



教育部世行贷款21世纪初高等教育教学改革项目研究成果

高 等 学 校 教 材

普通化学

第二版

马家举 主 编

邵 谦 马祥梅 副主编



化学工业出版社

教育部世行贷款21 世纪初高等教育教学改革项目研究成果

本书一版获“第八届中国石油和化学工业优秀教材”二等奖

高 等 学 校 教 材

普 通 化 学

(第二版)

马家举 主编

邵 谦 马祥梅 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书是国家教育部“世行贷款 21 世纪初高等教育教学改革项目”，“工科非化工类专业化学课程体系的改革与完善”的研究成果。教材第一版获“第八届中国石油和化学工业优秀教材”二等奖。本教材可作为普通高等工科院校各专业教材，也可供其它相关专业的师生参考。

本书注重基础理论，从培养学生方法论及创新能力的角度出发，适当拓宽了知识面，并加入科学史内容，着力提高学生的思维方法、理论水平和分析问题的能力。而对元素、化合物知识（第 8 章、第 9 章）进行了精简、侧重规律性的知识及用物质结构理论分析物质的性质及用途。本书第 1~6 章为基础理论部分，第 7 章从应用角度简单介绍了分析测试的一般方法和过程及标准化的有关知识，第 1~9 章各章均附有内容提要、学习要求、思考题及习题，书后附有部分习题答案。第 10 章是本书的拓展部分，主要内容是现代化学的最新研究成果及新兴交叉学科的最新进展，满足差别教学和个性化培养的要求。本书贯彻我国法定计量单位制。

图书在版编目 (CIP) 数据

普通化学/马家举主编. —2 版. —北京: 化学工业出版社, 2012. 2
高等学校教材
ISBN 978-7-122-12987-1

I. 普… II. 马… III. 普通化学-高等学校-教材
IV. O6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 258296 号

责任编辑: 杨 菁
责任校对: 吴 静

文字编辑: 刘砚哲
装帧设计: 杨 北

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: 化学工业出版社印刷厂

787mm×1092mm 1/16 印张 20½ 彩插 1 字数 502 千字 2012 年 5 月北京第 2 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: 36.00 元

版权所有 违者必究

第二版前言

自 2003 年本书第一版出版以来,已有八个年头了。八年来我们一直在听取并收集意见和建议。本次修订是基于以下几点考虑。

首先是要对教材内容的布局作进一步的梳理。出发点有两条。一是要使教材内容更符合科学规律,总体按照从微观到宏观的顺序。这也同时满足了第二点,即使教学内容更加符合认知规律以便于教师授课。这样做实际上还有一个考虑,就是培养学生的思维,将诸如四大平衡等内容置于理论指导下,有助于学生对这部分内容的理解和对科学理论的系统性的掌握。

其次,进一步改善教材的可读性。主要从以下两方面着手:一是尽可能用较通俗的语言叙述科学内容,避免使用生硬、枯燥、晦涩的语言;二是在第一版的基础上继续坚持并增强教材的趣味性,在叙述科学理论的同时自然引入科学史特别是化学史的内容,这有助于引导学生沿着科学家的思路去思考问题,自己得出结论,提高学生的学习兴趣,也有助于开拓思路,培养学生的思维能力特别是逻辑思维的能力及思维习惯,使学生学会用化学的方法思考问题和解决问题,培养学生的辩证法思想及科学的方法论。实际上,沿着人类认识真理的路线来介绍化学理论也契合了我们对教学内容符合认知规律的追求。

再次,进一步核实和查阅了大量科学史资料,修正了第一版的一些错误和疏漏;重新核实了大量文献数据,力争使本教材既是一本教科书,也是一本科学史和文献数据方面的工具书。

另外,在元素化合物方面稍有加强,但篇幅增加有限,主要是为了保持化学学科系统的完整性。但即使如此,在元素化合物部分,我们仍然坚持以理论为指导,循着从结构说明性质,性质决定用途的路线引导学生的化学思维,突出重点、侧重规律性。

