



教育科学“十五”国家规划课题研究成果

# 无机化学

（供药学类及医学检验专业用）

徐春祥 曹凤歧 主编



高等教育出版社

教育科学“十五”国家规划课题研究成果

# 无机化学

(供药学类及医学检验专业用)

徐春祥 曹凤歧 主编

高等教育出版社

## 内容提要

本书是教育部全国高等学校教学研究中心《21世纪中国高等学校医药类专业数理化基础课程的创新与实践》国家级课题的研究成果。

全书共分十七章,无机化学理论内容在前,元素化学内容在后,在各章之后均附有大量的思考题和习题。全书采用中华人民共和国法定计量单位。本书配有《无机化学习题解析》、《无机化学实验》和《无机化学电子教案》、《无机化学试题库》光盘。

本书可作为高等医药院校药学类和医学检验各专业教材,也可供相关人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

无机化学 / 徐春祥,曹凤歧主编. —北京:高等教育出版社,2004.7

供药学类及医学检验专业用

ISBN 7-04-014456-5

I. 无... II. ①徐... ②曹... III. 无机化学-医学院校-教材 IV. O61

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 045621 号

策划编辑 岳延陆 责任编辑 朱 仁 封面设计 于文燕 责任绘图 朱 静  
版式设计 张 岚 责任校对 金 辉 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 010-82028899

购书热线 010-64054588  
免费咨询 800-810-0598  
网 址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所  
印 刷 高等教育出版社印刷厂

开 本 787×960 1/16  
印 张 28.25  
字 数 530 000  
插 页 1

版 次 2004年7月第1版  
印 次 2004年7月第1次印刷  
定 价 30.00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**

# 前 言

本书是教育部全国高等学校教学研究中心《21 世纪中国高等学校医药类专业数理化基础课程的创新与实践》国家级课题的研究成果。

无机化学作为一门基础学科,在社会的进步和药学的发展过程中发挥着巨大的作用。无机化学是药学各专业本科学生的一门主要基础课。对于药学专业的本科学生来说,学好这门课程是十分重要的,它可以为学习后续课程及从事药学研究打下必要的基础。为了适应高等药学教育的改革,培养面向 21 世纪的高素质创新人才,本教材在编写时力争做到内容的基础性、科学性和先进性。在保证无机化学的基本原理、基本知识的基础上,紧密结合和突出无机化学与药学的联系。本书可供高等医药院校的药学专业和检验专业的本科学生使用,也可供从事无机化学教学的教师参考。

在使用本教材时,各院校可根据具体情况,在保证课程基本要求的前提下对内容斟酌取舍。本书的编写顺序只供参考,任课教师可根据需要自行调整。

本书采用中华人民共和国国家标准 GB 3100~3102—93《量和单位》所规定的符号和单位;化学名词采用全国自然科学名词审定委员会公布的《化学名词》(科学出版社,1991 年第一版)所推荐的名称;配位化合物的命名及化学式的书写执行中国化学会 1980 年颁布的《化学命名原则》(科学出版社,1984 年第一版)的规定。热力学各有关数据主要取自《NBS 化学热力学性质表》(刘天和、赵梦月译,中国标准出版社,1998 年 6 月)和由此表数据计算得到的。

本书由徐春祥、曹凤歧主编。参加编写的有中国药科大学曹凤歧(绪论),大连医科大学刘有训(第一章),哈尔滨医科大学徐春祥(第二章),西安交通大学何西利(第三章),福建医科大学戴伯川(第四章),内蒙古医学院陈朝军(第五章),哈尔滨医科大学朱玲(第六章),四川大学骆鑫(第七章),长春中医学院孙瑞岩(第八章),佳木斯大学崔继文(第九章),牡丹江医学院田语琳(第十章),吉林大学王宝珍(第十一章),首都医科大学王桥(第十二章),北华大学陈彪(第十三章),第二军医大学张欣荣(第十四章),河北医科大学丁里玉(第十五章),兰州医学院武世界(第十六章),大理学院陈兴荣(第十七章)。哈尔滨医科大学黄静编写了索引,哈尔滨医科大学王英骥和齐炜绘制了插图。

