

- 
- 全国高等医药教材建设研究会规划教材
 - 卫生部规划教材 · 全国高等学校教材
 - 供药学类专业用

分析化学



第5版

主编 李发美

 人民卫生出版社

全国高等学校教材

· 供药学类专业用 ·

分析化学

第 5 版

主 编 李发美

编 者 (以姓氏笔画为序)

李发美 (沈阳药科大学药学院)
张 丹 (四川大学华西药学院)
张延岭 (山东大学药学院)
张阿慧 (西安交通大学理学院)
郁韵秋 (复旦大学药学院)
赵怀清 (沈阳药科大学药学院)
倪坤仪 (中国药科大学基础部)
柴逸峰 (第二军医大学药学院)
彭 彦 (华中科技大学同济医学院同济药学院)

人 民 卫 生 出 版 社

图书在版编目(CIP)数据

分析化学/李发美主编. —5版. —北京:
人民卫生出版社, 2003.6
ISBN 7-117-05603-7

I.分… II.李… III.分析化学—高等学校—教材 IV.065

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 049674 号

分析化学

第 5 版

主 编: 李 发 美

出版发行: 人民卫生出版社(中继线 67616688)

地 址: (100078)北京市丰台区方庄芳群园 3 区 3 号楼

网 址: [http://www. pmph. com](http://www.pmph.com)

E - mail: [pmph @ pmph. com](mailto:pmph@pmph.com)

印 刷: 北京人卫印刷厂

经 销: 新华书店

开 本: 850×1168 1/16 印张: 33.5

字 数: 804 千字

版 次: 1986 年 11 月第 2 版 2003 年 8 月第 5 版第 21 次印刷

标准书号: ISBN 7-117-05603-7/R·5604

定 价: 39.00 元

著作权所有, 请勿擅自用本书制作各类出版物, 违者必究

(凡属质量问题请与本社发行部联系退换)

全国高等学校药学类专业 第五轮规划教材修订说明

卫生部全国高等学校药学类专业教材于1979年出版第一轮,1987年、1993年、1998年进行了三次修订,为我国培养了大批的药学专业人才。为适应我国高等药学教育的改革和发展,现根据全国高等医药教材建设研究会、卫生部教材办公室关于“药学专业第五轮教材修订意见”的精神,在第四轮的基础上进行了修订。该轮教材在编写前经过了药学专业教材评审委员会各位专家的反复论证,从教材种类到每门教材所要达到的目标,都进行了认真讨论。最后决定本轮教材要紧扣药学专业本科教育,以培养能承担药房、药检、药物流通及药事管理工作的药师为主的目标,与国内现行的执业药师制度接轨的原则进行编写。主编及编写人员坚持“三基”(基本理论、基本知识、基本技能)、“五性”(思想性、科学性、先进性、启发性、适用性)原则,取材适当,内容阐述循序渐进,既要保证教材的水平和质量,又要使学生能够更容易地达到培养目标和要求。

应该指出,药学类专业教材从第一轮起一直在彭司勋院士关心与领导下进行编写出版,他为教材建设付出许多努力也作出很大贡献,建立了严格、认真、科学的好传统。

该套教材继承和发扬了规划教材的良好传统,编写、编辑过程中管理严格,在教材质量上也有了很大提高。

该套教材可供药学及相关专业选用。本轮教材共25种,其中修订16种,新编3种:《药理学》、《药物毒理学》、《临床药物治疗学》;合并1种:《药用植物学与生药学》第4版;沿用上版教材4种:《高等数学》第3版、《医药数理统计方法》第3版、《人体解剖生理学》第4版、《药学英语》第2版;《医学导论》与基础医学专业共用,具体教材书目如下:

1	药理学	主 编	毕开顺
2	医学导论	主 编	文历阳
3	高等数学(第3版)	主 编	毛宗秀
4	医药数理统计方法(第3版)	主 编	刘定远
5	物理学(第4版)	主 编	舒辰慧
6	物理化学(第5版)	主 编	侯新朴
		副主编	詹先成
7	无机化学(第4版)	主 编	许善锦
		副主编	姜凤超
8	分析化学(第5版)	主 编	李发美
9	有机化学(第5版)	主 编	倪沛洲
10	人体解剖生理学(第4版)	主 编	龚茜玲