继续坚持并加强教材的先进性,与化学有关的科学与技术方面的进展与事件跟踪至 2011 年上半年。

全书共分 10 章,除选学内容(标题前有“*”)外,各章均有内容提要及要求,章末有思考题、习题,书末有附录、习题答案、索引、参考文献。

本教材全部采用中华人民共和国国家标准 GB 3102—93 规定的符号和单位。数据基本来自 D. R. Lide, CRC Handbook of Chemistry and Physics, 84th ed, CRC Press. Inc, 2003~2004、《化学化工大辞典》(《化学化工大辞典》编委会、化学工业出版社辞书编辑部编,化学工业出版社,2003)、《实用化学手册》(《实用化学手册》编写组,科学出版社,2001)等。

本书的绪论、第 1~3 章、第 6 章、第 8 章、第 10 章第 1~3 讲、第 7 讲由马家举(安徽理工大学)编写;第 4 章、第 5 章、第 10 章第 5 讲由邵谦(山东科技大学)编写;第 7 章由黄若峰(安徽理工大学)编写;第 9 章由马祥梅(安徽理工大学)编写;第 10 章第 4 讲由余新超(安徽理工大学编写);第 10 章第 6 讲由张群正(西安石油大学)编写。

鉴于本教材第一版被多所高校列为硕士研究生入学考试的指定参考书,而很多考生要求有相应的学习指导书或习题集,故本教材编写组随后将编写与本教材配套的学习指导书;为

满足使用本教材第一版的老师备课需要，我们还将很快编制出与新教材配套的电子教案与试题，以供相关老师索取。

衷心感谢西安科技大学的李侃社教授、安徽理工大学的刘维新副教授，他们对本书的编写提出了很多宝贵意见；感谢使用本教材第一版的所有老师和同学；感谢本书参考文献的作者。

由于编写水平所限，加之时间紧迫，教材的不妥及疏漏之处在所难免，衷心希望各位专家、老师和同学不吝指正。

编者

2011年6月

第一版前言

人类已经进入了 21 世纪，随着社会的进步和知识更新速度的加快，我国高等教育现行的课程体系和教学内容必须进行相应的改革。为此，国家教育部在 20 世纪末实施了“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”，又于 2000 年启动了“21 世纪初高等教育教学改革项目”。安徽理工大学获准主持了其中的世行贷款项目：“工科非化工类专业化学课程体系的改革与完善”。参加本项目的单位有：安徽工业大学，山东科技大学，成都理工大学，西安石油学院；西安科技学院和浙江工业大学等 6 所院校。本教材是其中的一个子项目。

本书第 1~5 章为基础理论部分，第 6 章为元素化合物知识，第 7 章从应用角度简单介绍了分析测试的一般方法和过程及标准化的有关知识，第 8 章是本书的拓展部分。

从培养学生能力尤其是创造能力出发，本书注重基础理论，扩大了知识面，加入表面化学及分析测试方面的内容，并在体现最新科技成果及加强化学在工程技术中的实际应用方面做出了努力。

在基础理论部分引入科学史特别是化学史的内容，尽可能使学生沿着科学家的思路去思考问题，自己得出结论。开设普通化学课程主要是为了完善知识结构及使学生学会用化学的方法思考问题和解决问题，因此在教材的各个重要部分尽可能引入化学史的内容，有助于提高学生的学习兴趣，开拓思路，有助于培养学生的辩证法思想及科学的方法论。

另一方面，将主要体现知识性或记忆性的元素化合物部分进行了较大幅度的缩减，合并为一章，并侧重应用。删减或淡化了一些陈旧或次要的概念、提法。

作为本教材特色之一，将现代化学的最新研究成果集中合并为 1 章，主要内容是现代化学的最新研究成果及新兴交叉学科的最新进展，满足差别教学和个性化培养的要求，内容包括化学自身的研究进展——20 世纪化学的回顾，交叉学科和热点研究领域的研究进展（如纳米化学、绿色化学、生命化学、表面工程技术、能源化学、材料化学等）。相关内容分别以讲座形式写出，重在体现“现代”之含义，每个讲座建议用 2 课时。目的是使学生增加知识，开阔视野。大部分交叉学科的讲座内容，对普通化学的授课对象在将来所从事的专业中进行创造性的工作会很有裨益。教师在授课时可根据专业特点有所选择。

本教材全部采用中华人民共和国国家标准 GB 3102—93 规定的符号和单位。数据基本来自“CRC Handbook of chemistry and physics”（1996—1997）、《实用化学手册》（《实用化学手册》编写组，科学出版社，2001）等。

