



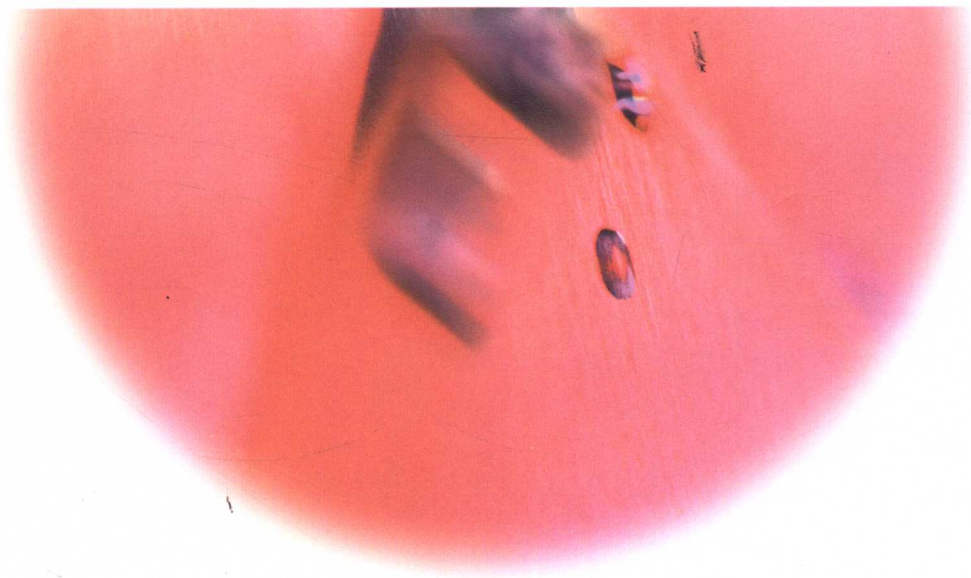
“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

Inorganic and  
Analytical

# 无机及分析化学

(第五版)

南京大学《无机及分析化学》编写组



高等教育出版社



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

# 无机及分析化学

WUJI JI FENXI HUAXUE

(第五版)

南京大学《无机及分析化学》编写组

高等教育出版社·北京

## 内容简介

本书为“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材，是在第四版的基础上修订而成的。此次修订努力遵循“加强基础，趋向前沿，反映现代，注意交叉”的现代课程建设理念，将第四版做了认真的补充与完善。全书分为两部分，第一章到第十五章为无机化学部分，第十六章到第二十一章为分析化学部分。各章前有学习要求，正文中还提供了可以自学的“拓展知识”，书后附习题答案与索引。

本书可作为综合性大学和师范院校生物学类各专业的教材，也可作为农、林、医药院校有关专业的教材或参考书。

## 图书在版编目(CIP)数据

无机及分析化学 / 南京大学《无机及分析化学》编写组编. — 5版. — 北京: 高等教育出版社, 2015.8  
ISBN 978-7-04-043043-1

I. ①无… II. ①南… 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(2015)第132960号

策划编辑 郭新华	责任编辑 郭新华	封面设计 于文燕	版式设计 马敬茹
插图绘制 郝林	责任校对 窦丽娜	责任印制 朱学忠	

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 100120  
印 刷 高教社(天津)印务有限公司  
开 本 787mm×1092mm 1/16  
印 张 33  
字 数 800千字  
插 页 1  
购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598  
网 址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>  
网上订购 <http://www.landracom.com>  
<http://www.landracom.com.cn>  
版 次 1978年2月第1版  
2015年8月第5版  
印 次 2015年8月第1次印刷  
定 价 46.00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 43043-00

## 第五版前言

《无机及分析化学》(第五版)是教育部“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材,也是教育部普通高等教育“十五”国家级规划教材《无机及分析化学》(第四版)的修订本。

根据《教育部关于“十二五”普通高等教育本科教材建设的若干意见》(教高[2011]5号),在中央部(委)直属高校、省级教育行政部门推荐以及出版社补充推荐的基础上,经专家评审、网上公示,教育部确定:《无机及分析化学》(第四版)及其配套书《无机及分析化学实验》(第四版)入选第一批“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材(简称“十二五”规划教材),并已正式发函公布。

在《教育部关于印发第一批“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材书目的通知》(教高函[2012]21号)中,要求入选书目编者“根据学科、行业的发展,继续修订完善,及时补充反映最新知识、技术或成果的内容,与时俱进。”为此,编写组遵循本书“加强基础,趋向前沿,反映现代,注意交叉”的现代课程建设理念和教育部对“十二五”规划教材的指示精神积极启动修订工作。编写组向多年教授本书的在岗教师进行教学调研,查阅近年国内外同类教材和资料,草拟修订方案,开“碰头会”交换意见,先期修订各人负责的部分章节,再交换审读各人书稿,进一步完善本书修订。

编写组主要完成如下工作:①对本书各章节作认真修改、补充和调整。②更换或增加各章中的“拓展知识”,以体现与时俱进。③把本书所用的各种常数全部参照:CRC Handbook of Chemistry and Physics 90th ed,2009—2010和James G Speight Lang's Handbook of Chemistry 16th ed,2005改换更新,且包括例题和习题。④本书的电子教案由杨贞副教授负责编写,她也花费不少时间和精力参加了本书第五版的审稿和讨论。

