

原子吸收分光光度计 仪器及应用

李昌厚 著



科学出版社
www.sciencep.com

原子吸收分光光度计 仪器及应用

李昌厚 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书从仪器学的角度介绍并讨论了原子吸收分光光度法的基本原理和仪器的结构组成,深入讨论了原子吸收分光光度计的主要技术指标及其测试方法。作者从实际应用的角度,全面、详细介绍了如何评价和挑选原子吸收分光光度计仪器、如何选择最佳分析测试条件、影响分析测试准确度的主要因素,同时介绍了仪器在各行业的应用以及仪器的维护与维修。

本书通俗易懂,适用性强,特别注重实践,很少有枯燥的纯理论介绍和繁琐的公式推导。本书可供科研院所、大专院校、工矿企业中从事原子吸收分光光度计和各类分析仪器设计、制造、维修以及分析测试工作的广大科技人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

原子吸收分光光度计仪器及应用/李昌厚著. —北京:科学出版社,2006
ISBN 7-03-017200-0

I. 原… II. 李… III. 原子吸收分光光度计 IV. TH744.12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 043828 号

责任编辑:赵卫江/责任校对:都 岚

责任印制:吕春珉/封面设计:耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006年6月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2006年6月第一次印刷 印张:17 1/2

印数:1—4 000 字数:337 000

定价:38.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换<新欣>)

销售部电话 010-62136131 编辑部电话 010-62138017(BZ01)

作者简介

李昌厚，研究员，博士生导师。1939年5月18日生，湖南岳阳人。1963年毕业于天津大学精密仪器系光学专业。同年到中国科学院上海有机化学研究所工作。1988年调到中国科学院上海生物工程研究中心。曾任中国科学院上海有机化学研究所804研究组组长、中国科学院上海生物工程研究中心学术委员会委员、职称委员会委员、学位委员会委员、仪器分析室主任、生化仪器研究组组长等职。1992年至今，任华东理工大学兼职教授。目前任中国分析仪器学会副理事长兼光谱仪器专业委员会副主任、高速分析仪器专业委员会副主任，中国光学仪器学会物理光学专业委员会副主任，中华人民共和国计量认证/审查认可国家级评审员，上海分析仪器学会理事，上海分析测试协会理事，以及学术期刊《光学仪器》副主编、《生命科学仪器》副主编等。

长期从事分析仪器、生命科学仪器研究及其应用；在物理光学仪器、各类电子仪器和生命科学仪器的研制及其应用、光电技术应用、各类分光光度计和高压液相色谱仪器的应用及性能指标检测等方面有精深造诣。

作为第一完成者，先后完成科研成果15项，其中13项达到鉴定时国际上同类产品的先进水平，2项为国内领先水平。作为第一获奖人，先后获得各类科技奖5项，包括国家发明奖1项、中国科学院科技成果奖1项、中国科学院科技进步奖1项、上海市科技进步奖1项、上海市科技金点子奖1项。

作为第一作者，在国内外公开发行的一、二级学术期刊上发表论文160余篇，其中4篇被评为全国优秀论文。

已出版的著作有《紫外可见分光光度计》（专著）、《高速分析及其应用》（参加编著）、《紫外可见分光光度计仪器及应用》（论文选集）等。

已培养博士研究生4名、硕士研究生6名。

1992年起享受国务院颁发的政府特殊津贴。

前 言

世界上第一台成熟的原子吸收分光光度计商品仪器，于 20 世纪 60 年代初由美国的 PE 公司推出。当时的原子吸收分光光度计仪器很简单，自动化程度较低。但随着科学技术的发展，它的发展非常快。目前，它已是集光学、机械学、电子学和计算机为一体的、技术密集的高科技产品，已在材料科学、环境科学、农业科学、生命科学、计量科学、食品科学、地质科学、石油科学、医疗卫生、钢铁冶金、化学化工等各个领域得到了非常广泛的应用。

