

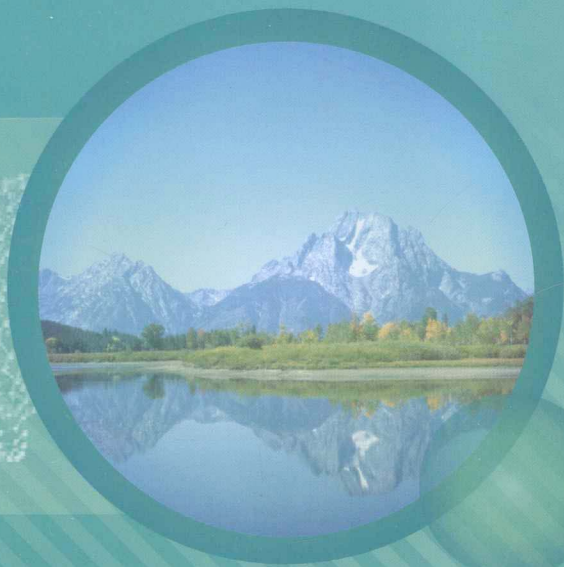
普通高等教育“十二五”规划教材

无机及分析化学

WUJI JI FENXI HUAXUE

南昌航空大学

吴小琴 陈燕清 周韦 罗艳 编著



化学工业出版社



普通高等教育“十二五”规划教材

无机及分析化学

南昌航空大学

吴小琴 陈燕清 周 韦 罗 艳 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书是在编者主讲本课程多年的基础上形成的,出版前曾以教案的形式反复修改并使用多年。

本教材充分注意工科专业特点,编写既体现科学性、理论课“知其所以然”的宗旨;又注意适用性以强化本课程与专业课之间的联系。在内容上,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,精心安排了12章内容,依次为:绪论,化学反应中的能量变化,化学反应的基本原理,定量分析基础,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,原子结构和元素周期表,化学键与分子结构,配位平衡与配位滴定法,元素选述,紫外-可见分光光度法。同时针对工科环境与材料类专业的本科教学,引入相关专业中无机化学与化学分析领域中最新的知识和科研成果,让学生感受到理论课的必要性、指导性和实用性,符合当前高校学科发展和教育改革的需要。

本书可供高等学校环境工程、给水排水工程、金属材料及热处理、金属腐蚀与防护和高分子材料与工程等专业作教材使用,也可供有关人员参考。



图书在版编目(CIP)数据

无机及分析化学/吴小琴等编著. —北京:化学工业出版社, 2013.11

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-122-18678-2

I. ①无… II. ①吴… III. ①无机化学-高等学校-教材②分析化学-高等学校-教材 IV. ①O61②O65

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 244211 号

责任编辑:刘俊之
责任校对:陶燕华

文字编辑:颜克俭
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 装:三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张18 $\frac{3}{4}$ 彩插1 字数491千字 2013年11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:37.00 元

版权所有 违者必究

前言

当前经济和科技飞速发展，教育改革在不断深化，随着新教学大纲的修订，对高等学校教学内容和体系的改革提出了更高的要求，也催促着教材改革和更新。《无机及分析化学》课程是把原工科《无机化学》和《分析化学》两门基础课的基本内容优化组合而成的一门高等学校课程，是四年制本科环境工程、给水排水工程、金属材料及热处理、金属腐蚀与防护和高分子材料与工程等非化学类工科专业的第一门学科基础必修课，也是这五个专业的核心课程之一。学习无机及分析化学的基本理论和基本知识，可以为这些专业的后续课程打下必要的基础，为各工程的设计提供思路 and 理论依据。目前国内同类高校教材不少，但尚无针对这几个工科专业本科教学的《无机及分析化学》专用教材。因此，作者在授课时，常面对学生的提问：①老师，为什么不按书本讲课呢？②这门课与我们专业有什么关系？关于第一个问题，实践证明只有初入校门的大学生才会提出，因为他（她）还习惯中学的教学模式，还注重手中的教材。因此，为了适应教学需要，更好地培养环境与材料类专业技术人员，切实加强学生专业基础理论知识，掌握现代无机化学和化学分析领域中与所学专业相关的新理论、新标准、新技术，为后续课程的学习做好铺垫，编者在多年教学实践的基础上，编写了本教材。在教材内容的安排上，本书的编写力求做到以下几点。

① 与不同层次的“无机及分析化学”课程教学大纲匹配，贴合教学实际。

② 内容先进且实用，传承的部分做到精准，同时以“阅读材料”的方式引入与授课专业（环境、给排水、高分子材料工程，金属材料及热处理、金属腐蚀与防护）相关的无机及分析化学方面的新知识和新成果，以回答第二个问题。

③ 知识系统完整，思路清晰，承前启后。即教材内容的起点与当前中学化学教材无机和分析内容相衔接，也为后续相关专业课留下接口。

与同类教材比较，力求体现下列特色与创新：

① 针对工科环境与材料类专业的本科教学；

② 反映了相关专业中无机化学与化学分析领域中最新的科学技术成果；

③ 体现学术价值，理论课“知其所以然”宗旨；

④ 强化本课程与专业课之间的联系。

编写总体思路为：通过本课程的学习，使学生理解并掌握物质结构的基础理论，化学反应的基本原理及具体应用，定量分析中常用的化学分析方法原理。培养学生运用无机及分析化学的理论去解决环境工程、给水排水工程、金属腐蚀与防护、金属材料及热处理和高分子材料与工程中一般相关问题的能力。具体要求如下。

