



中等专业学校教材

无机化学

(四年制)

第三版

董敬芳 主编

上册

ZHONGDENGZHUANYEXUEXIAOJIAOCAI

化学工业出版社

061
148/(1)

中等专业学校教材

无机化学

(四年制)

第三版

上册

董敬芳 主编

化学工业出版社

·北京·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

无机化学/董敬芳主编. —3 版 (修订版). —北京: 化学工业出版社, 1999
中等专业学校教材·四年制
ISBN 7-5025-2326-X

I. 无… II. 董… III. 无机化学-专业学校-教材
IV. 061

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 06531 号

中等专业学校教材

无 机 化 学

(四 年 制)

第 三 版

上 册

董敬芳 主编

责任编辑: 梁 虹

责任校对: 蒋 宇

封面设计: 田彦文

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市昌平振南印刷厂印刷

三河市前程装订厂装订

开本 850 毫米×1168 毫米 1/32 印张 10 $\frac{3}{8}$ 字数 262 千字

1999 年 5 月第 3 版 2003 年 5 月北京第 4 次印刷

ISBN 7-5025-2326-X/G · 630

定价: 上、下册 28.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

第三版 前 言

本教材是根据 1996 年 8 月全国化工中等专业学校教学指导委员会编制的全日制(四年)化工普通中等专业学校教学大纲的要求改编的。

关于课程内容,改编时吸收了部分兄弟学校的意见和建议,删繁就简,削枝强干,适当地吸取了新技术、新工艺(如“离子膜电解食盐制氯碱”、“燃料电池”等),并注意了与现行初中化学的衔接,避免不必要的重复。按照大纲要求删去了“化学反应速率”中的“活化分子和活化能”、元素部分中的“碳及其氧化物和气体燃料”。对“碳化物和氰化物”作了一些调整,删去了“碳化钙”(耗电量大,已趋于淘汰);“碳化硅”(在“硅的化合物”中重复出现,故也删去);“四氯化碳”和“二硫化碳”作为有机溶剂在有关演示实验中作简略介绍;将“氰化物”和“含氰废水的处理”合编成一段“阅读材料”,排在了“配位化合物”之后。此外,对某些属非重点内容的单质或化合物的制备方法和某些反应式也作了适当地删减。

对于大纲中某些画“*”号的内容(选择内容),本书作了如下处理。

“热化学方程式” 对“热化学方程式”的了解,在讨论“温度对化学平衡的影响”中是不可少的。书中保留了热化学方程式的书写方法,删去了反应热效应的计算。

“硬水及其软化” 硬水及其软化几乎涉及到每一个生产部门,因此仍作为基本内容保留着。

“晶体的基本类型” 不同类型晶体的特征是决定物质物理性质的主要因素。因此,“晶体的基本类型”放在基本理论部分。

“化学电源、电解、电镀、金属的腐蚀与防腐” 这些内容均以原电池、电极电势为理论基础,它们都属理论联系实际的内容。而且干电池、铅蓄电池是广泛应用的化学电源;金属的腐蚀与防腐是普遍存在着的

最为人们关注的问题之一。这些也保留了下来。

“硫酸、硝酸、合成氨、纯碱的工业制法” 这部分内容关系到一些产量最大、应用非常广泛的基本化工原料的生产。它们的生产过程所涉及的主要化学反应,大都是与其生产原料、中间产物、最终产品的性质紧密相联,因此对于它们的生产过程的论述,也是理论联系实际的重要内容,学生应该了解它们的主要生产步骤及有关的反应方程式。

大纲将“过渡元素”列为一章,为便于教学,改编时,仍将其分为两章编写,即第十三章过渡元素(一)、第十四章过渡元素(二)。同时,还将过渡元素中铜、锌、铁的存在及其单质的冶炼集中起来和“过渡金属单质炼制的基本知识”一并编成“阅读材料”排在第十四章的最后。

鉴于化工工艺专业教学计划中取消了元素单质及其化合物的性质实验,本书在相关内容中适当增加了演示实验。教材还结合有关物质的性质充实了离子鉴定的内容,为学生学习分析化学奠定基础。

