



普通高等院校「新工科」创新教育精品课程系列教材
教育部高等学校机械类专业教学指导委员会推荐教材



工程化学基础



扫码关注数字教学资源
(教学视频、动画、电子课件)

李 涛 邱于兵◎主 编



华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>

高等院校“新工科”创新教育精品课程系列教材
高等学校机械类专业教学指导委员会推荐教材

工程化学基础

主 编 李 涛 邱于兵

华中科技大学出版社
中国·武汉

内 容 简 介

本书是普通高等院校“新工科”创新教育精品课程系列教材之一。本书可分为两个部分,共12章。第一部分为第1章至第7章,介绍了化学基础理论知识,包括绪论、物质结构基础、化学热力学基础、化学动力学基础、溶液与表面化学基础、电化学基础和有机化学基础。第二部分为第8章至第12章,介绍了化学应用相关内容,包括金属材料基础、聚合物与材料、化学与能源、环境化学基础、生命化学基础。本书内容突出重点,具有实用性,便于学生的学习和理解,同时兼顾先进性与创新性,可开阔学生视野。

本书可作为高等院校非化学工科专业的基础课教学用书,也可作为相关工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

工程化学基础/李涛,邱于兵主编. —武汉:华中科技大学出版社,2021.7

ISBN 978-7-5680-7388-2

I. ①工… II. ①李… ②邱… III. ①工程化学-高等学校-教材 IV. ①TQ02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2021)第 153607 号

工程化学基础

Gongcheng Huaxue Jichu

李 涛 邱于兵 主编

策划编辑:万亚军

责任编辑:李梦阳

封面设计:廖亚萍

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

电话:(027)81321913

武汉市东湖新技术开发区华工科技园

邮编:430223

录 排:华中科技大学惠友文印中心

印 刷:武汉市洪林印务有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:22.25

字 数:576千字

版 次:2021年7月第1版第1次印刷

定 价:58.00元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

普通高等院校“新工科”创新教育精品课程系列教材
教育部高等学校机械类专业教学指导委员会推荐教材

编审委员会

顾问：李培根(华中科技大学) 段宝岩(西安电子科技大学)
 杨华勇(浙江大学) 赵 继(东北大学)
 顾佩华(天津大学)

主任：奚立峰(上海交通大学) 刘 宏(哈尔滨工业大学)
 吴 波(华中科技大学) 陈雪峰(西安交通大学)

秘书：俞道凯 万亚军

出版说明

为深化工程教育改革,推进“新工科”建设与发展,教育部于2017年发布了《教育部高等教育司关于开展新工科研究与实践的通知》,其中指出“新工科”要体现五个“新”,即工程教育的新理念、学科专业的新结构、人才培养的新模式、教育教学的新质量、分类发展的新体系。教育部高等学校机械类专业教学指导委员会也发出了将“新”落实在教材和教学方法上的呼吁。

我社积极响应号召,组织策划了本套“普通高等院校‘新工科’创新教育精品课程系列教材”,本套教材均由全国各高校处于“新工科”教育一线的专家和老教师编写,是全国各高校探索“新工科”建设的最新成果,反映了国内“新工科”教育改革的前沿动向。同时,本套教材也是“教育部高等学校机械类专业教学指导委员会推荐教材”。我社成立了以李培根院士、段宝岩院士、杨华勇院士、赵继教授、顾佩华教授为顾问,奚立峰教授、刘宏教授、吴波教授、陈雪峰教授为主任的“‘新工科’视域下的课程与教材建设小组”,为本套教材构建了阵容强大的编审委员会,编审委员会对教材进行审核认定,使得本套教材从形式到内容上保证了高质量。

本套教材包含了机械类专业传统课程的新编教材,以及培养学生大工程观和创新思维的新课程教材等,并且紧贴专业教学改革的新要求,着眼于专业和课程的边界再设计、课程重构及多学科的交叉融合,同时配套了精品数字化教学资源,综合利用各种资源灵活地为教学服务,打造工程教育的新模式。希望借由本套教材,能将“新工科”的“新”落地在教材和教学方法上,为培养适应和引领未来工程需求的人才提供助力。

感谢积极参与本套教材编写的老师们,感谢关心、支持和帮助本套教材编写与出版的单位和同志们,也欢迎更多对“新工科”建设有热情、有想法的专家和老教师加入本套教材的编写中来。

