

★ 职工高等工业专科学校教材

# 无机化学

★ 上册

★ 曹素忱(主编) 王致勇 郑兆兰 编



高等教育出版社

职工高等工业专科学校教材

# 无机化学

上册

化工类专业

曹素忱(主编) 王致勇 郑兆兰 编

高等教育出版社

### 内 容 提 要

本书是根据职工高等工业专科学校无机化学教学大纲编写的。全书分上下两册，上册以原理部分为主，下册为叙述部分。本书原理部分比较简明，叙述部分内容较丰富，加强了元素化合物实际应用的化学知识。原理部分各章附有基本要求，叙述部分编入一些阅读材料，有利于提高学生的学习兴趣和分析问题的能力。

本书可作为职工高等工业专科学校化工类专业的无机化学教材，也可供各类成人教育有关专业参考。

责任编辑 朱 仁

职工高等工业专科学校教材

## 无 机 化 学

上 册

曹素忱(主编) 王致勇 郑兆兰编

\*

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

二二〇七工厂印装

\*

开本 850×1168 1/32 印张 9.125 插页 1 字数 220,000

1986年5月第1版 1986年5月第1次印刷

印数 00,001—5,650

书号 13010·01221 定价 1.60 元

## 编者的话

1983年11月教育部审定了职工高等工业专科学校无机化学教学大纲(草案),并下达了教材编写计划。根据大纲精神,我们编写了这套教材。

职工高等工业专科学校培养的是具有大专水平的、生产第一线的工程技术人才。学生多数来自生产第一线,具有一定的实践经验,毕业后基本上从事原专业的技术工作。所以培养的针对性较强。学生在学习期间,有的脱产,有的则系业余。针对这些特点,在编写本书时,注意了以下几点:

1. 精选教材内容 原理部分的深广度力求符合大专层次的水平。在保证必要理论基础的前提下,避免了一些较抽象的理论和较繁琐的数学推导。叙述部分,对在生产和科研中常见的元素及化合物的存在、性质、制备和生产安全、“三废”治理等内容有所加强,其它则未能求全。

2. 加强理论联系实际 实践表明,职大教学应使理论密切联系实际,以使学生在实践中不断提高生产水平、推动技术进步。为此,编者努力使基本原理、元素化合物及生产实际紧密结合,以提高学生分析问题和解决问题的能力。

3. 力求便于自学 与普通院校相比,成人教育的教材如何便于自学,显得更为重要。因此,编者对教材内容的叙述力求循序渐进,同时注意使文字生动流畅、通俗易懂。某些问题略作横向引伸,以扩大读者的知识面,增加学习兴趣。为了便于读者自学时掌握重点,本书原理部分各章均附有基本要求。叙述部分试编了一些阅读材料,启发读者综合应用化学知识解决生产实际问题。

4. 起点适当 本书内容的叙述一般与教育部1983年颁发的《高中化学纲要草案》的基本要求相衔接。但考虑到目前各地职工

大学的入学程度尚不整齐,编者适当降低了某些内容的起点。

本书中的各种物理量全部采用我国法定计量单位。引用的热力学有关数据(热力学函数、电离常数、溶度积、稳定常数及电极电位等),均作过细致的核对,初步做到彼此相互吻合。

本书可作为职工大学、职工业余大学化工类各专业的无机化学教材,也可作为各类型成人教育相应专业的教材,亦可供有关工程技术人员或技术工人自学参考。

本书由曹素忱(主编、北京市化工局职工大学)、王致勇(清华大学)、郑兆兰(哈尔滨市工人业余大学)编写。全书由王致勇统稿。

本书的主审为张瑞钰(南京化工学院)、肖远铨(鞍山市鞍钢工学院)。审阅者为杨宏孝(天津大学)、吴坤涛(天津市河西区职工大学)、刘正堃(宝鸡市宝鸡大学)、胡婵娟(上海市塑料工业公司职工大学)、王彦莉(北京市总工会职工大学)。在审稿中他们提出了许多有益的意见,为提高本书质量作出了贡献。特别应提到曹庭礼(北京工业学院),他对本书的编写自始至终给予指导和帮助,为本书写了绪言,并在全书的定稿工作中付出了辛勤的劳动。在成书中还得到北京市成人教育局、高等教育出版社及北京市化工局职工大学等单位的大力支持。在此谨向以上有关同志致以衷心的感谢。

我们对职大教材如何体现其特色,以及如何完成本课程在培养专业人才中应起的作用等方面,仅作了些初步探索。由于编者水平有限,加之时间仓促,谬误和不妥之处在所难免。诚恳希望读者提出宝贵意见。

编者

1985.7.

