

卫生部规划教材  
全国高等医药院校教材

供药类专业用

# 无机化学

第三版

许善锦 主编

人民卫生出版社



全国高等医药院校教材

供药学类专业用

# 无机化学

第三版

主编 许善锦

编者 (以姓氏笔画为序)

许善锦 (北京医科大学)

李惠芝 (沈阳药科大学)

宋纯义 (上海医科大学)

张企兰 (浙江大学药学院)

张法浩 (北京医科大学)

曹凤歧 (中国药科大学)

窦后松 (华西医科大学)

魏红 (第二军医大学)

人民卫生出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

无机化学/许善锦主编. - 3 版. - 北京:  
人民卫生出版社, 2000

ISBN 7-117-03533-1

I. 无… II. 许… III. 无机化学-医学院校-教材  
IV. 061

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 13967 号

## 无 机 化 学 第 三 版

主 编: 许 善 锦

出版发行: 人民卫生出版社(中继线 67616688)

地 址: (100078)北京市丰台区方庄芳群园 3 区 3 号楼

网 址: [http://www. pmph. com](http://www.pmph.com)

E - mail: [pmph @ pmph. com](mailto:pmph@pmph.com)

印 刷: 北京人卫印刷厂

经 销: 新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 32 插页: 1

字 数: 665 千字

版 次: 1987 年 5 月第 1 版 2000 年 8 月第 3 版第 16 次印刷

印 数: 91 471—96 470

标准书号: ISBN 7-117-03533-1/R·3534

定 价: 30.00 元

著作权所有, 请勿擅自用本书制作各类出版物, 违者必究

(凡属质量问题请与本社发行部联系退换)

