



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 无机化学

(第三版) 上册

*Inorganic Chemistry*

福建师范大学  
河北师范大学 合编  
辽宁师范大学

高等教育出版社



教育“十一五”国家级规划教材

# 无机化学

(第三版)

上册

福建师范大学  
河北师范大学 合编  
辽宁师范大学

高等教育出版社·北京

## 内容提要

全书共 22 章, 分上、下册出版。上册介绍化学基本原理, 包括化学热力学与化学动力学初步、原子结构、化学键、解离平衡、氧化还原反应和配位化合物等。下册介绍元素周期表中各族常见元素的单质和化合物的典型性质。

本书起点适中, 难度适宜, 与中学的化学教学紧密衔接, 并充分注意与后续课程的联系。本书可作为高等师范院校化学类专业的无机化学教材, 也可供中学教师及化学工作者进修参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

无机化学. 上册/福建师范大学, 河北师范大学,  
辽宁师范大学合编. --3 版. --北京: 高等教育出版社,  
2017. 8

ISBN 978-7-04-048146-4

I. ①无... II. ①福... ②河... ③辽... III. ①无机化  
学-高等学校-教材 IV. ①O61

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 165038 号

策划编辑	曹 瑛	责任编辑	曹 瑛	封面设计	于文燕	版式设计	于 婕
插图绘制	杜晓丹	责任校对	李大鹏	责任印制	尤 静		

---

出版发行	高等教育出版社	网 址	<a href="http://www.hep.edu.cn">http://www.hep.edu.cn</a>
社 址	北京市西城区德外大街 4 号		<a href="http://www.hep.com.cn">http://www.hep.com.cn</a>
邮政编码	100120	网上订购	<a href="http://www.hepmall.com.cn">http://www.hepmall.com.cn</a>
印 刷	北京机工印刷厂		<a href="http://www.hepmall.com">http://www.hepmall.com</a>
开 本	787mm×960mm 1/16		<a href="http://www.hepmall.cn">http://www.hepmall.cn</a>
印 张	24.25	版 次	2005 年 6 月第 1 版
字 数	440 千字		2017 年 8 月第 3 版
插 页	1	印 次	2017 年 8 月第 1 次印刷
购书热线	010-58581118	定 价	42.80 元
咨询电话	400-810-0598		

---

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 48146-00

## 第三版前言

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材《无机化学》的第三版,自2005年第一版及2012年第二版出版以来,已被众多高校选作大学一年级化学课程教材,是一本具有一定影响力、适用于普通高等师范院校化学类专业本科学生学习无机化学课程的教材。教学一线教师和读者在对第一版、第二版教材充分肯定之余,也提出了许多宝贵的意见和建议。而且随着教学理念更新、教育观念转变和教学改革深入,以及对无机化学教学要求的不断提高,针对本书在使用过程中出现的问题和不足,我们再次对教材进行修订,并力求使再版教材更有利于学生学习和掌握无机化学的基本理论和基本概念,更有利于培养学生的科学思维和创新意识,更有利于培养学生创造性的学习、自主学习、发现和解决问题的能力。

第三版教材在继承前两版教材“定位明确、起点适中、难度适宜,注重与中学教学内容衔接,注重与大学后续化学课程的关系的处理”等特点的基础上,力求在以下方面有所突破:

(1) 参照《高等学校化学类专业指导性专业规范》《化学类专业本科教学质量国家标准》及《化学类专业化学理论教学建议内容》等的要求,为全面体现和落实素质教育,体现知识、能力发展并重,体现基础性与发展性协调,内容的选取上注重“三基”,注重知识与能力的融合、过程与方法的结合,注重学科思想、学科研究方法的介绍和应用,同时注重激发学生的学习、研究兴趣,培养学生的科学思维、创新能力和科学研究精神。

(2) 突出师范院校教材的特色,与中学的化学教学紧密衔接。注重实际应用,结合无机化学学科“内容广、学时少”的特点,无机化学基本原理部分编写深入浅出,注意与后续课程——物理化学、物质结构内容的区别与联系。元素部分的内容注重阐述元素周期性、常见元素的典型性质,注重紧密结合其在工业、农业、环境和国民经济中的应用。