本书在编写时参考了部分已出版的高等学校的教材和有关著作,从中借鉴了许多有益的内容,在此向有关的作者和出版社表示感谢。

高等教育出版社岳延陆编审为本书的出版做了大量工作,责任编辑朱仁编

审对本书进行了认真细致地编辑加工,提出了许多宝贵意见,对提高书稿质量起了很大作用。在此一并致以衷心的感谢。

为了便于教学,编写了与本书配套的《无机化学实验》和《无机化学习题解析》,并配有《无机化学电子教案》和《无机化学试题库》光盘,均由高等教育出版社出版。

限于编者水平,本书虽经多次修改,仍难免有错误和不当之处,恳切希望专家和同行及使用本书的教师和同学们提出宝贵的意见,以便重印或及时改正。

编 者

2004年1月

# 目 录

绪论 .....	1
第一章 溶液 .....	5
第一节 混合物和溶液的常用组成标度 .....	5
一、B 的质量分数 .....	5
二、B 的体积分数 .....	5
三、B 的质量浓度 .....	6
四、B 的物质的量浓度 .....	6
五、B 的摩尔分数 .....	7
六、溶质 B 的质量摩尔浓度 .....	8
第二节 非电解质稀溶液的依数性质 .....	8
一、液体的蒸气压 .....	9
二、难挥发非电解质稀溶液的蒸气压下降 .....	9
三、难挥发非电解质稀溶液的沸点升高 .....	10
四、非电解质稀溶液的凝固点降低 .....	12
五、非电解质稀溶液的渗透压力 .....	13
思考题 .....	19
习题 .....	20
第二章 化学热力学基础 .....	22
第一节 热力学的一些基本概念 .....	22
一、系统、环境和相 .....	22
二、状态和状态函数 .....	23
三、过程和途径 .....	24
四、热和功 .....	24
第二节 热力学第一定律 .....	25
一、热力学能 .....	25
二、热力学第一定律的数学表达式 .....	26
三、焓 .....	26
第三节 热化学 .....	27
一、反应进度 .....	27
二、热力学标准状态 .....	29

三、化学反应的摩尔热力学能变和摩尔焓变 .....	29
四、热化学方程式 .....	31
五、赫斯定律 .....	31
六、化学反应的标准摩尔焓变的计算 .....	33
<b>第四节 化学反应的方向</b> .....	37
一、反应热与化学反应的方向 .....	37
二、焓变与化学反应的方向 .....	38
三、吉布斯自由能变与化学反应的方向 .....	40
四、温度对化学反应方向的影响 .....	41
<b>第五节 化学反应的摩尔吉布斯自由能变的计算</b> .....	42
一、标准摩尔生成吉布斯自由能 .....	42
二、化学反应的标准摩尔吉布斯自由能变的计算 .....	43
三、非标准状态下化学反应的摩尔吉布斯自由能变的计算 .....	45
思考题 .....	46
习题 .....	47
<b>第三章 化学平衡</b> .....	50
<b>第一节 可逆反应与化学平衡</b> .....	50
一、可逆反应 .....	50
二、化学平衡 .....	51
<b>第二节 标准平衡常数</b> .....	52
一、标准平衡常数表达式 .....	52
二、标准平衡常数的实验测定 .....	53
三、标准平衡常数与化学反应的摩尔吉布斯自由能变的关系 .....	53
四、多重平衡规则 .....	54
<b>第三节 标准平衡常数的应用</b> .....	55
一、判断反应进行的限度 .....	55
二、预测反应方向 .....	56
三、计算平衡组成 .....	57
<b>第四节 化学平衡的移动</b> .....	57
一、浓度对化学平衡的影响 .....	58
二、压力对化学平衡的影响 .....	58
三、温度对化学平衡的影响 .....	60
思考题 .....	62
习题 .....	63
<b>第四章 化学反应速率</b> .....	67

