

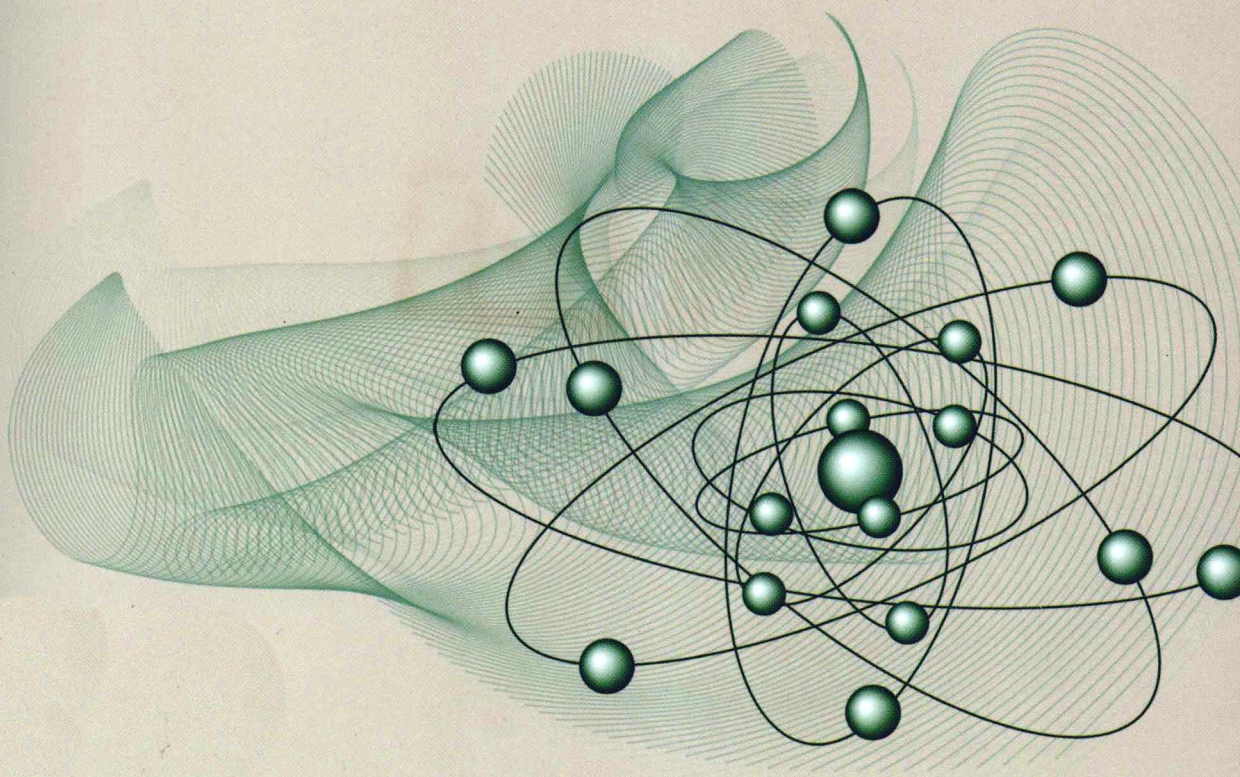
国家科技基础条件平台建设项目
“全国分析检测人员能力培训与考核体系”成果

全国分析检测人员能力培训委员会(NTC)系列培训教材

ATC 005

原子荧光光谱分析技术

张锦茂 主编



中国质检出版社
中国标准出版社



全国分析检测人员能力培训委员会(NTC)系列培训教材

ATC 005

原子荧光光谱分析技术

张锦茂 主编

中国质检出版社
中国标准出版社

北 京

图书在版编目 (CIP) 数据

ATC 005 原子荧光光谱分析技术/张锦茂编著. —北京:
中国标准出版社, 2011
全国分析检测人员能力培训委员会 (NTC) 系列培训教材
ISBN 978-7-5066-6328-1

I. ①A… II. ①全… III. ①原子荧光光谱法-技术培
训-教材 IV. ①0657.31

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 159393 号

中国质检出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲 2 号(100013)
北京市西城区复外三里河北街 16 号(100045)