华中科技大学出版社
2018年7月

前 言

当今世界,新一轮科技革命和产业革命正驱动着新经济的形成与发展,世界正处于第四次工业革命与科技革命的前夜。新科技与新经济的快速发展迫切需要新型工科技术人才的支撑。化学作为基础学科之一,与环境保护、能源开发和利用、功能材料研制、生命过程探索等密切相关,同时在社会生活和国民经济中也起着重要作用。因此,对于“新工科”背景下人才的培养来说,掌握必要的化学基础理论知识和方法就成为必然的选择。本书针对“新工科”背景下非化学专业的工科学生,提供大学通识教育所需的化学基础知识,培养学生的基本化学素养,同时提供化学及其交叉学科的最新发展动态,以开阔学生的视野。

面对学生专业不同、兴趣不同、基础不同(有些学生甚至没有化学基础)的现状,本书提供了较完整的化学基础知识,并以实际应用为知识点的连接手段,便于学生的学习理解。全书共分为12章。第1~7章为基础内容,包括绪论、物质结构基础、化学热力学基础、化学动力学基础、溶液与表面化学基础、电化学基础和有机化学基础。第8~12章介绍了化学在金属材料、高分子材料、能源、环境与生命过程中的应用,包括金属材料基础、聚合物与材料、化学与能源、环境化学基础和生命化学基础。本书重点突出了各章需要掌握的基础内容(化学基本概念、基本原理和基本方法),同时提供了扩展阅读材料,以满足学生更高的学习要求。

由于不同工科专业对化学知识要求不同,课程教学学时也可能不同,因此使用本教材时,可结合学生实际与专业要求,适当组合各章节内容,突出基础重点内容并兼顾实际应用,以满足不同工科专业学生的学习要求。本书采用立体教材形式,提供数字扩展阅读资源(可通过扫描二维码获取,二维码资源使用说明见书末)。

参与本书编写的老师有李涛(编写第5章)、邱于兵(编写第1章、第6章和附录)、李宝(编写第2章)、梅付名(编写第3章)、莫婉玲(编写第4章)、龚跃法(编写第7章)、张欣欣(编写第8章)、熊必金(编写第9章)、肖菲(编写第10章)、王楠(编写第11章)、刘红梅(编写第12章)。李涛和邱于兵老师负责全书的统稿工作。

本书在编写过程中,得到了华中科技大学出版社的大力支持和具体指导,特此感谢。

限于作者水平,书中难免存在不足与疏漏之处,恳请读者批评指教。

编 者
2021年4月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 化学的研究对象	1
1.2 化学的发展及其主要分支	2
1.3 化学的基础性与实用性	4
1.4 “新工科”背景下《工程化学基础》的学习要求	5
本章知识要点	5
习题	6
第 2 章 物质结构基础	7
2.1 物质的状态	7
2.2 近代原子结构概念的衍化	10
2.3 量子力学模型	12
2.4 基态原子电子组态	17
2.5 元素周期表与周期律	21
2.6 化学键与分子结构	25
2.7 分子间作用力	35
本章知识要点	40
习题	40
第 3 章 化学热力学基础	42
3.1 化学热力学术语和基本概念	42
3.2 化学反应热的测量与计算	47
3.3 化学反应进行的方向与判据	56
3.4 化学反应进行的程度——化学平衡	64
本章知识要点	70
习题	71
第 4 章 化学动力学基础	76
4.1 化学反应速率	76
4.2 化学反应的速率方程	78
4.3 温度对反应速率的影响	83
4.4 化学反应速率理论简介	85
4.5 催化反应动力学	88
4.6 复合反应动力学	90
本章知识要点	93
习题	93
第 5 章 溶液与表面化学基础	97
5.1 溶液的组成与描述	97