书中打*部分属偏深偏难或属侧重某专业所需内容,各校可根据本地区本专业的需要取舍;“阅读材料”一般为知识性内容,包括近代无机化学发展的某些新成就,如无机新型材料简介等,供自学时参考。

环境保护问题,愈来愈受到人们的重视,在改编时,对原书中的“环境保护知识”扩充了内容,分散编在了相关元素或化合物性质之后。

书中还编入了本书涉及到的世界知名科学家门捷列夫、阿累尼乌斯、侯德榜等的简历,供学生阅读,以激发学生热爱科学,刻苦钻研,勇攀科学高峰的热情。

全书统一使用国家标准公布的法定计量单位。

关于习题改编时,将原书中每节的习题抽出,经精选补充,增加了题目类型(如填空题、选择题、判断题、计算题、综合练习等),汇编成一本与本教材配套使用的练习册。练习册可以当作业本使用,同时出版本练习册的习题解答和解析,供教师参考。

书中绪论、第六、七、十二章由董敬芳改编;第三、八、十、十一章由唐志宁改编;第二、四、九章由耿绍旺改编;第一、五、十三、十四章由冯玉菊改编。全书由董敬芳统稿。改编时,受到化学工业出版社教材部的热情指导,北京市化工学校古东兴和孙凤琴同志对本书的改编提出了

很有价值的建议,航天工业总公司二院 669 厂张笑宇同志为本书搜集了有关环境保护方面的资料、核对数据、验证部分演示实验,北京化工大学施力田同志、北京化工二厂郝静宜同志也为本书提供了某些新工艺新技术资料,在此一并表示感谢。由于编者水平有限,书中不当之处,恳请读者批评指正。

编者

1998.9

再 版 前 言

本书是根据 1988 年 8 月化工部教育司基础化学编委会修订的四年制化工中专《无机化学教学大纲》(试行稿),并参考全国各化工中专学校师生使用本书(第一版)后反馈的意见和建议改编的。

在改编时,注意了与现行初中化学教学内容的衔接,编入了初中化学已删去的“电子式”、“从化合价的升降讨论氧化还原反应”、“反应物有一种剩余时的计算”等等;删去了某些偏深或尚未完善的理论,如“配合物中的化学键”、“电极电位的产生”、“电子亲合能”等;部分地打破了按元素周期表全面叙述元素各论的完整体系,突出了对常见元素的单质及其化合物的讨论,对习题、演示实验也做了相应的筛选,删去了原书的“复习思考题”,并将“补充题”改为“综合练习题”,旨在提高学生综合运用知识的能力。为了帮助学生认识环境治理的重要性,本书还增编了“环境保护知识”。

为适应不同专业、不同地区的需要,便于自学者参考,改编时将原书中某些属于非基本要求的内容,改为小字编排,供读者选读。

书中绪论、第六、七、十三章由董敬芳同志改编;第三、八、九、十一、十二章由唐志宁同志改编;第二、四、十章由赵彤同志改编;第一、五、十四、十五章由冯玉菊同志改编。全书由董敬芳同志统稿。

修改后的初稿经基础化学编委会无机化学课程组的同志们进行了深入细致的讨论,编者根据同志们的意见和建议又对全书做了认真的修改,最后由张增智副教授审阅定稿。

编者

1989.7.

前 言

本书是根据化工部教育司 1982 年制订的四年制化工中专用《无机化学教学大纲》编写的。编写时,为了使教材内容能更好地前后呼应,将大纲中第十章“氧化还原反应”改列为第八章,排在有较多氧化还原反应的氧族、氮族元素两章之前。这样理论可以得到及时应用和巩固,也便于学生掌握有关氧化还原反应的规律;“过渡元素(二)”一章中的“金属的腐蚀与防腐”与电化学反应有密切联系,因此将它编入“氧化还原反应”中。

根据近几年来的教学经验,既考虑到初中学生的实际水平,又照顾到化工类专业的需要和科学技术理论的发展,教材力争做到理论联系实际,叙述由浅入深,便于自学。

本书还在有关章节编入了与讲课内容密切结合,便于课堂演示有明显效果的实验;除每节附有习题外,每章结束后,还编有该章复习要点、复习思考题和补充题。

书中用小字排印的为阅读或参考内容,供选学或自学用。

书中绪论、第三、六、七、八、十三章由董敬芳同志编写;第一、九、十、十一、十二章和第四章原子结构部分由唐志宁同志编写;第二、五、十四、十五章和第四章元素周期律部分由冯玉菊同志编写。全书由董敬芳同志主编,郑庆魁同志主审。书中插图由韩荣英、邓俊伟同志描绘。

由于编者水平所限,书中一定存在不少缺点和错误,恳请使用学校广大师生批评指正。

编者

1985. 3.