# 目 录

绪言	1
<b>第一章 化学变化中的质量关系及能量关系</b>	<b>6</b>
第一节 物质的计量	6
1-1 物质的量 摩尔	6
(一) 摩尔	7
(二) 摩尔质量	8
(三) 物质的量分数(摩尔分数)	9
1-2 气体的计量 气体定律	10
(一) 理想气体状态方程	11
(二) 理想气体分压定律	13
1-3 状态函数及其基本性质	15
第二节 化学反应中的质量关系	15
2-1 质量守恒定律	15
2-2 化学反应方程式	16
2-3 应用化学反应方程式的计算	17
第三节 化学反应中的能量关系	18
3-1 反应热效应 焓变	19
3-2 反应焓变的计算	20
(一) 热化学方程式	20
(二) 黑斯定律	22
(三) 反应焓变与生成焓	24
(四) 反应焓变与燃烧焓	25
本章的基本要求	27
习题	28
<b>第二章 化学反应速度、程度和方向</b>	<b>31</b>
第一节 化学反应速度	31
1-1 反应速度概念	31
1-2 反应速度理论	33

(一) 碰撞理论 .....	33
(二) 反应机理概念 .....	34
第二节 影响化学反应速度的因素 .....	35
2-1 分压或浓度对反应速度的影响 .....	36
(一) 质量作用定律 .....	36
(二) 反应速度常数 .....	37
(三) 反应级数概念 .....	37
2-2 温度对反应速度的影响 .....	38
2-3 催化剂对反应速度的影响 .....	38
2-4 影响反应速度的其它因素 .....	39
第三节 化学反应程度 化学平衡 .....	40
3-1 化学反应的可逆性 .....	40
3-2 化学平衡的建立及特征 .....	41
3-3 化学平衡常数 .....	42
(一) 平衡常数及其影响因素 .....	43
(二) 平衡常数表达式的书写规则 .....	43
(三) 平衡常数的物理意义及应用 .....	45
第四节 影响化学平衡的因素 平衡移动 .....	48
4-1 分压或浓度对化学平衡的影响 .....	48
4-2 温度对化学平衡的影响 .....	50
4-3 平衡移动原理 .....	51
4-4 化学平衡计算 .....	52
第五节 化学反应的方向和程度 .....	54
5-1 反应方向与热效应 .....	54
5-2 反应方向与混乱度改变 .....	56
5-3 化学反应的推动力 .....	57
5-4 化学反应程度的理论确定 .....	60
第六节 化学反应条件的选择 .....	62
本章的基本要求 .....	65
习题 .....	65
<b>第三章 酸和碱</b> .....	<b>70</b>
第一节 经典的酸碱理论 .....	71

第二节	质子酸的分类及通性	72
2-1	质子酸的分类	72
2-2	质子酸的通性	74
第三节	氢氧化物碱的分类及通性	75
3-1	氢氧化物碱的分类	75
3-2	氢氧化物碱的通性	75
第四节	弱酸、弱碱的电离平衡	76
4-1	电离平衡和电离常数	76
4-2	电离度和电离常数的关系	78
第五节	强酸、强碱的电离	81
5-1	阿仑尼乌斯的部分电离理论	81
5-2	德拜-休克尔的完全电离理论	82
5-3	有效浓度(活度)概念	82
5-4	缔合式与非缔合式电解质概念	83
第六节	水的电离与溶液的酸碱性	84
6-1	水的电离	84
6-2	水溶液的酸碱性	86
6-3	pH	87
6-4	酸碱指示剂	89
第七节	同离子效应和缓冲溶液	91
7-1	同离子效应	91
7-2	缓冲溶液	92
第八节	酸碱的质子理论和电子理论	96
8-1	酸碱质子理论	96
8-2	酸碱电子理论	99
	本章的基本要求	99
	习题	100
<b>第四章</b>	<b>溶液中的离子反应</b>	<b>103</b>
第一节	离子反应方程式	103
第二节	盐的水解反应	105
2-1	盐的水解	105
2-2	盐的水解计算	107



