



卫生部“十一五”规划教材

全国高等医药教材建设研究会规划教材

全国高等学校医学成人学历教育(专科)教材


供药学专业用

分析化学

第2版

主 编 李发美

副主编 沈懋法

 人民卫生出版社

卫生部“十一五”规划教材
全国高等医药教材建设研究会规划教材
全国高等学校医学成人学历教育(专科)教材
供药学专业用

分析化学

第 2 版

主 编 李发美

副主编 沈懋法

编 者 (以姓氏笔画为序)

李发美 (沈阳药科大学)

李贵荣 (南华大学)

严拯宇 (中国药科大学)

沈懋法 (浙江医学高等专科学校)

邱细敏 (湖南师范大学)

郎爱东 (山东大学药学院)

蒋 晔 (河北医科大学)

熊志立 (沈阳药科大学)

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. —2 版. —北京:人民卫生出版社, 2007. 8

ISBN 978-7-117-09040-7

I. 分… II. 李… III. 分析化学—成人教育:高等教育—教材 IV. O65

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 113408 号

本书本印次封底贴有防伪标, 请注意识别。

编 者

李发美 主 编

李发美 主 编

(北京医科大学) 李发美

(北京大学) 李发美

(北京大学) 李发美

(北京大学) 李发美

分析化学 (北京大学) 李发美

第 2 版 (北京大学) 李发美

主 编: 李发美

出版发行: 人民卫生出版社(中继线 010-67616688)

地 址: 北京市丰台区方庄芳群园 3 区 3 号楼

邮 编: 100078

网 址: <http://www.pmph.com>

E-mail: pmph@pmph.com

购书热线: 010-67605754 010-65264830

印 刷: 潮河印业有限公司

经 销: 新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 24

字 数: 543 千字

版 次: 2000 年 7 月第 1 版 2007 年 8 月第 2 版第 8 次印刷

标准书号: ISBN 978-7-117-09040-7/R·9041

定 价: 35.00 元

版权所有, 侵权必究, 打击盗版举报电话: 010-87613394

(凡属印装质量问题请与本社销售部联系退换)

全国高等学校医学成人学历教育(专科)教材 第2轮修订说明

2002年以来,我国医学成人学历教育的政策和实践发生了重要变化。为了适应我国医学成人学历教育的现状和趋势,卫生部教材办公室、全国高等医药教材建设研究会决定启动全国高等学校医学成人学历教育教材的第2轮修订。2005年7月,卫生部教材办公室在北京召开论证会议,就我国医学成人学历教育的现状、趋势、特点、目标及修订的专业、课程设置、修订原则及要求等重要问题进行充分讨论并达成了共识。2006年8月底,卫生部教材办公室在沈阳召开全国高等学校医学成人学历教育卫生部规划教材修订工作主编人会议,正式启动教材修订工作。会议明确了教材修订的2个目标和4个要求,即新版教材应努力体现医学成人教育的特点(非零起点性、学历需求性、职业需求性、模式多样性);应努力实现医学成人学历教育的目标(复习、巩固、提高、突破);要求教材编写引入“知识模块”的概念并进行模块化编写;要求创新教材编写方法,强化教材功能;要求教材编写注意与普通高等教育教材的区别与联系;注意增强教材的教学适应性和认同性。另外,本次教材修订,还特别注意理论和实践的联系,强调基础联系临床、临床回归基础。在具体写作形式上,本次修订提倡插入“理论与实践”、“问题与思考”、“相关链接”等文本框,从形式上保证了教材修订目标和要求的实现,也是对教材创新的探索。

本次共修订医学成人学历教育专科教材42种,其中临床医学专业14种、护理学专业12种、药学专业16种。42种教材已被卫生部教材办公室、全国高等医药教材建设研究会评选为卫生部“十一五”规划教材。

全国高等学校医学成人(继续)教育教材 评审委员会

顾 问 孟 群

主任委员 唐建武

副主任委员 沈 彬

委员(按姓氏笔画排序)