5.2	溶液的通性	98
5.3	溶液中的酸碱平衡	107
5.4	溶液中的配离子解离平衡	114
5.5	溶液中的沉淀-溶解平衡	116
5.6	胶体与表面化学基础	120
	本章知识要点	133
	习题	133
第6章	电化学基础	137
6.1	电化学基本概念	137
6.2	原电池	141
6.3	电极电势	143
6.4	极化与超电势	151
6.5	化学电源	153
6.6	电解	161
6.7	金属腐蚀与防护	168
	本章知识要点	173
	习题	173
第7章	有机化学基础	175
7.1	有机化合物与有机化学	175
7.2	有机化合物的分类与命名	175
7.3	有机化合物结构中的同分异构现象	184
7.4	重要有机化学反应类型	190
	本章知识要点	196
	习题	197
第8章	金属材料基础	200
8.1	金属键	200
8.2	晶体结构	203
8.3	合金相结构	216
8.4	金属材料	220
	本章知识要点	225
	习题	225
第9章	聚合物与材料	226
9.1	聚合物概述	226
9.2	聚合物的合成	230
9.3	聚合物的结构与性能	235
9.4	聚合物材料的应用	242
	本章知识要点	249
	习题	249
第10章	化学与能源	251
10.1	概述	251

10.2 化石燃料的有效利用和清洁生产	252
10.3 新能源的开发和利用	259
10.4 新型能量存储与转化系统	266
本章知识要点	278
习题	278
第 11 章 环境化学基础	279
11.1 环境化学概述	279
11.2 大气污染与治理	281
11.3 水体污染与治理	287
11.4 土壤污染与治理	295
本章知识要点	296
习题	296
第 12 章 生命化学基础	298
12.1 氨基酸、蛋白质与酶	298
12.2 糖类	307
12.3 核酸和基因	310
12.4 脂质和生物膜	316
12.5 生命体中的无机元素	320
12.6 生命体内的化学过程	323
本章知识要点	328
习题	329
附录	330
参考文献	341

第1章 绪 论

【内容提要】 本章介绍了化学的研究对象、化学的发展及其主要分支、化学的基础性与实用性等基础知识,使大家对化学学科能有一个简单的了解,最后提出了“新工科”背景下非化学工科专业学生学习本书的要求。

1.1 化学的研究对象

物质是构成宇宙间一切物体的实物和场,如空气和水。人类衣、食、住、行涉及的方方面面都是物质,人体本身也是由各种物质构成的。除了这些实体物质以外,光、电磁场等是以场的形式出现的物质,但我们通常所说的物质一般不包括它们,因此,下文所说的物质主要是指构成世间万物的实体物质。放眼我们所处的世界,所有的客观存在都是由物质构成的,这是一个物质世界。物质的种类繁多、形态万千,各种物质的性质千差万别、多种多样。但它们共有的特性是:物质本身为客观存在,能够被观测,都具有质量和能量。

化学就是以物质本身为研究对象的一门学科,研究包括人体自身在内的所有物质。因此,化学在我们所处的物质世界中无处不在,与人类的生活密切相关,化学也被科学家看成一门中心的基础科学。21世纪,“能源、材料、环境、生命、信息”等五大关键领域均与化学密切相关。例如,新材料的研制和维护、新型能量存储与转化方法的研究、环境污染的处理、新型药物的研发、新型信息储存材料与电子器件开发等,都需要研究物质的组成、结构、能量变化等,这些都需要化学知识。很明显在科学技术和日常生活中,化学起着重要作用。

那么化学的定义是什么呢?传统上化学是研究物质的组成、结构、性质及其变化规律和变化过程中能量关系的基础自然科学。随着科学的发展,化学学科也在不断发展。这个传统的简单定义似乎无法完全说明现在不断发展的化学学科,然而,要为其给出一个完整的定义十分困难。

具有物质基本性质的最小结构单元为分子,而分子是由原子构成的,因此,传统化学主要是在原子和分子层次研究物质。然而,从20世纪下半叶开始,合成新分子成为化学的主要任务之一,新物质数量急剧增大。据报道,2000年,已知化合物的种类达2000万种,而目前已突破3000万种,其中大多数为人工合成而不是自然界中存在的。随着各种新型结构物质的涌现,科学家发现仅仅从原子和分子层次来研究物质是有局限性的,不能很好地认识物质的组成、结构与性质之间的关系,因此,提出了“泛分子”的概念。

