



全国高等医药院校药学类第四轮规划教材

供药学类专业用

分析化学

(第3版)

□ 主编 郭兴杰



网络增值服务

textbook.cnstip.com

中国医药科技出版社

分 析 化 学

(供药学类专业用)

第 3 版

主 编 郭兴杰
副主编 白小兵 熊志立 黄荣增
编 者 (以姓氏笔画为序)
邓海山 (南京中医药大学)
白小红 (山西医科大学)
朱开梅 (桂林医学院)
朱明芳 (广东药学院)
李 宁 (沈阳药科大学)
郎爱东 (山东大学)
赵龙山 (沈阳药科大学)
胡 新 (北京大学)
高金波 (佳木斯大学)
郭兴杰 (沈阳药科大学)
唐 睿 (广东药学院)
黄荣增 (湖北中医药大学)
熊志立 (沈阳药科大学)

中国医药科技出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

分析化学 / 郭兴杰主编. —3 版. —北京: 中国医药科技出版社, 2015. 7

全国高等医药院校药理学类第四轮规划教材

ISBN 978 - 7 - 5067 - 7442 - 0

I. ①分… II. ①郭… 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 (2015) 第 174305 号

中国医药科技出版社官网 www.cmstp.com	医药类专业图书、考试用书及 健康类图书查询、在线购买
网络增值服务官网 textbook.cmstp.com	医药类教材数据资源服务

美术编辑 陈君杞

版式设计 郭小平

出版 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 787 × 1092mm ¹/₁₆

印张 29 ¹/₄

字数 592 千字

初版 2006 年 2 月第 1 版

版次 2015 年 8 月第 3 版

印次 2015 年 8 月第 1 次印刷

印刷 北京市密东印刷有限公司

经销 全国各地新华书店

书号 ISBN 978 - 7 - 5067 - 7442 - 0

定价 69.00 元

本社图书如存在印装质量问题请与本社联系调换

全国高等医药院校药学类第四轮规划教材

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) 匡海学 (黑龙江中医药大学) 朱依谆 (复旦大学药学院) 刘俊义 (北京大学药学院) 毕开顺 (沈阳药科大学) 吴少楦 (中国医药科技出版社) 吴春福 (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) 郭 姣 (广东药学院) 彭 成 (成都中医药大学)
委 员	(以姓氏笔画为序) 王应泉 (中国医药科技出版社) 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 (西安交通大学医学部) 陈思东 (广东药学院) 侯爱君 (复旦大学药学院) 宫 平 (沈阳药科大学) 祝晨蓀 (广州中医药大学) 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) 徐晓媛 (中国药科大学) 黄泽波 (广东药学院) 浩云涛 (中国医药科技出版社) 赵燕宜 (中国医药科技出版社)

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、国家食品药品监督管理总局的领导和指导下，由中国医药科技出版社牵头中国药科大学、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、广东药学院、华东科技大学同济药学院、山西医科大学、浙江大学药学院、复旦大学药学院、北京中医药大学等 20 余所院校和医疗单位的领导和专家成立教材常务委员会共同组织规划，在广泛调研和充分论证基础上，于 2014 年 5 月组织全国 50 余所本科院校 400 余名教学经验丰富的专家教师历时一年余不辞辛劳、精心编撰而成。供全国药学类、中药学类专业教学使用的本科规划教材。

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、教学的经验和成果”的编写思路，20 余年来历经三轮编写修订，逐渐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。

第四轮规划教材，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）、《药品非临床研究质量管理规范》（GLP）、《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 2015 年版《国家执业药师资格考试大纲》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。

本轮教材的特色：

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 2015 年版《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。进一步精简教材字数，突出重点，强调理论与实际需求相结合，进一步提高教材质量。

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，以增强学生学习的目的性和主动性及教材的可读性。

4. 丰富教学资源，配套增值服务 在编写纸质教材的同时，注重建设与其相配套的网络教学资源，以满足立体化教学要求。

第四轮规划教材共涉及核心课程教材 53 门，供全国医药院校药学类、中药学类专业教学使用。本轮规划教材更名两种，即《药学文献检索与利用》更名为《药学信息检索与利用》，《药品经营管理 GSP》更名为《药品经营管理——GSP 实务》。

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，能受到全国本科药学专业广大师生的欢迎，对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。

全国高等医药院校药学类规划教材编写委员会

中国医药科技出版社

2015 年 7 月

全国高等医药院校药学类第四轮规划教材书目

教材名称	主 编	教材名称	主 编
公共基础课		26. 医药商品学（第3版）	刘 勇
1. 高等数学（第3版）	刘艳杰	27. 药物经济学（第3版）	孙利华
	黄榕波	28. 药用高分子材料学（第4版）	方 亮
2. 基础物理学（第3版）*	李 辛	29. 化工原理（第3版）*	何志成
3. 大学计算机基础（第3版）	于 静	30. 药物化学（第3版）	尤启冬
4. 计算机程序设计（第3版）	于 静	31. 化学制药工艺学（第4版）*	赵临襄
5. 无机化学（第3版）*	王国清	32. 药剂学（第3版）	方 亮
6. 有机化学（第2版）	胡 春	33. 工业药剂学（第3版）*	潘卫三
7. 物理化学（第3版）	徐开俊	34. 生物药剂学（第4版）	程 刚
8. 生物化学（药学类专业通用）		35. 药物分析（第3版）	于治国
（第2版）*	余 蓉	36. 体内药物分析（第3版）	于治国
9. 分析化学（第3版）*	郭兴杰	37. 医药市场营销学（第3版）	冯国忠
		38. 医药电子商务（第2版）	陈玉文
专业基础课和专业课		39. 国际医药贸易理论与实务	
		（第2版）	马爱霞
10. 人体解剖生理学（第2版）	郭青龙	40. GMP 教程（第3版）*	梁 毅
	李卫东	41. 药品经营质量管理——GSP 实务	梁 毅
11. 微生物学（第3版）	周长林	（第2版）*	陈玉文
12. 药学细胞生物学（第2版）	徐 威	42. 生物化学（供生物制药、生物技术、	
13. 医药伦理学（第4版）	赵迎欢	生物工程和海洋药学专业使用）	
14. 药学概论（第4版）	吴春福	（第3版）	吴梧桐
15. 药学信息检索与利用（第3版）	毕玉侠	43. 生物技术制药概论（第3版）	姚文兵
16. 药理学（第4版）	钱之玉	44. 生物工程（第3版）	王 旻
17. 药物毒理学（第3版）	向 明	45. 发酵工艺学（第3版）	夏焕章
	季 晖	46. 生物制药工艺学（第4版）*	吴梧桐
18. 临床药物治疗学（第2版）	李明亚	47. 生物药物分析（第2版）	张怡轩
19. 药事管理学（第5版）*	杨世民	48. 中医学概论（第2版）	郭 姣
20. 中国药事法理论与实务（第2版）	邵 蓉	49. 中药分析学（第2版）*	刘丽芳
21. 药用拉丁语（第2版）	孙启时	50. 中药鉴定学（第3版）	李 峰
22. 生药学（第3版）	李 萍	51. 中药炮制学（第2版）	张春风
23. 天然药物化学（第2版）*	孔令义	52. 药用植物学（第3版）	路金才
24. 有机化合物波谱解析（第4版）*	裴月湖	53. 中药生物技术（第2版）	刘吉华
25. 中医药学基础（第3版）	李 梅		

“*” 示该教材有与其配套的网络增值服务。

前言

分析化学是药学专业的基础课。本书是根据四年制本科药学专业的培养目标以及21世纪高等药学人才的培养要求而编写的。在编写过程中,我们充分调研、总结了近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。我们的目标是根据少而精、特色鲜明和利于教学的原则,编写一本内容充实、深浅适度、适合教学的高质量教材。为此,我们既考虑了我国药学专业对分析化学课程的基本概念、基本理论与基本技能的要求,也努力适应全国众多医药院校药学专业的教学需求。特别重视了在主要内容、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、新仪器的介绍。本书共分二十章。为方便教学,各章都附有一定数量的习题(含思考题、计算题及答案)。附录包括了使用本教材需要的分析化学常用数据。

本书编写分工如下:邓海山(第六、十章)、白小红(第十一、十二章)、朱开梅(第七章)、朱明芳(第二、九章)、李宁(第三章)、郎爱东(第二十章)、赵龙山(第十五章)、胡新(第一、八章)、高金波(第五、十三章)、郭兴杰(第四、十八章)、唐睿(第十六、十七章)、黄荣增(第十四章)、熊志立(第十九章)。全书成稿后由郭兴杰负责统稿审定。

本书可作为普通高等院校药学、药物制剂学、制药工程、生物化工、生物技术、中药学等专业分析化学课程的教科书,也可作为化学、化工、医学、环境等相关专业分析化学课程的教学参考书。

本书的编写工作获得了全体编委所在院校的大力支持,特别是沈阳药科大学承办了编写会议和定稿会议,在此一并致谢。

限于编者的水平与经验,书中难免存在疏漏与不当之处,恳请读者批评指正。

编者

2015年7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	4
第三节 分析化学的发展	5

第二章 误差和分析数据统计处理 / 7

第一节 测量值的准确度和精密度	7
一、系统误差和偶然误差	7
二、准确度和精密度	8
三、误差的传递	12
第二节 有效数字及其运算规则	13
一、有效数字	13
二、有效数字的运算规则	14
三、数字的修约规则	15
第三节 有限量测量数据的统计处理	16
一、偶然误差的正态分布	16
二、 t 分布	17
三、平均值的精密度和置信区间	18
四、数据统计处理的基本步骤	19
五、相关分析和回归分析	25

第四节 提高分析结果准确度的方法	26
一、不确定度	26
二、提高分析结果准确度的方法	26

第三章 滴定分析法概论 / 30

第一节 滴定分析法和滴定方式	30
一、滴定分析法	30
二、滴定方式	31
第二节 标准溶液	33
一、标准溶液及其配制方法	33
二、标准溶液浓度的表示方法	34
第三节 滴定分析中的计算	35
一、计算依据	35
二、计算示例	36
第四节 滴定分析中的化学平衡	38
一、溶液中化学平衡的处理方法	38
二、溶液中溶质各型体的分布	41

第四章 酸碱滴定法 / 47

第一节 酸碱溶液的氢离子浓度计算	47
一、一元酸（碱）溶液的氢离子浓度计算	47
二、多元弱酸（碱）溶液的氢离子浓度计算	49
三、两性物质溶液的氢离子浓度计算	49
四、缓冲溶液的氢离子浓度计算	50
第二节 酸碱指示剂	51
一、指示剂的变色原理	51
二、指示剂的变色范围及其影响因素	52
三、混合指示剂	54
第三节 酸碱滴定法的基本原理	55
一、强酸（碱）的滴定	55
二、一元弱酸（弱碱）的滴定	57
三、多元酸（碱）的滴定	60

四、酸碱标准溶液	63
五、酸碱滴定的终点误差	64
第四节 非水溶液中的酸碱滴定	66
一、非水酸碱滴定法原理	67
二、非水溶液中酸和碱的滴定	71
第五节 应用实例	75
一、药用 NaOH 的测定	75
二、铵盐和有机氮测定	75
三、硼酸的测定	76
四、萘普生钠的含量测定	77

第五章 配位滴定法 / 79

第一节 配位滴定的基本原理	80
一、配位平衡	80
二、EDTA 配位滴定曲线	84
三、金属指示剂	86
四、配位滴定标准溶液	89
第二节 配位滴定条件的选择	89
一、配位滴定的终点误差	89
二、配位滴定中酸度的选择和控制	92
三、提高滴定选择性	93
第三节 应用实例	95
一、配位滴定方式	95
二、示例	97

第六章 氧化还原滴定法 / 99

第一节 氧化还原平衡	99
一、条件电位及其影响因素	99
二、氧化还原反应进行的程度	103
三、氧化还原反应的速率	104
第二节 氧化还原滴定的基本原理	105
一、氧化还原滴定曲线	105

二、氧化还原滴定的指示剂	109
三、滴定前的试样预处理	110
第三节 常用氧化还原滴定法	110
一、碘量法	111
二、高锰酸钾法	114
三、其他氧化还原滴定法	116
第四节 应用实例	119
一、直接碘量法测定维生素 C	119
二、置换碘量法测定漂白粉中的有效氯	119
三、剩余碘量法测定葡萄糖的含量	119
四、溴量法测定苯酚的含量	120

第七章 沉淀滴定法和重量分析法 / 122

第一节 沉淀滴定法	122
一、银量法的基本原理	122
二、银量法终点的指示方法	125
三、银量法的标准溶液和基准物质	129
第二节 重量分析法	129
一、沉淀重量分析法	130
二、挥发重量分析法	140

第八章 电位分析法和永停滴定法 / 143

第一节 电化学分析概述	143
第二节 电位分析法的基本原理	144
一、化学电池和电池电动势	144
二、相界电位和液接电位	145
三、指示电极和参比电极	146
第三节 直接电位分析法	149
一、溶液 pH 的测定	149
二、其他离子浓度的测定	153
三、超微电极、化学修饰电极和电化学生物传感器	157

第四节 电位滴定法	159
一、仪器装置和方法原理	159
二、滴定终点的确定方法	159
三、各种类型的电位滴定	160
第五节 永停滴定法	161
一、永停滴定法的基本原理	161
二、永停滴定法的应用	163

第九章 光谱分析法概论 / 166

第一节 电磁辐射及其与物质的相互作用	166
一、电磁辐射和电磁波谱	166
二、电磁辐射与物质的相互作用	168
第二节 光学分析法的分类	168
一、光谱法和非光谱法	169
二、原子光谱法和分子光谱法	169
三、吸收光谱法和发射光谱法	171
第三节 光谱分析仪器	173
一、辐射源	173
二、分光系统	173
三、辐射的检测	175
第四节 光谱分析法的发展概况	175

第十章 紫外-可见分光光度法 / 177

第一节 紫外-可见分光光度法的基本原理	177
一、电子的跃迁类型	177
二、紫外-可见吸收光谱的常用术语	179
三、吸收带及其与分子结构的关系	180
四、影响吸收带的主要因素	181
五、朗伯-比尔定律	183
六、偏离比尔定律的因素	185
第二节 紫外-可见分光光度计	188
一、分光光度计的主要部件	188

二、分光光度计的类型与测量条件的选择	190
第三节 紫外-可见分光光度分析方法	194
一、定性鉴别	194
二、单组分的定量分析方法	195
三、多组分的定量分析方法	196
四、紫外-可见吸收光谱与有机化合物的结构分析	200
第四节 光电比色法	203
一、显色反应	203
二、显色条件的选择	204
三、干扰及其消除	205
 第十一章 红外吸收光谱法 / 208	
第一节 红外光谱法基本原理	209
一、分子的振动能级与振动光谱	209
二、分子的振动形式	210
三、红外光谱产生的条件	213
四、吸收峰强度	213
五、吸收峰的位置	214
六、特征峰和相关峰	217
第二节 有机化合物的典型红外吸收光谱	217
一、脂肪烃类化合物	217
二、芳香烃类化合物	220
三、醇、酚、醚类化合物	222
四、羰基类化合物	223
五、含氮有机化合物	227
第三节 傅立叶变换红外光谱仪	229
一、傅立叶变换红外光谱仪	229
二、红外光谱仪的性能	230
第四节 红外吸收光谱分析	230
一、样品的制备	230
二、红外光谱解析	231

第十二章 原子吸收分光光度法 / 236

第一节 基本原理	236
一、原子的量子能级和能级图	236
二、共振吸收线	237
三、原子在各能级的分布	238
四、原子吸收线的形状	238
五、原子吸收值与原子浓度的关系	240
第二节 原子吸收分光光度计	241
一、原子吸收分光光度计的主要部件	241
二、原子吸收分光光度计的类型	244
三、原子吸收分光光度计的性能参数	244
第三节 实验技术	246
一、样品处理	246
二、实验条件的选择	246
三、干扰及其抑制	248
第四节 定量分析方法及其应用	249
一、定量分析法	249
二、应用实例	250

第十三章 荧光分析法 / 253

第一节 基本原理	253
一、分子荧光的发生	253
二、激发光谱与荧光光谱	255
三、荧光的量子效率和荧光寿命	257
四、荧光与分子结构的关系	258
第二节 荧光定量分析方法	261
一、荧光强度与溶液浓度的关系	261
二、定量分析方法	262
第三节 荧光分光光度计	263
第四节 荧光分析新技术	264

第十四章 核磁共振波谱法 / 268

第一节 核磁共振波谱法的基本原理	269
一、原子核的自旋	269
二、原子核的自旋能级和共振吸收	270
三、自旋弛豫	272
第二节 核磁共振仪	273
一、连续波核磁共振仪	273
二、脉冲傅立叶变换核磁共振仪	273
三、溶剂和试样测定	274
第三节 化学位移	274
一、屏蔽效应	274
二、化学位移的表示	275
三、化学位移的影响因素	276
四、几类质子的化学位移	278
第四节 自旋偶合与自旋系统	281
一、自旋偶合和自旋分裂	281
二、偶合常数	283
三、自旋系统	285
第五节 核磁共振氢谱的解析	287
一、峰面积和氢核数目的关系	287
二、核磁共振氢谱的解析方法	288
第六节 核磁共振碳谱和相关谱简介	290
一、核磁共振碳谱	290
二、相关谱	294

第十五章 质谱法 / 299

第一节 质谱仪	299
一、质谱仪的工作原理	299
二、质谱仪的基本结构	300
三、离子检测器	304
四、质谱仪的主要性能指标	304
第二节 质谱和主要离子类型	305

一、质谱	305
二、主要离子类型	306
三、阳离子的裂解类型	308
第三节 质谱分析法	310
一、分子离子峰的确认	310
二、相对分子质量的测定	311
三、分子式的确定	311
四、有机化合物的结构鉴定	312
第四节 有机化合物结构综合解析	319

第十六章 色谱分析法概论 / 323

第一节 色谱过程和基本概念	323
一、色谱过程	323
二、色谱流出曲线和有关概念	324
三、色谱分离术语与定义	328
第二节 色谱法的分类及基本类型	330
一、色谱法的分类	330
二、分配色谱法	331
三、吸附色谱法	332
四、离子交换色谱法	334
五、分子排阻色谱法	335
第三节 色谱法的基本理论	337
一、塔板理论	337
二、速率理论	340
三、色谱分离方程	344

第十七章 经典液相色谱法 / 347

第一节 经典液相柱色谱法	347
一、硅胶柱色谱法	347
二、聚酰胺柱色谱法	348
三、凝胶柱色谱法	349
四、大孔吸附树脂法	350