11	微生物学与免疫学(第5版)	主 编	沈关心
★12	生物化学(第5版)	主 编	吴梧桐
13	药理学(第5版)	主 编	李端
		副主编	殷明
★14	药物分析(第5版)	主 编	刘文英
15	药用植物学与生药学(第4版)	主 编	郑汉臣 蔡少青
16	药物毒理学	主 编	楼宜嘉
17	临床药物治疗学	主 编	姜远英
		副主编	李俊
18	药物化学(第5版)	主 编	郑虎
★19	药剂学(第5版)	主 编	崔福德
★20	天然药物化学(第4版)	主 审	姚新生
		主 编	吴立军
		副主编	吴继洲
21	中医学概论(第5版)	主 编	王建
★22	药事管理学(第3版)	主 编	吴蓬
23	药学生物学(第2版)	主 编	史济平
24	生物药剂学与药物动力学(第2版)	主 编	梁文权
25	药学英语(第2版)	主 编	胡延熹

其中标有星号的为普通高等教育“十五”国家级规划教材。以上教材均由人民卫生出版社出版。

全国高等医药教材建设研究会
卫生部教材办公室
2003年5月

全国高等学校药学专业教材第三届评审委员会

主任委员 郑 虎

副主任委员 毕开顺

委员(以姓氏笔画为序)

刘俊义 吴继洲 吴梧桐

吴满平 张志荣 姜远英

徐文方 曾 苏

秘书 徐 正

前 言

《分析化学》第5版是全国高等学校药学专业第五轮规划教材之一。本教材是由全国第三届药学专业教材评审委员会组织聘请主编，再由主编和评审委员会从各校推荐人员中遴选编委进行编写的。全体编委均为多年来工作在分析化学教学第一线的骨干教师和学科带头人。本书经集体讨论，分工编写，并由主编负责而完成。本教材是分析化学的基本教材，供全国高等学校药学专业使用，也可供制药、中药、化学等其他相关专业使用，还可供有关科研单位或药品质量检验部门的科研、技术人员参阅。

修订后的《分析化学》不再分上、下册，全书共22章，各章都有“本章小结”。本书把滴定分析法、光谱分析法和色谱分析法中的共性问题分别集中在各自“概论”中，减少了相同内容在各章中的重复。滴定分析法概论介绍滴定分析的一般概念，使学生了解滴定分析的全貌，然后在各章中逐渐加深认识；酸（碱）溶液中各型体的分布和配合物各型体的分布也合并于这一章。光谱分析仪器的共同部件集中于光谱分析法概论中叙述。色谱分析法概论讨论色谱过程、色谱法的基本概念和基本理论，而其后的各章则重点讨论各种色谱方法的个性问题。紫外-可见分光光度法中的计算分光光度法稍有精减，重点讨论了几种代表性的方法。沉淀滴定法和重量分析法合并为一章，重量分析法中删去了液-液萃取法。主要参考文献统一列于书后，分为一般分析化学、光谱分析、色谱分析、手册以及与分析化学相关的部分期刊及其网站，以便学生了解分析化学发展的最新动态。

鉴于分析化学学科的迅速发展，本教材在保持先前各版《分析化学》的基本内容的同时，适当增加了已发展比较成熟的新方法和新技术的相关内容，以实现教材的先进性，使学生能够掌握分析化学的新进展。新内容包括第二十二章色谱联用技术，重点介绍在药学领域应用广泛的色谱-质谱联用技术。毛细管电泳法也从高效液相色谱法中分离出来，单列为一章。第九章中增加了电化学传感器和微电极技术。核磁共振波谱法中还简单介绍了相关谱。质谱法新增了串联质谱法，同时把综合解析的内容也放在这一章。

本教材的编写工作得到了各编委所在院校的大力支持，尤其是沈阳药科大学和第二军医大学圆满地组织安排了编写会议和定稿会议。同时还得到了第四版编委的帮助，第四版主编孙毓庆教授和编委吴玉田教授等对本书的编写提了许多宝贵的建议；本书还使用了第四版中的部分图、表和资料。沈阳药科大学袁波副教授任编写组秘书，并参加第三章的部分编写工作，金洁副教授绘制了本书中大部分插图，鹿秀梅等同志在统稿过程中帮助打印和校对。在此一并致谢。

