



普通高等教育“十五”国家级规划教材

# 大学化学 基础

主编 曹凤歧



高等教育出版社  
HIGHER EDUCATION PRESS

普通高等教育“十五”国家级规划教材

# 大学化学基础

主 编 曹凤歧  
副主编 陈 文 陈亚东



高等教育出版社  
Higher Education Press

## 内容提要

本书是国家“十五”规划教材,是中国药科大学多年来生命科学类化学课程教学改革和教材建设的结晶。

全书根据生命科学类一年级化学课程基本要求编写,将传统上分属于无机化学、分析化学、有机化学和物理化学(结构化学)的基本化学原理及相关应用内容融为一体,统一安排、调整各学科内容,删除不必要的重复。全书内容除绪论外,从微观结构、宏观性质以及微观结构和宏观性质的应用三个方面展开讨论。内容包括原子结构、分子结构、配合物结构、物质的聚集状态、化学热力学、化学动力学、化学平衡、溶液中的质子酸碱平衡、溶液中的电子酸碱平衡、电化学基础和氧化还原平衡以及元素化学及其生物效应。

本书可作为高等学校生命科学类(包括药学、生物学和医学)各专业的化学基础课教材,也可供相关专业选用和参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

大学化学基础/曹凤歧主编. —北京:高等教育出版社,2005.7

ISBN 7-04-017520-7

I. 大... II. 曹... III. 化学-高等学校-教材  
IV. O6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 056919 号

策划编辑 席 雁 责任编辑 赵桂萍 封面设计 张 楠 责任绘图 朱 静  
版式设计 张 岚 责任校对 王效珍 责任印制 韩 刚

出版发行 高等教育出版社  
社 址 北京市西城区德外大街 4 号  
邮政编码 100011  
总 机 010-58581000

购书热线 010-58581118  
免费咨询 800-810-0598  
网 址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>

经 销 北京蓝色畅想图书发行有限公司  
印 刷 高等教育出版社印刷厂

网上订购 <http://www.landaco.com>  
<http://www.landaco.com.cn>

开 本 850×1168 1/16  
印 张 35.25  
字 数 890 000  
插 页 1

版 次 2005 年 7 月第 1 版  
印 次 2005 年 7 月第 1 次印刷  
定 价 48.10 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 17520-00

# || 前 言

更新教育思想,转变教育观念,培养基础扎实、知识面宽、能力强、素质高的人才以适应 21 世纪社会发展的需要是高等教育改革的根本目的。生命科学包括生物学、药学和医学,化学是生命科学的基础,随着化学与生命科学的相互渗透,相互交叉日趋明显,化学的基础知识已成为提高学生科学文化素质不可缺少的组成部分。为了适应教学的需要,我们编写了这本《大学化学基础》。

大学化学基础课程的设计及其教材的编写以提高学生科学文化素质为原则,打破了传统的无机化学、有机化学、分析化学、物理化学(结构化学)这一化学课程体系,将原四门化学课程中的基本化学原理及有关应用内容集中在大学化学基础课程中讲授,并尽可能做到一步到位。例如,将分析化学中的容量分析内容与无机化学中溶液平衡内容合并,统一到酸碱质子理论和酸碱电子理论中;将无机化合物中的大  $\pi$  键与有机化合物中的大  $\pi$  键集中在一起,统一到分子结构中。全书注重介绍化学在生物学、药学中的应用。

全书内容除绪论外,从微观结构、宏观性质、微观结构及宏观性质的应用三个方面展开讨论。第 2 章至第 4 章分别是原子结构、分子结构、配合物结构,为微观结构内容。第 5 章至第 8 章分别是物质的聚集状态、化学热力学、化学平衡、化学动力学,为宏观性质内容。第 9 章至第 15 章分别是溶液的质子酸碱平衡、溶液的电子酸碱平衡、电化学基础及氧化还原平衡、元素化学及其生物效应,为微观结构及宏观性质的应用。

本书在编写过程中,一直得到中国药科大学许多专家、教授的支持和帮助,特别是王明时、华维一、吴梧桐、陈玉英、尤启冬和姚文兵教授,不断地给予关心和指导,对此我们深表谢意。

本书内容从 1997 年起,一直被中国药科大学“国家基础科学研究与教学人才培养基地”和“国家生命科学与技术基地”的学生使用,编者感谢众多同学在使用过程中提出的宝贵意见。

参加本书编写工作的有陈文、陈亚东、王越、何海军、刘静、李嘉宾、陈颂仪、黎红梅、熊晔蓉、陆军农、曹凤歧。

尽管在全书的编写过程中,我们力图做到选材恰当,概念准确,公式推导简洁、严谨,既保持基础课教材便于教学的特点,又保持一定的理论水准,但由于我们水平有限,书中定有欠妥甚至错误之处,恳请同行专家及读者批评指正。

