



普通高等教育“十二五”规划教材

四川省“十二五”普通高等教育本科规划教材

无机及分析化学

(第二版)

钟国清 主编



科学出版社

普通高等教育“十二五”规划教材
四川省“十二五”普通高等教育本科规划教材

无机及分析化学

(第二版)

钟国清 主编

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是在《无机及分析化学》(科学出版社,2006年)基础上修订而成。本次修订对教材内容进行了适当补充、删减和重组,修订过程中更加注重教材内容的简明扼要,阅读材料以小字体编排。全书共18章,主要内容包括气体、溶液和胶体,化学热力学初步,化学反应速率和化学平衡,物质结构基础,四大平衡和四大滴定分析,吸光光度分析法,电势分析法,非金属及金属元素化学,定量分析中的分离方法,绿色化学概论,材料与化学,生命与化学,环境与化学等内容。

本书可作为工、农、林、水产、医、师等高等院校材料类、环境类、生物类专业本科生的教材,也可供化学、材料、环境、生物等领域的科技工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

无机及分析化学/钟国清主编.—2版.—北京:科学出版社,2014.6

普通高等教育“十二五”规划教材

四川省“十二五”普通高等教育本科规划教材

ISBN 978-7-03-041229-4

I. ①无… II. ①钟… III. ①无机化学-高等学校-教材 ②分析化学-高等学校-教材 IV. ①O61 ②O65

中国版本图书馆CIP数据核字(20014)第126419号

责任编辑:郑祥志 陈雅娴 / 责任校对:刘亚琦

责任印制:阎磊 / 封面设计:迷底书装

科 学 出 版 社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京市文林印务有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006年8月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2014年6月第 二 版 印张:27 1/2 插页:1

2014年6月第十次印刷 字数:712 000

定价:59.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《无机及分析化学》(第二版)

编写委员会

主 编 钟国清

副主编 方景毅 王崇臣 杨定明

朱远平 张万明 王海荣

编 委 (按姓名汉语拼音排序)

方景毅 黄 婕 蒋琪英 焦 钰

李侃社 申丽华 沈 娟 王崇臣

王海荣 杨定明 张 欢 张廷红

张万明 郑 飞 钟国清 朱远平

第二版前言

《无机及分析化学》自 2006 年出版以来,得到了许多高校的关注和使用,取得了良好的教学效果,启迪了学生的科学思维,起到了培养学生自学能力与创新能力的作⽤。为加强无机及分析化学课程建设与教学改革,适应新形势下高等教育改革和发展、多元化教学的需要,在广泛调研基础上,我们联合有关高校对本书进行了修订。

本书是“无机及分析化学”四川省精品课程和四川省精品开放课程配套教材,同时被评为首批四川省“十二五”普通高等教育本科规划教材。本书配套建设了《无机及分析化学学习指导》(第二版)、“制备实验小量化、分析实验减量化、实验内容绿色化”的《无机及分析化学实验》以及多媒体课件。

在保持原课程体系基础上,本次修订对教学内容进行了适当补充、删减和重组,修订过程中更加注重教材内容的简明扼要,概念和文字更加准确、精炼,其中带*号的为选学内容,阅读材料以小字体编排。全书共 18 章,包括绪论,气体、溶液和胶体,化学热力学初步,化学反应速率和化学平衡,物质结构基础,酸碱平衡与酸碱滴定法,沉淀溶解平衡与沉淀滴定法,氧化还原平衡与氧化还原滴定法,配位平衡与配位滴定法,吸光光度分析法,电势分析法,非金属元素化学,金属元素化学,定量分析中的分离方法,绿色化学概论,材料与化学,生命与化学,环境与化学。后 4 章作为培养学生兴趣和扩大知识面的阅读材料。

参加本书修订的单位有:西南科技大学、西南石油大学、北京建筑大学、华北水利水电大学、西安科技大学、西昌学院、嘉应学院。参加修订的教师有:钟国清(第 1、8、17 章、附录),王海荣(第 2、4 章),方景毅(第 3、5 章),郑飞、张万明、焦钰(第 6、7 章),沈娟、黄婕(第 9 章),朱远平(第 10 章),张廷红(第 11 章),王崇臣(第 12 章),张欢、李侃社(第 13 章),王崇臣、李侃社(第 14 章),杨定明(第 15 章)、杨定明、申丽华(第 16 章),蒋琪英(第 18 章)。全书由主编、副主编共同统稿、修改,最后由钟国清定稿。

在本书编写过程中得到了科学出版社的大力支持,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平所限,加之时间仓促,不妥和疏漏之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编者

2014 年 4 月

第一版前言

近年来,我国高等教育的结构发生了巨大的变化。一些大学通过合并,使专业、学科更齐全,多数的高等学校已发展成为多学科性的大学。经济和科技的发展、教育改革的不断深化,对高等学校教学内容和教学体系的改革提出了更高的要求。化学教育工作者如何面对现实,更新教学内容,改革和完善教学体系,使之适应 21 世纪科技发展的要求,这是摆在我们面前的一项重要任务。为此,我们在调查研究并经过多年的教学与实践基础上,编写了本书。本书是根据非化学化工类专业本科生对化学基础知识的要求,以少而精、精而新的原则,将传统教学内容与现代新知识相结合,对传统的无机化学、分析化学、普通化学内容进行整合、革新和优化,注重对学生进行素质教育。

