



全国高等医药院校药学类专业第五轮规划教材

供药学类专业使用

分析化学

第4版

主编 熊志立

书网融合教材



中国健康传媒集团
中国医药科技出版社



全国高等医药院校药学类专业第五轮规划教材

分析化学

第4版

(供药学类专业使用)

主 编 熊志立

副主编 赵龙山 黄荣增

编 者 (以姓氏笔画为序)

邓海山 (南京中医药大学)

朱明芳 (广东药科大学)

李 宁 (沈阳药科大学)

李遇伯 (天津中医药大学)

杨春娟 (哈尔滨医科大学)

宋成武 (湖北中医药大学)

陈 璇 (山西医科大学)

郎爱东 (山东大学药学院)

赵龙山 (沈阳药科大学)

胡 新 (北京大学药学院)

俞 嘉 (沈阳药科大学)

唐 睿 (广东药科大学)

黄荣增 (湖北中医药大学)

梁 啸 (辽宁大学药学院)

学)



中国健康传媒集团
中国医药科技出版社

内 容 提 要

本教材为“全国高等医药院校药学类专业第五轮规划教材”之一。共有二十二章内容，主要包括误差和分析数据统计处理、酸碱滴定法、配位滴定法、氧化还原滴定法、沉淀滴定法、重量分析法、电位分析法和永停滴定法、紫外-可见分光光度法、红外吸收光谱法、原子吸收分光光度法、荧光分析法、核磁共振波谱法、质谱法、经典液相色谱法、气相色谱法、高效液相色谱法、毛细管电泳法、色谱联用分析法等。同时，本教材为书网融合教材，即纸质教材有机融合电子教材、教学配套资源（PPT、微课、视频、图片等）、题库系统、数字化教学服务（在线教学、在线作业、在线考试），使教学资源更加多样化、立体化。

本教材内容充实、特色鲜明、深浅适度，可供全国高等院校药学类专业学生使用，也可供药学类相关领域的从业人员参考阅读。

图书在版编目（CIP）数据

分析化学/熊志立主编. —4版. —北京：中国医药科技出版社，2019.12

全国高等医药院校药学类专业第五轮规划教材

ISBN 978-7-5214-1494-3

I. ①分… II. ①熊… III. ①分析化学-医学院校-教材 IV. ①O65

中国版本图书馆CIP数据核字（2019）第301058号

美术编辑 陈君杞

版式设计 友全图文

出版 中国健康传媒集团 | 中国医药科技出版社

地址 北京市海淀区文慧园北路甲22号

邮编 100082

电话 发行：010-62227427 邮购：010-62236938

网址 www.cmstp.com

规格 889×1194 mm^{1/16}

印张 28^{3/4}

字数 639千字

初版 2006年2月第1版

版次 2019年12月第4版

印次 2019年12月第1次印刷

印刷 三河市国英印务有限公司

经销 全国各地新华书店

书号 ISBN 978-7-5214-1494-3

定价 79.00元

版权所有 盗版必究

举报电话：010-62228771

本社图书如存在印装质量问题请与本社联系调换

获取新书信息、投稿、
为图书纠错，请扫码
联系我们。



数字化教材编委会

主 编 熊志立

副主编 赵龙山 黄荣增

编 者 (以姓氏笔画为序)

王玉明 (天津中医药大学)

邓海山 (南京中医药大学)

朱明芳 (广东药科大学)

李 宁 (沈阳药科大学)

杨春娟 (哈尔滨医科大学)

宋成武 (湖北中医药大学)

陈 璇 (山西医科大学)

郎爱东 (山东大学药学院)

赵龙山 (沈阳药科大学)

胡 新 (北京大学药学院)

俞 嘉 (沈阳药科大学)

唐 睿 (广东药科大学)

黄荣增 (湖北中医药大学)

梁 啸 (辽宁大学药学院)

熊志立 (沈阳药科大学)

常务编委会

- 名誉主任委员 邵明立 林蕙青
- 主任委员 吴晓明 (中国药科大学)
- 副主任委员 (以姓氏笔画为序)
- 叶敏 (北京大学药学院)
- 匡海学 (黑龙江中医药大学)
- 朱依淳 (复旦大学药学院)
- 吴春福 (沈阳药科大学)
- 宋少江 (沈阳药科大学)
- 张志荣 (四川大学华西药学院)
- 姚文兵 (中国药科大学)
- 官平 (沈阳药科大学)
- 郭姣 (广东药科大学)
- 彭成 (成都中医药大学)
- 委 员 (以姓氏笔画为序)
- 田景振 (山东中医药大学)
- 朱卫丰 (江西中医药大学)
- 李高 (华中科技大学同济医学院药学院)
- 李元建 (中南大学药学院)
- 李青山 (山西医科大学药学院)
- 杨波 (浙江大学药学院)
- 杨世民 (西安交通大学药学院)
- 陈燕忠 (广东药科大学)
- 侯爱君 (复旦大学药学院)
- 祝晨蓀 (广州中医药大学)
- 夏焕章 (沈阳药科大学)
- 柴逸峰 (第二军医大学药学院)
- 黄园 (四川大学华西药学院)
- 秘 书 夏焕章 (沈阳药科大学)
- 唐伟方 (中国药科大学)
- 李晓菁 (广东药科大学)

出版说明

“全国高等医药院校药学类规划教材”，于20世纪90年代启动建设，是在教育部、国家药品监督管理局的领导和指导下，由中国医药科技出版社组织中国药科大学、沈阳药科大学、北京大学药学院、复旦大学药学院、四川大学华西药学院、广东药科大学等20余所院校和医疗单位的领导和权威专家成立教材常务委员会共同规划而成。

本套教材坚持“紧密结合药学类专业培养目标以及行业对人才的需求，借鉴国内外药学教育、教学的经验 and 成果”的编写思路，近30年来历经四轮编写修订，逐渐完善，形成了一套行业特色鲜明、课程门类齐全、学科系统优化、内容衔接合理的高质量精品教材，深受广大师生的欢迎，其中多数教材入选普通高等教育“十一五”“十二五”国家级规划教材，为药学本科教育和药学人才培养做出了积极贡献。

为进一步提升教材质量，紧跟学科发展，建设符合教育部相关教学标准和要求，以及可更好地服务于院校教学的教材，我们在广泛调研和充分论证的基础上，于2019年5月对第三轮和第四轮规划教材的品种进行整合修订，启动“全国高等医药院校药学类专业第五轮规划教材”的编写工作，本套教材共56门，主要供全国高等院校药学类、中药学类专业教学使用。

全国高等医药院校药学类专业第五轮规划教材，是在深入贯彻落实教育部高等教育教学改革精神，依据高等药学教育培养目标及满足新时期医药行业高素质技术型、复合型、创新型人才需求，紧密结合《中国药典》《药品生产质量管理规范》(GMP)、《药品经营质量管理规范》(GSP)等新版国家药品标准、法律法规和《国家执业药师资格考试大纲》进行编写，体现医药行业最新要求，更好地服务于各院校药学教学与人才培养的需要。

本套教材定位清晰、特色鲜明，主要体现在以下方面。

1. 契合人才需求，体现行业要求 契合新时期药学人才需求的变化，以培养创新型、应用型人才并重为目标，适应医药行业要求，及时体现新版《中国药典》及新版GMP、新版GSP等国家标准、法规和规范以及新版《国家执业药师资格考试大纲》等行业最新要求。

2. 充实完善内容，打造教材精品 专家们在上一轮教材基础上进一步优化、精炼和充实内容，坚持“三基、五性、三特定”，注重整套教材的系统科学性、学科的衔接性，精炼教材内容，突出重点，强调理论与实际需求相结合，进一步提升教材质量。

3. 创新编写形式，便于学生学习 本轮教材设有“学习目标”“知识拓展”“重点小结”“复习题”等模块，以增强教材的可读性及学生学习的主动性，提升学习效率。

4. 配套增值服务，丰富教学资源 本套教材为书网融合教材，即纸质教材有机融合数字教材，配

套教学资源、题库系统、数字化教学服务,使教学资源更加多样化、立体化,满足信息化教学的需求。通过“一书一码”的强关联,为读者提供免费增值服务。按教材封底的提示激活教材后,读者可通过PC、手机阅读电子教材和配套课程资源(PPT、微课、视频、图片等),并可在线进行同步练习,实时反馈答案和解析。同时,读者也可以直接扫描书中二维码,阅读与教材内容关联的课程资源(“扫码学一学”,轻松学习PPT课件;“扫码看一看”,即可浏览微课、视频等教学资源;“扫码练一练”,随时做题检测学习效果),从而丰富学习体验,使学习更便捷。

编写出版本套高质量的全国本科药学类专业规划教材,得到了药学专家的精心指导,以及全国各有关院校领导和编者的大力支持,在此一并表示衷心感谢。希望本套教材的出版,能受到广大师生的欢迎,为促进我国药学类专业教育教学改革和人才培养做出积极贡献。希望广大师生在教学中积极使用本套教材,并提出宝贵意见,以便修订完善,共同打造精品教材。

中国医药科技出版社

2019年9月

前言

本教材为“全国高等医药院校药学类专业第五轮规划教材”之一，是根据教育部颁发的《药学类专业教学质量国家标准》相关文件，本着契合新时期药学人才需求的变化，以培养创新型、应用型人才为目标，满足药学类专业就业岗位的实际需求等编写思路和原则编写而成。

本教材在修订过程中，经充分调研，总结了近几年来各院校在分析化学课程体系、教学内容和实验教学方面所取得的成果，吸取了国内外化学和药学相关教材编写的经验，对上版教材内容进行调整、完善。特别注重主要内容、名词术语、计量单位等方面的严谨规范，并根据学科发展前沿的特点，适当增加了在药学领域应用较多的新技术、新仪器，新增了“色谱联用分析法”一章。同时，将教材建设成为书网融合教材，即纸质教材有机融合电子教材、教学配套资源（PPT、微课、视频、图片等）、题库系统、数字化教学服务（在线教学、在线作业、在线考试），使教学资源更加多样化、立体化。

本教材共有二十二章内容，主要包括误差和分析数据统计处理、酸碱滴定法、配位滴定法、氧化还原滴定法、沉淀滴定法、重量分析法、电位分析法和永停滴定法、紫外-可见分光光度法、红外吸收光谱法、原子吸收分光光度法、荧光分析法、核磁共振波谱法、质谱法、经典液相色谱法、气相色谱法、高效液相色谱法、毛细管电泳法、色谱联用分析法等。内容充实、特色鲜明、深浅适度，可供全国高等院校药学类专业学生使用，也可供药学类相关领域的从业人员参考阅读。

本教材具体编写分工如下：胡新负责第一、九章，朱明芳负责第二、十章，李宁负责第三章，熊志立负责第四、二十章，杨春娟负责第五章，邓海山负责第六、十一章，李遇伯负责第七、八章，梁啸负责第十二章，陈璇负责第十三章，宋成武负责第十四章，黄荣增负责第十五章，赵龙山负责第十六、二十二章，唐睿负责第十七、十八章，俞嘉负责第十九章，郎爱东负责第二十一章。全书成稿后由熊志立负责统稿审定。

在编写教材过程中，得到了各参编人员所在单位的大力支持，在此深表谢意。

限于编者的水平与经验，且编写时间仓促，书中难免存在疏漏与不当之处，恳请读者批评指正。

编者

2019年9月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 分析化学的任务和作用	1
第二节 分析化学的方法分类和一般分析过程	2
一、分析化学的方法分类	2
二、分析化学的一般分析过程	3
第三节 分析化学的发展	4
第二章 误差和分析数据统计处理	6
第一节 测量值的准确度和精密度	6
一、系统误差和偶然误差	6
二、准确度和精密度	7
三、误差的传递	10
第二节 有效数字及其运算规则	12
一、有效数字	12
二、有效数字的运算规则	13
三、数字的修约规则	13
第三节 有限量测量数据的统计处理	14
一、偶然误差的正态分布	14
二、 t 分布	15
三、平均值的精密度和置信区间	16
四、数据统计处理的基本步骤	18
五、相关分析和回归分析	23
第四节 提高分析结果准确度的方法	24
一、不确定度	24
二、提高分析结果准确度的方法	24
第三章 滴定分析法概论	28
第一节 滴定分析法和滴定方式	28
一、滴定分析法	28
二、滴定方式	29
第二节 标准溶液	30
一、标准溶液及其配制方法	30

二、标准溶液浓度的表示方法	31
第三节 滴定分析中的计算	32
一、计算依据	32
二、计算示例	33
第四节 滴定分析中的化学平衡	35
一、溶液中化学平衡的处理方法	36
二、溶液中溶质各型体的分布	38
第四章 酸碱滴定法	44
第一节 酸碱溶液的氢离子浓度计算	44
一、一元酸(碱)溶液的氢离子浓度计算	44
二、多元弱酸(碱)溶液的氢离子浓度计算	45
三、两性物质溶液的氢离子浓度计算	46
四、缓冲溶液的氢离子浓度计算	47
第二节 酸碱指示剂	48
一、指示剂的变色原理	48
二、指示剂的变色范围及其影响因素	49
三、混合指示剂	50
第三节 酸碱滴定法的基本原理	51
一、强酸(碱)的滴定	51
二、一元弱酸(碱)的滴定	53
三、多元酸(碱)的滴定	56
四、酸碱滴定的标准溶液	59
五、酸碱滴定的终点误差	60
第四节 非水溶液中的酸碱滴定	62
一、非水酸碱滴定法原理	62
二、非水溶液中酸和碱的滴定	66
第五节 应用实例	70
一、药用 NaOH 的测定	70
二、铵盐和有机氮的测定	70
三、硼酸的测定	71
四、萘普生钠的含量测定	71
第五章 配位滴定法	74
第一节 配位滴定的基本原理	75
一、配位平衡	75
二、EDTA 配位滴定曲线	79
三、金属指示剂	81
四、配位滴定的标准溶液	83

第二节 配位滴定条件的选择	84
一、配位滴定的终点误差	84
二、配位滴定中酸度的选择和控制在	86
三、提高滴定选择性	87
第三节 应用实例	89
一、配位滴定方式	89
二、示例	91
第六章 氧化还原滴定法	93
第一节 氧化还原平衡	93
一、条件电位及其影响因素	93
二、氧化还原反应进行的程度	97
三、氧化还原反应的速率	98
第二节 氧化还原滴定的基本原理	99
一、氧化还原滴定曲线	99
二、氧化还原滴定的指示剂	102
三、滴定前的试样预处理	103
第三节 常用氧化还原滴定法	104
一、碘量法	104
二、高锰酸钾法	107
三、其他氧化还原滴定法	108
第四节 应用实例	111
一、直接碘量法测定维生素 C	111
二、置换碘量法测定漂白粉中的有效氯	111
三、剩余碘量法测定葡萄糖的含量	112
四、溴量法测定苯酚的含量	112
第七章 沉淀滴定法	115
第一节 银量法的基本原理	115
一、滴定曲线	115
二、分步滴定	117
第二节 银量法终点的指示方法	117
一、铬酸钾指示剂法	117
二、铁铵钒指示剂法	119
三、吸附指示剂法	120
第三节 银量法的基准物质和标准溶液	121
一、基准物质	121
二、标准溶液	122
第八章 重量分析法	123
第一节 沉淀重量分析法	123

一、沉淀形态和沉淀的形成	124
二、沉淀的完全程度及其影响因素	125
三、沉淀纯度的影响因素	129
四、沉淀条件的选择	130
五、沉淀的过滤和干燥	131
六、称量形式和结果计算	132
第二节 挥发重量分析法	133
一、直接挥发法	133
二、间接挥发法	133
第九章 电位分析法和永停滴定法	136
第一节 电化学分析概述	136
第二节 电位分析法的基本原理	137
一、化学电池和电池电动势	137
二、相界电位和液接电位	138
三、指示电极和参比电极	139
第三节 直接电位分析法	141
一、溶液 pH 的测定	141
二、其他离子浓度的测定	145
三、超微电极、化学修饰电极和电化学生物传感器	149
第四节 电位滴定法	150
一、仪器装置和方法原理	150
二、滴定终点的确定方法	151
三、各种类型的电位滴定	152
第五节 永停滴定法	153
一、永停滴定法的基本原理	153
二、永停滴定法的应用	154
第十章 光谱分析法概论	157
第一节 电磁辐射及其与物质的相互作用	157
一、电磁辐射和电磁波谱	157
二、电磁辐射与物质的相互作用	158
第二节 光学分析法的分类	159
一、光谱法和非光谱法	160
二、原子光谱法和分子光谱法	160
三、吸收光谱法和发射光谱法	162
第三节 光谱分析仪器	163
一、辐射源	163
二、分光系统	163

三、辐射的检测	165
第四节 光谱分析法的发展概况	165
第十一章 紫外-可见分光光度法	167
第一节 紫外-可见分光光度法的基本原理	167
一、电子的跃迁类型	167
二、紫外-可见吸收光谱的常用术语	169
三、吸收带及其与分子结构的关系	170
四、影响吸收带的主要因素	171
五、朗伯-比尔定律	173
六、偏离比尔定律的因素	174
第二节 紫外-可见分光光度计	177
一、分光光度计的主要部件	177
二、分光光度计的类型与测量条件的选择	179
第三节 紫外-可见分光光度分析方法	182
一、定性鉴别	182
二、单组分的定量分析方法	183
三、多组分的定量分析方法	185
四、紫外-可见吸收光谱与有机化合物的结构分析	188
第四节 光电比色法	190
一、显色反应	191
二、显色条件的选择	191
三、干扰及其消除	192
第十二章 红外吸收光谱法	195
第一节 红外光谱法基本原理	196
一、分子的振动能级与振动光谱	196
二、分子的振动形式	197
三、红外光谱产生的条件	200
四、吸收峰强度	200
五、吸收峰的位置	200
六、特征峰和相关峰	203
第二节 有机化合物的典型红外吸收光谱	204
一、脂肪烃类化合物	204
二、芳香烃类化合物	206
三、醇、酚、醚类化合物	208
四、羰基类化合物	209
五、含氮有机化合物	212
第三节 傅立叶变换红外光谱仪	213

一、傅立叶变换红外光谱仪的结构与原理	213
二、红外光谱仪的性能	215
第四节 红外吸收光谱分析	215
一、样品的制备	215
二、红外吸收光谱解析	216
第十三章 原子吸收分光光度法	221
第一节 基本原理	221
一、原子的量子能级和能级图	221
二、共振吸收线	222
三、基态原子数与温度的关系	222
四、原子谱线宽度	223
五、原子吸收值与原子浓度的关系	225
第二节 原子吸收分光光度计	226
一、原子吸收分光光度计的主要部件	226
二、原子吸收分光光度计的类型	229
三、原子吸收分光光度计的性能参数	229
第三节 实验技术	230
一、样品处理	230
二、实验条件的选择	230
三、干扰及其抑制	232
第四节 定量分析方法及其应用	233
一、定量分析法	233
二、应用实例	234
第十四章 荧光分析法	237
第一节 基本原理	237
一、分子荧光的发生	237
二、激发光谱与荧光光谱	239
三、荧光的量子效率和荧光寿命	241
四、荧光与分子结构的关系	242
第二节 荧光定量分析方法	245
一、荧光强度与溶液浓度的关系	245
二、定量分析方法	246
第三节 荧光分光光度计	247
第四节 荧光分析新技术	247
第十五章 核磁共振波谱法	250
第一节 核磁共振波谱法的基本原理	250
一、原子核的自旋	250

二、原子核的自旋能级和共振吸收	251
三、自旋弛豫	253
第二节 核磁共振仪	254
一、连续波核磁共振仪	254
二、脉冲傅立叶变换核磁共振仪	255
三、溶剂和试样测定	255
第三节 化学位移	256
一、屏蔽效应	256
二、化学位移的表示	256
三、化学位移的影响因素	257
四、几类质子的化学位移	259
第四节 自旋偶合与自旋系统	262
一、自旋偶合和自旋分裂	262
二、偶合常数	264
三、自旋系统	265
第五节 核磁共振氢谱的解析	268
一、峰面积和氢核数目的关系	268
二、核磁共振氢谱的解析方法	268
第六节 核磁共振碳谱和相关谱简介	270
一、核磁共振碳谱	270
二、核磁共振其他相关谱	274
第十六章 质谱法	278
第一节 质谱仪	278
一、质谱仪的工作原理	278
二、质谱仪的基本结构	279
三、离子检测器	282
四、质谱仪的主要性能指标	282
第二节 质谱和主要离子类型	283
一、质谱	283
二、主要离子类型	284
三、阳离子的裂解类型	286
第三节 质谱分析法	288
一、分子离子峰的确证	288
二、相对分子质量的测定	289
三、分子式的确定	289
四、有机化合物的结构鉴定	290
第四节 有机化合物结构综合解析	296

第十七章 色谱分析法概论	300
第一节 色谱过程和基本概念	300
一、色谱过程	300
二、色谱流出曲线和有关概念	301
三、色谱分离术语与定义	304
第二节 色谱法的分类及基本类型	306
一、色谱法的分类	306
二、分配色谱法	307
三、吸附色谱法	308
四、离子交换色谱法	310
五、分子排阻色谱法	311
第三节 色谱法的基本理论	312
一、塔板理论	313
二、速率理论	316
三、色谱分离方程	318
第十八章 经典液相色谱法	322
第一节 经典液相柱色谱法	322
一、硅胶柱色谱法	322
二、聚酰胺柱色谱法	323
三、凝胶柱色谱法	323
四、大孔吸附树脂法	325
第二节 薄层色谱法	325
一、薄层色谱法的基本概念	325
二、薄层色谱法的主要类型	327
三、吸附薄层色谱法的吸附剂和展开剂	328
四、薄层色谱实验方法	330
五、薄层色谱分析方法	332
六、薄层扫描法简介	333
第三节 纸色谱法	335
一、纸色谱法的基本原理	335
二、纸色谱实验方法	335
第十九章 气相色谱法	338
第一节 气相色谱法的分类和一般流程	338
一、气相色谱法的分类	338
二、气相色谱法的一般流程	339
第二节 气相色谱的固定相和载气	339
一、气液色谱的固定相	339

二、气固色谱的固定相	341
三、载气	342
第三节 气相色谱仪	342
一、气路系统和进样系统	342
二、色谱柱	342
三、检测器	342
第四节 气相色谱分离条件的选择	346
一、气相色谱速率理论	346
二、气相色谱实验条件的选择	347
三、衍生化法	349
第五节 毛细管气相色谱法	349
一、毛细管气相色谱的特点	349
二、毛细管柱的分类和性能评价	350
三、毛细管色谱进样系统	351
第六节 定性和定量分析方法	352
一、定性分析方法	352
二、定量分析方法	353
第二十章 高效液相色谱法	357
第一节 高效液相色谱法的主要类型及其固定相和流动相	358
一、高效液相色谱法的主要类型	358
二、高效液相色谱法的固定相	358
三、高效液相色谱法的流动相	361
四、正相化学键合相色谱法	362
五、反相化学键合相色谱法	363
六、反相离子对色谱法	364
七、其他高效液相色谱法	365
第二节 高效液相色谱法分离条件的选择	367
一、高效液相色谱中的速率理论	367
二、分离条件的选择	368
第三节 高效液相色谱仪	369
一、输液系统	369
二、分离和进样系统	370
三、检测系统	372
四、数据记录处理和计算机控制系统	375
第四节 高效液相色谱分析方法	375
一、定性和定量分析方法	375
二、高效液相色谱分离方法的选择	376
第五节 超高效液相色谱法简介	376