网址: www.spc.net.cn

电话:(010)64275360 68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

各地新华书店经销

*

开本 787×1092 1/16 印张 10.25 字数 243 千字

2011 年 9 月第一版 2011 年 9 月第一次印刷

*

定价 34.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话:(010)68510107

全国分析检测人员能力培训委员会(NTC)

主 任 吴波尔

副主任 刘卓慧 吴学梯 张 泽

委 员 (按姓氏笔画排序)

马晋并 方 向 王海舟 庄乾坤 乔 东 许增德
李文龙 宋桂兰 张渝英 葛红梅

全国分析检测人员能力培训委员会(NTC) 系列培训教材编写审定委员会

总 编 审 张渝英

副总编审 王海舟 乔 东

常务编审 符 斌

编 审 (按姓氏笔画排序)

马燕文	马振珠	于世林	邓 勃	邓星临	邓志威	王春华
王福生	王 滨	王 蓬	王光辉	尹 明	田 玲	刘虎威
刘国詮	刘丽东	刘咸德	刘 正	刘 英	刘卫平	刘 挺
傅若农	江超华	再帕尔	吕 杨	吴牟天	吴惠勤	吴淑琪
吴国平	冯先进	孙素琴	孙泽明	齐美玲	朱衍勇	朱跃进
朱林茂	朱生慧	朱锦艳	朱 斌	汪正范	汪聪慧	李 冰
李小佳	李丛笑	李红梅	李华昌	李重九	李继康	李寅彦
李国会	李万春	李美玲	沈学静	沈建忠	佟艳春	牟世芬
杨啸涛	杨春晟	邹汉法	罗立强	罗倩华	张 中	张 庄
张之果	张学敏	张锦茂	张伟光	张克顺	张东生	林崇熙
谢孟峡	者冬梅	周志恒	周巍松	周艳明	郑国经	郑永章
卓尚军	屈文俊	贾云海	柯以侃	柯瑞华	柯晓涛	陈江韩
陈吉文	胡国栋	胡净宇	胡洛翡	胡晓燕	赵 雷	徐经纬
徐友宣	徐本平	高怡斐	高宏斌	高介平	龚晓海	郭永权
侯红霞	崔秋红	蒋士强	蒋仁贵	蒋子江	梁新帮	陶 琨
黄业茹	程 群	詹秀春	蔡文河	臧慕文	魏若奇	

NTC 通用理化性能分析检测能力技术分类

1 ATC——化学分析测试技术

- ATC 001 电感耦合等离子体原子发射光谱分析技术
- ATC 002 火花源/电弧原子发射光谱分析技术
- ATC 003 X 射线荧光光谱分析技术
- ATC 004 辉光放电发射光谱分析技术
- ATC 005 原子荧光光谱分析技术
- ATC 006 原子吸收光谱分析技术
- ATC 007 紫外-可见吸收光谱分析技术
- ATC 008 分子荧光光谱分析技术
- ATC 009 红外光谱分析技术
- ATC 010 气相色谱分析技术
- ATC 011 液相色谱分析技术
- ATC 012 毛细管电泳分析技术
- ATC 013 固体无机材料中碳硫分析技术
- ATC 014 固体无机材料中气体成分(O、N、H)分析技术
- ATC 015 核磁共振分析技术
- ATC 016 质谱分析技术
- ATC 017 电感耦合等离子体质谱分析技术
- ATC 018 电化学分析技术
- ATC 019 物相分离分析技术
- ATC 020 重量分析法
- ATC 021 滴定分析法
- ATC 022 有机物中元素(C、S、O、N、H)分析技术
- ATC 023 酶标分析技术

2 ATP——物理检测技术

- ATP 001 金相低倍检验技术
- ATP 002 金相高倍检验技术
- ATP 003 扫描电镜和电子探针分析技术
- ATP 004 透射电镜分析技术
- ATP 005 多晶 X 射线衍射技术

- ATP 006 俄歇电子能谱分析技术
- ATP 007 X 射线光电子能谱分析技术
- ATP 008 扫描探针显微分析技术
- ATP 009 密度测量技术
- ATP 010 热分析技术
- ATP 011 导热系数测量技术
- ATP 012 热辐射特性参数测量技术
- ATP 013 热膨胀系数测量技术
- ATP 014 热电效应特征参数测量技术
- ATP 015 电阻性能参数测量技术
- ATP 016 磁性参数测量技术
- ATP 017 弹性系数测量技术
- ATP 018 声学性能特征参数测量技术
- ATP 019 内耗阻尼性能参数测量技术
- ATP 020 粒度分析技术
- ATP 021 比表面分析技术
- ATP 022 热模拟试验技术

