

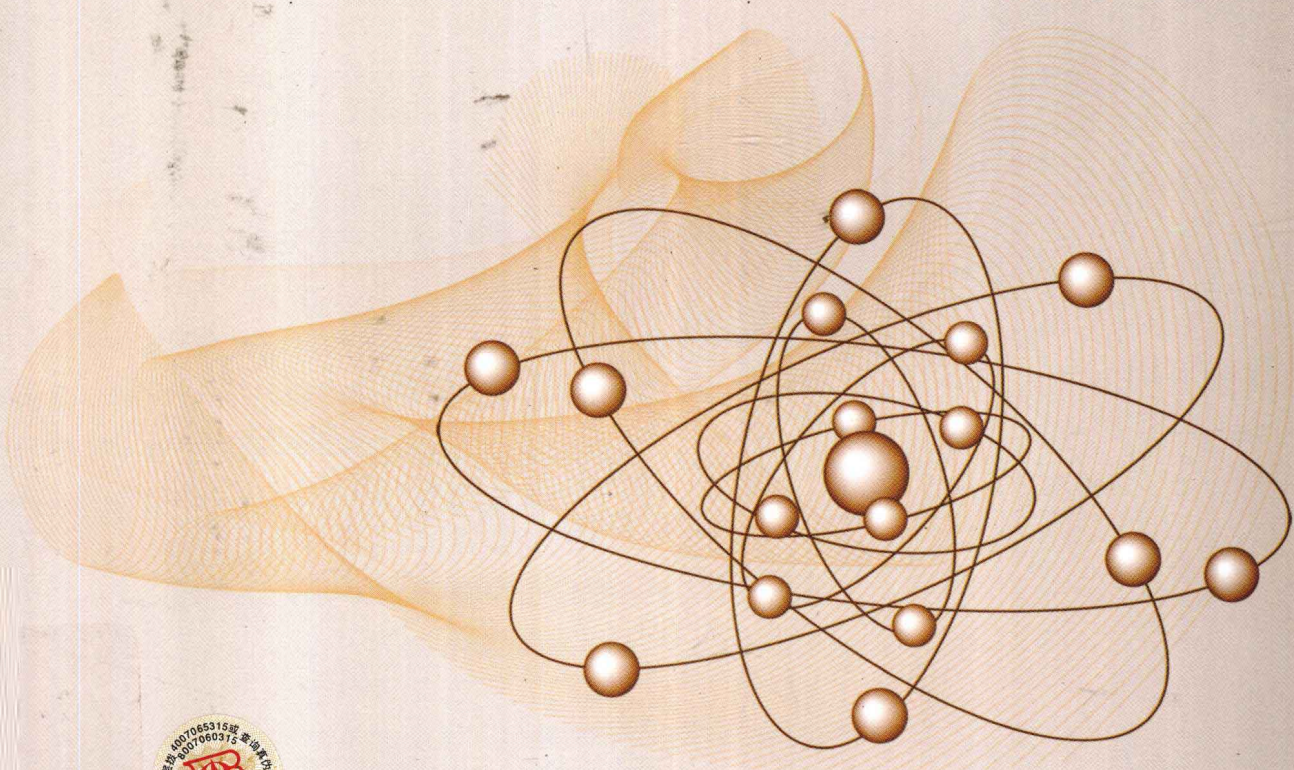
国家科技基础条件平台建设项目
“全国分析检测人员能力培训与考核体系”成果


全国分析检测人员能力培训委员会(NTC)系列培训教材

ATC 001

电感耦合等离子体 原子发射光谱分析技术

郑国经 主编



 中国质检出版社
中国标准出版社

“全国分析检测人员技术能力培训与考核体系”是国家科技基础条件平台建设的一项重点成果。该体系统一、规范了分析检测人员分析检测技术的培训与考核标准，对培养专业化人才、提高分析检测人员的技术能力和素质、确保实验室分析检测数据的可靠性和准确性具有重要的意义。为了更好地推广和运行“全国分析检测人员能力培训与考核体系”，由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牵头成立了“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，委员会秘书处统一组织了《全国分析检测人员能力培训委员会（NTC）系列培训教材》（以下简称“NTC系列培训教材”）的编写工作。NTC拥有《NTC系列培训教材》的著作权，并将其作为NTC的唯一指定教材，将专有出版权授予中国质检出版社出版。

