

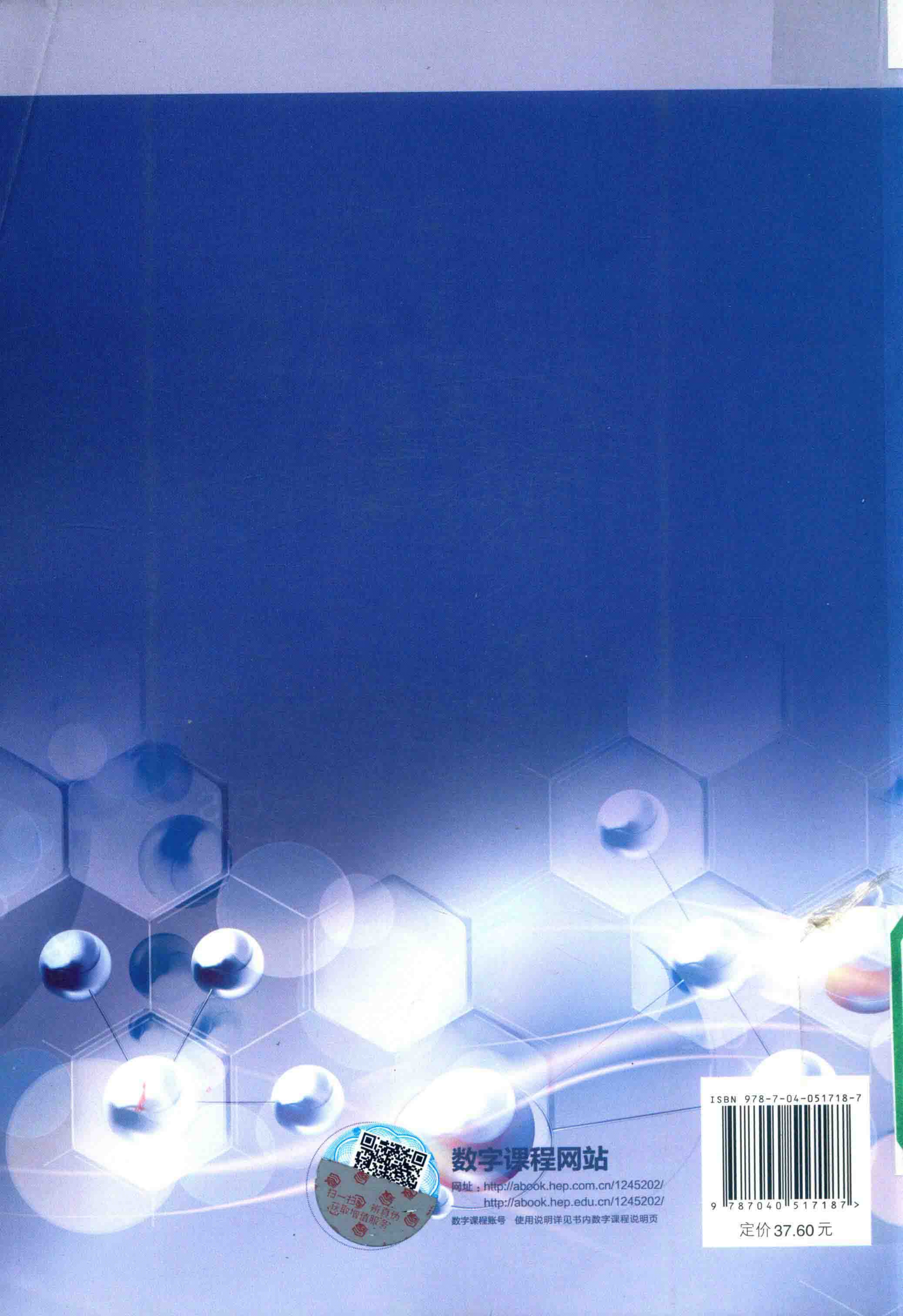
高等学校教材

大学化学

(第二版)

展树中 刘静 杨少容 主编

高等教育出版社



数字课程网站

网址：<http://abook.hep.com.cn/1245202/>
<http://abook.hep.edu.cn/1245202/>

数字课程账号 使用说明详见书内数字课程说明页

ISBN 978-7-04-051718-7



9 787040 517187 >

定价 37.60 元

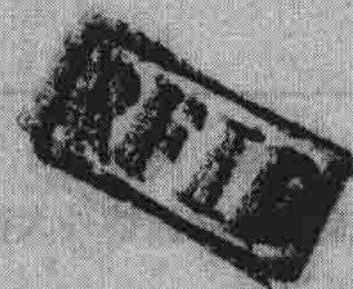
高等学校教材



大学化学

(第二版)

