

高等学校函授教材

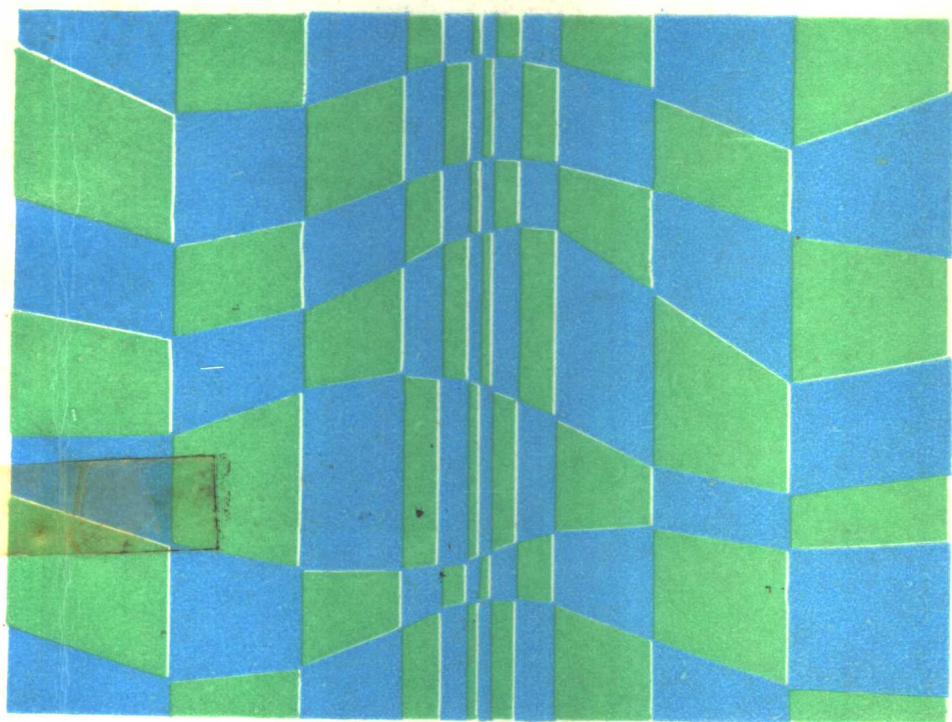
无机化学

(第二版)

下册

章梅芳 孙辰龄 编

孙辰龄 朱 仁 修订



高等教育出版社

(京)112号

内 容 提 要

本书是在章梅芳、孙辰龄编《无机化学》下册基础上参照1987年国家教委颁布的《高等工业学校无机化学课程教学基本要求》修订的。本教材基本保持第一版体系,理论部分变动不大。对部分章节的内容进行了适当的调整,注意运用基本理论和规律分析元素及其化合物的性质和反应,加强了有关材料、能源、环境保护及三废处理方面知识的介绍。

本书体现了函授教材的特点,每章后设有“本章内容小结和基本要求”,除说明本章的重点、难点外,还对基本内容进行总结和归纳。书中备有一定量的复习思考题和练习题,有利于学生对所学内容的理解和掌握。本书采用我国法定计量单位。

本书可作为高等工业学校化工类各专业函授教材,同时兼作高等教育自学用书。

高等学校函授教材

无 机 化 学

(第 二 版)

下 册

章梅芳 孙辰龄 编

孙辰龄 朱 仁 修订

高等教育出版社出版

新华书店总店科技发行所发行

河北省香河县印刷厂印装

开本 850×1168 1/32 印张 13.875 字数360 000

1993 年10月第2版 1993 年 10 月第1次印刷

印数0001— 1 175

ISBN7-04-004419-6/O·1224

定价 6.00 元

元素化学部分学习指导

本书下册主要是介绍元素化学的有关知识。这部分内容丰富，涉及的化学现象和化学反应方程式很多，如果学习不甚得法，就会感到材料琐碎，抓不住要领，难以“入门”。

为了使读者能较系统地掌握这部分的基本内容，教材按s区、p区、d区、ds区和f区的顺序编排，各区按元素周期系各族元素及其重要化合物进行介绍，使学生既具有一定的元素化学的基本知识，又能对某些较普遍的规律做到举一反三，触类旁通。

在叙述元素化学时，尽量与基本原理紧密结合，重点以物质结构的知识说明它们的性质，运用平衡原理特别是元素的电位图说明化学反应的方向和条件。这样既有利于加深对元素及其化合物性质的理解，又可对所学的基本原理起到巩固和加深的作用。