虽然原子吸收分光光度计仪器发展很快，应用非常广泛。但是，在仪器和应用方面的许多理论和实践问题（例如：比耳定律的实用性问题、单光束和双光束问题、扣背景问题、石墨炉系统的问题、基体改进剂问题、灵敏度问题、非线性拟合问题以及分析条件的选择问题等）还有待进一步研究。特别是如何从仪器学的角度讨论原子吸收分光光度计的问题，例如：如何从仪器学的角度看待仪器和应用方面的相互关系问题，如何从仪器学的角度讨论仪器的功能技术指标、性能技术指标和分析误差之间的关系和仪器的主要技术指标的测试方法问题，以及如何用好原子吸收分光光度计、如何提高中国原子吸收分光光度计仪器和应用的水平等，还有待广大科技工作者进一步深入研究。本书将在这些方面做详细、全面的讨论。

对于原子吸收分光光度计的使用者来讲，主要任务是“用好”仪器。但是，目前较为普遍存在的一种现象是，使用仪器的人常常不能真正熟悉仪器，尤其是不大熟悉仪器的性能技术指标的物理意义、仪器的各个性能技术指标相互之间的关系，特别是不大熟悉这些仪器的性能技术指标对分析测试误差的影响。因此，往往不能把仪器用到最佳状态，或者说不能最大限度地发挥仪器的作用。从我国大量引进的各类昂贵的分析仪器的使用情况来看，有很多仪器使用非常不合理，有的“大材小用”，有的“搁置不用”，有的“物非其用”。有很多科技工作者把高档的原子吸收分光光度计当作一般的、普通的常规原子吸收分光光度计使用，仪器的附件从未使用过；有的在购买原子吸收分光光度计时，认为价格越贵越好、功能越全越好、性能指标越高越好；有的买了很高档的进口原子吸收分光光度计，火焰和石墨炉齐全，但长期只用火焰，石墨炉根本不用。结果是外汇用了很多，实验室挤得满满的，但对研究和生产并无太大推动。

而有些原子吸收分光光度计的制造者，对原子吸收分光光度计的主要性能技术指标的物理意义、测试方法及其对分析误差的影响等也并不大熟悉，对用户所要求的功能指标也不完全了解。因此，设计制造出来的仪器往往不大好用或不好

用。所谓“好用”，是指仪器稳定可靠。所以，“好用”和“用好”形成了一对矛盾。

原子吸收分光光度计是众多分析仪器中的一种，它的覆盖面大、品种多、数量大，因此制造和使用中的问题比其它分析仪器更多、更严重。本书的目的就是为解决这对矛盾尽一点微薄之力。虽然作者在原子吸收分光光度计仪器和应用领域学识浅薄，但自感教训不少。所以，作者想在本书中就如何做好、用好原子吸收分光光度计的问题向读者提供一些参考资料。特别是对原子吸收分光光度计的结构、性能技术指标的物理意义、性能技术指标如何影响分析测试结果的误差、主要性能技术指标的测试方法，以及如何评价或挑选原子吸收分光光度计、如何选择原子吸收分光光度计的分析条件等一些最关键的问题，做了比较深入的讨论。

原子吸收分光光度计的可靠性是制造者和使用者最关心的一个核心问题，本书将对可靠性问题进行全面、详细的讨论，主要包括可靠性的内涵、如何提高仪器的可靠性、如何提高使用水平、如何从方法学上去解决使用中的一些关键问题等方面。

本书根据作者多年来在研制和使用各类光谱仪器、各类原子吸收分光光度计的实践经验与教训，从仪器学的角度出发，讨论如何用好原子吸收分光光度计的问题，同时也讨论如何提高原子吸收分光光度计仪器和分析测试结果的可靠性等问题。因此，本书既是作者的经验、教训之谈，又是作者对广大科技工作者的一种呼吁；作者呼吁我国的广大科技工作者共同努力，提高我国原子吸收分光光度计仪器的水平、提高我国分析测试技术的整体水平。