内 容 提 要

本书是根据 1996 年全国化工中等专业学校教学指导委员会编制的全日制（四年）化工普通中等专业学校教学大纲的要求，在 1990 年出版的《无机化学》教材（第二版）的基础上改编的。

《无机化学》（第三版）全书共十四章，包括绪论、化学基本量和化学计算、碱金属和碱土金属、原子结构和元素周期系、分子结构、化学反应速率和化学平衡、电解质溶液、硼、铝、碳、硅、锡、铅、氧化还原反应和电化学基础、氮族元素、氧和硫、配位化合物、过渡元素（一）、过渡元素（二）。

本书可作中等专业学校化工工艺专业、工业分析专业的教材，亦可作为冶金、轻工、石油化工等其他中等专业学校、技工及函授、电教等专业的教科书或主要参考书。

目 录

上 册

绪论	1
第一章 化学基本量和化学计算	7
第一节 物质的量及其单位	7
一、摩尔	7
二、摩尔质量	8
三、有关物质的量的计算	9
第二节 气体摩尔体积	10
一、气体摩尔体积	10
二、关于气体摩尔体积的计算	13
第三节 根据化学方程式的计算	15
一、化学方程式	15
二、根据化学方程式的计算	16
三、热化学方程式	20
第四节 溶液的浓度	21
一、物质的量浓度	21
二、溶液浓度的换算	25
本章复习要点	27
第二章 碱金属和碱土金属	29
第一节 氧化还原反应的基本概念	29
一、氧化和还原	29
二、氧化剂和还原剂	30
第二节 碱金属	32
一、碱金属的通性	32
二、钠、钾单质的性质	33
三、钠、钾的存在与制备	35
四、钠、钾的重要化合物	36

〔阅读材料〕 钾肥	39
五、碱金属元素及其化合物性质的比较	39
六、碱金属的性质与原子结构的关系	40
第三节 碱土金属	40
一、碱土金属的通性	41
二、镁及其重要化合物	42
三、钙及其重要化合物	44
四、碱土金属元素及其化合物性质的比较	47
五、碱金属与碱土金属活泼性的比较	48
第四节 离子反应	48
一、离子反应与离子方程式	48
二、离子互换反应进行的条件	50
第五节 硬水及其软化	52
一、硬水	52
二、硬水的危害	53
三、硬水的软化	53
本章复习要点	55
第三章 卤素	59
第一节 氯气	59
一、氯气的物理性质	60
二、氯气的化学性质	60
三、氯气的制法	62
四、氯气的用途	63
第二节 氯化氢和盐酸	63
一、氯化氢	63
二、盐酸	64
三、氯化物的检验	65
第三节 氯的含氧酸及其盐	66
一、次氯酸及其盐	66
二、氯酸及其盐	67
三、高氯酸及其盐	68
第四节 溴、碘及其化合物	69
一、溴和碘的物理性质	69

二、溴和碘的化学性质	71
三、溴和碘的制法	73
[阅读材料] 从海水中提取溴	73
四、溴和碘的氢化物及其盐	74
[选读材料] Br^- 和 I^- 离子的鉴定	75
第五节 氟及其化合物	76
一、氟的性质	76
二、氟的制法和用途	77
三、氟化氢、氢氟酸及其盐	77
[阅读材料] 四氟化硅的危害与防治	78
第六节 卤素及其化合物性质比较	78
一、卤素的原子结构和相似性	78
二、卤素的分子结构和性质的差异	79
三、卤化氢性质的比较	80
本章复习要点	82
第四章 原子结构与元素周期系	85
第一节 原子的组成	85
一、原子的组成	85
二、同位素	86
第二节 核外电子的运动状态	88
一、电子云	88
二、核外电子的运动状态	89
第三节 核外电子的排布	91
一、能量最低原理	92
二、保里不相容原理	93
三、洪德规则	94
第四节 元素周期律	99
[阅读材料] 门捷列夫生平简介	101
第五节 原子的电子层结构与元素周期表	102
一、周期	102
二、族	103
三、周期表中元素的分区	104
第六节 原子的电子层结构与元素性质	106