此外，在教学环节上，尽可能安排一定数量的实验，使之与教材内容紧密配合，以便帮助学生积累较多的感性材料，提高学习的主动性和积极性，培养学生独立思考和 分析 实验现象的能力。

针对这部分内容，在学习上提出以下几点意见：

一、掌握物质的性质为主

在单质及其重要化合物的存在、制备、性质和用途等方面，性质是主要的。因为性质决定物质存在的形式。如卤素、碱金属等很活泼，只能以化合物的形式在自然界中存在，而金、银等不活泼金属在自然界以游离状态存在（银也有以化合物形式存在的）。性质与制备的关系也很密切，如性质很活泼的金属或非金属的制备，一般只能以电解的方法制得，而一般不太活泼的金属可利用碳或金属热还原等方法获得。显然，物质的性质又决定用途，如石墨能导电、耐高温，可用作电极材料。

物质的性质往往是内部结构的反映，即结构决定性质。因此，对结构的分析有利于对性质的掌握。但是，有些物质的某些性质迄今尚未找到结构或理论上的说明，还有待研究。

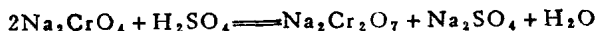
二、善于对比和总结归纳

在自学的过程中，应注意对比元素及其化合物的性质。这种对比可以是同一类主副族之间的比较，如ⅠA族与ⅠB族；也可以是同一族或同一周期不同元素之间的比较，如氧与硫、钙与锶等。这样既可掌握元素性质的共性，又能了解常见的重要元素的特性。

此外，在自学的基础上必须学会小结、归纳，将所学的知识系统化，这样，才能消化所学的知识，并培养自己阅读、综合和归纳的能力。

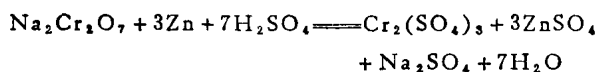
三、根据参加反应物质的性质写反应方程式

化学反应方程式是最集中、最简明表示化学变化内容的一种语言。单质与化合物的制备、性质和用途等，通常可用化学反应方程式来表示。如何根据物质的性质写出相应的反应方程式呢？首先我们应判断该反应能否发生，若能发生反应，是氧化还原反应还是非氧化还原反应？然后再判断反应的产物或应参加反应的物质。一般说来，确定氧化还原反应产物较为困难，但根据元素的氧化数及电极电位可以大致判断。例如，在铬酸钠(Na_2CrO_4)溶液中加入硫酸，反应产物是什么？我们知道， Na_2CrO_4 中氧化数为+6的铬虽然是氧化剂，但 H_2SO_4 却不能作还原剂，因此它们之间不能发生氧化还原反应，只能生成铬酸(H_2CrO_4)，而 H_2CrO_4 又易形成重铬酸，所以反应为：



即 CrO_4^{2-} 变为 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 。

若在上述溶液中加入锌粒，则锌可作为还原剂，此时就会发生氧化还原反应。铬的主要氧化数为+3和+6，所以 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 氧化金属锌后，在酸性溶液中以 Cr^{3+} 离子形式存在，其反应为：



四、要重视感性材料

尽量从实验、参观和阅读课外参考读物中积累必要的感性知识，这样既能加强记忆，又可以通过对实际现象的分析，培养分析和解决实际问题的能力。

目 录

元素化学部分学习指导	1
第十三章 氢 稀有气体	1
§ 13-1 元素的概述	1
1-1 元素的分布	1
1-2 元素的分类	4
1-3 我国的元素资源	5
§ 13-2 氢	6
2-1 单质氢	7
2-2 氢化物	10
*2-3 氢能源	11
§ 13-3 稀有气体	12
3-1 稀有气体的性质及应用	13
3-2 稀有气体的分离	16
3-3 稀有气体的化合物	17
§ 13-4 本章内容小结与基本要求	19
复习思考题	20
练习题	21
第十四章 碱金属和碱土金属	22
s区元素概述	22
§ 14-1 碱金属和碱土金属的概况	23
§ 14-2 碱金属和碱土金属单质	26
2-1 物理性质	26
2-2 化学性质	28
§ 14-3 氧化物和氢氧化物	29
3-1 物理性质	30
3-2 化学性质	31

