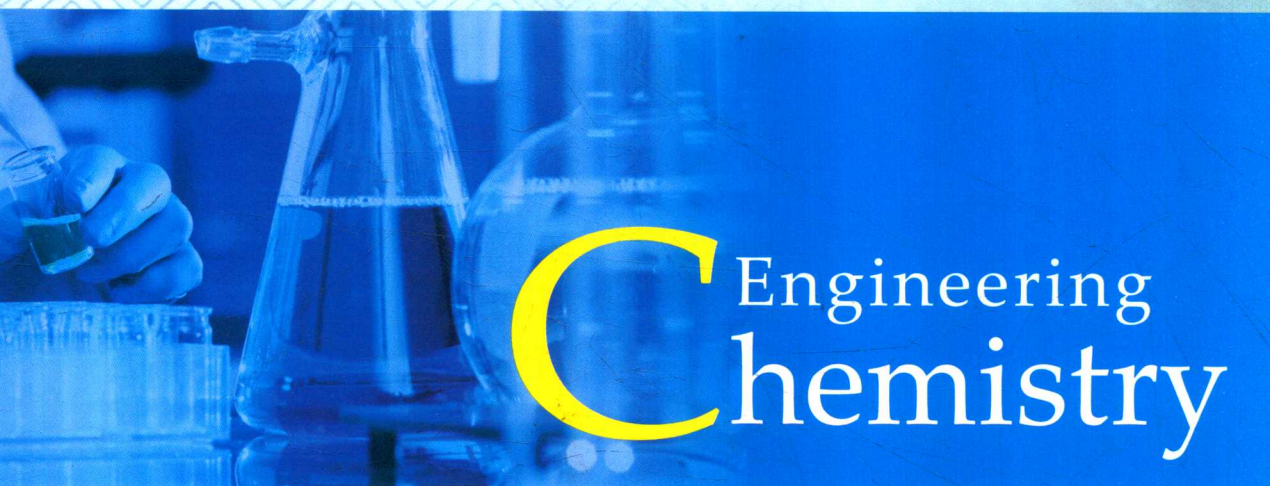




“十三五”普通高等教育本科规划教材
高等院校化学与化工类专业“互联网+”创新规划教材



C Engineering Chemistry

工程化学 (第2版)

宿 辉 白青子 / 主编



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

“十三五”普通高等教育本科规划教材
高等院校化学与化工类专业“互联网+”创新规划教材

工 程 化 学

(第2版)

主 编 宿 辉 白青子
副主编 原小寓 刘 英
主 审 黄恒钧



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书根据应用型本科院校定位和教学实践的特点编写而成,内容精简、实用性强,突出工程化学在生产实践中的实际应用,同时引入化学发展的新思想、新成果,反映学科发展的新趋势。全书共分9章,包括绪论、化学反应的基本规律、溶液中的化学平衡、氧化还原反应与电化学、物质结构基础、化学与材料、化学与能源、化学与环境、化学与生命。其中第2~5章属于化学原理部分,第6~9章为化学在社会生活、科学技术中的实际应用,涉及内容既有专业性又有科普性。

本书不仅可作为高等院校化学化工类、近化学类专业的基础课教学用书,也可供自学者、工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

工程化学/宿辉,白青子主编. —2版. —北京: 北京大学出版社, 2018. 4

(高等院校化学与化工类专业“互联网+”创新规划教材)

ISBN 978-7-301-29160-3

I. ①工… II. ①宿… ②白… 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(2018)第 011854 号

书 名 工程化学 (第2版)
GONGCHENG HUAXUE
著作责任者 宿 辉 白青子 主编
策 划 编 辑 童君鑫
责 任 编 辑 李娉婷
数 字 编 辑 刘 蓉
标 准 书 号 ISBN 978-7-301-29160-3
出 版 发 行 北京大学出版社
地 址 北京市海淀区成府路 205 号 100871
网 址 <http://www.pup.cn> 新浪微博: @北京大学出版社
电 子 信 箱 pup_6@163.com
电 话 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667
印 刷 者 北京市科星印刷有限责任公司
经 销 者 新华书店
787 毫米×1092 毫米 16 开本 16 印张 372 千字
2012 年 7 月第 1 版
2018 年 4 月第 2 版 2018 年 4 月第 1 次印刷
定 价 39.00 元

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010-62752024 电子信箱: fd@pup.pku.edu.cn