展树中 刘 静 杨少容 主编



高等教育出版社·北京



内容提要

本书是华南理工大学无机化学教研室编写的“大学化学”课程教材,适合48学时教学使用。全书分为绪论,物质结构基础,化学反应热力学基础与化学平衡,溶液中的化学平衡,氧化还原反应与电化学基础,单质、无机化合物及材料,有机化合物,氢和氢能源、金属有机化学简介,共八章。书后附有常用的物理化学数据表。

与本书配套的数字化教学资源同时发布,使用方法详见说明页。

本书可作为高等学校非化学化工类专业(机械、能源、材料、环境、冶金等)的化学基础课教材,也可供其他有关专业师生及自学者参考。

图书在版编目(CIP)数据

大学化学 / 展树中, 刘静, 杨少容主编. -- 2版
. -- 北京: 高等教育出版社, 2019.8
ISBN 978-7-04-051718-7

I. ①大… II. ①展… ②刘… ③杨… III. ①化学-
高等学校-教材 IV. ①O6

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第067052号

大学化学

DAXUE HUAXUE

策划编辑 沈晚晴
插图绘制 于博

责任编辑 沈晚晴
责任校对 刁丽丽

封面设计 李小璐
责任印制 田甜

版式设计 马敬茹

出版发行 高等教育出版社
社址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
印刷 三河市华润印刷有限公司
开本 787mm×1092mm 1/16
印张 18.75
字数 460千字
插页 1
购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.hepmall.com.cn>
<http://www.hepmall.com>
<http://www.hepmall.cn>
版 次 2013年6月第1版
2019年8月第2版
印 次 2019年8月第1次印刷
定 价 37.60元

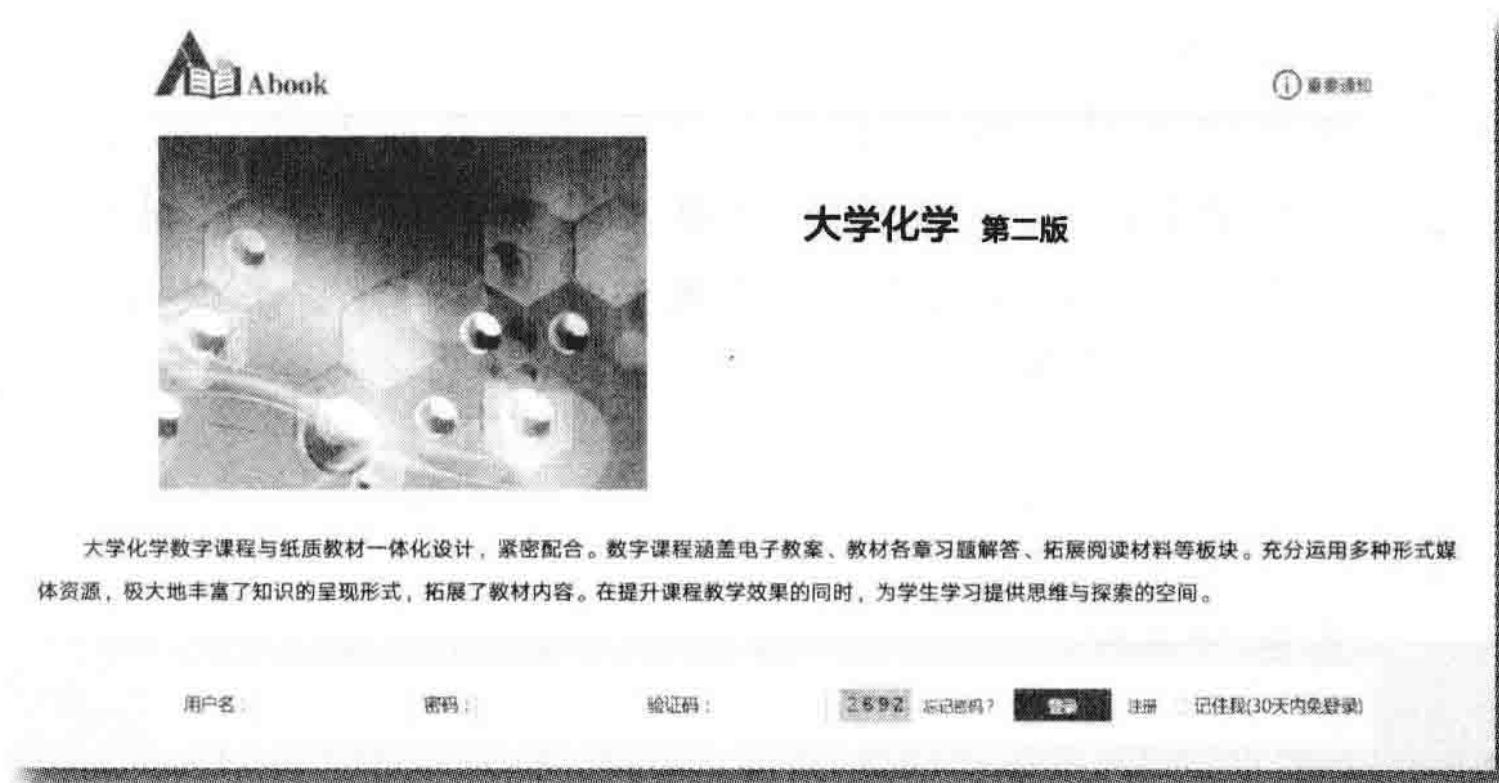
本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物料号 51718-00

