

国家骨干高职院校建设项目成果

分析化学 综合教程

马惠莉 马振珠 主编



化学工业出版社

国家骨干高职院校建设项目成果

分析化学 综合教程

马惠莉 马振珠 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本教材为高职高专规划教材,也是国家骨干高职院校建设项目成果。

全书以任务驱动为导向,将相关理论知识与实训任务有机融合在一起,充分体现“理论、实践一体化”的教学教改理念。在内容编排上立足行业发展的需要以及相关技术领域及岗位的任职要求,融“教、学、做”为一体,以强化学生的综合职业素质的培养。

本教材可以作为高职高专院校材料工程类专业和工业分析专业、本科学校的职业技术学院、成人教育等相关专业的教材,也可作为企业分析化验岗位技术人员的培训教材以及分析化验技术人员的学习参考书。

图书在版编目(CIP)数据

分析化学综合教程/马惠莉,马振珠主编. —北京:
化学工业出版社, 2011.7
国家骨干高职院校建设项目成果
ISBN 978-7-122-11776-2

I. 分… II. ①马… ②马… III. 分析化学-高等职业
教育-教材 IV. 065

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 133419 号

责任编辑: 李晓红

文字编辑: 刘志茹

责任校对: 洪雅姝

装帧设计: 刘丽华

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 刷: 北京云浩印刷有限责任公司

装 订: 三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 18½ 字数 456 千字 2011 年 9 月北京第 1 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: 39.00 元

版权所有 违者必究

前言

本教材是国家骨干高职院校建设项目成果。

在高等职业教育快速发展的今天，项目课程或是任务引领型课程已然成为当前职业教育课程改革的基本取向。因此，本教材在内容编排上紧紧围绕国家高等职业教育发展的方向，同时立足行业发展的需要以及相关技术领域和岗位的任职要求，以任务驱动为导向，将相关理论知识与实训任务有机融合在一起，融“教、学、做”为一体，着力体现“项目教学、任务驱动；理实一体、课岗融合”的新型教学教改理念，以突出强化学生综合职业素质的培养与提升。

本教材在整体内容上分为两大部分，即基础知识和定量分析方法及应用。全书在实训任务的选择上，既考虑了实训内容的教学可操作性，同时注重真实工作情景的再现，做到由易到难、由简入繁、简繁有度。力求让学生在领到“任务”时对任务内容有真实感，在实训过程中有自信心，在实训结束时有成就感。而在知识体系的构建上，将相关理论知识和分析操作技术的学习围绕任务驱动展开，从而使学生在“学”与“用”、“知识”与“能力”之间形成良性跨越。伴随学习性工作任务的完成，使学生的综合职业能力得到全面提升。

本教材由马惠莉、马振珠（中国建筑材料检验认证中心）主编，李彦岗、刘杰副主编。其中第1、2章由马惠莉（山西职业技术学院）编写，第3、7章由王朝霞（山西职业技术学院）编写，第4、5章由魏雅娟（河北建材职业技术学院）编写，第6、12章由刘杰（内蒙古化工职业技术学院）编写，第8、9章由李彦岗（山西职业技术学院）编写，第10、11章由杨秋菊（淄博职业学院）编写。全书由马惠莉统稿，由晋卫军教授（北京师范大学化学学院，博士生导师）、魏琴教授（济南大学化学化工学院，国家级教学名师）审稿。两位教授在百忙之中不吝时间对本教材提出了许多宝贵的建设性意见，编者在此深表谢意与敬意。

此外，编者还要向本教材的责任编辑表示真诚的谢意，全书从立项到全部书稿的完成均渗透了她的许多心血。在本教材的编写过程中我们还得到了中国建筑材料检验认证中心的大力支持。同时，我们还得到黑龙江省环境监测中心站副站长宋南哲高级工程师、太原科技大学化工与生物工程学院高竹青副教授、山西省建筑材料质量监督检验测试中心申洪涛高级工程师、山西省建材行业管理办公室行管部副部长郑晋宜、太原市德龙超细粉科技有限公司化验室主任姚香香工程师、中国建筑材料检验认证中心赵小雨以及编者单位领导和同事的积极

协助与支持。

总之，在本书付梓出版之际，编者向所有给予我们热诚关心、鼓励和帮助的人们表示衷心的感谢！

本教材中所引用的图表、数据及相关论述的原著均列入书后的参考文献中，在此我们向原作者致以真挚的敬意与谢意。

鉴于编者学识水平的局限，书中难免存有疏漏与不足之处。在此恳请各位同行、学者和专家以及广大师生赐教、指正，以便我们今后更进一步修订完善，编者不胜感激。

编 者

2011 年 05 月

目录

第 1 部分 基础知识

第 1 章 绪论	3
1.1 分析化学的任务及其社会责任	4
1.1.1 分析化学的学科定义	4
1.1.2 分析化学的社会责任	4
1.2 分析方法分类	5
1.2.1 根据分析目的与任务分	5
1.2.2 由分析对象的化学属性分	5
1.2.3 根据分析时所依据的测定原理分	5
1.2.4 根据分析时所需的试样量或被测组分在试样中的相对含量分	5
1.3 分析化学的发展历程及其发展趋势	6
第 2 章 定量分析概论	9
2.1 定量分析的一般过程	11
2.1.1 试样的采取与制备	11
2.1.2 样品的分析测定	14
2.1.3 数据的分析处理与结果报告	15
2.2 定量分析中的误差	15
2.2.1 误差的分类及减免误差的方法	15
2.2.2 误差与准确度	17
2.2.3 偏差与精密度	18
2.2.4 准确度与精密度的关系	20
2.2.5 提高分析结果准确度的方法	21
2.3 有效数字及其运算规则	22

CONTENTS

2.3.1 有效数字	23
2.3.2 有效数字的计算规则	24
2.4 分析结果的数据处理	25
2.4.1 置信度与置信区间	26
2.4.2 可疑值的取舍	27
2.5 定量分析结果的表示方法	29
2.5.1 被测组分含量的表示方法	29
2.5.2 测定结果的表示方法	29
2.6 分析质量的控制与保证	30
2.6.1 分析质量保证的内容和目标	30
2.6.2 分析测试的质量评价	32
习题	33
第3章 定量分析操作技术	35
3.1 化学实验基础知识	37
3.1.1 化学实验室规则	37
3.1.2 分析化学实验用水	40
3.1.3 化学试剂的等级及使用	40
3.2 分析化学实验基本操作	41
3.2.1 化学试剂的取用	41
3.2.2 玻璃仪器的洗涤与干燥	42
3.2.3 常用的加热装置及其使用方法	44
3.3 定量分析基本操作技术	47
3.3.1 分析天平操作技术	47
3.3.2 滴定分析操作技术	52
3.3.3 重量分析操作技术	59
任务引领	64
任务1 分析天平的称量练习	64
任务2 滴定分析技术操作练习	65
任务拓展	66
任务3 滴定分析仪器的校准	66
任务4 电子天平的称量练习	67
习题	68

第2部分 定量分析方法及应用

第4章 酸碱滴定法	71
4.1 滴定分析概述	73

4.1.1 滴定分析过程与特点	73
4.1.2 滴定分析方法的分类	73
4.1.3 滴定反应的条件与滴定方式	74
4.1.4 溶液浓度的表示方法	75
4.1.5 标准溶液的配制与标定	77
4.1.6 滴定分析计算	78
4.2 酸碱平衡	81
4.2.1 酸碱质子理论	81
4.2.2 酸碱解离平衡	82
4.2.3 酸碱溶液 pH 值的计算	83
4.2.4 缓冲溶液	84
4.2.5 酸碱指示剂	85
4.3 酸碱滴定原理	87
4.3.1 酸碱滴定曲线	87
4.3.2 酸碱滴定的可行性判据	91
任务引领	93
附: 酸碱标准溶液的配制和标定	93
任务 1 纯碱总碱度的测定	94
任务 2 食醋总酸度的测定	95
任务拓展	96
任务 3 混合碱含量的测定	96
任务 4 水泥熟料中二氧化硅含量的测定(氟硅酸钾法)	98
习题	99
第 5 章 氧化还原滴定法	101
引言	103
5.1 氧化还原平衡	103
5.1.1 条件电极电位	103
5.1.2 氧化还原反应进行的程度	104
5.1.3 影响氧化还原反应速率的因素	105
5.2 氧化还原滴定原理	106
5.2.1 氧化还原滴定前的预处理	106
5.2.2 氧化还原滴定曲线	108
5.2.3 氧化还原滴定终点的确定	110
5.3 常用的氧化还原滴定方法	111

CONTENTS

5.3.1 高锰酸钾法	111
5.3.2 重铬酸钾法	112
5.3.3 碘量法	112
5.3.4 其他方法	114
任务引领	115
氧化还原滴定中标准滴定溶液的配制与标定	115
任务1 双氧水含量的测定	118
任务2 铁矿石中铁含量的测定	118
任务拓展	119
任务3 胆矾中铜含量的测定	119
任务4 天然水中溶解氧的测定	120
习题	121
第6章 配位滴定法	123
引言	125
6.1 配位平衡	127
6.1.1 配合物的稳定常数	127
6.1.2 配位反应的副反应及副反应系数	128
6.2 配位滴定基本原理	131
6.2.1 准确滴定的条件	131
6.2.2 配位滴定曲线	133
6.2.3 金属指示剂	134
6.2.4 提高配位滴定选择性的途径	136
任务引领	139
EDTA 标准滴定溶液的配制和标定	139
任务1 水硬度的测定	140
任务2 水泥熟料中 Fe_2O_3 、 Al_2O_3 含量的测定	141
任务拓展	143
任务3 Bi^{3+} 、 Pb^{2+} 含量的连续测定	143
习题	144
第7章 沉淀滴定法	147
引言	149
7.1 莫尔法	149

7.1.1 方法原理	149
7.1.2 滴定条件	149
7.1.3 应用	150
7.2 佛尔哈德法	150
7.2.1 方法原理	150
7.2.2 滴定条件	151
7.2.3 方法应用	151
7.3 法扬司法	152
7.3.1 方法原理	152
7.3.2 滴定条件	152
任务引领	153
沉淀滴定法常用标准滴定溶液的配制与标定	153
任务1 水(或盐水)中氯离子含量的测定	154
任务拓展	155
任务2 水泥熟料中氯离子含量的测定	155
习题	156
第8章 重量分析法	157
引言	159
8.1 挥发重量法	159
8.1.1 物料水分的测定	159
8.1.2 挥发分的测定	160
8.1.3 灰分的测定	160
8.2 沉淀重量法	160
8.2.1 沉淀重量法的操作过程	161
8.2.2 沉淀重量法对沉淀形式和称量形式的要求	162
8.2.3 沉淀剂的选择	162
8.2.4 沉淀的溶解度及其影响因素	163
8.2.5 沉淀的类型和形成	166
8.2.6 沉淀的纯度	167
8.2.7 沉淀条件的选择	170
8.2.8 重量分析计算	171
任务引领	173
任务1 水泥烧失量的测定	173
任务2 水泥中硫酸盐 $S-SO_3$ 的测定 ($BaSO_4$ 重量法)	174

CONTENTS

任务拓展	176
任务 3 水泥中二氧化硅含量的测定(氯化铵重量法)	176
任务 4 煤的灰分的测定——缓慢灰化法(GB/T212—2008)	177
习题	179
第 9 章 光谱分析法	181
引言	183
9.1 光谱分析法基础	183
9.1.1 电磁辐射和电磁波谱	183
9.1.2 光谱分析法分类	184
9.2 紫外-可见分光光度法	185
9.2.1 分光光度法基本原理	186
9.2.2 紫外-可见光分光光度计	188
9.2.3 分析条件的选择	191
9.2.4 定量分析方法	193
9.3 原子吸收分光光度法	195
9.3.1 基本原理	196
9.3.2 原子吸收分光光度计	198
9.3.3 定量分析方法	203
9.3.4 工作条件的选择	205
9.3.5 干扰及抑制	206
9.4 原子发射光谱分析	208
9.4.1 基本原理简介	209
9.4.2 火焰光度分析法	209
任务引领	212
任务 1 石灰石中氧化铁含量的测定——邻菲罗啉分光光度法 (GB/T 5762—2000)	212
附 1: 721 型可见分光光度计的使用方法	214
任务 2 水泥中氧化镁含量的测定——原子吸收分光光度法 (GB/T 176—2008)	215
附 2: WFX-120 原子吸收分光光度计使用方法	216
任务 3 水泥熟料中氧化钾、氧化钠含量的测定——火焰光度法 (GB/T 176—2008)	217
附 3: FP-640 火焰光度计使用方法	219
任务拓展	220

任务 4 可溶性二氧化硅含量的测定——硅钼蓝分光光度法	220
习题	221
第 10 章 电位分析法	223
引言	225
10.1 电位分析法概述	225
10.1.1 电位分析法中所用的电极与分类	226
10.1.2 离子选择性电极 (ISE)	228
10.2 电位分析方法及其应用	229
10.2.1 定量分析依据	229
10.2.2 直接电位法	230
任务引领	232
任务 1 水样 pH 值的测定 (直接比较法)	232
附: 酸度计的使用方法 (以 pHs-3F 型酸度计为例, 见图 10.6)	233
任务拓展	234
任务 2 水泥熟料中氟含量的测定 (标准曲线法)	234
习题	235
第 11 章 气相色谱法	237
引言	239
11.1 色谱图与色谱常用术语	240
11.1.1 色谱流出曲线——色谱图	240
11.1.2 色谱图中的基本术语与参数	241
11.1.3 分配平衡	242
11.2 色谱分析基础理论	243
11.2.1 塔板理论	243
11.2.2 速率理论——范第姆特 (van Deemter) 方程	245
11.2.3 色谱分离效能的衡量	247
11.3 色谱分析的定性和定量方法	248
11.3.1 色谱定性分析方法	248
11.3.2 色谱定量分析方法	248
11.3.3 定量分析误差的来源	250
11.4 气相色谱仪	251
11.4.1 气路系统	252
11.4.2 进样系统	252

CONTENTS

11.4.3 分离系统	253
11.4.4 检测系统	254
11.4.5 数据处理系统	256
11.4.6 温度控制系统	256
11.5 气相色谱固定相	256
11.5.1 气固色谱的固定相	256
11.5.2 气液色谱的固定相	257
11.5.3 聚合物固定相	257
11.6 色谱分析操作条件的选择	258
任务引领	258
任务1 聚氯乙烯产品中残留氯乙烯单体含量的测定	258
任务拓展	260
任务2 气相色谱仪的气路连接、安装和检漏	260
习题	262
第12章 综合实训任务	263
引言	265
任务1 石灰石化学分析	266
任务2 黏土化学分析	267
任务3 水泥熟料中主要化学成分分析	268
任务4 水质化学分析	269
附：分析操作技术及分析测试质量评价	271
附录	275
附录1 定量分析中常用物理量的单位与符号	276
附录2 常用酸碱试剂的密度和浓度	276
附录3 相对原子质量(1997年)	276
附录4 常见化合物的摩尔质量	277
附录5 常用缓冲溶液的配制	279
附录6 常用弱酸、弱碱在水中的解离常数($I=0$, 298.15K)	279
附录7 标准电极电位(291.15~298.15K)	281
附录8 难溶电解质的溶度积常数($I=0$, 291.15~298.15K)	283
参考文献	284

第 1 部分

基础知识

第 1 章 绪 论

第 2 章 定量分析概论

第 3 章 定量分析操作技术

第1章

绪论

1.1 分析化学的任务及其社会责任

1.2 分析方法分类

1.3 分析化学的发展历史及其发展趋势

1.1 分析化学的任务及其社会责任

1.1.1 分析化学的学科定义

在自然科学领域，分析化学恐怕是最近几十年内经历了最大拓展的一门学科。分析化学的学科内涵，随着分析化学学科自身的发展而发展，其学科定义与研究内容，也随着分析化学学科的发展而变化。因此，分析化学的学科定义是一个发展、变化着的动态概念！

早在20世纪50年代，人们对分析化学的定义为：它是研究物质的组成的测定方法和有关原理的一门科学。到了90年代，分析化学的定义演变为：它是人们获得物质化学组成和结构信息的科学。现在，随着科学技术的飞速发展，分析化学被定义为：“它是发展和应用各种方法、仪器和策略，以获得物质在特定时间和空间有关组成和性质信息的一门科学。”由此不难理解分析化学是一门融合了多学科研究成果的综合性科学。

分析化学的全部内容就是吸取当代科学技术（包括化学、物理学、数学、电子学、计算机科学、生物学等学科）的最新成就，利用物质的一切可以利用的性质，建立表征、测量的新方法和新技术，最大限度地地在特定的时间与空间点或期间内获取物质的信息。其特点表现在它不是直接提供和合成新型的材料和化合物，而是提供与这些新材料、新化合物的化学成分和结构相关的信息，研究获取这些信息的最优方法和策略。因此，分析化学又是信息科学的组成部分。

1.1.2 分析化学的社会责任

分析化学是一门以解决实际问题为目标的科学，实用性强，它在社会发展具有重要的作用。它不仅给各个科学领域（如航天、材料、能源）和生产部门提供新的检测方法（如工艺过程质量控制、产品的质量检查及商品检验等），直接为国民经济、国防建设、国家安全（如反恐）及社会生活的众多领域（如医疗卫生、环境保护及食品药品安全）服务，而且影响着社会财富的创造、人类生存（如环境生态）和政策决策（如资源、能源开发）等重大社会问题的解决。

化学是一门承上启下的中心科学，也是一门社会迫切需要的中心科学。人们常常将分析化学称为生产、科研的“眼睛”，并把分析化学水平的高低作为衡量一个国家在化学学科研究方面能力强弱的重要标志之一。随着科学技术的进步与社会经济的快速发展，分析化学比