(一) 水解平衡和水解常数 .....	108
(二) 水解度 .....	113
2-3 水解平衡的影响因素及其应用 .....	114
(一) 浓度的影响 .....	114
(二) 温度的影响 .....	115
(三) 酸碱度的影响 .....	115
第三节 沉淀反应 .....	117
3-1 沉淀反应与物质的溶解性 .....	117
3-2 溶解度和溶度积 .....	119
(一) 溶解-沉淀平衡与溶度积 .....	119
(二) 溶度积与溶解度的换算 .....	119
3-3 溶度积规则及其应用 .....	121
(一) 沉淀的生成 .....	122
(二) 分步沉淀 .....	127
(三) 沉淀的溶解 .....	128
(四) 沉淀的转化 .....	131
3-4 沉淀剂的使用 .....	132
(一) 沉淀剂的选用 .....	132
(二) 沉淀剂的用量 .....	133
本章的基本要求 .....	135
习题 .....	136
<b>第五章 氧化还原反应</b> .....	<b>139</b>
第一节 氧化还原基本概念 .....	139
1-1 氧化值 .....	139
1-2 氧化还原基本概念 .....	141
1-3 常见的氧化剂和还原剂 .....	143
1-4 氧化还原反应方程式的配平 .....	145
(一) 氧化值法 .....	145
(二) 离子-电子法 .....	146
第二节 氧化还原反应与原电池 .....	146
2-1 氧化还原反应与原电池 .....	147
2-2 原电池符号 .....	149
*2-3 电动势的理论确定 .....	150

第三节	电极电位	151
3-1	电极电位的产生 双电层理论	152
3-2	电极电位的测定	152
3-3	电极电位的影响因素	154
*3-4	电极电位的理论确定	158
第四节	氧化还原反应的方向和程度	159
4-1	氧化还原反应的方向	159
4-2	氧化还原反应的程度	161
第五节	氧化还原反应的若干应用	163
5-1	产品的合成	163
5-2	杂质的分离	164
5-3	金属电化学腐蚀的防护	164
	本章的基本要求	166
	习题	167
<b>第六章</b>	<b>原子的结构与性质</b>	<b>171</b>
第一节	原子的组成	171
第二节	原子光谱与原子能级	172
2-1	氢原子光谱	173
2-2	原子能级	174
第三节	原子中的电子	177
3-1	电子的波粒二象性	178
3-2	波函数与原子轨道	178
3-3	几率密度与电子云	179
3-4	量子数与能级图	180
(一)	主量子数与能层	180
(二)	副量子数与能级	180
(三)	磁量子数与轨道	182
(四)	自旋量子数	183
第四节	多电子原子中的电子分布	188
4-1	基态原子中电子的分布	189
4-2	基态原子的建造原理	189
第五节	原子的基本性质	192

5-1 原子的结构特征	192
(一) 电子构型	192
(二) 有效核电荷数	193
(三) 原子半径	194
5-2 电离能与电子亲合能	195
(一) 电离能	195
(二) 电子亲合能	197
5-3 电负性	198
本章的基本要求	198
习题	199
<b>第七章 化学键与分子结构</b>	<b>201</b>
<b>第一节 离子键</b>	<b>201</b>
1-1 离子键的形成	201
1-2 离子键的特性	202
1-3 离子的结构特征	203
(一) 离子电荷	203
(二) 离子构型	204
(三) 离子半径	204
<b>第二节 共价键</b>	<b>206</b>
2-1 共价键的形成	206
2-2 价键理论的基本要点	207
2-3 共价键的特性	208
2-4 共价键的类型	209
(一) 极性共价键与非极性共价键	209
(二) $\sigma$ 键与 $\pi$ 键	209
(三) 单键与重键	210
2-5 键参数	211
(一) 键焓	211
(二) 键长	213
(三) 键角	214
2-6 杂化轨道理论与分子几何构型	215
(一) 理论要点	215
(二) 简单分子的几何构型	217

