

中等职业学校规划教材

获中国石油和化学工业优秀教材奖

分析化学

第三版

► 姜洪文 主编



化学工业出版社

全书共十三章,内容包括绪论,定性分析概论,分析基本操作,实验室管理、安全与标准化,定量分析概论,酸碱滴定法,配位滴定法,沉淀滴定法,氧化还原滴定法,称量分析法,定量化学分析中常用的分离方法,试样分析的一般步骤和仪器分析基础。书末附有常用的数据表。

本次修订保持了第二版突出实用性的特点,同时结合职业资格考试及化学检验工技能大赛所需的知识内容,对实验室管理、安全与标准化作了较系统的论述,并增加了仪器分析基础内容。

本书内容深入浅出,具体实用,淡化理论,注重实践,并配有《分析化学实验》和《分析化学例题与习题》,系中等专业学校工业分析与检验专业教材,也可作为有关专业分析人员中级化学检验工职业资格考试及从事检验分析的技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

分析化学/姜洪文主编. —3版. —北京:化学工业出版社, 2009.7
中等职业学校规划教材
ISBN 978-7-122-05666-5

I. 分… II. 姜… III. 分析化学-专业学校-教材
IV. O65

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第077257号

责任编辑:陈有华 李姿娇 装帧设计:于兵
责任校对:吴静

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:北京市兴顺印刷厂
850mm×1168mm 1/32 印张14¼ 字数392千字
2009年7月北京第3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:23.00元

版权所有 违者必究

前 言

《分析化学》作为中等职业学校工业分析与检验专业的教材，以其简明、实用而受到职业院校师生和企业分析检验工作技术人员认可。至今，该教材已经印刷了 13 次，总发行量达到 10 余万册。笔者十分感激广大读者对本书的选择和厚爱。为了满足新形势下职业教育培养技能型人才的需求，对本教材进行第三次修订。

本书第三版保持了第二版的基本结构和编写特色，主要从以下三个方面进行了修改和补充。

1. 突显实验室在实验、实训和实习环节中的重要作用，将原第三章分析基本操作与安全常识的第四节实验室安全常识内容修改为第四章实验室管理、安全与标准化。在内容上做了较大的改动，并增加标准与标准化等基础知识。

2. 考虑到化工产品试样采取的特殊性，将第十二章试样分析的一般步骤中的第一节“分析试样的制备”修改为“试样的采取与固体试样的制备”，并补充液体试样采取方法和气体试样采取方法内容。

3. 结合职业资格考试及化学检验工技能大赛所需的知识内容，编入了第十三章仪器分析基础，以满足学生考级、参赛的需要。

这次教材的修订，承蒙化学工业出版社和吉林工业职业技术学院工业分析与检验专业同仁的鼎力支持，在此表示诚挚的谢意。对于书中可能存在的不妥之处，欢迎读者给予指正。

编 者

2009 年 4 月

第一版前言

本书是根据 1991 年 1 月全国化工中等专业学校工业分析编委会重新修订的工业分析专业《分析化学》(二、四年制)教学大纲编写的。

本书包括定性分析、定量分析和化学分离法三部分。定性分析主要阐述离子的性质、鉴定反应和分离条件。酸碱滴定法以质子理论为基础,对学习配位滴定、沉淀滴定、氧化还原滴定及称量分析等起一定指导作用。化学分离法是分析操作的重要环节之一,本书除阐述了基本原理外,还强化了技术要点,以满足实践的需要。

为拓宽学生的知识面并提高技能,适当引入一些新的方法和技术。如定性分析中灵敏度较高的新方法的运用、佛尔哈德法中邻苯二甲酸酯类试剂的应用、三元配合物的应用等。本书注重理论与实践的结合,也注意了内容精简适用,通俗易懂。

书中小字体编排的内容为选修或供学生自学。每章后均有较多的思考题和习题,以供选用。本书配有《分析化学实验》,另册出版。

按有关规定,全书采用法定计量单位,以物质的量为计算基础。

本书由吉林化工学校姜洪文担任主编,并编写了第一~五、九、十一、十二章,武汉化工学校黄晓云负责编写第六~八、十章。初稿由北京化工学校邢文卫、湖南化工学校谭湘成、徐州化工学校顾明华、北京市化工学校刘训媛、武汉化工学校李桂珍及扬州化工学校穆华容与编者共同审定,修改后,由北京化工学校邢文卫负责主审。在此一并致谢。

