



全国中医药行业高等教育“十三五”规划教材



全国高等中医药院校规划教材（第十版）

# 分析化学（上）

（新世纪第四版）

（供中药学、药学、制药工程等专业用）

主编 张 凌

全国百佳图书出版单位  
中国中医药出版社

全国中医药行业高等教育“十三五”规划教材

全国高等中医药院校规划教材（第十版）

# 分析化学（上）

（新世纪第四版）

（供中药学、药学、制药工程等专业用）

## 主 审

梁生旺（广东药科大学）

## 主 编

张 凌（江西中医药大学）

## 副主编（以姓氏笔画为序）

马长华（北京中医药大学） 尹 华（浙江中医药大学）

范卓文（黑龙江中医药大学） 侯小涛（广西中医药大学）

## 编 委（以姓氏笔画为序）

王 瑞（北京中医药大学） 王海波（辽宁中医药大学）

王新宏（上海中医药大学） 任 波（成都中医药大学）

刘亚华（贵阳中医学院） 许光明（湖南中医药大学）

李 琦（福建中医药大学） 贺少堂（陕西中医药大学）

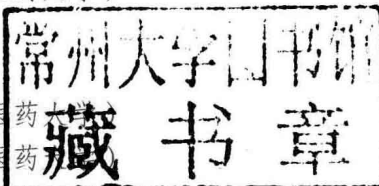
贺吉香（山东中医药大学） 姚雪莲（江西中医药大学）

徐可进（长春中医药大学） 曹雨诞（南京中医药大学）

曹秀莲（河北中医学院） 麻秋娟（河南中医药大学）

## 学术秘书

金 晨（广东药科大学）



中国中医药出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

分析化学 (上) / 张凌主编. — 4 版. — 北京: 中国中医药出版社, 2016. 7

全国中医药行业高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5132-3348-4

I. ①分… II. ①张… III. ①分析化学—高等学校—教材 IV. ①065

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 096756 号

请到“医开讲 & 医教在线” (网址: [www.e-lesson.cn](http://www.e-lesson.cn))  
注册登录后, 刮开封底“序列号”激活本教材数字化内容。



中国中医药出版社出版

北京市朝阳区北三环东路 28 号易亨大厦 16 层

邮政编码 100013

传真 010 64405750

天津市蓟县宏图印务有限公司印刷

各地新华书店经销

开本 850×1168 1/16 印张 15 字数 363 千字

2016 年 7 月第 4 版 2016 年 7 月第 1 次印刷

书号 ISBN 978-7-5132-3348-4

定价 39.00 元

网址 [www.cptcm.com](http://www.cptcm.com)

如有印装质量问题请与本社出版部调换

版权专有 侵权必究

社长热线 010 64405720

购书热线 010 64065415 010 64065413

微信服务号 zgzyycbs

书店网址 [csln.net/qksd/](http://csln.net/qksd/)

官方微博 <http://e.weibo.com/cptcm>

淘宝天猫网址 <http://zgzyycbs.tmall.com>

全国中医药行业高等教育“十三五”规划教材

全国高等中医药院校规划教材（第十版）

## 专家指导委员会

### 名誉主任委员

王国强（国家卫生计生委副主任、国家中医药管理局局长）

### 主任委员

王志勇（国家中医药管理局副局长）

### 副主任委员

王永炎（中国中医科学院名誉院长、中国工程院院士）

张伯礼（教育部高等学校中医学类专业教学指导委员会主任委员、

中国中医科学院院长、天津中医药大学校长、中国工程院院士）

卢国慧（国家中医药管理局人事教育司司长）

### 委员（以姓氏笔画为序）

马存根（山西中医学院院长）

王 键（安徽中医药大学校长）

王国辰（中国中医药出版社社长）

王省良（广州中医药大学校长）

方剑乔（浙江中医药大学校长）

孔祥骊（河北中医学院院长）

石学敏（天津中医药大学教授、中国工程院院士）

匡海学（教育部高等学校中药学类专业教学指导委员会主任委员、

黑龙江中医药大学教授）

吕文亮（湖北中医药大学校长）

刘振民（全国中医药高等教育学会顾问、北京中医药大学教授）

安冬青（新疆医科大学副校长）

许二平（河南中医药大学校长）  
孙忠人（黑龙江中医药大学校长）  
严世芸（上海中医药大学教授）  
李秀明（中国中医药出版社副社长）  
李金田（甘肃中医药大学校长）  
杨柱（贵阳中医学院院长）  
杨关林（辽宁中医药大学校长）  
杨金生（国家中医药管理局中医师资格认证中心主任）  
宋柏林（长春中医药大学校长）  
张欣霞（国家中医药管理局人事教育司师承继教处处长）  
陈可冀（中国中医科学院研究员、中国科学院院士、国医大师）  
陈立典（福建中医药大学校长）  
陈明人（江西中医药大学校长）  
武继彪（山东中医药大学校长）  
林超岱（中国中医药出版社副社长）  
周永学（陕西中医药大学校长）  
周仲瑛（南京中医药大学教授、国医大师）  
周景玉（国家中医药管理局人事教育司综合协调处副处长）  
胡刚（南京中医药大学校长）  
洪净（全国中医药高等教育学会理事长）  
秦裕辉（湖南中医药大学校长）  
徐安龙（北京中医药大学校长）  
徐建光（上海中医药大学校长）  
唐农（广西中医药大学校长）  
梁繁荣（成都中医药大学校长）  
路志正（中国中医科学院研究员、国医大师）  
熊磊（云南中医学院院长）

### **秘 书 长**

王键（安徽中医药大学校长）  
卢国慧（国家中医药管理局人事教育司司长）  
王国辰（中国中医药出版社社长）

### **办公室主任**

周景玉（国家中医药管理局人事教育司综合协调处副处长）  
林超岱（中国中医药出版社副社长）  
李秀明（中国中医药出版社副社长）

## 编审专家组

### 组 长

王国强（国家卫生计生委副主任、国家中医药管理局局长）

### 副组长

张伯礼（中国工程院院士、天津中医药大学教授）

王志勇（国家中医药管理局副局长）

### 组 员

卢国慧（国家中医药管理局人事教育司司长）

严世芸（上海中医药大学教授）

吴勉华（南京中医药大学教授）

王之虹（长春中医药大学教授）

匡海学（黑龙江中医药大学教授）

王 键（安徽中医药大学教授）

刘红宁（江西中医药大学教授）

翟双庆（北京中医药大学教授）

胡鸿毅（上海中医药大学教授）

余曙光（成都中医药大学教授）

周桂桐（天津中医药大学教授）

石 岩（辽宁中医药大学教授）

黄必胜（湖北中医药大学教授）

# 前言

为落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要（2010—2020年）》《关于医教协同深化临床医学人才培养改革的意见》，适应新形势下我国中医药行业高等教育教学改革和中医药人才培养的需要，国家中医药管理局教材建设工作委员会办公室（以下简称“教材办”）、中国中医药出版社在国家中医药管理局领导下，在全国中医药行业高等教育规划教材专家指导委员会指导下，总结全国中医药行业历版教材特别是新世纪以来全国高等中医药院校规划教材建设的经验，制定了“‘十三五’中医药教材改革工作方案”和“‘十三五’中医药行业本科规划教材建设工作总体方案”，全面组织和规划了全国中医药行业高等教育“十三五”规划教材。鉴于由全国中医药行业主管部门主持编写的全国高等中医药院校规划教材目前已出版九版，为体现其系统性和传承性，本套教材在中国中医药教育史上称为第十版。

本套教材规划过程中，教材办认真听取了教育部中医学、中药学等专业教学指导委员会相关专家的意见，结合中医药教育教学一线教师的反馈意见，加强顶层设计和组织管理，在新世纪以来三版优秀教材的基础上，进一步明确了“正本清源，突出中医药特色，弘扬中医药优势，优化知识结构，做好基础课程和专业核心课程衔接”的建设目标，旨在适应新时期中医药教育事业发展和教学手段变革的需要，彰显现代中医药教育理念，在继承中创新，在发展中提高，打造符合中医药教育教学规律的经典教材。

本套教材建设过程中，教材办还聘请中医学、中药学、针灸推拿学三个专业德高望重的专家组成编审专家组，请他们参与主编确定，列席编写会议和定稿会议，对编写过程中遇到的问题提出指导性意见，参加教材间内容统筹、审读稿件等。

本套教材具有以下特点：

## 1. 加强顶层设计，强化中医经典地位

针对中医药人才成长的规律，正本清源，突出中医思维方式，体现中医药学科的人文特色和“读经典，做临床”的实践特点，突出中医理论在中医药教育教学和实践工作中的核心地位，与执业中医（药）师资格考试、中医住院医师规范化培训等工作对接，更具有针对性和实践性。

## 2. 精选编写队伍，汇集权威专家智慧

主编遴选严格按照程序进行，经过院校推荐、国家中医药管理局教材建设专家指导委员会专家评审、编审专家组认可后确定，确保公开、公平、公正。编委优先吸纳教学名师、学科带头人和一线优秀教师，集中了全国范围内各高等中医药院校的权威专家，确保了编写队伍的水平，体现了中医药行业规划教材的整体优势。

## 3. 突出精品意识，完善学科知识体系

结合教学实践环节的反馈意见，精心组织编写队伍进行编写大纲和样稿的讨论，要求每门

教材立足专业需求，在保持内容稳定性、先进性、适用性的基础上，根据其在整个中医知识体系中的地位、学生知识结构和课程开设时间，突出本学科的教学重点，努力处理好继承与创新、理论与实践、基础与临床的关系。

#### 4. 尝试形式创新，注重实践技能培养

为提升对学生实践技能的培养，配合高等中医药院校数字化教学的发展，更好地服务于中医药教学改革，本套教材在传承历版教材基本知识、基本理论、基本技能主体框架的基础上，将数字化作为重点建设目标，在中医药行业教育云平台的总体构架下，借助网络信息技术，为广大师生提供了丰富的教学资源 and 广阔的互动空间。

本套教材的建设，得到国家中医药管理局领导的指导与大力支持，凝聚了全国中医药行业高等教育工作者的集体智慧，体现了全国中医药行业齐心协力、求真务实的工作作风，代表了全国中医药行业为“十三五”期间中医药事业发展和人才培养所做的共同努力，谨向有关单位和个人致以衷心的感谢！希望本套教材的出版，能够对全国中医药行业高等教育的发展和中医药人才的培养产生积极的推动作用。

需要说明的是，尽管所有组织者与编写者竭尽心智，精益求精，本套教材仍有一定的提升空间，敬请各高等中医药院校广大师生提出宝贵意见和建议，以便今后修订和提高。

国家中医药管理局教材建设工作委员会办公室

中国中医药出版社

2016年6月



# 编写说明

《分析化学(上)》是全国中医药行业高等教育“十三五”规划教材之一。为适应新时期中医药人才培养和高等院校中医药教育的需要,本教材是在全国中医药行业高等教育“十二五”规划教材《分析化学》基础上,由全国18所医药院校的教师共同修订编写而成,编者均为全国各医药院校长期从事中药、药学等专业分析化学教学工作的一线骨干教师。本教材可供全国高等中医药院校中药学、药学、制药工程专业本科教学使用,还可供有关科研和药品检验部门的科技人员参阅。

本教材除保持上一版教材的特色外,对部分内容进行调整和充实,进一步加强基础,突出特色,将上一版教材的第一章“绪论”中第三节试样分析的基本程序单独设为第二章“分析过程”,扩充相关内容从取样、样品处理与干扰排除、到分析方法选择与测量,再到结果计算与评价全过程,强化学生对定量分析过程中各个环节的理解,对本科创新创业人才培养有促进作用。

在编写过程中,通过召开多次编写会议,编委会对编写大纲进行了认真讨论,达成共识后,分工编写。具体分工如下:张凌负责编写第一章、第二章,马长华、任波负责编写第三章,王瑞、王海波负责编写第四章,许光明、贺少堂负责编写第五章,尹华、姚雪莲、麻秋娟负责编写第六章,侯小涛、李琦负责编写第七章,范卓文、徐可进负责编写第八章,刘亚华负责编写第九章,王新宏、曹雨诞负责编写第十章,贺吉香、曹秀莲负责整理附录部分。本书由梁生旺担任主审,金晨担任学术秘书。

本教材数字化工作是在国家中医药管理局中医药教育教学改革研究项目的支持下,由中国中医药出版社资助展开的。该项目(编号:GJYJS16066)由张凌负责,其他编委会成员共同参与完成。

在本书编写过程中,得到各位编写老师所在院校的大力支持,在此一并表示感谢。限于编者的水平与经验,书中若存在错误和不妥之处,恳请广大师生和读者提出宝贵意见,以便再版时修订提高。

《分析化学(上)》编委会

2016年6月

## 目 录

<b>第一章 绪论</b>	1	一、系统误差	14
第一节 分析化学的任务和作用	1	二、偶然误差	15
第二节 分析方法的分类	2	三、准确度与精密度	15
一、定性分析、定量分析、结构分析、 形态分析和能态分析	2	四、误差的传递	19
二、无机分析和有机分析	2	五、提高分析结果准确度的方法	20
三、化学分析和仪器分析	2	第二节 有效数字及其计算规则	22
四、常量、半微量、微量与超微量分析	3	一、有效数字	22
五、例行分析与仲裁分析	4	二、有效数字的修约规则	23
第三节 分析化学的纵览	4	三、有效数字的运算规则	23
一、发展历程	4	第三节 分析数据的处理	24
二、发展趋势	5	一、偶然误差的正态分布	24
<b>第二章 分析过程</b>	6	二、 $t$ 分布	26
第一节 试样的采集	6	三、平均值的置信区间	27
一、固体试样的采集	6	四、可疑值的取舍	27
二、液体试样的采集	7	五、显著性检验	29
三、气体试样的采集	8	第四节 相关与回归	33
第二节 试样的制备	8	一、相关分析	33
一、试样的破碎、混合和缩分	8	二、回归分析	33
二、试样的分解	9	习题	34
三、试样的分离方法	11	<b>第四章 重量分析法</b>	37
四、试样富集方法	12	第一节 挥发重量法	37
第三节 测定方法的选择与分析测定	12	第二节 萃取重量法	39
一、测定的要求	12	第三节 沉淀重量法	40
二、试样组分的性质	12	一、试样的称取和溶解	40
三、试样组分的含量	13	二、沉淀的制备	40
四、共存组分的影响	13	三、沉淀的处理	48
第四节 分析结果准确度的保证和评价	13	四、分析结果的计算	50
<b>第三章 误差和分析数据的处理</b>	14	习题	52
第一节 误差及其产生原因	14	<b>第五章 滴定分析概论</b>	54
		第一节 滴定基本概念与相关术语	54

一、滴定分析的特点和分类	54	<b>第七章 配位滴定法</b>	111
二、滴定分析对滴定反应的要求	54	第一节 EDTA 的性质及其配合物	111
三、滴定方式	55	一、EDTA 在水溶液中的离解平衡	112
第二节 基准物质与标准溶液	56	二、金属-EDTA 配合物的分析特性	113
一、基准物质	56	第二节 配合物在溶液中的离解平衡	113
二、标准溶液的配制	57	一、EDTA 与金属离子形成配合物的稳定性	113
三、标准溶液的标定	57	二、影响 EDTA 配合物稳定性的因素	114
四、标准溶液浓度的表示方法	58	三、EDTA 配合物的条件稳定常数	118
第三节 滴定分析的计算	59	第三节 配位滴定的基本原理	119
一、滴定分析的计算基础	59	一、滴定曲线	119
二、计算公式及应用举例	59	二、影响配位滴定突跃大小的因素	121
习题	62	三、EDTA 滴定金属离子的条件	122
<b>第六章 酸碱滴定法</b>	64	四、配位滴定中酸度的控制与条件选择	123
第一节 溶液中的酸碱平衡	64	第四节 金属指示剂	125
一、酸碱质子理论	64	一、金属指示剂的作用原理及应具备的条件	125
二、酸碱溶液中各组分的分布	67	二、金属指示剂的选择	125
三、酸碱水溶液中 $H^+$ 浓度的计算	70	三、指示剂的封闭、僵化及变质现象	126
第二节 酸碱指示剂	75	四、常用金属指示剂	127
一、酸碱指示剂的变色原理	75	第五节 提高配位滴定的选择性	128
二、酸碱指示剂的变色范围及其影响因素	76	一、消除干扰离子影响的条件	128
三、混合酸碱指示剂	78	二、提高配位滴定选择性的措施	129
第三节 酸碱滴定曲线及指示剂的选择	79	第六节 EDTA 标准溶液的配制与标定	132
一、强酸(强碱)滴定	80	一、EDTA 标准溶液的配制	132
二、一元弱酸(碱)的滴定	82	二、EDTA 标准溶液的标定	132
三、多元酸(碱)的滴定	85	第七节 配位滴定方式及其应用	133
四、滴定误差(终点误差)	87	一、配位滴定方式	133
第四节 酸碱标准溶液的配制与标定	90	二、应用实例	135
一、酸标准溶液的配制与标定	90	习题	136
二、碱标准溶液的配制与标定	91	<b>第八章 氧化还原滴定法</b>	139
第五节 应用实例	91	第一节 氧化还原平衡	139
一、直接滴定	92	一、条件电极电位与影响因素	139
二、间接滴定	93	二、氧化还原反应进行的程度	142
第六节 非水溶液中酸碱滴定	94	三、氧化还原反应速率及其影响因素	143
一、溶剂的性质与作用	95	第二节 氧化还原滴定法原理	145
二、溶剂的分类和选择	101	一、氧化还原滴定曲线	145
三、非水滴定法的应用	102	二、滴定终点的确定	147
习题	107	第三节 碘量法	149

一、基本原理	149
二、滴定条件	150
三、碘量法误差来源及采取的措施	150
四、指示剂	151
五、标准溶液的配制与标定	152
六、应用实例	153
第四节 其他氧化还原滴定法	154
一、高锰酸钾法	154
二、重铬酸钾法	156
三、溴酸钾法及溴量法	157
四、铈量法	158
第五节 氧化还原滴定结果的计算	159
习题	161

**第九章 沉淀滴定法** 164

第一节 银量法	164
一、基本原理	164
二、银量法指示终点方法	166
第二节 标准溶液与基准物质	171
一、硝酸银标准溶液的配制与标定	171
二、硫氰酸铵标准溶液的配制与标定	171
第三节 应用	171
一、无机卤化物和有机氢卤酸盐的测定	171
二、有机卤化物的测定	172
习题	173

**第十章 电位法及双指示电极  
电流滴定法** 175

第一节 电位法的基本原理	175
一、电化学电池	175
二、液接电位	176
三、电位法电池中的电极	177
第二节 直接电位法	181
一、氢离子活度的测定	181
二、其他离子活(浓)度的测定	184
三、直接电位法的测量误差	190
四、电化学生物传感器技术及微电极技术简介	190
第三节 电位滴定法	192

一、原理及装置	192
二、终点确定方法	192
三、应用实例	194
第四节 双指示电极电流滴定法	195
一、原理及装置	195
二、终点确定方法	196
三、应用实例	197
习题	197

**附录一 常用酸、碱在水中的  
离解常数 (25℃)** 200

**附录二 难溶化合物的溶度积  
(18℃~25℃)** 204

**附录三 配位滴定的有关常数** 206

附表 3-1 金属配合物的稳定常数 (18℃~25℃)	206
附表 3-2 羧酸配合剂类配合物的稳定常数 (18℃~25℃)	209
附表 3-3 一些金属离子与部分指示剂配合物的 $\lg K'_{MIn}$ 值	210
附表 3-4 一些金属离子的 $\lg \alpha_{M(OH)}$ 值	211

**附录四 标准缓冲溶液的 pH  
(0℃~95℃)** 212

**附录五 常用化合物的相对分子  
质量** 213

**附录六 标准电极电位表  
(18℃~25℃)** 215

**附录七 中华人民共和国法定  
计量单位** 219

附表 7-1 国际单位制 (SI) 的基本单位	219
-------------------------	-----

附表 7-2	国际单位制的辅助单位	219
附表 7-3	国际单位制中具有专门名称的导出单位	219
附表 7-4	国家选定的非国际单位制单位	220
附表 7-5	用于构成十进倍数和分数单位的词头	220
<b>附录八 国际单位制 (SI) 与 cgs 单位 换算及常用物理化学常数 222</b>		
附表 8-1	国际单位制 (SI) 与 cgs 单位换算表	222
附表 8-2	常用物理化学常数	222
<b>附录九 元素的相对原子质量 224</b>		
<b>主要参考书目 225</b>		

# 第一章 绪论

## 第一节 分析化学的任务和作用

分析化学 (analytical chemistry) 是发展和应用各种理论方法、仪器和策略以获得有关物质在相对时空内的组成和性质等信息的一门科学, 又被称为分析科学。

分析化学的主要任务一是确定物质的化学组成——定性分析 (qualitative analysis); 二是测量各组成的含量——定量分析 (quantitative analysis); 三是表征物质的化学结构、形态、能态——结构分析 (structural analysis)、形态分析 (morphological analysis)、能态分析 (energy-state analysis); 四是表征物质的组成、含量、结构、形态、能态变化的动力学特征——动态分析 (dynamic analysis), 目的是解决有关物质体系构成及其性质, 挖掘与破解物质蕴含的各种信息, 揭示物质世界组成的真理。

分析化学是研究物质及其变化的重要方法之一, 是化学学科的重要组成部分, 在化学学科的发展及与化学有关的各学科领域 (如物理学、电子学、生物学、医药学、天文学、地质学、海洋学等) 中发挥着重要的作用。在资源、能源开发和利用; 军事工业的提高; 环境的监测与保护; 食品的安全与检验; 工业生产中从原料的品质考察, 到生产过程监控及产品质量的检验等各环节都离不开分析化学, 尤其是在国家提出协调发展与绿色发展等五大发展理念的今天, 在产品质量的提升与环境污染的控制两项重点工程中, 分析化学将发挥更为重要的作用。

分析化学在国民经济、科学研究、医药卫生、高等教育等方面都起着重要的作用。

**国民经济** 资源勘探及油田、煤矿、钢铁基地选定中的矿石及原油分析; 植物资源分布普查; 工业生产中的原料、中间体、成品分析; 农业生产中的土壤、肥料、粮食、农药分析及食品加工安全监控; 材料生产中原子能材料、半导体材料、超纯材料中微量杂质的分析等都要应用分析化学。分析化学是工业生产的“眼睛”。有关生产过程的管理、生产技术的改进与创新, 都要依靠分析结果进行评价。

**科学研究** 分析化学与化学、物理学、生命科学、材料科学、环境科学和信息科学等学科有着密切联系, 且互相渗透和交叉, 其理论与技术广泛运用于各学科的研究中。许多定理、理论都是用分析化学的方法确证的。而各学科理论和技术的发展又为解决分析上面临的新问题、新要求提供了有利条件, 促进了分析化学的飞速发展。

**医药卫生** 临床检验、病因调查; 药品鉴定、新药研发; 药物分析方法选择及药品质量标准的制订; 药物制剂的稳定性及生物利用度的测定、生产工艺的制订; 天然药物有效成分的分离、定性鉴别及结构测定、理化性质与结构关系的探索; 药物理化性质与药效间的关系、药物作用机制、药物代谢动力学研究; 中药内在质量及其与药效间的内在规律研究; 中药材的栽培、引种、采集、加工、炮制、检定、质量控制等诸方面的工作都离不开分析化学。

高等教育 学习分析化学的目的, 不仅在于学习不同物质分析鉴定方法的理论与技术、培养学生观察判断问题的能力和精密地进行科学实验的技能、树立实事求是的科学态度和一丝不苟的工作作风, 还在于培养学生的创新思维能力, 解决问题的思路, 使其初步掌握科学研究的方法, 具备科学工作者应有的素质。分析化学在医药院校中药类专业中是一门重要的专业基础课, 学好分析化学, 可为后续中药化学、中药鉴定学、中药炮制学、中药药理学、中药药剂学、中药制剂分析等专业课学习打下坚实的基础。

## 第二节 分析方法的分类

根据分析任务、分析对象、测定原理、分析试样用量及分析的要求不同, 分析方法可分为多种不同的类别。

### 一、定性分析、定量分析、结构分析、形态分析和能态分析

根据分析任务, 定性分析的任务是鉴定物质由哪些化学组分(元素、离子、基团或化合物)组成, 解决“是什么”; 定量分析的任务是测定物质各组分的含量, 解决“有多少”, 当被测成分已知时, 可以直接进行定量分析; 结构分析的任务是研究物质的分子结构或晶体结构, 是研究未知化合物必不可少的手段; 形态分析的任务则是研究物质的价态、晶态、结合态等; 能态分析则是研究物质的元素、化学态等存在状态的能量。本书主要讨论定量分析、结构分析及其相关的理论。

### 二、无机分析和有机分析

根据分析对象, 分析化学可分为无机分析(inorganic analysis)和有机分析(organic analysis)。无机分析是对无机物中的元素、离子、原子团或化合物的鉴别、含量测定和某些组分存在形式的确定等。如中草药中微量元素及矿物药无机成分的分析。有机分析主要是对有机物的元素分析、含量测定、官能团分析和结构分析, 如中草药中有机成分的分析、鉴定等。此外根据具体对象还可分为食品分析(food analysis)、药物分析(pharmacological analysis)、临床分析(clinical analysis)、环境分析(environmental analysis)和水质分析(water analysis)等。

### 三、化学分析和仪器分析

根据分析原理, 分析方法可分为化学分析和仪器分析。

#### (一) 化学分析

化学分析(chemical analysis)是以物质的化学性质和化学反应为基础的分析方法, 包括定性化学分析和定量化学分析。待测物质称为试样, 与试样发生反应的物质称为试剂。定性分析是根据试样中组分发生某种化学反应的性质来对该组分进行检出的分析; 定量分析则是根据待测组分与所加一定试剂发生有确定计量关系的化学反应来测定该组分含量的分析。定量分析主要有重量分析(gravimetric analysis)和滴定分析(titrimetric analysis)。重量分析是通过化学反应和一系列操作步骤将试样中的待测组分转化成一种纯的、化学组成固定的物质(元素或化

合物), 根据该物质的质量计算待测组分含量的方法。滴定分析是将一种已知准确浓度的试剂溶液滴加到试样溶液中, 使其与待测组分发生反应, 直到化学反应按确定的计量关系完全作用为止, 根据加入试剂的浓度和体积计算待测组分含量的方法。化学分析所用仪器简单, 结果准确, 易于普及, 适用于常量组分的分析, 应用范围十分广泛。

## (二) 仪器分析

仪器分析 (instrument analysis) 是以物质的物理和物理化学性质为基础建立起来的一系列分析方法, 借助于仪器对试样进行定性、定量形态分析。其每一种分析方法所依据的原理不同, 所测量的物理量不同, 操作过程及应用情况也各不同, 包括以物质的物理性质 (光学性质) 为基础的物理分析 (physical analysis) 和以物质的物理化学性质 (如电化学性质) 为基础的物理化学分析 (physicochemical analysis), 主要有光学分析 (optical analysis)、电化学分析 (electrochemical analysis)、质谱分析 (mass spectrometric analysis)、色谱分析 (chromatographic analysis)、放射化学分析 (radiochemical analysis) 等方法。

光学分析是利用物质发射的电磁辐射 (electromagnetic radiation) 或物质与电磁辐射之间相互作用的关系而对物质进行定性、定量和结构分析的一类方法。光学分析可分为非光谱分析法 (nonspectral analysis) (如折光分析法、旋光分析法) 和光谱分析法 (spectral analysis) (如紫外-可见分光光度法、红外分光光度法、核磁共振波谱法、原子吸收分光光度法、原子发射光谱法、荧光分光光度法等)。前者与波长无关, 后者与波长有关。

电化学分析是利用电化学原理对物质进行定性、定量的方法, 主要有电解分析 (electrolytic analysis)、电导分析 (method of conductometric analysis)、电位分析 (potentiometric analysis)、极谱分析 (polarographic analysis) 等方法。

色谱分析是一种分离、分析多组分混合物极有效的物理或物理化学分离分析方法。按流动相的分子聚集状态可分为气相色谱 (gas chromatography) 与液相色谱 (liquid chromatography) 两大类。

质谱分析是利用离子化技术, 将物质分子转化为离子, 再按质量与电荷比 (质荷比) 的差异分离测定, 通过分子离子、碎片离子等解析对物质进行成分和结构分析的方法。

仪器分析操作简便、快速, 灵敏度高, 各种方法发展快, 应用广泛, 尤其适用于低含量组分的分析。与化学分析相比, 近年来分析化学更注重仪器分析方法的发展, 但在整个分析过程中试样的处理和分解, 干扰成分的分离都离不开化学分析; 在建立测定方法过程中需要可靠的经典的化学分析方法作对照; 化学分析方法在常量分析中应用相当广泛。因此两者是相辅相成、互为补充的。化学分析作为分析化学教育的基础和入门是每个初学者打开分析科学知识宝库的钥匙。

## 四、常量、半微量、微量与超微量分析

根据试样用量的多少, 分析方法可分为常量分析 (macro-analysis)、半微量分析 (semimicro analysis)、微量分析 (micro-analysis) 和超微量分析 (ultramicro-analysis)。各种方法所取试样量见表 1-1。

无机定性分析一般采用半微量分析方法 (如点滴分析)、常量分析多采用化学分析方法、微量或超微量分析一般采用仪器分析方法 (如原子发射光谱、色谱、极谱、荧光等分析方法)



来完成。

表 1-1 各种分析方法所取试样量

方 法	试样重量	试样体积
常量分析	>0.1g	>10mL
半微量分析	0.010~0.1g	1~10mL
微量分析	0.1~10mg	0.01~1mL
超微量分析	<0.1mg	<0.01mL

根据被测组分的百分含量不同还可分为常量组分 (>1%) 分析、微量组分 (0.01%~1%) 分析、痕量组分 (<0.01%) 分析。痕量组分含量常用 ppm ( $10^{-6}$ W/W 或 V/V, 百万分率)、ppb ( $10^{-9}$ W/W 或 V/V, 十亿分率)、ppt ( $10^{-12}$ W/W 或 V/V, 万亿分率) 及 ppf ( $10^{-15}$ W/W 或 V/V, 千万亿分率) 表示。

## 五、例行分析与仲裁分析

例行分析 (routine analysis) 是指实验室的日常分析, 又称常规分析。仲裁分析 (referee analysis) 是指不同单位对某一试样的分析结果有争议时, 要求某仲裁单位 (如药检所) 用法定方法进行准确分析, 以判断原分析结果是否准确。

## 第三节 分析化学的纵览

### 一、发展历程

分析化学历史悠久, 在科学史上是研究化学的开路先锋, 在元素的发现、相对原子质量的测定、定比定律、倍比定律等化学基本定律的建立及资源的勘察利用等方面, 都做出重要贡献。早期分析化学主要是研究物质的化学成分的定性鉴定和定量测定的方法, 只能是一类技术的组合。随着分析技术的发展, 分析测定过程的理论解释及按原理对分析测定过程进行分类, 使分析化学发展成为一门科学。其中 Wilhelm Ostwald 1894 年的著作《分析化学科学基础》即是分析化学的第一本科学著作。

普遍认为, 分析化学学科的发展经历了三次巨大的变革。

第一次是 20 世纪初, 物理化学学科的形成和各种相关理论的逐步完善, 为分析化学提供了理论基础。溶液平衡理论的建立, 发展和完善了化学分析方法, 使分析化学成为一门具有系统理论的科学。

第二次是 20 世纪中叶, 由于物理学和电子技术的发展, 促进了分析化学中物理方法的发展, 各种分析仪器和技术的出现和发展, 使仪器分析方法和分离技术应运而生, 仪器分析成了分析化学的重要内容。在分析化学发展过程中, I. M. Kolthoff、A. Ringbom 和 H. A. Laitinen 等做出了重要的贡献, 他们不仅开拓了分光光度、安培滴定、配位滴定、非水滴定等新的测定方法, 并在探索分析过程的操作原理问题上做了出色的工作。

NOTE