

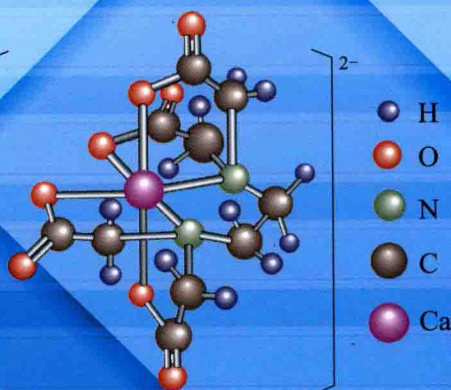
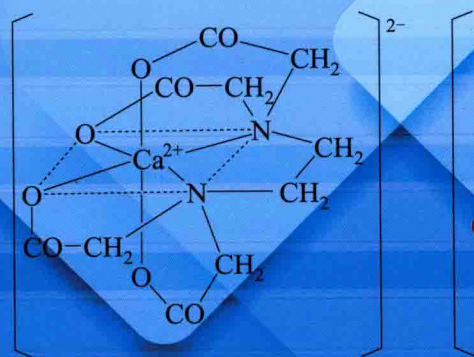
普通高等教育“十三五”规划教材

无机及分析化学

第三版

商少明 主编

刘瑛 汪云 黄丽红 副主编



化学工业出版社

普通高等教育“十三五”规划教材

无机及分析化学

第三版

商少明 主编

刘 瑛 汪 云 黄丽红 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

《无机及分析化学》(第三版)是在倪静安、商少明、翟滨主编的《无机及分析化学》(第二版)的基础上修订而成的。

《无机及分析化学》(第三版)重点对四大化学平衡重新进行了梳理,既做到了无机化学与分析化学平衡部分的有机统一,又体现了不同学科对同一问题处理方法的不同、要求的不同。每章内容后增添了“视窗”,让感兴趣的学生通过网络链接扩充知识视野。绪论以及主要课外阅读文献中引入了相关的视频公开课以及 MOOC 网址,充分发挥数字化优质教学资源的辅助作用,体现了现代的学习已经是网络化、立体化的学习。

《无机及分析化学》(第三版)适用于高等学校工科近化学类专业,如化学工程与工艺、轻化工程、高分子材料与工程、环境工程、制药工程、生物工程、生物技术、食品科学与工程、食品质量与安全、动物科学,以及农、林、医等院校,也可作为相关专业网络教育的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

无机及分析化学/商少明主编. —3版. —北京:
化学工业出版社, 2017.6
普通高等教育“十三五”规划教材
ISBN 978-7-122-29016-8

I. ①无… II. ①商… III. ①无机化学-高等学校-
教材 ②分析化学-高等学校-教材 IV. ①061②065

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 024116 号

责任编辑:刘俊之 周国庆
责任校对:宋 玮

文字编辑:向 东 张瑞霞
装帧设计:韩 飞

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:三河市延风印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张20¼ 彩插1 字数537千字 2017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:49.00元

版权所有 违者必究



前言

由倪静安、商少明、翟滨主编的《无机及分析化学》(第二版)出版以来,得到了兄弟高校同行的关心与支持。近年来,高校近化学类专业教学计划的调整中,部分专业无机及分析化学课程的教学时数被缩减,教指委对近化学类专业各门化学基础课的教学基本要求不再做硬性规定,各校的教学大纲也根据这些变化做了相应的调整。考虑到近化学类各专业不同的需求,根据我们的教学体会以及兄弟高校所提出的宝贵意见与建议,对本书第二版进行了修订。

第三版主要有以下几个方面的变动:

1. 原第1章“化学计量、误差与数据处理”更名为“定量化学分析概述”。原第11章“一般物质的分析步骤和常用分离方法”中的“一般物质的分析步骤”调整至第1章。增加了“测定结果的表示”,引入了“纯度”与“含量”的概念。“定量分析方法的选择与定量分析的一般过程”以及“测定结果的表示与物质组成的量度”可以选择讲授。