*2-7	价层电子对互斥理论	219
2-8	配位共价键	222
	(一) 分子内配位键	223
	(二) 分子间配位键	224
*2-9	分子轨道理论	225
	本章的基本要求	228
	习题	228
<b>第八章</b>	<b>晶体结构</b>	<b>230</b>
第一节	晶体与非晶体	230
1-1	晶体与非晶体的特性	230
1-2	晶体的类型	231
第二节	分子间力与分子晶体	233
2-1	分子极化	233
	(一) 分子的极性	234
	(二) 分子的变形性	235
2-2	分子间力	236
	(一) 非极性分子间的作用力	236
	(二) 非极性分子与极性分子间的作用力	237
	(三) 极性分子间的作用力	237
2-3	分子晶体	238
第三节	原子晶体	239
第四节	离子晶体	240
4-1	离子晶体的特性	240
4-2	AB型离子晶体的典型结构	241
	(一) 三种典型结构	242
	(二) 半径比规则	243
4-3	离子晶体的晶格焓	244
4-4	离子极化理论	246
	(一) 离子极化及其影响因素	247
	(二) 离子极化对物质结构和性质的影响	248
第五节	金属晶体	250
5-1	金属键	251
5-2	金属单质的晶体结构	251

5-3 金属的通性·····	252
第六节 小结 其它类型晶体·····	253
6-1 四类基本晶体·····	253
6-2 层状晶体·····	254
6-3 链状晶体·····	255
本章的基本要求·····	256
习题·····	256
<b>附录</b> ·····	<b>258</b>
附录一 本书采用的单位及基本物理常数·····	258
附录二 常见物质的热力学数据(298.15 K)·····	261
附录三 酸和碱的电离常数(298.15 K)·····	272
附录四 难溶电解质的溶度积(298.15 K)·····	273
附录五 标准电极电位(298.15 K)·····	275
插页 元素周期表	

## 绪 言

化学是从人类观察自然开始的。

如果说原始宇宙在零时( $10^{10}$ 年前)是由中子(或质子和电子)组成的蛋形体,那时的宇宙既没有化学元素,也没有化学变化。当然,也没有生物、人类及人类创造的文化。当这个蛋形体发生大爆炸并把它的巨量物质射向太空以后,逐渐形成了星系。此时的宇宙仅产生了氢、氦、碳等少数几种原子。在星系中少数恒星(称为超新星)再次发生爆炸(热核反应),才生成了大量其它元素的原子,铁、镁、硅、氧、硫、氮、钼、钡、钙、磷、……。太阳系便是各种原子的聚集体,它诞生于45亿年以前。

随着元素的形成,借助于辐射作用,宇宙空间开始有了化学变化,产生一些简单的自由基,如CH、OH、HCO、CCH……和星际分子,如 $\text{NH}_3$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{CO}_2$ ……等。

我们的地球由于它在太阳系中具有恰好的大小和位置,形成伊始,便聚集了约90种天然元素并保持了大量液态的水。以后的漫长岁月,只能长话短说。先是原始海洋中开始发生化学变化,逐步形成由简单到复杂的化合物,其中包括碳水化合物、氨基酸等,后来又生成了金属的活性配合物、叶绿素等,进而产生单细胞、藻类、低等植物、动物,终至诞生了人类。

由于生物的繁衍,地球出现了多姿多彩的自然现象(物理的、化学的、生物的变化),变成为一个五光十色的世界。

人类由于固有的好奇心或者为求生存,不断认识自然与利用自然,并开始积累知识。在人类长期与自然作斗争的过程中,火的发现与利用是重要的里程碑。大致在5000年前出现了初级的冶

金、制陶及酿造等技术,开始了化学的萌芽。所以化学是与人类创造的原始文化一起诞生的。

埃及、美索不达米亚、中国和印度是古代文化发达的国家。在公元前许多年,中国就使用了金属、陶器、染料等。我们的祖先很早便会冶炼铜、金、银、铅、锡、汞、铁等金属,并能制造合金,如青铜和钢。出土文物表明,殷代已铸造有精美的青铜器。公元八世纪末中国的冶金术自海上传至波斯(今伊朗),以后又传入欧洲,成为近代化学的前驱。大家知道,我国在汉代发明造纸,隋代发明火药,唐代已出现了彩釉(著名的“唐三彩”)。在理论方面,早在殷周时期已有原始的“阴阳五行”学说,战国时代又得到进一步发展。它是关于物质组成的最早学说之一。有关历史资料表明,我们的祖先对人类的早期文化,其中包括化学,作出了光辉的贡献。但是,以后长期的封建社会,阻滞了我国科学技术的发展。

近代化学开始出现于约 200 年前的欧洲。早先英国科学家波义耳(R. Boyle)提出了元素的近代概念,随后在化学实验中引入天平,使化学由定性进入定量的研究,确立了质量守恒、定比及倍比等重要定律,同时建立了原子分子理论,才使化学成为有规律、有理论的近代科学。以后,由于实验技术的提高,生产设备的改进,各种现代化的化学工业也相继产生。