所谓“泛分子”包含10个层次的内涵,除了原子和分子层次以外,还包括:分子片层次(如 CH_3 、 CH_2 、 CH 等一价、二价和三价分子片);结构单元层次(如芳香化合物的母核、高聚物的单体、蛋白质中的氨基酸等高级结构单元);超分子层次(如通过非共价键的分子间作用力结合起来的双分子或多分子物质微粒);高分子层次;生物分子层次(生物体特有的各类分子,如蛋白质、核酸和多糖等);纳米分子和纳米聚集体层次(如碳纳米管、纳米金属、纳米微孔结构、纳米厚度的膜、固体表面的有序膜、单分子分散膜等);宏观聚集体层次(如固体、液体、气体、等离子体等);复杂分子体系及其组装体的层次(如复合和杂化分子材料、分子开关和分子晶体管等

分子器件、分子马达和分子计算机等分子机器等)。因此,可以认为 21 世纪的化学是研究“泛分子”的科学。

1.2 化学的发展及其主要分支

1.2.1 化学的发展

化学的发展一般可粗略地分为古代化学(远古时期至公元 1774 年)、近代化学(公元 1775 年至 19 世纪末)和现代化学(19 世纪末至今)三个阶段。古代化学包含以下几个阶段:实用和自然哲学时期(远古时期至公元前);炼金术、炼丹术时期(公元前后至公元 1500 年);医化学时期(公元 1500 年至公元 1700 年);燃素说时期(公元 1700 年至公元 1774 年)。在古代化学阶段,化学学科萌芽并得到建立。历史上一般将公元 1661 年英国科学家波义耳(Boyle)提出“元素”的概念作为化学学科的形成标志。公元 1661 年前为化学的萌芽期,这一时期化学没有具体的研究对象,化学知识的积累主要来源于古代工艺技术、古代物质观、炼金术和炼丹术。公元 1661 年至公元 1774 年为化学学科的形成期,这一时期确立了“元素”概念,法国科学家拉瓦锡(Lavoisier)提出的“氧燃烧学说”取代了德国施塔尔(Stahl)提出的“燃素说”,从而导致了近代化学的萌芽。

近代化学发轫于 18 世纪和 19 世纪之交拉瓦锡提出的元素学说和道尔顿提出的原子学说。18 世纪 70 年代,拉瓦锡以定量化学试验为基础阐述了燃烧的氧化学说,系统建立科学的氧化理论,全面替代传统的燃素说,定量化学时期由此开始。19 世纪初,英国科学家道尔顿(Dalton)提出原子学说,首次把原子量的概念引入化学,这是近代化学的标志,使化学真正走上定量科学的道路。1811 年,意大利化学家阿伏加德罗(Avogadro)把“分子”概念引入道尔顿的原子论,提出了分子假说,促使道尔顿的原子论发展为完整全面的原子-分子论。此外,在这一时期发现的元素周期律、质量守恒定律,以及建立的电离学说、酸碱理论、有机结构理论等,为现代化学的发展奠定了坚实的基础。

19 世纪末,电子和放射性的发现是进入现代化学时期的标志,化学学科的研究对象由宏观领域进入微观领域。特别是 20 世纪初,量子论的发展和现代物理技术在化学中的应用,极大地促进了人们对原子内部结构的认识。在这一时期,元素周期律有了新的发展,现代的结构理论(包括价键理论、分子轨道理论和配位场理论)得到建立,使人们对分子内部结构和化学键的认识不断深入。

现代化学的发展一方面表现出学科高度分化,形成许多分支学科的特点,另一方面表现出学科相互交叉渗透,并趋向高度综合的特点。下面简单介绍化学的主要分支。

1.2.2 化学的主要分支

根据研究对象或研究目的不同,化学(一级学科)分为无机化学、有机化学、分析化学、物理化学和高分子化学五大分支学科(二级学科),下面分别进行简单介绍。

1) 无机化学

无机化学研究无机物质的组成、结构、性质,以及无机化学反应与过程,是化学学科中发展最早的一个分支学科。除了碳氢化合物及其大多数衍生物以外,所有元素的单质及其化合物都属于无机物。化学的发展就是从无机化学开始的,一般以俄国化学家门捷列夫提出的元素

周期律为现代无机化学形成的标志。当前,无机化学在实践和理论方面都取得了新的突破,特别是在新的无机物合成技术方面取得了突出成就。例如,新型无机半导体材料、固体电解质材料、光学显示材料、核能材料等推动了原子能、半导体及航空航天工业的发展。