参加本书第五版编写的人员有:黄孟健教授(第一至第七章、第九至十二章以及第十五章)、陈荣三教授(第八、十三和十四章)、袁婉清教授(第十八和十九章、合编第十六、十七、二十和二十一章)、杜岱春教授(合编第十六、十七、二十和二十一章)。全书由陈荣三教授策划和统稿,分析化学部分由袁婉清教授参加统稿。

高等教育出版社郭新华编辑始终给予我们无微不至的关怀和指导;南京大学王志林教授、朱成建教授为本书的出版耗费了许多心血,给予不少帮助;王新平教授、陈浩副教授、曹登科副教授和薛德平副教授等对修订工作提供了各种支持和帮助;本书第五版的编写修订还得到了“江苏高校品牌专业建设工程资助项目”的支持,我们均在此表示衷心的感谢。

我们万分诚意地接受广大读者对本书的批评和指正。

编写组

2015年3月

## 第四版前言

《无机及分析化学》(第四版)是教育部普通高等教育“十五”国家级规划教材,是《无机及分析化学》(第三版)的修订本。

《无机及分析化学》(第四版)于2002年初被列入教育部普通高等教育“十五”国家级规划教材项目后,即由编写组筹划编写工作,制订编写大纲并着手教材的编写工作。2003年8月在长沙召开的“教育部非化学化工类专业化学基础课程教学指导分委会:生物、医药学类教材建设研讨会”上,向与会的全国高等学校代表做了关于《无机及分析化学》(第四版)教材修订工作的大会发言,并分发了“编写大纲”和部分教材初稿,以便听取广大教师的意见。会后,对收集的意见进行了认真分析和研究,力争在教材编写中有所体现。

当前,生命科学的发展已步入分子水平,化学在生命科学中的重要性将更为突出。为适应当前教学改革的形势,以符合21世纪生物和医药科学发展的需要,在修订过程中将努力遵循“加强基础,趋向前沿,反映现代,注意交叉”的现代课程建设理念。这次修订,编者主要做了如下工作:1. 对原书各章节进行补充、调整和修改;2. 无机化学部分增加了第十四章环境污染和环境化学,第十五章核反应和放射性同位素的应用;3. 分析化学部分由于考虑到目前仪器分析已成为高等学校的独立课程,故删除原第三版的仪器分析内容,但仍然保留并加强比色法和分光光度法;4. 为适应那些学有余力的读者需要,在大多数章中附有相关的“拓展知识”以开阔视野。

参加本书第四版的编写者有:黄孟健教授(第一、二、三、四、五、九、十、十一、十二和十五章),薛德平副教授(第六和七章),陈荣三教授(第八、十三和十四章),袁婉清教授(第十八和十九章,合编第十六、十七、二十和二十一章),杜岱春教授(合编第十六、十七、二十和二十一章)。全书由陈荣三教授策划和统稿,分析化学部分由袁婉清教授参加统稿。

恳请读者对本书的错误和不妥之处,提出批评和指正。

编者

2004年12月

## 第三版前言

《无机及分析化学》(第二版)出版至今已逾十年,由于科学的进步、学科的发展和教改的深化,早有必要对第二版教材作相应的充实、调整和修订。1992年,《无机及分析化学》(第三版)已被列入国家教委高等学校“八五”教材建设规划。同年我们拟订了第三版编写大纲,分寄给全国20多所高等院校征求意见,以后参照反馈意见,按大纲编写第三版教材。在国家教委支持下,受高等教育出版社的委托,1993年10月在厦门大学召开了《无机及分析化学》(第三版)教材编写讨论会,出席会议的有复旦大学、武汉大学、四川大学、华东师范大学、上海师范大学、暨南大学、黑龙江大学、河北师范大学、安徽大学、贵州大学、南京师范大学、福建师范大学、杭州大学、厦门大学和南京大学等15所高校的教师代表23人。会上传阅了第三版教材的部分书稿,并进行了热烈地、认真地讨论。一致认为:第三版比第二版的主要内容,在深度、广度和知识连贯性等方面有长足的进步,同时又从不同的角度对书稿提出了坦诚的修改意见。由于编写小组人员变动,1996年春,南京大学特邀复旦大学杜岱春教授和南开大学袁婉清教授加盟参加《无机及分析化学》编写组。大家达成如下共识:为适应当前教改形势的需要,教材内容应尽可能贯彻“少而精、精而新”的原则,努力把传统内容与现代新内容结合起来。于是对原第二版内容作了较大幅度的修订或重写。1. 全面采用国家法定单位制。2. 无机化学部分调整理论和元素化学内容的比例,增加有关元素的重要化学反应以及反映近代无机化学的新材料、新知识的内容。3. 分析化学部分删去定性分析,增加仪器分析内容,全部重写。4. 鉴于生物学的发展和生物学类专业的需要,把原来分散的“元素在生物体内的作用”内容合并,改写为第十三章生命元素及其在生物体内的作用。5. 注意习题的多样性,增加数量,以利选择。

参加本书第三版编写的有黄孟健(第一、二、三、五、六、七、九、十、十一、十二章)、陈荣三(第四、八、十三章)、杜岱春(第十四、十五、十八、十九、二十、二十一、二十二章)和袁婉清(第十六、十七章),全书由陈荣三教授统稿。

自从生物学进展步入分子水平以来,其发展一日千里,它越来越多地需要运用化学概念和方法,且在许多方面,生物学与化学的界限正在变得模糊,而作为化学教师日感形势逼人。编者水平有限,务望广大读者不吝赐教。

编者

1996年12月

## 第二版前言

《无机及分析化学》第一版自1978年初问世以来已有六年。在1980年5月长春召开的全国高等院校理科化学教材编审会议上修订了《无机及分析化学教学大纲》，并把修订《无机及分析化学》一书列入计划，要求我们编写出适合我国四化建设需要、符合高等学校实际以及达到教学大纲要求的新教材。

我们已在数年前完成本书的改写工作，并在南京大学、南京师范大学等几个学校生物系试用至今。1983年6月，受教育部委托，由兰州大学、华东师范大学、西北大学、复旦大学、南开大学、四川大学、云南大学、山东大学、华中师范学院、辽宁师范学院、南京师范大学、安徽中医学院及南京大学等13所高等院校代表共18人组成审稿小组，对本书第二版进行了严肃、认真、充分地评议和讨论，热情和坦率地提出许多宝贵意见，据此，我们进行了修改、统稿和定稿。

本书第二版比初版有了较大的更动，主要表现在：1. 为适应目前高校的实际情况，把无机化学部分和分析化学部分分开编写；2. 新增加气体、溶液和化学热力学内容；3. 加强了分析化学、原子结构和分子结构等章节的内容；4. 充实了元素化学，并将这部分内容按原子的电子构型分区进行讨论。

本书中标有\*的章节，由讲授教师酌情选择。

参加本书第二版编写工作的有钱可萍（第1、3、7、8章）、黄孟健（第2、6、12、13章）、陈荣三（第4、5、9、10、11章）和张树成（第14、15、16、17、18章）。全书由陈荣三通读统稿。

本书第二版承中国科学院学部委员、南京大学戴安邦和高鸿两位教授关怀和指导，编者深表感谢。

限于编者水平，错误及不妥之处恐难避免，敬希读者不吝指正。

编者  
1984年3月

# 第一版前言

《无机及分析化学》是生物系各专业学生学习的第一门基础化学课程。本课程在元素周期律、原子和分子结构理论和四大化学平衡(酸碱平衡、沉淀溶解平衡、氧化还原平衡和络合解离平衡)原理的基础上,讨论重要元素及其化合物的结构、组成、性质、变化规律及其含量测定的一般方法。教材内容尽可能和生物系各专业对化学基础的要求相结合,为学习后继课程及从事专业实践打下必要的基础。

本教材是按照1977年10月普通高等学校理科化学教材编写会议所拟定的《无机及分析化学》(生物系通用)编写大纲编写的,它适用于有关高等院校生物系各专业一年级,其中个别注上\*号的章节,由各校自行选择。本教材也可供农、医等院校的相近专业选用,使用它的同志们可以根据专业要求、教学对象、学时数等具体情况灵活掌握。本教材一般需要80学时(不包括打\*内容),并另编有《无机及分析化学实验》教材(100学时)配合使用。

由于编写时间仓促以及限于编者水平,错误不妥之处,在所难免,敬希同志们不吝指正。

本教材承南京大学化学系戴安邦教授审阅和指导,兰州大学化学系张淑民同志和西北大学化学系刘翊纶同志也审阅了其中部分章节并提出宝贵意见,特此致谢。

编者

1978年1月



# 目 录

<b>第一章 气体和溶液</b> .....	1	2.4.2 熵 .....	33
1.1 气体 .....	1	2.4.3 热力学第二定律 .....	34
1.1.1 理想气体状态方程 .....	1	2.4.4 标准摩尔熵 .....	35
1.1.2 道尔顿分压定律 .....	2	2.5 吉布斯自由能及其应用 .....	36
拓展知识:等离子体 .....	5	2.5.1 吉布斯自由能 .....	36
1.2 溶液 .....	6	2.5.2 标准生成吉布斯自由能 .....	37
1.2.1 分散系 .....	6	2.5.3 $\Delta G$ 与温度的关系 .....	38
1.2.2 稀溶液的通性 .....	6	拓展知识:石墨怎样才能变成金刚石 .....	40
1.3 胶体溶液 .....	11	2.5.4 范托夫等温方程 .....	41
1.3.1 溶胶的制备 .....	11	习题 .....	43
1.3.2 溶胶的性质 .....	12	<b>第三章 化学平衡和化学反应</b>	
1.3.3 胶团结构和电动电势 .....	13	<b>速率</b> .....	47
1.3.4 溶胶的稳定性和聚沉 .....	14	3.1 化学平衡 .....	47
拓展知识:纳米材料 .....	15	3.1.1 化学平衡的特征 .....	47
1.3.5 大分子溶液及凝胶 .....	16	3.1.2 标准平衡常数及其有关的	
习题 .....	17	计算 .....	48
<b>第二章 化学热力学初步</b> .....	19	3.1.3 多重平衡规则 .....	50
2.1 热力学一些常用术语 .....	19	3.2 化学平衡的移动 .....	51
2.2 热力学第一定律 .....	20	3.2.1 化学平衡移动方向的判断 .....	51
2.2.1 热和功 .....	20	拓展知识:体内氧输送平衡 .....	52
2.2.2 热力学能 .....	21	3.2.2 化学平衡移动程度的计算 .....	54
2.2.3 热力学第一定律 .....	21	3.3 化学反应速率及其表示法 .....	56
2.2.4 可逆过程和最大功 .....	22	3.4 浓度对反应速率的影响 .....	58
2.3 热化学 .....	23	3.4.1 基元反应和非基元反应 .....	58
2.3.1 等容反应热、等压反应热和		3.4.2 质量作用定律 .....	59
焓的概念 .....	23	3.4.3 非基元反应速率方程的确定 .....	59
2.3.2 热化学方程式 .....	25	* 3.4.4 反应机理 .....	61
2.3.3 盖斯定律 .....	27	3.5 反应物浓度与反应时间的	
2.3.4 生成焓 .....	28	关系 .....	62
* 2.3.5 水合离子的标准生成焓 .....	29	3.6 温度对反应速率的影响 .....	65
2.3.6 键能与反应焓变的关系 .....	30	3.7 反应速率理论简介 .....	67
拓展知识:火箭推进剂和炸药 .....	31	3.7.1 碰撞理论 .....	67
2.4 热力学第二定律 .....	32	3.7.2 过渡态理论 .....	69
2.4.1 化学反应的自发性 .....	32	拓展知识:飞秒化学 .....	70

3.8 催化剂对反应速率的影响 .....	71	5.3.4 原电池的电动势与 $\Delta_r G$ 的 关系 .....	119
拓展知识:酶催化 .....	72	5.4 电极电势的应用 .....	120
习题 .....	73	5.4.1 计算原电池的电动势 .....	120
<b>第四章 解离平衡</b> .....	78	5.4.2 判断氧化还原反应进行的 方向 .....	122
4.1 酸碱理论 .....	78	拓展知识:生物体内的活性氧 .....	124
4.1.1 酸碱质子论 .....	78	5.4.3 选择氧化剂和还原剂 .....	125
拓展知识:超酸 .....	82	5.4.4 判断氧化还原反应进行的 次序 .....	126
4.1.2 酸碱电子论 .....	82	5.4.5 判断氧化还原反应进行的 程度 .....	126
4.1.3 硬软酸碱(HSAB)规则 .....	83	5.4.6 测定某些化学常数 .....	127
4.2 弱酸、弱碱的解离平衡 .....	84	5.5 元素电势图及其应用 .....	128
4.2.1 一元弱酸、弱碱的解离平衡 .....	84	习题 .....	131
4.2.2 多元弱酸、弱碱的解离平衡 .....	86	<b>第六章 原子结构</b> .....	135
4.2.3 两性物质的解离平衡 .....	88	6.1 微观粒子的波粒二象性 .....	135
4.2.4 同离子效应和盐效应 .....	89	6.1.1 氢光谱和玻尔理论 .....	135
4.3 强电解质溶液 .....	90	6.1.2 微观粒子的波粒二象性 .....	138
4.3.1 离子氛概念 .....	90	6.1.3 不确定原理 .....	138
4.3.2 活度和活度系数 .....	91	6.2 氢原子核外电子的运动状态 .....	139
4.4 缓冲溶液 .....	92	6.2.1 波函数和薛定谔方程 .....	139
4.4.1 缓冲作用原理和计算公式 .....	92	6.2.2 波函数和电子云图形 .....	141
4.4.2 缓冲容量和缓冲范围 .....	94	6.2.3 四个量子数 .....	144
4.5 沉淀溶解平衡 .....	97	6.3 多电子原子核外电子的运动 状态 .....	145
4.5.1 溶度积和溶度积规则 .....	97	6.3.1 屏蔽效应和钻穿效应 .....	145
4.5.2 沉淀的生成和溶解 .....	99	6.3.2 原子核外电子排布 .....	146
4.5.3 分步沉淀和沉淀的转化 .....	103	6.4 原子结构和元素周期律 .....	149
拓展知识:龋齿和沉淀溶解平衡的 关系 .....	104	6.4.1 核外电子排布和周期表的 关系 .....	149
习题 .....	105	6.4.2 原子结构与元素基本性质 .....	150
<b>第五章 氧化还原反应</b> .....	108	拓展知识:元素起源 .....	153
5.1 氧化还原反应的基本概念 .....	108	习题 .....	154
5.1.1 氧化和还原 .....	108	<b>第七章 分子结构</b> .....	157
5.1.2 氧化数 .....	109	7.1 离子键 .....	157
拓展知识:蒸发过程中的氧化还原 反应 .....	110	7.1.1 离子键理论的基本要点 .....	157
5.2 氧化还原方程式配平 .....	111	7.1.2 决定离子化合物性质的因素 ——离子的特征 .....	158
* 5.2.1 氧化数法 .....	111	7.1.3 晶格能 .....	159
5.2.2 离子电子法 .....	112		
5.3 电极电势 .....	114		
5.3.1 原电池 .....	114		
5.3.2 电极电势 .....	115		
5.3.3 能斯特方程 .....	117		

拓展知识:离子液体 .....	160	反应性 .....	206
7.2 共价键 .....	161	8.8 配合物在生物、医药等方面的	
7.2.1 价键理论 .....	162	应用 .....	206
7.2.2 共价键的特性 .....	163	拓展知识:无机聚合物(高分子)和配位	
7.3 杂化轨道理论 .....	164	聚合物 .....	207
7.3.1 杂化轨道理论的基本要点 .....	164	习题 .....	209
7.3.2 杂化轨道的类型 .....	165	<b>第九章 s 区元素</b> .....	211
7.4 价层电子对互斥理论 .....	167	9.1 s 区元素概述 .....	211
7.5 分子轨道理论简介 .....	170	拓展知识:碱金属阴离子 .....	214
7.5.1 分子轨道理论的基本要点 .....	170	9.2 s 区元素单质的化学性质 .....	214
7.5.2 能级图 .....	171	9.3 s 区元素的氧化物和	
7.5.3 应用举例 .....	172	氢氧化物 .....	216
7.6 金属键 .....	173	9.3.1 氧化物 .....	216
7.6.1 金属晶格 .....	173	9.3.2 氢氧化物 .....	217
7.6.2 金属键 .....	173	9.4 s 区元素的盐类 .....	218
7.7 分子的极性和分子间力 .....	174	9.4.1 晶型 .....	218
7.7.1 分子的极性 .....	174	9.4.2 溶解性 .....	219
7.7.2 分子间力 .....	175	9.4.3 含氧酸盐的热稳定性 .....	220
7.8 离子极化 .....	176	9.5 锂、铍的特殊性和对角线	
7.9 氢键 .....	177	规则 .....	221
拓展知识:超分子化学 .....	178	拓展知识:锂和精神健康 .....	222
7.10 晶体的内部结构 .....	179	习题 .....	223
习题 .....	180	<b>第十章 p 区元素</b> .....	225
<b>第八章 配位化合物</b> .....	183	10.1 卤素 .....	225
8.1 配位化合物的组成和定义 .....	183	10.1.1 卤素概述 .....	225
8.2 配位化合物的类型和命名 .....	185	10.1.2 卤化氢和卤化物 .....	228
8.2.1 配合物的类型 .....	185	10.1.3 卤素含氧酸及其盐 .....	230
8.2.2 配合物的命名 .....	187	10.2 氧族 .....	231
8.3 配位化合物的异构现象 .....	187	10.2.1 氧族元素概述 .....	231
8.3.1 立体异构现象 .....	187	10.2.2 氧族元素氢化物 .....	233
8.3.2 结构异构现象 .....	190	10.2.3 金属硫化物 .....	233
拓展知识:铂配合物和癌的治疗 .....	190	10.2.4 硫的含氧酸及其盐 .....	234
8.4 配位化合物的化学键本性 .....	191	10.2.5 酸的强度与结构的关系 .....	236
8.4.1 价键理论 .....	191	10.3 氮族 .....	238
8.4.2 晶体场理论 .....	194	10.3.1 氮族元素概述 .....	238
8.5 配位解离平衡 .....	199	10.3.2 氨和铵盐 .....	239
8.5.1 配位解离平衡和平衡常数 .....	199	10.3.3 氮的含氧酸及其盐 .....	241
8.5.2 配位解离平衡的移动 .....	201	拓展知识:明星分子 .....	243
8.6 螯合物的稳定性 .....	203	10.3.4 磷及其化合物 .....	243
* 8.7 配体对中心原子的影响和配体		10.3.5 砷的化合物 .....	246