2. 原第2章“化学反应的基本原理”更名为“化学反应基本原理初步”,教学时可以根据各校或专业的课程教学大纲及学时数,整章讲授或只讲授其中“化学平衡”的部分内容。

3. 将原第7章“配位化合物与配位平衡”提前至第5章“氧化还原反应与电化学基础”之后,其中的“配位化合物的价键理论”归入“分子结构与晶体结构”一章。

4. 原第6章“物质结构基础”拆分为第7章“原子结构”与第8章“分子结构与晶体结构”。“离子化合物和晶体结构”作为相关专业的选学内容。

5. 原第8、9章元素部分调整为第9、10章,其中第10章增加了钛元素。这两章供有关专业教学选择性讲授。

6. 原第11章“一般物质的分析步骤和常用分离方法”调整为第12章“常用分离方法”,其中“色谱分离法”以及“其他分离方法”作为各校选学内容。

7. 各章后增添“视窗”,主要是相关化学人物的简介以及部分扩展知识,让感兴趣的学生通过网络链接扩充知识视野。

8. 绪论以及主要课外阅读文献中引入了相关的视频公开课以及MOOC的网址,充分发挥数字化优质教学资源的辅助作用,体现了现代的学习已经是网络化、立体化的学习。

《无机及分析化学》(第三版)由江南大学商少明担任主编(第3、4、5、6章责任人),江南大学刘瑛(第1、2、7、8章责任人)、汪云(第11、12章责任人)以及中国计量大学黄丽红(第9、10章责任人)为副主编。参加修订工作的有江南大学商少明(第3、4、6章)、刘瑛(第1、7、8章)、汪云(第9、11章)、李玲(绪论、第2章)、傅成武(第12章以及各章后的“视窗”)、沈晓东与孙芳(附录),中国计量大学黄丽红(第5、10章)。全书由商少明整理定稿。

本书修订过程中,同样参阅了兄弟高校的相关教材,吸取了许多宝贵的内容与精华,在此一并表示最衷心的感谢!

由于编者水平有限,疏漏难免,敬请读者批评指正。

编 者

2016年10月于江南大学



第一版前言

随着经济和科技的飞速发展, 教育改革的不断深化, 对高等学校教学内容和体系的改革提出了更高的要求, 也催促着化学教育与课程体系的改革。无机及分析化学课程就是高等工业学校化学课程改革的一个产物, 它是高等工业学校化工、轻工、应用化学、生物工程、食品等有关专业必修的第一门化学基础课。无锡轻工大学坚持进行无机及分析化学课程改革十余年, 本书是以无锡轻工大学所编《无机及分析化学》讲义为基础, 经过多年的教学实践, 由无锡轻工大学与大连轻工业学院合作编写而成的。本书的编写努力注意到:

1. 从中学化学的实际出发, 以工科化学课程教学指导委员会 1993 年修订的《无机化学课程教学基本要求》和《分析化学课程教学基本要求》为依据, 编写时力求削枝强干、优化内容、突出重点、加强基础。

2. 立足于新的一门课程体系的基础之上, 将原工科无机化学和分析化学的基本内容优化组合成为一个新的体系, 力求保持该课程的完整性。充分考虑工科特点, 贯彻“结构、平衡、性质、应用”的思想, 合理安排四大平衡与其应用的有机结合, 元素化学与阴阳离子定性分离鉴定的有机结合, 力争符合学生认知规律, 强化早期渗透应用意识, 有利于学生分析问题、解决问题能力的培养。

3. 努力联系当今普遍关注的资源、能源、环境、材料、健康等社会实际问题, 适当为生物无机化学、生命科学、环境科学等新兴化学领域展示窗口。

4. 通过计算机应用基础介绍, 帮助学生了解计算机在化学、特别是在无机及分析化学课程中的应用, 使计算机应用本科四年不断线开了个好头。

5. 贯彻我国法定计量单位。

本书根据教学计划, 建议讲授 100 学时左右。有的章节的次序和内容可依各专业要求酌情调整处理。化学计量、误差与数据处理, 无机及分析化学中常用的分离方法, 一般无机化合物的制备及分析步骤, 计算机应用基础等章节的有关内容, 视情况亦可在无机及分析化学实验课程中讲授。本书亦可供农林医等院校有关专业参考使用。

本书由倪静安任主编, 张敬乾、商少明任副主编。参加编写工作的有无锡轻工大学宋云翔 (第 13、16 章)、汪纪三 (第 7、11 章)、倪静安 (第 1、8、15 章)、商少明 (第 2、5、17 章)、陈烨璞 (第 10 章)、张墨英 (第 6 章); 大连轻工学院张敬乾 (第 3、12、14 章)、李英华 (第 4 章)、翟滨 (第 9 章)。全书由参编者互

阅、讨论，倪静安、张敬乾、商少明修改，倪静安通读、统稿。

本书由北京大学华彤文、刘淑珍、姚光庆、赵凤林、刘锋、刘万祺等老师审阅。他们精心审阅本书，提出了许多宝贵的修改意见。审稿后编者根据审稿意见作了认真修改。在此表示衷心的感谢。本书第 17 章中有关程序由刘俊康老师校验，于吉震老师参加了部分排版与校对工作，一并表示感谢。

同时也要感谢无锡轻工大学、大连轻工业学院的校、系各级领导，正是他们对课程改革与教材编写的热情关心、全力支持与具体帮助，才使本书得以如期问世。

限于编者的水平，书中纰漏之处，敬请读者不吝批评指正。

编 者

1996 年 12 月



第二版前言

本书第一版出版以来,得到了兄弟高等院校同行的关心和支持。进入 21 世纪以来,国内高等院校无机及分析化学教学发生了许多变化,无机及分析化学课程内容和课程体系的调整与改革得到不断发展与深化。为了适应新世纪教学改革新形势的需要,根据我们在教学中的体会和各兄弟高校使用本教材中提出的宝贵意见和建议,我们对本书第一版进行了修改、精简,以适合学时数较少的院校使用。