① 掌握化学反应的基本原理，能判断一个化学反应能否发生，反应的限度。初步了解化学反应中的能量关系，安全利用反应式解决材料工艺、环境保护和给水排水方面的实际问题。

② 掌握近代物质结构理论，从原子结构、分子结构入手，阐明材料的性能、物理和化学变化的实质。

③ 理解化学平衡理论及其应用，具体掌握酸碱平衡、沉淀溶解平衡、氧化还原平衡和配位平衡这四大平衡及它们之间的共存和相互影响。

④ 了解常见有毒元素及其化合物的性质、监测方法和环境治理、给水排水中所涉及的化学反应。

⑤ 了解最基本的材料元素及其化合物的结构、来源、性质及用途。

⑥ 熟练掌握容量分析和分光光度分析的基本原理、方法和适用范围，在水质分析、环境监测、材料元素定量中的具体应用。

⑦ 熟练掌握定量分析数据的处理方法，能准确表达测定结果，并对测定结果的可靠性进行评价。

本书根据教学计划，建议讲授 64+6 学时左右，环境工程和给水排水工程专业适用。材料类不同专业可根据本专业要求选用相关章节和内容。本书亦可供普通高等院校有关专业参考使用。

本书由吴小琴教授、陈燕清、周韦、罗艳博士编著。具体编写安排是：陈燕清（第 4、8、9、12 章及附录一、五）、周韦、罗艳（第 5、6、7、10 章及附录四、六、七、八）、吴小琴（第 1、2、3、11 章、其他章节的部分习题，本书的其他内容），统稿。

本书由南昌航空大学环境与化学工程学院院长颜流水教授主审。他精心审阅本书，提出了许多宝贵的修改意见，编者根据审稿意见作了认真修改，编者在此对颜教授表示衷心的感谢。

本书由南昌航空大学教材建设基金资助出版。感谢南昌航空大学、教务处和环化学院相关领导与同仁；同时也要感谢化学工业出版社的编辑。正是大家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，书中难免有不当之处，敬请读者和专家不吝指正。

编著者

2013 年 7 月于南昌红角洲

目 录

第 1 章 绪 论

Chapter 1 Introduction

1.1 概述	1
1.1.1 化学的起源、研究对象及学科地位	1
1.1.2 化学变化的基本特征	2
1.1.3 化学的基础分支学科	2
1.1.4 化学带来的问题与未来发展趋势	6
1.2 无机及分析化学课程的基本内容和任务	6
1.2.1 基本内容	6
1.2.2 任务	6
1.3 本课程与环境和材料工程类各专业的联系	6
1.4 无机及分析化学课程的学习方法	7
[阅读材料] 理工科大学新生怎样自主学习	8
思考题	8

第 2 章 化学反应中的能量变化

Chapter 2 Energy Changes in Chemical Reactions

2.1 概念与术语	9
2.1.1 系统与环境	9
2.1.2 过程与途径	9
2.1.3 状态与状态函数	9
2.1.4 热 Q 和功 W	10
2.1.5 热力学能 U 和焓 H	10
2.2 热化学	11
2.2.1 化学反应中的能量变化——反应热 (反应热效应)	11
2.2.2 热化学反应方程式	12
2.2.3 热化学定律	13
2.2.4 标准摩尔生成焓 $\Delta_f H_m^\ominus$ 及标准摩尔燃烧焓 $\Delta_c H_m^\ominus$	14
2.3 化学反应热效应的理论计算	15
2.3.1 利用标准摩尔生成焓的数据计算	15
2.3.2 利用标准摩尔燃烧焓的数据计算	15
2.3.3 利用标准摩尔生成焓或标准摩尔反应焓变数据, 根据盖斯定律 计算	15
[阅读材料] 锂离子电池中的热效应	16
思考题与习题	17

第3章 化学反应的基本原理

Chapter 3 Basic Principle of Chemical Reactions

3.1 化学反应的自发性及其判断	18
3.1.1 自发过程及其特点	18
3.1.2 自然界的两条基本定律	18
3.1.3 混乱度与熵的概念	19
3.1.4 焓变判据和熵变判据	20
3.1.5 摩尔反应吉布斯自由能变和化学反应的方向	20
3.1.6 吉布斯方程的应用	22
3.2 化学反应的限度——化学平衡	23
3.2.1 可逆反应与化学平衡	23
3.2.2 分压定律和化学平衡常数	24
3.2.3 吉布斯自由能变与标准平衡常数	27
3.2.4 化学平衡的移动	29
3.3 化学反应的速率	30
3.3.1 化学反应速率及表示方法	30
3.3.2 反应速率理论简介	31
3.3.3 影响化学反应速率的因素	34
[阅读材料] 光化学反应与光催化剂	36
思考题与习题	36