马爱群 马跃美 申玉杰 刘吉祥 佘国强 张爱珍 张殿发
杜友爱 杨克虎 花建华 陈金华 周胜利 姜小鹰 禹学海
赵玉虹 赵浩亮 赵富玺 党丽娟 聂 鹰 郭 明

秘 书 惠天灵

全国高等学校医学成人学历教育 (专科)教材目录

临床医学专业(14种)

- | | | |
|------------------|---------------|-----------------------|
| 1. 人体解剖学(第2版) | 主编 李金钟 | 副主编 章培军 |
| 2. 生理学(第2版) | 主编 杜友爱 | 副主编 李红芳
苏莉芬 |
| 3. 病理学(第2版) | 主编 吴伟康
赵卫星 | |
| 4. 生物化学(第2版) | 主编 万福生 | 副主编 徐跃飞 |
| 5. 病原生物与免疫学(第2版) | 主编 夏克栋 | 副主编 李水仙
岳启发 |
| 6. 药理学(第2版) | 主编 李淑媛 | 副主编 石刚刚 |
| 7. 组织学与胚胎学 | 主编 孙莉 | 副主编 张际绯
黄晓芹
郝立宏 |
| 8. 诊断学(第2版) | 主编 姜探奇 | 副主编 廖伟
张育 |
| 9. 医学影像学 | 主编 王振常 | 副主编 孙万里
杨海山 |
| 10. 内科学(第2版) | 主编 邹萍
魏武 | 副主编 杨亦彬
曲鹏 |
| 11. 外科学(第2版) | 主编 孙靖中 | 副主编 段德生
高佃军 |
| 12. 妇产科学(第2版) | 主编 李荷莲 | 副主编 柳耀环 |
| 13. 儿科学(第2版) | 主编 徐立新 | 副主编 郑胡镛
穆亚萍
曲云霞 |
| 14. 传染病学 | 主编 李群 | 副主编 冯继红 |

药学专业(16种)

- | | | |
|--------------|--------|---------------|
| 1. 高等数学(第2版) | 主编 陈铁生 | |
| 2. 物理学 | 主编 鲍修增 | 副主编 潘志达 |
| 3. 有机化学(第2版) | 主编 赵正保 | 副主编 董陆陆
刘斌 |
| 4. 物理化学(第2版) | 主编 邵伟 | |
| 5. 分析化学(第2版) | 主编 李发美 | 副主编 沈懋法 |

- | | | |
|-----------------|---------------|----------------|
| 6. 生物化学 | 主编 吴耀生 | 副主编 俞小瑞
王继红 |
| 7. 人体解剖生理学 | 主编 王维洛 | 副主编 陈孝忠 |
| 8. 微生物学与免疫学 | 主编 李朝品
曹志然 | |
| 9. 药物化学(第2版) | 主编 徐文方 | |
| 10. 药物分析(第2版) | 主编 晁若冰 | 副主编 傅 强 |
| 11. 药剂学(第2版) | 主编 曹德英 | 副主编 刘 伟 |
| 12. 天然药物化学(第2版) | 主编 吴立军 | 副主编 封士兰
阮金兰 |
| 13. 药事管理学 | 主编 邵瑞琪 | |
| 14. 药用植物学 | 主编 孙启时 | |
| 15. 生药学 | 主编 周 晔 | |
| 16. 药理学 | 主编 乔国芬 | 副主编 林 军
宋晓亮 |

护理学专业(12种)

- | | | |
|-----------------------|--------|-----------------------|
| 1. 内科护理学(第2版) | 主编 成守珍 | 副主编 刘义兰
高丽红
李 伟 |
| 2. 外科护理学(第2版) | 主编 鲁连桂 | 副主编 李 津
李惠萍 |
| 3. 妇产科护理学(第2版) | 主编 张新宇 | 副主编 简雅娟
陈梦香 |
| 4. 儿科护理学(第2版) | 主编 雷家英 | 副主编 张立莉
张玉兰 |
| 5. 护理心理学(第2版) | 主编 曹枫林 | 副主编 张纪梅 |
| 6. 护理管理学(第2版) | 主编 苏兰若 | 副主编 王惠珍 |
| 7. 护理学导论 | 主编 杨新月 | 副主编 章新琼 |
| 8. [△] 护理伦理学 | 主编 姜小鹰 | 副主编 史瑞芬 |
| 9. 健康评估 | 主编 刘纯艳 | |
| 10. 临床营养学 | 主编 蔡东联 | 副主编 史琳娜
刘烈刚 |
| 11. 急危重症护理学 | 主编 刘化侠 | 副主编 李武平 |
| 12. 社区护理学 | 主编 陈先华 | 副主编 涂 英 |