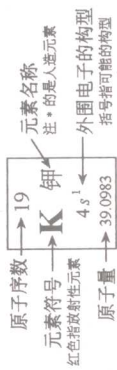


# 元素周期表

周期	I A	II A	III A	IV A	V A	VIA	VIIA	0										
1	1 H 氢 1s <sup>1</sup> 1.00794(7)							2 He 氦 1s <sup>2</sup> 4.002602(2)										
2	3 Li 锂 2s <sup>2</sup> 6.941(2)	4 Be 铍 2s <sup>2</sup> 9.012182(3)	5 B 硼 2s <sup>2</sup> 2p <sup>1</sup> 10.811(7)	6 C 碳 2s <sup>2</sup> 2p <sup>2</sup> 12.0107(8)	7 N 氮 2s <sup>2</sup> 2p <sup>3</sup> 14.00674(7)	8 O 氧 2s <sup>2</sup> 2p <sup>4</sup> 15.9994(3)	9 F 氟 2s <sup>2</sup> 2p <sup>5</sup> 18.9984032(5)	10 Ne 氖 2s <sup>2</sup> 2p <sup>6</sup> 20.1797(6)										
3	11 Na 钠 3s <sup>1</sup> 22.989770(2)	12 Mg 镁 3s <sup>2</sup> 24.3050(6)	13 Al 铝 3s <sup>2</sup> 3p <sup>1</sup> 26.981538(2)	14 Si 硅 3s <sup>2</sup> 3p <sup>2</sup> 28.0855(3)	15 P 磷 3s <sup>2</sup> 3p <sup>3</sup> 30.973761(2)	16 S 硫 3s <sup>2</sup> 3p <sup>4</sup> 32.066(6)	17 Cl 氯 3s <sup>2</sup> 3p <sup>5</sup> 35.4527(9)	18 Ar 氩 3s <sup>2</sup> 3p <sup>6</sup> 39.948(1)										
4	19 K 钾 4s <sup>1</sup> 39.0983(1)	20 Ca 钙 4s <sup>2</sup> 40.078(4)	21 Sc 钪 3d <sup>1</sup> 4s <sup>2</sup> 44.955910(8)	22 Ti 钛 3d <sup>2</sup> 4s <sup>2</sup> 47.867(1)	23 V 钒 3d <sup>3</sup> 4s <sup>2</sup> 50.9415(1)	24 Cr 铬 3d <sup>5</sup> 4s <sup>1</sup> 51.9961(6)	25 Mn 锰 3d <sup>5</sup> 4s <sup>2</sup> 54.938049(9)	26 Fe 铁 3d <sup>6</sup> 4s <sup>2</sup> 55.845(2)	27 Co 钴 3d <sup>7</sup> 4s <sup>2</sup> 58.933200(9)	28 Ni 镍 3d <sup>8</sup> 4s <sup>2</sup> 58.6934(2)	29 Cu 铜 3d <sup>10</sup> 4s <sup>1</sup> 63.546(3)	30 Zn 锌 3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 65.39(2)	31 Ga 镓 4s <sup>2</sup> 4p <sup>1</sup> 69.723(1)	32 Ge 锗 4s <sup>2</sup> 4p <sup>2</sup> 72.61(2)	33 As 砷 4s <sup>2</sup> 4p <sup>3</sup> 74.92160(2)	34 Se 硒 4s <sup>2</sup> 4p <sup>4</sup> 78.96(3)	35 Br 溴 4s <sup>2</sup> 4p <sup>5</sup> 79.904(1)	36 Kr 氪 4s <sup>2</sup> 4p <sup>6</sup> 83.80(1)
5	37 Rb 铷 5s <sup>1</sup> 85.4678(3)	38 Sr 锶 5s <sup>2</sup> 87.62(1)	39 Y 钇 4d <sup>1</sup> 5s <sup>2</sup> 88.90585(2)	40 Zr 锆 4d <sup>2</sup> 5s <sup>2</sup> 91.224(2)	41 Nb 铌 4d <sup>4</sup> 5s <sup>1</sup> 92.90638(2)	42 Mo 钼 4d <sup>5</sup> 5s <sup>1</sup> 95.94(1)	43 Tc 锝 4d <sup>5</sup> 5s <sup>2</sup>	44 Ru 钌 4d <sup>7</sup> 5s <sup>1</sup> 101.07(2)	45 Rh 铑 4d <sup>8</sup> 5s <sup>1</sup> 102.90550(2)	46 Pd 钯 4d <sup>10</sup>	47 Ag 银 4d <sup>10</sup> 5s <sup>1</sup> 107.8682(2)	48 Cd 镉 4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 112.411(8)	49 In 铟 5s <sup>2</sup> 5p <sup>1</sup> 114.818(3)	50 Sn 锡 5s <sup>2</sup> 5p <sup>2</sup> 118.710(7)	51 Sb 锑 5s <sup>2</sup> 5p <sup>3</sup> 121.760(1)	52 Te 碲 5s <sup>2</sup> 5p <sup>4</sup> 127.60(3)	53 I 碘 5s <sup>2</sup> 5p <sup>5</sup> 126.90447(3)	54 Xe 氙 5s <sup>2</sup> 5p <sup>6</sup> 131.29(2)
6	55 Cs 铯 6s <sup>1</sup> 132.90545(2)	56 Ba 钡 6s <sup>2</sup> 137.327(7)	57-71 La-Lu 镧系 铜系	72 Hf 铪 5d <sup>2</sup> 6s <sup>2</sup> 178.49(2)	73 Ta 钽 5d <sup>3</sup> 6s <sup>2</sup> 180.9479(1)	74 W 钨 5d <sup>4</sup> 6s <sup>2</sup> 183.84(1)	75 Re 铼 5d <sup>5</sup> 6s <sup>2</sup> 186.207(1)	76 Os 锇 5d <sup>6</sup> 6s <sup>2</sup> 190.23(3)	77 Ir 铱 5d <sup>7</sup> 6s <sup>2</sup> 192.2217(3)	78 Pt 铂 5d <sup>9</sup> 6s <sup>1</sup> 195.078(2)	79 Au 金 5d <sup>10</sup> 6s <sup>1</sup> 196.96655(2)	80 Hg 汞 5d <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup> 200.59(2)	81 Tl 铊 6s <sup>2</sup> 6p <sup>1</sup> 204.3833(2)	82 Pb 铅 6s <sup>2</sup> 6p <sup>2</sup> 207.2(1)	83 Bi 铋 6s <sup>2</sup> 6p <sup>3</sup> 208.98038(2)	84 Po 钋 6s <sup>2</sup> 6p <sup>4</sup>	85 At 砹 6s <sup>2</sup> 6p <sup>5</sup>	86 Rn 氡 6s <sup>2</sup> 6p <sup>6</sup>
7	87 Fr 钫 7s <sup>1</sup>	88 Ra 镭 7s <sup>2</sup>	89-103 Ac-Lr 锕系 铜系	104 Rf 钚 (6d <sup>2</sup> 7s <sup>2</sup> )	105 Db 𨭎 (6d <sup>3</sup> 7s <sup>2</sup> )	106 Sg 𨭉 (6d <sup>4</sup> 7s <sup>2</sup> )	107 Bh 𨭊 (6d <sup>5</sup> 7s <sup>2</sup> )	108 Hs 𨭋 (6d <sup>6</sup> 7s <sup>2</sup> )	109 Mt 𨭌 (6d <sup>7</sup> 7s <sup>2</sup> )	110 Uun *	111 Uuu *	112 Uub *	113 Uut *	114 Uuq *	115 Uup *	116 Uuq *	117 Uuh *	118 Uuo *

注:

- 原子量取自 1997 年国际原子量表, 以<sup>12</sup>C = 12 为基准。原子量未位数的准确度加注在其后括号内。
- 商品 Li 的原子量范围为 6.94—6.99。