3 ATM——力学性能测试技术

- ATM 001 拉伸试验技术
- ATM 002 弯曲试验技术
- ATM 003 扭转试验技术
- ATM 004 延性试验技术
- ATM 005 硬度试验技术
- ATM 006 断裂韧度试验技术
- ATM 007 冲击试验技术
- ATM 008 疲劳试验技术
- ATM 009 磨损试验技术
- ATM 010 剪切试验技术
- ATM 011 压缩试验技术
- ATM 012 撕裂试验技术
- ATM 013 高温持久、蠕变、松弛试验技术

《全国分析检测人员能力培训委员会(NTC)系列培训教材》

序

分析测试技术作为科技创新的技术基础、国民经济发展和国际贸易的技术支撑,环境保护和人类健康的技术保障,正受到越来越多的关注,而分析测试体系的建设在科技进步和经济发展中正发挥着举足轻重的作用。国家科技部从1999年以来先后组织建设并形成了分析测试方法体系、全国检测资源共享平台,大型仪器共享平台,标准物质体系以及应急分析测试体系等分析测试相关的基础条件平台。2005年在科技基础条件平台建设中,又启动了《机制与人才队伍建设——全国分析测试人员分析测试技术能力考核确认与培训系统的建立与实施》的项目。从而形成了“人员、方法、仪器、标准物质、资源”等组成的完整系统的分析测试平台体系。

为加强分析检测人员队伍的建设,确保分析检测人员技术能力的培训与考核工作的科学性、规范性、系统性和持续性,完成国家科技基础条件平台建设的相关任务,中华人民共和国科学技术部、国家认证认可监督管理委员会等部门共同推动成立了“全国分析检测人员能力培训委员会”(简称“NTC”),负责对分析检测人员技术能力的培训与考核工作。

NTC的宗旨是为提高我国分析检测人员整体的检测能力和水平,促进分析检测结果的准确性和可靠性,为国家科技进步、公共安全、经济社会又好又快发展服务。

NTC依据国家相关法律法规,按照分析检测的相关国际和国家标准、规范开展培训工作,遵循客观公正、科学规范的工作原则开展考核工作。

NTC的分析检测技术的分类系以通用分析测试技术为基点,兼顾专用技术,根据相关学科分类标准及分析检测技术设备原理划分,

形成每项技术分别覆盖材料、环境资源、食品以及能源等领域化学成分和性能表征的分析测试技术能力分类系统,首批共纳入了 58 项技术。

每项分析检测技术由四个技术部分组成,即分析检测技术基础、仪器与操作技术、标准方法与应用以及数据处理。

通过相关技术四个部分考核的技术人员将由全国分析检测人员能力培训委员会颁发分析检测人员技术能力证书。证书是对分析检测人员具备相关分析检测技术(方法)或相关部分的技术能力的承认,可以胜任相关分析检测岗位的检测工作;该证书可作为计量认证、实验室认可、相关认证认可以及大型仪器共用共享的能力证明。

为规范各项技术考核基本要求,委员会正式发布了各项技术的考核培训大纲。为便于培训教师、分析检测人员进一步理解大纲的要求,在 NTC 的统一领导下,由 NTC 秘书处负责组织成立了 NTC 培训教材编写审定委员会,系统规划教材的系统设置方案、设计了教材的总体架构、与考核相结合规定了每项技术各部分内容的设置,并分别组织了各项技术分编委会,具体负责各项技术的培训教材的编写。NTC 拥有《全国分析检测人员能力培训委员会(NTC)系列培训教材》的著作权,并指定该套教材为由 NTC 组织的分析检测人员技术能力培训的唯一指定教材,并将其专有出版权授予中国质检出版社(中国标准出版社),由其出版发行,以服务于全国分析检测人员的技术培训与考核工作。

全国分析检测人员能力培训委员会

《ATC 005 原子荧光光谱分析技术》

编 委 会

主 编 张锦茂

编 委 (按姓氏笔画排序)