第4章 定量分析基础

Chapter 4 The Basic of Quantitative Analysis

4.1 分析化学的定义、历史、任务和作用	39
4.2 定量分析方法的分类与选择	39
4.2.1 化学分析方法	39
4.2.2 仪器分析方法	40
4.3 定量分析的过程及分析结果的表示	41
4.3.1 分析化学过程	41
4.3.2 定量分析结果的表示	41
4.4 定量分析中的误差	42
4.4.1 准确度和精密度	42
4.4.2 定量分析误差产生的原因	44
4.4.3 提高分析结果准确度的方法	45
4.5 有效数字的运算规则	46
4.5.1 有效数字	46
4.5.2 有效数字的运算规则	46
4.6 有限实验数据的统计处理	47
4.7 滴定分析法概述	49
4.7.1 滴定分析法的特点	49
4.7.2 滴定分析对化学反应的要求和滴定方式	50
4.7.3 基准物质和标准溶液	51

4.7.4 滴定分析的计算	51
[阅读材料] 以数理统计法对化学分析中实验数据差异性的研究	52
思考题与习题	53

第5章 酸碱平衡与酸碱滴定法

Chapter 5 Acid-base Equilibrium and Acid-base Titration

5.1 经典酸碱理论	56
5.2 酸碱质子理论	56
5.2.1 共轭酸碱	56
5.2.2 酸碱反应	57
5.3 弱酸、弱碱解离平衡	57
5.3.1 一元弱酸、弱碱的解离平衡	57
5.3.2 多元弱酸、弱碱的解离平衡	58
5.3.3 同离子效应和盐效应	58
5.3.4 共轭酸碱对的 $K_a^\ominus$ 与 $K_b^\ominus$ 的关系	58
5.4 酸碱平衡体系中有关组分浓度的计算	59
5.4.1 分布系数与分布曲线	60
5.4.2 溶液酸度的计算	61
5.5 酸碱缓冲溶液	64
5.5.1 酸碱缓冲溶液的作用原理	65
5.5.2 酸碱缓冲溶液的 pH 计算	65
5.5.3 缓冲容量和缓冲范围	66
5.5.4 缓冲溶液的配制	66
5.6 酸碱滴定法	66
5.6.1 酸碱指示剂	66
5.6.2 酸碱滴定法的基本原理	69
5.7 酸碱滴定法的应用	74
5.7.1 酸碱标准溶液的配制与标定	74
5.7.2 应用实例	74
[阅读材料] 酸碱滴定分析在聚酰胺-胺表征中的应用	77
思考题与习题	79

第6章 沉淀-溶解平衡与沉淀滴定法

Chapter 6 Precipitation-solubility Equilibrium and Precipitation Titration

6.1 难溶电解质的溶度积和溶度积规则	83
6.1.1 难溶电解质的溶度积	83
6.1.2 溶解度和溶度积的相互换算	83
6.1.3 溶度积规则	84
6.2 沉淀-溶解平衡的移动	85
6.2.1 同离子效应和盐效应对沉淀-溶解平衡的影响	85
6.2.2 沉淀生成	86
6.2.3 沉淀的溶解	86
6.2.4 分步沉淀	87

6.2.5 沉淀转化	88
6.3 重量分析法	88
6.3.1 重量分析法简介	88
6.3.2 沉淀的形成	89
6.3.3 影响沉淀纯度的因素	90
6.3.4 沉淀条件的选择及减少沉淀沾污的方法	91
6.3.5 沉淀的过滤、洗涤、烘干或灼烧	92
6.3.6 重量分析对沉淀的要求	92
6.3.7 重量分析的计算和应用实例	93
6.4 沉淀滴定法	93
6.4.1 莫尔法	94
6.4.2 佛尔哈德法	95
6.4.3 法扬斯法	95
6.4.4 银量法的应用	97
[阅读材料] 铁基非晶合金铁硅硼中硅和硼的测定	97
思考题与习题	98

第7章 氧化还原反应与氧化还原滴定法

Chapter 7 Redox Equilibrium and Redox Titration

7.1 氧化还原反应方程式的配平	101
7.1.1 氧化数法	101
7.1.2 离子-电子法	102
7.2 电极电势	103
7.2.1 原电池	103
7.2.2 电极电势	104
7.3 电极电势的应用	107
7.3.1 判断原电池的正、负极及计算原电池的电动势	107
7.3.2 判断氧化还原反应自发进行的方向	107
7.3.3 判断氧化还原反应进行的次序	108
7.3.4 判断氧化还原反应进行的完全程度	108
7.4 元素标准电极电势图及其应用	109
7.4.1 元素标准电极电势图	109
7.4.2 元素标准电极电势图的应用	110
7.5 氧化还原反应的速率及其影响因素	110
7.6 氧化还原滴定法	111
7.6.1 方法概述	111
7.6.2 条件电极电势	111
7.6.3 氧化还原滴定曲线	112
7.6.4 氧化还原指示剂	114
7.6.5 氧化还原预处理	115
7.7 常用氧化还原滴定法	115
7.7.1 高锰酸钾法	115
7.7.2 重铬酸钾法	117

