

Chemical Industry Press

中等职业学校规划教材

分析化学

第二版

邢文卫 陈艾霞 编



化学工业出版社

中等职业学校规划教材

分析化学

第二版

邢文卫 陈艾霞 编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书是在 1997 年版《分析化学》的基础上,为适应 21 世纪中等职业教育的需求,结合作者多年的教学经验编写的第二版教材。全书采用国家法定计量单位,并以“等物质的量”原则作为滴定分析计算基础。

全书共分八章,包括绪论、误差和分析数据处理、滴定分析、酸碱滴定法、配位滴定法、氧化还原滴定法、沉淀滴定法、称量分析法。每章有学习目标、小结、习题及为拓展学生知识面安排有阅读材料,并有配套《分析化学实验》教材。

本教材符合中等职业教育的特点,理论以够用为度,内容简明扼要,通俗易懂,实践性强。

本书是中等职业学校工业分析与检验专业的必修课教材,可作为相关高等职业学校、其它中等职业学校、技工学校有关专业的教学用书或参考书,还可作为职业培训考证教材,也可作为厂矿企业分析化验人员及技术管理人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

分析化学/邢文卫,陈艾霞编. —2 版. —北京:
化学工业出版社, 2006. 12
中等职业学校规划教材
ISBN 978-7-5025-9761-0

I. 分… II. ①邢…②陈… 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 (2006) 第 150938 号

责任编辑: 陈有华 蔡洪伟
责任校对: 李 林

文字编辑: 旷英姿
装帧设计: 于 兵

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 8¼ 字数 211 千字
2007 年 2 月北京第 2 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: 15.00 元

版权所有 违者必究

前 言

根据“全国中等职业教育化工类专业教材建设会议”的有关精神，在认真研讨化工类职业教育发展要求和适用对象的基础上，提出教材应体现以应用为目的；以必需、够用为度；以讲清概念、强化应用为重点；体现教材的好讲、好学的原则；突出以能力为本位的思想，加强实践教学环节的训练；教材内容力图体现思想性、科学性、先进性、适用性、创造性。《分析化学》作为工业分析专业基础课教材，出版已近十年，受到各校师生和广大读者的青睐。为了更好地适应中等职业学校培养高素质的劳动者和中初级专门人才的需要，从学科本位向着就业岗位和就业本位转变，笔者在1997年版的基础上进行了修订，以体现在新的形势下，更好地与教学相结合，与教育目标相适应。本教材既可作为化工中等职业学校工业分析专业教学用书，也可作为初中以上文化水平从事分析检验工作人员考分析工等级证书的自学和培训教材。

第二版《分析化学》与1997年版相比，具有以下特点：

1. 保留原教材的基本内容框架，吸取了原教材的精华。删去了化学分离法一章，习题部分做了大幅度增减。
2. 在知识内容上，体现需要为准，够用为度，实用为先。精简了内容，降低了难度。对理论知识中公式推导、滴定曲线的计算、分布系数、副反应系数、活度、条件电极电位等偏深的内容进行了大量的删减，力求简明扼要、深入浅出，通俗易懂；强化了实用性部分，如酸、碱、盐、缓冲溶液的pH计算等。
3. 力求实用，简单、易学。
4. 便于教学，注重启发性。努力贯彻以人为本、能力本位、自主学习、培养创新精神的教育理念。
5. 本书各章编有“学习目标”，引导学生有目的、有重点地进

入新知识的学习；章末有“本章小结”，简要地指出重点、难点问题及规律性的结论；“习题”部分便于学生消化理解，融会贯通所学知识，为了配合分析中级工的考证，书中习题以选择题、判断题为主；章末还有“阅读材料”，可拓展学生知识面。

本教材由江西省化学工业学校陈斌主审。在编写过程中得到化学工业出版社和江西省化学工业学校单位领导和老师们的大力支持，文字和图表的录入得到徐俊艳、郑菁的倾力相助，在此深表谢忱。

限于本人水平，书中难免还有疏漏和欠妥之处，恳请同行与读者批评指正，不胜感激！

编 者

2006 年 11 月

第一版前言

本书是根据化学工业部人教司 1995 年 12 月颁布的《分析化学教学大纲》编写的，适用于初中毕业四年制及高中毕业二年制工业分析专业教学用书。

本书内容以该大纲为准则，力图保证基础，精选教材内容，并注意学科发展新技术的运用。关于本书内容，作如下几点说明。

一、贯彻国家法定计量单位的有关规定。本书以分子、离子的某种特定组合为基本单元，表示物质的量浓度和进行滴定分析的有关计算。

二、有些分析术语与化工部化学试剂标准化技术归口单位及化学试剂质量监测中心所编《化学试剂标准大全》（1995 年版）取得一致。例如，滴定分析用标准溶液称为“标准滴定溶液”；以标准滴定溶液标定另一溶液称为“比较”等。