本书共 19 章,包括绪论,气体、溶液和胶体,化学热力学初步,化学反应速率和化学平衡,物质结构基础,酸碱平衡与酸碱滴定法,沉淀溶解平衡及在定量分析中的应用,氧化还原平衡与氧化还原滴定法,配位平衡与配位滴定法,吸光光度分析法,电势分析法,仪器分析简介,非金属元素化学,金属元素化学,定量分析中的分离方法,绿色化学概论,材料与化学,生命与化学,环境与化学等内容,体现材料、环境及生物学科与化学学科的交叉与融合。将化学热力学知识融入全书有关章节,并将四大平衡和四大滴定分析法有机结合。理论教学以溶液为主线,以化学热力学为基础,以物质结构、四大平衡为重点,适当简化四大滴定分析法,而使其在实验教学中得到加强。简化一般教材中有些过于难、深的内容,带 * 号的内容供教学选用。后 4 章作为培养学生兴趣和扩大知识面的阅读材料。除阅读内容外,章后有习题,书后附有部分习题答案和有关的物理常数。本书适合 80~100 学时教学。

无机及分析化学是材料、环境、生物类专业最重要的基础课之一,而教材在教学环节中具有极其重要的地位和作用。一本好的教材应具有以下特点:①既能满足教学内容的要求,又符合本课程的科学体系,具有相对的完整性和科学性;②能较好地反映本学科的最新成就和发展方向,具有先进性;③具有启发性和时代特点;④具有可读性和便于自学,观点明确易于理解,思路清晰,逻辑性强;⑤能充分反映材料类、环境类、生物类专业的特点和实际。在过去的教学中,无机化学、分析化学等各门课程自身的系统性、完整性和规律性都备受重视,而对学生综合素质和能力的培养则关注较少。为使学生了解科学发展的新动向和扩大知识面,我们在有关部分介绍了相关知识及应用。编写本书时力求使量和单位在体系、名称和符号上系统化,科学、严谨地反映当代学科的概念,使基本概念更为科学、严谨、清晰,编写结构层次更加合理。通过阅读材料部分的学习,既可使学生了解本专业的发展动态,扩大知识面,又能使学生了解化学基础理论在相关学科中的重要地位,激发他们学习化学知识的兴趣和热情。在理论课教学中,以讲授基本理论和基本知识为主线,适当拓宽知识面,简要介绍化学科学的新进展,特别是在有关专业分别介绍材料科学、生命科学、环境科学与化学相关的新进展。力求使本书简明扼要、概念准确、重点鲜明、深入浅出、通俗易懂、理论联系实际,适用于材料、环境、生物等主要专业大类的学生使用。

本书可作为工、农、林、水产、医、师等高等院校材料类、环境类、生物类专业本科教材,也

可作为化学、生物、环境、材料等学科领域的科技工作者和函授生的自修用书及参考用书。

本书全部采用了中华人民共和国法定计量单位。

参加本书编写的单位有：西南科技大学、石家庄学院、西安科技大学、楚雄师范学院。本书由钟国清、朱云云任主编，黄婕、杨定明、李侃社、王波、张星辰任副主编。参加编写的教师有：钟国清（第一、六、七章、附录），张云霄（第二章），张欢（第三、四、八章），杨定明（第五、十六章），黄婕（第九章），王波（第十、十二章），张廷红（第十一、十五章），李侃社（第十三、十四章），申丽华（第十七章），朱云云（第十八章），张星辰（第十九章）。全书由主编、副主编统稿、修改，最后由钟国清通读、定稿。

本书在编写过程中得到了参编学校的有关领导特别是西南科技大学的有关领导的大力支持，在此向他们表示衷心的感谢。

由于编者水平所限，时间仓促，不妥和疏漏之处在所难免，恳请广大师生和读者批评指正。

编 者

2006年4月

目 录

第二版前言

第一版前言

第 1 章 绪论	1
1.1 无机及分析化学的研究内容和任务	1
1.1.1 化学的研究对象和重要作用	1
1.1.2 无机及分析化学的性质、任务和学习方法	3
1.2 误差及数据处理	4
1.2.1 误差的分类	4
1.2.2 误差和偏差的表示方法	5
1.2.3 提高分析结果准确度的方法	7
1.2.4 置信度与置信区间	8
1.2.5 可疑值的取舍	9
1.2.6 分析结果的数据处理与报告	10
1.2.7 有效数字及其运算规则	10
第 2 章 气体、溶液和胶体	14
2.1 气体	14
2.1.1 理想气体状态方程	14
2.1.2 道尔顿分压定律	15
2.2 溶液	15
2.2.1 分散系	15
2.2.2 物质的量及其单位	16
2.2.3 溶液的组成量度	17
2.2.4 等物质的量规则及其应用	18
2.3 稀溶液的通性	19
2.3.1 溶液的蒸气压下降	19
2.3.2 溶液的沸点升高和凝固点降低	21
2.3.3 溶液的渗透压	23
2.4 胶体溶液	24
2.4.1 固体在溶液中的吸附	24
2.4.2 溶胶的性质	26