《NTC系列培训教材》包括ATC化学类分析测试技术、ATP物理类检测技术、ATM力学性能测试类和ATQ产品质量特性类检测技术共四类技术的培训教材，其中每项分析检测技术由基础理论知识、仪器与操作、标准方法与应用以及数据处理四个部分组成。组成了符合体系要求、架构合理、全面的系列大型分析检测技术培训教材。《NTC系列培训教材》的出版，对统一、规范和提高NTC技术的培训内容和水平，帮助分析检测人员顺利完成相关技术的学习和考核具有重要的意义。

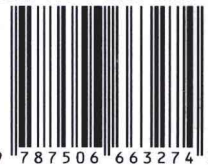
本书系《NTC系列培训教材》之一。依据全国分析检测人员能力培训委员会《ATC001 电感耦合等离子体原子发射光谱分析技术考核与培训大纲》编写，包括电感耦合等离子体原子发射光谱（ICP-AES）分析技术的基础理论知识、仪器设备与操作、标准方法与应用以及分析结果的数据处理四个部分。

本书涵盖了从事ICP-AES分析技术工作的检测人员需要掌握的理论、仪器和实践的基本知识，并附有思考题，可作为培训分析检测人员的教材，可供企业、科研以及商品检验部门分析检验人员参考和使用，也可供相关院校师生参考。

责任编辑：孟 博
王昕昳
封面设计：李冬梅
版式设计：李 玲
责任校对：张秀玲
责任印制：程 刚

销售分类建议：化工

ISBN 978-7-5066-6327-4



9 787506 663274 >

定价：43.00元



全国分析检测人员能力培训委员会(NTC)系列培训教材

ATC 001

电感耦合等离子体原子发射光谱
分析技术

郑国经 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 001 电感耦合等离子体原子发射光谱分析技术/
郑国经编著. —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 978-7-5066-6327-4

I. ①A… II. ①全… III. ①电感耦合等离子体光谱
法-技术培训-教材 IV. ①0657.31

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 159638 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 14.25 字数 340 千字

2011 年 9 月第一版 2011 年 9 月第一次印刷

*

定价 43.00 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。从而形成了由“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《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 001 电感耦合等离子体原子发射光谱分析技术》

编 委 会

主 编 郑国经

编 委 (按姓氏笔画排序)

王明海 计子华 李 冰

罗倩华 符 斌 童 坚

前 言

电感耦合等离子体原子发射光谱(ICP-AES)分析法是近半个世纪内迅速发展起来的分析技术,它可以测定元素周期表中除少数元素以外的全部元素,具有灵敏度高、干扰较少、线性范围宽和同时测定或顺序测定多元素等特点。ICP-AES已成为现代科学技术中的一种重要测试手段,已被各领域的检测实验室广泛采用,目前已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扎实地掌握 ICP-AES 分析技术,我们从培训教材的角度编写了本书。本书依据全国分析检测人员能力培训委员会《ATC001 电感耦合等离子体原子发射光谱分析技术考核与培训大纲》编写,内容包括 ICP-AES 分析技术的基础理论知识、仪器设备与操作、标准方法与应用技术以及分析结果的数据处理四个部分。本书以工厂、研究所、学校、检验检疫、环境等领域实验室具有高中以上文化程度的检测人员为基本对象,希望通过以本书为教材的培训或学习,让他们了解 ICP-AES 分析技术的基本概念及基础理论知识,熟悉 ICP-AES 仪器的组成结构及工作原理,具备 ICP-AES 仪器的实际操作能力,掌握 ICP-AES 分析技术在相关领域的应用。

本书可作为有关部门培训分析检测人员的教材,可供企业、科研以及商品检验部门分析检验人员参考和使用,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的指导下,组织各方面的专家撰写,几易其稿而成。在本书的编写过程中,得到了北京