大学化学

第二版

展树中
刘 静 主编
杨少容

- 1 计算机访问<http://abook.hep.com.cn/1245202>, 或手机扫描二维码、下载并安装 Abook 应用。
- 2 注册并登录, 进入“我的课程”。
- 3 输入封底数字课程账号(20位密码, 刮开涂层可见), 或通过 Abook 应用扫描封底数字课程账号二维码, 完成课程绑定。
- 4 单击“进入课程”按钮, 开始本数字课程的学习。



课程绑定后一年为数字课程使用有效期。受硬件限制, 部分内容无法在手机端显示, 请按提示通过计算机访问学习。

如有使用问题, 请发邮件至 abook@hep.com.cn。



<http://abook.hep.com.cn/1245202>

第二版前言

《大学化学》教材自 2013 年出版以来,收到了一些反馈意见。综合读者的建议,我们对教材做如下调整:

1. 为了使读者更好地理解 and 掌握物质结构的教学内容,对“物质结构基础”一章进行重新编写。

2. 为满足读者进一步丰富知识的需求,新增“金属有机化学简介”一章。

3. 为方便任课教师备课和学生自学,我们提供所有章节的电子教案等数字资源。

本书由展树中、刘静和杨少容主编。具体内容的选定由刘静负责,内容修改和定稿由展树中完成。参加编写的人员有:展树中(绪论,第 5、第 7、第 8 章和第 1 章部分)、傅志勇(第 1 章部分)、杨少容(第 2 章)、刘静(第 3 章)、邓远富(第 4 章)、任颜卫(第 6 章)。全部电子教案由杨少容和展树中制作。

编者于华南理工大学

2018 年 12 月

第一版前言

时代在前进,科学在迅猛发展。如何更好地反映化学学科发展的新成就,使化学的教学更能适应新时期人才培养的需要,是高等学校的使命和目标。随着高等学校教学改革的进一步深入,大学化学课程的学时数不断被压缩,对老师的教和学生的学带来很大的冲击,大学化学教学面临的问题尤为严重。大学化学是一些非化学化工专业(机械、能源、材料、环境、冶金等)学生入校后的第一门化学基础课,大学化学教材的编写质量直接影响到学生的学习积极性和学习效率。同时大学化学课的教学还起到承前启后的作用,承担着启发学生从中学到大学学习方法和思维方式的过渡。一本好的大学化学教材是学生学好大学化学课程的重要保证。

为了适应新时代发展的需要,满足教学改革的要求,全面培养和提升学生的综合素质和创新能力,为社会培养有用人才,华南理工大学无机化学教研室决定,编写一套满足48学时左右教学需求的《大学化学》新教材。

本书参编人员都来自大学化学教学第一线,多年来一直承担大学化学的教学工作,同时又都工作在科研第一线,使新编《大学化学》既注重经典化学理论的教学,又能使基础化学知识与现代科研成果紧密地结合起来。本书在汲取国内外同类教材优点的同时还具有以下特点:

一、注重教材的可读性和可讲授性。教材内容由浅入深,循序渐进,让学生能读懂,便于自学。例如,第一章物质结构基础中原子结构理论一节,内容编写以讲史话方式引入有关原子结构的相关概念和理论,使枯燥的内容具有可读性和可讲授性。

二、一条主线贯穿教材始终。长期以来人们总认为大学化学的内容比较分散,不易系统学习和掌握。新编教材把结构因素(原子结构、分子结构和晶体结构)—化学反应因素(化学热力学)—化学平衡(解离平衡、沉淀—溶解平衡、氧化还原平衡和配位平衡)—单质与无机化合物—有机化合物连成一线,围绕主线精编各章内容,阐述物质的性能与其结构之间的关系。从而使学生能以一个整体思想来学习大学化学,更容易理解和掌握。

三、适应学科发展,适当更新教材内容。为适应时代发展的需要,本书在重视基础教学内容编入的同时,还十分注意把无机化学和有机化学中不断出现的新理论、新反应、新方法,以及反映化学前沿领域的新成果及时编入教材。例如,在物质结构基础一章中,本书比较详细介绍晶体的性能与其结构的关系、实际中的应用,以及晶体的现代表征手段与技术等。能源是当今社会面临的最棘手的问题,本书在电化学基础一章中编入各种不同类型的电池等内容。新能源,尤其是氢能源一直是科学研究的热点领域,本书以一章的篇幅来介绍氢能源的研究现状,进一步拓展学生的视野。