57 La 镧 5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup> 138.9055(2)	58 Ce 铈 4f <sup>1</sup> 5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup> 140.116(1)	59 Pr 镨 4f <sup>3</sup> 6s <sup>2</sup> 140.90765(2)	60 Nd 钕 4f <sup>4</sup> 6s <sup>2</sup> 144.24(3)	61 Pm 钷 4f <sup>5</sup> 6s <sup>2</sup>	62 Sm 钐 4f <sup>6</sup> 6s <sup>2</sup> 150.36(3)	63 Eu 铕 4f <sup>7</sup> 6s <sup>2</sup> 151.964(1)	64 Gd 钆 4f <sup>7</sup> 5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup> 157.25(3)	65 Tb 铽 4f <sup>9</sup> 6s <sup>2</sup> 158.92534(2)	66 Dy 镝 4f <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup> 162.50(3)	67 Ho 钬 4f <sup>11</sup> 6s <sup>2</sup> 164.93032(2)	68 Er 铒 4f <sup>12</sup> 6s <sup>2</sup> 167.26(3)	69 Tm 铥 4f <sup>13</sup> 6s <sup>2</sup> 168.93421(2)	70 Yb 镱 4f <sup>14</sup> 6s <sup>2</sup> 173.04(3)	71 Lu 镥 4f <sup>14</sup> 5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup> 174.967(1)
89 Ac 锕 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>	90 Th 钍 6d <sup>2</sup> 7s <sup>2</sup> 232.0381(1)	91 Pa 镤 5f <sup>2</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup> 231.03588(2)	92 U 铀 5f <sup>3</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup> 238.02891(1)	93 Np 镎 5f <sup>4</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>	94 Pu 钚 5f <sup>6</sup> 7s <sup>2</sup>	95 Am 镅 5f <sup>7</sup> 7s <sup>2</sup>	96 Cm 锔 5f <sup>7</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>	97 Bk 锫 5f <sup>9</sup> 7s <sup>2</sup>	98 Cf 锿 5f <sup>10</sup> 7s <sup>2</sup>	99 Es 镱 5f <sup>11</sup> 7s <sup>2</sup>	100 Fm 镆 5f <sup>12</sup> 7s <sup>2</sup>	101 Md 镎 (5f <sup>13</sup> 7s <sup>2</sup> )	102 No 锘 (5f <sup>14</sup> 7s <sup>2</sup> )	103 Lr 铪 (5f <sup>14</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup> )

## 全国高等医药院校药学专业 第四轮规划教材修订说明

为适应我国高等药学教育的改革和发展,在总结前三轮药学专业教材编写经验的基础上,卫生部教材办公室于1996年9月决定进行第四轮教材修订,根据药专业培养目标,确定了第四轮教材品种和修订的指导思想,药学本科教育的培养对象是从事一般药物制剂、鉴定及临床合理用药等工作的药师,教材修订应紧紧围绕培养目标,突出各学科的基本理论、基本知识,同时又反映学科的新进展。该套教材可供药学及相关专业选用。全套教材共22种,均经卫生部聘任的全国药学专业教材评审委员会审定。教材目录如下:

- |                  |     |    |                 |     |    |
|------------------|-----|----|-----------------|-----|----|
| 1. 高等数学(第三版)     | 毛宗秀 | 主编 | 11. 药理学(第四版)    | 李端  | 主编 |
| 2. 医药数理统计方法(第三版) | 刘定远 | 主编 | 12. 药物分析(第四版)   | 刘文英 | 主编 |
| 3. 物理学(第三版)      | 王鸿儒 | 主编 | 13. 药用植物学(第三版)  | 郑汉臣 | 主编 |
| 4. 物理化学(第四版)     | 侯新朴 | 主编 | 14. 生药学(第三版)    | 郑俊华 | 主编 |
| 5. 无机化学(第三版)     | 许善锦 | 主编 | 15. 药物化学(第四版)   | 郑虎  | 主编 |
| 6. 分析化学(第四版)     | 孙毓庆 | 主编 | 16. 药剂学(第四版)    | 毕殿洲 | 主编 |
| 7. 有机化学(第四版)     | 倪沛洲 | 主编 | 17. 天然药物化学(第三版) | 姚新生 | 主编 |
| 8. 人体解剖生理学(第四版)  | 龚茜玲 | 主编 | 18. 中医学基础(第四版)  | 李向中 | 主编 |
| 9. 微生物学与免疫学(第四版) | 李明远 | 主编 | 19. 药事管理学(第二版)  | 吴蓬  | 主编 |
| 10. 生物化学(第四版)    | 吴梧桐 | 主编 | 20. 生物药剂学与药物动力学 | 梁文权 | 主编 |
|                  |     |    | 21. 分子生物学基础     | 史济平 | 主编 |
|                  |     |    | 22. 药学英语(第二版)   | 胡廷熹 | 主编 |
- 以上教材均由人民卫生出版社出版。