本次修订的主要特点如下:

1. 贯彻“少而精、精而新”的原则,努力做到“削枝强干、去粗存精、突出重点、加强基础”。

2. 努力把传统的教学内容与现代科学技术的新进展结合起来,力求使本教材具有较高的科学性和系统性。

3. 元素化学精选有实用价值的常见重要元素及其化合物,简明阐述其重要特性及变化规律。

4. 考虑到国内高等院校无机及分析化学课程教学的具体情况,删去定性分析部分,该部分内容可以根据各院校需要在实验教学中加以完成。考虑到计算机科学的飞速发展、计算机的广泛普及和高等院校计算机教学的现状,删去“计算机应用基础”一章。

5. 删去各章英文习题,适当调整习题量,注意习题的多样性和灵活性。

本教材由倪静安、商少明、翟滨主编。参加修订工作的有江南大学倪静安(绪论,第 1 章 1.1、1.2 节,第 5、7、8 章)、商少明(第 3、4、9 章)、傅成武(第 11 章、附录)、刘瑛(第 1 章 1.3、1.4 节),大连轻工业学院翟滨(第 2、6 章)、高世萍(第 10 章)。

由于编者的水平有限,对本教材存在的缺点和错误,恳请读者批评指正。

编 者

2004 年 12 月

目 录

绪论 1

- 0.1 化学科学研究的对象与内容 1
- 0.2 “无机及分析化学”课程的基本
内容及其与学科之间的关系 4
- 0.3 无机及分析化学课程的学习
方法 4

第1章 定量化学分析概述 6

- 1.1 定量分析概述 6
 - 1.1.1 定量分析的一般过程与方法
的选择 6
 - 1.1.2 测定结果的表示与物质组成
的量度 8
 - 1.1.3 滴定分析法概述 11
- 1.2 误差与数据处理 13
 - 1.2.1 误差的分类 13
 - 1.2.2 误差的表示方法 14
 - 1.2.3 误差的减免 17
 - 1.2.4 实验数据的处理 18
- 1.3 有效数字 23
 - 1.3.1 有效数字的位数 23
 - 1.3.2 有效数字的修约规则 24
 - 1.3.3 有效数字的运算规则 24
- 习题 25

第2章 化学反应基本原理初步 28

- 2.1 化学反应中的能量关系 28
 - 2.1.1 热力学基本概念 28
 - 2.1.2 化学反应中的能量变化 29
 - 2.1.3 化学反应热的计算 32
- 2.2 化学反应的方向 33
 - 2.2.1 化学反应的自发过程
和熵变 33

2.2.2 吉布斯 (Gibbs)

自由能 35

2.3 化学反应速率 38

2.3.1 化学反应速率的基本 概念 38

2.3.2 影响化学反应速率的 因素 40

2.3.3 反应速率理论 43

2.4 化学平衡 45

2.4.1 可逆反应与化学平衡 45

2.4.2 标准平衡常数 $K^\ominus$ 45

2.4.3 多重平衡规则 47

2.4.4 有关化学平衡的计算 47

2.4.5 标准平衡常数与标准摩尔 Gibbs 自由能变 48

2.4.6 化学平衡的移动 49

习题 54

第3章 酸、碱与酸碱平衡 57

3.1 酸碱质子理论与酸碱平衡 57

3.1.1 酸、碱与酸碱反应的 实质 57

3.1.2 酸碱平衡与酸、碱的 相对强度 59

3.2 酸碱平衡的移动 61

3.2.1 稀释定律 61

3.2.2 同离子效应 62

3.2.3 其他因素 62

3.3 组分的分布与浓度的计算 63

3.3.1 分布分数与分布曲线 63

3.3.2 组分平衡浓度计算的 基本方法 65

3.4 溶液酸度的计算 67

3.4.1	溶液酸度计算的一般方法	67
3.4.2	酸碱质子理论中的代数法	68
3.5	溶液酸度的控制与酸碱指示剂	73
3.5.1	酸碱缓冲溶液	73
3.5.2	酸度的测试与酸碱指示剂	76
3.6	酸碱滴定法	79
3.6.1	强碱滴定强酸	79
3.6.2	强碱滴定一元弱酸	80
3.6.3	多元酸(或多元碱)、混酸的滴定	81
3.6.4	酸碱滴定法的应用	82
	习题	84