△为成人学历教育专科、专科起点升本科共用教材。

前 言

全国高等学校医学成人学历教育(专科)教材《分析化学》(第2版)是根据2006年8月全国高等学校医学成人学历教育卫生部规划教材修订工作主编人会议精神,在原教材的基础上修订而成的。本次修订充分体现我国药学成人学历教育(专科)的特点,以实现成人学历教育的培养目标,即通过复习基本知识和基本理论、补充新的理论和实践知识、完善知识结构,使学生的知识水平、学习能力和实践能力得到综合提升,达到大学专科的水平。

本教材继续贯彻“教育必须为现代化建设服务”的方针,强调“三基”(基本理论知识、基本思维方法和基本实践技能)和五性(思想性、科学性、先进性、启发性和适应性)。修订后的教材在基础方面的铺垫较多,以利于老师授课、学生自学及对知识的接受和掌握;在每章中都设有“应用与示例”,做到理论联系实际,同时提高学生学习的兴趣;删减了部分较深的理论论述和公式推导;增加了一些新知识和新技术。具体有:将“非水酸碱滴定法”合并于“酸碱滴定法”一章;将色谱基本概念和理论从“气相色谱法”中分离出来,独立成一章“现代色谱基本理论”;“紫外-可见分光光度法”一章在结构上作了调整;“红外分光光度法”改为“红外吸收光谱法”,并精简和调整了部分内容;简化了电位法中其他离子测定的有关内容;删除了“荧光分析法”中磷光部分、“高效液相色谱法”中速率理论和溶剂参数的相关内容。增加了复合pH电极、光多道二极管阵列检测的分光光度计、毛细管气相色谱的相关内容以及气-质联用和液-质联用的简介。

本教材的内容分为掌握、熟悉、了解三个层次。“掌握”的内容包括分析结果的表示方法和有效数字的取舍,酸碱、沉淀、配位、氧化还原滴定法、电位法和永停滴定法的基本理论、反应条件、应用范围和结果计算,紫外-可见分光光度法的基本原理、定量方法和应用,气相色谱法和高效液相色谱法的色谱条件、定性和定量分析方法及其在药物分析中的应用等。本书对这些内容作了比较全面系统的阐述,在教学过程中应有所加强。沉淀重量法的原理、方法及结果计算,离子选择电极的原理及应用,紫外吸收光谱与分子结构的关系,荧光分光光度法和原子吸收分光光度法的原理、方法和应用,红外吸收光谱法的基本原理,薄层色谱法的基本原理和定性、定量分析方法属于熟悉的内容,论述也比较全面。让学生了解的内容包括显著性检验、相关和回归等数理统计方法,重量分析法中的挥发法,核磁共振波谱法、质谱法和红外吸收光谱在结构分析中的

应用,经典柱色谱法和纸色谱法,以及毛细管电泳和色谱-质谱联用技术。

本教材的读者对象是经过2~3年中等药学教育的在职人员、成人高等药学(专科)教育的学生。本书也可作为药学专业的大学专科《分析化学》教材,还可用作参加执业药师资格考试人员的参考用书。

与本教材同时出版的还有配套教材《分析化学学习指导与习题集》(蒋晔主编),以帮助学生学习和理解教材内容。

本次修订使用了原版中的许多图表和资料,对没有参加本次修订工作的原编委表示谢意。编写工作得到各参编院校的大力支持,沈阳药科大学李宁老师帮助整理附录,研究生江坤、卢姗等在统稿过程中协助文字校对等工作,在此一并致谢。

