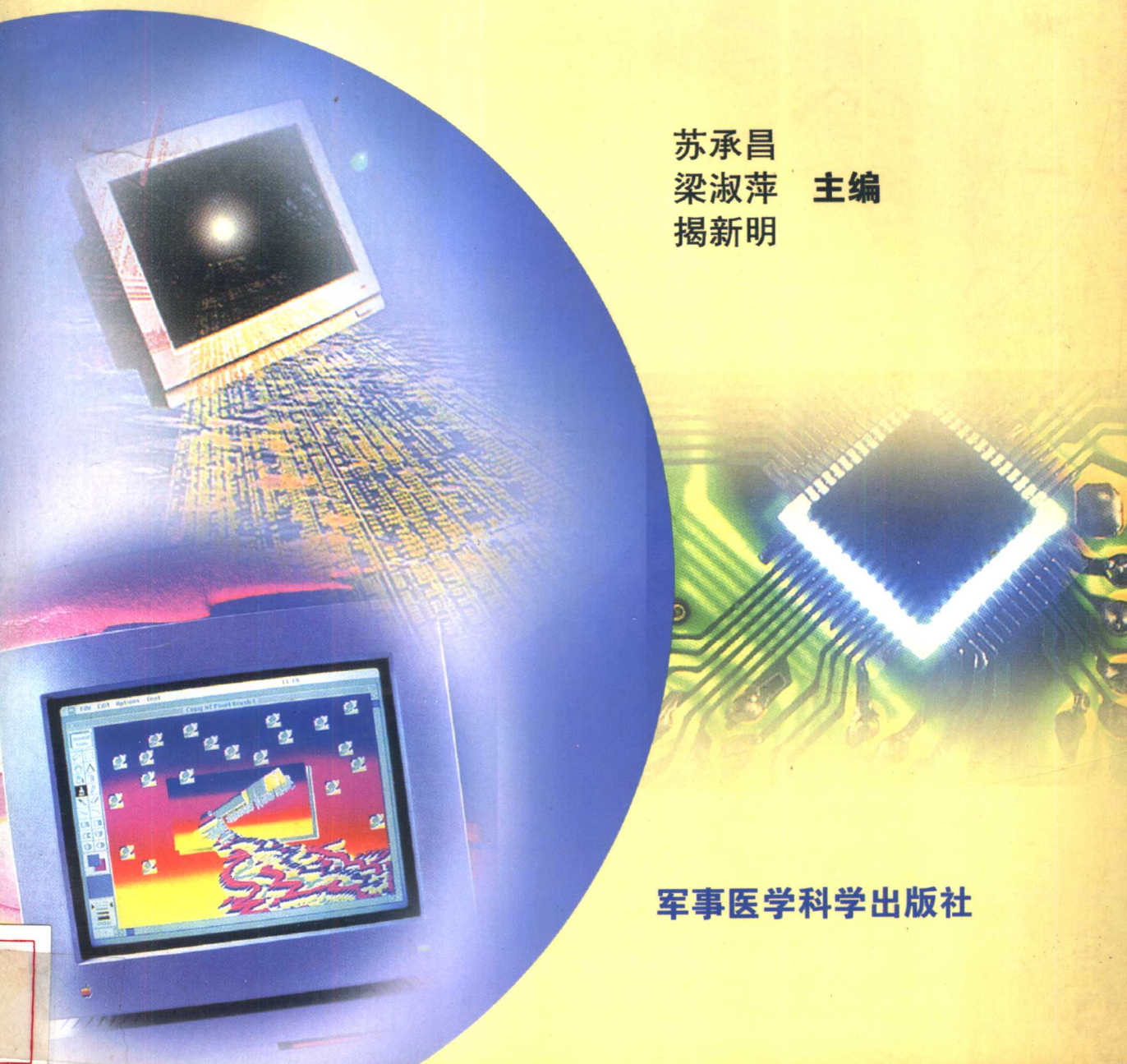


分析仪器

苏承昌
梁淑萍 主编
揭新明



军事医学科学出版社

高等医药院校教材

分 析 仪 器

主 编 苏承昌 梁淑萍 揭新明

副主编 杨跃平 刘鸿莲

主 审 胡新珉

军事医学科学出版社

·北 京·

内 容 简 介

本书根据医药院校需要并结合医疗、卫生、防疫以及制药行业的实际情况,主要介绍常用分析仪器的原理、构造与维修。全书共分 12 章,内容包括生物显微镜、光电比色计、分光光度计、自动生化分析仪、尿液分析仪、酸度计、钾钠离子分析仪、血液气体分析仪、血细胞计数器、分离分析仪器、医用检验仪器和分析仪器等。重点介绍常用的、大型的、复杂的和智能检验仪器。