图书如有印装质量问题, 请与出版部联系, 电话: 010-62756370

前 言

“工程化学”是高等院校化学化工类、近化学类专业的一门重要的基础课程，是在普通化学、无机化学、材料化学和环境化学等学科基础上发展起来的实用科学。通过本课程的学习，可使学生对物质的化学本性及其变化规律有比较系统、全面的认识，掌握必需的近代化学基本理论、基本知识和基本技能，并了解其在实际工程中的应用，从而培养学生观察问题、分析问题和解决问题的能力，为其学习后续课程奠定较扎实的化学基础。

科学技术的迅猛发展，对高等工科院校的教育提出了更高、更新的要求。对于应用型本科院校，教材应该更加体现出其适应性、实用性和针对性等特点。本书正是适应这种要求，进行教学体系、内容改革的一个尝试。在保证工科非化学专业化学基础课性质的基础上，结合工科特点，反映新的科技成果。本书更加符合面向 21 世纪应用型本科学校人才培养的需求，适应教育部“卓越工程师培养计划”及教育部 CDIO 工程教育模式体系要求，在内容上着重学生专业知识水平的提升及实践能力的培养。

本书具有以下特点。

(1) 教学内容注重“少而精”的原则，尽量做到由浅入深，理论联系实际。力求叙述简洁，压缩篇幅，适应少学时的需要。

(2) 注重化学基础原理学习的同时，强调化学理论的应用，同时引入了化学发展的新思想、新成果，设有导入案例、网络导航、阅读材料、科学家简介等板块。

(3) 设有本章教学要点、本章小结、习题与思考题等模块，便于学生学习。

全书共分 9 章，由黑龙江工程学院和黑龙江科技大学教师分工协作，共同完成。其中黑龙江工程学院的宿辉编写了第 1 章、第 2 章、第 6 章及附录部分内容；黑龙江工程学院的原小寓编写了第 3 章、第 5 章；黑龙江科技大学的白云起编写了第 4 章；黑龙江工程学院的刘英编写了第 7 章、第 8 章、第 9 章。编写人员共同完成书稿的通读、整理和定稿，黑龙江工程学院的黄恒钧对本书进行了审阅。

在本书的编写过程中，编者得到了黑龙江工程学院和黑龙江科技大学各级领导及王晓丹、肖雪、闫鹏、刘辉等相关老师的支持和帮助，同时参考了国内同类教材的部分内容，在此表示衷心感谢！

由于编者水平所限，书中疏漏之处在所难免，恳请使用本书的师生多提宝贵意见。

编 者

2012 年 4 月

目 录

第 1 章 绪论	1	本章小结	100
1.1 化学的研究对象及其发展简史	2	习题与思考题	101
1.2 化学的学科分支及其在社会 发展中的作用	3	第 5 章 物质结构基础	104
1.3 物理量的表示方法	5	5.1 原子结构	106
第 2 章 化学反应的基本规律	9	5.2 分子结构	121
2.1 气体	10	5.3 晶体结构	135
2.2 化学反应中的能量变化	13	本章小结	138
2.3 化学反应的方向	18	习题与思考题	139
2.4 化学反应的限度	23	第 6 章 化学与材料	143
2.5 化学反应速率	29	6.1 金属材料	145
本章小结	37	6.2 无机非金属材料	150
习题与思考题	38	6.3 高分子材料	156
第 3 章 溶液中的化学平衡	43	6.4 复合材料	163
3.1 水的性质和稀溶液的依数性	45	6.5 纳米材料	166
3.2 酸碱理论	50	本章小结	171
3.3 弱电解质的解离平衡	51	习题与思考题	171
3.4 难溶电解质的沉淀溶解平衡	57	第 7 章 化学与能源	173
3.5 配位化合物和配离子的解离平衡	63	7.1 常规能源	174
本章小结	68	7.2 新型能源	178
习题与思考题	71	本章小结	190
第 4 章 氧化还原反应与电化学	74	习题与思考题	191
4.1 原电池	75	第 8 章 化学与环境	192
4.2 原电池电动势	78	8.1 水污染及其防治	193
4.3 电极电势的应用	83	8.2 大气污染及其防治	197
4.4 电解的基本原理及应用	85	8.3 土壤的污染及其防治	203
4.5 金属腐蚀与防护	88	8.4 环境保护与可持续发展	206
4.6 化学电源	94	本章小结	209
		习题与思考题	209