7.7.3 碘量法	117
[阅读材料] 氧化还原法处理冶金综合电镀废水	120
思考题与习题	121

第8章 原子结构和元素周期表

Chapter 8 Atomic Structure and Element Periodic Table

8.1 原子核外电子的运动状态	125
8.1.1 氢原子光谱和玻尔理论	125
8.1.2 微观粒子的波粒二象性和测不准原理	127
8.1.3 波函数和原子轨道	129
8.1.4 波函数和电子云的空间图形	130
8.1.5 四个量子数及其对原子核外电子运动状态的描述	132
8.2 多电子原子结构	134
8.2.1 近似能级图	134
8.2.2 核外电子排布的规律	136
8.2.3 核外电子排布和元素周期系	136
8.3 元素基本性质的周期性	138
8.3.1 原子半径	138
8.3.2 电离势	139
8.3.3 电子亲和势	140
8.3.4 电负性	141
[阅读材料] 原子态与金属态贵金属化学稳定性的差异	142
思考题与习题	143

第9章 化学键与分子结构

Chapter 9 Chemical Bond and Molecular Structure

9.1 离子键	145
9.1.1 离子键的形成与特点	145
9.1.2 晶格能	146
9.1.3 离子的电荷、电子构型和半径	147
9.1.4 离子的极化	148
9.2 共价键	149
9.2.1 现代价键理论	149
9.2.2 分子轨道理论	153
9.3 共价键的极性和分子的极性	158
9.3.1 极性键和非极性键	158
9.3.2 极性分子和非极性分子	158
9.4 金属键理论	159
9.5 分子间力和氢键	160
9.5.1 分子间力	160
9.5.2 氢键	162
[阅读材料] 功能高分子微球选择性清除环境毒素	164
思考题与习题	165

第 10 章 配位平衡与配位滴定法

Chapter 10 Coordination Equilibrium and Complexometry

10.1 配合物的基本知识	167
10.1.1 配合物的基本概念及组成	167
10.1.2 配合物的命名	168
10.1.3 配合物的类型	169
10.2 配合物的价键理论	171
10.2.1 配合物中的化学键	171
10.2.2 配合物的空间构型	171
10.2.3 外轨型配合物与内轨型配合物	173
10.3 配位平衡	173
10.3.1 配合物的离解平衡	173
10.3.2 配离子的稳定常数	174
10.3.3 配位平衡的移动	175
10.4 配位化合物的应用	177
10.4.1 在分析化学中的用途	177
10.4.2 在冶金工业中的应用	178
10.4.3 在医学方面的应用	178
10.5 配位滴定法	179
10.5.1 配位滴定法概述	179
10.5.2 EDTA 与金属离子配合物的稳定性	180
10.5.3 金属指示剂	184
10.5.4 配位滴定原理	187
10.5.5 配位滴定的方式及其应用	192
[阅读材料] 浅谈 EDTA 在水泥化学分析中的应用	194
思考题与习题	195

第 11 章 元素选述

Chapter 11 Descriptions of the Selected Elements

11.1 环境污染和常见有毒无机物	199
11.1.1 砷及其无机化合物	199
11.1.2 铬及其无机化合物	202
11.1.3 汞及其无机化合物	206
11.1.4 镉及其化合物	210
11.1.5 铅及其化合物	211
11.2 材料关键元素及其无机化合物	216
11.2.1 铁及其化合物	216
11.2.2 碳及其无机化合物	220
[阅读材料] 石墨烯和碳纳米管的结构与性能简介	226
11.2.3 硅及其无机化合物	229
[阅读材料] 光伏材料	234
思考题与习题	235

第 12 章 紫外-可见分光光度法

Chapter 12 UV-VIS Spectrometry

12.1 概述	238
12.1.1 电磁波谱	238
12.1.2 物质的颜色与光的关系	239
12.2 光吸收的基本定律	240
12.2.1 朗伯-比尔定律	240
12.2.2 偏离朗伯-比尔定律的原因	241
12.3 显色反应及其影响因素	242
12.3.1 显色反应与显色剂	242
12.3.2 影响显色反应的因素	242
12.4 光度分析法及其仪器	243
12.4.1 目视比色法	243
12.4.2 分光光度法及分光光度计	243
12.4.3 吸光光度法测量条件的选择	246
12.5 紫外-可见分光光度法测定方法	247
12.6 吸光光度法的应用	249
[阅读材料] 比值-导数法同时测定污水中的苯酚和苯胺	250
思考题与习题	251

附 录

附录一 本书采用的法定计量单位	253
附录二 基本物理常量、化学分析术语和本书使用的其他符号与名称	254
附录三 常见物质的 $\Delta_f H_m^\ominus$ 、 $\Delta_f G_m^\ominus$ 和 $S_m^\ominus$	261
附录四 弱酸、弱碱的解离平衡常数 $K^\ominus$	275
附录五 几种常用缓冲溶液的配制	276
附录六 常见难溶化合物的溶度积常数	276
附录七 标准电极电势 (298.15K) 及一些电对的条件电极电势	278
附录八 金属-有机配位体配合物的稳定常数	282
附录九 常用化合物的相对分子质量	285