钢铁研究总院、北京首钢冶金研究院、北京矿冶研究总院、地质科学院力学所、北京有色金属研究总院、清华大学、北京化工大学、全国分析检测人员能力培训委员会秘书处等单位的领导和分析工作者的积极支持。清华大学邓勃教授和北京矿冶研究总院冯先进研究员对书稿进行了细致审阅、改正,提出了很多十分宝贵的修改意见,对本书的最后定稿起了重要作用。本书在确定编写大纲和修改过程中得到了各方面技术专家的指导和帮助,在此谨致谢忱。

本书在编写过程中吸取了各应用领域业内专家及 ICP 仪器知名厂商的意见,力求使本教材能满足该项技术在各领域的应用和不同仪器类型用户的培训要求,但由于该项技术所涉及的应用领域越来越广,仪器类型及其性能不断发展和提高,以及编者知识面及水平所限,书中难免有疏漏和错误之处,尚祈分析界专家及读者批评指正。

编 者

2011年8月

目 录

1 基础理论知识	1
1.1 概况	1
1.1.1 ICP-AES 分析技术的发展	1
1.1.2 等离子体发射光谱的概念	2
1.1.3 ICP-AES 法的分析特性和应用范围	4
1.2 原子发射光谱基础知识	6
1.2.1 光谱	6
1.2.2 原子光谱	6
1.2.3 原子发射光谱的基本术语	8
1.2.4 原子发射光谱定性分析	9
1.2.5 原子发射光谱定量分析	10
1.3 ICP-AES 法的基本原理	11
1.3.1 ICP 装置的原理	11
1.3.2 ICP-AES 分析的主要干扰及其消除	14
1.3.3 ICP 分析中的特征值——灵敏度、检出限和定量限	17
1.3.4 ICP-AES 分析性能小结	20
1.4 ICP-AES 分析技术的发展	20
1.4.1 ICP-AES 仪器的发展	20
1.4.2 检出限和仪器测量精密度不断改善和提高	21
1.4.3 全谱直读型仪器的发展	21
1.4.4 ICP-AES 分析技术的进展	22
1.5 参考资料	23
1.6 思考题	23
2 ICP-AES 分析仪器设备与操作	24
2.1 ICP-AES 光谱仪的组成	24
2.1.1 高频发生器	24
2.1.2 炬管、工作气体和气路	26
2.1.3 进样系统	26
2.1.4 光学系统	30
2.1.5 测量系统	37



2.1.6	计算机系统	38
2.2	ICP 仪器工作参数的设定	38
2.2.1	分析谱线的特性	38
2.2.2	工作气体流速	39
2.2.3	观测高度	39
2.2.4	高频发生器功率	40
2.2.5	测定条件的优化	41
2.2.6	常用工作参数	42
2.3	ICP-AES 光谱仪的使用	42
2.3.1	日常分析操作	42
2.3.2	ICP 光谱仪使用要求及注意事项	51
2.4	ICP 光谱仪的维护	53
2.5	ICP 光谱仪器的校准和期间核查	53
2.5.1	仪器校准	53
2.5.2	期间核查	53
2.6	思考题	53
3	ICP-AES 分析方法标准与应用	56
3.1	ICP-AES 分析方法通则(示例)	56
3.2	ICP-AES 分析的样品处理	56
3.2.1	分析样品的取制样	56
3.2.2	分析试液的制备	66
3.3	标准样品与标准工作曲线	69
3.3.1	标准样品	69
3.3.2	标准溶液与标准方法	70
3.3.3	标准工作曲线	71
3.4	ICP-AES 分析方法标准与应用实例	72
3.4.1	在钢铁分析中的应用	72
3.4.2	在铁矿石及冶金物料分析上的应用	87
3.4.3	在有色金属材料分析上的应用	92
3.4.4	在岩矿、土壤及地球化学样品分析上的应用	116
3.4.5	在煤焦产品分析上的应用	121
3.4.6	在水质及环境领域分析上的应用	124
3.4.7	在食品(包括动植物、中草药样品)分析上的应用	127
3.4.8	在石油、化工分析上的应用	131
3.4.9	在核工业分析上的应用	136
3.4.10	在其他领域的应用	147