本书共分9章。第1章简单介绍了原子吸收分光光度计仪器和应用的发展历史、最新进展；第2章概述了原子吸收分光光度法的基础理论和原子吸收分光光度计的基本原理；第3章介绍了仪器结构组成、各部件的主要功能和特点，并根据作者的实践，讨论了这些部件对原子吸收分光光度计整机的主要性能技术指标和分析误差的影响；第4章详细介绍了原子吸收分光光度计最主要的性能指标的物理意义（定义）、重要性（对分析误差的影响）和测试方法；第5章从仪器学的角度、从设计和使用的角度出发，结合作者的实践，从六个方面论述了评价、挑选原子吸收分光光度计的具体方法和理论依据；第6章从使用的角度出发，结合作者的实践，介绍了使用者应该掌握的、应该重视的选择最佳分析条件的方法和基本原则；第7章总结了作者的实践经验，讨论了如何才能用好原子吸收分光光度计，以及用好原子吸收分光光度计的一些最关键的问题和方法；第8章介绍了原子吸收分光光度计在疾病控制系统、食品监测系统、药品检测系统、农业系统、环境检测系统等领域的应用，同时介绍了作者对难熔、难测的高温元素的测试结果；第9章提出了仪器使用者日常工作中必须注意的一些重要问题，包括日常维护、常见故障诊断、排除方法，特别讨论了使用者的主观因素（样品的前处

理、仪器条件的选择、仪器安放环境等)与仪器故障的关系,同时特别介绍了对空心阴极灯的保养方法。在最后的附录中,列出了目前国内外最新、最主要的原子吸收分光光度计的主要技术指标一览表,特别列出了在国内市场占有率很大的几种国外仪器的技术指标,供广大科技工作者参考。

目前在很多同类书籍中,往往理论介绍和公式推导占有很大的篇幅。而本书特别注重实践,很少有枯燥的纯理论介绍和繁琐的公式推导。在内容上,本书尽量兼顾了设计和应用领域的初学者和高级科研人员的实际需求,通俗易懂,深入浅出,适用性强,其中的很多章节,几乎完全是作者工作实践的总结,这是本书与其它同类书籍完全不同的地方。

本书可供各个领域的科研院所、大专院校、工矿企业中从事分析仪器设计、制造、维修工作的广大科技工作者阅读,特别适合在分析仪器企业从事原子吸收分光光度计研制和生产,以及各个领域从事原子吸收分光光度计分析测试工作的广大科技人员参考。

本书查阅了大量有关文献,在此特向有关文献的作者们表示衷心感谢。

特别需要说明的是本书的应用部分(第8章),得到了在原子吸收光谱分析领域工作了30多年的、实践经验非常丰富的四川省疾病预防控制中心邹宗富主任技师、上海交通大学周林爱高级工程师的无私帮助,他们毫无保留地向作者提供了很多宝贵素材。应用部分的有些章节,是作者在他们提供的素材基础上进行整理、修改、编写而成的。其中:第8.1节以邹宗富主任技师的素材为主;第8.2节、第8.3节都是以周林爱高级工程师的素材为主,作者在此特别向两位专家表示衷心感谢。

在本书写作过程中,得到了长期从事原子吸收分光光度计应用和维修的邹宗富、刘瑶函、周林爱、郭明才、汪素萍、卢大伟、楼海任、陈利、徐光武、余卫伟、王小菊等的帮助;孙吟秋、杨志全等在校稿、制图等方面给予了各种无私的帮助,在此一并致谢。

本书由我国长期使用原子吸收分光光度计、理论和实际经验非常丰富的专家们审定,他们是中国科学院上海冶金研究所刘瑶函高级工程师、四川省疾病控制中心邹宗富主任技师、上海交通大学周林爱高级工程师。