参考文献

元素周期表

第 1 章 绪 论

Chapter 1 Introduction

1.1 概述

1.1.1 化学的起源、研究对象及学科地位

化学 (chemistry) 起源于人类的生产实践, 原始人类从用火 (燃烧是一种化学现象) 之时开始, 由野蛮进入文明, 同时也开始了用化学方法认识和改造天然物质。人类先会用火制作熟食, 之后创造了制陶、冶炼技术; 再后又开拓了酿造、染色工艺等。这些对天然物质进行加工改造的生产实践, 属于实用化学工艺时期, 也成为古代文明的标志。在这些生产实践的基础上, 萌发了古代化学知识。直到 17 世纪 (1661 年) 英国化学家罗伯特·波义耳 (Robert Boyle, 1627~1691) 提出了科学的化学元素 (chemical element) 概念, 化学才真正作为自然科学中的一个独立部分极为迅速地发展起来。

化学是自然科学中一门重要的基础学科。是在分子 (molecule)、原子 (atom)、离子 (ion) 层次上研究物质 (substances) 的组成 (form)、结构 (structure)、性质 (property) 及其变化 (change)、能量变化 (energy changes) 的一门学科。严格地说, 物质按其存在、发展形态可分为三类: 第一类是能量类物质, 如光、磁场、电场等, 这些是最原始的物质; 第二类是时空类物质, 如黑洞等, 这些是由于原始物质运动而产生出来的物质运动现象; 第三类是形象类的物质, 如石头、树木、水等, 人们一般所认识的是指第三类的物质, 即实物, 化学研究对象也是指第三类物质。化学是研究物质化学反应 (chemical reaction) 现象、探究其中的规律和原因, 发现并研究物质在自然界的存在、提取、人工合成和应用的学科。人工合成新物质, 是化学的核心与特征, 是其他科学所没有的特点。

物质种类繁多, 美国化学文摘 1991 年登录的化学物质总数为 1200 万种, 1998 年 10 月为 1800 万种, 2005 年 12 月为 2700 万种物质, 2007 年为 3200 万种, 2013 年 7 月登录的物质有 7263 万多种 (<http://www.cas.org/index>)。

物质无所不在, 空气、水源、土壤, 人类的衣、食、住、行、用等生活各方面, 国民经济各部门, 尖端科技领域, 哪里有物质, 那里就离不开化学这门基础科学。如在应用技术和尖端科学领域有: 聚酯纤维, 塑料门窗、管道涂料等。用于收录机、电视机、计算机等各种电器中的高纯物质 (硅、锗、砷化镓、锑化铟等), 杂质含量 $\leq 10^{-9}$, 是常用的半导体材料; 光缆材料 (如海底电缆, 用于现代通信, 主要是光导纤维——硅锗氧化物, 由于光在光纤传输中的损耗几乎不随温度而变, 所以供应 2.5 万人同时通话都互不干扰); 高效储氢材料 (如 LaNi_5 , 加压下每克储氢 100mL); 热敏、气敏、湿敏材料 (机器人制造用, 均是 Si、Ge、Al、Ga、As 等复合氧化物); 超导材料 Hg (4K), Cu、Ba、La、O 组成的陶瓷材料 (30K), $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ (90K), $\text{Tl}_2\text{Ca}_2\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ (120K); 紫外非线性光学晶体 [如偏硼酸钡 BBO—— $\text{Ba}(\text{BO}_2)_2$]; 闪烁晶体, 如 BGO 晶体 (锗酸铋—— $\text{Bi}_4\text{Ge}_4\text{O}_{12}$), 具有荧光性, 当一定能量的电子、 γ 射线、重带电粒子进入 BGO 时,

它能发出蓝绿色的荧光，光的强度和位置与入射粒子的能量和位置对应。高能燃料（火箭用，如液氢和肼等）；高能电池（飞船通信用，如锌-卤素、钠或锂-水）；高强度、耐高温特种材料（飞船制造用，如难熔钨钼合金）；高氧化合物（潜水员、宇航员呼吸用，如过氧化钠、超氧化钾）。新型催化剂的研制与利用，使化学工业的许多不可能成为可能，如石油裂解、汽车尾气的净化、光化学处理污染物、光解水等。探索生命现象的奥秘——“分子水平”的生物学研究，已证实生命现象涉及大量复杂的反应。现代工业生产过程质量控制，在临床检验中测定糖类、有机酸、氨基酸、蛋白质、抗原、抗体、DNA、激素、生化需氧量以及某些致癌物质无不需要化学。除此之外，人们现在对物质结构与化学变化的规律有了较深刻的认识，各种不同类型物质大量地被合成出来，已形成了庞大的化工体系。创造出许多高新产品，如氧化铝陶瓷制品，金刚石及其钻头，光学纤维胃镜。近年来还发现了不少新结构的材料，如富勒烯（fullerenes） C_{60} 、 C_{50} 、碳纳米管（carbon nanotube）、石墨烯（graphene）等。