第4章 沉淀的生成与溶解平衡 87

4.1	沉淀-溶解平衡及其影响因素	87
4.1.1	溶度积与溶解度	87
4.1.2	影响沉淀-溶解平衡的主要因素	89
4.2	分步沉淀、沉淀的转化	95
4.2.1	分步沉淀	95
4.2.2	物质的分离	97
4.2.3	沉淀的转化	98
4.3	沉淀的形成与纯度	99
4.3.1	沉淀的类型与沉淀的形成	99
4.3.2	影响沉淀纯度的主要因素	101
4.3.3	获得良好、纯净沉淀的主要措施	102
4.4	沉淀分析法	103
4.4.1	称量分析法	103
4.4.2	沉淀滴定法	105
	习题	106

第5章 氧化还原反应与电化学基础 108

5.1	氧化还原反应与电极电势	108
5.1.1	氧化数与氧化还原	

反应	108
5.1.2 氧化还原反应方程式的配平	110
5.1.3 原电池与电极电势	113
5.2 影响电极电势的主要因素	117
5.2.1 能斯特方程式	117
5.2.2 条件电极电势	119
5.3 电极电势的应用	121
5.3.1 判断原电池的正、负极, 计算原电池的电动势	121
5.3.2 判断氧化还原反应的方向与次序	122
5.3.3 确定氧化还原反应进行的限度	124
5.3.4 计算有关平衡常数和 pH 值	126
5.3.5 元素电势图	127
5.4 氧化还原滴定法	129
5.4.1 对滴定反应的要求及被测组分的预处理	129
5.4.2 氧化还原滴定法的基本原理	129
5.4.3 常用氧化还原滴定法	132
5.4.4 氧化还原滴定结果的计算	136
习题	137

第6章 配合物与配位平衡 141

6.1	配合物与螯合物	141
6.1.1	配合物及其组成	141
6.1.2	螯合物	143
6.1.3	配合物的命名	145
6.2	配位平衡及其影响因素	146
6.2.1	配位平衡及配合物的稳定常数	146
6.2.2	配合物的稳定性以及影响配位平衡的主要因素	151
6.3	配位滴定法	154
6.3.1	滴定曲线和滴定条件	154
6.3.2	金属指示剂的作用原理	157
6.3.3	提高混合体系配位滴定选择性的方法	158

6.3.4 配位滴定方式及其应用	161
习题	162
第7章 原子结构	164
7.1 原子结构的基本模型	164
7.1.1 原子的玻尔模型	164
7.1.2 原子的量子力学模型	167
7.2 核外电子运动状态	168
7.2.1 薛定谔方程和原子轨道	168
7.2.2 四个量子数	169
7.2.3 原子轨道和电子云的角度分布图	170
7.3 原子电子层结构和元素周期系	172
7.3.1 多电子原子的核外电子排布	172
7.3.2 元素周期系	177
7.3.3 元素基本性质的周期性变化规律	179
习题	183
第8章 分子结构与晶体结构	186
8.1 共价化合物	186
8.1.1 价键理论	186
8.1.2 杂化轨道理论与分子的几何构型	189
8.1.3 分子轨道理论	192
8.2 配位化合物	196
8.2.1 配位化合物价键理论的基本要点	196
8.2.2 配位化合物的形成和空间构型	196
8.2.3 外轨型配合物与内轨型配合物	198
8.2.4 配位化合物的稳定性和磁性	199
8.3 分子间作用力和氢键	200
8.3.1 分子的极性和变形性	200
8.3.2 分子间作用力	201
8.3.3 氢键	202
8.4 离子化合物和晶体结构	204
8.4.1 离子键的形成及特征	204

8.4.2 离子晶体	205
8.4.3 离子极化	208
8.4.4 其他晶体	210
习题	213

第9章 p区重要元素及其化合物	216
9.1 氟、氯、溴、碘及其化合物	216
9.1.1 通性	216
9.1.2 卤素单质	217
9.1.3 卤化氢和氢卤酸	218
9.1.4 卤化物	219
9.1.5 含氧酸及含氧酸盐	219
9.1.6 卤素离子的鉴定	223
9.2 氧、硫及其化合物	224
9.2.1 通性	224
9.2.2 氢化物	224
9.2.3 硫的重要含氧化合物	226
9.2.4 微量元素——硒	228
9.3 氮、磷、砷、锑、铋及其化合物	228
9.3.1 通性	228
9.3.2 氮及其重要化合物	229
9.3.3 磷及其重要化合物	232
9.3.4 砷、锑、铋的重要化合物	234
9.4 碳、硅、锡、铅及其化合物	236
9.4.1 通性	236
9.4.2 碳的重要化合物	237
9.4.3 硅的含氧化合物	238
9.4.4 锡、铅的重要化合物	239
9.5 硼、铝及其化合物	240
9.5.1 硼的重要化合物	241
9.5.2 铝的重要化合物	242
习题	243

