

21 世 纪 高 等 院 校 教 材

# 仪器分析

吴谋成 主编



科学出版社  
[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

## 内 容 简 介

本书将各类仪器分析方法的基本原理、仪器的基本结构与它们的分析应用范围有机地相结合,对仪器分析的总体、光谱分析、色谱分析及计算机在各领域的应用做了概括介绍,形成了理论与实践相结合的新颖而完整的体系。本书补充了近期仪器分析的新成果和发展趋势,指出了各类方法的优势与不足。

本书可作为农林类院校相关专业本科生的教学用书,也可供相关科研、技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

仪器分析/吴谋成主编. —北京:科学出版社,2003  
(21世纪高等院校教材)

ISBN 7-03-011602-X

I. 仪… II. 吴… III. 仪器分析-高等学校-教材 IV. O657

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 051914 号

策划编辑:李 锋 王志欣 / 文案编辑:吴伶伶  
责任校对:柏连海 / 责任印制:安春生 / 封面设计:陈 敬

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>

海海印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2003年8月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2003年8月第一次印刷 印张:20 3/4

印数:1—4 000 字数:389 000

定价:25.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈路通〉)

## 前 言

近年来,仪器分析学科的发展极为迅速,应用范围越来越广泛,在科学技术的许多领域中发挥着重要作用。仪器分析已成为现代实验化学的重要支柱。仪器分析课程在农林类院校中已普遍为本科生和研究生所开设。为了适应教学改革的要求,我们根据二十多年来开设此门课程的体会,对原教材进行了全面的修订。在内容上,本书尽量体现基本理论、仪器的基本结构和应用技术有机结合的特点,并增补了在仪器分析领域最近发展起来的新型仪器分析法。本书可作为农林类院校的教学用书和有关科技人员的参考用书。

仪器分析是以化学和物理信息学为基础,交叉和融合了许多相关学科的一门庞大学科。它需要较广且扎实的基础理论知识,同时它又是一门实验技术性很强的课程。为了适应农林院校学生的实际水平和今后工作的需要,本教材定位于一门分析技术基础课程。由于本课程通常是在修完物理、物理化学等课程后开设的,因此在涉及有关物理、物理化学的基础知识时,本书将不再赘述或只做简要提示。同时,本教材不强调过多的数学推导和记忆具体的分析方法,而是深入浅出,着重于基本理论和基本技术的阐述,使学生对仪器分析的各种方法有一个较基本的理解,并培养学生的基本技术和思维方法,提高分析能力,做到学以致用。

按照仪器分析的主要内容和层次,本教材分为三个部分:

### (1) 绪论部分

以涉及的物理和化学知识为基础,以信息学为线索,概括地介绍仪器分析学科的体系、分类、分析流程、分析信息的传递、分析仪器的基本结构和仪器分析的发展趋势。

### (2) 光谱分析和色谱分析导论

在大学已学过的经典物理学、化学、量子力学和热力学的基本概念、理论和方法的基础上,概括这两类方法的基本理论、分析信息的基本特征、分析仪器基本结构的异同点,使学生对这两类分析方法有一个较系统的、全面的理解。

### (3) 各论部分

主要介绍紫外-可见吸收光谱、原子吸收光谱、红外吸收光谱、原子发射光谱、分子荧光光谱、原子荧光光谱、核磁共振波谱、质谱分析、填充柱气相色谱、毛细管柱气相色谱、裂解气相色谱、顶空气相色谱、高效液相色谱、超临界流体色谱、高效毛细管电泳、毛细管电色谱的基本理论和分析仪器的基本结构,以及它们在农业、生物学及其他学科中的应用。

值得注意的是,仪器分析是一门分析技术基础课程,除了课堂讲授外,实验课要占足够多的比重,要着重培养学生的基本操作技巧、动手能力和思维能力。

参加本书编写的有华中农业大学的吴谋成(第一、二、九、十二章),贺立源(第三至五章),陈浩(第六、八章),李小定(第十章),孙智达(第十一章)和哈尔滨工业大学的王静(第七、十三、十四章)。

本书在编写过程中得到华中农业大学、哈尔滨工业大学教务处的领导和教师的大力支持并提出了许多宝贵意见。承蒙本教材的主审武汉大学化学系主任达世禄教授对本书的总体与许多章节提出了建议和指导,在此一并致谢!