2.4.3 胶团的结构	27
2.4.4 溶胶的稳定性和聚沉	28
2.5 高分子溶液和乳浊液	29
2.5.1 高分子溶液	29
2.5.2 乳浊液	30
第 3 章 化学热力学初步	33
3.1 基本概念	33
3.1.1 化学反应进度	33
3.1.2 体系与环境	34
3.1.3 状态与状态函数	35
3.1.4 过程与途径	35
3.1.5 热与功	36
3.1.6 热力学能与热力学第一定律	36
3.2 热化学	37
3.2.1 化学反应热效应	37
3.2.2 热化学方程式	39
3.2.3 赫斯定律	39
3.2.4 反应焓变的计算	40
3.3 化学反应的方向与限度	43
3.3.1 自发过程	43
3.3.2 混乱度和熵函数	44
3.3.3 热力学第二定律	46
3.3.4 吉布斯自由能及其应用	47
第 4 章 化学反应速率和化学平衡	53
4.1 化学反应速率	53
4.1.1 化学反应速率的概念	53
4.1.2 反应速率理论简介	55
4.1.3 影响反应速率的因素	57
4.2 化学平衡	63
4.2.1 可逆反应与化学平衡	63
4.2.2 实验平衡常数与标准平衡常数	64
4.2.3 化学反应等温方程式	66
4.2.4 多重平衡规则	67

4.2.5 化学平衡移动	68	5.8.4 分子晶体及其特性	115
4.2.6 有关化学平衡的计算	71	5.8.5 金属晶体及其特性	115
第5章 物质结构基础	78	5.8.6 混合型晶体	117
5.1 原子核外电子的运动状态	78	第6章 酸碱平衡与酸碱滴定法	121
5.1.1 氢原子光谱和玻尔理论	78	6.1 电解质溶液	121
5.1.2 微观粒子的波粒二象性和测不准原理	79	6.1.1 解离度	121
5.1.3 波函数和原子轨道	81	6.1.2 活度与离子强度	121
5.1.4 波函数和电子云的空间图形	82	6.2 酸碱质子理论	122
5.1.5 四个量子数及其对原子核外电子运动状态的描述	84	6.2.1 酸碱的定义和共轭酸碱对	122
5.2 多电子原子结构	86	6.2.2 酸碱反应的实质	123
5.2.1 近似能级图	86	6.3 酸碱平衡	124
5.2.2 核外电子排布的规律	86	6.3.1 水的解离与溶液的 pH	124
5.2.3 核外电子排布和元素周期系	87	6.3.2 弱酸与弱碱的解离平衡	124
5.3 元素基本性质的周期性	90	6.3.3 影响酸碱平衡的因素	126
5.3.1 原子半径	91	6.3.4 分布系数与分布曲线	128
5.3.2 电离能	92	6.3.5 物料平衡、电荷平衡和质子条件*	130
5.3.3 电子亲和能	93	6.3.6 酸碱溶液 pH 的计算	132
5.3.4 电负性	93	6.4 缓冲溶液	135
5.4 离子键	94	6.4.1 缓冲溶液的缓冲原理与缓冲 pH	135
5.4.1 离子键的形成	94	6.4.2 缓冲容量和缓冲范围	136
5.4.2 离子键的特点	95	6.4.3 缓冲溶液的选择和配制	137
5.4.3 离子的特征	95	6.5 定量分析概述	139
5.4.4 晶格能	96	6.5.1 定量分析的任务和方法	139
5.5 共价键	97	6.5.2 定量分析的一般程序	140
5.5.1 键参数	97	6.5.3 滴定分析的方法和滴定方式	141
5.5.2 价键理论	99	6.5.4 滴定分析的标准溶液和基准物质	142
5.5.3 杂化轨道理论	101	6.5.5 滴定分析的计算	143
5.5.4 价层电子对互斥理论*	103	6.6 酸碱滴定法	144
5.5.5 分子轨道理论*	106	6.6.1 酸碱指示剂	144
5.6 分子间力和氢键	108	6.6.2 滴定曲线与指示剂的选择	147
5.6.1 分子的极性及量度	108	6.6.3 酸碱标准溶液的配制与标定	152
5.6.2 分子间力	109	6.6.4 酸碱滴定法应用示例	154
5.6.3 氢键	110	第7章 沉淀溶解平衡与沉淀滴定法	159
5.7 离子极化	111	7.1 沉淀溶解平衡	159
5.8 晶体结构简介	112		
5.8.1 晶体的基本概念	112		
5.8.2 离子晶体及其特性	113		
5.8.3 原子晶体及其特性	114		