冯先进 周志恒 梁 敬

前 言

原子荧光光谱法(AFS)是在原子发射光谱法(AES)和原子吸收光谱法(AAS)的基础上发展起来的一种新的原子光谱分析方法。在原子荧光光谱分析发展过程中曾研究过火焰原子化法和无火焰原子化法,由于这些方法的分析技术还不是很成熟,因此到目前为止,国内外都没有形成商品化仪器。而蒸气发生-原子荧光光谱法(VG-AFS)是原子荧光光谱法中的一个重要分支,也是目前最具有实用价值的原子荧光光谱分析方法和唯一形成商品化的仪器。VG-AFS可测定As、Se、Pb、Sn、Hg和Cd等11种元素,具有灵敏度高、重现性好、物理和化学干扰少、线性范围宽和多元素同时测定等优点,是一种性能优良的痕量和超痕量元素的分析方法,已广泛应用于环境监测、食品卫生、药品检验、城市给排水、材料科学、地质、冶金、化工和农业等领域。因此,本书将重点介绍蒸气发生-原子荧光光谱分析技术。

自1964年Winefordner提出原子荧光光谱法作为一种新的分析方法以来,已经过了40余年的发展历程。虽然我国对原子荧光的研究比国外晚,但是在20世纪80年代却得到了迅猛的发展。1982年我国首先研制成功了蒸气发生-双道原子荧光光谱仪,并迅速将科研成果转化为商品化仪器,经过广大科技工作者近30年的不懈努力,目前我国在商品仪器的制造技术、分析方法的研究和推广应用等方面均处于国际领先水平。在此应特别提到郭小伟教授,他生前对此项研究工作做出了重要贡献,为我国原子荧光光谱分析技术的发展奠定了基础,谨以此书的出版表示对他的纪念。



VG-AFS 是现代科学技术的一种重要的测试手段之一,现已成为众多实验室常规的分析仪器,据不完全统计我国的仪器保有量已达 10 000 台以上,现有大批检测人员在从事该项技术工作。为便于广大分析工作者掌握 VG-AFS 分析技术,我们从培训的角度出发编写了本书,本书依据全国分析检测人员能力培训委员会《ATC 005 原子荧光光谱分析技术考核与培训大纲》编写,内容包括分析技术的基础理论知识、仪器设备与操作、标准方法与应用及分析结果的数据处理四个部分。本书以工厂、学校、研究所及有关分析领域的实验室检测人员为主要对象,希望通过以本书作为教材进行培训或学习,使他们了解有关分析技术的基本概念及基础理论知识,熟悉仪器的组成结构及工作原理,具备实际操作能力,掌握分析技术在相关领域中的应用。

本书可作为有关部门培训检测人员的教材,可供企业、科研以及商品检验部门分析检测人员使用,也可供相关院校师生参考。

本书系在全国分析检测人员能力培训委员会指导下,组织各方面的专家撰写,几易其稿而成。在本书编写过程中,清华大学邓勃教授、北京矿冶研究总院符斌研究员和北京有色研究总院郑永章研究员对书稿进行了审阅,并提出了宝贵的修改意见,特致谢意。

由于我们水平有限,书中不足和不妥之处在所难免,敬请各位专家和读者批评指正。

编 者

2011 年 8 月

目 录

1 原子荧光光谱分析基础理论知识	1
1.1 绪论	1
1.1.1 国外原子荧光光谱分析技术的发展	2
1.1.2 蒸气发生-原子荧光光谱分析技术在我国的发展	3
1.1.3 蒸气发生-原子荧光光谱分析技术的特点	5
1.2 原子荧光光谱法的基本原理	6
1.2.1 原子荧光光谱的产生	7
1.2.2 原子荧光光谱的类型	7
1.2.3 原子荧光光谱分析的定量关系	11
1.2.4 荧光猝灭与荧光量子效率	12
1.2.5 原子荧光的饱和	14
1.3 蒸气发生-非色散原子荧光光谱分析法	14
1.3.1 方法的基本原理	15
1.3.2 方法的应用范围	15
1.3.3 蒸气发生的基本方法	15
1.3.4 氢化物原子化机理	21
1.3.5 相关元素的化学反应条件	23
1.3.6 相关元素的分析性能	23
1.4 干扰及其消除方法	24
1.4.1 光谱干扰	24
1.4.2 非光谱干扰的分类和判别	25
1.4.3 液相干扰的产生	27
1.4.4 液相干扰的克服	29
1.4.5 气相干扰的产生	30
1.4.6 气相干扰的克服	30
1.5 蒸气发生-原子荧光光谱分析技术在元素形态分析领域的应用	32
1.5.1 绪言	32
1.5.2 元素形态分析技术	33
1.5.3 色谱-原子荧光联用的关键技术	34
1.5.4 色谱-原子荧光联用技术的应用	38