本书的绪论、第 2 章 1~5 节、第 5 章、第 8 章第 1 讲、第 2 讲、第 3 讲、第 7 讲由马家举（安徽理工大学）编写；第 3 章、第 4 章、第 7 章、第 8 章第 5 讲由邵谦（山东科技大学）编写；第 1 章由朱伟长（安徽工业大学）编写；第 2 章第 6 节由江楦（安徽理工大学）编写；第 8 章第 4 讲由李瑜编写；第 6 章由李瑜和梁渠（成都理工大学）共同编写；第 8 章第 6 讲由张群正（西安石油学院）编写；研究生李长莲、周晓燕（安徽理工大学）帮助制作

了部分图表。全书最后由马家举统稿、定稿。

历经近两年时间，经所有参编人员的共同努力，这本教材终于同读者见面了，这是集体智慧的结晶。但由于编者水平所限，加之时间紧迫，因此教材的不妥甚至错误之处在所难免，衷心希望各位专家、老师和同学不吝指正。

编者

2003 年 3 月

目 录

绪论	1
第 1 章 原子结构与分子结构	4
1.1 原子结构理论的发展	4
1.1.1 原子理论的发展历程	4
1.1.2 原子结构的近代概念	6
1.2 核外电子运动状态的描述	12
1.2.1 波函数与原子轨道	12
1.2.2 电子云	13
1.2.3 量子数	14
1.3 多电子原子结构和周期系	15
1.3.1 多电子原子轨道的能级	15
1.3.2 核外电子分布的 3 个原则	16
1.3.3 基态原子中电子的分布	17
1.3.4 元素周期表	20
1.3.5 元素性质的周期性变化	22
1.4 化学键与键参数	23
1.4.1 化学键的概念及发展历程	23
1.4.2 键参数	24
1.4.3 化学键的类型	25
1.5 分子的形成与分子结构	25
1.5.1 价键理论	26
1.5.2 杂化轨道理论与分子的空间构型	29
*1.5.3 分子轨道理论	33
1.5.4 配位共价键与配位化合物	34
1.6 分子间的相互作用	36
1.6.1 分子的极性	36
1.6.2 范德华力	37
1.6.3 氢键	37
思考题	38
习题	39
第 2 章 物质的聚集状态	41
2.1 物质的聚集状态与相	41
2.1.1 物质的聚集状态	41
2.1.2 相	42
2.2 气体	43
2.2.1 理想气体	43

2.2.2 道尔顿分压定律·····	43
2.3 液体和溶液·····	44
2.3.1 液体的蒸气压·····	45
2.3.2 液体的沸点·····	46
2.3.3 溶液·····	46
2.4 固体·····	47
2.4.1 晶体与非晶体·····	47
2.4.2 离子键与离子晶体·····	48
2.4.3 原子晶体·····	49
2.4.4 分子晶体·····	50
2.4.5 金属键与金属晶体·····	51
思考题·····	53
习题·····	53
第3章 化学热力学初步 ·····	54
3.1 热力学第一定律·····	54
3.1.1 基本概念·····	54
3.1.2 能量守恒定律·····	57
3.2 反应热·····	58
3.2.1 等容热效应·····	58
3.2.2 等压热效应·····	58
3.2.3 焓·····	58
3.2.4 热化学方程式·····	60
3.2.5 反应热的计算·····	60
3.3 化学反应的方向·····	62
3.3.1 自发过程的特点·····	62
3.3.2 焓变与自发过程·····	63
3.3.3 熵变与自发过程·····	64
3.3.4 吉布斯函数变与化学反应的方向·····	66
3.4 化学反应的限度——化学平衡·····	70
3.4.1 化学平衡与平衡常数·····	71
3.4.2 化学平衡的移动·····	75
* 3.5 表面现象和胶体化学简介·····	78
3.5.1 基本概念·····	78
3.5.2 表面张力 σ ·····	79
3.5.3 胶体体系的基本性质·····	82
思考题·····	82
习题·····	83
第4章 水溶液与离子平衡 ·····	87
4.1 稀溶液的依数性·····	87
4.1.1 溶液的蒸气压下降·····	87
4.1.2 溶液的凝固点下降和沸点上升·····	88
4.1.3 溶液的渗透压·····	91
4.2 酸碱平衡·····	94