第一节 化学反应速率及其表示方法 .....	67
一、转化速率 .....	67
二、反应速率 .....	68
三、消耗速率和生成速率 .....	69
第二节 反应速率理论简介 .....	69
一、碰撞理论 .....	70
二、过渡态理论 .....	71
第三节 浓度对化学反应速率的影响 .....	72
一、元反应和复合反应 .....	72
二、质量作用定律 .....	73
三、反应级数和反应分子数 .....	75
第四节 温度对化学反应速率的影响 .....	76
一、范托夫规则 .....	76
二、阿伦尼乌斯方程 .....	77
第五节 催化剂对化学反应速率的影响 .....	78
一、催化剂与催化作用 .....	78
二、酶的催化作用 .....	80
思考题 .....	81
习题 .....	82
<b>第五章 酸碱解离平衡 .....</b>	<b>85</b>
<b>第一节 酸碱理论 .....</b>	<b>85</b>
一、酸碱电离理论 .....	85
二、酸碱质子理论 .....	85
三、酸碱电子理论 .....	87
四、软硬酸碱理论 .....	88
<b>第二节 弱酸、弱碱的解离平衡 .....</b>	<b>89</b>
一、一元弱酸、弱碱的解离平衡 .....	89
二、多元弱酸、弱碱的解离平衡 .....	91
三、共轭酸碱对的 $K_a^\ominus$ 与 $K_b^\ominus$ 的关系 .....	92
<b>第三节 酸、碱溶液 <math>H_3O^+</math> 或 <math>OH^-</math> 浓度的计算 .....</b>	<b>92</b>
一、一元弱酸溶液 $H_3O^+$ 浓度的计算 .....	92
二、一元弱碱溶液 $OH^-$ 浓度的计算 .....	94
三、多元酸溶液 $H_3O^+$ 浓度的计算 .....	94
四、多元弱碱溶液 $OH^-$ 浓度的计算 .....	96
五、两性物质溶液 $H_3O^+$ 浓度的计算 .....	96



六、同离子效应和盐效应 .....	98
第四节 缓冲溶液 .....	99
一、缓冲溶液的组成及作用机理 .....	99
二、缓冲溶液 pH 的计算 .....	100
三、缓冲容量和缓冲区间 .....	103
四、缓冲溶液的选择与配制 .....	105
五、缓冲溶液在医学上的意义 .....	105
思考题 .....	107
习题 .....	108
第六章 难溶强电解质的沉淀-溶解平衡 .....	111
第一节 标准溶度积常数 .....	111
一、标准溶度积常数 .....	111
二、标准溶度积常数与溶解度的关系 .....	112
第二节 沉淀的生成和溶解 .....	113
一、溶度积规则 .....	113
二、沉淀的生成 .....	114
三、沉淀的溶解 .....	115
四、同离子效应和盐效应 .....	117
第三节 分步沉淀和沉淀的转化 .....	118
一、分步沉淀 .....	118
二、沉淀的转化 .....	119
第四节 沉淀-溶解平衡在药学中的应用 .....	121
一、沉淀-溶解平衡在药品生产上的应用 .....	121
二、沉淀-溶解平衡在药品质量控制上的应用 .....	122
思考题 .....	122
习题 .....	123
第七章 氧化还原反应和电极电势 .....	125
第一节 氧化还原反应的基本概念 .....	125
一、氧化值 .....	125
二、氧化剂和还原剂 .....	126
三、氧化还原电对 .....	127
四、氧化还原反应方程式的配平 .....	127
第二节 原电池 .....	130
一、原电池的组成 .....	130
二、原电池的表示方法 .....	131