拓展知识:砷的毒性和含砷药物 .....	247	12.5.2 锰(IV)化合物 .....	284
10.4 碳族 .....	248	12.5.3 锰(VI)和锰(VII)化合物 .....	284
10.4.1 碳族元素概述 .....	248	12.6 铁系元素 .....	285
拓展知识:发现 $C_{60}$ 的过程 .....	249	12.6.1 氧化物和氢氧化物 .....	286
10.4.2 碳的化合物 .....	250	12.6.2 盐类 .....	287
10.4.3 硅的化合物 .....	252	12.6.3 配合物 .....	288
10.4.4 锡和铅的化合物 .....	253	拓展知识:第一个分子氮配合物 .....	290
10.5 硼族 .....	254	12.7 f区元素 .....	290
10.5.1 硼族元素概述 .....	254	12.7.1 镧系收缩 .....	291
10.5.2 硼的化合物 .....	255	12.7.2 镧系元素性质 .....	291
10.5.3 铝及其化合物 .....	256	拓展知识:今日稀土 .....	292
拓展知识:稀有气体化合物的合成 .....	257	习题 .....	293
习题 .....	258	<b>第十三章 生命元素及其在生物体内的作用</b> .....	296
<b>第十一章 ds区元素</b> .....	262	13.1 生命元素和生物无机化学的关系 .....	296
11.1 ds区元素概述 .....	262	13.2 生命元素 .....	297
11.2 ds区元素单质的重要性质 .....	263	13.2.1 宏量元素 .....	297
11.3 ds区元素的重要化合物 .....	264	13.2.2 必需微量元素 .....	298
11.3.1 氧化物和氢氧化物 .....	264	13.3 生命元素在生物体内的作用 .....	301
11.3.2 铜盐 .....	265	13.3.1 生物配体和生物金属配合物 .....	301
11.3.3 银盐 .....	266	13.3.2 宏量元素的生理功能 .....	301
拓展知识:光化学物质 .....	267	13.3.3 必需微量元素的生理功能 .....	303
11.3.4 锌盐 .....	268	13.4 铅、镉和汞的毒性 .....	305
拓展知识:书籍的保存 .....	269	拓展知识:揭秘“长寿县” .....	307
11.3.5 汞盐 .....	270	仿生材料 .....	307
习题 .....	271	习题 .....	308
<b>第十二章 d区元素和f区元素</b> .....	274	<b>第十四章 环境污染和环境化学</b> .....	309
12.1 d区元素概述 .....	274	14.1 环境科学和环境化学 .....	309
12.1.1 d区元素和过渡元素 .....	274	14.2 环境污染 .....	310
12.1.2 d区元素的特性 .....	274	14.2.1 大气污染 .....	312
* 12.2 钛 .....	276	14.2.2 水体污染 .....	315
12.2.1 金属钛的性质和用途 .....	276	14.2.3 土壤污染 .....	317
12.2.2 钛的化合物 .....	276	拓展知识:解读生态文明 .....	318
12.3 钒 .....	277	绿色化学 .....	319
12.4 铬、钼、钨 .....	278	习题 .....	320
12.4.1 铬的化合物 .....	278	<b>第十五章 核化学简介</b> .....	321
拓展知识:红宝石和绿宝石 .....	280		
12.4.2 钼和钨的化合物 .....	281		
* 12.4.3 多酸和多碱 .....	282		
12.5 锰 .....	283		
12.5.1 锰(II)化合物 .....	284		

15.1 核的组成和结合能 .....	321	方法 .....	351
15.2 核衰变 .....	323	17.4.1 选择合适的分析方法 .....	351
15.2.1 核衰变类型 .....	323	17.4.2 减小测量的相对误差 .....	352
15.2.2 核衰变规律 .....	323	17.4.3 消除测定过程的系统误差 .....	352
15.3 核反应 .....	325	17.4.4 增加平行测定次数,减小 随机误差 .....	352
15.3.1 诱导核反应 .....	325	习题 .....	353
15.3.2 核裂变 .....	326	<b>第十八章 重量分析法</b> .....	354
拓展知识:一座天然的核反应堆 .....	327	18.1 重量分析法概论 .....	354
15.3.3 核聚变 .....	328	18.1.1 对沉淀形式(precipitation form)的要求 .....	354
15.4 放射性同位素技术的应用 .....	328	18.1.2 对称量形式(weighing form) 的要求 .....	354
15.4.1 放射性同位素技术的特点 .....	328	18.2 沉淀的完全程度与影响沉淀 溶解度的因素 .....	355
15.4.2 射线的应用 .....	329	18.2.1 酸效应 .....	355
15.4.3 示踪技术 .....	330	18.2.2 配位效应 .....	355
15.4.4 放射性记年法 .....	331	18.3 影响沉淀纯度的因素 .....	356
15.4.5 放射免疫法 .....	332	18.3.1 共沉淀 .....	356
15.5 辐射对生物的影响 .....	333	18.3.2 后沉淀 .....	357
拓展知识:氡污染 .....	335	18.4 沉淀的形成与沉淀条件 .....	357
习题 .....	336	18.4.1 沉淀的类型 .....	357
<b>第十六章 定量分析化学概论</b> .....	338	18.4.2 沉淀形成的一般过程 .....	357
16.1 分析化学的任务和作用 .....	338	18.4.3 沉淀条件的选择 .....	358
16.2 定量分析方法的分类 .....	338	18.4.4 有机沉淀剂 .....	359
16.3 定量分析的过程及分析结果 的表示 .....	340	18.5 沉淀的过滤、洗涤、烘干或灼烧 和分析结果的计算 .....	359
<b>第十七章 定量分析的误差和分析     结果的数据处理</b> .....	341	18.5.1 沉淀的过滤、洗涤、烘干或 灼烧 .....	359
17.1 有效数字 .....	341	18.5.2 结果的计算 .....	360
17.1.1 有效数字的计位规则 .....	341	习题 .....	360
17.1.2 有效数字的运算规则 .....	342	<b>第十九章 滴定分析法</b> .....	362
17.2 误差的产生及表示方法 .....	342	19.1 滴定分析法概论 .....	362
17.2.1 绝对误差和相对误差 .....	343	19.1.1 滴定分析过程和方法分类 .....	362
17.2.2 系统误差和随机误差 .....	343	19.1.2 滴定分析法对化学反应的 要求和滴定方式 .....	362
17.2.3 准确度和精密度 .....	344	19.1.3 标准溶液的配制、基准物、 基准溶液 .....	363
17.3 有限实验数据的统计处理 .....	346	19.1.4 滴定分析法中的计算 .....	364
17.3.1 随机误差的正态分布 .....	346	19.2 酸碱滴定法 .....	367
17.3.2 平均值的置信区间 .....	347		
17.3.3 测定结果离群值舍弃 .....	349		
17.3.4 显著性检验 .....	350		
17.3.5 分析结果的数据处理与 报告 .....	350		
17.4 提高分析结果准确度的			

19.2.1	弱酸(碱)溶液中各物种的分布 .....	367	20.3.1	目视比色法 .....	427
19.2.2	酸碱溶液中氢离子浓度的计算 .....	369	20.3.2	分光光度计的基本部件 .....	427
19.2.3	缓冲溶液 .....	375	20.3.3	常用的几种分光光度计 .....	430
19.2.4	酸碱指示剂 .....	376	20.4	显色反应与显色条件的选择 .....	431
19.2.5	酸碱滴定的滴定曲线及指示剂的选择 .....	379	20.4.1	对显色反应的要求 .....	431
19.2.6	酸碱滴定法的应用 .....	386	20.4.2	显色反应条件的选择 .....	432
*19.2.7	非水溶剂中酸碱滴定简介 .....	389	20.5	分光光度法仪器测量误差及其消除 .....	434
19.3	配位滴定法 .....	391	20.5.1	入射光波长的选择 .....	434
19.3.1	配位滴定法概述 .....	391	20.5.2	光度计读数范围的选择 .....	434
19.3.2	羧基配位剂与配位平衡 .....	391	20.5.3	参比溶液的选择 .....	435
19.3.3	配位滴定的基本原理 .....	397	20.5.4	溶液浓度的测定 .....	435
19.3.4	混合离子的滴定 .....	403	20.6	分光光度法的某些应用 .....	436
19.3.5	配位滴定的方式和应用示例 .....	405	20.6.1	单组分的测定 .....	436
19.4	氧化还原滴定法 .....	406	20.6.2	多组分的测定 .....	436
19.4.1	氧化还原滴定法概述 .....	406	20.6.3	光度滴定 .....	437
19.4.2	氧化还原滴定法基本原理 .....	408	20.6.4	酸碱解离常数的测定 .....	438
19.4.3	氧化还原预处理 .....	409	20.6.5	配合物组成的测定 .....	438
19.4.4	氧化还原滴定法的分类及应用示例 .....	410	拓展知识:纳米材料与生物分析 .....	439	
19.5	沉淀滴定法 .....	414	习题 .....	440	
19.5.1	沉淀滴定法概述 .....	414	<b>第二十一章 分析化学中常用的分离方法和生物试样的前处理</b> .....		442
19.5.2	沉淀滴定的滴定曲线 .....	414	21.1	分析化学中分离程序的意义 .....	442
19.5.3	沉淀滴定法的终点检测 .....	415	21.1.1	分离手段的必要性 .....	442
19.5.4	沉淀滴定法的应用示例 .....	417	21.1.2	分离过程 .....	443
拓展知识:滴定分析在环境监测中的应用 .....	418	21.2	分析化学中常用的分离方法 .....	443	
习题 .....	419	21.2.1	挥发与蒸馏分离法 .....	443	
<b>第二十章 比色法和分光光度法</b> .....		422	21.2.2	沉淀分离法 .....	444
20.1	概述 .....	422	21.2.3	溶剂萃取分离法 .....	446
20.1.1	光度分析法的特点 .....	422	21.2.4	色谱分离法 .....	448
20.1.2	物质对光的选择性吸收 .....	423	21.2.5	离子交换分离法 .....	450
20.2	光吸收的基本定律 .....	424	21.2.6	区带电泳法 .....	452
20.2.1	朗伯-比尔定律 .....	424	21.3	生物试样的前处理 .....	455
20.2.2	吸光度的加和性 .....	426	21.3.1	生物试样的制备 .....	455
20.2.3	对朗伯-比尔定律的偏离 .....	426	21.3.2	生物试样的保存 .....	456
20.3	比色法和分光光度法及其仪器 .....	427	21.3.3	蛋白质的去除 .....	457
			21.3.4	痕量组分的萃取 .....	458
			21.3.5	生物试样的消化 .....	458

21.3.6 净化 .....	459	十二、配离子的积累稳定常数 .....	488
拓展知识:膜分离技术 .....	460	十三、硬软酸碱分类 .....	488
习题 .....	460	十四、标准电极电势 .....	489
<b>部分习题参考答案</b> .....	462	十五、金属离子与氨羧配位剂形成的 配合物稳定常数的对数值 .....	493
<b>附录</b> .....	475	十六、一些配位滴定剂、掩蔽剂、缓冲剂 阴离子的 $\lg\alpha_{L(\text{H})}$ 值 .....	493
一、一些基本物理常数 .....	475	十七、金属羟基配合物的稳定常数 .....	494
二、一些物质的 $\Delta_f H_m^\ominus$ 、 $\Delta_f G_m^\ominus$ 和 $S_m^\ominus$ .....	475	十八、一些金属离子的 $\lg\alpha_{M(\text{OH})}$ 值 .....	495
三、一些弱酸和弱碱的标准解离常数 .....	480	十九、条件电极电势 $\varphi^{\ominus'}$ .....	495
四、常用缓冲溶液的 pH 范围 .....	481	二十、一些化合物的摩尔质量 .....	497
五、一些难溶电解质的溶度积 .....	481	二十一、指数加减法表 .....	499
六、元素的原子半径 .....	483	<b>主要参考书</b> .....	502
七、元素的第一电离能 .....	484	<b>索引</b> .....	504
八、一些元素的电子亲和能 .....	485	<b>元素周期表</b>	
九、元素的电负性 .....	486		
十、常见化学键的键能 .....	487		
十一、鲍林离子半径 .....	487		