本书可供高等医药院校医学检验、卫生检验、药物检验或其他有关专业学生和研究生使用,也可作为从事分析仪器使用、维修和管理工作人员的参考书。

* * *

图书在版编目(CIP)数据

分析仪器/苏承昌,梁淑萍,揭新明主编. - 北京:军事医学科学出版社,2000.7

ISBN 7-80121-247-9

I. 分… II. ①苏…②梁…③揭… III. 医用分析仪器 IV. TH776

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 62648 号

* *

军事医学科学出版社出版

(北京市太平路 27 号 邮政编码:100850)

新华书店总店北京发行所发行

潮河印刷厂印刷

*

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:23.625 字数:583 千字

2000 年 9 月第 1 版 2000 年 9 月第 1 次印刷

印数:1-5000 册 定价:34.00 元

(购买本社图书,凡有缺、损、倒、脱页者,本社发行部负责调换)

主 编 苏承昌 梁淑萍 揭新明
副主编 杨跃平 刘鸿莲

编 者 (以章次为序)

苏承昌	(华西医科大学)	第一、三、四章
高建武	(张家口医学院)	第二、六章
杨跃平	(张家口医学院)	第二、六章
邵光中	(南京分析仪器厂)	第五章
梁淑萍	(中国药科大学)	第五、十二章
邵雪辉	(张家口医学院)	第六章
姚 彤	(张家口医学院)	第六章
揭新明	(广东医学院)	第七、十章
周克元	(广东医学院)	第七、九章
庞伟君	(广东医学院)	第八章
蔡康荣	(广东医学院)	第八章
梁 统	(广东医学院)	第九章
关雄泰	(广东医学院)	第十章
蔡 春	(广东医学院)	第十章
刘鸿莲	(华西医科大学)	第十一章
吴立宁	(南京分析仪器厂)	第十二章
杨宏新	(中国药科大学)	第十二章
张益珍	(华西医科大学)	第十二章

前 言

随着科学技术的不断进步,各种高灵敏度、多功能、自动化的分析仪器不断涌现,并广泛应用于医学各个领域,极大地加速了医学各个领域的发展。尖端科学技术所获成果和其发展都离不开各类分析仪器。特别是近 20 年来临床对疾病的诊断、治疗及预后、药物研制中对药物的分析、合成及监测,以及生命科学的研究都更加依赖各类先进的分析仪器。由于分析仪器对医学的重要性不言而喻,促使医药院校卫检、医检和药学各专业纷纷开设了分析仪器或检验仪器课程,但苦于难觅一本真正适合医药院校各专业使用的分析仪器教材。为此,由华西医科大学、中国药科大学、广东医学院和张家口医学院联合组成编委会,根据各校多年教学和实践的经验,编撰了这本教材,以供高等医药院校卫生检验、医学检验、药学等专业使用,也可供其他相关学科人员参考。

本教材以电子技术、计算机等学科为基础,紧密联系医药院校医、教、研需要并结合医疗、卫生、防疫、制药等部门实际情况,以分析仪器为核心,淘汰陈旧的仪器设备,以常用的、大型的、复杂的和智能化的新型分析仪器、检验仪器为主。重点介绍分析仪器的原理、结构、性能和应用。全书共 12 章,较详细地介绍了离心机、酸度计、血气分析仪、极谱仪、分光光度计、紫外可见光分光光度计、红外光谱仪、原子吸收分光光度计、原子发射光谱仪、电泳仪、色谱仪、自动生化分析仪、尿液分析仪、血红蛋白分析仪、显微镜、电子显微镜、细胞计数器、质谱仪、电子顺磁共振仪和核磁共振仪等分析仪器,同时介绍了各类分析仪器的发展趋势。全书内容丰富,涉及面广。编写过程中力求文字通俗易懂,深入浅出,体现专业特色。每章后还附有一定量的思考题,供读者学习自测用。

本书由华西医科大学胡新珉教授主审,华西医科大学苏承昌、中国药科大学梁淑萍、广东医学院揭新明任主编,张家口医学院杨跃平、华西医科大学刘鸿莲任副主编。在编写过程中,得到华西医科大学基础医学院、广东医学院分析中心及各参编院校领导和专家的大力支持。南京分析仪器厂、成都仪器厂为本教材提供了宝贵的技术资料并给予了大力的支持。谨此一并致谢。