第9章 化学与生命 210

9.1 蛋白质与酶 211

9.2 核酸 216

9.3 糖 220

9.4 维生素 223

9.5 生命元素与人体健康 225

本章小结 230

习题与思考题 231

附录 232

参考文献 246

第1章

绪论



本章教学要点

知识要点	掌握程度	相关知识
化学的概念	掌握化学的研究对象，了解化学的发展简史	能量守恒定律、道尔顿原子论、阿伏伽德罗定律、元素周期律
化学的学科特点	掌握化学的学科分支，了解化学在人类社会发 展进程中的作用	无机化学、有机化学、材料化学、分析化学、物理化学、生物化学
物理量的表示方法	清楚物理量的表示方法，了解国际制基本单位及定义	国际单位制、基本单位、辅助单位



导入案例

【化学分子
结构图片】

科学家们即将开发出的微型化学开关,细如毛发,可反复开启和关闭,可用其制造随机存取的存储器。这是计算机中的关键设备,使用户能保存和任意处理信息。分子计算机将淘汰掉今天体积庞大、笨重、能耗巨大的硅计算机。目前的晶体管尺寸比分子器件大 8000 倍,所以最终计算机将变得十分微小,可编织到衣服中。它能完整地保存大量数据,不必担心出现系统崩溃或其他故障。

一般计算机的基本器件是二极管(开关、电流放大器),晶体管(信号-电压放大器、信息存储器)。微型化学开关的基础是一种叫连环体的分子(2,4-二对苯硫酚-3-氨基硝基苯),它是由两个微小的相互连锁的环状结构组成的,通过施加电脉冲可以移走一个电子,从而使一个环出现翻转或绕另一个环旋转,打开开关,若把电子送回原处,便可使开关关闭。

采用化学合成方法的重要特点是,一次可以提供数以亿万计的“全同”分子原料,制备具有特定功能的分子器件的分子仪器。目前,分子计算机存在的难题是:三维分子器件的设计、电路的连接方式及导线的制备材料等问题。微型化学开关很大程度上推动了分子计算机的发展。

1.1 化学的研究对象及其发展简史

1.1.1 化学的研究对象

化学是研究物质变化的科学。世界是物质的,物质有实物和场两种基本形态。前者具有静止的质量,是化学研究的对象,包括大至宏观的天体,小至微观的基本粒子,如分子、原子、离子等;场是只有运动质量而没有静止质量的物质,如引力场、电磁场等,它们不在化学的研究范畴之内。变化是运动的物质永恒的主题,化学变化的主要特征是在原子核不变的前提下生成了新的物质。因此可以说,化学是在原子和分子的层次上研究物质的组成、结构、性质、变化规律及其应用的一门学科。化学是研究原子、分子层次范围内的物质结构和能量变化的科学,是物质科学的基础学科之一,是一门中心的、实用的、创造性的科学。

1.1.2 化学的发展简史

【化学的发展
简史】

借助于火,人类掌握了巨大的能量,并开始初步地利用其改造自然界,这是人类第一个有意使用的化学反应,也标志着人类由野蛮进入了文明时代。四五千年前,人类逐渐掌握了冶炼、染色、酿造等工艺,并能从植物中提取和加工有用的产品(如香料和纸张等),积累了许多化学知识,但在那时化学还没有成为一门科学。公元前 1500 年,随着生产力的发展,统治者开始梦想富贵长生,使化学走上了炼金、炼丹的歧途,历时近 14 个世纪,最后以失败告终,但这一时期积累了更多的化学知识,提高了实验技术,发现了



【近代化学之父
——波义耳】

许多新物质,如酒精、无机酸和金属盐类等。16—17世纪,药物化学家试图用化学知识制药并解释生物体内的生化过程,由此化学步入正轨。1661年,英国化学家罗伯特·波义耳(R. Boyle, 1627—1691)发表的名著《怀疑派化学家》指出“化学的目的是认识物质的结构,而认识的方法是分析,即把物质分解成元素”,他被后人誉为近代化学的奠基人,他的著作标志着近代化学的诞生。同时,天平的出现,使化学研究进入定量阶段。在此后100年的时间内,一大批科学家通过试验建立了一系列重要的化学定律和学说,如能量守恒定律、氧化理论、定比定律、倍比定律、道尔顿(图1.1)(J. Dalton, 英国化学家, 1766—1844)原子分子论和阿伏伽德罗(图1.2)(A. Avogadro, 意大利物理学家, 1776—1856)定律等,使化学成为了一门真正的科学。1869年,俄国化学家门捷列夫(D. I. Mendeleev, 1834—1907)把当时已知的63种元素按相对原子质量和性质间的递变规律进行排列,建立了元素周期律,从而奠定了无机化学的基础。