三、为适合中专学生特点，有些内容如分布系数，配位平衡中各种存在形式浓度的计算，称量分析中盐效应、酸效应、配位效应的计算等均不作“量”的讨论，只进行定性说明。

四、为精简内容，避免与《分析化学实验》教材的重复，将有关内容如分析天平、滴定分析与称量分析的仪器及使用等归入《分析化学实验》教材，与本书配套使用。

五、分析化学是一门实践性很强的学科，本书力求理论与实际相结合，在应用方面注意与国家标准靠拢。

六、本书各章编写有“本章小结”，明确学习重点和必须掌握的基本内容，以利于复习巩固所学知识。在思考题和习题方面，注意引导学生思考，培养他们在掌握基本理论和基本知识的基础上提高综合运用能力和分析问题解决问题的能力。思考题和习题较多，可供选择。

本书在编写过程中，得到北京化工学校王芝、北京市化工学校袁琨的关心和帮助，在此表示衷心感谢。

限于编者业务水平，本书还有疏漏和欠妥之处，欢迎读者批评指正。

编 者

1997 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
一、分析化学的任务	1
二、分析化学的作用	1
三、分析化学的发展趋势	4
第二节 分析方法的分类和步骤	6
一、分析方法的分类	6
二、分析化学的步骤	9
第三节 学习的内容和基本要求	10
一、学习内容	10
二、基本要求	11
三、教材特点	11
四、学习方法	11
本章小结	13
习题	13
第二章 定量分析中的误差及结果处理	15
第一节 定量分析中的误差	15
一、定量分析的结果评价	15
二、定量分析中的误差来源	20
三、定量分析中误差的减免	21
第二节 有效数字及其运算规则	24
一、有效数字	25
二、有效数字修约规则	25

三、有效数字运算规则	26
第三节 分析结果的处理	27
一、原始数据的处理	27
二、一般分析结果的处理	28
三、可疑数据的取舍	28
* 四、平均值的置信区间	30
阅读材料 分析测试的质量控制与保证	32
本章小结	33
习题	34
第三章 滴定分析法	40
第一节 滴定分析概述	40
一、滴定分析中的基本术语	40
二、滴定分析对化学反应的要求	41
三、滴定分析法的分类	41
四、滴定分析的方式	42
第二节 标准滴定溶液	43
一、基准物质	43
二、标准滴定溶液的浓度	45
三、标准溶液的配制	47
第三节 滴定分析中的计算	50
一、滴定分析计算的依据——等物质的量反应规则	50
二、计算示例	51
第四节 滴定分析中的误差	55
一、测量误差	55
二、滴定误差	56
三、浓度误差	57
阅读材料 GB/T 601—2002 对标准滴定溶液制备的一般规定 ...	57
本章小结	58
习题	61

第四章 酸碱滴定法	64
第一节 概述	64
一、酸的浓度和酸度	64
二、水溶液中氢离子浓度的计算	65
第二节 缓冲溶液	66
一、缓冲溶液作用原理	67
二、缓冲溶液的 pH 计算	67
* 三、缓冲容量和缓冲范围	69
四、缓冲溶液的选择和配制	69
第三节 酸碱指示剂	71
一、指示剂的作用原理	71
二、指示剂的变色范围	72
三、影响指示剂变色范围的因素	74
四、混合指示剂	76
第四节 酸碱滴定曲线及指示剂的选择	77
一、强酸强碱的滴定	78
* 二、强碱滴定一元弱酸	81
第五节 酸碱滴定法的应用	85
一、NaOH 标准滴定溶液的配制和标定	85
二、HCl 标准溶液的配制和标定	87
三、滴定方式和应用	89
四、计算示例	95
阅读材料一 酸碱理论的演变	97
阅读材料二 指示剂的发现	97
本章小结	99
习题	102
第五章 配位滴定法	107
第一节 概述	107

一、配位滴定法	107
二、氨羧配位剂	108
三、EDTA 及其配合物	108
第二节 配位平衡及影响因素	110
一、配合物的稳定常数	110
二、影响配位平衡的主要因素	111
三、表观稳定常数	113
第三节 提高配位滴定选择性的方法	115
一、选择滴定的条件——8、5、3 规则	115
二、消除干扰的方法	118
三、配位滴定的方式	122
第四节 金属离子指示剂	125
一、金属指示剂的变色原理	125
二、金属指示剂应具备的条件	126
* 三、指示剂的封闭、僵化及消除	127
四、常用金属指示剂	128
第五节 配位滴定法的应用	128
一、EDTA 标准滴定溶液的配制与标定	128
二、应用实例	129
三、计算示例	134
阅读材料 许伐辰巴赫与配位滴定	135
本章小结	136
习题	138
第六章 氧化还原滴定法	143
第一节 概述	143
第二节 氧化还原平衡	144
一、电极电位	144
二、判断氧化还原反应的方向和次序	147
三、判断氧化还原反应进行的程度	148

四、氧化还原反应的速率及影响因素	149
五、氧化还原滴定法终点的确定	151
第三节 常用的氧化还原滴定法	153
一、高锰酸钾 (KMnO_4) 法	153
二、重铬酸钾 ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) 法	157
三、碘量法	160
四、其他氧化还原滴定法	166
阅读材料一 科学家能斯特	168
阅读材料二 最早的氧化还原滴定法	169
本章小结	169
习题	171
第七章 沉淀滴定法	176
第一节 概述	176
第二节 银量法确定终点的方法	177
一、莫尔法 (K_2CrO_4 作指示剂)	177
二、佛尔哈德法 (铁铵矾作指示剂)	179
三、法扬司法 (吸附指示剂)	182
第三节 银量法的应用	184
一、标准滴定溶液的配制与标定	184
二、应用实例	185
三、计算示例	185
阅读材料一 诺贝尔化学奖拾趣	186
阅读材料二 2005 年诺贝尔化学奖成果解读	187
本章小结	188
习题	189
第八章 称量分析法	192
第一节 概述	192
一、称量分析法的特点和分类	192
二、称量分析对沉淀的要求	194

三、影响沉淀完全的因素	195
第二节 沉淀的纯净	200
一、影响沉淀纯净的因素	200
二、沉淀纯净的方法	201
第三节 沉淀的类型和沉淀的条件	202
一、沉淀的类型	202
二、沉淀的条件	203
第四节 沉淀的处理	205
一、沉淀的过滤和洗涤	205
二、沉淀的烘干和灼烧	207
第五节 应用实例	207
一、 $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 中结晶水含量的测定	207
二、氯化钡含量的测定	208
三、硫酸盐的测定	209
四、钾盐的测定	209
第六节 称量分析计算	210
一、换算因数（换算系数、化学因数）	210
二、计算示例	211
阅读材料 炼丹术与化学	211
本章小结	213
习题	215

附录

表一 弱酸、弱碱在水中的离解常数	219
表二 常用的酸和碱溶液的相对密度和浓度	221
表三 不同浓度溶液的体积校正	222
表四 常用的缓冲溶液	223
表五 羧酸配位剂类配合物的稳定常数 ($\lg K$)	226
表六 标准电极电位 ($18 \sim 25^\circ\text{C}$)	227
表七 条件电极电位	230
表八 难溶化合物的溶度积 ($18 \sim 25^\circ\text{C}$)	234

表九	化合物的相对分子质量	235
表十	元素的相对原子质量	239
表十一	分析常用基准物	240
表十二	分析中常用的标准溶液	241
表十三	不同 pH 下常见 EDTA 配合物的表观稳定常数 ($\lg K'_{MY}$)	242
参考文献		243

第一章 绪论

【学习目标】

1. 了解分析化学的任务、作用；
2. 了解分析化学的分类、步骤；
3. 明确分析化学的学习内容和基本要求。

第一节 分析化学的任务和作用

分析化学是研究物质组成、含量和结构的分析方法及有关理论的一门科学，是化学学科的一个重要的分支。分析化学是人们用来认识、解剖自然的重要手段之一，是化学中的信息科学。

一、分析化学的任务

分析化学包括定性分析和定量分析两大部分。定性分析是确定物质由哪些组分（元素、离子、官能团或化合物）所组成；定量分析是测定物质中有关组分的相对含量。在进行分析工作时，首先须确定被测物质的定性组成，然后根据试样组成选择适当的定量分析方法测定有关组分的含量。当分析试样的来源、主要成分及主要杂质都已知时，可不进行定性分析，而直接进行组分的定量分析。

二、分析化学的作用

分析化学作为一门基础学科，其核心知识已广泛应用于自然科学的方方面面，与其他学科相辅相成，构成了创造自然、改造自然的强大力量。分析检验是人们获得各种物质的化学组成和结构信息的必要手段，它就像人类的眼睛一样，人们用分析手段去观察物质世界的存在和变化，它渗透到化学的各个学科，并对环境科学、材料科学、生命科学、能源、医疗卫生等的发展具有十分重要的作用。分析化学具有极高的实用价值，可以毫不夸张地说，几乎任何

科学研究，只要涉及化学现象，分析检验就要作为一种手段而被运用到研究工作中去。

分析化学在国民经济的各个部门及各行各业的生产中都发挥着重要作用，所有工业生产中资源的勘探、原材料的选择、工艺流程的控制、成品的检验，新技术、新工艺、新方法的探索和推广以及新产品的开发研究都需要分析检验。

例如，从月球上取回一些岩石样品，想要了解月球和地球的岩石组成有何异同，从而推断月球和地球的形成过程有无联系。首先进行样品分析，了解它都含有哪些元素，以及各种元素的组成、含量，然后才能进行其他方面的研究和推证。

分析过程包括一个逻辑程序：①确定题目；②取得和溶解试样；③进行必要的分离；④做适当的测定；⑤报告结果。

在确定题目时，分析工作者会提出这样一些问题：需要获得什么数据？应采用何种灵敏度的方法？分析方法必须具备的准确和精密程度如何？可能出现什么干扰以及需要进行什么样的分离？要多长时间得到分析结果？必须处理多少试样？什么仪器是适用的？费用如何？等等。

我们知道，胰岛素是治疗糖尿病的常用药品，在人工合成胰岛素的研究中，首先就要了解：胰岛素是由哪些元素组成的？这些元素在胰岛素中的含量比是多少？这些元素都形成什么官能团？这些官能团在胰岛素分子中又是怎样结合排布的？只有了解到这些情况之后才能进行人工合成。1922年，加拿大的奔丁·麦克劳特发现了胰岛素，获得了1923年诺贝尔奖；1926年阿贝尔从天然物质中分离出结晶状态胰岛素；1955年确定其结构，由16种肽、51种氨基酸组成；1964年上海有机化学研究所首次人工合成了胰岛素。

公元前三世纪古代奥林匹克运动会上，运动员曾试图食用由蘑菇中提取的致幻觉物质来提高运动成绩。1960年罗马奥运会上，丹麦自行车运动员 Jenson 在 100km 自行车赛途中的猝死震惊了世人。在 Jenson 的尸体解剖中发现，他的血液和组织中含有大量的苯丙胺（安非他明）。20 世纪 60 年代由于运动中滥用药物直接或

间接致死的运动员多达 30 人。从此反兴奋剂的斗争揭开了序幕。1967 年以梅罗德亲王为首的国际奥委会医学委员会成立。在高科技和生物技术的迅速进步带动下,兴奋剂品种不断增多,国际奥委会的禁用药物目录已达 100 余种。这些禁药目前主要分成六大类。1988 年的汉城奥运会上,约翰逊以 9.79s 打破了尘封了很久的百米纪录,这被称之为外星人的速度。他已达到了人类速度的极限,只是掌声还没有停歇,鲜花还没有枯萎,他服用了类固醇的消息就打了世人一个响亮的嘴巴。

上述这一系列问题的解决都离不开分析化学。

在科学试验领域里,凡是研究具体物质变化规律的问题,都需借助分析化学的手段,了解该物质在特定条件下,新发生的质和量的变化。从而总结出有规律性的新发现,所以在自然科学领域,有关基础学科或应用学科的研究单位,都配备有一个相应水平的中心分析实验室,否则他们的工作进展就要受到牵制。

环境保护方面,对污染的监测,了解污染物在不同环境介质中的迁移转化规律,探讨环境容量、研究生态平衡、提高环境质量,以及评价和治理工农业生产对环境产生的污染等。

国防公安方面,武器装备的研制生产,犯罪活动的侦察破案;医药卫生方面药品检验、新药研究,配合诊断和治疗的化学化验,以及病理和药理的研究,毒品、兴奋剂的检测等,都直接应用分析化学的理论和技術。

农业生产中,土壤是最重要的生产资料,庄稼生产是从土壤里吸取各种养分,土壤能供给哪些营养元素?它们的含量是多少?这些营养元素都以什么形式存在?当各种自然条件改变时,以不同形式存在的营养元素,又是如何循环变化的?从了解到解决、施肥等措施,控制生物学小循环、生物固氮、磷肥钾肥、稀土微肥,从而达到提高农业生产目的,以及农产品质量检验,新品种培育等都是分析检验结果作为重要依据的。

工业生产,开发矿山,开采石油,矿石和原油的品位高低、品质的优劣,都要靠分析化验作出判断。工业原料的选择、工艺流程