7.1.1 溶度积	159	8.3.4 测定非氧化还原反应的平衡常数	186
7.1.2 溶度积与溶解度的相互换算	159	8.4 元素电势图及应用	187
7.1.3 溶度积规则	160	8.4.1 判断歧化反应能否进行	187
7.1.4 影响溶解度的因素	161	8.4.2 计算标准电极电势	188
7.2 溶度积规则的应用	161	8.4.3 了解元素的氧化还原性	188
7.2.1 沉淀的生成	161	8.5 氧化还原滴定法	189
7.2.2 沉淀的溶解	164	8.5.1 概述	189
7.2.3 沉淀的转化	166	8.5.2 氧化还原滴定曲线	193
7.3 沉淀滴定法*	166	8.5.3 氧化还原滴定法中的指示剂	194
7.3.1 概述	166	8.5.4 氧化还原预处理	196
7.3.2 银量法终点的确定	166	8.5.5 高锰酸钾法	197
7.3.3 银量法的应用	169	8.5.6 重铬酸钾法	199
7.4 重量分析法简介*	169	8.5.7 碘量法	199
7.4.1 概述	169	8.5.8 氧化还原滴定结果的计算	201
7.4.2 影响沉淀纯度的因素	170	8.6 氧化还原反应的应用*	203
7.4.3 沉淀的形成与沉淀的条件	170	8.6.1 生命科学中的应用	203
7.4.4 沉淀的过滤、洗涤、烘干或灼烧	171	8.6.2 消毒与灭菌	203
7.4.5 重量分析法中的计算	172	8.6.3 氧化还原反应与土壤肥力	203
第8章 氧化还原平衡与氧化还原滴定法	175	第9章 配位平衡与配位滴定法	207
8.1 氧化还原反应	175	9.1 配合物的基本概念	207
8.1.1 氧化数	175	9.1.1 配合物及其组成	207
8.1.2 氧化还原反应基本概念	176	9.1.2 配合物的命名	209
8.1.3 氧化还原反应方程式的配平	176	9.1.3 配合物的类型	210
8.2 原电池及电极电势	178	9.2 配合物的价键理论	211
8.2.1 原电池	178	9.2.1 价键理论的要点	211
8.2.2 电极电势	179	9.2.2 价键理论的应用	212
8.2.3 电动势与吉布斯自由能变的关系	181	9.3 配离子的配位解离平衡	214
8.2.4 影响电极电势的因素——能斯特公式	182	9.3.1 配离子的稳定常数	214
8.3 电极电势的应用	184	9.3.2 配位平衡移动	215
8.3.1 比较氧化剂和还原剂的相对强弱	184	9.4 配位滴定法	219
8.3.2 判断氧化还原反应进行的方向、次序	185	9.4.1 配位滴定法概述	219
8.3.3 判断反应进行的程度	186	9.4.2 EDTA 配位滴定法的基本原理	220
		9.4.3 副反应系数和条件稳定常数	220
		9.4.4 配位滴定曲线	223
		9.4.5 金属指示剂	225

9.4.6 提高配位滴定选择性的方法	227	12.1.1 卤素的通性	255
9.4.7 配位滴定法的应用示例	228	12.1.2 卤化氢与氢卤酸	255
9.5 配合物的应用*	229	12.1.3 卤素含氧酸及其盐	256
9.5.1 化学领域中的应用	229	12.1.4 卤素的电势图	258
9.5.2 工农业领域中的应用	230	12.2 氧族元素及其化合物	259
9.5.3 生物科学和医学领域中的应用	230	12.2.1 氧族元素的通性	259
第 10 章 吸光光度分析法	233	12.2.2 氧及其化合物	260
10.1 吸光光度分析法的基本原理	233	12.2.3 硫及其化合物	262
10.1.1 吸光光度分析法的特点	233	12.2.4 硒和碲的化合物	268
10.1.2 物质对光的选择性吸收	233	12.3 氮族元素及其化合物	268
10.1.3 朗伯-比尔定律	234	12.3.1 氮族元素的通性	268
10.1.4 偏离朗伯-比尔定律的原因	236	12.3.2 氮的化合物	269
10.2 显色反应及其影响因素	236	12.3.3 磷及其化合物	276
10.2.1 显色反应与显色剂	236	12.4 碳、硅、硼及其化合物	279
10.2.2 影响显色反应的因素	237	12.4.1 碳及其化合物	279
10.3 吸光光度分析法及其仪器	237	12.4.2 硅及其化合物	282
10.3.1 目视比色法	237	12.4.3 硼及其化合物	284
10.3.2 吸光光度分析法及分光光度计	238	12.5 氢和氢能	287
10.3.3 吸光光度分析法测量条件的 选择	241	12.5.1 氢	287
10.4 吸光光度分析法的应用	242	12.5.2 氢的成键特征	287
10.4.1 单一组分分析	242	12.5.3 氢能	288
10.4.2 高含量组分的测定——示差法	242	第 13 章 金属元素化学	293
第 11 章 电势分析法	245	13.1 碱金属和碱土金属	293
11.1 电势分析法的基本原理	245	13.1.1 金属单质	293
11.1.1 基本原理	245	13.1.2 氧化物、氢氧化物和氢化物	295
11.1.2 参比电极	245	13.1.3 常见的金属盐	297
11.1.3 指示电极	246	13.2 p 区重要金属单质与化合物	299
11.1.4 离子选择性电极	246	13.2.1 铝及其重要化合物	299
11.2 电势分析法的应用	249	13.2.2 锆、锡、铅及其重要化合物	300
11.2.1 直接电势法	249	13.2.3 砷、锑、铋及其重要化合物	302
11.2.2 电势滴定法	251	13.3 过渡元素	302
第 12 章 非金属元素化学	255	13.3.1 通性	303
12.1 卤素及其化合物	255	13.3.2 钛、锆和铪	304
		13.3.3 钒、铌和钽	306
		13.3.4 铬、钼和钨	307
		13.3.5 锰、锝和铼	309