4.2.1 酸碱质子理论	94
4.2.2 酸碱水溶液中 pH 的计算	98
4.3 多相离子平衡	104
4.3.1 多相离子平衡	104
4.3.2 溶度积规则及应用	106
4.4 配位平衡	110
4.4.1 配离子的稳定性	110
4.4.2 配离子平衡浓度的计算	111
4.4.3 含有配离子平衡的多重平衡	112
思考题	114
习题	115
第 5 章 氧化还原反应与电化学	118
5.1 氧化还原反应与原电池	119
5.1.1 原电池及其组成	119
5.1.2 原电池的半反应式与氧化还原反应方程式的配平	121
5.1.3 原电池的表示方法——原电池符号	122
5.2 电极电势与电池电动势	123
5.2.1 电极电势与电池电动势的产生	123
5.2.2 电极电势的确定和标准电极电势	124
5.2.3 浓度对电极电势的影响——能斯特方程	125
5.3 电极电势与电池电动势的应用	127
5.3.1 电池电动势与吉布斯函数变的关系	127
5.3.2 电极电势与电池电动势的应用举例	128
5.4 电解	133
5.4.1 电解池与原电池的异同	133
5.4.2 分解电压与超电势	133
5.4.3 电解时的电极反应	134
5.5 常见的化学电池	135
5.5.1 化学电源	135
5.5.2 腐蚀电池	139
思考题	140
习题	141
第 6 章 化学反应速率	144
6.1 化学反应速率及其表示方法	145
6.2 反应速率理论	145
6.2.1 碰撞理论	145
6.2.2 过渡态理论	146
6.3 影响反应速率的外界因素	147
6.3.1 浓度对反应速率的影响	147
6.3.2 温度对反应速率的影响	150
6.3.3 催化剂对反应速率的影响	153
6.3.4 影响多相反应速率的因素	156
* 6.4 链反应	157

6.5 化学反应速率与化学平衡原理综合应用的基本思路	158
思考题	159
习题	159
* 第7章 分析方法及应用	162
7.1 分析化学简介	162
7.1.1 分析化学的任务和作用	162
7.1.2 分析化学的分类和特点	163
7.1.3 分析化学的发展	164
7.2 分析方法选择	166
7.2.1 测定的具体要求	166
7.2.2 待测组分的含量范围	166
7.2.3 待测组分的性质	167
7.2.4 共存组分的影响	167
7.2.5 实验室条件	167
7.3 分析过程概述	167
7.3.1 试样的采集与制备	167
7.3.2 试样的干燥	168
7.3.3 试样的分解	169
7.3.4 干扰的消除	170
7.3.5 测定及分析结果的计算	170
7.4 标准体系简介	170
7.4.1 标准化的概念	171
7.4.2 标准的分类	171
7.4.3 方法标准和产品质量检验	172
思考题	173
第8章 单质与无机化合物	174
8.1 单质	174
8.1.1 化学元素概述	174
8.1.2 单质的晶体结构	176
8.1.3 单质的物理性质	178
8.1.4 单质的化学性质	181
8.2 无机化合物	188
8.2.1 卤化物	189
8.2.2 氧化物	190
8.2.3 氢氧化物	192
思考题	194
习题	194
第9章 有机化合物	195
9.1 有机化合物的分子结构	195
9.1.1 有机化合物分子中碳原子的杂化类型	195
9.1.2 有机化合物结构上的特点——同分异构现象	197
9.1.3 有机化合物性质上的特点	199
9.2 有机化合物的分类及命名	199