2) 有机化学

有机化学研究有机化合物的组成、结构、性质、制备方法与应用,是研究碳氢化合物及其衍生物的化学分支学科,又称为“碳的化学”。无机化合物与有机化合物之间并没有绝对的界限。含碳化合物被称为有机化合物的原因是以前的化学家认为这样的物质只能由生物(有机体)制造。然而,1828年,德国化学家维勒(Wöhler)在实验室中首次成功合成尿素(一种生物分子,碳酰胺),自此有机化学便在传统定义的范围的基础上,扩大为烃及其衍生物的化学。19世纪后半期,有机化学开始飞速发展。目前世界上每年合成的新化合物中70%以上是有机化合物,这些有机化合物在生物、医药领域具有重要作用。例如,1965年,我国在世界上首次合成了具有生物活性的牛胰岛素;2015年10月,我国科学家屠呦呦因发现青蒿素和在治疗疟疾上的贡献而获得诺贝尔生理学或医学奖。

3) 分析化学

分析化学是研究物质的组成、含量、结构和形态等化学信息的分析方法及理论的一门学科。物质成分的分析(元素、离子、官能团或化合物)、含量的测定(物质组成的含量)、结构的表征(价态、配位态、结晶态等),是分析化学的三大领域。传统上分析天平的使用和定量分析的建立是分析化学形成的标志。随着生命科学、信息科学与计算机技术的发展,分析化学进入了一个崭新的阶段。自20世纪70年代以来,以计算机应用为主要标志的信息时代的到来,促使现代分析化学突飞猛进地发展。现代分析化学完全可能为各种物质提供组成、含量、结构和形态等全面的信息,使得微区分析、薄层分析、无损分析、瞬时追踪、在线监测及过程控制等过去难以解决的问题都迎刃而解,为生命科学、环境科学、新材料科学的发展提供了重要的工具。分析化学广泛吸取了当代科学技术的最新成就,成为最富活力的学科之一。

4) 物理化学

物理化学是研究所有物质系统的化学行为的原理、规律和方法的一门学科;是从物质的物理现象和化学现象的联系入手,探求化学变化规律的科学;是化学学科及在分子层次上研究物质变化的其他学科的理论基础。物理化学主要包括:化学热力学、化学动力学、结构化学、量子化学等。化学热力学主要研究化学变化的方向、限度与能量效应等。化学动力学研究化学反应的速率和机理,现代分子束和激光技术的应用,使化学动力学研究从宏观转入微观超快过程和过渡态研究。结构化学和量子化学从微观角度来研究化学,特别是随着现代计算机技术的飞速发展,量子化学计算已可以进行分子的合理设计,对新型药物、新型材料的研发具有重要意义。

物理学、数学和计算机科学的发展,为现代物理化学的发展提供了新的领域。例如,现代物理化学已将固体、弹性体和其他非理想体系纳入研究对象,为材料科学与技术的研究增添了新的理论武器。20世纪70年代初,普里戈金等人提出的耗散结构理论,使得物理化学的理论体系由传统的平衡态热力学扩展到全新非平衡态热力学。纳米材料与科技的发展使物理化学衍生出另一个极具挑战性的新领域,即纳米体系的物理化学理论和实验方法。物理化学中的催化化学对于化工、能源、农业、生命科学、医药等领域具有重要意义,其中酶催化和仿酶催化研究是催化科学与技术中的新兴领域,将可能在大幅度提高化工生产率的同时,实现绿色化学目标。

5) 高分子化学

高分子化学研究高分子化合物的结构、性能与反应、合成方法、加工成型及应用。高分子化合物(简称高分子,又称高聚物)的分子比低分子化合物的分子要大得多,一般有机化合物的相对分子质量在 1000 以下,而高分子化合物的相对分子质量在 10000 以上,有的可达上千万。虽然高分子化学真正成为一门学科的时间不长,但它的发展非常迅速。在 20 世纪,高分子材料是人类物质文明的标志之一。塑料、纤维、橡胶这三大类高分子材料及各种各样的功能高分子材料,存在于人类生活、生产的方方面面,对促进国民经济发展和科技进步做出了巨大贡献。