第10章 s区、d区、ds区重要元素及其化合物	246
10.1 s区元素	246
10.1.1 通性	246

10.1.2 s 区元素的重要化合物	247
10.2 d 区元素	252
10.2.1 通性	252
10.2.2 钛的重要化合物	254
10.2.3 铬的重要化合物	255
10.2.4 锰的重要化合物	257
10.2.5 铁、钴、镍的重要化合物	260
10.3 ds 区元素	264
10.3.1 通性	264
10.3.2 铜族元素	265
10.3.3 锌族元素	269
10.4 钠、镁、钙、锌、铁等金属元素在生物界的作用	272
习题	274

第 11 章 可见光分光光度法 277

11.1 可见光分光光度法基本原理	277
11.1.1 物质对光的选择性吸收与物质颜色的关系	277
11.1.2 光吸收的基本定律	279
11.1.3 偏离朗伯-比尔定律的原因	280
11.2 可见光分光光度法	281
11.2.1 分光光度计的基本部件	281
11.2.2 显色反应及其影响因素	282
11.2.3 吸光度测量条件的选择	284
11.3 可见光分光光度法的应用 ...	286
11.3.1 标准曲线法	286
11.3.2 高含量组分的测定——示差法	286
11.3.3 多组分分析	287

习题	288
----------	-----

第 12 章 常用分离方法 290

12.1 萃取分离法	290
12.1.1 分配系数和分配比	290
12.1.2 萃取效率和分离因数 ...	291
12.1.3 萃取体系的分类和萃取条件的选择	292
12.1.4 萃取分离法在无机及分析化学中的应用	293
12.2 色谱分离法	294
12.2.1 柱色谱	294
12.2.2 薄层色谱	295
12.3 其他分离方法	296
12.3.1 沉淀分离法	296
12.3.2 离子交换分离法	297
12.3.3 挥发和蒸馏分离法	298
12.3.4 气浮分离法	298
12.3.5 膜分离法	299
习题	300

附录 301

附录 1 常见标准热力学数据 (298.15K)	301
附录 2 常见弱电解质的标准解离常数 (298.15K)	303
附录 3 常见难溶电解质的溶度积 (298.15K, 离子强度 $I=0$)	305
附录 4 常见氧化还原电对的标准电极电势 $E^\ominus$	305
附录 5 一些氧化还原电对的条件电极电势 E	308
附录 6 常见配离子的稳定常数	308
附录 7 分子量	309

参考文献 312

绪 论

Introduction

世界是物质的，物质是运动的。时间和空间是物质存在的形式。从宇宙间以光年为单位计算其大小的庞大星系，到人肉眼无法看到的分子、原子、电子等微观粒子，都以不同的运动形式存在着。人类本身也是物质运动和演化的产物。人类在与自然抗争获得生存与发展的过程中，不断地认识和改造自然界，建立和发展了自然科学。各门自然科学学科在各个不同的物质层次上、不同的范围内研究物质和物质运动。

0.1 化学科学研究的对象与内容

化学科学是自然科学中的一门重要学科，是其他许多学科的基础。化学（chemistry）是研究物质化学运动的科学，它是在分子、原子或离子等层次上研究物质的组成、结构、性质、变化规律以及变化过程中能量关系的一门科学。

化学科学来源于生产，其产生和发展与人类最基本的生产活动紧密相连，人类的衣食住行，也无不与化学科学密切相关，化学元素和化学物种是人类赖以生存的物质宝库。人类社会和经济的飞速发展，给化学科学提供了极为丰富的研究对象和物质技术条件，开辟了广阔的研究领域。化学科学来源于生产，反过来又促进了生产的进步。在应对社会发展所面临的人口、资源、能源、粮食、环境、健康等方面各种问题的严峻挑战中，化学科学都发挥了不可缺少的重要作用，作出了杰出的贡献。化学科学的发展正是这样把巨大的自然力和自然科学并入生产过程，推动生产的迅猛发展。

化学变化的基本特征如下。

① 化学变化是质变。化学变化的实质是化学键的重组，即旧化学键的破坏和新化学键的形成。因此化学要研究有关原子结构、分子结构的基本知识。

② 化学变化是定量变化。在化学变化中参与反应的元素的种类和数目不变，因此化学变化前后物质的总质量不变，服从质量守恒定律。参与化学反应的各种物质之间有确定的化学计量关系。

③ 化学变化中伴有能量变化。化学变化中化学键的改组伴随着体系与环境之间的能量交换，它服从能量守恒定律。

了解并掌握化学变化这三个重要基本特征，将有助于我们加深对各种化学变化实质的理解，帮助我们掌握化学的基本理论和基本知识。

按照研究对象或研究目的的不同，一般可以把化学分为无机化学、分析化学、有机化学、物理化学和高分子化学等五大分支学科（二级学科）。

（1）无机化学

无机化学（inorganic chemistry）是化学最早发展起来的一门分支学科，研究的对象是

元素及其化合物(除碳氢化合物及其衍生物)。现代无机化学以化学元素周期表为基础,研究的主要内容是元素、单质及化合物的来源、制备、组成、结构、性质、变化和应用。

随着宇航、能源、催化、生化等领域的出现和发展,无机化学不论是在实践还是在理论方面都有了许多新的突破。无机材料化学、生物无机化学、有机金属化学等成为当今无机化学中最活跃的一些研究领域。无机材料化学为人们提供各种性能特异的新型材料。例如,用蒸气沉积法制成的硅锗氧化物光导纤维可供 25000 人互不干扰地同时通话。 1g 镧镍化合物在几百千帕的压力下竟可以吸收 100mL H_2 ,而在减压时又可以重新释出 H_2 ,这种化合物成为一种高效的储氢剂。生物无机化学研究生物活性化合物的结构、物化性质与生物活性的关系,研究微量元素在生物体内的行为和作用。多种具有抑癌、抗癌作用的非铂族过渡元素配合物的合成,为人类征服癌症带来了福音。微量元素在生物体内的行为和作用日益引起人们的关注与认识,它们对生物体内的氧输送、酶催化、神经信息传递等过程起着至关重要的作用。各学科间交叉、融合与渗透产生的金属酶化学、物理无机化学、无机固体化学、无机高分子化学、地球化学、宇宙化学、稀有元素化学、金属间化合物化学、同位素化学等新型边缘交叉学科也都生机勃勃。

(2) 分析化学

分析化学(analytical chemistry)研究的对象是分析方法及其有关理论,研究的主要内容是物质化学组成的定性鉴定和定量测定、物理性能的测试、化学结构的确定以及相应的原理,研究解决上述各种表征和测量问题的方法。

传统的分析化学包括成分分析和结构分析两个方面。成分分析主要可以划分为定性分析(qualitative analysis)和定量分析(quantitative analysis)。若按分析方法所依据的原理来分,可划分为化学分析(chemical analysis)和仪器分析(instrumental analysis)。化学分析是以物质的化学反应为基础的分析方法。仪器分析则是利用特定仪器,以物质的物理和物理化学性质为基础的分析方法,包括光学分析法、电化学分析法、色谱分析法、质谱分析法和放射化学分析法等。

分析化学若按分析对象来划分,有无机分析和有机分析。无机分析的分析对象是无机物。在无机分析中通常要求鉴定试样是由哪些元素、离子、原子团或化合物组成的,各组成成分的质量分数是多少,有时也要求测定它们的存在形式(物相分析)。有机分析的分析对象是有机物。有机分析不仅要求鉴定试样物质中的组成元素,更重要的是要进行试样的官能团分析和结构分析。

生产的高度发展要求分析化学不能仅仅限于测定物质的组分和含量,而且要能够提供更多更全面的信息。科学技术的不断进步,促进了分析化学理论和分析技术的发展,分析化学产生了许多新的测试方法和测试仪器,使分析化学充满活力。在分析实验室中,现代分析仪器所须采用的试样量已经可以少至 10^{-13}g ,体积可以小至 10^{-12}mL ,检出限量可以达到 10^{-15}g ,可以连续提供时间、空间分辨率很高的多维分析数据。而化学计量学的迅速兴起,已使分析化学由单纯的提供数据上升到从分析数据中充分获取有用的信息和知识,成为生产和科研中实际问题的解决者。

目前,生命科学、信息科学和计算机技术的发展,使分析化学进入第三次变革之中。分析化学已发展成为一门化学信息科学,成为许多学科领域研究以及现代工业生产不可或缺的特征与保障手段。分析化学在测定物质的组成和含量的同时,还要对物质的状态(氧化-还原态、各种结合态、结晶态)、结构(一维、二维、三维空间分布)、微区、薄层和表面的组成与结构以及化学行为和生物活性等作出瞬时追踪、无损和在线监测[原位(in situ)、活体内(in vivo)、在线(on line)、线中(in line)、实时(real time)分析]等分析测试及过程控制,甚至要求直接观察到原子和分子的形态与排列。计算机与分析仪器的联用,更是极

大地提高了分析仪器提供信息的功能。现代分析化学正在向快速、准确、微量、微区、表面、自动化等方向发展。例如,新的过程光二极管阵列分析器(process diode array analyzer)可以做多组分气体或流动液体的在线分析,应用于试剂、食品、药物等生产过程中的产品质量控制分析,它在短短的1s内就可以提供出1800种气体、液体或蒸气的分析结果。

(3) 有机化学

有机化学(organic chemistry)研究的对象是碳氢化合物及其衍生物,研究的主要内容是有机化合物的性质、结构、合成方法,有机物之间的相互转变及其变化规律和理论。1928年,德国科学家Wöhler在加热氰酸铵时获得了尿素,证明了一个典型的有机物能够从无机物产生,宣告了生机论的破产。有机合成的迅速发展促进了有机化学的建立。