(3) 为了利于教学、便于学生自主学习,构建完善的立体化教材体系,同步提供配套的教学课件、学习指导等教学资源。

参加修订和编写工作的有福建师范大学林深(绪论和第7章)、王世铭(第4章、第9章、第14章、第15章和第20章)、颜桂炆(现就职于宁德师范学院,第19章);河北师范大学杨述韬(第1章、第5章、第6章和第10章)、陈汝芬(第

16章和第18章)、韩占刚(第17章、第21章和第22章);辽宁师范大学金晶(第2章和第3章)、张澜萃(第11章和第12章)、由万胜(第8章)、迟玉贤(第13章)。全书由福建师范大学王世铭负责统稿。

由于年龄或工作变动等原因,第二版教材负责统稿的河北师范大学李铭岫老师、第二版教材编者辽宁师范大学谷源鹏老师、山东师范大学吴长举老师和吉林师范大学李恒达老师不再参加第三版教材的编写工作,在此对他们为本书所做出的贡献表示衷心的感谢!

本次修订工作得到了福建师范大学、河北师范大学和辽宁师范大学的大力支持。高等教育出版社鲍浩波副编审、曹瑛编辑做了很多工作。使用本书第一版和第二版教材的众多师生提出了很多宝贵的意见和建议,教材修订、编写过程中还参阅了许多无机化学教材。本书的全体编者向他们及所参考教材的作者致以诚挚的感谢。感谢福建师范大学本科教学改革研究项目(I201502020)的支持。

由于编者的水平有限,书中的错误和不当之处,恳请读者给予批评指正,以期改进。

《无机化学》(第三版)编写组

2017年4月



## 第二版前言

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材《无机化学》的第二版,已为国内众多院校选作大学一年级化学课程教材。第一版与中学的化学教学衔接紧密,起点适中,难度适宜,可读性强。在讲授过程中,我们反复思考和探究这样一些问题:应该为21世纪的大学生提供什么样的无机化学教材?如何在教材中更好地反映无机化学学科发展的新成就,使教学内容适应新世纪人才培养的需要?如何将化学基本原理更好地应用到科学实验和工农业生产中?针对本教材在使用中的缺点和不足,在保持原版教材的风格和特色的基础上,深化教学内容、拓展教学空间,我们对第一版进行了修订,使教材更有利于素质教育需要,有利于培养学生的创新能力。

本教材的编写主要体现以下三个方面:第一,根据高中化学新课标的要求,做好与高中课程内容的衔接,做到教学内容不脱节,使学生易于完成从中学到大学在学习方法和思维方式的过渡。处理好无机化学与后续课程分析化学、物理化学、结构化学和中级无机化学之间内容的衔接与分工,既要为这几门课打好基础,又要避免在同一水平上的重复。第二,拓宽知识范畴,充分反映学科发展的新成果及在生命科学、材料科学、环境科学、能源技术和信息技术中的应用。第三,遵循人类认识自然从宏观到微观的规律,对部分章节结构进行调整,将原子结构、分子结构等内容放到化学热力学、化学动力学之后讲授,将化学平衡的内容并入化学热力学,增加第1章物质的聚集态,第6章化学键增加了离域 $\pi$ 键。对第一版中的陈旧和重复内容进行了删节,尤其对下册进行了较多的调整,控制本版的篇幅略少于第一版,对各章的习题进行了调整。书后附录的数据摘自 David R. Lide “CRC Handbook of Chemistry and Physics”, 89th ed, 2008—2009 和 James G. Speight “Lange’s Handbook of Chemistry”, 16th ed, 2005。

参加修订和编写工作的有河北师范大学李铭岫(绪论、第1章、第5章、第10章、第21章和第22章)、杨述韬(第6章和第17章)、陈汝芬(第16章);辽宁师范大学金晶(第2章和第3章)、张澜萃(第11章和第12章);福建师范大学林深(第7章)、王世铭(第4章、第9章和第20章)、颜桂炆(第19章);山东师范大学吴长举(第14章和第15章);吉林师范大学李恒达(第8章、第13章和第18章)。由河北师范大学李铭岫统稿。高等教育出版社的编辑做了很多工作,