一、原子半径	106
二、电离能	107
三、电负性	108
四、元素的金属性与非金属性	109
五、元素的化合价	112
本章复习要点	112
第五章 分子结构	115
第一节 离子键	115
一、离子键的形成	115
二、离子键的特征	116
三、离子的电荷、半径、电子层结构	117
第二节 共价键	119
一、共价键的形成	119
二、共价键的特征	121
三、共价键的类型	122
四、键能、键长、键角	124
* 第三节 杂化轨道理论	125
一、杂化和杂化轨道	126
二、 $s-p$ 型杂化	126
三、 NH_3 和 H_2O 分子的结构	129
第四节 配位键和金属键	129
一、配位键	129
二、金属键	130
第五节 分子的极性	131
一、极性分子和非极性分子	131
二、偶极矩	132
第六节 分子间的力和氢键	134
一、分子的极化	134
二、分子间的力	135
三、氢键	137
第七节 晶体的基本类型	139
一、晶体的特征	139
二、晶体的基本类型	140

本章复习要点	143
第六章 化学反应速率和化学平衡	146
第一节 化学反应速率的表示方法	146
第二节 影响化学反应速率的因素	147
一、浓度对反应速率的影响	147
二、压力对反应速率的影响	150
三、温度对反应速率的影响	150
四、催化剂对反应速率的影响	151
五、其他因素对反应速率的影响	153
第三节 化学平衡	153
一、可逆反应与化学平衡	153
二、平衡常数	154
三、有关化学平衡的计算	158
第四节 化学平衡的移动	159
一、浓度对化学平衡的影响	159
二、压力对化学平衡的影响	163
三、温度对化学平衡的影响	164
四、吕·查德里原理	165
第五节 化学反应速率及化学平衡原理的应用	166
本章复习要点	166
第七章 电解质溶液	169
第一节 电解质和非电解质	169
一、电解质和非电解质	169
二、电解质的电离	169
第二节 电离度	170
一、强电解质和弱电解质	170
二、电离度	171
三、强电解质在溶液中的状况	173
[阅读材料] 阿累尼乌斯生平简介	173
第三节 弱电解质的电离平衡	174
一、一元弱酸、弱碱的电离平衡	174
二、电离度和电离常数的关系	176
三、有关电离平衡的计算	178

四、多元弱酸的电离平衡	179
第四节 水的电离和溶液的 pH 值	181
一、水的电离	181
二、溶液的 pH 值	182
三、酸碱指示剂	184
第五节 同离子效应 缓冲溶液	185
一、同离子效应	185
二、缓冲溶液	185
第六节 盐类的水解	187
一、盐类的水解	188
二、多元弱酸盐和多元弱碱盐的水解	190
三、影响水解的因素	191
第七节 难溶电解质的沉淀与溶解平衡	193
一、难溶电解质的沉淀与溶解平衡	193
二、溶度积和溶解度的相互换算	196
三、沉淀生成和溶解的条件	197
四、沉淀的转化	200
五、有关溶解与沉淀平衡的计算	201
本章复习要点	203
附录	207
I 碱、酸和盐的溶解性表(293K)	207
II 强酸、强碱、氨溶液的质量分数与密度($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)、物质的量浓度 ($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)的关系	208
III 国际单位制(SI)及单位换算	209

下 册

第八章 硼、铝和碳、硅、锡、铅	213
第九章 氧化还原反应和电化学基础	245
第十章 氮族元素	282
第十一章 氧和硫	308
第十二章 配位化合物	331
第十三章 过渡元素(一)	351
第十四章 过渡元素(二)	372
附录	406
参考文献	413