由于水平有限,编写时间仓促,加之资料收集不足,难免存在不足或不妥之处,敬请各位专家和广大读者不吝赐教。

编 者

2000 年 4 月

目 录

第一章 绪 论	(1)
§ 1.1 分析仪器概论	(1)
1.1.1 分析仪器与医学专业的关系	(1)
1.1.2 分析仪器的特点	(1)
1.1.3 分析仪器的分类	(2)
§ 1.2 分析仪器的主要性能指标	(3)
1.2.1 精度	(3)
1.2.2 分辨率	(3)
1.2.3 重复性	(3)
1.2.4 灵敏度	(4)
1.2.5 检测极限	(4)
1.2.6 线性范围	(4)
1.2.7 稳定性	(5)
1.2.8 选择性	(5)
1.2.9 响应时间	(5)
§ 1.3 分析仪器的发展趋势	(6)
1.3.1 光化学分析仪器	(6)
1.3.2 电化学分析仪器	(6)
1.3.3 色谱分析仪器	(6)
1.3.4 核磁共振波谱仪	(7)
1.3.5 质谱仪	(7)
思考题	(7)
第二章 离心机	(8)
§ 2.1 离心机基本原理	(8)
2.1.1 物质沉降原理	(8)
2.1.2 离心机原理	(8)
2.1.3 相对离心力	(9)
2.1.4 沉降系数	(9)
§ 2.2 离心机的分类	(10)
§ 2.3 离心机的结构	(10)
2.3.1 普通离心机的结构	(10)
2.3.2 高速、超速(冷冻)离心机	(11)
2.3.3 转头	(13)
§ 2.4 离心机使用保养	(16)
2.4.1 离心机的使用	(16)
2.4.2 离心机常见故障排除	(17)

§ 2.5 离心方法	(18)
2.5.1 差速离心法	(18)
2.5.2 密度梯度离心	(18)
2.5.3 梯度液的制备	(19)
2.5.4 样品的收集	(20)
思考题	(20)
第三章 电化学分析仪器(一)	(21)
§ 3.1 电化学分析基本原理	(21)
3.1.1 电极电位	(21)
3.1.2 能斯特方程	(21)
3.1.3 基本原理	(22)
3.1.4 电极电位的应用	(22)
§ 3.2 酸度计原理及组成	(23)
3.2.1 酸度计原理及组成	(23)
3.2.2 酸度计电极结构及特点	(23)
3.2.3 测量系统的结构及特点	(27)
§ 3.3 酸度计	(27)
3.3.1 pHs-73A 型酸度计	(28)
3.3.2 pHs-3C 型数字式酸度计	(34)
思考题	(39)
§ 3.4 血气分析仪	(40)
3.4.1 血气分析理论	(40)
3.4.2 血气分析仪工作原理	(43)
3.4.3 血气测量电极	(44)
3.4.4 IL-1302 血气分析仪	(48)
3.4.5 AVL-995 型血气分析仪	(55)
3.4.6 血气分析仪的发展与展望	(62)
思考题	(63)
第四章 电化学分析仪器(二)	(64)
§ 4.1 极谱分析仪器	(64)
4.1.1 极谱分析原理	(64)
4.1.2 极谱法的特点	(66)
4.1.3 极谱分析的应用	(66)
§ 4.2 示波极谱仪	(67)
4.2.1 单扫描示波极谱仪	(68)
4.2.2 JP-2 型示波极谱仪	(69)
§ 4.3 JP-303 型示波极谱仪	(81)
4.3.1 JP-303 型示波极谱仪主要技术参数	(82)
4.3.2 极谱原理	(82)

4.3.3 波高测量方法	(83)
4.3.4 工作原理	(84)
思考题	(87)
§ 4.4 溶出伏安仪	(88)
4.4.1 溶出伏安法原理	(88)
4.4.2 溶出伏安法分类及特点	(89)
4.4.3 溶出伏安法的电极系统	(91)
4.4.4 溶出伏安仪	(92)
4.4.5 溶出伏安仪在医学中的应用	(95)
思考题	(96)
第五章 分子光谱仪(一)	(97)
§ 5.1 基本原理	(97)
5.1.1 分子吸收光谱	(97)
5.1.2 紫外吸收光谱	(98)
5.1.3 红外吸收光谱	(101)
§ 5.2 紫外可见光分光光度计	(103)
5.2.1 紫外可见光分光光度计的主要组成部分	(103)
5.2.2 色散元件的分光原理和特性	(103)
5.2.3 光电转换器件的工作原理和特性	(106)
5.2.4 常见的紫外可见光分光光度计	(109)
5.2.5 紫外可见光分光光度计的主要性能指标及其检查方法	(114)
5.2.6 紫外可见光分光光度计的应用	(121)
§ 5.3 红外分光光度计	(125)
5.3.1 红外分光光度计的分类	(125)
5.3.2 色散型红外分光光度计的工作原理	(126)
5.3.3 仪器结构	(127)
5.3.4 傅里叶变换红外分光光度计(FTIR)的基本原理	(135)
5.3.5 傅里叶变换红外分光光度计	(139)
5.3.6 红外分光光度计的安装与性能指标	(142)
5.3.7 红外吸收光谱应用简介	(145)
§ 5.4 荧光分光光度计	(146)
5.4.1 荧光分析的基本原理	(146)
5.4.2 荧光分光光度计	(149)
5.4.3 荧光分析的应用	(154)
思考题	(155)
第六章 分子光谱仪(二)	(156)
§ 6.1 酶标仪	(156)
6.1.1 酶标仪的工作原理及结构	(156)
6.1.2 DG-3022A 型酶标仪简介	(158)