由于作者水平所限,本书中难免有疵漏和错误,作者热诚欢迎各位读者和有关专家批评指正。

作者联系方式:lichho202888@yahoo.com.cn,021-54189210,013501643617。

李昌厚

2006年2月于上海

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 原子吸收分光光度计仪器的发展简史及最新进展	1
1.1.1 发展简史	1
1.1.2 最新进展	2
1.2 原子吸收分光光度计应用的发展概况及最新进展	6
1.2.1 发展概况	6
1.2.2 最新进展	10
主要参考文献	12
第 2 章 原子吸收分光光度法的基础理论	14
2.1 原子的量子状态和原子能级	14
2.1.1 原子的量子状态	14
2.1.2 原子的能级图	15
2.1.3 原子吸收的光谱特性	16
2.1.4 原子能级的波尔茨曼分布	17
2.2 原子吸收的谱线宽度	18
2.2.1 多普勒变宽	18
2.2.2 洛伦茨变宽	18
2.2.3 何尔特马克变宽	19
2.2.4 斯塔克效应变宽	19
2.2.5 塞曼效应变宽	19
2.2.6 超精细结构效应变宽	19
2.2.7 自吸效应变宽	19
2.3 原子吸收定量分析的理论依据	20
2.3.1 原子吸收系数的表达式	20
2.3.2 原子吸收与原子浓度之间的关系	20
2.4 比耳定律	21
2.4.1 原子吸收分光光度计的基本原理	21
2.4.2 朗伯-比耳定律的数学表达式	22
2.4.3 比耳定律的适用性	23
2.5 原子吸收光谱分析中的几个基本概念	23
2.5.1 光吸收的内涵	23

2.5.2	特征吸收线	23
2.5.3	共振吸收线	24
2.5.4	灵敏线	24
2.5.5	吸收线	24
2.5.6	积分吸收	24
2.5.7	峰值吸收	25
2.5.8	灵敏度	25
2.5.9	检出限	26
2.5.10	精密度	27
2.5.11	回收率	28
2.5.12	相关系数	28
2.5.13	标样	28
2.5.14	积分时间	28
2.5.15	滤波系数	29
主要参考文献		29
第3章 原子吸收分光光度计的基本结构		30
3.1	原子吸收分光光度计的分类	30
3.1.1	根据结构分类	30
3.1.2	根据原子化方法分类	34
3.2	电光源系统	35
3.2.1	电光源系统的重要性	35
3.2.2	对电光源系统的要求	35
3.2.3	光源的分类	36
3.3	电源及其分类	47
3.3.1	空心阴极灯电源	47
3.3.2	氘灯恒流电源	48
3.4	原子化器系统	52
3.4.1	火焰原子化器	52
3.4.2	石墨炉原子化器	56
3.4.3	氢化物发生器原子化器	70
3.4.4	其它类型的原子化器	71
3.5	扣背景系统	71
3.5.1	氘灯扣背景	71
3.5.2	塞曼扣背景	73
3.5.3	自吸收扣背景	75
3.5.4	其它方式扣背景	77

3.6	分光系统 (单色器)	77
3.6.1	光栅	77
3.6.2	准直镜	88
3.6.3	物镜	88
3.6.4	入射狭缝和出射狭缝	88
3.6.5	单色器的主要技术指标	88
3.6.6	光栅单色器的类型	89
3.6.7	光栅单色器光路的排列	91
3.6.8	用于非平行光束的平面光栅单色器	92
3.6.9	双单色器	93
3.7	光电转换器系统	94
3.7.1	光电倍增管	94
3.7.2	光电二极管阵列 (PDA)	99
3.7.3	电荷耦合器件 (CCD)	100
3.7.4	CMOS 图像传感器	101
3.8	放大器系统	101
3.8.1	前置放大器	101
3.8.2	主放大器	104
3.8.3	双端输入的对数放大器	104
3.9	数据处理、打印输出系统	105
	主要参考文献	106
第4章	原子吸收分光光度计的技术指标及其测试方法	108
4.1	技术指标的分类	108
4.2	波长范围	109
4.2.1	波长范围的定义和重要性	109
4.2.2	波长范围的测试方法	109
4.3	波长准确度	110
4.3.1	波长准确度的定义和重要性	110
4.3.2	波长准确度的测试方法	110
4.4	波长重复性	114
4.4.1	波长重复性的定义和重要性	114
4.4.2	波长重复性的测试方法	115
4.5	光谱带宽	115
4.5.1	光谱带宽的定义和重要性	115
4.5.2	光谱带宽的测试方法	116
4.6	稳定性	117