13.3.6 铁系金属	310	15.3.2 寻找安全有效反应原料	345
13.3.7 铂系金属	313	15.3.3 寻找安全有效合成路线	345
13.4 铜族、锌族元素	315	15.3.4 寻找新的转化方法	346
13.4.1 铜族	315	15.3.5 寻找安全有效反应条件	346
13.4.2 锌族	319	15.4 绿色化学原则	347
13.5 稀土金属	322	第 16 章 材料与化学	350
13.5.1 单质的结构与性能	322	16.1 材料的概述	350
13.5.2 稀土元素的重要化合物	324	16.1.1 材料的概念及其发展	350
13.5.3 稀土冶炼工艺简介	324	16.1.2 材料的分类	350
13.5.4 稀土的应用	325	16.2 金属及其合金材料	351
第 14 章 定量分析中的分离方法	329	16.2.1 金属材料的表面处理与加工	351
14.1 沉淀分离法	329	16.2.2 合金的结构类型	352
14.1.1 常量组分的沉淀分离	329	16.2.3 几种重要的合金材料	352
14.1.2 微量组分的共沉淀分离与富集	330	16.3 无机非金属材料	354
14.2 溶剂萃取分离法	331	16.3.1 建筑材料	354
14.2.1 基本原理	331	16.3.2 陶瓷材料	356
14.2.2 重要的萃取体系	332	16.3.3 其他重要的无机非金属材料	358
14.2.3 萃取分离操作	333	16.4 无机功能材料	360
14.3 离子交换分离法	334	16.4.1 功能材料及分类	360
14.3.1 离子交换剂	334	16.4.2 功能材料的特点和应用	360
14.3.2 离子交换的基本原理	335	16.5 纳米材料	362
14.3.3 离子交换分离操作	335	16.5.1 纳米材料的特性	362
14.4 色谱分离法	336	16.5.2 纳米微粒的制备与表征方法	362
14.4.1 纸上色谱法的基本原理	336	16.5.3 纳米材料的应用	363
14.4.2 纸上色谱法的操作	337	第 17 章 生命与化学	367
14.5 其他方法	337	17.1 生命化学元素	367
14.5.1 超临界流体萃取分离法	337	17.1.1 必需微量元素在周期表中的位置	367
14.5.2 膜分离法	338	17.1.2 必需微量元素的生物功能	367
第 15 章 绿色化学概论	340	17.2 生命的物质基础	369
15.1 绿色化学的定义及研究内容	340	17.2.1 糖	369
15.2 化学反应的原子经济性	341	17.2.2 蛋白质	370
15.2.1 原子利用率	341	17.2.3 核酸	374
15.2.2 化学反应的原子经济性分类	342	17.3 生物无机化学概论	376
15.2.3 尽量提高反应物转化率和目标产物选择性	343	17.3.1 生物无机化学的基本反应	376
15.3 绿色化学的任务	344	17.3.2 金属离子与细胞的相互作用	377
15.3.1 设计安全有效目标分子	344		

17.3.3	微量元素生物无机化学	377	18.3.2	土壤污染的防治	396
17.3.4	金属酶和金属蛋白的结构和功能	378	18.4	大气污染及其防治	397
17.3.5	生物无机化学领域的几个应用	378	18.4.1	大气中的化学污染物及其危害	398
17.3.6	溶液配位化学在生物体系中的应用	378	18.4.2	综合性的大气污染	399
17.4	化学与人体健康	381	18.4.3	大气污染的防治	400
17.4.1	健康与化学的关系	381	主要参考文献		402
17.4.2	矿物质与健康	384	附录		403
17.4.3	维生素与健康	387	一、一些重要的物理常数		403
17.4.4	饮食与化学	388	二、希腊字母表		403
第18章	环境与化学	392	三、化合物的式量		404
18.1	化学与环境概述	392	四、一些物质的 $\Delta_f H_m^\ominus$ 、 $\Delta_f G_m^\ominus$ 、 S_m^\ominus 数据		407
18.1.1	环境污染及其危害	392	(298.15K)		407
18.1.2	环境污染与人体健康	393	五、物质的标准摩尔燃烧焓(298.15K)		413
18.1.3	环境保护与可持续发展	393			413
18.2	水污染及其防治	394	六、弱酸、弱碱在水中的解离常数		413
18.2.1	水污染物及其危害	394	七、难溶电解质的溶度积(298.15K)		415
18.2.2	水污染的修复与防治	395	八、标准电极电势(298.15K)		418
18.3	土壤污染及其防治	396	九、条件电极电势(298.15K)		421
18.3.1	土壤污染物及其危害	396	十、配离子的稳定常数(298.15K)		422
			十一、国际单位制(SI)		423

第 1 章 绪 论

1.1 无机及分析化学的研究内容和任务

1.1.1 化学的研究对象和重要作用

化学是在原子和分子水平上研究物质的组成、结构、性质、变化以及变化过程中的能量关系的科学。它涉及存在于自然界的物质——地球上的矿物、空气中的气体、海洋里的水和盐、在动物身上找到的化学物质,以及由人类创造的新物质;它涉及自然界的变化——与生命有关的化学变化,还有由化学家发明和创造的新变化。因此,化学包含着两种不同类型的工作,一些化学家在研究自然界并试图了解它,另一些化学家则在创造自然界不存在的新物质和完成化学变化的新途径。

大千世界是由各种各样、形形色色的物质所组成的。物质有两种基本形态:一种是具有静止质量的物质,称为“实物”,如日月星辰、江河湖海、山岳丘陵、动植物、微生物、原子、分子、离子、电子等;另一种是只有运动质量没有静止质量的物质,称为“场”,如引力场、电磁场、原子核内场等。实物和场是物质存在的两种基本形态,它们可互相转化但不会被消灭,也不可能凭空创造出来。化学所研究的物质是实物。

物质永远处于不停的运动、变化和发展状态之中。世界上没有不运动的物质,也没有脱离物质的运动。物质的运动形式可归纳为机械的、物理的、化学的、生命的和社会的五种。这些运动形式既互相联系,又互相区别,每一种运动形式都有其特殊的本质。化学主要研究物质的化学运动形式。

化学运动形式即化学变化的主要特征是生成了新的物质。但从物质构造层次讲,化学变化是在原子核不变的情况下,发生了原子的化分(原有化学键或分子的破坏)和化合(新的化学键或分子的形成)而生成了新物质。核裂变或核聚变的核反应虽然也有新物质生成,但它们不是原子层次的反应,故不属于化学变化。因此,化学应是在分子、原子或离子水平上,研究物质的组成、结构、性质、变化以及变化过程中能量关系的科学。

物质的各种运动形式是彼此联系的,并在一定条件下互相转化。物质的化学运动形式与其他运动形式也是有联系并互相转化的。化学变化总伴随有物理变化,生物过程总伴随着不间断的化学变化。因此,研究化学时还要结合其他许多有关学科的理论 and 实践。

化学是一门既古老又年轻的科学。人类的化学实践在历史上很早就开始了,如火的利用、造纸、酿酒、染色、中草药、火药、冶金、陶瓷等。从古代开始,化学就一直伴随古人的生产和生活。直到 17 世纪后期,英国著名科学家波义耳(R. Boyle)指出“化学的对象和任务就是寻找和认识物质的组成和性质”,化学才走上了科学的道路。如果从这时算起,化学作为一门科学仅有 300 多年的历史。18 世纪发现了质量守恒定律、定组成定律、倍比定律等,为化学新理论的诞生打下了基础。19 世纪初,道尔顿(J. Dalton)和阿伏伽德罗(A. Avogadro)分别创立了原子论和原子分子论;1869 年俄国著名化学家门捷列夫(D. I. Mendeleev)提出了元素周期律,从此进入了近代化学的发展时期。20 世纪是化学取得巨大成就的世纪,1926 年,量子力学的建立冲破经典力学的束缚,开辟了现代原子结构理论发展的新历程;1931 年,丹麦科学家玻尔

(N. H. D. Bohr)把量子的概念首先引入原子结构理论,成功地解释了氢原子光谱。在此基础上,化学键理论及晶体结构的研究,都获得了新发展。物质结构理论的发展,使人们从微观上更深入地认识物质的性质与结构的关系,对于无机物、有机物的合成和各种新材料的研制,都具有指导作用。化学热力学和动力学的应用,从宏观上推动各类化学反应的研究,大大促进了化学工业的发展。20世纪,在化学高速发展的背景下,中国化学家不遑多让,侯氏制碱法、抗疟疾药物青蒿素、人工合成牛胰岛素等,都让中国人的名字写在了化学的荣誉榜上。总体来看,化学在以下几个方面创造了我们美好的生活:化肥将人类从饥饿中拯救出来,高分子合成材料改善了我们的生活,药物成为人类健康的守护神,染料的发明和应用使我们的生活多姿多彩。