由于我们的水平有限,本书的缺点和错误在所难免,希望广大师生和读者批评和指正。

编 者

2003 年 1 月

# 目 录

## 前 言

|                        |    |
|------------------------|----|
| 第一章 绪论                 | 1  |
| 第一节 仪器分析学科的性质和分类       | 1  |
| 一、分析化学与仪器分析            | 1  |
| 二、仪器分析学科的性质            | 1  |
| 三、仪器分析的分类              | 2  |
| 第二节 仪器分析的分析过程          | 3  |
| 第三节 分析仪器               | 4  |
| 一、分析仪器的基本结构            | 4  |
| 二、分析仪器对测定结果的影响         | 4  |
| 三、仪器分析的应用与学科的发展趋势      | 5  |
| 第二章 光谱分析导论             | 6  |
| 第一节 概述                 | 6  |
| 第二节 光与光谱               | 6  |
| 一、光的波动性                | 7  |
| 二、光的微粒性                | 8  |
| 三、电磁波谱                 | 8  |
| 第三节 原子与分子的能级及电子在能级间的跃迁 | 9  |
| 一、原子能级及电子在能级间的跃迁       | 9  |
| 二、分子的能级及电子在能级间的跃迁      | 11 |
| 三、物质发光的量子解释            | 13 |
| 第四节 光谱仪                | 15 |
| 第三章 紫外-可见光光谱法          | 17 |
| 第一节 概述                 | 17 |
| 第二节 紫外-可见吸收光谱法的原理      | 17 |
| 一、分子能级                 | 17 |
| 二、紫外-可见吸收光谱的电子跃迁       | 20 |
| 三、化合物分子中的跃迁形式与吸收光谱的形成  | 22 |
| 四、吸收定律及其偏离             | 28 |
| 五、偏离朗伯-比尔定律的因素         | 29 |

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 第三节 紫外-可见分光光度计 .....     | 30 |
| 一、紫外-可见分光光度计的组成 .....    | 30 |
| 二、紫外-可见分光光度计的分类及特点 ..... | 32 |
| 三、仪器操作、测量条件与误差 .....     | 34 |
| 四、反应条件的选择 .....          | 37 |
| 第四节 定性与定量分析应用 .....      | 39 |
| 一、定性分析应用 .....           | 39 |
| 二、定量分析 .....             | 41 |
| <b>第四章 原子吸收光谱法</b> ..... | 44 |
| 第一节 概述 .....             | 44 |
| 第二节 基本原理 .....           | 46 |
| 一、原子吸收光谱与原子发射光谱 .....    | 46 |
| 二、原子吸收谱线的轮廓 .....        | 47 |
| 三、原子化方法与基态原子浓度 .....     | 48 |
| 四、原子吸收的测量 .....          | 49 |
| 第三节 原子吸收分光光度计 .....      | 50 |
| 一、仪器基本结构 .....           | 50 |
| 二、仪器主要部件 .....           | 51 |
| 第四节 干扰及其消除 .....         | 58 |
| 一、物理干扰与控制 .....          | 58 |
| 二、化学干扰与排除 .....          | 58 |
| 三、电离干扰与消除 .....          | 60 |
| 四、光谱干扰与消除 .....          | 60 |
| 五、背景干扰及其校正 .....         | 60 |
| 第五节 分析技术 .....           | 62 |
| 一、原子吸收工作条件的选择 .....      | 62 |
| 二、分析方法 .....             | 64 |
| 三、分析方法评价 .....           | 65 |
| 第六节 原子吸收光谱法的应用 .....     | 67 |
| 一、土壤中微量元素的测定 .....       | 67 |
| 二、植株中微量元素的测定 .....       | 67 |
| <b>第五章 红外吸收光谱法</b> ..... | 70 |
| 第一节 概述 .....             | 70 |
| 一、红外光谱的形成 .....          | 70 |
| 二、红外光区的划分 .....          | 70 |