4.6.1	稳定性的定义和重要性	117
4.6.2	原子吸收分光光度计基线漂移的测试方法	117
4.7	边缘能量	118
4.7.1	边缘能量的定义和重要性	118
4.7.2	边缘能量的测试方法	119
4.8	特征浓度	119
4.8.1	特征浓度的定义和重要性	119
4.8.2	特征浓度的测试方法	119
4.9	检出限	120
4.9.1	检出限的定义和重要性	120
4.9.2	检出限的测试方法	120
4.10	特征量	121
4.10.1	特征量的定义和重要性	121
4.10.2	特征量的测试方法	121
4.11	吸喷量 F 和雾化率 ϵ	121
4.11.1	吸喷量	121
4.11.2	雾化率 (又称雾化效率)	121
4.12	精密度 (RSD)	122
4.12.1	精密度的定义和重要性	122
4.12.2	精密度的测试方法和计算方法	122
	主要参考文献	123
第5章	原子吸收分光光度计的评价与挑选	124
5.1	进口仪器与国产仪器	124
5.2	适用性	125
5.2.1	适用性的原则	125
5.2.2	适用性的主要内容	127
5.3	可靠性	128
5.3.1	可靠性的定义和重要性	129
5.3.2	可靠性的判断	134
5.3.3	性能技术指标的可靠性	136
5.3.4	功能技术指标的可靠性	136
5.4	智能性	136
5.4.1	智能性的定义	136
5.4.2	智能性的重要性	137
5.5	经济性	138
5.5.1	经济性的内容	138

5.5.2 经济性的评估方法及其重要性	138
5.6 美学性	139
5.6.1 美学性的内容	139
5.6.2 美学性的重要性	140
5.7 工艺性	140
5.7.1 工艺性的内容	140
5.7.2 工艺性的重要性	142
主要参考文献	142
第6章 原子吸收分光光度计最佳分析条件的选择	144
6.1 空心阴极灯类型的选择	144
6.1.1 空心阴极灯选择的原则	144
6.1.2 空心阴极灯的类型和特点	144
6.2 灯电流的选择	145
6.2.1 灯电流选择的重要性	145
6.2.2 灯电流选择要注意的几个问题	145
6.3 光谱带宽的选择	146
6.3.1 光谱带宽选择的重要性	146
6.3.2 光谱带宽选择要注意的几个问题	146
6.4 分析线的选择	147
6.4.1 稳定性	147
6.4.2 干扰度	147
6.4.3 吸收背景	147
6.4.4 共振线	147
6.5 光电倍增管负高压(—HV)的选择	148
6.5.1 空心阴极灯电流的大小	148
6.5.2 光谱带宽的大小	148
6.5.3 仪器噪声的大小	148
6.6 扣背景方法的选择	148
6.6.1 氘灯扣背景	148
6.6.2 塞曼扣背景	149
6.6.3 自吸收扣背景	150
6.6.4 空白溶液曲线校正法扣背景	150
6.6.5 背景自动校正方法扣背景	150
6.7 燃气和助燃气体的选择	150
6.7.1 常用的燃气	150
6.7.2 常用的助燃气	151