书中错误和不当之处,恳请读者批评指正。

编者

2007年5月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 分析化学及其作用	1
第二节 分析化学的方法分类	1
第三节 分析化学的发展	3
第四节 分析化学的学习方法	4
第二章 误差和分析数据的处理	5
第一节 误差及其产生的原因	5
一、系统误差及其产生原因	5
二、偶然误差及其产生原因	6
第二节 误差的表示方法	6
一、准确度和误差	6
二、精密度与偏差	7
三、准确度与精密度的关系	9
四、误差的传递	10
五、提高分析准确度的方法	11
第三节 有效数字及运算规则	13
一、有效数字的概念	13
二、有效数字的修约规则	14
三、有效数字的运算法则	14
第四节 实验数据的统计处理	15
一、偶然误差的正态分布	15
二、有限次测量值的偶然误差和 t 分布	17
三、平均值的精密度和置信区间	18
四、显著性检验	20
五、异常值的取舍	23
第五节 相关和回归简介	24
一、相关分析	24
二、回归分析	26
思考题和习题	27

第三章 重量分析法	29
第一节 沉淀重量法	29
一、沉淀形式和称量形式	29
二、沉淀形态与沉淀的形成	30
三、沉淀完全的程度及其影响因素	32
四、沉淀的纯净及其影响因素	36
五、沉淀的条件	38
六、沉淀的滤过与干燥	38
七、沉淀重量法的结果计算	39
第二节 挥发重量法	40
一、直接法	40
二、间接法	40
思考题和习题	41
第四章 滴定分析法概论	43
第一节 滴定分析法和滴定方式	43
一、滴定分析法及其有关术语	43
二、滴定分析法的特点及主要方法	43
三、滴定分析对化学反应的要求和滴定方式	44
第二节 标准溶液	45
一、标准溶液的浓度	45
二、标准溶液的配制与标定	46
第三节 滴定分析的计算	47
一、滴定分析中的化学计量关系	47
二、滴定分析计算实例	48
思考题和习题	51
第五章 酸碱滴定法	53
第一节 酸碱水溶液中的氢离子浓度	53
一、酸碱的质子理论	53
二、水溶液中酸碱的强度	54
三、酸碱溶液的氢离子浓度计算	55
第二节 酸碱指示剂	59
一、酸碱指示剂的变色原理和变色范围	59
二、影响指示剂变色范围的因素	61
三、混合指示剂	62
第三节 水溶液中的酸碱滴定	63
一、强酸强碱的滴定	63
二、一元弱酸(弱碱)的滴定	66

三、多元酸(碱)的滴定	69
四、滴定终点误差	71
五、酸碱标准溶液的配制和标定	73
第四节 非水溶液中的酸碱滴定法	74
一、溶剂的分类和性质	74
二、非水溶液中的酸碱滴定	79
第五节 应用与示例	81
一、水溶液中酸碱滴定应用实例	81
二、非水酸碱滴定应用实例	83
思考题和习题	84
第六章 沉淀滴定法	88
第一节 银量法	88
一、滴定曲线	88
二、指示终点的方法	90
第二节 应用与示例	94
一、标准溶液的配制与标定	94
二、应用实例	94
思考题和习题	95
第七章 配位滴定法	97
第一节 配位平衡	97
一、乙二胺四乙酸及其配合物	97
二、配合物的稳定常数	99
三、配位反应的副反应和副反应系数	101
四、配合物的条件稳定常数	104
第二节 配位滴定	105
一、配位滴定曲线	105
二、滴定条件的选择	107
三、金属指示剂	109
第三节 应用与示例	112
一、标准溶液的配制与标定	112
二、配位滴定的方式及其应用	113
三、应用实例	114
思考题和习题	115
第八章 氧化还原滴定法	117
第一节 氧化还原反应	117
一、电极电位	117

