



新世纪高等学校教材

化学系列教材

# 分析化学 (上册)

唐波 主编

FENXI HUAXUE



北京师范大学出版集团  
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP  
北京师范大学出版社

新世纪高等学校教材

化学系列教材

# 分析化学 (上册)

FENXI HUAXUE

唐 波 主 编

山东师范大学 湖南师范大学  
河北师范大学 河南师范大学  
广西师范大学 安徽师范大学  
曲阜师范大学

合 编



北京师范大学出版集团  
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP  
北京师范大学出版社

---

图书在版编目(CIP)数据

分析化学. 上册/唐波主编. —北京: 北京师范大学出版社, 2014. 8

(新世纪高等学校教材. 化学系列教材)

ISBN 978-7-303-17757-8

I. ①分… II. ①唐… III. ①分析化学—高等学校—教材  
IV. ①O65

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 171855 号

---

营销中心电话 010-58802181 58805532

北师大出版社高等教育分社网 <http://gaojiao.bnup.com>

电子信箱 [gaojiao@bnupg.com](mailto:gaojiao@bnupg.com)

---

出版发行: 北京师范大学出版社 [www.bnup.com](http://www.bnup.com)

北京新街口外大街 19 号

邮政编码: 100875

印 刷: 保定市中国画美凯印刷有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 170 mm×230 mm

印 张: 24.5

字 数: 440 千字

版 次: 2014 年 8 月第 1 版

印 次: 2014 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 42.00 元

---

策划编辑: 范 林

责任编辑: 范 林

美术编辑: 焦 丽

装帧设计: 焦 丽

责任校对: 李 菡

责任印制: 陈 涛

---

**版权所有 侵权必究**

反盗版、侵权举报电话: 010-58800697

北京读者服务部电话: 010-58808104

外埠邮购电话: 010-58808083

本书如有印装质量问题, 请与印制管理部联系调换。

印制管理部电话: 010-58800825

# 内容简介

本书是根据教育部关于高等学校化学类系列课程教学基本要求和相关课程教学大纲的规定，同时也是为适应高等学校教学改革和对创新型本科人才培养的需要进行编写的。全书包括《分析化学(上册)》《分析化学(下册)》，以及与之配套的《分析化学实验(I)》《分析化学实验(II)》。本册以化学分析为主，包括绪论，定量分析概论，样品的采集与试样分解，分析化学中常用的分离方法，滴定分析法概述与误差，酸碱滴定法，络合滴定法，氧化还原滴定法，沉淀滴定法，重量分析法，数据分析与处理，共 11 章。本教材的特色是体现化学分析与仪器分析的融合，可用作高等师范院校化学、应用化学、化工等专业分析化学课程的教材，也可用作理、工、农、医、环境等高等院校相关专业的教材或教学参考书。

# 前言

分析化学是科学技术的眼睛，分析化学的发展水平成为衡量一个国家科技水平的重要标志之一。社会的发展和时代的进步，对分析化学提出新要求，新原理、新技术、新仪器应运而生，促进了分析化学的快速发展，客观上要求分析化学教材在内容上推陈出新。另一方面，根据目前教学改革中削减化学类基础课程的趋势，需要适应于学时数减少的分析化学理论课程的教材。本教材吸收国内外许多同类教材的主要优点，在基本概念、主要内容、计量单位等方面力求严谨规范，争取做到内容充实、紧跟学科发展，叙述简明扼要、文字精练、深浅适度，使用方便，充分体现少而精、特色鲜明和利于教学的原则。对内容进行精心组织和合理编排，紧扣基本原理，阐明分析方法，精选应用实例；在保持本学科系统性的基础上，注重理论与实践相结合，突出应用创新能力的培养；对涉及的前沿领域和交叉学科，力求做到深度和广度相适宜，尤其体现分析化学在工农业生产、食品安全、生命科学、环境科学、材料科学、突发事件处理、国家安全等方面扮演的角色与重要性。本书的主要特色如下：

1. 从分析化学的系统性出发，将经典的化学分析和现代仪器分析作为一个学科整体进行教学，促使学生获得整体的分析化学概念、原理，系统地了解分析化学知识。
2. 以分析方法的灵敏度和选择性作为主线，将各种分析方法有机衔接，强调富集与分离方法在提高分析方法灵敏度与选择性中的重要作用，结合分析任务与样品特性，选用适宜的分析方法。

3. 简明扼要地介绍分析化学的基本原理和基本知识,建立准确的“量”的概念,为强调分析测定的质量,在分析测定的统计学处理部分增加了质量保证的内容。

全书分为《分析化学(上册)》和《分析化学(下册)》两册。本册为化学分析部分,共分11章,由山东师范大学、湖南师范大学、河北师范大学、河南师范大学、广西师范大学、安徽师范大学、曲阜师范大学共同编写。山东师范大学唐波教授担任主编,编写人员及其分工如下:第1,2章(山东师范大学,申大忠);第3,4章(广西师范大学,梁少俊);第5章(安徽师范大学,王海燕,湖南师范大学,马铭);第6章(安徽师范大学,夏云生);第7章(河北师范大学,申金山);第8章(河南师范大学,冯素玲);第9,11章(湖南师范大学,马铭);第10章(曲阜师范大学,张淑芳)。全书由山东师范大学江崇球、任建成统稿,他们对本书的编排及内容取舍提出了许多宝贵意见和修改建议。在本书的编写过程中,编者参考了国内外近期出版的有关教材或教学参考书,得到了山东师范大学化学化工与材料科学学院的大力支持,并获得分子与纳米探针教育部重点实验室经费资助,谨致谢意!尽管编者力求使本书具有一定的创新性、先进性及适用性,但由于编写时间仓促,编者水平有限,仍难免存在一些遗憾,恳请读者批评指正,不胜感谢。

编者

2014年6月

# 目 录

## 第 1 章 绪 论 /1

- 1.1 分析化学的定义与作用 ..... 1
- 1.2 分析方法的分类 ..... 2
- 1.3 分析化学发展的机遇与方向 ..... 5
- 1.4 分析化学的应用 ..... 9
- 1.5 分析化学的发展历史 ..... 12
- 1.6 分析化学的学习方法与资源 ..... 19

## 第 2 章 定量分析概论 /21

- 2.1 分析化学解决分析问题的基本  
流程 ..... 21
- 2.2 科学采样确保分析结果有意义 ... 22
- 2.3 复杂物分析是分析化学的基本  
问题 ..... 22
- 2.4 样品预处理提高分析方法的灵敏度与  
选择性 ..... 23
- 2.5 复杂物分析的特点与挑战 ..... 24
- 2.6 化繁为简, 分析化学的精髓所在  
..... 28
- 2.7 定量分析结果的表示 ..... 29

### 第3章 样品的采集与试样分解 /31

|                    |    |
|--------------------|----|
| 3.1 试样的采集 .....    | 31 |
| 3.2 试样的制备 .....    | 34 |
| 3.3 试样的分解 .....    | 36 |
| 3.4 实际样品分析案例 ..... | 43 |

### 第4章 分析化学中常用的分离方法 /47

|                    |    |
|--------------------|----|
| 4.1 概述 .....       | 47 |
| 4.2 沉淀分离法 .....    | 48 |
| 4.3 溶剂萃取分离法 .....  | 53 |
| 4.4 离子交换分离法 .....  | 60 |
| 4.5 色谱分离法 .....    | 67 |
| 4.6 其他分离方法简介 ..... | 72 |

### 第5章 滴定分析法概述与误差 /79

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 5.1 滴定分析法中一些专用名词 .....       | 79 |
| 5.2 基准物质和标准溶液 .....          | 80 |
| 5.3 滴定分析法对化学反应的要求和滴定方式 ..... | 81 |
| 5.4 滴定分析中的计算 .....           | 82 |
| 5.5 滴定分析的发展 .....            | 84 |
| 5.6 误差的基本概念 .....            | 85 |
| 5.7 误差的传递 .....              | 92 |
| 5.8 有效数字及计算规则 .....          | 96 |

### 第6章 酸碱滴定法 /104

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 6.1 酸碱平衡的基本理论和处理方法 ..... | 104 |
| 6.2 酸碱水溶液 pH 的计算 .....   | 112 |
| 6.3 酸碱缓冲溶液 .....         | 121 |
| 6.4 酸碱指示剂 .....          | 128 |
| 6.5 酸碱滴定法的基本原理 .....     | 132 |
| 6.6 酸碱滴定法的应用 .....       | 146 |

|                         |                        |     |
|-------------------------|------------------------|-----|
| 6.7                     | 非水溶液中的酸碱滴定 .....       | 154 |
| <b>第7章 络合滴定法 /165</b>   |                        |     |
| 7.1                     | 络合滴定中的络合物 .....        | 165 |
| 7.2                     | 络合平衡 .....             | 169 |
| 7.3                     | 副反应系数及条件稳定常数 .....     | 173 |
| 7.4                     | 络合滴定法的基本原理 .....       | 179 |
| 7.5                     | 终点误差 .....             | 184 |
| 7.6                     | 单一离子准确滴定的条件与酸度控制 ..... | 188 |
| 7.7                     | 混合离子的选择滴定 .....        | 191 |
| 7.8                     | 络合滴定方式及应用 .....        | 199 |
| <b>第8章 氧化还原滴定法 /214</b> |                        |     |
| 8.1                     | 氧化还原平衡 .....           | 214 |
| 8.2                     | 氧化还原滴定原理 .....         | 225 |
| 8.3                     | 氧化还原滴定中的指示剂 .....      | 230 |
| 8.4                     | 氧化还原滴定前的预处理 .....      | 233 |
| 8.5                     | 常用的氧化还原滴定法 .....       | 236 |
| 8.6                     | 氧化还原滴定法结果的计算 .....     | 250 |
| <b>第9章 沉淀滴定法 /259</b>   |                        |     |
| 9.1                     | 沉淀滴定法对沉淀反应的要求 .....    | 259 |
| 9.2                     | 滴定曲线 .....             | 259 |
| 9.3                     | 常用的沉淀滴定法 .....         | 262 |
| 9.4                     | 沉淀滴定法的应用 .....         | 268 |
| <b>第10章 重量分析法 /272</b>  |                        |     |
| 10.1                    | 重量分析法概述 .....          | 272 |
| 10.2                    | 沉淀的溶解度及其影响因素 .....     | 274 |
| 10.3                    | 沉淀的类型及沉淀的形成过程 .....    | 286 |
| 10.4                    | 影响沉淀纯度的主要因素 .....      | 289 |

|      |                  |     |
|------|------------------|-----|
| 10.5 | 沉淀条件的选择 .....    | 292 |
| 10.6 | 有机沉淀剂 .....      | 294 |
| 10.7 | 重量分析结果的计算 .....  | 296 |
| 10.8 | 重量分析法的应用示例 ..... | 297 |

## 第 11 章 数据分析与处理 /304

|      |                     |     |
|------|---------------------|-----|
| 11.1 | 随机误差的正态分布 .....     | 304 |
| 11.2 | 少量数据的统计处理 .....     | 313 |
| 11.3 | 回归分析法 .....         | 324 |
| 11.4 | 提高分析结果准确度的方法 .....  | 330 |
| 11.5 | 分析化学中的质量保证及控制 ..... | 332 |

## 附 录 /345

## 参考文献 /379

# 第1章 绪论

## 1.1 分析化学的定义与作用

化学作为一门研究物质组成及其变化规律的科学，在人类文明与发展的历史进程中发挥了巨大的作用。从化学萌芽阶段的古代制陶术、冶金术、炼丹术、火药、造纸、中草药，到现代物质构成的原子学说、夸克学说，无一不显现出人类对物质组成与性质的研究在社会发展与进步中的重要作用。而对物质组成与性质的研究始于人们对相关数据信息的获取(即分析化学)。正如波义耳(R. Boyle, 1627—1691)在其所著《The Sceptical Chemistry》一书中所说，“人类有科技就有化学，化学从分析化学开始”。

随着分析化学学科的发展，其内涵在不断拓展，有关分析化学的定义也在与时俱进。我国近代化学先驱者徐寿(1818—1884)认为：“考质求数之学，乃格物之大端，而为化学之极致也。”他以“考质求数”精辟地概括了分析化学的两大核心任务，即定性分析与定量分析；以“化学之极致”说明作为穷究事物之道理的分析化学是化学学科的最高境界。人们还用“分析化学是科学技术的眼睛”这一更为通俗的说法表达分析化学的重要性。目前普遍为科学界认同的定义为：分析化学是发展和应用各种方法、仪器和策略，获得有关物质的组成和结构，确定物质在不同状态和演变过程中的化学成分、含量和时空分布的科学。

分析化学在国民经济发展、国防建设、自然资源开发、科学技术进步、环境资源保护等方面有着十分重要的作用。它所提供的有关物质的化学信息，是进行相关科学研究的基础，对于化学化工、生命科学、材料科学、环境科学、能源科学、国家安全与人民卫生健康都具有重要意义。因此，分析化学的发展水平成为衡量一个国家科技水平的重要标志之一。

## 1.2 分析方法的分类

分析化学作为一门快速发展的学科,每年报道的新分析方法数以千计,分析仪器的更新换代日趋频繁。根据特定的分析任务,分析工作者如何选择适宜的分析方法,是一项具有挑战性的工作,直接关系到分析工作的成败。而对现有分析方法进行分类归纳,有助于成功地选择分析方法。根据所选用的归类指标的不同,可以将分析方法分为不同的类别。

### 1.2.1 定性分析、定量分析、结构分析

根据分析任务的类别,分析化学包括定性分析、定量分析和结构分析三大模块。定性分析的任务是鉴定物质的组分,即物质由哪些元素、原子团或有机官能团组成。其中,无机物的定性分析相对简单,如采用发射光谱可以同时定性分析 70 多种元素。而有机物的定性分析则困难得多,因为有机物的种类远远多于无机物,而且同系物之间性质相似难以区分。定量分析的任务是测定样品中相关各组分的含量,是日常分析工作的主体。在定量分析前一般需要了解试样的大致组成,即先对样品中的主要成分和各种微量成分进行定性分析,然后根据试样组成和分析要求选择适当的方法进行定量分析。其中全分析要求测定出样品中的所有组分,分析报告中所有组分的含量之和理论上应等于 100%。全分析工作量大,在岩石矿物分析中应用较多。日常分析工作中更多的是分析样品中某一种或几种特定的组分,如水质分析中的化学需氧量(COD)、重金属含量等。结构分析的任务则是研究物质的分子结构或晶体结构。结构分析对样品的纯度有较高的要求,尤其是有机物。此外,物质的表面形貌分析也是结构分析的重要内容。

### 1.2.2 化学分析与仪器分析

根据分析测定所依据的原理,可将分析方法分为化学分析法与仪器分析法两大类。化学分析法是分析化学的基础,主要用于常量组分的分析;而对于低含量组分的分析通常采用仪器分析法,二者各有所长,相互补充。化学分析法是以物质的化学反应为基础的分析方法,主要包括滴定分析法和重量分析法。滴定分析是将已知浓度的试剂溶液滴加到待测物质溶液中(或者相反),使其与待测组分恰好完全反应,根据加入试剂的量(浓度与体积),计算出待测组分的含量。滴定分析法一般适用于含量大于 1% 的常量组分分析,操作简便、快

速,主要用于工农业原料与产品分析。重量分析法适用于常量组分分析,准确度较高,但操作费时,实际应用较少,目前主要用于预处理步骤较少的分析项目,如测定空气中悬浮物(PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>)浓度、固体样品含水量、灼烧减量、煤中灰分等,也用于仲裁分析及标准物测定。仪器分析法是现代分析化学的主体,也是分析化学的发展方向,具有操作简便、快速、灵敏、易于实现自动化的优点。仪器分析法种类繁多,且新的方法不断涌现,主要有光学分析法、电化学分析法、色谱分析法、质谱分析法、表面分析法、放射化学分析法等。

### 1.2.3 常量分析与微量分析

按分析过程需用的样品量可以将分析方法大体分为常量、半微量、微量、痕量分析。各种方法的取样范围参见表 1-1。

表 1-1 各种分析方法的取样量范围

| 方法    | 试样质量                   | 试液体积                  |
|-------|------------------------|-----------------------|
| 常量分析  | $>0.1\text{ g}$        | $>10\text{ mL}$       |
| 半微量分析 | $0.01\sim0.1\text{ g}$ | $1\sim10\text{ mL}$   |
| 微量分析  | $0.1\sim10\text{ mg}$  | $0.01\sim1\text{ mL}$ |
| 痕量分析  | $<0.1\text{ mg}$       | $<0.01\text{ mL}$     |

实际工作中选用分析方法时,应当考虑使分析过程所需样品量与可用样品量相匹配。因为不同的分析对象所能提供的样品量相差很大,如工业分析、岩矿分析、水质分析中通常可用样品量很大,可达数千克或数升。而在生物分析中,可用样品量可能非常少,如单个红细胞的体积仅为  $4\sim8\text{ }\mu\text{L}$ ,其中各细胞器中可提供的待测样品体积会更小,因此需要采用低样品消耗的分析方法。如毛细管电泳法,它单次分析所消耗的样品量在纳升级。在表面分析中,需对试样中某特定微小区域内的表面层(单个或几个原子层)中的物质进行分析,即为微区分析,可用样品量也极少。在文物、艺术品等贵重品的分析检验中,通常要求采用微损(最好是无损)分析。常量分析通常采用化学分析,而微量与痕量分析则需用仪器分析。

另外,在同一样品中,不同组分的含量可能存在显著的差别,根据组分的含量可以分为常量组分( $>1\%$ )分析、微量组分( $0.01\%\sim1\%$ )分析、痕量组分( $<0.01\%$ )分析。显然,样品中待测组分的含量越低,对分析方法的灵敏度与选择性的要求越高,有时需要通过分离干扰组分或浓缩待测组分后方可进行分析测定。

### 1.2.4 无机分析、有机分析与生物分析

无机分析的对象多为岩石矿物、建材、化工产品、水样等,或者只需进行元素分析的有机或生物样品。分析任务通常为鉴定试样是由哪些元素、离子、原子团或化合物所组成,各组分的含量是多少。无机分析方法较为成熟,难度较小。有机分析的对象是有机物,以有机官能团分析和结构分析为重点。虽然组成有机物的元素种类不多(C、H、O、N、S、P等),但由于有机物结构复杂、种类繁多,因此要求分析方法具有良好的选择性,通常先将混合物用色谱方法分离后再进行检测。对于合成或分离提纯得到的纯净有机物,则联用多种仪器方法如紫外—可见吸收光谱、红外吸收光谱、核磁共振谱、质谱等进行结构分析。生物分析的对象是具有生物活性的样本如生物体、生物组织、细胞等,检测对象既包括本身具有生物活性的物质如蛋白质、氨基酸、核酸、酶、糖类等,也包括与生物过程有关的有机物、无机物。因为生物分析中的基体复杂,还涉及保护某些分析物的生物活性,同时可供分析的样品量通常很有限,所以生物分析是分析化学的难点和发展方向。

### 1.2.5 例行分析、快速分析和仲裁分析

例行分析是指分析实验室对生产中的原材料和产品所进行的日常分析。例如,钢铁厂矿石中含铁量分析、水体的化学需氧量测定等。例行分析所用分析方法通常是规范的行业标准方法。快速分析主要为控制生产过程提供信息,要求在尽量短的时间内报告分析结果以便控制生产过程,这种分析要求速度快。例如炼钢厂的炉前分析,目前采用的发射光谱分析法从取样到获得分析报告的时间小于2 min。分析速度越快,越有利于控制产品钢中各元素的含量,总时间每减少1 s都会产生可观的经济效益。化工生产过程中普遍采用化学传感器连续动态地监测组分的浓度变化,并实行自动控制。

仲裁分析是因不同的单位对同一试样分析得出统计学中有显著差异的测定结果,由此引发争议时,要求权威机构(有资质的法定检验单位)用公认的标准方法进行准确分析,以裁判原分析结果的准确性。仲裁分析通常涉及较大的经济或其他利益纠纷,因此对分析人员的操作技能、实验室条件、分析方法有更高的要求,这样才能获得更准确、公正的分析结果。

### 1.2.6 特定行业分析

鉴于分析化学所面临的分析任务千差万别,而分析方法又成千上万,一个

即使装备精良的分析实验室,也只能完成有限的分析任务。实际上不同的分析实验室都带有行业特色,主要从事特定行业的分析任务,如工业分析、环境分析、细胞分析、临床分析、水质分析、食品分析、农残分析、药物分析、兴奋剂分析、表面分析、过程分析、刑侦分析等。特定行业分析之间的主要差别在于样品性质、检测指标。各行业的分析实验室,所涉及的分析问题较为单一,仪器装备专业性强。分析工作者具备较为丰富的处理同类样品的经验,有利于保障分析结果的可靠性。

## 1.3 分析化学发展的机遇与方向

### 1.3.1 21 世纪的分析化学

分析化学是一门获取物质信息、揭示物质时空变化规律的量测科学,准确、灵敏、选择、高通量、原位、快速、实时以至自动获取上述信息和数据是分析化学始终追求的核心目标。随着科技的发展和时代的进步,这种与时俱进的追求永无止境,解决问题的方法和技术也将层出不穷,因而成为分析化学发展永恒的原动力。目前国际科学的前沿是生命科学、材料科学、能源科学和环境科学。这些学科在发展过程中给分析化学提出了更高、更严峻的挑战,对分析方法和检测仪器的不断进步起到了积极的促进作用,分析化学也因此而获得了难得的发展机遇。分析化学通过与物理、生物、数学、材料和计算机等相关学科的交叉与融合,形成了自己完整的理论体系,并诞生了新的生长点与前瞻性的研究方向。

根据徐光宪院士 2004 年的统计,美国《化学文摘》(Chemical Abstracts)中登记的分子总数为 6 669 万个,其中合成的新有机和无机化合物 2 345 万个,识别的生物分子序列 4 324 万个,且以平均每天大约 2 万个分子的速度增加,识别和创造的分子数之比是 2 : 1。据此他认为 21 世纪的化学可以定位为“创造和识别泛分子的科学”,化学的两个核心任务为合成化学与广义的分析化学(包括分子识别和序列测定、结构分析、形貌分析、粒度分析和物质成像等),将分析化学的地位提到了前所未有的高度。

纵观科学发展史,一个学科的发展取决于周边学科对它提出了什么样的科学问题以及为解决这些问题提供了什么样的技术条件。分析化学的主要应用领域包括材料化学、生命化学、环境化学、能源化学、信息科学等,这些学科在发展过程中给分析化学提出了一系列极具挑战性的问题,分析化学也因此获得

了难得的发展机遇。现代分析化学的内涵不再限于元素的定性和定量分析,已经拓展到一级结构序列的分析、高级结构的测定、形貌分析、手性分析、构型与构象分析、单原子和单分子分析、物质成像等。从方法和技术层面上,分析方法发展的趋势有微流控芯片化、在线化、实时化、原位化、仿生化、智能化、信息化、高灵敏化、高选择化、高通量化、无损化、单原子化和单分子化等。此外还有各种联用技术和各种批量操作技术,如分析和分离联用,分析、分离和合成联用,组合化学等。在汪尔康院士所著的《21 世纪的分析化学》中,对分析化学的发展趋势给出了如图 1-1 所示的总体轮廓。

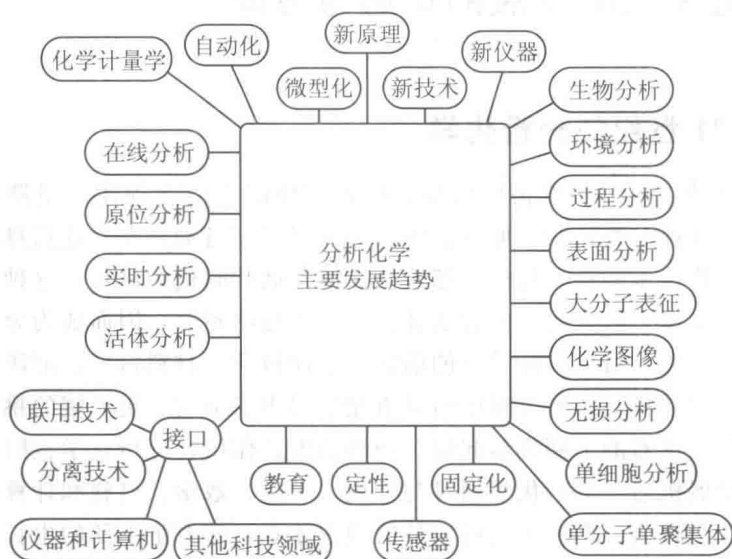


图 1-1 分析化学的主要发展趋势

总体来说,现代分析化学的目标就是减少消耗材料,缩短分析测试时间,降低实验风险,节省经费开支,获得更多更有效的化学信息。因此,分析化学的发展方向是高灵敏度(达原子级、分子级水平)、高选择性(复杂体系)、快速、自动、简便、经济、分析仪器自动化、数字化和计算机化并向智能化、信息化纵深发展。因此,灵敏度(Sensitivity)、选择性(Selectivity)、速度(Speed)、准确度(Accuracy)和自动化(Automatization)是分析化学中最为重要的“3S+2A”评价指标,提升这些性能指标是分析化学学科的发展方向。

### 1.3.2 灵敏度

提高灵敏度是分析化学永恒的追求,也是所面临的最为严峻的挑战之一。

分析方法的灵敏度通常可用检测下限(即它所能检测的最低质量或浓度)表示,检测下限越低,表明该方法的检测灵敏度越高。虽然现代分析化学已经发展出一些高灵敏度的分析方法,可以实现单分子、单原子水平的检测,但总体而言,目前所建立的分析方法仍需不断改进其灵敏度才能应对不断加码的挑战。据统计,恶性肿瘤已经成为威胁人类健康的第一大杀手,而机体病变最早从几个细胞开始,因此对付恶性肿瘤的最佳战略是进行早期预警,防患于未然。如果实现对癌症的早期诊断,大多数癌症可通过早期治疗消灭于萌芽期。但要从人体大约  $2 \times 10^{13}$  个细胞中发现几个癌症细胞,无异于大海捞针,要求非常灵敏、能进行活体追踪和检测、快速临床诊断的分析测定方法,目前的技术条件还难以达到。近年来,我国农产品出口受到发达国家越来越严格的绿色贸易壁垒的阻击,损失惨重,原因之一是我国商检部门所采用的分析方法的灵敏度不够。例如,2005年8月,欧盟将硫丹在茶叶中的残留限量突然从 30 mg/kg 调整为 0.01 mg/kg,大幅度提高的产品质量标准不仅使我国茶叶出口欧盟全面受阻,同时也要求将我国商检实验室对硫丹的灵敏度至少提高 3 000 倍才能达到出口检验的技术指标要求,为此不得不大量进口欧美的分析仪器。在另一方面,国外的转基因大豆、转基因食品等向我国倾销,其中的原因之一是我国缺乏可靠的分析技术确定和检测其中的有害组分而无法据理拒收。

### 1.3.3 选择性

分析方法的选择性是指它对样品中所共存组分的抗干扰能力。某方法对待测组分响应越高,对其他组分响应越低,则其抗干扰能力越强,选择性越高,测定结果越可靠。2008年以前乳品行业采用凯氏定氮法测定原料与产品中的蛋白质含量,但该分析方法的选择性不够,不能区分蛋白质中的氮与非蛋白质中的氮。该方法的漏洞被不法分子所利用,以三聚氰胺冒充蛋白质,最终酿成了震惊世界的食品安全事件。

在分析化学中,通常采用色谱技术分离组分以提高方法的选择性。然而,即使是高效率的色谱分离技术,仍不能有效地解决众多的分析问题。例如,二噁英被称为“世纪之毒”,是 12 种优先控制的持久性有机污染物(POPs)之一,主要来自垃圾焚烧,化工、冶金、造纸、农药等产业的排放物,极低的浓度就能对人体健康造成严重的危害。二噁英是多氯代二苯并-对-二噁英(Polychlorinated dibenzo-p-dioxins, PCDDs)和多氯代二苯并呋喃(Polychlorinated dibenzofurans, PCDFs)的总称,它们是氯代三环芳香化合物,其结构式见图 1-2,共有 210 种异构体,不同结构的异构体之间存在显著的毒性差别,如