曹凤歧

2004 年 11 月

# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1	2.6.3 特征电子组态(周期表分区) .....	40
1.1 化学的出现:历史的回顾 .....	1	2.7 元素基本性质的周期性 .....	41
1.2 化学的分类 .....	3	2.7.1 原子半径 .....	41
1.3 化学研究基本方法——实验 方法和理论方法 .....	4	2.7.2 电离能 .....	42
1.4 化学与分子生物学 .....	5	2.7.3 电子亲和能 .....	43
1.4.1 分子生物学是从分子水平研究生命 过程及其物质基础的科学 .....	5	2.7.4 电负性 .....	44
1.4.2 化学在分子生物学形成和发展过程 中的作用 .....	5	习题 .....	45
1.4.3 生命科学的发展对化学科学的 影响 .....	7	<b>第 3 章 分子结构</b> .....	47
1.5 大学化学的学习方法 .....	8	3.1 离子键 .....	47
<b>第 2 章 原子结构</b> .....	11	3.1.1 离子键理论的基本要点 .....	47
2.1 经典核模型的建立 .....	11	3.1.2 离子键的强度——晶格能 .....	49
2.1.1 电子的发现 .....	11	3.1.3 离子的特性 .....	50
2.1.2 卢瑟福核模型的建立 .....	12	3.2 价键理论 .....	52
2.1.3 行星模型的困难 .....	13	3.2.1 海特勒-伦敦对 $H_2$ 的处理 .....	53
2.2 氢原子光谱与玻尔的氢原子 模型 .....	14	3.2.2 价键理论的要点 .....	53
2.2.1 能量量子化和光子学说 .....	14	3.2.3 共价键的特点 .....	54
2.2.2 氢原子光谱 .....	14	3.2.4 共价键的类型 .....	55
2.2.3 玻尔的氢原子模型 .....	16	3.3 杂化轨道理论 .....	57
2.3 微观粒子的运动属性 .....	19	3.3.1 杂化轨道理论的要点 .....	57
2.3.1 微观粒子的运动属性——波粒二 象性 .....	19	3.3.2 杂化类型与分子的空间构型 .....	57
2.3.2 不确定原理 .....	21	3.3.3 等性杂化和不等性杂化 .....	61
2.4 氢原子的量子力学模型 .....	23	3.4 分子轨道理论 .....	61
2.4.1 原子轨道、波函数及四个量子数 .....	23	3.4.1 分子轨道理论的基本要点 .....	62
2.4.2 波函数的有关图形表示 .....	25	3.4.2 几种简单的分子轨道 .....	64
2.5 多电子原子结构 .....	30	3.4.3 同核双原子分子的分子轨道能 级图 .....	65
2.5.1 屏蔽效应与钻穿效应 .....	30	3.4.4 异核双原子分子的分子轨道能 级图 .....	68
2.5.2 多电子原子核外电子构型 .....	34	3.4.5 键参数 .....	70
2.6 元素周期表与核外电子构型 .....	39	3.4.6 离域 $\pi$ 键(大 $\pi$ 键) .....	71
2.6.1 周期与核外电子构型 .....	39	3.5 价层电子对互斥理论 .....	74
2.6.2 族与核外电子构型 .....	40	3.6 分子间的作用力和氢键 .....	77
		3.6.1 分子的极性 .....	77
		3.6.2 分子间作用力(范德华力) .....	80
		3.6.3 氢键 .....	82
		习题 .....	86

## II 目录

<b>第4章 配位化合物</b> .....	89
4.1 配位化合物及其组成 .....	89
4.1.1 配位化学的早期发展 .....	89
4.1.2 配合物的定义、组成与命名 .....	90
4.2 价键理论 .....	93
4.2.1 价键理论的要点 .....	94
4.2.2 杂化类型、配位数与空间构型 .....	94
4.2.3 价键理论的应用 .....	95
4.3 晶体场理论 .....	98
4.3.1 晶体场理论的基本要点 .....	98
4.3.2 八面体构型的配合物 .....	99
4.3.3 其他构型的配合物 .....	101
4.3.4 八面体场中中心离子的 d 电子 分布 .....	102
4.3.5 晶体场稳定化能 .....	104
4.3.6 晶体场理论的应用 .....	105
4.4 配合物的合成方法 .....	107
4.4.1 配合物的典型合成方法 .....	107
4.4.2 在非水溶剂中合成配位化合物 .....	109
4.5 铂配合物、血红素、叶绿素和 维生素 B <sub>12</sub> 的结构与生物活性 ..	109
4.5.1 铂配合物 .....	109
4.5.2 血红素 .....	110
4.5.3 叶绿素 .....	111
4.5.4 维生素 B <sub>12</sub> .....	114
习题 .....	114
<b>第5章 物质的聚集状态</b> .....	117
5.1 气态 .....	117
5.1.1 气体的通性 .....	117
5.1.2 低压下气体的几个经验定律 .....	117
5.1.3 理想气体的状态方程式 .....	119
5.1.4 理想气体的分压定律和分体积 定律 .....	120
5.1.5 实际气体 .....	122
5.1.6 实际气体的等温线 .....	126
5.1.7 范德华气体等温线 .....	127
5.2 溶液 .....	128
5.2.1 溶液的形成 .....	128
5.2.2 溶液浓度表示法 .....	129
5.2.3 液体的蒸气压 .....	130
5.2.4 液体的沸点 .....	132
5.2.5 液体的表面张力 .....	133
5.2.6 水的相图 .....	134
5.2.7 稀溶液的实验定律——Raoult 定律和 Henry 定律 .....	135
5.2.8 稀溶液的依数性 .....	137
5.3 晶体与非晶体 .....	141
5.3.1 晶体结构的周期性、点阵的概念 ..	141
5.3.2 金属晶体 .....	146
5.3.3 离子晶体 .....	148
5.3.4 分子晶体 .....	150
5.3.5 共价晶体 .....	150
5.3.6 混合键型晶体 .....	152
5.4 蛋白质晶体的结构特点 .....	152
习题 .....	153
<b>第6章 化学热力学</b> .....	157
6.1 热力学常用的一些基本概念 .....	157
6.1.1 体系与环境 .....	157
6.1.2 状态与性质 .....	158
6.1.3 过程和途径 .....	159
6.1.4 热力学平衡 .....	159
6.1.5 热和功 .....	160
6.2 热力学第一定律 .....	161
6.2.1 热力学第一定律 .....	161
6.2.2 热力学第一定律的数学表达式 .....	161
6.2.3 内能 .....	162
6.2.4 体积功的计算 .....	162
6.2.5 焓 .....	163
6.2.6 相变热 .....	165
6.3 化学反应的热效应 .....	165
6.3.1 化学反应进度 .....	166
6.3.2 等压反应热和等容反应热 .....	166
6.3.3 标准状态 .....	168
6.3.4 热化学方程式 .....	169
6.3.5 盖斯定律 .....	169
6.3.6 标准摩尔生成焓 .....	170
6.3.7 标准摩尔燃烧焓 .....	171
6.4 自发变化和熵 .....	172
6.4.1 自发过程 .....	172
6.4.2 混乱度、熵和微观状态数 .....	172
6.4.3 化学反应熵变 .....	175
6.5 Gibbs 能与化学反应的方向 .....	176
6.5.1 Gibbs 能 .....	176
6.5.2 标准摩尔 Gibbs 能 .....	177