119	二、氧化还原反应进行的方向	119
120	三、氧化还原反应进行的程度	120
121	四、氧化还原反应的速度及其影响因素	121
122	第二节 氧化还原滴定	122
122	一、滴定曲线	122
125	二、指示剂	125
126	第三节 碘量法	126
126	一、碘量法基本原理	126
128	二、指示剂和标准溶液	128
129	三、应用实例	129
131	第四节 高锰酸钾法	131
131	一、高锰酸钾法基本原理	131
131	二、标准溶液的配制和标定	131
132	三、应用实例	132
132	第五节 亚硝酸钠法	132
132	一、亚硝酸钠法的基本原理	132
133	二、指示剂	133
134	三、标准溶液的配制与标定	134
134	四、应用实例	134
135	第六节 其他氧化还原滴定法	135
135	一、硫酸铈法	135
135	二、重铬酸钾法	135
136	三、溴酸钾法和溴量法	136
136	思考题和习题	136
138	第九章 电位法和永停滴定法	138
138	第一节 电位法的基本原理	138
138	一、化学电池	138
139	二、指示电极和参比电极	139
141	第二节 直接电位法	141
141	一、溶液 pH 的测定	141
146	二、其他离子浓度的测定	146
148	第三节 电位滴定法	148
148	一、确定电位滴定终点的方法	148
150	二、应用与示例	150
151	第四节 永停滴定法	151
151	一、基本原理	151
152	二、应用与示例	152
153	思考题和习题	153

第十章 紫外-可见分光光度法	154
第一节 电磁辐射与电磁波谱	154
一、电磁辐射	154
二、光谱分析法	154
第二节 紫外-可见分光光度法的基本原理	156
一、紫外-可见吸收光谱的基本概念	156
二、朗伯-比尔定律	160
三、影响比尔定律的因素	162
四、吸光系数和吸光度的测量	165
第三节 紫外-可见分光光度计	166
一、主要部件	166
二、分光光度计的类型	168
三、分光光度计的光学性能及校正	170
第四节 定性和定量分析方法	171
一、定性鉴别	171
二、纯度检测	172
三、比色法	173
四、单组分定量方法	175
五、多组分定量方法	178
六、紫外光谱在有机化合物结构研究中的应用	180
思考题和习题	181
第十一章 分子荧光分析法	183
第一节 荧光分析法的基本原理	183
一、荧光的发生过程	183
二、荧光的激发光谱和发射光谱	185
三、荧光与分子结构的关系	187
第二节 荧光分光光度计和荧光分析方法	191
一、荧光分光光度计	191
二、荧光定量分析方法	192
三、其他荧光分析技术简介	194
思考题和习题	194
第十二章 原子吸收分光光度法	196
第一节 原子吸收分光光度法的基本原理	196
一、原子吸收线	196
二、原子吸收线的轮廓和变宽	197
三、原子吸收值与原子浓度的关系	199

第二节 原子吸收分光光度计	200
一、主要部件	200
二、原子吸收分光光度计类型	203
第三节 实验分析方法	204
一、试样处理和测定条件选择	204
二、干扰及其抑制	206
三、定量分析方法	207
思考题和习题	208
第十三章 红外吸收光谱法	210
第一节 红外吸收光谱法的基本原理	210
一、红外光与红外吸收光谱	210
二、分子振动能级和振动频率	211
三、振动形式	212
四、红外吸收光谱的产生	213
五、吸收峰的位置	216
第二节 傅立叶变换红外光谱仪	220
一、工作原理及主要部件	220
二、仪器性能	221
三、傅立叶变换红外光谱仪的特点	221
第三节 几类有机化合物的典型光谱	222
一、脂肪烃类	222
二、芳香烃类	223
三、醇、酚和醚类	225
四、羰基化合物	226
五、含氮有机化合物	228
第四节 红外吸收光谱分析方法	229
一、样品制备	229
二、红外光谱的解析方法	230
三、红外谱图解析示例	232
思考题和习题	234
第十四章 核磁共振波谱法	236
第一节 核磁共振波谱法的基本原理	236
一、核磁共振波谱仪及其工作原理	236
二、原子核的自旋和自旋能级分裂	238
三、原子核的共振吸收	239
第二节 核磁共振氢谱与化学结构的关系	240
一、化学位移与氢核的化学环境	240