随着科学的迅速发展,化学的五大基础分支学科又进一步形成分支学科(三级学科)。例如,物理化学的分支学科包括:化学热力学、化学动力学、结构化学、量子化学、表面化学、元素结构化学、光化学、界面与胶体化学、电化学、催化化学、磁化学、计算化学、晶体化学、高能化学等。此外,化学学科之间,以及化学与其他学科之间交叉形成多种边缘学科。

1.3 化学的基础性与实用性

化学常被称为承上启下的“中心学科”。一方面,它是许多其他学科的必要基础。这是因为每一种物质都是由化学物质组成的。而且,许多重要过程都涉及化学过程。例如,化学对农业学、电子学、生物学、药学、环境科学、计算机科学、工程学、地质学、物理学、冶金学等都有重大的贡献。另一方面,化学在回应社会需求方面起着至关重要的作用。人们利用化学来研究新工艺,开发新能源,生产用于制造住所、衣服和交通用的新产品和新材料,治理污染并改善环境,发明保证粮食供应的新办法来提供更多的食物,创造新药来确保人们的健康。

21 世纪,化学对于其他学科的交叉渗透也更为明显。化学与其他学科之间交叉形成多种边缘学科,例如,生物化学、环境化学、农业化学、材料化学、地球化学、放射化学、计算化学、星际化学等。化学的发展必将带动并促进这些学科的发展,而这些学科的发展和技术的进步又反过来会推动化学本身的发展。此外,许多化学工作者投入材料、生命、能源、环境等科学领域的研究中,并在化学与这些相关学科的交叉学科领域做出了突出的贡献。例如,锂离子动力电池、氢燃料电池等都离不开材料化学、催化化学、电化学的贡献。又如,在基因组工程、蛋白质组工程中化学做出了重大的贡献。在环境污染治理、垃圾的处理与循环利用等方面,化学同样是必不可少的基础。英国皇家化学学会会刊 *CHEMISTRY WORLD* 曾撰文阐述化学的作用,指出化学是让世界实现可持续发展的最现实的办法。未来,随着学科交叉融合趋势的加强,化学正越来越成为现代学科体系的重要基础,将会继续在适应人口增长、应对能源挑战、缓解环境压力等方面做出积极而重要的贡献,并将深刻地影响人类社会的全面发展。

化学不仅是一门基础的中心学科,其发展历程与人类社会生产活动紧密相随,因此,也是一门非常实用的学科。化学与人类的衣、食、住、行密切相关,并且在能源、材料、信息、国防、环境、医药等众多领域发挥重要作用。在国民经济中,化学工业具有举足轻重的支撑作用。传统上将以化学过程为核心内容和关键步骤的工业定义为化学工业,包括:化肥工业、硫酸工业、氯碱工业、塑料工业、橡胶工业、石化工业、日用化学工业等。除此之外,还将一些通过化学过程实现全部或部分生产目的的工业称为化学过程工业,包括:石油天然气,造纸,玻璃和建材、钢铁,食品和饮料,纺织、皮革等工业。这些工业领域都要用到化学,据统计,大约 50% 的化学专业人员在这些领域中工作。

因此,鉴于化学的基础性与实用性,对于非化学专业的科研人员或工程技术人员来说,具

备一定的化学基础或化学素养都是非常必要的。例如,在科学研究或生产实践中如果能运用化学基本原理和物质性质及其变化的化学观点,并在一定程度上考虑物质在特定环境中可能发生的化学变化及其影响,将更有利于高水平地完成工作,同时也更能反映出工程技术人员的高素质。这也正是当前化学基础教育需要面对的现实问题。

1.4 “新工科”背景下《工程化学基础》的学习要求

当今世界,新一轮的科技革命和产业革命正驱动着新经济的形成与发展,世界正处于第四次工业革命与科技革命的前夜。3D打印、5G+大数据+云科技+区块链+人工智能的数字科技、生物科技、量子科技、分享经济、虚拟现实、数字货币等风起云涌。我国也实施了“中国制造2025”“网络强国”等重大战略并提出了“一带一路”倡议,促进以新技术、新业态、新产业、新模式为特点的新经济蓬勃发展,希望突破核心关键技术,构筑先发优势,在未来全球创新生态系统中占据战略制高点。与此相应的是,新科技与新经济的快速发展迫切需要新型工科技术人才的支撑。在此背景下,为了使工科技术人才适应新经济发展形势下的需求,要求培养的学生不仅应具有解决工程问题的专业知识、技术能力,具有持续学习新技术的能力,还应具有全球视野、人文精神和创新能力,即培养既具有坚实科学理论知识基础,又具有广阔视野和创新精神的复合型、综合性人才。