6.5.3 Gibbs-Helmholtz 方程的应用	178	第 9 章 溶液中的质子酸碱平衡	229
习题	180	9.1 电解质在水溶液中的状况	229
<b>第 7 章 化学平衡</b>	183	9.1.1 电解质溶液的依数性	229
7.1 标准平衡常数	183	9.1.2 强电解质溶液理论	230
7.1.1 可逆反应	183	9.2 酸碱质子理论	233
7.1.2 化学平衡的特征	183	9.2.1 酸碱质子理论	233
7.1.3 标准平衡常数	184	9.2.2 质子酸碱的强度	236
7.1.4 平衡常数的实验测定	186	9.2.3 共轭酸碱对 $K_a$ 和 $K_b$ 的关系	237
7.1.5 标准平衡常数的应用	186	9.3 水的解离平衡和 pH	238
7.1.6 多重平衡规则	188	9.3.1 水的解离平衡	238
7.2 化学反应的等温方程式	189	9.3.2 溶液的 pH	239
7.2.1 标准平衡常数与标准反应 Gibbs 函变 $\Delta_r G_m^\ominus$ 的关系	189	9.4 弱酸、弱碱的解离平衡	240
7.2.2 化学反应等温方程式	190	9.4.1 一元弱酸、弱碱的解离平衡	240
7.3 化学平衡的移动	191	9.4.2 多元弱酸、弱碱的解离平衡	244
7.3.1 浓度对化学平衡的影响	191	9.4.3 两性物质的解离平衡	247
7.3.2 压力对化学平衡的影响	192	9.4.4 同离子效应	247
7.3.3 温度对化学平衡的影响	194	9.5 溶液中酸碱平衡的系统处理	248
7.4 $O_2$ 、CO、Hb 的平衡	196	9.5.1 溶液中酸碱组分的分布	248
习题	198	9.5.2 溶液中酸碱平衡的处理方法	250
<b>第 8 章 化学动力学</b>	200	9.5.3 溶液中氢离子浓度的计算	253
8.1 化学反应速率表示法	200	9.5.4 缓冲溶液	262
8.1.1 定容均相反应的反应速率	200	9.6 酸碱滴定	267
8.1.2 化学反应的平均速率与瞬时 速率	202	9.6.1 指示剂的变色原理	267
8.2 反应机理(历程)、基元反应和 复杂反应	204	9.6.2 滴定分析法概述	272
8.3 化学反应速率方程	205	9.6.3 酸碱滴定曲线和指示剂的选择	277
8.3.1 化学反应速率方程	205	9.6.4 滴定终点误差	286
8.3.2 质量作用定律——基元反应的 速率方程	206	9.6.5 酸碱滴定法的标准溶液和基 准物	288
8.3.3 简单级数反应	207	9.6.6 酸碱滴定法应用与示例	290
8.4 温度对化学反应速率的影响	218	9.7 非水滴定法	293
8.5 化学反应速率理论简介	220	9.7.1 溶剂的性质	293
8.5.1 碰撞理论	220	9.7.2 溶剂的分类及选择	299
8.5.2 过渡态理论	222	9.7.3 碱的滴定	300
8.6 催化作用	223	9.7.4 酸的滴定	306
8.6.1 催化剂与催化作用	223	习题	311
8.6.2 催化剂的特性	224	<b>第 10 章 溶液中的电子酸碱平衡</b>	318
8.6.3 酶催化作用	225	10.1 电子酸碱理论	318
习题	225	10.2 沉淀溶解平衡	319
		10.2.1 沉淀溶解平衡的建立	319
		10.2.2 影响沉淀溶解平衡的因素	321
		10.2.3 分步沉淀和共沉淀	325
		10.2.4 沉淀的转化	326

## IV 目录

10.3 沉淀滴定法 .....	328	11.6 碘量法 .....	400
10.3.1 银量法 .....	328	11.6.1 碘标准溶液 .....	401
10.3.2 应用与示例 .....	335	11.6.2 硫代硫酸钠标准溶液 .....	402
10.4 配位平衡 .....	337	11.6.3 指示剂 .....	402
10.4.1 配合物的解离常数和稳定常数 .....	337	11.6.4 标定 .....	403
10.4.2 配位平衡与沉淀溶解平衡 .....	341	11.6.5 应用与示例 .....	404
10.5 乙二胺四乙酸及其配合物的 性质 .....	342	11.7 溴酸钾法及溴量法 .....	406
10.5.1 氨羧配位 .....	342	11.7.1 标准溶液 .....	407
10.5.2 乙二胺四乙酸的一般性质与 解离 .....	343	11.7.2 指示剂 .....	407
10.5.3 金属-EDTA 配合物在溶液中的 解离平衡 .....	345	11.7.3 标定 .....	407
10.6 配位滴定曲线与滴定条件 .....	349	11.7.4 应用与示例 .....	408
10.6.1 滴定曲线 .....	349	11.8 高锰酸钾法 .....	409
10.6.2 滴定终点误差 .....	352	11.8.1 标准溶液 .....	409
10.6.3 滴定条件的判断 .....	353	11.8.2 指示剂 .....	410
10.6.4 金属离子指示剂 .....	357	11.8.3 标定 .....	410
10.6.5 标准溶液 .....	361	11.8.4 应用与示例 .....	410
10.6.6 应用与示例 .....	362	11.9 其他氧化还原滴定法 .....	411
习题 .....	366	11.9.1 铈量法 .....	411
<b>第 11 章 电化学基础与氧化还原   平衡 .....</b>	<b>371</b>	11.9.2 高碘酸钾法 .....	412
11.1 氧化还原反应的基本概念 .....	371	11.9.3 亚硝酸钠法 .....	413
11.1.1 氧化和还原 .....	371	11.9.4 重铬酸钾法 .....	414
11.1.2 元素的氧化数 .....	373	11.10 氧化还原滴定的计算示例 .....	415
11.2 氧化还原方程式的配平 .....	374	习题 .....	417
11.2.1 氧化数法 .....	374	<b>第 12 章 s 区元素 .....</b>	<b>424</b>
11.2.2 离子电子法 .....	374	12.1 氢 .....	424
11.3 原电池和电极电势 .....	376	12.1.1 氢的电子层结构及成键特征 .....	424
11.3.1 原电池 .....	376	12.1.2 氢的性质 .....	424
11.3.2 电极电势 .....	377	12.2 碱金属和碱土金属 .....	426
11.3.3 标准电极电势 .....	377	12.2.1 通性 .....	426
11.3.4 标准电极电势的应用 .....	380	12.2.2 单质的化学性质 .....	428
11.4 Nernst 方程 .....	386	12.2.3 碱金属和碱土金属的重要化 合物 .....	429
11.4.1 Nernst 方程 .....	386	12.3 s 区元素的配合物 .....	432
11.4.2 Nernst 方程的应用 .....	388	12.4 $\text{Na}^+, \text{K}^+, \text{Mg}^{2+}, \text{Ca}^{2+}$ 的生理 作用 .....	433
11.5 氧化还原滴定 .....	391	习题 .....	434
11.5.1 条件电势及影响因素 .....	391	<b>第 13 章 p 区元素(一) .....</b>	<b>436</b>
11.5.2 氧化还原反应速率 .....	394	13.1 碳、硅、硼 .....	436
11.5.3 氧化还原滴定 .....	395	13.1.1 碳、硅、硼的成键特征 .....	436
		13.1.2 碳、碳酸、碳酸盐 .....	436
		13.1.3 二氧化硅、硅酸和硅酸盐 .....	439