(4) 物理化学

物理化学(physical chemistry)应用物理测量方法和数学处理方法来研究物质及其反应,以寻求化学性质与物理性质间本质联系的普遍规律。它主要包括化学热力学、化学动力学和结构化学三个方面的研究内容。化学热力学(chemical thermodynamics)研究化学反应发生的方向和限度。化学动力学(chemical dynamics)研究化学反应的速率和机理。结构化学(structural chemistry)研究原子、分子水平的微观结构以及这种结构和物质宏观性质间的相互关系,其被认为是量子化学(quantum chemistry)的一个重要领域,以量子力学原理为基础,探讨各类化学键的本质以及原子与分子中电子运动与核运动的状态,从而在理论上阐明许多基本的化学问题。

(5) 高分子化学

高分子化学(polymer chemistry)研究的对象是高分子化合物(或称聚合物),研究的主要内容是高分子化合物的结构、性能、合成方法、反应机理和高分子溶液的性质。自20世纪30年代H. Staudinger建立高分子学说以来,高分子化学得到了飞速长足的发展。各种以高分子化合物为基础的具有独特优良性能的新型合成材料,如塑料、橡胶、合成纤维、涂料、黏合剂等不断涌现,已被广泛应用于工农业生产及人们的日常生活之中。

今天,化学与物理一起成为当代自然科学的核心。化学已成为高科技发展的强大支柱。化学与人类的生存息息相关。

当前化学发展的总趋势可以概括为:从宏观到微观,从静态到动态,从定性到定量,从体相到表相,从描述到理论。化学在理论方面将会有更大的突破。在美国化学会成立一百周年纪念会上,原美国化学会会长G. T. Seaborg发表演讲时就指出:“化学必将有指数的而不是线性的增长。化学将在它对人类生活的影响方面发挥日益重大的作用。”

现代科学技术的迅猛发展,促进了不同学科的深入发展、交叉与融合,不同科技领域的共鸣与共振,必将爆发出更为惊人的综合效果。人类对物质世界的探索至广、至深,令人惊叹!目前,科学研究所涉及的空间线度已可从 10^{-18}m (电子半径)到 10^{26}m (100亿光年),纵贯44个数量级,人们凭借扫描隧道显微镜已经能比较直观地看到原子和分子的形貌;所涉及的时间范围已可从 10^{-22}s (共振态粒子)到 10^{18}s (100亿年),横穿40个数量级。人们运用闪光分解技术已经可以直接观测到化学反应最基本的动态历程。人们已可以在飞秒级(10^{-15}s)的时间内追踪化学变化。与分子器件、纳米材料、生物体系的模拟有关的亚微观体系的研究备受青睐。纳米技术涉及原子或分子团簇、超细微粒,并与微电子技术密切相关,不只有理论意义而且有实用意义。与此同时,人们把越来越多的注意力投向处理复杂性问题,特别是化学与生物学、生命科学相关联的一些领域。一些物理学的新思想,如非线性科学(nonlinear science)中的耗散结构理论、混沌(chaos)理论、分形(fractal)理论等在化学中的应用日广,前景引人注目。可以估计到,在解决以开放、非平衡态为特点的

生命体系中的化学问题时,必将引起化学领域的新的突破。

0.2 “无机及分析化学”课程的基本内容及其与学科之间的关系

(1) 课程的主要内容

无机及分析化学课程是对原无机化学和分析化学课程的基本理论、基本知识进行优化组合、有机结合而成的一门课程。其基本内容包括:

① 近代物质结构理论 研究原子结构、分子结构和晶体结构,了解物质的性质、化学变化与物质结构之间的内在联系。

② 化学平衡理论 研究化学平衡原理以及平衡移动的一般规律,具体讨论酸碱平衡、沉淀-溶解平衡、氧化还原平衡和配位平衡。

③ 元素化学 在化学元素周期律的基础上,研究重要元素及其主要化合物的结构、组成、性质的变化规律。

④ 物质组成的化学分析方法及有关理论 应用化学平衡原理和物质的化学性质,确定物质的化学成分、测定各组分的含量,亦即通常所说的定性分析和定量分析。掌握一些基本的分析方法。

因此,无机及分析化学课程的基本内容可以简单归纳为“结构”“平衡”“性质”“应用”八个字。学习无机及分析化学,就是要理解并掌握物质结构的基础理论、化学反应的基本原理及其具体应用、元素化学的基本知识,培养运用无机及分析化学的理论去解决一般无机及分析化学问题的能力。

化学是一门以实验为基础的科学,化学实验始终是化学工作者认识物质、改变物质的重要手段。我国无机化学家戴安邦院士结合化学教育深刻指出,化学人才的智力因素由动手、观察、查阅、记忆、思维、想象和表达七种能力组成,这些都能够的化学实验中得到全面的训练。因此,在学习化学基本知识、基本理论的同时,必须十分重视实验,对自己进行严格、科学的实验基本操作训练,掌握实验基本技能,培养良好的科学素养。