化学作为基础学科之一,与环境保护、能源开发和利用、功能材料研制、生命过程探索等密切相关,同时在社会生活及国民经济中也起着重要作用。因此,对于“新工科”背景下非化学专业人才的培养来说,培养学生掌握必要的化学基础理论知识与方法,并使学生具备基本的化学素养就非常有必要。这也是“新工科”背景下《工程化学基础》的教学目标。《工程化学基础》涵盖了无机化学、有机化学、分析化学和物理化学等多门化学课程中的基础知识,对化学基础知识进行了较完整的阐述(第1~7章)。同时,还包含了化学在能源、材料、环境、生命等热点领域的基础应用和最新进展(第8~12章)。面对不同工科专业、不同基础的学生,本书的内容强调基础性和必要性,并以实际应用为知识点的连接手段,凸显化学理论与实践的结合。

学习中,首先,要求学生应明确《工程化学基础》的学习必要性和学习目标,从而端正学习态度。其次,要求学生通过学习熟练掌握化学的基本概念、基本原理和基本方法(第1~7章的知识点)。最后,结合例题和习题,让学生初步学会运用这些化学基础知识来分析和解决问题,从而具备基本的化学素养。同时,第8~12章的内容为学生提供了化学在相关专业领域中的应用与最新进展,不同工科专业或感兴趣的学生可选择性的学习。本书提供的扩展阅读材料,是在基础内容上稍有扩展或拔高的内容,以满足化学基础好、兴趣浓的学生的学习要求,激发他们的潜能并培养他们的创新精神。

本章知识要点

1. 基本概念:物质、化学、化学工业、中心学科、泛分子。
2. 化学主要分支:无机化学、有机化学、分析化学、物理化学、高分子化学。
3. 化学的基础性与实用性。
4. “新工科”背景下《工程化学基础》的学习要求。

习 题

1. 根据科学的整体性与局部性的特点,讨论化学科学与其他科学之间的相互联系。分析化学被称为承上启下的“中心学科”的原因。
2. 化学在人类生活中的基本地位如何?
3. 在课堂之外的日常生活中,你如何感知化学的存在?
4. 结合自身的专业特点,分析本专业有哪些领域可能与化学密切相关。至少选定一个与化学有紧密关系的主题,并进行具体讨论。

第2章 物质结构基础

【内容提要】 本章首先介绍了宏观物质的常见聚集状态,然后从原子结构、分子结构和分子间的相互作用三个方面介绍了物质结构的基本理论。在原子结构部分,介绍了近代原子结构概念的衍化、量子力学模型、基态原子电子组态等,在此基础上讨论了元素周期表与周期律。在分子结构部分,主要介绍了各种化学键理论,重点介绍了现代价键理论。在分子间的相互作用部分,介绍了各种分子间力及其对物质性质的影响。

所有的材料都是有使用价值的物质,其使用价值正在逐步细化,可以应用到机械电子器件、建筑工程或日常生活中。如果想深入了解物质的性质,就必须对物质的基本组成有较为透彻的了解。从宏观方面,我们需要了解物质的颜色、形态、熔沸点等诸多物理参数(性质);从微观方面,则需要对构成物质的基本单元有深入的认识,如最小基本单元的构成、相互作用力等。

本章将对原子结构、分子结构进行系统的介绍,使读者能够从微观角度认识物质本身。例如,对于水的认识,从微观角度看,水由水分子构成,水分子由氢原子和氧原子构成,那么氢原子和氧原子的结构又是什么样子呢?氢原子和氧原子如何结合在一起?从宏观角度看,水存在气、液、固三态,都由水分子构成,但为什么又会出现明显的差别(见图 2-1)呢?接下来的学习将有助于读者解答上述问题,并了解微观物质的构成。