由于编者水平所限,编写时间仓促,书中疏漏和欠妥之处在所难免,尚祈读者批评指正。

编 者

1994 年 1 月

第二版前言

本书第一版自 1994 年出版以来，赢得了广大同仁和学生的认可。在教育改革、经济迅速发展的今天，为适应 21 世纪中等职业教育的要求，在征求专家意见的基础上，结合近些年的教学改革实践体会，对本书第一版进行了修订。本次修订除保持第一版的特色外，还补充、调整了部分章节。调整更新的主要内容如下。

1. 本书调整了章节，由第一版的十二章调整为十一章，即第一版的第二章、第三章和第四章合并为定性分析概论，并在内容上作了适当的调整和精简。保留了“酸碱滴定法”、“配位滴定法”、“沉淀滴定法”、“氧化还原滴定法”和“称量分析法”，原“常用化学分离法”改名为“定量化学分析中常用的分离方法”，并补充了“蒸馏与挥发分离法”。

2. 增设了“分析基本操作与安全常识”一章。分析基本操作与安全常识是从事分析专业工作人员必备的基础知识和安全知识，它包括分析天平的使用、滴定分析基本操作、称量分析基本操作和实验室安全常识等内容。

3. 增设了“试样分析的一般步骤”一章。在学完滴定分析法、称量分析法及定量化学分析中常用的分离方法之后，为了将所学的知识与实践结合起来，对实际样品分析过程应该有一个全面的了解，从而弥补了实验中纯样品试验的不足，使学到的知识更贴近实际，同时在对分析方法的选择上有一定程度的了解和掌握。

4. 删除了部分对掌握滴定分析法影响不大的理论内容，如“酸碱滴定法”一章中的活度、酸碱平衡中有关浓度的计算；“氧化还原滴定法”中的电极电位，氧化还原反应的方向、次序、进行的程度和氧化还原反应的速率及其影响因素等内容，补充了应用实例，在内容上更具有实用性和可操作性。

5. 在“定性分析概论”一章中，保留了硫化氢分组方案体系，

但沉淀剂硫化氢可用硫代乙酰胺代替。在离子鉴定方法中，删除了部分现象不明显的鉴定方法，使得鉴定反应更趋于合理、现象清楚。

第二版修订工作由姜洪文负责。在修订过程中得到了化学工业出版社和吉林工业职业技术学院领导及同行们的大力支持，吉林工业职业技术学院李刚老师为本书的编写做了大量工作，在此向所有关心、支持本书的朋友们表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，本次修订仍难免存在疏漏之处，欢迎专家和读者批评指正。

编 者

2005 年 2 月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 分析化学的任务和作用	1
一、分析化学的任务	1
二、分析化学的作用	1
第二节 分析方法的分类	2
一、按分析对象的化学属性分类	2
二、按试样用量分类	2
三、按待测组分的质量分数分类	2
四、按测定原理及操作方法分类	3
第三节 分析化学的发展趋势	3
第四节 学习方法和要求	4
思考题与习题	5
第二章 定性分析概论	6
第一节 定性分析的方法	6
一、按分析时样品状态的不同分类	6
二、按操作方式的不同分类	6
第二节 鉴定反应的特征和反应进行的条件	7
一、鉴定反应的特征	7
二、鉴定反应进行的条件	8
第三节 反应的灵敏度和选择性	9
一、反应的灵敏度	10
二、反应的选择性	11
第四节 空白试验和对照试验	12
一、空白试验	12
二、对照试验	12
第五节 阳离子分析	13
一、系统分析和分别分析	13
二、阳离子分组方案	14