3.5 参考资料	150
3.6 思考题	152
4 ICP 光谱分析结果的数据处理	153
4.1 概述	153
4.1.1 分析数据的特点	153
4.1.2 光谱分析数据的特点	153
4.1.3 光谱分析数据的统计处理内容	154
4.2 光谱分析结果的误差分析	154
4.2.1 误差分析的基本概念	154
4.2.2 光谱分析误差的来源	158
4.2.3 光谱干扰对测定误差的影响及其干扰校正	159
4.3 光谱分析数据的统计处理	163
4.3.1 评价测定结果常用的几个术语	163
4.3.2 数据可靠性检验	164
4.3.3 分析数据的数字修约规则	172
4.3.4 校正曲线的回归分析	173
4.4 光谱分析中的不确定度	173
4.4.1 化学分析中的不确定度问题	174
4.4.2 不确定度的定义	174
4.4.3 不确定度的分类及其表示方法	175
4.4.4 各类不确定度的计算方法	175
4.4.5 估计不确定度的方法	177
4.4.6 ICP 光谱分析中不确定度的计算	178
4.5 参考资料	184
4.6 思考题	184
附录 1 常用单元素标准溶液配制方法	186
附录 2 常用 ICP 发射光谱分析谱线与检出限表	190
附录 3 典型型号 ICP 光谱仪器示例	200
附录 4 标准代码表	203
附录 5 ICP-AES 光谱分析标准及规程目录	204

基础理论知识

1.1 概况

1.1.1 ICP-AES 分析技术的发展

电感耦合等离子体(inductively coupled plasma, 简称为 ICP)发射光谱分析法是原子光谱分析技术中,以等离子体炬作为激发光源的一种原子发射光谱分析技术,简称为 ICP-AES 或 ICP-OES,是原子光谱分析中研究最为深入和应用最为广泛、有效的分析技术之一。

原子发射光谱(AES)分析法一直是材料领域中最为常用的元素分析手段。随着技术的进步,它经由摄谱仪、看谱镜、光电光谱仪到直读光谱仪,发展成为一种非常实用、非常普及的仪器分析方法,并在冶金工业中获得广泛应用。由于它是利用原子发射特征谱线所提供的信息来进行元素分析,具有多元素同时、快速、直接测定的优点,一直是冶金生产中不可缺少的分析手段。但是一般的发射光谱分析法有其不足之处:分析时需要有一套组成、结构相同的标准样品,一些元素不易激发、灵敏度低、测定误差较大等。因此,发射光谱的发展曾经历了一个停滞阶段。

1954年,由沃尔什(A. Walsh)发明了空心阴极灯光源,创立了原子吸收光谱(AAS)分析法,利用溶液进样和火焰原子化等技术,以基态原子对其特征谱线的吸收作用,进行定量分析,简化了光谱分析仪器,同时提高了光谱分析的测量精度。随后发展起来的石墨炉原子化原子吸收光谱法(GF-AAS),使 AAS 分析法的绝对灵敏度达到 10^{-12} g,大大促进了原子光谱分析技术的发展。但是,AAS 分析法的线性范围窄,只有(1~2)个数量级,而且是一种单元素逐个测定的分析方法,虽然目前已经出现采用连续光源的 AAS 仪器,但要达到实质上的多元素同时测定,还需进一步的发展。

在对发射光谱法的光源进行深入研究和改革的过程中,人们发现了利用等离子炬作发射光谱的激发光源,并采用 AAS 的溶液进样方式,创立起一类既具有发射光谱法多元素同时分析的特点、又具有吸收光谱法溶液进样的灵活性和稳定性的新型仪器——ICP-AES 分析方法,把发射光谱分析技术推向一个新的发展阶段。

ICP-AES 法是 20 世纪 60 年代提出、70 年代迅速发展起来的一种新型分析技术,而应用到分析上则是近 20 多年来的事。ICP 光源的历史,可追溯到 100 年以前(有文献认为 1884 年 W. Hittorf 发现高频感应真空管内产生的辉光,是等离子放电的最初观察)。至 1942 年 Babat 才实现了常压下的 Ar-ICP 放电。但是,具有光谱分析意义的发现,应自 1961 年 T. B. Reed 设计的三层同心石英管组成的等离子炬管装置开始,该装置从切线方向通入