9.2.1 有机化合物的分类	199
9.2.2 有机化合物的命名	200
9.3 有机化合物的重要反应	202
9.3.1 有机化合物的主要反应类型	202
9.3.2 有机化合物的主要反应	202
9.4 有机高分子化合物的分类及命名	208
9.4.1 高分子化合物的分类	209
9.4.2 高分子化合物的命名	209
9.5 有机高分子化合物的合成	210
9.5.1 加聚反应	210
9.5.2 缩聚反应	211
9.6 高分子化合物的结构和基本性能	211
9.6.1 高分子化合物的结构	211
9.6.2 高分子化合物的基本性能	213
9.7 高分子化合物的应用	216
9.7.1 塑料	216
9.7.2 橡胶	217
9.7.3 纤维	218
9.7.4 功能性高分子	220
思考题	222
习题	222
部分习题答案	224
附录	227
附录 1 一些基本物理常数	227
附录 2 一些物质的标准热力学数据 (298.15K)	227
附录 3 一些弱酸和弱碱的标准离解常数 (298.15K)	231
附录 4 一些难溶电解质的溶度积常数 (298.15K)	232
附录 5 一些配离子的标准稳定常数 (298.15K)	233
附录 6 标准电极电势 (298.15K)	234
参考文献	238
* 第 10 章 现代化学的研究进展	239
第 1 讲 20 世纪化学的回顾与 21 世纪化学之展望	240
第 2 讲 纳米化学	255
第 3 讲 绿色化学	263
第 4 讲 生命化学	273
第 5 讲 表面工程技术	283
第 6 讲 化学与能源	292
第 7 讲 材料化学	302
索引	311
元素周期表	

绪 论

辩证唯物主义告诉我们：世界是物质的，物质是运动和变化的，运动和变化是有规律的，而规律是可以被人们认识和掌握的。这里的物质包括实物和场两大类，化学研究的物质是前一类。物质的运动因复杂程度不同，可以分为几种形式（如物理运动、化学运动、生物运动等），化学研究的内容主要是化学运动即化学变化。化学变化主要是在原子、分子、离子这个层次上进行的，具体地讲，就是原子、分子或离子因核外电子的运动状态发生变化而进行重新组合。因此可以说：化学是在原子、分子层次上研究物质的组成、结构、性质及其变化规律的一门科学。

现代考古发现，在距今数十万年前的“北京人”居住过的洞穴里，发现厚度达4~6m、色彩鲜艳的灰烬，表明“北京人”已懂得使用火、支配火、学会保存火种的方法。从用火之时开始，原始人类便由野蛮进入文明，同时也就开始了用化学方法认识和改造天然物质。

燃烧就是一种化学现象。掌握了火以后，人类逐步学会了制陶、冶炼；以后又懂得了酿造、染色等等。这些由天然物质加工改造而成的制品，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。

公元前3世纪，中国秦始皇令方士献仙人不死之药，炼丹术开始萌芽。炼丹术在化学史上经历了很多年，对化学的发展造成了阻碍。但炼丹术的指导思想是深信物质能转化，试图在炼丹炉中人工合成金银或修炼长生不老之药；他们有目的地将各类物质搭配烧炼，进行实验，为此设计了研究物质变化用的各类器皿，如升华器、蒸馏器、研钵等，也创造了各种实验方法，如研磨、混合、溶解、洗涤、灼烧、熔融、升华、密封等，也为化学后来的发展起到了积极作用。

1661年，英国化学家罗伯特·波义耳（R. Boyle, 1627—1691）发表了名著《怀疑派的化学家》（The Sceptical Chemist），在书中他发展了自己关于化学元素的想法，完全驳倒了炼金术关于硫、汞、盐三本原的学说，彻底摧毁了已存在两千年的四元素学说，第一次“把化学确立为科学”（恩格斯语）。这部专著对化学从药剂师和炼金术士那里解脱出来成为一门独立的科学有着重要意义。他还主张化学要想成为一门真正独立的科学，就必须进行各种试验。1691年12月30日，波义耳在伦敦逝世后人们在他的墓碑上铭刻“化学之父”，以缅怀他的功绩。

此后，一大批科学家在实验基础上，取得了一系列的研究成果。1803年英国的道尔顿（John Dalton, 1766—1844）建立了近代原子论，突出地强调了各种元素的原子的质量为其最基本的特征，其中量（原子是有质量的）的概念的引入，是与古代原子论的一个主要区别。近代原子论使当时的化学知识和理论得到了合理的解释，成为说明化学现象的统一理论。不久后，1811年意大利科学家阿伏加德罗（A. Avogadro, 1776—1856）提出了分子假说，建立了科学的原子分子学说，为物质结构的研究奠定了基础。门捷列夫（D. I. Mendeleev, 1834—1907）发现元素周期律后，不仅初步形成了无机化学的体系，并且与原子分子学说一起形成化学理论体系。

1828 年德国年轻的化学家维勒 (Friedrich Wöhler, 1800—1882) 发表了“论尿素的人工制成”一文, 引起了化学界的震动, 开创了有机合成的新时代。