19世纪下半叶,由于电子和放射性的发现,使人们对微观世界领域有了进一步的认识,物质结构理论得到了迅猛发展。近百年来,借助于数学、物理学、计算机科学和现代科学技术的成果,使化学在各个方面得到了突飞猛进的发展。化学的核心是合成化学,从美国《化学文摘》上登载的由天然产物中分离出来及人工合成的化合物数量看,1900年为55万种,经过45年翻了一番达110万种,又经过25年又翻了一番为236.7万种,以后每10年翻一番,到1999年已达2340万种,2003年达4500万种,可以说近30年来化学呈现出指数函数型加速发展的态势。



图 1.1 道尔顿



图 1.2 阿伏伽德罗

1.2 化学的学科分支及其在社会发展中的作用

1. 化学的学科分支

今天的化学已经达到了由描述到推理,由定性到定量,由宏观到微观,由静态到动态的发展过程,正在向分子设计和分子工程的领域发展,形成了一个完整的化学体系。化学的研究对象和研究目的越来越明细,传统的化学大致分为四大分支学科,即化学的二级学科,分别是:①无机化学,主要研究无机物的组成、结构、性质和变化规律的科学,以1870年门捷列夫发现元素周期律、公布元素周期表为标志;②有机化学,主要研究有机物的组成、结构、性质和变化规律的科学。1806年首次由贝采利乌斯提出,从1858年价键学说的建立,到1916年价键的电子理论引入,是经典有机化学时期;③分析化学,主



要研究测量和表征物质组成和结构的方法的化学。包括定性分析和定量分析,18世纪中叶重量分析法使分析化学由定性迈向定量;⑤物理化学,是从化学变化与物理变化的联系入手,研究化学反应的方向和限度、化学反应的速率和机理及物质的微观结构与宏观性质间关系的科学,是化学学科的理论核心。

随着各种学科不断发展,化学分支学科(图1.3)之间,化学与其他学科和技术之间的交叉与渗透也在不断扩大和深入,同时形成了许多新的分支学科,如药物化学、地球化学、环境化学、生物化学、材料化学等,与新的交叉学科,如化学物理、化学生物、环境科学及其工程、材料科学及其工程、信息科学及其工程、生命科学及其工程等。众多新兴学科及工程技术的涌现,极大地丰富了化学科学的内容,拓展了化学研究和发展的空间,同时新兴学科的发展和高新技术的涌现也离不开化学的基础,没有化学的进步,就不可能有相关新兴学科的发展和进步。

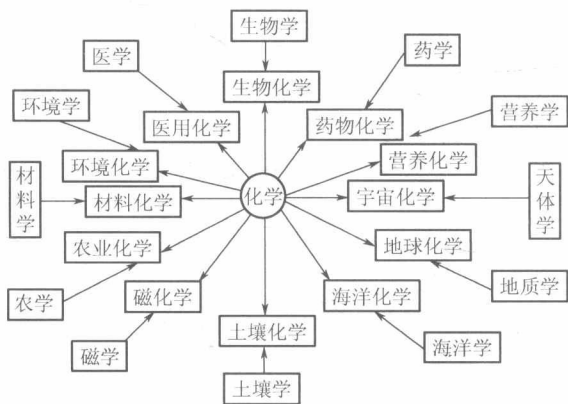


图 1.3 化学分支学科



【饮食之基——
化学与人类饮食】

2. 化学在社会发展中的作用

化学与人类文明进步息息相关。美国著名化学家皮曼特(G. C. Pimentel)在《化学中的机会——今天和明天》一书中精辟地指出化学是“一门满足社会需要的中心学科”。布里斯罗(R. Breslow)在《化学的今天和明天——化学是一门中心的、实用的和创造性的科学》一书中也指出“在改善人类生活方面化学是最有成效的科学之一”。人类的衣食住行无一不依赖着化学工作者的创造性劳动成果。在国际上还通常以化学和化学工业的发展程度作为衡量一个国家发展程度的标志之一。化学在为人类提供食物、开发能源、防治疾病、保护生态环境、增强国防实力和保障国家安全等方面都起着重要的作用。现代社会发展的六大基础——能源、信息、材料、粮食、环境和生命都与化学密切相关。20世纪的六大发明技术——信息技术、生物技术、核科学和核武器技术、航空航天和导弹技术、激光技术以及纳米技术都是由化学合成技术作为物质基础而发展起来的。我国化学家徐光宪先生曾强调20世纪应该说有七大发明技术,其中化学合成技术应位于首位。



【化学在社会
发展中的作用】

化学是一门应用性极强的学科,在我们的日常生活以及在能源、环境、材料、生命科学等各个方面,都直接或间接地起着无可替代的重要作用。

建筑用的水泥、玻璃和油漆,日常生活用的肥皂、牙膏和化妆品,织

物上色所用的合成染料,粮食生产中使用的化肥和农药,维持生命健康的维生素和药物,交通运输工具中金属部件上的油漆,制造汽车轮胎用的合成橡胶,发动机的燃油、润滑油及其添加剂,摄影胶片上涂敷用的感光化学品,彩电和电脑显示器中的荧光材料等都是化学制品。

农业科学的发展与化学密切相关。土壤改良、作物栽培、良种繁育、农业环保、野生资源与开发、农林副产品的加工与利用、动物免疫以及各种肥料、农药、植物生长调节剂、饲料添加剂等的研制都需要运用化学的理论和操作技术。

用以保证人体健康的营养成分、治疗疾病所用的高效药物以及揭开生命奥秘等研究工作都离不开化学。

【我们需要化学——
绚丽生活】



在我国工业生产的不断发展中,能源已成了制约其进一步发展的瓶颈。化学虽不能直接产生能源,但能够改变能源形式,更有效、更环保地使用能源,如石油炼制中轻组分的回收利用、重油裂解催化重整成汽油、煤变油技术、用单晶硅收集太阳能等。对于主要燃料为煤炭、石油,且近一半需进口的中国,煤的液化和汽化尤为重要。目前,全国已有三十余家煤化企业投巨资发展煤变油生产,并已取得较好效益,为缓解高价石油进口做了很好的尝试。

在化学与材料方面,化工产品可以代替天然物质和补充天然物质的不足,化学工业特别是石油化工提供的三大合成材料,具有质轻、易加工、耐磨损、耐腐蚀等优良性能,广泛应用于许多特殊领域。世界合成橡胶的年产量已超过天然橡胶产量一倍多;世界化学纤维的年产量也已经与天然纤维的产量持平;世界塑料的年产量已近亿吨,在生产和生活及其他领域起到了重要作用。轻纺织工业的原材料已经越来越多地采用化学合成的方法生产。化学合成材料还制造了大量自然界里没有而又需要的特殊性能的材料,不仅支持了国民经济建设,也促进了其他学科的发展。如光导纤维使通信发生了革命性变化,使电话、有线电视的普及变成可能;单晶硅的大量生产使清洁能源——太阳能的使用迅速增加;形状记忆材料做的卫星天线使现在的卫星通信和卫星定位技术得到推广;高温超导材料的使用能使磁悬浮列车更节能,速度更快;储氢材料使环保的氢能汽车成为可能等。

环境保护是当今世界各国都非常关注的问题。随着世界人口不断增长、生产不断发展,土地沙漠化、水体污染等,使环境受到了不同程度的破坏,环境保护已成为全球性的重大课题之一。为此一方面要加强科学管理,另一方面仍要依赖于化学科学和相应技术的进步,如用绿色制冷剂代替氟利昂;化工厂废液通过化学方法变废为宝;通过萃取或其他方法提取有机物中的有用原料等。总之,化学也是解决环境问题的重要途径。

工程化学是在无机化学、物理化学、结构化学、高分子化学、材料化学和环境化学等学科基础上发展起来的一门实用科学。作为高等院校的基础课程之一,工程化学主要介绍具有普遍意义的基本化学理论,是化学科学的导论。其任务是在中学化学的基础上,掌握近代化学基本理论、基础知识和基本技能,提高分析和解决实际问题的能力,为今后的学习和工作积累一定的化学基础。