冷却气,得到在大气压下类似火焰形状的高频无极放电,从而揭开了 ICP 光谱分析的序幕。至今常规 ICP 的炬管与 T. B. Reed 的装置没什么本质上的区别,而切线方向进气所产生的涡流效应被称为 Reed 效应,是实现 ICP 稳定放电的重要条件。

1962 年美国 V. A. Fassel 和英国 S. Greefield 分别开始 ICP-AES 分析法的研究。1964 年 S. Greefield 和 1965 年 R. H. Wendt、V. A. Fassel 首次发表了 ICP 在原子光谱分析上的应用报告,前者指出了 ICP 光源没有基体效应,后者指出 ICP 光源是一种有效的挥发-原子化-激发-电离器(VAEI)。但其时正值原子吸收光谱法蓬勃发展阶段,ICP 首先被用作原子化器,至 20 世纪 70 年代荷兰、法国、英国、美国出现了 4 种流行的 ICP 仪器系统,才开始应用于 AES。1975 年出现了第一台 ICP-AES 同时型(多道)商品仪器,1977 年出现了顺序型(单道扫描)ICP-AES 商品仪器以后,ICP-AES 仪器在分析实验室中的应用显著增多,迎来了 ICP-AES 法发展的高潮。

国外在 20 世纪 80 年代即已掀起了 ICP-AES 热潮,至 90 年代 ICP-AES 仪器的功能得到迅速提高,仪器的灵敏度比 80 年代初期文献报道的提高了约 1 个数量级。随后各厂商相继推出各种分析性能好、性价比越具优势的商品化仪器,使 ICP-AES 分析技术逐渐成为元素分析的常规手段。1993 年以来,出现中阶梯(echelle)光栅与光学多道检测器相结合的新一代 ICP 商品仪器,该仪器采用电荷注入器件(charge injection device, CID)或电荷耦合器件(charge couple device, CCD)检测器,代替传统的光电倍增管(PMT),并引入高配置计算机实时处理光谱信息,推出了具有全谱直读功能且结构新颖的 ICP-AES 仪器,使发射光谱分析方法进入了一个新的发展时期。

我国于 20 世纪 70 年代开始对 ICP 光源进行研究开发,我国分析界正是处于研制 AAS 热潮的时期,直至 20 世纪 80 年代,国内对 ICP-AES 的研究多限于自己组装 ICP 仪器,且多为 ICP 摄谱法,ICP-AES 分析技术的发展滞后于国外。随着国外高性能 ICP 直读仪器的引进,国内 ICP-AES 分析技术在 20 世纪 90 年代得到迅速发展,并开始出现了国产的 ICP-AES 商品仪器,如北京第二光学仪器厂的同时型多道仪器、北京地质仪器厂的顺序型单道仪器等,采用高刻线全息光栅分光,其分析性能已达到国外同类仪器的水平,同时使用中文窗口软件操作方便,推动了国产光谱仪器的发展。ICP-AES 分析技术也逐渐成为各实验室元素分析的常规手段。与此同时,国外在 ICP-AES 仪器的灵敏度和稳定性等方面也有很大的提高,已发展成为既有多功能性又有较低价格的常规光谱分析仪器。而用于痕量元素测定的 ICP 仪器已向 ICP-MS 发展,进入超痕量分析领域。

1.1.2 等离子体发射光谱的概念

1.1.2.1 等离子体(Plasma)

等离子体(plasma)在近代物理学中是一个很普通的概念,是一种在一定程度上被电离(电离度大于 0.1%)的气体,其导电能力达到充分电离气体的程度,而其中电子和阳离子的浓度处于平衡状态,宏观上呈电中性,是物质的第四种状态。因为当电离度在 0.1%时,这种气体的导电能力即达到最大导电能力的 1/2,而当电离度达到 1%时,其导电能力已接近充分电离的气体。在高频电磁场的作用下,这种等离子体可以达到很高的温度,成为一个具有良好的蒸发-原子化-激发-电离性能的光谱光源。

等离子体按其温度可以分为高温等离子体和低温等离子体。当等离子体的温度达到(10^6