传统化学按研究对象和内在逻辑的不同,分为无机化学、有机化学、分析化学和物理化学四大分支。随着科学技术的进步和生产的发展,各门学科之间的相互渗透日益增强,化学已经渗透到农业、生命科学、药学、环境科学、计算机科学、工程学、地质学、物理学、冶金学等许多领域,从而形成了许多应用化学的新分支和边缘学科,如农业化学、生物化学、医药化学、环境化学、地球化学、海洋化学、材料化学、计算化学、核化学、激光化学、高分子化学等。同时,原有的“四大分支”中的某些内容,已经发展成为一些新的独立分支,如热力学、动力学、电化学、配位化学、化学生物学、稀有元素化学、胶体化学等。我国著名科学家徐光宪教授作了如下的比喻:“把21世纪的化学比作一个人,那么物理化学、理论化学和计算化学是脑袋,分析化学是耳目,配位化学是心腹,无机化学是左手,有机化学和高分子化学是右手,材料科学是左腿,生命科学是右腿,通过这两条腿使化学科学坚实地站在国家目标的地坪上。”化学是一门“中心科学”,它不仅生产用于制造住所、衣物和交通用的材料,发明提高和保证粮食供应的新方法,创造新的药物,而且多方面改善着我们的生活,因而化学也是一门实用科学。

第63届联合国大会通过决议将2011年定为“国际化学年”,以纪念化学学科所取得的成就以及对人类文明的贡献。近100年来,化学作为一门中心科学,推动了物质科学与生命科学等其他科学的发展。化学在认识热或温度、做功、能量等方面与物理学有许多相似之处,而物理学的相关理论又推动了化学的发展;生命科学在分子水平上离不开化学的支持,疾病的早期诊断与治疗、DNA的检测、药物分子的开发、生殖与发育、营养与健康等都与化学有着紧密的联系。尤其是20世纪中期以后,化学与生命、材料、能源、环境、信息等学科领域的交叉融合,不仅促进了学科自身的发展,也催生了众多新兴交叉前沿学科,如分子生物学、分子纳米结构、纳米材料和相关纳米技术等。近100年来,化学在解决粮食问题、战胜疾病、解决能源问题、改善环境问题、发展国家防御与安全所用的新材料和新技术等方面起到了不可或缺的关键作用。石油的开采、核技术的应用、电池的发展、航空材料的制造等都是例证。现在,化学已为新能源、新材料的研究,乃至信息、医药、资源和环境等领域的发展提供了物质基础和技术保障。

在现代生活中,特别是在人类的生产活动中,化学起着重要的作用。例如,运用对物质结构和性质的知识,科学地选择使用原材料;运用化学变化的规律,可研制各种新产品。又如,当前人类关心的能源和资源的开发、粮食的增产、人口的控制、环境的保护、海洋的综合利用、生物工程等都离不开化学知识;现代化的生产和科学技术往往需要综合运用多种学科的知识,而它们都与化学有着密切的联系。以稀土元素为例,过去仅用于打火石、玻璃着色等方面,用途十分有限。20世纪50年代以来,由于人们采用离子交换和有机溶剂萃取技术,分离、提纯稀土产品获得成功,同时通过研究又不断发现了稀土元素及其化合物的许多优良性能,所以它的

应用迅速扩展。在荧光材料、磁性材料、激光材料、超导材料、储氢材料、新型半导体材料、原子反应堆材料等方面,稀土元素都显示出重要作用。我国是稀土储量最多的国家,稀土元素化学在材料科学中的迅速发展,必将对我国的现代化建设做出日益重要的贡献。合成高分子材料在目前人们使用的各种材料中已占一半以上,近些年来又有许多新发展,含有碳纤维、硼纤维的各种复合材料以及具有光、电、磁等功能的各种功能高分子材料,均在现代科技中发挥了重要作用。在新能源的开发和利用方面,近年来许多国家对无污染的氢能源的研究和应用不断取得新的成果。可以预料不久的将来,会出现以氢能为主要能源的新时代。

生命科学与化学的联系更为密切。植物体的根、茎、叶、花、果实、种子,动物体的骨骼、肌肉、脏器以及它们的各种体液都是由各种化学元素经过生理、生化等各种变化而构成的。农、林、果、鱼、畜产品的初加工、深加工及其副产品和废物的综合利用;粮食、油料、蔬菜、水果、水产品、肉奶蛋等的储存保鲜;使用饲料添加剂、生长激素、微量元素、必需氨基酸等调节动植物有机体的生理过程,以提高农牧业产品的质量和产量;利用杀虫剂、杀菌剂、杀鼠剂保护植物不受害虫、病菌、啮齿类动物的侵害;利用各种兽药和疫苗防治畜禽疾病和传染病;卫生监督、环境监控、产品质量的检验;微量元素肥料和化学肥料的合理使用,土壤结构的改良;盐碱地的治理、污水的净化等,都离不开化学的基本原理、基本知识和基本操作技能。

伴随其他科学技术和生产水平的提高,新的精密仪器、现代化的实验手段和计算机的广泛应用,化学科学也在突飞猛进地发展,正在从描述性的科学向推理性的科学过渡,从定性科学向定量科学发展,从宏观现象向微观结构深入。面向未来,化学将向更广度、更深层次的方向延伸;新工具的不断创造和应用,将促进化学的创新发展;绿色化学将带来化学化工生产方式的变革;化学在解决战略性、全局性、前瞻性重大问题上,将继续发挥更大的作用。目前,世界上出现的以信息技术、生物工程、新型材料、新的能源、海洋开发等新技术为主导的技术革命是与化学密切相关的,离开化学和化学工业的发展,这些新技术的发展和應用都是不可能的。