三、原电池的电动势与反应的摩尔吉布斯自由能变的关系 .....	132
第三节 电极电势 .....	133
一、电极电势的产生 .....	133
二、标准电极电势的测定 .....	134
三、能斯特方程 .....	135
第四节 电极电势的应用 .....	137
一、比较氧化剂和还原剂的相对强弱 .....	137
二、计算原电池的电动势 .....	138
三、判断氧化还原反应的方向 .....	139
四、确定氧化还原反应进行的限度 .....	140
第五节 元素标准电极电势图和电势-pH图 .....	142
一、元素标准电极电势图 .....	142
二、电势-pH图 .....	144
思考题 .....	146
习题 .....	147
第八章 原子结构和元素周期律 .....	150
第一节 氢原子光谱和玻尔理论 .....	150
一、氢原子光谱 .....	150
二、玻尔理论 .....	152
第二节 微观粒子的特性 .....	153
一、微观粒子的波粒二象性 .....	153
二、不确定原理 .....	154
第三节 氢原子结构 .....	155
一、氢原子的薛定谔方程及其解 .....	155
二、四个量子数 .....	157
三、氢原子波函数和概率密度的图形 .....	158
第四节 多电子原子结构 .....	162
一、屏蔽效应和穿透效应 .....	163
二、鲍林能级图和科顿能级图 .....	165
三、基态原子的核外电子排布 .....	167
第五节 元素周期表 .....	171
一、元素的电子层结构与周期的关系 .....	171
二、元素的电子层结构与族的关系 .....	172
三、元素的外层电子组态与元素的分区 .....	172
第六节 元素性质的周期性 .....	173

一、有效核电荷 .....	174
二、原子半径 .....	175
三、元素的电离能 .....	176
四、元素的电子亲和能 .....	178
五、元素的电负性 .....	179
思考题 .....	181
习题 .....	182
<b>第九章 离子键和离子晶体 .....</b>	<b>185</b>
<b>第一节 离子键 .....</b>	<b>185</b>
一、离子键的形成 .....	185
二、离子键的特征 .....	185
三、离子的特征 .....	186
<b>第二节 离子晶体 .....</b>	<b>187</b>
一、晶格和晶胞 .....	188
二、离子晶体的特征 .....	189
三、离子晶体的类型 .....	189
四、离子晶体的半径比规则 .....	190
<b>第三节 离子晶体的晶格能 .....</b>	<b>191</b>
<b>第四节 离子极化 .....</b>	<b>193</b>
一、离子的极化作用和变形性 .....	193
二、离子极化对化学键类型的影响 .....	193
三、离子极化对晶体构型的影响 .....	194
四、离子极化对化合物性质的影响 .....	194
思考题 .....	195
习题 .....	196
<b>第十章 共价键与分子结构 .....</b>	<b>197</b>
<b>第一节 现代价键理论 .....</b>	<b>197</b>
一、共价键的本质 .....	197
二、价键理论的基本要点 .....	198
三、共价键的类型 .....	199
四、配位共价键 .....	201
五、共价键参数 .....	201
<b>第二节 轨道杂化理论 .....</b>	<b>203</b>
一、轨道杂化理论的基本要点 .....	203
二、s-p 杂化轨道及有关分子的几何构型 .....	203

三、d-s-p 杂化轨道及有关分子的几何构型 .....	206
第三节 价层电子对互斥理论 .....	208
一、价层电子对互斥理论的基本要点 .....	208
二、价层电子对互斥理论的应用实例 .....	210
第四节 分子轨道理论 .....	212
一、分子轨道理论的基本要点 .....	212
二、分子轨道的形成 .....	214
三、同核双原子分子的结构 .....	215
四、异核双原子分子的结构 .....	217
第五节 离域 $\pi$ 键 .....	219
第六节 分子间作用力和氢键 .....	220
一、分子的极性 .....	220
二、分子间作用力 .....	221
三、氢键 .....	223
第七节 原子晶体和分子晶体 .....	225
一、原子晶体 .....	225
二、分子晶体 .....	226
思考题 .....	226
习题 .....	227
<b>第十一章 配位化合物 .....</b>	<b>229</b>
第一节 配位化合物的基本概念 .....	229
一、配位化合物的定义 .....	229
二、配位化合物的组成 .....	230
三、配位化合物的化学式的书写原则 .....	232
四、配位化合物的命名 .....	232
五、配位化合物的分类 .....	233
第二节 配位化合物的空间结构和异构现象 .....	234
一、配位化合物的空间结构 .....	234
二、配位化合物的异构现象 .....	235
第三节 配位化合物的化学键理论 .....	236
一、配位化合物的价键理论 .....	236
二、配位化合物的晶体场理论 .....	239
第四节 螯合物 .....	249
第五节 配位化合物的稳定性 .....	250
一、配位个体的标准稳定常数 .....	250