总之，化学研究的是客观存在的物质中的实物，因此化学与我们的生活息息相关，在保证人类的生存并不断提高人类的生活质量方面起着重要作用。化学是一门实用的学科，用化学的知识可以分析和解决社会中的许多问题，例如能源、粮食、健康、资源与可持续发展等问题。

化学也是自然科学中一门承上启下的“中心科学”（central science），如图 1-1。

以计算与信息学、数学和物理学为基础，又是交叉学科和现代热点研究领域：生命科学，材料科学，环境化学，绿色化学，能源化学，计算化学，纳米化学，手性药物和手性技术等相关专业的专业基础。化学与其他学科的交叉与渗透，还产生了很多边缘学科，如农业化学、环境化学、地球化学、宇宙化学、海洋化学、大气化学、医药化学、生物化学、材料化学、放射化学、激光化学、计算化学、星际化学等。

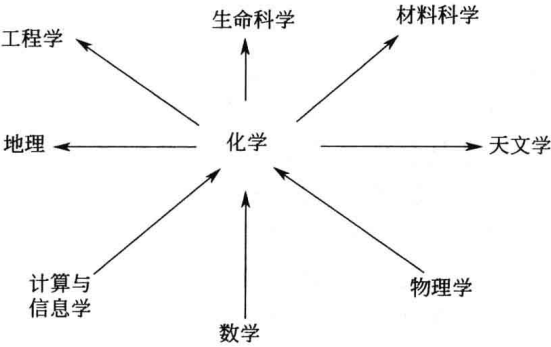


图 1-1 化学是中心科学

1.1.2 化学变化的基本特征

物质的变化有物理变化和化学变化，通常所说的化学主要研究化学变化（核能源，核医学：涉及原子能裂变-原子能的和平利用，属于核化学，不在此类）。化学变化通过化学反应而呈现，化学变化有以下三大特征：

- (1) 质变 质指分子，即分子变了，原子间的化学键在化学反应后重新改组；
- (2) 定量 元素未变，原子未变，所以化学反应前后体系与环境间质量守恒；
- (3) 有能量变化 化学变化时，键能改变，能量不同，所以体系与环境之间有能量交换，但化学反应前后体系与环境间总体能量守恒。

1.1.3 化学的基础分支学科

- (1) 传统的四大分支 无机化学（inorganic chemistry）、分析化学（analytical chemistry）、有机化学（organic chemistry）和物理化学（physical chemistry），形成于 20 世纪 20 年代前后。
- (2) 后来的五大分支（80 类） 生物化学（biological chemistry）、有机化学、大分子化学（macromolecular chemistry）、应用化学和化学工程（applied chemistry and chemical en-

gineering)、物理化学和分析化学,1967年美国化学文摘(CA)。

(3) 现代的七大分支 无机化学、有机化学、生物化学、高分子化学、分析化学、物理化学和核化学 [1989年《中国大百科全书》(化学卷)]。

① 无机化学 无机化学是研究无机物的组成、性质、结构和反应的科学,是化学科学中最基础的部分。无机物包括除碳氢化合物及其衍生物外的所有元素及其化合物(碳化合物中的CO、CO₂、碳酸盐等属于无机化合物,其余属于有机化合物);大学无机化学课程内容包含基础理论和元素化学两部分:基础理论包括热化学、化学热力学和化学动力学基础(这些也属于物理化学的范畴),化学反应中的四大平衡关系,原子结构理论、分子结构理论、晶体结构理论、酸碱理论、配位化学理论等。元素化学部分主要有:元素及其化合物,重点介绍元素周期表中的重要元素及其主要化合物的性质和变化规律、制备、用途等。

人类最早接触到的化学知识便是无机化学,如金属冶炼、玻璃制造以及陶器、印染技术的应用。无机化学的形成常以1869年俄国科学家门捷列夫(Mendeleev D I)和德国的化学家迈耶尔(Meyer J L)发现周期律和公布周期表为标志。他们把当时已知的63种元素及其化合物的零散知识,归纳成一个统一整体——元素周期表。一个多世纪以来,化学研究的成果还在不断丰富和发展周期律,周期律的发现是科学史上的一座丰碑。在最近几十年中无机化学发展很快,派生出稀有元素化学、无机合成化学、络合物化学、同位素化学、无机高分子化学、无机固体化学、生物无机化学、金属有机化学、金属酶化学、金属间化合物化学等新的分支学科。