卫生部教材办公室

## 全国药学专业教材第二届评审委员会

主任委员:彭司勋

副主任委员:郑虎

委员(以姓氏笔画为序)

王夔 安登魁 李万亥 邹立家

郑俊华 胡昌奇 姚新生 梁文权

秘书:翁玲玲 冉兰

## 第三版前言

这次教材修订的基本原则首先是遵循专业培养目标的要求，按照药学专业培养目标及规定的学制、学时进一步审查编写内容，同时注意到与中学教材和后续课程的衔接，避免起步过高和重复过多。

为避免每章篇幅太长，小标题过多，编写时调整了章数，将原有的十一章改为十五章，例如：化学热力学、动力学、化学平衡原为一章改为三章，原子结构、分子结构、晶体原为一章改为两章。精简了四大平衡中与分析化学重复过多的内容，只给出精确计算溶液酸碱性的概念，而具体只要求近似计算。删去了元素化学总论、物质鉴定与检出两章，增加了溶液一章，增加了对化学反应、化合物性质等规律性总结、编写字数比二版教材有所减少。

进一步发扬二版教材中的一些特点：①结合现代医药科学选材，除了在绪论一章中有所反映外，在无机各论部分增加了无机药物和与药物分析有关的无机离子鉴定。②加强基本理论部分与元素各论部分之间内在联系，尽量从微观结构与宏观热力学来讨论各论中的结构、反应与性质。从实验平衡常数和热力学平衡常数阐述四大平衡常数，使前面各章中学到的理论在后续的各章中得以应用和升华。

全书编写力争做到深入浅出，启发式；要求文字流畅，定义正确，概念清楚；采用国家统一公布的法定计量单位，符号及名词术语并保持与后续课一致。

虽然我们尽量精选内容，但因各院校教学安排不完全相同，对无机化学授课学时较少的院校使用时可能还会带来一些不便，另外由于我们的水平有限，编写时间较紧，书中会有不少错漏或不妥之处，敬请各位读者提出宝贵意见。

本教材是在王夔、许善锦、周润亚、钟荔、汤启昭、窦后松教授编写的二版教材的基础上进行修改，修改前以上各位教授提出了许多宝贵意见，在此表示感谢。

许善锦

1999年2月



# 目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 无机化学的发展和研究内容	(1)
第二节 化学与药学	(3)
第三节 化学工作的基本方法——实验方法和理论方法	(5)
一、实验方法	(5)
二、理论方法	(6)
第二章 溶液	(7)
第一节 溶液的浓度	(8)
一、质量分数	(8)
二、摩尔分数	(8)
三、质量摩尔浓度	(9)
四、质量浓度	(9)
五、物质的量浓度	(10)
第二节 非电解质稀溶液的依数性	(11)
一、蒸气压下降——拉乌尔 (Raoult) 定律	(11)
二、沸点升高	(13)
三、凝固点下降	(14)
四、渗透压	(15)
第三节 电解质在水溶液中的存在状态	(19)
一、电解质和非电解质	(19)
二、强电解质溶液	(21)
习题	(24)
第三章 化学反应速率	(26)
第一节 化学反应速率和反应机理	(26)
一、化学反应速率的表示方法	(28)
二、反应机理概念	(30)
第二节 反应速率理论简介	(30)
一、碰撞理论	(30)
二、过渡态理论	(32)
三、实验活化能	(33)
第三节 影响反应速率的因素	(34)
一、浓度对反应速率的影响	(34)
二、温度对反应速率的影响	(39)
三、催化剂对反应速率的影响	(42)

习题 .....	(46)
<b>第四章 化学热力学初步</b> .....	(49)
<b>第一节 热力学第一定律</b> .....	(49)
一、基本概念 .....	(49)
二、热力学第一定律 .....	(51)
<b>第二节 化学反应的热效应</b> .....	(53)
一、等容反应热和等压反应热 .....	(53)
二、反应进度概念 .....	(58)
三、热化学方程式 .....	(59)
四、反应热的计算 .....	(59)
<b>第三节 吉布斯能和化学反应的方向</b> .....	(64)
一、自发过程 .....	(64)
二、熵和熵变 .....	(65)
三、吉布斯能 .....	(67)
习题 .....	(74)
<b>第五章 化学平衡</b> .....	(77)
<b>第一节 平衡常数</b> .....	(77)
一、化学反应的可逆性和化学平衡 .....	(77)
二、平衡常数 .....	(78)
三、标准平衡常数和吉布斯能变 .....	(82)
四、多重平衡 .....	(89)
<b>第二节 化学平衡的移动</b> .....	(90)
一、浓度对化学平衡的影响 .....	(90)
二、压力对化学平衡的影响 .....	(91)
三、温度对化学平衡的影响 .....	(93)
四、从热力学和动力学等两方面来选择合理的生产条件 .....	(94)
五、生物体系中的稳态和内稳态 .....	(95)
习题 .....	(96)
<b>第六章 酸碱平衡</b> .....	(100)
<b>第一节 酸碱理论</b> .....	(100)
一、酸碱质子理论 .....	(100)
二、路易斯酸碱概念 .....	(106)
<b>第二节 水的质子自递平衡</b> .....	(107)
<b>第三节 弱酸、弱碱电离平衡</b> .....	(109)
一、一元弱酸、弱碱的电离平衡 .....	(109)
二、多元弱酸、弱碱的电离平衡 .....	(114)
三、两性物质的电离平衡 .....	(116)
四、酸碱电离平衡的移动 .....	(119)
<b>第四节 缓冲溶液</b> .....	(123)



(100)一、缓冲溶液的组成和作用机理 .....	(123)
(100)二、缓冲溶液的计算 .....	(124)
(100)三、缓冲溶液的选择和配制 .....	(126)
(100)四、人体正常 pH 的维持与失控 .....	(128)
(101)习题 .....	(130)
<b>第七章 难溶电解质的沉淀溶解平衡</b> .....	(133)
(101)第一节 溶度积原理 .....	(133)
(101)一、溶度积 .....	(133)
(101)二、溶度积和溶解度 .....	(136)
(101)三、溶度积原理 .....	(138)
(101)第二节 难溶电解质的沉淀和溶解反应 .....	(138)
(101)一、沉淀的生成 .....	(139)
(101)二、沉淀的溶解 .....	(144)
(101)三、沉淀的转化 .....	(147)
(101)四、分步沉淀 .....	(149)
(101)五、沉淀反应中的速率问题 .....	(155)
(101)习题 .....	(156)
<b>第八章 氧化还原</b> .....	(158)
(102)第一节 氧化还原反应的实质 .....	(158)
(102)一、常用的氧化剂和还原剂 .....	(160)
(102)二、氧化还原方程式的配平 .....	(161)
(102)第二节 电池的电动势和电极电势 .....	(164)
(102)一、原电池 .....	(164)
(102)二、电极电势 .....	(169)
(102)第三节 氧化还原平衡 .....	(176)
(102)一、氧化还原反应自发性判断 .....	(176)
(102)二、氧化还原平衡常数的计算——判断氧化还原反应的限度 .....	(179)
(102)三、标准电极电势的间接计算 .....	(180)
(102)第四节 电极电势的影响因素 .....	(182)
(102)一、能斯特方程 .....	(183)
(102)二、氢离子浓度对电极电势的影响 .....	(187)
(102)三、加入沉淀剂对电极电势的影响 .....	(188)
(102)习题 .....	(191)
<b>第九章 原子结构</b> .....	(194)
(103)第一节 玻尔的氢原子模型 .....	(194)
(103)一、玻尔模型建立的基础 .....	(195)
(103)二、玻尔的氢原子模型 .....	(196)
(103)第二节 氢原子的量子力学模型 .....	(197)
(103)一、微观粒子的波粒二象性 .....	(197)

二、氢原子的量子力学模型 .....	(200)
第三节 多电子原子结构 .....	(206)
一、屏蔽效应与钻穿效应 .....	(206)
二、多电子原子核外电子排布 .....	(209)
第四节 电子层结构与元素周期表 .....	(212)
一、周期 .....	(212)
二、族 .....	(213)
三、特征电子组态 .....	(213)
第五节 元素的基本性质的周期性 .....	(213)
一、原子半径 .....	(213)
二、原子的电离能 .....	(215)
三、原子的电子亲和能 .....	(216)
四、元素的电负性 .....	(217)
习题 .....	(218)
<b>第十章 分子结构</b> .....	(220)
第一节 离子键理论 .....	(220)
一、离子键的形成与特点 .....	(220)
二、离子的电荷、电子组态和半径 .....	(221)
三、离子晶体 .....	(223)
第二节 共价键 .....	(226)
一、价键理论 .....	(227)
二、分子轨道理论 .....	(235)
第三节 键参数 .....	(248)
一、键级 .....	(248)
二、键能 .....	(248)
三、键长 .....	(249)
四、键角 .....	(250)
五、共价键的极性 .....	(250)
第四节 分子结构与物理性质 .....	(251)
一、分子光谱 .....	(251)
二、分子的磁性 .....	(252)
三、分子的极性 .....	(253)
第五节 分子间作用力 .....	(254)
一、范德华力 .....	(254)
二、氢键 .....	(256)
第六节 离子极化 .....	(259)
第七节 原子晶体和分子晶体 .....	(262)
一、原子晶体 .....	(262)
二、分子晶体 .....	(262)

习题	(263)
<b>第十一章 配位化合物</b>	(266)
<b>第一节 配位化合物的特点、组成和命名</b>	(266)
一、什么是配位化合物	(266)
二、配合物的组成	(267)
三、配合物的命名	(273)
<b>第二节 配合物的结构</b>	(274)
一、价键理论	(274)
二、晶体场理论	(279)
<b>第三节 配位平衡</b>	(291)
一、配合物的稳定常数	(291)
二、软硬酸碱理论与配合物的稳定性	(296)
三、配位平衡的移动	(301)
<b>第四节 配合物的重要性</b>	(309)
习题	(313)
<b>第十二章 大气和水</b>	(316)
<b>第一节 大气</b>	(316)
一、现代大气的组成	(316)
二、地球大气的特点	(316)
三、大气参与的化学反应	(320)
<b>第二节 稀有气体</b>	(321)
一、稀有气体的几个理化性质	(322)
二、稀有气体的生物效应	(323)
<b>第三节 氧</b>	(324)
一、氧的理化性质	(324)
二、氧的生物效应	(325)
三、氧分子结构及其与性质和生物效应的关系	(327)
四、臭氧	(328)
<b>第四节 水</b>	(328)
一、自然界中的水	(328)
二、水的基本性质	(329)
三、水的结构与性质的关系	(332)
习题	(334)
<b>第十三章 非金属元素</b>	(335)
<b>第一节 卤素</b>	(335)
一、卤素通性	(335)
二、卤素单质	(340)
三、卤化氢和氢卤酸	(344)
四、卤化物	(348)



五、卤素的含氧酸及其盐 .....	(351)
六、卤素离子的鉴定及生物学效应 .....	(355)
七、含氧酸的氧化还原性 .....	(357)
第二节 硫和硒 .....	(359)
一、氧族元素的通性 .....	(359)
二、硫及其化合物 .....	(360)
三、硒及其化合物 .....	(371)
四、离子鉴定及生物学效应 .....	(372)
五、无机酸强度变化规律 .....	(374)
第三节 氮和磷 .....	(377)
一、氮族元素的通性 .....	(377)
二、氮及其化合物 .....	(378)
三、磷及其化合物 .....	(386)
四、离子鉴定 .....	(391)
五、无机含氧酸盐的热分解 .....	(392)
第四节 碳、硅 .....	(394)
一、碳族元素的通性 .....	(394)
二、碳及其化合物 .....	(396)
三、二氧化硅和硅酸盐 .....	(403)
四、离子鉴定及生物学效应 .....	(406)
习题 .....	(407)
<b>第十四章 金属元素</b> .....	<b>(413)</b>
第一节 概述 .....	(413)
一、金属在自然界中的分布及其分类 .....	(413)
二、金属的物理性质 .....	(413)
三、金属的化学性质 .....	(414)
第二节 碱金属 .....	(414)
一、碱金属的通性 .....	(415)
二、碱金属单质 .....	(416)
三、氧化物和氢氧化物 .....	(417)
四、碱金属盐 .....	(419)
五、钠、钾离子的鉴定及生物学效应 .....	(421)
第三节 碱土金属 .....	(422)
一、碱土金属的通性 .....	(422)
二、氢氧化物 .....	(423)
三、盐类的性质 .....	(425)
四、离子鉴定及钙、镁的生物学效应 .....	(426)
五、常用药物 .....	(427)
第四节 铝和砷分族 .....	(428)
一、铝及其化合物 .....	(428)

二、砷、锑、铋的重要化合物 .....	(430)
三、离子鉴定及生物学效应 .....	(433)
四、常用药物 .....	(434)
习题 .....	(435)
<b>第十五章 过渡元素</b> .....	(438)
<b>第一节 过渡元素的通性</b> .....	(439)
一、过渡元素的原子结构特征 .....	(439)
二、过渡元素的基本性质变化特征 .....	(439)
三、过渡金属单质的物理性质 .....	(441)
四、过渡金属的化学性质 .....	(442)
五、过渡元素的生物学效应 .....	(446)
<b>第二节 铬、锰</b> .....	(447)
一、铬、锰的价电子构型和吉布斯能-氧化态图 .....	(447)
二、铬、锰单质的性质及用途 .....	(449)
三、铬的重要化合物 .....	(449)
四、锰的重要化合物 .....	(453)
五、离子鉴定及生物学效应 .....	(455)
六、常用药物 .....	(457)
<b>第三节 铁、铂</b> .....	(457)
一、铁及其化合物 .....	(458)
二、铁元素的生物学效应和离子鉴定 .....	(462)
三、铂及其化合物 .....	(463)
四、铂配合物的异构现象及铂配合物抗癌药物简介 .....	(464)
五、常用药物 .....	(466)
<b>第四节 铜、锌、汞</b> .....	(467)
一、单质的性质及用途 .....	(467)
二、铜的重要化合物 .....	(469)
三、锌的重要化合物 .....	(472)
四、汞的重要化合物 .....	(473)
五、离子鉴定及生物学效应 .....	(474)
六、常用药物 .....	(476)
习题 .....	(477)
<b>附录</b> .....	(479)
一、SI 基本单位、导出单位、常用常数 .....	(479)
二、常用酸碱的相对密度、质量分数、质量浓度和物质的量浓度 .....	(481)
三、无机酸在水中的电离常数 .....	(482)
四、一些难溶化合物的溶度积 (298K) .....	(483)
五、标准电极电势 (298K) .....	(486)
六、金属配合物的累积稳定常数 .....	(492)





# 第一章 绪 论

化学 (Chemistry) 是自然科学的一个分支。自然科学是以认识自然、改造自然为目的的科学, 它包括物理学、化学、生物学、天文学、地质学等分支。自然界是个物质世界, 而且是个不停地变动中的物质世界; 自然界所有现象都是物质变化以及与之有关的能量变化二者的表现。自然科学的各分支从不同角度研究这些变化的规律以及产生这些变化的物质基础和能量基础。

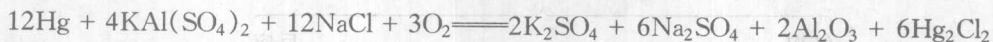
化学主要研究物质的组成、结构和性质; 研究物质在原子和分子水平的变化规律以及变化过程中的能量关系。它是人类认识自然, 改造自然的一种重要武器。

从古代开始人们就有了与化学有关的生产实践, 例如制陶、金属冶炼、火药的应用等等。当今世界化学更是与国民经济各部门, 人民的衣食住行各方面密切相关。目前国际上最关心的几个重大问题, 例如: 环境的保护、能源的开发利用、功能材料的研究、生命现象奥秘的探索都与化学紧密相关。

## 第一节 无机化学的发展和研究内容

化学工作者的早期研究对象为矿物等无机物, 因此, 无机化学是化学科学中发展最早的一个分支学科, 在无机化学形成一门独立的化学分支学科以前, 可以讲化学发展史也就是无机化学发展史。

人类自古就有金属冶炼、制陶等无机化学的实践活动, 从医药方面来说, 在中古时期我国就能制造精致的医药器具, 例如: 铜滤药器, 铜药勺, 银灌药器等。在“本草纲目”中记载的无机药物就有 266 种, 值得注意的是出现了一些较为复杂的人造无机药物, 如轻粉 ( $\text{HgCl}_2$ )、黄矾 [可能是  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ] 等。关于轻粉, 本草纲目中有如下记载: “升炼轻粉法: 用水银一两, 白矾二两, 食盐一两, 同研, 不见星。铺于器内, 以小乌盆覆之。筛灶灰, 盐水和, 封固盆口, 以炭打二柱香。取开, 则粉升于盒上面。其白如雪, 轻盈可爱。一两汞可升粉八钱”。这是个卓越的无机合成反应, 用现代的观点加以分析, 上述过程可用下列反应式表示:



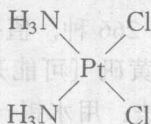
如此复杂的反应, 在当时能实现, 必是经过长期实验的结果。

在生产实践与科学研究中人们不断发现新的元素, 到 19 世纪中叶已发现了 63 种元素, 测定了几十种元素的原子量, 并积累了相当丰富的有关元素物理性质和化学性质的资料。人们在不断地思索, 地球上究竟有多少种元素? 各种元素之间是否存在着一一定的内在联系? 终于在 19 世纪后半期俄国化学家门捷列夫 (Mendeleev) 发现了元素周期律, 即元素的性质随着原子量的递增而呈周期性的变化, 按照周期律排出了第一张元素周期表; 按照周期律预言了 15 种未知元素, 这些元素后来均

被陆续发现。因此，周期律的建立奠定了现代无机化学的基础，使化学研究从此摆脱了对无数个别的零散事实作无规律的罗列，19世纪又是无机化学工业兴起的时期。大规模的制酸、制碱、漂白、火药、无机盐工业的兴起和发展，又不断向无机化学提出各种研究课题。

随着有机工业的发展，有机化学得到了蓬勃发展，相形之下，在19世纪中叶以后，无机化学处于停滞落后的状态。直到20世纪40年代以后，由于原子能工业、电子工业、宇航、激光等新兴工业和尖端科学技术的发展，对特殊性能的无机材料的需求日益增多，无机化学又重新得到很快的发展。特别是量子力学理论和先进的光学、电学、磁学等测试技术应用到无机化学研究，建立了现代的化学键理论，确定了原子、分子的微观结构，并使物质的微观结构与其宏观性质联系起来。尤其在最近时期，随着电子计算机技术的发展，人们可以利用一些实验数据来估计和预测某些生物大分子的结构及其随着生物功能的完成所产生的一系列高级结构的变化。可以说，无机化学正从描述性的科学向推理性科学过渡，从定性向定量过渡，从宏观向微观深入，一个比较完整的、理论化的、定量化的和微观化的现代无机化学新体系正在建立起来。

无机化学的研究内容极其广泛。现代无机化学是对所有元素及其化合物（碳的大部分化合物除外）的制备、组成、结构和反应的实验测试和理论阐明。在研究中，需用现代的物理技术（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、热力学、动力学等参数进行测定。测得的结果需用理论加以分析、阐明，而由测定所得的大量数据资料，又为理论提供了实验基础，促使理论的建立和发展（见下表）。例如二氯二氨合铂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。二氯二氨合铂的结构如下：



中心离子为Pt(II)，配位着两个氯离子(Cl<sup>-</sup>)和两个氨分子(NH<sub>3</sub>)，配位数为4，它进入人体后Cl<sup>-</sup>能被水分子取代称为离去基团，而NH<sub>3</sub>保持稳定结合称为保

制备—性能—组成

结构		反应		
实验测定	成键类型	产物	热力学	动力学
立体化学	键强度	表征	平衡研究	实验测试
对称性	键与价	计量	常数测定	速率研究
与成键关系	键与结构	实验条件	(K, ΔG, ΔH, ΔS)	理论阐明
理论阐明	理论阐明	理论阐明	理论阐明	机制推测
实际应用	实际应用	实际应用	实际应用	实际应用

留基团，人们设法改变离去基团或保留基团观察它的抗癌活性。总之人们研究铂配合物的组成、结构及其与抗癌活性和毒性的关系；研究铂配合物抗癌作用的机理等等，几十年来不仅合成出了低毒、高效的铂类药物，也丰富了配位化学的理论。

无机化学可被精细地划分为许多分支，例如普通元素化学、配位化学、无机合成、稀土元素化学等。就以稀土化学来说近年来发展极其迅速。稀土元素由于其特殊的电子构型，故在光、电、磁等方面有独特的性质，被誉为新材料的宝库。稀土永磁材料、稀土高温超导材料、稀土发光材料、稀土激光晶体等具有特殊性质、特殊用途的新材料不断问世。更有意思的是稀土作为微量元素肥料，可以促进植物生长发育，大大提高单位面积产量。还有一些稀土可作为药物及医疗保健产品，能治疗烧伤及脑血栓疾病，那么稀土是如何发挥生物效应？也就是它们是如何进入生物体内，如何与生物大分子发生键作用，代谢途径，长期使用对生物有无毒害，这都是目前迫切需要解决的问题。

近几十年来，由于科学技术的迅速发展，无机化学冲破了历史的局限与生物化学，有机化学等学科相互渗透，产生了不少新的边缘学科（例如：生物无机化学，金属有机化学，金属酶化学等），从而开拓了无机化学的研究领域。把无机化学的知识、理论，近代物理测试手段用于生物体系的研究就产生了生物无机化学。生物无机化学是在分子水平上研究生物体内与无机元素有关的各种相互作用。过去认为生物体是一个有机体，生命现象只与有机化学有关。近年发现自然界存在的 90 种元素中，人体内含有 60 多种，C、H、O、N 等宏量元素是构成有机体的材料，而 Fe、Cu、Zn、Se 等十余种微量元素在生物体内的众多反应中发挥开关、调节作用，它们与生物体的物质代谢、能量代谢、信息传递、生物解毒等多方面密切相关。当今微量元素与生物体的关系研究已构成现代生物科学中一个极富活力的研究领域。那么 Fe、Cu 等微量元素在生物体内如何起作用呢？它们多数是通过与生物大分子（如蛋白质、核酸等）结合生成含金属的生物活性分子，也就是金属离子与生物大分子配位结合形成金属配合物，我们就要研究这些配合物的结构-性质-活性的关系。大家知道氧气 ( $O_2$ ) 是维持生命所必需，没有  $O_2$  生命就停止，但  $O_2$  在血液中的溶解度很小，溶解的  $O_2$  不足以满足需要，人体靠血红蛋白在肺泡中结合  $O_2$  并把它运送到身体各部位。血红蛋白就是由铁离子-卟啉-珠蛋白组成的配合物。铁离子位于配合物的中心，铁离子位置的变化引起珠蛋白构相的变化，启动  $O_2$  的结合与释放。

## 第二节 化学与药学

医学科学，包括药学科学，是生物科学的一部分。它以人体为主要研究对象，探索疾病发生和发展的规律，寻找预防和治疗的途径。预防和主要依靠药物，用药物来调整因疾病而引起的种种异常变化、药学研究可分两大部分：①药物的分离（中草药）、合成与构效关系研究；②制剂，即不同的原料药需制成不同的剂型（例注射剂、片剂等等），同一原料药为发挥不同疗效有时也需制成不同剂型，化学