# 第一章

## 气体和溶液

### 学习要求:

1. 掌握理想气体状态方程及其应用。
2. 掌握道尔顿分压定律。
3. 理解稀溶液的依数性及其应用。
4. 熟悉溶胶的结构、性质、稳定性及聚沉作用。
5. 了解大分子溶液和凝胶。

物质通常以三种不同的聚集状态存在,即气态、液态和固态。这一章概括地介绍气体和溶液。

## 1.1 气 体

### 1.1.1 理想气体状态方程

我们把分子本身不占体积,分子间没有相互作用力的气体称为**理想气体**(ideal gas)。理想气体实际上是不存在的,它是一种科学的抽象。通常遇到的实际气体都是非理想气体,因为它的分子本身既占有体积,而且分子间又有作用力存在。但是当实际气体处于低压(低于数百千帕)、高温(高于 273 K)的条件下,分子间距离甚大,气体的体积已远远超过分子本身所占的体积,因而可忽略后者,而且分子间作用力也因分子间距离拉大而迅速减小,故可把它近似地看作理想气体。所以理想气体是实际气体的一种极限情况。研究理想气体是为了先把研究对象简单化,在此基础上再进行一些必要的修正,推广应用于实际气体。这是科学上处理比较复杂系统时常用的一种方法。

理想气体状态方程(ideal gas equation of state)为

$$pV = nRT \quad (1-1)$$

该方程表明了气体的压力( $p$ )、体积( $V$ )、温度( $T$ )和物质的量( $n$ )之间的关系。 $R$  称摩尔气体常数,其数值及单位可用下面的方法来确定:已知在标准状况( $p=101.325 \text{ kPa}$ ,  $T=273.15 \text{ K}$ )下,  $1 \text{ mol}$  气体的标准摩尔体积为  $22.4141 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ , 则



$$R = \frac{pV}{nT} = \frac{101.325 \times 10^3 \text{ Pa} \times 22.414 \text{ L} \times 10^{-3} \text{ m}^3}{1 \text{ mol} \times 273.15 \text{ K}}$$

$$= 8.315 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$R$  也可取  $8.315 \text{ kPa} \cdot \text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  或  $8.315 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ①等单位。

理想气体状态方程还可表示为另一些形式：

$$pV = \frac{m}{M}RT \quad (1-2)$$

$$pM = \rho RT \quad (1-3)$$

式中： $m$  为气体的质量； $M$  为摩尔质量； $\rho$  为密度。利用式(1-1)、式(1-2)或式(1-3)，可进行一些有关气体的计算。注意，计算时要保持  $p, V$  与  $R$  单位的统一。

**例 1-1** 一学生在实验室中，在  $73.3 \text{ kPa}$  和  $25^\circ\text{C}$  下收集得  $250 \text{ mL}$  某气体。在分析天平上称量，得气体净质量为  $0.118 \text{ g}$ 。求这种气体的相对分子质量。

**解** 将上述数据代入式(1-2)，得

$$M = \frac{mRT}{pV} = \frac{0.118 \text{ g} \times 8.315 \text{ kPa} \cdot \text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 298 \text{ K}}{73.3 \text{ kPa} \times 250 \times 10^{-3} \text{ L}}$$

$$= 16.0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

所以该气体的相对分子质量为  $16.0$ 。

### 1.1.2 道尔顿分压定律

气体常以混合物的形式存在。如果将几种彼此不发生化学反应的气体放在同一容器中，则各种气体如同单独存在时一样充满整个容器。当几种气体混合后，各种气体的压力将发生什么变化呢？1801年道尔顿(Dalton J)通过实验发现：混合气体的总压力等于各组分气体分压力之和。所谓某组分的分压力是指该组分在同一温度下单独占有混合气体的容积时所产生的压力。以上关系就称做道尔顿分压定律(Dalton's law of partial pressure)。

若用  $p_1, p_2, \dots$  分别表示气体 1, 2,  $\dots$  的分压力， $p$  代表总压力，则道尔顿分压定律可表示为

$$p = p_1 + p_2 + \dots$$

或 
$$p = \sum p_i \quad (1-4)$$

设有一混合气体，有  $i$  个组分， $p_i$  和  $n_i$  分别表示各组分的分压和物质的量， $V$  为混合气体的体积，则

$$p_i = \frac{n_i}{V}RT \quad (1-5)$$

由道尔顿分压定律可知

$$p = \sum p_i = \sum n_i \frac{RT}{V} = n \frac{RT}{V} \quad (1-6)$$

①  $1 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 = 1 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{m}^3 = 1 \text{ N} \cdot \text{m} = 1 \text{ J}$ 。