本世纪以来,化学工业在各工业国家得到蓬勃发展。化学作为一种生产力对整个世界经济起着积极的推动作用。例如,德国化学家哈伯(F. Haber)在掌握了氮、氢合成氨的平衡规律后,于 1910 年与机械工程师波希(C. Bosch)合作,首次生产出四公斤液氨。至 1983 年世界合成氨的年产量已达 1.258 亿吨。合成氨工业的崛起,对世界农业和整个经济发展至今仍然具有重要的意义。

解放以后,我国化学及化工才获得较快的发展。建立了数以

千计的各类化工厂。化工原料、化学试剂及制剂的品种及数量成倍地增长。例如，五十年代我国开始生产化学纤维，1960年产量为1.1万吨(占世界总量0.33%)。1983年为54万吨(占世界总量3.5%)<sup>[1]</sup>。20多年中增长近50倍。下面是1984年我国主要化工原料及产品的产量：

原油	11453 万吨	纯碱	188 万吨
天然气	124 亿立方米	烧碱	222 万吨
生铁	3998 万吨	化肥	1482 万吨
钢	4337 万吨	农药	31 万吨
水泥	12108 万吨	塑料	116 万吨
硫酸	813 万吨		

到本世纪末，我国国民经济总产值将比1980年翻两番，化学工业将会得到更快的发展。

建国以来，我国先后建立了许多高等及中等化工院校，设置了一系列化工专业，同时还成立了许多专门研究机构。凡此种种，加速了“四化”建设人才的培养，促进了化学学科及化学工业的发展。

我国化学化工事业的进步，又进一步促进了诸如冶金、纺织、轻工、医药、食品、建材、航天、军工等其它工业的发展。可以预言，化学在满足人民衣、食、住、行的更高需求，对美化人们生活，保卫人体健康，加强国防建设等各个方面，必将继续作出重要贡献。

展望未来，世界面临的一些重大问题，粮食匮乏，能源不足，环境污染以及人口的超指数增长等，急切需要各门学科为之排忧解难，化学更是任重而道远。

化学同其它自然学科一样，随着科学的进步及生产的发展，逐

---

[1] 少于美(381.6万吨)、日(174.6万吨)、苏(135.3万吨)、西德(90.8万吨)、意大利(55.1万吨)同年产量，居世界第六位。



步形成了一些分支学科。大致说来有纯粹化学与应用化学两类。传统上又将纯粹化学分为无机化学、有机化学、分析化学和物理化学(包括结构化学)等学科。

应当特别指出,二十世纪以来,现代科学的高速进步及生产力的迅猛发展,各门学科出现了日益加深的相互渗透现象,于是产生了许多交叉学科(综合学科)。与化学有关的,如生物化学、地球化学、海洋化学、环境化学等。在技术学科中出现有半导体化学、铸造化学、夜视化学、摩擦化学等等。

还要指出,自然学科与社会学科交叉也将是历史的必然,将来还会有社会物理、社会化学等新学科。人们预计,本世纪末到下一个世纪,将会出现一个交叉学科时代。

众多交叉学科的出现,并非标新立异。它们是科学技术和社会进步的产物,是生产力发展的需要。例如,我国四化建设中的许多新问题,环境问题、生态问题、能源问题、城市建设问题等等,单靠自然科学家或社会科学家都不能很好地解决。需要掌握有关综合知识的专门人才为之运筹帷幄,才能合理地解决这些问题。

实际上说,化学工程也是综合性的。它是介于化学、工程学以及经济学、社会学交叉地带的一门学科。建设一个化工厂,除开要解决产品制造的化学工艺问题外,还要考虑原料、设备、技术安全和环境污染等问题,更要了解社会需求变化和整体经济效益等等。为了适应这种需要,化学工作者必须有宽广的知识,同时还应具备坚实的理论基础,后者包括无机、有机、分析、物化等化学学科。

无机化学是讨论碳元素以外其它元素及其化合物的化学<sup>[1]</sup>。它在原子分子水平上研究上述化学物质的组成、结构、性质和变化以及变化中的能量转换。

化工工艺各专业的教学计划中,无机化学是第一门化学基础

---

[1] 碳元素及某些简单的含碳化合物仍属无机化学研究的范畴。