1.3 物理量的表示方法

化学是在原子和分子层次上研究物质的组成、结构、性质、变化规律及应用的一门学科,它常用定量的公式描述物理量之间的关系,因此,必须正确掌握物理量的概念及运算



规则,这也是培养严谨科学态度的基本要求。

物理量简称为量,是现象、物体或物质的可以定性区别并定量确定的属性,如时间、长度、体积、温度等。相互之间存在确定关系的一组物理量称为一种量制。在函数关系上彼此独立的物理量称为量制的基本量,由基本量的函数定义的量称为导出量。实际使用的有多种量制,如国际单位制、工程量制、英制等。国际单位制是1960年第十一届国际计量大会通过的一种单位制,是世界上最先进、科学和实用的单位制,其国际代号为SI。国际单位制由7个基本单位、2个辅助单位和10个具有专门名称的导出单位所组成。所有单位都各有一个主单位,利用10进倍数和分数的16个词头组成SI单位的10进倍数单位和分数单位。7个基本单位见表1-1,单位间彼此独立,并有严格的定义。

表1-1 国际制基本单位及定义

物理量	名称	国际符号	定 义
长度	米	m	光在真空中 $1/299792458$ s 时间间隔内所经过路径的长度
质量	千克	kg	等于保存在巴黎国际计量局的铂铱合金的千克原器的质量
时间	秒	s	铯-133 原子的基态两个超精细能级之间跃迁所对应辐射的 9192631770 个周期的持续时间
电流强度	安 [培]	A	真空中,使两根相距 1m 极细且无限长的圆直导线间产生在每米长度上为 $2\times 10^{-7}\text{N}$ 力时,所对应的每根导线中通过的等量恒定电流
热力学温度	开 [尔文]	K	水三相点热力学温度的 $1/273.16$
光强度	坎 [德拉]	cd	一光源在给定向上的发光强度,该光源发出频率为 $540\times 10^{12}\text{Hz}$ 的单色辐射,且在此方向上的辐射强度为 $(1/683)\text{W/sr}$
物质的量	摩 [尔]	mol	一系统的物质的量,该系统中所包含的结构粒子数与 0.012kg 碳-12 的原子数目相等;在使用摩尔时,结构粒子应予指明,可以是原子、分子、离子、电子或是这些粒子的特定组合体

辅助单位有两个,分别如下。

(1) 弧度: 圆内两条半径间的平面角,这两条半径在圆周上截取的弧长与半径相等。

(2) 球面度: 一个立体角,其顶点位于球心,而其在球面上所截取的面积等于以球半径为边长的正方形面积。

在国际单位制中,所有的导出单位,当按一定的定义函数从基本单位或辅助单位导出时,其系数都是1,而且所有的SI单位在运算过程中的系数也都是1,从而使运算简化,体现了国际单位的一贯性。国际单位制具有统一、简明、实用的突出优点,因而被许多国家采用。我国法定计量单位的主体就是国际单位制。

物理量是由量的数值及其单位共同表示的,即: 物理量=数值 $\times$ 单位。SI单位制中7个

物理量的名称、单位和符号分别见表1-1, SI导出单位有 $N = \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$, $J = N \cdot \text{m}$ 等。单位符号均为正体字母, 除来源于人名的单位的第一个字母用大写外, 其余均用小写, 如 m 是米的符号, N 是牛顿的符号等。除SI单位外, 我国在化学中常用的法定计量单位还有时间: 分(min), [小] 时(h), 日(天)(d); 体积: 升(L); 质量: 吨(t)等。



【我们需要化学
——走向未来】



阅读材料1-1

21 世纪化学的四大难题和美好前景

21 世纪化学面临着以下四大难题:

(1) 化学反应理论(化学的第一根本规律)——建立精确有效且普遍适用化学反应的量子理论和统计理论。

化学是研究化学变化的科学, 故化学反应理论和定律是化学的第一根本规律。19 世纪挪威化学家古德贝格(C. M. Guldberg, 1836—1902)和瓦格(P. Waage, 1833—1900)提出的质量作用定律, 是最重要的化学定律之一。但其是经验的、宏观的定律。美国化学家艾林(H. Eyring, 1901—1982)的反应速率理论是建立在过渡态、活化能和统计力学基础上的半经验理论。过渡态、活化能和势能面等都是根据不含时间的薛定谔方程来计算的, 故是不彻底的半经验理论, 有必要建立严格的微观化学反应理论。

(2) 结构和性能的定量关系(化学的第二根本规律)。

“结构”包含构型、构象、手性、形状和形貌。“性能”指物理、化学和功能性质以及生物和生理活性等。目前对这两者关系的了解还远远不够, 这是解决分子设计和实用问题的关键, 是比第一个难题还需要迫切解决的问题。