13.1.4	分子筛 .....	441	15.2	铬和锰的化合物 .....	492
13.1.5	硼酸及硼砂 .....	441	15.2.1	铬的重要化合物 .....	492
13.2	铝、锡、铅 .....	445	15.2.2	锰的重要化合物 .....	494
13.2.1	通性 .....	445	15.3	铁、钴、镍的化合物 .....	496
13.2.2	铝、锡、铅的单质 .....	445	15.3.1	铁的重要化合物 .....	496
13.2.3	铝的化合物 .....	447	15.3.2	钴和镍的重要化合物 .....	497
13.2.4	锡铅的化合物 .....	448	15.4	铂及其配合物 .....	498
13.3	卤素 .....	451	15.5	铜和银 .....	499
13.3.1	卤素的通性 .....	451	15.5.1	铜和银的单质 .....	499
13.3.2	卤素单质 .....	452	15.5.2	铜的重要化合物 .....	500
13.3.3	氯化氯和氢卤酸 .....	454	15.5.3	银的重要化合物 .....	501
13.3.4	卤素含氧酸及其盐 .....	455	15.6	锌和汞 .....	503
13.3.5	卤化物 .....	459	15.6.1	锌和汞的单质 .....	504
习题	.....	460	15.6.2	锌的重要化合物 .....	504
<b>第 14 章 p 区元素(二)</b>	.....	462	15.6.3	汞的重要化合物 .....	505
14.1	氧族元素 .....	462	习题	.....	507
14.1.1	通性 .....	462	<b>附录一 SI 基本单位及导出单位</b>	.....	509
14.1.2	氧和硫的单质 .....	463	<b>附录二 一些物质的热力学性质</b>	.....	511
14.1.3	过氧化氢 .....	465	<b>附录三 某些物质的标准摩尔燃烧焓</b>	.....	511
14.1.4	硫化氢和金属硫化物 .....	466	(298.15 K) .....	527	
14.1.5	硫的含氧酸及其盐 .....	467	<b>附录四 元素的相对原子质量(1997)</b>	.....	528
14.2	氮族元素 .....	472	[ $A_r(^{12}\text{C})=12$ ] .....	528	
14.2.1	通性 .....	472	<b>附录五 一些质子酸的解离常数</b>	.....	530
14.2.2	氮、磷的单质 .....	473	( $I=0, T=298\text{ K}$ ) .....	530	
14.2.3	氮和氢的化合物 .....	474	<b>附录六 一些氨羟配位剂与金属离子配</b>	.....	536
14.2.4	氮的氧化物 .....	477	合物的稳定常数 $\lg K(\text{ML})$ ...	536	
14.2.5	氮的含氧酸及其盐 .....	478	<b>附录七 一些金属离子配合物的稳定</b>	.....	537
14.2.6	磷的含氧化合物 .....	481	常数 $\lg \beta_i$ (298 K, $\beta_i =$	.....	537
14.2.7	砷、锑、铋的化合物 .....	483	$K_{f_1} K_{f_2} \cdots K_{f_i}$ ) .....	537	
习题	.....	486	<b>附录八 一些难溶化合物的溶度积</b>	.....	541
<b>第 15 章 d 区和 ds 区元素</b>	.....	488	(298 K) .....	541	
15.1	d 区和 ds 区元素通性 .....	488	<b>附录九 一些半反应的标准电极电势</b>	.....	543
15.1.1	结构特征 .....	488	$E^\ominus$ 和条件电极电势 $E^{\ominus'}$	.....	543
15.1.2	原子半径 .....	488	(298 K) .....	543	
15.1.3	单质的物理性质 .....	489			
15.1.4	单质的化学活泼性 .....	489			
15.1.5	多种氧化态 .....	490			
15.1.6	水合离子的颜色 .....	491			
15.1.7	易成配合物 .....	492			

我们所见的固然美好  
我们明了的愈加美妙  
我们尚未悟彻的更是不胜其美  
美不可言

——斯坦森(N. Steensen)

# 第 1 章 绪 论

世界由物质所组成,物质处于永恒的变化(运动)之中。物质的变化包含物理变化和化学变化。自然科学是以认识自然规律为目的的科学,其包括物理学、化学、生命科学、天文学、地质学等分支。自然界所有变化都是物质变化以及与其有关的能量变化二者的表现。自然科学的各个分支从不同角度研究这些变化的规律以及产生这些变化的物质基础和能量基础。

化学是研究物质的组成、结构、性质及其变化规律的一门科学。化学科学的发展在人类日常生活的各个方面都发挥着重要的作用,甚至与人类的文明进程息息相关。

从古代开始人们就有与化学相关的生产实践活动,如制陶、金属冶炼、火药的应用,等等。当今社会,化学更是与人们的衣食住行密切相关。当前世界范围内,人们最关心的几个重大问题,如环境保护、能源开发利用、功能材料研究和生命现象奥秘的探索等都与化学紧密相关。

## 1.1 化学的出现:历史的回顾

化学来源于两个方面。首先,它来源于传统技艺,如冶金、酿酒、鞣革及印染等,这是从实践上了解物质的行为。其次,它可以追溯到古希腊的哲学家对有关物质本性的问题的认识。

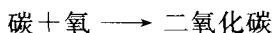
冶金学——制取及使用金属的科学和工艺——是传统技艺发展化学知识的一个重要方面。在没有能够解释冶炼操作和指导其进展的任何理论基础的情形下,这项技艺经过了长时间的发展,并且达到相当高级的程度。进展主要是通过反复摸索试验以及通过偶然发现而取得的。早期发现金属活泼性的顺序,绝大部分是按照从矿石中取得金属的难易程度而排列的。矿石是指作为金属来源而开采的混合物。金是最早应用的金属之一,因为它在自然界存在未化合的金属单质,例如块金,直到大约公元前 3500 年,储量较丰富的铜还没有得到应用,此后才发现了从铜矿石获取铜的方法。这个发现无疑是偶然的,那可能是当某些铜矿石被投入煤火中时发生的。将铜矿石与炭一起加热,可以得到金属铜。直到大约公元前 1500 年,获取铁的方法还没有发展起来,虽然自然界铁比铜丰富得多。

人们甚至在开始应用这些变化为自身谋取利益之前,就可能试图了解物质的变化。我们知道,许多早期的解释都假定有超自然力的存在,和这种方法相反,早期的希腊人企图纯粹在推理的基础上来了解物质及其变化。然而,他们并不特别关心应用这些想法来改进他们的技艺。现代科学与希腊人的方法不同,它不仅依赖于推理,还借助于系统收集事实和仔细观察,而且也广泛应用科学观点来指导工艺的发展。

希腊人亚里士多德(Aristotle)及柏拉图(Plato)曾提出全部自然界是由四种元素——火、土、空气、水组成。例如,一段没干的木材能够燃烧,产生烟(空气)与火焰(火),余下灰烬(土),也许甚至会在瞬间有树液(水)出现。通过突出元素的基本属性,四元素的观点得到了发展。这些属性是冷、热、干和湿。在它的理想形式,每一元素具有两个相关的属性。例如,水是湿而冷的元素。希腊人相信,一种元素可以由于改变其属性而变成任何其他元素。例如,以干的属性取代湿的属性,可使水变成土。这一概念以及与之相联系的推理持续了1000年以上,影响了整个中世纪的思想。但到达中世纪时,元素和与之相联系的属性的数目已经增长。炼丹士们在这个推理的范围内考虑问题,因而企图把普通的金属变成金子。他们的尝试是根据这种观点,即对这些金属添加必需的“贵”品质或属性,便可能使它们“成长”为金子。在为了引起这种变化而进行的徒劳无益的尝试中,炼丹士们发现了新的化学药品并发展了使用它们的新方法。希腊人的元素观点在中世纪得到进一步发展,产生了可燃材料具有燃烧属性的看法。与这个属性相联系的元素,根据火的希腊语,叫做燃素。这时,物质的基本属性的观点与元素的观点变得相当混淆。燃素的概念曾被用来说明许多观察到的事物。人们曾相信,只有当物体含有燃素时才能燃烧。燃素从一物体逸走之后,此物体就不再是可燃的了。

1772年,拉瓦锡(Lavoisier)开始进行燃烧的实验,通过将物体在燃烧的前后称重,拉瓦锡观察到燃烧物体的质量增加。当金属变成它们的金属灰时,容易看到这个效应。拉瓦锡指出,像硫那样的非金属燃烧时,也是如此。此外他还观察到当燃烧是在密封容器中进行时没有质量的变化,在燃烧前后,容器中全部物质的质量是相同的,纵然它们改变了形式,没有燃素损失的证据。反之,实验表明,一种物质燃烧时,它从空气中取得某些东西,燃烧的样品所增加的质量与空气所损失的质量相同。这是燃烧在密封容器中进行时为什么没有净质量变化的原因。这些定量测定不能用燃素观点来解释。拉瓦锡还发现,在他重新命名为氧的去燃素空气中的燃烧,得到在空气中燃烧的同样生成物。因此,结论是空气中含有氧。

基于这些观察,拉瓦锡抛弃了燃素论。他提出,一个物体燃烧时,氧离开空气,并结合到燃烧的物体中。根据这个观点,煤(含有碳)的燃烧是氧与碳之间的反应。这个反应的生成物是叫做二氧化碳的气体物质。这个反应可归纳成



其中箭头可读成“生成”或“产生”。由于不考虑燃素能够更好地理解燃烧,燃素论便慢慢消失了。今天,我们把燃烧定义为伴随有发热和发光的快速反应。我们还发现,正如拉瓦锡所提出的,绝大多数常见的燃烧反应实际上的确与氧有关。

通常都把拉瓦锡看作是现代化学之父,因为他信赖仔细控制的实验,并且不仅进行定性观察而且采用定量测定。在他的研究中,拉瓦锡还放弃了这样一个古代观点,即如果一个材料含有某一特定元素,它就必须具有那种元素的属性。他采纳波义耳(Boyle)于1661年提出的“元素是基本物质,所有其他物质都可以由元素构成,而所有其他物质也可以分解成这些基本物质”这一具有重要意义的观点。

从此,化学不再被看成是以实用为目的的技艺,被明确地确定为科学。

中国的化学家、哲学家也为化学的发展作出了重要贡献。在中古时代,中国就能制造精致的医药器具,例如,铜滤药器、铜药勺、银灌药器等。在“本草纲目”中记载的无机药物就有266种,并且出现了一些较为复杂的人工合成的无机药物,如轻粉( $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$ )、黄矾[可能是 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ]

等。关于轻粉,本草纲目中有如下记载:“升炼轻粉法:用水银一两,白矾二两,食盐一两,同研,不见星。铺于器内,以小乌盆覆之。筛灶灰,盐水和,封固盆口,以炭打二炷香。取开,则粉升于盆上面。其白如雪,轻盈可爱。一两水银可升粉八钱”。这是个卓越的无机合成反应,用现代的观点加以分析,上述过程可用下列反应式表示:



如此复杂的反应,在当时能实现,必是经过长期实验的结果。

## 1.2 化学的分类

人类在长期实践过程中产生了对化学物质分类的要求,这可以追溯到古代。我国东汉(公元1世纪)的医药简牍,把一百种药物分为植物药、动物药、矿物药及其他。9世纪时阿拉伯的炼金术士,曾把矿物分为三类:精英、金属体与矿体。公元10世纪时,物质又分为四类:植物性的、动物性的、矿物性的以及衍生的。对其中的矿物又分为六类:物体、精素、石类、矾类、硼砂类和盐类。10至11世纪,阿拉伯学者在《医典》中把矿物分为四类:岩石、可熔物、硫和盐等。16世纪,德国人把矿物分为五类:土类、石类、固化浆类(矾、盐等)、金属类与混杂物类。

上述分类虽然不断有发展变化,但都是对自然界的物质或对化学物质(主要是矿物)从表面的物理性质上的划分,涉及的化学分类问题是原始的化学分类方法。17世纪化学成为科学,才逐渐形成了化学本身的分类。自从波义耳提出“定性检出极限”的概念后,分析检验化学物质由重视物理性质发展到重视化学性质,形成了初步的定性分析,为近代分析化学做了准备。18世纪中期发展出定量分析。18世纪后期,欧洲的采矿、冶金、机械等工业迅速发展,要求以矿物、岩石和金属等为主要对象进行化学分析。1829年,德国化学家制定了系统定性分析法,从此分析化学成为系统的科学知识。

18世纪末是区分无机化合物和有机化合物的最早开端。这时有人把酸区分为矿物酸、植物酸和动物酸三类。说明当时有了矿物化学、植物化学和动物化学的区别。当后来发现植物界与动物界存在某些相同的化合物时,认识到植物与动物的化学没有原则区别,于是化学分为无机化学和有机化学的见解得到广泛承认。

随着物理学的发展,化学家利用物理学的原理来阐明化学现象,物理化学这一化学分支学科逐渐形成。19世纪末,化学的四大分支化学都取得了飞速发展。历史证明,化学分类的方法对化学的发展起到了积极的推动作用,并且与人类文明进程息息相关。

19世纪末20世纪初,由于量子力学的诞生,随之化学也进入微观领域。许多化学分支在传统的基础上,把宏观研究与微观研究结合起来,从深度和广度两面向前发展。同时由于与化学相关的其他学科的发展涉及到更多的化学问题,如物理学、生物学、天文学和地学等无不与化学交织在一起。特别是20世纪50年代以来发展起来的各种尖端科学、国防科学及工业生产等方面的需要,对化学提出多方面的要求,促使化学的发展日益深入,越来越细,从而增加了许多新的化学分支。如,稀有元素化学、配合物化学、核化学、放射化学、高分子化学、表面化学和催化化学等。同时化学又与其他学科多方面交叉渗透,也增加了许多新的化学分支。例如,生物化学、元素有机化学、量子化学、结构化学、天体化学、地球化学、药物化学、纳米化学等。

随着化学及相关学科的发展,化学研究的领域愈来愈专门,分工愈来愈细,但化学的内容整

体包括三个方面,物质的微观结构、物质的宏观性质、微观结构及宏观性质的应用。而当今化学发展的总趋势可以概述为,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。

### 1.3 化学研究基本方法——实验方法和理论方法

化学的基础活动是进行细心的观察。这些观察可以是定性的或是定量的,化学家寻求可以将他们的观察加以统一的普遍关系。对种种观察和经验进行总结的一个简洁的文字说明或者一个数学方程式,称做一个假说。假说是一种尝试性的解释。人们可以应用这个假说来提出各种预测,但是,只有当这些预测可以由进一步的实验来检验,从而被证实时,这个假说才是有用的。一个能够连续经受住这种检验的假说便称为理论。一个理论可以用于综合一个广泛的领域。物质的原子结构理论就是这样的一种情况。

化学家所采用的研究方法,不能保证不失败。不同科学家的处理方法,和他们的性格、环境及训练都有关系。很少有两位科学家以同样的方式来处理同一个问题。虽然我们能用文字扼要地或干净利落地讲出科学的结论,但这并不意味着科学的进展是顺利的、确定的或可以预测的。科学研究的路途很可能是不规则的和不确定的,进展常常是缓慢的,而且许多大有希望的线索原来却是死胡同。在学习的过程中,我们将会看到,幸运的偶然发现有时在科学的发展上起了重要的作用。通常我们略去那些在产生我们目前看法的过程中所出现的怀疑、争论、个性的冲突和概念的变革。还应当记住,我们的理论不是雕刻在石头上的,它们只是暂时的。

实验方法和理论方法是化学家常用的研究方法。

#### 1. 实验方法

化学是实验科学。例如在研究某类药物时,要用实验方法制备它们,制得之后要用实验方法确定它们的组成和结构、测定它们的化学性质和物理性质、确定它们的毒性和疗效,有时还要研究它们为什么会有这种疗效和毒性。

试验与实验不同。试验是实验工作的一部分,它的目的是确定某种物质、某种方法是否具有某种性质、某种作用。例如,用药理试验证实某种化合物可否用于治疗某种疾病等。化学工作者的实验工作包括制备与合成、组成与结构的测定、各种性质的测定、反应机理及反应条件的研究等。

在科学实验过程中,我们应该养成细心观察的习惯,这是由于现象往往是物质(体系)本质的外界表现。《庄子》第十七篇《秋水》一文中的“知鱼乐”如下:

庄子与惠子游于濠梁之上,庄子曰:“儵鱼出游从容,是鱼之乐也。”惠子曰:“子非鱼,安知鱼之乐?”庄子曰:“子非我,安知我不知鱼之乐?”惠子曰:“我非子,固不知子矣;子固非鱼也,子之不知鱼之乐,全矣!”庄子曰:“请循其本。子曰‘汝安知鱼乐’云者,既已知吾知之而问我。我知之濠上也。”

我们是接近惠子,还是接近庄子?我们当然应该接近庄子,并且比庄子更进一步,设法证明鱼是快乐的。

#### 2. 理论方法

虽然所有化学研究都以实验为基础,但离不开用理论方法去分析实验结果。实验结果只是表面现象,只有经过理论处理才能了解本质。理论处理有不同的方法。

(1) 对实验数据进行数据处理,得到经验规律,例如,波义耳定律、凝固点下降与浓度的关系、反应速率与温度的关系等这些化学基本规律都是早期化学家总结出来的。

(2) 对实验结果进行理论分析,这种处理比上述处理更深入,可以进一步探索事物的本质。从物质光谱、磁性等实验结果通过理论处理得到原子、分子结构是我们最熟悉的例子。

(3) 对客观体系进行理论模拟,例如用计算机可以模拟一种药物进入人体之后,药物的作用机理。

(4) 对真实体系进行理想化研究。例如,理想气体是一种理想模型(假定分子间没有相互作用,分子不占有空间)。任何实际气体都有相互作用,分子当然有一定的体积。只有当实际气体无限稀薄(压强接近零)、温度很高时,实际气体状态才接近于理想气体状态。

实验方法和理论方法是化学研究的常用方法,对化学及相关学科研究者而言应该努力贯彻“实验——理论——实验”的原则。正如密立根(Millikan)在1923年获诺贝尔奖时所说:“科学靠两条腿走路,一是理论,一是实验。有时一条腿走在前面,有时另一条腿走前面。但只有使用两条腿,才能前进。在实验过程中寻找新的关系,上升为理论,然后再在实践中加以检验”。

## 1.4 化学与分子生物学

化学向生命科学的渗透,推动了生命科学的发展。生命科学的发展又对化学的发展产生着重大影响。分子生物学是生命科学的基础。

### 1.4.1 分子生物学是从分子水平研究生命过程及其物质基础的科学

20世纪以前,生物学的理论探讨和实验研究基本还停留在宏观水平上,对生物体生长、发育、繁殖、遗传、变异、物质代谢、能量转换和信息传递等过程的微观本质和机理,仍然不清楚。

到20世纪50年代,由于自然科学和生产技术都有若干重大突破,伴随化学等相关学科和一些实验技术的发展,生物学进入了一个新时期,开始从分子水平上考察各种生命问题,形成了一门同化学关系非常密切的新的边缘科学——分子生物学。

分子生物学是一门年轻的学科,现在还很难给出一个公认的确切定义。不过,对分子生物学研究的基本内容倒有比较统一的看法。通常,狭义的分子生物学是指分子遗传学而言,广义的分子生物学则包括分子遗传学、细胞膜结构、代谢调节机制、蛋白质和核酸的结构分析和功能测定、生物大分子的人工合成、遗传物质的分子重组等。实际上,可以把分子生物学看成从分子水平上研究生命过程及其物质基础的科学。

### 1.4.2 化学在分子生物学形成和发展过程中的作用

回顾分子生物学形成和发展的暂短历史,可以明显地发现,化学理论知识和化学实验方法所起的重要作用。

#### 1. 化学实验方法的应用

一门自然科学的形成和发展,在很大程度上取决于实验手段的加强和研究方法的改进。化学分析与化学合成等方法应用于生物学,为在分子水平上研究生命过程及其物质基础提供了有力的手段,对一些重要物质的提纯、分离,制备及结构和性能的测定起了重要作用。

化学分析方法在生命科学中的应用早就开始了,尤其值得指出的是,生物化学方法在遗传学研究中的应用,取得了很多成果。20世纪40年代前后,层析法、电泳法、离子交换法等分析方法用于分离和测定生物大分子及其水解产物,研究它们在生物体内代谢过程中的作用,收到了比较好的效果。例如,在遗传密码的揭示中,电泳分析技术起了特殊重要的作用。到20世纪60年代初期,电泳分离达到相当高的精度,甚至能在一根纤维素的纤维上,把同一细胞各个不同部分的核酸中的核苷酸彼此分开。

同位素和放射化学方法用于生物学,不仅在遗传育种方面取得重要成果,而且,在追踪生物化学变化过程,认识生命现象的分子机制方面起着重要作用。例如,在绿色植物光合作用的研究中,1948年,美国的卡尔文用碳14阐明植物体内二氧化碳的光化作用过程;1949年,美国人吉奥寇用氧18示踪原子,发现光合作用所放出的氧,来自水而非来自二氧化碳。

还有其他一些物理化学分析方法,如结晶分析、旋光分析、比色分析、密度梯度超离心分析等,对分子生物学的形成和发展也起了重要的作用。

化学合成方法应用于生物学,在合成生物大分子并认识其结构与功能上起到了积极作用,促进了分子生物学的形成和发展。

胰岛素是已知的最小分子蛋白质,1955年,桑格测定出胰岛素中的氨基酸立体排列顺序确定后,世界上很多国家都力图进行人工合成,我国化学工作者于1965年首先用化学方法合成牛胰岛素,是人类探索生命起源和进化,并用化学方法进行人工合成研究的一项重大成就。如果说尿素的化学合成填平了无机物和有机物之间的鸿沟,那么胰岛素的合成则突破了一般有机物同生物高分子之间的界限。从此,人工合成生物大分子的新时期开始了。

20世纪60年代以来,化学合成法在核酸的人工合成方面发挥了重要作用,取得了显著成果。1970年,美国麻省理工学院的研究人员合成了酵母丙氨酸 $t$ -RNA的基因(77对核苷酸);到1976年,人工合成的大肠杆菌酪氨酸 $t$ -RNA的基因达199对核苷酸,我国在人工合成核酸的研究中也取得巨大进展。这些成果表明,人们在分子水平上揭示控制生命过程的内在原因和认识生命现象的本质是很有希望的。

化学方法在合成对生物体有重要作用的其他化合物方面,也得到广泛应用。1965年,美国化学家伍德沃德用化学方法合成了当时唯一尚未被合成出来的已知维生素 $B_{12}$ ,被誉为化学合成史上的佳话。维生素 $B_{12}$ 分子含六种化学元素共181个原子,分子式为 $C_{63}H_{88}N_{14}O_{14}PCo$ ,立体结构相当复杂。在合成过程中,每一步化学反应都必须朝着指定的立体构型方向进行,否则得到的产物就不会与天然维生素 $B_{12}$ 相同。在分子轨道对称性守恒原理等化学理论的指导下,维生素 $B_{12}$ 的化学合成顺利完成。此外,像生物体贮存能量的高能化合物三磷酸腺苷、植物光合作用中起催化作用的绿色色素叶绿素和某些激素等,在合成中也都运用了化学方法。

## 2. 化学理论知识的渗透和应用

化学概念、原理和规律渗透并应用到生物学中,促进了分子生物学的形成和发展。

20世纪40年代以后,随着对蛋白质和核酸等生物大分子研究的进展,一些化学概念渗透和应用到生物学中,与生物学研究的具体对象相结合,有了新的内涵和外延,成为分子生物学基本概念的重要组成部分。例如,酸碱度、等电点、肽链、肽键、磷酸二酯键、氢键、疏水键、离子键、亲水基、疏水基、残基和碱基等,还有与电化学中标准电极电势相应的生物化学标准还原电势,以及其他一些与化学相近的概念。

同时,某些化学原理渗透和应用到生物学领域,与生物学知识相结合,演变和发展成分子生

物学的有关理论。因为生命过程的微观变化,主要是分子水平上的化学变化,一般地说,宏观行为都要通过和伴随微观化学反应而进行。所以化学原理和规律与分子生物学研究的问题关系相当密切,必然要渗透和应用到分子生物学之中。例如,化学上分子结构理论的构型和构象,渗透和应用到生物学中,形成分子生物学中生物大分子从低级到高级不同结构层次的构型和构象理论;化学上催化剂的催化作用机制,渗透和应用到生物学中,发展成分子生物学中描述酶促反应的酶催化模型。