二、配位个体的稳定性 .....	253
三、配位平衡的移动 .....	256
第六节 配位化合物在药学中的应用 .....	259
一、生命必需金属元素的补充 .....	259
二、有毒金属元素的促排 .....	260
三、新药的研制 .....	261
四、与生物化学的关系 .....	262
思考题 .....	262
习题 .....	264
第十二章 s 区元素 .....	266
第一节 氢 .....	266
一、物理性质 .....	266
二、化学性质 .....	266
三、氢气的制备 .....	267
四、氢化物 .....	268
第二节 碱金属和碱土金属元素概述 .....	270
第三节 碱金属和碱土金属元素的单质 .....	272
一、物理性质 .....	272
二、化学性质 .....	272
第四节 碱金属和碱土金属元素的化合物 .....	273
一、氧化物 .....	273
二、氢氧化物 .....	275
三、盐类 .....	277
四、焰色反应 .....	279
五、常用药物 .....	279
第五节 锂、铍的特殊性和对角线规则 .....	281
一、锂的特殊性 .....	281
二、铍的特殊性 .....	281
三、对角线规则 .....	281
思考题 .....	282
习题 .....	283
第十三章 p 区元素(一) .....	285
第一节 p 区元素概述 .....	285
第二节 硼族元素 .....	287
一、硼族元素概述 .....	287

二、硼族元素的单质 .....	288
三、硼的化合物 .....	289
四、铝的化合物 .....	293
五、常用药物 .....	295
第三节 碳族元素 .....	295
一、碳族元素概述 .....	295
二、碳族元素的单质 .....	296
三、碳的重要化合物 .....	299
四、硅的重要化合物 .....	302
五、锡和铅的重要化合物 .....	303
六、常用药物 .....	307
第四节 氮族元素 .....	307
一、氮族元素概述 .....	307
二、氮族元素的单质 .....	309
三、氮的化合物 .....	311
四、磷的化合物 .....	317
五、砷、锑和铋的化合物 .....	322
六、常用药物 .....	325
思考题 .....	326
习题 .....	327
第十四章 p 区元素(二) .....	329
第一节 氧族元素 .....	329
一、氧族元素概述 .....	329
二、氧和硫的单质 .....	330
三、过氧化氢 .....	332
四、硫的化合物 .....	333
五、硒的生物功能 .....	343
六、常用药物 .....	344
第二节 卤族元素 .....	344
一、卤族元素概述 .....	345
二、卤族元素的单质 .....	346
三、卤化氢和卤化物 .....	349
四、卤素的含氧酸及其盐 .....	351
五、常用药物 .....	355
第三节 稀有气体 .....	356