二、峰面积积分与氢分布	244
三、自旋分裂与核间关系	245
第三节 核磁共振氢谱解析示例	247
思考题和习题	249
第十五章 质谱法	252
第一节 质谱法的基本原理	252
一、质谱的形成过程和原理	252
二、质谱仪及其工作原理	253
第二节 质谱中的主要离子类型	256
一、分子离子和碎片离子	256
二、亚稳离子	257
三、同位素离子	258
第三节 有机化合物的质谱分析	259
一、分子离子峰与相对分子质量	260
二、几类有机化合物的质谱	260
思考题和习题	265
第十六章 经典液相色谱法	266
第一节 色谱法	266
一、色谱法的分类	266
二、色谱法的基本原理	267
第二节 经典液相柱色谱法	269
一、液固吸附柱色谱法	269
二、液液分配柱色谱法	272
三、离子交换柱色谱法	273
四、分子排阻色谱法	274
第三节 薄层色谱法	275
一、薄层色谱法基本原理	276
二、吸附薄层色谱常用固定相	276
三、吸附薄层色谱展开剂及其选择	276
四、薄层色谱实验方法	277
五、定性和定量分析	279
六、应用与示例	281
第四节 纸色谱法	282
一、基本原理	282
二、影响纸色谱 R_f 值的因素	282
三、实验方法	283
思考题和习题	284

第十七章 现代色谱基本理论	286
第一节 色谱基本概念	286
一、色谱图及其有关概念	286
二、分配系数和保留因子	288
三、分离度和分离方程	289
第二节 色谱的塔板理论	290
一、塔板模型的分离过程	290
二、色谱流出曲线方程式	292
三、理论塔板数和理论塔板高度	292
第三节 色谱的速率理论	293
一、速率理论方程	293
二、流动相线速度对柱效的影响	293
三、影响柱效的动力学因素	294
思考题和习题	295
第十八章 气相色谱法	298
第一节 气相色谱法的原理和一般流程	298
一、气相色谱法的原理和分类	298
二、气相色谱法的仪器和一般流程	298
第二节 气相色谱柱	300
一、气液分配色谱填充柱	300
二、气固色谱填充柱	303
三、毛细管色谱柱	303
第三节 气相色谱检测器	304
一、常用检测器	304
二、检测器的性能指标	308
第四节 定性和定量分析	308
一、气相色谱分离条件的选择	308
二、色谱系统适用性	311
三、定性分析方法	311
四、定量分析方法	312
思考题和习题	315
第十九章 高效液相色谱法	318
第一节 高效液相色谱法的基本原理	318
第二节 固定相和流动相	320
一、液固吸附色谱的固定相和流动相	321
二、化学键合相色谱的固定相和流动相	322

三、对固定相和流动相的一般要求	325
第三节 高效液相色谱仪	325
一、输液泵	326
二、进样器	327
三、色谱柱	327
四、检测器	328
五、液相色谱-质谱联用技术简介	329
第四节 高效液相色谱法的实验条件和应用	330
一、高效液相色谱法的速率理论和实验条件	330
二、分离方法的选择	331
三、应用与示例	331
第六节 毛细管电泳法简介	333
一、毛细管电泳的基本装置	333
二、毛细管电泳的基本原理	333
思考题和习题	335
附录	338
附表 1 常用化合物的相对分子质量表	338
附表 2 元素的相对原子质量(2005)	339
附表 3 难溶化合物的溶度积常数(25℃, $I=0$)	341
附表 4 酸、碱在水中的离解常数	344
附表 5-1 常见配合物的稳定常数	348
附表 5-2 一些金属离子的 $\lg\alpha_{M(OH)}$ 值	350
附表 6 标准电极电位(25℃)	350
附表 7 一些氧化还原电对的条件电位 φ^{\ominus} (V)	353
附表 8 标准缓冲溶液的 pH(0~50℃)	354
附表 9 主要基团的红外特征吸收峰	354
附表 10 常用显色剂及配制方法	360
附表 11 相对重量校正因子	361