书中存在的错误与不妥之处，恳请专家和读者批评指正。

编 者

2003年5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 分析化学的发展	2
第三节 分析方法的分类	3
第四节 分析过程和步骤	4
第五节 分析化学的学习方法	5
第二章 误差和分析数据处理	7
第一节 测量值的准确度和精密度	7
一、准确度和精密度	7
二、系统误差和偶然误差	10
三、误差的传递	11
四、提高分析结果准确度的方法	13
第二节 有效数字及其运算法则	14
一、有效数字	14
二、数字的修约规则	15
三、有效数字的运算规则	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	16
三、平均值的精密度和置信区间	18
四、显著性检验	19
五、可疑数据的取舍	22
六、相关与回归	24
本章小结	26
思考题和习题	27
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、滴定方式及其适用条件	32

第二节 标准溶液	33
一、标准溶液和基准物质	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、滴定分析中的计量关系	35
二、滴定分析法的有关计算	36
第四节 滴定分析中的化学平衡	38
一、水溶液中溶质各型体的分布和分布系数	38
二、化学平衡的系统处理方法	43
本章小结	45
思考题和习题	46
第四章 酸碱滴定法	48
第一节 酸碱溶液中氢离子浓度的计算	48
一、一元酸(碱)溶液的氢离子浓度计算	48
二、多元酸(碱)溶液的氢离子浓度计算	50
三、两性物质溶液的氢离子浓度计算	51
四、缓冲溶液的氢离子浓度计算	53
第二节 酸碱指示剂	54
一、指示剂的变色原理	54
二、指示剂的变色范围及其影响因素	55
三、混合指示剂	57
第三节 酸碱滴定法的基本原理	58
一、强酸(碱)的滴定	58
二、一元弱酸(碱)的滴定	60
三、多元酸(碱)的滴定	63
四、酸碱标准溶液的配制与标定	65
五、应用示例	66
第四节 酸碱滴定的滴定终点误差	68
一、强酸(碱)的滴定终点误差	68
二、弱酸(碱)的滴定终点误差	69
本章小结	70
思考题和习题	71
第五章 非水溶液中的酸碱滴定法	74
第一节 非水酸碱滴定法基本原理	74
一、溶剂的分类	74
二、溶剂的性质	75

三、溶剂的选择	78
第二节 非水溶液中酸和碱的滴定	79
一、碱的滴定	79
二、酸的滴定	83
本章小结	86
思考题和习题	86
第六章 配位滴定法	88
第一节 配位滴定法的基本原理	88
一、配位平衡	88
二、配位滴定曲线	93
三、金属指示剂	95
四、标准溶液的配制和标定	97
第二节 配位滴定条件的选择	98
一、配位滴定的滴定终点误差	98
二、配位滴定中酸度的选择和控制在	99
三、提高配位滴定的选择性	101
四、配位滴定方式	103
本章小结	104
思考题和习题	106
第七章 氧化还原滴定法	108
第一节 氧化还原反应	108
一、条件电位及其影响因素	108
二、氧化还原反应进行的程度	112
三、氧化还原反应的速度	113
第二节 氧化还原滴定的基本原理	114
一、滴定曲线	114
二、指示剂	116
三、滴定前的试样预处理	117
第三节 碘量法	118
一、基本原理	118
二、指示剂	121
三、标准溶液的配制与标定	121
第四节 高锰酸钾法	122
一、基本原理	122
二、标准溶液的配制与标定	123
第五节 亚硝酸钠法	124

一、基本原理	124
二、标准溶液的配制与标定	125
三、指示剂	125
第六节 其他氧化还原滴定法	126
一、溴酸钾法和溴量法	126
二、重铬酸钾法	126
三、铈量法	127
四、高碘酸钾法	127
本章小结	128
思考题和习题	129
第八章 沉淀滴定法和重量分析法	131
第一节 沉淀滴定法	131
一、银量法的基本原理	131
二、银量法终点的指示方法	133
三、标准溶液和基准物质	137
第二节 重量分析法	137
一、沉淀重量分析法	137
二、挥发重量法	147
本章小结	149
思考题和习题	150
第九章 电位法和永停滴定法	152
第一节 电化学分析概述	152
第二节 电位法的基本原理	153
一、化学电池	153
二、指示电极和参比电极	156
第三节 直接电位法	158
一、溶液 pH 的测定	158
二、其他离子浓度的测定	163
三、电化学生物传感器与微电极技术简介	168
第四节 电位滴定法	170
一、方法原理和特点	170
二、滴定终点的确定	171
三、各种类型的电位滴定	172
第五节 永停滴定法	173
一、基本原理	173
二、应用实例	175