强调化学实验的重要性并不意味着可以忽视理论的指导作用。理论能指导实践,理论能指导学习。由现象的认识提高到理论的高度,就是由感性认识到理性认识的飞跃。但是这种理性认识还必须回到实践中去,这就是检验理论和发展理论的过程,这是另一个更为重要的飞跃。

(2) 课程与学科的关系

无机化学、分析化学两门课程的有机融合,可以解决相对较多的平面重复问题,提高两门课程的学习效率。但是应该明确,作为化学的二级学科,无机化学、分析化学还是独立存在的。对同一个问题的讨论,两门学科有共性的问题,但又由于学科对研究对象要求的不同或为了问题讨论的方便而有其不同的方法或手段。例如,同样是化学平衡的讨论,平衡的移动会影响定量化学分析的准确性,甚至对测定结果产生严重的影响。因此分析化学对化学平衡的讨论就相对严密。多一种方法,多一种思路,同时明确不同学科对某一问题的要求的不同,在后续课程或将来的工作中通过学习与实践,用不同的方法处理所需解决的问题还是会有一定帮助的。

0.3 无机及分析化学课程的学习方法

课程的学习过程应努力掌握以下学习方法。

① 科学方法和科学思维 科学的方法就是在仔细观察实验现象、搜集事实、获得感性知识的基础上,经过分析、比较、判断,加以由此及彼、由表及里的推理和归纳,得到概

念、定律、原理和学说等不同层次的理性知识，再将这些理性知识应用到实践中去，在实践的基础上又进一步丰富理性知识。学习无机及分析化学也是一个从实践到理论再到实践的过程，在这整个过程中，人脑所起的作用就是科学思维。

② 掌握重点，突破难点 要在课前预习的基础上，认真听课，根据各章的教学基本要求进行学习。凡属重点一定要学懂学通，领会贯通；对难点要作具体分析，有的难点亦是重点，有的难点并非重点。

③ 学习中注意让“点的记忆”汇成“线的记忆” 记忆力的培养有四个指标：记忆的正确性、敏捷性、持久性和备用性。对课程的基本理论、基本知识要反复理解与应用，在理解中进行记忆。把“一”记住了，真正理解了，“一”可以变成“三”。通过归纳，寻找联系，由“点的记忆”汇成“线的记忆”。

④ 着重培养自学能力，学会学习 大学的学习不应该再是老师按教材顺序讲授、阶段给小结、考前画重点或考试范围的学习。现代的学习已经是立体化的学习，课外的学习已经不再局限于图书馆、资料室以及传统的答疑，“老师”已不再是传统意义上的老师。即使是课堂中老师讲授的“前沿”、“进展”，将来走向社会时也可能就已过时，而且可能还要面临着许许多多新的知识。国内外众多名校或名师的网络公开或共享课（如网易公开课 <http://open.163.com/>；爱课程 <http://www.icourses.cn/home/>）、慕课（如 <http://www.moocs.org.cn/>）、微课（如 <http://weike.enetedu.com/>）以及各所学校自己的数字图书馆、精品课程网站，或视频公开或共享课网站，或慕课网站等都可以选择到自己学习所需要的内容。许多化学、化工、材料的网站也可以解决现在以及将来我们的需求，平时应关注或收藏。在无机及分析化学课程的学习过程中，麻省理工学院的“化学原理（principles of chemical science）”视频公开课不仅是一门很好的双语课程（有中文字幕），也是学习专业英语及词汇、练习专业英语听力非常好的一门课程。诺丁汉大学的“元素周期表”将看似枯燥乏味的元素、化合物等的学习用实验演示、访谈解惑、现场考察等手段有机结合的方式而变得有趣、有吸引力。课后与老师的沟通方式也不再局限于电话或短信，或邮件，可以通过 QQ、微信等现代手段，QQ 群答疑、视频聊天等方式及时与老师沟通，解决疑难问题。

⑤ 十分重视实验，掌握技能 结合实验，巩固、深入、扩大理论知识，掌握实验基本操作技能，培养重事实、贵精确、求真相、尚创新的科学精神，实事求是的科学态度以及分析问题、解决问题的能力。

⑥ 学点化学史 化学在其形成、发展过程中，有无数前辈为此付出了辛勤的劳动，作出了巨大的贡献。他们的成功经验与失败教训值得我们借鉴，而他们那种不怕困难、百折不挠、脚踏实地、勤奋工作、严谨治学、实事求是的精神更是我们学习的榜样。

⑦ 批判性学习 在具有一定学习基础及自学能力的基础上，应该带有一种批判性观点对待教材内容，对待老师的讲课，对待“度娘”。教材中所写的、老师所讲的不一定都是正确或完全正确的，网上一些问题的“标准”答案更是不能照搬、全盘接受。