(3) 生命现象的化学机理——生命化学难题。

生命活动的过程, 可以用也必须用化学过程来理解。虽然生命过程不能简单地还原为化学过程和物理过程的加和, 但研究生命过程的化学机理, 就是从分子水平上来了解生命, 可以为从细胞、组织、器官等层次来整体了解生命提供基础, 充分认识和彻底了解人类和生物的生命运动的化学机理。

(4) 纳米尺度难题。

现在, 中、美、日等国都把纳米科学定为优先发展的国家目标。在复杂性科学和物质多样性的研究中, 尺度效应至关重要。尺度的不同, 常常引起主要相互作用力的不同, 导致物质性能及其规律的质的区别。

经过 50~100 年的努力, 解决了化学的四大难题后, 我们不难设想未来美好的前景:

(1) 解决了第一和第三难题, 充分了解光合作用、固氮作用和催化理论, 可以期望实现农业的工业化。粮食和蛋白质可以在工厂中生产, 大大缩减了宝贵的耕地面积。

(2) 第三难题的解决, 可为医学家提供避免人类疾病痛苦的基础, 使人类寿命增加到 150 岁。

(3) 在解决第二和第四难题的基础上, 可以期望得到比现在性能更好的合金钢材和强度大十倍、但质量轻几倍的合成材料, 使城市建筑和桥梁建设的面貌完全更新。



(4) 在充分了解结构与性能关系的基础上,合成出高效、稳定、廉价的太阳能光电转化材料,组装成器件。太阳投射到地球上的能量,是当前全世界能耗的一万倍。如果光电转化效率为10%,只要利用0.1%的太阳能,就能满足当前全世界能源的需要。

(5) 未来的化工企业将是绿色的、零排放的、原子经济的、物质在内部循环的企业。

(6) 在合成了廉价的可再生的储氢材料和能量转换材料的基础上,汽车将是零排放的电动汽车。

(7) 海水淡化将成为重要工业,从而解决人类生存最严重的挑战——淡水资源紧缺问题。

第2章

化学反应的基本规律



本章教学要点

知识要点	掌握程度	相关知识
理想气体	掌握理想气体状态方程、混合物组成的表示方法及理想气体分压定律	理想气体状态方程、混合物组成的表示方法、道尔顿分压定律
化学反应中的能量变化	理解系统、环境、热、功、热力学能、焓变、熵变、吉布斯函数变的基本含义；掌握盖斯定律及化学反应热的有关计算	热力学第一定律、热力学基本概念、盖斯定律、焓、热化学方程式
化学反应中能量变化的方向	理解自发过程的特点；掌握化学反应的标准摩尔焓变和标准摩尔吉布斯函数变的计算方法；能够根据吉布斯函数变判断化学反应的方向	自发过程、焓、吉布斯函数、吉布斯-亥姆霍兹公式
化学平衡	了解化学平衡的概念，理解标准平衡常数的含义；掌握浓度、压力及温度等因素对化学平衡的影响；掌握有关化学平衡的计算	化学反应的限度、标准平衡常数、勒·夏特列原理
化学反应速率	理解化学反应速率及有关反应机理的概念；掌握浓度、温度及催化剂对反应速率的影响及有关计算	化学反应速率、浓度、温度及催化剂对反应速率的影响



导入案例

物质的聚集状态除了人们知道的固态、液态和气态外,还有第四态、第五态。把气体物质施以高温、电磁场、放电、高能磁场、热核反应等作用,气态原子便电离成带电的离子和自由电子,二者的电荷数相等,符号相反,这种状态称为等离子体,是物质的第四种状态。

等离子体分为冷态和热态,当温度为 $10000\sim 100000^{\circ}\text{C}$ 时,气态物质变为原子、离子、电子的混合物,这是冷态等离子体,如霓虹灯里有氖或氩的等离子体在发光。闪电、电弧、电车的“长辫子”在夜间冒的火花,都是由空气放电形成的等离子体。太阳的温度极高,是热态等离子体,如图2.1所示。地球上方的电离层受太阳光的辐射,也是由等离子体组成的,远距离无线电通信就是借助这个电离层。等离子体密度很小,与气态相似。温度很高时与理想气体相似,但不同于气态。气态是由中性分子构成的,而等离子体是由带电的粒子构成的。在强磁场作用下,等离子体粒子做有规律的运动,是物质的第四态。