本章小结	176
思考题和习题	177
第十章 光谱分析法概论	180
第一节 电磁辐射及其与物质的相互作用	180
一、电磁辐射和电磁波谱	180
二、电磁辐射与物质的相互作用	181
第二节 光学分析法的分类	182
一、光谱法与非光谱法	183
二、原子光谱法和分子光谱法	183
三、吸收光谱法与发射光谱法	185
第三节 光谱分析仪器	186
一、辐射源	186
二、分光系统	187
三、辐射的检测	189
第四节 光谱分析法的发展概况	189
本章小结	190
思考题和习题	191
第十一章 紫外-可见分光光度法	192
第一节 紫外-可见分光光度法的基本原理和概念	192
一、电子跃迁类型	192
二、紫外-可见吸收光谱的常用概念	193
三、吸收带及其与分子结构的关系	194
四、影响吸收带的因素	196
五、朗伯-比尔定律	198
六、偏离比尔定律的因素	199
第二节 紫外-可见分光光度计	202
一、主要部件	202
二、分光光度计的类型和光学性能	204
第三节 紫外-可见分光光度分析方法	207
一、定性鉴别	207
二、纯度检查	208
三、单组分的定量方法	209
四、同时测定多组分的定量方法——计算分光光度法	211
五、紫外吸收光谱法用于有机化合物分子结构研究	219
六、光电比色法	222
本章小结	224

思考题和习题	226
第十二章 荧光分析法	229
第一节 荧光分析法的基本原理	229
一、分子荧光	229
二、荧光与分子结构	233
三、影响荧光强度的外部因素	235
第二节 荧光定量分析方法	237
一、荧光强度与物质浓度的关系	237
二、定量分析方法	238
第三节 荧光分光光度计和荧光分析新技术	239
一、荧光分光光度计	239
二、荧光分析新技术简介	240
本章小结	241
思考题和习题	242
第十三章 红外吸收光谱法	243
第一节 红外吸收光谱法的基本原理	243
一、分子振动能级和振动形式	243
二、红外吸收光谱产生的条件和吸收峰强度	247
三、吸收峰的位置	248
四、特征峰和相关峰	253
第二节 有机化合物的典型光谱	254
一、脂肪烃类	254
二、芳香烃类	256
三、醇、酚和醚类	257
四、羰基化合物	258
五、含氮有机化合物	262
第三节 红外光谱仪	264
一、光栅型红外光谱仪	264
二、傅立叶变换红外光谱仪	266
三、红外光谱仪的性能	267
第四节 红外吸收光谱分析	267
一、试样的制备	267
二、红外光谱解析方法	268
本章小结	272
思考题和习题	273

第十四章 原子吸收分光光度法	275
第一节 原子吸收分光光度法的基本原理	275
一、原子的量子能级和能级图	275
二、原子在各能级的分布	277
三、原子吸收线	277
四、原子吸收值与原子浓度的关系	279
第二节 原子吸收分光光度计	280
一、原子吸收分光光度计的主要部件	280
二、原子吸收分光光度计的类型	283
第三节 实验方法	284
一、测定条件的选择	284
二、干扰及其抑制	286
三、灵敏度和检出限	287
四、定量分析方法	288
本章小结.....	289
思考题和习题.....	290
第十五章 核磁共振波谱法	292
第一节 核磁共振波谱法的基本原理	292
一、原子核的自旋	292
二、原子核的自旋能级和共振吸收	293
三、自旋弛豫	295
第二节 核磁共振仪	296
一、连续波核磁共振仪	296
二、脉冲傅立叶变换核磁共振仪	297
三、溶剂和试样测定	297
第三节 化学位移	298
一、屏蔽效应	298
二、化学位移的表示	298
三、化学位移的影响因素	299
四、几类质子的化学位移	301
第四节 偶合常数	305
一、自旋偶合和自旋分裂	305
二、偶合常数	306
三、自旋系统	307
第五节 核磁共振氢谱的解析	310
一、峰面积和氢核数目的关系	310
二、核磁共振氢谱的解析方法	311