在现代无机化学的研究中广泛采用物理学和物理化学的实验手段和理论方法,结合各种现代化的谱学测试手段,如X射线衍射(XRD)、电子顺磁共振谱(ESR)、光电子能谱(XPS)、穆斯堡尔谱(Mossbauer spectroscopy)、核磁共振谱(NMR)、红外(IR)和拉曼光谱(Raman spectroscopy)等,以获得无机化合物的几何结构信息,及化学键的性质、自旋分布、能级结构等电子结构的信息。并运用分子力学、分子动力学、量子化学等理论,进行深入的分析,了解原子、分子和分子集聚体层次无机化合物的结构及其与性能的关系,探求化学反应的微观历程和宏观化学规律的微观依据。另外,无机合成依然是无机化学的基础。现代无机合成除了常规的合成方法外,更重视发展新的合成方法,尤其是特殊的和极端条件下的合成,如超高压、超高温、超低温、强磁场、电场、激光、等离子体等条件下合成多种多样在一般条件下难以得到的新化合物、新物相、新物态,合成出了如超微态、纳米态、微乳与胶束、无机膜、非晶态、玻璃态、陶瓷、单晶、晶须、微孔晶体等多种特殊聚集态,及具有团簇、层状、某些特定的多型体、层间嵌插结构、多维结构的复杂的无机化合物,而且很多化合物都具有如激光发射、发光、光电、光磁、光声、高密度信息存储、永磁性、超导性、储氢、储能等特殊的功能,这些新型的无机物有着广泛的应用前景。无机化学的发展对解决矿产资源的综合利用,近代技术中所迫切需要的原材料等有重要的作用。

② 有机化学 有机化学是研究碳氢化合物及其衍生物的学科,以碳的正四面体结构为基础。

有机化学的研究范围是碳氢化合物及其衍生物的来源、制备、结构、性质、用途及其有关理论。由于有机化合物都含有碳,并以碳氢化合物为母体,所以有机化学又可称为“碳化合物的化学”或“碳氢化合物及其衍生物的化学”。在人类已发现的化合物中,绝大多数是有机化合物,它们比无机化合物多几十倍。随着有机化学的发展,已派生出元素有机化学、有机合成化学、金属和非金属有机化学、物理有机化学、生物有机化学、有机分析化学、天然有机物化学、高分子化学、药物化学等分支学科。

有机化学的结构理论和有机化合物的分类,也形成于19世纪下半叶。如1861年德国化

学家凯库勒 (Kekulé F A) 提出价键概念及 1874 年荷兰化学家范特霍夫 (van't Hoff) 和法国化学家勒贝尔 (Lebel) 的四面体学说, 至今仍是有机化学最基本的概念之一, 世界有机化学权威杂志就是用 Tetrahedron (四面体) 命名的。有机化学是最大的化学分支学科, 医药、农药、染料、化妆品等无不与有机化学有关。在有机物中有些小分子, 如乙烯 (C_2H_4)、丙烯 (C_3H_6)、丁二烯 (C_4H_6), 在一定温度、压力和催化剂的条件下可以聚合成相对分子质量为几万、几十万的高分子材料, 这就是塑料、人造纤维、人造橡胶等, 所以说现代高分子化学是从有机化学中派生出来的, 高分子材料已经走进千家万户、各行各业。如果说过去的有机化学改变了你我的生活, 那么当今的有机化学将会把不可能变成可能。

③ **生物化学** 运用化学理论和方法研究生命现象的本质的一门学科。生物体的生命现象 (过程) 作为物质运动的一种独有的特殊的运动形式, 其基本表现形式就是新陈代谢和自我繁殖。构成这种特殊运动形式的物质基础是蛋白质、核酸、糖类、脂类、维生素、激素、萜类、卟啉生物分子等。正是这些生物分子之间的相互协调作用才形成了丰富多彩的生命现象。根据不同的研究对象和目的, 生物化学又可分为医用生物化学、微生物生物化学、农业生物化学、工业生物化学等。随着现代化学、物理学和数学最新研究成果和实验技术的渗入, 生物化学获得了迅速的发展, 在医药卫生、工农业生产和国防等方面, 得到日益广泛的应用。

④ **高分子化学** 研究大分子化合物的学科。高分子化学包括: 天然高分子化学、高分子合成化学、高分子物理化学、高聚物应用、高分子物理。高分子是由一种或几种结构单元多次 ($10^3 \sim 10^5$) 重复连接起来的化合物。它们的组成元素不多, 主要是 C、H、O、N、S 等, 但是相对分子质量很大, 一般在 10000 以上, 有的可高达几百万, 所以称为高分子化合物。高分子化合物是衣、食、住、行和工农业生产各方面都离不开的材料, 其中棉、毛、丝、天然橡胶等都是最常用的高分子材料, 是天然高分子材料。高分子合成化学主要涉及塑料、合成纤维、合成橡胶三大领域, 另外还有涂料、胶黏剂等。随着该学科的迅速发展, 创造了许多自然界从来没有过的人工合成高分子化合物。例如, 生活中用量很大的塑料聚氯乙烯 (PVC) 是由结构单元氯乙烯 ($CH_2=CHCl$), 合成纤维尼龙-66 是由两种结构单元己二胺 [$-NH(CH_2)_6NH-$] 和己二酸 [$-CO(CH_2)_4CO-$] 多次重复连接而成。有一些结构复杂或者结构尚未确定的高分子化合物, 在名称上有时加“树脂”二字, 例如酚醛树脂、脲醛树脂等。如今, 人们建立了颇具规模的高分子合成工业, 生产出五彩缤纷的塑料、美观耐用的合成纤维、性能优异的合成橡胶。这些高分子在国民经济各部门成为不可缺少的材料, 可满足各种需求。目前高分子材料的年产量已超过 1 亿吨, 预计以后其总产量会大大超过各种金属总产量之和。高分子合成材料、金属材料 and 无机非金属材料并列构成材料世界的三大支柱。若按使用材料的主要种类来划分时代, 人类经历了石器时代、青铜器时代、铁器时代, 目前正在迈向高分子时代。

