



教育部高职高专规划教材

无机及分析化学

► 韩忠霄 孙乃有 主编
雷和稳 主审



化学工业出版社
教材出版中心

教育部高职高专规划教材

无机及分析化学

韩忠霄 孙乃有 主编
雷和稳 主审



化学工业出版社
教材出版中心

· 北 京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

无机及分析化学/韩忠霄,孙乃有主编. —北京:化学工业出版社,2005.5
教育部高职高专规划教材
ISBN 7-5025-7094-2

I. 无… II. ①郭…②孙… III. ①无机化学-高等学校:技术学院-教材②分析化学-高等学校:技术学院-教材 IV. 06

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 050648 号

教育部高职高专规划教材

无机及分析化学

韩忠霄 孙乃有 主编

雷和稳 主审

责任编辑:陈有华 蔡洪伟

责任校对:蒋 宇

封面设计:于 兵

*

化学工业出版社 出版发行

教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话:(010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市兴顺印刷厂印装

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 14½ 彩插 1 字数 347 千字

2005 年 6 月第 1 版 2005 年 6 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7094-2

定 价: 25.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

出版说明

高职高专教材建设工作是整个高职高专教学工作中的重要组成部分。改革开放以来,在各级教育行政部门、有关学校和出版社的共同努力下,各地先后出版了一些高职高专教育教材。但从整体上看,具有高职高专教育特色的教材极其匮乏,不少院校尚在借用本科或中专教材,教材建设落后于高职高专教育的发展需要。为此,1999年教育部组织制定了《高职高专教育专门课程基本要求》(以下简称《基本要求》)和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》(以下简称《培养规格》),通过推荐、招标及遴选,组织了一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师,成立了“教育部高职高专规划教材”编写队伍,并在有关出版社的积极配合下,推出一批“教育部高职高专规划教材”。

“教育部高职高专规划教材”计划出版500种,用5年左右时间完成。这500种教材中,专门课(专业基础课、专业理论与专业能力课)教材将占很高的比例。专门课教材建设在很大程度上影响着高职高专教学质量。专门课教材是按照《培养规格》的要求,在对有关专业的人才培养模式和教学内容体系改革进行充分调查研究和论证的基础上,充分汲取高职、高专和成人高等学校在探索培养技术应用型专门人才方面取得的成功经验和教学成果编写而成的。这套教材充分体现了高等职业教育的应用特色和能力本位,调整了新世纪人才必须具备的文化基础和技术基础,突出了人才的创新素质和创新能力的培养。在有关课程开发委员会组织下,专门课教材建设得到了举办高职高专教育的广大院校的积极支持。我们计划先用2~3年的时间,在继承原有高职高专和成人高等学校教材建设成果的基础上,充分汲取近几年来各类学校在探索培养技术应用型专门人才方面取得的成功经验,解决新形势下高职高专教育教材的有无问题;然后再用2~3年的时间,在《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上,通过研究、改革和建设,推出一大批教育部高职高专规划教材,从而形成优化配套的高职高专教育教材体系。

本套教材适用于各级各类举办高职高专教育的院校使用。希望各用书学校积极选用这批经过系统论证、严格审查、正式出版的规划教材,并组织本校教师以对事业的责任感对教材教学开展研究工作,不断推动规划教材建设工作的发展与提高。

教育部高等教育司

2001年4月3日

前 言

随着教育的不断深化, 高职高专教育内容和课程体系的改革已势在必行, 无机及分析化学课程就是高职高专院校化学课程改革的产物, 它是高职高专院校制药技术类、生物类、化工类、环境类、医学类、农林类、食品类、材料类、国防公安类等相关专业必修的一门化学基础课程。本教材是高职高专教育国家规划教材之一, 是根据高职高专教育专业人才的培养目标和规格以及高职高专学生应具有的知识与能力结构和素质要求编写的。编写时, 竭力贯彻以“素质为基础、能力为本位”的教育教学指导思想, 打破学科型的教材体系, 紧扣学以致用原则, 构建适用于高职高专教育相关专业的《无机及分析化学》教材新体系。与高职高专院校传统的《无机化学》、《分析化学》相比, 本教材具有以下特点。

1. 本着理论“必需、够用”为度, 结合各相关专业特点和后续课需要, 将原属于两门课程的基本内容进行精选, 突出重点, 加强基础。精简复杂公式和繁琐计算的推导, 删除了过深的理论分析和阐述, 力求做到言简意赅、通俗易懂。

2. 本书将与有机化学、物理化学、仪器分析等课程相重叠的内容进行了删减, 以原无机化学及定量化学分析内容作为主干, 使本教材既满足本门课程的需要, 又为与相关平行课程和后续课程的衔接建立了一个很好的起点, 同时也为将来从事有关化学及其检测工作奠定了扎实的基础。

3. 充分考虑高职高专特点, 立足于构建无机及分析化学新的体系, 对无机化学、分析化学两门课程的教学内容精心遴选后进行有机整合, 将定量化学分析中的四大滴定分析融入四大化学平衡, 实现了两门课程真正意义上的有机结合, 充分体现基础理论与应用技术的--体化。

4. 对原无机化学的有关内容进行了大胆的删减, 元素化学部分只介绍了最具代表性的元素及其化合物, 并简单介绍了生命元素化学的基本概念; 对各种基本化学分析方法强化实际应用, 使教学内容更切合高职高专院校实际, 既体现化学课程的特色, 又以培养学生分析问题和解决实际问题的能力为重。

5. 在知识点的选取上, 注意补充新知识, 所述观点, 所言技术, 所选实例力求具有时代特色并反映科技进步现状, 突出先进性; 同时为拓展知识视野, 在部分章后给出了相关的阅读材料。在涉及到国家或行业的规格或标准时采用了最新的国家标准或行业标准, 并贯彻我国法定计量单位, 力求体现准确性和规范性。

6. 为更好地突出高职高专教育的应用性和实践性, 培养学生的技术应用能力和综合实践素质, 把从属于理论课程的实验部分独立出来单独设课, 使无机及分析化学实验教材另成一册, 与本教材配套使用。

为适应不同院校不同专业需要, 本书设有选学章节以“*”号标示, 根据专业不同, 教学内容可进行适当调整。

本书第六章、第七章由韩忠霄(河北工业职业技术学院)编写; 绪论、第五章、第九章由孙乃有(承德石油高等专科学校)编写; 第一章、第二章、第三章由池利民(河北化工医药职业技术学院)编写; 第四章、第八章由朱伟军(徐州工业职业技术学院)编写。全书由

韩忠霄统稿。本书由河北化工医药职业技术学院雷和稳教授主审，并提出了宝贵的修改意见，在此谨致衷心感谢。河北科技大学的李景印教授对有关章节的编写给予了精心指导，在此谨致衷心感谢。

本书的编写得到了化学工业出版社和河北化工医药职业技术学院领导和同行们的热情关心和帮助，在此谨向他们表示感谢。

鉴于编者水平和能力所限，疏漏在所难免，恳请有关专家、老师和广大读者指正。

编者

2005年2月

目 录

绪论	1
一、无机及分析化学的任务和作用	1
二、化学分析方法分类	1
三、无机及分析化学课程的基本内容	2
四、无机及分析化学课程的学习方法	3
第一章 物质结构	4
第一节 原子核外电子的运动状态	4
一、电子云	4
二、核外电子的运动状态	5
第二节 原子核外电子的排布	6
一、电子分布和近似能级图	6
二、核外电子的排布规则	7
三、原子的电子结构与元素周期律	8
第三节 元素性质的周期性变化	11
一、原子半径	11
二、电离能	12
三、电负性	12
四、元素的金属性与非金属性	13
五、氧化数	13
第四节 化学键	14
一、离子键	14
二、共价键	15
三、杂化轨道理论	19
第五节 分子的极性	21
一、键的极性与分子的极性	21
二、分子的极性与偶极矩	22
第六节 分子间的作用力	22
一、分子的极化	22
二、分子间力	23
三、氢键	24
阅读材料 1 四个量子数	25
阅读材料 2 晶体知识	26
思考题	27
习题	27
第二章 化学反应速率和化学平衡	29

第一节 化学反应速率	29
一、化学反应速率的概念及表示方法	29
二、影响化学反应速率的因素	30
第二节 化学平衡	32
一、可逆反应和化学平衡	32
二、化学平衡常数	32
三、有关化学平衡的计算	35
四、化学平衡的移动	36
五、反应速率与化学平衡的综合应用	37
阅读材料 化学反应速率理论简介	37
思考题	38
习题	38
第三章 重要元素及其化合物	41
第一节 概述	41
一、元素在自然界中的分布	41
二、元素的分类	42
三、元素在自然界中的存在形态	42
第二节 非金属元素及其化合物	42
一、卤素及其化合物	42
二、氧、硫及其化合物	45
三、氮、磷及其化合物	48
四、碳、硅、硼及其化合物	50
第三节 金属元素及其化合物	51
一、过渡元素的通性	51
二、铜、银、锌和汞	52
三、铬、锰和铁	54
第四节 生命元素简介	56
一、宏量元素	56
二、微量元素	57
三、有害元素	57
思考题	57
习题	57
第四章 定量分析基础	59
第一节 定量分析的一般程序	59
一、试样的采集与制备	59
二、试样的分解	60
三、试样的预处理	61
四、测定	61
五、数据处理	62
第二节 定量分析中的误差	62

一、误差来源及减免方法	62
二、误差的表示方法	63
第三节 分析数据的处理	66
一、有效数字及其运算规则	66
二、置信度与平均值的置信区间	68
三、可疑数据的取舍	70
第四节 滴定分析概述	71
一、滴定分析的基本概念	71
二、滴定分析方法	72
三、滴定分析对化学反应的要求	72
四、滴定方式	73
第五节 标准滴定溶液制备	74
一、溶液浓度的表示方法	74
二、标准滴定溶液的制备方法	75
第六节 滴定分析的计算	77
一、基本单元的概念	77
二、计算示例	78
思考题	81
习题	81
第五章 酸碱平衡与酸碱滴定法	83
第一节 酸碱质子理论	83
一、质子酸碱的概念	83
二、酸碱反应	84
三、水溶液中的酸碱反应及其平衡	85
第二节 影响酸碱平衡的因素	87
一、稀释作用	87
二、同离子效应与盐效应	88
三、酸度及其对弱酸弱碱型体分布的影响	89
第三节 酸碱水溶液 pH 的计算	91
一、质子条件式	91
二、一元弱酸、弱碱水溶液 pH 的计算	91
三、多元弱酸、弱碱水溶液 pH 的计算	92
四、两性物质水溶液 pH 的计算	93
五、缓冲溶液及其 pH 的计算	94
第四节 酸碱指示剂	96
一、酸碱指示剂的变色原理	96
二、酸碱指示剂的变色范围	97
三、混合指示剂	98
第五节 酸碱滴定曲线和指示剂选择	99
一、强酸强碱的滴定	99

二、一元弱酸弱碱的滴定	101
三、多元酸碱的滴定	103
第六节 酸碱滴定法的应用	106
一、酸碱标准滴定溶液的制备	106
二、应用实例	107
三、计算示例	109
第七节 非水溶液中的酸碱滴定	111
一、溶剂的种类与性质	111
二、非水滴定条件的选择	112
三、非水滴定的标准滴定溶液和终点的检测	112
四、非水滴定法的应用实例	113
阅读材料 绿色化学	113
思考题	114
习题	114
第六章 配位化合物与配位滴定法	117
第一节 概述	117
一、配位化合物及配位平衡	117
二、配位滴定对反应的要求	121
三、氨羧配位剂	121
第二节 EDTA 及其配合物	122
一、EDTA 的性质及其解离平衡	122
二、EDTA 与金属离子的配位特点	123
第三节 EDTA 配合物的解离平衡	124
一、EDTA 与金属离子的主反应及配合物的稳定常数	124
二、影响配位平衡的主要因素	124
三、条件稳定常数	126
四、滴定所允许的最低 pH 和酸效应曲线	127
第四节 配位滴定法的基本原理	129
一、滴定曲线	129
二、金属指示剂	130
第五节 提高配位滴定选择性的方法	133
一、利用控制溶液酸度的方法	133
二、利用掩蔽和解蔽的方法	134
三、选用其他配位剂滴定	136
第六节 配位滴定法的应用	137
一、EDTA 标准滴定溶液的制备	137
二、配位滴定方式	137
三、应用示例	138
阅读材料 配合物在生化、医药中的应用	139
思考题	140

习题	141
第七章 氧化还原反应与氧化还原滴定法	143
第一节 氧化还原反应	143
一、基本概念	143
二、氧化还原反应方程式的配平	145
第二节 电极电势	147
一、电极电势与能斯特方程式	147
二、电极电势的应用	150
第三节 氧化还原滴定法的基本原理	152
一、氧化还原滴定曲线	153
二、氧化还原滴定中的指示剂	154
三、氧化还原滴定的预处理	156
第四节 常用的氧化还原滴定法	156
一、高锰酸钾法	156
二、碘量法	159
三、亚硝酸钠法	163
第五节 其他氧化还原滴定法	165
一、硫酸铈法	165
二、重铬酸钾法	165
三、溴酸钾法	166
第六节 氧化还原滴定计算示例	167
思考题	168
习题	169
第八章 沉淀溶解平衡与沉淀测定法	172
第一节 难溶电解质的溶解平衡	172
一、溶度积	172
二、分步沉淀	174
三、沉淀的溶解方法	175
四、沉淀的转化	176
第二节 沉淀滴定法	176
一、莫尔法	177
* 二、佛尔哈德法	178
三、法扬司法	179
第三节 沉淀滴定法的应用	180
一、银量法标准滴定溶液的制备	180
二、应用实例	181
第四节 称量分析法	182
一、沉淀法	182
* 二、挥发法	186
* 三、萃取法	186

思考题	186
习题	187
第九章 常用的化学分离方法	188
第一节 化学分离的意义及回收效果	188
一、分离与富集	188
二、分离与富集的效果评价	188
第二节 沉淀与共沉淀分离法	189
一、常量组分的沉淀分离	189
二、共沉淀及微(痕)量成分的分离富集	190
第三节 溶剂萃取分离法	191
一、溶剂萃取的基本原理	191
二、重要的萃取体系	193
第四节 离子交换分离法	194
一、离子交换树脂的种类	194
二、离子交换树脂的结构及离子交换原理	195
三、交联度和交换容量	195
四、离子交换树脂对离子亲和力的顺序	196
第五节 纸色谱和薄层色谱法	196
一、纸色谱法	196
二、薄层色谱法	197
三、色谱分离操作与定性定量方法	198
阅读材料 超临界流体萃取	198
思考题	199
习题	199
习题答案	201
附录	204
附录1 弱酸弱碱在水中的解离常数(25℃, $I=0$)	204
附录2 金属配合物的稳定常数(18~25℃, $I=0.1$)	206
附录3 标准电极电势(25℃)	207
附录4 条件电极电势	210
附录5 一些常见难溶化合物的溶度积(18~25℃)	212
附录6 一些化合物的相对分子质量	213
参考文献	216
元素周期表	

绪 论

世界是由物质构成的，化学则是人类用以认识和改造物质世界的主要方法和手段之一，它既是一门历史悠久而又富有活力的学科，也是一门以实践为基础的学科。

一、无机及分析化学的任务和作用

无机化学是化学科学中发展最早的一个分支学科，它的研究对象是元素和非碳氢结构的化合物。无机化学的主要任务是研究无机物质的组成、结构、性质及其变化规律的科学。无机化学的研究范围较为广泛，它所涉及的一些理论和普遍规律是其他化学分支学科研究的基础。

分析化学是化学科学的一个重要分支学科，它的研究对象不仅包括无机物，也包括有机物。分析化学的主要任务是鉴定物质的化学组成、测定有关组分的含量以及表征物质的化学结构，它们分别隶属于定性分析、定量分析和结构分析的范畴。

在研究和应用不同物质的性质及其变化规律时，化学科学逐渐发展成为若干个分支学科，但在探索和处理某一具体物质对象时，一些分支学科又相互联系、相互渗透。无机物、有机物的制备、性质及作用总是无机化学和有机化学研究的出发点和落足点，但在反应和应用过程中的条件控制还必须用分析化学的测试结果来加以检验，这一切当然也离不开物理化学的理论指导。因此，无机及分析化学是一切化学科学的理论基础，对其他化学分支学科和化学化工知识的学习具有重要意义。无机及分析化学所涉及的面十分广泛，它常常作为一种手段而广泛应用在化学学科本身的发展以及与化学有关的各学科领域中。在国民经济建设中，无机及分析化学具有更重要的实用意义，无论在工农业生产的原料选择、生产过程的控制与管理、成品质量检验，还是新技术的探索应用，新产品的开发研究等，都要以分析结果作为重要参考依据。在医药卫生、环境保护、国防公安等方面也都离不开分析检验。因此无机及分析化学是人们认识物质及其变化规律的“导航员”，是科学研究的“参谋”，是指导工农业生产及各领域相关工作的“眼睛”。

二、化学分析方法分类

根据分析对象、分析任务、测定原理、试样用量及待测组分含量和具体要求的不同，无机及分析化学的分析方法可分为如下几种类型。

(1) 无机分析和有机分析 无机分析的对象是无机化合物，通常要求鉴定物质的组成和测定各组分的含量；有机分析的对象是有机化合物，虽然构成有机化合物的元素种类不多，但所涉及的结构相当复杂，故分析方法不仅有元素分析，还有官能团分析和结构分析。

(2) 定性分析、定量分析和结构分析 定性分析的任务是鉴定物质由哪些组分组成；定量分析的任务是测定物质中有关组分的含量；结构分析的任务是研究物质的分子结构或晶体结构。

(3) 化学分析和仪器分析 以物质的化学反应为基础的分析方法称为化学分析法。化学分析法是分析化学的基础, 主要包括滴定分析法(也称容量分析)和称量分析法等。根据化学反应的类型不同, 滴定分析法又可分为酸碱滴定法、配位滴定法、氧化还原滴定法和沉淀滴定法。以物质的物理或物理化学性质为基础的分析方法称为物理或物理化学分析法。这类分析方法通常需用特殊的仪器设备, 所以又称为仪器分析法, 它包括光学分析、电化学分析、色谱分析、放射化学分析、质谱分析, 以及近些年发展起来的核磁共振波谱分析、电子探针和离子探针微区分析等。

(4) 常量分析、半微量分析和微量分析 根据分析时所需试样量的多少及操作规模不同, 可分为常量分析(试样质量大于 0.1g, 试样体积大于 10mL)、半微量分析(试样质量为 0.01~0.1g, 试样体积为 1~10 mL)和微量分析(试样质量小于 0.01g, 试样体积小于 1mL)等。在无机定性分析中, 一般采用半微量分析法; 在滴定分析中, 一般采用常量分析法。

(5) 常量组分分析、微量组分分析和痕量组分分析 根据待测组分相对含量的高低不同, 可分为常量组分分析(质量分数大于 1%)、微量组分分析(质量分数为 0.01%~1%)和痕量组分分析(质量分数小于 0.01%)。

(6) 快速分析、例行分析和仲裁分析 快速分析适用于需要迅速得出分析结果的情况, 分析误差往往比较大、准确度只需满足车间生产要求即可。例行分析也称常规分析, 是工厂化验室对日常生产过程中的质检分析, 通常使用标准实验方法。仲裁分析是不同单位对同一试样的分析结果发生争论时, 请权威机构用公认的标准实验方法进行的裁决性分析。

随着现代分析技术与手段的不断进步, 快速分析法也在向提高准确度的方向发展, 例行分析法也在向快速得出结果的方向发展, 两者之间的差别已逐渐变小且越来越不明显。有些实验方法既能保证准确度, 操作又非常迅速; 有些实验方法既可作为例行分析, 又可作为快速分析, 甚至还可作为仲裁分析的公认标准实验方法。

三、无机及分析化学课程的基本内容

无机及分析化学课程是立足于现实高职高专教学需要, 在原无机化学和分析化学两门课程的基本理论、基本知识、基本操作的基础性和应用性基础上, 进行优化整合、有机结合而形成的一门基础课程, 以无机物质(兼顾少量有机物质)的性质、组成、结构、反应和应用为主要研究对象。理论部分, 以物质的结构与化学键、元素与分子的性质、化学反应与平衡为主要线索, 同时又适当介绍一些重要元素及其化合物, 以加深理解单质和化合物的性质及其在周期系中的变化规律。使内容层次在论述过程中体现理论化、系统化。并在掌握无机化学基本理论、分析化学定量分析知识的基础上, 逐步展开化学定量分析法有关理论和实际应用的介绍, 其中包括酸碱平衡与酸碱滴定法、配位化合物与配位滴定法、氧化还原反应与氧化还原滴定法、沉淀溶解平衡与沉淀滴定法及称量分析法以及重要的化学分离方法。重点介绍化学基础理论和化学分析方法, 突出化学基础理论及基本分析方法在企业生产实际和分析检测中的应用。实验部分, 重点以化学定量分析中滴定分析训练项目为主, 兼顾无机物制备、离子鉴定和部分化学(定量)分离方法。如此筛选实践教学内容, 不仅为巩固无机化学及分析的基本理论和提高滴定分析技术创造了有利条件, 也为复杂物质的分离、鉴定及含量测定给出了一个整体轮廓。

四、无机及分析化学课程的学习方法

学习无机及分析化学课程（含配套实验教材）必须掌握科学的方法，树立实践的观点。科学的方法，即在感性认识即实验观察的基础上，通过分析、比较、判断后，再经过推理、归纳得到概括性和理论化的概念，进而掌握定律、原理等理性知识，再将这些理性知识应用到实际生产和科研中去。在实践的基础上，进一步丰富和检验理性知识。实践的观点是马克思主义的一个基本观点。“知行相资以为用”、“力行而后知之真”，“行”即是付诸实践，是认识和掌握知识的归宿，理论本身的意义就在于指导实践，改造客观世界。因此，在无机及分析化学课程的学习和实验操作的练习中，不仅要重视理论知识，更应遵循“从实践到理论再到实践”的客观规律，重视实验操作。这是学好本课程应具备的基本认识。

化学实验是认识物质化学性质，揭示化学变化规律，检验化学理论和从事相关实际工作的重要手段。无机及分析化学是一门实践性很强的课程，它是学习制药、化工、生物、环境、农林、医学、食品、材料等专业课程的基础，而且是未来从事化工产品、药物开发，开展各种分析检验工作的基础。因此，对于无机及分析化学实验，要认真完成，通过实际训练掌握实验的基本操作技能，提高分析判断和解决实际问题的能力。科学的态度和严谨的作风，也将从中得到培养。

任何一个学科或理论的建立和发展，都是由感性认知开始的。感性知识有的是直接的，是通过自身的实践获得的。但大多数的感性知识是间接获得的，是前人实践的经验总结。因此在学习新的概念、原理，及实际应用时，首先要注意问题是如何提出的，其主要依据是什么，应用条件又如何，其实用价值有哪些，还存在哪些问题。然后，再思考如何去理解、验证和应用解决有关问题。在学习过程中，包括对待实验内容，必须注意掌握重点、突破难点，凡属重点内容一定要学懂，融会贯通；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，切忌抓不住重点。由于融为一体后的无机及分析化学理论和实验内容较多，因此要在预习的基础上听懂每一节课，做好每一次实验，根据各章学习目标的要求，紧紧抓住主要内容及重点、难点来学习。构建起立体的知识网络，且能运用所学的知识，分析和解决无机及分析化学的实际问题，并能开展实验，是本课程的最高学习目标。

通过无机及分析化学理论和实验的学习，应掌握化学的基本内容，熟悉化学变化的基本规律，了解化学反应产生的条件，为物质的制备和应用打好基础；要学会用物质结构的观点解释元素及其化合物的性质，正确掌握各类化学平衡的原理及计算，掌握用定量分析的方法来测定物质中相关组分的含量。学好无机及分析化学课程，将为学习后续专业课程打下基础，进而为今后从事生产、科研，解决实际问题，打好基础。

第一章 物质结构

【学习目标】

1. 理解原子核外电子运动状态的描述和核外电子的排布规律；掌握 s、p 电子云的形状。
2. 掌握元素周期律和元素周期表的结构；理解周期表中元素性质的递变规律。
3. 理解价键理论。掌握离子键和共价键的本质、形成过程及基本特点以及共价键的类型。
4. 能正确判断简单分子的空间构型。了解分子间作用力及氢键的有关概念及它们对物质性质的影响。

原子是物质进行化学反应的基本微粒。原子是由带正电荷的原子核和带负电荷的电子组成的，一般在化学反应中，原子核不发生变化，变化的只是核外电子。通常所说的原子结构是指核外电子的数目、排布、能量以及运动状态。世界是由物质构成的，物质的分子又是由原子构成的，因此，要了解物质的性质及其变化，首先必须了解原子和分子的内部结构。本章主要讨论原子核外电子的运动状态、核外电子排布、元素的基本性质和结构的关系、化学键、分子的形成、分子的空间构型以及分子间力。

第一节 原子核外电子的运动状态

一、电子云

电子的质量很小，是带负电荷的微粒。它在原子核外直径为 10^{-10} m 的空间作高速运动，这样小而且速度极高的微粒，其运动规律与常见的宏观物体不同。电子在核外的运动，没有确定的轨道，不能同时准确地测量和计算出它在某一瞬间的位置和运动速度。在描述核外电子运动时，只能采用统计的方法，即对一个电子多次的行为或许多电子的一次行为进行总的研究，可以统计出电子在核外空间某区域内出现机会的多少，这种机会在数学上称为概率。电子在核外空间各区域内出现的概率不同，但却是有规律的。以氢原子为例，氢原子核外只有一个电子，对于这一个电子的运动，其瞬间的空间位置是毫无规律的，但如用统计的方法（假设用特殊的照相机，给氢原子照相），把该电子在核外空间的成千上万的瞬间位置叠加起来，即得到图 1-1 所示的图像。

图 1-1 表明，电子经常在核外空间一个球形区域内出现，如同一团带负电荷的云雾，笼罩在原子核的周围，人们形象地称之为电子云。这团“电子云雾”呈球形对称，离核越近，密度越大；离核越远，密度越小。即离核越近，单位体积空间内电子出现的概率越大；离核越远，单位体积空间内电子出现的概率越小。空间某处单位体积内电子出现的概率称为概率密度。因此，电子云是电子在核外空间出现的概率密度，是用来描述核外电子运动状态的。

电子云的表示方法通常有两种，一种是电子云示意图，如图 1-1 所示。原子核位于中

心, 小黑点的疏密表示核外电子概率密度的大小, 即电子在核外空间各处出现机会的多少。电子云的另一种表示方法是电子云界面图, 如图 1-2 所示, 图中显示的是氢原子电子云界面的剖面图。它的界面是等密度面, 即该面上每个点的电子云密度相等, 界面以内电子出现概率很大 (90%), 界面以外电子出现的概率很小 (10%以下)。

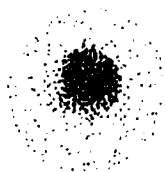


图 1-1 氢原子的电子云示意图

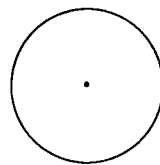


图 1-2 氢原子的电子云界面图

二、核外电子的运动状态

根据实验结果和理论推算, 核外电子的运动状态需从以下四个方面来描述。

1. 电子层

在多电子原子中, 电子之间的能量是不相同的。能量低的电子通常在离核较近的区域内运动; 能量高的电子在离核较远的区域内运动。电子能量由低到高, 运动的区域离核由近及远, 为此, 人们将这些离核距离不等的电子运动区域, 称为电子层, 用 n 表示。电子层是确定核外电子运动能量的主要因素。 n 的取值只能是正整数 1、2、3..., 表示电子距原子核的远近, n 值越大, 表示电子所在的电子层离核越远, 能量越高。有时也用 K、L、M、N、O、P、Q 等字母分别表示 $n=1$ 、2、3、4、5、6、7 等电子层。

2. 电子亚层和电子云的形状

科学研究发现, 即使在同一电子层中, 电子的能量还有微小的差别, 且电子云的形状也不相同, 所以, 根据能量差别及电子云的形状不同, 把同一电子层又分为几个电子亚层, 这些亚层分别用 s、p、d、f 表示。s 亚层的电子云是以原子核为中心的球体, 如图 1-3 所示。p 电子云为无柄哑铃形, 如图 1-4 所示。d 电子云和 f 电子云的形状较为复杂, 本书不做介绍。

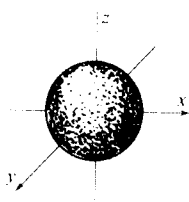


图 1-3 s 电子云示意图

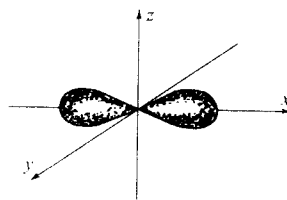


图 1-4 p 电子云示意图

K 层 ($n=1$) 只有一个亚层, 即 s 亚层; L 层 ($n=2$) 包括两个亚层, 即 s 亚层和 p 亚层; M 层 ($n=3$) 包括三个亚层, 即 s 亚层、p 亚层和 d 亚层; N 层 ($n=4$) 包括四个亚层, 即 s 亚层、p 亚层、d 亚层和 f 亚层。在 1~4 电子层中, 电子亚层的数目等于电子层的序数。

为了表明电子在核外所处的电子层、电子亚层及其能量的高低和电子云的形状, 通常将电子层的序数 n 标注在亚层符号的前面。例如, 处在 K 层中 s 亚层的电子记为 1s 电子; 处在 L 层中 s 亚层和 p 亚层的电子分别记为 2s 电子和 2p 电子; 处在 M 层中 d 亚层的电子记为 3d 电子; 处在 N 层中 f 亚层的电子记为 4f 电子等。

3. 电子云的伸展方向

电子云不仅有确定的形状, 而且在空间有一定的伸展方向。s 电子云呈球形对称, 在空