四、注重理论联系实际。本书中,化学原理中融入专题内容,使学生能真正掌握和理解化学,并把化学基础知识应用到他们的专业领域中。引入周围的实际事例到本书中,有助于学生建立应用的概念,提高学生学习的积极性。例如,单质与无机化合物部分中编入无机非金属材料、金属材料等,使理论知识和现实问题的理解与解决相结合。

II 第一版前言

五、把有机化合物编入教材。学生最感兴趣的是新东西,而有机化学是当今发展最快的学科之一,并且与社会、生活联系最为密切,同时学习大学化学课程的学生以后也大都没有机会再接触到有关有机化学知识的课程,本书将本着这一思路把有机化合物及应用编入教材。

本书由展树中、刘静和傅志勇主编。具体内容的选定由刘静负责,内容修改和定稿由展树中完成。参加编写的人员有华南理工大学的:展树中(绪论,第5章)、傅志勇(第1章)、杨少蓉(第2章)、刘静(第3章)、邓远富(第4章)、任颜卫(第6章),暨南大学的谢晓华(第7章)。本书也参考了兄弟院校教材和公开发表的有关内容,在此对有关的作者深表感谢。限于时间短,难免有错误和不妥之处,敬请同行和读者批评指正。

编者于华南理工大学

2012年9月

目 录

绪论	1	1.3.2 晶体的类型	36
0.1 化学与化学的发展	1	1.3.3 离子的极化、变形和离子极化模型	39
0.2 气体	2	1.3.4 晶体的性能	42
0.2.1 理想气体的状态方程式	2	思考题	43
0.2.2 分压定律和分体积定律	2	习题	44
0.3 液体	3	第2章 化学反应热力学基础与化学平衡	47
0.3.1 液体的蒸气压	3	2.1 热力学常用术语	47
0.3.2 液体的沸腾	4	2.1.1 系统、环境和相	47
0.4 溶液浓度表示方法	4	2.1.2 状态和状态函数	48
0.4.1 质量分数	4	2.1.3 过程和途径	48
0.4.2 质量浓度	4	2.2 热力学第一定律与热化学	48
0.4.3 摩尔分数	5	2.2.1 热力学第一定律	48
0.4.4 物质的量浓度	5	2.2.2 热化学	50
0.4.5 质量摩尔浓度	5	2.3 化学反应的方向	56
思考题	6	2.3.1 自发过程	56
习题	6	2.3.2 焓变与化学反应的自发性	56
第1章 物质结构基础	7	2.3.3 熵与化学反应的自发性	57
1.1 原子结构理论	7	2.3.4 吉布斯函数与化学反应的方向	58
1.1.1 原子结构的发现过程	7	2.4 化学平衡	62
1.1.2 原子结构的近代概念	9	2.4.1 可逆反应与化学平衡	62
1.1.3 核外电子运动状态的量子化描述	10	2.4.2 平衡常数	63
1.1.4 核外电子的排布	16	2.4.3 化学平衡移动	67
1.1.5 元素周期律	19	思考题	72
1.2 分子结构	24	习题	73
1.2.1 分子中的共价键	24	第3章 溶液中的化学平衡	76
1.2.2 sp^n 杂化方式与多原子分子的空间构型	26	3.1 酸碱溶液平衡	76
1.2.3 范德华力	30	3.1.1 电解质简介	76
1.2.4 氢键	32	3.1.2 活度和活度系数	76
1.3 晶体结构与晶体材料	33	3.1.3 弱电解质的解离	77
1.3.1 晶体的基本概念	33	3.1.4 同离子效应和盐效应	84