绪 论

一、无机化学的研究对象

世界是物质构成的。物质永远处于不断运动、变化、发展的状态。化学变化就是物质运动形式之一——物质的化学运动。研究化学的目的，在于认识物质的性质以及物质化学运动的规律，并将这些规律应用于生产。物质的性质决定于物质的组成和结构，为了从本质上掌握化学变化的规律，化学必须首先研究物质的组成、结构、性质及其相互关系。此外，化学变化中还常发生放热、吸热、光、电等现象。总之，化学是研究物质的组成、结构、性质变化规律以及伴随变化发生的现象的科学。

自然界，物质的种类繁多，但它们基本是到目前为止已发现 112 种元素中的一种或几种所构成。其中碳元素形成的化合物较为复杂，数量也远远超过由其他元素构成的化合物的总和，更不同的是这些复杂的碳化合物是构成生物有机体的主要成分。因此，化学又初步划分为有机化学和无机化学。有机化学是专门研究碳的化合物的化学。无机化学则是研究除碳元素以外的所有元素及其化合物的化学。碳酸盐、一氧化碳、二氧化碳、氰化物、碳化物、硫氰化物等碳元素的简单化合物一般也划入无机化学范围之内。所以无机化学研究的范围很广，内容十分丰富。作为一门基础课，无机化学主要介绍一些基本理论、重要规律和一些典型的、有实用性的无机物的性质、存在、制备及用途。

二、无机化学的发展与前景

化学的产生与发展是与人类最基本的生产活动紧密联系在一起的。从最初的制陶、金属冶炼、纸和火药的发明、瓷器和玻璃的制造、染色工艺的出现等，都是从生产实践中发展起来的古代实用化学，它所涉及的原料及成品几乎都是无机物，它的出现和发展就是对无机化学的研究，所以最初的化学是无机化学。化学的发展也是从无机物的

研究开始的。

17 世纪欧洲发生产业革命，大大地解放了生产力，使社会生产达到了前所未有的高度。由于冶金、化工生产的发展，人们积累了大量关于物质转化的新知识，加快了对物质世界认识的飞跃。

英国化学家和物理学家波以耳 (R. Boyle, 1627~1691)，首先对化学元素提出了科学的概念，为使化学特别是无机化学发展成为真正的科学做出了重大贡献。

燃烧反应是当时化学家们集中研究的课题。“燃素说”论者认为，一切能燃烧的物质中均含有一种特殊的物质——“燃素”。在人们对燃烧现象和呼吸作用的深入研究中，发现了二氧化碳、氢气、氯气、氮气和氧气。然而，谁也没有找到“燃素”。拉瓦锡 (A. L. Lavoisier 1743~1794) 燃烧的氧化学说的建立，彻底推翻了“燃素说”，使化学的发展走上了正确的道路。这一时期还发现了磷、钨、钼、铬、铂及碲等元素。

1803 年英国化学家道尔顿 (J. Dalton, 1766~1844) 根据当时已发现的化学定律，提出了原子假说，同时引入了原子量概念。原子论指出了化学现象的本质是原子的化合与化分。这一理论的建立成为化学特别是无机化学发展的奠基石。

1811 年意大利物理学家阿佛伽德罗 (Avogadro, 1776~1856) 总结了当时对气体化学反应的研究成果，在化学中引入了分子的概念，提出了著名的阿佛伽德罗假说。1860 年原子分子假说发展为原子分子论，并成为近代化学的理论基础。

从 18 世纪中叶到 19 世纪中叶的一百多年中，随着生产和科学实验的发展，新的元素不断被发现。由于电池的试制成功，电解方法的广泛采用，钾、钠、钙、锶、钡等 20 种元素都是在这个时期发现的。到 1869 年已有 63 种元素及其化合物的物理、化学性质的研究资料为人们所掌握。但是这些资料零散、缺乏系统。俄国化学家门捷列夫 (Д. И. Менделеев, 1834~1907) 抓住原子量这个元素的基本特性，研究它和元素性质之间的关系，终于在 1869 年发现了元素周期律，排出了元素周期表。周期律为寻找和预见新元素提供了理论上的向导，它是近代化学史上重要的里程碑，也是无机化学形成一个化学分支的标