第六节 核磁共振碳谱和相关谱简介	313
一、核磁共振碳谱	313
二、相关谱	315
本章小结	317
思考题和习题	318
第十六章 质谱法	323
第一节 质谱法的基本原理和质谱仪	323
一、质谱法的基本原理	324
二、质谱仪	324
第二节 质谱中的主要离子及其裂解类型	330
一、质谱中的主要离子	330
二、阳离子的裂解类型	331
第三节 质谱分析法	333
一、分子式的测定	333
二、有机化合物的结构鉴定	335
三、串联质谱法简介	342
第四节 综合解析	342
一、解析程序	343
二、解析示例	344
本章小结	348
思考题和习题	349
第十七章 色谱分析法概论	352
第一节 色谱法的分类和发展	352
一、色谱法的分类	352
二、色谱法的发展	354
第二节 色谱过程和基本原理	355
一、色谱过程	355
二、色谱流出曲线和有关概念	356
三、分配系数与色谱分离	359
第三节 基本类型色谱方法及其分离机制	360
一、分配色谱法	361
二、吸附色谱法	361
三、离子交换色谱法	363
四、空间排阻色谱法	365
第四节 色谱法基本理论	366
一、塔板理论	366

二、速率理论	369
本章小结	371
思考题和习题	372
第十八章 平面色谱法	376
第一节 平面色谱法的分类和原理	376
一、平面色谱法的分类	376
二、平面色谱法参数	376
第二节 薄层色谱法	379
一、薄层色谱法的主要类型	379
二、吸附薄层色谱的吸附剂和展开剂	380
三、薄层色谱操作方法	381
四、定性和定量分析	383
五、高效薄层色谱法	384
六、薄层扫描法	384
七、薄层色谱的应用及实例	386
第三节 纸色谱法	387
一、纸色谱法的分离原理	387
二、纸色谱法的实验条件	388
本章小结	388
思考题和习题	389
第十九章 气相色谱法	392
第一节 气相色谱法的分类和一般流程	392
一、气相色谱法的分类和特点	392
二、气相色谱法的一般流程	393
第二节 气相色谱固定相和流动相	394
一、气液色谱固定相	394
二、气固色谱固定相	396
三、流动相	397
第三节 检测器	398
一、检测器的性能指标	398
二、热导检测器	399
三、氢焰离子化检测器	400
四、电子捕获检测器	401
第四节 分离条件的选择	401
一、气相色谱速率理论	402
二、实验条件的选择	403

三、样品的预处理	405
第五节 毛细管气相色谱法	405
一、毛细管气相色谱法的特点和分类	406
二、毛细管色谱速率理论和实验条件的选择	407
三、毛细管气相色谱系统	408
第六节 定性与定量分析	409
一、定性分析方法	409
二、定量分析方法	410
三、应用及实例	413
本章小结	413
思考题和习题	414
第二十章 高效液相色谱法	417
第一节 高效液相色谱法的主要类型和原理	417
一、高效液相色谱法的主要类型	417
二、化学键合相色谱法	418
三、其他高效液相色谱法	421
第二节 高效液相色谱法的固定相和流动相及其选择	423
一、化学键合相色谱法的固定相	423
二、化学键合相色谱法的流动相	424
三、分离条件的选择	428
四、其他固定相	430
第三节 高效液相色谱仪	431
一、输液系统	431
二、分离和进样系统	432
三、检测系统	433
四、数据记录处理和计算机控制系统	436
第四节 高效液相色谱分析方法	437
一、定性分析方法	437
二、定量分析方法	437
三、高效液相色谱分离方法的选择	439
本章小结	440
思考题和习题	441
第二十一章 毛细管电泳法	443
第一节 毛细管电泳的特点和分类	443
一、电泳与色谱	443
二、毛细管电泳的特点	444