1.5.5 元素形态名称缩写的注释	40
1.6 参考文献	41
1.7 思考题	43
2 蒸气发生-原子荧光光谱仪的设备与操作	44
2.1 仪器的基本结构及原理	44
2.1.1 非色散与有色散原子荧光光谱仪	44
2.1.2 激发光源	46
2.1.3 原子化器	52
2.1.4 光学系统	55
2.1.5 蒸气发生反应系统	56
2.1.6 检测系统	59
2.1.7 工作软件	61
2.2 典型的蒸气发生-原子荧光光谱仪	61
2.2.1 仪器构成及工作原理	61
2.2.2 仪器正常使用程序	62
2.2.3 软件操作的流程图	63
2.3 仪器工作参数的设置与优化	64
2.3.1 概述	64
2.3.2 灯电流的设置	64
2.3.3 光电倍增管负高压	64
2.3.4 石英炉原子化器的预加热温度	65
2.3.5 气体(Ar)流量的设置	65
2.3.6 氩氢火焰的观测高度	66
2.3.7 进样量的选择和采样控制	67
2.4 标准溶液的配制与要求	68
2.4.1 概述	68
2.4.2 酸类纯度及水质的要求	68
2.4.3 载流	68
2.4.4 还原剂(KBH_4 或 NaBH_4)	69
2.4.5 标准系列溶液的配制	69
2.5 仪器安装与验收	77
2.5.1 安装	77
2.5.2 验收	79
2.5.3 安装验收记录	80
2.6 日常保养与维护	80
2.6.1 激发光源	80
2.6.2 光学系统	81

2.6.3	进样系统	81
2.6.4	气液分离器	82
2.6.5	石英炉原子化器	82
2.6.6	气路系统	82
2.6.7	检测系统	82
2.7	仪器校准和期间核查	83
2.7.1	仪器校准	83
2.7.2	期间核查	83
2.8	常见故障分析与处置方法	84
2.8.1	仪器软件通信失败	84
2.8.2	测量时无信号或信号偏低	84
2.8.3	测量信号稳定性较差	85
2.8.4	样品测量准确度较差	85
2.8.5	自动进样器不能复位	86
2.9	参考文献	86
2.10	思考题	88
3	蒸气发生-原子荧光光谱分析方法标准与应用	89
3.1	蒸气发生-原子荧光光谱法元素个论	89
3.1.1	砷(As)	89
3.1.2	铋(Bi)	90
3.1.3	镉(Cd)	90
3.1.4	锗(Ge)	91
3.1.5	汞(Hg)	91
3.1.6	铅(Pb)	92
3.1.7	铟(Sb)	93
3.1.8	硒(Se)	93
3.1.9	锡(Sn)	93
3.1.10	碲(Te)	94
3.1.11	锌(Zn)	94
3.2	金属材料分析中蒸气发生-原子荧光光谱分析标准及应用	95
3.2.1	样品处理	95
3.2.2	应用实例	95
3.3	地质领域分析中蒸气发生-原子荧光光谱分析标准及应用	98
3.3.1	样品处理	98
3.3.2	应用实例	99
3.4	水质及环境分析中蒸气发生-原子荧光光谱分析标准及应用	101
3.4.1	样品处理	101