三、阳离子分析	16
第六节 阴离子及一般物质分析	49
一、阴离子分析	49
二、一般物质的分析	58
思考题与习题	66
第三章 分析基本操作	71
第一节 分析天平的使用	71
一、天平的分类、性能和选用	71
二、双盘天平	73
三、单盘精密天平	81
四、电子天平	85
五、试样的称量方法及称量的准确度	87
第二节 滴定分析基本操作	90
一、滴定管	90
二、移液管和吸量管	96
三、容量瓶	98
四、容量仪器的校正	101
第三节 称量分析基本操作	104
一、试样的溶解	104
二、沉淀	104
三、过滤和洗涤	104
四、干燥和灼烧	109
思考题与习题	112
第四章 实验室管理、安全与标准化	113
第一节 实验室管理	113
一、实验室的功能	113
二、实验室的分类	114
三、实验室管理	115
第二节 实验室安全与防护	118
一、实验室潜藏的危险因素	118
二、实验室的防火、防爆与灭火	120
三、常见化学毒物的中毒和急救方法	124
四、实验室废弃物的处理	127
五、实验室常用电气设备及安全用电	129

六、气瓶的安全使用	134
七、实验室外伤的救治	140
第三节 标准与标准化	142
一、标准	142
二、标准化	145
思考题与习题	148
第五章 定量分析概论	149
第一节 滴定分析法概述	149
一、滴定分析法的特点	149
二、滴定分析法对化学反应的要求	150
三、滴定分析法的分类	150
四、滴定的主要方式	151
第二节 误差与偏差	152
一、误差的分类及产生原因	152
二、误差表示方法	154
三、提高分析结果准确度的方法	158
第三节 标准溶液	159
一、标准溶液的配制	159
二、标准溶液的浓度	161
三、滴定分析的误差	162
第四节 滴定分析中的计算	164
一、计算原则	164
二、计算示例	164
第五节 分析数据的处理	170
一、有效数字和运算规则	170
二、分析结果的数据处理	173
三、计算示例	176
思考题与习题	178
第六章 酸碱滴定法	183
第一节 方法简介	183
第二节 酸碱缓冲溶液	184
一、酸碱缓冲溶液及其组成	184
二、缓冲作用的原理及 pH 的计算	184
三、缓冲容量和缓冲范围	187

四、缓冲溶液的选择和配制	188
第三节 酸碱指示剂	190
一、酸碱指示剂的作用原理	190
二、指示剂的变色范围	191
三、影响指示剂变色范围的因素	193
四、混合指示剂	195
第四节 酸碱滴定曲线及指示剂的选择	196
一、强碱滴定强酸	197
二、强碱滴定弱酸	199
三、多元酸、混合酸和多元碱的滴定	203
第五节 酸碱标准溶液的配制和标定	206
一、NaOH 标准溶液的配制和标定	206
二、HCl 标准溶液的配制和标定	207
第六节 酸碱滴定法的应用及计算示例	208
一、酸碱滴定法的应用	208
二、酸碱滴定法计算示例	209
第七节 非水溶液中的酸碱滴定	211
一、溶剂的拉平效应和区分效应	212
二、溶剂的种类及其选择	213
三、标准溶液和化学计量点的检测	215
四、非水溶液中酸碱滴定的应用	216
思考题与习题	217
第七章 配位滴定法	219
第一节 方法简介	219
第二节 EDTA 及其配合物	221
一、EDTA 的结构及性质	221
二、EDTA 与金属离子的配位特点	222
第三节 配合物在水溶液中的离解平衡	223
一、配合物的稳定常数	223
二、影响配位平衡的主要因素和条件稳定常数	226
第四节 配位滴定的基本原理	229
一、滴定曲线	229
二、影响滴定突跃大小的主要因素	231
三、配位滴定的最高允许酸度和酸效应曲线	232