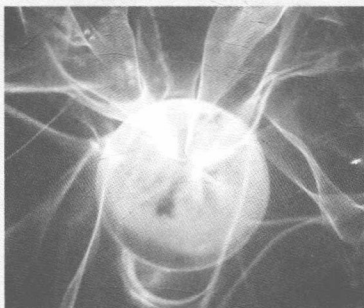


图 2.1 等离子图片

如果对固态物质施以高压,非金属可变成金属,如加压到 $1000\sim 5000\text{MPa}$ 时,Te、 I_2 、P等能导电,变成金属。若把金属态再加高压或超高压,核外电子则可被压到核里面去,电子与质子结合成中子,物质就成了中子态,这可能就是物质的第五态。此时,物质的体积很小,密度却大得惊人。天文学家已在宇宙中发现“中子星”的存在,它就是密度极大的星体。

2004年,我国台湾大学通过他们开发的“生物环境穿透式电子显微镜”观察到水分子等物质进入细胞膜的情形,同时还发现细胞膜会形成一种新的物质状态,称“酯膜结构”。这是世界上第一次观察到的一种新物质状态。2005年,美国布鲁克黑文国家实验室的科学家利用相对论重离子对撞机(RHIC)制造出“夸克胶子等离子体”。这是一种全新的物质形态,曾广泛存在于宇宙诞生后的百万分之几秒内,这些都可能是物质的“第六态”。



【美丽的化学反应】

化学反应是物质发生化学变化的根本原因,是用于改善物质性质或创造新物质、新能源的理论根据。本章重点讨论化学反应中的能量变化、反应方向、限度及反应速率等问题。

2.1 气 体

自然界中物质的存在形式是多种多样的,在一定条件下物质的存在状态称为其聚集状态,可分为气态、液态、固态、等离子体态和黑洞态五种。其中气体是一种比较简单的聚集状态。

2.1.1 理想气体状态方程

理想气体是指气体分子为没有体积的质点，分子之间没有相互作用力，分子之间的碰撞及分子与容器器壁间的碰撞没有能量损失的气体。实际上，理想气体是不存在的。研究表明，在高温、低压条件下，气体分子间的距离大，分子的体积和分子间的作用力均可忽略，这时的气体可近似看作是理想气体。

描述气体的时候，经常会用到体积、温度和压力等物理量。对于理想气体，可用下面的公式来描述：

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

式(2-1)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，单位为开(K)； R 为摩尔气体常数，其常用值为 $8.314 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ 。

2.1.2 混合物组成的表示方法

由两种或两种以上的物质组成的系统称为混合物。如空气是气态混合物；氯化钠水溶液是液态混合物，一般简称为溶液；金(Au)和银(Ag)的混合物是固态混合物，一般简称为合金或固溶体。

混合物和溶液的性质与其组成密切相关，本书常用的组分表示方法如下。

1) 物质 B 的质量分数 ω_B

在混合物或溶液中，物质 B 的质量 m_B 与混合物或溶液的总质量 $m_{\text{总}}$ 之比，即为物质 B 的质量分数 ω_B ，单位为 1。

$$\omega_B = m_B / m_{\text{总}} \quad (2-2)$$

2) 物质 B 的摩尔分数 x_B (物质的量分数)

在混合物或溶液中，物质 B 的物质的量 n_B 与混合物或溶液总的物质的量 $n_{\text{总}}$ 之比，即为物质 B 的摩尔分数 x_B ，单位为 1。

$$x_B = n_B / n_{\text{总}} \quad (2-3)$$

对于液体和固体混合物，一般用 x_B 表示，对于气体混合物，一般改用 y_B 表示。

3) 物质 B 的质量摩尔浓度 b_B

在溶液中，溶质 B 的物质的量 n_B 除以溶剂 A 的质量 m_A ，即为溶质 B 的质量摩尔浓度 b_B ，单位为 mol/kg 。

$$b_B = n_B / m_A \quad (2-4)$$

4) 物质 B 的摩尔浓度 c_B

在溶液中，物质 B 的物质的量 n_B 除以溶液的体积 V ，即为物质 B 的摩尔浓度 c_B ，单位为 mol/L 。

$$c_B = n_B / V \quad (2-5)$$

2.1.3 气体分压定律

实际生产过程中，经常遇到的是气体混合物。例如，空气就是由氧气、氮气、二氧化碳和稀有气体等多种气体组成的混合物。通常，把组成混合气体的每一种气体称为混合气体的组分气体。混合气体中各组分气体的含量可以用其分压来表示。

在混合气体中，某组分气体对周围环境施加的压力称为该组分气体的分压力，即每种气