19 世纪下半叶, 俄国-德国物理化学家奥斯特瓦尔德 (F. W. Ostwald, 1853—1932) 等把物理学思想和理论引入化学之后, 不仅澄清了化学平衡和反应速率的概念, 而且可以定量地判断化学反应中物质转化的方向和条件, 相继建立了溶液理论、电离理论、电化学和化学动力学的理论基础。物理化学的诞生, 把化学从理论上提高到一个新的水平。

与此同时, 化学的另一分支——分析化学也在化学理论、实践需求及相关技术发展的推动下得到迅速发展。进入 20 世纪以后, 借助分析手段的日益先进及借助其它科学特别是数学、物理学、计算机科学的成果, 化学开始全面地从定性到定量、从宏观到微观、从描述到推理、从静态到动态、从盲目试验到进行分子设计呈现加速度的发展态势。

如今, 化学的研究对象也从最初的研究原子、分子到研究结构单元、高分子、原子分子团簇、原子分子的激发态、过渡态、吸附态、超分子、生物大分子、分子和原子的各种不同维数、不同尺度和不同复杂程度的聚集态和组装态, 直到分子材料、分子器件和分子机器的合成和反应, 制备、剪裁和组装, 分离和分析, 结构和构象, 粒度和形貌, 物理和化学性能, 生理和生物活性及其输运和调控的作用机制, 以及上述各方面的规律, 相互关系和应用等等。(徐光宪)

化学的研究方法和它的研究对象及研究内容一样, 也是随时代的前进而发展的。在 19 世纪, 化学主要是实验的科学, 它的研究方法主要是实验方法。到了 20 世纪下半叶, 随着量子化学在化学中的应用, 化学的研究方法开始有了理论推理和数学计算。现在 21 世纪又将增加第 3 种方法, 即模型和计算机虚拟的方法。

另一方面, 化学也以其自身的研究成果为其它学科如环境科学、材料科学、生命科学等的发展提供理论依据和测试手段 (见第 10 章)。

在自然科学的基础学科中, 化学一直有着独特的位置。1985 年美国国家科学研究委员会 (NRC) 调研报告《化学中的机会》中特别引用了早年罗宾逊 (S. R. Robinson, 1886—1975) 提出的“化学是中心科学”的说法。当然这个中心是指化学面向物质变化的这一科学, 从这一意义上讲, 它能联系到自然科学的方方面面, 从而处于一个独特的位置。汉语“化学”一词也较好地概括了这门包容万物、集天地之造化的学问。这是化学科学的一个重要特征。

化学的另一个特征是它与 20 世纪物质文明的突飞猛进紧紧相连。当前一些重大的工业生产过程基本上都基于化学过程。从钢铁冶金、水泥陶瓷、酸碱肥料、塑料橡胶、合成纤维, 一直到医药、农药、日用化妆品等都概莫能外。与此同时, 20 世纪中各种战争都与化学密切相关, 化学武器、炸药、推进剂、星球大战计划中的各种材料以及看似与战争无关的疟疾等等都是化学家研究的重大课题。因此可以说化学是我们这个社会无处不在的现实。

关于化学在日常生活中的作用, 美国化学会原主席布里斯罗在 1997 年美国化学会出版的《化学的今天和明天——一门中心的、实用的和创造性的科学》一书中, 有一段生动的叙述:

从早晨开始, 我们在用化学品建造的住宅和公寓中醒来, 家具是部分地用化学工业生产的现代材料制作的, 我们使用化学家们设计的肥皂和牙膏并穿上由合成纤维和合成染料制成的衣着, 即使是天然的纤维 (如羊毛或棉花) 也是经化学品处理过并染色的, 这样可以改进它们的性能。

为了保护起见，我们的食品被包装起来和冷藏起来，并且这些食品或是用肥料、除草剂和农药使之成长；或是家畜类需用兽医药来防病；或是维生素类可以加到食品中或制成片剂后口服；甚至我们购买的天然食品，诸如牛奶，也必须要经化学检验来保证纯度。

我们的交通工具——汽车、火车、飞机——在很大程度上是要依靠化学加工业的产品；晨报是印刷在经化学方法制成的纸上，所用的油墨是由化学家们制造的；用于说明事物的照片要用化学家们制造的胶片；在我们生活中的所有金属制品都是用矿石经过以化学为基础的冶炼转化变成金属或将金属再变成合金，化学油漆还能保护它们。