一、稀有气体的性质 .....	356
二、稀有气体化合物 .....	357
三、稀有气体的应用 .....	357
思考题 .....	358
习题 .....	359
<b>第十五章 d 区元素(一)</b> .....	<b>361</b>
<b>第一节 过渡元素概述</b> .....	<b>363</b>
一、过渡元素的原子半径 .....	363
二、过渡元素单质的物理性质 .....	364
三、过渡元素单质的化学性质 .....	365
四、过渡元素的氧化值 .....	365
五、过渡元素离子的颜色 .....	366
六、过渡元素的生物学效应 .....	366
<b>第二节 钛</b> .....	<b>368</b>
一、钛的单质 .....	368
二、钛的重要化合物 .....	368
<b>第三节 钒</b> .....	<b>369</b>
一、钒的单质 .....	369
二、钒的重要化合物 .....	370
<b>第四节 铬、钼和钨</b> .....	<b>371</b>
一、铬、钼和钨的单质 .....	372
二、铬的化合物 .....	372
三、钼和钨的化合物 .....	375
<b>第五节 锰</b> .....	<b>377</b>
一、锰的单质 .....	377
二、锰的重要化合物 .....	377
<b>第六节 铬和锰的生物学效应及常用药物</b> .....	<b>380</b>
一、铬的生物学效应 .....	380
二、锰的生物学效应 .....	380
三、常用药物 .....	381
思考题 .....	381
习题 .....	382
<b>第十六章 d 区元素(二)</b> .....	<b>385</b>
<b>第一节 铁系元素</b> .....	<b>385</b>
一、铁系元素概述 .....	385

二、铁的重要化合物 .....	386
三、钴和镍的重要化合物 .....	390
四、常用药物 .....	392
第二节 铂系元素 .....	392
一、铂系元素概述 .....	392
二、铂和钯的重要化合物 .....	394
三、常用药物 .....	395
思考题 .....	396
习题 .....	397
第十七章 ds 区元素 .....	399
第一节 铜族元素 .....	399
一、铜族元素概述 .....	399
二、铜的重要化合物 .....	401
三、银的重要化合物 .....	405
第二节 锌族元素 .....	407
一、锌族元素概述 .....	407
二、锌的重要化合物 .....	409
三、汞的重要化合物 .....	410
四、常用药物 .....	413
思考题 .....	414
习题 .....	414
附录 .....	417
附录一 某些物质的标准摩尔生成焓、标准摩尔生成吉布斯自由能 和标准摩尔熵 .....	417
附录二 某些有机化合物的标准摩尔燃烧焓 .....	420
附录三 某些酸、碱的标准解离常数 .....	421
附录四 某些难溶强电解质的标准溶度积常数 .....	421
附录五 某些电对的标准电极电势 .....	423
附录六 某些配离子的标准稳定常数 .....	425
索引 .....	426
主要参考文献 .....	434
元素周期表	



# 绪 论

---

---

化学是研究物质的组成、结构、性质及其变化规律的一门基础学科。

人类与化学的关系极其密切,生命和人类的进化过程是离不开化学变化的。人类的生存和繁衍也是通过化学反应来维持的,没有化学变化,地球上就不会有生命,当然也就不会有人类存在。

正是由于化学学科的飞速发展,才使人类利用化学的方法和原理从分子水平上深入认识生命现象和控制复杂的生命过程成为可能。1980年以来的诺贝尔化学奖中,直接与生命科学有关的就多达9项。可以毫不夸张地说,没有化学的发展,生命科学和生物技术就不会有现在这样迅速发展的大好局面。

化学的分支有无机化学、有机化学、分析化学、物理化学等。无机化学是以元素周期律及现代化学理论为基础,研究除碳氢化合物及其衍生物外的所有元素及其化合物的学科。

## 一、无机化学的研究内容

无机化学的研究内容非常广泛。现代无机化学是对所有元素及其化合物(碳氢化合物及其衍生物除外)的制备、组成、结构和反应的实验测试及理论阐明。在研究中,利用现代的物理技术(如光谱、核磁共振、电子能谱、X射线衍射等),对各类新型化合物的键型、立体化学结构、对称性等进行表征;对化学反应性质及热力学、动力学参数等进行测定。测得的结果需用理论加以分析、阐明,而实验测定所得的大量数据资料,又为理论研究提供了实验基础,推动了理论的建立和发展。例如,顺二氯·二氨合铂(II)发现至今已有几十年的历史,但寻找新的铂类药物,至今仍是无机化学工作者研究的热点。顺二氯·二氨合铂(II)的结构如下:

