



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



全国高等医药院校药学类第四轮规划教材

供药学类专业用

# 无机化学

(第3版)

□ 主编 王国清



网络增值服务  
textbook.cmstp.com

中国医药科技出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
全国高等医药院校药学类第四轮规划教材

# 无机化学

(供药学类专业用)

第3版

主 编 王国清  
副主编 赵 兵 刘新泳 毕小平  
编 者 (以姓氏笔画为序)  
王志才(吉林大学化学学院)  
王国清(沈阳药科大学)  
刘新泳(山东大学药学院)  
毕小平(山西医科大学)  
苟宝迪(北京大学药学院)  
郑 兴(延边大学药学院)  
赵 兵(沈阳药科大学)  
梅文杰(广东药学院)

中国医药科技出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

无机化学 / 王国清主编. —3 版. —北京: 中国医药科技出版社, 2015. 8  
全国高等医药院校药理学类第四轮规划教材  
ISBN 978 - 7 - 5067 - 7425 - 3

I. ①无… II. ①王… III. ①无机化学—医学院校—教材 IV. ①O61

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 174053 号

中国医药科技出版社官网 <a href="http://www.cmstp.com">www.cmstp.com</a>	医药类专业图书、考试用书及 健康类图书查询、在线购买
网络增值服务官网 <a href="http://textbook.cmstp.com">textbook.cmstp.com</a>	医药类教材数据资源服务

美术编辑 陈君杞

版式设计 郭小平

出版 中国医药科技出版社

地址 北京市海淀区文慧园北路甲 22 号

邮编 100082

电话 发行: 010 - 62227427 邮购: 010 - 62236938

网址 [www.cmstp.com](http://www.cmstp.com)

规格 787 × 1092mm  $1/_{16}$

印张 33  $1/_{2}$

字数 683 千字

初版 2002 年 9 月第 1 版

版次 2015 年 8 月第 3 版

印次 2015 年 8 月第 1 次印刷

印刷 三河市百盛印装有限公司

经销 全国各地新华书店

书号 ISBN 978 - 7 - 5067 - 7425 - 3

定价 74.00 元

本社图书如存在印装质量问题请与本社联系调换

# 全国高等医药院校药学类第四轮规划教材

## 常务编委会

- 名誉主任委员** 邵明立 林蕙青
- 主任委员** 吴晓明 (中国药科大学)
- 副主任委员** (以姓氏笔画为序)
- 匡海学 (黑龙江中医药大学)
- 朱依淳 (复旦大学药学院)
- 刘俊义 (北京大学药学院)
- 毕开顺 (沈阳药科大学)
- 吴少楨 (中国医药科技出版社)
- 吴春福 (沈阳药科大学)
- 张志荣 (四川大学华西药学院)
- 姚文兵 (中国药科大学)
- 郭 姣 (广东药学院)
- 彭 成 (成都中医药大学)
- 委 员** (以姓氏笔画为序)
- 王应泉 (中国医药科技出版社)
- 田景振 (山东中医药大学)
- 朱卫丰 (江西中医药大学)
- 李 高 (华中科技大学同济医学院药学院)
- 李元建 (中南大学药学院)
- 李青山 (山西医科大学药学院)
- 杨 波 (浙江大学药学院)
- 杨世民 (西安交通大学医学部)
- 陈思东 (广东药学院)
- 侯爱君 (复旦大学药学院)
- 官 平 (沈阳药科大学)
- 祝晨蓀 (广州中医药大学)
- 柴逸峰 (第二军医大学药学院)
- 黄 园 (四川大学华西药学院)
- 秘 书**
- 夏焕章 (沈阳药科大学)
- 徐晓媛 (中国药科大学)
- 黄泽波 (广东药学院)
- 浩云涛 (中国医药科技出版社)
- 赵燕宜 (中国医药科技出版社)

## 出版说明

全国高等医药院校药学类规划教材，于 20 世纪 90 年代启动建设，是在教育部、国家食品药品监督管理总局的领导和指导下，由中国医药科技出版社牵头中国药科大学、沈阳药科大学、北京大学药学院、复旦大学药学院、四川大学华西药学院、广东药学院、华东科技大学同济药学院、山西医科大学、浙江大学药学院、复旦大学药学院、北京中医药大学等 20 余所院校和医疗单位的领导和专家成立教材常务委员会共同组织规划，在广泛调研和充分论证基础上，于 2014 年 5 月组织全国 50 余所本科院校 400 余名教学经验丰富的专家教师历时一年余不辞辛劳、精心编撰而成。供全国药学类、中药学专业教学使用的本科规划教材。

本套教材坚持“紧密结合药学类专业培养目标以及行业对人才的需求，借鉴国内外药学教育、教学的经验和成果”的编写思路，20 余年来历经三轮编写修订，逐渐形成了一套行业特色鲜明、课程门类齐全、学科系统优化、内容衔接合理的高质量精品教材，深受广大师生的欢迎，其中多数教材入选普通高等教育“十一五”“十二五”国家级规划教材，为药学本科教育和药学人才培养，做出了积极贡献。

第四轮规划教材，是在深入贯彻落实教育部高等教育教学改革精神，依据高等药学教育培养目标及满足新时期医药行业高素质技术型、复合型、创新型人才需求，紧密结合《中国药典》、《药品生产质量管理规范》（GMP）、《药品非临床研究质量管理规范》（GLP）、《药品经营质量管理规范》（GSP）等新版国家药品标准、法律法规和 2015 年版《国家执业药师资格考试大纲》编写，体现医药行业最新要求，更好地服务于各院校药学教学与人才培养的需要。

本轮教材的特色：

**1. 契合人才需求，体现行业要求** 契合新时期药学人才需求的变化，以培养创新型、应用型人才并重为目标，适应医药行业要求，及时体现 2015 年版《中国药典》及新版 GMP、新版 GSP 等国家标准、法规和规范以及新版国家执业药师资格考试等行业最新要求。

**2. 充实完善内容，打造教材精品** 专家们在上一轮教材基础上进一步优化、

精炼和充实内容。坚持“三基、五性、三特定”，注重整套教材的系统科学性、学科的衔接性。进一步精简教材字数，突出重点，强调理论与实际需求相结合，进一步提高教材质量。

**3. 创新编写形式，便于学生学习** 本轮教材设有“学习目标”“知识拓展”“重点小结”“复习题”等模块，以增强学生学习的目的性和主动性及教材的可读性。

**4. 丰富教学资源，配套增值服务** 在编写纸质教材的同时，注重建设与其相配套的网络教学资源，以满足立体化教学要求。

第四轮规划教材共涉及核心课程教材 53 门，供全国医药院校药学类、中药学类专业教学使用。本轮规划教材更名两种，即《药学文献检索与利用》更名为《药学信息检索与利用》，《药品经营管理 GSP》更名为《药品经营管理——GSP 实务》。

编写出版本套高质量的全国本科药学类专业规划教材，得到了药学专家的精心指导，以及全国各有关院校领导和编者的大力支持，在此一并表示衷心感谢。希望本套教材的出版，能受到全国本科药学专业广大师生的欢迎，对促进我国药学类专业教育教学改革和人才培养做出积极贡献。希望广大师生在教学中积极使用本套教材，并提出宝贵意见，以便修订完善，共同打造精品教材。

全国高等医药院校药学类规划教材编写委员会

中国医药科技出版社

2015 年 7 月

# 全国高等医药院校药学类第四轮规划教材书目

教材名称	主 编	教材名称	主 编
<b>公共基础课</b>			
1. 高等数学 (第3版)	刘艳杰	26. 医药商品学 (第3版)	刘 勇
	黄榕波	27. 药物经济学 (第3版)	孙利华
2. 基础物理学 (第3版)*	李 辛	28. 药用高分子材料学 (第4版)	方 亮
3. 大学计算机基础 (第3版)	于 静	29. 化工原理 (第3版)*	何志成
4. 计算机程序设计 (第3版)	于 静	30. 药物化学 (第3版)	尤启冬
5. 无机化学 (第3版)*	王国清	31. 化学制药工艺学 (第4版)*	赵临襄
6. 有机化学 (第2版)	胡 春	32. 药剂学 (第3版)	方 亮
7. 物理化学 (第3版)	徐开俊	33. 工业药剂学 (第3版)*	潘卫三
8. 生物化学 (药学类专业通用 (第2版)*)	余 蓉	34. 生物药剂学 (第4版)	程 刚
9. 分析化学 (第3版)*	郭兴杰	35. 药物分析 (第3版)	于治国
<b>专业基础课和专业课</b>		36. 体内药物分析 (第3版)	于治国
10. 人体解剖生理学 (第2版)	郭青龙	37. 医药市场营销学 (第3版)	冯国忠
	李卫东	38. 医药电子商务 (第2版)	陈玉文
11. 微生物学 (第3版)	周长林	39. 国际医药贸易理论与实务 (第2版)	马爱霞
12. 药学细胞生物学 (第2版)	徐 威	40. GMP 教程 (第3版)*	梁 毅
13. 医药伦理学 (第4版)	赵迎欢	41. 药品经营质量管理——GSP 实务 (第2版)*	梁 毅
14. 药学概论 (第4版)	吴春福		陈玉文
15. 药学信息检索与利用 (第3版)	毕玉侠	42. 生物化学 (供生物制药、生物技术、 生物工程和海洋药学专业使用) (第3版)	吴梧桐
16. 药理学 (第4版)	钱之玉	43. 生物技术制药概论 (第3版)	姚文兵
17. 药物毒理学 (第3版)	向 明	44. 生物工程 (第3版)	王 昊
	季 晖	45. 发酵工艺学 (第3版)	夏焕章
18. 临床药物治疗学 (第2版)	李明亚	46. 生物制药工艺学 (第4版)*	吴梧桐
19. 药事管理学 (第5版)*	杨世民	47. 生物药物分析 (第2版)	张怡轩
20. 中国药事法理论与实务 (第2版)	邵 蓉	48. 中医药学概论 (第2版)	郭 姣
21. 药用拉丁语 (第2版)	孙启时	49. 中药分析学 (第2版)*	刘丽芳
22. 生药学 (第3版)	李 萍	50. 中药鉴定学 (第3版)	李 峰
23. 天然药物化学 (第2版)*	孔令义	51. 中药炮制学 (第2版)	张春风
24. 有机化合物波谱解析 (第4版)*	裴月湖	52. 药用植物学 (第3版)	路金才
25. 中医药学基础 (第3版)	李 梅	53. 中药生物技术 (第2版)	刘吉华

“\*” 示该教材有与其配套的网络增值服务。

# 前言

本书是按照药学专业的培养目标及充分汲取国内外同类教材的精华，在保留和发展《无机化学》（第2版）教材优点的基础上修订完成的。

《无机化学》（第2版）于2006年入选普通高等教育“十一五”国家级规划教材。累计发行量达5万余册，在全国10余所院校无机化学教学中得到了广泛使用。

此次修订，继承了前版教材系统性好、选材适当、逻辑性强、利于教学等特点，并侧重以下几点：

## （1）适当更新内容，在教材体系、内容及形式上有所创新

更新内容与国外教材接轨。分子结构一章价层电子对互斥理论中变形四面体引入国外称的跷跷板形；用价层电子对互斥理论解释键角：甲烷 > 氨 > 水，而国内仅用杂化轨道理论解释。

## （2）发挥例题、习题在复习、巩固所学知识方面的功能

例题一题多解，开阔思路。沉淀溶解平衡一章判断沉淀生成的例题分别选用应用溶度积规则和从多重平衡角度解题两种方法。化学平衡一章增加了与非标准态有关的习题。配位化合物一章中新增还原型生成配离子的习题。

## （3）理论联系实际，渗透应用意识

教材修改了章前言，注意与药学知识相联系，增加了教材的趣味性。氧化-还原一章将药物分析、药物制剂、药物合成中用到的氧化还原反应写入章前言。沉淀溶解平衡一章灭菌注射用水中氯化物、硫酸盐与钙盐的检查写入章前言。沉淀溶解平衡一章在习题中加入羟基磷灰石内容。在分子结构一章中介绍了蛋白质的 $\alpha$ -螺旋结构的形成和DNA保持双螺旋结构都与氢键有关。配位化合物一章中介绍了重金属高效解毒剂 $\text{Na}_2[\text{Ca}(\text{EDTA})]$ 的有关知识。

## （4）精心策划，力求利于教学，便于自学

教材更有利于学生自学，对学生来说有强的可读性，对教师来说有很好的可讲授性，在篇幅允许的范围内，叙述力求循序渐进、深入显出、通俗易懂。化学平衡一章反应商统一用 $Q$ ，不再分别用气相反应 $Q_p$ 和液相反应的 $Q_c$ 表示。氧化-还原一章利用一个具体的反应推导出Nernst方程；增加溶液酸度对电极电势的影响的讨论；采用了证明题的方式讨论氧化型和还原型都形成沉淀对电极电势的影响。教材每章前有学习

目标, 简明扼要地阐述各章的基本要点、重点和难点。每章后附有本章小结, 对繁杂的教学内容进行归纳和总结, 以利于学生系统掌握和巩固所学的知识, 提高学习效率。

### (5) 在知识内容上注意与后续课程的衔接

为了和后续课程《有机化学》相衔接, 分子结构一章分子极性增加标注偶极矩方向; 分子结构一章在杂化轨道理论的论述中做了延伸: 从甲烷到甲基碳正离子及甲基碳负离子, 从  $\text{H}_2\text{O}$  到  $\text{CH}_3\text{OH}$  再到  $\text{CH}_3\text{OCH}_3$ , 从氨到甲胺; 分子结构一章在分子间作用力增加乙醇与甲醚。在元素化学部分注意与《分析化学》衔接, 我国药典未收载的离子与分析化学中的离子鉴定保持一致。

本书的修订工作由以下同志完成: 王国清 (第一、三章), 毕小平 (第四、六章), 苟宝迪 (第八章), 刘新泳 (第九章), 赵兵 (第二、五、七、十章), 郑兴 (第十一章及附录), 梅文杰 (第十二章), 王志才 (第十三章)。最后由王国清进行统一整理、补充、修改和定稿工作。

《无机化学》第3版的网络增值服务内容由北京大学药学院苟宝迪同志主编。

为方便师生, 我们同时出版了配套辅助教材《无机化学学习指导》。

因编者水平有限, 书中难免会有不妥之处, 敬请各位读者指正。

编者

2015年3月

# 目 录

## 第一章 化学热力学基础 / 1

第一节 热力学第一定律 .....	2
一、基本概念和常用术语 .....	2
二、热力学第一定律 .....	4
第二节 化学反应的热效应 .....	6
一、反应热 .....	6
二、Hess 定律 .....	10
三、生成焓 .....	11
四、燃烧焓 .....	14
第三节 化学反应的方向性 .....	15
一、自发过程 .....	15
二、熵与熵变 .....	15
三、Gibbs 自由能与自发过程 .....	19

## 第二章 化学平衡 / 29

第一节 化学反应的可逆性和化学平衡 .....	29
一、化学反应的可逆性 .....	29
二、化学平衡 .....	30
第二节 平衡常数 .....	31
一、经验平衡常数 .....	31
二、标准平衡常数和吉布斯自由能变化 .....	36
三、多重平衡及其应用 .....	39
第三节 化学平衡的移动 .....	41
一、浓度对化学平衡的影响 .....	41
二、压力对化学平衡的影响 .....	42
三、温度对化学平衡的影响 .....	44

四、选择合理生产条件的一般原则 .....	45
-----------------------	----

### 第三章 化学反应速率 / 51

第一节 反应速率的定义 .....	51
一、平均速率 .....	51
二、瞬时速率 .....	52
第二节 反应速率与反应物浓度的关系 .....	54
一、经验反应速率方程 .....	54
二、反应级数 .....	55
三、速率常数 .....	56
第三节 反应机制 .....	56
一、基元反应 .....	56
二、反应机制的探讨 .....	57
第四节 反应物浓度与时间的关系 .....	59
一、零级反应 .....	59
二、一级反应 .....	60
第五节 反应速率理论简介 .....	61
一、碰撞理论 .....	61
二、过渡状态理论 .....	63
第六节 温度对化学反应速率的影响 .....	64
一、阿仑尼乌斯经验方程 .....	65
二、阿仑尼乌斯方程应用 .....	65
第七节 催化剂对反应速率的影响 .....	67
一、催化剂和催化作用 .....	67
二、酶催化 .....	68

### 第四章 溶液 / 75

第一节 溶液的浓度 .....	76
一、浓度的表示方法 .....	76
二、浓度之间的换算关系 .....	77

第二节 稀溶液的依数性 .....	78
一、溶液的蒸气压下降 ( $\Delta p$ ) .....	78
二、溶液的沸点升高 ( $\Delta T_b$ ) .....	81
三、溶液的凝固点下降 ( $\Delta T_f$ ) .....	83
四、溶液的渗透压 ( $\Pi$ ) .....	85
第三节 电解质溶液 .....	89
一、电解质溶液的特殊性 .....	89
二、电离度和强、弱电解质 .....	91
三、强电解质溶液理论 .....	93
<b>第五章 溶液的酸碱性 / 101</b>	
第一节 酸碱理论 .....	101
一、酸碱质子理论 .....	101
二、酸碱的电子理论简介 .....	102
第二节 酸碱的分类 .....	103
一、水的质子自递平衡 .....	103
二、标准平衡常数 .....	103
三、酸碱的分类 .....	105
四、共轭酸碱对的 $K_a$ 与 $K_b$ 的关系 .....	107
五、酸碱的强度 .....	108
第三节 弱酸弱碱的质子传递平衡 .....	108
一、一元弱酸、弱碱的质子传递平衡 .....	108
二、多元弱酸、弱碱的质子传递平衡 .....	112
三、两性物质的质子传递平衡 .....	115
第四节 酸碱质子传递平衡的移动 .....	118
一、同离子效应 .....	118
二、盐效应 .....	120
第五节 缓冲溶液 .....	121
一、缓冲溶液的定义 .....	121
二、缓冲作用原理 .....	122
三、缓冲溶液 pH 的计算 .....	122
四、缓冲溶液的选择和配制 .....	125
第六节 酸碱指示剂 .....	128

## 第六章 沉淀-溶解平衡 / 135

第一节 溶度积原理 .....	135
一、溶度积 .....	135
二、溶度积与溶解度的关系 .....	137
三、溶度积规则 .....	139
第二节 难溶电解质的沉淀和溶解 .....	140
一、沉淀的生成 .....	140
二、盐效应和同离子效应 .....	142
三、沉淀的溶解 .....	144
四、酸度对沉淀反应的影响 .....	146
五、分步沉淀 .....	149
六、沉淀的转化 .....	150
第三节 沉淀反应的应用 .....	152
一、在药物生产上的应用 .....	152
二、在药物质量控制上的应用 .....	153

## 第七章 氧化-还原 / 159

第一节 基本概念和氧化-还原方程式的配平 .....	160
一、基本概念 .....	160
二、氧化-还原方程式的配平 .....	161
第二节 电极电势和电池电动势 .....	164
一、原电池 .....	165
二、电极电势 .....	167
三、氧化还原反应的方向与限度 .....	171
四、影响电极电势的因素 .....	173
五、电极电势的应用 .....	178
第三节 电势图及其应用 .....	180
一、元素电势图 .....	180
二、电势-pH图 .....	182

## 第八章 原子结构 / 190

第一节 玻尔的氢原子模型 .....	191
一、玻尔模型建立的基础 .....	191
二、玻尔的氢原子模型 .....	193
第二节 氢原子的量子力学模型 .....	195
一、微观粒子运动的基本特征 .....	195
二、核外电子运动状态的近代描述 .....	197
三、原子轨道的图形表示 .....	202
第三节 原子结构与元素周期系 .....	206
一、屏蔽效应和钻穿效应 .....	207
二、原子轨道近似能级图 .....	209
三、核外电子排布规则 .....	210
四、原子的电子组态和元素周期表 .....	213
第四节 元素基本性质的周期性 .....	215
一、原子半径 .....	216
二、原子的电离能 .....	217
三、原子的电子亲合能 .....	219
四、电负性 .....	220

## 第九章 分子结构 / 226

第一节 离子键 .....	227
一、离子键的形成与特征 .....	227
二、离子的电荷、电子结构和半径 .....	228
三、离子晶体 .....	230
第二节 共价键 .....	235
一、价键理论 (电子配对理论) .....	236
二、共价键的类型 ( $\sigma$ 键和 $\pi$ 键) .....	239
三、杂化轨道理论 .....	240
四、价层电子对互斥理论 .....	247
五、分子轨道理论 .....	251
六、键参数 .....	262

第三节 分子间作用力 .....	266
一、分子的极性与分子的极化 .....	266
二、分子间作用力 (范德华力) .....	267
三、氢键 .....	270
第四节 离子的极化 .....	275
一、离子极化的概念 .....	275
二、离子极化的主要规律 .....	275
三、离子极化对物质结构和性质的影响 .....	276
第五节 原子晶体和分子晶体 .....	278
一、原子晶体 .....	278
二、分子晶体 .....	279
<b>第十章 配位化合物 / 286</b>	
第一节 配合物的组成、命名和异构现象 .....	287
一、配合物的组成 .....	287
二、配合物的命名 .....	290
三、配合物的异构 .....	291
第二节 配合物的化学键理论 .....	293
一、价键理论 .....	293
二、晶体场理论 .....	298
第三节 配位平衡 .....	305
一、配合物的稳定常数 .....	305
二、影响配合物稳定性的因素 .....	308
三、配位平衡的移动 .....	311
第四节 螯合物 .....	317
第五节 配合物的应用 .....	319
一、在生物无机化学方面的应用 .....	319
二、在分析化学方面的应用 .....	320
三、在医药方面的应用 .....	320

第十一章  $p$  区元素 / 326

第一节 卤素 .....	326
一、卤素的通性 .....	326
二、卤素单质的性质 .....	328
三、卤化氢和卤化物 .....	332
四、卤素的含氧酸及其盐 .....	336
五、类卤化合物 .....	344
六、常见卤素离子的鉴定和常用药物 .....	347
第二节 氧族元素 .....	350
一、氧族元素的通性 .....	350
二、过氧化氢 .....	351
三、硫及其重要化合物 .....	354
四、硫的含氧化合物 .....	359
五、离子鉴定和常用药物 .....	366
第三节 氮族元素 .....	370
一、氮族元素的通性 .....	370
二、单质氮 .....	371
三、氮的氢化物 .....	372
四、氮的含氧酸及其盐 .....	377
五、磷与磷的含氧化合物 .....	381
六、砷、锑、铋的化合物 .....	386
七、离子鉴定和常用药物 .....	390
第四节 碳族和硼族元素 .....	394
一、碳族和硼族元素的通性 .....	394
二、碳及其重要化合物 .....	397
三、硅、硼的含氧化合物 .....	402
四、铝、锡、铅 .....	407
五、离子鉴定和常用药物 .....	414

第十二章  $s$  区元素 / 432

第一节 碱金属和碱土金属的通性 .....	432
第二节 单质 .....	434
一、物理性质 .....	434

二、化学性质 .....	435
<b>第三节 重要化合物 .....</b>	<b>436</b>
一、氧化物 .....	436
二、氢氧化物 .....	438
三、重要盐类 .....	440
<b>第四节 硬水及其软化 .....</b>	<b>442</b>
<b>第五节 离子鉴定和常用药物 .....</b>	<b>444</b>
一、离子鉴定 .....	444
二、常用药物 .....	445
<b>第十三章 <i>d</i> 区和 <i>ds</i> 区元素 / 448</b>	
<b>第一节 <i>d</i> 区和 <i>ds</i> 区元素的通性 .....</b>	<b>449</b>
一、 <i>d</i> 区和 <i>ds</i> 区元素的原子结构特征 .....	449
二、 <i>d</i> 区和 <i>ds</i> 区元素的基本性质变化特征 .....	449
三、 <i>d</i> 区和 <i>ds</i> 区元素的原子半径 .....	450
四、单质的物理性质 .....	451
五、单质的化学性质 .....	452
六、氧化数 .....	453
七、氧化物和氢氧化物的酸碱性 .....	453
八、水合离子的颜色 .....	454
九、过渡元素的配位性 .....	454
<b>第二节 铬与锰 .....</b>	<b>454</b>
一、铬、锰单质的性质 .....	455
二、铬的重要化合物 .....	455
三、锰的重要化合物 .....	459
四、离子鉴定和常用药物 .....	462
<b>第三节 铁、钴、镍、铂系 .....</b>	<b>463</b>
一、铁系元素的通性 .....	463
二、铁的重要化合物 .....	464
三、钴和镍的重要化合物 .....	467
四、铂系元素简介 .....	469
五、常用药物 .....	471
<b>第四节 铜和银 .....</b>	<b>471</b>