化妆品是由化学家制造和检验过的；执法用的和国防上用的武器要依靠化学。事实上，在我们日常生活所用的产品中很难找出有哪一种不是依靠在化学家们的帮助下制造出来的。

化学的发展还丰富和完善了哲学的理论体系，这不仅因为化学研究的对象是物质，更因为化学研究物质的变化及其规律，其中包含了深刻的辩证法思想。因此化学知识不仅是我們做好其它工作所必备的基础理论，而且学习化学有助于培养我们科学的世界观和方法论。

此外，化学学科是一个极具创造性的学科，因为在 20 世纪的 100 年中，在《美国化学文摘》上登录的天然和人工合成的分子和化合物的数目已从 1900 年的 55 万种，增加到 1999 年 12 月 31 日的 2340 万种，平均每天近 700 种。没有别的科学能像化学那样制造出如此众多的新分子、新物质。因此学习化学有助于培养我们的创新意识。

化学是一门注重实验的学科，强调理论与实践的有机结合，因此，普通化学实验是本课程必不可少的一个重要环节。实验课能够加深对基本概念、基本理论、基础知识的理解，还能够训练基本操作，培养实验能力，发展实验技巧，培养观察实验现象、提出问题、分析问题和解决问题的能力，养成严谨认真、实事求是的科学作风，培养从事科学研究的能力，为学习专业课打下必要的基础。

由于化学学科本身及相关交叉学科的发展非常之快，所以在学习化学时，还应该学会在遇到具体问题时查阅资料，学会使用工具书，当前要特别注意充分利用网络上的化学资源。培养再获取新知识的能力，将有助于我们在将来处理工程实际问题时，能够循着正确的思路寻找答案。

第 1 章 原子结构与分子结构

【内容提要】

从物质的微观结构入手，讨论电子在核外的运动状态和核外电子分布的一般规律，以及周期系与原子结构的关系；并介绍化学键、分子的空间构型、配位化合物等有关分子结构知识，简单介绍了分子的极性、分子间相互作用及其与物质性质的关系等基础知识。

【本章要求】

只有了解了物质结构知识，才能深入了解物质的物理性质、化学性质及其变化规律的根本原因。因此本章要求：

了解波函数及电子云的概念，理解元素周期律及元素周期表的知识，掌握核外电子分布的初步知识，初步掌握化学键的基本知识及分子的空间构型；会用分子的极性、分子间作用力分析物质的一些物理性质；了解配位化合物的概念、分类、命名及配位化合物的结构等初步知识。

人类认识自然总是按照从感性到理性、由外及内、从宏观到微观、从有形到无形、从表象到本质、从已知到未知的路线循序渐进而又曲折发展的。

世界是由物质组成的。不同的物质表现出各不相同的物理、化学性质，这是和它们各自不同的微观结构密切相关的。物质的结构与性质的关系是化学中的一个基本问题。

物质是在不断地运动中。按照运动的物体本身大小而言，可区分为宏观物体的运动和微观物体的运动。宏观物体一般指物体的大小在 $10^{-6} \sim 10^{10} \text{ m}$ 范围内，例如卫星、火车、乒乓球等，它们的运动规律遵循牛顿（I. Newton, 1642—1727）经典力学理论。微观物体一般指物体的大小在 $10^{-26} \sim 10^{-9} \text{ m}$ 范围内，例如分子、原子、电子等，它们的运动规律遵循现代量子力学理论。

本章将在量子力学基本概念的基础上，学习原子结构、分子结构、化学键和配位化合物等基础知识。

1.1 原子结构理论的发展

1.1.1 原子理论的发展历程

古代哲学家早就提出过万物由元素或原子组成的思想，如我国的五行学说、古希腊的四元素说等。但这些仅仅是古代天才的一种猜测（恩格斯语）。“原子”一词来源于古希腊的形容词“atomos”，意思是不可分割的。从公元前 50 年希腊哲学家、诗人卢克莱修（Lucretius, 约 99BC—55BC）所著《物性论》中得知，公元前 440 年左右希腊哲学家德谟克利特（Democritus, 约 460BC—370BC）就继承并发扬了他的老师留基伯（Leucippus, 约 490BC—440BC）的原子学说，指出万物由原子组成，原子不可再分。宇宙空间中除了原子和虚空之外，什么都没有。原子一直存在于宇宙之中，它们不能被无中创生，也不能被消

灭，任何变化都是它们引起的结合和分离。这种朴素的唯物主义科学观由于缺乏实证支持，所以很难得到认可。这种“原子”只能是一种哲学意义上的概念。

18 世纪末期，在没有原子理论指导的情况下，在严谨实验及逻辑论证的基础上，两个有关化学反应的定律问世了。第一个是由拉瓦锡（Antoine Lavoisier, 1743—1794）在 1789 年提出的质量守恒定律——化学反应过程中总质量保持不变（即反应物和生成物质量相等）。第二个是定比定律又称为定组成定律，首先在 1799 年被法国化学家约瑟夫·路易斯·普鲁斯特（Joseph Louis Proust, 1754—1826）所证明。该定律指出，一种化合物不管它的数量和来源如何，当把它分解成它的组成元素时，那这些组成元素的质量将总具有同样的比例。

道尔顿（John Dalton, 1766—1844）研究和拓展了前人的工作，提出了倍比定律：如果两个元素可一起形成不止一种化合物，则在这些化合物中，第二种元素在与相同质量的第一种元素化合时，质量呈简单的整数比。例如，普鲁斯特研究过锡的氧化物并发现其中的组成可以是 88.1% 的锡和 11.9% 的氧，也可以是 78.7% 的锡和 21.3% 的氧（分别是 SnO 和 SnO_2 ）。道尔顿从这些百分比中注意到 100g 的锡既能与 13.5g 的氧化合，也能与 27g 的氧化合，13.5 与 27 为 1:2（注意：普鲁斯特自己未能从这些数据中发现倍比定律）。道尔顿意识到一个有关物质的原子理论能很好地解释化学中的这种常规情形：一个锡原子能够和一个或两个氧原子化合。

道尔顿进一步推测：每种化学元素都是由单个的、特定的、不可分割的原子组成的；原子不能通过化学方法被改变、创生及消灭；同种类的原子在质量、形状和性质上都完全相同，不同种类的原子则不同；单质是由简单原子组成的，化合物是由复杂原子组成的，而复杂原子又是由为数不多的简单原子所组成；原子是有质量的，而复杂原子的质量等于组成它的简单原子的质量的总和。

1803 年，道尔顿口头介绍了 6 种原子的相对质量，论文于 1805 年正式发表，但均未介绍他是如何获得相对原子质量数据的。直到 1808 年和 1810 年他才在自己的教科书《化学哲学新体系》（*A New System of Chemical Philosophy*）中最终发布了获得相对原子质量的详细和完整方法：根据原子相化合时的质量比并假定氢是基本单元（相对原子质量为 1）估算出原子的相对质量。

道尔顿的原子理论可以被认为是化学史上第一个真正的科学理论。这一理论使当时众多的化学现象得到了统一的解释。特别是相对原子质量的引入，引导着化学家把定量研究与定性研究结合起来，从而把化学研究提高到一个新的水平。在这一理论指导下，一大批新的原子及其相对原子质量被发现和测定出来，为化学此后的发展奠定了良好基础。但是道尔顿的原子是不能再分的最小微粒，这种错误认识在将近 100 年后才最终得到纠正。

19 世纪末 20 世纪初，在物理学领域产生了一大批的顶尖科学家和一系列研究成果。通过各种电磁实验和放射实验，物理学家们发现所谓的“不可分割的原子”实际上是各种更小的可彼此独立存在的粒子（主要是电子、质子和中子）的聚集体。事实上，在某些极端环境下——如在中子星中——极端的温度和极端的压力使原子根本不能存在。

在这一时期大批涌现的促进近代化学和物理学各种惊人进步的学说和事实中，有三项重要发现对原子结构理论的发展最为关键。

1895 年，德国实验物理学家伦琴（Wilhelm Konrad Röntgen, 1854—1923）发现了 X 射线。X 射线的发现为诸多科学领域提供了一种行之有效的研究手段，并对 20 世纪以来的物理学以至整个科学技术的发展产生了巨大而深远的影响，也为元素周期表最终完成按原子