1.1.2 无机及分析化学的性质、任务和学习方法

在化学的各门分支学科中,无机化学是研究所有元素的单质和化合物(碳氢化合物及其衍生物除外)的组成、结构、性质和反应的学科;分析化学是研究物质组成成分及其含量的测定原理、测定方法和操作技术的学科。无机及分析化学是高等学校材料类、环境类、农林类、生物类专业一门重要的必修基础课,它不是化学学科发展的一门分支学科,而是主要介绍无机化学和分析化学等学科中的基础知识、基本原理和基本操作技术。在此基础上,运用微观理论知识,去揭示物质的组成、结构及其性质与变化规律的关系;用宏观理论知识中的化学热力学与化学动力学知识,计算化学反应中的能量变化,继而判断化学反应的方向、限度、快慢及反应历程,以及研究化学反应与外界条件的关系等,并将这些知识在水溶液中的四大化学平衡及元素化学内容中予以应用和深化,我们可从中了解到化学与材料科学、环境科学和生物科学融合的巨大潜力。

许多专业的基础课和专业课也与化学有着不可分割的联系。例如,材料分析测试技术,材料合成,材料化学,环境监测,水处理技术,大气、水污染控制,动物、植物生物化学,动物、植物生理学,病理学,药理学,土壤学,肥料学,植物保护学,饲料学,农畜产品加工学等专业基础课和专业课都需要一定的化学基础知识。又如,学习生理学必须了解生物体的新陈代谢作用,生物体内的酸碱平衡以及各种代谢平衡,这些平衡都是以化学平衡理论为基础的;各种酶的作用又是催化剂原理的具体体现。总之,对化学在专业学习和专业工作中的重要意义,大家在今后

的学习和实践中会有更深刻的体会。

无机及分析化学的教学任务是：通过本课程学习，掌握与材料科学、环境科学、农林科学、生物科学有关的化学基本理论、基本知识和基本操作技能；在学习溶液基础知识时，重点掌握四大平衡理论的原理和以滴定分析方法为主的测定物质含量的方法，建立准确的“量”的概念；了解这些理论、知识和技能在专业中的应用，为后续课程的学习和今后的工作打下良好的化学基础，同时扩大知识面。总之，在教学中培养自学能力、分析和解决日常生活和生产实践中一些化学问题的能力，以及培养严谨的科学态度和习惯，是无机及分析化学教学的重要任务。

无机及分析化学的学习方法：①学习中要注重基本概念和基本理论的理解和应用。在学习某一内容时，首先要注意研究的对象和背景，弄清问题是怎样提出的，用什么办法解决问题，结果如何，有什么实际意义和应用，然后再研究细致的内容、推导过程、实验步骤等，这样才能抓住要领。②培养自学能力。21世纪的教育是终身教育，知识财富的创造速度非常之快，每隔3~5年翻一番。就化学而言，美国化学文摘服务社(CAS)给各种新化合物编有注册号，在1950年初大约是200万种，而到1990年已突破1000万种，2000年已达到2340万种，2010年已超过3500万种，目前平均每天增加3000种。面对浩瀚的信息量，任何人即使日夜攻读，也难读完和记住现有的知识。将来从事工作所必需的很多知识仅在学校学习期间肯定是不能学完的，需要不断地学习、更新知识来适应社会，增强自己的竞争力，即运用已有知识创造性地解决问题和发现新知识，因此培养自学能力就显得非常重要。掌握知识是提高自学能力的基础，而提高自学能力又是掌握知识的主要条件，两者是相互促进的。我们提倡课前预习，课后复习、归纳，将知识系统化。每学完一章，应对该章内容进行书面总结，包括基本概念、基本原理、基本公式和有关计算，弄清该章的主要内容。此外，有目的地阅读一些杂志或参考书，有助于加深对某一知识的理解和拓宽知识面。③理论与实践结合。化学是一门以实验为基础的科学，许多化学的理论和规律很大的一部分是从实验总结出来的。既要重视理论的掌握，又要重视实验技能的训练，努力培养实事求是、严谨治学的科学态度。

1.2 误差及数据处理

1.2.1 误差的分类

分析测试中，因受分析方法、测量仪器、所用试剂和操作者主观条件等因素限制，分析结果与真实值不完全一致。测定结果与真实值之间的差异称为误差。误差有正、负之分，当测定值大于真实值时为正误差，当测定值小于真实值时为负误差。但客观存在的真实值不可能知道，实际工作中常用“标准值”代替真值。标准值是用多种可靠的分析方法，由具有丰富经验的人员经过反复多次测定而得出的比较准确的结果。误差是客观存在的，不可避免的。作为分析工作者，应该了解误差理论和误差产生原因，以便使误差减少到最小程度，获得尽可能准确的分析结果。按来源不同，误差可分为系统误差和偶然误差。

1. 系统误差

系统误差(可测误差)是由某些比较确定的原因引起的，它对分析结果的影响比较固定，即误差的正、负通常是一定的，其大小也有一定的规律性，重复测量的情况下，它有重复出现的性质，因此其大小往往可以测出，并且还可通过实验减小或消除。按误差产生的原因，系统误差