6.1.3 450 型酶标仪简介	(160)
§ 6.2 生化分析仪	(164)
6.2.1 工作原理及结构	(164)
6.2.2 生化分析仪性能评价及选用	(169)
6.2.3 7150 型自动分析仪	(170)
6.2.4 ISP 型半自动生化分析仪	(174)
§ 6.3 尿液分析仪	(178)
6.3.1 尿液分析仪原理	(178)
6.3.2 仪器分类结构	(180)
6.3.3 电路板	(181)
6.3.4 使用方法	(183)
6.3.5 仪器保养注意事项	(185)
6.3.6 Mditron Junior 尿液分析仪	(186)
6.3.7 其他尿液分析仪简介	(188)
§ 6.4 血红蛋白测定仪	(189)
6.4.1 血红蛋白测定原理	(189)
6.4.2 电路简介	(190)
思考题	(192)
第七章 原子光谱仪	(193)
§ 7.1 原子光谱分析的基本原理	(193)
7.1.1 原子能级的跃迁	(193)
7.1.2 原子光谱分析的特点	(194)
§ 7.2 原子吸收光谱仪	(194)
7.2.1 概述	(194)
7.2.2 AAS 的类型	(195)
7.2.3 AAS 的结构	(196)
7.2.4 仪器性能	(202)
7.2.5 AAS 的使用	(202)
7.2.6 原子吸收对实验室及其环境的要求	(202)
7.2.7 原子光谱仪的维护	(203)
§ 7.3 原子发射光谱分析仪器	(204)
7.3.1 概述	(204)
7.3.2 原子发射光谱仪的结构	(205)
7.3.3 光谱分析方法	(209)
思考题	(211)
第八章 细胞计数器及流式细胞仪	(212)
§ 8.1 细胞计数器	(212)
8.1.1 细胞计数原理	(213)
8.1.2 血红蛋白测定原理	(220)

8.1.3 细胞计数器的配置	(221)
8.1.4 常见的细胞计数器及其发展	(222)
§ 8.2 流式细胞仪	(227)
8.2.1 概述	(227)
8.2.2 流式细胞仪的工作原理	(228)
8.2.3 流式细胞仪的基本构造	(229)
思考题	(234)
第九章 电泳仪	(235)
§ 9.1 电泳基本原理	(236)
9.1.1 电泳迁移率	(236)
9.1.2 影响电泳速度的因素	(236)
§ 9.2 电泳仪	(238)
9.2.1 SCR-5 型低压大电流电泳仪	(238)
9.2.2 GDY-3000 等电聚焦电泳仪	(240)
§ 9.3 毛细管电泳仪	(243)
9.3.1 毛细管电泳仪基本结构	(243)
9.3.2 毛细管电泳仪	(247)
思考题	(249)
第十章 色谱仪	(250)
§ 10.1 色谱法概述	(250)
10.1.1 概述	(250)
10.1.2 色谱法的基本原理	(250)
10.1.3 色谱法的分类	(251)
10.1.4 气相色谱和高效液相色谱	(252)
§ 10.2 气相色谱仪	(252)
10.2.1 气路系统	(253)
10.2.2 进样系统	(255)
10.2.3 色谱柱	(255)
§ 10.3 气相色谱检测器分类及指标	(256)
10.3.1 检测器分类	(256)
10.3.2 检测器指标	(257)
§ 10.4 常见的气相色谱检测器	(258)
10.4.1 热导池检测器	(258)
10.4.2 氢火焰离子化检测器	(259)
10.4.3 电子捕获检测器	(260)
10.4.4 火焰光度检测器	(261)
§ 10.5 高效液相色谱仪	(262)
10.5.1 概述	(262)
10.5.2 HPLC 仪器结构	(262)

