

21 世纪高等学校教材

无机化学教程

宋其圣 孙思修 编著

山东大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

无机化学教程/宋其圣,孙思修编著.-济南:山东
大学出版社,2001.10
ISBN 7-5607-2227-X

I. 无…
II. ①宋…②孙…
III. 无机化学-教材
IV. 061

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 064734 号

山东大学出版社出版发行
(山东省济南市山大南路 27 号 邮政编码:250100)
山东省新华书店经销
山东滨州新华印刷有限公司印刷
787×1092 毫米 1/16 30 印张 693 千字
2001 年 10 月第 1 版 2001 年 10 月第 1 次印刷
印数:1—6400 册
定价:48.00 元

版权所有,盗印必究!

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部负责调换

前 言

随着化学学科的发展,无机化学的研究对象、研究内容和研究方法都发生了变化,每年数以万计的新兴功能化合物不断被化学家合成出来,新的研究成果层出不穷,许多化学原理和化学规律也随之得到修正。因此,无机化学教材的内容和结构需要不断更新和完善。

我们结合十几年的教学经验,参考了近几年国内外出版的相关教材和科研论文,编写了这本教程。本书的编著力求体现以下几个特点:① 内容更加丰富、新颖、实用。扩展了化学原理的深度与广度,纳入了物理化学中与无机化学原理近似的内容;删除了大量与中学化学重复的简单内容;增加了新兴无机物(如新兴功能无机物、稀土元素化合物、稀有气体化合物)的合成、性能、结构与应用;增加了定性分析的部分内容。② 内容由浅入深,再由深到浅,理论和应用相互渗透交融,便于读者学习、理解和掌握。将以往无机化学教材的内容结构进行了调整。在化学平衡中突出化学热力学的应用;在配合物中突出原子结构与化学键的关系与应用;在化合物中突出物质结构与性能的关系。③ 将化学知识和社会生活联系在一起,提高读者的阅读兴趣。在化合物部分增加了一些生动幽默的化学史资料。④ 选编了一些涉及知识面较广的习题,增加了习题的广度和深度,便于读者复习思考、消化吸收。

全书由宋其圣负责编写,孙思修负责统稿。

本书是山东省教育厅重点教学研究项目内容之一,也是山东大学优秀重点课程建设计划内容之一。本书的出版得到了山东大学出版基金会、山东大学教务处的资助。

中国科学院院士、山东大学教授蒋民华先生对本书的出版给予了大力支持,并欣然作序。另外,在本书的编写、出版过程中,山东

大学教务处的徐向艺、龙世立、王宪华老师,山东大学出版社的宋云峰社长和山东大学化学与化工学院的沈静兰、印永嘉、杨景和、刘成卜、姜建壮等老师也给予了热情的关心和支持。刘旭东老师对本书做了认真细致的编辑工作。山东大学化学与化工学院的林作栋同学摘录了部分附录。在此一并表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中疏漏和错误在所难免,恳请读者批评指正。

宋其圣 孙思修

2001年9月于山东大学

目 录

第一章 绪 论

1.1 什么是化学	(1)
1.1.1 化学是一门古老的基础学科	(1)
1.1.2 化学是一门应用学科	(1)
1.1.3 化学是一门以实验为主、理论和实验相结合的学科	(1)
1.1.4 化学研究的层次	(2)
1.1.5 化学研究的对象	(2)
1.2 化学变化的特征	(2)
1.2.1 化学变化是质变	(2)
1.2.2 化学变化遵守质量守恒定律	(3)
1.2.3 化学变化总是伴随有能量变化	(3)
1.3 化学实验的重要性	(3)
1.4 化学的分支	(3)
1.5 无机化学的重要性	(4)
1.5.1 历史的简单回顾	(4)
1.5.2 无机化学的分支	(4)
1.5.3 目前无机化学的几个前沿领域	(4)
1.6 有效数字	(6)
1.6.1 有效数字的含义	(6)
1.6.2 有效数字的规定	(6)
1.7 化学常用的计量单位	(7)
1.7.1 常用国际基本单位	(7)
1.7.2 常用导出单位	(7)
1.7.3 常用国际单位制词头	(8)
1.7.4 几点注意的问题	(8)



第二章 物质的状态

2.1 气体	(9)
2.1.1 理想气体定律和理想气体	(9)
2.1.2 道尔顿气体分压定律	(11)
2.1.3 格拉罕姆气体扩散定律	(12)
2.1.4 理想气体分子运动论	(12)
2.1.5 实际气体状态方程	(14)
2.1.6 气体的液化和临界现象	(15)
2.2 液体	(15)
2.2.1 液体的蒸发	(15)
2.2.2 液体的凝固	(16)
2.3 固体	(17)
2.3.1 晶体与非晶体的区别	(18)
2.3.2 晶体的内部结构	(19)
2.3.3 晶体的熔化	(21)
2.4 水和溶液	(21)
2.4.1 水的相图	(21)
2.4.2 溶液	(22)
2.4.3 非电解质稀溶液的依数性	(23)
习题	(28)

第三章 化学热力学初步

3.1 基本概念	(31)
3.1.1 体系与环境	(31)
3.1.2 状态与状态函数	(32)
3.1.3 过程	(32)
3.1.4 热、功、内能	(32)
3.1.5 热力学第一定律	(34)
3.2 热化学	(35)
3.2.1 化学反应的热效应	(35)
3.2.2 反应热的求算	(35)
3.2.3 热化学(反应)方程式	(39)
3.3 化学反应进行的方向	(40)



3.3.1 自发过程和可逆反应.....	(40)
3.3.2 化学反应方向的判据.....	(40)
习题	(45)

第四章 化学反应速率和化学平衡

4.1 化学反应速率.....	(49)
4.1.1 化学反应速率的表示方法.....	(49)
4.1.2 影响化学反应速率的因素.....	(50)
4.1.3 化学反应速率理论简介.....	(54)
4.2 化学平衡.....	(56)
4.2.1 可逆反应和化学平衡.....	(56)
4.2.2 有关平衡常数的计算.....	(58)
4.2.3 化学平衡的移动.....	(60)
习题	(61)

第五章 电解质溶液

5.1 电解质溶液理论.....	(66)
5.1.1 阿类尼乌斯电离理论.....	(66)
5.1.2 德拜-休克尔离子互吸理论.....	(67)
5.2 酸碱电离平衡.....	(68)
5.2.1 水的电离和溶液的酸碱度.....	(68)
5.2.2 弱酸弱碱的电离平衡.....	(70)
5.2.3 缓冲溶液.....	(72)
5.2.4 盐类水解.....	(74)
5.2.5 酸碱理论的发展.....	(79)
5.3 沉淀溶解平衡.....	(81)
5.3.1 溶度积.....	(81)
5.3.2 沉淀溶解平衡的移动.....	(83)
5.3.3 沉淀的生成和溶解.....	(84)
习题	(86)

第六章 氧化还原反应

6.1 基本概念.....	(91)
---------------	------



6.1.1	氧化还原反应	(91)
6.1.2	歧化反应	(91)
6.1.3	氧化数	(91)
6.1.4	氧化还原反应方程式的配平	(92)
6.1.5	氧化还原克当量	(92)
6.2	电极电势	(93)
6.2.1	原电池和电极电势	(93)
6.2.2	电动势与自由焓变的关系	(95)
6.2.3	影响电极电势的因素	(96)
6.2.4	电极电势的应用	(99)
6.3	电解	(102)
6.3.1	电解池与电解反应	(102)
6.3.2	分解电压	(103)
6.3.3	化学电源	(103)
	习题	(107)

第七章 原子结构

7.1	经典的原子模型	(111)
7.1.1	古代的原子概念	(111)
7.1.2	近代原子学说	(111)
7.1.3	现代原子模型	(111)
7.2	氢原子光谱和玻尔氢原子模型	(113)
7.2.1	氢原子光谱	(113)
7.2.2	量子论	(113)
7.2.3	玻尔氢原子理论(模型)	(114)
7.3	微观粒子的运动特性	(115)
7.3.1	微观粒子的波粒二象性	(115)
7.3.2	海森堡测不准关系	(116)
7.4	原子的量子力学模型	(117)
7.4.1	波函数	(117)
7.4.2	电子云和几率分布	(117)
7.4.3	波函数的空间分布	(119)
7.4.4	四个量子数	(121)
7.5	原子核外电子的排布与元素周期律	(124)
7.5.1	多电子原子的能级	(124)



7.5.2 原子核外电子的排布原则	(127)
7.5.3 原子的电子层结构与元素周期系	(128)
7.5.4 元素基本性质的周期性	(129)
习题	(134)

第八章 化学键和分子结构

8.1 离子键理论	(137)
8.1.1 离子键的形成	(137)
8.1.2 离子键的特点	(137)
8.1.3 离子键的强度、晶格能	(138)
8.1.4 离子的特征及对离子键强度的影响	(138)
8.2 共价键理论	(140)
8.2.1 路易斯理论	(140)
8.2.2 价键理论	(141)
8.2.3 杂化轨道理论	(144)
8.2.4 价层电子对互斥理论	(147)
8.2.5 分子轨道理论	(150)
8.2.6 大 π 键	(155)
8.3 金属键理论	(157)
8.3.1 金属键的改性共价键理论	(157)
8.3.2 金属键的能带理论	(158)
8.4 分子间作用力和氢键	(160)
8.4.1 分子间作用力	(160)
8.4.2 氢键	(161)
8.5 离子的极化和变形性	(163)
8.5.1 离子的极化作用	(163)
8.5.2 离子的变形性	(163)
8.5.3 离子的相互极化作用及其对化合物性质的影响	(164)
8.6 晶体的基本类型和结构	(165)
8.6.1 离子晶体	(165)
8.6.2 原子晶体	(165)
8.6.3 金属晶体	(166)
8.6.4 分子晶体	(166)
习题	(166)



第九章 配位化合物

9.1 配位化合物的基本概念	(170)
9.1.1 配位化合物的定义	(170)
9.1.2 配位化合物的组成	(171)
9.1.3 配位化合物的命名	(173)
9.1.4 配位化合物的类型	(174)
9.1.5 配位化合物的异构现象	(175)
9.2 配位化合物的化学键理论	(177)
9.2.1 配位化合物的价键理论	(178)
9.2.2 配位化合物的晶体场理论	(182)
9.3 配合平衡	(190)
9.3.1 稳定常数与不稳定常数	(190)
9.3.2 配合平衡的移动	(192)
9.4 配位化合物的稳定性	(194)
9.4.1 软硬酸碱规则对配合物稳定性的解释	(195)
9.4.2 螯合效应	(195)
习题	(195)

第十章 卤族元素

10.1 卤素的通性	(200)
10.1.1 卤素的原子结构及性质	(200)
10.1.2 卤素的成键特征	(200)
10.1.3 卤素在自然界中的分布	(201)
10.2 卤素单质	(201)
10.2.1 卤素单质的物理化学性质	(201)
10.2.2 卤素单质的制备和用途	(203)
10.3 卤化氢	(204)
10.3.1 卤化氢的性质	(204)
10.3.2 卤化氢的制备	(205)
10.4 金属卤化物和卤素互化物	(206)
10.4.1 金属卤化物	(206)
10.4.2 卤素互化物	(207)



10.5 卤素的含氧化合物.....	(208)
10.5.1 卤素氧化物	(208)
10.5.2 卤素含氧酸及其盐	(208)
10.6 拟卤素.....	(210)
习题	(211)

第十一章 氧族元素

11.1 氧族元素的通性.....	(214)
11.1.1 氧族元素的原子结构及性质	(214)
11.1.2 氧族元素的成键特征	(215)
11.1.3 氧族元素在自然界中的分布	(216)
11.2 氧族元素单质.....	(216)
11.2.1 单质的性质	(216)
11.2.2 单质的制备和用途	(217)
11.3 氧的化合物.....	(218)
11.3.1 水	(218)
11.3.2 过氧化氢	(219)
11.3.3 氧化物	(221)
11.4 硫的化合物.....	(222)
11.4.1 硫化氢和金属硫化物	(222)
11.4.2 硫的含氧化合物	(224)
11.5 硒、碲及其化合物	(227)
11.5.1 硒、碲的氢化物.....	(228)
11.5.2 硒、碲的氧化物.....	(228)
11.5.3 硒、碲的含氧酸.....	(229)
习题	(229)

第十二章 氮族元素

12.1 氮族元素的通性.....	(233)
12.1.1 氮族元素的原子结构及性质	(233)
12.1.2 氮族元素的成键特征	(233)
12.1.3 氮族元素在自然界中的分布	(235)
12.2 氮及其化合物.....	(235)



12.2.1	氮气	(235)
12.2.2	氮的氢化物	(236)
12.2.3	氮的含氧化合物	(240)
12.3	磷及其化合物	(244)
12.3.1	单质磷	(244)
12.3.2	磷化氢	(245)
12.3.3	磷的含氧化合物	(245)
12.4	砷、锑、铋及其化合物	(248)
12.4.1	单质	(248)
12.4.2	氢化物	(249)
12.4.3	氧化物及其水合物	(249)
12.4.4	卤化物	(250)
12.4.5	硫化物	(250)
	习题	(251)

第十三章 碳族元素

13.1	碳族元素的通性	(255)
13.1.1	碳族元素的原子结构及性质	(255)
13.1.2	碳族元素的成键特征	(255)
13.1.3	碳族元素在自然界中的分布	(257)
13.2	碳及其化合物	(257)
13.2.1	碳的单质	(257)
13.2.2	碳的氧化物	(258)
13.2.3	碳酸及其盐	(260)
13.2.4	碳的卤化物和硫化物	(261)
13.3	硅及其化合物	(261)
13.3.1	硅的单质	(262)
13.3.2	二氧化硅	(262)
13.3.3	硅酸及其盐	(262)
13.3.4	硅的氢化物和卤化物	(264)
13.4	锗、锡、铅及其化合物	(265)
13.4.1	单质	(265)
13.4.2	化合物	(267)
	习题	(270)



第十四章 硼族元素

14.1 硼族元素的通性	(273)
14.1.1 硼族元素的原子结构及性质	(273)
14.1.2 硼族元素的成键特征	(274)
14.1.3 硼族元素在自然界中的分布	(274)
14.2 硼族元素的单质	(275)
14.2.1 硼族元素单质的制备	(275)
14.2.2 硼族元素单质的性质	(277)
14.3 硼族元素的化合物	(279)
14.3.1 硼的化合物	(279)
14.3.2 铝的化合物	(281)
14.3.3 镓、铟、铊的化合物	(282)
习题	(283)

第十五章 碱金属和碱土金属

15.1 碱金属和碱土金属元素的通性	(285)
15.1.1 碱金属和碱土金属元素的性质	(285)
15.1.2 碱金属和碱土金属在自然界中的分布	(286)
15.2 碱金属和碱土金属的单质	(287)
15.2.1 单质的冶炼	(287)
15.2.2 单质的储存	(287)
15.2.3 单质的性质	(287)
15.3 碱金属和碱土金属的化合物	(288)
15.3.1 氧化物	(288)
15.3.2 氢氧化物	(290)
15.3.3 盐类	(290)
习题	(292)

第十六章 副族元素(I)——铜副族、镉副族

16.1 铜副族	(294)
16.1.1 铜族元素的通性	(294)
16.1.2 铜族元素单质	(295)



16.1.3 铜族元素化合物	(297)
16.2 锌副族	(299)
16.2.1 锌族元素的通性	(299)
16.2.2 锌族元素单质	(300)
16.2.3 锌族元素化合物	(301)
习题	(303)

第十七章 副族元素(Ⅱ) — 过渡元素

17.1 过渡元素的通性	(308)
17.1.1 过渡元素的性质	(308)
17.1.2 过渡元素在自然界中的分布	(311)
17.2 钛副族	(313)
17.2.1 钛族元素单质	(313)
17.2.2 钛族元素化合物	(314)
17.3 钒副族	(315)
17.3.1 钒族元素单质	(315)
17.3.2 钒族元素化合物	(315)
17.4 铬副族	(316)
17.4.1 铬族元素单质	(316)
17.4.2 铬族元素化合物	(318)
17.5 锰副族	(319)
17.5.1 锰族元素单质	(319)
17.5.2 锰族元素化合物	(320)
17.6 铁系元素	(322)
17.6.1 铁系元素单质	(322)
17.6.2 铁系元素化合物	(322)
17.7 铂系元素	(330)
17.7.1 铂系元素单质	(331)
17.7.2 铂系元素化合物	(332)
习题	(334)

第十八章 无机物的某些性质变化规律

18.1 无机酸的酸性	(340)
--------------------------	-------



20.2 稀有气体	(385)
20.2.1 稀有气体的发现	(385)
20.2.2 稀有气体名称的演变	(386)
20.2.3 稀有气体的分布和分离	(387)
20.2.4 稀有气体的通性和用途	(388)
20.2.5 稀有气体的化合物	(390)
习题	(399)

第二十一章 无机物的定性分析

21.1 分析方法的分类	(401)
21.2 定性分析方法	(401)
21.2.1 干法分析与湿法分析	(401)
21.2.2 分别分析与系统分析	(402)
21.2.3 鉴定反应的灵敏度和选择性	(404)
21.2.4 空白试验和对照试验	(405)
21.3 常见阳离子和阴离子与常用试剂的反应	(405)
21.4 常见阳离子的系统分析	(409)
21.4.1 常见阳离子的分组	(409)
21.4.2 各组阳离子的分离与鉴定	(410)
21.5 常见阴离子的定性分析	(415)
21.5.1 阴离子的初步检验	(415)
21.5.2 阴离子的鉴定	(416)
习题	(419)

附 录

附录1 无机化合物的命名原则	(422)
附录2 矿物硬度(以摩氏硬度计)	(428)
附录3 某些矿物的表观特性	(429)
附录4 常见化学键的键长和键能	(433)
附录5 常见弱酸、弱碱的电离常数(298 K)	(435)
附录6 常见难溶无机化合物的溶度积(298 K)	(436)
附录7 常见配(络)离子的稳定常数(298 K)	(438)
附录8 标准电动势(298 K)	(439)
附录9 某些单质、化合物的 $\Delta_f H_m^\circ$, $\Delta_f G_m^\circ$, S_m°	(446)
附录10 某些水合物离子的 $\Delta_f H_m^\circ$, $\Delta_f G_m^\circ$, S_m°	(457)
参考文献	(460)



18.1.1 无机无氧酸强度的变化	(340)
18.1.2 无机含氧酸强度的变化	(342)
18.2 无机含氧酸的氧化性	(343)
18.2.1 无机含氧酸的氧化性标度	(343)
18.2.2 影响无机含氧酸氧化性的因素	(344)
18.3 无机盐的热分解	(345)
18.3.1 水合盐的热分解	(345)
18.3.2 无水盐的热分解	(346)
18.4 无机盐的水解	(348)
18.4.1 无机盐组成(内因)对水解强弱的影响	(348)
18.4.2 无机盐水解产物的类型	(349)
18.5 无机物的颜色	(350)
18.5.1 常见无机物的颜色	(350)
18.5.2 无机物显色的原因	(352)
习题	(354)

第十九章 镧系元素和锕系元素

19.1 镧系元素	(356)
19.1.1 镧系元素的通性	(356)
19.1.2 镧系元素的分离提取	(359)
19.1.3 镧系金属单质	(361)
19.1.4 镧系元素的化合物	(364)
19.2 锕系元素	(368)
19.2.1 锕系元素的通性	(368)
19.2.2 钍及其化合物	(369)
19.2.3 铀及其化合物	(370)
习题	(371)

第二十章 氢和稀有气体

20.1 氢	(372)
20.1.1 氢元素的性质	(372)
20.1.2 氢的单质	(375)
20.1.3 氢化物	(380)
20.1.4 氢能源	(384)

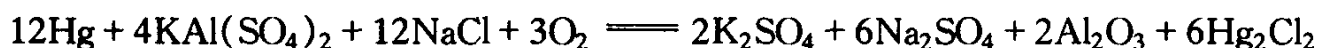
第一章 绪 论

Preface

1.1 什么是化学(What is chemistry?)

● 1.1.1 化学是一门古老的基础学科

自从有了人类就有了化学知识。例如：钻木取火——温度对化学反应速度的影响；炼剑——冶金化学的初期；炼丹术——药物化学的初期；陶器——陶瓷化学等等。早在公元前 8000 年新石器时代早期，我国已开始制造陶器。在距今五六千年的仰韶文化时期，已有图案美丽的细泥彩陶制品。1962 年在江西万年县大源仙人洞发现了有夹砂的红陶残片。而公元前 4 世纪的战国时期，我国关于青铜的制造原则“六齐”是世界上最早对合金规律的认识；1957 年，1959 年两次在甘肃武威县距今四千余年的新石器晚期遗址中发现的二十多件铜器，已经充分证明我们祖先掌握的铜的冷锻和熔铸技术比欧洲早几百年。我国西汉时期(公元前 100 多年)就已有点金术和炼丹术，用汞制轻粉(氯化亚汞)就是一个很好实例，其化学反应式为：



公元 8 世纪后，我国的点金术和炼金术才通过商人传入波斯(今土耳其)和欧洲。公元 7 世纪唐代药王孙思邈所著《伏硫磺法》中记载有类似“一硫二硝三木炭”的黑药配方：



汉朝开始就有很精致的彩陶生产，所用染料均是无机物。

很多学科都以化学为基础。目前发展较快的一些前沿学科，如生命科学、材料科学、信息科学、环境科学等，都是以化学作为基础的，与化学密不可分。

● 1.1.2 化学是一门应用学科

所有的生物(包括人)的生存都依赖于物质，而化学正是研究物质的组成、结构、性质、合成、分离方法及其应用的学科。截至到 2000 年初，物质的种类已达到 2300 多万种，其中绝大多数是由化学家合成出来的。正是利用了这些物质，人类的生活才会不断改善，社会才会不断进步。

● 1.1.3 化学是一门以实验为主、理论和实验相结合的学科

在理论化学飞速发展以前，所有的化学成果都来源于化学实验。近几年随着理论化