第五节 金属指示剂	234
一、金属指示剂的作用原理	234
二、金属指示剂应具备的条件	235
三、金属指示剂的理论变色点与使用中存在的问题	235
四、常用金属指示剂	237
第六节 提高配位滴定选择性的方法	239
一、控制溶液的酸度	239
二、使用掩蔽剂	240
三、利用化学分离	242
四、选用其他配位剂滴定	243
第七节 配位滴定的方式和计算示例	243
一、配位滴定方式	243
二、配位滴定法的计算	246
思考题与习题	248
第八章 沉淀滴定法	250
第一节 方法简介	250
第二节 莫尔法——铬酸钾指示剂法	251
一、原理	251
二、滴定条件及应用范围	251
第三节 佛尔哈德法——铁铵矾指示剂法	253
一、原理	253
二、反应条件及应用范围	254
第四节 法扬司法——吸附指示剂法	256
一、原理	256
二、反应条件及应用范围	256
第五节 沉淀滴定的应用及计算示例	258
一、应用实例	258
二、计算示例	260
思考题与习题	262
第九章 氧化还原滴定法	264
第一节 方法简介	264
一、氧化还原滴定法的特点	264
二、氧化还原滴定法的分类及应用范围	265
第二节 氧化还原滴定曲线及指示剂	265

一、氧化还原滴定曲线	265
二、氧化还原滴定中的指示剂	269
第三节 高锰酸钾法	271
一、概述	271
二、标准溶液	271
三、高锰酸钾法应用实例	273
第四节 重铬酸钾法	275
一、概述	275
二、标准溶液	276
三、重铬酸钾法应用实例	276
第五节 碘量法	278
一、概述	278
二、反应及滴定条件	280
三、标准溶液	281
四、碘量法应用实例	283
第六节 其他氧化还原滴定法	284
一、溴酸钾法	284
二、铈量法	286
第七节 氧化还原滴定的计算	287
思考题与习题	290
第十章 称量分析法	293
第一节 方法简介	293
一、称量分析法的特点及分类	293
二、试样称取量的估算	294
三、称量分析对沉淀的要求	295
第二节 影响沉淀完全的因素	296
一、同离子效应	297
二、盐效应	297
三、酸效应	298
四、配位效应	299
五、其他影响因素	300
第三节 影响沉淀纯度的因素	300
一、沉淀类型	301
二、沉淀的形成过程	302

三、沉淀的纯度	304
第四节 沉淀的条件	307
一、晶形沉淀的沉淀条件	307
二、无定形沉淀的沉淀条件	308
三、均匀沉淀法	309
四、沉淀剂的选择	310
第五节 称量分析结果的计算	311
一、换算因数	311
二、计算示例	312
思考题与习题	314
第十一章 定量化学分析中常用的分离方法	316
第一节 方法简介	316
一、定量分离的任务	316
二、分离方法的分类	316
三、回收率	317
第二节 沉淀分离法	318
一、常量组分的分离	318
二、微量组分的分离	322
第三节 溶剂萃取分离法	324
一、溶剂萃取分离的基本原理	324
二、萃取体系和萃取剂	328
三、萃取溶剂的选择和萃取分离的应用	329
第四节 离子交换分离法	330
一、离子交换树脂的种类	331
二、离子交换树脂的结构和性质	332
三、离子交换分离操作和应用	335
第五节 色谱分离法	337
一、柱色谱法	337
二、纸色谱法	339
三、薄层色谱法	341
第六节 蒸馏与挥发分离法	345
思考题与习题	346
第十二章 试样分析的一般步骤	348
第一节 试样的采取与固体试样的制备	348

一、采样原则	348
二、液体试样的采取	349
三、气体试样的采取	350
四、固体试样的采取	351
五、固体试样的制备	352
第二节 分析方法的选择	355
一、分析方法选择的必要性	355
二、分析方法选择的基本原则	355
思考题与习题	357
第十三章 仪器分析基础	358
第一节 电化学分析	358
一、电化学分析法简介	358
二、电位分析法	360
三、电导分析法	368
第二节 分光光度分析	373
一、分光光度分析法简介	373
二、吸收曲线	373
三、光吸收定律	376
四、显色与测量条件的选择	378
五、分光光度计	382
六、定量方法	386
第三节 气相色谱分析	390
一、气相色谱法简介	390
二、气相色谱基本理论	397
三、气相色谱分析操作条件的选择	401
四、定性和定量方法	406
思考题与习题	412
附录	414
附录一 弱酸和弱碱的离解常数 (25℃)	414
附录二 金属离子与氨羧配位剂配合物的形成常数 (18~25℃, $I=0.1$)	416
附录三 常用的缓冲溶液	417
附录四 常用酸碱溶液的相对密度和浓度	419
附录五 常用标准溶液保存期限	419

附录六	在 $t^{\circ}\text{C}$ 时不同浓度溶液的体积校正值 (1000mL 溶液 由 $t^{\circ}\text{C}$ 换算为 20°C 时的校正值/mL)	420
附录七	氧化还原电对的标准电位及条件电位	421
附录八	难溶化合物的溶度积 ($18\sim 25^{\circ}\text{C}$)	424
附录九	常见化合物的摩尔质量	426
附录十	相对原子质量表	429
附录十一	物质在热导检测器上的相对响应值和相对校正因子	431
附录十二	物质在氢火焰检测器上的相对质量响应值和相对质量 校正因子	434
参考文献		437

第一章 绪 论

【学习指南】

通过本章学习，应了解分析化学的任务和作用，掌握分析方法的分类，明确定性分析和定量分析在实际工作中的作用，了解分析化学发展的动向。

第一节 分析化学的任务和作用

一、分析化学的任务

分析化学是人们获得物质化学组成和结构信息的科学。分析化学的任务包括定性分析、定量分析和结构分析三个部分。定性分析是鉴定物质的化学组成，如物质是由哪些元素、离子、原子团、官能团或化合物组成的，即“解决物质是什么的问题”；定量分析是测定物质中各组分的相对含量，即“解决物质是多少的问题”；结构分析是确定物质的化学结构，如分子结构、晶体结构等。

二、分析化学的作用

分析化学是化学学科的一个重要分支。化学学科的每一个分支，如无机化学、有机化学、物理化学及高分子化学等，都需要运用各种分析手段解决科学研究中的问题。例如，原子、分子学说的创立，相对原子质量的测定和化学基本定律的建立等，都离不开分析化学。在其他学科领域如环境化学、矿物学、医药学、生物学、地质学、海洋学、天文学、农业科学、考古学、食品学等的科学研究中，分析化学作为一种检测手段，为这些学科的发展提供了重要的第一手资料。

在国民经济建设中，分析化学具有更重要的实际意义。例如，在工农业生产方面，工业原料的选择、生产过程的控制及管理、成

品质量检验、新产品的开发和研制、“三废”（废液、废渣、废气）的综合利用、资源勘探、土壤普查、灌溉用水水质的化验、农作物营养诊断、农药残留量的分析以及新品种培育和遗传工程等的研究，都是以分析结果作为判断的重要依据的。在环境保护方面，为了探讨与人类生存和发展密切相关的环境变化规律和制定环保措施，对大气、水质变化的监测，生态平衡的研究，以及评价和治理工农业生产对环境产生的污染等，都需要进行大量的分析检测工作。在医药卫生、国防等方面，临床诊断和药剂规格的检验、武器装备的研制和生产，以及国家安全部门的侦破工作等，都离不开分析检验。由此可见，分析化学的应用范围几乎涉及国民经济、国防建设、资源开发及人类的衣食住行等各个方面。所以，分析化学有工农业生产的“眼睛”、科学研究的“参谋”之称，它是实现我国工业、农业、国防和科学技术现代化的重要手段和工具。

第二节 分析方法的分类

分析化学的内容十分丰富，除按任务分为定性分析、定量分析和结构分析外，还可以根据分析对象的化学属性、试样用量、待测组分的质量分数、测定原理及操作方法等进行分类。

一、按分析对象的化学属性分类

分为无机分析，主要是无机物的定性、定量分析；有机分析，主要是有机物的官能团鉴定，组成元素的定性、定量和结构分析。

二、按试样用量分类

分为常量分析，试样量和试液体积分别在 0.1g 和 10mL 以上；半微量分析，试样量和试液体积分别在 0.01~0.1g 和 1~10mL 之间；微量分析，试样量和试液体积分别在 0.001~0.01g 和 0.01~1mL 之间。

三、按待测组分的质量分数分类

分为常量组分分析，质量分数在 1% 以上；微量组分分析，质量分数在 0.01%~1% 之间；痕量组分分析，质量分数在 0.01%