10.5.3 HPLC 的应用	(271)
思考题	(272)
第十一章 显微镜	(273)
§ 11.1 显微镜的基本原理与光学参数	(273)
11.1.1 显微镜的成像原理	(273)
11.1.2 显微镜的光学参数	(274)
§ 11.2 显微镜的构造	(276)
11.2.1 显微镜的机械部分	(276)
11.2.2 显微镜的光学部分	(279)
§ 11.3 显微镜的调节与使用	(282)
11.3.1 显微镜的工作环境	(282)
11.1.2 显微镜的组装与调试	(282)
11.3.3 显微镜测量	(283)
§ 11.4 普通型显微镜	(285)
11.4.1 普通生物显微镜	(285)
11.4.2 双目显微镜	(285)
11.4.3 倒置显微镜	(286)
11.4.4 摄影显微镜	(286)
§ 11.5 特种型显微镜	(288)
11.5.1 暗场显微镜	(288)
11.5.2 紫外线显微镜	(289)
11.5.3 荧光显微镜	(289)
11.5.4 偏光显微镜	(290)
11.5.5 相衬显微镜	(291)
11.5.6 干涉相衬显微镜	(293)
11.5.7 万能研究显微镜	(294)
§ 11.6 电子显微镜	(296)
11.6.1 电子显微镜的基本工作原理	(296)
11.6.2 透射电子显微镜	(298)
11.6.3 扫描电子显微镜	(302)
11.6.4 电镜技术在生物学中的应用	(304)
11.6.5 电子显微镜的进展	(306)
§ 11.7 扫描隧道显微镜	(307)
11.7.1 扫描隧道显微镜的原理与构造	(308)
11.7.2 STM 的应用	(309)
思考题	(310)
第十二章 现代分析仪器简介	(311)
§ 12.1 质谱仪	(311)
12.1.1 质谱学的基本概念	(311)

12.1.2 质谱仪的主要性能指标	(312)
12.1.3 质谱仪的结构原理	(314)
12.1.4 质谱仪的应用	(320)
§ 12.2 核磁共振仪	(321)
12.2.1 基本原理	(321)
12.2.2 连续波核磁共振波谱仪的结构与原理	(325)
12.2.3 脉冲傅里叶变换核磁共振波谱仪(PFT-NMR)简介	(329)
12.2.4 核磁共振波谱仪在医药领域的应用	(331)
§ 12.3 电子顺磁共振仪	(333)
12.3.1 基本原理	(333)
12.3.2 电子顺磁共振仪的结构与原理	(336)
12.3.3 EPR 的应用	(338)
§ 12.4 X 射线荧光光谱仪	(340)
12.4.1 X 射线荧光光谱仪分析原理	(340)
12.4.2 X 射线荧光光谱仪的组成	(341)
12.4.3 X 射线荧光光谱仪的应用	(347)
思考题	(348)
附录	(349)
附录一 主要物理量符号和单位	(349)
附录二 科技词汇英汉对照	(353)
附录三 主要参考文献	(360)
附录四 几种国产分析仪器的主要参数	(361)

第一章 绪 论

§ 1.1 分析仪器概论

1.1.1 分析仪器与医学专业的关系

分析仪器是用以测定某些物质的存在、化学组成、结构及某些物理特性,并给出定量结果的一类仪器。

在人类认识和改造物质世界的过程中,分析仪器是人类用以认识物质的化学组成、结构、分布状态、物质特性以及揭示生命现象的奥秘,洞察其规律的必不可缺的工具。在基础医学和临床医学的各个领域中,如医学检验、药物分析、毒物分析、卫生检验及病人的诊断、治疗和预后等都大量地使用各类分析仪器。由于分析仪器有着广泛的发展前景,世界各国都投入了大量的人力、物力和财力,用以开发和研制各类分析仪器。所生产的各类分析仪器中都溶入了大量最先进的材料和新技术,使分析仪器的性能更趋完善。分析仪器的质量是代表一个国家科学技术水平高低的重要标志。20 世纪,特别是近 20 年来,随着近代物理学、生物化学、分子生物学、仪器材料学、电子技术、计算机……多学科飞速发展及愈来愈深入的向生物医学和临床医学的渗透,促进了医学理论和实验室仪器技术的发展。计算机已成为分析仪器的重要组成部分,从而加速了分析仪器的自动化和现代化步伐,大大减轻了人力,提高了分析的速度和精度。如一些仪器可一次定性和定量测定多种成分,而很多仪器从进样到打印测试结果的数十道工序完全实现了全自动化,能在数秒—数分钟内得到分析测试结果。很多过去不能检出的物质,现在利用精密的分析仪器已能对其进行定性或定量的分析测试。资料表明,目前最精密的分析仪器可在 10^9 个原子中检测出一个杂质原子,在很短的时间内可测得样品中微量级(ppm)或痕量级(ppt)的物质含量。分析测试技术的高速发展和提高促进了科学技术的进步,其结果带来了包括生命现象研究的许多尖端科学技术领域的发展和突破,分析仪器有着不可磨灭的功劳。据统计,近几年来,科研及临床工作对分析仪器测试数据的依赖性正在不断增长,通过现代化的分析仪器获得的分析结果,为科学研究和临床工作提供了重要的科学依据。大量高精密度,高效率分析测试仪器的广泛应用,必将促进医药院校的教学、科研和医疗水平更上一个新台阶。

