



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
(高职高专教材)

CHEMICAL INDUSTRY PRESS

有机分析

第二版

● 丁敬敏 赵连俊 主编



化学工业出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
(高职高专教材)

有机分析

第二版

丁敬敏 赵连俊 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本教材分为六章，分别为绪论、有机化合物光谱和波谱分析、未知物的分析与鉴定、有机混合物的分离、有机元素定量分析和有机官能团定量分析。

其内容结合有机化学工业生产的实际，采用工业生产上常用的物理常数测定、化学分离和分析，并将化学分析和有机分析用的“四谱”结合起来，阐明有机化合物的鉴定。教材所列的试验一般都是经教学实践证明可行的。内容深入浅出，简明易懂，便于学习和掌握。

本书可作为高职高专工业分析专业用教材，也可供各有关工业生产部门作为对技术人员的培训教材及有关人员的自学参考。此外，还可供其他院校相关专业作参考教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

有机分析/丁敬敏, 赵连俊主编. —2 版. —北京: 化学工业出版社, 2008. 12

普通高等教育“十一五”国家级规划教材. 高职高专教材

ISBN 978-7-122-04222-4

I. 有… II. ①丁…②赵… III. 有机分析-高等学校: 技术学院-教材 IV. O656

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 190433 号

责任编辑: 陈有华 蔡洪伟
责任校对: 吴 静

文字编辑: 颜克俭
装帧设计: 于 兵

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 北京市彩桥印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张 17 $\frac{3}{4}$ 字数 436 千字 2009 年 3 月北京第 2 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 29.80 元

版权所有 违者必究

第二版前言

《有机分析》教材自 2004 年出版发行以来,受到相关高职院校的关注和好评,作为化学化工类职业院校有机分析课程的教材,在教学过程中发挥了一定的积极作用。

随着社会的发展对人才素质提出了更高的要求,高职教育提出要重视学生的全面素质教育,以学生为中心,着重培养学生的创新精神,激发学生的学习兴趣,挖掘学生的内在潜能,使他们的素质全面和谐地发展。随着科学技术和职业教育的不断发展,第一版内容在某些方面需要补充和修改,加之教材第一版在教学中发现了一些不足,给教学工作带来了一定的不便,为此我们对本书第一版进行了修订。修订工作本着学生智能的发展,以能力培养为目标,依据认知规律,以工作过程为导向,在保持第一版原有体系、结构的基础上,从以下几个方面进行了调整更新。

1. 对教材第二章“有机化合物光谱和波谱分析”重新进行了整理,以工作过程为主线,将所需的理论知识与实践知识有机融合,充分体现了高职教育中理论知识的“必需、够用、实用”原则,同时也符合学生认知的规律,由浅入深,由易到难,使教材的编写更加科学和贴近目前各职业院校的教学实际。

2. 对第一版中有机化合物波谱分析部分,增加了各类谱图的解析规律和各种实际案例,以丰富和增强学生的认知和实践经验。

3. 规范了公式和数据的使用,并增加了相应的习题。

丁敬敏负责本次修订的组织工作,并负责全书的修订、合并整合,姚金柱负责第六章的修订。最后由丁敬敏整理并统稿。本书的责任编辑为本次修订工作给予了大力的协助,常州工程职业技术学院叶爱英老师为本书的修订做了大量的资料收集和整理工作,在此表示衷心的感谢。

我们希望本教材的修订能为广大师生提供切实的帮助和指导,由于编者水平所限,按照新形势下的职业教育特征与要求,对本课程的教学改革和实践正在探索中,编写本书难免存在疏漏和不妥之处,恳请同行专家和使用教材的师生批评指正,使本书不断趋于完善。

编者

2008 年 10 月

第一版前言

本教材是以教育部有关高职高专教材建设的文件精神及“高职高专工业分析专业国家规划教材工作会议”精神为指导，以高职高专工业分析专业学生的培养目标为依据而制定的。

有机分析是高职高专工业分析专业的一门专业课程，是一门理论联系实际、应用性较强的课程，它是利用有机化学中的理论及分析化学中的某些方法对有机化合物进行定性、定量以及混合物分离方面的研究。全书由六章构成，总学时数为 60 学时。本着“实用、实际、实践”的原则，教材努力体现以下特点。

(1) 教材为高等职业教学用书，根据高职教育培养目标及本课程应用性较强的特点，本教材力求处理好理论知识和经验知识的关系，在知识处理上将理论知识与经验知识并重，既为第一线从事分析的技术人才提供识别、分析问题的理论知识，也为其提供解决实际操作中面临种种现实问题的经验知识。教材以如何运用方法进行有机物的定性、定量分析为主线，着重突出了学生实际应用能力的培养，在强化理论知识的同时注重经验知识的应用，注重理论与实践的结合。

(2) 在结构处理上，力求体现先进性、科学性。教材根据目前有机分析进入以仪器分析方法为主的特点，结合所教对象及对象所处工作岗位情况，将化学分析法与仪器分析法有机结合，有机物结构分析以仪器分析法为主，兼顾化学分析法。有机物定量分析以化学分析法为主，兼顾渗入仪器分析法，使教材能符合当前形势与实际对有机分析的需要。

(3) 在教学内容的选择上突出实用性，涉及的理论知识以“需要”和“够用”为度，重点立足于应用，除对有机分析的成熟方法进行重点介绍外，同时也注重介绍和反映当前国内外最新技术和科技成果，力求体现新技术和新方法。教材力求充分体现职业性，选取生产实际问题进行分析解剖，编入经实践证明在检验和测定原料及产品质量上行之有效的分析方法，使学生很快适应岗位的要求。

(4) 为方便学生的学习，教材每章的开头设立“学习指南”，指出教学重点、必须掌握的基本知识和基本技能，以引导学生有的放矢地学习；每章（节）配以启迪思考、强化应用、题型多样的习题，内容力求贴近工业生产实际，力求培养学生理论联系实际的习惯。

(5) 现有教材大多将化学鉴定和波谱测试分开讨论，但在解决实际问题时，却往往需将两者结合起来，因此教材试图将化学法与波谱法有机地结合起来，使有机定性分析成为一个完整的分析程序。

(6) 为启发学生的科学思维、了解历史、扩大学生的视野、激发学习兴趣，将在每章后

增设“阅读材料”，拟以 800 字左右的有趣味性的科普短文和名人轶事，以培养学生的科学素质。

(7) 教材将采用中华人民共和国国家标准 GB/T 1466—93 所推荐术语、符号和单位。

本教材由常州工程职业技术学院丁敬敏、辽宁石化职业技术学院赵连俊任主编，天津渤海职业技术学院静宝元、吉林工业职业技术学院姚金柱参编。丁敬敏编写第一、二、三章，静宝元编写第四章，赵连俊编写第五章，姚金柱编写第六章。全书由丁敬敏统稿，天津渤海职业技术学院贾定本主审。此外，在全书编写及审阅过程中，得到了天津渤海职业技术学院王炳强、常州工程职业技术学院杨小林、赵欢迎等同志的大力支持，在此致以深切的谢意！

由于我们水平有限及时间仓促，不妥之处在所难免。本教材的编写也是一种探索，恳切希望能得到同仁和读者的批评指正，以便使教材编得更好，更符合教学要求与规律，更适应时代对高职分析人才的需要，获得更好的教学效果。

编 者

目 录

本书常用量符号的意义及单位	1
第一章 绪论	2
一、有机分析	2
二、有机分析和工业生产的关系	3
三、有机分析和有机科学研究工作的关系	3
四、有机分析的发展	4
五、如何学习有机分析	6
习题	7
阅读材料 现代有机分析学科的发展和特点	7
第二章 有机化合物光谱和波谱分析	9
第一节 概述	9
第二节 紫外吸收光谱法	10
一、认识紫外光谱	10
二、电子能级跃迁类型	13
三、各类化合物的紫外吸收	17
四、不饱和有机化合物的紫外吸收	18
五、紫外吸收光谱的解析	22
习题	24
阅读材料 发明光谱分析法的本生	26
第三节 红外吸收光谱法	27
一、认识红外光谱图	27
二、解析红外光谱图	32
三、解析红外光谱的要点	43
四、解析实例	44
五、制样技术	46
六、影响基团振动频率与谱带强度的因素	46
习题	48
第四节 核磁共振氢谱	51
一、认识核磁共振谱	51

二、核磁共振氢谱解析及其应用	63
三、化学位移与分子结构的关系	66
四、核磁共振的基本原理	69
第五节 质谱法	71
一、认识质谱图	72
二、利用质谱图确定相对分子质量与分子式	74
三、利用质谱图推测化合物的结构	79
四、离子的开裂	87
五、质谱计	89
习题	92
第六节 波谱综合解析	94
一、波谱综合解析步骤	94
二、应用实例	95
习题	100
阅读材料 质谱仪的发明者阿斯顿	103
第三章 未知物的分析与鉴定	105
第一节 未知物的初步分析	106
一、预试验	106
二、物理常数的测定	107
三、元素定性分析	111
四、确定分子式	114
五、溶解度分组	114
习题	117
第二节 官能团的化学和光谱鉴定	118
一、烃	118
二、含氧化合物	123
三、含氮化合物	133
习题	137
第三节 未知物结构的验证	138
一、验证未知物结构的方法	138
二、衍生物的制备	139
第四节 有机定性分析方法综述	142
一、文献查阅	142
二、未知物鉴定示例	142
三、有机物系统鉴定实验报告示例	145
习题	147
阅读材料 以精确著称的化学家瑞利	148
第四章 有机混合物的分离	150

第一节 简单混合物的分离	151
一、混合物分离的常用方法	151
二、混合物分离的一般程序	156
第二节 色谱法	159
一、纸色谱法	159
二、薄层色谱法	164
三、其他色谱法应用简介	172
实验 4-1 氨基酸的纸色谱	173
实验 4-2 薄层色谱法分离 α -萘酚、 β -萘酚	174
习题	175
阅读材料 色谱分析的创始人——茨卫特	176
第五章 有机元素定量分析	178
第一节 碳和氢测定	178
一、测定原理	179
二、测定装置	180
三、注意事项	180
实验 5-1 燃烧法测定碳和氢	181
第二节 氮的测定	182
一、克达尔法	182
二、杜马法	185
实验 5-2 克达尔法测定有机物中的氮	186
第三节 卤素的测定	187
一、氧瓶燃烧法	187
二、各种卤素的测定	188
三、离子选择性电极法测卤素	190
实验 5-3 氧瓶燃烧法测定有机物中的氯	191
第四节 硫的测定	192
一、测定原理	192
二、测定装置	192
三、注意事项	192
实验 5-4 氧瓶燃烧法测定有机物中的硫	192
第五节 有机元素定量分析的仪器分析方法	193
一、示差热导法自动元素分析仪	193
二、微库仑法元素分析仪	194
习题	195
阅读材料 布特列洛夫化学结构理论和有机分析	196
第六章 有机官能团定量分析	198
第一节 概述	198

一、有机官能团定量分析的方法	198
二、有机官能团定量分析的特点	201
三、有机官能团定量分析中的注意事项	201
习题	202
第二节 不饱和化合物测定	202
一、概述	202
二、加卤素测定不饱和化合物	203
三、测定不饱和化合物的其他方法	205
四、现代分析方法	206
五、应用实例	208
实验 6-1 韦氏加成法测定油品碘值	209
实验 6-2 色谱法测定芳烃类化合物	211
习题	211
第三节 羟基化合物的测定	212
一、概述	212
二、乙酰化法测定羟基化合物	212
三、测定羟基化合物的其他方法	214
四、现代分析方法	217
五、应用实例	220
实验 6-3 乙酰化法测定季戊四醇含量	222
实验 6-4 气相色谱法测定杂醇油中丁醇和异戊醇含量	223
习题	224
阅读材料 近红外光谱法测定有机物	224
第四节 羰基化合物的测定	225
一、概述	225
二、肟化法	225
三、亚硫酸氢钠法	226
四、其他测定羰基化合物方法	228
五、现代分析方法	228
六、应用实例	230
实验 6-5 肟化法测定羰基化合物	230
实验 6-6 分光光度法测定有机化工产品中微量羰基化合物	232
习题	233
阅读材料 原子吸收光谱法测定有机物	234
第五节 羧酸及其衍生物的测定	234
一、概述	234
二、酸碱滴定法测羧酸	235
三、羧酸衍生物的测定	236

四、现代分析方法	239
五、应用实例	242
习题	243
第六节 氨基化合物的测定	243
一、概述	243
二、酸滴定法测定氨基化合物	244
三、重氮化法测定芳伯胺	244
四、现代分析方法	246
五、应用实例	248
实验 6-7 酸碱滴定法测定工业三乙醇胺含量	250
实验 6-8 重氮化法测定芳伯胺类化合物	251
习题	252
第七节 硝基化合物的测定	252
一、概述	252
二、三氯化钛还原法	253
三、亚锡盐还原法测定硝基化合物	254
四、现代分析方法	254
五、应用实例	256
习题	257
第八节 糖类化合物的测定	257
一、概述	257
二、费林试剂氧化法测定糖	257
三、测定糖的其他方法	260
四、现代分析方法	261
五、应用实例	261
实验 6-9 费林试剂氧化法测定还原糖	261
习题	263
第九节 有机物中水分测定	263
一、概述	263
二、卡尔-费休法	264
第十节 非水滴定法测定有机物	268
一、概述	268
二、非水滴定的应用	269
实验 6-10 非水滴定法测定糖精钠含量	271
阅读材料 离子选择电极电位法测定有机物	272
参考文献	273

本书常用量符号的意义及单位

符 号	中 文 含 义	单 位
m_B	B 物质的质量	kg
V_B	B 物质的体积	L
w_B	B 物质的质量分数	无量纲
φ_B	B 物质的体积分数	无量纲
ρ_B	B 物质的质量浓度	mg/L
c_B	溶质 B 的物质的量浓度	mol/L
M_B	B 物质的摩尔质量	g/mol
t	摄氏温度	°C
pH	$\text{pH} = -\lg(c_{\text{H}^+} / c)$	无量纲
$\varphi^\ominus$	标准电极电位	V
E	电池电动势	V
$K_a^\ominus$	酸的标准解离常数	无量纲
$K_b^\ominus$	碱的标准解离常数	无量纲
A	吸光度	无量纲
b	比色皿的光径长度	cm
A	色谱峰面积	mm ²
Φ	光通量	
τ	透射比	无量纲
ϵ	摩尔吸光系数浓度	L/(mol · cm)
λ	波长	m
ν	波数	cm ⁻¹
T	百分透射比	%
k	化学键的力常数	N/cm
c	光速	cm/s
μ	原子折合质量	g
V	加速电压	V
H	磁场强度	特斯拉, T
m/z	质荷比	
P	自旋角动量	
I	自旋量子数	
μ	原子核的磁矩	
γ	磁旋比	
H_0	外加磁场强度	T
δ	化学位移	
σ	屏蔽常数	
UN	不饱和度	
Z	原子序数	
A	相对原子质量	
J	耦合常数	Hz

第一章 绪 论

学习指南

有机分析是利用有机化学中的理论及分析化学中的某些方法对有机化合物进行定性、定量以及混合物分离方面的研究，是工业分析专业的一门必修专业课。因此，必备的有机化学和分析化学知识、熟练的实验操作技术是学好本门课程的基本保证。学习本章时，除了要了解有机分析的内容、发展及其前景外，更重要的是要知道如何学习有机分析，使其在后续课程的学习中有的放矢，成为既会动脑又会动手的优秀分析工作者。

一、有机分析

有机分析是研究有机化合物分离、鉴定、含量的测定和分子结构分析方法的一门科学，是分析化学和有机化学的一个分支。

人类各种科学与生产活动的最终目的是为了改造客观世界，而要达到这个目的，首先必须认识客观世界。有机分析是人类认识有机物质世界的手段。人们为了研究各种天然化合物所含组分，确证科研实验室中合成的各种类型的化合物是否为预期的化合物等，都需要对有机化合物进行分析。有机化合物的系统鉴定法就是为了适应这种需要，在以化学方法为依据的基础上，由化学家们总结出的一套较完整的对有机化合物进行定性鉴定和对其组成元素、官能团进行定量测定的科学方法。20 世纪 40 年代前后，分析仪器的快速发展，可见紫外分光光度计、红外分光光度计的出现，随之又有核磁共振波谱仪、质谱仪以及其他研究物质结构的仪器出现，使有机分析新增了包括波谱法和色谱法在内的仪器分析方法的内容。

目前，化学方法仍是工厂、实验室使用的主要方法，其目的是化合物的鉴定，原料、中间体及产品主要成分的测定等，但这些工作是与仪器分析法相结合来进行的。因此用系统鉴定法鉴定有机化合物仍然是需要的，特别是在鉴定各种未知有机化合物样品时，它可以告知人们该如何着手分析：检测其是纯物质还是混合物，或是含有少量杂质的化合物；测定它们的各种物理常数；它们是由哪些元素组成的；它们在各种溶剂中的溶解性等。这些都是在进行仪器分析前必须要做的初步试验。在采用紫外光谱、红外光谱、核磁共振谱和质谱来测定样品的结构时，样品都必须是纯样，这就有一个对样品进行分离提纯的问题。对一个化合物要得到满意的测定结果，有时往往必须综合应用各种分析方法。所以，很难说有了仪器分析就不需要化学分析，事实上，化学分析法和仪器分析法两者是相互补充的、相互结合的，不可忽略任何一方。

有机分析的任务就是对有机化合物进行定性分析和定量分析。有机定性分析是研究有机混合物的分离和鉴定。它对现代自然科学的发展和国民经济建设均起着重要作用。有机定量分析常用的是有机官能团定量分析，它是定量测定有机化合物的重要手段之一，广泛应用于

有机合成产品和有机天然产品生产中的原料和中间产物的控制分析以及商品、成品的质量分析。并且在有机化学反应机理的研究和有机化合物的结构剖析中，也是不可缺少的手段。近年来，随着波谱技术的迅速发展，显著地扩大了有机分析的应用范畴，改变了经典的有机分析方法。

有机分析是有机化学与分析化学的交叉学科，是有机化学与分析化学之间的桥梁。所以，有机化学的发展和需求将促进有机分析学科的发展；分析化学的研究与发展也必然对该学科产生重要的影响。现代有机分析学科的发展主要受到分析化学仪器化的影响，且生命科学对分析化学的巨大影响必然也会影响到有机分析的发展。作为交叉学科，有机分析的范围非常广，但它的特点，或者核心内容，应该包括有机化学中的分析化学元素和分析化学中的有机化学元素，因此，具有必备的有机化学和分析化学知识是学好本课程的基本保证。

二、有机分析和工业生产的关系

各个工业生产部门，凡涉及有机化合物的都离不开有机分析，生产有机类产品的各个部门，都把有机分析看成是工业生产的眼睛。例如制药和食品工业，对产品的质量要求十分严格，因为它直接关系到人体健康。生产有机类产品的化工厂，从原料进厂就要求对所进原料进行分析，以决定这批原料是否能投入生产。在生产过程中，要进行中间控制分析来得知反应进展及有否异常情况发生，以确保生产的正常运行。生产的成品则要进行质量检验。国家及化工行业对各类定型化工原料和化工产品的质量都颁有标准指标，包括的项目有：产品的色泽、含量、杂质、熔点、沸程、密度、黏度、闪点等。化工类分析专业的学生应该了解有机分析和化工生产的关系。化工生产涉及的面很广，如基本化工原料，高分子原料及产品，各种生产部门所需的有机助剂、医药、染料、香料、食品添加剂，乃至军工产品的生产都要进行有机分析。现阶段工业生产中用得最多、最广泛的仪器测试手段是色谱分析，能挥发的产品一般用气相色谱仪，难挥发的产品可用液相色谱仪。对于已经定型的化工产品，无论是原料、中间物还是成品，都可采用色谱分析来完成。色谱分析主要用来进行分离和定量测定，其特点是操作简便、出数据快、再现性好。目前，分析仪器如紫外光谱、红外光谱、核磁共振谱和质谱，在一些较大型化工厂的分析实验室中，都已用来为工业生产服务，它们多是用以解决生产中出现的分析问题和科学研究中存在的分析课题。

三、有机分析和有机科学研究工作的关系

文献中有过报道和记载的化合物，可采用有机化合物系统鉴定法，这种分析相对来说是比较容易的。然而，科研工作中存在的有机问题往往都是比较复杂的，例如，天然产物的分离分析和结构测定、合成新的有机化合物所得产物的分离分析和结构测定以及一些样品的剖析，解决这些问题都需要有广泛的知识 and 坚实的理论基础并具有熟练的操作技能。解决科研中的有机分析问题，不仅需要化学方面的理论和知识，而且还要有物理和数学方面的理论和知识。因为在科研课题中存在的问题，不仅要用到化学分析法，而且还要用到各种仪器分析法，如对化合物的组成元素进行超微量分析、用质谱法确定化合物的相对分子质量以及用数据站来处理各种分析数据以给出各种准确的分析数据，从而可以准确地确定所分析的化合物的精细结构。对于由这些分析数据得出的化合物结构，如果它是一个未报道的新化合物，则还应对其进行全合成，将合成出的新化合物再进行各种分析，只有当它与原分析物在各种数据上都一致时，方可确定被测化合物的结构为某个新化合物。

对于复杂的混合物，在进行分离后，即可得到单个的化合物，经提纯后，可采用系统鉴定法进行初步分析，再对其进行必要的光谱分析。

四、有机分析的发展

有机分析是有机化学与分析化学的交叉学科，是有机化学与分析化学之间的桥梁。因此有机化学的发展和需求将促进有机分析学科的发展；分析化学的研究与发展也必然对该学科产生重要的影响。

从有机化学及其相关科学的发展历史可以看出，在这些学科的兴起和发展过程中，有机分析起了相当重要的作用。并且这些学科的发展必然推动了有机分析的发展。

19 世纪上半叶，由盖·吕萨克 (J. Gay Lussac, 1778—1850)、柏尔蔡留斯 (J. J. Berzelius, 1779—1848)，李比希 (J. Liebig, 1803—1873) 和杜马 (J. B. Dumas, 1800—1884) 等先驱者创建了有机元素定量分析方法以后，有机化学才正式成为一门新的科学崛起起来；当 20 世纪 10 年代普瑞洛 (F. Pregl, 1869—1930) 创立有机微量分析方法以后，对于一些含量极微的甾族激素等天然有机化合物的研究才成为可能；蛋白质是生命的起源，关于蛋白质化学的研究早已为世人所重视，也只是在 20 世纪 50 年代马丁 (A. J. P. Martin) 和辛吉 (P. L. M. Synge) 首创纸色谱和气相色谱等方法，为分析氨基酸和蛋白质结构提供了有力的工具以后，才使蛋白质化学有了新的突破，能够大踏步前进。因此分析仪器的发展日新月异，更推动了有机分析和有机化学的进一步发展。近代有机分析以其高灵敏度的、选择性的技术已对环境保护、工业生产、医药卫生和环境等领域质量控制体系做出了巨大贡献。

有机分析是分析化学的重要组成部分，它伴随分析化学学科的发展经历了三次重大变革：第一次是随着分析化学基础理论特别是物理化学的基本概念，如溶液理论的发展，使其成为一门科学；第二次变革是物理学、电子学的发展，突破了经典化学分析为主的局面，开创了仪器分析的新时代；而如今正处于第三次变革时期，其时代背景是生命科学如基因组学、蛋白质组学以及环境科学、新材料科学的蓬勃发展，构成了科学研究的主旋律，加上信息科学、计算机的引入，大大促进了有机分析的发展。

事实上，有机分析作为一门学科，其发展之快、变化之大可能在相关学科中是比较突出的。20 世纪 60 年代，有机分析主要包括有机定性分析与有机定量分析两部分，其中前者包括物理常数测定、元素定性分析、溶解度分组试验、官能团检验和衍生物制备以及混合物的分离；后者则包括元素定量分析和官能团定量分析，这些都是化学分析的内容，与当时分析化学发展的水平相符。20 世纪 80 年代，由于仪器分析的发展特别是波谱学的发展，有机物的结构分析逐渐转向有机光谱分析和有机波谱分析，构成了有机结构分析的内容。原有的化学鉴定、官能团定量分析等化学分析法逐渐被弱化；同时加大了分离与提纯内容，特别是各种色谱技术的充实，形成现代有机分离分析的框架。至 20 世纪 90 年代，在有机分析中加大了现代色谱学与样品提取分离的内容，形成有机分离分析的内容。因此，目前有机分析由有机结构分析和有机分离分析两大部分组成。

今天的分析技术发展如此之快是以往任何时候都无法想象的，但是，有机分析的发展仍将以 20 世纪发展的物理分析方法和化学分析方法为基础进一步发展。物理分析方法是直接通过电磁波、粒子束或者电场、磁场和重力场与被分析物相互作用，将其响应转变成为分析信号。20 世纪许多物理分析方法的理论已日趋成熟，在众多领域已经发挥着不可替代的作用。基于物理分析方法的原理发展起来的各种仪器分析方法如核磁共振、质谱以及各种色谱

技术已完全改变了化学研究的本质。另外,在 20 世纪末出现了多种新的物理分析方法,包括利用扫描隧道显微镜观测原子、单分子检出的激光荧光光谱,通过激光倍频检测界面取向的单分子化学物种等,这些新方法的进一步发展与创新将是 21 世纪有机分析化学的重要内容。

化学分析方法的原理是通过化学的分子识别,再将这种相互作用转变成物理的可视信号。化学分析方法的发展包括新型分析试剂、拮抗剂受体、螯合剂、荧光显色剂以及超分子受体。分析化学中,灵敏度、选择性、准确性和精度都至关重要,其中,又以高选择性尤为重要。高选择性的试剂可以降低对分离的要求,而高选择性的化学基础是分子识别。过去 30 年中,以碱金属离子、无机阴离子、有机离子、中性分子为识别对象的分子识别试剂不断出现,但是对具有复杂形状的多原子、离子、分子的识别剂还很少。近年来,超分子化学发展出了多种利用分子间作用力进行多目标点的分子识别试剂,如环糊精与有机分子形成包合物。目前,人工酶的研究也是化学分析的另一重要方面,人们通过合成不同取代基的金属卟啉衍生物,实现了对过氧化物酶的模拟,这些仿生试剂不仅克服了天然酶不稳定、易失活的特点,而且还拥有天然酶没有的分子识别特性,可广泛地应用化学分析。

分离分析是有机分析的另一重要内容,如今随着合成化学、组合化学、天然产物化学、环境科学以及生物科学的发展,分析样品组分种类多、含量差别大,对分离分析化学提出了新的要求,也推动了分离分析化学的发展。现代有机分离分析主要由液相色谱、气相色谱、超临界流体色谱、电泳技术等组成。气相色谱是分离和分析挥发化合物的有力工具。液相色谱的发展主要集中在高效液相色谱上,高效液相色谱在各个领域的应用已非常普遍,如多蛋白质及核酸等大分子的分离已成了生物学实验室的常规工作。毛细管电泳是近年来发展得最快的分析方法之一,它是经典电泳技术与现代柱分离技术相结合的产物,具有高灵敏度、高分辨、高速度以及容耗小,可分析微量组分的特点。毛细管电泳在生命科学领域广为运用,为基因组学、蛋白组学做出了巨大的贡献。随着胶束电动毛细管电泳、毛细管电色谱的迅速发展,毛细管电泳技术在有机物的分析应用也正在逐渐开展。

如今,联用技术与联用仪器组合为分析化学家解决复杂对象的分析提供了强有力的手段,这也成为分析化学和分析仪器发展的重要方向。随着液相色谱与质谱技术联用技术问题的解决,分析化学家几乎尝试了所有的组合,包括高效液相色谱、气相色谱、超临界流体色谱、毛细管电泳技术与红外、质谱、原子发射光谱、核磁共振等技术的一重或多重组合。特别是液相色谱与质谱和核磁共振谱的三联用技术发展很快,并受到广泛的重视。这些都属于检测器的下游联用技术。

由于检测对象多含在复杂的样品中且含量极低,为提高检测的灵敏度,预先进行预浓集十分必要。因此,近年来各种上游联用技术,即样品预处理与色谱柱的联用受到了关注。常用的方法有液-液萃取、固相萃取、固相微萃取、超临界提取、超低温冻干、衍生物等,后来还发展出了色谱的大体积进样技术。其中,固相微萃取技术(SPME)作为一种无溶剂、简便有效的预浓集技术,可与 GC-MS 在线联用匹配。目前,SPME 是最为常用的一种痕量有机组分预浓集方法,是高灵敏度检测的常用方法。

随着科学技术的快速发展,人们对健康、环境和社会安全的日益关心,使分析化学面临问题的数量不断增加,并且越来越复杂。因此,分析化学和分析仪器应用领域向着三个方向发展:①分析化学和分析仪器的主要应用领域明显向生命科学和生物医药领域转移;②环境

分析仍然是分析化学的一个重要领域；③分析化学已成为与各种犯罪活动作斗争的重要工具。

随着分析化学应用领域的转移，各种新的分析方法、分析技术及其研究领域也发生了相应的变化。除了传统的分析方法与技术在探索新的领域中继续快速发展之外，纳米技术、分子技术、芯片技术、传感器技术、成像技术、化学发光和电生物活性发光技术成为新的分析技术和分析方法重视的方面。

随着分析领域的拓宽和各种新分析技术的出现，分析仪器近年来也将出现一些新的趋势。最明显的是微型化、全分析和芯片实验室的发展，能够进行在体、在线、实时和原位分析的仪器也不断地出现，多种分析技术联用的分析仪器方兴未艾。计算机技术、网络和信息技术的运用使得仪器高度智能化，而互联网的利用可使分析仪器的远程诊断和维修成为可能。

尽管有机分析技术迅速发展，考虑到绝大部分企业仍处于仪器分析与化学分析相结合的阶段，因此作为在生产第一线从事实际应用的高职人才，仍需与当前实际生产情况相符。本书在有机结构分析部分简单介绍“四谱”技术在有机化合物结构分析中的应用和识谱方法，以及包括化学鉴定与光谱鉴定的有机化合物系统鉴定法；而对于有机化合物的定量分析仍以化学定量分析方法为主，简略地介绍色谱技术在定量分析方面的应用，读者如有兴趣进一步了解色谱技术的话，可参阅相关的仪器分析教材。

五、如何学习有机分析

有机分析是利用有机化学中的理论及分析化学中的某些方法对有机化合物进行定性、定量以及混合物分离方面的研究，是工业分析专业的一门专业课。要学好这门课，除了学好理论知识以外，很重要的一点是要高度重视操作技能的训练。

在学习这门课时，要将有机化学课程中学习到的理论和知识应用到本课程中来，将基础阶段学到的化学实验操作技术应用到本课程的实验中来。有机分析是以有机化学的理论和知识为基础的，若再具有熟练的实验操作技术，就一定能学会分析有机化合物的方法并掌握其分析技术。

事实上，有机分析是以实验为主的一门课，尤其是有机化合物的定量分析部分，主要是以实验为主。因此在进行每次实验以前，学生应该做到以下几点。

(1) 做好预习准备 实验预习是一个知识的吸收和准备应用的过程，是思维能力和创新能力培养的有利时机。每次实验前，要做好一切理论和实验准备工作，明确实验目的、原理，熟悉实验内容、实验所用仪器设备的特性和使用方法，还要了解实验过程中应特别注意的问题。在此基础上，写出实验预习报告，用最简练的语言或符号表达出实验的步骤、操作规程。

(2) 认真执行操作规程 实验操作是实验的中心环节，实验时要注意教师所提出问题的性质、类型，以便从中得到启发，而不要急于动手操作。然后再正确运用操作规程，同时避免盲目性，巧妙地进行操作中的技术性工作，有条不紊地完成实验。要善于抓住实验中的操作要领，进行反复练习，同时与整体实验结合起来，保证实验的正确性、协调性、灵活性，达到熟练掌握的目的。

实验进行阶段，正确处理实验中出现的問題。实验中出现一些问题是难免的，一旦遇到不合理或错误的现象，任何急躁情绪和敷衍塞责都是不允许的，要及时请教师帮助检查，找