使用本书第一版的众多师生提出了很多宝贵的修改意见,本书的全体编者向他们表示诚挚的谢意。

由于编者的水平有限,书中的错误和不当之处,恳请读者给予批评指正。

《无机化学》(第二版)编写组

2011年6月

## 第一版前言

本书用作普通高等师范院校化学专业本、专科学生学习无机化学课程的教材。全书分上、下册出版。上册重点介绍了原子结构和化学键理论、化学平衡、电离平衡和氧化还原平衡原理、化学热力学和化学动力学的基础知识以及配位化学基本原理；下册介绍周期表中各族常见元素的典型性质。本书还可用作综合院校和工科院校相关专业的学生学习无机化学课程的教材并可用于中学教师及化学工作者进修的教材和参考书。

本书的写作特点是：

1. 适应中学化学教学新课标的要求，起点适中，难度适宜，突出师范院校教材的特征，与中学的化学教学紧密衔接。

2. 对无机化学基本原理的讲授做到既要讲清楚、讲透彻，又要深入浅出，循序渐进，避免繁琐的数学推导。

3. 注意与后续课程内容的协调。化学基本原理的讲授以用于解释元素性质的内容为主。

4. 在无机化学原理和元素部分之间增加了“元素化学引论”一章，应用无机化学原理解释元素的性质，在原理和元素部分之间架起了一座桥梁。

5. 元素部分的内容以介绍常见元素的典型性质为主。其他元素的性质仅作一般介绍。

6. 元素部分的内容与其在工业、农业和国民经济中的应用紧密结合。

本书在每章前列出了内容提要，既有利于教师备课，围绕重点、难点内容讲授，又有利于学生自学。物质结构部分增加了一些插图，以利于培养学生建立空间概念。书后附录的数据摘自 David R. Lide “CRC Handbook of Chemistry and Physics” 83rd ed, 2002—2003 和 John A. Dean “Lange’s Handbook of Chemistry”, 15th ed, 1999。

河北师范大学、辽宁师范大学、福建师范大学、山东师范大学和吉林师范大学等五所院校的主讲教师共同编写了这部《无机化学》教材。参加执笔的有河北师范大学李铭岫（编写第 1 章、第 10 章、第 21 章和第 22 章）、杨述韬（编写第 2 章、第 17 章）、陈汝芬（编写第 16 章）；辽宁师范大学谷源鹏（编写第 4 章和第 5 章）、张澜萃（编写第 11 章和第 12 章）；福建师范大学林深（编写第 3 章）、王世铭（编写第 9 章和第 20 章）、颜桂炆（编写第 19 章）；山东师范大学吴长举（编写



第6章、第7章、第14章和第15章);吉林师范大学李恒达(编写第8章、第13章和第18章)。初稿由河北师范大学李铭岫统稿。最后经北京大学姚光庆教授主审。姚教授对本书的修改提出了很多宝贵的意见,高等教育出版社的岳延陆和朱仁编审从本书的策划到审稿都做了很多工作,本书的全体作者向他们表示诚挚的谢意。

由于编者的水平有限,编写时间仓促,书中的错误和不当之处,请读者给予批评指正。

《无机化学》编写组

2005年2月

# 目 录

第 0 章 绪论 .....	1
第 1 节 无机化学发展简史 .....	1
0.1.1 古代的无机化学 .....	2
0.1.2 近代的无机化学 .....	2
0.1.3 现代的无机化学 .....	3
第 2 节 无机化学的发展趋势 .....	9
第 3 节 如何学好无机化学 .....	10
第 1 章 物质的聚集态 .....	12
第 1 节 气体 .....	12
1.1.1 理想气体状态方程 .....	12
1.1.2 混合气体的分压定律 .....	14
1.1.3 气体扩散定律 .....	16
* 1.1.4 气体分子动理论 .....	17
* 1.1.5 实际气体的状态方程 .....	20
第 2 节 液体和溶液 .....	20
1.2.1 液体 .....	20
1.2.2 溶液 .....	23
1.2.3 难挥发非电解质稀溶液的特性 .....	25
第 3 节 固体 .....	30
习题 .....	31
第 2 章 化学热力学基础与化学平衡 .....	33
第 1 节 热力学基本概念和术语 .....	34
2.1.1 系统(或体系)与环境 .....	34
2.1.2 状态和状态函数 .....	35
2.1.3 过程和途径 .....	35
2.1.4 相 .....	36
第 2 节 热力学第一定律 .....	36
2.2.1 热和功 .....	36
2.2.2 热力学能 .....	38



2.2.3	标准状态 .....	39
第3节	焓 .....	39
2.3.1	焓与焓变 .....	39
2.3.2	标准摩尔生成焓 .....	40
2.3.3	标准摩尔燃烧焓(或燃烧热) .....	42
2.3.4	化学反应焓变 .....	43
2.3.5	键焓与化学反应焓变 .....	46
第4节	盖斯定律 .....	47
第5节	熵 .....	48
2.5.1	自发过程 .....	48
2.5.2	熵 .....	50
第6节	吉布斯自由能与反应进行的方向 .....	52
2.6.1	吉布斯自由能判据 .....	52
2.6.2	标准摩尔生成吉布斯自由能 .....	55
第7节	化学平衡 .....	56
2.7.1	可逆反应与化学平衡 .....	56
2.7.2	化学平衡常数 .....	58
2.7.3	$\Delta_r G_m^\ominus$ 与化学平衡常数 .....	64
2.7.4	影响化学平衡的因素 .....	65
习题	.....	70
第3章	化学动力学初步 .....	73
第1节	化学反应速率 .....	73
3.1.1	化学反应速率和表示方法 .....	73
3.1.2	平均速率和瞬时速率 .....	74
第2节	浓度对反应速率的影响 .....	76
3.2.1	化学反应速率方程 .....	76
3.2.2	由实验建立速率方程 .....	78
3.2.3	有关速率方程的计算 .....	79
第3节	温度对化学反应速率的影响 .....	81
3.3.1	阿仑尼乌斯方程 .....	81
3.3.2	阿仑尼乌斯方程的应用 .....	82
第4节	催化剂对化学反应速率的影响 .....	84
第5节	反应机理简介 .....	85
3.5.1	基元反应 .....	85

3.5.2	反应分子数 .....	86
3.5.3	复杂反应的速率方程的导出 .....	87
第 6 节	反应速率理论简介 .....	88
3.6.1	碰撞理论简介 .....	88
3.6.2	过渡态理论简介 .....	90
习题	.....	91
第 4 章	酸碱解离平衡与沉淀溶解平衡 .....	94
第 1 节	酸碱理论简介 .....	94
4.1.1	酸碱电离理论 .....	95
4.1.2	酸碱质子理论 .....	95
4.1.3	酸碱电子理论 .....	97
第 2 节	强电解质溶液 .....	98
4.2.1	离子氛与离子强度 .....	98
4.2.2	活度 .....	100
第 3 节	溶液的酸碱性 .....	100
4.3.1	水的解离平衡 .....	100
4.3.2	溶液的酸碱性 .....	101
4.3.3	酸碱指示剂 .....	102
第 4 节	弱酸弱碱的解离平衡 .....	103
4.4.1	一元弱酸弱碱的解离 .....	103
4.4.2	多元弱酸的解离 .....	106
4.4.3	同离子效应与缓冲溶液 .....	109
4.4.4	盐的水解 .....	112
第 5 节	沉淀溶解平衡 .....	118
4.5.1	溶度积常数 .....	119
4.5.2	沉淀溶解平衡的移动 .....	123
习题	.....	128
第 5 章	原子结构和元素周期律 .....	131
第 1 节	氢原子光谱和玻尔理论 .....	132
5.1.1	氢原子光谱 .....	132
5.1.2	玻尔理论 .....	133
第 2 节	核外电子运动的特殊性 .....	136
5.2.1	光的波粒二象性 .....	136
5.2.2	德布罗意的预言与电子衍射实验 .....	137



5.2.3	不确定原理 .....	139
<b>第3节</b>	<b>核外电子运动状态的描述 .....</b>	<b>140</b>
5.3.1	薛定谔方程 .....	140
5.3.2	四个量子数 .....	142
5.3.3	波函数和电子云的图像 .....	145
5.3.4	电子云的三维图像 .....	151
<b>第4节</b>	<b>核外电子排布和元素周期律 .....</b>	<b>152</b>
5.4.1	屏蔽效应 .....	152
5.4.2	钻穿效应 .....	154
5.4.3	多电子原子的能级顺序 .....	155
5.4.4	核外电子的排布 .....	158
5.4.5	原子的电子层结构与元素周期系的关系 .....	165
<b>第5节</b>	<b>元素基本性质的周期性 .....</b>	<b>168</b>
5.5.1	原子半径 .....	168
5.5.2	电离能 .....	171
5.5.3	电子亲和能 .....	175
5.5.4	电负性 .....	177
	习题 .....	180
<b>第6章</b>	<b>化学键与分子结构 .....</b>	<b>182</b>
<b>第1节</b>	<b>化学键参数与分子的性质 .....</b>	<b>182</b>
6.1.1	化学键参数 .....	182
6.1.2	分子的性质 .....	187
<b>第2节</b>	<b>离子键 .....</b>	<b>189</b>
6.2.1	离子键理论的要点 .....	189
6.2.2	离子键形成过程中的能量变化——晶格能 .....	191
<b>第3节</b>	<b>共价键 .....</b>	<b>193</b>
6.3.1	路易斯理论 .....	193
6.3.2	现代价键理论(一)——共价键的本质和特点 .....	194
6.3.3	现代价键理论(二)——杂化轨道与分子构型 .....	199
6.3.4	价层电子对互斥理论 .....	205
6.3.5	分子轨道理论 .....	211
6.3.6	离域 $\pi$ 键 .....	220
<b>第4节</b>	<b>金属键 .....</b>	<b>222</b>
6.4.1	自由电子理论 .....	222

6.4.2	能带理论初步	223
6.4.3	键型过渡	224
第5节	分子间作用力和氢键	226
6.5.1	分子间作用力	226
6.5.2	氢键	228
6.5.3	分子间作用力和氢键对物质性质的影响	230
习题		232
第7章	晶体结构	235
第1节	晶体的特征	236
7.1.1	晶体的特征	236
7.1.2	晶体的微观结构	236
7.1.3	晶体的类型	239
第2节	离子晶体	240
7.2.1	离子晶体的特性	240
7.2.2	离子半径	241
7.2.3	离子晶体的空间结构	243
第3节	离子极化	246
7.3.1	离子的极化作用和变形性	246
7.3.2	离子极化对化学键的影响	247
7.3.3	离子极化对化合物性质的影响	248
第4节	原子晶体	249
第5节	分子晶体	249
第6节	金属晶体	250
7.6.1	金属晶体的特征	250
7.6.2	金属晶体的紧密堆积	251
*第7节	混合型晶体	253
*第8节	晶体缺陷	253
7.8.1	点缺陷	253
7.8.2	非整比化合物	255
*第9节	同质多晶现象和类质同晶现象	256
7.9.1	同质多晶现象	256
7.9.2	类质同晶现象	257
习题		258



<b>第 8 章 电化学初步</b> .....	261
<b>第 1 节 氧化数和氧化还原反应</b> .....	261
8.1.1 元素的氧化数 .....	261
8.1.2 氧化还原反应 .....	263
8.1.3 氧化反应和还原反应 .....	264
<b>第 2 节 氧化还原方程式的配平</b> .....	265
8.2.1 氧化数法 .....	265
8.2.2 离子-电子法 .....	266
<b>第 3 节 原电池</b> .....	266
8.3.1 原电池 .....	266
8.3.2 电池符号和电极的分类 .....	267
8.3.3 电极电势 .....	268
8.3.4 标准电极电势 .....	269
8.3.5 电池电动势与电池反应的自由能变的关系 .....	271
8.3.6 标准电极电势的应用 .....	272
8.3.7 能斯特方程 .....	275
8.3.8 电极电势的应用 .....	277
<b>第 4 节 与电极电势有关的图表及其应用</b> .....	279
8.4.1 元素电势图 .....	279
8.4.2 电极电势( $\varphi$ )-pH 图 .....	280
8.4.3 自由能-氧化数图 .....	282
<b>第 5 节 化学电源与电解</b> .....	285
8.5.1 常用的化学电源 .....	285
8.5.2 电解 .....	287
<b>习题</b> .....	290
<b>第 9 章 配位化合物</b> .....	293
<b>第 1 节 基本概念</b> .....	294
9.1.1 配位化合物的定义 .....	294
9.1.2 配位化合物的组成 .....	294
9.1.3 配位化合物的类型 .....	297
9.1.4 配位化合物的命名 .....	299
<b>第 2 节 配位化合物空间结构及异构现象</b> .....	301
9.2.1 配位化合物的空间结构 .....	301
9.2.2 配位化合物的异构现象 .....	302

第 3 节	配位化合物的化学键理论 .....	304
9.3.1	现代价键理论 .....	305
9.3.2	晶体场理论 .....	311
第 4 节	配位平衡及配合物的稳定性 .....	319
9.4.1	配合物的平衡常数 .....	319
9.4.2	配位平衡的移动 .....	322
9.4.3	影响配合物稳定性的因素 .....	325
* 第 5 节	配合物的应用 .....	327
9.5.1	分离和提纯 .....	327
9.5.2	新型功能配合物 .....	327
9.5.3	生物化学中的配位化合物 .....	328
9.5.4	配位催化 .....	329
习题	.....	329
附录	.....	334
附录 1	常用物理化学常数 .....	334
附录 2	国际单位制(SI)基本单位 .....	334
附录 3	常用换算关系 .....	335
附录 4	一些单质和化合物的热力学函数(298.15 K, 100 kPa) .....	335
附录 5	一些弱酸和弱碱的解离常数 .....	349
附录 6	常见难溶强电解质的溶度积 .....	352
附录 7	标准电极电势(298.15 K) .....	355
附录 8	一些配位化合物的稳定常数 .....	367

## 元素周期表



# 第0章 绪论

宇宙万物都是由物质组成的。从宏观的天体到微观的原子、电子、光子等都是物质。各种形式的场,如电磁场、引力场等也都是物质。这些物质是不依赖于人的意识而独立存在的客观实在。物质既不能创生,又不能消灭,只能在一定的条件下从一种形式转化成另一种形式。物质都处于永恒的运动之中。除了场以外,通常物质可分为四个层次:宇观物质(如日月星辰等)、宏观物质(如建筑物、生产工具、产品和试剂等)、介观物质(如微米、纳米粒子)和微观物质(如分子、原子、离子、质子和中子等)。各种形式的场是物理学研究的范畴。

一切自然科学都是以客观存在的物质世界作为考察和研究对象的。自然界万物始终处于运动、发展和变化中,变是绝对的,不变是相对的。自然界的物质会发生物理变化和化学变化。化学变化可以认为是由于分子组成或原子、离子等的核外电子的运动状态和能量发生变化,而引起物质质变的一类变化。它有三大特征:① 化学变化是质变;② 化学变化是定量的变化;③ 化学变化伴随着能量变化。化学是在原子和分子水平上研究物质的组成、结构和性质及变化规律的科学。它包括无机化学、分析化学、有机化学和物理化学四个基础学科,及其发展衍生出的高分子化学、核化学、放射化学、生物化学和材料化学等分支。

## 第1节 无机化学发展简史

无机化学是研究无机物质的组成、结构、反应、性质和应用的科学,它是化学科学中历史最悠久的分支学科之一。一般认为无机化学是研究除碳氢化合物及其衍生物外的所有单质和它们的化合物的性质和反应的化学学科。但简单的含碳化合物,如碳的氧化物、碳酸盐、碳化物、氰化物和硫氰化物等一般属于无机化学讨论的内容。金属元素与碳氢化合物及其衍生物形成化学键的化合物也属于无机化学研究的范畴。