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 三、红外光谱法的特点 .....         | 71  |
| 第二节 红外吸收产生原理与条件 .....    | 72  |
| 一、红外吸收光谱产生的两个条件 .....    | 72  |
| 二、双原子分子振动方程式 .....       | 74  |
| 三、多原子分子振动的形式 .....       | 76  |
| 四、吸收谱带的强度 .....          | 78  |
| 五、基团频率区和指纹区 .....        | 79  |
| 六、影响基团频率的因素 .....        | 81  |
| 第三节 红外光谱仪 .....          | 83  |
| 一、色散型红外光谱仪 .....         | 83  |
| 二、傅里叶变换红外光谱仪 .....       | 85  |
| 第四节 定性定量分析 .....         | 86  |
| 一、红外光谱法对试样的要求和制样方法 ..... | 87  |
| 二、定性分析 .....             | 88  |
| 三、定量分析 .....             | 90  |
| 第五节 计算机图谱检索 .....        | 91  |
| 第六节 红外分析技术的应用 .....      | 93  |
| 一、在有机分析方面的应用 .....       | 93  |
| 二、在无机分析方面的应用 .....       | 94  |
| 三、红外光谱研究络合物 .....        | 94  |
| 四、在高分子上的应用 .....         | 95  |
| 五、近红外光谱在农业上的应用 .....     | 96  |
| 第六章 发射光谱法 .....          | 98  |
| 第一节 原子发射光谱法 .....        | 98  |
| 一、概述 .....               | 98  |
| 二、基本原理 .....             | 99  |
| 三、发射光谱仪的基本结构 .....       | 102 |
| 第二节 各种类型的原子发射光谱仪 .....   | 112 |
| 一、火焰光度计 .....            | 113 |
| 二、全谱直读等离子发射光谱仪 .....     | 116 |
| 三、ICP-MS 法 .....         | 121 |
| 四、在农业方面的应用 .....         | 124 |
| 第三节 原子荧光光谱法 .....        | 127 |
| 一、概述 .....               | 127 |
| 二、原子荧光光谱法特点 .....        | 127 |

|                                        |     |
|----------------------------------------|-----|
| 三、原子荧光光谱法的基本原理 .....                   | 128 |
| 四、仪器装置 .....                           | 130 |
| 五、多元素原子荧光分析仪 .....                     | 132 |
| 六、定量分析方法及应用 .....                      | 132 |
| 第四节 分子荧光分析 .....                       | 133 |
| 一、分子荧光的类型及其主要分析特点 .....                | 133 |
| 二、基本原理 .....                           | 134 |
| 三、影响荧光强度的因素 .....                      | 136 |
| 四、荧光分析仪 .....                          | 138 |
| 五、荧光分析应注意的问题 .....                     | 139 |
| 六、荧光分析应用 .....                         | 140 |
| <b>第七章 核磁共振波谱分析</b> .....              | 143 |
| 第一节 核磁共振波谱的基本原理 .....                  | 144 |
| 一、核磁共振现象的产生 .....                      | 144 |
| 二、核磁共振谱线的特性 .....                      | 149 |
| 第二节 核磁共振波谱仪 .....                      | 157 |
| 一、NMR 波谱仪的基本组成 .....                   | 157 |
| 二、连续波核磁共振波谱仪 .....                     | 158 |
| 三、脉冲傅里叶变换核磁共振波谱仪 .....                 | 160 |
| 第三节 核磁共振氢谱 .....                       | 160 |
| 一、 $^1\text{H}$ NMR 谱中的化学位移 .....      | 161 |
| 二、 $^1\text{H}$ NMR 谱中的耦合作用 .....      | 163 |
| 三、 $^1\text{H}$ NMR 谱图解析步骤及实例 .....    | 167 |
| 第四节 核磁共振碳谱 .....                       | 169 |
| 一、核磁共振碳谱的特点 .....                      | 169 |
| 二、 $^{13}\text{C}$ NMR 谱中的化学位移 .....   | 170 |
| 三、耦合常数 .....                           | 174 |
| 四、碳谱中几种常见的图谱 .....                     | 175 |
| 五、 $^{13}\text{C}$ NMR 谱图解析步骤及实例 ..... | 176 |
| 第五节 定量分析 .....                         | 178 |
| 一、内标法 .....                            | 178 |
| 二、外标法 .....                            | 179 |
| <b>第八章 质谱分析</b> .....                  | 180 |
| 第一节 质谱分析概述 .....                       | 180 |
| 第二节 基本原理及仪器 .....                      | 181 |

|                                        |     |
|----------------------------------------|-----|
| 一、基本原理 .....                           | 181 |
| 二、质谱仪的主要组成部件 .....                     | 183 |
| 三、化学电离源、场致电离源、场解析电离源、快原子轰击源和二次离子质谱 ... | 187 |
| 四、双聚焦质谱仪 .....                         | 190 |
| 五、四极滤质器及飞行时间质谱计 .....                  | 191 |
| 六、仪器性能指标 .....                         | 193 |
| <b>第三节 离子的主要类型</b> .....               | 194 |
| 一、质谱的表示方法 .....                        | 194 |
| 二、质谱中主要离子峰 .....                       | 194 |
| <b>第四节 图谱分析</b> .....                  | 197 |
| 一、定性分析 .....                           | 197 |
| 二、定量分析 .....                           | 199 |
| <b>第五节 质谱法的应用</b> .....                | 200 |
| 一、合成产物的确认 .....                        | 200 |
| 二、同位素结合 .....                          | 200 |
| 三、生物大分子的表征 .....                       | 201 |
| 四、联用技术分析混合物 .....                      | 201 |
| <b>第九章 色谱分析导论</b> .....                | 204 |
| <b>第一节 色谱分析的历史、定义与分类</b> .....         | 204 |
| 一、色谱分离发展史 .....                        | 204 |
| 二、色谱分析的定义 .....                        | 205 |
| 三、色谱法分类 .....                          | 206 |
| <b>第二节 色谱分离过程</b> .....                | 207 |
| <b>第三节 色谱分析中的重要参数</b> .....            | 209 |
| 一、色谱图的重要参数 .....                       | 209 |
| 二、色谱分离中的一些重要参数 .....                   | 210 |
| 三、各种参数对分离的综合影响 .....                   | 212 |
| <b>第四节 色谱学基础理论</b> .....               | 214 |
| 一、塔板理论 .....                           | 214 |
| 二、速率理论 .....                           | 217 |
| 三、速率公式在气相填充柱色谱中的应用 .....               | 220 |
| 四、速率公式在液相填充柱色谱中的应用 .....               | 221 |
| <b>第五节 色谱的定性、定量分析</b> .....            | 223 |
| 一、色谱定性分析 .....                         | 223 |
| 二、气相色谱定量分析 .....                       | 225 |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 三、色谱定量分析允许误差范围         | 228 |
| <b>第十章 气相色谱法</b>       | 229 |
| 第一节 气相色谱仪              | 229 |
| 一、气相色谱仪的流程             | 229 |
| 二、气相色谱仪的主要部件           | 230 |
| 第二节 填充柱气相色谱            | 234 |
| 一、固体吸附剂                | 235 |
| 二、多孔性高聚物               | 237 |
| 三、液体固定相                | 238 |
| 四、色谱柱的制备               | 243 |
| 第三节 毛细管气相色谱            | 244 |
| 一、毛细管气相色谱的发展历史         | 244 |
| 二、毛细管气相色谱柱的类型          | 245 |
| 三、毛细管气相色谱与填充柱气相色谱的比较   | 246 |
| 四、毛细管气相色谱仪和填充柱气相色谱仪的比较 | 248 |
| 第四节 裂解气相色谱             | 249 |
| 一、裂解气相色谱的特点            | 250 |
| 二、裂解色谱的原理和影响裂解反应的因素    | 250 |
| 三、裂解器                  | 251 |
| 四、裂解色谱操作条件             | 254 |
| 五、裂解气相色谱应用             | 255 |
| 第五节 顶空气相色谱             | 256 |
| 一、概述                   | 256 |
| 二、静态顶空色谱技术             | 257 |
| 三、动态顶空色谱技术             | 261 |
| <b>第十一章 高效液相色谱法</b>    | 264 |
| 第一节 概述                 | 264 |
| 一、高效液相色谱和古典液相色谱的比较     | 264 |
| 二、HPLC 与 GC 的比较        | 264 |
| 第二节 HPLC 的类型及类型的选择     | 266 |
| 一、液-液色谱法               | 266 |
| 二、液-固色谱法               | 266 |
| 三、离子交换色谱法              | 267 |
| 四、凝胶色谱法                | 267 |
| 五、液相色谱的简单模型            | 267 |

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 六、分离类型的选择 .....         | 268 |
| 第三节 高效液相色谱仪 .....       | 268 |
| 一、流动相输送系统 .....         | 269 |
| 二、进样系统 .....            | 271 |
| 三、色谱分离系统 .....          | 272 |
| 四、检测、记录数据处理系统 .....     | 272 |
| 第四节 高效液相色谱固定相 .....     | 273 |
| 一、液-固色谱固定相 .....        | 273 |
| 二、液-液色谱固定相 .....        | 274 |
| 三、离子交换剂 .....           | 274 |
| 四、凝胶色谱固定相 .....         | 275 |
| 第五节 高效液相色谱检测器 .....     | 276 |
| 一、紫外吸收检测器 .....         | 276 |
| 二、示差折光检测器 .....         | 277 |
| 三、荧光检测器 .....           | 277 |
| 四、二极管阵列检测器 .....        | 277 |
| 第六节 液相色谱流动相 .....       | 278 |
| 一、对流动相的要求 .....         | 278 |
| 二、溶剂强度 .....            | 279 |
| 三、液-固色谱流动相的选择 .....     | 279 |
| 四、液-液色谱流动相的选择 .....     | 280 |
| 五、离子交换色谱流动相的选择 .....    | 280 |
| 六、凝胶色谱流动相的选择 .....      | 281 |
| 第十二章 超临界流体色谱 .....      | 282 |
| 第一节 超临界流体色谱概述 .....     | 282 |
| 第二节 超临界流体色谱的原理和仪器 ..... | 283 |
| 一、超临界流体色谱的原理 .....      | 283 |
| 二、超临界流体色谱仪的典型流程 .....   | 283 |
| 三、超临界流体色谱仪 .....        | 284 |
| 第三节 超临界流体色谱的流动相 .....   | 285 |
| 一、超临界流体色谱流动相的种类 .....   | 285 |
| 二、超临界流体的溶解性能 .....      | 286 |
| 三、超临界流体的改性剂 .....       | 287 |
| 第十三章 高效毛细管电泳 .....      | 288 |
| 第一节 概述 .....            | 288 |

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 一、毛细管电泳及其发展 .....        | 288 |
| 二、毛细管电泳的特点 .....         | 289 |
| 第二节 毛细管电泳基本原理 .....      | 290 |
| 一、基本概念 .....             | 290 |
| 二、毛细管电泳基本分离原理 .....      | 293 |
| 第三节 毛细管电泳的分离模式 .....     | 295 |
| 一、毛细管区带电泳 .....          | 295 |
| 二、毛细管凝胶电泳 .....          | 298 |
| 三、胶束电动力学毛细管色谱 .....      | 300 |
| 四、毛细管等电聚焦电泳 .....        | 302 |
| 五、毛细管等速聚焦电泳 .....        | 303 |
| 第四节 毛细管电泳的检测方法 .....     | 304 |
| 第五节 高效毛细管电泳的应用 .....     | 305 |
| 一、无机金属离子的分析 .....        | 306 |
| 二、蛋白质的分析 .....           | 306 |
| 三、核酸片段分析 .....           | 307 |
| 四、单糖的分析 .....            | 308 |
| 第十四章 毛细管电色谱 .....        | 310 |
| 第一节 概述 .....             | 310 |
| 一、毛细管电色谱的发展 .....        | 310 |
| 二、毛细管电色谱的分类 .....        | 311 |
| 三、毛细管电色谱的特点 .....        | 312 |
| 第二节 毛细管电色谱的基本原理 .....    | 312 |
| 一、分离机理 .....             | 312 |
| 二、保留机理 .....             | 313 |
| 第三节 毛细管电色谱分离中的有关因素 ..... | 313 |
| 一、工作电压 .....             | 313 |
| 二、缓冲溶液 pH .....          | 314 |
| 三、背景电解质浓度 .....          | 314 |
| 四、有机溶剂 .....             | 314 |
| 第四节 毛细管电色谱的应用 .....      | 314 |
| 一、抗菌素类药物的分析 .....        | 315 |
| 二、类胡萝卜素的分析 .....         | 315 |
| 参考文献 .....               | 317 |

# 第一章 绪 论

## 第一节 仪器分析学科的性质和分类

### 一、分析化学与仪器分析

分析是指对物质和事进行研究,取得信息,以确定物质的组成、结构或事物的变化特征和规律。它有两种不同类型的分析,对事物的分析称为事物分析(matter analysis)。对物质的分析称为物质分析(substance analysis)。前者属于社会科学范畴,后者属于自然科学范畴。对事物分析的研究方法可归纳为:对事物进行深入研究→对调查研究结果进行思考和归纳→初步找出事物的变化特征和变化规律→在实践中验证→上升为理论。

对物质分析的研究方法称为分析化学(analytical chemistry),它可归纳为:物质→获取物质的化学、物理或物理化学性质的信息→进行数学统计和处理→得到物质的组成和结构信息。

分析化学是一门历史悠久的学科,传统的定义是研究物质的分离、鉴定与测定原理和方法的一门学科。其研究对象是物质的化学组成和结构。现代科学技术的发展,特别是生命科学、环境科学、材料科学等学科的飞速发展,对分析化学提出了更高的要求。另外,计算机、系统论、信息论和控制论等学科的交叉和融合,使分析化学的定义也有了极大的不同。它的定义更深广化,分析化学学科的范围也不断扩大。现代分析化学的定义是利用自然科学的方法,获得有关物质系统的信息,并对其进行解释、研究和应用的学科。

根据分析所依据信息的不同,分析化学分为化学分析(chemical analysis)和物理物化分析。化学分析是以物质的化学反应为基础的分析方法。它是以四大化学平衡为基础的经典分析方法,在理论和技术上比较成熟,目前大量的常规分析工作还是由它来完成。

物理物化分析是以物质的物理和物理化学性质为基础的分析方法。这类分析方法一般要依靠仪器来完成,故习惯上称为仪器分析(instrumental analysis)。但是,仪器分析这一名词不能单从字面上来理解。

### 二、仪器分析学科的性质

仪器分析依据的是物质的物理和物化性质,它运用的手段是用分析仪器来探测物质的物理和物化性质信息,然后用计算机来处理信息,获得物质的化学组成和

结构信息。要将物质的物理和物理化学信息转化为分析信号,然后采集、传送、处理和最大限度地利用这些信息,对其解释、研究和应用,必须具备现代化学、物理学、数学、信息学和生命科学、环境科学等自然科学的基础理论知识。从这个意义上说,仪器分析是一门综合性的学科,是多学科的交叉与融合。它不仅在制造分析仪器的硬件和计算处理的软件上需要多学科的交叉和融合,对操作分析仪器的人员也提出了更高的要求,特别是对一些天然产物的复杂结构、微量生物活性样品、反应过程中痕量物质的变化等的分析与解释。它不再只是提供分析测定的定性与定量结果,而且还要研究和解释这些数据的内在变化,以发现可能隐藏在分析数据中的信息,做出新的解释和找出它的规律性。因此,如没有掌握多学科的基础知识,是难以胜任仪器分析任务的。

综上所述,仪器分析不再是以定性定量作为特征,而是在分析的基础上,进一步综合和深化,是多学科的交叉与融合的一门学科。仪器分析迅猛发展和广泛应用为生命科学、环境科学等自然学科的发展奠定了基础。

### 三、仪器分析的分类

仪器分析可以简单地理解为提取物质的物理、物理化学中的某一特征信息(information),并将其转变为分析信号,再根据分析信号的性质特性做定性和结构分析,根据分析信号的强度数值做定量分析。依据物质采集的特征信息和分析信号的不同,我们将仪器分析分成四大类。

#### (1) 光学分析(spectroscopic analysis)

光学分析是以物质的光学性质为特征信息,以光的辐射为分析信号的仪器分析方法。根据光信号谱区的不同,分为紫外、可见、红外分析等;根据光与物质相互作用的方式所获得的光信号的不同,再分为吸收、发射、散射、衍射、旋转等光学分析。进一步细分,根据光与物质中的分子或原子的相互作用的不同,光学分析又可分为分子吸收或原子吸收、分子发射或原子发射分析等(表 1.1)。

#### (2) 电分析(electrical analysis)

电分析是以物质的热力学性质为特征信息,以电信号为分析信号的仪器分析方法。根据电信号的不同,电分析又可分为电流分析、电位分析、电导分析、电重量分析、库仑法、伏安法等。

#### (3) 分离分析(separate analysis)

分离分析是以物质的热力学性质为特征信息,以热性质、组分在固定相与流动相中分配比等为分析信号的仪器分析方法,如热导法、色谱法、电泳法等。

#### (4) 其他分析(other analysis)

其他分析如电子显微镜、超速离心机、放射性技术等。



成、含量、结构等信息,并对此有用信息进一步进行研究、解释和利用,以达到分析的目的。

一个完整的分析方法应包括取样、样品的预处理(溶样、分离、提纯和制备)、仪器测定、数据处理、结果表达、提供分析报告、对结果进行研究和解释等过程。缺少或忽略哪一过程,都可能对分析结果的质量产生严重的后果。

### 第三节 分析仪器

分析仪器(analytical instrument)是实现产生分析信号、获取分析信号和处理分析信号、提供分析报告的基础,是仪器分析的主要组件。

#### 一、分析仪器的基本结构

分析仪器的基本结构见图 1.1。

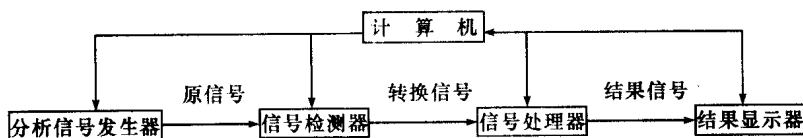


图 1.1 分析仪器的基本结构

分析仪器的基本结构一般包含四个部分:分析信号发生器、信号检测器、信号处理器和结果显示器。分析信号发生器的作用在于将待测样品中的某种物理或物理化学特征信息产生和转变为原分析信号,原分析信号在信号检测器中被检测并转变为转换信号(一般转变为电信号),信号处理器将转换信号处理,提取有用信息,成为分析结果信号,输出到起信号表达作用的结果显示器,以图形、数据等形式显示或打印出来。现代的分析仪器一般都配备计算机,具有控制整机的操作、数据处理、储存、检索和显示等功能。

以紫外-可见吸收分光光度计为例:分析信号发生器为光源和单色器,产生的单色光透过被测样品溶液时,单色光的波长和被衰减的强度作为原分析信号被信号检测器(光电倍增管、二极管阵列检测器等)检测,并转换成电信号,在信号处理器中被放大和通过模数转换,对数据进行处理(计算机),再经过数模转换在结果显示器上(显示器和打印机等)表达出来。

#### 二、分析仪器对测定结果的影响

仪器分析测定误差是影响分析结果的准确度和精确度的主要因素,误差来源于两个方面:分析技术和分析方法。

选择合适的、正确的分析技术是减少误差的前提。采用光学分析技术还是色谱法或其他技术,要从样品性质、分析目的、测定项目在样品中的含量等综合考虑。选用技术不得当往往会造成系统误差或根本无法测定。

当分析技术确定后,分析方法是影响测定结果的主要因素。分析方法带来的误差与前处理、分析仪器的特性和分析仪器使用是否得当三个方面有关。前处理和分析仪器的使用得当是人为的因素,细心、熟练的操作可避免或减少测定误差。分析仪器带来的误差来源于各部件的性能好坏,性能的好坏决定分析仪器在实现信息传递链时,产生的信息是否失真。信息失真有的会使测量时产生系统误差,影响结果的准确度;有的会产生随机误差,影响结果的精确度与检测限。

### 三、仪器分析的应用与学科的发展趋势

仪器分析正进入一个在新领域中广泛应用的新时期。它不但在传统的工业、农业、食品业、轻工业等领域中的应用越来越广泛,而且如现代生命科学、环境科学等飞速发展的学科也越来越离不开仪器分析。仪器分析不但为它们提供了物质的组成,而且还提供了精细的结构与功能之间的关系,探索了现象的本质。例如在遗传的研究中,只有用仪器分析确定了 DNA 双螺旋结构后,才能对其本质有更透彻的了解;在生命科学研究中,只有用核磁共振、质谱等确定蛋白质等大分子的结构,才有可能探索生命的本质等。仪器分析在各个领域中的应用将更广泛、更深入,学习仪器分析对从事工农业生产和自然科学研究的人员具有重要意义。

随着仪器分析向当前最活跃的生命科学、环境科学等许多重要自然科学的渗透,一些现代基础自然学科、系统科学、信息学和计算机等又不断给仪器分析提供新的思想、手段和技术。

目前仪器分析研究热点大体有以下几个方面:

1) 研究增大和多维捕捉分析信息,特别是分析信号极弱的瞬时即逝的信息。这就要求分析仪器具有高灵敏度、多维快速采集、传递和处理信号的能力,以满足现代生命科学等自然科学对复杂大分子的结构、功能和机理的研究。

2) 开创多种信息的综合处理和数据融合(data fusion)技术,以获取更大的信息量,更深刻地认知物质的多维结构与内在本质。

3) 发展多种分析仪器的联用技术,如 HPLC-MS、GC-MS、ICP-MS 等。

4) 研制智能化分析仪器和各种为特定分析目标设计的专家系统及应用软件将获得重大突破。