1.1.2 分析仪器的特点

分析仪器大多属于精密仪器,溶入了大量高科技和先进材料,原理涉及到物理学、电子技术、材料学、计算机及化学的各个领域,特别是电化学应用更加广泛。但分析仪器又不同于化学分析,它是多学科技术相互渗透和完美结合的产物。在结构上它们有如下几个特点。

(1)结构复杂:分析仪器大多是集光、机、电于一体的仪器,使用的器件种类繁多,尤其是仪器自动化程度愈高和仪器愈小型化,仪器各种功能就愈强大,仪器结构也更紧凑和更加复杂。

(2) 涉及领域广,技术先进:分析仪器始终紧跟各相关学科的前沿,涉及领域包括电子、机械、光学、计算机、材料、生物化学等广泛学科,是一种多学科技术相互渗透、完美结合的产物。

(3) 灵敏度高:分析仪器的灵敏度都在 ppm 级(百万分之一),甚至达到 ppt 级(十亿分之一),较化学分析的灵敏度高很多,因而特别适用于超纯物质中杂质含量的测定和环境监测中微量和痕量成分的分析。

(4) 选择性好:分析仪器的选择性比化学分析的好得多,所以分析仪器可同时进行多组分的测定,虽然部分分析仪器每次只能测定一种组分,但调整到适当条件后,其他组分的干扰通常都可避免,故用分析仪器检测复杂组分试样就很方便了。

(5) 速度快:现代分析仪器中广泛采用高科技、新技术和计算机技术,实现了分析操作自动化、结果自动记录、数据自动处理。分析仪器的一机多用、多机联用的发展,使分析仪器的测试速度愈来愈快,分析的项目和范围也愈来愈宽,试样经预处理后直接上机分析,仅需数十秒至数分钟便可得出分析结果。而一些分析仪器如色谱仪、原子发射光谱仪和极谱仪等,可一次测定多种样品。分析测试的自动化,可在很短的时间内批量分析同种样品。

(6) 适应性强,用途广:分析仪器种类繁多,分析测试的方法各不相同,故分析仪器的适应性很强。不但可以用于结构状态、空间分布、微观分布等有关特征的分析,还可进行微区分析、遥测分析等;不仅可以进行定性分析,还可以进行定量分析。由于分析仪器灵敏度很高,所需试样量极少,有时仅需数微克,甚至可对样品进行无损伤分析,这对于活体组织、考古分析、产品仿制都有重要的意义。因而分析仪器在各领域都得到广泛的应用。

1.1.3 分析仪器的分类

由于分析仪器品种繁多,工作原理非常广泛,以致于分析仪器的分类也就成为一个非常复杂的问题,国内分析仪器行业对该问题进行过多次讨论。以仪器的工作原理为主,结合分析仪器的发展现状及分析仪器行业及使用部门的习惯,曾把分析仪器分为:电化学式分析仪器、热学式分析仪器、磁学式分析仪器、光学式分析仪器、射线式分析仪器、色谱分析仪器、电子光学和离子光学式分析仪器、物性测定仪器和其他分析仪器等 9 大类。

分析仪器原理涉及物理学和化学原理等非常广泛的领域,分类的科学性及合理性问题,原则上做到科学概念上正确,有利于生产、管理及使用即可。事物总是在发展的,任何一种分类法都将随着科学技术的发展日臻完善。本教材根据以上原则,结合书中涉及的仪器,将分析仪器分为以下几类:

- (1) 力学式分析仪:离心机;
- (2) 电化学分析仪:酸度计、血气分析仪、极谱仪;
- (3) 分子光谱仪:分光光度计、紫外可见光分光光度计、红外光谱仪、荧光光谱仪、酶标仪、血红蛋白测定仪、自动生化分析仪、尿液分析仪;
- (4) 原子光谱仪:原子吸收分光光度计、原子发射光谱仪。
- (5) 显微镜:光学显微镜、特种显微镜、电子显微镜、扫描隧道显微镜;
- (6) 色谱仪:气相色谱仪、高效液相色谱仪;
- (7) 现代分析仪器:质谱仪、核磁共振仪、电子自旋共振仪;
- (8) 其他分析仪器:电泳仪、细胞计数器、流式细胞仪。

§ 1.2 分析仪器的主要性能指标

分析仪器作为测量仪器,其性能指标主要是衡量仪器的分析和测试能力,如:精度、分辨率、重复性、灵敏度、检测极限、线性范围、稳定性、选择性、响应时间等。

1.2.1 精 度

精度是判断分析仪器性能的重要指标,通常用误差来表示。误差愈小,说明仪器精度愈高;反之亦然。

表示误差大小的量有2种,一是绝对误差,是说明仪器指示值偏差真实值大小的程度,即指示值有规律偏离真实值的程度,又称为准确度。常用准确度衡量仪器系统误差的大小,数值愈小,系统误差愈小。二是相对误差,用仪器绝对误差的平均值与量程范围之比的百分数来表示,即:

$$Q = \pm \frac{\Delta N}{\Delta D} \times 100\% \quad (1-1)$$

式中, ΔN 表示平均误差, ΔD 表示量程范围,“ $\pm$ ”表示测量结果可大于或小于真实值,但不能超过 ΔN 。

在仪器指标中常用“精度等级”来表示仪器的误差,“精度等级”代表的误差是指在规定的使用条件下,用该仪器测定的最大误差。其意义是式(1-1)中去掉百分号和“ $\pm$ ”号即可。习惯上常把仪器仪表的精度等级由高到低分为1.0,1.5,2.0,2.5,4.0,5.0,6.0,10.0,15.0,20.0等10级。在仪器精度等级前加上“ $\pm$ ”和“%”号,即构成仪器的基本误差,如精度等级为1.0的仪器,精度为1.0%;精度为2.5%的仪器,其精度等级为2.5。

1.2.2 分辨率

分辨率又称鉴别率或分辨本领,是仪器区分特性相近成分的能力。分辨率愈高,说明仪器将几种性能相近的成分区分开的能力愈强,反之亦然。

不同的分析仪器,分辨率的表现形式也不尽相同。对于显微镜,分辨率是指显微镜分辨被检物体的微细结构的能力,与显微镜分辨距离成反比;分光系统的分辨率是指分光元件分辨相邻两谱线的能力;由于质谱仪是区分物质的质量数,故其分辨率是指区别样品质量数的能力。总而言之,分辨率这个概念较复杂,对于不同的仪器,分辨率有不同的含义,但其基本概念是一致的。

1.2.3 重复性

理想状态下的分析仪器在相同条件下应具有一致的重复试验性,也就是说经多次循环试验所得到的变化规律是一致的,各个对应点上的量值是完全重合的。但实际试验中不同次的试验结果所得到输出量总有一定的差异,这个差异就形成了重复性误差。所以,重复性说明仪器测量值的分散性,即对某一稳定的被测量物由同一操作者用同一台仪器在短时间内连续重复测定多次,其测量结果的分散程度。如某台酸度计的重复性为5%,意即用该酸度计多次测量结果的分散程度不大于0.05 pH。重复性与精度的关系非常密切,重复性必然在精度范围

内,即用来确定精度的误差必然包括重复性误差。

实际上,精度是重复性和准确度的综合反映,精度高的仪器其重复性和准确度都高。

1.2.4 灵敏度

灵敏度是指分析仪器在稳定条件下对被测量物微小变化的响应,也即仪器的输出量与输入量之比。灵敏度等于分析仪器的指示值增量与被测量增量之比,用下式表示:

$$S = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (1-2)$$

式中, Δy 表示输出增量, Δx 表示输入增量,此式只能反映特性是线性的情况,若反映特性是非线性的,则式(1-2)应写成导数形式:

$$S = \frac{dy}{dx} \quad (1-3)$$

它是仪器在稳态下输出与输入特性曲线上各点的斜率。

由于各种仪器作用机理不同,灵敏度的计算式和量纲也不同。如用气相色谱仪测试气体样品,若使用浓度型检测器所得灵敏度单位是 $\text{mV} \cdot \text{mL/mL}$;而使用质量型检测器所得灵敏度单位是 $\text{mV} \cdot \text{s/g}$ 。

对于一台仪器,其灵敏度在不同含量、不同测量对象时是不相同的。因此,要比较仪器的灵敏度,必须给定一定条件,如某一量程范围的平均值,满量程的平均值,某一具体浓度或含量,或测量某一对象的值等。

显然,灵敏度值愈高,仪器就愈灵敏。

1.2.5 检测极限

检测极限指仪器能确切检测的最小物质含量,又称检出极限或最小检测量。检测极限也是一个恒量分析仪器性能优劣的重要指标,它比灵敏度更具明确的意义,它考虑到了噪声的影响,并明确地指出了测定的可靠性。

一台仪器的检测极限与仪器自身的噪声水平关系极大,这是因为检测系统和电子线路都有一定的噪声。噪声在灵敏度较高时将被如实地放大,噪声太大时,测量信号将被放大的噪声淹没而不能被确切的辨认。因此检测极限就受到噪声信号的限制,用公式表示为:

$$d = \frac{nN}{S} \quad (1-4)$$

式中, N 表示噪声水平, n 为安全系数, S 表示仪器的灵敏度, d 为检测极限。噪声水平 N 一般由实测得到,为了保险起见,将实测的噪声水平放大若干倍, n 值一般取 $1 \sim 5$,如在气相色谱中取 $n = 2$ 。

由式(1-4)可见,在提高仪器灵敏度 S 的同时,最大限度地抑制噪声,是改善检测极限的有效途径。如果单纯提高仪器的灵敏度,则噪声也会成比例增大,那么提高灵敏度对降低检测极限将毫无意义。

由于同一台仪器对不同物质的灵敏度不同,所以对不同物质的检测极限也就不同,在比较仪器性能时,需用相同的样品进行测量。

1.2.6 线性范围

线性范围指仪器检测系统检测信号与被测物质浓度或质量成线性关系的范围,可用该物

质在线性范围内的最大和最小进样量之比来表示。线性范围愈宽,说明在定量分析中可测定的浓度范围就愈宽。如图 1-1 所示,在 A-B 区间,反应曲线对应的物质含量范围即为线性范围,反应曲线低于 B 或高于 A 时,曲线开始弯曲,也就不属于线性范围了。

对于一台分析仪器,人们总希望它具有线性特性,这样既可使指示部分刻度均匀,又可以在整个测量范围内具有相同的灵敏度,并且不需采用线性化环节,从而简化测量电路。然而实际上许多分析仪器,尤其是传感器总是具有不同程度的非线性,将一个小范围内的或在特定条件下的曲线近似于直线的方法称为“线性化”。经“线性化”处理后,仪器的输出量与输入量将是比例变化。

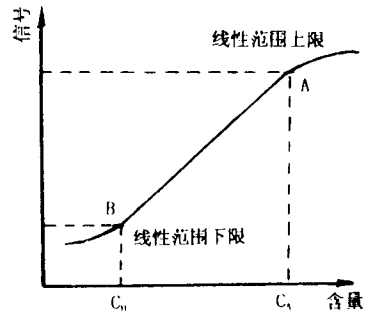


图 1-1 线性范围示意图

1.2.7 稳定性

稳定性指在规定的时间内,测量条件不变的情况下仪器示值的变化。影响仪器示值变化的因素很多,一般由仪器中随机性变动、周期性变动、漂移等引起,也可因外界环境的变化,如温度、湿度、气压、电源电压、电网频率变化引起指示值的变化。稳定性常用单位时间仪器漂移满量程的百分数来表示。如某仪器电压指示值在任意 1 h 变化 1.3 mV,则稳定性可表示为 1.3 mV/h,有的仪器也用漂移、噪声等来表示稳定性特征。

1.2.8 选择性

选择性主要是对单组分分析仪器而言的,它表示分析仪器区分待测组分与非待测组分的能力,并用选择性系数表示该能力的大小。选择性系数定义为取得相等的输出信号时非待测组分的含量变化 ΔC_m 与待分析组分的含量变化 ΔC 之比,用公式表示为:

$$K = \frac{\Delta C_m}{\Delta C} \quad (1-5)$$

式中, K 为选择性系数, ΔC_m 为非待分析组分变化量, ΔC 为待分析组分变化量。

1.2.9 响应时间

响应时间是衡量仪器动态特性的一个参数,它反映了被测样品参数发生变化后仪器的输出信号能否及时、准确地跟随被测信号参数的变化而变化。响应时间有 2 种表示法:

(1) 被测信号发生变化后,仪器响应达到最后值的 63% 时所需的时间,即时间常数 T 。如样品突然从 20% 变到 30%,则响应时间是指从开始变化起到指示值到达时所经历的时间。

$$20\% + (30 - 20)\% \times 63\% = 26.3\% \quad (1-6)$$

(2) 从被测信号发生变化起到仪器响应达到最后指示值的 90% 所经历的时间,同上例,则响应时间为:

$$20\% + (30 - 20)\% \times 90\% = 29.0\% \quad (1-7)$$

所经历的时间,一般采用第二种表示法。

响应时间与样品含量变化的关系曲线如图 1-2 所示,在 t 时刻样品浓度突然发生变化,