⑤ **分析化学** 获得物质的组成, 结构, 动态变化信息及其有关理论的学科。根据分析任务, 可以分为定性分析和定量分析两个部分。定性分析是为检测物质中原子、原子团、分子等成分的种类而进行的分析, 即检出化合物或混合物是由何种元素所组成; 定量分析是为测定物质中化学成分的含量而进行的分析, 即测定各组成部分间的相对数量关系。根据分析方法, 可分为化学分析 (重量分析和容量分析) 和仪器分析两大类。就试样用量的不同, 分析化学还可分为常量分析、半微量分析、微量分析和超微量分析。

分析化学分支形成最早, 瑞典化学家贝采利乌斯 (Berzelius J J) 始创了重量分析。他最早分离出硅 (1810 年)、钽 (1824 年) 和锆 (1824 年); 详尽地研究了铈的化合物 (1834 年) 和稀有金属 (钒、钼、钨等) 的化合物; 大大改进了分析方法 (使用橡皮管、水浴、

干燥器、洗瓶、滤纸、吹管分析)和燃烧分析方法(1814年)。他著有《化学教程》(1808~1812年)。还有1846年德国化学家弗雷西尼斯(Fresenius C R)的《定性化学分析导论》和《定量分析导论》,1855年德国分析化学家莫尔(Mohr K F)的《化学分析滴定法教程》等专著相继出版,其中介绍的仪器设备、分离和测定方法,已初具今日化学分析的端倪。19世纪初,原子量的准确测定,对原子量数据的积累和周期律的发现,都有很重要的作用,同时促进了分析化学的发展。

借助于光学性质和电学性质的光度分析法以及测定物质内部结构的X射线衍射法、红外光谱法、紫外光谱法、核磁共振法,以及流动相与固定相两相对样品中不同组分作用力的差异的色谱法等建立了近代的仪器分析方法。随着电子技术、计算机、微波技术等的发展,分析化学研究如虎添翼,空间分辨率现已达 10^{-10}m ,这是原子半径的数量级,时间分辨率已达飞秒级($1\text{fs}=10^{-15}\text{s}$),这和原子世界里电子运动速度差不多。肉眼看不见的原子,借助于仪器的延伸已经变成可以摸得着、看得见的实物,微观世界的原子和分子不再那么神秘莫测了。这些方法可以快速灵敏地对物质进行检测,如对运动员服用兴奋剂的检测,尿样中某些药物浓度即使低到 $10^{-13}\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,也难躲避分析化学家们的锐利眼睛。分析化学的发展促进了其他学科和技术的发展,并在国民经济各部门有着广泛的应用,特别在当代生物科学和新材料科学的研究中起着十分重要的作用。

⑥ **物理化学** 利用物理测量、数学处理的方法来研究物质及其反应,探索物性与化学间内在联系的学科。物理化学又称理论化学,它应用物理学原理和方法研究有关化学现象和化学过程。物理化学是从化学变化与物理变化的联系入手,研究化学反应的方向和限度(化学热力学)、化学反应的速率和机理(化学动力学)以及物质的微观结构与宏观性质间的关系(结构化学)等问题,它是整个化学学科和化学工艺学的理论基础。

1887年德国化学家奥斯特瓦尔德(Ostwald F W)和荷兰化学家范特霍夫(van't Hoff J H)合作创办了世界第一种物理化学期刊《国际物理化学与化学物理研究》(德语:Zeitschrift für Physikalische Chemie),努力将物理化学从有机和分析化学中独立出来,标志着这个分支学科的形成。在物理化学发展过程中,逐步形成了若干分支学科:结构化学、热化学、化学热力学、化学动力学、电化学、溶液理论、液体界面化学、量子化学、催化作用及其理论等。物理化学有不少卓著的成就,如化学键本质、分子间相互作用、分子结构的测定、表面形态与结构的表征等。随着物理科学的发展,21世纪物理化学会在继续分子层次的基础研究的同时,更重视分子以上层次的复杂体系的基础研究,并密切与生命、材料、能源、环境等领域交叉。强调理论与实验方法的自主创新和理论与实验的紧密结合。

⑦ **核化学** 研究原子核(稳定的和放射性的)的反应、性质、结构、分离、制备、鉴定等的一门学科。属于物理学和化学的边缘学科,全称为“原子核化学”。包括放射性元素化学、放射分析化学、辐射化学、同位素化学、核化学。在普通高校的课程中极少开设这门课,在此不展开。

在研究各类物质的性质和变化规律的过程中,化学逐渐发展成为若干分支学科,但在探索和处理具体课题时,这些分支学科(尤其是传统的四大基础学科)又相互联系、相互渗透。无机物或有机物的合成总是研究(或生产)的起点,在进行过程中必定要靠分析化学的测定结果来指示合成工作中原料、中间体、产物的组成和结构,而这一切当然都离不开物理化学的理论指导。因此,与化学相关的专业一般都要了解传统的四大基础学科。