3.4.2 应用实例	102
3.5 食品及饲料分析中蒸气发生-原子荧光光谱分析标准及应用	105
3.5.1 样品处理	105
3.5.2 应用实例	105
3.6 石油及化工分析中蒸气发生-原子荧光光谱分析标准及应用	108
3.6.1 样品处理	108
3.6.2 应用实例	108
3.7 化妆品分析中蒸气发生-原子荧光光谱分析标准及应用	109
3.7.1 样品处理	110
3.7.2 应用实例	110
3.8 参考文献	114
3.9 思考题	116
4 蒸气发生-原子荧光光谱法分析结果的数据处理	117
4.1 数理统计中的一些基本概念	117
4.2 分析测试数据的基本特性	120
4.2.1 数据集中趋势的表征	120
4.2.2 数据离散性的表征	120
4.2.3 分析方法的灵敏度、检出限、测定限(测定下限)	124
4.3 VG-AFS 测量误差及测量结果的不确定度评定	126
4.3.1 不确定度评定有关的基本术语	126
4.3.2 误差与不确定度	127
4.3.3 化学分析结果中测量不确定度的来源	128
4.3.4 不确定度的评定方法及步骤	129
4.3.5 VG-AFS 测量不确定度的评定	133
4.4 VG-AFS 测定低合金钢中砷含量测量不确定度评定实例	137
4.4.1 分析方法和测量参数概述	137
4.4.2 被测量与输入量的数学模型	137
4.4.3 不确定度分量的识别和评定	137
4.5 参考文献	140
4.6 思考题	141
附录 1 蒸气发生-原子荧光光谱仪的型号及生产厂家	142
附录 2 标准代码表	143
附录 3 原子荧光光谱分析技术相关标准及规程目录	144

原子荧光光谱分析基础理论知识

1.1 绪论

原子荧光光谱法(atomic fluorescence spectrometry, AFS)是基于蒸气相中待测元素的基态原子吸收光源辐射之后,再激发出具有荧光的特征谱线,其吸收和再激发的辐射波长可以相同(共振荧光),也可以不同(非共振荧光),根据特征谱线辐射的强度来确定该元素含量的一种光谱分析方法。

原子荧光光谱法是原子光谱学中的三大分支——原子发射光谱法(AES)、原子吸收光谱法(AAS)、原子荧光光谱法(AFS)——之一。自从1964年 Winefordner 提出将原子荧光光谱法(AFS)作为一种新的分析方法以来,至今已有近40余年,在最初的近十年时间主要研究工作集中在激发光源和原子化器,它包括火焰原子化法和无火焰原子化法。

早期的原子荧光光谱分析首先采用的是火焰原子化法,它与原子吸收中使用的原子化器基本上相同,结构简单、操作简便。曾使用过的原子化器有空气-乙炔火焰、氢-氧火焰和氩-氢火焰等。不同火焰的原子化器其原子化过程基本相同,火焰原子化是利用化学火焰产生的热能蒸发溶剂、解离分析物分子,产生被测元素的原子蒸气。在20世纪70年代,美国 Technicon 公司生产的 AFS-6 型多道非色散原子荧光光谱仪,采用脉冲调制空心阴极灯作为激发光源,火焰原子化法(预混合型空气-乙炔火焰原子化器),可六道同时测量。但是,由于该仪器本身存在一些技术上的缺陷,因此还没有得到推广就停产了。我国中科院上海冶金研究所研制的双通非色散原子荧光光谱仪,也采用了火焰原子化法(氮屏蔽空气-乙炔火焰原子化器),除了 Zn、Cd 等元素可获得较高的分析灵敏度和线性范围宽外,其它元素均无显著特点,因而也未能得到推广应用。

在以后研制的原子荧光光谱仪器中已很少采用带有燃气和助燃气的火焰原子化器,其主要原因是火焰原子化法在原子荧光光谱分析中易产生荧光猝灭现象(火焰中含有 CO、CO₂、N₂ 等猝灭剂),降低了荧光的产额;且火焰的发射背景高,气相原子浓度受到大量火焰气体的强烈稀释;以及使用气动雾化器时的样品利用效率极低(约为 10%~15%),使大部分样品变为废液,导致了荧光量子效率和原子化效率的降低,因此难以得到较好的检出限。

国外也曾研究过无火焰原子荧光光谱法,主要采用的是电热原子化器。它包括石墨炉、石墨杯或石墨棒,以及由钽、钼、钨等金属材料制成的金属炉、金属丝或金属舟等原子化器。而用于原子荧光光谱分析的石墨炉与原子吸收使用的石墨炉在结构上有些差别。它由内径

6.5 mm、长 40 mm 的石墨杯组成,杯上刻有两条垂直相对着的小缝,使荧光从此辐射出去。激发光辐射从杯顶部照射(挥发的蒸气在此逸出),石墨杯夹在与电源连接的支架上,周围用氩气保护,用高达 400 A 的电流加热,使用的试样体积为(5~50) μL ,石墨炉原子化器的工作原理与原子吸收光谱法相同。金属可以用来代替石墨作为支持体,这种装置的一种型式是热金属丝环,其装置结构要简单一些,但由于加热体的体积较小,所以加热到同样温度时所需的功率也较小。这种装置也存在着一些缺点,即只有在金属丝的表面很少区间内是高温,当原子蒸气离开高温金属丝的表面进入冷的保护气氛中时,会立即在那里产生冷凝,自由原子产额显著降低,且被分析原子的凝集速度取决于共存物质,从而导致了元素间的严重干扰。虽然采用石墨炉、碳棒和金属丝等无火焰原子化器比火焰原子化器具有更多的优越性,能使部分元素获得较低的检出限。但是到目前为止,由于无火焰原子化器的某些技术在原子荧光中的应用还不是很成熟,无火焰原子化器还没有在商品仪器中得到应用。

蒸气发生-原子荧光光谱法(vapour generation-atomic fluorescence spectrometry, VG-AFS)是原子荧光光谱法中的一个重要分支,也是目前最具有实用价值的原子荧光光谱分析方法和唯一形成商品化的仪器。20 世纪 80 年代我国在原子荧光光谱分析技术的研究得到了快速发展。1982 年我国首先研制成功了蒸气发生-双道原子荧光光谱仪,并迅速将科研成果转化为商品化仪器。该仪器的特点是直接利用氢化反应过程中产生的氢气,不需要外加可燃气体即可形成氩氢火焰,石英炉原子化器的结构比较简单,操作安全方便;同时氩-氢火焰具有很高的原子化效率,且在紫外区背景辐射较低;另外由于气体进样效率很高,可接近 100%。该仪器可测定 As、Sb、Bi、Se、Te、Pb、Sn、Ge、Hg、Zn 和 Cd 等 11 种元素具有很低的检出限,且具有重现性好、干扰少、线性范围宽和可实现多元素同时测定等优点,是一种性能优良的痕量和超痕量元素的分析方法。经过近 30 年的发展,VG-AFS 在我国得到普及,已成为众多实验室常规分析仪器。在地质、冶金、环保、农业、化工、商检、医疗卫生、水质分析和材料科学等领域等得到广泛应用,且已先后建立了 90 多项相关的国家标准、行业标准和地方标准,应该说 VG-AFS 是为数不多的具有中国自主知识产权的分析仪器。目前,我国无论在仪器的研发、分析方法的研究和推广应用等方面,均处于国际领先水平。

在本书中将重点介绍 VG-AFS 的基础理论知识、仪器设备与操作、分析方法与应用及分析结果数据处理等。

1.1.1 国外原子荧光光谱分析技术的发展

1902 年,Wood 等开始研究原子荧光现象,并首次观察到钠的原子荧光。1964 年美国佛罗里达州立大学 Winefordner 正式提出火焰原子荧光光谱法可作为一种新的化学分析方法,并推导出了有关原子荧光光谱分析的基本方程式,同时发表了原子荧光光谱法测定汞、锌、镉的应用论文,从此开创了火焰原子荧光光谱分析方法。随后,许多研究工作主要是 Winefordner 教授和英国伦敦帝国学院 West 教授的两个研究小组合作完成的,极大地推动了原子荧光光谱法的进步和发展,为此做出了重大的贡献。

20 世纪 60 年代末,微波激发的无极放电灯作为激发光源,在原子荧光光谱发展过程中得到应用,曾起到了非常重要的作用,在很长的一段时期内是原子荧光光谱法的主要激发光源。随后,Löwe 设计的高强度空心阴极灯,特别是采用短脉冲电源供电技术,大大提高了空心阴极灯的辐射强度,除信噪比得到显著改善外,还具有预热快、寿命长及电源简单等优点。迄今为止高强度空心阴极灯仍是原子荧光光谱法较为理想的最主要的激发光源。