6.7.3 燃气和助燃气体的组合方法及适用范围	151
6.8 火焰的选择 (以空气-乙炔为例)	151
6.8.1 对火焰的基本要求	151
6.8.2 四种火焰状态及其适用对象	152
6.9 干燥温度、灰化温度、原子化温度和净化温度的选择	152
6.9.1 干燥温度及其选择	152
6.9.2 灰化温度及其选择	153
6.9.3 原子化温度及其选择	153
6.9.4 净化温度及其选择	154
主要参考文献	154
第7章 用好原子吸收分光光度计的几个关键问题	155
7.1 调零问题	155
7.2 火焰的选择	155
7.3 基体改进剂的选择	156
7.4 有关温度的选择	157
7.5 升温速度的选择	158
7.6 几个特别需要重视的问题	158
7.6.1 样品的代表性	158
7.6.2 样品的前处理与分离富集	158
7.6.3 测定条件对测定结果的影响	159
7.6.4 标准限量与称量、定容、标准系列浓度范围的关系	159
7.6.5 标准限量与标准系列浓度范围的设置	160
7.6.6 关于浓度问题	160
7.6.7 样品测定结果计算中常见的几种情况	160
7.6.8 测定结果的判断	163
主要参考文献	164
第8章 原子吸收分光光度计的应用	165
8.1 在疾控系统中的应用	165
8.1.1 对食品、生活饮用水等测定的元素及标准方法	165
8.1.2 常用的分析方法	167
8.1.3 标准分析方法中的四种关键技术	173
8.1.4 标准分析方法中的一些重要问题	179
8.2 在食品、药品检验中的应用	183
8.2.1 微量重金属元素的危害及主要污染途径	183
8.2.2 测定微量重金属元素含量的分析方法	184
8.3 在农业、环保系统中的应用	189

8.3.1	在农业系统中的应用	189
8.3.2	环境分析检测中的应用	190
8.3.3	在海水及海产品分析检测中的应用	192
8.4	原子吸收光谱分析中排除干扰的主要方法	193
8.4.1	石墨炉原子吸收光谱分析中的干扰因素及排除方法	193
8.4.2	火焰原子吸收光谱分析中的干扰因素及排除方法	195
8.5	横向加热石墨炉对难熔难测高温元素的测试	201
8.5.1	Cr 的测试	201
8.5.2	Ba 的测试	204
8.5.3	Pd 的测试	207
8.5.4	Sr 的测试	209
8.5.5	Ti 的测试	212
	主要参考文献	215
第 9 章	原子吸收分光光度计故障诊断、维修与维护	216
9.1	原子吸收分光光度计对电源的要求	216
9.2	原子吸收分光光度计对环境的要求	217
9.3	原子吸收分光光度计的日常保养与维护	218
9.4	空心阴极灯的维护与保养	219
9.5	常见故障诊断及排除方法	220
9.6	原子吸收分光光度计的打印机常见故障及排除方法	227
	主要参考文献	228
附录 1	部分原子吸收分光光度计性能指标及其比较	229
附录 2	关于不确定度	252
附录 3	原子吸收分光光度计计量检定及有关问题	258
附录 4	铜标准溶液的配制	264

第 1 章 概 论

1.1 原子吸收分光光度计仪器的发展简史及最新进展

1.1.1 发展简史

分光光度法的历史非常悠久,是仪器分析领域最早的分析方法之一,它已被科技工作者使用了 200 多年。但是,很多使用者一般都不注重研究分光光度法的发展历史。分光光度法从开始到现在,经历了一个漫长的、曲折的过程。使用者了解这个过程,对正确理解、使用分光光度法,真正全面掌握原子吸收分光光度法是非常有益的。

分光光度法最早始于牛顿。早在 1665 年牛顿做了一个惊人的实验,他让太阳光透过暗室窗上的小圆孔,在室内形成很细的太阳光束,该光束经棱镜色散后,在墙壁上呈现红、橙、黄、绿、蓝、靛、紫的色带。该色带就称为“光谱”。牛顿通过这个实验,揭示了太阳光是复合光的事实。

1802 年 Wollaston 发现太阳光谱中存在许多暗线。1815 年 J. Fraunhofer 仔细观察了太阳光谱,发现太阳光谱中有 600 多条暗线,并且对主要的 8 条暗线标以 A、B、C…H 的符号。这就是人们最早知道的吸收光谱线,被称为夫琅和费线 (Fraunhofer line)。但当时对这些线还不能做出正确的解释。

1859 年 R. Bunsen 和 G. Kirchhoff 发现由食盐发出的黄色谱线的波长和夫琅和费线中 D 线的波长完全一致,人们才知道一种物质所发射的光波长 (或频率) 与它所能吸收的波长 (或频率) 是一致的。也就是说原子气体能吸收特征波长的光谱线,也能发射同样波长的光谱线。这就从原理上提出了原子发射和原子吸收分光光度法的分析方法问题,也为原子吸收分光光度计的诞生和后来的发展提供了实验和理论依据。

1862 年 Miller 应用石英摄谱仪测定了 100 多种物质的紫外吸收光谱。他把光谱图表从可见区扩展到了紫外区,并指出吸收光谱不仅与组成物质的基团有关,而且与分子和原子的性质有关。接着, Hartolay 和 Bailey 等人又研究了各种溶液对不同波段的截止波长,并发现吸收光谱相似的有机物质,它们的结构也相似。并且,可以解释用化学方法所不能说明的分子结构问题,初步建立了分光光度法的理论基础,以此推动了分光光度计的发展。

1898 年 Tyndal 让太阳光通过棱镜光谱仪,得到了太阳光谱,并将火焰放在太阳和棱镜之间,用铂丝沾上 NaCl 放在火焰上,就能在 589.0nm 和 589.6nm 位置上产生暗线。这与现在的原子吸收分光光度计的仪器模型很相像。1939 年

Woodson 用汞蒸气灯发出的 253.7nm 特征线测定了空气中的汞。此后, 很长一段时期里, 原子吸收分光光度法主要局限于天体物理学方面的研究, 没有在分析化学领域引起重视, 更没有被应用。其主要原因是原子吸收的谱线宽度很窄, 很难用连续光源来达到实用的目的。

直到 1955 年, 澳大利亚物理学家 A. Walsh 首先提出了将原子吸收光谱应用于化学分析的观点, 他利用空心阴极灯发出的锐线光源 (谱线宽度为 $0.00x$ nm) 解决了测量原子吸收吸光度的困难。同年, 他发表了论文, 从理论上进一步探讨了原子吸收光谱的优越性, 阐述了火焰原子吸收分光光度法的物理基础、吸光度与试样中被测元素浓度具有线性关系、方法的通用性等等。随后, 荷兰的 J. T. J. Alkemade 也报道了用火焰法做原子吸收分光分析实验的工作。后来, A. Walsh 等人又发表了很多关于原子吸收光谱的论文。到 1961 年, 美国 PE 公司推出世界上第一台成熟的原子吸收分光光度计商品仪器。从此, 原子吸收分光光度计仪器和分析技术得到了飞快发展。特别是近几年, 原子吸收分光光度计得到越来越广泛的应用, 使原子吸收分光光度计仪器和分析技术很快发展到了今天的水平。

我国原子吸收仪器的起步比国外晚 10 年左右。1970 年, 北京科学仪器厂生产了我国第一台单光束火焰原子吸收分光光度计。马怡载等研制了石墨炉原子化器, 并将该成果成功应用于北京第二光学仪器厂生产的我国第一台 WFD-Y3 型石墨炉原子吸收分光光度计。20 世纪 70~80 年代, 我国的原子吸收分光光度计仪器开始快速发展。目前, 我国已经研发出较高水平的横向加热石墨炉原子吸收分光光度计。已有近 20 家企业正在生产各类不同型号、不同档次的原子吸收分光光度计。虽然目前我国的高档原子吸收分光光度计与国外相比还有很大差距, 但中、低档原子吸收分光光度计, 特别是火焰原子吸收分光光度计与国外的差距并不大。可以预计, 我国的原子吸收分光光度计发展前景很好, 有可能在较短的时间内赶超国际先进水平。

1.1.2 最新进展

原子吸收分光光度计问世已经 40 多年了, 国内外原子吸收分光光度计的仪器和应用始终处在高速发展中。在电子元器件方面, 开始有些仪器采用模拟电路制作, 并且是采用晶体管或电子管等分立元件 (单个电阻、电容、电子管、晶体管等) 制作。随着晶体管技术的发展和普及, 出现了晶体管集成电路。后来原子吸收分光光度计的电子学部分普遍采用晶体管分立元件加晶体管集成电路组成。随着集成电路的发展, 目前国内外的原子吸收分光光度计的电子学部分, 很多都采用高度集成的集成块、芯片等制作。在这方面, 我国也很快跟上了国际发展的步伐。

原子吸收分光光度计在自动化程度方面发展很快。从 20 世纪 60 年代末期开

始,国外生产的许多原子吸收分光光度计就开始采用计算机技术,到了70年代初期则普遍采用了计算机技术。目前,国外生产的原子吸收分光光度计的自动化程度都很高,已经发展到了令人赏心悦目的程度。例如,欧美等发达国家生产的原子吸收分光光度计中,很多仪器面板上只有一个电源开关,其余操作、数据处理等全部用计算机来完成。我国目前的原子吸收分光光度计中,除普析通用公司的TAS-986/990面板上只有一个电源开关,其余操作、数据处理等全部用计算机来完成外,还较少自动化程度非常高的仪器。

原子吸收分光光度计属于相对测量的仪器,因此对重复性要求较高,特别是石墨炉原子吸收分光光度计更是如此。但是,我国带自动进样器的石墨炉仪器不多,除北京瑞利公司、北京普析通用公司、北京东西电子公司等少数几家的原子吸收分光光度计有石墨炉自动进样器外,其余大部分都没有。在这方面是特别需要加快步伐迎头赶上的。

近几年,在原子吸收扣背景技术方面,已出现可变磁场塞曼扣背景的仪器。例如,德国Jena公司的AAS Zeenit60型原子吸收分光光度计,就是采用三磁场塞曼扣背景的仪器。因为不同的元素需要不同的磁场才能产生塞曼裂变,所以三磁场塞曼扣背景的原子吸收分光光度计是具有创新特色的仪器。它的优点有:可调节分析灵敏度,可扩展固体分析的分析范围,不需换到次灵敏线测试,不需停气测试,不需稀释样品等。

目前,美国Varian公司的AA280、AA240SF,PE公司的AA800等是世界上成熟商品原子吸收分光光度计仪器中最高档的仪器,不管是性能技术指标,还是功能技术指标,都属于世界之最。

常规的原子吸收分光光度计大多采用能够发射元素分析谱线的空心阴极灯作光源,因此称为线光源原子吸收分光光度计(LS-AAS)。但是,线光源原子吸收分光光度计不能对多个元素同时进行分析检测,而且无法提供分析谱线的轮廓信息以及其侧翼的光谱背景信息,因此线光源原子吸收分光光度计必须配置专门的背景校正器。这些缺陷都限制了原子吸收分光光度法的应用范围。近几年来,随着具有高光谱分辨能力的中阶梯光栅光谱仪技术和具有多通道检测能力的半导体图像传感器技术的日趋成熟,使用连续光源作原子吸收分光光度计(CS-AAS)的光源已经成为可能,并且它有可能成为未来原子吸收分光光度计仪器的发展方向。

德国Jena公司最近推出的连续光源原子吸收分光光度计ContrAA,是对原子吸收分光光度计的重大突破,是原子吸收分光光度计的最新进展之一。常规的传统线光源原子吸收分光光度计,一只灯只能检测一个样品。而连续光源原子吸收分光光度计,采用交叉色散系统和CMOS图像传感器的形式,不需要移动光路中的任何部件,可以同时检测从As193.76nm到Cs852.11nm之间的多条任意分析谱线,具有同时进行多元素定量/定性分析的能力。定量分析能力(检出限