§ 14-4 碱金属和碱土金属的盐类	33
4-1 概况	33
4-2 溶解性	34
4-3 热稳定性	35
§ 14-5 硬水的软化	36
§ 14-6 本章内容小结与基本要求	38
复习思考题	40
练习题	41
第十五章 卤族元素	43
<i>p</i> 区元素概述	43
§ 15-1 卤素的概况	44
§ 15-2 卤素单质	46
2-1 制备	46
2-2 物理性质	47
2-3 化学性质	48
§ 15-3 卤素的氢化物	53
3-1 制备	53
3-2 物理性质	54
3-3 化学性质	55
§ 15-4 卤素的含氧酸及其盐	56
4-1 概况	56
4-2 次氯酸及次氯酸盐	60
4-3 氯酸及氯酸盐	61
4-4 高氯酸及高氯酸盐	62
§ 15-5 拟卤素	63
5-1 氰、氢氰酸及其盐	63
5-2 硫氰酸及其盐	65
§ 15-6 本章内容小结与基本要求	65
复习思考题	67
练习题	67

第十六章 氧族元素	69
§ 16-1 氧族元素概况	69
1-1 原子的性质	69
1-2 成键与氧化态特征	70
§ 16-2 氧的单质与过氧化氢	71
2-1 氧和臭氧	71
2-2 过氧化氢	74
§ 16-3 硫的单质和硫化氢	76
3-1 单质硫	76
3-2 硫化氢	79
§ 16-4 硫的氧化物	81
4-1 二氧化硫	82
4-2 三氧化硫	83
§ 16-5 硫的含氧酸及其盐	84
5-1 亚硫酸及其盐	84
5-2 硫酸及其盐	86
5-3 硫代硫酸及其盐	90
5-4 连硫酸和过硫酸	91
5-5 焦硫酸及其盐	92
§ 16-6 硫化物	94
6-1 硫化物与氧化物的比较	94
6-2 金属硫化物	96
6-3 多硫化物	98
§ 16-7 本章内容小结与基本要求	99
复习思考题	100
练习题	101
第十七章 氮族元素	103
§ 17-1 氮族元素概况	103
1-1 原子的性质	103
1-2 成键与氧化态特征	104
§ 17-2 氮的单质、氮和氢的化合物	105

2-1 单质氮	105
2-2 氨	106
2-3 铵盐	108
§ 17-3 氮的氧化物和含氧酸	109
3-1 氮的氧化物	109
3-2 氮的含氧酸及其盐	113
§ 17-4 磷的单质及其重要化合物	120
4-1 单质磷	120
4-2 磷的氯化物	122
4-3 磷的氧化物	124
4-4 磷的含氧酸及其盐	125
§ 17-5 砷、锑、铋的重要化合物	130
5-1 氢化物	130
5-2 氧化物及其水合物	131
§ 17-6 本章内容小结与基本要求	134
复习思考题	136
练习题	136
第十八章 碳族元素	139
§ 18-1 碳族元素概况	139
1-1 原子的性质	140
1-2 成键与氧化态特征	140
§ 18-2 碳族元素单质	141
2-1 碳和硅的单质	141
2-2 锡和铅的单质	144
§ 18-3 碳的重要化合物	147
3-1 碳的氧化物	147
3-2 碳酸及碳酸盐	149
§ 18-4 硅的重要化合物	154
4-1 硅的氢化物	154
4-2 硅的卤化物	154
4-3 二氧化硅	156

4-4 硅酸及其盐	157
§ 18-5 锡和铅的重要化合物	164
5-1 氧化物及其水合物	164
5-2 锡和铅的卤化物	166
§ 18-6 本章内容小结与基本要求	167
复习思考题	170
练习题	170
第十九章 硼族元素	173
§ 19-1 硼族元素概况	173
1-1 原子的性质	173
1-2 成键与氧化态特征	174
§ 19-2 硼的单质及其重要化合物	176
2-1 单质硼	176
2-2 硼的重要化合物	177
§ 19-3 铝的单质及其重要化合物	182
3-1 单质铝	182
3-2 铝的重要化合物	184
§ 19-4 本章内容小结与基本要求	187
复习思考题	189
练习题	190
第二十章 s区与p区元素总结	192
§ 20-1 s区与p区元素单质	192
1-1 单质的晶体结构类型	192
1-2 单质的物理性质	193
1-3 单质的化学性质	195
§ 20-2 共价型氢化物	196
2-1 熔点和沸点	196
2-2 热稳定性	197
2-3 水溶液的酸碱性	199
2-4 还原性	199

§ 20-3 s 区与 p 区元素的氯化物	200
3-1 晶体结构类型与物理性质	200
3-2 氯化物的水解	203
§ 20-4 s 区与 p 区元素的氧化物及其水合物	204
4-1 氧化物	204
4-2 氧化物水合物的酸碱性	208
4-3 含氧酸的酸性强弱	210
§ 20-5 对角线规则	211
§ 20-6 本章内容小结与基本要求	213
复习思考题	214
练习题	215
第三阶段测验题	217
第二十一章 配位化合物	229
§ 21-1 配合物的基本知识	229
1-1 配合物的定义	229
1-2 配合物的组成	231
1-3 配合物的命名简介	235
1-4 配合物的类型	236
§ 21-2 配合物的化学键理论	238
2-1 价键理论	238
*2-2 晶体场理论	244
§ 21-3 配离子的离解平衡	252
3-1 配离子的不稳定常数和稳定常数	252
3-2 稳定常数的应用	255
§ 21-4 螯合物	262
4-1 螯合物的形成	262
4-2 螯合效应	263
4-3 配合物的形成与元素周期表的关系	265
§ 21-5 配合物的应用	267
5-1 在湿法冶金中的应用	267
5-2 在分析化学中的应用	268

5-3 在电镀工业中的应用	269
* § 21-6 软硬酸碱	270
6-1 软硬酸碱的分类	270
6-2 软硬酸碱规则	273
§ 21-7 本章内容小结与基本要求	274
复习思考题	277
练习题	277
第二十二章 d区元素(一)	282
§ 22-1 d区元素概况	283
1-1 电子层结构的特征与氧化数	283
1-2 单质的性质	285
1-3 d区元素氧化物及其水合物的酸碱性	287
1-4 形成配合物的倾向	288
1-5 水合离子的颜色	288
§ 22-2 钛分族	289
2-1 钛分族概况	290
2-2 钛的重要化合物	292
2-3 钛的制备	294
§ 22-3 钒分族	296
3-1 钒分族概况	296
3-2 钒的重要化合物	298
§ 22-4 铬分族	300
4-1 铬分族概况	301
4-2 铬的重要化合物	303
*4-3 含铬污水处理	308
*4-4 钼和钨的重要化合物	309
*4-5 同多酸和杂多酸及其盐	311
*4-6 铬与钨的冶炼	312
§ 22-5 锰分族	313
5-1 锰分族概况	314
5-2 锰的重要化合物	316

§ 22-6 本章内容小结与基本要求	320
复习思考题	322
练习题	323
第二十三章 d区元素(二)	326
§ 23-1 铁系元素概况	326
1-1 原子的性质	327
1-2 单质的性质和用途	327
§ 23-2 铁系元素的重要化合物	330
2-1 氧化物	330
2-2 氢氧化物	331
2-3 铁、钴和镍的盐	333
§ 23-3 铁系元素的重要配合物	336
3-1 氨配合物	336
3-2 氰配合物	337
3-3 硫氰配合物	338
3-4 羰基配合物	339
* § 23-4 钢铁冶炼原理	340
4-1 生铁的冶炼	340
4-2 钢的冶炼	344
* § 23-5 铂系元素概况	347
5-1 单质的性质与用途	347
5-2 铂的重要化合物	348
§ 23-6 本章内容小结与基本要求	350
复习思考题	352
练习题	352
第二十四章 ds区元素	356
§ 24-1 铜分族元素概况	356
1-1 原子的性质	357
1-2 单质的性质和用途	358
§ 24-2 铜的重要化合物	360

2-1 铜的氧化物和氢氧化物	360
2-2 铜(II)盐	361
2-3 铜(II)的配合物	362
2-4 铜(II)与铜(I)的相互转化	363
§ 24-3 银的重要化合物	364
3-1 氧化银	364
3-2 硝酸银	365
3-3 卤化银与摄影术	365
3-4 银的配合物	367
§ 24-4 锌分族元素概况	368
4-1 原子的性质	369
4-2 单质的性质和用途	370
§ 24-5 锌、镉、汞的重要化合物	372
5-1 氢氧化物和氧化物	373
5-2 硫化物	374
5-3 硫酸盐和硝酸盐	374
5-4 氯化物	375
5-5 汞(I)与汞(II)的相互转化	377
5-6 锌(II)、镉(II)、汞(II)的配合物	377
* § 24-6 含镉、含汞污水的处理	379
6-1 含镉污水的处理	379
6-2 含汞污水的处理	380
§ 24-7 IB与IA族、IIB与IIA族性质的对比	381
7-1 IB与IA族性质的对比	381
7-2 IIB与IIA族性质的对比	382
§ 24-8 本章内容小结与基本要求	383
复习思考题	386
练习题	386
第二十五章 f区元素 镧系元素、锕系元素	389
§ 25-1 镧系元素的概况	389
1-1 原子的性质	390

1-2 镧系收缩及其影响	391
1-3 离子的颜色	396
§ 25-2 稀土金属的性质和用途	397
2-1 稀土金属的性质	397
2-2 稀土金属的用途	399
§ 25-3 稀土元素的重要化合物	401
3-1 氧化物	401
3-2 氢氧化物	402
3-3 盐类	403
3-4 稀土配合物	404
3-5 铈(IV)的化合物	405
* § 25-4 镧系元素的概况	406
4-1 原子的性质	406
4-2 镧系元素的标准电极电位图	408
* § 25-5 钍和铀的重要化合物	410
5-1 钍的重要化合物	410
5-2 铀的重要化合物	411
§ 25-6 本章内容小结与基本要求	413
复习思考题	414
练习题	414
第四阶段测验题	416
第三阶段测验题答案	424
第四阶段测验题答案	425

第十三章 氢 稀有气体

内容提要 现已发现约有90种化学元素存在于地壳、海洋和大气中,对这些元素的分布和存在状况应有较清楚的了解,这是对其进行提取和开发利用的基础。本章对我国元素资源状况作了简单介绍。

氢原子具有 $1s^1$ 的最简单的电子结构,可形成氧化数为+1和-1的化合物。自然界中氢主要形成氧化数为+1的共价化合物。本章主要讨论氢的单质、氢化物的性质和用途,以及氢的主要制备方法。

稀有气体是单原子气体,性质很相似。它们都具有稳定的8电子结构,化学性质很稳定。本章重点介绍稀有气体单质的性质和用途,以及氙的氟化物。

§ 13-1 元素的概述

本节主要介绍元素的分布、分类及我国元素资源的状况。

1-1 元素的分布

人类对元素的发现、认识和利用,经历了一个漫长的历史过程。有资料证明,大约在5000年前人类就发现了铜。大约在3000年前发现了金属铁,至此人类进入了铁器时代。直到本世纪80年代人们已发现了110种元素,其中自然界存在的元素约90种,其余都是人工合成元素。这些元素构成了人类赖以生存的物质世界。

人类生存的地球是一个半径约为6370km的球体,分为地核、地幔和地壳三层,如图13-1所示。地核是以铁为主的铁、镍(可

能还有硅)高温液态合金所组成,半径约为3400km,平均密度很大,为 $9.4\sim 11.5\text{g}/\text{cm}^3$ 。地幔的厚度约为2900km,是由少数金属的硅酸盐所组成,其密度为 $3.9\sim 5.9\text{g}/\text{cm}^3$ 。地球的表面是30~40km厚的薄层,称之为地壳,其密度为 $3.3\sim 3.6\text{g}/\text{cm}^3$ 。但通常讨论地壳组成时,除包含岩石组成的固态层外,还包括海洋(或河流)及大气,分别称为岩石圈、水圈和大气圈。

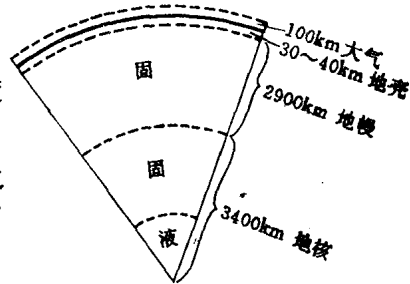


图13-1 地球的内部结构

地壳约为地球总质量的0.7%,然而却包含有90种的全部天然元素。地壳中天然元素的丰度^①很不相同,见表13-1。

表13-1 地壳中10种主要天然元素的丰度

元素	O	Si	Al	Fe	Ca	Na	K	Mg	H	Ti
原子百分比/%	52.32	16.07	5.53	1.50	1.48	1.95	1.08	1.39	16.95	0.22

由此表可见,地壳中10种主要元素的原子占地壳中原子总数的99%以上,说明在地壳中除这10种元素外其余元素的含量是很少的。

地球表面约有72%被水所覆盖,而地球上总水量的97%储于大海中,海水的平均深度为3.8km,占地球总质量的0.024%。海水含有十分丰富的元素资源,见表13-2。海水中共约有50多种元素,这些元素大多以无机盐的形式存在于海水中。粗略地估计,1km³的海水中可以提取 $2.7\times 10^{10}\text{kg NaCl}$, $3.6\times 10^9\text{kg MgCl}_2$, $1.36\times 10^9\text{kg CaSO}_4$, $5.0\times 10^4\text{kg I}_2$,300kg Ag,4kg Au,……,若将此数乘以海洋的总体积(约 $1.4\times 10^9\text{km}^3$),则这些元

① 元素在地壳中的含量称为元素丰度。一般以质量百分数或原子百分数表示。地质学中将元素丰度的原子百分数称为元素原子克拉克(Clark)值。