

高等学校教材

实用分析化学

天津大学分析化学教研室



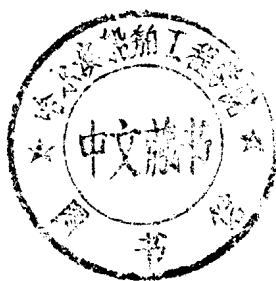
天津大学出版社

065
T60

448970

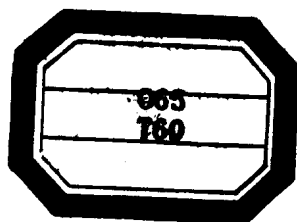
实用分析化学

天津大学分析化学教研室



00448970

天津大学出版社



DU57/19
内 容 提 要

《实用分析化学》是天津大学分析化学教研室教师结合多年的教学实践,为化工类高等工业学校分析化学课程编写的实用性教材。

本书改变了传统化学分析教科书的体系,将滴定分析内容作了较大变动,压缩了化学分析内容,重点为仪器分析,并加强了化学分析与仪器分析的有机结合。

全书共分十六章。章次为:绪论,误差和数据处理,滴定分析法,定量分析中的分离方法,可见分光光度法,紫外和红外吸收光谱法,原子吸收光谱法,原子发射光谱法,电位分析法,极谱分析法,库仑和电导分析法,色谱分析法,气相色谱法,高效液相色谱法,有机结构分析初步,定量分析的一般步骤。

本书可作高等学校化工类各专业的分析化学教材,亦可作职业大学、高等工业专科各专业的教材或参考书。

实用分析化学
天津大学分析化学教研室

*

天津大学出版社出版

(天津大学内)

邮编: 300072

河北省邮电印刷厂印刷

新华书店天津发行所发行

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: $24\frac{3}{4}$ 字数: 618 千

1995 年 12 月第一版 1995 年 12 月第一次印刷

印数: 1—4000

ISBN 7-5618-0800-3
TQ·30 定价: 26.00 元

前 言

根据 1993 年 10 月高等工科分析化学课程教学指导小组(扩大)工作会议对《分析化学课程教学基本要求》的修订精神,分析化学应为学生解决生产工艺和科学研究中的实际分析问题打好基础。同时,考虑到分析化学的任务已不只限于测定物质的组成、结构和含量以及提供分析数据等,它已经发展成为研究物质的存在形式和运动的一门科学。从培养跨世纪化学化工人才的战略需要出发,为了适应当前工科教学的需要,我们编写了这本将化学分析与仪器分析有机地结合的实用性教材。

全书分为十六章,囊括了大学本科的工科分析化学教材的全部内容,重点是在仪器分析部分。根据分析化学学科目前发展的实际情况,在教材编排上,改变了传统的化学分析教学体系,将以四大平衡理论为基础的滴定分析部分作了较大变动。把酸碱滴定、络合滴定、氧化还原滴定以及沉淀滴定放在一起讨论,抽出其共性原理,阐明其内在联系及各分支的个性。这种探索意在减少篇幅,避免烦琐重复,从而拓宽和加强仪器分析的内容。

本书以无机物质分析为主,引伸到实物分析体系,并适当增加了有机物质定量分析和波谱分析初步内容。在误差与数据处理一章中,增加了部分计算机的应用。全书在叙述方式上,侧重于各种方法的原理、特点和方法的建立与应用等,对具体推导过程只作简明叙述。

参加本书编写的有:甘渭斌(第一、三、四章)、赵桂英(第二、十六章)、古风才(第五、六、十五章)、邓明义(第七、八章)、邢宝忠(第九、十、十一章)、肖新亮(第十二、十三、十四章)。全书由甘渭斌、肖新亮主编,并由肖新亮负责修改、统稿。在编写过程中得到天津大学化学系及分析化学教研室全体同志的大力支持和帮助。

本书承蒙南开大学化学系沈含熙教授审阅,并提出许多宝贵意见,对此表示衷心的感谢。

限于编者的学识水平与经验,书中欠缺之处乃至谬误在所难免,恳请批评、指正。

编 者

1995 年 元 月 于 天津大学

目 录

第一章 绪论	(1)
§ 1-1 分析化学的性质和任务	(1)
§ 1-2 分析方法的分类	(1)
§ 1-3 分析化学提供的信息	(3)
第二章 误差和数据处理	(5)
§ 2-1 分析测试的误差和偏差	(5)
一、误差	(5)
二、偏差	(6)
§ 2-2 误差产生的原因及其减免方法	(6)
一、系统误差	(6)
二、随机误差	(7)
§ 2-3 分析结果的数据处理	(8)
一、数据集中趋势的表示方法	(8)
二、数据分散程度的表示方法	(9)
三、置信度	(10)
四、离群值的检验	(12)
§ 2-4 显著性检验	(15)
一、 F 检验法	(15)
二、 t 检验法	(16)
§ 2-5 分析测试中的标准曲线	(18)
一、一元线性回归方程的求法	(18)
二、相关系数和相关关系	(19)
三、标准曲线法求得的分析结果的精度	(20)
四、标准曲线的应用	(21)
§ 2-6 误差的传递	(22)
一、系统误差的传递规律	(22)
二、随机误差的传递规律	(23)
三、常用分析方法中的误差传递计算	(23)
§ 2-7 有效数字及其运算规则	(25)
一、有效数字的意义及位数	(25)
二、有效数字的运算规则	(26)
§ 2-8 分析结果的表示方法及其准确度的评价	(27)
一、分析结果的表示方法	(27)
二、分析结果准确度的评价	(28)
§ 2-9 分析结果的质量保证和评价	(29)
一、质量控制与质量保证	(29)

二、质量控制统计技术.....	(30)
§ 2-10 计算机在分析化学中的应用.....	(32)
习题	(34)
第三章 滴定分析法	(36)
§ 3-1 概述	(36)
§ 3-2 滴定分析法的分类	(36)
一、根据化学反应类型分类.....	(36)
二、根据滴定方式分类.....	(37)
三、根据测定物的质量分类.....	(38)
§ 3-3 标准溶液	(38)
一、配制标准溶液的方法.....	(38)
二、标定用的基准物质.....	(38)
§ 3-4 滴定曲线	(39)
§ 3-5 指示剂	(43)
一、酸碱指示剂.....	(43)
二、金属指示剂.....	(46)
三、氧化还原指示剂.....	(50)
§ 3-6 滴定分析计算	(51)
一、溶液的浓度.....	(51)
二、计算方法.....	(52)
§ 3-7 酸碱滴定法	(55)
一、一元酸碱的滴定.....	(55)
二、多元酸碱的滴定.....	(57)
三、混合酸碱的滴定.....	(60)
§ 3-8 非水溶液中的酸碱滴定	(61)
一、溶剂的分类.....	(61)
二、拉平效应和区分效应.....	(63)
三、非水溶液的 pH 值	(64)
四、酸碱的滴定.....	(65)
§ 3-9 络合滴定法	(67)
一、EDTA 及其与金属离子的络合物	(67)
二、EDTA 的酸效应系数	(67)
三、EDTA 络合物的稳定性	(69)
四、金属离子的滴定.....	(73)
§ 3-10 氧化还原滴定法.....	(77)
一、条件电位.....	(77)
二、氧化还原反应进行的程度.....	(81)
三、氧化还原反应的速度.....	(82)

四、重要的氧化还原滴定剂·····	(84)
§ 3-11 沉淀滴定法·····	(89)
一、莫尔法·····	(89)
二、佛尔哈德法·····	(90)
三、法扬司法·····	(90)
习题·····	(91)
第四章 定量分析中的分离方法 ·····	(95)
§ 4-1 沉淀分离·····	(95)
一、沉淀的形成·····	(95)
二、无机沉淀剂·····	(96)
三、有机沉淀剂·····	(97)
四、共沉淀分离·····	(98)
五、重量分析·····	(99)
§ 4-2 溶剂萃取分离·····	(100)
一、基本原理·····	(100)
二、金属有机络合物萃取·····	(102)
三、离子缔合物萃取·····	(104)
四、协同溶剂萃取·····	(105)
五、溶剂萃取在分析化学中的应用·····	(105)
§ 4-3 离子交换分离·····	(106)
一、离子交换树脂及其特性·····	(106)
二、离子交换平衡·····	(107)
三、离子交换技术·····	(109)
四、离子交换在分析化学中的应用·····	(110)
§ 4-4 薄层层析分离·····	(111)
一、基本原理·····	(111)
二、薄层的制备·····	(111)
三、薄层的展开剂·····	(112)
四、薄层的展开·····	(112)
五、定量测定·····	(113)
习题·····	(113)
第五章 可见分光光度法 ·····	(115)
§ 5-1 概述·····	(115)
§ 5-2 物质对光的选择性吸收·····	(115)
§ 5-3 光吸收的基本定律·····	(117)
§ 5-4 分光光度计简介·····	(120)
一、分光光度计的主要部件·····	(120)

二、分光光度计类型简介	(122)
§ 5-5 光度分析法的建立	(123)
一、显色反应及显色条件的选择	(123)
二、干扰的消除	(124)
三、吸光度测量条件的选择	(124)
四、小结	(126)
§ 5-6 分光光度法的应用	(126)
一、高含量组分的测定——示差光度法	(126)
二、多组分的同时测定	(127)
三、络合物组成的确定	(128)
习题	(129)
第六章 紫外和红外吸收光谱法	(131)
§ 6-1 紫外吸收光谱分析的基本原理	(131)
一、有机化合物电子跃迁的类型	(131)
二、吸收带及常见术语	(132)
三、溶剂效应	(134)
§ 6-2 紫外光谱与有机化合物分子结构的关系	(135)
一、非共轭体系的简单分子	(135)
二、共轭分子	(136)
三、苯及其衍生物	(139)
四、稠环芳烃及杂环化合物	(139)
§ 6-3 紫外光谱的应用	(139)
§ 6-4 红外吸收光谱分析的基本原理	(141)
一、分子振动模型、形式及红外活性	(141)
二、红外光谱产生的条件和振动形式	(143)
三、影响基团频率的因素	(145)
§ 6-5 典型红外谱带吸收范围	(147)
一、X-H 伸缩振动区($4000\sim 2500\text{cm}^{-1}$)	(147)
二、叁键和累积双键区($2500\sim 1900\text{cm}^{-1}$)	(148)
三、双键伸缩振动区($1900\sim 1200\text{cm}^{-1}$)	(148)
四、X-Y 伸缩振动和 X-H 弯曲振动区($<1650\text{cm}^{-1}$)	(148)
§ 6-6 红外光谱解析实例	(149)
习题	(150)
第七章 原子吸收光谱法	(152)
§ 7-1 概述	(152)
§ 7-2 原子吸收光谱法的基本原理	(154)
一、共振线与吸收线	(154)

二、吸收线轮廓与吸收线变宽	(154)
三、积分吸收与峰值吸收	(156)
四、基态原子与激发态原子的分配	(158)
五、原子吸收光谱法的定量关系式	(159)
§ 7-3 仪器装置	(159)
一、光源	(159)
二、原子化系统	(160)
三、分光系统	(163)
四、检测系统	(164)
五、原子吸收分光光度计	(165)
§ 7-4 定量分析方法	(166)
一、标准曲线法	(166)
二、标准加入法	(166)
§ 7-5 干扰及其抑制方法	(168)
一、光谱干扰	(168)
二、化学干扰	(168)
三、物理干扰	(169)
§ 7-6 灵敏度与检出限	(169)
一、灵敏度	(169)
二、检出限	(170)
习题	(171)
第八章 原子发射光谱法	(173)
§ 8-1 概述	(173)
一、发射光谱分析的过程	(173)
二、发射光谱分析的特点	(173)
§ 8-2 原子发射光谱法的基本原理	(174)
一、发射光谱的产生	(174)
二、谱线的强度	(175)
§ 8-3 发射光谱分析的主要仪器	(176)
一、激发光源	(176)
二、光谱仪	(179)
三、观测设备及感光板	(180)
§ 8-4 发射光谱定性分析	(183)
一、标准试样光谱比较法	(183)
二、元素光谱图比较法	(183)
§ 8-5 发射光谱半定量分析	(184)
一、谱线黑度比较法	(184)
二、谱线呈现法	(184)

§ 8-6 发射光谱定量分析	(185)
一、谱线强度与试样中元素浓度的关系	(185)
二、内标法光谱定量分析基本原理	(185)
三、分析线对相对强度的测量	(186)
四、光谱定量分析方法	(186)
习题	(187)
第九章 电位分析法	(188)
§ 9-1 电化学分析法概要	(188)
§ 9-2 电位分析法概述	(188)
§ 9-3 电位分析法的基本原理	(189)
§ 9-4 离子选择性电极	(191)
一、离子选择性电极的结构和分类	(191)
二、离子选择性电极的响应机理	(194)
三、离子选择性电极的性能	(196)
§ 9-5 直接电位法	(197)
一、直接电位法的特点	(197)
二、电位测量及重要实验条件	(198)
三、定量方法	(200)
四、直接电位法的误差	(203)
§ 9-6 电位滴定法	(204)
习题	(205)
第十章 极谱分析法	(206)
§ 10-1 极谱分析法的基本原理	(206)
§ 10-2 扩散电流方程式——极谱定量分析基础	(211)
一、尤考维奇方程	(211)
二、极限扩散电流的影响因素	(213)
§ 10-3 定量分析方法	(215)
§ 10-4 极谱波方程式及半波电位	(216)
一、极谱波的分类	(216)
二、极谱波方程式	(217)
三、半波电位及其影响因素	(219)
§ 10-5 干扰电流及其消除方法	(220)
一、残余电流	(220)
二、迁移电流	(221)
三、极谱极大	(221)
四、氧波	(222)
五、氢波	(223)

六、叠波	(223)
§ 10-6 极谱分析中底液的选择	(223)
一、极谱底液的组成	(224)
二、极谱底液的选择原则	(224)
§ 10-7 极谱分析法的应用	(224)
一、无机化合物的测定	(225)
二、有机化合物的测定	(225)
三、在理论研究中的应用	(225)
§ 10-8 改进极谱分析法的途径和方法	(228)
一、溶出伏安法	(229)
二、极谱催化波	(230)
三、交流极谱法、方波极谱法和脉冲极谱法	(231)
四、单扫描示波极谱法	(233)
习题	(234)
第十一章 库仑和电导分析法	(235)
§ 11-1 库仑分析法概述	(235)
§ 11-2 控制电位库仑分析法	(237)
一、原理	(237)
二、装置	(238)
三、应用	(239)
§ 11-3 控制电流库仑分析法(库仑滴定法)	(239)
一、原理	(239)
二、装置	(241)
三、应用	(241)
§ 11-4 电导分析法概述	(242)
§ 11-5 电导分析法的基本原理	(242)
§ 11-6 电导的测量方法	(243)
§ 11-7 电导分析的定量方法	(245)
一、直接电导法	(245)
二、电导滴定法	(246)
习题	(247)
第十二章 色谱分析法	(249)
§ 12-1 概述	(249)
一、色谱法	(249)
二、色谱法的分类	(249)
三、色谱法的特点	(250)
§ 12-2 色谱分离原理	(251)

一、分离原理	(251)
二、分配系数和分配比	(251)
三、色谱流出曲线及有关术语	(252)
§ 12-3 色谱法基本理论	(254)
一、塔板理论	(255)
二、速率理论	(256)
三、液相色谱中的速率理论	(258)
§ 12-4 分离度	(260)
一、分离度的定义	(260)
二、分离度与柱效能和选择性的关系	(260)
§ 12-5 色谱定性分析	(261)
一、利用纯物质对照定性	(261)
二、利用加入纯物质增加峰高定性	(261)
三、利用相对保留值定性	(262)
四、利用保留指数定性	(262)
五、其他方法	(262)
§ 12-6 色谱定量分析	(262)
一、峰面积的测量	(263)
二、定量校正因子	(263)
三、定量计算方法	(264)
习题	(266)
第十三章 气相色谱法	(269)
§ 13-1 气相色谱仪	(269)
一、气相色谱分析流程	(269)
二、气路系统	(269)
三、进样系统	(270)
四、分离系统	(271)
五、温控系统	(271)
六、检测和记录系统	(271)
§ 13-2 气相色谱固定相	(272)
一、固体固定相	(272)
二、液体固定相	(272)
§ 13-3 气相色谱分离操作条件的选择	(276)
一、载气及其流速的选择	(276)
二、柱温的选择	(277)
三、固定液配比的选择	(277)
四、担体粒度的选择	(278)
五、柱长和柱内径的选择	(278)

六、进样条件的选择	(278)
§ 13-4 气相色谱检测器	(278)
一、检测器的分类	(278)
二、检测器的性能指标	(279)
三、热导池检测器(TCD)	(279)
四、氢火焰离子化检测器(FID)	(281)
五、电子捕获检测器(ECD)	(282)
六、火焰光度检测器(FPD)	(282)
§ 13-5 气相色谱分析应用实例	(283)
一、在石油及石油化工方面的应用	(283)
二、在有机合成工业、高分子工业方面的应用	(284)
三、大气及环境污染物的分析	(285)
习题	(286)
第十四章 高效液相色谱法	(288)
§ 14-1 概述	(288)
一、高效液相色谱法的特点	(288)
二、高效液相色谱与气相色谱的比较	(288)
三、高效液相色谱的分类	(289)
§ 14-2 高效液相色谱仪	(289)
一、高压输液系统	(289)
二、进样系统	(290)
三、分离系统	(290)
四、检测系统	(291)
五、附属装置	(291)
§ 14-3 液-固色谱法	(291)
一、分离原理	(291)
二、液-固色谱固定相	(292)
三、液-固色谱流动相	(293)
四、应用实例	(293)
§ 14-4 液-液色谱法	(293)
一、分离原理	(293)
二、液-液色谱固定相	(294)
三、液-液色谱流动相	(295)
四、应用实例	(295)
§ 14-5 离子交换色谱法	(295)
一、分离原理	(295)
二、离子交换色谱固定相	(296)
三、离子交换色谱流动相	(297)

四、应用实例	(297)
§ 14-6 空间排阻色谱法	(297)
一、分离原理	(297)
二、空间排阻色谱固定相	(298)
三、空间排阻色谱流动相	(298)
四、应用实例	(299)
§ 14-7 高效液相色谱分离类型的选择	(299)
一、相对分子质量	(299)
二、溶解度	(299)
三、化学结构	(299)
习题	(300)
第十五章 有机结构分析初步	(301)
§ 15-1 核磁共振谱的基本原理	(301)
一、原子核的自旋	(301)
二、核磁共振现象	(301)
三、核磁共振谱仪简介	(303)
四、样品的处理和实验技术	(304)
五、弛豫	(304)
§ 15-2 化学位移	(305)
一、化学位移的产生	(305)
二、化学位移的表示方法	(305)
三、影响化学位移的因素	(306)
§ 15-3 自旋偶合与自旋裂分	(308)
一、自旋偶合与自旋裂分现象	(308)
二、裂分规律和偶合常数	(309)
三、核的化学等价和磁等价	(310)
§ 15-4 简化核磁共振谱图的方法	(311)
一、加大磁场强度	(311)
二、去偶法	(311)
三、位移试剂	(311)
§ 15-5 核磁共振谱图的解析举例	(312)
§ 15-6 质谱的基本原理和仪器简介	(315)
一、概述	(315)
二、基本原理	(316)
三、单聚焦质谱仪	(317)
四、双聚焦质谱仪	(318)
五、质谱仪性能指标	(319)
§ 15-7 各种类型的质谱峰	(319)

一、质谱裂解表示法	(319)
二、主要离子峰的类型	(321)
§ 15-8 重要有机化合物的质谱	(324)
§ 15-9 四谱联用解析有机物结构示例	(330)
习题	(336)
第十六章 定量分析的一般步骤	(340)
§ 16-1 试样的采取和制备	(340)
一、试样的采取	(340)
二、试样的制备	(346)
§ 16-2 试样的分解	(348)
一、溶解分解法	(348)
二、熔融分解法	(349)
三、有机化合物的分解	(351)
§ 16-3 分析方法的选择和试验设计方法	(351)
§ 16-4 复杂物质分析示例——水泥熟料的分析	(354)
一、水泥熟料的性质和组成	(354)
二、试样的分解	(354)
三、SiO ₂ 的测定	(354)
四、Fe ₂ O ₃ 和 Al ₂ O ₃ 的测定	(355)
五、CaO 和 MgO 的测定	(355)
六、MnO 的测定	(355)
七、K ₂ O 和 Na ₂ O 的测定	(356)
习题	(357)
参考文献	(357)
附录	(359)
附录一、弱酸、弱碱在水中的离解常数(25℃, $I=0$)	(359)
附录二、金属络合物的稳定常数	(361)
附录三、金属离子-氨羧络合剂络合物的稳定常数($\lg K_{MY}$)	(363)
附录四、一些金属离子的 $\lg \alpha_{M(OH)}$ 值	(364)
附录五、EDTA 的 $\lg \alpha_{Y(H)}$ 值	(365)
附录六、标准电极电位(18~25℃)	(366)
附录七、条件电极电位	(368)
附录八、微溶化合物的溶度积(18~25℃, $I=0$)	(370)
附录九、一些化合物的相对分子质量	(372)
附录十、原子量表	(374)
附录十一、格鲁布斯法检验可疑值程序	(375)
附录十二、电位滴定法测定弱酸的离解常数程序	(377)
附录十三、线性回归计算程序	(378)

第一章 绪 论

§ 1-1 分析化学的性质和任务

分析化学是研究和进行物质化学成分鉴定、组分含量测定的有关原理及技术的科学,近几年越来越多地涉及到物质化学结构的确定与表征,是化学领域中一个重要的分支。它是人们认识物质、了解自然不可缺少的工具。分析化学由两个部分组成。对于物质化学成分的鉴定,称为定性分析;对于物质化学成分含量的测定,称为定量分析。在对物质进行分析时,通常是先定性分析,在此基础上再定量分析。

分析化学对国民经济各部门起着极其重要的作用,现以化学工业生产为例说明如下:首先要了解原料的组成、含量是否符合工业生产的要求,并根据其含量确定原料的用量及生产的工艺过程;在生产过程中,要经常根据工艺过程的“中控”分析,来掌握生产设备内化学反应的变化,以便适时地进行调节操作;生产出的产品需要进行质量检验,确定是否合格和决定其质量等级;除此之外,生产工艺的技术革新、生产事故和人身安全的防范、生产过程中的三废(废气、废水、废渣)处理和综合利用等,都需要有分析的配合,如果没有分析化学,上述各项工作就无法进行。其他许多工业和分析化学的关系也都是如此密切,要保证工业生产能稳定进行和提高产品的质量,就不能不借助于分析化学。所以,人们常将分析化学比作为生产中的“眼睛”。

分析化学不仅对化学的各个分支,而且对许多其他学科,如生物学、物理学、地质学、冶金学、海洋学、药物学以及医疗卫生等的发展,都有密切的关系。当前人们非常重视环境科学,需要了解大气和自然水体中有害物质存在的状况、各种物质随时间和地域推移发生的演变及迁移的规律、对生态平衡及人类健康的影响及环境的评价、公害的治理等,这些都需要分析化学提供大量的信息。

近代科学技术的发展对原材料的纯度提出了更高的要求,工业生产过程日益自动化给分析化学提出很多新的课题,它正促使分析化学以更大的步伐前进,这样才能适应科学技术和工业生产的需要。

由以上所述可以看出,分析化学的应用十分广泛,可以说凡是涉及到物质的化学组成、化学变化的研究和生产,无一不需要分析化学,其重要性显而易见。

§ 1-2 分析方法的分类

分析化学在相当长的一个时期中主要是化学分析,即通过物质的化学性质和化学反应,以湿法的方式来进行物质的分析,包括重量分析和滴定分析。随着科学技术的飞速发展,各学科的相互渗透,建立在众多学科基础上的各种仪器分析方法,最近几十年来相继出现,组成了近代分析,使得分析化学有了重大的进展。由于近代分析使用的都是精密仪器,所以称

之为仪器分析。

近代分析具有快速、简便、灵敏等特点,但它所给出的是许多非化学性质的信息,还需要化学分析予以标定。近代分析和化学分析之间不是取代和排斥,而是互为补充和相互配合的关系,它们的结合使分析化学在鉴定和测定中更为完善,更加有效。由此可以看到,化学分析仍是不可缺少的,而且仍然广泛地在被应用。

分析方法很多,按原理的不同大致分为下述几大类别。

(一)重量分析法

重量分析法是分析中最经典的方法,通常根据反应产物的质量来确定被测组分的含量。反应产物可分为:

- (1)无机和有机沉淀剂生成的沉淀物;
- (2)电沉积。

(二)滴定分析法

滴定分析法是常用的常量分析方法,应用此法可根据标准溶液的用量确定被测物质的含量。滴定分析法可分为:

- (1)酸碱滴定;
- (2)络合滴定;
- (3)氧化还原滴定;
- (4)沉淀滴定。

(三)光学光谱分析法

这类方法是根据物质对特定波长的辐射能的吸收和发射,以及光的偏振辐射,来进行官能团的鉴定、分子结构的确定、晶体结构的分析及物质含量的测定。可利用的电磁辐射,波长范围非常宽广,从X-射线到射电波,即从X-射线光谱到核磁共振波谱。这类方法可分为:

- (1)原子吸收光谱;
- (2)可见光分光光度(比色法);
- (3)紫外吸收光谱;
- (4)红外吸收光谱;
- (5)核磁共振波谱;
- (6)X-射线衍射;
- (7)X-射线荧光光谱;
- (8)原子发射光谱;
- (9)火焰光度;
- (10)旋光测定。

(四)电化学分析法

电化学分析法是仪器分析中应用较普遍的一类方法,常用于常规分析,特别适宜于现场监测、流程在线分析等,可作为生产自动化中分析的有力工具。电化学分析法可分为:

- (1)电位分析;
- (2)极谱分析;
- (3)库仑分析;
- (4)电导分析。