II 目录

3.1.5 缓冲溶液	86	思考题	145
3.2 难溶电解质的沉淀-溶解平衡	91	习题	146
3.2.1 溶度积原理	91	第5章 单质、无机化合物及材料	149
3.2.2 沉淀-溶解平衡的移动	93	5.1 单质的存在形式和制备	149
3.3 配位平衡	102	5.1.1 s区元素单质的存在形式与 制备	150
3.3.1 配合物的基本概念	103	5.1.2 d区元素单质的存在形式与 制备	151
3.3.2 配位平衡	106	5.2 单质的性质	152
3.3.3 配合物的应用	110	5.2.1 s区元素的单质	152
思考题	112	5.2.2 p区元素的单质	156
习题	113	5.2.3 d区和ds区元素的单质	159
第4章 氧化还原反应与电化学基础	117	5.2.4 镧系和锕系元素	162
4.1 氧化还原反应	117	5.3 无机化合物	166
4.1.1 氧化态	117	5.3.1 氢化物	166
4.1.2 氧化剂和还原剂	118	5.3.2 卤化物	167
4.2 氧化还原反应与电化学	119	5.3.3 氧化物和氢氧化物	171
4.2.1 原电池	120	5.3.4 硫化物	175
4.2.2 电极电势和电动势	121	5.3.5 含氧酸及其盐	178
4.2.3 电池电动势和自由能 之间的关系	124	5.4 无机非金属材料	180
4.2.4 电池电动势和热力学 平衡常数	125	5.4.1 硅的含氧化合物	181
4.2.5 影响电池电动势的因素—— 能斯特方程	126	5.4.2 传统硅酸盐材料	183
4.3 电极电势的应用	130	5.5 常用金属材料	189
4.3.1 判断氧化剂和还原剂的 相对强弱	130	5.5.1 合金的结构类型	190
4.3.2 判断氧化还原反应进行 的方向	131	5.5.2 钢铁	191
4.3.3 判断氧化还原反应的限度	132	5.5.3 有色金属及其合金	193
4.3.4 选择氧化剂或还原剂	134	思考题	195
4.3.5 元素电势图	134	习题	195
4.4 电化学的应用	136	第6章 有机化合物	197
4.4.1 电解	136	6.1 有机化合物的物理性质和 化学性质	197
4.4.2 电解池	137	6.1.1 烷烃、烯烃和炔烃	197
4.4.3 化学电源	138	6.1.2 芳香烃	199
4.5 金属的腐蚀与防护	142	6.1.3 卤代烃	200
4.5.1 金属的腐蚀	142	6.1.4 醇、羧酸、酯类化合物	201
4.5.2 金属腐蚀的防护	144	6.1.5 醚	203
		6.1.6 醛和酮	204
		6.1.7 胺和腈	205

6.2 高分子化合物	207	8.2 金属有机化学的理论基础和成键规律	227
6.2.1 基本概念	207	8.2.1 常见配体的电子数和齿合度	227
6.2.2 加聚反应和缩聚反应	208	8.2.2 有效原子序数的计算	228
6.2.3 结构特点	209	8.2.3 金属有机化合物的命名	229
6.2.4 柔顺性	209	8.2.4 有效原子序数规则的应用	229
6.2.5 热性能	210	8.2.5 18电子规则的局限	229
6.2.6 弹性与塑性	211	8.3 金属有机化合物的分类	230
6.2.7 机械性能	212	8.4 金属烷基物、金属芳基物及相关的 σ 键合物	230
6.2.8 绝缘性	212	8.5 缺电子型化合物及多中心键	231
6.3 合成高分子材料	212	8.6 金属烯烃化合物	232
6.3.1 塑料	212	8.7 金属羰基化合物及其反馈 π 键	233
6.3.2 合成橡胶	214	8.8 环戊二烯基化合物	234
6.3.3 合成纤维	215	习题	234
思考题	216	部分习题答案	235
习题	217	附录1 单位换算表	236
第7章 氢和氢能源	218	附录2 元素的相对原子质量	237
7.1 氢的结构、性质与存在	218	附录3 一些化合物的相对分子质量	239
7.1.1 氢的结构与性质	218	附录4 无机化合物的标准热力学数据(298.15K)	243
7.1.2 氢的化学性质	219	附录5 弱酸、弱碱在水中的解离常数(298.15K, $I=0$)	267
7.1.3 氢的存在形式	220	附录6 常见难溶化合物的溶度积(298.15K, $I=0$)	270
7.2 制备氢气的方法	220	附录7 金属-无机配体配合物的稳定常数(298.15K)	273
7.2.1 金属与水、酸或碱反应制备氢气	220	附录8 金属-EDTA(乙二胺四乙酸)配合物的稳定常数(298.15K)	280
7.2.2 金属氢化物与水反应制备氢气	220	附录9 标准电极电势表(298.15K)	281
7.2.3 电解水制备氢气	220	参考资料	286
7.2.4 化石燃料制备氢气	221	元素周期表	
7.2.5 热化学循环分解水制备氢气	221		
7.2.6 光解水制备氢气	222		
7.3 氢能源	222		
7.4 储氢材料	222		
7.4.1 组成及特性	223		
7.4.2 吸氢和释氢的作用机理	223		
7.4.3 储氢合金的应用	224		
7.5 氢能源用途	225		
思考题	225		
第8章 金属有机化学简介	226		
8.1 前言	226		

绪 论

0.1 化学与化学的发展

化学是在原子、分子及超分子水平上研究物质的组成、结构和性能及其相互转化的学科。化学是自然科学中重要的基础学科之一,它促进了现代科学如生命科学、环境科学、材料科学等的飞速发展。

化学的发展可以分为三个阶段:

在古代,化学主要以使用为目的,如炼丹术、炼金术及药物化学的萌动,此时的化学具有使用性、经验性和零散性,还没有形成一门学科。

17世纪中叶后,随着生产力的发展,人们积累了有关物质变化的知识,与此同时一些相关学科,如数学、物理学、天文学等的发展也极大地推进了化学的发展。1661年,玻意耳(R. Boyle)指出“化学的任务就是要寻找和认识物质的组成和性质”,明确地把化学作为一门认识自然的科学,对此恩格斯给予了高度评价:玻意耳把化学确立为科学。1777年,拉瓦锡(A. L. Lavoisier)提出燃烧的氧化学说,推翻了燃素说,为化学新理论奠定了基础。19世纪化学理论有了迅猛的发展,1827年道尔顿(J. Dalton)的原子论、1811年阿伏加德罗(A. Avogadro)的分子论假说及门捷列夫(D. Mendeleev)的元素周期性等理论的提出,形成了比较完整的化学理论体系。19世纪末,物理学中的热力学理论引入到化学后,从宏观的角度解决了许多有关化学平衡的问题。这一时期,化学实现了从经验到理论的提升,建立了无机化学、有机化学、分析化学和物理化学四大基础化学,并成为一门独立的学科。

20世纪是化学取得巨大突破的重要时期,人们通过对X射线衍射、放射性和电子的认识,揭示了原子的结构,从微观的角度更深层次地研究物质的性质和化学变化的根本原因。这一时期中,化学的理论、研究方法、实验技术及应用方面都发生了巨大的变化,从而使化学研究的范围不断地扩大,从微观世界到宏观世界,从人类社会到宇宙空间。原有的四大化学已经容不下层出不穷的新事物,从而衍生出更多的新的学科分支,如生物化学、高分子化学、配位化学、材料化学和金属有机化学等。化学与其他学科之间的联系也愈来愈密切,并促进其他相关学科如能源、材料、生物等的发展。化学是支撑相关学科发展的基础学科之一,对科学的发展起着不可取代的作用。化学学科已经被公认为是“一门中心的、实用的和创造性的科学”。特别是21世纪,化学与其他学科相互渗透和融合,在各自的不断进步中相互促进,共同发展。

0.2 气 体

气体、液体和固体是物质最主要的三种聚集状态。气体是其中一种比较简单的聚集状态。

0.2.1 理想气体的状态方程式

理想气体是指分子间没有相互作用力,分子本身不占有体积的一种气体。实际上,理想气体是不存在的。对于低压、高温下的气体,分子间的距离很大,相互作用极弱,分子本身体积相对于整个气体的体积可以忽略不计,因此低压、高温下的气体可近似地看作理想气体。对于理想气体,可以用下面的公式来描述其状态:

$$pV = nRT \quad (0-1)$$

式(0-1)即为理想气体状态方程。式中, p 为气体的压力,单位为帕(Pa); V 为气体的体积,单位为立方米(m^3); n 为气体的物质的量,单位为摩尔(mol); T 为气体的热力学温度,单位为K; R 为摩尔气体常数,其值为 8.314 ,单位为 $\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ 。

0.2.2 分压定律和分体积定律

实际上,经常遇到的是气体混合物。例如,空气就是由氧气、氮气和二氧化碳等组成的。通常将组成混合气体的每种气体都称为混合气体的组分气体。

在混合气体中,当某组分气体单独存在,且占有总体积时,其所具有的压力称为组分气体的分压。混合气体的总压等于各组分气体的分压之和,这种关系叫作分压定律。

如果以 p 表示总压力,用 p_i 表示组分气体 i 的分压,则存在如下关系:

$$p = p_1 + p_2 + p_3 + \cdots = \sum p_i \quad (0-2)$$

式中, p_i 表示 i 组分气体的分压。

如果以 n_i 和 n 分别表示组分气体和混合气体物质的量,则

$$\begin{aligned} p_i V &= n_i RT \\ pV &= nRT \end{aligned}$$

式中, V 为混合气体的体积,两式相除即得到

$$p_i = \frac{n_i}{n} p$$

式中, n_i/n 为组分气体 i 的物质的量分数(摩尔分数),可以用 x_i 表示,则 i 组分气体的分压

$$p_i = x_i p \quad (0-3)$$

[例 0-1] 在容器中含有 NH_3 、 O_2 和 N_2 的混合气体,其中含有 0.24 mol NH_3 , 0.36 mol O_2 , 1.40 mol N_2 , 计算总压力为 101.3 kPa 时各组分气体的分压。

解: $n = n(\text{NH}_3) + n(\text{O}_2) + n(\text{N}_2) = 0.24 \text{ mol} + 0.36 \text{ mol} + 1.40 \text{ mol} = 2.00 \text{ mol}$

$$p(\text{NH}_3) = x(\text{NH}_3)p = (0.24/2.00) \times 101.3 \text{ kPa} = 12.2 \text{ kPa}$$

$$p(\text{O}_2) = x(\text{O}_2)p = (0.36/2.00) \times 101.3 \text{ kPa} = 18.2 \text{ kPa}$$

$$p(\text{N}_2) = x(\text{N}_2)p = (1.40/2.00) \times 101.3 \text{ kPa} = 70.9 \text{ kPa}$$

[例 0-2] 298.15 K 时, 在一个密闭容器中充入 16 g 氧气和 28 g 氮气, 测得容器中气体的总压力为 93 kPa, 计算该容器的体积、两种气体的分压、两种气体的分体积。

解:
$$n(\text{O}_2) = \frac{16 \text{ g}}{32 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.5 \text{ mol}$$

$$n(\text{N}_2) = \frac{28 \text{ g}}{28 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 1.0 \text{ mol}$$

$$n = n(\text{O}_2) + n(\text{N}_2) = 0.5 \text{ mol} + 1.0 \text{ mol} = 1.5 \text{ mol}$$

$$V = \frac{nRT}{p} = \frac{1.5 \text{ mol} \times 8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 298.15 \text{ K}}{93 \text{ kPa}} = 40 \text{ dm}^3$$

$$p(\text{O}_2) = x(\text{O}_2)p = (0.5/1.5) \times 93 \text{ kPa} = 31 \text{ kPa}$$

$$p(\text{N}_2) = x(\text{N}_2)p = (1.0/1.5) \times 93 \text{ kPa} = 62 \text{ kPa}$$

$$V(\text{O}_2) = x(\text{O}_2)V = (0.5/1.5) \times 40 \text{ dm}^3 = 13 \text{ dm}^3$$

$$V(\text{N}_2) = x(\text{N}_2)V = (1.0/1.5) \times 40 \text{ dm}^3 = 27 \text{ dm}^3$$

0.3 液 体

0.3.1 液体的蒸气压

液体在一定条件下可以变成气体。液体的汽化有两种方式: 蒸发和沸腾。这两种现象有区别也有联系。

液体是由大量分子组成的, 分子在不停地运动, 当分子运动速率足够大时, 分子就可以克服分子间的引力, 逸出液面而汽化。这种在液体表面发生的汽化现象叫蒸发。

开放系统中液体的蒸发是吸热过程。若将液体放在密闭的容器中, 情况就不一样了, 在恒定温度下, 液体蒸发出一部分分子成为蒸气, 但处于密闭容器中的蒸气分子在相互碰撞过程中又有重新回到液面的可能, 这个过程称为凝结。当蒸发速率与凝结速率相等时, 系统达到平衡, 这种平衡称为气液二相平衡。在一定温度下, 液体与其蒸气处于动态平衡时的这种气体称为饱和蒸气, 它的压力称为蒸气压。

蒸气压是液体的特征之一, 它与液体量的多少无关, 与液体上方的蒸气体积也无关。在一定温度下, 不同液体有不同的蒸气压; 同一种液体, 温度不同时蒸气压也不同。因为蒸发是吸热过程, 所以升高温度有利于液体的蒸发, 即蒸气压随温度的升高而变大。表 0-1 列出不同温度时水的蒸气压。

表 0-1 不同温度时水的蒸气压

$t/^\circ\text{C}$	p/kPa	$t/^\circ\text{C}$	p/kPa	$t/^\circ\text{C}$	p/kPa
10	1.228	50	12.34	90	70.117
20	2.338	60	19.93	100	101.325
30	4.246	70	31.176	120	198.48
40	7.381	80	47.373	150	475.72

液体的蒸气压是液体分子间作用力大小的反映。一般来说,液体分子间力越弱,液体越易蒸发,蒸气压越大;液体分子间力越强,液体越不易蒸发,蒸气压越小。

0.3.2 液体的沸腾

升高温度,液体的蒸气压增大。当液体蒸气压与外界压力相等时就会使整个液体发生激烈的汽化,此时称液体发生沸腾。液体的沸腾温度与外界压力有关,外界压力增大,沸腾温度升高,外界压力减小,沸腾温度降低。表 0-2 列出不同压力下水的沸腾温度。

表 0-2 不同压力下水的沸腾温度

p/kPa	47.373	70.117	101.325	198.48	475.72
$t/^\circ\text{C}$	80	90	100	120	150

0.4 溶液浓度表示方法

0.4.1 质量分数

物质 B 的质量分数用符号 w_B 来表示,定义为物质 B 的质量 m_B 除以溶液的质量 m ,即

$$w_B = \frac{m_B}{m} \quad (0-4)$$

质量分数的单位为 1,过去常以百分含量表示,但不能称为质量百分比浓度。如 50 g 蔗糖溶于水后配成 100 g 糖水,其质量分数 w 为 0.5。

0.4.2 质量浓度

物质 B 的质量浓度用符号 ρ_B 表示,定义为物质 B 的质量 m_B 除以溶液的体积 V ,即

$$\rho_B = \frac{m_B}{V} \quad (0-5)$$

质量浓度单位是 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$,常用单位为 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

[例 0-3] 将 0.9 g NaCl 配成 100 mL 水溶液,求此溶液 NaCl 的质量浓度。

解:根据式(0-5),盐水的质量浓度为

$$\rho(\text{NaCl}) = \frac{m(\text{NaCl})}{V} = \frac{0.9 \text{ g}}{100 \times 10^{-3} \text{ L}} = 9 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$$

0.4.3 摩尔分数

摩尔分数用符号 x_B 表示,其定义为物质 B 的物质的量 n_B 除以混合物各组分物质的量之和 n ,即

$$x_B = \frac{n_B}{n} \quad (0-6)$$

摩尔分数的单位为 1。若某溶液仅由溶质和溶剂 A 组成,则

$$x_B = \frac{n_B}{n_A + n_B}$$

0.4.4 物质的量浓度

物质的量浓度用符号 c_B 表示,定义为物质 B 的物质的量 n_B 除以溶液的体积 V ,则

$$c_B = \frac{n_B}{V} \quad (0-7)$$

物质的量浓度单位为 $\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$,由于人们常用 L 作为体积单位,故物质的量浓度的常用单位为 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

0.4.5 质量摩尔浓度

物质 B 的质量摩尔浓度用符号 b_B 表示,其定义为物质 B 的物质的量 n_B 除以溶剂 A 的质量 m_A ,即

$$b_B = \frac{n_B}{m_A} \quad (0-8)$$

质量摩尔浓度的单位是 $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

[例 0-4] 将 2.50 g NaCl 溶于 497.5 g 水,若此溶液的密度为 $1.002 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$,求该 NaCl 的质量摩尔浓度、物质的量浓度、摩尔分数及质量分数。

解: NaCl 的摩尔质量为 $M(\text{NaCl}) = 58.44 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, H_2O 的摩尔质量为 $M(\text{H}_2\text{O}) = 18.02 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

$$\text{NaCl 的物质的量} \quad n(\text{NaCl}) = \frac{m(\text{NaCl})}{M(\text{NaCl})} = \frac{2.50 \text{ g}}{58.44 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.0428 \text{ mol}$$

$$\text{H}_2\text{O 的物质的量} \quad n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} = \frac{497.5 \text{ g}}{18.02 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 27.61 \text{ mol}$$

$$\text{溶液的体积} \quad V = \frac{m}{\rho} = \frac{(497.5 + 2.50) \text{ g}}{1.002 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}} = 499 \text{ cm}^3 = 0.499 \text{ dm}^3$$

6 绪论

$$\text{质量摩尔浓度 } b(\text{NaCl}) = \frac{n(\text{NaCl})}{m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{0.0428 \text{ mol}}{497.5 \times 10^{-3} \text{ kg}} = 0.0860 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$\text{物质的量浓度 } c(\text{NaCl}) = \frac{n(\text{NaCl})}{V} = \frac{0.0428 \text{ mol}}{0.499 \text{ dm}^3} = 0.0858 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$$

$$\begin{aligned} \text{摩尔分数 } x(\text{NaCl}) &= \frac{n(\text{NaCl})}{n(\text{NaCl}) + n(\text{H}_2\text{O})} = \frac{0.0428 \text{ mol}}{0.0428 \text{ mol} + 27.61 \text{ mol}} \\ &= 1.55 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

$$\text{质量分数 } w(\text{NaCl}) = \frac{m(\text{NaCl})}{m(\text{NaCl}) + m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{2.50 \text{ g}}{2.50 \text{ g} + 497.5 \text{ g}} = 0.005$$

思考题

1. 物质的气、液、固三种状态各具有哪些特性?
2. 什么是理想气体? 理想气体能否通过压缩变成液体?
3. 什么是沸点? 什么叫液体的蒸气压? 外界压力对液体的沸点有何影响?
4. 浓度有哪些表示方法?

习题

1. 某空气中 N_2 、 O_2 和 CO_2 的体积分数分别为 0.78、0.21 和 0.01, 求 N_2 、 O_2 和 CO_2 的摩尔分数。
2. 某气体(可看成理想气体)在 202.650 kPa 和 25 °C 时, 密度为 $2.61 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, 求它的摩尔质量。
3. 1 mol N_2 和 3 mol H_2 混合, 在 25 °C 时体积为 0.4 m^3 , 求混合气体的总压力和各组分的分压力。
4. 质量分数为 0.12 的 AgNO_3 水溶液在 25 °C 和标准压力下的密度为 $1.1080 \text{ kg} \cdot \text{dm}^{-3}$, 试求 AgNO_3 水溶液的摩尔分数、质量摩尔浓度及物质的量浓度。