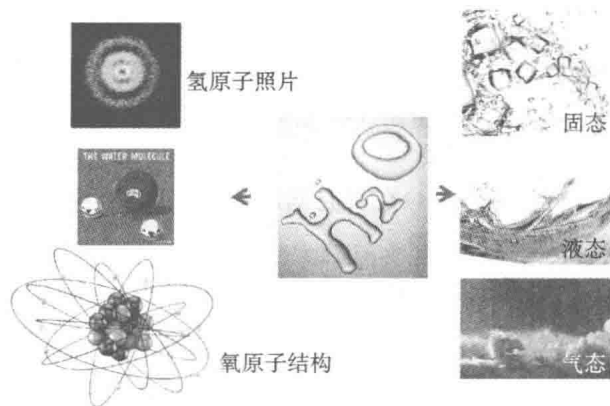


图 2-1 从宏观角度及微观角度观察水的构成

2.1 物质的状态

自然界中物质总是以一定的状态存在。在一定的自然条件(温度、压力等)下,人们通常将物质宏观上所处的相对稳定的状态称为物质的聚集状态,通常是指气态、液态和固态,物质的上述三种状态是可以互相转化的。此外还有等离子态、中子态(超固态)、液晶态、玻色-爱因斯坦凝聚态等。这里简单介绍气态、液态和固态,物质的其他聚集状态可参考扩展阅读材料。



【扩展阅读】
物质的其他
聚集状态

2.1.1 气体

聚集状态为气态的物质称为气体,其基本特征有:无限的可膨胀性,没有固定的几何形状和体积;明显的可压缩性;无限的掺混性。组成气体的分子总是处在无规则的运动中,无论气体有多少、容器有多大,气体都能均匀地充满整个容器,且不同气体都能以任意比例相互混合。所以气体既没有确定的形态,又没有固定的体积,平时所讲的气体的体积,实际上是指气体所在容器的容积。

一切气体分子本身都占有一定的体积,而且分子之间存在着相互作用力。当气体的压力很小时,分子本身的体积可以忽略不计,且气体分子之间的距离较大,分子间势能与气体分子本身的能量相比亦可忽略不计。此时,气体中的分子可看成几何上的一个点,只有位置而无体积,同时气体分子之间没有相互作用力,这样的气体称为**理想气体**。事实上理想气体只不过是一种抽象概念,是实际气体的一种极限情况。研究理想气体是为了简化问题,低压、高温下的实际气体的性质接近理想气体的性质。一般情况下,理想气体状态方程进行必要的修正后,可用于实际气体。

1) 理想气体状态方程

对于一定量的理想气体,其温度、压力和体积之间存在如下关系:

$$pV = nRT \quad (2-1)$$

或

$$pV = \frac{m}{M}RT \quad (2-2)$$

式中: p 为理想气体的压力(Pa); n 为理想气体的物质的量(mol); V 为理想气体的体积(m^3); T 为理想气体的温度(K); m 为理想气体的质量(g); M 为气体的摩尔质量(g/mol); R 为气体常数,其值为 $8.314 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ 。式(2-1)、式(2-2)称为理想气体状态方程。

2) 理想气体分压定律、分体积定律

道尔顿(Dalton)和阿马格(Amagat)在研究低压混合气体时,分别于1801年和1880年提出了理想气体的分压定律和分体积定律。

分压(p_i)是指混合气体中任一气体在与混合气体所处温度相同时,单独充满整个容器时所呈现的压力。混合气体的总压($p_{\text{总}}$)等于各组分气体的分压的代数和:

$$p_{\text{总}} = p_1 + p_2 + p_3 + \dots = \sum_i p_i \quad (2-3)$$

根据理想气体状态方程,有

$$p_1V = n_1RT, p_2V = n_2RT, \dots$$

所以

$$p_{\text{总}}V = n_{\text{总}}RT \quad (2-4)$$

综上所述可得

$$\frac{p_1}{p_{\text{总}}} = \frac{n_1}{n_{\text{总}}}, \frac{p_2}{p_{\text{总}}} = \frac{n_2}{n_{\text{总}}}, \dots$$

根据物质的摩尔分数 $x_i = n_i/n_{\text{总}}$, 可得到第 i 种气体的分压:

$$p_i = x_i p_{\text{总}} \quad (2-5)$$

分体积(V_i)是指混合气体中任一气体在与混合气体所处温度相同,且总压相同时所占有的体积。混合气体的总体积($V_{\text{总}}$)等于各组分气体的分体积的代数和: