1980, 8(5): 466-470.
- GUO Xiaowei, YANG Miyun. Application of hydride-non-dispersive atomic fluorescence method in analysis I. Prospect of hydride-non-dispersive atomic fluorescence device and application[J]. Chinese Journal of Analytical Chemistry, 1980, 8(5): 466-470.
- [16] 郭小伟, 杨密云, 吴堂, 等. 双道氢化物非色散原子荧光光谱仪的研制[J]. 光谱学与光谱分析, 1983, 3(2): 124-129, 122.
- GUO Xiaowei, YANG Miyun, WU Tang, et al. Development of dual channel hydride non-dispersive atomic fluorescence spectrometer[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 1983, 3(2): 124-129, 122.
- [17] 张锦茂, 范凡, 郭小伟. 双道氢化物原子荧光光谱法同时测定地球化学样品中的微量砷和锑[J]. 物探与化探, 1984, 8(3): 150.
- ZHANG Jinmao, FAN Fan, GUO Xiaowei. Simultaneous determination of trace arsenic and antimony in geochemical samples by dual hydride atomic fluorescence spectrometry[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 1984, 8(3): 150.
- [18] 刘明钟, 郭小伟, 张锦茂. 脉冲空心阴极灯作为氢化物发生-非色散原子荧光法的光源研究[J]. 分析化学, 1988, 16(1): 26.
- LIU Mingzhong, GUO Xiaowei, ZHANG Jinmao. Study on pulsed hollow cathode lamp as a light source by hydride generation-non-dispersion atomic fluorescence method[J]. Chinese Journal of Analytical Chemistry, 1988, 16(1): 26.
- [19] 高英奇, 郑永章, 吴廷照. 高性能空心阴极灯[J]. 现代科学仪器, 1991(4): 47-49.
- GAO Yingqi, ZHENG Yongzhang, WU Tingzhao. High performance hollow cathode lamps[J]. Modern Scientific Instruments, 1991(4): 47-49.
- [20] 郭小伟, 郭旭明. 断续流动氢化物发生法在 AAS/AFS 中的应用[J]. 光谱学与光谱分析, 1995, 15(3): 97-101.
- GUO Xiaowei, GUO Xuming. Application of intermittent flow hydride generation in AAS/AFS[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 1995, 15(3): 97-101.
- [21] 地质矿产部地球物理地球化学勘查研究所实验工厂. 氢化物原子荧光氩氢火焰的低温自动点燃装置: CN94207732. 6[P]. 1995-10-18.
- Experimental Plant of Geophysical Geochemical Exploration Institute of Geology and Mineral Resources. A low temperature automatic ignition device for a hydride atomic fluorescence argon hydrogen flame: CN94207732. 6[P]. 1995-10-18.
- [22] 张锦茂, 张勤, 宁建统, 等. 氩氢火焰低温自动点燃装置用于氢化物发生-原子荧光光谱分析中的研究[J]. 岩矿测试, 1998, 16(1): 24-30.
- ZHANG Jinmao, ZHANG Qin, NING Jiantong, et al. Argon hydrogen flame low temperature automatic ignition device for hydride generation-atomic fluorescence spectroscopy analysis[J]. Rock and Mineral Analysis, 1998, 16(1): 24-30.
- [23] 西安索坤技术开发有限公司. 小火焰原子化原子荧光分析方法: CN03134241. 8[P]. 2004-12-08.
- GUO Xiaowei, Xi'an Suokun Technology Development Co., Ltd. Small flame atomization atomic fluorescence analysis method: CN03134241. 8[P]. 2004-12-08.
- [24] 北京吉大小天鹅仪器有限公司. 用于原子荧光光谱仪的顺序注射进样装置: CN01274858. 7[P]. 2002-07-24.
- FANG Zhaolun, XU Shukun, Beijing Jilin University Small Swan Instrument Co., Ltd. Sequential injection sample device for atomic fluorescence spectrometer: CN01274858. 7[P]. 2002-07-24.
- [25] 清华大学. 高效液相色谱-氢化物原子吸收/荧光光谱仪器接口: CN200510011797. 6[P]. 2005-11-23.
- ZHANG Xinrong, Tsinghua University. HPLC-hydride atomic absorption/fluorescence spectroscopy instrument interface: CN200510011797. 6[P]. 2005-11-23.
- [26] 北京金索坤技术开发有限公司. 用于火焰原子荧光光谱仪的阵列火焰汇聚式原子化器: CN201721112184. 6[P]. 2018-05-08.
- GAO Shulin, LI Zhihua, Beijing Jinsuokun Technology Development Co., Ltd. Array flame convergent atomizer for flame atomic fluorescence spectrometer: CN201721112184. 6[P]. 2018-05-08.