### 3. 化学家的重要作用

化学家对分子生物学形成和发展的贡献,几乎不亚于生物学家,有时甚至超过生物学家。在DNA分子结构的确定和功能的研究中,化学家工作的重要性显得更为突出一些。

1951年,美国化学家鲍林(Pauling)提出蛋白质分子的螺旋结构模型,受他的思想和工作的启发,美国生物学家沃森(Watson)和英国生物学家克里克(Crick),根据X射线衍射数据,提出DNA分子一级结构的双螺旋模型,而他们也常常被称为化学家。

此外,在英国工作的澳大利亚化学家康福思建立了酶催化反应的立体模型,英国化学家米奇尔通过营养物质向细胞运动中的精确化学反应实验研究,找到生物体把食物变为能量的机制,创立了“生物能学”的新概念。如此等等,不胜枚举。

化学家,特别是生物化学家,在分子生物学形成和发展过程中的重要作用,正像著名英国生物化学家霍普金斯曾经指出的那样,“在描述生命时,生物化学家的语言可能不是结论性的议论,但是没有生物化学家们的帮助,结论性的议论就决不会说出来”。实际上,分子生物学形成和发展过程每前进一步,都凝集着化学家的创造性劳动和巨大的贡献。

## 1.4.3 生命科学的发展对化学科学的影响

生命科学的迅速发展和它所取得的巨大成就,反过来也对化学科学产生重大影响,开阔了化学家的眼界,扩大了化学的研究领域,促进了化学理论和方法的发展,促使化学科学的内容更加丰富而广泛。

### 1. 给化学提出了新课题

生命科学的发展,提出了许多与化学关系密切的新课题。例如,关于生命起源问题,地球上由无机物自然发展、演化成生命体的真实过程和分子机制;关于行为科学问题,人类的感情、语言和思维等高级行为的宏观表现,与体内微观物质的化学变化之间的关系;生物体生命过程的自我调节、自动控制和生命现象的化学本质,利用、改良乃至创造新生命的问题;其他星球是否存在生命的问题,等等。化学家正在为解决这些问题而努力探索。例如,美国化学家卡尔文等人,对生命起源的化学进化做了20年的实验研究,于1976年提出分子进化、多聚物进化、结构进化、催化作用进化和信息传递进化等具体过程的见解,认为“生命现象是宇宙的原子组成按已知的各种化学原则演变的必然结果。”

在当前,主要是研究与生命关系紧密的物质。核酸和蛋白质等生物大分子的结构分析、功能测定与人工合成;各种维生素和激素的分析、合成、制备和应用;无机物和小分子有机物,如很短的核苷酸片断、某些自由基、电解质离子和普通水分子,它们在生物大分子变化过程中的具体行为和生理作用等。早在1958年就有人从电子结构的研究探讨钠离子的生理效应。现在,这方面的研究正在不断进展。

探讨生命过程的微观机制也是当前研究的一个重要方面。生物体在温和条件下稳定地进行



各种复杂的自动变化、控制和调节过程,与酶催化和膜输导作用机制的关系;生物遗传信息以DNA分子双螺旋之一链为模板进行自我复制,这种从无序到有序的变化过程自动控制的原因、微观机制与宏观的生长、发育、繁殖、遗传和变异等生命现象的关系;分子致病和分子免疫的机制,等等。实际上,化学研究的领域扩大到生物的历史和未来、生物个体和群体以及生物和环境的关系等各个方面。

### 2. 促进了化学本身理论和方法的发展

分子生物学方法应用于化学,如酶法分析、酶促合成、膜透析和酶催化等方法,在化学实验和化工生产中同化学方法互相结合、相互补充,促进了化学分析和化学合成等方法的发展。

正如在生物学实验中应用化学试剂一样,化学实验中也应用到生物试剂。例如,1960年,美国化学家卡那恩通过巴氏杆菌无细胞提取液实现固氮。

### 3. 对化学仿生学的影响

分子生物学的发展,对化学模拟生物固氮、化学模拟光合作用、化学模拟酶催化反应、化学模拟生物膜转换和输导物质、模拟基因贮存和传递信息等,都有很大的启发和影响。例如,几乎所有生物膜都处于介晶状态(即液晶),它与生命基本过程(物质代谢、能量转换和对刺激的反应等)密切相关。在生物膜里,一些偶极矩较大的长棒状和板状分子有序地排列着,形成液晶,它对光、电、热等外界刺激很敏感。某些功能蛋白质就浸浮于液晶双分子层之中,随着外界刺激进行迅速而复杂地适应性变化,执行相应的生理功能。现在液晶的制备和应用已经广泛进入人们的生产和生活之中。再如,一个大肠杆菌的基因只有针尖的万分之一那么大,它是单链生物大分子,它能记载的“密码”相当于一部中篇小说。如果实现人工模拟生物基因,其实际意义将是不可估量的。此外,还有DNA的切割、重组对“分子设计”的启示等。

化学与生物学的关系是如此密切,以致在研究生命这个对象时,化学和生物学往往很难分开。现代化学教科书和生物学教科书中,有相当一些对象相同、理论接近、方法相似的内容。在生物学和化学的论文中,彼此互相引用也司空见惯。瑞典皇家科学院确认分子生物学亦属于化学,诺贝尔化学奖多次授予分子生物学方面的研究成果;而荣获诺贝尔生理学及医学奖的项目,涉及化学问题的也不在少数。

化学在分子生物学的形成和发展中起到重要作用,而分子生物学的发展又促进了生物学和化学各自的深入发展。分析分子生物学形成和发展的历史以及化学与生物学之间的关系,能够得到许多有益的启示。如果考虑到其他一些相关学科和技术在分子生物学形成和发展中的作用,以及分子生物学的发展对它们的影响,就会发现,相关学科互相交叉、渗透又相互结合、补充,形成新的边缘学科。而这些边缘学科的发展,反过来又促进相关学科各自的发展。可以认为,高度分化又高度综合是现代科学发展的重要特征之一。

## 1.5 大学化学的学习方法

化学是一门实验科学,任何时期,理论的发现、建立和验证都要通过实验。因此在大学化学的学习过程中要充分认识到化学实验在化学学习过程中的重要性。

化学对人们的知识结构、能力培养及素质提高有着极其重要的作用,因此我们在学习过程中应重视下述三个“注重”。